

## III-A55

## 一般化Cam-Clayモデルの材料パラメーターの評価に関する実験的研究

法政大学 学 板垣 敏章  
 法政大学 正 草深 守人  
 法政大学 角田 富士夫  
 法政大学 宮田 修

**1.はじめに:**自然堆積粘土のせん断挙動は一般に複雑多岐にわたり、あらゆる種類の土の統一的な構成方程式を構築することはほとんど不可能に近いとされている。このため、構成方程式に関する多くの研究では土の種類、堆積過程、含水状態、排水条件等を限定し、それらを組み合わせることによって行われている。近年は、土質材料の弾塑性構成方程式として限界状態論に基づくモデルの利用が一般化されつつある。本研究では、限界状態論に基づき、草深らによって提案された降伏関数に含まれる材料パラメーターが土の種類によって決まる固有の材料定数であるかを明らかにし、かつその評価手法を示すことを目的とした。

**2.過圧密粘土の非排水せん断における降伏点の軌跡:**Fig.1は、飽和粘性土の「平均応力  $p$ 、偏差応力  $q$ 、間隙比  $e$ 」空間における応力状態を示している。正規圧密粘土を非排水せん断するとき、その応力状態は、 $\overline{QL'}$  のような経路を通り、それぞれ点  $L'$  で限界状態に達する。一般的に、等方応力状態において、除荷経路  $A \rightarrow L$  と経過した後、 $L$  点から再負荷をした場合、その後の応力経路は  $L \rightarrow A$  となり、同じ経路を通過することが知られている。このことは、弾性壁面内において粘土は弾塑性的な挙動を示すことを意味している。正規圧密粘土はせん断を加えた直後より降伏していることから、 $\overline{QL'}$  上の点は、全て降伏曲面上の点である。このような点の集合は降伏曲面上に曲線  $AL'K$  のような軌跡を描く。このことは  $p \sim q$  平面上において Fig.2 のように表される。

本研究では、粘土がせん断によりひずみ硬化を起すとき、その応力点は上記に述べたような曲線  $AL'K$  に相似な曲線群(連続的に存在する移動降伏曲線)上を移動するものと考え、これらの曲線群によって表される曲面を降伏関数とした。

**3.提案した降伏関数:**Fig.1 に示す降伏曲面と任意の等方圧密応力  $p_0$  に対する弾性壁面との交線  $\overline{AL'}$  を平面上に投影した Fig.2 に示す曲線  $\overline{AL'}$  は、 $p \sim q$  平面上での降伏キャップを表す。この降伏キャップと限界状態線との交点  $L'$  を通る非排水応力経路を  $\overline{QL'}$  とし、このときの等方圧密応力を  $p'_0$  とする。点  $L'$  での等方圧成分  $p'$  に等しい  $p$  軸上の点  $L$  を通る直線  $\overline{LL'}$  は、Fig.1 の弾性壁面  $AL'K$  と非排水平面  $QL'R'S$  との交線である。このとき曲線  $\overline{AL'}$  を式(1)で表される橢円の一部として仮定した。

$$\frac{(p - p')^2}{(p_0 - p')^2} + \frac{q^2}{(M p')^2} = 1 \quad (1)$$

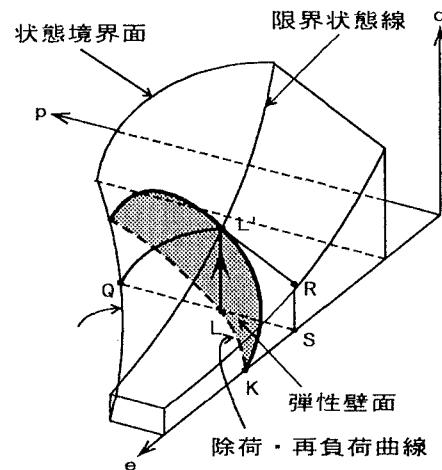


Fig. 1: 降伏キャップと限界状態線上の点  $L'$  を通る非排水平面  $QL'R'S$

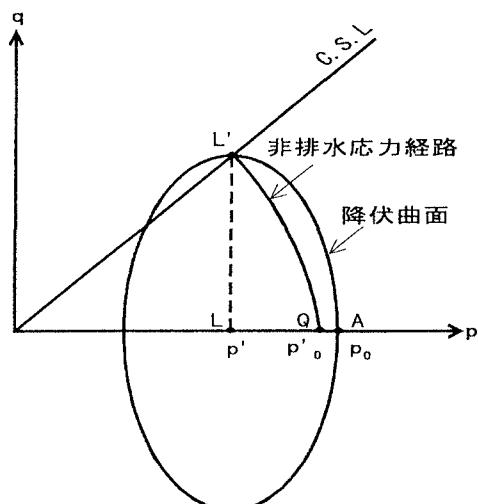


Fig. 2: 降伏キャップの数学モデル

キーワード：限界状態論、Cam-Clayモデル、降伏キャップ、降伏関数

連絡先：〒184 東京都小金井市梶野町3-7-2 法政大学工学部

ここで、 $p'$ が  $p_0$  の値によって変化することから、土の種類によって決まる新たなパラメータ  $a$  を式(2)で定義し、これを材料パラメータとして導入した。

$$a = p'/p_0 \quad (2)$$

式(1)および式(2)より、提案した降伏関数  $f$  は式(3)で表される。

$$f = a^2 M^2 p^2 - 2a^3 M^2 pp_0 + a^2 (2a - 1) M^2 p_0^2 + (1 - a)^2 q^2 = 0 \quad (3)$$

上式で提案した降伏関数は、新たに導入した材料定数  $a$  を  $a = 0.5$  と置くことによって、修正 Cam-Clay モデルを表すことができる。この意味から、提案する降伏関数は、従来の Cam-Clay モデルあるいは修正 Cam-Clay モデルの自然な拡張となっており、より一般化された降伏基準と解釈できる。

**4. 材料定数  $a$  の算定:**  $K_0$  圧密試験から正規圧密曲線 ( $\lambda$  線) と過圧密曲線 ( $\kappa$  線) を求める。Fig.1 を  $e \sim \ln p$  平面状に投影したものと、Fig.3 に示す。初期圧密応力  $P'_0$  を式(4)に代入し、 $e_\lambda$  を求める。

$$e_\lambda = s - \lambda \ln(p'_0) \quad (4)$$

三軸圧縮試験から得られる非排水応力経路と限界状態線の交点  $L'$  での平均主応力値  $P'$  を式(5)から求める。

$$t = e_\lambda + \kappa \ln(p') \quad (5)$$

$\lambda$  線と  $\kappa$  線の交点  $A$  での平均主応力値  $p_0$  を式(6)求める。

$$\ln(p_0) = \{s - e_\lambda - \kappa \ln(p')\} / (\lambda - \kappa) \quad (6)$$

上記で決定される  $P'$  と  $P_0$  を用いて、材料定数  $a$  を計算する。

**5. 材料定数  $a$  の比較と検討:** 上記の方法にしたがって算出した材料定数  $a$  の値を、Table.1 に示す。これらの材料定数  $a$  の値には多少ばらつきはあるが、同一粘土試料に対する材料定数  $a$  の値は圧密圧力に無関係に一定値を示し、今回の試験で使用した粘土については、 $a = 0.61$  程度であると言える。このことは、上記で提案された降伏関数の仮定、すなわち、楕円降伏キヤップの形状は任意の圧密圧力に対して相似であることを裏付けている。

**6. 結論:** 本研究で使用した試料土の材料定数  $a$  の値は、圧密の程度に関わらず一定値を示すことが確認された。このことより  $a$  は、限界状態論に基づく土の降伏関数を決定する上で重要な材料定数と考えられ、かつ圧密圧力の増加に伴って拡大する降伏キヤップの形状が、互いに相似であることを意味している。すなわち、新たな材料定数  $a$  (粘土の種類によって固有の値をとる) を導入した降伏関数は、従来のモデルに比べて適用範囲が広く一般性があり、かつ必要な材料定数を簡単な室内試験により決定できる利点を持っている。今後の課題としては、様々な粘土に対して、上記の結論を再確認するための試験と掘削問題等の様々な力学問題への適用性を検討することが必要と考えられている。

#### [参考文献]

- 1) C.S.Desai and H.J.Siriwardane, Constitutive Laws for Engineering Materials, (Prentice-Hall, 1984)
- 2) Wood,D.M., Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics, (Cambridge University Press, 1990)

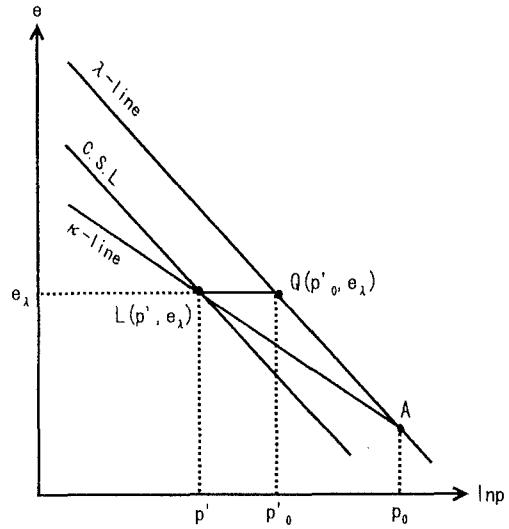


Fig.3: 限界状態線上での非排水応力経路と弾性壁面の交点

Q→L: 非排水応力経路  
A→L: 弾性壁面(吸水膨張過程)

Table.1 材料定数  $a$  の計算結果

初期圧密応力 $P_0'(\text{kgf/cm}^2)$	材料定数 $a$	
	(95年度)	(96年度)
1.25	0.597	0.595
1.50	0.601	0.616
1.75	0.619	0.592
2.00	0.628	0.597
2.25	0.641	0.597