

融雪期斜面災害の要注意箇所抽出方法の検討

高柳 剛* 布川 修*

Research about Detecting Method of Vulnerable Spots Concerning Snowmelt Disasters

Tsuayoshi TAKAYANAGI Osamu NUNOKAWA

In snowy areas, slope failure triggered by snowmelt water (hereinafter a snowmelt disaster) occasionally occurs. In this paper, we analyzed 45 cases of snowmelt disasters that occurred along railway slopes. As a detecting method of the vulnerable spots concerning snowmelt disasters, we focus on the risk assessment criteria of rainfall for the slope failure used in Japanese railway and compared the evaluation score of that criteria in case of snowmelt disasters with ones in case of no-disaster. The result of the comparison shows that the evaluation scores of disaster cases tend to be lower and this confirms that the proposed detecting method of vulnerable spots can be effective.

キーワード：融雪，維持管理，斜面災害，盛土，切土

1. はじめに

豪雨時に雨水の浸透を誘因とした斜面災害（以下、降雨災害）が発生することは広く知られている。一方、降雨災害と比べて事例数は少ないものの、北海道や本州の日本海側などの豪雪地帯（図1）¹⁾の鉄道沿線斜面では、融雪水の浸透を誘因とした斜面災害（ここでは、残雪期間に地震動の外力によらず、融雪および降雨を誘因として生じる斜面災害を「融雪災害」と定義）が発生し（図2）、列車の運転に影響を生じた事例^{例えば2) 3)}が報告されている。

融雪水は積雪の融解によって発生し、降雨と同様に地盤へ浸透して地盤の高含水化に寄与する。しかし、その量を雨量計で計測することはできない。このため雨量のみを評価指標とした通常の鉄道の運転規制（警戒基準）では、融雪災害に対する警戒の判断が困難な場合がある。上記の事情により、豪雪地帯を営業圏とする鉄道事業者では、融雪期の列車の安全を確保するために、通常の降雨時運転規制に加えて、例えば融雪期に職員の線路巡回を強化するなどの措置をしている。一方で、融雪災害に対する警戒要否や、警戒時における巡回箇所の選定は経験的な判断に基づくことも多い。より効果的に列車の安全性を確保するためには、融雪災害が発生しやすい「位置」と「時期」を定量的に評価する手法の開発が重要となる。本稿では融雪災害が発生しやすい「位置」である要注意箇所を抽出する手法に着目した検討内容について報告する。

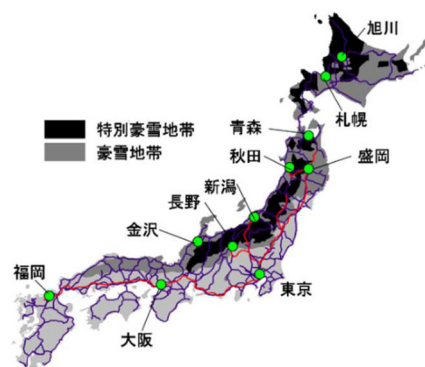
図1 日本の鉄道網と豪雪地帯¹⁾

図2 融雪期の斜面災害（融雪災害）の例

2. 研究目的と概要

斜面管理の実務において、融雪災害の要注意箇所抽出のために、対象地域の全ての斜面に対して個別に詳細な地盤調査や斜面安定解析等を実施することはコスト面で現実的ではない。このため、過去の被災事例の分析や、簡易な現地調査などに基づく簡便な抽出手法が求められる。しかし、融雪災害箇所ので地形条件・構造条件・地質条件などを体系的に整理した事例は少なく、また要注

* 防災技術研究部 地盤防災研究室

意箇所を具体的に抽出するための手法も提案されてこなかった。

以上を踏まえて、融雪災害が発生しやすい箇所の諸条件について知見を得る目的で、これまでに鉄道で発生した融雪災害事例を収集し、被災箇所の地形条件・構造条件・地質条件などの情報整理を行った。さらに融雪災害の被災箇所と、被災箇所の近傍でこれまでに災害を経験していない箇所（以下、未被災箇所）の両方で現地調査を行い、鉄道で用いられている限界雨量に基づく盛土・切土の限界雨量基準⁴⁾（以下、限界雨量基準）の考え方に着目し、同基準を応用した融雪災害の要注意箇所抽出手法の有効性を検証した。

3. 被災事例の整理

3.1 被災事例等の情報収集

本研究では積雪地域を広く営業圏とする北海道旅客鉄道株式会社（以下、JR 北海道）と東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR 東日本）より災害復旧調書の提供を受け、これらに記録されている近年の融雪災害の被災事例として全 45 件を収集した。なお、全被災事例ではのり面工などの防災対策工は施工されていない。本章では、まず被災事例の斜面構造を盛土・切土・自然斜面に分類した上で、災害復旧調書の情報を整理した概略の結果を報告すると共に、融雪災害の特徴について若干の考察を加える。

3.2 盛土における融雪災害の事例

斜面構造が盛土に該当する 12 事例について、盛土高さ H_e 、盛土の斜面勾配 θ 、盛土の形状のデータを整理して示す（図 3～図 5）。なお、盛土の形状については、鉄道構造物等維持管理標準・同解説（土構造）⁴⁾を参考に①平地上の盛土、②傾斜地盤上の盛土、③腹付け盛土、④片切片盛の 4 区分を採用した。図 5 については、高さ別の内訳も含むグラフとして示している。

図 3 によれば、鉄道盛土における被災事例の 12 件中 11 件が盛土高さ $H_e > 3\text{m}$ で発生しており、また被災事例の平均盛土高さ ($\overline{H_e}$) は 6.1m であり、一定の高さの盛土で多く被災していることが分かる。次に図 4 に着目すると、被災事例の盛土ののり面勾配 θ は、鉄道の性能ランクⅢの標準的な勾配である 1:1.5 より急勾配となっている場合が 67% を占めている。さらに図 5 によれば、被災事例の 12 件中 11 件は腹付け盛土または片切片盛の場合に発生しており、盛土における融雪災害の多くは、隣接する地山からの広域的な水文挙動（地下水位の供給など）の影響を受けやすい条件で発生しており、これらは融雪期の斜面の維持管理において注意すべき盛土形状と判断される。

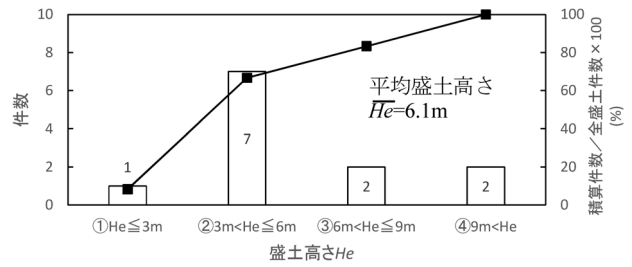


図 3 盛土高さ H_e (被災盛土)

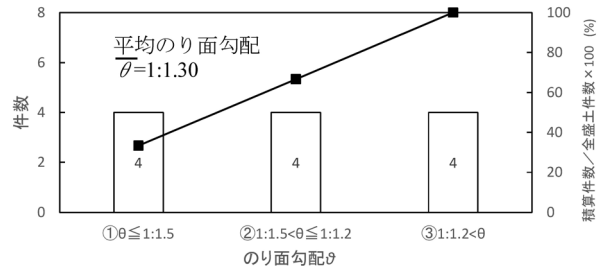


図 4 のり面勾配 θ (被災盛土)

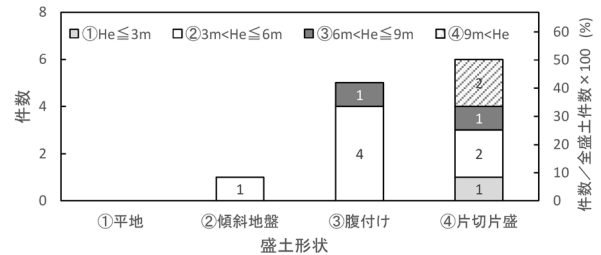


図 5 盛土形状と盛土高さ H_e (被災盛土)

3.3 切土における融雪災害の事例

斜面構造が切土に該当する 21 事例について、地質条件、切土高さ H_c 、のり面勾配 θ のデータを整理して示す（図 6～図 8）。

図 6 によれば、今回の事例収集における切土の融雪災害発生箇所の地質条件は、第四紀の未固結堆積物（礫・砂・泥など）または新第三紀の火山砕屑岩（火山由来の粒子が堆積してできた岩）の頻度が高い。また図 7 によれば切土の被災事例の 95% は切土高さ $H_c \geq 3\text{m}$ の条件で発生している。ただし、これらの事例で、特に長大斜面であるほど災害の発生頻度が高くなる傾向は確認されない。図 8 に着目すると、斜面勾配 θ が 1:1.0 以下の比較的緩やかな条件で発生した事例が 52%、1:1.0 より急勾配な条件で発生した事例が 29% となっている。のり面勾配と施工時の地山の状態には密接な関係があるため、被災事例の半数以上が一般土程度の状態の地山を切土した斜面で発生している可能性が高いと想定される。

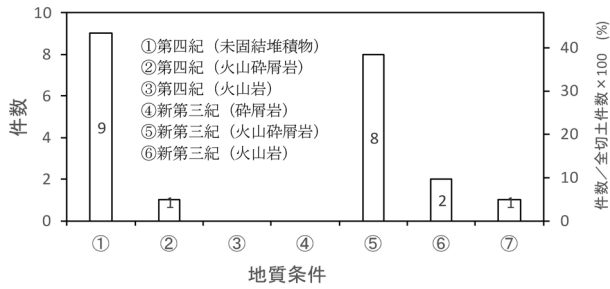


図6 地質条件 (被災切土)

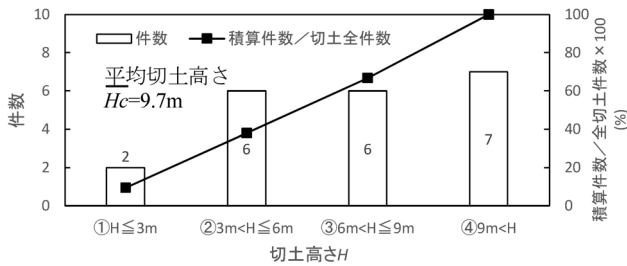


図7 切土高さ H_c (被災切土)

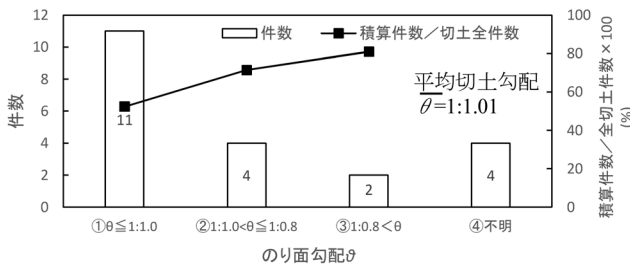


図8 のり面勾配 θ (被災切土)

3.4 自然斜面における融雪災害の事例

斜面構造が自然斜面に該当する12事例について、地質条件、斜面高さ H_n 、斜面タイプの分類(段丘 or 段丘以外)を整理して示す(図9, 図10)。斜面タイプの分類の理由は、一般的に段丘では透水層が介在することにより、斜面に湧水が生じて斜面が不安定化する場合があることが知られているためである。

図9によれば今回の事例収集における自然斜面の融雪災害発生箇所地質条件は、第四紀の未固結堆積物(礫・砂・泥など)または第四紀の火山砕屑岩の頻度がやや高

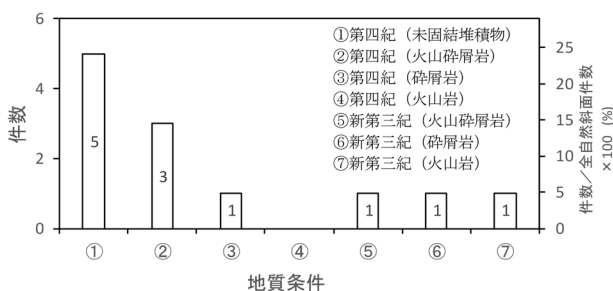


図9 地質条件 (被災自然斜面)

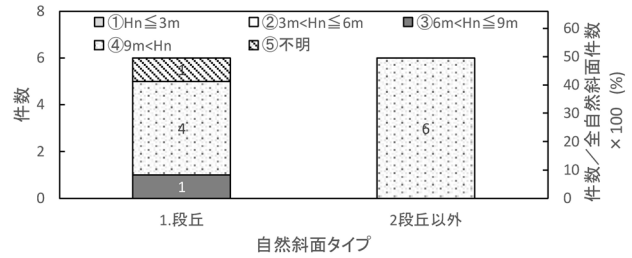


図10 自然斜面タイプと斜面高さ H_n (被災自然斜面)

い傾向が確認される。また図10によれば、災害事例の50%が段丘崖で発生しており、また83%が高さ $H_n > 9m$ の比較的に長大な斜面で発生していることが分かった。

4. 要注意箇所抽出手法の検討

4.1 現地調査と要注意箇所抽出手法の検討概要

前章では鉄道における融雪災害について、盛土・切土・自然斜面の被災事例の概略的な特徴について述べた。これらの情報は、沿線斜面から要注意箇所の候補を選定するための机上検討に用いる参考情報として一定の有用性があると考えられる。一方で、斜面管理の実務では、例えば前章の情報を参考に机上検討から一定数の要注意箇所の候補を選定した上で、さらに対策の優先順位の高い箇所を具体的に絞り込むための定量的な判断手法が求められると想定される。

そこで本研究では、鉄道で用いられている限界雨量に基づく盛土・切土の限界雨量基準の考え方に着目し、同基準を応用した融雪災害の要注意箇所抽出手法の有効性を検証した。ここで限界雨量基準の概要について述べる。同基準は過去の鉄道で発生した降雨災害の事例(盛土・切土)に関する現地データと災害発生時の雨量データを収集し、数量化I類などの統計分析結果に基づき斜面災害が発生する可能性が高い雨量(以下、限界雨量)を現地データに基づく評価点によって定める手法である。同基準では盛土、切土の2つの斜面構造について評価基準を設けており、自然斜面については提案されていない。ここで、具体的な盛土の危険度評価基準を表1に示す。その他、危険度基準の詳細については文献4を参照されたい。なお留意点として、切土のり面については、現地データに基づき、懸念される崩壊形態が表層崩壊か深層崩壊について同基準の評価式を用いて事前に判別した上で、それぞれの評価基準を用いて採点する。

同手法における現地データに基づく総合評価点 ΣS (基本点 + Σ (評価点)) が低い場合、当該箇所は少ない雨量で斜面災害に至る素因を有していることを意味する。融雪災害と降雨災害は共に地盤への水の浸透に伴って斜面が不安定化して崩壊に至る被災形態であるため、融雪災害が発生しやすい要注意箇所では低い評価点が得られ

表1 盛土の危険度評価基準⁴⁾
総合評価点 $\Sigma S = \text{基本点} + \Sigma(\text{評価点})$

基本点	13.14				
条件	条件(上段)と評価点(下段)				
構造条件	盛土高さ $H(\text{m})$	$P = -3.18 \times 10^{-3} H^2 - 7.09 \times 10^{-2} H + 7.87 \times 10^{-1}$			
	土質 S_E	粘性土	砂質土	礫質土	
		-1.05	0.07	0.14	
	貫入強度 N_d	$P = -9.79 \times 10^{-3} N_d^2 + 4.75 \times 10^{-1} N_d - 2.24$			
基盤条件	表層地盤の地質 S_B	沖積地盤	その他		
		-0.38	0.22		
	地盤の傾斜角 θ_B	平坦	10° 以上		
集水・浸透条件		IV	III	II	I
	透水係数 $K(\text{m/s})$	$K < 10^{-6}$	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$10^{-4} \leq K$
		-0.17	0.26	-0.41	0.86
	集水地形 W_G	なし		対象側	反対側
		0.52		-3.23	-1.83
	縦断形態 T_L	切盛境界・落込勾配		平坦・単勾配	
	-0.53		-0.30		
横断形態 T_H	純盛		片切片盛・腹付		
	0.21		-0.16		
経験雨量条件	経験雨量 R_E	$P = -1.06 \times 10^{-10} R_E^2 + 5.50 \times 10^{-5} R_E - 2.96$			

る可能性がある。

そこで本研究では上記の仮説に基づき、融雪災害の被災事例の中から一定数を抽出し、さらに同線区内における未被災箇所を線路平面図から作為無く選定して現地調査を行い、調査結果から得られる限界雨量基準の評価点を比較した。調査箇所数は、盛土被災箇所6か所、盛土未被災箇所9か所、切土被災箇所6か所、切土未被災箇所7か所である。ここで、限界雨量基準に基づく評価を行うために、現地調査で実施した具体的な調査項目は以下の通りである。

- 簡易動的コーン貫入試験 (JGS 1433-201)
- 乱した土試料の採取
- 土の粒度試験 (JGS 0131-2009)
- 土粒子の密度試験 (JGS 0111-2009)
- 乱れの少ない土試料による簡易飽和透水試験
- 簡易な斜面断面の測量

4.2 現地調査データと要注意箇所評価

本節では現地調査より得られたデータを整理して示す。表2、表3には現地調査時に採取した乱した土試料より得られた土の粒度試験結果を示す。表中の「大分類」は同試験結果に基づいてJGS 0051-2009の基準により分類したものである。表4には簡易飽和透水試験および土粒子の密度試験結果を示す。

さらに表5には被災事例、表6には未被災事例の盛土で実施した簡易動的コーン貫入試験結果、現地調査より得られたデータを用いて限界雨量基準⁴⁾に基づき算定した調査箇所の評価点を示す。なお、平均貫入強度 N_d の算出に当たっては、限界雨量基準⁴⁾に基づき、盛土

表2 土の粒度試験まとめ(盛土)

場所	粒度：含有率(%)				均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	平均径 D_{50} (mm)	大分類	
	礫	砂	シルト	粘土					
被災	A-1	35.7	46.8	11.2	5.3	46.7	3.0	0.658	砂質土
	B-1	4.2	58.8	25.2	11.8	35.2	1.6	0.136	砂質土
	H-1	8.2	79.0	10.8	2.0	8.9	0.95	0.36	砂質土
	E-1	54.2	28.4	13.0	4.4	282	1.9	2.91	礫質土
	G-1	43.5	45.6	8.8	2.1	59.5	0.84	1.00	砂質土
未被災	A-2	22.1	26.2	29.0	22.7	115	0.36	0.067	粘性土
	A-3	55.1	26.9	13.1	4.9	238	1.03	2.66	礫質土
	B-2	40.7	36.2	14.8	8.3	123	2.8	0.505	礫質土
	C-1	54.5	26.1	13.2	6.2	702	1.09	2.22	礫質土
	E-2	25.6	30.7	27.5	16.2	297	0.78	0.184	砂質土
	F-1	33.6	20.9	30.1	15.4	143	0.41	0.105	礫質土
	G-2	64.7	20.3	10.1	4.9	1000	0.3	18.0	礫質土
	G-3	57.5	26.4	8.2	7.9	977	1.2	6.39	礫質土
	G-4	36.0	52.5	8.7	2.8	17.4	0.89	0.471	砂質土

表3 土の粒度試験まとめ(切土)

場所	粒度：含有率(%)				均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	平均径 D_{50} (mm)	大分類	
	礫	砂	シルト	粘土					
被災	A-4	38.2	46.6	9.5	5.7	43.1	3.9	0.505	砂質土
	B-3	13.8	44.8	26.2	15.2	59.3	0.58	0.106	砂質土
	D-1	19.4	17.5	55.7	7.4	8.6	0.78	0.037	粘性土
	F-2	0	20.0	46.8	33.2	-	-	0.013	粘性土
	G-5	18.6	64.5	13.1	3.8	37.6	3.92	0.645	砂質土
未被災	I-1	20.7	34.1	30.2	15.0	133	0.55	0.138	砂質土
	A-5	52.4	22.2	17.9	7.5	359	0.20	1.10	礫質土
	A-6	39.6	22.7	26.1	11.6	207	0.75	0.297	礫質土
	C-2	53.4	23.9	16.4	6.3	391	0.85	1.55	礫質土
	D-2	48.2	47.3	4.5	-	13.4	0.43	1.76	礫質土
	E-3	1.8	21.3	51.3	25.6	23.1	1.72	0.015	粘性土
	F-3	0.1	82.0	12.3	5.6	25.5	9.26	0.395	砂質土
	G-6	22.1	61.5	12.2	4.2	15.8	2.38	0.275	砂質土

表4 簡易透水試験・土粒子密度試験まとめ

盛土				切土					
場所	K (m/sec)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	場所	K (m/sec)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	粒子密度 ρ_s (g/cm ³)		
被災	A-1	1.81×10^{-4}	1.23	2.61	被災	A-4	1.79×10^{-4}	1.18	2.67
	B-1	5.11×10^{-7}	1.01	2.60		B-3	2.26×10^{-7}	0.975	2.59
	H-1	6.50×10^{-6}	—	2.64		D-1	3.25×10^{-5}	1.27	2.42
	H-2	1.99×10^{-2}	1.06	—		F-2	6.51×10^{-6}	1.02	2.44
	E-1	8.15×10^{-5}	1.04	2.71		G-5	1.81	0.88	2.58
	G-1	2.18×10^{-4}	1.18	2.65		I-1	1.99×10^{-4}	1.16	2.65
未被災	A-2	4.36×10^{-6}	1.20	2.67	未被災	A-5	2.98×10^{-4}	0.894	2.53
	A-3	3.29×10^{-3}	—	2.20		A-6	2.23×10^{-4}	0.926	2.50
	B-2	1.87×10^{-4}	1.20	2.63		C-2	2.13×10^{-4}	0.842	2.65
	C-1	2.98×10^{-6}	1.13	2.61		D-2	1.29×10^{-5}	1.15	2.73
	E-2	5.17×10^{-5}	1.22	2.69		E-3	3.12×10^{-5}	0.84	2.59
	F-1	3.38×10^{-4}	0.81	2.42		F-3	2.28×10^{-4}	1.21	2.63
	G-2	2.01×10^{-4}	1.01	2.58		G-6	1.25×10^{-4}	1.04	2.58
	G-3	1.67×10^{-4}	1.03	2.53					
G-4	1.40×10^{-4}	1.22	2.72						

の場合には盛土本体部の地表面から深さ 3m までの貫入強度 N_d の平均値として求めている。さらに、盛土の総合評価点 ΣS を整理したグラフを図 11 に示す。

なお融雪災害の被災パターンは、一般に融雪水の浸透に伴う斜面の高含水化によるもの（「高含水」）が多いが、その他に、河川に隣接する斜面が融雪による河川増水によって被災するパターン（「洗掘」）、また斜面周囲の水路から融雪水が溢水するパターン（「溢水」）も確認されるため、図 11 には各被災パターンを区分して表示している。図 11 によれば、「高含水」を被災パターンとする A-1,B-1,H-1 の総合評価点 ΣS は未被災事例と比較して低くなる傾向が確認される。被災事例（「高含水」）の平均総合評価点は $\Sigma S_{ave}=10.5$ である一方、未被災事例の平均総合評価点は $\Sigma S_{ave}=15.6$ であった。

融雪災害箇所の評価点が低くなる原因としては、基盤の傾斜 θ_B 、集水地形 W_G などの水文環境の関連する条件や経験降雨 R_E の条件が大きく影響している。ただし被災パターンが「洗掘」、「水路溢水」の場合の被災事例の中には、総合評価点数 ΣS が高くなっている事例が含まれている。既往の限界雨量基準では河川条件や水路条件を反映できないことが原因と考えられる。このような既

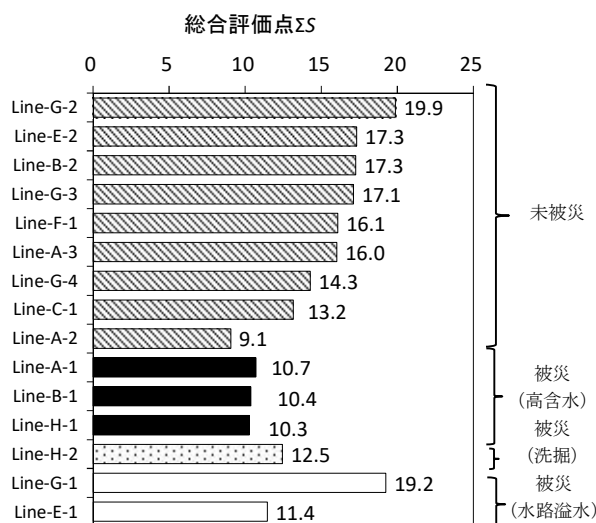


図 11 盛土の総合評価点まとめ

往の基準には含まれない条件の反映方法は、今後の研究課題として残る。

次に切土に対する評価結果を示す（図 12, 図 13）。なお、切土のり面の場合には発生が予測される崩壊形態を「表層崩壊」か「深層崩壊」かを事前に判別する必要がある。その結果、G-6 は「深層崩壊」、G-5・F-3・I-2 は「表層崩壊または深層崩壊」、その他は「表層崩壊」として判別された。このため G-5・F-3・I-2 については、「表層崩壊」と「深層崩壊」の両者の評価結果を示す。

ここで、表 7 には被災事例の切土（表層崩壊）、表 8 には未被災事例の切土（表層崩壊）の評価点および評価項目のデータを記述する。さらに切土（表層崩壊）の総合評価点 ΣS を整理したグラフを図 12 に示す。

表 9 には被災事例および未被災事例の切土（深層崩壊）の評価点および評価項目のデータを記述している。また切土（深層崩壊）の総合評価点 ΣS を整理したグラフを図 13 に示す。

図 12 によれば、「表層崩壊」として評価される切土のり面において、「高含水」を被災パターンとする A-4,B-3,D-1,F-2 の総合評価点 ΣS は未被災事例と比較して低くなる傾向が確認される。被災事例の平均総合評価点は $\Sigma S_{ave}=20.1$ である一方、未被災事例の平均総合評価点は $\Sigma S_{ave}=37.6$ であった。融雪災害箇所の評価点が低くなる原因としては、貫入強度 N_d 値、地質 S_E などの地盤条件に関する項目の影響が大きい。

また図 13 によれば、深層崩壊として評価される切土のり面において、切土の「水路溢水」を被災パターンとする被災事例（G-5）、および「高含水」を被災パターンとする被災事例（I-2）は、切土のり面の未被災事例と比較して総合評価点 ΣS が低くなる傾向が確認された。

表 5 盛土の評価点まとめ・被災事例

	A-1	B-1	E-1	G-1	H-1	H-2
被災	有	有	有	有	有	有
H(m)	3.3	5	5.1	4.3	8.5	3.1
S_E	砂	砂	礫	砂	砂	砂
N_d	5.2	3.8	4.3	4.6	1.9	4.1
S_B	沖積	他	沖積	他	沖積	沖積
θ_B	傾斜	傾斜	傾斜	平坦	傾斜	傾斜
K	I	IV	II	I	II	II
W_G	反対	反対	反対	なし	反対	反対
T_L	平坦	切盛境界	平坦	平坦	平坦	平坦
T_H	腹付	片切片盛	片切片盛	腹付	腹付	腹付
R_E (mm)	56,445	78,880	129,030	165,920	139,996	139,996
ΣS	10.7	10.4	11.4	19.2	10.3	12.5

表 6 盛土の評価点まとめ・未被災事例

	A-2	A-3	B-2	C-1	E-2	F-1	G-2	G-3	G-4
被災	無	無	無	無	無	無	無	無	無
H(m)	5.7	1.7	5.3	3.5	3.6	3.3	2.1	1.5	2.9
S_E	粘性	礫	礫	礫	砂	礫	礫	礫	砂
N_d	6.4	5.4	6.2	6.8	6.1	3.3	5.0	4.7	4.2
S_B	沖積	沖積	他	沖積	沖積	沖積	他	他	他
θ_B	傾斜	平坦	平坦	平坦	平坦	平坦	平坦	平坦	傾斜
K	III	I	I	III	II	II	I	I	I
W_G	反対	なし	なし	対象	なし	なし	なし	反対	反対
T_L	平坦	平坦	切盛境界	平坦	平坦	平坦	平坦	平坦	平坦
T_H	腹付	腹付	純盛	純盛	純盛	純盛	純盛	片切片盛	片切片盛
R_E (mm)	56,445	56,445	78,880	85,358	129,030	118,320	165,920	165,920	165,920
ΣS	9.1	16.0	17.3	13.2	17.3	16.1	19.9	17.1	14.3

表7 切土の評価点まとめ（表層崩壊）・被災事例

	A-4	B-3	D-1	F-2	G-5
被災	有	有	有	有	有
θ	急	急	急	急	急
S_E	砂	砂	シルト	粘性	砂
\bar{N}_d	4.1	4.5	4.4	4.7	3.1
R_c	他	堆積	堆積	堆積	他
W_g	平坦	等価	等価	集水	等価
R_y	1065	1360	1265	1360	1360
ΣS	26.3	24.4	15.6	14.1	21.1

表8 切土の評価点まとめ（表層崩壊）・未被災事例

	A-5	A-6	C-2	D-2	E-3	F-3
被災	無	無	無	無	無	無
θ	急	急	急	緩	急	急
S_E	礫	礫	礫	礫	シルト	砂
\bar{N}_d	8.3	4.9	7.6	9.1	12.2	5.7
R_c	他	堆積	他	他	堆積	堆積
W_g	平坦	等価	等価	等価	平坦	平坦
R_y	1065	1065	938	1265	1215	1360
ΣS	32.4	23.1	35.0	58.5	43.6	32.8

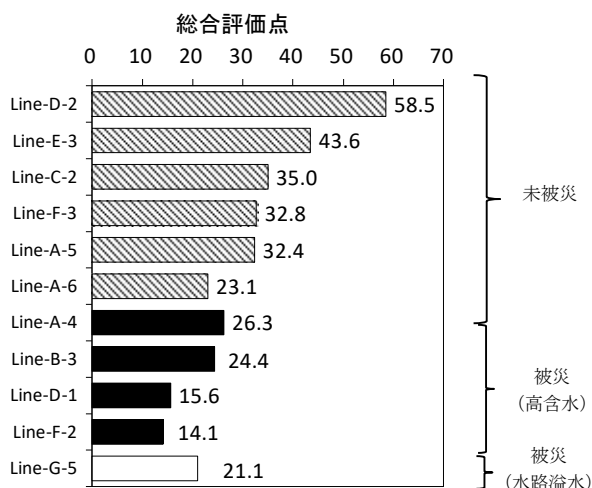


図12 切土（表層崩壊）の評価点まとめ

表9 切土の評価点まとめ（深層崩壊）

	G-5	I-1	F-3	G-6
被災	有	有	無	無
$\beta(^{\circ})$	51	30	49	38
$H(m)$	25.5	6.9	9.0	7.8
D_s	0.63	1.73	1.77	3.63
\bar{N}_d	3.1	2.75	5.70	4.7
R_h	軟岩	軟岩	軟岩	軟岩
W_G	等価	集水	平坦	平坦
R_y	1360	1129	1360	1360
ΣS	9.9	10.5	13.5	11.8

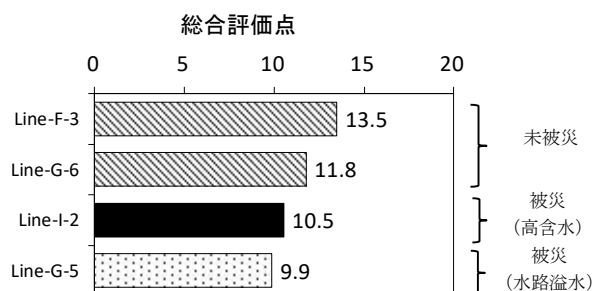


図13 切土（深層崩壊）の評価点まとめ

4.3 要注意箇所判定の閾値

具体的に要注意箇所を選定する為には、総合評価点 ΣS に対して一定の閾値 P を設定し、これを判断基準とする手法が有効と判断される。ここで、例えば盛土の未被災事例の平均総合評価点 ΣS_{ave} から標準偏差 σ を減じた値を閾値 $P (= \Sigma S_{ave} - \sigma = 12.6)$ として設定して、今回の盛土の調査箇所に対して閾値を適用した場合、被災事例を適切に要注意箇所として判別する割合（以下、判別率）は83%（被災事例5件中6件）、未被災事例から誤って要注意箇所として判別する割合（以下、誤判別率）は11%（未被災事例9件中1件）となる。

切土（表層崩壊）で盛土と同様に設定した閾値 P を今回の調査箇所に当てはめた場合、判別率は100%（被災事例4件中4件）、誤判別率は17%（未被災事例6件中1件）となる。切土（深層崩壊）の場合は、例えば未被災事例の総合評価点の最低値 $\Sigma S = 11.8$ を仮に閾値 P として設定した場合、評価事例数が限られるものの、今回の被災事例の判別率は100%となる。

5. 結論

本稿では斜面管理において融雪災害が発生しやすい要注意箇所を抽出する手法を検討する目的で、これまでに鉄道で発生した融雪災害事例を収集し、被災箇所の地形条件・構造条件・地質条件などの情報整理を行った。さらに融雪災害の被災箇所と、被災箇所の近傍でこれまでに災害を経験していない箇所の両方で現地調査を行い、鉄道で用いられている限界雨量基準の考え方に着目し、同手法を応用した融雪災害の要注意箇所抽出手法の有効性を検証した。その結果、適切に閾値を設定することによって、要注意箇所を抽出できる可能性を示した。

文献

- 国土交通省：豪雪地帯・特別豪雪地帯の指定，
<https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chisei/content/001344957.pdf> (参照日：2020年10月14日)
- 航空・鉄道事故調査委員会：IV 東日本旅客鉄道株式会社 只見線早戸駅～会津水沼駅間、列車脱線事故鉄道事故調査報告書，2006
- 航空・鉄道事故調査委員会：東日本旅客鉄道株式会社 信越線 妙高高原駅～関山駅間 列車脱線事故，鉄道事故調査報告書，2014
- (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）土構造物（盛土・切土），丸善出版，pp.108 - pp.115, 2007