

京都大学防災研究所 正員 関口 秀雄

大林組 正員 ○ 鳥井原 誠

1. まえがき：— 前報¹⁾では、正規圧密粘土の基本的なレオロジー特性にもとづく一次元圧密理論を構成し、あわせて二次圧縮を發揮する正規圧密粘土に対して圧密係数の一決定法を提案した。本報告では、提案圧密理論式に含まれるパラメーター、 $-(\partial e/\partial T)/\lambda$ の役割に焦点をしぼり、(1)二次圧縮を伴う一次元圧密過程における相似則、(2)先行二次圧縮期間の後続圧密過程におよぼす影響について考察を行なう。

2. 理論^{1), 2)}：— 正規圧密粘土の K_0 -条件下の応力-ひずみ-時間関係式として次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial e}{\partial t} &= \left(\frac{\partial e}{\partial t}\right)_{\sigma'_v} + \left(\frac{\partial e}{\partial \sigma'_v}\right)_t \frac{\partial \sigma'_v}{\partial t}, \\ \left(\frac{\partial e}{\partial t}\right)_{\sigma'_v} &= \left(\frac{\partial e}{\partial t}\right)_0 \exp\left\{-\frac{e_0 - e - \lambda \ln(\sigma'_v/\sigma'_{v0})}{C_{\alpha}^*}\right\}, \\ \left(\frac{\partial e}{\partial \sigma'_v}\right)_t &= -\frac{\lambda}{C_{\alpha}^*} \left[1 - (1 - \frac{K^*}{C_{\alpha}^*}) \exp\left\{-\frac{e_0 - e - K^* \ln(\sigma'_v/\sigma'_{v0})}{C_{\alpha}^*}\right\}\right], \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 e = 閑げき比、 t = 実時間、 σ'_v = 鉛直有効応力、 e_0 = 初期閑げき比、 σ'_{v0} = 初期鉛直有効応力、 $-(\partial e/\partial t)_0 = \sigma'_v - \sigma'_{v0}$ の載荷直前における閑げき比減少速度、 λ = 圧縮指数 (図-1参照)、 C_{α}^* = 二次圧縮速度に相当する定数、 K^* = 即時圧縮指数 (図-1参照) である。

二次圧縮を伴う一次元圧密過程を支配する基礎方程式として次式を前報²⁾で誘導した。

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_e}{\partial T} &= -\left\{\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial \bar{x}^2} - \frac{\lambda}{C_{\alpha}^*} \frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{x}} \frac{\partial U_e}{\partial \bar{x}} \ln(1+\psi)\right\} \cdot (1+\psi)^{-U_e \lambda / C_{\alpha}^*}, \\ \frac{\partial \bar{U}}{\partial T} &= (1 - \bar{U} + \frac{1}{\psi}) \left[-\frac{\partial U_e}{\partial T} \ln(1+\psi) - \frac{(\partial e/\partial T)_0}{\lambda} (1+\psi)^{-U_e \lambda / C_{\alpha}^*} \right. \\ &\quad \times \left\{1 + (1 - \bar{U})\psi\right\}^{\lambda / C_{\alpha}^*} \left. / \left[1 - (1 - \frac{K^*}{C_{\alpha}^*}) (1+\psi)^{-U_e \lambda / C_{\alpha}^*} \right] \right. \\ &\quad \times \left. \left\{1 + (1 - \bar{U})\psi\right\}^{K^* / C_{\alpha}^*} \right], \end{aligned} \quad (2) \quad (3)$$

ここに、 U_e = ヒズミに関する局所圧密度、 $\bar{U}$ = 無次元化した過剰閑げき水圧、 T = 時間係数、 $\bar{x}$ = 層厚 H で無次元化した鉛直座標、 C_{α}^* = 透水係数の閑げき比依存性に関連した定数、 ψ = 応力増分比 ($= \Delta \sigma'_v / \sigma'_{v0}$) である。なお $\Delta \sigma'_v$ は鉛直全応力の増分を示している。

境界条件、初期条件および(2)、(3)式の数値解析については、前報に譲る。

3. 閑げき水圧消散挙動における $-(\partial e/\partial T)/\lambda$ の役割：— 不透水面における過剰閑げき水圧 $\bar{U}_m$ ($\bar{U}$ at $\bar{x}=0$) と時間係数 T との理論的關係を、 $-(\partial e/\partial T)/\lambda$ をパラメーターとして図-2に示した。同図から、 $-(\partial e/\partial T)/\lambda$ の減少とともに $\bar{U}_m - \log(T)$ 関係は初期により早く消散する傾向を示すことが明らかである。

このような特性の理解を助けるために、 $-(\partial e/\partial T)/\lambda$ の定義式をつぎに示そう。

$$-(\partial e/\partial T)/\lambda = -(\partial e/\partial t)_0 H^2 / (C_v \lambda), \quad (4)$$

ここに、 C_v = 圧密係数である。

簡単のために、 $C_v \lambda$ の値を固定して考えてみよう。このとき、 $-(\partial e/\partial t)_0$ の減少、あるいは H の減少が(4)式の左辺の値を減少せしめることが明らかである。ところで、 $-(\partial e/\partial t)_0$ の減少は、 $\Delta \sigma'_v$ の載荷に先行する二次圧縮期間 (先行二次圧縮期間) の増加につれて顕著になるので、図-2の結果はつぎのように解釈できる。— 先行二次圧縮期間が長くなるほど、つぎの応力増分の作用のもとで $\bar{U}_m - \log(T)$ 関係は初期により早い消散を示す、またその傾向は層厚 H の減少によって助長される。

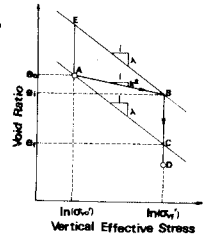


図-1 圧密過程(模式図)

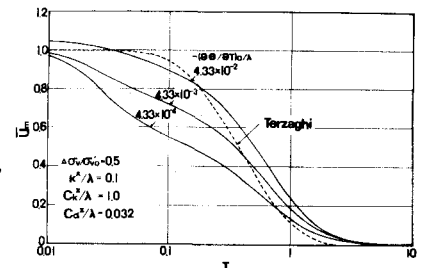


図-2 $\bar{U}_m \sim \log(T)$ 関係 (理論結果)

図-3は、Barden(1969)³⁾によってカオリンに対し実験された $\bar{u}_m - \log(T)$ 関係を引用したものである。Bardenは、図-3の結果に基づいて、先行二次圧縮期間が長くなるほど $\bar{u}_m - \log(T)$ 関係の初期に急速な消散が認められること、またその傾向が H の減少によ、て助長されることを述べている。したが、て、先述したことを考慮すれば、これらの Barden による観測事実、は、図-2に示した理論的結果と定性的によく一致していることが認められる。

4. 沈下挙動における $-(\partial e/\partial T)_0/\lambda$ の役割：一。単位層厚あたりの沈下量 $\bar{e}$ と時間係数 T との理論的關係を、 $-(\partial e/\partial T)_0/\lambda$ をパラメータとして図-4に示す。

(i) $H = \text{固定}$ として考えた場合には、図-4の結果から、(a) それぞれの応力増分比のもとで $\bar{e}$ は先行二次圧縮期間の増加とともに減少すること、(b) 二次圧縮速度は先行二次圧縮期間に依存しないことが予測される。(a)の特性は、Bjerrum⁴⁾の提唱する delayed consolidation による効果と一脈通ずるものであろう。(b)の特性は従来までの実験結果(たとえば、Newland et al.⁵⁾)によ、て支持されるようである。

(ii) $H = \text{変化}$ として考えた場合には、改めて $\bar{e} - \log(t)$ 関係に再整理した方が理解しやすい。一例として図-5に図-4の $\Delta\sigma_v/\sigma'_{v0} = 1.0$ の結果を再整理して示した。(ここに採用した $-(\partial e/\partial t)_0$ 、 H^2/C_v の値を図-5の右上隅に示している。) まず、等しい $-(\partial e/\partial t)_0$ の値をもつ曲線 1, 2, 3 に着目すれば、いわゆる isotache を満足する関係が得られていることがわかる。一方、等しい $-(\partial e/\partial t)_0$ の値をもつ曲線 4, 5 では、曲線の形が同形で単なる水平移動によ、て 1 本の共通曲線が得られること、したが、て isotache の成立していないことが認められる。

図-6において、いま A 点と C 点が同じ状態 (e.g. $\bar{u}_m$ の 95% 消散) にあると考えれば、明らかに C 点における $d\bar{e}/dt$ の値は A 点のそれより小さい。したが、て、これから A, C 点において σ'_v の増分を印加する場合を想定すれば、この応力増分直前の $d\bar{e}/dt$ の値、ひいては $-(\partial e/\partial t)_0$ の値が層厚の増加とともに減少し、C 点での $-(\partial e/\partial t)_0$ の値は A 点でのそれより小さくなることがわかる。それゆ、え、図-5に示した曲線 1, 2, 3 のような特性は実は非現実的であることが推測される。それゆ、え、 $-(\partial e/\partial t)_0$ の値が層厚によらず一定であるという例(極端な例であるが)、上述のことから考えてむしろ現実に近いと思われる。

また、いま述べたことに関連して、Aboshi(1973)⁷⁾は、層厚を広範囲に変動させた圧密試験結果に基づいて isotache に対するやや否定的な見解を述べてお、り、興味深い。

5. 要約：一。 $-(\partial e/\partial T)_0/\lambda$ の役割について考察し、載荷直前の閉げき比減少速度の重要性を一次元圧密過程の相似則と関連づけて指摘するとともに、先行二次圧縮期間の後続圧密挙動におよぼす影響を明らかにした。

謝辞 御指導を賜わ、った村山朝郎京郡大学名誉教授に対し深く感謝の意を表します。

参考文献 1) 関口・鳥井原(1975)、第10回土質工学研究発表会。 2) Seibuck, H. (1974), Dr. Eng. Thesis, Kyoto Univ. 3) Barden, L. (1969), J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 95, No. SM15. 4) Bjerrum, L. (1967), Géotechn., Vol. 17, No. 2. 5) Newland, P.L. and Alley (1960), Géotechn., Vol. 10, No. 2. 6) Sirkje, L. (1969), Rheological aspects of soil mechanics, Wiley-Interscience. 7) Abashi, H. (1973), Proc. 8th Int. Conf. SMFE, Vol. 4, 3.

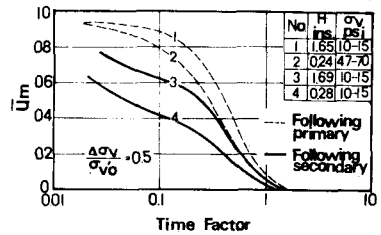


図-3 実測 $\bar{u}_m \sim \log(T)$ 関係 (Barden³⁾)

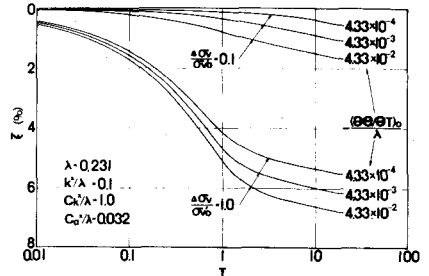


図-4 $\bar{e} \sim \log(T)$ 関係 (理論結果)

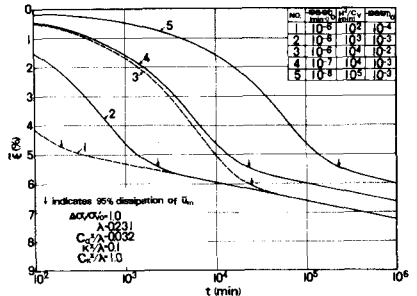


図-5 $\bar{e} \sim \log(t)$ 関係 (理論結果)

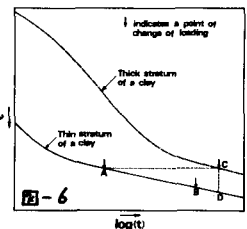


図-6