

Ⅲ-A64 飽和粘土の一般化降伏関数と非排水せん断に伴う間隙水圧の発生

法政大学 学 石橋 泰

法政大学 大橋正未知

法政大学 正 草深 守人

いわき市役所 佐藤 政宏

1. まえがき

限界状態論を基礎としている降伏関数の多くは、任意の圧密圧力に対する圧密完了時の有効応力状態について記述されており、基本的には完全排水条件を対象としている。したがって、これらの降伏関数を弾塑性問題に適用する場合は、体積圧縮やせん断変形によって発生する間隙水圧を知る必要がある。このため、一般的には有効応力で記述した土粒子骨格構造の変形に関する支配方程式と間隙水圧の排水に関する支配方程式の二つを連成させた Biot の圧密支配方程式を解くこととなる。しかしながら、変形によって生じる間隙水圧をひずみや応力の関数として表現できれば、完全非排水条件に対しては複雑な連成問題として扱わなくても、変形に関する支配方程式のみで十分である。

本文では、修正 Cam-Clay モデルを一般化するために著者らによって導入された材料パラメータが土の種類によって定まる固有の材料定数であることを実験的に示した後、完全非排水条件下でのせん断変形によって発生する間隙水圧と応力（ひずみ）の関係について考察する。

2. 一般化降伏関数と材料パラメータ

著者らは、比較的広い範囲の粘性土に適用できる一般化降伏関数を限界状態論に基づき次式で与えた[1]。

$$f = (1 - \Lambda)^2 q^2 + \Lambda^2 M^2 p^2 - 2\Lambda^3 M^2 p_h p + \Lambda^2 (2\Lambda - 1) M^2 p_h^2 = 0 \quad (1)$$

$$\Lambda = \frac{p_c}{p_h} \quad (2)$$

ここに、 M は限界状態線の勾配であり、 Λ は一般化のために導入した材料パラメータである。また、 p_h は降伏キャップの移動を表す等方圧密圧力、 p_h は降伏キャップと限界状態線の交点に対応する静水圧応力、 p と q はせん断中の静水圧応力成分と偏差応力成分であり、これらは全て有効応力で表された不変量である。これらは通常の三軸圧縮試験で慣例的に用いられている不変量であるが、一般の応力状態に対する応力テンソル σ_{ij} の有効応力に関する第一不変量 J'_1 と偏差応力テンソルの第二不変量 J_{2D} を用いてそれぞれ次式で対応付けることができる。

$$p = \frac{1}{3} J'_1 \quad q = \sqrt{J_{2D}} : \quad J'_1 = \sigma_{mm} - 3u \quad J_{2D} = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ji} \quad S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{mm} \delta_{ij} \quad (3)$$

式(1)は、材料パラメータ Λ を適当に選ぶことによって降伏キャップの形状を選択できることから、さまざまな粘性土の降伏関数として利用することができる。例えば、Cam-clay に対しては、 $\Lambda = 0.5$ とすることにより修正 Cam-Clay モデルを表現することができる。

式(2)で導入した材料パラメータ Λ が土の種類によって決まる固有の定数であるかを検討するために、異なるさまざまな粘性土に対して実施された圧密試験および圧密非排水三軸試験データの解析結果を行い、表1に示した。明らかに土の種類毎に材料パラメータ Λ は、初期圧密圧力 p の大きさにほぼ無関係に一定値を示していることから、これを土の降伏関数を規定する一つの材料定数と考えてよさそうである。

3. 完全非排水条件での間隙水圧と構成方程式

Balasubramaniam ら[2]は、圧密非排水三軸試験結果から、応力比 $\eta = q/p$ と初期圧密圧力 p で正規化した間隙水圧 u/p との間に直線関係があることを示した。図1は著者らの実験結果を同様に整理したものであり、 q/p と u/p の間には直線的な関係が認められ、しかもその勾配は p と無関係に一定であることが分かる。

キーワード：粘土，限界状態，降伏関数，間隙水圧，構成方程式

連絡先：〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部土木工学科

この直線の傾きを間隙水圧発生率 Θ として定義し、圧密応力 J'_{01} で初期圧密されている粘土のせん断中に発生する間隙水圧を次式のように表すことにする。

$$u = \Theta \frac{J'_{01}}{J'_1} \sqrt{3J_{2D}} \quad (4)$$

図1の粘土を含めた7種類の粘性土に対する間隙水圧発生率 Θ の値を圧密非排水三軸試験結果を用いて算定し、表2に示した。ここで、上式の間隙水圧を導入した弾塑性構成方程式を完全非排水条件における全応力表示の構成方程式として次式で与える。

$$\begin{aligned} \{d\sigma\} &= [D^{ep}]\{d\epsilon\} + \Theta \frac{J'_{01}}{J'_1} \sqrt{3J_{2D}} \{H\} \\ \{H\} &= [1, 1, 1, 0, 0, 0]^T \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 $[D^{ep}]$ は式(1)で示した降伏関数を用いて通常の手順に従って導かれる弾塑性構成マトリックスである。

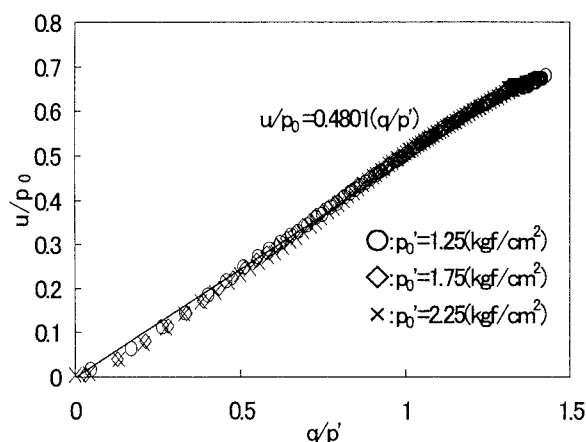


図1: 間隙水圧と応力比の関係

4. あとがき

本文では、限界状態論に従った降伏関数の一般化するために導入された材料パラメータが土の種類によって定まる固有の材料定数であることを示唆した。また、変形によって粘性土中に発生する間隙水圧を応力の関数で表すことにより、完全非排水状態の弾塑性構成方程式を示した。

参考文献

- [1] 板垣敏章, 草深守人, 石橋泰: 限界状態論に基づくより一般化された降伏関数と材料定数, 土木学会第53回年次学術講演会, 第三部, 1998.
- [2] Balasubramaniam, A. S., Handali, S. and Muir Wood, D.: Pore Pressure-Stress Ratio Relationship for Soft Bangkok Clay, Soil and Foundations, Vol.32, No.1, pp.117-131, 1992.

表1. 材料パラメータ Λ の算定結果

分類	P_0	Λ
粘土(1998年)	2.25	0.652
粘土(1997年)	1.25	0.640
	1.75	0.629
	2.00	0.628
	2.25	0.628
粘土(1996年)	1.25	0.595
	1.50	0.616
	1.75	0.592
	2.00	0.597
	2.25	0.597
粘土質シルト	1.60	0.579
	2.06	0.562
細砂混じりシルト	2.34	0.547
	3.25	0.549
シルト	1.80	0.586
	2.52	0.586
砂混じりシルト	2.55	0.553
	3.35	0.568
細砂質シルト	1.45	0.692
	2.70	0.703
ローム	1.13	0.744
	1.44	0.756
	1.81	0.747
Fukakusa Clay	2.00	0.612
	4.24	0.615
Bangkok Clay	1.05	0.524
	2.11	0.486
	2.81	0.489
幌別泥炭	1.50	0.724
	3.00	0.416
大宮泥炭	2.00	0.504
	2.40	0.504
浦和泥炭	1.00	0.379
	2.00	0.414
Soft Bangkok Clay	0.80	0.586
	1.00	0.595
	2.00	0.572

表2. 間隙水圧発生率 Θ

分類	Θ
粘土 (1998年) (1997年) (1996年)	0.425
	0.460
	0.480
粘土質シルト	0.462
細砂混じりシルト	0.480
シルト	0.477
砂混じりシルト	0.436
細砂質シルト	0.417
Soft Bangkok Clay	0.530