

第68回(2024年度) 北海道開発技術研究発表会論文

周氷河堆積物の層序と崩壊メカニズム —平成28年北海道豪雨による日勝峠周辺の例—

(地独)北海道立総合研究機構 研究調整グループ ○小安 浩理
(国研)寒地土木研究所 防災地質チーム 坂本 尚弘
(地独)北海道立総合研究機構 地質防災グループ 川上 源太郎

周氷河斜面における豪雨時土砂災害の被害軽減に向けた効果的な調査や対策のためには、周氷河堆積物の記載法を確立し、豪雨による崩壊メカニズムを理解することが重要である。そこで、平成28年8月北海道豪雨により土砂災害が多発した日勝峠周辺の周氷河斜面において野外調査、原位置試験、採取した乱さない試料による土質試験を実施した。その結果、周氷河堆積物を基盤岩を含めて7つの層相に区分することができた。また、浅層タイプおよび深層タイプの崩壊が、低透水帯と強度低下帯の層位分布に規制されることが示された。

キーワード：周氷河堆積物、豪雨時斜面災害、透水係数、非排水せん断強度

1. はじめに

近年、北海道においても頻発する豪雨により、今まで崩壊してこなかった平滑な緩斜面で土砂災害が発生する事例が増えてきた。このような緩斜面は周氷河斜面と呼ばれており、斜面を構成する堆積物には、角礫を主体とする不淘汰な堆積物中にシルトの層状の構造が存在するとされる¹⁾。そのような構造は崩壊との関連が指摘されているが²⁾、層相の区分や記載的および土質的な特徴に不明な点が多い。そのため、周氷河斜面における豪雨時崩壊メカニズムの詳細は明らかになっていない。

周氷河斜面における豪雨時土砂災害の被害軽減に向けた効果的な調査や対策を実施するには、周氷河堆積物の記載法を確立し、豪雨による崩壊メカニズムを理解することが重要である。本研究では、平成28年8月北海道豪雨により土砂災害が多発した日勝峠周辺の周氷河斜面を例に、周氷河堆積物の層序学的な特徴をおよび土質特性を把握することで、周氷河堆積物の層相区分および雨時崩壊メカニズムの解明を目指す。

2. 調査地域の地質および地形

調査地域である日勝峠周辺には、第四系に覆われる基盤岩として日高変成・深成岩類の片麻岩および花崗岩～はんれい岩類、付加体（イドンナップ帯）に対比される粘板岩～泥質片岩および玄武岩、角閃岩などが分布している（図-1）。

調査地周辺は標高~1000 mの山地で、概ね傾斜30°以下の緩斜面からなる。

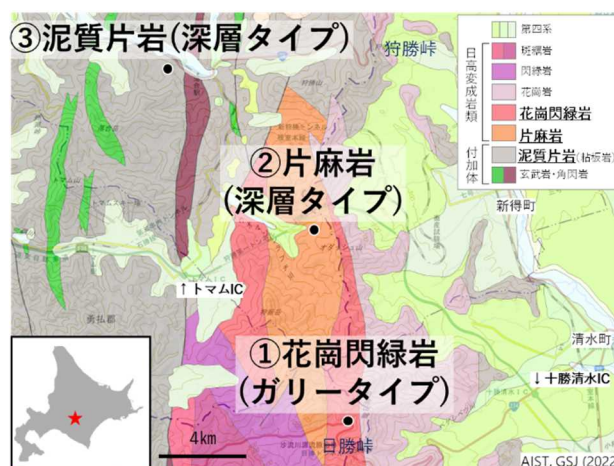


図-1 調査地域の地質²⁾および地形

3. 試料および方法

(1) 野外調査および試料採取

本研究では、平成28年8月北海道豪雨により斜面崩壊が発生した花崗閃緑岩、片麻岩、泥質片岩地域の崩壊地を対象とした（図-1の①～③）。それぞれの崩壊地で野外調査による層序記載ならびに崩壊深の確認、および原位置土試験を実施した。また、高品質ボーリング掘削により乱さない試料を採取し、堆積物の観察および土質試験に供した。なおボーリングは基盤岩に達するまで掘削した。

(2) 堆積物の観察および土質試験

高品質ボーリングコア

a) 堆積物の観察

肉眼およびX線CTにより、堆積物の粒径および粒子形状、ならびに堆積構造を観察する。

b) 土質試験

高品質ボーリングコアによる乱さない試料により、湿潤密度試験、土粒子密度試験、含水比試験、定水位透水試験および三軸圧縮試験（CUBar条件）を実施し、湿潤密度、間隙比、飽和度、透水係数、強度特性を明らかにする。

4. 結果

(1) 周氷河堆積物の記載

周氷河堆積物の層厚は、5 m程度以下の場合が多いが、1 m内外と比較的薄いものや、ときに10 mを超える場合もある。典型的な周氷河堆積物は、基盤岩を含めて7の層相に区分できる（図-2）。

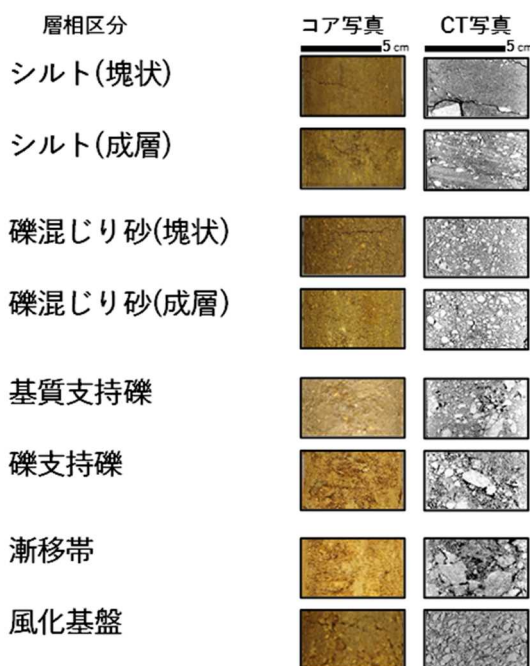


図-2 周氷河堆積物の層相区分

周氷河堆積物に覆われる基盤岩は一般に強く風化し、鉱物粒子の結合の消失ないし粘土薄層がみられる。風化基盤の直上には破碎した岩塊を主体とする漸移帯がしばしば確認される。

周氷河堆積物は下位から上位に向かって細粒化する傾向がある。周氷河堆積物の基底部には礫層が分布する。礫層は中礫径の角礫を主体とし、大礫径以上の角礫をしばしば含む。礫層は礫支持を主体とするが、上位では基質支持となる部分が層状に分布し、礫の長軸が特定の方向に配列する傾向がある。

周氷河堆積物の中部は礫混じり砂が卓越する。礫混じり砂は、細礫径の角礫を含む塊状のシルト質砂を主体とするが、細礫の配列や薄いシルト質砂を挟む成層部がしばしば確認される。

周氷河堆積物の最上部は、塊状無層理なシルト層に

漸移する。塊状シルト層は黒土ないしテフラ（Ta-d、～9000年前に降灰）に覆われる。

なお塊状シルト層とは別に、周氷河堆積物の中～下部に成層するシルト層が稀に存在する。

以上の層相区分に基づいて、基盤岩の岩石種が異なる3地点における周氷河堆積物および崩壊深相当層準の層序の特徴を述べる

a) 花崗閃緑岩地域（図-3）

花崗閃緑岩地域では、周氷河堆積物は～3 m程度で礫混じり砂を主体とし、礫層はあまりみられない。風化基盤岩の直上に成層シルトを伴うケースがしばしば認められる。礫混じり砂には成層部がしばしば確認される。周氷河堆積物はテフラ（Ta-d）および黒土に覆われる。崩壊深は1～2 mと比較的浅いものが多い。

b) 片麻岩地域（図-4）

片麻岩地域では典型的な周氷河堆積物の層序が確認できる。すなわち風化基盤岩上に漸移帯、礫層、礫混じり砂層、シルト層が累重する。周氷河堆積物は～4 m程度で、中礫径以上の礫が比較的多く含まれる。周氷河堆積物の最上部は黒土に漸移する。崩壊深は3～4 mで、漸移帯に達することがある。

c) 泥質片岩地域（図-5）

泥質片岩地域の周氷河堆積物は、礫層が卓越する傾向がある。周氷河堆積物は～3 m程度で、風化基盤岩上に漸移帯、礫層、礫混じり砂層、シルト層が累重する。礫層は厚く、礫はしばしば配列する。礫混じり砂層は比較的薄く、中礫径以上の礫を多く含む。周氷河堆積物の最上部は黒土に漸移する。崩壊深は～3 mで、漸移帯に達する。

(2) 周氷河堆積物の土質特性

各調査地における原位置試験および高品質ボーリングコアによる室内試験の結果を示す。全ての地点で共通する特徴として、周氷河堆積物の湿潤密度は上方に向かって減少する傾向がある。また間隙比は～100%で層位変化は少ない。簡易貫入試験は上位に向かって漸減するが、周氷河堆積物の基底部や崩壊深付近で顕著な変化はない。粒度組成は上方に向かってシルト分が増大する傾向があり、層相・層序と調和的である。

一方、飽和度、透水係数、せん断抵抗角は基盤岩の種類によって異なる傾向を示し、以下個別に説明する。

a) 花崗閃緑岩地域（図-3）

飽和度は上方に向かって増大する傾向がある。透水係数は周氷河堆積物の下部（礫混じり砂）および最上部（塊状シルト）で低い値を示す。ここでは、平成28年8月北海道豪雨の日勝峠周辺における最大時間雨量よりも低い透水係数を示す層準を低透水帯とする（以下同じ）。一方、せん断抵抗角は基盤岩では排水条件によらず大きい値を示すが、周氷河堆積物では非排水条件で減少する。

b) 片麻岩地域 (図-4)

飽和度は上方に向かって減少する傾向がある。透水係数は周氷河堆積物で低い値を示す。せん断抵抗角は非排水条件で減少するが、その程度は基盤岩よりも周氷河堆積物の方が強い。

c) 泥質片岩地域 (図-5)

飽和度および透水係数は片麻岩地域と同様の傾向を示す。せん断抵抗角は、基盤岩では非排水条件で減少するが、周氷河堆積物では排水条件によらず大きい値を示す。

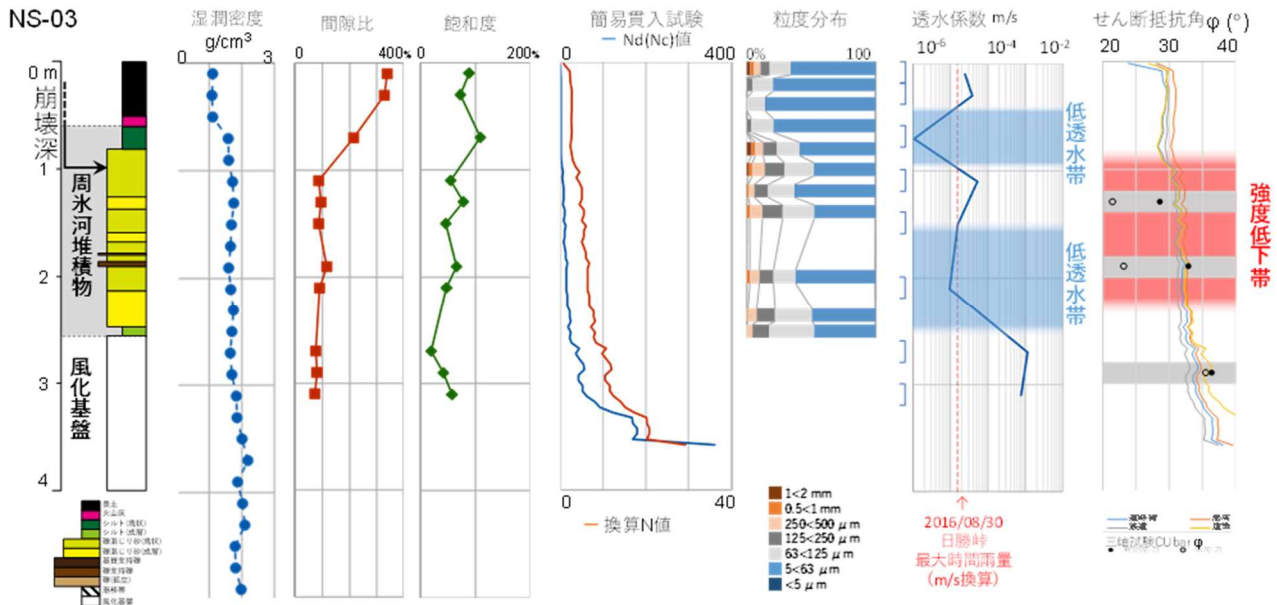


図-3 花崗閃緑岩地域における周氷河堆積物の層序、崩壊層準および物性・透水性

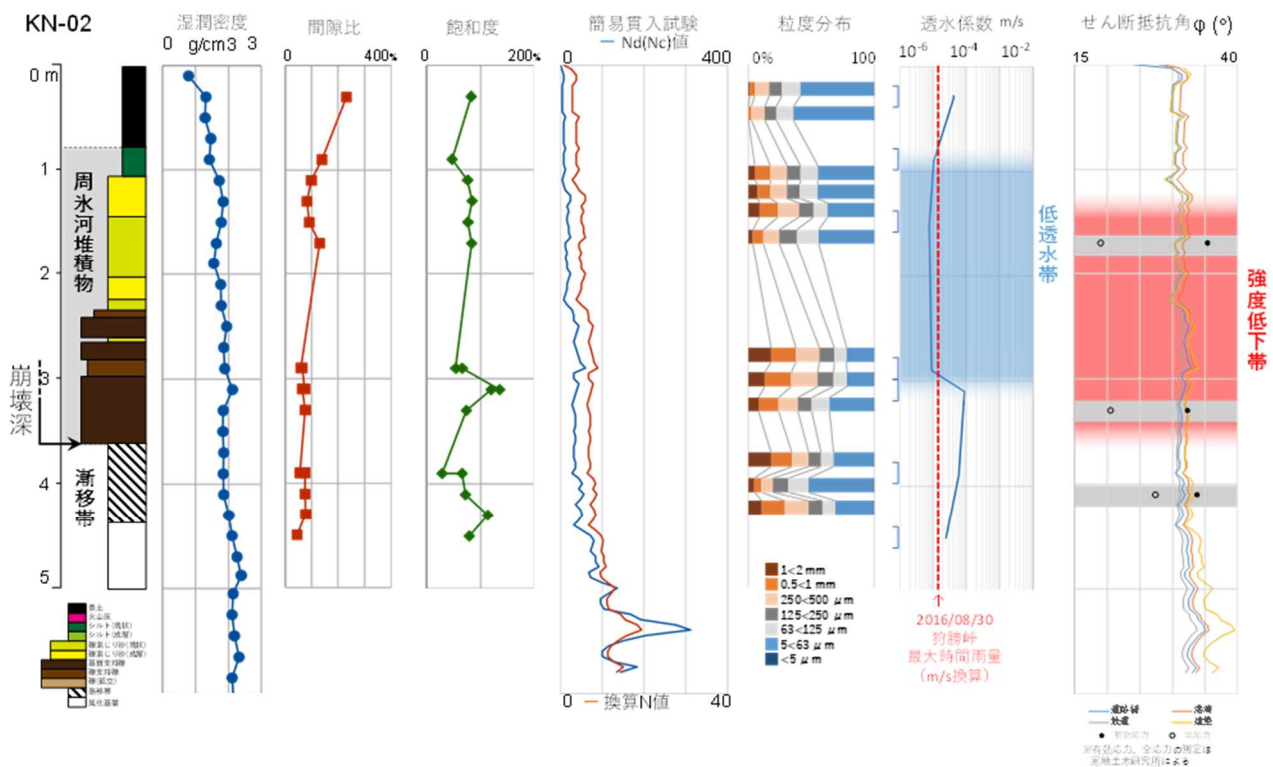


図-4 片麻岩地域における周氷河堆積物の層序、崩壊層準および物性・透水性

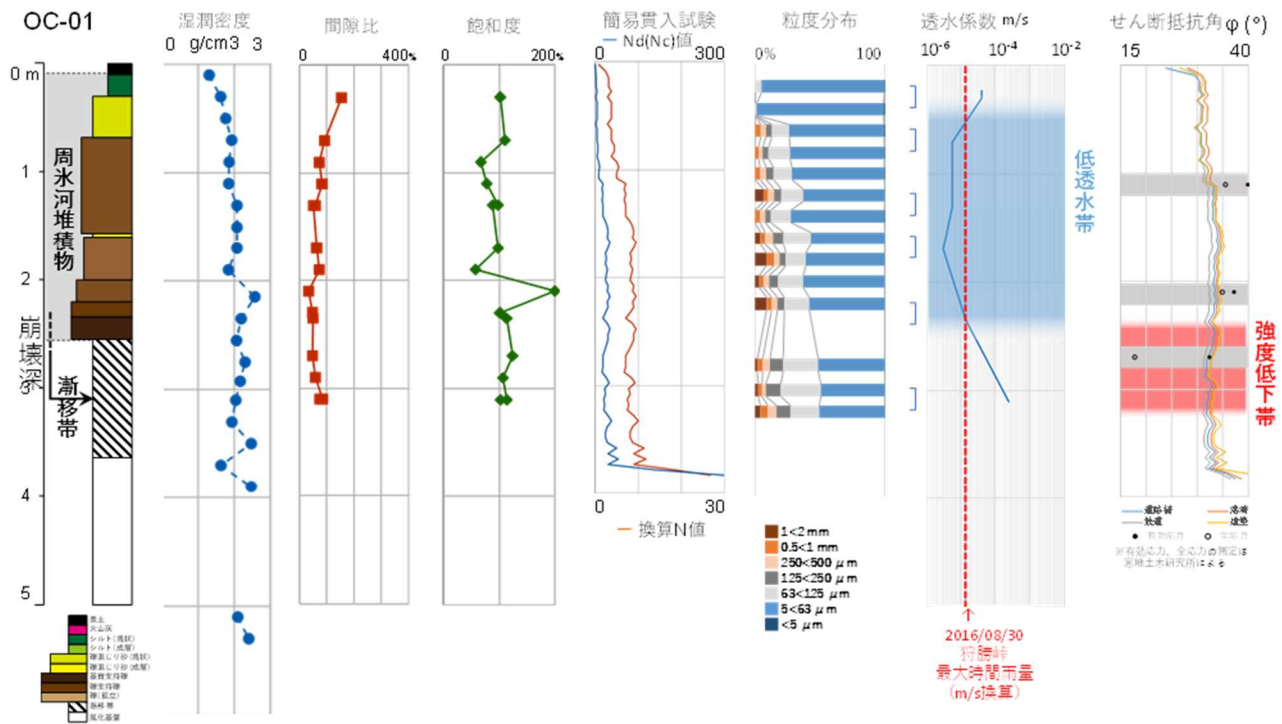


図-5 泥質片岩地域における周氷河堆積物の層序、崩壊層準および物性・透水性

5. 考察

豪雨時における周氷河斜面の崩壊タイプは、周氷河堆積物の上部で発生するもの（浅層タイプ）と、周氷河堆積物の最下部ないし漸移帯で発生するもの（深層タイプ）に大別できる³⁾（図-6）。

ここで周氷河斜面における地盤内の水分挙動における、周氷河堆積物の層序構造の影響を考える。一般に均質な地盤における降水では、斜面においても鉛直浸透のみが発生すると考えられる。しかしながら成層構造が発達する地盤において、高透水層の上位に低透水層が分布する場合、境界部で毛管現象により含水量が増大することが知られている⁴⁾。また成層する土層からなる斜面において、透水性が層準により変化する場合には、境界部において側方浸透が発生すると考えられる⁴⁾。

以上を踏まえて、それぞれの崩壊タイプについて、周氷河堆積物の層相・層序および土質特性に基づき、豪雨時における崩壊メカニズムを述べる。

(1) 浅層タイプの豪雨時崩壊メカニズム

典型的な浅層タイプの崩壊は、花崗閃緑岩地域で確

認された。花崗閃緑岩地域の強度低下帯は周氷河堆積物の下部から上部（礫混じり砂）に分布し、崩壊深は強度低下帯の最上部に位置し、低透水帯にも近接している。低透水帯は豪雨時の時間雨量よりも透水係数が小さいため、豪雨時には飽和状態になりやすいと考えられる。強度低下帯における飽和時の変形は非排水条件下での変形に相当するため、変形時に過剰間隙水圧が発生することでせん断抵抗角が減少し、斜面崩壊が発生した可能性がある。

(2) 深層タイプの豪雨時崩壊メカニズム

深層タイプの崩壊は、片麻岩地域や泥質片岩地域で典型的に観察された。強度低下帯は、片麻岩地域では周氷河堆積物の下部に、泥質片岩地域では漸移帯付近に分布する。いずれの地域においても、崩壊深は強度低下帯に位置する。一方、低透水帯は両地域における周氷河堆積物の広い層準に分布しているが、崩壊深はその最下部付近に位置している。深層タイプの豪雨時崩壊においても、崩壊深は強度低下帯と低透水帯が近接する層準に位置しており、浅層タイプの崩壊と同様に飽和条件下で強度低下帯に過剰間隙水圧が発生してせん断抵抗角が大きく減少し、斜面崩壊が発生したと考えられる。

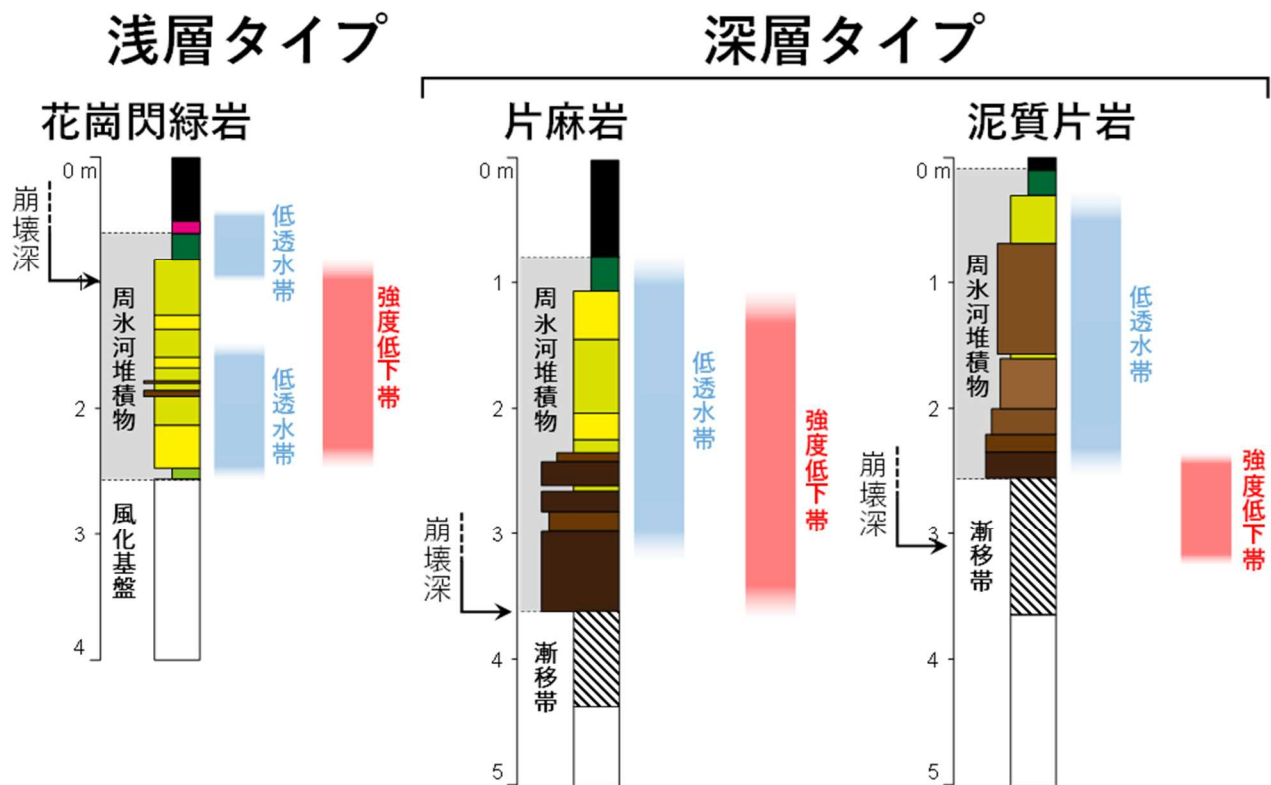


図-6 崩壊タイプによる崩壊深と低透水帯および強度低下帯の分布

6. まとめ

平成28年8月北海道豪雨により土砂災害が多発した日勝峠周辺の周氷河斜面において周氷河堆積物を記載し、その崩壊メカニズムを検討した。周氷河堆積物は碎屑物の特徴や堆積構造に着目することで、基盤岩を含めて7つの層相に区分できる。層相区分および土質特性に基づき、周氷河堆積物における低透水帯と強度低下帯の層位分布が把握され、それらにより崩壊タイプが浅層タイプとなるか、深層タイプとなるかを規制している可能性が示された。

今回検討した周氷河堆積物の記載法および崩壊メカニズムを踏まえた、『周氷河斜面調査マニュアル』の作成および普及に、今後取り組んでいく予定である。

謝辞：北海道開発局室蘭開発建設部から調査地域の現場情報に関する資料及び情報の提供を受けた。現地調査は林野庁日高北部森林管理署及び上川南部森林管理署、富良野広域連合公共串内牧場の許可を受けたうえで実施した。以上の関係各位に御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 石丸聡 (2017) : 北海道で急増した豪雨により顕著となった寒冷地の斜面堆積物の崩壊－2014年、2016年の豪雨災害による例－. 防災科学技術研究所研究資料, No.411, 17-24.
- 2) 産総研地質調査総合センター (2022) : 20万分の1日本シームレス地質図 V2, オリジナル版. <https://gbank.gsj.jp/seamless/>
- 3) エネルギー・環境・地質研究所 (2025) 周氷河斜面調査マニュアル (概要版)
- 4) 松元和伸・小林薫・森井俊広・中房悟 (2016) : 上部層厚の影響を考慮した3層キャピラリーバリア地盤の限界長の評価手法. 地盤工学ジャーナル, 11(4), 305-313.