

土層構造の変化が豪雨時の地下水帯形成過程に及ぼす影響 -火山地域を例として-

信州大学農学部(現 大日本コンサルタント株式会社) ○藤井 直也
信州大学学術研究院農学系 平松 晋也・福山 泰治郎

1. はじめに

2013年10月に発生した台風26号の影響で、伊豆大島(東京都大島町)では15日から16日未明にかけて豪雨が 발생し、大金沢流域を中心に大規模な表層崩壊と土石流が発生し、死者36名、行方不明者3名という甚大な被害が発生した。

本研究では、大金沢流域で発生した大規模な面的崩壊の発生メカニズムを解明する上の一助とすることを目的として、現地斜面において採取した大型不攪乱試料を用いた室内鉛直浸透実験と数値計算モデルを用いた再現計算を実施した。

2. 室内鉛直浸透実験と実験結果の再現

大金沢流域本川北側の崩壊地周辺の17cm~77cm深度で大型不攪乱試料($\phi=21.03\text{cm}$, $l=60\text{cm}$)を採取し、室内鉛直浸透実験を実施した。散水強度としては、25mm/hr, 50mm/hr, 75mm/hr, 100mm/hrの4パターンを設定した。計測項目は、供試体下端部からの地下水流出量と供試体内部に形成される地下水深

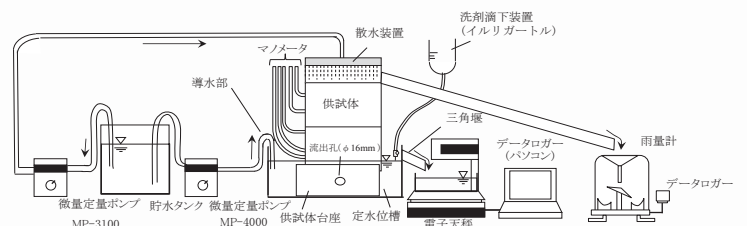


図1 鉛直浸透実験装置概要

(マンメータ設置深度: 5cm, 20cm, 35cm, 50cm, 55cm) および供試体上端部に発生する表面流出量の3項目である。さらに、有限要素法による鉛直一次元飽和不飽和浸透流解析を実施することにより、室内浸透実験結果の再現を試みた。

3. 結果

3.1 室内鉛直浸透実験

各散水ケースにおける地下水流出高の経時変化を図2と表面流出高の経時変化を図3にそれぞれ示す。50mm/hrを上回る高散水強度時には、透水性の低さと土層構造の不連続性から、供試体上端部に表面流が発生した。このため、50mm/hrを上回る散水強度を与えた場合の定常状態時の地下水流出高は、散水強度如何に関わらず、50mm/hr前後を示す結果となった。50mm/hrを上回る散水強度時において供試体上端部から計測される表面流高は、与えた散水強度から定常状態時の地下水流出高を引いた値と概ね同値を示し、散水強度の増加とともに表面流出発生開始時間は短縮される結果となった。

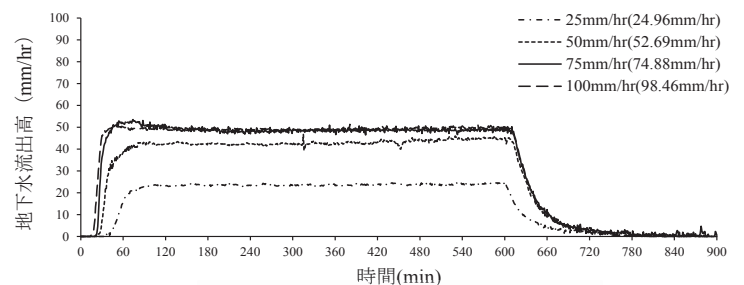


図2 地下水流出高の経時変化

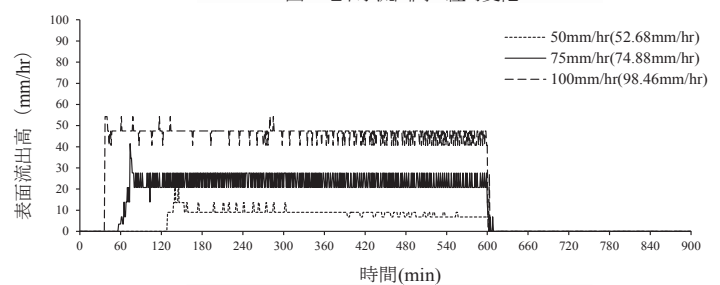


図3 表面流出高の経時変化

地下水流出開始時間は散水強度の増加とともに短縮され、散水強度25mm/hrと100mm/hrとを比較すると25分程度の差が生じていることがわかる。また、供試体内部に形成される地下水深は、マンメータ設置深度5cmの応答が顕著であり、地下水流出高と同様に散水強度の増加とともに、地下水形成開始時間の短縮と地下水深の上昇速度が速くなる結果となった。散水強度と地下水形成開始時間および表面流出開始時間との関係を取りまとめた図4より、散水強度を100mm/hrとした場合、散水開始から16分後に形成された地下水深(5cm深度部)が、その10分後には供試体上端にまで達し、表面流が発生する結果となった。また、散水

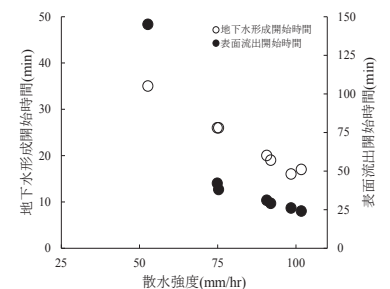


図4 散水強度と地下水形成開始時間および表面流出開始時間との関係

強度 50mm/hr と 100mm/hr では、表面流発生に要する時間に 120 分程度の差が生じた事実より、降雨（散水）強度に加え、透水性の低さや土層構造の不連続性が雨水の浸透過程に及ぼす影響の大きさがうかがえる。

3.2 実験結果の再現

25mm/hr, 50mm/hr, 75mm/hr, 100mm/hr の 4 パターン の定常降雨を入力条件として鉛直一次元飽和-不飽和浸透流解析を実施した。解析のために必要となる飽和透水係数 (ks) や van-Genuchten 式中の係数 α, n については、崩壊地源頭部で採取した不攪乱試料による土壌物理試験結果を基に設定した。解析上の初期条件としては、土層内の水移動はない（全水頭： $\Phi=0\text{cmH}_2\text{O}$ ）ものと設定した。実験結果と再現計算結果とを比較（図-5）すると、地下水流出高と表面流出高の挙動に大差が認められたため、逆解析を実施することにより係数を再設定した（表-1）。実験結果と再現結果および係数調整後の再現結果との比較を示した図-5 より、地下水流出高と表面流出高の挙動の再現性が van-Genuchten 式の係数調整によって格段に向上していることがわかる。

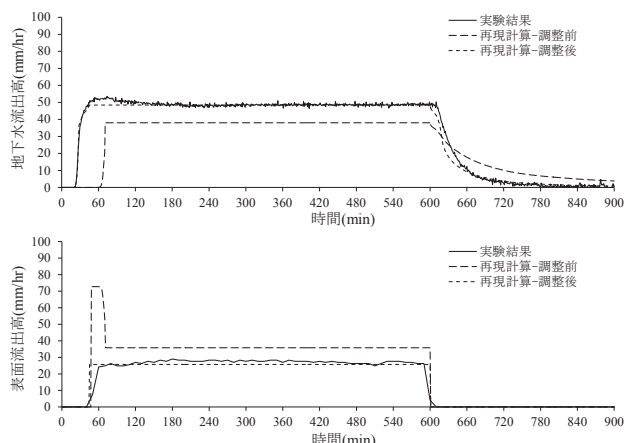


図5 地下水流出高と表面流出高の再現計算と実測との比較

表-1 逆解析による係数調整の結果

土層区分	深度 (cm)	α (1/cm)	n	飽和透水係数 (cm/sec)
②	22~37	0.054811 → 0.01	2.090 → 7	1.32×10^{-3} → 2.90×10^{-3}
③	37~52	0.056040 → 0.01	2.292 → 7	1.34×10^{-3} → 2.90×10^{-3}

4. 地下水帯形成深度の特定

室内鉛直浸透実験と飽和-不飽和浸透流解析から地下水帯を形成する境界面の特定を試みた。散水強度 50mm/hr を超える高降雨時に形成されることになる地下水帯は、鉛直浸透実験では深度 5~20cm の区間

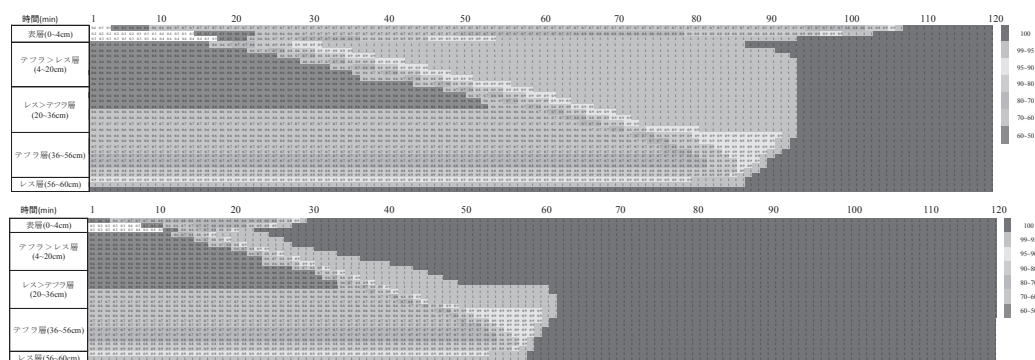


図6 散水強度 50mm/hr (上) と散水強度 100mm/hr (下) の地下水帯の経時変化

内で発生する事実が示された。これに対し、散水強度 50mm/hr と散水強度 100mm/hr を一例として、飽和-不飽和浸透流解析における地下水帯の経時変化を示す図-6 より、散水強度 50mm/hr を与えた場合地下水帯は深度 4cm においてわずかながら形成が確認され、この深度区間は透水性の不連続面である表層とテフラ>レス層の境界面に位置していることから、テフラ>レス層によって雨水の降下浸透が抑制され地下水帯を形成する事実が明らかとなった。また、散水強度 100mm/hr のような高降雨強度時の中間層に形成される地下水帯は、短時間で形成・拡大し、やがては下層からの地下水帯と一体化し、急激な上昇をするという注目すべき事実が確認された。

以上の結果より、散水強度の増加とともに土壌内部での雨水の浸透速度は早くなり、散水強度は土層内部での雨水の浸透に大きな影響を及ぼしている事実が確認された。本研究で対象とした火山性土壌では、短時間に高強度の雨が連続して与えられた場合に、斜面土層内部に位置するすべり面（難透水層）にまで浸透（到達）する雨水と斜面土層の中間層に貯留される雨水が存在する事実が示された。この興味深い結果（互層構造を呈する土層内での地下水帯の形成過程）は、2013 年 10 月 16 日に発生した面的大規模崩壊の発生原因を示唆するものである。

4. おわりに

室内鉛直浸透実験を実施することにより、火山灰の互層構造を呈する火山地域での雨水の浸透過程の特徴を把握することができた。今後は、本研究で得られた成果を用いて、現地斜面を想定した 2 次元飽和-不飽和浸透流解析を実施し、面的大規模崩壊を引き起こした要因の特定や火山地域を対象とした崩壊発生予測モデルの構築へと研究を展開していく予定である。