

124 弱層強度を加味した表層雪崩発生危険度予測手法について

建設省土木研究所 ○石田孝司*, 市ノ瀬榮彦, 門間敬一
建設省北陸地方建設局 加藤信夫

1. はじめに

表層雪崩、特に面発生乾雪表層雪崩はその多くが厳冬期に発生し、大規模な災害を引き起こす場合も少なくない。そのため、雪崩の発生を事前に予知し、危険度が高まることが予想される場合には危険区域内住民に避難を促すための技術的根拠の提示が求められている。過年度には表層雪崩と全層雪崩毎に、多数の雪崩発生・非発生事例と気象データを元に、これの統計処理による雪崩発生危険度予測手法が提示された。現在、総合雪崩対策モデル事業等によりその検証を行っているところであるが、特に表層雪崩については実用に耐えうる精度に達しているとは言えない。そのため、他の詳細なデータを用いて前述した手法の精度向上を試みているところである。しかし、最も確実に表層雪崩の危険度を把握するためには発生機構を踏まえた物理的な面からのアプローチが必要であると考え、表層雪崩の誘因となる弱層の強度を加味した手法の開発を試みた。

表層雪崩は、弱層と呼ばれるその発生境界面が積雪内部にあり、境界面上に存在する積雪の上載加重とせん断抵抗力とのバランスが崩れた際に発生する。従って、理論上各層におけるせん断抵抗力と上載荷重とがわかれば、現時点での表層雪崩発生危険度を推定することができ、さらにはその後の降雪量がわかれば表層雪崩の発生予測が可能となる。過年度の研究により、降雪パルスや気温から上載荷重を推定する手法が提示されているため、本研究では現地観測データを元にして弱層強度の推定手法について検討を行うと共に、これの検証を行った。

2. 研究方法

観測対象地として新井市西方に位置する大毛無山（標高 1,429m）を選定し、本山東側斜面の標高 1,190m 地点、930m 地点、340m 地点において積雪層の構成や各種物性値、弱層強度等を把握するために積雪断面観測を行った他、ほぼ標高を同じくして気象観測を行った。ここで得た 1996 年度からの 3 冬期にわたるデータを使用し、弱層形成期間の抽出、層形成時の供給熱量と弱層せん断抵抗力との関係分析を実施し、弱層種類毎に層形成時の供給熱量から層形成後経過時間毎の弱層強度を求める時系列変化推定式を作成した。供給熱量としては日射量、長波放射量、顕熱伝達量、潜熱伝達量とし、顕熱伝達量と潜熱伝達量についてはバルク法を用いて算出した。さらに、作成した式に、1999 年度冬期に実施した気象観測、積雪断面観測によるデータを代入し、雪崩発生危険度 (SI) の推定手法の検証を行った。

3. 研究結果

層形成後の経過時間とせん断抵抗力 (SFI) の関係については実測データを元にして弱層種類毎に直線回帰を行い、その回帰式の傾きと切片それぞれについて流入熱量との関係を求め、層形成時の供給熱量と層形成後経過時間より SFI を推定する式を作成した。これを式 (1)~(3) に示す。

(a) ザラメ層

$$SFI = (0.1365 \cdot e^{(-0.0003 \times \text{供給熱量})} \times \text{層形成後経過時間} + (0.0064 \cdot \text{供給熱量} - 4.6797)) \quad (1)$$

(b) 乾きザラメ層

$$SFI = (-8 \times 10^{-5} \cdot \text{供給熱量} + 0.3073) \times \text{層形成後経過時間} + (0.0122 \cdot \text{供給熱量} - 16.02) \quad (2)$$

(c) しまり雪境界層

$$SFI = (2 \times 10^{-5} \cdot \text{供給熱量} + 0.3257) \times \text{層形成後経過時間} + (-0.0023 \cdot \text{供給熱量} + 7.421) \quad (3)$$

なお、供給熱量の単位は J/m^2 である。

図-1 に、上記推定式に 1999 年度冬期の観測により得られた気象データを代入して SI の計算値を求め、これと実測値とを比較したものを示す。なお、実測 SI は SFI の実測値を上載荷重の斜面分力で除して算出した。また計算 SI は、前出の推定式により算出した SFI の計算値を式(4)に示す上載荷重計算値の斜面分力で除して算出した。

$$\text{上載荷重} = \Sigma (\text{積雪深計による 1 時間の積雪深差}) \times \{0.024 \cdot e^{(1.261 \cdot \text{気温})} + 0.064\} \quad (4)$$

なお、式(4)の右辺第 2 項は積雪密度を表す。

この結果、第 23 層 (しまり雪層境界) 及び第 40 層 (しまり雪層境界) については計算値と実測値とがほぼ一致していることが分かる。またその他の層については実測値が計算値よりもより危険側にプロットされているものの、概ね近い値を示しているといえる。

* 現 北陸地方建設局金沢工事事務所

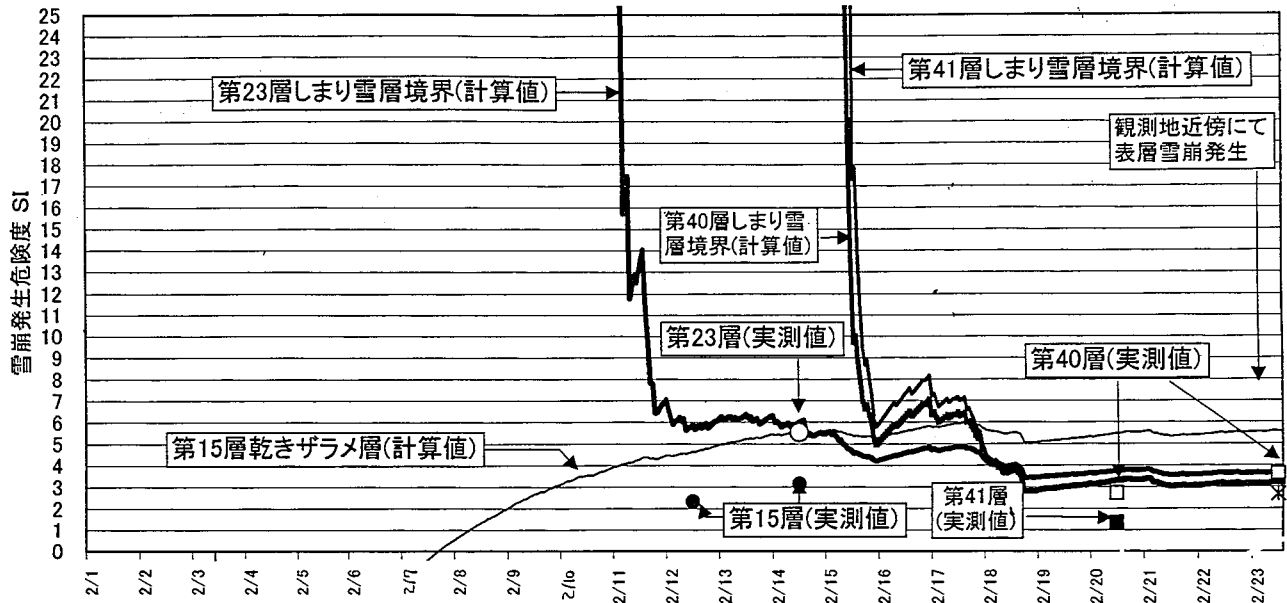


図-1 雪崩発生危険度(SI)の計算値と実測値比較図

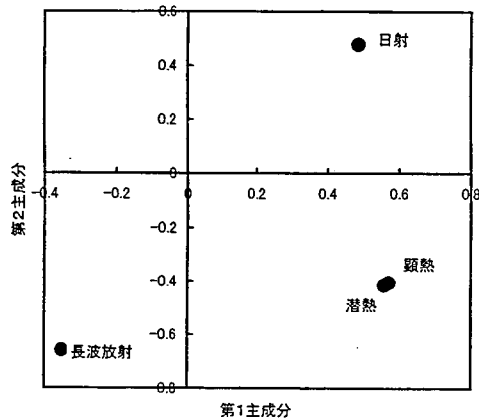


図-2 第1・第2主成分の重みつき係数による伝達熱プロット図

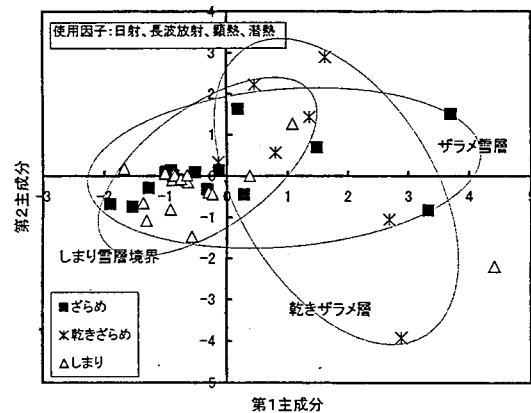


図-3 層毎の第1・第2主成分得点によるプロット図

本研究では、弱層強度の推定と併せて、弱層種類別に弱層形成にかかる各伝達熱の寄与度分析も行った。これは層形成期間に供給もしくは放出される熱量と弱層種類との関係について主成分分析を行い、弱層種類毎に弱層形成にかかる各伝達熱の寄与度を解析したものである。抽出された第1主成分を構成している主な因子は顕熱、潜熱、日射であり、第2主成分を構成している主な因子は日射という結果を得た。このことから、弱層形成に対して日射、顕熱、潜熱による積雪表面付近での融解等変態が大きく寄与し、長波放射の影響は比較的小さいという結果を得た。

また図-3には第1・第2主成分を各層について計算してグラフ上にプロットし、弱層種類の判別を試みた結果を示した。弱層種類毎に分布の特徴は見られ、ザラメ雪層は第2主成分0付近において横軸方向に広がっていることから第1主成分には規定されないこと、また乾きザラメ雪層は第1主成分がプラスで縦軸方向に広がっていることから第1主成分により規定されることなどが定性的な性質として読みとることができる。しかしながらこれらの境界は曖昧であり、明確な判別は出来なかった。

4. まとめ

本研究では、現地観測データを元にして弱層強度の推定方法について検討を行うと共に、これの検証を行った。現段階では表層雪崩発生予測手法として十分な精度に達しているとは言えないが、今後のデータ蓄積と分析を通して推定式の見直しを行うことにより精度の向上が期待できるものとする。

また、弱層種類によりせん断抵抗力の推移等性質が異なることから、これの判別を行うことを目的として弱層種類毎に弱層形成にかかる各伝達熱の寄与度分析を行ったが、現在のところ十分な成果は得られておらず、熱伝達の種類の他に各気象因子による寄与度分析等により再度検討を行うこととしている。また、各伝達熱や各気象因子、もしくはこれらの複合的作用により、積雪層表面付近や雪粒子にどのような現象が生じるのかといった物理的観点からの積雪の変態と弱層形成・推移に関する研究を進展させる必要があると考える。