

令和7年度
磁気探査技士 講習会
地質関係

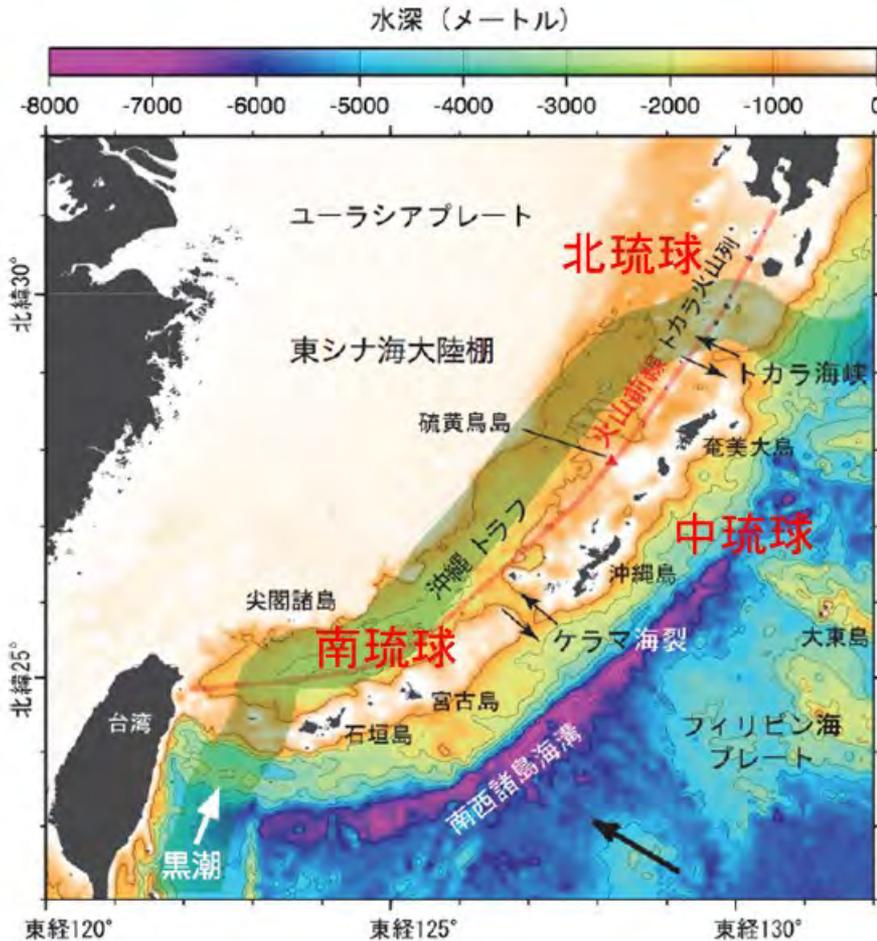
琉球大学 工学部
松原 仁

1. 島弧・琉球列島の成り立ち
2. 沖縄の地形・地質
3. 地盤調査
4. 不発弾と地盤の関係
5. まとめ

日本列島・琉球列島

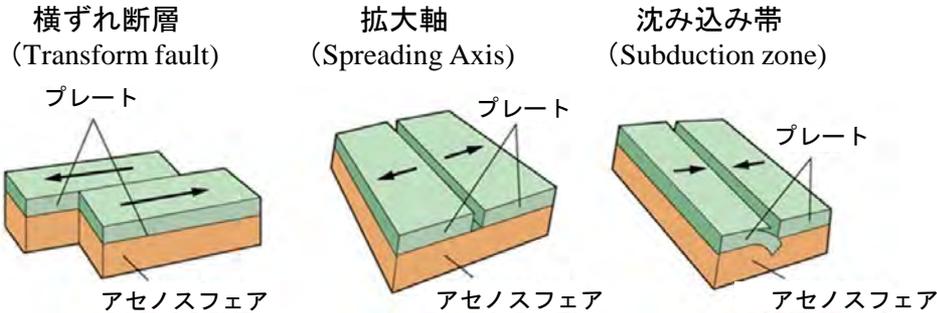


【琉球弧】



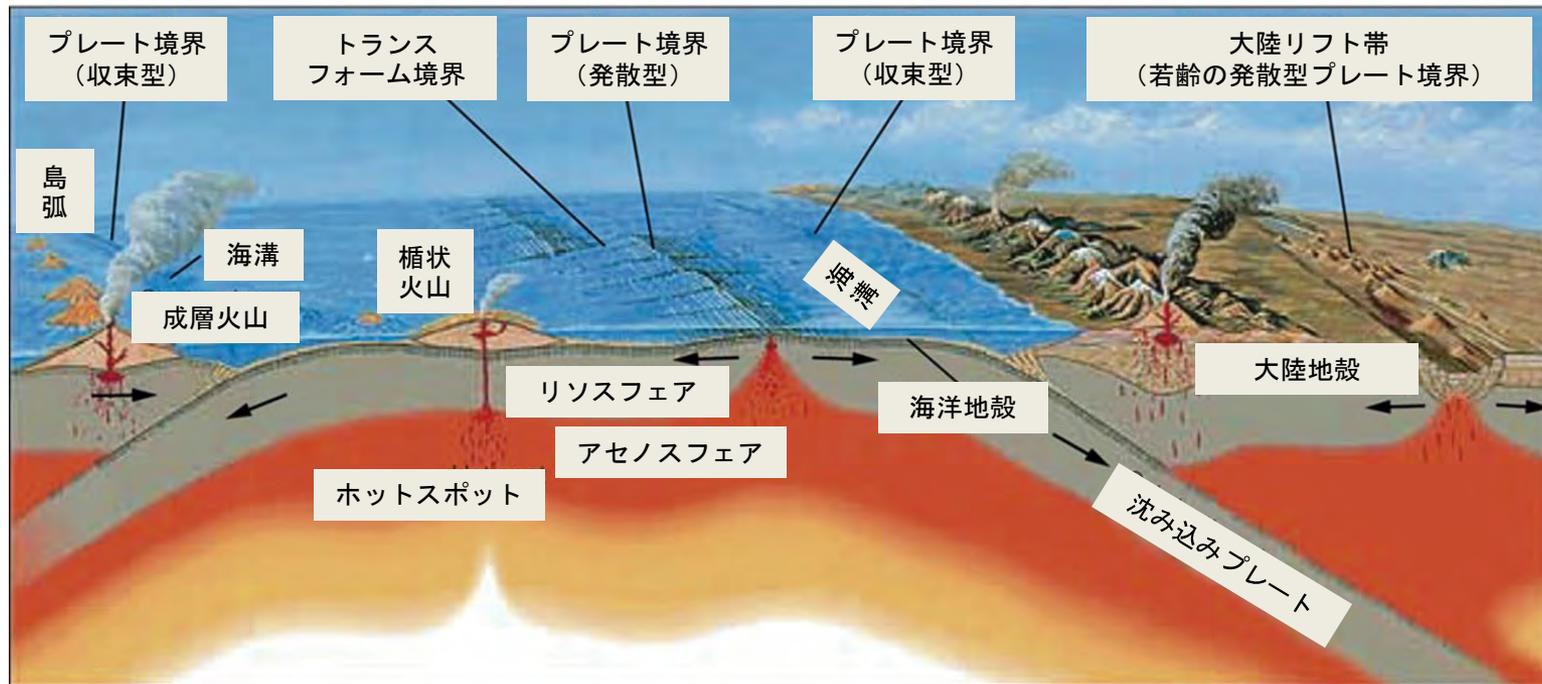
- 島弧の長さは本州弧に匹敵
 - ⊕ 全長1200km（九州南部～台湾）
- 東側には琉球海溝（南西諸島海溝）
 - ⊕ 水深：6000m～7000m
 - ⊕ ユーラシアプレートとフィリピン海プレートの境目
- 北琉球・中琉球・南琉球
 - ⊕ トカラ海峡とケラマ海裂によって分けられる
- 中国大陸に対して移動
 - ⊕ 数cm/年の速度で南東方向に移動

島弧が存在する理由



拡大軸：
中央海嶺、アファール凹地（エチオピア）

沈み込み帯：
地溝（Trench）に存在（冷却した海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込んでいる）。



→プレートテクトニクス：1960年中頃に確立＝地質学の革命（地球は約10枚のプレートから成る）

南西諸島 (尖閣諸島は地政学的にも興味深いところ)

南西諸島：
薩南諸島+琉球諸島+大東諸島

薩南諸島：
大隅諸島・トカラ列島・奄美群島

琉球諸島：
沖縄諸島・先島諸島

沖縄諸島：
沖縄島・久米島・慶良間列島など

先島諸島：
宮古列島・八重山列島・尖閣諸島

大東諸島：
北大東島・南大東島など



1. 島弧・琉球列島の成り立ち
2. 沖縄の地形・地質
3. 地盤調査
4. 不発弾と地盤の関係
5. まとめ



■ 高島（こうとう）

- ⊕ 高い山を有する島
- ⊕ 沖縄島北部，石垣島，久米島など
- ⊕ 古い時代の岩類



■ 低島（ていとう）

- ⊕ 高い山を有さない島
- ⊕ 沖縄島南部，宮古諸島，波照間島など
- ⊕ 新しい時代の地層

高島に分布する島

- 沖縄島北部（452m）
 - 久米島（310m）
 - 石垣島（503m）
 - 西表島（469m）
 - 与那国島（231m）
 - 慶良間諸島（270m）
- など



高島の地形的特徴

- 標高200m以上
- 山岳地形
- 古い岩類
- 硬い地層
- 国頭マーヅ（赤土）
- 酸性土壌
- 河川水



低島に分布する島

- 沖縄島南部（～193m）
- 宮古諸島（13.2～114.8m）
- 波照間島（59.5m）
- 黒島（15.3m）
- 小浜島（99m）
- 竹富島（21m）
- 粟国島（95.8m）

など

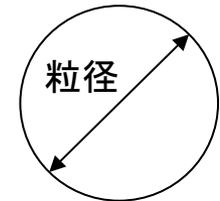


低島の地形的特徴

- 標高 200m以下
- 低平地
- 新しい地層
- 軟らかい地層
- 地層の種類
 - ⊕ 琉球石灰岩
 - ⊕ ニービ
 - ⊕ クチャ
 - ⊕ ジャーガル
- アルカリ性土壌
- 地下水

土の分類（工学的分類） . . . 粒径で分類する

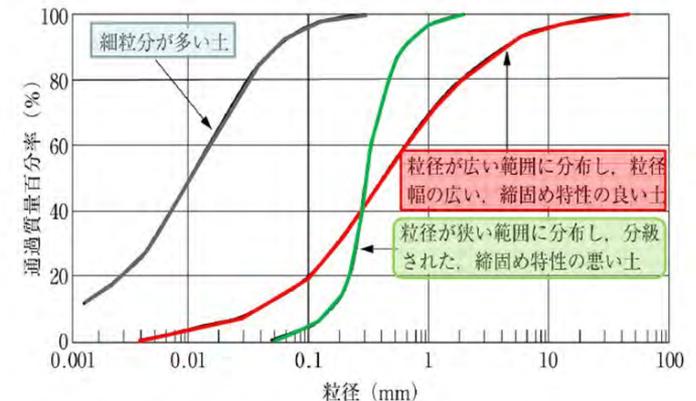
		75 μm			2 mm			75 mm	
5 μm		0.25 mm	0.85 mm		4.25 mm	19 mm		300 mm	
粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石	巨礫
		砂			礫			石	
細粒分		粗粒分					石分		



粒径の求め方 . . . ふるい分け試験 / 沈降分析

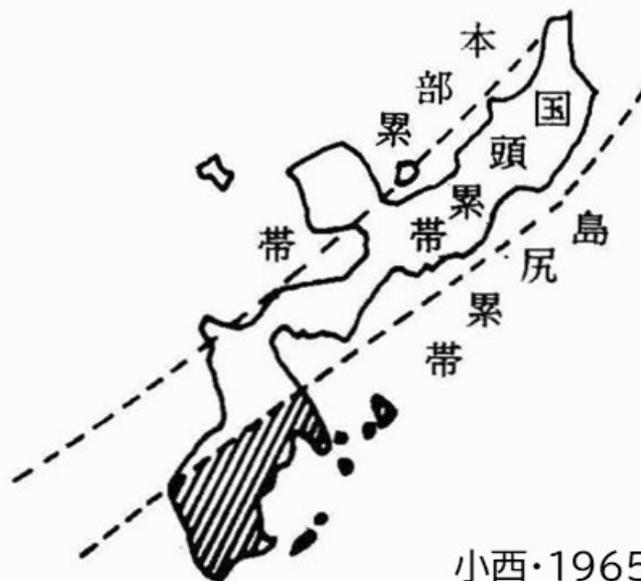


ふるい分け試験



粒度曲線

沖縄島を構成する3累帯



本部帯

- 湧川層…砂岩
- 本部層…石灰岩
- 与那嶺層…石灰岩・泥質岩・砂岩



国頭帯

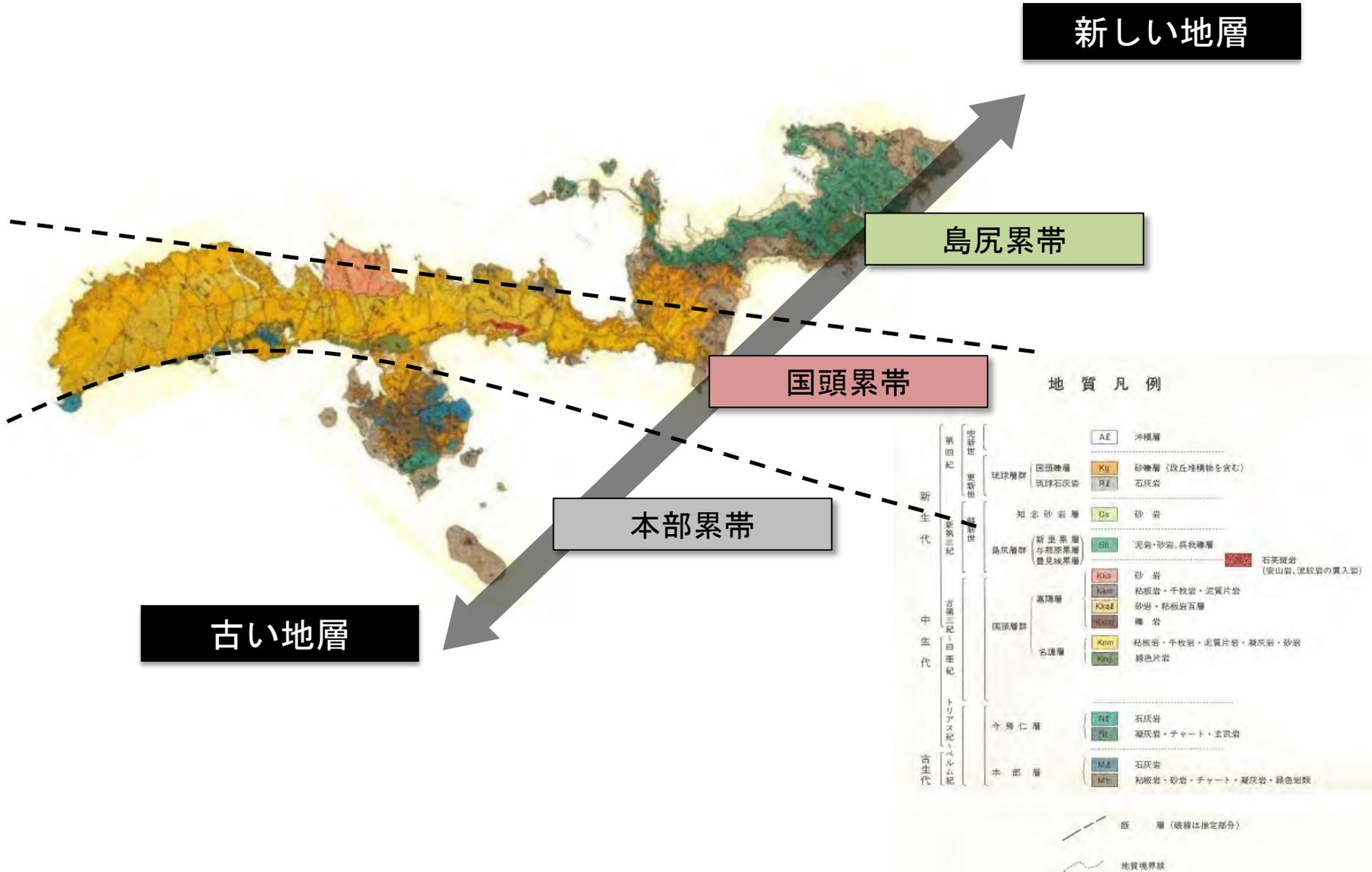
- 嘉陽層…砂岩・頁岩の互層
- 名護層…緑色岩（枕状溶岩）



島尻帯

- 新里層…砂岩・シルト岩
- 那覇層…サンゴ石灰岩
- 与那原層…シルト岩





地質時代			地層名		
新生代	第四紀 258万年前～現在	現世	島尻累帯	沖積層 (島尻粘土)	
		洪積世		琉球層群	
	新第三紀 2303万年前 ～258万年前	鮮新世			
		中新世		島尻層群泥岩	粘土母岩
中生代	白亜紀 1億4550万年前 ～6600万年前		国頭本帯	嘉陽層	
	ジュラ紀 1億9960万年前 ～1億4550万年前			名護層	
古生代	二畳紀 (ペルム紀) 2億8900万年前 ～2億4700万年前		本部累帯	本部層	

土壌	地層	地質時代		
石灰岩	本部層	古生代		
砂岩・千枚岩	国頭層群	中生代		
クチャ	島尻層群	新生代	第三紀	泥岩, 砂岩
国頭礫層	琉球層群	新生代	第四紀	赤土 砂岩・シルト岩・片岩・石英
琉球石灰岩	琉球層群	新生代	第四紀	首里城周辺など
ジャーガル	沖積層	1万年前		クチャの堆積層 クチャの風化土
島尻マーヅ				琉球石灰岩の風化土
国頭マーヅ				国頭礫層の風化土

1. 島弧・琉球列島の成り立ち
2. 沖縄の地形・地質
3. 地盤調査
4. 不発弾と地盤の関係
5. まとめ

■ 土質調査

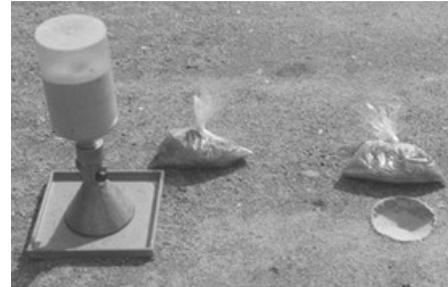
- ⊕ 現場密度試験
- ⊕ 含水比計測
- ⊕ 現場透水試験
- ⊕ 平板載荷試験
- ⊕ 現場CBR試験
CBR: California Bearing Ratio
- ⊕ サウンディングなど

■ ボーリング調査

■ 標準貫入試験

- ⊕ 最も一般的な調査方法
- ⊕ 地盤の硬さ = N値で評価

地盤の強さとは？



現場密度試験



現場透水試験



平板載荷試験



現場CBR試験

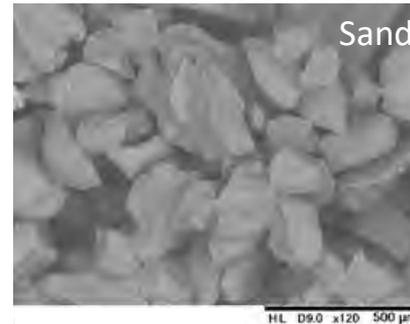
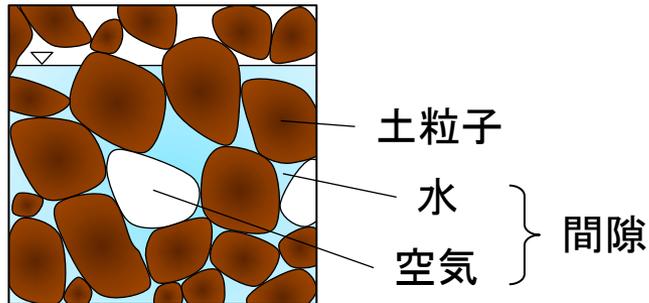


サウンディング



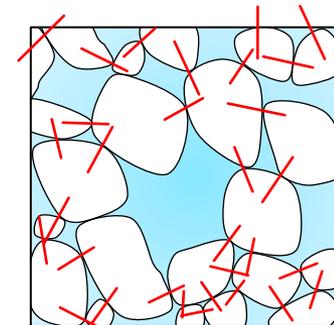
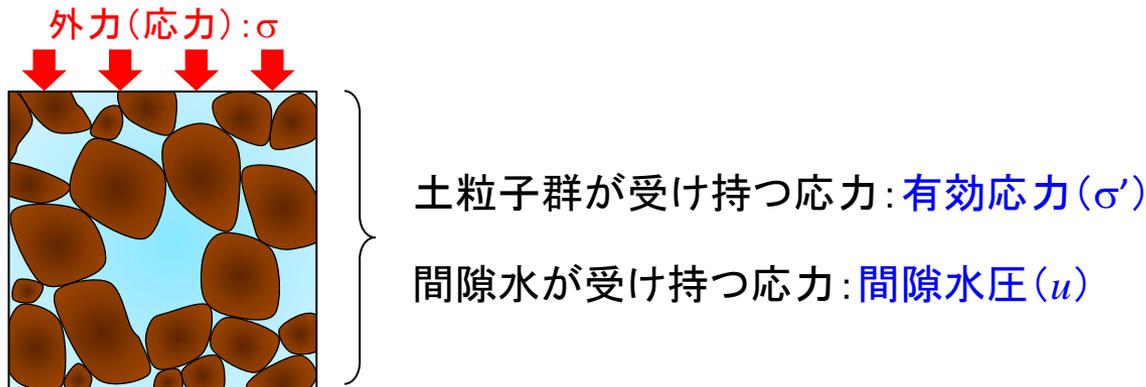
ボーリング試料

土粒子+水+空気



⇒ 「粒状体」とも呼ばれる
※ 固体でもなく液体でもないため扱いにくい

土が受け持つ力



$$\sigma = \sigma' + u$$

実用上はN値で評価する → 標準貫入試験

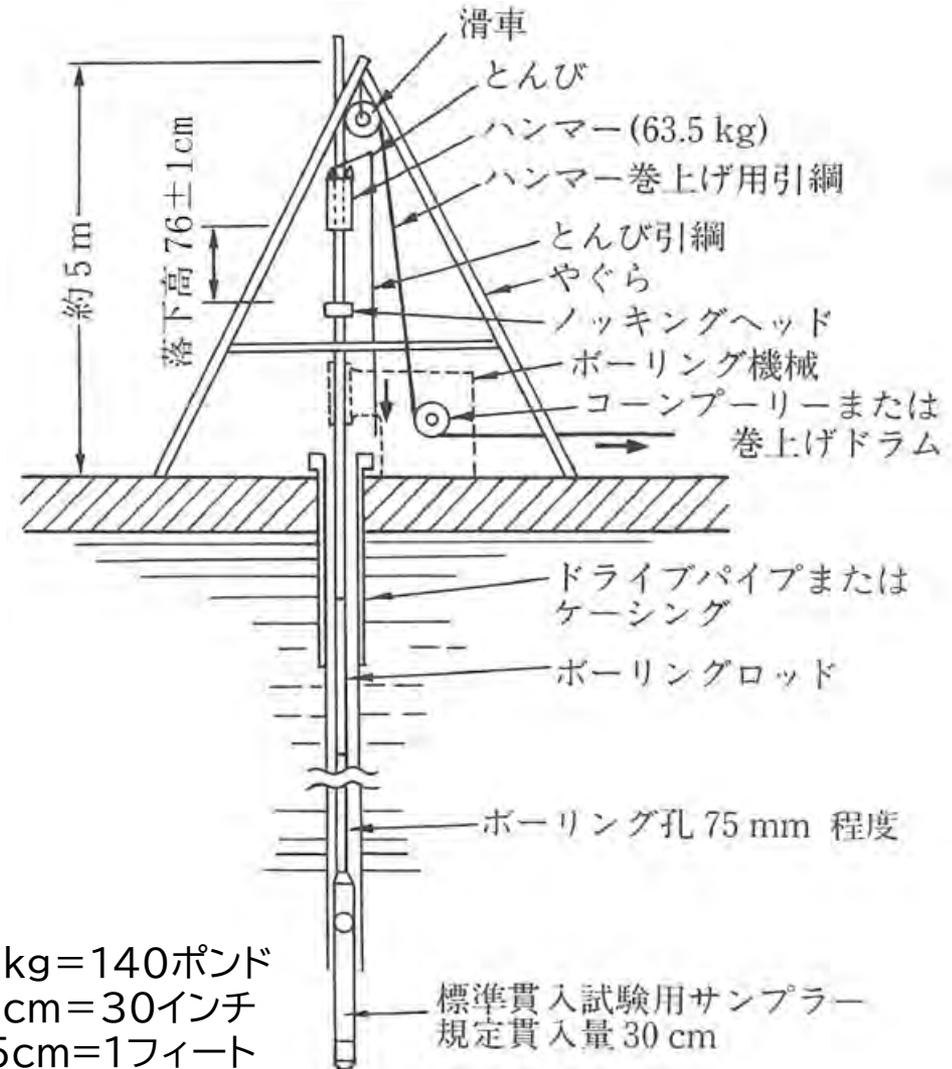
■ N値

- ⊕ 1m毎に測定
- ⊕ 63.5kgのハンマーを利用
- ⊕ 76±1cmの高さから自由落下
- ⊕ サンプラーを地中に打ち込む

⇒ 30cm打ち込む際の打撃回数



<http://geo-fujita.jp/service/tishitu/bowling.html>

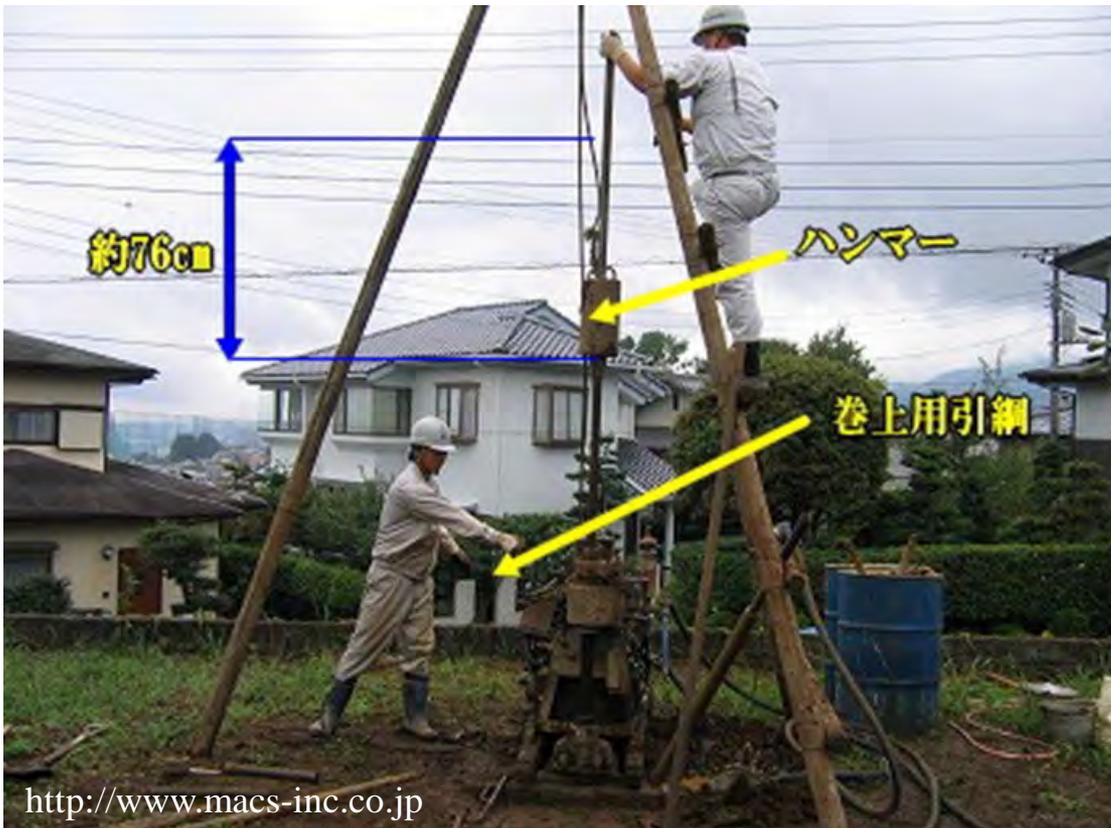


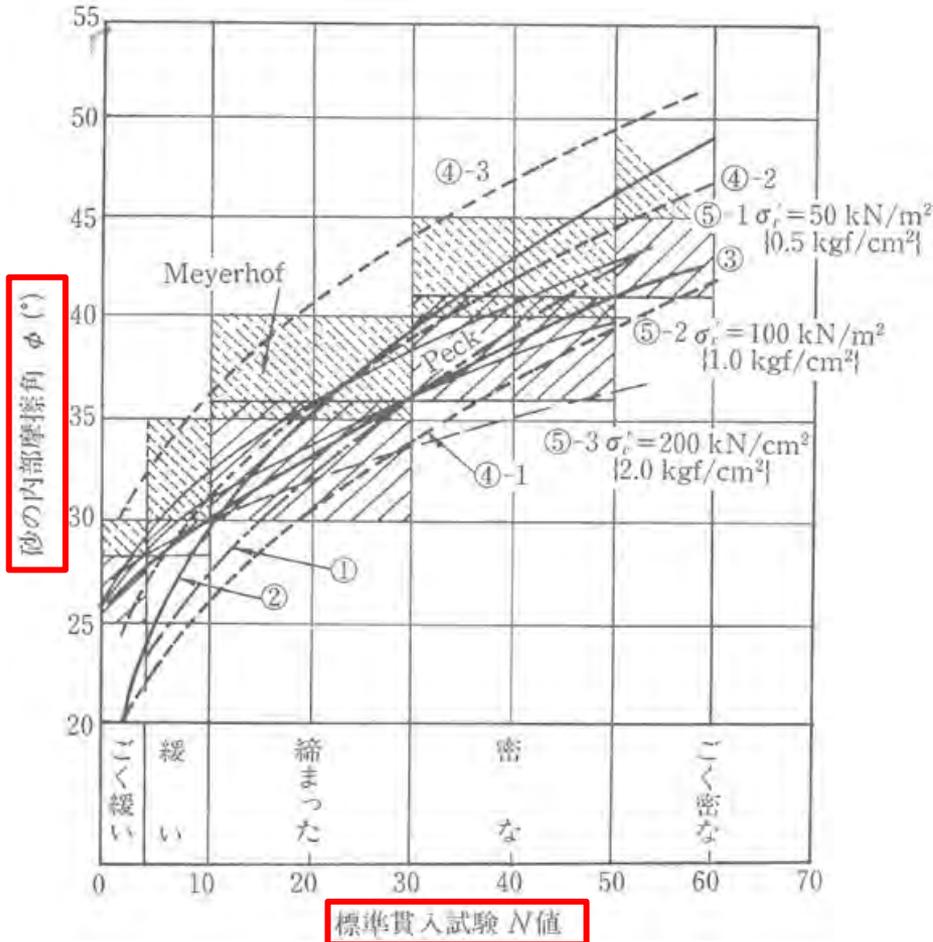
(参考)

63.5kg = 140ポンド

76.2cm = 30インチ

30.5cm = 1フィート





青木の推定式

$$\varphi = 1.35N_1^{0.6} + 28$$

$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70}$$

港湾式

$$\varphi = 2.45N_1^{0.5} + 25$$

$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70}$$

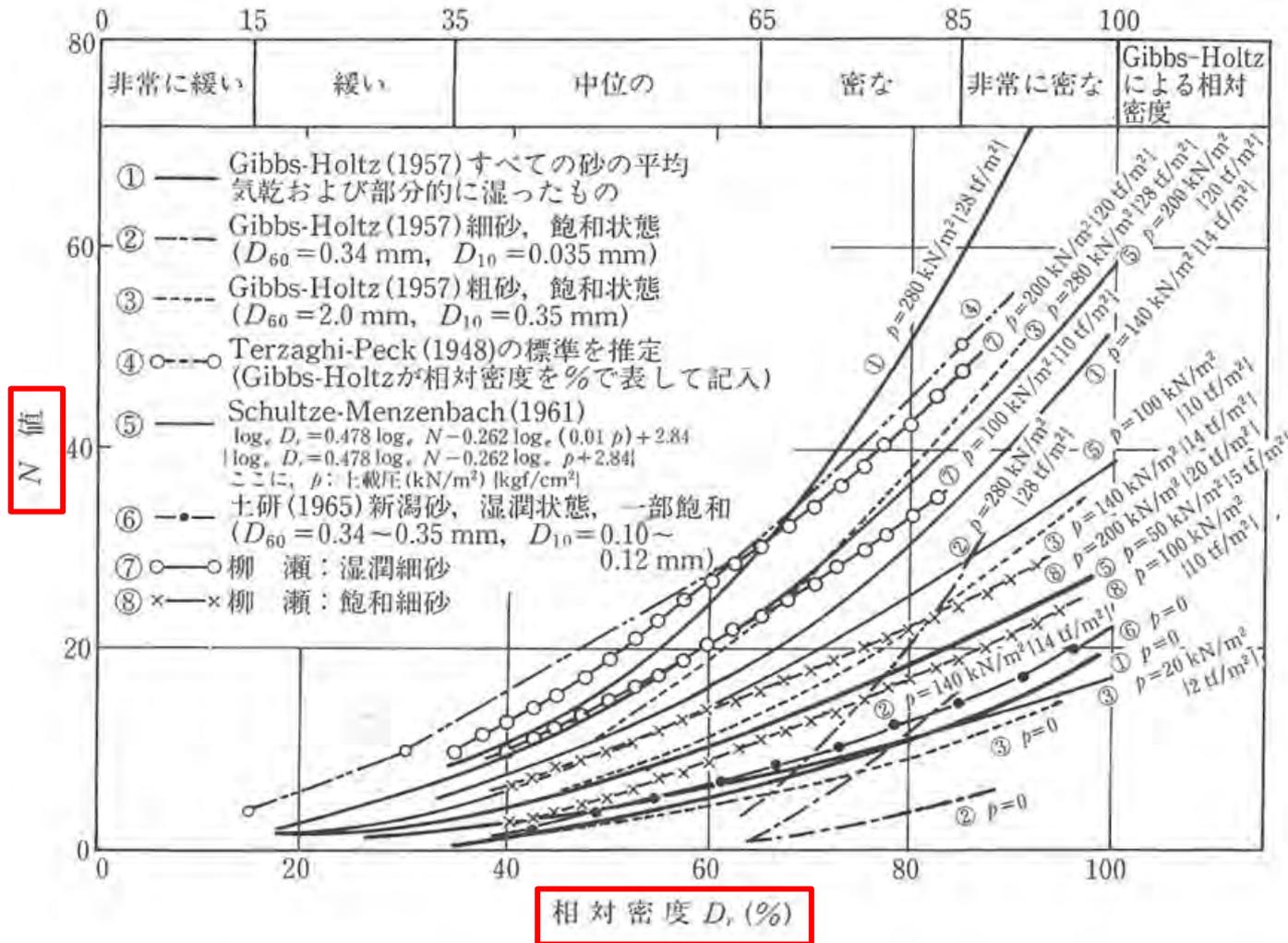
Myerhofの推定式

$$\varphi = 0.15Dr + 28$$

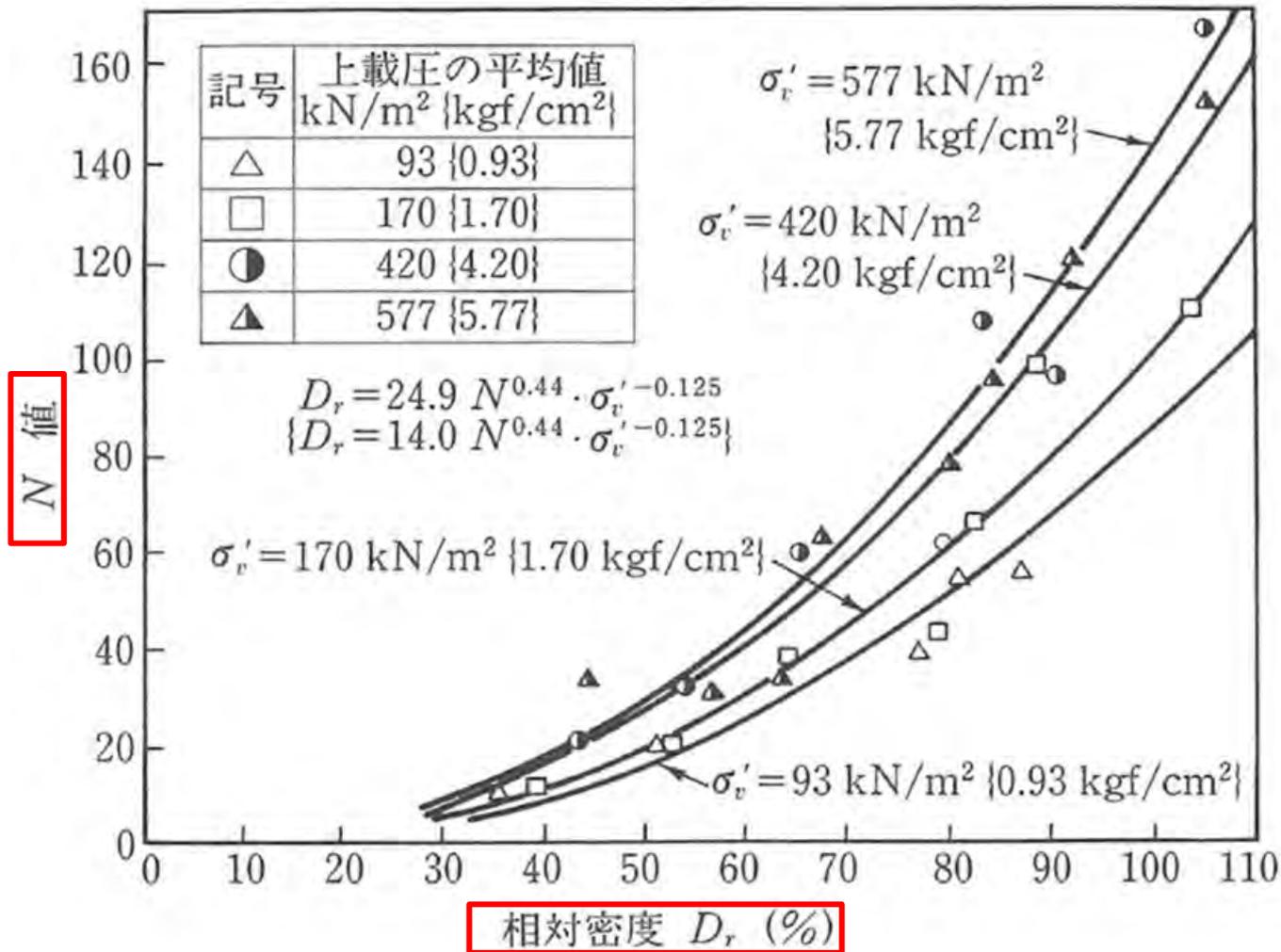
$$Dr = 21 \left(\frac{100N}{\sigma'_v + 70} \right)^{0.5}$$

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

N値と地盤の硬さ・・・N値と相対密度の関係(1)



N値・有効土載圧と砂の相対密度との関係



N値と相対密度との関係 (礫分含有率50%)

Terzaghi and Peckによる推定式

$$q_u = 12.5 \cdot N \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \{q_u = N/8 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}\}$$

コンシステンシー, N値および一軸圧縮強さの関係(Terzaghi and Peck¹⁾)

コンシステンシー	非常に軟らかい	軟らかい	中位の	硬い	非常に硬い	固結した
N値	2以下	2~4	4~8	8~15	15~30	30以上
q_u (kN/m ²) {kgf/cm ² }	25以下 {0.25以下}	25~50 {0.25~0.50}	50~100 {0.5~1.0}	100~200 {1.0~2.0}	200~400 {2.0~4.0}	400以上 {4.0以上}

1. 島弧・琉球列島の成り立ち
2. 沖縄の地形・地質
3. 地盤調査
4. 不発弾と地盤の関係
5. まとめ

陸上における不発弾の数（令和4年）

令和4年度の処理実績

区分	処理件数	処理重量
全国 (沖縄含む)	1,372件	約41.9トン
沖縄	467件	約13.1トン

- 処理件数及び処理重量ともに沖縄県の全国に占める割合が大きく、令和4年度は処理件数の約34%、処理重量の約31%



発見された不発弾等



識別作業

不発弾等処理件数の推移



不発弾等処理重量の推移



- 硬い層には入り込まない
- 形状、重さ、寸法，侵入方向に依存
- 河川・海の浅瀬などの軟弱部に貫入
- 着地後の年月で土壌が堆積する
- 土壌の透磁率は空気と同じ ⇒ 透明
 - ※ 透磁率：物質の磁化のしやすさ

⇒ 処理後は適切な盛土／埋戻しが必要

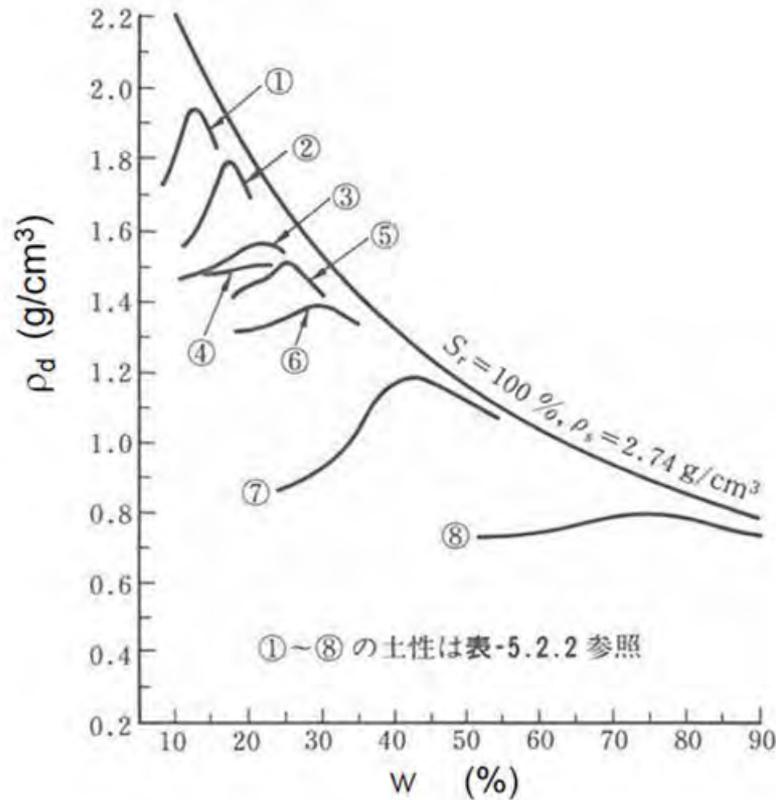
■ 適切な盛土や埋戻し

⊕ 盛土崩壊や液状化に繋がる可能性あり

■ 土中の空隙量が土の硬さに深く関連

■ 埋戻し土を硬くするためには

- a. 締固めエネルギーを大きくする
- b. 締固めするときの土の水分を調整する
- c. 最適（もっともよく締まる）の水分量を求める



No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
2 mm ふるい通過量 (%)	84	35	100	100	100	100	96	100
0.425 mm ふるい通過量 (%)	43	23	99	73	100	100	78	100
0.075 mm ふるい通過量 (%)	17	16	85	1	94	99	33	65
均等係数 (D_{60}/D_{10})	39	850	—	14	14	3.8	10	5
液性限界 w_L	NP	47	60	NP	43	81	60	110
塑性指数 I_p		22	30		12	48	12	24
地盤材料の工学的分類	(SM)	(SC)	(CH)	(SP)	(ML)	(MH)	(SV)	(VH ₂)
ρ_s (g/cm ³)	2.65	2.73	2.68	2.68	2.68	2.72	2.74	2.66
ρ_{mass} w_{opt} (g/cm ³)	5.1	9.6	7.5	9.4	6.9	9.4	8.6	8.7
における S_r (%)	80.9	74.1	81.8	78.3	84.0	80.8	84.8	87.4

(注) ⑦, ⑧は九州阿蘇地方の火山灰質土
それぞれの自然含水比は, ⑦ $w=65\%$, ⑧ $w=143\%$

- SM: シルト質砂質土
- SC: 粘土質砂
- CH: 粘土
- SP: 粒度の悪い砂
- ML: シルト (低液性限界)
- MH: シルト (高液性限界)
- SV: 火山灰質砂
- VH₂: 火山灰粘土 (Ⅱ型)

砂質土

シルト

火山灰質土

1. 島弧・琉球列島の成り立ち
2. 沖縄の地形・地質
3. 地盤調査
4. 不発弾と地盤の関係
5. まとめ

■ 沖縄の地形

- ⊕ 花綵列島, 北琉球, 中琉球, 南琉球
- ⊕ 各種断層構造 (横ずれ断層, 拡大軸, 沈み込み帯)
- ⊕ プレートテクトニクス, ...

■ 沖縄の地質・土壌の名称

- ⊕ 高島, 低島
- ⊕ 本部帯, 国頭帯, 島尻帯, ...
- ⊕ 琉球石灰岩, 島尻層群泥岩, 国頭マージ, 島尻マージ, ...

■ 地盤の硬さの表し方

- ⊕ 現場密度試験, 現場透水試験, 平板載荷試験, ...
- ⊕ 標準貫入試験, N値, ...

■ 埋戻し

- ⊕ 不発弾と土の硬さ, 最適含水比, ...