

III-173

正規圧密粘土の異方性・非線形性の考察

鹿児島大学工学部 正 三隅 浩二

同 上 福本 忠浩

同 上 書川 康一

1. はじめに 降伏関数を未知な関数として含む一般的な構成式, 式(1)¹⁾を正規圧密粘土の挙動にあてはめて, 弾塑性パラメータ $\psi (=d\varepsilon_v^p/d\varepsilon_s^p) \sim \eta' (=q/p')$ 関係を逆算する方法をすでに発表している²⁾. この方法は, 状態境界面上を動くどのようなセン断試験経路にも適用できて, ヒズミを弾性挙動と塑性挙動に分離することができる. ここでは, その分離した両者の挙動に軸直交方向等方性の非線形弾性体の構成式, 式(2)³⁾をあてはめて弾性係数の変化を追跡し, 正規圧密粘土の異方性(ダイレイタンス)と非線形性を考察している.

2. カムクレイモデルの考察 いま, カムクレイパラメータ, $M = 6 \cdot \sin \phi' / (3 - \sin \phi') = 1.2$, $D = (\lambda - \kappa) / (1 + e_0) / M = 0.0326$, $\Lambda = 1 - \kappa / \lambda = 0.478$, $\tilde{N} = 3(1 - 2\nu') / (1 + \nu') = 1.5$, および, $\psi = M - \eta'$ が式(1)によってすべて逆算されているものとして議論をすすめる. すなわち, 逆算されたカムクレイの弾性挙動と塑性挙動のそれぞれに対して軸直交方向等方性の非線形弾性体の構成式, 式(2)をあてはめて, 応力レベルによって変化する非線形な変形係数の挙動を求めている. その結果, 図1~図4が得られた. すべての図中におけるプロット(●●●)は弾性挙動の変形係数(体積弾性係数 K , セン断弾性係数 G , ヤング率 E , ポアソン比 ν)の変化である. このとき変形係数は軸方向にも軸直交方向にも等しいのでダイレイタンスは生じない. また, ポアソン比 ν はカムクレイの ν' と同じものである. 一方, 塑性挙動の変形係数とポアソン比の変化は, それぞれの図に2本の実線で示した. サフィックスの V は軸方向に応力が生じたとき, H は軸直交方向に応力が生じたときに動員される変形係数やポアソン比を表す. すなわち, E_V は軸方向に応力が生じたときのヤング率, E_H は軸直交方向に応力が生じたときのヤング率である. また, ν_V は軸方向に応力が生じたときの等方面内での収縮を表すポアソン比, ν_H は軸直交方向に応力が生じたときの等方面内での収縮を表すポアソン比, ν_H^* は軸直交方向に応力が生じたときの軸方向に生じる収縮を表すポアソン比⁴⁾である. 以上のパラメータを用いて式(2)に示す K_V , K_H , G_V , G_H がつくられる. なお, 変形係数はいずれも p' で正規化してある.

図1では, $-K_H > 0$ であり, K_H は負, すなわち, 横方向へ膨張していることがわかる. 図2, 図3より, G_V , G_H と E_V , E_H の劣化が見て取れる. これら変形係数は, 変形のしにくさの指標であり, $\eta' = M$ の限界状態でゼロに至る. また, $G_V < G_H$, $E_V < E_H$ となっているのは, 供試体が軸方向に圧縮セン断されるからである. ダイレイタンス現象は, 式(2)でわかるように, $K_V \neq K_H$ の条件で発生する. カムクレイの場合には関連流れ則に従うので, ダイレイタンスの程度は, G_V と G_H の違いを調べても知ることができる. 一般的に, 軸対称の三軸試験では, 既知で独立な応力の数は2つ, 既知で独立なヒズミの数も2つなので, 原則的には $2 \times 2 = 4$ 個までの変形係数しか逆算できない. 今回は, ポアソン比において $\nu_H = \nu_V$ を仮定して図3, 図4を得ている. ところで, オリジナル・カムクレイモデル⁵⁾では, セン断ヒズミには弾性成分がない($\varepsilon_s^e = 0$, $G = \infty$, $\tilde{N} = \infty$)と仮定しているが, このとき, ポアソン比は必ず $\nu = \nu' = -1$ となる. 式(1)は ε_s^e が生じるとしたより一般的な式であるが, ε_s^e の発生量が小さければ, $\nu = \nu' < 0$ となる可能性が十分に考えられる.

3. おわりに ダイレイタンス挙動は塑性論によっても説明できるが, 上述のように最も簡単な異方性を有する非線形なフックの法則でも説明することができる. ダイレイタンスを定性的にも定量的にも把握するために, この表現方法はとても有力であると考えている. また, 式(2)は正規圧密粘土に限らず, 三軸試験データであれば, どのような種類の土質材料にもあてはめられる一般性を持った式であるので, 様々な土質力学的な特徴を図1~図4のような整理方法によって視覚的に考察することができる. 今後, 過圧密粘土や不飽和粘土, 砂質土などにこの整理方法を適用することを積極的に行ってゆきたい.

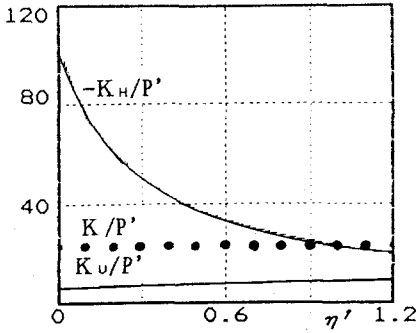


図1 体積弾性係数の変化

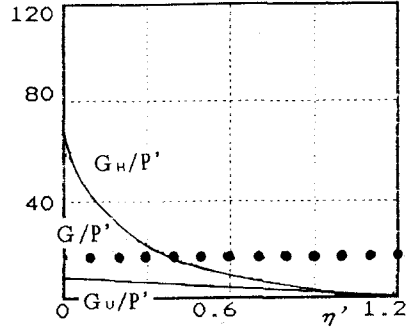


図2 セン断弾性係数の変化

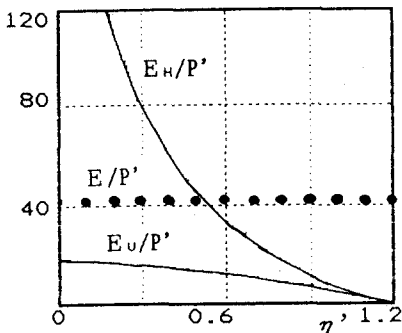


図3 ヤング率の変化

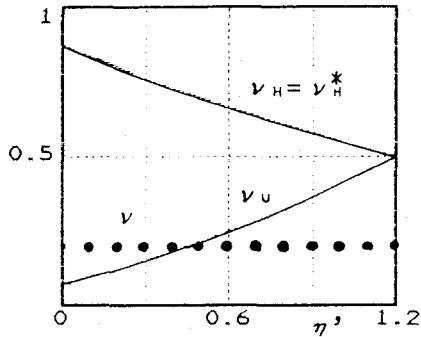


図4 ポアソン比の変化

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_v \\ d\varepsilon_s \end{Bmatrix} = \frac{D}{P'} \begin{bmatrix} \frac{M}{\Lambda} - M & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} \frac{1}{N} \left(\frac{M}{\Lambda} - M \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} + \frac{D}{P'} \begin{Bmatrix} \frac{M}{\psi + \eta}, \psi \\ \frac{M}{\psi + \eta}, \frac{1}{\psi} \cdot \frac{M}{\psi + \eta} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \quad \dots (1)$$

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_v \\ d\varepsilon_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \left(\frac{1}{K_v} + \frac{2}{K_H} \right) & \frac{2}{9} \left(\frac{1}{K_v} - \frac{1}{K_H} \right) \\ \frac{1}{3} \left(\frac{1}{G_v} - \frac{1}{G_H} \right) & \frac{2}{9} \left(\frac{1}{G_v} + \frac{1}{2G_H} \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \quad \begin{matrix} K_v = \frac{E_v}{3(1-2\nu_v)} & K_H = \frac{E_H}{3(1-\nu_H^* - \nu_H)} \\ G_v = \frac{E_v}{2(1+\nu_v)} & G_H = \frac{E_H}{2(1+2\nu_H^* - \nu_H)} \end{matrix} \quad \dots (2)$$

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, 池田, 中園, 書川, 北方 : 正規圧密粘土の降伏関数および弾塑性パラメタの逆算, 第24回土質工学研究発表会講演概要集, 投稿中, 1989
- 3) 三隅, 北村, 鍋田, 宮園 : 中低圧下におけるしらすのストレス・ダイレイタンスー関係の逆算 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集, 第3部, pp.594-595, 1988
- 4) 大橋, 神谷 : 異方弾性板の理論, 森北出版, pp.8-14, 1975
- 5) A. Schofield, P. Wroth : Critical State Soil Mechanics, McGRAW-Hill, 1968