

排水条件下での超緩詰構造を有する石膏混合砂の圧縮帯の観察

京都大学 フェロー会員 岡 二三生 京都大学 正会員 小高 猛司
 鹿島建設(株) 正会員 辻 千之 京都大学 学生会員 ○谷崎 史織

1. はじめに：多孔性地盤材料に圧縮応力が加わると、せん断帯が発生するとともに、最大主応力方向に垂直な圧縮変形が局所化する帯状の領域、すなわち compaction band（圧縮帯）¹⁾が発生する。圧縮帯の発生によって引き起こされる問題として、想定外の地盤沈下や間隙の激減による透水性の局所的低下などが報告されている。本報では、圧縮帯の形成がより顕著であると期待できる超緩詰構造を有する石膏混じり砂を用いて、異方圧密および排水せん断時における圧縮帯の観察を行った。

2. 石膏混合砂試料：石膏を用いる目的は、砂粒子のみでは困難な超緩詰め構造の供試体を作製することである。千葉県佐原市郊外にて採取された試料のうち、粒径 0.075mm～0.850mm の砂に石膏 ($G_s=2.64$) を重量比 4:1 で混合した。この試料を含水比 $w=10\%$ 程度に調整し、 $\phi=50\text{mm}$ 、 $h=100\text{mm}$ のモールド内に moist placement 法で供試体を作製し、そのまま 2 日間養生した後、モールド内から取り出し一週間以上気乾状態で養生した。

図 1 は石膏混合供試体と細粒分混合砂供試体を用いて行った等方圧密試験結果である。縦軸の間隙比は粒状間隙比 $e_g^{(2)}$ であり、細粒分や石膏のマトリックス部を除外して粗粒分の実質部のみの間隙比を表現している。この図より、石膏供試体の粒状間隙比は砂供試体の粒状間隙比よりはるかに大きく超緩詰構造を有していることがわかる。また、 $e_g \sim \log p'$ 曲線に明確な変曲点こそないが、40kPa 位から 200kPa 位にかけて、特に大きな圧縮が観察され、圧縮に伴い超緩詰構造が崩壊していると考えられる。

3. 実験の概要：1) 異方圧密試験：有効拘束圧 50kPa で等方圧密後、軸ひずみ速度 0.1%/min で軸圧を与え、増加していく軸圧に応じてセル圧を手動で増加させ、軸圧と側圧の比が 0.6 となるよう制御した。2) 排水三軸圧縮試験：有効拘束圧 50, 100, 200, 300kPa で等方圧密後、軸ひずみ速度 0.1%/min で単調載荷し、軸ひずみ 20%で終了した。

全試験において供試体に格子状メッシュを描いたメンブレンをかぶせ、デジタルカメラで試験中の供試体の様子を撮影し、それを画像解析することにより、圧縮、側方、せん断の各ひずみのコンター図を作成した。

4. 実験結果：

図 2 は異方圧密および排水せん断試験における有効応力経路と軸差応力～軸ひずみ関係である。今回の異方圧密が K_0 状態に近いと仮定し、軸ひずみが体積ひずみとほぼ等しいとすれば、異方圧密試験の応力～ひずみ曲線は圧縮曲線と対応して考えることができる。すなわち、載荷初期から軸ひずみ 16%付近まで、ほぼ直線的に大きな圧縮変

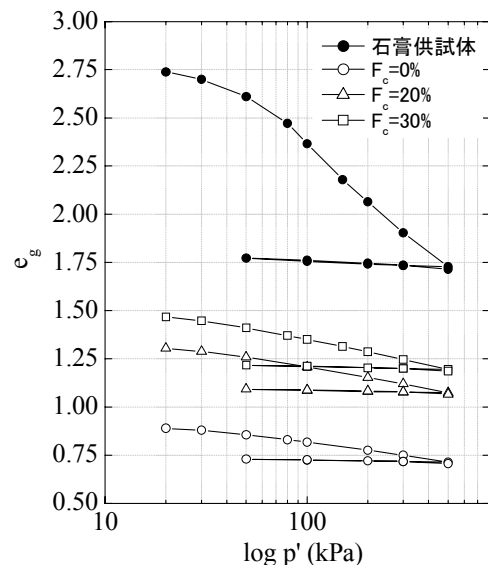
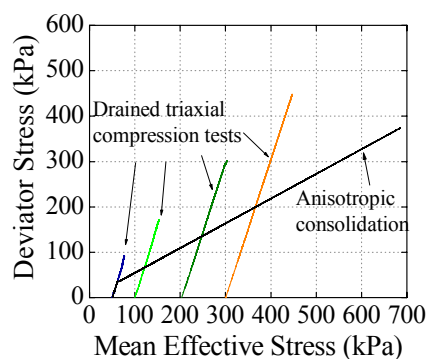
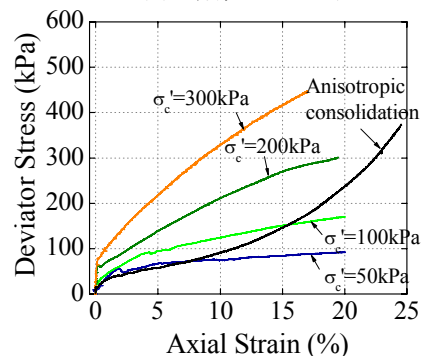


図 1: 等方圧密試験結果



(a) 有効応力経路



(a) 軸差応力～軸ひずみ関係

図 2: 異方圧密および排水三軸試験結果

キーワード 圧縮帯、構造、ひずみの局所化、緩詰砂、画像解析

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5086

形が生じているが、軸ひずみが大きくなるにつれ曲線の勾配は徐々にきつくなっている。図3は異方圧密試験の画像解析から得られた、圧縮、側方、せん断の各種ひずみのコンター図である。いずれのひずみもメッシュ上の格子点の初期座標からの変位を用いて計算した局所的なひずみ量である。側方ひずみがほとんど発生しておらず、一次元圧縮に近い状態が再現されていることがわかる。圧縮ひずみに着目すると、軸ひずみ4%において、供試体上下端部付近にすでに圧縮帯が現れており、軸ひずみの進行とともにその幅を広げてゆくが、軸ひずみ16%の時には、上下端から広がってきた圧縮ひずみが供試体中央部まで到達する。図2の異方圧密試験の応力～ひずみ曲線において、軸ひずみ16%付近で曲率が変わっていたが、これは圧縮帯の生成・発達と密接に関連していることが図3の観察結果から理解できる。すなわち、緩詰構造が発達した地盤において発生する大圧縮は、はじめから地盤全体に均一に起こるのではなく、まず排水境界付近に局所化した圧縮ひずみが圧縮帯として発生し、それが応力レベルに応じて地盤内部に伝播してゆくと考えられる。

図4は排水せん断試験における圧縮ひずみのコンター図である。なお、図4-(d)では軸荷重がロードセルの容量に達したため軸ひずみ17%で試験を終了した。図4-(a), (b)では異方圧密試験と同様に、排水面である供試体上下端部から圧縮帯が発生するが、拘束圧が高い図4-(c), (d)では供試体全体から均一に圧縮が起こっている。図1から $\sigma'_c=200$ および 300kPa は明らかに降伏応力を超過しており、等方圧密過程ですでに超緩詰構造が崩壊しはじめてしまい、圧縮帯の発生が抑えられたと考えられる。図2の排水せん断試験の応力～ひずみ曲線をみても、 $\sigma'_c=50$ と 100kPa および 200 と 300kPa とでは、初期の勾配が明らかに異なり、 200kPa 以上の等方圧密により、緩詰構造が崩壊し高密度化していることが見て取れる。しかしながら、図4-(c)において、軸ひずみ20%で供試体中心部に圧縮帯が現れていることから、高拘束圧下では排水面と無関係に緩詰構造が残存する地盤弱部に圧縮帯が生成されると考えられる。

5. まとめ：超緩詰構造を有する石膏混合の砂供試体を用いて圧縮帯の観察を行った。別途行っている非排水試験での圧縮帯の観察や細粒分まじり緩詰砂の圧縮帯の観察、あるいは数値解析等の圧縮帯に関連する研究発表については、当研究室 HP (<http://nakisuna2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/okalabo1/>) を参照されたい。

参考文献：1) Mollema, P.N. and Antonellini, M.A. : Compaction band : a structural analog for anti-mode I cracks in aeolian sandstone, *Tectonophysics*, 267, pp.209-228, 1996. 2) Georgiannou, V.N., Burland, J.B. and Hight, D.W. : The undrained behaviour of clayey sands in triaxial compression and extension, *Geotechnique*, Vol.40, No.3, pp.431-449, 1990.

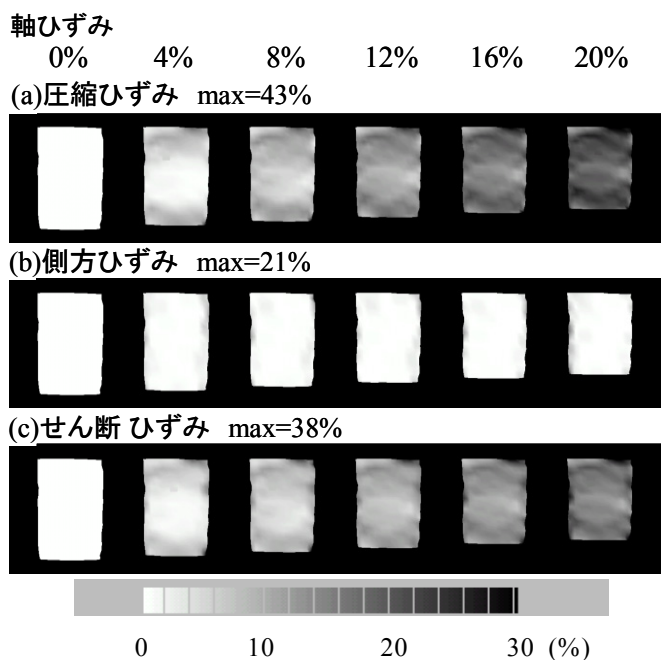


図3: 異方圧密試験における各種ひずみのコンター図

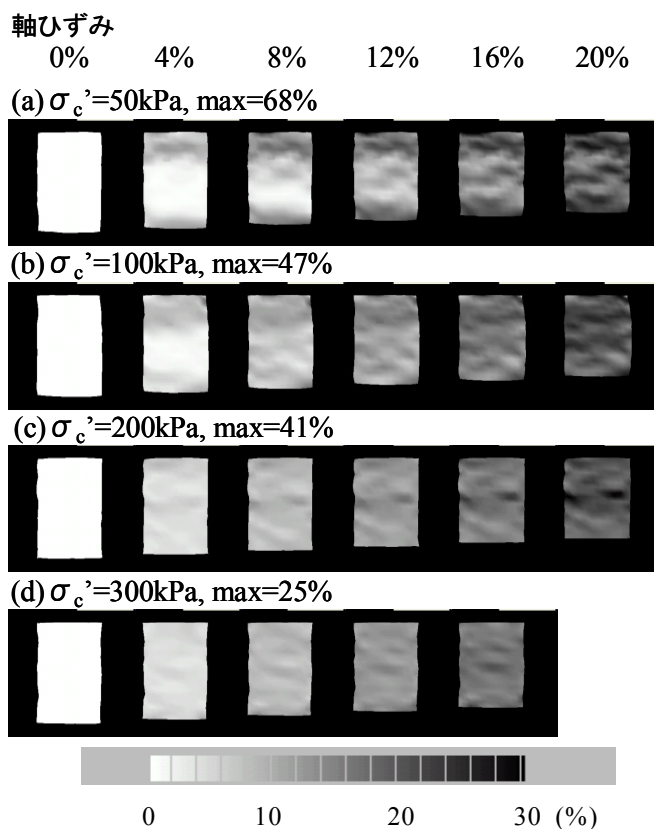


図4: 排水三軸試験における圧縮ひずみのコンター図