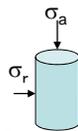


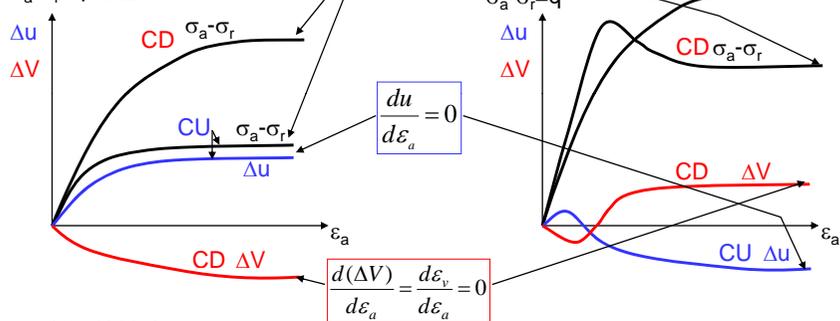
2.4 限界状態理論概説 Critical State Soil Mechanics



正規圧密 or 軽い過圧密粘土

著しい過圧密粘土

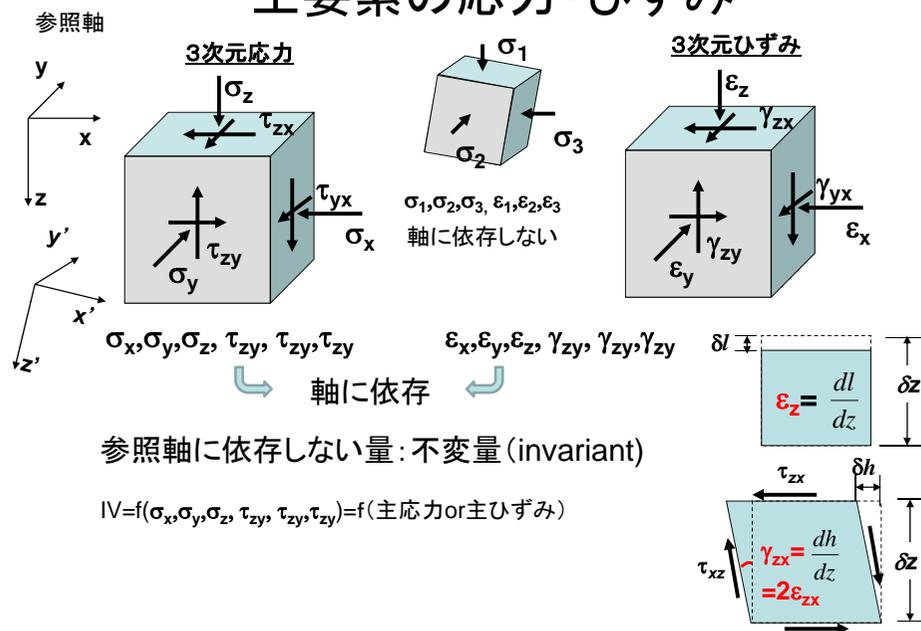
$\sigma_a - \sigma_r = q$: 偏差応力



三軸圧縮試験 ($\sigma_r = \text{const}$):

土の状態、排水条件に関わらず、試験の最終状態では、応力 (p' (平均主応力), q) 変化は無く、体積ひずみの変化もなく (間隙比一定)、軸ひずみ (せん断ひずみ) が進行する。この状態を **限界状態 (critical state)** と呼ぶ。

土要素の応力・ひずみ



不変量 (invariants)

2次元

応力の不変量

平面ひずみ ($\epsilon_2 = 0$) OK
軸対称 (??)

ひずみの不変量

$$\text{平均応力: } s = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_a + \sigma_r}{2} \longleftrightarrow \epsilon_v = \epsilon_x + \epsilon_y = \epsilon_1 + \epsilon_3 = \epsilon_a + \epsilon_r$$

$$\text{偏差応力: } t = \frac{[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]^{1/2}}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_a - \sigma_r}{2} \longleftrightarrow \epsilon_y = \frac{[(\epsilon_x - \epsilon_z)^2 + 4\epsilon_{xz}^2]^{1/2}}{2} = \epsilon_1 - \epsilon_3 = \epsilon_a - \epsilon_r$$

3次元

軸対称

$$p = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \frac{\sigma_a + 2\sigma_r}{3} \longleftrightarrow \epsilon_v = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = \epsilon_a + 2\epsilon_r$$

$$q = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{1}{3} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_a - \sigma_r$$

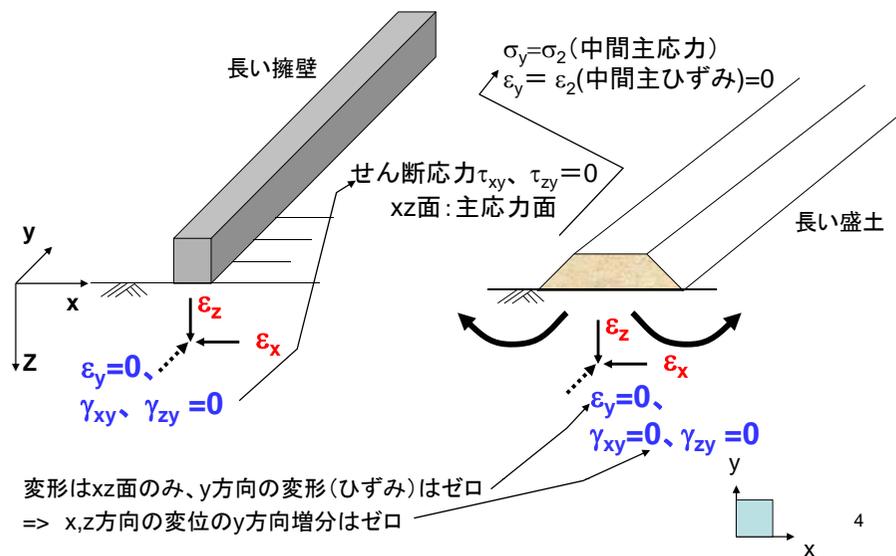
正八面体応力: σ_{oct}, τ_{oct}

$$\epsilon_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2}{3} [(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 + \frac{3}{2}(\epsilon_{xy}^2 + \epsilon_{yz}^2 + \epsilon_{zx}^2)]^{1/2}$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{3} [(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2]^{1/2} = \frac{2}{3} (\epsilon_1 - \epsilon_3) = \frac{2}{3} (\epsilon_a - \epsilon_r)$$

正八面体ひずみ: $\epsilon_{oct}, \gamma_{oct}$

2次元変形 平面ひずみ (plane strain) 状態



Weald Clay の限界状態における p'-q, p'-v 関係

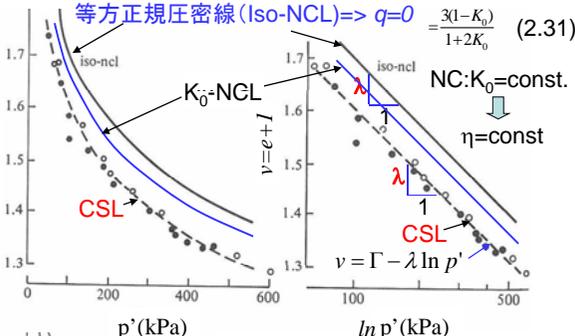
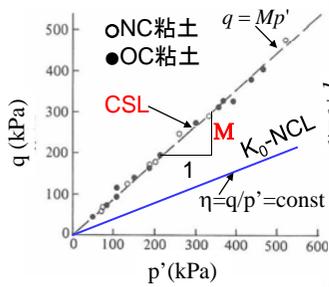
繰り返した粘土 (remolded clay)

Roscoe, Scofield & Wroth (1958)

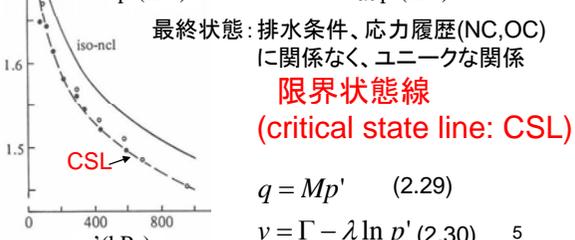
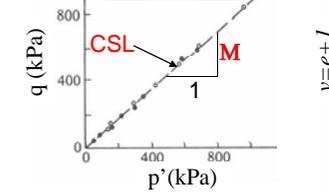
K_0 -NCL の応力比

$$\eta = \frac{q'}{p'} = \frac{\sigma_1 - K_0 \sigma_3}{(\sigma_1 + 2K_0 \sigma_3)/3} = \frac{3(1-K_0)}{1+2K_0} \quad (2.31)$$

三軸非排水試験



三軸排水試験

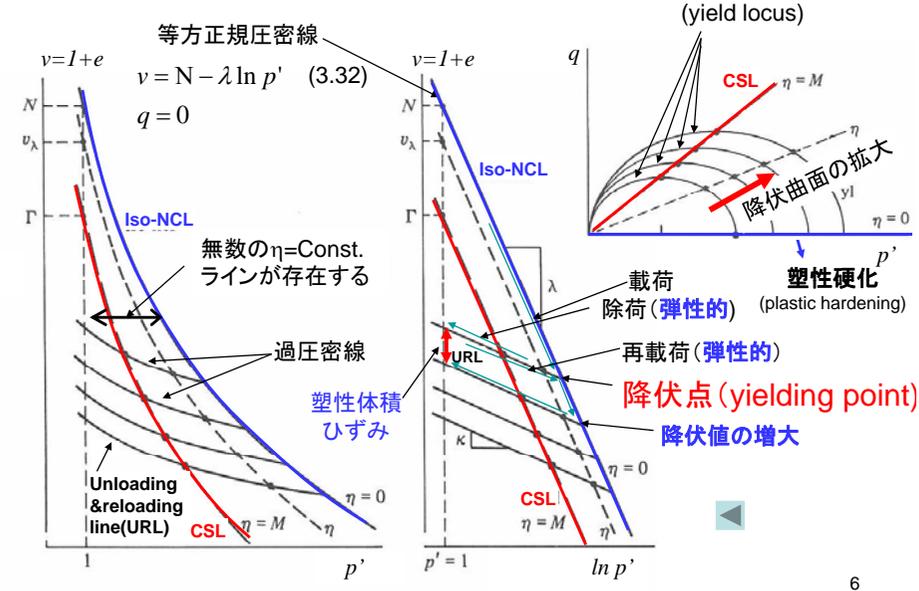


最終状態: 排水条件、応力履歴 (NC, OC) に関係なく、ユニークな関係
限界状態線 (critical state line: CSL)

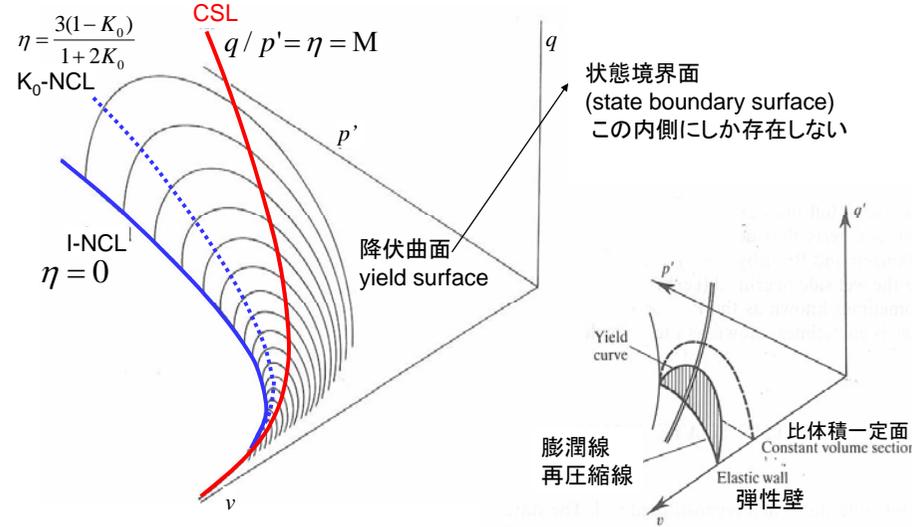
$$q = Mp' \quad (2.29)$$

$$v = \Gamma - \lambda \ln p' \quad (2.30)$$

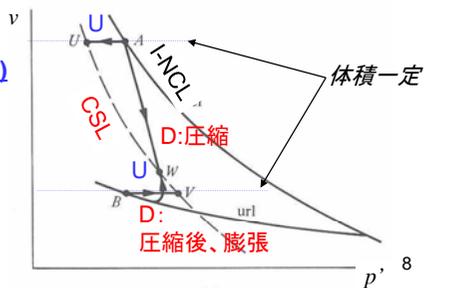
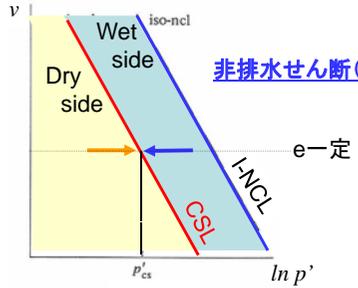
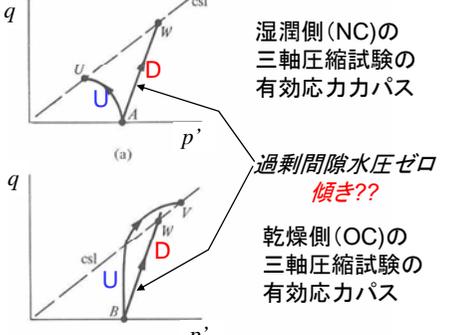
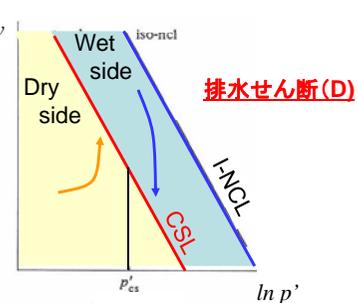
限界状態線と降伏面上応力比(eta)一定線



v - p'-q 空間における 限界状態線、等方正規圧密線、K0正規圧密線の3次元表示



湿潤側、乾燥側



土の強度とCSL

CSLの関係を用いることにより土の強度の予測が可。

$$q = Mp' \quad (2.29)$$

$$v = \Gamma - \lambda \ln p' \quad (2.30)$$

非排水強度: 体積はある間隙比 e (比体積 v)の下で一定

(2.30)より

$$p' = \exp\left(\frac{\Gamma - v}{\lambda}\right) \Rightarrow q = M \exp\left(\frac{\Gamma - v}{\lambda}\right) \quad (2.33)$$

$$c_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{q}{2} \quad \text{より} \quad c_u = \frac{M}{2} \exp\left(\frac{\Gamma - v}{\lambda}\right) \quad (2.34)$$

比体積or間隙比
のみの関数

p' での等方正規圧密状態 \Rightarrow (2.32)式(p')で v を求める。

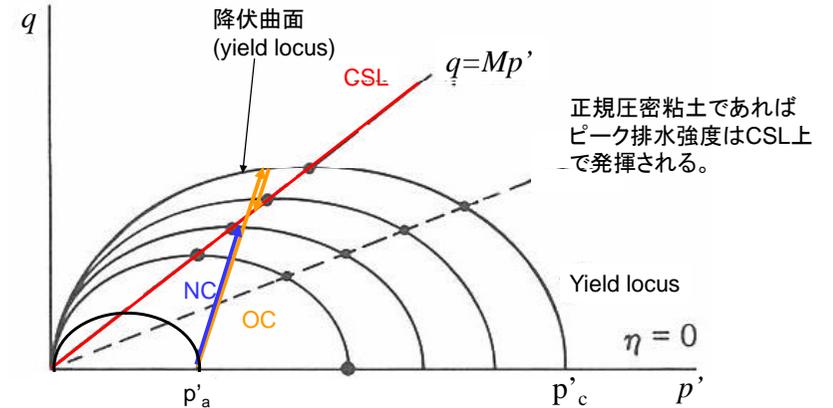
一次元(K_0)正規圧密 $\Rightarrow e$ - $\log(\sigma_v')$ 関係より e ($v=e+1$)を求める

p' 等方過圧密状態 \Rightarrow 最大先行圧密圧力(p'_c)

$$v = (N - \lambda \ln p'_c) - \kappa \ln \left(\frac{p'}{p'_c} \right) \quad (2.35)$$

9

排水試験の強度=f(全応力パス)



正規圧密粘土であれば
ピーク排水強度はCSL上
で発揮される。

NC: 常に降伏面上で降伏曲面の拡大 \Rightarrow **ピーク強度は初期とCSL ($q'=Mp'$)**
OC: 降伏後: 降伏曲面の縮小 \Rightarrow 初期状態と降伏局面の形で決まる

10

本日のTechnical terms

- ・限界状態(線): critical state (line), CSL
- ・等方圧密曲線: isotropically consolidation line
- ・異方圧密曲線: anisotropically consolidation line
- ・降伏曲面: yield locus (surface)
- ・塑性硬化: plastic hardening
- ・specific volume (v) - p' - q space
- ・弾性壁: elastic wall
- ・湿潤側: wet side; 乾燥側: dry side

課題(1/13)

問 限界状態線は正規圧密粘土の破壊状態(破壊基準)と対応する。すなわち、

限界状態線 $q = Mp'$ と

$$\text{正規圧密のモールクーロン基準} \quad \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \sin \phi'$$

は同等とみなすことができる。

これより三軸圧縮試験条件における M と ϕ' の関係を求めよ。

11