

<b>第2回</b>	<b>土質の基礎</b>
------------	--------------

■ 土の分類

➤ 土のサイズ

- ◇ 75mm より小さいものが「土」
- ◇ 75 $\mu$ mより小さいものが細粒分 → 粒径で細分しない
- ◇ 1/4mm 以下が細砂、約 1mm 以上が粗砂
- ◇ 2mm以上が礫で、約 5mm 以下が細礫、約 2cm 以上が粗礫

		75 $\mu$ m	1/4mm	1mm	2mm	5mm	2cm	7.5cm	30cm
		0.075	0.25	0.85	2	4.75	19	75	300
粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石	巨石
		砂			礫			石	
細粒分		粗粒分					石分		

➤ 大分類 (①土質材料区分、②土質区分)

土質材料区分はカッコなし、土質区分はカッコ〔 〕で記号を囲む

- ◇ 粗粒分 > 50% → ①粗粒土 **Cm** → ②礫分 > 砂分は礫粒土 [G]、砂分 ≥ 礫分は砂粒土 [S]
  - ◇ 細粒分 ≥ 50% → ①細粒土 **Fm** → ②有機質土 [O]、火山灰質粘性土 [V] を区分。それ以外は粘性土 [Cs]
    - 有機質土の区別 → 有機物混入の視認、有機臭、色調
    - 火山灰質粘性土の区別 → 地質学的背景、長石などの結晶・火山ガラスなどの視認
  - ◇ 有機物を多く含むもの → ①高有機質土 **Pm**、②そのまま高有機質土 [Pt]
- ※有機質土は細粒土の1種、高有機質土は別分類で粒度試験をする意味なし
- ◇ 人工材料 → ①人工材料 **Am**、②そのまま人工材料 [A]
- 中分類 (粗粒土は①細粒分含有率②砂分・礫分含有率の2段階で、細粒土は塑性図で分ける)

中カッコ { } で記号を囲む

- ◇ 粗粒土の第1段階中分類
    - 細粒分 ≥ 15% なら「細粒分混り砂」{SF}・「細粒分混り礫」{GF}
    - 細粒分 < 15% なら第2段階中分類へ
  - ◇ 粗粒土の第2段階中分類
    - 混入分 (砂粒土なら礫、礫粒土なら砂) < 15% なら「砂」{S}・「礫」{G}
    - 混入分 ≥ 15% なら、「砂礫」{GS}・「礫質砂」{SG}
  - ◇ 細粒土のうち粘性土は塑性図上でシルトと粘土に区分
    - A線より上が粘土 {C}、下がシルト {M}
    - 塑性指数が高い (ねばりが強い) のが粘土、ねばりの少ないのがシルト
    - 有機質土、火山灰質粘性土は中分類なし → {O}、{V}
  - ◇ 高有機質土も中分類なし → {Pt}
  - ◇ 人工材料は、廃棄物 {Wa} と改良土 {I} に区分
- 小分類 (粗粒土は細粒分・砂分・礫分の混入率で細分、細粒土は液性限界で細分)

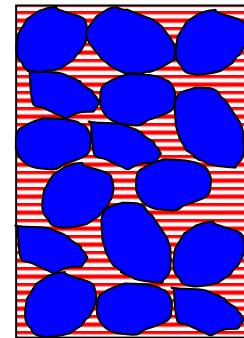
小カッコ ( ) で記号を囲む

- ◇ 粗粒土は、細粒分、砂分、礫分の混入率を 5%、15% で区切って分類する。
  - 5%未満は土質名に反映しない (無視する)
  - 5%以上 15%未満は「まじり」 → ハイフンで加える ex. 砂まじり礫 → (G-S)

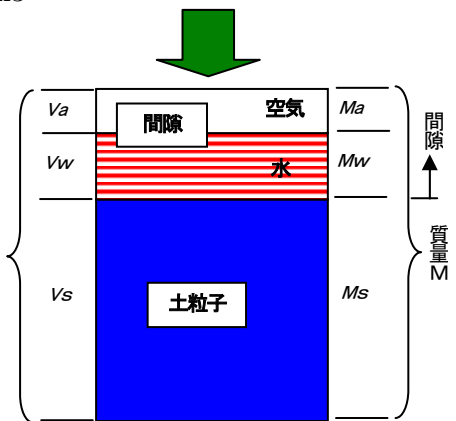
- **15%以上は「質」** →メイン土質名に続ける ex.砂質礫 → (GS)
- (例)
  - 礫がメイン、細粒分 10%、砂分 20% → 「細粒分まじり砂質礫」(GS-F)
  - 砂がメイン、細粒分が 30%、礫が 10% → 「礫混り細粒分質砂」(SF-G)
  - 礫がメイン、細粒分 10%、砂分 10% → 「細粒分砂まじり礫」(G-FS)
- ◇ 細粒土は、液性限界WLにより **50%を境に細分**する
  - $WL < 50\%$  → 「低塑性限界」 → 記号に「L」加える  
 $WL \geq 50\%$  → 「高塑性限界」 → 記号に「H」加える  
 (例) シルトでWL40% → 「シルト (低塑性限界)」(ML)
  - 有機質で火山灰質のものは「有機質火山灰土」(OV)
  - 火山灰質粘性土は、さらにWL80%でも細分  
 $50\% \leq WL < 80\%$  → ~~火山灰質粘性土 (高塑性限界)~~ → 火山灰質粘性土 (I型)  
 $WL \geq 80\%$  → 火山灰質粘性土 (II型)

■ 物理特性

- 土 → **土粒子** …… 岩片、鉱物片、有機物や貝殻 ……  
**間隙** …… 空気と水で充填されている  
 飽和土では水 100%



- 空気の質量  $M_a = 0$   
 水の質量  $M_w = V_w \times \text{水の密度 } \rho_w (\approx 1.0)$   
 土の質量  $M_s = V_s \times \text{土粒子密度 } \rho_s$
- 土粒子の密度  $\rho_s$  (g/cm<sup>3</sup>)
  - ◇ 土粒子そのものの密度  
 $\rho_s = M_s / V_s$  普通の土では  $\rho_s \approx 2.65 \text{g/cm}^3$
  - ◇  $\rho_s$  から、土の材料がわかる
    - $\rho_s$  が高い → 土の粒子が重い → 苦鉄質鉱物や重鉱物が多い → 塩基性岩起源
    - $\rho_s$  が低い → 土の粒子が軽い → 有機物や珪長質鉱物が多い



- 含水比  $W_n$  (%) 自然含水比
  - ◇  $M_w / M_s \times 100$  [%]
  - ◇ 含水比と他の特性を合わせて、いろいろなことがわかる  
 → **間隙比** · **単位体積重量** · 圧縮指数 ·  $q_u$  ……
  - ◇ 一般に粘土の  $W_n >$  砂の  $W_n$  → 粘土は間隙が多い (小さい間隙がいっぱいある)

- 湿潤密度  $\rho_t$  (g/cm<sup>3</sup>)
  - ◇ 全体 (土粒子+水+空気) の密度  $\rho_t = M/V$
  - ◇ 飽和土に限り、 $\rho_t = \frac{\rho_s \times (1 + W_n/100)}{1 + \rho_s \times W_n/100}$

**飽和土なら、 $\rho_s$  と  $W_n$  から  $\rho_t$ 、 $\gamma_t$  が換算できる**

- ◇ 単位体積重量  $\gamma_t = \rho_t \times g (\approx 9.8 \text{m/sec}^2)$ 
  - 飽和土なら  $\gamma_{t \text{ sat}} = \rho_t \times g$ 、 $\gamma_t' = \gamma_{t \text{ sat}} - \gamma_w (= g)$   
 $\gamma_t = \gamma_t' + 9$  (道示の「 $\gamma_t' = \gamma_t - 9$ 」という記載を逆読みする)

● 不飽和土なら  $\gamma_t = \rho_t \times g$ 、 $\gamma_t' = \gamma_t - 9$

➤ 乾燥密度  $\rho_d$  (g/cm<sup>3</sup>)

◇ 水を抜いたときの全体の密度  $\rho_d = M_s / V = \frac{\rho_t}{1 + (W_n / 100)}$

➤ 間隙比  $e$  (比なので無単位)

◇ 間隙部分と土粒子部分の体積比  $e = (V_a + V_w) / V_s = \rho_s / \rho_d$

◇ 飽和土に限り、 $e = W_n \times \rho_s / 100$

**飽和土なら、 $\rho_s$ と $W_n$ から $e$ が換算できる**

➤ 間隙率  $n$  (%)

◇ 全体の何%が間隙であるか  $n = (V_a + V_w) / V \times 100$  [%]

➤ 飽和度  $S_r$  (%)

◇ 間隙の何%が水で満たされているか  $S_r = V_w / (V_a + V_w) \times 100$  [%]

◇ 地下水位以深では普通 100%…100%超→試験誤差なのでモデル検討では100%とする

■ コンシステンシー特性

➤ 土の状態、 $W_L$ 、 $W_p$

	(乾きすぎ)		(湿りすぎ)
土の状態	半固体	<b>塑性状態</b>	<b>液性状態</b>
	塑性限界 $W_p$ (%)		液性限界 $W_L$ (%)

◇ あまり乾きすぎると…外力が加わると変形せずにこわれる (もろい)  $W_n < W_p$

◇ あまり湿りすぎると…土が液状となる。トロトロで自立しない  $W_n > W_L$

◇  $W_L > W_n > W_p$ の状態が良い (塑性状態である)

◇  $W_L$ が大きい土→圧縮性が高い ( $W_L$ と圧縮指数 $C_c$ の間に正の相関)

$W_L$ から圧縮指数 $C_c$ を出す経験式あり  $C_c = 0.009 (W_L - 10)$

➤ 塑性指数  $I_p = W_L - W_p$  土が塑性状態である範囲の広さ 大きいと粘性増加

$I_p$ から力学特性にかかわることもわかる… $c_u/p$ 、 $\phi'$ など

➤ コンシステンシー指数  $I_c = (W_L - W_n) / (W_L - W_p) = (W_L - W_n) / I_p$

◇ 土の安定の程度  $I_c > 1 \rightarrow W_n < W_p$ …安定

→半固体、乾きすぎてボロボロこわれる

$I_c < 1$ で1に近い→ $W_L > W_n > W_p$ …やや不安定

→通常はこの状態で施工しやすい

$I_c \approx 0 \rightarrow W_L \approx W_n$ …液状となりやすい

→**鋭敏**な状態

$I_c < 0 \rightarrow W_n > W_L$ …すでに液状となっているはず

→わずかの刺激で一気に液状となる (クイッククレイ)

➤ 活性度  $A = I_p / \text{粘土分含有量}$  [%]

活性度からせん断強度を構成する  $c$  と  $\phi$  の比が推定できる ( $c'$ と $\phi'$ )

■ 変形・圧密・破壊

➤ 物体に力を加えると、変形し、降伏を経て破壊に至る

①曲がったりして変形するが、力を除くと元に戻る → **変形** **弾性体** **弾性領域**

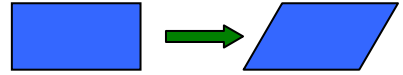
②力を除いても元には戻らなくなる → **降伏** **塑性体** **塑性領域** **圧密**

③破壊する → **破壊**

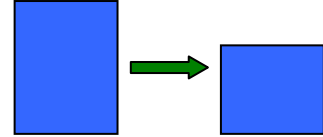
➤ 物体によって弾性・塑性領域の広さが異なる

➤ 弾性体と塑性体の境界は多少漸移的 (降伏する前から塑性変形する)

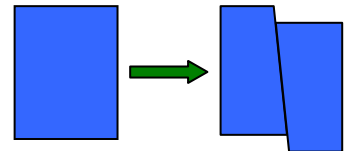
- 変形 → 力を受けて土が変形する
  - ◇ ボールを握ってへこませた状態
  - ◇ **弾性領域** → 可逆性、体積不変、即時力のバランスの問題 力を除けば元に戻る
  - ◇ 盛土直後のはらみ・前面盛り上がりなど
  - ◇ 関係定数：**変形係数 E**



- 圧密 → 圧力を受けて間隙が小さくなる
  - ◇ スポンジを握って水を絞った状態に近い ただし力を除いても、理論上は元には戻らない 実際は吸水していくらか戻る → 吸水膨張
  - ◇ 間隙を満たす水が搾り出される (圧密排水)
  - ◇ 土が締まるので強度が上がる (圧密強度増加) これを急激かつ人為的に行うのが締固め
  - ◇ 主要部分は**塑性領域** (降伏)、不可逆性、体積縮小 (圧密沈下)
  - ◇ 排水しにくい土では時間がかかる
  - ◇ 関係定数：間隙比、圧密降伏応力、圧縮指数など



- 破壊 → 土のせん断強度を超える力で破壊される
  - ◇ すべり破壊 → 円弧すべり、複合すべり、底盤破壊 (対数らせん形状)
  - ◇ 関係定数：せん断強度 (粘着力、内部摩擦角)



- FEM で解析するのは一般に変形～圧密過程

## ■ 圧密理論

- 理論の大前提
  - ◇ 土粒子は、絶対に破壊せず、化学的に完全に不活性である
  - ◇ 土中の水は、間隙水としてしか存在しない (土粒子の中に入り込んだりしない)
  - ◇ 間隙水は化学的には完全に不活性である
  - ◇ 排水は、圧密 (力を加えて水を搾り出すこと) のみによって起こる
  - ◇ 吸水することはあり得ない (土は塑性体である)
- 100%理論通りの土はない (特に吸水膨張はゼロにはならない)
- 大前提から外れる土
  - ◇ 高有機質土
    - 土粒子自体が破壊したり燃えたりする
    - 土粒子自体に大量に水を含む → 高い含水比が出るが、どこまでが間隙水がわからない
    - 吸水膨張が著しい (水を吸ってふやける)
  - ◇ 火山灰質粘性土
    - 土粒子の多くが火山ガラス起源の粘土鉱物である → 水が結晶水として緩く結合している → 出入しやすい
    - 化学的に大変反応しやすい (活性度が高い) → 六価クロムの問題、セメント・石灰との反応の激しさ
  - ◇ 上記の土は、一般的な圧密理論では挙動を予測できないことが多く、要注意
    - 特に有機物は粘性土中に頻繁に含まれ、陸域 (おぼれ谷) で特に頻繁に出現 (鳥羽平野など)