

地下水の押し出し流に関するモデル実験 Model Experiments on Piston Flow of Groundwater

○古谷元・幅下大地・Thanda WIN・王功輝・末峯章

○Gen FURUYA, Daich HABASHITA, Thanda Win, Gonghui WANG, Akira SUEMINE

We have been continuing long-term ground temperature monitoring at the Nisi-ikawa landslide. The monitoring results suggest that the groundwater flow in the landslide mass may be caused not only by the normal rainfall-infiltration process but also by the piston-flow-like process. In this report, artificial rainfall experiments were carried out on cylindrical tubes filled with silica sand to investigate the process of piston flow. The results of our experiments show that the behavior of pore water pressure in the cylindrical pipe is related to the existence of pore air pressure sealed by the wetting front. Furthermore, this air pressure was affected by grain size, void ratio, and initial water content.

1. はじめに

これまで筆者らは、西井川地すべり地にて長期連続地温観測を中心とした流動地下水の動態の解明に関する調査を展開してきた。この調査結果より豪雨時の地下水は、豪雨時に速やかに土塊内を浸透して形成されるだけでなく、むしろ主としてすでに涵養されたものも上昇することを指摘した（例えば古谷ほか（2022））。この原因として筆者らは、仮説として地すべり土塊の孔内水位の上昇機構に、地下水の押し出しの可能性を考えてきた。

本報では、この可能性について珪砂と円筒容器を用いた簡単な室内降雨実験により検討をした結果について述べる。

2. 実験概要

図1に実験装置の模式図を示す。この装置において地すべり土塊は、内径10 cm、高さ100 cmの2つの塩ビ製円筒管に水頭差100 cmを設け、双方をホースで連結したモデルとした。このホースは、地すべり土塊内の地下水脈を想定したものである。水脈の長さを疑似的に表す目的として、ホース中に濃度15%のメトロース溶液を満たした。両円筒管では、底部に砂利を10 cm充填した後に蒸留水で飽和させ、その上から円筒管の上端まで珪砂を10 cm毎に締固めた。試料（供試体）内では、基底部分から高さ70 cmの箇所埋設型間隙水圧計、50 cmの箇所にデジタル気圧計、円筒管基底部分に間隙水圧計を設置した。両円筒管の上部200 cmに散水ノズルを設置し、降雨強度100 mm/hで散水した。

実験条件は、試料の粒径、初期含水比および締固め回数を変更し（表1）、間隙水圧と間隙空気圧の挙動を計測した。

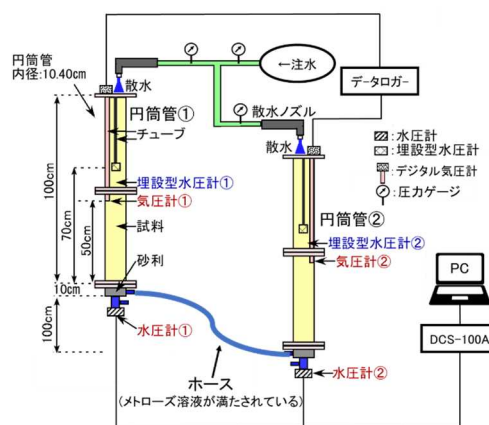


図1 試験装置模式図

表1 実験条件

試料	降水強度 (mm/h)	締固め回数	初期含水比 (%)	初期間隙比	相対密度 (%)	透水係数 (m/s)
6号	100	1	10	1.30	22.0	3.2×10^{-4}
7号	100	1	5	1.21	26.1	6.4×10^{-5}
	100	1	10	1.22	24.4	5.5×10^{-5}
	100	1	15	1.24	20.6	5.1×10^{-5}
	100	1	20	1.21	26.1	4.9×10^{-5}
	100	0	10	1.35	0.5	7.4×10^{-5}
8号	100	3	10	1.14	38.0	4.5×10^{-5}
	100	1	10	1.18	25.1	2.2×10^{-5}

3. 実験結果と考察

3.1 粒径を変えた条件における検討

この検討では、表1中の締固め回数1回、含水比10%のもとで珪砂6号、7号、および8号の結果を用いた。例として珪砂7号の結果の一部を図2に示す。図中a)は上側（図中左）の円筒管①、b)は下側（同右）の円筒管②の経時変化である。

珪砂 7号では、降雨開始から約 790 秒後に両円筒管で空気圧と間隙水圧の上昇が認められた。この時ぬれ前線は、両円筒管の基底部から 80 cm の高さであった。その後円筒管①では、降雨開始から 3193 秒後に空気圧①、埋設水圧計①、および水圧計①でピークになった(赤丸)。円筒管②では、円筒管①で急上昇が生じた 9 秒後に水圧計②でピークになった(青丸)。この時のぬれ前線は、両円筒管の基底部から約 60 cm であり、底部水面からぬれ前線の間が飽和していないのにも拘わらず水圧が上昇した。この上昇は、湿潤面の降下が供試体内の間隙空気を上部への流出を妨げて、ホース内のメトロース溶液を押し出したためと考えられる。

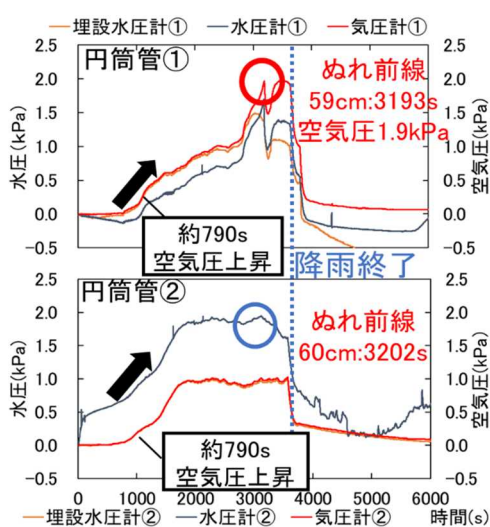


図2 降雨試験結果例

(珪砂 7号, 含水比 10%, 締固め回数 1回)

珪砂 8号でも同様の結果であったが、水圧上昇は珪砂 7号に比べて高く、かつ変動が激しかった。一方、珪砂 6号では、ぬれ前線が底部に達する時間が早く、かつこの時点で水圧上昇が発生した。これは、主として粒径の大きさに起因して間隙空気が上部へ抜けたためと考えられる。

3. 2 間隙比を変えた条件における検討

この検討では、初期含水比 10%の珪砂 7号に対して締固め回数を変えた結果を用い、間隙比と間隙空気圧のピーク値で整理した。なお、締固め回数 0 回の場合では、間隙空気圧の上昇は生じなかった。整理した結果を図 3 に示す。この図より、間隙比が小さいほど降雨中に発生する間隙空気圧は大きい。これは、間隙比が小さい時は、ぬれ前線が蓋のような役割で間隙空気を封入し、逆に間

隙比が大きい時は、空気が上部から抜けるとともに、ぬれ前線が均一に降下せず、効果的な空気の封入が生じないためと推察される。

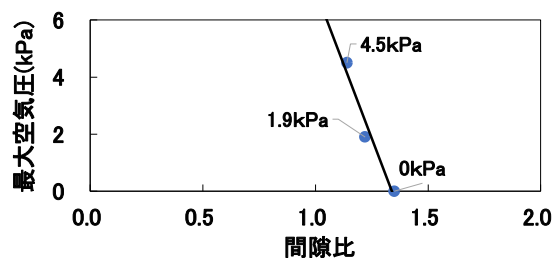


図3 間隙比と最大空気圧の関係

3. 3 初期含水比を変えた条件における検討

この検討では、珪砂 7号で締固め回数 1 回の条件下で初期含水比を変えた結果を用い、初期含水比と最大空気圧の関係について整理した。この関係を図 4 に示す。図より、供試体の初期含水比が高いほど降雨浸透時に生じる間隙空気圧が大きい、つまり供試体内の間隙空気が外部へ抜けにくいことを意味する。これは、実斜面において豪雨前の含水状態も間隙水圧の移動に影響を与えることを示唆する。

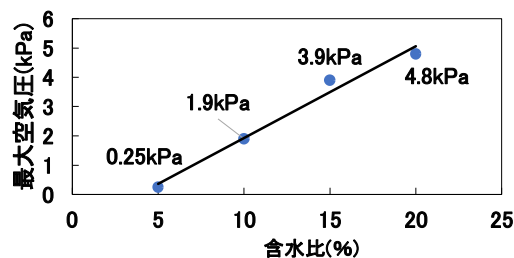


図4 初期含水比と最大空気圧の関係

4 まとめ

本実験を通じて、間隙空気を介した地下水の押し出しの存在が分かった。この押し出しにぬれ前線の存在、材料粒径、間隙比、および初期含水比が関連していた。課題として現地での間隙空気圧の挙動の実測に関する検討が残っている。

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、京大防災研一般共同研究 2021G-08, JSPS 科研費 JP19H022238 の援助を受けた。