

降雨による地盤の飽和度変化を検討するためのカラム通水実験

九州産業大学 学生会員 畠中卓司

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

豪雨によって表層 2~3m の層が崩壊し、それに起因する斜面崩壊が毎年のように発生している。表層崩壊には、崩積土層の表層地すべり、残積土層の表層崩壊、風化岩盤の表層崩落の 3 種類ある¹⁾。降雨時の表層すべり型崩壊の主な要因として、雨水浸透に伴う土塊自重の増加、土のせん断強度の低下、地下水位上昇による浸透力の増加が挙げられる。避難警報の精度向上のためには、降雨強度に加え、地盤内の浸透や変形特性を把握し、反映させることが重要である²⁾。本研究では降雨による水の地盤内への水の浸透を把握するために、上部から給水したカラム実験によって土層内の飽和度の変化を調べた。

2. 実験方法

試料は沖縄県恩納村で採取した国頭マージを使用した。国頭マージは、沖縄県本島中北部に広く分布している赤色~黄色を呈する酸性の粘性土で粗粒質から細粒質までである³⁾。本研究で用いた試料⁴⁾は表-1 に示すように粘土分の比率が高い。

図-1 にカラム実験装置の概要を示す。各カラムは内径 5cm、高さ 10cm のアクリル製である。試料を自然含水比で緩く締固めたところ、乾燥密度 0.972g/cm³、締固め度 57.2%、飽和度 29.0%となった。この乾燥密度となるように 1 段ごとに試料を締固め、3 段重ねて土層を作製した。その上に空のカラムを取り付け、表-2 に示した給水速度に相当する水を 10 分ごとに分けて給水した。

給水時間を定めるための予備試験として、土層の下部を排水可能な状態にしたまま上部から給水を行い、カラム下部から排水し始めるまでの時間(t₁)と、給水量と排水量が一致する時間(t₂)を求めた。その後の本実験は下部を非排水にして、上部から給水した。給水時間は表-2 に示すように、給水速度に対して①~④の 4 ケースを実施した。①は t₁ の半分の時間(t₃)、②は t₁、③は t₂ の半分の時間、④は t₂ である。給水終了後に 10 分放置したカラムを分割し、各カラム内の試料を 3 層に分けて含水比を測定し、土の飽和度を算出した。

3. カラム内試料の飽和度分布

図-2 はケース A の給水面からの深さと試料の飽和度分布を示しており、赤線は初期飽和度を示している。A①では深さ 20~30cm の飽和度が初期値のまま変化しておらず、この部分には水が浸透していないことが確認できる。深さ 11.7cm の飽和度が突出して高くなっているのは、部分的に締固まり具合が異なり透水性に違いがあった影響と考えている。A①→A②で 10cm 以深、特に 20cm 以深の飽和度が上昇している。A②→A③→A④では全体的に飽和度が上昇するが、深いほど飽和度が上昇している。

A①→A②→A③→A④では時間間隔が異なるため単位時間(1h)あたりの飽和度の差を飽和度増加速度(%/h)として求め、給水面からの深さととの関係を図-3 に示す。深さ 21.7cm までは、A①→A

表-1 試料の特性

試料名	国頭マージ
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)	2.777
自然含水比w _n (%)	19.4
礫分(%)	13.9
砂分(%)	20.0
シルト分(%)	25.0
粘土分(%)	41.0
均等係数U _c	88
曲率係数U _{c'}	0.88
液性限界w _L (%)	51.4
塑性限界w _p (%)	31.1
塑性指数I _p	20.0
地盤材料の分類名	礫まじり砂質シルト
分類記号	MH-G

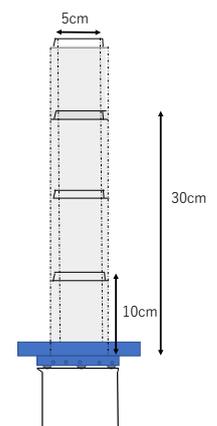


図-1 カラム実験装置概要

表-2 実験条件

実験ケース	A	B
給水速度	時間(10mm/h)	時間(20mm/h)
給水時間	① 3時間(t ₃)	1時間30分(t ₃)
	② 6時間(t ₁)	3時間(t ₁)
	③ 6時間30分(t ₄)	3時間20分(t ₄)
	④ 7時間(t ₂)	3時間40分(t ₂)

②、A②→A③、A③→A④という順に飽和度増加速度が大きくなっている。それ以深ではA②→A③の飽和速度は急上昇している一方で、A③→A④の飽和速度は低下している。土層底面からの排水がなく、飽和度が高くなることで底面付近では残留空気が水の侵入に対して抵抗していると考えられる。

図-4は、ケース B のカラム内試料の飽和度分布を示している。B①で深さ 10cm 以浅の飽和度は約 60%でほぼ横ばいであるが、それ以深で飽和度が減少し、深さ 18.3cm 以深は初期状態のままである。B②では深さ 0~28.3cm の範囲で飽和度がほぼ一定 (約 60%) である。B③では深くなるにしたがって緩やかに飽和度が増加しているが、B④では全体的に飽和度が均等(67%~71%)となっている。

図-5に給水面からの深さと飽和度増加速度の関係を示す。B①→B②では深さ 11.7cm までは飽和度の変化が小さいが、それ以深は飽和度増加速度が大きくなり、18.3cm 以深では飽和度増加速度は下がっている。B②→B③では深くなるほど飽和度増加速度は大きくなっている。B③→B④の飽和度増加速度は表層部分が最も大きく、深さ 18.3cm までは深くなるにつれて飽和度増加速度が小さくなっているが、深さ 18.3cm~25cm では逆に大きくなっている。

給水時間①、②におけるケース A とケース B の総給水量は等しく、③、④は、ケース B の方が若干大きい程度である。図-2、図-4 のケース A とケース B の飽和度の分布を比較すると、①~④のいずれもケース A はケース B より深さ 20cm 以深の飽和度が大きい。給水量が同じでも水が浸透している時間は A の方が長いため重力によって水が下方に移動しているためであると思われる。

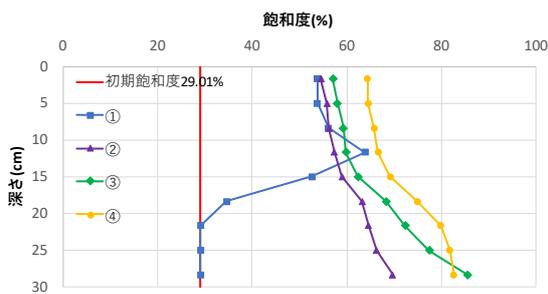


図-2 ケース A の飽和度分布

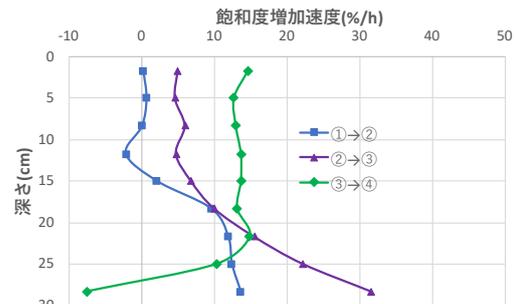


図-3 ケース A の飽和度増加速度

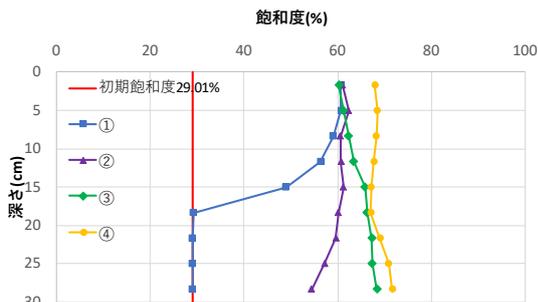


図-4 ケース B の飽和度分布

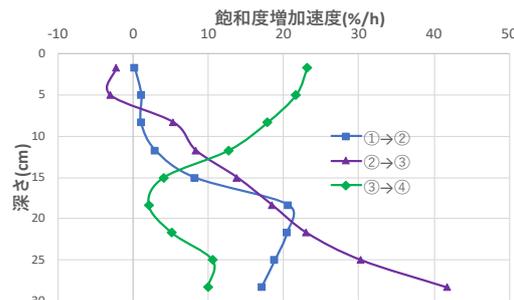


図-5 ケース B の飽和度増加速度

4. まとめ

カラムに充填した土の上部から給水することで土層の飽和度の分布を経時的に観察した。総給水量が同等でも給水速度の変化によって飽和度の分布が変わることが分かった。今後は、飽和度の分布の傾向をより詳しく調べるため①と②の間と、給水を④で止めて 12 時間放置した場合の飽和度の分布を求めたい。

参考文献：1) 玉田文吾ら：斜面崩壊と雨の降り方との関係性-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)降雨量、不飽和浸透挙動、変位量の観測結果に基づく降雨時表層すべり型崩壊過程の検証 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejge/68/3/68_508/_pdf 2019.12 閲覧 3)誰もが住んでみたい村に <http://www.ogb.go.jp/o/nousui/nns/c1/page3-3.htm> 2019.12 閲覧 4)林泰弘ら：土質安定処理を施した国頭マージの締め固め特性および再流出抑制効果の検討、第 12 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp.495-500,2017.9.