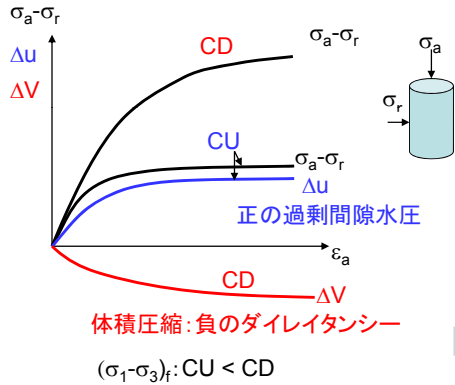


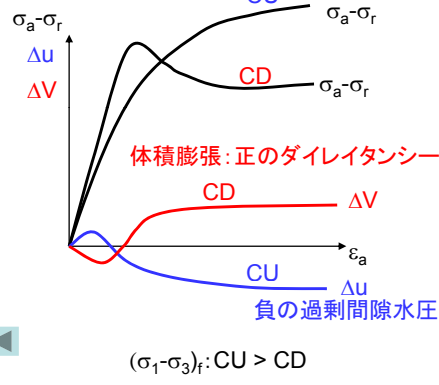
2.3 ダイレイタンスーと土の強度

土の三軸圧縮せん断(圧密非排水:CU、圧密排水:CD)

正規圧密 or 軽い過圧密粘土



著しい過圧密粘土



過圧密と正規圧密粘土の強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f: CU_{NC} \ll CU_{OC}; CD_{NC} \ll CD_{OC}$

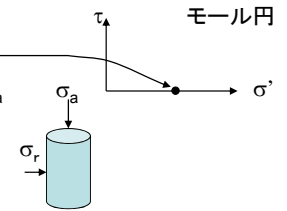
三軸試験(復習)

三軸セル

UU(非圧密・非排水せん断); CU(圧密・非排水せん断); CD(圧密・排水せん断)

圧密の種類:

等方圧密(isotropic consolidation) $\sigma'_a = \sigma'_r = \sigma'_1 = \sigma'_3$
 異方圧密(anisotropic consolidation): $\sigma'_a \neq \sigma'_r; \sigma'_r = K_0 \sigma'_a$
 (特別な異方圧密: 一次元圧密($\epsilon_r = 0$): K_0 圧密)



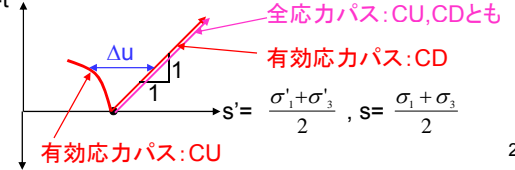
せん断の種類:

非排水 ($\Delta V = 0$) $\Rightarrow \Delta u \neq 0$ (計測) + $\sigma_a - \sigma_r$ (偏差応力) + ϵ_a (軸ひずみ)
 排水 ($\Delta u = 0$) $\Rightarrow \Delta V \neq 0$ (計測) + 同上
 圧縮 ($\Delta \sigma_a > \Delta \sigma_r$)
 伸張 ($\Delta \sigma_a < \Delta \sigma_r$) $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = t$

圧縮せん断

$\Delta \sigma_a$: 増加;
 $\sigma_r = \text{const. or } \Delta \sigma_r = 0$

CIUCの応力パス



K_0 圧密 (at rest consolidation or K_0 consolidation)

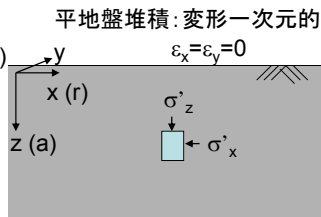
一次元圧密:

この時の側方圧: 静止土圧(K_0 土圧: at rest earth pressure)

通常は、 $\sigma'_z \neq \sigma'_x; \sigma'_x = K_0 \sigma'_z$

K_0 : 静止土圧係数 (earth pressure coefficient at rest)

注: K_0 値は有効鉛直土圧に掛ける
 側方全応力を求めるために $\sigma_x = K_0 \sigma_z$ は不可。



平地盤: 最も一般的な初期条件

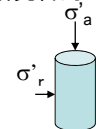
K_0 値は、土質以外に、堆積履歴、応力履歴によって変化する。正規圧密、過圧密で異なる。

土の力学特性: 堆積過程によって決まる構造と、応力状態の影響を受ける。

したがって、より正確な土のせん断特性を調べるためには、 K_0 圧密した供試体に対して、せん断試験を行うことが望まれる。ただし、重要構造物、研究目的に限られる。

CK₀UC
 CK₀UE

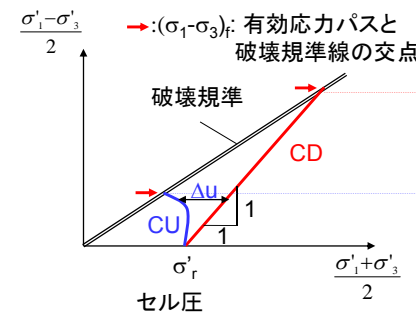
モール円、応力パス??



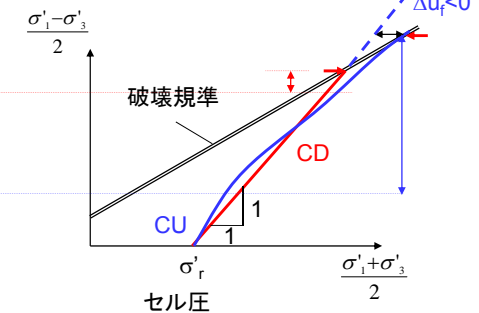
3

同じ初期応力におけるせん断時の有効応力パス

正規圧密 or 軽い過圧密粘土



著しい過圧密粘土



過圧密粘土と正規圧密粘土の強度の差

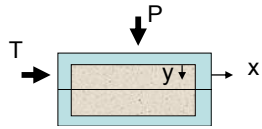
$(\sigma_1 - \sigma_3)_f: CU_{NC} \ll CU_{OC}$ 主として過剰間隙水圧の差

$CD_{NC} \ll CD_{OC}$ 主として破壊規準線の差 ダイレイタンスーの差

4

砂の一面せん断試験結果

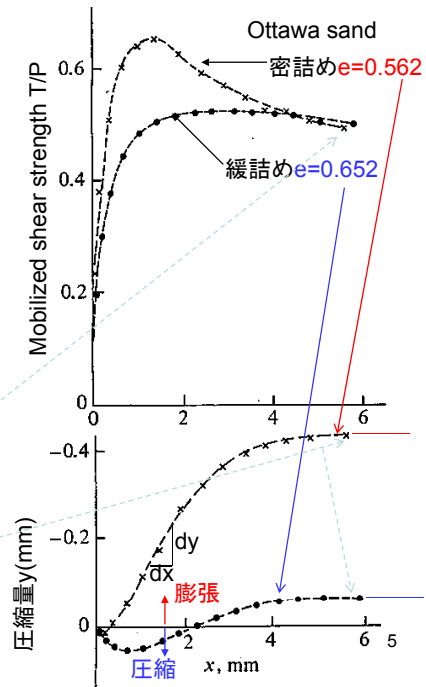
Taylor (1948)



ピーク強度: 密詰砂 > 緩詰砂

体積変化: 密詰砂がより大きな膨張
(正のダイレイタンス)

大きなせん断変形の後:
残留強度に差はなし
体積変化 dy/dx はほぼゼロ

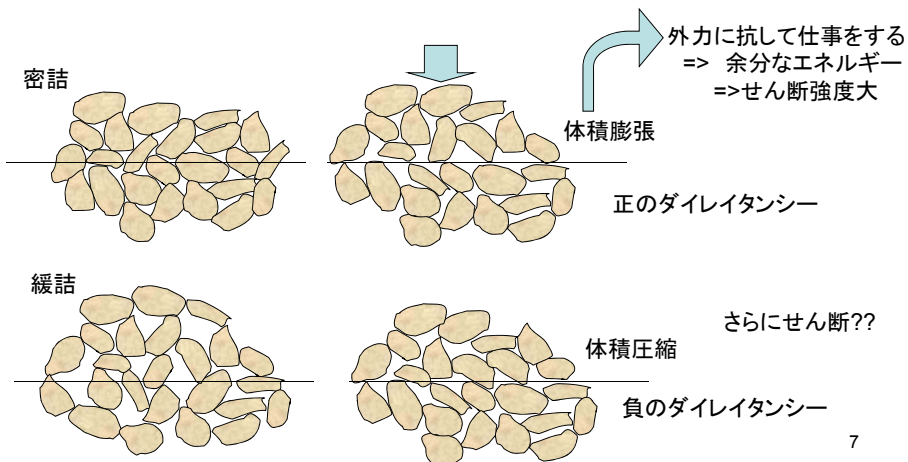


ダイレイタンスについての幾つかの疑問

1. 何故、土はダイレイタンスが生じ、重要となるか？
2. 何故、ダイレイタンスと強度が関係するか？
また、どのように？
3. 何故、ダイレイタンスと間隙水圧が関係するか？
どのように？

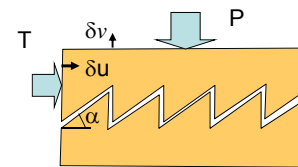
何故、土はダイレイタンスが生じ、重要となるか？

土は粒状体 => かみ合い (interlocking)
せん断により、かみ合いが変化 => 体積変化



何故、ダイレイタンスと強度が関係するか？ どのように？

のこぎりの歯の analogy



δv の方向
P と逆

要素境界での全仕事:

$$\delta W_T = -P \delta v + T \delta u \quad (2.12)$$

摩擦によって消費される仕事:

μ : 土粒子間の
摩擦係数

$$\delta W_T = \mu P \delta u \quad (2.13)$$

仮定: 要素に与えられた仕事は、摩擦エネルギー
ですべて消費される (完全塑性: Taylor の仮定)
(2.12) = (2.13) 両辺を $P \delta u$ で割る

粘着力がない乾燥した砂の場合

$$\frac{T}{P} = \frac{A \tau_f}{A \sigma'} = \tan \phi' \quad (2.15)$$

$$\frac{T}{P} = \mu + \frac{\delta v}{\delta u} \quad (2.14)$$

$$\tan \phi' = \mu + \tan \psi \quad (2.17)$$

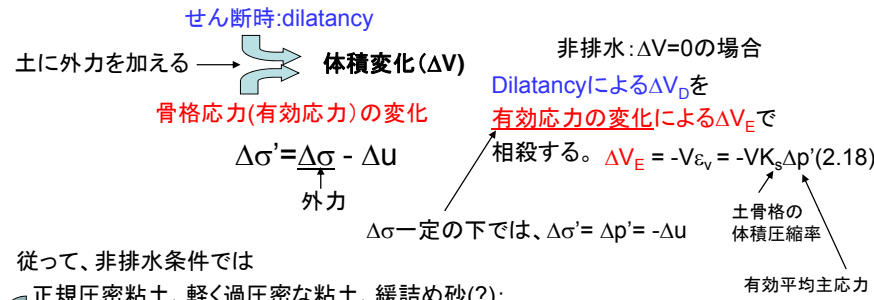
ダイレイション角: ψ $\tan \psi = \frac{-\delta \epsilon_v}{\delta \gamma_{zx}} = \frac{\delta v}{\delta u}$ (2.16)
(dilation angle)

せん断ひずみに対する体積ひずみの比

膨張するような密な土ほど
 ϕ' は大きくなる

圧縮する土は??

何故、ダイレイタンスーと間隙水圧が関係するか？ どのように？



- 従って、非排水条件では
- 正規圧密粘土、軽く過圧密な粘土、緩詰め砂(?):
負のダイレイタンスー(ΔV_D<0)
=> ΔV_E>0 => Δp'<0 => Δu>0 (正の過剰間隙水圧)
 - 著しく過圧密な粘土、密詰め砂:
正のダイレイタンスー(ΔV_D>0)
=> ΔV_E<0 => Δp'>0 => Δu<0 (負の過剰間隙水圧)

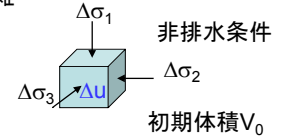
2.4 過剰間隙水圧 (excess pore water pressure)

Δσ' = Δσ - Δu → 有効応力の原理 強度、剛性=f(σ' or p')

間隙水圧: 極めて重要 but 正確なΔuの評価は極めて複雑、

why: dilatancy特性を含め土の材料特性極めて複雑

間隙水圧特性の評価 <= 理想化
例: 土骨格を弾性体、完全飽和



平衡状態の土要素に
非排水条件で外力(Δσ₁, Δσ₂, Δσ₃)を加える

主応力方向のひずみ
ε₁, ε₂, ε₃ (圧縮正)

Hooke則(等方)より

Δσ'₁ = Δσ₁ - Δu 有効応力の変化

Δσ'₂ = Δσ₂ - Δu 骨格の体積変化

Δσ'₃ = Δσ₃ - Δu

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{E'} [\Delta\sigma'_1 - \nu'(\Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E'} [\Delta\sigma'_2 - \nu'(\Delta\sigma'_3 + \Delta\sigma'_1)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E'} [\Delta\sigma'_3 - \nu'(\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2)] \end{aligned} \right\} (2.19)$$

(2.19)より

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \frac{1}{E'} (1 - 2\nu') (\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3) \quad (2.20)$$

微小ひずみの場合 $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = -\frac{\Delta V}{V_0}$ (= ε_v: 体積ひずみ) (2.21)

$$\varepsilon_v = \frac{1 - 2\nu'}{E'} (\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3) \quad (2.22)$$

ここで平均主応力増分 $\Delta p' = \frac{\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3}{3} \rightarrow \varepsilon_v = K_s \Delta p'$ (2.23)

(2.22&23)より $K_s = \frac{3(1 - 2\nu')}{E'}$ (2.24) K_s: 土骨格の体積圧縮率(m_vに対応)

間隙水の体積: nV₀ K': 体積弾性係数 K' = $\frac{E'}{3(1 - 2\nu')}$
(cf: G: せん断弾性係数) Gγ_{vs} = τ_{vs}; G = $\frac{E}{2(1 + 2\nu)}$}

Δuでの間隙水の体積変化: ΔV_w

$$-\Delta V_w = nV_0 K_w \Delta u \quad (2.25)$$

水の体積圧縮率 (4.4×10⁻⁷ kPa⁻¹)

土粒子の剛性Kは水よりも大 => 非圧縮

非排水条件 => 骨格の体積変化 = 間隙水の体積変化
(2.22, 23&25)より

$$nV_0 K_w \Delta u = V_0 K_s \frac{1}{3} (\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3)$$

$$n \frac{K_w}{K_s} \Delta u = \frac{\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3}{3} - \Delta u$$

$$\therefore \Delta u = B \frac{\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3}{3} \quad (2.26)$$

$$B = \frac{1}{1 + nK_w / K_s} \quad \text{間隙水圧係数: B値}$$

ここで、K_s = 10² ~ 10⁵ K_{w} n = 0 ~ 1 } B ≐ 1}

不飽和の場合: 間隙部の体積弾性率 K_w => K_wS_r/100 + K_a(1 - S_r/100) ~ K_s

間隙の体積変化無視できない: B < 1

三軸試験における間隙水圧係数

軸対称: $\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$

$$(2.26) \Rightarrow \Delta u = B \frac{1}{3} (\Delta\sigma_1 + 2\Delta\sigma_3) = B \left[\Delta\sigma_3 + \frac{1}{3} (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \right] \quad (2.27)$$

セル圧 (等方的) 偏差応力: せん断力 (軸差)

土を等方弾性と仮定

土は弾性的ではなく、非線形で塑性的せん断特性

Skemptonの間隙水圧公式

$$\Delta u = B \left[\Delta\sigma_3 + A (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \right] \quad (2.28)$$

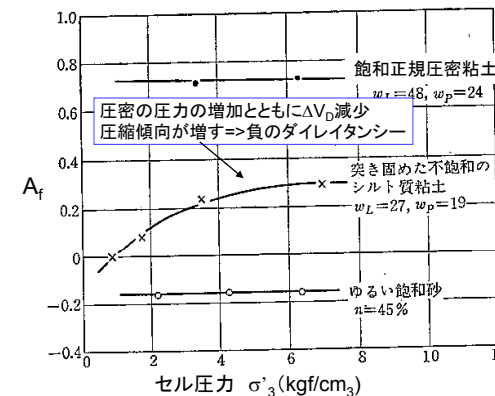
間隙水圧係数 $B=f(S_r)$ 飽和ならば1
(pore water pressure coefficient) $A=f(\text{dilatancy})$
 $=f(\text{応力履歴、土の種類、せん断ひずみ})$
OCR

最も注目すべき点: 破壊点のA値 (A_f) ← せん断過程で変化する

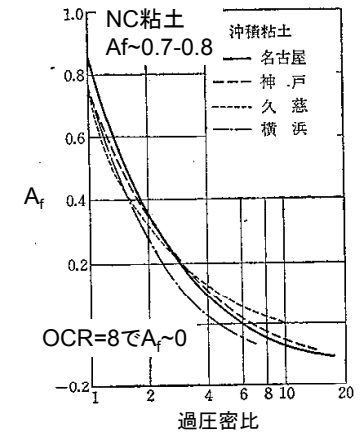
13

破壊時の間隙水圧係数A値 (A_f)

A_f 大 A_f 小
粘土っぽい 砂っぽい
OCR小 OCR大



種々の土における破壊時間隙水圧係数 A_f (Skempton, 他1954)



過圧密比と破壊時間隙水圧係数 A_f の関係 (Nakase, 1967)

「土質力学: 最上編(技報堂)」

本日のTechnical terms

- ・ダイレイタンス: dilatancy
- ・等方圧密: isotropic consolidation
- ・異方圧密: anisotropic consolidation
- ・ K_0 圧密: at rest consolidation, K_0 consolidation
- ・静止土圧係数: earth pressure coefficient at rest = K_0 value
- ・かみ合い: interlocking
- ・ダイレーション角: dilation angle
- ・過剰間隙水圧: excess pore water pressure
- ・間隙水圧係数: pore water pressure coefficient $\Rightarrow A$ 値、 B 値
- ・スケンプトンの間隙水圧公式: Skempton's pore water pressure equation

課題(1/6)

問1 飽和正規圧密粘土試料に対して三軸セル内でまず200kPaで等方圧密した。圧密終了後、非排水条件で等方的に作用するセル圧を100kPa上昇させた場合、過剰間隙水圧 (Δu)はいくらか? また、有効応力の変化 ($\Delta\sigma'$)、100kPaセル圧を上げることによる強度の増加はいくらか?

問2 上記の粘土に対して、200kPaで等方圧密終了後、非排水圧縮せん断試験を行った。この土の有効摩擦角 $\phi' = 30^\circ$ 、有効粘着力 $c' = 0$ 、破壊時間隙水圧係数 $A_f = 0.7$ とすると。破壊時の偏差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$)、鉛直全応力 (σ_1)、過剰間隙水圧 (Δu)はいくらとなるか?

15