



令和8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



目次・内容

2

1. 琉球弧の成り立ちと沖縄に分布する特殊土
2. 土質工学の基礎知識（分類、構造、地盤災害、調査法）
3. 地盤と不発弾（まとめ）





目次・内容

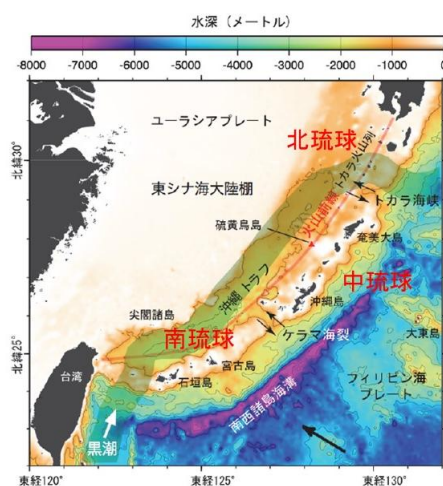
3

1. 琉球弧の成り立ちと沖縄に分布する特殊土
2. 土質工学の基礎知識（分類、構造、地盤災害、調査法）
3. 地盤と不発弾（まとめ）



琉球弧

4



新城竜一：琉球弧の地質と岩石：沖縄島を例として、土木学会論文集A2, 70(2), 1_3-1_11, 2014.

- 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

※参考 行政区分

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

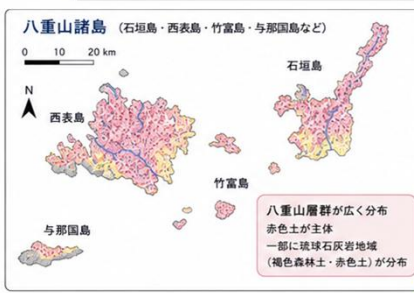
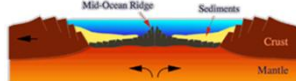
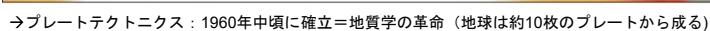
琉球諸島：
沖縄諸島・先島諸島

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







沖縄県に分布する特殊土ーまとめ

7

層群(地質)	主な分布地域	主な母岩	代表的土質	土の性質・特徴
国頭層群	沖縄本島北部 (国頭村～東村、大宜味村等)	砂岩・頁岩・砂岩頁岩 互層等	国頭マーヅ (赤黄色土)	酸性・養分少 排水良好～やや良
島尻層群	沖縄本島南部～中部の一部 (糸満市、南城市等)	泥岩・シルト岩・砂礫 泥岩互層等	クチャ (暗灰色土) ジャーガル	アルカリ性～中性・強粘 質・排水不良・膨潤性
琉球層群	沖縄本島中部～南部の広い地 域、宮古諸島、多くの離島	琉球石灰岩・ドロマイ ト・礫岩等	島尻マーヅ (赤色土)	アルカリ性～中性・排水 良好・肥沃度中～高
八重山層群	八重山諸島 (石垣島、西表島、与那国島等)	砂岩・頁岩・礫岩・石 灰岩	赤色土・褐色森林土	酸性・養分少・排水良好
基盤岩類	各地の山地、丘陵部に点在	千枚岩等の変成岩	未成熟土	土層浅・礫質・保水力小
海岸砂質土	—	砂丘・ビーチサンド等	砂質土壌	粒子粗・保水力低

※ 沖縄を構成する3果帯 (性質分類)



本部帯 (中生代以前...～2億年前)
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 (中生代中心...1億年前)
嘉陽層...砂岩・頁岩の互層
名護層...緑色岩 (枕状溶岩)



島尻帯 (新第三紀...2千年前)
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



目次・内容

8

1. 琉球弧の成り立ちと沖縄に分布する特殊土
2. 土質工学の基礎知識 (分類、構造、地盤災害、調査法)
3. 地盤と不発弾 (まとめ)



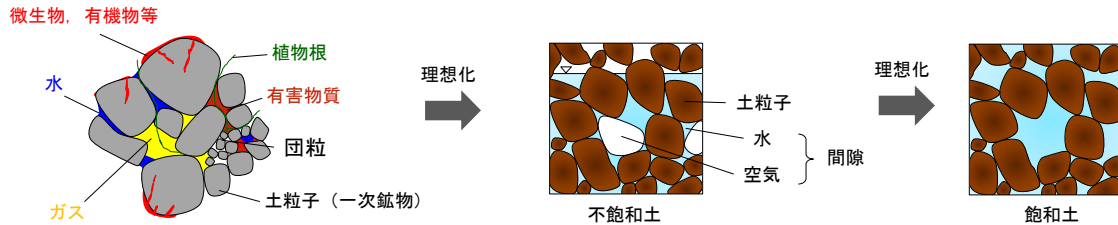


土の構成と分類

9

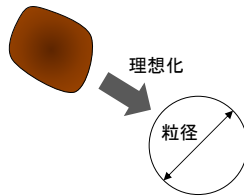
■ 土の構成

- ⊕ 不規則な形を有する多数の微細粒子、水、ガス、有機物・・・で構成される ※ 固体でもなく液体でもないため扱いにくい



■ 土の分類（工学的分類）

- ⊕ 粒径で分類する



5 μm		75 μm			2 mm			75 mm		
		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		
										



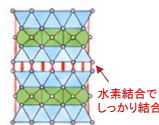
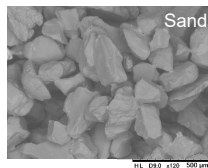
土の構造と耐力

10

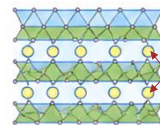
■ 土の構造

- ⊕ 砂は粘着力がほぼゼロ、粘土は様々な粘土鉱物で構成される

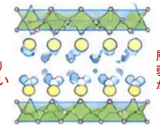
※ 粘土鉱物：カオリナイト系（膨潤なし）、イライト系（膨潤ほぼなし）、スメクタイト系（膨潤性大）



カオリナイト系



イライト系



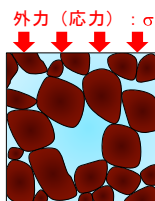
スメクタイト系

↳ 「粒状体」とも呼ばれる

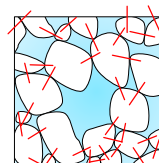
★ 重要な状態指標
間隙比： e

$$e = \frac{\text{間隙の体積}}{\text{土粒子の体積}}$$

■ 土の耐力



土粒子群が受け持つ応力：有効応力 (σ')
間隙水が受け持つ応力：間隙水圧 (u)



土の骨格構造

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

★ 重要な状態指標
含水比： w

$$w = \frac{\text{水の質量}}{\text{土粒子の質量}}$$



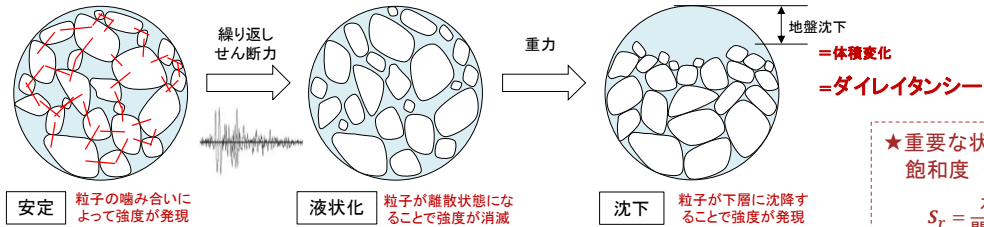


砂質土の液状化

11

■ 液状化現象

中 「ゆるい状態」で堆積した「飽和砂地盤」に、地震力のような「繰り返しせん断力」が作用すると、地盤があたかも液体のような状態になること

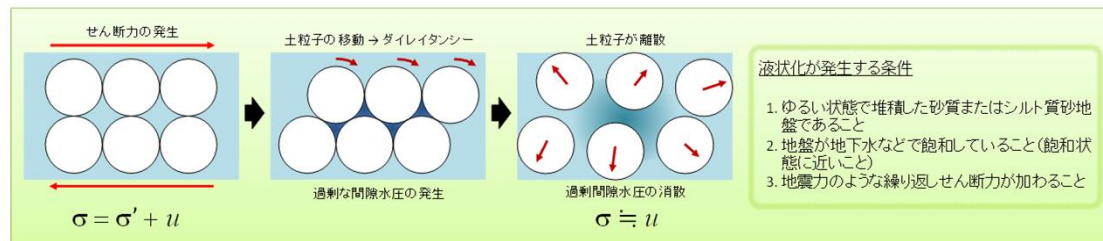


★重要な状態指標

飽和度 (%) : S_r

$$S_r = \frac{\text{水の体積}}{\text{間隙の体積}}$$

■ メカニズム

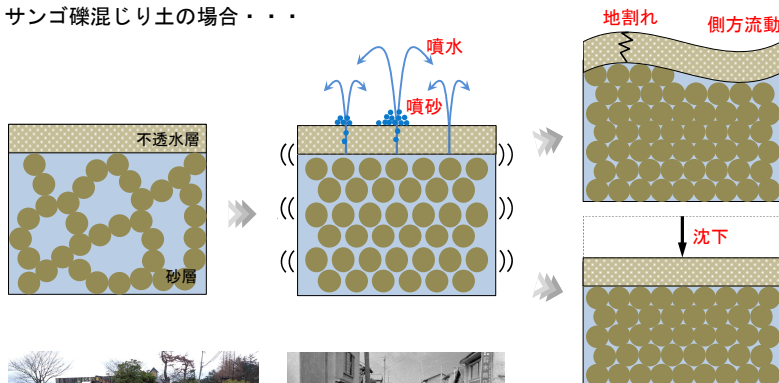


砂質土の液状化

12

■ 想定される現象

- 中 土が「粒」で構成されているが故に、「粒」の移動によって様々な現象が発生する
- 中 不発弾が埋まっている場合、「液状化発生=不発弾が移動する」ことを意味する
- 中 サンゴ礫混じり土の場合・・・



★重要な状態指標

相対密度: D_r

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





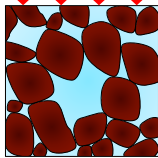
斜面崩壊

13

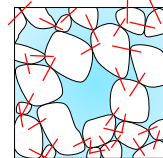
■ 斜面崩壊が起きたら

- 母 土塊の大規模な移動が発生
- 母 不発弾が埋まっている場合、「斜面崩壊発生＝不発弾が移動する」ことを意味する

外力（応力）： σ



土粒子群が受け持つ応力：有効応力（ σ' ）
間隙水が受け持つ応力：間隙水圧（ u ）

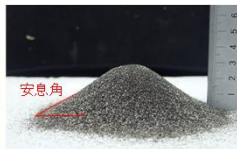


土の骨格構造

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

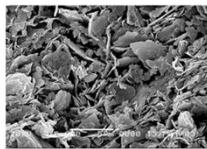
σ'

噛み合う力

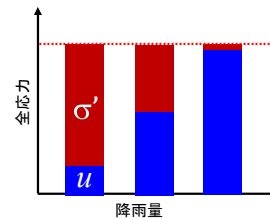


安息角
安息角が大きい＝滑りにくい
安息角が小さい＝滑りやすい

吸着する力



粘着力が大きい＝滑りにくい
粘着力が小さい＝滑りやすい



※ 地すべりと雨量との関連性は明確ではない
→ 地質や構造（みずみち・断層など）に起因するため



2006年中城村安里地すべり

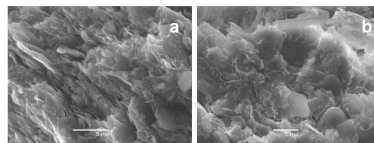
14

■ 島尻層群泥岩の地すべり



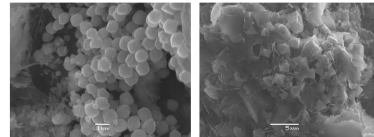
■ 何が原因か？

- 母 モンモリロナイトの存在（膨潤）



粘土鉱物が吸水膨張し、地盤強度を低下させる

- 母 黄鉄鉱の存在



硫酸をつくり岩石を溶かすことで、地盤強度を低下させる

- 母 特異な斜面構造



地質構造が地すべりの発生を助長している

R329

地盤災害と不発弾の存在は無関係ではない



土の性質、強度等の詳細な調査が必要



■ 土質調査

- ⊕ 現場密度試験
- ⊕ 含水比計測
- ⊕ 現場透水試験
- ⊕ 平板载荷試験
- ⊕ 現場CBR試験
- ⊕ サウンディングなど

★重要な状態指標

湿潤単位体積重量: γ_s

$$\gamma_s = \frac{\text{土の重さ}(=mg)}{\text{土の体積}}$$

★重要な材料係数

透水係数: k

水の通しやすさを表す係数

★重要な強度指標

CBR値: CBR(%)

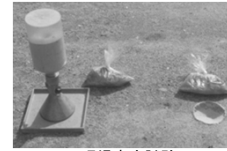
$$CBR = \frac{\text{試料の抵抗力}}{\text{標準抵抗力}} \times 100$$

■ 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・強さ=N値で評価



現場密度試験



サウンディング



現場透水試験



ボーリング試料



平板载荷試験



現場CBR試験

<https://www.css24.jp/test/>



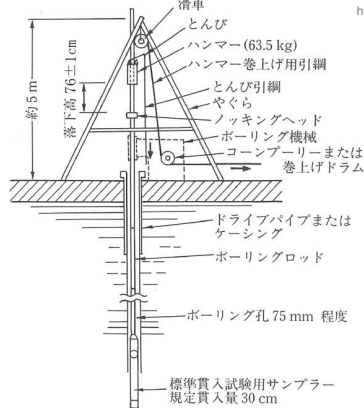
■ N値

⊕ サンプラーを地中に30cm打ち込む際の打撃回数のこと

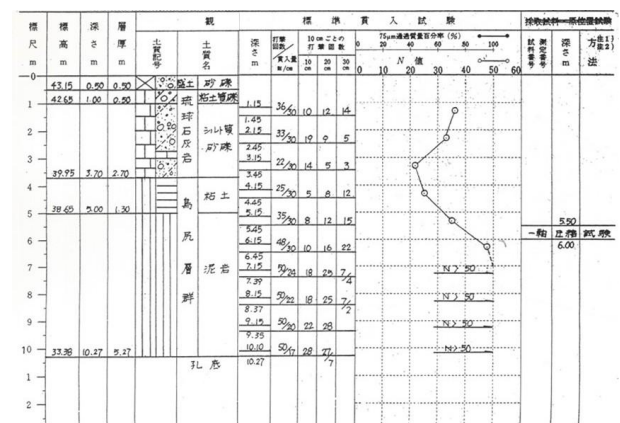
- 1m毎に測定
- 63.5kgのハンマーを利用
- 76±1cmの高さから自由落下
- サンプラーを地中に打ち込む



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



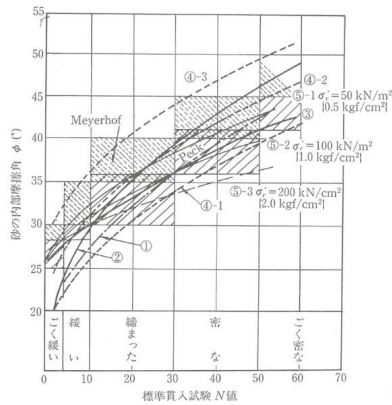
■ まとめ方の例（柱状図）



➡ N値は、実験によって、内部摩擦角、粘着力、相対密度、コンシステンシーなどの様々なパラメータと結び付けられている



N値と内部摩擦角



青木の推定式

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

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

港湾式

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

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

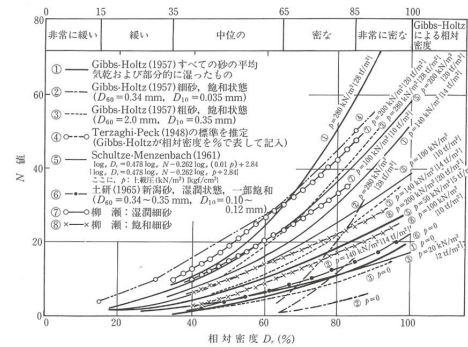
Myerhofの推定式

$$\varphi = 0.15Dr + 28$$

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

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

N値と相対密度



N値とコンシステンシー

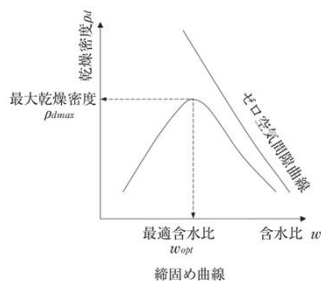
コンシステンシー、N値および軸圧縮強さの関係(Terzaghi and Peck¹⁾)

コンシステンシー	非常に軟かい	軟かい	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
qa (kN/m ²)	25以下	25~50	50~100	100~200	200~400	400以上
qa (kgf/cm ²)	{0.25以下}	{0.25~0.50}	{0.5~1.0}	{1.0~2.0}	{2.0~4.0}	{4.0以上}



定義と特徴

- 土の間隙中の空気を追い出し土の密度を高めること
- 締め固めの効果は、土の種類、含水比、締め固めエネルギーなどに大きく影響される
- 不発弾処理後は埋め戻しが必須であり、適切な締め固め作業を行う必要がある



間隙が減少することで、土粒子間のかみ合わせがよくなり、強度が増加し、圧縮性が小さく、透水性が低い安定した土になる。

- 土が乾燥よりの状態にある場合、土粒子間に生じる表面張力が土粒子を互いに引き付け合う
→ 密度増加、強度増加、...
- 土が飽和よりの状態にある場合、表面張力が消失する
→ 密度低下、強度低下、...

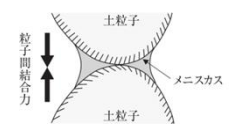
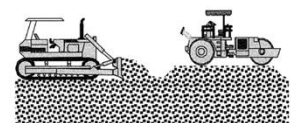


図 3.2 土粒子間に懸架される水¹⁾

施工管理方法

- 利用する予定の土の最大乾燥密度を基準にして、現場の締め固め土の締め固度 (Dc) が 90~95%以上となるように管理する

$$D_c = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \times 100$$

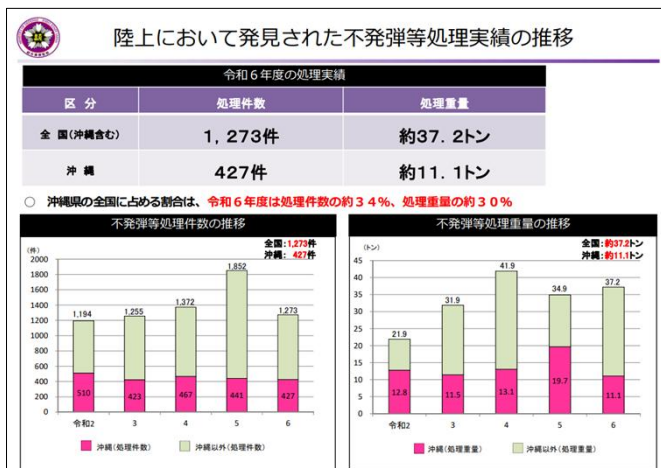




1. 琉球弧の成り立ちと沖縄に分布する特殊土
2. 土質工学の基礎知識（分類、構造、地盤災害、調査法）
3. 地盤と不発弾（まとめ）



■ 不発弾等処理の推移



防衛省・自衛隊、令和6年度自衛隊の災害派遣及び不発弾等処理実績について

不発弾

- 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
- 着地後の年月で土が堆積する
- 土壌の透磁率は空気と同じ ⇒ 透明

発見場所

- 都市部
 - ⊕ 工事中に単発で見つかることが多い
- 旧軍施設・空襲被害地域
 - ⊕ まとまって見つかるケースあり
- 地方の畑や山林
 - ⊕ 偶然発見

「触らない意識」の徹底が重要





■ 地盤災害と不発弾

母 地中の不発弾が移動・露出するリスク

⇨ 地震や土砂災害で地盤が動く → 埋没している不発弾が地表に出てくる・位置が変わる

※ 爆発には強い衝撃・起爆条件が必要 → 地震や台風等に伴う爆発は基本的に起きにくい

母 人との接触リスク

⇨ 災害後の復旧工事・掘削作業

→ 重機が当たる、人が触る可能性が増える = リスク増

母 腐食や状態変化のリスク

⇨ 長年埋まっていた不発弾が劣化している可能性あり

→ 地盤崩壊などの外的刺激に対して不安定となる場合がある = リスク増

「触らない意識」の徹底化

■ 未発見不発弾に対する地盤側の対策・・・戦跡地域などでは事前調査が実施されることがある

母 地盤改良は主目的ではないが、結果として移動抑制効果を持つ可能性がある

■ 不発弾処理後

母 空洞や地盤不安定を防ぐため、適切な埋め戻しおよび締固めを行うことが重要

➡ 沖縄の土質に適した対策が必要(最適含水比)



2018年北海道胆振東武地震

