

模型実験による西井川地すべり地における流動地下水の動態機構の解明

大成建設(株) 正会員 ◦幅下 大地
富山県立大学 非会員 古谷 元
ミャンマー国鉱山局 非会員 Thanda Win
京都大学 非会員 王 功輝
元京都大学 非会員 末峯 章

1. はじめに

これまで筆者らは、徳島県西井川地すべり地において、地すべり滑動に關与する流動地下水脈の解明を目的に、長期連続地温観測を主とした様々な調査を実施してきた。その中で豪雨時に急激に生じる地温変化について、古谷ら(2022)は、従前から涵養された深部の地下水が速やかに上昇したことによるものと指摘した。そしてこの地下水の上昇は、地下水の押し出し現象が關与していることを推定した。以上の背景のもと、本報告では、地下水押出現象を想定した室内模型実験を通じて、試験地における地下水動態機構を解明することを目的とする。

2. 室内模型実験の概要

図 1 には斜面を想定した実験模式図を示す。内径 10 cm、高さ 100 cm の 2 つの円筒管に水頭差 100 cm を設け、両円筒管下端の出水口を濃度 15% のメトロース溶液を充填させたホースでつなぎ合わせ、地すべり斜面における流動地下水脈を再現した。両円筒管底部は砂利を 10 cm 充填した後、蒸留水で飽和させ、その上から試料を円筒管の上端まで、10 cm 毎に締固めた。両円筒管内部には、基底部から高さ 70 cm の箇所に埋設型水圧計、50 cm の高さにデジタル気圧計、基底部に間隙水圧計を設置した。両円筒管上部より 200 cm 上から散水ノズルを用いて降雨強度 100 mm/h で散水した。実験は、表 1 に示す実験条件のもと、各々の条件における間隙水圧の挙動について推察した。

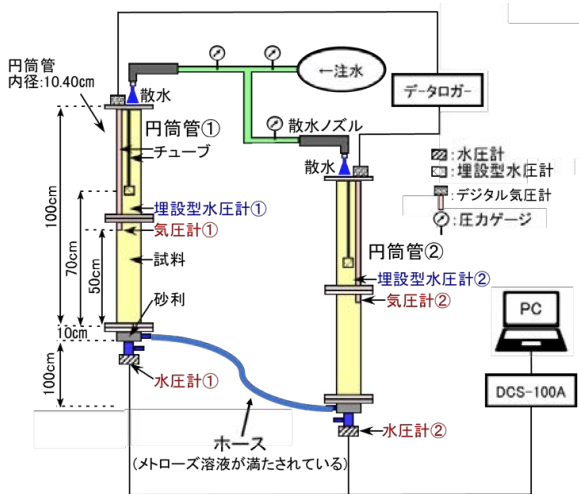


図 1. 実験模式図

表 1. 実験条件

試料	降水強度 (mm/h)	締固め (回)	初期含水比 (%)	間隙比	透水係数 (m/s)
6号	100	1	10	1.30	3.2×10^{-4}
7号	100	1	5	1.21	6.4×10^{-5}
	100	1	10	1.22	5.5×10^{-5}
	100	1	15	1.24	5.1×10^{-5}
	100	1	20	1.21	4.9×10^{-5}
	100	0	10	1.49	7.4×10^{-5}
	100	3	10	1.14	4.5×10^{-5}
8号	100	1	10	1.18	2.2×10^{-5}

試料の粒径による間隙水圧の挙動を比較するために、珪砂 6 号、7 号および 8 号を用いた結果を比較する。試料は締固め 1 回、含水比 10% で行った。図 2 には珪砂 7 号を用いた実験結果を示す。図 2a) は斜面上部をモデル化した円筒管①、b) は斜面下部をモデル化した円筒管②の経時変化を示している。降雨後、ぬれ前線が基底部から高さ 80 cm の位置に到達した約 790 秒時に、両円筒管で間隙空気圧と間隙水圧の上昇が発生した。そして円筒管①では基底部からぬれ前線が 60 cm に到達した 3193 秒に、間隙空気圧、埋設水圧、間隙水圧で急激な上昇が発生し、それに付随して円筒管②でも約 9 秒後に間隙水圧の上昇が認められた。ぬれ前線から基底部水面間の土層は不飽和であるにも拘わらず水圧の急激な上昇が認められている。この挙動は湿潤面が、間隙空気を下方に封入する一種のふたのような役割を果たすことによって、間隙空気が下方に圧縮し、ホース内のメトロース液が押し出されたためと考えられる。珪砂 8 号では、間隙空気圧の押し出しによる水圧上昇が珪砂 7 号と比較して早く発生した。珪砂 6 号では、粒形が大きいため、ぬれ前線が基底部位到達するまでに間隙空気による押し出しは認められなかった。湿潤面が間隙空気を封入する要因の一つとして粒径の大きさが影響していると考えられる。

キーワード 間隙水圧、間隙空気圧、流動地下水脈、西井川地すべり、室内模型実験

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 大成建設株式会社 土木設計部 TEL 090-4933-5606

土層の間隙比と間隙空氣の発生関係について、珪砂 7 号、初期含水比 10%のもと、締固め回数を 0、1、3 回と分けて試験を行った。なお、締固め 0 回の条件では、間隙空氣圧は発生しなかった。実験より間隙比が小さいほど、間隙空氣圧が上昇する結果となった。これは、間隙比が小さいほど土粒子間に吸着水が生じやすく、この吸着水が間隙空氣の移動に影響を与えていると考えられる。

土層の初期含水比と間隙空氣の発生関係について、珪砂 7 号、締固め回数 1 回のもと、初期含水比を 5、10、15、および 20%に設定し結果について比較を行った。初期含水比が高くなるほど、降雨浸透の際に生じる間隙空氣圧が大きくなる結果となった。これは、降雨浸透の際に、初期含水比が大きいほど、湿润面が飽和に近い状態で降下するため、上方に空氣が抜けにくくなると考えられる。一方、初期含水比が低いと湿润面は、より不飽和の状態で浸透するため上方に空氣が抜け、間隙空氣圧の上昇が低くなる。この結果より試験地においては、豪雨以前の事前降雨による土中の含水状態が、急激な間隙水圧の上昇に関与していると考えられる。

4. 推定される試験地の地下水挙動

西井川地すべり地の土塊は、崩積土で礫分、砂分の他に粘性土を含んでいる。さらに、現地で採取した試料は、含水比 $w=25.3\%$ 、間隙比 $e=0.75$ であった。散水試験の結果より含水比の高さ、間隙比の低さが豪雨時の間隙空氣圧の発生に関与していることが明らかになったことより、試験地でも室内実験と同様に、土塊内の空氣を封入する一種のふたのような湿润面が形成されることが推察される。

図 3 は本研究より推定した地すべり地の地下水動態の概念を模式化したものである。降雨浸透によって湿润面が形成され、この面が降下する（過程①）。湿润面が降下することで土塊内の間隙空氣が封入される（過程②）。土塊内で封入された間隙空氣が深部の地下水を押し出し（過程③）、深部を流れる水みち内の流量の増大と水みちの拡大が生じる。押し出された地下水が亀裂や割れ目に流入することで、浅層部に水が上昇する（過程④）。以上の一連の過程が西井川地すべり地での豪雨時の地下水動態であると考えられる。

換言すると西井川地すべり地で観測されてきた豪雨時の異常な地温挙動は、降雨浸透によって土塊内部の空氣が封入されることで押し出された地下水が、斜面下部土塊内に存在する割れ目などを通じて表層部付近まで流入することで発生すると考えられる。

5. まとめ

材料粒径、間隙比および初期含水比が間隙水圧を上昇させる要因である間隙空氣圧の上昇に寄与することが室内実験において明らかになった。ただし、降雨量 100mm/h は実現象では強い降雨となるため、降雨量を変更させた実験条件の実施、また現地での間隙空氣圧の計測について検討する必要がある。

参考文献

古谷ほか(2022):連続地温観測に基づいた地すべり土塊内の地下水挙動、第 57 回地盤工学研究発表会、20-12-3-02、2p

謝辞

本報告は、京都大学防災研一般共同研究 2021G-08、および JSPS 科研費 JP19H022238 の援助を受けた。

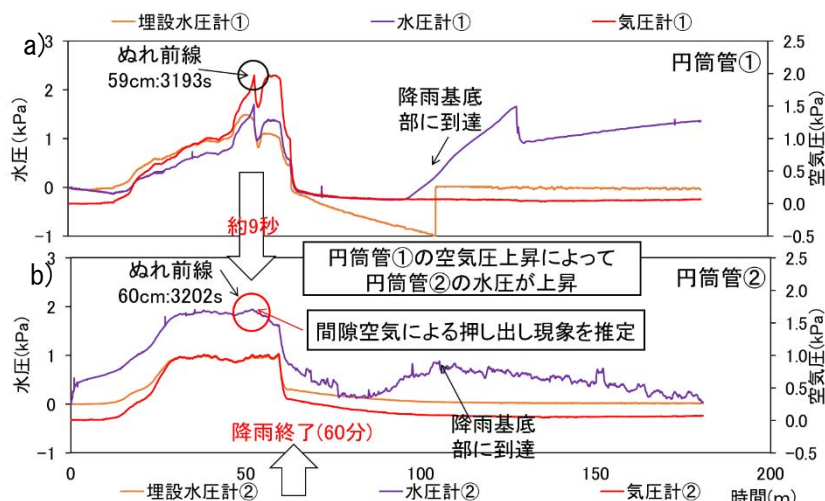


図 2. 実験結果

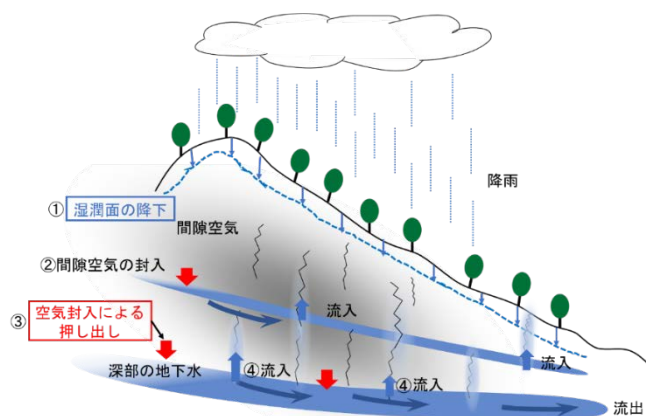


図 3. 地下水挙動の概念図