

1. まえがき 時間効果を導入した飽和粘土、特に正規圧密粘土の構成式に関する研究は、多くの研究者により実験的、理論的研究がなされてきた。理論的研究にかざれば、村山柴田⁽¹⁾のレオロジーモデル、Mitchell⁽²⁾らの研究、赤井、足立^(3,4)による弾-粘塑性モデルや関口、太田⁽⁵⁾のレオロジーモデルがその代表的なものであろう。最近では偏差ひずみ成分の時間依存性だけでなく、等方的ひずみ成分の時間依存性が議論されるに至っている。

Pergynaの理論に依拠した足立らの弾-粘塑性モデルにおいては、一次圧密が終了した時点で粘土が平衡状態(弾-粘塑性境界上)にあると仮定している。これに対して、Arulanandan⁽⁶⁾が明らかにした等方的応力複和試験での間げき水圧の増加、Mesri⁽⁷⁾らによる主応力差ゼロでの体積クリープ、さらに非排水条件での振動荷重下で間げき水圧が増加し応力状態が状態曲面内へ移行する現象⁽⁸⁾を考慮すれば、筆者の1人がすでに指摘しているように、一次圧密終了時に粘土は平衡状態に達していないと考えものが合理的である。これは Bjerrum⁽⁹⁾や Taylor⁽¹⁰⁾による二次圧縮概念の一般化に相当する。本報告においては、種々の仮定を設けて、正規圧密粘土の非排水クリープ特性、せん断変形と二次圧縮特性を統一的に表現しうる構成式について報告する。結果として、クリープ速度と二次圧縮速度の関係が明らかとなり、定速せん断試験より二次圧縮速度を推定することが可能となった。

2. 基本仮定 (1) 通常の一次圧密終了時に粘土は平衡状態に達していず、二次圧密終了時に Roscoe⁽¹¹⁾の平衡状態での理論が成立する。したがって、静的降伏関数は J_2 と偏差応力テンソルの二次不変量、 σ_m' と平均有効応力、 M^* は Critical State での $\sqrt{J_2}/\sigma_m'$ の値として、Fig. 1 に示すように $f_s=0$ で与えられる。

(2) 動的塑性ポテンシャル f_d は $f_s=0$ の相似変形によって求まる。(Fig. 1)

(3) 硬化パラメータとしては塑性体積ひずみとする。

$$\text{以上の仮定より、} \quad f_s = \sqrt{J_2}^{(s)} / \sigma_m'^{(s)} + M^* \ln \sigma_m'^{(s)} / \sigma_{mys}' = 0 \quad (1)$$

$$f_d = \sqrt{J_2}^{(d)} / \sigma_m'^{(d)} + M^* \ln \sigma_m'^{(d)} / \sigma_{mys}' = 0 \quad (2)$$

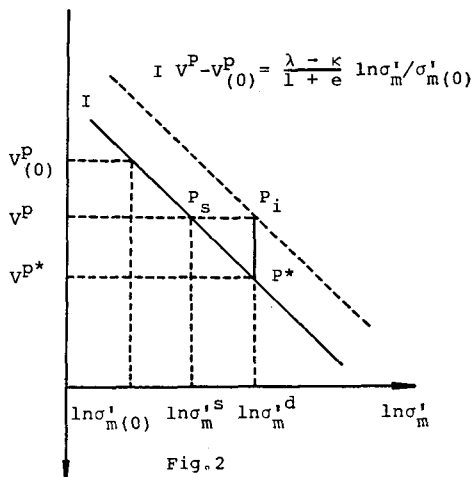
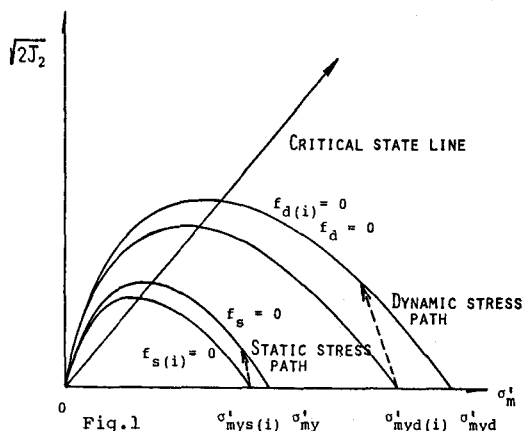
$$\text{超過応力関数 } F \text{ は} \quad F = (\ln \sigma_{mys}' - \ln \sigma_{ys}') / \ln \sigma_{ys}' \quad (3)$$

3. 応力-ひずみ関係

(1)~(3)式 と Pergyna の弾-粘塑性理論 より ($\dot{\epsilon}_{ij}$: ひずみ速度テンソル, K : $e - \ln \sigma_m'$ 線の膨潤時の傾き、

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2q} \dot{\epsilon}_v + \frac{\kappa}{(1+e)} \frac{\dot{\sigma}_m'}{\sigma_m'} \frac{1}{3} \delta_{ij} + \beta(F) \frac{\partial f_d}{\partial \sigma_{ij}'} \quad (4) \quad v^p$$

G : せん断弾性係数, e : 間げき比, σ_{ij}' : 応力テンソル, σ_{ys}' : 偏差応力テンソル



$$(4) \text{式より、三軸状態では、} \dot{\epsilon}_{11}^{vp} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{\sigma_m} \beta(F) \quad (5) \quad \dot{\epsilon}_{kk}^{vp} = \frac{1}{\sigma_m} \beta(F) \{M' - \sqrt{2} \cdot \frac{1}{\sigma_m}\} \quad (6)$$

ここで $\beta(F)$ の関数形を決定しなければならない。 $\beta(F) = C \cdot \exp \{m' \ln \sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)}\}$ (7) とおくと、

$$\beta(F) = C \cdot \exp \{m' \cdot (\sqrt{2} \cdot 1/M' \sigma_m^{(a)} - \sqrt{2} \cdot 1/M' \sigma_m^{(s)} + \ln \sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)})\} \quad (8)$$

4. パラメータの決定 ④非排水定速三軸試験では $\dot{\epsilon}_{kk} = 0$ だから、発生する v^p は、 $v^p = -\frac{F}{(1+e)} \ln \sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)}$ (初期圧密圧力) となり、 $\sigma_m^{(a)}$ が等しければ v^p も等しいことになる。弾性的ひずみ速度を無視しうるとすると、(5)と(8)式より、2種類のひずみ速度で試験した場合、 $\ln \dot{\epsilon}_{11}^{vp(1)}/\dot{\epsilon}_{11}^{vp(2)} = \frac{m'}{1+e} (\sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)} - \sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)})$ 。 $\sigma_m^{(a)}$ 、 $\sigma_m^{(s)}$ は等 v^p 線上での軸差応力である。Fig. 3は(7)式の仮定を判定するために非排水定速三軸圧縮試験データを整理したものである。 $\dot{\epsilon}_{11}^{vp}$ と $\sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)}$ はほぼ直線関係になり、 $m' = 17.8$ ($M = 1.43$)である。(7)の仮定はほぼ満足されている。

⑤ $\sqrt{2} \cdot 1/M' = 0$ の時、つまり等方的二軸圧縮過程では、(6)式より

$$\dot{\epsilon}_{kk}^{vp} = (M' C_1 / \sigma_m^{(s)}) \cdot \exp \{m' \ln \sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)}\} \quad (9)$$

Fig. 2で初期に P_1 点にあり、クリープで P^* 点まで移動するとすると、

$$v^{p*} - v^p = [(\lambda - \kappa)/(1+e)] \ln \sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)} \quad (10)$$

$$(10) \text{式を(9)式に代入して、} \dot{\epsilon}_{kk}^{vp} = (M' C_1 / \sigma_m^{(s)}) \exp \left[\frac{(1+e)}{\lambda - \kappa} m' (v^{p*} - v^p) \right] \quad (11)$$

$$\text{簡単のため、} (M' C_1 / \sigma_m^{(s)}) \text{ と } m' \text{ を一定とすると、} v^p = C \cdot \exp \left(-\frac{1}{\alpha} v^{p*} \right) \quad (12)$$

ただし、 $\alpha = \frac{\lambda - \kappa}{(1+e)m'}$ 、 $C = (M' C_1 / \sigma_m^{(s)}) \cdot \exp \left[\frac{1}{\alpha} v^{p*} \right]$ の関係がある。

α を実験より求めるためには $v^p = \alpha \ln \sigma_m^{(a)}/\sigma_m^{(s)} + v^p_0$ の傾きを求めればよいことになる。

例として、Arulanandan⁶⁾ の行った非排水クリープと等方応力後知試験より m' を求めると、初期圧密圧力 4.0 kg/cm^2 、 $\sigma_{uc} = 2.75 \text{ kg/cm}^2$ 、 $M = 1.44$ 、 $\lambda = 0.29$ 、 $\kappa = 0.1$ の Coastal Organic Clay の場合、 $\sigma_m^{(s)} = 2.0 \text{ (kg/cm}^2)$ の時、非排水クリープ試験から $m' = 25.6$ 、等方応力後知(主応力差がゼロ)から $m' = 21.4$ となり(ほぼ一致した結果となった。パラメータのひずみ依存性など実験データから検討する必要があるが、その点は他の機会にゆずる。

5. あとがき

ここで提案したモデルでは、 m' というパラメーターが非排水定速三軸圧縮試験から求めることが可能であるため、時間のかかる二軸圧密試験をすることなく二軸圧縮速度を決定することができ実用にも有用であると考えられる。

6. 参考文献

- 1) Murayama, S. and Shibata, T. (1966), Proc. IUTAM Symp. Rheology and Soil Mechanics, Grenoble, 1964, pp. 99-129.
- 2) Kavezajian, E. Jr. & Mitchell, K. (1977), Preprints of Specialty Session 9, 9th ICSMFE, pp. 113-120.
- 3) Adachi, T. & Okano, H. (1974), S&F, Vol. 14, No. 1, pp. 55-73.
- 4) Akai, K. & Oka, F. (1976), Proc. of JSCE, No. 253, pp. 109-122.
- 5) Sekiguchi, H. & Ohta, H. (1978), Preprints of Specialty session 9, 9th ICSMFE, pp. 229-239.
- 6) Arulanandan, K., Shen, C. K. and Young, R. B. (1971), Géotech, Vol. 21, No. 4, pp. 359-375.
- 7) Febre-Cordero, E. & Mesri, G. (1974), Report No. FRA-ORD&D-75-29, UILU-ENG-74-2031.
- 8) 赤井, 大西, 中川, (1978) 第13回土質工学研究発表会講演集, pp. 293-296.
- 9) 国 (1978), 第33回地学学会年次学術講演会講演概要集, 第3部, III-76, pp. 138-139.
- 10) Bjerrum, L. (1967), Géotech, Vol. 17, No. 2, pp. 82-118.
- 11) Taylor, D. W. & Merchant, W. (1940), J. Math. Phys., Vol. 19, No. 3, pp. 167-185.
- 12) 赤井, 足立, 安藤 (1974), 土木学会論文報告集, 225号, pp. 53-61.

