

III-71

異方圧密された正規圧密粘土の降伏曲線の決定

鹿児島大学工学部 正 三隅浩二

同 上 学 福本忠浩

同 上 学 佐藤 清

1. はじめに 自然堆積粘土のように異方圧密されている粘土に対して降伏曲線の形を未知としたケンブリッジモデル, 式(1)¹⁾による逆解析手法²⁾の適用が有効である。本報告では, K_0 圧縮された粘土の平均有効主応力一定排水条件での圧縮, 伸張セン断試験結果より, 降伏曲線とすべての弾塑性パラメータが式(1)を用いて一斉に逆算できることを示す。今回は, 異方圧密された正規圧密粘土のセン断挙動を表すことのできる太田モデル³⁾を解析の対象として解析手順のデモンストレーションを行った。

2. 降伏曲線, 弾塑性パラメータの決定 式(1)は体積ヒズミ($\varepsilon_v = \varepsilon_a + 2\varepsilon_r$), セン断ヒズミ($\varepsilon_s = 2(\varepsilon_a - \varepsilon_r)/3$), 平均主応力($p' = (\sigma_a' + 2\sigma_r')/3$), 軸差応力($q = \sigma_a' - \sigma_r'$)の増分形構成関係を示しており, 右辺第1項は弾性挙動を第2項は塑性挙動を表している。ここに, $M = 6 \cdot \sin \phi' / (3 - \sin \phi')$, $D = (\lambda - \kappa) / (1 + e_0) / M$, $\Lambda = 1 - \kappa / \lambda$, $\bar{N} = 3(1 - 2\nu') / (1 + \nu')$, $\psi = d\varepsilon_v / d\varepsilon_s$, $\eta' = p' / q$ である。

いま, $p' = \text{const.}$ セン断条件を考えれば, 式(1)における体積ヒズミ増分の式より式(2)が得られる。式(2)において, さらに限界状態の条件($\psi = 0$, $\eta' = \pm M$)を考慮すれば式(3)が得られる。すなわち, セン断ヒズミもしくは体積ヒズミの挙動から限界状態係数 M が判断できるので, 式(3)を用いて, D が決定できる。 M , D が決まれば, 体積ヒズミのセン断に伴う変化 $d\varepsilon_v / d\eta'$ を測定して式(2)より $\psi \sim \eta'$ 関係を求めることができる。一方, 式(1)におけるセン断ヒズミ増分の式も考慮すれば式(4)が得られる。式(5)は K_0 ライン上で成り立つ $\psi_{K_0} \sim \eta_{K_0}'$ 関係式である。ここで, 式(4)と式(5)を連立して解けば, Λ と $\bar{N}$ が決まる。なお, 式(6)より硬化パラメータで正規化された降伏曲線の形を得ることもできる。さて, 図1は応力径路と降伏曲線の拡大のもようを示しているが, この $p' = \text{const.}$ の応力径路より, 太田モデル($\psi = M - \eta'$ at $\eta' \geq \eta_{K_0}'$, $\psi = -M - \eta'$ at $\eta' \leq \eta_{K_0}'$, $M = 1.2$, $D = 0.0326$, $\Lambda = 0.478$, $\bar{N} = 1.5$)の体積ヒズミとセン断ヒズミの挙動を計算して図2のプロットを得た。図中 com. は compression, ext. は extension を表す。図2のデータに対して上記の方法を適用した結果, $\psi \sim \eta'$ 関係(図3)および降伏曲線の形(図4)が得られた。図3には式(5)の満足する領域をラインで示した。図4では K_0 ライン上の硬化パラメータ p_{K_0}' を用いて正規化を行っている。ベクトル a , b の方向は $\tan^{-1} \psi$ で計算できるが, K_0 圧縮時にはベクトル a のみが使われる。

3. おわりに 以上, 簡単のため土の状態がすでに K_0 ライン上にあるものとして議論を進めたが, 提案する逆解析モデルはアクティブ領域でもパッシブ領域でも有効であることがわかった。すなわち, 式(1)より派生する諸式は, 圧縮試験結果にも伸張試験結果にも適用できる一般性を持っている。また, K_0 条件式, 式(5)は異方圧密完了時点が K_0 ライン上にあることの確認や K_0 圧縮できなかったときに K_0 値を求める手段として使える式である⁴⁾。圧縮側と伸張側の $\psi \sim \eta'$ 関係が原点に対して対称であれば伸張試験だけを行って伸張, 圧縮両サイドの降伏曲線の形を推定する方法も考えられる。 K_0 ラインより圧縮側もしくは伸張側に少しだけ傾いて異方圧密した場合の一般的な議論は次の機会に行いたい。

参考文献 1) Roscoe, K.H. and J.B. Burland: On the Generalized Stress-Strain Behaviour of 'Wet' Clay, Engineering Plasticity, Cambridge University Press, pp.535-606, 1968 2) 三隅, 福本, 叶, 佐藤, 山中: 正規圧密粘土のセン断挙動を把握するための解析手法の開発, 第25回土質工学研究発表会講演概要集, 1990 3) H. Ohta: Analysis of Deformations of Soils Based on the Theory of Plasticity and its Application to Settlement of Embankments, 京大学位論文, 1971 4) 福本, 三隅, 叶, 佐藤: 正規圧密粘土の静止土圧係数 K_0 の決定, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.422-423, 1990

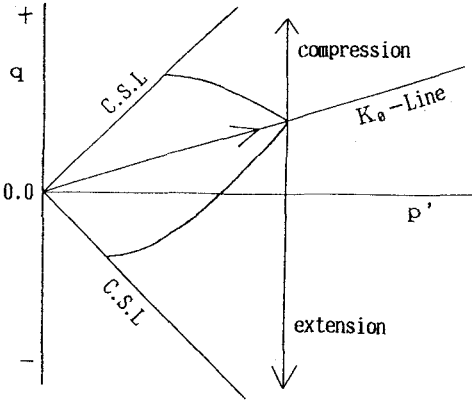


図1 $p' = \text{const}$ 圧縮, 伸張せん断試験経路

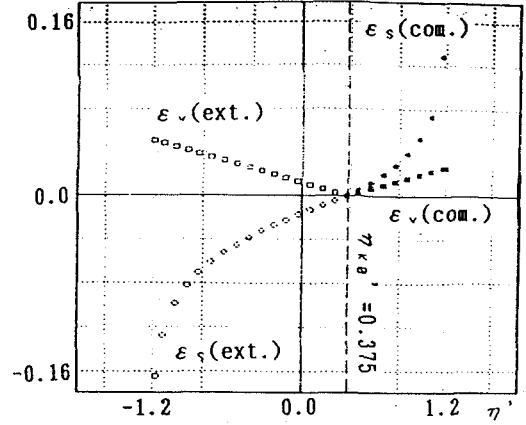


図2 応力～ヒズミ曲線

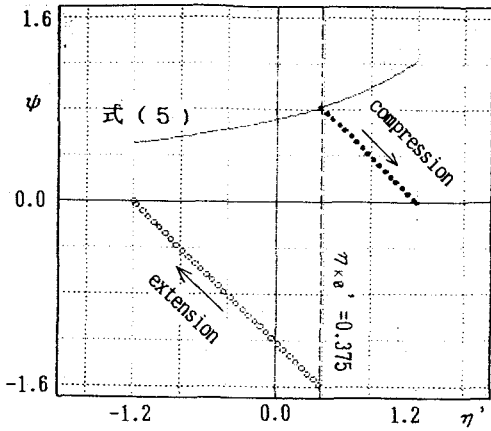


図3 塑性ヒズミ増分比 ψ ～応力比 η' 関係

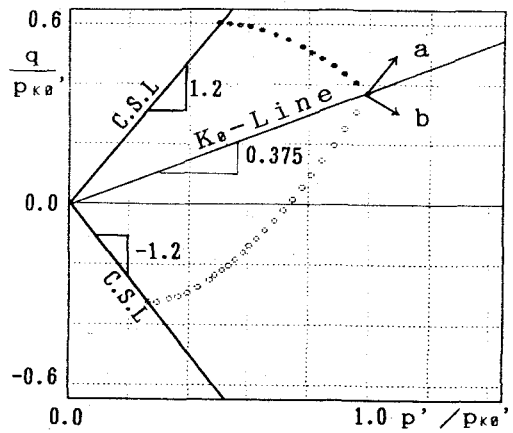


図4 $p_{k\theta}'$ で正規化された降伏曲線

$$\begin{pmatrix} d\epsilon_v \\ d\epsilon_s \end{pmatrix} = \frac{D}{p'} \begin{pmatrix} \frac{M}{\Lambda} - M & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} \frac{1}{\tilde{N}} (\frac{M}{\Lambda} - M) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dp' \\ dq \end{pmatrix} + \frac{D}{p'} \begin{pmatrix} \frac{M}{\psi + \eta'}, \psi \\ \frac{M}{\psi + \eta'}, \frac{1}{\psi} \cdot \frac{M}{\psi + \eta'} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dp' \\ dq \end{pmatrix} \quad \dots(1)$$

$$\psi = \frac{D}{\frac{d\epsilon_v}{d\eta'}} M - \eta' \quad \text{at } p' = p_\theta' \quad \dots(2)$$

$$D = p_\theta' \cdot \left(\frac{d\epsilon_v}{dq} \right) \quad \text{at } \eta' = \pm M \quad \dots(3)$$

$$\frac{2}{3} \frac{1}{\tilde{N}} \left(\frac{1}{\Lambda} - 1 \right) = \left(\frac{d\epsilon_s}{d\epsilon_v} - \frac{1}{\psi} \right) \cdot (\psi + \eta')^{-1} \quad \dots(4)$$

$$\psi_{k\theta} = \frac{3}{2} \left\{ \frac{1}{\Lambda} - \frac{1}{\tilde{N}} \left(\frac{1}{\Lambda} - 1 \right) \eta_{k\theta}' \right\}^{-1} \quad \dots(5)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{p'}{p_{k\theta}'} &= \exp \left(- \frac{\epsilon_v}{DM} \right) \\ \frac{q}{p_{k\theta}'} &= \frac{p'}{p_{k\theta}'} \cdot \eta' \end{aligned} \right\} \quad \dots(6)$$