

降雨中断後の降雨再開を想定したカラム実験による地盤飽和度の経時変化

九州産業大学 学生会員 中村 祥伸

九州産業大学 正会員 林 泰弘

九州産業大学 正会員 松尾 雄治

1. はじめに

近年、気候変動により雨の降り方が変化している。斜面災害からの被害を減らすために、雨の降り方と斜面崩壊の危険度の関係を明らかにする必要がある。

北九州市では、降雨により基盤層を覆う表土層のまさ土が崩壊する表層崩壊の事例¹⁾が多い。著者らはまさ土を用いて完全排水条件でカラム通水実験²⁾で基盤層に水が到達するまでのカラム土層の飽和度変化を調べた。本研究では低排水条件で降雨中断後に降雨が再開した場合の飽和度分布の経時変化を調べた。

2. 実験方法

無限長斜面の基盤を覆う表土層における雨水浸透をモデル化したカラム通水実験を行った。図-1に土層10段と給水1段を重ねた例を示す。

表層から雨水が浸透する過程で均一な透水性の崩壊層だけでは地下水位ができる状態を想定できないため、透水係数の異なる崩壊層と不透水の基盤層からなる図-2のような斜面モデルを仮定して排水条件を設定した。①～③は雨水が透水性の高い崩壊層(k_{high} の層)に浸透し基盤層に到達するまでの状態であり、下部は完全排水条件で実験した²⁾。③～④は雨水が基盤層に到達し透水性のやや低い崩壊層(k_{low} の層)との間で地下水位ができる状態を仮定するために低排水条件で実験した。低排水条件は10段カラム(k_{high} の層)の下部にもう一段透水性のやや低い層(k_{low} の層)を設置して実施した。

試料は北九州のある崩壊地のまさ土と粒径加積曲線がほぼ同一である福津まさ土を用いた。透水性の高い供試体は、含水比を10%に調整した試料をカラムに乾燥密度 $1.50\text{g}/\text{cm}^3$ (飽和度35%)となるように1段ごと締め固めたものを10段積み重ねて作製した。この乾燥密度の透水係数を変水位透水試験で求めたところ $7.60 \times 10^{-6}(\text{m}/\text{s})$ であり、この値は北九州市の斜面崩壊地の透水係数に近い値となっている。透水性のやや低い供試体は透水性の高い層の透水係数の $1/10 \sim 1/20$ 程を目標に作製した。乾燥密度を $1.80\text{g}/\text{cm}^3$ に締固めることで透水係数は透水性の高い層の約 $1/18$ の $4.13 \times 10^{-7}(\text{m}/\text{s})$ であった。

実験は図-3に示す3過程で行った。給水過程はカラム下部が完全排水の場合に土層の飽和度がほぼ一定になるまで、低排水の場合はカラム上部に湛水が始まるまで $30\text{mm}/\text{h}$ で給水を継続した。降雨中断後短時間での降雨再開を想定した

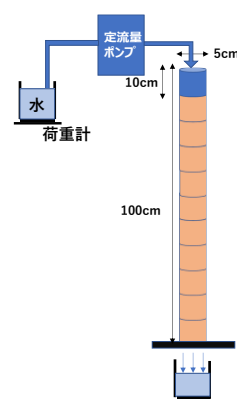


図-1 カラム通水装置の概要

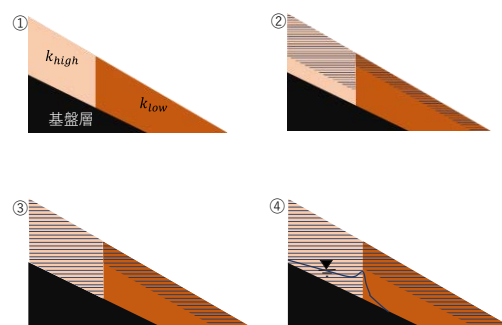


図-2 崩壊層の想定斜面モデル

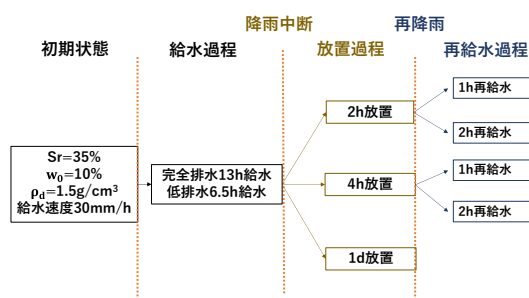


図-3 崩壊層の想定斜面モデル

キーワード: 表層崩壊 カラム実験 飽和度 地下水位

連絡先: 福岡市東区松香台 2-3-1 九州産業大学 建築都市工学部都市デザイン工学科, 092-673-5682

再給水過程では放置過程での実験結果²⁾をもとに、飽和度が下がる途中の放置2時間と飽和度が下がりほぼ一定になる放置4時間後からそれぞれ1時間、2時間継続して再び30mm/h 給水した。

実験中は給排水量を各荷重計で計測することでカラム内部の水の増減量を推測し平均飽和度を算出した。実験後はカラムを解体し1層ごとの含水比を測定することで、飽和度を算出した。

3. 降雨再開時を想定した再給水過程の飽和度変化

図-4、図-5に経過時間と平均飽和度の関係を示す。完全排水条件の場合は、どのケースも給水再開時点では $S_r \approx 60 \sim 65\%$ であったが、一旦放置して再給水すると $S_r \approx 70 \sim 75\%$ まで上昇した。低排水条件の場合は、給水再開時点で $S_r \approx 72 \sim 76\%$ であったが、一旦放置して再給水すると $S_r \approx 80\% \sim 85\%$ まで上昇した。いずれも再給水後に最初の給水停止直後の飽和度を上回る場合があるため、放置と再給水が繰り返されると飽和度の最大値がさらに高まっていく可能性が示唆された。また、再給水過程での飽和度の上昇速度はカラム下部の排水条件によらず初期浸透時の飽和度の上昇速度より早くなっている。これは、初期浸透過程で一度水が流れることで、土層内部に水を貯め込みやすくなった影響と推測する。排水条件で比較すると、低排水条件の方が高い飽和度で推移しているため、地下水位ができやすく斜面崩壊のリスクが高まることが示唆された。

再給水終了後の飽和度分布を図-6、図-7に示す。完全排水条件の場合は、放置時間によらず再給水時間が1時間のときは、カラム上層の飽和度が高く、再給水2時間の時は上下方向の差は減少した。つまり、上下方向に飽和度の差が生じるのは再給水開始から2時間程度で、それ以降は放置2時間後や放置4時間後と同様に飽和度の分布は上下方向の差がなくなった。低排水条件の場合は再給水開始時点でカラム上層の飽和度が $S_r \approx 60\%$ と低く、カラム下層の飽和度が $S_r \approx 80\%$ と高くなっている状態のところ、に、再給水することで、ばらつきはあるが次第に上層の飽和度も $S_r \approx 80$ に近い値まで上昇していくことが検証できた。

4. まとめ

再給水過程では給水過程よりも短時間で飽和度が上昇した。さらに再給水後の飽和度は給水停止直後の飽和度を超える値まで上昇することが予想された。したがって、雨がやんで数時間後に再び雨が降ると、飽和度が高い状態が保持されることになり、斜面災害の危険性が高い状態が継続すると予想された。

参考文献：1)玉田文吾・横矢直道・森与志信・北九州市編著：斜面崩壊と雨の降り方との関係―福岡県北九州市・長崎県などにおける考察，北九州市，2018.3. 2)中村祥伸・林泰弘・松尾雄治：カラム実験による降雨中断時および降雨再開時における地盤の飽和度変化，令和4年度土木学会西部支部研究発表会 pp.，2013.3

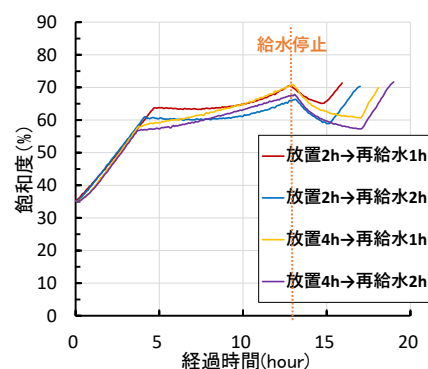


図-4 完全排水条件の給排水量から算出した平均飽和度の変化

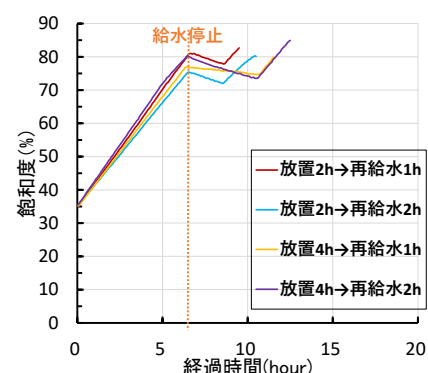


図-5 低排水条件の給排水量から算出した平均飽和度の変化

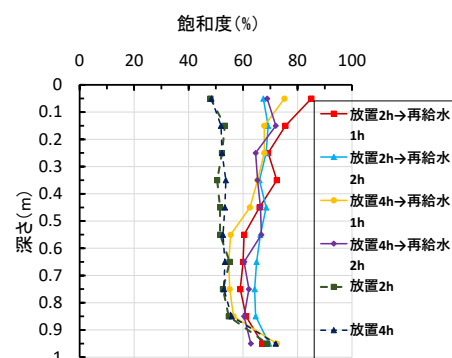


図-6 完全排水条件の再給水後の飽和度分布

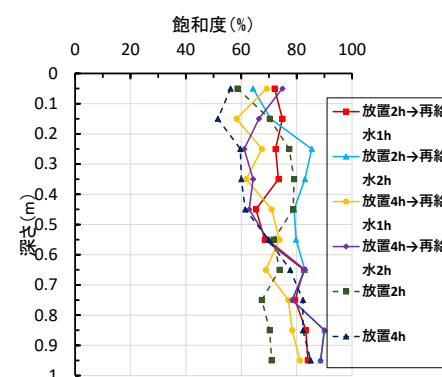


図-7 低排水条件の再給水後の飽和度分布