

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

表題 複数種の物理センサと計算技術を融合した
全層雪崩の発生予測手法の構築

研究代表者氏名 勝島 隆史¹⁾
研究分担者氏名 松元 高峰²⁾ 河島 克久²⁾ 宮下 彩奈¹⁾ 竹内 由香里¹⁾
勝山 祐太¹⁾ 小田 憲一³⁾

1) 森林総合研究所 2) 新潟大学 災害・復興科学研究所 3) 日本大学理工学部

研究要旨

新潟県をはじめとする本州の豪雪地の中山間地にある全層雪崩の発生区の多くでは、匍匐した樹形の灌木が成育しているが、灌木が全層雪崩の発生に与える影響を定量的に示すことが難しく、灌木の存在が全層雪崩の発生予測を困難なものにしている。本研究では、灌木が成育する斜面での全層雪崩の発生予測手法を新たに構築することを目的として、積雪モデルを用いて積雪の安定度を推定するとともに、現状では推定することが難しい灌木の抵抗力の変化を実測値として安定解析に取り入れることで、灌木の影響を考慮した斜面積雪の安定度の評価を行った。その結果、積雪の初期には、灌木は斜面積雪の安定化に寄与しており、この効果を安定解析に取り入れる必要があることが示唆された。一方で、雪崩発生直前においては、灌木は斜面積雪の安定化に寄与しておらず、積雪底面付近の積雪層のせん断強度の低下によって全層雪崩の発生に至ったものと示唆された。

A. 研究目的

新潟県をはじめとする本州の豪雪地の中山間地にある全層雪崩の発生区の多くでは、匍匐した樹形の灌木が成育している。このような灌木は、降雪により樹冠に生じる着雪（冠雪）により倒伏するとともに、断続的な降雪により倒伏した状態で積雪内部に埋没する。灌木は、全層雪崩の発生に至る斜面積雪の移動（グライド）に対して抵抗となり、その抵抗力の大きさは倒伏度合いによって変化することが知られている（山野井, 2006）。しかし、灌木がグライドに与える影響を定量的に示すことが難しく、灌木の存在が全層雪崩の発生予測を困難なものにしている。

研究グループは新潟大学災害・復興科学研究所の共同研究として、全層雪崩の発生における樹木と積雪の力学関係を解明するための観測を、2017-18年の冬季から継続して実施している。昨冬季には、冠雪や雪圧により樹幹に生じる曲げ応力の中立軸に相当する位置にひずみゲージを設置して、樹幹の引張軸力に相当するひずみ量を測

定することで、斜面積雪の移動に対する灌木の抵抗力を導出する計測手法を新たに試みた。その結果、灌木の抵抗力の減少に伴って、グライド速度が増加する振る舞いが確認された。この結果は、斜面積雪の移動に対する灌木の抵抗力についての既存の知見と概ね整合するものであり、灌木の抵抗力を連続的に計測する手法が整ってきているものと考えている。全層雪崩では滑り面が積雪底面であることが多く、そのため雪崩の発生の危険性を評価するには積雪底面と地面との摩擦力の変化を捉える必要があるが、これを定量的に示すことは困難である。一方で対象とする雪崩斜面では、積雪底面付近の積雪層が滑り面となって全層雪崩が発生することが、発生区の現地調査から確認されている。対象斜面の全層雪崩は、積雪底面付近の積雪層の破断によってもたらされると仮定すると、気象データを入力値として積雪内部の雪の構造や物性の時間変化を計算する積雪モデルを用いた斜面積雪の安定解析に、計測により得られた斜面積雪のグライドに対する灌木の抵

抗力を取り入れることで、雪崩発生に至るまでの斜面積雪の安定度を評価できる可能性があるとして着想した。

本研究では、積雪モデルを用いて積雪の安定度を推定するとともに、現状ではモデルを用いて推定することが難しい灌木の抵抗力の変化を実測値として安定解析に取り入れることで、灌木がグライドに与える影響を考慮した斜面積雪の安定度の評価を行う。そして、全層雪崩の発生に至るまでの積雪の動態を計測し、構築した手法の有効性について検証を行う。これにより、灌木が成育する斜面での全層雪崩の発生予測手法を新たに構築することを目的とする。

B. 研究方法

本研究では、既に新潟大学が観測を実施している新潟県魚沼市大白川の全層雪崩の斜面を対象区として研究を実施した。2020-21年の冬季を対象として積雪モデルにより積雪の内部状態の計算を行った。水みちによる不均一な浸透の効果を取り入れることで、新潟県の中山間地のような比較的温暖な積雪地の積雪状態の再現性を向上した積雪の1次元モデル(Katsushima et al., 2009; Ikeda et al., 2014)を使用して、積雪の各層の雪質、密度、含水率、せん断強度、上載荷重の時間変化を計算した。入力値となる気象データは全層雪崩の斜面の対岸において観測されたものを使用した。積雪の安定度として、各積雪層に生じる上載荷重とせん断強度との比である Stability Index(SI)を使用した。このSIの式に、計測により得られた1本あたりの灌木の抵抗力と立木密度との積をせん断強度に加えることで、灌木の抵抗力を考慮した安定度(以下、SI_{tree})を新たに作成し、この時間変化を求めた。

灌木の抵抗力は、解析対象期間に対象斜面で実際に計測されたものを使用した。応力集中測定用ひずみゲージを用いて樹幹側面の2点の位置におけるひずみ量を測定し、それらの値から中立軸の位置でのひずみ量を推定し、これを樹幹の引張ひずみとした。この計測を樹幹側面の両側に対して行い、両者のひずみ量の和をとることで、樹幹の水平方向に生じる曲げひずみを相殺した。現地で曲げ試験を行ってヤング率を測定し、これを用いてひずみ量を引張軸力に変換したものを灌木の抵抗力として扱った。斜面積雪の動態の計測では、

雪崩発生区に設置したグライドメータにより斜面積雪の累積移動量(グライド量)の時間変化を測定し、それぞれの時刻におけるグライド速度、加速度を求めた。

C. 研究結果

図1に、測定された灌木における樹幹の軸力および、グライド量を示す。樹幹の軸力は、12月末に期間の最大値が測定され、その後減少した。また、2/9にグライドが開始し、グライド速度が増加した。その後、2/15にグライド速度が急激に加速し、その日のうちに全層雪崩の発生に至った。これらのグライド速度の増加とともに、測定された樹幹の軸力は減少する振る舞いが測定された。

図2に、積雪モデルを用いて計算により求めたSIの鉛直分布の時間変化を示す。SIは、降雪直後の積雪表面付近において低い状態が推定された。また、融雪水や雨水の浸透により含水した積雪層ではSIが低くなっており、2月以降の底面付近の積雪層ではSIが特に低く2以下となっていた。

図3に、積雪底面の積雪層の安定度の時間変化を示す。灌木の抵抗力を考慮しない通常のSIでは、全層雪崩の発生していない1月中の期間においても融雪や降雨が発生する度に、雪崩の発生の危険性の目安とされるSI=1.5を下回る不安定な状態が評価された。一方で、灌木の抵抗力を考慮したSI_{tree}では1月中は低い時でも2程度と比較的安定な状態が評価されていたが、雪崩の発生した2日前の2/13からは、灌木の抵抗力が発揮されておらず、1.5を下回る状態が評価されていた。

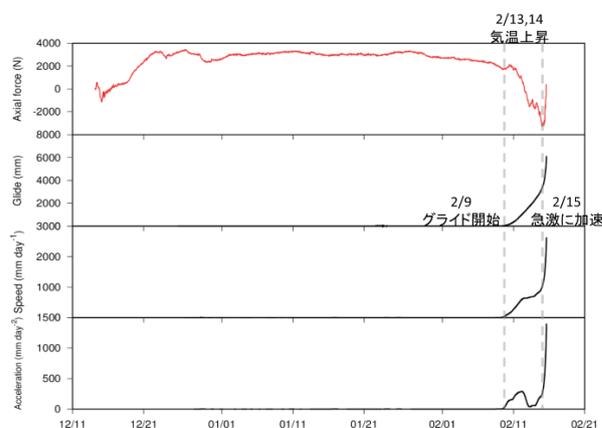


図1 樹幹の軸力と、グライド量、速度、加速度の測定結果。

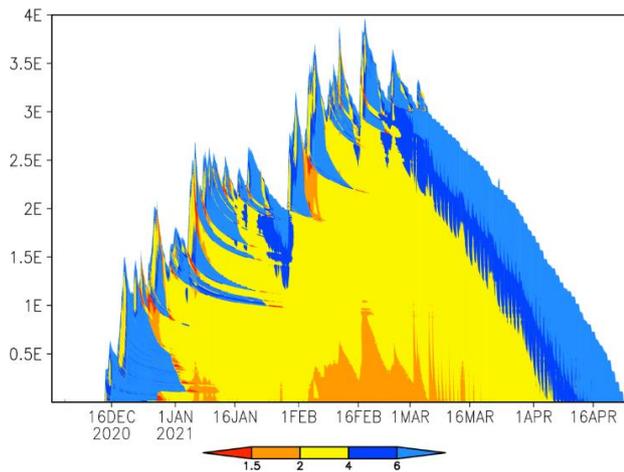


図2 積雪モデルによる安定度の鉛直分布の時間変化.

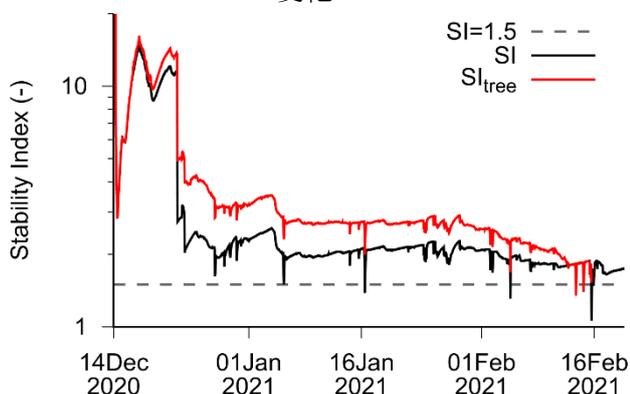


図3 積雪底面の積雪層の安定度の時間変化. 赤実線が灌木の抵抗力を考慮したもの (SI), 黒実線が考慮しないもの (SI_{tree}).

D. 考察

ひずみゲージによる灌木の抵抗力の実測値を、積雪モデルを用いた積雪の安定解析に取り入れることで、灌木がグライドに与える影響を考慮した斜面積雪の安定度の評価を行った。灌木の抵抗力を考慮しない通常安定度では、実際に雪崩が発生していない1月の期間においても、雪崩の危険性を示す指標である1.5を下回る状態が度々評価されたが、灌木の抵抗力を考慮することで、この安定度の過小評価は改善された。このことは、積雪の初期において、灌木は斜面積雪の安定化に寄与することを示している。雪崩発生直前の期間においては、灌木の抵抗力は低下し、灌木は斜面積雪の安定化に寄与しておらず、積雪底面付近の積雪層の湿雪化に伴うせん断強度の低下により積雪層の安定度が低下することで、全層雪崩が発生したものと考えられる。一方で、全層雪崩の発生予測を行うには、斜面積雪の状態や灌木の抵抗

力を精緻に見積もる必要がある。本研究では灌木の抵抗力として1本の木において計測された抵抗力の実測値を用いているが、灌木の大きさや樹形、樹種などによって抵抗力の違いがあることが想定されることから、灌木の持つ抵抗力についての更なる知見の蓄積が必要であると考えられる。

E. 結論

灌木が成育する斜面での全層雪崩の発生予測手法を構築することを目的として、積雪モデルを用いた積雪の安定解析に、ひずみゲージによる灌木の抵抗力の実測値を取り入れる手法を新たに提案し、その有効性を確認した。積雪の初期には、灌木は斜面積雪の安定化に寄与しており、この効果を安定解析に取り入れる必要があることが示唆された。一方で、雪崩発生直前においては、灌木は斜面積雪の安定化に寄与しておらず、積雪底面付近の積雪層のせん断強度の低下によって全層雪崩の発生に至ったものと示唆された。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入)

松元高峰, 勝島隆史, 宮下彩奈, 小田憲一, 河島克久 (2021) グライドと全層雪崩発生とに及ぼす低木広葉樹の倒伏過程と初冬の気象条件の影響—3 冬季データの比較から—, 雪氷北信越, 41:20, 日本雪氷学会北信越支部, 2021年7月, オンライン

小田憲一, 松元高峰, 勝島隆史, 中村勝哉, 宮下彩奈, 勝山祐太 (2021) 灌木に作用する雪圧に関する研究, 雪氷研究大会(2021・千葉-オンライン)講演要旨集:113, 2021年9月, オンライン

勝島隆史, 松元高峰, 小田憲一, 宮下彩奈, 勝山祐太, 河島克久, 竹内由香里 (2021) ひずみゲージを用いた全層雪崩斜面の灌木が持つグライドに対する抵抗力の計測, 雪氷研究大会(2021・千葉-オンライン)講演要旨集, :144, 2021年9月, オンライン

松元高峰, 河島克久, 勝島隆史, 宮下彩奈, 小田憲一 (2021) 初冬における気象条件と低木広葉樹の倒伏とがグライドと全層雪崩発生とに及ぼす影響, 雪氷研究大会(2021・千葉-オンライン)講演要旨集, :172, 2021年9月, オンライン

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

なし