

斜面崩壊に及ぼす融雪量の推定

鉄道総研 ○(正)布川 修 (正)杉山友康 (正)斎藤善樹
河島克久 飯倉茂弘 (正)太田直之
国土館大学 (正)岡田勝也 レイディックコンサルタンツ 草野國重

1. はじめに

北海道などの寒冷地域では、春先の融雪期に多種多様な地盤災害が発生している。鉄道では特に凍結した路盤の融解による噴泥や融雪水の地盤内浸透に伴う沿線の斜面崩壊が代表的である。鉄道の斜面災害は全国的には毎年約 500 件程度発生しており融雪や地盤の融解が直接の原因と考えられる災害はこれらのうち約 3%と数は少ない。しかし、この季節には降雨が少ないにもかかわらず斜面崩壊の発生を見ることがあり、降雨時に雨量を指標とした運転規制を行うことで安全を確保している鉄道にとって非常に難しい課題となっている。融雪期の斜面災害は、融雪によって斜面内に融雪水が浸透し、地盤の飽和度を高めるとともに間隙水圧が上昇することによって、土のせん断抵抗力が低下することが原因とされている。このため、融雪による斜面内の水の浸透現象を正しく評価するために融雪水量と気象要素等の関連を正しく評価する必要がある。そこで、多雪地域を対象として融雪に関する長期観測を実施し、融雪量を推定する方法について報告する。

2. 観測の概要

(1) 観測箇所と観測項目

観測箇所は、北海道内でも豪雪地域に当たる余市郡仁木町内の函館本線銀山駅構内とした。斜面の安定性に影響する融雪水の浸透現象を把握するためには斜面上での観測が望ましいが、本観測では基本的な鉛直浸透を把握するものとして、平地盤上での観測とした。積雪深、積雪重量（積雪水量）、土中水分、土中温度など積雪・融雪に関連する事項の観測の他に基本的な気象要素として、気温、雨雪量、風向風速、日射などを観測した。観測期間は 1999 年 11 月から 2000 年 5 月までの 2 冬期間である。

(2) 観測結果

観測期間中の気温、積雪深、土の体積含水率、日融雪量を日平均値として図 1 に示す。ここで、 n 日目の融雪量 M_n は、当日の降雪によるものも含めた積雪水量 $Hw_n(\text{mm})$ と日降雪量 $S_n(\text{mm})$ から次式によって求めた。

$$M_n = Hw_{n-1} - (Hw_n - S_n) \quad (1)$$

なお、ここで求めた日融雪量は、積雪最下面すなわち地表面に達する融雪水の量を示している。

3. 融雪水量の推定方法

(1) デイグリー・デー法による融雪量の推定

融雪量の推定方法として古くからデイグリー・デー法が用いられているが、日融雪量 M を推定する一般式は、日平均気温 T_a (°C)、融雪限界気温 T_c (°C)、デイグリー・デー・ファクター k (mm/°C/day) から以下のように示される。

$$M = k (T_a - T_c) \quad (2)$$

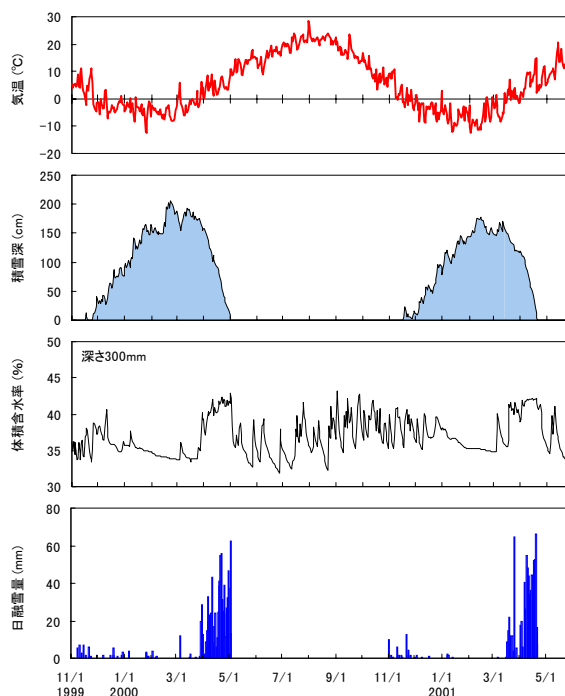


図1 観測期間中の気温、積雪深、土中水分、日融雪量の変化

キーワード：融雪、斜面災害、デイグリー・デー法

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7263 FAX 042-573-7398

ここで一般的には、 $T_c = 0^\circ\text{C}$ が用いられているため、ここでもこの値を採用する。一方斜面崩壊に及ぼす融雪量は、積雪底面（地表面）に達した水量として求める必要がある。すなわち、積雪層内を融雪水が浸透するのに要する時間を考慮すれば、当日の気温の他に前日の気温も考慮する方が妥当であると考えられる。そこで、今、式（2）における気温を

$$T_a = \alpha T_{a_{n-1}} + (1-\alpha) T_{a_n} \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (3)$$

として与えて、前日と当日の気温の融雪への寄与度を調べるために、係数 α を変化させ、式(1)で得られる融雪量の観測結果と式(3)で示される T_a との相関を調べた。図2は2000年の日融雪量のデータと係数 $\alpha = 0.6$ としたときの式（3）における T_a との相関関係を示したものである。日融雪量と T_a には相関関係が認められ、図2における傾きが式(2)のディグリー・デー・ファクター k となる。ここで、係数 α と相関係数との関係を示すと図3のようになる。2000年と2001年において当日および前日の気温の寄与度が若干異なり、2000年では $\alpha = 0.7$ に、2001年では $\alpha = 0.3$ に相関係数のピークがあることがわかる。年による相違は、雪の量や特性が融雪量に大きな影響を与えているものと考えられる。しかし、気温の状況によってリアルタイムに α の値を変化させることは現実的ではないので、ここでは係数 α に両年の平均的な値である $\alpha = 0.5$ を使用する。なお、 $\alpha = 0.5$ の時のディグリー・デー・ファクターは、2000年のデータでは $k = 5.7$ 、2001年のデータでは $k = 5.1$ である。ここで、ディグリー・デー・ファクターを $k = 5.4$ とすると、式(2)、式(3)から日融雪量は

$$M = 5.4 (0.5 T_{a_{n-1}} + 0.5 T_{a_n}) \quad (4)$$

で推定できることになる。

(2) 観測結果と推定融雪量の比較

観測期間の気温の変化から式（4）によって得られる推定日融雪量（計算値）と観測で得られた融雪量との比較を2000年のデータについて図4に示す。なお、ここで融雪の開始日は実際の観測結果と同日とし、示した。図から日単位で融雪量を比較すればほぼ観測結果をよく予測できているものの、計算値の方が融雪量を若干少なく見積もる傾向にあり、累積値にすると40mm程度少なくなる。

4. おわりに

北海道の多雪地域で行った融雪に関する観測結果から、前日の気温と当日の気温から融雪量が簡易に計算できることを示した。しかし、融雪量を推定するためには、係数 α やディグリー・デー・ファクター k について、地域差があることも考えられるため、今後他地域の観測結果とも比較してより簡易に融雪量を評価できる手法を提案する予定である。

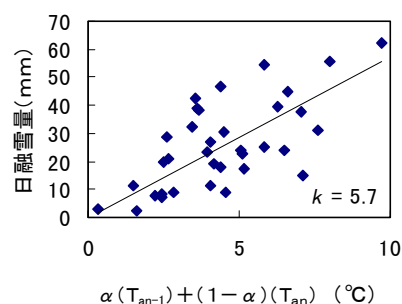


図2 T_a と日融雪量の関係
(2000年、 $\alpha = 0.6$)

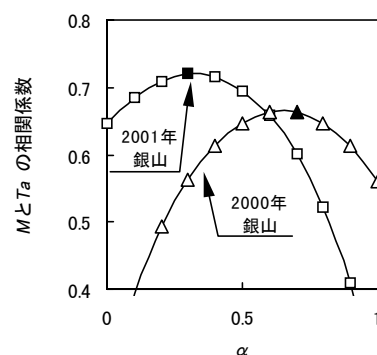


図3 α に対する M と T_a との
相関係数の変化

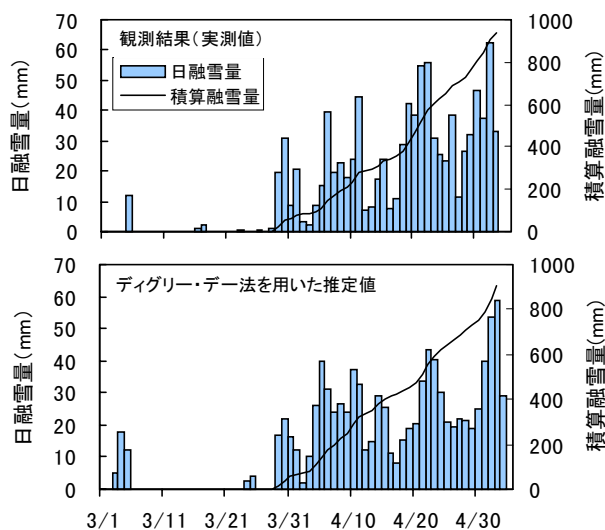


図4 ディグリー・ディ法を用いた融雪量の
推定値と観測値の比較（2000年）