

透水方向が地盤の内部侵食に及ぼす影響に関する実験的研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○鈴木 彩菜
埼玉大学大学院 正会員 桑野 二郎

1. はじめに

近年、世界各地で内部侵食に起因する陥没事故がたびたび発生している．内部侵食とは、地盤内部の細砂の流出に伴い、地盤内部が侵食される現象のことである．発生要因は、劣化した埋設管破損部における土砂流出や降雨に伴う地中への水の浸透などが考えられている．地盤内部に空洞やゆるみが形成され、地盤の強度が低下することによって、このような陥没事故が発生する恐れがあると考えられているが、その実態についてはまだ未解明な点が多い．本研究では、地盤内部における透水方向に着目し、透明アクリル製円筒を用いて透水試験を実施した．透水方向が内部侵食発生に与える影響を調べ、地盤内部の構造変化を検討した．

2. 実験概要

2.1. 実験装置、実験試料

図- 1 に示す実験装置を用いて透水試験を行った．供試体の上下にはふるい目 0.25mm の金網が設置されており、透水によって細砂のみが供試体外へ流出する．実験装置の適当な箇所のバルブを開閉することで、供試体内を流れる水の方向を下方向と上方向に変化させることができる．供試体部分は高さ 3cm ずつカラムを取り外すことができ、試験終了後、各層の内部の様子を観察し、残留ケイ砂の粒度を調べた．実験試料は粗砂 CS:3 号ケイ砂（白色 1.2～2.4mm）、細砂 FS: 8 号ケイ砂（白色 0.05～0.2mm、赤色 0.05～0.3mm）を用いた．3 号ケイ砂と 8 号ケイ砂を 1:3（FS75%）の割合で混合した．粒子の移動を観察するため、赤色ケイ砂も同率混ぜ、図-1 のように配した．作製した混合ケイ砂の粒度を図-2 に示す．

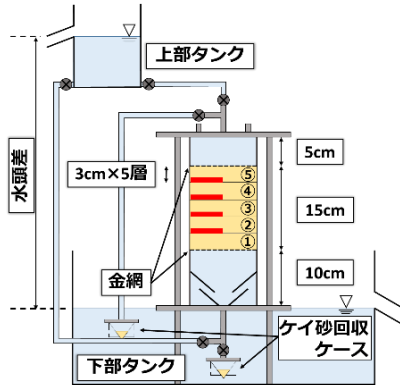


図- 1 実験装置模式図

2.2. 実験条件、実験手順

実験条件を表- 1 に示す．透水時間は 180 分間で、20 分を 1 ピリオドとし、内部侵食発生に伴い流出するケイ砂を 1 ピリオド毎に回収し、炉乾燥後の質量を測定した．透水終了後の模型地盤解体時には各層の内部の様子を観察した後、層ごとに残留ケイ砂を回収し炉乾燥を経て、ふるい分けによって残留ケイ砂の粒度を調べた．なお、下端から流出した細砂はピリオド毎にほぼ全量を回収することができたが、上端から流出した細砂は、土粒子間隙から、供試体外へ出ると流速が低下するため、重力に逆らってまでは回収容器にあまり到達せず、供試体上端に堆積した．したがって、上端からの流出量は透水終了時の値のみ計測できた．

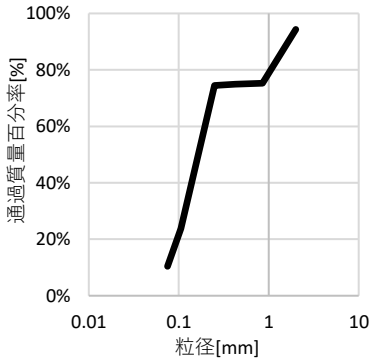


図- 2 混合ケイ砂の粒度分布

表- 1 実験条件一覧

試験名	下向き透水 (Down)	上向き透水 (Up)	上下向き透水 (Down&Up)
乾燥密度[g/cm ³]	1.64	1.64	1.64
動水勾配			

キーワード 侵食，浸透力，透水試験，細砂，有効応力，間隙

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

埼玉大学大学院環境社会基盤国際コース桑野研究室 TEL 048-858-9239

3. 実験結果と考察

3.1. 各時間における細砂の累計流出率[%]

図-3に透水試験中の各時間における下端からの細砂の累計流出率を示す。全ての試験において透水開始直後ケイ砂が多量に流出し、模型地盤下方の水が濁った。水の濁りは10分程度で収まり、その後は模型地盤下部から細砂が時折1本の線を描くように数秒から数十秒間流出しては止まるという挙動が場所を変え、繰り返し見られた。下向き透水においては、砂粒子には下方向に重力と浸透力が作用しているため、全体に強固な骨格構造が形成される。水みちが目詰まりを起こしたため、1ピリオド目以降大きな流出が発生しなかったと考える。また、上下向き透水においては、下向き動水勾配を0から6へ上げた1, 5, 9ピリオド目で細砂の流出率が高くなった。これは水の流れが急変し、水みちの目詰まりが解消されたためであると考えられる。

図-4に回収場所で区分した、最終的な細砂の累計流出率を示す。図-4における「通水終了時」とは、透水試験中に下端から流出した細砂の累計である。「解体時下方」とは、供試体解体時に模型地盤下方から回収した細砂の値である。加えて、上向き透水においては透水中に模型地盤下部から流出した細砂も含む。「上端回収」とは、模型地盤上端に堆積した細砂を試験終了後に回収した値である。最終的な累計流出率は上向き透水が最も高く、上向き透水の「解体時下方」の値は下向き透水の「通水終了時」とほぼ同等の値となった。上向き透水中も、模型地盤下部からは下向き透水と同様に細砂の流出がみられた。これは、粒径の小さな8号ケイ砂が卓越するため、上向きの浸透力があっても下端からは重力によって細砂が流出したものと考えられる。しかし、上向き透水中は下部回収容器のバルブを閉じる必要があるため、時間ごとの流出量は計測できなかった。また、上向き透水の「上端回収」の値は、下向き透水の「通水終了時」の値よりも1.6倍ほど大きくなる結果となった。上向き透水では、浸透力が上方向に作用するため有効応力が減少し、粒子の拘束が低下するため粒子が動きやすく、細砂が流出しやすくなったものと考えられる。

3.2. 層別残留ケイ砂率[%]

透水試験終了後に各層に残留した細砂(FS)と粗砂(CS)の質量のその層の初期全質量に対する比率を図-5に示す。模型地盤を作製したカラムは全部で5層構造となっており、下から1層目、…、5層目と呼ぶ。下向き透水では、下層ほど残留細砂の比率は低くなった。細砂の流出により内部が疎になった地盤が上層より沈下したため、1層目の粗砂は逆に増加したと考える。上向き透水では、細砂の残留率は2層目を境に減少した。3～5層目においては、上向きの浸透力の影響で上層ほど残留率が低くなったと考える。模型地盤外の流速は模型地盤内と比べ、小さい。模型地盤の下端部に位置する1層目の砂粒子は、上向きの浸透流にのることができず、重力によって流出したため、1層目の残留率が減少したと考える。上下向き透水では、上向きの浸透力によって細砂は上向きに移動するが、停水すると細砂の移動は止まり、さらに下向きに透水を始めると、細砂は下向きに移動する。そのため、模型地盤下端からの流出の方が上端からの流出よりも多くなったと考える。したがって、細砂は下層ほど減少したと考える。

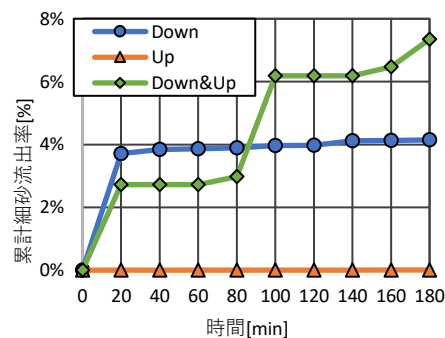


図-3 下端からの細砂累計流出率[%]

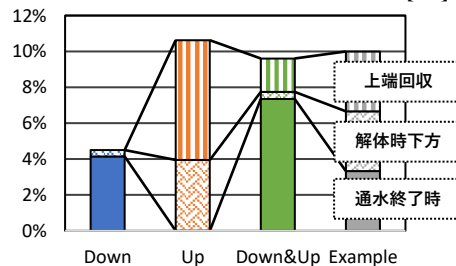


図-4 細砂の最終累計流出率[%]

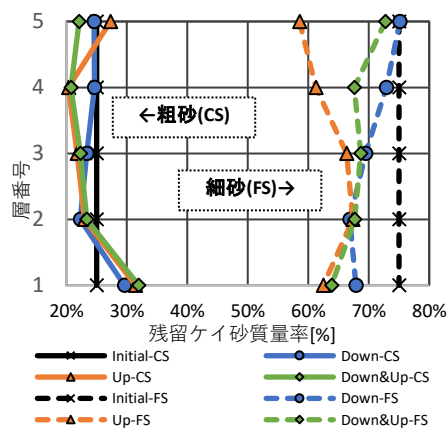


図-5 層別残留ケイ砂質量率[%]

4. まとめ

- ◆ 下端からの細砂累計流出率は上向き透水が最も高い結果となった。
- ◆ 透水方向の違いによって、地盤内部の侵食状況も異なる結果となった。
- ◆ 同じ粒度の地盤においても、透水方向の違いによって地盤陥没の危険性が異なると考えられる。