

飽和粘土の等方圧密過程を考慮した三軸非排水せん断試験の数値計算

名古屋大学 正会員 金田一広 浅岡顕
名古屋市 正会員 林伸彌

1. はじめに

通常、飽和粘土の三軸非排水せん断試験は等方圧密後に行われる。等方圧密過程の数値シミュレーションを行った結果、過剰間隙水圧の不均質性などが見られることがわかり、三軸非排水試験などのせん断試験は等方圧密過程を考慮する必要があると考えられる。そこで、本報告では等方圧密過程も考慮した三軸非排水せん断試験の水～土連成有限変形弾塑性計算を行い、その挙動について調べる。

2. 上負荷面修正カムクレイモデル

等方圧密の計算が可能な修正カムクレイモデルに、構造を持った過圧密粘土を表現できる上負荷面概念を適用する。上負荷面の概要は参考文献に譲り、ここでは式(1)に下負荷面降伏関数、式(2)に発展則を示す。

$$F = \bar{D} \left(\ln \frac{p'}{p'_0} + \ln \frac{M^2 + \eta^2}{M^2} \right) + \bar{D} \ln R^* - \bar{D} \ln R + \int_0^t J \tau D^p d\tau = 0 \quad (1)$$

$$\dot{R} = JU \|D^p\|, \quad \dot{R}^* = JU^* \|D^p\|, \quad U = -\frac{m}{\bar{D}} \ln R, \quad U^* = \frac{1}{\bar{D}} K^* R^* (1 - R^{*m}), \quad K^* = k_1^* \exp(-k_2^* R^*) \quad (2)$$

ここに $\bar{D} = (\lambda - \kappa) / v_0$ 、 v_0 : 初期比体積、 p'_0 : $t = 0$ で
の平均有効応力、 η : 応力比 (q/p')、 M : 限界状態定数。また R 、 R^* は修正カムクレイモデルの降伏面と上負荷面(構造の程度)、および上負荷面と下負荷面(過圧密比の逆数)の相似率(図1参照)で、塑性変形が進むにつれて、構造は喪失し($R^* \rightarrow 1.0$)、過圧密は解消($R \rightarrow 1.0$)して、構造のない正規圧密粘土になるとする。また m^* 、 m 、 k_1^* および k_2^* は定数。 R^* の発展則に新たに K^* をもうけることで、等方圧密下でも軟化させることが可能となっている。

3. 境界条件と計算方法

図2に境界条件を示す。上下軸対称 1/4 断面を仮定し、上端は剛摩擦で排水境界である。初期圧密圧力 98kPa から載荷速度 2.93kPa/sec で、294kPa まで載荷して一定放置する。過剰間隙水圧の消散が進み一定放置 22 時間後に、上端を排水から非排水境界に変えて軸ひずみ速度 0.0028%/min で非排水せん断を行う。材料定数は表1に示すものを用いている。

4. 計算結果

はじめに、繰り返し正規圧密粘土 ($R^* = 1.0, 1/R = 1.0$) の計算を行う。図3に等方圧密過程における供試体内の過剰間隙水圧分布の推移を示す。供試体上端の摩擦を考慮しているため均質な変形とはなっておらず、一定放置後 22 時間後ではまだ不均質である。図4は非排水せん断試験を 1 つのエレメントで整理した結果を示

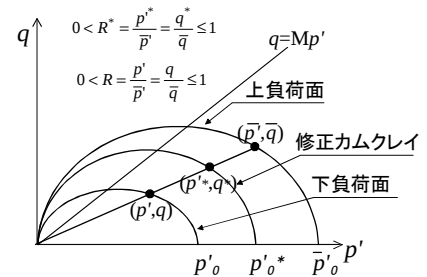


図1 降伏面の関係

表1 材料定数

圧縮指数 λ	0.182
膨潤指数 κ	0.0495
限界状態定数 M	1.53
$p' = 98\text{kPa}$ 時の比体積 N	2.1688
ポアソン比	0.3
透水係数 (cm/sec)	1.0×10^{-8}
k_1^*	4.2
k_2^*	8.5
正規圧密粘土化指数 m	1
構造劣化指数 m^*	0.4

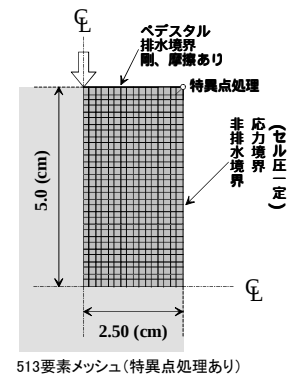


図2 境界条件

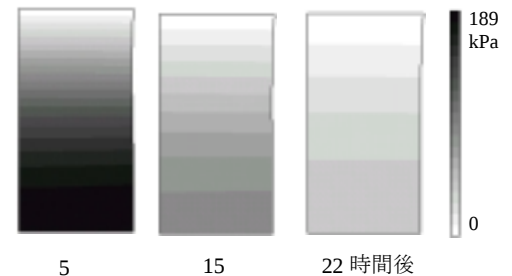


図3 過剰間隙水圧の推移(繰り返し)

等方圧密、三軸非排水試験、軟化、構造を有する土、数値解析、修正カムクレイモデル

〒464-8603 名古屋市千種区不老町名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻, Tel:052(789)4624, Fax:052(789)4624

す。過剰間隙水圧はゆっくりと載荷するため供試体上端の平均をとっている。実線(A)に示すのが等方圧密後すぐにせん断した場合で、点線(B)に示すものは等方圧密過程を考慮せず、せん断初期を均質で若干過圧密な供試体 ($R^* = 1.0, 1/R = 1.025$) としてせん断試験した結果である。等方圧密を考慮すると、 $q-p'$ 図での応力経路が異なって、左側に移動している。これは十分な時間をかけてせん断するため、等方圧密後の供試体内にある残存過剰間隙水圧の勾配が均質になろうとするためと考えられる。次に初期供試体に構造と過圧密 ($1/R^* = 25, 1/R = 1.5$) を与えて、さらにこの影響が現れる場合を調べてみる。図5に等方圧密過程の過剰間隙水圧の推移図を示す。

図3に比べると高い過剰間隙水圧が残っている。これは、構造喪失による塑性圧縮を伴う軟化が起こるためである。等方圧密中では全応力が一定であるため、軟化するとその分過剰間隙水圧の上昇がもたらされる。構造を持った粘土にみられる「2次圧密」のメカニズムと同様である。図6にその後の非排水せん断試験を示す。図4と同様に実線(A)は等方圧密を考慮したもの、点線(B)は均質な初期構造と過圧密 ($1/R^* = 8, 1/R = 1.07$) を持った供試体である。どちらも、限界状態線より下側で軟化挙動が見られる。応力パスの立ち上がりを見ると、練り返し粘土に比べて大きく左に移動している。これは残存する過剰間隙水圧が高いので、それだけこの傾向が大きいと考えられる。図7にはせん断における過剰間隙水圧の推移図を示す。

等方圧密を考慮した場合はせん断初期の過剰間隙水圧分布を均質するとともに、せん断による過剰間隙水圧の上昇が見られるが、初期均質の場合はせん断に伴う過剰間隙水圧の上昇が見られ、供試体の変形形状も異なっていることが分かる。

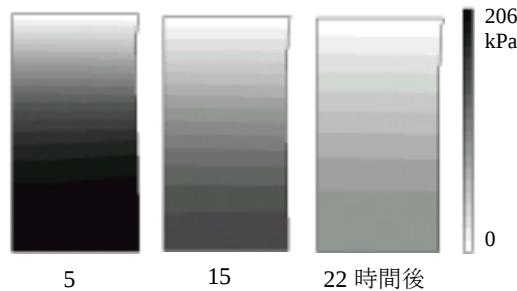


図5 過剰間隙水圧の推移(自然堆積粘土)

5. おわりに

等方圧密を考慮した三軸非排水試験を行うと、応力パスや供試体の変形が異なることが分かった。また、構造を有する土の方がその影響が大きい。

6. 参考文献

- 1)Asaoka et al.(2000): Superloading Yield Surface Concept ..., Soils and Foundations, 40(2), pp.99-110.
- 2)Asaoka et al.(2000):Delayed compression/consolidation of...,Soils and Foundations, 40(3), pp.75-85.
- 3)Asaoka et al.(1998): Displacement/traction boundary ...,Soils and Foundations, 38(4),pp.173-181.
- 4) 浅岡ら(2000):「砂と粘土の違い」に関する3軸非排水試験の弾塑性解析, 第35回地盤工学研究発表会, pp.575-576.
- 5)浅岡ら(2001): 構造を有する土の水～土連成計算による応力緩和挙動、第36回地盤工学研究発表会。

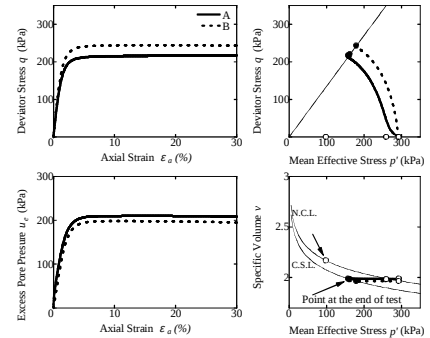


図4 非排水せん断結果(練り返し)

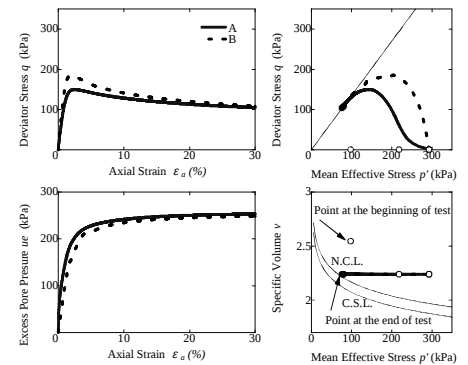


図6 非排水せん断結果(自然堆積粘土)

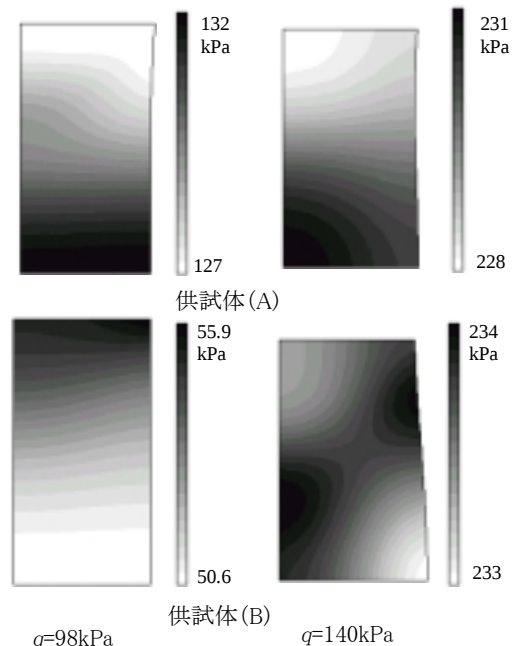


図7 過剰間隙水圧の推移図(自然堆積粘土)