

自然堆積粘土と練り返し粘土のせん断挙動の違いに関する基礎的研究

九州大学工学部 学生会員 幸 聖二
 工学研究院 フェロー会員 落合英俊
 正会員 安福規之、大嶺聖、山田正太郎

1. はじめに

有明粘土に代表されるような高含水比の自然堆積粘土は含水比を一定に保ちながら練り返すことで、著しくせん断強度が低下する。これは、含水比(間隙比)だけでなく、土骨格が有する(骨格)構造が影響しているためであると考えられている。浅岡らは「Roscoe 面」(すなわち完全練り返し粘土の弾塑性応答を表現するカムクレイ降伏面)の上側に「構造の程度」と関連する負荷面をとる「上負荷面カムクレイモデル」を提案している。本報告では、この弾塑性モデルに基づく簡単な数値シミュレーションにより、構造喪失(「低位化」)の観点から、自然堆積粘土の「乱れ」について考察する。

2. 上負荷面カムクレイモデル

上負荷面カムクレイモデルの詳細は文献¹⁾に譲り、その概要を述べる。カムクレイモデルを完全に構造が喪失した練り返し土の挙動を表現すると位置づける。またカムクレイ降伏面の外側には相似形の「上負荷面」を導入し、上負荷面上に応力状態をとる土を、構造を有する正規圧密土とする。上負荷面に対するカムクレイ降伏面の相似比 R^* の逆数が、「構造」の程度を表す。正規圧密土が除荷を受けると過圧密土となるが、構造を有する過圧密土は、橋口²⁾にならない、上負荷面の内側に相似形の下負荷面を導入し表現する。上負荷面に対する下負荷面の相似比 R の逆数は過圧密比に相当する。現応力がある下負荷面は式(1)のように表せる。また、比体積 v 、応力 (p', q) 、 R^* 、 R は式(2)の関係を満たしつつ変化する。

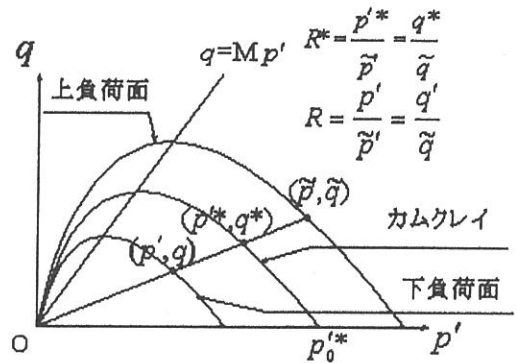


図1 上・下負荷面とカムクレイ降伏面

$$MD \ln \frac{p'}{p'_0} + D \frac{q}{p'} + \int_0^p J \tau D^p d\tau + MD \ln R^* - MD \ln R = 0 \quad (1)$$

$$v = N - \tilde{\lambda} \ln p' - \frac{\tilde{\lambda} - \tilde{\kappa}}{M} \frac{q}{p'} - (\tilde{\lambda} - \tilde{\kappa}) \ln R^* + (\tilde{\lambda} - \tilde{\kappa}) \ln R = 0 \quad (2)$$

構造を有する過圧密土は、塑性変形が進むにつれ、構造を喪失し($R^* \rightarrow 1$)、過圧密を解消し($R \rightarrow 1$)、構造のない正規圧密土になる($R^*=1, R=1$)よう、構造の喪失速度を式(3)で与え、 R^* の発展則と呼び、過圧密の解消速度を式(4)で与え、 R の発展則と呼ぶ。ここで、 m^* は構造の喪失速度に、 m は過圧密の解消速度に影響を与える材料定数である。

$$\dot{R}^* = JU^* \sqrt{\frac{2}{3}} \|D_s^p\|, \quad U^* = \frac{1}{D} R^* (1 - R^{*m^*}) \quad (3)$$

$$\dot{R} = JU \sqrt{\frac{2}{3}} \|D_s^p\|, \quad U = -\frac{m}{D} \ln R \quad (4)$$

表1 材料定数および
不攪乱試料の初期値

圧縮指数 $\tilde{\lambda}$	0.347
膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.116
限界状態数 M	1.5
98.1 kPa の N.C.L 上の比体積 N	3.3
ポアソン比 ν	0.3
構造劣化指数 m^*	0.05
正規圧密化指数 m	10.00
初期有効応力 p'_0 (kPa)	20.0
初期構造 $1/R^*_0$	100.0
初期過圧密比 $1/R_0$	1.25

3. 構造喪失から見た自然堆積粘土の攪乱についての解釈

自然堆積粘土の繰返し過程を、繰返し非排水せん断として近似する。一様な変形場での、繰返し非排水せん断時の構成式の応答を図2に示す。解析に用いた材料定数および初期値を表1の通りである。なお、発展則パラメータ m 、 m^* は、過圧密の解消速度が構造の喪失速度よりも速くなるように与えた³⁾。

初期に構造を有する過圧密土は、繰返しせん断を重ねると、徐々に構造が低位化することが分かる。一方で過圧密の解消速度は速いため、毎回同じようなループを描き、繰返し毎の変化はほとんどない。また、平均有効応力は徐々に小さくなっている。等方応力状態($q=0$)において、式(2)は式(5)のように変形できるが、比体積一定であることを考慮すると、本解析における平均有効応力の減少は、構造の喪失($R^* \rightarrow 1$)に起因するものであることが分かる。

$$p' = \exp \left[\frac{1}{\lambda} \left\{ N - v - (\tilde{\lambda} - \tilde{\kappa}) \ln \frac{R^*}{R} \right\} \right] \quad (5)$$

4. 乱れの影響

3. の繰返し非排水せん断で得られた各状態量を初期値として(表2)、単調非排水せん断のシミュレーションを行った。結果を図3に示す。なお、材料定数は表2と同じであり、一貫して同じ値を用いている。構造の低位化に伴い、非排水せん断強度が低下している。構造が完全になくなるまで繰返したものでは、不攪乱のものに比べて僅かなせん断力にしか耐えることができなくなっており、液体にちかいドロドロの状態に変化したといえる。自然堆積粘土の力学的挙動は、含水比だけでは決まらないことがわかる。

5. おわりに

上負荷面カムクレイモデルを用いた数値シミュレーションにより、自然堆積粘土の「乱れ」は、繰返し非排水せん断により構造が低位化する現象として解釈できることを示した。

6. 参考文献 1) Asaoka, A., Nakano, M. & Noda, T. "Superloading Yield Surface Concept for Highly Structured Soil Behavior", S&F, 40-2:99-110(2000a). 2) Hashiguchi, K: "Subloading Surface Model in Unconventional Plasticity", International Journal of Soils and Structures, 25, 917-945(1989). 3) 中野ら「砂の過圧密比と粘土の過圧密比」、過圧密土および過圧密地盤の力学に関するシンポジウム論文集, 129-136(2000). 4) 浅岡ら「自然堆積粘土の構造低位化と鋭敏比・乱れの関係について」、第34回地盤工学研究発表会概要集, 561-562(1999)

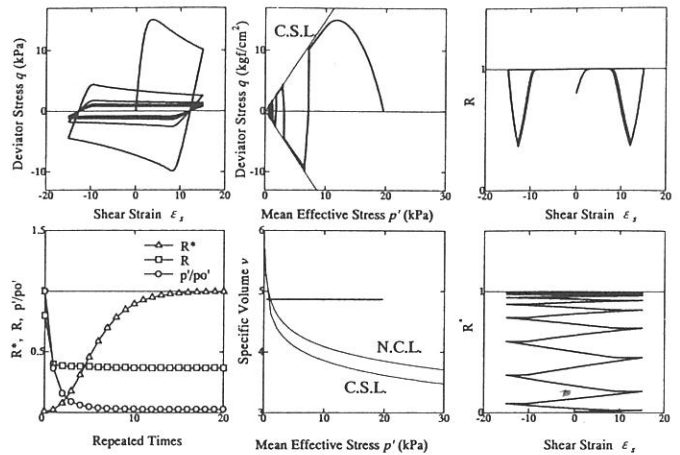


図2 自然堆積粘土の攪乱過程（非排水繰返しせん断）

表2 非排水せん断前（攪乱後）の各状態量

繰返し回数	p' (kPa)	R^*	R
0	0.200	0.010	0.800
1	0.073	0.022	0.398
2	0.031	0.077	0.382
3	0.018	0.178	0.382
5	0.009	0.455	0.382
20	0.006	0.998	0.368

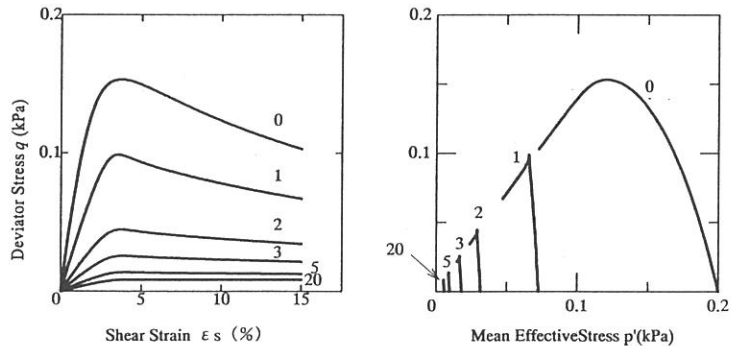


図3 非排水せん断に及ぼす乱れの影響