

気温に基づく簡便な融雪水量推定方法における降水量補正に関する研究

土木研究所寒地土木研究所	正会員	○日外	勝仁
土木研究所寒地土木研究所	正会員	坂本	尚弘
土木研究所寒地土木研究所	正会員	吉野	恒平
土木研究所寒地土木研究所	正会員	倉橋	稔幸

1. はじめに

北海道などの積雪寒冷地では、融雪期に切土のり面や自然斜面で表層崩壊（以下崩壊という。）が多発する傾向がある。そこで筆者らは、北海道の国道斜面における崩壊事例を分析し、融雪水による地盤の長期湿潤による強度低下やアイスレンズ形成によるすべり面の形成等が、融雪や降雨等の水供給状況と組合わさって崩壊するメカニズムなどを解説してきた^{1), 2), 3)}。また、融雪による道路斜面災害の回避に向けて、雨だけではなく融雪を考慮した事前通行規制基準の設定を目標に、気温のみから融雪水量を簡便に推定する方法を考案し⁴⁾、後述する融雪水量係数算定のためにモデル地において積雪状況の計測を行ってきた。しかし、複数年の計測結果の比較において、推定精度の低い年が確認された。その原因の一つは融雪水量算定の際に降雪の影響を無視したことにあると考え、融雪水量推定方法の補正方法を検討したので、その結果を紹介する。

2. 融雪水量推定方法の補正方法

融雪水量の推定において、融雪水量と積算暖度との比例関係に基づき、式-1に示す改良 Degree-hour 法を提案してきた⁴⁾。従来の Degree-hour 法は積雪深の減少を推定するため、地盤へ供給される融雪水量の把握には、積雪深減少量に積雪密度を掛けあわせる必要があった。しかしながら、積雪密度は、積雪初期から融雪期にかけて徐々に増加していくため、正確な融雪水量を把握しづらいことが課題であった。それに対し、新手法では積雪密度を内包した融雪水量を直接推定できる点が特徴である。

$$\text{融雪水量} = \text{融雪水量係数} \times \text{積算暖度} \cdots \cdots \text{式(1)}$$

運用にあたっては、予め融雪水量や気温を計測し、融雪水量係数を算定しておく必要がある。ライシメーターを地盤に設置することで融雪水量を直接計測できるが、機器及び設置費用が高額となる。そのため、従前では、図-1(a)に示すように、週に1回スノーサンプラーで積雪水量を計測し、その減少量を融雪水量と見なして、融雪水量の推定を行ってきた。しかしながら、その計測期間の降雪は無視されてノイズとして扱われるため、降雪状況によっては推定精度の低下が懸念されていた。

融雪期に斜面崩壊が発生した事例における気象データを図-2に示す。3月末から4月中頃までの気温は0℃を前後し、降水は降雪と降雨が混在していると推測されることから、正確な融雪水量を推定するためには、計測融雪水量の補正が必要と考えられる。

そこで、図-1(b)に示すように、気温から雪か雨かを簡

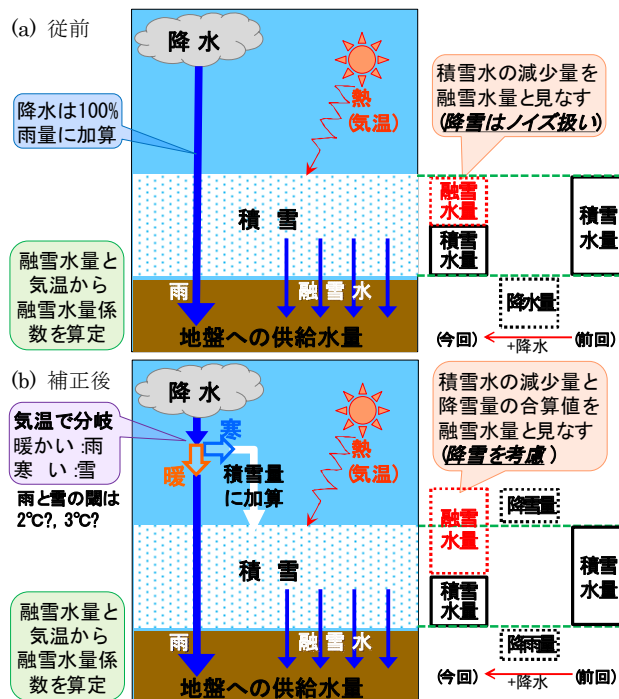


図-1 融雪を考慮した地盤供給水量検討モデル

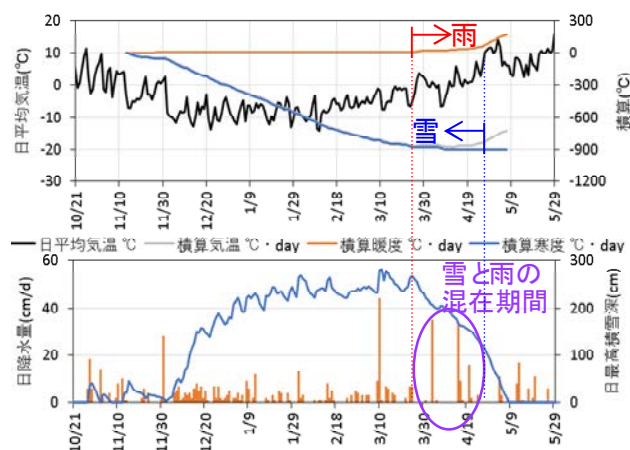


図-2 調査地周辺の気温・日降水量・積雪深の推移

便に判別し、積雪水量の差分に降雪量を加算することで融雪水量を補正し、融雪水量係数の再算定を行った。なお、降水が雪になるか雨になるかの気温の閾値は、一般に2～3℃と言われており⁵⁾、閾値を0℃、1℃、2℃、3℃とした4ケースを比較検証した。

3. 補正した融雪水量推定結果

調査を行った6年間(2015～2020年)における、気温を閾値とした降雪の補正を含む1週間毎に計測した積雪水量減少量と、時間気温の正值だけを積算した時間積算暖度との関係を図-3に示し、原点を通る線形1次の回帰式を求めた。ただし、積雪深が数十cm以下となる計測最後の週のデータはバラツキが大きいため、除外した。

決定係数R²は、降雪の考慮がない場合が最も低い0.9477を、閾値を3℃とした時が最も高い0.9552を示した。したがって、比較ケースにおいては、閾値を3℃とした場合が最も適切であると考えられる。また、傾きについては、閾値を3℃とした場合で0.2453となり、降雪の考慮がない従来の場合の0.217に比べて13%大きい値を示した。閾値を3℃とした場合の回帰式の傾きの有効桁数を整えた値が、式(1)に示した改良 Degree-hour 法における積雪調査地点における最も適切な融雪水量係数と算定される。一方、単年毎に回帰した場合の傾きと統計量を表-1に示す。標準偏差が平均値の1割程度を示すことから、基準値となる融雪水量係数の算定には、バラツキに対応するため、複数年にわたる計測が必要と思われる。

4. おわりに

気温に融雪水量係数を乗じることによって簡便に融雪水量を推定できる改良 Degree-hour 法において、算定の基となる融雪水量の測定の際に、気温3℃を閾値として降水を降雪か降雨かを判別して降水量を補正することで、融雪水量の推定精度を向上させることができた。さらに、この融雪水量係数に時間気温を掛け合わせることで時間融雪水量を推定し、時間降水量から判別推定した時間降雨量と合算することで、より正確な地盤への水分供給量が推定可能となった。今後は、融雪を考慮した土壌雨量指数等を算定することにより、斜面崩壊の発生有無の判別評価に繋げたい。

参考文献

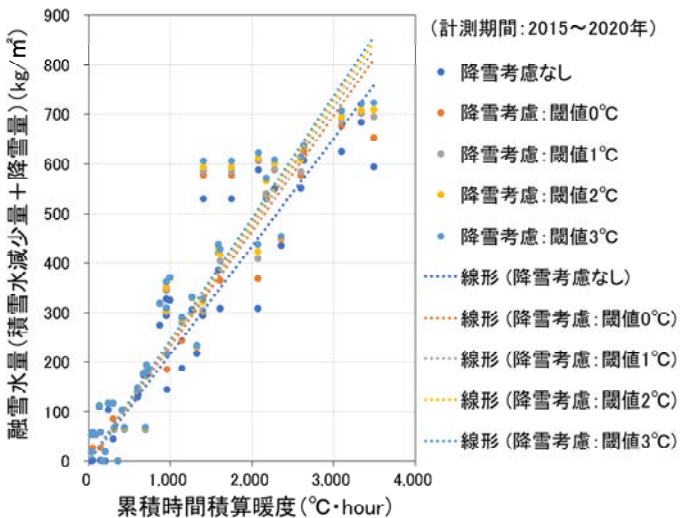
1) 日外勝仁, 角田富士夫, 倉橋稔幸: 北海道における道路斜面災害の発生と降雨・融雪の影響, 土木学会平成29年度全国大会第72回年次学術講演会講演概要集, pp. 379-380, 2017.

2) 日外勝仁, 角田富士夫, 吉野恒平, 倉橋稔幸: 北海道の道路斜面災害における融雪崩壊と降雨崩壊の特徴, 土木学会平成30年度全国大会第73回年次学術講演会講演概要集, pp. 141-142, 2018.

3) 日外勝仁, 吉野恒平, 倉橋稔幸: 北海道の道路斜面における融雪崩壊のタイプ分類と気温及び積雪量との関係, 土木学会令和2年度全国大会第75回年次学術講演会講演概要集, III-36, 2020.

4) 吉野恒平, 倉橋稔幸, 日外勝仁, 角田富士夫, 矢島良紀: 道路管理に適した融雪水量推定手法の検討, 第53回地盤工学研究発表会平成30年度発表講演集, 2018.

5) 松尾敬世: 雪と雨をわけもの, 天気, Vol. 48, No. 1, pp. 33-37, 2001.



(2015-2020年)	降雪考慮 : なし	降雪考慮 : 閾値0℃	降雪考慮 : 閾値1℃	降雪考慮 : 閾値2℃	降雪考慮 : 閾値3℃
傾き	0.2170	0.2323	0.2378	0.2418	0.2453
決定係数R ²	0.9477	0.9500	0.9541	0.9551	0.9552

図-3 累積時間積算暖度と累積融雪水量との関係

表-1 各年における融雪水量係数(回帰式の傾き)

	降雪考慮 : なし	降雪考慮 : 閾値0℃	降雪考慮 : 閾値1℃	降雪考慮 : 閾値2℃	降雪考慮 : 閾値3℃
2015 傾き	0.1673	0.1924	0.2100	0.2154	0.2201
2016 傾き	0.2228	0.2297	0.2319	0.2416	0.2443
2017 傾き	0.2440	0.2626	0.2631	0.2674	0.2704
2018 傾き	0.2344	0.2416	0.2424	0.2441	0.2483
2019 傾き	0.2035	0.2104	0.2131	0.2131	0.2138
2020 傾き	0.2534	0.2775	0.2808	0.2840	0.2885
平均値: μ	0.2209	0.2357	0.2402	0.2443	0.2476
標準偏差: σ	0.0287	0.0290	0.0255	0.0256	0.0261
塗色:	μ - σ ≤ X ≤ μ + σ		X < μ - σ, X > μ + σ		