

日本建築学会四国支部研究報告集

第 26 号

PROCEEDINGS OF AIJ SHIKOKU CHAPTER

ARCHITECTURAL RESEARCH MEETING

No. 26

2026年 3 月

一般社団法人日本建築学会四国支部

ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN SHIKOKU CHAPTER

日本建築学会四国支部研究報告集 第26号 目次

日 時 — 2026年3月7日(土) 12:30~17:20

会 場 — 高知工科大学 香美キャンパス B棟(高知県香美市土佐山田町宮ノ口185)

発表時間 — 1題10分:発表7分、質疑3分

● 第1会場

◆ 12:30~13:20 司会:白山敦子(徳島大学)

- 1_1 デュアルアニーリングによる位相速度の逆解析 ○岡下幸樹(高知大学) (1)
山田伸之
- 1_2 国内外で観測された強震動が多段免震建物の免震層変位応答量に及ぼす影響 ○藤坂亘希(高知工業高等専門学校) (5)
—基礎免震建物と中間層免震建物の免震層変位応答量と比較して— 池田雄一
- 1_3 2024年豊後水道の地震の宿毛市木造住宅の互屋根被害をふまえた互屋根を一部 ○北添清鳳(高知工業高等専門学校) (7)
模した振動実験 池田雄一
- 1_4 宿毛市における臨時地震観測 ○山田伸之(高知大学) (9)
- 1_5 四国太平洋沿岸部における表層地盤のS波速度構造モデルの推定 ○地元孝輔(香川大学) (11)
松原朱里

◆ 13:30~14:30 司会:宮本慎宏(香川大学)

- 1_6 圧縮軸力下におけるアンカーボルト位置の異なる非埋込み形CES柱脚の構造的 ○天野皓太(高知工科大学) (13)
能 長岡紗那 鈴木卓
- 1_7 埋込み部周囲の配筋方法が異なるCES外柱-RC杭頭接合部のFEM解析 ○古角大輝(高知工科大学) (17)
長岡 紗那 鈴木卓
- 1_8 大貫通孔を有するRC造基礎梁の構造性能に関する基礎研究 ○東村匠馬(高知工科大学) (21)
(その7)貫通孔の上下弦材が非対称な基礎梁の静的載荷実験 佐藤弘都 鈴木卓 伊藤花恋
深津尚人 田口孝
- 1_9 築60年以上のRC水門構造物を模擬した梁試験体の3次元FEM解析 ○和田康平(高知工科大学) (25)
佐藤弘都 鈴木卓 中宗汰
東圭太
- 1_10 吹抜けを有する5層RC造建物の常時微動計測に基づく変形性状の考察 ○池田和樹(高知工科大学) (29)
別所和真 鈴木卓 佐藤匠
阿部隆英
- 1_11 5階建てRC造フレーム振動台実験の時刻歴応答解析 ○別所和真(高知工科大学大学院) (33)
鈴木卓 佐藤匠 阿部隆英

◆ 14:40～15:50 司会：鈴木卓(高知工科大学)

1_12	純ラーメン鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究	○継山平 (香川大学) 秋山虎太郎 宮本慎宏 西内佑太 日根居亮佑 坂本潤哉	(37)
1_13	耐震ブレース付き鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究 (その2) 地震応答解析結果に基づく被害推定指標の検討	○秋山虎太郎 (香川大学大学院) 宮本慎宏 西内佑太 日根居亮佑 坂本潤哉	(41)
1_14	免震層を有する鉄骨造建物におけるブレース配置の違いが地震応答に及ぼす影響	○西本唯人 (徳島大学) 白山敦子	(45)
1_15	風荷重における地表面粗度区分の違いに着目した免震建物の減衰評価	○福島暖空 (徳島大学) 白山敦子 山下忠道 二宮正行	(47)
1_16	徳島県脇町南町と岐阜県美濃町における重伝建地区の比較分析と延焼シミュレーション	○片岡岳大 (徳島大学) 白山敦子	(49)
1_17	南海トラフ巨大地震を想定した徳島県における動的津波荷重と建築物の応答性 状	○浅田菜々子 (徳島大学) 白山敦子	(51)
1_18	限界耐力計算に基づく耐震診断法の違いが木造建物の応答結果に及ぼす影響	○谷口諒 (徳島大学) 白山敦子	(53)

◆ 16:00～17:20 司会：山田伸之(高知大学)

1_19	近代和風建築の耐震性能に関する研究 水平筋かいおよびボルトの補強効果の検証	○藤原未稀 (香川大学) 宮本慎宏	(55)
1_20	伝統的木造建物の耐震性能評価を目的とした立体フレームモデルの構築手法の 検討	○小藪秀輝 (香川大学) 宮本慎宏	(59)
1_21	社寺建築物に用いられる金輪継手の耐震性能に関する実験的研究	○吉岡美玲 (香川大学) 宮本慎宏 宇都宮直樹	(63)
1_22	法隆寺東院廻廊の地震時挙動および耐震補強シミュレーションに関する研究	○黄昊 (香川大学大学院) 宮本慎宏 西川英佑	(67)
1_23	引張と曲げの複合応力を受ける竿車知継手を有する柱-梁接合部の耐震性能に 関する実験的研究	○福井陽斗 (香川大学大学院) 宮本慎宏 宇都宮直樹 中尾方人	(71)
1_24	令和6年能登半島地震で被災した伝統的木造建物の耐震性能に関する研究 その2 立体フレームモデルを用いた検討	○門田望 (香川大学大学院) 宮本慎宏 西川英佑	(75)
1_25	木造建築物の耐震設計法に関する研究 各設計法による評価結果の比較	○岸上日菜 (香川大学大学院) 宮本慎宏	(79)
1_26	伝統構法木造建物に用いられる木造軸組架構の耐震性能に関する実験的研究	○田川蒼真 (香川大学) 福井陽斗 宮本慎宏 宇都宮直樹	(82)

● 第2会場

◆ 12:30～13:30 司会：山本高広(香川大学)

2_1	夏季における空気式床下空調と対流式空調の熱的快適性評価に関する研究 —対流・放射・伝導成分測定に基づく熱的快適性評価—	○和田百花 (高知工科大学) 佐藤理人 福田奏子 吉岡瑞穂 佐藤友紀	(86)
2_2	保健所を対象とした災害時の夏季温熱環境改善手法の評価	○川端光貴 (高知工科大学) 佐藤理人 木多彩子	(90)
2_3	半屋外・非空調空間を想定したパーソナル空調ベンチの開発	○保科遥希 (高知工科大学) 佐藤理人	(94)
2_4	地域気候特性を考慮したトレーラーハウスの冷暖房負荷評価	○宮本樹 (高知工科大学) 佐藤理人	(98)
2_5	局所冷房による古民家の夏季温熱環境改善効果	○小嶋悠斗 (高知工科大学) 佐藤理人	(102)
2_6	里山が古民家の夏季温熱環境と太陽光発電量に及ぼす影響	○伊東駿 (高知工科大学) 佐藤理人	(108)

◆ 13:40～14:30 司会：佐藤理人(高知工科大学)

2_7	カメラ撮影画像と画像処理プログラムによるL*a*b*測定方法の検討	○大和義昭 (呉工業高等専門学校) 宋城基 木村竜士	(110)
2_8	実建築物における省エネルギー評価のための低コストな環境負荷計測手法の開発 その1 研究概要および計測手法	○山本高広 (香川大学) 小澤康平	(114)
2_9	実建築物における省エネルギー評価のための低コストな環境負荷計測手法の開発 その2 大学構内での予備計測	○小澤康平 (香川大学) 山本高広	(116)
2_10	モンゴルゴビ砂漠における環境計測に基づくゲル内部の室内環境および生活行動に関する研究	○加藤龍平 (香川大学) 山本高広 石塚正秀 黒崎泰典 河合慶 Gantsetseg Batdelger	(118)
2_11	家庭用冷蔵庫の電力変動が燃料電池の発電量および効率に及ぼす影響	○中川夏蓮 (香川大学) 山本高広	(120)

◆ 14:40～15:10 司会：曲田清維(愛媛大学)

2_12	参加型まちづくりの観点から見たCultural Planningの特徴に関する研究 参加者の属性・時期・動機に着目して	○矢島大暉 (香川大学大学院) 鈴木達也 中西仁美	(122)
2_13	四国新幹線の導入による職住分布傾向の変化に関する研究	○松田侑大 (香川大学) 鈴木達也	(126)

2_14 リノベーションまちづくり地域の周辺における土地利用の変化に関する研究
万代中央ふ頭整備が周辺に及ぼす変化の実態に着目して ○池下昇也 (徳島大学大学院) (130)
小川宏樹 金井純子

◆ 15:20～15:50 司会:鈴木達也(香川大学)

2_15 地方自治体における空き家コーディネーター制度を用いた流通支援に関する研
究 ○池田風雅 (徳島大学大学院) (132)
小川宏樹 金井純子

2_16 広域的な集落分類手法の検討 ○高橋芽生 (高知工業高等専門学校) (134)
高知県四万十市の流域景観を対象として 北山めぐみ

2_17 地震災害時の顔画像データを用いた表情分析の試み ○井上舞 (高知大学) (138)
山田伸之

● 第3会場

◆ 12:30～14:40 司会:釜床美也子(香川大学)

3_1 八幡浜 子どものための建築とまち育て 2025 ○眞田井良子 (眞田井良子 建築・まち (142)
日土小学校のおすすめパンフレットを作ろう 育て研究所)
武智和臣 曲田清維

3_2 サッカースタジアムにおける観客の熱狂を誘発する空間の分析と提案 ○米田和輝 (高知工科大学) (144)
木多彩子

3_3 坂道を有する観光地における空き家発生特性の抽出 ○松谷卓海 (高知工科大学) (148)
広島県尾道市中心街を例に 木多彩子

3_4 歩行空間の建築平面に対する形態分析 ○田阪燎平 (高知工科大学) (152)
義務教育学校建築の場合 木多彩子

3_5 地方都市と大都市圏の二輪車駐輪場の特徴に関する比較研究 ○横山翔海 (高知工科大学) (156)
JR神戸線の鉄道駅周辺を対象に 木多彩子

3_6 既設建物の一室に対する低コスト断熱改修に関する実証的研究 ○宮地喜一 (高知工科大学) (160)
高知県中山間地域の地域拠点施設におけるケーススタディ 木多彩子 佐藤理人

3_7 可視性と近接性からみたショッピングセンターの空間構成分析 ○滝井侃大 (香川大学) (164)
鈴木達也

◆ 13:50～14:50 司会:北山めぐみ(高知工業高等専門学校)

3_8 山形県における現代の茅の自家調達と茅採取の一連の工程に関する実態調査 ○小坂伊織 (香川大学大学院) (168)
釜床美也子 川嶋伸岳 濱定史

3_9 引田における歴史的町並みと民家の構法の変遷 ○川嶋伸岳 (香川大学大学院) (172)
釜床美也子 小坂伊織

3_10 東京都新島村における戦後のコーガ石を用いた建物の構法と町並み ○松野百華 (香川大学) (176)
釜床美也子

3_11	吉野川中・下流域における水防建築を用いた水害対策	○内田美咲 (香川大学) 釜床美也子	(178)
3_12	愛媛県南西部・高知県北西部の山間集落における土蔵板倉の構法	○白出宮登里 (香川大学) 釜床美也子	(182)
3_13	高知県赤岡町と安田町における戦後の水切瓦の施工事例とその地域性	○原田美珂 (香川大学) 釜床美也子	(185)
◆ 15:00～15:50 司会: 多田豊(愛媛大学)			
3_14	大正期における道後温泉本館・周辺温泉施設の変遷 道後温泉の建築史研究 (1)	○野本健 (愛媛大学)	(188)
3_15	五島富江の石積みカンコロ小屋の踏査報告	○安藤亮 (香川大学大学院) 釜床美也子 山田由香里 小林久高	(192)
3_16	高知県知事公邸の歴史・文化的価値に関する研究 全国知事公舎の動向と村野藤吾作品との比較を通して	○森悠夏 (高知工業高等専門学校) 北山めぐみ 東哲也 楠瀬朋葉 岩松正剛 鈴江章宏	(196)
3_17	歴史的建築総目録データベースの充実に向けた手法の提案 高知県を対象として	○松本悠希 (高知工業高等専門学校) 北山めぐみ	(200)
3_18	仁淀川町別枝秋葉神社の建築及び境内整備に関する研究	○大石知史 (高知工業高等専門学校) 北山めぐみ	(204)
◆ 16:00～16:40 司会: 木多彩子(高知工科大学)			
3_19	学生キャリア形成を目的とした合宿型ワークショップの試み 2025 —四国支部男女共同参画推進委員会の活動—	○北山めぐみ (高知工業高等専門学校) 池添純子 東哲也 安藤雅人 大西泰弘 釜床美也子 眞田井良子 山田宰	(208)
3_20	愛媛県内の普通科高校における建築・土木分野に関する意識調査 土木工学科を母体とする四国内大学・高専における建築・土木融合授業の開発と 実践 その1	○多田豊 (愛媛大学) 木下尚樹 中畑和之 矢野寿洋 片岡智哉 白柳洋俊 藤森祥文 清水鏡介 宮本慎宏 山本高広 小川宏樹 木村竜士 北山めぐみ 加藤研二	(212)
3_21	漁コウ舎 生業の時間が学びの風景となる港	○渡邊海里 (香川大学大学院)	(214)
3_22	企業と学生の連携による重伝建地区の関係人口の増加を目指した空き家改修の 実践	○花田知夏 (香川大学) 渡邊海里 釜床美也子	(217)

デュアルアニーリングによる位相速度の逆解析

2. 構造
Rayleigh 波分散曲線
焼きなまし法

2. 振動
地盤構造推定
デュアルアニーリング

e. 地盤震動
逆解析

非会員
正会員

○岡下幸樹 1*
山田伸之 2*

1. はじめに

地盤構造の把握は、地震動評価や防災対策の高度化において重要な課題となっている。特に、表層から地震基盤に至る S 波速度構造は、地震動の増幅特性や周期特性を支配する主要因であり、精度の高い推定が求められている。表面波の一種である Rayleigh 波は、S 波速度構造に強く依存する性質を有しており、その位相速度の周波数特性は、地盤構造を反映する有効な情報である。このため、Rayleigh 波の位相速度を用いた地盤構造の推定は、これまで多くの研究において用いられてきた。

位相速度を用いて速度構造を推定することは、観測値と理論値との差（誤差）を最小にする最適なモデルの解を得る逆解析を解くことになる。その際の誤差分布には、強い非線形性および多峰性を有することがある。このため、最適解が複数存在する可能性が高く、初期値や探索手法に大きく依存するという課題が指摘されている[例えば、山中(2001)]。特に、従来行われてきた試行錯誤的な作業によるモデル推定では、多数のパラメータを同時に扱うことが困難であり、最適解の推定には膨大な時間と労力を要する。また、すべてのパラメータの組合せを網羅的に探索する総当たりの手法は、計算量が大きくなるため、現実的ではない。従って、広い探索空間を効率的に探索可能な最適化手法を用いた地盤構造推定手法の構築が求められている。

こうした速度構造の推定のための位相速度の逆解析には、遺伝的アルゴリズム (GA) や焼きなまし法 (SA) などを用いた事例[例えば、山中(2001)]が多数存在する。本研究では、微動アレイ観測などにより得られた Rayleigh 波位相速度データを用いて地盤の速度構造を推定するための逆解析手法として、デュアルアニーリング (DA) [例えば、Ryzkowski et al. (2023)]を用いることを SA と比較しながら試み、その有用性を示すことを行った。

2. 逆解析手法

2-1. 目的関数と探索パラメータについて

本研究における逆解析では、観測された Rayleigh 波の位相速度と理論分散曲線との適合度を評価するため、最適化の目的関数として重み付き平均絶対誤差を用いた。

目的関数 (misfit) は次式で定義される。

$$\text{misfit} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|V_i^{\text{cal}} - V_i^{\text{obs}}|}{\sigma_i} \right) \quad (1)$$

N は観測データ数、 V_i^{cal} は第 i 周波数 (または周期) における理論位相速度、 V_i^{obs} は観測位相速度、 σ_i は観測位相速度の標準偏差である。本定義により、観測誤差の小さいデータほど逆解析において大きな重みを持つように設計されている。

探索パラメータは、各層の層厚と S 波速度 (V_s) を推定対象とした。P 波速度 (V_p) については、S 波速度との経験的關係式 [狐崎・他(1990)] を用いて、 V_s に連動させた。また、各層の密度 (ρ) は、既往の研究を参考に層ごとに固定値を与えた。

以上の設定により、本研究では、層厚と S 波速度を探索パラメータとし、探索範囲を設定することによって最適化問題を解く手法 (ここでは DA と SA) を用いて、逆解析を実施している。

2-2. DA と SA について

本研究では、Rayleigh 波位相速度を用いた逆問題を解くため、確率的最適化手法である焼きなまし法 (Simulated Annealing: SA) とデュアルアニーリング (Dual Annealing: DA) を用いた。

SA と DA は、厳密解の探索を保証する決定論的手法とは異なり、ヒューリスティック探索に基づく確率的最適化手法に分類される。ヒューリスティック探索とは、問題の構造に関する経験的知見や確率的規則を利用し、膨大な探索空間の中から実用的な時間内に良好な解を得ることを目的とした探索手法である。

Rayleigh 波分散曲線に基づく地盤構造推定問題では、探索パラメータ数が多く、目的関数が非線形かつ多峰的となることがあるため、厳密な全探索や解析的解法の適用は現実的ではない。このような問題に対して、ヒューリスティック探索は、探索の効率性と解の実用性のバランスを取る手法として有効である。

SA は、物理学における固体の焼きなまし過程を模擬した最適化手法である。SA では、現在の解よりも目的関数値が悪化する解であっても、一定の確率で受取するこ

Phase velocity inversion using dual annealing

Koki OKASHITA 1*
Nobuyuki YAMADA 2*

とで探索を継続する。この受理確率は温度パラメータに依存しており、探索初期では広範な解空間を探索し、温度の低下とともに徐々に局所的な探索へと移行する。この性質により、SAは局所解に陥る可能性を低減しつつ、安定した解探索を行うことが可能である。図1は、温度低下に伴う誤差空間における最適解の探索経路についての模式図である。

DAは、SAを基盤としつつ、大域探索と局所探索を組み合わせた最適化手法である。DAでは、確率的な大域探索によって有望な解候補を探索するとともに、探索の途中で局所最適化を適宜導入することで、効率的な収束を実現している。このため、SAと比較して収束性が高く、探索効率に優れる場合がある。

本研究では、これらの二つを用いて同一の目的関数および地盤モデル条件のもとで逆解析を行うことで、探索挙動や推定結果の違いを比較・検討する。これにより、Rayleigh波位相速度に基づく地盤構造推定問題に対する各最適化手法の有効性を評価することを試みるとする。

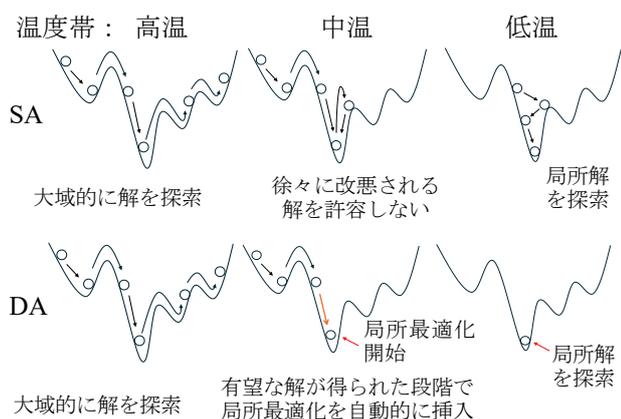


図1 SA (上) と DA (下) の最適解探索の模式図

3. 数値実験

本研究で導入した、SAとDAの性能評価を既往の研究[山中(2001)]で示されている条件を用いて数値実験を行った。この数値実験での観測記録には、表1の速度構造モデルから計算される理論位相速度を設定し、その中から位相速度のデータを観測値として20個用意した。観測誤差は、各観測記録の±10%とした(図2中の観測値)。そして、表2に示す探索範囲を設定してSAとDAそれぞれで逆解析を行った。その結果、図2に示す結果が得られた。

これらを比較すると、SA、DAのいずれ結果においても、推定された速度構造モデルは設定値と概ね一致しており、位相速度についても、観測値を完全に説明できており、両者ともに妥当な(同等な)結果が得られたといえる。なお、計算に要した時間は、misfitの評価回数10万回に対し、SAを1.0とすると、DAは0.962となり、

4%ほど処理時間が短くなった。ここでは両者はあまり差がなかったが、解く問題が複雑になり、大きな回数を要する場合には、時間差は大きくなる可能性がある。

なお、SA、DAともにここでのmisfit関数の評価回数は10万回を上限として設定した。DAは、大域探索と局所最適化を組み合わせたアルゴリズムであり、各反復において目的関数が複数回評価される。これがDualとつく所以である。そのため、内部処理における自動的な関数評価により、実際のmisfit関数評価回数は設定した上限値を超過する場合がある。そのため、ここでのDAの評価回数は100,002回である。

表1 数値実験のモデル設定値

Vp(km/s)	Vs(km/s)	層厚(km)	ρ (g/cm ³)
1.96	0.6	0.4	1.8
2.40	1.0	0.5	2.0
2.96	1.5	0.6	2.3
4.84	3.2	∞	2.5

表2 逆解析探索範囲

Vs(km/s)	層厚(km)	ρ (g/cm ³)
0.4-0.9	0.2-1.0	1.8
0.7-1.3	0.2-1.0	2.0
1.2-1.8	0.2-1.0	2.3
2.6-3.6	∞	2.5

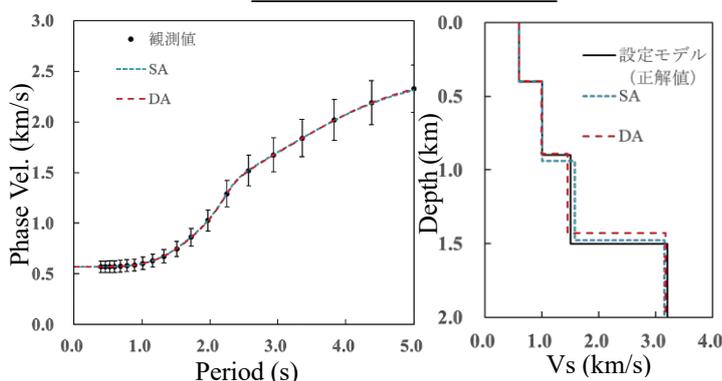


図2 観測位相速度および逆解析から得られた速度構造から算出した位相速度の比較(左)と各逆解析の手法で得られた速度構造(右)

この数値実験でのmisfitの評価回数ごとのmisfit、各層の層厚、各層のVs値の変化を図3に示す。DAとSAの探索過程は異なるため、単純な比較はできないが、a)のmisfit値の変化の様子では、DAが探索範囲における大域探索と局所探索を同時に行うことによって徐々に(滑らかに)misfitが低下する傾向があるのに対し、SAはあるときに階段状に、かつ低下するのみであることが分かる。なお、今回の評価回数の上限(打ち切りの)値10万回付近での両者のmisfit値はほぼ同じである。b)の層境界の深さ値とc)のVs値の変化図の例では、SAはmisfitが大きく変化したとき(200回や600回付近)にそれらの値が大きく変動し、1000回以降は大きく変化しないことが

分かる。一方、DA については、misfit と同様に滑らかな変化傾向にあるが、1000 回や 40000 回を超えた付近でいくらか変化している。このとき、misfit は逆にわずかに大きくなっており、探索過程の特性により、より最適解を模索（悪い解も含め探索）していると考えられる。こういう特性のため DA は、最適解とするときの判断（回数設定など）が難しく、この際の試行錯誤が必要である。判断基準の設定を設けるなどは今後の課題でもある。

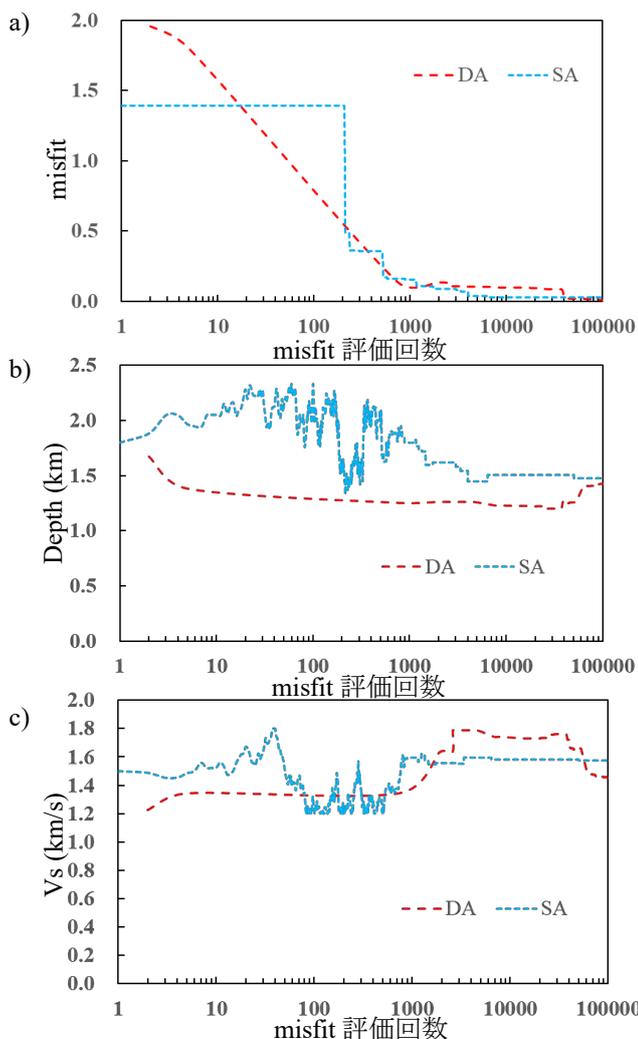


図3 a) misfit の評価回数ごとの misfit 値, b) 第3層境界の深さ値, c) 第3層の Vs 値の各変化

4. 実観測データへの適用

4-1. 調布市飛田給でのケース

ここでは、東京都調布市で実施された微動アレイ観測によって得られている位相速度値を利用し、本研究で対象にした SA, DA を用いて速度構造を推定した。ここでの位相速度は山中・石田(1995)に示されている図からの読み取りで、表3の探索範囲は同じものである。それらを図4左に示す。

SA, DA による速度構造の推定結果を図4右に示す。山中・石田(1995)では、GA による推定結果も示されているため、比較対象に示している。図4右によると、第1

層と第2層の Vs と層厚の値はほぼ同じ結果となっているが、第3層と最下層はいずれもわずかに異なる。観測位相速度と理論分散曲線の比較では、両者の差異はなく、観測記録の誤差範囲内に入っており、いずれも観測位相速度を説明するモデルであるといえる。第3層と最下層の差異については、精査が必要であるが長周期側の観測値のばらつきの大きさによるものかもしれない。

図4右には、微動アレイ探索が行われた地点に近接する府中市の深井戸での検層結果も示す。約5km 離れているため単純に比較はできないが、最下層の地震基盤上面の深さについて、DA の結果はほぼ同じである。SA についても大きな差異はない。中間層での差異が目立つが Vs と層厚の値は SA も DA もあまり変わらないといえる。この点も精査は必要だが、探索範囲の設定に起因している可能性がある。

計算時間は、misfit の評価回数 10 万回に対し、SA を 1.0 とすると、DA は 0.717 となり、処理時間が 30%ほど短くなった。ここでの DA の評価回数は 109,558 回である。DA のほうが処理効率がよい結果となった。

表3 逆解析の探索範囲

Vs(km/s)	層厚(km)	ρ (g/cm ³)
0.2-0.7	0.05-0.85	1.8
0.5-1.2	0.05-1.25	2.0
1.1-1.8	0.05-1.25	2.2
2.5-3.5	∞	2.5

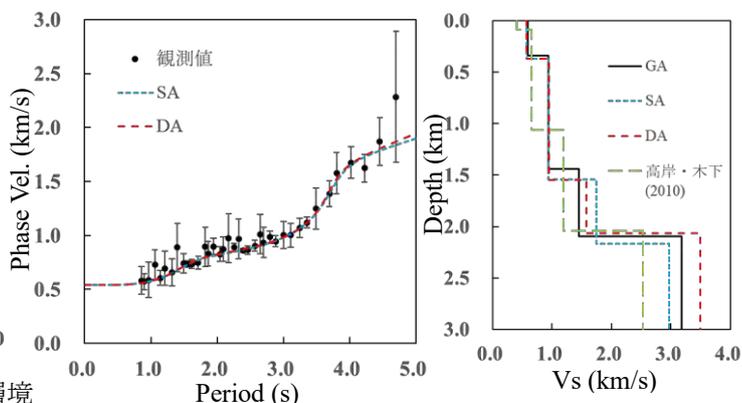


図4 観測位相速度および逆解析から得られた速度構造から算出した位相速度の比較（左）と各手法で得られた速度構造とボーリング調査の結果（右）

4-2. 川崎市麻生区でのケース

ここでは、さらに神奈川県川崎市麻生区で実施された、微動アレイ探索によって得られている位相速度値を利用し、本研究で対象にした SA, DA を用いて速度構造を推定することも試みた。ここでの位相速度は、山中ほか(1999)に示されている図からの読み取りで、表4の探索範囲も同じある。それを図5上に示す。

SA, DA による速度構造の推定結果を図5下に示す。ここでも山中ほか(1999)では、GA による推定結果も示さ

れているため、比較対象に入れている。図5下によると、DAとGAの速度構造が一致している。SAについては第3層の層厚はわずかに異なるが、差異は大きくない。Vsの値は同じ結果となっている。図5下で推定された速度構造モデルから算出した理論分散曲線を図5上に示した。両者の差異はなく、観測記録の誤差範囲内に入っており、観測位相速度を説明するモデルであるといえる。

計算時間は、misfitの評価回数10万回に対して、SAを1.0とすると、DAは0.693となり、ここでも処理時間が30%ほど短くなり、DAのほうが処理効率がよい結果となった。また、DAの評価回数は322,395回である。

このことから、実観測データのように構造が比較的複雑な場合には、大域探索と局所探索を組み合わせたDAの特性が有効に働く可能性があると考えられる。

表4 逆解析の探索範囲

Vs(km/s)	層厚(km)	ρ (g/cm ³)
0.4-0.8	0.01-0.8	1.8
0.7-1.3	0.1-1.5	2.0
1.2-1.8	0.2-2.0	2.3
3.0	∞	2.5

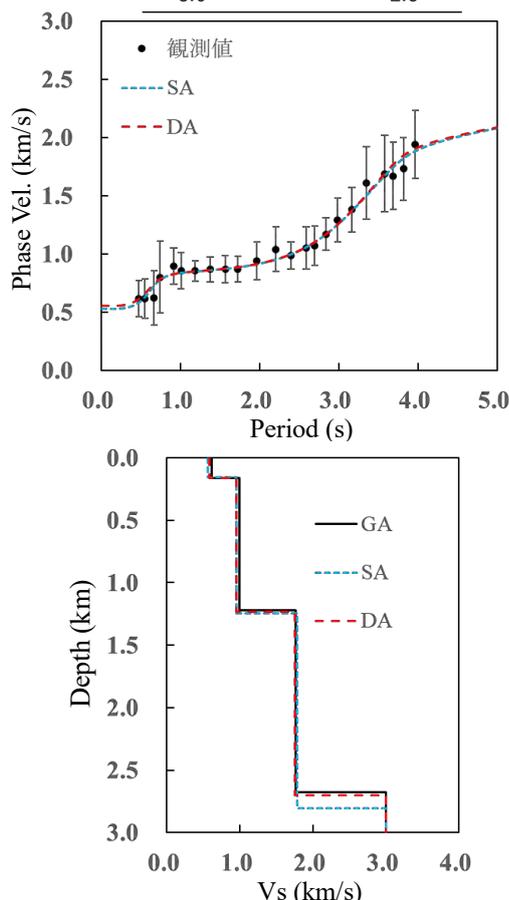


図5 観測位相速度および得られた速度構造から算出した理論分散曲線との比較(上)と各手法で得られた速度構造(下)

5. 結論

本研究では、Rayleigh波の位相速度データに基づく速度構造推定による逆解析に対して、確率的最適化手法であるSAとDA(デュアルアニーリング)を比較し、DAの有効性や探索特性について検討を行った。その結果、本研究で設定した解析条件および観測データにおいては、SAとDAの間に最終的に得られる最適モデルの適合度に関して明確な優劣の差は確認されなかった。いずれの手法においても、観測された位相速度を良好に再現する地盤構造モデルが得られており、DAが本問題に対してもSAに劣らず有効であることが示された。

また、目的関数(misfit)に対する計算時間は、DAの方がSAと比較して短時間で低いmisfit値に到達する傾向が確認された。これは、DAが探索過程に局所最適化を組み込むことで、効率的な収束を実現しているためであると考えられる。

本研究で取り扱った地盤モデルにおいては、SAとDAはいずれも有効な最適化手法であると考えられるが、より大規模かつ複雑な逆問題や探索パラメータ数が増加する問題に対しては、大域探索と局所探索を自動的に両立するDAの優位性がより顕在化すると考えられる。今後は、今回の数値実験等の結果を精査するとともに、複数の観測量を統合した逆解析への適用を通じて、確率的最適化手法の適用可能性および実用性について、さらに検討を進めることが必要である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費基盤研究(A)22H00234の補助の一部を利用してしています。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 狐崎長環・後藤典俊・小林芳正・井川猛・堀家正則・斎藤徳美・黒田徹・山根一修・奥住宏一, 1990, 地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定, 自然災害科学, 第9号3巻, 1-17.
- Ryckowski, A., Piotrowski, T., Staszczak, M., Wiktorowicz, M., and Adrich, P., 2023, Optimization of the regularization parameter in the Dual Annealing method used for the reconstruction of energy spectrum of electron beam generated by the AQUIRE mobile accelerator, Z Med Phys, Vol. 34, 510-520.
- 高岸万紀子・木下繁夫, 2011, 府中群列記録を用いた堆積層-基板系の速度境界の設定-非定常波線分解法の評価-, 地震2, 第64巻, 1-10.
- 山中浩明・石田 寛, 1995, 遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析, 日本建築学会構造系論文集, 第468号, 9-17.
- 山中浩明・佐藤浩章・栗田勝実・瀬尾和夫, 1999, 首都圏南西部におけるやや長周期微動のアレイ観測-川崎市および横浜市のS波速度構造の推定-, 地震2, 第51巻, 355-365.
- 山中浩明, 2001, 焼きなまし法による位相速度の逆解析-遺伝的アルゴリズムとの性能比較-, 物理探査, 第54巻, 第4号, 197-206.

*1 高知大学工学部地球環境防災学科 学部生

*2 高知大学工学部 教授・博士(工学)

*1 Undergrad. Student, Kochi Univ.

*2 Prof., Kochi Univ., Dr. Eng.

国内外で観測された強震動が多段免震建物の免震層変位応答量に及ぼす影響
-基礎免震建物と中間層免震建物の免震層変位応答量と比較して-

準会員 ○ 藤坂 亘希*
正会員 池田 雄一**

2. 構造
多段免震建物

2. 振動
基礎免震建物

i. 免震
免震層変位応答量

1. はじめに

基礎免震建物において、免震層クリアランスの増大抑制と、擁壁との衝突リスクを解消できる手法の一つとして、中間層免震建物の設計・建設が増加している。一方、中間層免震の下部構造は耐震構造であり、下部構造にあまり免震効果を期待できないという課題を有している。

こうした課題を踏まえ、設計者及び研究者は、多段免震建物に注目している。2つの免震層を有する多段免震建物の1つの免震層を基礎免震層に設けた場合、基礎免震建物の免震層変位応答量よりも、多段免震建物の基礎免震層の免震層変位応答量を低減できるとの報告があり¹⁾、近く、多段免震建物の設計・建設が増加すると予測される。しかし、多段免震建物に関する研究は、特に観測された強震動に対して、あまり行われていないと著者らは判断している。

そこで本報告では、2つの免震層を有する多段免震建物を対象とする。1つの免震層を基礎直下に設置し、もう1つ免震層を中間階に設置する多段免震建物を対象とする。そして基礎免震層を固定して、中間免震層を変化させた。中間免震層の設置位置は、S造14階建物モデルの低層階の4層、中層階の7層、高層階10層に設置する多段免震建物とした。解析に用いた強震動は、研究室データベースの中から国内外の強震動を用いる。基礎免震及び中間層免震と比較しながら、多段免震建物における地震時の免震層変位応答量について考察を行った。

2. 多質点系振動系解析モデル

2.1 解析に用いた強震動

解析に用いた強震動は、2024年能登半島地震までの強震動とした。その強震動の水平成分について、免震建物を1質点系モデルに置換した地震応答解析を実施し、免震層変位応答量が50cmを超える49強震動の水平成分76成分²⁾を採用した。表1に採用した強震動を示す。内陸型地震については橙色で示し、プレート境界型地震については水色で示している。

2.2 建物解析モデル

建物解析モデルについて、図1に基礎免震建物、中間層免震建物及び多段免震建物の解析モデルを示す。本報告では、対象建物を市街地に設計・建設されるS造14階建の事務所建物³⁾を想定した。

解析は多段免震建物を多質点系振動系モデルに置換し、上部・下部構造の弾塑性地震応答解析を行った。多質点系モデルの免震建物モデルにおいては、アイソレータの水平方向復元力特性は弾性とし、アイソレータ周期Tfを3.5s, 4.0s, 5.0sに設定した。また、アイソレータの水平特性については、免震層変位応答量が50cmで初期剛性の2倍、

表1. 解析に用いた強震動

No.	地震名	観測点	成分	VMAX (cm/s)	No.	地震名	観測点	成分	VMAX (cm/s)
1	1971年 サンフェルナンド地震	PACOIMA DAM, CALIF	NS	114.13	40	2023年 トルコ・シリア地震	3124	NS	110.77
2	1985年 メキシコ地震	CDAF	EW	37.71	41			EW	92.88
3			NS	34.72	42			NS	73.32
4		CDAO	EW	41.64	43		EW	101.25	
5		NS	64.19	44	NS		110.2		
6	TLHB	EW	44.7	45	EW		83.14		
7	1994年 ノースリッジ地震	SYLMAR	NS	130.53	46		3129	NS	172.55
8	1995年 兵庫県南部地震	鷹取	NS	104.8	47			EW	75.27
9			NS	121.09	48			NS	124.79
10	NS	123.79	49	NS	204.87				
11	1999年 トルコ地震	YPT	NS	72.98	50		3139	NS	150.02
12	1999年 台湾地震	TCU052	NS	137.24	51			EW	136.51
13			EW	131.53	52			NS	63.16
14	1999年 台湾地震	TCU065	NS	93.15	53		EW	77.22	
15			EW	116.98	54		NS	123.34	
16	2000年 鳥取県西部地震	日野	NS	212.92	55		EW	114.63	
17			EW	205.95	56		NS	105.04	
18	2003年 十勝沖地震	厚真	NS	76.89	57		EW	104.53	
19			EW	124.59	58		NS	149.47	
20	2003年 十勝沖地震	白糠	NS	74.95	59	4615	NS	124.71	
21			EW	73.67	60		EW	126.74	
22	2016年 熊本地震	一の宮	NS	80.75	61		NS	96.23	
23			EW	128.8	62	EW	58.79		
24	2018年 北海道胆振東部地震	磯川	EW	151.78	63	NS	75.39		
25			NS	76.89	64	EW	77.58		
26	2011年 東北地方太平洋沖地震	古川	EW	90.43	65	NS	95.68		
27			NS	74.25	66	EW	99.44		
28	2023年 トルコ・シリア地震	3123	NS	187.92	67	NS	114.5		
29			EW	92.65	68	EW	88.52		
30	2024年 能登半島地震	羽咋	NS	43.69	69	NS	110		
31			EW	150.38	70	EW	150.38		
32	2011年 東北地方太平洋沖地震	横浜	EW	24.01	71	能登半島地震	鳳至町	NS	116.09
33			EW	144.51	72			NS	43.69
34	EW	114.23	73	EW	58.83				
35	2023年 トルコ・シリア地震	2708	EW	144.51	74	珠洲	NS	111.33	
36			EW	144.51	75		EW	89.12	
37	2023年 トルコ・シリア地震	2718	EW	114.23	76	輪島市	NS	116.05	
38			NS	187.92	76		EW	116.09	
39	2023年 トルコ・シリア地震	3123	NS	187.92					
40			EW	92.65					

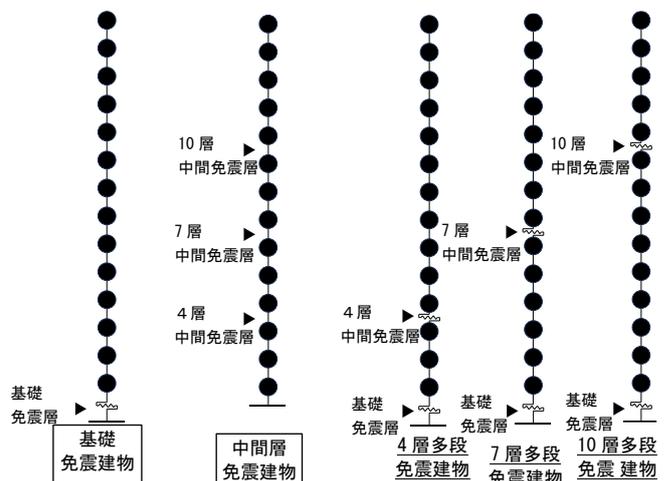


図1. 建物解析モデル

70cm以上で初期剛性の7倍としてハードニング特性を考慮した。

上部・下部構造の減衰定数はh=0.02、免震層の減衰定数は基礎免震層及び中間層免震層ともにh=0.0とした。

ダンパーは、各免震層より上の上部構造総重量の3%・4%・5%で降伏（降伏せん断力係数 $\alpha_s=0.03W, 0.04W, 0.05W$ （W：上部構造総重量））するよう設定し、完全弾

塑性の復元力モデルとした。免震層全体の水平方向履歴特性は、アイソレータとダンパーの組み合わせとなる。

3. 多質点系振動系モデルの免震建物の地震応答解析

図2～図5に地震応答解析の結果を示す。図2～図4は、76成分の強震動に対する多段免震建物における免震層の免震層変位応答量を示した図である。「●」凡例は、多段免震の基礎免震層の免震層変位応答量を、「●」凡例は、多段免震の中間免震層の免震層変位応答量を表す。多段免震建物では、中間免震層の変位を相対的に大きくし、基礎免震層の変位を抑制することを設計者はねらっている。本解析結果においても基礎免震層より中間免震層の変位が大きくなる傾向がある。特に、図2-2（基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$ ）では、基礎免震層の免震層変位応答量が図2-1よりも小さくなる傾向がある。

図3-1は基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$ の設定のもと、中間免震層の挿入位置を10層とした場合の最大変位を示す。同様に、4層に設置した場合においても、中間免震層に過大な応答変位が生じた。図3-2は多段免震の中間免震層の設置位置による免震層変位応答量の比較を示した図である。中間免震層の設置位置を7層に設置した場合に、中間免震層の免震層変位応答量が最も小さくなった。一方、アイソレータのゴム総厚を20cmと考えるならば、4層および10層では、アイソレータの許容せん断歪み400%に相当する変位80cmを大きく超える結果となった。多段免震建物の中間免震層の挿入位置は、中間階（7層）が有効であると考えられる。

図4-1は基礎免震建物と多段免震建物における基礎免震層の免震層変位応答量を比較した図である。また、図4-2は中間層免震建物と多段免震建物における中間免震層の免震層変位応答量を比較した図である。「●」凡例は基礎免震の免震層変位応答量を、「●」凡例は中間層免震建物の中間層免震の免震層変位応答量を表す。基礎免震層については、基礎免震建物よりも多段免震建物の基礎免震層変位応答量が小さくなる傾向がある。一方、中間免震層については、中間層免震建物よりも多段免震建物の免震層変位応答量が大きくなる場合があり、一部の強震動では中間免震層の免震層変位応答量が80cmを超える。

図5は地震動における免震形式別の地震時の免震層変位応答量を比較した図である。図5-1の鷹取NSは、多段免震建物の基礎免震層の免震層変位応答量が基礎免震建物よりも大きくなる。図5-2の西原村小森EWは、多段免震建物の基礎免震層の免震層変位応答量は基礎免震建物より小さいものの、中間免震層の免震層変位応答量が80cmを超える強震動である。

図5-1に示すような強震動は、鷹取NS（1995年兵庫県南部地震）の他に、TCU052EW, TCU068NS（1999年台湾地震）、益城町宮園EW（2016年熊本地震）、3124EW, 3129NS, 3138NS（2023年トルコ・シリア地震）がある。このような強震動は、設計者が基礎免震層の免震層変位応答量を抑制したい多段免震建物にとって、基礎免震建物の

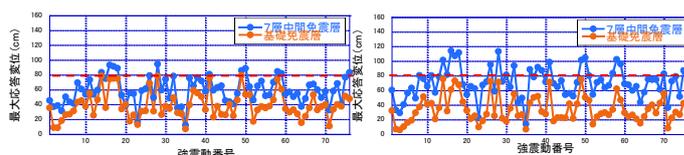


図2-1 多段免震の免震層の最大変位 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=4.0$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=4.0$)
図2-2 多段免震の免震層の最大変位 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$)

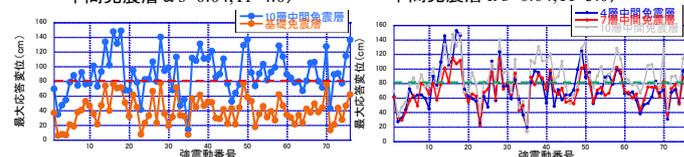


図3-1 多段免震の中間免震層の設置位置を変化させた場合の免震層変位応答量の比較 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$)
図3-2 多段免震の中間免震層の設置位置による免震層変位応答量の比較 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$)

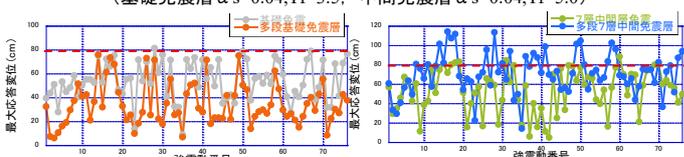


図4-1 同規模免震建物の基礎免震層の免震層変位応答量の比較 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$)
図4-2 同規模免震建物の中間免震層の免震層変位応答量の比較 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$)

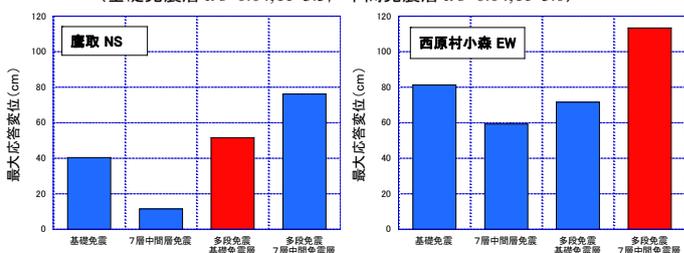


図5-1 免震形式別の基礎免震層及び中間免震層の免震層変位応答量 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$)
図5-2 免震形式別の基礎免震層及び中間免震層の免震層変位応答量 (基礎免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=3.5$, 中間免震層 $\alpha_s=0.04, T_f=5.0$)

免震層変位応答量よりも、多段免震建物の基礎免震層の変位が大きくなって、多段免震建物を採用しても、基礎免震層変位応答量を抑えることはできない強震動である。

4. 結論

本報告で得られた知見を、以下に示す。

- 1) 多段免震建物は、概ね基礎免震建物と比較して、基礎免震層の免震層変位応答量を低減できる。しかし、低減できない強震動も確認された。
- 2) 多段免震建物の基礎免震層とは、別のもう1つの中間免震層の設置位置は、建物高さの中間階に中間免震層の設置することで、その免震層変位応答量を低層階や高層階に設置するよりも抑制できる。
- 3) 多段免震建物においても、基礎免震層及び中間免震層に過大な変位応答が生じる強震動が存在する。

謝辞

強震記録については、気象庁及び国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網、及びトルコ政府の首相府防災危機管理庁 (AFAD) の強震観測網による記録を使用させていただきました。諸機関に関して、記して謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 辻聖晃, 辻千佳, 片岡奈々美: 複数の免震層を有する多段免震構造の地震応答特性, 日本建築学会構造系論文集, 705号, 2014.11
- 2) 岡本 尚大, 池田 雄一: 国内外において観測された強震動に対する基礎免震建物及び中間層免震建物の免震層最大変位応答量に関する研究, 第16回日本地震工学シンポジウム, 2023.11
- 3) 日本免震構造協会: 免震建築物等の計画推移, 2025.6

*高知工業高等専門学校専攻科建築学コース・専攻科学生
** 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科
まちづくり・防災コース 准教授・博士 (工学)

*Student, Dept. of Advanced Course, Architecture, National Institute of Technology, Kochi College
** Assoc. Prof., Dept. of Social Design Engineering, Architecture and Civil Engineering and Disaster Prevention Course, National Institute of Technology, Kochi College, Dr. Eng.

2024年豊後水道の地震の宿毛市木造住宅の瓦屋根被害をふまえた瓦屋根を一部模した振動実験

会員外 ○ 北添 清鳳*
正会員 池田 雄一**

2. 構造 2. 振動 a. 地震被害・震度分布・都市震害評価
2024年豊後水道の地震 観測された地震動 瓦屋根被害 振動実験

1. 研究の背景と目的

2024年4月17日に豊後水道を震源とする地震が起こり、高知県では震度6弱が観測された。これは現在の震度階級が導入されてから、高知県では最大の揺れの震度階となった。昨年度、研究室では、この地震の被害の調査を宿毛市中央(住所)で行い、この地震の地面の揺れによって生じた木造住宅の屋根被害について調べた。被害が大きかった宿毛市中央では、木造住宅の瓦屋根の被害が目立った。

ところで地震の建物被害において、瓦の落下やズレたりする被害は、構造被害ではないため軽視されやすい。しかし、被災後、被害が生じた瓦屋根を補修するだけでも、その工事額は、無視できないほどの費用がかかることが、2025年9月の現地調査ではわかった。図1には、2024年4月の地震直後の建物の被害の写真と、地震から1年5ヶ月経過した2025年9月の調査写真を示す。

本報告では、木造住宅の瓦屋根被害に着目し、過去の地震における屋根被害と地震動の関係を整理した。さらに、瓦屋根の試験体の振動実験を行って、2024年豊後水道地震における屋根被害の要因について、考察を行った。また、2026年1月6日には、島根県東部の地震が発生した。

2. 研究方法

本報告では、これまでに報告されている地震被害に関する文献調査を行い、過去の地震において屋根被害が生じた事例を整理した。屋根被害が確認された地震において観測された地震動を抽出し、それらの地震動に対してスペクトル解析を行った。

瓦屋根の振動実験では、2024年豊後水道の地震の宿毛市の地震動と、2026年島根県東部の地震の江府の地震動に用いて、水平動成分については、1質点系モデル($h=0.05$)の木造住宅の水平周期 $T_H=0.1$ 秒、0.15秒、0.2秒及び0.3秒、鉛直周期上下 $T_V=0.1$ 秒の応答加速度時刻歴をして、これを振動台実験の入力地震動として用いた。古瓦を収集し、瓦屋根を模した1500mm×1500mm瓦屋根の試験体を製作して、瓦屋根の試験体の振動実験を行った。

3. 屋根被害が生じた地震動のスペクトル解析

過去の地震から屋根被害をもたらした地震において、その整理した結果を表1に示す。表1に示す観測された地震動18波に加え、今回対象としている2024年豊後水道の地震の宿毛市、2024年能登半島地震の穴水、2026年1月6日に発生した鳥取県東部の地震において、鳥取県江府にて観測された地震動のスペクトル解析を行った。

図2に、それらの地震動の水平成分(NS、EW)と上下成分(UD)の加速度応答スペクトル($h=0.05$)を示す。図2に示すNS/EW成分は、木造住宅の水平固有周期帯域



図1 地震直後、そのあと被害部分を修復した屋根(宿毛市中央)

表1 過去の地震による屋根被害

No.	年月日	地震名	M	震源深(km)	都道府県	観測点	その他	震度(階)	計測震度	スペクトル解析実施
1	2000/10/6	鳥取県西部地震	7.3	20	鳥取県	全免町	-	5強	5.1	○
2	2001/3/24	芸予地震	6.7	51	愛媛県	宇佐市	DR=3	5強	5.3	○
松山(下伊予町)						DR=3	5強	5.3	○	
三原市						DR=2	5強	5.2	○	
3	2002/7/26	宮城県北部連続地震	6.4	12	宮城県	青柳町	DR=1	5強	5	○
4						青柳町	-	6弱	5.8	○
5	2004/10/23	新潟県中越地震	6.8	13	新潟県	長岡市	-	6弱	5.5	○
6	2009/8/11	駿河湾地震	6.5	23	静岡県	掛前崎市	-	6弱	5.7	○
7						牧之原市	-	5強	5	○
8	2011/3/11	東北地方太平洋沖地震	9	24	宮城県	石巻市	-	6弱	5.5	○
9						大崎市	-	6強	6.2	○
10						涌谷町	-	6強	6	○
11	2022/3/16	福島県沖地震	7.3	57	福島県	伊達市	-	6弱	5.6	○
12						漆折町	-	6弱	5.7	○
13						相馬市	-	6強	6.4	○
14	2024	能登半島地震	7.5	10	石川県	穴水	-	6弱	5.8	○
15						山元町	-	6弱	5.6	○

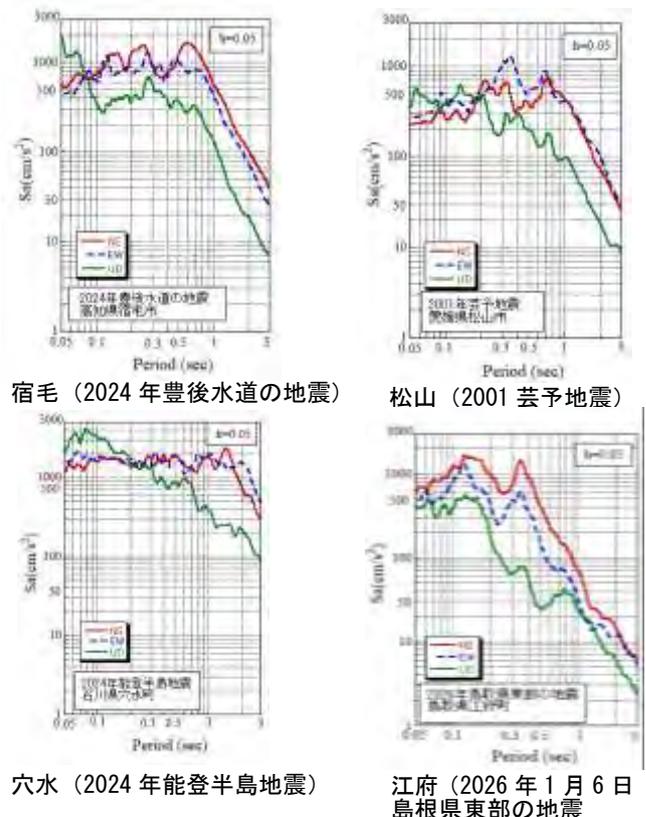


図2 加速度応答スペクトル

である $T_H=0.1\sim 0.3$ 秒付近において、加速度応答が

Vibration experiment on roof damage of wooden house using a partial replica of a roof

Seiho KITAZOE, Yuichi IKEDA

1000m/s²を超えている。上下成分の加速度応答については、木造住宅の鉛直固有周期が $T_v=0.1$ 秒以内と判断すれば、その周期帯域において、宿毛の上下動による加速度応答は、江府(2026年島根県東部の地震)や松山(2001年芸予地震)よりもやや大きい傾向にある。

4. 瓦屋根の振動実験

瓦屋根の振動被害を調べるため、瓦を30枚葺いた瓦屋根を模した振動台用試験体を製作した。試験体の写真を図3に示す。

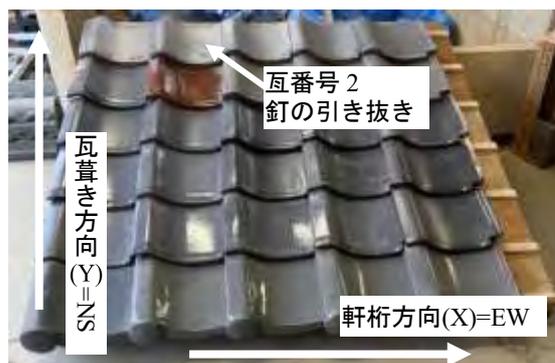


図3 屋根の部分の試験体

表2 振動実験の振動台入力方向

	XYZ入力	XY入力	X入力	Y入力	Z入力
宿毛 $T_H=0.1$ 秒	○	○	○	○	○
宿毛 $T_H=0.15$ 秒	○	○	○	○	○
宿毛 $T_H=0.2$ 秒	○	○	○	○	○
宿毛 $T_H=0.3$ 秒	○	○	○	○	○
江府 $T_H=0.1$ 秒	○	○	○	○	○
江府 $T_H=0.15$ 秒	○	○	○	○	○
江府 $T_H=0.2$ 秒	○	○	○	○	○
江府 $T_H=0.3$ 秒	○	○	○	○	○



図4 釘の引き抜き・椀木のひび割れ(瓦番号2)

2024年豊後水道地震における宿毛市の1質点系モデルの固有周期 $T_H=0.1$ 秒, 0.15 秒, 0.2 秒, 0.3 秒の4種類と、鉛直固有周期 $T_v=0.1$ 秒の加速度応答時刻歴の振動台実験を行った。固有周期 $T_H=0.1$ 秒, 0.15 秒, 0.2 秒, 0.3 秒, $T_v=0.1$ 秒について、入力方向は $(X \cdot Y \cdot Z)$, $(X \cdot Y)$, $(X$ のみ), $(Y$ のみ), $(Z$ のみ)の5加振、屋根勾配を3寸, 4寸, 4.5寸, 5寸の4パターンを組み合わせとした。加えて、瓦葺き方向に地震動のNS方向を、桁行方向にEW方向を、また方向を入れ替えた実験を行った。地震動と入力方向は表2に示す。

5. 振動実験の結果

本報告では、瓦の挙動を「ずれ」・「回転」・「浮き上がり」・「落下」の4種類に分類した。また、釘の引き抜きが確認された場合、瓦の固定性能が喪失した状態とみなし、「落下」に準ずる被害として扱った。瓦屋根の振動実験の結果として、図4に示す釘の引き抜きが1回発生した。その振動台入力、「宿毛, $T_H=0.2$ 秒, $T_v=0.1$ 秒, $(X \cdot Y \cdot Z)$ 入力, 屋根勾配5寸の加振において発生した。」釘の引き抜きが生じた瓦の下部に位置する椀木において、繊維方向に沿った割れが確認された。

図5-1に屋根瓦のY方向, 図5-2に屋根瓦のZ方向の加速度時刻歴を示す。図5-1のY方向の応答加速度が大きくなっている。

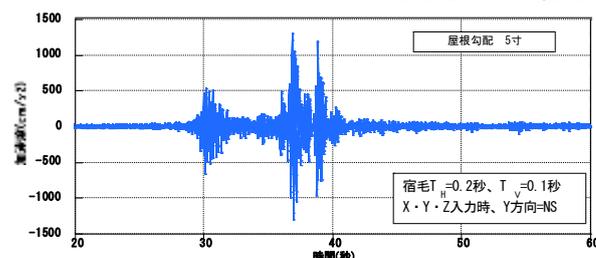


図5-1 宿毛 Y方向(屋根葺方向)

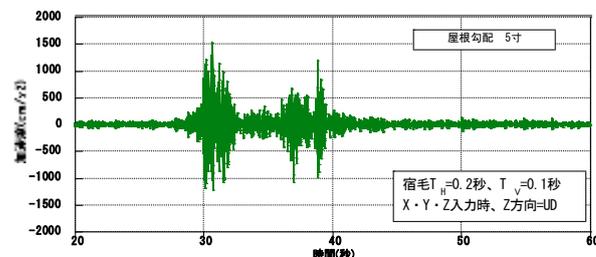


図5-2 宿毛 Z方向(鉛直方向)

2026年1月6日に発生した島根県東部の地震において、鳥取県江府で観測された地震動を用いて、2024宿毛と同様の振動実験を行った。図5-3には、屋根瓦のY方向の加速度時刻歴を示す。図5-3江府(屋根勾配4.5寸)と図5-1宿毛(屋根勾配5寸)と比較して、図5-3江府は、図5-1宿毛に比べて非常に応答加速度が小さい。これは現時点(2026.1.12)での被害情報と照らし合わせて、2026年1月島根県東部の地震における木造住宅の屋根被害が少ないことと整合する実験結果となった。

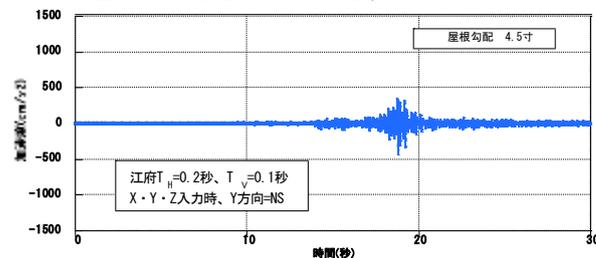


図5-3 江府 Y方向(屋根葺方向)
(2026年島根県東部の地震, 江府(鳥取県))

6. 結語

(1) スペクトル解析の結果、過去の屋根被害が生じた地震動では、木造建物の固有周期付近において、応答加速度が1000m/s²の加速度応答量であることが確認された。

(2) 振動台実験の結果、下地応答加速度に対する瓦応答加速度の比は、概ね1倍程度にとどまった。このことから、瓦と下地の間では加速度応答が増幅されない。

謝辞

瓦屋根の試験体については、高知県安芸市の(株)長野瓦の長野氏から、瓦屋根について、ご教授いただきました。

ここに記して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

1)林,鈴木,後藤,小嶋:2001年芸予地震における木造家屋の屋根被害の分析,日本建築学会構造系論文集第556号,pp.35-42,2002.6

* 高知工業高等専門学校まちづくり防災コース(建築)・5年生

** 高知工業高等専門学校 ソーシャルデザイン工学科

まちづくり・防災コース 准教授・博士(工学)

* Student, Dept. of Social Design Engineering, Architecture and Civil Engineering and Disaster Prevention Course, National Institute of Technology, Kochi College

** Assoc. Prof., Dept. of Social Design Engineering, Architecture and Civil Engineering and Disaster Prevention Course, National Institute of Technology, Kochi College, Dr. Eng.

宿毛市における臨時地震観測

正会員 ○山田伸之*

2. 構造
地震観測
地盤震動

2. 振動
地盤構造

b. 地震動
宿毛市

1. はじめに

地表付近の浅い部分の地盤構造や不整形性が地震動に影響し、地震被害を局所的に生じさせる要因になることはかつてより指摘されている。今回対象とする宿毛市内には、震度観測点は、宿毛市片島(2025/11/20 まで)[気象庁]と宿毛市桜町 (K-NET の KOC015[防災科技研]) の2か所である。両者はともに小さな宿毛平野(表層地質は、前者: 第四紀層, 後者: 古第三紀層[産総研]) に位置し、2 km 程度しか離れていないが、K-NET データによる震度値が公表されるようになって以降、様々な地震動を記録しているが、震度値で片島が桜町を超えたことも一度もない。例えば、2024年4月17日の豊後水道の地震(M_{JMA} 6.6)の際には、桜町では、県内で初の震度6弱が記録された一方、片島は震度5弱であった[気象庁]。この地震のみならず、昭和南海地震でも桜町周辺での地震動による被害の報告もある。こうしたことは表層地質の違いや表層地盤構造の影響によるものと考えられ、例えば、J-SHIS[防災科技研]の表層地盤増幅率などでも、桜町付近のほうがその値が大きく揺れやすいことが示されている。

こうした背景から、山田(2025)では、桜町周辺で常時微動記録から簡易的に表層地盤構造の推定を行っている。そこで今回は、地点数は少ないものの、臨時で観測点を設定した。半年間ほどの今回の観測で、地震データを複数収録できた。ここでは、臨時観測で得られたデータとKOC015での記録についての報告を行う予定である。それによって、桜町周辺での地震動特性を明らかにすることに繋がるものと考えられる。

2. 臨時地震観測概要

今回の宿毛市桜町の対象地域は、図1左の宿毛平野の東北端で、幅約70mほどの小さな谷地形の出口(谷口)に位置する。観測には、旧アカシ製の強震計6A3P(1V/G)と旧計測技研HKS9550ロガーの組み合わせ2セットを用いて、100Hzサンプリングでの連続観測を実施した。場所の詳細は、図1右の宿毛市交流複合施設さくら(旧市役所庁舎)の軒下に設置した。1台(No.2)は、谷筋方向に対しKOC015の正面に、もう1台(No.1)は、そこから18.5m東側(谷地形の中央付近)に据え付けた。旧市役所庁舎にNo.1とNo.2を設置した期間は2025/5/13~

2025/11/6 11:00の期間(期間I)である。また、期間Iの後の2025/11/6 13:00から、旧市役所庁舎のNo.1を宿毛市希望が丘の現市役所庁舎敷地内の倉庫脇の軒下に移設(No.1')した。こちらは、現在継続中である(期間II)。これらの地点の位置情報等を表1に示す。



図1 (左)宿毛市内の観測点地図
(右)点線枠の桜町周辺の地形図

表1 地震観測点位置座標

期間	地点名	lon.	lat.	h (m)	
No. 1	I	交流複合施設さくら: 中央(桜町No.1)	132.7262	32.9391	2.9
No. 2	I, II	交流複合施設さくら: 西端(桜町No.2)	132.7259	32.9391	3.0
No. 1'	II	宿毛市役所(No.1')	132.7016	32.9342	30.5

3. 観測点付近の表層地盤構造

宿毛平野は、大局的には松田川によって形成された堆積層の地域で、今回の桜町の周辺は、谷の上流からの小規模河川によって形成されたものと考えられる。山田(2025)では、図1右の東西測線と記す道路(KOC015へは南へ約20m、地震観測点へは南へ約50m)で、表層地盤構造探査を実施している。これは、2点同時微動観測データを用いた簡易的な方法(田中ほか(2021))により求めた谷の東西の端部をそれぞれ基準(0m)とした際の相対的な工学的基盤深さ見積もっている。これによると、谷口の中央付近で最大深さ15m弱の谷構造(V字)を呈していると推察されている(図2左)。こうした地下構造が、谷筋の方向に向かって続く(2次元的な構造が連続)すると考えられる。なお、地震観測点との位置関係として

Temporary Ground Motion Observations in Sukumo City

Nobuyuki YAMADA*

は、KOC015 と地震観測点 No.2 は東西測線の 19~21 m 付近、また、地震観測点 No. 1 は 32~34 m 付近の位置に相当する。なお、東西測線の 30m 南 (No. 1 と No. 2 の間) の位置を中心とする付近での微動アレイ探査の暫定結果と KOC015 の検層結果を図 2 右に示す。両者に違いがあり、詳細な検討が必要であるが、参考までに記す。一方、No. 1 の現在の宿毛市役所については、硬質地盤 (表層地質が古第三紀層) 上とされている。

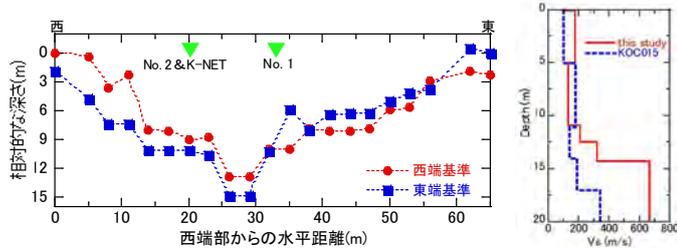


図 2 (左)東西測線での相対的な工学的基盤深さと(右)付近で実施した微動アレイ探査による速度構造

4. 観測された地震動記録

期間 I, II で得られた地震の諸元を表 2 に示す。この間 12 個の地震動記録が得られ、このうち 11 個で KOC015 でも得られている。地震の発生場所の半数は、日向灘であるが、ほぼすべてが宿毛市の西方である。地震規模は最大 M5.8 であるが、M4 前後が多く、比較的浅い地震が多い。表 2 には、桜町と片島の震度も記した。両者同程度か桜町が大きい傾向がこの期間でも見られた。

図 3 に 2025 年 6 月 3 日の地震豊後水道の地震の桜町 No. 1, 2 および KOC015 の加速度波形の 3 成分を記している。この波形は、横軸が発震時からの時間を示し、S 波部分を中心とした 12 秒間を記している。水平成分は、谷筋方向とその直交方向に合わせて N15W 回転させている。図 3 の波形によると、No. 1, 2 と KOC015 は近接点での観測であり、水平成分の 16 秒~25 秒は、位相がよくそろっていることが分かる。K-NET とは機材が異なるため単純比較はできないが、振幅の大きさは、No. 1>No. 2≒KOC015 となっている。No. 2 と KOC015 は谷筋方向で東西の谷端部から同じような位置関係にあり、地下構造も似ていることが推察され、これが振幅にもあらわれたものと考えられる。上下動記録では水平動ほどの位相のそろいはない。S 波以降の後続位相については、20 秒付近以降で見られ、振幅は小さいが以降 40 秒間程度継続する。小規模な谷構造であるが、表層地盤の 2, 3 次元的不整形性の影響によるものが考えられる。なお、これらの記録の速度フーリエスペクトルによると、2~4 Hz でピークを呈する。こうした位相・振幅・スペクトルの傾向は、得られている他の地震にもみられている。

表 2 KOC015 で得られている地震リスト

date	time (JST)	area	lon.	lat.	D(km)	Mj	[桜町]	[片島]	[田ノ浦]
2025/6/3	20:17:52.80	豊後水道	132.225	33.250	45	4.3	2	1	
2025/6/18	21:30:10.15	日向灘	131.931	32.081	25	4.7	1	1	
2025/7/3	21:28:33.04	日向灘	132.326	32.699	38	4.0	2	1	
2025/7/18	18:58:32.05	大分県南部	131.490	33.039	100	3.7	1	1	
2025/8/6	2:53:43.51	大分県南部	131.980	33.077	50	4.2	1	1	
2025/8/17	6:13:14.61	日向灘	131.936	32.038	29	5.7	2	2	
2025/8/18	14:53:02.00	愛媛県南予	記載なし(KOC015なし)		14	3.3	1	-	
2025/8/27	21:50:00.08	日向灘	131.936	32.061	29	4.2	-	-	
2025/11/7	1:23:22.63	日向灘	132.034	32.042	23	4.7	1	-	
2025/11/7	4:25:53.53	日向灘	132.028	32.037	23	4.4	1	1	
2025/11/25	18:01:16.56	熊本県阿蘇	131.108	32.998	9	5.8	2		1
2025/11/25	21:59:09.52	熊本県阿蘇	131.111	32.986	9	4.3	1		-
2026/1/6	10:18:48.49	島根県東部	133.214	35.315	11	6.4	2		1
2026/1/6	10:28:48.63	島根県東部	133.234	35.318	12	5.1	1		-

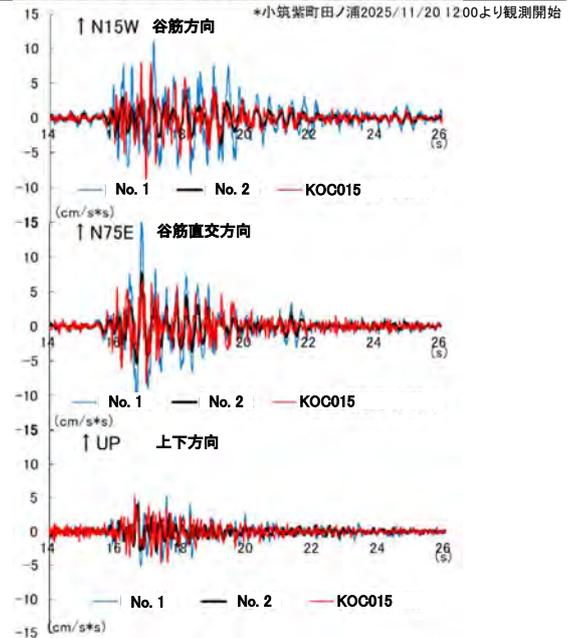


図 3 6/3(M4.3)の地震の桜町での S 波部分の加速度波形

5. まとめ

宿毛市内で実施中の臨時地震観測について報告した。隣接した観測点間での地震動の傾向がみられた。今後、得られた記録について整理し、桜町を中心とした地震動特性を把握したい。また、将来的に地盤構造の精査やモデル化および数値解析等も行う予定である。なお、片島観測点は、移設により廃止されたが、昭和南海地震時の震度を公表している地点であり、今のうちに情報を収集しておく必要もあろう。

謝辞: 地震観測は、宿毛市危機管理課のご協力により実施されました。また、地震データおよび検層の情報は、防災科学技術研究所の K-NET によるものを利用しました。なお、この研究の一部は、科学研究費基盤研究(A): 22H00234 による補助を活用しています。関係者各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 田中浩平・坂井公俊・飯山かほり・盛川仁(2021), 常時微動の鉛直成分 2 点同時観測による工学的基盤形状の推定手法の提案, 土木学会論文集, Vol. 77, 219-228.
- 山田伸之(2025), 高知県宿毛市強震観測点(KOC015)周辺の表層地盤構造, 日本建築学会 2025 年大会, 構造 II, No. 21233.

四国太平洋沿岸部における表層地盤の S 波速度構造モデルの推定

構造 振動
表層地盤 S 波速度構造 微動探査
四国 地震被害 南海地震

正会員 ○著者 1* 地元孝輔
非会員 著者 2** 松原朱里

はじめに

過去の地震被害の経験から、表層地盤と震度や被害との相関が高いことが指摘されている。これまでの南海トラフ巨大地震における四国地方の震度分布は、四国太平洋沿岸部にかけて震度が大きい傾向にある。これらの地域において、表層地盤増幅特性と関係する地盤の S 波速度構造は十分に明らかではない。そこで本研究では、四国太平洋沿岸部において微動探査を実施し、表層地盤の S 波速度構造モデルを推定する。特に、四国太平洋沿岸東部から中部にかけて着目する。

微動観測

微動観測を 2023 年 8 月、2024 年 8 月、2025 年 1 月に図 1 に示す約 70 ヶ所において実施した。観測ではミットヨ製過減衰型速度計 JEP-6A3(10V/G)と白山工業製データロガー LS-8800 を用いて 15 分間測定した。アレイ配置は、一辺が 3m の三角形の頂点と中心の 4 点に加え、その中心を頂点とする大きな三角形アレイによる 6 点同時観測とした。大きなアレイのサイズは、観測点の状況により 8~24m とした。

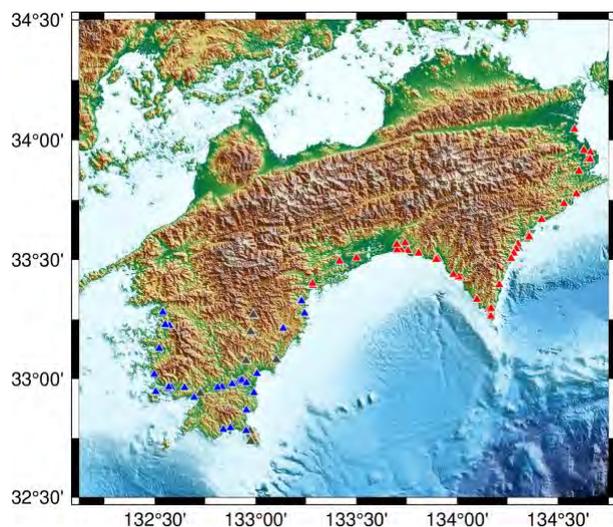


図 1 微動観測点を示す。灰色は 2023 年 8 月、赤色は 2024 年 8 月、青色は 2025 年 1 月に実施した。

観測点は、過去の南海地震において震度が推定されている地域や、K-NET/KiK-net または震度計が設置されて

いる場所を選んだ。高知市中心部においては、すでに微動探査がいくつか行われているので実施していない。

微動アレイ探査による S 波速度構造モデルの推定

2024 年 8 月に実施した、小さい三角形と大きい三角形の上下動成分のアレイ微動観測記録を、SPAC 法によって解析してレイリー波位相速度分散曲線を推定した。図 2 には、代表点の分散曲線を示す。

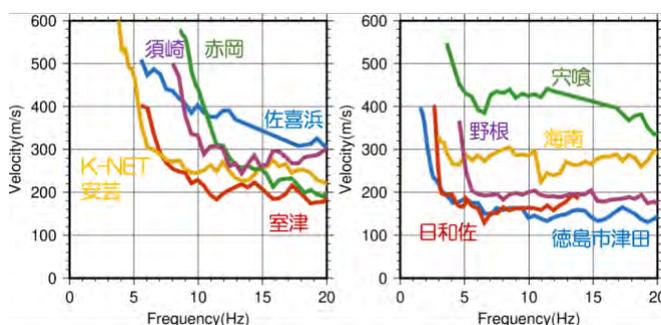


図 2 代表点のレイリー波位相速度分散曲線。

徳島県東部の沿岸部では、5Hz 以上において一定の位相速度を示しているが、その速度は穴喰では 400m/s とかなり大きく、海陽町海南でも 300m/s 弱と比較的大きい。それに対して、日和佐や野根は 200m/s と小さい。徳島市津田では、150m/s にもなり小さい。

高知県東部の沿岸部では、徳島県東部よりも低周波数帯域において位相速度が大きい。15Hz 以上の高周波数帯域においては、佐喜浜や須崎では大きい、室津や安芸、赤岡では小さい。

レイリー波位相速度の逆解析により S 波速度構造モデルを推定した (図 3)。逆解析は GA と SA のハイブリッドヒューリスティック探索により行なった。微動アレイ観測は上下水平 3 成分で行なったため、各観測点の H/V の推定も行い、推定された S 波速度構造によるレイリー波の楕円率と比較し、妥当性を確認した。

徳島県東部では、津田と日和佐、穴喰において、200m/s 程度の低速度層が 20m 近く以上と厚く堆積している。海南では 300m/s 程度の層が厚く、野根は低速度層が薄い。

高知県東部は、低速度層が存在するものの、徳島県東部ほど厚くないが、安芸や室津、須崎、赤岡では 10~25m

圧縮軸力下におけるアンカーボルト位置の異なる非埋込み形 CES 柱脚の構造性能

2. 構造—13. 鋼・コンクリート合成構造

合成構造 繊維補強コンクリート 軸力
静的載荷実験 終局耐力

準会員 ○天野 皓太*
正会員 長岡 紗那**
正会員 鈴木 卓 ***

1. はじめに

内蔵鉄骨および繊維補強コンクリートから構成される CES (Concrete Encased Steel) 構造は、鉄骨鉄筋コンクリート構造の優れた耐震性能を有しつつ、鉄筋の省略による施工の簡略化を実現した新たな構造形式である¹⁾。

文献 2) では、非埋込み形 CES 柱脚の構造性能の把握を目的としてアンカーボルト (以下、AB と呼称する) の位置およびベースプレート (以下、BP と呼称する) 下面に設けたリブ補強の有無を変数とした静的載荷実験が実施され、終局耐力評価法が検討された。しかし、当該研究では、軸力を受けない柱脚試験体が検討対象であり、実建物の応力状態との乖離が指摘される。

以上を背景に本研究では、圧縮軸力比 0.2 を作用させ、AB の位置および BP 下面に設けたリブ補強の有無を変数とした非埋込み形 CES 柱脚の静的載荷実験を実施した。本報では、実験の計画を述べるとともに、試験体の破壊性状、履歴特性、AB および BP 上面の応力分布、および BP の変形状について報告する。さらに、終局耐力評価法の検討結果を示す。

2. 実験計画

2.1 試験体

試験体は実大の約 1/3 スケールとした 4 体であり、試験体形状および寸法は文献 2) とほぼ同一である。表 1 に試験体一覧を、図 1 に試験体形状および寸法を、図 2 に柱脚部の形状および寸法を示す。柱のコンクリート断面は 300mm 角、内蔵鉄骨は BH-175×150×7.5×11 である。BP 上面から加力点位置までの高さは 600mm (せん断スパン比 2.0) である。敷モルタルの厚さは 15mm であり、BP の厚さは 45mm である。AB は 8-M24 である。軸力比 N/N_0 (N : 作用軸力, N_0 : 式(1), (2)より得られる柱の軸圧縮耐力¹⁾) は全試験体において 0.2 であり、載荷軸力は 1,000kN とした。

$$N_0 = c_r \sigma_{Bc} A + s \sigma_{ys} A \quad (1)$$

$$c_r = 0.85 - 2.5_s p_c \quad (2)$$

ここで、 c_r : 圧縮強度の低減係数、 σ_{Bc} : コンクリートの圧縮強度、 A : コンクリートの断面積、 $s \sigma_{ys}$: 鉄骨の降伏強度、 $s A$: 鉄骨の断面積、 p_c : 圧縮側鉄骨比である。

実験変数は AB の位置および BP 下面のリブ補強の有無で

表 1 試験体一覧

試験体	A350-2	N350-2	A500-2	N500-2
柱	断面 $c_b \times c_D$ 300×300			
	鉄骨断面 BH-175×150×7.5×11			
	せん断スパン比 2.0 ($M/Q = 600$ mm)			
柱脚	モルタル厚 (mm) 15			
	BP PL-45×350×350		PL-45×500×350	
	AB 8-M24 (定着長 464 mm)			
	軸力比 N/N_0 0.2 ($N = 1,000$ kN)			
	AB 間距離 (mm) 240		400	
	BP 下面リブ PL-36×300×60	無	PL-36×460×60	無

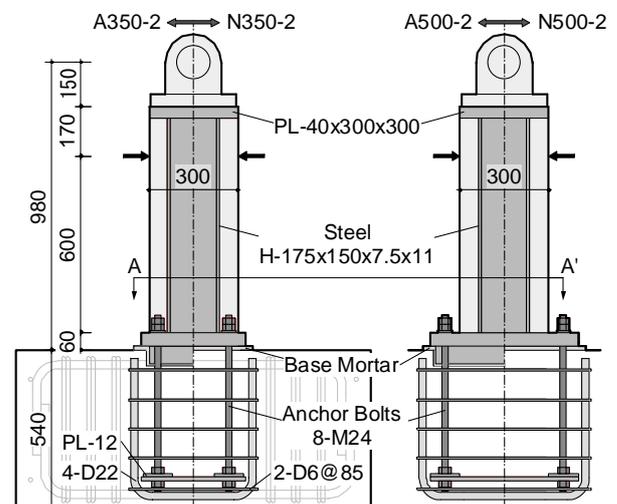


図 1 試験体形状および寸法

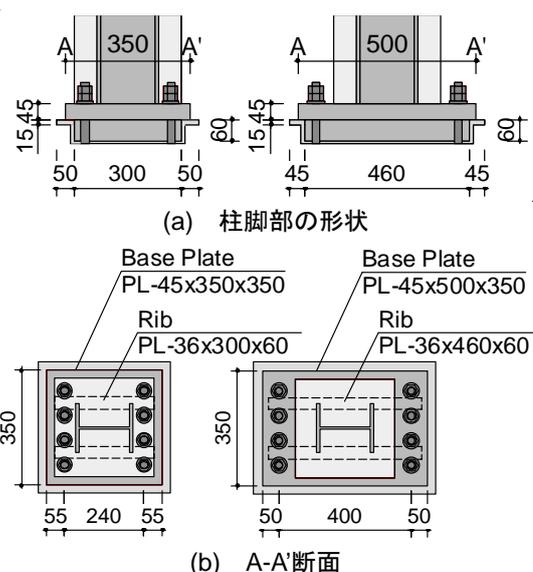


図 2 柱脚部の形状および寸法

表2 コンクリートの材料特性

試験体		圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ (μ)
A350-2	柱	51.9	31.1	2,741
	モルタル	76.0	-	-
	スタブ	42.5	29.8	2,219
N350-2	柱	51.8	31.3	2,714
	モルタル	75.6	-	-
	スタブ	40.5	30.4	2,241
A500-2	柱	52.6	29.9	2,903
	モルタル	78.4	22.2	4,225
	スタブ	38.8	27.8	2,090
N500-2	柱	52.3	30.5	2,822
	モルタル	77.0	-	-
	スタブ	35.5	26.8	2,232

表3 鋼材の材料特性

種類		降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
PL-7.5	SS400	293	192	434
PL-11		291	198	440
PL-45		273	205	478
PL-36		275	202	467
M24	ABR400	302	217	447

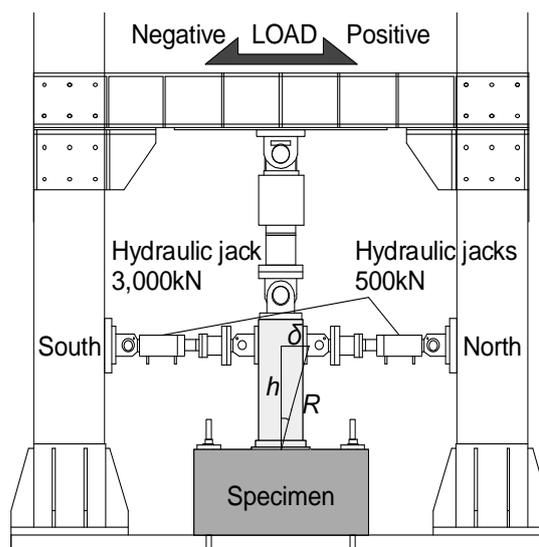


図3 載荷装置

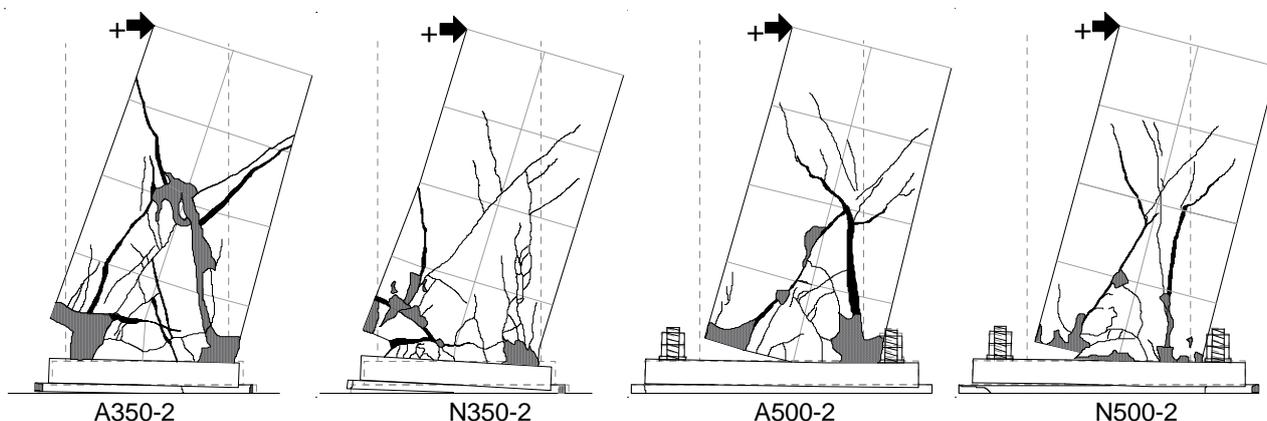


図4 最終破壊性状（変形量：5倍）

ある。試験体 A350-2 および N350-2 は AB 間距離が短く（240mm）柱内部に、試験体 A500-2 および N500-2 は AB 間距離が長く（400mm）柱外部に AB を配置した。

表2にコンクリートの材料特性を、表3に鋼材の材料特性を示す。本試験では、スタブには普通コンクリートを、敷モルタルには無収縮グラウトを、柱には繊維補強コンクリートを使用した。柱に使用した繊維は、標準長 30mm、直径 0.66mm のビニロンファイバーであり、体積混入率は 1.0% である。

2.2 載荷計画

図3に載荷装置を示す。試験体の下スタブは PC 鋼棒を用いて載荷フレームに固定した。実験では試験体頂部に設置した鉛直ジャッキ（最大容量：押し 3,000kN）によって所定の軸力を作用させつつ、載荷フレームに取り付けた 2 台の水平オイルジャッキ（最大容量：押し 500kN）によって水平力を作用させた。水平力載荷は、載荷点の水平変位 δ をスタブ上端から載荷点までの高さ h (660mm) で除した変形角 R ($=\delta/h$) による変位制御とした。加力プログラムは $R=1/800$, $1/400\text{rad}$ および $1/200\text{rad}$ を 1 サイクル行った後、

$R=1/100$, $1/67$, $1/50$, $1/33$, $1/25\text{rad}$ を 2 サイクルおよび $R=1/20\text{rad}$ の正載荷のみとした。

3. 実験結果

3.1 破壊性状および履歴特性

図4に各試験体の最終破壊性状を、図5に各試験体のせん断力-変形角関係を示す。図4の変形は試験体各部に設置した変位計から得られた各部材の変形角を 5 倍にして表示した。図5のプロットは鋼材の降伏点、最大耐力点および柱曲げ耐力の計算値をそれぞれ示している。

全試験体ともに $R=1/400\text{rad}$ のサイクルまでに柱下部のコンクリートもしくは柱下部コンクリートと BP の境界に曲げひび割れの発生が確認され、 $1/100\text{rad}$ のサイクルまでにフランジの引張および圧縮降伏が確認された。また、BP 下面にリブを設けた試験体 A350-2 にのみ $1/100\text{rad}$ のサイクルから試験体側面付近のスタブ上面コンクリートにひび割れの発生が確認された。 $1/67\text{rad}$ のサイクルにおいて、AB 間距離の短い試験体では AB の引張降伏が確認されたのに対して、AB 間距離の長い試験体では AB の降伏は認められな

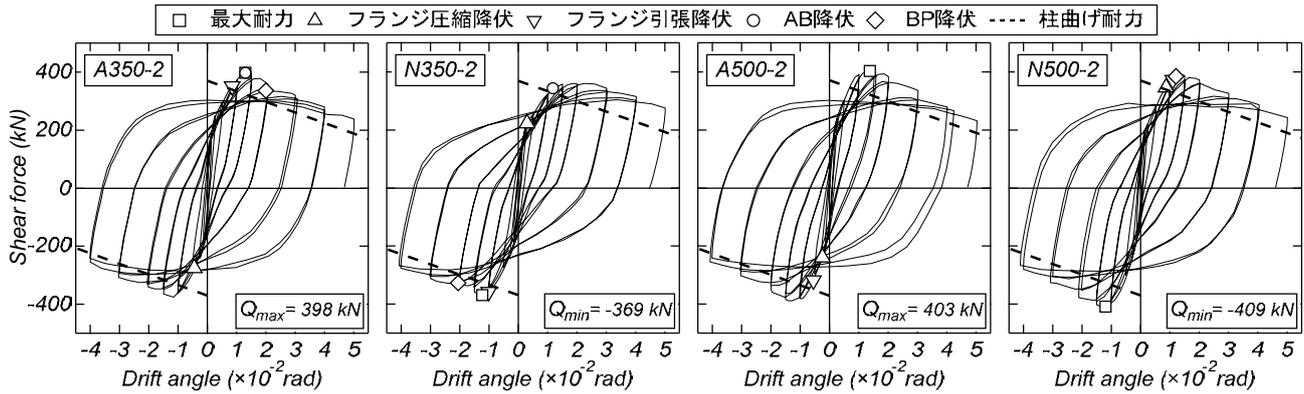


図5 せん断力-変形角関係

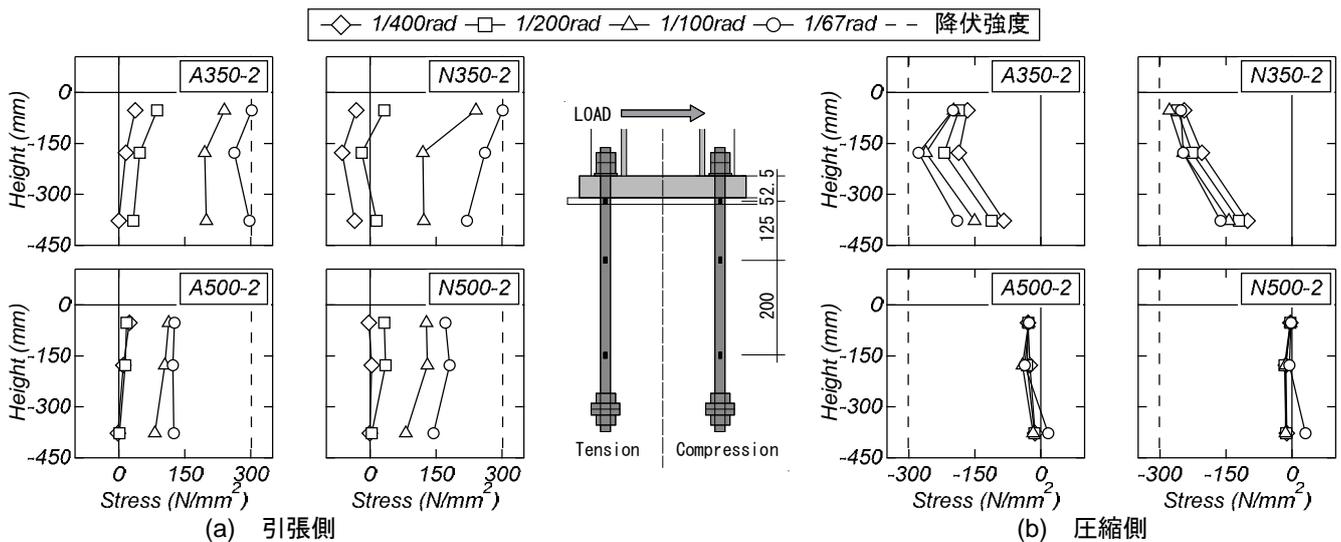


図6 アンカーボルトの応力分布

った。その後、 $P-\delta$ 効果による緩やかな耐力低下が生じたものの、安定した履歴性状を示す傾向が認められた。また、試験体 N500-2 では、最大耐力を発揮するまでに BP の降伏が確認された。

全試験体において柱の内蔵鉄骨が降伏しており、柱コンクリートの損傷が顕著であったため、柱曲げ破壊と判断された。AB 間距離が短くリブのある試験体 A350-2 および AB 間距離の長い試験体 A500-2 と N500-2 の最大耐力は同程度であった。一方、AB 間距離が短くリブのない試験体 N350-2 は他の試験体と比べて柱コンクリートの損傷が少なく、最大耐力が 10% 程度低くなった。

3.2 アンカーボルトの応力分布

図 6 に $R=1/400$ から $1/67$ rad の正載荷 1 サイクル目ピーク時における AB の高さ方向応力分布を示す。応力は履歴特性をバイリニア型と仮定し、同図に示すひずみゲージの計測値から算出した。

引張側 AB に着目すると、全試験体において $R=1/100$ rad から顕著な応力の増加が確認された。AB 間距離の短い試験体では長い試験体と比べて高い応力が生じた。圧縮側 AB に着目すると、AB 間距離の短い試験体では圧縮応力の発生が確認された。これは、柱下部コンクリートに生じた圧縮

応力がナットを介して AB に伝達した影響によるものと判断された。一方、AB 間距離の長い試験体では圧縮側 AB における顕著な応力の発生は認められなかった。

3.3 ベースプレートの変形性状および応力分布

図 7 に $R=1/67$ rad の正載荷 1 サイクル目ピーク時における各試験体の BP の厚さ中心の鉛直変位分布を示す。同図は 3D デジタル画像関連法システム ARAMIS により算出した。

BP の降伏が認められた試験体 N500-2 を除く試験体ではフランジの引張側から圧縮側まで直線的な分布を示す傾向が認められた。試験体 N500-2 では、引張側フランジ付近で分布の折れ曲がり確認された。

図 8 に $R=1/400$ から $1/67$ rad の正載荷 1 サイクル目ピーク時における BP 上面の応力分布を示す。応力の算出は前節と同様であり、ひずみゲージの計測位置は図 9 に示す。

リブのない試験体では引張フランジ内側の応力がリブのある試験体と比べ高い値を示しており、試験体 N500-2 では $R=1/67$ rad において降伏強度に達した。AB 間距離の長い試験体では圧縮フランジ内側に高い応力の発生が確認された。

4. 終局耐力評価

柱および柱脚曲げ耐力は、一般化累加強度理論⁹⁾を用いて

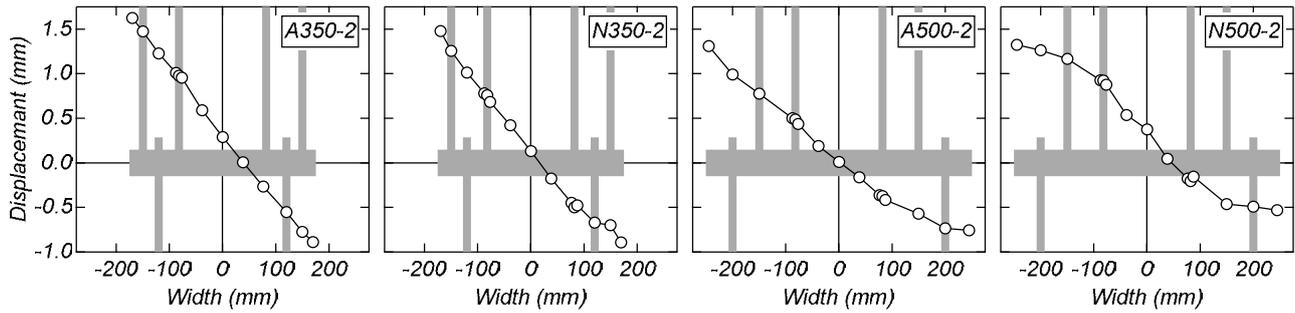


図7 BPの鉛直変位分布 (R=1/67rad 正載荷1サイクル目ピーク時)

◇ 1/400rad □ 1/200rad △ 1/100rad ○ 1/67rad -- 降伏強度

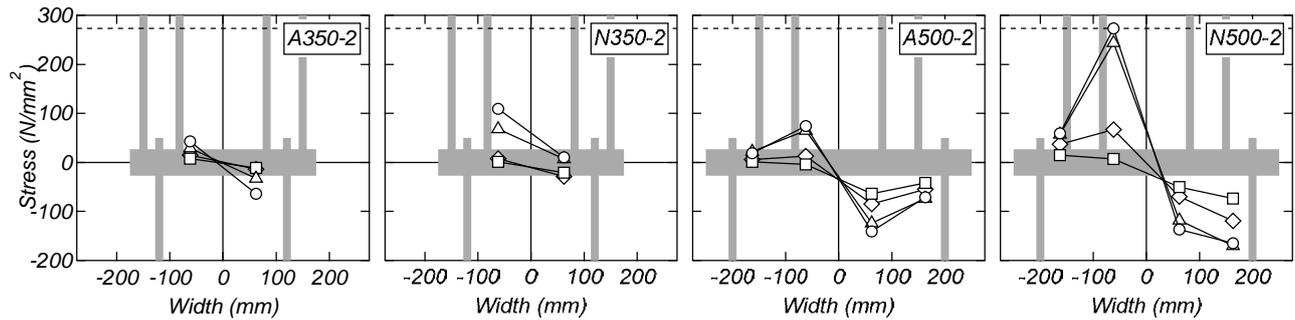
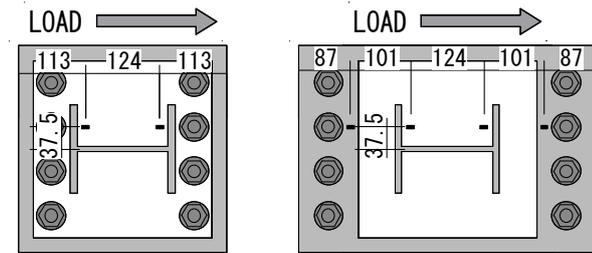


図8 ベースプレートの応力分布



(a) A350-2, N350-2 (b) A500-2, N500-2

図9 BPのひずみゲージ計測位置

算出した。鉄骨ウェブの曲げ耐力は精算値であり、柱脚のABは引張力のみを負担するものとして計算した。両耐力の算定においてコンクリート強度の低減は行っていない。

表4に実験結果および終局耐力の計算結果の一覧を示す。AB間距離の長い試験体では柱曲げ耐力値が最も低く、実験値と柱の曲げ耐力値の比は1.09~1.11であった。実験結果と計算結果における破壊モードは一致していた。一方、AB間距離の短い試験体では柱脚曲げ耐力値が柱曲げ耐力値と比べ低く、実験結果と計算結果の破壊モードは一致しなかった。AB間距離の短い試験体ではABに圧縮応力の発生が確認されたことから、圧縮側ABが柱脚曲げ耐力に寄与することが推察される。AB間距離の短い試験体の終局耐力評価法については今後の検討課題としたい。

5. まとめ

本研究では、圧縮軸力比0.2を作用させ、ABの位置およ

* 高知工科大学システム工学群

** 高知工科大学大学院建築・都市デザインコース

***高知工科大学システム工学群准教授・博士(工学)

表4 実験結果および計算結果

試験体	A350-2	N350-2	A500-2	N500-2
実験の破壊モード	柱曲げ			
実験値	398	369	403	409
柱曲げ耐力 (a)	370	369	371	370
柱脚曲げ耐力 (b)	368	362	583	582
実験値/計算値	(a)	1.08	1.09	1.11
	(b)	1.08	1.02	0.69

びBP下面に設けたリブ補強の有無を変数とした非埋込み形CES柱脚の静的載荷実験を実施した。本報より得られた知見を以下に示す。

- 1) アンカーボルト位置およびベースプレート下面に設けたリブ補強の有無によらず、全ての試験体において柱曲げ破壊型の様相が認められた。
- 2) ベースプレートの降伏が認められた試験体N500-2では引張側フランジ付近でベースプレートの折れ曲がり確認された。
- 3) 本論に示す終局耐力評価法は、AB間距離の長い試験体において評価可能であった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄骨コンクリート(CES)造建物の性能評価型構造設計指針(案)・同解説, 2022.3
- 2) 渡会駿, 西野天駿, 鈴木卓: 破壊モードの異なる非埋込み型CES柱脚の耐力評価に関する研究, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第24号, pp.33-36, 2024.3

School of Systems Engineering, Kochi University of Technology.
Grad. Sch. of Arch. and Infra. Design. Course, Kochi Univ. of Tech.
Assoc. Prof., School of Syst. Eng., Kochi Univ. of Tech., Dr Eng.

埋込み部周囲の配筋方法が異なる CES 外柱-RC 杭頭接合部の FEM 解析

2. 構造-13. 鋼・コンクリート合成構造
 合成構造 FEM 解析 パイルキャップ
 柱脚曲げ耐力 基礎梁 最大耐力

準会員 ○古角 大輝*
 正会員 長岡 紗那**
 正会員 鈴木 卓 ***

1. はじめに

内蔵鉄骨および繊維補強コンクリートから構成される CES (Concrete Encased Steel) 構造は鉄骨鉄筋コンクリート構造の優れた構造性能を活かしつつ、鉄筋の省略によって施工が簡略化された新たな構造形式である¹⁾。

CES 構造の杭頭接合部内は、杭および基礎梁の鉄筋により施工が複雑となる。このような課題に対して文献²⁾では、柱脚部分の帯筋を省略し基礎梁主筋を U 字形定着とする方法が示されている。しかし、柱を CES 構造とした場合の杭頭接合部の構造性能は不明である。

本研究では杭頭接合部の施工性を簡略化する配筋方法を検討することを目的として、CES 外柱-RC 杭頭接合部の 3 次元有限要素法 (以下、FEM) 解析を実施した。本報では、解析モデルの構築方法を示すとともに、3 次元 FEM 解析により基礎梁主筋の配筋方法が破壊モードに与える影響を述べる。

2. FEM 解析

2.1 試験体

表 1 に試験体概要を、図 1 に試験体の形状および寸法を、表 2 に鋼材の材料特性を、および表 3 にコンクリートの材料特性を示す。

試験体のスケールは実構造物の約 1/3 である。柱のコンクリート断面 $b \times D$ は 300mm 角、基礎梁のコンクリート断面 $b \times D$ は 350×700mm、杭径は 500mm、杭頭接合部の寸法は 700×700×700mm である。柱の内蔵鉄骨は H-175×150×7.5×11、基礎梁の上端筋および下端筋の 1 段目は D19 を 4 本、2 段目は D19 を 2 本、杭の主筋は D16 を 8 本、およびせん断補強筋は D10 を 100mm 間隔で設計した。基礎梁上面から加力位置までの高さ h は 1,200mm、柱芯から基礎梁先端までの長さ l は 1,500mm である。鉄骨最下部のベースプレートは PL-22×200×225 である。柱、基礎梁および杭の先端のプレートの厚さは 50mm である。また、CES 柱には繊維補強

表 1 試験体概要

	H1	H2	N1	N2	U1	U2
軸力 N (kN)	1,600 (軸力比 0.3)					
釣り合い軸力 (kN)	1,812					
柱	$b \times D$ (mm)	300×300				
	高さ (mm)	$h = 1,200$				
	鉄骨	H-175×150×7.5×11 (SN490)				
基礎梁	$b \times D$ (mm)	350×700				
	長さ (mm)	$l = 1,500$				
	有効せい (mm)	619				
	上端筋, 下端筋 引張鉄筋比	6-D19, 6-D19, 0.79				
杭	せん断補強筋, せん断補強筋比	D10@100, 0.41				
	杭径 (mm)	500				
	主筋, 主筋比 せん断補強筋, せん断補強筋比	8-D16, 0.61 D10@100, 0.32				
杭頭接合部	寸法 (mm)	700×700×700				
	ベースプレート	PL-22×200×225 (SS400)				
	埋込み深さ比 鉄骨周囲の配筋	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0
					梁主筋が U 字形定着	

表 2 鋼材の材料特性

	鉄骨	PL-22	D13	D16	D19
降伏強度 (N/mm ²)	325	235	295	345	490

表 3 コンクリートの材料特性

	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	圧縮強度時ひずみ (μ)	引張強度 (N/mm ²)
柱	50	31.5	2,361	2.21
その他	40	28.1	2,227	1.98

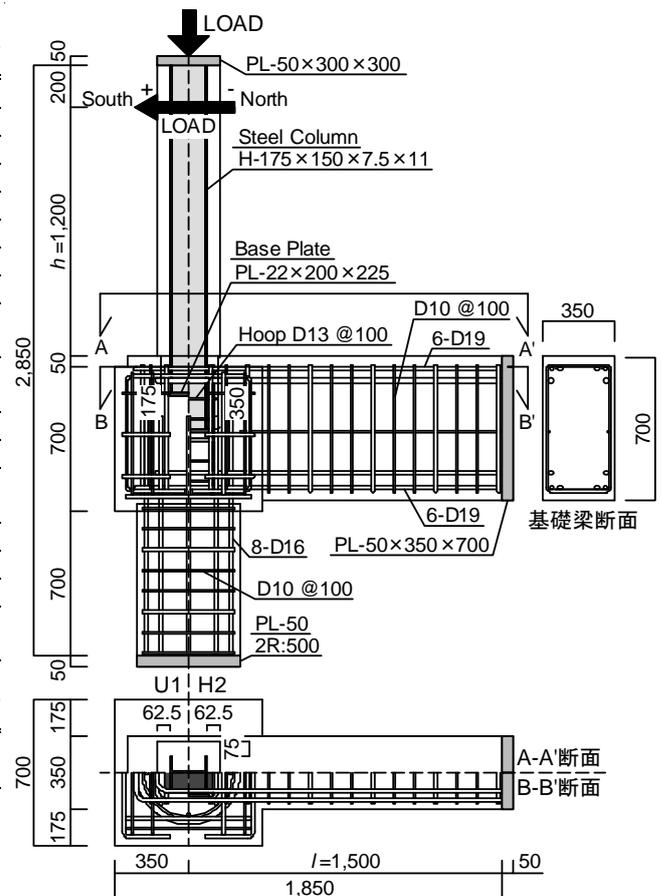


図 1 試験体の形状および寸法

FEM Analyses of CES Exterior Column-RC Pile Cap Joints with Different Reinforcement Methods Around the Embedded Steel Column

KOKADO Daiki, NAGAOKA Sana and SUZUKI Suguru

表4 終局耐力の計算結果

	H1	N1	U1	H2	N2	U2
柱 (kN)	197					
柱脚 1/柱脚 2 (kN)	113/123			113/196		
基礎梁 (kN)	231					
杭 (kN)	509					

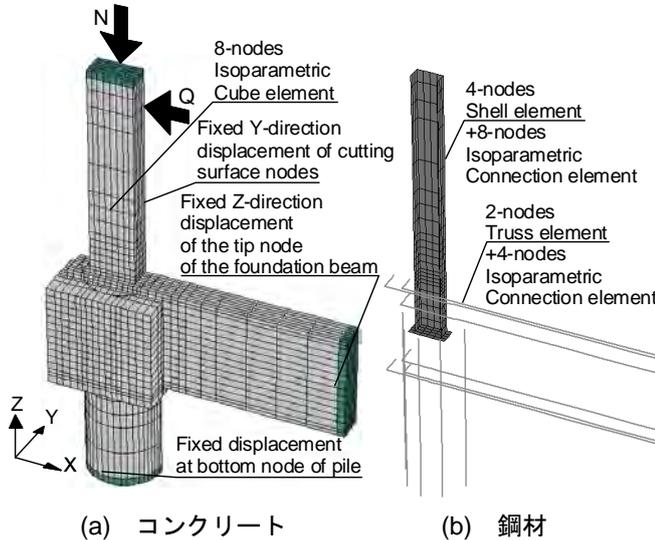


図2 試験体 U2 の要素分割

コンクリートを用い、基礎梁、杭頭接合部および RC 杭には普通コンクリートを用いた。

試験体は帯筋を用いた試験体（以下、H1）、帯筋のない試験体（以下、N1）および N1 の配筋を基に基礎梁主筋を U 字形定着とした試験体（以下、U1）の 3 種類である。さらに、柱鉄骨の埋込み深さを鉄骨せいで除した値（以下、埋込み深さ比）を 1.0 から 2.0 とした H2、N2 および U2 の 3 種類を加えた合計 6 種類である。試験体 H1 および H2 における帯筋は D13 を 100mm 間隔で設計した。また、破壊モードは後述の 2.2 節に示すように全試験体ともに柱脚曲げ破壊型が想定される。

2.2 終局耐力計算

表 4 に全試験体の終局耐力の計算結果を示す。終局耐力の計算には、CES 柱と柱脚は文献 1) に従い、基礎梁と RC 杭は文献 3) に従い算定した。なお、RC 杭の計算では円形断面を同じ断面積の正方形に置換して行った。柱脚曲げ耐力は柱コンクリートの曲げ耐力と埋込み部鉄骨の耐力の加算により求められる。帯筋のある試験体 H1 および H2 の柱脚曲げ耐力は、埋込み部鉄骨の耐力が負の値となることから、柱コンクリートの曲げ終局耐力値のみとなる。帯筋のない試験体 N1、N2、U1 および U2 の柱脚曲げ耐力では、式(1)に示す埋込み部の支圧強度が計算できないため、前述のものと同様に柱コンクリートの曲げ終局耐力値のみで算定した。これらの数値を柱脚 1 として表 4 に示す。一方で式(1)中の第 3 項を考慮しないで算出した柱脚曲げ耐力値を柱脚 2 として表 4 に示す。

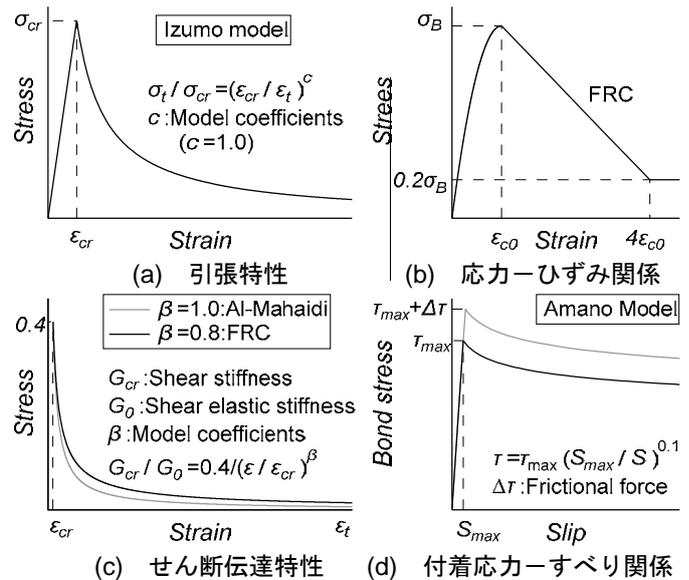


図3 材料構成則

$$F_b = \min \left(\sqrt{\frac{b}{b_e}} \cdot \sigma_B, 12\sigma_B, \frac{w_a \cdot w_{s_y}}{b_e \cdot x} \right) \quad (1)$$

ここで、 b : CES 柱幅、 b_e : CES 柱埋込み型柱脚の有効幅、 σ_B : コンクリートの圧縮強度、 w_a : 一組の帯筋の断面積、 w_{s_y} : 帯筋の降伏強度、 x : 一組の帯筋の間隔である。

2.3 解析モデル

FEM 解析には市販の解析ソフトウェア「FINAL」を使用した。図 2 に試験体 U2 の要素分割を示す。試験体は面外方向の対称性を考慮し半分のみモデル化した。コンクリートは 8 節点アイソパラメトリック立体要素で、鉄骨は 4 節点積層平板シェル要素で、鉄筋は 2 節点トラス要素で再現をした。鉄骨およびコンクリート間には 8 節点アイソパラメトリック接合要素を、鉄筋およびコンクリート間には 4 節点アイソパラメトリック接合要素を用いた。

境界条件は杭下端断面の中心節点および当該節点から Y 軸方向に位置するすべての節点の水平-鉛直変位を固定した。さらに、基礎梁先端の中心節点および当該節点から Y 軸方向に位置するすべての節点の鉛直変位を固定した。また、試験体切断面におけるすべての節点の面外方向変位を固定した。

本解析では、試験体頂部に鉛直方向の分布荷重を加えることにより圧縮軸力を考慮した。水平変位は加力位置に強制変位を与えることで考慮した。水平変位 δ は基礎梁上面から加力位置までの高さ h で除した相対部材角 $R (= \delta/h)$ による変位制御とした。加力プログラムは圧縮軸力を与えた後に片側単調荷重とした。

2.4 材料構成則

図 3 に材料モデルの材料構成則を示す。材料構成則は文献 4) を参考にした。コンクリートにおいて三軸応力下の破壊条件は 5 パラメータモデルに大沼らの係数⁵⁾を選択した。

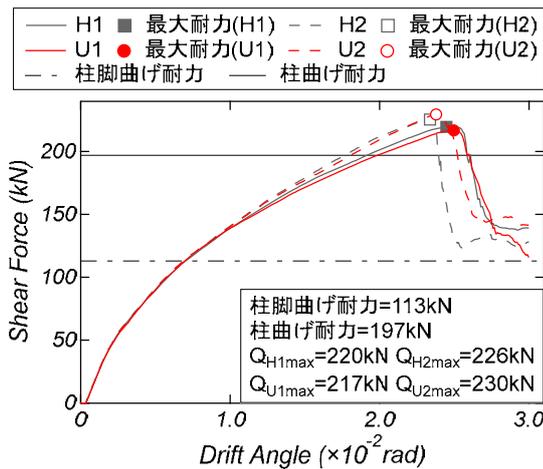


図4 全試験体の履歴特性の比較

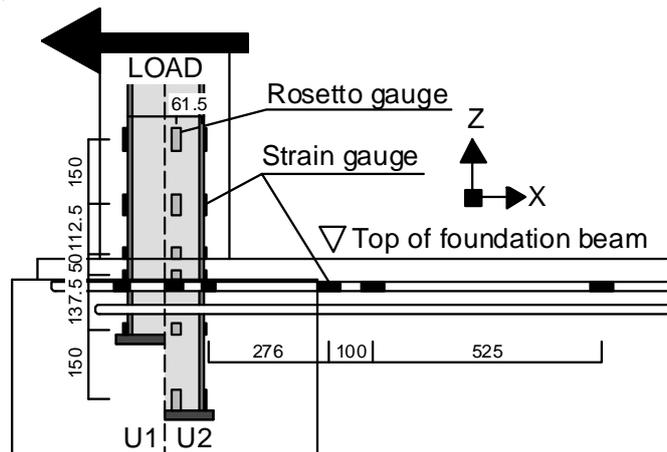


図5 鋼材の応力計測位置

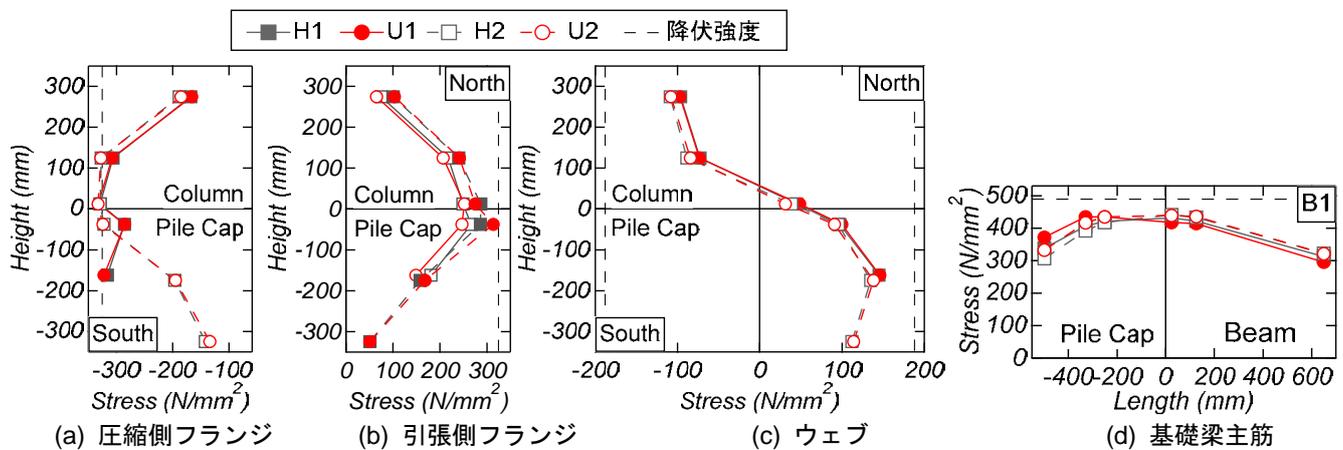


図6 最大耐力時における鋼材の応力分布

ひび割れ後の引張特性は出雲らの提案モデル⁶⁾ ($C=1.0$, C :モデル係数)とした(同図(a))。応力-ひずみ関係の上昇域は修正 Ahmad モデル⁷⁾, 軟化域は繊維補強コンクリートを使用した柱では二折線でモデル化(同図(b)), それ以外では Nakamura モデル⁸⁾を選択した。ひび割れ後のせん断伝達特性は繊維補強コンクリートを用いた柱では多折線 ($\beta=0.8$), その他では Al-Mahaidi モデル ($\beta=1.0$)⁹⁾とした(同図(c))。

鋼材の履歴特性はバイリニアモデルとし、ひずみ硬化則は等方硬化則とした。鉄骨およびコンクリート間の付着応力-すべり関係は最大付着応力までは線形で仮定し¹⁰⁾, その後の軟化域は天野モデル¹¹⁾とした(同図(d))。ここで、最大付着応力時のすべり量は 0.05mm と仮定した。また、摩擦係数を 0.75 として作用圧縮力の増大に伴う付着応力の上昇を考慮した。鉄骨およびコンクリート間の圧縮側の接触挙動は剛とし、引張側の離間挙動は最大応力後に応力を負担しないように定義した。鉄筋およびコンクリート間の付着応力-すべり関係は文献 12)に従って定義した。

3. 解析結果

3.1 履歴特性および鋼材の応力分布

図4に全試験体の履歴特性の比較を示す。各試験体の最

大耐力点をマーカーでそれぞれ示している。

埋込み深さ比、柱鉄骨周囲の配筋方法に拘わらず、各試験体の履歴特性に顕著な差異は認められなかった。これは、各試験体の最大耐力が柱脚曲げ耐力の計算値を大きく上回り、柱の曲げ破壊が生じたことに起因するものである。

図5に鋼材の応力計測位置を、図6に最大耐力時における鋼材の応力分布を示す。計測位置は鉄骨および基礎梁の危険断面位置を基準とした。図6では、埋込み深さ比 1.0 と 2.0 , 帯筋のある試験体 H1 と H2 および U 字型定着とした試験体 U1 と U2 の結果を示しており、鋼材の降伏強度を点線で示している。

各試験体のウェブおよび基礎梁主筋の分布はほぼ一致していることがわかる。また、埋込み深さ比が同じ試験体において圧縮側および引張側フランジの分布に顕著な差異は認められなかった。

3.2 最小主応力分布

図7に最大耐力時におけるコンクリートの最小主応力分布を示す。これは、試験体の面外方向切断面位置(試験体中心)のものである。

各試験体ともに、柱脚部の曲げ圧縮域および基礎梁と杭の曲げ圧縮域に高い応力の発生が認められ、これらをつぶ

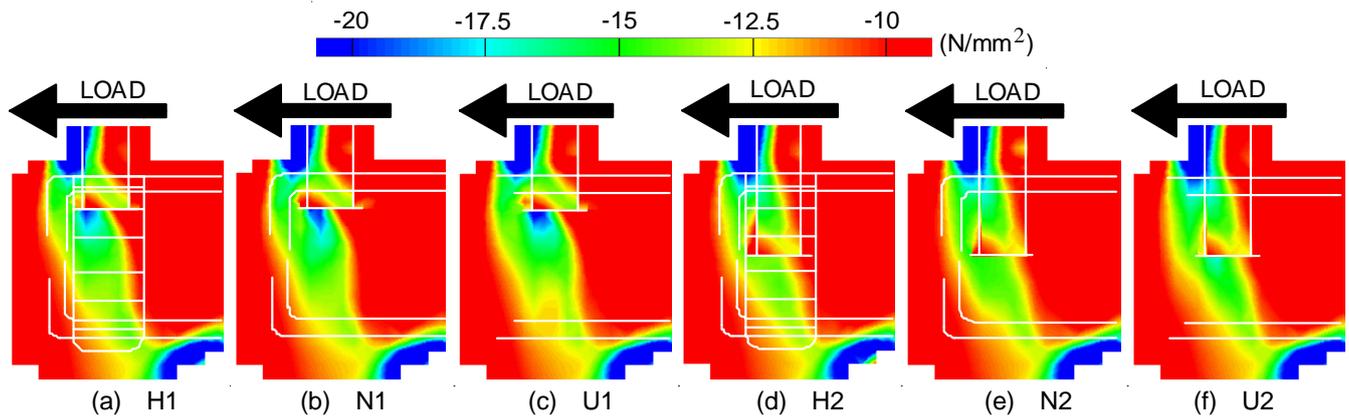


図7 最大耐力時におけるコンクリートの最小主応力分布

ような応力伝達が認められた。また、埋込み深さ比 1.0 の試験体では、ベースプレート下面の曲げ圧縮域に高い圧縮応力が認められた。しかし、埋込み深さ比に拘わらず、柱鉄骨周囲の配筋状況による圧縮応力の伝達状況に顕著な差異は認められなかった。

以上に示したように、本論に示す試験体の最大耐力は埋込み深さ比に拘わらず柱脚曲げ耐力を上回り、柱曲げ破壊する傾向が認められた。また、配筋方法が鋼材の応力分布および杭頭接合部内の圧縮力の伝達に顕著な差異は認められなかったことから、文献 1) に示される帯筋の引張強度による支圧強度の算定法は CES 外柱の埋込み柱脚の評価法として妥当でない可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究では、柱鉄骨周囲の配筋方法を変数とした CES 外柱-杭頭接合部試験体の 3 次元 FEM 解析を実施した。限られた範囲の検討ではあるものの、本報より得られた知見を以下に示す。

- 1) 埋込み深さ比および柱鉄骨周囲の配筋方法に拘わらず、柱脚曲げ破壊型として設計された本試験体の最大耐力は文献 1) の柱脚曲げ耐力計算値を大幅に上回った。
- 2) 柱鉄骨周囲の配筋方法に拘わらず、各試験体に鋼材の応力分布およびコンクリートの最小主応力分布に顕著な差異は認められなかった。
- 3) 文献 1) などに示される帯筋の引張強度による支圧強度算定法は CES 外柱の埋込み柱脚の評価法として妥当でない可能性が示された。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄骨コンクリート (CES) 造建築物の性能評価型構造設計指針 (案)・同解説, 2022.3
- 2) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針, 2012.3
- 3) 全国官報販売協同組合：2007 年版建築物の構造関係技

術基準解説書, 2007.8

- 4) 今井真奈美, 鈴木卓: CES 埋込み柱脚における柱脚内部応力伝達の把握, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No2, pp.271-276, 2024.6
- 5) 大沼博志, 青柳征夫: 三軸応力下におけるコンクリートの強度特性, 電力中央研究所報告, No.474, 1981.12
- 6) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫: 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol.25, No.9, pp.134-147, 1987.9
- 7) 長沼一洋: 三軸圧縮下におけるコンクリートの強度特性, 日本建築学会構造系論文集, No.474, pp.163-170, 1995.8
- 8) H. Nakamura, and T. Higai: Compressive Fracture Energy and Fracture Zone length of Concrete, Seminar on Post-Peak Behavior of RC Structure Subjected to Seismic Load, JCI-C51E, Vol.2, pp.259-272, 1999.10
- 9) Al-Mahaidi, R.S.H.: Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Beam Member, Report 78-1, Department of Structural Engineering, Cornell University, 1979.1
- 10) 佐藤政勝, 田中祐人: 鋼管, H 形鋼の付着強度に及ぼすコンクリートの拘束効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.2, pp.183-186, 1993.7
- 11) 天野修, 他 3 名: 鋼管・コンクリート複合構造橋脚のせん断挙動解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.823-828, 1998.7
- 12) 飯塚敬, 檜貝勇, 斉藤成彦, 高橋良輔: かぶり厚の影響を考慮した異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.67, No.2, pp.280-296, 2011.6

*高知工科大学システム工学群

**高知工科大学大学院建築・都市デザインコース

***高知工科大学 准教授 博士 (工学)

*School of Systems Engineering, Kochi University of Technology.

**Grad. Sch. of Arch. and Infra. Design Course, Kochi Univ. of Tech.

***Associate Professor, Kochi University of Tech., Dr. Eng.

大貫通孔を有する RC 造基礎梁の構造性能に関する基礎研究 (その7) 貫通孔の上下弦材が非対称な基礎梁の静的載荷実験

2. 構造—8. 鉄筋コンクリート構造
片持ち梁 貫通孔補強筋 スラブ
主ひずみ ひび割れ幅 せん断終局強度

准会員 ○東村 匠馬* 正会員 佐藤 弘都**
正会員 鈴木 卓 *** 正会員 伊藤 花恋****
正会員 深津 尚人**** 正会員 田口 孝 *****

1. はじめに

前報^{1),2)}では、貫通孔比 1/3 以上の大貫通孔をシアスパン中央に設けた基礎梁の構造性能の把握を目的とした静的載荷実験を実施した。その結果、貫通孔比の増加およびスタブ側への孔位置の移動に伴い最大耐力が低下する傾向を示した。一方で貫通孔を梁の高さ方向に移動させた場合や梁にスラブを取り付けた場合については未検討であり、これらが梁の構造性能に与える影響については不明瞭である。

本研究では、貫通孔の上下弦材が非対称となる基礎梁の構造性能の把握を目的とした静的載荷実験を実施した。本報(その7)では、試験体の履歴特性、破壊性状、せん断ひび割れ幅の推移、補強筋の応力状況および終局強度評価の結果を示す。

2. 静的載荷実験

2.1 試験体

図1に試験体形状を、図2に試験体の貫通孔周囲および

断面の配筋詳細を、表1に試験体一覧を、表2にコンクリートの材料特性を、表3に鉄筋の材料特性を示す。試験体は実大の約 1/3 スケールであり、前報(その6)²⁾で検討された試験体 SC17 (旧名 AM170) に新たな2体を加えた計3体を今回の検討対象とした。試験体 SC17 の配筋および鉄筋の材料特性などの詳細は前報(その6)を参照されたい。本報では、前報までと同様に貫通孔上下投影位置(図1の塗りつぶし位置)を弦材と呼称する。

本報では試験体 SC17 を基準試験体とする。孔位置を梁の高さ中央から梁下側に 25mm 移動させた試験体を SD17 とする。協力幅 200mm で厚さ 80mm のスラブを梁両側に取り付けた試験体を SC17T とする。試験体 SD17 および SC17T は上弦材の断面積が下弦材と比べて大きい試験体である。

2.2 載荷方法

図3に載荷装置を示す。試験体は PC 鋼棒によりスタブを載荷フレームに固定した。実験では載荷フレームに取り付けた2台の水平ジャッキ(押しのみ:各 500kN)により水

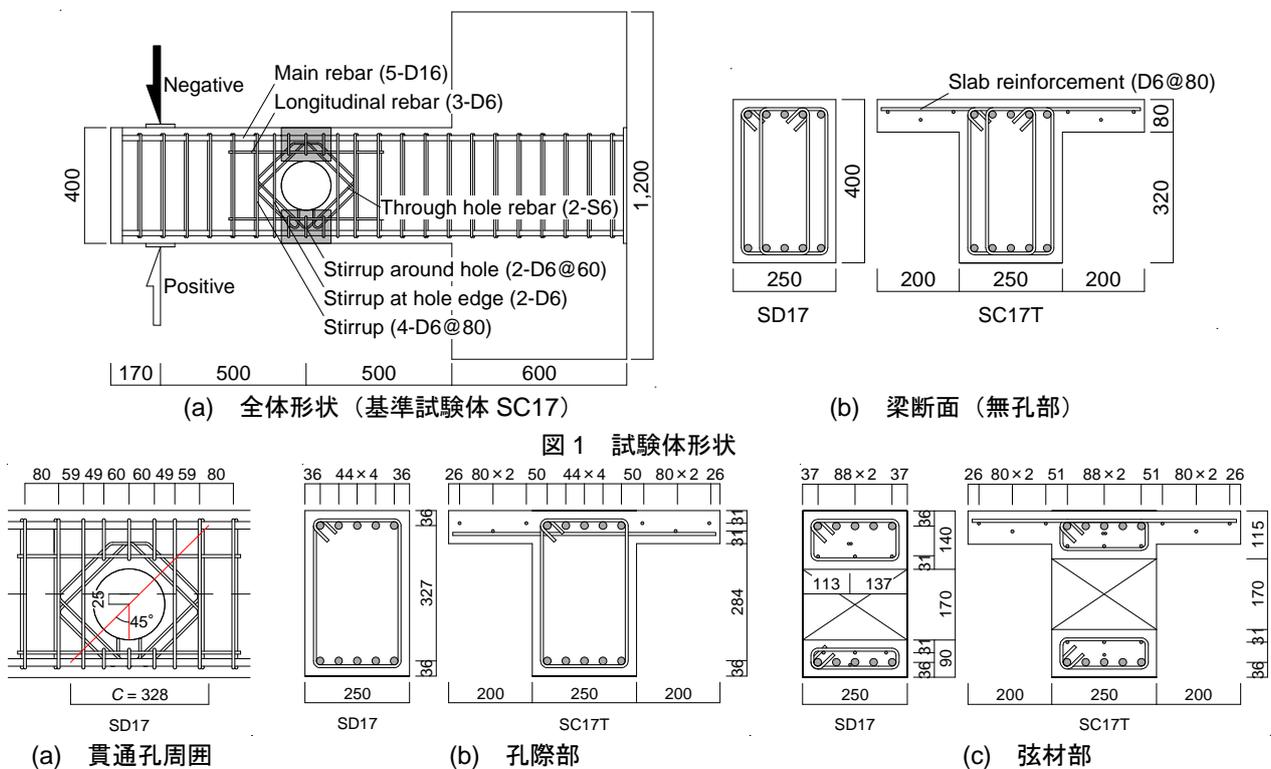


図2 貫通孔周囲および断面の配筋詳細

Study on Structural Performance of RC Foundation Beams with Large Through-Hole
(Part 7) Static Loading Tests on Foundation Beams with Asymmetric Parts around Hole

HIGASHIMURA Takuma, SATO Hiroto, SUZUKI Suguru, ITOH Karen, FUKATSU Naoto and TAGUCHI Takashi

表 1 試験体一覧

試験体		SC17	SD17	SC17T
シアスパン比		2.75 ($h = 1,000$ (mm))		
断面	幅×せい (mm)	250×400		
	主筋	5-D16, $\rho_{t1} = 1.09$ (%)		
	あばら筋	4-D6@80, $\rho_{w1} = 0.63$ (%)		
貫通孔	径 (mm)	170 (貫通孔比 = 1/2.3)		
	高さ中央からの距離 (mm)	0	25	0
弦材	水平筋	3-D6, $\rho_{t2} = 0.45$ (%)		
	あばら筋	2-D6@60, $\rho_{w2} = 0.45$ (%)		
孔周囲の補強筋	孔際	2-D6, $\rho_s = 0.15$ (%)		
	貫通孔	2-S6, $\rho_r = 0.22$ (%)		
スラブ	厚 (mm)	-		80
	縦筋・横筋	-		D6@80
許容せん断力	長期 (kN)	22	21	21
	短期 (kN)	51	68	49

表 2 コンクリートの材料特性

試験体	SC17	SD17	SC17T
圧縮強度 (N/mm ²)	34.3	28.5	28.6

表 3 鉄筋の材料特性

試験体	径	材種	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
SD17	D6	SD295	439	549	230
	S6	KSS785	1,043	1,207	187
SC17T	D16	785 相当	822	1,031	208

平力を作用させた。荷重は前報^{1),2)}と同様に、長期および短期の許容せん断力(表1の最下段の値)による荷重制御と荷重点の水平変位 δ をシアスパン長 h ($=1,000$ mm)で除した変形角 R による変位制御とした。許容せん断力の算出方法は文献3)を参照されたい。

荷重プログラムは長期許容せん断力を1サイクル、短期許容せん断力、 $R=1/200, 1/133, 1/100, 1/67, 1/50, 1/40$ radを2サイクルずつとした。

3. 実験結果

3.1 履歴特性および破壊性状

図4に各試験体の履歴特性を示す。ここでは、試験体ごとのコンクリート強度の違いによる影響を除去するために、同図縦軸はせん断力を梁幅、応力中心間距離(有効せいの7/8倍)およびコンクリート強度で無次元化した値(以下、無次元化せん断力)とした。試験体SC17Tはスラブが取り付けられており、その影響を確認するために梁幅および応力中心間距離は試験体SC17と同値とした。同図には基準試験体SC17の履歴特性²⁾および4章に示すせん断終局強度(式(4)、(5))の計算値を併せて示す。図5に $R=1/100$ radの1サイクル目ピーク時における試験体表面の最大主ひずみ分布および鉄筋の降伏状況を示す。同図では、降伏した補強筋を黒色で示している。降伏の判定には同図(c)に示す鉄筋に貼付したひずみゲージの計測値を用いた。最大主ひずみはデジタル画像相関法システムARAMISにより算定し、ファセットサイズは21pixel、ポイント間距離は10pixelとした。

全試験体ともに最大耐力を記録したサイクルにおいて後

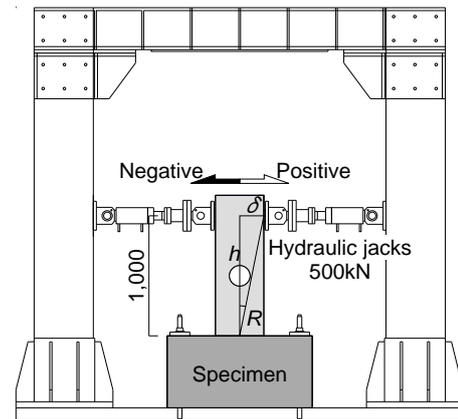


図 3 荷重装置

— SC17 - - - Eq.(4) - - - Eq.(5)
○ 最大耐力 △ あばら筋 □ 孔際補強筋
▽ 弦材あばら筋 ◇ 水平筋 △ スラブ筋
(正荷重および負荷重)

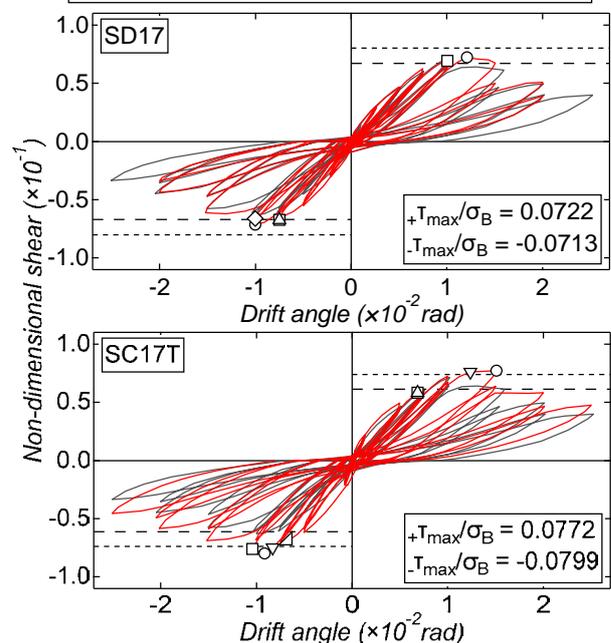


図 4 履歴特性

述の図6に示す圧縮側弦材に生じた貫通孔接線方向のひび割れ(以下、接線ひび割れ)の拡幅が確認された。最大耐力までに貫通孔周囲に配された補強筋の降伏もみられたことから、全試験体の破壊モードはせん断破壊と判断された。

梁下側に貫通孔のある試験体SD17およびスラブ付きの試験体SC17Tでは、1/133radまで正荷重の剛性は負荷重のものに比べて低かった。しかし、1/133radの負荷重に生じた圧縮側弦材の接線ひび割れに伴う剛性低下により、1/100radで正・負荷重のせん断力は同程度の値となった。

試験体SD17では、負荷重に生じた貫通孔左側のせん断ひび割れが正荷重のものに比べて梁の高さ中央付近でせん断補強筋を横切っており、1本目のあばら筋(以下、孔際補強筋)および2本目のあばら筋の降伏もみられた。試験体SC17Tでは、正荷重において貫通孔左側のせん断ひび割れ

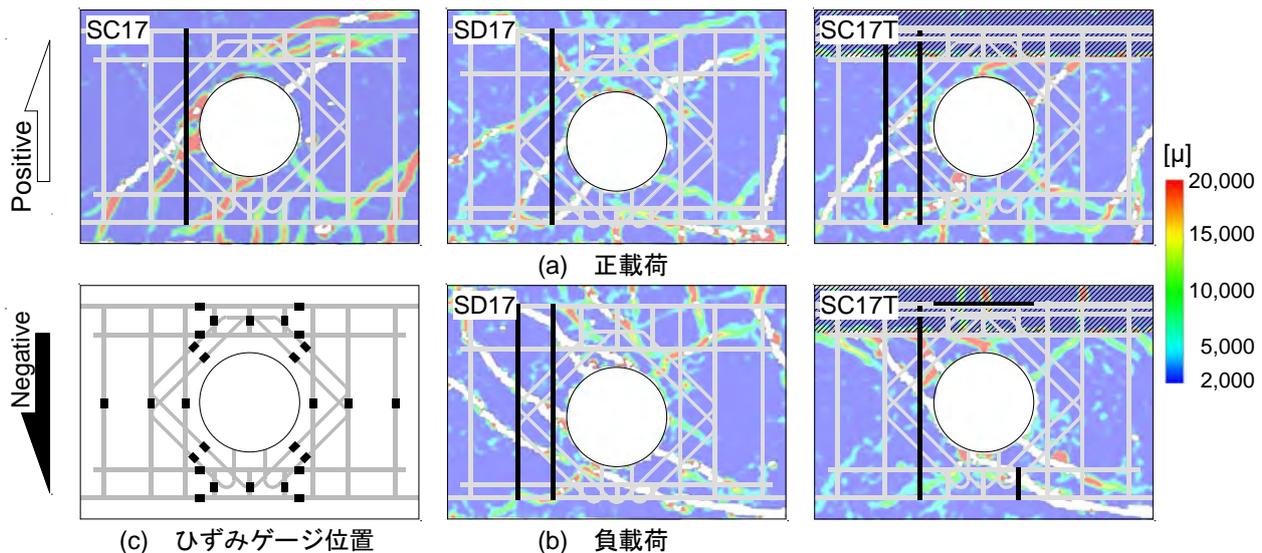


図5 R=1/100radの1サイクル目ピーク時における最大主ひずみ分布および鉄筋の降伏状況

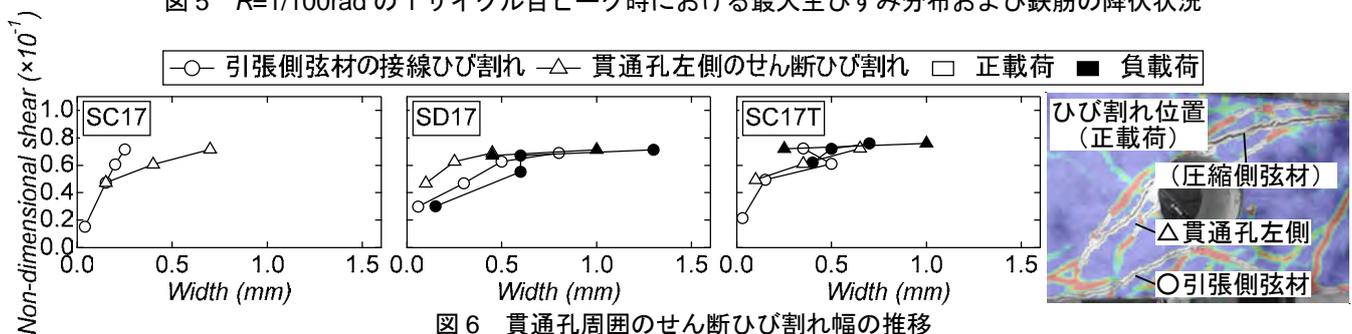


図6 貫通孔周囲のせん断ひび割れ幅の推移

が負荷荷のものとは比べて圧縮側弦材に近い位置で発生し、孔際補強筋および2本目のあばら筋の降伏も確認された。

試験体 SD17 における正・負荷荷の最大耐力と基準試験体 SC17 の最大耐力 ($\tau_{max}/\sigma_B = 0.0716$)²⁾ に大きな差はみられなかった。一方で試験体 SC17T の正・負荷荷の最大耐力は試験体 SC17 のものとは比べて1割ほど高く、正・負荷荷の最大耐力に大きな差はみられなかった。

3.2 貫通孔周囲のせん断ひび割れ幅の推移

図6に R=1/100rad までの1サイクル目ピーク時における貫通孔周囲のせん断ひび割れ幅の推移を示す。同図縦軸は無次元化せん断力とした。ひび割れ幅の計測にはクラックスケールを用いた。

1/100rad において、基準試験体 SC17 およびスラブ付きの試験体 SC17T では、貫通孔左側のせん断ひび割れが最も拡幅した。一方で梁下側に貫通孔のある試験体 SD17 では引張側弦材の接線ひび割れの拡幅が顕著にみられた。そこで同図では、当該2種類のひび割れ幅の推移を示すこととした。

試験体 SD17 の負荷荷に生じた引張側弦材の接線ひび割れは無次元化せん断力 0.06 程度まで正荷荷のものとは比べて拡幅している。しかし、前節に示したように無次元化せん断力 0.06 程度となる 1/133rad まで負荷荷の剛性は正荷荷のものとは比べて高かった。これは、負荷荷において貫通孔左側のせん断ひび割れの発生が正荷荷のものとは比べて遅いことに対応するものと考えられる。一方で試験体 SC17T では、正

荷荷に生じた2種類のひび割れは負荷荷のものとは比べて拡幅しており、前節に示した剛性の傾向と対応している。

3.3 貫通孔補強筋の応力推移

図7に R=1/100rad までの正・負荷荷1サイクル目ピーク時における引張側の貫通孔補強筋の応力推移を示す。応力は履歴特性をバイリニア型と仮定してひずみゲージの計測値から算出した。

正荷荷における梁下側に貫通孔のある試験体 SD17 の貫通孔左下では変形角増加に伴う応力増加がみられた。一方で負荷荷における試験体 SD17 の貫通孔左上では、1/200rad から 1/133rad にかけての応力低下がみられた。これは、当該荷荷サイクルにおいて圧縮側弦材の接線ひび割れが発生したことに起因するものと考えられる。

負荷荷における試験体 SD17 およびスラブ付きの試験体 SC17T の貫通孔右下では、1/133rad からの応力が正荷荷における貫通孔右上のものとは比べて高い。これは、負荷荷において圧縮側弦材の接線ひび割れが正荷荷のものとは比べて早期に発生したことと対応している。

正荷荷における試験体 SD17 および SC17T の貫通孔右上では、1/100rad の応力は基準試験体 SC17 のものとは比べて低い。これは、試験体 SD17 および SC17T の正荷荷において圧縮側弦材に生じた接線ひび割れが試験体 SC17 のものとは比べて遅い 1/67rad で拡幅したことによる影響と考えられる。

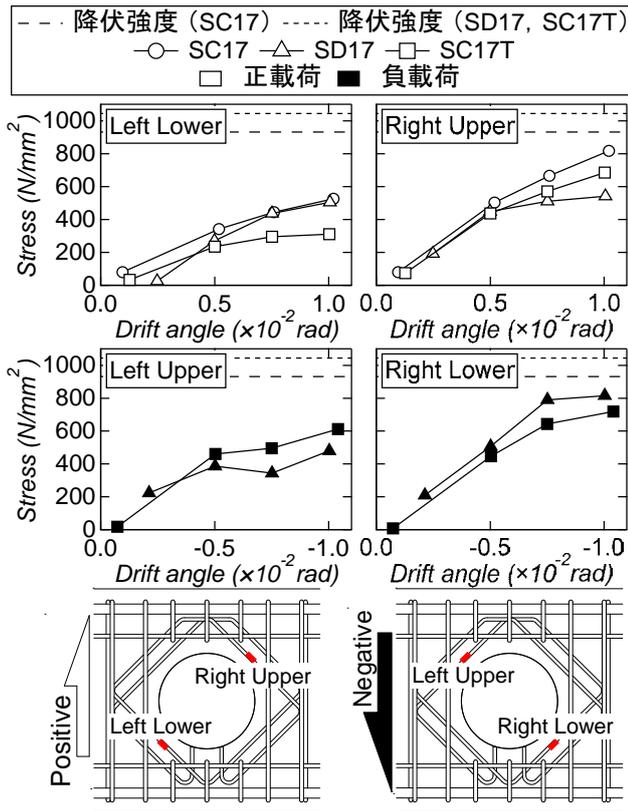


図7 貫通孔補強筋の応力推移

4. 終局強度評価

表4に最大耐力および計算値の一覧を示す。ここで、実験の最大耐力およびせん断終局強度の計算値の比を強度比と呼称する。せん断終局強度は2つの手法により算出した。1つ目の手法として文献3)に示される式(1)により算定した。

$$Q_{su1} = \left\{ \frac{0.092k_u'k_p(\sigma_B+18)\left(1-1.61\frac{H}{D}\right)}{M/(Qd)+0.12} + 0.85\sqrt{p_r\sigma_{ry}+p_s\sigma_{wy}} \right\} bj \quad (1)$$

2つ目の手法として文献4)に示される式(2)により算定した。当該手法は孔の斜め上下部を切り取った梁に対してトラスアーチ理論を適用したものである。

$$Q_{su2} = \sum b \left[\frac{d'p_o\sigma_{oy}\cot\phi}{2} + \left\{ v_0\sigma_B - (1+\cot^2\phi)p_o\sigma_{oy} \right\} \frac{D'}{2}\tan\theta \right] \quad (2)$$

両式中の記号は文献3), 4)を参照されたい。

本報に示す試験体において、 Q_{su1} の強度比平均は1.2程度、 Q_{su2} の強度比平均は1.0程度となった。梁下側に貫通孔のある試験体SD17では、 Q_{su2} の強度比が0.9程度となり、 Q_{su2} の計算値は最大耐力を上回った。

表4 最大耐力および計算値の一覧 (単位: kN)

試験体		実験		計算		強度比 (実験/計算)	
		Q_{max}	Q_{su1}	Q_{su2}	Q_{su1}	Q_{su2}	
SC17	正	196	134	177	1.46	1.11	
	負	173			1.29	0.98	
SD17	正	164	152	182	1.08	0.90	
	負	162			1.06	0.89	
SC17T	正	176	140	169	1.26	1.04	
	負	182			1.30	1.08	

梁の高さ中央に貫通孔のある試験体SC17およびSC17Tにおいて、式(4)では孔際補強筋および貫通孔補強筋のみ、式(5)ではそこに弦材あばら筋を加えた鉄筋の降伏強度が使用されている。しかし、3.1節において試験体SC17Tでは孔際補強筋の隣に配されたあばら筋にも降伏が確認され、当該補強筋もせん断終局強度に寄与している可能性を示した。また、3.2節より全試験体で貫通孔補強筋の降伏は確認されなかった。以上のことから、補強筋の降伏状況と最大耐力の対応の解明は今後の課題としたい。

5. まとめ

本研究では、大貫通孔を有する上下弦材が非対称な基礎梁の構造性能の把握を目的とした静的載荷実験を実施した。本報より得られた知見を以下に示す。

- 1) 上下弦材が非対称な試験体でも、正・負載荷において最大耐力の顕著な差は認められなかった。
- 2) 上下弦材が非対称な試験体では、引張側弦材の断面積が大きくなる場合の剛性が圧縮側弦材の断面積が大きくなる場合のものとは高く、損傷状況および鉄筋の降伏状況などに差異がみられた。
- 3) 文献3), 4)に示される終局強度評価法は、本報に示す試験体のせん断補強筋および貫通孔補強筋の降伏状況と対応していない可能性を示した。

参考文献

- 1) 佐藤弘都, その他5名: 大貫通孔を有するRC造基礎梁の構造性能に関する基礎研究(その1)(その2), 日本建築学会四国支部研究報告集, No. 24, pp. 45-48, 2024.3
- 2) 佐藤弘都, その他5名: 大貫通孔を有するRC造基礎梁の構造性能に関する基礎研究(その6), 日本建築学会四国支部研究報告集, No. 25, pp. 35-38, 2025.3
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2024
- 4) 平瀬智樹, 日比野陽, 篠原保仁, 林静雄: RC造有孔梁のせん断伝達機構に関する実験研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 2, pp. 259-264, 2011.7

* 高知工科大学システム工学群

** 高知工科大学大学院社会システム工学コース

*** 高知工科大学システム工学群准教授・博士(工学)

**** 矢作建設工業(株)エンジニアリングセンター

***** 矢作建設工業(株)エンジニアリングセンター・博士(工学)

School of Systems Eng., Kochi University of Technology.

Grad. School of Social Eng. Course, Kochi Univ. of Tech.

Assoc. Prof., Kochi University of Technology, Dr Eng.

Engineering Center, YAHAGI CONSTRUCTION CO., LTD.

Eng. Center, YAHAGI CONSTRUCTION CO., LTD., Dr Eng.

築 60 年以上の RC 水門構造物を模擬した梁試験体の 3 次元 FEM 解析

2. 構造—8. 鉄筋コンクリート構造

低強度コンクリート 丸鋼
付着破壊 ハンチ

準会員 ○和田 康平*1 正会員 佐藤 弘都*2
正会員 鈴木 卓*3 会員外 中 宗汰*4
会員外 東 圭太*4

1. はじめに

日本の水門構造物に用いられる鉄筋コンクリート（以下、RC）造構造物では、設備機械の老朽化が社会問題となっており、今後、その整備・更新の増加が予想される。

現在の水門構造物には、異物噛込み等を想定した開閉装置の最大荷重の考慮が求められるようになった。その結果、既存の水門構造物における強度不足が顕在化しつつあり、補強手法の確立が喫緊の課題となっている。

1970 年代以前に竣工した水門構造物の多くは設計図書に示される構造諸元が不足している。そのため、補強計画を行う上で必要となる諸元の把握が困難となる場合がある。

そこで本研究では、1970 年代以前に建設された水門構造物を対象として、機械更新後の損傷状況および応力状態の解明を目的とした 3 次元有限要素法（以下、FEM）解析を実施した。本報では、コンクリートの非破壊検査により推定した材料特性の入力を行った実構造物の損傷状況を示すとともに、実構造物を模擬した梁試験体の鉄筋応力状態の検討結果を報告する。

2. 対象構造物

2.1 建物概要

図 1 に対象構造物外観を、図 2 に対象構造物形状および寸法を示す。対象構造物は 1959 年に竣工された広島市安佐北区にある RC 造門柱架台である。この構造物対

して 2025 年 1 月 8 日に目視による外観調査およびシュミットハンマーによる非破壊検査を行った。設計図書には、コンクリート許容応力が 45kg/cm^2 と記載されていることから設計基準強度は 13.2N/mm^2 と考えられる。主筋は $\phi 25$ 、せん断補強筋は $\phi 9$ が使用されている。

外観調査では、柱および梁にひび割れの発生はほとんどみられなかった。スラブは設計当初のもの（旧スラブ）の上部に時期不明で竣工後に増設されたと判断されたもの（新スラブ）の 2 層が確認された。

図 2 には、機械更新後のゲート重量の荷重作用点を赤点で示している。更新後の荷重は梁および柱部に直接作用する。



図 1 対象構造物外観

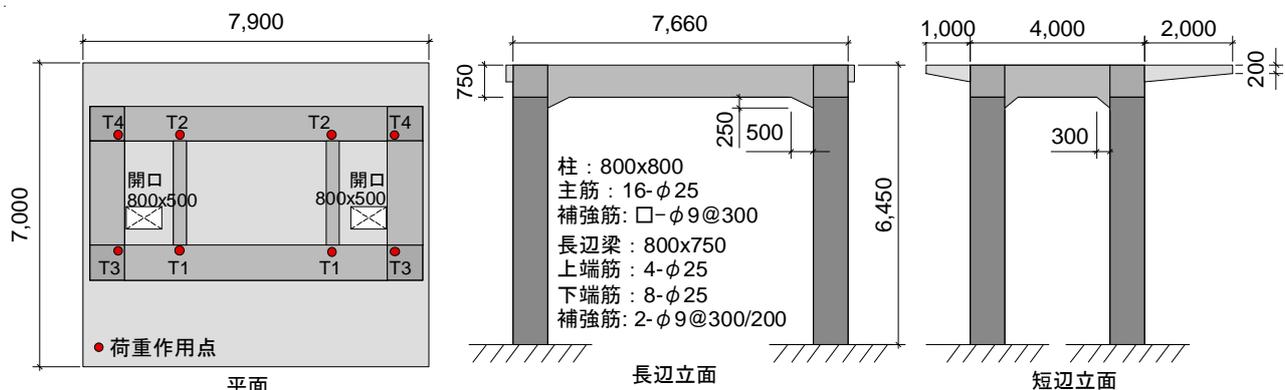


図 2 対象構造物形状および寸法

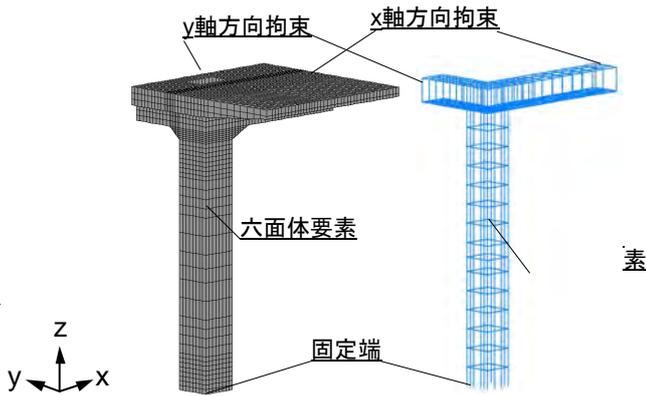


図3 実構造物モデルの要素分割

表1 機械荷重

単位: kN	T1	T2	T3	T4
更新後	179	100	199	82
最大荷重	439	240	504	224

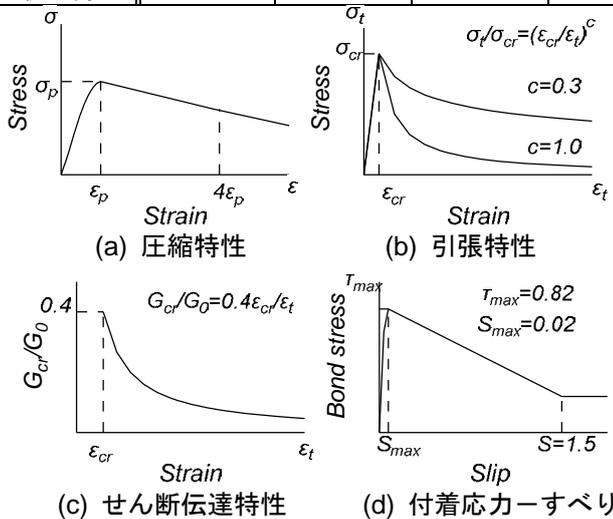


図4 材料構成則

2.2 非破壊検査

非破壊検査は文献1)に基づき柱、旧スラブおよび新スラブに対して行われた。その結果、圧縮強度は柱コンクリートでは 21.4N/mm^2 、旧スラブコンクリートでは 16.2N/mm^2 、新スラブコンクリートでは 28.4N/mm^2 が確認された。

3. 実構造物のFEM解析

3.1 解析モデル

FEM解析には市販のソフトウェア「FINAL」を用いた。図3に実構造物モデルの要素分割を示す。解析では対象構造物の対称性を考慮して1/4の範囲をモデル化した。コンクリートは六面体要素、柱および梁の主筋とせん断補強筋は線材要素、スラブ筋は埋込み鉄筋要素に置換した。鉄筋とコンクリートの間にはライン要素を定義した。柱底面を固定端とし、y-z平面の境界でのx軸方向の並進移動およびx-z平面の境界でのy軸方向の並進移動をそれぞれ拘束した。

コンクリートの圧縮強度は設計基準強度を想定して

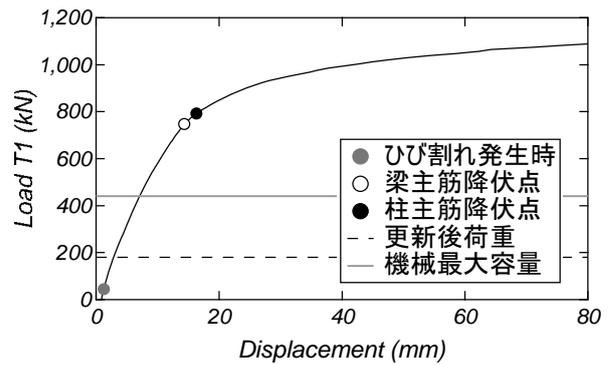


図5 荷重-変位関係

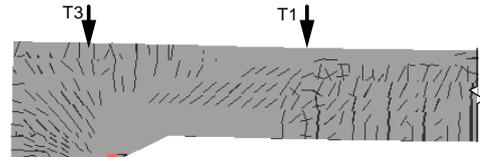


図6 長辺梁の損傷状況 (幅10倍, 荷重1,056kN)

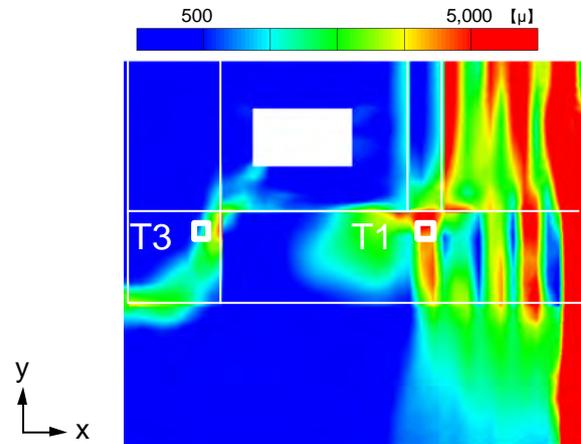


図7 床スラブ下端の最大主ひずみ分布 (荷重1,056kN)

13.0N/mm^2 、主筋の降伏強度およびせん断補強筋の降伏強度は 235N/mm^2 とした。

表1に機械荷重(図2中のT1~T4)を示す。荷重条件として機械荷重に加え、群集荷重 (3.5kN/m^2)、コンクリート自重 (24.0kN/m^3) および上屋建物重量 (各点: 6.5kN) を考慮した。解析は荷重制御とし、各機械荷重を増加させた単調載荷とした。

図4に材料構成則を示す。本報のコンクリートの材料構成則は低強度コンクリートおよび丸鋼を用いた文献2)に従った。コンクリートと丸鋼の付着応力-すべり関係は文献3)のモデルとした。

3.2 解析結果

図5に機械荷重T1-長辺梁のスパン中央での鉛直変位関係を示す。図6に長辺梁の損傷状況を、図7に床スラブ下端コンクリートの最大主ひずみ分布を示す。図6および図7では耐力の頭打ちが確認された荷重1,056kN時を示す。図6では左側が柱側となっており、矢印は機械荷重の作用位置である。

荷重40kN程度で長辺梁のスパン中央下端に曲げひび

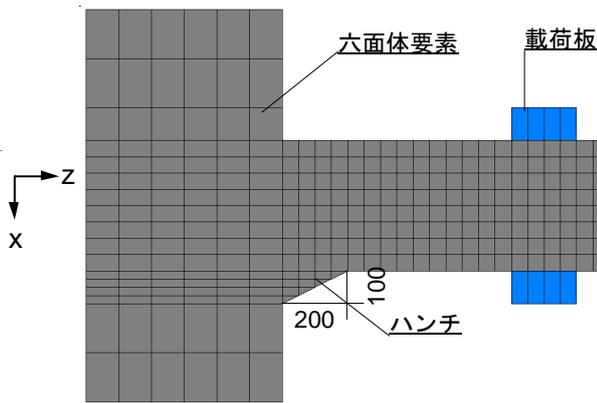


図8 実構造モデルの要素分割

割れの発生が、400kN程度で長辺梁の端部上端に曲げひび割れの発生が認められた。荷重600kN程度で載荷位置T1から梁端部にかけてせん断ひび割れの発生が確認された。荷重750kN程度で長辺梁の下端主筋および柱頂部主筋の降伏に伴う剛性低下がみられた。また当該荷重においてスラブと小梁の境界および柱付近にひずみの発生が確認された(図7)。荷重1,050kN程度で前述の長辺梁中央および柱頂部の降伏の進展による耐力の頭打ちが確認された。

一方で、梁端部付近では、曲げおよびせん断ひび割れの発生が確認されたものの、顕著な損傷進展はみられない。また、梁端部にはハンチおよび斜め補強筋が設けられており、これらが当該梁の構造性能に及ぼす影響も不明瞭である。次章では、梁端部を模擬した梁モデルを作成し、損傷状況および応力状態を検討する。

4. 梁モデルのFEM解析

4.1 モデル化手法

図8に実構造モデルの要素分割を示す。梁モデルは将来的な構造実験を想定して実大の1/2スケールとし、柱フェイス位置からスパン途中の機械荷重点付近までを模擬したものである。梁断面は400×400mmとし、梁端部には固定端を表現するために剛なスタブを設けた。上端筋は12-φ16、下端筋は6-φ16、せん断補強筋は2-φ5@100とした。上・下端筋は実構造物を参考に梁端からスタブにかけて400mmの位置に鉄板溶接することを想定した。コンクリートの圧縮強度は13.0N/mm²、上・下端筋の降伏強度は345N/mm²、せん断補強筋の降伏強度は295N/mm²とした。

モデル化に使用した要素および材料構成則は3章と同様のものである。スタブ内で主筋を接合する鉄板は四辺形要素を用いた。試験体の面外方向の対称性から半分のみを作成し、対称面となるx-z平面においてy軸方向の並進移動を拘束した。

解析変数は3章の梁を参考に梁端部付近の斜めせん断補強筋(4-φ16@200)(以下、斜め筋)およびハンチ(100

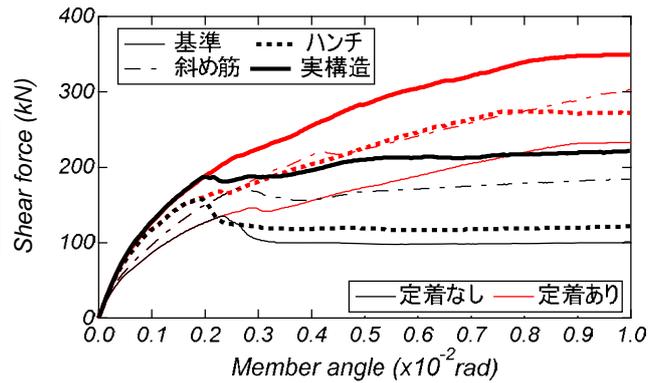


図9 せん断力-変形角関係

×200mm)の有無とした。斜め筋およびハンチのないものを基準モデルとして、ハンチを追加したモデル、斜め筋を追加したモデル、および実構造を想定して両方を追加したモデルの4パターンの解析を実施した。上記4パターンの解析に対して自由端側の上・下端筋の定着の有無を変数とした計8パターンの解析を実施した。

加力方法は載荷位置の梁中央の変位制御とし、x軸の正方向(下向き)の変位 δ をせん断スパン($M/Q=800\text{mm}$)で除した変形角 R による片押し載荷とした。

4.2 解析結果

図9に各モデルのせん断力-変形角関係を示す。同図の黒線は定着なしモデル、赤線は定着ありモデルである。

(a) 定着の有無

定着なしモデルでは変形角0.2~0.3rad付近で最大耐力の発現が認められたのに対して、定着ありモデルでは変形角0.7~0.9rad程度で耐力の頭打ちが確認された。定着ありモデルは定着なしモデルと同等の初期剛性を示すものの、5割以上の最大耐力の上昇が認められた。

図10に基準モデルの最大耐力時の上端筋の応力分布を示す。黒線が定着なしモデルを、赤線が定着ありモデルを示している。また、実線が基準モデルを、一点鎖線が斜め筋モデルを示している。基準モデルにおいて、定着ありモデルでは主筋の引張降伏が認められるのに対して、定着なしモデルでは降伏強度の3割程度の応力である。これは、定着なしモデルでは主筋およびコンクリート間の付着破壊により耐力上昇が抑制されたためである。

(b) 斜め筋の有無

定着の有無に拘わらず、斜め筋モデルは基準モデルと比べて耐力上昇が確認された。図11に定着ありモデルの最大耐力時のせん断補強筋の応力分布を示す。斜め筋の範囲(図中の灰色部分)で応力の差異が確認されたものの、基準モデルにおいて降伏強度に達していないため耐力上昇の要因ではないと判断された。図10より、定着なしの斜め筋モデルでは基準モデルよりも応力が高い傾向がみられた。定着ありの斜め筋モデルでは基準モデルよりも応力が低い傾向がみられた。これらの傾向は斜め筋

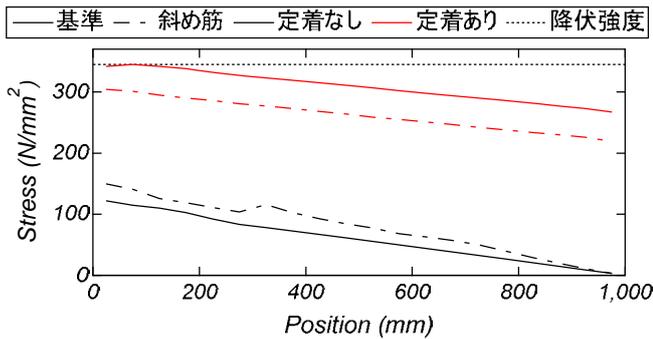


図 10 基準モデルの最大耐力時の上端筋応力分布

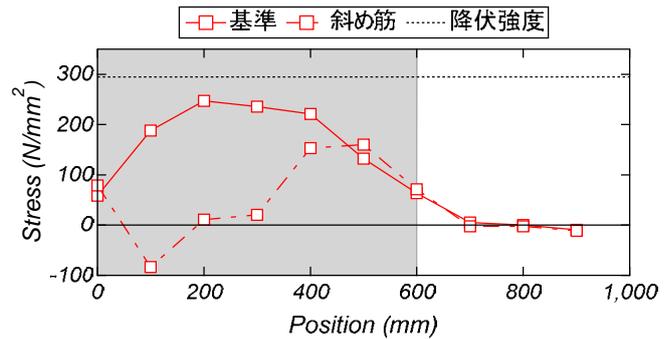
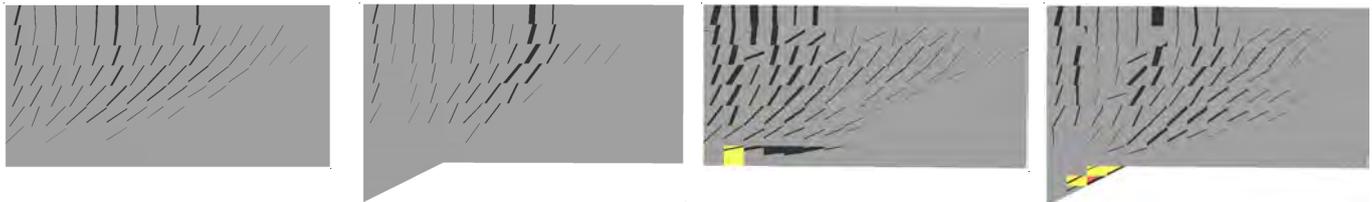


図 11 最大耐力時のせん断補強筋の応力分布



(a) 定着なし基準モデル (b) 定着なしハンチモデル (c) 定着あり基準モデル (d) 定着ありハンチモデル
図 12 損傷状況 (最大耐力時, ひび割れ幅 30 倍)

を主筋に沿わせて定着することで、定着なしモデルでは付着力が上昇し、定着ありモデルでは斜め筋が曲げ引張を负担しているため生じたと推察される。

(c) ハンチの有無

定着の有無に拘わらず、ハンチモデルは基準モデルと比べて剛性および耐力の上昇が認められた。図 12 に定着なしモデルおよび定着ありモデルの基準モデルとハンチモデルにおける最大耐力時の損傷状況を示す。両モデルともに、曲げおよびせん断ひび割れの発生が確認された。定着の有無に拘わらず基準モデルは梁端部で顕著な拡幅がみられ、ハンチモデルはハンチより載荷位置側で顕著な拡幅が確認された。定着なしモデルでは上端筋の拔出しがひび割れ拡幅位置で生じたことにより耐力に差がみられると推察される。定着ありモデルでは梁端部の断面積の大きいハンチモデルが基準モデルよりも載荷位置側で曲げ破壊に至ったため耐力に差が生じたと推察される。

これらの結果から、斜め筋およびハンチを設けることにより最大耐力が上昇するため、両方を加えた実構造モデルの最大耐力が最も大きくなっていることがわかる。

5. まとめ

本研究では、1970 年代以前に建設された水門構造物およびその梁端部を模擬した梁モデルの FEM 解析を実施した。本報より得られた知見を以下に示す。

- 1) 実構造物モデルの機械荷重を増加させた場合、梁スパン中央および柱頂部の曲げ降伏が顕著であった。

- 2) 梁端部のハンチおよび斜め筋の有無に拘わらず自由端側の主筋を定着した梁モデルでは主筋の引張降伏が、定着させていない梁モデルでは主筋-コンクリート間の付着破壊がそれぞれ確認された。
- 3) 梁端部付近に斜め筋を設けることで主筋に沿わせた斜め筋の定着部分が付着力を上昇させるとともに曲げ引張を负担している。
- 4) ハンチを設けることで梁端部における断面積が増加し、基準モデルよりも載荷位置側で主筋の拔出しおよび曲げ破壊が生じたため耐力が上昇した。

謝辞

本研究の実施にあたり中電技術コンサルタント株式会社の笹井友司博士、舞田裕之氏の協力を受けました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本材料試験協会: シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針 (案)
- 2) 貞末和史, 坂本英輔, 荒木秀夫: 極低強度コンクリートの既存建物から切り出した RC 梁の構造性能とエポキシ樹脂注入による補修効果, 日本建築学会構造系論文集, Vol.87, No.798, pp.811-821, 2022.8
- 3) 松岡由高, 中村光, 国枝稔, 河村精一: 有限要素解析による主筋に丸鋼を用いた RC 部材の力学挙動評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011

*1 高知工科大学システム工学群

*2 高知工科大学大学院社会システム工学コース

*3 高知工科大学システム工学群准教授・博士 (工学)

*4 中電技術コンサルタント株式会社

School of System Engineering, Kochi University of Tech.
Graduate School of Social Eng. Course, Kochi Univ. of Tech.
Associate Professor, Kochi University of Technology, Dr. Eng.
Chuden Engineering Consultants Co., Ltd.

吹抜けを有する5層RC造建物の常時微動計測に基づく変形状の考察

2. 構造—2. 振動

モード分布 固有振動数 フーリエ振幅スペクトル
剛床仮定 固有値解析 立体フレームモデル

準会員 ○池田 和樹*1 正会員 別所 和真*2
正会員 鈴木 卓 *3 正会員 佐藤 匠 *4
正会員 阿部 隆英*5

1. はじめに

建物の構造設計では、解析負荷を軽減する目的から一般的に各階の床は剛床と仮定される。しかし、吹抜け等により平面における床の欠損が大きい場合、剛床と仮定することにより設計者の意図しない変形を起し、建物の損傷が危惧される。したがって、大きな吹抜けを有する建物の振動特性を把握することは重要である。

建物の振動特性を把握する手法の一つとして常時微動計測が挙げられる。文献2)では、吹抜けのある階を有する鉄骨鉄筋コンクリート建物について常時微動計測が実施され、固有振動数やモード形状などの振動特性が明らかにされた。しかし、対象建物に対して剛床仮定が適用可能であるか十分な検討はされていない。このように、大きな吹抜けを有する建物について常時微動計測と剛床仮定に基づく解析モデルを比較検討した研究事例は限定的である。したがって、吹抜けが建物の変形状に及ぼす影響についてさらに多くの検討を重ね、剛床モデルとの整合性を明らかにする必要がある。

本研究では、中央に吹抜けを有する5層鉄筋コンクリート造（以下、RC造）建物を対象として常時微動計測および剛床を仮定した構造解析モデルによる固有値解析結果との比較を実施した。さらに、吹抜け周辺の柱梁部材の剛性に着目した床の変形状についての考察を報告する。

2. 常時微動計測

2.1 対象建物

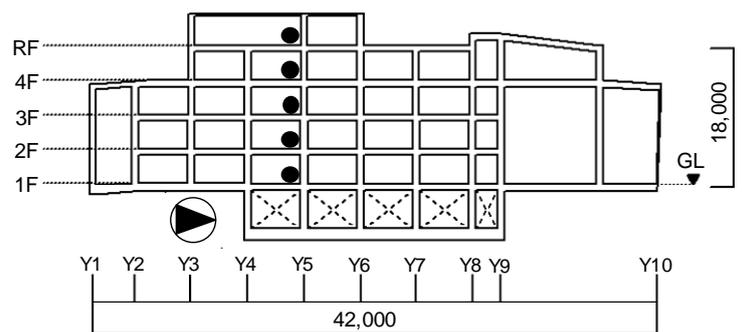
対象建物は高知工科大学香美キャンパス内に建つ地下1層、地上5層RC造の高知工科大学本館である。建物長辺方向がNS、短辺方向がEWである。

写真1に建物南立面を、図1にX9構面の建物断面を、図2に4階平面をそれぞれ示す。EW方向は11スパンの42.0m、NS方向は10スパンの72.2mである。この建物の偏心率は0.12である。本建物は、1階から屋上階にかけて中央に吹抜けを有しており、東西でほぼ左右対称な構造となっている。

表1に建物各階の重量と床面積を示す。コンクリートの設計基準強度は24N/mm²、柱梁主筋はSD345、せん断補強筋はSD295Aが使用されている。



写真1 建物南立面



●Case 1 計測位置

図1 X9構面断面

2.2 計測計画

計測に用いた加速度計はセイコーエプソン社製3軸加速度センサ「M-A352」（分解能：0.059μG）である。

常時微動計測は2025年2月18日の14時10分（Case 1）および同年11月25日の11時20分（Case 2）の人通りの少ない時間帯に実施した。計測時間は各15分間とし、サンプリング周波数は100Hzである。

図1、図2に加速度計の設置場所を示す。各Caseにおいて1階のX9-Y5付近床を共通の計測位置とした。Case 1では、X9-Y5位置の各階（図1参照）に加速度計を設置した。Case 2では、4階平面における吹抜け周りの7カ所（図2参照）に加速度計を設置した。観測波形には0.1から10Hz

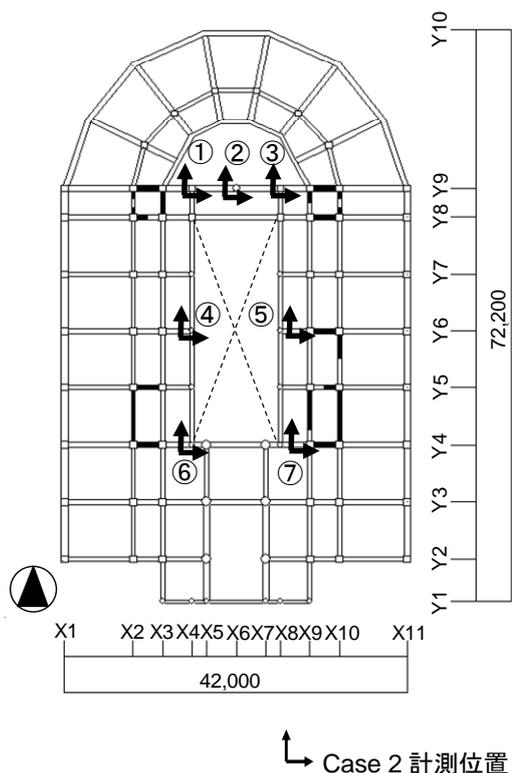


図2 4階平面

表1 建物の重量と床面積

	Floor				
	1	2	3	4	R
Weight (kN)	38,913	30,176	28,344	26,871	9,587
Area (m ²)	3,152	1,710	1,663	2,404	650
Weight/Area (kN/m ²)	12.3	17.6	17.1	11.2	14.7

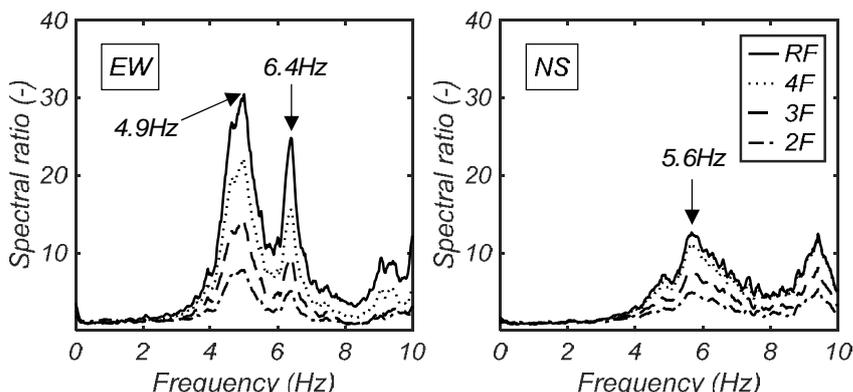


図3 各階のフーリエ振幅スペクトル比 (各階/1階)

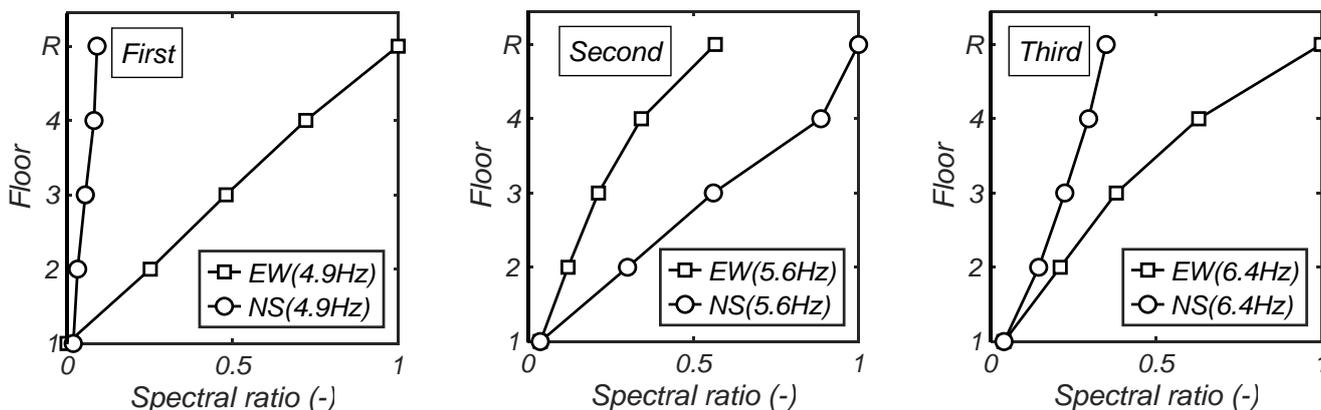


図4 計測における各階のモード分布

のバンドパスフィルタを通過させた。

2.3 計測結果

振幅スペクトルはサンプル数4,096 (40.96秒)で重複率0.5の42波をフーリエ変換したものをアンサンブル平均したものである。図3にCase 1におけるEW方向およびNS方向の各階の振幅スペクトル比(各階/1階)を、後述の表2にCase 1より推定された固有振動数を示す。固有振動数は5点ピーク法を用いて決定した。

EW方向をみると各階で4.9Hz(以下,1次)にピークが確認され、この振動数がEW方向の1次固有振動数と判断された。また、各階で6.4Hz(以下,3次)にもピークが確認された。NS方向をみると各階で5.6Hz(以下,2次)に明瞭なピークが確認でき、この振動数がNS方向の1次

固有振動数と判断された。

図4にCase 1におけるEW方向およびNS方向の各階モード分布を示す。モード分布は図3より得られた各階におけるピークの値から求めた。1次および3次では各階/屋上階のEW方向の比率で、2次では各階/屋上階のNS方向の比率で示している。EW方向の1次モードでは直線的、2次および3次モードでは若干折れ曲がる分布形状となった。NS方向の2次モードでは4階で折れ曲がる形状となり、1次および3次モードでは直線的な分布形状となった。

後述の図7にCase 2における4階平面のモード分布を示す。モード分布は4階北東側(X8-Y9③)が最大となる時刻の値を各計測結果から取り出したものである。1次モード

表2 固有振動数の比較

Unit: Hz	Natural Frequency		
	First	Second	Third
Observed	4.92	5.64	6.42
Analysis	5.31	5.94	6.91
Analysis / Observed	1.08	1.06	1.08



図5 解析モデル南立面

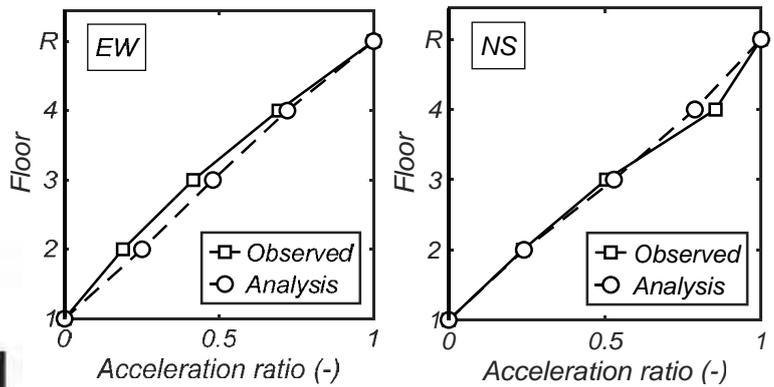


図6 計測および解析の各階のモード分布

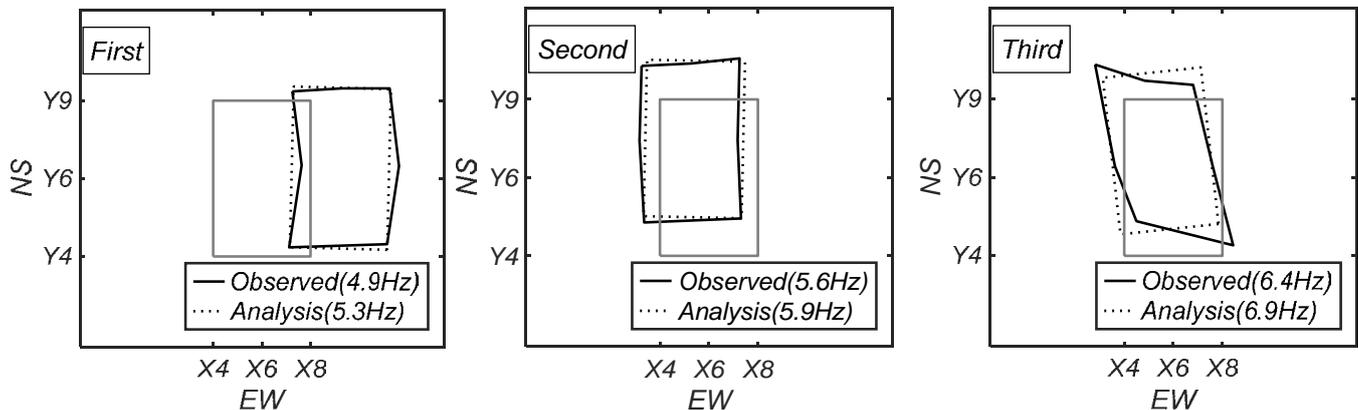


図7 計測および解析の4階平面のモード分布

では吹抜けの左右(X4-Y6④, X8-Y6⑤)で折れ曲がり確認された。2次モードでは顕著な折れ曲がりは見られなかった。3次モードでは吹抜け四隅付近の折れ曲がりによるせん断変形が確認された。

3. 固有値解析

3.1 モデル化

解析モデルは文献1)および3)を基に作成している。解析モデルは3次元解析モデルとし、地上階のみをモデル化した。柱・梁部材は鉄筋・鉄骨による剛性増大を考慮して線材に置換している。1階柱脚の節点をピン支点とした。耐震壁は面外剛性を無視した壁エレメントに置換した。袖壁・腰壁・垂れ壁は取りつく部材の剛性を増大させることで考慮した。剛域は接合部の縁から部材のせい¹⁾の1/4倍の長さ入った位置までとした¹⁾。図5に解析モデルの南立面を示す。

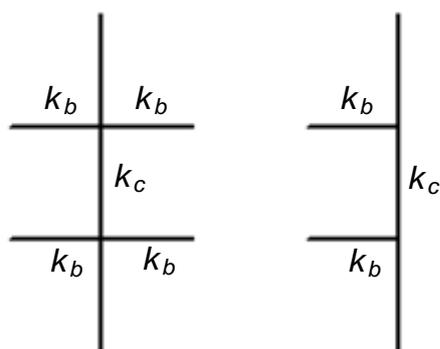
固定荷重は部材重量および仕上げ材重量を、積載荷重は地震用積載荷重をそれぞれ与えた。本報では、同一層の床

を剛床と仮定した。以上の条件を基に解析モデルを構築し、固有値解析を実施した。

3.2 計測と解析の比較

表2に常時微動計測および固有値解析から得られた固有振動数の比較を、図6に常時微動計測および解析モデルにおけるEW方向およびNS方向の1次固有振動数時の各階モード分布を示す。解析および計測のモード分布は最上階の値を1としたものである。解析および計測の各固有振動数に大きな差異はみられなかった。EW方向およびNS方向における解析および計測のモード分布の形状は概ね対応している。

図7にCase2における常時微動計測および解析モデルから得られた各固有振動数帯の4階平面のモード分布を示す。1次モードにおける解析および計測のモード分布はEW方向に卓越しており、解析では直線的な分布形状となった。しかし、計測では吹抜け左右において分布の折れ曲がり確認された。2次モードにおける解析および計測のモード分布はNS方向に卓越しており、分布形状に大きな差異は



(a) 十字型 (b) ト型

図8 接合部形式

表3 各計測位置のD値

接合部	計測位置	D値
十字型	①, ③	4.25
	②	3.28
	⑥, ⑦	3.13
ト型	④, ⑤	1.55

みられなかった。3次モードにおける解析では直線的な分布形状となった。しかし、計測ではせん断変形のような分布形状となり解析との間に差異が認められた。解析と計測のモード分布に差異が生じた要因として、剛床と仮定した解析モデルでは計測で確認された吹抜け周辺の変形を十分に表現できないことが挙げられる。次節では、計測で吹抜け左右における折れ曲がり変形が生じた要因について、吹抜け周辺における柱梁接合部形式の違いに着目して考察を行う。

3.3 考察

吹抜け左右の柱は梁が片側のみに取り付くト型接合部となっているのに対し、吹抜け四隅の柱は十字型接合部となっている。本研究では、柱に取り付く梁の本数および配置の違いに着目し接合部形式ごとの柱のD値を算定した⁵⁾。D値は図8に示す柱および梁剛比を基に式(1)~(3)より算定した。

$$D = ak_c \quad (1)$$

$$a = \frac{k_i}{2 + k_i} \quad (2)$$

$$k_i = \frac{\sum k_b}{2k_c} \quad (3)$$

ここで、 a ：剛性低下の度合い、 k_b ：層内の梁の剛比、 k_c ：層内の柱の剛比、 k_i ：層内の柱梁曲げ剛比である。

前述の図2に各計測位置の番号を、表3に各計測位置の柱のD値を示す。吹抜け四隅に位置する十字型接合部を有する柱ではD値が3.13~4.25であるのに対し、吹抜け左右に位置するト型接合部を有する柱ではD値が1.55となった。このD値の差は柱梁接合部形式の違いによって生じたものである。したがって、柱の剛性の差が計測から得られた1次の4階平面モード分布における折れ曲がりとして現れたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、中央に吹抜けを有する5層RC造建物を対象として常時微動計測および剛床仮定を用いた構造解析モデルの固有値解析を実施した。本報から得られた知見を以下に示す。

- 1) 常時微動計測と構造解析モデルから得られた各固有振動数とEW方向およびNS方向の高さ方向のモード分布に大きな差異はみられなかった。
- 2) 4階平面で計測した1次のモード分布では、吹抜けの左右の床で折れ曲がり変形が確認された。
- 3) 4階平面で計測した3次のモード分布では、吹抜け四隅付近の床で折れ曲がることによるせん断変形が確認された。
- 4) 吹抜け周辺の柱梁接合部形式の違いにより柱の剛性が低下しているため、4階平面における1次のモード分布で吹抜け左右の折れ曲がり変形が生じたと考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2024
- 2) 岩崎良二，高田毅士：吹き抜けのある階を有する建物の振動特性に関する研究，日本建築学会関東支部研究報告集，第75号，pp.217-220，2005.2
- 3) 株式会社構造システム：任意形状立体フレームの弾塑性解析プログラム SNAP Ver.8 テクニカルマニュアル，2020.11
- 4) 椋山健二，楠浩一：ひとりで学べるRC造建築物の構造計算演習帳[許容応力度計算編]，2023.4

*1 高知工科大学システム工学群

*2 高知工科大学大学院建築・都市デザインコース

*3 高知工科大学システム工学群准教授・博士（工学）

*4 飛鳥建設株式会社技術研究所

*5 飛鳥建設株式会社技術研究所・博士（工学）

School of Systems Engineering, Kochi University of Technology.
Grad. Sch. of Arch. and Infra. Design, Kochi Univ. of Tech.
Associate Professor, Kochi University of Technology, Dr. Eng.
TOBISHIMA Corporation.
TOBISHIMA Corporation, Dr. Eng.

5 階建て RC 造フレーム振動台実験の時刻歴応答解析

2. 構造—8.鉄筋コンクリート構造

E-Defense 復元力特性 梁曲げ耐力
層せん断力 層間変形角 MS モデル

正会員 ○別所和真* 正会員 鈴木卓 **
正会員 佐藤匠 *** 正会員 阿部隆英****

1. はじめに

近年、地震観測技術の発展・普及が著しく、長期間にわたり地震観測している建物が数多く存在する。このような建物では、地震応答の加速度記録などから建物の損傷度合いの即時評価が期待されている。

文献 1)では、兵庫県南部地震を対象として時刻歴応答解析および RC 造建物被害データから耐力を推定し、被害予測モデルが構築されている。このような研究により、建物の損傷度合いを評価するために必要な損傷過程の再現はある程度可能となってきたものの、より信頼性の高い解析モデルの構築のためにさらに多くの検討を重ねる必要がある。

本研究では、RC 造建物における信頼性の高い構造解析モデルの構築を目的として文献 2)および 3)に示される 5 階建て RC 造建物の振動台実験を対象に時刻歴応答解析を実施した。本報では、慣行の構造解析モデルによる応答評価精度の検証結果を述べる。さらに、梁に着目して骨格曲線および履歴特性を修正した解析を実施し、層せん断力—層間変形角などの検討結果から解析モデルの妥当性を示す。

2. 振動台実験概要 2)3)

図 1 に試験体の立面、平面および柱・梁断面の一例を示す。試験体の縮尺は実大の 0.8 倍である。スパン長が 6×3m の 2×2 スパンで、5 階建て RC 造純ラーメンである。建物の基準階の階高は 3.2m、全高は約 17m である。スラブ厚さは 200mm とされた。また、各階四周には、片持ちスラブが設置された。長手方向 (X 方向) における梁断面は外構面が 320×800mm、内構面が 320×640mm である。柱断面は X 方向外柱が 720×480mm、X 方向中央の外柱が 480×720mm、X 方向中央の中柱が 480×480mm である。

柱・梁の主筋には SD345 が、せん断補強筋には SD295 が使用された。コンクリートの設計基準強度は 33N/mm² である。基礎スタブを除く試験体の総重量は 4,547kN である。表 1 に試験体重量およびコンクリート強度を示す。

表 2 に主要加振ケースの概要を示す。入力地震波は、El Centro NS の位相特性を持つ告示波で、試験体の縮尺に伴い地震波から時間軸を $\sqrt{0.8}$ 倍したものである。建物の加振は X 方向のみである。加振は元波の加速度を 60% (R1, 未降伏), 100% (R2, 層間変形角 1%), 125% (R3 と R4, 大変形) とした 4 ケースである。また、各地震波の前後にはホワイトノイズ (以下, WN) 波が加振されている。

3. 慣行の地震応答解析

3.1 解析モデル概要

解析では、解析プログラム SNAP Ver. 8 を用いて立体フレームモデルを作成した。柱および梁部材は断面重心を通る線材に置換した。1 階の柱脚は固定端とした。柱および梁における剛域は接合部内の節点から部材せい の 1/4 倍入った位置までとした。固定荷重は部材重量として、それ以外の重量は各節点に等分配した。全層に剛床仮定を適用した。

減衰は瞬間剛性比例型とし、X 方向 1 次モードに対して 3.5%の減衰定数とした。この減衰定数は R1 加振前の WN 波から RD 法により算定した。

3.2 復元力特性

梁はトリリニア型の骨格曲線と武田モデルの履歴特性を有する材端バネモデルに置換した。各部材に顕著なせん断

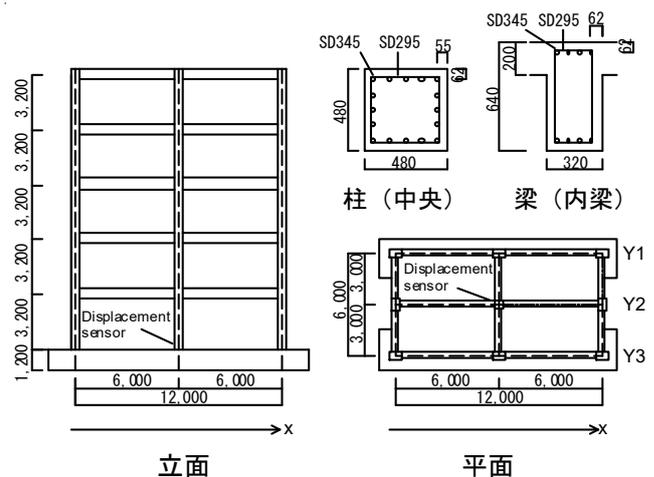


図 1 試験体および部材断面

表 1 試験体重量およびコンクリート強度

Floor	W_i (kN)	ΣW_i (kN)	Concrete strength (N/mm ²)
5F	879	879	49.0
4F	905	1,784	39.2
3F	905	2,689	42.2
2F	911	3,600	37.4
1F	947	4,547	38.2

表 2 主要加振ケース

Case	Phase	Amplitude	Magnification (%)
WN	Random	-	100
R1	El Centro (NS)	Notification, Z=1, 2 nd foundation	60
R2			100
R3			125
R4			125

Time History Response Analyses of 5-Story RC Frame in Shaking Table Experiments

BESSHO Kazuma, SUZUKI Suguru, SATO Takumi, ABE Takahide

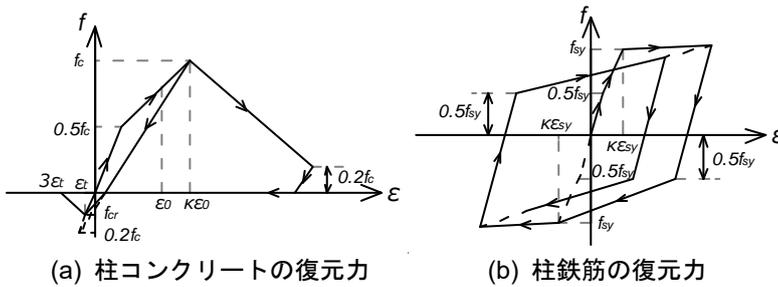


図2 材料構成則

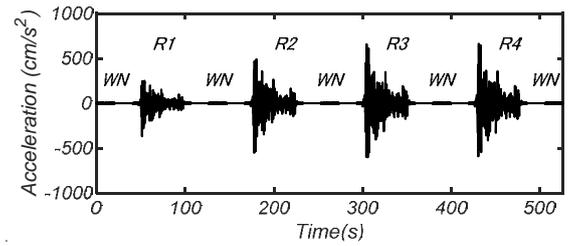


図3 入力地震波形

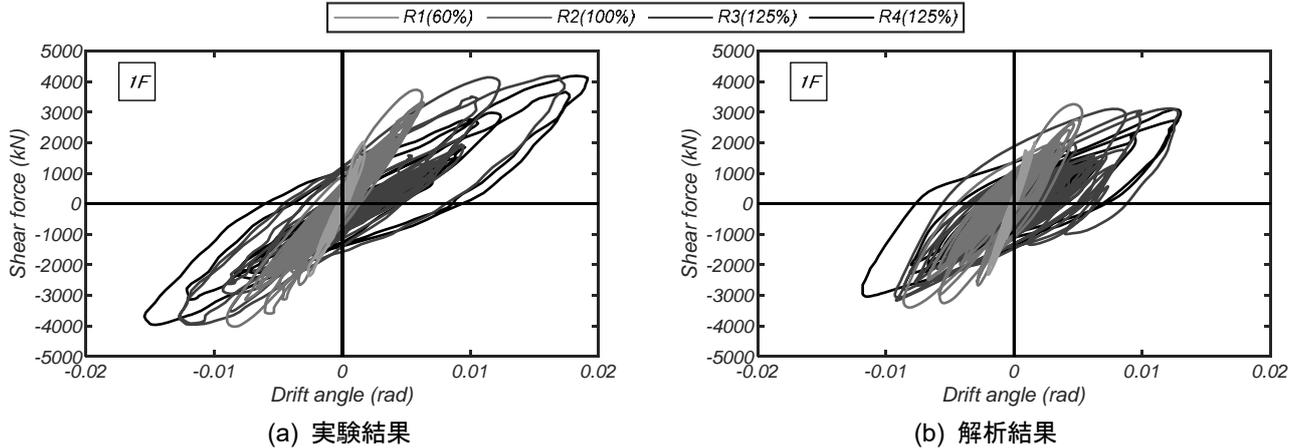


図4 ベースシア－層間変形角関係

ひび割れの発生は確認されなかったため、せん断バネは弾性とした。梁の剛性および耐力の算出⁴⁾では、スラブ協力幅をスパン長さの0.1倍の長さとし、協力幅内のスラブ筋も考慮した。ひび割れ後の降伏点剛性低下率は式(1)に示す菅野式⁴⁾、曲げひび割れ耐力は式(2)、曲げ耐力は式(3)の略算式によりそれぞれ算出した。降伏後の剛性低下率は0.001とした。式(4)に示す降伏後の除荷剛性低減係数 γ を0.4とした(後述の図5参照)。内部ループからの除荷剛性低減係数は0.5とした。

$$\alpha_y = (0.043 + 1.64n_p + 0.043a/D)(d/D)^2 \quad (1)$$

$$M_c = 0.56\sqrt{\sigma_B}Z_e \quad (2)$$

$$M_u = 0.9a_t\sigma_y d \quad (3)$$

$$K = \left\{ \frac{M_u - M'_c}{R_u - R'_c} \right\} \left(R_u / R_m \right)^\gamma \quad (4)$$

ここで、 n : ヤング係数比、 p_t : 引張鉄筋比、 a : シアスパン、 D : せい、 d : 有効せい、 σ_B : コンクリートの圧縮強度、 Z_e : 鉄筋を考慮した断面係数、 a_t : 引張鉄筋の断面積、 σ_y : 引張鉄筋の降伏強度、 M'_c : ひび割れモーメント、 R_u : 曲げ耐力時の変位、 R'_c : ひび割れ時の変位、 R_m : 最大変位である。

柱は塑性ヒンジ長さを柱内法高さの0.1倍としたマルチスプリングモデルに置換した。断面の要素数はコンクリートが64とし、鉄筋は1本ずつモデル化した。図2にコンクリートおよび鉄筋の材料構成則を示す。コンクリートの圧縮側の骨格曲線は応力の上昇域と軟化域をそれぞれバイリニア型に仮定した。引張型の骨格曲線は引張強度までを直線でモデル化した。ここで、コンクリートのひび割れ強度

は文献4)を基に $f_{cr} = 0.33\sqrt{\sigma_B}$ とした。鉄筋の骨格曲線は降伏強度の0.5倍の応力を第1折れ点、降伏強度を第2折れ点としたトリリニア型に仮定した。降伏後の剛性低下率は0.001とした。コンクリートおよび鉄筋ともに、第2折れ点の変形は塑性ヒンジ領域以外の剛性低下および主筋の付着すべりにより生じる付加変形を考慮するために降伏ひずみに式(5)の計算値を乗じた値とした⁵⁾。

$$\kappa = 1.0 + \left\{ (a/D - 1.0) / (a/D) \right\} \quad (5)$$

3.3 解析ケース

図3に入力地震波形を示す。入力波形のサンプリング振動数は100Hzである。時刻歴応答解析では、各加振ケースおよびその前後のWN波を加算した連続波形をX方向にのみ加振した。各加振波の間には20秒の0 cm/s²を入力した。

3.4 実験および解析の比較

図4に実験および解析におけるベースシア－層間変形角関係の比較を示す。実験および解析ともに加速度記録に1次固有振動数を含む0.2~4.5Hzのバンドパスフィルタを適用し、各階質量を乗じて求めた水平力から層せん断力を算出した。実験および解析ともにR4加振において層間変形角の最大応答値が確認できる。解析ではR3加振、実験ではR4加振においてベースシアの最大応答値が確認できる。しかし、解析における両最大応答値は実験のものとは比べて低い。また、解析における除荷剛性は実験と比べて高く、R4加振時では実験で若干のスリップ性状が確認された。

文献6)では、終局レベルの応答時に全スパンのスラブ筋の寄与が報告されている。そこで、次章では梁の復元力特

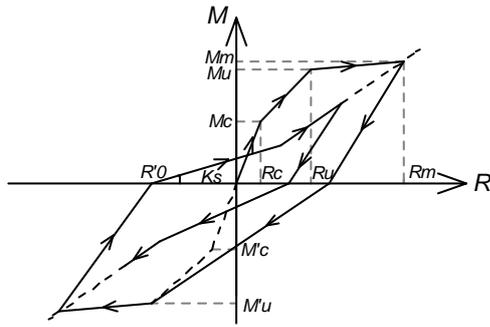


図5 梁部材における復元力特性および履歴特性

表3 略算式とストレスブロック法における曲げ耐力

		Bending strength (kNm)		Ratios
		0.9d	Stress Block	
2F	Y1, Y3	588	721	1.23
	Y2	239	309	1.29
3F	Y1, Y3	588	728	1.24
	Y2	239	312	1.30
4F	Y1, Y3	450	541	1.20
	Y2	239	307	1.28
5F	Y1, Y3	229	299	1.31
	Y2	179	246	1.37
6F	Y1, Y3	153	219	1.43
	Y2	120	184	1.54

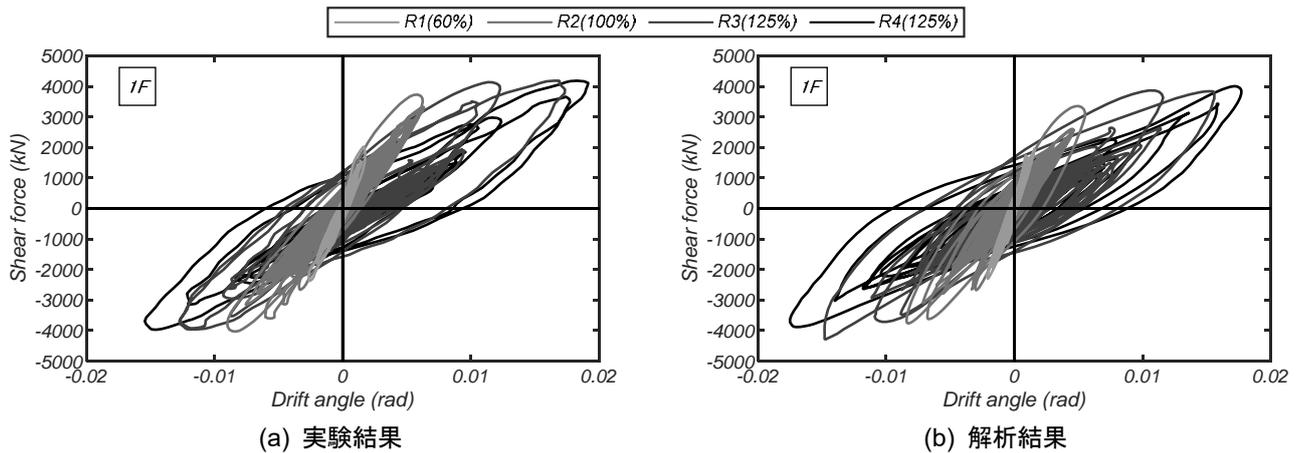


図6 ベースシア一層間変形角関係

性に着目して剛性および耐力の算出においてスラブ協力幅は梁スパン長の 0.1 倍のままでスラブ筋は全スパンに寄与するように修正した解析を実施する。

4. 修正モデルの地震応答解析

4.1 復元力特性の修正

図5に修正した梁部材における復元力特性を示す。修正モデルでは、梁曲げ耐力はACIストレスブロック法に基づき算定した。その際、スラブ圧縮時に中立軸がスラブ内にあり、引張側鉄筋のみ降伏していたため、中立軸深さ x_n は式(6)により算出される。また、断面幅はスラブ引張時に梁幅とし、スラブ圧縮時に梁幅にスラブ協力幅を加算した値とした。

$$x_n = \frac{dp_t(\epsilon_{cu}nE_c\gamma - \sigma_y)}{2k_1k_3\sigma_B} \left\{ \sqrt{1 + \frac{4k_1k_3\sigma_B d_{cl}\epsilon_{cu}nE_c\gamma}{p_t(\epsilon_{cu}nE_c\gamma - \sigma_y)^2}} - 1 \right\} \quad (6)$$

ここで、 ϵ_{cu} : 終局ひずみ (=0.003), E_c : コンクリートのヤング係数, γ : 複筋比, k_1 : 0.85-0.05(σ_B -28)/7 > 0.65, k_3 : 0.85, d_{cl} : かぶり厚比である。

表3にスラブ圧縮側の曲げを受ける場合の略算式とストレスブロック法における曲げ耐力の比較を示す。ストレスブロック法による曲げ耐力は略算式のものに比べて1.20~1.54倍上昇した。これは、コンクリートの圧縮合力作用位置から下端筋までの応力中心間距離がスラブの圧縮負担により増加、およびそれに伴い引張鉄筋に梁上端筋とスラブ筋が加算されたためである。なお、当該試験体では、上階

の梁ほど下端筋が少ない(最上階の梁の引張鉄筋比 $p_t=0.22 \sim 0.28\%$ 程度)ことから、上階の梁ほど曲げ耐力の増加が顕著であった。

スラブ引張側の曲げを受ける場合のストレスブロック法による曲げ耐力の増加は1.3~1.9倍程度上昇した。これは、前述の通りスラブ筋の寄与によるものであり、スラブ圧縮側と同様に上階の梁ほど梁上端筋が少ないことに起因する。

4.2 梁曲げモデルにおける履歴モデルの修正

図4(a)のR4加振では、解析の除荷剛性が実験のものに比べて高く、実験履歴に若干のスリップ性状が確認された。本論では、式(7)に示す武田スリップモデルにおけるスリップ性状を表す係数 λ を0.1とすることとした(図5参照)。

$$K_s = \left\{ M_m / (R_m - R'_0) \right\} (R_u / R_m)^2 \quad (7)$$

ここで、 M_m : 最大モーメント, R'_0 : 除荷時の変位である。

慣行の解析モデルの除荷剛性は実験のものに比べて高いことから、除荷剛性低減係数 γ は構造解析ソフトウェア上の制限値である0.7と仮定した。

4.3 修正モデルおよび実験の比較

図6に実験および解析におけるベースシア一層間変形角関係を示す。実験と解析における加振時の包絡線形状は良好に対応した。一方、R2加振以降における解析の除荷剛性は実験のものに比べて大きい。これは、解析の固有周期が実験のものに比べて低い(実験: 0.32s, 解析: 0.26s)ことから、式(4)に示すように初期剛性の影響によるものと推察される。

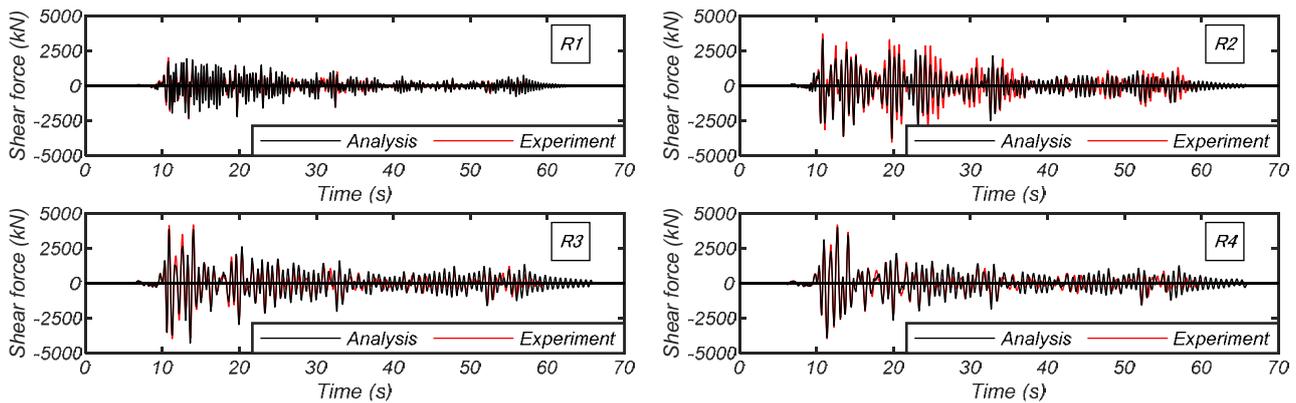


図7 1階における実験および解析のベースシア時刻歴波形の比較

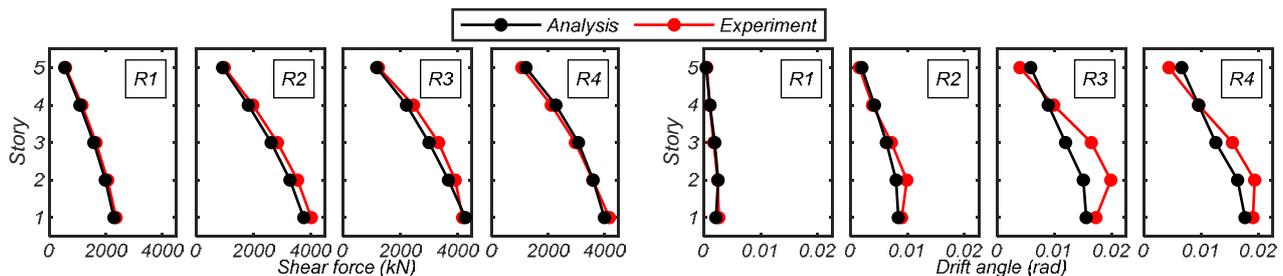


図8 実験および解析における最大応答点の高さ方向の比較（左側：層せん断力，右側：層間変形角）

図7に各加振時における実験および解析のベースシア時刻歴波形を示す。R2加振では解析のベースシアは実験と比べて20s~30s付近で若干小さな値を示した。しかし、その他の加振では概ね対応する結果となった。

図8に実験および解析における層せん断力および層間変形角の最大応答点の高さ方向分布を示す。いずれの加振においても解析の層せん断力は実験のものと良い対応を示した。一方のR3の解析の層間変形角は実験のものに比べて2・3階で小さく、5階で大きくなる傾向が認められた。しかし、R1、R2およびR4加振における解析の層間変形角は実験のものと概ね対応した。

5. まとめ

本研究では、信頼性の高い解析モデルの構築を目的に5階建てRC造建物における振動台実験を対象とした時刻歴応答解析を実施した。本報より得られた知見を以下に示す。

- 1) 慣行の解析モデルのベースシアは実験のものに比べて低くなる傾向が認められたことから、梁の耐力算定においてスラブ全幅分のスラブ筋およびスラブ協力幅分のコンクリートを考慮し、ストレスブロック法により耐力を算出する必要がある。
- 2) 大変形の加振ケースにおいて実験は慣行の解析モデルと比べて、除荷剛性が低くなり、若干のスリップ性状の発現が認められた。

3) 上記の修正を施した梁モデルおよび柱のマルチスプリングモデルより構築された解析モデルは実験の履歴特性、ベースシアの最大応答点を再現可能であった。

参考文献

- 1) 長戸健一郎, 川瀬博: 建物被害データと再現強震動によるRC造建物群の被害予測モデル, 日本建築学会構造系系論文集, Vol. 544, pp. 31-37, 2001.6
- 2) 5階建て鉄筋コンクリート造建築物の降伏点・減衰評価実験データ:E-Defense 実験データアーカイブ, 防災科学技術研究所, <https://doi.org/10.17598/nied.0020-E202002>
- 3) 勅使川原正臣, 他8名: RC造建物の振動減衰性状評価方法の検討(その19) 試験体概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp. 509-510, 2021.9
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2024
- 5) Kang-Ning Li and S.Otani: Multi-Spring Model for 3-Dimensional Analysis of RC Members, Journal of Structural Engineering and Mechanics, Vol 1, No. 1, pp. 17-30, 1993
- 6) 米澤健次, 他3名: 縮小20層RC造建物試験体の振動実験に対する3次元FEM解析—架構耐力に対する梁に生じる軸力とスラブの効果, コンクリート工学年次論文集, Vol. 36, No. 2, pp. 253-258, 2014.7

* 高知工科大学大学院 建築・都市デザインコース

** 高知工科大学システム工学群准教授・博士(工学)

*** 飛島建設株式会社 技術研究所

**** 飛島建設株式会社 技術研究所・博士(工学)

Grad. School of Arch. and Urban Design, Kochi Univ. of Tech.

Associate Professor, Kochi University of Technology, Dr. Eng.

TOBISIMA Corporation

TOBISIMA Corporation, Dr. Eng.

純ラーメン鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究

2. 構造—10. 鉄骨構造

静的増分解析 被害推定指標 事務所建物

准会員 ○継山 平*1 同 西内 佑太*4
正会員 秋山 虎太郎*2 同 日根居 亮佑*5
同 宮本 慎宏*3 同 坂本 潤哉*5

1. はじめに

四国域内の鉄骨造事務所建物の構造特性を考慮した被害推定指標を作成する手法の構築を目指して、既報¹⁾では、静的増分解析結果を用いて層間変形角のみの被害推定指標を作成し、各構造形式の建物を対象に指標の比較を行った。しかし、既報²⁾の純ラーメン構造実大震動台実験試験体は倒壊を目的とした特殊な設計がされているため、純ラーメン構造の実建物についても被害推定指標の検討を行う必要がある。

以上のことから本研究では、純ラーメン鉄骨造事務所建物を対象とし、既報¹⁾と同様の手法で性能評価項目を算定して被害推定指標を作成した上で、既報¹⁾の純ラーメン実大震動台実験試験体および耐震ブレース付き実建物の被害推定指標と比較検討することを目的とする。

2. 立体解析モデルの作成

対象とする事務所建物の2階伏図および軸組図を図1～図4に示す。対象建物はX方向2スパン18.3m、Y方向4スパン28.8m、高さ16.2mの4階建ての純ラ

メン鉄骨造建物である。梁はH型鋼、柱は角型鋼管であり、それぞれ代表的な部材寸法は、H-700×300×14×28×18、□-550×550×22×97である。この建物の構造計算書を基に作成した立体解析モデルを図5に示す。柱脚部分の節点を固定し、その他の節点は自由とした。③通りのB、C通り間は吹抜け、B～D通り間の外壁はカーテンウォールであり、実際には梁が存在しないが、荷重伝達や解析の都合上、該当部分にはピン接合の梁を設け、その他の柱梁接合部および梁の端部は剛接合とした。構造部材として梁、柱、スラブをモデル化した。各スラブには構造計算書を参考として、各室の用途を踏まえた積載荷重を設定した。外壁、パラペットおよびカーテンウォール等の非構造部材は、梁に対する等分布荷重や節点荷重、もしくはスラブ荷重として重量のみ設定した。基礎部分はモデル化せず、1階スラブは省略した。鋼材の材料強度はJIS規格品のため基準強度の1.1倍の値とし、鋼材は柱がSM490、梁がSS400、コンクリートの設計基準強度は24.0N/mm²とした。梁、柱の復元力特性はバイリニアモデルとし、梁の曲げ耐力は合成梁効果を考慮した全塑性モーメント³⁾とした。柱の曲げ耐力は、軸力変動を考慮して降伏耐力を算定するMNモデルとした。梁、柱

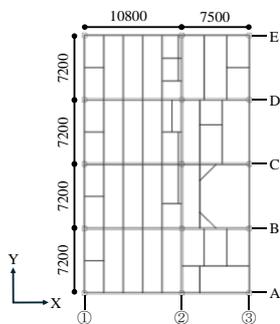


図1 2階床伏図

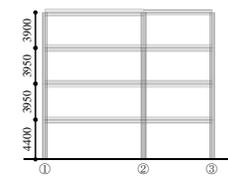


図2 軸組図 (A～E通り)

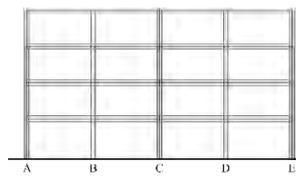


図3 軸組図 (①, ②通り)

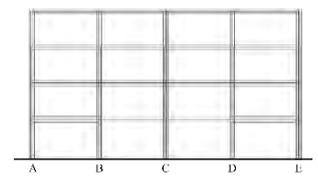


図4 軸組図 (③通り)

表1 解析モデルの重量

階	各層の質量 [t]
R	638.9
4	637.6
3	510.8
2	461.1
合計	2248.4

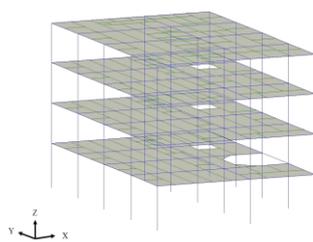
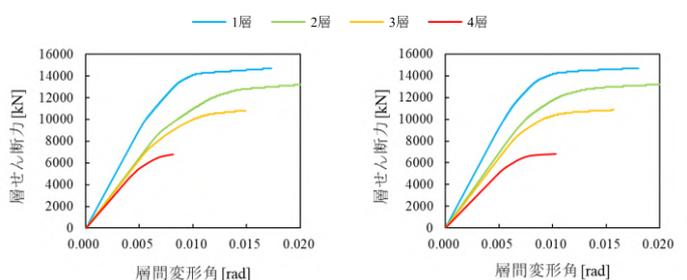


図5 解析モデル



(a) X方向

(b) Y方向

図6 層せん断力—層間変形図

のせん断耐力はせん断用断面積と降伏強度を乗じて算出した。作成した解析モデルの各階質量を表1に示す。また作成した解析モデルの一次固有周期はX方向0.75秒、Y方向0.74秒であった。

3. 静的増分解析結果

前章で作成した解析モデルを用いて、いずれかの層が最大層間変形角 1/3 rad に至るまでを目標として、X方向、Y方向それぞれで静的増分解析を行う。ここでは、いずれかの層における最大層間変形角が 1/50 rad に至るまでの静的増分解析結果を抽出し、層せん断力—層間変形角図として図6に示す。図6より、両方向とも2層が先行して変形していることが分かる。また、図7の1/100 rad 時の塑性ヒンジ発生状況、図8の1/50 rad 時の塑性ヒンジ発生状況からわかる通り、両方向とも梁から塑性化が進行しており、他の構面も同様の傾向が見られた。

4. 各性能評価項目の検討

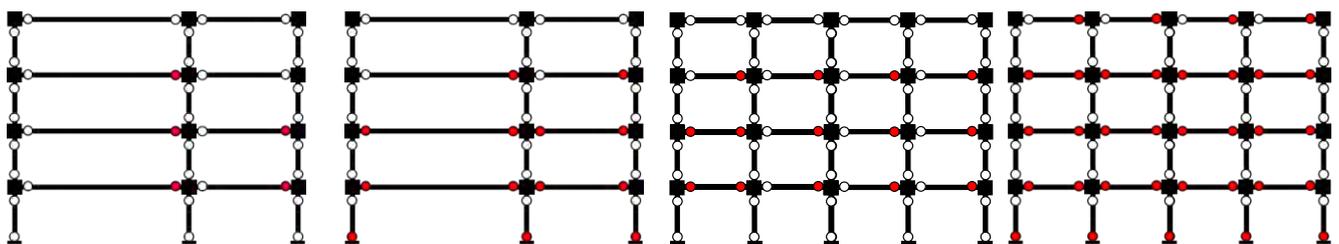
既報¹⁾と同様の手法で、最大層間変形角 1/3 rad までの静的増分解析結果を用いて北村ら⁴⁾⁵⁾が定めた性能評価項目を算定し、既報¹⁾の純ラーメン実大震動台実験試験体と耐震ブレース付き鉄骨造建物との比較を行う。北村らの提案する性能評価項目のうち、静的増分解析結果から算出することのできる層間変形角 R 、塑性率 μ 、塑性ヒンジ発生率 γ に着目して、解析モデルの静的増分解析結果と北村らが定めた損傷限界、安全限界余裕度 I、安全限界余裕度 II、安全限界の4段階の閾値（以下、性能判断基準値）を比較する（図9、図10）。塑性ヒンジ発生率 γ は各層で塑性ヒンジが発生している部材端（対象部材を梁、柱とする）が1つ以上ある節点の数を層の総節点

数で除して算出した。また、塑性率 μ は、層の層間変形を各層でいずれかの部材端（ γ と同様）が初めて降伏した時の層の層間変形で除して算出した。

解析値が図中に点線で示す性能判断基準値を超える時点の層間変形角に着目すると、図9より、両方向で層間変形角 R は、塑性率 μ に比べて、概ね全層、全段階の性能判断基準値で、小さい層間変形角で性能判断基準値を超えることが分かる。図10より、X方向の1層、4層の損傷限界、1層、3層、4層の安全限界余裕度 I、1層の安全限界、Y方向の1層の損傷限界、1層、4層の安全限界余裕度 I を除く性能判断基準値に関しては、層間変形角 R は、塑性ヒンジ発生率 γ に比べて、小さい層間変形角で性能判断基準値を超えることが分かる。対して両方向、全層の安全限界余裕度 II に関しては、塑性ヒンジ発生率 γ は、層間変形角 R に比べて、小さい層間変形角で性能判断基準値を超えることが分かる。また、Y方向の1層、2層の安全限界値に関しては、層間変形角 R は、塑性ヒンジ発生率 γ に比べて、全層の性能判断基準値で、小さい層間変形角で性能判断基準値を超えることが分かる。これは、図1の③通りのB~Dにおける梁の部材端をピン接合で設定しており、塑性化せず、塑性ヒンジ発生率 γ が安全限界の100%まで達しないことが要因と考えられる。

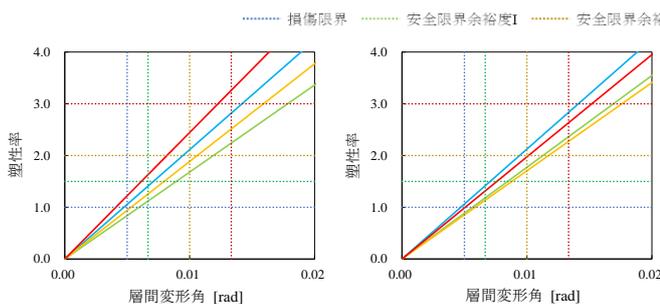
3つの評価項目それぞれで性能判断基準値を超える時点の層間変形角を抽出し、各層各方向におけるそれらの最小値を代表値として被害推定指標を作成して図11に示す。両方向で3つの評価項目のうち、塑性ヒンジ発生率 γ が概ね被害推定指標に代表値として反映されていることが分かる。

● 塑性化した梁端部および柱端部

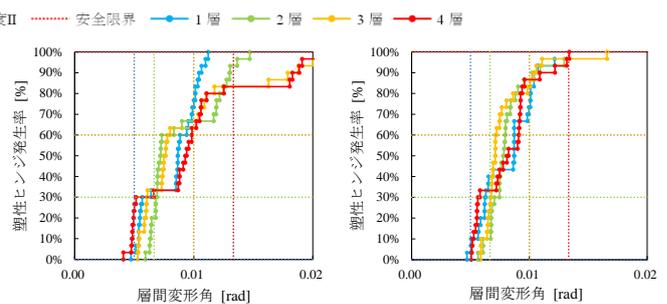


(a) 1/100 rad (b) 1/50 rad
図7 塑性ヒンジ発生状況 (A構面)

(a) 1/100 rad (b) 1/50 rad
図8 塑性ヒンジ発生状況 (①構面)



(a) X方向 (b) Y方向
図9 塑性率 μ と層間変形角 R の比較



(a) X方向 (b) Y方向
図10 塑性ヒンジ発生率 γ と層間変形角 R の比較

5. 被害推定指標の比較

本研究で提案した被害推定指標を図12に、既報¹⁾の純ラーメン実大震動台実験試験体および耐震ブレース付き実建物で提案された被害推定指標を図13、図14にそれぞれ示す。図12～図14を用いて、被害推定指標を比較検討する。

本研究で作成した純ラーメン実建物の被害推定指標は、前章で述べた通り、両方向で塑性ヒンジ発生率 γ の性能判断基準値が概ね被害推定指標の代表値に反映されている。対して、純ラーメン実大震動台実験試験体の被害推定指標は、両方向で層間変形角 R の性能判断基準値が概ね被害推定指標の代表値に反映されており、純ラーメン実建物とは異なる傾向が見られた。これは、純ラーメン

実大震動台実験試験体は完全崩壊が起りやすい設計がされており、建物の変形が大きくなるため、性能評価項目のうち層間変形角 R の性能判断基準値が最も小さくなると考えられる。

図12に示す本研究で作成した被害推定指標と図13に示す純ラーメン実大震動台実験試験体の被害推定指標の性能判断基準値を比較すると、安全限界余裕度IIに関しては、両方向、全層において本研究で作成した被害推定指標の性能判断基準値の方が小さいことが分かる。また、Y方向の安全限界値を除く1層に関して本研究で作成した被害推定指標の性能判断基準値の方が小さいことが分かる。これは、純ラーメン実大震動台実験試験体の被害推定指標は、前述の理由から性能評価項目のうち層間

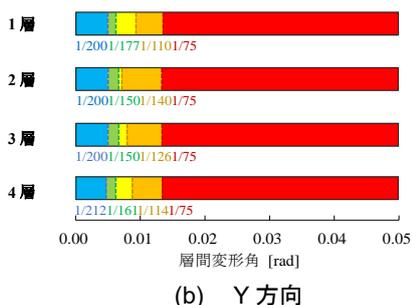
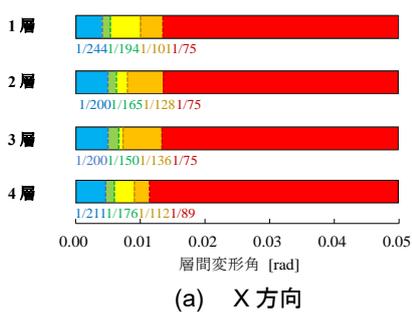
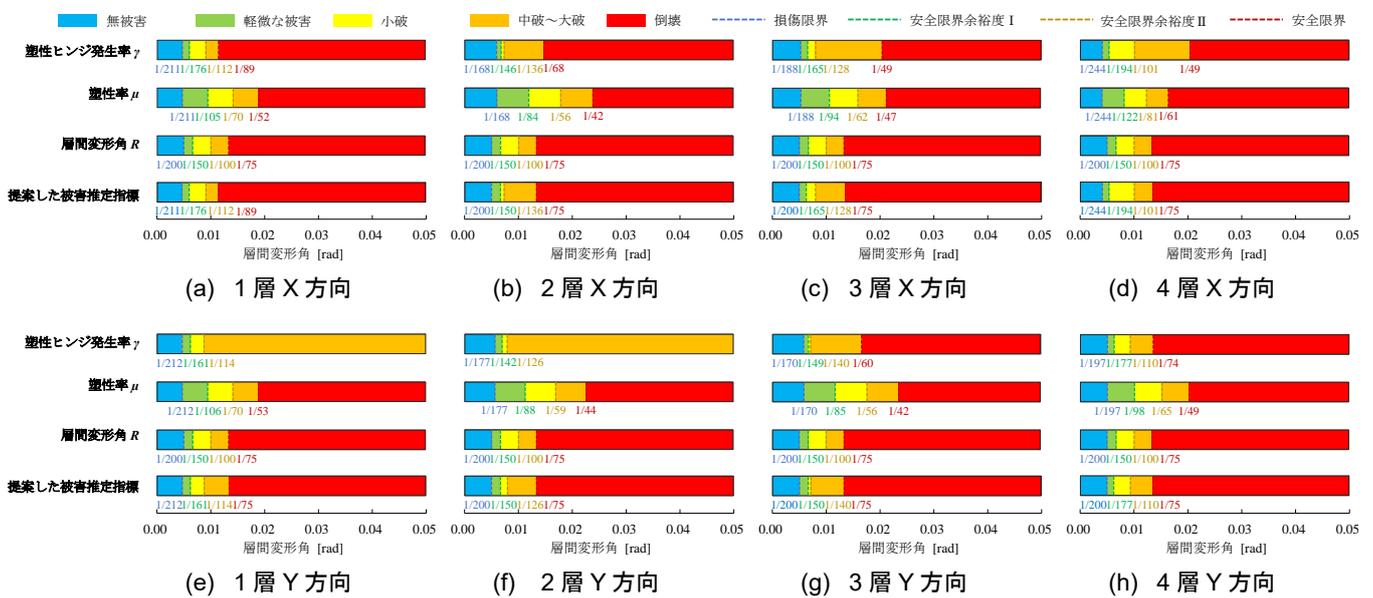


図12 提案する被害推定指標
(純ラーメン実建物)

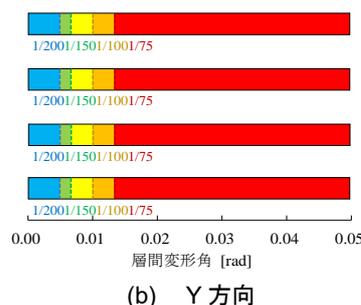
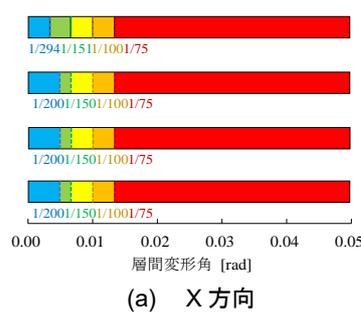


図13 提案する被害推定指標¹⁾
(純ラーメン震動台実験試験体)

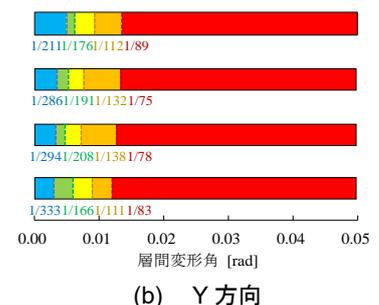
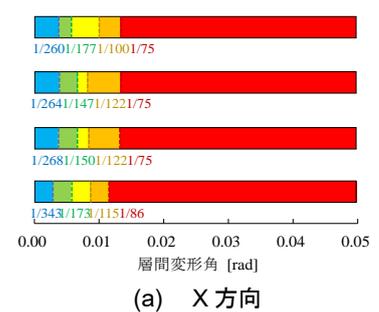


図14 提案する被害推定指標¹⁾
(耐震ブレース付き実建物)

変形角 R の性能判断基準値が採用されているのに対して、本研究で作成した被害推定指標は層間変形角 R に加えて、塑性ヒンジ発生率 γ も性能判断基準値として採用されているためと考えられる。それ以外の性能判断基準値に関しては、X 方向の 4 層の損傷限界、3 層、4 層の安全限界余裕度 I 、Y 方向の 4 層の安全限界余裕度 I を除く性能判断基準値で純ラーメン実建物と純ラーメン実大震動台実験試験体の性能判断基準値が一致した。これは、どちらの建物も層間変形角 R の性能判断基準値が採用されているためである。よって、全体的な傾向として、本研究の被害推定指標の性能判断基準値は、概ね純ラーメン実大震動台実験試験体の被害推定指標の性能判断基準値よりも小さくなる、もしくは一致することが分かる。

耐震ブレース付き実建物の被害推定指標は、両方向で 1 層は塑性率 μ の性能判断基準値が、2~4 層は塑性ヒンジ発生率 γ の性能判断基準値が概ね被害推定指標の代表値に反映されており、純ラーメン実建物とは異なる傾向が見られた。これは、耐震ブレース付き構造ではブレースが先行して降伏するため、ブレースを主とした部材の塑性化に関係する性能評価項目である塑性率 μ と塑性ヒンジ発生率 γ の性能判断基準値が反映されたためだと考えられる。

図 12 に示す本研究で作成した被害推定指標と図 14 に示す耐震ブレース付き実建物の被害推定指標の性能判断基準値を比較すると、損傷限界に関しては、全層、両方向において耐震ブレース付き鉄骨造建物の被害推定指標の性能判断基準値の方が小さいことが分かる。これは、前述の理由からブレースを主とした部材の塑性化に依存する塑性率 μ と塑性ヒンジ発生率 γ が大きくなり、性能判断基準値に至る層間変形角も小さくなることが要因として考えられる。それ以外の性能判断基準値に関しては、X 方向の 2 層の安全限界余裕度 I 、2 層から 4 層の安全限界、Y 方向の 2 層、3 層の安全限界余裕度 I 、安全限界を除く性能判断基準値で本研究で作成した被害推定指標の性能判断基準値の方が小さいことが分かる。全体的な傾向として、本研究の被害推定指標の性能判断基準値は、概ね耐震ブレース付き実建物の被害推定指標の性能判断基準値よりも小さくなる、もしくは一致することが分かる。

6. まとめ

本研究では、4 階建て純ラーメン鉄骨造建物を対象として被害推定指標を作成し、既報¹⁾の 4 階建て純ラーメン実大震動台実験試験体と 4 階建て耐震ブレース付き鉄骨造建物を対象とした指標との比較を行うことで、異なる構造形式の被害推定指標の傾向について検証した。以

下で得られた知見を示す。

- 1) 本研究で作成した被害推定指標は、性能評価項目のうち、塑性ヒンジ発生率 γ の性能判断基準値が概ね代表値として採用されていた。対して、純ラーメン震動台実験試験体は、層間変形角 R の性能判断基準値が被害推定指標に採用されており、両方向、全層、各段階の閾値で概ね本研究の性能判断基準値の方が小さくなる、または一致する傾向が見られた。
- 2) 耐震ブレース付き実建物は、塑性率 μ と塑性ヒンジ発生率 γ の性能判断基準値が被害推定指標に採用されており、損傷限界に関しては、両方向で耐震ブレース付き実建物の性能判断基準値の方が小さくなる傾向が見られた。それ以外の性能判断基準値に関しては、X 方向の 2 層の安全限界余裕度 I 、2 層から 4 層の安全限界、Y 方向の 2 層、3 層の安全限界余裕度 I 、安全限界を除く性能判断基準値で本研究の性能判断基準値の方が小さくなることが分かったが、全体的な傾向では、概ね耐震ブレース付き実建物の性能判断基準値の方が小さくなる、または一致する傾向が見られた。

今後、地震応答解析を行うことで、北村ら^{3),4)}が示す性能判断基準値のうち、本研究で扱った層間変形角 R 、塑性率 μ 、塑性ヒンジ発生率 γ に加えて、床加速度 α 、累積塑性変形倍率 η についても検討し、すべての性能評価項目を総合評価した被害推定指標の構築を目指す。

参考文献

- 1) 秋山虎太郎, 山口実愛, 宮本慎宏, 西内佑太, 日根居亮佑: 耐震ブレース付き鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第 25 号, pp.21-24, 2025.03
- 2) 秋山虎太郎, 宮本慎宏, 高鶴裕也, 住友拓哉, 木戸智之, 林莉穂: 鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.853-854, 2024.07
- 3) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, pp.77-99, 2023.08
- 4) 北村春幸, 宮内洋二, 福島順一, 深田良雄, 森伸之: 性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 576 号, pp.47-54, 2004.02
- 5) 北村春幸, 宮内洋二, 浦本弥樹: 性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究, JSCA 耐震性能メニューの安全限界値と余裕度レベルの検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 604 号, pp.183-191, 2006.06

^{*1} 香川大学 創造工学部 学部生

^{*2} 香川大学大学院 創発科学研究科 大学院生

^{*3} 香川大学 創造工学部 教授 博士(工学)

^{*4} 株式会社四国総合研究所

^{*5} 四国電力株式会社

^{*1} Undergrad. Student, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ.

^{*2} Graduate Student, Graduate School of Science for Creative Emergence, Kagawa Univ.

^{*3} Prof., Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

^{*4} Shikoku Research Institute Inc.

^{*5} Shikoku Electric Power Company, Inc.

耐震ブレース付き鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究
(その2) 地震応答解析結果に基づく被害推定指標の検討

2. 構造—10. 鉄骨構造	正会員	○秋山 虎太郎*1	同	日根居 亮佑*4
地震応答解析	同	宮本 慎宏*2	同	坂本 潤哉*5
被害推定指標	同	西内 佑太*3		
事務所建物				

1. はじめに

四国域内の鉄骨造事務所建物の構造特性を考慮した被害推定指標を作成する手法の構築を目指して、既報^{1),2),3)}では、静的増分解析結果を用いて層間変形角のみの被害推定指標を作成し、震動台実験試験体を用いて妥当性を評価した上で、各構造形式の実建物を対象に指標の比較を行った。しかし、参考としている既往研究⁴⁾では地震応答解析結果に基づいて複数の評価項目を用いた指標を作成しているため、既報^{1),2),3)}の静的増分解析結果のみを用いた検証では不十分であり、地震応答解析結果を用いた指標の作成手法についての検証も行う必要がある。

以上のことから、本報では、既報^{1),2),3)}で示した4階建て耐震ブレース付き鉄骨造事務所建物（以下、耐震ブレース付）及び4階建て純ラーメン鉄骨造事務所建物（以下、純ラーメン）を対象として、既往研究⁴⁾を参考に、地震応答解析結果に基づく各評価項目における各被災度区分の境界値（以下、被害推定指標）を算定し、算定した指標を基に構造形式による被害推定指標の比較検討を目的とする。

2. 被害推定指標の作成手法提案

既往研究⁴⁾で定められた性能判断基準値を表1に示す。性能判断基準値は、被災度が無被害から軽微へと変わる境界値を損傷限界、軽微から小破へと変わる境界値を安全限界余裕度Ⅰ、小破から中破～大破へと変わる境界値を安全限界余裕度Ⅱ、中破～大破から倒壊へと変わる境界値を安全限界として定めた4段階のしきい値である。本研究では、この4段階のしきい値を併せて被害推定指標とする。また、本研究では、層間変形角 R 、床加速度 α および塑性ヒンジ発生率 γ については、北村ら⁴⁾が定めた性能判断基準値を被害推定指標としてそのまま適用する。

本章では、既報^{1),2),3)}で示されている対象建物の立体解析モデルを用いてそれぞれ地震応答解析を行い、解析結果を基に層の塑性率 μ 、層の累積塑性変形倍率 η 、部材の塑性率 μ_m 、部材の累積塑性変形倍率 η_m の被害推定指標を作成する。

2.1 地震応答解析の概要

地震応答解析の条件として、減衰は初期剛性比例型、減衰定数は両建物とも2%とする。解析方法はNewmark- β 法($\beta=1/4$)とし、耐震ブレース付の積分時間間隔は各入力地震動のサンプリング時間の1/50、純ラーメンの積分時間間隔は各入力地震動のサンプリング時間の1/1とする。地震応答解析に用いる入力波は、既往研究⁴⁾と同様に、標準波としてHACHINOHE 1968 EW(以下、八戸)、直下型地震動としてJMA KOBE 1995 NS(以下、神戸)、長周期地震動としてTOMAKOMAI 2003 EW(以下、苫小牧)を採用し、建築基準法の解放工学的基盤の速度応答スペクトルに一致させた上述の異なる位相特性を有する1次元の模擬波3波を入力地震動として地震応答解析を行う。模擬波の継続時間はそれぞれ163.83秒、120.00秒、327.67秒であり、X方向、Y方向にそれぞれ1方向入力を行う。図1に作成した模擬波の速度応答スペクトルを示す。

既往研究⁴⁾では、速度応答スペクトルにおける長周期領域の速度 S_v (以下、 S_v)が $S_v=80,100,125,150,200$ cm/sとなるレベル2の模擬地震動を入力波として用いている。しかし、1章で述べた通り、各建物固有の指標作成を目的としていることを踏まえ、本研究では被害推定指標作成に用いる地震応答解析の入力レベルを以下の手法で定める。まず、前述した3つの入力波について、 S_v を0から10 cm/sずつ増加させ、初めて各入力波各方向全てでいずれかの部材が塑性化に至った S_v を、部材がある程度塑性化したと捉えて、安全限界余裕度Ⅰ相当の最小の S_v とする。本研究では地震応答解析結果より、耐震ブレース付の最小の S_v として30 cm/sを、純ラーメンの最小の S_v として40 cm/sを採用する。次に、既往研究⁴⁾で指標の基準とされている層間変形角 R の被害推定指標におけるしきい値は、安全限界はそれぞれ安全限界余裕度Ⅰの2倍、安全限界余裕度Ⅱの1.33倍である。塑性率、累積塑性変形倍率の安全限界余裕度Ⅰ、安全限界余裕度Ⅱを算定する際には、この比率関係が用いられるため、最小の S_v との平均最大層間変形角の比率が初めて2倍を超

えた時点の S_v を最大の S_v とする。このとき、平均最大層間変形角の比率とは、各 S_v について、各入力波各層各方向の最大層間変形角の平均値とする。図2および図3に各建物について、各 S_v における最小の S_v を基準とした最大層間変形角の比率を10 cm/s 刻みで示す。図2および図3より、耐震ブレース付の最大の S_v として70 cm/s を、純ラーメンの最大の S_v として130 cm/s を採用する。以上より、耐震ブレース付では $S_v = 30 \sim 70$ (10 cm/s 刻み) となる入力波 (以下、 S_v 30~ S_v 70) とし、純ラーメンでは $S_v = 40 \sim 130$ (10 cm/s 刻み) となる入力波 (以下、 S_v 40~ S_v 130) とした地震応答解析結果を用いて被害推定指標を作成する。

2.2 塑性率及び累積塑性変形倍率の算定方法

層の塑性率 μ は、層を構成するいずれかの部材が初めて降伏したときの層間変位で最大層間変位を除いて算出する。部材の塑性率 μ_m は、式(1)で定義され⁵⁾、各地震波各方向で全部材を対象として全層の最大値を用いる。

$$\mu_m = \frac{d}{d_y} \quad (1)$$

ここで d は最大変形、 d_y は降伏耐力に達したときの変形とする。

層の累積塑性変形倍率 η は、各加振における層の塑性履歴エネルギー (履歴ループ面積の累積値) を $Q_{eq} \cdot \delta_{eq}$ で除することで算出する。ここで $Q_{eq} \cdot \delta_{eq}$ は、図4に示す通り、各層各方向の静的増分解析結果から得ら

れる荷重—変形関係を、層間変形角 1/75 rad 時の履歴面積が等しくなるようにバイリニア置換したときの降伏点におけるせん断力 Q_{eq} と層間変位 δ_{eq} の積である。部材の累積塑性変形倍率 η_m は、式(2)で定義され⁵⁾、各地震波各方向で全部材を対象として全層の最大値を用いる。

$$\eta_m = \frac{\sum d_c + \sum d_p}{d_y} \quad (2)$$

ここで $\sum d_c + \sum d_p$ は、塑性化後の総変形である。

被害推定指標の算定に用いる層および部材の塑性率および累積塑性変形倍率は、それぞれ各地震波各方向で全層の最大値とする。

2.3 部材の塑性率及び累積塑性変形倍率の指標算定

まず、既往研究⁴⁾より本研究にそのまま適用する被害推定指標について述べる。既往研究⁴⁾より、部材の塑性率 μ_m の損傷限界は塑性率の起点を考慮して1.0とする。また、部材の累積塑性変形倍率 η_m の損傷限界は累積塑性変形倍率の起点を考慮して0とする。これは層の塑性率 μ 、層の累積塑性変形倍率 η についてもそれぞれ同様の値とする。部材の塑性率 μ_m の安全限界は、既往研究⁴⁾同様に $\mu_{mu} = 5.0$ とする。部材の累積塑性変形倍率 η_m の安全限界は、既往研究⁴⁾より、耐震ブレース付の接合様式は JASS6 型であったため $\eta_{mu} = 21.5$ とし、純ラーメンの接合様式はノンスラップであったため $\eta_{mu} = 36.5$ とする。

次に、塑性率及び累積塑性変形倍率と最大層間変形

表1 北村らの性能判断基準値

対象	性能評価項目	単位	損傷限界	安全限界 余裕度 I	安全限界 余裕度 II	安全限界	
建物の挙動	層間変形角 R	rad	1/200	1/150	1/100	1/75	
	床加速度 α	m/s ²	-	2.5	5.0	10.0	
構造体	構造骨組	塑性率 μ	-	1.0	μ_u/r_1	μ_u/r_2	μ_u
		累積塑性変形倍率 η	-	0	η_u/r_1	η_u/r_2	η_u
	構造部材	塑性率 μ_m	-	1.0	μ_{mu}/r_1	μ_{mu}/r_2	μ_{mu}
		累積塑性変形倍率 η_m	-	0	η_{mu}/r_1	η_{mu}/r_2	η_{mu}
建物の「目標とする状態」			無被害	軽微な被害	小破	中破~大破	倒壊

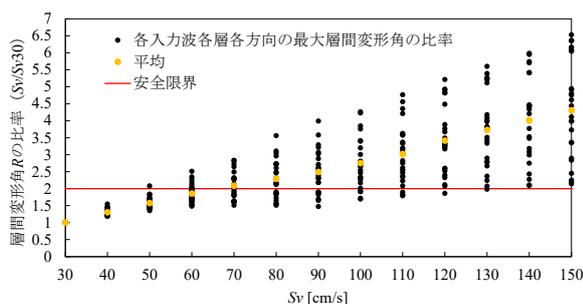


図2 S_v 30 を基準とした層間変形角の比率 (耐震ブレース付)

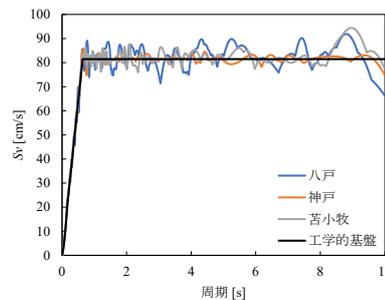


図1 速度応答スペクトル ($h=0.05$)

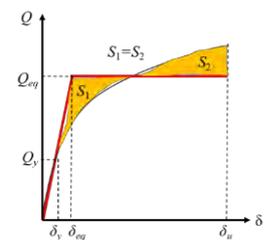


図4 バイリニア置換

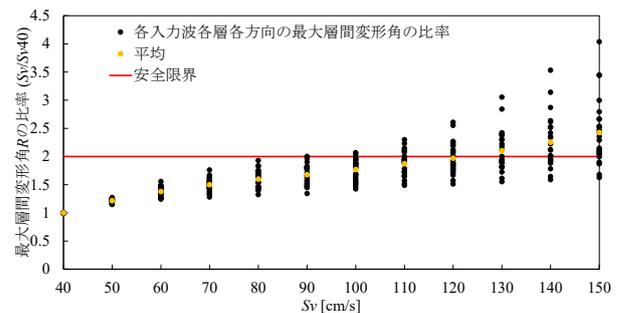


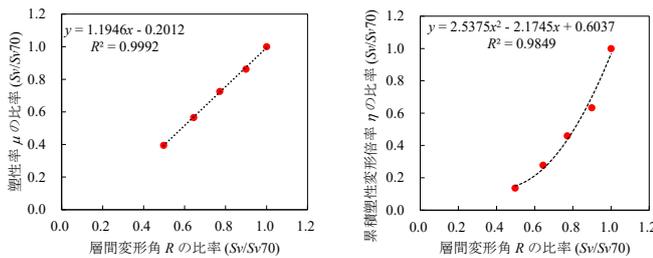
図3 S_v 40 を基準とした層間変形角の比率 (純ラーメン)

角を用いて、層の塑性率 μ 、層の累積塑性変形倍率 η の安全限界および層の塑性率 μ 、層の累積塑性変形倍率 η 、部材の塑性率 μ_m 、部材の累積塑性変形倍率 η_m の安全限界余裕度I、安全限界余裕度IIをそれぞれ算定する。既往研究⁴⁾で指標の基準とされている層間変形角 R の被害推定指標では、最大のしきい値である安全限界1/75 radに対して、安全限界余裕度Iは1/2倍の関係にある1/150 rad、安全限界余裕度IIでは3/4倍の関係にある1/100 radとされている。2.1節より、安全限界に相当する入力レベルは耐震ブレース付でSv 70、純ラーメンでSv 130であったため、塑性率、累積塑性変形倍率についても、これらのSvの塑性率、累積塑性変形倍率を基準として、各入力レベルの塑性率、累積塑性変形倍率の比率をそれぞれ算出し、層と部材で平均化して図5および図6にそれぞれ示す。既往研究⁴⁾より、塑性率の比率は層間変形角の比率と線形関係、累積塑性変形倍率の比率は層間変形角の比率と二乗関係であったことを考慮して、塑性率では1次式、累積

塑性変形倍率では2次式に近似して図5および図6に併せて示す。この近似式の x に1/2, 3/4をそれぞれ代入したときの y を、部材の塑性率、累積塑性変形倍率の安全限界 μ_{mu} 、 η_{mu} にそれぞれ乗じることで、部材の塑性率 μ_m 、部材の累積塑性変形倍率 η_m における安全限界余裕度I、安全限界余裕度IIを算定する。算定した結果を表1に示す変数部分の μ_{mu}/r_1 、 μ_{mu}/r_2 、 η_{mu}/r_1 、 η_{mu}/r_2 にそれぞれ当てはめる形で表2および表3に各建物の指標を示す。

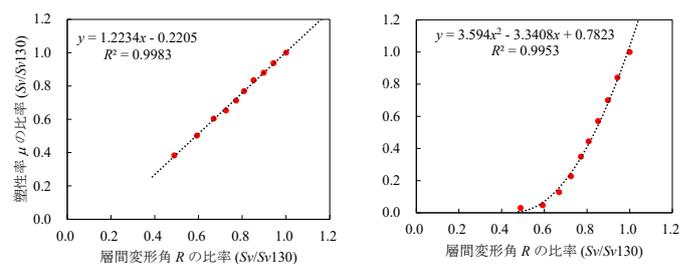
2.4 層の塑性率及び累積塑性変形倍率の指標算定

各入力波各方向の層の塑性率と部材の塑性率を線形回帰した各建物の結果を図7(a)および図8(a)に示す。北村ら⁴⁾は、(0,0)を原点として線形回帰を行っているが、塑性率の起点は1.0であることを考慮して本研究では(1,1)を起点とした線形回帰を行う。算出した近似式を図7(a)および図8(a)に併せて示す。この近似式の x に部材の塑性率 μ_m の安全限界余裕度I、安全限界余裕度II、安全限界をそれぞれ代入して求められ



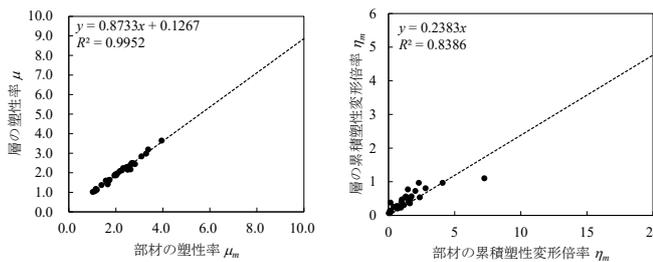
(a) 塑性率 (b) 累積塑性変形倍率

図5 Sv70を基準とした比率（耐震ブレース付）



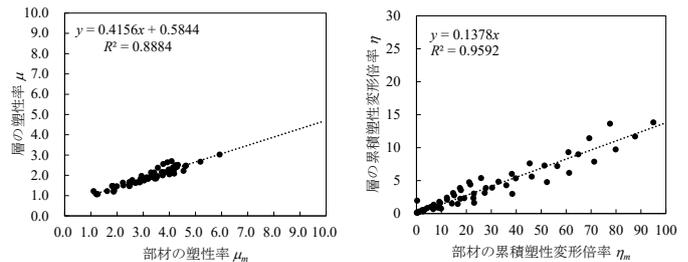
(a) 塑性率 (b) 累積塑性変形倍率

図6 Sv130を基準とした比率（純ラーメン）



(a) 塑性率 (b) 累積塑性変形倍率

図7 層と部材の関係（耐震ブレース付）



(a) 塑性率 (b) 累積塑性変形倍率

図8 層と部材の関係（純ラーメン）

表2 作成した被害推定指標（耐震ブレース付）

対象	性能評価項目	単位	損傷限界	安全限界余裕度 I	安全限界余裕度 II	安全限界	
建物挙動	層間変形角 R	rad	1/200	1/150	1/100	1/75	
	床加速度 α	m/s ²	-	2.50	5.00	10.0	
構造体	構造骨組	塑性率 μ	-	1.0	1.86	3.16	4.49
		累積塑性変形倍率 η	-	0	$0.773(\delta_y/\delta_{eq})$	$2.05(\delta_y/\delta_{eq})$	$5.12(\delta_y/\delta_{eq})$
		塑性ヒンジ発生率 γ	%	0	30.0	60.0	100
	構造部材	塑性率 μ_m	-	1.00	1.98	3.47	5.00
		累積塑性変形倍率 η_m	-	0	3.24	8.60	21.5
建物の「目標とする状態」			無被害	軽微な被害	小破	中破~大破	倒壊

表3 作成した被害推定指標（純ラーメン）

対象	性能評価項目	単位	損傷限界	安全限界余裕度 I	安全限界余裕度 II	安全限界	
建物挙動	層間変形角 R	rad	1/200	1/150	1/100	1/75	
	床加速度 α	m/s ²	-	2.50	5.00	10.0	
構造体	構造骨組	塑性率 μ	-	1.000	1.40	2.03	2.66
		累積塑性変形倍率 η	-	0	$0.052(\delta_y/\delta_{eq})$	$1.50(\delta_y/\delta_{eq})$	$5.03(\delta_y/\delta_{eq})$
		塑性ヒンジ発生率 γ	%	0	30.0	60.0	100.0
	構造部材	塑性率 μ_m	-	1.00	1.96	3.49	5.00
		累積塑性変形倍率 η_m	-	0.0	0.38	10.9	36.5
建物の「目標とする状態」			無被害	軽微な被害	小破	中破~大破	倒壊

る y を，層の塑性率 μ の安全限界余裕度 I，安全限界余裕度 II，安全限界として算定する．算定した結果を，表 1 に示す変数部分の μ_u/r_1 ， μ_u/r_2 ， μ_u にそれぞれ当てはめる形で表 2 および表 3 に各建物の指標を示す．

各入力波各方向の層の累積塑性変形倍率と部材の累積塑性変形倍率を線形回帰した各建物の結果を図 7 (b) および図 8 (b) に示す．また，算出した近似式を図 7 (b) および図 8 (b) に併せて示す．この近似式の x に部材の累積塑性変形倍率 η_m の安全限界余裕度 I，安全限界余裕度 II，安全限界をそれぞれ代入して求められる y を，層の累積塑性変形倍率 η の安全限界余裕度 I，安全限界余裕度 II，安全限界として算定する．算定した結果を，表 1 に示す変数部分の η_u/r_1 ， η_u/r_2 ， η_u にそれぞれ当てはめる形で表 2 および表 3 に各建物の指標を示す．

3. 各構造形式の被害推定指標の比較

前節で算定した層の塑性率 μ ，層の累積塑性変形倍率 η ，部材の塑性率 μ_m ，部材の累積塑性変形倍率 η_m の被害推定指標について，耐震ブレース付と純ラーメンで比較を行うことで，構造形式の差異による被害推定指標の変化を検証する．

表 2 および表 3 の層の塑性率 μ および部材の塑性率 μ_m の指標より，耐震ブレース付は，純ラーメンと比べて部材の塑性率 μ_m の指標は概ね同じ値であるが，層の塑性率 μ の指標の値は大きい．これは，図 7 (a) および図 8 (a) を見てもわかる通り，層の塑性率 μ の指標を算定する際に用いる層の塑性率と部材の塑性率を線形回帰したときの係数が，耐震ブレース付が純ラーメンの約 2 倍であることが要因と考える．このような差異が生まれた要因として，最終的に梁が大きな部材塑性率となることは両建物で同じであるが，耐震ブレース付ではブレースが降伏する時の層間変形角が小さいため，層の塑性率の算定方法上，純ラーメンより起点となる層間変形角が小さく，耐震ブレース付の層の塑性率が大きくなることが考えられる．

表 2 および表 3 の層の累積塑性変形倍率 η および部材の累積塑性変形倍率 η_m の指標より，両建物の指標の値に差異は見られるものの，算定の起点となる部材の安全限界値が異なるため比較し難い．そこで，図 7 (b) および図 8 (b) の累積塑性変形倍率における層と部材の関係について比較すると，層の累積塑性変形倍率 η の指標を算定する際に用いる層の累積塑性変形倍率と部材の累積塑性変形倍率を線形回帰したときの係数が，耐震ブレース付が純ラーメンの約 2 倍弱である．このことから，接合部形式による部材の累積塑性変形

倍率 η_m の安全限界値の差異と線形回帰の係数の差異が打ち消し合い，概ね同じ値の安全限界値となることがわかった．

4. まとめ

本研究では，4 階建て耐震ブレース付き鉄骨造事務所建物および 4 階建て純ラーメン鉄骨造事務所建物を対象として地震応答解析結果に基づく被害推定指標の作成を行い，構造形式による被害推定指標の比較検討を行った．耐震ブレース付では小さい層間変形角で塑性化するブレースの影響によって純ラーメンに比べて層の塑性率の指標の値が大きくなった．

今後は，既報^{1),2)}で用いた震動台実験試験体を対象建物として本報と同様の検討を行うことで，本報の被害推定指標の作成手法の妥当性を評価する．さらに，本報を含めた各検証結果を参考として，加速度計より算出した層間変形角のみの被災度区分判定^{6),7)}に向けて，層間変形角のみの被害推定指標の作成手法の構築を目指す．

参考文献

- 1) 秋山虎太郎，宮本慎宏，高鶴裕也，住友拓哉，木戸智之，林莉穂：鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp.853-854，2024.07
- 2) 秋山虎太郎，山口実愛，宮本慎宏，西内佑太，日根居亮佑：耐震ブレース付き鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究，日本建築学会四国支部研究報告集，第 25 号，pp.21-24，2025.03
- 3) 継山平，秋山虎太郎，宮本慎宏，西内佑太，日根居亮佑：純ラーメン鉄骨造事務所建物の被害推定指標に関する研究，日本建築学会四国支部研究報告集，第 26 号，2026.03 (掲載予定)
- 4) 北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹：性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究，JSCA 耐震性能メニューの安全限界値と余裕度レベルの検討，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，pp.183-191，2006.06
- 5) 構造システム：SNAP Ver.8 テクニカルマニュアル，pp. 3-5，2021
- 6) 吉田真央，天野雄一郎，山崎崇寛，岡田将敏，宮本慎宏：無線式振動モニタリングシステムの開発（その 8）建物健全性評価システムの開発，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.1045-1046，2020.09
- 7) 山崎崇寛，天野雄一郎，大田佳奈，宮本慎宏，岡田将敏：構造ヘルスマニタリングへの適用を目的とした無線式加速度計測システムの開発，日本建築学会構造系論文集，第 84 巻，第 765 号，pp.1389-1399，2019.11

*1 香川大学大学院 創発科学研究科 大学院生

*2 香川大学 創造工学部 教授 博士 (工学)

*3 株式会社四国総合研究所

*4,5 四国電力株式会社

*1 Graduate Student, Graduate School of Science for Creative Emergence, Kagawa Univ.

*2 Prof., Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

*3 Shikoku Research Institute Inc.

*4,5 Shikoku Electric Power Company, Inc.

免震層を有する鉄骨造建物におけるブレース配置の違いが地震応答に及ぼす影響

2. 構造
免震
配置計画

2. 振動
鉄骨造
連層配置

ブレース
千鳥配置

非会員 ○西本 唯人^{*1}
正会員 白山 敦子^{*2}

1. はじめに

近年、大型物流倉庫やデータセンターの新築が増加し、大スパンの中層鉄骨造建物に免震構造を採用する事例が普及してきている。免震建物の上部構造を鉄骨造とすると、水平剛性確保のためブレースを配置する場合がある。ブレースの配置計画においては、全層にわたって、一つのスパンに連続的に配置する連層配置や上下のスパンでずらして配置する千鳥配置(市松配置)などが考えられる。一方で、付ら¹⁾が屋上階の剛性・質量が小さい免震鉄骨造物流倉庫において、屋上階の絶対加速度が他の階と比較して大きくなることを示しており、屋上階の応答を小さくするためには、ブレースを上部のみに部分配置する計画も考えられる。本研究では、免震層を有する鉄骨造建物を対象とし、連層配置や千鳥配置等のブレース配置形式の違いに着目するとともに、ブレース配置量も変化させ、時刻歴応答解析により建物の応答性状を分析する。

2. 解析モデル

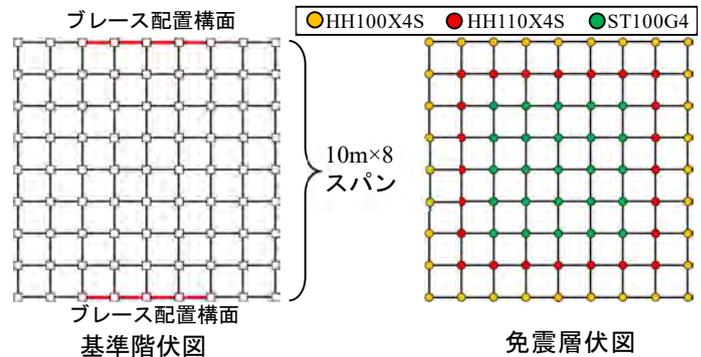
検討建物は倉庫を想定し、平面形状は 80m×80m(スパン 10m)、5 階建て(階高 6m)の基礎免震鉄骨造とする。図 1 に基準階伏図、免震層伏図、断面形状、免震部材の諸元を示す。免震部材は、高減衰ゴム系積層ゴム支承(以下、「HDR」)と弾性すべり支承(以下、「ST」)から構成され、HDR は、外周部 φ1000、それ以外は φ1100 とし、ST は φ1000 を採用した。

ブレースは外部 2 構面に K 型配置し、図 2 に示す通り、全層に設置するパターンと上部のみに設置するパターン、連層配置と千鳥配置の 4 種類とする。表 1 に示すブレース断面形状²⁾、圧縮耐力および引張耐力の異なる 3 ケースを比較する。尚、材質は STKN400 である。

表 2 には、フレームのみの各階の重量 W_i および初期剛性 K を示している。また、ブレース配置方法ごとのブレース剛性比を示している。

復元力特性は、鉄骨フレームおよびブレース材はバイリニアモデル、HDR は歪依存型バイリニアモデル、ST は完全バイリニアモデルとする。内部粘性減衰は、剛性比例型とし、上部構造の 1 次モードの固有周期 1.6 秒に対する減衰定数は 1% とする。

入力地震動は、極めて稀に発生する地震動として 50 kine に基準化した標準波 3 波(El Centro NS 波, Taft EW 波, Hachinohe NS 波)を採用する。



<上部構造>		<免震層>	
材質	柱: BCP325, BCR295、梁: SN490	積層ゴム支承 (56 基)	
柱断面	1,2階: □-550×550×22 3階: □-500×500×19 4階: □-450×450×19 5階: □-350×350×16	梁断面	1階: H-900×350×16×28 2階: H-900×300×16×25 3階: H-800×300×16×25 4,5階: H-700×300×16×25 RF階: H-600×300×16×22
		・せん断弾性率 0.392N/mm ²	
		・等価減衰定数 0.240	
		弾性すべり支承 (25 基)	
		・動摩擦係数 0.007	

図 1 解析モデル

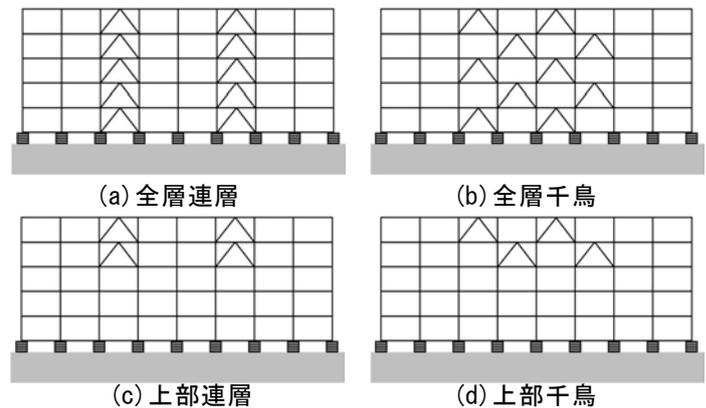


図 2 ブレース配置

表 1 ブレースの断面性能

モデル	部材形状	断面積 (cm ²)	圧縮耐力 (kN)	引張耐力 (kN)
Case1	φ 139.8×4.5	19.13	101	450
Case2	φ 216.3×7.0	46.03	556	1086
Case3	φ 318.5×7.9	77.09	1347	1812

表 2 フレーム諸元およびブレース剛性

階	W_i (kN)	K ($\times 10^5$ kN/m)	ブレース剛性比 (ブレース剛性/層全体剛性)											
			Case1				Case2				Case3			
			(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
5F	11017	2.34	0.51	0.65	0.57	0.69	0.74	1.24	1.05	1.65	0.83	1.92	1.33	4.46
4F	72703	6.07	0.23	0.26	0.25	0.26	0.41	0.51	0.52	0.57	0.58	0.82	0.79	5.07
3F	73045	7.58	0.19	0.21	/	/	0.36	0.42	/	/	0.54	0.68	/	/
2F	73633	10.60	0.14	0.15	/	/	0.27	0.30	/	/	0.42	0.49	/	/
1F	74130	11.89	0.13	0.14	/	/	0.27	0.27	/	/	0.43	0.45	/	/
免震層	73132													

3. 地震応答解析結果

各入力地震動におけるケースごとの免震層の最大変形量を表3に示す。また、上部構造の最大応答層せん断力係数を図6に、最大応答加速度を図7に示す。

表3の免震層の最大変形量について、ブレース配置の違いに関わらず、配置量が多く、剛性が大きくなるにつれ、変形量が大きくなるのがわかる。

図6の最大層せん断力係数では、ブレースを配置することにより、最上階の応答が、フレームモデルの最大で49%まで低減しており、ブレースを設置することによる応答低減効果がみられた。配置形式については、同じブレース量でも、概ね連層配置に比べて千鳥配置のほうが応答は小さくなるのがわかった。この傾向は、特に最上階で顕著である。また、配置量の違いに着目すると、Case3のTaft波のように、上部のみの配置の方が全層配置に比べて小さい応答を示す場合も見られた。

図7の最大応答加速度でも、最上階の応答は、ブレースを配置することにより、最大で半分程度まで低減することわかった。しかし、Case3のHachinohe波のようにブレース配置モデルがフレームモデルの応答値を上回るケースも確認された。また、配置形式の違いについて、概ね連層配置より千鳥配置の方が応答は小さくなるのがわかった。この傾向は、Case3で顕著である。一方で、Case3のTaft波およびHachinohe波では、1,2階の応答が連層配置の方が小さいなど、逆の傾向も見られた。

表3 免震層最大変形量 (mm)

	フレーム	Case1				Case2				Case3			
		(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
El Centro NS	227	231	231	228	228	236	236	230	230	239	239	231	231
Taft EW	120	120	120	120	120	121	120	120	119	121	120	119	119
Hachinohe NS	77	81	81	79	79	86	89	78	78	95	99	77	77

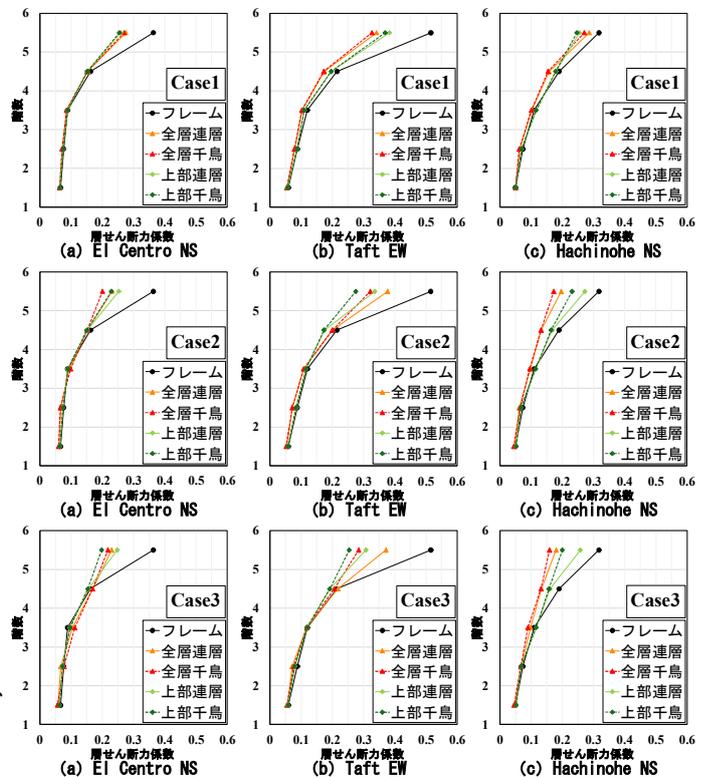


図6 最大層せん断力係数

4. まとめ

本研究では、ブレース配置の違いによる免震鉄骨造建物の応答特性について、50kine に基準化した標準波3波を用いて時刻歴応答解析を行った。

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- 1) ブレースを配置することにより、上部構造の応答は低減し、一定の効果が見られた。これは、特に屋上階で顕著であった。
- 2) 同じブレース量で比較した場合、ほとんどのケースで、連層配置よりも千鳥配置の方が、応答の低減に効果的であった。
- 3) ブレース配置量については、概ねブレース量が多い方が応答の低減には効果的である。一方で、上部のみのブレース配置の場合でも、応答の低減に一定の効果が見られることがわかった。

参考文献

- 1) 付慧鑫 他：屋上階の質量・剛性が小さい免震鉄骨造物流倉庫を用いた各種設計用せん断力係数分布の考察、日本建築学会技術報告集 第23巻 第56号、pp.59-64、2017年2月
- 2) JFE スチール：STKN400 断面性能 <http://www.jfe-steel.co.jp>

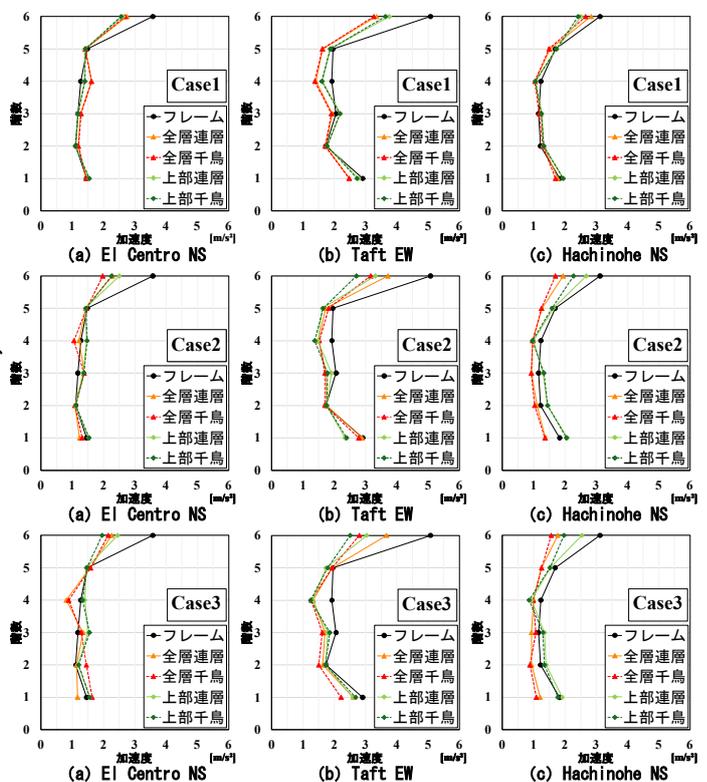


図7 最大応答加速度

*1 徳島大学 理工学部 理工学科 社会基盤デザインコース 学部生
*2 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 講師・博士(工学)

*1 Undergraduate Student, Tokushima Univ.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng

風荷重における地表面粗度区分の違いに着目した免震建物の減衰評価

2. 構造 1. 荷重・信頼性
免震建物 風荷重 地表面粗度区分 準会員 ○福島 暖空*1 正会員 白山 敦子*2
復元力特性 減衰モデル 高減衰ゴム系積層ゴム 正会員 山下 忠道*3 正会員 二宮 正行*4

1. はじめに

免震建物は、地震荷重に加え、風荷重に対しても、時刻歴応答解析により応答性状の把握を求められる場合がある。しかし、時刻歴応答解析の際、慣用的な減衰モデルと減衰定数が採用されており、適切な減衰モデル、どの程度の減衰を有するのかについては不明である。これまで、地表面粗度区分IVの風荷重を対象に、免震建物の減衰モデルについて評価を行った¹⁾。本研究では、地表面粗度区分の違いに着目し、風荷重の特性により免震建物の減衰が、どのように変化するか検討を行う。

2. 風外力の概要

風応答解析に用いる風力波形は、東京工芸大学風工学研究センターで公開される空力データベース²⁾による時刻歴風圧係数を用いて作成した。対象とする地表面粗度区分は、平坦地域に相当する地表面粗度区分IIおよび市街地に相当する地表面粗度区分IVの2ケースとし、基準風速は $V_0=34\text{m/s}$ とした。各区分に相当するべき指数 ($\alpha=1/6, 1/4$) の風圧係数に、速度圧および各質点の負担面積を乗じて算出した。風荷重はレベル2(再現期間500年相当)とし、風方向のみの一方向入力とした。図1(a)~(c)に各地表面粗度区分における頂部の時刻歴波形を示す。建物頂部における平均荷重について、地表面粗度区分IIは、IVと比較すると、10質点系では約2.7倍、20質点系では約2.2倍、30質点系では約1.8倍となった。

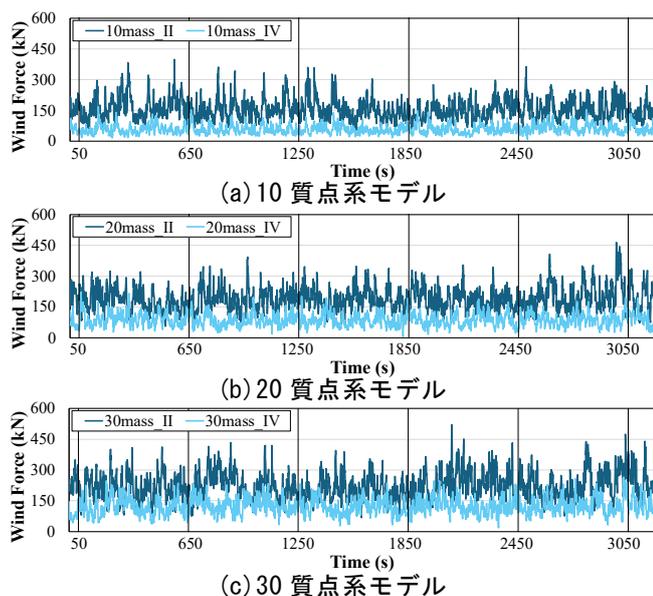


図1 風荷重の時刻歴波形

3. 解析モデルならびに検討方法

免震建物モデルの上部構造は、平面 $40\text{m} \times 40\text{m}$ (辺長比1:1)の整形な鉄骨造建物とし、10、20、30階建て(塔状比1、2、3)の3ケースを、多質点系等価せん断型モデルに置換する。各質点重量は約 10kN/m^2 、各層の剛性は A_i 分布に基づくものとした。内部粘性減衰は、免震層を固定とした各次モードに対して、風速再現期間1年の居住性評価で用いられる減衰定数を一律1%とする。

免震部材には高減衰ゴム系積層ゴム(以下、「HDR」)、X0.6Rタイプ(せん断弾性率 $G_{eq}=0.620\text{N/mm}^2$ 、等価減衰定数 $h_{eq}=0.240$)で構成し、ゴム総厚は200mm、せん断ひずみ250%で等価周期が5秒程度となるように設定した。HDRの復元力特性には、修正パイリニアモデル(以下、「MBLモデル」)および風荷重において水平クリープ特性を表現できる変形履歴積分型弾塑性復元力モデル(以下、「DHIモデル」)³⁾を用いる。尚、免震部材の内部粘性減衰は0%とした。

内部粘性減衰の評価方法については、図2に示すように免震建物モデルと同程度の応答が得られる免震層固定としたモデルの減衰定数を各層の応答層せん断力の二乗平均平方誤差(R.M.S.E.)を用いて探索・抽出する。免震層固定モデルに用いる上部構造の内部粘性減衰はモード別減衰：一律減衰、剛性比例減衰、レーリー減衰、質量比例減衰の4ケースについて減衰定数を0.1%毎に変化させる。

評価時間は600秒(10分)とし、入力初期には50秒の導入部を設けた。5ケースのアンサンブル平均について減衰定数を算出する。

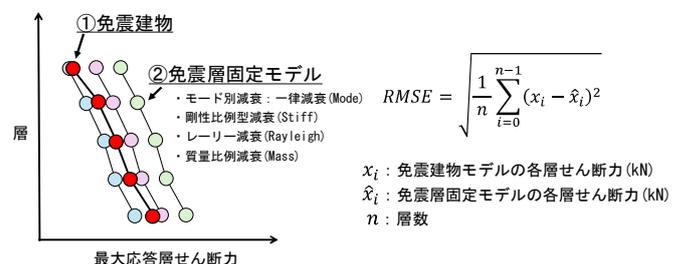
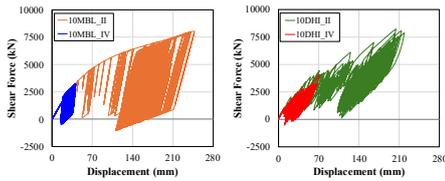


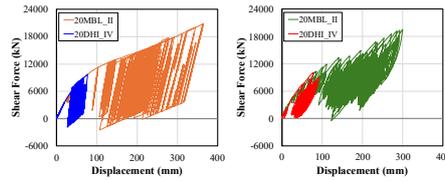
図2 減衰定数の算出方法

4. 風応答解析結果

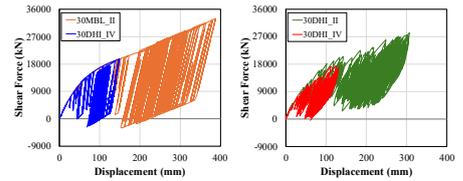
図3~図6に、地表面粗度区分IIとIVの場合における、各質点系モデルの免震層の履歴性状を示す。また、図7~図9にR.M.S.E.と減衰定数の関係を表1~表3にR.M.S.E.が最小となる減衰定数値を示す。



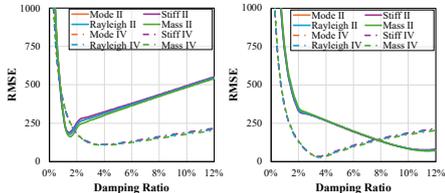
(a) MBL モデル (b) DHI モデル
図 3 免震層の履歴性状：10 質点系



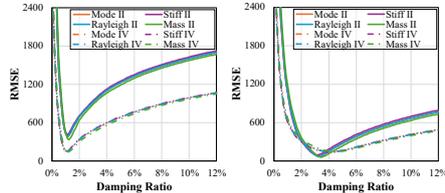
(a) MBL モデル (b) DHI モデル
図 4 免震層の履歴性状：20 質点系



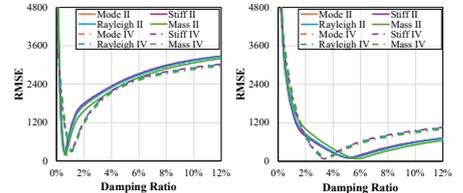
(a) MBL モデル (b) DHI モデル
図 5 免震層の履歴性状：20 質点系



(a) MBL モデル (b) DHI モデル
図 6 減衰定数：10 質点系



(a) MBL モデル (b) DHI モデル
図 7 減衰定数：20 質点系



(a) MBL モデル (b) DHI モデル
図 8 減衰定数：30 質点系

表 1 減衰定数の値 (%)：10 質点系

	II		IV	
	MBL	DHI	MBL	DHI
Mode	1.5	11.3	4.0	3.5
Stiff	1.4	11.2	3.9	3.4
Rayleigh	1.5	11.3	4.0	3.5
Mass	1.5	11.4	4.1	3.6

表 2 減衰定数の値 (%)：20 質点系

	II		IV	
	MBL	DHI	MBL	DHI
Mode	1.1	3.3	1.1	4.1
Stiff	1.1	3.2	1.1	4.1
Rayleigh	1.1	3.3	1.1	4.1
Mass	1.2	3.4	1.1	4.5

表 3 減衰定数の値 (%)：30 質点系

	II		IV	
	MBL	DHI	MBL	DHI
Mode	0.6	5.3	1.1	3.4
Stiff	0.6	5.1	1.0	3.4
Rayleigh	0.6	5.3	1.1	3.4
Mass	0.7	5.7	1.1	3.6

免震層の履歴性状について、地表面粗度区分IIは、地表面粗度区分IVと比較して、大きな変形量となり、20 質点系、30 質点系モデルでは、せん断ひずみ約 150%~200%に達していることがわかる。地表面粗度区分 II の風荷重は、地表面粗度区分IVと比べて、平均成分が大きく、変動成分が小さいことが影響していると考えられる。また、長時間作用する平均成分により、DHI モデルにおいては、免震層の復元力特性にクリープ特性の影響が大きくなっていることがわかる。

R.M.S.E.が最小となる減衰定数の評価において、地表面粗度区分IIの結果に着目すると、10 質点系の DHI モデルではアンサンブル平均の減衰定数が約 11%と高い値となった。一方で、MBL モデルでは約 1.5%であり、比較的小さい値となっている。

全体の傾向として、免震建物の内部粘性減衰における減衰定数(各次固有モードに対し一律 1%)の値を上回る結果となった。ただし、MBL モデルに関しては全体的に値が低く、30 質点系では減衰定数が約 0.5%と 1%を下回り、10 質点系および 20 質点系でも減衰定数が約 1%程度であった。

MBL モデルは DHI モデルと比較して、風荷重が大きくなる条件下で、減衰定数が小さくなる傾向が見られる。免震層の復元力特性の違いに着目すると、10 質点系および 30 質点系において、地表面粗度区分IIで見られた免震層の復元力特性による減衰定数の差異が、地表面粗度

区分IVでは小さくなる傾向を示した。一方、20 質点系については、地表面粗度区分IIでの差異と比較して、地表面粗度区分IVにおいてはその差異が大きくなる結果を示した。特に、10 質点系では免震層の復元力特性による減衰定数の差が顕著に表れた。上部構造に用いた減衰モデルの違いによる減衰定数への影響はほとんど見られない。

5. まとめ

本研究では、風荷重の地表面粗度区分による違いに着目し、10、20、30 質点系モデルおよび免震層の復元力特性の違いによる免震建物の減衰モデルと減衰定数について検討を行った。その結果、地表面粗度区分の違いに関わらず、風応答解析においては、いずれの減衰モデルを用いても大きな差異はないと考えられる。

参考文献

- 1) 白山 敦子 他：風応答における免震建物の減衰モデルに関する研究(その 1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp. 1005-1010, 2025. 9
- 2) 東京工芸大学 風工学研究センター 空力データベース <https://www.collaborate.wind.t.kougei.ac.jp/>
- 3) 森 隆浩 他：風荷重の動的成分が高減衰系積層ゴムの応答特性に与える影響に関する実験的研究及びその解析モデルの検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 676 号, pp. 823-832, 2012. 6

*1 徳島大学 理工学部 理工学科 社会基盤デザインコース 学部生

*2 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 講師・博士(工学)

*3 ダイナミック コントロール デザイン オフィス 代表・博士(工学)

*4 株式会社エム・イー・エム

*1 Undergraduate Student, Tokushima Univ.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng

*3 Dynamic Control Design Office, Dr. Eng.

*4 MIZUNO ENGINEERING MANAGEMENT Inc.

徳島県脇町南町と岐阜県美濃町における重伝建地区の比較分析と延焼シミュレーション

2. 構造

重要伝統的建造物群保存地区
延焼シミュレーション

7. 木質構造

伝統木造住宅 構造調査
卯建 延焼防止

非会員 ○片岡 岳大*1
正会員 白山 敦子*2

1. はじめに

日本各地には歴史的町並みが多く残されており、それらを町並み単位で保護する制度として「重要伝統的建造物群保存地区」(以下、「重伝建地区」)が1975年に創設され、現在までに126地区が指定されている。その中には、卯建を特徴的要素として有する地区も存在する。

卯建とは、延焼を防ぐために隣家との境界に取り付けられた防火壁であり、商家の格式や財力を象徴する建築的要素として発達し、町並み全体の統一的景観を形成している。重伝建地区の多くは木造建築が密集し、南海トラフ巨大地震や内陸直下型地震の発生の懸念から、それに伴う火災発生や延焼リスクの増大が指摘されている。

本研究では、卯建を特徴とする重伝建地区である徳島県美馬市脇町南町(以下、「脇町」)および岐阜県美濃市美濃町(以下、「美濃町」)を対象地区として、伝統木造住宅の比較分析と火災延焼シミュレーションを行う。

2. 調査概要

調査対象地域である脇町と美濃町を図1に示す。脇町は徳島県西部に位置し、四国山地と吉野川に挟まれた盆地、美濃町は岐阜県中南部に位置し、長良川沿いに発展した城下町である。両地区は江戸時代に商業で栄え、通りに面して卯建を備えた切妻造・本瓦葺の町家が連続する町並みとして知られる。脇町は1988年に、美濃町は1999年に重伝建地区に指定された。

対象とした住宅は、構造的特徴の把握が可能な平面図と断面図を有している、脇町32棟、美濃町84棟である。伝統的建造物群保存対策調査報告書^{1),2)}を用い、各住宅の建築年代、屋根形式、床面積、卯建の有無、階数、階高、間取り構成(列数・室数)について整理する。これらの項目を基に、脇町と美濃町における木造住宅にみられる構造的特徴や卯建の役割を整理し、比較分析を行う。

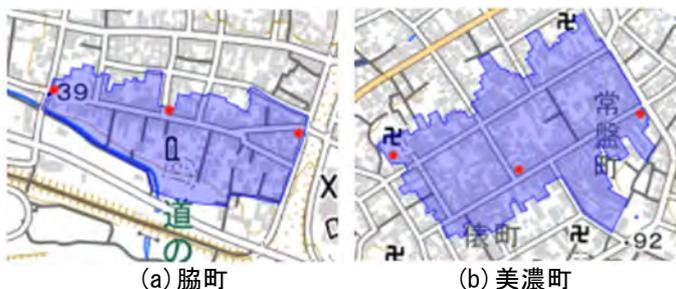


図1 対象地域

3. 構造調査結果

両地区における各項目の比較結果を表1～表5に示す。

表1に示す建築年代に着目すると、両地区ともに、江戸期から昭和初期まで幅広い年代に分布している。脇町は、多様な時期の建物が混在する町並みであり、美濃町は、江戸期から明治期の建築が中心で、比較的まとまった時期に形成された町並みである。

表2に示す屋根形式は、両地区とも、ほとんどが切妻造・平入りがであった。

表3に示す1階の床面積について、脇町は100～200m²帯に最も多く分布し、比較的規模の大きい町家が多いのに対し、美濃では1階・2階ともに100m²以下の比較的小規模な住宅が主体であった。間取り構成は、前面道路に対して間口が狭く、奥行き方向に空間が続く1列型や2列型が多い。両地区ともに、土間・通り庭・ミセノマを基本とした商家型の平面計画が多く、町家形式と類似していることがわかった。

表4より、卯建の有無については、脇町では18棟、美濃では50棟の住宅において、卯建が確認された。対象とした住宅数に占める割合は、美濃町の方が相対的に高い結果となった。卯建は、町並みの中に連続して残されており、地区全体として伝統的な防火意識が継承されてきた様子がうかがえる。

表5に示す階数について、二階建てとつし・中二階は、2階の階高2.0mを基準に区別している。脇町では二階建てが多数を占めるが、つし・中二階を含む住宅も一定数みられた。美濃町では、多くが二階建て、つし・中二階であった。

表1 建築年代

建築年代	軒数(軒)	
	脇町	美濃
江戸	12	32
明治	13	38
大正	5	7
昭和初期	12	2
不明	0	5

表2 屋根形式

屋根形式	軒数(軒)	
	脇町	美濃
切妻	27	83
入母屋	3	1
特異型	2	0

表3 床面積

1階床面積	軒数(軒)	
	脇町	美濃
～100	6	24
101～200	14	21
201～300	11	8
301～400	0	3
400～	1	0
不明	0	28

表4 卯建の有無

卯建の有無	軒数(軒)	
	脇町	美濃
有	18	50
無	10	15
不明	4	19

表5 階数

階数	軒数(軒)	
	脇町	美濃
二階建て	23	39
つし・中二階	9	42
平家	0	3

Comparative analysis of important traditional buildings districts in Wakimachi Minamimachi, Tokushima Prefecture and Minomachi, Gifu Prefecture, and fire spread simulation

KATAOKA Gakuto and SHIRAYAMA Atsuko

図2に、脇町および美濃町における二階建ておよび、つし・中二階の階高の分布を示す。二階建てでは、両地区ともに1階階高は、概ね2.0m~3.1mの範囲に分布し、2階階高は2.0m~3.0mに分布する傾向がみられた。一方、つし・中二階では、1階階高は2.1m~2.9mの範囲に分布し、2階階高が1.4m~2.0mに分布した例が多く、わずかに1.0m程度と極めて低い階高を有する建物もあった。

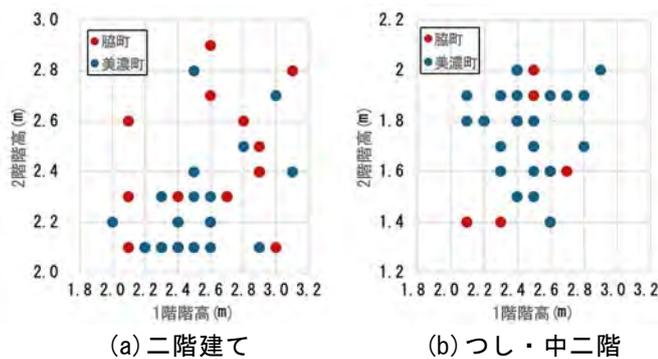


図2 階高

脇町は、敷地および建物規模が比較的大きく、江戸期から昭和期にかけて形成された建物が混在する町並みである。これに対し、美濃町は江戸期から明治期を中心に形成された、比較的均質で連続性の高い町並みである。両地区はいずれも商家・町家を主体とする建築形式を有するが、規模および建築年代の構成に差異がみられた。

4. 延焼シミュレーション

愛媛大学により開発された火災延焼シミュレーション³⁾を用いて解析を行う。解析区域は、脇町および美濃町の重伝建地区を中心とし、延焼挙動を把握するため、その周辺建物を含む範囲とした。

出火位置は、各地区において町並みの左端を出火点1、中央を出火点2、右端を出火点3とする3地点(図1の赤点)を設定した。気象条件については、各地域の代表的な風向・風速を参考に、風向を西、北西、南東の3条件とし、風速を西風および北西風では3.0m/s、南東風では2.0m/sの2条件として設定した。

表7および表8に、脇町および美濃町における解析結果を示す。また、脇町において延焼範囲が最大となった、出火点1で、風向を西、風速3.0m/sの条件下における結果を図3に示す。出火点は図中の赤い矢印、赤線は重伝建地区を示す。最終的な延焼建物数は421軒、延焼総面積は56067㎡、最終発火時間は492分後であった。

解析結果より、両地区において風向および風速が延焼挙動に大きく影響し、出火点の位置や周辺の建物密集状況も延焼の進行に関係することがわかった。

*1 徳島大学 理工学部 理工学科 社会基盤デザインコース 学部生
*2 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 講師・博士(工学)

表6 脇町における解析結果

出火点	風向	風速	延焼建物数(軒)	延焼範囲(㎡)	発火時間(分)
地点1	西	3.0m/s	421	56067	492
			265	37181	386
			5	1420	24
地点2	北西	3.0m/s	376	50744	468
			156	24025	279
			23	3971	180
地点3	南東	2.0m/s	16	1795	178
			4	682	22
			3	429	23

表7 美濃町における解析結果

出火点	風向	風速	延焼建物数(軒)	延焼範囲(㎡)	発火時間(分)
地点1	西	3.0m/s	1029	89651	684
			342	33788	550
			35	3291	140
地点2	北西	3.0m/s	887	81144	620
			209	25402	480
			67	6686	135
地点3	南東	2.0m/s	2	322	15
			2	90	1
			3	246	1



図3 シミュレーション結果(脇町)

特に、通り沿いで建物が連続し建物間隔が狭い区間を出火点とした場合、初期段階から隣接建物への延焼が生じやすく、風の影響により延焼範囲が拡大する傾向がみられた。一方、空地や裏庭を有する区間では、同一の風条件下においても延焼の進行は相対的に緩やかとなった。延焼挙動の違いは、建物規模や階数、平面構成などの建物の構成と関係していると考えられる。

5. まとめ

本研究では、卯建を特徴とする重伝建地区である脇町および美濃町を対象に、伝統木造住宅の建築的特徴の整理と比較分析し、それぞれの建築的特徴やその違いを明確にした。また、火災延焼シミュレーションを行い、各地区における延焼挙動に影響を及ぼす要因を検討した。

参考文献

- 脇町教育委員会：わきまち-伝統的建造物群保存対策調査報告- 1987年3月
- 岐阜県美濃市教育委員会：卯建の町並み-美濃地区伝統的建造物群保存対策調査報告書- 1995年6月
- 愛媛大学 火災延焼シミュレータ <https://cdmir.jp/simulator/>

*1 Undergraduate Student, Tokushima Univ.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng

南海トラフ巨大地震を想定した徳島県における動的津波荷重と建築物の応答性状

2. 構造

南海トラフ巨大地震
浸水深

1. 荷重・信頼性

津波荷重
建物応答
流速
層間変形角

準会員 ○浅田 菜々子*1
正会員 白山 敦子*2

1. はじめに

徳島県では、南海トラフ巨大地震の発生による大規模津波被害が懸念されている。津波荷重に対する建物の応答性状に関する研究は、十分に進められていない。

「津波荷重の評価技術と体系化の心得に関する研究委員会」の報告書¹⁾において、津波荷重は、流速を考慮した抗力型の式が広く採用されているものの、前提条件として浸水深や流速を一定とし、地点ごとの違いも考慮していないものが多い^{2),3)}。本研究では、二次元津波解析を行い、各地点における流速・浸水深の時刻歴データから動的津波荷重を算出し、動的津波荷重を用いた時刻歴応答解析を行うことで、建築物の応答性状を検討し、津波荷重が建築物応答に及ぼす影響を明らかにする。

2. 津波解析ならびに津波荷重の算定

津波解析における断層モデルは、図1に示す南海トラフで想定される巨大地震による最大クラスの津波のケース⁹⁾とし、表1に示す条件で、JAGRUS⁵⁾を用いて津波解析を行う。Kajiura フィルタ⁶⁾を適用し、5層の地形ネスティング(格子サイズ810m, 270m, 90m, 30m, 10m)を行った。解析地点は、図2に示す徳島県内7地点である。

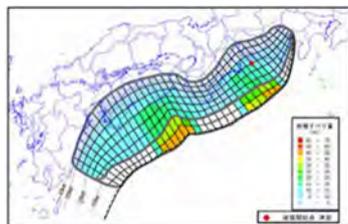


図1 断層モデル

表1 津波解析条件

支配方程式	非線形長波式
計算領域	東経142°～西経129° 北緯36°～南緯28°
積分時間	7200(s)
時間ステップ幅	0.1(s)
ライズタイム	10(s)
地形データ	平面直角座標系データ (徳島県提供)

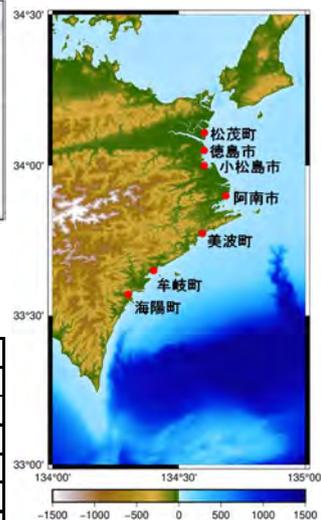


図2 解析地点

津波荷重⁷⁾ $F(t)(N)$ は、JAGRUSを用いた津波解析で算出した時刻歴の流速 $u(t)(m/s)$ と浸水深 $h(t)(m)$ を式(1)に代入することにより算出する。

$$F(t) = \frac{1}{2} \rho C_d B h(t) u(t)^2 \quad (1)$$

ρ は海水の単位体積質量 $1025(g/cm^3)$ 、 B は建物の幅、 C_d は抗力係数⁷⁾であり、式(2)を用いる。

$$C_d = 2 + \frac{5.4 h_{max}}{D} \quad (0.01 < \frac{h_{max}}{D} < 0.17) \quad (2)$$

h_{max} は最大浸水深(m)、 D は海岸線からの距離(m)である。表2に各地点の海岸線からの距離 D を示す。また、津波荷重は1方向とし、浮力等は考慮しないこととする。

表2 海岸線からの距離

地点	海岸線からの距離(m)	地点	海岸線からの距離(m)
松茂町	100	美波町	45
徳島市	135	牟岐町	50
小松島市	1100	海陽町	160
阿南市	65		

松井²⁾による遮蔽物がある場合の設計用運動量流束算定式を示す。

$$M_d = 2gh^2 \quad (h \leq 7) \quad (3)$$

$$M_d = 1000 \quad (h > 7)$$

表3は、式(3)で算出した場合の運動量流束と本研究で解析した7地点の最大運動量流束を比較したものである。6地点において設計用運動量流束を大きく下回っているが、松茂町では、設計用運動量流束を上回ることがわかった。

表3 最大運動量流束の比較

地点	最大浸水深 (m)	運動量流束 (m^3/s^2)		地点	最大浸水深 (m)	運動量流束 (m^3/s^2)	
		本研究	設計用			本研究	設計用
松茂町	1.13	42.16	25.02	美波町	7.33	399	1000
徳島市	1.04	9.86	21.19	牟岐町	5.25	15.56	540.2
小松島市	2.18	2.55	93.14	海陽町	10.29	458.11	1000
阿南市	2.12	42.79	88.09				

以降の検討では、7地点の中から北部エリアの3地点(松茂町、徳島市、小松島市)と南部エリアの2地点(牟岐町、海陽町)について分析する。

図3～図5に各地点の浸水深、流速および津波荷重の時刻歴を示す。浸水深・流速・津波荷重のピーク値および発生時刻は地点間で大きく異なっている。

徳島市と松茂町は、同程度の最大浸水深となっているものの、津波荷重は松茂町が徳島市の5倍と大きくなった。また、小松島市は、徳島市および松茂町の約2倍の最大浸水深であるにもかかわらず、津波荷重は1/10と小さくなっていることがわかる。さらに、牟岐町と海陽町を比較すると、海陽町の浸水深は牟岐町の1.6倍であるが、津波荷重は25倍と著しく大きくなっている。

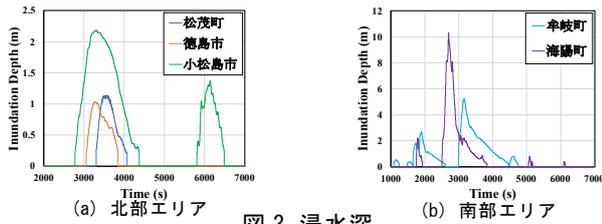


図3 浸水深

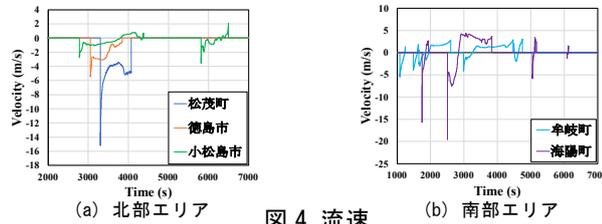


図4 流速

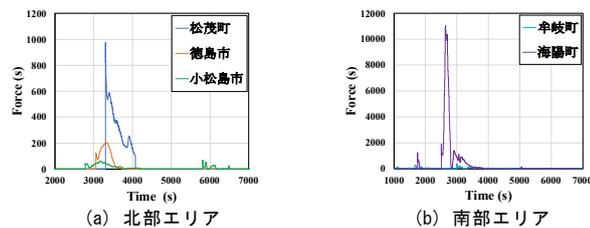


図5 津波荷重

3. 建物モデル

検討対象は、5階建て、階高4m(高さ20m)、平面20m×20mとしたS造およびRC造である。解析モデルは、質点系に変換した等価せん断線形モデルとする。重量について、S造は8kN/m²、RC造は12kN/m²とする。剛性は、建物の固有周期を0.5秒、1秒、1.5秒とした逆三角形1次モードに比例した分布とした。各階の重量及び剛性を表3に示す。内部粘性減衰は、剛性比例型とし、1次モードに対する減衰定数は0.5%とする。

津波荷重は、各質点の受圧面積に応じて算出し、浸水深に応じて各質点に与える。

表4 建物構造諸元

階	重量(kN)	S造 初期剛性(kN/cm)		
		固有周期0.5(s)	固有周期1.0(s)	固有周期1.5(s)
5	3200	25260	6316	2807
4	3200	45470	11360	5053
3	3200	60630	15150	6737
2	3200	70740	17680	7860
1	3200	75790	18940	8422
階	重量(kN)	RC造 初期剛性(kN/cm)		
		固有周期0.5(s)	固有周期1.0(s)	固有周期1.5(s)
5	4800	37890	9474	4211
4	4800	68210	17050	7579
3	4800	90950	22730	10100
2	4800	106100	26520	11790
1	4800	113600	28420	12630

4. 津波荷重に対する建物応答

図6に各地点における、建物の最大応答層せん断力を、図7に層間変形角を示す。図8より、全体的に層間変形角は小さい。海陽町のS造・RC造における固有周期1.5sのモデルは、地震動時の制限値を下回るものの、地震動との相互作用により制限値を超える可能性がある。

*1 徳島大学 理工学部 理工学科 社会基盤デザインコース 学部生
*2 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 講師・博士(工学)

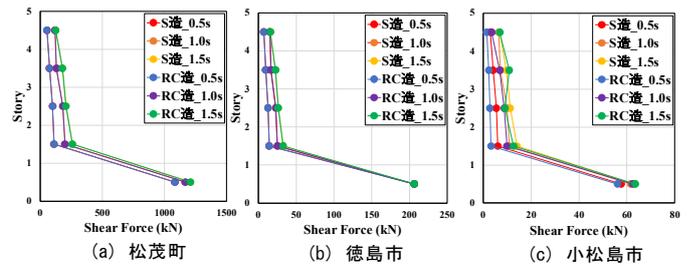


図6 最大応答せん断力

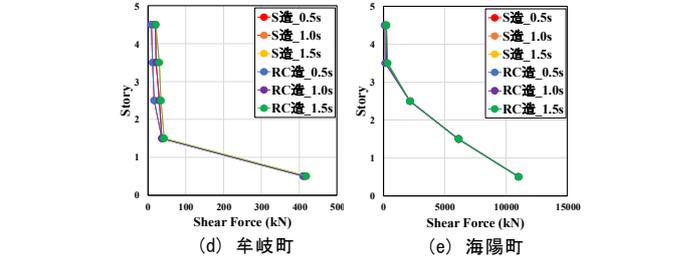


図6 最大応答せん断力

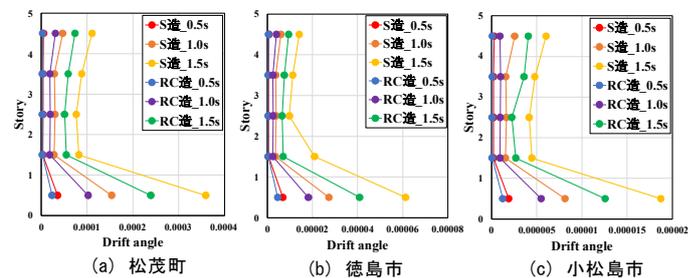


図7 層間変形角

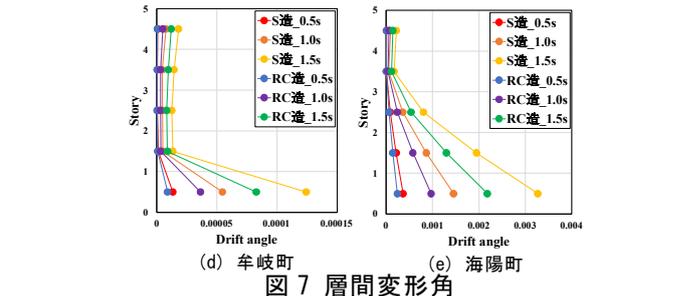


図7 層間変形角

5. まとめ

本研究では、時刻歴の流速と浸水深を用いた動的津波荷重に対する建物の応答性状を検討した。その結果、地点ごとの流速特性が、津波荷重に影響を及ぼすことが明らかとなった。抗力型津波荷重の評価においては、一律の設計値に依拠するのではなく、地点特性を反映した動的評価が必要である。また、建物の層間変形角は、最大で1/300rad程度となった。

参考文献

- 1) 日本地震工学会：「津波荷重の評価技術と体系化の心得に関する研究委員会」成果報告書，2025. 8. 25
- 2) 松井徹哉：流東依存性を考慮した建築物への津波作用外力の評価式の提案，日本建築学会構造系論文集，第78巻，第691号，pp.1659-1664，2013. 9
- 3) 小林正人，服部龍太郎，藤森智：津波荷重に対する免震建物の構造安全性評価基準の提案，日本建築学会技術報告書，第23巻，第53号，pp.71-76，2017. 02
- 4) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—，2012. 8. 29
- 5) T. Baba, N. Takahashi, Y. Kaneda, K. Ando, D. Matsuoka, and T. Kato; Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami, Pure Appl. Geophys., Vol.172, pp.3455-3472, 2015.
- 6) K. Kajiura: The Leading Wave of a Tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Vol.41, No.3, pp.535-571, 1963.
- 7) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2015)，2015. 2

*1 Undergraduate Student, Tokushima Univ.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng

限界耐力計算に基づく耐震診断法の違いが木造建物の応答結果に及ぼす影響

2. 構造

7. 木質構造

耐震診断

木造建物

限界耐力計算

非会員 ○谷口 諒^{*1}

復元力特性

伝統構法

地震応答

正会員 白山 敦子^{*2}

1. はじめに

伝統的な木造建物を対象とした耐震診断法として、限界耐力計算に基づいているものは、主にマニュアル編集委員会¹⁾、JSCA²⁾、文化庁³⁾により作成された3つの方法がある。各耐震診断法で、復元力特性の評価方法や条件などに違いがあり、診断結果として得られる最大応答変形や安全性評価に、影響を及ぼす可能性がある。これらの耐震診断法の違いについて、林ら⁴⁾は、標準的な1列3室型の京町家1棟を対象として、耐震診断を行い、診断結果の比較を行っている。しかしながら、診断法の違いによる影響を一般的な傾向として整理・把握するには至っていない。

本研究では、3つの住宅モデルに各耐震診断法を適用し、得られた診断結果から、耐震診断法の違いが木造建築の耐震性能評価に及ぼす影響について考察する。

2. 解析モデル

本研究では、1列3室型の2階建て木造住宅を基本形とした3種類の建物モデルを設定した。図1に示すモデルAを基本のモデルとし、モデルBでは1階の壁量を低減、モデルCでは2階の壁量を低減するように設定した。階高は、モデルA、B、Cいずれも1階が3m、2階が2.5mと設定した。床面積は1階、2階ともに44.71m²である。

各モデルの1階重量W₁(kN)ならびに2階重量W₂(kN)は表1の通りである。床面積当たりの重量は約2.6kN/m²である。

表1 建物重量

モデル	重量 (kN)	
A	W ₂	113.392
	W ₁	115.831
B	W ₂	113.392
	W ₁	107.462
C	W ₂	106.156
	W ₁	110.166

入力地震動は、稀に発生する地震として、建築基準法における数十年に一度程度発生する規模の地震動を、極めて稀に発生する地震は、建築基準法における数百年に一度程度発生する最大級の地震動を想定している。地盤は第1種地盤、地域係数Zは1とした。

3. 耐震診断結果

3.1 復元力

図2~図4に、モデルA、B、Cの各階の復元力の算定結果を示す。

復元力について、マニュアルと文化庁は、層間変形角 γ が1/60付近で復元力Qが最大となり、それ以降はともに減少している。一方、JSCAの復元力は $\gamma=1/60$ 付近で復元力が最大をとるものの、それ以降の耐力の減少は見られない。これらの違いは、マニュアル、文化庁がせん断応力度に壁断面積を乗じて復元力を算定しているのに対し、JSCAでは、設定された「単位フレーム」の耐力を、寸法に合わせて補正して算出することが要因である。単位フレームは幅1820mm、高さ2730mmのフレームで、耐力低下はしないものとして考えている。

また、図2より、JSCAと文化庁の最大耐力は同程度となっているが、マニュアルは、約2割低いせん断耐力となっている。その要因として、マニュアルでは、土壁の復元力を求める際に、曲げ耐力とせん断耐力を比較し、小さいほうの耐力を復元力として扱う。一方、JSCAでは、破壊性状を考慮せずに、復元力を求めるため、差が大きくなったことが考えられる。壁量を低減したモデルBやCでは、4割程度、耐力が低下している。

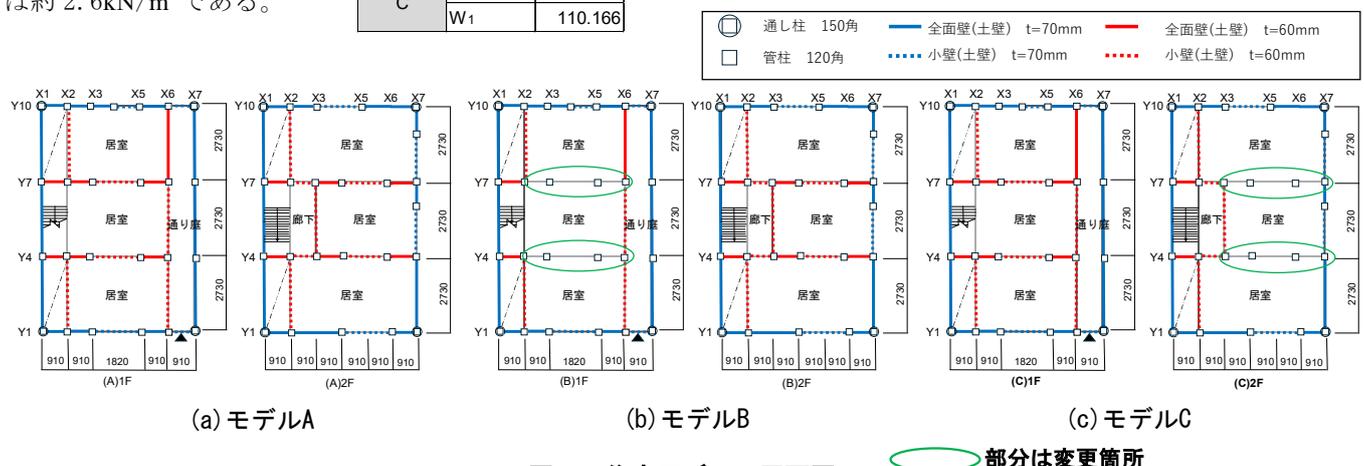


図1 住宅モデル 平面図

○部分は変更箇所

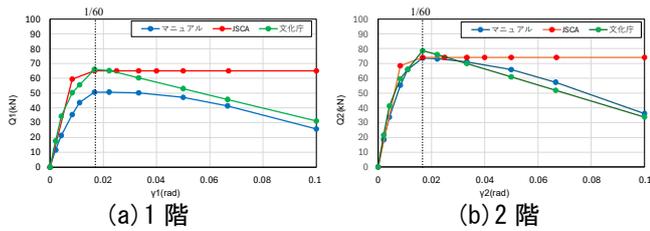


図2 モデルAの復元力

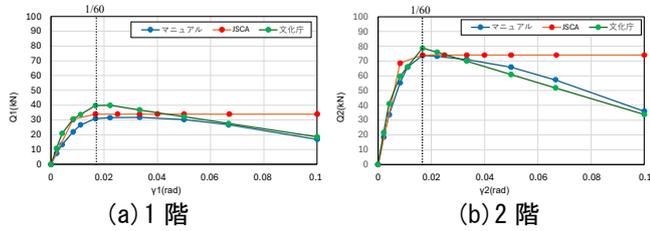


図3 モデルBの復元力

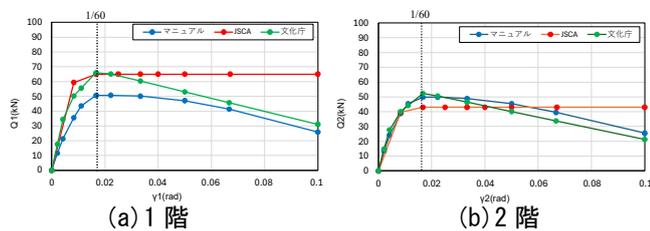


図4 モデルCの復元力

3.2 応答変形角

表2～表4に、各モデルにおける各種耐震診断法の稀地震時および極稀地震時の1階と2階の応答変形角を示す。モデルAの1階において、稀地震時の応答変形角は、JSCAが最も小さく、次いでマニュアル、文化庁の順となった。極稀地震時は大きな差は見られないものの、マニュアルが最大の変形角となった。モデルAの2階においては、稀地震時の応答は同程度となったものの、極稀地震時の結果は大きな差異が生じ、マニュアルが最大、JSCAが最小となった。JSCAとマニュアルで差が見られる要因として、復元力の差が影響していると考えられる。また、マニュアルと文化庁の差は、モード形の決定の基準の違いが影響していると考えられる。

モデルAとモデルBの結果を比べると、モデルAではマニュアルと同様の応答となっていた文化庁が、JSCAの応答より小さいという結果が一部で生じた。これは、 A_i 分布でせん断力の分布を決定する文化庁の方法が影響していることが考えられる。

モデルAとモデルCの結果を比べると、モデルAと同様な傾向が見られた。2階の壁量を減らしている分、2階の応答値はAに比べて応答が大きくなっているが、そのほかの結果に差異は見られなかった。

表2 モデルAにおける応答変形角

(a)1階

	稀地震	極稀地震
マニュアル	1/136	1/23
JSCA	1/183	1/30
文化庁	1/88	1/28

(b)2階

	稀地震	極稀地震
マニュアル	1/379	1/57
JSCA	1/362	1/243
文化庁	1/358	1/113

表3 モデルBにおける応答変形角

(a)1階

	稀地震	極稀地震
マニュアル	1/111	1/18
JSCA	1/125	1/18
文化庁	1/161	1/17

(b)2階

	稀地震	極稀地震
マニュアル	1/463	1/64
JSCA	1/501	1/455
文化庁	1/691	1/74

表4 モデルCにおける応答変形角

(a)1階

	稀地震	極稀地震
マニュアル	1/147	1/24
JSCA	1/212	1/32
文化庁	1/80	1/29

(b)2階

	稀地震	極稀地震
マニュアル	1/280	1/40
JSCA	1/223	1/137
文化庁	1/324	1/119

4. まとめ

本研究では、1列3室型の2階建て木造住宅を基本形とし、壁量の異なる3種類の解析モデルを設定して、3つの耐震診断法を用いた限界耐力計算を行い、診断法の違いが地震時応答に及ぼす影響について検討した。

同一の建物モデルおよび地震レベルに対しても、適用する耐震診断法の違いにより、層間変形角の評価結果には差が生じていることが明らかになった。これは、各診断法における復元力特性の設定方法や破壊性状の考慮方法の違いが、限界耐力計算の結果に直接反映されるためであると考えられる。

参考文献

- 1) 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会: 伝統的構法のための木造耐震設計法-石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル, 2019.6
- 2) (社)日本建築技術者協会関西支部: 伝統的な軸組構法を主体とした木造住宅・建築物の耐震性能評価・耐震補強マニュアル(第3版), 2023.10
- 3) 文化庁: 重要文化財(建造物)耐震基礎診断実施要領, 2012.6
- 4) 林大吾, 林康裕: 京町家を対象とした耐震診断法の比較分析: 日本建築学会技術報告書, 第30巻, 第74号, pp.112-117, 2024.4

*1 徳島大学 理工学部 理工学科 社会基盤デザインコース 学部生
*2 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 講師・博士(工学)

*1 Undergraduate Student, Tokushima Univ.

*2 Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng

近代和風建築の耐震性能に関する研究 - 水平筋かいおよびボルトの補強効果の検証 -

2.構造 7.木質構造 e.伝統構法
近代和風建築 ボルト補強 水平筋かい
立体フレームモデル 静的増分解析

準会員 ○藤原 未稀*1
正会員 宮本 慎宏**2

1. はじめに

旧合田邸離れ¹⁾は香川県仲多度郡多度津町に所在する近代和風建築である。この建物には、手摺や鴨居上部にボルトを通し、ナットにより締め付ける補強、小屋裏には鉛直方向および水平方向に筋かいによる補強がされている。これらの補強は当時としては珍しい工法であるが、その耐震補強効果は十分に検証されていない。

本研究では旧合田邸離れを対象とし、水平筋かいおよびボルトの補強の有無をパラメータとして、2種類の立体フレームモデルを構築して静的増分解析を行い、これらの補強が建物の耐震性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 建物概要

旧合田邸離れ(図1)は木造2階建てである。平面規模は間口方向8894mm、奥行方向6669mm、階高は1階が3128mm、2階が2940mmである。屋根は棧瓦葺きで葺き土を有しており、下屋は薄鉄板が用いられている。柱の樹種はツガで、1階は113mm角の管柱、2階は115mm角の管柱、建物の四隅に115mm角の通し柱がある。梁や小屋組、その他の造作材にはマツが用いられている。各階とも西面以外は三面ガラス張りとなっていることから、構面の多くが垂壁で構成されており、全面壁が少ない(図2, 3)。土壁の壁厚は約94mmであり、外周に配置された垂壁および2階の三通り、ろ通り、ほ通り、と通りの垂壁下部に欄間が設けられている。一方、全面壁は間口方向の七〜九通りに集中しており、壁量に偏りが見られる。

手摺や鴨居上部に使用されているボルトは、M9の丸棒の両端にΦ27mmの丸座を有する仕様、M9の丸棒にΦ27mmの丸座および38mmの角座を有する仕様、M12の丸棒の両端に38mmの角座を有する仕様の3種類であ

る(図4, 5)。通し柱と鴨居を接合しているボルトは、鴨居に座彫りを施し、柱と接合されている。また、柱の両側で鴨居同士を接合しているボルトは、鴨居に座彫りを施し、柱を貫通させている。小屋裏には端部を梁に釘止め接合とした材せい110mm、材幅60mmの水平筋かいが廊下上部に左右対称となるように配置されている(図6)。

3. 立体フレームモデルの構築

構造解析ソフトSNAP Ver.8を用いて、柱・梁など各部材の変形や応力を詳細に評価可能な立体フレームモデルを構築した。ボルトおよび水平筋かいによる補強の有無をパラメータとし、補強を考慮しないモデルと、補強を考慮したモデルの2種類とした。なお、建物の形状、部材寸法、材料特性、重量設定、解析条件は両モデルにおいて共通とした。また、建物のモデル化において、間口方向をX軸、奥行方向をY軸、鉛直方向をZ軸とした。

3.1 補強考慮なしモデル

補強を考慮しないモデルの構築において、屋根や小屋組はモデル化せず重量として扱い、天井、壁、床荷重は単位面積当たりの重量²⁾に各要素の面積を乗じることで算定した。床荷重については、算定した固定荷重に地震時を想定した住宅用の積載荷重²⁾を加え評価した。屋根、天井および床重量は四周の梁部材に等分布荷重とし、壁重量は各節点に集中荷重として分配した。

鉛直構面の復元力特性は、文化庁³⁾による土塗壁の4折れ線モデルを用い、実際の応力伝達を再現するため、圧縮側のみ作用するトラス材で置換した。水平構面は、既往の実験結果⁴⁾を用いて、トリリニアモデルとし、圧縮側、引張側の両方に作用するトラス材で置換した。柱や梁の両端はピン接合、通し柱における2階床位置については剛接合とした。



図1 離れの外観

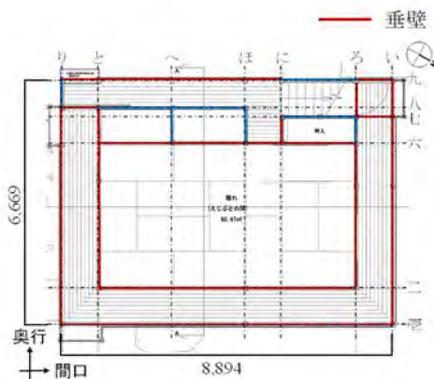


図2 1階平面図

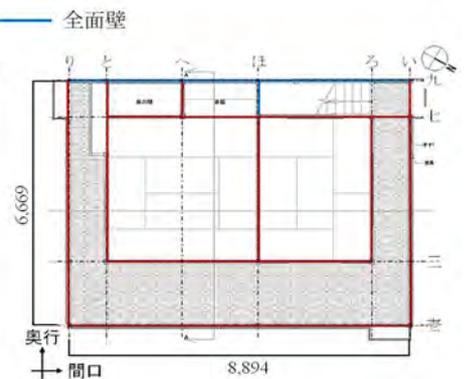


図3 2階平面図

接合部のモデル化において、鴨居や手摺などの横架材が柱に対してめり込むため、柱に対するめり込み抵抗を軸方向のバネで設定した。めり込み抵抗の復元力特性は、既往の文献⁵⁾より算定した。二次剛性は1/8とし、部分圧縮強度 F_{cv} は 7.8N/mm^2 、全面横圧縮ヤング係数 E_{90} は 160N/mm^2 とし、ツガの無等級材の基準値を用いた。横架材のめり込み抵抗は圧縮方向に対してのみ作用するものとして設定した。

3.2 補強考慮ありモデル

3.1節で構築したモデルに対し、ボルトおよび水平筋かいの補強効果を考慮するため、以下のバネ要素を新たに追加した。3.1節でモデル化した鴨居の柱へのめり込み抵抗に加え、座金の鴨居に対するめり込み抵抗、ボルトのせん断抵抗を考慮した。座金のめり込み抵抗における復元力特性は、丸座金においては、接触面積が等価となる四角形座金とし、鴨居のめり込み抵抗と同様に算出した。座金のめり込み抵抗は引張方向に対してのみ作用するものとして設定した。ボルトのせん断抵抗の復元力特性は、文献⁶⁾より一面せん断接合の接合形式係数を用い、鋼材の基準強度を 235N/mm^2 として算出した。二次剛性および部分圧縮強度は3.1節と同様とした。中央柱を介して鴨居同士をボルトで接合した部分(図7(a))の座金のめり込み抵抗の復元力特性は、文献⁵⁾よりツガの支圧強度⁶⁾を 25.4N/mm^2 、鋼材の基準強度を 235N/mm^2 として算出した。左右の鴨居において座金のめり込み抵抗を直列バネとしてモデル化した。

水平筋かいの破壊形式として、座屈およびめり込みを検討した結果、めり込み降伏が先行して発生することが

確認されたため、水平筋かいのモデル化では、めり込み抵抗のみを考慮した。水平筋かいの端部に圧縮力が作用すると、梁へのめり込み抵抗が生じるため、筋かい端部に軸方向バネを配置した(図7(b))。水平筋かいのめり込み抵抗の復元力特性は、3.1節と同様に算出した。い〜ろ通り間、と〜り通り間に配置された水平筋かいは、X軸方向荷重時においてめり込み抵抗が生じ、壱〜三通り間はY軸方向荷重時にめり込み抵抗が生じるものとした。ただし、壱〜三通りに配置された筋かいのうち、い通り・り通りに接する部分の筋かいは、X方向、Y方向どちらにも作用するため、2方向に対して軸バネを配置した。

4. 静的増分解析による補強効果の検証

各解析モデルで A_i 分布から算出される地震力分布に基づく静的増分解析を行い、荷重変形角関係を生出力した(図8)。層間変形角は重心位置で算定し、荷重条件として層間変形角が $1/10\text{ rad}$ を超えるまで 0.1 mm 刻みで変位増分させた。荷重方向は+X方向、+Y方向の2方向とした。また、柱に生じる曲げ応力度を求め、柱の折損判定を行った。柱の許容曲げ応力度はツガの基準強度である 25.2N/mm^2 を用いた⁶⁾。有効断面係数は柱の断面係数を $3/4$ 倍³⁾した。

図8から、+X方向荷重時は1階、2階ともに補強を考慮したモデルの方が初期剛性は大きく、層せん断力の最大値は、補強を考慮することで、1階は6.1%増加し、2階は6.0%増加した。また、各方向補強を考慮した場合、補強を考慮しない場合ともに1階の変形が進んでおり、1階が先行して破壊することが確認された。

以下の図9~12では、1階の重心位置における層間変

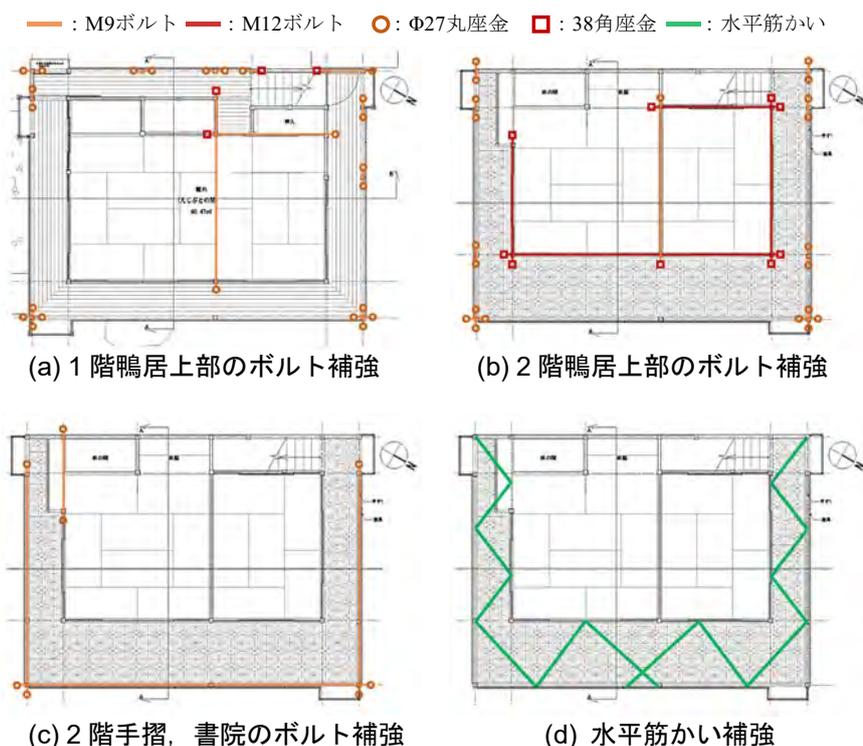


図4 ボルトおよび水平筋かいによる補強の配置



図5 軸組のボルト補強

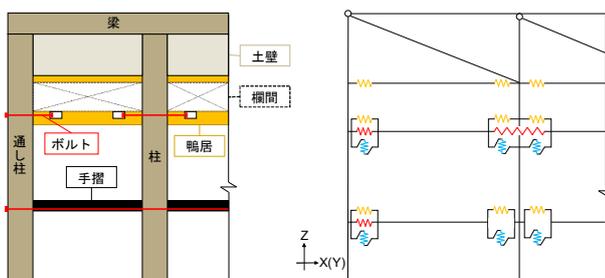


図6 小屋裏の筋かい補強

形角が $1/15\text{rad}$ に達した際の結果を示す。柱の曲げモーメント分布、柱の折損が生じた際の重心位置における層間変形角を図 9, 10 に示す。+X 方向載荷時の 1 階1通りの柱に生じる曲げモーメントの最大値について、補強を考慮しないモデルは 2.56kNm 、補強を考慮したモデルは 5.20kNm であった。また、+Y 方向載荷時の 1 階1通りの柱では、補強を考慮しないモデルは 2.27kNm 、補強を考慮したモデルは 4.05kNm であり、曲げモーメントの最大値は増加した。これは補強を考慮しないモデルでは、鴨居が柱から引抜けて引張力を負担できないが、補強を考慮したモデルでは、ボルトにより鴨居が柱から引抜けず、引張力を負担できることが要因として考えられる。その結果、補強を考慮したモデルでは複数の柱に概ね均等に曲げモーメントが生じ、水平荷重の負担が分散していることが確認された。また、2 つのモデルで柱が折損判定となる層間変形角の比較を行うと、+X 方向載荷時のほ通りにおいて、2 階の柱が折損判定となる層間変形角は、補強を考慮しないモデルでは $1/31\text{rad}$ 、補強を考慮するモデルでは $1/25\text{rad}$ となり、変形性能が向上していることが確認された。+Y 方向載荷時では、層間変形角にほとんど差が見られなかったが、1 階の折損判定となる柱の本数は、補強を考慮しないモデルが 3 本に対して、補強を考慮したモデルでは 2 本であった。これは補強を考慮したモデルでは、1 通りの柱が負担する曲げモーメントが大きくなったことが要因として考えられる。

水平筋かいの効果について、重心位置における 1 階の層間変形角が $1/30\text{rad}$ 、 $1/20\text{rad}$ 、 $1/15\text{rad}$ 時に降伏した水

W: 鴨居のめり込み抵抗 W: 座金のめり込み抵抗 B: ボルトのせん断抵抗



(a) 鉛直構面のモデル化

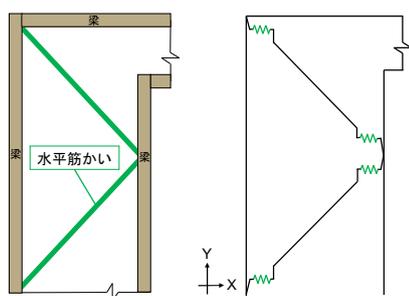
W: 水平筋かいのめり込み抵抗

●: 補強なし(1F)

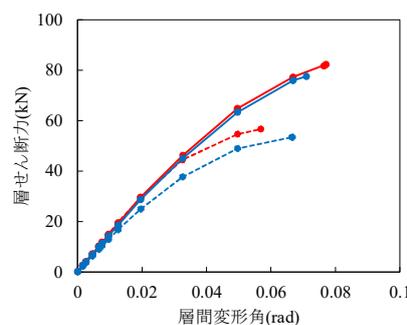
●: 補強あり(1F)

●: 補強なし(2F)

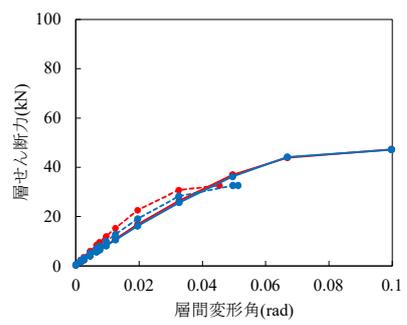
●: 補強あり(2F)



(b) 水平構面のモデル化



(a) +X 方向



(b) +Y 方向

図 7 解析モデル概要(補強あり)

平トラス材の降伏状況を図 11, 各通りの層間変形角を図 12 に示す。図 11 より、補強を考慮しないモデルは、層間変形角 $1/15\text{rad}$ 時にほぼすべてのトラス材が降伏し、特に、1 通り・9 通りの梁に取り付くトラス材に集中していた。一方、補強を考慮したモデルでは、層間変形角 $1/15\text{rad}$ 時において、9 通りの梁に取り付くトラス材のみ降伏した。これは、補強を考慮したモデルでは、1 通り~3 通り間に配置された水平筋かいが抵抗したことが要因と考えられる。また、図 12 より 2 階の重心位置における層間変形角は、+X 方向載荷時において 9 通りはほぼ等しく、1 通りは補強を考慮したモデルの方が小さくなった。これは、1 通り側に水平筋かいが配置されて、水平剛性が高まった効果と考えられる。+Y 方向載荷時においては、全体的に通りがごとの層間変形角は補強を考慮したモデルの方が小さくなった。

5. まとめ

本研究では、近代和風建築である旧合田邸離れに施されているボルトおよび水平筋かいによる補強効果を、立体フレームモデルを用いた静的増分解析により検証した。その結果、鴨居などの横架材へのボルト補強は、柱が負担する水平荷重を分散させ、水平筋かいは水平構面の剛性を高め、特に間口方向の 1 通りの変形を抑制する効果が確認された。

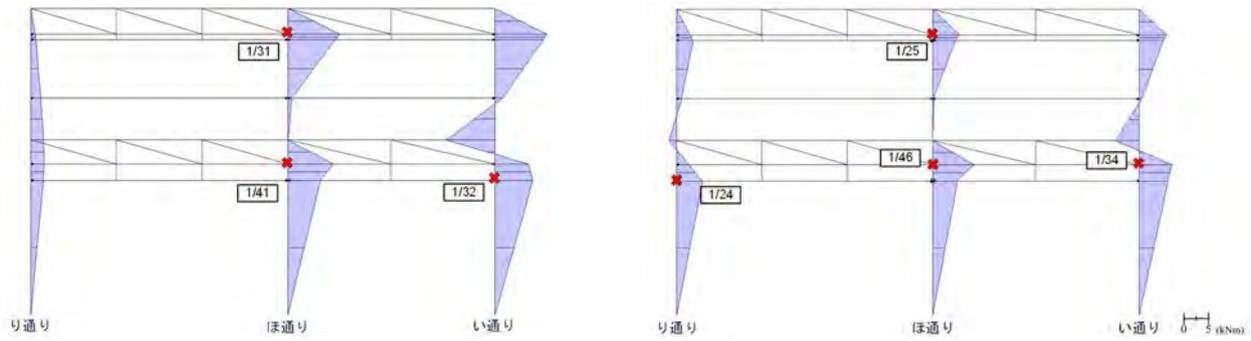
謝辞

本研究の実施にあたり、旧合田邸離れに関する資料提供および調査にご協力いただいた多度津町教育委員会、多田善昭建築設計事務所、有限会社赤徳屋工務店の皆様に、心より御礼申し上げます。

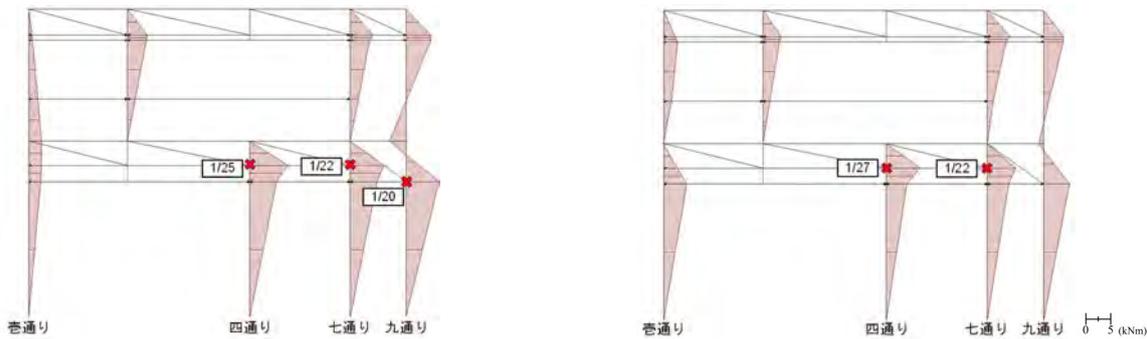
参考文献

- 1) 多度津町教育委員会：多度津町多度津 伝統的建造物群保存対策調査報告書，pp.245-246，2020.03
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所，国立研究開発法人 建築研究所：2025 年版建築物の構造関係技術基準解説書，pp.293-295，2025.06
- 3) 文化庁：重要文化財（建造物）耐震基準診断実施要領，pp.12-13，pp.16-17，2012.06
- 4) 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会：伝統的構法のための木造耐震設計法 石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル，p.281，2019.06
- 5) 日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル，pp.138-139，pp.322-324，2025.03
- 6) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説 許容応力度・許容耐力設計法，pp.222-224，pp.232-233，p.399，2009.03

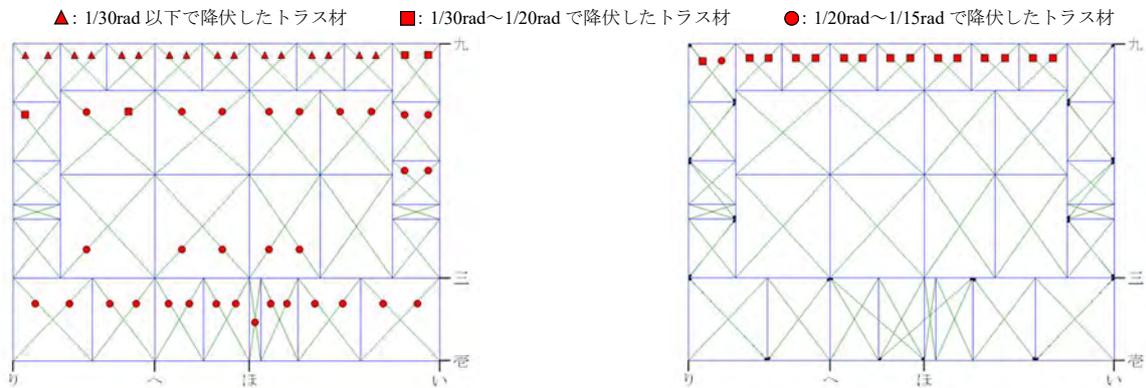
図 8 静的増分解析結果



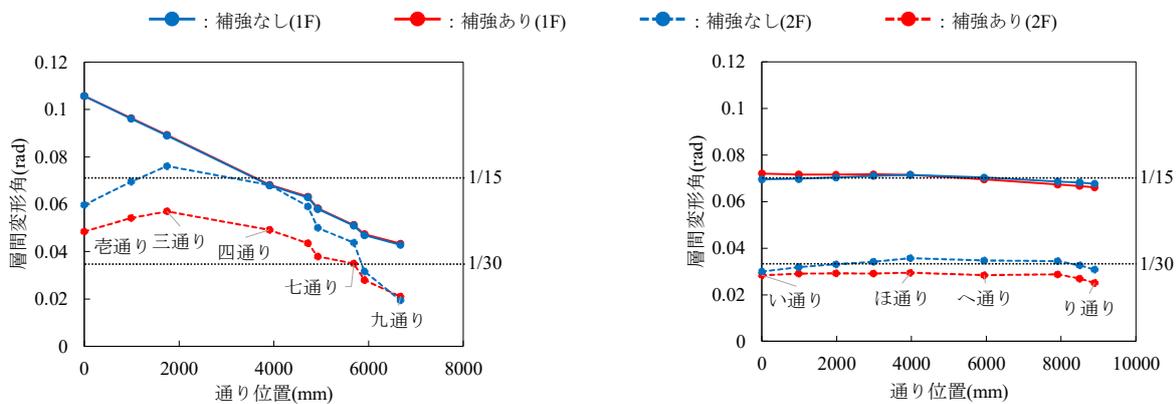
(a) 補強考慮なし (b) 補強考慮あり
図9 +X方向載荷時の柱の曲げモーメント分布(壱通り・1/15rad 時)



(a) 補強考慮なし (b) 補強考慮あり
図10 +Y方向載荷時の柱の曲げモーメント分布(い通り・1/15rad 時)



(a) 補強考慮なし (b) 補強考慮あり
図11 RLレベルの水平トラス材の降伏状況(1/15rad 時)



(a) +X方向載荷時 (b) +Y方向載荷時
図12 各通りの層間変形角(1/15rad 時)

*1 香川大学 創造工学部 学部生

*1 Undergrad. Student, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ.

*2 香川大学 創造工学部 教授 博士(工学)

*2 Prof., Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

伝統的木造建物の耐震性能評価を目的とした立体フレームモデルの構築手法の検討

正会員 ○小藪 秀輝*1
正会員 宮本 慎宏*2

2.構造
伝統的木造建物
下屋

7.木質構造
立体フレームモデル
荷重変形角関係

e.伝統構法
水平構面

1. はじめに

伝統的木造建物はその歴史的、文化的価値から耐震性能を確保したうえでの保存が求められている。当該建物の詳細な耐震性能評価法のため、立体フレームモデルがよく用いられる。しかしながら、壁や床、屋根といった、面的な部材を線材に置換して構築するこの手法において、その面の分割方法や、町屋形式の伝統的木造建物に見られる下屋のモデル化手法について、厳密な指針や統一的なマニュアルは存在しない。本報では、町屋形式の伝統的木造建物に見られる下屋や、床や屋根などの水平構面のモデル化手法の構築に向けて、簡易的な立体フレームモデルを用いて、下屋構面や水平構面のモデル化手法が荷重変形角関係に及ぼす影響について分析することを目的とする。

2. 解析モデルの構築

任意形状立体フレーム弾塑性解析ソフト SNAP Ver.8を用いて、以下の目的で3つの立体フレームモデルをそれぞれ構築する。

柱付き下屋モデルでは、下屋の傾斜がその接続する構面間の荷重伝達能力に及ぼす影響を把握する。柱・壁付き下屋モデルでは、耐震要素を有する構面間に接続する下屋の傾斜が当該架構の荷重変形角関係に及ぼす影響を把握する。水平構面分割モデルでは、微小断面部材による水平構面の分割が建物全体の荷重変形角関係に及ぼす影響を把握する。

2.1. 柱付き下屋モデル

柱付き下屋モデル(図1)は、X1通りの柱脚をピン支点とし、X2通りの柱の長さを変化させて下屋構面の勾配をパラメータとし、表1に示す4モデルを構築した。なお、柱は120角、桁、登り梁は120×150mmとし、樹種はそれぞれスギ(無等級材)と仮定した。また、材端部はピン接合とした。下屋構面は引張側、圧縮側の両方に作用するトラス材で置換した。その復元力特性は、文献²⁾に示された板材くぎ打ちによる床構面の特性値を用いて算出した。下屋の1/100、1/50rad時の荷重をそれぞれ結び、トリリニアモデルに置換した。下屋の重量は、勾配方向に直交する梁材に折半して等分布荷重として設定し、葺き土ありの瓦葺きとして文献¹⁾から算出した。

2.2. 柱・壁付き下屋モデル

X1, X2通りに土塗り垂壁を置換したトラス材と、Y1, Y2通りにねじれを防止する剛なトラス材を設定し、柱・壁付き下屋モデル(図2)を構築した。柱脚をピン支点とし、X1通りの柱長さを変化させて下屋勾配をパラメータとし、表2に示す5モデルを構築した。柱、梁、登り梁の断面や材種、材端部の接合、下屋の重量や復元力特性は、前節の柱付き下屋モデルと同様とした。土塗り垂壁はトラス材を、加力方向に対して圧縮となるように片方向で設定し、壁厚を100mm、垂壁高さを500mmとして、復元力特性を文化庁の土壁設計式³⁾を用いて設定した。垂壁の重量は、各垂壁における4つの節点に振り分け、文献¹⁾から算出した。

2.3. 水平構面分割モデル

水平構面分割モデル(図3)は、柱脚をピン接合、階高は3m、平面形状は4×4mの正方形とし、1辺あたり5本の柱を等間隔に配置し、柱間に土塗り全面壁を設定した。微小断面部材の水平構面の分割方法や接合法、加力方向をパラメータとし、表3に示す14モデルを構築した。モデル名は3つの項で構成され、1項目はX方向の平面数、2項目はY方向の平面数、3項目は微小断面部材同士の接合法(1は鉛直方向を拘束としたピン接合、2はX方向を剛接合で通し、Y方向をそれにピン接合とする)と加力方向を表している。柱間の土塗壁の復元力特性、屋根や壁の重量は、前節の柱・壁付き下屋モデルと同様とした。ただし、加力方向に平行な2つの梁のうち、片側のX5通り、あるいはY5通りの梁に取り付く壁の壁厚tを、0mm、25mm、50mm、75mmで変化させ、上記以外の全ての通りの土塗壁の壁厚を100mmとすることで、偏心させた。柱、梁の断面や材種、材端部の接合は、2.1節の柱付き下屋モデルと同様とした。水平構面は引張側、圧縮側の両方に作用するトラス材で置換した。その復元力特性は、文献²⁾に示された板材くぎ打ちによる床構面の特性値を用いて算出した。屋根の1/100、1/50rad時の荷重をそれぞれ結び、トリリニアモデルに置換した。屋根の重量は、四辺の梁材に等分布荷重として設定した。

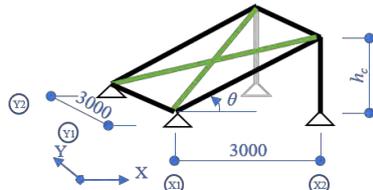


図1 柱付き下屋モデル概観

表1 柱付き下屋モデル

モデル	$\tan \theta$	h_c [mm]
C1	0	0
C2	1/3	1000
C3	2/3	2000
C4	3/3	3000

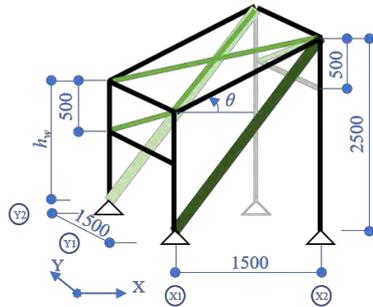


図2 柱・壁付き下屋モデル概観

表2 柱・壁付き下屋モデル

モデル	$\tan \theta$	h_w [mm]
W1	0	2500
W2	1/3	2000
W3	1.5/3	1750
W4	2/3	1500
W5	3/3	1000

表3 水平構面分割方法

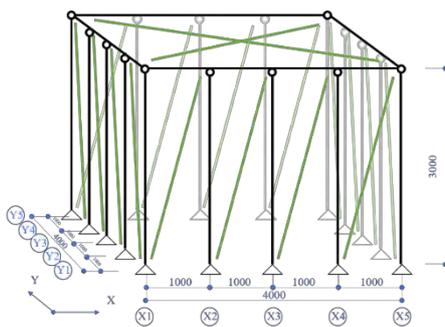
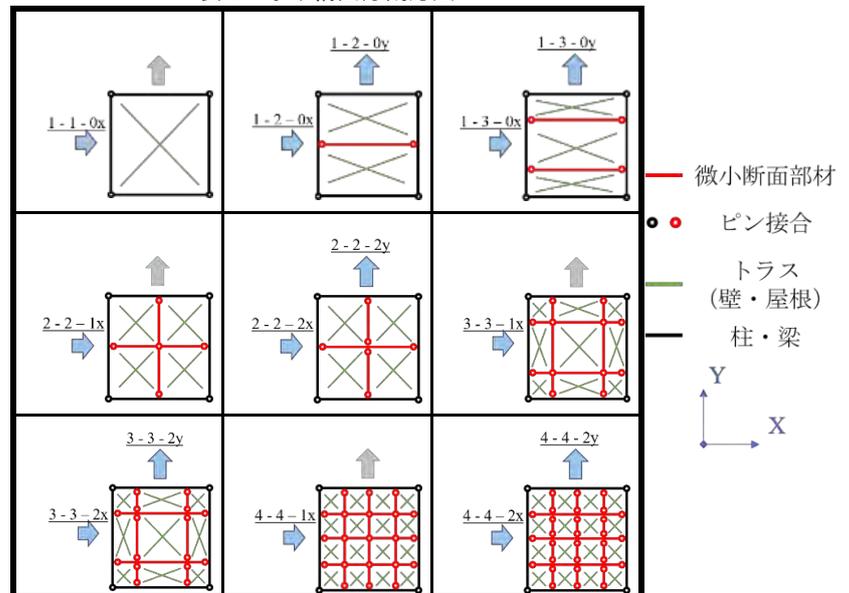


図3 水平構面分割モデル(1-1-0x)概観



3. 静的増分解析結果

各解析モデルで A_i 分布から算出される地震力分布に基づく静的増分解析を行い、荷重変形角関係を出力した。なお、加力方向については、柱付きモデルと柱・壁付きモデルでは、Y方向のみとし、水平構面分割モデルでは、表3中の矢印に示す方向とした。層間変形角は重心位置で算定し、載荷条件として層間変形角が $1/10 \text{ rad}$ を超えるまで 0.1 mm 刻みで変位増分させた。ただし、柱付き下屋モデルに限り、X1通りとX2通りの柱頭との層間変位が 200 mm を超えるまでの変位増分とした。

3.1. 柱付き下屋モデル

柱付き下屋モデルの荷重変形角関係を図4に示す。なお、横軸の構面間変形角とは、X2通りの柱頭の節点の変位をX方向の水平投影距離(3000 mm)で除した値である。

いずれのモデルにおいても、最大復元力は一致した。ただし、モデルC1, C2, C3, C4の順で初期剛性が低下した。つまり、勾配が大きいほど、下屋構面の初期剛性は低下する。これは、下屋構面の勾配が大きいほどトラスの全長が長くなることが要因と考えられる。

3.2. 柱・壁付き下屋モデル

柱・壁付き下屋モデルの荷重変形角関係を図5(a)に示す。なお、横軸の層間変形角とは、X2通りの柱頭の節点の変位を層高(2500 mm)で除した値である。モデルW1, W2, W3, W4, W5の順で最大復元力、初期剛性が増加した。これは、図5(b)に示すX1, X2通りの垂壁のトラスの軸力からわかるように、X1通りの柱の長さが短くなるほど、当該構面の剛性が上昇するためと考えられる。実際、モデルW1, W2, W3, W4の順に、X1通りの垂

壁のトラスが最大復元力に達する時の層間変形角が小さくなっており、初期剛性が大きい。また、図 5(c)に示す下屋構面の圧縮側トラスの軸力(圧縮力を正)からわかるように、柱の長さが短くなるほど、X1 通りと X2 通りの構面間の剛性差が大きくなり、下屋構面の圧縮側トラスの軸力が大きくなる。一方、下屋が水平であるモデル W1 の下屋構面の圧縮側トラスの軸力は、常に 0 となる。さらに、モデル W2, W3, W4 の荷重変形角関係は、下屋構面の圧縮側トラス、垂壁のトラスの復元力特性と剛性の変化点の層間変形角は一致する。一方でモデル W5 の荷重変形角関係においては、剛性の変化点の層間変形角は、下屋構面の圧縮側トラスの復元力特性とは一致しているが、垂壁のトラスの復元力特性とは一致していない。これは、垂壁が最大復元力に達するより先に、下屋構面の圧縮側トラスが三次剛性域に達したためである。つまり、柱の長さが短い構面の剛性上昇により、X1 通りの耐震要素が最大荷重に至るより先に、水平構面の塑性化が進行した。

以上のことから、下屋構面の勾配が大きくなるほど、柱が短くなる構面の剛性が上昇し、水平構面の負担が大きくなる事が分かる。

3.3. 水平構面分割モデル

水平構面分割モデルの荷重変形角関係を図 6 に示す。なお、加力方向に平行な 2 つの梁のうち、X5 通りあるいは Y5 通りの梁に取り付け壁の壁厚 t で分けて示した。モデル名の 3 項目に 1 または 2 を含むモデルの比較において、そのパラメータが荷重変形角関係に及ぼす影響は見られなかったため、ここではモデル 2-2-1x, 3-3-1x, 4-4-1x の結果のみを示す。また、モデル 1-2-0y, 1-3-0y はモデル 1-1-0x と、モデル 1-2-0x, 1-3-0x はモデル 2-2-1x, 3-3-1x とそれぞれ荷重変形角関係に差が見られなかった。以上を踏まえ、本節ではモデル 1-1-0x, 2-2-1x, 3-3-1x, 4-4-1x の結果のみを示す。

$t = 0 \text{ mm}$ の場合では、いずれのモデルにおいても、最大復元力は一致し、荷重変形角関係は水平構面と同じトリリニア形状となった。これは、Y5 通りが壁厚 0 mm であるため、その構面の変形が先行し、当該構面の負担する荷重は、水平構面によってすべて Y1 通りに伝達されたためと考えられる。また、モデル 1-1-0x においては剛性の変化点が明瞭であるのに対し、その他のモデルにおいては、それに内接するように比較的滑らかな曲線を描いた。これは、加力方向に平行な微小断面部材の存在、すなわち水平構面が加力方向に分割されることにより、水平構面の塑性化が段階的に進行したことが影響していると考えられる。

$t = 25 \text{ mm}, 50 \text{ mm}$ の場合では、モデル 1-1-0x とその他のモデルを比較すると、最大復元力は前者の方が大きくなった。これは、 $t = 0 \text{ mm}$ の場合と同様に、水平構面が加力方向に分割されることにより、水平構面の塑性化が

段階的に進行したためと考えられる。また、 $t = 75 \text{ mm}$ の場合においては、大小関係は変わらないものの、その差は小さくなった。これは、Y1 通りと Y5 通りの構面の壁の耐震性能が近しくなることにより、水平構面による応力伝達の負担が小さくなるためと考えられる。

次に、最大荷重時における水平構面の塑性化状況を表 4 に示し、詳細な応力状態の変化について考察する。まず、 $t = 25 \text{ mm}, 50 \text{ mm}$ の場合においては、最大復元力はモデル 3-3-1x が他二つに比べ大きい。これは、水平構面のトラスの塑性化状況が影響しているためと考えられる。 $t = 25 \text{ mm}$ においては、モデル 2-2-1x, 4-4-1x では Y1 通りから Y3 通りまでの水平構面のトラスが三次剛性域に達しているが、モデル 3-3-1x では、Y1 通りと Y2 通り間が三次剛性域に達しているものの、Y2 通りと Y4 通り間は三次剛性域に達していない。つまり、モデル 3-3-1x は他二つに比べ、中央の水平構面が、壁の最大荷重時においても二次剛性域内であったため、3-3-1x は最大復元力が大きくなったと考えられる。 $t = 50 \text{ mm}$ においては、モデル 2-2-1x では $t = 25 \text{ mm}$ と同様に、Y1 通りと Y3 通り間の水平構面のトラスが三次剛性域に達しているが、モデル 3-3-1x, 4-4-1x においては、Y1 通りと Y2 通り間が三次剛性域、Y4 通りと Y5 通り間は二次剛性域にそれぞれ達している。しかし、Y2 通りと Y4 通り間の状況は $t = 25 \text{ mm}$ と異なる。つまり、モデル 3-3-1x は、モデル 4-4-1x とは異なり、Y2 通りと Y4 通り間の水平構面のトラスが、壁の最大荷重時においても初期剛性域内であったため、3-3-1x は最大復元力が大きくなったと考えられる。次に、 $t = 75 \text{ mm}$ の場合においては、最大復元力は 2-2-1x が他二つに比べて小さい。これについても、上と同様に水平構面のトラスの塑性化状況が影響していると考えられる。すなわち、モデル 2-2-1x の水平構面には、壁の最大荷重時において初期剛性域内であるトラスが存在しないため、このような差異が生じたと考えられる。

以上のことから、加力方向に水平構面を分割した場合水平構面のトラスの塑性化が段階的に進行するため、分割しない場合に比べて荷重変形角関係における最大復元力は小さくなる。また、偏心の大きい場合では、壁の耐震性能の大きい構面に近い水平構面のトラスから塑性化し、壁の最大復元力に達する時点における塑性化の割合が多い分割手法ほど、建物全体の最大復元力は小さくなる。偏心の小さい場合では、分割手法が建物全体の最大復元力に及ぼす影響は小さくなる。

4. まとめ

簡易的な立体フレームモデルを用いて、下屋構面および水平構面のモデル化手法に着目し、それらの差異が荷重変形角関係に与える影響について分析した。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人 建築研究所: 2020 年版 建築物の構造関係技術基準解説書, pp.271-273, 2021.07
- 2) 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会: 伝統的構法のための木造耐震設計法, pp.137, pp.280-281, 2019.06
- 3) 文化庁: 重要文化財(建築物)耐震基礎診断実施要領, pp.12-13, pp.16-17, 2012.6

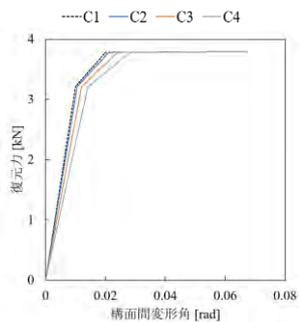
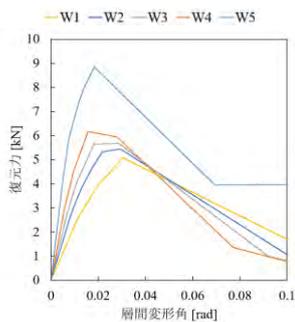
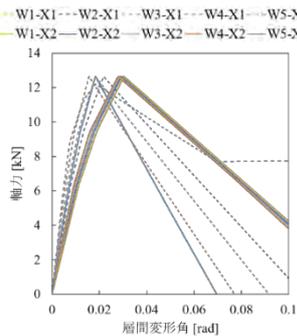


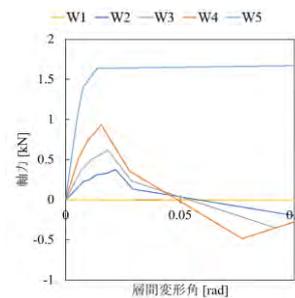
図4 柱付きモデルの荷重変形角関係



(a) 荷重変形角関係

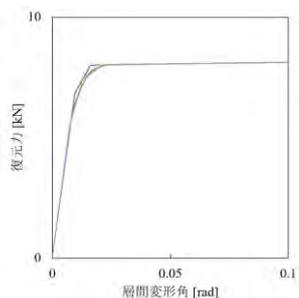


(b) 壁トラス

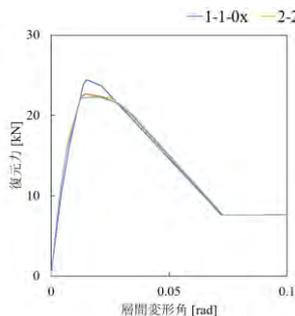


(c) 下屋トラス

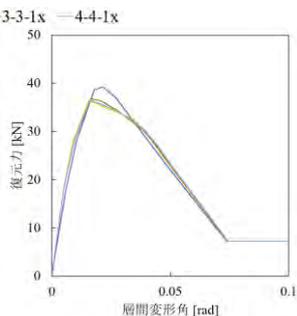
図5 柱・壁付きモデルの増分解析結果



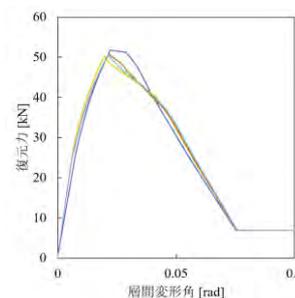
(a) t = 0 mm



(b) t = 25 mm



(c) t = 50 mm



(d) t = 75 mm

図6 水平構面分割モデルの荷重変形角関係

表4 最大荷重時の水平構面トラス降伏状況

	2-2-1x	3-3-1x	4-4-1x	
t = 25 mm				<ul style="list-style-type: none"> × 初期剛性域 × 二次剛性域 × 三次剛性域
t = 50 mm				
t = 75 mm				

*1 香川大学大学院創発科学研究科 大学院生
*2 香川大学創造工学部 教授・博士(工学)

*2 Graduate Student, Graduate School of Sci. for Creative Emergence., Kagawa Univ.
*3 Prof., Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

社寺建築物に用いられる金輪継手の耐震性能に関する実験的研究

2.構造
社寺建築物

7.木質構造
伝統構法

b.接合部
金輪継手

準会員 ○吉岡 美玲 1* 同 宇都宮 直樹 3***
正会員 宮本 慎宏 2**

1. 序論

社寺建築物の耐震性能評価を行うためには、各耐震要素を精確に評価する必要がある。木造軸組架構は様々な要素から構成されるが、その中には継手のような架構の弱点となりうる要素も含まれており、このような弱点が架構全体の耐震性能に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

本研究では、主に柱脚が腐食した際の根継ぎなどに使用される金輪継手を対象とし、金輪継手を有する柱試験体の耐震性能を実験的に検討することを目的とする。

2. 実験概要

既往研究¹⁾に基づき金輪継手の寸法を決定し、実大試験体を作製して曲げ・せん断・引張・圧縮試験をそれぞれ行う。図1に金輪継手詳細図を示す。試験体の樹種は母材(180×180 mm)をヒノキ、込栓(21~27×21 mm)をカンとし、継手長さを400 mm、目違い幅を21 mm、へそ幅を45 mmとする。

試験は継手の有無と加力方向をパラメータとし、曲げ試験は継手なし(M試験体)、継手あり弱軸回り(MJ試験体)、継手あり強軸回り(MK試験体)の3種類、せん断試験は継手なし(S試験体)、継手あり弱軸正方向加力(SJP試験体)、継手あり弱軸負方向加力(SJM試験体)、継手あり強軸(SK試験体)の4種類、引張試験は継手あり(HT試験体)の1種類、圧縮試験は継手なし(A試験体)、継手あり(AT試験体)の2種類とし、各仕様3体の計30体行った(表1)。

試験体詳細図を図2に示す。載荷方法は、曲げ試験はスパン長さ3000 mmの3等分4点曲げとし、支点から1000 mmの位置から2カ所で載荷した。変位計は、試験

体中央・載荷点・継手両端部の計5カ所の相対する2面とし、ひずみゲージは載荷点と継手端部の中心位置の上下の計4カ所とした。せん断試験はスパン長さ1080 mmの2等分3点曲げとし、支点間中央を載荷点とした。変位計は載荷点・支点・載荷点と支点間の中央の計5カ所の相対する2面とした。引張試験はスパン長さを1620 mmとし、治具を用いて試験機と試験体を固定し、片側加力により試験を行った。変位計は継手端部の2カ所とし、ひずみゲージは試験体中央から両側418 mmの位置の上下4カ所とした。圧縮試験はスパン長さを1080 mmとし、垂直方向に加力することで試験を行った。変位計は試験体上端と継手中央部の2面の計3カ所とし、ひずみゲージは試験体中央から両側418 mmの位置の上下4カ所とした。なお、継手位置は、曲げ試験、圧縮試験、引張試験は試験体中央、せん断試験は継手部に直接加力されることを避けるため中央から右に270 mmずらして配置した。

3. 実験結果

3.1 荷重変形関係と破壊性状

(1) 曲げ試験

図3に曲げ試験の荷重変形角関係、図4にその破壊性状を示す。横軸の変形角は、試験体中央の変位計CH9、10の変位の平均値から、左右の載荷点の変位計CH1、5及びCH4、8の変位の平均値を引いて、載荷点から中央までの長さ500 mmで除し、2倍することで求めた中心位置における値である。

M試験体では、M-1、M-3で曲げ破壊、M-2でせん断破壊が起こった。M-1、M-3では、初期の破壊として、変形角0.010 rad以降に図4(a)に示すような載荷面中央

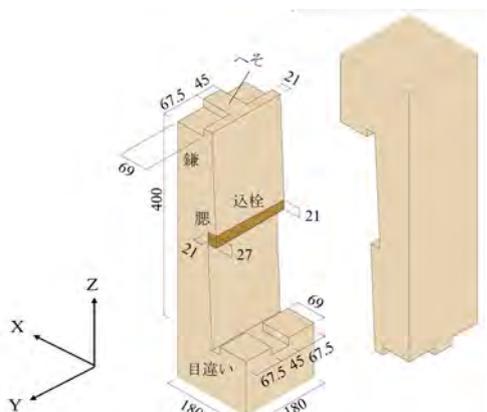


図1 金輪継手詳細図

表1 試験体一覧

実験名	試験体名称	継手の有無	載荷方向	数量
曲げ試験	M	無	-	3
	MK	有	X軸	3
	MJ	有	Y軸	3
せん断試験	S	無	-	3
	SK	有	Y方向	3
	SJP	有	X(正)	3
	SJM	有	X(負)	3
引張試験	HT	有	Z方向	3
圧縮試験	A	無	Z方向	3
	AT	有	Z方向	3

付近の圧壊を確認した。圧壊発生後は剛性の低下が見られたが荷重は低下しなかった。それぞれ、変形角 0.040 rad, 0.060 rad 付近で最大荷重に達し、試験体下面で図 4 に示すような割裂が発生し荷重が低下した。

MJ 試験体では、MJ-1, MJ-2 は 0.014 rad 付近, MJ-3 は 0.008 rad 付近で図 4(b)に示すような目違い接合部の受け側に割裂が発生し、次に目違い側下部に割裂が発生した。このとき、剛性は低下せず荷重は上がり続けた。その後、最大荷重前に MJ-1 は 0.015 rad 付近, MJ-2, MJ-3 は 0.023 rad 付近で図 4(c)に示すような腮から目違いにかけての割裂が発生し、最大荷重後はそれぞれの割れが進行し、荷重が低下した。

MK 試験体では、MK-1 は 0.030 rad 付近, MK-2, MK-3 は 0.020 rad 付近で図 4(d)の上部に示すような鎌先端での割裂が発生し、次に、へそとその受け側の接合部で割裂が発生した。このへそ接合部の割れは、図 4(d)下部, (e)に示すように、へそ側に発生する割れとへその受け側に発生する割れの 2 種類が確認され、荷重が低下した。最大荷重後は図 4(f)に示すような試験体下面側の腮から目違いにかけての割裂が発生し、破壊の進行に伴って荷重が低下した。

(2) せん断試験

図 5 にせん断試験の荷重変形関係、図 6 にその破壊性状を示す。横軸の変形は、試験体中央の変位計 CH9, 10 の変位の平均値から、左右の載荷点の変位計 CH1, 5 及び CH4, 8 の変位の平均値を引き、さらに曲げによるたわみを引いた値である。ここで、曲げによるたわみの算出に用いるヤング係数は、M 試験体の曲げ試験結果から算出した曲げヤング係数の平均値である 12.6 kN/mm² を用いる。

S 試験体では、S-1, S-2 試験体でせん断破壊、S-3 試験体で曲げ破壊が起こった。S-1, S-2 試験体では、荷重

の上昇に伴い変形が進行し、S-1 は変形 4.1 mm, S-2 は 3.3 mm で最大荷重に達し、図 6(a)に示すようなせん断破壊が発生した。また、支点及び載荷点ではめり込みも確認された。

SJP 試験体ではすべての試験体で、変形 1.5~2.0 mm で、図 6(b)に示すような目違い下部を起点とする割裂が発生し、剛性は低下したが荷重は上がり続けた。また、上記の破壊発生後には、SJP-1, SJP-2 は変形 4.3 mm 付近, SJM-3 は 3.7 mm 付近で、図 6(c)に示すような腮から目違いにかけての割裂が発生し、最大荷重後しばらくして割裂の進行により荷重が低下した。

SJM 試験体では、SJM-1 は変形 1.5 mm, SJM-2 は 0.9 mm, SJM-3 は 2.3 mm で、図 6(d)に示すような目違い受け側上部を起点とする割裂が発生した。割裂発生後は緩やかな剛性の低下が見られたが荷重は上がり続け、すべての試験体で変形 15 mm 以降に最大荷重に達し、上記の割裂が進行、荷重が低下した。

SK 試験体ではすべての試験体で、変形 2.4 mm 以降に図 6(e)に示すような、へそ接合部下部での割裂が発生し、その後、3 体中 2 体で鎌先端の割裂が発生した。この際、剛性の低下は見られたが、荷重は低下しなかった。最大荷重後は、試験体下面側で図 6(f)に示すような腮から目違いにかけての割裂が発生し、荷重が低下した。

(3) 引張試験

図 7 に引張試験の荷重変形関係、図 8 にその破壊性状を示す。荷重変形関係の横軸は、継手境目の変位計 CH1, 2 の計測値に、ひずみゲージ No.1, 3 の計測値の平均値、及びひずみゲージ No.2, 4 の計測値の平均値を、継手を除く全長分のひずみに換算した値を足し合わせて算出した。

HT 試験体では、HT-1 は変形 2.8 mm, HT-2 は 1.1 mm, HT-3 は 0.7 mm 付近で、図 8(a)に示すような目違い接合

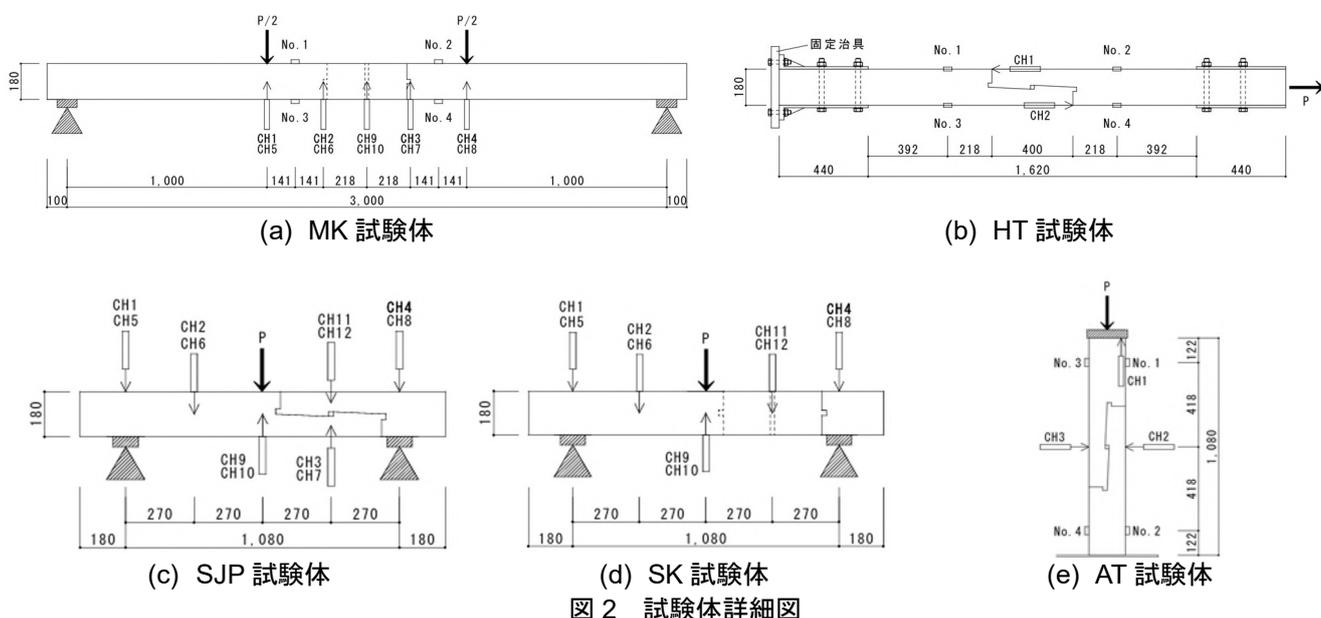


図 2 試験体詳細図

部の受け側で割裂が確認され、徐々に剛性は低下したが荷重は上がり続けた。その後、HT-1 は変形 4.4 mm, HT-2 は 1.9 mm, HT-3 は 6.1 mm 付近で、図 8(b)に示すような腮から目違ひにかけての割裂が発生し、終局状態では、この割れが図 8(c)のように貫通し、荷重が低下した。

(4) 圧縮試験

図 9 に圧縮試験の荷重変形関係、図 10, 11 にその破壊性状を示す。荷重変形関係の横軸は、試験体上端の変位計 CH1 で計測した変位に、ひずみゲージ No.1, 3 の計測値の平均値、及びひずみゲージ No.2, 4 の計測値の平均値を、全長分のひずみに換算して算出した。

A 試験体では、荷重の上昇に伴い、図 10 に示すような各面、節周りの圧壊・割裂が発生し、最大荷重後はこれらの破壊が進行することで荷重が低下した。

AT 試験体では、AT-1, AT-2 は変形 2.1 mm, AT-3 は 1.4

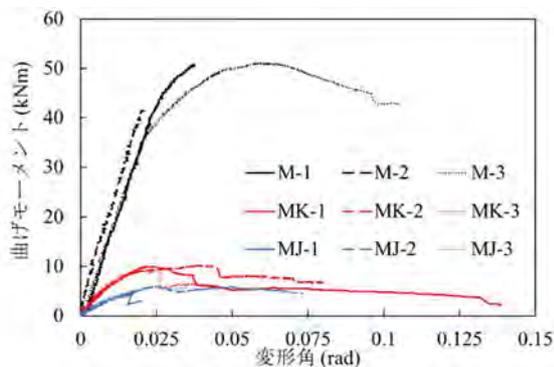


図 3 曲げモーメントー変形角関係

mm 付近で、図 11(a), (b)に示すような目違ひ接合部やへそ接合部での割裂が発生し、荷重の増加に伴い図 11(c)に示すような節周りの圧壊、図 11(a), (b), (d)に示すような各継手接合部及び込栓周辺の圧壊が見られた。また、荷重の上昇・変形の進行に伴い、継手の面外方向へのはらみ出しが確認された。

3.2 低減率

表 2 に各試験体の特性値一覧、密度及び特性値の低減率を示す。低減率は、継手なし試験体に対する継手あり試験体の特性値の比率である。なお、せん断破壊が発生した M-2 試験体、曲げ破壊が発生した S-3 試験体の特性値は除外して平均化した。また、引張試験は継手あり試験体のみ行ったため、別途実施した材料試験結果より引張強度 70.5 N/mm² を継手なし試験体の特性値とした。表 2 より、曲げ試験の低減率は平均して、MK の曲げヤン

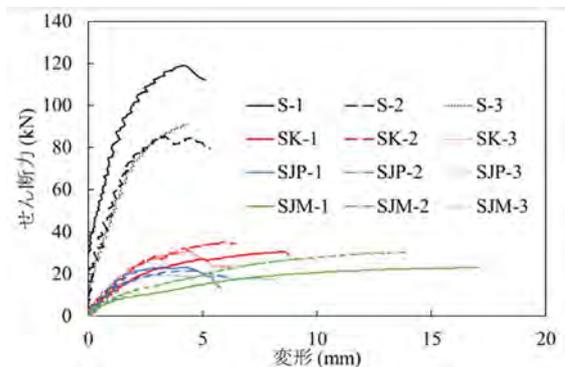


図 5 せん断力ー変形関係



(a) 曲げ破壊 (M 試験体)



(b) 目違ひ接合部の割裂 (MJ 試験体)



(a) せん断破壊 (S 試験体)



(b) 目違ひ下部の割裂 (SJP 試験体)



(c) 腮から目違ひにかけての割裂 (MJ 試験体)



(d) 鎌先端及びへそ側の割裂 (MK 試験体)



(c) 腮から目違ひにかけての割裂 (SJP 試験体)



(d) 目違ひ受け側上部の割裂 (SJM 試験体)



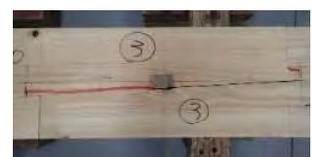
(e) へその受け側の割裂 (MK 試験体)



(f) 腮から目違ひにかけての割裂 (MK 試験体)



(e) 鎌先端及びへそ側の割裂 (SK 試験体)



(f) 腮から目違ひにかけての割裂 (SK 試験体)

図 4 曲げ試験体破壊性状

図 6 せん断試験体破壊性状

グ係数が42.6%，曲げ強度が20.9%，MJの曲げヤング係数が26.8%，曲げ強度が11.0%となり，弱軸は強軸と比較して，曲げヤング係数は約0.629倍，曲げ強度は約0.548倍に低下した．同様に，せん断強度の低減率は平均して，SKが31.4%，SJPが21.0%，SJMが25.7%となり，強軸に比べて弱軸正方向は約0.817倍，弱軸負方向は約0.668倍に低下した．また，縦引張強度，縦圧縮ヤング係数，縦圧縮強度の低減率は，平均してそれぞれ3.14%，97.7%，89.1%となった．

4. まとめ

金輪継手を有する実大柱試験体に曲げ試験，せん断試験，引張試験，圧縮試験を行い，荷重変形関係及び破壊性状を把握した．また，継手による各特性値の低減率の比較より，引張，曲げ弱軸，曲げ強軸，せん断弱軸正方向，せん断弱軸負方向，せん断強軸，圧縮の順に低減率が小さくなることを示した．

謝辞

本研究における実大実験は，公益財団法人松井角平記念財団の補助を受けて実施された．実験の実施に当たっては，香川大学及び近畿職業能力開発大学校の学生の協力を得た．ここに記して感謝の意を表す．

参考文献

- 1) 多幾山法子, 戸川楓子, 千野詠子: 既存木造区体への根継ぎが力学特性と固有振動数に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 第88巻, 第810号, pp.1262-1272, 2023.

表2 特性値一覧と低減率

項目	ヤング係数 (kN/mm ²)	平均値 (kN/mm ²)	強度 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	密度 (g/cm ³)	低減率(%)	
						ヤング係数	強度
曲げ試験	M-1	12.6	51.4	51.6	0.525	-	-
	M-2*	13.9	42.3		0.519		
	M-3	12.7	51.8		0.510		
	MK-1	5.52	10.2	10.4	0.515	43.7	19.8
	MK-2	5.22	10.5		0.514	41.3	20.4
	MK-3	5.40	10.4		0.497	42.8	20.1
	MJ-1	3.37	4.93	3.39	0.511	26.7	9.56
	MJ-2	3.25	6.10		0.535	25.7	11.8
	MJ-3	3.54	6.01		0.495	28.0	11.6
せん断試験	S-1	-	5.52	4.73	0.560	-	-
	S-2	-	3.94		0.509		
	S-3*	-	4.22		0.502		
	SJP-1	-	1.09	0.992	0.532	-	22.9
	SJP-2	-	0.994		0.562	-	21.0
	SJP-3	-	0.898		0.547	-	19.0
	SJM-1	-	1.07	1.21	0.517	-	22.7
	SJM-2	-	1.41		0.556	-	29.7
	SJM-3	-	1.17		0.570	-	24.6
	SK-1	-	1.41	1.49	0.532	-	29.9
SK-2	-	1.63	0.562		-	34.4	
SK-3	-	1.41	0.547		-	29.9	
引張試験	HT-1	1.92	1.70	2.21	0.445	-	2.41
	HT-2	3.26	2.31		0.539	-	3.28
	HT-3	2.09	2.62		0.540	-	3.72
圧縮試験	A-1	11.6	27.5	27.4	0.544	-	-
	A-2	9.31	27.0		0.480		
	A-3	8.32	27.7		0.503		
	AT-1	7.28	25.8	24.4	0.516	74.7	94.1
	AT-2	10.2	22.6		0.526	105	82.5
	AT-3	11.1	24.9		0.519	113	90.8

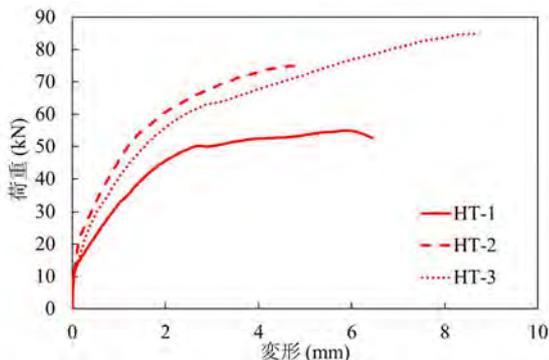


図7 引張荷重—変形関係

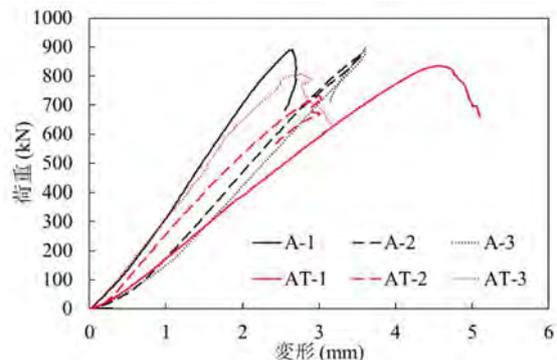
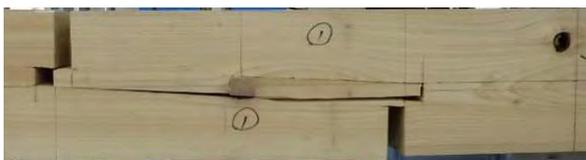


図9 圧縮荷重—変形関係



(a) 目違い受け側の割裂 (b) 腮から目違いにかけての割裂



(c) 腮の割裂の進行・貫通
図8 HT試験体破壊性状



図10 A試験体破壊性状



(a) 目違い接合部の割裂及び圧壊



(b) ヘソ接合部の割裂及び圧壊



(c) 節周辺の圧壊



(d) 込栓周辺の圧壊

図11 AT試験体破壊性状

*1 香川大学創造工学部 学部生

*2 香川大学創造工学部 教授・博士(工学)

*3 近畿職業能力開発大学校 建築施工システム科 教授 博士(工学)

*1 Undergraduate Student, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ.

*2 Prof., Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

*3 Prof., Dept. of Architectural System Technology, Kinki Polytechnic College, Dr. Eng.

法隆寺東院廻廊の地震時挙動および耐震補強シミュレーションに関する研究

2.構造 7.木質構造 e.伝統構法
伝統的木造建築 廻廊架構 立体フレームモデル
地震応答解析 振動モード 補強シミュレーション

正会員 ○ 黄 昊*1
正会員 宮本 慎宏*2
正会員 西川 英佑*3

1. はじめに

廻廊は、柱の柱傾斜復元力を主な耐震要素とし、非剛床である屋根面によって連結されることで、平面的な広がりをもつ構造形式である。このように特異な構造形式を有する廻廊では、地震時の挙動が十分に解明されておらず、適切な耐震補強工法についても十分な検討がなされていない。

以上を踏まえ、本研究では廻廊の地震時挙動を把握するとともに、廻廊に適した耐震補強工法を検討することを目的とする。本報では、法隆寺東院廻廊の1/11スケール全体架構模型¹⁾(以下、模型)を再現した立体フレームモデル(以下、解析モデル)による地震応答解析結果を既往研究で実施した振動台実験²⁾結果と比較し、解析モデルを用いた補強シミュレーションを行う。

2. 立体フレームモデルを用いた地震応答解析

2.1 振動台実験の概要

既往研究²⁾では、法隆寺東院廻廊を参考に1/11スケールの模型を作製し、2023年度と2025年度に振動台実験を実施した。振動台実験では梁間方向に加振を行い、加振中の各通りの変位をモーションキャプチャー(以下、

MC)により計測した。セットアップ状況を図1に示す。

加振に用いた地震動(図2)は、卓越周期帯がそれぞれ異なる、1995年兵庫県南部地震で観測されたJMA神戸NS(以下、神戸)、2016年熊本地震で観測されたKiK-net益城EW(以下、益城)、1968年十勝沖地震で観測された八戸EW(以下、八戸)、2011年東北地方太平洋沖地震で観測されたK-net苫小牧NS(以下、苫小牧)の計4波とした。入力地震波は模型の相似則³⁾に基づき、原波の時間刻みを $\sqrt{11}$ で除したのち、PGVをそれぞれ10kine~45kineに基準化した。

両年度の実験では同一模型を使用しているため、模型の繰り返し使用による剛性低下の影響が考えられる。そこで、地震波加振前にホワイトノイズ加振(以下、WN加振)を行い、模型の振動特性を把握した。中央通り柱頭に設置したMCから得られた時刻歴変位データにFFT解析を行い、同定した梁間方向の固有振動数を表1に示す。表1より、1次固有振動数は2023年度で3.13 Hz、2025年度で2.78 Hzとなり、約10.9%低下した。3次固有振動数は2023年度で6.01 Hz、2025年度で5.52 Hzとなり、約8.13%低下した。

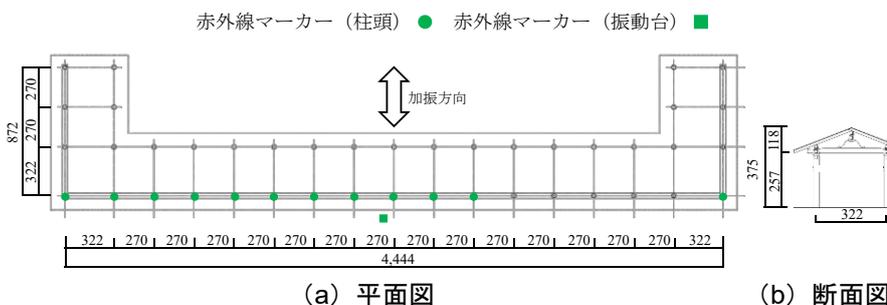


図1 セットアップ状況

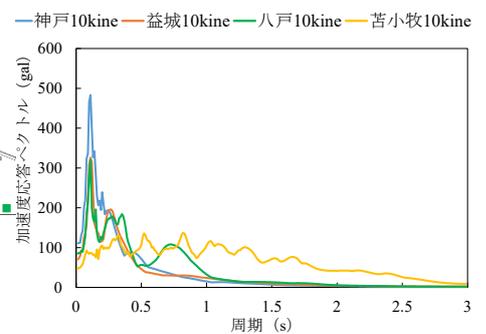


図2 入力地震波の加速度スペクトル

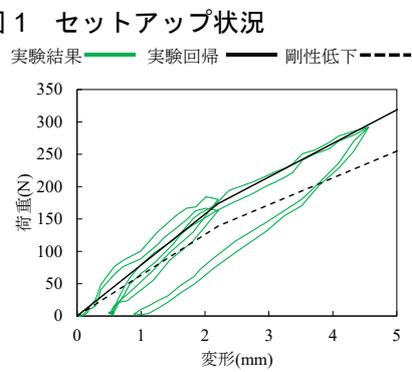
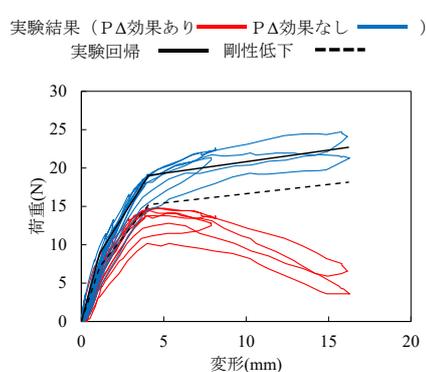


図3 梁間方向への静的载荷実験結果 図4 屋根構面のせん断载荷実験結果

表1 固有振動数の比較

固有振動数 [Hz]		1次	2次	3次
模型	2023年度	3.13		6.01
	2025年度	2.78		5.52
解析モデル	実験結果回歸	2.92	3.51	4.37
	剛性低下想定	2.63	3.18	3.98

2.2 立体フレームモデルの構築

既往研究⁴⁾では、模型の桁行方向2スパン分を切り出した基本架構模型を対象として、各耐震要素の復元力特性を把握することを目的に、梁間方向への静的載荷実験および屋根構面のせん断載荷実験を実施した。さらに、これらの実験結果に基づいて解析モデルを構築した。

解析モデルでは、貫接合部は回転バネ、柱傾斜復元力は単軸バネ、屋根構面はブレース要素で置換し、それぞれ再現した。柱脚はピン支持、虹梁の端部はピン接合、頭貫の面外方向は剛接合、継手箇所のみピン接合とした。

本研究では、既往研究⁴⁾で構築したモデルを基に、以下の修正を加えた。梁間方向への静的載荷実験結果を図3に示す。耐震要素となる柱傾斜復元力にはP Δ 効果が含まれるため、実験結果は上に凸の曲線(図3の赤線)を示すが、本研究ではP Δ 効果を除外した結果(図3の青線)を用い、変形1mm時、P Δ 効果を考慮した最大荷重時、および終局変位時の3点から回帰したトリリニアモデルとした。屋根構面のせん断載荷実験結果を図4に示す。屋根構面については、図4に示す実験結果から回帰したバイリニアモデルとした。なお、初期剛性は1/120rad時の割線剛性、二次剛性は1/120rad時と1/60rad時を結んだ直線を用いた。

2.3 固有値解析結果

2.2節で修正した解析モデル(以下、モデルA)に対して固有値解析を行った結果を表1に示す。表1より、モデルAの1次固有振動数は2.92Hz、3次固有振動数は4.37Hzである。2.1節で確認した模型の固有振動数の低下を解析モデルに反映させるため、柱傾斜復元力および屋根構面の初期剛性と降伏耐力を一律に低減させた。その結果、表1に示す0.8倍としたモデル(以下、モデルB)では、1次固有振動数は2.63Hz、3次固有振動数は3.98Hzとなり、モデルAからそれぞれ10.2%、8.77%低下した。この固有振動数の低下率は、2.1節で同定した模型の固有振動数の低下率と概ね一致しており、モデルBは模型の繰り返し使用に伴う剛性低下を概ね再現できている。

2.4 地震応答解析結果

2.3節の結果を踏まえ、模型の剛性低下に対応させるため、2023年度の振動台実験にはモデルA、2025年度の振動台実験にはモデルBを用いて地震応答解析を行った。解析にはNewmark- β 法($\beta=1/4$)を用い、積分時間間隔は各入力地震動のサンプリング時間と同様とした。柱傾斜復元力は逆行型、貫接合部、柱-頭貫接合部および屋根構面はスリップ型の履歴特性とした。減衰は初

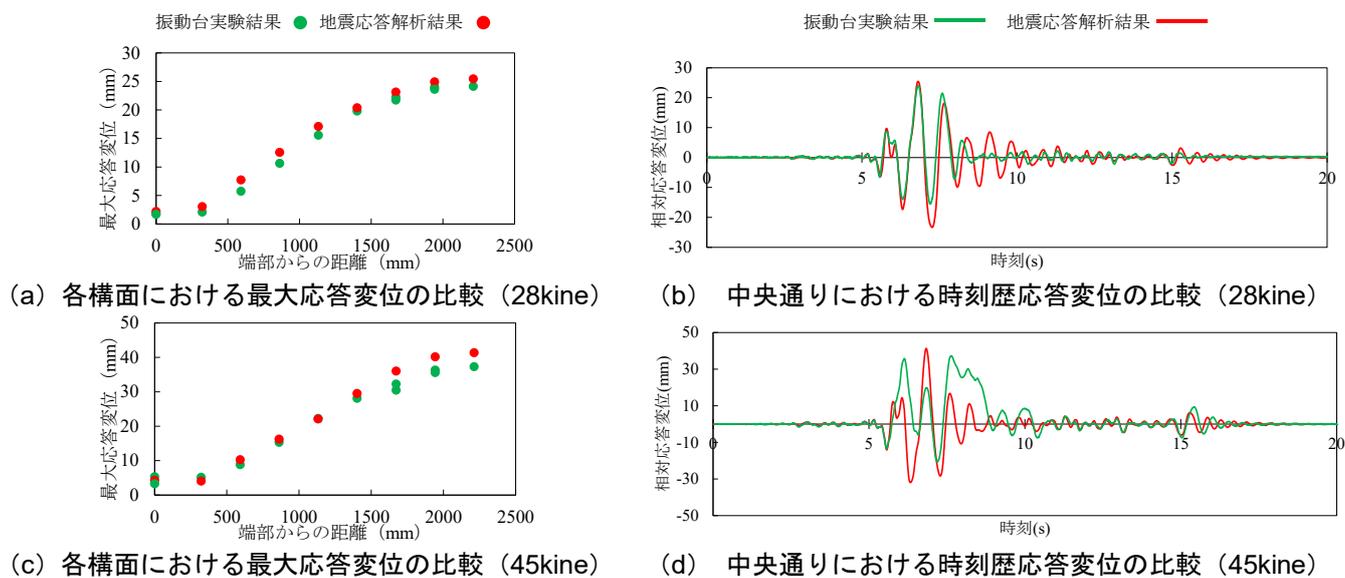


図5 地震応答解析と振動台実験との比較(2025年度八戸)

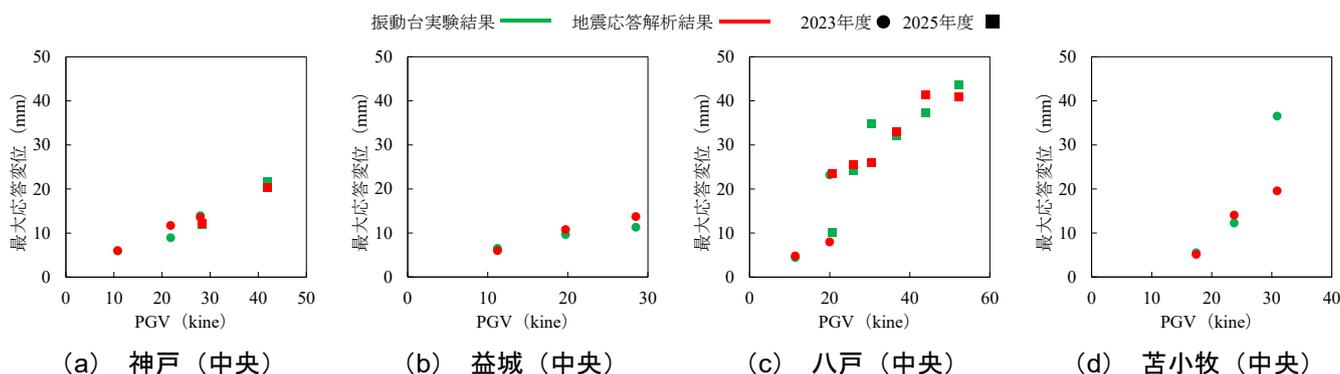


図6 地震応答解析と振動台実験における最大応答変位の比較

期剛性比例型とし、WN加振時の中央通りのMC(図1)の時刻歴データからRD法により算出した減衰定数4.00%を用いた。振動台は電圧制御であるため、出力波形に若干の差異が生じることから、地震応答解析には振動台で計測した加速度波形を入力波として用いた。

2025年度の八戸28kineおよび45kineにおける各通りの最大応答変位、ならびに中央通りの時刻歴応答変位を図5にそれぞれ示す。解析モデルは左右対称のため、図5(a)、(c)は片側の比較結果のみ示す。図5(a)、(c)より、各通りにおける地震応答解析と振動台実験の最大応答変位は概ね一致し、中央通りの最大応答変位が最も大きく、中央部が膨らむ一次振動モードの形状を示した。一方で、図5(b)、(d)より、入力レベルが小さい場合には時刻歴波形は概ね一致するが、入力レベルが大きくなると、最大応答変位となる時刻および時刻歴波形に差異が生じることが確認された。これは、振幅レベルの増加に伴う長周期化の進行が両者で異なることが要因と考えられる。

入力地震動ごとにPGVと最大応答変位の関係を、最も変形の大きい中央通りについて図6にそれぞれ示す。なお、横軸には振動台で計測したPGVを用いた。図6より、中央通りおよび両端ともに、入力レベルの増加に伴って最大応答変位が増加し、年度による顕著な差は見られず、地震応答解析結果と振動台実験結果は概ね一致している。苫小牧30kineでは解析結果と実験結果に差異が生じており、これは図5(d)と同様に、振幅レベルの増加に伴う長周期化の進行が両者で異なることが要因と考えられる。以上より、本研究で用いた解析モデルは、地震時における模型の挙動を概ね再現できている。

3. 立体フレームモデルを用いた補強シミュレーション

3.1 想定する耐震補強工法

2.4節の地震応答解析結果より、最大応答変位は1次振動モード形状(図5(a))を示し、中央通りの変形が大きくなることが確認できた。そこで、モデルAを用いて、梁間方向において中央通りの鉛直構面に鉄骨フレームを設置し、併せて水平構面に構造用合板を設置する耐震補強工法の補強シミュレーションを行った。

鉄骨フレームは既存柱への影響を考慮し、表2に示すように部材寸法を段階的にスケールダウンしてパターン1~3を設定した。柱材には一般構造用炭素鋼鋼材STK400、梁材には建築構造用圧延鋼材SN400を用い、相似則³⁾に基づいて各部材の寸法を模型スケールに換

算してモデルAに組み込んだ。モデル化については、骨格曲線は梁および柱の曲げ・せん断が二次剛性を0としたバイリニアモデルとした。曲げ耐力は塑性断面係数と降伏応力度から、せん断耐力はせん断用断面積と降伏強度からそれぞれ算出した。履歴特性は、曲げをバイリニア型、せん断を原点指向型とした。柱脚はピン支持、柱梁接合部は剛接合とし、鉄骨フレームは柱と剛棒を介してピン接合とした。

水平構面補強では、厚さ9~15mmの構造用合板を鉄丸釘N50で打ち付ける仕様を想定した。実大スケールでの水平構面の許容せん断耐力 1.96kN/m^2 を、相似則³⁾に基づいて模型スケールに換算した上で、ブレース置換によりモデル化した。なお、骨格曲線は降伏変形角を $1/120\text{rad}$ ⁶⁾、2次剛性0のバイリニアモデル、履歴特性はスリップ型とした。構造用合板補強により水平構面の剛性は補強前の約1.67倍に増加することが確認できた。

3.2 固有値解析結果

補強した3パターンの解析モデルを用いて固有値解析を行った。補強前後の固有振動数を表3に、振動モードを図7にそれぞれ示す。なお、各パターンの振動モード形状は概ね同様であるため、図7には代表例としてパターン3のみを示した。表3より、補強により1次固有振動数は約27.3%~29.4%、2次固有振動数は約53.2%~55.6%、3次固有振動数は約59.0%~62.9%増加することが確認できた。高次モードほど補強による固有振動数の増加率は大きい一方で、補強の部材寸法を大きくしても、固有振動数の変化は比較的小さい。図7より、補強により中央通りの変形が抑制され、両端間の振動モード形状は、中央と端部の間で変形する形へと変化した。

3.3 地震応答解析結果

補強した3パターンの解析モデルを用いて地震応答解析を行った。解析条件は2.4節と同様である。2025年度の八戸45kine入力時における各通りの最大応答変位を図8に、補強前後の水平構面の塑性状況を図9にそれぞれ示す。なお、補強後の3パターンでは水平構面の塑性化位置が概ね一致したため、図9には代表例としてパタ

表2 鉄骨フレームの部材寸法

	柱	梁
パターン1	φ-267.4×9.3	H-200×200×8×12
パターン2	φ-216.3×7.0	H-150×150×7×10
パターン3	φ-114.3×8.6	H-100×100×6×8

表3 固有振動数の変化

固有振動数 [Hz]	1次	2次	3次
補強前	2.93	3.51	4.37
パターン1	3.79	5.46	7.12
パターン2	3.77	5.44	7.07
パターン3	3.73	5.38	6.95

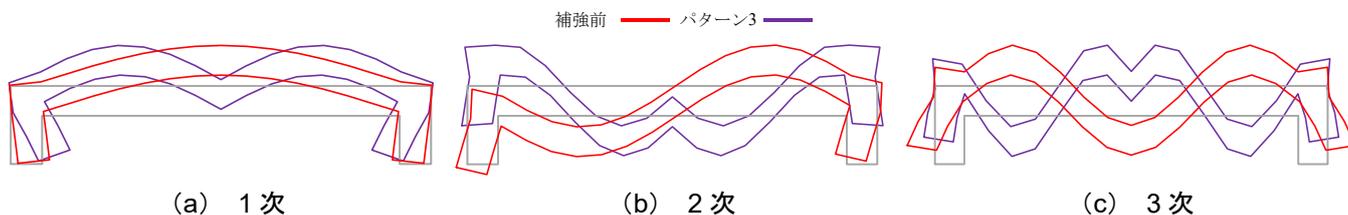


図7 補強による振動モードの変化

ーン3のみ示した。図8より、補強後の最大応答変位の分布は、端部と中央の間に上に凸の形状を示し、その位置が最大となった（以下、1/4端）。また、いずれのパターンにおいても鉄骨フレームの塑性化が見られず、部材寸法が大きいほど中央の変形は抑制される一方、1/4端の変形が増大する傾向がわずかに見られた。図9より、補強前は水平構面の中央を除く箇所では降伏が生じていたのに対し、補強後は1/4端を除く箇所では降伏が生じる結果となった。水平構面に配置したブレースの最大軸力を確認したところ、補強後は2倍以上の応答が生じており、本研究で検討した補強工法は水平構面の応力状態に大きな影響を及ぼすことが確認できた。

神戸および入力時におけるPGVと最大応答変位の関係を、中央と1/4端について図10に示す。図10より、補強後の中央の最大応答変位はいずれも1/75rad以内に収まり、パターン3を除いて鉄骨フレームが塑性化に至らないことが確認できた。また、補強後の1/4端の最大応答変位は、補強前の中央通りの最大応答変位を下回る結果となった。ただし、神戸42kineと54kineでは補強後において、1/4端の最大応答変位（図9(a)）が補強前を上回る結果が見られた。これは、補強による固有振動数の増加により、短周期成分を多く含む地震動（図2）に対する応答が増大したことが要因と考えられる。

以上より、廻廊のように平面的に広がる建築物では、中央通りに補強を加えた場合、中央通りの変形は抑えられたものの、1/4端においてより大きな変形が生じるということが確認できた。

4. まとめ

本報では、地震応答解析結果と振動台実験結果の比較により、廻廊模型の地震時挙動を概ね再現可能な解析モデルを構築した。また、補強シミュレーション結果より、廻廊においては、中央通りを補強すると変形は小さくなる一方、1/4端における変形は大きくなった。

参考文献

- 1) 松田ら：回廊の耐震性能に関する実験的研究（その1）縮小模型を用いた振動実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.753-754，2024.08
- 2) 山内ら：回廊の耐震性能に関する実験的研究（その4）縮小模型実験による地震挙動の再現，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），pp.597-598，2025.08
- 3) 西川ら：木造三重塔の構造特性に関する実験的考察（その2）縮小模型を用いた自由振動実験について，日本建築学会計画系論文集，第76巻，第660号，pp.485-494，2011.02
- 4) 宮本ら：回廊の耐震性能に関する実験的研究（その2）立体フレームモデルを用いた固有値解析結果，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.755-756，2024.08
- 5) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応答度設計①，pp.79-81，2019.09

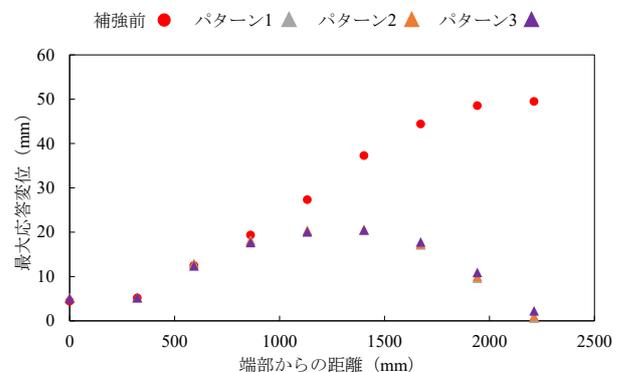


図8 補強による各構面における最大応答変位の比較（2025年度八戸45kine）

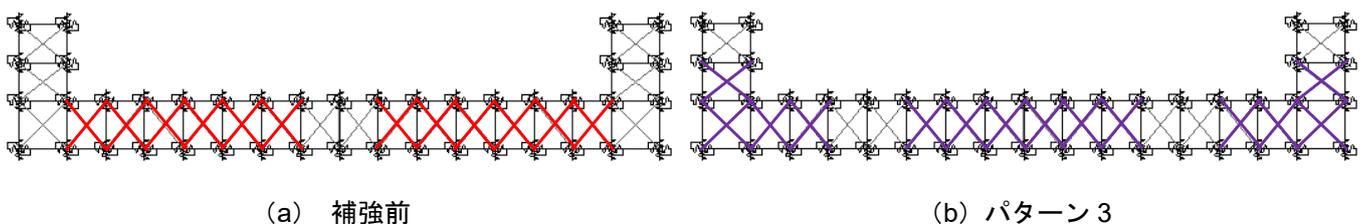


図9 補強による水平構面の塑性化状況の比較（2025年度八戸45kine）

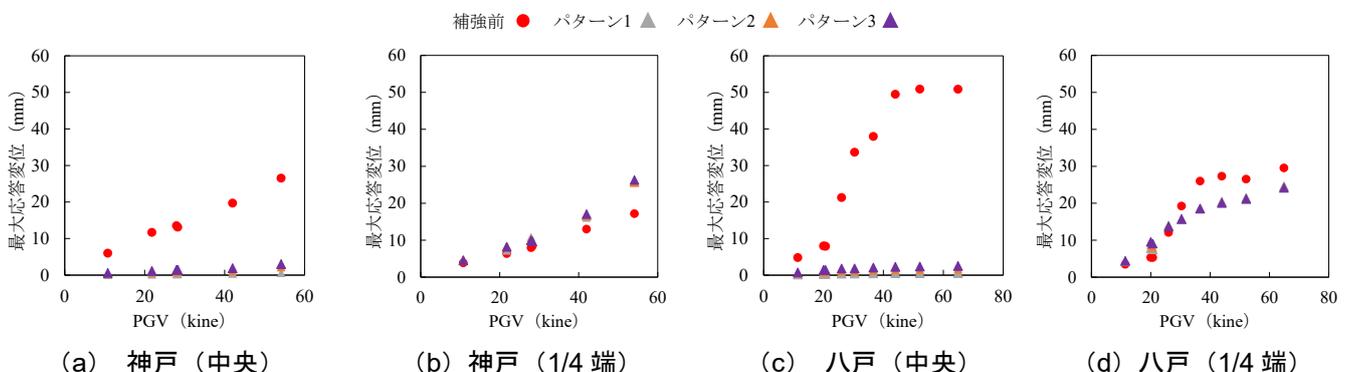


図10 補強による最大応答変位の変化

*1 香川大学大学院創発科学研究科 大学院生

*1 Graduate Student, Graduate School of Science for Creative Emergence, Kagawa Univ.

*2 香川大学創造工学部 教授・博士（工学）

*2 Prof., Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

*3 関西大学 環境都市工学部 助教・博士（工学）

*3 Assistant Prof., Faculty of Environmental and Urban Eng., Kansai Univ., Dr. Eng.

引張と曲げの複合応力を受ける竿車知継手を有する柱-梁接合部の耐震性能に関する実験的研究

2.構造
伝統構法
複合応力

7.木質構造
竿車知継手
静的加力実験

e.伝統構法
柱梁接合部

正会員 ○福井 陽斗 1*
同 宮本 慎宏 2**
同 宇都宮 直樹 3***
同 中尾 方人 4****

1. 序論

伝統構法木造建築物に用いられる竿車知継手は、垂壁のせん断変形に伴う引張と、柱の傾斜に伴う曲げの応力が同時に作用する複雑な応力状態となっている。竿車知継手の実大静的加力実験は引張と曲げのそれぞれにおいて行われている^{1,2)}が、この2つの応力を同時に作用させた要素単体の研究は行われていない。本報では、竿車知継手要素単体に対して引張と曲げの応力を同時に作用させた静的加力実験を行い、竿車知継手の耐震性能および破壊形態を把握することを目的とする。

2. 実験概要

図1に竿車知継手を有する柱-梁接合部の十字型試験体概要、図2に加力装置概要、図3に引張軸力の加力計画をそれぞれ示す。試験体の樹種は、天然乾燥スギ材(含水率平均18.4%)とし、車知栓は年輪方向無作為の無欠点カシ材である。試験体の柱断面、梁目違いの幅および深さ、車知栓の断面、竿長さおよび竿幅の寸法は、既往の竿車知継手の曲げ実験²⁾と同じとした。柱・梁の男木・女木の長さを材芯からピン治具まで各910mmとした。車知栓は台形状の勾配を付け、奥まで軽く打ち込んだ状態で車知と竿、車知と女木にわずかな隙間ができるように加工した。

加力ステップは、柱の見かけのせん断変形角で1/200, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30, 1/20, 1/15, 1/10, 1/7(rad)とし、各ステップ1回の片引き加力とした。引張と曲げの複合応力を竿車知継手に作用させるにあたって、引張軸力を小森ら³⁾の解析結果を参考に、引張軸力を作用させないN0パターン、柱の見かけのせん断変形角が1/30rad時の

引張軸力を7.5kNとしたN1パターン、15kNとしたN2パターンとし、N1とN2は1/30rad以降の変形角においてはこの引張軸力を維持するものとした。ただし引張軸力を与える油圧ジャッキは手動制御としたため、1/30rad以前の加力ステップでは、次の加力ステップにおいて作用させる引張軸力を前の加力ステップの後に加力させ、次の目標の変形角まで引張軸力を維持した。試験体数は引張軸力のパラメータであるN0パターン、N1パターン、N2パターンの3種類に加えて、竿車知継手が左右非対称であるためアクチュエータ側に女木を配置する仕様と、裏表反転させて男木を配置する仕様の2種類(以下順に女木側加力a、男木側加力bとする)の計6種類を各3体とした。

3. 実験結果

3.1 モーメント-変形角関係と破壊性状

図4に接合部全体に生じるモーメントと柱の見かけのせん断変形角 γ の関係と主な破壊性状、図5に代表的な破壊性状の様子をそれぞれ示す。

3.1.1 N0 シリーズ

N0は加力方向の両パターンとも、1/50rad以降に柱と男木・女木の接触部においてめり込み変形が確認された。女木側加力aについて、1/20rad時に図5(a)に示す車知栓の圧縮/座屈がN0-1aとN0-2a、図5(f)に示す竿・女木の面厚降伏がN0-1aにおいて確認された。1/15rad時に車知栓の圧縮/座屈がN0-3a、竿・女木の面圧降伏がN0-2aにおいて確認された。また約1/16.8rad時には図5(g)に示す竿の曲げ破壊がN0-1a、約1/15.1rad時に竿の曲げ破壊がN0-3aにおいて確認され、荷重低下した。1/10rad時に図

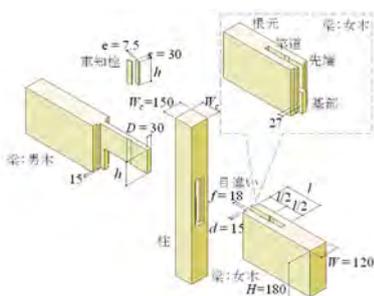


図1 試験体概要

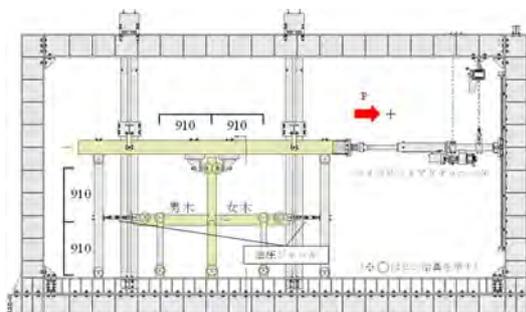


図2 加力装置概要

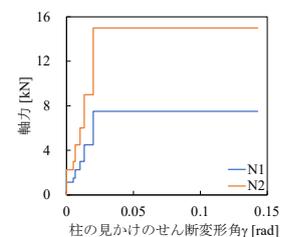


図3 引張軸力加力計画

Experimental Study on the Seismic Performance of Column-to-Beam Connection with Sao-Shachi Joint Subjected to Combined Tensile and Bending Stresses

Haruto FUKUI, Mitsuhiro MIYAMOTO Naoki UTAUNOMIYA and Masato NAKAO

5(c)に示す女木根元割裂が N0-1a と N0-2a において確認された。約 1/9.1rad 時に竿の曲げ破壊が N0-2a において確認され、荷重低下した。

男木側加力 b について、1/50rad 時に図 5(b)に示す女木先端割裂が N0-1b において確認された。1/30rad 時に車知栓の圧縮/座屈が N0-1b, 竿・女木の面圧降伏および女木先端割裂が N0-2b, 図 5(e)に示す柱目違い部割裂が N0-3b において確認された。1/20rad 時に車知栓の圧縮/座屈がすべての試験体, 竿・女木の面圧降伏が N0-3b, 柱目違い部割裂が N0-1b と N0-2b において確認された。1/10rad 時に女木根元部割裂が N0-2b と N0-3b において確認された。また約 1/10.5rad 時に図 5(h)に示す女木竿道部分の面外方向への破壊が N0-1b において確認され、荷重低下した。1/7rad 時に女木根元部割裂および図 5(d)に示す車知栓のせん断破壊が N0-1b において確認された。また約 1/7.9rad 時に女木竿道部分の面外方向への破壊が N0-3b において確認され、荷重低下した。

3. 1. 2 N1 シリーズ

N1 は加力方向の両パターンとも、女木の柱に対するめり込みが 1/50rad 以降に確認されたが、一部試験体では軸力の加力に伴いめり込み箇所が離間したのち、せん断変形角の増加により、再度めり込みが発生する挙動が確認できた。これにより、回転剛性が低下したのちに再度上昇する現象が見られた。女木側加力 a について、1/50rad 時に車知栓の圧縮/座屈が N1-1a において確認された。

1/30rad 時に車知栓の圧縮/座屈が N1-2a と N1-3a, 女木先端割裂が N1-3a, 竿・女木の面圧降伏が N1-1a において確認された。1/20rad 時に女木根元割裂が N1-2a, 竿・女木の面圧降伏が N1-2a と N1-3a において確認された。1/10rad 時に女木先端割裂が N1-2a, 女木根元割裂が N1-3a において確認された。竿の曲げ破壊が N1-1a は約 1/8.9rad 時, N1-2a は約 1/9.2rad 時, N1-3a は約 1/7.2rad 時において確認され、荷重低下した。

男木側加力 b について、1/30rad 時に車知栓の圧縮/座屈がすべての試験体で確認された。1/20rad 時に柱目違い部割裂がすべての試験体で、竿・女木の面圧降伏が N1-2b において確認された。1/15rad 時に女木先端割裂および女木根元割裂が N1-2b において確認された。1/10rad 時に女木根元割裂が N1-2b, 竿・女木の面圧降伏が N1-1b と N1-3b において確認された。また、約 1/11.2rad 時に女木竿道部分の面外方向への破壊が N1-3b において確認され、荷重低下した。約 1/8.9rad 時に竿の曲げ破壊が N1-2b, 約 1/7.9rad 時に女木竿道部分の面外方向への破壊が N1-1b において確認され、荷重低下した。

3. 1. 3 N2 シリーズ

N2 は加力方向の両パターンとも、女木の柱に対するめり込みが一度発生したのちに、引張軸力の加力に伴いめり込み箇所が離間し、再度めり込みが発生する挙動が見られた。これにより、回転剛性が低下したのちに再度上昇する現象が見られた。女木側加力 a について、1/50rad

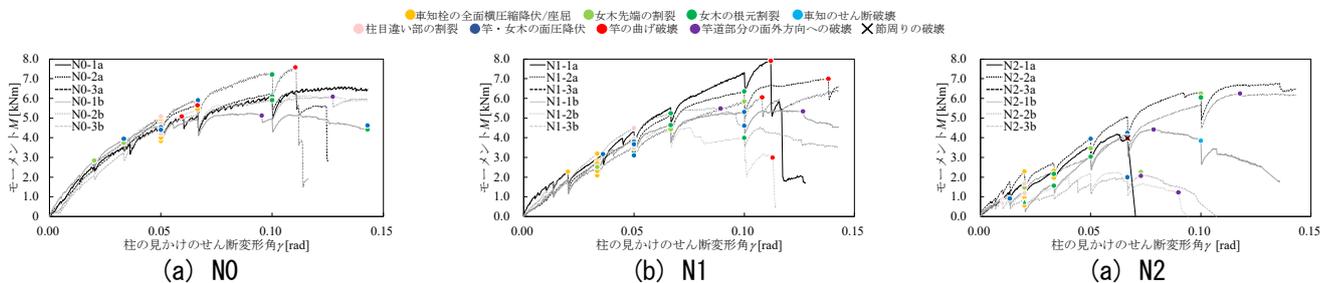


図4 モーメントー変形角関係および主な破壊性状

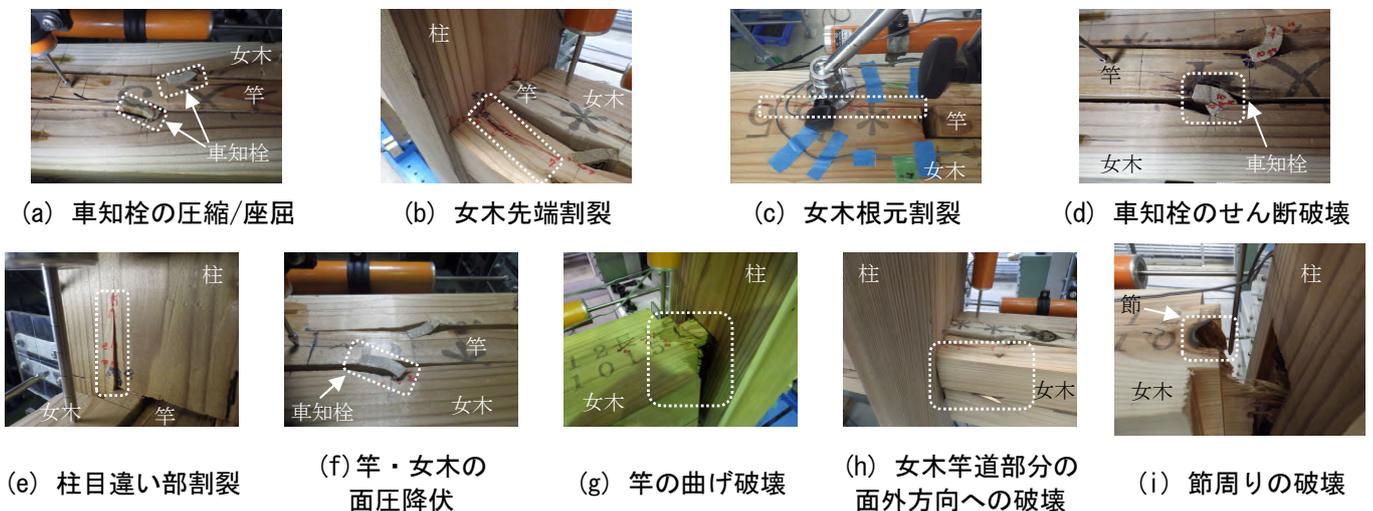


図5 破壊性状一覧

時に車知栓の圧縮/座屈が N2-3a において確認された。また、1/50rad 時の引張軸力加力中に女木先端割裂および柱目違い部割裂が N2-2a において確認された。1/30rad 時に車知栓の圧縮/座屈が N2-1a と N2-2a, 女木根元割裂が N2-2a において確認された。1/20rad 時に女木先端割裂が N2-1a, 竿・女木の面圧降伏が N2-3a において確認された。1/15rad 時に柱目違い部割裂が N2-1a, 竿・女木の面圧降伏が N2-2a において確認された。また、1/15rad 時に図 5(i) に示す節の影響を受けた竿の曲げ破壊が N2-1a において確認され、荷重低下した。1/10rad 時に女木先端割裂および女木根元割裂が N2-3a において確認された。約 1/8.5rad 時に女木竿道部分の面外方向への破壊が N2-2a において確認され荷重低下した。

男木側加力 b について、1/100rad 時の引張軸力加力中に柱目違い部割裂が N2-1b において確認された。1/75rad 時に竿・女木の面圧降伏が N2-2b において確認された。1/50rad 時に車知栓の圧縮/座屈がすべての試験体において確認された。また、1/50rad 時の引張軸力加力中に柱目違い部割裂が N2-2b において確認された。1/30rad 時に女木根元割裂が N2-2b において確認された。1/20rad 時に女木根元割裂が N2-1b において確認された。1/15rad 時に竿・女木の面圧降伏が N2-1b と N2-3b において確認された。1/10rad 時に女木先端割裂が N2-3b, 車知栓のせん断破壊が N2-1b において確認された。また、女木竿道部分の面外方向への破壊が N2-1b は約 1/12.7rad 時, N2-2b は約 1/11.1rad 時, N2-3b は約 1/13.7rad 時において確認され、荷重低下した。

3. 1. 4 各パラメータの比較

図 6 に各パラメータにおける最大モーメント、図 7 に各パラメータにおける最大モーメント時の柱の見かけのせん断変形角 γ 、表 1 に各試験体において先行した破壊性状、表 2 に荷重低下の因子をそれぞれ示す。なお、表 1 および表 2 の記号は図 5 の代表的な破壊性状一覧の記号と一致している。図 6 より女木側加力 a は男木側加力 b の場合に比べて引張軸力に関わらず最大モーメントが 1.17~1.95 倍、最大モーメント時の回転角が 1.05~1.47 倍

であった。これは、男木側加力時には柱ほぞ穴から女木上端部の目違いが抜けることで、柱による女木竿道部分の広がりに対する抑え込み効果が無くなる影響と考えられる。また、引張軸力の差異による比較として、女木側加力 a の場合 N0 は N1 に比べて最大モーメントが 0.96 倍、最大モーメント時の回転角が 0.89 倍、そのほかの加力方向において、軸力の小さい場合は軸力が大きい場合に比べて最大モーメントが 1.12~1.76 倍、最大モーメント時の回転角が 1.21~1.28 倍に大きくなった。引張軸力を作用させた場合、女木の広がりや抑え込まれないすべての男木側加力 b シリーズ試験体および N2-a は、接合部の変形挙動が既往の文献における単純引張時の竿車知継手と近くなる。そのため、めり込みによるモーメント抵抗が十分に発揮される以前に破壊性状による荷重低下が確認され、最大モーメントおよびその時の回転角は引張軸力が小さくなるにつれて小さくなると考えられる。

表 1 より、女木側加力 a の場合は、いずれの軸力パラメータにおいても概ねすべての試験体において、車知栓の圧縮/座屈が先行する一方で、男木側加力 b の場合には軸力パラメータごとの傾向の差異が確認できなかった。これは実験時における車知栓の木目方向や部材間の隙間、乾燥収縮による初期ひび割れなどの施工精度による試験体毎のばらつきによる影響と考える。また、荷重低下の因子について女木側加力 a は、N0 と N1 は竿の曲げ破壊、N2 は女木竿道部分の面外方向への破壊、男木側加力 b はすべての軸力パラメータにおいて女木竿道部分の面外方向への破壊により概ねすべての試験体が荷重低下した。これは前述の女木の広がりに対する抑え込み効果の有無、及び試験体毎のばらつきの影響と考えられる。

3. 2 柱に対するめり込み長さの検証

各パラメータの破壊性状において定性的に確認された女木の柱に対するめり込み箇所の離間現象について、実験時の変位計の計測結果から女木の柱に対するめり込み長さを算出することで、軸力の増加に伴う水平方向のめり込みの変化について定量的に確認する。図 8 に両加力方向における女木のめり込み長さや変位計設置個所の関係を示す。めり込み長さは式(1)、(2)より算出する。

$$x_{p4} = \left| \frac{\delta_{11}}{\delta_{12} - \delta_{11}} h_{11-12} \right| \quad (1)$$

$$x_{p5} = \left| \frac{\delta_{13}}{\delta_{12} - \delta_{13}} h_{12-13} \right| \quad (2)$$

ここで x_{p4} は梁上端部のめり込み長さ、 x_{p5} は梁下端部のめり込み長さ、 δ_i は変位計番号*i* (*i* = 11~13)の計測変位、 h_{j-k} は変位計*j* (*j* = 11,12)と変位計*k* (*k* = 11,12)の評点間距離である。ただし、梁は水平であると仮定する。

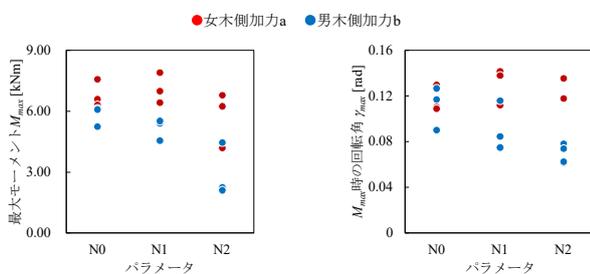


図 6 最大モーメント

図 7 M_{max} 時の回転角

表 1 先行した破壊性状

	1a	2a	3a	1b	2b	3b
N0	(a), (f)	(a)	(a)	(b)	(b), (f)	(c)
N1	(a)	(a)	(f)	(a)	(a)	(a)
N2	(a)	(b), (c)	(a)	(c')	(f')	(c')

表 2 荷重低下の因子

	1a	2a	3a	1b	2b	3b
N0	(g)	(g)	(g)	(h)	(i)	(h)
N1	(g)	(g)	(g)	(h)	(g), (i)	(h)
N2	(g), (j)	(h)	(i)	(h), (i)	(h), (i)	(h), (i)

図9に各引張軸力パラメータにおける女木のめり込み長さの比較を示す。各ステップで引張軸力を増加させながら加力を行う1/30radまでの範囲において、N0とN1試験体のめり込み長さは概ね一致しているものの、N2試験体のめり込み長さは0近傍となり、1/30rad以降にめり込み長さが増加している。このことから、女木側のめり込みが発生しておらず、引張軸力が一定となった1/30rad以降に再度めり込みが発生するような挙動が計測値からも確認できる。

次に女木の柱に対するめり込みの有無が竿車知継手全体のモーメント抵抗に及ぼす影響を考察する。図10にめり込みが発生する理論上の境界値の概要を示す。理論上の境界値を女木材芯位置と柱との離間距離 δ'_{12} として、式(3)を用いて算出する。

$$\delta'_{12} = h_{j-k} \tan \gamma \quad (3)$$

γ は柱の見かけのせん断変形角である。ただし梁が水平であると仮定する。

図11に女木と柱の離間変位の計測値 δ_{12} と理論値 δ'_{12} の比較、図12に竿車知継手全体のモーメント-変形角関係に対する女木の柱へのめり込みの有無による影響をそれぞれ示す。ここでは代表例としてN2-3bについて説明を行う。

めり込みが発生する理論値 δ'_{12} に比べて計測値 δ_{12} が大きい範囲である、加力ステップ間に引張軸力を加力した1/50radから約1/26.3radの区間において、女木と柱が離間していることが確認できる。女木に対する柱のめり

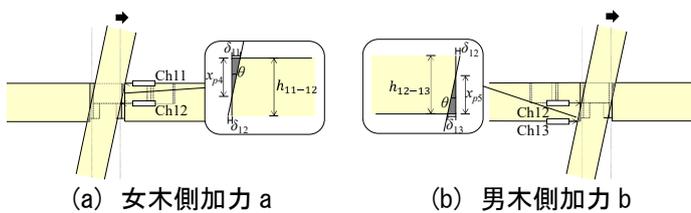


図8 女木の柱に対するめり込み長さの概略図

込みが発生しない範囲について着目すると、1/50rad以降は回転剛性が低下していることが確認できる。また、約1/26.3rad以降では回転剛性が再度上昇していることが確認できる。以上よりモーメント-変形角関係の結果において確認された回転剛性が低下したのちに再度上昇する現象は、引張軸力の加力による女木の水平移動に伴い、柱に対する女木のめり込みが生じないことによる影響と考えられる。

4. 結論

本報では、竿車知継手要素単体に対して引張と曲げの応力を同時に作用させた静的加力実験を行い、引張軸力および加力方向の変化に伴う耐震性能を把握した。その結果、引張軸力が大きくなるにしたがって女木の柱に対するめり込みが発生しづらくなることで、竿車知継手全体のモーメント抵抗が小さくなる傾向が見られた。

謝辞

本研究における実大実験は、公益財団法人 大林財団の補助を受けて実施された。実験の実施に当たっては、香川大学および近畿職業能力開発大学の学生の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 浦久保ら: 伝統構法木造建築物に用いられる竿車知継手を有する柱-梁接合部の引張性能に関する研究, 日本建築学会技術報告集, Vol.29, No73, pp.1268-1272, 2023.10
- 2) 浦久保ら: 伝統構法木造建築物に用いられる竿車知継手を有する柱-梁接合部の曲げ性能に関する研究, 日本建築学会技術報告集, Vol.30, No76, pp.1257-1262, 2024.10
- 3) 小森ら: 伝統構法木造建築物に用いられる竿車知継手を有する木造軸組架構の耐震性能に関する研究 引張と曲げの複合応力を考慮した解析モデルの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.739-740, 2024.7

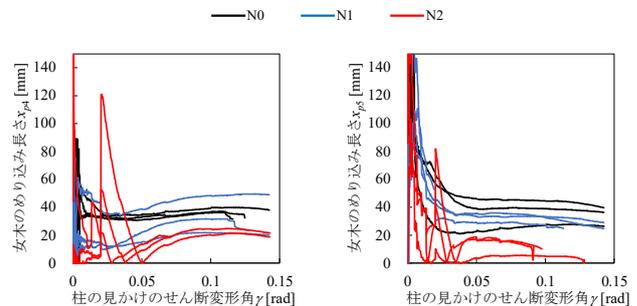


図9 女木の柱に対するめり込み長さ

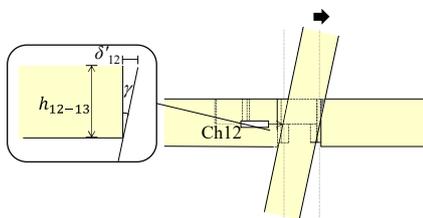


図10 めり込みが発生する理論上の境界値概略図 (男木側加力b)

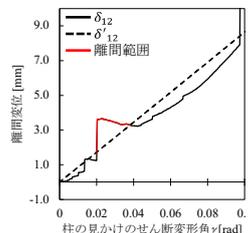


図11 離間変位の計測値と理論値の比較 (N2-3b)

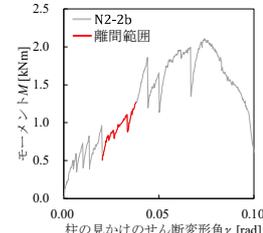


図12 離間によるモーメント-変形角関係への影響 (N2-3b)

1* 香川大学大学院創発科学研究科 大学院生

2* 香川大学創造工学部 教授 博士(工学)

3* 近畿職業能力開発大学校 建築施工システム技術科 教授 博士(工学)

4* 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 特別研究教員 博士(工学)

1*Graduate Student, Graduate School of Science for Creative Emergence, Kagawa Univ.

2*Prof., Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

3*Prof., Dept. of Architectural System Technology, Kinki Polytechnic College, Dr. Eng.

4*Research Assoc., Dept. of Architecture and Building Science, Yokohama National Univ., Dr. Eng.

令和6年能登半島地震で被災した伝統的木造建物の耐震性能に関する研究 その2 立体フレームモデルを用いた検討

2.構造 7.木質構造 e.伝統構法
伝統的木造建物 地震被害 立体フレームモデル
静的増分解析

正会員 ○門田 望*1
正会員 宮本 慎宏*2
正会員 西川 英佑*3

1. はじめに

本研究では、令和6年能登半島地震で被災した石川県輪島市黒島地区の伝統的木造建物を対象に、建物の耐震性能評価結果と地震被害の整合性を確認することを目的とする。その1¹⁾では、質点系モデルを作成し、地震被害と算定した復元力や偏心率との整合性を確認した。本報その2では、その1と同一の対象建物A邸に対して立体フレームモデルを作成し、静的増分解析を実施することで地震被害との比較・検討を行う。

2. 対象建物と地震被害の概要

対象建物の外観、内部、1階平面図、2階平面図を図1から図4にそれぞれ示す。図3、図4には現地調査に基づく耐震要素の配置、折損した柱の位置を併せて示す。屋根仕様は切妻造り、平入、棧瓦葺き(葺き土なし)、1階高さ3.48m、1階床面積120m²、2階高さ2.66m、2階床面積46.9m²の規模である。東西方向7通りより北側が2階建ての部分二階建てであり、1階H通りより西側は、モルタル塗り壁の浴室や便所が増築された。土壁や後述する砂漆喰の塗り

厚は、垂壁や腰壁は30~90mm、全壁は45~90mmであり、外壁は下見板張り仕上げである。2007年能登半島地震後に、1階D通り、H通りの一部全面壁が構造用合板や石こうボードによって補強され、1階7通り、8通り、2階9'通りには構造用合板を用いた補強壁が鴨居下に設置された。また、土壁が剥落した部分は、砂漆喰で補修された。

地震被害について、H通りより西側の増築部(図5(a))や北西部分の台所は、床上に簡易に設置されたコンクリートブロック造腰壁の崩落により軸組が脱落した。さらに、2階北東部を支える9-B通りの柱の東方向への折損(図5(b))によって2階荷重を支持する軸組が喪失し、9-D通りに位置する柱の負担荷重が大きくなり、東方向、北方向の2方向に折損したと考えられる(図5(c))。柱の傾斜量は、1階は両方向ともに7'通り以北の2階が載っている通りの柱が大きい(図6(a))。2階は、東西方向は北側が大きく、南北方向は東側が大きい(図6(b))。

3. 立体フレームモデルの構築

任意形状立体フレームモデル弾塑性解析ソフト SNAP



図1 A邸 外観



図2 A邸 内部

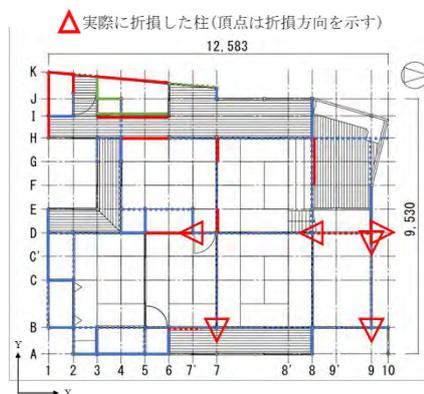


図3 1階平面図

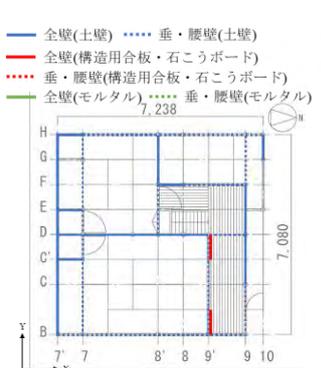


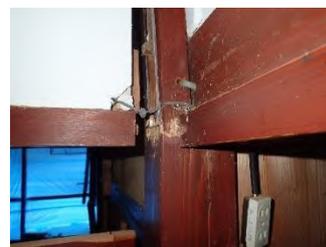
図4 2階平面図



(a) 増築部の崩壊



(b) 柱の折損(9-B通り)



(c) 柱の折損(9-D通り)



(d) 2階土壁の剥落(D通り)

図5 地震被害

Ver.8 を用いて、A 邸の立体フレームモデルを構築する。屋根部分は重量として扱い、各要素の重量を文献^{2,3)}から算出した。H 通りより西側の増築部は、重量のみ考慮し、等分布荷重として H 通りの 2 階床梁に加えた。鉛直構面は実際の壁における応力の伝達条件に近くなるように圧縮側のみ、水平構面は引張側、圧縮側の両方に作用するトラス材でそれぞれ置換した。

土壁の復元力特性は文化庁の設計式⁴⁾を用い、1/250, 1/120, 1/60, 1/10 rad 時の荷重をそれぞれ結び、四折れ線モデルに置換した(図 8)。構造用合板、石こうボードの復元力特性は文献⁵⁾に示された荷重変形角関係(図 8)より、文献⁷⁾に示される換算方法に従ってバイリニアモデルとした。構造用合板と石こうボードが重複する部分の復元力特性は、各耐震要素の荷重変形角関係を単純に足し合わせ、同様の手順によりバイリニアモデルとした。下見板と土壁が重複する部分の復元力特性は、文化庁の設計式⁴⁾と文献⁶⁾に示された荷重変形角関係(図 8)を用い、1/250, 1/60, 1/30, 1/10 rad 時の荷重をそれぞれ結び、四折れ線モデルに置換した。なお、全壁土壁の一部に二重小舞が確認され、貫部分に壁土が充填されていない箇所が存在したため、全壁については測定した壁厚から貫厚 30 mm を引いた値を用いて復元力を算定した。柱-差鴨居接合部は、仕様が不明なため小根ほぞ込み栓と仮定し、回転バネとしてモデル化した。復元

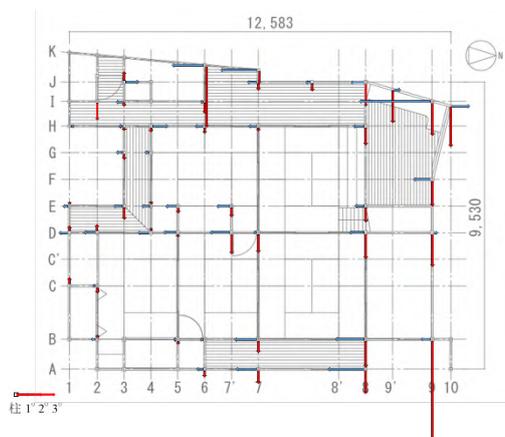
力特性は文献⁷⁾よりバイリニアモデルとした。床および小屋レベルの水平構面の復元力特性は、文献⁷⁾に示された 2 階床と屋根の 1/100, 1/50 rad 時の荷重をそれぞれ結び、トリリニアモデルに置換した。柱や梁の両端はピン接合とし、樹種は不明なためスギと仮定し、ヤング係数は無等級材として文献⁸⁾の値を用いた。

作成した立体フレームモデルの質量は 1 層目 26.96 t, 2 層目 10.86 t であった。固有値解析結果について、一次振動モードを図 9 に示す。一次振動数は、X 方向に比べて Y 方向が小さくなった。Y 方向は、特に 9 通りの変形が大きくなっているが、これは 1 通り側の壁量が多いことが要因として考えられる。

4. 荷重変形角関係の比較

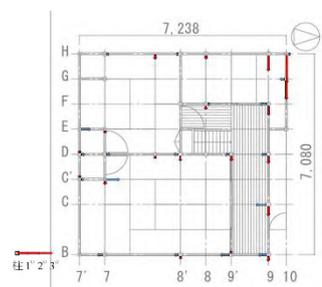
作成したモデルで A_i 分布から算出される地震力分布に基づく静的増分解析を行い、各階各方向における層せん断力係数と層間変形角の関係を求めた。層間変形角は重心位置で算定し、载荷条件として目標値を 1600 mm, 刻みを 0.1 mm と設定した。载荷方向は X 方向の±, Y 方向の±の計 4 方向とした。+X 方向, +Y 方向に载荷した際の層せん断力係数と層間変形角の関係を図 10 に示す。

図 10(a)より、+X 方向は 2 階の変形に比べて 1 階の変形が小さく、2 階が先行破壊することが分かる。さらに、図 11 より変形の進行に伴い、1 階は西側 H 通り、2 階では東



(a) 1 階内法下

図 6 柱傾斜(単位:度)



(b) 2 階内法下

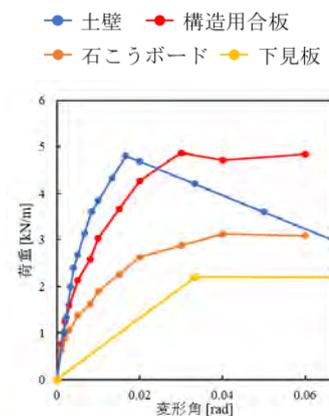


図 8 各耐震要素の単位長さあたりの復元力⁴⁻⁶⁾

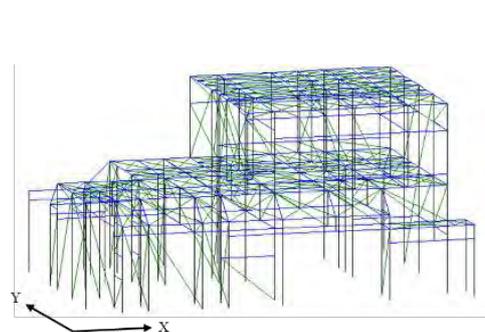
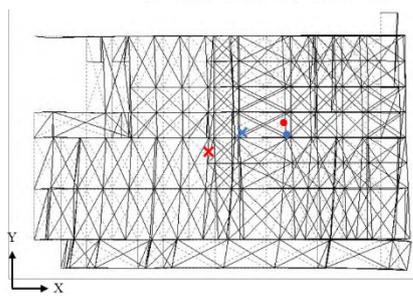
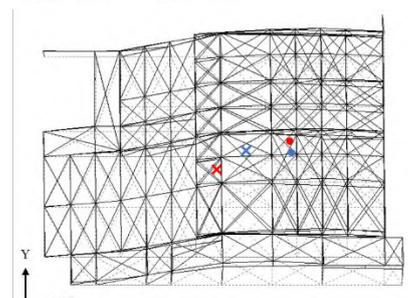


図 7 立体フレームモデル

× 1階剛心位置 × 1階重心位置 ● 2階剛心位置 ● 2階重心位置



(a) X 方向のモード図(1.147Hz)



(b) Y 方向のモード図(0.862Hz)

図 9 振動モード

側 B 通りにおいて層間変形角が大きくなる。これは、2 階の柱の傾斜量が H 通りより B 通りで大きかったこと(図 6(b))と対応していると考ええる。また、2 階が先行破壊することは、2 階 D 通りにおいて土壁の剥落が多く見られたことや、壁被害が 1 階より 2 階で顕著であったこととも対応している(図 5(d))。図 10(b)より+Y 方向は 1 階の変形に比べて 2 階の変形が小さく、1 階が先行破壊することが分かる。また、図 12 より変形が大きくなるにつれて 1 階の北側 9 通りの変形角が大きくなる。これは図 9 より 1 階の剛心が南側、重心が北側に位置しており、建物の偏心によりねじれ変形が生じるためと考えられる。また、柱の折損が二階建て部分の 1 階に集中していることと対応している(図 5(b), (c))。

5. 組み合わせ応力検定

A 邸は地震により柱の折損が見られたため、1 階各柱の最大曲げモーメントが生じる断面位置で曲げ応力および軸方向応力を算定し、組み合わせ応力の検定を行う⁸⁾。本研究では、曲げを伴う圧縮材の部材の必要断面積の算定式を柱部材の安全性を検定する算定式として利用する。軸力と曲げモーメントは、立体フレームモデルによる解析結果により算出する。1 本の柱部材に作用する曲げモーメントのうち最大値をとり、その曲げモーメントが作用する断面を検定の対象とし、軸力はその断面での値とする。許容圧縮応力度、許容曲げ応力度は、柱部材が折損する応力を計算するため木材の基準材料強度を用い、樹種は不明であるためスギと仮定して算定する。有効断面係数は、断面欠損を考慮して柱部材の断面係数を 3/4 倍⁴⁾し、座屈低減係数は、柱部材の細長比に応じて算出する。座屈長さは、すべての柱部材の両端がピンと仮定し、座屈長さを階高とする。検定値が 1 を超えると柱部材は折損すると判定する。

組み合わせ応力の検定結果について、-X 方向、-Y 方向に载荷した際に、1 階の層せん断力が最大となる時点における構面ごとの応力図を図 13、図 14 に示す。検定値が 1 を超えた柱部材の位置を図中に丸印で示し、1 を超えた時点の重心位置における 1 階の層間変形角ごとに色分けを行った。図 13、図 14 より、鴨居位置において曲げモーメントが最も大きくなる傾向が確認され、両方向ともに変形の進行に伴い検定値が 1 を超える柱の数が增加する。また、

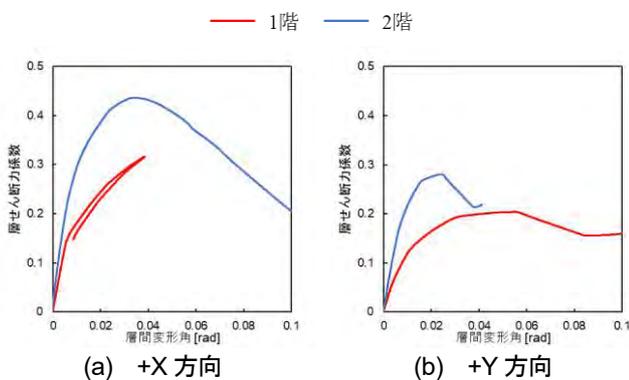


図 10 静的増分解析

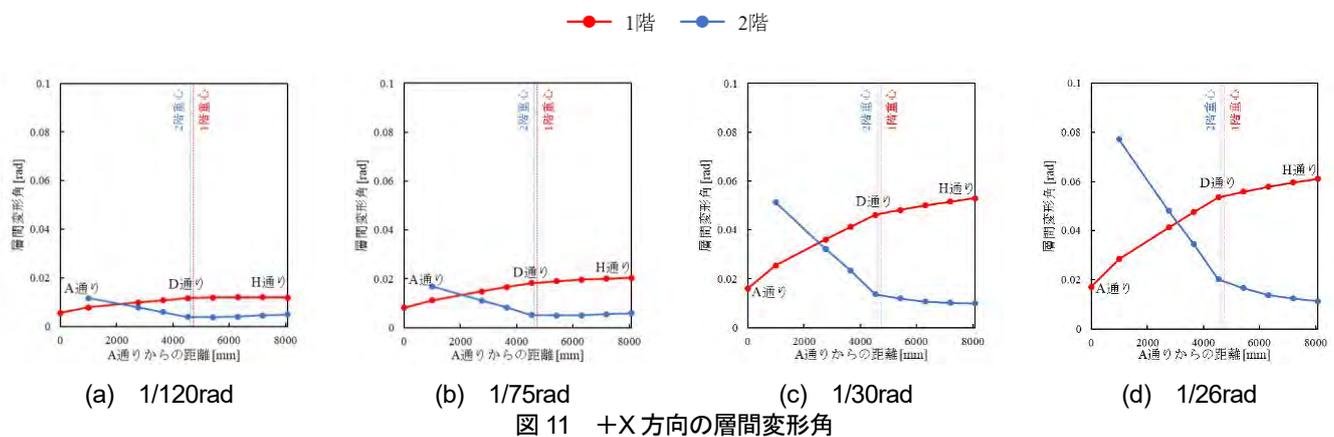


図 11 +X 方向の層間変形角

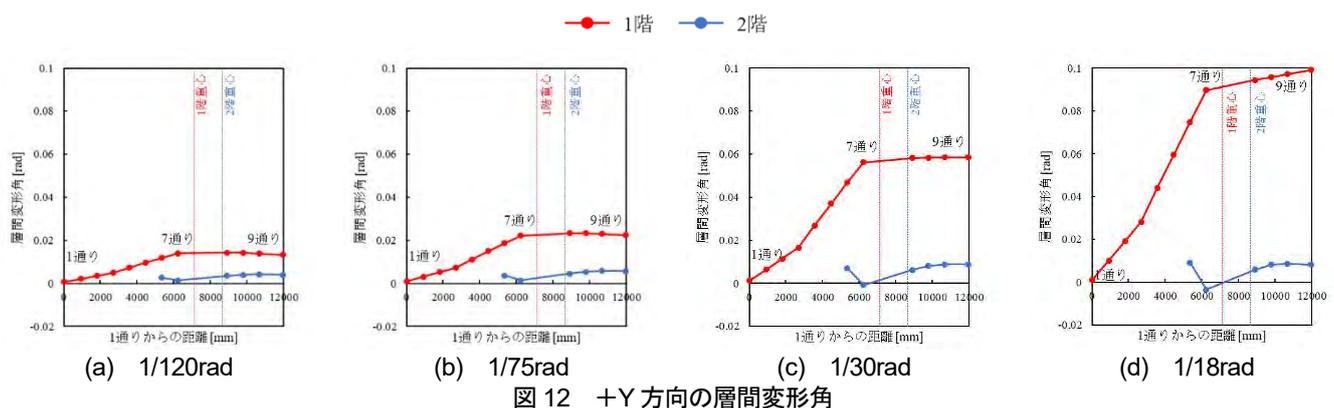


図 12 +Y 方向の層間変形角

-Y 方向加力の際は7通り以南の2, 4通りの柱は検定値が1を超えなかった。これは、図12より1通り側の層間変形角が小さいことに加え、図3より柱の折損が7通り以南では見られなかったことと対応している。図13より-X方向加力の際は、B通りは検定値が1を超えた柱が少なく、D, H通りは検定値が1を超えた柱が多く確認された。また、検定値が1を超えた時の重心位置における1階の層間変形角は、1通り側の柱より9通り側の柱の方が小さい傾向にある。これは、図11よりB通り側の層間変形角が小さいことや、9通り側に柱の折損などの被害が大きかったことと対応している(図3)。さらに、黒で示した実際に折損した柱の多くは検定時も折損判定となっており、折損の発生方向についても実際の地震被害と概ね対応している。逆方向に

加力した際にも検定値が1を超えたが、検定値が1を超えた層間変形角は実被害の折損方向の方が小さい結果となった。一方、図13(b)に示す8通りでは、検定値が1を超えた位置と実際に折損した位置が一致しなかった。これは、垂壁を1本のトラスに置換したことで下側の鴨居位置にのみ力が伝達され、上側の鴨居位置に力が伝達されないモデルであったことが要因として考えられる。

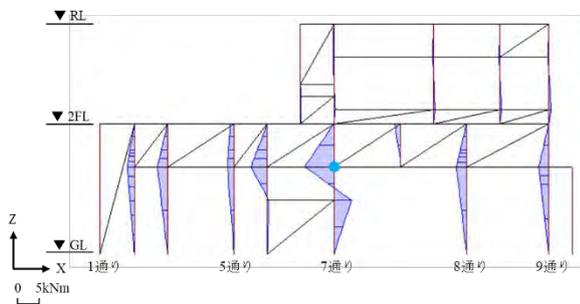
6. 結論

本研究では、令和6年能登半島地震で被災した石川県黒島地区の伝統的木造建物を対象とし、立体フレームモデルを用いた静的増分解析を行った。その結果、解析結果と地震被害は概ね傾向が一致していることが確認された。

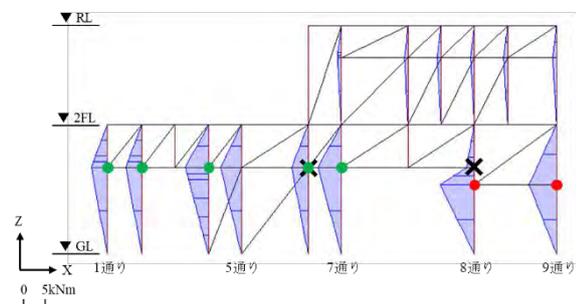
参考文献

- 1) 門田望, 宮本慎宏, 西川英佑: 令和6年能登半島地震で被災した伝統的木造建物の耐震性能に関する研究, 日本建築学会四国支部研究報告集 第25号, 2025.03
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人 建築研究所: 2025年版 建築物の構造関係技術基準解説書, pp.293-295, 2025.06
- 3) 日本建築学会: 建築物荷重指針を活かす設計資料1, pp.57-59, 2016.02
- 4) 文化庁: 重要文化財(建造物)耐震基礎診断実施要領, pp.12-13, pp.16-17, 2012.06
- 5) 一般財団法人 日本建築防災協会: 2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法 例題編・資料編, pp.146-150, 2012.06
- 6) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会: 伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル, p.89, 2004.03
- 7) 伝統的構法木造建築物マニュアル編集委員会: 伝統的構法のための木造耐震設計法 石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル, pp.280-281, p.325, 2019.06
- 8) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説 許容応力度・許容耐力設計法, pp.169-209, p.399, 2009.03

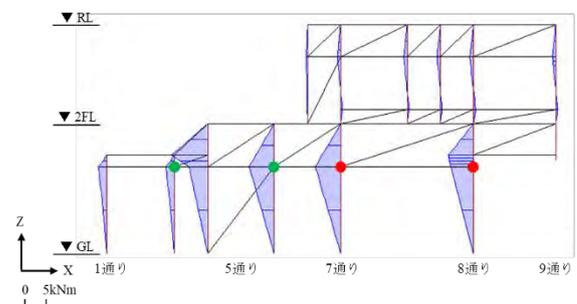
検定値が1を超えた変形角 ● ~1/120rad ● ~1/75rad ● ~1/30rad
実際に折損した柱 ✕



(a) B通り



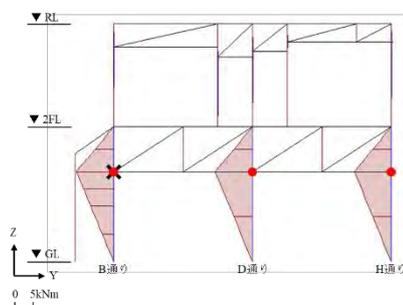
(b) D通り



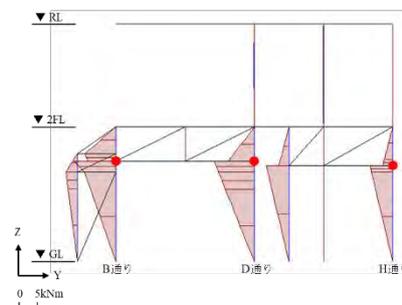
(c) H通り

図13 -X方向の組み合わせ応力検定結果(1/27rad)

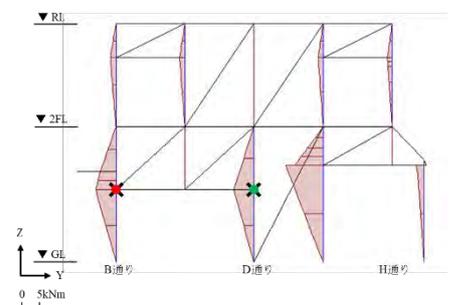
検定値が1を超えた変形角 ● ~1/120rad ● ~1/75rad ● ~1/30rad 実際に折損した柱 ✕



(a) 7通り



(b) 8通り



(c) 9通り

図14 -Y方向の組み合わせ応力検定結果(1/18rad)

*1 香川大学大学院 創発科学研究科 大学院生

*2 香川大学 創造工学部 教授 博士(工学)

*3 関西大学 環境都市工学部 助教 博士(工学)

*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Kagawa Univ.

*2 Prof., Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

*3 Assistant Prof., Faculty of Environmental and Urban Eng., Kansai Univ., Dr. Eng.

木造建築物の耐震設計法に関する研究 ～各設計法による評価結果の比較～

2.構造	7.木質構造	f.設計法・調査	正会員	○岸上	日菜 ^{*1}
精密診断法	限界耐力計算	保有水平耐力計算	正会員	宮本	慎宏 ^{*2}
伝統構法	在来工法	木造建築物			

1. 研究背景

現在の木造建物の構造設計や耐震診断では、建物に応じた規定に適合していることを確認すれば、設計者の判断で設計手法を任意に選択することが出来る。しかし、各設計手法で想定する地震荷重および建物性能に対する評価の考え方が異なるために、選択する設計手法によって評価結果に差が生じる。このことで、構造計画や補強計画に大きな影響を及ぼす可能性が考えられる。現在の新築設計では、在来工法に許容力度計算、壁量計算および保有水平耐力計算、伝統構法に限界耐力計算、耐震診断では在来工法に精密診断法や保有水平耐力計算、伝統構法に限界耐力計算がそれぞれ広く使用されている。現状では、各設計手法に必要なデータが蓄積されて設計法の整備が進められてきた一方で、建物の各設計手法と建物の構造的特徴による評価結果の差異の関係は明らかになっていない。

2. 研究概要

本研究では、木造建築物の平屋仮想モデルを対象とし、レベル2地震動を想定した設計手法（精密診断法、限界耐力計算、保有水平耐力計算）による耐震性能評価結果を比較することで、設計手法や各計算パラメータの違いが耐震性能評価結果に及ぼす影響とその要因を明らかにすることを目的とする。比較方法として、精密診断法に対し、任意に決定した評点を基準にし、その他の設計手法で用いる復元力特性を算出することで、各設計手法における計算パラメータによる差を比較検討する。本稿では、解析パラメータとして評点および偏心率を考慮した場合における評価結果について検討を行う。

3. 建物条件

建物条件を図1に示す。建物形状は、日本における住宅の平均述べ床面積126.32m²を用いて¹⁾、長辺方向：短辺方向が2:1となるように設定した。おおよそ長辺は15.9m、短辺は7.95mである。階高は3mとする。耐震要素は耐力壁のみとし、水平構面は剛床仮定とする。短辺方向について、通り数は3等分する位置に構面を設けた計4通りとした。各通りを端から順にA, B, C, D通りと定義する。建物仕様は、純粋な伝統構法の木造建築物を想定したパターン(①)、①から内壁を合板補強した場合を想定したパターン(②)、さらに外壁を合板補強した場合を想定したパターン(③)、純粋な在来工法の木造建築物を想定したパターン(④)の計4パターンを対象とした。なお、伝統構法には土壁、内壁の補強には合板(真壁)、外壁の補強と在来工法には合板(大壁)を使用し、それぞれ基準耐力3.5kN/m, 5.0kN/m, 5.2kN/mを想定する⁰。壁配置パターンとしては、各通りの耐力を比率で、A:B:C:D = 1:1:1:1 (Ⅰ), A:B:C:D = 1:1:1.5:1.5 (Ⅱ), A:B:C:D = 1:1:2:2 (Ⅲ), A:B:C:D = 1:1:3:3 (Ⅳ)の計4パターンとする。長辺方向について、外壁のみの2通りとして、偏心は無いものとする。短辺方向の偏心率は、それぞれ0, 0.150, 0.256, 0.400となる。精密診断法の評点1.0における場合の短辺方向A, B通りを足し合わせたものを短辺方向の各通りに採用する。

4. 精密診断法

ここでは、与えた任意評点を満たす保有耐力を逆算する。参考文献を基に具体的な計算を行う²⁾。重量算定では、建物区分「重い」を採用する。建物重量はおおよそ253kN

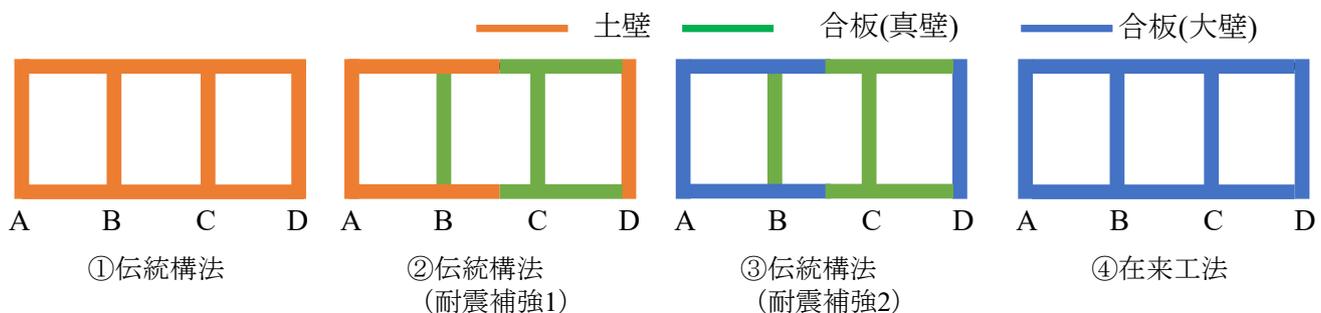


図1 建物条件

である。

保有耐力の評価では、耐力壁構造の場合として計算を行う。ここでは例として評点 1.0 と仮定した場合の計算過程を示す。偏心のないⅠの場合、算出した必要耐力を保有耐力として採用する。なお、必要耐力の算出条件として、地盤種別は第二種地盤を採用し、地震地域係数は 1.0 とする。偏心を有するⅡ～Ⅳの場合、建物床倍率と偏心による低減係数 F_e により保有耐力が低減されるため、任意評点が低減後の保有耐力を用いて再計算した評点と一致するまで計算を繰り返し、低減前の保有耐力を建物の保有耐力として採用する。なお、低減係数算定における床倍率は、建物パターン①については、純粋な伝統的木造建築物より板張りを想定して「0.5 未満」、建物パターン②～④については、補強および純粋な在来工法より合板を想定した「1.0 以上」とする。

以上より得られた保有耐力を壁配置パターンⅠ～Ⅳに基づき比率で振り分けることで各通りの復元力とし、基準耐力で除することで、各通りの壁長とする。なお、復元力算定に用いる耐力壁別の骨格曲線を図 2 に示す²⁾。参考文献²⁾を用い、各設計法での整合性を保つため、基準耐力から求めた終局耐力と、各耐力壁の骨格曲線をバイリニア置換することで得られた終局耐力が一致するように、骨格曲線の荷重を調整する。得られた骨格曲線に壁長を乗じることで各通りの復元力特性を算出する。また、それらを足し合わせて建物全体の復元力特性とする。

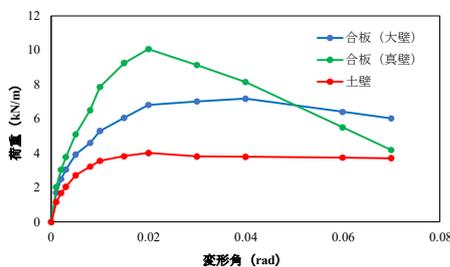


図 2 耐力壁別の骨格曲線

5. 保有水平耐力計算

参考文献²³⁾を基に具体的な計算を行う。要求耐力の算定において、建築基準法施行令に準じて定め、 $C_0 = 1.0$ とし算出した地震力に構造特性による低減係数 D_s と偏心による割増係数 F_{s1} を乗じることで算出した。なお、 D_s の算出方法では、4 章より得られた復元力特性を用いて、変形角 1/15rad 時と、最大荷重以降で最大荷重の 0.8 倍時の変形角のうち小さい方を安全限界時として採用し、建物全体の復元力特性をバイリニア置換²⁾した際の塑性

率を用いる。保有耐力の算定において、安全限界時の荷重を保有耐力として採用した。

評点は、保有耐力を要求耐力で除した値と定義する。

6. 限界耐力計算

参考文献²³⁾⁴⁾を基に具体的な計算を行う。要求耐力の算定において、告示スペクトルより得られた加速度 S_d に、加速度分布係数 B_i と履歴減衰による低減係数 Fh を乗じることで応答加速度を算出し、建物質量を乗じることで要求耐力とした。

保有耐力の算定においては 5 章と同様とする。なお、ここで用いる復元力特性には、偏心を考慮する手法として二通り検討を行った。一つは、4 章より得られた復元力特性に低減係数 F_{s2} を除したものを採用する手法である（限界耐力計算 1）。なお、 F_{s2} は F_{s1} の逆数をとった値とする。もう一つは、ねじれ補正係数⁴⁾を考慮し、4 章より得られた各通り復元力特性を補正して足し合わせたものを採用する（限界耐力計算 2）。

評点は、5 章同様とする。なお、表 1 にここまで述べた各設計法の評価に対する考え方を比較して示す。

7. 解析結果

解析結果を図 4～図 7 に示す。各建物パターンで同様の傾向となったため、代表して図 4 についてのみ説明を行う。精密診断法および保有水平耐力計算では、基準評点の増加に伴い、線形的に評点が増加する一方、限界耐力計算では、基準評点の増加に伴い、評点が緩やかに増加する。これは加速度応答スペクトルの形状に依存していることが要因と考えられる。具体的には、建物パターン③と④の壁配置Ⅳにおいて、基準評点 1 を超える範囲を除くすべてのパターンで、建物固有周期 0.864 秒を超えて加速度応答スペクトルの第三勾配に対応している。一方で建物パターン③と④の壁配置Ⅳの 2 パターンにおいて、基準評点 1 を越える範囲では建物固有周期が 0.16 秒～0.864 秒の範囲に位置し、加速度応答スペクトルの第二勾配に対応しており、基準評点の増加に伴い評点は線形的に増加する。

限界耐力計算のみに着目すると、偏心が大きくなるにつれて限界耐力計算 2 の評点が限界耐力計算 1 の評点を上回るようになる。このことから、低減係数 F_{s2} による安全率の見込みがねじれ補正係数による安全率の見込みより大きいことが分かる。また、偏心が大きくなるにつれて精密診断法の評点が保有水平耐力計算の評点を下回る傾向にある。これは図 3 より偏心率の増加に伴い、 F_e

表 1 各設計法の評価への考え方

		精密診断法	保有水平耐力計算法	限界耐力計算法1	限界耐力計算法2
要求耐力の評価	地震力	$C_0=1.0$	$C_0=1.0$	告示スペクトル	告示スペクトル
	偏心		F_{s1} で割増		
	減衰			Fh で低減	Fh で低減
保有耐力の評価	耐震要素	基準耐力	復元力特性	復元力特性	復元力特性
	偏心	F_e で低減		F_{s2} で低減	ねじれ補正係数で補正

が F_{s2} を下回るためと考えられる。さらに、各解析結果において、基準評点が 1.0 付近で各設計法のグラフが交点をとるような結果となっている。

8. まとめ

本研究では、木造建築物の平屋建てを対象として、解析パラメータ（偏心率、評点）と設計手法の違いが耐震性能評価結果に及ぼす影響を把握した。

参考文献

- 1) 総務省:令和5年住宅・土地利用調査 住宅及び世帯に関する基本集計(確報集計)結果, p.9, 2024.9
- 2) 一般財団法人 日本建築防災協会 国土交通大臣指定耐震改修支援センター:2012年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法(指針と解説編) pp.55-124,2012.6
- 3) 柴田明徳:最新 耐震構造解析 第3版, pp.305-348,2014.12

- 4) 日本建築学会:限界耐力計算による伝統的木造建築物構造計算指針・同解説, pp.13-37,2013.2
- 5) 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会:伝統的構法のための木造耐震設計法 石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル, pp.60-87,2019.6.10

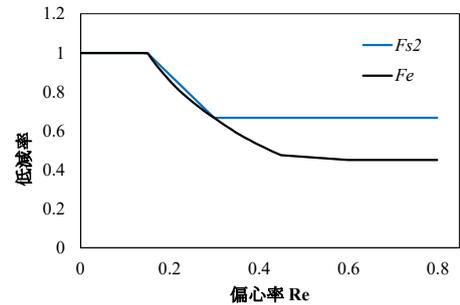


図3 Fe と F_{s2} の低減率比較

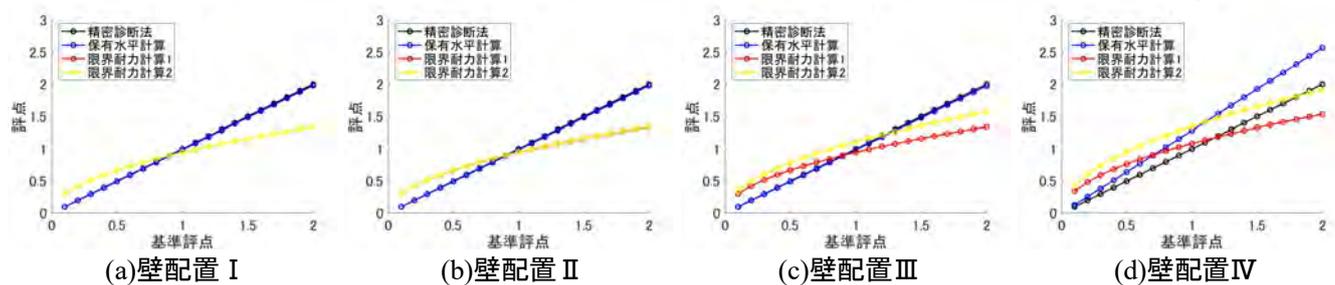


図4 建物パターン①

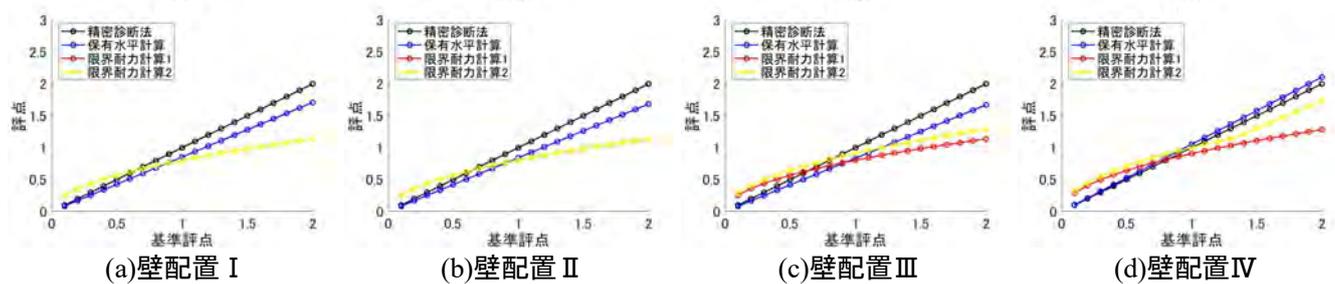


図5 建物パターン②

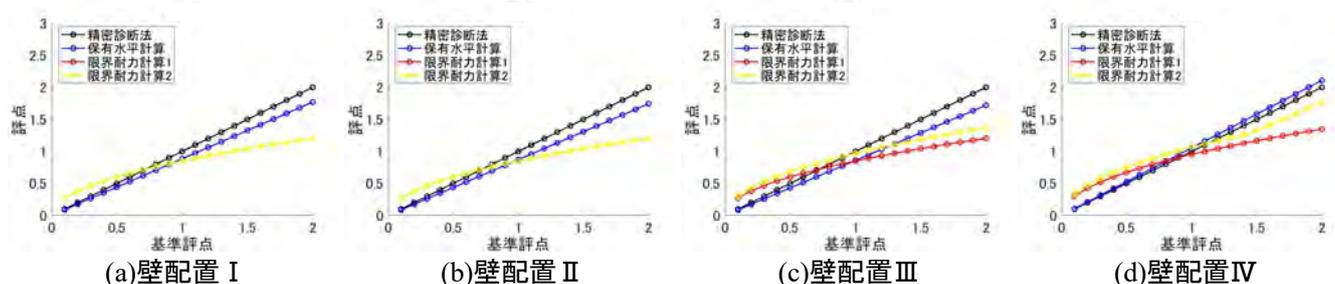


図6 建物パターン③

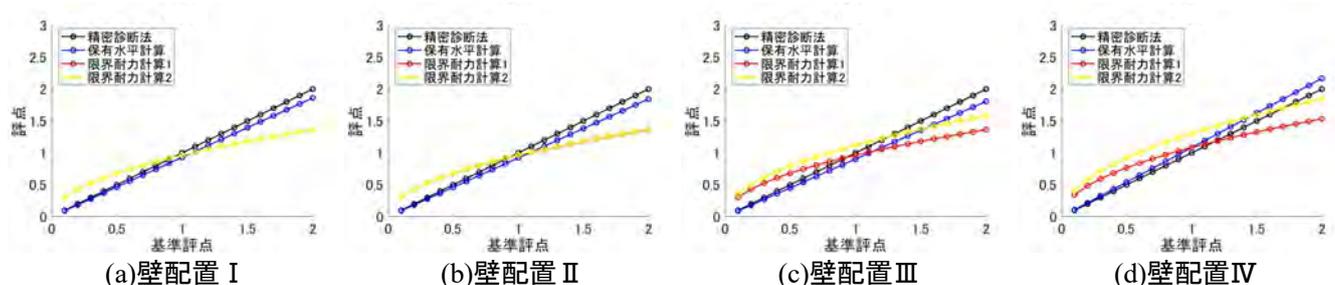


図7 建物パターン④

*1 香川大学大学院創発科学研究科 大学院生

*1 Graduate Student, Graduate School of Science for Creative Emergence, Kagawa Univ.

*2 香川大学創造工学部 教授・博士(工学)

*2 Prof, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

伝統構法木造建物に用いられる木造軸組架構の耐震性能に関する実験的研究

2. 構造 7. 木質構造 e. 伝統構法
伝統構法 竿車知継手 小根ほぞ込栓
静的載荷実験 柱のせん断力負担率

準会員 ○田川 蒼真*
正会員 福井 陽斗**
同 宮本 慎宏***
同 宇都宮 直樹****

1. 序論

令和6年能登半島地震によって、重要伝統的建造物群保存地区である輪島市黒島地区では、多数の伝統構法の木造建物が甚大な被害を受けた。主な被害の一つに、鴨居との接合部における柱の曲げ破壊が挙げられる。本報では、竿車知継手・小根ほぞ込栓を有する2スパンの木造軸組架構の実大静的載荷実験を行い、荷重変形関係および破壊性状を把握したうえで、柱の曲げ破壊が架構全体の耐震性能に及ぼす影響を検証することを目的とする。

2. 実験概要

図1に試験体立面図、図2に載荷装置概要、図3に試験体接合部詳細図、表1に各試験体の壁土塗厚さ、表2に一軸圧縮試験結果をそれぞれ示す。試験体は、伝統構法木造建物で多用される竿車知継手と小根ほぞ込栓を用いた木造軸組架構とした。垂壁の有無と込栓寸法をパラメータ（15角および18角）とし、垂壁無しのKシリーズ（K-15, K-18）、垂壁有りのKWシリーズ（KW-15,

KW-18)の計4体とした。

試験体は長さ3640mm、高さ2730mmであり、土塗り壁要素の高さは試験体の内法高さに対して1/3とした。部材寸法は、隅柱（柱1, 3）120×120mm、中柱（柱2）150×150mm、土台120×120mm、差鴨居120×180mm、横架材120×180mmとした。柱、土台、差鴨居、横架材にはスギ、車知栓と込栓にはカシを用いた。ひずみゲージを各柱の差鴨居下端から200mm離して貼り付けた。

竿車知継手は、浦久保ら¹⁾と、小根ほぞ込栓は、伝統構法データベース²⁾のJ3-1またはJ3-5と同じ仕様とした。柱と横架材や土台の仕口は接合部のモーメント抵抗を除去するため、抵抗方向に15mmのクリアランスを設け、直径15mmの込栓（カシ）で接合した。壁土を塗り付ける下地は、縦貫と横貫に15×105mm、間渡し竹に幅28mm程度、厚さ6mm程度の割竹、小舞に幅18mm程度、厚さ4mm程度の割竹を使用し、間渡し竹は約330mm間隔で配置した。縦貫と横架材、差鴨居、横貫と柱

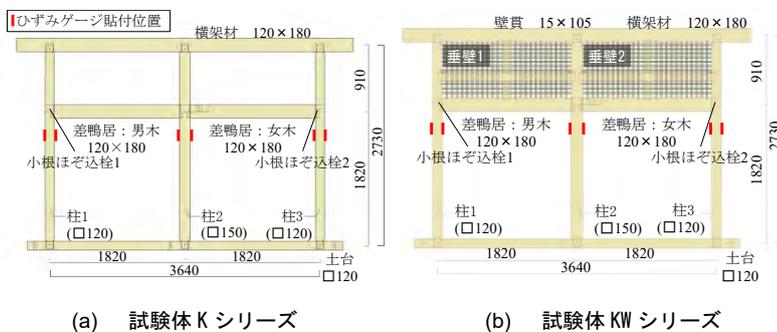


図1 試験体立面図

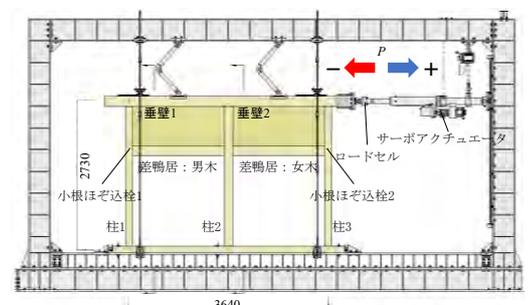


図2 載荷装置概要

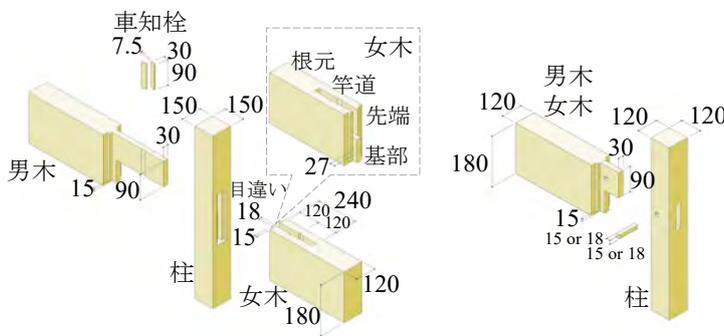


図3 試験体接合部詳細図

表1 各試験体の壁土塗厚さ

試験体名	荒壁・裏返し (mm)	むら直し (mm)	チリ廻り・底埋め (mm)	中塗り (mm)	壁土厚さ (mm)	
KW-15	垂壁1	33.8	19.5	21.7	11.2	86.1
	垂壁2	33.6	19.4	21.5	14.0	88.4
KW-18	垂壁1	30.4	22.2	22.5	11.1	86.2
	垂壁2	28.0	22.7	23.1	11.8	85.6

表2 一軸圧縮試験結果 (5体平均)

試験体名	寸法含有量 M_{F50} (kg/壁土100 2)	圧縮強度 σ_c (N/mm 2)	弾性係数 E_{50} (N/mm 2)	粘着力 c (N/mm 2)	せん断抵抗角 ϕ (°)	推定せん断強度 s (N/mm 2)
荒壁	4.3	1.2	89.2	0.53	7.2	0.59
裏返し	3.9	1.1	128.5	0.54	3.0	0.57
むら直し・底埋め	2.8	0.82	195.3	0.34	11.0	0.40
中塗り	3.3	0.85	177.9	0.35	11.7	0.41

の仕口を大入れとし、横貫のみ楔（スギ）で留めた。左官施工は小舞掻きを行った後に荒壁塗りをを行い、乾燥収縮に伴うひび割れが終了してから裏返し塗り、貫伏せ、むら直し塗り、チリ廻り・底埋め塗り、中塗りを行った。むら直し塗り、チリ廻り・底埋め塗り、中塗りは、表面と裏面の両面から塗った。表1にまとめた土壁の壁厚は、両面の合算で記載した。竹は京都府亀岡産、壁土は京都府深草産で、稲藁を混合したものを用了。

図2に示すように、サーボアクチュエータで横架材を左右に加力し、載荷方法は、タイロッド方式とした。水平荷重はサーボアクチュエータ先端に取り付けたロードセルで計測した。加力サイクルは、真のせん断変形角 γ_0 が1/600, 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30, 1/20, 1/15radまでは3回の正負交番繰り返し加力とし、終局は試験体Kシリーズが1/10radまで3回の正負交番繰り返し加力、試験体KWシリーズが1/10radまでの片引きとした。女木側への載荷を正方向、男木側への載荷を負方向とする。加力方向の負側から試験体の柱は柱1, 柱2, 柱3, 土塗り垂壁要素は垂壁1, 垂壁2, 小根ほぞ込栓は小根ほぞ込栓1, 小根ほぞ込栓2とそれぞれ呼称し、サーボアクチュエータが試験体の右側にくる面を表面、左側にくる面を裏面として区別する。

3. 実験結果

図4に各試験体の荷重と真のせん断変形角の関係および主な破壊性状を示す。

3.1 試験体Kシリーズ

試験体K-15は、+1/30rad時に、節周りでのほぞのせん断破壊が小根ほぞ込栓2において確認された。-1/20rad時に、図4(b)に示す車知栓の座屈が確認された。-1/15.2rad時に、負方向の最大荷重4.04kNに到達し、荷重低下した。車知栓が座屈し、面外方向に変形したことで、竿道が広げられ、-1/15rad時に、図4(c)に示す女木の根元割裂と、竿道の広がりによる女木の割裂が確認された。1/10rad時に、正方向の最大荷重4.68kNに到達した。-1/10radへの載荷中に、図4(d)に示すほぞの曲げ破壊が小根ほぞ込栓1において確認された。竿道が広がり、柱の仕口側面に女木の先端がめり込んだため、-1/10rad時に、柱の割裂が柱2女木側側面において確認された。

試験体K-18では、-1/30rad時に、図5(b)に示すほぞのせん断破壊が小根ほぞ込栓1において確認された。+1/20rad時に、節周りでのほぞのせん断破壊が小根ほぞ込栓2において確認された。-1/20rad時に、車知栓の座屈が確認されると共に、図5(c)に示す柱の割裂も柱2において確認された。1/10rad時に、正方向の最大荷重3.99kNに到達した。-1/10rad時に、女木の根元割裂と図5(d)に示す女木の面圧降伏が確認され、負方向の最大荷重3.07kNに到達した。

試験体Kシリーズでは、竿車知継手や小根ほぞ込栓などの接合部に破壊が集中しており、荷重低下は試験体K-

15の負方向以外で生じなかった。また、試験体K-18の最大荷重は、試験体K-15に比べて、約0.76~0.85倍に低下することを確認した。これは、込栓の寸法を大きくしたことで、ほぞの欠損の拡大と、込栓の曲げ剛性の増大によって、小根ほぞ込栓接合部の引張に対する変形能力が低下し、節による影響を除きすべての小根ほぞ込栓において、試験体K-15に比べて、試験体K-18が、小さい変形角でほぞのせん断破壊が確認されていることが要因と考えられる。さらに、試験体K-15では、女木の根元割裂の後に、竿道の広がりによる柱2の割裂が生じたが、試験体K-18では、竿道の広がりによる柱2の割裂の後に、女木の根元割裂が生じており、発生順序が前後した。これは、試験体K-18の女木根元に載荷前から乾燥収縮による割れが入っていたため、竿道が広がりやすくなっていたこと、載荷による割裂の変化が顕在化しにくくなったことが要因と考えられる。

3.2 試験体KWシリーズ

試験体KW-15では、-1/24.6rad時に、柱の曲げ破壊が柱2の男木側の表面のみにおいて確認され、+1/20radの2サイクル目における+1/21.5rad時に、柱の曲げ破壊が柱2の女木側の表面のみにおいて確認された。-1/20rad時に、負方向の最大荷重12.2kNに到達した。以降、柱の曲げ破壊が柱2の女木側と男木側からそれぞれ進行した。女木側では+1/15.7radで正方向の最大荷重13.2kNに到達し、柱の曲げ破壊が柱2の裏面まで到達したことで荷重が大きく低下した。男木側では-1/18.5rad時に、柱の曲げ破壊が柱2の裏面まで到達したことで荷重が大きく低下した。+1/15radへの載荷中に、柱の曲げ破壊が柱1において確認され、図6(b)に示す込栓の曲げ破壊も小根ほぞ込栓1において確認された。-1/15radへの載荷中に、図6(c)に示す節周りでのほぞのせん断破壊が小根ほぞ込栓2において確認された。+1/13rad時に、柱の曲げ破壊を柱3において確認し、全ての柱の曲げ破壊を確認したところで載荷を終了した。載荷終了時の柱2の表面の様子を図6(d)に示す。

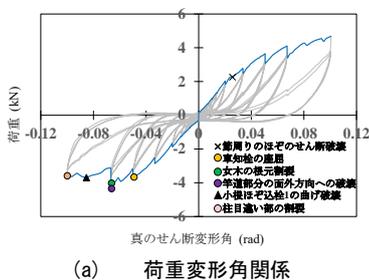
試験体KW-18では、+1/33.2rad時に、ほぞのせん断破壊が小根ほぞ込栓2において確認され、+1/20radへの載荷中に、ほぞのせん断破壊が小根ほぞ込栓1においても確認された。-1/21.7rad時に、柱の曲げ破壊が柱2の男木側の裏面まで確認され、-1/20rad時に、負方向の最大荷重11.1kNに到達し、直前に生じた柱2の曲げ破壊により荷重が低下した。+1/20radの2サイクル目には、柱の曲げ破壊が柱2の女木側の表面のみにおいて確認された。+1/15rad時に正方向の最大荷重11.5kNに到達した。+1/15radへの3サイクル目を載荷中に、柱の曲げ破壊が柱2の男木側の裏面において確認されたが、比較的軽微な破壊であり、荷重は低下しなかった。図7(b)に示す柱の曲げ破壊が柱1において確認され、+1/10radへの載荷中に、図7(c)に示す柱の曲げ破壊が柱3において確認さ

れた。+1/13.4 rad 時に、図 7(d)に示す柱 2 の女木側からの曲げ破壊が両面で大きく進行し、女木側からの亀裂が男木側からの亀裂とつながったところで、大きく荷重低下した。

試験体 KW シリーズでは、柱の曲げ破壊と小根ほぞ込栓の破壊が主な破壊性状であり、荷重低下の主な要因は、柱の曲げ破壊が柱 2 の両面で生じたことであった。試験体 KW-15・KW-18 共に、柱 2 に±1/20 rad への载荷中に最初の曲げ破壊が生じた。しかし、試験体 KW-18 の最大荷重は、試験体 KW-15 に比べて、約 0.87~0.91 倍に低下することを確認した。試験体 K シリーズと同様に、すべての小根ほぞ込栓において、試験体 KW-15 に比べて、試験体 KW-18 が、小さい変形角でほぞのせん断破壊が確認された。

3.3 K シリーズと KW シリーズの比較結果

試験体 K シリーズに比べて、試験体 KW シリーズは、最大荷重が約 2.8~2.9 倍に上昇することが確認できた。試験体 K シリーズでは、竿車知継手や小根ほぞ込栓に破壊が集中していたのに対して、試験体 KW シリーズは、柱と小根ほぞ込栓に集中していた。これらのことから、垂壁により、荷重は増加するものの、破壊性状が差鴨居接合部の損傷から柱の曲げ破壊に変化したと考えられる。また、試験体 KW シリーズにおける竿車知継手の損傷はほとんど確認できなかった。これは車知栓の座屈が生じる前に、柱に曲げ破壊が生じたことが要因として考えられる。試験体 K シリーズでは、-1/20 rad 時に、車知栓の座屈が確認されたが、試験体 KW-15 では+1/21.5 rad 時に、試験体 KW-18 では、-1/21.7 rad 時にそれぞれ柱 2 の曲げ破壊が確認された。



(a) 荷重変形角関係



(b) 車知栓の圧縮/座屈

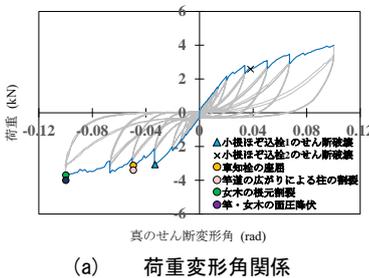


(c) 女木の根元割裂



(d) ほぞの曲げ破壊
(小根ほぞ込栓 1)

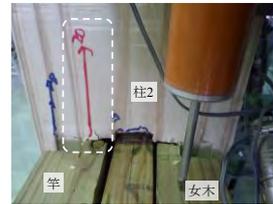
図 4 試験体 K-15 の荷重変形角関係および主な破壊性状



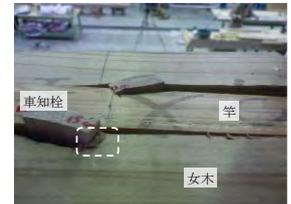
(a) 荷重変形角関係



(b) ほぞのせん断破壊
(小根ほぞ込栓 1)

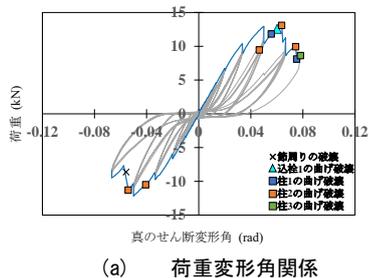


(c) 竿道の広がりによる割裂
(柱 2)

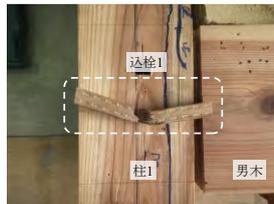


(d) 女木の面圧降伏
(女木)

図 5 試験体 K-18 の荷重変形角関係および主な破壊性状



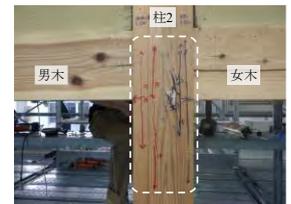
(a) 荷重変形角関係



(b) 込栓の曲げ破壊
(込栓 1)

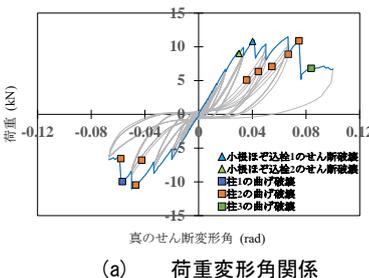


(c) 節でのほぞのせん断破壊
(小根ほぞ込栓 2)

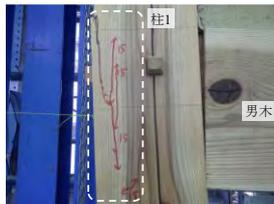


(d) 柱の曲げ破壊
(柱 2 表面)

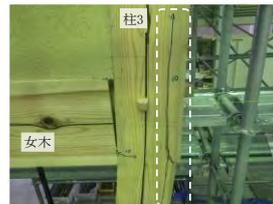
図 6 試験体 KW-15 の荷重変形角関係および主な破壊性状



(a) 荷重変形角関係



(b) 柱の曲げ破壊
(柱 1 表面)



(c) 柱の曲げ破壊
(柱 3 表面)



(d) 柱の曲げ破壊
(柱 2 表面)

図 7 試験体 KW-18 の荷重変形角関係および主な破壊性状

4. 柱のせん断力負担率

図8に各試験体の柱のせん断力と変形角の関係、図9に柱のせん断力負担率と変形角の関係をそれぞれ示す。

柱のせん断力 Q は、図1に示す柱の差鴨居下に取り付けたゲージの値を用い、線形補完により差鴨居下端面における曲げモーメント M を算出し、柱脚部のモーメント抵抗を0として算出した。曲げヤング係数は、試験体から切り出した木材に対して材料実験を行い、試験体Kシリーズでは、隅柱に $E=8654.3 \text{ N/mm}^2$ 、中柱に $E=7638.1 \text{ N/mm}^2$ 、試験体KWシリーズでは、隅柱に $E=8641.5 \text{ N/mm}^2$ 、中柱に $E=7642.9 \text{ N/mm}^2$ の値を用いた。

全ての試験体で、荷重開始直後において、柱1、柱3のせん断力負担率は約20~30%、柱2のせん断力負担率は約50~60%である。正方向荷重の場合、試験体Kシリーズは、3本の柱の合計のせん断力が大きく低下することなく、せん断力・せん断力負担率は柱1で減少し、柱3で増加した。このことから、架構全体の荷重を保ったまま、柱1が負担していたせん断力を柱3が負担し、荷重終了時に、柱2と柱3の2本でせん断力を負担していることが確認できる。これは、小根ほぞ込栓1のほぞのせん断破壊によって、柱1が架構全体の变形に追従できなくなることが要因と考えられる。同様の傾向は、負方向荷重でも確認できる。一方、試験体KWシリーズは、正方向荷重の場合、3本の柱の合計のせん断力が大きく低下した変形角(試験体KW-15で-1/18.5 radと+1/15.7 rad, 試験体KW-18で-1/20 radと+1/13.4 rad)で、せん断力・せん断力負担率は柱2で低下し、柱3のせん断力は上昇したため、柱3のせん断力負担率が相対的に増加し、載

荷終了時に、柱3の1本で70%~80%を負担した。このことから、架構全体の荷重が低下する中で、柱3の負担割合のみ増加していることが確認できる。これは、小根ほぞ込栓1のほぞのせん断破壊によって、柱1が架構全体の变形に追従できなくなること、柱2に曲げ破壊が生じ、せん断力を負担できなくなったことが要因として考えられる。同様の傾向は、負方向荷重でも確認できる。

5. まとめ

本報では、木造軸組架構の実大静的荷重実験を行い、耐震性能および破壊性状を把握したうえで、柱の曲げ破壊の影響を検証した。その結果、軸組のみの場合は、接合部に損傷が集中するが、荷重は低下しなかった。また、変形角が大きくなると、込栓の破壊により架構の变形に追従できなくなった柱以外の2本の柱でせん断力を負担していた。垂壁が取り付くと、最大荷重は軸組のみの場合の約3倍に上昇したが、柱の曲げ破壊が発生し、架構の荷重が低下した。柱に曲げ破壊が生じると、それ以外の柱のせん断力負担率が増加し、連鎖的に曲げ破壊が生じることが確認できた。

謝辞

本研究における実大実験は、公益財団法人 大林財団ならびに公益財団法人 旭硝子財団の補助を受けて実施された。実験の実施に当たっては、香川大学および近畿職業能力開発大学の学生の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 浦久保ら：伝統構法木造建築物に用いられる竿車継手を有する柱-梁接合部の曲げ性能に関する研究，日本建築学会技術報告集，Vol.30，No.76，pp.1257-1262，2024.10
- 2) 伝統的構法データベース HP，<http://www.denmoku-db.jp/files/libs/212/201805241741156853.pdf> (参照日 2025.01.08)

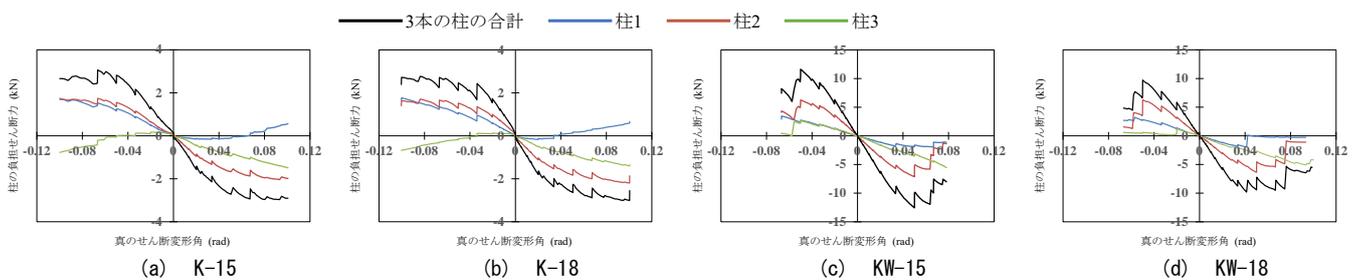


図8 柱のせん断力と変形角の関係

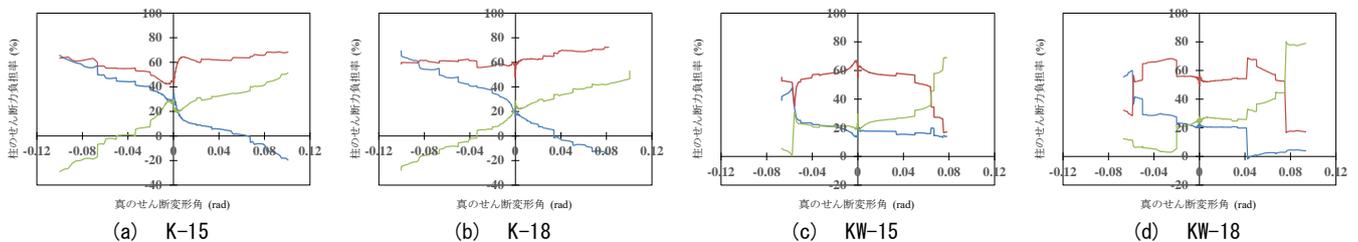


図9 柱のせん断力負担率と変形角の関係

*1 香川大学創造工学部 学部生

*2 香川大学大学院創発科学研究科 大学院生

*3 香川大学創造工学部 教授・博士(工学)

*4 近畿職業能力開発大学校 建築施工システム科 教授 博士(工学)

*1 Undergraduate Student, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ.

*2 Graduate Student, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ.

*3 Prof., Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

*4 Prof., Dept. of Architectural System Technology, Kinki Polytechnic College, Dr. Eng.

夏季における空気式床下空調と対流式空調の熱的快適性評価に関する研究 —対流・放射・伝導成分測定に基づく熱的快適性評価—

4. 環境工学—5. 熱

室内温熱環境 空気式床下空調 対流空調
対流・放射熱伝達率 温冷感 踵熱伝導量

準会員 ○和田 百花*1
正会員 佐藤 理人*2
正会員 福田 奏子*3
正会員 吉岡 瑞穂*4
正会員 佐藤 友紀*5

1. 研究背景と目的

近年、より快適な室内環境を実現するため、様々な冷暖房システムが開発されている。例えば、室内全体を素早く効率的に温度調節できる対流式空調や、室内機で調整した空気を床下に送風し、床温と気流感を調整することで、熱的快適性を向上させる空気式床下空調^{注1)}がある。夏季における対流式空調は、室温変動や気流感が大きいことで、不快に感じる居住者も多い。これに対し空気式床下空調は、室温変動や不快な気流感が小さいため、熱的快適性評価が高い傾向にある。他方で、対流式空調と空気式床下空調の放熱特性の違いについては、十分に解明されておらず、人体からの放熱量や放熱成分が具体的にどの程度異なることが、熱的快適性に寄与しているかについては十分な知見が得られていない。

そこで本研究では、第一に空気式床下空調と対流式空調の皮膚表面からの放熱量の違いを明らかにするため、対流成分、放射成分、伝導成分をそれぞれ測定し、対流式空調と空気式床下空調の放熱特性の違いを評価する。第二に生理量の測定と合わせて温熱心理量測定も行った。それらの結果から、生理量と心理量の双方の比較・評価を行うことで、対流式空調よりも空気式床下空調の方が熱的に快適と感じる理由について推察することを目的とした。

2. 空気式床下空調の概要

空気式床下空調の構成を図1に示す。床の構成は床下地材と樹脂部により構成され、床下は樹脂部によって上下2層に区切られている。ダクトを通して床下に供給された空気が1層目(サプライ側)に流れ込み、パネルを通して床下地材に吹き付けることで床下地材を冷却する。その後、室内に設置された還流口から室内に吹き出し、室内機に戻り熱交換されて再び床下へ供給される。また室温は、室内機の吸込み温度またはコントローラー部の温度によって制御が可能である。

3. 実測概要

3.1 実測対象室の概要

実測用木造戸建住宅は岡山市内に立地し、1階南西部の一室を測定対象として本システムを導入した。対象室は南西に内付けの日射遮蔽部材を付与した掃出し窓が設けられ、



図1 空気式床下空調システム構成図¹⁾

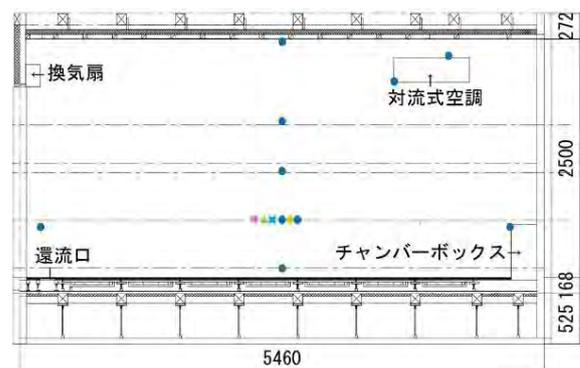


図2 対象室断面図

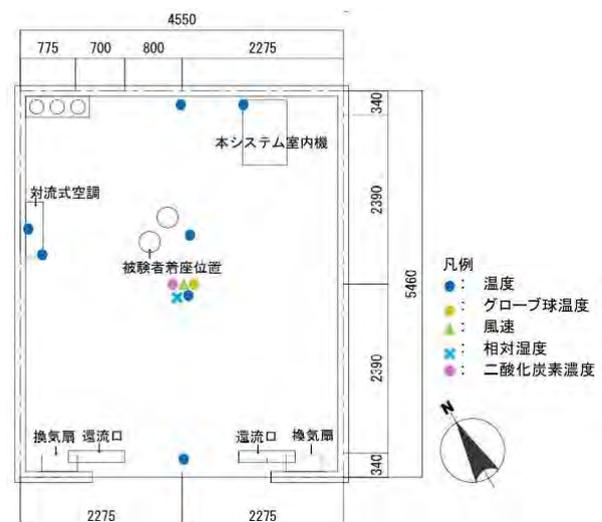


図3 対象室平面図

Study on the Evaluation of Thermal Comfort in Summer under
Air-Based Underfloor Air Conditioning and Convective Air Conditioning

Momoka WADA, Rihito SATO, Kanako
FUKUDA, Mizuho YOSHIOKA and
Yuki SATO

南西及び北西面が外気と接している。表1に対象室の空調機器定格能力値を示す。空気式床下空調の空調機は、断熱されたダクトとチャンパーボックスを介して床下空間に接続されている。また床仕上げ材は木質フローリング(t=12mm)とした。

3.2 温熱環境測定概要

対象室の実験概要を表2に示す。また対象室の断面図を図2、平面図を図3に示す。室中央と還流口付近およびエアコン付近を中心に、風速、空気温度、表面温度、グローブ温度、相対湿度、CO₂濃度を1分間隔で測定した。また室内の上下温度分布については、室中央の床表面温度、床上0.1m、0.6m、1.1m、1.6m、2.7m高さの空気温度および天井表面温度を測定した。また熱的快適性評価のための測定点については、日本建築学会室内温熱環境測定基準・同解説^{注2)}に基づいて、立位人体を対象とした1.1mと椅坐人体を対象とした0.6m位置とした。空調機については、対流式空調、空気式床下空調双方について、吹出口、吸込口空気温度を測定した。使用測定機材を表3に示す。

3.3 温熱生理量測定概要

実施した被験者実験の概要を表4に示す。また図4に示す通り、身体測定点^{注3)}については、額部に標準熱流センサ、低放射率熱流センサを垂直に並べ、医療用両面テープ^{注4)}で貼付した。踵部は、床面に標準熱流センサを高熱伝導性両面テープで固定した上で、被験者の踵を密着させることで測定した。また熱流センサの対流・放射熱伝達量の分離は、標準センサの放射率0.86における総合熱伝達量 $Q_{0.86}$ と低放射率センサの放射率0.08における総合熱伝達量 $Q_{0.08}$ を用いて、1)式(放射熱伝達量)及び2)式(対流熱伝達量)により算出した。

3.4 温熱心理量測定概要

温熱心理量については全身温冷感・快適感・足裏接触温冷感・湿度感・気流感・室温受容度・床温受容度を表5に示す7段階尺度^{注5)}を用い、室温ごとに椅坐静位10分後・20分後申告値を集計した^{注6)}。その後休憩室で30分間休憩をとり、休憩時間中に対象室の空調制御変更を行った。

空調制御は3条件(条件①:空気式床下空調、条件②:対流式空調(風除け有)、条件③:対流式空調(風除け無))とした。このとき、対流式空調については、フィンの運転方向、気流速度を固定した上で、吹出口にガードを設置した条件を風除け有(条件②)とし、被験者に吹出口からの冷風が直接当たる条件を風除け無(条件③)とした。また各被験者(計7名)について、条件ごとに午前・午後に1回ずつ測定を行い、食事誘導発生熱産生(DIT)^{注7)}によるmet値への影響を極力避けるため、昼休憩については90分とした。座席位置は、温熱環境分布の影響を避けるため、着座位置は、最大2名として風除け有・無の両条件で座席位置による温熱環境の差がないことを事前に確認した位置を設定した。また着衣量は0.5~0.6clo^{注8)}とし、靴下は同一のものを配布した上で、測定時のみスリッパなしとした。

表1 空調機器冷房能力

	空気式床下空調	対流式空調
定格冷房能力[kw]	3.6	5.6
定格消費電力[kw]	1.00	1.67
APF [-]	4.9	5.5

表2 実験概要

対象地	岡山県岡山市
実験住宅概要	2F 建木造軸組工法
実測期間	2025/8/19~2025/8/22, 8/25
空調制御条件	空気式床下空調、対流式空調(風除け無)、対流式空調(風除け有)
対象室内温度	夏季 25~27℃
対象室内相対湿度	40~60%
対象室内	空気式床下空調:24~26℃
床表面温度	対流式空調:25~27℃
休憩室温湿度	夏季 26℃ 相対湿度 50% (PMV=0 相当)

表3 測定機材

測定項目	測定機材
空気・表面温度	T熱電対0.2mm
グローブ温度	T熱電対0.2mm, グローブ球Φ150mm
風速	熱線式 (Model 6332 KANOMAX)
相対湿度	高分子湿度センサー (神栄テクノロジー)
二酸化炭素濃度	非分散型赤外線吸収式 (TR-76Ui T&A)
空調機吹出口、吸込口、額近傍空気温度	T熱電対0.2mm

表4 被験者実験条件

踵温度・熱流	標準(ε=0.86)熱流センサ (T-標準M, TOYOTA) t=0.25mm
皮膚表面温度・熱流(額)	低放射率(ε=0.08)熱流センサ (T-内臓M*AI, TOYOTA) t=0.25mm 標準(ε=0.86)熱流センサ (T-標準M, TOYOTA) t=0.25mm
被験者数	男性3名(20~30代) 女性4名(20~40代)
代謝量	1.0Met (椅座位安静状態)
着衣量	0.6clo程度(半袖長ズボン)

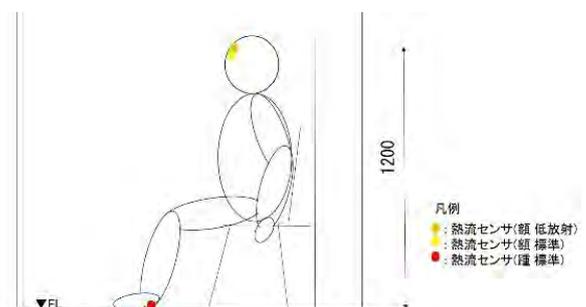


図4 被験者温熱生理量測定部位

$$q_r = 0.95 \times \frac{0.86 - 0.08}{Q_{0.86} - Q_{0.08}} = \frac{0.741}{Q_{0.86} - Q_{0.08}} \quad [\text{W/m}^2] \quad 1)$$

$$q_c = \frac{0.0624}{Q_{0.86} - Q_{0.08}} - Q_{0.08} \quad [\text{W/m}^2] \quad 2)$$

q_r :放射熱伝達量[W/m²] q_c :対流熱伝達量[W/m²]
 $Q_{0.86}$:熱流量(ε=0.86) [W/m²] $Q_{0.08}$:熱流量(ε=0.08) [W/m²]

4. 実験結果

4.1 皮膚温及び対流・放射熱伝達量測定結果

図5に額皮膚温、室温、MRT(平均値)を測定した結果を示す。図5より20分経過後の皮膚温は、条件①33.4℃、条件②33.8℃、条件③31.8℃となった。また室温は、各条件とも同程度で26.2℃程度となった。MRTについては、条件①26.6℃、条件②27.4℃、条件③27.7℃となり、条件①の方が条件②、③よりも約1℃低い結果となった。室温は皮膚温よりも条件①で約7.3℃、条件②約7.7℃、条件③約5.4℃低く、MRTは、皮膚温よりも条件①で約6.8℃、条件②約6.4℃、条件③約4.1℃低い結果となった。

4.2 対流・放射熱伝達量測定結果

前節に基づき、表6に蔵澄らの式及びステファン・ボルツマンの法則に基づいて算出した額における対流・放射熱伝達量推定値と本実測平均値を比較した結果を示す。

対流熱伝達量 $[W/m^2]$ は、実測値で条件①44.1、条件②57.5、条件③110.5となり、放射熱伝達量 $[W/m^2]$ は、条件①45.6、条件②42.0、条件③30.4となった。表6よりいずれの条件においても対流熱伝達量及び放射熱伝達量は推定値の範囲内であった。

4.3 対流・放射熱伝達率推定結果

表7に蔵澄ら²⁾、桃井ら³⁾、山本ら⁴⁾の既往研究結果と本実測より算出した対流・放射熱伝達率を比較した結果を示す。表7より本実測結果における対流熱伝達率 $[W/(m^2 \cdot K)]$ は、条件①5.8、条件②6.9、条件③17.6であった。また放射熱伝達率 $[W/(m^2 \cdot K)]$ は条件①5.6、条件②5.6、条件③4.7であった。既往研究と比較すると、本実測結果はいずれも既往研究の範囲内にあり、数値は妥当であると判断できる。

4.4 踵熱伝導量測定結果

表8に水冷パネルを用いた足裏の局所冷却が人体生理や温度感覚に及ぼす影響について測定を行った袴田ら⁵⁾の踵熱伝導量・踵温度・床表面温度の結果と本実測結果を比較した結果を示す。本研究の平均踵熱伝導量 $[W/m^2]$ は条件①93.0、条件②70.7、条件③55.3となった。袴田らの80~120 $[W/m^2]$ と比較すると、接触面積、測定環境の違いの影響を考慮すると本研究は既往研究と同程度の範囲内にあり、妥当範囲内である。また平均踵温度は、条件①約29.9℃、条件②約29.3℃、条件③約28.8℃であった。平均床表面温度は、条件①約25.4℃、条件②約26.3℃、条件③約26.1℃であった。本研究の踵温度は既往研究より約3℃高い温度を示したが、既往研究の床表面温度が本研究より約2.5℃低いことを踏まえると本研究の踵温度も妥当範囲内であると考えられる。

5. 成分別放熱量と温熱心理量に基づく考察

図8に条件別の全被験者について積算した成分別放熱量平均値を示す。また図9に快適感申告値を[非常に不快]=0から[非常に快適]=6として整理した条件別平均値を示す。図8より積算した成分別放熱量 $[W/m^2]$ は、条件①178.1、条件②162.4、条件③207.8となった。

表5 温熱心理量尺度

言語尺度	暑い	暖かい	温冷感	やや涼しい	涼しい	寒い	非常に寒い	足裏接触	熱い	やや熱い	温冷感	冷たい	非常に冷たい	快適感	やや不快	不快	非常に不快			
	暑くも暖かい	やや暖かい	暑くも寒くない	やや暖かい	どちらともいえない	湿っている	非常に湿っている	感ずる	感ずる	感ずる	感ずる	感ずる	感ずる	快適	やや快適	快適でも不快でもない	非常に不快			
尺度	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	+3	+2	+1	0	-1	-2	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

言語尺度	非常に乾いている	乾いている	やや乾いている	やや乾いている	どちらともいえない	湿っている	非常に湿っている	感ずる	感ずる	感ずる	感ずる	感ずる	室温	このままでよい	室温を下げたい	床温	このままでよい	床温を下げたい
	非常に乾いている	乾いている	やや乾いている	やや乾いている	どちらともいえない	湿っている	非常に湿っている	感ずる	感ずる	感ずる	感ずる	感ずる	室温を上げたい	室温を下げたい	床温を上げたい	床温を下げたい		
尺度	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	3	2	1	0							

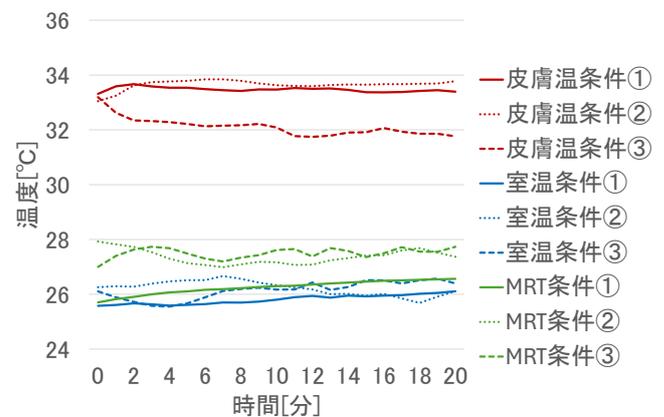


図5 額皮膚温・室温・MRT測定結果例

表6 対流・放射熱伝達量の推定値と測定値比較

単位 $[W/m^2]$	測定値		推定値	
	対流熱伝達量	放射熱伝達量	対流熱伝達量	放射熱伝達量
条件①	44.1	45.6	40.0	42.4
条件②	57.5	42.0	51.8	42.1
条件③	110.5	30.4	105.6	33.5

表7 本実測と既往研究^{2~4)}測定結果の比較

熱伝達率 $[W/(m^2 \cdot K)]$	測定結果		蔵澄らの結果		既往研究結果	
	対流	放射	対流	放射	対流	放射
条件①	5.8	5.6	5.2		3.4~5.2	
条件②	6.9	5.6	6.9	4.7	3.4~7.5	3.55~4.7
条件③	17.6	4.7	16.5		13.07~18	

表8 踵熱伝導量・温度の既往研究⁵⁾との比較

単位	測定結果			既往研究		
	踵伝導量	踵温度	床表面温度	踵伝導量	踵温度	床表面温度
	$[W/m^2]$	$[^{\circ}C]$	$[^{\circ}C]$	$[W/m^2]$	$[^{\circ}C]$	$[^{\circ}C]$
条件①	83.1~144.1	25.2~33.8	24.7~26.1	80~120	26~30	23~23.9
条件②	54.4~98.4	25.1~33.9	25.8~26.8			
条件③	47.1~59.7	26.1~31.8	25.8~27.0			

図9より快適感申告平均値は、条件①3.7、条件②3.6、条件③3.1であり、条件①が最も快適感申告値の高い結果となった。一方条件③は不快側と快適側の申告値が同程度となっており、対流熱伝達量(121.2[W/m²])が最大であったことから、対流成分による放熱が快適と感じる被験者と不快と感じる被験者に分かれる結果となった。

次に熱伝導成分と対流成分の適切さを評価するため、図10に床温冷感申告、図11に気流感申告結果を条件別に整理した結果を示す。図10及び図11より条件①は床表面温度が最も低いにもかかわらず、床温上昇を望む申告は少なく、また気流感申告も小さい傾向を示した。これらより、条件①では気流の影響が小さいことにより局所不快感が生じにくく、結果として平均快適感申告値が最も高くなったと考えられる。

6. まとめ

夏季における空気式床下空調と対流式空調の熱的快適性の違いについて、温熱生理量と温熱心理量による評価を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 空気式床下空調条件では、踵からの熱伝導量が対流式空調よりも約30~50W/m²程度増加するが、快適感是不快側の申告値は少なく、平均値が3.71と最も高かった。
 - 2) 対流式空調(風除け無)条件では、対流熱伝達量が条件①及び②より約66W/m²多くなるが、快適感是不快側と不快側申告が同程度あり、評価が分かれる結果となった。
 - 3) 対流式空調(風除け有)条件では、上記2条件の中間的な放熱量及び快適感評価を示したが、気流感は空気式床下空調よりも感じる側の評価が3倍程度多い。
- 今後は冬季においても同様の測定を行い、温熱生理量と温熱心理量の関係について明らかにしていく。

謝辞)本研究を実施するにあたり、多くの被験者の方々にご協力を頂きました。ここに記し、謝意を表します。

- 注1) DAIKEN株式会社：空気式床下空調概要, DAIKEN公式Webサイト, <https://www.daiken.jp/buildingmaterials/yukarela/> (参照 2025-01-08)
- 注2) 日本建築学会：室内温熱環境測定規準・同解説, 日本建築学会, 2002
- 注3) 測点部位はHardy/DuBoisの7点部位法に基づき行った。
- 注4) センサ貼付方法：3M社医療用両面テープ B078V6R4SF (縦:7.5cm, 横:2.5cm, 厚さ:0.2mm)を用い、センサ裏側を被験者の額部に貼付した。
- 注5) 日本建築学会：温熱心理・生理測定法規準・同解説, 日本建築学会, 2005
- 注6) 本研究は高知工科大学倫理審査委員会の承認(承認番号:302)を得て実施した。
- 注7) DIT(Diet Induced Thermogenesis)は食事摂取に伴う熱産生を示す。
- 注8) ISO 9920に基づく夏季軽装の代表clo値
- 1) 佐藤, 井口, 吉岡他: 空気式床放射パネルを用いた暖冷房システムに関する研究 その1, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 121-124, 2022. 9
- 2) 蔵澄, 土川, 大和他: 気流の方向と姿勢を考慮した人体の熱伝達率の実測, Japanese Society of Human-Environment System, 20(1), pp51-61, 2013
- 3) 桃井, 宮本, 義江他: 低風速気流曝露時における人体各部位の静圧および対流熱伝達率に関する研究 47th Symposium on Human-Environment System, HES47 in Fukuoka, pp25-26, 2023
- 4) 山本, 遠藤, 新原他: 人体熱ストレスによる温熱生理に関する基礎的検討(その2)CFD解析を用いた局所対流熱伝達率の考慮, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp249-252, 2022
- 5) 袴田, 青島, 浅輪他: 夏季の室内環境における足裏の局所冷却が人体温熱生理および温熱感覚に及ぼす影響, 日本建築学会関東支部研究報告書集II, pp43-46, 2023

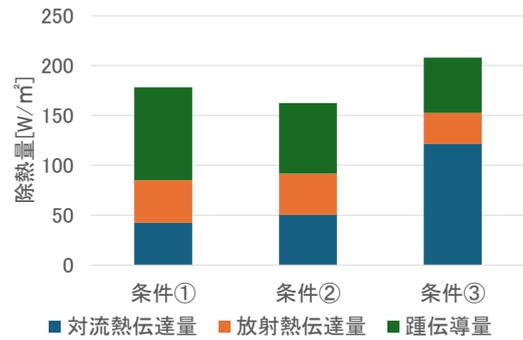


図8 条件別成分別放熱量

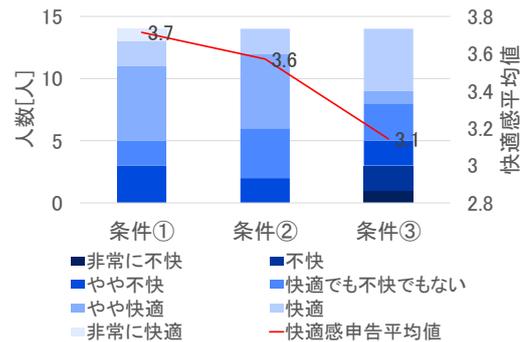


図9 快適感申告結果及び平均値

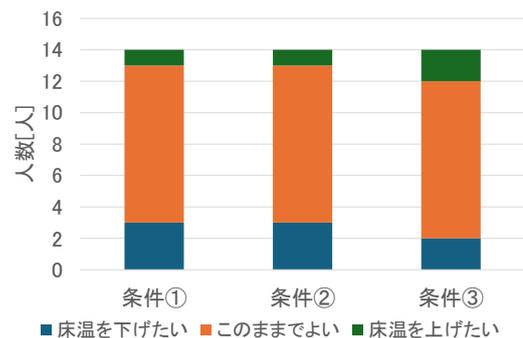


図10 床温冷感申告結果

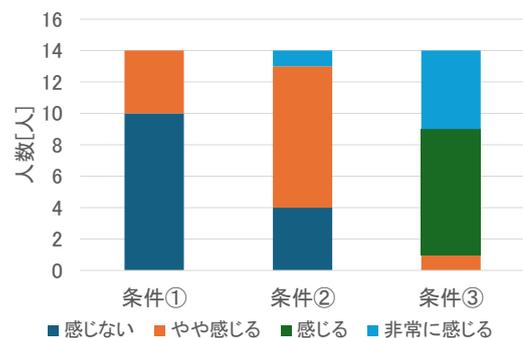


図11 気流感申告結果

- *1 高知工科大学
- *2 高知工科大学 准教授・博士(工学)
- *3 DAIKEN 学士(工学)
- *4 DAIKEN 修士(工学)
- *5 DAIKEN 博士(学術)

- Kochi University of Technology
- Assoc. Prof., Kochi University of Technology., Dr. Eng.
- DAIKEN, B.Eng.
- DAIKEN, M.Eng.
- DAIKEN, Ph.D.

保健所を対象とした災害時の夏季温熱環境改善手法の評価

4.環境工学
温熱環境
日射遮蔽

5.熱
快適性
実測調査

保健所
災害対策

準会員 ○川端 光貴*
正会員 佐藤 理人**
正会員 木多 彩子***

1. 研究背景と目的

近年、日本では巨大地震発生が懸念されており、災害時における地域の保健・医療体制の継続性確保が重要な課題となっている。保健所は、地震災害時に医療対策支部として、医療機関との連携調整を担う中核施設であり、医療資源の配分や情報収集・伝達において重要な役割を果たす。

この際、地震発生等に伴う停電の長期化により空調設備の使用が制限されると、特に夏季において室内温熱環境が悪化し、対応する職員の執務環境や健康状態の悪化を通じて医療対策支部としての業務の継続に支障をきたす恐れがある。

しかしながら現状では、非常用発電による電力供給は燃料備蓄量に制約があること等から、災害時に長期間の電力確保を前提とした対策とはなっておらず、空調設備の利用も想定されていない。そのため、設備に過度に依存せず、建築的手法によって夏季温熱環境を改善する方策、すなわちパッシブデザインの活用が重要である。

そこで本研究では、夏季発災時に2週間程度の長期間医療対策支部として十分な機能を発揮するため、夏季における温熱環境改善に着目し、パッシブ手法の中でも対費用効果の高い手法として日射遮蔽手法による温熱環境改善効果を評価する。

具体的には、隣接する同一床面積の会議室を対象に、日射遮蔽の有無による室温や室内への侵入日射量を比較し、建物熱負荷低減効果及び熱的快適性改善効果を明らかにすることを目的とする。

2. 建物概要

本研究で対象とした施設は、高知県香美市に立地する中央東福祉保健所であり、新館2階会議室は災害発生時に、高知県医療対策支部として医療機関との連携調整を担う中核居室として機能する(表1)。対象とした新館2F会議室の外観を写真1、内観を写真2に示す。

会議室は真南から約15°西向きの建物で、庇もなく、周囲は開けており、周辺地物の影響を受けにくい。そのため、南側開口部は夏季において日射の影響を受けやすい条件にあり、非空調時には劣悪な熱環境となることが予想される。

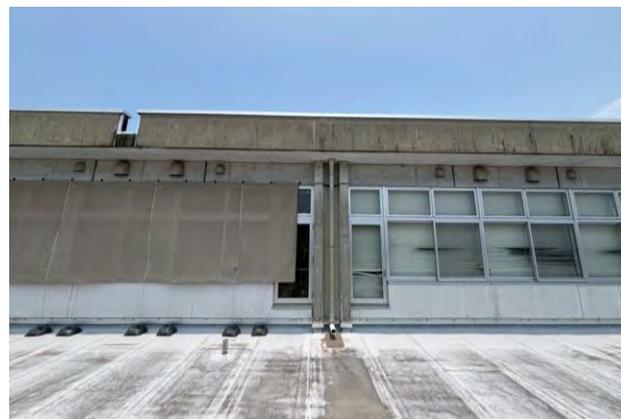


写真1 新館2階会議室南側外観



写真2 新館2階会議室内観

表1 対象建物概要

対象建物名称	中央東福祉保健所新館 (医療救護中央東支部)
階数・建物構造	2階建 RC造
対象会議室床面積	約92m ²
測定期間	2025/7/9~2025/9/30

表2 測定機器

測定項目	測定機器
屋外温湿度	温湿度ロガー,RTR503B,T&D
屋内温湿度	温度(サーミスタ) 湿度(高分子式)
日射量	全天日射計,ML-01,英弘精機

3. 夏季実測概要

夏季における2階会議室の日射遮蔽効果を明らかにするため、対象建物において温熱環境実測を実施した。実測は2025/7/9～9/30までの期間に行い、屋内外温湿度、水平面及び垂直面全天日射量の測定を行った(表2)。また温湿度の測定高さは、屋内温湿度については椅座によるデスクワークを想定し、H=0.6m程度とし、屋外温湿度については、H=1.6m程度とした。

また日射遮蔽効果については、西側会議室を日射遮蔽有(以下、遮蔽有)、東側会議室を日射遮蔽無(以下、遮蔽無)として比較した。測定期間中も会議室としての利用はあるため、空調設備の運転状況も考慮しつつ連続する休日時等の自然室温を比較した。

そしてこれらの実測結果を基に、日射遮蔽が室内温熱環境に及ぼす影響を評価した。各センサーの測定位置を図1、測定風景を図2に示す。また使用した日射遮蔽シートの概要を表3に示す。

4. 夏季実測結果

4.1 代表期間における外気象測定結果

図3に晴天日が連続し、会議室も未利用だった期間を含む代表的な一週間(2025/9/15～9/22)の水平面全天日射量測定結果を示す。

快晴時は最大800W/m²程度を示し、安定した晴天となっていた。また図4に同期間における外気温及び外気相対湿度測定結果を示す。外気温はいずれの日も最高気温が約35℃、最低気温が約25℃で推移していた。また外気相対湿度も日中は50%前後、夜間は80～90%前後となっており、高温・高湿条件であった。

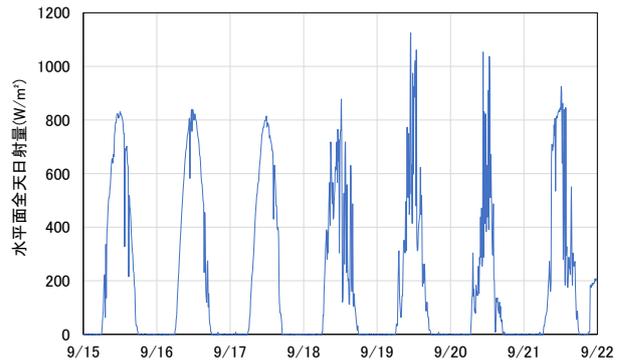


図3 水平面全天日射量(9/15～9/22)

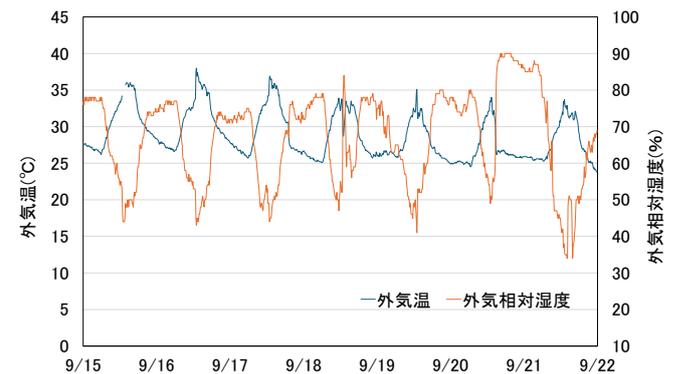


図4 屋外温湿度(9/15～9/22)

表3 日射遮蔽シート概要

設置面積	約幅7.2m×高さ2m
素材	ポリエチレン
日射透過率	約30%

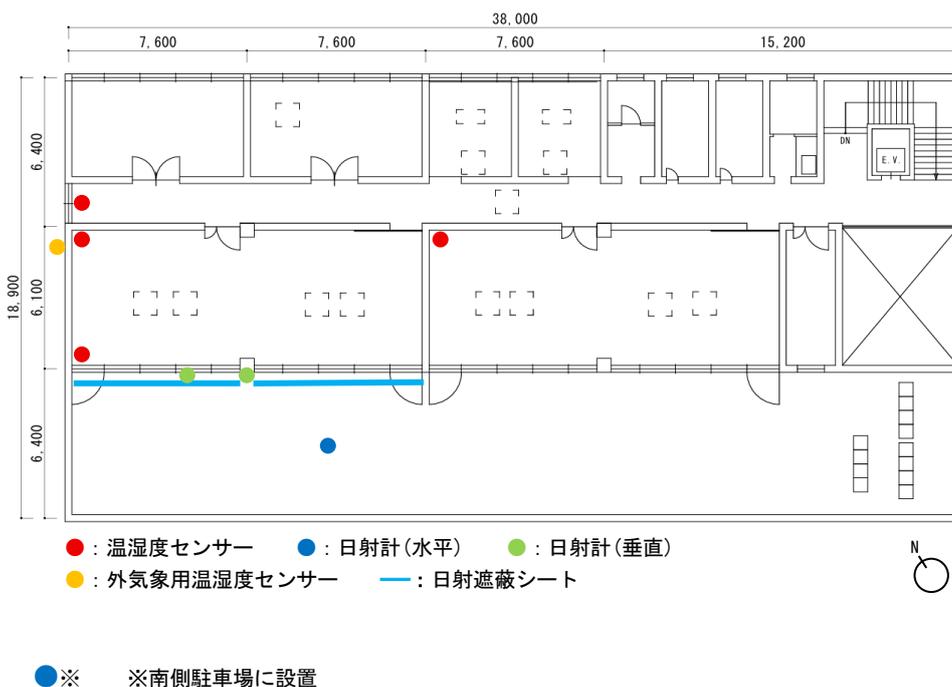
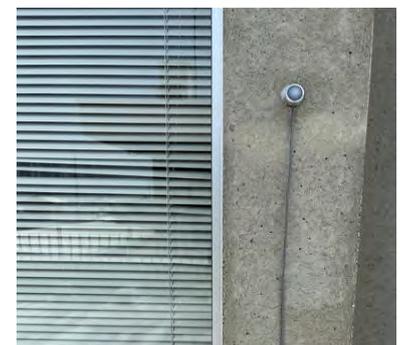


図1 新館2F平面図及び測定位置



屋外垂直面全天日射計



屋内温湿度計

図2 測定風景

4.2 代表期間における垂直面日射量比較結果

図5に2025/9/15~22の南側垂直面全天日射量測定結果を示す。快晴に近い9/15~17では、遮蔽シート無の場合最大受熱日射量は 600W/m^2 程度であるのに対し、遮蔽シート内側では、最大約 300W/m^2 となっており、50%未満となっていることがわかる。また垂直面日射量の場合、直達・天空成分の他に屋上コンクリート面（日射反射率約30~40%）からの反射日射成分も含まれるため、必ずしも日射遮蔽シート本体の透過率と同一ではないが、期間合計では、窓面への受熱日射量を40~70%抑制する結果となった。

5. 日射遮蔽による屋内温熱環境の分析

本章では、前章で示した実測結果も踏まえ、日射遮蔽による屋内温熱環境改善効果について考察した。対象日は、代表期間の中でも特に快晴に近く、高温高湿環境下となった9月15日とした。

5.1 屋内温度比較結果

図6に代表日における日射遮蔽シートの有無による会議室の屋内温度測定結果を示す。会議室開口部は防犯上の観点から終日施錠されているため、前日からの蓄熱の影響を受け、最低室温は午前6時頃に遮蔽無では 31.4°C 、遮蔽有では 31.0°C となっていた。また日中の日射遮蔽無と日射遮蔽有の室温を比較すると、室温差は徐々に大きくなり、最高室温付近の14:40~15:00頃に最大室温差が 2.0°C となった。

5.2 熱的快適性比較結果

図7に日射遮蔽の有無による熱的快適性をPMV (Predicted Mean Vote)を用いて評価した結果を示す。遮蔽無では、PMVが終日2.0以上で推移しており、特に午後12~18時の時間帯においては+3.0となり、劣悪な暑熱環境となっている。一方、遮蔽有条件では、遮蔽無条件と比較してPMVの上昇が抑制され、+3となることはなかったものの、最大+2.72に達しており、快適範囲の-0.5~+0.5を大きく上回っている。したがって日射遮蔽によってPMVが低減していることは確認できるものの、遮蔽対策のみでは夏季の室内快適性を十分に確保するには至っていない結果となった。

このことから、日射遮蔽は室内温熱環境の悪化を緩和する効果を有する一方で、災害時の空調制限下において快適性を確保するためには、さらなる対策との併用が必要であるといえる。

次に、日射遮蔽による影響をより詳細に推定するため、取得した垂直面全天日射量より Erbs モデルによる直散分離を行い、開口部に入射する時刻別日射量を推定した。ここで開口部の工学特性は厚さ6mmの透明フロート板ガラスとし、垂直入射に対する日射透過率 $\tau(0)=0.815$ 、反射率 $\rho(0)=0.071$ 、吸収率 $\alpha(0)=0.114$ とした。これらの値を基に、JIS A 2103:2014¹⁾に示される近似式を用いて、太陽高度 $0\sim 90^\circ$ の各入射角に対する透過率・反射率・吸

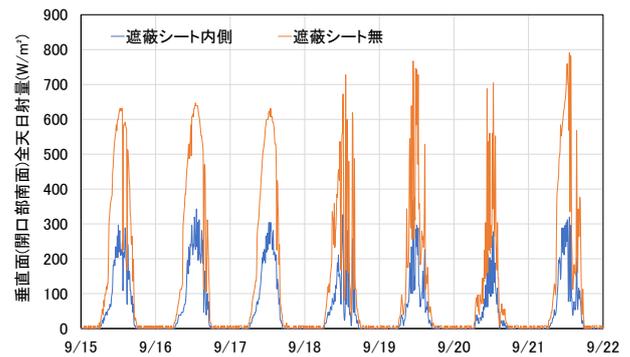


図5 垂直面全天日射量 (9/15~9/22)

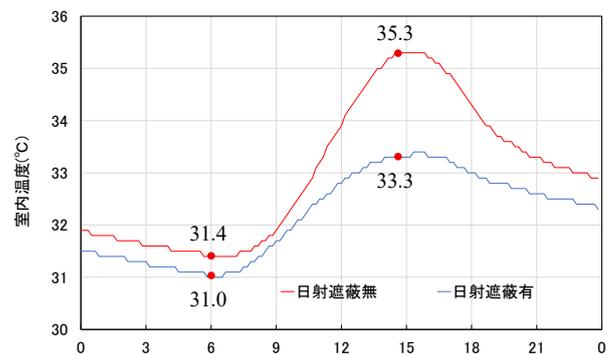


図6 日射遮蔽有無別の屋内温度(9/15)

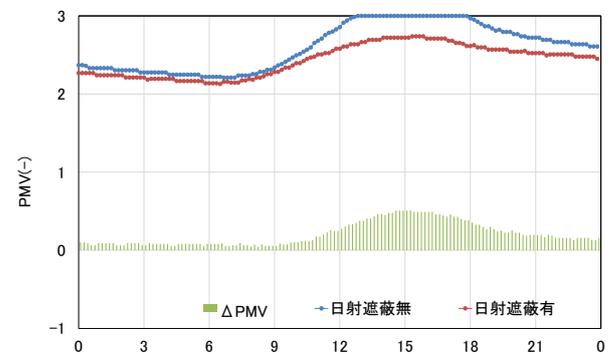


図7 日射遮蔽有無別のPMV算出結果(9/15)

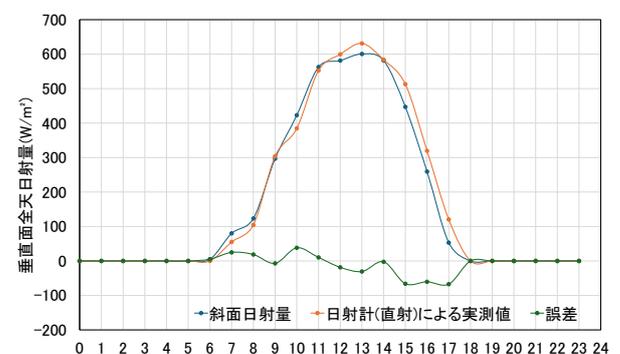


図8 直散分離に基づく垂直面全天日射量推定値と垂直面全天日射量実測値の比較

収率を算出した。

そして垂直面全天日射量の直散分離に基づき推定した時刻別垂直面全天日射量と、現地にて取得した垂直面全天日射量を比較したところ、図8に示す通り 100W/m²未満の誤差に留まっており、概ね一致していたため、開口部からの透過・吸収・反射日射量の推定に計算値を使用することとした。

次に開口部から侵入した日射が室内各部位に与える影響を評価するため、受熱日射量を部位別に推定した。このとき、透過日射は床 50%、壁及び天井 25%の比率で受熱するものとした。また開口部窓ガラスの吸収日射量については屋内側 35%、屋外側 65%放熱されるものとした。

図9に9月15日を対象として、単位面積当たりの時刻別侵入日射量に南側窓面積である 42.56m²を乗じて求めた、部位別時刻別の推定受熱日射量を示す。

また図10に9月15日における部位別の推定日積算受熱日射量を示す。遮蔽無と遮蔽有を比較すると、遮蔽有では室内表面全体における推定日積算受熱日射量が約62%低減した。このことから、日射遮蔽の導入により、床・壁・天井を含む室内表面への侵入日射量が大幅に抑制されたことが確認された。これにより、室内への熱負荷が低減し、結果として室温上昇の抑制及び温熱環境の改善につながるといえる。

6. まとめ

本研究では、災害時に医療対策支部となる保健所を対象に、夏季における日射遮蔽シートによる温熱環境改善効果を評価した。夏季の実測結果を基に、代表的な1週間および9月15日を対象として分析を行った結果、日射遮蔽により垂直面全天日射量および室内への受熱日射量が低減され、遮蔽の有無による最大室温差は約 2℃となった。また、PMVによる快適性評価では、遮蔽あり条件において改善が見られたものの、最大+2.72に達しており、遮蔽対策のみでは夏季の快適性確保には限界があることが明らかとなった。

以上より、日射遮蔽は災害時の空調制限下においても温熱環境の悪化を緩和する有効な手段ではあるが、熱中症となる危険を避けるためには、追加の対策との併用が重要であるといえる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、中央東福祉保健所の皆様には、多岐にわたりご協力をいただきました。ここに記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本産業標準調査会: JIS A2103, 窓及びドアの熱性能-日射熱取得率の計算, pp. 29-30, 2014

$$\tau n(\varphi) = \frac{\tau(\varphi)}{\tau(0)} \quad (1)$$

$$\rho n(\varphi) = \frac{\rho(\varphi) - \rho(0)}{1 - \tau(0)} \quad (2)$$

$$\tau n(\varphi) = \sum_{i=0}^5 m_i \cdot \cos \varphi^i \quad (3)$$

$$\rho n(\varphi) = \sum_{i=0}^5 m_i \cdot \cos \varphi^i \quad (4)$$

$$\tau(\varphi) = \tau(0) \cdot \sum_{i=0}^5 m_i \cdot \cos \varphi^i \quad (5)$$

$$\rho(\varphi) = \rho(0) + (1 - \rho(0)) \cdot \sum_{i=0}^5 m_i \cdot \cos \varphi^i \quad (6)$$

ϕ : 入射角 (°)

$\tau n(\phi)$: 入射角 ϕ における標準化透過率 $\rho n(\phi)$: 入射角 ϕ における標準化反射率

$\tau(\phi)$: 入射角 ϕ における透過率 $\rho(\phi)$: 入射角 ϕ における反射率

$\tau(0)$: 垂直入射に対する日射透過率 $\rho(0)$: 垂直入射に対する日射反射率

$m_0 \sim m_5$: 透明フロート板ガラスの係数

	m0	m1	m2	m3	m4	m5
標準化透過率 τn	0.000	2.552	1.364	-11.388	13.617	-5.146
標準化反射率 ρn	1.000	-5.189	12.392	-16.593	11.851	-3.461

斜入射に対する透明フロート板ガラスの透過・吸収・反射率計算式

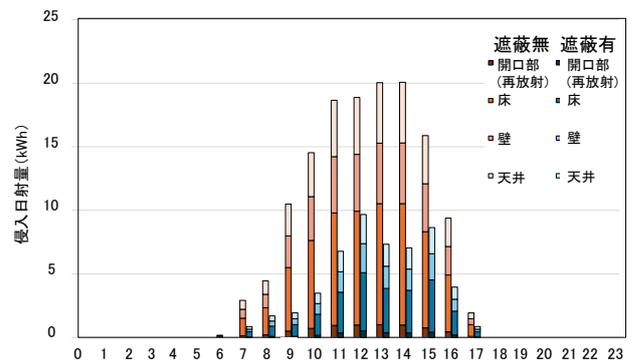


図9 9月15日における部位別時刻別受熱日射量

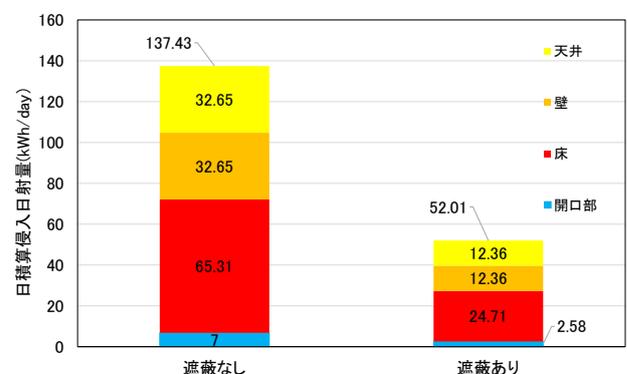


図10 9月15日における部位別の日積算受熱日射量

*高知工科大学

**高知工科大学准教授・博士(工学)

***高知工科大学教授・博士(工学)

*Kochi University of Technology

**Assoc. Prof., Kochi University of Technology., Dr. Eng.

***Prof., Kochi University of Technology., Dr. Eng.

半屋外・非空調空間を想定したパーソナル空調ベンチの開発

4. 環境工学 13. 空調システム
パーソナル空調 対流式 半屋外空間
温熱環境 皮膚温度 熱中症予防

準会員 ○保科 遥希*
正会員 佐藤 理人**

1. 研究背景と目的

近年、日本では地球規模での温暖化や都市化の進行により、夏季の平均気温が年々上昇している。過去5年間の全国データからも、熱中症リスクを評価する指標として使用されている湿球黒球温度（WBGT）の上昇が報告されており、スポーツ活動や建設現場などでその重要性が一層高まっている。こうした環境変化に伴い、熱中症による救急搬送者数は増加傾向にあり、令和6年度には過去最多を記録した。特に子ども（小中高生）のリスクが高く、熱中症疑いで救急搬送された子どもの約8割がスポーツ活動中に発症し、そのうち約7割が屋外で発生している。屋外での活動やスポーツにおける休憩場所としては、日陰や半屋外空間が利用されることが多いが、半屋外空間は直達日射を遮り自然な通風を得られる利点がある一方、アスファルトやコンクリートの輻射熱、人の集結による熱や空気の滞留などにより、屋内空間と比べると快適性に劣るという課題がある。

そこで本研究では、半屋外空間においても屋内に近い快適性を実現するため、人体近傍を効率的に冷却する「パーソナル空調」を取り入れたベンチを提案・開発した。そして試作した空調ベンチを用いて被験者実験を行い、暑熱条件下で使用した際の熱的快適性やベンチ周囲の温熱環境を評価するとともに、使用空調機のエネルギー性能を明らかにすることを目的とする。

2. パーソナル空調ベンチの概要

半屋外空間における人体冷却方式には、空調機や扇風機による対流方式、ドライミストを用いた蒸発冷却方式、天井などの表面を冷却する放射方式などが一般的に用いられている。本研究では、装置構成が簡易で低コストであり、かつ即効性に優れる対流方式に着目し、空調ベンチを試作した。本ベンチは半屋外および非空調空間での使用を想定し、劣悪な熱環境下においても効率的に冷却するため、人体近傍を集中的に冷却するパーソナル空調方式を採用している。なお、本研究では一般的なベンチの後方に設置する空調装置部を主な開発対象とした。

ベンチ後方に設置する空調装置外観及び分岐流路を図1に示す。空調機からチャンバー部までの流路は、各分岐とも圧力損失が等しくなるようダクト設計（アルミ管、

φ100mm）を行い、全ての吹出口から均等な風量が得られる構成とした。各吹出口からの合計流量は168.6m³/hである。吹出口高さ（中央部）は、ベンチの座面高さ及び成人男性の平均座高を考慮して、1100mmとし、血管や神経が集中し体温調節に大きな影響を及ぼす頸部に直接送風されるよう設計した。また空調機にはハイブリット式ダクトレススポットエアクーラーを使用した。本装置はヒートポンプ式の空調機であり、冷却過程で生じる排熱を水の気化冷却によって処理する構成とすることで、外部への排熱を抑制し、局所的な冷却を実現する。これにより、ベンチ周囲に高温空気が滞留しにくい環境を実現している。空調機の仕様を表1に示す。また吹出口には図2に示す手動開閉が可能なものを使用し、開口率が約24.6%で、ダイヤル操作により通風量を任意に調整可能である。またベンチの着座位置に依らず頸部付近に集中的に送風可能な開口幅及び高さを考慮して選定した。

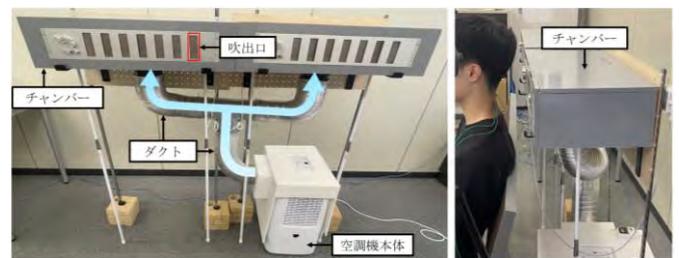


図1 空調装置外観及び分岐流路

表1 空調機の仕様

本体サイズ	W375×D280×H505mm	使用モード	冷風・送風
定格冷房消費電力	350W	風量	約168.6m ³ /h
定格冷房能力	600W	冷房吹出温度	18～30℃

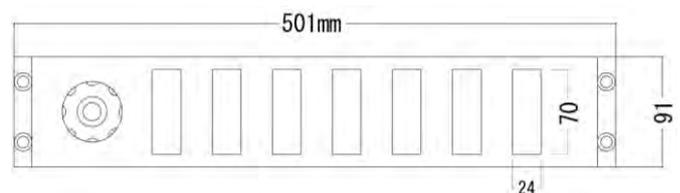


図2 ダイヤル調整式吹出口外形図

3. 実測概要

3.1 実測対象室の概要

実測は高知工科大学内に設置した実験室にて実施した。本研究では半屋外空間での使用を主に想定しているが、本実測においては基礎的な性能を把握するため、外部風や放射等の非定常な環境要因に伴う変動影響を排除するため、密閉空間にて行った。対象室は22.4m²で北面に出入口を有し、南面には1.56m²の開口部があるが、内ブラインドによる日射遮蔽を行っている。また室中央天面には4方向天井埋込型室内空調機1台が設置されている。

本測定では、盛夏及び猛暑日を想定した使用条件を評価するため、室温は30~32°C、35~36°Cの2条件とした。また相対湿度は、成り行きとしたが、30~32°C測定時は約60~65%、35~36°C測定時は約50~55%となった。

また空調機運転条件としては、空調機（冷風モード）、空調機（送風モード）及び扇風機の3条件を設定した。

3.2 温熱物理量測定概要

対象室の平面図を図3に、断面図を図4に示す。空調ベンチは室中央に配置し、空調機本体の給気口及び排気口、ならびに空調装置の吹出口において空気温度及び相対湿度を測定した。さらに、ベンチ北側には室内の空気温度、相対湿度、グローブ温度及び風速を測定する機材を高さ0.6mに配置した。これらの測定は全て10秒間隔とした。

3.3 温熱生理量測定概要

温熱生理量測定^{注1)}は、被験者頸部に低放射率熱流センサ及び標準熱流センサを縦列に貼付し、頸部皮膚温度及び熱流量を測定した。皮膚温度はセンサを医療用両面テープで貼付し10秒間隔で記録した。また頸部付近の体表面温度は放射カメラにより5分間隔で撮影した。

被験者は待機室^{注2)}で30分安静状態の後、対象室入室後5分間椅座静位状態の後、15分間空調機を稼働させた状態での測定を行った。なお、空調ベンチ周囲の温熱環境測定のうち、被験者実験については安全面を考慮し、室内温度30~32°Cの条件のみで実施した。

3.4 温熱心理量測定概要

試作した空調ベンチを高知工科大学のオープンキャンパス（2025年8月2日~8月3日）にて展示し、来場者に実際に使用してもらったうえでアンケート調査を実施し、空調ベンチ使用時の温熱心理量を把握した。アンケート項目は、「性別」「年齢」「発汗状況」「気流感（強さ・温度）」「快適感」「温冷感」「自由記入」とし、計130名の来場者からの回答を得た。

3.5 空調機の省エネ性能評価

盛夏及び猛暑日を想定した条件下における空調ベンチ使用時の省エネ性能を評価するため、実測対象室の室内温度を30~32°C及び35~36°Cに設定し、空調ベンチに使用した空調機の消費電力量、COP及び気化冷却に使用する水量を15分間測定した。

表2 実測概要

実測	ベンチ周囲の温熱環境	被験者実験 (20代男女4人)	空調機の省エネ性能
期間	① 2025/08/29 ② 2025/09/18	2025/08/26 ~2025/08/29	① 2025/08/29 ② 2025/09/18
対象地	高知工科大学内に設置した実験室		
設定空気温度	① 30~32°C ② 35~36°C	30~32°C	① 30~32°C ② 35~36°C
主な測定内容	各測定点の温湿度	熱流量 皮膚温度 表面温度	瞬時電力 水使用量
吹出条件	空調機（冷房） 空調機（送風）	空調機（冷房） 空調機（送風） 扇風機	空調機（冷房） 空調機（送風）

表3 測定項目および測定機材

測定項目	測定機材
空気温度	温湿度計, RTR-503B, T&D
相対湿度	(温度:サーミスタ, 湿度:高分子式)
グローブ温度	T熱電対 0.2mm Φ150mm
風速	熱線式風速計 DT-8880(エムケーサイエンティフィック)
熱流量	低放射率熱流センサ T-内蔵 M*AI(TOYOTA) (放射率ε=0.08)
皮膚温度	標準熱流センサ T-標準 M(TOYOTA) (放射率ε=0.86)
体表面温度	赤外線放射カメラ GTC 400 C (Bosch)
電力計	エコキーパー EC-03N

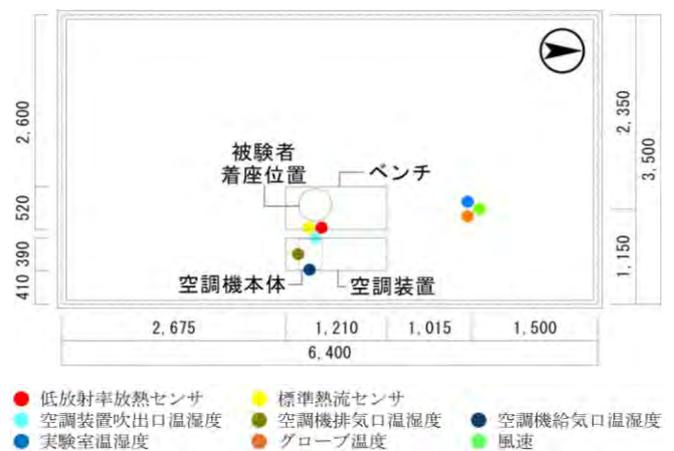


図3 実測対象室平面図

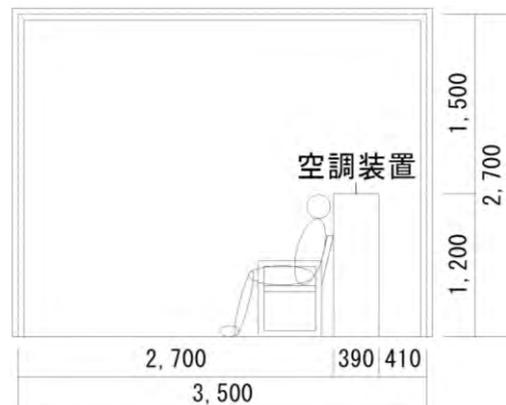


図4 実測対象室断面図

4. 実験結果

4.1 空調ベンチ使用時の周囲温熱環境

空気温度 30～32℃条件下における空調ベンチ使用時（冷風モード）の各測定点における温熱環境の変化を図5に、35～36℃条件下での結果を図6に示す。

まず、空気温度 30～32℃条件下では、冷風モード運転開始直後に吹出口温度が急激に低下し、約 26℃となり、室温との差は約 6℃となった。相対湿度に着目すると、冷風モードでは吹出口付近で約 15%の上昇が確認された。また、絶対湿度は吹出口において約 0.002～0.004kg/kg'の低下がみられた一方、排気口では運転開始15分後に約 0.005 kg/kg'の増加となった。比エンタルピーについても同様の傾向がみられ、吹出口では約 10～15kJ/kgの低下、排気口では約 15kJ/kgの増加となった。

次に、空気温度 35～36℃条件下では、冷風モード時に吹出口温度が室温より約 9℃低い値を示し、高温環境下においても約 27℃の低温風が得られることが確認された。一方、相対湿度は運転開始前の約 50%から最大 77%まで上昇し、25%程度の増加となったが結露の発生はなかった。また排気口相対湿度は概ね 70%程度で推移した。絶対湿度及び比エンタルピーについては、空気温度 30～32℃条件下と同様の傾向を示し、吹出口では高温環境下においてもほぼ同程度の値となり 0.016kg/kg'前後を推移した。一方、排気口では 35～36℃条件下の方が、加湿冷却の促進により約 0.001kg/kg'高い約 0.024kg/kg'となった。

なお、いずれの条件下においても、実験室代表点と空調機本体の給気口における温度及び相対湿度はほぼ同程度の値を示しており、空調機からの排熱による影響はほとんどみられなかったことを確認している。

4.2 頸部皮膚温度の比較

被験者実験により測定した各吹出条件における頸部皮膚温度を図7に示す。空調機冷風モードでは、運転開始直後に皮膚温度が急激に低下し、最終的に 4℃以上の低下が確認された。一方、送風モード及び扇風機では、運転開始前と比較して低下がみられたものの、両者は同程度の値を示し、低下量は約 1℃にとどまった。これらから、冷風が頸部に直接作用することで、局所的ではあるが皮膚温度冷却効果が高いことが示された。図8に冷風モード時（測定開始 20 分後）の頸部付近の放射温度分布を示す。後頭部付近が 30℃以上であったのに対し、頸部では約 27℃まで低下していることが確認された。

4.3 人体熱流量測定結果

空調機使用時における人体熱流量（15 分間平均値）を図9に示す。対流成分に着目すると、いずれの条件下においても運転開始後に放射量の大幅な増加が確認された。冷風モードでは約 150W/m²を示したのに対し、送風モード及び扇風機では約 50～100 W/m²にとどまり、吹出条件の違いによる明確な差が確認された。一方、放射成分については、いずれの条件下においても低い値を示した。

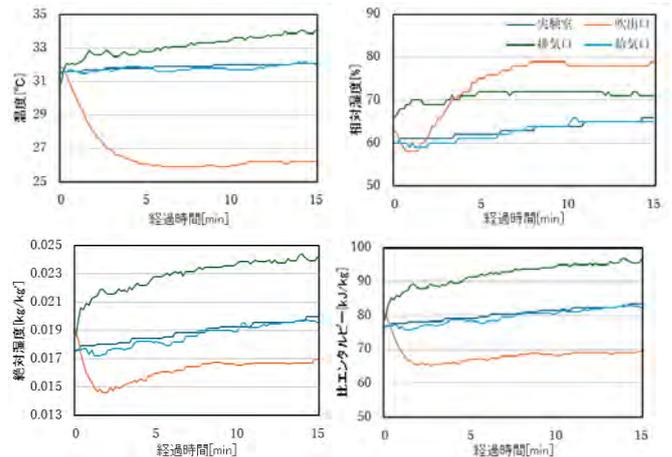


図5 空気温度 30～32℃時の温熱環境（冷風モード）

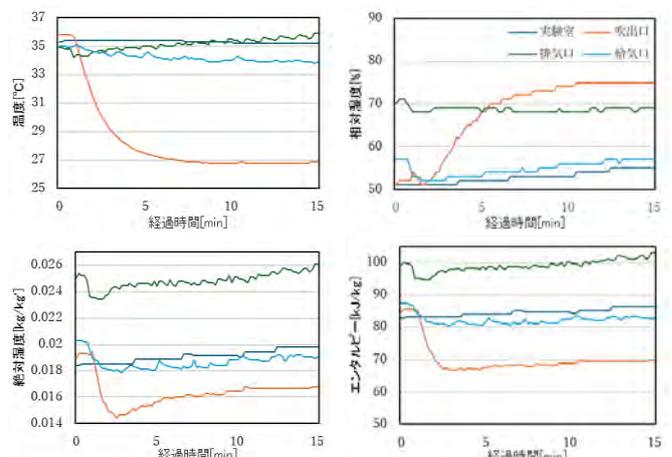


図6 空気温度 35～36℃時の温熱環境（冷風モード）

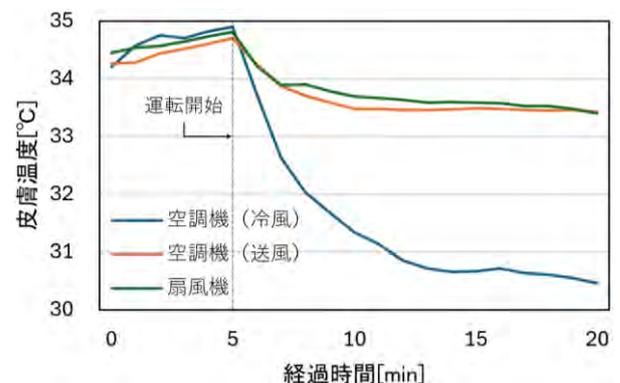


図7 吹出条件別の頸部皮膚温度の比較
（空気温度 30～32℃時）

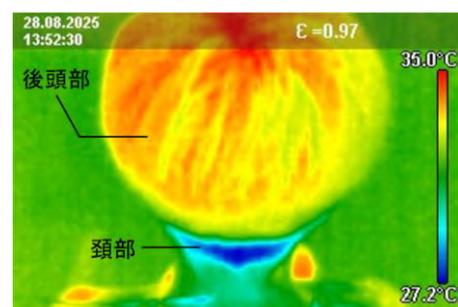


図8 頸部表面温度（実験室内温度：31.3℃）

4.4 温熱心理量及び快適性評価結果

発汗状況別の気流感（強さ・温度）、快適感及び温冷感に関するアンケート結果を図10に示す。気流強さについては、いずれの発汗状況においても半数以上が「普通」と回答したが、発汗ありでは「やや弱い」、発汗なしでは「やや強い」と感じる回答が一部にみられた。気流温度については、全ての発汗状況において約80%が「普通」と回答し、その他には「やや寒い」と感じる回答が共通してみられた。快適感では、全体的に不快よりも快適と評価する回答が多く、発汗ありでは「快適」、発汗なしでは「やや快適」と回答する傾向がみられ、発汗の有無による違いが確認された。温冷感については、いずれの発汗状況においても60%以上が「普通」と回答したが、発汗ありでは「やや暑い」「暑い」、発汗なしでは「やや寒い」と回答する割合が多く、対照的な傾向を示した。

4.5 外気温別の空調機性能

実験室において設定空気温度別にエネルギー性能を評価した結果を表5に示す。冷風モードにおける瞬時電力は約300Wであり、送風モードの約4倍、扇風機の約12倍であった。設定空気温度が30~32°Cから35~36°Cへ上昇した場合においても、瞬時電力の増加はわずかであり、高温環境下においても消費電力が大きく増加しないことが確認された。一方、冷風モードにおける水使用量は、高温条件下では約1.5倍に増加しており、外気温の上昇に伴い、排熱冷却のための水消費量が増加する傾向が示された。また、COPはいずれの条件下においても2.1程度であった。一般的な家庭用エアコンのCOPが5前後、気化冷却を採用しない局所空調が3前後であることと比較しても、エネルギー効率は低い。これは、排熱処理に水を用いた気化冷却方式を採用していることが影響していると考えられ、COP向上が本システムの課題の一つであるといえる。

5. まとめ

試作したパーソナル空調ベンチは、高温環境下でも冷風によって頸部を効果的に冷却し、皮膚温度の低下と高い快適性を得られることを確認した。今後は、実環境下での快適性確認とともに、冷風温度の調節性向上、水使用量の削減、COP向上を図っていく。

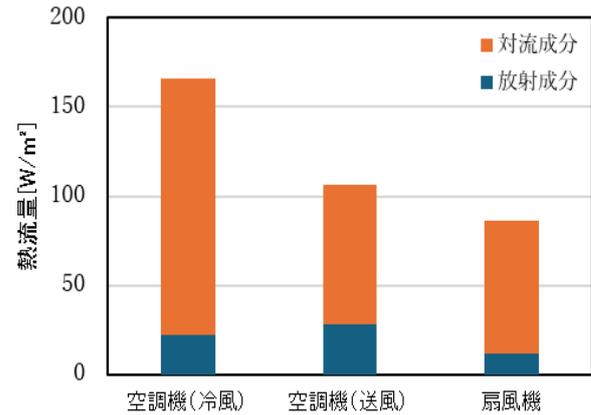


図9 吹出条件別の対流・放射成分別熱流量

表4 オープンキャンパス時の条件と来場者内訳

温度[°C]	26~27		相対湿度[%]		60~64	
	10代	20代	30代	40代	50代	60代
男性[人]	33	33	1	8	4	1
女性[人]	17	19	1	10	3	0
発汗あり	8		やや発汗あり		42	
ほとんど発汗なし	53		発汗なし		27	

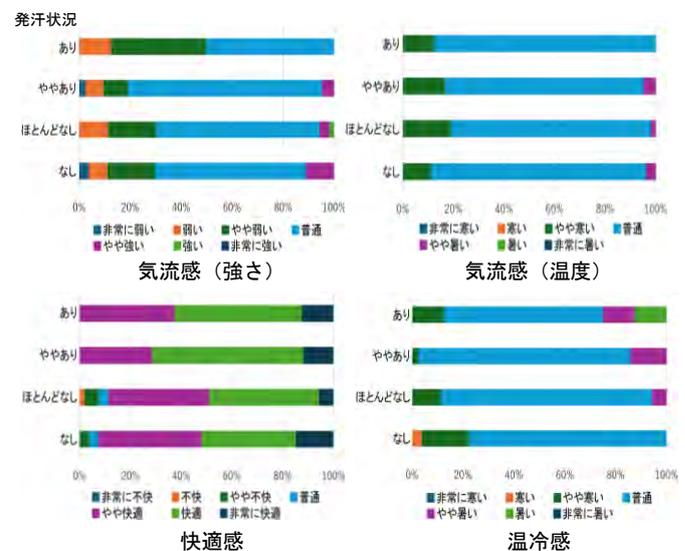


図10 発汗状況別の熱的快適性評価

表5 吸込空気温度別のエネルギー性能評価

設定空気温度	30~32°C			35~36°C		
吹出条件	冷風	送風	扇風機	冷風	送風	扇風機
瞬時電力[W]	294	73	25	300	73	25
水使用量[kg/h]	1.88	0.60	—	2.64	0.89	—
COP	2.10	—	—	2.18	—	—
顕熱処理量[W]	281	—	—	327	—	—
潜熱処理量[W]	336	—	—	326	—	—

謝辞) 本研究を実施するにあたり、多くの被験者の方々にご協力を頂きました。ここに記し、謝意を表します。
 注1) 本研究は高知工科大学倫理審査委員会の承認(承認番号:302)を得て実施した。
 注2) 待機室の温熱環境についてはPMV=0相当とした。
 参考文献)
 1) 令和6年4月24日~10月23日までの全国の暑さ指数(WBGT)の観測状況及び熱中症による救急搬送人員と暑さ指数(WBGT)の関係について(令和6年度最終報),環境省
https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/report/R06_heatillness_report_24.pdf?utm_source=chatgpt.com, (参照日 2025/5/6)
 2) スポーツ栄養 Web【小中高生の熱中症救急搬送の8割がスポーツ活動中に発生】
<https://sndj-web.jp/news/003388.php>, (参照日 2025/5/9)
 3) 久保田,小山,花園,野部:小規模実用『ZEB』の計画及び運用状況に関する調査研究(その3) D型空調椅子の運用時評価,空気調和衛生工学会大会学術講演論文集,pp.45-48, 2020.9
 4) 須藤,村上,加藤,宋,近本:人間の熱的適応性を考慮したパーソナル空調システムに関する研究第1報—従来型パーソナル空調システムの被験者実験による評価,空気調和衛生工学会論文集 No. 95, pp.53-61, 2004.10

*高知工科大学

**高知工科大学准教授・博士(工学)

*Kochi University of Technology

**Assoc. Prof., Kochi University of Technology., Dr. Eng.

地域気候特性を考慮したトレーラーハウスの冷暖房負荷評価

4. 環境工学
トレーラーハウス
冷暖房負荷

5. 熱
モバイル建築
省エネ地域区分
数値解析
シミュレーション

準会員 ○宮本 樹*
正会員 佐藤 理人**

1. 研究目的・背景

トレーラーハウスは移動可能性や設置の容易さといった特性を活かし、居住用住宅のみならず宿泊施設やオフィス、さらには災害時における応急住宅として幅広い用途で利用が進んでいる。しかしながら、トレーラーハウスは構造上、一般住宅と比較して断熱性能や気密性能が十分でない場合が多く、外気象の影響を受けやすいという課題を有している。とりわけ日本は南北に長く、かつ山岳地帯と沿岸部を併せ持つ地形的特徴により、多様な気候特性が存在することが知られている。このような気候特性の差異は、設置場所を選択できる利点を持つトレーラーハウスの冷暖房エネルギー需要や室内環境に多大な影響を及ぼすことが想定される。

既往研究において山岡ら¹⁾は、数値解析を用いた建物熱負荷評価に関する研究を行い、パラメトリックスタディによって最適な開口部の面積及び方位を明らかにした。また原田ら²⁾は省エネルギー基準に基づく地域区分ごとの冬季室内温熱環境を、熱流体解析ソフトを用いた数値解析を行っているが、一般住宅や集合住宅を対象とした冷暖房負荷・省エネルギー性能評価に関するものほとんどであり、移動可能な軽量構造体であるトレーラーハウスを対象とした体系的な検討は限られている。

特に地域区分を前提に、全国的な気候特性を踏まえた冷暖房負荷の比較研究は十分に行われておらず、地域特性に即した設計指針や省エネルギー対策に関する知見は不足している。そのため、トレーラーハウスの利用拡大に伴い、地域特性を考慮した適切な断熱・遮熱設計、省エネルギー対策の検討が急務となっており、多様な利用方法を図る上でも重要な要素である。

そこで本研究では、トレーラーハウスの設置地域ごとの気候条件が冷暖房負荷に与える影響を数値解析により実施し、地域特性に応じた最適な外皮性能を明らかにすることを目的とする。

2. 数値解析用モバイル建築モデルと気象データ

本研究では計算に山岡ら¹⁾と同様のトレーラーハウスモデルを使用した。モデルの平面図と立面図を図1及び図2に示す。車長7.3m 車幅2.5m 車高3.6m(シャーシ部分含) 天井高2.6m とし、室容積36.69m³の計算モデルを

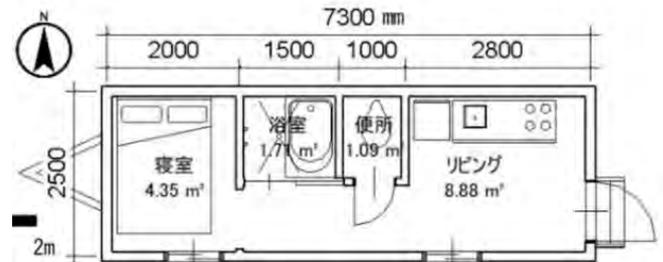


図1 計算モデル平面図

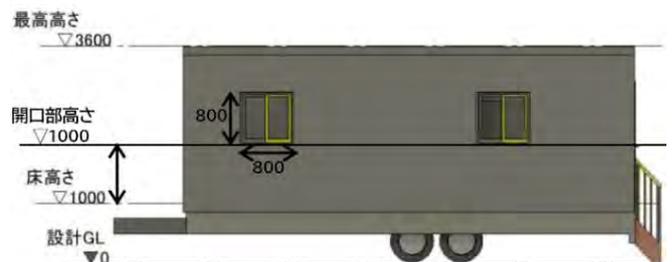


図2 計算モデル立面図

表1 数値解析モデル概要

構造		木造枠組み工法	
延床面積			16.03
建物高さ			3.6
天井高			2.45
容積			36.69
想定居住人数			2
人体顕熱 (SH) 潜熱 (LH) 発熱量		(SH) 118W, (LH) 106W	
日射吸収率			0.70
長波長放射率			0.95
部位	断面仕様	熱伝導率 [W/(mK)]	厚さ [mm]
外壁 U=0.278 (W/m²K)	アルミニウムサイディング	180	14
	通気層	-	18
	透湿防水シート	-	-
	構造用合板	0.12	9
	高性能グラスウール 24K	0.036	100
	石膏ボード	0.65	12
床 U=0.112 (W/m²K)	ビニルクロス	-	0
	フローリング	0.12	18
	構造用合板	0.12	12
	高性能硬質ウレタンボード	0.021	100
屋根 U=0.345 (W/m²K)	アルミニウムサイディング	180	12
	アスファルトルーフィング	-	0
	構造用合板	0.12	12
	高性能グラスウール 24k	0.036	100
	石膏ボード	0.65	12
	ビニルクロス	-	2
引違い窓 U=1.98 (W/m²K)	樹脂サッシ Low-E 複層ガラス日射遮蔽型	-	3+12+3
ドア U=5.62 (W/m²K)	木製ドア	-	30

用いる。計算の外装材種については日本で最も多く採用されている金属系として、アルミニウムサイディングとする。外壁、屋根の断熱材種については、高性能グラスウール 24K、床に高性能硬質ウレタンボード、開口部には樹脂サッシ+Low-E 複層ガラスを用いる。部位別の熱貫流率U値は、外壁 0.278W/m²K、床 0.112W/m²K、屋根 0.345W/m²K として計算を行った。

想定居住人数は夫婦共働き（2人）を想定する。人体発熱量は人体顕熱（SH）118W、人体潜熱（LH）106Wとする。数値解析モデルの概要を表1に示す。解析対象空間は、リビング及び寝室とし、設置地域として省エネ地域区分の8地域にそれぞれ分類されている都市から1地域を除き県庁所在地を選定し、EA標準気象データを外気象データとして用いた(図3)。1地域は北海道枝幸町を選定した。2地域は北海道札幌市、3地域は岩手県盛岡市、4地域は山形県山形市、5地域は栃木県宇都宮市、6地域は大阪府大阪市、7地域は高知県高知市、8地域は沖縄県那覇市を選定した。計算期間は1月1日から12月31日の期間を毎時ステップで計算を行った。

3. トレーラーハウスの冷暖房負荷解析条件

本研究では、動的熱負荷計算プログラムとしてEnergyPlus-ver23.2.0を用いた。表2に冷暖房負荷条件を示す。冷暖房期間も山岡と同じように日本工業規格を参考とした。冷房期間は、日平均気温が22°C以上となる3回目の日から、日平均気温が22°C以上である最終日より2日前まで、暖房期間は、日平均気温が14°C以下となる3回目の日から、日平均気温が14°C以下である最終日より2日前の日までとした。

各選定都市の冷房期間は1地域が8月22日～9月7日、2地域が7月7日～9月5日、3地域が6月28日～9月13日、4地域が6月13日～9月30日、5地域が5月18日～10月8日、6地域が5月21日～10月8日、7地域が5月26日～10月11日、8地域が3月5日～12月22日。

暖房期間は1地域が9月23日～7月1日、2地域が10月10日～6月15日、3地域が10月13日～5月31日、4地域が10月16日～5月14日、5地域が10月29日～5月8日、6地域が11月14日～4月25日、7地域が11月11日～4月17日、8地域は該当期間なしとなった(表3)。

冷房設定湿度は27°C50%、暖房設定温度は22°Cとし、冷暖房期間中は終日ONとした。換気回数は0.5回/hとし、居間、寝室は第三種換気方式（熱交換無）とした。また家具等の熱容量は顕熱、潜熱に分けて設定した。表4に各居室における照明及びコンセント機器等の最大発熱量を示す。照明、コンセント機器等の発熱は顕熱のみを想定した。

4. 自然室温計算結果

同一トレーラーハウスで省エネ地域区分別の居間における自然室温の計算結果例の代表として高知市と那覇市に注目し、夏季(8/30)及び冬季(高知 2/10、那覇 2/12)に

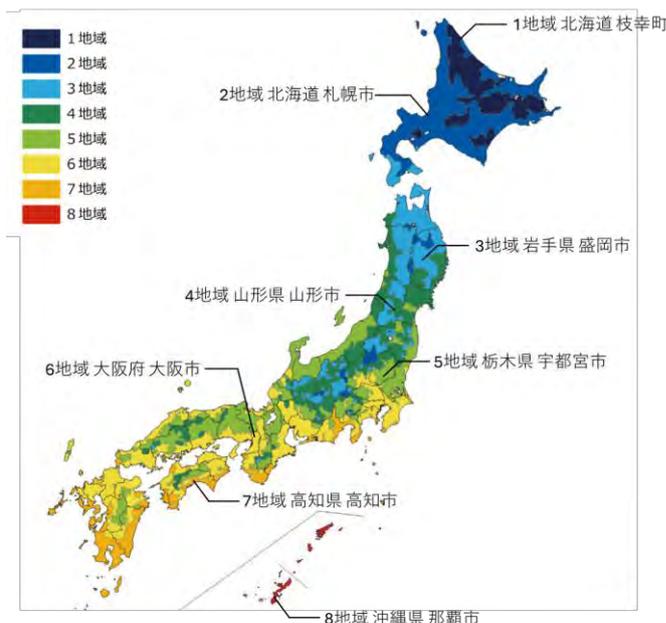


図3 各地域区分の計算対象都市

表2 冷暖房負荷計算条件

解析ソフト	EnergyPlus-ver25.1.0
気象データ	標準気象データ
計算期間	1月1日～12月31日
冷房設定温度	27°C、50%(終日運転)
暖房設定温度	22°C(終日運転)
換気回数	0.5/h(居間、寝室)
室内顕熱容量	18.8J/m ³ K
室内潜熱容量	41.9KJ/m ³ (g/kg ³)

表3 冷暖房期間

	都市名	冷房期間	暖房期間
1地域	北海道 枝幸町	8月22日 ～9月7日	9月23日 ～7月1日
2地域	北海道 札幌市	7月7日 ～9月5日	10月10日 ～6月15日
3地域	岩手県 盛岡市	6月28日 ～9月13日	10月13日 ～5月31日
4地域	山形県 山形市	6月13日 ～9月30日	10月16日 ～5月14日
5地域	栃木県 宇都宮市	5月18日 ～10月5日	10月29日 ～5月8日
6地域	大阪府 大阪市	5月21日 ～10月8日	11月14日 ～4月25日
7地域	高知県 高知市	5月26日 ～10月11日	11月11日 ～4月17日
8地域	沖縄県 那覇市	3月5日 ～12月22日	無し

表4 内部負荷最大発熱量

	居間	寝室	浴室	便所
照明最大発熱量[W]	53.1	29.4	15.11	6.94
コンセント機器等最大発熱量[W]	384	145	85	35

ついて整理したものを図4及び図5に示す。

まず夏季の高知市と那覇市の自然室温を比較すると高知市の最高室温は36.2℃(17時)、最低室温は31.9℃(6時)となり、日較差は4.3℃となった。一方那覇市の最高室温は34.2℃(16時)、最低室温が32.1℃(6時)であり、日較差は2.1℃を示した。この結果より、那覇市より最高室温は高知市の方が高く、最低室温は那覇市の方が高くなる傾向を示した。

また冬季の自然室温は、高知市の最高室温が16.3℃(17時)、最低室温が9.3℃(6時)であり、日較差は7.0℃となった。一方那覇市の最高室温は22.5℃(16時)、最低室温が18.7℃(6時)であり、日較差は3.8℃を示した。冬季については、最高、最低室温とも大きく異なり、高知では最高室温が約6℃低く、最低室温も約9℃低い結果となり、高知市については日較差も7℃と大きいことが明らかとなった。本研究で設定した断熱性能は一般木造戸建住宅ではU_A値0.6相当となるような断熱仕様であるが、室容量が小さいこと等が影響し、一般住宅よりも日較差が非常に大きくなるのが特徴の一つであるといえる。

5. トレーラーハウスの年間冷暖房負荷計算結果

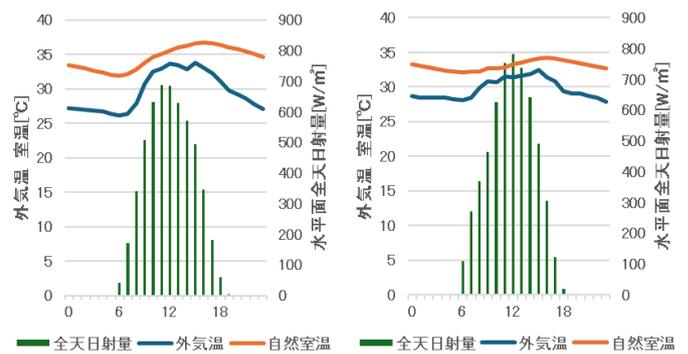
計算した省エネ地域区分全8地域に関する年間冷暖房負荷計算結果を図6及び表5に示す。また冷房負荷については顕熱負荷、潜熱負荷に分けて示す。計算結果より年間冷暖房負荷については、緯度が高くなるほど暖房負荷が大きくなり、緯度が低くなるほど冷房負荷が大きくなる傾向を示した。

年間冷暖房負荷については、那覇市が最大となり、890MJ/m²、高知市が最小の606MJ/m²を示した。また冷房負荷に注目すると、那覇市で最大の889MJ/m²、枝幸町で最小の25MJ/m²を示した。暖房負荷については、枝幸町で最大の714MJ/m²、高知市で最小の164MJ/m²を示した。

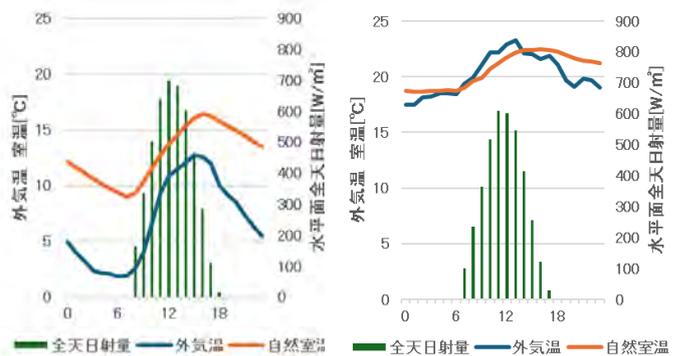
最も特徴的な点としては、いずれの地域においても冷房負荷比率が一般住宅と比較すると大きいことであり、内部発熱や透過日射の影響を受けやすいことから、特に関東以南に設置する際は、冷房負荷対策が重要といえる

図7は高知市の年間暖房負荷を100としたとき、他の地域がどれだけの割合になるかを示している。枝幸町が約4.3倍、札幌市が約3.9倍、盛岡市が約3.6倍、山形市が約3倍、宇都宮市が約1.8倍、大阪市が約1.3倍という結果となっており、4地域の山形市より以北では暖房負荷が3倍を超え、5地域の宇都宮市以南では2倍未満となり、暖房負荷の傾向が異なる結果となった。これは山形市が緯度が高いことに加え、内陸の盆地にあるため宇都宮市よりも寒冷であるからだと考える。

図8は高知市の年間冷房負荷を100としたときの他地域の比率を示している。その結果枝幸町が約0.05倍、札幌市が約0.2倍、盛岡市が約0.3倍、山形市が約0.5倍、宇都宮市が約0.7倍、大阪市が約0.9倍、那覇市が約2倍という結果となった。



高知市(8/30) 那覇市(8/30)
図4 夏季自然室温算出結果



高知市(2/10) 那覇市(2/12)
図5 冬季自然室温算出結果

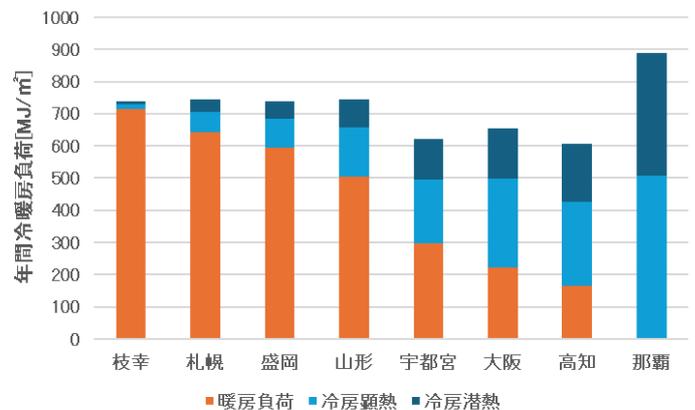


図6 地域区別年間冷暖房負荷

表5 年間冷暖房負荷

	暖房負荷 [MJ/m ²]	冷房負荷 [MJ/m ²]	冷房顕熱 負荷 [MJ/m ²]	冷房潜熱 負荷 [MJ/m ²]
枝幸町	713.8	25.1	16.5	8.6
札幌市	642.8	102.4	64.0	38.5
盛岡市	592.9	146.0	90.0	55.9
山形市	504.1	240.6	154.7	85.9
宇都宮市	298.2	322.0	195.9	126.0
大阪市	220.8	434.4	276.8	157.6
高知市	164.0	442.3	261.7	180.6
那覇市	—	889.0	508.1	381.9

また冷房負荷について顕熱成分と潜熱成分に分けた結果を図9及び図10に示す。顕熱部分のみでは那覇市で最大508 MJ/m²、枝幸町で最小の16 MJ/m²を示した。また冷房負荷全体では大阪市よりも高知市の方が大きかったが顕熱部分のみでは大阪市の方が大きいこととなった。また潜熱成分のみに注目すると、那覇市で最大の381 MJ/m²、次いで高知市が181 MJ/m²、枝幸町で最小の8.5 MJ/m²を示した。那覇市においては顕熱、潜熱とも他の地域より大幅に大きく、対策が重要であるといえる。

次に8地域の内高知市と那覇市に着目し比較する。図11は高知市の月別冷暖房負荷、図12は那覇市の月別冷房負荷を示した図である。高知市では、冷房負荷は主に5月から10月にかけて発生し、8月に最大となる。一方、冬季には最大冷房負荷の4割程度であるが1月を中心に暖房負荷が生じており、年間を通じて冷暖房の両方が必要な負荷構成となっている。特に夏季の冷房負荷が大きいものの、冬季の暖房需要にも一定の対応が必要である。

これに対して那覇市では、冷房負荷が3月頃から発生し、冬季を含めてほぼ年間を通して発生している。特に6~10月の冷房負荷が非常に大きく、高知市を大きく上回るピーク値を示した。以上より、高知市は夏の冷房と冬の暖房双方を考慮した建築・設備計画が求められるが、特に冷房需要に対する対応や冬季の日較差緩和が重要となる。これに対し、那覇市は年間を通して終日の冷房負荷低減に特化した計画が重要となる。

6. まとめ

本報ではトレーラーハウスの設置地域と自然室温や冷暖房負荷の関係を明らかにすることを目的とした数値解析を行った。

その結果、トレーラーハウスの自然室温は室容量が一般住宅より小さいこと等の影響により那覇市を除き、日較差が大きくなる傾向を示した。また年間暖房負荷は1地域の枝幸町が最大となるが、年間冷房負荷が最大となる8地域の那覇市の方が年間総熱負荷は大きくなることとなった。また高知市は7~9月、那覇市は6~10月に月別冷房負荷が特に大きくなる傾向を示した。

今後は那覇市だけでなく高知市と他の6都市との月別冷暖房負荷の比較や、暖房負荷、冷房顕熱負荷、冷房潜熱負荷の内訳の解析を行い、地域特性に応じた最適な外皮性能の提案を行うことを目指す。

[参考文献]

- 1)山岡他：地域特性を考慮したトレーラーハウスの開口部設計に関する研究 数値解析を用いた冷暖房負荷の評価 日本建築学会四国支部研究報告集 第25号, pp.41-44, 2025.3
- 2)原田他：応急仮設住宅としてのトレーラーハウスの活用と環境改善 (その5) 省エネルギー基準地域区分毎の冬季室内温熱環境, 日本建築学会北陸支部研究報告集 第66号, pp.115-118, 2023.7

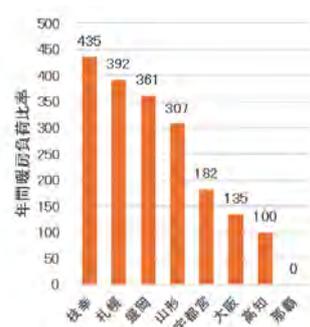


図7 高知市を100とした際の年間暖房負荷比率

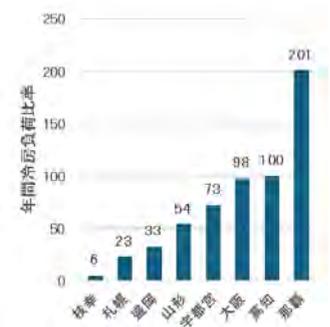


図8 高知市を100とした際の年間冷房負荷比率

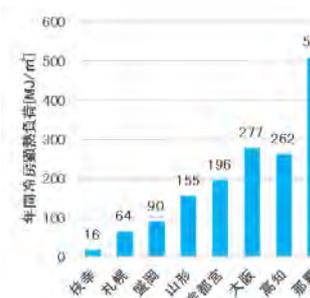


図9 年間冷房顕熱負荷

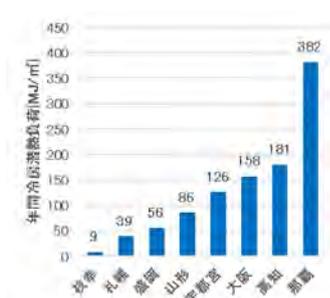


図10 年間冷房潜熱負荷

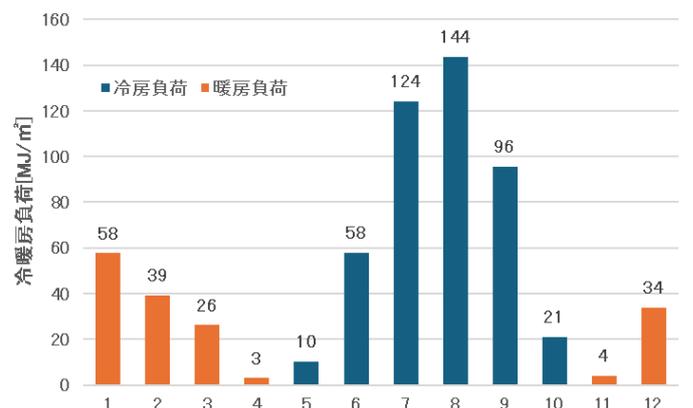


図11 高知市の月別冷暖房負荷

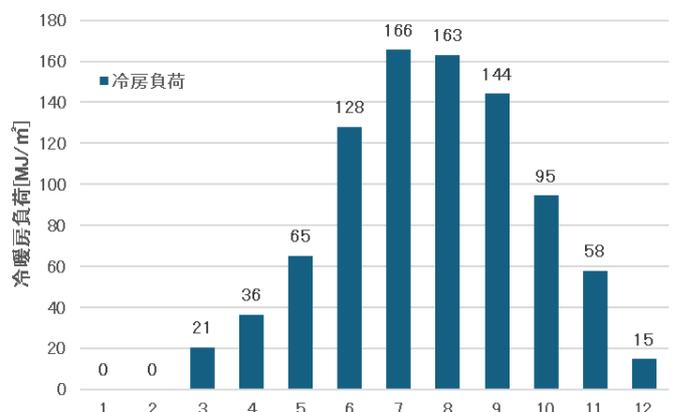


図12 那覇市の月別冷房負荷

*高知工科大学

**高知工科大学 准教授 博士(工学)

*Kochi University of Technology

**Assoc. Prof., Kochi University of Technology., Dr. Eng.

局所冷房による古民家の夏季温熱環境改善効果

4. 環境工学
パーソナル空調
快適性

13. 空調システム
温冷感
温熱環境

半屋外空間
古民家

準会員
正会員

○小嶋 悠斗*
佐藤 理人**

1. 研究背景と目的

わが国では少子高齢化と都市部への人口集中により地方の過疎化が進行し、それに伴って空き地・空き家が全国的に増加している。特に中山間地域では、かつて生活の基盤であった古民家が維持されないまま放置されている例が多く、防災や景観、地域文化の継承といった観点から再生・活用の必要性が高まっている。他方で2016年には改正省エネルギー基準(平成28年基準)が施工され、新築だけでなく既存建築物の増改築部分にも省エネ性能の評価が求められるようになった。また2025年4月施行の改正では、原則すべての新築住宅・非住宅に省エネ基準適合が義務化され、省エネ規制の強化が進んでいる。

しかしながら伝統的構法による古民家は、断熱性・気密性の不足から外気温や日射の影響を受けやすく、室温が大きく変動する。また開放的な大開口をもつため計画的な換気が難しい一方、厚い土壁や深い軒、通風を前提とした開口部配置など優れたパッシブ性能も備えている。このため、古民家の特性を活かしつつ温熱環境を現代的に整える技術的検討が求められる。

これまでも伝統的な古民家の温熱環境に関する研究は多くあり、本坊ら¹⁾は古民家に輻射冷暖房パネルを導入し温熱環境改善を図り、ゾーニングによる空調効率向上の可能性を指摘した。しかし、これらの研究の多くは空調機による全館制御を前提とし、古民家の大空間性や開放性に対して必ずしも効率的とは言えない。

そこで本研究では、夏季において局所空調機を導入した古民家を対象に、空間全体の温熱環境を把握するとともに、居住者周りの熱的快適性を評価することで、古民家の持つパッシブ性能を活かした局所空調による熱的快適性改善効果を明らかにすることを目的とする。

2. 建物概要

本研究で対象とする古民家の外観を写真1に、建物及び実測概要を表1に示す。対象古民家は、高知県香美市内に立地しており、1906年に建設された建物で、2018年に一部改修されている²⁾。改修後は大学における学生のフィールドワークの拠点として利用されている。

古民家の延床面積は約75m²であり、改修にあたっては床下組の腐食や損傷した柱、足固めを取り替え、曳家工事を実施した後、床、壁、屋根の修復を行った。

3. 実測概要

夏季温熱環境実測は、2025年7月22日~7月28日に実施した。調査の測定項目及び測定機器を表2に示す。対象空間は改修を行った母屋の居間にあたる休憩スペースとし、測定機器は床上0.6mを基準として設置した。対象室の実測点及び平面図を図1に、実測点及び断面図を図2に示す。室中央と縁側を中心に、空気温度、床天井の表面温度、グローブ温度、風速、相対湿度を10秒間隔で測定した。また、床下及び古民家裏の温湿度の測定も行った。



写真1 古民家の外観

表1 建物及び実測概要³⁾

所在地	高知県香美市土佐山田町佐岡中後入
竣工年	1906年 (改修年2018年)
構造・階数	在来軸組工法・平屋
延床面積	約75m ²
部位仕様	開口部：和障子+木製引き戸 外壁：土塗り壁+断熱材(ロックウール55mm) 床：合板(12mm)+フローリング 屋根：いぶし瓦+野地板
測定期間	2025/7/22-2025/7/28

表2 測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器
日射量	全天日射計, ML-01, EKO
空気温度	温湿度計, RTR-505B, T&D (空調機, 家裏)
相対湿度	(温度:サーミスタ, 湿度:高分子式)
空気温度・表面温度	T熱電対Φ0.3mm (室中央, 縁側)
室内相対湿度	高分子湿度センサ, GHS-UGS TDK (室中央, 縁側)
グローブ温度	T熱電対Φ0.3mm, グローブ球Φ150mm (室中央, 縁側)
風速	熱線式風速計, DT-8880, EMケサイエントフィック (室中央, 縁側)

屋内外の上下温度分布については、室中央の床裏表面温度、床表面温度、床上 0.1m、0.6m、1.1m、1.6m、2.5m、3.5m における空気温度、及び天井表面温度、屋根表面温度の測定を行った。室中央と縁側の床上 0.6m における温湿度測定は、感応部への放射の影響を除去するため強制通風（風速 3 m/s 以上）させた二重円筒（アルミテープ巻付）の塩ビパイプ内に T 熱電対（φ0.3mm）及び高分子式湿度センサを挿入した状態でを行った。また局所空調機（以下、空調機）の吸込、吹出、排熱温湿度についても連続測定を行った。また屋根頂部における水平面全天日射量の測定も行った。実測期間中は、日中南西側の引き戸、西側玄関の引き戸、北側の小窓を全開状態にし、その他の時間帯は全閉状態とした。また 7 月 26 日及び 27 日に関しては、終日全閉状態の測定を行った。以後、空間に関する温熱環境については 25 日に測定したデータを使用し、空調機に関する性能については 24 日に測定したデータを使用する。

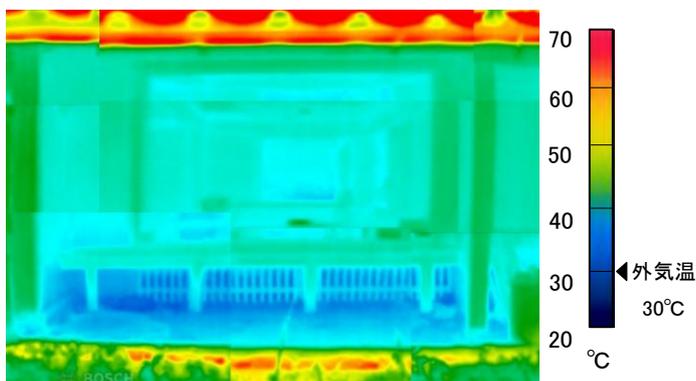
4. 実測結果

4.1 空気温度及び相対湿度測定結果

室中央・縁側における空気温度及び相対湿度の日変動を図 3 に示す。室中央における最高気温が 29.2℃、最低気温が 27.0℃であったのに対して、縁側における最高気温は 30.6℃、最低気温は 27.5℃となった。測定期間の 14 時と 17 時を除き、室中央、縁側とも概ね安定した値を示しており、温度差が約 2℃程度生じていた。また室中央における最高相対湿度が 84.5%、最低相対湿度が 73.3%であったのに対して、縁側における最高相対湿度は 82.9%、最低相対湿度は 75.0%となった。

4.2 室中央及び縁側における居住域風速測定結果

室中央・縁側における風速の日変動を図 4 に示す。窓開放時の時間帯に着目すると、室中央及び縁側のいずれにおいても平均風速は 0.2m/s 程度で推移しており、全体として弱風環境であったことが確認できる。一方で、時間帯によっては 0.5m/s を超える風速が観測され、さらに室中央および縁側の双方で最大約 1.0m/s に達する風速が確認された時間帯も存在しており、一定程度の気流感が期待できると考えられる。



撮影位置は図 1 中に記載

図 4 放射温度分布と可視画像(12 時)注1)

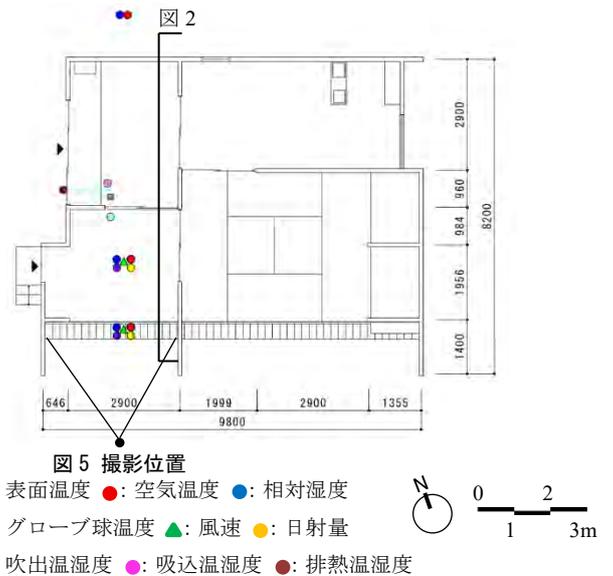


図 1 対象室平面図及び実測点

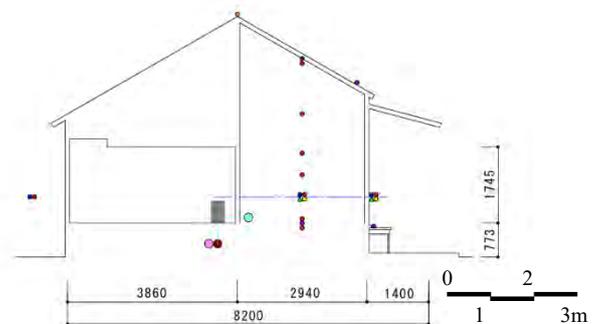


図 2 対象室断面図及び実測点

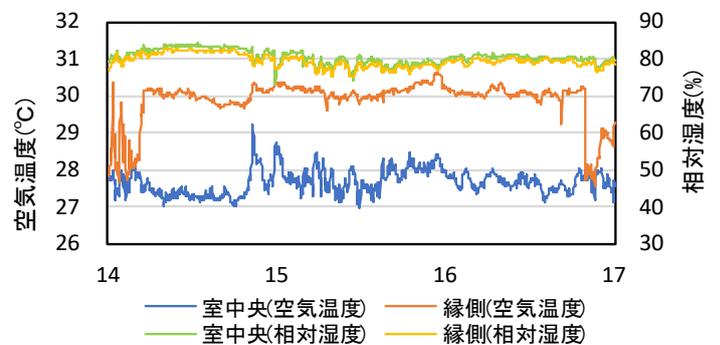


図 3 室中央・縁側における空気温度・相対湿度の日変動



4.5 上下温度分布測定結果

室中央における上下温度分布を図6に示す。なお、6時から21時までの3時間ごとの結果を示している。6時、9時には、上下温度差は小さく、1~2℃程度となった。12時には、床表面温度が26℃程度に対して、天井表面温度が40℃程度になっており、上下の温度差は最大となった。その後、上下温度差は緩やかになり、21時には5℃程度になった。

12時における古民家縁側方向から撮影した放射温度分布を図4に示す。外気温は30℃程度だったが、天井表面温度は約30℃、屋根表面温度は60℃を超える値となった。一方、床下の温度は26℃程度と外気温と比べて3~4℃低い傾向がみられた。

4.6 新標準有効温度 (SET*) 算出結果

室中央・縁側におけるSET*の日変動(1.0met,0.6cloを推定)を図7に示す。測定した時間帯のうちSET*が最も低い値となったのは15:30ごろで、風速がやや高い時間帯であり、室中央のみSET*の快適域^{注2)}に到達する時間帯も見られたが、多くが暑い側となる値を示した。

5. 考察

5.1 空調機の吸込口位置の考察

はじめに空調機の吸込空気として床下空気が適切であったのかを検討するため、高知市内、古民家の縁側、室中央、家裏、床下の計5カ所における空気温度、絶対湿度、比エンタルピーを指標として妥当性を評価した。各地点の空気温度の日変動を図8、絶対湿度の日変動を図9、比エンタルピーの日変動を図10に示す。高知市内はAMeDASによる10分間隔データを使用し、その他は1分間隔のデータを用いた。

その結果、床下では一時的に他地点と同等又は上回る値を示す場面もあったが、最大値と比較すると、空気温度は約5℃、絶対湿度は約2g/kg³⁾、比エンタルピーは約10KJ/kg³⁾ほどの違いが確認された。そのため床下空気は熱的負荷が小さく安定しており、空調機の吸込空気として負荷低減に寄与し得る特性を有していると考えられる。なお今回は試験的に床下空気を直接利用したが、今後は空気室を含め、利用可能性を評価していくことを想定している。

5.2 空調機の吸込空気等の温湿度

局所空調各部(吸込・吹出・排熱)の空気状態(空気温度、絶対湿度、相対湿度、比エンタルピー)の日変動を図11に示す。吸込温度は一時的に外気温度相当の約30℃となる時間帯はあるが、概ね27℃付近を推移していた。また吹出温度は約24℃と吸込温度より約3℃、室温より約4℃低い温度で推移していた(吹出風速4.5m/s)。また絶対湿度は、吸込が18g/kg³⁾付近を推移するのに対し、吹出は15g/kg³⁾程度となっており、約3g/kg³⁾除湿された空気が給気されていた。

以上より局所空調を活用することで、より冷涼な空気を供給可能であるといえる。

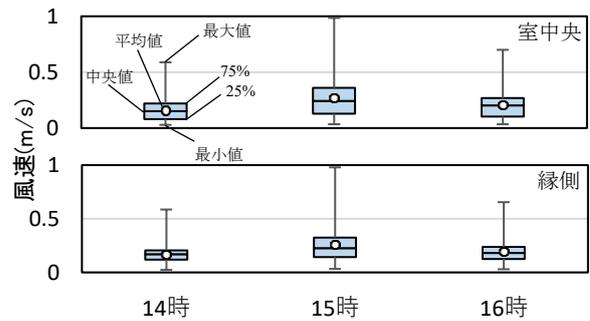


図5 室中央・縁側における風速の日変動

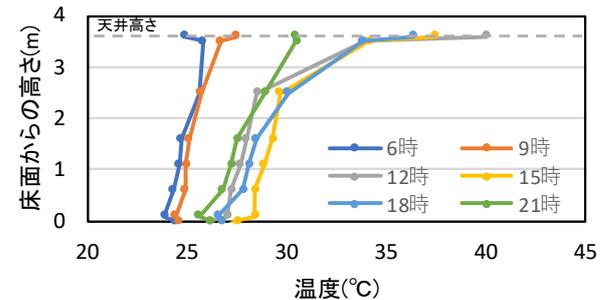


図6 室中央における上下温度分布

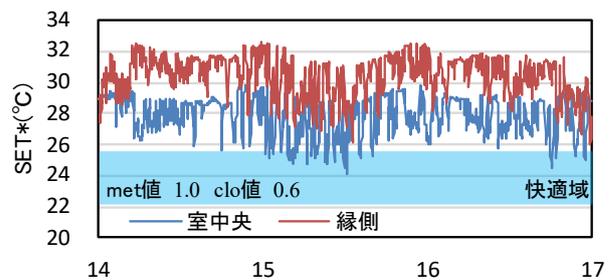


図7 室中央・縁側におけるSET*の日変動

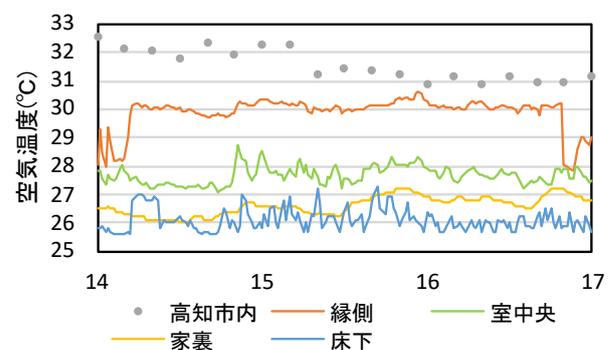


図8 高知市内及び屋内外空気温度の日変動

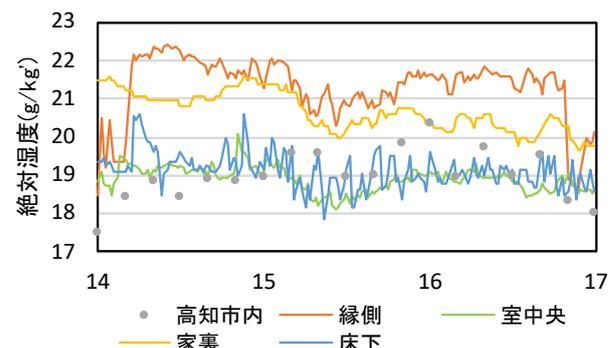


図9 高知市内及び屋内外絶対湿度の日変動

5.3 空調機の能力分析

使用した局所空調の冷房能力を評価するため、空調機と家庭用エアコン(6畳用)の機器性能を比較した結果を表3に示す。COPを比較すると家庭用エアコンの方が省エネ性能は高いが、定格消費電力は局所空調の方が小さい。そのため家庭用エアコンで空間全体を冷却しようとした場合、古民家特有の低断熱・低気密といった建築特性や高天井空間を考慮すると、電力消費量が増大する可能性がある。また家庭用エアコン室内機においては、吸込空気を冷涼な床下空気とすることは困難であり、省エネかつ熱的快適性を実現するのは困難と考えられる。

一方局所空調のCOPは低いものの、低消費電力で運用可能であり、また冷涼な床下空気を活用することも可能であることから、少人数を対象としたパーソナル空調として個人の好みに応じた適切な運用が可能である。

5.4 空調の有無による人体の放射温度変化

次に局所空調による熱的快適性を評価するため、上方から床座位の被験者に対して送風を行った。使用した空調機と放射温度測定時の可視画像を図12に示す。送風10分後の放射温度分布を比較したものを図13に示す。送風前の放射温度分布は後頭部や後背部で33~35℃程度となっており、発汗もみられた。一方送風10分後には後頭部、後背部とも放射温度が低下し、概ね30℃以下となり、局所的には6~8℃低下し、局所冷房の有効性が示唆された。但し送風方向を固定することで冷却部位が偏ることから、冷え過ぎや足元等の冷却不足が課題として挙げられた。

6. まとめ

夏季において里山にある古民家を対象に、開口部を開放した状態で局所空調を導入した際の室内温熱環境改善効果を明らかにすることを目的とした測定を行った。

その結果、外気温より約2~3℃低い床下空気を吸込空気とした場合、外気温30℃、18g/kg¹の環境下で、局所空調の吹出空気は24℃、15g/kg²となり、人体表面温度の低下にも有効であり、家庭用エアコンよりも少ない電力で快適に過ごせる可能性があることが明らかとなった。

今後は古民家移住者が年間を通して熱的に快適に過ごすことが可能で、省電力となるパーソナル空調システムの提案を行っていく。

注1)本研究で用いた放射温度分布画像は昨年度に取得したものであるが、撮影対象、時刻及び外気温・日射条件が本研究の測定時とほぼ同様であったため、参考資料として掲載した。

注2)SET*の快適域はASHERAE(アメリカ暖房冷凍空調学会)が定めているものを参考にし、22.2~25.6℃とした。

参考文献)

- 1)本坊雅樹他：里山環境下における古民家を改修した木造建築における温熱環境評価(第二報)広縁の熱的緩衝空間としての役割, 日本太陽エネルギー学会講演論文集, pp.61-64, 2024.11
- 2)上田悠貴他：地域交流を目指した古民家の改修, 高知工科大学総合研究所紀要, vol14, pp.103-110, 2017.8
- 3)鎌倉秀樹他：古民家の省エネルギー改修に関する事例調査その1, 日本建築学会四国支部研究報告集, vol17, pp.37-38, 2017.5

*高知工科大学

**高知工科大学准教授・博士(工学)

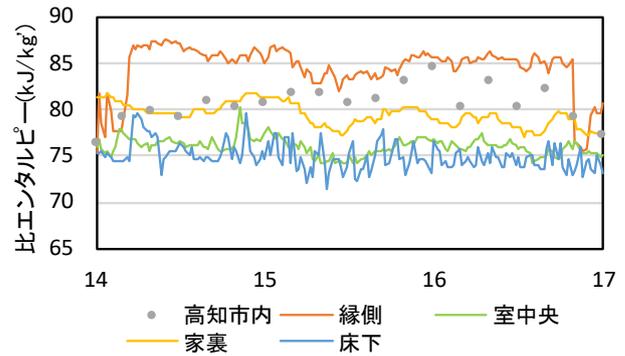


図10 高知市内及び屋内外比エンタルピーの日変動

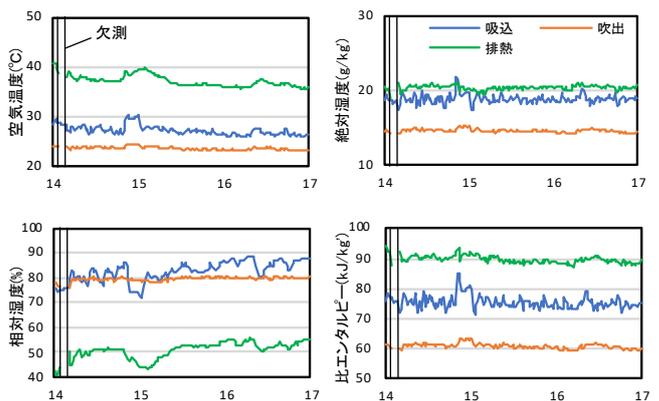


図11 局所空調各部の空気状態の日変動

表3 空調機、家庭用エアコンの機器性能

	スポットクーラー	家庭用エアコン(6畳)	
	局所空調機(本測定)	A社	B社
定格電圧(V)	100	100	100
定格消費電力(W)	350	550	655
定格冷房能力(W)	800	2200	2200
COP	2.29(実測時:2.28)	4.00	3.36



図12 使用した局所空調機と放射温度測定時の可視画像

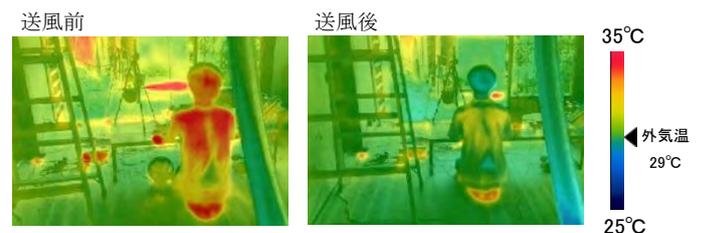


図13 送風前後における人体の放射温度分布

*Kochi University of Technology

**Assoc.Prof., Kochi University of Technology., Dr.Eng

里山が古民家の夏季温熱環境と太陽光発電量に及ぼす影響

正会員 ○伊東 駿*
正会員 佐藤 理人**

4.環境工学-5.熱

温熱環境 温冷感 床暖房
快適性 実測調査 古民家

1. 研究背景と目的

古民家は、日本の気候風土や地域の生活様式に適応して発展してきた建築であり、木材や土壁、茅葺き屋根などの自然素材を用い、風通しを重視した設計によって、特に高温多湿な夏季における快適性を確保してきた¹⁾。開口率の高い間取りや縁側、土間、通り庭といった空間構成は、自然換気を促進し、熱気や湿気を効果的に排出する仕組みを形成している。一方で、古民家は断熱性や気密性に乏しく、外皮平均熱貫流率(UA値)や相当隙間面積(C値)は現代の省エネルギー基準と比べて大きく劣り、快適な室内環境の維持が困難となる場合も多い²⁾。これに対し、現代住宅は高断熱・高气密化が進み、省エネ性能や快適性に優れるが、自然換気の不足や地域性の希薄化が指摘されている。古民家及び現代住宅の性能比較を表1に示す。宇野ら²⁾は伝統民家における各方位からの見付け長さに占める開口部見付け長さの割合である各方位開口率を調査し、伝統民家が高い開口率を有する建築形式であることを定量的に示している。古民家と現代住宅はそれぞれに長所と課題を有しており、古民家の持つ自然共生型建築としての特性を活かしつつ、現代の省エネルギー技術を組み合わせることで、古民家を現代的に継承する新たな住まいの可能性が見いだせる。

これまでも伝統的な古民家の温熱環境に関する研究は多くあり、浦野ら⁴⁾は九州北部の伝統的民家の夏季温熱環境調査を行い、土間における低温傾向や、床下開口部と小屋裏換気口の組合せによる垂直方向の換気経路の形成を明らかにしている。しかし既往研究の多くはパッシブ的手法の整理や評価に留まっており、温熱特性を積極的に活用した空調システムの提案には十分至っていない。

そこで本研究は、里山にある古民家を対象に夏季温熱環境実測及び太陽光発電量予測を行い、古民家における省エネルギー及び創エネルギーのポテンシャルを評価する。最終的には開放的な住まいにおいてもより省エネで快適に過ごすことが可能な新たな空調システムを提案することを目標とする。

表1 古民家及び現代住宅の性能

	古民家	現代住宅
開口率[%]	30~50 ²⁾	25~35 ²⁾

2. 建物概要

本研究で対象とする古民家の外観を写真1に、建物及び実測概要を表2に示す。対象古民家は、高知県香美市内に立地しており、1906年に建設された建物で、2018年に一部改修されている⁵⁾。改修後は大学における学生のフィールドワークの拠点として利用されている。古民家の延床面積は約75m²であり、改修にあたっては床下組の腐食や損傷した柱、足固めを取り替え、元の場所に据え付けた。その後、大工工事を行い、床、壁、屋根の修復を行った。



写真1 古民家の外観

表2 建物及び実測概要⁶⁾

所在地	高知県香美市土佐山田町佐岡中後入
竣工年	1906年 (改修年2018年)
構造・階数	在来軸組工法・平屋
延床面積	約75m ²
部位仕様	開口部：和障子+木製引き戸 外壁：土塗り壁+断熱材(ロックウール55mm) 床：合板(12mm)+フローリング 屋根：いぶし瓦+野地板
測定期間	2024/7/18~2024/7/23 2025/7/22~2025/7/28

表3 測定項目及び測定機器

測定項目		測定機器	
流入	空気温度	Temperature/RH Smart Sensor S-THC-M00x Solar Radiation Shield RS3-B	
	流出	相対湿度	Temperature/RH Smart Sensor S-THC-M00x
流出	気象	風向・風速	Wind Direction Smart Sensor S-WDA-M003 Wind Speed Smart Sensor S-WSB-M003
		空気温度	T 熱電対 Φ0.3mm
古民家内	表面温度	高分子式湿度センサー,CHS-UGS TDK	
	相対湿度	T 熱電対 Φ0.3mm (グローブ球Φ150mm)	
	風速	熱線式風速計,DT-8880,エムケサイエンティフィック	

The influence of Satoyama on the summer thermal environment and photovoltaic power generation in an old house

ITO Shun, SATO Rihito

3. 実測概要

夏季における温熱環境の実態調査は、2024年7月18日～7月23日および2025年7月22日～7月28日に実施した。調査の測定項目及び測定機器を表3に示す。測定場所は改修を行った母屋の居間にあたる休憩スペースを対象とし、測定機器は床上0.6mを基本として設置した。対象室の実測点及び平面図を図1に、実測点及び断面図を図2に示す。室中央と縁側を中心に、空気温度、壁床天井の表面温度、グローブ温度、風速、相対湿度を10秒間隔で測定した。床下の空気温度については、2025年のみ測定を行った。

室内の上下温度分布を測定するため、室中央の床裏表面温度、床表面温度、床上+0.1m、+0.6m、+1.1m、+1.6m、+2.5m、+3.5m高さにおける空気温度、及び天井表面温度、屋根表面温度を測定した。室中央と縁側の床上+0.6m高さにおける温湿度の測定は、感応部への放射の影響を除去するため強制通風（風速3 m/s以上）させた二重円筒（アルミテープ巻付）の塩ビパイプ内にT熱電対を挿入した状態で行った。また古民家屋外の2地点で流入・流出気象である気温、相対湿度、風向、風速を測定した。実測期間中は、7時から17時の南西側の引き戸、西側玄関の引き戸、北側の小窓を全開状態にし、その他の時間帯は全閉状態とした。また2024年7月20日、21日及び2025年7月26日、27日に関しては、終日全閉状態の測定を行った。

4. 実測結果

4.1 外気象データ測定結果

2024年の6日間の外気象条件は図3に示すとおりである。2024年7月18日～7月21日は、午後から曇天となる時間帯があったが、7月22日及び23日は終日快晴であった。そのため本研究では主に2024年7月22日の測定結果について解析を行った。当日は、最高気温が33.7℃、最低気温が24.2℃の真夏日であった。また最高相対湿度は96.4%、最低相対湿度は66.7%、最高絶対湿度は24.0g/kg'で、最低絶対湿度は18.4g/kg'が観測された。2025年7月22日～7月28日については、終日快晴であった7月23日の測定結果を使用した。2025年の外気象条件は、2024年と同様の傾向がみられた。

4.2 空気温度及び相対湿度測定結果

室中央・縁側における空気温度・相対湿度の日変動を図4に示す。室中央における最高気温が31.3℃、最低気温が25.4℃であったのに対して、縁側における最高気温は31.8℃、最低気温は25.4℃となった。早朝、夕方から夜間における空気温度は、縁側が室中央より低温となった。日中に関しては、室中央と縁側でほとんど違いは見られなかったが、わずかに室中央のほうが低温となった。また室中央における最高相対湿度が83.2%、最低相対湿度が66.2%であったのに対して、縁側における最高相対湿度は85.0%、最低相対湿度は65.6%となった。早朝において縁側の相対湿度は、室中央に比べてやや高湿度となった。また日中に関しては、室中央・縁側の相対湿度ともに65~70%程度の値となった。

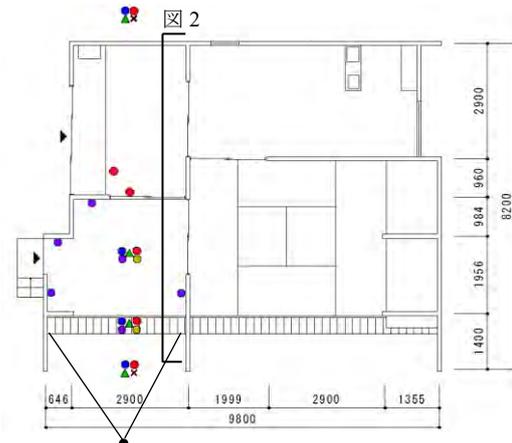


図9 撮影位置

●: 表面温度 ●: 空気温度 ●: 相対湿度
●: グローブ球温度 ▲: 風速 X: 風向

図1 対象室平面図及び実測点

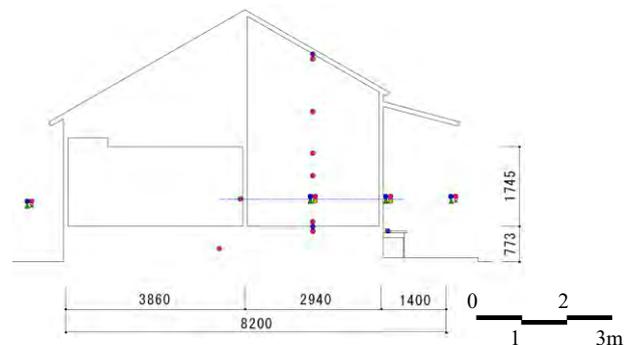


図2 対象室断面図及び実測点

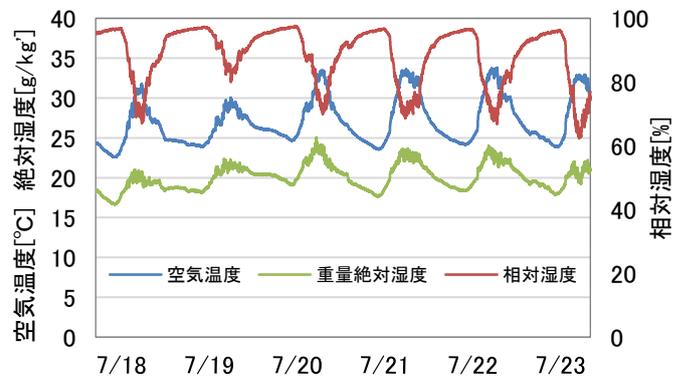


図3 外気象データ

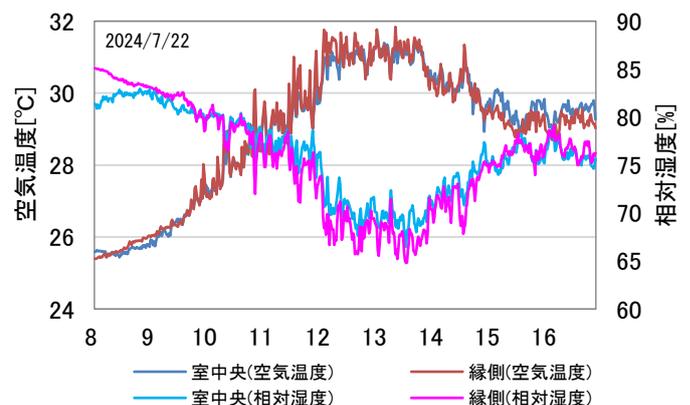


図4 室中央・縁側における空気温度・相対湿度の日変動

4.3 上下温度分布測定結果

室中央における上下温度分布を図5に、床と天井の上下温度差の日変動を図6に示す。なお、6時から21時までを3時間間隔の測定結果を示している。6時、9時においては、上下温度差は比較的小さく、1~4°C程度となった。12時、15時においては、床表面温度が28°C程度に対して、天井表面温度が43°C程度になっており、上下の温度差は最大となった。その後、上下温度差は緩やかになり、21時には4°C程度になった。

12時における古民家縁側方向から撮影した放射温度分布を図7に示す。外気温は29°C程度だったが、天井表面温度は約40°C、屋根表面温度は60°Cを超える値となった。一方、床下の温度は26°C程度と外気温と比べて2~3°C低い傾向がみられた。

4.4 床下・家裏・縁側における温度及び絶対湿度

床下・家裏・縁側における温度及び絶対湿度を図8に示す。床下と家裏の温度は、9時ごろまで家裏の方が1~2°C程度低い値となった。その後は家裏の方がわずかに大きい値となり、18時以降はほとんど同じ値となった。床下と家裏の絶対湿度は20g/kg程度でほとんど同じ値となった。一方、床下と家裏の絶対湿度は縁側の方が2g/kg低い値となった。このことから、床下の絶対湿度は家裏の絶対湿度に依存しており、古民家の北側斜面からの空気流入が影響していると考えられる。

また、日中の床下温度および絶対湿度には短時間で上下を繰り返す細かな変動が観測された。その要因として、家屋裏手の斜面から流れ込む冷気と、縁側付近から侵入する暖かい空気が、風向や気圧変化に応じて交互に床下へ流入している可能性が示唆された。これにより、床下空間では冷気と暖気の入替わりが頻繁に生じ、温湿度の変動を引き起こしていると推察される。

以上の結果から、夏季においては床下の北側から吸気を行うことが、温熱環境の改善に有効であると考えられる。

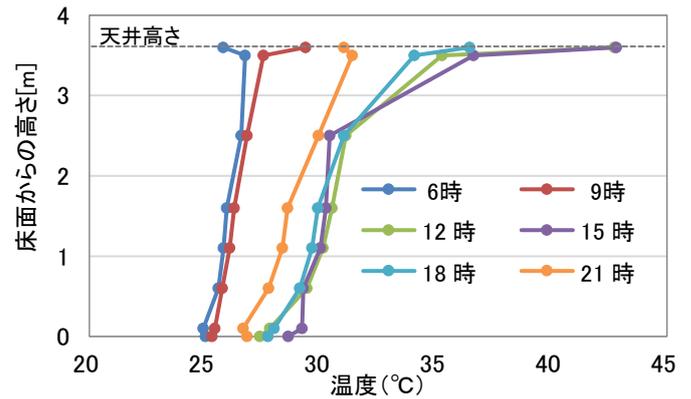


図5 室中央における上下温度分布

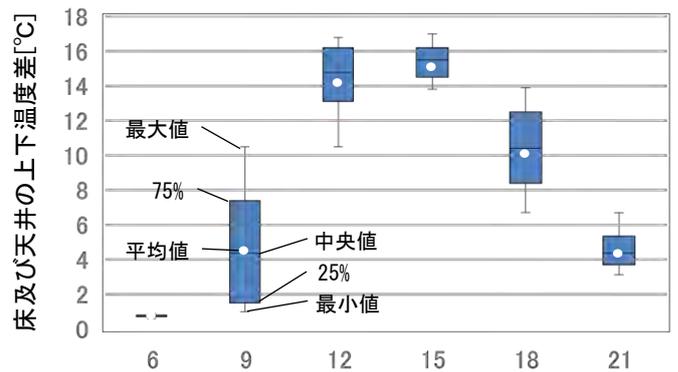
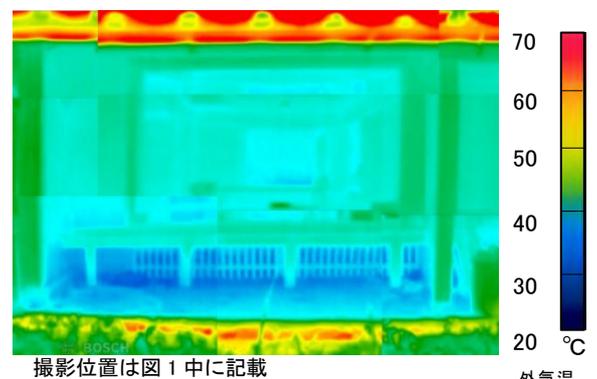


図6 室中央における上下温度差の日変動



撮影位置は図1中に記載

図7 放射温度分布(12時)

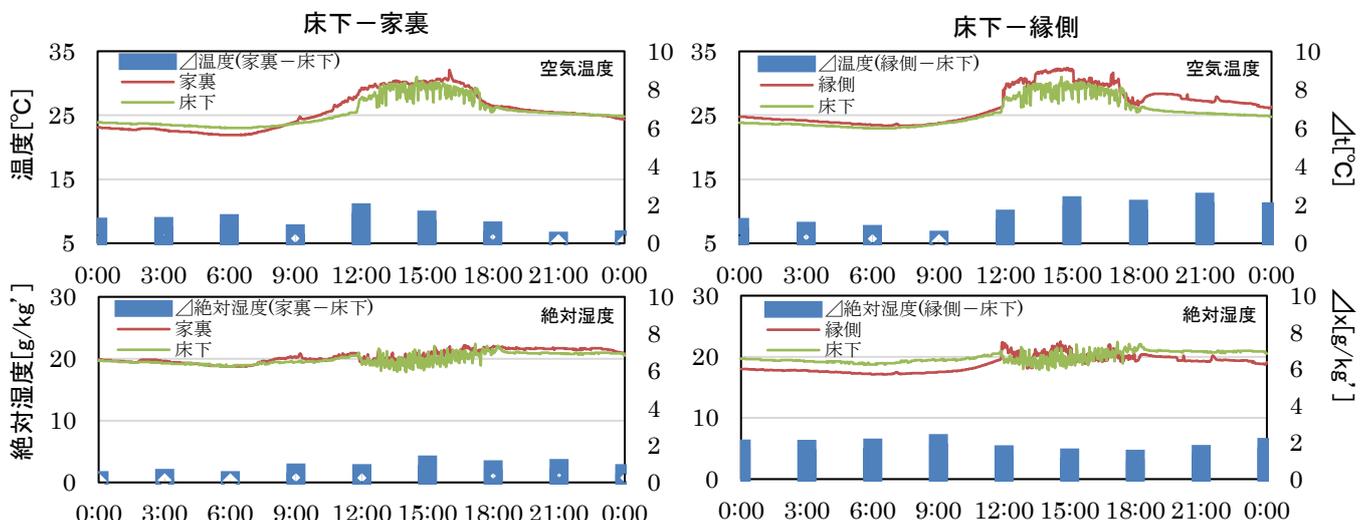


図8 床下・家裏・縁側における温度及び絶対湿度 (2025/7/23)

5. 古民家周辺の斜面による太陽光発電量への影響

古民家と周辺地形の関係を図9に示す。対象古民家は周辺が斜面に囲まれており、里山斜面による日影や日射量への影響を把握するため、3D LiDAR を使用した DSM の取得をドローン撮影により行った。得られたデータをもとに BIM ソフト(Rhinoceros8+Ladybug)を利用して古民家周辺の地形をモデル化した。前報では、7月22日における古民家の日影シミュレーションを実施した。その結果、周辺斜面の影響により、日照時間が約4時間減少していた。

さらに同日における日射量の数値シミュレーションを行い、周辺地形が建物各部位に与える日射量への影響を定量的に評価した結果、周辺斜面の影響により、屋根面では約5%、地面では約4%、西側壁面では約35%の日射量低減が確認された。

本報では、得られた7月22日の日射量をもとに式(1)~(4)より太陽光発電量を算出した。太陽電池アレイは南面屋根に設置するものとする。周辺斜面の影響を考慮した場合(里山有)と考慮しない場合(里山無)の太陽光発電量を図10に示す。6,7時は周辺斜面の影響により、150W程度小さい値となり、その他の時間帯は、40W程度小さい値となった。日発電量は、周辺斜面の影響により、約4%減少しており、18.89kWh/日発電可能と試算された。

6. まとめ

里山にある古民家を対象に夏季の屋内外温熱環境評価および周辺斜面が太陽光発電量に与える影響を評価した。その結果、天井表面温度は床表面温度より最大約17℃高くなる一方、床下温度は外気温より2~3℃低く保たれていることが確認された。また、床下の絶対湿度は家裏の湿度変動と対応しており、北側斜面からの空気流入の影響が示唆された。これらより、夏季においては北側斜面側から床下吸気を行うことが、室内温熱環境の改善に寄与する可能性があると考えられる。

また、周辺斜面の影響により日間の太陽光発電量は7月の晴天日においては約4%低下し、定格4kWの場合、発電量は18.89kWh/日となった。今後は本評価結果を参考に周辺斜面の影響等も考慮しながら、開放的な住まいでもより快適に過ごすための空調システムの提案を行っていく。謝辞)3D LiDARによる測定は、高知大学村井亮介特任研究員にご協力いただいた。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献)

- 1)宇野勇治：伝統民家における環境調整手法と現代への応用の可能性,日本生気象学会雑誌,vol40,p111-p122,2003
- 2)宇野勇治他：伝統民家の通風性能およびデザイン技法の解明と現代住宅への応用,vol37,p225-p235,2011
- 3)国土交通省,住宅の省エネ性能に関する基準の現状について
- 4)浦野良美他：九州北部に残る伝統民家の熱環境に関する調査研究,日本建築学会計画系論文報告集,vo371,p27-p37,1987.1
- 5)上田悠貴他：地域交流を目指した古民家の改修,高知工科大学総合研究所紀要,vol14,p103-p110,2017.8.31
- 6)鎌倉秀樹他：古民家の省エネルギー改修に関する事例調査その1,日本建築学会四国支部研究報告集,vol17,p37-p38,2017.5.13



図9 古民家と周辺地形の関係

$$E_{p,d,t} = P_{p,i} \times \frac{1}{\alpha_p} \times I_{s,d,t} \times K_{p,d,t} \times 10^{-3} \quad (1)$$

$P_{p,i}$: 太陽電池アレイのシステム容量 (kW) =4.0(kW)

α_p : 標準試験状態の日射強度 (kW/m²) (=1)

$I_{s,d,t}$: 太陽電池アレイの設置面における単位面積当たり日射量 (W/m²)

$K_{p,d,t}$: 太陽電池アレイの総合設計係数

$$K_{p,d,t} = K_{PD} \times K_{PT,d,t} \times K_{PA} \times K_{PM} \times K_{IN} \quad (2)$$

K_{PD} : 太陽電池アレイの経時変化補正係数 (結晶シリコン系 0.96)

$K_{PT,d,t}$: 太陽電池アレイの温度補正係数

K_{PM} : 太陽電池アレイのアレイ負荷整合補正係数 (0.94)

K_{PA} : 太陽電池アレイのアレイ回路補正係数 (0.97)

K_{IN} : インバータ回路補正係数 (定格負荷効率 0.927×0.97)

$$K_{PT,d,t} = 1 + \alpha_{p,max} \times (\theta_{CR,d,t} - 25) \quad (3)$$

$\alpha_{p,max}$: 太陽電池アレイの最大出力温度係数 (結晶シリコン系-0.0041)

$\theta_{CR,d,t}$: 太陽電池アレイの加重平均太陽電池モジュール温度 (°C)

$$\theta_{CR,d,t} = \theta_{A,d,t} + \left(\frac{f_A}{f_B \times (V_{d,t})^{0.8} + 1} + 2 \right) \times I_{s,d,t} \times 10^{-3} - 2 \quad (4)$$

$\theta_{A,d,t}$: 外気温 (°C)

$V_{d,t}$: 太陽電池アレイの設置面における風速 (m/s)

$I_{s,d,t}$: 太陽電池アレイの設置面における単位面積当たり日射量 (W/m²)

f_A : 太陽電池アレイ設置方式に応じて定める定数 (屋根置き型 50)

f_B : 太陽電池アレイ設置方式に応じて定める定数 (屋根置き型 0.38)

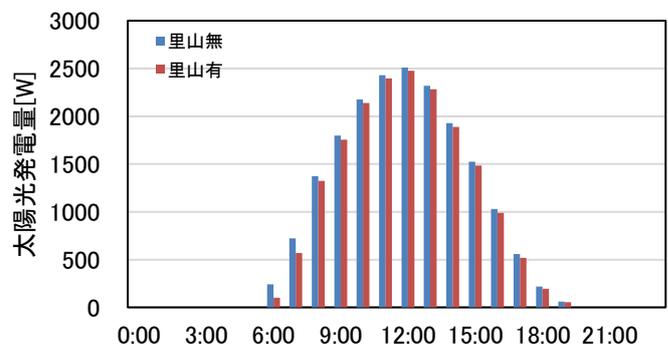


図10 里山の有無による太陽光発電量の比較

*高知工科大学大学院 学士 (工学)

**高知工科大学大学院, 准教授・博士 (工学)

*Kochi University of Technology

**Assoc. Prof., Kochi University of Technology., Dr.Eng.

カメラ撮影画像と画像処理プログラムによる $L^*a^*b^*$ 測定方法の検討

正会員 ○ 大和 義昭*
宋 城基**
木村 竜士***

色覚異常 $L^*a^*b^*$ 光源
カラーユニバーサルデザイン 画像処理

1. 研究の目的と背景

本研究の目的は、光色の違いがカラーユニバーサルデザイン（以降、CUD）に及ぼす影響を検討することを念頭において、カメラ撮影画像と画像処理プログラムによる $L^*a^*b^*$ 測定方法の検討である。

先天色覚異常者のためのCUDは、ガイドラインが整備され普及が進む。公共空間の計画に際しては、移動のバリアフリーと同様に、色覚異常者にとって安全・快適であるかどうかを念頭に置かれることは不可欠である。

案内図や交通機関の路線図などの公共サインのCUDのため、先天色覚異常者にも見分けやすいとして推奨された配色セット¹⁾があるが、この配色セットの見分け易さに及ぼす照明光の光色の影響についてはほとんど検討されていない。現在では照明器具の光源のLEDへの置き換わりが進み、LED化されたことで色温度の高い昼光色や低い電球色など様々な光色をより容易に再現できるようになり、肌や商品の色がよく映えて見えるよう分光分布に工夫を加えたLED光源も商品化されている。また、LED光源は小さいことから様々な形状の照明器具も増えており、光色や形状が多様になった照明器具を用いて魅力的に演出された公共空間も増えている。今後、公共空間の照明では、光色などの多様化が一段と進むと考えられる。

筆者らは推奨されている配色のうち、アクセントカラー6色（オレンジ色、黄色、緑色、青色、空色、茶色）のカラープレートを昼光色LED、温白色LED、電球色LED、白熱電灯の4種の光源で照明したときの色を分光測色計を用いて測定し、6色から成る15対の組み合わせの色差を求めた結果から、同一の色の組み合わせでの色差の違いを示した。さらに、分光測色計の測定データを基に、フォトタッチソフトに備わる機能を用いて色覚異常者の見え方をシミュレートした画像中の色を採取し、15対の色差を求め、緑-空色、緑-茶色は先天色覚異常者にとっては照明による見分け易さの差が大きいなど、照明により色差のばらつきが大きい色の組み合わせは正常-色覚異常とで異なることを示した²⁾。光色の多様化が予想される公共空間でのCUDのためには、建築技術者やサインのデザイナーが簡単に色の測定・評価が可能とすることが望まれる。

物体の色は $L^*a^*b^*$ によって定量的に表すことができ、一対の色の見分け易さは、それぞれの色の $L^*a^*b^*$ から算出する色差によって評価できる。物体の色の $L^*a^*b^*$ は分光測色計によれば容易に測定可能であるが、分光測色計は価格が数百万円と高価であり、多くの建築技術者やサインのデザイナーにとっては分光測色計による測定は難しいと考えられる。一方で、画像処理も可能なオープンソースライ

ブラリーであるOpenCVを利用したプログラムにより、画像中の任意のピクセルから採取したRGBを $L^*a^*b^*$ に変換可能である。即ち、この方法によれば、画像撮影のためのデジタルカメラとプログラムを実行するためのパソコンがあれば誰でも容易に物体の色の $L^*a^*b^*$ を測定可能になる。しかし、 $L^*a^*b^*$ をこれまでにカメラ撮影画像と画像処理プログラムによる $L^*a^*b^*$ の測定方法の妥当性の検討はなされていない。

2. 研究の方法

カメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定したカラープレートの $L^*a^*b^*$ を、分光測色計で測定した同一のカラープレートの $L^*a^*b^*$ の測定値と比較し、その結果から測定方法の妥当性や課題などを検討した。比較は、照明の光色の変えた条件下でも実施した。比較対象とした分光測色計での測定値は、本研究と同一のカラープレート、光源、実験室で測定した研究²⁾での値とした。

2-1. 測定に用いたカラープレート

先天色覚異常者にも見分けやすいとして推奨された配色セット¹⁾にある22色について、日塗工色票番号の色指定により看板製作専門業者に製作させた100mm四方のカラープレートを測定に用いた。推奨配色セットにはアクセントカラーのみの12組み合わせ、ベースカラーのみの8組み合わせ、アクセントカラーとベースカラーから成る13組み合わせがあるが、本研究ではアクセントカラーのみ6色（オレンジ色、黄色、緑色、青色、空色、茶色）の組み合わせを測定の対象とした。図1に昼光色蛍光灯の下で、ホワイトバランス補正がされる設定にしたスマートホン（Apple iPhone17）で撮影した6色のカラープレートの画像を示す。

2-2. 測定に用いた光源と実験室

本研究で用いた光源はいずれも市販の口金E26の電球タイプのもので、昼光色LED、温白色LED、電球色LED、白熱電灯の4種である。同一の電気スタンドに入れ替えて使用した。撮影は無窓であって暗室と同様になる実験室で前述した光源以外は消灯して実施した。図2に撮影時の光源、色覚検査表、カメラの配置を示す。この配置での机上面照度、色温度、平均演色評価数、分光分布を分光照度計（SEKONIC C-7000）で測定した。表1に各光源の机上面照度、



図1 6色のカラープレート

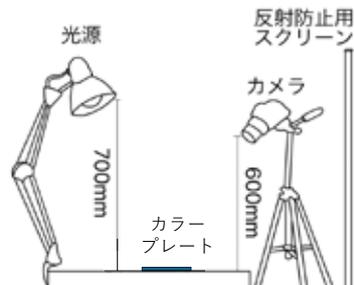


図2 調査地点の平均演色評価数と色温度の関係

表1 各光源の机上面照度，色温度，平均演色評価数の測定結果

	机上面照度 [lx]	色温度 [K]	平均演色評価数Ra [-]
LED (昼光色)	884	6684	86
LED (温白色)	864	3509	87
LED (電球色)	621	2870	83
白熱電灯	373	3038	94

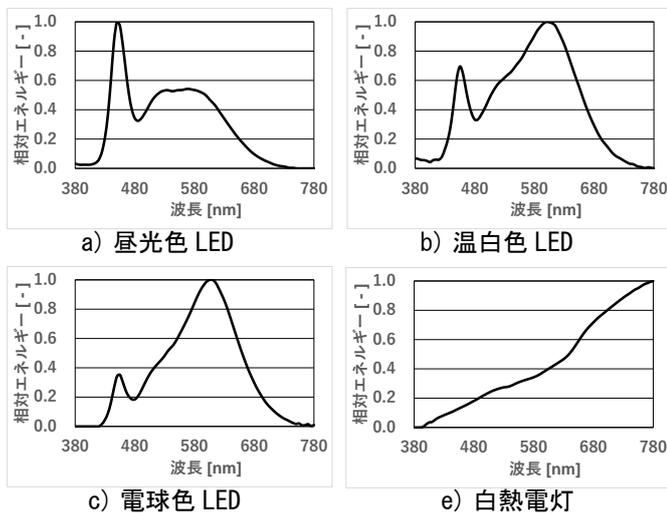


図3 各光源の分光分布の測定結果

色温度，平均演色評価数の測定結果を示す。また，図3に各光源の分光分布の測定結果を示す。

2-3. 撮影時のカメラの設定

撮影に用いたカメラ (Nikon D3300) の設定は，焦点距離：55mm，F値：5.6，シャッタースピード：1/200，ISO感度：200とした。記録形式はRAWモードとし，ホワイトバランス補正機能，自動ゆがみ補正機能およびノイズ低減機能はすべてOFFにした。

2-4. デジタルカメラ撮影画像からのL*a*b*測定

異なる光色の光源で照明したカラープレートをデジタルカメラで撮影し，全てのカラープレートの撮影画像中の予め決めておいた同一の座標のピクセルのR (赤)，G (緑)，B (青) の明るさレベル値をOpenCVを利用したプログラム (cv2.calcHist) を用いて取得した。取得したRGB値を三刺激値XYZを介してL*a*b*に変換した。

表2 カメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定したL*a*b*

カメラ画像 +プログラム	昼光色LED			温白色LED			電球色LED			白熱電灯		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
オレンジ	57	7	8	61	19	41	59	27	47	67	22	49
黄色	68	-9	20	68	6	49	76	9	60	72	9	54
緑	54	-13	0	52	-4	24	64	5	42	59	7	36
青	45	2	-16	46	6	13	54	15	34	55	16	29
空色	57	-2	-17	54	3	13	53	9	23	64	11	31
茶色	50	0	0	42	11	26	50	19	35	59	18	41

表3 分光測色計により測定したL*a*b*

分光式測色計	昼光色LED			温白色LED			電球色LED			白熱電灯		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
オレンジ	66	34	66	72	36	74	74	33	77	72	40	73
黄色	85	-7	86	87	3	85	88	4	85	87	6	81
緑	62	-44	14	59	-40	6	58	-38	3	60	-44	5
青	44	-5	-38	41	-17	-43	39	-18	-45	41	-23	-41
空色	71	-12	-29	68	-20	-34	66	-20	-36	68	-24	-33
茶色	37	16	13	39	17	17	40	16	18	39	19	17

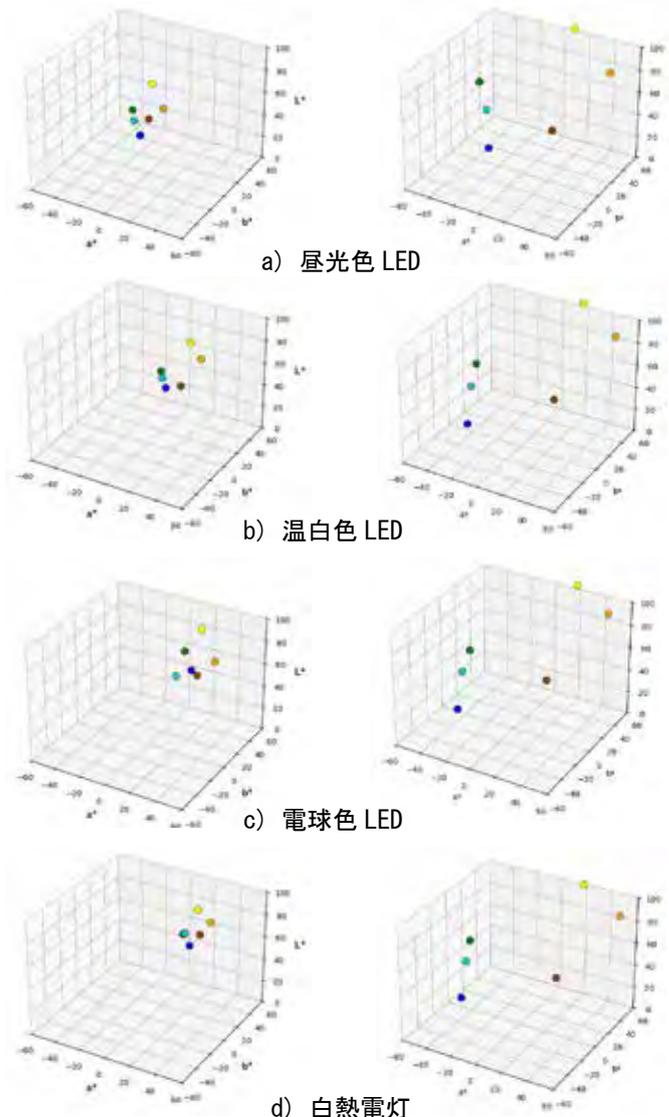


図4 L*a*b*をプロットした3次元グラフ
(左：カメラ撮影画像+プログラム，右：分光測色計)

2-4. 色差の算出

$L^*a^*b^*$ の測定に加えて、6色から成る15対の組み合わせの色差を算出し、分光測色計の測定値から求めた色差と比較した。色差 ΔE^*_{ab} は $L^*a^*b^*$ 色空間での2つの色の座標間の距離に相当し、それぞれの L^* , a^* , b^* の差である ΔL^* , Δa^* , Δb^* から求めるが、本研究では下の式により算出した。

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

3. 結果

表2にカメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定した $L^*a^*b^*$ を示す。また、表3に、比較対象として本研究と同一のカラープレートおよび光源で、分光測色計により測定した $L^*a^*b^*$ を示す。図4に光源別および測定方法別に $L^*a^*b^*$ をプロットした3次元グラフを示す。

本研究のカメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定した $L^*a^*b^*$ は、全てのカラープレートおよび照明の光色で、分光測色計で測定した $L^*a^*b^*$ とは異なる値となった。本研究で用いたカラープレートは、目視では全面が同一の色であったが、撮影画像では全面にまだらなムラが見られた。また、モニターに映る撮影画像の色は目視の色に比して全体的に白みがかかった色となった。図5に撮影画像の一例を示す。撮影画像にムラがあったことと白みがあったことが $L^*a^*b^*$ 測定値の差の原因であると考えられる。

分光測色計の測定値に対して本研究のカメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定値の違いに一定の傾向は見られなかった。カメラ撮影画像と画像処理プログラムによる測定値のカラープレート間の $L^*a^*b^*$ は散らばりは、分光測色計による測定値のカラープレート間の $L^*a^*b^*$ の散らばりよりも小さくなった。

表4に、本研究で測定した6色のカラープレートの

表4 $L^*a^*b^*$ の測定結果より求めた15対の組み合わせの色差

	昼光色LED		温白色LED		電球色		白熱電灯	
	分光測色計	カメラ+プログラム	分光測色計	カメラ+プログラム	分光測色計	カメラ+プログラム	分光測色計	カメラ+プログラム
オレンジー黄色	48.5	22.8	37.4	16.8	33.2	28.0	37.8	14.8
オレンジー緑	93.7	21.8	102.5	30.0	103.8	23.1	108.6	21.4
オレンジー青	113.1	27.3	132.0	34.3	137.2	18.4	133.8	24.1
オレンジー空色	105.8	26.6	121.5	33.0	125.3	30.6	123.7	21.3
オレンジー茶色	63.2	12.7	68.5	25.5	70.2	17.0	68.3	12.0
黄色ー緑	84.5	24.7	94.4	31.3	96.2	22.0	94.8	22.3
黄色ー青	130.6	44.1	137.7	42.2	140.4	34.6	133.4	31.0
黄色ー空色	116.6	39.2	122.9	38.7	124.8	43.6	119.1	24.4
黄色ー茶色	90.3	28.4	84.7	35.1	82.8	37.4	81.0	20.5
緑ー青	67.3	23.7	57.4	16.0	55.9	16.3	53.9	12.1
緑ー空色	55.0	20.5	46.0	13.2	44.5	22.3	43.6	8.1
緑ー茶色	65.2	13.6	61.6	18.1	59.0	21.0	67.2	12.1
青ー空色	28.8	12.7	28.7	8.5	29.1	12.6	28.2	10.5
青ー茶色	55.4	16.9	68.7	14.5	71.9	5.7	71.2	12.8
空色ー茶色	60.8	18.5	68.8	19.4	70.1	15.9	71.4	13.2
色差計	1178.7	353.5	1233.0	376.7	1244.4	348.4	1236.0	260.6
色差平均	78.6	23.6	82.2	25.1	83.0	23.2	82.4	17.4

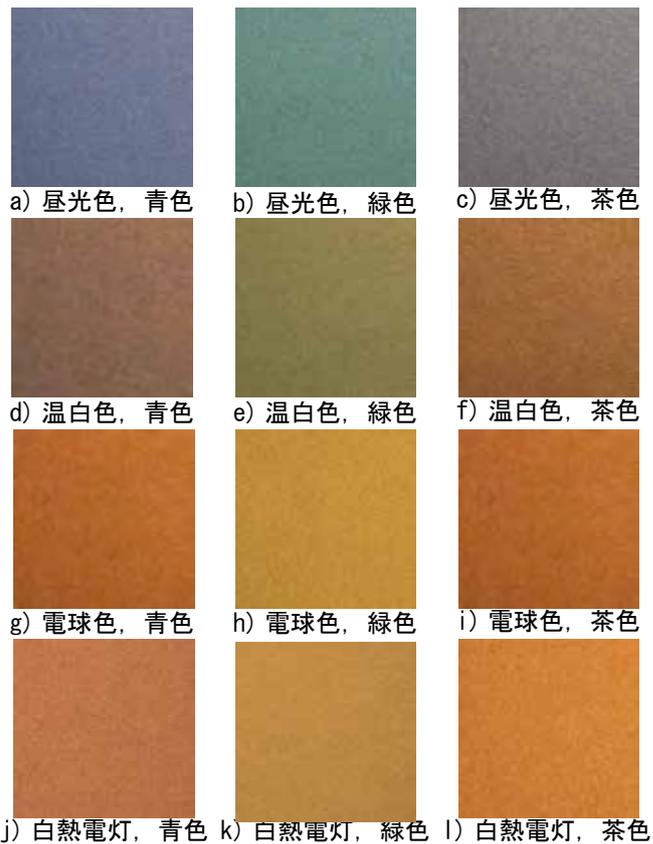


図5 撮影画像の一例

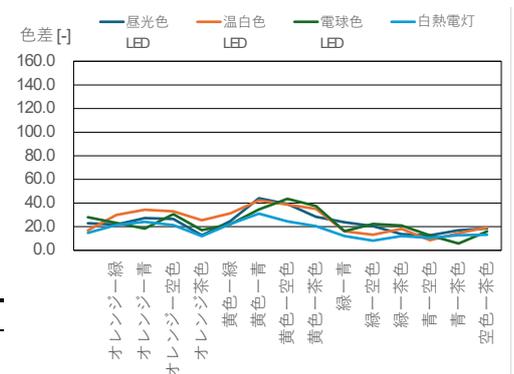


図6 カメラ撮影画像とプログラムにより測定した $L^*a^*b^*$ の測定結果より求めた色差

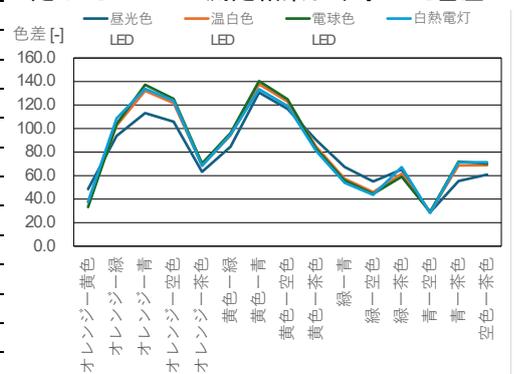


図7 分光測色計により測定した $L^*a^*b^*$ の測定結果より求めた色差

$L^*a^*b^*$ の測定結果より求めた 15 対の組み合わせの色差を示す。表 4 には比較対象として分光測色計により測定した $L^*a^*b^*$ より求めた色差も示す。また、図 6 にカメラ撮影画像とプログラムにより測定した $L^*a^*b^*$ の測定結果より求めた色差を示す。比較対象として、図 7 に分光測色計により測定した $L^*a^*b^*$ の測定結果より求めた色差を示す。

本研究のカメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定した $L^*a^*b^*$ の測定結果より求めた 15 対の組み合わせの色差は、全てのカラープレートおよび照明の光色で、分光測色計で測定した $L^*a^*b^*$ よりも小さい値となった。図 4 に示されたように、カメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定した $L^*a^*b^*$ の散らばりが小さいために色差が小さくなったことが原因として考えられる。

4. 考察および今後の課題

本研究のカメラ撮影画像と画像処理プログラムにより測定した $L^*a^*b^*$ が分光測色計で測定した $L^*a^*b^*$ と異なる値となった原因の一つに考えられる、撮影画像に見られたムラと白みがかかったことには、カラープレートへの照明光の照射方法の違いと本研究で使用したカラープレートの表面の状態の影響が考えられる。

分光測色計での測定では、直径 10mm 程の孔の空いた測定センサー部を対象物の表面に密着させ、対象の物体表面にセンサー部内の測定光源からの拡散光のみを照射し、その反射光の分光分布の測定結果から物体表面の分光反射率を求め、分光反射率と照射する照明光の分光分布から $L^*a^*b^*$ を求める。

分光測色計の測定では物体表面に照射する光は拡散光であるのに対して、本研究のカメラ撮影画像と画像処理プログラムによる方法では、物体表面へ照射した光は電球型の光源からの直接光が多いと考えられる。

また、本研究の測定で用いたカラープレートは、屋内外に広く一般的に使われる看板と同様に、カラー印刷したシートを貼り付けたアルミ板をラミネート加工したものであるが、表面にはシボ状の極小さな凹凸があった。シボ状の小さな凹凸のある表面に対して、拡散光だけを照射する分光測色計では凹凸による陰影ができないが、本研究のカメラ撮影画像と画像処理プログラムによる方法では直接光を多く照射したため、凹凸の陰影が発生しムラとなって画像に現れたと考えられる。また、ラミネート加工された表面に対して光源からの直接光が強く反射したことが考えられ、これによって撮影画像の色が白みがかかったことが考えられる。

以上のことから、カメラ撮影画像と画像処理プログラムによる $L^*a^*b^*$ 測定方法の検討には、物体表面に照射する光を直接光とせず拡散光となるように工夫した上での測定が今後の課題である。

謝辞 本研究は公益財団法人大林財団より研究助成(2024- 研究 -54-63)を受けた。

参考文献

- 1) カラーユニバーサルデザイン推奨配色セット制作委員会：カラーユニバーサルデザイン推奨配色セット ガイドブック 第2版. 2018年
- 2) 大和義昭, 宋城基, 木村竜士: 光色の違いがカラーユニバーサルデザインに及ぼす影響の検討—異なる光色で照明した推奨配色セット・アクセントカラー6色の色差の比較—, 人間-生活環境系シンポジウム報告集 49, 133-136, 2025年11月

* 呉高専 建築学科 教授・博士 (学術)

** 広島工大 建築デザイン学科 教授 博士 (工学)

*** 高知高専 ソーシャルデザイン工学科 准教授 博士 (工学)

*Prof., Dept. of Architecture, NIT(KOSEN), Kure College, PhD.

**Prof., Dept. of Architectural Design, Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

*** Assoc.Prof., Dept. of Social design eng., NIT(KOSEN), Kochi College, Dr. Eng.

実建築物における省エネルギー評価のための低コストな環境負荷計測手法の開発

その1 研究概要および計測手法

4.環境工学
在室人数推定
電子工作

15.建築設備応用
空気質
IoT デバイス

Z.その他
行動変容

正会員 ○山本高広 1*
正会員 小澤康平 2**

1. はじめに

COVID-19 の拡大以降、換気量の確保が重要視されるようになった。これに伴い、窓開けや換気扇の積極的な利用による外気負荷の増大、ひいては空調エネルギー消費量の増加が懸念されている。既往の研究においても、低密度居住時における過剰換気や、大規模空間の少数利用、設備機器（空調・換気）の消し忘れ、窓の閉め忘れ等に起因するエネルギーの浪費傾向が指摘されている。

著者らの研究グループでは、大学施設やオフィスを主な対象とし、香川大学内において各種空気質指標の計測を実施することで、室内環境や空調利用、換気実態の継続的な観測を行ってきた。これらの分析を高度化するためには、空調機処理熱量、換気量（外気負荷）、在室人数、および在室者の活動量（代謝量）といった指標を同時並行で把握することが望ましい。

しかし、CO₂ 濃度や人感センサーの出力値からは、在不在や概略的な混雑状況の推定は可能であるものの、定量的な検討に耐えうる精度でのデータ取得は困難である。一方で、高精度な計測手法は多大な労力を要するため、建築物の省エネルギー評価に求められる多地点での網羅的な計測には適さない。表 1 に、項目別の既存手法と実施に伴う課題を整理する。表中の窓開け量、在室人数の状況に加え、エアコンの使用実態並びに処理熱量（空調目的エネルギー使用量）も必要となる場面が多いが、室内 AE 法などをはじめとするこれらの手法は必ずしも簡便とはいえず、実使用環境下での多点の計測については改善の余地が大きい。

本研究では、換気量、在室人数の変動、室内活動、および空調機の運転状況を、プライバシーに配慮が必要なカメラや高価なセンサーを用いず、安価な環境センサーの組み合わせによって簡便に推定する手法を開発することを目的とする。また、本稿では、研究の全体像、および換気量、室内活動量の推定に活用可能と思われた粒子径別に粉じん個数濃度を計測するセンサー「PMSA003I（以下、PMSA）」を中心とした計測装置の概要について報告する。

表 1 項目ごとの計測・推定法と課題

計測項目	主要な手法	実施に伴う課題
窓開け状況	カメラ画像による検出	・カメラ：個人情報保護の観点から協力が得づらい。
	超音波センサー等による実測	・センサー：窓ごとの設置・給電が必要であり、多地点での作業労力が大きい。
在室人数	物体検知モデル（YOLO 等）による画像解析	・研究倫理上の制約（学食やフリースペース等）が大きく、設置が困難。 ・カメラの存在が利用者の行動変容（忌避）を招く恐れがある。
	CO ₂ 濃度による推定	・換気量が変動する環境では、人数と換気量のどちらが支配的か判別不能。 ・低密度居住時の過剰換気を見分けられない。
	人感センサーによる推定	・大規模室かつ多人数では有効だが、小規模室や少人数利用の観測には不向き。

2. 計測システムの設計とデバイスの選定

2.1 システム構築の考え方

本研究では、多地点での網羅的な計測を実現するため、以下の3点を設計の基本方針とした。

非侵襲性: プライバシーへの配慮から、カメラ画像等を用いず環境指標のみで推定を行う。

低コスト・低労力: 汎用的な環境センサーを組み合わせ、安価かつ自律的なデータ収集を可能にする。

多角的なデータ取得: 複数の指標を相補的に利用し、特定の指標（CO₂ 濃度等）のみでは判別困難な室内状況を特定する。

2.2 PMSA003I(粉じんセンサー)

本システムにおいて特徴的なデバイスが、レーザー散乱式粉じんセンサーである PMSA003I（以下、PMSA）である。本センサーは、粒子径（PM1.0, PM2.5, PM10）ごとの質量濃度ならびに個数濃度を計測可能であり、以下の挙動を捉えるために採用した。

換気量の推定: 室内外の粉じん濃度差を利用する。窓開けや換気設備の稼働により外気が導入された際、特定の粒子径の濃度変化を追跡することで、換気量の増減を推定するインジケータとして活用する。

活動量・在室状況の推定: 室内での人の移動や活動に伴う「粉じんの再飛散（リサスペンション）」に着目する。CO₂ 濃度の上昇率に加え、比較的粒子径の大きいもの（PM10 等）の濃度変動を組み合わせることで、静的な

在室と動的な活動（清掃や移動など）の判別を試みる。

2.3 他センサーとの組み合わせ

計測環境に応じて随時追加予定だが、以下のセンサーを用いる。先の PMSA に加え、これらの計測項目を組み合わせ、複数指標を用いることで、計測精度を高めることを狙う。

CO₂センサー (SCD40 または SCD41)：在室人数の推定および換気効率の指標として用いる。

温湿度センサー (SHT35 または SCD4x 内蔵の温湿度センサー)：空調機運転有無および快適性の算出に用いる。

照度センサー (BH1750FVI)：照明の消し忘れ確認

人感センサー (BISS0001)：照明制御などの用途で広く使用される焦電型赤外線センサー (PIR) センサーを在室有無の判定に用いる。

3. 計測装置の実装と実験概要

3.1 装置の製作

M5Stack を中心として、GPS モジュールなどにより時刻、場所などを参照しつつ microSD カード (TF カード) に保存するタイプ (以下、A タイプ) と、ESP32 搭載の評価ボード HW394 にセンサーを接続し、VPS サーバーまたは ambient (IoT 用データサーバー) に送付するタイプ (以下、B タイプ) の 2 タイプを構築した。A タイプは時刻参照などに WiFi 環境が必要なく、衛星を捕捉できる場所であればどこでも観測を実施できる。B タイプはセンサーモジュールとマイコンボードでシステムを構築しているが、web 上の時刻サーバーから時間を参照し、クラウドサーバーにデータを保存する必要があるため、WiFi 環境が必要となる。システム構成を図 1, 2 に、設置状況の例を図 3 に示す。

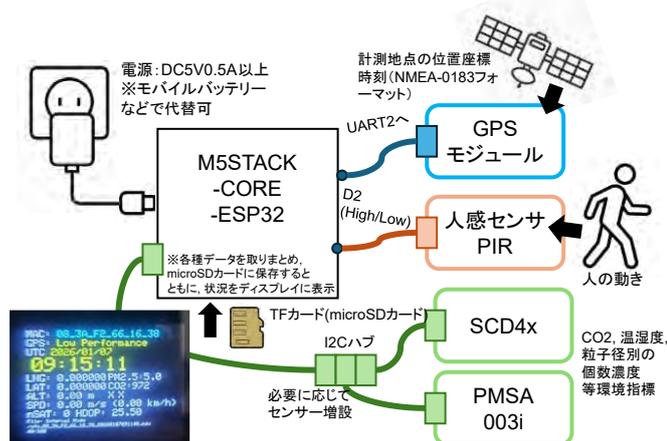


図 1 計測システムの概要(タイプ A)

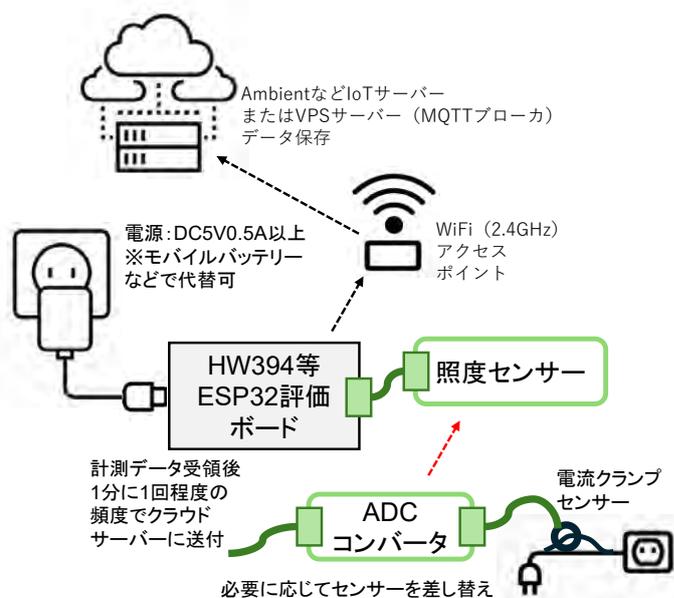


図 2 計測システムの概要(タイプ B)

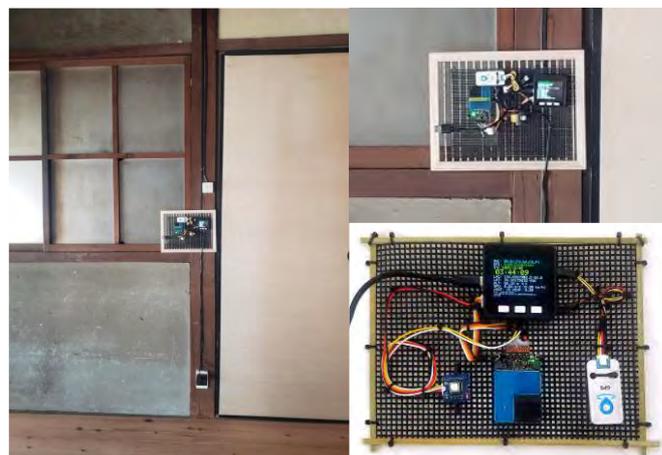


図 3 計測器の設置状況(タイプ A)

4. おわりに

4.1 本報の総括

本報では、研究の概要並びに計測に用いる装置を説明した。次報¹⁾では、この装置を用いた大学構内での環境計測の試行および計測結果に基づき PMSA の活動量推定について考察する。

謝辞：

参考文献：

- 1)小澤康平, 他: 実建築物における省エネルギー評価のための低コストな環境負荷計測手法の開発, その 2 大学構内での予備計測, 2024 (予定)

* 香川大学創造工学部 講師 博士 (工学) 講師

* Faculty of Engineering and Design, Kagawa University

** 香川大学大学院創発科学研究科 学生

** Graduate School of Management and Innovation, Kagawa University

実建築物における省エネルギー評価のための低コストな環境負荷計測手法の開発 その2 大学構内での予備計測

4.環境工学 15.建築設備応用 Z.その他
在室人数推定 空気質 省エネルギー行動変容

学生会員 ○小澤康平 1*
正会員 山本高広 2**

1. はじめに

前報¹⁾では研究全般の目的と計測デバイスについて示した。今報では予備調査の一環として実施した大学構内での環境計測の概要を示す。

本報では、建築系専攻の製図室、学生スペースでの空気質実測調査を実施した。これらの計測結果を基に、対象室の使われ方や換気量の妥当性について考察し、デバイスからの室の状況把握について課題を検討する。

2. 計測対象の概要

計測対象を図1に示す。本研究では、換気量が比較的少なく、特定の曜日に少人数で長時間利用される製図室を対象とした。計測は2025年10月1日より現在まで継続されている。計測装置はGPS信号により時刻を参照する仕様から、窓際に設置している。また、対象室への外気流入ならびに接続される学生スペースからの移流量を検討するため、学生スペースにも同一仕様のセンサーを、こちらは2025年11月24日から計測を実施した。なお、PMSAセンサーはどの対象室があるキャンパス外部に複数点設置しており、これらの外気の状態も使用する。

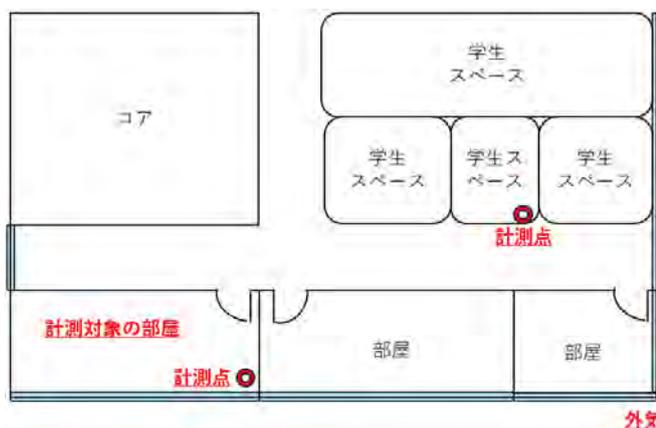


図1 計測対象およびセンサー設置位置

3. 計測結果

冷房使用時の計測結果を示す。計測対象の部屋のCO₂およびPM2.5の推移を図2、温度および絶対湿度の推移を図3に示す。集計期間は2025/10/14~2025/10/21である。利用者数が増加する水曜日および金曜日にCO₂濃度が

上昇する傾向が確認され、在室人数および使用時間との間に関係がみられた。換気量は全体的に不足しており、水曜日には、CO₂濃度は学校衛生基準の1,500ppmを大きく上回り、最大で約3,000ppmに達している。併設される学生スペースからの移流量の影響は小さく、CO₂濃度から在室状況を推定できる状況といえる。

冷房運転時にみられる温度低下と、空調設定温度に達した後の温度および絶対湿度の細かな変動から、空調ON/OFFなどは検出可能と思われる。絶対湿度の変化などからも、CO₂濃度の推移から消し忘れ等の検出が可能と思われる。全体的に室内機が動いている条件下ではダスト濃度は低下している。除湿による水蒸気の減少と、フィルタによるダスト吸着の効果と思われるが、ダストは連続して低い値となり、CO₂濃度が変動し、人数に変化があったと思われる時刻においても傾向が変わらなかったことは、ダスト濃度の推移から内部のアクティビティを推定することを狙った当初の意図からすると不利な結果といえる。

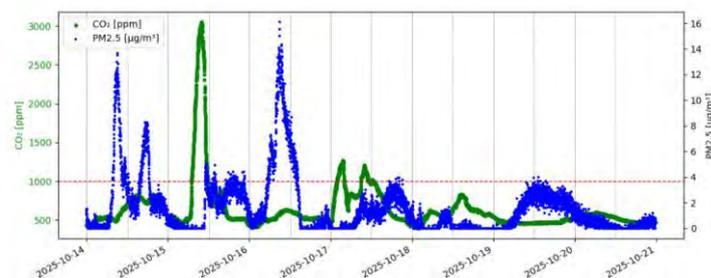


図2 CO₂およびPM2.5の推移
(計測対象の部屋, 2025/10/14~2025/10/21)

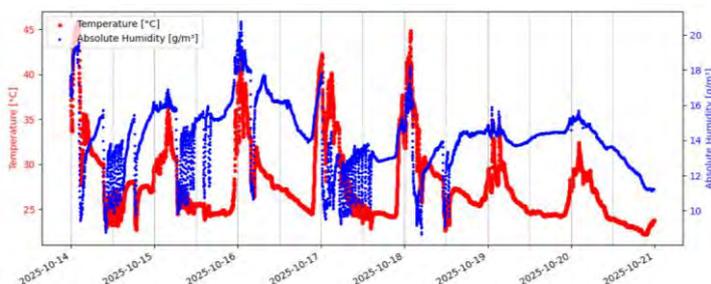


図3 温度および絶対湿度の推移
(計測対象の部屋, 2025/10/14~2025/10/21)

Development of a Low-Cost Environmental Load Measurement Method for Energy Efficiency Evaluation in Existing Buildings Part:2 Analysis of Measurement Results

OZAWA Kohei, et al

冬期の計測結果を示す。集計期間は2025年12月7日から同月14日までの1週間である。CO₂およびPM2.5の図4に、温度および絶対湿度を図5に示す。

温度差の影響により換気量が増加したと思われ、冷房使用時に比べるとCO₂濃度は低下している。内部に発湿源が無いことから、基本的には絶対湿度の急激な増加は在室人数の増加を示すものと考えられる。

空調利用と思われるタイミングでダスト濃度が急激に減少している部分があり、一部冷房使用時と同様の傾向が確認できたが、一方で同じような傾向、推移を示す場面もあり、傾向が一致していない。11日はCO₂濃度の増加に先立ちダスト濃度が急激に増えているように見える。標本数が少なく現時点での関係性は未検討だが、在室人数変動により早く応答するとすれば、在室人数およびアクティビティを推定する指標としては有望といえる。ただし、外気ダスト濃度の増減、同階で実施される焼成実験などの影響を受けていると思われる部分も見られた(10日)。

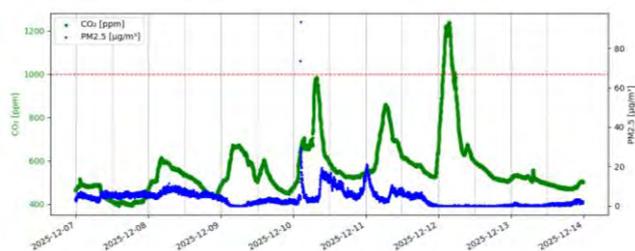


図4 CO₂およびPM2.5の推移
(計測対象の部屋, 2025/12/7~2025/12/14)

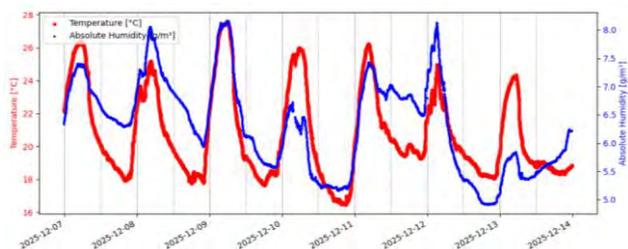


図5 温度および絶対湿度の推移
(計測対象の部屋, 2025/12/7~2025/12/14)

同期間中の隣接する学生スペースの推移を図6、図7に示す。単純に、学生スペースは利用人数、気積とも大きいことから、CO₂濃度、ダスト濃度の推移は製図室の傾向に比べ平滑な波形を示しており、急激な変化は見られない。温湿度変化からエアコン使用と思われる時間が長いことも確認できた。基本的には隣接する給湯室や同階からの三種換気による常時換気が行われていることから、製図室から学生スペースへの移流量が大きいものと

予想されており、計測結果からも、学生スペースから製図室への影響は小さいものと考えられる。1時間間隔など集計間隔を長くしての検討でも、CO₂濃度とダスト濃度の間にはあまり相関は見られない。気積が大きく、CO₂濃度の動きが鈍くなる条件下で、ダスト濃度から在室人数を推定する、または、複数センサーの組み合わせから換気の状態を推定しうることを期待し屋外の傾向と比較しつつ検討したが、全体的にダスト濃度の変動は小さく、また、学生の登校時や授業開始時などの人流が発生する時点での動きも見られないことから、少なくとも対象の条件ではダスト濃度からの在室人数並びにアクティビティの推定は難しいものと考えられる。

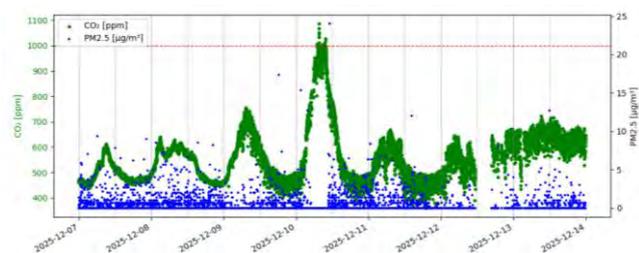


図6 CO₂およびPM2.5の推移
(学生スペース, 2025/12/7~2025/12/14)

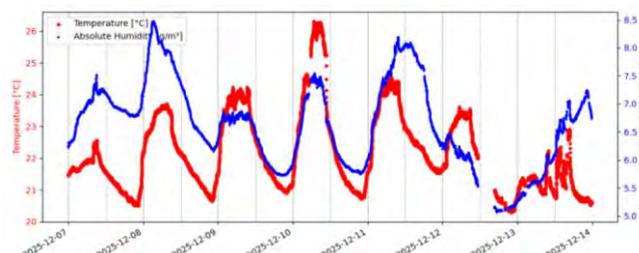


図7 温度および絶対湿度の推移
(学生スペース, 2025/12/7~2025/12/14)

4. おわりに

本報の条件では、ダスト濃度から直接的に在室人数およびアクティビティの推察は難しいと言える。一方で、気積の小さい製図室では、空調使用開始、利用者の入出タイミングとダスト濃度の変動に関係がみられる部分もあり、人感センサーなど他のセンサー及びBEMSデータを用い、同じ人数でも出入りや活動が大きい条件をさらに絞り込むことで改善できる余地がないか、今後検討を重ねる予定である。

参考文献

- 1) 山本高広, 他, 実建築物における省エネルギー評価のための低コストな環境負荷計測手法の開発その1研究概要および計測手法, 日本建築学会四国支部研究報告会 2026(予定)

* 香川大学大学院創発科学研究科

*Graduate School of Management and Innovation, Kagawa University

** 香川大学創造工学部 講師 博士 (工学)

**Faculty of Engineering and Design, Kagawa University

モンゴルゴビ砂漠における環境計測に基づくゲル内部の室内環境および生活行動に関する研究

4.環境工学 15.建築設備応用 Z.その他
居住環境 ゲル 生活行動
実測調査

非会員 ○加藤龍平 1* 非会員 河合慶 5*
会員 山本高広 2* 同 Gantsetseg Batdelger 6*
非会員 石塚正秀 3*
同 黒崎泰典 4*

1. はじめに

1.1. 研究背景

近年モンゴルでは、人口が集中するウランバートル市を中心に、生活習慣や暖房・調理等の生活スタイルが大きく変化しており、交通や生活に起因する粉じんへの社会的関心が高まっている。一方、人口密度が低い地方部では、医療インフラや通信設備の整備は依然として十分とは言えない。健康被害の抑制や公衆衛生の向上には、暖房方式の転換による汚染物質発生の抑制等、住宅・建築物および設備の質向上による予防的対策が重要となる。特に、遊牧生活を営む居住者の住まいでは、暖房・調理に石炭や畜フン由来の燃料を使用する半密閉型暖房器具が広く利用されており、室内空気質の悪化が懸念される。これらを発生源とし、大気中に浮遊する直径2.5 μm以下の粒子（以下、PM2.5とする）は、呼吸器系および循環器系疾患の要因となるため、WHOの大気汚染ガイドラインにより基準値が示されている。これらに関する既往の研究は、主に都市部に焦点を当てたものや計測期間が限定的なものが多く、地方部や乾燥地域における長期間の実測データに基づく調査は少ない。

1.2. 研究目的

このような背景を踏まえ、本研究では、黄砂発生源であるゴビ砂漠の住環境における空気質の実態を明らかにすることを目的とし、マンダルゴビ市およびツクトーボー村において、外気環境および居住環境を対象とした実測調査を行った。本報では、2024年度および2025年度に実施した調査結果について報告する。

2. 計測調査

2.1. 調査の全体像

2024年度、2025年度における計測調査の概要を表1に示す。本調査では最終的に、複数世帯および複数村落での計測を予定している。2024年度の調査で行われた2地域においては、郊外で遊牧生活を営むゲル居住者の住まい、人口が集中する村落内の建物、周辺の大気環境を対象とし、2地域5地点似て計測を実施した。2025年度の調査ではこれに加え、街区内で3地点、郊外で高さ別の3地点にて計測を実施した。

表1 計測の概要

計測期間	2024年度に2地域にセンサーを設置し先行計測を開始 2025年4月26日にマンダルゴビにセンサーを設置。同年5月3日まで計測。一部Wi-Fi通信によって現在も計測・回収中 2025年4月27日にツクトーボー村にて各地点センサーを設置。同年5月2日まで計測。一部データを回収後、現在も計測中。	長期計測期間中はmicroSDカードにデータを保存、来年度回収予定。 一部計測点ではWi-Fi通信によって随時回収する。
計測内容	屋外：ダスト質量濃度、粒子径別粒子数 屋内：ダスト質量濃度、粒子径別粒子数、空気温湿度、CO ₂ 濃度	2地域にある気象観測所から外気条件が確認可能。また鳥取大学計測サイトでも外気条件は計測されている。

2.2. 調査対象

調査対象であるマンダルゴビ市およびツクトーボー村の大気環境概要を以下に整理する。

(1) マンダルゴビ市

ドントゴビ県の県都であり、ウランバートル市から約283km南、標高約1393mに位置する。人口は約14,000人で、定住型住宅とゲル地区が混在している。ステップ気候から砂漠気候への移行地域に属し、年降水量は約152.0mmである。4~9月頃は強風に伴う砂塵によって空気質が悪化する日が確認される。また、集中暖房未整備エリアでは各世帯が個別に石炭や畜フンを燃焼させることで粉じんが発生している。加えて、近辺の大規模な鉱山開発に伴う未舗装道路でのトラック等の往来も、粉じん飛散の要因となっている。このように、近年の都市化と鉱山物流という工業的要因により、居住環境が大気汚染リスクにさらされている地域である。

(2) ツクトーボー村

ウランバートル市から約465km南、標高約1298mに位置するウムヌゴビ県の村落（ソム）である。ゴビ砂漠の砂礫地帯に位置し、年降水量は約99.0mmと極めて少ない。居住形態は遊牧型ゲルの集落が中心であるが、定住型住宅も点在する。人口は約1,700人と少なく人口密度も低い。近年の高速道路整備により長距離トラックやバスの停車地となっている。そのため、自然由来の黄

砂に加え、交通排気や走行に伴うダストの増加が懸念されている。

2.3. 計測方法

計測には M5Stack-CORE-ESP32 をベースとした自作デバイスをを用い、GPS モジュールにより時刻参照および計測地点の把握を行った。本デバイスは適宜アップデートを実施しており、光散乱式センサ (PMSA003i) 等を用いて粒子径別粒子数 (PM2.5 等)、CO₂ 濃度、温湿度を記録した。屋内では全項目を、屋外では粒子径別粒子数のみを対象とし、設置高さは屋内 1.0~1.5m、屋外約 1.0m とした。本デバイスは修理・交換が容易なモジュール構造を採用し、データは microSD カードへの保存および Wi-Fi 通信により回収した。過酷な環境下での長期計測を目標としており、現在、屋内では約半年の継続に成功している。一方、デバイスへの負荷が大きい屋外計測は 2~3 ヶ月に留まったため、2025 年度調査では防塵筐体の改良およびバッテリー部の刷新により、さらなる長寿命化を図ったモジュールを導入している。また、郊外に設置した 10m のポールにおいても同様のセンサーにより粒子径別粒子数を計測した。これにより、地表付近のダストと上空を移動する黄砂の関連性を評価するとともに、高さによる濃度減衰の違いの把握を試みた。

3. 計測結果

3.1. 屋内環境

図 1 に、計測対象であるゲルにおける 2024 年 5 月 1 日の時系列変化を示す。また、図 2 に、同ゲルにおける同年 5 月 13 日の時系列データを示す。図 1 では PM2.5 濃度が急上昇した後、ベースラインまで減衰するのに一定の時間を要していることが確認できる。一方、図 2 では上昇した数値が比較的短時間で収束する挙動を示した。

3.2. 屋外環境

図 3 に、村落における屋外の壁内外および郊外のダスト濃度の時系列比較を示す。また、図 4 には、郊外に設置した 10m タワーにおける高さ別のダスト濃度の時系列推移を示す。図 3 より、微差ではあるものの、壁内は壁外と比較してダスト濃度が低減される傾向が確認された。また、図 4 に示す高さ別の集計結果からは、計測位置が高くなるほどダスト濃度が低下する鉛直分布が認められた。ただし、地上高 1m から 6m の間においては顕著な濃度差は見られなかった。

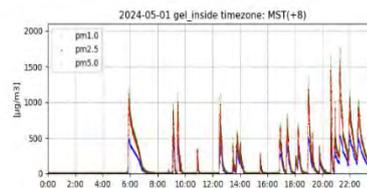


図 1 ゲル内密閉期のダスト濃度変化

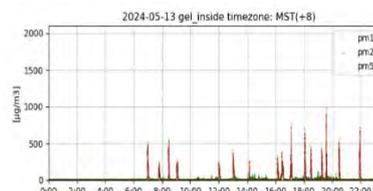


図 2 ゲル内開放期のダスト濃度変化

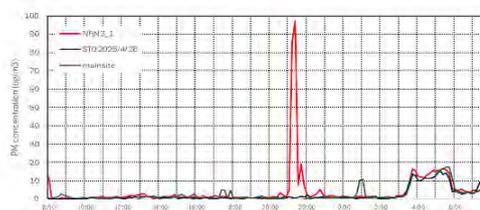


図 3 壁内外と郊外のダスト濃度変化

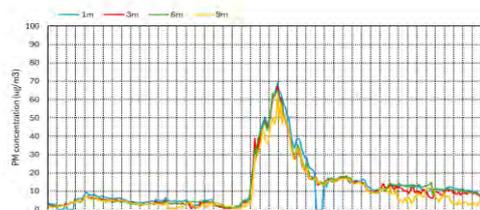


図 4 高さ別のダスト濃度推移

4. おわりに

本報では 2025 年度の現地調査並びに現地ゲルの実測結果について示した。今後は計測点数の増加を予定している。

謝辞：

本研究は、令和 6 年度鳥取大学乾燥地研究センター共同研究課題「モンゴルのゴビ砂漠における居住環境の空気質の実測調査」の一環として実施されました。本研究に対する助成と支援を賜りました鳥取大学乾燥地研究センターに心より感謝申し上げます。

参考文献：

1. Spatiotemporal Variation in Air Pollution Characteristics and Influencing Factors in Ulaanbaatar from 2016 to 2019 : Haijun Zhou, 2022
2. Studies on Air Pollution and Air Quality in Rural and Agricultural Environments: A Systematic Review : Giacomo Fanti, 2023

1*香川大学創造工学部 学生

2*香川大学創造工学部 講師・博士(工)

3*鳥取大学乾燥地研究センター 教授

4*香川大学創造工学部 教授

5*名古屋大学

6*モンゴル水文気象環境情報研究所

1*Student, Faculty of Engineering and Design Kagawa Univ

2*Assistant Prof, Faculty of Engineering and Design Univ

3* Prof, Arid Land Research Center, Tottori University

4*Prof, Faculty of Engineering and Design Univ

5*Nagoya University

6*Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment

家庭用冷蔵庫の電力変動が燃料電池の発電量および効率に及ぼす影響

4. 環境工学

燃料電池コージェネレーションシステム(FCCGS)

15. 建築設備応用

負荷追従特性

z. その他

冷蔵庫

消費電力

会員外 ○中川夏蓮 1*

正会員 山本高広 2*

1. 研究の背景

家庭用燃料電池コージェネレーションシステム(FCCGS : Fuel Cell Cogeneration System) の性能評価には、一般に仮想的な負荷データ¹⁾を用いる。しかし、このデータは負荷変動の間隔が5~15分程度と長く、実態より平準化され、変動が少ない。そのため、実際の家庭で見られる短周期・高頻度な電力変動を十分に再現できていない可能性がある。

負荷変動が正しく再現されないことで、機器の電力需要への追従速度を過小評価し、導入効果を過大に推定するおそれがある。そのため、消費電力が比較的大きく、常時稼働あるいは長時間使用され、ON/OFFの波形が発生する機器に着目し、それらの細かな電力波形を仮想負荷に反映することが望ましい。本研究では家庭用冷蔵庫に注目した。冷蔵庫は、年間を通じてほぼ連続的に運転される機器であり、その消費電力には短周期かつ不規則な変動が見られる。このような電力変動が、FCCGSの出力特性や導入効果の評価に与える影響を検討する。

2. 研究の目的

本研究は、家庭用冷蔵庫に着目し、その消費電力波形がFCCGSの運転特性や効率にどのような影響を及ぼすのか、実測データに基づいて考察する。併せて、得られた波形データを用いて、簡易的な導入機器別の負荷データを作成し、導入機器の違いによる評価結果への影響を検討する。

3. 燃料電池実測調査

計測対象は、集合住宅に居住する若年夫婦世帯であり、導入機器はSOFC方式の家庭用燃料電池である。計測にはHIOKI社製電力量計を用い、家全体の電力需要および発電出力を10秒間隔で記録した。ルームエアコンのコンプレッサーのON/OFFに伴う電力需要の変動に対し、発電出力の応答が間に合っていない様子が確認できる。また、部分負荷運転時においては、家庭側の消費電力に対し常時40~50W程度の“取り逃がし”が発生しており、これはPEFCと比較しても大きい(図1中の丸枠内)。

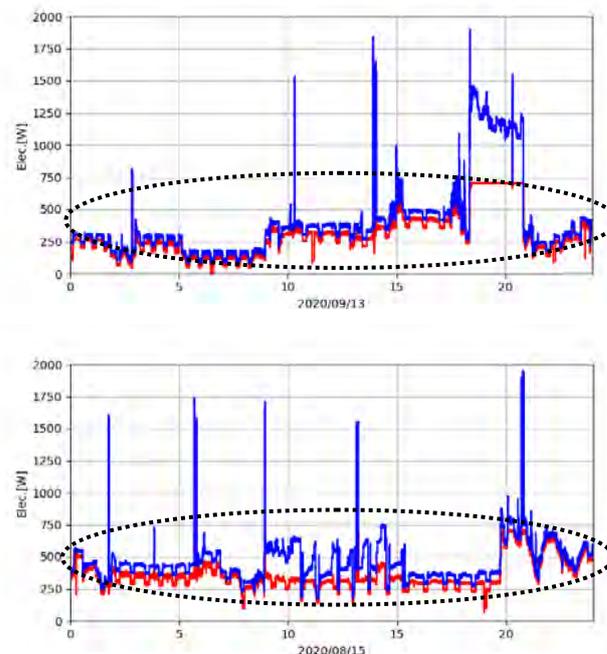


図1 SOFC実証測定の例

取り逃がしは、家庭側の電力使用が比較的安定しており、定常発電状態に近い時間帯においても生じていることから、機器側で意図的に発電出力を抑制するような制御が行われている可能性がある。ただし、当該機器の制御仕様は公開されておらず、詳細な挙動の把握には至っていない。

4. 冷蔵庫実測調査

冷蔵庫の電力消費特性を把握するため、10秒間隔での電力計測を行った。主に単身、夫婦のみの世帯を想定し、2ドアタイプの冷蔵庫を中心に選定した。なお、冷蔵庫の使い方とも確認するため、リードスイッチによりドアの開閉時間・頻度も併せて記録したが、消費電力に与える大きな影響は確認されなかった。冷蔵庫の消費電力の傾向はおおむね以下の3つに分類できた(①~③)。

① 間欠運転型

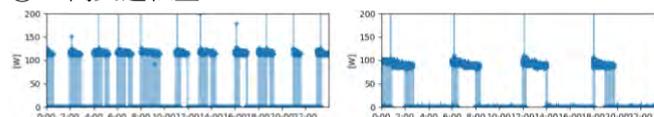


図2 間欠運転型

Effect of Power Fluctuations in a Household Refrigerator on the Power Output and Efficiency of a Residential Fuel Cell

NAKAGAWA Karen et al.

コンプレッサーが1日に数回程度動き、それ以外は待機電力のみが消費される。1回あたりの運転時間は比較的短く、起動タイミングも日中・夜間を問わず不規則である。FCCGS との併用を考えると、住宅全体の電力需要が少ない時間帯にコンプレッサーを稼働させることで、電力の取り逃がし抑制や年積算負荷率の向上といった効果が期待できる。しかし、今回の計測対象機器では、外気温やドア開閉のタイミングとの関連性は見られず、発停時間はほぼランダムに選択されているように見える。

② 短周期変動型

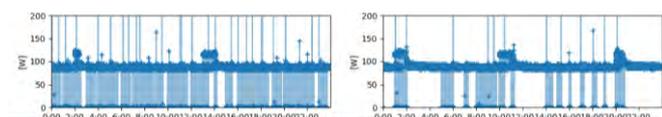


図 3 短周期変動型

コンプレッサーが数分～十数分ごとの一定周期でON/OFFを繰り返す。波形上は、運転と停止が交互に現れる形となり、変動幅自体は小さいが、変動の回数は多い。いわゆる温度差制御型であり、同じ積算消費電力量でも、コンプレッサーの出力や停止時間の長さは機種やメーカーによって差がある。特に、運転中の消費電力が高く、停止時間が長い機種は、FCCGSの発電との適合性が低くなる傾向がある。本報で対象とした小型機（100～200Lクラス）では、このパターンが最も多く見られた。

③ 連続運転型

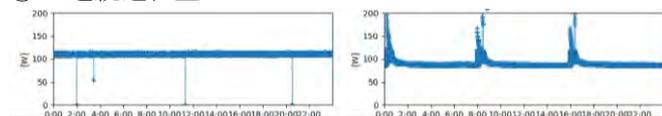


図 4 連続運転型

コンプレッサーが常時あるいはそれに近い状態で連続運転しており、電流波形は全体として平坦である。わずかな変動は見られるもののON/OFFによる明確なステップ状の変化は確認されない。電力波形が平滑であるため、FCCGSとの出力調整は容易であり、電力の取りこぼしも少なくなると考えられる。ファミリー向けのインバーター制御付き機種でこの傾向が多く見られるほか、一部の非インバーター製品でも同様の挙動が確認されている。

5. 試算

SOFCの導入時において、冷蔵庫の選定が発電挙動に与える影響を評価するため、試験用の家庭電力負荷データを用いて発電量および効率を試算する。

なお、夫婦と子供2人の4人世帯を想定し、比較的電力消費が大きい条件とした。FCCGS側の応答挙動として

は、数十Wオーダーの負荷変動に対してわずかに遅延を伴って追従するものとした。夏期、中間期、冬期の3ケースを用い、冷蔵庫の波形3パターンと組み合わせ計9ケースについて検討した（表1）。

表 1 ケースごとの試算結果

	FCCGS発電量 [kWh/日]			運転パターン	負荷入力方法
	summer (夏)	middle (中間期)	winter (冬)		
電力使用量	18.6	10.6	25.8		
CASE1	11.3	9.3	11.2	間欠運転	コンプレッサーは1日4回、それぞれ1時間運転（矩形波）
CASE2	11.2	9.3	11.3	短周期変動	コンプレッサーは1分ON、1分OFFを交互に繰り返す（矩形波）
CASE3	11.5	9.1	11.7	連続運転	コンプレッサーは一定の負荷で連続的にONの状態を維持する

冷蔵庫の消費電力の詳細な変動の再現有無によって、発電量・発電効率の結果に差が生じた。平滑的な負荷データをを用いた場合と比較すると、発電時の負荷率や効率が低下する傾向が見られた。少人数世帯では家庭の消費電力に対する冷蔵庫の割合が増えるため、冷蔵庫の選択による発電量の差異はより大きくなることが予想される。

6. 考察

本報の検討では、冷蔵庫に着目して電力波形の違いがFCCGSの出力特性に与える影響を推定したが、実際には家庭内には他にも多くの変動負荷機器が存在する。特に、就寝時などの低負荷時間帯におけるルームエアコンの挙動は、変動負荷としての影響が特に大きく、今後の検討における重要な対象である。エアコン使用開始からの経過時間、室内外の温熱環境等を踏まえた消費電力波形の再現とモデル化を進めている。

7. 今後の予定

今後は、エアコンを含む他機器の影響を考慮しつつ、実測データを用いた詳細な負荷再現を進める予定である。

本研究はJSPS 科研費(若手研究)19K15151の助成を受けたものである。

[参考文献]

- 1) JIS C 8851:2013, 小形燃料電池システムの11モードエネルギー効率及び標準家庭の年間消費エネルギー量の測定方法, 日本規格協会, (2013).
- 2) 山本 高広, 住吉 大輔, 崔 榮晋, 実住宅を対象とした詳細計測調査に基づく家庭用燃料電池の省エネルギー効果および電力負荷追従性能に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第85巻, 第767号, pp. 45-54, 2020.
- 3) 日出 亮太, 山本 高広, 実住宅を対象とした詳細計測に基づく家庭用燃料電池の導入の効果推定に関する研究, 日本建築学会四国支部研究報告集, 第23号, pp. 49-51, 2023年5月.

1*香川大学創造工学部 学生

2*香川大学創造工学部 講師・博士(工)

1*Student, Faculty of Engineering and Design Univ

2*Assistant Prof, Faculty of Engineering and Design Univ

参加型まちづくりの観点から見た Cultural Planning の特徴に関する研究

—参加者の属性・時期・動機に着目して—

7.都市計画
住民参加
Cultural Planning

7.参加と組織
ワークショップ プロセス

正会員
正会員
非会員

○矢島大暉*
鈴木達也**
中西仁美***

1. はじめに

産業革命以後の人口増加と都市部への人口流入に伴い先進国を中心に大規模な都市開発が盛んに行われた。これに伴い、明日の田園都市¹⁾や近隣住区論²⁾など、今日の都市空間計画の礎となる計画思想が体系化され、我が国のニュータウン開発においても大きな影響を与えた。一方で、J.ジェイコブスは、アメリカ大都市の死と生³⁾で、体系化された計画思想を批判し、トップダウン式の都市計画を批判している。また、S.アーンスタインは住民参加の梯子⁴⁾という概念で、住民参加の度合いを8段階に区分して整理している。こうしたトップダウン式の都市計画への批判については、国内においても展開され、1960年代から都市計画に住民参加の制度が導入され、ボトムアップ型の都市計画が促進されている。さらに、大規模な都市開発は、多くの社会問題を引き起こしており、2007年にUNDRIP(先住民族の権利に関する国際連合宣言)、2015年には、国連総会において持続的な開発目標SDGsが定められ、より深刻な課題として注目されている。こうした背景から、オーストラリアでは、Cultural Planningという概念で1990年代から文化を取り入れた都市計画を実施しており、特に先住民(アボリジニ)参画によって、その文化や価値観を反映させている⁵⁾。こうした文化を取り入れた都市計画思想は、カナダやスウェーデンなどでも展開されている。

住民参加型の都市開発についての学術研究は多数あり、例えば、災害復興などに関しては、福島らの研究⁶⁾では復興区画整理事業における住民参加ワークショップ(以下、WS)開催までのプロセスを詳細に報告・分析しており、住民の主体的参加を促すために、議論の場の適切なコミュニティ単位設定の重要性を示唆している。また、園田らの研究⁷⁾では防災集団移転促進事業をケーススタディとして、WSが復興計画策定プロセスでどのように機能し、意思決定に反映されたかについて明らかにしている。さらに横山らの研究⁸⁾では、参加型まちづくり事例として、都市計画マスタープランの策定プロセスにおいてWSの役割と市民意見の反映という観点からその効

果を明らかにしており、小嶋らの研究⁹⁾では、韓国の再開発事業を対象に、住民への意識調査による住民参加の実態とその特徴や問題点を明らかにしている。

一方で、同じ開発目的を持つ事例を複数扱い、比較している研究もあり、長野の研究¹⁰⁾では、複数の参加型まちづくり事例を基にその特徴と効果、課題等を整理し、住民参加・参画型で取り組む「対話的」手法について、その効果と課題を検証している。しかし、多くの住民参加に着目した研究は、特定の事例やフレームワークに対する詳細調査研究であり、複数事例の統合・比較研究の蓄積は少なく、国外事例も含めた研究はより少数である。

本研究では、国内外の参加型まちづくり事例から、住民参加手法、住民参加の導入時期、参加者属性という観点から整理・比較を行う。また、Cultural Planningの先進事例について、インタビューと現地調査結果と併せて考察を行うことで、Cultural Planningの住民参加開発の文脈からの位置づけとその特徴を明らかにする。

2. 研究方法

本研究では、国内外の都市開発事例を抽出する上で、都市開発事業種名の「参加型まちづくり」「再開発事業」「ニュータウン開発」「新規住宅地開発」「再開発事業」「防災集団移転促進事業」「復興区画整理事業」「参加型まちづくり」「Cultural Planning」と「住民参加」というキーワードでGoogle Scholar(Windows, グーグル合同会社, 東京)を使用し検索を行った(検索式: "title:" 開発事業種名", "住民参加")。2025年12月25日時点で検索された文献の内、本文に住民参加の導入時期、参加住民の属性、動機いずれかに関する言及のない文献および、本文閲覧ができないものを除外し、計17件の文献を対象とした。また、上記の文献に加えて、筆者がインタビューと現地調査を行ったCultural Planning事例であるGinninderry Projectの文献も加えて複合的に比較を行い、一般化した知見を整理する(表1)。本研究で実施したインタビュー調査は、香川大学創造工学部倫理審査委員会にて承認を得た(承認番号: 06-002)。

A Study on the Characteristics of Cultural Planning from the Perspective of Participatory Community Development
- Focusing on Participant Attributes, Timing, and Motivation -

YAJIMA Daiki, SUZUKI Tatsuya and
NAKANISHI Hitomi

3. 結果と考察

3.1 住民参加手法の整理

抽出された事例から、住民参加の手法は、住民説明会、公聴会、計画案の縦覧、住民意向調査、WS、協議会等の組織設立が確認できた。アーンスタインによる分類と比較すると、住民説明会は、1~3に分類され、住民意向調査、公聴会、計画案の縦覧は4に分類される。また、WSは4~6、協議会は5~6に分類される(図1)。同じ手法で複数の段階に跨っているものについては、住民参加の導入時期、組織体制により濃淡があった。

説明会では、開催時期により段階が変化する。計画内容が大方決まっている状態で、形式上の住民参加として導入される場合は段階が1の方へ下がっていく一方で、計画内容が決まっていない事業初期段階で、事業についての情報を提供する機会として導入される場合は、段階が3の方へ上がっていく。また、WSや協議会では、設立・開催体制により段階が変化する。まず、協議会では、事業者側が周知を行い、公募により設立するパターンと、事業者側の選定と依頼によって、地元地縁組織が母体となって設立される2つのパターンがある。特に後者のパターンでは、地元ネットワークが広く、円滑な協議に期待できる一方で、自由な参加や意見交換がなされにくいいため、パートナーシップより、5段階目の懐柔・取り込みに近い形になる。WSでは、不特定多数の住民に対して実施する情報収集の側面が強い場合と、固定されたメンバーで複数回実施し、具体的な協議を行い、協働関係を構築していく場合の2パターンに分かれる。

3.2 住民参加手法と導入時期

抽出した文献より、住民参加の導入時期に着目すると、事例全体の傾向としては、大きく3つあることがわかった(表1)。まず、パターン①は、計画発案段階で説明会を通して事業概要やまちづくり協議会の組成、WS開催の周知などを行い、計画策定段階にかけてWSや協議会を通して住民主体での協議を行い、行政側の調整の基、法定都市計画決定や事業計画に住民意見を反映させている総論重視型の住民参加である。都市計画決定などの総論計画までで住民参加を終えること、WSを開催している事例では、事業規模が大きく開発対象区域住民が多い場合、各地域で1~3回の少数回数で計画されている特徴がある。パターン②では、発案段階では住民参加を行わず、計画の大枠はすでに決められている段階で、説明会や公聴会、案の縦覧を行う。都市計画決定や事業認可が

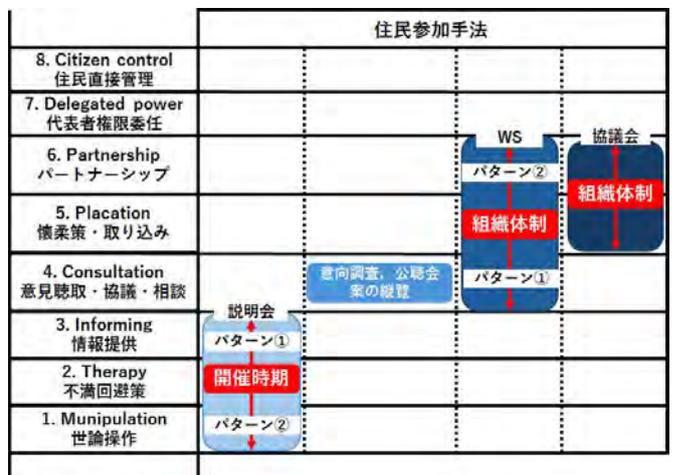


図1 住民参加手法の分類(市民参加の梯子)

表1 事例文献一覧表

番号	事例名	出典
1	参加型まちづくり・都市マスタープラン(那覇市)	横山芳春、池田幸之、川上貴弘(2001)。「参加型まちづくり手法におけるワークショップの効果と行政の対応について」-那覇市都市マスタープラン策定を事例に-。日本建築学会計画系論文集、第543号、pp.223-229。
2	参加型まちづくり・地区ビジョン(那覇市)	横山芳春、池田幸之(2000)。「参加型まちづくりにおける行政の実践と課題-那覇市の地区ビジョンづくりを通して-」-日本建築学会計画系論文集、第543号、pp.189-196。
3	防災集団移転促進事業(若手県大船渡市基石地区)	藤沢直樹、糸長浩司(2013)。「防災集団移転促進事業による住民参加型での高所移転住宅地計画づくりの合意形成の過程」-若手県大船渡市基石地区での復興支援を通じてその1-。日本建築学会学術講演集、pp.49-50。
4	防災集団移転促進事業(大船渡市三陸町越前地区)	車谷綾花、福島秀哉、福井明(2024)。「大船渡市三陸町越前地区の差し込み型防災集団移転促進事業の計画プロセスと地域組織の役割」-実践政策学、第10巻2号、pp.175-186。
5	復興まちづくり(宮城県岩沼市)	園田千佳、坂本舞介、石川幹子(2013)。「復興まちづくりの計画策定プロセスにおける住民ワークショップの役割に関する研究」-宮城県岩沼市における復興まちづくりを通して-公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集、Vol.48 No.3、pp.849-854。
6	復興まちづくり(宮城県山元町)	藤松淳、菊池義浩、渡邊浩文、沼野厚生、谷津憲司、有川智、福屋桂子(2014)。「山元町での住民参加による復興まちづくり支援」-東北工業大学新技術創造センター-紀要 EOS、Vol.26、No.1、pp.1-7。
7	復興土地区画整理事業(若手県野田村・城内地区、大徳町・吉里吉里地区)	五三裕太、福島秀哉(2020)。「東日本大震災復興土地区画整理事業若手県19地区における地域特性反映に向けた復興事業プロセスの特徴」-土木学会論文集、Vol.76、No.1、pp.59-73。
8	復興土地区画整理事業(若手県上閉伊郡大徳町町方地区)	福島秀哉(2017)。「若手県上閉伊郡大徳町町方地区復興土地区画整理事業における近隣コミュニティ単位によるまちづくりワークショップ」-実践政策学、第3巻2号、pp.147-157。
9	復興土地区画整理事業(宮城県大川町・中心部、名取市・関上)	五三裕太、福島秀哉(2021)。「東日本大震災復興土地区画整理事業宮城県39地区における地域特性反映に向けた復興事業プロセスの特徴」-土木学会論文集、Vol.77、No.1、pp.81-98。
10	復興土地区画整理事業(兵庫県神戸市松本地区、尼崎市築地地区)	岸幸生、小泉秀哉、渡辺徹一(1997)。「阪神淡路大震災復興土地区画整理事業における「2段階都市計画決定方式」の問題点と有効性に関する考察」-神戸市松本地区・森南地区と尼崎市築地地区を対象として-。第32回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.757-762。
11	再開発事業(大阪府千里NT(藤白台近隣センター))	角横徹也、塩崎賢明(2002)。「都市再生事業における合意形成のあり方に関する研究」-千里ニュータウン藤白台近隣センター1種市街地再開発事業のケーススタディ-。日本建築学会計画系論文集、第559号、pp.203-210。
12	再開発事業(韓国奉天地区)	小嶋勝徳、尹柄九(1983)。「韓国における住民参加方式による住宅改良再開発事業について-奉天地区再開発事業を事例として-」-第18回日本都市計画学会学術研究発表会論文集、pp.1-10。
13	再開発事業(台北市蘭州・斯文里整建住宅)	高田健(2019)。「行政主導による大規模住宅地再開発事業の合意形成プロセスとその事業手法に関する研究」-台北市政府による蘭州・斯文里整建住宅の都市更新を事例に-。日本建築学会技術報告集、第25巻、第60号、pp.887-892。
14	Cultural Planning・Nikkilä Cultural Corridor(フィンランド)	Nurmi, P., & Tzoulas, T. (2015). Engaging citizens in cultural planning with a web map survey. Katerina Vojtisková, Markéta Poláková & Věra Patočková (2016). Cultural Planning: New Inspiration for Local Governments in the Czech Context. The Journal of Arts Management, Law, and Society, 46 (1), pp.22-33.
15	Cultural Planning(チェコ・ルーニ、デチン)	川手昭二(2005)。「住民協働の姿勢を貫いた港北ニュータウン事業の過去と現在-区約75%が、港北ニュータウンであった横浜市都心部の話-」-都市住宅学、第49号、pp.9-14。
16	港北NT(神奈川県横浜)	米澤勉、加賀屋健一(2008)。「地方中核都市におけるニュータウン開発の課題」-ユーザーデモクラシーの視点から小樽市東南地域開発を事例として-。地域学研究、Vol.38、No.1、pp.227-246。
17	小樽市東南地域NT(北海道小樽市)	Gimminderry (n.d.). Aboriginal Advisory Group.
18	Ginninderry Project	TRC Tourism Ltd. (2018). Gimminderry Conservation Corridor: Interim management plan 2018-2023 [PDF]. Prepared for Riverview Projects (ACT) Pty Ltd. インタビュー調査(実施日:2024年10月10日、対象:プロジェクトディレクター、財務・ガバナンス担当者)/フィールドスタディ(実施日:2024年11月10日)

表2 時系列表(パターン①、②、③)



下りた後に協議会やWSを開催し、個別・詳細計画に住民意見を反映させている各論重視型の住民参加である。表1から事例5～10の復興まちづくり、復興土地区画整理事業のような事例が該当し、パターン①と比較してWSを各地域で5～10回程度の複数回で計画されている。そして、パターン③は、計画発案段階から、まちづくり協議会のようなメンバーが固定され、事業の中で一貫して、一定の役割を担うような形の住民参加の形式が取られている。こういった組織は、その後、都市施設の管理運営などを通して、まちづくりに関わり続けている。こうした組織醸成型がパターン③である。

全体の事例数については、ほぼ全ての事例がパターン①、②で大別でき、パターン③は限定的であった。住民参加手法とその導入時期の関係性としては、大きく3パターンあり、いずれも住民参加の導入により、住民意見の反映の結果を得られ、計画発案から実施までのプロセスの一部で、目的に沿った住民参加を導入することが重要であることが示唆された。特に、発案から実施まで一貫して住民参加の機会を設けている事例では、住民意見の反映以外に、事業完了後の住民主体の管理運営が行われており、意見聴取以外に管理運営組織の醸成という副次的な効果を企図していると考えられる。特に、新規住宅地開発の港北ニュータウンの事例では、市街化区域範囲の設定を一任され、住民主体で組成された開発対策協議会、土地利用について開発区域全体で協議する場として機能したニュータウン建設研究会は、その後、まちづくりルールや協定を作成し、良好な住宅環境の誘導を目指し制度の管理運営を行っている(表2上段)。

こうした事例の中で、Cultural Planningはパターン③に該当する。文化を計画に組み込むという特徴を持っていることから、自然環境保全を目的とする市街化抑制区域の設定(Cultural mapping)と、これを行うための文化的資源の特定(Cultural heritage survey)に住民が参加している。特に、Cultural Planningの事例の一つである

Ginninderry Projectでは、計画前の調査であるCultural heritage surveyに時間を要するため、より初期段階から住民参加の機会が設けられている。また、文化的資源が特定され、開発が抑制される保護区域は、事前調査に参加した参加者を中心に、事業者側が出資の下、管理運営組織を設立して管理運営がされている(表2下段)。

3.3 住民参加手法と参加者属性

抽出した文献より、住民参加の参加者属性という観点から考察する。抽出された事例から確認された参加者の属性は、開発対象区域住民は、近隣住民、地権者、地元地縁組織(自治会、町内会など)が主であった。全体の傾向として住民説明会、公聴会、計画案の縦覧、WS、住民意見調査は、事業者が主催し、開発対象区域に周知され、参加者も開発対象区域住民、地元地縁組織となる。また、協議会については、3.1で示唆されたように、住民公募型と地縁組織母体型がある。また、WSにおいても不特定多数参加型と継続的な少数固定参加型のそれぞれ2パターンがある(図2)。

一方で、開発規模が大きい場合や複数のコミュニティグループが混在する地域での開発では、開発対象区域住民を一括りで捉えることができないケースもある。このことは、福島らの研究⁹⁾においても指摘されており、行政区によらない近隣コミュニティ単位で議論する場を創出することは、地域に根差した社会基盤整備において重要である。また、Cultural Planningの事例の一つであるGinninderry Projectでは、文化に精通する行政公認グループを中心に諮問組織を設立しており、地縁組織母体型に該当する。Cultural Planning特有の部分としては、計画に文化を組み込むため、開発区域住民とは異なる、先住民コミュニティや行政公認の先住民組織を巻き込んでいる。また、チェコ・ルーニ、ジェチーンで実施された行政計画としてCultural Planningを策定する事例では、対象区域住民以外に、地域市民団体、文化アートを扱う芸術家、メディアなどを巻き込んでおり、この参加者たちは計画

表3 時系列表(上段:港北NT, 下段:Ginninderry Project)

	時系列表			
	計画発案段階	全体計画策定段階	個別・詳細計画段階	管理・運営段階
港北ニュータウン パターン③(組織醸成型)	行政・住民協議 (開発の方向性)	開発対策協議会協議 ニュータウン建設研究会協議		運営委員会設立 管理運営
Ginninderry Project パターン④(組織醸成型)	文化遺産特定の 調査	諮問組織設立 諮問・協議	文化遺産報告書の作成	管理運営組織設立 管理運営



図2: 組織体制図(右: WS開催体制, 左: 協議会組織体制)

内容を協議する協議会のメンバーでもある。

以上から、主な参加者属性は、開発対象区域住民や地元地縁組織が中心となっていることが示唆された。さらに、より詳細な住民の属性については、文化や歴史などの文脈からのコミュニティ単位を読み取り、協議の場を創出することの重要性についても示唆された。

3. 4 小括

前項までの内容を踏まえて、住民参加手法、住民参加の導入時期、参加者属性の3つの観点からまとめる。まず、住民意向調査、公聴会、案の縦覧の3つの参加手法では、ほとんどの事例で、計画決定までに行われており、意見聴取と協議・相談の場である第4段階に位置付けられた。

WS、協議会については、参加者の選定方法に2パターンがあり、同じ手法でも市民参加の度合いが分かれる。協議会については、事例4, 10, 12のような地縁組織を母体に据えるパターンと、事例3, 8, 9, 11のような住民公募型で設立されるパターンに分かれ、前者については、事業者側が選定するため、参加者が限定的となり第5段階に分類される。後者については、自由な参加が確保されるため、第6段階に位置付けられる。次に、WSについては、事例1, 3, 13のような地域毎に少数回で不特定多数参加の参加者を募るパターンと、事例4, 5, 8のような固定された少数人数で複数回のWSを行うパターンに分かれる。前者は、開発規模が大きく、開発区域に多様な属性の住民を抱えているため、このような形式となっているが、具体的な議論に発展しにくく、意見聴取や相談会の側面が強いため、第4段階に分類される。後者については、継続して実施されるWSを通して、議論が深まるため、第5段階に位置付けられるが、固定化されたメンバーにより、自由な参加が確保されにくい。ただし、事例4については、住民のまちづくり意識の醸成や事業者側との連携体制が構築され、事業完了後の管理運営段階まで活動が継続されており、その点で第6段階に分類される。

こうした分類の中で、Cultural Planningの事例14, 15, 18は第5~6段階に分類できる。Cultural mappingやCultural heritage surveyのような重要な計画プロセスを通して、その後の事業段階にも加わっていることから第6段階と分類できる。一方で、開発区域住民や地縁組織については、事業からの選定であるため、第5段階にも分類できる。

4. まとめ

本研究では、多様な目的を含めた国内外の参加型まち

づくり事例を既往の研究論文などから取り上げ、住民参加手法、住民参加の導入時期、参加者属性という観点から整理・比較を行い、また、Cultural Planningという事例の位置付けとその特徴を明らかにした。

本研究から得られた知見は、今後、ボトムアップ型が求められるまちづくり業界への一助となると考える。また、Cultural Planningの文化資源の保存や活用という観点で歴史まちづくりの転用に貢献されることが期待できる。

参考文献

- 1) Howard, E. (1902). *Garden cities of tomorrow* (2nd ed.). Swan Sonnenschein & Co., Ltd.
- 2) Perry, C. A. (1929). *The neighborhood unit: A scheme of arrangement for the family-life community*. In Regional Plan Association (Ed.), *Regional survey of New York and its environs, Volume VII: Neighborhood and community planning*, pp.21-140. New York, NY: Regional Plan Association.
- 3) Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.
- 4) Arnstein, S. R. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), pp.216-224
- 5) Mercer, C. (2010). *A global view: The cultural turn in urban planning*. In G. Baeker (Ed.), *Rediscovering the wealth of places: A municipal cultural planning handbook for Canadian communities*. Municipal World.
- 6) 福島秀哉 (2017). 岩手県上閉伊郡大槌町町方地区復興区画整理事業における近隣コミュニティ単位によるまちづくりワークショップ. 実践政策学 (Policy and Practice Studies), 3(2), pp.147-157
- 7) 園田千佳, 坂本慧介, 石川幹子 (2013). 復興まちづくりの計画策定プロセスにおける住民ワークショップの役割に関する研究-宮城県岩沼市における復興まちづくりを通して-.公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集, Vol.48 No3, pp.849-854
- 8) 横山芳春, 池田孝之, 川上貴弘 (2001). 参加型まちづくり手法におけるワークショップの効果と行政の対応について-那覇市都市マスタープラン策定を事例に-. 日本建築学会計画系論文集, No.543, pp.223-229
- 9) 小嶋勝衛, 尹柄九 (1983). 韓国における住民参加方式による住宅改良再開発事業について-奉天地区再開発事業を事例として-. 第18回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp1-6
- 10) 長野博一 (2016). 住民参加型まちづくりの異なる事例比較による合意形成プロセスの研究. 第53回土木計画学会研究発表会・講演集, 52-01, pp.2722-2729

	計画立案段階	全体計画策定段階	個別・詳細計画策定段階	管理・運営段階
8. Citizen control 住民直接管理				
7. Delegated power 代表者権限委任				
6. Partnership パートナーシップ	Cultural Planning 事例14 Cultural heritage survey 事例15, 18	協議会(住民公募型) 事例3, 8, 9, 11 WS(継続的な少数固定参加型) 事例4 Cultural Planning(協議会, 諮問組織) 事例15, 18		Cultural Planning (管理運営組織) 事例18 管理運営組織 事例4, 16
5. Placation 機業策・取り込み		協議会(地縁組織母体型) 事例4, 10, 12 WS(継続的な少数固定参加型) 事例5, 8		
4. Consultation 意見聴取・協議・相談	意向調査	公聴会, 案の縦覧		
3. Informing 情報提供	説明会 事例17			
2. Therapy 不満回避策		説明会		
1. Manipulation 世論操作			説明会	

図3 住民参加手法の分類(住民参加手法と導入時期)

* 香川大学大学院 創発科学研究科
** 香川大学 創造工学部 准教授 博士 (工学)
*** キャンベラ大学 芸術デザイン学部 准教授 博士 (工学)

* Graduate School of Science for Creative Emergence, Kagawa Univ.
** Associate Professor, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.
*** Associate Professor, Faculty of Arts & Design, Univ. of Canberra, Dr. Eng.

四国新幹線の導入による職住分布傾向の変化に関する研究

7. 都市計画
四国新幹線
エントロピー最大化モデル

9. 調査・評価と計画支援
空間相互作用モデル

a. 都市調査・都市解析
先験確率

非会員 ○松田 侑大*
正会員 鈴木 達也**

1. 研究の背景

2024年、四国新幹線は四国4県で整備ルートに関する方針が一致したことで、早期実現に向けた取組の活発化や四国地方における広域的な交通体系の再編が現実的な政策課題として浮上し、期待と議論の必要性が高まっている。四国新幹線に関する既往の調査や効果計測では、4県都間の所要時間が1時間以内となり、新大阪まで1.5時間で到達可能となるなど、大幅な短縮を謳っている¹⁾。また、競合する航空機が割引措置の拡充などで値下がりすることが予想され、四国新幹線は、「圧倒的な時間短縮」、「移動手段の広がり」、「航空運賃の値下がり」のトリプルメリットをもたらすとされている。さらに、人口200万人規模の一体的な都市圏が形成されると予想され²⁾、インバウンド客の誘致や交流人口の増加など観光戦略の推進、四国経済の活性化に繋がっていくなど、議論の多くは観光や旅行など非日常的な利用における時間短縮に焦点が当てられている。

一方で、近年新幹線利用は首都圏を中心に日常の通勤や通学の手段としても選ばれており、新幹線通勤補助制度を導入する企業も増加している。青島ら³⁾によると、新幹線通勤者は、単身赴任回避や実家へのUターンのような家族との同居を意図したものが大半であり、職種に偏りが無いことを明らかにしている。また、新幹線乗車中の行動として、「睡眠」「食事」「読書」など、新幹線がリラックスできる場であり、自宅や職場とは異なる日常におけるもう一つの空間としての役割を果たしているとの指摘もある^{4) 5)}。さらに、静岡県駿東郡長泉町や栃木県小山市などでは、新幹線通勤者に対する補助金制度を実施することで、市外からの転入者増加や、分譲マンションや宅地開発が行われるなど居住地としての価値が向上しており、新幹線導入による日常的な都市活動への影響を把握することは都市計画上重要な課題と言える。

2. 研究の目的

以上の背景から、新幹線の整備は観光や交流人口の増加だけでなく、居住地の選択や就業先の選択肢の広がりなど、日常的な都市活動にも大きな影響を与えることが示唆される。特に四国のような都市間距離が比較的長く、

既存の通勤圏が分断されている地域では、新幹線導入によって都市間の結びつきが大きく変化し、職住分布の再編が生じる可能性が高い。

本研究では、四国新幹線開通後の居住地・就業地の職住立地のポテンシャル変化を明らかにするため、職住分布を数理モデルで再現した空間相互作用モデルを活用し、新幹線導入前後の比較を行う。対象地は、特急停車駅を有する四国の市町と岡山市、倉敷市として、四国新幹線開通後に住宅地あるいは就業地としての需要が高まる都市の分布や傾向を明らかにするとともに、四国新幹線が都市活動に与える影響を多角的に評価する。

3. 方法

3-1. モデル概要

通勤や通学などの人の流れと交通網との関係は、地理学や都市工学を中心に空間相互作用モデル⁶⁾が用いられてきた。これは都市間の人の流れを、出発地の放出性、到着地の吸引力、両地区間の分離性(距離やコスト)の3変数から説明しようとするもので、栗田⁷⁾の生起確率最大化エントロピーモデルは、ウィルソンのエントロピー最大化手法⁸⁾に、佐佐木⁹⁾が導入した先験確率の考え方を組み合わせたものである。この枠組みでは、都市間流動を距離によらないトリップ強度(以下、先験確率と呼ぶ)に比例した確率分布として導き出すことができる。また、発生制約・集中制約を始めとする複数の制約条件を統一的に扱える点も特徴である。

本研究では、この栗田モデルの枠組みを応用し、先験確率が都市の居住者・就業者の集積規模、 A_i, B_j に比例するモデルを構築する。まず、先験確率 p_{ij} が2つの関数の積に比例するとし、

$$p_{ij} \propto f(A_i) \cdot f(B_j) \quad (1)$$

とする。ただし、先験確率 p_{ij} は確率分布として扱うため、

$$0 < p_{ij} < 1, \quad \sum_i \sum_j p_{ij} = 1 \quad (2)$$

を満たす。ここで $f(A_i)$ および $f(B_j)$ は、それぞれ居住地 i の居住者集積と就業地 j の就業者集積を魅力として表現する関数であり、それぞれ、

$$f(A_i) = \alpha A_i \times e^{-\delta A_i} \quad (3)$$

$$f(B_j) = \beta B_j \times e^{-\varepsilon B_j} \quad (4)$$

とする。α, δ, β, ε はパラメータである。これは、集積により都市化が進み、さらなる集積を生むという集積の経済と、過度な集積による過密や混雑などの正負両面を表現することを意図している。

次に、分離性については、一般化費用を用いる。一般化費用とは、時間・運賃・乗換回数など複数の移動抵抗を統合した指標であり、単純な距離よりも実際の移動への抵抗を反映しやすい。本研究における一般化費用 C_{ij} は、国土交通省の鉄道プロジェクト評価手法¹⁰⁾ に依拠しており、

$$C_{ij} = \frac{\ln(\exp(-0.1047 \cdot W_{ij} - 0.00206 \cdot F_{ij} - 0.5162 \cdot E_{ij}))}{-0.00206} \quad (\text{円}) \quad (5)$$

と定義する。 W_{ij} , F_{ij} , E_{ij} はそれぞれ都市 i から都市 j に行くまでにかかる通勤時間、運賃、乗換回数である。

また、集積量 A_i, B_j は、一般化費用に基づく空間的近接性を考慮しており、

$$A_i = \sum_{k \in N_i} O_k \quad (N_i = \{k | C_{ik} < s\}) \quad (6)$$

$$B_j = \sum_{k \in N_j} D_k \quad (N_j = \{k | C_{kj} < t\}) \quad (7)$$

と定義する。 O_k, D_k はそれぞれ都市 k における居住者数と就業者数である。 N_i や N_j は、都市 i, j からかかる一般化費用が一定未満の都市集合を表している。本研究では、対象地全体の一般化費用の分布に鑑みて、 $s = 2000, t = 5000$ とした。

以上より、本研究で用いる空間相互作用モデルの基本形は次のように表される：

$$T_{ij} = f(A_i) f(B_j) \exp(-\gamma C_{ij}) \quad (8)$$

3-2. 分析方法

パラメータの推定には R version 4.4.1 を用い、観測 OD データに対して発生制約・集中制約の2つの制約条件のもとで、対数尤度最大化によりモデルパラメータを推定し、推計精度およびパラメータの値を比較する。この際、初期値への依存を防ぐため、ランダムな初期値を設定し、収束解が安定して得られることを確認する。

その後、新幹線導入後の一般化費用による分離性へと変化させた際のトリップ強度を推定し、それらを居住地と就業地で集計することで、職住立地ポテンシャルを測定する。新幹線導入後の分離性に関して、所要時間は四国新幹線基礎調査報告書¹¹⁾に基づき、最短所要時間となる経路の乗換回数を採用した。運賃については、JR の料金体系を参考にした概算式を用いて算出した。このとき、

表1. 推計精度指標

制約条件	Theil's U	決定係数
発生制約	0.070	0.983
集中制約	0.067	0.984

現行の OD データを基に、就業集積を固定した集中制約と居住地集積を固定した発生制約の2つの制約条件のもとで OD 推定を行う。推定は、初めにランダムにトリップを割り当て、結果から魅力関数を更新し、再度計算を行い、前後の計算結果の最大の差分が極小値になるまで繰り返し計算し、安定した推計結果を得る。

4. 結果と考察

4-1. 現行 OD の推計精度とパラメータ推計

表1に(8)式による現行の OD を推計した際の精度を示す。Theil's U は1を基準として0に近いほど良い性質を持つ予測モデルの精度を評価する指標であり、決定係数は1に近いほどモデルの説明力が高いとする指標である。表1の結果から、どちらの制約条件においても高い推計精度であることが分かる。

各パラメータの分布については表2に示す通りで、分離度パラメータである γ は両制約において分布が極めて狭く頑健性が担保されている。また、居住や就業の集積量による吸引力のピークに影響を与える α, β もそこまですばつきは見られず、安定していると言える。居住や就業の集積量による吸引力のグラフ形を決定づけるパラメータ δ, ε に着目すると、両制約で真逆の働きをしており、分布が極めて狭く安定しているか、正負が変わるほど安定していないかの二極であることが分かる。これは、それぞれの先験確率が、発生制約時には、行方向の調整変数に、集中制約時には列方向の調整変数に吸収されてしまうためである。

図1の魅力関数 $f(A_i), f(B_j)$ の形状に着目すると、発生制約 $f(B_j)$ では、立ち上がり急でピークが鋭く、その後急速に減衰する。一方で、集中制約 $f(A_i)$ では、集中制約では緩やかに増加してやや幅の広いピークを形成し、減衰も緩やかである。この違いは、集積量の影響がどこで強く現れるかに関わっており、集積量が早い段階から強く効くのにに対し、集中制約では一定の集積を超えてから魅力が高まる構造となっている。こうした関数形状の差異が、後述する誤差の偏りや推計結果の地域差に影響を与えていると考えられる。

4-2. 実測値と推計値の誤差

図2および図3は実測値と推計値の散布図である。誤差が大きい箇所については、引き出し線で強調している。まず、図2の推計値 > 実測値の区間において、高松-坂出間、倉敷-坂出間は10000を越える誤差が出ている。これは、発生制約をしているために都市部の膨大な発生量が分離度に大きく依存してしまったことが原因だと考えられる。また、実測値 > 推計値の区間において、丸亀-高松

表2. 各パラメータの平均と標準偏差

制約条件	α	β	γ	δ	ε
発生制約	1.251 ± 0.868	1.561 ± 0.856	1.624 ± 0.000	-1.330 ± 2.451	0.281 ± 0.000
集中制約	1.681 ± 0.848	1.374 ± 0.759	1.629 ± 0.000	0.178 ± 0.000	-1.351 ± 2.328

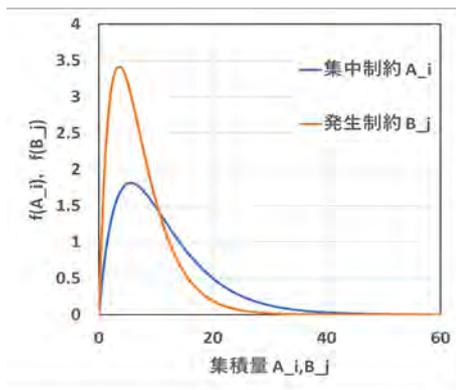


図1. 減衰型魅力関数の比較

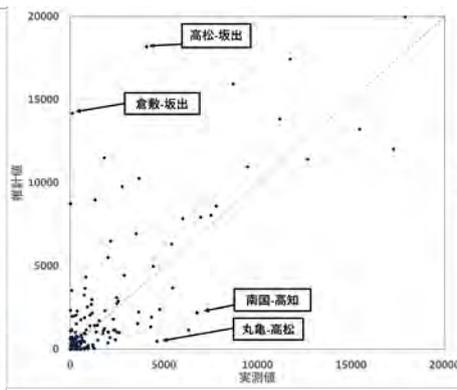


図2. 散布図 (発生制約)

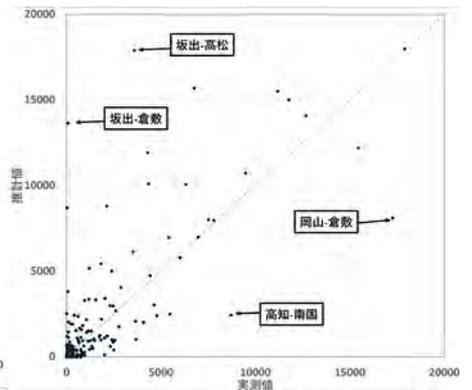


図3. 散布図 (集中制約)



図4. 新幹線導入後における集中量の変化率



図5. 新幹線導入後における発生量の変化率

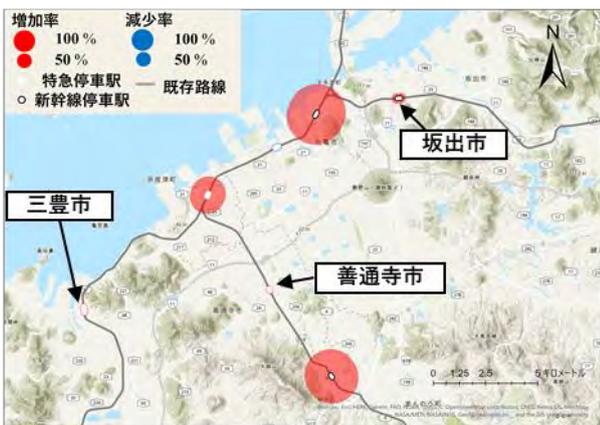


図6. 図4における黒枠線部分の拡大図

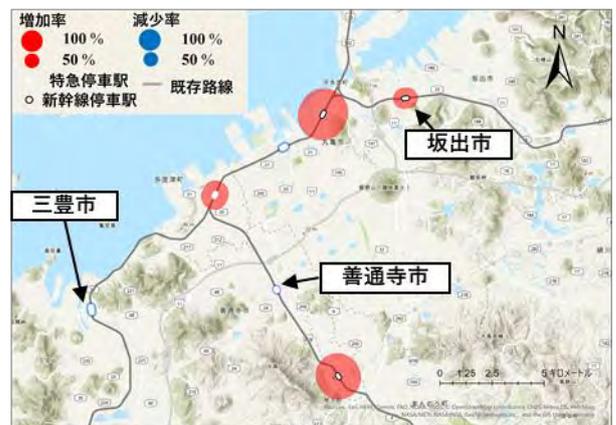


図7. 図5における黒枠線部分の拡大図

間、南国-高知間では4000を越える誤差が出ている。これは、先程と違い出発地と到着地の都市の規模が逆転しており、本来の都市部への流動量に対して十分な発生量が確保されなかったと考えられる。次に図3についてだが、引き出し線から図2とは真逆であると分かる。これは、前述した通り、発生制約と集中制約の間に対称性があると考えられるためであり、制約の特徴が誤差の分布に反映された結果である。

4-3. 新幹線導入後の推計結果

本研究では、発生制約と集中制約の2種類の制約条件を用いて推計を行った。発生制約は、居住地ごとの発生量を固定し、若年層を始め、新幹線導入後に新たに就業地を選択する層の行動変化を表現するものとした。一方

で、集中制約は、就業地ごとの集中量を現行のまま固定するため、就業構造が変わらない「近い将来」での居住地選択の柔軟性を表すものである。これら2つの制約条件を、新幹線導入後の職住分布への影響を多角的な視点で比較するための枠組みとして用いる。なお、新幹線導入後の推計において、自己流動 ($i = j$) については、流動量の増減がないと仮定し、推計からは除外する。ただし、都市部では自己流動量が多いため、除外後は本来の魅力が相対的に低く推定される点に留意が必要である。

就業地分布の変化について、図4に対象地全体を、図6に交通結節点である宇多津駅周辺を拡大した図を示した。これから、宇多津市を中心とした周辺地域で増加率が大きいことが確認できる。これは、宇多津駅が四国 4

県都と岡山市を結ぶ交通結節点として機能し、広域的な通勤圏の中心となり得ることを示唆している。図6からわかるように、宇多津駅に近接する丸亀市・多度津町・琴平町においても、大幅な増加が見られ、新幹線の停車駅を持たないものの、就業地としての魅力を大幅に高め、長期的には企業集積が進む可能性がある。これらの都市は、従来は高松都市圏の周辺部として位置づけられていたが、新幹線導入後は、広域的な都市圏の中で自立的に機能する都市へと移行し得る。一方で、従来の中心都市では一定の減少が見られ、四国全体の都市構造がより分散的な方向へ向かうことを示唆している。従来は県都が都市圏の中心として機能していたが、新幹線の整備によって、県都への一極集中が緩和され、中核都市が相互に補完し合う多核型の都市圏が形成されるかもしれない。

図5、図7には同様に居住地の集積量の変化を示した。全体の傾向としては、図4と比較して大きな変化は見られないが、図7に示すように、善通寺市や三豊市では増加から減少へと転じる様子が確認できる。一方、坂出市では僅かな増加が見られる。これは、集中制約によって現在の就業構造のまま、居住地の魅力が反映された結果であり、都市部からの分離度が大きく影響していると考えられる。また、全体的に変化率自体が小さいことから、就業構造が変わらず、新幹線導入による居住地選択の柔軟性のみでは、ドラスティックな変化は生じないことが示唆される。県都についても大きな差はないが、図4と同様に減少傾向が見られ、新幹線導入後には、これまでの圧倒的中心都市としての機能が相対的に弱まる可能性が十分にある。一方で、宇多津市周辺は図4と同様に高い流動量を維持している。これは、宇多津市が就業地だけでなく居住地としても、広域的な通勤・交流の中心として機能することを示唆している。宇多津・丸亀・多度津といった周辺都市は、交通便利性の高さを背景に、四国の都市構造における「核」として機能する可能性が高く、宇多津という結節点が強化されることで、四国全体が連携的に機能する日がくるかもしれない。

このような動きは、四国全体の都市構造が従来の県都中心型から、複数の都市が相互に補完し合う多核型の広域都市圏へと移行する可能性を示している。特に宇多津市周辺を中心とした地域では、前述した人口200万人規模の一体的な都市圏の形成に向けて、新幹線導入がその空間構造の再編を強く後押しする可能性がある。

5. 結論と今後の課題

本研究では、空間相互作用モデルを用いて四国新幹線導入後の職住分布の変化を推計し、都市構造の再編が生

じる可能性を示した。特に宇多津周辺で就業・居住の双方のポテンシャルが高まり、多核型都市構造への移行が確認された。これにより、四国全体の都市活動は従来の県都中心型から広域的な通勤圏を前提とした新たな構造へと変化することが示唆された。

今後の課題として、本研究では現状の都市構造を前提に推計を行ったため、実際には変化しうる居住動向や企業立地の動きまで十分に反映できていない点が挙げられる。実際、推計結果が分離度に大きく左右している部分が多くある。今後は、一般化費用に留まらない分離度の感度分析や複数シナリオの比較を通じて推計の安定性を高めるとともに、住宅開発や企業立地の変化を取り込んだより実態に近い前提条件の設定が求められる。

また、本研究では扱えていないが、周辺地域への波及効果や、歴史・文化といった地域固有の魅力が居住地選択に与える影響も、本来は都市構造の変化を左右し得る重要な要素である。これらをどのようにモデルへ組み込むかは、今後の検討において重要な課題となるだろう。

四国全体としても、新幹線導入により都市間の結びつきが強まる一方で、県都の役割の変化や中核都市間の競争が生じる可能性があり、広域的な都市連携の再構築が求められる。特に宇多津周辺のようにポテンシャルが高まる地域では、住宅供給や交通結節点整備など、需要増に対応した都市政策が今後の重要な検討課題となる。

参考文献

- 1) 四国新幹線整備促進期成会・四国アライアンス地域経済研究分科会、新幹線で四国を変えよう！～新幹線を活かした四国の地域づくりビジョン調査報告書～、<https://www.shikoku-shinkansen.jp/topics/Pressrelease201806.pdf>、2025年8月取得
- 2) 四国アライアンス地域経済研究会、新幹線が都市を変える～新幹線と四国のまちづくり調査～報告書、https://www.shikoku-shinkansen.jp/topics/20220601shinkansentomatidukuri_honpen.pdf、2025年8月取得
- 3) 青島縮次郎、磯部友彦、川崎徹、新幹線通勤者の類型化とその特質に関する実証的研究—上越新幹線高崎駅利用者事例に—、第26回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.253-258、1991年
- 4) 森亮介、定着をみせる新幹線通勤の利用動向、運輸と経済、80、6、pp.133-136、2020年6月
- 5) 古田歩、牛垣雄矢、三島駅周辺地域における遠距離地域の特性と地域が抱える課題、東京学芸大学紀要 人文社会科学系Ⅱ、73、pp.35-46、2022年
- 6) 石川義孝、空間的相互作用モデル—その系譜と体系—、地人書房、1988年
- 7) 栗田治、無制約型重力モデルのパラメタ推定に関する新しい方法、日本建築学会計画系論文集、第76巻、第661号、pp.653-662、2011年3月
- 8) Wilson, A.G., Entropy in Urban and Regional Modeling, Pion Limited, London, 1970年
- 9) 佐佐木綱、トリップのOD分布を求める確率論的方法、交通工学、26、pp.12-21、1967年
- 10) 国土交通省、鉄道事業評価、第4編計算例及び評価例、https://www.mlit.go.jp/tetudo/jigyo_hyoka/4.pdf、2025年8月取得
- 11) 四国の鉄道高速化検討準備会、四国における鉄道の抜本的高速化に関する基礎調査、<https://www.shikoku-shinkansen.jp/topics/Pressrelease201403.pdf>、2025年8月取得

* 香川大学 創造工学部 建築・都市環境コース

** 香川大学 創造工学部 准教授 博士 (工学)

* Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ.

** Associate Professor, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ., Dr. Eng.

リノベーションまちづくり地域の周辺における土地利用の変化に関する研究
-万代中央ふ頭整備が周辺に及ぼす変化の実態に着目して-

7. 都市計画 3. 地区とコミュニティ
リノベーション まちづくり 港湾地区
万代中央ふ頭

正会員 ○池下 昇也*1
正会員 小川 宏樹*2
正会員 金井 純子*3

1. はじめに

近年、人口減少や産業構造の変化に伴い、都市内の遊休不動産を活用して地域の価値向上を図る「リノベーションまちづくり」が全国的な注目を集めている。

本研究の対象地である徳島市万代中央ふ頭は、かつて県内における水運物流の拠点として栄えた地域である。しかし、物流形態の変化や船舶の大型化に伴ってその物流機能は縮小し、貨物取扱量が0となり、水辺に残された倉庫群の多くが本来の機能を失い遊休化するに至った。こうした状況を受け、2012年には「万代中央ふ頭にぎわいづくり構想」が策定された。本構想は、遊休化した東西500メートルにわたる大規模な倉庫街に民間活力を導入し、倉庫以外の用途へ転用することで、地域活性化や観光振興を図ることを目的としている¹⁾。現在、万代中央ふ頭においては、本構想に基づき、かつての港湾倉庫群を商業・業務施設へと転用する意図的なエリア再生が進められ、水辺空間を活用した新たな賑わい拠点が形成されている。

このように、万代中央ふ頭では意図的な再生による拠点整備が進展しているが、こうした拠点整備が、隣接する既成市街地に対して、どのような空間的な波及効果をもたらしているかについては、明らかになっていない。そこで本研究では、万代中央ふ頭の整備が、周辺地域に及ぼす空間的な波及効果の実態を明らかにすることを目的とする。

2. 研究対象と方法

2.1 分析対象地域と期間

本研究の対象地域は、万代中央ふ頭およびその周辺部(万代町4丁目、万代町5丁目、万代町6丁目、一部昭和町4丁目)とする。分析対象期間は、構想策定前から現在までの概ね5年おきの2011年、2016年、2021年、2025年の4時点のデータとする。

2.2 分析方法

本研究の分析にあたり、2011年、2016年、2021年、2025年のゼンリン住宅地図を用い、対象地域内に存在する全建物の用途情報をGIS上に入力し、空間データベースを構築した。建物用途の入力にあたっては、8の大分類および17の小分類(表-1)からなる独自の分類ルール

を策定し、土地利用変化を記録した。そして、データベースを用いて、各時点における土地利用の構成および、土地利用変化を分析した(表-2)。

3. 調査結果と考察

以下、万代中央ふ頭(倉庫群エリア)を「中心部」、それ以外の周辺既成市街地を「周辺部」とする。分析対象期間における変化発生地点数は、中心部37地点、周辺部338地点の計375地点となった。

表-1 8の大分類と17の小分類項目

大分類	小分類	具体例
商業系	飲食店	レストラン、カフェ、居酒屋
	物販店	コンビニ、スーパー、ドラッグストア
	サービス店	美容室、クリーニング、学習塾、ジム
業務系	事務所	企業オフィス、設計事務所
工業系	工場	町工場、作業所
倉庫系	倉庫	倉庫
居住系	戸建住宅	一般的な一戸建て住宅
	共同住宅	アパート、マンション
空き家・空き店舗	空き店舗	テナント名がなく、明らかに営業していない店舗物件
	空き家	居住実態のない住宅
非建築利用	駐車場	コインパーキング、月極駐車場
	更地	建物がなく利用されていない土地
その他施設	宿泊施設	ホテル、旅館、ゲストハウス
	医療福祉	病院、クリニック、介護施設
	文化施設	スタジオ、劇場
	公共施設	公民館、郵便局、学校、警察署
	その他	上記に分類できないもの(神社仏閣、宗教施設など)

表-2 土地利用変化の分類

分類項目	具体的な内容
リノベーション出店	倉庫系→(商業系、業務系、その他施設)
新規出店	(空き家・空き店舗、非建築利用)→(商業系、業務系、その他施設)
新規出店(新設)	合筆・分筆により新たに生じた土地 → (商業系、業務系、その他施設)
新規住宅	居住系以外→居住系
新規住宅(新設)	合筆・分筆により新たに生じた土地 → 居住系
新設(その他)	合筆・分筆により新たに生じた土地 → (上記以外の用途:工業系、倉庫系など)
用途転換(その他)	上記に当てはまらない用途変更(居住系→商業系、工業系→倉庫系など)
廃業・空室化	(空き家・空き店舗、非建築利用)以外 → (空き家・空き店舗)
解体・更地化	非建築利用以外 → 非建築利用

A study on land use changes in areas surrounding renovation-based community development
-Focusing on the actual impacts of the Bandai central pier development on the surrounding area-

IKESHITA Shoya, OGAWA Hiroki, and KANAI Junko

3.1 対象地域の土地利用変化の実態

中心部の土地利用変化の集計結果(図-1)から中心部では、全ての期間を通じて「リノベーション出店」が合計16件確認された。特に2016年以降に出店件数が増え、倉庫の商業・業務施設への転用が進んでいることが分かる。これは「万代中央ふ頭にぎわいづくり構想」の目的である遊休資産である港湾倉庫群の活用が着実に実行され、賑わい拠点が形成されていることが読み取れる。

周辺部の土地利用変化の集計結果(図-2)においては、既成市街地であるという特性上、中心部のような大きな土地利用変化は生じにくい傾向にあるものの、14年間の長期的視点で見ると特徴的な推移が確認された。2011-2016年比では、「新規住宅」が20件と最も多く、特に分筆(13件)を伴う宅地化が多かった。しかし、直近の2021-2025年比では、「新規出店」が16件へと増加する一方で、「新規住宅」は10件へと半減している。このことから、中心部での拠点形成が進むにつれて、周辺部においても「新規出店」の発生傾向が高まる一方で、「新規住宅」の供給件数は減少傾向にあることが分かる。すなわち、件数データのみに着目すれば、居住機能の更新ペースは2011年から2016年をピークに伸びにくくなっている傾向が読み取れる。

3.2 周辺部における新規共同住宅供給量の推移

3.1の「件数ベース」の分析では、周辺部における住宅更新は減少傾向にあると述べた。しかし、これは1棟の共同住宅を戸建て住宅と同じ「1件」として扱っていたことによる結果であった。そこで、居住機能の供給量を把握するために、共同住宅を「戸数」に換算し、新規住宅供給量の推移を再集計した。

その結果、戸数ベースでみた場合、周辺部における新規住宅供給量は2011-2016年比で73戸、2016-2021年比で61戸、2021-2025年比で61戸と、全ての期間を通じて高い水準で推移していることが明らかとなった(図-3)。

4. まとめ

本研究では、万代中央ふ頭周辺地域における14年間の土地利用変化を分析した。その結果、中心部における倉庫リノベーションの進展に伴い、周辺部において「新規出店」が増加傾向にあることが分かった。また、周辺部の居住機能については、戸数ベースでは共同住宅の建設により、安定して高い水準が維持されていることが分かった。以上のことから、対象地域は構想策定以降、商業的な賑わいと高密度な居住機能が共存する空間へと変化していることが明らかとなった。

今後の課題として、本研究では構想策定後の14年間を対象としたが、中心部の波及効果をより厳密に評価する

ために、構想策定前(2011年以前)の14年間との比較分析を行う必要があると考える。また、社会的変化の把握を行うために、地域イメージの変遷に着目する。具体的には、過去の新聞記事等のビッグデータを用い、周辺部に対する社会的評価がどのように変化したかを明らかにしたいと考える。

参考文献

1) 徳島県. “「万代中央ふ頭にぎわいづくり構想」の改訂について”. 徳島県ホームページ. 2024.

<https://www.pref.tokushima.lg.jp/jiyoshanokata/kendozukuri/kowan/7242005/>,(参照 2026.1.10)

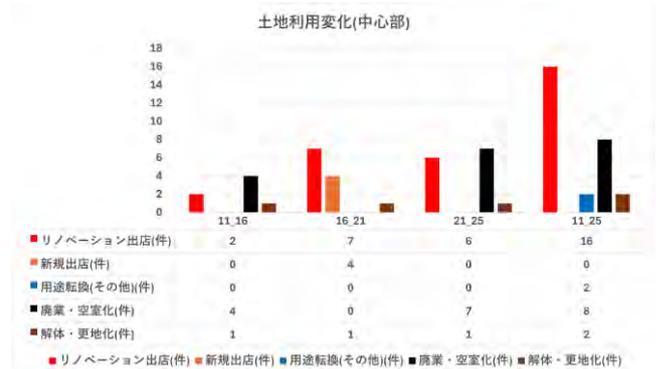


図-1 中心部の土地利用変化の集計結果

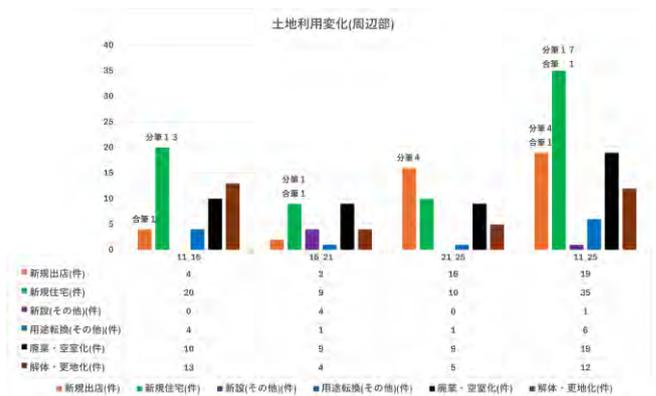


図-2 周辺部の土地利用変化の集計結果

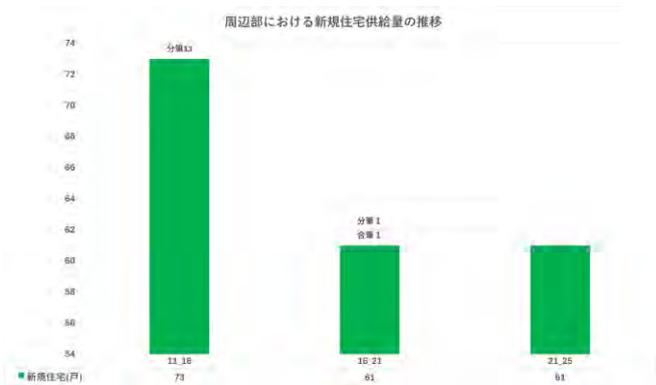


図-3 周辺部における新規住宅供給量の推移

*1 徳島大学大学院 大学院生

*2 徳島大学大学院 教授・工博

*3 徳島大学大学院 准教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Tokushima Univ.
Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng.
Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng.

地方自治体における空き家コーディネーター制度を用いた流通支援に関する研究

7.都市計画
空き家

6.制度と行政
低廉な空き家

宅地建物取引士

正会員 ○池田風雅*1
正会員 小川宏樹*2
正会員 金井純子*3

1. 研究の背景

我が国において、空き家数は増加の一途を辿っており、2023年には全国の空き家数は約900万戸、空き家率は13.8%に達した。¹⁾今後も増加が予想される中、空き家を流通させ、空き家取引を円滑化させる必要がある。

低廉な空き家は、不動産業者にとって収益性が低く、トラブルリスクも高いため、一般的に扱われにくいとされている。地方自治体では、これまで空き家バンクや相談窓口等の制度を通じて情報提供や支援を行ってきたが、これらは単なる情報掲示に留まり、空き家所有者と利用希望者を能動的に結びつける機能を果たせていないこと、締結に至るまでの包括的な支援の提供が難しいことなどの課題がある。また、自治体職員の人員・専門性の不足により、個別案件に対する継続的支援が途切れやすい。

2. 空き家コーディネーターとは

地方自治体における空き家施策の中で、従来の窓口相談や情報提供に留まらない人的な支援形態が近年、注目されている。宅地建物取引士(以下、宅建士)に準ずる知識や実務経験を有し、空き家の売買・賃貸に伴う法的・契約上の紛争やトラブルを未然に防止しながら、円滑な流通をサポートする役割を担う人材の存在が挙げられる。本研究では、このような人材を「空き家コーディネーター」と定義する。

空き家コーディネーターは、空き家所有者と利用希望者の双方に対して、中立的な立場から関与し、物件の現状整理、権利関係や課題の把握、両者間の調整などを行う点に特徴がある。(図1)空き家の流通を促進するためには、専門家である空き家コーディネーターが介入することが必要となる。

3. 研究の目的

地方自治体が実施する空き家コーディネーター制度に着目し、制度構造と課題を明らかにする。そして、空き家の円滑な流通のために必要な支援機能や制度的条件について検討し、今後の自治体による空き家流通支援の高度化に資する基礎的知見を得ることを目的とする。

4. 研究の方法

全国47都道府県、政令指定都市、県庁所在地(計99自治体)を対象に、空き家コーディネーター制度を調査する。

まず、インターネット調査を実施し、各自治体の公式ホームページに掲載されている空き家関連ページを確認し、空き家コーディネーター制度の有無、制度の枠組み、空き家コーディネーターの属性、支援範囲等に関する情報を収集・整理する。次に、公開情報のみでは把握が困難な項目や具体的な支援内容については、担当窓口へのメール調査を通じて補足的な情報収集を行う。

5. 空き家コーディネーター制度

都道府県、政令指定都市・県庁所在地のうち、16自治体で空き家コーディネーター制度を確認できた。(表1,2)

・空き家相談員制度(熊本市)²⁾

空き家所有者と利用希望者に対して、空き家の悩みを手軽に相談できる仕組みを作り、空き家の流通を促進する制度である。

「空き家相談員」(空き家コーディネーターに相当、以下同様)が事務局として初期相談を受け、売買、賃貸、相続、解体、管理などの空き家問題について、不動産取引の専門家として支援を行う。相談員は、宅建士の資格を有し、5年以上の不動産業務の実務経験があり、市の登録研修を受講した者である。

本制度の特徴として、初期相談対応の段階から空き家相談員が関与していく形態を採用している点が挙げられる。

・京都安心すまいバンク(京都市)³⁾

京都市版空き家バンクを利用して、市で登録される不動産等の専門家と市が連携し、空き家所有者と利用希望者のマッチングを支援する制度である。

市で窓口処理した相談者情報・物件情報を、「地域の空き家相談員」が受理し、不動産取引に関する支援を行う。地域の空き家相談員は、実務経験5年以上の宅建士で構成される。

本制度の特徴として、初期相談対応を市が担い、その後の実務支援を地域の空き家相談員が行うという役割分担が明確である点が挙げられる。

・空き家を活かす地域共生マッチング事業の空き家活用サポーター登録制度(北九州市)⁴⁾

空き家の多様な活用を促進することを目的として、市が空き家所有者と地域と共生する事業の実施を志向する

Research on circulation support using the vacant house coordinator system in local governments

IKEDA Fuga, OGAWA Hiroki, KANAI Junko

利用希望者を引き合わせ、「空き家サポーター」が利活用の相談から不動産契約に係る各種支援を行う事業である。

特徴的な点は、居住を目的とした住宅のみの利用ではなく、カフェやコワーキングスペース、シェア住宅などの地域と共生する利活用を対象とした事業であることである。

空き家サポーターが予め無償で対応する相談内容と有償で提供する事業サービスを公式ホームページで公開している。無償・有償業務の明示により、制度の透明性が向上し、空き家所有者及び利用希望者は費用発生への不安を抱くことなく初期相談を行うことが可能となる。これにより、相談のハードルが低下し、潜在的な空き家や利用ニーズの顕在化が促進されると考える。

6. まとめ

空き家コーディネーター制度を導入している自治体は相対的に少数に留まり、導入形態や運用実態は自治体ごとに異なることを確認した。

空き家コーディネーターは、主に空き家所有者からの相談を受けるため、多くが宅建士の資格を有する人材である一方で、利用希望者からの相談を受ける制度では、宅建士の他に不動産売買や賃貸業、起業支援等の経験を有する者も含まれることが分かった。

事務局を空き家コーディネーターが担う場合と、自治体職員などの第三者が担う場合があることが分かった。前者は、迅速な対応が可能となる一方で、中立性や利益相反の可能性が生じるため、適切なガイドラインや報酬表示の整備が必要であると考え。後者は、支援の中立性・公平性が確保されやすい一方で、情報共有不足のリスクがあると考え。

空き家コーディネーター制度の多くは、空き家を住宅として再び利用するものが多いが、地域貢献を目指す利活用を目的とする事例もあった。

また、空き家コーディネーターが実務上どの範囲まで業務を担保するのかを明確に把握する必要がある。一体的な業務を包含できる場合は制度的利点が大い一方、空き家コーディネーターの専門性・能力の差や事業体制の脆弱性が運用に影響を及ぼす可能性もあると言える。

今後の研究の展開としては、各自治体における空き家コーディネーターの具体的な業務範囲(特に、重要事項説明と不動産コンサルティング業務⁵⁾の包含範囲)を明確に比較・整理したい。また、空き家コーディネーターの収益化スキーム及び持続可能性を検討したい。

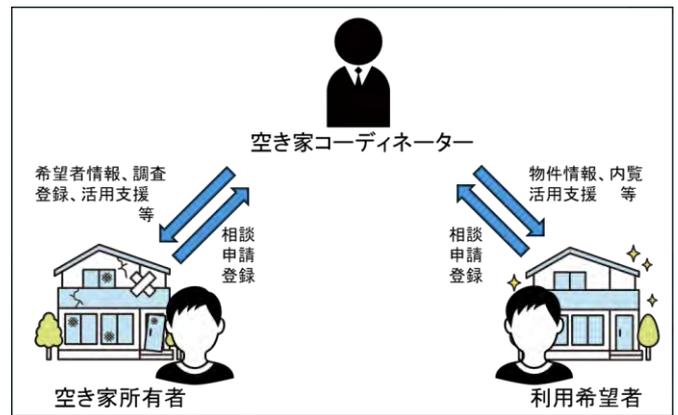


図1 空き家コーディネーター制度の仕組み

表1 空き家コーディネーター制度の事例(都道府県)

都道府県	空き家コーディネーター制度
岩手県	空き家相談窓口
東京都	起業家による空き家活用事業
福井県	福井県空き家流通アドバイザー派遣制度
兵庫県	空家活用特区制度
和歌山県	和歌山住まいポータルサイトの住宅協力員
徳島県	空き家コーディネーターの登録制度
香川県	空き家利活用サポートチーム登録制度
高知県	空き家活用専門家グループ登録制度

表2 空き家コーディネーター制度の事例
(政令指定都市・県庁所在地)

政令指定都市 県庁所在地	空き家コーディネーター制度
宇都宮市	協力事業者紹介制度
千葉市	千葉市空家等情報提供制度
福井市	福井県空き家流通アドバイザー派遣制度
京都市	京都安心すまいバンク
鳥取市	鳥取市まちなか遊休不動産活用マッチング制度
北九州市	空き家を活かす地域共生マッチング事業の空き家活用サポーター登録制度
佐賀市	佐賀市空き家等情報登録制度
熊本市	空き家相談員制度

参考文献

- 総務省統計局「令和5年住宅・土地統計調査結果」
https://www.stat.go.jp/data/iyutaku/2023/pdf/g_kekka.pdf (閲覧 2026.01.08)
- 熊本市「空き家相談員制度」
<https://www.city.kumamoto.jp/kiji00361839/index.html> (閲覧 2025.07.28)
- 京都市空き家対策室『京都市版空き家バンク「京都安心すまいバンク」』
<https://akiya.city.kyoto.lg.jp/ansuma-bank/> (閲覧 2025.07.28)
- 北九州市「空き家を活かす地域共生マッチング事業」
<https://www.city.kitakyushu.lg.jp/contents/28100018.html> (閲覧 2025.07.28)
- 国土交通省「不動産取引に係る新たなサービス形態について」
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001885858.pdf> (閲覧 2026.01.05)

*1 徳島大学大学院 大学院生
*2 徳島大学大学院 教授・工博
*3 徳島大学大学院 准教授・工博

*1Graduate Student, Graduate School of Tokushima Univ.
*2Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng.
*3Assoc. Prof., Graduate School of Tokushima Univ., Dr. Eng.

広域的な集落分類手法の検討 —高知県四万十市の流域景観を対象として—

6 農村計画 景観
7 景観・環境・生態 流域景観 景観分類

準会員 ○高橋芽生*
正会員 北山めぐみ**

1. 研究背景と目的

平成31年4月の文化財保護法の改正¹⁾により、文化財を地域資源として積極的に活用しながら保存する方針が打ち出された。この改正では、未指定の文化財を含めたより幅広いものを文化財と捉え、市町村が主体となり地域の歴史や生活文化と結びつけ、教育、福祉、まちづくりなど多様な分野で活用することが求められている。こうした観点から、より多くの地域において身近な風景の特徴に気づき、地域資源として共有することがその第一歩となると考える。

そこで本研究では、広域的なエリアを対象に、定量的な数値データを用いて、集落景観の特徴を導くための分類手法の1モデルを検討することを目的とする。これにより、集落ごとにみられる風景の特徴を記述し、地域資源の再評価と活用²⁾に寄与することを目指す。

2. 研究方法

本研究では、重要文化的景観に選定され、現在市史編纂が進められている高知県四万十市を対象に、集落景観を分類するための指標を検討し類型化を行う。あわせて、関連指標との比較検討ならびに現地調査を行い、類型の妥当性を検討する。調査対象は、国土地理院地図より採取した四万十市内の331集落^{注1)}を対象とする。

3. 分類指標の検討

集落景観の特徴を表す指標の設定について、現地踏査、国土地理院地図、Google mapを用いて集落景観の構成要素を検討した。下記に検討の過程を記述する。

まず、四万十市内の特徴的な集落の現地踏査を行い、その結果から集落景観の構成要素として「①宅地の配置、②宅地に対する農地の位置、③宅地の高さ、④川との関係、⑤河川の蛇行状況」の5項目を分類指標として設定した。しかしこれらの指標は、一つの集落内で複数の性格を持つ場合があり、その判断を主観的に行うため客観性に乏しいこと、また、地理院地図を用いたデータ採取の作業に膨大な作業時間がかかってしまうことが課題となった。

そこで、農林業センサスや国勢調査などの各種統計データを用いて集落景観の特性を記述できないかと考えた。立地や地形により中心となる生業や集落の規模が異なるのではないかと仮説を立て「①世帯数、②耕地面積、③

保有山林面積」の3項目の統計データを用いるとともに、農地の位置や宅地の高さ、川との関係が河川からの勾配によって表記できると考え、「④勾配」を含めた4項目を分類指標として設定した。下記に4つの指標の概要を示す。

①世帯数 世帯数から町場や農村といった集落の性格や規模を表記できると仮定し、農林業センサスより取得した世帯数²⁾を用いて「0~50世帯・50~100世帯・100~150世帯」6段階に分類した。

②耕地面積 集落の立地や川の蛇行の状況により、耕地面積の大小に差が生まれることから、集落景観への影響を与えると仮定し、農林業センサスより取得した耕地面積³⁾を用いて「0~20ha・20~40ha・40~60ha・60~80ha・80~87ha」の5段階に分類した。

③保有山林面積 四万十川流域では林業が主要な生業の一つであったことから、保有山林面積の大小により林業との関連性が見えると仮定し、農林業センサスより取得した保有山林面積⁴⁾を用いて「0~100ha・100~200ha・200~300ha・300~400ha・400~5314ha」5項目に分類した。

④勾配 QGISの標高断面図を用いて、河岸から宅地のあるエリアの中心までの2点間の勾配を取得し「なし・-10%~0%・0%~10%・10%~20%・20%~30%・30%~40%・40%~87%」の、7段階に分類した。

なお、①~③の統計データは小地域単位^{注2)}でしか把握できないため、小地域単位で分類を行った上で各集落に適用した。表1に分類ごとの集落数を記載する。

表1 4つの分類指標と分類ごとの集落数

分類指標	数値別の集落数
世帯数	0~50世帯: 191, 50~100世帯: 68, 100~150世帯: 36, 150~200世帯: 3, 200~250世帯: 3, 250~2959世帯: 3
耕地面積	200~250世帯: 3, 250~2959世帯: 3110~20ha: 201, 20~40ha: 86, 40~60ha: 25, 60~80ha: 13, 80~87ha: 6
保有山林面積	0~100ha: 232, 100~200ha: 58, 200~300ha: 16, 300~400ha: 15, 400~5314ha: 10
勾配	なし: 8, -10%~0%: 36, 0%~10%: 167, 10%~20%: 70, 20%~30%: 26, 30%~40%: 14, 40%~87%: 1030%~40%: 14, 40%~87%: 10

4. クラスタ分析による集落景観の分類

表1に示した332集落に対して4アイテム・23カテゴリーを設定し、ユークリッド平方距離・ウォード法によるクラスタ分析⁶⁾を行った^{注3)}。その結果、図1に示す「い〜ち」の8つのクラスターを取得した。

図2は分類指標ごとにクラスタ分析結果を示す相対度数分布表であり、各アイテム20%以上を集落の特性として評価した。図3はクラスタ分析の結果をQGISに表示したものであり、タイプごとの分布を示す。クラスターごとの内訳を分析し、表2のようにタイプ分けを行った。クラスターの傾向として、耕地面積が小規模な集落、混在する集落、大きい集落が見られた。また、耕地面積が小さい集落の中でも、保有山林面積が小規模な集落から大規模な集落までが見られた。また、勾配が緩い場所ほど世帯数が多く耕地面積が大きい傾向にあり、勾配が急な場所ほど保有山林面積が大きい傾向が見られた。それらの傾向を読み解くと以下のように説明できる。

い「中規模林業中心集落」(52 サンプル) 西土佐と後川上流に分布する中規模の山林面積を持つ集落。
ろ「大規模林業中心地域」(25 サンプル) 黒尊川、広見川、目黒川流域に分布する大規模の山林面積を持つ集落。
は「急斜面小規模農村地域」(24 サンプル) 細い支流に分布する急斜面のため耕地面積、集落規模が小さい集落。



図2 分類指標別相対度数分布

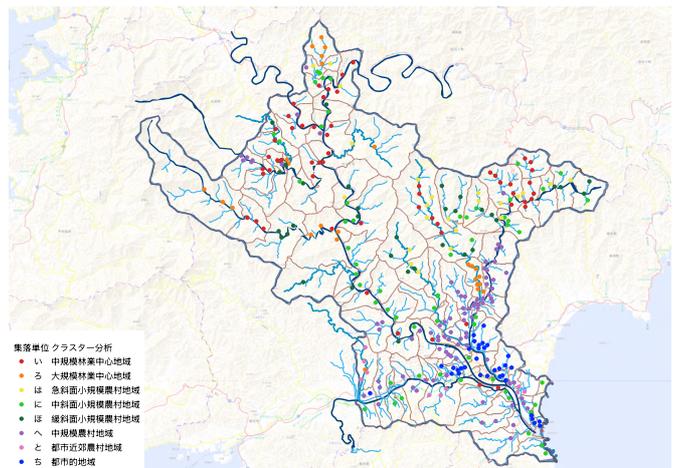


図3 タイプごとの集落分布

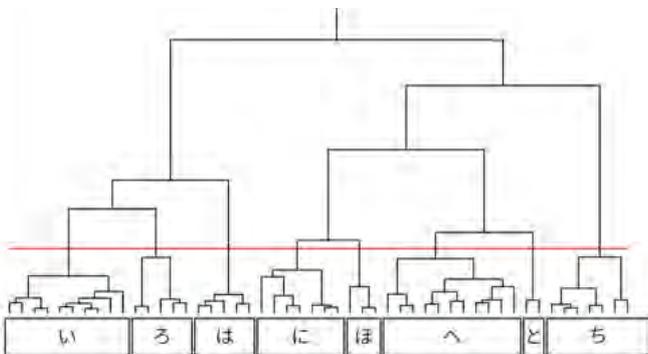


図1 樹形図

表2 小集落ごとのタイプ別一覧

タイプ名	い 中規模林業中心集落 ■	ろ 大規模林業中心集落 ■	は 急斜面小規模農村集落 ■	に 中斜面小規模農村集落 ■
サンプル数	52サンプル	25サンプル	24サンプル	33サンプル
勾配	緩~中斜面	中斜面	急斜面	中斜面
耕地面積	狭小耕地	中小耕地	狭小耕地	狭小耕地
世帯数	小規模集落	中小規模集落	小規模集落	小規模集落
山林保有	中規模山林保有	大規模山林保有	中小規模山林保有	小規模山林保有
タイプ名	ほ 緩斜面小規模農村集落 ■	へ 中規模農村集落 ■	と 都市近郊農村集落 ■	ち 都市的集落 ■
サンプル数	61サンプル	92サンプル	11サンプル	33サンプル
勾配	緩斜面を中心とする	緩斜面	平地-緩斜面	平地-緩斜面
耕地面積	狭小耕地	中小耕地	大規模耕地	中小耕地
世帯数	小規模集落	中小規模集落	中規模集落	都市的地域
山林保有	小規模山林保有	小規模山林保有	小規模山林保有	小規模山林保有

に「中斜面小地域農村地域」(61 サンプル) 四万十川下流から上流にかけて分布する中斜面で小規模な集落。

ほ「緩斜面小規模農村地域」(33 サンプル) 四万十川中流域から上流域に分布する緩斜面で小規模な集落。

へ「中規模農村地域」(92 サンプル) 四万十川下流域から中流域に分布する中規模な耕地面積を持つ集落。

と「都市近郊農村地域」(11 サンプル) 町場近郊で農業を営んでいると考えられる大規模な耕地面積を持つ集落。

ち「都市的地域」(33 サンプル) 沖積低地に分布し、世帯数が多く町場としての機能を持つ集落

5. 小地域との比較による分類結果の検証

蛇行や地形に応じて現れる多様な集落景観を表記することを目指したが、客観的な指標を用いることや、入手可能なデータの制限から、集落単位ではなく、小地域単位の指標を多く用いることとなった。そのため、今回の指標が、集落単位での特性を表現できているかどうかを検討するため、小地域単位で同様のクラスター分析を行

い、集落単位の分類結果との比較をおこなう。

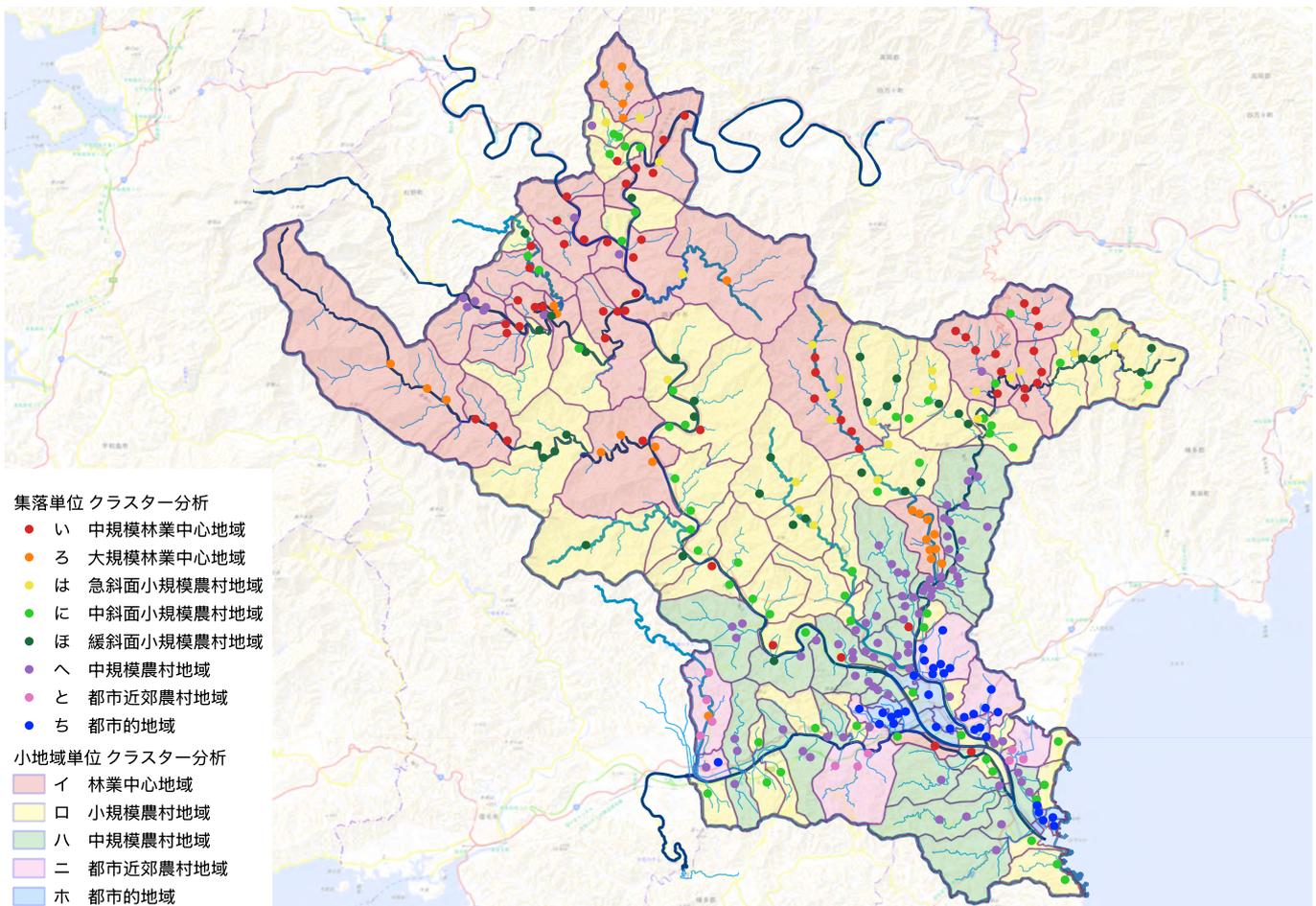
小地域単位では、小地域数 115 について、集落単位で取得している勾配を除き、E-stat より取得した耕地面積、世帯数、保有山林面積の 3 アイテム・16 カテゴリーの定量データを対象に同様にクラスター分析⁶⁾を行い、6 つのクラスターを取得した。

集落単位で行ったクラスター分析の結果と比較すると、1 つの小地域の中で異なる集落タイプが混在するケースは異なる勾配の集落形態が 1 地域内に混在し、集落景観のバリエーションを一定表現できていると考えられる。1 つの小地域の中で同一の集落タイプが見られるケースは、勾配が類似していることから一定の共有要素で構成されていると考えられる。初期の分類指標で、後川流域に位置し、ひとつの小地域内に同一の集落タイプ(集落単位クラスター1)のみが分布する田ノ川甲を対象として、見てみると集落内において、宅地配置、宅地に対する農地の位置関係、および家の高さといった集落内部の空間

表 3 タイプ別小地域の概要

タイプ名	イ 林業中心地域	ロ 小規模農村地域	ハ 中規模農村地域	ニ 都市近郊農村地域	ホ 都市的地域
サンプル数	25サンプル	58サンプル	26サンプル	8サンプル	10サンプル
勾配	緩斜面	急斜面	急斜面	中斜面	平地-緩斜面
耕地面積	中小耕地	狭小耕地	狭小耕地	狭小耕地	中小耕地
世帯数	中小規模集落	小規模集落	小規模集落	小規模集落	都市的地域
山林保有	大規模山林保有	中小規模山林保有	中小規模山林保有	小規模山林保有	小規模山林保有

図 5 タイプ別小地域とタイプ別集落の重ね合わせ



的差異を十分に表現できていないことが明らかとなった。

6. 現地調査による分類結果の検証

クラスター分析によるタイプ別分類結果と実際の集落景観との対応関係を検証するため、「と：都市近郊地域農村地域」に属する森沢地区と、「ろ：中傾斜林業中心地域」に属する藤ノ川地区の2地区を対象に、聞き取り調査および建築調査を実施した。

森沢（世帯数：99・耕地面積 83 km²・山林保有面積：77 km² 勾配：0.789%）四万十市の南部を東西に流れる中筋川流域に位置する集落であり、中筋川沿いに広い農地が広がる（図6）。堤防や川の付け替えが行われるまで度々洪水が発生したことからも奥まった谷筋に集落が所在する。中世より四万十川の合流地点に近くかつて船着場があったとされ、また三原村からの街道が通るなど、交易拠点的性格を有する。集落内には土蔵造による米蔵を備えた宅地が道に沿って並び、街村的様相を見せる。

藤ノ川（世帯数：58・耕地面積 26 km²・山林保有面積：405 km²・勾配：10.5%）四万十市北部の藤ノ川川を擁する山間集落である。農地に限られる代わりに保有山林が多い。森沢に比べると大きな水害はないが、平地に限られるため、宅地は山裾に沿って配置される（図7）。林業が栄えた昭和30年代に主屋を建て替えた家が多く、米は納屋の一部の内蔵に保管され、山間地域の特性がうかがえる。以上のように、2集落のみの調査ではあるが、指標に応じた都市的性格を持った農村地域と、林業を主体とする地域の異なる集落景観が確認できた。



図6 森沢地区標準地図



図7 藤ノ川地区標準地図

7. まとめ

広域的なエリアにおける多様な集落景観を記述することを目指して分類指標の検討を行った。数多くの集落を定量的に分類できるよう、世帯数・耕地面積・保有山林面積・勾配の4つの指標を用いた結果、上流域・中流域・下流域といったエリアによる傾向を小地域単位で示すことができたことは一つの成果と言える。一方で、近接する集落同士の機微な集落景観の違いを読み取るには至らなかった。今後は、当初、検討指標として設定したような集落景観の構成要素を定量的に取得し、指標として用いる手法を検討してみたい。

注釈

注1) 国土地理院地図において小字名が記載されている集落を抽出し、その中から最も典型的と判断される位置に QGIS 上で代表点として設定した。

注2) 分析対象となる集落は、農業センサス集落境界データ（文献7）を QGIS に表示し小地域単位として分類した。

注3) クラスター分析前に相関分析を行い、アイテム同士の相関が高い項目を確認したが、相関係数は 0.3 以下(文献5, p.73~75)で相関は見られなかった。

参考文献

- 1)文化財保護法に基づく 文化財保存活用大綱・文化財保存活用地域計画 作成等に関する指針 平成31年3月4日・文化庁
- 2).E-stat 国勢調査2020 男女別人口及び世帯数 <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?tclass=000001147887&cycle=0>
- 3).E-stat 農業センサス2020 耕地面積 https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2020/sa/sa_2020/todoufukun_2020.html
- 4).E-stat 農業センサス2020 林家数と保有山林面積 https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2020/sa/ringyo_2020.html
- 5)本当にわかりやすいすごく大切なことが書いてあるごく初歩の統計の本 1998 吉田寿夫 北大路書房
- 6)Mac 多変量解析 ver.3 株式会社エスミ
- 7).E-stat 農業センサス 農業集落境界データ https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2020/ma/

謝辞

本研究の調査および研究の遂行にあたり、多大なるご協力を賜りました四万十市役所生涯学習課市史編さん室の皆様、ならびに高知工業高等専門学校北山研究室の学生の皆様に、心より感謝申し上げます。

特に、四万十市役所生涯学習課市史編さん室の川村慎也様には、現地調査から結果の分析に至るまで終始ご指導ならびにご助言を賜りました。深く感謝申し上げます。

*1 高知工業高等専門学校ソーシャルデザイン工学科

*1Dept. of Social Design Eng., National Institute of Technology, Kochi college

*2 高知工業高等専門学校 博士（生活環境学）

*2National Institute of Technology, Kochi College, Ph. D.

地震災害時の顔画像データを用いた表情分析の試み

14. 地震災害
地震災害
表情分析

1. 災害調査
被災者
顔画像

非会員 ○井上 舞*
正会員 山田伸之**

1. はじめに

映像記録の中に映っている人間の顔を認識する技術は、今やデジカメなどに搭載され一般的に活用されている。さらに、人の顔から個人を特定する技術（顔認証）も、例えば、防犯などのために活用され、顔画像データの利活用は幅広く行われている。それに加え、近年では顔の画像データから、被写体の表情を検出し、分析することが試みられ、心理学や教育、医療、報道など多様な分野で活用が見られつつある[例えば、難波 (2021)]。

「他人の表情」を判断することは、「読み取る人」が相手の顔の特徴的な様子や動き（視覚情報）とともに発せられる言葉や声（聴覚情報）、その場の雰囲気（肌感覚）などから、自らの経験と比較し、喜怒哀楽などの感情を結びつける経験的・感覚的な手法によってなされる[例えば、Olivier et al. (2008)]。そして、こうした表情の読み取りは、その人の「感情・内面の考え」を推測することに繋がるといえる。人が他人の表情を感覚的に理解する際には、ごく目の前の人のみが対象になり、その時々感覚に左右されやすく、表情抽出の安定性、客観性に問題が出やすい。画像記録からの判断であれば、画像内の顔の様子からのみの判断となるが、こうした問題点は、軽減されることが期待される。

そこで、本研究では、大量に存在する災害時の映像資料より、顔の画像分析から表情を抽出・分析することを防災上の様々な局面でも利活用する可能性について検討することとした。特に、災害（本報では地震災害に着目するが）は、目に見える人的・物的被害だけでなく、見えにくい人の内面（心）へのダメージを推し量ることも重要であると考え。例えば、避難所などでの被災者の表情から身体的・精神的支援者の抽出判断や表情からみる復旧・復興の進捗状況判断など考えられる。ここでは、これらの目的に資する第一歩として、表情分析を行う画像解析手法の特性評価から、それを地震災害時の被災者や関係者の表情を読み取る試行実験結果について報告するとともに、今後の課題を提示する。

2. 顔画像分析による表情の抽出について

人間の顔画像による表情分析には、解剖学に基づいた FACS (Facial Action Coding System) 顔面動作符号システムにより、AU (Action Unit) で表情筋の個別の動きを表している。AU には主要なものが約 40 個あり、それぞれにナンバーリングがなされている。図 1 に、例として、AU1（眉の内側を上げる）、AU4（眉を下げる）、AU15（唇両端を下げる）を示す[例えば、Cheong et al (2023)]。顔画像からこうした AU の 0~1 の score が算出され、その組み合わせ構成から表情が判断される。例えば、AU4 と AU15 は、Sadness（悲しみ）を示す基本要素の AU となっている。この AU4 と 15 の割合が高い（画像から検出される各 AU の総和は 100%）場合に Sadness と判断される。

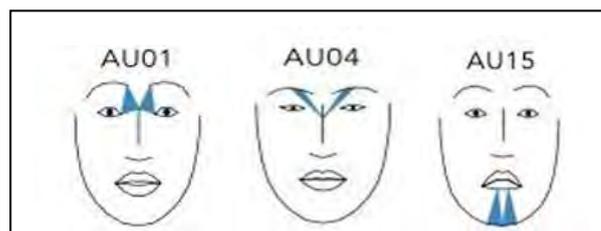


図 1 AU 算出対象の表情筋の部位の例

人間の顔画像から表情を抽出する手法には、複数の種類のものが存在し、表情認識ツールには、代表的なものとして、FaceReader, OpenFace, AFAR, Pyfeat などのオープンソースソフトウェアや商用製品など広い形態がある。近年では、Namba et al. (2021) によって、手法の比較研究がなされている。本研究では、こうした手法のうち、自由度が高い表情分析ライブラリである Pyfeat を利用した。さらに、検出可能な AU 数も、フリーソフトウェアで現存する表情認識ツールの中では、最多の 20 個となっており、より繊細な表情を抽出することが可能であると判断した。さらに、AU の組み合わせから、Anger(怒り), Surprise(驚き), Happiness(喜び), Fear(恐れ), Sadness(悲しみ), Disgust(嫌悪)の 6 つの表情と Neutral(中立)の計 7 分類を判別することができることから本研究で活用することにした。

3. 顔画像分析・表情抽出の性能特性

図2には、例として生成AI(Gemini)で作成した老人と子どもの笑顔の表情の写真とその表情分析の結果を示す。写真中の2人とも顔を認識し、AUを算出して、表情を判断している。(a)のように、顔の位置の特定と、眉、鼻、口が示される。表情の分析結果は、写真中左の老人の結果を示すが、算出されたAUの値は、AU7, 10, 20, 25で高いscoreがみられ、このAU値をもとに、(b)のように7分類の表情が出力された。このケースでは、表情の分類からHappinessが多く、わずかにSurpriseとなっており、最も多いHappinessを主要な表情と示された。生成AIで「笑顔」を要求して描かれた写真であるため、Happinessが主結果となるのは当然と考えられるが、適切に表情を判断していることが分かる。



図2 (a)生成AIで作成した笑顔写真, (b)分析結果

本研究で用いた手法の特性を評価する1つとして、実際に撮影した画像データを用いての性能実験を行った。被写体には、特定の疑似表情をしてもらい、カメラと被写体との距離ごと(3m毎に27mまで)の表情検出を行った。これは、画像サイズに対する検出された顔面積の比率が距離に応じて、分析対象となる顔の大きさ(顔の明瞭さ)が表情結果にどのように影響するかを調べたものである。図3にカメラと被写体の距離毎の画像サイズに対する顔検出面積の比率を示す。距離に応じて、面積比が小さくなっていくが、15m以降はその変化も小さくなることが分かる。図4に、「笑顔」を作ってもらった際の距離3, 12, 15, 21mの時の表情抽出結果を示す。これによると、12mまでは、Happinessが高スコアとして検出されたが、15m付近を超えると複数の表情スコアが均衡し合い、表情判別に曖昧さが出てきている。従って、適正に表情を検出するための顔の面積比は、この下限値(0.02%)以上である必要があることが分かった。

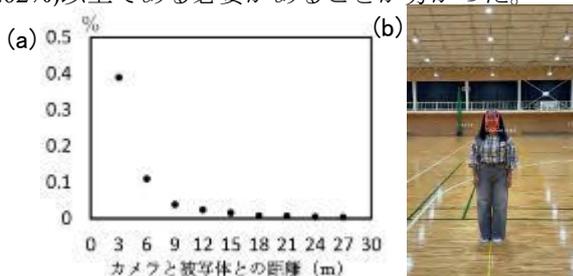


図3 (a)画像面積に対する検出された顔面積の比率と (b)3m地点での写真の例



図4 距離毎(3,12,15,21m)の表情の抽出結果

4. 近年の地震災害時の写真データへの適用

地震災害時に撮影された被災地の写真には、被災者の心理状態やその変化が反映されており、顔画像データを用いた表情分析は、被災者の状況把握や支援判断を補助する手法として活用できる可能性を有していると考えられる。ここでは、3章までの表情分析の適用例として、過去の地震災害時の人の表情を対象として分析することを試みた。ここでは、2011年3月に発生した東日本大震災の際の被災地の写真集[産経新聞社(2011)]中の写真を22ページ分(検出された顔の数は371個)用いた。その中の例とし、避難所で子どもたちが写っている写真を示す。図5の写真は、子どもたちの部分を切り出している。子ども2人の顔を検出し、右(Face5)の子はマスクをしている。図6は、図5の表情の抽出結果を示しており、それぞれ左の子、右の子の結果である。



図5 3月14日 食糧配布の様子の写真



図6 Face0とFace5の表情抽出結果

図6によると、左の子が Neutral, 右のマスクをつけた子は Anger が主要な表情となっている。マスクを着けている場合、鼻と口が塞がれる。これは、口が塞がれることで AU4, 12, 15, 20, 25, 26 のパフォーマンスが低下し、嫌悪、喜び、中立の検出が減少、鼻が塞がれることで嫌悪、恐怖、悲しみの検出が減少した例がある[Cheong et al. (2023)]。また図6は、検出結果の一部を示したものであるが、近年の災害写真ではマスクを着用している被災者が多く見られた。そのため、口周りの AU が十分に検出できないことによる表情推定精度の低下が考えられる。よって、図6の結果において右のマスクをしている子どもは、Anger が主要な表情となっているが、マスクによる検出精度の低下が考えられる。よって、マスク着用下における表情分析では、目元の情報のみを用いた分析手法の検討や、表情推定の適用範囲を限定した解釈が必要であると考えられる。次に、検出した結果で表情の score が 0.6 以上のものを集計したものを表1に示す。表では、Anger を A, Disgust を D など、頭文字を大文字一字で記入している。結果を見ると、Neutral が全体の大半を占めていた。また、今回用いた写真の中には、政府や報道関係者が含まれているものも多数あり、必ずしも被災者のみの表情を反映した結果であるとは言えないと考えられる。さらに、Neutral と分類される表情は、無表情として扱われが、必ずしも感情が存在しない状態を示すとは限らない[柴田(2013)]。そのため、Neutral に関しては感情が内在していても外面的な表情として現れにくい場合が考えられるため、解釈については注意が必要であると考えられる。

表1 表情結果の数(score が 0.6 以上のものをカウント)

	A	D	F	H	Sa	Su	N	合計
1	3/11	1					2	3
2	3/12				1			1
3	3/13		1				6	7
4	3/14	1					5	6
5	3/15						4	4
6	3/16				1		3	4
7	3/17						3	3
8	3/18						1	1
9	3/19				1		3	4
10	3/20-3/25	3		1		1		5
11	3/26-3/30						4	4
12	4/1-4/5	1						1
13	4/6-4/10			1			22	23

次に、2016年4月に発生した熊本地震における写真集[毎日新聞(2016)]を用いた7分類の表情結果の例を表2に示す。ここでは、結果のみを示す。全体として Sadness が多く検出された。しかしながら、17日の写真では子どもが主に写っており、Happiness の割合が増加する結果となった。これらの写真は新聞掲載によるものであるため、表情変化が比較的分かりやすい場面が選択的に掲載されている可能性も考えられる。

表2 分析にかけた写真のうち、検出可能であった表情の日ごとの集計

	A	D	F	H	Sa	Su	N	合計
1	4/15				1			1
2	4/16	1			1			2
3	4/17	1		3				4
4	4/19	2		1	3	1	1	8
5	4/20	1		1	1	1		4
合計<5日>	2	3	1	7	4	2	0	19

図7に、2025年12月の青森県沖の地震時に撮影された画像[北海道放送]を示し、その表情分析結果を示す。図7の子どもの表情を検出させた。表情の分析では、Surprise が大半になった。他の被災者も表情分析を行ったところ、Surprise が検出されていた結果もあり、これは、カメラを急に向けられてことによる一時的な驚きの表情も含まれている可能性がある。この子どもの写真は、この地震は夜間に発生したことから、眠気や状況を判断できていない状態が表情に反映された可能性も考えられる。



図7 2025年青森県沖の地震の際の画像と表情抽出結果(顔写真には、ぼかしを入れている)

5. 過去の地震災害の記録から

近年の映像記録だけでなく、かつての古い記録への適用を試みた。ここでは1946年昭和南海地震の際に撮影された白黒写真[高知市HP]を用いて、表情の検出を行った。図8に示す左の写真は、高知市宝永町における被災状況を記録したものであり、右の写真は文化ビルで生き埋めとなっていた子どもが救出された場面を写したものとされている。

分析の結果、写りこんでいる多くの家屋の瓦礫などを顔として誤検出している箇所が目立った(図8右)。これらは、画質が悪く、白黒写真であること自体が表情検出精度の低下や誤検出の一因となっている可能性が考えられる。しかしながら、顔が比較的明瞭に写っている写真においては、表情検出が可能であることが図8から確認された。これらの写真では、多くの感情が Neutral として分類されている。強い感情が外面的な表情として表れにくい状況であったこともが示唆される。また、当時の人たちがカメラを向けられて構えてしまった(緊張の面持ちをした)ことも考えられる。

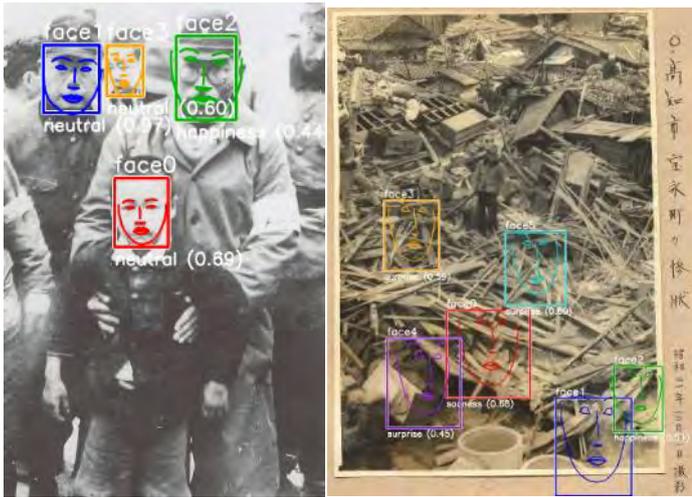


図8 表情分析に昭和南海地震の際の写真の例

また、写真のない時代の人々の表情を読み取ることへの適用を試みた。最近の絵、アニメ画像などでは、表情検出がある程度できていたことから、絵図の中に描かれた人への適用を試みた。図9は、地震災害後の庶民の様子を描いた総絵[国立国会図書館電子展示会]の例であり、地震への不安、怒りだけでなく、地震によって経済が潤う人の喜びも描かれているとされている。すべての顔を認識しているわけではないが、検出された表情の中には、SadnessやSurpriseなどの複数の表情が検出された。以上より、顔の輪郭や目・鼻・口といった基本的な顔要素が明瞭に描写されている場合には、写真資料でなくとも表情分析が可能であることが示された。また、これらの表情分析結果は、被災者個人の心理状態を直接示すものではない（描いた作者の主観性が反映されている可能性が大きい）が、当時の社会における災害認識や感情の傾向を読み取るための補助的情報として位置づけることができると考えられる。



図9 安政大地震繪「地震冥途ノ図」への適用例

6. まとめ

本研究では、地震災害時に撮影された写真および過去の災害記録を対象として、顔画像データを用いた表情分析の適用を試みた。その結果、災害時の写真や図像資料から顔および表情の検出が可能であることが確認された。現段階では、写真などの顔画像データから個人の心理状態を直接評価することは困難であるが、今回のような表情分析を通じて、被災地の人々の感情表出の傾向を把握できる可能性が示された。また、近代以前の災害図絵に対しても表情分析を適用できることが確認され、過去の人々が災害をどのように受け止め、どのような感情を社会的に共有していたかを読み取る補助的手法としての有用性も示された。一方で、撮影者の意図やマスク着用などによる遮蔽といったことが表情推定精度に影響を及ぼすことも示すこととなった。これらの点を踏まえ、今後は目元情報に着目した分析手法の検討や、分析対象および分析範囲を限定した手法についての検討も必要であると考えられる。また、顔データから抽出された表情と感情（深層心理など）との対応関係なども今後検討していく予定である。

謝辞

この研究の一部は、JSPS 科研費基盤研究(C)23K02232 の補助を受けています。記して感謝いたします。

参考文献

- Cheong, J. H., Jolly, E., Xie, T., Byrne, S., Kenney, M. and Chang, L. J., 2023, Py-Feat: Python Facial Expression Analysis Toolbox, *Affective Science*, Vol. 4, 781-796.
- 北海道放送, HBC ニュース, <https://newsdig.tbs.co.jp/list/hbc>.
- 高知市, 過去の南海地震写真, <https://www.city.kochi.kochi.jp/soshiki/12/old-photo.html>.
- 国立国会図書館電子展示会, 安政大地震繪「地震冥途ノ図」, <https://www.ndl.go.jp/imagebank/theme/namazue>.
- 毎日新聞, 2016, 熊本地震: 被災者の1週間, <https://mainichi.jp/graphs/20160421/hpj/00m/040/001000g/20160422hpj00m040067000q>.
- 難波修史, 2021, OpenFace を用いた表情分析, *心理学ワールド* 95 号, pp. 34-35.
- Namba, S., Matsui, H., and Zloteanu, M., 2021, Distinct temporal features of genuine and deliberate facial expressions of surprise, *Scientific Reports*, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83077-4>.
- Olivier, C., Simon, G., Frederic, G., Sylvain R., Dave S-A., Maryse L. and Franco L., 2008, *Brain Research*, Vol. 1242, 126-135.
- 産経新聞社, 2011, 「闘う日本」—東日本大震災1カ月の全記録, 112 pp.
- 柴田利男, 2013, 無表情の感情価—既知の人物に対する表情認知, *北星学園大学社会福祉学部北星論集*, 第50号, pp. 75-82.

*1 高知大学理工学部地球環境防災学科 学部生

*2 高知大学理工学部 教授・博士（工学）

*1 Undergrad. Student, Kochi Univ.

*2 Prof., Kochi Univ., Dr. Eng.

八幡浜 子どものための建築とまち育て 2025—日土小学校のおすすめパンフレットを作ろう—

5 建築計画
校舎学習
木造モダニズム

2 各種建築・地域施設
総合的な学習の時間
国指定重要文化財

日土小学校
松村正恒

正会員* ○眞田井良子
正会員** 武智 和臣
正会員*** 曲田 清維

1. 研究の背景と目的

「八幡浜子どものための建築とまち育てWG」による日土小学校の校舎学習は6年目に入った。2025年度の学校カリキュラムと総合学習校舎学習の枠組みは、①第5学年わくわく年間指導計画 学年テーマ「出会い ふれ合い 学び愛～日土小学校を紹介しよう～」における校舎の解説と見学 ②開講時期は1学期初夏の3回 ③5・6年生担任教員による事前映像学習指導及び6年生による校舎説明 ④夏休みの校舎見学会での子どもガイド、である。

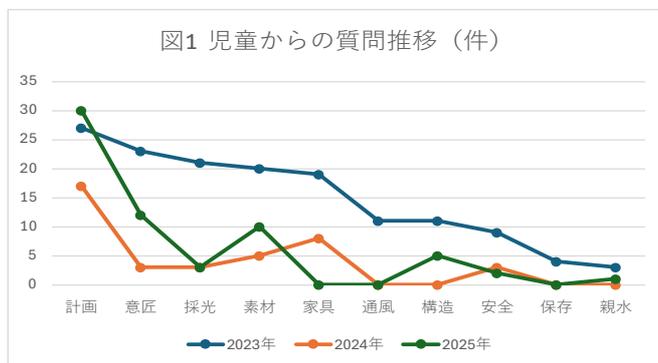
今回の校舎学習では、「国指定重要文化財である『日土小学校』のおすすめパンフレットを作ろう！」のWSを新たに加え、班ごとにテーマ設定し、紹介ポイントをまとめたパンフレットを作成した。「パンフレットづくり」から「見学者への校舎案内」という一連の成果は、総合学習に相応しいものとして、整理し報告する。

2. 総合学習—第1回目、第2回目の学習

第1回目の学習は「校舎の特徴と魅力」を児童の質問に答えながら紹介、第2回目は「新しい西校舎の学び」として実験等を交えて紹介、第3回目は「日土小学校のおすすめパンフレットを作ろう！」を企図し、児童の自発的な発想で紹介ポイントをまとめた。

(1) 校舎学習前の児童からの質問

事前映像学習後、昨年校舎ガイドを務めた6年生が5年生に校舎を紹介した上での質問は以下の通りである。



校舎ガイドのポイントとなる「採光」「通風」などの質問が減少し、松村正恒の設計意図(計画)や昨年学習した色(意匠)・素材が多く、学びが深化している(図1)。

Yawatahama Architecture and Town Raising for Children, 2025

- Let's create a pamphlet of recommendations for Hizuchi Elementary School-

3. 日土小学校のおすすめパンフレットを作ろう

(1) 位置づけ

夏の校舎見学会を念頭に、児童の校舎に対する思いを伝えるべく、見学者へ向けた「ワークショップ 日土小学校のおすすめパンフレットを作ろう！」を実施。児童が日ごろ感じている校舎の魅力を「パンフレット制作を通じて伝える」ことを「めあて」として制作・考察する。

(2) 授業内容(総合学習3回目、5・6年生14名)

おすすめパンフレットの目的を説明した後、5・6年生混合の計4班に分かれて、①テーマの検討 ②テーマに沿っておすすめしたい場所と内容を検討 ③レイアウト検討 ④「テーマ」と「紹介するもの」を発表 ⑤紹介ポイントの写真撮影 ⑥推薦する文章と写真でパンフレットを仕上げる ⑦班ごとに制作したパンフレットを紹介 ⑧アンケート記入、の手順で実施した。



左：紹介する写真撮影 右：推薦する文章を書いてパンフレット作成

事前に「日土小学校の好きなところ」を一人につき3つ推薦したものを4つにグルーピングし、そのグループごとに班を作り、テーマや紹介したい場所を提案しやすくした上で実施した。

表1 「日土小学校の好きなところ」グルーピングとテーマ設定

テーマ	主な場所・要素	児童の感想・おすすめポイント
風が気持ちいい	ウッドデッキ、スロープ	「風が通ってすずしい」「太陽があたって、ひなたぼっこをすると気持ちいい」
色	相談室、ガラス、壁・天井	「金や和紙の装飾がきれい」「ガラスが美しい」「壁や天井の色が落ち着く」
図書室のひみつ	図書室全体、壁の星座、デザイン	「山小屋をイメージしたデザイン」「竹の輪っかの星座がある」「静かで本がたくさんある」
景色がいい	ベランダ、なかよしルーム	「喜木川がよく見える」「日土の森や山が見える」「光が沢山入って明るい」

*Ryoko SANADAI

**Kazutomi TAKECHI

***Kiyotada MAGATA

(3) パンフレット作成後の児童のアンケート分析

アンケートからは、児童たちが自分たちの学校の建築的な魅力や環境をどう捉え、それをどのように発信しようとしたかがよく伝わる（以下3点に整理）。

①人気のテーマと注目ポイント

〈五感で感じる心地よさ〉

「風が気持ちいいところ」「景色」「色」など、視覚や体感に訴えるテーマが多い。

〈お気に入りの場所〉

・図書室（ベランダ含む）：工夫や居心地の良さが評価されている。

・ウッドデッキ・ピロティ：風通しの良さや鯉がいる環境など、リラックスできる場所として愛されている。

・色（壁や天井）：建物特有の色彩に注目しており、建築的な特徴を敏感に捉えている。

②パンフレット作成における工夫（表現面）

振り返りのコメントからは、相手に伝えるために以下の工夫を凝らしたことが読み取れる。

・ユニバーサルデザイン（英語併記）：「外国人にもわかるように」「英語で書いたタイトルや名称」という記述が多く見られる。自分たちの学校を、地域だけでなく世界の人々にも発信したいという広い視野を持っている。

・実体験に基づく言葉：「自分が経験してよかったこと」「自分がいつも見ている景色」を大切にしており、主観的で温かみのある紹介（「来てください」という呼びかけなど）を意識している。

③分析のまとめ

児童は、日土小学校の「光・風・色」といった建築的環境的な特徴を単なる知識としてではなく「自分が好きな場所」として、かつ「自分にとっても大切な場・空間」として捉えている。

表2 評価軸ごとの傾向と特徴

評価軸	傾向と特徴
動機	自分が好きだから、みんなに知ってほしい、グループの意見が一致した
工夫点	英語の活用、写真や調べ学習の活用、感情が伝わる表現
学び	友達の表現（実体験に基づいた記述）から刺激を受けている

4. 児童による校舎ガイドー「探究」学習をもとに

初夏の3回に渡る校舎学習の後、7月27日(日)の日土小学校見学会では、来場者へ向けての校舎ガイドには5年生7名と6年生7名が参加した。おすすめパンフレットを配布した上で、校舎ガイドは東校舎昇降口から順に中校舎、西校舎へと案内した。児童自らの提案で、おす

すめパンフレットに紹介した内容も付け加えられた。

児童の感想と来場者からの感想からは、「校舎ガイド」実施による学びの深化と誇りが感じられ、児童たちが自ら校舎の魅力発信する活動は、教育的にも大きな役割を果たしていることが分かる（以下3点に整理）。

①高いコミュニケーション能力：多くの見学者が、児童たちの説明を「ハキハキして分かりやすい」「丁寧で感心した」と絶賛している。児童自身も、最初は緊張しながらも回数を重ねるごとに自信を持って発表できるようになったと振り返っている。

②手作りパンフレットの活用：児童が作成した「おすすめパンフレット」は、特徴をよく掴んで、かつ要点が絞られており、見学者が後から復習するのにも役立つほど高い完成度を誇っている。

③学校への愛着：これらのガイド活動を通じて、児童が自分の学校を深く知り、「学びの場」としての誇りを持っていることが見学者にも伝わっている。

5. まとめ

日土小学校での実践は、「自分たちの日常を再発見し、価値を言語化して他者に伝える」というプロセスにおいて、他の小学校でも広く活用できる教育的示唆に富む。

①「校舎そのもの」を多角的な視点で学ぶ生きた教材化：どのような校舎であっても、設計者の意図、素材、光の入り方、地域の自然との関わりを学ぶ「校舎学習」は有効な教材となる。

②異学年交流による「学びのバトン」と質問の深化：知識と愛着を上級生から下級生へ引き継ぐ仕組みが構築されて年々学びの質が向上していく好循環が生まれる。

③「主観的な愛着」と「客観的な事実」を融合させた情報発信：自分の実体験に基づいた「温かみのある言葉」による発信は説得力のある表現力を養う上で効果的。

④学外の「本物の観衆」を対象とした実践的なコミュニケーション：大勢の前で緊張を乗り越えて説明し、絶賛されるという成功体験は、児童の自己表現能力を飛躍的に高め、自校に対する深い誇りを醸成する。

⑤多文化・ユニバーサルな視点を取り入れた国際性育成：身近な地域学習をグローバルな視点へと繋げ、多様な相手を意識した情報発信の姿勢を育む。

【謝辞】本研究は日本建築学会四国支部の研究助成による。研究に際しては、日土小学校の児童、先生方に深謝申し上げます。

2025年度担当は、後藤美加教諭(日土小5・6年担任)、外部講師は、曲田清維(愛媛大学)、武智和臣(A&A)、眞田井良子(建築・まち育て研究所)である。

*眞田井 良子 建築・まち育て研究所

**アトリエ A&A

***愛媛大学名誉教授 博士(学術)

Ryoko Sanadai Laboratory for Architecture and Town raising

Atelier A&A

Honorary Professor of Ehime Univ. Ph.d

サッカースタジアムにおける観客の熱狂を誘発する空間の分析と提案

○米田和輝*

正会員 木多彩子**

5.建築計画
スタジアム
実測

2.各種建物・地域施設
スポーツ観戦
歓声

1. 研究背景と目的

サッカーをはじめとするスポーツ競技では、観客の有無や応援、熱狂の高まりが競技そのものの魅力を向上させるだけでなく、選手のパフォーマンスや試合展開に影響を与えることが指摘されている¹⁾。しかし、スタジアムのどのような空間構成要素が観客の熱狂の発生に寄与するかについて、現段階では十分明らかになっていない。そこで本研究では、観客の熱狂に注目し、スタジアムにおいて観客の熱狂が生じやすい空間構成要素を把握し、国内スタジアムの課題点と改善方向性を検討することで、今後のスタジアム設計や、既存の多目的利用スタジアム改修の知見提供を行うことを目的とした。

2. 研究方法

本研究では、日本のプロサッカーリーグであるJリーグの公式戦において観測した「観客のアクション回数」と「観客の発する音量」を観客の熱狂の指標として扱い、スタジアムの観客席周辺の空間構成要素が観客の熱狂にどれ程寄与するかについて多変量解析により分析する。データ収集については筆者と研究協力者(以下観測者)が試合を観戦しながら実施する観察調査法を用いた。観測者は一定の範囲における観客のアクション回数(拍手やジャンプなど)を随時記録し、観客の歓声の音量についてはdB測定器(FieldNew デジタル騒音計)を用いて測定を行った。多変量解析における目的変数は観客の熱狂の指標としたアクション回数と歓声音量、説明変数として観客席からピッチまでの距離、観客密度、スタンド傾斜、屋根の有無の空間構成要素を設定した。

3. 研究の流れ

本研究は図1に示すように、国内のサッカースタジアムについて文献調査を行い、形状や特徴を整理することで調査対象スタジアムを選定する。そして、現地実測調査を行い現地実測データを取得し、多変量解析により各空間構成要素の熱狂発生への寄与率を算出することで、空間構成要素の評価を行う。そして分析結果を用いて考察し、観客の熱狂を生み出すスタジアムの形を提案する。

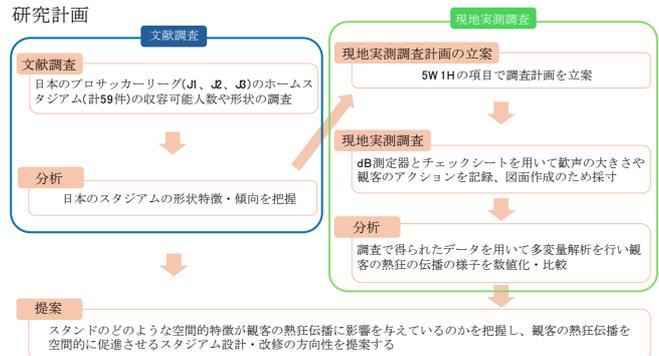


図1 研究の流れ

4. 国内スタジアムの現状

文献調査により、現時点での国内サッカークラブのホームスタジアムである59件のスタジアムについて形状などの概要を整理する。まず、スタジアムの種類についてまとめる。図2を見ると、どのカテゴリーでも高い割合でホームスタジアムとして陸上競技場を使用していることがわかる。特にJ2、J3では5割を超えており、多目的利用のスタジアムに依存していることがわかる。

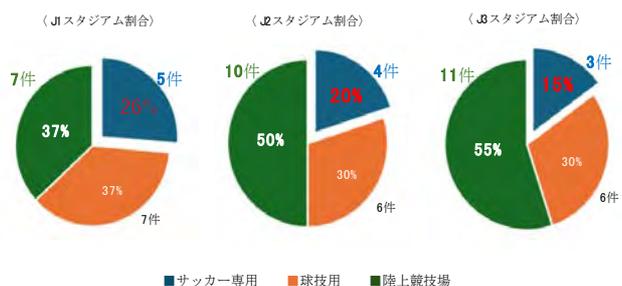


図2 各カテゴリーにおけるスタジアムの種類

一方でJ1というトップカテゴリーでは、サッカー専用スタジアム(以下専用スタジアムとする場合がある)の割合が高くなり、陸上競技場の割合は下がっている。このことから、チームの強さや人気によりスタジアムを運営・整備することができるチームは専用スタジアムを持つことがわかる。

次にスタジアムの平面形状についてみていく。図3のように、日本のスタジアムは基本的に楕円形と長方形の二種類に分類できる。

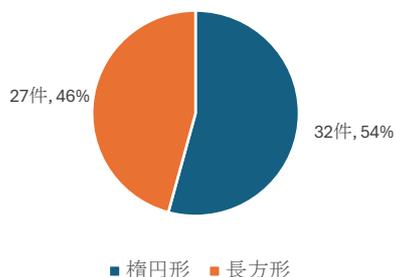


図3 全スタジアムの平面形状

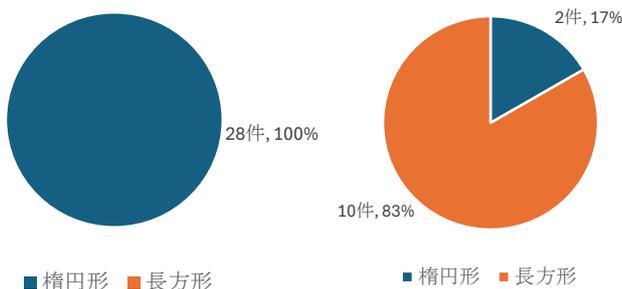


図4 陸上競技場平面形状

図5 専用スタジアム平面形状

図4、図5では陸上競技場とサッカー専用スタジアムの平面形状について分類しているが、陸上競技場は100%楕円形をとり、専用スタジアムは8割以上を長方形が占めていることがわかる。このような結果になる理由として、陸上競技場は陸上トラックという整備必須な施設形状により楕円形をとり、サッカー専用スタジアムはピッチの形状にスタンド配置を合わせて整備することで長方形になると推測できる。両スタジアムとも、観客席とピッチの距離を可能な限り近づけようとした結果このような形状になったといえる。

さらにスタジアムの観客席断面形状についてみていく。

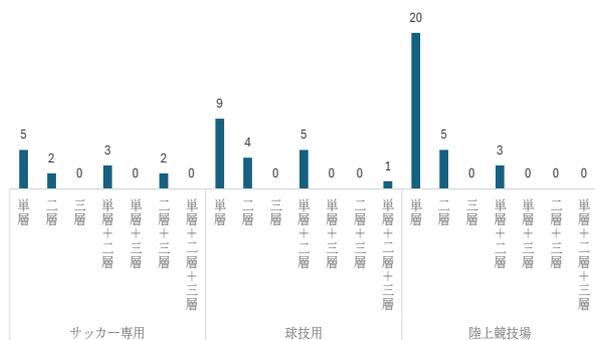


図6 種類別スタジアムスタンド断面形状

図6より、どの種類のスタジアムであっても単層のスタジアムが多いことがわかるが、陸上競技場は圧倒的にその数が多いことがわかる。また、図7より、カテゴリー別で見てみると、J2、J3という低カテゴリーのホームス

タジアムでは単層が多くなっており、J1というトップカテゴリーでは、複層型が目立っている。

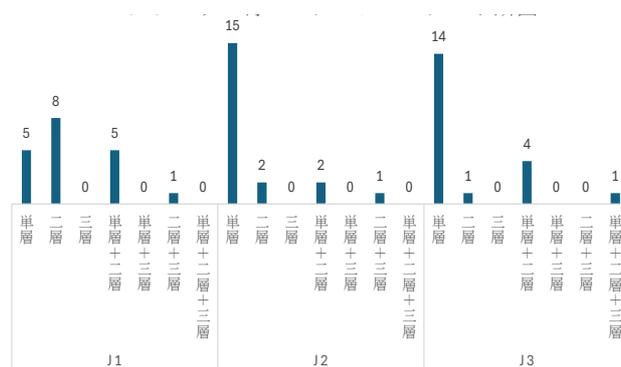


図7 カテゴリー別スタジアムスタンド断面形状

このような結果となる理由として、図2で示したように、低カテゴリーのチームは陸上競技場をホームスタジアムとして使用していることが多いことから、それに伴い集客数や収益を考慮した結果、単層による収容数で十分に賄うことができるからだと推測できる。逆に、J1のチームは多くの集客が見込めるため、スタジアムの収容可能人数を増加させるために複層となっていると考えられる。最後にスタジアムの屋根位置についてみていく。

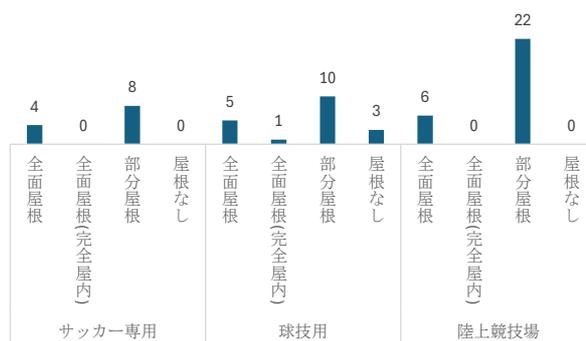


図8 スタジアム種類別屋根位置

図8より、陸上競技場は部分屋根を多く採用しており、専用スタジアムは全面屋根も多く採用していることがわかる。

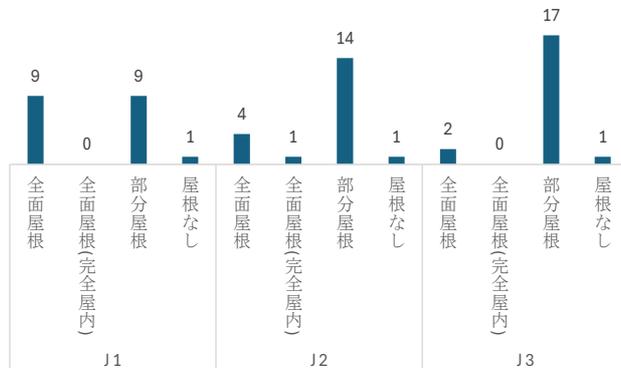


図9 カテゴリー別屋根位置

また図9より、低カテゴリーほど部分屋根の割合が高いことがわかる。以上より、J1チームのホームスタジアムや専用スタジアムでは、多くの場合観客の快適性を考慮

し、スタンド全面を屋根で覆うような構造をとっていることがわかる。

以上のスタジアムの種類や形状によるスタンドの空間的特徴を踏まえ、現地実測調査を行う対象スタジアムを選定する。

5. 現地実測調査対象スタジアム

調査対象スタジアムは鳴門・大塚スポーツパークポカリスエットスタジアム、高知県立春野総合運動公園陸上競技場、パナソニックスタジアム吹田の3件のスタジアムに決定し現地実測調査を行った。

①鳴門・大塚スポーツパークポカリスエットスタジアム

種類:陸上競技場
カテゴリー:J2
屋根:部分屋根
傾斜:緩い



図10 ①外観

②高知県立春野総合運動公園陸上競技場

種類:陸上競技場
カテゴリー:J3
屋根:屋根なし
傾斜:緩い



図11 ②外観

③パナソニックスタジアム吹田

種類:サッカー専用
カテゴリー:J1
屋根:全面屋根
傾斜:急



図12 ③外観

3件のスタジアムには、図10～図12において示したような特徴があり、それぞれ異なる要素を持っている。この違いを考慮したうえで現地実測調査を行い、データを取得する。また、鳴門・大塚スポーツパークポカリスエットスタジアムには2025年8月23日、9月20日、10月5日の3回、高知県立春野総合運動公園陸上競技場には2025年7月26日、9月14日、11月15日の3回、パナソニックスタジアム吹田には2025年12月

6日の1回現地実測調査を行った。複数回現地実測調査に行くことができたスタジアムでは、ピッチから測定地点までの距離や観客密度を変えながらデータを取得することで、様々なパターンのデータを取得するとともに、精度を上げることを目的として行った。

6. 現地実測調査と分析

3件のスタジアムにおいて合計7回現地実測調査を行った。しかし、パナソニックスタジアムでの取得データは、どの観戦位置であってもアクション回数、歓声音量ともに高水準であり、他のスタジアムのデータと比較して外れ値であるといえるため、今回はパナソニックスタジアムのデータを除く6つのデータについて多変量解析を用いて分析した。

表1 目的変数と説明変数

目的変数		説明変数			
Y1	Y2	X1	X2	X3	X4
観客1人当たりのアクション回数	最大音量	距離	密度	傾斜	屋根の有無

多変量解析を行うにあたり、目的変数と説明変数の整理を行う。表1で示したように目的変数は観客1人当たりのアクション回数と観客の歓声の最大音量とする。説明変数は観客席までの距離、観客密度、スタンド傾斜、屋根の有無とする。多変量解析では、有意Fを確認し、係数、P-値の数値を読み取り、それぞれの説明変数が目的変数に与える影響について考察していく。

まず、目的変数を観客1人当たりのアクション回数とした時の多変量解析結果について整理する。

正規確率グラフ

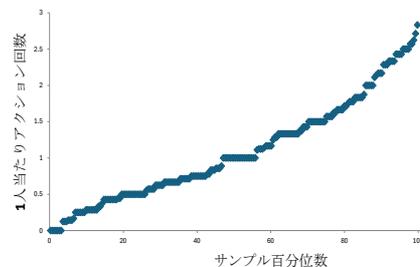


表2 回帰分析結果

	係数	P-値
切片	0.203505	0.678188
距離	-0.29691	0.024369
密度	0.504553	0.000984
傾斜	0.1106	0.18757
屋根の有無	0.369425	0.014977

図13 正規確率グラフ

図13では、目的変数を観客のアクション回数とした時の正規グラフを示す。表2より、説明変数の係数とP=値を読み取ることでそれぞれの説明変数が目的変数に与える寄与率がわかる。P-値を見ると観客席までの距離、観客密度、スタンド傾斜、屋根の有無のすべての空間構成要素がある程度観客のアクション回数に影響を与えており、中でも観客密度の値が観客のアクション回数に多大な影響を与えていることが読み取れる。観客のアクション回数を促進させ、目で見て盛り上がりを実感できるスタジアムの空間づくりを実現するには、観客密度は設計を行う上で考慮すべき重要な空間構成要素であるといえる。また、屋根の有無や観客席までの距離についても、観客密度ほどではないが観客

のアクション回数を促進させるうえで重要な要因となる。

次に目的変数を観客の歓声の最大音量とした時の多変量解析結果について整理する。

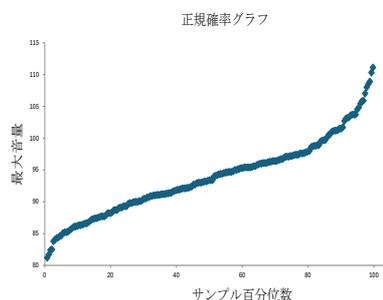


図 14 正規確率グラフ

図 14 では目的変数を歓声の最大音量とした時の正規確率グラフを示す。表 3 より、まず観客密度が最大音量に与える影響が非常に大きいことがわかる。また距離による影響も大きく、屋根の有無による影響もある程度受けている。ただスタンド傾斜による影響はほとんどないことがわかる。観客の歓声を大きくし、観客そして選手が盛り上がりを実感できるスタジアムの空間づくりを実現するには、観客密度は設計を行う上で考慮すべき重要な空間構成要素であるといえる。また、観客席までの距離、次いで屋根の有無についても、観客密度ほどではないが観客のアクション回数を促進させるうえで重要な要因となる。

以上より、観客の熱狂を生み出す空間構成要素として、最も影響を与えるのは観客密度であることがわかる。また、観客席までの距離や屋根の有無も観客の熱狂にある程度影響を与えており、スタンドの傾斜は観客のアクション回数に少し影響を与えるが、歓声音量にはほとんど影響を与えていないといえる。

パナソニックスタジアムのデータは観測位置や観測条件に関わらず、アクション回数および音量が一貫して高い値を示す傾向が確認された。この傾向は、他の調査対象スタジアムにおけるデータ分布と比較しても顕著であり、個別の空間構成要素の影響を超えた特異な挙動を示す。よって本研究ではパナソニックスタジアムのデータを外れ値として扱い、多変量解析の対象から除外した。一方で、この結果はパナソニックスタジアムが観客の熱狂を高い水準で引き出す完成度の高いスタジアムであることを示唆している。すなわち、スタンドの形状、観客席配置、ピッチとの近接性、屋根による音響効果など、複数の要素が高度に統合されることで、観測位置に依存しない一体的な熱狂空間が形成されていると考えられる。

7. 本研究のまとめと熱狂を生み出すスタジアムの提案

本研究で明らかになったことを以下に記す。

- ・観客のアクション回数および音量に最も大きな影響を与える要因は観客密度である。
- ・ピッチからの距離や屋根の有無といったスタンド空間の物理的要素も、観客の熱狂に一定の影響を与えるが、その影響の大きさは観客密度と比較すると小さい。
- ・スタンドの傾斜は、観客のアクション回数には一定の影響を及ぼすものの、音量への影響はわずかである。
- ・観測位置によらずアクション回数および音量が高い値を示すスタジアムが存在し、単一の空間構成要素では説明できない総合的な完成度の違いが確認された。

以上を踏まえて新設スタジアム計画時においては収容人数の最大化を優先するのではなく、実際の平均入場者数を基準としたスタンド規模の設定が重要であると考えられる。スタンドを過度に拡張せず、観客席をコンパクトにまとめ、連続性のあるスタンド形状とすることで、自然に高い観客密度が形成され、観客同士の一体感やアクションの発生が促進されると考える。次に、ピッチから観客席までの距離を可能な限り短く設定することが望ましい。分析結果では距離の影響は密度ほど大きくないものの、近接した観戦環境は選手との距離を縮め、応援行動を誘発する要因となる。また、屋根をスタンド全体に設けることで熱狂の発生が促進されるスタジアム空間を実現できると考える。

既存スタジアムにおいてはスタンド形状そのものを大きく変更することは難しいため、運用や部分的改修によって観客密度を高める工夫が有効であると考えられる。例えば、観客数が少ない試合では使用する観客席エリアを限定し、特定のスタンドに観客を集約することで、体感的な密度を高めることができる。空席が目立たない座席配置や、応援エリアを連続的に設定することは、観客同士の相互作用を高め、アクションの発生を促進する要因となる。加えて、屋根の増設により、歓声の反響効果を高めることで観客自身が発する音をより強く体感でき、応援行動が強化される可能性がある。

以上より本研究から、熱狂を生み出すスタジアムの形として「高い観客密度を形成しやすいコンパクトで連続的なスタンド空間」を提案するとともに、既存スタジアムにおいても運用と部分改修によって熱狂を高める余地があるという知見を得た。

参考文献

- 1) Jan C. Van Ours. "They didn't know what they got till the crowd was gone". *Economics Letters*. 2024. vol236.

*学生 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. And Urban design

**教授 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 Prof. (Ph.D) Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. And Urban design

坂道を有する観光地における空き家発生特性の抽出～広島県尾道市中心街を例に～

5.建築計画
坂道
発生特性

1.住居・住環境
観光地
尾道市

空き家

○ 正会員
松谷卓海*
木多彩子**

1. 研究の概要

(1) 研究目的

本研究では QGIS を用いて、広島県尾道市における空き家分布と特徴的な地形的要素(坂・階段・幅員)や社会的要素(高齢化・築年数)、文化的要素(歴史的な街並み・建築物の保全)の関係を可視化し、空き家の分布に影響を与える特性の抽出を行うことを目的とする。

(2) 研究の背景と研究対象地域

図1は尾道市の総住宅数と空き家率の推移を合したもので、右肩上がりの状況が続いている。数値で見ると平成5年(10.0%)から令和5年(21.9%)へ、約30年間で空き家率が2倍以上に上昇している。空き家数は4920件から15260件と約3倍に増加している。尾道市では空き家問題が長期的に進行していることが分かる。

研究の対象地域である広島県尾道市の中心市街地は、坂道を有する観光地であり、このような地域は全国に存在しており、共通して斜面地のアクセス性や空き家増加の問題を抱えていることが多い。また私自身の地元であり、土地勘があるため研究を進めるにあたってスムーズになると考え、この場所を本研究の対象地域とした。

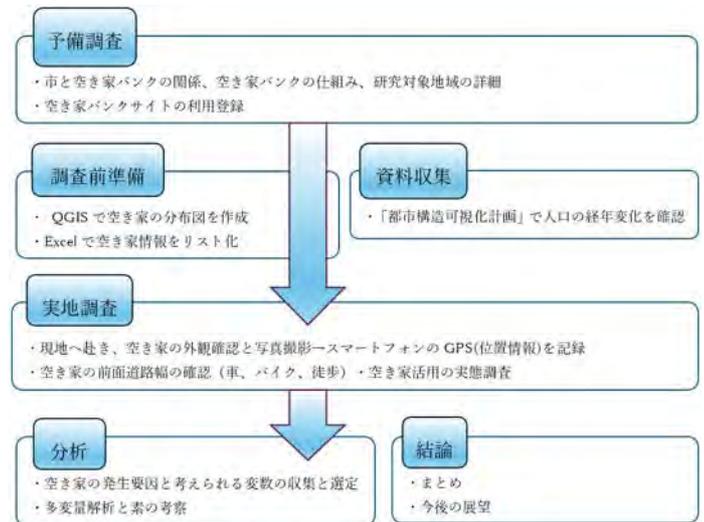


図2 研究の流れ

2. 空き家レベル



図3 左から空き家レベル1~5の物件

図3は『尾道空き家バンク』が独自に定める『空き家レベル(1~5)』別に示したものになる。レベルが高いほど状態が良く、低いほど劣化が見られる。

レベル5(59件)では、建物の損傷はほとんどなく、外壁の劣化も見られない。レベル4(69件)の物件は、建物の損傷も、レベル5の物件とそれほど差はなく、管理がきちんとされてあるよううかがえる。老朽化による差が、レベルを分けている要因と考えられる。レベル3(106件)は最も物件数が多く、物件によって外壁の損傷が見られる。レベル2(35件)からかなり様子がこれまでと違っており、壁の損傷も大きく劣化している。管理状態が悪く、ツルが外壁を覆うように伸尾田物件もある。レベル1(2件)は物件としての原型が無い物件もある。

なお、本報3章の表と図7,9,11,13並びに4章の多変量解析では『新空き家レベル(1~4)』を新たに設定して使用する。これは、レベル1の物件数が非常に少ないため、レベル1、2を合わせたものである。

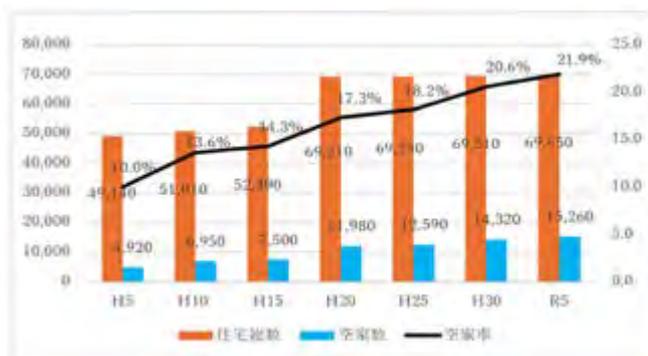


図1：尾道市の総住宅数及び空き家率の推移

出典：尾道市空き家等対策計画概要版^{※1)}

(3) 研究方法

研究の流れを図2に示す。予備調査で尾道市の空き家に関する現状を把握し、『尾道空き家バンク』による資料収集、実地調査を通して最終的に行う多変量解析に使用する変数の収集と選定を行う。最後に分析、結論で考察と今後の展望を行うという手順である。

Characteristics of Vacant House Occurrence in Tourist Areas with Sloping Streets

- A Case Study of Central Onomichi, Hiroshima -

MATSUYA Takumi, AYAKO Kita

3. 地図から見た空き家分布



図4 空き家レベル(1~5)別分布図

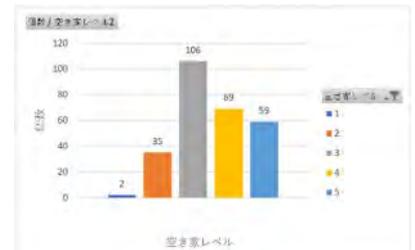


図5 空き家レベル別の物件数比較



図6 取引種別別の分布図

表1 取引種別の新空き家レベル(1~4)別物件数

個数 / 取引種別	列ラベル	1	2	3	4	総計
行ラベル						
売買		17	50	35	23	125
賃貸		2	18	18	27	65
両方可		11	28	12	8	59
総計		30	96	65	58	249

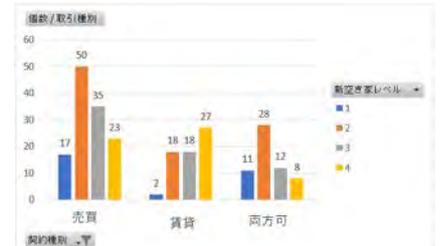


図7 取引種別の新空き家レベル(1~4)別物件数比較



図8 契約状況別の分布図

表2 新空き家レベル(1~4)別の契約状況比較表

個数 / 新空き家レベル	列ラベル	1	2	3	4	総計
行ラベル						
未契約		3	14	10		27
契約済み		34	92	59	59	244
総計		37	106	69	59	271

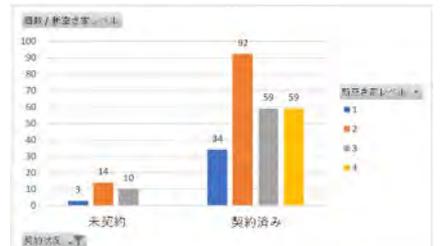


図9 新空き家レベル(1~4)別の契約状況比較



図10 前面道路のアクセス性別の物件分布図

表3 新空き家レベル別のアクセシビリティの比較表

個数 / 前面道路	列ラベル	1	2	3	4	総計
行ラベル	▼					
徒歩		26	55	40	39	160
バイク		8	35	23	16	82
車		3	16	6	4	29
総計		37	106	69	59	271

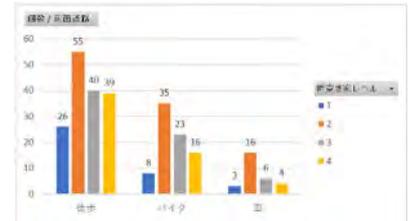


図11 新空き家レベル別のアクセシビリティの比較

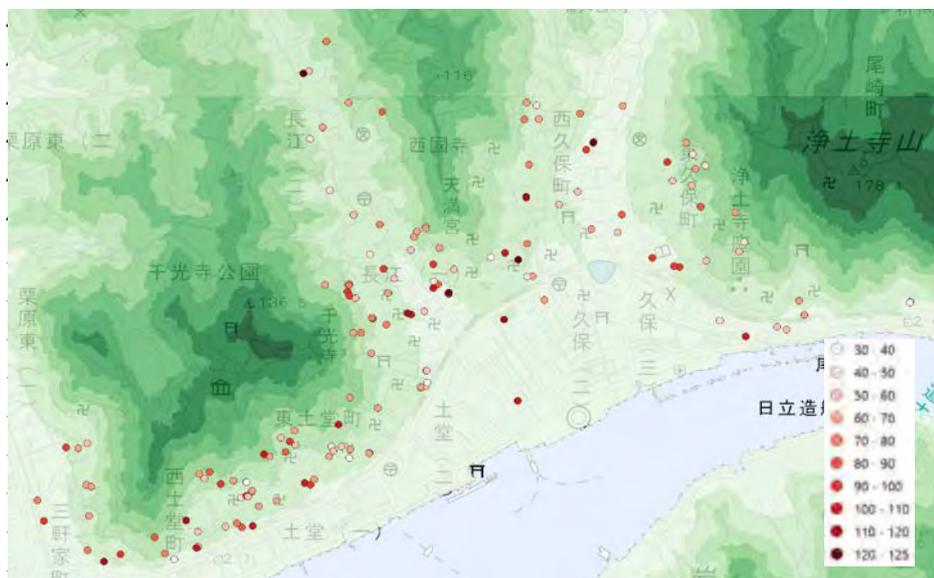


図12 築年数別の物件分布図

表4 新空き家レベル別の標高比較

個数 / 標高(m)	列ラベル	1	2	3	4	総計
行ラベル	▼					
0~9		8	32	13	8	61
10~19		14	33	17	22	86
20~29		6	25	12	18	61
30~39		3	11	19	4	37
40~49		3	3	5	5	16
50~59		1	1	3		5
60~69			1			1
70~79		2				2
80~89				2	2	4
総計		37	106	69	59	271

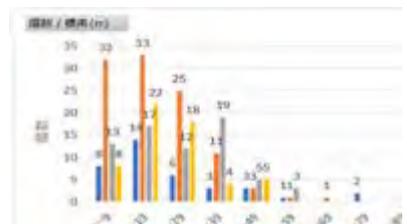


図13 新空き家レベル別の標高比較

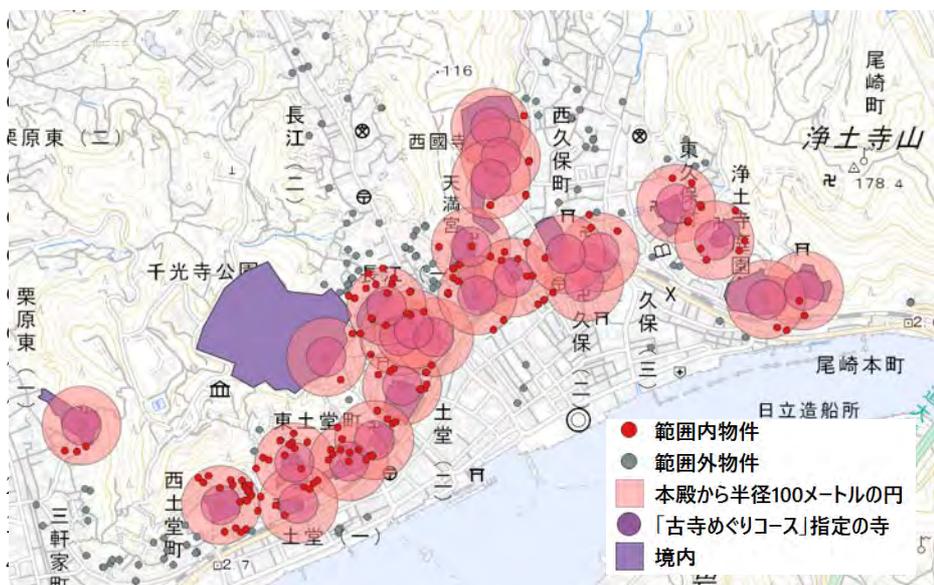


図14 古寺めぐりコース寺院周辺(100m圏)の物件分布図

表5 半径100m圏の物件数比較

個数 / 半径100	列ラベル	1	2	3	4	総計
行ラベル	▼					
範囲外		18	44	28	26	116
円1つ		11	39	26	26	102
円2つ		7	19	15	7	48
円3つ			2			2
円4つ		1	2			3
総計		37	106	69	59	271

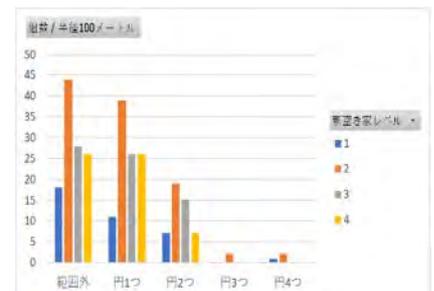


図15 半径100m圏の標高比較

(1) 空き家レベル

図4・5より、線路より北側で空き家レベルの高い物件が多く、南側では物件数が少ないうえに低いレベルの物件が中心である。これは、南側は商店街があり立地条件が良いため、空き家バンクに登録せずとも市場で流通しやすいと考えられる。これに対して北側では利便性が低く、売れ残りやすいため登録物件が多い。これらの違いから、空き家レベルの分布には地形や土地利用が影響していると考えられる。

(2) 取引種別

図6・7より、線路より北側では売買物件が多く、特に千光寺山南側麓に集中する。一方、南側では賃貸物件が多い。北側には古寺めぐりコースを中心に様々な観光資源が集まり、購入して活用しようとする需要が高いため売買契約が多いと考えられる。対して南側は商店街が広がっており地価上昇を見込んでか、賃貸物件が多い。

(3) 契約状況

未契約物件は長江一丁目と、西久保町エリアに集中している。どちらも両側の山に挟まれた谷地形が共通点である。地形的制約が要因だと考えられる。(図8,9参照)

(4) 前面道路のアクセス性

図10より、アクセス手段別では徒歩のみの物件が161件と最も多く、千光寺山・西國寺山・浄土寺山の斜面地に集中する。バイク(82件)は広範囲に分布し、車が入れない路地でも使用可能なので重要な移動手段となっている。自動車アクセス可能な物件(28件)は、県道や国道沿いに多い。これは、尾道市特有の坂の多い地形と、主要道路以外では車での移動が難しいことが背景にある。

これらは歴史的景観が残る街並みで、徒歩前提の道路網が現在まで使われ続けているということを示唆する。

(5) 築年数別の物件分布

図12では、緑の濃淡で標高、赤の濃淡で築年数を示している。図13を見ると、築年数の浅い物件が多く、築年数が古くなるほど物件数が減少する傾向が確認できる。加えて、標高と築年数に相関が無いと考えられる。

(6) 古寺めぐりコース寺院周辺(100m圏)の物件分布

図14・15を見ると、『古寺めぐりコース』に沿って、物件が分布しているため、昔から寺院を中心に市街地が形成された様子がうかがえる。範囲内にある物件は155件で約57%を占めている。

4. 空き家発生への影響度合い

(1) 解析前の説明

『契約状況』を目的変数として、空き家レベル・標高・取引種別・古寺めぐりコース・土砂災害レベル・前面道路幅の7つのデータから説明変数を作成する(紙面

の都合上、土砂災害は表から除外。築年数はデータ数が限られるため不採用と)。表6は各説明変数の偏相関係数を大きい順に並べたもので、表7は各説明変数のカテゴリの詳細とそのスコアである。また、解析の精度向上のためカテゴリ再編し、微調整を行っている。その変更に応じて説明変数の名称も新たに設定した。(表7参照)

表6 偏相関係数表

説明変数	偏相関係数
新空き家レベル	0.27684
標高レベル	0.26602
取引種別	0.24619
古寺レベル	0.07485
土砂レベル	0.05939
前面道路	0.04546

表7 カテゴリ別スコア

説明変数	カテゴリ数	解	詳細
新空き家レベル	1	0.15094	空き家レベル1
	2	-0.43924	空き家レベル2
	3	-0.00463	空き家レベル3
	4	1.5086	空き家レベル4
標高レベル	1	-0.48608	0'19m
	2	0.49473	20'39m
	3	-0.49473	40'59m
取引種別	1	-0.27476	売買
	2	-0.25704	賃貸
	3	0.96929	両方可
古寺レベル	1	-0.15297	範囲外
	2	0.15428	内1つ
	3	0.15025	内複数
土砂レベル	0	-0.05323	区域外
	1	0.25849	警戒区域内
前面道路	1	0.01136	徒歩
	2	-0.08929	バイク
	3	0.18289	車

(2) 解析結果

表6より『新空き家レベル』『標高レベル』『取引種別』の順で、『契約状況』の判別に強く影響していることが分かる。表7では、『新空き家レベル(カテゴリ4)』『取引種別(カテゴリ3)』の順で『契約済み』に寄与し、逆に『標高レベル(カテゴリ1)』『新空き家レベル(カテゴリ2)』の順で『未契約』側に働く傾向が示された。一方、『古寺レベル』『土砂災害レベル』『前面道路』はスコアが小さく、主要の3変数に比べて『契約状況』への影響は小さい。

5. まとめ

空き家の発生は、空き家の状態、標高、契約種別が特に強く影響していることが分かった。これに対して、観光資源(古寺レベル)、災害リスク(土砂レベル)、前面道路幅(アクセス)は影響が少ない。尾道市の特徴である坂道や観光資源との関係性は明確にはならなかった。これは本研究では空き家バンクのデータのみを用いたことが一因であると推測できる。今後の展開として、他の不動産データなどを参照することが考えられる。

謝辞:本研究を進めるにあたり、空き家データをご提供いただいたNPO 法人尾道空き家再生プロジェクトの皆様へ深く感謝申し上げます。尾道市の景観保全に長年取り組まれており、その活動で得られた貴重な情報であった。

参考文献

1)尾道市空き家等対策計画概要版

<https://www.city.onomichi.hiroshima.jp/uploaded/attachment/34514.pdf>

* 学生 高知工科大学 システム工学群 建築・デザイン専攻 Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and Urban design

** 教授 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 Prof. (Ph.D) Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and Urban design

歩行空間の建築平面に対する形態分析 —義務教育学校建築の場合—

○田阪療平*

正会員 木多彩子**

5.建築計画
学校建築

b.学校
通路平面

形態特性

1. 研究の背景と目的

先進諸国では近代的な教育システムができてから 100 年近い歴史を持つようになった。よって 1960 年代以降欧米諸国を中心に現代に合わせたものへと教育の変革が起こってきた。日本においても昭和 40 年(1965 年)代以降、一人一人の学習を大事にし、個人の速度で自主的に学習することの重要性が謳われるようになった。これにより、特に小学校では授業において単に「聞く」「見る」「書く」といった受動的な学習から「話し合う」「試す」などの能動的な活動が求められるようになってきている。さらに、並行して学校建築そのものにも教育活動だけでなく交流や気分転換、落ち着ける場等の居場所としての役割が求められ、特に廊下、階段等の通路空間はおしゃべりの場、出会いの場としてとらえられるようになっていく^{文1) 文2)}。

このような教育の変革の中にあって、学校建築の平面計画における影響は必至である。本研究では特に、おしゃべりや出会い等の交流の場であり、新たな場としてオープンスペース等の出現も見られる通路空間への影響が大きいと考え、教育の変革による影響が通路空間の平面形態においてどのように表れるのか、どの程度現れるのかを明らかにしていきたいと考えている。

2. 研究の方法

日本図学会図学研究 42 巻(2008)に安藤直見、種田元晴の「多様な建築平面の形態特性に関する考察」^{文3)}という興味深い手法の論文を見つけたため、大いにこれに倣って研究を進めていく。文3は建築の多様な平面形態を蒐集し、その特性を数的に分析しており、社会の変化に伴って成長し変化する建築として主に駅前ペDESTリアンデッキを例にとり、その平面形態の多様性・複雑性を図学的に解析することを試みるものである。また、文3ではペDESTリアンデッキを「単なる歩行通路ではなく、独自の形態をもち、休憩、待ち合わせ、パフォーマンス、立ち止まっての情報へのアクセスなどのさまざまなアクティビティを発生させながら、『周辺の建物』との関係に基づく空間を形成」するものとして独自の解析手法を用い数的に解析するものであるが、『周辺の建物』

を『通路がつなぐ各室』と置き換えることで学校建築の通路空間も似たものにとらえることができると考えたため、文3の新たな例として学校建築の通路空間を取るような形で本研究を進めていく。研究全体の流れを図1に示す。

本研究では学校の統廃合が起こりやすく教育の変革の中心であることから、より顕著に変化がみられると考えられる義務教育学校を中心とし、小学校・中学校・小中一貫校・中高一貫校に研究対象を絞る。研究対象の資料収集は雑誌「新建築」(新建築データ^{文4)})を用い、より新しい傾向をみるため2000年1月~2025年4月の約25年間に掲載されたものに絞ることとする。

なお学校の通路空間について、本研究では学校建築の「通路空間」を「学校建築の屋内において移動に使われる空間(階をまたぐ階段を含まない)」と定義し、これを研究対象とする。

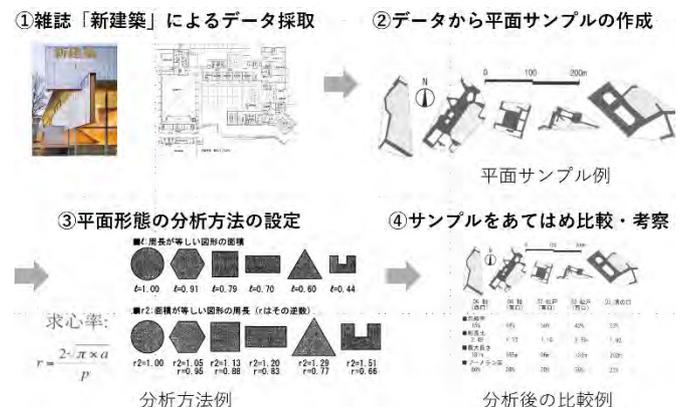


図1 研究の流れ(文3を参考に作成)

3. 仮説の設定

学校建築における通路空間の平面形態を解析していくにあたって仮説を設定する。始めに、教育システムの改革による総合学習の推進等によるオープンスペースの出現や一貫校化に伴う建築平面の複雑化から「年代と共に学校の通路空間の割合は増加する」と考えられる。さらに、多年齢を含む学校は運営や室配置が異なることが予想されることから「一貫校にはそうでない学校に比べ通路空間に特別な特徴があるのではないかと考えられる。

A Morphological Analysis of Pedestrian Spaces in Architectural Floor Plans:
The Case of Compulsory Education School Buildings

*TASAKA Ryouhei, **KITA Ayako

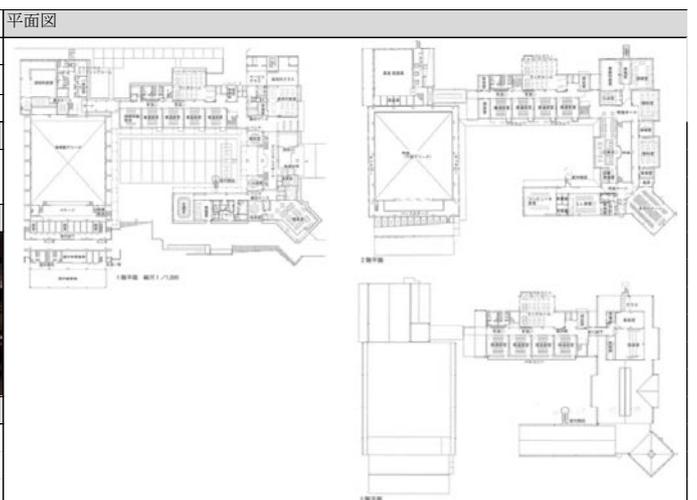
表1 研究対象リスト

No.	掲載年月	建築物の名称	主用途	構造	階数	延べ床面積	所在地	No.	掲載年月	建築物の名称	主用途	構造	階数	延べ床面積	所在地
1	2000/1/	出石町立石出中学校	中学校	RC造	地上3階	8692	兵庫県	62	2011/6/	和光小学校・幼稚園	幼稚園 小学校	S造 RC造 SRC造	地上3階	3585.22	東京都
2	2000/4/	豊田谷区立桜丘小学校	小学校	RC造	地上1階 地上2階	9406.34	東京都	63	2011/6/	同志社国際学院	小学校	RC造 SRC造	地上4階	9335	京都府
3	2000/4/	立教池袋中学校・高等学校	中学校 高校	RC造	地下1階 地上4階	9355.65	東京都	64	2012/3/	高野立小学校	小学校	RC造 木造	地上2階	3625.85	兵庫県
4	2001/5/	福岡市立博多小学校・新倉庫公民館	小学校	SRC造	地下1階 地上5階	12358.32	福岡県	65	2012/5/	帝京大小学小	小学校	S造 RC造 SRC造	地上3階	7781.52	東京都
5	2001/8/	豊後町立豊後中学校	中学校	木造 RC造	地上2階	16958.95	福岡県	66	2012/12/	山鹿市立山鹿小学校	小学校	RC造 木造	地下1階 地上2階	8166.64	熊本県
6	2001/12/	早川町立早川北小学校	保育所 小学校	SRC造 RC造	地上2階 地上4階	3952.16	山梨県	67	2012/12/	長岡市立和島小学校	小学校	RC造 木造	地上1階	6542	新潟県
7	2001/12/	山形町立築山小学校	小学校	S造 RC造 木造	地上2階	1252.92	岩手県	68	2012/12/	大田原市立東野中学校	中学校	RC造 木造	地下1階 地上2階	10747	栃木県
8	2001/12/	早稲田実業学校 (初等部・中等部・高等部)	小学校 中学校 高校	S造 SRC造	地下1階 地上3階	32121.5	東京都	69	2012/12/	長岡市立宮内中学校	中学校	S造 RC造	地上4階 地上5階	13392.31	新潟県
9	2001/12/	豊後県立豊後新館	中学校	S造 SRC造	地下1階 地上3階	3487.55	福岡県	70	2012/12/	尾鷲小学校・尾鷲幼稚園	幼稚園 小学校	S造 RC造	地上2階	7413.7	三重県
10	2001/12/	新地町立朝日小学校	小学校	RC造 木造	地上2階	4855.46	福岡県	71	2012/12/	つるぎ町立半田小学校	小学校	S造 RC造	地上3階	2849.96	徳島県
11	2002/8/	豊後県立豊後新館 新館21	小学校	S造 RC造	地下1階 地上4階 地上5階	3522.7	東京都	72	2012/12/	高松市立東第一小学校・高松第一中学校	小学校 中学校	S造 RC造	地上4階	19477.91	香川県
12	2002/8/	金山町立明安小学校	小学校	RC造 木造	地上3階	2235.3	山形県	73	2012/12/	MHO実学院中等教育学校	中学校	S造 RC造 木造	地下1階 地上4階 地上5階	25318.88	熊本県
13	2002/8/	横方町立横方小学校	中学校	RC造 木造	地下1階 地上4階	7048.86	大分県	74	2013/3/	太子町立瑞穂小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	1204.2	兵庫県
14	2003/6/	横浜雙葉学園	中学校 高校	RC造 木造	地下1階 地上5階	8671.71	神奈川県	75	2013/6/	宇治市立宇治小学校	小学校	RC造 木造	地上2階	8576.64	兵庫県
15	2003/6/	太田市立沢野中央小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	10344.67	群馬県	76	2013/7/	宇治市立豊野小学校	小学校 中学校	RC造 木造	地上1階	4871.28	熊本県
16	2003/7/	南山城村立南山城小学校	小学校	S造 RC造	地下1階 地上2階	8671.71	京都府	77	2013/7/	福中町立福中中学校	中学校 高校	RC造	地下1階 地上4階 地上5階	15594.37	兵庫県
17	2003/7/	川尻小学校	小学校	S造 RC造	地上3階	5915.04	広島県	78	2013/7/	和木町立三和小学校	小学校	木造	地上3階	4176.15	熊本県
18	2003/9/	なぎさ公園小学校	小学校	S造 RC造	地下1階 地上2階	6528.67	広島県	79	2015/6/	萩市立おおたかの森小・中学校 おおたか	小学校 中学校	S造 RC造	地上3階	22051.89	千原県
19	2004/7/	神楽町立神楽中学校体育館	中学校	S造 RC造	地下1階 地上2階	1375.25	群馬県	80	2015/6/	立川市立第一小学校 築山幼稚園・学童保育	小学校	S造 RC造 SRC造	地下1階 地上3階	8711.49	東京都
20	2005/3/	静岡大成中学校・高等学校	中学校 高校	S造	地上6階	6946.69	静岡県	81	2015/6/	七ツ高町立七ツ高中学校	中学校	S造 RC造	地上2階	4703.39	宮城県
21	2005/5/	戸田市立戸田小学校	小学校	S造 RC造 SRC造	地上3階 地上4階	11245.3	埼玉県	82	2015/6/	港区立小中一貫教育校 自金の丘学園	小学校 中学校	S造 RC造	地下1階 地上6階 地上7階	17967.86	東京都
22	2005/7/	くもん国際アカデミー	小学校 中学校	RC造 木造	地上2階	7935.3	群馬県	83	2015/6/	立命館中学校・高等学校 共済新キャンパス	中学校 高校	S造 RC造	地上1階 地上6階	38778.55	京都府
23	2005/7/	千原市立打瀬小学校増築棟	小学校	S造 RC造	地下1階 地上2階	8965.08	千葉県	84	2015/6/	広島市立広島特別支援学校	特別支援学校	S造 RC造	地上3階	20645.3	広島県
24	2005/9/	山梨学院大学附属小学校	小学校	S造 RC造 SRC造	地下1階 地上2階	7352.88	山梨県	85	2015/11/	つくばみらい市立光台小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	10830.27	茨城県
25	2005/11/	加賀市立加賀中学校	中学校	S造	地下1階 地上2階	7514.89	石川県	86	2017/4/	東京都立豊島区立豊島小学校	小学校	S造 RC造 木造	地上2階	3999.07	東京都
26	2006/4/	福山市立藤井中学校	中学校	S造 RC造 木造	地上3階	10309	福岡県	87	2017/4/	陸前高田市立高田東中学校	中学校	S造 RC造	地下1階 地上2階	7172.31	岩手県
27	2006/4/	野水市立野水小学校	小学校	S造 RC造	地上2階 地上3階	4451.38	奈良県	88	2017/4/	栄光学園	中学校 高校	S造 RC造 木造	地下1階 地上2階	9319	神奈川県
28	2006/6/	岡部市立岡部小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	7406.73	京都府	89	2017/4/	鎌倉市立大船中学校	中学校	S造 RC造	地上3階 地上4階	9981.96	神奈川県
29	2006/9/	川口市立戸塚南小学校	小学校	S造 RC造	地上1階	10092.51	埼玉県	90	2017/4/	矢野町立矢野小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	6039.99	福岡県
30	2006/10/	丸岡南中学校	中学校	S造 RC造	地上2階	10979.71	福井県	91	2017/4/	新井市立新井小学校	小学校	S造 RC造 木造	地下1階 地上2階	10922.11	北海道
31	2007/5/	安中市立九十九小学校	小学校	S造 RC造 木造	地上2階	2409.7	群馬県	92	2018/3/	釜石市立豊川小学校・釜石市立釜石東中学校	小学校 中学校	S造 木造	地上4階	11728.19	岩手県
32	2008/1/	福島県立会津学院中学校 福島県立会津学院	中学校 高校	S造 RC造 木造	地上3階	22054.87	福島県	93	2018/3/	釜石市立豊川小学校・釜石市立豊川中学校	小学校 中学校	S造 RC造 木造	地下1階 地上3階	6180	岩手県
33	2008/1/	徳島中等教育学校	中学校	S造 RC造 SRC造	地上4階	35003.57	徳島県	94	2018/3/	石巻市立豊川小学校・豊川中学校	小学校 中学校	S造 RC造 木造	地上3階	5148.59	岩手県
34	2008/1/	足立学園・高等学校	中学校 高校	S造 RC造 SRC造	地下1階 地上6階 地上7階	16670.51	東京都	95	2018/3/	作手小学校 つくば交差点	小学校	S造 RC造 木造	地上1階	4532.35	愛知県
35	2008/6/	富山市立 芝園小学校 芝園中学校	小学校 中学校	S造 RC造 SRC造	地下1階 地上4階	22041.42	富山県	96	2018/12/	横浜市立子安小学校	小学校	S造 RC造	地上4階 地上5階	15561.95	神奈川県
36	2008/6/	カリタス女子中学高等学校	中学校 高校	S造 RC造 SRC造	地上4階	19998.65	神奈川県	97	2018/12/	みなとみらい本町小学校	小学校	S造	地上4階	7984.02	神奈川県
37	2008/6/	青山学院初等部	小学校	RC造 木造	地下2階 地上4階	14965.94	東京都	98	2018/12/	江東区立有明西学園	小学校 中学校	S造 RC造 木造	地上5階	24494.39	東京都
38	2008/6/	徳島市立西中学校	中学校	S造 RC造	地下1階 地上2階	9428.82	徳島県	99	2018/12/	三井物産第二小学校	小学校	S造 RC造	地上3階	5306.48	福岡県
39	2008/6/	宇土市立宇土小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	7500	熊本県	100	2019/6/	聖門学院中学校・高等学校 新校舎	中学校 高校	S造 RC造	地上2階	13992.23	大阪府
40	2008/6/	宇土市立津浦小学校	小学校	RC造	地上2階	2900	熊本県	101	2019/6/	広島県立広島新築中学校・高等学校	中学校 高校	RC造 木造	地上4階	3704.14	広島県
41	2008/9/	とどろみの森学園 美面市立立止呂美小学校	小学校 中学校	S造 RC造 SRC造	地上3階	9582.85	大阪府	102	2019/6/	福川市立桃山小学校	小学校	S造 RC造	地上3階	9478.17	茨城県
42	2009/1/	広島なぎさ中学校・高等学校	中学校 高校	S造 RC造	地下1階 地上4階	3793.38	大阪府	103	2019/6/	北区立田端中学校	中学校	S造 RC造	地上8階	8255.72	東京都
43	2009/3/	長岡市立東中学校	中学校	S造 RC造	地上3階	11181.16	新潟県	104	2019/6/	陸前高田市立泉仙小学校	小学校	RC造 木造	地上2階	4561.27	岩手県
44	2009/3/	神戸市立玉津第一小学校	小学校	RC造	地上3階	9327.01	兵庫県	105	2019/10/	浦和市の泉女子中学・高等学校 カフェテリア	中学校 高校	S造	地上2階	719.78	埼玉県
45	2009/4/	長野県福山山養護学校	特別支援学校	RC造 木造	地上2階 地上3階	14461	長野県	106	2020/10/	軽井沢風越小学校	幼稚園 小学校	S造	地上2階	6717.52	長野県
46	2009/4/	熊本県芦北町立佐敷小学校	小学校	RC造 木造	地上2階	4430.37	熊本県	107	2021/11/	魚津市立泉の杜小学校	小学校	S造	地上3階	5684.47	富山県
47	2009/4/	川上町立川上中学校	中学校	RC造 木造	地上2階	6395.94	兵庫県	108	2021/11/	滝山市立泉の杜小学校	小学校	S造 RC造 木造	地下3階 地上1階	12423.75	千原県
48	2009/6/	七沢希望の丘初等学校	小学校	RC造 木造	地下1階 地上2階	1229.72	神奈川県	109	2022/1/	同志社香里中学校・高等学校 メディアセン	中学校 高校	S造 RC造	地上2階	877.48	大阪府
49	2009/7/	高崎市立松山小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	9450.23	群馬県	110	2022/5/	滝山市立泉の杜小学校	小学校	S造 RC造 木造	地上3階	14568.34	千原県
50	2009/7/	伊東東小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	4672.23	群馬県	111	2022/7/	瑞浪北中学校	中学校	S造 RC造 木造	地上3階	8090.07	岐阜県
51	2009/7/	西天寺学園小学校・西天寺大学藤井寺町	小学校 大学	SRC造 RC造	地上6階	15573.78	大阪府	112	2022/10/	旭学院小学校 ウェスト館	小学校	S造 木造	地上2階	9729.72	千原県
52	2009/9/	糸魚小学校	小学校	S造 RC造 木造	地上1階	3893	北海道	113	2023/4/	大豊町立大豊学園 大杉保育所	保育園 小学校	木造	地上2階	3251.99	千葉県
53	2009/11/	八幡浜市立自主小学校	小学校	S造 木造	地上2階	3566.78	愛媛県	114	2023/4/	松田市立松田小学校	小学校	RC造 木造	地上3階	6379.78	神奈川県
54	2010/4/	岐阜市立岐阜小学校	小学校	S造 RC造	地上2階 地上3階	5519.68	岐阜県	115	2023/10/	豊中市立庄原さくら学園・豊中市庄内コロシアム	小学校 中学校	S造 RC造	地上4階 地上5階	30094.72	大阪府
55	2010/4/	飛島村立小中一貫教育校 飛島学園	小学校 中学校	S造 RC造 SRC造	地上2階 地上3階	13100.67	愛知県	116	2023/11/	豊中市立庄原さくら小学校	小学校	S造 RC造	地上3階 地上4階	8821.67	神奈川県
56	2010/4/	多摩市立多摩第一小学校	小学校	S造 RC造	地上3階	9494.4	東京都	117	2023/11/	安中市立早葉学園	小学校 中学校	S造 RC造 木造	地上2階	7088.5	北海道
57	2010/6/	岡部市立岡部中学校・高等学校	中学校 高校	S造 RC造	地上3階	24728.92	京都府	118	2023/12/	津川市立岡部小学校	小学校	S造 RC造	地上2階	6034.87	岐阜県
58	2010/11/	川崎市立藤井小学校	小学校	S造 RC造	地上1階	9849.11	神奈川県	119	2024/5/	宇口立さくら小学校	小学校	S造 RC造 木造	地上3階	10316.38	大阪府
59	2010/11/	府中学園 府中市立府中中学校・府中中学校	小学校 中学校	S造 RC造	地上2階 地上3階	15193	広島県	120	2024/5/	中央区立 晴海西小学校・晴海西中学校	小学校 中学校	S造 RC造	地下1階 地上3階	25923.76	東京都
60	2011/3/	伊予市立伊予小学校	小学校	木造	地下1階 地上2階	2755.52	徳島県	121	2025/4/	福島県立安中中学校	中学校	S造 RC造 木造	地下1階 地上3階	4546.8	福島県
61	2011/5/	実践学園中学校・高等学校 自由習習館	中学校 高校	S造 RC造	地下1階 地上3階	1389.38	東京都								

(マーカー部分は無効データ)

表2 データシート例

No.1	石出町立石出中学校		
所在地	兵庫県出石郡出石町弘原202		
掲載年月	2000/1/	延べ床面積(m ²)	8692
主用途	中学校	教室数	13
建物の背景・特徴			
出石町の町並み保存と地域開発の共存を目標に掲げ、中学校の全面改築が行われた。			
外観写真	内観写真		
			
備考			
<特別教室> 理科室:2 家庭科室:2 技術室:1 美術室:1 音楽室:2			



4. 学校の通路空間の平面形態

研究対象として新建築より収集したものとその詳細なデータをまとめたデータシートをそれぞれ表1、表2に示す。上記の条件を満たす研究対象は121件あり、そのうち有効データは111件であった。また、そのうち小

校は60件、中学校は20件、一貫校(小中一貫校+中高一貫校)は31件であった。

ここで、通路空間の平面は細長い形状が複雑に組み合わせられた「線的」な特徴を有することが想像できるが、

図形が「面的」か「線的」かの度合いは図形の面積と周長の関係によって数値化できる。ある面積に対して最小の周長をもつ図形は円であり、円はもっとも面的な図形である。面積に対する周長が大きくなるにしたがって、図形は面的なものから細く長い、あるいは折れ曲がった線的な形状に変化する。さらに加えて、面積と周長の関係の他にも、図形に空いた穴との面積比や図形を包絡する凸多角形との面積比などを数値化することで図形の複雑さを計ることができると考えられる。また、床面積全体と通路部分との面積比や通路の接続する室数、分岐点の数も図形の特性に影響を与えるだろう。

解析を行うにあたり、新建築から得た平面図から通路空間のみ抜き出したもの(平面サンプル)を作成し、文3を参考に以下のデータを算出した。

- ① 求心率：図形の形状がどれほど円に近いを示し、大きいほど円に近く面的な形状である。
- ② ボイド率：ボイド部(穴の開いた部分)の通路面積+ボイド部に対する割合
- ③ 包絡率：通路を内包する凸多角形(包絡多角形)の面積(包絡面積)に対する通路面積の割合
- ④ 通路率：その階全体の面積に対する通路面積の割合
- ⑤ 接続室あたり通路面積：通路が接続する室数で通路面積を除したもの
- ⑥ 階面積/分岐数：その階全体の面積と通路に生じる分岐点の数との比

これらのデータの算出例を図2に示す。

以上のデータを用い、それぞれのデータと年代(表1が年代順に並んでいるためそのNoにより示す)との関係性を小学校、中学校、一貫校に分けて示す。

求心率と年代との関係性(図3)は年代による差異はほとんど見られない。しかし、学校間においては小学校が幅広く値を取るのに対して中学校、一貫校は多くが0.1~0.25の範囲にまとまることがわかる。ボイド率と年代との関係性(図4)は年代による差異はほとんど見られず、学校間でもほとんど差はみられない。包絡率と年代との関係性(図5)も、年代、学校間による差異はともに見られない。通路率と年代との関係性(図6)では、中学校のデータに若干の負の相関がみられる。学校間においては求心率と同様小学校が幅広くばらけるのに対し、中学校、一貫校はある程度の幅におおむね集中することがわかる。接続室あたり通路面積と年代との関係性(図7)では年代、学校間による差異はともに見られず、階面積/分岐数(図8)においても同様に大きな差異はみられなかった。

求心率、通路率にみられた学校間の差は小学校ほど複雑な形状や単純な形状を幅広くとり、学校全体に占める通路空間の大きさを幅広くとる中学校、一貫校ほど一定の複雑さで一定の通路空間の大きさをとるということを示す。ここから中学校や一貫校に比べ単独の小学校のほうが教育の改革の影響をより大きく受け、多様化が進ん

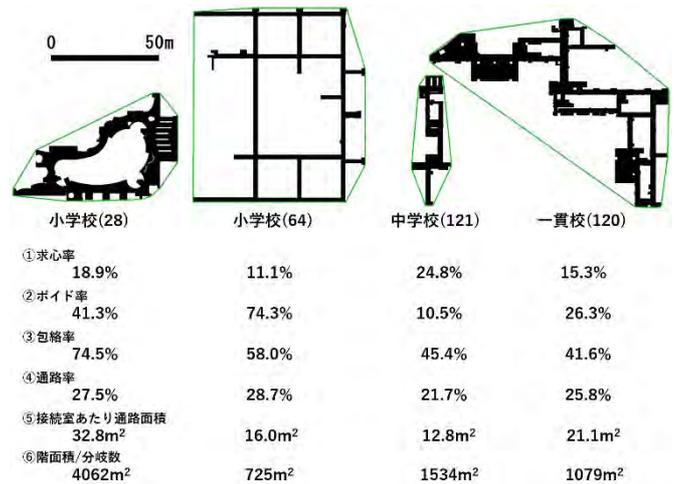


図2 形態データの算出例

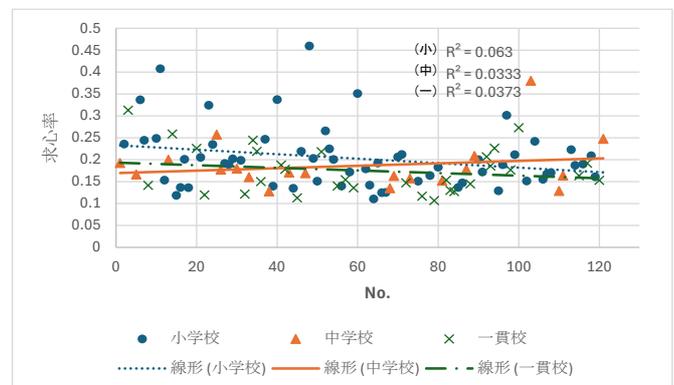


図3 求心率と年代との関係

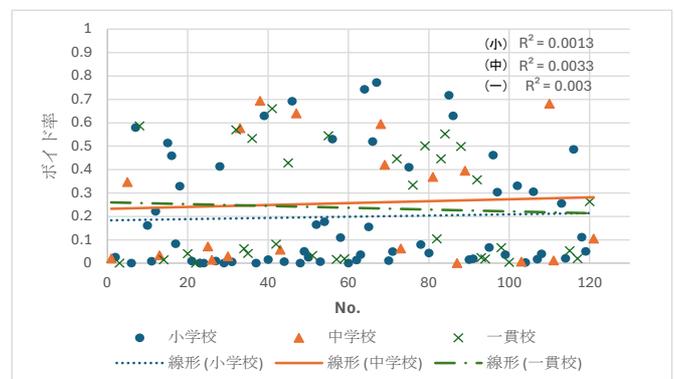


図4 ボイド率と年代との関係

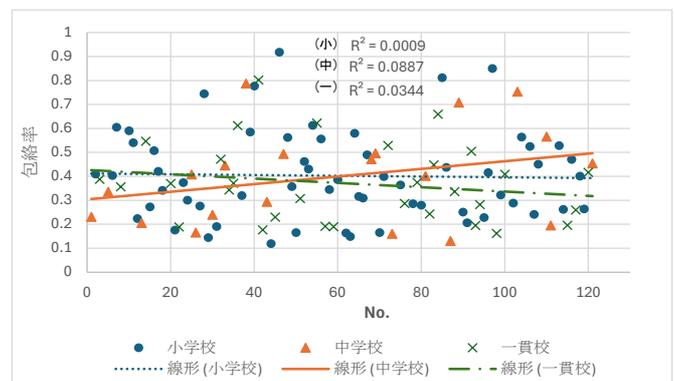


図5 包絡率と年代との関係

でいることがうかがえる。さらに、年代による変化がみられたのは通路率の中学校のデータのみであったが、やや負の相関となり最近の約 25 年間でやや学校全体に占める通路の大きさが小さくなっていることを示す。これは近年のオープンスペースの導入などによる通路空間の充実化とは反対の傾向であり、不思議である。また、この結果はやや負の相関の見られた中学校、ほとんど相関の見られなかった小学校・一貫校ともに「年代と共に通路空間が大きくなる」という一つの仮説には反する結果となった。

最後にほぼすべての散布図全体および各項目において年代による変化がほとんど見られなかったことについて、通路空間を「…移動に使われる空間…」として研究対象に取ったため、移動の役割を担わないためにオープンスペース等が通路空間に含まれなかったケースも多く、うまくオープンスペース等の出現による通路空間の充実を反映させられなかったことが原因として第一に考えられる。また、研究対象の収集に用いた雑誌「新建築」が取り上げる建物は当時の最先端の理想や流行を映したものが多く、新建築上ではすでに変革による影響が収束していた可能性が考えられる。収集の段階では現在も学校建築は変革のさなかにあるという前提の下で最新の対象のほうがより進んだ変化がみられるだろうと考え、最新の25年間で研究対象としたが、2000年以前を研究対象としてとったほうがより顕著な変化を見られたかもしれない。また、これらの結果から一貫校において他と比べ特別な傾向はみられず、二つ目の仮説と異なっている。

5. まとめ

小学校を中心に教育の変革の影響による、通路空間の平面の多様化の傾向がみられた。しかし、過去25年間における年代による通路空間の平面の形態を分析した結果からは顕著な変化は見られなかった。本研究における「通路空間」の定義と平面データのとり方や、新建築を用いた資料データ収集の方法により、教育の変革の影響が反映されにくかった可能性があると考えられる。

6. 参考文献

- 1)川崎寧史 山田あすか,テキスト建築計画,学芸出版社,2010,219p
- 2)小嶋一浩,アクティビティを設計せよ!,彰国社刊,2000,145p
- 3)「多様な建築平面の形態特性に関する考察」図学研究 2008年 42巻 Supplement2号 87-94
- 4)新建築データ <https://data.shinkenchiku.online>

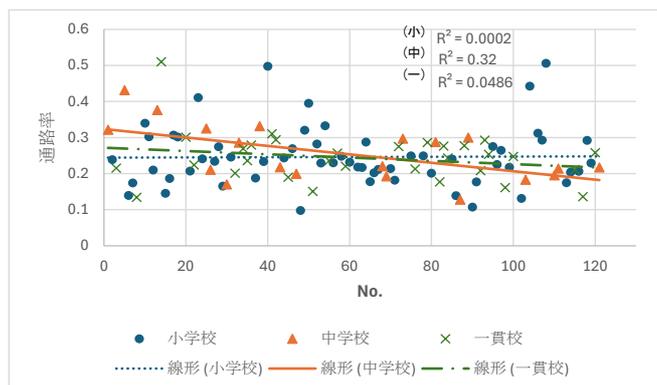


図6 通路率と年代との関係

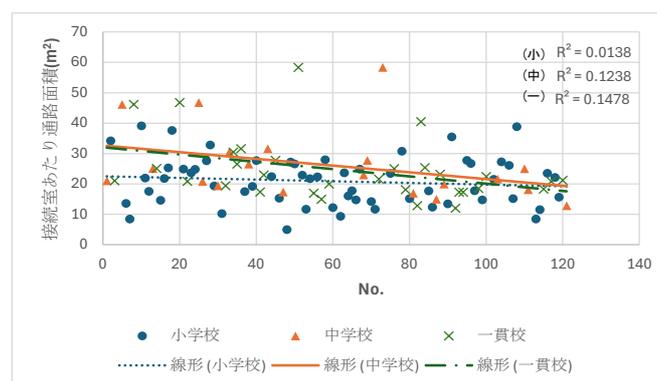


図7 接続室あたり通路面積と年代との関係性

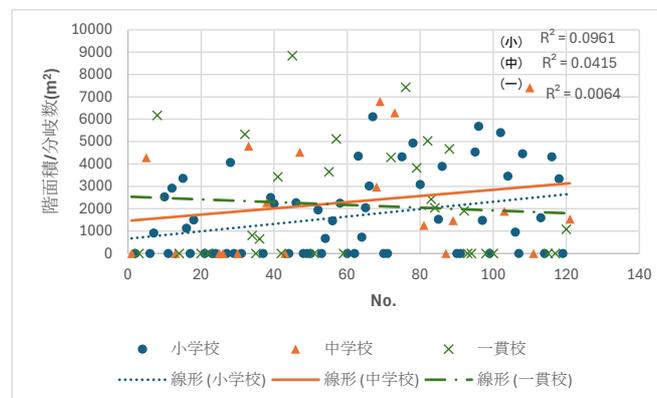


図8 階面積/分岐数と年代との関係性

*学生 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻
**教授 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻
Urban design

Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and Urban design
Prof. (Ph.D) Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and

地方都市と大都市圏の二輪車駐輪場の特徴に関する比較研究— JR 神戸線の鉄道駅周辺を対象に —

5. 建築計画
自動二輪車駐車場
マッピング分析

2. 各種建物・地域施設
鉄道駅周辺
パークアンドライド

都市形態
JR 神戸線

○横山翔海*
正会員 木多彩子**

1. 研究の背景

近年、若年層を中心に自動車離れが進む一方、電動アシスト自転車など身近な移動手段の利用が拡大している。自動二輪車についても、2025 年の排気ガス規制により 50cc 以下の原付の生産終了が決定し、今後は 125cc クラスが新たな原付として位置づけられる見通しである。都市環境において自動二輪車は自動車と自転車の中間的で曖昧な位置づけにあり、法制度や施設整備の狭間に置かれている。そのため、路上駐車や自転車用駐輪場への駐輪など、適切とは言えない利用形態が散見され、二輪車専用の駐輪・駐車場は課題と考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、地方都市と大都市圏における鉄道駅周辺の二輪車駐車場の分布および特徴を比較し、二輪車用の駐車・駐輪場の実態を把握することを目的とする。その上で、新たなパークアンドライドの可能性を考察し、あわせて今後の二輪車を活用した都市計画資料の一助とすることを旨とする。

3. 研究方法

本研究では、予備調査として先行研究を通じ、法令・制度や二輪車駐車場を巡る課題を整理し、仮説設定および対象地域の選定を行う。文献調査では、兵庫県・大阪府の統計書¹⁾²⁾を用いて自動二輪車登録台数や駅別乗降客数を把握するとともに、日本二輪車普及安全協会の「全国バイク駐車場・駐輪場案内」³⁾を基に駐車場をマッピングする。現地視察調査は、これらの結果を踏まえて対象駅を選定し、設定した調査項目に基づいて実施する。得られた結果を文献調査と照合し、駅周辺の二輪車駐輪環境の実態を把握し、特徴を踏まえて地域ごとの差異について考察する。

4. 文献調査

文献調査では、調査対象地域の基礎特性を把握するため、一世帯あたりの自動二輪車保有台数(図 1)、人口構造(図 2)、ならびに鉄道駅の乗降客数(表 1)などを整理する。一世帯あたりの自動二輪車保有台数については地域差が見られ、兵庫県西部では小型二輪車の保有が多い傾向が確認される。加えて、垂水区では坂道の多い地形条件、芦屋市では所得水準など、鉄道路線の選択肢以外の地域

特性が二輪車保有に影響している可能性が示される。

人口構造については、都心部に位置し若年層の割合が高い中央区と、生活拠点として中高年層および子育て世代を一定程度含む垂水区を代表例として調査対象地域の人口ピラミッドを作成し、地域間の人口構成の違いを確認した。

表 1 の乗降客数を見ると、大阪駅・三ノ宮駅・神戸駅など東部の主要駅で多く、西部に向かうにつれて減少する傾向が見られ、都市機能の集積度や公共交通利便性との関係が示唆される。

表 1 JR 神戸線乗降客数

順位	場所	乗降客数	16 兵庫	20,088	35 須磨海浜公園	5,810
1	大阪	347,078	17 摂津本山	19,211	36 はりま勝原	5,348
2	三ノ宮	115,935	18 大久保	18,767	37 塩屋	5,317
3	神戸	51,549	19 西宮	18,262	38 英賀保	4,367
4	姫路	48,539	20 塚本	17,806	39 和田岬	4,068
5	明石	46,507	21 甲子園口	17,181	40 相生	3,993
6	尼崎	43,506	22 舞子	15,701	41 曾根	3,771
7	住吉	32,001	23 灘	15,460	42 播州赤穂	3,551
8	元町	31,354	24 土山	12,552	43 御着	2,653
9	西明石	29,559	25 東加古川	12,039	44 上郡	2,461
10	垂水	26,864	26 朝霧	11,864	45 竜野	1,959
11	六甲道	24,768	27 甲南山手	10,351	46 ひめじ別所	1,918
12	芦屋	23,991	28 魚住	10,195	47 東姫路	1,670
13	立花	22,481	29 須磨	9,844	48 西相生	787
14	加古川	22,147	30 宝殿	8,117	49 坂越	705
15	新長田	20,475	31 さくら夙川	7,885	50 天和	232
			32 鷹取	7,692	51 有年	206
			33 網干	6,815	52 備前福河	24
			34 摩耶	6,551		

5. マッピング

JR 神戸線沿線を対象に、二輪車駐車場・駐輪場の分布をマッピングにより可視化し、駅周辺における立地特性を分析する。駐車場データは、日本二輪車普及安全協会の「全国バイク駐車場・駐輪場案内」に登録された施設に加え、現地視察調査で確認した未登録施設を含めて整理した。これらの情報を Google My Maps⁴⁾を用いて地図上にプロットし、駅を中心とする半径 500m および 250m 圏を設定することで、駅近接性と分布状況の関係を把握した(図 3、図 4 参照)。

A Comparative Study on the Characteristics of Motorcycle Parking Facilities in Local Cities and Metropolitan Areas
-A Case Study of Railway Stations along the JR Kobe Line-

*YOKOYAMA Toa and **KITA Ayako

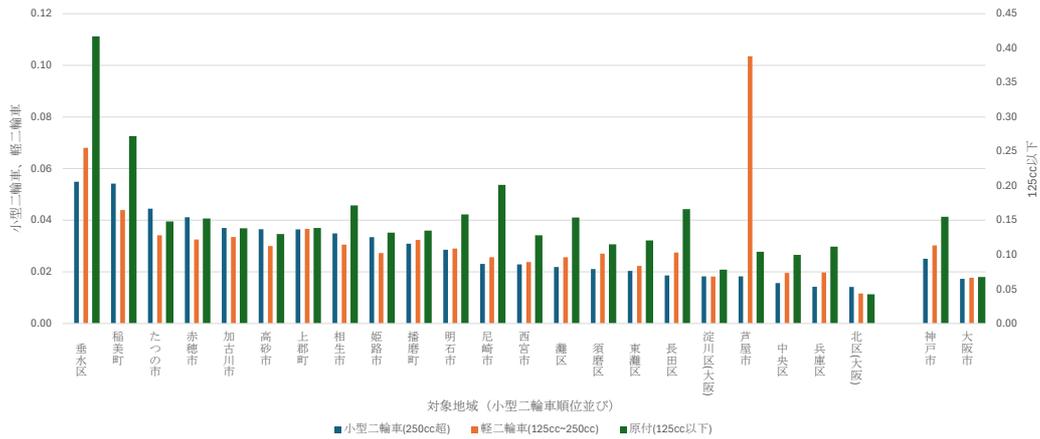


図1 排気量別に見る世帯あたり二輪車保有台数の地域差

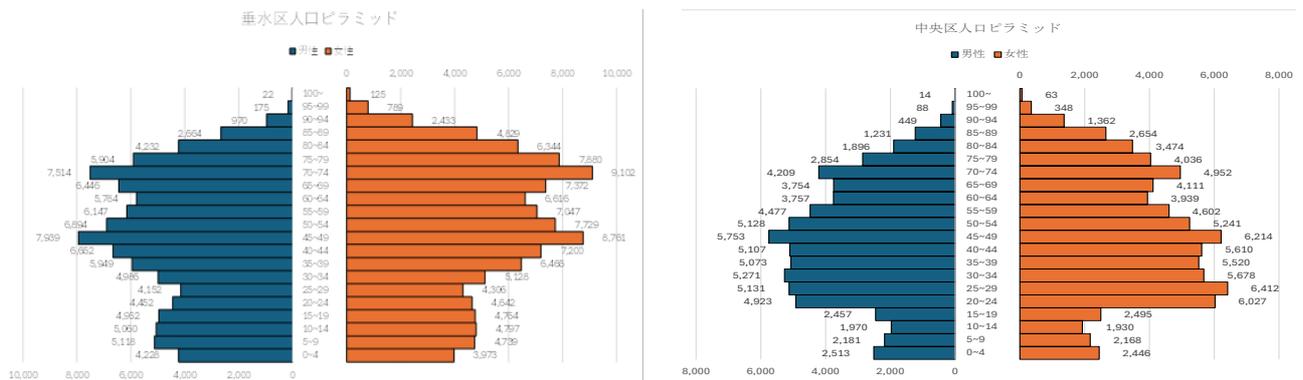


図2 左：神戸市垂水区人口ピラミッド 右：神戸市中央区人口ピラミッド



図3 調査対象地東部の駐車場・駐輪場分布図

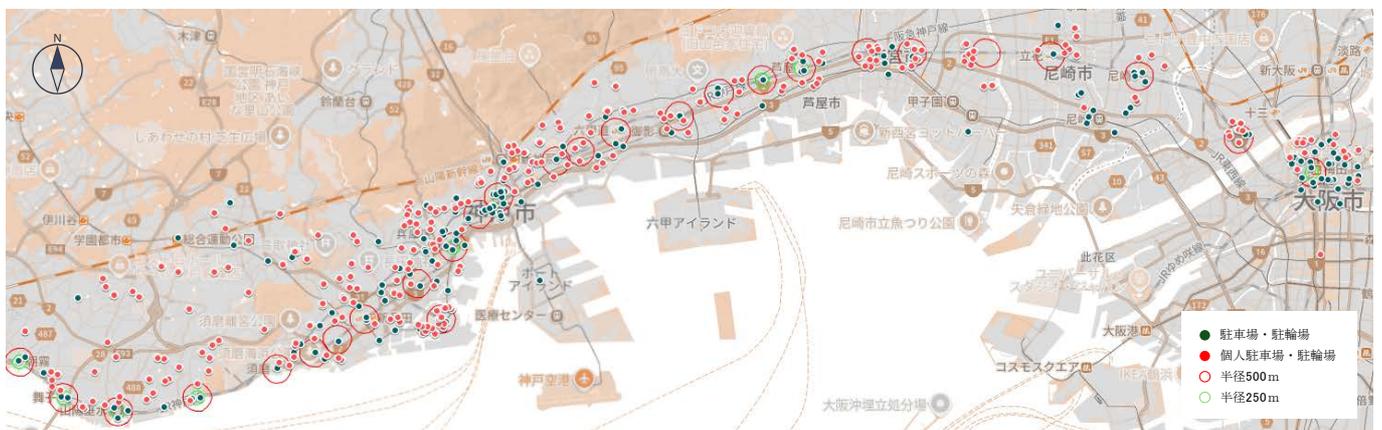


図4 調査対象地東部の個人駐車場・駐輪場分布図

都市形態	駐車場・駐輪場例	
<p>①大都市ターミナル型</p> <p>大阪駅・三ノ宮駅・神戸駅に代表される大都市ターミナル型では、複数の鉄道事業者が集積する広域的移動拠点として機能している。駐輪場は地下化・立体化が進み、自動車併設や全種対応に加え、路上型や歩道橋下の空間活用も見られる。一方、地価や土地制約の影響で料金は高水準となり、一時利用中心の利用形態が特徴である。</p>	 <p>写真1 エコステーション21 大阪梅田 ツインタワーズ・サウスパイク駐輪場</p>	 <p>写真2 フラワーロード西(北側)原付専用駐車場</p>
<p>②子育て・生活配慮型</p> <p>朝霧駅・垂水駅に代表される子育て・生活配慮型では、原付や自転車を日常生活移動手段として捉えた駐輪環境が整備されている。現地調査からは、おもいやりゾーンの設置やチャイルドシート付き自転車専用枠の確保、原付から自転車への転用など、子育て世代を意識した柔軟な運営が確認された。</p>	 <p>写真3 神戸市 垂水駅前(南)自転車駐輪場</p>	 <p>写真4 神戸市立駐輪場垂水駅前くがの自転車</p>
<p>③都市近郊・混合型</p> <p>土山駅・舞子駅・芦屋駅に見られる都市近郊・混合型では、自転車併設型を基本としつつ、一部で自動車併設や全種対応の駐車場が確認されるなど、複数の運営形態が混在している。都市部ほど高密度な整備は見られないが、原付から大型二輪まで一定の需要が存在し、それに応じた部分的対応が行われている点が特徴である。</p>	 <p>写真5 Cycle+RallRide 土山駅前</p>	 <p>写真6 JR 芦屋駅北自転車駐車場</p>
<p>④都市近接・補完型</p> <p>甲南山手駅・塩屋駅に代表される都市近接・補完型では、普通車のみが停車する駅であり、都市近郊に位置しながら駐輪機能を隣接する主要駅に依存して成立している。現地調査では自転車併設型が中心で、原付利用に限定された整備が多く、126cc 超の二輪車対応は確認されなかった。二輪車需要は駐輪環境の整った近隣主要駅に吸収され、駅単体で完結した駐輪環境整備が抑制されている点が特徴である。</p>	 <p>写真7 甲南山手駅前自転車駐車場</p>	 <p>写真8 神戸市立塩屋駅前自転車駐車場</p>
<p>⑤郊外・簡易管理型</p> <p>曾根駅・宝殿駅に代表される郊外・簡易管理型では、無料かつ無人管理の駐輪場が多く、区画整備は限定的である。利用は自転車が中心で、原付は最低限確保されているものの、126cc 超の二輪車対応は確認されない場合が多い。都市部に比べ需要規模が小さいことから、簡易的な駐輪環境整備にとどまっている点が特徴である。</p>	 <p>写真9 宝殿駅無料駐輪場</p>	 <p>写真10 時光寺自転車駐車場</p>

図5 駅周辺二輪車駐車場・駐輪場の5類型

ここでは一例として調査対象の東部エリアを示す。東部エリアでは、大阪駅、三ノ宮駅、神戸駅といった主要ターミナル駅周辺において、駅近接部を中心に二輪車駐車場・駐輪場が集中的に分布するとともに、周囲に他の鉄道事業者の駅や路線が立地していることから、駅から一定距離を離れたエリアにも点在して立地している様子が確認できる。一方、駅規模が比較的小さい駅では分布は駅近接部に限られ、その広がりも限定的である。以上より、二輪車駐車場・駐輪場の分布は、駅の規模や乗降客数に加え、周辺の鉄道ネットワーク構成や交通結節性といった地域特性に応じて異なることが確認された。

6. 都市形態別にみた駅周辺二輪車駐輪環境

現地視察調査は2025年8月～11月、JR神戸線沿線の各駅周辺を対象に実施した。調査対象駅は、整理した人口構造や乗降客数、ならびにマッピングによる分布分析の結果を踏まえて選定した。対象駅は、大阪駅、芦屋駅、甲南山手駅、三ノ宮駅、神戸駅、塩屋駅、垂水駅、舞子駅、朝霧駅、土山駅、宝殿駅および曾根駅である。調査範囲は原則として各駅を中心とする半径250m圏とし、大阪駅については駅規模を考慮して半径500m圏を対象とした。

調査は徒歩による踏査を基本とし、マッピングにより把握した駐車場・駐輪場に加え、現地視察調査によって新たに確認した未登録の駐車場・駐輪場を対象とした。調査項目は、収容台数、対応車種、料金、定期・一時利用の別、利用時間、管理形態、屋内外の別や屋根の有無といった環境要素、ならびに自転車・自動車との併用形態とした。また、管理者が常駐している場合には、運営状況等について直接ヒアリングを実施した。

その結果駐輪環境は図5に示される大都市ターミナル型、子育て・生活配慮型、都市近郊・混合型、都市近接・補完型、郊外・簡易管理型の五つに類型化でき、それぞれにおいて二輪車の役割や求められる整備方針が異なっていることが明らかになった。このように二輪車の駐車・駐輪環境は、駅周辺の都市規模や交通結節性、人口構成、土地利用条件、運営主体の違いといった都市特性に強く依存して形成されている。図6に示す収容台数と一日料金の関係から、大都市ターミナル駅では収容台数が多く確保されている場合でも料金が高水準となる傾向が確認され、需要集中や土地利用の制約が料金設定に影響していることが示唆される。一方、郊外駅では収容台数が多い場合でも料金が比較的低く抑えられており、供給量や土地利用条件の違いが反映されている。また、自動二輪車保有台数の多さが必ずしも駐輪環境の充実に直結しておらず、自治体整備と個人運営の関与の差が分布や料金

水準に影響していることが示された。



図6 各駅の収容台数と料金の関係

7. まとめ

本研究の結果から、鉄道駅周辺における二輪車駐輪環境は、都市規模や交通結節性、人口構成、土地利用条件などの都市特性に応じて形成されており、画一的な整備モデルでは捉えられないことが明らかとなった。また5類型に分類でき、二輪車の役割が異なることが明らかとなった。従って今後、二輪車を活用した新たなパークアンドライドを考察するならば、大規模で一律な施設整備ではなく、都市形態ごとの特性に応じた柔軟な駐輪環境の積み重ねによって成立する可能性が示唆される。

8. 本研究の限界と今後の課題

本研究はJR神戸線沿線を対象としており、他の私鉄路線やバス交通を含めていない点に限界がある。また、駐輪環境の分析は施設分布や運営形態などの空間的・制度的側面に主眼を置いており、利用者の行動や満足度、選好といった主観的評価を十分に反映できていない。さらに、人口構成や収入は市区全体の統計データに基づくため、実際の二輪車利用者属性を直接示すものではない。今後は利用者アンケート調査や他路線・他都市との比較、モビリティ間の選択行動分析を通じて検討を深化させるとともに、駐輪場情報の認知向上が重要な課題である。

謝辞：本研究の現地視察調査にあたり、駐車場・駐輪場の管理者ならびに関係者の皆様には、業務ご多忙の中、ヒアリングへのご対応や資料・データの提供、現地での撮影にご協力を賜りました。ここに記して深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 兵庫県 (2023) 兵庫県統計書 令和5年版, 兵庫県.
- 2) 大阪府 (2023) 大阪府統計書 令和5年版, 大阪府.
- 3) 一般社団法人日本二輪車普及安全協会, 全国バイク駐車場・駐輪場案内, <https://www.jmpsa.or.jp/society/parking/>
- 4) Google My Maps, <https://www.google.com/mymaps>

*学生 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

**教授 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and Urban design
Prof. (Ph.D) Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and Urban design

既設建物の一室に対する低コスト断熱改修に関する実証的研究 高知県中山間地域の地域拠点施設におけるケーススタディ

5. 建築計画
低コスト断熱改修
セルフ施工

2. 各種建物・地域施設
地域拠点施設
温熱環境改善

○ 正会員 宮地喜一*
正会員 木多彩子**
正会員 佐藤理人***

1. 研究の背景と目的

高知県黒潮町は、南海トラフ地震発生時に甚大な津波被害が想定される地域であり、避難先となる山側に位置する拳ノ川診療所（1987年竣工）の耐災害性能の向上は極めて重要な課題である。当施設は保健センターを併設し、災害時には海側の役場支所が移転する拠点として機能するが、建物の老朽化に加え、過疎化に伴う低稼働であることが確認されている^{文1)}。災害時に極力エネルギー自立を実現するために、限られた予算の中で施設全体の断熱改修を行うことは現実的に困難であり、重要拠点としての機能を維持しつつ、持続可能な運用を可能にする断熱改修手法が求められている。

文部科学省が推進する「学校施設のZEB化」^{文2)}をはじめ、地域拠点施設の断熱改修の取り組みは進んでいるが、それらは多額のコストを投じた事例が中心であり、普及に向けた課題は多い。そこで本研究では、一室の断熱改修から着手し、低コストかつ現実的なアプローチをとる。本研究は、高知県における災害リスクに対応した持続可能で安心できる医療地域拠点施設の整備手法を提示し、周辺地域および建物更新が停滞したエリアへの住環境モデルへと展開することを大目的とする。その過程として、拳ノ川診療所における断熱改修実証を通じ、エネルギー性能、室内環境、および職場環境改善の効果を検証することを中目的とし、以下の小目的に取り組む。

- ① 実証と評価 実験室（@拳ノ川側診療所資料室）と比較対照室（@拳ノ川側診療所事務室・相談室）において、温熱環境および快適性指標PMVを測定・比較し、断熱改修の効果を定量的に評価する（実験室と比較対照室について詳細は後述する）。さらに、これらの実測結果を、既存研究におけるシミュレーション結果と比較検証し、実効性の高いデータを提供する。
- ② 体系化と展開可能性の提示 重要な地域拠点施設であっても、過疎のため過半の部屋の平常時の稼働率がとても低い老朽化した建物にコストをかけて、全体の断熱改修を行うことは現実味が薄

い。そこで、断熱改修を含む低コストかつ実現性の高い医療地域拠点施設整備手法を体系化する。

この手法が他の医療施設や他地域へ展開可能であることを具体的に示し、持続可能な地域医療インフラの構築に資する知見を提示する。

2. 研究方法

本研究は、まず既往のシミュレーション結果を参照した断熱仕様の検討および現地調査による予備調査を行い、次に対象施設の図面作成と改修仕様の確定を経て断熱材・内窓の実証施工を実施した上で、改修後の温熱環境や快適性指標（PMV）の実測データとシミュレーション値を比較検証する実効性の分析を行い、低コストで汎用性の高い整備手法に対する示唆を得る。

3. 予備調査の結果

2025年6月13日に現地調査および施設管理者との打ち合わせを実施し、実証実験に向けた具体的な計画を立案した。調査の結果、診療所内の一部を対象とした断熱改修実証実験の提案に対して承諾を得たため、竣工図のデータ化を行い詳細な建築的寸法を把握した。これに基づき、断熱材の施工および内窓の設置を行う実験室として「資料室」を選定した（図1）。また、改修による温熱環境の改善効果を定量的に評価するため、同一条件下で比較可能な「事務室」および「相談室」を比較対照室として決定し、次章以降の施工計画および実測調査に向けた申し合わせを行った。

4. 本実測調査および改修実証

2025年7月1日に実測調査を、同年8月26日から28日にかけて改修実証を行った。まず、改修設計の基礎資料とするため建築寸法の現地実測調査を実施した。図2に示す通り、既存の建具表と実測値の間には全体幅で約88mm、高さで約30mmの差異が確認された。この実測結果に基づき、内窓設置における気密性の確保と既存サッシとの干渉回避を優先し、詳細な断面設計（図3）および立面・平面設計（図4）へと計画を修正した。

Empirical Study on Low-Cost Insulation Retrofitting for a Room in an Existing Building
A Case Study of a Community Facility in a Hilly and Mountainous Area of Kochi Prefecture

*MIYAJI Kiichi, **KITA Ayako and ***SATO Rihito

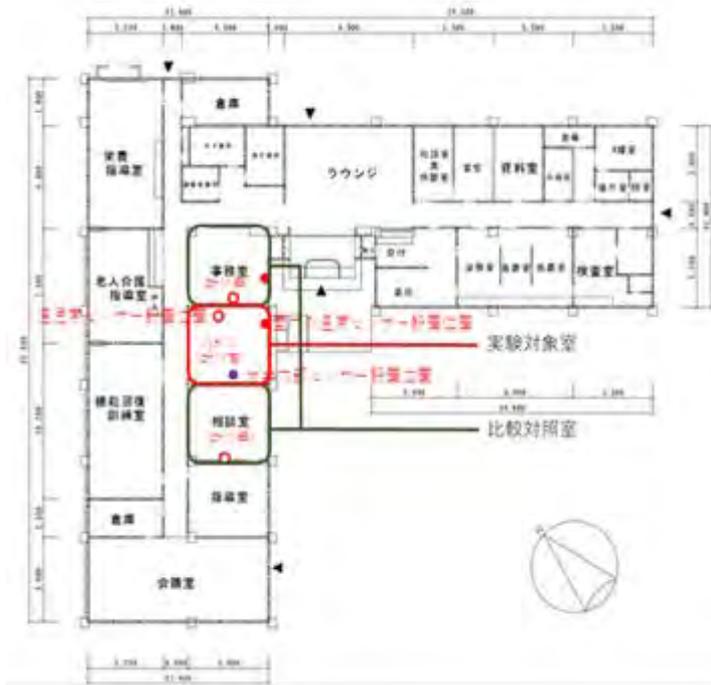


図1 実験室と比較対照室の配置図と温度測定箇所

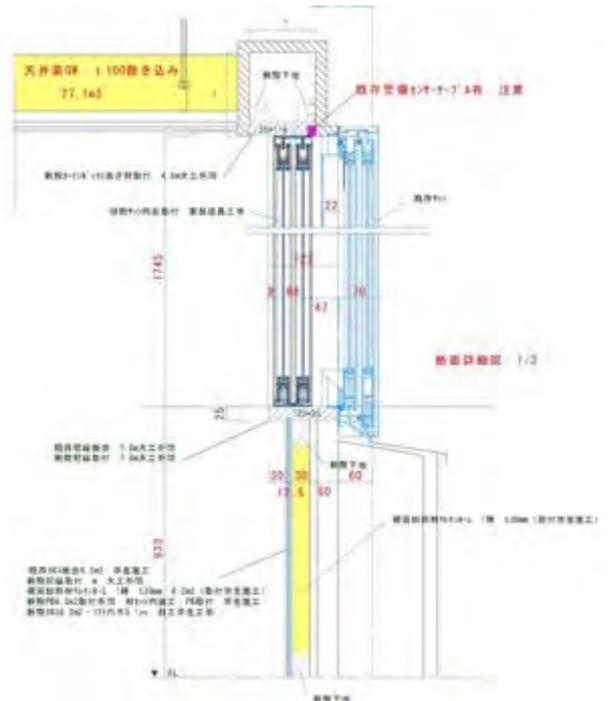


図3 内窓既製品施工案 断面図

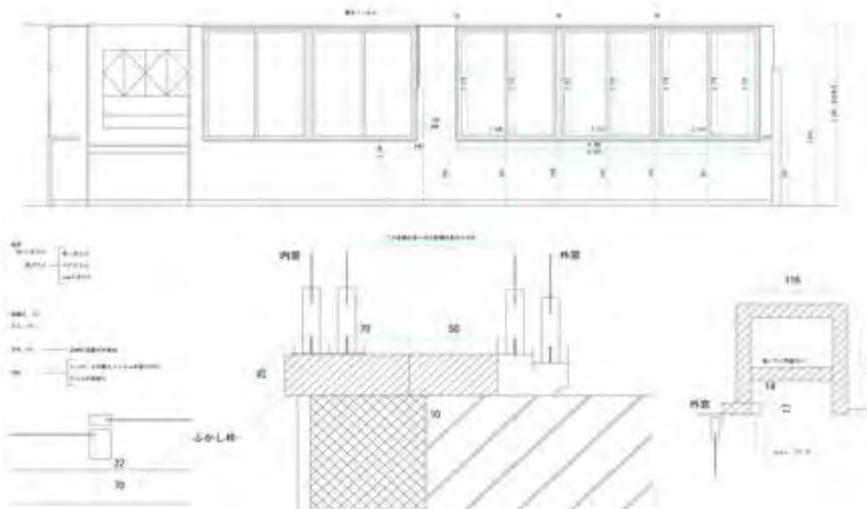


図2 資料室 実測結果

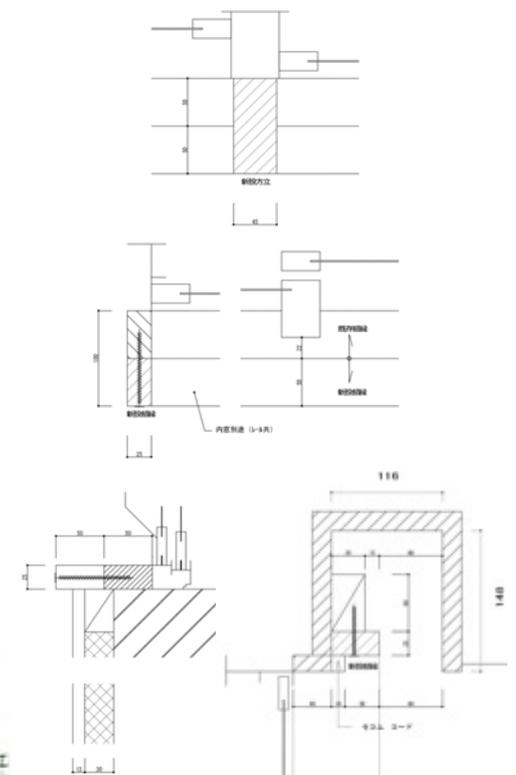


図5 内窓セルフ施工案 改修図

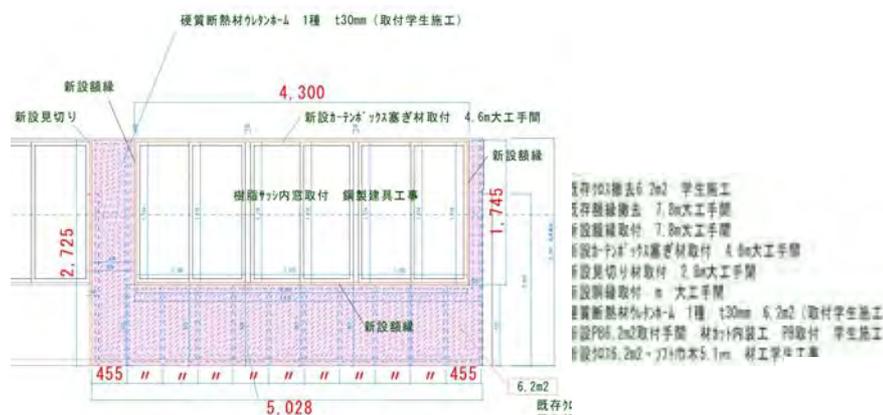


図4 内窓既製品施工案 立面図

表1 改修手法の違いによる工事費用の比較表

工事名称	変更前 (内窓既製品施工案)	変更後 (内窓DIY案)	内窓既製品施工案 (円)	内窓DIY案 (円)	削減費用 (円)
1. 仮設工事	養生費	削除	15,000	0	▲ 15,000
2. 木工事	造作材 下地材 0.1502m³	造作材 下地材 0.1292m³	55,000	48,000	▲ 7,000
	既存額縁撤去	削除	11,934	0	▲ 11,934
	新設カーテンボックス塞ぎ下地 数量:9	新設カーテンボックス部額縁下地 数量:4	10,304	4,704	▲ 5,600
	釘接着剤	減少	15,300	11,000	▲ 4,300
3. 断熱建具工事→内窓DIY	運搬費	減少	10,200	8,000	▲ 2,200
	内窓及びガラス (単板ガラス)	内窓パネルフレームセット ポリカーボネート中空ボード スコッチ 超強力両面テープ 木材・ベニヤ用 ハンディーソー ヤスリ	142,000	64,154	▲ 77,846
	取付手間	削除	19,600	0	▲ 19,600
6. 諸経費	運搬費	削除	9,800	0	▲ 9,800
		減少	62,085	38,484	▲ 23,601



図6 改修手法の違いによる工事費用の比較グラフ



図8 内窓セルフ施工の様子

次に、改修手法別の経済性を検討した。当初検討していた「内窓既製品施工案」はコスト面で課題があったため、一部を研究者が担う「内窓セルフ施工案」への変更を決定した(図5参照)。表1および図6(費用比較)に示す通り、セルフ施工案の採用により、総工事費を約38.6万円から約19.2万円へと約50%(約19.5万円)削減することに成功した。これは材料費の圧縮に加え、既存資材を最大限活用する設計への転換により、解体や下地工事などの付随作業が大幅に低減された成果である。

熱貫流負荷の概算による性能検証では、DIYに用いるポリカーボネート中空ボードが既製品とほぼ同等の性能を示した(概算においては定常計算法を用いて内外表面温度を推定の上、計算を行った)。

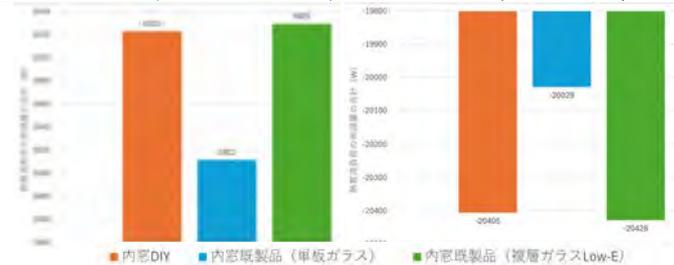


図7 熱貫流負荷の削減量の合計(左:最暑日 右:最寒日)



図9 資料室 施工前後の様子(左:施工前 右:施工後)

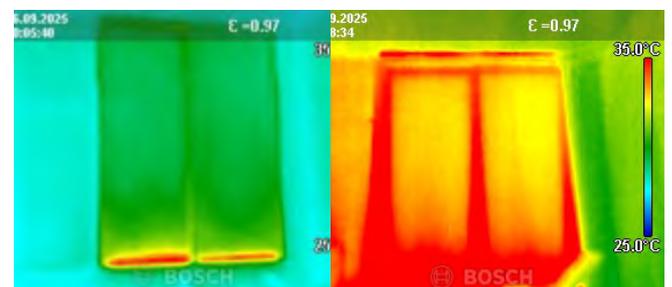


図10 窓面熱画像
(左:実験室 右:比較対照室)

夏期最暑日における累計削減負荷は、複層Low-E既製品の約6,029Wに対し、内窓DIYは約6,022Wとなり、冬期最寒日においても既製品の単板ガラスを上回る約20,405Wの削減効果が確認された(図7)。

実際の施工プロセスにおいては、天井(グラスウール100mm)と壁面(ウレタンフォーム30mm)を専門業者が担当し、窓面を学生・教員が施工する(図8)「協働型改修」を実践した。施工前と施工後(図9)の比較から明らかのように、安価な素材と簡易な手法を用いながらも、専門技術とセルフ施工を併用することで、限られた予算内で高度な断熱性能を確保できる改修モデルの有効性が示された。

5. 断熱改修の効果検証

断熱改修による温熱環境の改善効果を比較検証するため、改修済みの「資料室」と未改修の「事務室」「相談室」を対象に、図11（温度・湿度センサーの設置箇所）に示す通り、各部屋の床上1.1mでの温湿度や壁面・窓面等の表面温度、さらに気象状況を詳細に実測・記録した。

窓面のサーモグラフィ撮影の結果、比較対照室では窓面全体が赤色を示す30℃以上の高温域となり外部からの熱流入が顕著であるのに対し、実験室では窓面温度が概ね27℃前後の低温域（緑色）に抑えられており、施された対策によって遮熱・断熱効果が有効に機能していることが確認された（図10）。

夏季から冬季にかけての室内温度の推移を示した図11において、実験室（青色）は比較対照室（オレンジ色）よりも全体的に温度が低く推移しており、特に日中のピーク時においても温度上昇が緩やかに抑えられていることから、窓面の遮熱対策が長期的な室内温度の安定化に寄与していることが確認された。

平均予想温冷感申告PMVを算出した結果、夏季（図12）においては実験室が比較対照室に比して快適域に近い低めの値で推移し、冬季（図13）においても実験室の方がより「寒さ」を感じにくい高い数値を示しており、遮熱・断熱対策が年間を通じて室内環境の快適性を向上させていることが確認された。

本研究の結果、窓面への遮熱・断熱対策は年間を通じて温熱環境の向上に大きく寄与することが判明した。夏季のサーモグラフィおよび温度推移において、実験室は比較対照室に対し窓面温度で約3℃、室内温度でも日中のピークを低く抑え、外部からの熱負荷を効果的に遮断している。これに伴い、PMV値も夏季は快適域に近い低値を示し、冬季は放射温度の低下抑制により「寒さ」を和らげる結果となった。

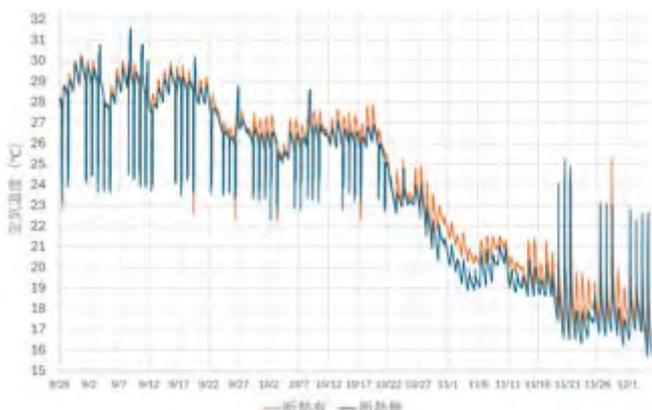


図11 夏季から冬季に向けての室内温度
（断熱有：実験室 断熱無：比較対照室）

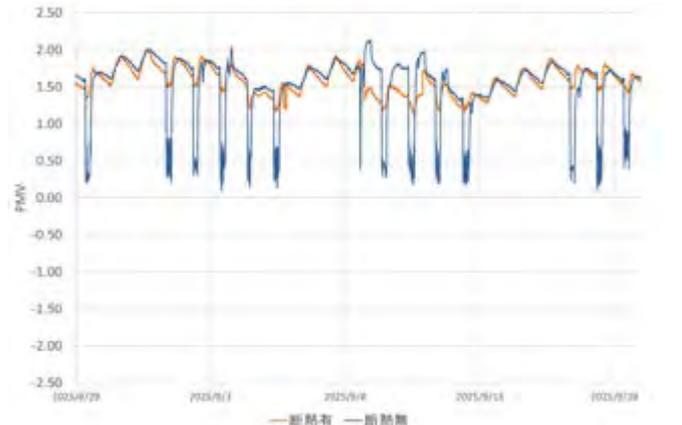


図12 夏季 PMV（断熱有：実験室 断熱無：比較対照室）

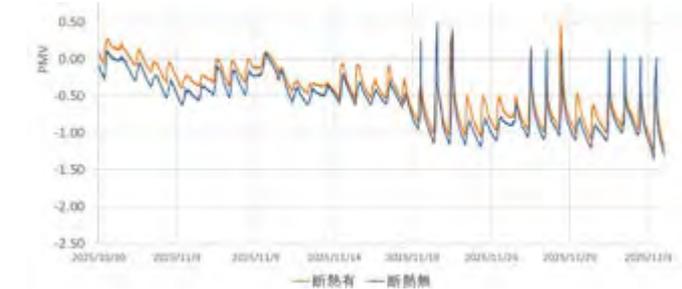


図13 冬季 PMV（断熱有：実験室 断熱無：比較対照室）

6. まとめ

セルフ施工による低コストな断熱改修が、室内環境を最適化し、熱的ストレスの軽減と空調効率の改善を両立させる有効な手法であることが実証された。実測調査を通じて、安価な素材と簡易な手法を用いても、年間を通じて熱的環境を大幅に改善できることが定量的に明らかとなった。今後は、本手法を体系化し、災害時の拠点機能を維持しつつ、平常時の職場環境改善にも寄与する持続可能な地域医療インフラの構築に資することが期待される。

謝辞：高知県黒潮町拳ノ川診療所関係者の皆様には、多大なるご協力を頂戴し、ここに記し深く謝意を表します。

なお、本研究は「オフグリッド型地域拠点施設のための災害タイムラインを取り込んだ3次元BIMの構築」（科研基盤C25K08025 代表者：佐藤理人）の一環である。また、高知工科大学地域イノベーション共創機構「住環境・まち研究室」として2005年度地域連携強化研究費の助成を受けている。

参考文献

- 1) 田辺尋也, 木多彩子, 佐藤理人, 「中山間地域に位置する診療所の災害時の利活用とオフグリッド化に向けた研究」日本建築学会四国支部研究報告集 p.159-162, 2024.3
- 2) 文部科学省, 「学校施設のZEB化の手引き」, 2024.3
- 3) 田中俊六, 武田仁, 岩田利枝, 土屋喬雄, 寺尾道仁, 秋元考之. 最新建築環境工学 改訂4版. 井上書院. 2014.2
- 4) 建築研究所：平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（住宅）次期更新版
https://www.kenken.go.jp/becc/documents/house/3-3_251001_v25.pdf 2025/8/24

*学生 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

**教授 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

***准教授 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and Urban design

Prof. (Ph.D) Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and Urban design

Asso.Prof. (Ph.D) Kochi Univ. of Tech, Dep. of Arch. and U design

可視性と近接性からみたショッピングセンターの空間構成分析

非会員 ○滝井侃大*
正会員 鈴木達也**

5. 建築計画
歩行喚起
近接性

6. 計画基礎
Isovist 理論
ノード数

b.空間分析
可視性

1. 研究の背景

近年、ショッピングセンター（以下、SC）は総数が減少傾向であるのに対して、総店舗面積は増加傾向であることから大規模化している¹⁾。その背景には、買い物や飲食を目的として訪れる人はもちろん、滞在自体を目的に訪れるような人々も存在し、コロナ禍以降はこうした来客者が増加している²⁾。これらから、SCは、従来の買い物行動だけでなく、滞在や回遊を含めた多様な目的による使い方からの評価が必要であるといえる。

買い物行動の研究に関して、入江らの研究³⁾では、来場経験のないSCの店舗内の見通しの良さは、目標を探す際に良い影響を与え、短い経路で意図した場所へ到着できることを示唆している。また、永井らの研究⁴⁾では、長く広い範囲を歩かせることは、消費者に対して悪影響を与えることが確認されている。これらから買い物行動においては、見通しがよく、短い移動距離で効率的に買い物ができる空間構成が、買い物を目的とした来客者にとって快適であると言える。一方、滞在や回遊などの非計画的行動では、街路を対象としたもの⁵⁾⁷⁾が多く挙げられる。これらはB.Hillierらによる空間の繋がりを分析するSpace Syntax理論⁸⁾（以下、SS理論）を用いて、どのような場所が歩行者に好まれるのかを分析している。その結果、入り組んでいて見通しが悪い場所が人々の好奇心を喚起し、歩行を促進させることを指摘している。さらに、R. J. Donovan⁹⁾は、来客者の感情が実際の購買行動に影響を与え、店内環境による快樂が来客者の時間やお金の消費を促進させることを指摘している。

これらから、目的を持った買い物と特定の目的がない回遊や散策、滞在などでは、見通しや移動距離の観点から、相反する空間構成が求められる可能性が示唆される。

2. 研究の目的

以上の背景に基づき、本研究では空間内の探しやすさと散策的な楽しさが求められるショッピングセンターについて、既往研究よりSS理論を含めたネットワーク分析および後述するIsovist理論に立脚し、可視性と近接性という2種類の指標に着目して、実在するSCを分析し、空間構成を評価することを目的とする。

3. 研究の手法

空間構成の異なる4施設のSC（ゆめタウン福山、アウトレット倉敷、イオンモール長久手、ららぽーと沼津）を選定し、可視性と近接性の観点から空間構成分析を行う。なお、建築的特徴の多様性の観点から、各施設の2階についての分析を行った。近接性に関しては歩行が可能な空間に、格子状に2mの線を引き、その中点をノードと設定する。SS理論に基づき、そのノードが他の空間からどのくらい行きやすい場所にあるのかということを数値化するため、DepthmapX 0.8.0を用いて、対象のノードから10ステップ（R=10）の範囲に含まれるノード数を計算するものとした（図1左）。可視性に関しては、M.L.Benedikによって提唱されたIsovist理論¹⁰⁾を参考に分析を進めた。Isovist理論では可視性について可視領域面積や可視限界線の長さなどを指標としているが、本稿では近接性との相互関係をみるためにArcGISPro 3.4.0を用いて、対象のノードが、いくつの他のノードからの可視範囲に含まれているのかを計算する。なお可視範囲について、歩行の中で視界に入る空間のシーケンスに着目するため、観測距離の限界値は定めない（図1右）。

この可視性と近接性のノード数をもとに、各地点でのノード比（＝近接性のノード数/可視性のノード数）を計算し、各施設の空間構成を評価する。ノード比が高いほど見えやすさに対して行きやすさが優勢で、見えにくいが行きやすい空間であり、ノード比が低いほど、行きやすさに対して見えやすさが優勢で、見えやすいが行きにくい空間であると言える。これらの数値と、SCで良く用いられる空間構成である、吹き抜けや基盤目状通路、湾曲した通路などによる効果を定量化しつつ、考察する。

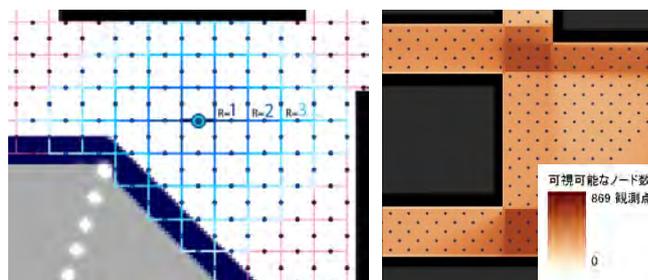


図1 近接性と可視性の計算例

An Analysis of the Spatial Configuration of Shopping Centers Based on Visibility and Proximity

TAKII Kanta, SUZUKI Tatsuya

4. 分析の結果と考察

まず、各施設の基本的な情報として、表1に概要、図2にノード比の分布を示す。ゆめタウン福山は4施設のうちでは小規模な平面構成の施設であり、延床面積が約59,600㎡の4階構成で、基盤目状の通路がメインとなっており、大きな吹き抜けが2カ所あり、一つは施設の中央付近の広場に、一つは壁に接するよう施設の角に配置されている。ノード比については、吹き抜け周辺が低くなっており、見通せる範囲に対して近接性が低くなっている。また、通路幅が抑えられていることから、基盤目状の通路の交点や通路の中央でノード比が低くなる。全体としては、ノード比の平均と標準偏差は約0.59(±0.42)で4施設中最も高いことから、近接性に富みながらも多様な空間構成を持つことが示された。

アウトレット倉敷は、延床面積が約52,600㎡の2階構成(一部4階)であり、大部分を吹き抜けが占めている。見通しがよく、施設を大きく周回できるような構造となっている。ノード比の分布をみると、全体的に低い値が分布しており、近接性に比べて可視性が高い空間構成を良く表している。ノード比の平均値は4施設中最も低く、0.24であり、可視性に富むが均質な空間構成と言える。

イオン長久手は大規模な施設で、延床面積は約134,000

㎡の4階+地下1階の構成であり、吹き抜けが存在せず、多くの通路が交差していて、アウトレット倉敷とは対照的な構造である。さらに、基盤目状の通路や曲線的な通路、通路幅が有機的に変化する多様な空間構成が混在していることが特徴である。ノード比の分布をみると、基盤目の通路周辺で高い値が分布していたり、連続した通路でも異なるノード比が混在して分布していることが特徴的である。このことは、ノード比の標準偏差の高さからもうかがえ、0.30と4施設中2番目に高い値である。なお、大規模な施設ほど、均質な空間が作られやすいことを考えると、意識的に多様な空間構成を混在させた施設であると言える。

ららぽーと沼津は最も規模の大きな施設で、延床面積

表1 施設概要

	ゆめタウン福山	アウトレット倉敷	イオン長久手	ららぽーと沼津
延床面積	約59,600㎡	約52,600㎡	約134,000㎡	約165,000㎡
敷地面積	約75,800㎡	約66,000㎡	約46,000㎡	約112,000㎡
階数	4階	2階(一部4階)	4階(+地下1階)	4階
店舗数	約50店舗	約120店舗	約180店舗	約210店舗
特徴	基盤目状の通路 大吹き抜けが2カ所	大部分が吹き抜け 施設を周回可能	吹き抜けなし 多くの通路が交差	八の字型に施設を周回 数カ所の小吹き抜け
平均ノード比 (±標準偏差)	0.59(±0.42)	0.24(±0.26)	0.54(±0.30)	0.27(±0.24)

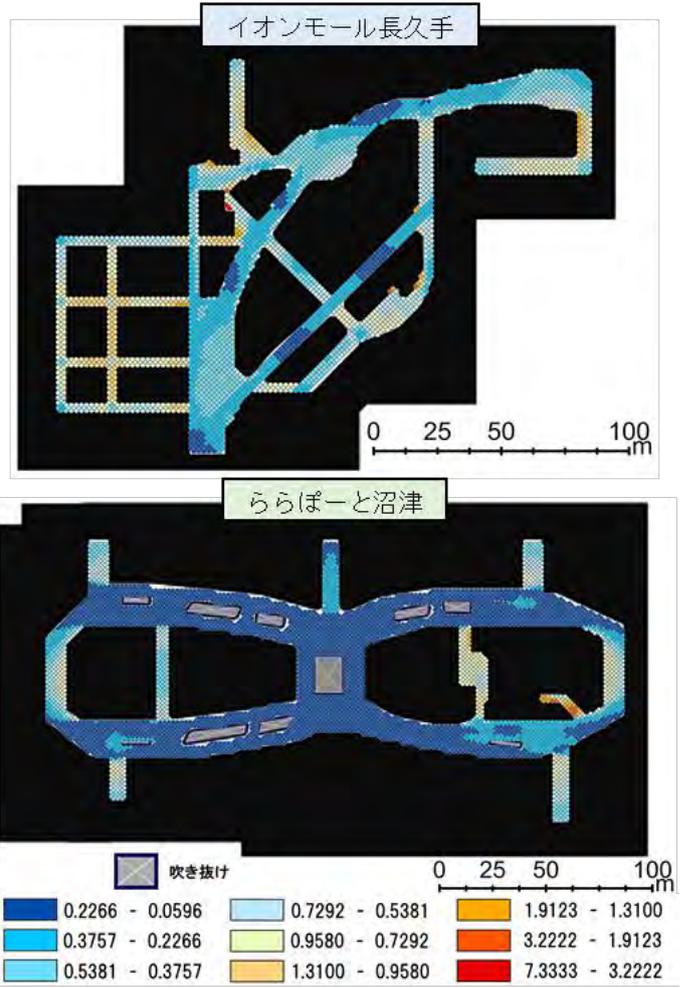
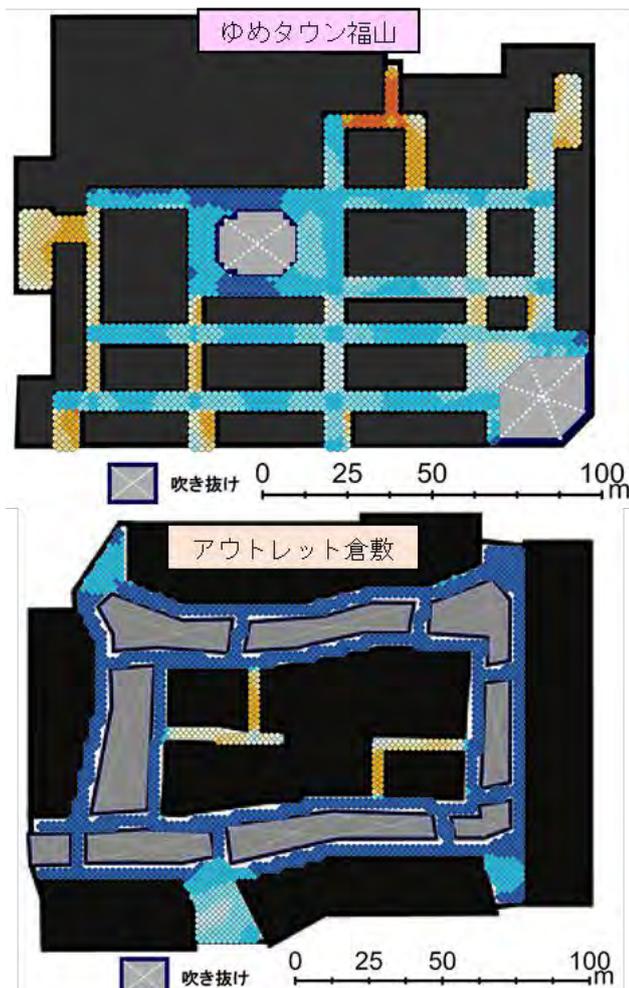


図2 ノード比分布

が約 165,000 m² の 4 階構成であり、施設全体として 8 の字型の構造で周回できるようになっている。通路に沿って小さな吹き抜けが数か所設けられているのが特徴的である。ノード比の分布をみると、イオンモール長久手と異なり、均質な廊下であるためノード比は均質に分布している。この傾向は、ノード比の平均や標準偏差からもみられ、低いノード比で均質な空間構成である。

次に、近接ノード数と可視ノード数の 2 指標を用いて、施設ごとにクラスター分析を行った。分析は、IBM SPSS Statistics を用いて BIC による基準で施設ごとの値で TwoStep クラスタ分析を用いて、クラスタ毎に色分けを行った (図 3)。

ゆめタウン福山は、2 種類のクラスターに分類され、吹き抜けや通路の交点とそれ以外の通路で分類された。ノード比の標準偏差からは、多様な空間を持つように解釈されたが、空間構成も単純であるため、空間の質的変化は小さい施設である。

アウトレット倉敷は、4 種のクラスターに分かれ、2 方向に見渡せる施設の四隅が近接性と可視性がともに高くなり、広場のような場所では近接性が特に高く、細く入り組んだ場所では近接性と可視性がともに低くなるのがわかる。ノード比のみでは、均質な空間構成と思え

るが、施設全体でみると、空間の質的なバリエーションは豊富な施設である。

イオンモール長久手は、可視性と近接性の値がともに高い広場、ともに中間の値をとる長く緩やかに湾曲した通路、ともに低いその他の複雑に交わった通路に大きく分けることができる。通路の交点に関して、ノード比の分類では見えなかった場所も、クラスター分析によって周りより可視性と近接性がともに高くなっているということも確認できた。緑色で示した湾曲し、かつ通路幅が有機的な通路をメインとして、基盤目のゾーンと長く延びた複数の通路という空間構成が見える。

ららぽーと沼津は、4 種のクラスターに分類された。施設の中央が近接性と可視性がとても高い値となり、吹き抜け周りは可視性を維持したまま近接性の値が下がっている。入り組んだ通路や湾曲した通路の最も深い位置が可視性と近接性の値がともに低くなっている。ららぽーと沼津にあるような湾曲した通路に関しては、松本ら¹⁰⁾の研究によって、可視領域と不可視領域の割合が期待感の創出に重要であることが分かっている。

施設内の建築的特徴についてもいくつかの傾向が見られた。まず大きな要素としては吹き抜けである。表 2 を見ると、各施設にて吹き抜けの周りを囲んでいる部分の

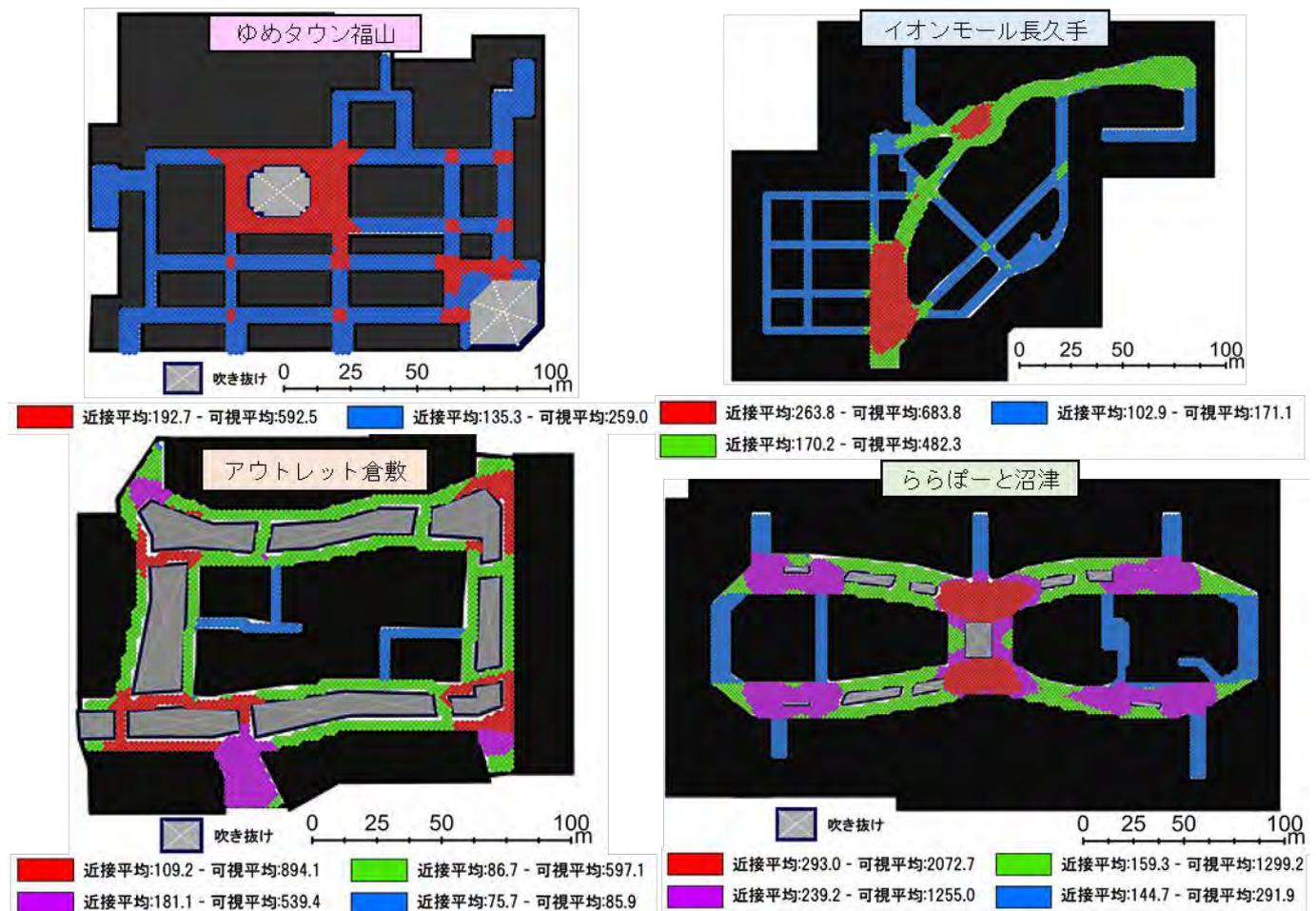


図 3 クラスタ分布

表2 吹き抜けとノード比

	(平均)		
	近接ノード数	可視ノード数	ノード比
①吹き抜け周りノード	132.7716	922.7562	0.1544
②それ以外のノード	166.0289	685.1759	0.4145
①/②	0.7997	1.3467	0.3724

ノード比の平均が 0.1544 となり、それ以外場所のノード比は 0.4145 と吹き抜け周りは他の場所に対してノード比が 0.372 倍程度で、吹き抜けの存在は、その施設での探しやすさに良い影響を与えるが、歩行喚起という視点では悪い影響を与えてしまうと考えられる。次にノード比が約 0.9580 以上となったノードの場所は、細く入り組んだ通路となっていて、店舗の探しやすさには不向きであるが、歩行喚起性が高い場所と考えられる。

また、基盤目状の通路に交点にも特徴が見られた。ゆめタウン福山とイオンモール長久手には通路が直角に交わっている基盤目状の空間構成が存在するが、その交点は可視性の数値が上がるため周りと比べて必然とノード比が上昇している。ゆめタウン福山でのクラスターつまり、この基盤目状の通路の存在は、自然とノード比の変化をもたらす建築的特徴であるともいえる。

さらに、イオンモール長久手やららぼーと沼津の施設内には通路の壁側を中心に半円上にノード比の値が変化しているような空間が見られた。このような特徴が見られる通路は共通して湾曲していることが分かった。これも基盤目状の通路と同様に、ノード比の変化をもたらす建築的特徴となっていて、来客者の歩行を喚起させるものになっていると考えられる。

5. まとめ

本稿では、空間構成に関して可視性と近接性に着目して実在する SC の分析を行い、空間構成を評価した。得られた知見を以下に整理する。

基盤目状の通路に加え、吹き抜けや入り組んだ通路など多様な建築的特徴のあるゆめタウン福山や、吹き抜けが無く多くの通路が交差し、通路の幅や形状が多様なイオンモール長久手は探しやすさよりも歩行喚起に向けた施設であり、施設の多くを吹き抜けが占め、見通しがよく、施設を周回できるアウトレット倉敷や、同じく施設内を周回するような空間構成で先が長く見通せる通路が施設の多くを占めるららぼーと沼津は歩行喚起よりも探しやすさに向けた施設であることがわかった。

建築操作としては、「吹き抜け」「通路の交点」「細く入り組んだ通路」「湾曲した通路」が施設の空間構成の特徴を左右する大きな要素となっており、施設全体の評価に

影響を与えていると考えられる。

本研究では、実在の SC を対象に空間構成の定量化を行ったが、歩行喚起性や探索性については、実際の印象や主観的な評価との整合性については、今後の課題である。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本ショッピングセンター協会, 2025, SC 白書 2025, https://www.jcsc.or.jp/sc_hakusho_digital/2025/index_h5.html#3, 2025年8月30日閲覧
- 2)株式会社 MS&Consulting, 【消費者のホンネ】ショッピングセンターに行く理由は?, MS & Consulting,2022, <https://www.msandc.co.jp/info/column/ms/sc/case259>, 2025年7月21日閲覧
- 3) 入江春乃, 吉川徹, 利用者の探索回遊行動からみたショッピングセンターの空間構成の評価, 日本都市計画学会 都市計画報告集, No.16, p.151-157, 2017
- 4) 永井竜之介, 恩藏直人, 大嶋俊之, 消費者の買い回り行動と感情-南町田グランベリーモールにおける GPS 調査を通じて-, Japan Marketing Academy, 35 巻 4 号 p. 90-104, 2016
- 5) 田村光司, 浅野光行, 迷路性のある商業地の魅力に関する研究, 日本都市計画学会 都市計画論文集, No.39-3, p.667-672, 2004
- 6) 平尾彰啓, 池永知樹, 賑わい分布と空間構成の課題に関する-考察 -神戸市 三ノ宮・元町・ハーバーランド地区を対象として-, 日本都市計画学会関西支部研究発表会講演概要集 14 (0), p.145-148, 2016
- 7) 伊藤史子, 藤木悦史, 街路ネットワークの複雑性と街路景観の印象評価の関連性, 日本都市計画学会 都市計画論文集, Vol.48, No.3, p.327-332, 2013
- 8) BILL HILLIER, JULIENNE HANSON, The social logic of space, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1984
- 9) ROBERT J.DONOVAN, JOHN R. ROSSITER, GILIAN MARCOOLYN, ANDREW NESDALE, store Atmosphere and Purchasing Behavior, , Journal of RetaUing, Volume 70, Number 3, pp. 283-294, ISSN 0022-4359
- 10) M.L.Benedik, To take hold of space: isovists and isovist fields Environment and Planning B, volume 6, p47-65, 1979
- 11) 松本直司, 日比淳, 磯和孝史耕, 甲村和三, 折れ曲がり街路空間における期待感最大位置とその強さについて - 一街路空間の期待感に関する研究 -, 日本建築学会 計画系論文集, 第 589 号, p.91-97, 2005

* 香川大学創造工学部 建築・都市環境コース

** 香川大学 創造工学部 准教授 博士 (工学)

* Faculty of Engineering and Design, Course of Architecture and Urban Environment, Kagawa Univ.

** Associate Professor, Faculty of Engineering and Design, Kagawa Univ.

山形県における現代の茅の自家調達と茅採取の一連の工程に関する実態調査

5. 建築計画

茅葺
自家調達

4. 構法計画

茅場
山形県
茅刈り

正会員 ○小坂伊織 1*
正会員 釜床美也子 2**
正会員 川嶋伸岳 1*
正会員 濱定史 3***

1. はじめに

日本の茅葺の民家は、生活様式の変化や化学肥料への移行等により現代はほとんど見られなくなり、その屋根用の茅を刈る土地（以降「茅場」）もほとんど失われたと思われている。しかし、文化財以外の一般の民家において、今も自宅の茅葺屋根の葺き替えのために自ら茅場で茅を調達して暮らす事例がわずかながら存在する。本研究では、それらの人々のほとんどは、家族で管理できる小規模な自家用の茅場を自宅付近に確保して屋根を維持していることに着目した。そうした自家用の茅場を用いて家族単位で自ら茅を調達して屋根を維持する営みは、結で茅を刈る共同の茅場の時代の維持管理とは異なる現代の生活に即した維持システムを備えているとの仮説を立て、今日でも茅葺を維持している実践者たちの事例調査を通して、その新たな維持管理手法を明らかにしたいと考えた。調査地域は、特に山形県建築士会茅葺屋根建造物調査委員会¹⁾の調査により今も茅葺の民家が県内に464軒と多数残っていることが明らかになってきたことから、山形県を選定した。

2. 研究方法

山形県在住の茅葺職人AA氏とYD氏の協力のお陰で、それぞれ山形県内で5軒ずつ地理的にばらつくように実践者の紹介を受けることができ、合計10軒の事例調査を実施した。具体的には、庄内地方の山形県鶴岡市羽黒町手向IY氏、鶴岡市田麦俣SI氏、村山地方の西村山郡朝日町大沼SM氏、村山市樽石UK氏、最上地方の最上郡鮭川村京塚EY氏、置賜地方の西置賜郡飯豊町萩生TK氏、西置賜郡飯豊町椿GH氏、東置賜郡川西町大舟EC氏、米沢市下小菅ST氏、米沢市六郷町長橋SY氏の10軒^{注1)}である。

現地調査は2025年6月～2025年11月に行った。各家の調査は、1事例あたり2回訪問することにし、1回目は、茅採取の実態に関する実践者へのヒアリング調査及び茅葺の建物や茅場等の実測調査を行った。2回目は、茅採取の時期に再訪し、茅採取の様子や記録、茅場の定量評価のための調査、1回目の調査の補足調査を行った。茅場の定量評価の方法は、図1のように茅場で2m×2m

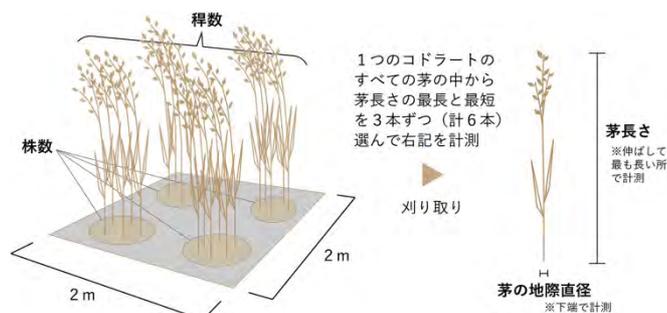


図1 コドラート法での計測方法

のコードラート（正方形の枠）を、生え方がばらつくように各3ヶ所設置して種々の計測を行い、その3ヶ所の平均値をその茅場の値とした。各コードラートでの調査項目は、最初にコードラート内の茅の生え方の立面の写真撮影をした後、「茅の株数」、「茅の稈数」を数え、次に鎌を用いて茅を屋根に用いる想定で刈り取って、「茅長さ（最長と最短それぞれの値）」、「地際直径（茅長さが最長と最短の茅のそれぞれの値）」の項目を計測した。この「茅長さ」及びその「地際直径」は、最長と最短それぞれ3本ずつ計測して平均値を採用した。なお、これらの茅場の定量評価のための計測は、ススキとヨシという二種類の茅の茅場を持っていた大沼SM氏宅では両方を調査し、近年茅採取をしていなかったことで茅場の状況が変化していた樽石（村山市）UK氏と椿（飯豊町）GH氏の茅場では調査を行わなかったため、10軒で計9ヶ所の茅場が対象となった。茅場の基礎情報である「茅場面積」や「傾斜角度^{注2)}」はGoogle Earth Proを用いて算出した。

表1に調査地とその調査結果の概要を示す。これらに基づき、以降「茅場・茅刈り」、「茅の乾燥・保管」、「茅葺の施工・維持管理」について考察を行った。

3. 10軒の調査結果

各地域の茅刈りから保管までの年間スケジュールを表2に、茅場の維持から茅を保管するまでのフローチャートを図2にまとめた。

茅場・茅刈り：調査した自家用茅場の概要を表3に示す。山形県の自家用茅場で採取される茅は、10軒中8軒がス

Field Survey on Contemporary Self-Procurement of Thatch and the Series of Processes Involved in Thatch Harvesting in Yamagata Prefecture

*Iori KOSAKA, **Miyako KAMATOKO, *Nobutake KAWASHIMA and ***Sadashi HAMA

表1 調査地とその調査結果の概要

実践者	山形県鶴岡市 羽黒町手向IY氏	山形県鶴岡市 田妻俣SI氏	山形県西村山郡 朝日町大沼SM氏	山形県村山市 樺石UK氏	山形県最上郡 鮎川村京塚EY氏	山形県西置賜郡 飯豊町萩生TK氏	山形県西置賜郡 飯豊町榊GH氏	山形県東置賜郡 川西町大舟EC氏	山形県米沢市 下小菅ST氏	山形県米沢市 六郷町長橋SY氏
生業	農業、定年退職者	茅葺職人、農業、定年退職者	農業従事者	酪農、飲食	建設業、農業	農業従事者	農業、定年退職者	農業、定年退職者	農業、定年退職者	農業従事者
茅葺民家の写真										
自家用茅場の写真										
数	1ヶ所	4ヶ所	3ヶ所	2ヶ所	2ヶ所	5ヶ所	2ヶ所	1ヶ所	3ヶ所	1ヶ所
面積	0.10ha	0.60ha 0.16ha + 0.26ha* + 0.09ha* + 0.09ha*	1.16ha 0.92ha* + 0.16ha* + 0.08ha*(ヨシの茅場)	1.66ha	1.64ha 0.15ha* + 1.59ha*	0.35ha 0.23ha* + 0.12ha* + 0.06ha* + 0.01ha* + 0.50ha*	0.22ha 0.08ha* + 0.14ha	0.35ha	0.14ha 0.11ha + 0.01ha + 0.02ha*	0.20ha
自宅からの直線距離	495m	961m, 1250m, 1,393m, 1,530m	423m, 1248m, 1250m	3922m	2,365m, 2,532m	320m, 602m, 5,442m, 5,630m, 5,247m	330m, 1211m	110m	31m, 286m, 2,710m	11,151m
茅の種類	ヨシ	ススキ	ススキ、ヨシ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ
維持方法	放置、茅刈り前に周辺の下刈り	放置、人が入れるように下刈り	放置	放置	放置、茅刈り前に道の下刈り	放置、刈る前に周りの下刈り	放置	放置	年に3回ほど下刈り	放置
造成時期	6年前から	15年前から	3年前から	60年以上前から	不明	30~40年前から	50年前から	10年前から	50年前以降	30年前から
造成方法	休耕田 草刈りを3~4年続け、 良い茅が生えてきた	休耕田	元りんご畑、休耕地、 休耕田	羊の放牧地、元桃園	休耕地、元タラノ畑、 タバコ畑	休耕地 元ラフランス畑	線路の法面、休耕地	休耕地	休耕地	休耕地
所有者	近隣住民	SI氏、知人	近隣住民	UK氏、近隣住民	不明	近隣住民	近隣住民、GH氏	EC氏	ST氏、知人	SY氏
積雪	45~90cm	300~350cm	200cm	150~200cm	150cm	150cm	150cm	150cm	100cm以上	150cm
時期	10月末	10月中旬~11月 霜が降りるまで	11月の間、雪が降るまで	10月末~11月中旬	10月中旬~11月20日	9月25日~雪が降るまで (11月末)	11月上旬~中旬まで (稲刈り後)	10月下旬~11月上旬	10月の間	11月の間
人数	1人	1人、旧遠藤家が2人	2人	1人	1人	1人	1人	1人	2人	1人、たまたま友人に手伝ってもらう
方法	鎌、沼地のため長靴に タイヤを敷いている	鎌	刈払機、鎌(根元を 整えるため)	鎌	鎌	刈払機	刈払機	刈払機	鎌	刈払機
大きさ	直径15cm程度、乾燥 後は直径10cmに束ね 直す	直径10cm程度、5束で 1マルキに	直径10cm程度、小束4 ~5束を1マルキに	直径20cmの1把を5把 でまとめる	直径10cmほど5~6束 を1つにまとめる	1尺締め(直径10cm程 度)	茅刈りの時は直径 20cm程度に束ねる。 乾燥後に15把で1巻(1 把が1掴み)	10把で1束	直径15cm	茅刈りの時は株の大き さで束ねる。カザライ時 に直径10cmに束ね直 す
採取量	120~130束	500~600束、 1800束(旧遠藤家)	ススキ:90束、ヨシ:36 束	100把	150束ほど	600束	800~1000把	50~100束	100~200束	少なくとも500束以上
乾燥形態	屋敷林に丸太を組んで 立てかけて乾燥	倉庫の壁に立てかけ る。茅つぼけ	ソガキ***(雪囲い)	茅場付近の木に立 てかける。ソガキ***(雪 囲い)	軒下の壁に立てかける	カザライ	ビニールハウスの中で 立てかける	軒下に立てかける	軒下に立てかける	カザライ
回収時期	3月から4月ごろ	雪が溶けた頃に	職人が暮替えて来る 直前まで	雪が溶けた春に	1週間ほど乾燥させて から	3月末まで	5月(田植え前)	屋根葺きに使うまで	梅雨の前(5月末)に 切って収納	春先(3月ごろ)
保管場所	倉庫	倉庫	倉庫/車庫	倉庫	倉庫	倉庫	ビニールハウス	母屋の軒下	倉庫	車庫

*他者所有の土地 **ソガキは、村山地方などで用いられる呼称で、雪囲いを指す

表2 茅の自家調達の年間スケジュール

名称	乾燥方法	大分類	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
田妻俣 (鶴岡市)	雪囲い (ソガキ)	下刈り 茅刈り					下刈り【刈払機】	下刈り【刈払機】	茅刈り【鎌】					
乾燥										雪囲い				
保管													春に解体	倉庫で保管
大沼 (朝日町)	雪囲い (ソガキ)	茅刈り							茅刈り【鎌・刈払機】					
乾燥														
保管														
樽石 (村山市)	雪囲い (ソガキ)	茅刈り							茅刈り【鎌】					
乾燥														
保管														倉庫で保管
萩生 (飯豊町)	カザライ	下刈り 茅刈り					下刈り【刈払機】	茅刈り【刈払機】						
乾燥														
保管														倉庫で保管
長橋 (米沢市)	カザライ	下刈り 茅刈り							茅刈り【刈払機】					
乾燥														
保管														倉庫で保管
手向 (鶴岡市)	雪囲い (ソガキ)	下刈り 茅刈り						下刈り【鎌】	茅刈り【鎌】					
乾燥														
保管														自宅裏・倉庫で保管
京塚 (鮎川村)	雪囲い (ソガキ)	下刈り 茅刈り					下刈り【刈払機】	茅刈り【刈払機】						
乾燥														
保管														倉庫・軒下で保管
樺石 (飯豊町)	カザライ	茅刈り							茅刈り【鎌】					
乾燥														
保管														倉庫で保管
大舟 (川西町)	カザライ	茅刈り							茅刈り【刈払機】					
乾燥														
保管														軒下に立てかけて乾燥・保管
下小菅 (米沢市)	カザライ	下刈り 茅刈り						下刈り【刈払機】	茅刈り【鎌】					
乾燥														
保管														倉庫の軒下に立てかけて乾燥

ススキ、1軒がヨシ、1軒がヨシとススキの両方を刈っていた。ヨシを刈っていたのはいずれも山形県の中部から北部の庄内地方と村山地方で、ヨシは強度があり美しい

という理由で軒や隅に使用されていた。山形県では、もともと茅は各家の自家用茅場で採取するものであり、過去に共同の茅場で相互扶助によって茅場を維持していた

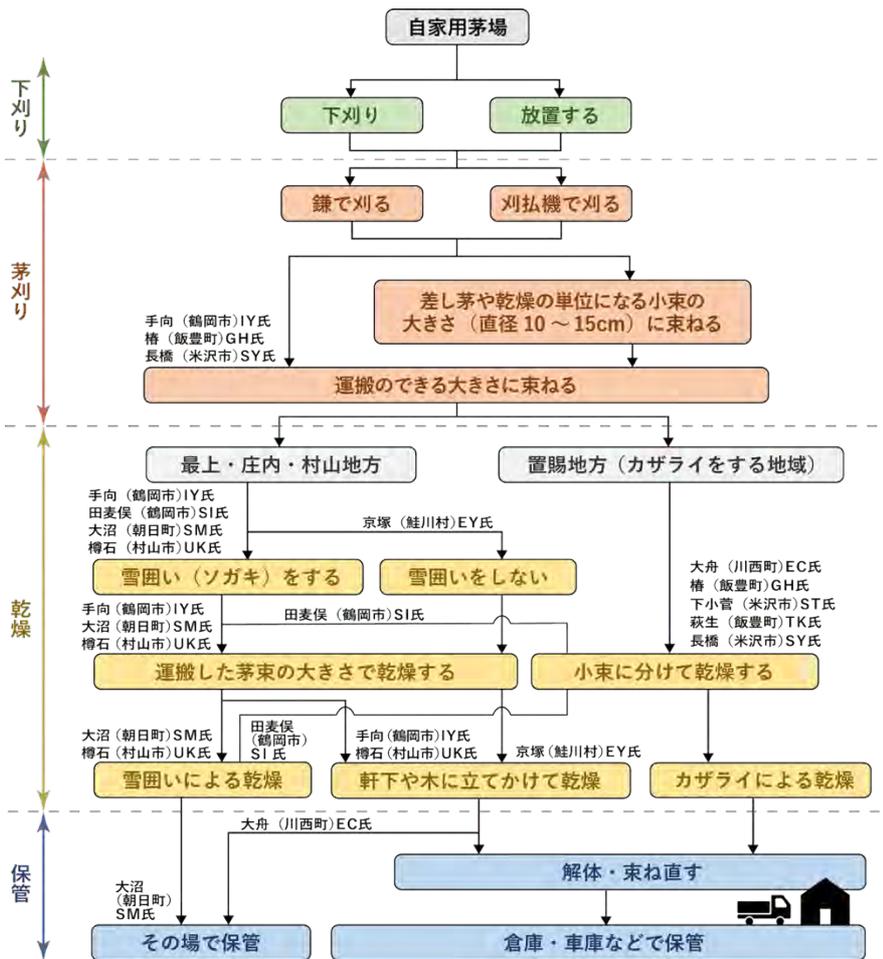


図2 茅採取のフローチャート



写真1 雪囲い



写真2 軒下に立てかけて乾燥



写真3 カザライ

表3 茅場の定量評価の調査結果

名称	山形県鶴岡市 羽黒町手向IY氏	山形県鶴岡市 田麦俣SI氏	山形県西村山郡 朝日町大沼SM氏		山形県村山市 樽石UK氏	山形県最上郡 鮭川村京塚EY氏	山形県西置賜郡 飯豊町秋生TK氏	山形県西置賜郡 飯豊町榑GH氏	山形県東置賜郡 川西町大舟EC氏	山形県米沢市 下小管ST氏	山形県米沢市 六郷町長橋SY氏	
茅の種類	ヨシ	ススキ	ススキ	ヨシ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ	ススキ	
計測結果	株数 (株/4m ²)	6.3	1	2	1		1.7	2.7		7	3.3	5.7
	稈数 (本)	235	104	302	140		225	300		381	473	436
	最長長さ<A> (mm)	3032.4	3240	2934	2957		3125	2844		3093	2859	3161
	最短長さ (mm)	1865.9	2505	2149	1752		1948	1728		1826	1873	2074
	Aの地際直径 (mm)	6.44	11.18	7.67	12.02		7.70	6.95		6.46	6.85	7.68
	Bの地際直径 (mm)	5.43	9.38	6.37	7.02		5.95	5.13		4.72	5.62	5.29
	傾斜角度(°)	2.54	4.4	9.0	1.1		2.9	1.5		3.8	3.5	3.7
茅場概要	面積 (ha)	0.10	0.60	0.92	0.21	1.66	1.64	0.35	0.09	0.35	0.15	0.20
	標高 (m)	104	470	411	364	486	136	271	254	245	237	280
	土地	休耕地	休耕地	元りんご畑	休耕地	羊の放牧地, 元桃園	休耕地	元ラフランス畑	線路の法面, 休耕地	休耕地	休耕地	休耕地
	下刈り	○	○	×	×	×	○	○	×	×	○	×

という家は1軒のみであった。現在の自家用の茅場は、休耕地だった場所を茅場として利用している家が多く、ヨシはいずれも水田を茅場に転換したものだった。茅場は、最も近いもので今年から、古いもので60年以上前から茅を刈り続けているとのことだった。人口減で休耕地が増え、茅草の減少で茅を必要とする人も少なくなってきたことから、近隣に良い茅が生えている休耕地を見つけて土地所有者に許可を得て刈るようになったという家

も多くあり、良い茅が生えている場所で臨機応変に茅を採取している実態が分かった。自家用茅場の場所は1~5ヶ所と分散している例も多くあり、面積はすべて合わせても0.1~1.6haほどの広さで、いずれも数日で採取が行われていた。なお、山形県では茅は刈り残しても雪で倒れるため、翌年古茅が混ざらないようにすべて刈るという必要性はあまり聞かれず、茅場のなかの良い茅が生えているところだけを刈って、あとはそのままにするとい

う家もあった。

茅刈りは、10月中旬から11月の降雪前の期間に行う家が多かった。茅刈りを効率よく行うため、下準備として初夏や茅刈り直前に、刈払機や鎌を用いて茅場周辺の雑草を刈り取るほか、家によっては茅場内の雑草を除去する下刈りが行われていた。茅刈りの道具は、鎌を使ってその都度束ねるか、刈払機で一気に刈った後で束ねるかのいずれかであった。いずれの場合も、刈った後の茅は一掴み～直径10cm程度の小束にする例が多く、その後の雪囲いやカザライと呼ばれる防風と乾燥を兼ねた工作物をつくる際の単位、差し茅の時の1束の単位との関係が見られた。採取した茅を家まで運ぶときは、小束5束ほどを1つの茅束に荒縄で束ねる家が多かった。

茅の乾燥・保管方法：乾燥方法は大きく分けて、「雪囲い」、「カザライ」、「軒下等に立てかける」の3通りであった。「雪囲い」は、家の外壁に丸太や竹を使って骨組みを作り、その上から茅束を頭合わせにして固定するものであり、雪から建物を守る機能を併せ持つ茅の乾燥方法で、春に解体して倉庫へ茅束を保管する。雪囲いの束は、直径10cm程度の小束を並べる場合と、小束5束ほどを1つの茅束にしてそれをそのまま並べる場合とがあった。なお、村山地方の2軒では「雪囲い」のことを「ソガキ」と呼んでいた。「カザライ」は山形県南部の置賜地方に見られ、屋敷の風の強い側に丸太で骨組みを作り、茅束を頭合わせになるように固定するものである。これも、冬の厳しい季節風から家を守る機能を併せ持つ茅の乾燥方法である。「軒下等に立てかける」乾燥方法は、軒下や木に立てかけて乾燥する方法で、最上地方、庄内地方、村山地方の3軒で見られた。南部の置賜地方でも高齢で「カザライ」による茅の乾燥が難しくなったことや防風ネットなどの代替製品で補うようになったことから主屋や倉庫の軒下の壁に立てかけて乾燥させるようになったという家があった。

保管の方法は、倉庫や車庫に立てかけるまたは俵積みをするか、台木の上に俵積み、ブルーシートで養生して保管のいずれかで、湿気で茅が傷まないようにしていた。**茅葺屋根の施工・維持管理方法**：茅葺屋根の葺き替えは、全国的には20年～30年程度の周期で行うことが一般的であるが^{注3)}、山形県の場合は、毎年の雪や風、雪下ろしで傷んだ部分を毎年差し茅で補修するという特徴があった。そのため、翌年の補修に必要な茅を前年に調達するということが、毎年の茅の採取量を規定する基本的な考え方となっていた。差し茅による部分補修であるため、葺き替えにかかる日数も7～10日程度と比較的短く、雪で屋根の一部の茅が抜け落ちた際に、次に葺き替えをす

る間までの応急措置として住民自らが差し茅をするという家もあった。施工時に必要な足場や縄、竹などは、昔であれば各家で用意することが多かったが、近年では職人が用意するようになったという回答が多かった。

4. まとめ

山形県は毎年の差し茅を基本とすることから、翌年の差し茅に必要な茅量を毎年確保し続けるという茅採取が実践されていた。調査先10軒はすべて何らかの農業従事者であり、茅刈りだけでなく、住民自身が毎年茅の乾燥、保管、差し茅の準備という一連の工程を担っていた。実践者はいずれも少なくとも親世代からの定住者であり、それらの自家用茅場を用いた茅採取の知識や技能は、親世代から実践を通して継承していた。休耕地が増え、茅を必要とする人が減ったことから、休耕地で良い茅が生えている場所があれば新たな茅場にするという、現代の自家用茅場の実態が明らかになった。一方、そうした茅場の位置の変容に対して、建物や敷地の防風・積雪対策と茅束の乾燥を兼ねた伝統的な雪囲いやカザライは、実践者の多くの家で生きた生活文化として継承されていた。乾燥した茅を必要とし、差し茅までの水分を含む重い茅の一時置き場を必要とする茅葺の民家の生活者にとっては、それらが現代も合理的な装置であり続けていることが分かった。茅場の位置は変化しても、茅刈りを継続する限りは、今後もそれらが継承される可能性は高いと思われる。今回の調査先では住民自身が屋根を葺くことはほとんどないとのことだったが、各家では、茅刈りの段階から、雪囲いやカザライ、差し茅の際の束の大きさを意識して1束の単位が作られていた。

現代においてこうした住民による茅採取を実践する上では、茅を刈る工程だけでなく、乾燥、保管、施工までを一連の工程と捉え、持続可能なシステムを確立する必要性を示唆する結果となった。また、茅の利用者が少なくなった現代では、休耕地の茅を刈る茅葺所有者の営みは土地の管理にも寄与しており、個人の営みに留まらない地域貢献の側面も示唆する結果となった。

謝辞

本研究はJSPS科研費 JP 24K21648、JP 25K01410の助成を受けたものである。研究の遂行にあたっては、現地調査に協力して頂いた茅葺民家の所有者各位、茅葺民家を紹介してくださった2名の山形県在住の茅葺職人各位、山形大学の渡邊陽仁氏に深く謝意を表します。

注

注1) 茅葺職人AA氏からは庄内地方、村山地方、最上地方の5軒を、YD氏からは置賜地方の5軒の紹介を受けた。

注2) 茅場前面の茅を運搬する道に対して直交方向の傾斜を計測した。

注3) 安藤²⁾、p133

参考文献

- 1) 一般社団法人山形県建築士会茅葺屋根建造物調査委員会：山形県茅葺屋根建造物継承事業調査報告書，山形県教育委員会，2015年
- 2) 安藤邦廣：茅葺きの民俗学；生活技術としての民家，はる書房，1983年

*香川大学大学院 創発科学研究科 大学院生

**香川大学 創造工学部 准教授・博士（デザイン学）

***山形大学 准教授・博士（デザイン学）

*Graduate Student, Kagawa Univ.

**Associate Prof., Kagawa Univ., Dr. Des.

***Associate Prof., Yamagata Univ., Dr. Des.

引田における歴史的町並みと民家の構法の変遷

5. 建築計画

東かがわ市
間取り

4. 建築構法

引田
構法

民家
町並み

正会員
正会員
正会員

○川嶋伸岳*
釜床美也子**
小坂伊織*

1. はじめに

香川県東かがわ市に位置する引田は室町時代から東讃地方の有数の港町として栄えていた地域である。指定有形民俗文化財や登録文化財も存在することから、古民家が並ぶ景観だけでなく文化財としても高い評価を得ている場所である¹⁾。引田の歴史的町並みと民家についての既往研究は、1975年に行われた明治大学神代研究室²⁾松本³⁾による調査がある。この研究では海沿いの岡浜通りより東側のハマと呼ばれる漁業コミュニティと西側のオカと呼ばれる商業コミュニティがあることが明らかにしている。しかし、引田で栄えたオカの一部の店のつし二階建町家の平面や立面が作成されるのにとどまった。引田のオカの中心部のエリア以外に、実際には小規模な商家や漁家、旅館など多様な規模や意匠の古い町家が残っていることから、引田の伝統的建築物を対象に間取りと構法を包括的に調査し歴史的町並みの建築的特徴を明らかにしたいと考えた。

2. 研究方法

本研究は、一次調査として2023年に調査対象地域で全数調査を行い、昭和戦前までに建築された伝統的建築

物を313棟確認した。その313棟の中から、規模や立地などをなるべく網羅し、かつ改造の少ない調査候補建物を抽出し、2022年に承諾の得られた30棟、2025年に11棟の調査を行った。現地では復原調査と実測調査を行い復原図、断面図、立面図を時代、生業、形式ごとに分類し、比較分析により地域的特徴について考察した。主要な調査項目の調査結果と作成図面の一覧を表1に、各調査物件の位置を図1に示す。2022年度はオカを、2025年度はハマを中心に実測調査を行い、調査対象地域の建物の規模や立地、生業がばらつくように調査を行った。建物の由緒や改造履歴は、資料の確認と、聞き取りが可能な場合には聞き取り調査を行った。

3. 構法

表1より、商家が最も多い生業で、建築年代は年代が分かるものでは安永9年(1780年)の町家が最も古いことが判明した。つし二階、二階建が大半を占めている。入り口形式は平入で、屋根形式は切妻造、入母屋造の順が多い。屋根葺材は本瓦葺が昭和になっても葺かれていることが分かった。各建物の本瓦の丸瓦の大きさを測ると、明治の建物は直径5寸程度で大正・昭和は4寸程度

表1 調査結果と作図図面の一覧

調査番号	建物名	種別	生業	敷地面積	立派面	建築年(西暦)	建築年代	年代別	構造	階数	構造	柱	屋根形式	屋根葺材(瓦葺/葺材)	土留	土留・大梁	基礎高(寸)	柱高(寸)	柱径(寸)	柱間隔(寸)	柱位置	柱の位置	
1	2F家	民家	漁業	○	○	○	—	江戸末期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	407	1778	2122	2122	2122	2122	2122
2	本瓦葺し	民家	漁業	○	○	○	登録	昭和前期(昭和11年)	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	475	1778	2122	2122	2122	2122	2122
3	1F家	民家	漁業	○	○	○	登録	昭和前期(昭和11年)	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	505	1778	2122	2122	2122	2122	2122
4	1F家	民家	漁業	○	○	○	—	江戸末期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	15	457	1721	2121	2121	2121	2121
5	障子目録家	民家	漁業	○	○	○	—	江戸末期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦(10寸)	無し	無し	190	854	1778	2121	2121	2121	2121
6	2F家	民家	漁業	○	○	○	—	江戸末期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	295	430	1718	2121	2121	2121	2121
7	北村家住宅(旧北村家)	民家	漁業	○	○	○	登録	江戸末期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	72	394	1715	2121	2121	2121	2121
8	商家住宅	民家	商業	—	—	—	登録	江戸末期/昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200
9	日下家住宅	民家	商業	—	—	—	登録	江戸末期/昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200
10-1	2F家	民家	材木屋	○	○	○	—	江戸末期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	48	394	1788	2121	2121	2121	2121
11	M2F家	民家	漁業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	368	368	1775	2121	2121	2121	2121
12	2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	215	215	215	215	215	215	215
13-1	1F家	民家	商業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200
13-2	2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	18	1741	2121	2121	2121	2121	2121
14	M2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	80	370	1726	2121	2121	2121	2121
15	K2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	30	394	1710	2121	2121	2121	2121
16	K2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	215	425	1724	2121	2121	2121	2121
17	Y2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	50	484	1761	2121	2121	2121	2121
18	K2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200
19	H2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	29	324	1722	2121	2121	2121	2121
20	1F家	民家	商業	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	120	405	1790	2121	2121	2121	2121
21	M2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	40	430	1759	2121	2121	2121	2121
22	M2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦(12寸)	無し	無し	65	379	1723	2121	2121	2121	2121
23	V2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	15	365	1733	2121	2121	2121	2121
24	2F家	民家	商業	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦(12寸)	無し	無し	30	2419	2121	2121	2121	2121	2121
25	M2F家	民家	商業	○	○	○	—	大正前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	419	1710	1710	2121	2121	2121	2121
26	K2F家	民家	商業	○	○	○	—	大正前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	405	200	200	200	200	200	200
27	寺前ヤカリー	民家	商業	—	—	—	—	大正	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	104	2817	2121	2121	2121	2121	2121
28	K2F家	民家	商業	○	○	○	—	大正	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	150	427	1711	2121	2121	2121	2121
29-1	1F家	民家	大工	—	—	—	—	大正	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	88	200	200	200	200	200	200
29-2	1F家	民家	大工	—	—	—	—	大正	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	88	200	200	200	200	200	200
29-3	1F家	民家	大工	—	—	—	—	大正	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	88	200	200	200	200	200	200
30-1	1F家	民家	大工	—	—	—	—	大正	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	28	200	200	200	200	200	200
31	N2F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	50	368	1722	2121	2121	2121	2121
32	K2F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	189	454	1729	2121	2121	2121	2121
33	M2F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	410	1717	1717	2121	2121	2121	2121
34	商家住宅	民家	商業	—	—	—	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	240	240	240	240	240	240	240
35	K2F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	28	200	200	200	200	200	200
36	1F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	610	1726	1726	2121	2121	2121	2121
37	1F家(商家)	民家	商業	—	—	—	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	300(5L+12寸)	1954	1954	2121	2121	2121	2121
37	北村家住宅(旧北村家)	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200
38	2F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	18	1784	1784	2121	2121	2121	2121
39	2F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	217	217	217	217	217	217	217
40	障子目録	民家	商業	—	—	—	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200
41	2F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200
42	1F家	民家	商業	○	○	○	—	昭和前期	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦(12寸)	無し	無し	65	422	1727	2121	2121	2121	2121
43-2	2F家	民家	材木屋	○	○	○	—	明治	切妻	つし2階	平入	入母屋	切妻	本瓦(12寸)	無し	無し	200	200	200	200	200	200	200

The Evolution of Historical Townscapes and Folk House Construction Methods in Hiketa

* Nobutake KAWASHIMA, **Miyako KAMATOKO and * Iori KOSAKA

という傾向がみえた。土台は不明を除いた半分ほどにみられた。小屋組は「洋小屋」が8棟みられた。商家を中心に軒がある町家が多いことが分かった。

3. 引田のオカとハマ

実測調査建物を生業で色分けした地図を図2に示す。岡浜通り付近から西側に行くと商家の分布が増え始め、東側に行くと漁家の割合が増え始める。またハマでは、漁家以外に材木屋、大工等の職人の生業が見られた。江戸期から昭和期にかけて引田には、明確な境界と共に多様なコミュニティが共存していたと考えられる。

4. 間取りからみた特徴

飯窪⁴⁾、川嶋⁵⁾による間取りの分類の図表に2025年度に調査した建物を加えて、年代と生業、室配置で分類したものを図3に示す。

商家は2025年度の調査ではNG家の1棟であった。本瓦葺つし二階建1列型の明治期の建物で、引田の小規模な商家の典型であった。NG家は主屋の奥に離れを増築しており、間口が狭く奥深い敷地であるためと考えられ、江戸時代の一部の大手以外では引田の商家の一般的な間取りと考えられる。明治期のHR家では1階の表を商売の空間、奥を居住空間としていたものが、昭和前期のIT家のように二階建の時代となり2階に続き座敷をとれるようになると1階を商売の空間、2階を居住空間

とするようになっていた。しかし、階高が変わっても「通り土間」とすることは昭和になっても継承されていた。

漁家は、引田には1列型のブチョウのある茅葺が多数あったといわれていたが、今日では全て失われていた。しかし、聞き取りでUZ家は建築当初はブチョウがあったが、現在は出格子に改造したことがわかった。UZ家のような間口が2間程の茅葺のブチョウのあった建物も他に現存しておらず、引田の漁家の茅葺の時代の表構えや規模を伝える建物として貴重である。明治期までは「平屋建の茅葺」か「つし二階建」が多いが、大正期から昭

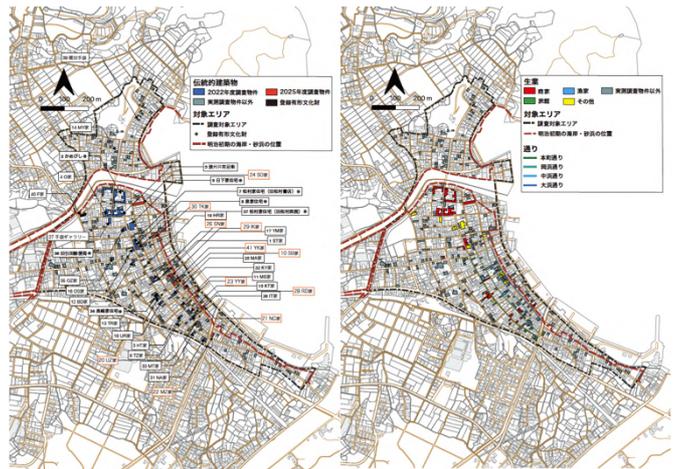


図1 調査物件

図2 生業と通り



図3 復原図の建築年代と生業と室配置

和前期にかけて二階建の建物が建てられ始め、同時代の商家と間取りの違いがあまり見られなくなった。大正前期のつし二階建のMA家は、座敷を避けて下手のみにつしを設けていた。MA家の下手の奥の板間と土間は、網子が濡れたまま食事ができるような大きな食事空間として使用されていた。昭和3~5年建築のKY家は、二階建の町家の2階が続き座敷になる点が商家にも共通するが、漁家の網元の場合は、2階の座敷は網子たちが風待ちのために寝泊まりをする空間、一同に会して宴会をする空間としての意味があったことが聞き取りで分かった。また、つし二階建の時と同じように、通り土間として、下手の奥は網子が濡れたまま食事ができる空間として使用されていた。

BD家、NA家、MT家の3棟の旅館は時代を問わず2階を座敷として道路側に客室をとることから、2階の道路側に大きな開口部をとった眺望を重視した建築となっていた。さらにそこに欄干や出格子がとりつくため、漁家や商家とは異なるファサードとなっていた。MZ家の建物は明治期の建築と推定されるが、聞き取りにより旅館業は大正3年からである。旅館業の拡大とともに敷地

の奥に客室の二階建を増築したと考えられる。主屋のつし2階は聞き取りにより仲居が寝泊まりする部屋として使われていたと分かった。

SB家は聞き取りから江戸末期の建築で、江戸期から間口の狭い茅葺きだけでなく2列型の比較の間口の広い茅葺きも併存していたことが分かった。当方もブチョウが当初はあったとのことだった。

5. 断面からみた特徴

飯窪⁴⁾の断面図の表に2025年度の調査物件を加えて、建築年代と生業と「表側の下屋の有無」・「下屋上部外壁の構法」の2つの観点で分類したものを図4に示す。

商家は「下屋あり・開口部あり」のつし二階建の建物が、江戸期から明治期にかけて多く建てられていたことが分かった。大正・昭和期から2階の階高が高くなり、二階建が建てられ始めたことが分かった。そして、OZ家のような「下屋無し」の二階建が昭和に建てられていた。

漁家は明治期に「下屋あり・開口部なし」の茅葺と「下屋あり・開口部あり」のつし二階建が建てられていたことが分かった。そして大正期から「下屋無し」が建てられ、昭和期には商家と同様に洋小屋が用いられ、断面か

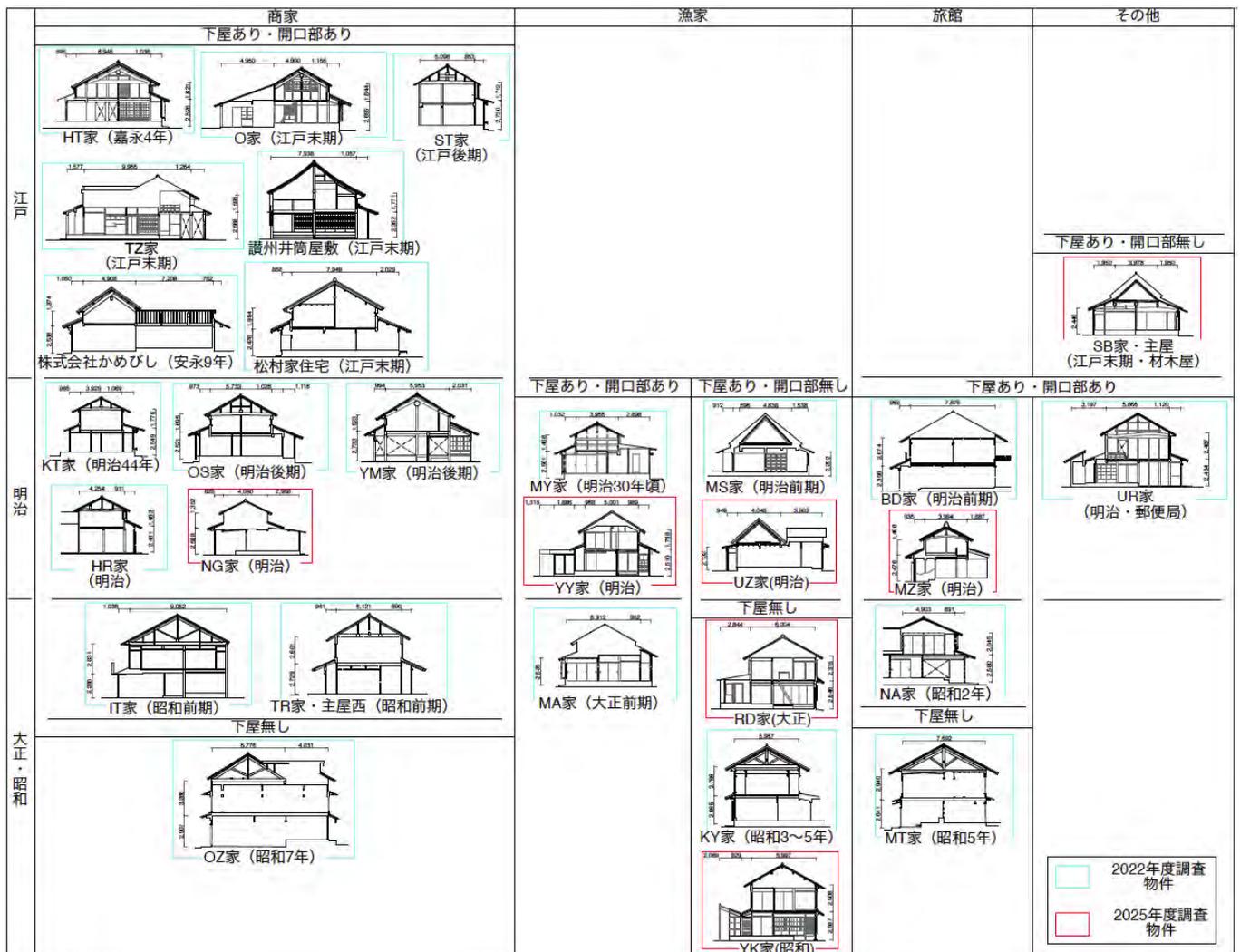


図4 断面図の建築年代と生業と形態

らみても商家との違いが薄れていることが分かる。

旅館はMZ家を除いて、2階を座敷として使用するため、2階の階高が高い傾向がある。BD家は明治前期の「下屋あり・開口部あり」の建物だが、同時代の商家や漁家に比べて2階の階高が高い。これは、洋小屋を採用することで2部屋の4間の大きな梁間を1スパンでつくることを早い時期に実践している。

6. 立面からみた特徴

飯窪⁴⁾の立面図の表に掲載されていない2022年度の調査物件、2025年度の調査物件を加えて建築年代と生業、室配置で分類したものを図5に示す。

商家は江戸・明治期に2・3列型の間口の広いつし二階建、入母屋、本瓦葺が建ち、その後大正・昭和期に1列型の間口の狭い二階建が建ち、時代とともに棟高が上がり、間口が狭くても十分な部屋を確保できるようになったことが分かる。漁家は、明治期は平屋建の茅葺であったが、つし二階建、二階建へと構造を変え、商家と変わらないファサードになっていた。

旅館は、BD家、NA家、MT家では商家や漁家と異なり座敷がある2階に大きな開口部をとり、欄干や格子が設置され華やかな印象を与える。MZ家は正面の主屋にはザシキに出格子がある。また奥の座敷がある建物に3棟と同様の欄干を設置している。IK家の家具製作用の倉庫など付属屋については生業の違いがファサードにも現れている。しかし、主屋は商家と漁家はいずれも2階を座敷として使うようになるためかファサードでも違いが分かりにくくなっている。なお、SB家、IK家は通し屋敷で敷地が中浜通りと大浜通りの両方に接している。それぞれに建物の入り口はあるが、2棟ともオカ側に主屋を設け、表の入り口としている。そのため、裏のハマ側の方では付属屋が並ぶ町並みとなり、通し屋敷の有無に

より通りごとの町並みが変わることが伺える。

7. まとめ

オカの間口の狭い中小規模の商家は敷地の制約と建築技術の発展によって、2階が部屋として使われ、棟高が上がり大店とは異なるファサードを作り出した。ハマにはプチョウがあった茅葺の建物が残っており、保存措置が必要である。漁家は商家と同様に瓦葺の二階建へと変わっていくことが分かった。一方、旅館は商家や漁家と異なる外観の特徴が確認できた。通し屋敷と半裁屋敷が混在することによる表と裏の通りの印象の違いが確認された。

謝辞

本研究の2025年度の調査は、日本ナショナルトラスト2025年度「地域遺産支援プログラム(トラスト・エール)」の引田「町家マッチングプロジェクト」事業として実施しました。本研究の遂行にあたり、公益財団法人日本ナショナルトラスト諸氏、永峰優一氏をはじめとする東かがわ市引田町家マッチングプロジェクト諸氏、各住宅の所有者諸氏に多大なるご協力を頂きました。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 東かがわ市歴史民俗資料館：よみがえる井筒屋～引田の町並みとともに～,2005
- 2) 明治大学神代研究室：いろいろなコミュニティ 引田におけるハマとオカ, スペースデザイン, 第138号, pp.37-68, 1976
- 3) 松本勝邦, 古川和典：讃岐・引田の空間構成と祭礼諸相に関する研究, 明治大学科学技術研究所紀要, 40(8), pp.51-62, 2001
- 4) 飯窪蒼希, 釜床美也子：引田における民家の間取りと構法：引田の民家その2, 日本建築学会四国支部研究報告集, 2023
- 5) 川嶋伸岳：引田における町家の間取りの変遷, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2023

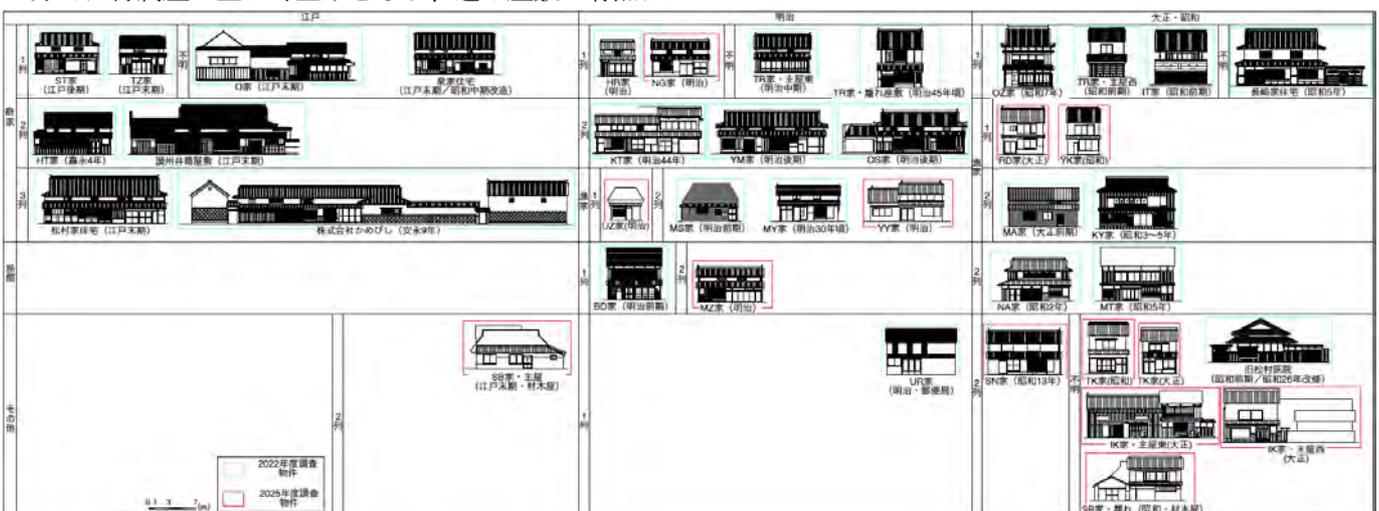


図5 立面図の建築年代と生業と室配置

*香川大学大学院 大学院生

**香川大学 准教授・博士(デザイン学)

*Graduate Student, Kagawa Univ.

**Associate Prof., Kagawa Univ., Dr. Des.

東京都新島村における戦後のコーガ石を用いた建物の構法と町並み

5.建築計画
コーガ石
本村

4.構法計画
石造建築
若郷

新島

非会員 ○松野百華*
正会員 釜床美也子**

1. 研究の背景と目的

新島は、都心から約 150km 離れた離島であり、本村と若郷の集落に合わせて約2000人が住む。東京都新島本村役場企業課¹⁾によると、本村から南部は流紋岩と砂礫、火山灰土、若郷地区は玄武岩と砂礫により形成されている。コーガ石は新島本村字向山から採掘される黒雲母流紋岩で、森林資源の少ない島内で建材として多く利用され、民家においては壁、屋根、梁などに石が用いられてきた。軟質のものは比重が約 0.8~1.3 程度であり、水に浮かぶ程の軽石であるため運搬や加工がしやすく、耐熱性に優れているため、密集した集落部の建築物の不燃化の意味でも盛んに使用された。篠原・他²⁾の研究では、2024年にコーガ石を用いた本村の建築物と工作物の分布図の作成が行われたが、構法が不明な建物も多かった。そこで、本研究では新島のコーガ石の建物の構法の精査、実測調査、施工や採掘を担う会社や職人への聞き取りを通して、戦後も含めたコーガ石の町並みの特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

現地調査は、2025年8月2日~10日と2025年9月21日~23日に実施した。悉皆調査については、新島村本村1丁目~6丁目と若郷1~8番を調査対象範囲とし、外観の写真撮影と地図へのプロットを行った。本村は、篠原・他²⁾の調査結果から構法が「不明」となっている建物、または、屋根形状が「陸屋根」かつ屋根材が「不明」となっている建物に絞って調査し、再分類を行った。その際、解体された建物や木造の建物は除外することとした。若郷は、古い集落部の若郷1~8番を対象とし、コーガ石を用いた建物と工作物の悉皆調査を実施した。実測調査は、構法類型別に石造建築物の町並みの特徴づける建物の平面図、断面図、立面図、連続立面図を実測した。聞き取り調査は、コーガ石の建物を扱う不動産やコーガ石の採掘・販売を行う会社、建設会社、大工の計6名に対し採石、材料・建材としてのコーガ石、施工などの実態を調査した。

3. 本村と若郷における石造建造物の分布調査

コーガ石を用いた建物と工作物、風除けのために掘り下げた土地をプロットしたものを図1と図2に示す。こ

れにより、石を用いた建物や塀などの工作物は本村だけでなく、若郷にも広く分布していることが明らかになった。1961年に若郷と本村を結ぶ車道が開通したことで、本村のコーガ石を若郷に移送することが可能になり、一気に利用が進んだことが聞き取り調査で分かった。若郷にある採石場から採れる石は、コーガ石よりも黒く、重い玄武岩であるため硬石と呼ばれており、主に塀に用いられていたと分かった。

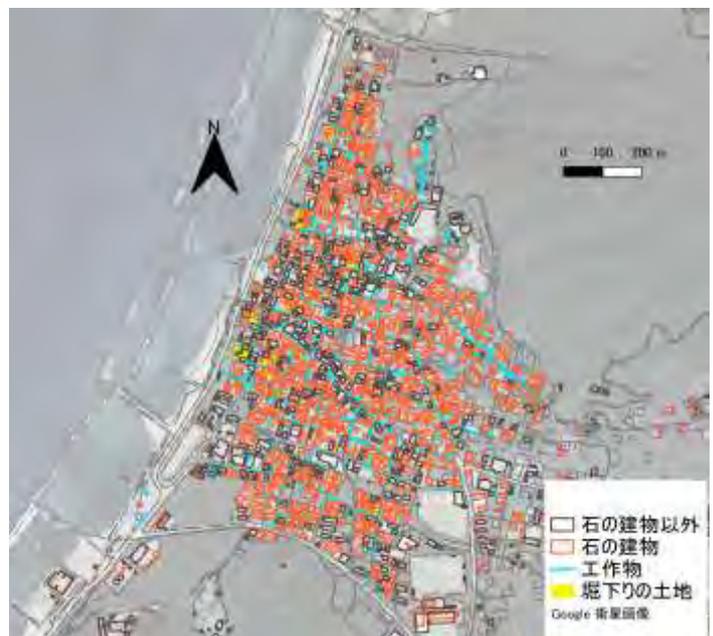


図1 石造物の分布(本村)

(下図は Google 衛星画像と国土地理院の基盤地図情報を使用し、建物の外形線のみ踏査により修正)

The landscape and buildings of postwar Koga stone architecture in Nijima Village, Tokyo

*MATSUNO Momoka, **KAMATOKO Miyako



図2 石造物の分布(若郷)

島内に見られる建物の構法類型は図3のように区分した。まず「RC造」,「石造(写真1)」,「不明」の3つに分け,「RC造」は「RCラーメン」,「CB」に,「RCラーメン」は「石型枠石壁RC造(写真2)」,「石壁RC造(写真3)」,「不明」に分けた。「組積造」は,壁を積み石で作る,桁を石壁の最上部に載せる構法である。「石型枠石壁RC造」は,RCラーメン構造で薄く切ったコーガ石を捨て型枠とする構法である。聞き取りによれば,新島では「捨て石」と呼ばれていた。「石壁RC造」は,RCラーメン構造で帳壁を積み石で埋めるといった構法である。聞き取りによれば,これらの石型枠RC造や石壁RC造のコーガ石の施工については,住民のセルフビルドや相互扶助による施工が多く行われていたとのことだった。

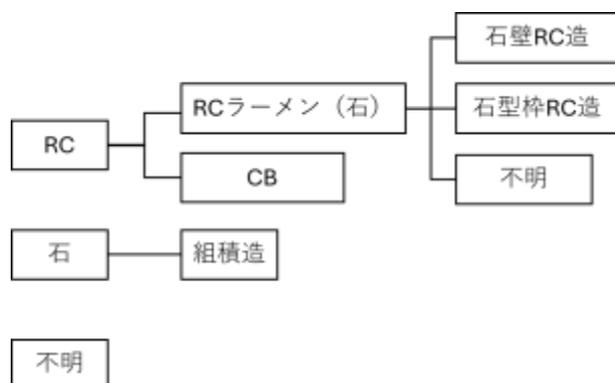


図3 構法類型



写真1 石造



写真2 石型枠石壁 RC



写真3 石壁 RC

4. まとめ

新島村本村と若郷それぞれにコーガ石が用いられた建築物の町並みが確認できた。また,組積造以外にRC造でもコーガ石の利用が継続し,戦後は若郷にも利用が広がったことが明らかになった。なお,RC造でのコーガ石の利用においても,加工性を活かした自力建設もあったことが分かった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP24K21648、JP25K01410、JP24K03217 の助成を受けたものである。現地調査に協力して頂いた所有者各位に深く謝意を表します。

参考文献

- 1)東京都新島本村役場企業課：抗火石沿革史,東京都新島本村役場,1979
- 2)篠原祐人,釜床美也子：東京都新島村における近現代のコーガ石の建物と町並み,日本建築学会四国支部研究報告集,vol.25,p91-93,2025
- 3)吉岡攻：モヤイ：新島・島おこし,六興出版,1990

* 香川大学 学部生
**香川大学 准教授・博士(デザイン学)

* Undergraduate student, Kagawa Univ.
**Associate Prof., Kagawa Univ., Dr. Des.

吉野川中・下流域における水防建築を用いた水害対策

5. 建築計画
吉野川
民家

4. 構法計画
水防建築
水屋

非会員 ○ 内田 美咲*
正会員 釜床 美也子**

1. 背景と目的

近年、気候変動により水害は激甚化しており、治水整備のみでは限界がある。そのため、想定を超える洪水への対応として、行政と住民が一体となった対策が求められている。旧来、洪水が多発する地域では伝統的な建築として水防建築がある。水防建築とは洪水や水害から人々の生活や財産を守るために工夫された建築物のことである。一般的な水防建築として挙げられるのが水屋や水塚であり、屋敷内において母屋より高く盛られた盛土及び、その上に建てられる蔵の事を指す。青木・他¹⁾によると水防建築は水害常襲地帯において全国的に現存しており、石垣を積む、敷地を嵩上げる、屋敷林を植える、船を持つなど地域によって様々な対策がなされていることが明らかになっている。水防建築には住民によって築かれてきた防災の知恵が反映されており、今後の人と水との関わり方を考える上で重要な示唆を与えると考える。一方で、戦後の堤防築造等による安全対策が進んだことで、水防建築は今後消滅する恐れがある。例えば青木・他²⁾は荒川流域において水防建築の必要性の希薄化や都市化に伴い、減少傾向にあることを明らかにしている。そこで本研究の目的は、住民が自宅の敷地で行っていた水防建築による水害対策の特徴を明らかにすることとした。調査対象地は旧河川の位置が特定でき、かつ、現在も水防建築が多く残り、水害の備えについての聞き取り調査も可能であったことから吉野川中・下流域を調査対象地とした。

2. 研究の方法

調査対象範囲を決定するため、吉野川流域における災害誌、水防建築に関する既往資料の収集整理を行い、それに基づき美馬郡脇町別所、舞中島、吉野川市山川町、板野郡北島町を調査対象範囲に選定した(図1)。本研究では、高石垣または基礎に石積みをも有する建物が現存する敷地、および茅葺屋根を有する敷地を対象として悉皆調査を実施した。茅葺屋根のある敷地を調査地に入れたのは、石積み等を用いた一般的な水防建築に加え、石積みではない形で洪水に対応してきた民家の実態を把握するためである。また、住民への聞き取り調査を行うとともに、抽出された典型例または特徴的な事例については実測調査を行い、屋敷の立面図、配置図の作成を行った。現地調査は、2025年6月17日～2025年11月27日の間に実施した。

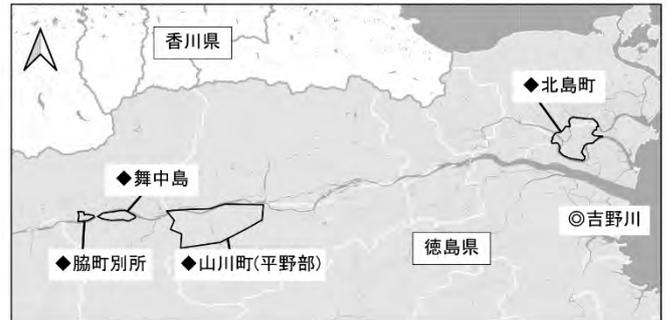


図1 調査範囲

3. 吉野川流域における治水事業の変遷

国土交通省四国地方整備局によれば調査対象流域は四国4県にまたがり四国全域の約20%に相当する広さを持つ吉野川流域である。吉野川が幹川流路延長194km、流域面積3,750km²を有し、日本三大暴れ川の一つに数えられる。古来より洪水の頻発により流域に甚大な水害をもたらしてきた。

吉野川流域では、室町時代中期から現在に至るまで様々な治水事業が行われてきた。しかし、明治後期以前は低水工事を中心とするもので、洪水氾濫を本格的に防御することを目的とした事業ではなかった。第一期改修工事(明治40年～昭和2年)以前、洪水を防ぐ大堤防が築かれる以前は、吉野川は頻繁に氾濫を繰り返していた。この洪水によって運ばれた肥沃な土壌は流域を形成し、吉野川流域では藍の栽培が盛んに行われていた。このような自然条件と社会背景のもと、人々は吉野川の氾濫を前提として土地利用と生活様式を築き、吉野川の洪水と共存する関係を形成してきた。

4. 地域における水防建築の特徴

本章では、4地域における水防建築の特徴を敷地類型、地形、敷地立面及び配置構成の観点から考察する。

4.1 敷地類型

道路に対する敷地の高低および建物基礎に着目すると、敷地の類型は6つに分類できた。図2では石積みによって基礎が嵩上げされている部分を着色して示した。6類型は①建物個々に基礎を嵩上げするもの、②基礎を階段状に連続して嵩上げするもの、③敷地全体を嵩上げするもの、④敷地全体を嵩上げたうえで一部の建物基礎も嵩上げするもの

の、⑤敷地は道路と同一レベルであるが一部の建物のみ基礎を嵩上げするもの、⑥敷地、基礎ともに道路と同一レベルのものである。

4 地域全体では敷地全体を嵩上げる類型が最も多く、192 軒中 68 軒を占めた。水害が頻発する地域であることから、建物を個々に嵩上げするのではなく、敷地全体を嵩上げし、居住空間全体を洪水から守る対策が採られてきたことが明らかになった。一方、敷地が道路と同一レベルの敷地では茅葺屋根の建物の割合が高かった。川上側に大木を植えることで洪水や流木の衝撃を緩和する等、構造的な対策に依らない水害対策がなされていた。

また、①建物個々に基礎嵩上げ、②階段状に基礎嵩上げ、③敷地全体嵩上げ、④敷地全体＋一部基礎嵩上げを水害対策の程度の高い類型、⑤敷地道路レベル＋一部基礎嵩上げ、⑥敷地道路レベルを相対的に対策の程度低い類型としてグルーピングした。その結果、程度の高いものの割合が舞中島では9割以上、北島町で8割を占めたのに対して脇町別所、山川町では3割程度にとどまり、地域による対策の程度に顕著な違いがあることが明らかになった。

4.2 地形と分布

悉皆調査により確認できた4地域の水害対策を備えた民家の分布図を作成した。また、治水地形分類図に記載の旧河川^{注1)}と自然堤防^{注2)}の位置を分布図にトレースして重ねることにより、水防建築の立地状況を把握した(図3)。この結果、舞中島は他3地域と比較して、水害対策の程度が高い敷地類型に属する敷地の割合と調査範囲に対する密度が著しく高いことが明らかになった。舞中島は現在、徳島県で唯一、人が居住している中州であり、その特異性が見取れた。一方、水害対策の程度が低いタイプの割合が高い脇町別所および山川町では石囲いの家や、漂流物を受け止める役割を果たす大木や生垣を設ける等、複合的な水害対策がなされていた。北島町では舞中島に見られるような大規

模な水防建築が多数確認されたが、下流域に位置するため、市街化に伴い取り壊された事例も確認された。

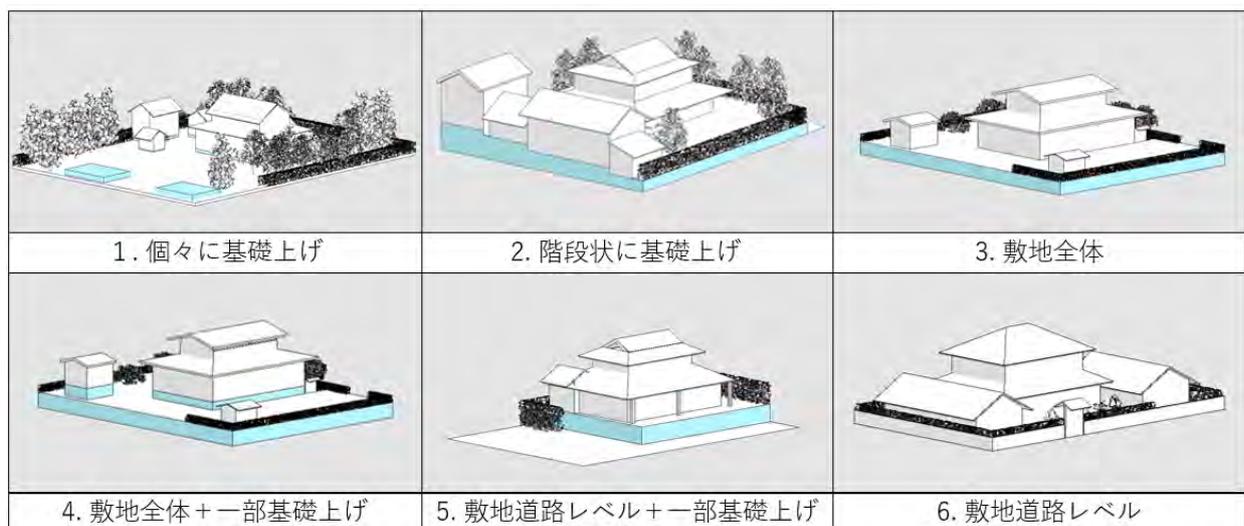
また地形との関係に着目すると、舞中島および山川町では自然堤防上に集中的に水防建築が分布しており、甚大な水害に対する立地的な備えがなされてきたことが分かった。旧河川の分布は中州を形成するような形状を示している部分が多く、旧河川の時代には中州のような河川が迫る環境も多い中で水防建築を建てて生活していた実態が明らかになった。

4.3 4 地域における水害対策

4 地域でそれぞれ1軒ずつ立面図を作成した。脇町別所については配置図も作成した。立面図および配置図、聞き取り調査で得られた情報から各屋敷における水害対策を明らかにする。

① 脇町別所 石囲いのある家

この屋敷の最大の特徴は石囲いである。これは石巻堤と呼ばれており、土堤の表面を石張りによって補強した堤防である。石巻堤は高さ約1.8m、底幅3~4m、天幅約2mあり、総延長は100m以上である。図4、図5に示すように東西側と南側に石巻堤が配置されている。洪水時に水流が直接当たる配置のため、石巻堤によって流れを分流・減勢させることで主屋や付属屋を水害から守る構成となっている。洪水発生時には、地域住民は家財道具等を石巻堤の上へ移動させ、流木等が流れ寄せてきた場合には先端が尖った長さ約2mの突っかけ棒を用いて石巻堤上から押し除けていた。脇町別所には石囲いのある家は2軒確認されており、他3地域ではみられない水害対策である。



※前川⁴⁾が作成したものを一部加工して作成

図2 敷地類型

② 山川町 藍屋敷

図6に示すのは山川町に残る藍屋敷である。この地域は江戸時代から明治時代にかけて藍の栽培が盛んに行われ、現在でも山川町の吉野川に近接する位置に有力農家の藍屋敷が残存している。この屋敷では川上側である西側に藍屋敷を配置し、約1.2mの石積みによって屋敷の基礎を高くすることにより洪水に備えている。水害に対する立地的・構造的な備えが一体となって形成されている。

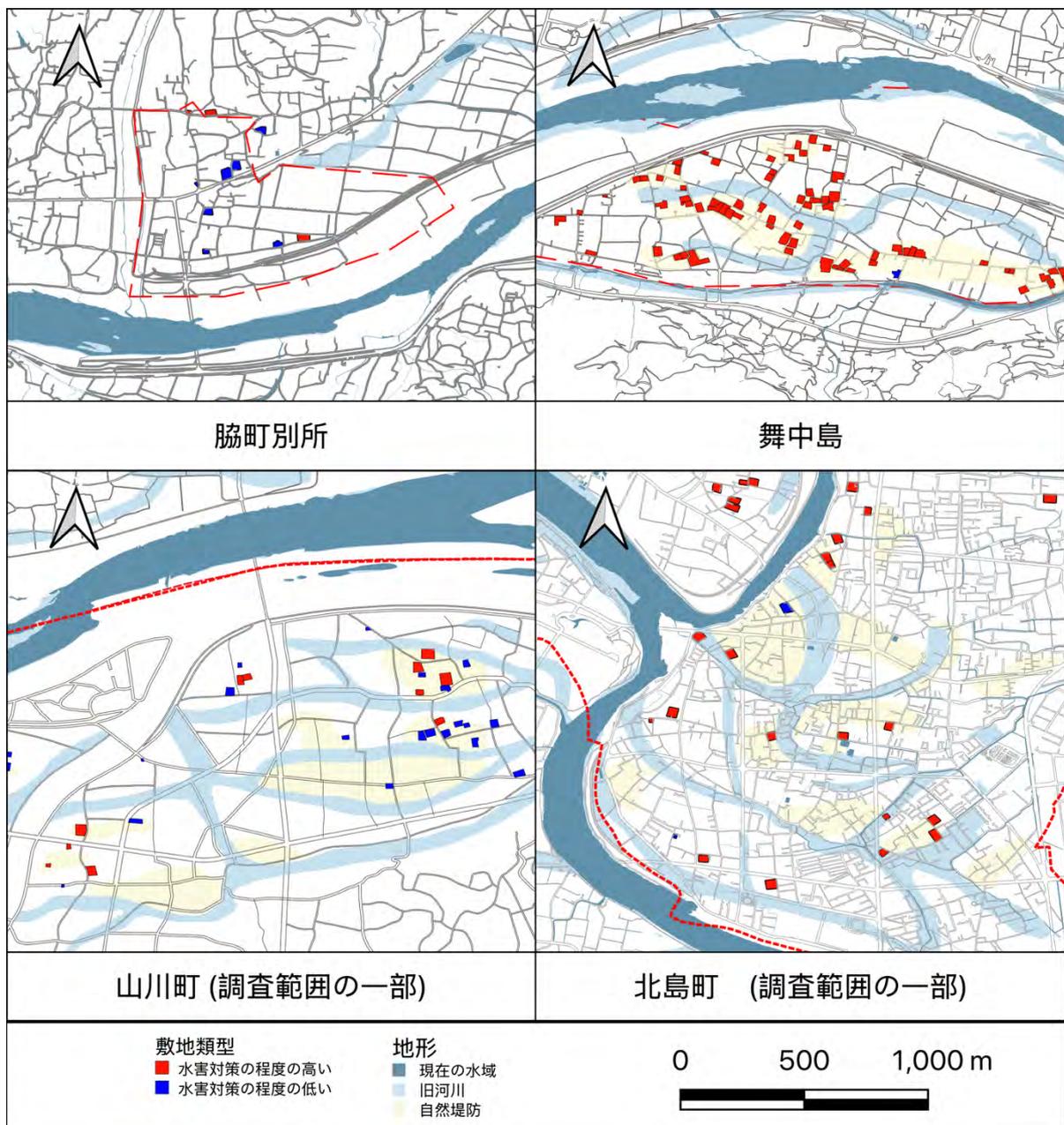
③ 舞中島 城構えの家

舞中島は吉野川と明連川に囲まれており、川中島という地形から度重なる洪水に見舞われてきた。そのため舞中島の多くの民家では高石垣を築くことによって水害に備えている。図7に示す屋敷は、舞中島の水防建築を有する屋敷の典

型例であり、階段状に連続する高石垣による立面構成が特徴的である。とりわけ水屋は最も石積み基礎を持ち、屋敷の北西隅に配置される。その南側には石積み基礎を持つ納屋等が連続して配置される。この配置により、敷地は北西側を最高所として南側および東側へと階段状に基礎が低くなる立面構成を示す。

④ 北島町 藤田家住宅

図8に示す屋敷は明治時代から昭和初期にかけて建設されたもので、主屋、納屋、蔵、長屋門、裏納屋兼離れで構成されている。主屋、納屋、蔵、長屋門はいずれも石積み基礎を有し、蔵の基礎が最も高くなっており、洪水時の家財等の安全確保が図られている。蔵の基礎高は約0.9m、主屋は約0.6mであり、一般的な民家と比べて高くなっている。



※国土地理院の基盤地図情報の上に治水地形分類図に記載の旧河川と自然堤防をトレースしたものを重ねて作成

図3 4 地域における水防建築の分布図

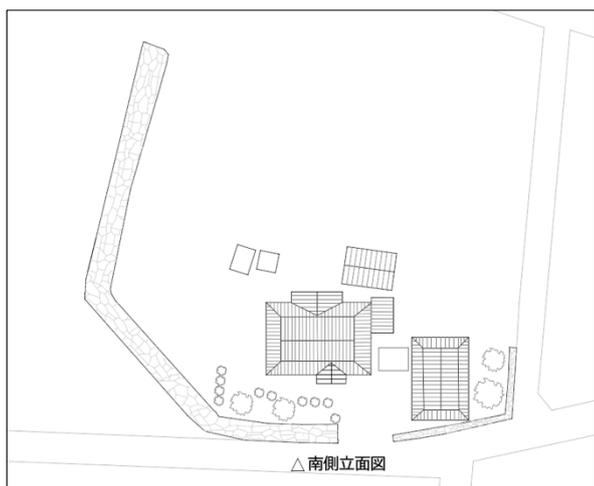


図4 脇町別所 石囲いのある家
配置図 (1/2000)



図5 脇町別所 石囲いのある家
南側立面図 (1/500)

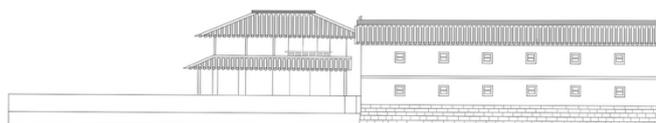


図6 山川町 藍屋敷
北側立面図 (1/500)



図7 舞中島 城構えの家
西側立面図 (1/500)

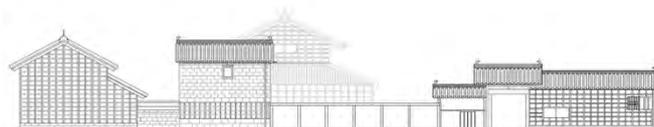


図8 北島町 藤田家住宅
南西側立面図 (1/500)

5. まとめ

本研究は、吉野川中・下流域に位置する脇町別所、舞中島、山川町、北島町の4地域を対象に、水防建築の敷地構成と地形条件との関係を明らかにした。

調査の結果、吉野川流域の民家では、建物の基礎嵩上げだけではなく、敷地全体の嵩上げや石積み基礎、建物配置、植栽等を組み合わせることによって居住空間全体を洪水から守る構成が形成されていることが確認された。特に舞中島では、階段状に連なる高石垣や水屋の配置等、水害の危険性の高い中州という立地条件に対応した高度な水防対策が維持されていた。一方、脇町別所や山川町では、石巻堤や大木、生垣などを併用した複合的な水害対策がみられた。4地域において水防建築の分布は自然堤防上に集中しており、地形に即した居住地選択と防災的工夫がなされてきたことが示された。

以上より、吉野川流域の水防建築は、近代的治水以前に人々が洪水と共存するために形成してきた地域固有の居住形態であり、現代の流域治水を考える上でも重要な示唆を与えるものと考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP 25K08081, JP 25K0808A の助成を受けたものである。現地調査に協力して頂いた所有者各位に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 青木秀史・畔柳昭雄: 水害常襲地帯における地域・建築と住民生活に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 2015, vol.80, no.717, p.2569-2576
- 2) 青木秀史・畔柳昭雄: 荒川流域における水屋・水塚を備えた屋敷の立地状況とその空間変容に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 2015, vol.80, no.710, p.851-861
- 3) 国土交通省四国地方整備局: 2. 吉野川の現状と課題
- 4) 前川るな: 舞中島の民家の水防対策, 日本建築学会四国支部研究報告集, 2025, vol.25, p.77-78

注

- 1) 昭和30年代後半～昭和40年代前半, 昭和20年代, 大正末期～大正初期の4時期に作成された旧版地図を讀図し, それぞれの河川水部を「旧流路」として取得・表示したものを旧河川とする。
- 2) 自然堤防は空中写真判読により取得されたものである。

* 香川大学 学部生
**香川大学 准教授・博士(デザイン学)

* Undergraduate Student, Kagawa Univ.
** Associate Prof., Kagawa Univ., Dr. Des.

愛媛県南西部・高知県北西部の山間集落における土蔵板倉の構法

5. 建築計画

板倉
穀倉

4. 構法計画

土蔵 浮穴郡久万高原町
高岡郡梶原町 宇和郡広見町西野々

非会員 ○ 白出宮登里 1*
正会員 釜床美也子 2**

1. はじめに

1-1. 研究背景と目的

板倉とは、柱や梁に溝を掘り、厚い板を「落とし込む」あるいは「しゃくり込む」ことで壁を作る倉庫の総称である。これまでの研究では、安藤・他¹⁾や黒坂・他²⁾によって、板倉構法の変遷や地域ごとの特徴が明らかにされてきた。しかし、これらの研究は東日本や本州中心部の事例が多く、四国の板倉についてはほとんど明らかになっていなかった。四国の板倉については、富山³⁾が、高知県に残る3棟の板倉を調査し、茅葺き屋根や下見板などの外観的特徴を述べているが、詳細な図面の作成はおこなわれていなかった。昨年、川嶋・他⁴⁾の研究によって、高知県北西部の山間集落に残る10棟の板倉が調査され、構法の詳細調査と図面作成、他地域との比較分析が行われた。ただし、同研究は高知県の板壁の板倉(写真1)のみを対象としており、土蔵の中が板倉の事例(以降、土蔵板倉とする)については未解明な点が多かった。そこで本研究では、愛媛県南西部および高知県北西部の山間集落に残る土蔵板倉(写真2)を対象とし、川嶋・他⁴⁾と同様の手法の調査を行うことで、比較対象を増やし、土蔵板倉の構法的特性を明らかにすることを目的とした。



写真1 板壁の板倉の外観



写真2 土蔵板倉の外観

1-2. 調査対象地域

鶴藤⁵⁾の研究には、高知県高岡郡梶原町太郎川および愛媛県宇和郡広見町西野々では、倉を「板倉」と呼んでいるとの記述があったが、村田⁶⁾の研究により、太郎川には板倉が現存していないことが明らかにされていた。また、関連調査の過程で、愛媛県久万高原町東明神において土蔵板倉の存在が確認された。さらに、鶴藤⁵⁾の研究では、久万高原町畑野川にも倉が存在するとされ、近

隣地域で板倉が確認されていることから、畑野川でヒアリングおよび現地踏査を実施した。しかし、畑野川では土蔵のみが確認され、土蔵板倉は発見されなかった。加えて、愛媛県宇和郡日吉村についても、同研究において「板倉」や「土倉」という呼称があると記述されていたため、踏査行ったが土蔵板倉を確認することはできなかった。以上の結果を踏まえ、本研究では、調査対象地域を土蔵板倉が確認された宇和郡広見町西野々および浮穴郡久万高原町の2地域とした。その後、西野々において実測調査を伴う悉皆調査を進めたが、実測調査を行うことができた土蔵の板倉は3棟に限られた。そこで、板壁のみの板倉が多数あった梶原町で土蔵板倉が存在する可能性があると考え、新たに同町を調査対象地域に位置づけた。

1-3. 調査方法

事前に Google ストリートビューおよび現地確認により候補物件を把握し、その中から調査対象を選定した。浮穴郡久万高原町で1棟、宇和郡広見町西野々で3棟、高岡郡梶原町で6棟の計10棟の土蔵板倉の調査を行った。これらの全棟で実測調査と所有者へのヒアリング調査を実施した。現地調査は、2025年7月7日～2025年11月23日の間に実施した。

2. 調査結果

2-1. 用途

土蔵板倉の用途は、米を保管する穀倉、農業用具や家財道具を収納する道具倉であった。間仕切りで穀倉と道具倉を同じ階に設けているものや、入口周辺の下屋部分に味噌倉を設置したものもあった。明治後期から昭和中期に建てられた土蔵板倉が8棟、年代が不明なものが2棟だった。いずれも1階を穀倉(写真3)、2階を道具倉(写真4)としていた。



写真3 穀倉



写真4 道具倉

2-3. 規模

桁行は2.3～3.3間、梁間は1.9～2.3間であった。軒高は、倉が3,354～4,197mmで、調査した倉はいずれも二階建てであった。柱間隔は600～1095mmまで幅広く、建物の規模や板壁の板厚との間に明確な関係性は確認されなかった。出入口の位置は、10棟のうち8棟は妻側に、2棟は平側に設けられており、いずれも鍵で施錠できるようになっていた。また、内部に間仕切りがある場合は、それぞれに出入口が設けられていた。

2-4. 壁組

調査対象10棟のうち、9棟が板を横使いで落とし込む横板、1棟が板を縦方向に並べて端を柱にしゃくり込んだ縦板であった。板厚は最も薄いもので10mmと薄く、それらを板倉に区分してよいかは今後の課題であるが、主に20mm前後のものが多く、厚いものでは35mmの板材が用いられていた。継ぎ目は、突き付けとしていた。板壁だけの板倉にさらに土が塗られていることから、防火・防湿・防鼠といった実用的要求に応えるものと考えられる。

2-5. 小屋組・屋根

小屋組は、一般的な土蔵のつくりであった。屋根材には、瓦やトタンが使用されており、⑧茶や谷M家は、移築の際に瓦からトタンに葺き替えたとのことだった。

2-6. 使用材料

調査した10棟すべてにおいて、壁板にはスギ材が用いられていた。また、梁や登り梁などの主要な構造材には、マツ材が使用されていた壁板には加工性に優れるスギ材を用い、断熱性や耐久性といった木材の特性を活かす意図があった可能性がある。

3. 板壁の板倉との比較

川嶋⁴⁾の板壁の板倉の調査結果と、土蔵板倉の調査結果を比較すると、用途については、いずれも穀倉、道具

倉、味噌倉として使用されており、貯蔵を目的とする点は共通している。一方、板壁の板倉では、倉に加えて居住空間など他の用途をもつ空間を併設している例があったのに対し、土蔵板倉では、調査したすべての事例において倉の単一機能だった。壁構法は、板壁の板倉では、壁板の板厚はおおむね10～35mmで、土蔵板倉と近い値が確認された。

4. まとめ

土蔵板倉においても倉としての機能を重視した空間構成が確認された。一方、板壁の板倉で見られたような、倉と居住や作業の機能を併せ持つ空間構成は確認されず、土蔵板倉は倉の単一機能で用いられていた。梶原町では、板壁の板倉のまわりに土を塗って土蔵板倉をつくるという板倉の「土蔵化」について1名からヒアリングを得たが、今回調査した10棟でその痕跡やヒアリングを確認することができなかったため、今後の課題である。

謝辞

本研究にご協力頂いた板倉の所有者各位、地域住民各位に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 安藤邦廣, 黒坂貴裕, 樋口貴彦, 濱定史, 刈内一博, 小林久高: 民家建築における板倉構法の変遷と地域特性に関する調査研究, 住宅総合研究財団研究論文集 No.32, p.343-354, 2005
- 2) 黒坂貴裕, 安藤邦廣, 沖元太一, 刈内一博: 繁柱形式の板倉における構法の地域特性とその類型化, 日本建築学会計画系論文集, 69巻, 第576号, p.45-52, 2004
- 3) 富山博: 四国西南部における板蔵・茶堂・泊屋について, 日本建築学会関東支部第3回学術研究発表会, 1963
- 4) 川嶋伸岳, 釜床美也子, 小坂伊織: 高知県北西部の山間集落における板倉の構法, 日本建築学会大会, p.1035, 2025
- 5) 鶴藤鹿忠: 四国地方の民家, 明玄書房, 1968
- 6) 村田萌々香: 高知県北西部の山間集落における板倉の構法, 香川大学2024年度卒業論文



図1 調査先10棟の外観写真



図2 調査先 10 棟の平面図一覧 ※赤が倉（穀物や家財道具などの保管）の空間

表1 調査先 10 棟の結果一覧

建物名	建築年代	年代規模	移築	階数	用途(新築・移築の当初)	規模(現状)		使用木材	床高	階高		軒高		柱		壁		屋根		敷倉											
						1階	2階			1階	2階	1階	2階	1階	2階	1階	2階	1階	2階	1階	2階	1階	2階	1階	2階						
① 東川S家2	明治31年	棟札	無	2	穀倉・味噌倉	4445	3649	16.22	スギ・マツ	295	2120	1234	3354	11.07	160-170	720-750	1	真壁	板壁(マツ)	10	突き付け	14	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:トタン	和小屋	瓦	4445	3649	16.22
② 西野々S家	明治39年	家屋台帳	無	2	穀倉	4923	3936	19.38	スギ・マツ	648	2260	1359	3619	11.94	135-170	600-850	1.2	真壁	板壁(マツ)	18	突き付け	21	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:トタン	和小屋	瓦	4923	3936	19.38
③ 東明神M家	大正3年	石に刻印	無	2	穀倉	5876	3760	22.09	スギ・マツ・クワリ	580	2430	1732	4162	13.73	140-170	850	1.2	真壁	板壁(マツ)	21	突き付け	18	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:なまこ壁・板張り	和小屋	瓦	5876	3760	22.09
④ 広野M家	大正	推定	無	2	穀倉	4839	3628	17.56	スギ・マツ	144	2554	1421	3975	13.12	160	745-810	1.2	真壁	板壁(マツ)	35	突き付け	14	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:トタン	和小屋	瓦	4839	3628	17.56
⑤ 西野々H家	大正11年	家屋台帳	無	2	穀倉	4226	3924	16.58	スギ・マツ	587	2272	1335	3607	11.90	150-140	815-925	1.2	真壁	板壁(マツ)	18	突き付け	21	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:トタン	和小屋	瓦	4226	3924	16.58
⑥ 東川S家1	大正後期	推定	無	2	穀倉	4705	3189	15.00	スギ・マツ	560	2410	1640	4050	13.37	135-140	660-845	1	真壁	板壁(マツ)	18	突き付け	10-14	横	羽目板倉	大壁	上部:トタン(目次:土蔵) 腰:トタン	和小屋	瓦	4705	3189	15.00
⑦ 川西路U家	昭和中期	推定	無	2	穀倉	4778	3504	16.74	スギ・マツ	981	2140	2057	4197	13.85	120-130	1040-1095	1	真壁	板壁(マツ)	10	突き付け	10	横	羽目板倉	高壁	上部:土蔵 腰:板張り	和小屋	瓦	3591	3504	12.58
⑧ 茶や谷M家	昭和中期	推定	有	2	穀倉	5508	3730	20.54	スギ・マツ	405	2053	1634	3687	12.17	135	765-815	1.2	真壁	板壁(マツ)	25	突き付け	16	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:板張り	和小屋	瓦(現在:トタン)	5508	2798	15.41
⑨ 西野々T家	不明	-	無	2	穀倉	4410	3950	17.42	スギ・マツ	510	2363	1635	3998	13.19	115-150	840-980	1.2	真壁	板壁(マツ)	18	突き付け	16	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:トタン	和小屋	瓦	4410	3950	17.42
⑩ 六丁M家	不明	-	無	2	穀倉	5170	3324	17.19	スギ・マツ	248	2134	1587	3721	12.28	140	615-780	1.2	真壁	板壁(マツ)	16	突き付け	17	横	羽目板倉	大壁	上部:土蔵 腰:トタン	和小屋	瓦	3652	3324	12.14

※①東川 S 家 1 については、当初、2 階へ直接出入り可能な鉄階段が設けられていたが、建物裏側の斜面補強工事の際に撤去された。そのため、調査時には 2 階へ立ち入ることができず、現状については不明である。

* 香川大学 学部生 * Undergraduate student, Kagawa Univ.

**香川大学 准教授・博士(デザイン学) **Associate Prof., Kagawa Univ., Dr. Des.

高知県赤岡町と安田町における戦後の水切瓦の施工事例とその地域性

5. 建築計画
水切瓦
安田

4. 構法計画
土佐漆喰
赤岡

非会員 ○原田美珂 1*
正会員 釜床美也子 2**

1. 究の背景と目的

強風多雨な気候である高知県では、江戸時代より水切瓦を付けた建物が建てられるようになり、地域独自のデザインを発達させてきた。水切瓦は水に強く、厚塗りが可能な土佐漆喰の特徴を活かし、主に雨仕舞のため二重屋根や下屋の屋根と壁の接合部に、あるいは雨による汚れを軽減する目的で壁面に数段重ねて付けられる。杉本ら¹⁾による東土佐地方における木造住宅の壁工法の研究によれば、水切瓦及び漆喰彫刻の構法は、明治後期から昭和初期にかけて土蔵において一般化し、母屋でも行われるようになった。その後地域によっては施工されなくなり、昭和50年頃に伝統的構法が再評価され、東土佐地方で復活を遂げたという。近年のハウスメーカーの進出や左官職人の急減などにより、平成の終わり頃から水切瓦が施工されなくなりつつあるとされているが、伝統的な水切瓦が戦後も現代住宅に採用され続けた実態に関する研究は限定的であることから、本研究では特に戦後の水切瓦の施工方法やその意匠の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

本研究では高知県東部において昭和期以降に建てられた水切瓦が多く残っている赤岡町南部（図1）と安田町南部（図2）を調査対象地とした。2025年7月と12月に安芸市在住の土佐漆喰職人（左官職人）のMT氏に対し



図1. 赤岡町調査範囲



図2. 安田町調査範囲

て水切瓦の施工方法などについて2回にわたり聞き取り調査を行った。1回目の聞き取り内容を踏まえて2025年10月～11月に赤岡町と安田町において水切瓦の悉皆調査を行った。悉皆調査では、赤岡町春野赤岡線・香北赤岡線以南の全建物および安田町沿岸部安田川以西の全建物について道路から目視で水切瓦が施工されているか確認した。

3. 研究結果

3-1. 水切瓦の施工方法について

水切瓦全体の施工手順について、まず台を仕上げ、続いてふくりん、裏ふくりん、め、どの順番に仕上げていく（図3）。このうち「どう」の作り方が複雑であり、①瓦同士の目地埋めと1回目の砂漆喰塗り「こすり」、②千枚通しなどで線を引き、どうの幅のあたりを付ける「しらけん」、③水の侵入による剥がれ防止のため両隅に砂漆喰を盛る「きわだし」、④きわだしの3mm程度内側に砂漆喰を盛る「なかぬり」、⑤きわだしを1mm程度残して漆喰を塗る仕上げ作業「うわぬり」を行う（図4）。また、台の施工の一連の手順は「ちりつき」と呼ばれる（図5）。

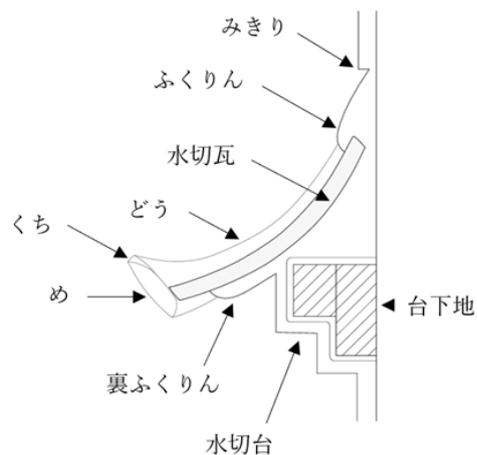


図3. 水切瓦詳細図

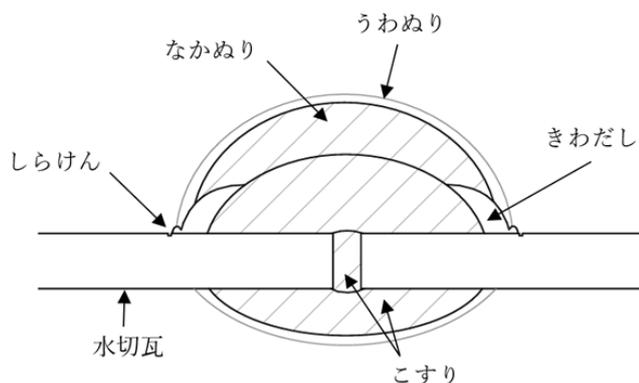


図4. 「どう」施工図

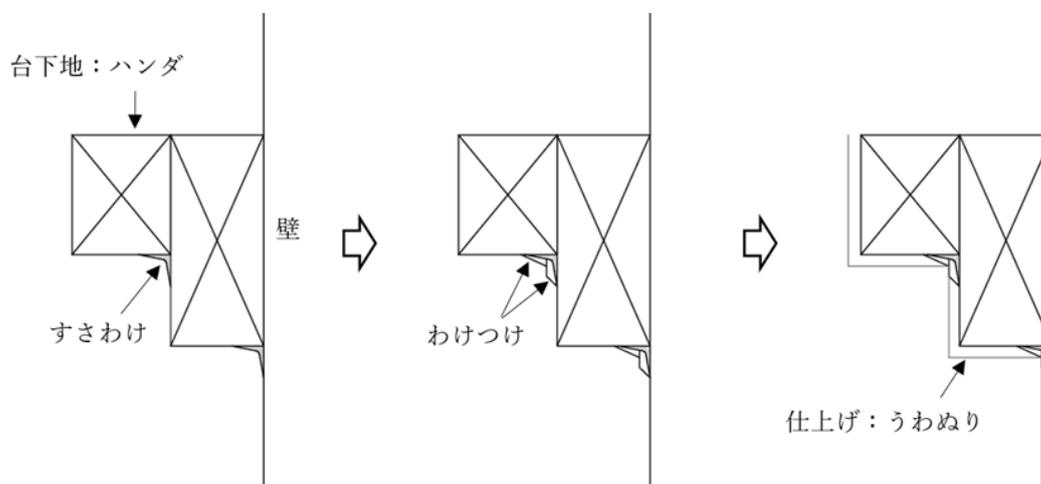


図5. 「台」施工図

3-2. 悉皆調査について

建物類型：赤岡と安田の2地域において水切瓦が施工されている建物の多くは住宅であり、他には店舗(写真1)、蔵(写真2)などがみられた。



写真1. 店舗 (赤岡)



写真2. 蔵 (赤岡)



写真3. 二重屋根の切妻の平屋 (安田)



写真4. 入母屋 (赤岡)



写真5. 越屋根 (安田)



写真6. 寄棟 (赤岡)

屋根形式：二重屋根を施した住宅が多くみられ(写真3)、屋根形式については切妻(写真3)に次いで入母屋(写真4)のものが多く、その他に越屋根(写真5)のものもみられた。寄棟は両地域に1棟ずつ、計2棟のみみられた(写真6)。

屋根葺材：葺き替えられたものも含め、棧瓦がほとんどで、赤岡で1棟のみトタン屋根がみられたが、壁と水切瓦の状態から戦前に建築された後葺き替えられたものと推測した(写真7)。また、大正以前に建てられ、近年屋根が葺き替えられていないものについて、通常と違い左側が長い逆への字のような棧瓦(写真8)がついているものが、赤岡では9棟、安田では1棟のみみられた。



写真7. トタン屋根 (赤岡)



写真8. 逆棧瓦 (赤岡)

3-2. 赤岡町の特徴について

江戸期から明治期まで商業が盛んだった赤岡では昭和初期以前の建物が多く残り、つし二階建の住宅や店舗(写真1)が多く残っている。計105棟の水切瓦のうち、建築類型が店舗のものは20棟であった。また、土佐漆喰職人MT氏への聞き取りによれば、昭和50年代に地域独



写真9. まんじゅう瓦 (赤岡)

自の簡易工法である「まんじゅう瓦」(写真9)が施工されるようになったが、一時的なブームに留まり、10年ほどで施工されなくなったとのことだった。

3-3. 安田町の特徴について

安田では計159棟の水切瓦を持つ建物が見つかった。昭和前期以前のもは蔵が多く、昭和後期からは水切瓦の住宅が盛んに建てられるようになった。また、戦後にハウス園芸農業や遠洋漁業が盛んになり、水切瓦の段数が多いものや、端の納まりに「せきひ」や「もちおくり」(写真10)を付けたもの、妻飾りの意匠が凝ったもの(写真11)が多く建てられるようになった。



写真10. せきひ (上)
もちおくり (下) (安田)



写真11. 妻飾り (安田)

4. まとめ

高知県東部で昭和50年頃から平成の終わり頃まで施工が続けられていたという戦後の水切瓦の建築事例が、赤岡町南部や安田町南部において群と言えるほど集積している実態を確認できた。水切瓦の意匠は地域の職人によって異なるため、戦後の建築事例においても少なくともその2地域では、水切瓦に地域固有の様々な流行りや意匠が確認できた。

参考文献

- 1) 杉本誠一, 谷卓郎: 東土佐地方における木造住宅の壁構法, 日本建築学会大会学術講演梗概集 5376, p.751-752, 1988
- 2) 赤岡町史編集委員会, 赤岡町史, 赤岡町教育委員会, 1980
- 3) 安岡大六, 松本保共著; 吉本班編集, 新安田文化史, 安田町, 1975

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP24K21648, JP25K01410 の助成を受けたものです。また、研究の遂行にあたり、各建物の所有者諸氏、関係者諸氏に多大なるご協力をいただきました、心より御礼申し上げます。

*香川大学 学部生

**香川大学 准教授・博士 (デザイン学)

*Undergraduate Student, Kagawa Univ.

**Associate Prof., Kagawa Univ., Dr. Des.

大正期における道後温泉本館・周辺温泉施設の変遷：道後温泉の建築史研究（1）

正会員 ○野本 健¹

9.建築歴史・意匠
道後温泉増築計画
地元の人々の利用形態

2.日本近代建築史
大正時代の温泉街
国鉄延伸

観光客の増加

1. 研究の背景と目的

道後温泉（以下、道後温泉は温泉地として、本館は建築物として区別する）は『伊予国風土記』^{註1)}にも登場する日本最古の温泉とされる。本館は明治27年(1894)に改築され、平成6年(1994)に重要文化財に指定されている。道後温泉に関する研究には、芝原らによるホテルの大規模化や源泉開発など多様な要因が道後温泉における回遊行動に与えた影響の研究¹⁾、高柳による源泉利用を通じた地域行政研究²⁾、高津による源泉研究³⁾、窪田による地理学的研究⁴⁾など、多様な視点からの研究がなされた重要な温泉地である。しかし、建築史の観点から本館および道後温泉本館周辺にある温泉の建築物（以下、周辺温泉施設とする）の変遷を総合的に扱った研究は乏しい。

本館の建築史に関わる既往研究としては、昭和57年(1982)に河合が『道後温泉 増補版』⁵⁾をまとめている。同書では、初代道後湯之町町長である伊佐庭如矢による明治23年(1890)から明治32年(1899)までの現存する本館の改築過程を整理しているが、大正時代以降については不明としている。また、明治時代の本館には、養生湯にある建物（以下、養生湯棟とする）、神の湯にある建物（以下、神の湯本館とする）、霊の湯にある建物（以下、又新殿・霊の湯棟とする）という3つの浴場があったが、神の湯本館に関する一部の平面図を掲載するにとどまり、当時の利用方法等については、現在の利用方法や小説などの文献を用いた推定が多い。さらに本館を重要文化財に指定するために作成した図面をまとめた『道後温泉本館の歴史』⁶⁾では、明治期の本館の外観・内観写真、絵図、そして実測図が整理されている。しかし、対象はあくまで本館が中心であり、周辺温泉施設については外観写真が紹介されるのみで、立地や建物の平面構成など不明な点が多い。

以上より、本館及び周辺温泉施設の建築史研究は、『伊予国風土記』から現代までの長い歴史のうち、明治期の本館、とりわけ神の湯本館、又新殿・霊の湯棟に限定されている。周辺温泉施設については不明な点が多く、設計者、施工者に関する情報もほとんど不明であり、日本近代建築史における重大な空白となっている。そこで著者は本館および周辺温泉施設を対象に建築史の視点から研究を進めるとともに、周辺の公共施設や商店街、旅館・ホテル等と共に地域にお

ける道後温泉ブランドがどのように形成されてきたか、建築物がどのような役割を果たしてきたかについて、都市史の視点を踏まえて考察する一連の研究を行いたいと考えている。このことにより、大正期の地方都市における近代建築史研究に新たな視座を捉えるとともに、観光・文化施策への示唆を得ることを目的とする。

一連の研究の序として、本稿では大正時代の本館、周辺温泉施設の位置と性格の変遷を明らかにする。

2. 研究の方法

本稿では以下の資料を用い、大正期の本館および周辺温泉の位置の変遷過程を配置図として示し、明治から大正時代を経て現代までつながる本館と周辺施設の性格を明らかにする。

- ・『海新新聞』：当時の新聞資料（大正11年～昭和2年）
- ・『道後湯之町役場：大正5～昭和8年度合併資料（事務引継書（道後湯之町））』⁷⁾：行政資料
- ・『道後で暮らす語り部の記憶』⁸⁾：住民の聞き取り記録

3.大正期の道後温泉増築計画の概要と実施過程

(1) 大正初期と増築計画後の立地

まず増築計画が始まる前の大正3年(1914)の本館と周辺温泉施設の位置を図1に示す。地図は国土地理院の現在の地図と大正13年(1924)の『実地踏査松山市街全体図』⁹⁾、昭和12年(1937)の『最新松山・道後地図』¹⁰⁾を反映させ、なるべく当時の状況に合わせた地図としている。また、当時の浴場施設の状況を表1にまとめた。



図1 道後温泉の配置図（大正3年）上が北
※図中の①～⑦は表1に対応、鮎：鮎屋旅館、文：小学校を指す

The transformation of Dōgo Onsen Main building and surrounding hot spring facilities during the taishō period:A research on the architectural history of Dōgo Onsen Part (1)
Ken Nomoto

表1 大正3年の浴場の状況

番号	分類	浴室名	建設年	備考
①	本館	養生湯	M25年	一般庶民の浴場 ⁵⁾ 農業従事者の浴場 ⁵⁾
②	本館	神の湯	M27年	中流階級の浴場 ⁵⁾
③	本館	霊の湯	M32年	富裕層の浴場 ⁵⁾
④	周辺温泉施設	松湯	M25年	低所得者の浴場 ⁵⁾
⑤	周辺温泉施設	菓湯	M25年	皮膚病患者の浴場 ⁵⁾
⑥	周辺温泉施設	牛馬湯	M25年	牛馬の浴場 ⁵⁾
⑦	周辺温泉施設	新湯	T3年	一般庶民の浴場 ⁵⁾

本館には①～③の3つの浴場がある。①養生湯は一般庶民を対象とした浴場である。②神の湯は中流階級向けの浴場であり、夏目漱石が入浴したことで知られる。③霊の湯は富裕層向けの浴場で、伊藤博文が入浴した浴場である。一方、周辺温泉施設は④～⑦の4つの浴場があった。④松湯は低所得者を対象とした浴場、⑤菓湯は皮膚病患者を対象とした浴場、⑥牛馬湯は牛馬専用の浴場である。また、⑦新湯は一般庶民向けの浴場として位置づけられる。

(2) 道後温泉増築計画

大正11年(1922)3月の海南新聞の記事には「道後温泉増築第一期工事略峻成 十二年度には全計画を完成 道後温泉増築工事は大正七年の立案で全工事が四期に岐れ大正十二年に完成する事になつてゐる。」¹¹⁾とあり、日本国有鉄道の川之江駅から松山駅への延伸(以下、国鉄延伸^{注2)}とする)を控え、温泉利用者の増加を見据え、道後温泉増築計画(以下、増築計画とする)を四期に分け実施し、大正12年(1923)までに完成させる構想であったことがわかる。

大正5年(1916)9月22日に道後湯之町5代目町長の中川鼎實から6代目町長の森知之に引き継がれた増築計画概要⁷⁾には次のような記述が見られる。「一増築スベキ建物ノ構造ハ、本計畫ニ基キ高等湯男女両室及家族湯四個室ヲ設クルモノナリ」このように、高等湯^{注3)}・家族湯^{注4)}を備えた新たな浴場施設の建築が本格的に計画されていたことがわかる。

大正7年(1918)に策定された増築計画と、その後の整備状況を図2および表2に整理した。増築計画は、養生湯棟の改築や周辺温泉施設の新設を主目的としたものである。計画に含まれる施設のうち、⑧西湯は中流向け、⑨砂湯は一般向けの浴場、⑩鷺の湯は富裕層向けの浴場、⑪道後公会堂は町民を対象とした浴場であったと考えられる。

(3) 第一期、第二期工事

当時の新聞記事には「第一期工事は湯之町郵便局西側の西湯で之れは殆ど竣成してゐる…」¹¹⁾、「新温泉の工全く成りて来月一日が湯開き砂湯二個男女室二個普通湯も霊の湯より大きく綺麗」¹⁷⁾とあり、大正11年(1922)、鉄道開通に伴う観光客の増加を見越し、町民浴場の改修に先立って新たな入浴施設の整備が開始された。現在の代表的な周辺



図2 道後温泉の配置図(増築計画実施後) 上が北
※図中の①～⑪は表2に対応

表2 大正7年の増築計画と整備状況

番号	分類	浴室名	大正7年増築計画の内容	整備状況
①	本館	養生湯	第二期工事(養生湯棟の改築、ポンプアップによる増湯を計画)	大正13年建設、ポンプアップによる増湯を行わなかった ¹⁴⁾
②	本館	神の湯	記載なし	記載なし
③	本館	霊の湯	記載なし	記載なし
④	周辺温泉施設	松湯	記載なし	移築 ¹⁵⁾
⑤	周辺温泉施設	菓湯	記載なし	撤去 ⁸⁾
⑥	周辺温泉施設	牛馬湯	記載なし	移築 ¹⁶⁾
⑦	周辺温泉施設	新湯	記載なし	撤去 ²⁾
⑧	周辺温泉施設	西湯	第一期工事	大正11年建設 ¹¹⁾ 中等湯の浴場
⑨	周辺温泉施設	砂湯	第一期工事	大正11年建設 ¹⁷⁾ 普通湯の浴場
⑩	周辺温泉施設	鷺の湯	第三期工事(高等湯・家族湯の建設)	⑦の代替施設として町民専用の浴場 ¹⁸⁾
⑪	周辺温泉施設	道後公会堂	第四期工事(浴場と集会場を備えた公会堂)	浴場設置されず、集会場のみの公会堂が建設 ¹⁸⁾

温泉施設の一つである椿の湯に相当する敷地に、⑧西湯および⑨砂湯が新設された。

大正11年(1922)3月の記事には「第二期工事は養生湯の改築であつたが都合により変更し第三期工事であつたが高等湯を第二期に繰り上げた。」¹¹⁾とあるが、大正11年(1922)8月の新聞記事では「養生湯の大改築工事を急いで今年中に引續いて高等湯家族湯…」¹⁹⁾とあり、都度の計画変更はあったものの、当初の計画の通り①養生湯棟が改築されることとなったことが分かる。

明治25年(1892)に建設された養生湯棟は町民向けの浴場として利用されてきた。第二期の改築工事では「自然湧出量ハ現在ノ浴槽ニ於テ浴客増加ノ為メ温度低下シ居リ、然ルニ尚ホ之ヲ増設浴槽ニ分湯セバ益々其温度ヲ低下セシムルニ…逸湯シ居ルモノヲ一定ノケ所ニ蒐集シ果シテ増湯スルヤ如何ヲ一応試験センコトヲ論議一決シ…成蹟大体ニ於

テ好良ナルヲ認メタルヲ以テ増設委員ハ之ヲ町會ニ報告シタルノ結果、全会ハ増設計劃及汲上ケ機械設置等ニ要スル予算額ヲ認メタルニ依リ、増設委員ハ現在ノ汲上及増設兩工事实設計ニ着手セシモノナリ」⁷⁾のように、ポンプアップの導入による増湯を見込んでいた。しかし、「町民側では汲上機の使用の如き人工は源泉を破壊する虞があるから成るべく自然湧出とせねばならぬ」²⁰⁾とあるように増湯計画に対し町民の反対運動が勃発した。大正12年(1923)4月の記事には「養生湯問題 愈解決 道後温泉養生湯問題は實に一年有半に渉つての紛擾で…」²¹⁾、「妥協條件 第五項より成る 第一、養生湯は現状の儘存知する… 第二、第一源泉の水深三尺五寸を極度として低下し一年間増湯試験を行ふ事 第三、前項試験の結果其増湯は養生湯源泉の自然減湯を補充したる…」²²⁾とあるように長年に渡って、町民同士が争い、紛糾することとなり、最終的には①養生湯棟の改築にあたりポンプアップによる増湯は含まれなかった。これが後の第三期、第四期工事に影響を与えた。

(4) 第三期、第四期工事

大正11年(1922)3月の記事には「…第三期工事であつた高等湯を第二期に繰り上げた」¹¹⁾、「現在に於て道後温泉は第二期計画に移り鮎屋本館前の男女両養生湯はすっかりこれを取壊してしまひ新たに大改築を為すべく工事を進めてゐるがこれは本年度中には必ず竣成し續いて高等湯、家族湯の増築に着手する事となつてをり此の第二期計画が遂行されるれば更に第三期計画に引移る筈である。」¹⁹⁾とあるが、結果的に第三期工事である⑩鷺の湯は養生湯棟建設後に実施され、当初計画通り第三期工事として位置づけられた。しかし、用地買収の難航や、ポンプアップによる増湯が見込めないといった技術的・経済的課題が次々と顕在化し、工事は大幅に遅延することとなった。その結果、⑩鷺の湯は当初想定されていた高等湯・家族湯としてではなく、昭和2年(1927)に町民専用の浴場施設として開設されるに至り、その性格を大きく転換することとなった。

「三たびの鮎屋土地買収交渉も遂に全たく決裂す…温泉郡道後湯之町に於る鮎田土地買収問題は六ヶ月以来紛擾を重ね…」²³⁾とあるように、現在の場所である(図2)鮎屋旅館(昭和天皇も滞在した旅館)は、昭和2年(1927)以前は図1に示すように本館周辺にあり、この移転は増築計画に伴うものであった。

「道後湯之町々議戦…一、西湯及び養生湯改築費の精美報告を何時なすや否や 二、交換せし鮎屋土地敷地を如何に義理すべきか 三、高等湯家族湯を新築すや否や 四、現在の温泉入浴を引下げて民衆化したる温泉場とするや否や 五、ドンコ堀温泉の新築を中止するとすれば其資を何處より支出するや 六、温泉の汲上を廢して落下式の自然湧出になすや否や」²⁴⁾とあるように、ポンプアップの反対運動や鮎屋旅館の土地買収問題など、計画を巡る論点は多岐にわたった。その結果、⑩鷺の湯は当初想定されていた高等

湯・家族湯ではなく、町民専用浴場へと性格を変えることになったと考えられる。

「道後温泉の新湯移轉は明春 道後温泉新湯移轉地である元鮎屋新館跡は全部取壊しを終り近く新湯建築に取かゝることになつてゐるが目下は設計中でこの設計が出来上り次第に町會を開きその上工事に掛かることになる…」²⁵⁾と報じられたものの、その後の新聞には詳細が取り上げられず、⑩鷺の湯が高等湯・家族湯ではなく、町民専用浴場として計画変更された経緯は現時点では不明である。昭和2年(1927)4月に⑦新湯の代替施設である⑩鷺の湯が完成した。

大正11年(1922)8月の新聞記事には「ドンコ堀にも浴場空地へ同町の大公會堂 而し此の第三期計画といふのは道後公園北側のドンコ堀を有効に使用する件であり之は彼處には町の大公會堂を建設し其の下に簡単な浴槽をつくるといふのである。」¹⁹⁾、「…ドンコ堀の靈泉を利用し、蒸し風呂が若しくは普通湯を一棟新築し階上を公會堂に充てる豫定で着々計畫を進めてゐる」²⁶⁾とあるように、町民のための集会場と浴場を備えた⑩公會堂を建設する予定であったが、ポンプアップによる反対運動の影響を受けて浴場は設けられず、昭和2年(1927)4月に集会場のみの⑩公會堂の施設が完成した。

4. 考察

本稿では、大正7年(1918)に策定された増築計画の内容と、その後の整備状況を史料に基づき整理し、両者の差異を明らかにした。その結果、大正期の本館及び周辺温泉施設の立地の変遷過程は各史料の検討により、大正7年(1918)に発表された増築計画に基づいて進められたことが明らかとなった。

増築計画では、本館の①養生湯棟改築に加え、周辺温泉施設として一般階級向けの⑧砂湯、中流階級向けの⑧西湯、富裕層向けの高等湯・家族湯(⑩鷺の湯)、さらに浴場機能を併設した集会場の⑩道後公會堂の建設が構想されていた。すなわち、観光客・富裕層から町民までを包含する、多層的な入浴需要に対応する温泉街の再編が計画の骨格であったといえる。しかし、実際の整備状況を見ると、第一期工事の⑧西湯・⑨砂湯、第二期工事の①養生湯棟改築は実現した一方で、第三期工事として計画された高等湯・家族湯(⑩鷺の湯)、第四期工事の浴場併設の⑩公會堂は当初構想どおりには実現しなかった。とくに高等湯・家族湯として計画された⑩鷺の湯は、計画の遅延と内容変更を経て、最終的には町民専用浴場として整備されるに至った。

このような計画と実施の乖離が生じた最大の要因として、①養生湯棟改築を契機とする源泉集約およびポンプアップによる増湯計画に対する町民の強い反対運動が挙げられる。新聞記事に見られるように、増湯による源泉への懸念は町民間の深刻な対立を招き、計画は度重なる修正を余儀なくされた。その結果、増湯を前提とした高等湯・家族湯の建設は技術的・社会的に成立しがたい状況となり、第三期・第四

期の計画変更につながったと考えられる。

さらに、鮎屋旅館の移転に伴う用地買収交渉の難航も、第三期・第四期工事の遅延および計画変更に影響を与えた。これら複合的な要因により、増築計画は当初想定されていた「階層別入浴施設の拡充」から、「町民の日常利用を優先した施設整備」へと重心を移すことになった。

以上を踏まえると、大正期の道後温泉においては、本館が接待・観光を担う象徴的施設として位置づけられる一方、周辺温泉施設は町民の日常生活を支える公衆浴場として機能分化していったと評価できる。この構造は、計画的に意図されたというよりも、増築計画を巡る社会的対立や技術的制約の中で形成された、結果としての空間構造であったといえる。

以上の変遷は、現在に至る「本館＝観光拠点、周辺温泉施設＝生活浴場」という道後温泉の基本的性格の成立過程を示すものであり、大正期の地方温泉都市における近代化の一側面を具体的に示す事例と位置づけられる。

今後は、これらの建築に関与した設計者・施工者の解明を進めるとともに、増築計画が目指した理想像と、その後の道後温泉の都市空間形成との関係を明らかにしていく。

謝辞

本稿の執筆に際し、ご指導、資料提供を頂いた愛媛大学工学部の多田豊准教授、愛媛県建築士会副会長の花岡直樹氏、伊予史談会会長の柚山俊夫氏、二神將氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 芝原貴史他:道後地区における都市構造と建築組成の更新が都市組織の変容に与える影響, 都市計画論文集, 2015.10
- 2) 高柳友彦:源泉利用を通じた地域行財政運営の歴史的変容—戦前期道後湯之町を事例に一, 歴史と経済, 2014.4
- 3) 高津寿雄:道後温泉の化学的研究, 日本化学雑誌, 1957.9
- 4) 窪田重治:道後温泉町の発展と変容に関する歴史地理学的研究, 松山東雲中学高等学校, 1988
- 5) 道後温泉編集委員会:道後温泉 増補版, 松山市, 1982.3
- 6) 道後温泉本館調査委員会:道後温泉本館の歴史, 松山市, 1994.3
- 7) 道後湯之町役場:大正5～昭和8年度合併資料(事務引継書(道後湯之町)), 松山市役所理財部財政課
- 8) 伊佐庭如矢顕彰実行委員会:道後で暮らす語り部の記憶, 伊佐庭如矢顕彰実行委員会, 2015.3

9) 実地踏査松山市街全体図, 松山堂書店, 1924

10) 最新松山・道後地域図, 1937

11) 海南新聞社:海南新聞, 1922.3.14

12) (公財) えひめ地域政策研究センター:愛媛県の近代化遺産—近代化えひめ歴史遺産総合調査報告書一, 愛媛県教育委員会文化財保護課, 2013.3

13) 海南新聞社:海南新聞, 1922.5.6

14) 海南新聞社:海南新聞, 1924.4.17

15) 海南新聞社:海南新聞, 1922.6.6

16) 重見辰馬:紀要第6号 明治28年の道後温泉街その1, 愛媛大学法文学部, 1973

17) 海南新聞社:海南新聞, 1922.5.16

18) 海南新聞社:海南新聞, 1927.5.29

19) 海南新聞社:海南新聞, 1922.8.19

20) 海南新聞社:海南新聞, 1922.11.15

21) 海南新聞社:海南新聞, 1923.4.24

22) 海南新聞社:海南新聞, 1923.4.25

23) 海南新聞社:海南新聞, 1925.9.5

24) 海南新聞社:海南新聞, 1925.11.20

25) 海南新聞社:海南新聞, 1926.11.10

26) 海南新聞社:海南新聞, 1922.6.3

注

注1) 「伊予国風土記」:奈良時代に朝廷が令制国に編纂を命じた「風土記」の一つで、現在は「逸文」=後世の書物に引用・抜粋された断片だけが伝わっている。

注2) 「国鉄延伸」:「大正5年(1916)4月1日に観音寺・川之江間が讃岐線として開業してから愛媛での国鉄の歴史が始まる。…松山線が竣工するのが昭和2年(1927)年4月3日、全国の県庁所在地では最も遅い国鉄駅だった」(文12.188頁)

注3) 「高等湯」:「西湯は中等湯場で中流階級向きのものであるから従って入浴者も多い見込みで…」¹³⁾の記述があることから、これと対置される高等湯は高等湯場に該当し、上流階級向けの施設であったと解釈できる。すなわち、高等湯とは富裕層を主な利用者層とする浴場施設を意味すると考えられる。

注4) 「家族湯」:一つの浴室を家族や少人数のグループだけで貸し切って利用する浴場のことを指す。

五島富江の石積みカンコロ小屋の踏査報告

9. 建築歴史・意匠
五島富江山崎地区
スコリア

6. 建築史一般
石積みカンコロ棚 石文化
自力建設

正会員 ○安藤 亮*
正会員 山田由香里***

正会員 釜床美也子**
正会員 小林 久高****

1. はじめに

本報告は五島列島福江島の「石積みカンコロ小屋」の調査を行い、分布、構法などの特色などについて、2025年時点の様相を報告する^{注1)}。

カンコロ棚は、甘藷（芋）をスライスして冬季の北風で乾燥させる棚で、半茹でし乾燥したものを「イデガンコロ^{注2)}」、茹でずに乾燥させたものを「シロガンコロ」と呼び、それぞれ保存食、芋焼酎の原料とする。棚には、屋根の有無、常設・仮設等、様々な形式があるが、石積み壁に木造の屋根を架けた写真1のような石積みカンコロ小屋（以下：石小屋^{注3)}）があり、これらは住民が自らの手で石を積み上げたもので、独特な風景を作り出した。カンコロの生産は1969年の糖蜜自由化により生産が激減した。

この石小屋は、日本の民家の石利用に新しい視座を与える事例と考え、その現況を明らかにすることを目的に調査を行った。調査方法は文献調査と現地調査とした。現地調査では、全棟において残存状況を目視で確認するとともに、計測可能なものについては実測調査を行った。また、地域に住む古老や建設にかかわった住民にその構法などについて繰り返し聞き取り調査を行った。調査期間は2025年8月24日～27日（予備調査）、同年11月21日～28日（本調査）。

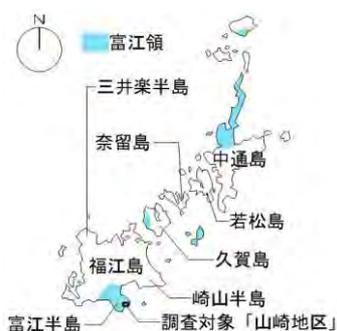


図1 調査対象位置



写真1 石積みカンコロ小屋（藁葺）※藤島玄治郎 他¹⁾, p285より引用



図2 福江島の玄武岩質の範囲
※通商産業省工業技術院地質研究所²⁾をもとに作成

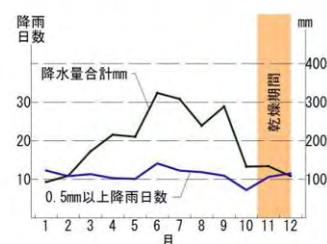


図3 福江島降水量・降雨日数
※気象庁の過去の気象データ1991～2020年の平均データをもとに作成。

な畑を農民自らが作り出し、メンテナンスを行ってきた。

②富江領：五島藩から分知していた富江領^{注6)}はインフラ整備のため、瀬戸内海から石工などの職人を呼び寄せ、豊富なスコリアを活用し陣屋や貯蔵庫などを建設した。そのため住民にも基本的な石の取り扱い方が伝授されていた。

③産業：富江では、商人と農家の尽力^{注7)}により早くから薩摩との芋の貿易が盛んであった。各入植地ではそれぞれの役割^{注8)}が与えられていたが、山崎地区は特に役割は無く保水力の低いスコリア台地では古くは芋しか栽培できなかった。富江は古くから商品生産意識が高いといわれている^{注9)}。

④降雨日数：図3に示すように、芋干し時期（10月中旬から12月中旬）は月間降雨量は少ないものの、降雨日数は年間を通じて約10日前後であり、カビの原因となる雨を避けるため屋根が必要であったと推察される。

以上の要因が重なり、石小屋が発祥したと考えられるが、主に、同島の他半島と異なる要因は①と②である。

FIELD SURVEY OF HUT FOR DRYING POTATOES IN TOMIE, GOTO ISLANDS

*ANDO Ryo, **KAMATOKO Miyako, ***YAMADA Yukari, ****KOBAYASHI Hisataka

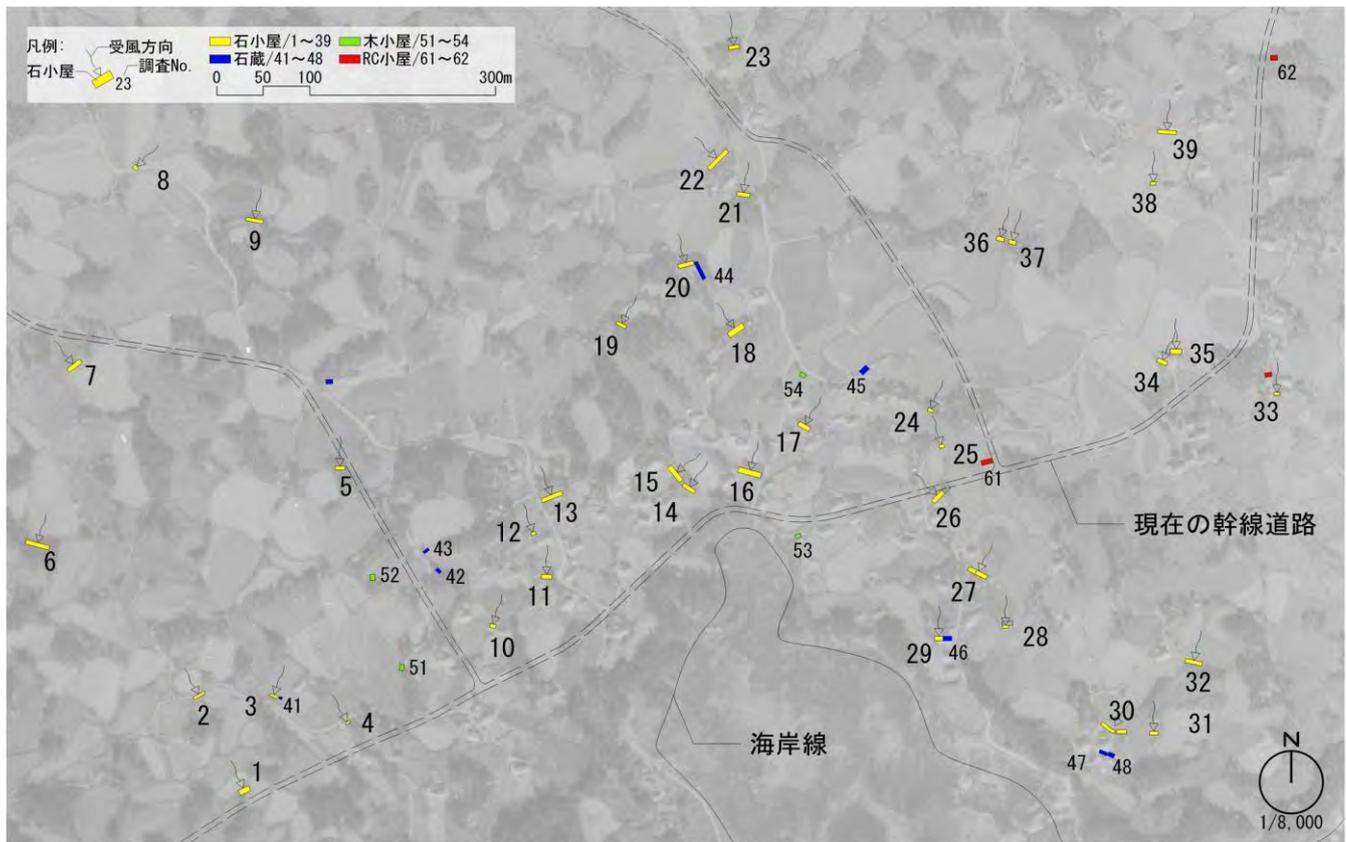


図4 石積み小屋の分布と配置 (出典：国土地理院撮影の空中写真(1948年撮影)に配置図を重ね合わせて作成)

3. 小屋の分布と配置

現在の小屋の配置を1948年の航空写真に重ねたものを図4に示す。石小屋が確認されたのは富江半島の「山崎地区」のみで、屋根が崩落しているものを含め39棟である。

現在も干棚として使用している小屋は12棟、萱置場や物置・車庫等に利用しているものが5棟、残りの22棟は屋根が朽ちて石壁だけになっている。また、同地区では、石蔵が8棟、木小屋が4棟、RC小屋が2棟確認できた。

現在する石小屋が図5・写真2のように北西、北、北東に棚背面を向け配置されており、1948年当時存在が確認できる小屋は、畑の南側に配置して北側に大きな空地を確保し、冬季の北風を効率的に受けられるように配置されている。

4. 小屋の構成・規模・寸法

石小屋は両袖を切妻型の壁で構成、軒桁を渡しそれを梁で固定した柱に屋根を架ける極めて簡素な構成である。実測図を表1と図6,7に示す。

①棚：棚の角度は急勾配であると芋が滑りで落ちること、棚に登って並べる作業が行われることから15~20°前後である。棚受けは容易に入手できた杉材で、直線材である必要があり(150Φ程度)、その長さは4m程度である。

②石積みの奥行き・幅(d, w)：棚受け材が4m程度であったことから、規模にかかわらず小屋の奥行き(d)が4m前後になっている。棚の幅(w)は、おおよそ6mを超える規模の場合に、中間柱(石積み/木柱)が設けられており、各農家の

表1 石小屋の寸法(単位:m)

番号 No.	現在状況		石壁(単位:m)					屋根		棚	受風 方向
	利用 状況	残存 状況	幅 (内法)	奥 行	石 壁 厚	妻 壁 肩 高	妻 壁 頂 高	勾 配	勾 配		
			※1 w	d	t	h	H				
1	使用	○	11.2	4.3	0.8	1.9	3.0	26°	21°	×	北西
2	不使用	片	-	-	-	-	-	×	×	×	北西
3	不使用	片	-	-	-	-	-	×	×	×	北東
4	萱置場	○	6.6	3.7	1.0	2.0	2.9	29°	×	×	北西
5	不使用	○	12.0	4.1	0.9	1.7	2.7	×	×	×	北
7	不使用	両	17.1	4.7	0.9	1.8	2.9	25°	×	×	北西
8	不使用	両	4.0	5.0	0.9	2.0	2.8	×	×	×	北東
9	不使用	両	12.0	1.0	0.9	1.4	0.0	×	×	×	北
10	使用	○	5.2	4.0	1.0	1.7	3.0	35°	18°	×	北東
11	不使用	○	11.0	4.8	0.8	0.0	0.0	23°	20°	×	北東
12	使用	○	4.5	4.1	0.9	1.4	2.6	30°	25°	×	北西
13	不使用	片	12.0	4.0	0.8	1.3	2.2	25°	×	×	北西
14	使用	○	12.5	4.0	0.8	2.2	3.1	19°	14°	×	北東
15	不使用	片	×	4.3	0.9	3.0	4.0	0	×	×	北
16	不使用	片	×	4.2	0.9	2.2	3.0	×	×	×	北東
17	不使用	両	12.4	4.9	0.8	1.2	3.5	40°	×	×	北東
18	不使用	片	×	4.1	0.9	2.0	2.8	×	×	×	北西
19	不使用	片	×	5.2	0.8	2.4	3.0	×	×	×	北東
20	不使用	○	-	-	-	-	-	×	×	×	北
21	不使用	両	12.7	3.9	1.0	1.8	2.5	30°	×	×	北東
22	使用	両	27.2	4.4	1.0	1.6	2.7	25°	8°	×	北西
23	使用	両	11.0	4.0	0.8	1.7	2.9	21°	19°	×	北
24	不使用	片	-	-	-	-	-	×	×	×	北東
25	不使用	片	-	-	-	-	-	×	×	×	北
26	不使用	両	12.7	4.8	0.9	2.0	3.5	22°	×	×	北西
27	使用	両	11.3	4.5	0.8	2.0	3.5	22°	×	×	北西
28	不使用	両	9.8	4.2	0.8	1.8	2.7	22°	×	×	北
29	不使用	両	14.4	4.9	1.0	2.0	2.9	21°	×	×	北
30	使用	両	26.0	4.2	0.8	1.2	2.5	35°	19°	×	北東
31	不使用	片	-	-	-	-	-	0	0	×	北
32	不使用	片	-	-	-	-	-	×	×	×	北東
33	不使用	片	×	3.8	1.1	2.0	3.0	×	×	×	北
34	使用	両	11.2	4.0	0.8	1.4	2.4	25°	15°	×	北東
35	使用	両	11.6	4.9	1.0	1.7	2.8	25°	15°	×	北
36	使用	両	7.3	4.0	0.8	1.7	2.7	20°	15°	×	北東
37	不使用	両	5.8	4.0	0.8	1.7	2.7	20°	×	×	北東
38	不使用	片	×	3.8	1.0	2.0	2.6	×	×	×	北
39	不使用	両	17.8	4.2	0.9	1.9	2.2	×	×	×	北東

共通：×=存在しない、- =建築物の繁茂などでび斜測不可能
※1：○=石垣と屋根がある 片=片方の石垣のみが残る 両=両方の壁のみが残る

生産規模によって決まっている。

③屋根：屋根はトタンで葺かれており、勾配は20～30°である。トタンに葺き替えられる前は、甘藷とともに生産していた小麦の藁葺であり下地は竹で組まれていた。昭和30年頃からのトタンの普及により葺き替えられた。

④石積みの高さ(h, H)・石壁厚(t)：肩高1.4～3.0m、頂高は肩高+1m程度である。棚受材が図5のように設置されており、作業ができる最低限の寸法で肩高さが決められており、さらに藁葺屋根の漏水しない角度で頂高が決まっている。干し棚の機能を確保しながら石積み作業の低減と台風での崩壊を防ぐため低く抑えられている。

5. 石積みの観察

①材料：石壁に使われるスコリアを写真3-①～③に示す。スコリアは軽量ながら丈夫で耐久性に優れ加工も比較的容易で整形が可能である。石割をしても表面が多孔質でザラザラし噛合いがよく、富士山等の石室でも利用⁵⁾されている。

また、富江半島は板状節理の石が多く多様な幅の石が利用されている。多くの石が黒ずんだ色をしているが、鉄分の多い石は酸化し赤錆色となっているものも見られる。

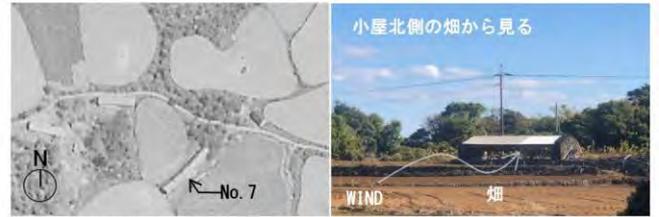
②妻壁：端部の状況を写真3-④⑤に示す。直方体に成形された石を2列で互いに交差するように鉛直に積み上げている。一方で端部の間は石を野面積みとしている。これは端部がガイド役として最初に積まれるためである。また、所々に板状節理の幅の大きい薄い石を石に跨る様に積むことで固定度を増している。

③屋切壁：屋切部の状況を写真3-⑦⑧に示す。傾斜は40°程度の急勾配のものから20°程度の緩勾配のものがあり、年代が古く藁葺時代に作られたものは急勾配の傾向があるが、藁からトタンに葺き替えたときに屋切部分の石を取り除き角度を緩やかにしたものもある。

④中間柱：中間柱の状況を写真3-⑥に示す。約300～400mm角で積まれ、上部ほど小さくなっている。綺麗に整形されているものも見られるが、水平部分のみを成形し積んでいるものが多く、中間柱が丸太のものもある。

6. 屋根の観察

軒桁・梁・屋根下地の状況を写真4に示す。2列の石積みの内側を30～40cm程度下げた部分に軒桁を載せ、さらに梁に簡易なしゃくり加工を施し軒桁にのせ長方形の枿を作っている。現在は釘やワイヤーで固定を施しているが、古くはこのような固定は無かった。建設以後、軒桁及び梁が崩壊した事例は2例ほど聞き取ったが、あまり起こったことではないと思われる。また、現存する小屋の軒桁は多くがトタンへの葺き替えと同時に線材の木電柱の再利用に変更しているが、古くは簡易に調達できる長材が無かったため変形した軒桁を多く利用していた。屋根葺きの下地は垂木・桧のみでつくられており、棟木は無く極めて簡素に作られている。藁葺時代は、竹で組まれていた。



出典：国土地理院撮影の空中写真(1948年撮影)

図5 石小屋の配置

写真2 石小屋と畑

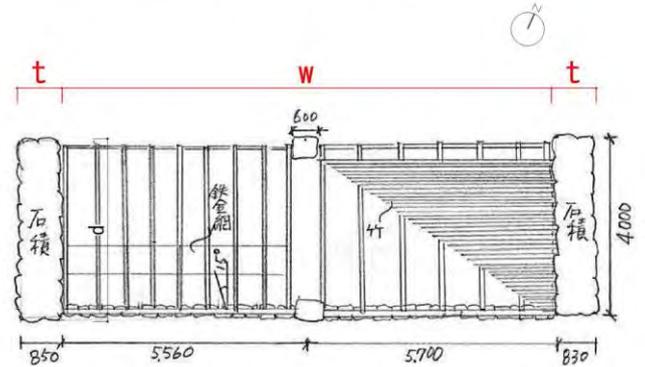


図6 石小屋の平面図 1/150

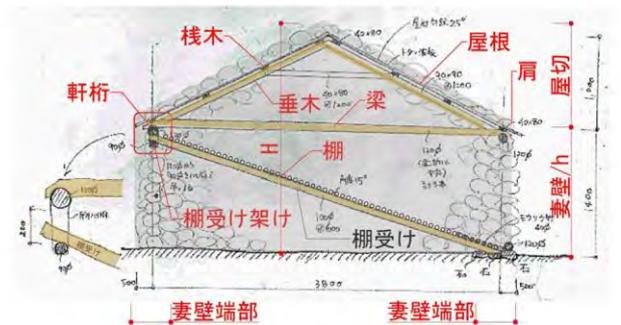


図7 石小屋の断面図1/60
(唯島友亮氏作成)



写真3 石積みの観察

7. 棚の観察

棚の状況を写真5に示す。未利用時には台を設け棚中央に棚材とともに腐らないように分解し地面から離して保管していたが、現在は管理の面倒さから単管パイプなどに変更している小屋が多く、木製であっても腐りやすい部分にコールタールを塗り、棚の分解は行っていないものが多い。

8. 相互扶助

聞き取り調査によると組織的なものは存在しなかったようだが、石積みの際には親戚を中心に数人の協力を得て建設されていた。その際の経験をもとに、石小屋が増えていき、戦後になると、簡易的なクレーンなどを作ることによって、家人のみで行うようになったことが分かった。

9. まとめ

五島列島福江島の山崎地区に作られた石積みカンコロ小屋についての踏査結果を報告した。いずれの石小屋も家人が近隣の手を借りながら技術を伝承し、極めて簡素ながらも気候風土、社会背景の中で普遍的な型をつくりだした。

小屋のメイン構造である、石壁と軒桁及び梁を作り、屋根は簡素に作る考えは、台風がよく襲来する地域ならではの考え方であると思われる。

今後は、追加調査により、発祥の時期及び当時の施工の方法について明らかにしていきたい。

本研究は JSPS 科研費 JP24K03217 の助成を受けたものである。また、ヒアリングにご協力いただいた五島の皆様と踏査にご協力いただいた唯島友亮氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 藤島玄治郎 他：住居，光村推古書院，p285，1976.9
- 2) 通商産業省工業技術院地質研究所，地質図 福江及び富，1986.11
- 3) 崎連：五島富江歴史散歩，長崎文化出版協会，1987.4
- 4) 長崎県農業試験場：長崎県農業試験場彙報第9号，1960.3
- 5) 奥矢恵 他：富士山五おける石室の形式と構法，日本建築学会技術報告集第26巻第63号，pp753～757，2020.6

注

- 注 1) 本稿の一部は「福江島富江の石積みカンコロ棚」(山田、安藤、小林、2025年度日本建築学会九州支部研究発表会梗概集、2026年3月)で報告した。
- 注 2) イデガンコロ：ユデ(茹で)カンコロの方言。
- 注 3) 地元では、屋根の有無、材料にかかわらず、「カンコロ棚」と呼んでいるが、本報では、棚とそれを覆う構造物(小屋)を区別するために、「棚」と「小屋」を使い分ける。小屋は、石積み=石小屋、木造=木小屋、コンクリート製=RC小屋と略す。また、石積みの倉庫=石蔵とする。
- 注 4) 火山噴火によって生じる火山砕屑物で、冷やされて粘性が高まったマグマ(溶岩)から、溶け込んでいた揮発性成分が気化することで、多数の気泡をもつ多孔質で軽量の岩石となる。玄武岩質マグマ由来の岩石を「スコリア」、安山岩～流紋岩質マグマ由来の岩石を「軽石」と呼ぶ。
- 注 5) 三井楽半島と富江半島で見られる曲線で構成されている畑で、丸畑とも呼ばれる。玄武岩の板状節理で囲み畑を一段高し水害対策としている。聞き取り調査では、メンテナンスのため多くの農家が石の扱いに古くから慣れているとのことであった。



写真4 屋根の観察



写真5 棚の観察

- 注 6) 1659～廃藩直前の1868年までの間、幕府の許可を得て分知していた。拠点である、陣屋や年貢の米を貯蔵するための石蔵、その他インフラを建設するために、各種職人を呼び寄せた。「職人町」という町名が残る。
- 注 7) 1871年の廃藩後すぐに、商人の田中庄三郎と農家の田原伝吉により薩摩芋の苗を輸入、薩摩と焼酎の原材料のシロガネコロの取引を開始、拡大。富江半島での増産につながり、2人の業績をたたえる碑が建っている。
- 注 8) 崎³⁾によれば、富江領の命により、女亀は塩田、山下は瓦、小島は漁業など、計画的入植地にはそれぞれの役割が与えられたが、山崎は特になかった。
- 注 9) 長崎県農業試験場⁴⁾によれば、富江の商品生産の意識及び石積みの技術の高さを指摘している。

※ 香川大学大学院 博士課程
 ※※ 香川大学 准教授・博士(デザイン学)
 ※※※ 長崎総合科学大学 教授・博士(工学)
 ※※※※ 安田女子大学 教授・博士(デザイン学)

※ Doctoral Program, Graduate School, Kagawa Univ.
 ※※ Associate Prof., Kagawa Univ., Dr. Des.
 ※※※ Prof., Nagasaki Institute of Applied Science, Dr. Eng.
 ※※※※ Prof., Yasuda Women's Univ., Dr. Des.

高知県知事公邸の歴史・文化的価値に関する研究
—全国知事公舎の動向と村野藤吾作品との比較を通して—

9. 建築歴史・意匠 9. 意匠論
知事公舎 公邸
迎賓施設 維持管理

村野藤吾
保存活用

非会員 ○森 悠夏*1 正会員 北山 めぐみ*2
正会員 東 哲也*3 正会員 楠瀬 朋葉*4
正会員 岩松 正剛*5 正会員 鈴江 章宏*6

1. 研究の背景と目的

明治4年の府県管制制定により府県に知事が置かれ¹⁾、これに伴い都道府県知事の居住及び迎賓を目的とした知事公舎^{注1)}が行政単位で建設された。しかし近年、老朽化や維持管理費削減などの理由から廃止や利活用方法の見直しといった動きがみられる。高知市に位置する高知県知事公邸（以下、知事公邸）^{注2)}においても、昭和38（1963）年に村野藤吾（1891-1984）の設計によって建設され、建築から相応の年月を経ており、高知県においても今後のあり方について議論を行うことが予定されている²⁾。こうした背景を受け、本研究では、知事公邸の来歴や設計に至る経緯、並びに建築的特徴を整理するとともに、全国の知事公舎の動向から知事公邸が有する歴史・文化的背景とその特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

本研究では次の3つの視点から調査を行った。まず、知事公邸の来歴について、高知新聞や議会議録・記念誌等の文献並びに県及び設計・建設関係者へのヒアリング調査を行った。次に、村野藤吾の設計作品について現地調査及び文献を元に整理し、知事公邸に見られる設計手法の特徴を明らかにする。さらに全国の知事公舎の動向を把握するため、令和7（2025）年9～10月に各都道府県へ書面郵送によるアンケート調査を行った。

3. 現高知県知事公邸の建築概要

高知市鷹匠町に位置し、昭和38（1963）年に竣工した。鉄筋コンクリート一部鉄骨造平屋建・銅板葺き屋根による公邸部分（図1・2）と木造2階建瓦葺き切妻屋根による私邸部分からなり、私邸部分には歴代の高知県知事が居住し、公邸部分は迎賓・応接に使用されている。また村野藤吾が手がけた作品の中では唯一の知事公邸である。



図1 知事公邸南側外観 図2 知事公邸応接室内観

4. 高知県知事公邸の変遷

文献調査から得られた知事公邸に関する事柄を表1にまとめた^{注3)}。下記に主要な事柄をまとめる。

4-1. 明治期から昭和戦前期まで

知事公邸は明治19（1886）年には高知市永国寺町に存在し、当時の県令である田辺良顕が居住していたことが確認できる³⁾。また明治・大正期の市街地図に「官宅」や「知事官舎」の表記があり、高知城東側の天理教会や土佐高等女学校・中村女子手芸学校がある街区の北東角に位置していたことがわかる^{4,5)}。当該エリアは、上記の学校施設に加えて県立第一中学校や県立農学校など、明治期以降に教育施設が多く設置された場所でもある。

4-2. 昭和戦後期

昭和20（1945）年の高知市大空襲により知事公舎は焼失⁶⁾、その後、昭和24（1949）年に同位置にて再建された。再建されるまでの間は警察本部の公舎を借りていたという。昭和27（1952）年の高知新聞には、荒れていた公舎の庭を有志が耕し、野菜の苗を植えつけたという記事が残っている。翌昭和28（1953）年には天皇、皇后両陛下が国体観席のために来高し、知事公邸に宿泊している。また、昭和30（1955）年にも義宮正仁親王が県内各地の視察のため宿泊所として利用し、応接室での会見の様子が報道され、県における迎賓の場として機能していたことがわかる。当時の知事公邸は文献7に写真が残されており、約917坪の敷地に木造平屋建て瓦葺きの切妻と寄棟屋根による約88坪の和風建築であった。

4-3. 昭和中期頃—現在まで

戦後の再建から10年ほどとなる昭和36（1961）年、隣接する土佐女子高校が校地拡張のため、知事公邸の代替地を購入、新たな知事公邸を建設・提供し、県が元の土地建物を譲渡するという交換契約が交わされた⁸⁾。当時は庁舎の建て替えも行われ、財政的に厳しい時期であったため、当時の溝渕知事は「時節柄、継ぎ足しはまかりならぬ」と命じたが、副知事は「知事公舎はあなただけのものではない。知事はだれに代わるかもしれない。私どもに任せておいてください」と回答したという⁷⁾。こうした経緯から、工事費3145万円、交換契約に超過した1145万円を県が負担して竣工したのが高知城南側の

A Study on the Historical and Cultural Value of the Kochi Prefectural Governor's Residence

-Through a Comparison of Governor Residences Nationwide and the Works of Togo Murano-

*1 Haruka MORI *2 Megumi KITAYAMA *3 Tetsuya AZUMA
*4 Tomoha KUSUNOSE *5 Masataka IWAMATSU *6 Akihiro SUZUE

鷹匠町に建つ現在の知事公邸である。設計者選定に関する一次資料は現時点で確認されていないが、知事公邸を紹介した雑誌 VELOCITY⁹⁾に「当初、公邸設計は県の建築課で行う予定だったが、県外の優秀な設計事務所に委託することとなり、大阪方面の事務所に照会したところ、村野・森事務所以外は辞退した」というエピソードが残されている。当時の新聞記事によれば「一時は“あかがね御殿”とささやかれたが、外観は御殿といった豪華な趣ではない。機能的によく整っていた」と評され、知事が公舎で過ごす様子や応接室での記者会見の様子が報道されている。また、海外派遣団員の壮行会や外国人留学生・研修生と交流を図るガーデンパーティをはじめ、県職員や様々な住民団体、中高生など、知事と職員・県

民がより近い距離で応接・意見交換を行う場として用いられてきた。平成 21 (2008) 年には知事公邸の建築に関する記事や雑誌掲載が見られ、また、令和 6 (2024) 年の在り方検討の表明以降は知事公邸の活用を意識し、職員との座談会や表彰式などに積極的に用いられている。

5. 知事公邸に見られる設計手法の特徴

知事公邸の建築的特徴については、文献 10、11 に記されるとともに、2025 年 6 月 7 日に筆者らが主催した講演会にて笠原一人准教授により村野藤吾設計作品との関係性が整理された。本稿ではこれらを踏まえて知事公邸に見られる村野藤吾の設計手法、並びに公邸建築としての特徴を整理する。なお、現在も住居として用いられているため、安全性を考慮し、公邸部分を中心に記載する。

表 1 高知県知事公邸について確認できる事柄 (書籍・高知新聞より抜粋)

和暦	西暦	内容 (高知新聞=高新)	公邸の所在等
明治 19 年	1886	永国寺町に知事官邸が存在し県令・田辺良頭が居住 ³⁾	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>初代知事公邸 約 60 年</p> <p>現時点ではこの間に建て替えの記録は確認されていない。</p> </div> <div style="font-size: 2em; margin: 10px 0;">↓</div> <div style="text-align: center;"> <p>二代目知事公邸 (14 年)</p> </div> </div>
明治 26 年	1893	市街地区において永国寺町に「官宅」と表記 ⁴⁾	
大正 2 年	1913	高知市全図において永国寺町に「県知事官舎」と表記 ⁵⁾	
昭和 20 年	1945	高知市大空襲により焼夷弾が落ち、知事官舎が焼失 ⁶⁾	
昭和 24 年	1949	同位置にて再建。それまでは警察本部から借りて利用した (高新 1949.12.2)	
昭和 27 年	1952	荒れた知事公舎の庭を元農業推進隊員らが一日奉仕で耕作 (高新 1952.1.8)	
昭和 28 年	1953	国体相撲大会を臨席するため知事公舎に天皇陛下が宿泊 (高新 1953.10.24)	
昭和 30 年	1955	義宮正仁親王が知事公邸の応接室で会見及び宿泊 (高新 1955.4.9)	
昭和 35 年	1960	私立土佐女子中学高等学校が校地拡大のために知事公舎の敷地譲渡の要望。3つの代替地候補が示され、鷹匠町西部が有力敷地とされる。(高新 1960.4.1)	
昭和 36 年	1961	土佐女子中学高等学校と高知県が知事公舎敷地の交換契約 ⁸⁾	
昭和 38 年	1963	鷹匠町に知事公舎完成 (高新 1963.7.21)	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>三代目知事公邸 (62 年経過)</p> </div> <div style="font-size: 2em; margin: 10px 0;">↓</div> </div>
昭和 38 年	1963	高知短大学生会が専任学長設置を求め知事公舎へ押し掛け (高新 1963.12.10)	
昭和 42 年	1967	知事が選挙後に帰還し、知事公邸にて抱負を述べる (高新 1967.12.2)	
昭和 43 年	1968	知事公邸にて記者会見が行われ、建物や会見の様子を掲載 (高新 1968.11.17)	
昭和 48 年	1973	知事公舎及び課長以上の公舎で行われていた新年宴会廃止 (高新 1973.12.17)	
昭和 49 年	1974	青年海外派遣団員と「青年の船」乗船員の壮行会が行われる (高新 1974.9.8)	
昭和 58 年	1983	知事公舎で外国人留学生らと交流を深めるパーティー開催 (高新 1983.7.26)	
平成 5 年	1993	知事公邸で県知事がよさこい踊りを猛特訓 (高新 1993.8.30)	
平成 8,9 年	1996,97	中高生と知事が話す「夢・ころ語らい事業」 (高新 1997.6.1,1996.6.24)	
平成 9 年	1997	街宣車が知事公邸に突入する (高新 1997.2.17)	
平成 11 年	1999	高知・インドネシア食文化交流会を知事公邸で開催 (高新 1999.7.4)	
平成 14 年	2002	チャリティー茶会を知事公邸で開き 200 人が参加 (高新 2002.4.16)	
平成 16 年	2004	財政危機により知事公邸の在り方が検討される (高新 2004.10.1)	
平成 19 年	2007	尾崎知事が知事公邸へ引っ越し (高新 2007.12.9)	
平成 21 年	2009	高知新聞・雑誌 VELOCITY に知事公邸の建築が紹介される (高新 2009.4.27)	
令和 2 年	2020	浜田知事入居前に知事公邸居住部分の水回り等を改修 (高新 2020.3.12)	
令和 6 年	2024	知事公邸の在り方を 2027 年までに方向性を示す意向を表明 ²⁾	
令和 6,7 年	2024,25	県職員と知事らによる座談会が開催される (高新 2024.9.12,2025.12.20)	

5-1. 公・私の関係性を考慮した空間配置

知事公邸は南・東の2面を道路に接し、東側にエントランスを配する(図3)。これに伴い東側に公邸部分、西側に私邸部分を配置している。公邸と私邸はそれぞれエントランスを持ち、廊下によって接続されるが、大小4つの庭と室ごとの雁行配置によって視線の重なりを避け、距離感を調整している。空間的には一体でありながら緩やかに分節する手法は、村野が手がける和風建築に確認でき、公邸建築において重要となる公・私関係性の調整に適用されている。

5-2. 門戸を張らない表構え

公邸部分の屋根は銅板一文字葺きの2.8寸の緩勾配に僅かなむくりを持たせ、東側外観は車庫・玄関・ホール・応接室の屋根が重なりによって構成される(図4)。ボリュームを低減させ、権威感を感じさせない。また、玄関棟・ホール棟の屋根妻面には小屋裏換気の機能と軽やかな意匠を兼ねた箕甲をあしらひ、柔らかな雰囲気を作っている。これは知事公邸の4年前に竣工した佳水園で採用され、以降も和風建築で度々用いた手法である。車寄せの脇には、砂利敷きの池を設けて庭園風の表現がなされ、独立柱の礎石には仁淀川の川石を用いている。

5-3. 庭と連続的につながる応接空間

応接のための空間はホールと2室に分けられる応接室からなる。天井高を2700mm、RCの柱を外壁面より内側に寄せ3面をガラス吊り戸のカーテンウォールとし、庭に視線を向ける。床高をGLから330mmに抑え、濡れ縁と出幅1200mmの深い軒を出すことで庭と連続的につなげている(図5)。雨や台風が多い高知の気候風土に対応するため、鉄骨による垂木と鉄骨を檜で巻いた複合柱により(図6)、高い軒高と深い軒の出を成立させている。また客用寝室は3畳の前室と8畳の座敷からなり、前室には網代天井や竹格子の地下窓など数寄屋風茶室の要素を取り入れ、座敷には幅広の床間を設けて格式を示す一方で、違い棚や付書院を省略し形式性を抑えながら、庭へ視線を向けることで公邸の空間構成を意識させる。

5-4. 知事公邸に見られる建築的特徴

知事公邸は村野藤吾が70代の頃の作品であるが、空間構成・床・壁・天井各部の仕様において、村野が住宅や和風建築に用いてきた手法を適用し、和・洋・モダンを混在させ、さらにRC・木造・鉄骨を組み合わせることで軒を軽やかに高く持ち上げ内外部を一体的に扱った応

接空間は、高知の気候風土を考慮した公邸施設として本物件に特筆できる特徴と捉えることができる。

6. 全国知事公舎の動向

全国の知事公舎の動向をアンケート調査の結果^{注4)}をもとにまとめる。

6-1. 知事公舎の保有状況(図7)

知事公舎を保有する自治体は25団体と半数を占めるが、背景に述べたように近年、知事公舎の廃止や見直しを行う自治体が見られ、13団体・28%が知事公舎を廃止し、解体・売却等を行っている。また、知事公舎の機能を廃止したが建物を保有している9団体では、売却手続きを進めているところが3団体あったが、文化施設や会議室・来賓対応に活用しているところが3団体、活用方法の模索中・宿泊施設・大学への貸与が各1団体あり、利活用が図られている事例も確認される。

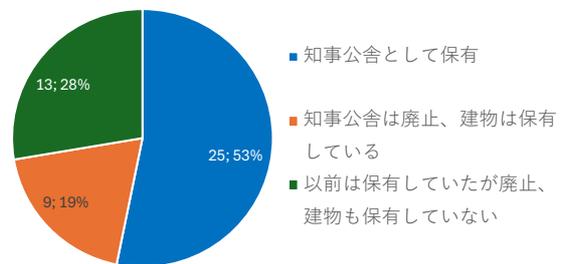


図7 各都道府県の知事公舎保有状況(計:47)

6-2. 知事公舎の利用状況(図8)

知事公舎を保有していると回答した25団体における施設の利用状況の内訳を図8に示す。知事の住居として使用しているのは15団体であり、残り10団体は居住を伴わず迎賓等の公邸機能を主とするものであった。居住用途を持つ団体のうち、迎賓や公的行事にも用いるところは11団体で確認され、高知県同様に公邸と私邸とを有する自治体は相応にあることがわかる。

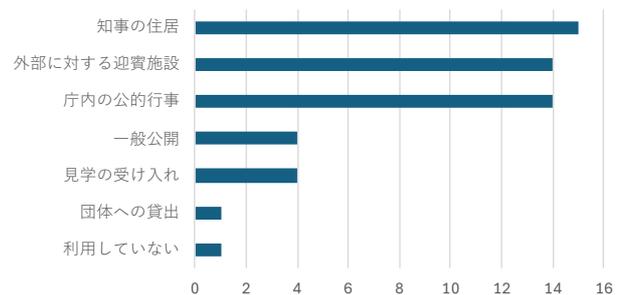


図8 知事公舎の利用状況の内訳(複数選択可)



図3 知事公邸略配置図



図4 東側外観



図5 応接室外側の軒下空間



図6 独立柱

6-3. 竣工年（図9）

知事公舎の竣工年を、現存及び廃止前最後の知事公舎も含めて確認した。知事公舎の竣工年は1913年から2019年まで確認でき、築年数は様々であることがわかる。中でも1920年代と1960～1990年代に建てられたものが多く、大正期や昭和の高度経済成長期という経済的に豊かな時期に建設されたと考えられ、高知県の知事公邸も学校用地の拡張という特殊事情はあるものの、高度経済成長期における施設の充実を図る流れの中で整備されてきたものの一つと捉えることができる。

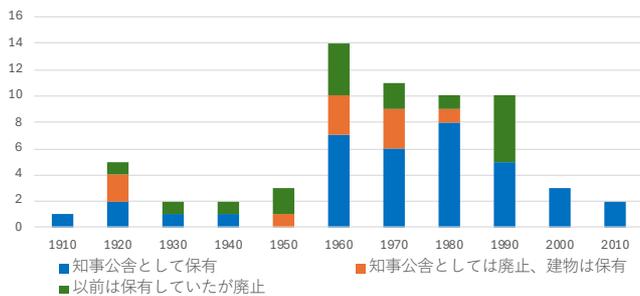


図9 知事公舎の竣工年（棟単位で集計 計：63棟）

6-4. 設計者（図10）

設計者については約半数が「不明」の回答であった。これは、廃止に伴い把握していないケースに加え、年代が遡るため不詳であるケース、セキュリティ上非公開とするケース、アンケート送付先が秘書課や管財課であり図面等を保管する部署ではないことが影響したものと見られる。設計者が把握できた残り半数では、県内の設計事務所や設計共同組合あるいは庁内で手がけたものが16団体、県外の設計事務所等に委託したものが8団体であった。県外に委託した8団体のうち、高知県は最も早い時期の建設であり、より良いものを作ろうとする先駆的な事例であった可能性が指摘できる。

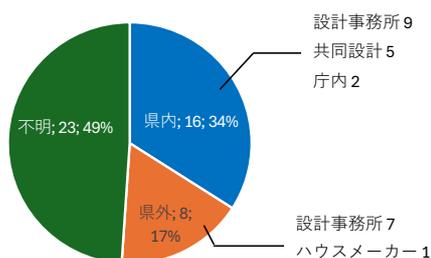


図10 知事公舎の設計者（計：47）

7. 結論

知事公邸は旧来から、知事と来賓・職員・県民との距離を近づける特別な場として機能し続けてきた。現知事公邸は、公共施設や住宅など数多くの設計を手掛けてきた

村野藤吾が作品中唯一の知事公邸として設計し、公と私の関係性や、公邸としての応接空間・気候風土への対応などがよく表現され、全国の知事公舎に照らしても、県外に委託し、より良いものを作ろうとした先駆的な事例であった可能性が指摘できる。近年では知事公舎を廃止する流れも見られるものの、行政施設の一つとして維持し、整備を行う県も少なくはなく、広い視野で高知県における知事公邸の在り方を検討することが望まれる。

注釈

注1) これらの施設には、「知事公舎」や「知事公館」、「知事公邸」など都道府県ごとに異なる呼称が用いられる。本稿では呼称の違いによらず総称して知事公舎と表記する。

注2) 高知県HPや村野藤吾の作品集、平成期以降の高知新聞では「高知県知事公邸」と表記されている。なお、昭和期の高知新聞では「知事公舎」と表記されていた。

注3) 高知新聞記事については表1内に出典を明記した。

注4) アンケートは高知県を除く46都道府県に行き、44都道府県から回答を得た。回答が得られなかった2県については新聞記事及び自治体発行の報告書から情報を得た。

参考文献

- 総務省HP：地方自治制度の歴史, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/bunken/history.html 閲覧日 2025. 1. 10
- 高知県HP：知事の記者会見 令和6年7月11日 <https://www.pref.kochi.lg.jp/chiji/doc/2024052800294/> 更新日 2024. 7. 11
- 高知県：高知県史近代編, 高知県文教協会, 1970. 3, p. 173
- 土佐史談会・高知市教育委員会：改訂版高知城下町読本, 2004. 11
- 高知市：描かれた高知市 高知市史絵図地図編, 2012
- 市原麟一郎：ここも戦場だった 145人が語る高知大空襲, 1979, p. 67
- 溝渕増巳：県政二十年, 高知新聞社, 1977, pp. 96-100.
- 昭和36年6月高知県議会定例会議案及び説明目録
- ベロシティ編集：VELOCITY2008 Vol. 8
- 和風建築社：和風建築秀粋 村野藤吾の住宅撰集, 京都書院, 1994
- 中村昌生 他：村野藤吾の造形意匠, 京都書院, 1994

謝辞

本研究は日本建築学会四国支部のワーキンググループ『村野藤吾設計「高知県知事公邸」の見学会並びに講演会の開催と建築・文化的価値の検討』として助成を受けて実施したことを付記し謝意を表します。また、調査や講演会を通してご協力いただきました京都工芸繊維大学笠原一人准教授、並びに関係者の皆様に感謝申し上げます。

*1 高知工業高等専門学校 本科生
*2 高知工業高等専門学校 博士（生活環境学）
*3 建築設計群無垢
*4 聖建築研究所
*5 界設計室
*6 鈴江章宏建築設計事務所

*1 National Institute of Technology, Kochi College, Student
*2 National Institute of Technology, Kochi College, Ph. D.
*3 MUKU Architectural design group
*4 Hijiri Architecture Laboratory
*5 Kai Architecture Office
*6 Akihiro Suzue Architecture Office

歴史的建築総目録データベースの充実に向けた手法の提案—高知県を対象として—

9.建築歴史・意匠 11.保存
災害調査 文化財防災 建築調査
建築資料 保存活用 地域資源

準会員 ○松本悠希*
正会員 北山めぐみ**

1. 研究背景・目的

1995年に発生した阪神淡路大震災以降、大規模災害後に歴史的建築物の調査のための基礎台帳を作成する機運が高まり、2000年に「歴史的建築総目録データベース」が開設された(以下、DB)¹⁾。DBには、過去の歴史的建築物に関する調査や報告書をもとに、建築名称や構造形式、住所といった基本情報が登録され、東日本大震災以降、災害調査の基礎台帳として用いられている。

高知県においては、南海トラフ巨大地震の到来が予想され、DBへの物件情報の登録は急務といえる。DBへの登録元となる主な報告書として、文化庁から各県に委託し、行われた4つの調査「民家緊急調査(以下、文献2)」、「近世社寺建築緊急調査(以下、文献3)」、「近代和風建築総合調査(以下、文献4)」、「近代化遺産総合調査(以下、文献5)」が挙げられる。しかし、これらの調査では、市町村によって、報告件数に偏りがみられ、災害調査の基礎台帳として不足している可能性がある。

そこで本研究では、高知県を対象として、報告件数に差が生じる要因を明らかにした上で、DBの充実に向けた手法の提案を行う。

2. 研究方法

本研究では、提案に向けた事前調査として、まず県内の各市町村における報告件数に影響を与えている要因を明らかにする。一般的に、人口が多い地域では、住むための建築物は増加し、産業や経済といった活動が盛んになる。そのため、建築物の数や文化的背景に影響を与えている可能性が高い人口と報告件数の関係を比較する。

次に、報告件数に偏りのある市町村をケーススタディ対象として抽出し、県内の建築物を対象とした調査の報告書に記載されている一次調査の内容をDBに登録する。その後、文献調査や聞き取り調査、実地調査を交えながら、報告内容の傾向や地域特性を把握する。

これらの事前調査を踏まえて、対象地域において、報告件数や内容に偏りがみられた原因の考察を行う。考察や調査によって得られた情報をもとに、DBの充実に向けた提案を行う。

3. 市町村別の報告件数と人口との関係性

図1に示すように、高知県内では市町村によって、報

告件数に差があり、偏りがみられる。

図2に示す、グラフを見ると、人口数の増加に伴い、報告件数が増加するという比例関係が確認できた。一方で、文献4では安芸市の111件や大月町の72件、文献5では佐川町の148件のように、人口と報告件数の相関から外れ、報告件数が多いケースがあることが判明した。

文献4における一次調査では、各市町村を比較した際、人口規模が小さい市町村は、報告件数が少ない傾向にある中で、大月町は人口約4000人と少ないものの報告件数72件と相関から外れ、多いことがわかる。

文献5における一次調査では、各市町村を比較した際、人口規模に関わらず、ほとんどの市町村が60件未満であるが、佐川町のみ、148件と群を抜いて多い。

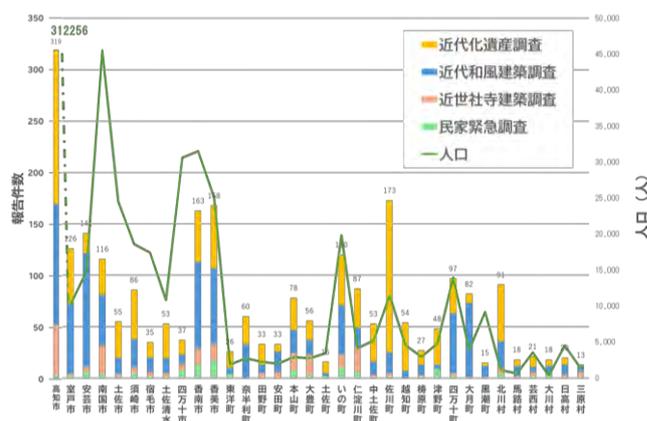


図1. 4種の報告書の調査報告件数と人口の関係性

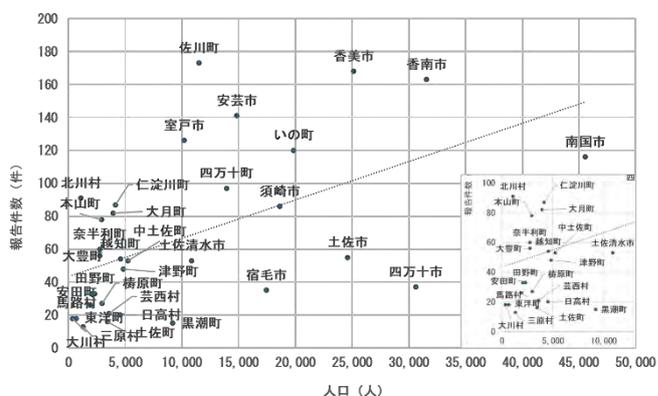


図2. 高知県の市町村別の一次調査報告件数及び人口

また、文献5では、町村においては10件以上確認できる中で、黒潮町は報告件数が3件と少なく、文献4においても報告件数が11件と極端に少ないことが確認できた。

以上を踏まえ、表1に示す3町にケーススタディ対象として扱うこととした。

表1. 3町の人口と報告物件の種別

	人口	文献1	文献2	文献3	文献4	物件種別	報告件数	割合
佐川町	11505人	2	3	20	148	住宅系	128	76.2%
						社寺系	2	1.2%
						公共系	24	14.3%
						その他	14	8.3%
大月町	3932人	0	1	72	9	住宅系	27	34.6%
						社寺系	45	57.7%
						公共系	5	6.4%
						その他	1	1.3%
黒潮町	9193人	0	1	11	3	住宅系	9	64.3%
						社寺系	2	14.3%
						公共系	3	21.4%
						その他	0	0.0%

5. 3町を対象とした実態調査

5-1. 佐川町

佐川町は、高知県の中西部に位置する盆地地形に形成された町である。昭和期の合併により斗賀野、尾川、黒岩、加茂、佐川の5地区が合併してできた町である⁶⁾。江戸時代には城下町として栄え、酒造を中心とした一帯の町並みや、名教館など文化・教育に重きを置く風土が受け継がれている。町内では、2008年に、「地域における歴史的風致の維持及び向上に関する法律」が公布された後、佐川町では、「佐川町歴史的風致維持向上計画」が策定された。1990年には、HOPE計画の策定も行われた⁷⁾。

表1から両調査の報告内容を見ると、76%と住宅が占める割合が多い。

聞き取り調査によると、歴史的な建築物が残る風土があることから、以前から神社や石碑といった歴史的な工作物の調査をまとめた資料が作成されていたことや旧町村単位での調査があったことが判明した。

5-2. 大月町

大月町は、高知県の西南端に位置する。昭和期の合併により大内町と月灘村が合併して発足した。リアス式海岸を活かした漁業や稲作・葉タバコ栽培といった農業が盛んな地域である⁸⁾。

表1により両調査の報告内容を見てみると、社寺建築関連物の報告が全体の57.7%であり、実際には神社建築がその多くを占めている。

聞き取りによれば、大月町では昭和後期に、「わが町の文化遺産」という書籍が第1集から第4集まで発行され、町内にある寺社仏閣や城跡、石碑の調査成果についてまとめられており、その成果を文献4に転用したことが推測できる。

それを受けて、「わが町の文化遺産」と文献4の報告内

容を比較したところ、報告されていた神社建築42件すべてが「わが町の文化遺産」の第1集⁹⁾、第3集¹⁰⁾に記載されていることが判明した。このことから、地域での文化財に関する調査が全国的な調査に活かされた事例であることが分かった。

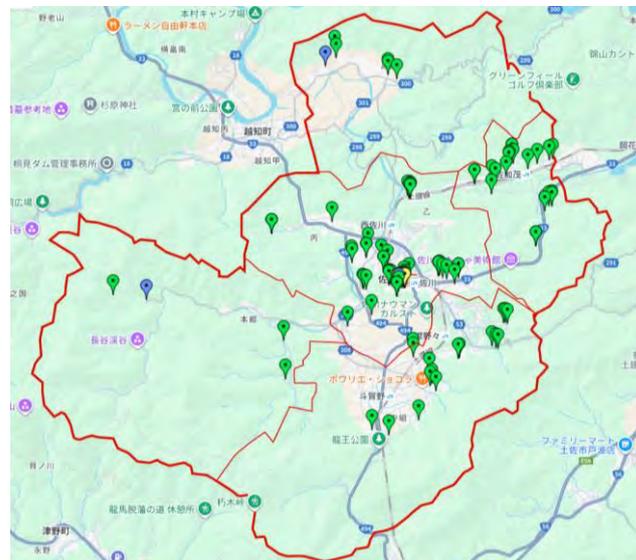


図3. 佐川町の登録状況

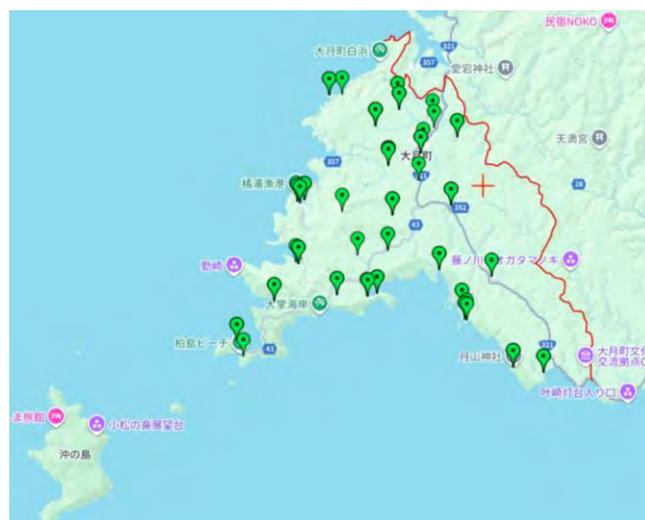


図4. 大月町の登録状況

5-3. 黒潮町

黒潮町は、県の西南地域にあり、平成期に大方町と佐賀町が合併し発足した。大方地域では農業、佐賀地域では、カツオの一本釣りといった産業が盛んである¹¹⁾。

どちらの調査においても、町としては報告件数が少なく、報告物件に関しても、1次調査のみで留まっているものばかりである。

聞き取り調査では当時の状況や体制の詳細が把握できなかった。調査以降の合併があったためではないかと思われる。資料が不足していることを受け、DBに掲載すべき物件が実際に存在しないのかを確認するため、黒潮町内の下田の口、上川口、佐賀にて実地調査を実施した。

その結果、報告されていないものの建築年代や構造形

式、屋敷構えの観点から、歴史的価値を有すると考えられる建築物が調査を行った3地区すべてで確認された。

図6は、調査で見つかった物件のDB登録を行った結果である。

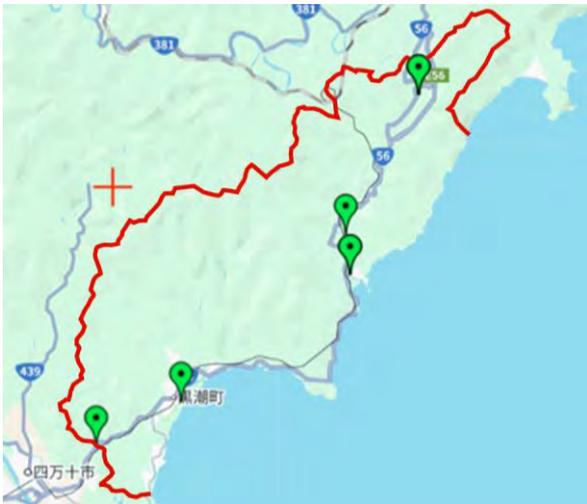


図5. 黒潮町の实地調査前の登録状況

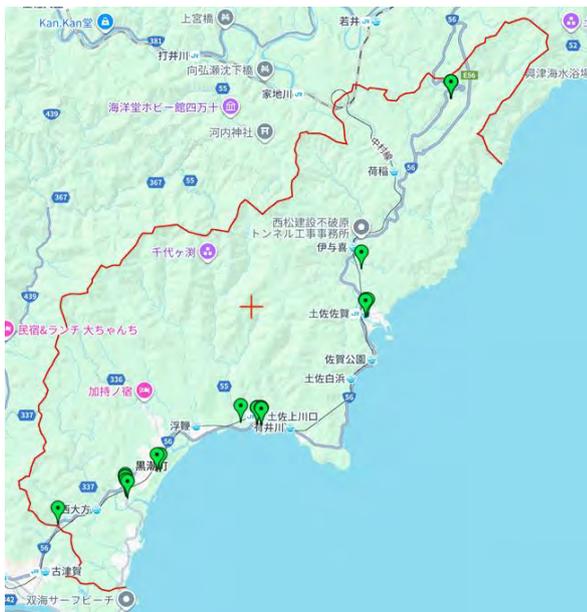


図6. 黒潮町の实地調査後の登録状況



図7. 現地調査で確認できた物件

6. 現状整理と提案

6-1. 現状の整理

3町のケーススタディを通して、建築調査を担当する人物の熱意の差や、地域の文化財資料の有無が調査の成果に影響を与えることが分かった。また、報告が少ない地域においても、歴史的価値を有する建築物は存在していることが分かった。

歴史的建造物を把握・保存するためには、行政だけでなく研究者、実務者、地域住民が連携した取り組みが求められる。現在の制度や活動では把握されていない建築物も多く、事前調査や市民参加型の取り組みが発見と活用の重要な契機となる。

そのため、多主体型の調査・活動が、歴史的建築物の価値発掘と継承に有効であると考えられる。

6-2. 提案

[1]DBの平時活用における提案

DBは、災害時だけでなく、平時においても歴史的建造物を理解・把握するための資料として活用することができる。以下のような活用を提案する。

①学習分野での活用

DBは学生や市民が、地域にある歴史的建造物を学ぶための教材として活用できる。実際に歴史的建造物を現地で観察し、記録・分析することで、文献や座学のみでは得ることのできない知識を獲得することが可能となる。

②調査・研究分野での活用

DBに登録されている建築物の構法や材料、意匠といった要素から、地域独自の技術や建築的特徴を把握することができるため、建築史・民俗学・地域史といった多様な分野の研究基盤となる。

③保存・活用事業への活用

DBは、災害時の調査の基礎台帳として有効であると同時に、平時における保存・活用事業の基礎資料として重要な役割を果たす。地域計画策定時や保存活動等の際の情報収集に活用できる。

[2]DBの高度化に向けた提案

DBは、社会や技術環境の変化を背景に、機能の更新が求められる段階にある。以下に、DBの高度活用に向けた方策を以下に提案する。

①リスクマネジメント機能

DBを防災マップやハザードマップと組み合わせて利用できれば、文化財や歴史的建造物に対するリスクマネジメントが可能となる。これは、災害時の被害想定や優先的保全対象の把握に資するものであり、歴史的建造物の保存という観点からも極めて有意義な機能である。

②条件設定による検索機能

より柔軟な条件設定に基づく可視化機能の拡充が望まれる。例えば、建物の材質、建築的装飾の有無といった要素を条件として設定し、それに該当する建築物を地図上で色分け表示できれば、地域内における建築的特徴の

分布や傾向を直感的に把握することが可能となる。こうした機能は、建築史や集落研究における分析の幅を大きく広げると考えられる。

③登録内容の拡張

DB に登録する情報を歴史的建造物そのものに限定せず、当該建造物や地域と関連する、生活用具、古写真や絵図などの歴史資料を位置情報と関連づけて登録できれば、時代ごとの地域の姿や空間構成の変遷を比較的容易に把握することが可能となり、地域らしさの発見や考察を深化させる基盤となる。

以上より、DB は、防災・保存に加え、研究・教育・地域計画を横断的に支える情報基盤として発展させる可能性を有している。

参考文献

- 1) 池上重康、歴史的建築総目録データベースのこれまでとこれから、日本建築学会、2023年9月
- 2) 土佐の民家、高知県教育委員会、1972年
- 3) 高知の近世社寺建築、高知県教育委員会、1981年
- 4) 高知の近代和風建築、高知県教育委員会、1996年
- 5) 高知県の近代化遺産、高知県教育委員会、2017年
- 6) 佐川町史編纂委員会、佐川町史 上巻、佐川町役場、1976年
- 7) 佐川町歴史的風致維持向上計画、佐川町、閲覧日 2026-1-14
<https://www.town.sakawa.lg.jp/file/?t=LD&id=2563&fid=14516>
- 8) 大月町の概要、大月町、閲覧日 2026-1-14
<https://www.town.otsuki.kochi.jp/life/dtl.php?hdnKey=1354>
- 9) わが町の文化遺産第1集、大月町教育委員会、1982年
- 10) わが町の文化遺産第3集、大月町教育委員会、1991年
- 11) 黒潮町について、黒潮町、閲覧日 2026-1-14
<https://www.town.kuroshio.lg.jp/pb/cont/machi-shokai/257>

謝辞

本研究で活用した歴史的建築総目録データベースの創設及び整備に尽力された池上重康様に、深く感謝申し上げます。また、ヒアリング調査にご協力いただいた溝渕博彦様、佐川町教育委員会、黒潮町教育委員会、県庁および県議会議員の皆様に、心より感謝申し上げます。

* 高知工業高等専門学校 学部生

** 高知工業高等専門学校 博士（生活環境学）

National Institute of Technology, Kochi College, Student
National Institute of Technology, Kochi College, Ph. D.

仁淀川町別枝秋葉神社の建築及び境内整備に関する研究

9. 建築歴史・意匠 1. 日本建築史

神社建築	秋葉祭り	長州大工
文化継承	実測調査	山間集落

準会員 ○大石知史*
正会員 北山めぐみ**

1 背景と目的

わが国では少子高齢化や人口減少に伴い、地域コミュニティの衰退が進み、神社運営や祭礼など伝統文化の継承が困難になりつつある。高知県仁淀川町別枝地区で行われる秋葉祭りは、昭和37年(1962)に高知県保護無形民俗文化財に指定された伝統的祭礼であるが、同町では20年間で約40%の人口減少が生じ、2020年時点で別枝地区の人口は77人と、祭礼継承に深刻な課題を抱えている。一方、祭りの舞台である秋葉神社社殿(図1)は長州大工^{注1)}による造営とされるものの、建築的特徴や境内整備の実態は十分に明らかにされていない。秋葉祭りは秋葉神社を最終的な奉納地点とする神幸祭であり、同社は祭礼を成立させる中心的存在であり、無形の祭礼と有形の神社建築・境内空間を一体として捉え、文化継承を図ることが望まれる。そこで本研究では、秋葉神社の建築的特徴および境内整備の変遷を明らかにし、地域文化の継承に資することを目的とするとともに、長州大工による神社作品群の一端を知る資料とすることを目指す。

2 研究方法

本研究では、秋葉神社の建築的特徴と境内整備の変遷を明らかにするため、文献調査、実測・実踏調査、聞き取り調査を行う。秋葉神社社殿の実測調査とともに、同地区には岩屋神社として前社殿が現存していることから比較検討を行う。境内整備については、石造物や玉垣の記録、関連資料および聞き取りにより変遷を把握する。

3 研究対象地の概要

高知県仁淀川町は高知県北西部の仁淀川上流域に位置し、町域の約89%を山林が占める。集落は河川沿いや山麓部に点在し、林業や茶業を基盤としてきた。2005年に旧吾川村・旧池川町・旧仁淀村の合併により成立した。別枝地区は町南西部に位置し、愛媛県久万高原町に接し、岩屋川沿いの10集落から成り、秋葉祭りはそのうち本村・桐野久保・佐渡の3集落により行われる。

4 秋葉神社の歴史的背景と変遷

表1に秋葉神社の歴史と境内整備の変遷をまとめる。秋葉神社の祭神は、佐藤清岩によって遠江国秋葉山より勧請され、文治元年(1185)頃に当地へ迎え祀られたと伝わる。岩屋神社付近に残る佐藤清岩の碑の記述から、

祭神の勧請は同年春頃と推定される。当初、祭神は岩屋神社周辺の自然の巖窟で奉祀され、その後、本村集落の瑞王山法泉寺へ遷座されたが、祟りが多いとされ、伊予国との国境に近い関所番であった岩屋市川家に奉祀されることとなった。約600年後の寛政期になると、別枝郷中において秋葉神を地域の氏神として正式に奉斎しようとする機運が高まった。これを受け、庄屋の中越清太郎が社地を献上し、郷民総出で社殿の造営が行われ、寛政6年(1794)に現在地へ祭神が改めて勧請された(図2)。こうした経緯のなかで秋葉神社は徐々に信仰される地域を拡大し、地域全体の中心的な存在へと位置づけを変え、現在に至る祭祀形態が確立した。この歴史的背景を踏まえて境内整備の変遷を整理する。



図1 秋葉神社社殿

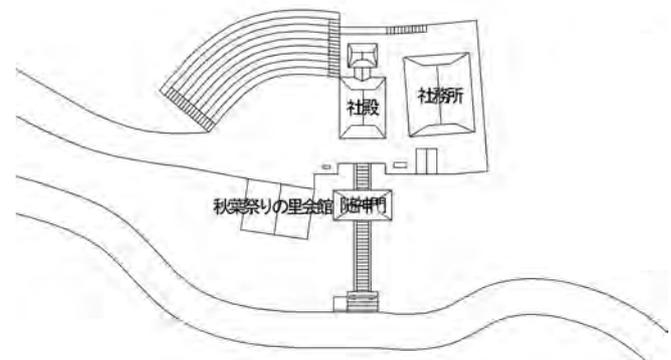


図2 秋葉神社配置図 1:1500

近世から近代にかけて、社殿や手水鉢、随神門など、神事や参拝といった信仰実践を直接支える建築・施設の整備が中心であり、秋葉神社が地域信仰および秋葉祭りの舞台として機能していたことを示している（図2）。

一方、昭和後期以降の整備には、記録や顕彰といった文化的価値を重視する傾向が認められる。昭和44年（1969）の御造営記念碑や昭和46年（1971）の領徳碑は、造営の経緯や祭礼の存続に尽力した人物の功績を後世に伝えることを目的としたものである。さらに、昭和60年（1985）年の社務所建設や平成27年（2015）の「秋葉まつりの里会館」の整備は、祭礼運営の拠点機能に加え、展示や情報発信を通じて地域文化を伝える役割を担っている。

以上より、秋葉神社の造営および境内整備は、信仰実践を支える空間整備から、地域の歴史や祭礼文化を保存・発信する空間整備へと段階的に変化してきたといえ、秋

葉神社が地域文化の継承を担う重要な拠点となっていることがわかる。

5 秋葉神社の建築

・拝殿及び幣殿

拝殿は石場立て基礎による梁間三間・桁行二間に入母屋造妻入りの銅板葺き屋根とし、唐破風の向拝を備える。三方に縁を回し、建具を設けない開放型の拝殿である。現在は後補による雨戸が縁外周に設けられている（図3）。

向拝部分の天井は格天井とする。向拝虹梁には唐草文様が施され、持ち送りには正面に鳩、側面に牡丹の彫刻が配される。虹梁と向拝桁の間には大瓶束が据えられ、構造・装飾の両面で重要な要素となっている。臺股は正面に龍、側面に獅子と猫、木鼻は正面に獅子、左右に猿を配し、兎毛通には鳳凰、桁隠しには葉文様の彫刻が施される。

表1 秋葉神社の歴史と境内整備の変遷

年代	建設物・場所	内容
1185年：文治元年	岩屋の自然の巖窟	佐藤清が秋葉神社のご祭神を遠洲秋葉山から岩屋神社に祀る不動尊とともにこの地に勧請した。
その後600年間	法泉寺・市川家	その後本村部落にある瑞王山法泉寺に遷されたが、神の祟りが多いとして、関番所、岩屋市川家に奉納された。
1794年：寛政6年	一代目の社殿造営	庄屋である中越家が社地を献上し、市川家から現在の地に勧請された。
1815年ごろ：文化もしくは文政7年	二代目の社殿造営	茅葺屋根の神社が造営された。1940年現社殿が造営されると、二代目の社殿は岩屋へ遷された。
1883年：明治16年	手水鉢	芋生野川の石を手水鉢として奉納するにあたり、地元郷民に加え伊予地方からも多くの人々が参加し、木遣りの音頭に合せて石を曳いたと伝えられている。延べ約一万人が動員され、約一月をかけて完成し、昭和34年にはその由来を記した碑が建立された。手水鉢は現在、石段左手に奉納されている。
1940年：昭和15年	三代目の社殿造営	昭和15年（1940年）起源二千六百年を記念して現社殿が建てられた。現社殿は総工費約4万5千円（現在の金額にすると2～3億円）で、延べ8500人が関わった地域総出の大事業であった。
1956年：昭和31年	随神門 造営	工費785万円（現在の金額で約5100万円）、奉仕人夫2500人をもって完成された。大工棟梁は松山市久米、窪田文四郎が請け負った。
1961年：昭和36年	社前の農道が開通	神社前の道路が開通し、現在の利便を得た。
1969年：昭和44年	御造営記念碑	祭りの説明と造営の由来について説明書さがされており、携わった人の名前や役職の碑文が刻まれている。
1971年：昭和46年	領徳碑	祭礼の存続、社殿の造営等について、終生これに捧げた大石徳三郎翁父子の徳を讃え、昭和46年に領徳碑が建立された。
1985年：昭和60年	社務所の建設	以前の社務所が老朽化が進んだため建て替えが行われた。四国を中心とした全国各地からの支援があり建設された。
1995年：平成7年	石段改修	鳥居から社殿へ続く長い石段が改修された。
1996年：平成8年	玉石の寄進	美川建設 西山公彦より11トン車五台分の玉石が寄進された。これにより観覧席の石段が組み直され、境内の空間が広げられた。
1997年：平成9年	鳥居の奉納	氏子中により奉納された。
1998年：平成10年	社目標の奉納	正面には「奉献 秋葉神社」と刻まれ、本石造物が秋葉神社への奉納品であることが示されている。右側面には奉納者として、土佐国安芸郡赤野村桜浜出身で高知市在住の出雲大社御門番役・池田竹七郎の名が記されている。左側面には「連続四十年御参拝」とともに、秋葉神社が火鎮・長寿の神として信仰されていることが刻されている。
2015年：平成27年	秋葉まつりの里会館	1階には多目的ホールを設け、2階には休憩室を配置している。2階では、神社大祭で使用されるみこし等の祭礼具を保管するとともに、秋葉神社の歴史を紹介するギャラリーを併設している。
2017年：平成29年	摂社 (八咫鳥神社、若宮八幡宮、若宮天神)	八咫鳥神社は、壺ノ浦の合戦後、安徳天皇に随行した鳥出生丹が、奈良から八咫鳥命を勧請したことに始まり、白皇大明神や若宮八幡宮なども併せ鳥出地区祀られた。その後、地区出身者や関係者の尽力、秋葉神社の賛同により、歴史的縁の深い秋葉神社境内へ遷座された。

妻には懸魚などの装飾が施される。正面左側の縁は一段高く、祭礼時の鳴り物演奏を想定したものと考えられる。拝殿内部はさらに一段高く、段階的な空間構成が与えられている。内部には四本の丸柱が立ち、柱間には唐草文

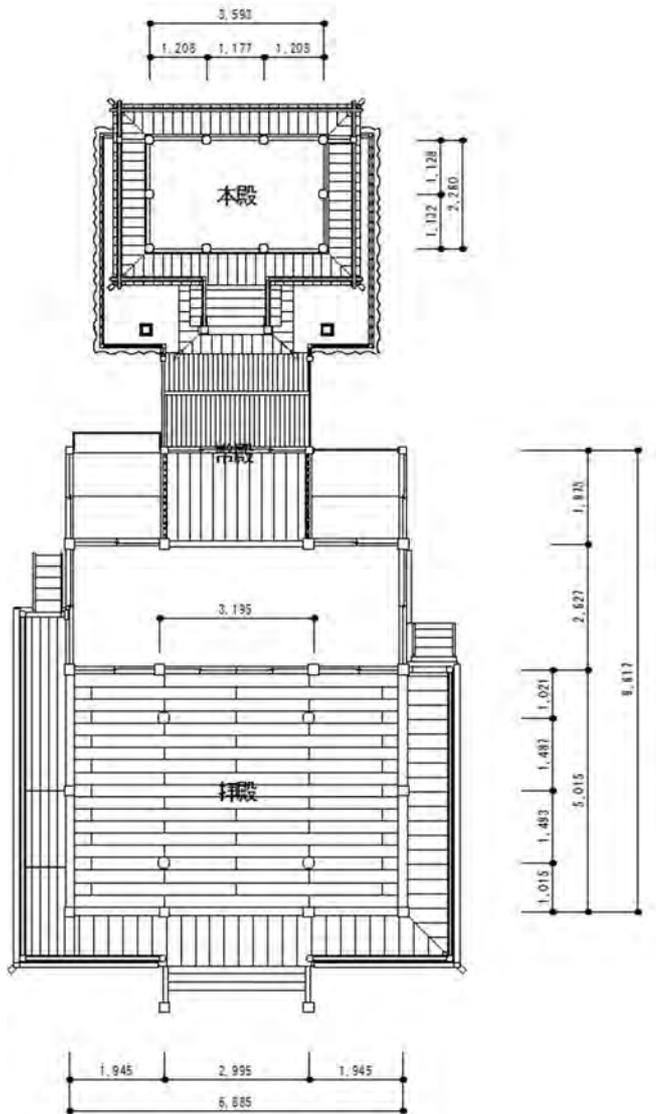


図3 秋葉神社平面図 1:150

様の虹梁と多様な臺股彫刻が配される(図5)。中央部は格天井で周囲より高く、祭事や神輿安置に用いられる格式の高い空間である。木鼻や斗供にも彫刻装飾が施される(図4)。

幣殿は拝殿より床高を高く設定し、柱間の虹梁や外部臺股に多彩な彫刻を配することで、空間の序列と意匠性を明確にしている。祝詞奏上や神饌供進の場も段階的に構成され、祭祀機能に即した計画が確認される。

・本殿

本殿は拝殿背後の石段上、亀腹によって高く造成された地盤に建ち、切石積み基礎を用いる。規模は梁間二間・桁行三間の三間社で、屋根はこけら葺き入母屋造・平入とし、正面に千鳥破風付向拝を備える。

正面は中央に扉、左右に格子を配し(図6)、四周に縁と高欄を巡らす。向拝には雲文の懸魚・桁隠し、牡丹彫刻の臺股や手挟みを用い、海老虹梁によって身舎と結ばれている。木鼻は桁行に獅子、梁間に猿を配する。身舎の臺股や斗供、縁下の腰組にも彫刻を施し、全体として高い装飾性を備えた本殿である。



図5 拝殿臺股の彫刻

図6 本殿正面建具

6 岩屋神社の建築

岩屋神社は文化もしくは文政頃の建造とされ、現社殿ができた昭和15年に岩屋へ移築された。社殿は、拝殿内部に流れ造による小規模な本殿が安置されている(図7)。拝殿は石場立て基礎による梁間三間・桁行三間の銅板葺入母屋造妻入り屋根とする(図8)。桁行方向奥一間は本殿のために区画され、格子引き戸と臺股を備えた虹梁により拝殿と本殿が意匠的に結節されている。内部には四

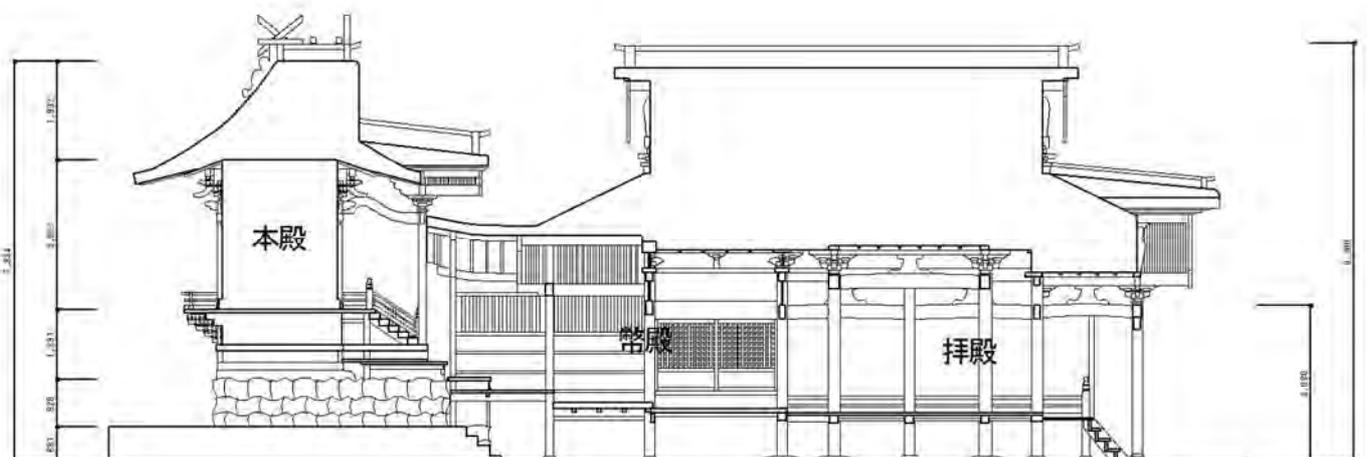


図4 秋葉神社断面図 1:150

本の丸柱を立て、その内側は竿縁天井とし、雲文彫刻の虹梁と墓股、位置によって意匠を使い分けた木鼻彫刻を配し(図9)、一手先斗供によって架構を構成する。外周は角柱とし、柱間には高欄を配する。また、角柱をつなぐ虹梁は正面中央のみ彫刻・墓股を配し(図10)、簡素でありながらも格式を備えた拝殿である。

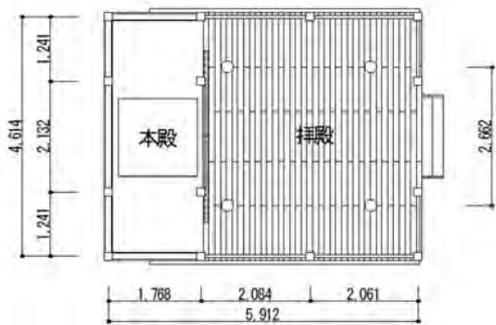


図7 岩屋神社平面図 1:150

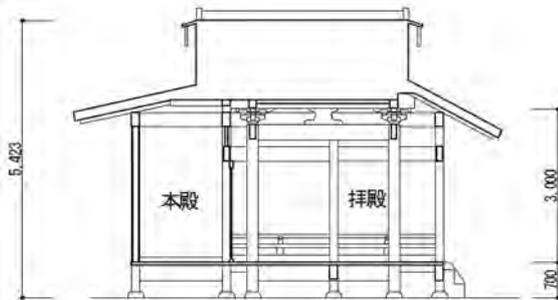


図8 岩屋神社断面図 1:150



図9 岩屋神社木鼻



図10 岩屋神社墓股

7 秋葉神社と岩屋神社の比較

現社殿と旧社殿の建築を比較すると、規模及び構成・意匠において共通点と相違点が認められる。拝殿内に本殿が内包される旧社殿に対し、現社殿は、拝殿・幣殿・本殿が分節され、段差や床高の変化によって空間の序列が強調される。一方、どちらも拝殿の中心に円柱で囲んだ空間を有し、神楽や神輿安置を想定した拝殿空間を確保している。現社殿では柱間を広げ、外部に濡れ縁を設ける点で規模を大きくしている。さらに意匠面では限定的に彫刻を施した岩屋神社に対し、秋葉神社では唐破風・千鳥破風を設け、各面に繰り型を施した虹梁と墓股を配

すなど、高い装飾性を示す点が特徴的である。彫刻には瑞獣や動物から物語的主題にまで及ぶ。こうした差異は、祭礼の本質的な流れを継承しながらも、地域人口や祭礼規模の拡大といった社会的背景の変化を反映したものと考えられる。加えて、構造と装飾を一体化し、象徴性と視覚効果を重視する長州大工の造形姿勢が秋葉神社に強く表れていることがわかる。

8 まとめ

秋葉神社の造営および境内整備は、信仰実践の場の形成にとどまらず、地域の歴史や祭礼文化を保存・継承し、発信する空間へと段階的に発展してきたことが明らかとなった。拝殿・幣殿・本殿を明確に分節し、段差や床高の変化によって空間の序列を強調する構成は、神楽や神輿安置といった祭礼行事を受け止める建築的基盤を形成し、秋葉神社が地域祭礼の中心的舞台として機能してきたことを示している。

また、前社殿との比較から、秋葉神社の建築構成および意匠には、昭和初期における地域人口や祭礼規模といった社会的背景が強く反映されていることが読み取れる。唐破風や千鳥破風、三手先・四手先斗供の多用、さらには瑞獣・動物・物語的主題に至る多彩な彫刻表現は、構造と装飾を一体的に捉え、視覚的效果と象徴性を重視する長州大工の造形姿勢を示すものである。

以上より、秋葉神社の造営と境内整備は、信仰空間の整備から地域文化の継承・表象の場へと展開した過程を体現しており、同神社が地域文化を支える重要な拠点として位置づけられると結論づけることができる。

注釈

注1) 長州大工とは、山口県周防大島を主な出身地とし、近世から近代にかけて四国山地一帯へ出稼ぎに赴いた大工集団で、精緻な組物や彫刻を構造部材と一体化させた高い装飾性を特徴とする。明治初期から中期にかけて土佐を中心に社寺建築で活躍し、その技術は地元大工にも継承されたが、近代化により昭和初期には職能の転換を余儀なくされた。秋葉神社を手がけた門井鳳雲は、こうした時代状況のもと彫刻師として専門的に修業し、西日本各地で社寺彫刻を残した長州大工の名工である。

参考文献

- 1) 吉岡重忠:秋葉神社祭礼 練り、1973
- 2) 秋葉祭りの里未来会議:仁淀川町別枝ガイド、2025
- 3) 坂本正夫:東和町誌 資料編、東和町、1993
- 4) 坂本正夫:土佐における長州大工の軌跡、日本民俗建築学会第112号、1997.11
- 5) 犬伏武彦ほか:長州大工が遺した社寺建築 伊予・愛媛における足跡、愛媛県文化事業団、2011

* 高知工業高等専門学校 学部生

** 高知工業高等専門学校 博士(生活環境学)

National Institute of Technology, Kochi College, Student.

National Institute of Technology, Kochi College, Ph. D.

学生キャリア形成を目的とした合宿型ワークショップの試み 2025 —四国支部男女共同参画推進委員会の活動—

13 教育

フィールドワーク
学生合宿

1 教育技術・方法

キャリア支援
斜面地集落

働き方

ウマバスクールコテージ

正会員 ○北山めぐみ*1

東哲也*3

大西泰弘*5

眞田井良子*7

池添純子*2

安藤雅人*4

釜床美也子*6

山田宰*8

1. はじめに

日本建築学会四国支部では、若手技術者の育成と男女共同参画の推進を目的として、2017年より学生を対象とした交流会やエスキス合宿を実施してきた。コロナ禍による中断を経て、2024年度に徳島県三好市ウマバ集落をフィールドとした「建築学生フィールドワーク合宿（以下、合宿）」として再始動させた。昨年度事業実施中に、参加学生から継続開催を求める声が多く寄せられたことを受け、2025年度も同集落にて第2回となる合宿を開催することとなった。

本報では、当該合宿の実施結果並びに事前・事後アンケートの結果をもとに、継続開催にあたって改良した事項とその成果、ならびに学生の参加動機や意識変化について分析し、地方集落における合宿型の建築教育プログラムの可能性を考察する。

2. 実施概要

実施概要を表1に示す。2泊3日で5つの班に分かれ、学会員である建築士・大学高専教員がサポートスタッフとして各班につき、集落のまち歩きや住民へのヒアリング等のフィールドワークをもとに「ウマバに暮らす人・訪れる人がちょっぴり・たっぴりハッピーになる提案」を行うものである。インプットとして建築や地域に関するレクチャーを含むなど、基本的なスケジュールは昨年度とほぼ同じである。

3. 運営体制・実施内容の改良

下記に昨年度からの主な改良点を述べる。

3-1. 運営体制の拡充

昨年度は男女共同参画推進委員会の単独事業であったが、今年度は「学生キャリア形成ワーキンググループ」を新設し、男女共同推進に留まらず学生のキャリア支援を広くサポートできる組織体制を設けた。また、昨年の成果を踏まえて現地の運営主体である（一社）四国まんなか創造推進協議会（以下、協議会）^{注1}と連携し、会場使用料の負担や資材提供・地域調整などの協力体制を得ることができた。これにより、学会の経費負担や参加者負担を低減するとともに、より地域との連携を深めたプログラムの提供が可能となった。

3-2. 募集範囲の拡大

四国内には建築系学科を擁する学校が限られているため、学生間交流を活発化させ、参加者数を増加させるため、広報対象を四国内から全国へと拡大した。その結果、参加者は19名から26名に増加し、関東・関西・四国・九州の計13の大学・高専から参加があった。また参加者層も高専3年生から大学院生まで年齢層も広がった。なお、昨年度からの継続参加者は4名であった。

3-3. プログラムの発展的改善

昨年度の課題と学生からの要望をもとに、以下の3点を主な改善点として実施した。

① 中間報告会の設置: 昨年度、提案内容を検討する中で、班ごとの提案内容が重複することを不安視する声があったことから、2日目の朝に中間報告会を新設した。短い

表1 フィールドワーク合宿の実施概要

主催	日本建築学会四国支部男女共同参画推進委員会
協力	(一社) 四国まんなか創造推進協議会 学生キャリア形成ワーキンググループ 四国学生支援研究会
日程	2025年10月11日(土) -13日(月)
会場	ウマバスクールコテージ
参加者	26名(全国の大学・高専の計13校から参加)
1日目	13:30-14:30 趣旨説明、地域の概要説明 15:00-16:30 まちあるき 16:30-18:00 レクチャー(かたちとことばデザイン 舎 高橋広樹氏) 18:00-20:00 BBQ 懇親会 20:00- 振り返り・自由時間
2日目	7:00- 食事担当にて朝食準備 7:30-8:30 朝食 9:00- 中間報告会 9:30- 地域の方へのヒアリング・ フィールドワーク 12:00頃 班ごとに昼食 13:00- グループワーク 17:00- 食事担当にて夕食準備 18:00- 夕食 20:00- 自由時間
3日目	7:00- 食事担当にて朝食準備 7:30-8:30 朝食 9:00-11:00 発表・成果公表会

*1 KITAYAMA Megumi *2 IKEZOE Junko

*3 AZUMA Tetsuya *4 ANDO Masato

*5 ONISHI Yasuhiro *6 KAMATOKO Miyako

*7 SANADAI Ryoko *8 YAMADA Tadashi

期間ではあるものの報告会を挟むことで、各班との調整が可能となったことに加え、初日時点での考えをワークシートにまとめることで、2日目のヒアリング時に具体的な課題やアイデアを提示することができ、ヒアリングに対応した地域住民からも、意見交換がしやすかったとの声があった。

② 「提案型」から「実践・試行型」へのシフト：昨年度、協議会や地域住民・参加者からも、提案に留まらず何か地域に残ることを期待するとの意見があったことから、現地で調達できる資材を用いてもものづくりができるよう、協議会からの資材提供や、スタッフによる工具準備などのサポートを強化した。また、初日の趣旨説明の際には昨年度の提案内容を簡単に紹介し、今年度が実践編にあたることを参加者に周知したことで、昨年度との差別化を図ることを意識するチームや、何か地域に残るものを作りたいという制作意欲が見受けられた。

③ 地域住民との関わりの深化：自治会長への事前相談時に、本事業において地域との関わりが重要であることを改めて説明し、昨年度の成果を掲載した実施案内チラシを事前に全戸配布した。これにより、合宿中に開催した交流会や講習会への住民参加が増え、また、同日に行われていた祭りの練習見学が急遽提案され、参加者は多様な年代の地域住民と交流を図ることができた。継続開催によって受け入れ側がニーズを理解し、結果的に参加者が地域への理解をより深められる事業内容となった。

4. 提案内容の概要

提案内容の概要を表2に示す。いずれのチームも中間発表会時点での案をもとに提案を練り上げた。木材等を用いて制作を行なった班が3・4・5班の3つであり、協議会関係者が所有するストック倉庫で資材を探したり、地域住民と竹を伐採するなど、その場にあるもので制作するブリコラージュ的なものづくりが展開された。

1・2班はソフト面からアプローチし、事業提案や商品開発を行うなど、実現性を意識した提案がなされた。特に1班は、本事業の次年度案となりうる、地域住民と共同して集落やスクールコテージの整備を行うブリコラージュ型ワークショップを提案し、次年度にむけた更なる

発展を示唆するものとなった。また、これらの提案に際して、昨年度からの継続参加者が緩やかに昨年度の経験を共有することで、発展的な提案が生まれることにつながったと見られる。

5. 本事業の成果に関する考察

事業実施状況並びにアンケートの結果をもとに、本事業の成果について考察する。アンケートはGoogle formをメールにて配信した。回収率は事前アンケートが100%、事後アンケートが88%（23名が回答）であった。

5-1. 学生の参加ニーズの掘り起こし

事前アンケートから、本合宿への参加動機は、「プログラム内容に興味があった」が53%、「参加地域に興味があった」が15%と、フィールドワークを主とするプログラムや農山村地域という設定に関心が高かったことがわかる（図1）。これに関連して、本合宿の情報入手経路は、「所属する学校の教員からの情報」が50%、「学会からのメール」が43%であった（図2）。学会に所属する大学教員等が本事業に適する学生に声かけを行なったことや

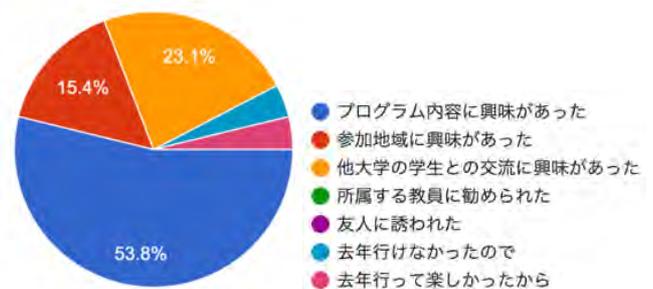


図1 最も当てはまる参加動機

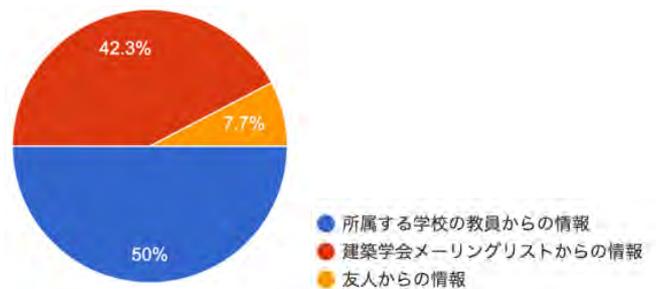


図2 情報入手経路

表2 学生たちの提案概要（班・タイトル・提案内容）

1班	2班	3班	4班	5班
よせて集めて・・・	ウマバのファンを増やしたい！	残すことで、つなぐ	このくらしをまもる	ウマバフラワーロード
地域住民と合宿参加者が共同し、廃材を活用した「ブリコラージュ型ワークショップ」により拠点整備を行う提案。	耕作放棄地を活用する「原っぱオーナー制度」の仕組みづくり。	子ども食堂の SNS 活用や Google マップ登録、フォトスポット制作や看板制作による情報発信。	秋祭りに向けて地域の通りを照らす「竹灯り」と、住民の思いを共有する「竹ポスト」の制作。	集落の花文化を再評価する「ウマバフラワーロード」のマップと場づくり。

フィールドワークや地域に関心がある大学院生が自ら希望したことが幅広いエリアからの参加につながっており、農山村や地域づくりに関心のある学生に対して実践的な学び提供する機会となっていると言える。

5-2. 学びに対する成果と意識の変化

プログラムごとに、事前アンケートで学びへの期待を、事後アンケートで学びの成果を確認した(図3)。その結果、全体的に事後には「多くの学びがあった」と回答する学生の割合が高くなり、かつ、2日目、3日目と時間を重ねることでより学びを深めた学生の割合が高くなっている^{注2)}。2泊3日という時間をかけたプログラムの意義がうかがえる。また事前アンケートでは現地見学やフィールドワークなど、地域ならではのプログラムに強い関心を抱いていたが、実施後にはグループワークや成果発表会も多く学びを得られたものとして評価が高まっており、合宿を通してグループで制作・提案し、意見を交わすことへの面白さを実感している様子が見られる。

さらに、本事業における最も大きな学びについて100文字程度で記述を求めた結果、平均約170文字程度の長文回答を得た。そこでこれらを言語データとして整理することで、学生がどのような認知・評価を得たかを分析する。KH-Corder³⁾を用いて図4に示す共起ネットワーク図を作成した^{注3)}。

その結果、「地域住民(26)・学ぶ(16)・提案(11)」など、住民の声を起点に提案を練る実践的学習への文脈が最も強く表れ、次いで「地域・見る・実際」など現地を観察・体験することが学びの基盤となったことが窺える。また、「自分・違う・人」など異学年・他大学・多班との差異を通じた学びや、「合宿・作る・モノ・意見」など短期集中の共同制作への楽しさ、「声・聞く・生・実際」など対話型手法への関心、「大切・実感」など価値づけや感情に関わる語も確認された。

これらの結果から、短期間の合宿プログラムを通して

「現地経験→思考→共同制作→提案」へ至る学習の連鎖が獲得された様子が見られる。

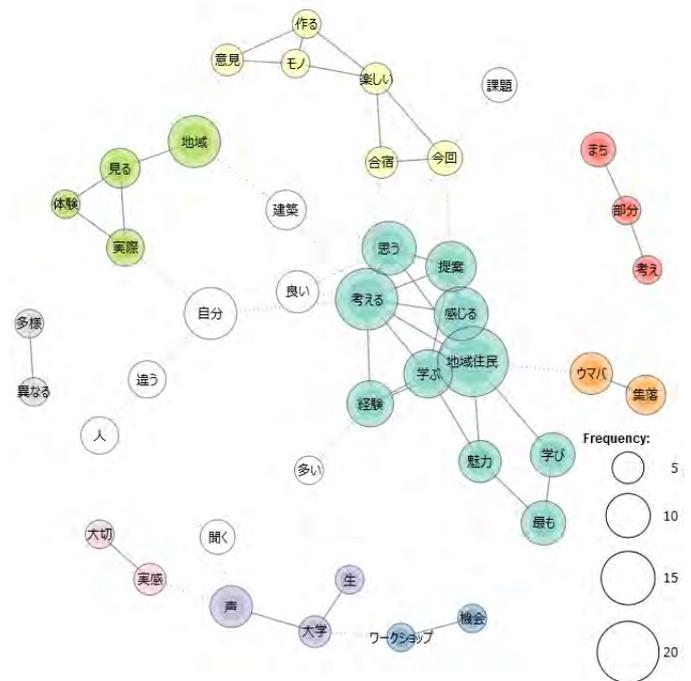


図4 アンケート自由記述から得た共起ネットワーク

5-4. 四国の若手技術者や担い手育成に対する成果

参加者の出身地属性を見ると、四国内出身者は27%と少数であった(図5)。一方、卒業後の就職希望地を聞くと、「未定」が半数を占めており、出身地や出身地周辺の希望は34%、出身地とは異なる都市圏は7%に留まった(図6)。出身地や都市部に関わらず多様な選択肢から居住地を選ぶ余地がある可能性が示唆される。また、今後もウマバをはじめとする四国の地域に関わりたいかという設問に対して「とても思う」という回答が7割を得た(図

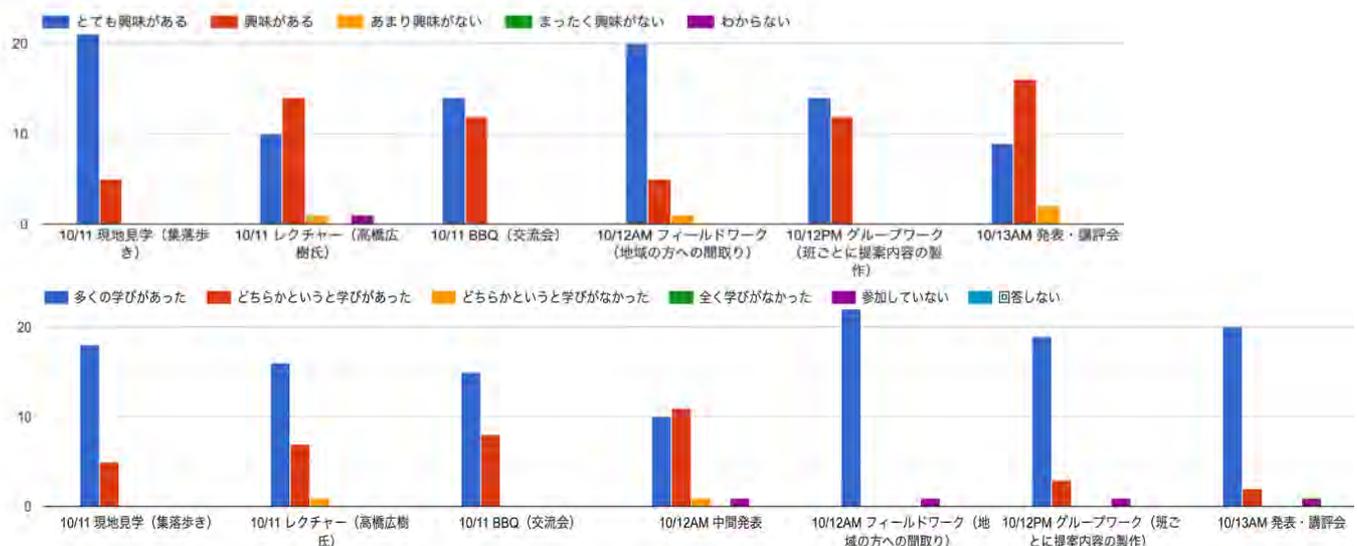


図3 プログラム内容に対する事前の興味 (上) と事後の学びの成果 (下)

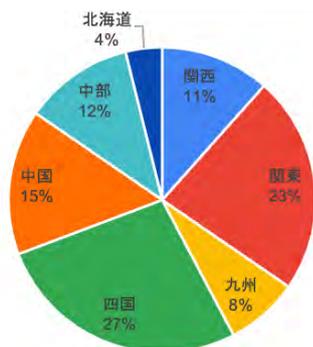


図5 参加者の出身地

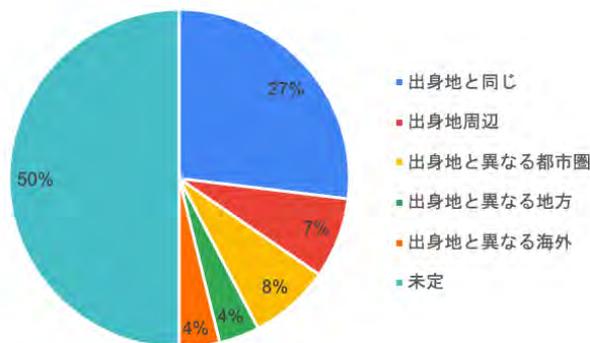


図6 就職希望地

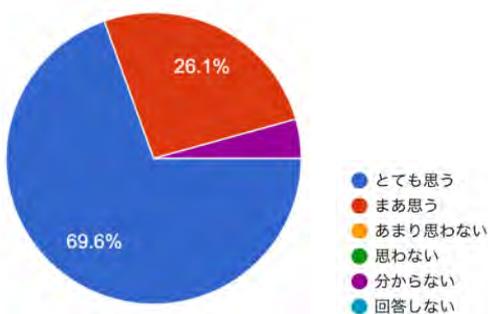


図7 今後もウマバや四国へ関わりたいか

7).自由記述でも、定期的に足を運びたい、参加者OBが集える機会や、ウマバ集落を見守れるグループチャットがあるとよいなど、継続的な繋がりを求める声が聞かれた。また今回、ウマバ集落の子ども食堂 Instagram が開設されたことで、緩やかな見守り体制が生まれている。こうした交流が継続されることで、四国や農山村地域への関心を高め、交流人口を含めた担い手育成につながる可能性がある。

5. おわりに

昨年度に続いて建築学会四国支部における男女共同参画・学生キャリア形成の一環として合宿形式による地域理解・交流の場を設けた。継続実施により地域との連携が強化されるとともに、プログラムの改良を図ることができ、地域理解・共同参画・担い手育成の各面に対して一定の効果を得ることができた。また、地域や農山村のフィールドへの接点を求める学生のニーズを捉え、短期間で地域との密な関わりを持つ機会を創出することで参加学生のキャリア形成に対して少なからず影響を与えることができたと考える。本稿を通して実施プロセスや成果をまとめ周知することで、本事業の更なる発展につなげるとともに、地域と連携したより多様な教育機会が生まれていくことを期待したい。

注釈

- 注1) 協議会は、廃校活用として本合宿の宿泊場所であるウマバスクールコテージの運営を行うほか、三好市市街地の空き家活用に取り組むなど、関係人口の創出等の事業に取り組んでいる。
- 注2) 図3において「参加していない」の回答は家庭の事情により初日のみ参加となった学生がいたためである。
- 注3) 自由記述において、地域住民を示す語が「ウマバに暮らす人々」や、「地域の方」、「住民の方々」など、複数の表記方法があったため、便宜上「地域住民」に置換して分析を行った。また、「外部からきた人」を「来訪者」、「山間部集落・山村集落」を「農村集落」に統合した。

参考文献

- 1) 北山めぐみ 池添純子 他：学生キャリア形成を目的とした合宿型ワークショップの試み 2024—四国支部男女共同参画推進委員会の活動—日本建築学会四国支部研究報告集第25号、pp.114-115、2025.3
- 2) 樋口耕一：社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して—、ナカニシヤ出版、2014

謝辞

本研究は日本建築学会四国支部の助成を受けて実施したことを付記し謝意を表します。また、本事業にご協力いただきました、ウマバ集落、(一社)四国まんなか創造推進協議会の皆様に深く感謝申し上げます。

*1 高知工業高等専門学校 博士 (生活環境学)
*2 鳴門教育大学 博士 (学術)
*3 建築設計群無垢
*4 日本 ERI 株式会社
*5 田園都市設計
*6 香川大学 博士 (デザイン学)
*7 眞田井良子 建築・まち育て研究所
*8 徳島文理大学

*1 National Institute of Technology, Kochi College, Ph. D.
*2 Naruto University of Education, Ph. D.
*3 MUKU Architectural design group
*4 JAPAN ERI CO.,LTD.
*5 Denen Toshi Sekkei Ltd.
*6 Kagawa University, Ph. D.
*7 Ryoko Sanadai Laboratory for Architecture and Town raising
*8 Tokushima Bunri University

愛媛県内の普通科高校における建築・土木分野に関する意識調査： 土木工学科を母体とする四国内大学・高専における建築・土木融合授業の開発と実践 その1

13.教育	99.その他	正会員	○多田豊 1*	非会員	清水鏡介 8*
土木母体校	建築母体校	非会員	木下尚樹 2*	正会員	宮本慎宏 9**
アンケート	地方大学	非会員	中畑和之 3*	正会員	山本高広 10**
	土木・建築タスクフォース	正会員	矢野寿洋 4*	正会員	小川宏樹 11***
		非会員	片岡智哉 5*	正会員	木村竜士 12****
		非会員	白柳洋俊 6*	正会員	北山めぐみ 13****
		非会員	藤森祥文 7*	非会員	加藤研二 14*****

1. 研究の背景

日本建築学会・土木学会は2022年度に土木・建築タスクフォース¹を設立し、災害復興や脱炭素、都市再構築などの分野で両領域の連携を検討している。背景には複合施設や都市の再構築、災害復興や脱炭素等の研究領域において横断的な連携が不可欠であること、建築業界・土木業界ともに人材不足が深刻化し両領域での人材流用への期待がある。その実現にあたり、教育段階から建築学・土木工学の両領域にわたる総合的な視野を持ち、協働できる人材を育成することが望まれている。先進的事例としては東京大学大学院において建築学・都市工学・社会基盤工学を専攻する学生が事前復興をテーマに共同設計に取り組む授業²などがある。

ここで、地方の大学・高専に着目すると、設立当初より建築学科を母体とする学校（以下、建築母体校とする）よりも、土木工学科を母体に建築教育が付加（旧建築士法に基づく措置等）されてきた学校（以下、土木母体校とする）が多く、建築学・土木工学を融合させた授業を行える素地があることが分かる。しかしながら、多くの学校では学部3年時に建築学コース、土木工学コースのようにコース分けを行い、各領域に閉じた教育を行うなど積極的な融合がなされていない可能性がある。また、土木母体校では土木系教員よりも建築系教員の採用数が少ないため、建築士指定科目を満たす授業を行うために意匠・計画系の教員を先行して採用している。そのため、構造・設備等の分野について教員不足により、建築学に期待する学生からの授業評価が低下していたり、非常勤講師の雇用が常態化していたりする。今後、建築学・土木工学の融合授業の開発が進めば、常勤職員による授業担当の幅が広がり、教育評価や持続的な学校運営にもより良い影響を与えることが期待される。

そこで、著者らが所属する四国地方の大学・高専に着目し、建築・土木融合の教育開発について研究と実践を

積み重ねていくこととした。四国地方では「一級建築士」受験資格を得られる大学・高専は5校にとどまり（26年度に愛媛大学が追加され6校になる）、5校のルーツをみると建築母体校は1校のみで他4校は土木母体校である。

2. 本研究の目的と方法

研究の序として、愛媛県内の一高校にて建築、土木に関する意識調査を25年12月に実施した。アンケートは高校を通じてイントラにて1、2年生240名に送付され、webフォームにて回答を得た。回答者数は87名（36%）であり、全項目に無回答はなかった。学年は1年生が68名（78%）で、2年生19名（22%）より多く、性別は女性が59名（68%）で男性28名（32%）より多かった。

3. 単純集計

進路（図1）については、「四国内の大学等に進学する」が67%、「四国外の大学等に進学する」が23%、「未定」が9%であった（単一回答）。四国内、四国外の企業等に就職するとの回答はなかった。進路の分野（図2）については、「文系分野」が最も多く（50%）、次いで「建築・土木を除く理系分野」（37%）、「分からない」（9%）の順であった（単一回答）。「建築分野」、「土木分野」と回答したのはそれぞれ1名ずつ、「建築もしくは土木分野」と回答したのも2名であり、全体で4名（5%）に留まった。建築と土木分野のイメージ（図3）について5段階で回答を求めたところ、建築分野は好意的な回答（とても良い、まあ良い）が85%、土木分野は60%と、どちらも半数以上が肯定的な回答であった。両分野の持つ詳細なイメージ（図4）について聞いたところ、社会貢献に関する項目で非常に高い評価が得られた。「人々の暮らしを便利に快適にする」については「とてもそう思う」72%、「どちらかといえばそう思う」26%で、あわせて98%が肯定的であった。また、「人々を自然災害から守る」は

A survey on students' perceptions of architecture and civil engineering in general high schools in Ehime prefecture: development and practice of integrated architecture-civil engineering courses at universities and colleges of technology in shikoku originating from civil engineering departments — part 1

Yutaka Tada1*, Naoki Kinoshita2**, Kazuyuki Nakahata3**, Toshihiro Yano4*, Tomoya Kataoka5*, Hirotohi Shirayanagi6*, Yoshifumi Fujimori7***, Kyosuke Shimizu8***, Mitsuhiro Miyamoto9****, Takahiro Yamamoto10*****, Hiroki Ogawa11*****, Ryuji Kimura12*****, Megumi Kitayama13*****, Kenji Kato14*****

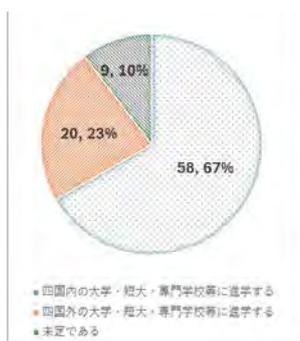


図-1 卒業後の希望進路



図-2 希望進路の分野

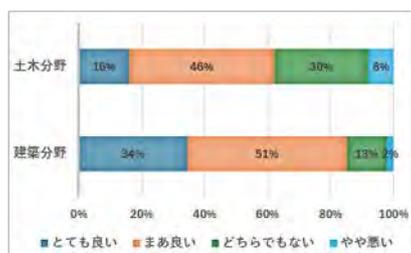


図-3 建築・土木分野のイメージ



図-5 建築・土木の融合効果のうち重要と思うもの

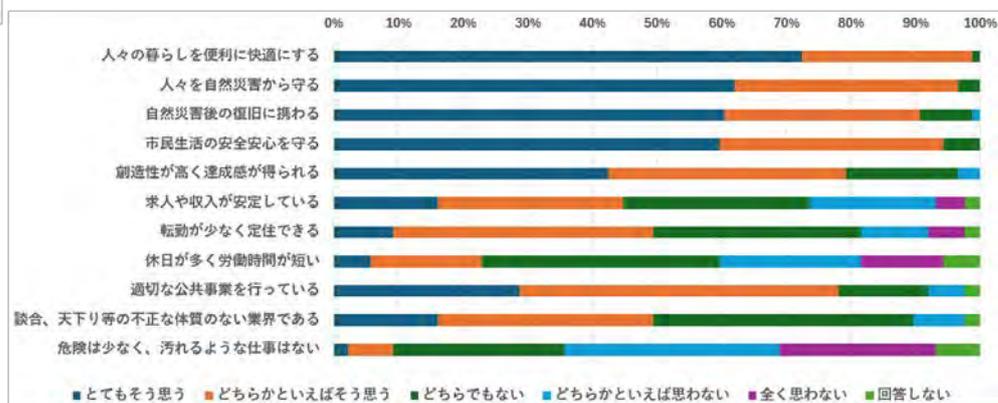


図-4 建築・土木分野の詳細なイメージ

96%、「自然災害後の復旧に携わる」は 90%、「市民生活の安全安心を守る」は 94%と、いずれも高い肯定割合を示した。これらの結果から、建築・土木分野は暮らしや安全を支える重要な仕事であるという認識が、回答者の多くに共有されていることが確認できる。

一方で、職業としての魅力や働き方に関する評価は分かれた。「創造性が高く達成感が得られる」は肯定が 80%と比較的高い一方、「求人や収入が安定している」は肯定 45% に対し、「どちらかといえば思わない/全く思わない」という否定が 25% に達した。さらに、「休日が多く労働時間が短い」では肯定 23% に対し否定が 35% と、働きやすさの面で不安やマイナスイメージがあることが分かる。また、「危険は少なく、汚れるような仕事はない」では否定が 57%にのぼった。このように、業界のイメージに関しては判断が分かれることが示された。

最後に、建築と土木の融合によって得られる効果について、その重要性をどの程度認識しているかを尋ねた(図5)。その結果、「快適な生活環境をつくる効果が高まる」については 76%が「重要である」と回答し、最も高い評価となった。また、「地球環境を守る効果が高まる」(67%)や「人命と財産を守る効果が高まる」(51%)についても、いずれも半数以上が重要であると回答した。一方で、「文化的価値を保全する効果が高まる」(44%)、「経済的な発展に寄与する効果が高まる」(47%)、「文化的発展に寄与する効果が高まる」(37%)では、「重要である」と回答した割合が半数を下回り、相対的に評価が低い結果とな

った。特に文化的発展に関する項目では、「重要ではない」が 63% に達し、文化や地域資源の継承に対する意識が十分に共有されていない可能性が示唆される。

4. 考察と今後の予定

本研究では、高校生を対象とした意識調査を通じて、建築・土木分野および両者の連携に対する認識を明らかにした。建築・土木分野については、暮らしの向上や災害対応などの社会的役割が高く評価される一方、働き方や業界イメージにはマイナスイメージがある可能性が示された。融合の効果としては、生活の安全・安心に関わる内容が重視されるが、文化的・経済的側面は十分に理解されていなかった。現在、四国内の高校、高専を対象としたアンケートを実施中であり、次報にて発表予定である。また、測量、構造、設備に関する建築・土木融合教育を開発中であり、今後実践を予定している。

謝辞：本研究に先立ち愛媛大学大学院理工学研究科研究倫理審査委員会の審査を受けた。実施にあたり公益財団法人建築技術教育普及センター研究補助により実施した。アンケートにご協力を頂いた高校生に感謝いたします。

参考文献：

- 1 土木建築タスクフォース HP, URL=<<https://committees.jsce.or.jp/dkTF/>>
- 2 東京大学復興デザイン研究体:復興デザインスタジオ、東大出版 2017

*愛媛大学 Ehime Univ.

** 香川大学 Kagawa Univ.

*** 徳島大学 Tokushima Univ.

****高知高専 National Institute of Tech., Kochi college

*****高専機構 National Institute of Tech.

漁コウ舎 — 生業の時間が学びの風景となる港 —

15.作品
岡山県
地域教育

3.教育
浅口市寄島町 漁港
地場産業

正会員 ○渡邊海里*
正会員 小林久高**



1. 背景

近年、公教育の画一化や管理性の重視により、学びの場は教室という限定的な空間に閉じられ、地域や産業との関係性は希薄化している。また、地方では地場産業の衰退や担い手不足が進行し、生産の場が日常生活や教育から切り離されることで、次世代が産業を身近な存在として捉えにくい状況が生じている。

そこで本設計では、地場産業が営まれる生産の場を教育の場として捉え直し、学びと地域、産業と生活が交差する空間の提案を行う。

2. 対象地

対象地は岡山県浅口市寄島町の漁港エリアとする。漁港は瀬戸内海に面しており、江戸時代から明治時代の海運中心の時代において、物流の拠点としても繁栄した。現在はモータリゼーションにより衰退したものの、産業として牡蠣養殖が盛んになったことから、現在でも地域産業の中心地となっている。

また今日の寄島町では人口減少や少子高齢化の影響により、小中学校の閉校、そして小中学校が合併した義務教育学校の開校が決定しており、教育環境の転換期を迎えている。

3. 寄島町の現状

1) 漁業：昭和期には豊富な漁獲量を誇ったが、乱獲や干拓地造成などにより徐々に漁獲量が減少した。現在では「採る漁業」の他に「つくる漁業」に注力し始め、牡蠣養殖が町の漁業のメインとなっている。

現地でのリサーチでは、持続可能な漁業のために、県外への出荷事業を始める等の新たな試みが見られた。しかし、牡蠣養殖がさかんにもかかわらず、漁港周辺には牡蠣を食べる場所がなく、観光者向けの整備はされていないことが分かった。

また、現在の漁港はかつて港であった場所が埋め立てられて建てられたという背景がある。漁業を営む際の利便性

は改善された反面、土地造成後は、生活と港の関係性が希薄なものとなっていることが分かった（図1）。

2) 教育環境：義務教育学校開校の決定を受けて、より地域に開けた教育課程として「よりしま学」が実施されるようになった。「地域の子どもは地域で育てる」とし、公教育と周辺地域の関わり方の見直しが進められている。

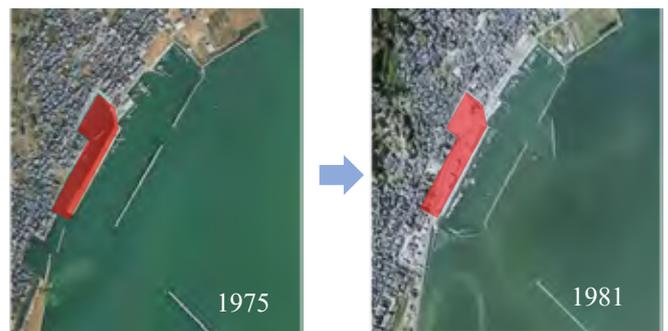


図1 敷地の地形変遷

4. 提案の概要

老朽化した魚市場や牡蠣工場の建て替えに加え、新設される義務教育学校の特別教室を併設する。本提案では次の2点を重視した計画とする。

1) 町民と漁業の関係性の改善

漁港内の現状は、施設の老朽化が見られる他、各施設が町側には閉鎖的となっている。本計画で町に開かれた漁港を提案し、再び町民の生活と漁業の関係を密接なものにすることを目指す。

2) 地域密着型教育の建築的提案

教育と地域が「よりしま学」というソフトでの繋がりを持ち始めたところに本提案では、図書室・調理室・図工室等特別教室を漁港に計画することでハードでも繋がり、漁港の活動・風景そのものが教材となる空間や仕組みを考えた。

5. 配置計画

義務教育学校から本敷地である漁港まで児童生徒は徒歩での移動を想定しており（およそ20分）、その際には寄島旧往来という港町らしい昔ながらの木造住宅が立ち並ぶ道を歩くことで、道中から地域についての学びを深める機会を創出する（図2）。

対象敷地内部は魚市場・牡蠣工場・漁具倉庫の既存機能にそれぞれ特別教室の要素を組み込んだプログラムとなっている。本計画では、敷地周辺の動線や軸を考慮し、町側に開くように配置・設計を行った（図3）。

6. 建築物の基本構成（図4）

本計画では、建物および空間が五感に訴える教材として機能することを目標に、設計を行った。漁港に存在する風景や生業の営みを学習資源として捉え、それらを建築的に翻訳することで、空間体験そのものが学びへと接続される構成を試みている。

教材として扱う要素の一つ目は「素材」である。町に残る木造住宅や漁港施設に見られる要素を抽出し、壁材には焼杉、屋根には瓦葺きの勾配屋根を積層させることで、視覚や触覚を通じて地域の風景や記憶を体感できる構成とした。

二つ目は「道具の作り方」であり、牡蠣養殖に用いられる筏の組み方に着想を得て、木材を掛け合わせた組柱梁を構造躯体として採用している。生産に用いられる技術や考



図2 広域地図



図3 配置図兼一階平面図・二階平面図

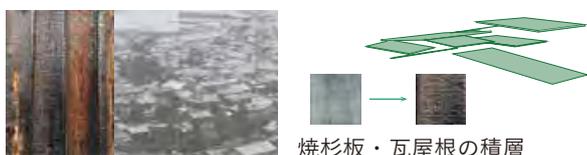
え方を、構造として読み取ることを意図した。

三つ目は「働き方」である。可動式的水上スラブや帆の膜屋根を設けることで、漁港特有の作業や人の動きに応じて空間が変化し、行為と空間の関係が可視化される構成としている。

四つ目は「時間の移ろい」であり、柱梁による門型フレームを四方に開くことで、早朝のセリや日中の作業、夕刻の港といった異なる時間帯の風景を切り取り、日常の中にある変化を認識させる装置とした。

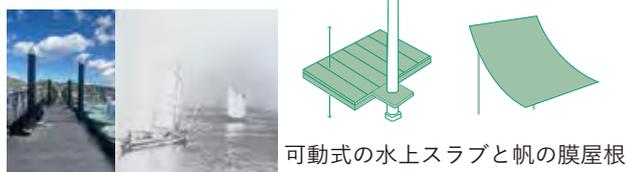
これらの要素を重ね合わせることで、本建築は単なる機能施設に留まらず、風景や生業、時間の変化を、五感を通して学ぶための空間として機能することを意図している。

教材-素材



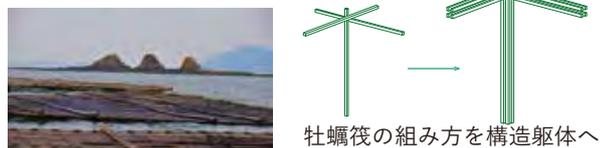
焼杉板・瓦屋根の積層

教材-働き方



可動式の水上スラブと帆の膜屋根

教材-道具の作り方



牡蠣筏の組み方を構造躯体へ

教材-時間の移ろい



柱梁の門型の開口部を四方に

図4 生業を教材に転換する装置となるデザイン

7. 各建物の詳細 (図6・7)

A 作業小屋兼図工室

漁具倉庫を寄島漁業ギャラリーと見立て、閉じてしまっている内部を開放し、通りがかった人の目に入ることを意識した。また内部は児童生徒が図工で利用するほか、漁師は漁具の制作・修理で利用する。

B 牡蠣工場群・バス待合スペース

牡蠣工場は海側から「海⇒作業・販売⇒生活」の空間がひと繋ぎとなっているが、現状では道路側に閉じている。そこで道路側を開放し、牡蠣工場内部に収まっている

た空間を外部に開放し、そこに来た生徒、立ち寄った町民の通る道を設けることで、一般人と漁業関係者の思いがけない交流を誘発するのではないかと考えた。また、道路側の半屋外空間はバスが停まる場を設け、バス利用者が立ち寄るきっかけを作った。

C シェアキッチン兼調理室・レストラン

前述した通り、牡蠣をはじめとした寄島で採れた海産物をその場で食べることができる場が整備されていないという点から、レストランを設けることとしたが、それだけではなく、児童生徒の教育要素を介入させ、地域の若者の「魚離れ」の解消にも役立つ場所を目指した。建築的には、牡蠣工場群の向きに対応させることで配置計画を行い、常に漁師と同じ目線で魚食文化を体験できる場とした。

D 魚市場・大階段ホール

魚市場において行われる早朝のセリの光景はこの町の特徴的なものであり、これを見学できることを重視した。また、漁師と買い手の両者が気軽に休憩できる場所を児童生徒の発表の場にもなる大階段ホールに設け、町と漁業の接点を設定した。

E 港図書館・歴史資料スペース

総合支所の中にある寄島図書館の漁港移転を想定し、児童生徒の放課後の憩いの場を漁港内に計画した。さらに、海側にせり出した場所に寄島の歴史を学ぶ場を設け、目線の先に漁船と三郎島が見えるように計画した。

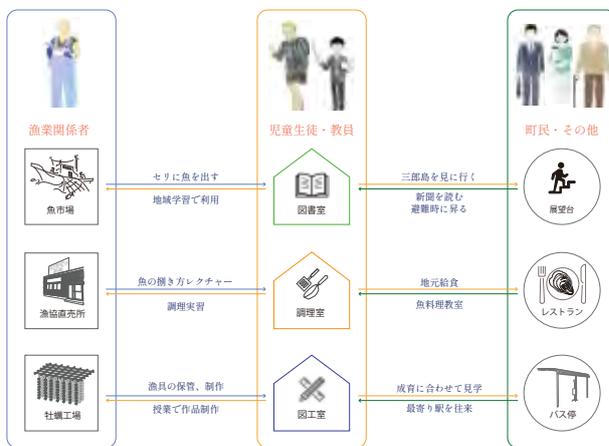


図5 各機能と町民のネットワーク図

謝辞

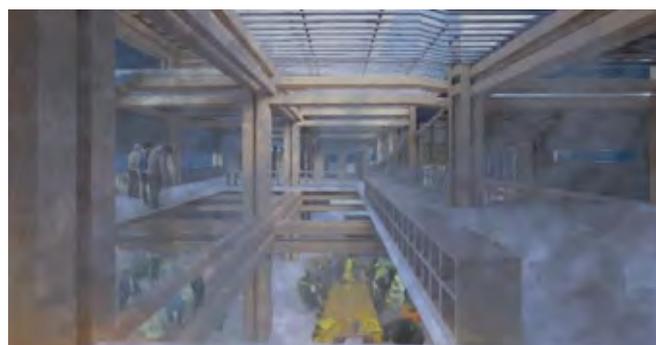
本研究および設計を進めるにあたり、多くの方々から貴重なご助言とご協力を賜りました。

指導教員である小林久高先生には、研究の方向性から設計内容に至るまで、終始丁寧なご指導をいただきました。

また、現地調査やヒアリングにご協力いただいた寄島町の皆様、ならびに関係者の方々に心より感謝申し上げます。ここに記して謝意を表します。



A 作業小屋兼図工室



D 魚市場



B 牡蠣工場群



D 大階段ホール



C シェアキッチン



E 歴史資料スペース

図6 各建物パース

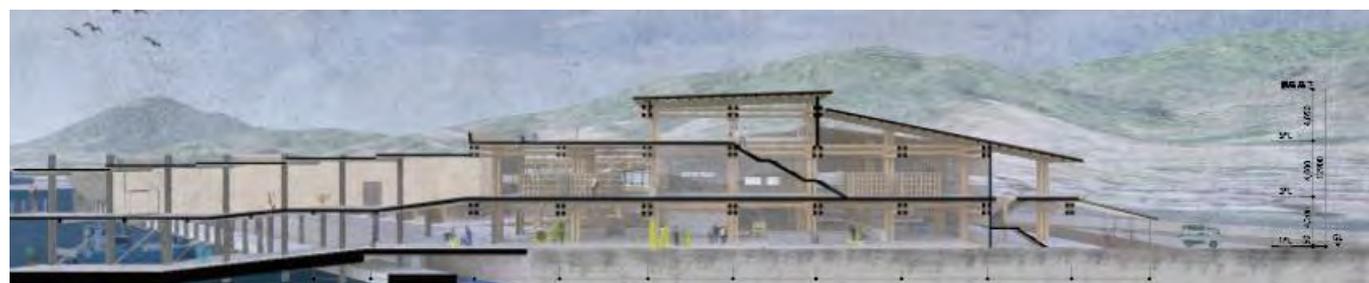


図7 断面パース

*香川大学 大学院生
**安田女子大学工学部建築学科教授 博士 (デザイン学)

*Graduate student, Kagawa Univ.
**Professor, Dept. of Archit., Faculty of Science and Eng., Yasuda Women's Univ., Dr. Design

企業と学生の連携による重伝建地区の関係人口の増加を目指した空き家改修の実践

15 作品
本島町笠島
地域教育

1 住居
重伝建
企業連携

関係人口
空き家改修

準会員 ○ 花田知夏*¹
正会員 渡邊海里*²
正会員 釜床美也子*³

1. はじめに

香川県の重伝建「丸亀市塩飽本島町笠島」(以降保存地区とする^{注1)})は、江戸後期から昭和初期の町家の町並みが残る港町で、昭和60年に国の重要伝統的建造物群保存地区に選定された。選定以降、伝統的建造物の修理・修景等が進められてきたが、空き家の増加で建物の活用が課題となっている。また、島民の高齢化や人口減により様々な地縁組織の維持が困難になっており、保存地区の建造物の存続に向けてまずは関係人口の創出が望まれる状況にある。

そこで香川大学の建築を専攻する学生13名で学生団体を発足させ、保存地区にあるTM邸での改修と瀬戸内国際芸術祭(以降瀬戸芸とする)秋会期での公開を通して、若い世代や地元企業に本島や笠島地区について知ってもらい、関係人口増を目指す活動を行った。

2. 対象地区と対象建物

2.1 対象地区の人口と使われ方

令和2年度の国勢調査の人口および世帯数データ¹⁾によると、現在の笠島は、人口が84人、世帯総数は55世帯である。また、年齢および性別のデータ²⁾によると、合計人口84人中の60代以上は58人と、全体の約69%を占めており、高齢化が進行している。(表1)

また、保存地区で実施した使用状況調査³⁾によると、主屋72棟のうち、人の出入りの無い完全な空き家が23棟(31.9%)あり、完全な空き家以外にも「週に1回帰る」3棟、「月に数回帰る」2棟、「年に数回帰る」12棟という定期的管理が行われているものの普段は空き家であるものが合計17棟(23.6%)あり、実態として半分以上の主屋が普段は使われていないことが分かった。現在の主な活用例としては、所有者以外で新たに居住を始めたものは0棟、島外者による「不定期の店舗や宿泊施設」での活用が3棟、地区住民による「定期の公開・宿泊施設」が5棟で、更なる活用が望まれる状況にある。

2.2 対象建物(TM邸について)

TM邸は、港沿いの道路に面した保存地区西側に位置し、江戸時代に建てられた築約200年の屋敷型の建物で、主屋が木造つし二階建入母屋造本瓦葺の平入形式である。(図1)聞き取りによれば、当初の生業は船持で、現

在北側には道路があるが、埋め立て前は砂浜であった。また、現在もTM氏が所有しているが、約70年という長期の空き家状態が続いており、当時の生活の様子をうかがわせる貴重な道具がそのままの形で残る一方で、手つかずのままの状態となっていた。(写真1)

表1 令和2年度丸亀市本島町笠島の人口データ
(国勢調査²⁾より作成)

	男	女	男女合計
10歳未満	0	0	0
10代	2	2	4
20代	1	0	1
30代	1	1	2
40代	3	2	5
50代	8	6	14
60代	7	8	15
70代以上	15	28	43
合計	37	47	84



図1 TM邸復原平面図(飯窪⁴⁾より引用)



写真1 TM邸正面

3. 改修設計

TM邸は床座の生活文化が残る一方で、現在は椅子座の生活が中心である。そのため、現在の生活を“洋”、従来の生活を“和”と捉え、改修ではそれぞれを比較で

Practical renovation of vacant houses to increase the related population in important preservation districts through collaboration between companies and students

*¹Chika HANADA, *²Kairi WATANABE, *³Miyako KAMATOKO

きる空間づくりを目指した。そこで具体的な改修案では、間取りの南側を畳敷きにし、北側は床板を張り直した作りとした。(図2,写真2)

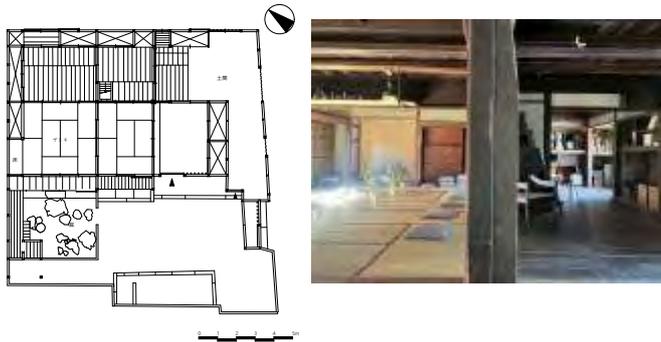


図2 改修後平面図 写真2 改修後のTM邸

また、改修を通して関係人口増を目指すことから、専門性の程度で関わり方を分け、改修に地元住民や地域企業が関与することを考えた。具体的には施工会社や各種メーカー、伝統工芸職人等の専門性の高い人々には、趣旨に賛同が得られる場合に、技術や材料、商品の提供を協賛という形で受けることを想定し、香川県民や丸亀市民等の一般の人々には、学生が企業との連携によって準備したワークショップ(後述)に参加してもらうことを想定した。

4. 改修段階

4.1 ワークショップの実施

改修において、学外への活動周知の一環として、島内、市内、県内の地域の人々との交流の機会を設けるため、ワークショップ(以降WSとする)を実施した。その際、建具の制作体験を行った。

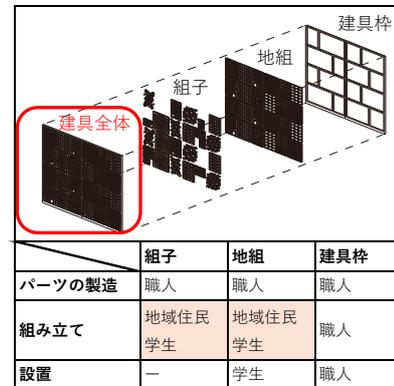
4.1-1 WSにおける建具の選定理由

伝統的な建具はおおよそ規格が一律であり、取り外しが容易である。そのため、重伝建地区での制約のある改修において比較的向いていると考えた。加えて香川県では組手障子と呼ばれる伝統工芸が受け継がれており、重伝建地区で古い建物の価値を伝える目的と、県内伝統技術の継承の観点で一致したことから建具を採用した。また建具は部品が枠・地組・組子の3つに分かれており、制作過程もパーツの製造・組み立て・設置と単純であるため、分業がしやすいという利点に着目した。そこで、高い専門性が必要なパーツの製造は職人が担い、完成したパーツの組み立てはWSで実施した。(図3)

4.1-2 WSの概要と参加者

WSでは、島民や丸亀市民、高松市民をターゲットとし、SNS活用やラジオ出演、島内の各家庭や施設へのチラシの手配り、協賛企業へのチラシ設置依頼等の手段で周知した。WSは、8・9月に各1回ずつ実施し、8月は学生が事前に組み立てた地組に組子を入れる作業を、9月は地組そのものを制作する作業を行った。(写真3,4)参加者の多くは丸亀市・高松市の小学生とその保護者、

丸亀市の大学校の生徒で、表2に示すように20代までが8月の実施会では全体の66.7%、9月では全体の40.0%で伝統的な住空間での生活経験者が少ないと思われる世代からも参加があった。



※ 部分はワークショップで実施

図3 制作過程



写真3 WSの様子



写真4 作業後のパネル

表2 WS参加者の年齢分布

	8月20日	9月20日
20歳未満	0	4
20代	4	2
30代	0	2
40代	0	3
50代	1	2
60代	1	2
70代以上	0	0
合計	6	15

4.2 改修作業

改修作業では、家具の撤去・解体、清掃、草取りから始め、床の張り直し、畳敷き作業、障子の張替、建具の制作・展示まで広い範囲を行った。

4.3 企業連携

改修では、TM邸においてハード面を中心に、複数の企業の協力を得ながら作業を実施した。また、瀬戸芸秋会期での一般公開にあたり、ソフト面でも企業の協力を得た。(表3)今回の企業連携は、可能な限り技術協賛を軸に計画した。発注ではなく協賛を重視した理由は、発注の場合、発注者と受注者の2者間の関係に限定され、背景や地域への関心が生まれにくく、業務終了後に関係が途切れる可能性が高いためである。一方、協賛の場合、活動内容説明と承諾という過程により、社会貢献や学生

支援に積極的な企業と出会うきっかけになると考えた。さらに、協賛を受けることで企業との関係がより緊密になり、保存地区や笠島の説明を繰り返す中で関係者間でも問題意識や活動目的の再確認を行いながら進めることができると思った。

表3 協力企業と協力内容の一覧

ハード面	インテリア
	有限会社ロワール商事 CONNECT (北欧家具の貸与)
	有限会社熊井綿業 (座布団の制作)
	建具
ソフト面	有限会社森本建具店 (建具の開発・制作)
	施工 (補修工事)
	株式会社まつもとコーポレーション (修繕時の人材)
	SABI (提供飲料)
	有限会社宝月堂 (販売商品の開発・製造)
	株式会社マルシン (提供飲料)
	本屋ルヌガンガ(本の販売)
	DAIKEN株式会社 (音響測定)
	株式会社デンソーテン (音響備品の貸与)

ハード面では、インテリア、建具、施工の大きく3項目に分けた。インテリアにおいては、改修計画の段階で現在の生活である“洋”と従来の生活である“和”を比較できる空間を目指していたことから、各生活を比較する什器を設置することを計画した。そこで、板の間には洋風のテーブルセットを、畳の間には座布団を設置することを検討し、各々貸与や制作の形で協力を依頼した。

(写真5,6) 建具においては、前述の通り、重伝建地区の制約のある改修に適している点と地域との協働による制作が可能である点から改修の主軸とした。そこで香川県内で組手障子を扱う建具店に制作協力を依頼した。施工においては、建築施工を行う企業に補修工事での助言と技能者の派遣を依頼した。また、ソフト面では改修後の一般公開時に提供・販売する飲食物の開発・提供協力、建具の音響性能評価における音響機器貸与協力や検査協力等を依頼した。しかし、実際には施工のうち協賛で賄いきれない部分(床下工事、電気工事)も生じたため、市の予算等を用いて工事を行った。その際の発注先には、笠島に所在もしくは既に笠島で工事経験のある企業を選出し、各々にコンセン特的の新設、床の補強工事を依頼した。



写真5 座布団



写真6 北欧家具

5. 公開段階

瀬戸芸秋会期(10月3日~11月9日)には、改修したTM邸の一般公開を行い、これに合わせて飲食物の提供・販売、本の販売をした。会期中、学生は授業の合間を縫って通い、土日だけでなく平日も運営し、週5日の公開

を行った。公開に伴い、イベントの開催等により観光客や地域との交流を図った。公開期間の約1カ月半の間に訪問者^{注2)}は500人を超え、この訪問者には瀬戸芸観光客だけでなく、丸亀市伝統的建造物群保存地区保存審議会関係者、匠の学舎アカデミーの学生(高松市)、丸亀市の児童会の子供、四国職業能力開発大学の学生(丸亀市)、河和田アートキャンプの学生(京都府)等があった。

5.1 地域との関わり

改修を通して関係人口増を目指すことから、活動を行う学生自身を継続的な関係人口増への活動対象とし、島民・保存地区との関わりからの観点から、笠島の空き家を借り、公開期間中に住み込みで運営をし、実際に笠島での生活を経験する取り組みを行った。

5.2 瀬戸芸観光客の評価

瀬戸芸秋会期での公開において、来場者に自身の年齢と、板の間と畳の間のどちらが心地よかったかを問うアンケートを実施した。(表4,5)

来場者247人のうち、50代・60代が39.3%と最も多く、続いて30代・40代が30.4%、10代・20代が11.3%となった。10代・20代の若者の来場率は、30代・40代や50代・60代の来場率に劣っていたが、その他訪問者に学生の団体が多く含まれていたことから、一定の若者への周知効果があったと考える。また、板の間と畳の間の評価では、板の間が38.5%、畳の間が51.4%と、畳の間が板の間を少し上回る結果となった。

表4 来場者の年齢層 表5 板の間と畳の間の評価

	人数(人)	割合(%)
10代・20代	28	11.3
30代・40代	75	30.4
50代・60代	97	39.3
70代以上	15	6.1
無回答	32	13.0
合計	247	100.0

	人数(人)	割合(%)
板の間	95	38.5
畳の間	127	51.4
両方	21	8.5
無回答	4	1.6
合計	247	100.0

6. 活動を通して

本活動は4月に学生団体を発足させてから、立案・改修に約6カ月かけ、10月から約1カ月半の公開に至った。その過程を次項表6に示す。

6.1 企業および地域の反応

活動での協力企業の反応として、ソフト面の企業からは、自社の店舗や職員が保存地区を訪れなくても、学生への委託により宣伝効果や販路拡大が期待できる点で高い評価が得られた。一方、ハード面の企業では、専門性が高く学生との協働が限定的となり、企業側への依存が増した結果、負担をかけた側面が見られた。そのため、専門性の高い分野においても、部分的に学生が関与できる体制への改善が必要である。

6.2 新たに生まれたネットワーク

従来の空き家問題をめぐる地域の関わりは、当該空き

表6 2025年度の活動スケジュール

		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
ハード	施工		調査・検討		細部補修				
	-補修工事	○株式会社まつもとコーポレーション							
	-床下工事	○建築屋株式会社		補修箇所の家財撤去		床下補修			
	-電気工事	○有限会社富木田電機商会			配線ルート検討		電気配線		
	建具								
	-設計・制作	○有限会社森本建具店		デザイン設計			部材制作		
	-設置							部材組立	完成・搬入
	インテリア								
	-座布団	○有限会社熊井綿業				デザイン検討		制作	
	-家具	○有限会社ロワール商事 CONNECT						デザイン検討	設置
									返却
ソフト	協賛								
	-資金			クラウドファンディング作成		クラウドファンディング公開			
	-サービス	○有限会社ロワール商事 CONNECT							宿泊施設レンタル
	広報								
	-内部イベント		SNS・HP作成・活用						
	-外部出演					ワークショップ①	ワークショップ②		ブックイベント
	瀬戸芸秋会期								
	-提供物	○有限会社宝月堂・本屋ルヌガンガ・株式会社マルシン・SABI			基本構想		商品開発・提供方法検討		販売
	-スピーカー	○株式会社デンソーテン					基本構想	設置	限定販売
	-音響	○DAIKEN 株式会社							返却
									音響計測検討

家・行政・大学・NPOのみと非常に限定的であった。しかし、この活動で新たな関係人口を創出したことによってより広い範囲でのネットワークが生まれた。(図4) また、現実的な点として、企業からの金銭的・技術的支援によって学生が空き家改修に積極的に取り組めるようになった。

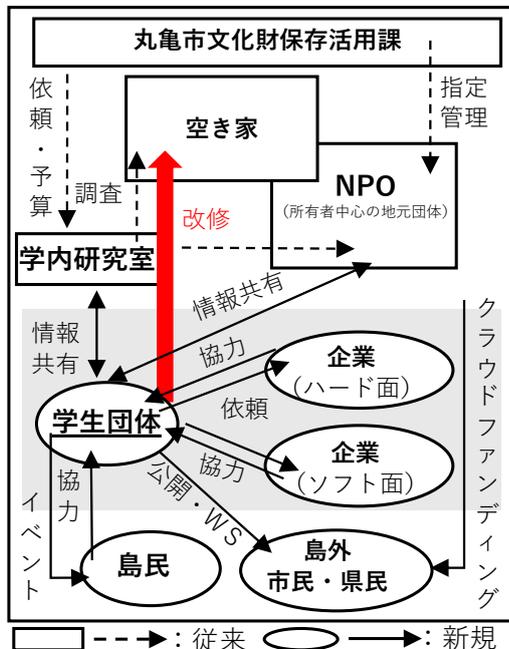


図4 活動により生まれたネットワーク

7. まとめ

学生が主体性を持って活動し、提案が反映されるといふ貴重な実践となり、学生にとっても、企業や地域への継続的な働きかけの重要性を認識する機会となった。また、公開期間中に笠島の空き家に住み込みで運営したことで、聞き取り調査だけでは把握が難しい離島生活の利点や課題を実体験として理解するとともに、島民に活動を伝え、知ってもらうきっかけとなった。一方で、ハード面の企業に対しては負担が大きかったなどの課題も残ったため、今後は体制を改良し、連携の強化と活動の拡大を図っていきたい。

注

注1) 本稿では地域全体を「笠島」、笠島の一部にある重伝建地区を「保存地区」と明記する。
注2) 瀬戸芸秋会期中は観光客には入場料をとって公開したが、市や協賛企業関係者等には限定的に入場料を取らずに公開していた。そのため本稿では入場料の有無に問わない見学者を「訪問者」、入場料有りの見学者を「来場者」と明記する。

参考文献

- 1) 国勢調査：男女別人口総数及び世帯総数，令和2年
- 2) 国勢調査：年齢（5歳階級、4区分）別、男女別人口，令和2年
- 3) 佐川元太ら：日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），p.177-178，2020
- 4) 飯窪蒼希：重伝建丸亀市塩飽本島町笠島における民家の間取りと構法の変遷，香川大学大学院創発科学研究科修士論文，2025

謝辞

本活動は KASASHIMA STUDIO という学生団体によるものであり、本稿では団体を代表して発表させていただきました。メンバーを以下に記させていただきます。
川嶋伸岳，小坂伊織，永山大那，渡邊海里，田川蒼真，小林ハルコ，清水瑠璃，曾我彩夏，花田知夏，福島葵，安業椋子，久保田弥生，久米みくりあ（以上13名）
また、活動の実現にあたり、企業関係者各位、当該地域の皆様には多大なるご協力を頂きました。心より深謝申し上げます。
そして、ファセット・スタジオ・ジャパン一級建築士事務所の柏木由人氏には、本活動を終ご指導頂きました。

*¹ 香川大学 学部生
*² 香川大学大学院 大学院生
*³ 香川大学創造工学部准教授 博士（デザイン学）

*¹ Undergraduate student, Kagawa Univ.
*² Graduate student, Kagawa Univ.
*³ Associate Prof, Faculty of Eng. and Design, Kagawa Univ.,
Dr. Des.