

III-85

砂柱を含む粘土円柱供試体の変形・破壊特性と有限要素解析

東洋建設（株） 正 員 ○和田 真郷
 広島大学 工学部 正 員 吉国 洋
 広島大学 大学院 学生員 藤井 広記

1 まえがき

サンドコンパクションパイルを打設した複合地盤に関する研究は、従来より数多く行なわれているが、その力学的特性や変形および破壊のメカニズムは完全に解明されていない。そのため現実には、簡便な方法で複合地盤の変形や支持力を推定している。そこで、FEMを使って、より合理的にそれらを推定しようとする場合の一つの問題は、砂柱と粘土に対し、どのような構成関係式を用い、どのような初期条件を設定すればよいかが明らかにされていないことである。そこで、この問題を解決する第一歩は、明確な境界条件のもとで実験とFEM解析を行うことであると考え、砂柱を含む粘土円柱供試体に対する三軸試験とそれに対するFEM解析を行った。その中で、複合地盤の初期状態、構成関係式の適用性を確かめるために検討した圧密時の挙動についてここでは報告する。

2 実験方法および解析方法

1) 試料

実験に用いた粘性土試料は表1の特性をもつ広島粘土で、攪拌機で十分攪拌した後、420 μ mのフルイを通し、圧密箱に入れ、十分脱気した後、49kpaの圧密圧力のもとで約3ヶ月間一次元的に圧密したものである。また、砂柱試料としては豊浦標準砂を用いた。

液性限界	L. L	77.4 %
塑性限界	P. L	37.9 %
塑性指数	I _p	39.5 %
比重	G _s	2.68
三角座標による分類		シルト質粘土

表1 広島粘土の物理特性

2) 実験方法

供試体は、前述の粘性土試料を直径14.4cm、高さ30cmの円柱形に成形し、その後ワイヤーソーにより、供試体中心に直径5cmの孔をあけ、豊浦標準砂を所定の密度になるよう幾層かに分け振動を加えて締固めた。実験は、砂の乾燥密度 $\gamma_d=1.55, 1.65\text{t/m}^3$ について行なった。圧密は近似的に静止土圧係数 $K_0=0.5$ と考え $\sigma_1'=1.8\text{kg/cm}^2$ 、 $\sigma_3'=0.9\text{kg/cm}^2$ の応力状態まで、図1に示すように段階的に載荷した。その際、複合供試体全体に作用している鉛直応力と砂柱部だけに作用している鉛直応力および砂柱部と粘土部の境界に作用する水平応力を測定した。また間隙水圧は、粘土部と砂柱部でそれぞれ測定され、砂柱部の間隙水圧は各段階ではほぼ完全に消散していたことが確認されている。

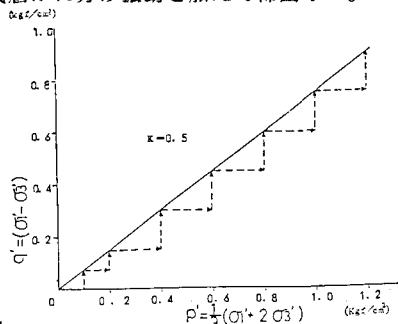


図1 載荷条件

3) 解析方法

解析には、修正カムクレイモデルを採用した。このモデルに必要な材料定数を表2に示す。砂の応力～ひずみモデルとしては、砂の排水三軸試験より得られた応力比 η ～せん断ひずみ γ 関係が一本の双曲線で近似できるものと評価し

$$\eta = \frac{1}{1/G_0\gamma + 1/\eta_f}$$

η_f : $\gamma \rightarrow \infty$ のときの η の値

G_0 : $\gamma=0$ のときの初期の接線変形係数

という近似式を用いた。なお解析にあたって、載荷条件、圧密時間等は、実験と同じ条件である。

λ	0.2122	e_0	1.637
κ	0.0300	k_0	1.0
M	1.49	k_{oc}	0.5642
ν	0.361	$k_v(\text{cm/sec})$	7.9×10^{-6}
$\sigma_{vo}(\text{kgf/cm}^2)$	0.1	$k_h(\text{cm/sec})$	7.9×10^{-5}
$\sigma_{vc}(\text{kgf/cm}^2)$	0.28	λ_k	0.377
γ	0.611		

表2 材料定数

3 実験結果および考察

図2, 図3は, 砂柱部及び粘土部の鉛直応力～軸ひずみ関係である。当然のことながら, 砂柱密度が高い程剛性が大きいので砂柱への応力集中は, 砂柱密度の高いほど著しい。また, 砂柱密度の高い場合, 軸ひずみが小さい時点で破壊に近い応力状態になりやすく, 粘土部との微妙な応力の再配分を繰り返しつつ砂柱が破壊に至るまで進行する。また, この場合, 軸ひずみ2%付近で砂柱は一旦破壊しているが, その間粘土部に転換された水平応力によって拘束され, 再度締められる。そして強度を再発現している。図4は砂柱部と粘土部の境界部における水平応力～軸ひずみ関係を砂柱密度をパラメータにとって示したものである。両者とも段階載荷により水平応力は漸増しており圧密終了時には側圧0.9kgf/cm²の3～4倍の値を示している。ところで図2, 3から砂柱密度が高い程砂柱への応力集中が大きいため, 砂柱の水平応力は大きくなると予想されるが, 圧密終了時の水平応力は砂柱密度が低いものほど大きくなっている。これは粘土部の圧密による強度増加の程度の違いによるものと考えられる。

4 実験値と解析値の比較

図5は, 砂柱密度の高い場合と低い場合, それぞれの軸荷重～応力分担比, 砂柱部及び粘土部の鉛直応力の実験値と解析値である。実験値, 解析値とも応力分担比は軸荷重0.3～0.9kgf/cm²でピーク値をとり, その後減少するといった傾向を示しており特に砂柱密度が低い場合は極めて良い一致を示している。反対に砂柱密度が高い場合, 実験値が解析値の2倍となっている。これは解析値が, 砂杭の破壊→再締めといった現象を忠実に反映していないためと考えられる。

5 まとめ

1) K_0 -圧密過程では, 砂柱が鉛直応力の大半を受け持っているが圧密終了時には, 砂柱は破壊に近い応力状態になっている。

2) 複合供試体に対するFEM解析において, 本報告で採用した初期条件および構成関係式の適用性は, 砂柱密度が比較的低い場合, 定性的にも定量的にも十分であるが, 砂柱密度が比較的高い場合には定性的には認められたが, 定量的には十分と言えない面がある。その理由については, 現在のところ明らかになっていない。

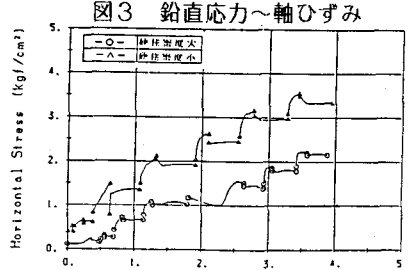
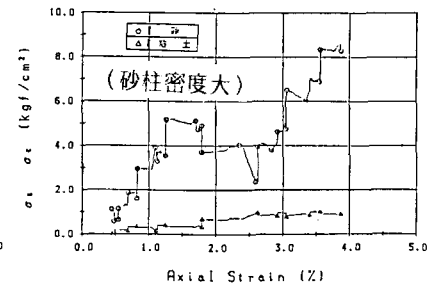
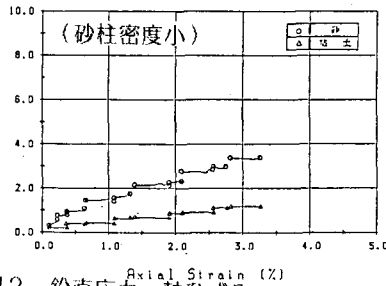


図4 水平応力～軸ひずみ

図4 水平応力～軸ひずみ
砂柱密度が高い程砂柱への応力集中が大きいため, 砂柱の水平応力は大きくなると予想されるが, 圧密終了時の水平応力は砂柱密度が低いものほど大きくなっている。これは粘土部の圧密による強度増加の程度の違いによるものと考えられる。

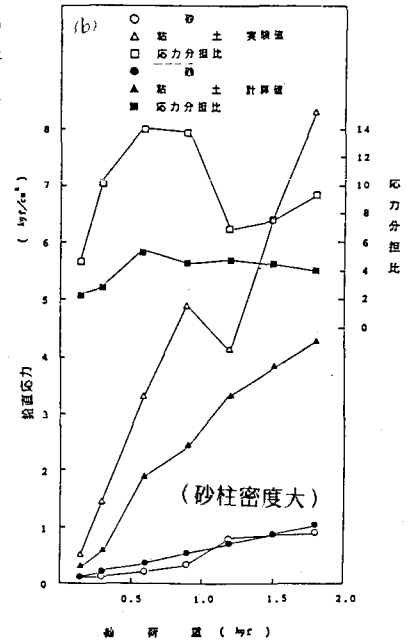
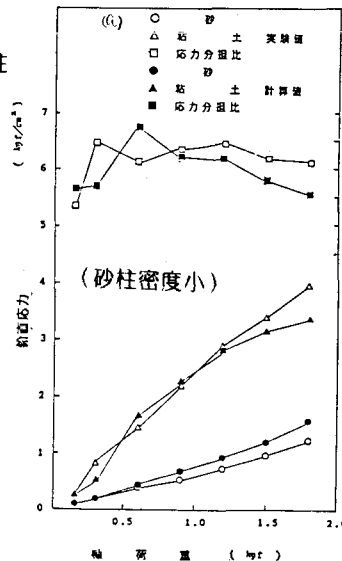


図5 鉛直応力, 応力分担比～軸荷重