

リモートセンシング技術を用いた新しい雪崩危険度評価手法の開発

東日本旅客鉄道株式会社	正会員	岸 滋
東日本旅客鉄道株式会社	フェロー会員	島村 誠
(株)MTS 雪氷研究所	正会員	松田 益義
朝日航洋株式会社		渋谷 研一

1. はじめに

JR東日本では、雪崩の恐れがあると考えられる場合、ベテラン社員がヘリコプターに搭乗し、予め定められた雪崩監視斜面の雪庇の状態や雪面の亀裂の有無を調査し、雪崩の危険度を評価している。ところが、この方法はベテラン社員の経験に基づく定性的な手法であるため、継承することが困難である。

そこで本稿では、ベテラン社員の経験に依存する手法に代わる定量的な手法として、レーザー計測による計測技術や地理情報システム(GIS)による解析技術を活用した新しい雪崩危険度評価手法を開発したので紹介する。

2. 空中レーザー計測

空中レーザー計測は、レーザープロファイラを搭載した航空機等を使用して、対象地域の地表面や地物の位置、高さ情報(座標)を計測する手法である。本研究では、モデル区間として図1に示す計測エリアを選定し、無雪期、積雪期、及び融雪期の3時期にレーザープロファイラ計測を行った。無雪期のレーザープロファイラ計測により得られるデジタル標高データ(DEM)、デジタル表層データ(DSM)、レーザー反射強度を用いて植生密度分布や樹高分布を算出した。さらに、積雪期及び融雪期の積雪面高さから無雪期の地表面高さを引くことにより、積雪深分布を算出した。(図2、図3)

3. 雪崩流の運動シミュレーションによる危険度評価の検討

雪崩危険度を高精度に評価するためには、地形や植生、走路見通し角といった素因に基づく危険度評価に加えて、気象条件や積雪条件などの誘因を考慮した危険度評価を行う必要がある。そこで、モデル区間全域を対象に、雪崩流の運動シミュレーションを行い、素因及び誘因に基づく総合的な雪崩危険度評価を行った。なお雪崩は、表層雪崩と全層雪崩に大別されるが、本シミュレーションでは表層雪崩を対象としている。シミュレーションのフローを図4に示す。

雪崩流の運動モデルは、「流体モデル」「密度流モデル」「質量中心モデル」「粒子モデル」の4つに大別されるが、本シミュレーションでは「質量中心モデル」を用いた。「質量中心モデル」の基礎方程式は、雪崩の質量を M 、質量中心の速度を u とすると、以下のように定義される。

$$\frac{d}{dt}(Mu) = F - R = F - R1 - R2 - R3 \quad (1)$$

(F : 重力による雪崩の駆動力、 $R1$: 底面摩擦力 $R2$: 空気抵抗 $R3$: 植生抵抗)

シミュレーションに用いるパラメータは、次のように設定した。底面摩擦力 $R1$ 、空気抵抗 $R2$ は、過去の上信越地方での経験値として最も多く採用されている経験値を用いて算出した。

キーワード 雪崩, リモートセンシング, 空中レーザー計測, 地理情報システム (GIS)

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目0番地 JR 東日本研究開発センター防災研究所 TEL: 048-651-2693



図1 計測エリア位置図

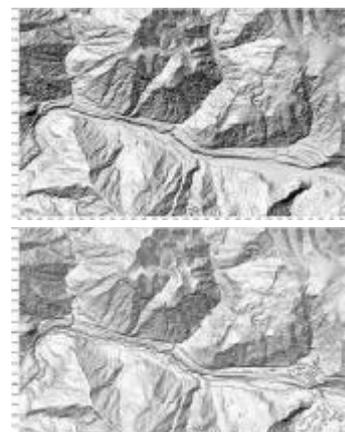


図2 デジタル標高データ
(上: 無雪期 下: 積雪期)

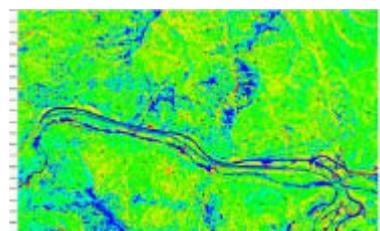


図3 積雪深分布図

$$R1 = mN = 0.05N \quad (2)$$

$$R2 = au^2 = 0.01u^2 \quad (3)$$

植生抵抗 $R3$ は、雪崩の位置するメッシュ内に樹木が n 本存在し、それぞれの胸高直径が r_k ($0 < k < n$) であるならば、下式が成り立つものとした。

$$R3 = b \sum_{k=1}^n r_k u^2 \quad (4)$$

メッシュ内の樹木数は、植生密度分布から算出し、胸高直径は樹高分布とモデル区間のスギの樹高曲線を用いて換算した。

$$r_k = 1.583H_k^{0.703} \quad (5)$$

また(4)式における b は、雪崩の痕跡を基にシミュレーションを行い算出した $b=0.0001$ を用いた。それぞれの値を代入すると、運動方程式は下記のように示される。

$$\frac{d}{dt}(Mu) = F - (0.05N + 0.01u^2 + 0.0001 \sum_{k=1}^n H_k^{0.703} u^2) \quad (6)$$

雪崩発生の判定条件は、表層雪崩発生の素因(地形及び植生)3項目と誘因(気象・積雪条件)1項目の合計4項目とした。雪崩発生の判定条件を表1に示す。4条件のいずれも満足するメッシュ区間は、モデル区間全体の9%であった。このメッシュを雪崩発生箇所として、シミュレーションを行った。

雪崩運動方程式の計算は0.1秒間隔で行い、位置(XY座標)と速度(u)を計算しているが、計算が無限に継続する可能性があるため、下記条件により計算を強制終了している。

流速が1(m/s)以下となる場合

雪崩が計算対象区間外へ入り込む場合

線路の東西方向10m、南北方向10mの範囲まで質量中心が到達した場合

以上の条件よりシミュレーションを実施し、以下の3項目について計算出力した。

雪崩発生の出発点及び到達点の座標(XY座標)

出発点から到達点(又は線路到達点)までの雪崩走路(0.1(s)毎の雪崩の質量中心の通過経路)

線路到達(線路の東西方向10m、南北方向10mの範囲に雪崩の質量中心が到達する)時点の流速

計算結果については、1/5,000地形図(DEMデータ)と重ね合わせ表現し、雪崩危険度マップとして作成した。作成した雪崩危険度マップのうち、只見線大白川駅付近の例を図5に示す。

4. 今後の課題

過年度の雪崩発生箇所及び現在の雪崩監視箇所と本シミュレーションでの雪崩監視箇所との照合を行い、計算精度の検証を行う。

本シミュレーションでは、モデル区間における雪崩の空間特性が得られた。積雪深の増加と融雪の進行による雪崩危険度評価は、時間変化するため、今後は危険度の時間変化が評価できる手法へ改良する。

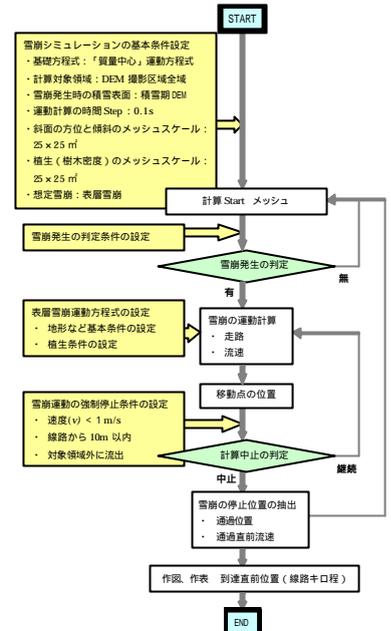


図4 シミュレーションフロー

表1 雪崩発生の判定条件

条件	判定項目	条件*1	条件を満足するメッシュ数割合
素因条件	地形		
	傾斜角 (Degree)	18 < *3	57%
	縦断傾斜率 *3	0 <	17%
誘因条件	植生		
	中・高木の密度 (本/(25*25m2))	250 >	100%
誘因条件	気象積雪		
	積雪期積雪深・低灌木の平均高×本数/25 (m/m2)	1 >	55%
条件設定理由など	*2 縦断方向の傾斜方位が45°-135°・225°-315°であれば成分の比率をそれ以外成分の比率を採用 *3 表層雪崩の到達可能な見通し角18°を適用		上記4条件を全て満足するメッシュ数割合 9%

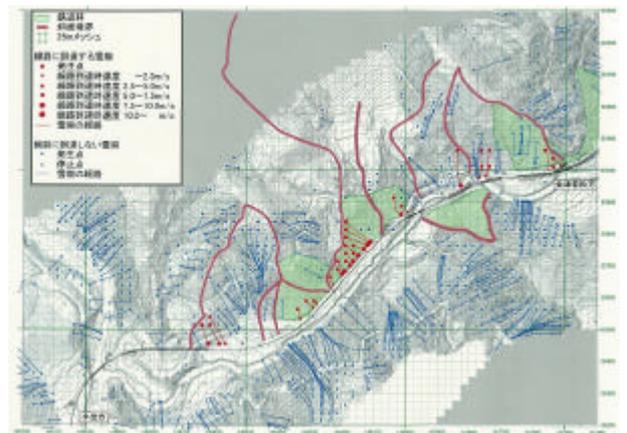


図5 シミュレーションによる危険度マップ (只見線大白川駅付近)