

土細粒分含有率と乾湿繰り返し土砂流出と空洞形成に及ぼす影響に関する考察

島根大学学術研究院

正会員

○佐藤

真理

応用地質株式会社

正会員

宇野

嘉伯

応用地質株式会社

正会員

伊藤

亮太

島根大学

石川

留伊

1. はじめに

道路陥没事故は下水管の破損部や継ぎ目のクラックからの土砂流出により発生することが広く知られる．予防策としては，陥没発生前にレーダー探査を実施し発見した地中空洞を処置することが一般的である．しかしながら発見した空洞に対しての対処法に関する空洞危険度評価指標は，未だ明確なガイドラインがない．本研究ではそうした背景を踏まえ，埋戻し土の細粒分含有率と現場での乾燥湿潤状況から危険度をより正確に評価することを目指す．細粒分含有率を変化させた地盤材料を用いて，乾湿繰り返し条件下で模型実験による空洞進展状況の再現を行った．各種測定により空洞崩落時に地盤内で発生している事象について詳細を調べた．

2. 実験概要

装置は図 1 に示すように，高さ 40cm 幅 30cm 奥行 10cm のアクリル土槽を用いた．左右ともに中央部高さ 20cm の壁面中央部の穴にチューブを接続し流入を行った．流入高さは流入口から水頭差約 40cm の位置に調整されている．底部中央には幅 5mm 奥行 10cm のスリットを設置し，土砂と水が排出されることで空洞が拡大する．既往の実験結果から細粒分を含む材料においては，浸透流だけでなく乾燥と湿潤（浸透流）の繰り返しで崩落を助長することが示されたため，本研究でも同様に乾湿繰り返しを与える．実験手順はアクリル土槽内に最適含水比付近で地盤を作成後，土槽前面の蓋を開け初期空洞を幅 20cm 高さ 4cm でスリット直上に作成し，温風機をあて約 1 週間乾燥させる．その後再度アクリルの蓋をはめ給水口から水を流入させる．具体的には左右から各 400ml 計 800ml，表層から計 800ml の総計 1600ml を一回の給水とし，計 3 回 4800ml 流入させた．流入終了後に 1 日排水のために放置し，その後約 6 日間温風機で再び乾燥させ，乾燥後に給水を行う．これによって 1 週間間隔で計 2 サイクルの乾湿繰り返しを実施した．また土槽内には高さ 32cm に 1 箇所，高さ 16cm に 2 箇所土壌水分計（METER 社製，EC-5）を設置し基準土と基準−10%土では約 30 分間隔で，基準+10%土では 5 分間隔で排水量を計測した．実験条件と試料の粒度分布の詳細を表 1 に示す．実験試料は荒木田土を粒度調整し細粒分含有率を基準土（ $F_c = 22.2\%$ ）から±10%変化させた3種類である（図 2）．

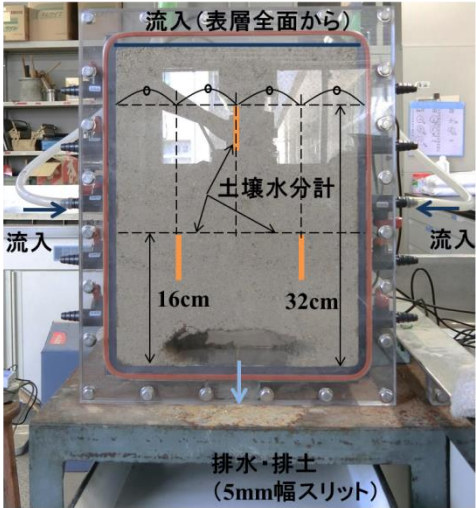


図 1 実験土槽と土壌水分計位置

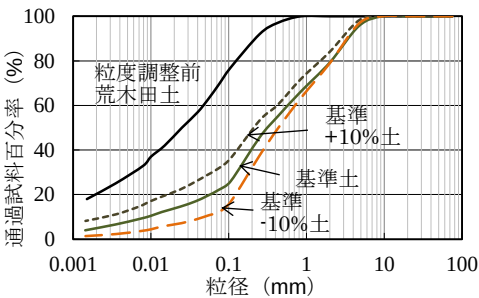


図 2 実験試料粒度分布

表 1 実験条件一覧

ケース名	F_c (%)	w_{ini} (%)	D_c (%)	乾湿繰り返しサイクル数 (回)	1 サイクルの流入量 (ml)
基準−10%土	12.2	10.6	90	2	4800 (1600*3)
基準土	22.2	10.3	90	2	4800 (1600*3)
基準+10%土	31.9	11.3	90	2	4800 (1600*3)

キーワード 地中空洞，模型実験，乾湿繰り返し，土砂流出，陥没，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) T E L 085-232-6555

3. 実験結果

空洞崩落状況の概要については佐藤ら¹⁾を参照されたい。土壌水分計と排水速度について乾湿1サイクル目湿潤過程についてまとめた結果を図3に示す。また乾燥過程の様子は省略するが、どの実験ケースでも似通っており地盤全体で一様に含水率が低下した。排水速度は前述した計測間隔毎に排水量(g)/測定時間(分)でまとめた。×印は計測箇所を示す。図の横方向矢印①～③は1600ml毎の給水の1回目から3回目の時間に対応しており、一部実験ケースでは給水毎に若干のタイムラグがある。また垂直方向の破線は空洞が大きく崩落したタイミングを示す。図よりほぼ全てのケースにおいて、特に土槽中央部の土壌水分計の値が急激に上昇し、再度低下した後空洞が崩落することが確認された。排水速度は細粒分含有率が小さい材料ほど早い傾向があった。ただし変動が激しく間欠的な変動を繰り返し、また崩落の発生前後に排水が開始した。なお、排水量には若干の排出土砂が重量として含まれる。ただし乾湿2サイクル目では1サイクル目に比べ空洞が土壌水分計の周囲まで到達しているためか、上述のような一定の傾向はみられずケースによる差がみられた。

4. 空洞形成プロセスの考察

体積含水率と排水量、空洞崩落との関係性は一定の傾向が見られた。乾湿繰り返しの地盤への影響は浸水コラプスや乾燥収縮などが広く知られるが、本実験の場合はそうした乾燥による直接の影響以外にも、湿潤状態からの浸透流に比べて乾燥した地盤が、崩落に最も影響を与える箇所である空洞の上部に残りやすい状態であり、空洞上部への重力方向の水の集中的な浸透を生んだことが考えられる。そうした浸透により空洞上部は急激に不安定となり、所謂ゆるみ領域という形で下方に地盤が引き込まれ膨張するような崩落直前の状況となることが考えられる。これは粘着力がない砂質地盤ほど顕著であるが、本試料でも小規模ながらも同様の現象が起きたことが推測され、ゆるみにより増加した空隙に水が流入することで周囲の地盤で一時的に体積含水率が低下したと推測される。また浸透流は特に細粒分が増えるほど内部では複雑な挙動であると予測され、1600ml毎の給水タイミングで土壌水分が大きく上昇した。1600ml毎の浸透休止と開始時の若干の水頭差の変動でも影響を受けた可能性がある。また崩落時には空洞上部にも水が浸透し地盤内全体に水が浸透した状態となっているため、そのタイミングに前後して排水が発生したと考えられる。

5. 結論と今後の課題

本研究では細粒分含有率を変化させた材料について実験を行い、浸透による崩落が発生する際の地盤内部の土壌水分や排水量の推移について調べた。その結果、排水量や土壌水分には崩落前後に大きな変動をする傾向があることが示された。また地盤が乾燥することで周囲から水が流入する際に空洞上部に乾燥地盤が残ることとなり、この範囲に水が引き込まれる際に崩落が助長される可能性がある。今後の課題としては、本研究で示した体積含水率は標準的な砂質土におけるものの検定結果であるため、それぞれの地盤で再度検定を実施し正確な値を把握することで具体的な体積含水率の値を検証する必要がある。

参考文献

1) 佐藤真理, 伊藤亮太, 宇野嘉伯, 石川留伊: 細粒分含有率が異なる材料の乾湿繰り返し時土砂流出空洞形成特性について, 第54回地盤工学研究発表会, 2018, 印刷中。

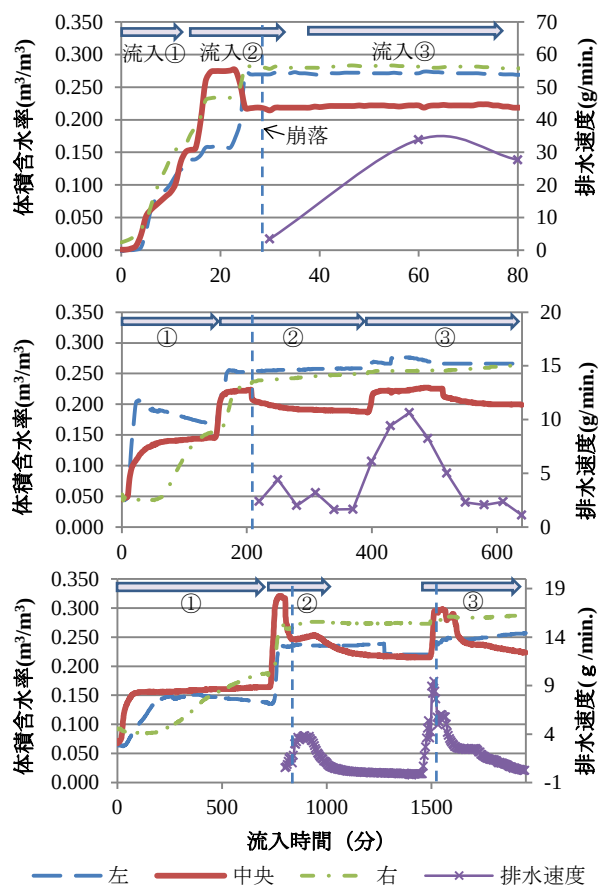


図3 土壌水分計と排水量結果

(上から順に: 基準-10%土, 基準土, 基準+10%土)