

鉄道一般

車両

施設

電気

運転・輸送

防災

環境

人間科学

浮上式鉄道

AMeDASデータを利用して 融雪期の斜面の安定性を評価する

積雪地域では、春先の雪解け水が地面に浸透することで斜面が崩壊することがあります。このような斜面崩壊は、降雨が観測されない晴天日であっても、気温上昇などにもなう融雪の促進によって発生しうる現象です。したがって、融雪期の安全性を向上させるためには、主たる発生誘因である融雪量を正しく評価して斜面の安定性を評価することが大切です。一方で、鉄道沿線のすべての斜面に計測器を設置して融雪量を観測することは、コストやメンテナンスの面で現実的ではありません。そこで、公開データであるAMeDASデータを利用した融雪期の斜面安定性の評価手法の開発に取り組みました。



佐藤 亮太
Ryota Sato
防災技術研究部
気象防災研究室
研究員
【専門分野】 雪氷学



高柳 剛
Tsuyoshi Takayanagi
防災技術研究部
地盤防災研究室
副主任研究員
【専門分野】 斜面防災

はじめに

積雪地域では、雨水に加えて春先の融雪現象によって生じる多量の雪解け水（融雪水）が地面に浸透することによって斜面崩壊が発生することがあります（以降、融雪災害と記述します：図1）。

このような災害では、斜面の安定性を評価し、その評価結果を基に運転規制や巡回警備などの対策を実施することが重要です。たとえば、台風や局所的豪雨による斜面崩壊の主な誘因は降雨であり、鉄道沿線の雨量計や気象レーダーの整備が進んだことで広域の降雨量の情報を取得でき、近年では気象庁が発表する土砂災害の警戒情報などを斜面の安定性評価の参考にすることができます。

一方、融雪災害は、誘因である融雪量を直接観測するためにはライシメーターとよばれる大型の観測機器を地面に埋設する必要があるため、鉄道沿線の多点で観測することはコストやメンテナンスの面で現実的ではなく、斜面の安定性を評価することが難しい災害です。そこで、鉄道事業者は、融雪期には融雪量の影響を考慮して、気温などに基づいて鉄道沿線の巡回警備を強

化するなど、過去の災害経験に基づく措置によって安全を担保しています。

近年では、社員数の減少や現行の巡回点検の効率化に対応するための取り組みの一環として、融雪期の斜面安定性の評価手法の整備が望まれています。

融雪災害の発生機構

融雪災害は、①融雪水や雨水が地面へ浸透することによって、②地盤内の地下水位が上昇することで、③地盤の安定性が失われて発生に至る（図2）と考えられます。このため、融雪期の斜面安定性を評価するためには、融雪量を推定するモデルや地盤中の水分変化を評価するモデルを構築することが重要となります。

AMeDASデータを用いた融雪量の評価モデル

融雪量は、日射や風、降雨などによって積雪表面に与えられる熱量の総和から計算できます（熱収支法¹⁾）。熱収支法のメリットは、融雪量を精度よく求めることができることです。しかしその一方で、計算に必要な気象要素が多いため、1地点の融雪量を求める



図1 融雪災害の発生状況例

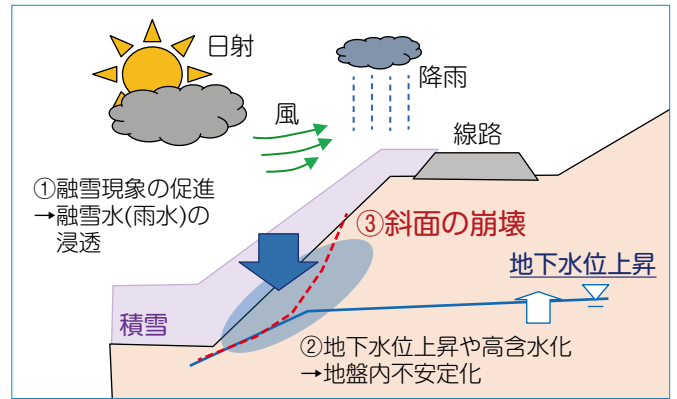


図2 融雪災害の発生機構

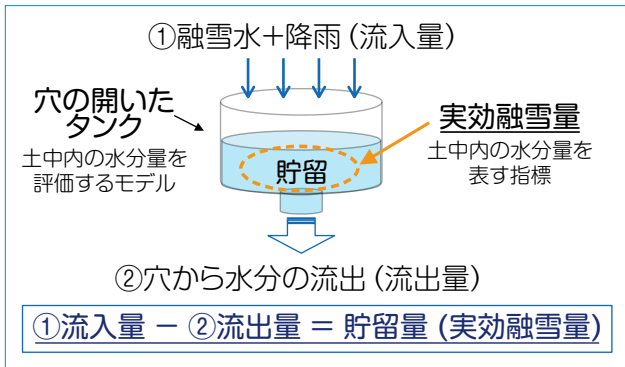


図3 タンクモデルによる実効融雪量の模式図

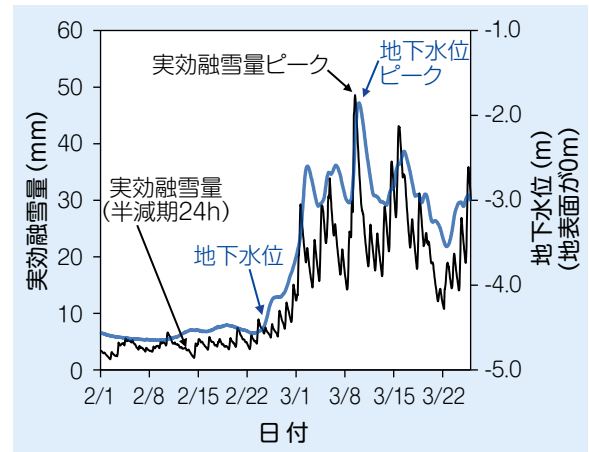


図4 地下水位の観測値と実効融雪量の比較例

場合でも、多数の機器を用いた気象観測を実施しなければならないというデメリットがあります。そこで、全国に整備されている気象庁のAMeDAS(☞参照：以降、アメダスと表記します)の観測データを用いて、気象要素を融雪熱量に換算することで融雪量を推定する方法を検討しました。

アメダスは観測している気象要素が限られているため、新潟県や北海道で取得した観測データと既往の研究²⁾を基に、熱収支法の計算式の一部を定式化や定数化した融雪量推定モデル³⁾を構築しました。その結果、アメダスから得られる1時間ごとの、気温(℃)、

降水量(mm)、風速(m/s)、日照時間(h)

の4要素のみを入力値として、1時間あたりの融雪量(mm/h)を推定することができます。

融雪量の推定値を用いた地盤中の水分挙動の評価モデル

地盤内の水分挙動を表現するモデルとして、ここではタンクモデルを用いています(図3)。

地盤を図3のようなタンクとして考えると、タンクの中に溜まる水分量(貯留分)は、融雪水と降雨による流入量と、穴からの流出量との差分から求め

ることができます。この貯留分が、実際の地盤における地下水位を表現すると考えます。すなわち、貯留分が多くなると、地下水位が上昇し地盤が不安定化すると考えます。

ここでは、このタンク内の貯留分を「実効融雪量⁴⁾」という呼び方で定義します。実効融雪量は、融雪量と降雨量とから求まる流入量と、流出量を決定するパラメーターである「半減期」を設定することで算出します。半減期は、実際の土質などに影響を受けるパラメーターではありませんが、ここでは一律24時間(貯留分が24時間後に半分に減少することを表します)に設定しました。

積雪地域における地下水位の観測結果と、観測点の最寄りのアメダスデータから推定した融雪量および降雨量を

☞ AMeDAS (アメダス)

AMeDASとは、「Automated Meteorological Data Acquisition System」の略で、地域気象観測システムといいます。降水量の観測点は全国で約1300ヶ所(約17km間隔)あり、このうち約840ヶ所では降水量に加えて気温、風向風速、日照時間を観測しており、多雪地域では約320ヶ所で積雪深を観測しています。

用いて算出した実効融雪量とを比較した例を図4に示します。その結果、多少のずれはあるものの、実効融雪量は地下水位の時間変化やピーク出現のタイミングをよく表現できていることがわかります。このように、融雪量推定モデルとタンクモデルを組み合わせることによって、アメダスデータのみから地下水位の時間変化をおおむね評価できることがわかりました。

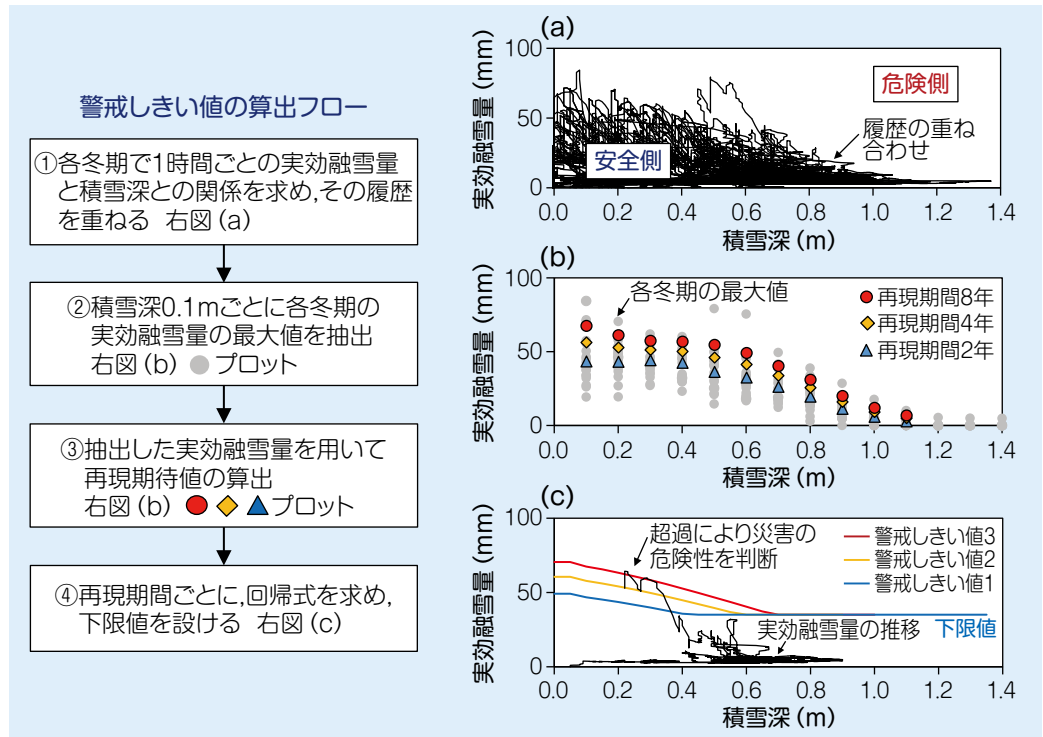


図5 警戒しきい値の設定方法

斜面の安定性評価方法

斜面の安定性は、実効融雪量に警戒しきい値を設けることによって評価します。警戒しきい値の設定方法は次のように考えに基づきます。

たとえば、融雪災害が発生した地点にて、災害発生した冬期以前の20冬期においてアメダスデータから1時間ごとの積雪深に対応する実効融雪量を求め、20冬期分重ねたものが図5の算出フロー①です。図5(a)から、履歴が集中している領域(図5(a)の左下の領域)は、これまでにその領域の実効融雪量を経験していても融雪災害の発生に至っていないことから、積雪深ごとの実効融雪量までは対象地点の斜面は安定していると判断します。

一方、これまでにその実効融雪量を

経験したことがない領域(図5(a)の右上の領域)は、斜面の安定性が判断できないため、不安定であると考えます。したがって、このような過去の履歴に基づいて警戒しきい値を設定する方法が有効であると考え、積雪深ごとに実効融雪量の再現期待値(☞参照)を求め、それを警戒しきい値とする方法を採用しました。

警戒しきい値の設定には、はじめに、積雪深0.1mごとに各年の実効融雪量の最大値を抽出します(図5(b), フロー②)。抽出した実効融雪量の最大値を用いて、積雪深0.1mごとに再現期待

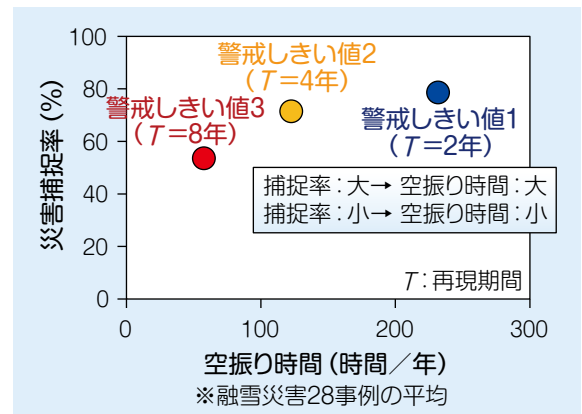


図6 災害捕捉率と空振り時間との関係

値を求めます(フロー③)。図5(b)では、例として再現期間2年、4年、8年の再現期待値の算出結果を示しています。得られた再現期待値ごとに積雪深に対する回帰式を求め(フロー④)、それぞれ警戒しきい値1~3として設定します(図5(c))。なお、警戒しきい値に下限値を設定しています。これは、積雪深が多い時期に僅かな融雪や降雨でも警戒しきい値を超過し続けてしまうことを回避するためです。今回は過去に北海道や東北、北陸地方で発生した融雪災害事例(28件)の災害発生時

☞ 再現期間と再現期待値

ある現象が平均して何年に1回起きるかを表した値を「再現期間」といい、その再現期間に1回起こると考えられる値を「再現期待値」とよびます。たとえば「100年確率の降水量が200mm」の場合には、再現期間は100年間、再現期待値は200mmということを意味します。なお、再現期間2年の再現期待値が平年並みに相当するといわれています。

再現期間や再現期待値を求める解析を極値統計解析といいます。

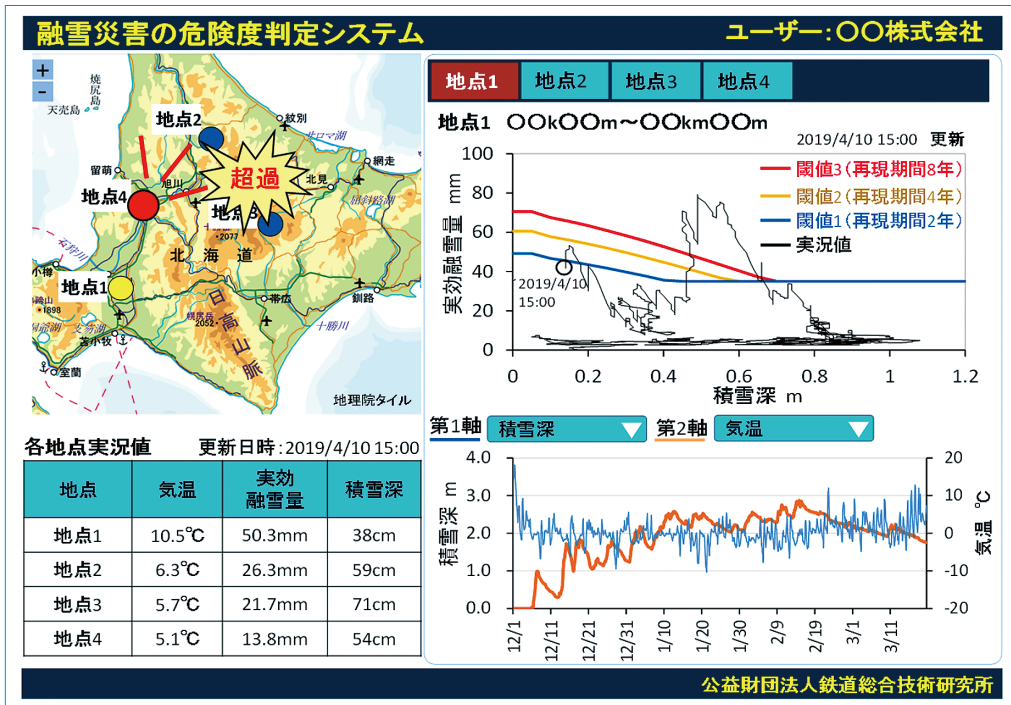


図7 融雪期の斜面災害危険度判断システムの画面表示例

の実効融雪量の値を参考に、警戒しきい値の下限值を35mmと決定しました。

災害事例への適用性の検証

警戒しきい値と、災害発生年の実効融雪量とを比較して(図5(c)参考)、災害発生時の実効融雪量が警戒しきい値1~3のいずれかを超過していれば、捕捉(的中)したと考え、28事例に対する災害捕捉率(捕捉事例数/28件)×100を求めました。なお、実効融雪量および警戒しきい値は、災害発生地点の最寄りのアメダスデータから算出し、災害事例ごとに各警戒しきい値と災害発生時の実効融雪量とを比較して、捕捉したかどうかを整理しました。

その結果、警戒しきい値1(再現期間2年)は約79%、警戒しきい値2(再現期間4年)は約71%、警戒しきい値3(再現期間8年)は54%の事例を捕捉できることがわかりました。

今回のように災害の捕捉率の検討を行う際には、いわゆる“空振り”を同時に整理することが重要です。そこで、災害が発生していない20冬期について、

一冬期ごとに警戒しきい値を超過した時間の積算値を求め、20冬期の平均値を“空振り時間(時間/年)”として整理しました。

災害捕捉率と空振り時間との関係を図6に示します。図6から、しきい値を小さい値(再現期間が短い値)にすれば災害捕捉率は高くなる代わりに空振り時間は増加し、逆にしきい値を大きい値(再現期間が長い値)にすれば災害捕捉率は低くなるものの、空振り時間も短縮することがわかります。したがって、線区ごとに警備などの発令の考え方により設定する必要があると考えられます。

閲覧システムの開発と活用方法

今回紹介した一連の手法をシステム化し、評価結果を常時閲覧できる「融雪期の斜面災害危険度判定システム」を構築しました(図7)。

本システムは、クラウドサーバーに利用者PCからアクセスすることで、評価結果を随時閲覧できるようにしたものです。

本システムは評価地点と評価に用いるアメダス観測点を設定することで、1時間に1回自動的に評価結果が更新されるので、利用者は必要な時に評価結果を閲覧できます。このようなシステムを活用することで、新たなる観測を行うことなく、客観的な指標に基づく融雪災害の危険度評価結果に応じた沿線警備の出動要否判断が可能になると考えています。

まとめ

アメダスデータを活用

した融雪期の斜面安定性を評価する方法について紹介しました。公開データであるアメダスデータのみから災害外力である実効融雪量と斜面耐力を表す警戒しきい値を算出できるため、新規観測点を必要としない低コストなシステムとして運用することができます。今後は、災害捕捉率の向上や空振り時間の低減方法を検討すること、融雪期の雪崩の危険度評価への適用性の検証などを進めて行きたいと考えています。

RRR

文献

- 1) 近藤純正：水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—，朝倉書店，1994
- 2) Kun Yang and Toshio Koike：A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies., Water Resources Research, Vol.41, 2005
- 3) 栗原靖，穴戸真也，飯倉茂弘，高橋大介，鎌田慈：融雪水の積雪底面流出量の推定手法，鉄道総研報告，Vol.27, No.11, pp.29-34, 2013
- 4) 高柳剛，湯浅友輝，樺健典：融雪期の斜面災害に対する管理手法，鉄道総研報告，Vol.31, No.5, pp.11-16, 2017