

三軸異方圧密試験のひずみ成分と塑性ポテンシャル

小野田ケミコ(株) 正会員 ○今井 誉人
 新日本開発工業(株) 正会員 赤石 勝
 金沢工業大学 正会員 外崎 明
 東海大学 正会員 杉山 太宏

1. まえがき

粘土の挙動を弾塑性モデルとして考える場合、ひずみ成分は塑性ポテンシャルの応力勾配に支配される。著名な弾塑性構成式である修正カムクレイモデルは、実際と異なる静止土圧係数を与えることが知られているが、これは関連流動則で楕円形の降伏関数を用いているためである¹⁾。

この報告では、楕円を変形・回転した形状となる塑性ポテンシャルを提案する。その妥当性を検証するため、三軸試験機を用いた粘土の等方・異方ならびに K_0 圧密試験で測定される軸ひずみと体積ひずみの割合を検討した。

2. 試料および実験方法

横浜市内で採取した表-1の物理的性質を示すシルト質粘土を用いて、三軸異方圧密試験を実施した。

直径5 cm、高さ12 cmの供試体周囲に濾紙を巻き、半径方向排水条件のもと1日間隔で異方応力増分を4回載荷し、軸ひずみ ε_A と体積ひずみ ν を測定した。半径方向応力増分 $\Delta\sigma_R$ と軸方向応力増分 $\Delta\sigma_A$ の応力増分比 $K(=\Delta\sigma_A/\Delta\sigma_R)$ は1, 0.6, 0.37で、圧密前後の平均有効応力は30.7, 115.1 kPaである。また、比較のため K_0 圧密試験も実施した。異方圧密試験終了後、非排水せん断試験を行った。

3. 塑性ポテンシャル

この報告では、式(1)で表す塑性ポテンシャルを提案する。

$$Q = q^2 - 2\alpha pq + \alpha^2 p p_c + M^2(p^2 - p p_c) \quad (1)$$

ここに、 q は偏差応力、 p は平均有効応力（この報告では、有効応力を表すプライムを省略する）、 p_c は塑性ポテンシャルのサイズパラメータ、定数 $\alpha=0$ とすれば、 Q は修正カムクレイモデルに一致する。

降伏関数 $F(=Q)=0$ としてその形状を図-1 に示した。

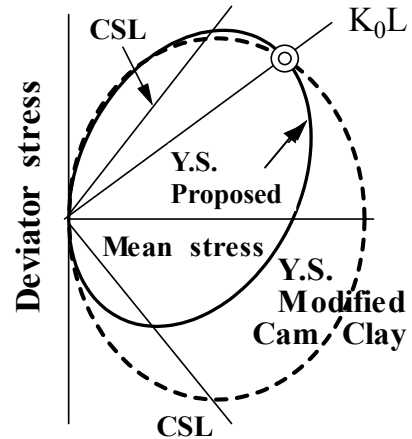


図-1 塑性ポテンシャル $Q(=F)$ の形状

表-1 試料の物理的性質

G_s	w_L	w_p	Sand	Silt	Clay
2.66	73	41	30	38	32

表-2 土質定数

λ	κ	M	K_0	e_0
0.074	0.021	1.57	0.44	1.81

提案モデルの塑性ポテンシャルは、図中⊙印の応力で K_0 圧密された修正カムクレイモデルの F （破線の楕円）を回転・変形させた実線で示す形状となる。

図-1 の $F(=Q)$ の形状から明らかなように、提案式(1)では、定数 α の設定により応力勾配が変化し、塑性ひずみ成分が計算される。

4. 実験結果と考察

応力増分比 $K(=\Delta\sigma_A/\Delta\sigma_R)$ の異なる圧密試験結果から、軸ひずみ ε_A と体積ひずみ ν の経時変化を図-2、 ε_A と ν の関係を図-3 に示した。図-2 から、 K の減少により両ひずみとも増加するが ε_A の増加が著しいこと、図-3 からは、実験の範囲内において両ひずみの間には比例関係があることが分かる。これらの試験結果から、計算に必要な土質定数を決定し表-2 にまとめた。

キーワード 弾塑性構成式、塑性ポテンシャル、異方圧密試験、ひずみ比、粘土

連絡先 〒201-0012 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学 TEL 0463-58-1211 E-mail : sugi@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

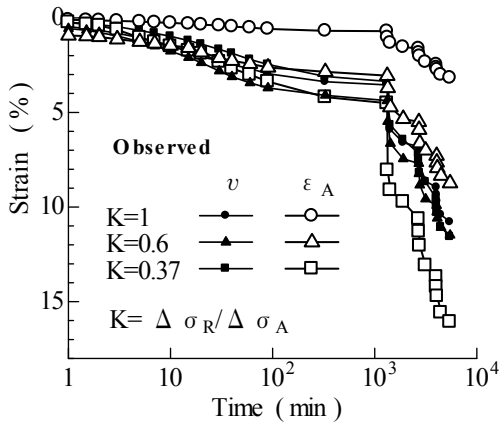


図-2 体積・軸ひずみの経時変化

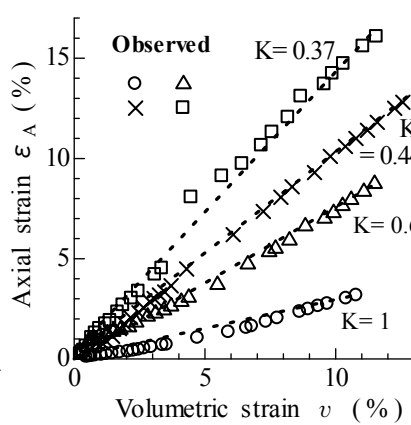


図-3 体積ひずみと軸ひずみの関係

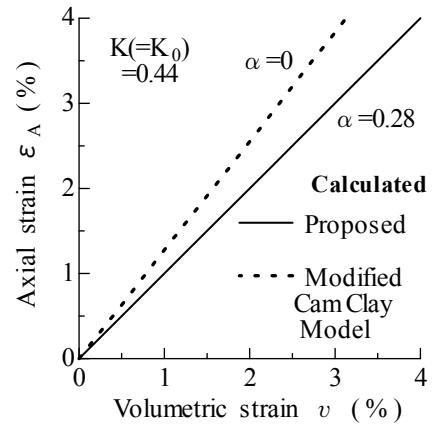


図-4 両ひずみ関係の計算結果

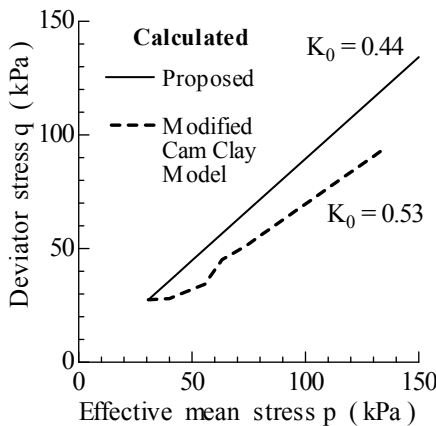


図-5 K_0 圧密試験有効応力経路の計算結果

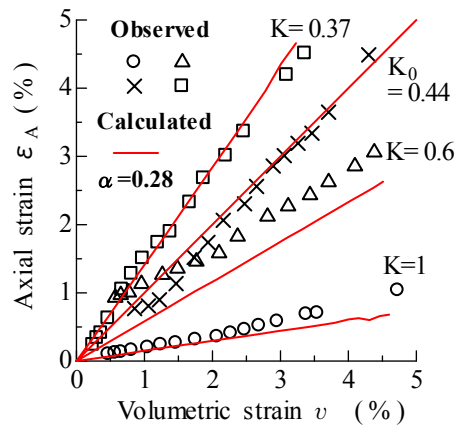


図-6 両ひずみ関係の計算結果

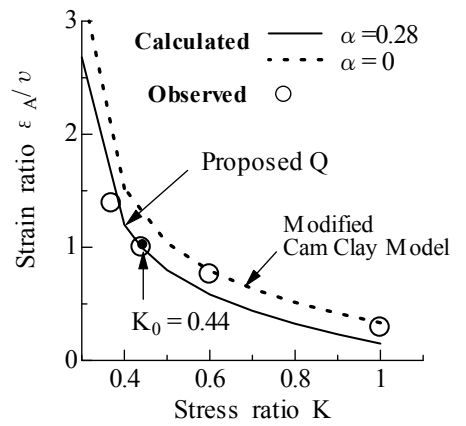


図-7 ひずみ比と応力比の関係

応力制御による圧密排水(CD)試験の再現計算を静止土圧係数 (K_0) に等しい応力比 $K (= \Delta\sigma_A / \Delta\sigma_R) = 0.44$ で実施し、その結果を図-4 に示した。実線で示す計算結果は、軸ひずみ ε_A と体積ひずみ v の大きさが等しくなるように式(1)の定数 α を 0.28 としたものである。 $\alpha = 0$ とした場合の修正カムクレイモデルによる計算結果では、軸ひずみが体積ひずみよりも大きく $\varepsilon_A \neq v$ となり K_0 条件を満足しない。

図-5 に K_0 条件を満足するひずみ制御による CD 試験を再現した有効応力経路の計算結果を示した。式(1)の定数 α を 0.28 とした実線の K_0 値は 0.44 と計算されるが、 $\alpha = 0$ とした破線では $K_0 = 0.53$ となり実際よりも大きな K_0 値を与える。

図-6 は、 K_0 条件を満足するよう式(1)の定数を $\alpha = 0.28$ とした場合の塑性ポテンシャル Q の適用性を調べたものである。図-3 の異方圧密試験結果により、応力比 $K = 0.44$ の実測値に一致するよう定数 α を 0.28 と設定した。 $K = 0.37$ の場合も計算は実測値とほぼ一致しているが、 $K = 0.6$ と $K = 1$ の場合には、実測値との差が認められる。この点について、応力比 K と軸ひ

ずみと体積ひずみ比の関係を図-7 に示した。提案式(1)において、 $K = 0.6$ と $K = 1$ の場合は、定数 $\alpha = 0$ とした修正カムクレイモデルの方が実測値に近い。

5. むすび

弾塑性応力ひずみ関係における塑性ポテンシャルについて、異方圧密試験結果より検討した。修正カムクレイモデルの塑性ポテンシャルでは、実際より大きな静止土圧係数を与えるため、その塑性ポテンシャルを修正した式を提案し、含まれる定数値の適切な選択で実測値に適合する静止土圧係数、一次元圧密時の水平方向有効応力を得られることを示した。しかし、等方・異方圧密時の応力比 K によっては、軸ひずみと体積ひずみの割合が実測値と異なる。単純な一つの塑性ポテンシャルで、異方圧密時に発生するひずみ成分を決定するのは困難である。

参考文献

- 1) Roscoe, K. H. and J. B. Burland : On the generalized stress strain behaviour of saturated clay, Engineering Plasticity, Cambridge Univ. Press, 1968.