

1. まえがき

飽和粘土の構成式には、Cam clay モデル、太田・関口モデル等の代表的な弾塑性モデルがあるが、これらの構成式によっても異方圧密粘土の非排水スプレッドパスや応力～ひずみ曲線が実験値と一致しない¹⁾等の問題点がある。本研究は、種々の三軸圧縮試験から得られた応力比と塑性ひずみ増分比の関係が双曲線式で表現できるものと仮定して新しい弾塑性モデルを導き、その適用性について調べたものである。その結果、この新しい弾塑性モデルによれば、異方圧密粘土の変形挙動が比較的良く表現できる事が明らかとなった。

2. 三軸圧縮試験の種類

実験を行った三軸圧縮試験は、次の4種類である。

- ① 圧密非排水せん断試験：CIU ($\dot{\epsilon} = 0.1\%/min$)
- ② 異方圧密 " " : CAU (")
- ③ 圧密排水せん断試験 : CID ($\dot{\epsilon} = 0.01\%/min$)
- ④ 応力比一定異方圧密²⁾ : CA

実験に用いた粘土は、福山粘土であり、供試体の準備方法、実験方法の詳細については、参考文献に示されているのでここでは省略する。

3. 応力比と塑性ひずみ増分から導かれる構成式

Fig. 1 は、実験から得られた応力比と塑性ひずみ増分比 $(ds/dv)_p$ をプロットしたものである。塑性ひずみ増分比は、排水試験の場合には弾性せん断ひずみが小さいものと仮定して求めた。また非排水試験の場合には、塑性体積ひずみが直接的には観測されないで(1)式によって弾性体積ひずみを計算し、間接的に塑性体積ひずみ増分を求めた。

$$dU_p = -dU_e = -\frac{K dp}{(1+e)p} \quad (1)$$

Fig. 1 に示すように、 $q \sim (ds/dv)_p$ 関係は、試験方法によって全く異なった関係となっている。そこでこの実験から得られた関係を使って新しい降伏曲線を導出する事を試みた。その出発点として、Fig. 1 の曲線を(2)式で表わされる双曲線と仮定した。

$$(ds/dv)_p = \frac{\alpha q}{1 + \beta q} \quad (2)$$

$$\frac{(ds/dv)_p}{q} = \alpha + \beta (ds/dv)_p \quad (3)$$

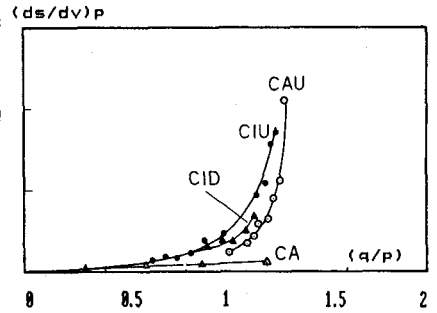


Fig. 1 Relationships between (q/p) and $(ds/dv)_p$.

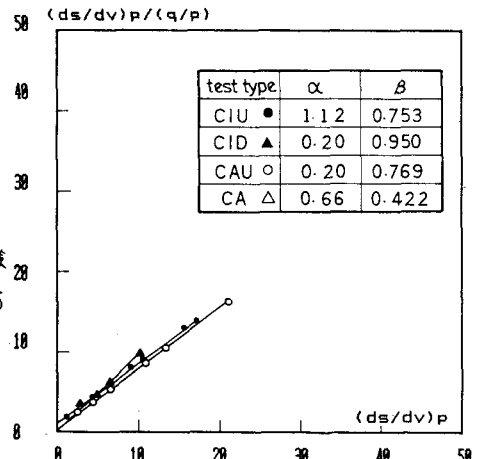


Fig. 2 Relationships between $(ds/dv)_p$ and $(ds/dv)_p/(q/p)$.

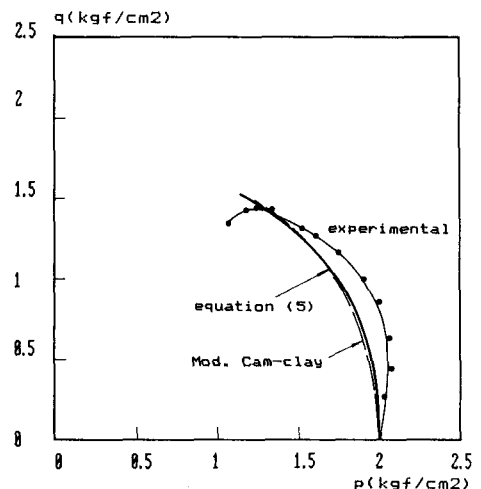


Fig. 3 Comparison of experimental and calculated stress path(CIU test).

(2)式を変形すると(3)式が得られるが、この式は $(d^2u/v)_p/\eta$ と $(d^2u/v)_p$ が切片 α 、傾き β の直線関係で表わされる事を示している。

Fig. 2は、実験による $(d^2u/v)_p/\eta$ と $(d^2u/v)_p$ の値をプロットしたものであるが、両者には明瞭な直線関係が認められ仮定した双曲線式の妥当性が確かめられる。また $\eta=1/\beta$ において $(d^2u/v)_p$ は無限大となり破壊状態をあらわすことがわかる。降伏曲線が塑性ポテンシャル面として(2)式からRoscoe面を求めると次のようになる。

$$1+e=N-\lambda \ln p-(\lambda-k)\left\{\ln \left(\frac{r}{r_0}\right)+\frac{u}{v}(\theta-\theta_0)\right\} \quad (4)$$

ここで $N: P=1 \text{ kgf/cm}^2$ における比体積

$$v^*=v-\beta/\alpha \cdot \eta + \beta/\alpha, \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{v}{u-\eta} \right)$$

$$u = \beta/2\alpha, \quad v = \sqrt{4\alpha - \beta^2}/2\alpha \quad \text{である。}$$

(4)式より非排水ストレスパス及び塑性ひびき増分を求めることができる。なお(5)式は、正規圧密状態点 $(P_1, \eta_1, 1+e_1)$ をせん断の開始点としたストレスパスの表示式である。

$$\lambda \ln \left(\frac{P}{P_1} \right) + (\lambda-k) \left\{ \ln \left(\frac{r}{r_1} \right) + \frac{u}{v} (\theta - \theta_1) \right\} = 0 \quad (5)$$

$$dU_p = \frac{\lambda-k}{(1+e)} \cdot \frac{dP}{P} + \frac{4\alpha\eta - 2\beta + \sqrt{4\alpha - \beta^2}}{2\alpha r^2} \cdot d\eta \quad (6)$$

$$dS_p = \frac{d\eta}{1-\beta\eta} \cdot dU_p \quad (7)$$

4. 実験結果との照合

Fig. 3, 4は、(5)式から計算される非排水パスと実験値を比較したものである。図中には参考として修正Cam clayモデルによって計算されるストレスパスも示してあるが、同モデルでは、CAU試験において実験値からの逸脱が大きいのにもかかわらず(5)式から計算されるパスでは、うまく実験値が再現できる事がわかる。Fig. 5, 6は、非排水せん断、排水せん断における応力-ひびき関係について、実験値と(6), (7)式から計算される値とを比較したものである。図に示すように試験条件によらずどの場合も良く実験値と一致している事がわかる。

5. 結論

飽和粘土の三軸圧縮試験において、応力比と塑性ひびき増分比が双曲線であらわされるものと仮定して新しい弾塑性モデルを導いた。このモデルによれば、一般的の等方圧密からの三軸圧縮試験だけでなく、異方圧密非排水試験、応力比一定異方圧密試験等における粘土の変形挙動を良く表現できる事がわかった。

参考文献 1) 原, 上原; 異方圧密された飽和粘土の非排水せん断特性について, オリグ国土工学研究発表会概要集,

2) 原, 吉田, 中, 堂; 応力比一定排水せん断における正規圧密粘土の変形特性, オリグ国土工学研究発表会概要集, pp. 401-402,

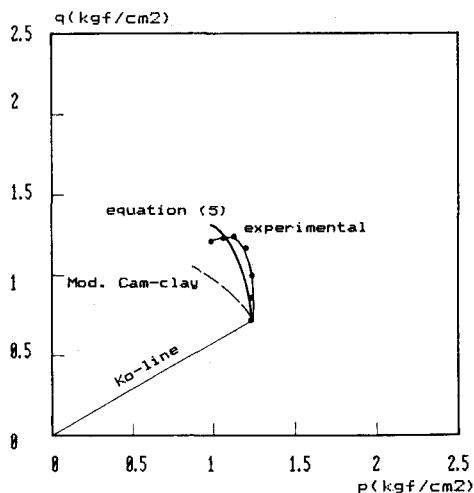


Fig. 4 Comparison of experimental and calculated stress path (CAU test).

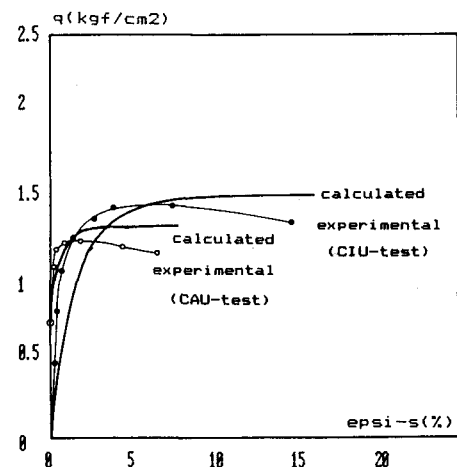


Fig. 5 Comparison of experimental and calculated stress-strain curves.

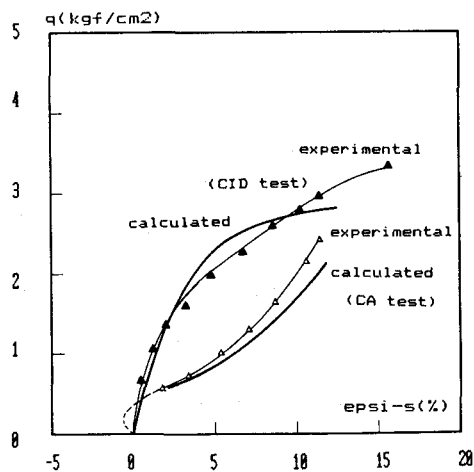


Fig. 6 Comparison of experimental and calculated stress-strain curves.