# 融雪期に発生した雪崩-土砂流動現象の解析的検討

Analyses of avalanche and debris flow phenomena in snow-melt season

室蘭工業大学工学部	○学生員	横山遼 (Ryo Yokoyama)
室蘭工業大学大学院	正会員	川村志麻 (Shima Kawamura)
室蘭工業大学大学院		楠田侑平 (Yuhei Kusuda)

## 1. はじめに

平成 30 年 3 月 9 日, 一般国道 236 号北海道広尾町野 塚トンネル付近において、雪崩が発生<sup>1)</sup>し、道路施設や 交通網に影響を与えた(図-1 参照). この融雪期災害 の被災状況を確認すると、雪崩に加え、土砂が広範囲に 堆積していることが確認されている(写真-1 参照). 当時の連続雨量が 293mm であることを考えると、同時 に土砂流動の発生も視野に入れた検討が必要である.気 候変動の影響の顕在化が指摘されている中、このような 融雪期の雪崩・土砂流動(土石流)被害が多発する可能 性が指摘される.既往研究<sup>2,3)</sup>では、土石流解析ソフト iRIC Morpho2DH を用いて、雪崩の再現が可能であるこ と, また, 本災害が雪崩と土石流が同時に発生した雪泥 流に類似の現象である可能性が高いこと、さらには流動 現象に影響を及ぼす雪と土砂の凝集体の生成の可能性に ついて検討・指摘している.本研究では、被災地から採 取した実際の土試料の物理力学特性を把握し、より精度 の高い被災状況の再現を試みた. それらの結果より, 融 雪期に発生する雪崩、土石流、雪崩と土石流に対する土 砂災害の堆積範囲・土砂量・流動距離の予測が可能かど うかを検討した.

### 2. 当時の災害概要

被災地の野塚峠は,急峻な日高山脈の西側に位置し, 雪崩が発生しやすい地形にある.災害発生時は,平成 30年3月9日に接近した前線と低気圧の影響により暖 かく湿った空気がその周辺に流れ込み,気温が上昇し, 災害直前までの連続雨量が293mm,最大時間雨量が 37mmを記録した.また,積雪深が22cm減少したこと も確認されている.これにより,大雨と融雪が急激に進 んだ結果,雪崩が発生したとされている.雪崩の規模は 総量:約 60,000m<sup>3</sup>,うち道路上:約7,000m<sup>3</sup>(高さ2m, 幅 60m,延長 60m)である<sup>1)</sup>.**写真-1**と**写真-2**から, 土砂堆積が確認されるように,雪崩と同時に土砂流動 (土石流)が発生したことが伺える.

#### 3. 北海道における過去の雪崩災害履歴

はじめに、北海道における、平成25年から令和2年 の7年間に国道で発生した雪崩災害についてまとめてみ た.その結果、道内では、約52箇所において雪崩災害 が発生している.図-2は、発生した地点をプロットし たものである.なお、この中には複数回発生したものも 含まれている.本研究で対象とする野塚峠では、約11 箇所で雪崩災害が発生していた.このような雪崩の発生 箇所は、地形的にも土石流等の土砂災害が発生する可能



図-1 野塚トンネルと雪崩発生箇所 (国土地理院地図に加筆)



写真-1 当時の現地の状況(室蘭開発建設部提供)



**写真-2** 被災地の様子(野塚トンネル 広尾町側 坑口付近:令和2年11月13日撮影)

性も高い.また、図から明らかなように、近くに河川が ある場合が多く、土砂の流入し河道閉塞を起こし、下流 に甚大な影響を及ぼす可能性も指摘される.いずれにし ても、雪崩災害と土砂災害発生箇所の把握は、今後の災 害リスクを評価する上で重要となろう.



図-2 北海道で過去7年間に発生した雪崩災害箇所 (国土地理院地図に加筆)



図-3 採取した試料の粒径加積曲線

平均粒径(mm)	12	
土粒子の密度 (g /cm³)	2.739	
液性限界(%)	46.7	
塑性限界(%)	NP	
最小密度(g/cmǚ)	1.18	
最大密度(g/cm)	1.46	

表-1 採取した試料の物理特性

# 4. 試料の物理特性

次に,現地より採取した土試料の物理特性について報告する.試料の採取箇所は写真-1に示す黄丸の地点である.実施した実験は,土粒子の密度試験,粒度試験,液性・塑性限界試験,最小密度・最大密度試験である. それぞれの実験方法については,地盤工学会基準(土粒子の密度試験方法(JIS A 1202),土の粒度試験方法

(JIS A1204),液性・塑性限界試験方法(JIS A 1205),砂の最小密度(JIS A 1224)・最大密度試験方法(JGS 0162)に基づいている.試験結果を図-3 と表-1 に示す.

#### 5. 解析の概要

本研究で使用した iRIC は水工学に関わる数値シミュ レーションツールである.ここでは、その中の一つであ る土石流・泥流モデルを主体とした解析ソルバ



図-4 逆解析に用いた斜面崩壊範囲と土砂の堆積範 囲

表-2 逆解析による発生箇所の表面積と浸食深さ

斜面崩壊堆積(㎡)		見十連合深さ(…)
表面積(㎡)	深さ(m)	取入皮良沐さ(m)
10×10	0.3	0.1

表-3 各解析に用いたパラメータ

	野塚峠土試料	ザラメ雪
平均粒径(m)	0.012	0.002
流動前の存在率(%)	47	15
流動後の存在率(%)	47	15
内部摩擦角(degree)	39	39
液体として振る舞う土砂の割合	0.1	0

Morpho2DH を用いた解析を行った. 解析モデルでは, 掃流力・抵抗係数・河床位が求められるようになってい る. なお,詳細は既報<sup>2),3)</sup>に詳しい.本解析では,今回 発生した雪崩・土砂流動による実際の堆積量(デブリ量 =60,000m<sup>3</sup>,表面積 250m×60m,平均深さ 4m と仮定) になるように, iRIC を用いて逆解析を行い,斜面崩壊 体積と侵食深さを算出した(図-4 参照).得られた結 果を表-2 に示す.

次に、この値にもとづいて、雪崩・土石流・雪と雪泥 流<sup>の</sup>の3パターン解析を行った.解析では「河床材料の 種類」、「土粒子の存在率及び平均粒径」、「流体とし て振る舞う土砂の割合」、「内部摩擦角」を変化させて 解析を行っている(**表**-3 参照). それぞれのパラメー タの設定は以下のとおりである.

## (1)「河床材料の種類」

雪泥流解析では、「河床材料」を一様砂から混合砂ま で解析可能であることから、本解析では、土砂を野塚峠 で採取した土試料とし、雪をザラメ雪として、混合土砂 流として評価した.

(2)「土粒子の存在率及び平均粒径」

雪泥流の解析では、流下過程で生成する可能性の高い 凝集体(雪・流動土砂の混合体)から、流動前の土粒子 の存在率および流動開始後の存在率を算定した.山田<sup>4)</sup> は、雪泥流発生時に生成される凝集体が雪と土砂との流 下・流動回転時に形成されると仮定し、室内実験により 凝集体の生成を確認した(**写真-3**参照).その結果を、



写真-3 細粒分 Fc=0%の雪と土砂の混合体(凝集体)



図-5 細粒分の違いによる凝集体の全体に占める土 粒子の割合の変化

細粒分含有率 Fc(%)と凝集体に占める土粒子の割合 として示す(図-5 参照).図に示すように,Fc=0%で は,存在率は47%であることから,ここでは,その値 を用いて解析している.また,平均粒径は野塚峠の土試 料では粒径加積曲線より12mm,ザラメ雪は上石らの研 究<sup>5</sup>を参考に2mmとした.

(3)「流体として振る舞う土砂の割合」

iRIC では、0.2mm 程度以下の土砂の割合によって流体として振る舞う割合が規定されている.土石流、雪泥流解析では、前述の粒度試験の結果よりその割合は 0.1とし、雪崩解析ではザラメ雪の平均粒径を 2mm と仮定したことから、0として解析を行った.

(4)「内部摩擦角(せん断抵抗角)」

ザラメ雪の内部摩擦角は平均粒径と同様に,上石らの 研究 <sup>3)</sup>を参考に決定した.また,野塚峠の土試料につい ては,地盤工学会基準の土の一面せん断試験方法(JGS 0560,0561)により算定した.せん断抵抗角 φa は 39°, 粘着力 ca は 0 (KN/m<sup>2</sup>)が得られている.

### 6. 解析結果と考察

斜面崩壊地から堆積区(沢合流部からトンネル坑口) までの流動特性を比較する(図-6参照).図-7は各事 象が発生した後,最も土砂や雪が流動した時の様子であ り,図中の黄色線はそれぞれの流動範囲を示す.その結



図-6 各解析における流動範囲の比較:
左)雪崩、中央)雪泥流、右)土石流



図-7 実際の堆積範囲と解析結果の比較: (a) 雪崩 解析・土石流解析(b) 雪泥流解析

表−4 各解析における概算結果

	雪崩	土石流	雪泥流
堆積範囲(m <sup>²</sup> )	17171	8173	20965
堆積量(m³)	21609	1448	60377
流動距離(m)	1117	1035	1123

果,雪崩は土石流よりも被害範囲が広く,長距離流動し, 堆積することがわかる.雪泥流は複数回にわたって流動 し,雪崩・土石流よりも長距離流動し,被害範囲は拡大 することがわかった.

次に,各解析における末端部の堆積状況と実際の堆積 範囲を写真によって比較してみた(図-7 参照).土砂 及び雪の堆積範囲を太線で示す.解析結果は,現地の実 態を過小評価しているものの,雪泥流を対象にした解析 結果が、より実態に近い範囲を示した.ここで、解析結 果により算出した堆積範囲・堆積量・流動距離を表-4 にまとめる.表より、堆積範囲の比較では、土石流、雪 崩、雪泥流の順に大きいことがわかる.また、雪泥流の 堆積量は約 60,000m<sup>3</sup> となり、実際のデブリ量とほぼ一 致し、発生箇所からの流動距離においても雪泥流が最も 長いことが明らかにされた.

以上より,平成 30 年 3 月 9 日,一般国道 236 号広尾 町野塚トンネル付近で発生した融雪期災害では,雪泥流 に近い現象だった可能性が高いと指摘される.

一方,本解析においては,災害発生箇所を詳細に特定 することができない.このことは,解析結果に影響を及 ぼす可能性が高いことから,地盤工学的な解析アプロー チにより,はじめに誘因となる気象条件と斜面の詳細な 物性値から斜面災害発生箇所を推定し,本解析手法を活 用すれば,さらに解析結果の向上化は図れる.さらなる 検討は必要であろう.いずれにしても,各災害に対する リスク評価を行うことができれば,この種の災害の対策 が可能となる.

# 7. まとめ

一連の物理力学試験,解析を行った結果,以下のよう な結論を得た.

- (1) 野塚峠で採取した試料の物理力学特性を把握した.
- 土石流解析を対象とした iRIC Morpho2DH では,擬 似的に雪泥流の解析も可能である.
- (3) 雪崩現象,土砂流動現象,雪泥流現象の解析による 比較では,土石流,雪崩,雪泥流の順に堆積範囲は 大きくなった.また,雪泥流の堆積量は約 60000m<sup>3</sup> となり,実際のデブリ量とほぼ一致した.流動距離 では雪泥流現象が最も大きな値を示した.これらの ことから,本災害は,雪泥流の可能性が高いと考え られる.

# 謝辞

本研究を実施するにあたり,北海道開発局室蘭開発建 設部より,試料ならびに,各種災害情報の提供を頂いた. なお,本研究は,令和2年度一般財団法人北海道河川財 団研究助成金の補助を受けて行われた.記して,深甚な る感謝の意を表します.

#### 参考文献

 国道 236 号野塚峠にて雪崩発生 - 国土交通省 北海 道開発局

https://www.hkd.mlit.go.jp/ob/release/rfqnf00000008w k-att/fns6al000000j130.pdf

- 山田真嘉,川村志麻,岩間結:融雪期に発生した雪崩-土砂流動現象とその評価,土木学会北海道支部研究発表論文集,第76号巻,No.C-07,2020.1
- 川村志麻,山田真嘉:融雪期に発生した雪崩-土砂 流動現象とその工学的評価,第 55 回地盤工学会研 究発表会講演集,No. 22-12-1-06,2020.7
- 4) 山田真嘉:雪・土砂の凝集体が融雪期に発生する雪 崩・土石流現象に与える影響とその評価,室蘭工業

大学,令和元年度卒業論文

- 5) 上石勲,町田敬,小田憲健一,山田悟,佐藤篤司: 雪粒同士の結合が弱い湿雪の粘着力と内部摩擦角の 測定,雪氷研究大会,2009.
- 沖田竜馬,河島克久,松元高峰,片岡香子,渡部 俊:融雪型火山泥流の流動性に与える雪の影響,寒 地技術論文・報告集,34,1-007,2018.