X線CTを用いた締固め砂杭周辺地盤の微視構造変化に関する模型実験

不動テトラ	正会員	○江副	哲,	正会員	原田	健二
熊本大学大学院	正会員	大谷	順,	正会員	佐藤	宇紘

1. はじめに

砂質地盤を対象としたサンドコンパクションパイル(以下, SCP) 工法による改良地盤は、締固めによる密度増加以外にも複 合的な特性が関与することで、改良地盤全体の液状化抵抗が杭間 N 値から求めた液状化抵抗以上の強度を有している可能性がある とされている. 筆者らは、SCP 改良地盤特有の複合的な効果のう ち、繰返しせん断履歴による微視構造の変化に着目した締固め改 良地盤評価の高度化を目的とした研究を行っている^{1),2)}.本報告で は、砂杭造成過程を模擬した模型実験を行い、µフォーカス X 線 CT スキャナ³⁾を用いて砂杭周辺地盤を三次元的に可視化した.砂 の圧入によって生じる砂杭周辺地盤の微視構造変化に着目して画 像解析による SCP 改良地盤の挙動について評価した結果を述べる.

2. 実験概要

図-1 に模型実験装置の概要図を示す.X線CT室内で実験可能 とするために、土槽にリニアラックジャッキを搭載したケーシン グの強制昇降装置を作製し、静的な SCP 工法⁴⁾による砂杭を1本 造成する過程を再現した. さらに, ケーシング貫入時に地盤を押 す力(以下, 押力)を荷重計により測定するとともに, μ フォー カス X 線 CT スキャナによる撮影を行い、砂杭造成に伴った砂杭 周辺地盤挙動について観察した.実験には、X線の透過性を考慮 したアルミ製の内径 140mm, 高さ 430mm の円筒土槽を用いた. 砂杭は、造成位置を土槽中央とし、外管と管内砂(中詰砂)の排 出と拡径が可能となる中実内管を用いた二重構造のケーシングパ イプを用いて造成した.模型地盤および砂杭材は,豊浦砂



①ケーシング ②内管 ③砂投入 ④外管 (5)ケーシング 打戻し (外管+内管) 引抜き 引抜き (砂杭造成)

貫入





(ps=2.64g/cm³, p_{dmax}=1.65g/cm³, p_{dmin}=1.33g/cm³)を用い、模型地盤 図-3 ケーシング押カー貫入量関係 の初期相対密度を Dr=50%,砂杭の目標相対密度を Dr=80%と設定し、乾燥状態で実験を行った.なお、模型 地盤には、CT 画像を用いて土粒子の移動量を評価するためのマーカーとして、鉄粒を重量比 5%混合した.

模型実験における砂杭の造成工程を図-2 に示す. ①外径 20mm(厚さ 1mm)の外管と中実内管を組合せた 状態で目標深度まで貫入した後、②内管を抜取り、③砂杭改良径 35mm、造成長 10mm に相当する砂を投入し た.砂投入後,④外管を 40mm 引抜くことで砂を模型地盤内に排出し,⑤内管を挿入した状態で 30mm 打戻 すことで 10mm の砂杭を造成する施工を1サイクルとし、②~⑤を繰返すことで長さ 30mm,計3 サイクルの 砂杭造成を行った.これらは実施工の1/20の縮尺に概ね相当する.

3. 実験結果 (1)ケーシング貫入時の押力

図-3 にケーシングの押力と貫入量の関係を示す.図より各サイクル終了時に押力が最大値を示している.ま た、砂杭造成時の押力ピーク値が造成前の同深度における初期貫入時(サイクル(0)の押力より増加し、 ち キーワード 地盤改良、サンドコンパクションパイル、締固め

連絡先 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号 (株)不動テトラ地盤事業本部技術部 TEL03-5644-8534

-9-

らにサイクルが増えるにつれて押力ピーク値が増加 していることも確認できる.これは,砂杭造成に伴っ た周辺地盤の締固め効果と,先行造成された砂杭のさ らなる密実化によるものと想定することができる.

(2)砂杭周辺地盤挙動の可視化

CT 撮影は、ケーシング初期貫入時には 10 回, 砂杭 造成時には各サイクル 3 回の計 9 回実施した.図-4(a) に撮影した CT 画像の内,砂杭造成サイクル③終了時



図-4 (a)砂杭造成終了後の CT 画像と

(b)画像解析から得られた空間変位分布の一例

に撮影した画像を代表として示す. CT 画像から,ケーシングパイプ先端周辺に投入した砂(鉄粒マーカーを 含まない)による拡径された砂杭が連続的に造成されていることが確認できる.ここで,撮影した CT 画像よ り砂杭周辺地盤の変形現象を解析するため,デジタル画像相関法(以下,DIC)⁴⁾を用いた.図-4(b)に DIC に よる画像解析から得られた砂杭造成サイクル③終了時の砂杭周辺地盤の3次元変位分布を示す.変位について は、砂杭の周囲に集中し、造成された砂杭の上下部の地盤も押し広げる挙動が確認できる.さらに,DIC 解析

によって得られた各撮影ステップ間の変位分布を基に算出し た体積ひずみ分布を図-5に示す.図よりケーシング初期貫入時 には、ケーシング下端を中心に圧縮体積ひずみが発生し、打戻 しによる砂杭造成時には、拡径された砂杭の周囲に圧縮体積ひ ずみが集中する傾向が見られ、最大で20%程度の圧縮ひずみを 示している.図-6に造成砂杭の中央深度となる地盤深さ115mm 地点を対象に、各サイクル終了時までを累積した体積ひずみ増 分の変化を示す.図より、測定深度の真横の砂杭造成となるサ イクル②時に圧縮体積ひずみが大きく増加していることが確 認できる.また、砂杭直近部の圧縮体積ひずみが卓越し、砂杭 から離れていくほどその数値は減衰していく.これらの画像解 析結果から、本模型実験で実施した砂杭造成に伴った周辺地盤 の挙動について可視化できることがわかる.

4. まとめ

今回の実験により, µフォーカス X線 CT スキャナを用いて 砂杭造成に伴う周辺地盤の内部挙動を連続的に詳細可視化す ることで, SCP 改良効果についての検討が可能となると考えら れる. 今後は,砂杭周辺地盤のせん断ひずみ分布についても考 察を行い,改良効果の定量的な評価方法について検討したい.

【参考文献】1)原田健二他:細粒分を含んだ締固めによる改良地盤の 評価,第27回地震工学研究発表会,論文No.35,2003.2)梅田洋彰 他:異なる相対密度における土粒子構造の評価と液状化対策としての SCP工法への適応,第53回地盤工学研究発表会,2017(投稿中).3) 菊池喜昭他:マイクロフォーカスX線CTスキャナの地盤工学への 適用性の検討,港湾空港技術研究所資料,No.1125,2006.4)国土技 術センター:建設技術審査証明事業(一般土木工法)"SAVEコンポー ザー(低振動・低騒音の静的締固め工法)",2015.5)Hall,S.A.:A methodology for 7D warping and deformation monitoring using time-lapse seismic data, Geophysics, Vol.71, No.4, pp.O21-O31,2006.



体積ひずみ分布

