

K₀ 圧密粘土の降伏関数と非排水経路

小野田ケミコ (株) 正会員 ○今井誉人
 (株) オオバ 正会員 飯沼孝一
 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

1. はじめに

粘土が圧密された過去の最大圧力は、先行圧密荷重、最近では圧密降伏応力と呼ばれ、標準圧密試験から得られる間隙比と鉛直圧力の対数プロットを用いた図解法により決定される¹⁾。圧密降伏応力と現在の有効上載圧が等しい正規圧密粘土に対する圧密荷重が圧密降伏応力を超えると、粘土の力学的挙動は、弾性挙動から弾塑性的挙動となり、間隙比はより大きな割合で減少する。したがって、弾塑性圧密解析において圧密降伏応力、すなわち弾性挙動の限界を知ることは重要である。標準圧密試験から決定する圧密降伏応力は、最大有効主応力である。また、多くの正規圧密粘土の静止土圧係数 K_0 値は 0.5 前後のため、水平方向の最小有効主応力に対応する圧密降伏応力は、鉛直方向のそれより当然小さいと考えられる。

多次元圧密条件下の弾性挙動の限界応力空間の定義には、降伏関数が用いられる。Roscoe らにより開発されたカムクレイモデルは、限界状態の概念に基づく代表的弾塑性モデルの一つである²⁾。この降伏関数は、塑性変形中の消散エネルギーを考慮する仮定から誘導されている。しかし、その降伏関数の妥当性に関する実験的検証は十分ではない。一つの着目点として、 K_0 正規圧密粘土に対する等最小主応力線が、降伏面内部に位置するため、最小主応力が過去の最大値を超えた場合にも、弾塑性挙動と考えられない点がある。

この報告では、 K_0 圧密粘土に対する新しい降伏関数を提案し、非排水経路の計算結果からその妥当性を実験的に検討している。

2. 降伏関数と三軸試験の非排水挙動

オリジナルカムクレイモデルでは降伏関数を定義するために、式 (1) で表すよう粘土要素に作用する外部仕事は、塑性変形による消散エネルギーに等しいと仮定した。直交則も仮定し、式 (1) を積分すると式 (2) の降伏関数が得られる。

$$p \cdot dv_p + q \cdot d\epsilon_p = M \cdot p \cdot d\epsilon_p \quad \dots (1)$$

$$F = \eta \mp M \cdot \ln(p_i / p) - \eta_i = 0 \quad \dots (2)$$

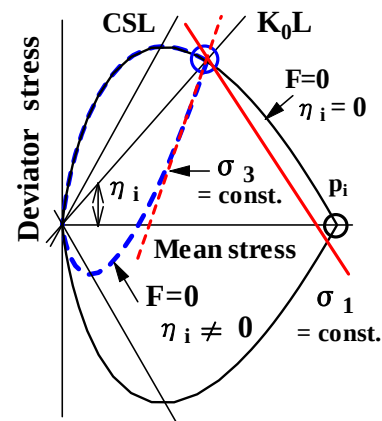


図-1 降伏面の形状 (1)

ここに dv_p は塑性体積ひずみ増分、 $d\epsilon_p$ は塑性せん断ひずみ増分、 p は平均有効応力、 q は偏差応力、 $\eta (=q/p)$ は応力比、 M は限界状態線の勾配、 p_i ならびに q_i で圧密された場合の応力比が $\eta_i (=q_i/p_i)$ である。また式 (2) の+符号は、 $\eta < \eta_i$ の伸張側の場合である。

図-1 に等方圧密粘土と K_0 圧密粘土の降伏面を、それぞれ黒実線と青破線で示した。降伏面の形状から、圧密時の応力状態で弾性挙動を示す応力空間が大きく異なることが分かる。 K_0 圧密粘土 ($\eta_i \neq 0$) の最大・最小有効主応力一定線が図中の赤実線と赤破線である。 K_0 圧密粘土の最小有効主応力が過去に受けた最大値を超えた場合も、塑性ひずみが発生すると推測するのが合理的であるが、実験的に検証する必要がある。

Dafalias らは、式 (1) 右辺の消散エネルギーを式 (3) のように変更し、降伏関数 F として式 (4) を提案した³⁾。

キーワード 降伏関数 非排水経路 K_0 圧密粘土

連絡先 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 3-21 小野田ケミコ (株) TEL. 03-6386-7036 E-mail : yoshi_imai@chemico.co.jp

$$p \cdot dv_p + q \cdot d\varepsilon_p = p \sqrt{dv_p^2 + (N \cdot d\varepsilon_p)^2 + 2 \cdot \eta_0 \cdot dv_p d\varepsilon_p} \quad \dots (3)$$

$$F = q^2 - 2\eta_0 pq + \eta_0^2 pp_0 + N^2(p^2 - pp_0) = 0 \quad \dots (4)$$

ここで、 $N=M$ として $\eta_0=0$ とした F は、修正カムクレイモデルに一致する。

図-2 に青実線で示した式 (4) の降伏面は、 K_0 圧密粘土の最小有効主応力一定線に近く特異点もない。

式 (2), (4) による非排水経路が、それぞれ式 (5) と (6) である。

$$\eta = \pm M / (1 - \kappa / \lambda) \cdot \ln(p_i / p) + \eta_i \quad \dots (5)$$

$$p = p_0 \left[(N^2 - \eta_0^2) / (N^2 - 2\eta_0 \eta + \eta^2) \right]^{1-\kappa/\lambda} \quad \dots (6)$$

ここに、 λ は圧縮指数、 κ は膨張指数である。

表-1 粘土試料の物理・力学的性質

	ρ_s (g/cm ³)	ω_L (%)	ω_P (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
Moriya:	2.64	131	78	58	29	13
Soka:	2.67	83	44	54	41	5

	λ	κ	M	K_0
Moriya:	0.754	0.094	1.34	0.46
Soka:	0.192	0.029	1.54	0.43

3. 実験・計算結果と考察

茨城県守谷市と埼玉県草加市で採取した沖積粘土を用い三軸圧密非排水試験を実施した。試料の物理的・力学的性質を表-1 に示す。

式 (5) (6) による非排水経路の計算結果と実験結果の比較を図-3 と図-4 に示した。式 (6) で $N=1.1 < M=1.34$ とすることで偏差応力の最大値からの減少が、実測値に類似した挙動として計算されているが、図-4 で $N=1.5 < M=1.54$ とした場合、偏差応力の減少は計算できない。 N を更に小さな値に設定した場合、計算される偏差応力が実測値より小さくなってしまふ。提案する式 (4) の降伏関数の問題点である。また、赤線で示したカムクレイモデルの非排水経路の計算結果は、提案式 (6) によるそれより実測値との差が大きい。図-4 に赤破線で示す修正カムクレイモデルについては、伸張側の非排水経路で実測値との差が大きい。非排水経路は、降伏面の少し外側に位置するが、非排水経路の実測値は、修正カムクレイモデルの降伏面の内側に位置している。等方圧密粘土について誘導された修正カムクレイモデルの降伏関数を K_0 圧密粘土の非排水挙動の予測には適用出来ない。

4. まとめ

修正カムクレイモデルの楕円形降伏面を変形させた降伏関数を提案し、 K_0 圧密粘土の非排水経路の三軸圧縮・伸長試験の実測値と比較し、カムクレイモデルのそれより実測値に近いことを確認した。提案した降伏関数では、定数 N の設定次第でひずみ軟化挙動を表現しうが、定数 N の設定については更に検討する必要がある。

【参考文献】1) 土質工学会：土質試験法，第4編 第5章 圧密試験，pp.274-325,1971. 2) Roscoe, K.H. and Burland, J.B. : On the generalized stress strain behavior of wet clay, Cambridge Univ. Press, pp.535-605,1968. 3) Dafalias, F.Y., Manzari, M. T. and Akaishi, M. : A simple anisotropic clay plasticity model, Mechanical Research Communication, Vol.29, pp.241-245, 2002.

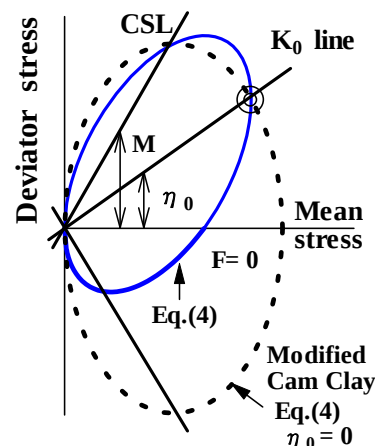


図-2 降伏面の形状 (2)

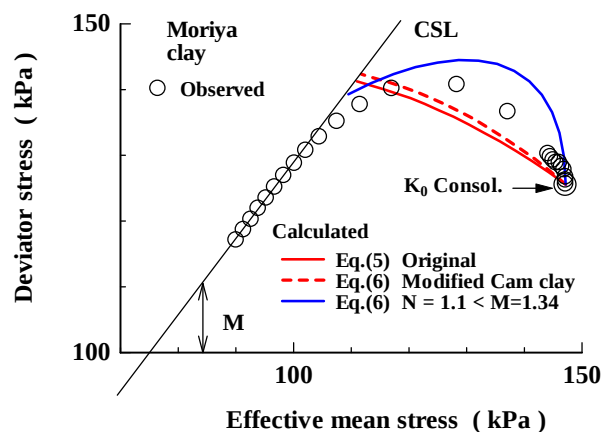


図-3 非排水経路 (守谷)

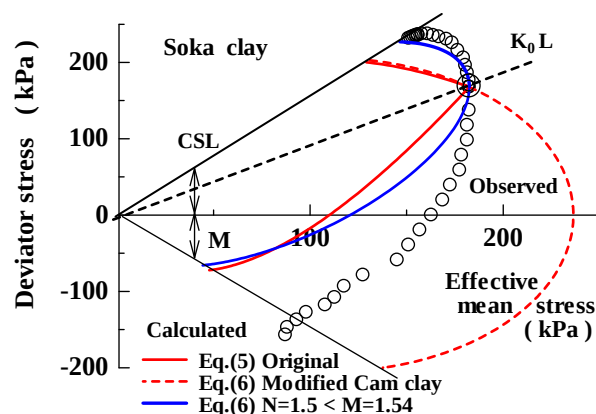


図-4 非排水経路 (草加)