

低気圧接近時の短期間多量降雪における 積雪密度の時間変化に関する観測事例について

Observation on the temporal change of the snow density during short-term heavy snowfalls brought by the low pressure

高橋 渉 ((国研) 土木研究所 寒地土木研究所)

原田 裕介 ((国研) 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター)

松下 拓樹, 松澤 勝 ((国研) 土木研究所 寒地土木研究所)

Wataru Takahashi, Yusuke Harada, Hiroki Matsushita, Masaru Matsuzawa

1. はじめに

短期間多量降雪による雪崩に関しては、2014年2月13日から16日にかけて本州南岸を通過した低気圧によって、関東甲信地方を中心に大雪となり、多くの箇所で発生した雪崩¹⁾があげられる。この時の雪崩は、従来発生しにくいと言われている樹林内からも発生し、樹林帯をすり抜けて道路や集落に到達した¹⁾。また、原田ら²⁾は北海道の一般国道において、雪崩に起因する通行止め時間から、近年では一般国道236号において通行止めが多く発生しており、これらは低気圧の接近や通過に伴う多量降雪によるものであることを示している。

短期間多量降雪による雪崩を発生させる要因として、降雪の形態が大きく影響していると考えられる。松下ら³⁾は新潟県妙高山麓で、積雪の密度と硬度の時間変化に関する現地観測を行った。その結果、期間前半の南岸低気圧による積雪は、経過時間に対して密度や硬度の変化が小さい一方で、期間後半の日本海小低気圧による積雪は、先の積雪と比較して、経過時間に対する密度や硬度の増加が大きかった。このことは、南岸低気圧によって堆積した密度や硬度が小さい雪の上に、新たな積雪が加わることで不安定な積雪層が形成されやすいことを示す。

ただ、このような観測事例は少なく、北海道内においては、秋田谷ら⁴⁾や中村ら⁵⁾が、低気圧前面の層状雲によってもたらされる降雪結晶は雲粒の付着がないか少なく、その上に雲粒付きの降雪結晶が堆積することで不安定な積雪層が形成されることを示しているものの、積雪の密度や硬度の時間変化に着目した観測は行われなかった。そこで、本論文では低気圧による多量降雪時に、新たな積雪層の密度と硬度の時間変化について、一般国道236号の山間部に近い場所で観測した結果を報告する。

2. 観測方法

現地観測は2017年2月20日から24日にかけて、北海道広尾郡広尾町トヨイベツの民家の庭(北緯42°25'2", 東経143°11'13", 標高155m)で行った(図1)。観測は松下ら³⁾の方法に倣い、数時間おきに降雪の有無を確認し、積雪が7~10cm程度観測されたときに、積雪層を区分する目的で、雪面に毛糸を設置した。そして、再び毛糸を設置するタイミングで、各積雪層の密度、硬度、雪温を観測した。密度の測定は角形サンプラー(体積100cm³)、硬度の測定は直径15mmの円型アタッチメントを付けたデジタル荷重測定器、雪温はサーミスタ温度計、各積雪層の全層質量は円筒型サンプラー(断面積50cm²)を用いた。密度、硬度は3~5回の測定値の平均値を解析に用いた。また、

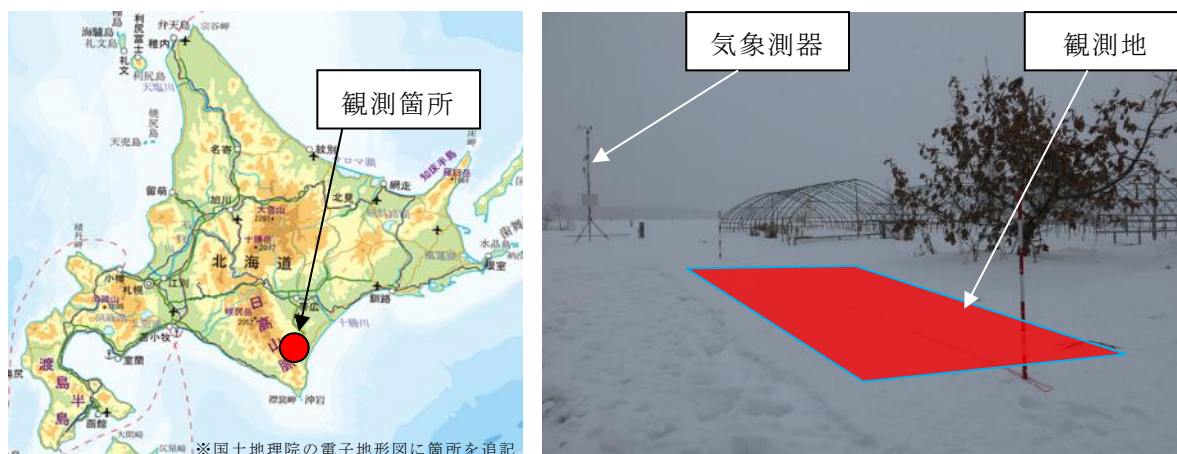


図1 観測箇所図ならびに現地状況写真(2017年2月20日撮影)

現地では温湿度計(KADEC21-PT8-C), 積雪深計(KDC-S18-L-10), 風向風速計(HM P155)による連続観測を実施した。

3. 観測結果

(1) 観測時における気象と積雪の状況

図2(a)は2月21日9時, (b)は2月24日9時の地上天気図を示している。20日9時に日本海にあった998hPaの低気圧は北東に進み, 津軽海峡を横断し, 20日21時頃に北海道に最接近し, 北海道東方沖に抜けた。21日9時の時点で970hPaまで発達した。この低気圧により広尾地区は大雪となり, 観測箇所の積雪深は20日14時の65cmから, 21日0時には110cmを観測した。その後, 高気圧の通過を挟み, 再び低気圧が接近した。23日9時に日本海にあった996hPaの低気圧は東に進み, 東北地方を横断し三陸沖から北海道東方沖に抜けた。24日9時の時点で980hPaに達していた。この低気圧により広尾地区で降雪があり, 観測地点における積雪深は23日9時の90cmから, 24日0時には105cmを観測した。

次に, 観測終了時(2月24日6:00)の積雪断面を図3(図中の線は毛糸を表す)に示す。降雪直前の20日14時に, 既に積雪している層と区分するために1本目の毛糸を積雪

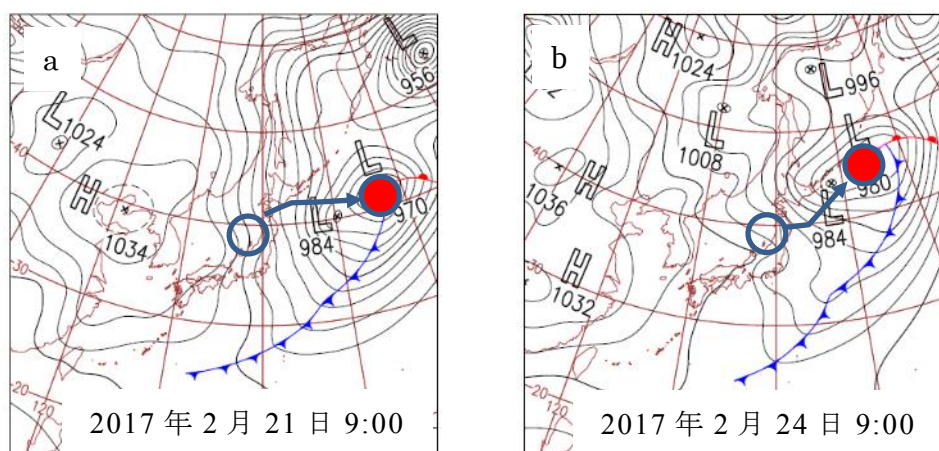


図2 観測期間中における地上天気図⁶⁾に加筆
図中の○は24時間前の低気圧の位置を示す

表面に設置した．この時，積雪表面は氷板化していた．観測開始直後から激しい降雪となり，20日16時に2本目，20日18時に3本目の毛糸を設置した．積雪は20日14時から18時の4時間で28.9cm増加した(層1，2)．その後，積雪は弱まり，20日18時から21時までの3時間で11.2cmの積雪(層3)はあったが，20日21時から21日6時までの9時間で3.7cm(層4)となった．なお，21日0時には雪はほぼ止んだ．

再び低気圧が接近する23日12時の段階では，21日6時に設置した毛糸がうっすらと見える状況であった．積雪は23日12時から18時までの6時間で6.2cm(層5)増加し，23日18時から24日6時までの12時間で7.7cm(層6)の増加であった．

(2) 密度と硬度の時間変化の特徴

図4は，各積雪層における密度の時間変化を示している．密度は時間の経過とともに増加する傾向となっているが，20日の降雪初期の層1から3と，降雪後期の層4とでは，密度の増加傾向に違いが見られ，図中に示す密度と経過時間の回帰直線の傾きから，層1から3の密度増加は，層4と比べて74%となった．このことは，低気圧前面の雲による積雪層は密度が増加しにくく，低気圧通過後の積雪層は密度が増加しやすいことを示唆している．

硬度も密度と同様に増加傾向にあるものの，松下ら³⁾が本州で行った観測結果と比較しても，初期の値が小さく，その後の値も小さいまま推移した．また，降雪初期の層1から3と，降雪後期の層4との比較においては，明確な違いは見られず，線形近似においてもほぼ同じ直線となった．

(3) 圧縮粘性率の特徴

積雪層においては，上載積雪による垂直荷重が応力として層に作用し，圧密されることによりその層の密度を増していく．圧縮粘性率は，密度の時間変化の割合(ひずみ速

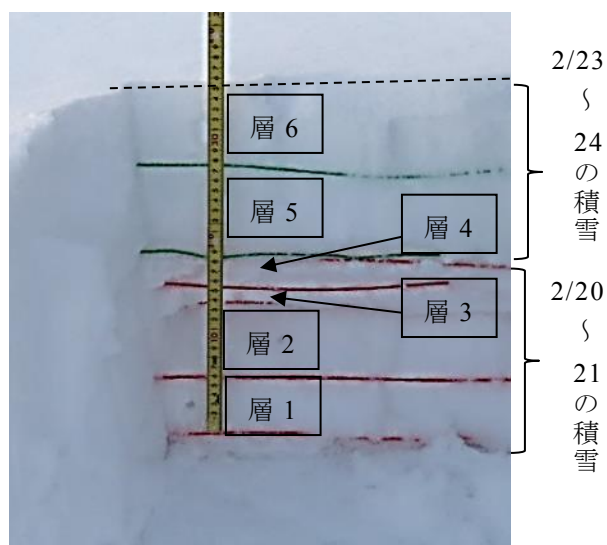


図3 観測終了時(2/24 6:00)の積雪断面
図中の断面に写る線は毛糸を表す

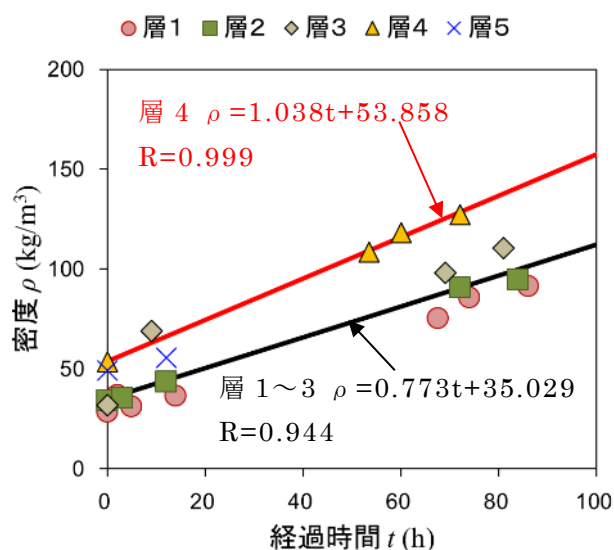


図4 各積雪層における密度の時間変化
図中の直線は回帰直線，Rは相関係数
層6は時間が経過していないため除外

度) と応力の比である.

図 5 は, 各積雪層の密度と圧縮粘性率の関係を示している. 密度は時間の経過とともに変化しており, 圧縮粘性率も変化している. 20 日の日中に降った雪 (層 1, 2) は, 圧縮粘性率が高い傾向にあり, 20 日の夜間に降った雪 (層 3, 4) は低い傾向にあった. 圧縮粘性率が大きいということは, 同じ上載荷重下において, 圧密の進行が遅く, 密度の増加がゆっくりであることを意味する. 密度が小さいことは, 一般的に雪の強度は小さく, 斜面上の積雪の安定性が低下し, 雪崩がより発生しやすい状況になると考えられる.

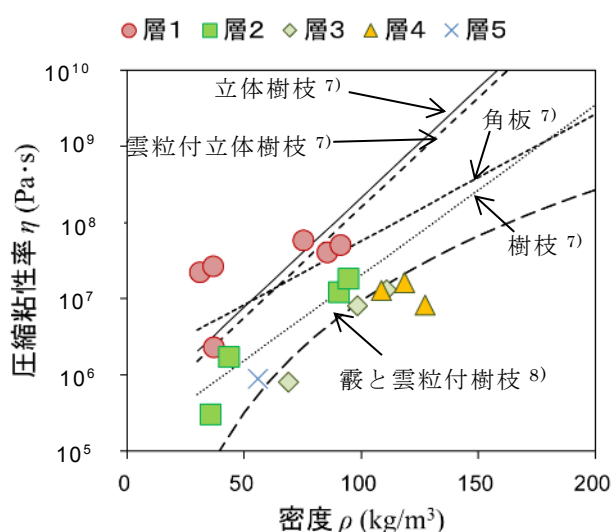


図 5 各積雪層における圧縮粘性率と密度の関係

4. まとめ

短期間多量降雪時における雪崩発生の機構を解明するために, 現地において積雪の密度と硬度の時間的変化を観測した. その結果, 同じ積雪期間内においても, 積雪の物性に違いが見られることが確認できた. このことは, 降雪をもたらす低気圧の位置によって積雪の密度や硬度に違いが出ることを示しており, 松下ら³⁾が新潟県妙高山麓で行った観測においても同様な傾向は示されてはいる. ただ, これらが雪崩発生にどの程度影響を与えるのか, また, 地域などの条件によって違いがどの程度見られるのかなどを解明するために, 今後の解析や継続的な調査が必要と考える.

【参考文献】

- 1) 和泉薫, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 2014: 2014 年 2 月中旬の大雪による雪崩発生状況と特徴, 科学研究費助成事業 (課題番号 2590003) 研究報告書, 111-118.
- 2) 原田裕介, 高橋渉, 松澤勝, 2017: 北海道における短時間多量降雪に起因する雪崩発生の気象の特徴, 第 60 回 (平成 28 年度) 北海道開発技術発表会
- 3) 松下拓樹, 石川茂, 石田孝司, 2016: 南岸低気圧による降雪結晶弱層の密度と硬度の時間変化, 寒地技術論文集, **32**, 120-125.
- 4) 秋田谷英次, 中村一樹, 2013: 低気圧前面の降雪結晶による弱層形成, 北海道の雪氷, **32**, 10-13.
- 5) 中村一樹, 佐藤友徳, 秋田谷英次, 2013: 降雪系弱層形成時の気象の特徴, 北海道の雪氷, **32**, 14-17.
- 6) 気象庁: 日々の天気図 2017 年 2 月, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/hibiten/2017/201702.pdf>, 2017 年 6 月 30 日閲覧.
- 7) 梶川正弘, 小野昇, 1990: 新積雪の圧縮粘性係数と降雪粒子の結晶形との関係, 雪氷, **52**, 283-287.
- 8) 後藤博, 梶川正弘, 橋本正秀, 後藤直樹, 菊地勝弘, 2005: 新積雪の圧縮粘性率と降雪粒子の諸特性の関係, 雪氷, **67**, 331-340.