

構造の程度の異なる飽和粘土のせん断による構造劣化を伴う圧縮挙動

名古屋大学 正会員 中野正樹，浅岡顕

名古屋大学 学生会員 ○中井健太郎

1. はじめに

自然堆積粘土の構造劣化を伴う挙動は、練返し粘土などの低位な構造を有する粘土の挙動とは異なることが多い。特に、初期に高位な構造を有し、かつ構造が劣化しやすい粘土である場合には、塑性圧縮を伴う軟化挙動が起こる。Kabbajら (1988)は、自然堆積粘土地盤上に試験盛土による圧密試験を行い、載荷中測定した過剰水圧から $\varepsilon_v \sim \log \sigma_v'$ を示した（図1）。図1をみると、盛土盛立て後に過剰水圧が上昇するため、圧縮を伴いながら鉛直有効応力が減少している。Super/subloading Yield Surface Cam-clay model (Asaoka *et al.*, 2002, 以下SYS Cam-clay model) によると、この挙動は構造劣化によって起こる圧縮を伴う軟化挙動と解釈される。図2は初期に高位な構造（ $1/R^*$ が構造の程度を表す）を有する過圧密粘土の定ひずみ速度一次元圧密試験のSYS Cam-clay modelによる数値解析結果である。見かけの先行降伏応力付近から、構造劣化による塑性圧縮を伴う軟化挙動が計算されている。そこで本研究では、高位な構造を有する自然堆積粘土を用いて、応力比一定のもと、定ひずみ速度圧密試験を実施し、応力比そして初期構造の程度に応じた構造劣化を伴う圧縮挙動を観察する。

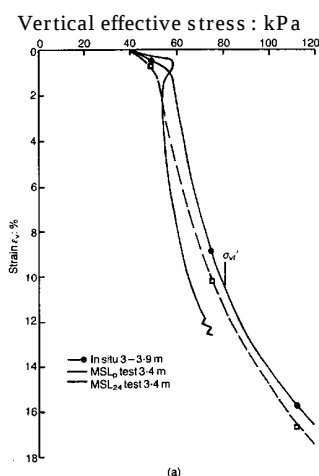


図1 Stress-strain curves obtained in the laboratory and in situ²⁾

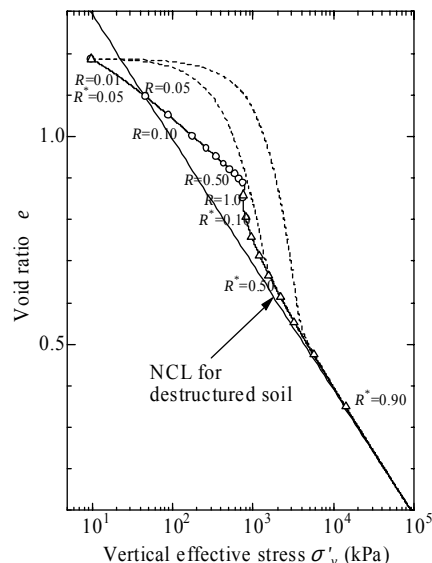


図2 Compression behavior of the clay²⁾

2. 応力比一定定率ひずみ圧密試験による圧縮を伴う軟化挙動の観察

3.1 試験に用いた粘土試料： 試験に用いた試料は、常磐粘土と呼ばれる海成粘土で、常磐自動車道神田地区の盛土地区からサンプリングした試料である。物性を表1に示す。常磐粘土は高塑性粘土(CH)に分類される。

3.2 試験方法： 本試験は、応力比 q/p' とひずみ速度を同時に制御することに特徴がある。直径 3.5cm、高さ 8.0cm の粘土三軸供試体を

三軸試験装置にセットし、微小な等方圧 9.8kPa で等方圧密した後、上下端排水条件のもと、軸ひずみ速度を約 0.01%/min として圧縮（排水せん断）する。圧縮中に鉛直軸応力を逐次計測し、鉛直軸応力に対しセル圧（側圧）を制御することにより、設定した応力比を一定に保つことができる。軸ひずみ速度は、粘土供試体の透水係数に依存するものの、JGS の定ひずみ速度圧密試験でのひずみ速度の参考値をほぼ満足する。応力比は、圧縮中のせん断応力の違いを表し、0.25、1.0、1.3 の 3 種類を設定した。あらかじめ不攪乱試料に対し側圧一定の非排水せん断試験を実施しており、破壊に至る応力比が約 1.8 程度であることから、その値で設定している。

3.3 応力比 1.0 での、初期構造の異なる粘土供試体の構造劣化を伴う挙動： 応力比 1.0 で固定し、粘土供試体は初期構造の程度の異なる 3 種類を用いた。Sample A は再構成試料、Sample B, C は不攪乱試料である。再構成試料とは、液性限界の 2 倍程度の含水比に調整し、スラリー状に攪拌し、鉛直応力 $\sigma_v = 196\text{kPa}$ で一次元

粘土，構造，圧縮

圧密し（予備圧密過程）、成形したものである。不攪乱試料でも採取場所によって構造の程度が異なり、Sample Cの方が初期比体積が大きく、高位な構造を有する。図3に3つの供試体の試験結果を示す。 $q \sim p'$ 図から3つの試験とともに、精度よく応力比が制御されている。比体積 $v \sim p'$ 図から、初期構造が低位である Sample Aは、初期比体積が最も小さく、過圧密から正規圧密にいたる圧縮線の勾配の変化は明確でない。圧縮に伴う比体積変化も3つの中で一番小さい。初期構造が最も高位な Sample Cは、 p' が80kPa付近で、比体積の減少量が大きくなる。Sample Bも同様の傾向だが、 p' が80kPa付近での比体積の減少量は、Sample Cの方が大きい。 $q \sim \varepsilon_a$

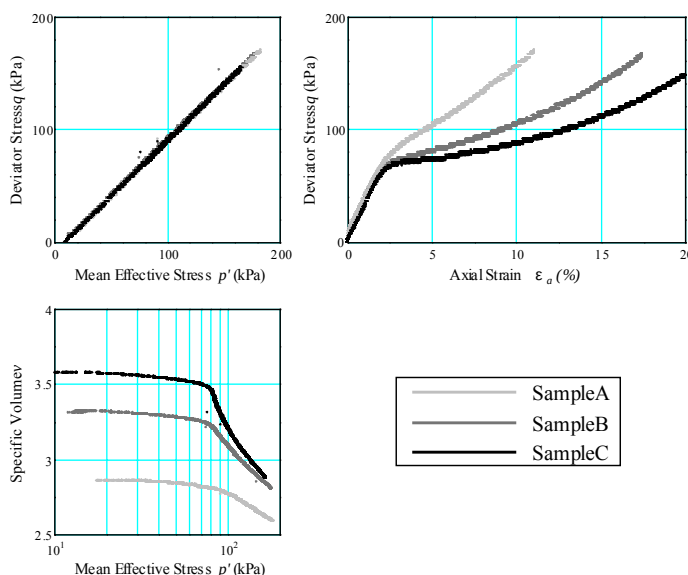


図3 応力比 1.0 での初期構造の異なる圧縮挙動

図から、Sample Cは、軸差応力 q が80kPa付近で、 q がそれほど増加せずに軸ひずみが進行している。初期構造が高位である粘土供試体ほど、構造劣化による圧縮が大きくなることがわかった。

3.4 不攪乱粘土供試体の応力比の異なる圧縮挙動： 図4には応力比を0.25, 1.0, 1.3と変えた試験結果を示す。応力比が0.25である Sample Dは、初期比体積が最も大きく初期構造が高位であると考えられるが、応力比が小さいため構造劣化の程度が小さく、圧縮量の顕著な変化、すなわち圧縮線の勾配の変化は明確でない。勾配の変化がおこる p' は100kPa付近であり、応力比1.0である Sample Cよりも大きくなる。応力比1.3である Sample Eは、初期構造が一番低位であるにもかかわらず、応力比が大きいため圧縮線の勾配の変化が明確である。また、 $q \sim \varepsilon_a$ 関係をみると、Sample Eは図1, 2のような軟化挙動を示さなかったものの、軸ひずみが2%～6%のあたりでは、 q がほぼ一定でせん断が進んでいる。

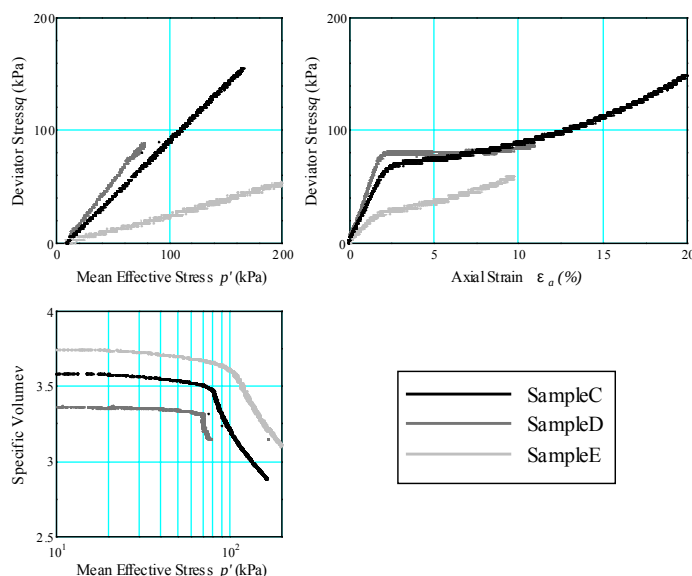


図4 応力比の異なる圧縮挙動

4. おわりに

応力比一定・定ひずみ速度圧密試験を実施し、構造劣化に伴う圧縮挙動に関し、以下の結論を得た。

- 1) 応力比が同じ場合、初期比体積が大きいほど、すなわち初期構造が高位であるほど、大きな圧縮量を示す。Sample A(初期比体積 2.9)の比体積変化量は0.3, Sample C(初期比体積 3.6)の比体積変化量は0.7となった。
- 2) 応力比を変えた試験では、応力比が大きいほど、圧縮量の顕著な変化、すなわち圧縮線の勾配の変化が明瞭になる。また変化の現れる平均有効応力は小さくなる。特に Sample Eは軟化挙動を示さなかったが、 q が一定で軸ひずみが2%から6%まで進み、また p' の変化なしに圧縮が進み、圧縮量（比体積変化量）は約0.2となった。

参考文献 1) Asaoka A. et al(2002): "An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanics of soils", S&F, 42(5), 47-57. 2) Asaoka A. et al(2000): "Superloading yield surface concept for highly structured soil behavior", S&F, 40(1), 99-110. 3) Kabbaj et al(1988): "In situ and laboratory stress-strain relationships", Geotechnique, 38(1), 83-100.