

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、角田富士夫

【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の改良手法について検討をおこなった。その結果、融雪期の表層崩壊による災害発生の指標としては、適切な換算により融雪水も降雨と同様に扱えるものの、融雪期ではより非融雪期に比べ少ない換算雨量で崩壊が発生することを明らかにした。また、日射量によって補正した融雪水量係数を用いる Degree-Hour 法の改良方法が有効であることが示唆された。

キーワード：融雪土砂災害、融雪量、積算温度法、融雪水量係数、日射量

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 1998～2013 年の 16 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融雪水量の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。また、気象観測点、特に積雪観測点の配置が限られていることもあり、融雪土砂災害の発生とその誘因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。

そこで平成 27 年度における本研究では、北海道の国道における融雪期の斜面災害を対象に、災害発生日の特定精度区分や発生地点における雨量、融雪量の推定をおこなった上で、連続雨量や土壌雨量指数²⁾を算出し、気象庁の大雨注意報・警報発令基準値³⁾と比較し、融雪期の斜面災害の特徴や誘因を分析した。また、観測データから融雪水量係数や融雪係数を算出し、時期や地点による係数や積雪密度の変化とその要因を分析し、融雪量推定手法の改良を試みた。

2. 研究方法

2. 1 北海道の国道で発生した表層崩壊の誘因分析

融雪期における道路斜面災害の誘因に関する特徴を把握するため、災害履歴データを用いて分析した。北海道開発局は 1998 年度以降、国道で生じた災害の発生日時や状況について、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。なお、融雪が生じる期間は地域によって異なるが、本研究では 3 月～5 月を融雪期とした。

降雨や融雪といった誘因を分析する際には、発生時刻の特定が重要となるが、小規模な崩壊などは道路パトロールや定期点検などで発見されることもあり、報告日時と発生日時に乖離が生じている可能性があった。そこで、災害対応レポートをもとに、個別事例における発生日時の特定精度を A：1 日以内、B：1 週間以内、C：1 ヶ月以内、D：3 ヶ月以内、E：不明、の 5 つに区分した。

その上で、特定精度 A、B の災害 649 件のうち、2006 年以降に発生した表層崩壊で、かつ地震など、降雨や融雪によらないことが明らかな事例を除いた 172 件を対象に災害発生時の連続雨量および土壌雨量指数を計算した。土壌雨量指数については、地域により警戒すべき基準値が異なっているため、気象庁が公表している土壌雨量指数の大雨注意報・警報発令基準値と比較した。また、発生時の降水量、融雪量を精度よく推定するために、レーダーアメダス解析雨量および Degree-Hour 法により求めた融雪係数と気象庁のメソ客観解析データ、メッシュ平年値データを用いて、従来の近傍観測点ではなく、災

害発生箇所における雨量・融雪量を計算した。

2.2 融雪量推定手法の改良

道路管理に用いる融雪量推定手法として、積算温度法の一つである Degree-Hour 法が適切であると評価しているが、融雪係数の時空間的な変化や積雪密度の設定など、実用に向けた課題が残されていた。

融雪係数は、値が観測地点ごとに異なるほか、同じ地点でも年ごとの値を示すこと、同一年でも時期によって変化することもあり、一般化が難しいことが課題である⁴⁾。また、融雪深から融雪水量を換算する際に重要な因子となる積雪密度は、アメダスやテレメータのような既存観測点のデータからは推定が困難である。既往研究⁵⁾によれば積雪密度は融雪最盛期には $0.40\sim 0.55\text{g/cm}^3$ 程度でほぼ一定になるとされているが、それでも約2～3割の幅を持っており、大きな誤差要因となる。また、積雪重量計やライシメータといった融雪水量を直接計測できる観測機器が開発されているが、価格や設置場所、メンテナンスなどの問題もあり、道路管理に広く普及している状況にない。

そのため、Degree-Hour 法の改良方法を検討した。正確な推定が難しい積雪密度の影響を受けずに融雪水量を求めるためには、融雪深を求める融雪係数ではなく、あらかじめ積算気温と累積融雪水量の関係から「融雪水量係数 k_q 」を明らかにし、Degree-Hour 法の推定式を式（1）のように改良し、気温 T から融雪水量 Q を直接求めることが必要である。さらに、地点による係数の変化要因を観測箇所の立地条件から特定し適切に補正できれば、その係数を用いることにより、融雪水量の予測を観測点だけでなく、地域全体に面的に展開することも可能となる。

$$Q = k_q \cdot T \quad (T > 0^\circ\text{C}) \quad (1)$$

そこで、**図-1**に示す地域をモデル地区として、12 地点で2015年3月第1週から積雪がなくなるまで、一週間おきに定期的な積雪観測（**図-2**）を実施し、各地点における融雪水量係数や融雪係数を算出するとともに、時期や地点による係数や積雪密度の変化とその要因について分析した。観測地点はいずれも除雪の影響を受けない範囲で、標高 $400\sim 845\text{m}$ の間に札幌側より順に No.1 から No.12 まで国道 230 号の近傍 12 カ所に設定した。観測項目は、積雪深、積雪水量（重量）、雪温、積雪硬度、気温（連続観測）である。



図-1 積雪調査地点



図-2 積雪観測状況

3. 研究結果

3.1 北海道の国道における表層崩壊の誘因分析結果

3.1.1 災害発生日の特定精度区分結果

災害履歴データベースに収録された斜面災害 698 件を対象に、災害発生日の特定精度を区分した結果を**表-1**に示す。全体では約7割が1日以内の精度で特定できており、1週間以内を加えると9割以上となるなど、比較的高い精度で災害発生日を特定できていることがわかった。一方で、災害形態別にみると、落石や表層崩壊、土石流の特定精度が高く、岩盤崩壊は1日以内に特定される災害がやや少ないものの1週間以内を含めると8割強となる。一方で地すべりは不明が4割と多く、緩やかに進行する地すべりでは災害発生日のタイミングが特定しにくい傾向があった。

表-1 災害形態ごとの発生日特定精度

災害形態	A:1日以内 程度	B:1週間以内 程度	C:1ヶ月以内 程度	D:3ヶ月以内 程度	E:不明	合計
落石	184	53	4	1	2	244
表層崩壊	195	75	5	2	5	282
岩盤崩壊	16	26	2	0	7	51
地すべり	11	10	4	1	16	42
土石流	71	8	0	0	0	79
合計	477	172	15	4	30	698
割合	68.3%	24.6%	2.1%	0.6%	4.3%	100.0%

3.1.2 誘因分析結果

災害発生日の連続雨量の分析結果を**図-3**に示す。非融

雪期では連続雨量 20mm 未満での発生数は全体の2割以下であるのに対し、融雪期では約7割に達しており少ない連続雨量でも災害が発生していることがわかる。ここで、融雪量 1cm を 0.5mm として雨量換算をおこなうと、融雪期の災害発生傾向は非融雪期の傾向に類似した。このことから、適切な換算により融雪水も降雨と同様に災害発生の指標として扱えることが確認できた。ただし、今回の分析では、融雪量の推定に積算温度法の一つである Degree-Hour 法を用いているため、気温がプラスのときには積雪があるかぎり、わずかながら融雪が生じることとなり、連続雨量がリセットされずに大きめの傾向を示すことがある。これに対応する適切な閾値の設定が今後の課題である。

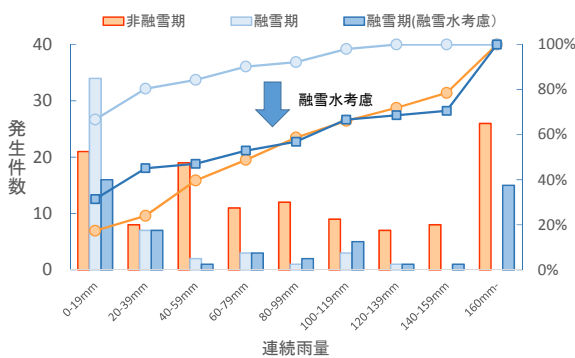


図-3 表層崩壊発生時の連続雨量の比較

図-4に災害発生時の土壌雨量指数と発生箇所土壌雨量指数の大雨注意報・警報発令基準値を比較した結果を示す。非融雪期では63%が注意報基準値以上で発生しているのに対し、融雪期は96%が注意報基準値未満で発生している。融雪水を降雨に換算した場合でも、融雪期は59%が注意報基準値未満となり、低い土壌雨量指数でも崩壊が発生していることがわかる。これは、融雪期は背後斜面から融雪水が断続的に供給されることや、凍結融解等により表層がゆるみ、崩壊が生じやすくなっていることも要因の一つと考えられるが、今後、更に詳細な分析が必要である。

なお、今回の分析では災害発生箇所における雨量・融雪量を分析する目的で、レーダーアメダス解析雨量やメソ客観解析雨量等を用いた。近傍観測点のデータを用いるよりも精度が向上することを目的としているが、道路テレメータの実測値と同地点における解析雨量値に乖離が見られるケースもあった。精度の高い分析をおこなうため、データの信頼性について、引き続き検証する予定である。

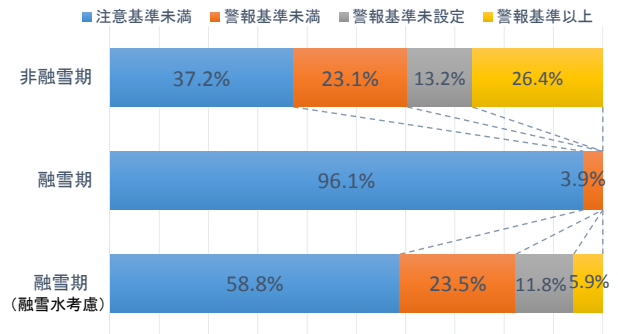


図-4 表層崩壊発生時の土壌雨量指数

3.2 融雪量推定手法の改良結果

3.2.1 積雪観測結果

積雪観測結果を図-5、図-6に示す。2015年は3月下旬からの気温上昇に伴い本格的な融雪が始まり、No. 1、2などの低標高地点は4月下旬、No. 9～12などの高標高地点も5月中旬には積雪なしの状態になった。また、積雪深と積雪水量(重量)より算出した積雪密度は図-6(c)に示すように融雪開始前の3月上旬は0.30～0.35g/cm³程度であったが、融雪末期には0.45～0.55g/cm³程度に増加した。なお、一部地点では融雪末期に密度がやや減少する傾向も見られるなど、地点による違いに明瞭な傾向は見いだせなかった。

さらに、各観測結果を用いて積算温度と累積融雪深、累積融雪水量を算出し、各地点の融雪係数と融雪水量係数を求めた。結果を表-2に示す。融雪が本格化する3月下旬以降の期間において、融雪係数は0.79～1.35、融雪水量係数は2.86～4.91の値を示し、いずれも地点ごとに差異が見られた。このばらつきを変動係数で評価すると両者とも0.15とほぼ同じ値を示した。このことから、融雪係数の地点ごとの差異を積雪密度のみで補正できず、補正には地点特性に関する要素を用いる必要があることが明らかになった。

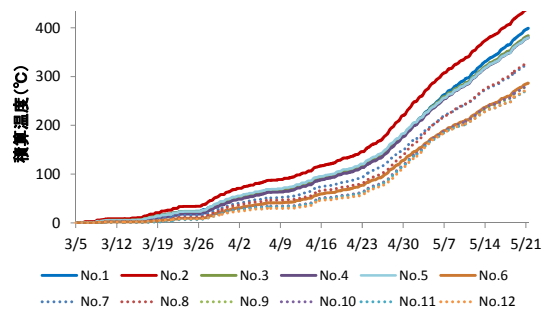
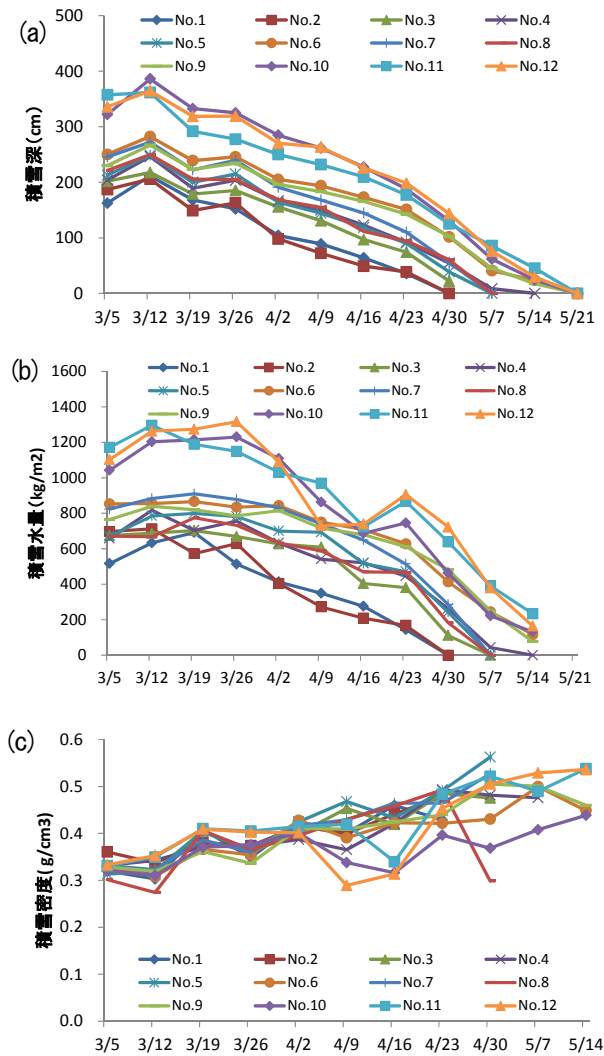


図-5 各地点における積算温度



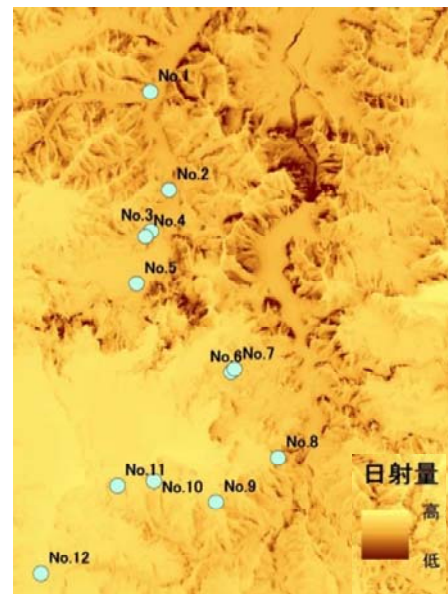
図一六 各地点における積雪観測結果
(a:積雪深、b:積雪水量、c:積雪密度)

表一 二 各地点の融雪係数および融雪水量係数

地点 No.	融雪係数 k	融雪水量係数 kq
1	1.16	3.84
2	1.17	4.09
3	1.02	3.65
4	0.79	2.86
5	1.03	3.44
6	0.89	3.33
7	1.35	4.48
8	1.00	4.00
9	0.88	3.23
10	1.25	4.48
11	1.03	4.31
12	1.22	4.91
変動係数	0.15	0.15

3.2.2 改良方法の検討結果

融雪水量係数に影響する可能性がある地点要素として、湿度や風速、植生、日射量等が考えられるが、今回は日射量に着目した。なお、同一地域での観測であるため、天候や湿度は地点間で大きな違いはないと考える。日射量は GIS ソフト (ArcGIS 10.3) と国土地理院の 5 m DEM を用いてメッシュごとに全天可視領域を解析し、太陽軌道や散乱日射との重ね合わせにより全天日射量を計算した。計算期間は融雪最盛期である 2015 年 3 月 29 日から 4 月 25 日までの 28 日間とした。全天日射量の解析結果を図一七、図一八に示す。解析全天日射量の計算値は $10.6 \sim 13.6 \times 10^4 \text{WH/m}^2$ となり、札幌管区気象台の同期間における実測全天日射量 $12.9 \times 10^4 \text{WH/m}^2$ と比較しても、妥当な範囲と考える。各地点の解析全天日射量と融雪水量係数の関係を分析すると、図一九のように概ね良い相関を示した。このことより、融雪水量係数の地点ごとの差異は解析日射量によって一定の補正が可能であることがわかった。また理論的には日射量を用いた係数の地点補正により、メッシュごとの融雪水量係数が求められることができるため、気温のメッシュデータと組み合わせることにより融雪量の面的な推定が可能になると考えられる。ただし、係数の年変化については、今後とも積雪調査を継続し、検証をおこなう予定である。



図一七 調査地域における全天日射量(3/29~4/25)の解析結果

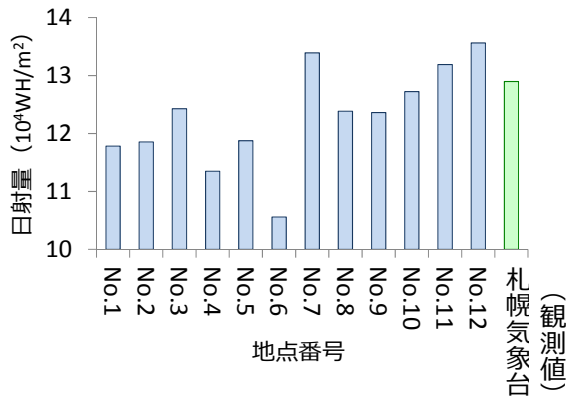


図-8 各地点における全天日射量(3/29~4/25)

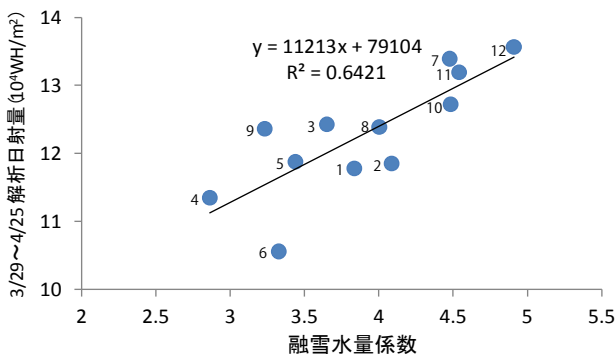


図-9 各地点における解析日射量と融雪水量係数

4. まとめ

本研究の成果は以下にまとめられる。

- (1) 融雪期の表層崩壊による災害発生の指標としては、適切な換算により融雪水も降雨と同様に扱えるものの、融雪期ではより非融雪期に比べ少ない換算雨量で崩壊が発生することを明らかにした
- (2) モデル地区では解析日射量によって補正した融雪水量係数を用いる Degree-Hour 法の改良方法が有効である可能性がある。
- (3) 本改良方法は地域の面的な融雪量の推定に展開できる可能性があるが、引き続きデータの積み重ねや数値の妥当性検証をおこない精度の向上を図ることが必要である。

参考文献

- 1) 矢島良紀, 倉橋稔幸: 融雪斜面災害の誘因となる融雪量の推定手法に関する検討, 寒地土木研究所月報, No.754, pp.28-34, 2016.
- 2) 岡田憲治, 牧原康隆, 新保明彦, 永田和彦, 国次雅司, 齋藤清: 土壤雨量指数, 天気, Vol.48, No.5, pp.349-356, 2001.
- 3) 気象庁: 大雨警報・注意報の土壤雨量指数基準値, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownow/kijun/index_shisu.html.
- 4) 矢島良紀, 伊東佳彦, 宍戸政仁, 倉橋稔幸: 融雪を考慮した道路斜面災害の発生評価指標の検討, 平成 26 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.173-174, 2014.
- 5) 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.
- 6) 山下彰司, 新目竜一, 谷瀬敦, 鳥谷部寿人: 積雪重量計による積雪融雪特性の研究, 寒地土木研究所月報, No.665, pp.18-29, 2008.
- 7) 気象庁: 過去の気象データ・ダウンロード, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>.

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

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2014-2017

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

Author : KURAHASHI Toshiyuki

YAJIMA Yoshinori

TSUNODA Fujio

Abstract : In FY2015, we analyzed a factor of national road slope disasters in Hokkaido during a snowmelt season by estimating amount of snowmelt and rainfall at disaster occurrence points. Besides, we researched an improved degree-hour method of snowmelt estimation in a study area. As a result, we characterized that surface failures of snowmelt seasons occurred by less rainfall with snowmelt than that of non-snowmelt seasons. It was also suggested that correcting a degree-hour factor by amount of solar radiation for the improved method was preliminary useful to estimate snowmelt .

Key words : slope disaster, snowmelt, degree-hour method, degree-hour factor, solar radiation