

## 融雪量解析値を用いた融雪災害危険度評価手法の開発

鉄道総合技術研究所 正会員 ○高柳 剛, 正会員 進藤 義勝  
非会員 佐藤 亮太, 正会員 児島 達也

### 1. 目的

積雪地域の斜面では融雪水を誘因とした斜面災害（以下、融雪災害と呼ぶ）が引き起こされることがある（図1）。融雪災害に対する鉄道の安全性をさらに向上させるためには、降雨だけでなく融雪の影響を考慮した定量的な災害危険度評価手法の開発が望まれる。その一方で融雪量は雨量計などの一般的な気象観測装置では直接観測することが困難であり、また融雪量に応じた具体的な危険度評価手法も提案されていないなどの課題があった。そこで本研究では融雪量の解析値を用いた融雪期斜面災害危険度評価手法の開発を行い、さらに過去に鉄道で発生した融雪災害の捕捉可能性について検証した。



図1 盛土の融雪災害の事例

$$Rc(t) = r(t) + \exp(-\lambda \cdot \Delta t) \cdot Rc(t-1) \quad \dots (1)$$

$r(t)$ : 降水量+融雪量 (mm/hour),  
 $\lambda$ :  $\text{Ln}(2)/T$ ,  $\Delta t$ : 単位時間(hour),  
 $T$ : 半減期 (hour),  $t$ : 経過時間 (hour),  
 $Rc(t)$ :  $t$  時間後の実効融雪量 (mm)

### 2. 融雪災害危険度手法の概要

本研究における融雪災害危険度評価手法について概説する。融雪災害の危険度を評価する上では、地盤中の水分挙動の高まりを予測する事が重要になる。地盤中の水分挙動は水の供給と排出に反応する現象と理解されるため、本研究では土中水分挙動と関連性が高いとされるタンクモデルに降水量と融雪量を反映させた値（以下、実効融雪量と呼ぶ）を危険度評価指標として採用する。実効融雪量の評価式を式(1)に示す。

本手法ではこの実効融雪量が一定の閾値を超過した場合に、土中水分の高まりによって災害の危険性が高まったと判断する。実効融雪量に代入する融雪量は、熱収支法<sup>1)</sup>による解析値を採用する。採用した熱収支法は、気温、降水量、風速、日照時間の気象データに基づいて積雪表面で生じる融雪量を時間単位の分解能で解析するもので、気象データには気象庁のアメダスのデータを用いた。実効融雪量のパラメータである半減期には、これまでの筆者らの検討に基づいて24時間を採用する<sup>2)</sup>。図2に融雪災害の履歴のある片切片盛の切土天端で融雪期に観測した地下水位  $WL$  と実効融雪量  $Rc24$ （半減期24時間）の挙動の例を示す。このように両者には連動性が確認される。

次に閾値の設定手法の概要について説明する（図3）。本手法では当該地域が過去に経験した実効融雪量  $Rc24$  と積雪深  $Hs$  の関係に基づいて閾値を定める点に特徴がある。ここで過去の融雪災害の分析結果として、災害発生時の実効融雪量  $Rc24$  の度数分布を図4に示す。最頻値の階級は「 $60 < Rc \leq 80$ 」であるが、比較的小さいキーワード 融雪, 斜面災害, 積雪, 実効融雪量, 鉄道

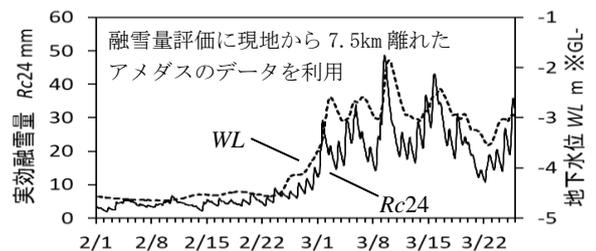


図2 実効融雪量  $Rc24$  と地下水位  $WL$  の比較

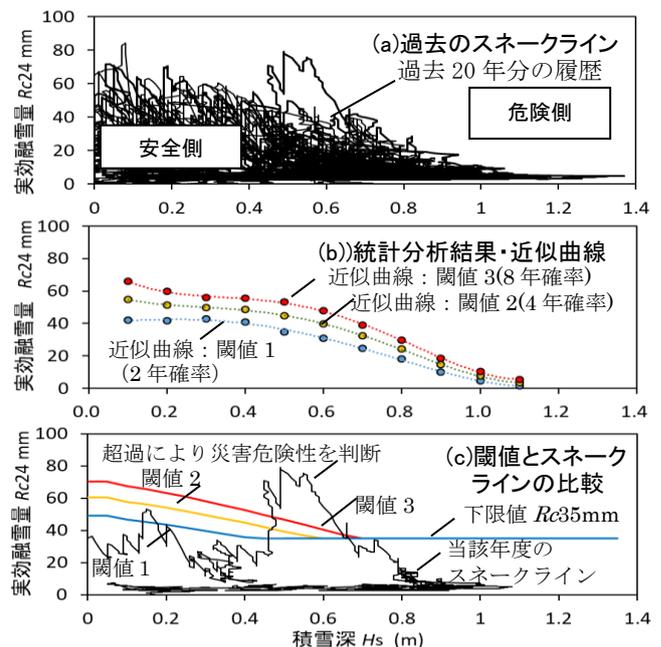


図3 積雪深  $Hs$  に応じた閾値の設定の概要

実効融雪量  $Rc24$  の条件で災害が発生するケースも散見され、これは積雪深  $Hs$  の大きい融雪期初期において顕著である。この原因として積雪による荷重増や排水路の閉塞等の影響が考えられる。そこで積雪深  $Hs$  に応じて実効融雪量  $Rc24$  の閾値を低減させることとした。

図 3(a)には、実効融雪量  $Rc24$  と積雪深  $Hs$  の組み合わせによって示されるスネークライン（過去 20 年分）を重ね合わせて表した例を示す。積雪深  $Hs$  が高い環境では過去に経験した実効融雪量  $Rc24$  は低くなる傾向がある。基本的な融雪災害危険度評価の閾値の概念として、スネークラインの履歴が少ない空白領域の側を危険側、多くの経験履歴がある領域の側を安全側と判断する。この積雪深  $Hs$  毎に経験した実効融雪量  $Rc24$  の最大値をガンベル分布に基づいて極値統計解析を行い、積雪深  $Hs$  毎に実効融雪量  $Rc24$  の再現期間（2 年、4 年、8 年）を整理した結果を図 3(b) に示す。同じ再現期間のグループのプロットに基づいて近似曲線が得られる。ここで当該年度の実効融雪量  $Rc24$  と積雪深  $Hs$  によるスネークラインが、各確率年の近似曲線から定めた閾値を超過した場合に危険領域に至ったと判断する（図 3(c)）。基本的には現地の積雪深  $Hs$  がゼロになった段階で危険度評価の運用を終了させるが、周辺アメダスと現地の積雪深には差異が生じるため、安全側の措置としてアメダス消雪後も現地に積雪があるものとみなして一定期間（今回は 14 日間）は危険度評価を継続する。

ここで、過去の鉄道で発生した融雪災害 28 事例を分析し、災害捕捉率  $p$ （全件数に対する本手法で捕捉できた災害件数の割合）と年平均閾値超過時間  $Tc$ （融雪災害 28 事例における災害発生前過去 20 年間の平均値）の関係を図 5 に示す。低い閾値であるほど災害捕捉率  $p$  は向上するが、その分、閾値を超過して警戒が発令される時間が長くなる。実務においては、許容される閾値超過時間のレベルと災害捕捉率の関係から、具体的な警戒発令の閾値を設定することが考えられる。次に、本手法による過去の融雪災害の捕捉件数と、融雪量解析に用いたアメダスの観測所と現地斜面までの離隔距離の関係を整理した結果を図 6 に示す。なお図 6（上）には閾値 3（再現期間 8 年）による災害捕捉件数と非捕捉件数およびその合計件数を、図 6（下）には閾値 2（再現期間 4 年）による結果を示す。全体的にアメダス離隔距離  $L$  が近い条件では、災害非捕捉件数に対して災害捕捉件数が多くなる。閾値 2 と閾値 3 のケースを比較した場合、低い閾値 2 のケースの方がアメダス離隔距離  $L$  の遠い条件における災害捕捉件数が増える傾向がある。すなわち、評価対象となる斜面がアメダスから離れる程、融雪量解析値の誤差の影響により災害捕捉精度が低下することが確認される。本手法による災害の見逃しをさらに抑制するためには、アメダスからの距離が遠い場合には閾値を引き下げる、あるいは空間補正による融雪量解析値のさらなる高精度化が有効になると考えられる。

3. まとめ

融雪量解析値を用いた融雪期斜面災害危険度評価手法の開発を行い、警戒閾値の設定レベルに応じた過去の融雪災害の災害捕捉率と閾値超過時間の関係を整理する事ができた。

・参考文献

- 1) 進藤義勝 他：積雪地域における切土斜面の地下水水位観測結果と解析融雪量の比較検討，地盤工学研究発表会，2019（投稿中）
- 2) 栗原靖，宍戸真也，飯倉茂弘，高橋大輔，鎌田慈：融雪水の積雪底面流出量の推定方法，鉄道総研報告，11月号，2013

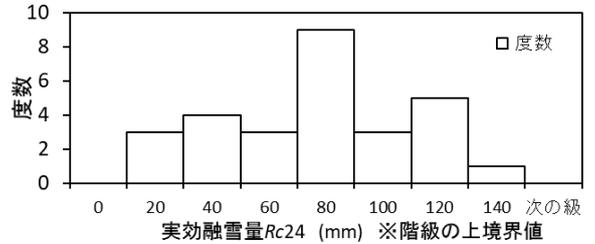


図 4 融雪災害発生時の実効融雪量  $Rc24$

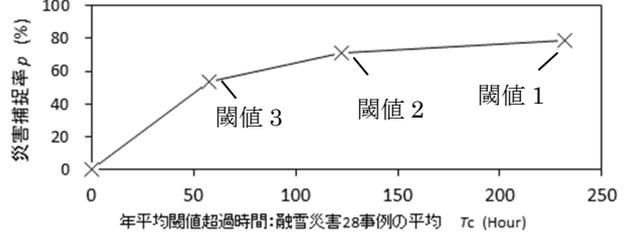


図 5 災害捕捉率  $p$  と年平均閾値超過時間  $Tc$  の関係

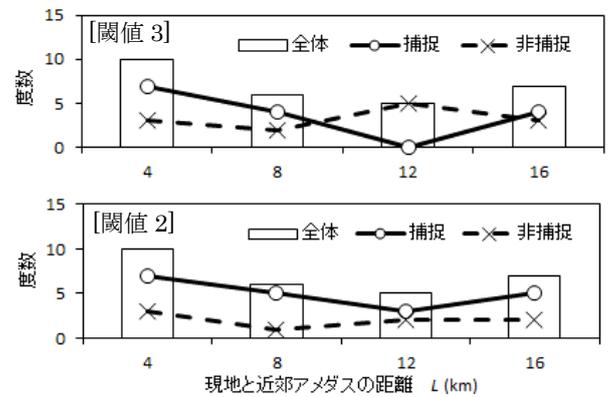


図 6 災害捕捉件数とアメダス離隔距離  $L$  の関係