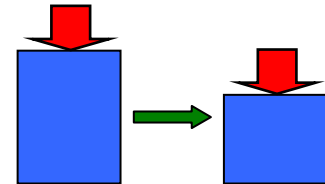


第8回 圧密沈下の解析

◆ 圧密沈下と即時沈下

➤ 圧密沈下 → 土が圧密されて体積が小さくなり、その分だけ沈下する現象 → 圧密理論で解析

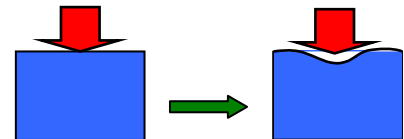
- ◇ 圧密→圧力を受けて間隙が小さくなる
- ◇ スポンジを握って水を絞った状態に近い
ただし力を除いても、理論上は元には戻らない
(実際はいくぶん吸水膨張する)



- ◇ 間隙を満たす水が搾り出される (圧密排水)
- ◇ 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 (粘性土) では時間がかかる→これが問題
- ◇ 関係定数：間隙比、圧密降伏応力、圧縮指数など

➤ 即時沈下 → 土が変形することにより、凹んだ部分が沈下する現象 → 弾性理論で解析

- ◇ 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
- ◇ 凹んだ分どこかが盛り上がる
- ◇ 側方にも変形する→押し出し
- ◇ 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



- ◇ 関係定数：変形係数 E

➤ 載荷直後は、荷重直下は変形により沈下、周辺が盛り上がり・側方変位が発生
→砂質土の圧密沈下が起こり、荷重直下の沈下が増大、周辺はやや沈下
→粘性土の圧密沈下進行とともに、荷重直下はさらに沈下、周辺も引き込み沈下していく

◆ 圧密沈下解析方法 : e-log p 法・Cc 法・mv 法

➤ e-log p 法

$$S = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \cdot H$$

◇ 【計算式の根拠】

沈下量 S = 単位体積あたりの圧縮された体積分 s₀ × 層厚 H

ただし、前後左右には圧密 (体積変化) しないので、s₀ は上下のちぢみとイコールになる。

右図における X が圧縮分なので、

$$\text{単位体積あたり圧縮分 } s_0 = X / (V_{v0} + V_s)$$

X = V_{v0} - V_{v1} なので、

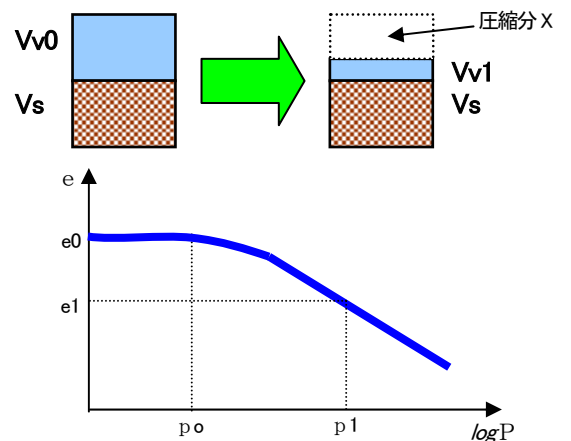
$$S = \frac{V_{v0} - V_{v1}}{V_s + V_{v0}} \times H$$

e = V_v/V_s より、

e₀ = V_{v0}/V_s、e₁ = V_{v1}/V_s となり、

V_{v0} = e₀ · V_s、V_{v1} = e₁ · V_s だから、

$$S = \frac{e_0 \cdot V_s - e_1 \cdot V_s}{V_s + e_0 \cdot V_s} \times H = \frac{(e_0 - e_1)V_s}{(1 + e_0)V_s} \times H = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \times H$$



➤ Cc法

$$S = \frac{Cc}{1 + e_0} \cdot \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right) \cdot H$$

◇ 【計算式の根拠】

正規圧密であれば、右図のように直線関係となり、
 $y = a x + b$ という一次式化でき、 $e = a \log p + b$ となるから、 $e_0 - e_1$ は、

$$e_0 - e_1 = \{a \log p_0 + b\} - \{a \log p_1 + b\} = a (\log p_0 - \log p_1)$$

この傾き a が圧縮指数 C_c 。ただし符号が逆なので、 $C_c = -a$ 。また、 $\log a - \log b = \log(a/b)$ だから、
 $e_0 - e_1 = a (\log p_0 - \log p_1) = -C_c (\log p_0 - \log p_1) = C_c (\log p_1 - \log p_0) = C_c \cdot \log(p_1/p_0)$
 p_0 から p_1 への荷重増分を Δp とすれば、 $p_1 = p_0 + \Delta p$ となるから、

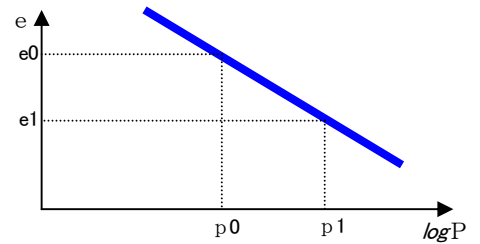
$$C_c \cdot \log\left(\frac{p_1}{p_0}\right) = C_c \cdot \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right)$$

これを $e - \log p$ 法の計算式に代入すれば、

$$S = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \cdot H = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right) \cdot H$$

上記より明らかなように、**Cc法は正規圧密土であることが大前提となる。**

ただし、過圧密領域も考慮したCc法もある（建築基準の方法）。



➤ mv法

$$S = m_v \cdot \Delta p \cdot H = \text{体積圧縮係数} \times \text{増加荷重} \times \text{層厚}$$

m_v は、 $p_0 + \Delta p$ ではなく、 $p_0 + \Delta p/2$ のところで読み取るので注意。圧密試験できれいな m_v 曲線がなかなか得られないので、概略把握に使うとよい。

道路土工軟弱地盤対策工指針でもそうなっている。（ m_v は W_n から推定）

◆ 圧密沈下解析のカンどころ

➤ 沈下前・荷重前の土被り圧 p_0 、荷重後に $p_0 + \Delta p$ が、それぞれ正規圧密・過圧密のいずれの状況にあるかの判断で、計算手法が変わる。過圧密土を正規圧密として計算すると、10 倍前後の沈下量を見込んでしまうこともある。

➤ $e - \log p$ 法は正規圧密・過圧密関係なく沈下量が出るが、あくまで1試料の試験結果である。
 → 大規模調査では複数の $e - \log p$ 曲線から代表曲線を作成するとよい。

➤ $e - \log p$ 法はいちいち $e - \log p$ 曲線上で p に対応した e を読み取らねばならない。
 → フォーラムエイトのソフトは曲線補完している。

➤ Cc法は単純幾何式化できるが、正規圧密土に限定される。

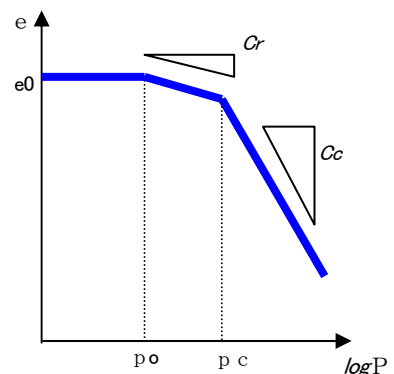
→ 建築基準の方法を使い応用すれば、過圧密領域も含めて幾何式化できる。

◇ 建築基準の方法

- $p \leq p_0$ では、 $e = e_0$ 、 $S_1 = 0$
- $p_0 < p \leq p_c$ では、 C_c の約 1/10 である C_r の勾配で沈下 ($C_r = 0.114 C_c$)
- $p_c < p$ では、 C_c の勾配で沈下
- $p_0 + \Delta p \leq p_c$ の場合

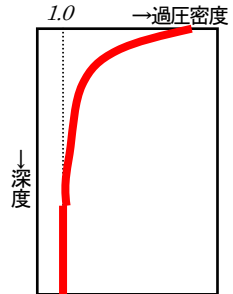
$$S = \frac{C_r}{1 + e_0} \cdot \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right) \cdot H$$

- $p_0 + \Delta p > p_c$ の場合



$$S = \left\{ Cr \cdot \log \left(\frac{po + \Delta p}{po} \right) + \frac{Cc}{1 + eo} \cdot \log \left(\frac{po + \Delta p}{pc} \right) \right\} \cdot H$$

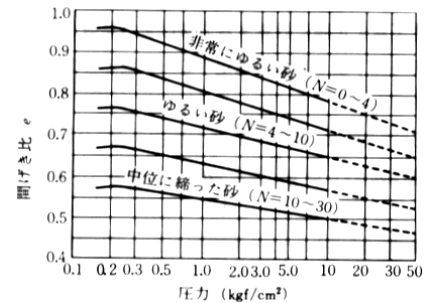
- 陸上では、浅い深度に擬似過圧密土が多く、深くなるにつれ正規圧密化する傾向がある。
 - 土層ごとに過圧密度が異なる
 - Cc法での解析で過圧密度が一定になるソフトもある
 - e-log p法を使うか、土層ごとにpcを決めて過圧密を考慮したCc法（建築基準の方法）を使う
- 幾何式化した場合は、圧密試験のe-log p曲線と幾何式化したe-log p曲線が、だいたいマッチすることを確認する。特にピートや攪乱された粘性土は、圧密試験のpcがあまり信用できない。



過圧密度の深度変化イメージ

◆ 砂質土の圧密沈下

- 砂質土だがあくまで体積圧縮による圧密沈下（圧密時間がごく短いだけ）
- 公団の方法（設計要領第一集）
 - ◇ 砂の代表e-log p曲線をいくつか決めておき、N値により使う曲線を決める。
 - ◇ Ccはおおむね下のような値になる
 - 非常にゆるい砂 (N=0~4) ……Cc=0.11
 - ゆるい砂 (N=4~10) ……Cc=0.07
 - 中位に締った砂 (N=10~30) ……Cc=0.05
 - ◇ あとはCc法（過圧密考慮）または代表曲線読み取りによるe-log p法で解析する。
- DeBeer（ドビヤ）の式



砂の沈下量 $S = 0.4 \frac{po}{N} \cdot \log \left(\frac{po + \Delta p}{po} \right) \cdot H$

◇ Cc法の変形式で、 $\frac{Cc}{1 + eo} = 0.4 \frac{po}{N}$ という関係による。

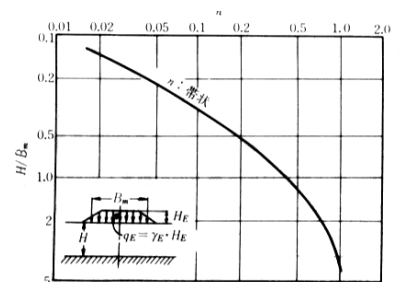
◇ ダッチコーンによるqcとCcの関係、さらにqcのN値との関係から持ってきているので危険。ダッチコーンのqcを使う場合は、下式。

砂の沈下量 $S = 1.5 \frac{po}{qc} \cdot \log \left(\frac{po + \Delta p}{po} \right) \cdot H$

◇ 正規圧密土に限り適用（建築基準の方法で過圧密領域にも応用できそうにも思えるが、バックとなる文献はなし。応用する場合は、 $po < p \leq pc$ 領域の $Cr=0$ としたほうが良いと思われる。）

◆ 即時（変形）沈下

- 基本式： $S = \frac{q \cdot B \cdot I}{E}$ （q：荷重、B：載荷幅、I：係数、E：変形係数）
- 係数は、変形対象地盤層厚・荷重形状によって計算または図表読み取り
- 変形係数は、変形対象地盤の平均変形係数 → どこまでを計算対象にするかがむずかしい（あまり深いかえって沈下量が減ることもある） → 判断がむずかしい場合はトライアル計算がベスト



◆ 沈下時間

➤ 計算式： $t = \frac{T_v \cdot d^2}{C_v}$ (t : 沈下時間、 T_v : 係数、d : 排水距離、 C_v : 圧密係数)

➤ T_v は、圧密度U (%) に応じて決まる係数。普通はU=90%の時の $T_v=0.848$ を使う。

➤ d は、両面排水 (上下を排水層 (粗粒土層) で挟まれている場合) は、層厚Hの 1/2。

そうでないときは、両面排水状態になる粘性土のセットで、代表的な C_v を決め、これに合わせてdを決定する。

◇ 右図の例

- 代表 C_v を決める。たとえば C_{v2} とする。(どれでもよいが、中間的なものがよい)

- 換算 $H = H1\sqrt{\frac{C_{v2}}{C_{v1}}} + H2 + H3\sqrt{\frac{C_{v2}}{C_{v3}}}$

- 排水距離 $d = 1/2H$ 、 $C_v=C_{v2}$ として計算

➤ C_v は、圧密試験より決定する。



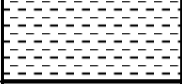
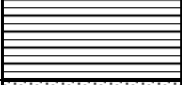

◇ 沖積粘性土では 50~200cm²/day くらい

◇ 理論上、圧密降伏応力を境に値が変わる (ガクッと落ちる) ので、 $p > p_c$ の正規圧密領域での C_v を使うべき

➤ ざっとした t の計算

$T_v=0.848$ 、d = 沈下する粘性土層の最大層厚 (連続しているときは合計層厚) の 1/2、 $C_v=200$ (安全側にみるなら 50) として算出

(ex) $H=10m$ 、 $C_v=200$ なら、 $t = 0.848 \times 500^2 \div 200 = 1060 \div 1000$ 日

| | |
|---------------------------|---|
| 排水層 |  |
| 粘性土 H=H1, $C_v=C_{v1}$ |  |
| 粘性土 H=H2, $C_v=C_{v2}$ |  |
| 粘性土 H=H3, $C_v=C_{v3}$ |  |
| 排水層 |  |