

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 谷崎 史織・辻 千之
 京都大学大学院工学研究科 フェロー会員 岡 二三生
 京都大学大学院工学研究科 正会員 小高 猛司

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。compaction bandの発生により、想定外の地盤沈下や間隙の激減により透水性が極端に低下するなど、数々の問題が報告されている。本報では圧縮帯の再現を試み、地盤を模擬した細粒分を含む砂を用いた非排水三軸圧縮試験、及び圧縮帯の形成がより顕著であると期待できる超緩詰め構造を有する、砂に石膏を混ぜた供試体を用いた非排水・排水三軸圧縮試験を行い、それぞれの圧縮形態を観察した。

2. 試料及び実験方法：試料(a)－細粒分を含む砂：千葉県佐原市にて採取された攪乱試料($G_s=2.673$)のうち、粒径 $0.075\sim0.850\text{mm}$ を基本試料 $F_c=0\%$ とし、この $F_c=0\%$ に細粒分($<0.075\text{mm}$)を重量比 20,30%で混合して $F_c=20\%,30\%$ とした。試料(b)－石膏混合砂： $F_c=0\%$ に石膏($G_s=2.64$)を重量比 20%で混合した。

試料(a)は、乾燥砂堆積法で $\phi 10\text{mm}, H100\text{mm}$ の供試体を作製し、拘束圧 50kPa 、軸ひずみ速度 $0.1\%/min$ で非排水載荷し、軸ひずみ 20%で試験を終了した。試料(b)は含水比 10%程度に調整し、 $\phi 10\text{mm}, H100\text{mm}$ のモールド内で養生した供試体(石膏供試体)を用いて、非排水試験は拘束圧 $50,100,200\text{kPa}$ 、排水試験は拘束圧 $50,100,200,300\text{kPa}$ で行った。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、軸ひずみ 1%毎に撮影した画像から格子点の座標を読むことでひずみを定量化し、コンター図を作成した。

3. 実験結果：図1は等方圧密試験結果である。縦軸は次式の粒状間隙比 e_g ²⁾で表している。

$$e_g = \frac{\gamma_w G_s}{\gamma_d (1 - F_c)} - 1 \quad (1)$$

ここで、 γ_w ：水の単位体積重量、 G_s ：土粒子の比重、 γ_d ：供試体の乾燥単位体積重量、 F_c ：細粒分含有率である。この図より、細粒分含有率が高いほど圧縮性は大きく、また、緩い構造を保つという石膏の役割が果されていることがわかる。

図2は、 $F_c=20\%$ での非排水試験のうち、せん断前の間隙比 e_0 が異なる供試体の圧縮ひずみのコンター図である。ここでの圧縮ひずみとは局所的軸ひずみ(ε_{11})であり、側方ひずみ(ε_{22})、せん断ひずみ($\gamma = \sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_v)^2 + (\varepsilon_{22} - \varepsilon_v)^2 + 2\varepsilon_{12}^2}$ ($\varepsilon_v = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}$)) も計測しているが、圧縮ひずみが特に顕著に卓越しているため、以下に圧縮ひずみのコンター図のみを用いて圧縮帯について考察する。図2において、軸ひずみ 20%時の圧縮ひずみの最大値が 44~52%と圧縮は局所化しており、圧縮方向(最大主応力方向)に対してほぼ垂直な圧縮帯が観察された。 e_0 が大きいほど圧縮ひずみの最大値は大きく、早い段階で圧縮帯が明確に現れ、本数も多くなった。次に、拘束圧 100kPa で e_0 が等しく、細粒分含有率が異なる供試体の圧縮ひずみのコンター図を図3に示す。図3-(a)はかなり均一に圧縮されているが、図3-(b),(c)では圧縮帯の発生が見られる。細粒分含有率が高いほど圧縮ひずみの最大値が大きく圧縮がより局所化しているといえる。これは同じ間隙比であれば、細粒分含有率が高いほど骨格を形成する粗粒子の間隙が大きくなるためであると考えられる。

図4は石膏供試体を用いた非排水試験における圧縮ひずみのコンター図である。図4-(a)は供試体下部に変形が集中し、上部のめり込みに伴い供試体中央部に圧縮が大きく現れるとともに、膨らんだ供試体下部の周囲に縞状に変形局所帯が観察された。図4-(b),(c)では変形局所帯は供試体全域に広がるが、個々の角度

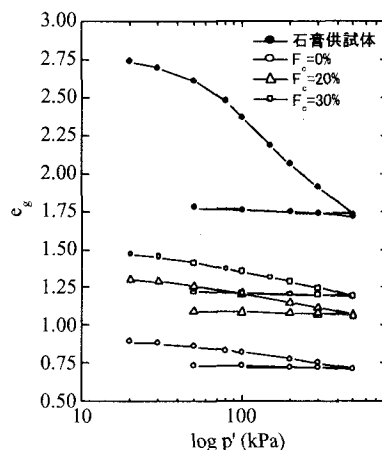


図1 等方圧密試験結果

図4は石膏供試体を用いた非排水試験における圧縮ひずみのコンター図である。図4-(a)は供試体下部に変形が集中し、上部のめり込みに伴い供試体中央部に圧縮が大きく現れるとともに、膨らんだ供試体下部の周囲に縞状に変形局所帯が観察された。図4-(b),(c)では変形局所帯は供試体全域に広がるが、個々の角度

Fusao OKA, Takeshi KODAKA, Chiyuki TSUJI, Shiori TANIZAKI

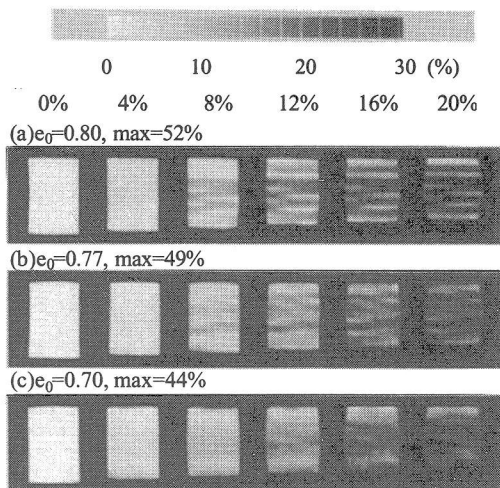


図2 $F_c=20\%$ の非排水試験結果

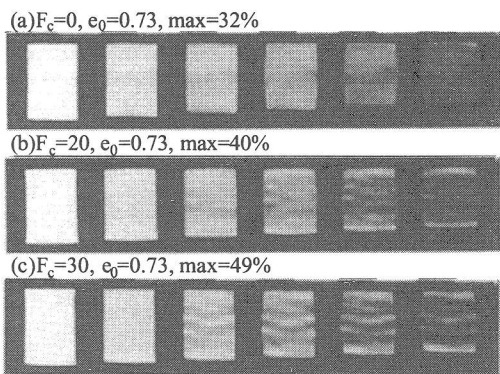


図3 拘束圧100kPaでの非排水試験結果

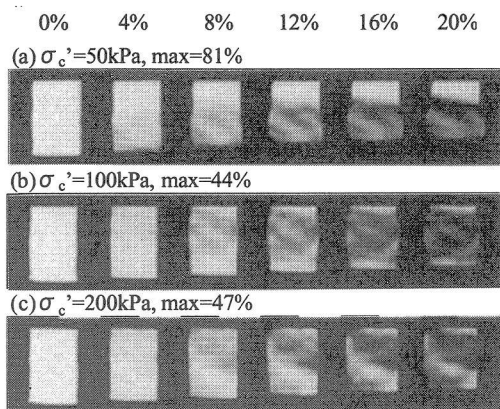


図4 石膏供試体の非排水試験結果

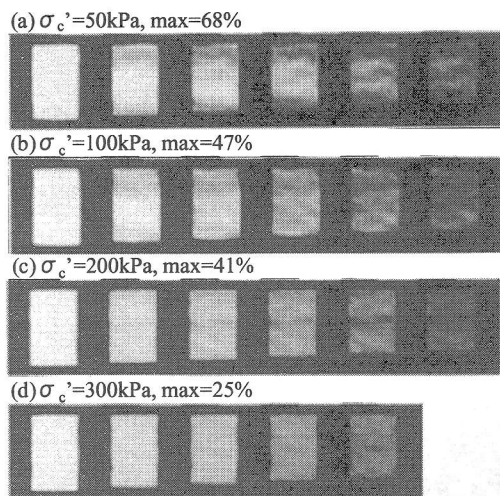


図5 石膏供試体の排水試験結果

は拘束圧が高い(c)の方がより最大主応力方向に対して大きく水平に近くなっている。図5は排水試験における圧縮ひずみのコンター図である。なお、拘束圧300kPa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5-(a),(b)では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5-(c),(d)では供試体全体から均一に圧縮が始まる。軸ひずみ20%において、図5-(c)で供試体中心部に圧縮帯が現れていることから、高拘束圧においては排水面付近ではなくても構造の弱い箇所があればそこで圧縮が局所化するといえる。しかし、図5-(d)の分布を軸ひずみ16%と比較すると、他の3つより比較的均一に圧縮されている。拘束圧が高くなりすぎると、供試体は等方圧密過程で大きく圧縮されて密な構造になってしまうため圧縮は局所化しにくくなり、圧縮帯の発生は抑えられると考えられる。

4. まとめ：細粒分を含む砂を用いた試験結果より、細粒分含有率が高く間隙比が大きいほど圧縮性が大きく、圧縮は局所化し圧縮帯の本数が多くなった。緩い構造を保ち、大きな圧縮性をもつ石膏供試体を用いた試験では、非排水・排水のいずれの条件においても圧縮ひずみは局所的に分布し、特に排水条件では主応力方向に対してほぼ垂直な圧縮帯が現れた。圧縮帯は拘束圧が高くなるとともに明確に観察されるが、逆に拘束圧が高くなりすぎると、等方圧密過程で供試体が高密度化するため、均一化した圧縮変形となる。

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.