Ⅲ—27　　正規圧密粘土の応力－ひずみ関係について

岐阜大学工学部　正会員　岡二三生
京都大学防災研究所　〃　足立紀尚
岐阜大学工学部　学生会員 ○若園　悟

1．まえがき

粘土の構成式を使って，実際の地盤の挙動を解析する際に重要なのは，その構成式に含まれるパラメータをいかに精度よく要素試験から求めておくかということである。著者らは時間依存性挙動を表現するために，すでにRoscoeらによるCam-ClayモデルとPerzynaによる弾－粘塑性理論を使った正規圧密粘土の応力－ひずみ関係式を提案している[1]。本報告では，この提案した構成式に含まれるパラメータの数とその新しい決定法について述べる。結果として，必要なパラメータは8つであり，これらのパラメータは非排水定速三軸圧密試験と圧密試験より求めることができることが明らかとなった。

2．構成式の誘導

誘導に際して必要な仮定は次の3つである。

(1) 通常の一次圧密終了時には粘土は平衡状態には達していず，二次圧密終了時にRoscoeらによる，Original Cam-Clayモデルが成立する。

(2) 静的降伏関数を次式で定める。

$$f_s = \kappa_s \quad (1), \qquad f_s = \sqrt{2J_2}/M^*\sigma'_m + \ln\sigma'_m \quad (2), \qquad \kappa_s = \ln\sigma'_{mys} \quad (3)$$

ただし，J_2；偏差応力テンソルの2次不変量，σ'_m；平均主応力，M^*；Critical State での$\sqrt{2J_2}/\sigma'_m$の傾き，κ_sは硬化パラメータである。

(3) Perzyna の弾－粘塑性理論により，関数Fを定義する。Fは$F=0$で静的降伏関数を表わす。

$$F = (f - \kappa_s)/\kappa_s \quad (4), \qquad (f = \sqrt{2J_2}/M^*\sigma'_m + \ln\sigma'_m \text{ である。})$$

以上の仮定より，

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp} = \langle\Phi(F)\rangle\frac{\partial f}{\partial\sigma_{ij}} \quad (5), \qquad \text{ただし} \langle\Phi(F)\rangle = 0 \ (F\le 0),\ \langle\Phi(F)\rangle = \Phi(F) \ (F>0)$$

(4)式より，$f = \kappa_s(1+F)$となるが，(5)式よりFは$\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp}$の関数となるから，$f$は動的降伏曲面となる。したがって，(4)式から 動的降伏曲面は静的降伏曲面の相似形となっている。図－1より，

$$F = (\ln\sigma'_{myd} - \ln\sigma'_{mys})/\ln\sigma'_{mys} \quad (6)$$

$\Phi(F) = C_0 \exp\{m' \ln\sigma'_{myd}/\sigma'_{mys}\}$ (7) と仮定して，構成式を具体的に求めると

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2G}\dot{S}_{ij} + \frac{\kappa}{1+e}\frac{1}{\sigma'_m}\dot{\sigma}'_m + \frac{1}{\sigma'_m}\langle\Phi(F)\rangle\frac{S_{ij}}{\sqrt{2J_2}} + \frac{1}{\sigma'_m}\langle\Phi(F)\rangle\left\{M^* - \frac{\sqrt{2J_2}}{\sigma'_m}\right\} \quad (8)$$

G；せん断弾性定数，e；間げき比，κ；膨潤曲線($e\sim\ln\sigma'_m$)の傾き。

3．パラメータの決定法

非排水三軸圧縮応力下においては，$C_1 = C_0/\sigma'_m$として，

$$\dot{\varepsilon}_{11}^{vp} = C_1\cdot\sqrt{\tfrac{2}{3}}\cdot\exp\{m'(\sqrt{2J_2}/M^*\sigma'_m + \ln\sigma'_m - \sqrt{2J_2}^{(s)}/M^*\sigma'^{(s)}_m - \ln\sigma'^{(s)}_m)\} \quad (9)$$

$$\dot{\varepsilon}_{kk}^{vp} = C_1\cdot\{M^* - \sqrt{2J_2}/\sigma'_m\}\cdot\exp\{m'(\sqrt{2J_2}/M^*\sigma'_m + \ln\sigma'_m - \sqrt{2J_2}^{(s)}/M^*\sigma'^{(s)}_m - \ln\sigma'^{(s)}_m)\} \quad (10)$$

(a) m'の決定： 非排水状態では$\dot{\varepsilon}_{kk}\fallingdotseq 0$だから，2種類のひずみ速度で非排水三軸圧縮試験を行な

った場合，応力経路上でσ_m'が等しければ，v^pも等しいことになることから，等v^p線上では，$\ln \dot{\varepsilon}_{11}^{vp(1)}/\dot{\varepsilon}_{11}^{vp(2)} = m'/M\,(q^{(1)}/\sigma_m' - q^{(2)}/\sigma_m')$ となり，$\dot{\varepsilon}_{11}^{vp}$ と q/σ_m' のグラフ，たとえば図－3からm'が求められる。ただし，$M=\sqrt{\frac{3}{2}}M^*$，$q=\sigma_{11}'-\sigma_{33}'$ である。

(b)　C_0及び$\sigma_{mi}'^{s}$（σ_{mys}' の初期値）の決定

(9)式より，　$\dot{\varepsilon}_{11}^{vp} = C_1\sqrt{\frac{2}{3}}\exp\{m'[\sqrt{2J_2}/M^*\sigma_m' + \ln\sigma_m' - (\sqrt{2J_2}^{s}/M^*\sigma_m'^{s} + \ln\sigma_m'^{s}/\sigma_{mi}'^{s}) - \ln\sigma_{mi}'^{s}]\}$

ここで，$\sqrt{2J_2}^{s}/M^*\sigma_m'^{s} + \ln\sigma_m'^{s}/\sigma_{mi}'^{s} = \frac{1+e}{\lambda-\kappa}v^p$　（$\sqrt{2J_2}^{s}=0$，$\sigma_m'^{s}=\sigma_{mi}'^{s}$ で $v^p=0$）だから，

$$\dot{\varepsilon}_{11}^{vp} = \sqrt{\frac{2}{3}}C_1\exp(-m'\ln\sigma_{mi}'^{s})\cdot\exp\{m'[\sqrt{2J_2}/M^*\sigma_m' + \ln\sigma_m' - \frac{1+e}{\lambda-\kappa}v^p]\} \qquad (11)$$

(11)式の形はexpの中が無次元化されていないので，σ_{me}'（初期圧密圧力）を使って変形すると，

$$\dot{\varepsilon}_{11}^{vp} = \sqrt{\frac{2}{3}}C_1\exp(-m'\ln\sigma_{mi}'^{s}/\sigma_{me}')\cdot\exp\{m'[\sqrt{2J_2}/M^*\sigma_m' + \ln\sigma_m'/\sigma_{me}' - \frac{1+e}{\lambda-\kappa}v^p]\} \qquad (12)$$

ここで，$C_2 = C_1\exp(-m'\ln\sigma_{mi}'^{s}/\sigma_{me}')$ とおくと，図－3で，あるv^pの時の応力比と$\dot{\varepsilon}_{11}^{vp}$を(12)式に代入すると，$C_2$が決定できることになる。$C_2$と$C_0$，$\sigma_{mi}'^{s}$ の関係は，$C_2 = \frac{C_0}{\sigma_m'}\exp(-m'\ln\sigma_{mi}'^{s}/\sigma_{me}')$ である。構成式(8)を使用する場合，あえてC_0，$\sigma_{mi}'^{s}$を決定する必要はなく，C_2を求めておけば，十分であることが明らかである。ここで，もしせん断開始直前の$\dot{\varepsilon}_{kk}^{vp}$の値$\dot{v}_0^p$がわかっていれば，(10)式より　$C_2 = \dot{v}_0^p/M^*$　としてC_2を求めることもできる。またm'は2次圧縮速度αと，$m' = \frac{\lambda-\kappa}{1+e}\frac{1}{\alpha}$ の関係にある[1]。
以上まとめると，必要なパラメータの8つは，

λ：$e\sim\ln\sigma_m'$線の圧密時の傾き，κ；$e\sim\ln\sigma_m'$線の膨潤時の傾き，e_0；初期間げき比，σ_{me}'；初期圧密圧力，G；せん断弾性定数，M^*；Critical Stateでのq/σ_m'の値，m'；$(=\frac{\lambda-\kappa}{1+e}\frac{1}{\alpha})$，$C_2$；$(=\dot{v}_0^p/M^*)$ である。図－4は以上のようにして求めたパラメータから計算したグラフと実験結果を示したものである。

（参考文献）

1) 関・足立（1979）弾－粘塑性体としての飽和粘土の構成式，第34回土木学会年次学術講演会概要集，III-76 pp. 138－139.

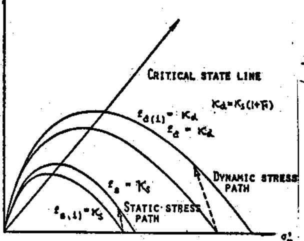

Fig.1

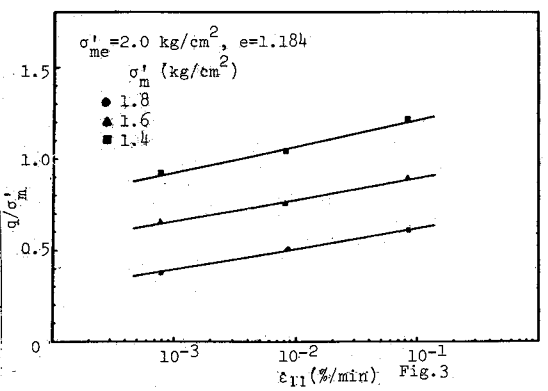

Fig.3

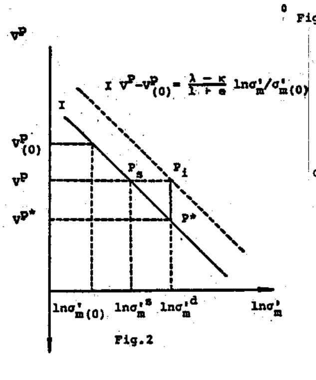

Fig.2

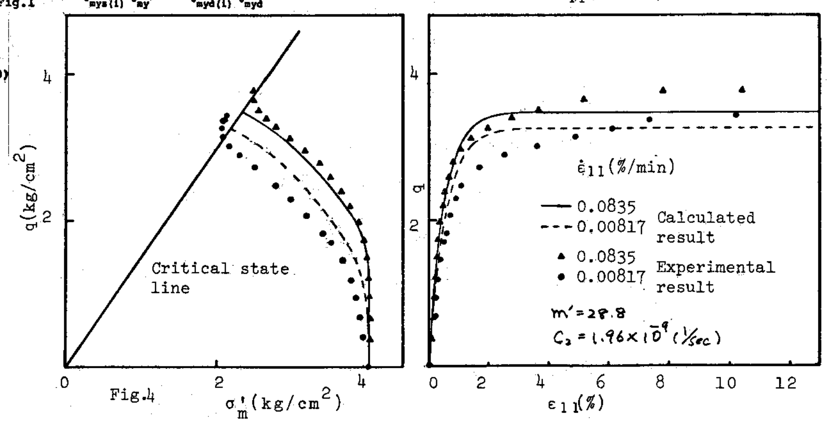

Fig.4