

モディファイドカムクレイモデルにおける変形の不連続性

鹿児島大学工学部 正 三隅浩二 学 福本忠浩
同 上 学 叶 晋二 学 佐藤 清

1. はじめに 三軸試験において土質材料の変形挙動を解明することは、セン断に伴うコンプライアンスマトリックスの成分 $C_1 \sim C_4$ の変化のメカニズムを把握することに等価である。本報告では、 $C_1 \sim C_4$ を異方性を有する非線形なフックの法則で表し、モディファイドカムクレイモデルの挙動にあてはめて、各種変形係数の異方性、非線形性および今回初めて見いだされた不連続性挙動について考察している。

2. モディファイドカムクレイモデルの変形特性の考察

式(1)は三軸圧縮試験条件において成立する一般的な構成関係を表し、体積ヒズミ、セン断ヒズミと平均有効主応力およびセン断応力との増分関係を与える。ここで構成式に軸直交方向等方性の非線形弾性体を考えれば、式(1)のマトリックスの成分 $C_1 \sim C_4$ は異方性と非線形性を表す変形係数 K_v , K_h , G_v , G_h を用いてそれぞれ式(2)のように表すことができる¹⁾。ここに、 K_v , G_v は軸方向に応力が作用したときに動員される変形係数、 K_h , G_h は軸直交方向に応力が作用したときに機能する変形係数であり、 K は体積ヒズミの生じにくさ、 G はセン断ヒズミの生じにくさを表す。

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_v \\ d\varepsilon_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} C_1 & C_2 \\ C_3 & C_4 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \quad \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{r}{3} \left(\frac{1}{K_v} + \frac{2}{K_h} \right) \cdot p' & C_2 &= \frac{2}{9} \left(\frac{1}{K_v} - \frac{1}{K_h} \right) \cdot p' \\ C_3 &= \frac{1}{3} \left(\frac{1}{G_v} - \frac{1}{G_h} \right) \cdot p' & C_4 &= \frac{2}{9} \left(\frac{1}{G_v} + \frac{1}{2G_h} \right) \cdot p' \end{aligned} \right\} \quad \dots (2)$$

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

一方、式(3)は降伏曲線の形を未知とした正規圧密粘土の構成式であり、右辺第1項は弾性挙動、第2項は塑性挙動を表す。いま、モディファイドカムクレイモデル ($M=1.2$, $D=0.036$, $\Lambda=0.478$, $N=1.5$, $\psi=(M^2-\eta'^2)/2\eta'$) の弾性挙動と塑性挙動のそれぞれに式(2)をあてはめて図1～図6を得た。図1～図4の実線は $C_1 \sim C_4$ の変化を表している。■のプロットはサフィックス V 、▲はサフィックス H の付いた変形係数による塑性挙動であり、図1および図4の○は弾性挙動 ($K=K_v=K_h$, $G=G_v=G_h$) を表す。図5は K の変化、図6は G の変化を示すが、実線は塑性挙動、○は弾性挙動を表す。ここで注目すべきことは、図5、図6において K_h と G_h が同じ横軸の値 ($\eta'=0.421$) で不連続を生じていることである。このことは、図1～図4において▲のプロットが正から負あるいは負から正に符号を転じていることに対応している。式(4)および式(5)は $\psi \sim \eta'$ 関係を未知なまま K_h , G_h を書き表したものであるが、これより、 $\psi=1.5$ の条件で不連続性が生じることがわかる。モディファイドカムクレイモデル ($\psi=\infty \sim 0$) ではこの条件は必然的に生じるが、たとえば、カムクレイモデル ($\psi=M-\eta'$) でも $M>1.5$ のときに不連続性が生じることになる。なお、 $d\sigma_1'=0$, $d\sigma_3'<0$ の圧縮セン断条件でヒズミ軟化の起きる可能性を調べたところ、この条件では、たとえばモディファイドカムクレイモデルの場合では弾性挙動を生じることになり、今のところ関連流れ則に関する大きな矛盾は見いだせていない。なお、図5、図6には参考のため1次元圧縮を生じる応力比 η_{10}' ²⁾を記している。 η_{10}' は不連続性を来す応力比のレベルよりも大きいので、1次元圧縮された状態で圧縮セン断する場合には不連続性は生じないことがわかる。

3. おわりに 異方圧密した粘土をサンプリングして等方圧縮→セン断試験したとき、異方圧密による構造異方性のために降伏曲線がゆがめられるという報告がある³⁾。また、モディファイドカムクレイモデルは実験データによく合うがエネルギー理論の仮定に欠陥があるともいわれている。不連続性挙動は果して正規圧密粘土の物性なのか？試験誤差なのか？その真偽の程は今のところまだはっきりしないが今後の課題としたい。

参考文献 1)三隅, 福本, 書川: 正規圧密粘土の異方性と非線形性の考察, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集第3部, pp.420-421, 1989

2)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, 平成元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1990

3)土木工学体系編集委員会編: 土木工学体系8, 土質力学, pp.118-120

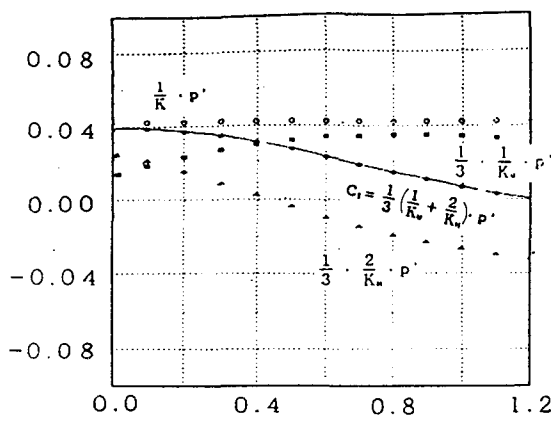


図1 p' の変化による体積ヒズミの生じやすさ

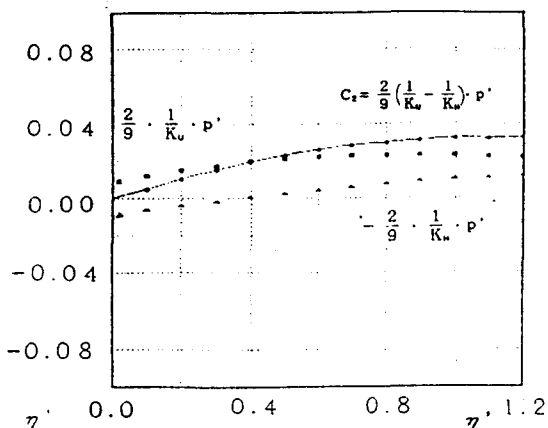


図2 ダイレイタンスの生じやすさ

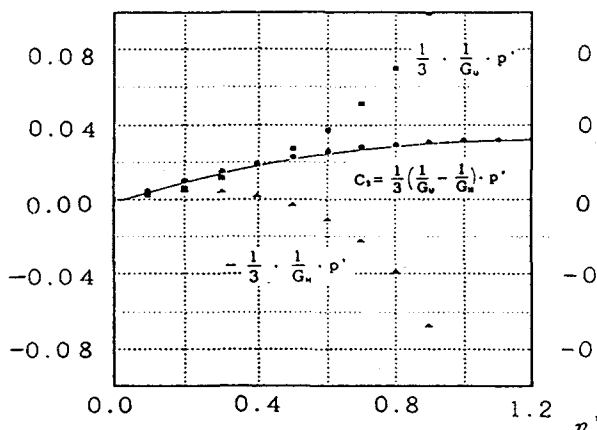


図3 p' の変化によるせん断ヒズミの生じやすさ

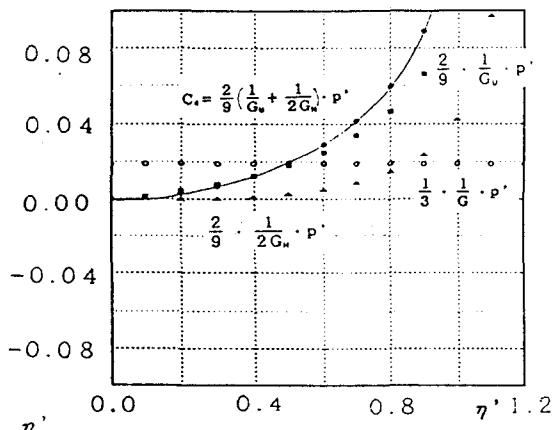


図4 q の変化によるせん断ヒズミの生じやすさ

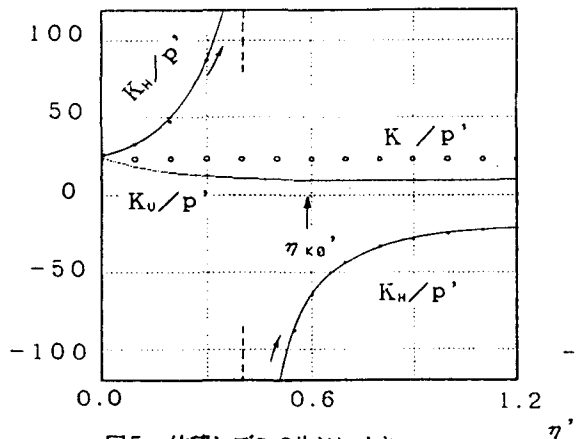


図5 体積ヒズミの生じにくさ

$$\frac{K_h}{p'} = \frac{\psi + \eta'}{DM(\psi - 1.5)} \quad \dots(4)$$

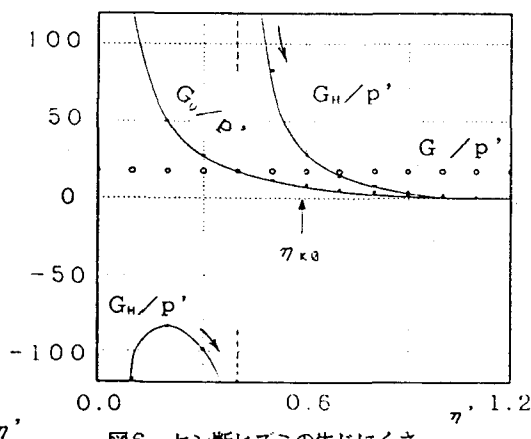


図6 せん断ヒズミの生じにくさ

$$\frac{G_h}{p'} = \frac{-\frac{\psi}{2}(\psi + \eta')}{DM(\psi - 1.5)} \quad \dots(5)$$