

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○高津裕斗, 木戸隆之祐, 南野佑貴, 澤田茉伊, 正会員 肥後陽介

1. はじめに

近年, 既設構造物に適用できる液状化対策としてマイクロバブル注入工法や, 地下水位低下工法が提案されている. これらの工法は, 地盤を不飽和化することにより, 地震時の間隙水圧の上昇を抑制するものであるが, 封入空気に関する基礎的な研究は十分ではない. そこで本研究では, 砂供試体に様々なサクシオンで排水履歴を与えて, 封入不飽和状態をつくり, マイクロ X 線 CT を用いて可視化し, さらに CT 画像から空気・水・土粒子を三値化し封入空気量を定量化する事によって, 吸排水の履歴が封入空気量に与える影響について考察する.

2. 封入不飽和化実験

豊浦砂を用いて, 水中落下法により飽和供試体を作製した後に, 水頭法により排水・吸水の順に履歴を与え, 供試体を封入不飽和化した. 供試体寸法は, 撮影範囲の制約から直径 12mm 高さ 24mm とした. 排水にあたって, 与える負圧は事前に行った保水性試験の結果(図1)により決定している(JGS0151-2009に準じる).

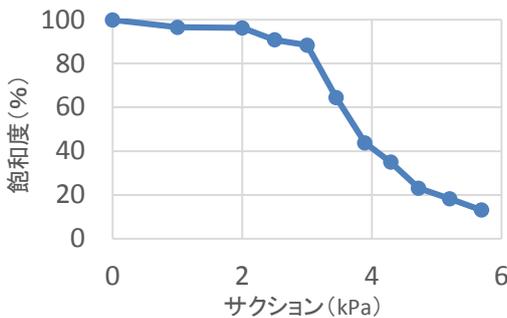


図1 保水性試験結果(吸水過程)

本研究では, 排水過程から吸水過程に移る際の飽和度が空気の封入量に与える影響について調べた. 表1に実験ケースの一覧を示す. 実験装置を図2に示した. 供試体上部とビュレットは乾燥防止のため, 湿潤空気を発生させる機構へと繋がっている.

まず, 排水過程において, 供試体下部はビュレットの下部と繋がっており, ビュレットの水位を調節することでサクシオンを制御し, あらかじめ決定したサク

表1 実験ケース一覧

		D_r (%)	間隙比 e	負圧 (kPa)
豊浦砂	CASE1	75	0.703	6.0
	CASE2	75	0.703	4.2
	CASE3	75	0.703	3.2

シオンを与え, 排水させた. また, ビュレットには差圧計がついており, 吸排水量を一定間隔で自動計測することができる. 吸水過程においては, 水位を供試体上部と一致させることで, サクシオンがゼロの状態で放置させることで吸水させた. 撮影は, 初期, 排水収束後, 吸水3日後の計3回行った. なお, 吸水3日後は全ケースにおいて吸水量が収束していた. 図3に得られたCT画像の例を示す. 黒が空気, 最も明るいグレーが土粒子, 暗いグレーが水である.

μ X 線 CT 装置は KYOTO-GEO μ XCT (TOSCANER - 32251 μ hdk)を用いた. 本実験における撮影条件では, Voxel サイズ 13 μ m で, 厚さ 15 μ m の画像を取得した.

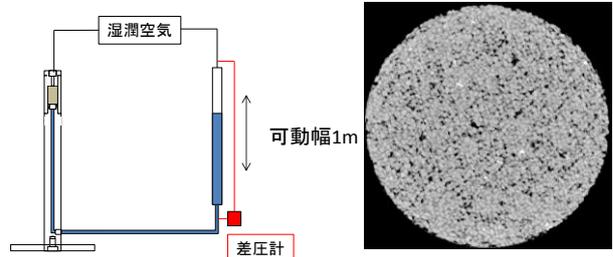


図2 試験装置概要

図3 CT画像例 (CASE2 排水後) ※凡例は本文参照

3. 実験結果および考察

CT 画像は, X 線の吸収量をもとに決定される CT 値を濃淡で表した密度の分布図であるが, さらに CT 値を指標にして, 空気・水・土粒子の三相に分離する手法を三値化という.

封入不飽和化実験で得られた CT 画像の三値化結果の水平断面(供試体の下から 1/4 の位置)と鉛直断面を図4, 図5に示す. 赤色が空気, 水色が水, 黄緑色が土粒子である. なお, 三値化は Simple Threshold 法を用いた.

CT 値とその値のカウント数の関係であるヒストグラムを用いて、間隙比に応じた土粒子相の閾値を決定する。そして、空気相であると判断できる部分を 20 個サンプリングし、得られた分布関数の平均 x_a と分散 σ_a を求め、その値に基づいて、 $x_a + 2\sigma_a$ を空気相-水相間の閾値と定めた。また、表 2 に三値化により推定した飽和度と、排水量から算定される飽和度の実測値を示した。排水収束後、復水後は実測値の方が低い。初期状態において供試体の間隙量以上の余剰な水が存在したことが原因と考えられる。初期状態の飽和度の実測値は 100% と仮定しているが、表 2 の三値化による推定値も 99% 以上を示しており、両者の整合がとれている。排水収束後では、図 4、図 5 を見ると、排水量は CASE1 が最も多く CASE3 が最も少ない。三値化による推定値も同様の傾向が見られることからサクションに応じた排水が行われていたことが分かる。吸水 3 日後において図 4、図 5 を見ると、排水後飽和度の低い CASE1、CASE2 は排水後飽和度が高い CASE3 と比べると封入空気が生まれている。表 2 を見ても同様に CASE1 が最も飽和度が低いため、排水後の飽和度が低ければ、封入空気が生まれやすいと考えられる。

4. 結論

本研究では、吸排水履歴によって得られる砂の封入不飽和状態を、 μ X線 CT を用いて可視化し、さらに CT 画像の三値化により三相の割合を定量化した。排水後の飽和度が異なる 3 ケースを比較した結果、吸水前の飽和度が低いほど吸水時に封入空気が生まれることが分かった。今後は、CT 画像の画像解析を実施し、封入空気の分布、間隙の大きさとの関係などを明らかにし、封入不飽和状態のメカニズムを検討していく。

表 2 三値化結果及び実測値

①三値化による結果 ②実測値		①間隙比	②間隙比	①飽和度 (%)	②飽和度 (%)
CASE 1	初期状態	0.699	0.703	99.0	100.0(仮定)
	排水収束後	0.678		38.4	14.4
	吸水 3 日目	0.709		93.4	81.1
CASE 2	初期状態	0.709		99.7	100.0(仮定)
	排水収束後	0.702		71.2	50.5
	吸水 3 日目	0.693		98.2	98.2
CASE 3	初期状態	0.699		99.7	100.0(仮定)
	排水収束後	0.727		72.8	66.6
	吸水 3 日目	0.742		97.6	78.1

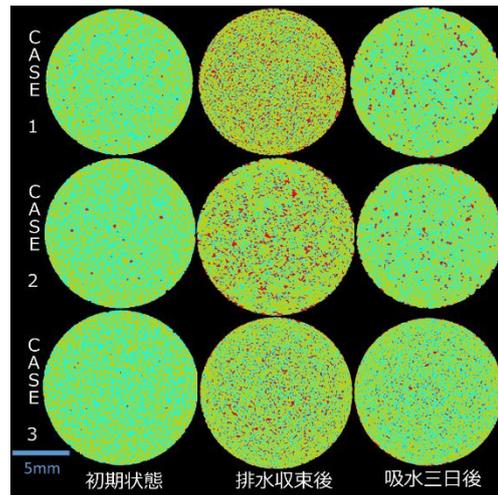


図 4 CT 画像の三値化結果(水平断面)
※赤色：空気 水色：水 黄緑色：土粒子

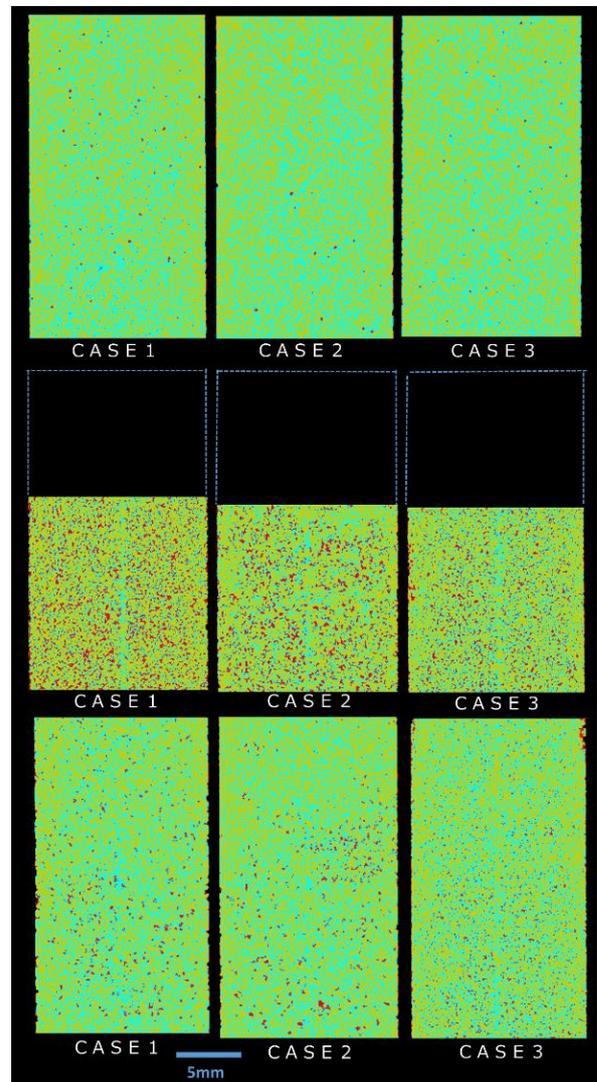


図 5 CT 画像の三値化結果(鉛直断面)
※赤色：空気 水色：水 黄緑色：土粒子
上段：初期状態 中段：排水収束後 下段：吸水三日後

参考文献

1)公益社団法人 地盤工学会

：地盤材料試験の方法と解説, pp.162-164, 2009