

低改良柱体における地盤のアーチ作用による荷重分担効果

熊本大学大学院 学生会員 ○渡邊 陽一  
 熊本大学大学院 正会員 大谷 順  
 三井化学産資(株) 正会員 弘中 淳市  
 三井化学産資(株) 正会員 平井 貴雄

1. はじめに

軟弱地盤上に道路盛土などを建設する際、従来から用いられている深層混合処理工法による軟弱地盤対策は改良率 50%以上が主体である。しかし近年では、コスト縮減の観点から全面的に低改良率(10~30%)による工法が検討および適用されている<sup>1)</sup>。その適用概念は、土のアーチ作用によって未改良地盤に作用する盛土荷重を改良柱体に分散させる荷重分担効果が発揮されるために低改良率を可能とするものである。そこで、土のアーチ作用による荷重分担効果をより忠実に設計へ反映させるためには、地盤内挙動を 3 次元的にモデル化し、荷重分担効果を定量的に評価することが重要であると考えられる。本報では、模型実験を実施し、地盤内挙動を X 線 CT スキャナにて非破壊で可視化するとともに、FEM 解析によって土のアーチ作用による荷重分担効果について報告するものである。

2. 実験概要

本研究では、杭頭地盤の挙動を可視化することを目的に、X 線 CT スキャナ装置にて非破壊検査可能な装置を作成した。図-1 に模型実験装置の概要を示す。内径 126mm、高さ 200mm のアクリルモールド内に、改良柱体を想定して径 15mm の杭を杭間 45mm で 4 本固定し、杭が貫通できるような穴をあけた底板を強制的に沈下させる沈下板装置を取り付けた。この底板を強制的に沈下させることにより、盛土基礎地盤の沈下を想定している。また、杭頭の盛土地盤を想定して沈下板上部に地盤材料を高さ 100mm まで相対密度 80%に締固め、3.2kPa の上載荷重を作用させた。実験に用いた地盤材料は、表-1 に示すような特性を有し、それぞれ絶乾状態で比較した。なお、ここでの内部摩擦角  $\phi$  は、別途実施した一面せん断試験により得られた値である。実験方法は、1mm/min の一定速度で底板を 5mm 沈下させ、実験前後の地盤内状況を X 線 CT 撮影した。なお、X 線 CT スキャナに関する詳細は参考文献<sup>2)</sup>を参照されたい。

3. 実験結果および考察

図-2 に、沈下板 5mm 沈下後における各地盤材料の X 線 CT 画像を示す。ここでは杭頭地盤の状態を鉛直方向に 2 分割した縦断面画像を、密度変化領域をより可視化しやすくするために密度と正の相関関係にある CT 値<sup>2)</sup>によって色分けしている。豊浦砂は、沈下に伴い杭頭地盤にて密度変化が局所的に卓越する傾向にあり、杭頭部にコーン状の高密度領域が形成される。その周辺を低密度領域が包み込むように形成され、それぞれの杭から形成された密度変化領域はある高さから一体化し、2 本の杭間地盤における密度変化角度  $\theta$  は約 38 度である。硅砂 7 号および硅砂 8 号の密度変化はそれぞれ豊浦

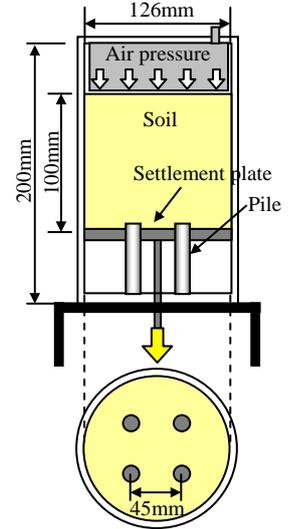


図-1 実験装置

表-1 試料の土質特性

	$D_{50}$ (mm)	$U_c$	$\phi$ (deg)
豊浦砂	0.19	1.56	39.4
硅砂 7 号	0.15	1.63	36.0
硅砂 8 号	0.12	1.86	33.9
粉体粘土	0.0026	10	25.9

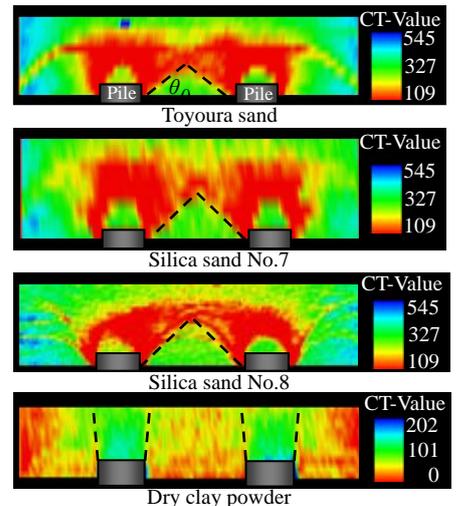


図-2 縦断面画像

キーワード 改良柱体, アーチ作用, 不同沈下, X 線 CT スキャナ

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪 2 丁目 39 番 1 号 TEL/FAX 096-342-3535

砂と類似しているが、2本の杭間地盤における密度変化角度 $\theta$ は若干異なり、珪砂7号が約48度、珪砂8号が約55度である。一方、乾燥粘土はこれまでの挙動とは異なり、それぞれの杭から形成された密度変化領域は一体化せず、密度変化角度 $\theta$ は約86度である。ここで、X線CT画像における密度変化領域について2次元有限要素解析を用いて考察する。表-2に各パラメータを示す。解析モデルは、杭頭地盤の応力状態を定性的に把握することを目的として2次元平面ひずみ条件とし、盛土地盤および杭は線形弾性体とした。解析手順は、模型実験をシミュレートし、5mmまで段階的に沈下板を沈下させた。沈下板5mm沈下後の変位ベクトル図を図-3に、平均有効応力図を図-4に色分けして示す。杭間地盤は沈下量と同じ5mm程度変位し、変位ベクトルの境界線は図-2における密度変化領域の境界線と非常に類似した傾向を示している。また、杭間地盤の5mm程度変位した領域は、図-4より初期地盤に対して応力が低下していることがわかる。この領域は、図-2において密度変化がない領域に相当し、図-3において沈下量と同じ5mm程度変位した領域であることから沈下板と一緒に変位していることがうかがえる。一方、杭頭地盤は応力が増加していることから、沈下に伴う土のアーチ作用によって杭が分担している領域であることがうかがえる。既存の設計法<sup>3)</sup>では、杭間の未改良部に作用する盛土荷重を図-5のようにモデル化し、その他の盛土荷重は杭が分担すると考えて沈下の検討が行われる。そこで、豊浦砂の杭間地盤において密度変化のない領域だけを抽出した3次元差画像を図-6に示す。この形状は図-5と非常に良く類似しており、未改良部に作用する盛土荷重に相当する領域であると考えられる。以上より、X線CT撮影によって得られたCT値の増減傾向は、地盤内応力の増減傾向と類似していることから、杭頭からの密度変化角度 $\theta$ が小さいほど広範囲に杭が荷重を分担すると考えられる。最後に、地盤材料の内部摩擦角 $\phi$ とX線CT撮影によって得られた密度変化角度 $\theta$ の関係を図-7に示す。密度変化角度 $\theta$ は、いずれも杭頭地盤の内部摩擦角 $\phi$ と負の相関関係にあることがわかる。これまでの考察より、密度変化角度 $\theta$ が小さいほど広範囲に杭が荷重を分担することから、内部摩擦角 $\phi$ が大きくなるに従ってアーチ作用による荷重分担効果も大きくなることとなる。

表-2 パラメータ一覧

	盛土地盤	杭
弾性係数: $E(N/mm^2)$	15	50
ポアソン比: $\nu$	0.3	0.4

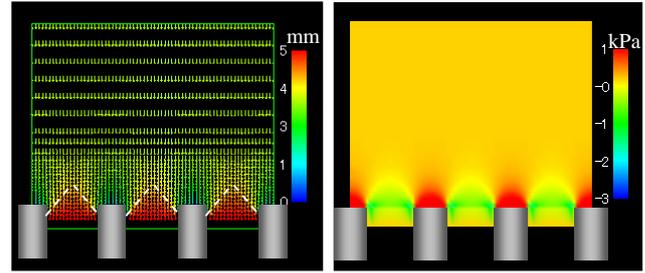


図-3 変位ベクトル図

図-4 平均有効応力図

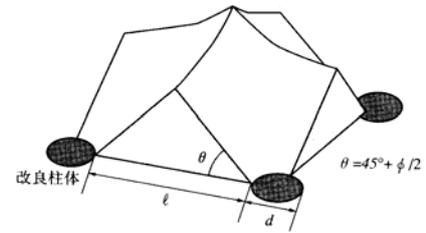


図-5 未改良部に作用する盛土荷重<sup>3)</sup>

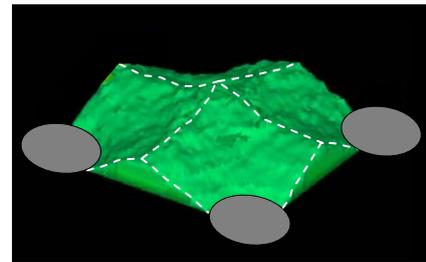


図-6 杭間地盤の3次元差画像

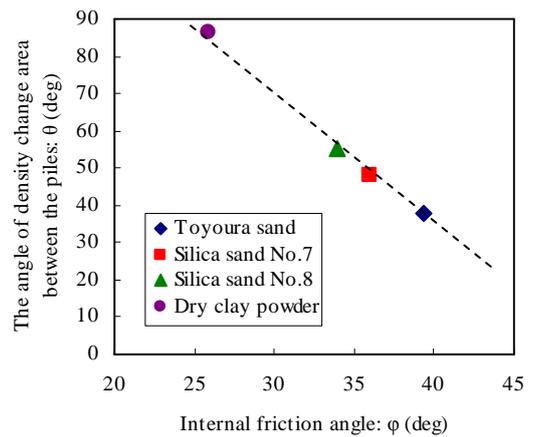


図-7 密度変化角度 $\theta$ と内部摩擦角 $\phi$ の関係

4. おわりに

以上より、土のアーチ作用による荷重分担効果は盛土地盤の内部摩擦角に起因することがわかった。今後はジオグリッドなどの併用効果について検討する予定である。

参考文献

- 1) 古本,小橋,三木,恒岡:低改良率セメントコラム工法の開発,土木技術資料,pp54~59,2007.
- 2) 大谷,尾原,菅原,椋木:地盤工学における産業用 X 線 CT スキャナーの適用,土と基礎, Vol.48, No.2, pp.17~20, 2000.
- 3) (財)土木研究センター:ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル,p251,2000.