

融雪等による道路斜面災害の調査・評価手法に関する研究（1）

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 29

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（防災地質）

研究担当者：倉橋稔幸、矢島良紀、宍戸政仁

【要旨】

融雪期における道路斜面災害の予測・評価手法の提案に向け、北海道の国道における斜面災害履歴を分析するとともに、モデル地区において道路管理に適用可能な融雪量推定手法や災害発生評価手法について検討をおこなった。その結果、融雪土砂災害の特徴を明らかにするとともに、モデル地区では積算温度法を用いた融雪量推定手法と土壌雨量指数の組み合わせによって、表層崩壊の発生を比較的良好に評価することができた。

キーワード：融雪土砂災害、融雪量、積算温度法、土壌雨量指数

1. はじめに

積雪寒冷地では融雪期に道路斜面災害が多発する傾向があり、北海道の国道では1998～2012年の15年間に発生した斜面災害のうち、約4割が3～5月の融雪期に発生している¹⁾。

融雪期は無降雨時でも融雪水が漸続的に地中へ浸透するため、非融雪期と比べて少ない雨量で災害が発生すると考えられる。したがって道路管理者が災害の発生予測や、それを踏まえた事前通行規制を行う際には、降雨に加え融雪水を考慮する必要がある。

しかし、道路管理に適用可能な簡便かつ精度の高い評価手法はまだ確立されておらず、通行規制の基準に反映できるような水準には達していないため、依然として連続雨量を基準とすることが一般的である。また、融雪土砂災害の発生と地形地質的な条件の関係についても十分な整理がなされていないことが現状である。

そこで本研究では、融雪期の国道斜面災害の特徴や発生要因について明らかにするために、北海道の国道における斜面災害履歴の分析をおこなうとともに、道路管理に適用可能な融雪水量の推定手法や融雪災害の発生評価指標について観測データをもとに検討をおこなった。

2. 研究方法

2.1 融雪期における北海道の国道斜面災害の要因分析

融雪期における道路斜面災害の特徴を把握するため、災害履歴データを用いて分析をおこなった。北海道開発局は1998年度以降、国道で生じた災害の状況について、災害対応レポートとして整理している。これには通行止

めを伴わないような比較的小規模な災害も含まれており、詳細な分析が可能である。事例数は1998年から2013年の16年間における538件である。平成26年度は、主に融雪水の影響を受けやすいと推測した表層崩壊に着目し各種分析をおこなった。その対象災害数は208件である。このうち、融雪期に発生した災害数は64件であり、約3割を占める。なお、融雪が生じる期間は地域によって異なるが、今回の分析では3月～5月を融雪期とした。

2.2 融雪量推定手法

2.2.1 モデル地域

国道230号の中山峠札幌側の特殊通行規制区間（札幌市南区定山溪）を対象とした（図-1）。同地域では2000年に国道沿いの斜面で大規模な地すべり（無意根地すべり）が発生したほか、2012年、2013年にも道路部で崩壊や地すべりが発生し、長期間にわたり通行止めとなった。沿道には2箇所の道路テレメータ（TM無意根、TM東中山）が設置されており、降水量、気温、路温、風向風速、積雪深の各項目について観測が行われている。



図-1 調査地域の概要

2.2.2 融雪量推定手法

TM 無意根、TM 東中山の 2000～2014 年のデータを用いて、雪面低下法、積算温度法による融雪量の推定をおこない、両者の比較と道路管理への適用性について検討を行った。

雪面低下法は融雪深と積雪密度の積より融雪水量を求める手法である。一方、積算温度法は気温と融雪深の関係を融雪係数 k として回帰計算により設定し、気温を指標として融雪深を推定する手法である。指標として日気温を用いるものが Degree-Day 法、時間気温を用いるものが Degree-Hour 法である。

融雪深を融雪水量に換算するためには、積雪の密度を設定する必要がある。積雪密度は新雪で $50\sim 100\text{kg/m}^3$ 程度であり、圧密等を受けて時間とともに増加するが、融雪最盛期には 500kg/m^3 程度でほぼ一定となるため、本検討では積雪密度を 500kg/m^3 に設定した。

また、道路テレメータより得られる情報のうち、積雪深はセンサーの特性上、観測値にばらつきが見られることがあり、測定誤差の影響を低減するデータ処理が必要であった。このこともふまえ、本検討では融雪深の増減や融雪水量等の推定にあたっては、以下の条件を設けた上で、計算を実施した。

- (1) 気温 0°C 未満で生じた積雪深の減少は、圧密過程とみなし、融雪水量としない。
- (2) 気温 2.7°C 未満の降水は降雪とみなし、降雨量としない。(長谷美 (1991) ³⁾ を参考に設定)
- (3) 積雪深に見られる異常値等の軽減、新雪の密度変化をふまえ、積雪深の変化があっても、変化前の値が 24 時間以内に再び記録される場合、その間は積雪深の変化が無いものとする。

2.3 融雪災害の発生評価指標の検討

道路通行規制の指標として用いている連続雨量は、算出が簡便であるが、4 時間無降雨でリセットされるという特性から、二山の降雨などでは過小評価となる一方で、仮に融雪を雨量換算した場合には、断続的に融雪が続くため、リセットがかかりにくくなることも想定される。そこで、融雪災害の発生評価指標として、気象庁で使用している土壤雨量指数 ⁴⁾ に着目し、融雪量を付加した場合の適用性について検討をおこなった。

3. 研究結果

3.1 融雪斜面災害の特徴

3.1.1 災害発生状況

北海道の国道における融雪期及び非融雪期の表層崩壊

の発生状況を図-2 に示す。融雪期の発生箇所は積丹半島や日高地方の海岸沿い、石狩市～増毛町の海岸沿いなどその多くが非融雪期の発生域と重なっているが、道央の中山峠や支笏湖周辺など、山間部で非融雪期よりも多く発生している傾向があり、融雪による影響が伺える。また、降水量の少ない宗谷地方では融雪期の発生が卓越している。

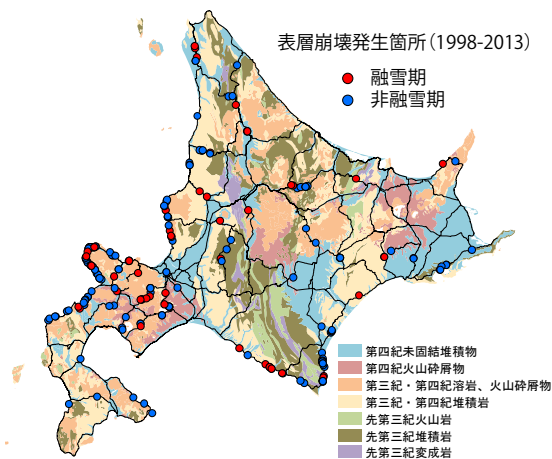


図-2 災害の発生状況

3.1.2 地形・地質的特徴

表層崩壊発生箇所の地質を図-3 に示す。融雪期は非融雪期と比べて、新第三紀～第四紀の火山岩・火山砕屑岩類の割合が多くなる一方、新第三系～第四系の堆積岩類の割合が相対的に低下している。これは、新第三紀～第四紀の火山岩類が分布する中山峠や支笏湖周辺などで融雪期に崩壊が多発したためと考えられる。

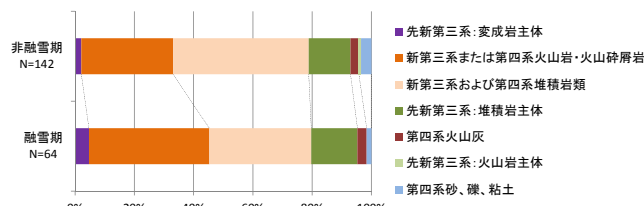


図-3 表層崩壊発生箇所の地質

表層崩壊発生箇所の地形的特徴を以下に示す。道路斜面を大きく自然斜面と法面（切土斜面）に分け、各期における発生数の比較を図-4 に示す。

非融雪期では自然斜面の崩壊が多数を占め、法面崩壊は 34% に過ぎないが、融雪期では比率が逆転し、法面崩壊が 60% に達する。法面は人工斜面であるため、工学的

な安定勾配となっていることが多いが、融雪期には表層が凍結融解作用等によって施工時より緩んでいる状態にあるため、自然斜面よりも崩壊しやすくなっている可能性が考えられる。また、緩やかな沢地形を切土したことにより融雪水が集中し、崩壊した事例もあった。さらに、融雪期の崩壊箇所の40%で湧水が見られ、非融雪期(30%)よりも高い傾向にあった。一方で、崩壊箇所の平均斜面勾配は融雪期・非融雪期とも約45°であり傾向に大きな違いはない。

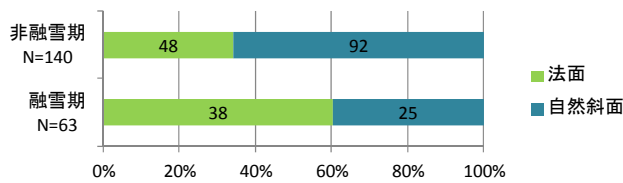


図-4 表層崩壊発生箇所の斜面区分

表層崩壊における崩壊規模の融雪期と非融雪期との比較結果を表-1に示す。なお、著しく規模の大きな災害は平均値を歪めてしまうので除外している。平面的な規模に大きな違いは見られないが、崩壊深さについては、融雪期が平均で25cm深くなっている。これは、融雪期は融雪水が継続的に地盤に供給されるため、地下水位が上昇し、地盤深部まで土壌水分の高い状態になっているためと考えられる。

表-1 表層崩壊規模の平均値比較

	崩壊幅	崩壊高さ	崩壊深さ	崩壊土量
融雪期	12.1m	13.1m	0.94m	109m ³
非融雪期	11.1m	16.9m	0.69m	126m ³

3.1.2 表層崩壊の誘因分析結果

融雪期における表層崩壊発生誘因分析結果を図-5に示す。融雪が41%を占め最も多くなっている。また融雪に降雨が加わって崩壊を起こしているものが12%、積雪によるグライドが2%となっており、これら積雪寒冷地特有の誘因が50%以上を占めている。その他、積雪や経年劣化によってトラフ等が破損して排水不良となり、表流水が斜面に集中してしまう事例も複数あることから、点検に際してはこの点についても留意する必要がある。

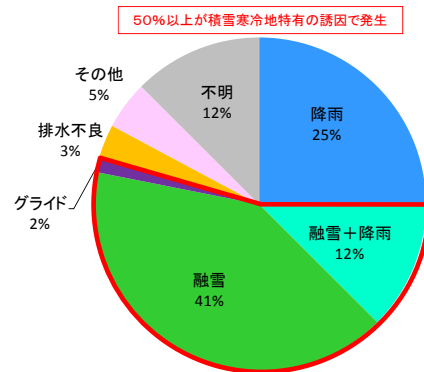


図-5 融雪期における表層崩壊の誘因

3.1.3 事前通行規制と斜面災害発生との関係

道路斜面災害の発生と事前通行規制の関係について整理をおこなった。北海道では19の事前通行規制区間があり、連続雨量で60mm~160mmが規制基準値として設定されている。本項では1998年~2012年に発生した道路斜面災害(落石・表層崩壊・岩盤崩壊・地すべり・土石流)のうち、降雨や融雪を誘因とする307件を対象とし分析した。結果を図-6に示す。

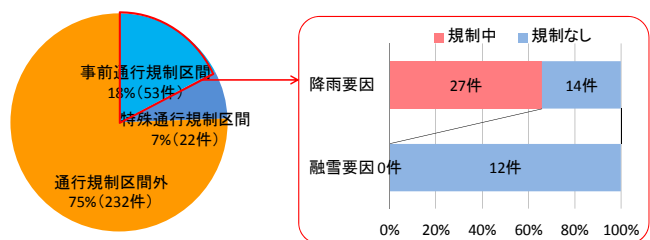


図-6 道路斜面災害の発生と事前通行規制の関係

降雨・融雪を誘因とする災害307件のうち、75%の232件が通行規制区間外で発生している。また、7%の22件が特殊通行規制区間で発生しており、事前通行規制区間で発生しているのは全体の18%(53件)程度である。また、事前通行規制区間での災害に着目してみると、降雨を誘因とする事象は約7割が規制実施中に発生しており、規制外での発生事例は3割に過ぎないが、融雪を誘因とする事象はその全てが規制基準値以下の連続雨量で発生している。したがって、融雪を誘因とする災害に関しては降雨だけでなく、融雪の影響を考慮した道路管理を検討する必要がある。なお、前述したが、ここで示す災害は対策工で捕捉されるなど通行止めを伴わない事象も含んでいるため、規制外での発生が全て見逃し災害となるわけではないことに注意が必要である。

3.2 融雪量推定手法の検討結果

表-2に2009~2013年におけるTM東中山とTM無意

根の融雪係数を示す。融雪係数は地点ごと、年ごとの値を持つことが知られているが、実際は年変化のほかにも同一年でも時期により変化することがあり、融雪初期（1期）は後期（2期）に比べ大きい傾向を示す（図-7）。境界日付近における融雪係数の変化は積雪の密度や降雪、降雨、日射、風速等が影響していると考えられるが、北海道内の20地点において、2000年～2014年のデータを用いて融雪係数の算出を試みたところ、明瞭な変化点がなく、二次関数的に変化していくケースや期間全体をとおして一つの係数で表現できるようなケースも多く見られており、未だ変化要因の特定には至っていない。また、全般的にTM東中山はTM無意根に比べて融雪係数が大きい傾向を示している。これは開けた峠の頂部に位置するTM東中山と山腹のトンネル抗口脇に位置するTM無意根の立地の違いを反映しているものと考えられる。

表-2 モデル地区における融雪係数の算出結果

無意根	Degree-Hour 法			Degree-Day 法		
	1期	2期	境界日	1期	2期	境界日
2009	4.73	1.11	3/19	1.28	1.01	4/28
2010	2.18	0.93	4/6	2.36	0.97	4/9
2011	2.55	0.88	3/26	1.40	0.81	4/26
2012	1.48	0.99	4/25	2.02	1.04	4/21
2013	3.86	1.17	4/7	3.11	1.07	4/23

東中山	Degree-Hour 法			Degree-Day 法		
	1期	2期	境界日	1期	2期	境界日
2009	1.69	1.48	4/24	1.84	1.36	4/30
2010	2.37	1.47	4/27	1.56	1.06	5/12
2011	3.42	1.38	4/7	3.30	1.54	4/13
2012	1.98	1.31	4/28	1.89	1.35	4/29
2013	3.13	1.16	5/8	3.03	1.12	5/9

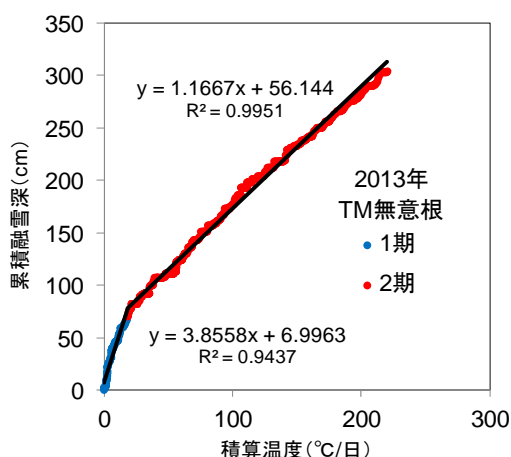


図-7 融雪係数の時間による変化例

図-8に2012年のTM無意根における雪面低下法、積算温度法（Degree-Day法、Degree-Hour法）の比較結果を示す。積算温度法と雪面低下法はよく一致した。また、Degree-Day法とDegree-Hour法では予測結果に大きな違いはなかった。ただし、実際の予測にあたっては当該年の融雪係数は未確定のため、平均的な融雪係数を用いることになるが、それによると再現性がやや低下し、特にDegree-Hour法でその傾向が大きい。これを解決するためには、融雪係数の年変化の要因を把握し、適切な補正をおこなうことが必要であり、これは平成27年度以降の課題である。

また、時間スケールを拡大し、一例としてTM無意根の2012年5月2日～5月5日における雪面低下法とDegree-Hour法により求めた融雪水量の時間ごとの発生状況の比較をおこなうと、以下の課題が見て取れる。

雪面低下法は観測値から融雪水量へ容易に換算できるが、積雪深計の分解能が1cmのため、それ未満の微小な変化を表現することはできない。そのため、雪面低下法では融雪水は降雨換算で5mm/hが最小分解能となる上、積雪深計で変化があったときだけの間欠的な発生となり、無降雨が4時間でリセットという連続雨量の考え方を適用した場合、過小評価となるおそれがある。一方、Degree-Hour法では微量ではあるものの断続的に融雪水の供給があるため、リセットが起きず、大きすぎる連続雨量となることが予想されるため、無降雨と見なすための適切な閾値を設定するか、実効雨量、土壌雨量指数といった別の指標を検討する必要がある。

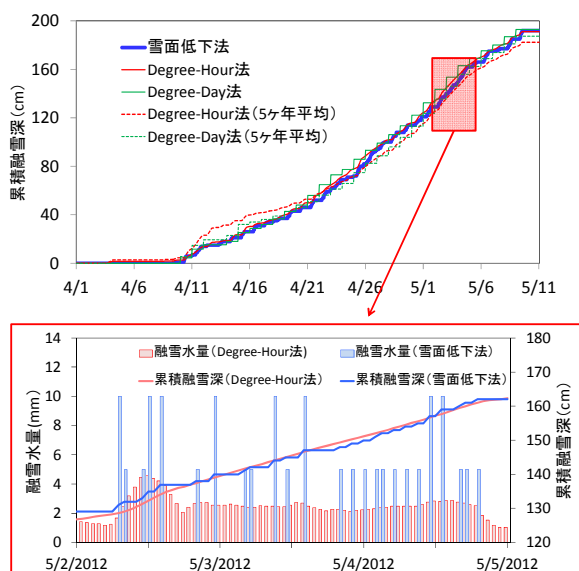


図-8 雪面低下法と積算温度法の融雪量及び融雪水発生状況の比較（2012年TM無意根）

3.3 融雪災害の発生評価指標の検討結果

道路斜面災害の発生指標としては、通行規制の指標として用いられている連続雨量が一般的であるが、前述のとおり融雪水の影響をうまく反映できないことが課題である。そこで、発生評価指標として土壌雨量指数の適用性を検討した。モデル地区において雪面低下法や Degree-Hour 法で求めた融雪水量とテレメータで観測された降雨量から土壌雨量指数を計算し融雪災害発生との関係を分析した(図-9)。Degree-Hour 法では、2012、2013年の崩壊時がそれぞれ第2位、1位のピークに相当しており、土壌雨量指数160程度でリスクが高まるといえる。一方、雪面低下法では融雪水が間欠的かつ一度に供給されることとなるため、ピークが立ちやすい傾向にあり、災害発生との関係が見えにくくなっている。2000年の地すべりは両者とも土壌雨量指数が低下した後に発生しているが、これは土壌雨量指数が主に表層のすべりを対象としていることが一因と考えられる。以上より、融雪を考慮した土壌雨量指数は災害発生評価の指標として有効な可能性があり、融雪の換算方法については、積算温度法(Degree-Hour法)が適していると考えられる。ただし、深いすべりへの対応については今後の検討課題である。

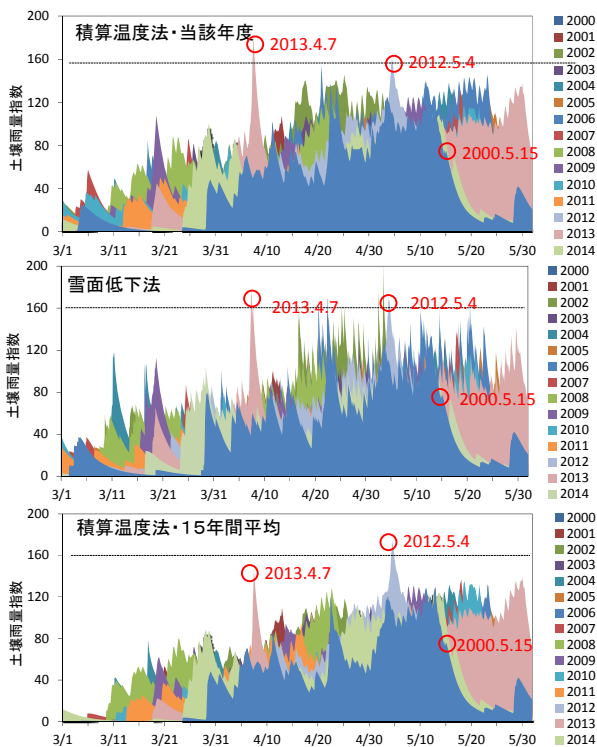


図-9 各手法における融雪を考慮した土壌雨量指数
(2000-2014 テレメータ無意根)

上述した土壌雨量指数は融雪と降雨の影響を足し合わせて評価したものである。災害発生時において融雪と降雨のどちらの影響を強く受けているかを把握するため、災害の発生した3カ年(2000年、2012年、2013年)における融雪期の土壌雨量指数を融雪分・降雨分に分離した。結果を図-10に示す。モデル地区における災害例ではいずれも融雪によって土壌雨量指数が高く推移しているところに、多量の降雨によって急激に土壌雨量指数が増加したことがうかがえる。寄与度では融雪の方が降雨よりも支配的である。

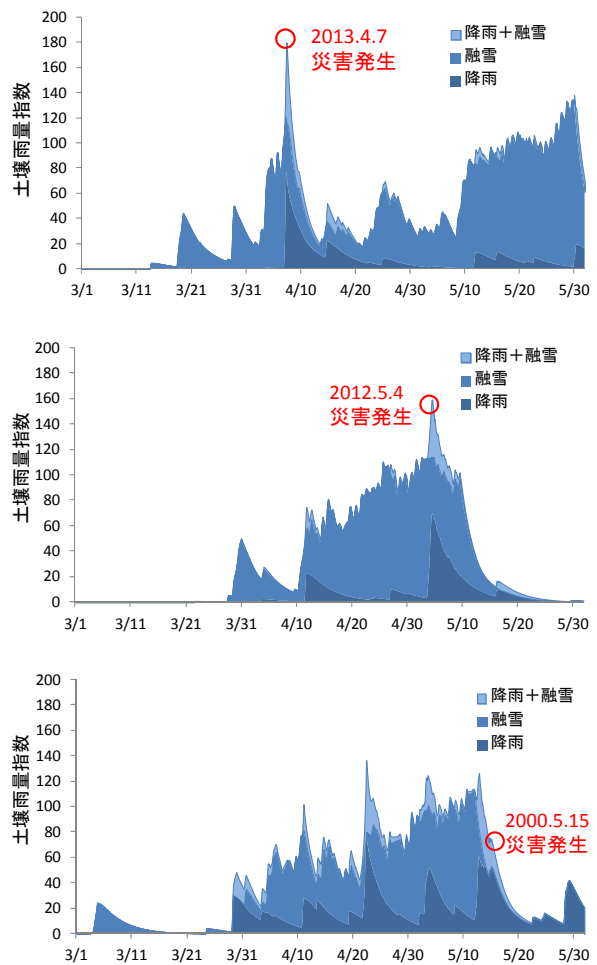


図-10 土壌雨量指数の内訳

手法の他地区への適用性の検討のため、北海道の国道斜面で融雪期に発生した表層崩壊、岩盤崩壊、地すべりに対し、同様の手法を用いて土壌雨量指数の融雪寄与度、降雨寄与度を計算した。計算にあたっては、発生日が不明なもの、排水不良など降雨や融雪によらないことが明らかなもの、崩壊土量5m³未満の小規模なものを除外した47件を対象とした。

計算結果を図-11 に示す。土壌雨量指数は全国共通のパラメータを採用しているため、地域によって警戒すべき閾値が異なるため、数値を単純に比較することはできないが、誘因に関わらず土壌雨量指数が 50 未満ではほとんど災害が発生していないことがわかる。また、無降雨でも融雪水のみで災害が多く発生していることも伺える。融雪と降雨の両方を誘因とする事例も多いが、そのいずれも融雪の影響が支配的である。そのため、融雪期では融雪水によってどの程度地盤が不安定化しているかを把握することが重要となり、そのためには融雪水量推定の高度化が必要である。

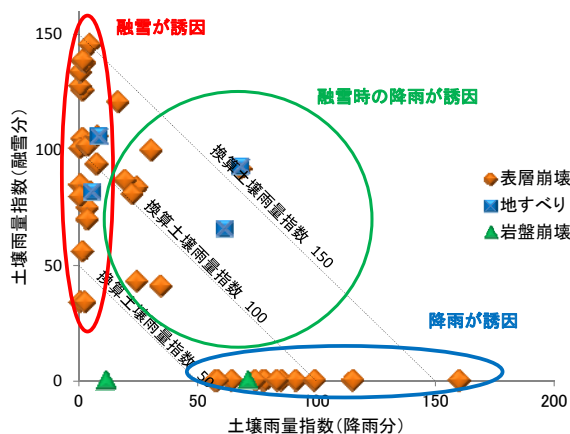


図-11 融雪土砂災害の発生時土壌雨量指数

4. まとめ

本研究の成果は以下にまとめられる。

- (1) 北海道の国道斜面災害の履歴を分析することにより、融雪災害の特徴や要因のほか、事前通行規制など道路管理への課題を明らかにした。
- (2) 積算温度法の一つである Degree-Hour 法により融雪水量を推定し、降雨と合わせて土壌雨量指数を算出することで、災害発生の評価指標となりうるということがわかった。
- (3) ただし、積算温度法における融雪係数の年・季節・場所による差異を解消し、精度向上をはかることや、手法の一般化、深いすべりへの対応について、今後検討を行うことが必要である。

参考文献

- 1) 大日向昭彦, 日下部祐基, 伊東佳彦: 北海道の国道斜面における崩壊等の発生誘因分析について, 第 57 回北海道開発技術研究発表会, 2014 年 2 月.
- 2) 松浦純生: 積雪地帯における降水の到達過程と地下水及び

地すべりの挙動 (その 1), 地すべり技術, Vol.30, No.1, pp.24-32, 2003 年 7 月.

- 3) 長谷美達雄: 冬季降水における降雪の発生割合と地上気温の関係 (1), 雪氷, Vol.53, No.1, pp.33-43, 1991 年 3 月.
- 4) 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 齋藤清: 土壌雨量指数, 天気, Vol.48, No.5, pp.349-356, 2001 年 5 月.

INVESTIGATION AND EVALUATION METHODS OF ROAD SLOPE STABILITY DUE TO SNOWMELT (1)

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2014-2017

Research Team : Cold Region Construction Engineering
Research Group (Geological Hazards
Research Team)

Author : KURAHASHI Toshiyuki

YAJIMA Yoshinori

SHISHIDO Masahito

Abstract : In FY2014, we analyzed the factor of national road slope disasters in Hokkaido during snowmelt period. In an area, we also evaluated some estimate methods of snowmelt and an applicability of the disaster occasion index to road slope management. As a result, we clarified the characteristics of road slope disasters during snowmelt period, and ascertained the validity of soil water index considering snowmelt estimated by degree-hour method.

Key words : slope disaster, snowmelt, degree-hour method, soil water index(SWI)