土粒子の移動に着目した繰返し浸透実験

国立研究開発法人土木研究所

正会員 〇富澤 彰仁, 佐々木 亨

1. 目的

河川堤防には、出水等により河川水や降雨が繰返し作用している.特に、浸透対策としてのドレーン工や、樋門などの構造物の周辺では、その他の範囲と比較して局所的に卓越した流れが発生しているものと考えられる.ドレーン工の目詰まりに関する既往検討¹⁾では、ある動水勾配を与え続けた場合に、フィルター材に近接する土粒子が再配列することで目詰まりを起こすことが報告されているが、浸透が繰返す場合における土粒子の移動や透水性の変化については不明な点が多く、著者らは種々の土に対して繰返し浸透実験を行ってきた²⁾。本報では、土粒子の移動をより明確に確認することを目的に、既往実験から試験装置を改良するとともに、使用材料を変更して実験を行った.

2. 実験の概要

2.1 実験装置と使用材料

今回用いた実験装置を図1に示す.高さ20cm,直径7.9cmの塩化 ビニル管の上下両端にフィルター材(厚さ3mm)を設置し,有孔板と 接続した。供試体の上部に給水槽を設置した上で,外部水槽内に配置 し,外部水槽の水位を一定に保った状態で給水槽の水位を変えること で,任意方向に浸透可能な構造とした.供試体側面には深度方向に5 箇所で間隙水圧を計測したが,水圧の結果は本報では割愛する.

実験に用いた材料は、5 号硅砂と硅石粉を配合したもので、その粒 径加積曲線を図2に示す.いずれの供試体も土粒子の移動し易さを表 す指標として用いられる Kennyの間隙くびれ径³⁾(対象とする粒径 D 以下の質量百分率(F)に対する D~4D までの質量百分率(H)の比 H/F)が十分に小さくなる(土粒子が移動し易い)組み合わせである. なお、5 号硅砂と硅石粉の重量割合は4通り(95:5,80:20,65:35, 50:50)に変化させた.各供試体の土性を表1に示す.各供試体にお ける相対密度は Dr=80%で一定とした.

2.2 実験方法

図3に示す実験フローのとおり,各供試体について,下向き浸透(動 水勾配 i=0.9,繰返し回数:約500回),上下方向浸透(動水勾配 i=0.8, 約500回)の順に実験を行った.実験中は,繰返し回数ごとに外部水 槽からオーバーフローする流量(下向き浸透時)を計測し,透水係数 を算出するとともに,実験後は供試体をX線CT装置で撮影(管電圧 210kV,管電流125uA,露光速度500ms)し,各深度における供試体の CT 画像を確認するとともに,X線のグレイバリュー値(透過度)から 隙間部を定義することで,隙間領域の変化を確認した.





図2 実験材料の粒度分布および H/F

表1 実験材料の土性

項目	元となる材料		実験材料			
	5号硅砂	硅石粉	供試体1	供試体2	供試体3	供試体4
土粒子密度 ρ s(g/cm ³)	2.634	2.635	2.65	2.64	2.643	2.634
砂分含有率(%)	94	20	88	77	66	55
細粒分含有率(%)	0	80	5	18	29	41
平均粒径D ₅₀ (mm)	1.230	0.027	1.143	0.975	0.838	0.292
最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(g/cm^3)$	-	-	1.625	1.808	1.894	1.853
最大乾燥密度 $\rho_{dmin}(g/cm^3)$	-	-	1.297	1.352	1.333	1.252
相対密度 Dr(%)	-	-	80	80	80	80
間隙率 n(%)	-	-	49	46	46	49



図3 実験のフロー

3. 実験結果

3.1 X 線 CT 画像

X線 CT 装置は Nikon 製 Metrology XT H225 を用いた.本撮影時の CT データにおけるボクセルサイズは, 各辺約 0.1mm である.供試体の中央付近における「実験前」,「下向き浸透後」,「上下方向浸透後」の各段階 における CT 画像を表2に示す.画像の濃淡はX線の減衰の大きさを表す.すなわち密度の大きい範囲ほど明 るく表示される.各供試体における画像の濃淡に着目すると,供試体1がその他と比較してやや暗く,試料作 製時における密度の違いを表していると考えられる.一方,「実験前」,「下向き浸透後」,「上下方向浸透後」

キーワード 河川堤防,浸透,X 線 CT

連絡先 〒350-8516 茨城県つくば市南原1-6 (国研)土木研究所土質・振動チーム TEL029-879-6771

の各段階での変化を見ると、供試体 1~3 は段 階を追って定性的には暗い領域が拡大し、土粒 子が移動しているものと考えられるが、供試体 4については、画像上の変化は見られない.

3.2 隙間領域の変化

各実験段階における CT データを,より定量 的に評価することを目的に,各範囲で得られた グレイバリュー値のヒストグラムから, 土粒子 部分と隙間部分の間で閾値を定義することで, 図4のように両者を区分し、それぞれの体積を 算出した.全体の体積に占める隙間体積の割合 を「隙間率」と定義し、各供試体の各深度にお ける隙間率の変化を図5に示す.全供試体を通 して実験前,下向き浸透後,上下方向浸透後の 順に隙間率は上昇する結果となった.X線CT の撮影は各段階の実験後に行っているため,実 験後の状態が粒子の移動に関して定常状態と なっているかは不明であるが,各供試体におけ る隙間率の変化量に着目すると,供試体1では, 各試験段階において同様な割合で隙間が拡大 している一方で,供試体2では上下方向浸透時 に、供試体3では下向き浸透時に隙間が拡大し ている結果となった。なお,各供試体の間隙率 は46~49%で概ね同様な値であるが、隙間率が 異なるのは, 硅石粉の重量割合が供試体間で異 なることに加え,X線CTのボクセルサイズ(各 辺 0.1mm) が, 硅石粉の粒径 (平均粒径 0.03mm) より大きいことに起因するものと考えられる.

3.3 透水係数の変化

浸透実験の各繰返し回数における透水係数 を図6に示す.供試体1~3では下向き浸透時 において,繰返し回数300回付近までは,透水 性が上昇し,その後低下する傾向を示す.一方, 上下方向浸透時では,供試体1および2では, 大きな透水係数の変化は確認されなかった.供 試体3は実験初期(繰返し回数500回付近)で 透水係数が急激に大きくなっているが,実験前 のCT作業中にモールド内の土がややずれ動い 表2各段階におけるX線CT画像(供試体中央付近) 供試体1 (5号95%: 建石粉5%) (5号85%: 建石粉35%) (5号85%: 建石粉35%) (5号85%: 建石粉35%)



たことを確認しており、その影響を否定できない結果となっている.供試体4は透水性が低く、オーバーフローも確認できなかったことから、正確な透水係数は得られていないものと判断し、図から除外した.

4. まとめ

透水試験装置を用いて、「下向き浸透」、「上下方向浸透」を繰返し作用させ、透水係数を計測するとともに、 土粒子の移動をX線CT装置を用いて観察した.浸透の方向による土粒子移動の傾向は、粒度構成によって異 なる結果となった.一方、土粒子は移動したものの、透水性の低下は確認できなかった.今後は、供試体の各 深度の粒度分布を確認するとともに、異なる材料・密度について同様の試験を実施予定である.

(参考文献)

1) 山岡ら:ジオテキスタイルのろ過機能と目詰まり現象,第30回土質工学シンポジウム発表論文集,1985.11

2) 東ら:河川堤防の浸透流による土粒子の移動に関する繰り返し浸透実験(その1),第52回地盤工学研究発表会,2017.7 3) Kenny et al.: Controlling Constriction Sizes of Granular Filters. Canadian Geotechnical Journal, 22, 1985