

K_0 正規圧密粘土の非排水・排水挙動と降伏関数

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. 緒言

粘土の塑性変形は圧密降伏応力，すなわち降伏基準に支配される．降伏基準は塑性変形が始まる応力レベルを決定する．Roscoe らによって開発されたカムクレイモデルは，限界状態概念に基づく代表的弾塑性土モデルの一つである¹⁾．その降伏関数は，塑性変形中の消散エネルギーを考慮し誘導されている．図-1 中に◎印で示す粘土要素のオリジナルと修正カムクレイの降伏面が，破線と点線である．粘土要素に作用する応力変化が降伏面内であれば，弾性挙動が仮定される．しかし，カムクレイモデルの降伏関数に関する実験的検証は十分ではない．何故なら，図-1 に赤実線で示すように K_0 正規圧密粘土に対する最小主応力線が，降伏面内部に位置するからである．粘土要素に作用する最小主応力が，過去の最大値である赤線を越えても，その応力変化が降伏面内であれば，弾性挙動となり不具合である．

本報告は， K_0 正規圧密粘土に対する降伏関数を提案し，その排水ならびに非排水三軸挙動を実験的に検討することである．

2. 提案降伏関数と非排水経路

本報告で採用する K_0 正規圧密土の降伏面は，図-1 に青実線で，その降伏関数を，式(1)で表される．

$$F = q^2 + 2\eta_0 pq + \eta_0^2 pp_0 + N^2 p(p - p_0) = 0 \quad (1)$$

ここに， q は偏差応力， p は平均有効応力， N は降伏面の形状に関する材料定数， η は応力比($=q/p$)，そして， η_0 は K_0 圧密時の応力比($=q_0/p_0$)である．

式(1)において $N=M$ (=限界状態線の勾配) で $\eta_0 = 0$ の時，図-1 に点線で示されるこの降伏面は，修正カムクレイモデルのそれである．図-1 に示すように $N < M$ の場合，実線で示される降伏面の頂点は，CSL の右側に位置する．この特別の特徴がひずみ軟化挙動につながる．

式(1)と流動則から弾塑性応力ひずみ関係が誘導される．

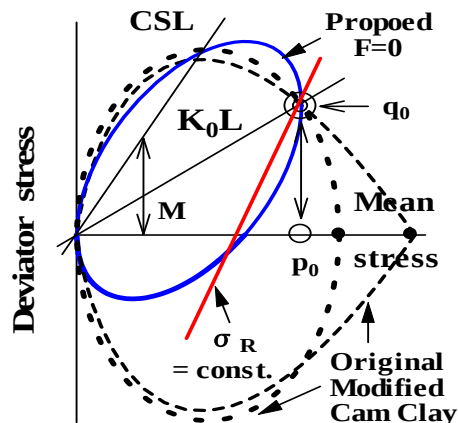


図-1 降伏面

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

その体積ひずみ増分をゼロとすることで圧密非排水三軸試験の非排水経路に関する式(2)を誘導しうる．

ここに， λ は圧縮指数そして κ は，膨張指数である．もし， $N=M$ で $\eta_0=0$ ならば，式(2)は修正カムクレイの非排水経路になる．

表-1 試料の物理的性質と土質定数

種類	G_s	W_L	W_p	λ	κ	M	K_0
柏	2.64	112	62	0.200	0.030	1.48	0.40
草加	2.67	83	44	0.182	0.041	1.54	0.43
日立	2.66	121	52	0.460	0.120	1.57	0.46

3. 試料及び実験方法

東京郊外の宅地造成地で乱されない沖積粘土を採取し，ひずみ制御の三軸圧密非排水せん断 $\overline{CU}$ 試験と応力制御の圧密排水せん断 CD 試験を実施した． $\overline{CU}$ 試験は，非排水経路， CD 試験では体積ひずみの変化と降伏面との関係を検討する．使用した粘土試料の物理的性質と式(2)による非排水経路の計算に必要な土質定数を表-1 に示した．

4. 試験結果と考察

図-2～図-4 は，三軸圧縮・伸長試験の計算・観測非排水経

キーワード：降伏関数，非排水経路，排水経路，弾塑性解析，異方圧密

連絡先：〒153-0042 東京都目黒区青葉台4-4-12 (株)オオバ TEL. 03-3460-6962 E-mail: koichi_iinuma@k-ohba.co.jp

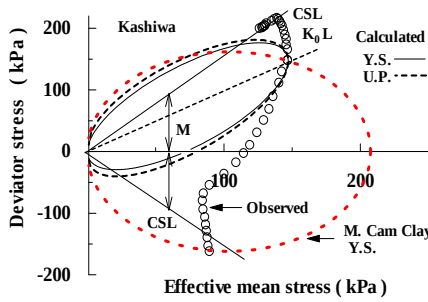


図-2 降伏関数と非排水経路 (柏)

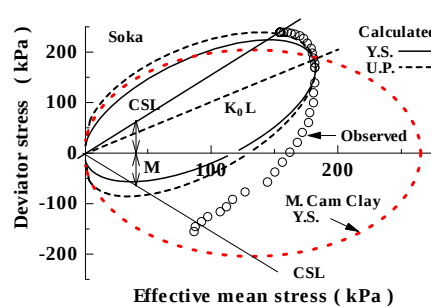


図-3 降伏関数と非排水経路 (草加)

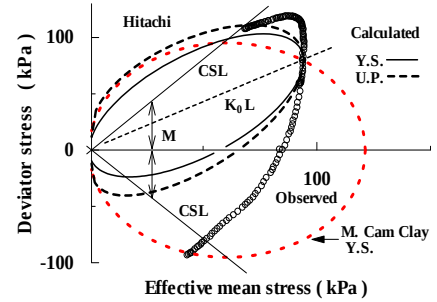


図-4 降伏関数と非排水経路 (日立)

路を示す。これらの図の破線からわかるように非排水経路は、実線で示される降伏面の少し外側に位置する。しかしながら、観測非排水経路は、式(2)の計算結果からかなり隔たっている。圧縮側の大きな偏差応力の減少も再現できない。伸長側の観測非排水経路は、赤破線の修正カムクレイモデルによる降伏面の内側に位置し、弾塑性理論に基づく予測と大きく異なる。降伏関数の妥当性については、さらなる検討が必要と考えられる。

図-5 は、CD 試験の載荷・除荷経路に対応する間隙比の変化と降伏面の関係を示す。図-5 の A,B は、降伏面上の点であり、A 点から B 点までの載荷は、正規圧密粘土に対するものである。図-6 の間隙比の変化 ($a \Rightarrow b$) は、正規圧密線となる。図-5 の $B \Rightarrow 1$ は、一次元の除荷経路であり、 κ 線の間隙比の変化を図-6 から見出せる。過圧密状態の粘土に対する再載荷経路 $1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3 \Rightarrow 4$ は、過圧密から正規圧密領域にまたがる領域の間隙比の変化を期待した。 λ , κ 線の勾配と比較して、点 3 を少し超えた応力が降伏点のようである。その応力は修正カムクレイの降伏面のサイズパラメーターよりかなり小さい。

B 点で正規圧密された粘土に対し、修正カムクレイの降伏面内への応力変化 $B \Rightarrow F$ 経路では、ほとんど間隙比増加が認められない。F 点の平均有効応力は式(1)、降伏面の p 軸上の点に近く、F 点は過去の最小有効応力一定線の近くに位置する。これに対し、 $B \Rightarrow D$ 経路では、間隙比が減少している。 $B \Rightarrow D$ 経路は、平均有効応力一定で偏差応力が減少しているの、弾性粘土の間隙比変化はゼロの筈である。この間隙比減少を塑性ひずみの発生と考えるならば、D 点の平均有効応力は降伏面外に位置することになる。これらの実験結果はカムクレイの降伏関数が、弾性挙動の限界を示さないことを意味する。

5. むすび

この報告は、修正カムクレイと形の異なる降伏関数を示し、非排水・排水三軸試験結果を用いその再現能力を評価

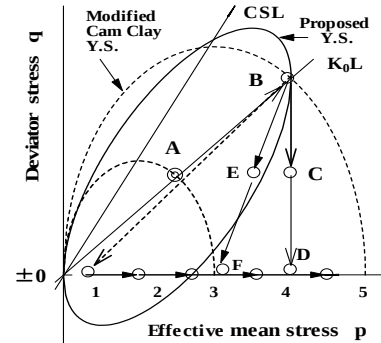


図-5 q-p 関係 (有効応力経路)

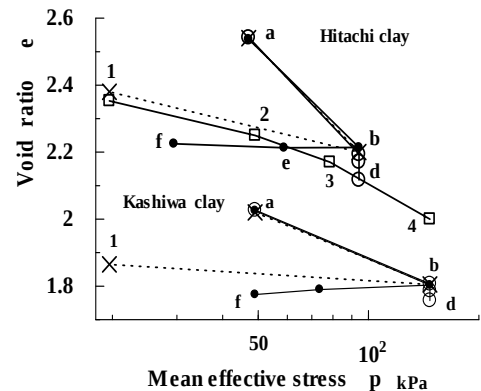


図-6 e-p 関係 (有効応力経路)

した。もし $N=M$, 等方圧密粘土で初期応力比 $\eta_0=0$ ならば、その降伏関数は修正カムクレイのそれと同じである。計算・実験三軸試験結果の比較から、次の結論が得られた。

- 1) 提案する降伏関数による計算非排水経路は、修正カムクレイより K_0 正規圧密粘土の観測結果に近い。
- 2) 作用する最小有効主応力が、過去の最大値、いわゆる、先行圧密圧力を超えると塑性ひずみが発生する可能性が大きい。 K_0 圧密粘土の実験による降伏面は、最小有効主応力一定線近くを通過する。

参考文献

- 1) Roscoe, K.H. and Burland, J.B. (1968). "On the generalized stress strain behavior of wet clay", Engineering Plasticity, Cambridge University Press, 535-609.