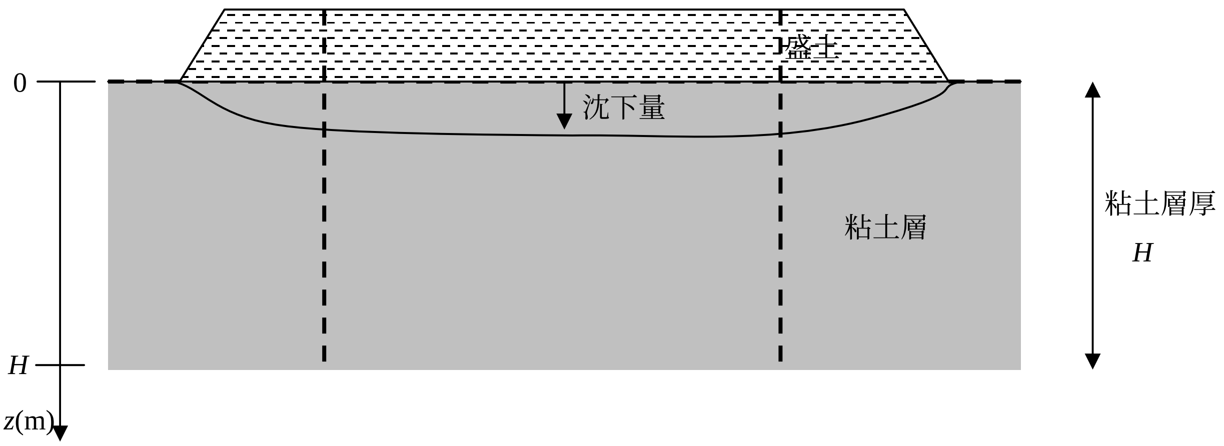
土質力学Ⅰ及び演習（B班：小高担当）　配付資料 No.9　(2004.12.15)

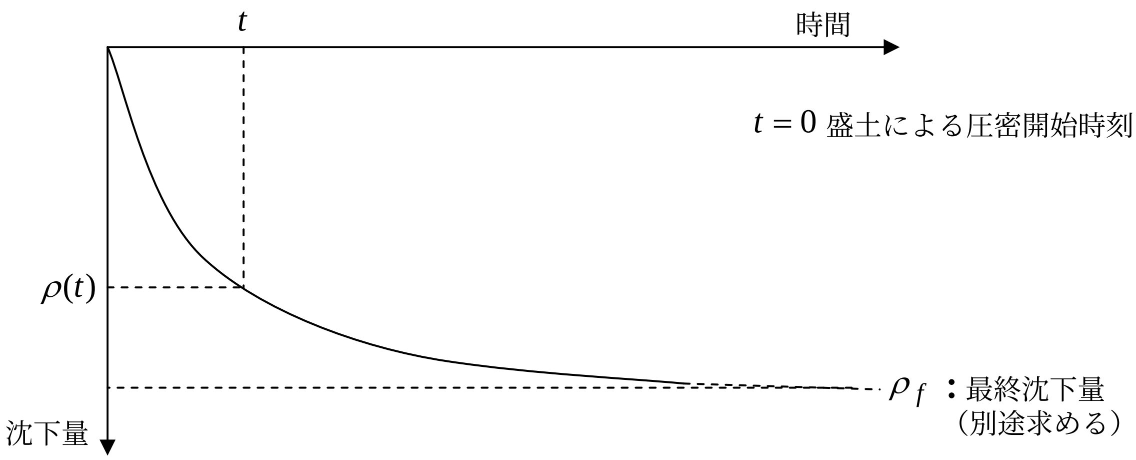
【圧密理論による粘土地盤の沈下解析】

圧密：土粒子と間隙水の混合体である土から，外力の作用によって間隙水が排水されるために起こる体積変化。土の透水係数は小さいために圧密には必ず時間遅れが伴う。

本講義では，一次元問題に単純化できる問題のみを扱う＝一次元圧密



圧密における時間～沈下量の関係



$$\rho(t) = U(t) \cdot \rho_f$$

$U(t)$ **：**平均圧密度　0～100%　　0%：圧密が全く起こっていない状態

100%：圧密が完全に完了した状態

沈下解析の目的：最終沈下量 ρ_f とそれまで要するおおよその時間，あるいは，ある時刻 t における沈下量 $\rho(t)$ を予測する。

◎最終沈下量 ρ_f の求め方

①体積圧縮係数 m_v を使用

盛土載荷応力を Δp とした時，圧密終了時には地盤内の有効応力増分は $\Delta\sigma' = \Delta p$ となっている。

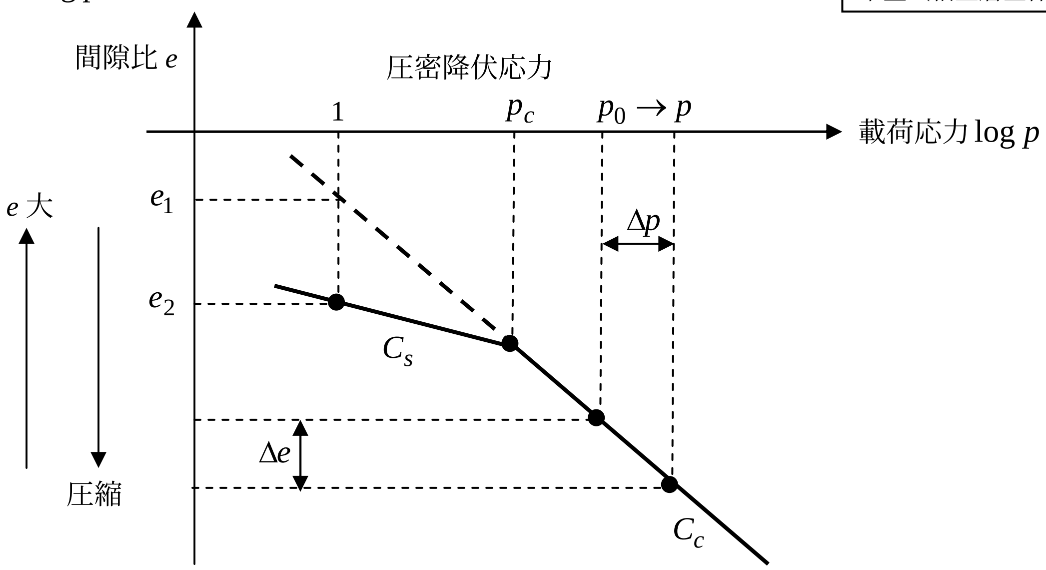
$$\rho_f = \int_0^H \Delta\varepsilon dz = \int_0^H m_v \cdot \Delta\sigma' dz = \int_0^H m_v \cdot \Delta p dz = m_v \cdot \Delta p \cdot \underline{H}$$

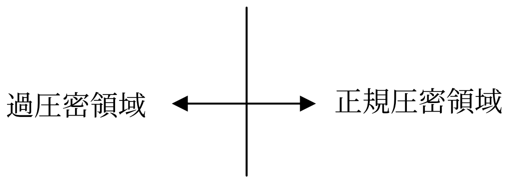
H:粘土層全体の層厚
沈下は粘土層全体が圧縮変形した結果として，地表面で観測されるものであるから，粘土層全体の厚さにひずみを掛けて沈下量（粘土層全体の変形量）を計算する。

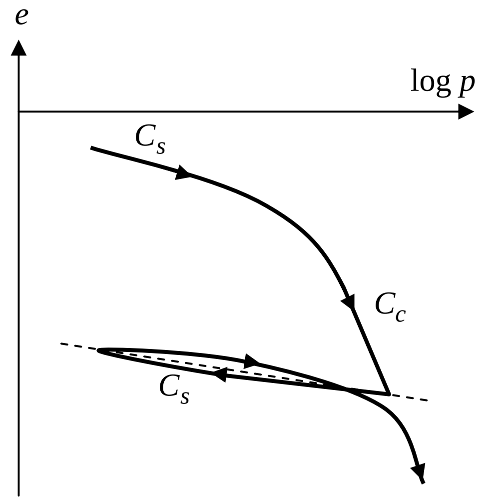
※弾性圧密理論では
構成式（応力とひずみを関係づける式）

$$\Delta\varepsilon = m_v \cdot \Delta\sigma'$$

② $e \sim \log p$ 関係を使用







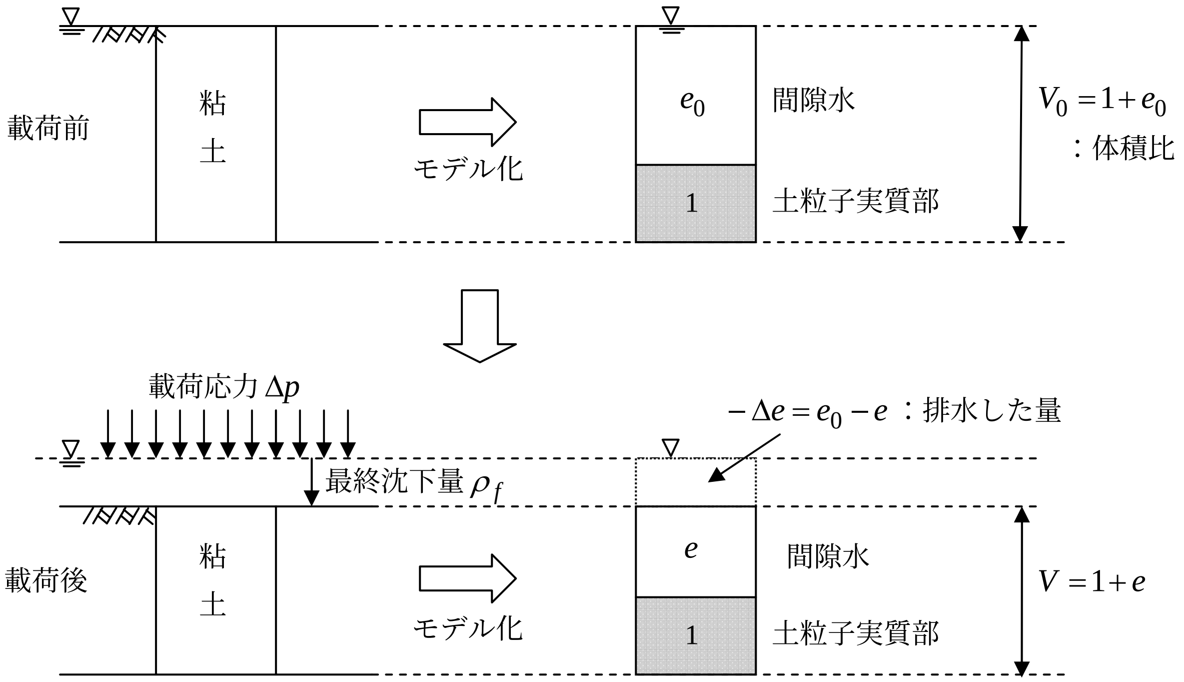
$$\begin{cases} p \geq p_c \text{（正規圧密領域）} \\ \quad e = e_1 - C_c \log p \\ p < p_c \text{（過圧密領域）} \\ \quad e = e_2 - C_s \log p \end{cases}$$

C_c：圧縮指数

C_s：膨潤指数（膨潤：水を吸って膨らむこと）

載荷初期の過圧密状態の圧縮曲線の勾配 C_s は計測しづらく誤差も多い，そのため一度大きな荷重まで載荷してから除荷して，過圧密状態をわざと作り出す。そのとき，粘土は水を吸って膨潤するので，その部分の $e \sim \log p$ 曲線の勾配を膨潤指数 C_s と呼び，過圧密状態での圧縮曲線の勾配と等価と考える。

②-1）間隙比の変化Δeを直接使う方法



体積比の変化量(土粒子実質部を 1 としたときの割合での議論，圧縮を正)：

$$\Delta V = V_0 - V = (1 + e_0) - (1 + e) = e_0 - e = -(e - e_0) = -\Delta e$$

圧縮するほど
e は小さくなる

圧密に伴うひずみ増分量$\Delta\varepsilon$ ：　$\Delta\varepsilon = \dfrac{\Delta V}{V_0} = \dfrac{-\Delta e}{1 + e_0}$

より厳密には，$\varepsilon = \dfrac{V_0 - V}{V_0} = \dfrac{e_0 - e}{1 + e_0}$

より，$d\varepsilon = \dfrac{-de}{1 + e_0}$ となる

最終沈下量は　$\rho_f = \int_0^H \Delta\varepsilon\, dz = \dfrac{-\Delta e}{1 + e_0} \int_0^H dz = \dfrac{e_0 - e}{1 + e_0} H$

②-2）　載荷応力Δp（粘土地盤内の初期有効応力p_0からの応力増加量）を直接使う方法

i）正規圧密領域のみで考える場合　　（$p_0 \geq p_c$）

$$e_0 = e_1 - C_c \log p_0$$

$$e = e_1 - C_c \log(p_0 + \Delta p)$$

$$-\Delta e = e_0 - e = -C_c \log p_0 + C_c \log(p_0 + \Delta p) = C_c \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

$$\rho_f = \int_0^H \frac{-\Delta e}{1 + e_0} dz = \int_0^H \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0} dz$$

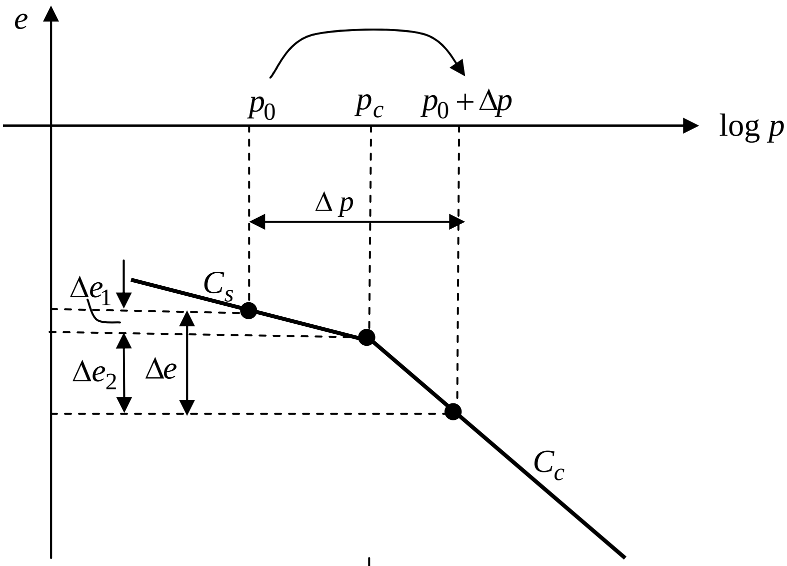
$$= H \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \qquad (p_0 \geq p_c)$$

ｉｉ）過圧密領域のみで考える場合　（$p_0 + \Delta p \le p_c$）

$C_c \to C_s$ に変更するだけ

$$\rho_f = H\frac{C_s}{1+e_0}\log\frac{p_0+\Delta p}{p_0} \qquad (p_0 + \Delta p \le p_c)$$

ｉｉｉ）過圧密領域から正規圧密領域までまたがる場合　（$p_0 < p_c$ かつ $p_0 + \Delta p > p_c$）



過圧密領域 ↔ 正規圧密領域

$$-\Delta e_1 = C_s \log\frac{p_c}{p_0} \qquad -\Delta e_2 = C_c \log\frac{p_0+\Delta p}{p_c}$$

$$-\Delta e = -(\Delta e_1 + \Delta e_2)$$

$$\rho_f = \frac{-\Delta e}{1+e_0}H = \frac{H}{1+e_0}\{C_s\log\frac{p_c}{p_0} + C_c\log\frac{p_0+\Delta p}{p_c}\}$$

過圧密と正規圧密で共通の e_0 を用いているが，p_c を境に圧縮性が急変するので，荷重を分けて考えるならば，正規圧密領域での沈下量の算定は，p_c の時の e を e_0 と設定し直し，なおかつ，p_c までの圧縮量を差し引いた粘土層厚を H として再設定する方がより正確である。しかし，ここでは簡単のため，e_0 も H も初期状態から沈下計算をする間は同じと仮定している。
→このような仮定に基づく考え方を，**微小変形理論**と呼ぶ

ただし，過圧密領域での e の変化は小さいので，計算に与える影響は大きくない（はず）。

なお，これらの最終沈下量を求める計算で用いた定数 m_v，C_c，C_s は圧密試験を実施して求める。

以上の例は，すべて p や e が粘土層内で一定とした場合である。これらが深さ z の関数であれば当然積分の中に含める

結局，$\rho(t) = U(t)\cdot\rho_f$ の ρ_f が求められたので，$U(t)$ が得られれば，任意の時間での圧密沈下量 $\rho(t)$ が予測できる。

注：実務で一番重要なのは，ρ_f の大きさと，ρ_f に達するまでの時間（ある時刻にどれだけ圧密が進行しているか）である。