

降雨による水の浸透と排水パイプの効果に関する一次元カラム土槽実験

東京都市大学大学院 学○王シイハン 学 田崎翔

元 東京都市大学（現 大成建設） 鈴木孝規

東京都市大学 正 伊藤和也

東急建設 正 船元勝宏 正 野中隆博

1. はじめに

近年の気候変動に伴い、集中豪雨や台風による降雨量が増加しており、全国各地で降雨による盛土の崩壊が発生している。盛土崩壊の対策として、地下水位上昇を抑える目的として排水パイプ工法が使用されている。排水パイプ工法は塩ビパイプを打設する方法から最近では補強効果を見込んで鋼製パイプを斜面に一定間隔で打設する工法等様々なものが開発されている。既往研究¹⁾では地盤内が飽和状態になると排水パイプから排水されることが示されており、地下水位を低下させる効果があるとされているが、排水パイプの降雨による浸透水に関する排水メカニズムや適用可能な地盤と排水パイプの関係性等は明確ではない。本報告では、不飽和から飽和への過程での排水パイプの有効性や降雨浸透挙動を調べるため、模型カラム土槽を用いた降雨浸透実験を行った。さらに、保水性の違いによる水の遮断（キャピラリーバリア）を利用して浸透途中の水を集積することで排水パイプの効率化が可能かどうかについても併せて検討した。



写真-1 実験時の様子

2. 実験概要

図-1～図-2 に実験模型の概要図を示す。模型土槽は、直径 205mm、高さ 250mm のアクリル製円筒を二段重ねて用いた。排水パイプは、直径 6.0mm、長さ 300mm で、排水孔が 268 個開いている。排水孔の直径は 1mm であり、開孔率 10% である。模型地盤には高知県産の春野山砂（2mm フルイ通過試料、細粒分質砂、最大乾燥密度 $\rho_{dmax} = 1.814 \text{ g/cm}^3$ 、細粒分含有率 45.5%）を使用した。模型地盤は締固め度 $D_c = 90\%$ とし、本実験では飽和度 $S_r = 65\%$ になるように理想乾燥密度 $\rho_d = 1.633 \text{ g/cm}^3$ 、と理想含水比 $w = 15.6\%$ を設定して作製した。

ケース 1 は、地盤高さが 250mm になるように 5 層に分けて突き固め模型地盤を作製し、排水パイプを除く各層に土壤水分計（EC-5）を設置した。また、下から 2 層目に排水パイプを打撃貫入した。浸透水が土槽内に滞留しないように、下部に排水層を設けて浸透水を外部へ排水できるようにした。ケース 2 では、土壤水分計③と排水パイプの間に 30mm 厚の粒径 6mm 程度の砂利を使用したキャピラリーバリア層を設置し、排水パイプはキャピラリーバリア層から 20mm 上方に打撃貫入した。降雨条件は友岡ら²⁾が行った実験を参考として、降雨強度 43mm/h の降雨を 5 分間継続させた後、55 分間停止することを 1 回の降雨とし、この降雨を 5 回繰り返すことを 1 サイクルとした。ケース 1 では第 1 サイクルと第 2 サイクルの間に 1 週間の休止期間を設けたが、ケース 2 では休止期間は 5 日間とした。

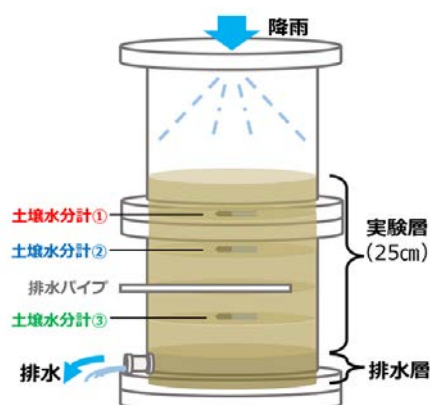


図-1 実験模型概要（ケース 1）

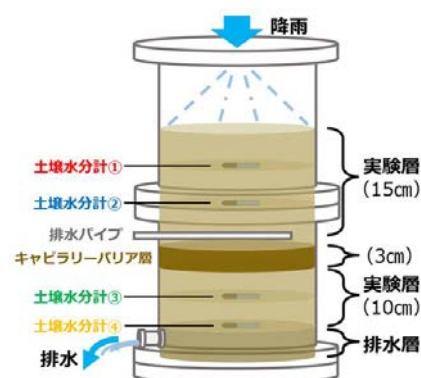


図-2 実験模型概要（ケース 2）

キーワード 排水パイプ、降雨、豪雨災害、盛土、キャピラリーバリア

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL : 03-5707-0104

3. 実験結果

飽和度の経時変化について、ケース1を図-3、ケース2を図-4に示す。ここで、飽和度 S_r は、土壌水分計で計測した体積含水率 θ と間隙比 e から算出している。ケース1では、初期飽和度が異なるが、土槽製作時に下から締め固めを行ったため、空隙率が低下し、下層の飽和度が高くなったものと推測される。

ケース1の1サイクル目では、水分計①～③すべてが飽和状態となった5回目の降雨後に排水パイプからの排水が確認された。4回目の降雨では、排水パイプ上部に設置されている水分計①②は飽和していたが、排水パイプ下部の水分計③は飽和していなかった。このことから、浸透過程での飽和だけでは排水パイプから排水しないものと考えられる。ケース1の2サイクル目では、4回目の降雨途中から排水パイプからの排水が確認された。3回目の降雨では、すべての水分計が飽和していたが、排水パイプからの排水はなかった。これは、飽和後には排水パイプと周辺地盤の間に一定の水頭差が必要であることがわかる。

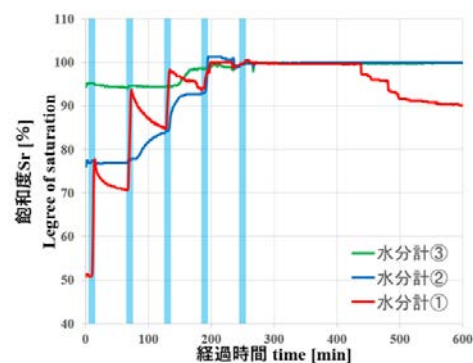
ケース2では、水分計②と③の間にキャピラリーバリア層を設けた。結果としてケース2では排水パイプからの排水は全期間で観測されなかった。ケース2の1サイクル目では、水分計①②では飽和度が大きく上昇したが、水分計③④ではほとんど変化しなかった。また、4回目の降雨以降、水分計②の飽和度が水分計①を上回るようになったことから、キャピラリーバリア層によって遮水されていることがわかる。水分計①②が飽和に達していないことが、排水パイプからの排水が観測されなかった理由と考えられる。ケース2の2サイクル目では、3回目の降雨後にキャピラリーバリア層下部に設置した水分計③の飽和度が急上昇しており、キャピラリーバリア層が破壊され始めたことがわかる。5回目の降雨後には、水分計①②の飽和度が急減し、キャピラリーバリア層が完全に破壊されたことが確認された。3回目の降雨で水分計②が飽和状態になり、水分計①も飽和に近づいたが、キャピラリーバリア層の破壊によりその後は飽和に至らなかった。排水パイプから排水するために必要な水頭差が得られる前にキャピラリーバリア層を突破してしまったことで、排水パイプからの排水は観測できなかったと考える。

4. まとめ

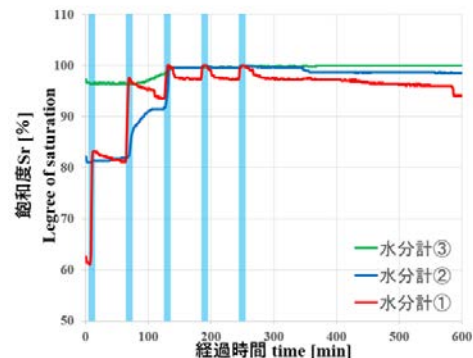
本実験の結果、浸透過程における飽和状態では排水パイプは機能しないこと、排水パイプからの排水を促すためには一定以上の水頭差が必要であることが明らかとなった。本研究では、キャピラリーバリアは排水パイプからの排水前に破壊されてしまったが、キャピラリーバリアの機能を利用して排水パイプ周辺で飽和帯と一定の水頭を形成することで、排水パイプの効率的な排水が可能となるものと思われる。

参考文献

- 1) 斎藤ら：有孔パイプによる新幹線盛土斜面の排水効果 鉄道技術研究報告 No.631 1968年8月
- 2) 友岡ら：遠心場降雨発生システムを用いた斜面崩壊挙動の把握とその対策工に関する遠心模型実験，土木学会論文集 C, Vo.78-1, pp.14-31, 2022. https://doi.org/10.2208/jscejge.78.1_14

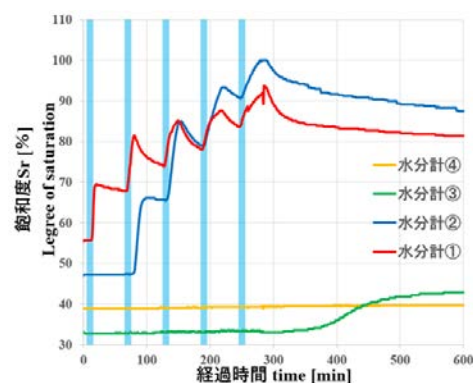


(a) 1 サイクル目 (1-1)

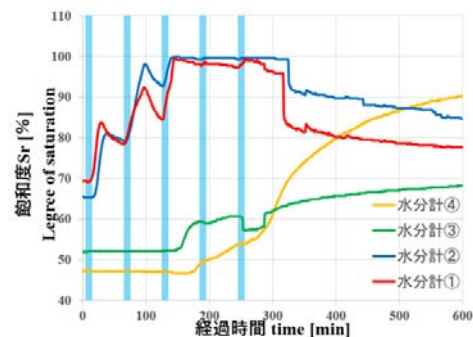


(b) 2 サイクル目 (1-2)

図-3 飽和度の経時変化 (ケース1)



(a) 1 サイクル目 (2-1)



(b) 2 サイクル目 (2-2)

図-4 飽和度の経時変化 (ケース2)