

一般国道236号天馬街道における 雪崩発生斜面の地形及び堆積物の特徴

国立研究開発法人 寒地土木研究所 防災地質チーム ○川又 基人
国立研究開発法人 寒地土木研究所 防災地質チーム 岡崎 健治
北海道開発局 帯広開発建設部 道路整備保全課 島田 智宏

近年、北海道ではこれまでほとんど観測されてこなかった冬期の急激な気温上昇や多量降雨に伴う、道路斜面からの雪崩や土砂流出による災害が発生している。本調査では、平成30年(2018年)に雪崩及び土砂流出が発生した一般国道236号天馬街道の川見地区において2時期(2006年及び2019年)の航空レーザー測量データの比較及び現地調査を行ない、当該地域の沢において、上流部で崩壊痕、中流部で土石流堆積物を確認した。以上の結果から、2006年から2019年の13年間における沢内での土石流の発生に伴う土砂移動を明らかにした。

キーワード：航空レーザー測量、数値地形図、地形変化、土砂流出、湿雪雪崩

1. はじめに

道路交通の安全確保において、その障害となる事象である土砂流出や雪崩等への対策は重要である。特に積雪寒冷地である北海道では、夏季の降雨に伴う土砂災害に加えて、冬季の雪崩災害にも注意を要する。北海道の国道で発生する主な雪崩は乾雪表層雪崩と湿雪全層雪崩であり¹⁾、1997年から2008年における雪崩発生による通行止めの66%が乾雪雪崩によるものであった¹⁾。しかし近年、気候変動による気象災害の規模や形態の変化とその影響が指摘される中、これまで寒冷であった北海道でも冬季の気温上昇や降雨に伴う湿雪雪崩が発生が確認されている²⁾。さらに、この傾向は人為的な気候変動の影響で今後も続く可能性があり、寒冷な北海道でも多量に積雪が残る時期に融雪が急激に進み、湿雪雪崩の発生が増加する可能性が指摘されている³⁾。特に平成30年(2018年)3月の一般国道236号天馬街道での雪崩は、気温の上昇、融雪の進行、多量の降雨という条件が重なり、道路に達する湿雪雪崩及び土砂流出が発生し、トンネル脇の電気通信設備が破壊される等の被害が出た⁴⁾。

以上の背景から、湿雪雪崩及び融雪・降雨を考慮した土砂災害への対策は急務である。斜面災害の対策のためには、斜面災害頻発地域における地形や堆積物特性の理解が重要である。本報告では、近年土砂災害や雪崩災害の多発している一般国道236号天馬街道野塚峠の川見地区の山地斜面を対象として、平成18年(2006年)及び令和元年(2019年)に取得された航空レーザー測量による数値地形図(Digital Elevation Model : DEM)を比較することで抽出した地形変化及び、抽出された地形変化箇所における詳細な地形地質調査の結果について報告する。

2. 調査地域の概要

調査地域としたのは、一般国道236号天馬街道野塚峠の川見地区の南向き山地斜面である(図-1(1))。一般国道236号は起点の十勝管内帯広市と日高管内浦河町とを結ぶ主要幹線で、特に広尾町と浦河町を結ぶ区間を天馬街道と称している。

調査地域の地質は、先白亜紀の日高累層群札内川層の上部部層に相当する粘板岩が分布しており、花崗岩の貫入等による接触変成作用による再結晶化によってホルンフェルス化している⁵⁾。また、調査地域は、日高山脈の非火山山地の中で最も険しい山地のひとつとされ、山頂小起伏面も谷底平坦面もなく、直線的な谷壁斜面で構成される地形の特徴を持つ⁶⁾。

当該路線では、近年土砂・雪崩災害が頻発している。その中でも川見地区の南向き山地斜面においては、現道に悪影響を与える恐れのある沢として5本挙げられており、それらの沢について東側から①～⑤沢と呼称されていることから、本報告でもその名称に従う⁷⁾。

①、②、及び③沢では道路に至る災害の発生は確認されていないが、治山ダム内に土石流堆積物の堆積が確認されており、土砂流出の危険性が指摘されている⁷⁾。①沢では道路から標高約380mまでは沢部に土石流堆積物が堆積しており、標高390～410m地点の滝より上部はV字谷を呈し、堆積物の被覆はない⁷⁾。また②沢は、道路から標高約400m付近まで沢部に土石流堆積物が堆積しており、標高420m付近に滝が確認され、露岩している⁷⁾。③沢は、道路から標高約360m付近までは治山ダム郡があり、そこから標高570m付近まで沢部に土石流堆積物が堆積している⁷⁾。

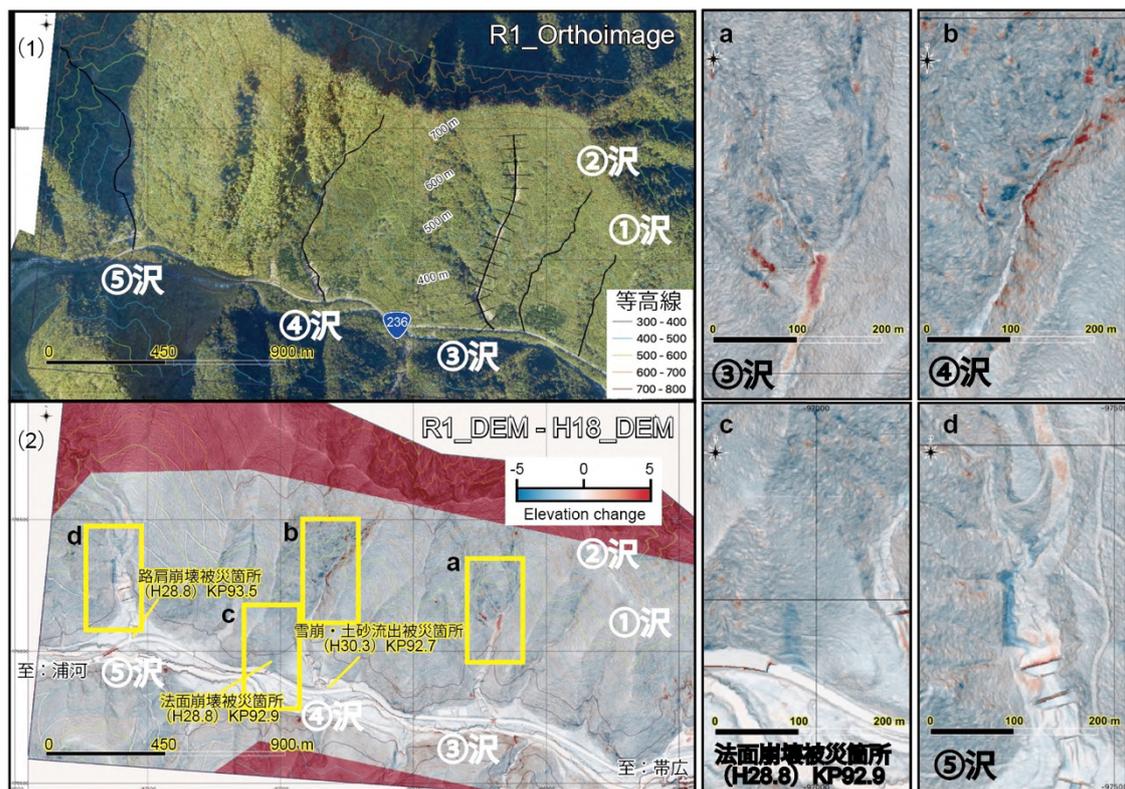


図-1 (1) 調査地域のオルソ画像及び (2) R1-DEMとH18-DEMの差分図 (a-dは差分検出域の拡大図)

④沢 (KP=92.7) では、平成 30 年 3 月に湿雪全層雪崩と道路への土砂流出が発生し、道路に土砂を含むデブリが堆積して舗装路面が損傷した。災害後の調査では、標高 355 m から 440 m 付近まで沢部に土石流堆積物が堆積しており、標高 420 m から 440 m は V 字谷で露岩斜面の存在が報告されている。

⑤沢 (KP=93.5) では、平成 28 年 8 月の豪雨によって多量の土砂が流出し、ボックスカルバートの上流沢部の呑口を土石で閉塞させ、路肩損傷の被害が出た。標高 425 m から 580 m 付近まで沢部に土石流堆積物が堆積しており、標高 410 m から 420 m の沢の合流部では倒木が多く、また樹幹の衝突痕も報告されている。

また、同じく平成 28 年 8 月の大雨により、林内覆道起点側 (KP=92.9) で、法面崩壊が発生した (図-1 (2))。崩壊発生箇所は比高約 55 m の自然斜面で、平均勾配は約 35°、斜面は笹主体で疎林にて形成されており、国道上には最大高さ約 5 m の土砂と倒木が確認された。

3. 手法

川見地区南向き斜面①～⑤沢において数値地形図を用いた地形解析を行い、③沢では地形地質調査及び土質試料の採取・試験を行なった (図-1a)。

(1) 地形解析

地形解析には平成 18 年 (2006 年) 7 月 (以下、H18-DEM) 及び令和元年 (2019 年) 10 月 (以下、R1-DEM)

に取得された航空レーザー測量結果を用いた。地形データの解析には QGIS を用いた。それぞれ成果品であるグリッドデータの地上分解能は 1.0 m 及び 0.5 m であった。一方で、今回は差分解析を行うため、R1-DEM について H18-DEM と地上分解能を合わせることにし、植生が取り除かれた地表面データであるグラウンドデータ (ベクターデータ) から 1.0 m 分解能のグリッドデータ (ラスターデータ) を作成した。ただし、植生等の影響による点密度の不均一性により地表面データには欠損箇所がある。欠損箇所は 10 m 四方の範囲において逆距離荷重法により内挿し、欠損値のない 1.0 m グリッドデータを作成した (図-2)。H18-DEM と今回作成した R1-DEM の道路における標高を比較したところ、R1-DEM の標高が H18-DEM に比べ約 0.3 m 高くなる傾向が確認されたため、R1-DEM 全体の標高に 0.3 m を加えることでグリッドデー

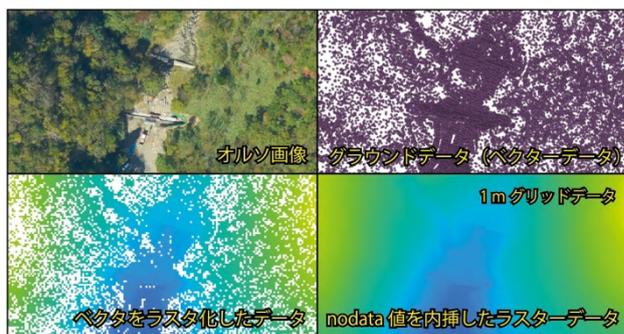


図-2 R1-DEMの作成過程

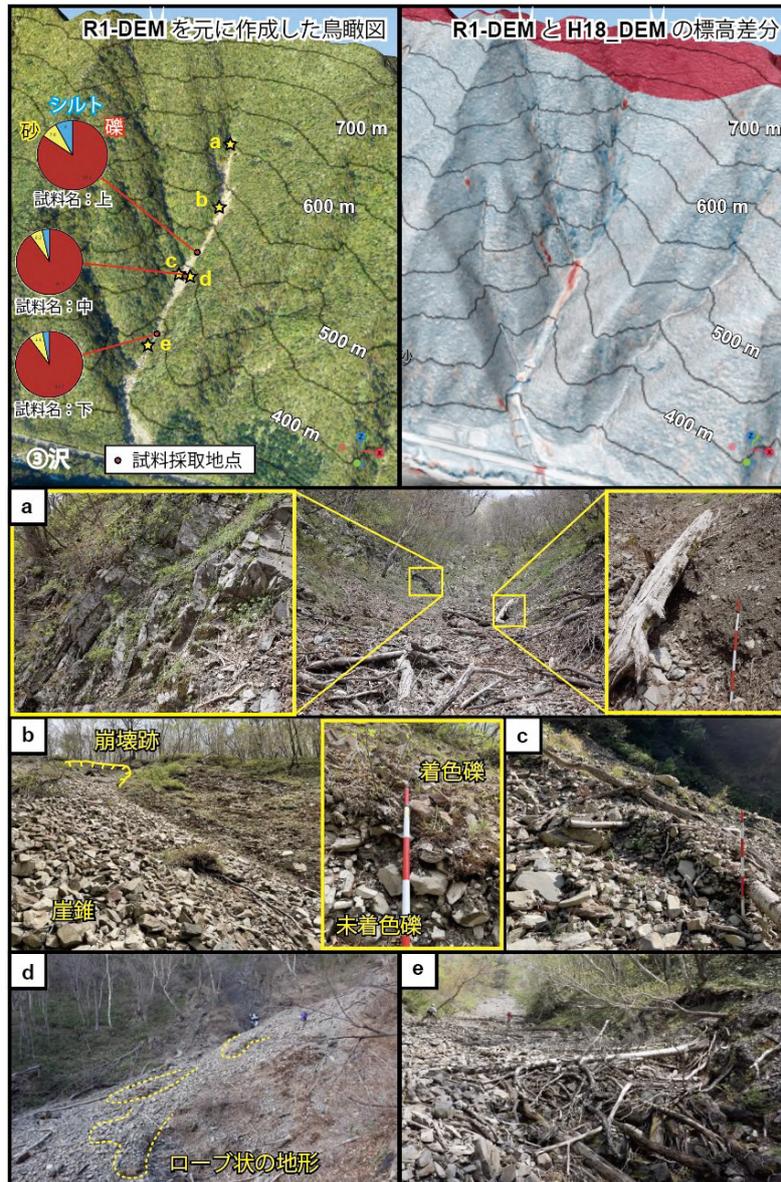


図-3 ③沢におけるR1-DEM及び差分図の鳥瞰図 (a-eは各調査地点での現場写真を示す)

タを補正した。以上で作成した R1-DEM から H18-DEM の差分を取ることで、2006年7月から2019年10月の期間における標高差分を取り、地形変化を議論した (図-1(2), a~d)。

①~⑤沢については、QGISのqprofプラグインを用いて道路から沢地形の源頭部までの標高・傾斜を1m間隔で出力した。ただし⑤沢の源頭部についてはR1-DEMの範囲外であったため、DEMデータ範囲内を出力した。また傾斜は10点(10m)中央移動平均の結果をプロットし傾斜の変緩点を抽出した。

(2) 現地調査及び試料採取・試験

土砂流出の恐れがあると指摘される③沢において現地調査及び土質試料の採取を実施した。土質試料については、③沢中腹部の標高の異なる3箇所にて採取した (図-3)。また、地表部は主に拳大かそれ以上の大きさの大

礫で覆われていたため、深さ約50cm程度までの堆積物を除去し、現地でふるい分けを行い表層の礫を除いた3cm以下の堆積物のみを土質試験試料として採取した。

土質試験は、密度試験、含水比試験、粒度試験、非圧密非排水中型三軸圧縮試験(UU試験)を実施した。三軸圧縮試験では試料の充填を粗密にならない程度に行い、なるべく現地の堆積状況を考慮するようにした。

4. 結果

(1) DEM間の標高差分の評価

図-4に平成28年8月に法面崩壊箇所(図-1(2))における標高差分図とその断面図を示す。標高差分からは法面崩壊箇所において、約3~4m程度で標高が低下したことが読み取れる。また、標高変化がないはずの道路においては標高差分がほぼ0mであることから、DEMの位置合わせ

せに大きな問題はないと判断できる。一方、法面崩壊の頂部からそれより上部の斜面においては、斜面全体に約1~2m程度の標高の低下が検出された(図-4)。図-4の自然斜面の範囲において法面崩壊以外の箇所では約1~2m程度の地形の変化は報告されておらず²⁷⁾、またオルソ画像等でも判読できなかった。すなわち自然斜面で検出した1~2m程度の標高差分は、植生の影響、または航空レーザ計測時の誤差によると判断できる。このことから、地形変化の抽出においては2m以上の標高差分がある地点に着目した。①~⑤沢における2m以上の標高差分が検出できるのは、③沢の上・中流部(図-1a)、④沢の上流部(図-1b)、⑤沢である(図-1d)。①、②沢では顕著な変化は確認できなかった。特に③沢では、上流部での地表面高度の減少、中流部での地表面高度の増加が検出された。その変化の最大の大きさは上流部、中流部でそれぞれ4.5m、+4.8mであった(図-1a、5a)。

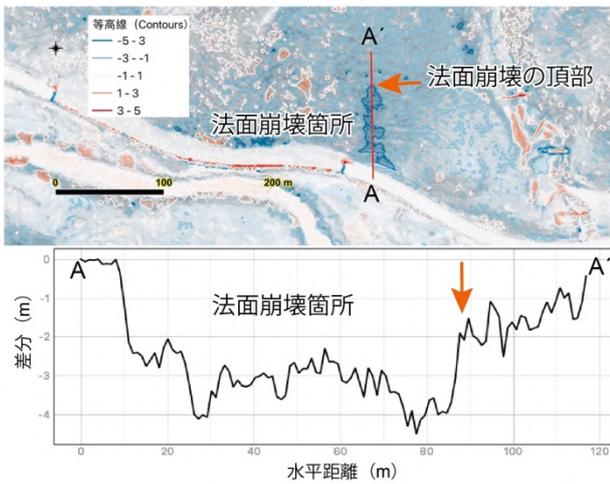


図-4 平成 28 年 8 月の法面崩壊発生箇所の標高差分図、及びその断面図

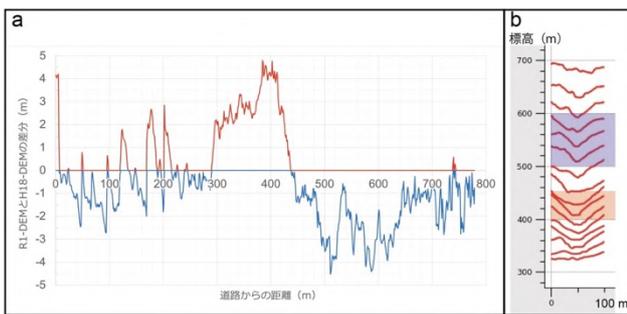


図-5 a: ③沢における R1-DEM と H18-DEM の差分による標高差分図 b: ③沢の 50m ピッチ横断面図

(2) DEMからの地形・傾斜データの抽出

図-6にR1-DEMを元に作成した①~⑤沢の断面図及び傾斜量変化を示す。それぞれの沢は①から⑤沢の順に水平延長が長い。また各沢は斜面上部ほど傾斜が急であり、標高が低下すると傾斜が緩くなる遷緩点が見られた。それぞれ各沢の傾斜変化に着目してR1-DEMから判読した

結果を記載する。

①沢では、標高400mに遷緩点が確認できた。標高400mより下部、上部でそれぞれ平均傾斜は21.9°、32.9°であった。

②沢では、標高400m及び500mに遷緩点が確認できた。道路~標高400m、標高400m~500m、及び500m以上でそれぞれの平均傾斜は19.2°、25.5°、及び31.3°であった。

③沢では、標高360m、450m及び600mに遷緩点が確認できた。道路~標高360m、標高360m~450m、標高450m~600m、及び600m以上でそれぞれの平均傾斜は12.4°、19.4°、28.5°、及び40.6°であった。また、③沢の50m間隔の横断面図(図-5b)によると、地表面高度の低下した範囲である標高約500m~600mでは概ねV字型の形態を示すのに対し、地表面高度の増加した範囲である標高約400m~450mの範囲ではV字型は緩くなり、凹状に遷移する。

④沢では、標高380m、425m及び520mに遷緩点が確認できた。道路~標高380m、標高380m~425m、標高425m~520m、及び520m以上でそれぞれの平均傾斜は15.0°、13.4°、25.9°、及び35.3°であった。

⑤沢では、標高390m、580mに遷緩点が確認できた。道路~標高390m、標高390m~580m、及び580m以上でそれぞれの平均傾斜は7.7°、17.9°、及び35.3°であった。

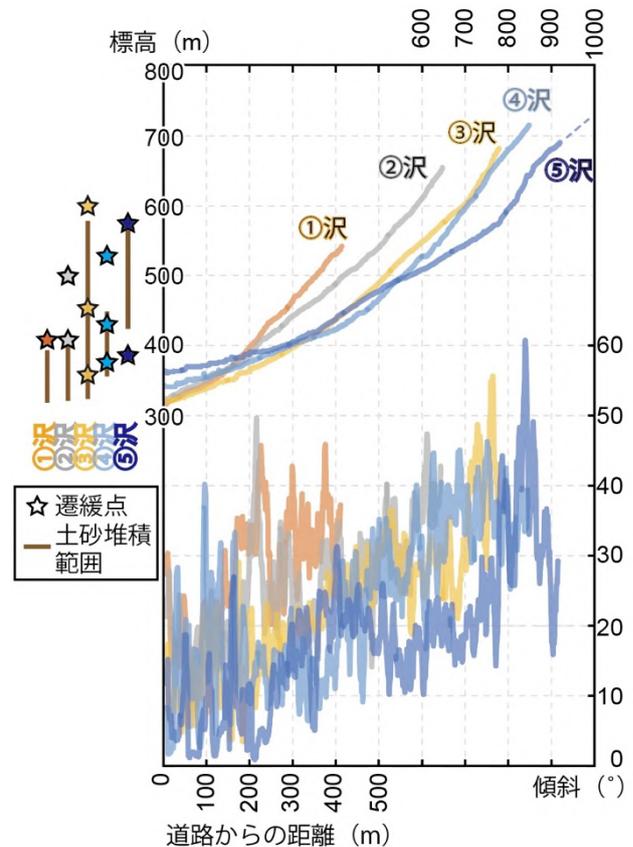


図-6 R1-DEMに基づく各沢の標高断面図及び傾斜量変化

(3) 現地調査

図-3にR1-DEMから作成した③沢の鳥瞰図及び、R1-DEMとH18-DEMの標高差分図の鳥瞰図を示す。標高約600mの沢の源頭部では部分的に開口割れ目が確認できる基盤岩が露出していた(図-3a)。また、沢の右岸側で基盤の露出が卓越する一方で、左岸側には拳大から4cm程度の礫に富む砂分を基質とする礫支持砂礫層が、少なくとも層厚1m以上で分布していた(図-3a)。沢水は直下の堆積物に伏流し、すぐに確認できなくなった。

標高約550m付近では崩壊跡及び礫表面が赤褐色の礫を含む崖錐を確認できた(図-3b)。また左岸側斜面の堆積物の断面を確認すると、斜面表層に礫表面が赤褐色に着色した礫、内部には10cm程度の未着色の礫を確認できた。

標高約450m付近では、それより上部ではV字型だった谷の底が広がり、凹型を呈しており礫支持で崩れやすい堆積物が表面を覆っていた。またこれらの堆積物は直径10cm程度の木を巻き込むように堆積しており(図-3c)、巻き込まれた倒木は斜面の下流方向へ向くものが散見された。

斜面傾斜方向に伸びるロープ状の地形が複数確認できた(図-3d)。このロープ状の地形は先端に人頭大の大礫を含み、表面は拳大の大礫で覆われる。内部は2~10cm程度の礫支持で木片も含んでいた。

治山ダムに近い標高400m付近では、沢上部ではあまり確認されなかった50cm程度の巨礫が堆積物表面に分布する。一部では巨礫が斜面傾斜方向に倒れる木に乗る形で安定していた。この付近で伏流していた沢水が表面に確認できるようになる。また倒木は斜面下流方向に倒れるものの上に、重なる形で斜面下流方向と直角に倒れている状況を確認した(図-3e)。

(4) 土質力学試験

表-1に室内土質試験の結果を示す。土粒子密度は2.65~2.67g/cm³となった。自然含水比は6.4~12.3%をとり、沖積砂質土の下限側の値に相当する。粒度分布は、礫分が84~90%、砂分が6~8%、細粒分(シルト、粘土分)が3~8%となり礫質土に分類される。50%粒径は10.5~11.1mmとなった。また、内部摩擦角はφ=16.3~32.9度であった。

表-1 土質試験結果

試料名		上	中	下	備考
採取位置	北緯(度)	42.3840	42.3836	42.3823	
	東経(度)	143.0823	143.0820	143.0814	
	標高(m)	471	444	385	
土粒子の密度	ps (g/cm ³)	2.666	2.651	2.646	
自然含水比	w _n (%)	8.7	12.3	6.4	
粒度特性	礫 (%)	84.4	90.1	89.9	
	砂 (%)	7.6	6.3	6.9	
	シルト (%)	8	3.6	3.2	
	50%粒径 D ₅₀ (mm)	11.1	10.7	10.5	
三軸圧縮試験	内部摩擦角φ _i (度)	16.3	20.6	28.2	拘束圧 50 kN/m ²
		24.5	26.9	32.9	拘束圧 100 kN/m ²
		27.6	27.7	32.3	拘束圧 150 kN/m ²

5. 考察

(1) ③沢の地形変化について

R1-DEMより抽出した遷緩点(図-4)は、調査報告書⁷⁾や今回の現地調査で確認された土石流堆積物分布域と良く対応している(図-6)。これは、水と土砂の混合物である土石流は溪床勾配(θ)により、発生区間(20°≤θ)、流下区間(10°≤θ<20°)、堆積区間(2°≤θ<15°)と分類されるように、流動・停止が斜面勾配に大きく依存するためと考えられる⁸⁾。

③沢の上流域で確認された崩壊跡及び、遷緩点である中流域の倒木や木片を含むロープ状堆積物は上流域からの石礫型土石流の発生を示唆し、水と土砂が一体となって流動した末に遷緩点で堆積したことを示唆する。さらに、DEMの標高差分から求められた標高変化は最大+4.8mである(図-5a)。すなわち、数値地形図の比較により検出された③沢の地形変化は、航空レーザー測量による地形データ取得が行われた2006年7月以降2019年10月年までに発生した斜面下流部の崩壊による地表面高度の低下及び、土石流の発生に伴う斜面中流部での土砂堆積による地表面高度の増加であることが明らかとなった。ただし、斜面崩壊・土石流の発生時期については定かではなく、冬季の湿雪雪崩、または夏季の降雨等と関連するものかは現時点では明らかではなく、検討の余地がある。

また、標高の異なる3地点で採取した土質試料の内部摩擦角は斜面最下部で若干大きい傾向にあるが、粒度組成や含水比に3試料間で大きな違いは見受けられなかった。そのため、斜面中腹部における堆積物は比較的均質な物理特性を持つと判断できる。R1-DEMからの判読ではロープ状堆積物が確認できる標高400~450m付近の傾斜は19.4°である。この傾斜は流下区間に該当⁸⁾することから、これらの堆積物が豪雨等の影響で再移動する可能性が考えられる。

以上の知見は、今後の融雪・降雨等を考慮した、土砂の安定性・移動特性に関する数値実験等を行う上で重要である。

(2) ④沢で検出された標高差分について

④沢は、平成30年3月に湿雪全層雪崩と道路への土石流出が発生した沢である⁷⁾。一方、標高差分においては、③沢のように、崩壊域と堆積域といった、土砂の移動に伴う2時期の地形変化を示唆するような顕著な変化は判読できない(図-1b)。図-7に④沢上流域における標高差分図、DEMの元となったグラウンドデータの点群、オルソ画像、及び傾斜量図を示す。グラウンドデータを確認すると、令和元年のデータは植生域についても比較的満遍なくデータが取得できていることに比べ、平成18年のデータは植生域においてデータの欠損が目立つ。それに伴い、傾斜量図ではR1-DEMよりもH18-DEMの方が

地形の微起伏が反映されていないように判読できる。また、平成18年は初夏にデータが取得されていることから、オルソ画像から確認できるように沢に樹林が覆い被さるように繁茂している。すなわち、④沢の上流部における差分については、H18-DEMの植生域の多くのグラウンドデータが欠損している影響で地形の微起伏が再現されず、その結果が2時期の標高差分として検出されたと考えられる。以上の結果は、DEM解析における地形の誤判読を防ぐためにも、元データのグラウンドデータの取得状況を念頭に入れた解析の必要性を意味する。また、2時期のDEMデータの比較においてはそれぞれの航空レーザー測量結果に水平・垂直変異等が生じている場合もある⁹⁾。また今回は、DEM間の厳密な位置合わせ等を実施しなかったが、より定量性を求める解析においては、DEM間の3次元補正等の処理が有効と考えられる¹⁰⁾。

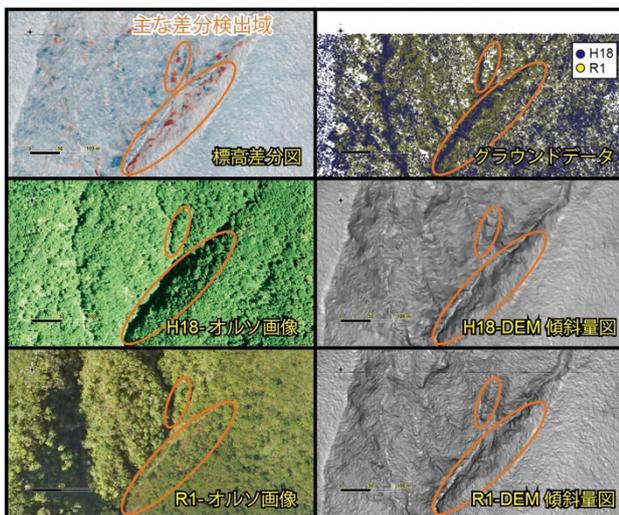


図-7 ④沢上流における標高差分図、DEMの元となったグラウンドデータの点群、オルソ画像、及び傾斜量

6. まとめと今後の課題

本報告の結果を以下にまとめる。

- ① 2 時期の航空レーザー測量による数値地形図の比較及び現地調査の結果、斜面上流部で検出された標高差分の減少及び斜面中流部での標高増加は、それぞれ斜面崩壊による斜面の侵食及び、上流部からの土石流の堆積に対応することが明らかとなった。この

結果は、DEMの比較を行った2006年から2019年までの13年間の間の土砂移動を意味する。

- ② 今後、積雪下の土砂の安定性評価手法の提示に向け、今回明らかとなった土砂移動のデータを元に、融雪・降雨等を考慮した、土砂の安定性・移動特性に関する数値実験等を今後実施する予定である。

謝辞：北海道開発局帯広開発建設部広尾道路事務所から調査地域の現場状況に関する情報及び資料の提供を受けた。現地調査は十勝西部森林管理署の許可を受けた上で実施した。以上の関係各位に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 寒地土木研究所：雪崩現象の基礎に関する技術資料（案）、2010。 <https://www2.ceri.go.jp/snow/index.html>（2024年1月12日閲覧）。
- 2) 石本敬志、2018年3月野塚トンネル雪崩の概要、北海道の雪氷、37、pp.135-138、2018。
- 3) 松下拓樹、吉井昭博、櫻井俊光、西村敦史：北海道の2023年融雪期と湿雪雪崩の特徴。寒地技術論文・報告集、39、pp.166-171、2023。
- 4) 佐藤貴則、松本直之、松川直樹：野塚峠電気通信設備（帯広側）復旧状況の事例について、第63回（2019年度）北海道開発技術研究発表会論文、pp.846-850、2020。
- 5) 秋葉 力、木崎甲子郎、宮坂省吾、紺谷吉弘：5 万分の 1 地質図幅説明書 上豊似、釧路第 63 号、48p、1975 年。
- 6) 米倉伸之、貝塚爽平、野上道男、鎮西清高：日本の地形総説、349p、2001。
- 7) 国土交通省北海道開発局帯広開発建設部：平成30年度帯広開発建設部管内防災点検業務点検結果報告書、2019。
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説、国土技術政策総合研究所資料第364号、74p、2007。
- 9) 前田昭浩、杉山光徳、柴田俊彦、大石俊彦、本田 健、武田大典：航空レーザー計測による差分解析の問題点と対策に関する一考察、第6回土砂災害に関するシンポジウム論文集、2012。
- 10) 水垣 滋・村上泰啓・巖倉啓子：2時期の航空レーザーデータの差分解析による山地河道の土砂動態の解明-沙流川水系パンケヌーシ川における H28 年 8 月豪雨に伴う変化-、2021年度砂防学会研究発表会概要集、2021。