

地盤材料・密度の違いが地下水位上昇による土砂流出・空洞形成に与える影響

東京大学大学院工学系研究科・日本学術振興会研究員 DC 学生会員 ○佐藤 真理
東京大学生産技術研究所 正会員 桑野 玲子

1. はじめに

近年都市部で頻発している道路陥没の原因として、埋設管の破損部のように何らかの土砂流出口が地盤内に存在し、水の浸透によって土砂が水とともに排出され地中に空洞が形成される現象が考えられる。佐藤ら(2011) ¹⁾は、土砂流出時に地中構造物が及ぼす影響について模型実験を用いて調べており、構造物が存在する場合は土砂流出口付近だけでなく構造物周囲にも空洞が進展する危険性を示唆している。本研究では、土砂流出口が存在する条件下で地下水位が上昇した場合における空洞形成・土砂流出の様子を模型実験により観察した。地盤材料として、5号ケイ砂の他に実際に埋設管の埋め戻し材として使用されている砂を用い、締め固め度の違いによる土砂流出特性・水位上昇早さの変化や流出した土砂の粒度分布について調べた。

2. 実験装置・手順

実験装置の模式図を図1に示す。装置は中央部の土槽(長さ30cm・高さ20cm・幅8cm)と土槽左右の水槽により成り立っている。土槽底部に5mm幅の開口部を設け、開口部から直下の小型アクリル水槽に接続している。アクリル水槽内に給水を行う事が可能であり、また水槽底部の開放が可能である為、土砂・水受けとしても機能する。土槽側面と底面にはポーラスストーンが設置されており、左右水槽や小型アクリル水槽を通して水の流入を行う。地表面にはエアバックを設置し、空気圧によって地盤上端部に均一な荷重をかける事が可能である。

まず開口部を塞いで土槽内に付き固めにより模型地盤を作成後、地下水位の上昇を模擬して小型アクリル水槽に給水を行う事でポーラスストーンを通して土槽底面からの土槽内部へ水を浸透させ、地盤内の水位を上昇させた。水位は左右の水槽より確認出来、一定の水位に達した後アクリル水槽への給水を停止し1分ほど静置して水位を安定させ、開口部を開放する事で土砂と水を排出させた。実験中、装置前面からビデオ撮影を行い、実験終了後排出された土砂の乾燥重量を測定した。

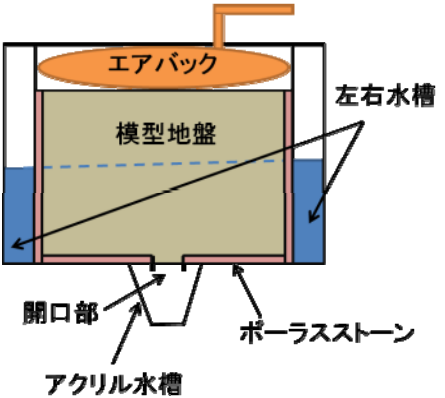


図1 実験装置模式図

3. 実験条件

実験条件を表1に示す。地盤材料・相対密度・水位を変化させた。地表には土被り80cm程度の上載圧を載荷した。実験条件ごとに略称をつけ、以後の説明ではこの略称を用いる。地盤材料として用いた5号ケイ砂とリサイクル改良砂の粒度分布を図3に示す。5号ケイ砂は平均粒径0.47mmの均質な砂である。リサイクル改良砂は東京都で埋め戻しに用いられている材料であり、リサイクル砂に石灰を混ぜて改良を加えた土である。今回用いた試料は一例であり場所毎に材料特性は異なるものの、粒度分布やCBR値が一定の条件を満たすように調整された試料となっている。

表1 実験条件

ケース略称	地盤材料	初期含水比	密度	水位	土被り
S	5号ケイ砂	10%	相対密度 80%	7.5cm	80cm
R-dense	リサイクル改良砂	10%	締め固め度 90%	10cm	80cm
R-loose	リサイクル改良砂	10%	締め固め度 75%	10cm	80cm

4. 実験結果

水位上昇後、排水開始前にはどの実験条件でも地盤内に変化は見られなかった。排水開始後空洞形成や土砂流出

キーワード 土砂流出, 浸食, 浸透, 空洞, 模型実験, 陥没
連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 Bw304 東京大学生産技術研究所 TEL03-5452-6845

が徐々に進行した。各ケースでの排水終了後(水位がゼロになった時点)の土槽内の様子を図2に示す。水色の線は初期の水位を表している。図2の様に、5号ケイ砂では水位に比例して開口部から楕円状に空洞が形成された。またリサイクル改良砂では高密度の場合(ケース R-dense)殆ど空洞形成は見られなかったが、低密度の場合(ケース R-loose)はケース S に比べれば小さいものの空洞や開口部から伸びる筋状の亀裂が確認された。排出された土砂の乾燥重量・水位上昇時間(水位が所定の位置に達するまで要した時間)を表2に示す。ケース S と比較するとケース R-dense とケース R-loose では土砂流出は少なかったものの、空洞が形成されたケース R-loose では排出土砂量がケース R-dense に比べて排出土砂量が大きく、また水位 10cm に達するのにかかる時間も非常に速い。

更にケース R-loose において排出された土砂の粒度分布を調べたところ(図3参照)、地盤材料が本来持つ粒度分布(黒実線)に比べて流出土砂においては(赤点線)細粒分の割合が卓越している事がわかった。流出土砂の粒径は全て 2mm 以下であり、それ以上の大きさの土砂は流出しなかった。また 0.075mm 以下の細粒分流出量は模型地盤内にもともと含まれていた細粒分量のおよそ 50%に達しており、水位の変動により開口部から地盤内の広範な範囲の細粒分が流出したと推測される。

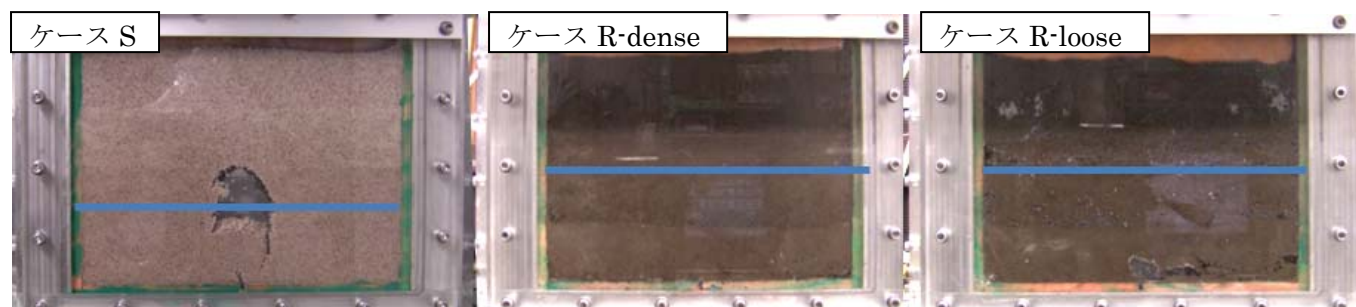


図2 排水終了後の模型地盤の様子

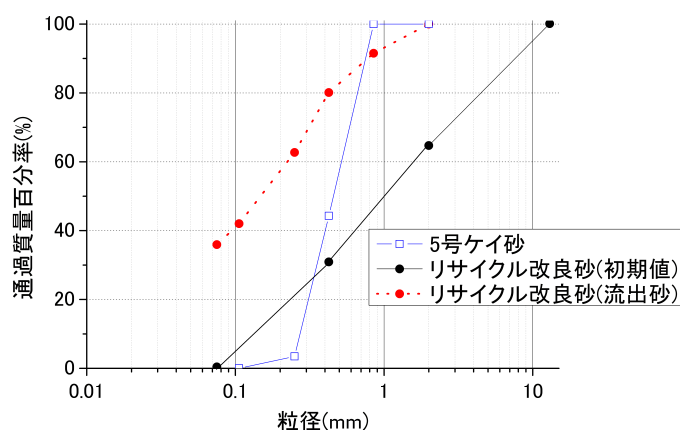


図3 粒度分布

表2 排出土砂量と水位上昇時間

ケース略称	排出土砂量(g)	水位上昇時間(秒)
S	585.69	—
R-dense	1.02	340
R-loose	26.15	150

5. 考察・まとめ

5号ケイ砂の様な均質な砂では、排水・排土と共に、開口部直上で地下水位以下の砂が流出し、開口部上に楕円状の空洞ができ、空洞天端高さは水位と相関があった。石灰改良を施したリサイクル砂においては高密度条件では土砂流出が殆ど起こらなかったが、低密度条件では流出が発生した。改良砂は高密度条件では機能を十分に果たし土砂流出を防止できるものの、低密度条件では空隙が多く存在するためにその隙間を通り細粒分が広範な範囲から流出すると考えられる。近藤ら(2010)²⁾は細粒分が地盤内で失われる事で地盤内の応力分布が変化する事をDEMやFEMにより示している。その為実地盤においても地中構造物周囲等のゆるんだ領域では細粒分の流出が発生する可能性が高く、降雨や地下水流による長時間や繰り返しの浸透により、広範な範囲からの細粒分の流出が発生する事で地盤の強度が徐々に低下していく危険性があるといえる。今後は水位上昇の繰り返し実験実施や、細粒分流出による強度低下の定量的評価が課題であると考えられる。

謝辞：本研究は東京都との共同研究の一環として行ったものであり、この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献：1) 佐藤真理、桑野玲子(2011)「繰り返し浸透時の土砂流出・空洞形成に埋設躯体が及ぼす影響」、大46回地盤工学研究発表会(神戸)、2) 近藤明彦、温谷恵美、前田健一、D.M.WOOD (2010)「内部浸食に伴う細粒分のダイナミクスを考慮した浸透現象の変形・破壊挙動」、第45回地盤工学研究発表会(松山)、No.918