

埋戻し土と6号ケイ砂による地中空洞進展状況の違いについての検討

島根大学大学院	正会員	○佐藤	真理
島根県庁		堂領	翔吾
島根大学		石川	留伊
応用地質株式会社	正会員	宇野	嘉伯
同上	正会員	伊藤	亮太

1. 目的

都市域で陥没事故を引き起こす地中空洞の形成要因としては、埋設管破損部や継ぎ目からの浸透流による土砂流出が主として知られる。近年模型実験による研究が広く行われ地中空洞の形成状況が再現される一方、埋戻し土は模型地盤材料と大きく物性が異なり、例えば透水性や粒度分布に違いが見られるという課題があった。本研究ではそうした背景を踏まえ、これまで模型実験材料として広く用いられている6号ケイ砂と実地盤で用いられる埋戻し土を用いて空洞形成模型実験を実施し、両者の結果を比較することで実験結果の実地盤における現象への適用を試みた。

2. 実験装置と条件について

装置模式図を図1に示す。模型土槽は高さ40cm、奥行き10cm、幅30cmであり、左右壁中央部高さ20cmの箇所に直径8mmの穴をあけ、そこからチューブを接続し水の流入を可能にした。底面中央に埋設管の破損部や継ぎ目のクラックを模擬した5mm幅の土砂と水の流出口を設置した。土槽に接続するチューブの先には漏斗をつけ約40cmの一定高さから大気圧条件で水を左右から同時に流入させた。

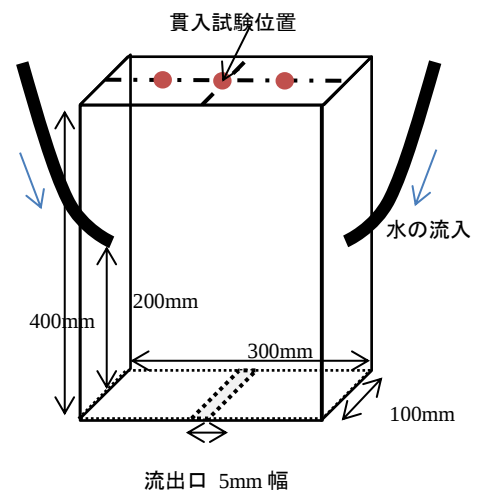


図1 模型土槽模式図

実験条件について表1に示す。実験試料は二種類であり、6号ケイ砂およびマサ土を主とした埋戻し土である。粒度分布を図2に示す。二つの試料の平均粒径はほぼ等しく約0.2mmである。それぞれの試料において地盤を突き固めて一定の相対密度または締固め度になるように最適含水比付近で作成後、土槽前面の蓋を開け両ケースで図5に示すように流出口真上に厚さ4cm、奥行き10cm、幅20cmの空洞を作成し、蓋を閉じた後に水を流入させた。この空洞形状は実地盤における調査結果に基づく典型的な形状である。

SD3_B_Si6においては左右と表層からそれぞれ400mlの給水を行い、この給水が終了後に再度400mlずつ給水を行うという作業を空洞が地盤の表層近くに達するまで3回繰り返した。SD17DW3_Bにおいては透水性の低さにより同様の流入条件では湛水してしまうため、左右は同様に各400ml計800mlを同時に流入させ表層は湛水が起きない程度にタイミングを変えて400mlずつ給水を行った。この作業を約6時間続けた後に1-2日程度排水のために放置することをおよそ30日間繰り返した。しかしながら第1回目の給水で空洞作成時の不安定箇所が崩落した以外に顕著な空洞形状の変化が見られなかったため、その後乾

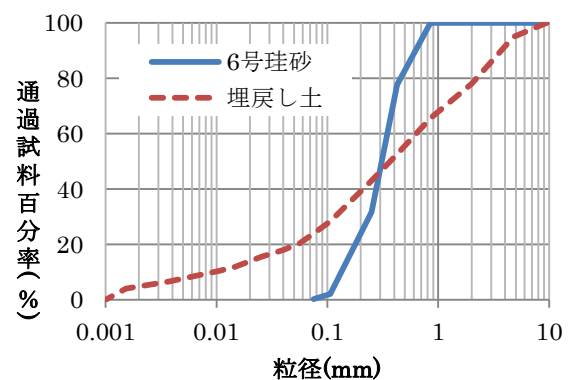


図2 粒度分布図

キーワード 地中空洞, 陥没, 模型実験, 土砂流出, 埋戻し土

連絡先 〒690-8504 島根県松江市西川津 1060 maris@life.shimane-u.ac.jp (佐藤) TEL 085-232-6555

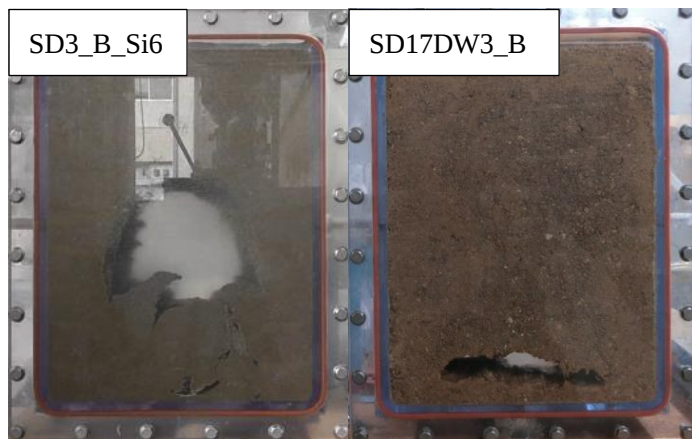
湿繰り返しを実施した．具体的には給水終了後に土槽前面の蓋をあけ，温風機をあてることで風乾状態とし，その後再度蓋を閉じ給水を行うことで風乾状態を模擬した．6時間の給水から乾燥後次の給水開始までを乾湿繰り返し1サイクルとし，計3サイクル実施した．

表 1 実験条件

ケース	密度 (%)	初期含水比 (%)	地盤材料	空洞位置	空洞形状
SD3_B_Si6	相対密度 Dr 95	12.0	6号ケイ砂	流出口真上	4cm×10cm×20cm
SD17DW3_B	締固め度 Dc 90	14.4	埋戻し土	流出口真上	4cm×10cm×20cm

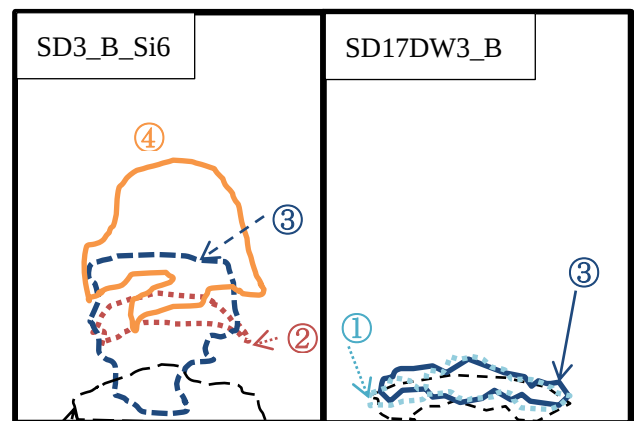
3. 実験結果

水の流入に伴う空洞拡大変形の様子について SD3_B_Si6 と SD17DW3_B それぞれについて最終的な形状を図 3 に，また各ケースにおける空洞形状のサイクル毎の変化履歴を図 4 に示す．図 4 の丸囲みの番号はその数字のサイクルが終了した時点での状態を表す．SD3_B_Si6 では浸透を繰り返すたびに亀裂地盤上部に亀裂が発生し土砂流出とともに空洞が拡大する様子が見られた．大まかな傾向は地盤に空洞を予め設置していない実験ケース¹⁾とほぼ同様であった．空洞の高さ方向の進展が非常に急速であり、形状にもサイクル毎に大きな変化が見られ初期の楕円形状から円形へと推移した．一方 SD17DW3_B においては SD3_B_Si6 に比べて非常に緩やかであるものの，乾湿繰り返しによって徐々に空洞が崩落し上部に進展する様子が確認された．ただし空洞が中央と右部分、次いで左部分崩落して上部にやや進展するのみで，大きさや形状の変化は殆ど見られなかった．また土砂流出量が SD3_B_Si6 で総計 5067g，SD17DW3_B で総計 12.8g であり，大きな差が見られたことも空洞形状の違いに影響したと考えられる．



3 サイクル目給水終了後 乾湿繰り返し 3 サイクル目
給水終了後

図 3 給水終了後の空洞の様子



初期形状 初期形状

図 4 サイクル毎の空洞形状変化

4. 考察と今後の展望

6号ケイ砂と埋戻し土を用いた土砂流出実験では，特に流出口からの土砂流出量に大きな差がみられた．6号ケイ砂では土砂流出に伴い高さ方向に著しく空洞が拡大する一方，埋戻し土では土砂流出がごく微量であり空洞の拡大がなく，崩落による上部への進展のみがわずかに見られたと考えられる．埋戻し土と6号ケイ砂では平均粒径はほぼ等しいが，細粒分の量の違いから粘着力や透水性が異なるため，流出口近くでの有効応力の消失程度に差が出たと思われる．本研究では流出口の幅が5mmと一定であったが，今後の研究では埋戻し土でも流出が起きうる条件として幅を広くしたケースを実施する必要がある．ただし実地盤においても流出口直上に空洞が出来ていないケースが多いことは経験的に知られており，透水性の良い砂地盤や高水圧条件下でない限り土砂が完全に流出する状況は限られると推測される．

参考文献・佐藤真理，藤澤和謙（2017）：外部応力による地中空洞崩落・道路陥没発生メカニズムの解明，公益社団法人地盤工学会，道路保全地盤技術向上に資する調査・研究成果最終報告書：

https://www.jiban.or.jp/file/doro/H28dorohozenjosei_hokoku_Sato.pdf