

## 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は、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) 小型の安息角測定器を用いた計測

昨年度までの研究で安息角の測定に用いていた大型のドラムでは、災害発生現場での作業性に欠けるため、改良した小型の安息角測定器を作製する。大型と小型のドラム式安息角測定器で得られた糸魚川土と珪砂7号の数値と比較し、その整合性を確認する。

#### 2) 安息角の透水係数依存性

試料は珪砂3, 5, 7, 9号を用い、安息角測定試験、土の透水試験を行う。加えて、安息角測定中の試料の動きを観察し、その体積と粒度分布から液性領域での透水係数の推定値を概算する。試験で得られた値と、推定した運動中の透水係数を比較し、その関連性を検討する。透水係数は以下の式<sup>1)</sup>を用いて推定する。

$$\text{飽和透水係数 } K = \varepsilon \times \frac{2}{9} \times r_H^2 \times \frac{\rho g}{\nu} \quad (1)$$

$\varepsilon$  : 間隙率,  $r_H^2$  : 径深,  $\nu$  : 水の粘性係数

#### 3) 安息角の速度依存性

粒度分布、透水係数の異なる試料を4種類用い、ドラムの回転速度を変えながら安息角を計測する。

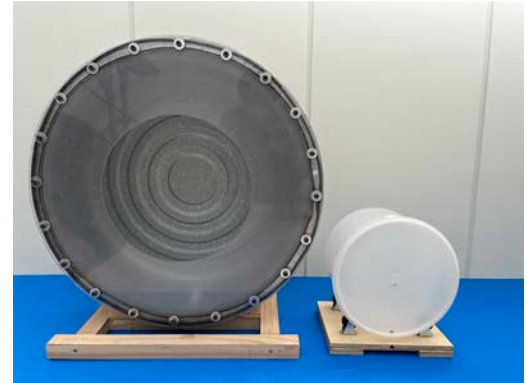


図1 安息角測定器 (左:大型, 右:小型)

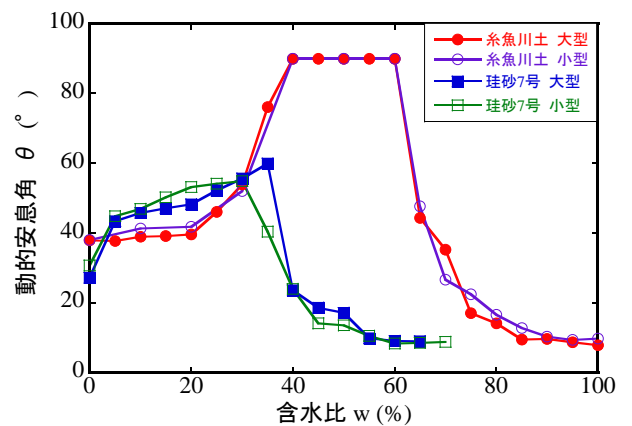


図2 小型安息角測定器の信頼性

表1 透水試験結果

試料	珪砂3号	珪砂5号	珪砂7号	珪砂9号
透水係数 $K_{15}$ (m/s)	$7.8 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$	$9.5 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$
推定透水係数 $K$ (m/s)	$4.3 \times 10^{-2}$	$3.7 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-4}$

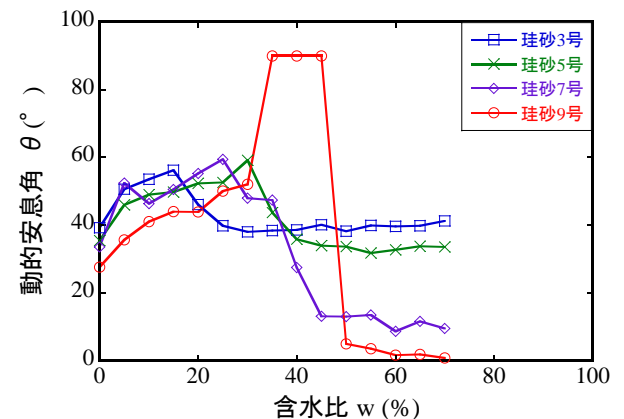


図3 動的安息角の透水係数依存性

キーワード 残雪, 液性限界, 安息角, 透水係数, 速度依存性

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460番地1 前橋工科大学 TEL: 027-265-7308 E-mail: mori@maebashi-it.ac.jp

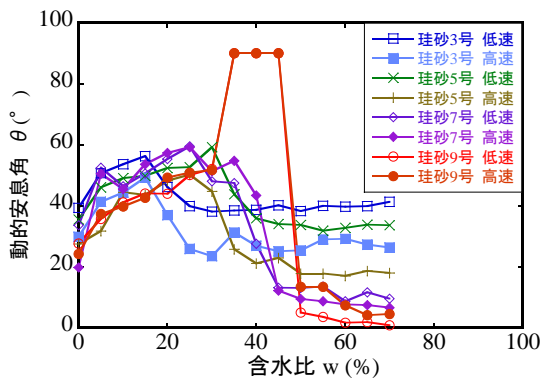


図4 動的安息角の速度依存性

回転速度は低速と高速の2パターンで、低速の場合は試料が運動し続ける最遅の速度で、高速の場合は低速の平均12倍の速度で回転させた。回転速度を土砂が地上を移動する速度に換算すると、平均して低速：2.984(m/min)、高速：34.169(m/min)であった。

### 3. 実験結果・考察

#### 1) 小型の安息角測定器を用いた計測

図1に旧型のドラム式安息角測定器と小型安息角測定器を示す。大型(旧型)の内径600mm深さ165mmに対し、小型は内径230mm深さ170mmと、体積約84.9%分の小型化をした。それぞれで試験した糸魚川土と珪砂7号の動的安息角の計測結果を図2に示す。糸魚川土はシルトに分類され粘着力を持つが、珪砂7号は砂で粘着力を持たない。結果は粘着力の有無にかかわらず、両方の試料で大型と近い数値が得られた。これより、今後の安息角測定試験では新型の小型安息角測定器を用いて計測することが可能である。

#### 2) 安息角の透水係数依存性

珪砂3, 5, 7, 9号の透水試験結果と、回転中の液性領域における推定透水係数(式1より)を表1、動的安息角測定試験結果を図3に示す。珪砂3号は粗砂分を多く含み、珪砂9号は細砂分を多く含むため、珪砂3, 5, 7号は定水位透水試験で、珪砂9号は変水位透水試験で行った。液性領域における推定透水係数は、安息角が下限値に収束した領域(液性状態)での運動より求めた。実際の試験で得られた透水係数と、推定した透水係数の傾向は同様となった。

結果は、透水係数が小さいほど安息角のピーク値を示す含水比が大きくなっていく傾向がみられ、珪砂9号では団粒化し、安息角を呈さない状態ができた。既往の研究より、含水比が液性限界を超えてさら

に上昇していくと、安息角が小さくなっていき、ある下限値に収束することが分かっている<sup>2)</sup>。今回の試験で珪砂3号, 5号の安息角の下限値は35°以上の高い水準だった。透水係数が大きい土は排水性が高く、水が直ちに土粒子と分離し、土の含水比が小さい状態で維持されるため、安息角が低下しない。

#### 3) 安息角の速度依存性

試験結果を図4に示す。同一試料で低速と高速のプロットが大きくずれていると、流下速度によって安息角が異なる、すなわち速度依存性があると言える。珪砂3号では全領域で、珪砂5号では安息角が最大値を過ぎた液性領域でのみ速度依存性がある。珪砂7号, 9号では、全領域で強い速度依存性がみられなかった。2)の考察で、排水が伴わないと含水比が高く安息角が低下しないと述べたが、速度依存性に関しても同様のことが言える。粒径の小さい試料では排水性が悪く、常に土粒子と水が一体となって動いているため速度の影響を受けづらい。速度依存性は、透水係数 $K_{15}$ が $10^{-4}$ (m/s)の位に境界があるようであり、それより大きいと速度依存性があり、小さいと速度依存性がない。

### 4. まとめ

土の動的安息角は、透水係数が大きいと安息角のピークが低い含水比で出現し、収束する安息角の下限値が大きくなる。一方、透水係数が小さい場合、動的安息角は速度に依存しないため、融雪地すべりの様な流下速度が遅いものでも、動的安息角の下限値が大きくなる。そのため、透水係数が小さい土砂はすぐには止まらずに、ゆっくりと流下をし続ける。

以上より、透水係数と流下速度の2つが動的安息角に影響を与える要素であると示すことができた。今後は土砂の粘性にも着目して研究を進め、多雪地帯における融雪期土砂災害防止の一助としたい。

### 参考文献

- 1) 宇野尚雄, 杉井俊夫, 神谷浩二: 比表面積測定に基づく土粒子物性と透気性・透水性の考察, 土木学会論文集 第469号, pp.25-34, 1993.
- 2) 神喰航平, 雪氷混じり土砂の流動特性に関する研究, 第49回土木学会関東支部技術研究発表会, Web/DVD-ROM III-48, Mar. 2022.