

土の圧縮特性

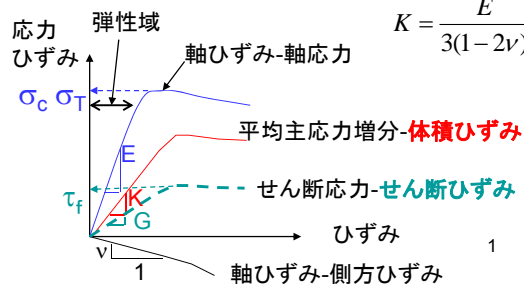
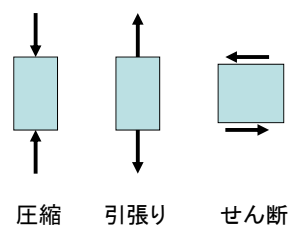
材料特性

強さ(強度) \Rightarrow 圧縮強度(σ_c)、引張り強度(σ_T)、せん断強度(τ_f)
 硬さ(剛性) \Rightarrow ヤング率(E)、ポアソン比(ν)、せん断弾性率(G)、
 体積弾性率(K)=体積圧縮係数($m_v=1/K$)
 粘り強さ(靱性) \Rightarrow 破壊ひずみ、エネルギー吸収率

全体を表す構成関係=応力-ひずみ関係

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$



代表的な特性

土木材料:

鋼材: $E \sim 210\text{GPa}$, $\nu \sim 0.29$, $\sigma_T = 100\text{-}1000\text{MPa}$

アルミ: $E \sim 70\text{GPa}$, $\nu \sim 0.25$, $\sigma_T = 100\text{MPa}$

コンクリート $E = 18\text{-}38\text{GPa}$, $\nu \sim 0.2$, $\sigma_c = 20\text{-}80\text{MPa}$

岩: 硬岩: $E > 80\text{GPa}$, 軟岩: $< 15\text{GPa}$, $\sigma_c = 1\text{-}200\text{MPa}$

土質: $E = \text{泥水の} E (\approx 0\text{kPa}) \sim \text{軟岩の} E = F$ (種々の要因?)

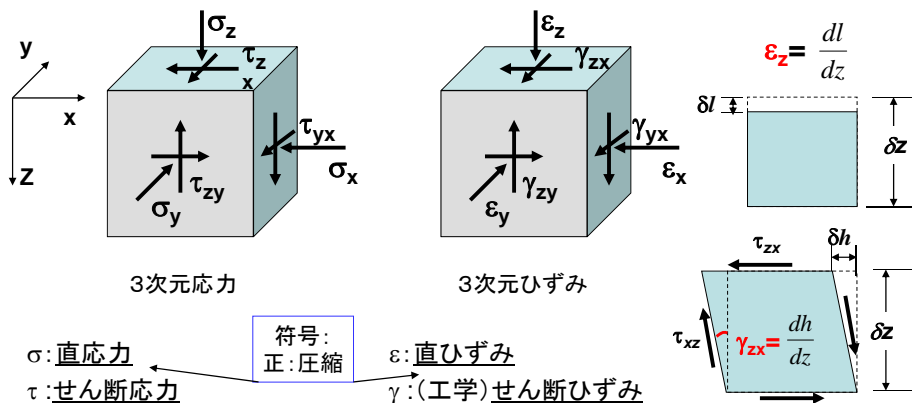
+ 非線形(実際は弾性域はきわめて小さい)

$\sigma_c = \text{泥水}(0\text{kPa}) \sim \text{軟岩の強度} = F'$ (種々の要因?)

種々の変形条件

3次元、2次元(平面ひずみ)、1次元

軸対称変形: 3次元の一種



σ : 直応力
 τ : せん断応力

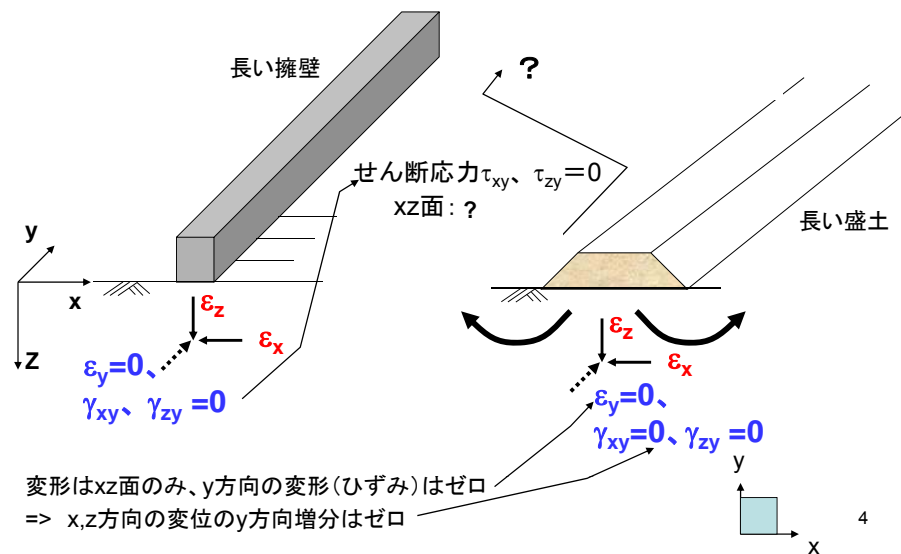
符号:
 正: 圧縮

ϵ : 直ひずみ
 γ : (工学)せん断ひずみ

正: 反時計まわり

正: 第一象限の角度が増える

2次元変形 平面ひずみ(plane strain)状態



軸対称変形 Axial Symmetry

円形基礎の中心載荷

円筒座標系のひずみ成分

$$\varepsilon_r = -\frac{\partial u_r}{\partial r}, \varepsilon_\theta = -\frac{\partial u_\theta}{r\partial\theta} - \frac{u_r}{r}, \varepsilon_z = -\frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\gamma_{r\theta} = -\frac{\partial u_r}{r\partial\theta} + \frac{u_r}{r} - \frac{\partial u_\theta}{\partial r}$$

$$\gamma_{rz} = -\left(\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z}\right)$$

$$\gamma_{\theta z} = -\left(\frac{\partial u_\theta}{\partial z} + \frac{\partial w}{r\partial\theta}\right)$$

変位成分

円筒座標系による応力成分
変位成分

軸対称

θ方向の変位(u_θ)、
応力変化 $\left(\frac{\partial\sigma_\theta}{\partial\theta}, \frac{\partial\tau_{r\theta}}{\partial\theta}, \frac{\partial\tau_{\theta z}}{\partial\theta}\right)$ } ゼロ、

ひずみ成分: $\gamma_{\theta r} = \gamma_{z\theta} = 0, \varepsilon_r = -\frac{\partial u_r}{\partial r}, \varepsilon_\theta = -\frac{u_r}{r}, \varepsilon_z = -\frac{\partial w}{\partial z}, \gamma_{rz} = -\left(\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z}\right)$ 5

z軸を通る鉛直面?

一次元変形 one dimensional deformation

地盤の堆積 (水平地盤)

一次元(変形)堆積

圧縮層厚さに対して相対的に広い範囲に載荷
変形は鉛直方向のみ ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_h = 0$)

一次元変形

$\gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$

xy, yz, zx面: ?

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: ?

1. 粘土の圧密(consolidation)

日本の臨海部: 沖積粘土地盤が広く分布

Water front開発: 東京湾 羽田空港 MM21
有明 幕張メッセ

沖積粘土: 水を多く含み(間隙大)、

非常に軟弱
圧縮性大

関西 関西新空港
ポートアイランド
六甲アイランド
神戸空港

強度、剛性の増加 => 密実化 (eを小さくする)
(体積圧縮)

飽和粘土 => 水を追い出す (圧密)

cf: 不飽和土 => 空気を追い出す (締固め)

But 粘土 $k=10^{-9} \sim 10^{-11} \text{m/s}$
• 水が出難い
• 時間がかかる
• 荷重を加えても圧縮が遅れて生じる

1. 1 一次元圧縮

一次元状態における応力ひずみ関係

一次元変形

圧縮ひずみ = 体積ひずみ (ε_c) (ε_v)

$\varepsilon_c = \frac{-\Delta h}{h_0} = \frac{-\Delta h A}{h_0 A} = \varepsilon_v$ (断面積: 不変)

土要素: 初期 p_0 の鉛直圧力を受けている

飽和

載荷前: p_0 , e_0 , h_0

載荷後: $p_0 + \Delta p$, e , h

間隙比: e_0 (void ratio) → e

比体積: $1+e_0$ (specific volume) → $1+e$

$\varepsilon_v = \frac{(1+e_0) - (1+e)}{1+e_0} = \frac{e_0 - e}{1+e_0}$

$\varepsilon_v = \frac{-\Delta e}{1+e_0}$ (1.1)

応力増分 Δp 間:土が弾的に挙動すると仮定

$$\Delta \varepsilon_v \propto \Delta p$$

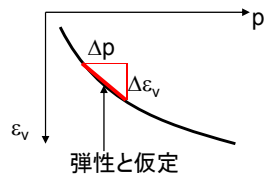
$$\Delta \varepsilon_v = m_v \Delta p \quad (1.2)$$

$$\text{体積圧縮係数: } m_v = \frac{-\Delta e}{(1+e_0)\Delta p} \quad (1.3)$$

Coefficient of compressibility

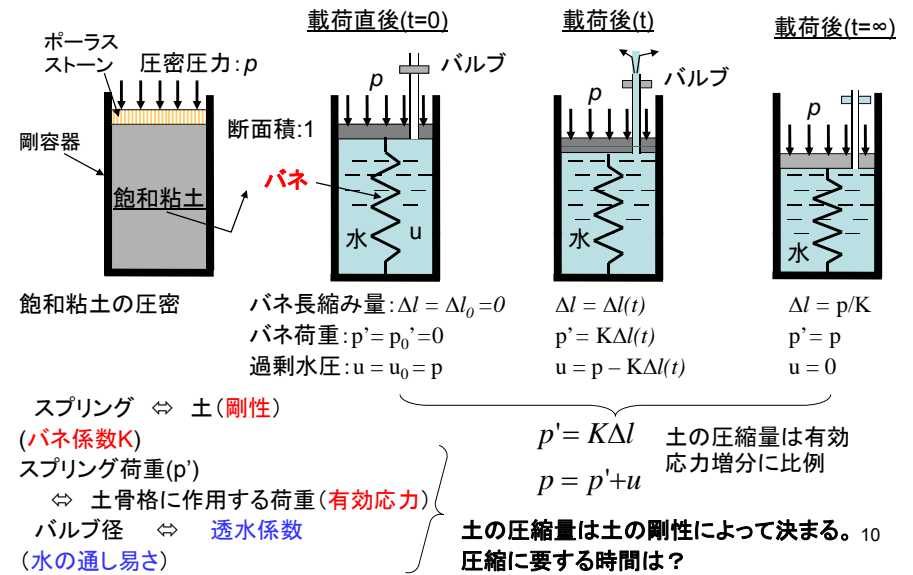
Why 増分形?

一次元圧縮における土の応力~体積ひずみ関係:非線形



圧密:圧縮(沈下)現象の時間過程

— ピストンとスプリングのモデル —

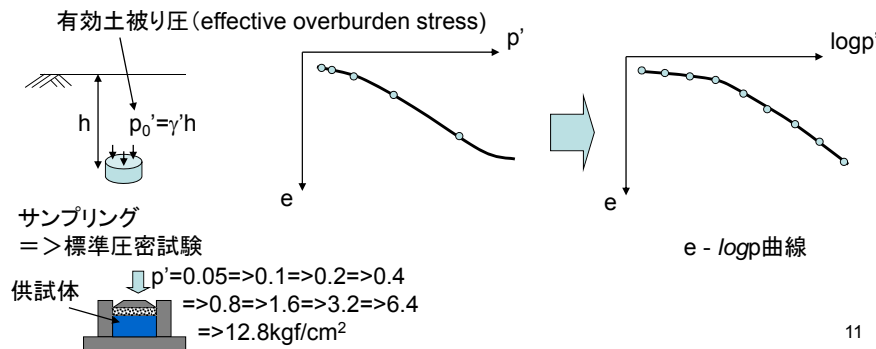


1.2 土の圧縮性($e - \log p$ 関係)

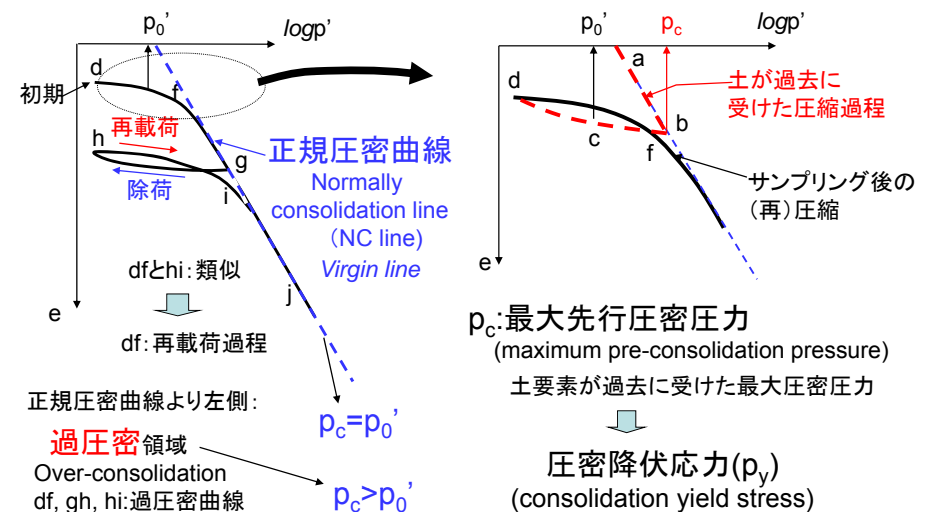
大きな荷重増分に対し、 $p \sim \varepsilon_v$ 関係は非線形

$$\varepsilon_v: \text{間隙比の関数 } \varepsilon_v = \frac{-\Delta h}{h_0} = \frac{(1+e_0)-(1+e)}{1+e_0} = \frac{-\Delta e}{1+e_0} \quad (1.1)$$

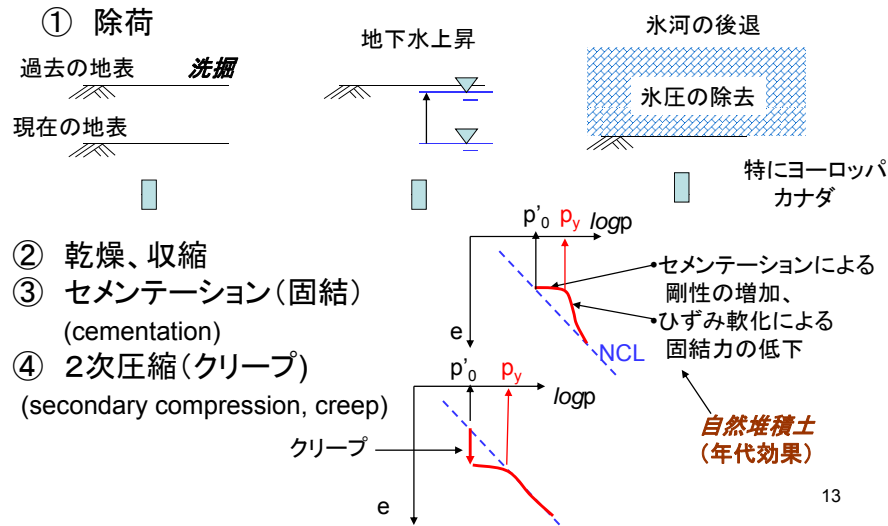
土の圧縮性は $e \sim p$ ($e \sim \log p$)関係で表す



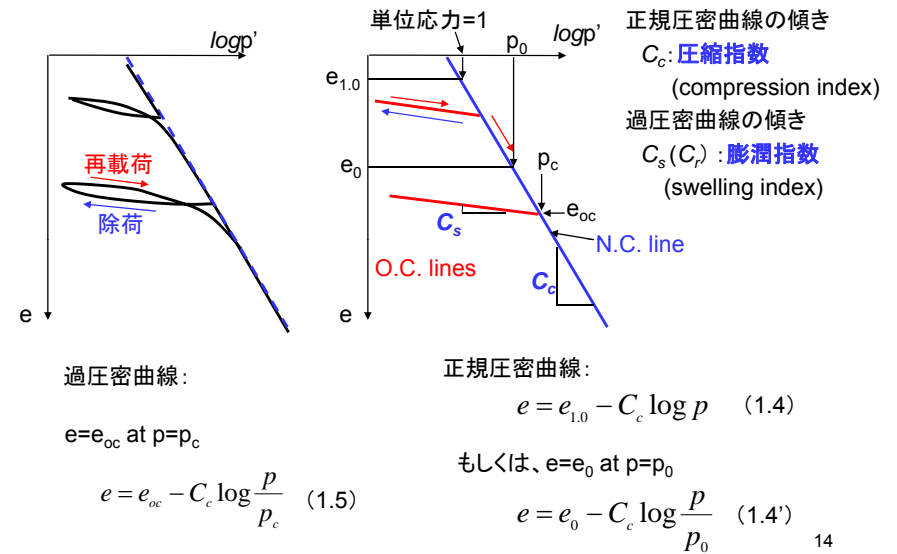
土の圧縮曲線($e \sim \log p$ 曲線)の特徴



過圧密状態となる理由 $p'_0 < p_y$ となる圧密降伏応力が表れる理由



$e \sim \log p$ 曲線の理想化



本日のTechnical terms

- 平面ひずみ: plane strain
- 軸対称: axial symmetry
- 間隙比: void ratio
- 比体積: specific volume
- 体積圧縮係数: coefficient of compressibility
- 有効土被り圧: effective overburden stress
- 正規圧密: normally consolidation
- 正規圧密粘土: normally consolidated clay
- 過圧密: over-consolidation
- 過圧密粘土: over-consolidated clay
- 最大先行圧密圧力: maximum pre-consolidation pressure
- 圧密降伏応力: consolidation yield stress
- セメンテーション: cementation
- 圧縮指数: compression index
- 膨潤指数: swelling index

宿題(10/14-②)

十分広い範囲に100kN/m²の盛土载荷を行なったところ、地盤中のある土要素の間隙比が2.から1.55に減少した。

- (1)このときの体積ひずみ ε_v はいくらか?
- (2)この圧力増分に対する土の体積圧縮係数(m_v)はいくらか?

