

京都大学工学部 正会員 赤井 浩一

同 同 〇佐野 郁雄

1)

既報において、若い洪積層粘土の中には圧縮性や強度特性を支配する過圧密比がきわめて小さいものがあり、重量の大きい構造物の建設や大規模な埋立に際しては、これらの粘土層の長期圧密を十分考慮する必要があることを強調した。本文では、上述のようないわゆる擬似過圧密粘土の二次圧密における状態変化の機構を、ダイレイタンシーを考慮した三次元粘弾性理論により解析した結果を述べる。

三次元線形粘弾性モデルの一般的な構成式は

$$\text{体積変化に対して,} \quad P s = Q e \quad (1a)$$

$$\text{形状変化に対して,} \quad P' S = Q' E \quad (1b)$$

と書かれる。²⁾ここに、 s は平均応力、 S は偏差応力、 e は平均ひずみ、 E は偏差ひずみの一般的表示である。また、

$$\left. \begin{aligned} P &= \sum_0^m p_k \frac{d^k}{dt^k}, & Q &= \sum_0^n q_k \frac{d^k}{dt^k} \\ P' &= \sum_0^{m'} p'_k \frac{d^k}{dt^k}, & Q' &= \sum_0^{n'} q'_k \frac{d^k}{dt^k} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

は微分演算子を含めた互に独立な係数であり、これらによつて材料のレオロジー挙動を記述することができる。

式(1a),(1b)のほか、土質材料ではいうまでもなく偏差応力と体積変化との対応を無視し得ない。すなわち、通常の粘弾性構成関係にダイレイタンシーの効果を導入することが必要である。

そこで、ダイレイタンシーに起因する応答を

$$P^* S = Q^* e \quad (1c)$$

と書けば、さきの式(1a)と合わせて、

$$\text{全体積変化に対して,} \quad P s + P^* S = (Q + Q^*) e \quad (1d)$$

ここに、

$$P^* = \sum_0^{m^*} p_k^* \frac{d^k}{dt^k}, \quad Q^* = \sum_0^{n^*} q_k^* \frac{d^k}{dt^k} \quad (2)'$$

なる演算パラメーターは、時間遅れを伴う材料のダイレイタンシー挙動を記述する互に独立な係数である。

3)

いま、前報に示した排水クリープ試験(p, q :一定)の結果より、正規圧密粘土の材料特性の粗い近似として、全体積変化 e のうち、純粋に平均応力 s によるものには弾性挙動(体積弾性係数 K)、ダイレイタンシーにはばね-Voigt系モデル(弾性係数 E_1^* , E_2^* , 粘性係数 $1/\mu_2^*$)、また偏差応力 S による形状変化 E にはMaxwellモデル(E_1^* , $1/\mu_1^*$)を仮定する。この材料特性を表現するパラメーターは次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} P &= 1, & Q &= 3K \\ P^* &= 1 + p_1^* \frac{d}{dt}, & Q^* &= q_0^* + q_1^* \frac{d}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$P' = 1 + p_1' \frac{d}{dt}, \quad Q' = q_1' \frac{d}{dt}$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} p_1^* &= \frac{1}{E_1^* + E_2^*} \frac{1}{\mu_2^*}, & q_0^* &= \frac{E^* E_1^*}{E_1^* + E_2^*}, & q_1^* &= \frac{E^*}{E_1^* + E_2^*} \frac{1}{\mu_2^*} \\ p_1' &= \frac{1}{E_1' \mu_1'}, & q_1' &= \frac{1}{\mu_1'} \end{aligned} \right\} \quad (3)'$$

このような材料特性をもつ粘性土が一次元的な変形条件下で階段荷重 $\sigma_v = \sigma_0 \cdot H(t)$ をうけたときの側圧変動を与える式は、ラプラス変換の手法により

$$\sigma_h = \sigma_0 \left(1 - \frac{3q'_1}{p'_1 q'_1 + 4p'_1 q'_1} \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \times \{ 2p'_1 (\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) + 3(e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) \} \right) \quad (4)$$

$t = 0$ において、

$$\sigma_h(0^+) = \sigma_0 \left\{ 1 - \frac{6p'_1 q'_1}{p'_1 q'_1 + 4p'_1 q'_1} \right\} \quad (5)$$

となるから、この材料は荷重の瞬間 ($t = 0$) に荷重応力より小さい有限な側圧を発生し、時間とともに式(5)に従って側圧が変化して、 $t = \infty$ において荷重応力と等しい側圧にまで上昇することになる。この時点で静水圧状態 ($K_0 = 1$) となるのは、せん断クリープに対して液体型の Maxwell モデルを採用したためであり、もし Voigt モデルや 3 要素のばね-Voigt 系モデルのような固体型のレオロジーモデルを用いれば、側圧の終局値は荷重応力 σ_0 より小さい値となる。次に、鉛直ひずみの時間的変化に関する解は、

$$\varepsilon_v = \frac{3\sigma_0}{p'_1 q'_1 + 4p'_1 q'_1} \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \{ 2p'_1 p'_1 (\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}) + (3p'_1 + 2p'_1) (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) + 3 \left[\frac{1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) - \frac{1}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) \right] \} \quad (6)$$

となる。式(3)の特性をもつ正規圧密粘土のレオロジーモデルにおける二次圧密曲線は、この式を用いて計算することができる。

二次圧密期間中の粘性土の側圧変化と鉛直ひずみを式(4)および式(6)により計算した結果は、図-1に示すようである。この図により、側圧は当初の一次圧密終了時のもの (計算例では $K_0^{NC} = 0.54$) をしばらく保持したのち半対数紙上で急激に上

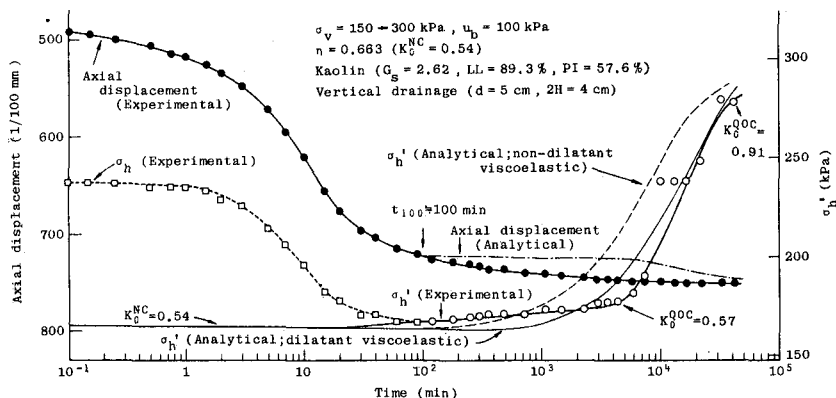


図 - 1

昇して、長時間後には上載圧に等しい値に近づくことが知られる。カオリン粘土に対する K_0 。三軸長期圧密試験の結果 (図中の実験値) と比較すれば、式(4)がかなり良好な解析解であるということができよう。

なお比較のため、式(1c)の応答を考えない、いわゆる non-dilatant な材料に対する側圧変化を図-1に併記した。これにより、ダイレイタンスを考慮した場合のほうが、二次圧密における側圧上昇が遅れることが明らかである。

本文で述べた解析は、あくまでも単純なレオロジーモデルを用いた線形粘弾性理論にもとづくものであり、土の材料特性の主要な因子としての非線形性や非回復性 (塑性)、さらには種々の硬化特性などは現段階では考慮されていない。したがって、式(6)による鉛直ひずみの計算値と二次圧密の実測曲線との一致は、図中に示すようによくない。これらを取り入れた解析は、今後の研究課題である。

参考文献 1) 赤井・佐野: 遅延圧密土の一次元変形における状態経路, 土木学会論文報告集, 第316, pp.167-170, 1981.

2) Flügge, W.: Viscoelasticity, Blaisdell Publ., pp.97-110, 1967.

3) 赤井・佐野・石黒: 擬似過圧密粘土の圧密-強度特性について, 土木学会第39回年次学術講演会, 1984.