

雪氷混じり土砂の流動特性に関する研究

前橋工科大学 学生会員 ○神喰 航平
 前橋工科大学 正会員 森 友宏

1. 研究背景と目的

2021年3月に、新潟県糸魚川市来海沢地区において横幅120mの大規模な融雪地すべりが発災した。地すべりした土砂は残雪を巻き込みながら約10時間かけて約1kmの緩速長距離流動をした。雪泥流・融雪地すべりに関する先行研究で、地盤工学の視点からアプローチしたものが少ないため、新たな視点から現象を考察する。本研究では、雪氷が含まれる土砂の動的な安息角、静的な安息角、せん断特性を明らかにする。これらより土砂の流動性の推定を行い、結果を現行の土砂災害ハザードマップ等に適用して、地域の安全対策に資することを目的とする。

2. 研究の流れ・試験方法

1) 現地土の基礎物性試験

試料には災害発生地の土（以降、現地土と表記）を用いる。土粒子密度試験・粒度試験・液性塑性限界試験・締固め試験・一面せん断試験の結果を表1に示す。

2) 安息角の測定

回転式のドラム（図1）に試料を入れ、試料表面の動的安息角、静的安息角を測定した。動的安息角はドラムを回転させ続けた時に試料が水平面と成す角、静的安息角はドラムを非常にゆっくり回転させて試料が初めて崩れた時に試料が水平面と成す角と定義する。試験の結果、動的・静的安息角は一致した。試験は珪砂や現地土を用いて実験を行い、含水比を5%ずつ増やしながらか安息角を測定した（図2）。本試験では一種類の試料での安息角の特性を把握し、粗粒分や雪氷を混ぜた際の考察の基盤にした。

3) 碎石と現地土を混ぜたときの動的安息角

ある含水比の現地土に粒径1.9~3.5mmの碎石を混合し、質量比を変えながら動的安息角の変化を観察した。試料中の碎石割合を増やしていく場合と、現地土割合を増やしていく場合のそれぞれ2パターンで試験を行った（図3）。現地土自体の初期含水比は

表1 現地土の基礎物性

土粒子密度 (g/cm ³)	分類名	分類記号	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	粘着力 (kN/m ²)	抵抗角 (°)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
2.687	シルト	ML	48.1	21.5	31.4	29.2	1.620	17.0



図1 安息角測定ドラム

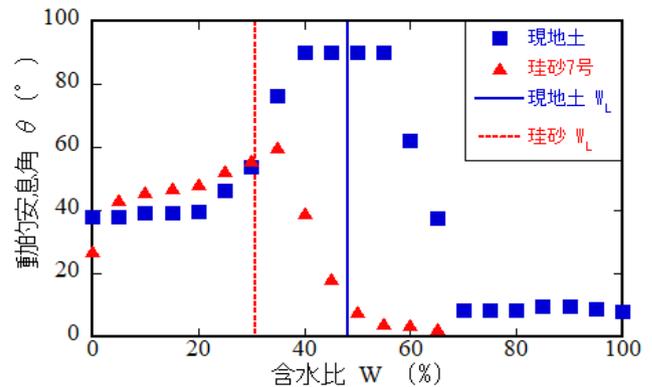


図2 含水比に応じた動的安息角の変化

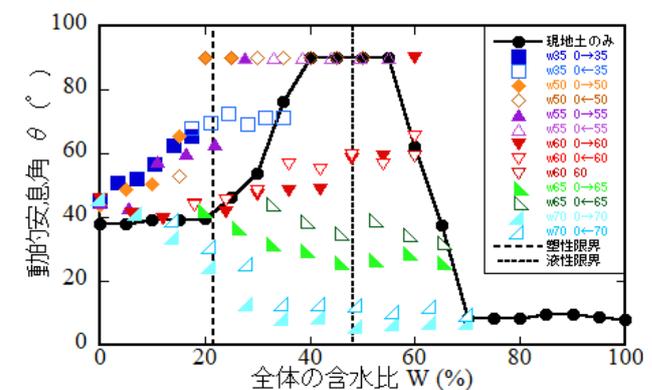


図3 碎石と現地土を混ぜたときの動的安息角

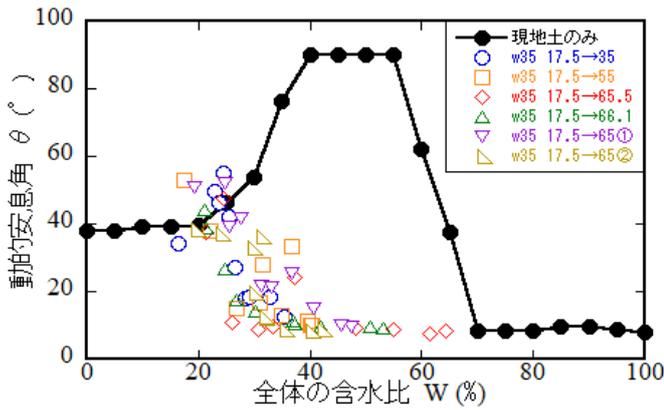


図4 融雪に伴う含水比と動的安息角の変化



図5 雪氷混じり土砂のスランプ試験

〈現地土のみ〉のプロットの変曲点の前後である、35、50、55、60、65、70%で試験を行った。

4) 融雪に伴う含水比と動的安息角の変化

図3より、現地土の質量混合比が50%以上の場合には動的安息角が現地土の影響を強く受けていることがわかる。そこで碎石と現地土の質量比を5:5に固定し、そこに作成した雪を混ぜ入れた。混入した雪が全て溶け切った時に、全体の含水比が約70%（現地土単体の含水比は100%を超える）になる雪を混入した。現地土の含水比が35%（全体の含水比は17.5%）の状態から始め、混入した雪の融解によって変化する動的安息角がどのような軌跡を辿るかを観察した。

5) 雪氷混じり土砂のスランプ試験

前述の4)の試験と同様の条件の試料を筒状の容器に入れる。それをコンクリートの流動性を調べるスランプ試験の要領で垂直に引き抜き、供試体が融雪に伴いどのように広がるかを観察した。

3. 実験結果・考察

1) 現地土の基礎物性試験

表1に示すように、現地土は低液性限界のシルトで、水分を多く含んでいる時は田んぼの土のような状態で、乾燥させると泥岩のように硬くなる。

2) 安息角の測定

珪砂7号と現地土の含水比に応じた動的安息角を図2に示す。両方で液性限界（珪砂7号：30.8%，現地土：48.1%）を超えた後に動的安息角が小さくなり、10°を下回ると漸減する。また珪砂7号は粘着力が無いが、現地土はシルトであるため、塑性限界～液性限界の領域で強く団粒化する傾向が見られた。

3) 碎石と現地土を混ぜたときの動的安息角

試験結果を図3に示す。それぞれの含水比で異なる経路を通ったが、碎石割合を増やす場合と現地土の割合を増やす場合の両方で同じ軌道を描いた。現地土の質量割合が50%以上のときは、動的安息角が現地土の含水比に依存する傾向が見られ、動的安息角は横ばいであった。一方、現地土の割合が50%未満になると、碎石自体の動的安息角に近づいていった。これより、材料全体の含水比が小さくても、現地土の含水比が大きければ土砂の動的安息角が小さくなるため、長距離流動するリスクがあるといえる。

4) 融雪に伴う含水比と動的安息角の変化

図4に示すように、現地土が団粒化する領域を経由する（図2参照）にもかかわらず、試料の動的安息角は上昇せず（団粒化しない）、観測直後から、直線的に液体状態の動的安息角に近づいていく。これより雪が混ざった土砂は団粒化しないため、土砂のみと比較して長距離流動のリスクが高いといえる。

5) 雪氷混じり土砂のスランプ試験

図5に示すように初めは自立していた供試体が次第にぼろぼろと崩れて山型になった後に、雪の融解とともに安息角は低下していき、最終的な安息角は約10.7°となった。

4. まとめ

土の動的安息角は含水比が増えると上昇し、液性限界を超えると急低下する。その動的安息角は現地土（細粒分）の含水比の影響を大きく受け、全体の含水比が小さくても現地土（細粒分）の含水比が大きければ小さくなる。また、土砂が残雪を巻き込んだ時、含水比が上昇しても団粒化することはなく、雪氷がない場合と比べて動的安息角の低下が早い。

以上より、雪氷混じり土砂の基礎的な流動メカニズムが明らかとなった。今後も研究を進め、多雪地域における融雪期土砂災害防止の一助としたい。