

広島大学工学部正員 吉田 洋
 広島大学大学院学員 和田 真樹
 大 本 組 金石 勝也

1. まえがき 軟弱地盤に構造物を築造する場合、支持力を改善する目的で、サンドコンパクションパイプなどの複合地盤による地盤改良が行われている。しかし、複合地盤の力学的性質や挙動は完全に解明されているとは言えない。この問題を解決するために単純化した条件下にある砂柱を含む粘土供試体についてその基本的な力学的性質を明らかにすることは重要である。そこで本研究では、中空円筒供試体に所定の密度の砂をつめ、大型三軸試験機を用いて等方及び近似的 K_0 -圧密を行い、複合供試体についてひずみ制御の圧縮試験を行って、圧密状態の違い、砂柱密度の違いがどのように支持力に影響するか、また複合地盤において粘土部及び砂柱部にどのような挙動が見られるかについて検討した。

2. 実験装置及び方法 表-1に示すように圧密状態の

表-1 供試体一覧表

TEST NO.	圧密状態	砂柱密度	供試体寸法
TEST 1-1	等方圧密	1.55 t/m ³	直径 14.4 cm
TEST 1-2	"	1.65 t/m ³	砂柱直径 5.0 cm
TEST 2-1	K_0 圧密	1.55 t/m ³	高さ 30.0 cm
TEST 2-2	"	1.65 t/m ³	

違う複合供試体について、砂柱部排水、粘土部非排水状態でせん断試験を行った。実験に用いた供試体の粘土試料は表-2に示すような特性をもつ広島粘土であり、スラリー状態で十分攪拌した後、420 μ のフレイエ通し、49 kPa (0.5 kg/cm²) の圧密圧力のもとで約4週間1次元的に圧密した。供試体はトリマーで円柱状に成形した後、マイターボックスに入れ、マイターボックス上下端に取り付け円形ガイドに沿い、ワイヤローで中空円柱の内面を成形した。このようにして成形された粘土の中空円柱供試体に豊浦標準砂を所要の乾燥密度になるよう幾層かに分け振動を加えて締め固めた。実験は砂の乾燥密度を1.55および1.65 t/m³について行った。実験装置は図-1に示すように力計及び土圧計を設置し、平均鉛直応力、砂柱部鉛直応力及び砂柱の拘束圧を測定した。なお、砂柱部と粘土部の間の水の移動を妨ぐすため、両者の境界部分をゴムスリーブで遮断できるように特製パDESTALを作製した。予圧密は、 $\sigma'_v = 0.9$ kg/cm²を載荷する等方圧密と、近似的に $K_0 \approx 0.5$ と考え主応力比 $K = 0.5$ を保ちながら、 $\sigma'_v = 1.8$ kg/cm²、 $\sigma'_v = 0.9$ kg/cm²の応力状態で、段階的に載荷する近似的 K_0 -圧密(以下 K_0 -圧密と呼ぶ)を行った。なお、間隙水圧の測定精度をあげるため2.0 kg/cm²のBack Pressureを導入した。予圧密を行った複合供試体について砂柱部排水、粘土部非排水の三軸圧縮試験を行った。圧縮試験はすべてひずみ制御を行い、ひずみ速度は0.075%/minである。

表-2 試料の物理的性質

L.L (%)	P.L (%)	I.P (%)	Gs
66.3	35.0	31.3	2.68

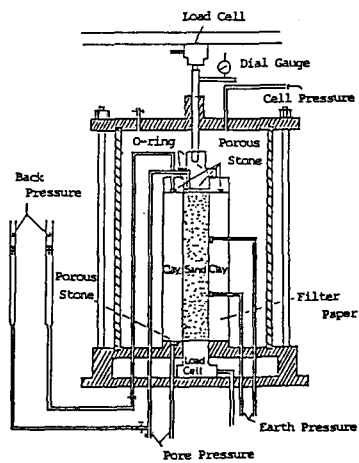


図-1 実験装置

3. 試験結果及び考察 図-2、図-3は等方圧密及び K_0 -圧密された複合供試体の圧縮試験における主応力差-ひずみ曲線で、それぞれ砂柱の乾燥密度を1.55と1.65 t/m³の2種のケースについて示されている。複合供試体の圧縮曲線の概形は砂柱密度によってほとんど変わっていない。これらと粘土単独供試体の圧縮曲線と比較すると、複合供試体のそれは圧縮試験の初期はピーク強度をとり、その後漸次強度を減少し、残留強度に達する歪軟化型に対し、粘土単独供試体のそれは歪硬化型である。換言するならば、砂柱との複合化による地盤強度の改善効果はピーク強度を大きくすることに現れるといえる。そしてその傾向は、等方圧密供試体に比べ、 K_0 -圧密供試体に著しい。

図-4は等方

圧密後の複合供試体の圧縮試験における砂柱部の粘土部との鉛直応力（ σ_v ）とひずみ曲線である。砂柱に作用する応力は

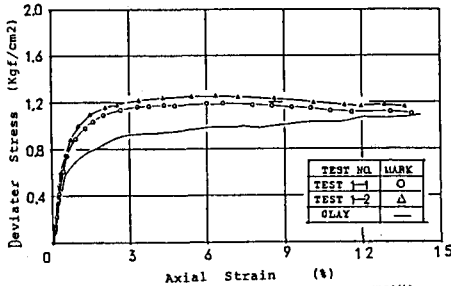


図-2 主応力差～ひずみ関係（等方圧密複合供試体）

は大きく粘土部の応力は小さく著しい砂柱への応力集中がうかがえ、その応力集中の度合は砂柱密度の高いもの程大きい。このように砂柱の応力集中という点から見れば、砂柱密度は複合供試体の変形及び破壊挙動に強く影響されると予測されるが、先述したように複合供試体の圧縮曲線に砂柱密度はほとんど影響を与えていない。これは、事前圧密において、砂柱への応力集中が大きいため、粘土にかかる圧密圧力が低減され、圧密に伴う粘土部の強度増加が小さくなるためと考えられる。

図-5、図-6は等方圧密及び K_0 圧密をうけた複合供試体の圧縮曲線における応力分担比（ σ_s/σ_c ）とひずみ曲線である。等方圧密供試体では、せん断開始時の砂柱部圧縮ひずみは小さく、粘土の強度もあまり増加していない。従って応力分担比は、せん断初期においては弾性的挙動を示し単なる粘土と砂の弾性係数の比として現れていると思われる。また砂柱密度が高い程、その傾向が顕著に現れ、せん断初期に、 σ_s/σ_c が9まで増加し、その後、圧縮ひずみの増加に伴い応力分担比は減少し最終的には、 σ_s/σ_c が3に落ち着く。一方、砂柱密度の低い場合、応力分担比は当初増加し、 σ_s/σ_c が2.5をピークととり、その後、急激に減少しており密付場合と対比的である。 K_0 圧密供試体の場合、応力分担比は、砂柱密度の違いによらず、せん断初期にピークをとり、ひずみの増加とともに減少している。これは、圧縮開始時において事前圧密による圧縮ひずみが大きく、砂柱は降伏状態に近くなっていると考えられ、そのため、圧縮開始と同時に粘土部への応力転換がみられ、圧縮過程においては大きな砂柱の効果は発揮されていないといえる。

4. まとめ 以上のとおり以下のことが明らかとなった。

- 1) 砂柱打設による地盤強度の改善効果は、粘土地盤に比べてのピーク強度を大きくするに現れ、残留強度改善には余り役立っていない。
- 2) 砂柱密度を上げた場合、砂柱への応力集中は顕著に現れるが、複合供試体の強度には、その影響が現れていない。従って、圧密による粘土部の強度増加を考え合わせると、砂柱密度を上げることによる複合地盤の強度増加には限界があるといえる。

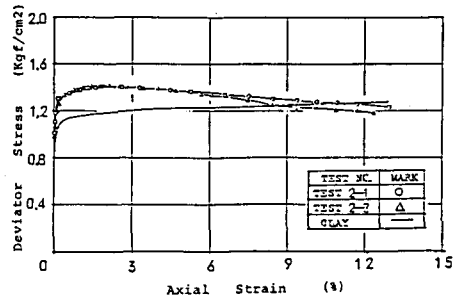


図-3 主応力差～ひずみ関係（ K_0 圧密複合供試体）

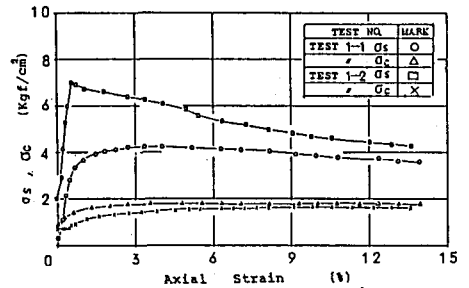


図-4 砂柱部と粘土部の鉛直応力（ σ_v ）～ひずみ関係（等方圧密複合供試体）

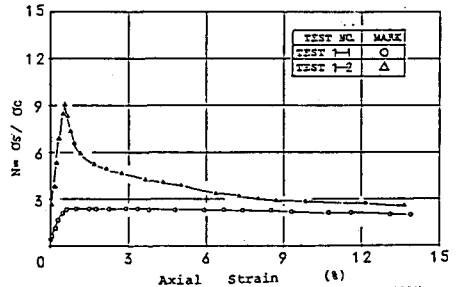


図-5 応力分担比～ひずみ関係（等方圧密複合供試体）

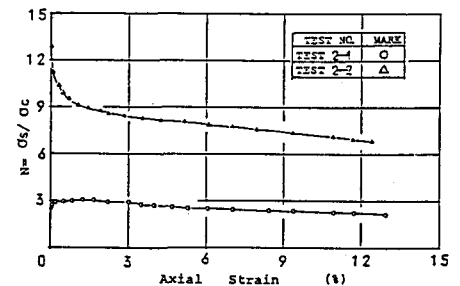


図-6 応力分担比～ひずみ関係（ K_0 圧密複合供試体）