

積雪荷重を受けた灌木の変形状況推定に関する研究 Estimating the Deformation of Shrubs Under Snow Load

○鶴岡理佐子¹, 小田憲一², 勝島隆史³, 松元高峰⁴, 中村勝哉², 古川樹花², 小林義和²
*Risako Tsuruoka¹, Kenichi Oda², Takafumi Katsushima³, Takane Matsumoto⁴,
Katsuya Nakamura², Mikika Furukawa², Yoshikazu Kobayashi²

Abstract: Shrubs growing on steep slopes in snow-rich mountainous regions interact with accumulated snow and influence slope stability. However, their mechanical behavior under snow load remains poorly understood. This study proposes a method to estimate shrub deformation during the snow season, when branches tend to bend toward the ground, using strain gauge measurements. In this analysis, naturally growing shrubs on a slope are modeled as cantilever beams, and vertical displacement at the strain gauge location is calculated using the principle of virtual work. The snow load acting on the shrubs is modeled as uniformly distributed load the beam, and its effect on displacement is quantified as the resulting vertical deflection at the strain gauge installation point.

1. はじめに

雪が多く降る地域の山間部における急斜面に自生している灌木は、積雪との間に力学的な作用を与えあい、斜面積雪の安定性に影響していることが予想される。特に、雪崩が発生する要因の一つとして灌木に作用している積雪の雪荷重がどの程度影響しているかについて具体的な理論などは未だに解明されていない。また、これらの力学的な関係を明確にするためには積雪・灌木の両視点で未知数な部分が多い。そこで、本研究では自然斜面上に自生する積雪期にほとんどが地表面まで倒木すると予想される灌木を対象にひずみゲージを取り付け、積雪内で倒伏している状況を推定する方法について検討する。

2. 研究方法

本研究では、新潟県魚沼市大白川の破間川左岸に面した斜面を対象とした。観測地にて数種類の灌木を対象に、根元から約50 cm~100 cmの間隔で灌木の上縁側5か所にひずみゲージを設置し、降雪前の2024年11月13日から正常にひずみデータが観測できていた2025年1月26日の間30分ごとにひずみ量を計測した。なお、観測値では2025年1月30日に観測地で雪崩が発生している。また、比較として2023年度と2022年度の計測データを用いる。2023年度の計測期間は2023年12月14日から2024年3月13日であり、雪崩発生は無かった。2022年度の計測期間は2022年11月15日から2023年1月23日であり、2023年2月3日に雪崩が発生している。対象とした灌木は樹幹が比較的大きく、根曲がりも少ないヤマモミジである。また、灌木に作用している雪圧を評価する方法として、計測したひずみゲージの値から灌木の上縁応力を算出すること

で曲げモーメントを求め、仮想仕事の原理を用いて灌木のたわみ角と鉛直変位を推定した。Figure 1に灌木に設置したひずみゲージの位置と推定した荷重の状態を表した図を示す。また、灌木の弾性係数はあらかじめ無雪期に人為的な外荷重を作用させて得られたひずみ量から平均的に算出した。

3. 計算条件

本研究では、斜面に自生している樹木を片持ち梁とみなし、仮想仕事の原理によってひずみゲージ設置箇所のとわみ角と鉛直変位を算出した。灌木に作用する雪荷重は、分布荷重の合力がひずみゲージ設置箇所に生じているものとして計算を行った。荷重と変位、たわみ角の関係は、相反の定理によって式(1)で表すことができる。

$$P\delta^* = P^*\delta \quad (1)$$

$$\delta_i = \sum_{i=1}^s \int_{L_{i-1}}^{L_i} \frac{M_i M'_i}{E_i I_i} dx \quad (2)$$

ここで P は原系に作用している荷重、 δ は原系の変位もしくはたわみ角、 P^* は仮想系に作用している荷重、 δ^* は仮想系の変位を表す。式(1)から仮想仕事の原理に基づいて荷重を算出すると、式(2)が得られる。ここで M は原系に作用する曲げモーメント、 M' は仮想系に作

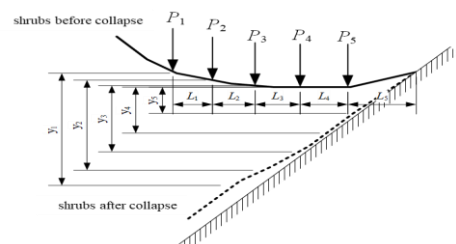


Figure 1 Calculation model

用する曲げモーメント, $E_i I_i$ は各要素の曲げ剛性を表す. 式(2)をもとに雪荷重 P が作用している位置の鉛直変位を算出した.

4. 結果・考察

Figure 2, 3, 4 に得られた結果を示す. 各図に示した倒伏状況は, 計算で得られたたわみ角から対象日時の座標値を算出したものである. また, 図中の“Snow cover”は斜面上の積雪深を表しており, 雪崩が発生した2022年度と2024年度は雪崩発生前の最深積雪, 雪崩が発生しなかった2023年度は観測期間中の最新積雪を示している. これらの結果から, 雪崩が発生した2022年度と2024年度では, 両観測で灌木が積雪内に完全に埋設した状況にあることがわかる. 一方で, 雪崩が発生しなかった2023年度は, 灌木の先端が埋まることはなく, 倒伏状況も大きな変化が見られない. また, 雪崩が発生した2022年度と2024年度を比べても, 2022年度は地面近くまで倒伏しているのに対し, 2024年度は倒伏量が大きくない. 2022年度は厳冬期初旬から緩やかに積雪深が増加していたのに対し, 2024年度は厳冬期初期から急激に積雪の増加が見られた. そのため, 2022年度は灌木上に雪が多く付着したことで倒伏量が多くなり, 2024年度は急な降雪で灌木上に付着した雪の量が少なかったことが考えられる. 以上のことから, 灌木の倒伏状況が雪崩の発生に及ぼす影響として,

- ・積雪深と灌木の倒伏量
- ・厳冬期初期の降雪量

が大きくかかわっている可能性が考えられる. 今後はこれまで計測してきたデータと比較し灌木が倒伏する状況が生じる要因を検討する予定である.

参考文献

[1] 小田ら, 2023: 積雪内部で倒伏した灌木の変形に関する研究, 雪氷研究大会 (2023・郡山) 講演要旨集, pp.140.

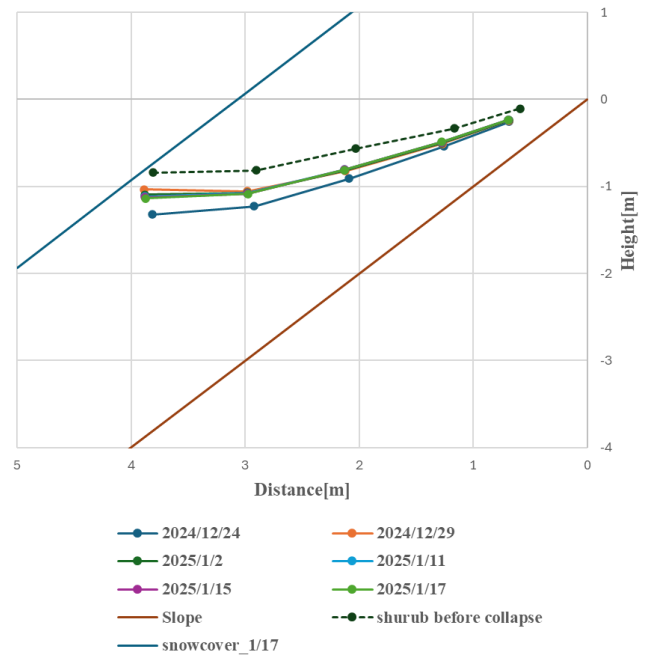


Figure 3 Vertical displacement of shrubs relative to the pre-snowfall condition (2023)

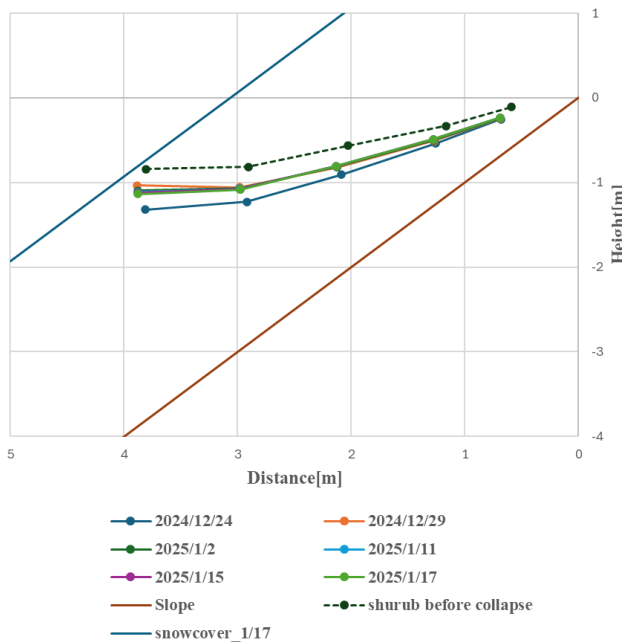


Figure 2 Vertical displacement of shrubs relative to the pre-snowfall condition (2024)

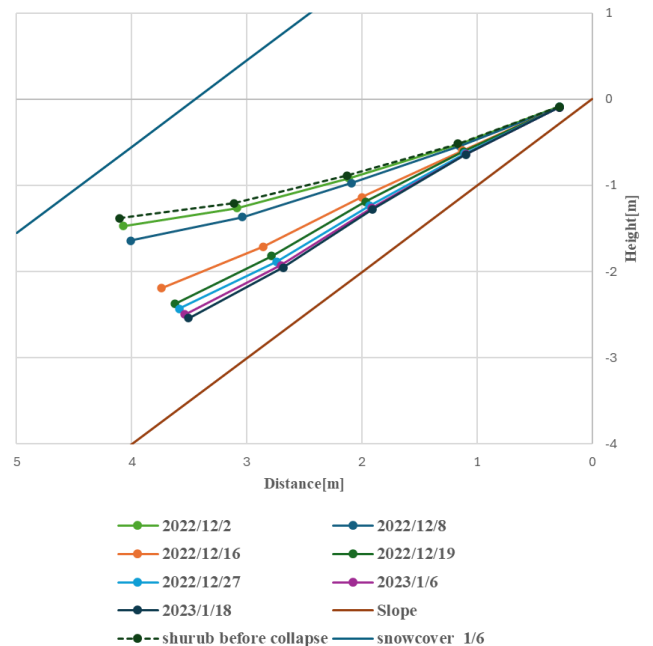


Figure 4 Vertical displacement of shrubs relative to the pre-snowfall condition (2022)