

砂質土盛土の土中水分挙動に及ぼす積雪条件の影響に関する二次元浸透流解析

鉄道総合技術研究所 正○内藤直人 正 高柳剛 非 佐藤亮太  
 鉄道総合技術研究所 正 湯浅友輝 正 馬目凌 正 布川修

1. はじめに

積雪環境において降雨や融雪に伴う斜面崩壊の危険度を予測するため、著者らは気象データから算出した融雪量を考慮したタンクモデルによる評価手法を提案している<sup>1)</sup>。これは斜面地盤の含水状態に着目した手法であるが、その適用範囲を明確にするには積雪の浸透特性が地盤に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、積雪環境の砂質土盛土に降雨を作用させる模型実験<sup>2)</sup>の飽和・不飽和浸透流解析を実施し、実験結果と比較した上で、降雨浸透過程における盛土の土中水分挙動に及ぼす積雪条件の影響を調べた。

2. 実験・解析概要

2.1 実験概要

実験概要を以下に示すが、詳細は文献 2)を参照されたい。模型実験では砂質土盛土上に積雪がない場合とある場合の2ケースを実施した。地盤材料には稲城砂を用いて、図1に示す高さ1m、斜面勾配 1 : 1.2 の盛土を含水比  $w=15\%$ 程度で締固め度  $D_c=85\%$ 程度に相当する乾燥密度  $\rho_d=1.42g/cm^3$ となるよう構築した。積雪は採取した雪を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、積雪深25cmに整形した。雪質はざらめ雪に粒径1mm以下のしまり雪が混入する状態で、積雪の単位体積質量は  $0.5g/cm^3$ 程度であった。また、盛土底面にはマンメータを設置した。

実験室温度が4~10°Cの環境で、水温を4°C程度に管理した27mm/hの降雨を連続で与えた。積雪なしのケースでは降雨開始から342minでのり先の小崩壊が確認されたため降雨を停止した。積雪ありのケースでは図1に示す  $X=208.8cm$  に設置したマンメータ水頭が積雪なしのケースの最大値となるまで降雨を続した。

2.2 解析概要

解析では図1に示すように降雨および表面融雪水の流入境界を設定した。表面融雪量<sup>3)</sup>は実験時の長波放射量、顕熱輸送量、潜熱輸送量、降雨による熱量を基に算出した。風速はわずかな対流があるとみなし、一律0.5m/sで与えた。図2は融雪量を示している。気温と風速は小さいが、27mm/hという強い雨による熱量の供給によって、降雨時の融雪量は6~7mm程度と比較的大きい条件であった。

解析は表1に示す全4ケース実施した。積雪なしのケースと積雪模型のケースは模型実験の再現解析であり、異なる積雪条件の影響として融雪期に多いざらめ雪と積雪期に多いしまり雪をモデル化して検討した。水分特性曲線のモデルには van Genuchten モデル、比透水係数のモデルは

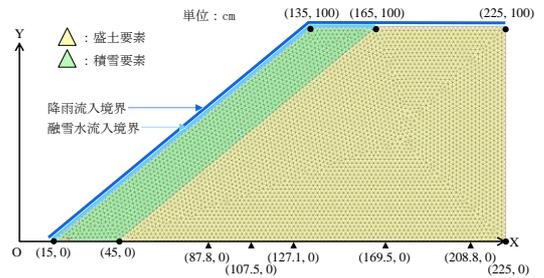


図1 解析概要

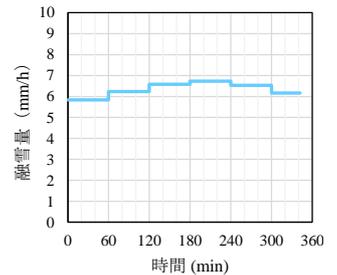


図2 融雪量

表1 解析パラメータ

ケース名	VGモデル		飽和透水係数(m/s)		境界条件
	盛土	積雪	盛土	積雪	
積雪なし	loamy sand	—	$4.83 \times 10^{-5}$	—	降雨
積雪模型	loamy sand	積雪模型	$4.83 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3}$	降雨+融雪
ざらめ雪	loamy sand	ざらめ雪	$4.83 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-3}$	降雨
しまり雪	loamy sand	しまり雪	$4.83 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-4}$	降雨

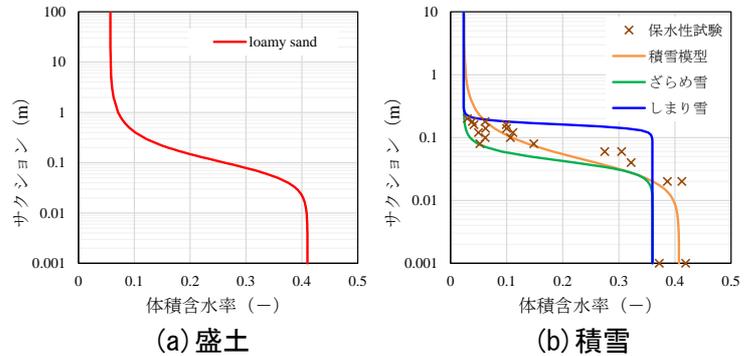


図3 水分特性曲線

Mualen モデルを用いた。表 1 と図 3 には解析に用いた VG モデルと飽和透水係数を示している。盛土模型の VG モデルは Carsel and Parrish<sup>4)</sup>が推定したパラメータのうち、飽和透水係数が最も近い土質区分 loamy sand のパラメータを採用し、積雪模型の VG モデルは保水性試験結果を基に作成した。また、ざらめ雪としまり雪の VG モデルと飽和透水係数は山口ら<sup>5)</sup>の文献を参考に設定した。盛土模型と積雪模型の飽和透水係数は透水試験結果を用いた。

解析では初期条件として  $-0.158\text{m}$  の圧力水頭を与え、初期飽和度を  $S_r=46\%$  とした状態から、図 2 に示す融雪水および  $27\text{mm/h}$  の降雨を作用させた。なお、実験の初期飽和度は  $S_r=46\%$  (含水比  $w=15\%$  相当) である。

### 3. 解析結果および考察

#### 3. 1 模型実験の再現解析

図 4 は盛土底面の圧力水頭の実験と解析を比較している。積雪なしのケースは  $t=270, 340\text{min}$  の結果、積雪ありのケースは  $t=200, 340\text{min}$  の結果を示している。

いずれのケースにおいても、まず始めにのり尻の圧力水頭が先行して上昇し、降雨終了時の  $t=340\text{min}$  では盛土天端部を最高圧力水頭としてのり尻に向かって小さくなる傾向があり、解析結果は実験結果を概ね再現している。

#### 3. 2 積雪条件が異なる土中水分挙動

ここでは、積雪なし、ざらめ雪、しまり雪のケースにおいて  $27\text{mm/h}$  の降雨を盛土底面圧力水頭が概ね定常状態となる  $1200$  分間作用させた解析結果を比較する。図 5 は  $t=200, 1200\text{min}$  における盛土底面圧力水頭を示している。

ざらめ雪のケースでは、積雪なしのケースに比べて盛土底面の圧力水頭が小さくなる。この理由として、保水性が小さく透水係数が大きいざらめ雪のケースでは、降雨および表面融雪水が盛土に浸透する速度よりもり尻部の積雪層内を地表流として流下する速度の方が大きいことが考えられる。

一方で、しまり雪のケースでは、積雪なしのケースに比べてのり尻の盛土底面の圧力水頭が大きくなる。この理由として、保水性が大きく透水係数が小さいしまり雪のケースでは、降雨および表面融雪水がのり尻部の積雪層内を流下する速度が小さく、ざらめ雪に比べて盛土への浸透が促進され、積雪層内にも圧力水頭を保持できるため、のり尻の圧力水頭が積雪なしのケースよりも大きくなることが考えられる。

### 4. まとめ

二次元浸透流解析を用いて降雨浸透過程における砂質土の土中水分挙動に及ぼす積雪条件の影響を調べた結果、積雪期に多いしまり雪の方が融雪期に多いざらめ雪に比べて積雪下地盤への浸透が促進されることがわかった。積雪下地盤条件によってもこれら結果は左右される可能性が考えられるため、今後は異なる地盤条件および積雪が層構造を有する条件についても検討する予定である。

**参考文献** 1)高柳ら：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。2)高柳ら：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，土木学会第73回年次学術講演会，2018（投稿中）。3)佐藤ら：積雪底面流出量推定モデルの融雪期斜面への適用，鉄道総研報告，Vol.31，No.5，2017。4)Carsel et al：Developing Joint Probability Distribution of Soil Water Retention Characteristics，Water Resour. Res.，Vol.24，pp.755-769，1988。5)山口ら：積雪内部の水分移動に関する実験的研究，日本水文学会誌，Vol.42，No.3，pp.89-99，2012。

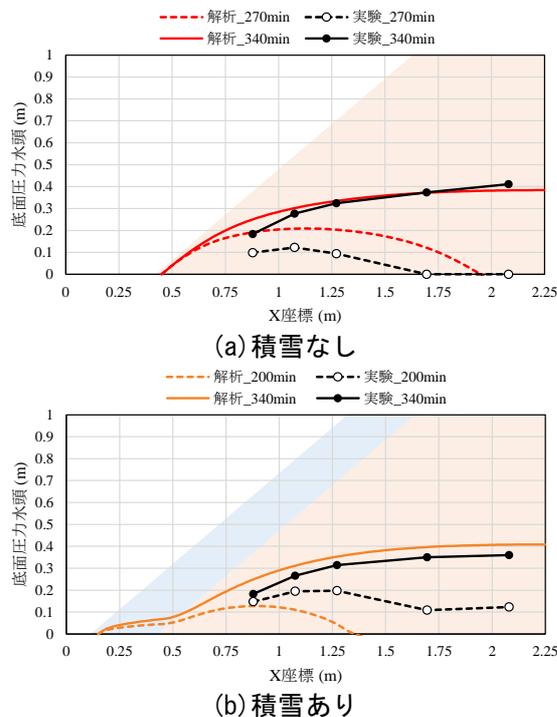


図 4 盛土底面圧力水頭の実験と解析の比較

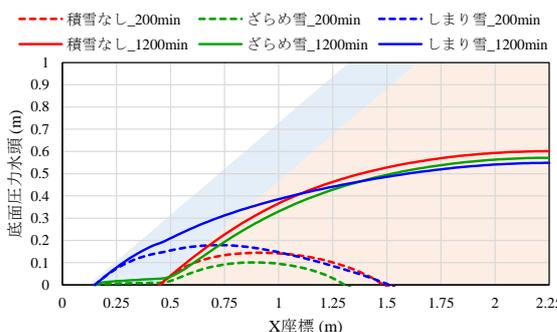


図 5 異なる積雪条件下における盛土底面圧力水頭（解析結果）