

積雪環境下の土中水分挙動および斜面崩壊過程の把握を目的とした散水模型実験

鉄道総研 正 ○高柳剛, 正 内藤直人, 非 佐藤亮太, 正 馬目凌
正 樺健典, 正 佐々木智之, 正 進藤義勝, 正 布川修

1. 目的

これまでに筆者らは、積雪地域における融雪や季節外れの降雨を誘因として発生する斜面崩壊の危険性を判断する手法を提案している。同手法では、気象データを用いて融雪量を推定し、融雪量と降雨量の合計を入力値とするタンクモデルの指標を用いて土中水分挙動を評価し、指標が一定の値を超過した場合に斜面崩壊の危険性が高いと判断する¹⁾。現在、同評価手法は積雪の影響を考慮していないものの、積雪は斜面上に密度・透水性・強度特性・変形特性が土と異なる新たな表層が形成される現象であり、斜面の透水現象・応力条件・安定性に一定の影響を及ぼす可能性がある。同手法による災害補足精度の向上のためには、積雪環境における斜面崩壊のメカニズムを十分に検証して、必要に応じて積雪の影響を考慮することが重要と考える。

今回は積雪環境の盛土に降雨が作用する状態を模擬した模型散水実験を実施し、同実験より得られた土中水分挙動、間隙水圧挙動および斜面変位の計測結果について、積雪条件と非積雪条件で比較した結果を報告する。

2. 実験方法

図1に模型実験の概要を示す。地盤材料には稲城砂(表1)を用いて、高さ1m、斜面勾配1:1.2の盛土を締固め度 D_r 85%程度に相当する乾燥密度を目標に締固めて構築した。同地盤の強度特性は三軸圧縮試験より内部摩擦角 $\phi=35^\circ$ 、粘着力 $c=6kPa$ が得られている。積雪については、採取した雪を1cm網目のふるいを通して空中落下で地盤上に構築した後に、所定の積雪深 $H_i=0.25m$ に整形した。実験条件の相違は積雪の有無(表2)であり、各実験ケースの盛土には室内環境下(4~10°C)で27mm/h相当の散水(4°C程度)を連続で与えた。なおCase1-2はCase1-1の実験後に、同地盤を再利用したケースである。また雪を供試体とした簡易透水試験(0°の恒温室で実施)により、Case1-2の雪の飽和透水係数は $k=1.19 \times 10^{-3}m/sec$ が得られている。Case1-2の雪の性状は粒径が2~5mm程度のざらめ雪であり、Case2-1ではざらめ雪に粒径1mm以下のしまり雪が混入する状態であった。土中水分挙動を把握する目的で、地盤底面にはマンメータ、地盤中に誘電率土壌水分センサー(METER社, 5TE)を図1に示す位置に設置した。さらに、積雪の有無による地盤・積雪境界の間隙水圧挙動の変化の把握を目的に間隙水圧計((株)SSK, P310A-05)を飽和カップに入れた状態で配置した。さらに積雪内の透水現象および湿潤密度の変化を把握する目的で、積雪内に上記土壌水分センサーを埋設している。なお誘電率と雪の体積含水率 θ との関係は事前の試験により求めた。斜面変形については定点撮影による土槽側面写真から、底面から高さ0.1mの位置の斜面の水平変位量 δH を求めた(図2)。

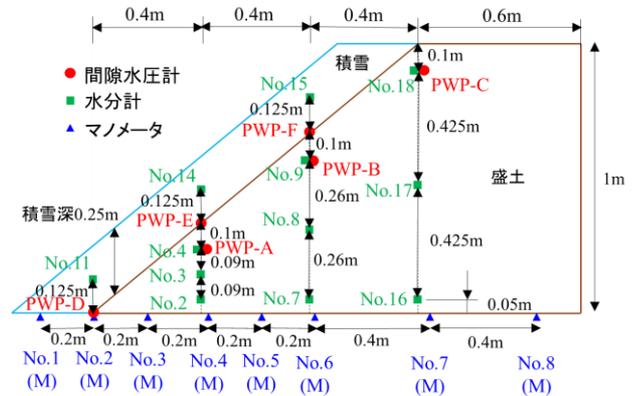


図1 模型実験概要図(断面)

表1 稲城砂の物理特性

土粒子密度	平均粒径	細粒分含有率	最大乾燥密度	最適含水比
$\rho_s (g/cm^3)$	$D_{50} (mm)$	$F_c (%)$	$\rho_{dmax} (g/cm^3)$	$w_{opt} (%)$
2.72	0.17	14.90	1.68	14.6

表2 実験ケースまとめ

実験ケース	積雪深 H_i (m)	雪密度 ρ_i (g/cm^3)	地盤含水比 W (%)	地盤乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	地盤飽和透水係数 k (m/sec)
Case1-1	0	—	14.9	1.41	5.7×10^{-5}
Case1-2	0.25	0.51	—	—	—
Case2-1	0.25	0.39	16.4	1.43	3.9×10^{-5}

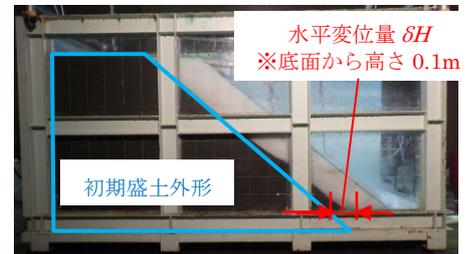


図2 実験後の盛土側面 (Case1-2)

キーワード 融雪, 積雪, 模型実験, 間隙水圧, 斜面安定

連絡先 〒185-0034 東京都分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL 042-573-7263

3. 実験結果

各実験ケースのマノメータ、水分計、間隙水圧の計測結果の一部を図3に示す。図4にマノメータ水頭 H_w (No. 6) と斜面水平変位量 δH の関係を整理して示す。Case1-1 では散水開始から 342min でのり先の小崩壊が確認されたため散水を停止した。Case2-1 ではマノメータ水頭 No. 8(M) が Case1-1 の最大値となるまで散水を継続し、346min で散水を停止した。Case1-2 ではマノメータ水頭が定常状態となるまで散水を継続した。Case1-2 は Case1-1 より高い地下水位条件であったが、積雪のせん断強度が飽和地盤より相対的に高く、変形を生じたものの斜面崩壊には至らなかった。次にマノメータ水頭を Case1-1 と Case2-1 で比較すると、水位上昇過程で積雪条件による大きな差異は確認されなかったが、Case2-1 ではのり先側の水頭 No. 4 (M) の減衰が遅れが見られた。水分計に着目すると、No. 9 など積雪直下の地表部では散水停止後も高い含水状態が保持される状況が確認された。マノメータ水頭の減衰の遅れや地表の高含水状態の保持については、散水停止後の融雪の影響も考えられる。なお本実験では降雨による積雪内の体積含水率の上昇も確認されており、例えばのり肩に積雪が残存する条件では積雪密度の増加は斜面安定性に不利に影響すると想定される。次に斜面表層の間隙水圧計に着目すると、Case2-1 の PWP-D によれば斜面のり尻の積雪内において水位が形成されて水圧が上昇した可能性も示唆される。また各間隙水圧計は表層のゆるみによる過剰間隙水圧や降雨に伴う間隙空気圧の上昇を計測した可能性もある。今後、積雪が斜面の安定性に与える影響についてさらに分析する予定である。

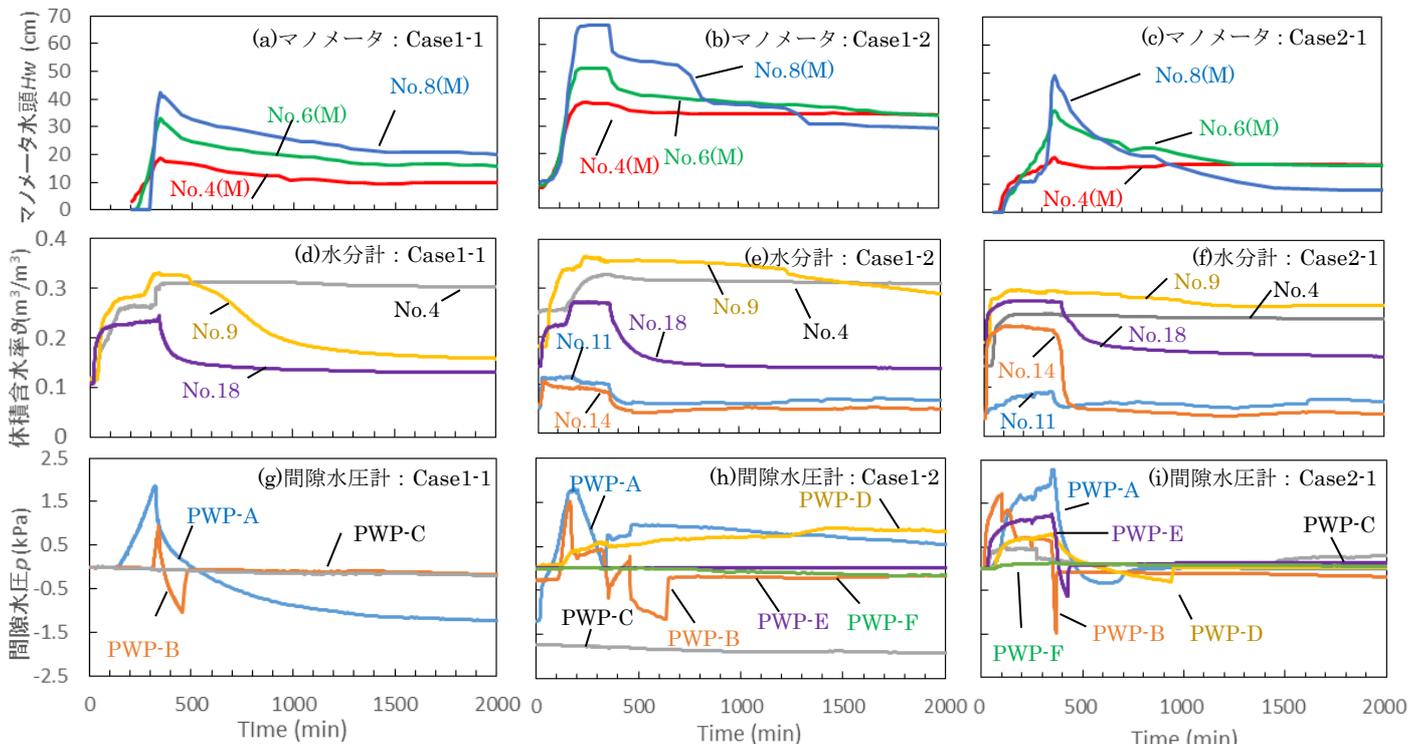


図3 各実験ケースの計測結果 (上段：マノメータ、中段：水分計、下段：間隙水圧計)

4. 結論

散水模型実験の結果、積雪は斜面を高含水状態に保持する効果を発揮する一方、場合によっては斜面変形を抑制する効果が発揮される事が確認された。また積雪の有無により地表周辺における間隙水圧挙動に差異が確認された。今後、本実験条件における融雪量の分析、積雪と地盤を同一のモデルで取り扱う飽和・不飽和浸透流解析および斜面安定解析などにより、本実験の再現解析や積雪が斜面安定性に与える影響に関する解析的な追加検証などを実施する予定である。

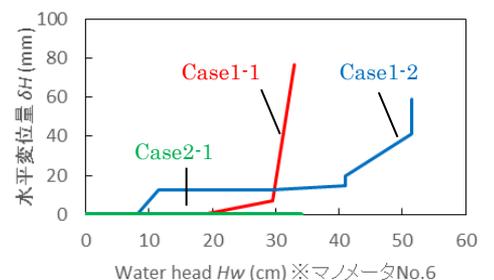


図4 マノメータ水頭 H_w (No. 6) とのり先水平変位量 δH の関係

参考文献

- 1) 高柳剛, 湯浅友輝, 樺健典: 融雪期の斜面災害に対する管理手法, 鉄道総研報告, Vol. 31, No. 5, 2017