

平成28年台風10号豪雨時の日勝峠における 斜面災害について

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 防災地質チーム ○吉野 恒平
坂本 尚弘
倉橋 稔幸

本報告では、平成28年台風10号に伴う豪雨によって、日勝峠熊見山西方で発生した表層崩壊を対象として、地形解析・地質調査・室内土質試験により表層崩壊の素因・誘因を分析した。その結果、表層崩壊発生箇所は上流側崩壊地と下流側崩壊地からなり、表層崩壊発生前の地形が異なっていた。表層崩壊発生箇所では、マサの二次堆積物、ローム層、火山灰層、表土、根系密集層が重なる。豪雨時に細粒分が高い地層が難透水層となり、その上位の地層が流動化したことによって表層崩壊が発生したと考えられる。

キーワード：斜面災害、表層崩壊、豪雨、地表水・地下水

1. はじめに

近年の気候変動の影響を受けることで全国的に大雨の発生頻度が増加している¹⁾。それに伴い北海道内の道路斜面の崩壊が多発する恐れがある。例えば、平成28年台風10号接近に伴う豪雨によって、日高山脈北部の国道274号日勝峠や国道38号狩勝峠などで多くの斜面災害が発生した^{2,3)}。

崩壊した斜面は水系が未発達な斜面であった。これらは7万～1万年以前の最終氷期に凍結融解作用の繰り返しとソリフラクションなどの周氷河作用によって形成された周氷河性斜面^{4,5)}である。周氷河性斜面では、表土などの下位において角礫混じりで未固結の砂層、周氷河性斜面堆積物を確認できる⁶⁾。

周氷河性斜面堆積物はその形成過程が特殊であることから、表層崩壊の発生メカニズムも特殊であると予想される。しかしながら、周氷河性斜面堆積物の構成や物理的性質は明らかにされていないことから、表層崩壊の発生メカニズムについて不明な点が多い。

そこで日勝峠での災害事例を調査・分析することで周氷河性斜面の崩壊メカニズムについてのヒントが得られると期待される。本報告では、日勝峠熊見山西方を対象として、UAV写真測量調査、地表地質踏査、室内土質試験を実施し、表層崩壊の素因・誘因を分析した。その上で、表層崩壊の発生過程を考察した。

2. 研究方法

(1) 解析対象範囲と崩壊状況

日勝峠北部の熊見山周辺(図-1)には緩やかな地形が広く分布している。表層崩壊が発生した熊見山西方の沢とその周辺地域を解析対象範囲として設定した。本対

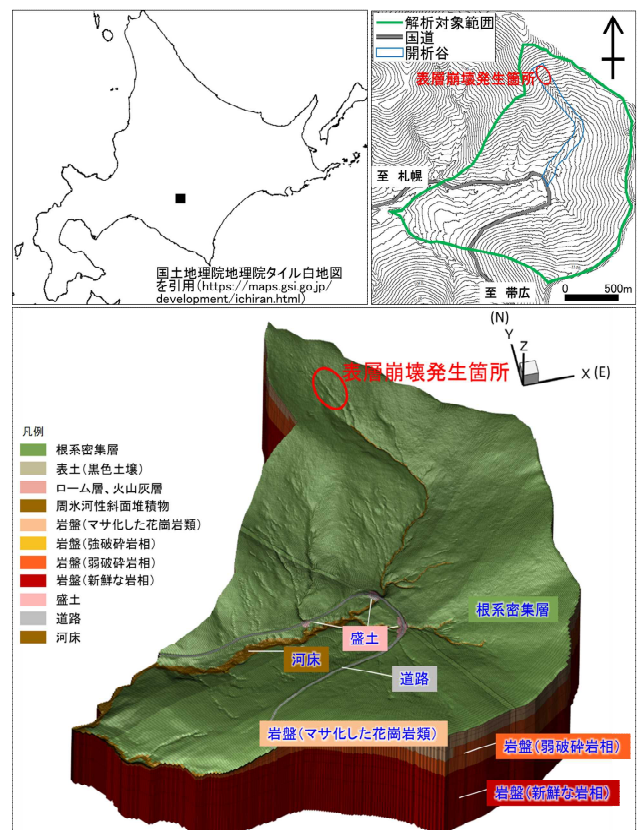


図-1 解析対象範囲の位置と三次元地形モデル

表-1 開析谷で観察された地質の層序

地質年代		地層名	地質の特徴	
新生代	第四紀	現河床堆積物	砂・砂礫層	
		根系密集層	落葉、枯枝などが地表に堆積したもの	
		表土	主に黒色の腐植土層	
		火山灰層 (Ta-d)	帯褐灰色でシルト質～砂質、ローム層の上部および下部に10～20cmの薄層として分布	
		ローム層	赤褐色でシルト質	
	完新世～更新世	粘土分を含むマサの二次堆積物	粘土を多含する上部層 (周氷河斜面堆積物)	
		マサの二次堆積物	花崗岩類の礫を含む下部層 (周氷河斜面堆積物)	
	新第三紀	中新世	マサ化した花崗岩類	淡褐～褐灰色、マサ化により砂状に分離する、もしくは細岩片に分離する岩相で不均質
			アプライト岩脈	未風化・硬質・優白色の岩相 幅0.3～1m程度 マサ化・破碎作用を免れた岩相
			石英閃緑岩ないし 花崗閃緑岩(強破碎岩相)	強い破碎作用を被って弱片状～片麻状を呈し、褐色化して亀裂が発達し岩片に分離しやすい
石英閃緑岩ないし 花崗閃緑岩(弱破碎岩相)			弱い破碎作用を不均質に被るが、ほぼ全体に硬質・塊状で淡灰色、板状ないし方状の節理が発達する	

象範囲は周氷河性斜面を形成しており、その中に氷河期以降に侵食された開析谷がある (図-1)。

ここでは花崗岩類とそれを貫くアプライトが基盤として分布し、その上位にマサの二次堆積物、ローム層、樽前山起源の火山灰層 (Ta-d)、表土、根系密集層が重なる (表-1)。また、河床では現河床堆積物も見られる。Ta-d が堆積した時代が 9,000 年前であることから、マサの二次堆積物は最終氷期末期に形成された周氷河性斜面堆積物とされる⁹⁾。

平成28年台風第10号が接近した際、上流域で表層崩壊、下流域では土砂流が発生した⁷⁾。その土砂流と流木により、覆道直下の谷埋め盛土に埋設された道路横断管が閉塞され、盛土が浸食されたが、2017年に復旧された。図-1に示す表層崩壊発生箇所では現在も崩壊跡を観察することができる。表層崩壊発生箇所は二箇所あり、それぞれ上流側崩壊地・下流側崩壊地がある (図-2)。

(2) UAV写真測量調査と地形解析

表層崩壊発生後の地形について、UAV (DJI Inspire 2・DJI Phantom 4 RTK) を用いて地上解像度1cm程度で写真測量した。得られた写真データとSfMソフトウェアにより、点群データから地形図を作成した (図-2)。それを災害前の平成24年に取得された国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部のLP測量データ (格子間隔1m以内) と比較し、表層崩壊発生前後の地形差分を解析した⁷⁾。

(3) 地表地質踏査

UAV写真測量によって作成した地形図をベースマッ

プとし (図-2)、本地域の地質、パイピングホールなどの崩壊に関与する事象に着目し、開析谷沿いに露頭を観察した。また、表層崩壊発生箇所において地質断面図・地質柱状図を作成し、その地質的特徴と地形的特徴を分析した。

(4) 室内土質試験

上流側崩壊地の試料採集地点 (図-2) においてTa-d、粘土分を含むマサの二次堆積物、及びマサの二次堆積物を採集した。それらについて密度試験 (JIS A 1202)、含水比試験 (JIS A 1203)、及び沈降分析による粒度試験 (JIS A 1204) を実施した。これらの試験結果に基づき、各試料の物理特性を分析した⁷⁾。

3. 研究結果

(1) UAV写真測量調査結果

UAV写真測量を実施することによって、調査範囲全域の写真データを取得し、開析谷沿いの地形図を作成した (図-2)。表層崩壊発生前後の地形差分を推定した結果、表層崩壊発生箇所ではほとんどが地形が低くなった。一方、下流側崩壊地の下流において地形差分が生じなかった場所も確認された⁷⁾。この場所は植生帯に相当する (図-2)。植生帯によって滞筋が切られ、下流で沢が出現していた。このことから、表層崩壊が発生した範囲は植生帯までであったとされる⁷⁾。

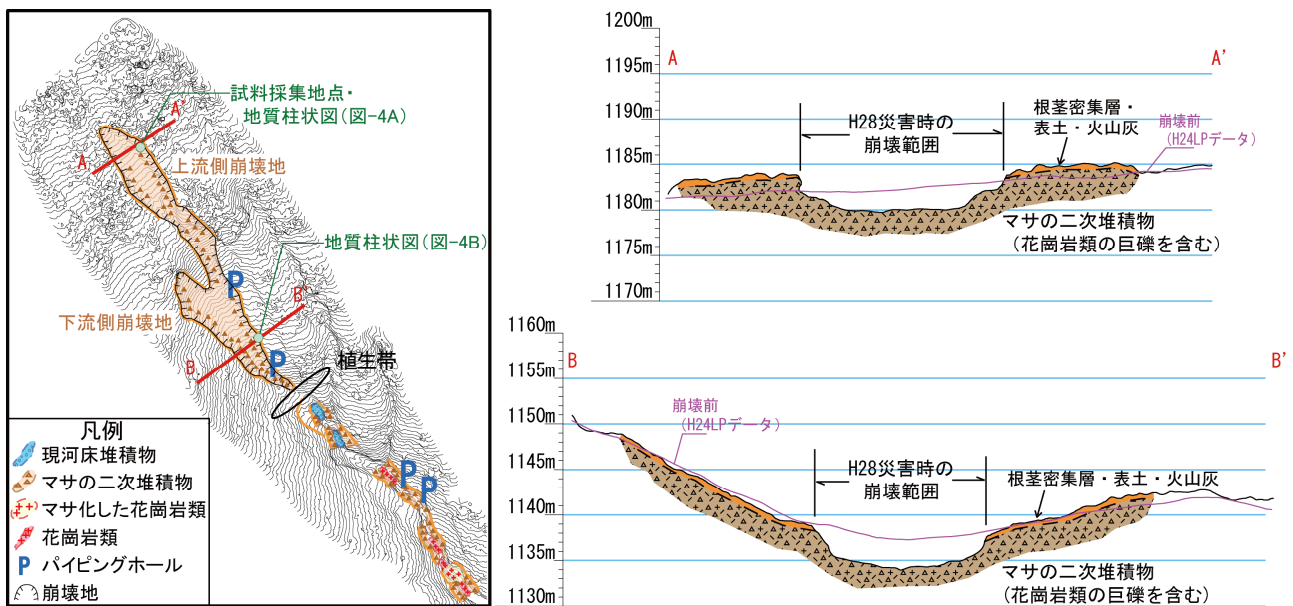


図-2 表層崩壊発生箇所のルートマップと地質断面図



図-3 表層崩壊発生箇所（上流側崩壊地）の現地状況

(2) 地表地質踏査結果

表層崩壊発生箇所では、図-3に示すように平坦な形状を呈しており、一部にガリー浸食箇所が見られる。地形差分が生じなかった植生帯は笹に覆われていたとともに、花崗岩類の転石が散在していた⁷⁾。これらは表層崩壊により供給されたと思われる。

表層崩壊発生箇所における地質断面図に現在の地形と平成24年LP測量データに基づく地形を示す(図-2)。ただし、地質断面図において地形が高くなったことも確認されており、平成24年から現在までに運搬された碎屑物が堆積することで地形が高くなったとされる⁷⁾。

崩壊範囲は左右対称の断面を示し、崩壊面底部では巨礫を含むマサの二次堆積物が露出していた(図-2、図-3)。また、上流側崩壊地の元々の地形は、全体的に細長く、特に源頭部が狭く下流に向かって開いた形状をしていた。窪んだ沢地形は認められず、全体的に一樣な

斜面地形であった。下流側崩壊地の元々の地形は、上流側崩壊地の延長の合流地点で旧崩壊跡地のような幅広い凹地形をしていた。また、下流側崩壊地の縁辺部の2地点で Ta-d 中にパイピングホールが確認された(図-2)。

上流側崩壊地・下流側崩壊地において地質柱状図を作成した。上流側崩壊地においては下位から、マサの二次堆積物、粘土分を含むマサの二次堆積物、赤褐色ローム層、Ta-d、根茎密集層・表土から構成される(図-4A)。マサの二次堆積物と粘土分を含むマサの二次堆積物が周氷河斜面堆積物であると見なした。一方、下流側崩壊地においては下位から、マサの二次堆積物、赤褐色ローム層、シルト質 Ta-d、表土、Ta-d、根茎密集層・表土から成る(図-4B)。マサの二次堆積物の上部では火山灰・礫が含まれていた。下流側崩壊地では、火山灰・礫を含む上部層も含めてマサの二次堆積物が周氷河斜面堆積物であると見なした。

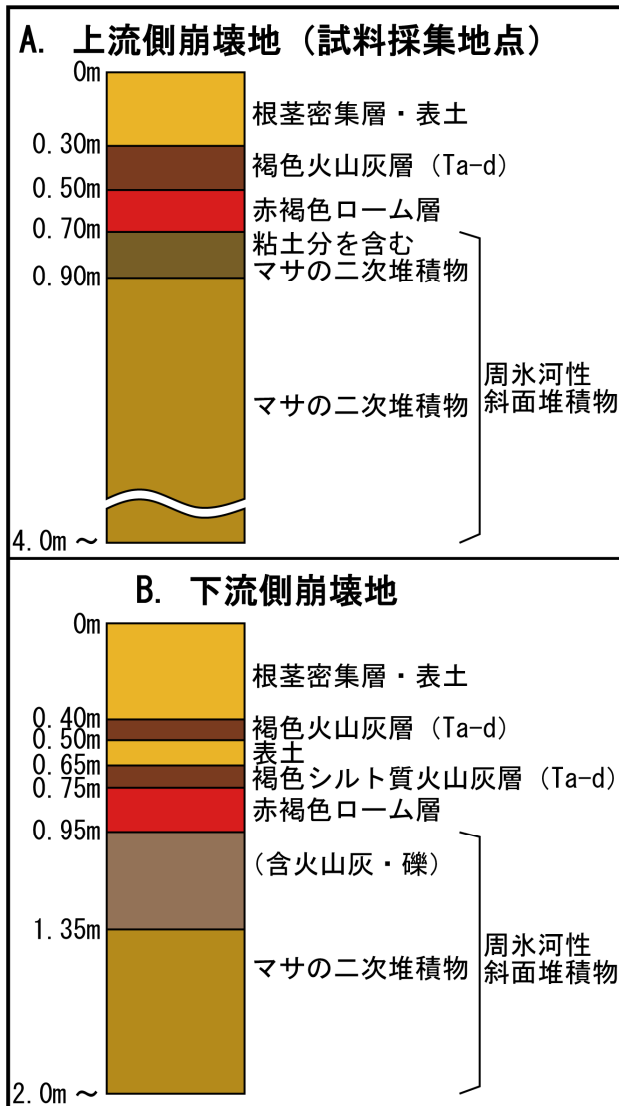


図-4 各崩壊地内の地質柱状図

(3) 室内土質試験結果

上流側崩壊地の試料採取地点における Ta-d、及び粘土分を含むマサの二次堆積物、及びマサの二次堆積物の密度、含水比、粒度を求めた⁷⁾。それらの試験結果を表-2に示す。

まず、密度については Ta-d は 2.604g/cm^3 、粘土分を含むマサの二次堆積物は 2.653g/cm^3 、マサの二次堆積物は 2.716g/cm^3 を示した。各試料の値の差は約 0.1g/cm^3 と小さく、密度にほとんど差がない結果が得られた。

次に、含水比については Ta-d は 99.8%、粘土分を含むマサの二次堆積物の含水比は約 137.3% と共に非常に高い値を示した。一方、マサの二次堆積物は約 44.4% と比較的低い値を示した。これらの試験結果から、Ta-d 及び粘土分を含むマサの二次堆積物とマサの二次堆積物との間に含水比の差があることを確認した。

また、各試料に対して粒度分析を実施した。Ta-d の砂分は 62.6%、シルト分は 28.6%、粘土分は 8.8% であり、

細粒分質砂に分類された。粘土分を含むマサの二次堆積物の礫分は 3.2%、砂分は 46.1%、シルト分は 23%、粘土分は 27.7% であり、砂質細粒土に分類された。そして、マサの二次堆積物の礫分は 14.5%、砂分は 44%、シルト分は 25.4%、粘土分は 16.1% であり、礫まじり細粒分質砂に分類された。以上から、粘土分を含むマサの二次堆積物は粒径 0.075mm 以下の細粒分を 50% 程度含み、細粒分が多いために含水比が高くなり、保水・遮水性が高くなったとされる。一方、マサの二次堆積物については、他の 2 試料よりも礫分が多くなり、淘汰が悪い。これにより、含水比も低くなり、保水・遮水性が低くなったとされる。以上のことから、粘土分を含むマサの二次堆積物とマサの二次堆積物との間に物理特性について大きな差異があることが明らかになった。

表-2 室内土質試験結果⁷⁾

	褐色火山灰 [Ta-d]	粘土分を含むマサの二次堆積物	マサの二次堆積物
土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)	2.604	2.653	2.716
含水比 w_n (%)	99.8	137.3	44.4
礫分 [2-75mm] (%)	0	3.2	14.5
砂分 [0.075-2mm] (%)	62.6	46.1	44
シルト分 [0.005-0.075mm] (%)	28.6	23	25.4
粘土分 [0.005mm未満] (%)	8.8	27.7	16.1
最大粒径 (mm)	2	4.75	4.75
均等係数 U_c	31	-	171
50% 粒径 (mm)	0.15	0.072	0.13
10% 粒径 (mm)	0.084	-	0.0017
分類	地盤材料の分類名 分類記号	細粒分質砂 SF	砂質細粒土 FS 礫まじり細粒分質砂 SF-G

4. 考察

調査結果に基づいて、上流側崩壊地と下流側崩壊地でのそれぞれの表層崩壊発生過程を考察する。

まず、上流側崩壊地における Ta-d と粘土分を含むマサの二次堆積物は含水比が高かったが、下位のマサの二次堆積物の含水比は低かった⁷⁾。さらに、粘土分を含むマサの二次堆積物は細粒分が多いために保水・遮水性が高かったことが示唆される。これらのことから、台風 10 号接近に伴う降雨が地表面から浸透し、粘土分を含むマサの二次堆積物が難透水層となったと推測される。これにより、上流側崩壊地では上位のローム層、Ta-d、表土が流動化し、表層崩壊が発生したと考えられる (図-4A)。加えて、表層崩壊発生箇所では水循環解析が行われており、上流側崩壊地では地中の浸透水が斜面沿いに流下したと解釈されている⁸⁾。以上のことから、上流側崩壊地の表層崩壊発生過程と水循環解析結果は整合すると考えられる。室内土質試験結果では、すべり面は赤褐色ローム層の最下面となる。しかしながら、実際の崩壊範囲ではマサの二次堆積物が露出しており、すべり面についての試験結果と現地状況が一致しない。現地状況

からマサの二次堆積物中にもすべり面があると予想される。今後はそれを検証するために、マサの二次堆積物に対しても室内土質試験を詳細に実施する必要がある。

次に、下流側崩壊地における地質柱状図から、上流側崩壊地との地質構成に差異があることが分かる(図-4)。こちらではシルト質のTa-dが難透水層となり、上位の表土、Ta-dが流動化したと予想される。このことを検証する上で図-4Bに示すTa-d、マサの二次堆積物に対しても上記と同様に室内土質試験を実施する必要がある。

5. まとめと今後の課題

日高山脈北部日勝峠の熊見山西方の沢上流域で発生した上流側崩壊地と下流側崩壊地からなる表層崩壊発生箇所を分析した。その結果、以下の通りまとめられる。

- 1) 上流側崩壊地から採集した試料の室内土質試験結果から、粘土分を含むマサの二次堆積物は含水比が高く、細粒分が多かった。そのため、上流側崩壊地については、豪雨時において粘土分を含むマサの二次堆積物が難透水層となり、その上位層が流動化し、表層崩壊が発生したと考えられる。
- 2) ただし、実際の崩壊範囲ではマサの二次堆積物が露出していることから、マサの二次堆積物中にもすべり面があると予想される。今後、マサの二次堆積物に対しても室内土質試験を詳細に実施する必要がある。
- 3) 一方、下流側崩壊地では、シルト質のTa-dが難透水層となり、上位の表土、Ta-dが流動化したと予想される。今後、このことを検証するためにTa-d、マサの二次堆積物に対しても上記と同様に室内土質試

験を実施する必要がある。

謝辞：本稿を執筆する上で、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部から災害発生前のLP測量データをご提供いただいた。また、調査対象地域においてUAV写真測量調査、地表地質踏査、室内試験用の土壌試料採集を行うにあたって、林野庁北海道森林管理局日高北部森林管理署、日高町教育委員会、北海道日高振興局に多大なご協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート，86p.，2020.
- 2) 伊東佳彦，倉橋稔幸：平成28年台風10号豪雨による北海道の一般国道274号日勝峠周辺の道路災害，第32回日本道路会議，4030，2017.
- 3) 道路管理技術委員会編：平成28年（2016年）台風10号による北海道豪雨災害現地調査報告写真集，一般財団法人北海道道路管理技術センター，106p.，2018.
- 4) 日本応用地質学会編：山地の地形工学，古今書院，213p.，2000.
- 5) 小泉武栄：日本における周氷河性平滑斜面の研究，地理学評論，第65巻，第2号，pp.132-142，1992.
- 6) 山本憲志郎：完新世における日高山脈北部の周氷河性斜面堆積物の移動期，第四紀研究，第28巻，第3号，pp.139-157，1989.
- 7) 吉野恒平，坂本尚弘，倉橋稔幸，日外勝仁：化石周氷河性斜面における表層崩壊と土石流の発生過程の分析，寒地土木研究所月報，No.817，pp.27-33，2021.
- 8) 吉野恒平，坂本尚弘，川又基人，倉橋稔幸：周氷河性斜面分布域における豪雨時の地表水・地下水の三次元数値解析，寒地土木研究所月報，No.824，pp.11-19，2021.