

古川神具店(元・名工大院生) 正員 ○ 古川 一 吉
名古屋工業大学 正員 松岡 元

すでに、提案している空間滑動面(SMP)に基づいた土の応力・ひずみ・時間関係式が排水条件下、非排水条件下の各種時間依存特性を統一的に説明することを示してきた^{1),2)}。今回は、上記構成式による一次元圧密方程式を圧密中、静止土圧係数 K_0 、圧密係数 C_v が一定であるという仮定のもとに導いた。この一次元圧密方程式による解析値は、荷重増加率や層厚の影響を示す実測値の傾向をよく説明するものである。

1. 基本仮定

一次元圧密方程式を導く過程で用いた仮定は次のようである。

- 1) 土粒子骨格の変形は空間滑動面に基づいた土の応力・ひずみ・時間関係式に従う。
- 2) 圧密中、静止土圧係数 K_0 は一定である。
- 3) 圧密中、圧密係数 C_v は一定である。

2. K_0 状態の土の応力・ひずみ・時間関係式

主ひずみ増分 $d\varepsilon_i$ は、弾性成分(上添字eで表わす)、せん断成分(上添字sで表わす)、圧密成分(上添字cで表わす)、時間成分(上添字tで表わす)の和として次式で与えられる²⁾。

$$d\varepsilon_i = d\varepsilon_i^e(d\sigma_i) + d\varepsilon_i^s(dX) + d\varepsilon_i^c(d\sigma_m) + d\varepsilon_i^t(dt) \quad (i=1, 2, 3) \quad (1)$$

式中の()は各成分が()内の増分で与えられることを示す。ここに、 X はSMP上のせん断・垂直応力比 τ_{SMP}/σ_{SMP} 、 σ_m は平均有効主応力を表わす。 $K_0(\equiv \sigma_3/\sigma_1)$ は一定条件より、 $dX=0$ 、 $d\varepsilon_i^s=0$ となり、一次元圧密中は $d\varepsilon_3=0$ となる。以上のことを考慮すれば、軸方向主ひずみ増分 $d\varepsilon_1$ は次式で与えられる。なお、応力はすべて有効応力を表わすものとする。

$$\left. \begin{aligned} d\varepsilon_1 &= \frac{1}{3} \cdot \frac{0.434C_c}{1+e_0} \cdot \frac{1}{\sigma_1} d\sigma_1 + \frac{(1-K_0)\sigma_m}{G(1+2K_0)} \cdot \frac{1}{\sigma_1} d\sigma_1 + (a_{1,0} \frac{\mu^* - X_0}{\lambda^*} + b_{1,0}) \cdot (dr_{SMP}^{*c} + dr_{SMP}^{*t}) \\ dr_{SMP}^{*c} &= 0.434K_c \cdot F(X_0) \cdot \frac{1}{1 + \frac{0.434a_0 \cdot F(X_0)}{\dot{\gamma}_{SMP\infty}^*} \cdot \exp(-\frac{r_{0\infty}^*}{0.434a_0}) \cdot \frac{1}{t}} \cdot \frac{1}{\sigma_1} d\sigma_1 \\ dr_{SMP}^{*t} &= 0.434a_0 \cdot F(X_0) \cdot \frac{1}{1 + \frac{0.434a_0 \cdot F(X_0)}{\dot{\gamma}_{SMP\infty}^*} \cdot \exp(-\frac{r_{0\infty}^*}{0.434a_0}) \cdot \frac{1}{t}} \cdot \frac{1}{t} dt \\ r_{0\infty}^* &= r_{0b}^* + C_d^* \cdot \log_{10} \frac{\sigma_m}{\sigma_{mb}} \\ F(X_0) &\equiv \exp(\frac{X_0 - \mu^*}{\mu^* - \mu^*}) - \exp(\frac{-\mu^*}{\mu^* - \mu^*}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 C_c は圧縮指数、 G はせん断弾性係数、 λ^* 、 μ^* 、 μ^* 、 r_{0b}^* 、 C_d^* 、 K_c 、 a_0 、 $\dot{\gamma}_{SMP\infty}^*$ は土質パラメータでいずれも等方圧密試験、2種の平均有効主応力のもとでの三軸試験より得られる。また、 σ_1 は鉛直有効応力を表わし、 X_0 、 $a_{1,0}$ 、 $b_{1,0}$ は K_0 状態での X 、 σ_{SMP} の方向余弦 a_1 、 τ_{SMP} の方向余弦 b_1 を示し、 K_0 値を用いて次式で与えられる。

$$X_0 = \frac{\sqrt{2}}{3} (\sqrt{\frac{1}{K_0}} - \sqrt{K_0}), \quad a_{1,0} = \sqrt{\frac{K_0}{2+K_0}}, \quad b_{1,0} = \sqrt{\frac{2}{2+K_0}} \quad (3)$$

3. 一次元圧密方程式

式(2)を用いて一次元圧密方程式を誘導すると、最終的に次式を得る。

$$\frac{\partial w}{\partial T} = \frac{\partial^2 w}{\partial \zeta^2} - \frac{G}{F(T)} \quad \left(\zeta = \frac{z}{H}, T = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \right) \quad (4)$$

$$F(T) \equiv \left[\frac{1}{3} \cdot \frac{0.434 C_v}{1 + e_0} + \frac{(1 - K_0) \sigma_m}{G(1 + 2K_0)} \right] \cdot \left[\frac{H^2}{C_v} \cdot T + \frac{0.434 a_0 \cdot F(X_0)}{i \text{ SMP } \infty} \cdot \exp\left(-\frac{70.00}{0.434 a_0}\right) \right] \\ + (a_{1,0} \frac{\mu^* - X_0}{\lambda^*} + b_{1,0}) \cdot 0.434 K_c \cdot F(X_0) \frac{H^2}{C_v} \cdot T$$

$$G \equiv (a_{1,0} \frac{\mu^* - X_0}{\lambda^*} + b_{1,0}) \cdot 0.434 a_0 \cdot F(X_0)$$

ここに、Hは層厚を表わし、wは次式で示す関数³⁾である。

$$w = \ln(\sigma_1 / \sigma_{1f}) \quad (5)$$

σ_1 は鉛直有効応力、 σ_{1f} は図-1に示すように対象段階での載荷応力を表わす。

また、境界条件、初期条件は次のようになる。

境界条件：透水端 $w=0$ 、不透水端 $\partial w / \partial \zeta = 0$

初期条件： $t=0$ 、 $w = \ln(\sigma_{10} / \sigma_{1f})$

} (6)

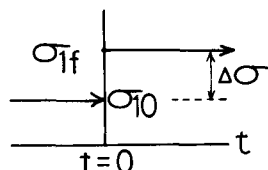


図-1

4. 荷重増加率による影響

通称藤の森粘土(LL=44.7%, PL=24.7%)を試料として、荷重増加率を変えて実験した。表-1にその土質パラメータを示す。なお、 K_0 はJakyの式より内部摩擦角 ϕ_d を用いて求めた。 $\sigma_{10} = 470 \text{ kN/m}^2 (= 4.8 \text{ kgf/cm}^2)$ から荷重増加率 $\Delta \sigma / \sigma_{10} = 1.0, 2.0$ の2種類で圧密した。層厚は $\Delta \sigma / \sigma_{10} = 1.0$ の方が1.78cm、2.0の方が1.80cmであり、圧密係数 C_v は $5.6 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$ である。

図-2に実験結果を軸ひずみ $\varepsilon_1 \sim \log_{10} t$ 関係で示す。同経過時間でのひずみは荷重増加率が大きいほど大きい。また、二次圧密速度 $d\varepsilon_1 / d\log_{10} t$ は荷重増加率に関係なく一定のようである。図中の実線は表-1のパラメータを用いた解析値を示すが、実測値の傾向をほぼ説明しているようである。なお、 $t=0.01 \text{ min}$ で $\varepsilon_1=0$ として解析した。

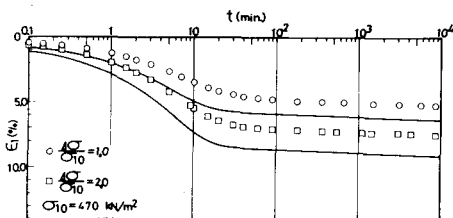


図-2 軸ひずみ～時間関係に及ぼす荷重増加率の影響

5. 層厚による影響

図-3に荷重増加率を1.0として、層厚を2.0cm、6.0cm、10.0cmと変えた場合の解析結果を $\varepsilon_1 \sim \log_{10} t$ 関係で示す。圧密係数 C_v は $5.0 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$ とした。同経過時間でのひずみは一次圧密領域においては層厚が大きいほど小さいが、十分長時間経過後には層厚に関係なく同じになる。また、二次圧密速度は層厚に関係なく一定となる⁴⁾。なお、 $t=0.01 \text{ min}$ で $\varepsilon_1=0$ として解析した。

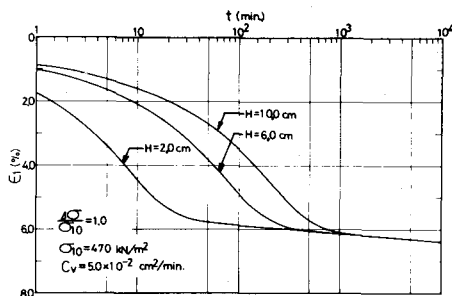


図-3 軸ひずみ～時間関係に及ぼす層厚の影響

謝辞

日頃御援助をいただいている本学山内利彦教授、有益な助言をいただいた金沢大学関口秀雄助教授、本学中井照夫講師に謝意を表します。

参考文献

- 1) 松岡・古川・平尾(1981): 第16回土質工学研究発表会, pp. 405-408.
- 2) 松岡・古川・小山(1982): 第17回土質工学研究発表会(投稿中).
- 3) Davis, E. H. et al.(1965): Géotechnique Vol. 15, pp. 161-173.
- 4) 網干・松田(1981): 土と基礎, Vol. 29, No. 3, pp. 19-24.

表-1 藤の森粘土の土質パラメータ

λ^*	0.9
μ^*	0.42
μ'^*	0.60
γ_{so}^*	3.3 %
γ_{cd}^*	0.0 %
γ_{mb}	—
$C_c/(1+e_0)$	11.70 %
$C_s/(1+e_0)$	1.60 %
G/C_m	670
K_c	15.2 %
Q_0	0.38 %
δ_{SMP}^*	10^{-4} %/min
ϕ_d	34°