

国道 39 号上川町層雲峡における 2013 年 3 月降雪時の積雪安定度観測

Snow stability observation of snowfall at the time of March 2013
in the National Highway 39 Kamikawa-town Sounkyo

横山博之 ((独) 土木研究所寒地土木研究所 道北支所・北見工業大学大学院),
高橋修平 (北見工業大学), 松澤勝 ((独) 土木研究所寒地土木研究所 雪氷チーム)
Hiroyuki Yokoyama, Shuhei Takahashi, Masaru Matsuzawa

1. はじめに

北海道の国道における雪崩の発生および雪崩のおそれによる通行止めはほぼ毎年発生し, 2001 年 4 月~2006 年 3 月までの 5 冬期で 41 件, その 2/3 の 26 件が乾雪雪崩によるものである¹⁾. 雪崩による通行止め解除時期の判断は難しく, これまでは道路テレメーターを活用した道路事務所独自の判断基準²⁾や道路パトロール, 雪氷関係の道路防災有識者の助言を参考に道路管理者が行っている. 雪崩発生時は, 多くののり面を点検する必要がある一方, 早急な応急対策や解除の判断が求められるため, 積雪安定度を直接計測することは, 時間を要するため一般的でない. 遠藤は, 「乾雪表層雪崩は気温が 0℃以下の大雪の最中や直後に起こりやすいが, このような条件下で積もった深い新雪内の温度勾配は一般に小さく, 新雪は等温変態過程のもとで変化するので, 新雪の安定度は降雪量の時間変化が分かれば計算できる」としている³⁾. 降雪量だけで積雪安定度が判断できれば道路管理上も有効であるが, 北海道で実際に適用した事例はない. そこで本研究では, 2013 年 3 月 2 日~3 日の降雪時に, 国道 39 号沿道にある層雲峡アメダス横の平地において, 降雪初期から積雪の剪断強度と重量測定により積雪安定度を観測し, 遠藤³⁾のモデルによる計算結果と比較・検証したので報告する.

2. 当該区間における通行規制判断の目安

国道 39 号上川町層雲峡~石北峠は, 多量降雪時に明確な弱層のない乾雪雪崩が多く, 雪崩事例と専門家の助言に基づく降雪量による通行規制を試行的に実施している²⁾.

図 1 は, 層雲峡アメダスと規制区間内の道路テレメーター位置の関係図である(以下, 道路テレメーターを TM とす

る). 過去の雪崩事例では, 規制区間内の 4 個の TM の内, どれか 1 つでも 24 時間降雪量が 50cm を超えるときに発生しているのので, これを通行止め開始の目安にしている. その解除については, 当該 TM で, 降雪強度 1cm/h 以下が 6 時間継続した時点としている.

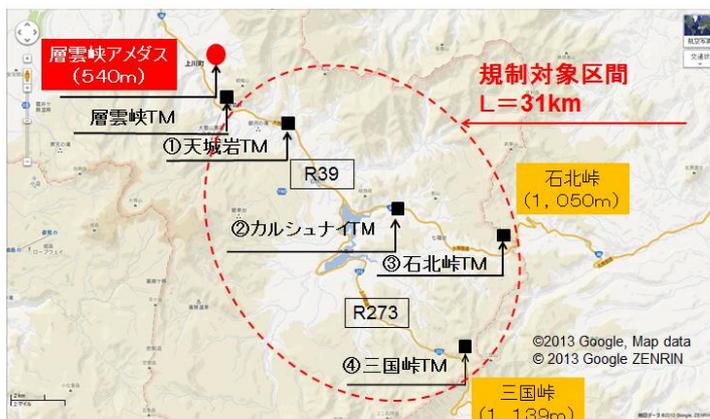


図 1 層雲峡アメダスと道路テレメーター位置の関係図

3. 観測概要

図2は、層雲峡アメダスと積雪断面観測を行った観測ピットの位置関係図である。層雲峡アメダスは層雲峡温泉から約2km旭川側の平地にある。観測ピットはアメダス南東約40mの位置に設置し、観測毎に0.5mずつ掘り進み新しい断面を作成した。観測項目は、新積雪深、密度、せん断強度、雪温である。

図3は、観測概要である。北海道の道路のり面における多量降雪時に発生する乾雪表層雪崩では、明確な弱層を持たないことが多い⁴⁾。即ち、上載積雪による駆動力の増加に新積雪底面近傍での支持力の増加が追いつかないことに起因する。そこで、シアーフレーム試験(せん断強度試験)位置は、旧雪と新雪の境界から5cm上方をフレーム下面位置とし、この位置が密度サンプラーの中央になるようにして観測を実施した。なお、明確な弱層を持たないことを確認するためには、積雪内温度勾配が小さいことを確認する必要がある。このため、積雪の温度測定を、積雪表面から概ね10cm毎に実施した。なお新積雪深が10cm未満の場合は、2.5~5cm間隔で測定した。積雪断面観測は、2013年3月2日15時から3日12時まで9回実施し、観測は毎正時のアメダスデータと比較するため、正時15分前から積雪重量と雪密度の測定を行い、正時から15分経過する前にシアーフレーム試験を終わらせた。

これら現地の積雪断面観測に加えて、気象データとして層雲峡アメダスの積雪深と層雲峡TMの気温を解析に用いた。

4. 観測当日の気象概況

4-1 当日の天気図

図4は、観測開始当日の3月2日9時の天気図である。温暖前線と寒冷前線そして閉塞前線を伴った2つの低気圧がある。その後、3月3日にかけて北海道の中心部で2つの低気圧は合体し急激に発達した。



図2 層雲峡アメダスと観測ピットの位置関係図



図3 観測概要



図4 当日の天気図

4-2 当日の気象概況

図5は、層雲峡アメダスの積雪深と層雲峡TMの気温の推移図である。3月2日2時から11時までの9時間、アメダスの積雪深は111cmと一定であり、11時以降増加したことから、3月2日11時を降雪開始時とした。3月3日4時(降雪開始17時間後)の積雪深は143cmであり、降り始めから32cm増加した。これ以降は積雪深がほぼ一定なので、この時刻を降雪終了とした。また3月2日11時から16時までの5時間で気温が-2.3℃から-9.8℃へ降下した。

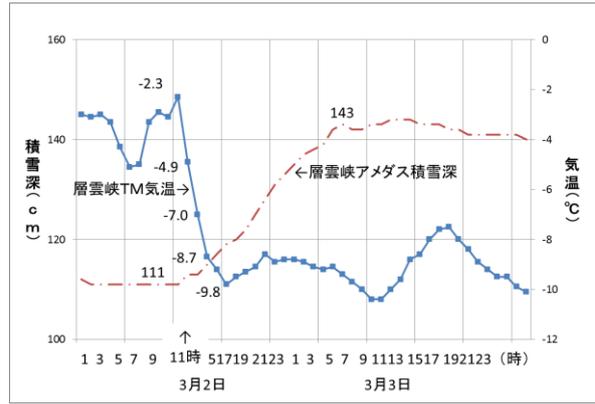


図5 積雪深と気温の推移図

5. 斜面積雪の安定度算出法

図6のように、斜面角度を θ° 、積雪荷重を W ($N \cdot m^{-2}$)、積雪内部の境界面での剪断強度を SFI ($N \cdot m^{-2}$)とすると、平面での降雪深 $H(m)$ が斜面の鉛直方向でも同じ $H(m)$ であるとすると、斜面積雪の安定度 SI は式(1)で表される。

$$SI = \frac{SFI}{W \cdot \sin \theta \cos \theta} = \frac{2 SFI}{W \cdot \sin 2\theta} \dots (1)$$

切土斜面の角度は 40° (1:1.2) ~ 50° (1:0.8)のことが多く、 $\theta = 40^\circ$ 、 50° の時、 $\sin 2\theta = 0.984$ 、 $\theta = 45^\circ$ のとき $\sin 2\theta = 1$ である。一番不安定な $\theta = 45^\circ$ の値を取ると、式(2)が得られる。

$$SI = \frac{2 SFI}{W} \dots (2)$$

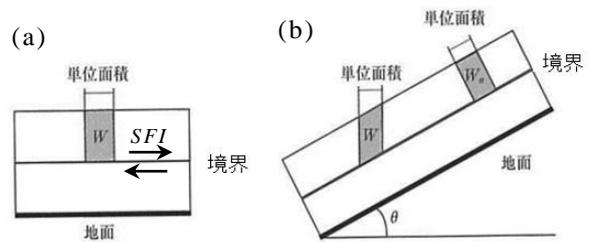


図6 平面上 (a) および斜面上 (b) での単位面積当たりの上載荷重

6. 観測結果

図7(a)は、斜面積雪安定度の推移図で、図7(b)は、層雲峡アメダスの積雪深から求めた降雪量と新積雪深および、実測した新積雪深の推移図である。ここで降雪量は1時間毎の積雪深差の正值を取った。SIは、降雪終了直前(降雪開始16時間後)に1.27まで減少したが、降雪終了後はゆっくりと増加に転じ、降雪終了7時間後には1.53まで増加した。

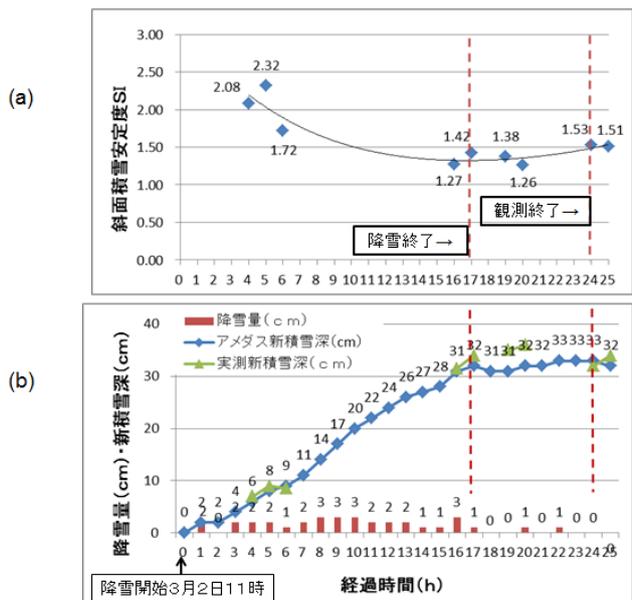


図7(a) 斜面積雪安定度の推移図
(b) 降雪量と新積雪深の推移図

7. 考察

図 8 は、本研究で求めた雪密度 ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) と剪断強度 SFI (kPa) の関係であり、両者には式(3)の関係が得られる。

$$SFI = 5.73 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^{2.24} \dots (3)$$

図 9 は、遠藤³⁾による本州(北陸地方)の新雪の諸定数による SI 推算値と、式(3)を用いた SI 推算値、および SI 測定値との対比図である。

本研究により求めた層雲峡地域における SI 推算値と SI 測定値は良く一致し、本州(北陸地方)における SI の推算値と比べ、① SI 測定値が小さい。② SI 測定値の最小値の出現時刻が遅い。という特徴がある。

今回の観測では3月2日11時から16時にかけて7.5℃の気温低下があり、新積雪層内に大きな温度勾配が生じる可能性も否定できない。図 10 は、雪温分布の計測結果である。新積雪底面近傍での温度勾配は、3月2日15~17時で、

0.29~0.43℃/cm であるが、降雪開始12時間以降では、0.20℃/cm 以下であった。福沢・秋田谷⁵⁾によると、しもざらめ雪の急速成長には2℃/cm程度の温度勾配が必要であり、今回の観測結果と時間スケールを考えると、等温変態過程と考えて良い。

8. おわりに

本研究では、遠藤のモデル³⁾による SI の推算値が実測値に良く適合することが示された。なお、本研究では圧縮粘性係数や新積雪密度を定数として計算した。今後は、温度依存性を考慮する一方、他の気象条件での観測を行い、乾雪表層雪崩時の、適正な通行止め解除時期の判断に役立てていきたい。

謝辞

本研究では旭川開発建設部旭川道路事務所の皆様に、格段のご配慮をいただきました。ここに記し、厚くお礼申し上げます。

【参考・引用文献】

- 1) (独) 土木研究所寒地土木研究所, 2010: 北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料(案), 2-2.
- 2) 原田洋平ほか, 2012: 雪崩の危険度による事前の通行規制について, ゆきみらい研究発表会 in 金沢.
- 3) 遠藤八十一, 1993: 降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測, 雪氷, 55, 113-120.
- 4) 竹内政夫, 2009: 雪崩の被害を未然に防ぐための道路管理, 北の交差点, 24, 20-24.
- 5) 福沢卓也, 秋田谷英次, 1992: しもざらめ雪層の急速形成過程の観測, 低温科学, 物理編, 50, 1-7.

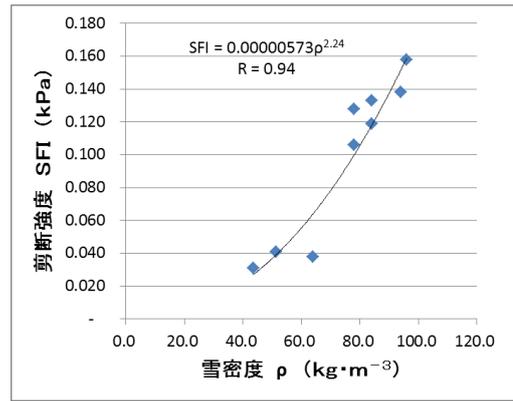


図 8 本研究の雪密度～剪断強度の関係

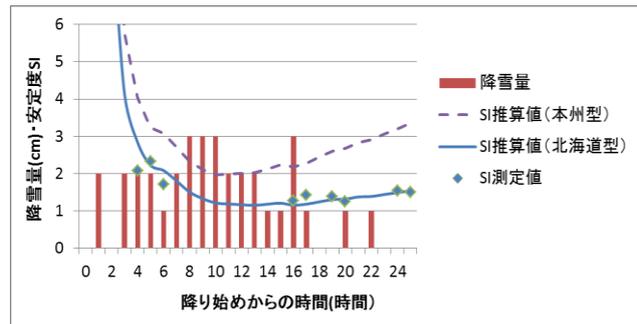


図 9 降雪強度から推算した SI 推算値と SI 測定値との対比図

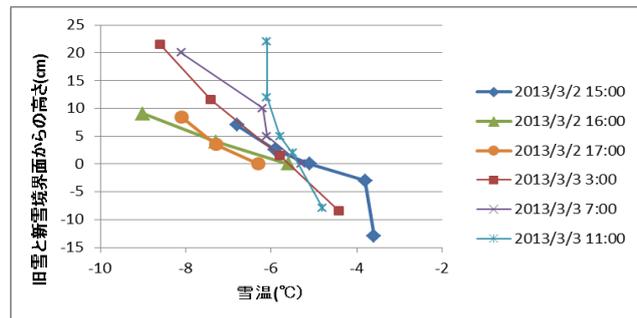


図 10 新積雪層底面付近の温度勾配図