

III-186 異方過圧密粘性土の応力-ひずみモデル

北海道大学 工学部 正会員 木 幡 行宏

北海道大学 工学部 正会員 三田地 利之

1. まえがき 本報告は、三軸条件下での異方過圧密粘性土の応力-ひずみモデルを提案するものである。提案するモデルは、異方過圧密粘性土に対して実施した種々の応力制御排水せん断試験結果^{1)~3)}に基づいて導かれた。

2. 異方過圧密粘性土の応力-ひずみモデル 図-1に提案するモデルの概略図が示されている。図に示すように、モデルでは正規圧密時に応力比一定の条件で圧密が進行するときに形成される境界曲面 f_{nc} を仮定し、境界曲面の内部を過圧密領域、外部を正規圧密領域とした。さらに過圧密領域内で応力比一定の降伏曲面 f_{oc} を仮定し、ダイレイタンスー特性が変わる点での応力比を M_m と仮定した。また、ひずみの発生傾向により以下に示す2つの領域を仮定した。

[1] $f_{nc} < 0$, $\eta < M_o$, $\eta > M_o$ で囲まれる領域 (図中①部分)

この領域で発生するひずみは、 v^o , ε^o , ε_{oc}^o , v_{oc}^o と仮定する。

v^o : 体積ひずみの弾性成分 ε^o : せん断ひずみの弾性成分

v_{oc}^o : f_{oc} によって生じる体積ひずみの塑性成分

ε_{oc}^o : f_{oc} によって生じるせん断ひずみの塑性成分

[2] $f_{nc} \geq 0$, $\eta < M_o$, $\eta > M_o$ で囲まれる領域 (図中②部分)

この領域で発生するひずみは、 v^o , ε^o , v_{nc}^o , ε_{nc}^o と仮定する。

v_{nc}^o : f_{nc} によって生じる体積ひずみの塑性成分

ε_{nc}^o : f_{nc} によって生じるせん断ひずみの塑性成分

本報告は正規・過圧密領域にわたる応力変化を受ける際の粘土の変形挙動を説明し得るモデルの構築をめざしていることから、提案するモデルの過圧密領域での適用性を知るためには第一に正規圧密での挙動をほぼ完全に説明し得るものでなければならない。そこで、新たなパラメータ α を導入することによって Original Cam-clay モデルにおける塑性ひずみ増分比に修正を加え、異方正規圧密粘土の塑性ひずみ増分比を以下のように仮定する。

$$\frac{d\varepsilon_{oc}^o}{dv_{oc}^o} = \frac{\alpha}{M - \eta} \quad (1)$$

M : 限界状態の応力比であり、 $d\eta > 0$ の場合、 $M = M_o$,

$d\eta < 0$ の場合、 $M = M_o$ をとるものとする。 α : 後述の方法で決定されるパラメータ

(1)式に関連流れ則を適用し、正規圧密領域における塑性ひずみ増分式として次式を得る。

$$dv_{oc}^o = - \frac{de^o}{(1+e)} = \frac{(\lambda - \kappa)}{1+e} \left(\frac{dp}{p} + \frac{\alpha d\eta}{(M - \eta) + \alpha \eta} \right), \quad d\varepsilon_{oc}^o = \frac{\alpha}{M - \eta} \cdot dv_{oc}^o \quad (2)$$

さて、過圧密領域においては(3)式に示す降伏関数を仮定する。(3)式に含まれている k は硬化パラメータである。ここで、 k は塑性せん断ひずみ ε_{nc}^o の関数で表されると仮定し、Wroth and Bassett (1965) による Exponential Function Theory⁴⁾ を参考にして(4)式で表されるものとする。また、過圧密領域での塑性ひずみ増分比を Original Cam-clay モデルによる塑性ひずみ増分比の修正型として(5)式で仮定すると、過圧密

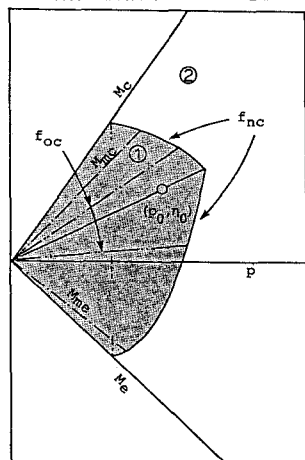


図-1 モデルの概念図

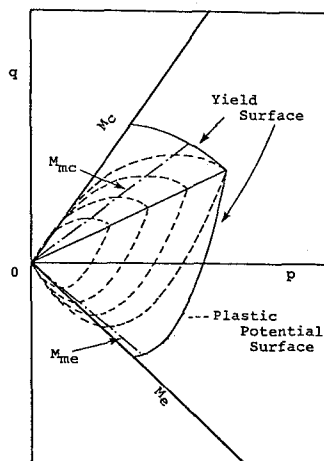


図-2 塑性ポテンシャル曲面

$$f_{oc} = \eta - k = 0 \quad (3), \quad k = (\eta_i - M) \cdot \exp(-\beta \varepsilon_{oc}^p) + M \quad (4)$$

$$\frac{d\varepsilon_{oc}^p}{d\varepsilon_{oc}^e} = \frac{2}{M_m - \eta} = -\frac{dp}{dq} \quad (5), \quad g_{oc} = \frac{1}{2} \ln(p/p_i) + \ln \left| \frac{M_m + \eta}{M_m + \eta_i} \right| = 0 \quad (6)$$

$$H = \frac{p(M_m + \eta)}{2\beta(M - \eta)} \quad (7) \quad d\varepsilon_{oc}^p = \frac{(M_m - \eta)}{2\beta(M - \eta)} d\eta, \quad d\varepsilon_{oc}^e = \frac{1}{\beta(M - \eta)} d\eta \quad (8)$$

$$dv^e = \frac{\kappa}{1+e} \cdot \frac{dp}{p}, \quad d\varepsilon^e = \frac{dq}{3G} \quad (9)$$

領域での塑性ポテンシャル関数 g_{oc} が(6)式として求められる。なお、図-2に(6)式で計算される塑性ポテンシャル面を示した。以上の諸仮定から、硬化関数 H として(7)式が得られ、過圧密領域での塑性ひずみ増分式として(8)式が求まる。また、弾性ひずみは全領域において(9)式で表されるものとする。なお、(4)式中の η_i は、応力増分比あるいは応力比の増分の符号が変化したときに置き換えられる応力比の値である。

提案するモデルに必要なパラメータは、 λ , κ , M , M_m , α , β および G である。 λ および κ は等方圧密、等方膨張試験より得られ、 M は "wet" 側では限界状態での応力比であるが、"dry" 側では大横の強度式⁵⁾を用いて p への依存性を与えた。 M_m は、ダイレイタンシー特性が変化する点での応力比であり、平均有効主応力一定圧縮・伸張試験より求められる。 α は(2)式による応力比-塑性体積ひずみ関係の計算値がOCR=1の平均有効主応力一定圧縮試験における実測値に最もよく合うように決定し、 β は(8)式と(9)式の和による計算値

とそれぞれの過圧密比での平均有効主応力一定試験における $\eta - \varepsilon$ 関係が最もよく合うように決定した。なお、一例として図-3にOCR=10とした K_0 過圧密粘性土の $\eta - \varepsilon$ 関係とフィッティング曲線を示した。 G はせん断剛性率であり、それぞれの過圧密比における平均有効主応力一定試験の $q - \varepsilon$ 関係の初期接線勾配より求めた。

3. 提案する応力-ひずみモデルの適用性 図-4~図-6にOCR=2, 10の K_0 過圧密粘性土、および図-7にOCR=1.33の異方過圧密粘性土($\eta=0.5$)に対する代表的な経路の応力比-体積ひずみ関係および応力比-せん断ひずみ関係の予測値と実測値の比較をそれぞれ示した。なお、図において実線は予測結果を示し、●印は実験結果を示している。これらの図より、予測値と実測値は全般的によい一致が見られる。

4. まとめ 本報告で提案するモデルは、モデルに含まれるパラメータの数が比較的少なく単純なモデルであるが、過圧密状態、あるいは過圧密状態から正規圧密状態にまで達する異方過圧密粘性土の応力-ひずみ挙動を十分に説明し得るモデルであることが明らかにされた。なお、研究にあたっては、昭和63年度文部省科学研究費一般研究(C) 62550353 の援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

<参考文献> 1)三田地・木幡・川田;第21回土質工学研究発表会(1986), 2)木幡・三田地・川田;土木学会第41回年次学術講演会講演概要集(1986), 3)木幡・三田地;第23回土質工学研究発表会(1988)
4)Wroth, C.P. & Bassett, R.H; Geotechnique, Vol.15, No.1(1965), 5)大横;土木学会論文報告集, No.346(1984)

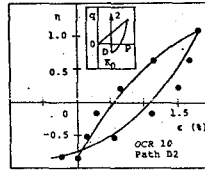


図-3 β の決定

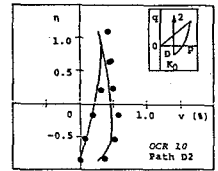


図-4 K_0 過圧密粘性土(OCR=10)の平均有効主応力一定試験による応力比-体積ひずみ関係の予測値と実測値の比較

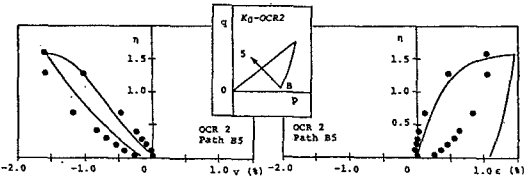


図-5 K_0 過圧密粘性土(OCR=2)の応力増分比一定試験($dq/dp=1$)に対する予測値と実測値の比較

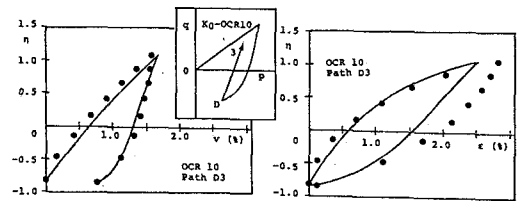


図-6 K_0 過圧密粘性土(OCR=10)の応力増分比一定試験($dq/dp=3$)に対する予測値と実測値の比較

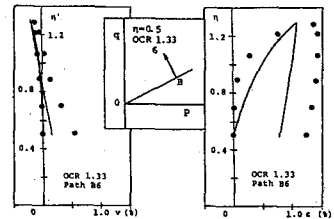


図-7 異方過圧密粘性土($\eta=0.5$, OCR=1.33)の応力増分比一定試験($dq/dp=1$)に対する予測値と実測値の比較