

【研究テーマ】

新潟県糸魚川市・上越市で発生する流動型地すべりの基岩・風化土層の地質・土質的特徴

【要旨】

2021 年 3 月に糸魚川市来海沢地区で発生した地すべりは、地すべり発生域の斜面長に対して地すべり崩土の流下距離が 3 倍以上に達する流動型地すべりであった。崩土の移動距離は、土砂量、斜面勾配、流路地形、集水条件などに支配されるが、基岩地質及びその風化層に特有の流動化特性も重要な要因と考えられる。糸魚川市や上越市では来海沢地区のみならず、特定の地層(根知層上部～名立層下部の砂質シルト岩)が分布する複数の地区において、発生域の斜面長より崩土の流下距離が長い流動性地すべりが発生している。本研究では、流動性地すべりが発生する地区において、野外調査(地形・地質・土質)及び室内実験(鉱物・化学分析、土質試験)を行い、基岩地質及びその風化層に共通する物質特性を解明することを目的とする。

【研究成果・まとめ】

方法

本調査地域において地すべり地内を中心に野外調査を実施した。現地において地すべり地内および周辺の地質露頭の観察、シルト岩の岩塊や崩積土(斜面堆積物)、流出土砂(泥流堆積物)等の試料を複数採取した。

地すべり内部の崩積土、基盤岩の液性限界(WL)、塑性限界(W_p)、および塑性指数(I_p)を求めるため、液性限界試験・塑性限界試験(地盤工学会基準 JGS0140-2009)を行った。粒度試験は地盤工学会基準 JGS0310-2009 に従った。透水試験は、現地で容積 100 ml のステンレス製円筒に不攪乱で採取した試料について、大起理化工業(株)製の土壤透水性測定器 4 点式 DIK-4012 を用いて変水位法で行った。各試料を 2.00 mm < 粒径 < 4.25 mm、含水比=50%に調整し、試料を封入した一辺 70 mm の角形ポリ容器をドラム回転式攪拌試験器に設置し、回転(29 rpm×60 分)させ、試験後の粒径を測定した。ベーンせん断試験は各試料を粒径 < 2.0 mm、含水比は液性限界の値に近い ω=50%に調整して実施した。十字型の羽根(15 mm×30 mm のベーン)を試料中で回転(20°/分)させ、回転抵抗力を測定し、せん断強度に換算した。リングせん断試験は、炉乾燥した試料を乳鉢で細かくし、粒径 < 2.0 mm に調整して使用した。試料を飽和させ、150 kPa の垂直応力で正規圧密した後、剪断試験を行った。まず、粘着力 c と内部摩擦角 Φ を求めるため、せん断箱を排水状態にし、0.05 mm/s のせん断速度で、異なる垂直応力下での残留強度を求めた。続いて、応力経路を求めるため、せん断箱を非排水にし、せん断応力を上昇させて、せん断実験を行った。泥流のレオロジーから、岸本(1973)の手順に従って泥流のせん断強度を見積もった。

結果と考察

現地調査・傾斜量図・X 線 CT 写真、スレーキング試験などから、本地すべりは再活動型の地すべりであり、粒子が破碎され岩片化されやすいと考察した。

液性限界試験の結果から地すべり地の風化シルト岩・泥流堆積物は比較的小さい含水比で液性限界に達することが明らかとなった。粒度試験・回転試験の結果、粒子破碎による細粒化が進行し、それに伴って保水性が増大すると推測した。透水試験結果からも、風化シルト岩と泥流堆積物で透水係数に2桁の較差が確認できている。リングせん断試験結果から、せん断による粒子破碎で生じた過剰間隙水圧はせん断強度を著しく低下させ、同時に粒子破碎による細粒化は透水係数の大幅な低下をもたらした。土と水の分離を妨げたと推測した。この保水性・難透水性によって、低いせん断強度が維持され、泥流と化した土砂が長距離を流動したと考えられる。

周辺の地すべりについて、来海沢地すべりと同様に液性限界試験を行ったところ、どのシルト岩も比較的低い含水比で液性限界に到達することが明らかとなった。回転試験を実施したところ、破碎の進行度合いには違いが見られた。これを移動係数 Tr ($Tr = \text{地すべりの移動距離} / \text{地すべりの斜面長}$) と比較すると移動係数が高い地すべりの試料ほど破碎しやすい傾向が示唆された。

まとめ

1. 本調査地域は地すべり多発地域であり、来海沢地すべり地すべりも古い地すべりの再活動であると推定され、シルト岩がすでに岩片化していたと推察する。
2. 地すべりの崩土は比較的小さい含水比で液性限界に達するため、流動化しやすい。さらに浸水や流動によって容易に細粒化するため、透水係数の低下によって土と水が分離せず、流動が継続したと推察される。
3. 上流から下流にかけての土砂の粒径分布から、流動にともなってさらに粒子が破碎し、細粒化が進行したと示唆される。
4. 非排水条件のリングせん断試験の応力経路から、粒子破碎による細粒化とそれに伴う過剰間隙水圧の増加及びせん断強度の低下が確認された。この結果から推定される泥流のせん断強度は、レオロジーから見積もられたせん断強度、ベーン試験によるせん断強度の結果とも矛盾しない。
5. 地すべり土塊を構成する風化シルト岩が細粒化しやすい特性を持つことに加え、地すべり運動に伴う粒子破碎と過剰間隙水圧の発生がせん断強度の著しい低下をもたらした。土砂の流動化を促進したと考えられる。
6. 周辺地すべりの地すべり土塊を構成する風化シルト岩も、液性限界や粒径分布など来海沢と同様の特徴を有している。さらに回転試験結果を移動係数と比較すると、移動係数が高い地すべりのシルト岩ほど細粒化しやすい傾向が示唆される。風化シルト岩が細粒化しやすい特性をもつことが流動化の主な要因の1つと考えられる。

【参考資料（論文・学会発表など）】

- 土木学会（2015）：土質試験の手引き（第三版），公益社団法人土木学会・丸善出版株式会社
地盤工学会（2020）：地盤材料試験の方法と解説（第一回改訂版），公益社団法人地盤工学会
木村 誇・桂 真也・丸山清輝・石田孝司（2016）：長距離移動した融雪地すべりの発生域・移送堆積域の地形特性，日本地すべり学会誌，53(2)，31-42。

白杵伸浩・田中義成・水山高久（2005）：移動距離の長い地すべりの実態，砂防学会誌，57(5)，47-52.

石田孝司・金澤瑛・丸山清輝，2017，流動化した地すべり移動土塊の土質について．第66回平成29年度砂防学会研究発表会概要集，430-431.

石田孝司・金澤瑛・丸山清輝・石川茂・平松晋也，2018，糸魚川市海川流域の2箇所が発生した地すべりの特徴と移動体の土質性状．第67回平成30年度砂防学会研究発表会概要集，513-514.

【参考図】

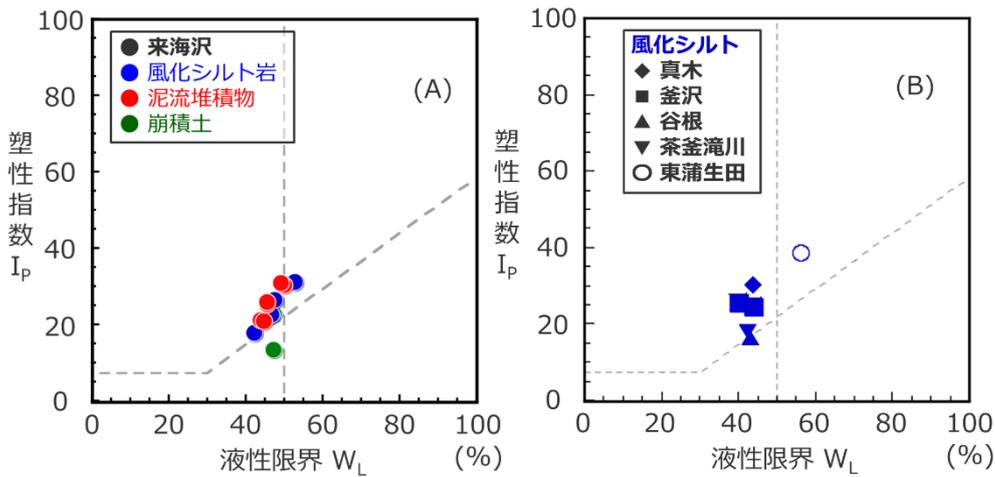


図 1. (A) 来海沢地すべり試料の塑性図 (B) 周辺地すべり試料の塑性図

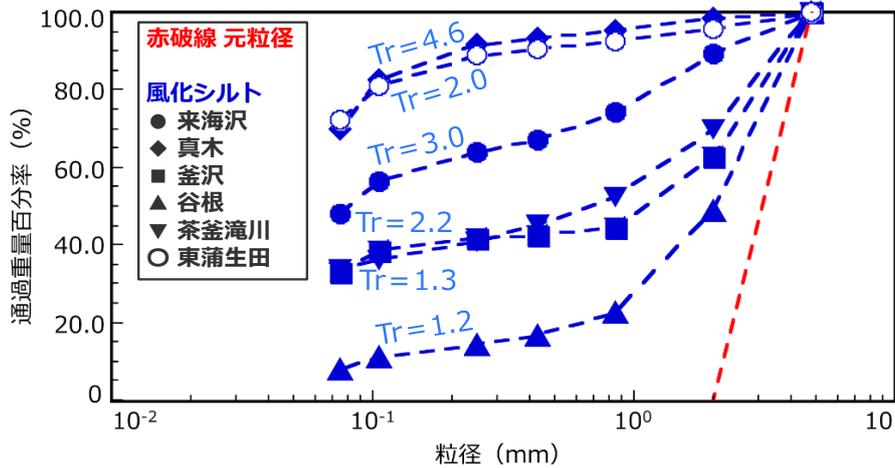


図 2. 流動試験結果と移動係数の比較

研究助成採択者 相場菜摘（新潟大学大学院自然科学研究科博士前期課程2年）