

雪崩による倒木の被害形態に関する力学的検討

信州大学農学部 ○木村温, 福山泰治郎, 堤大三

1. はじめに

森林被害をもたらす雪崩が発生した場合、樹木の被害形態として主に幹折れと根返りが生じる。両者の被害木は河道まで到達すると、流木化するおそれがある。さらに、根返りは根系に土砂を抱えた状態で転倒し、根返り木の跡地は裸地化するため、土砂の生産源となり得る。雪崩の発生リスクが高い森林を含む流域では、森林被害により生じる倒木量及び土砂量を予測し、適切な対策を講じる必要がある。そこで、本研究では、雪崩が作用した樹木が幹折れまたは根返りのどちらの被害形態を示すのか力学的に検討した。

2. 研究対象地

2017年に雪崩による森林被害が発生した仙丈ヶ岳北東斜面を対象とした。雪崩によって被害を受けた樹種はシラビソ、ダケカンバ、トウヒが確認された。本研究では、被害木の本数が最も多いシラビソを対象として、被害形態の判別を行った。

3. 被害形態判別モデルの作成

3.1 幹折れと根返りの判別方法

樹木がもつ幹折れに対する抵抗力を幹折れ抵抗力 P_s 、根返りに対する抵抗力を根返り抵抗力 P_r とする。樹木の被害形態は、雪崩の流体力 P_a 、幹折れ抵抗力 P_s 、根返り抵抗力 P_r の3者の大小関係によって決まると考えられる。

幹折れ抵抗力が根返り抵抗力よりも大きい場合 ($P_r < P_s$)、 $P_a < P_r < P_s$ では無被害、 $P_r < P_a < P_s$ 及び $P_r < P_s < P_a$ では根返りとなると仮定した。樹木がもつ根返り抵抗力が幹折れ抵抗力よりも大きい場合 ($P_s < P_r$)、 $P_a < P_s < P_r$ では無被害、 $P_s < P_a < P_r$ では幹折れ、 $P_s < P_r < P_a$ では判別できないと仮定した。

3.2 幹折れ抵抗力 P_s と根返り抵抗力 P_r の算出

抵抗力の算出において、樹幹は円柱形とし、樹冠は考慮しなかった。雪崩は流れ層と雪煙層の2層構造と考え、雪崩の流体力は樹幹に集中荷重で作用するとした。幹折れ抵抗力及び根返り抵抗力は、一般的に樹木の個体情報として入手しやすい胸高直径と生育地点の斜面傾斜角の関数とした。

幹折れ抵抗力は、曲げ応力によって樹幹下端で幹が折れると考え算出した。雪崩によって発生する樹幹下端断面の縁応力度と樹幹の曲げ強度が等しくなるときに、幹折れの発生する直前である。そのとき作用する単位面積当たりの雪崩の流体力を幹折れ抵抗力 P_s とした。

根返り抵抗力は、根系による抵抗と樹体の自重による抵抗で発揮されるものとして、正野ら(1998)の手法に基づき算出した。雪崩の流体力によるモーメントと根返り抵抗モーメントが等しくなるとき、根返りが発生する直前である。そのとき作用する単位面積当たりの雪崩の流体力を根返り抵抗力 P_r とした。

4. モデルによる被害形態の判別 (1回の雪崩を想定)

斜面傾斜角 30° における幹折れ抵抗力、根返り抵抗力を図1に示す。また、倒木発生時の雪崩のシミュレーション(前田ら, 2022)から、現地調査された幹折れ及び根返り発生地点における雪崩の流体力を

抽出し、図1に重ねた。図1より、研究対象地の大部分の被害木において力の大小関係が、 $P_s < P_r < P_a$ となり被害形態を判別できなかった。これらの個体が受けた雪崩の速度を図2に示す。胸高直径が同程度の個体であっても、作用した雪崩の速度が大きいと幹折れになることが示唆された。

ここで、根返り抵抗力和幹折れ抵抗力の比(P_r/P_s)を図3に示す。 $P_s < P_r < P_a$ の場合、 P_r/P_s が1から離れるほど幹折れ抵抗力 P_s に対して根返り抵抗力 P_r が大きくなり、幹折れになりやすいと考える。図3より、胸高直径が小さい個体、斜面傾斜角が大きい場所に生育する個体では、相対的に幹折れになりやすいと考えられた。この傾向は、図4に示す現地の被害状況と一致していた。1回の雪崩を想定した場合、被害形態の判別はできなかったが、幹折れのリスクが高い条件を提示することができた。

5. 2回の雪崩を想定した場合の被害形態判別

$P_s < P_r < P_a$ となる場合、より抵抗力の小さい幹折れが発生すると仮定する。その場合、図1より常に $P_s < P_r$ であることから、研究対象地で発生した雪崩ではほとんどの個体が幹折れになると判別される。しかし、実際は幹折れと根返りが混在しており、現地の被害状況を説明できない。そこで、2回の雪崩発生を想定した。1回目の雪崩で幹折れしたと仮定すると、2回目の雪崩発生時は、斜面傾斜角が 25° 以上の場所に生育する胸高直径30 cm、40 cmの個体において、幹折れ抵抗力 P_s が根返り抵抗力 P_r を上回った(図5)。これらの個体は $P_r < P_s$ となることから、被害を受けると必ず根返りになると判別される。この結果から、雪崩が複数回発生した可能性も含めて、被害形態を判別する必要があると言える。

6. おわりに

樹木の胸高直径、生育地点の斜面傾斜角、雪崩の速度が影響し、被害形態が決定することが示唆された。今後は、胸高直径、斜面傾斜角、雪崩の速度の組み合わせによって、生じる被害形態がどのように変化するか検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 正野光範・中村浩之・池田浩子(1998): 樹木根系の根返り抵抗力の理論的算定法, 砂防学会誌, Vol. 50, No. 5, p. 3-11
- 2) 前田耕平・福山泰治郎(2022): 大規模雪崩による森林被害発生再現と予測, 令和4年度砂防学会研究発表会概要集, p. 35-36

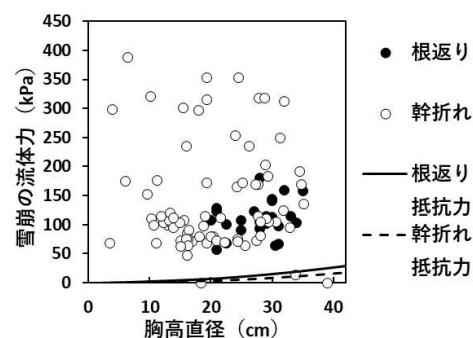


図1: モデルによる判別

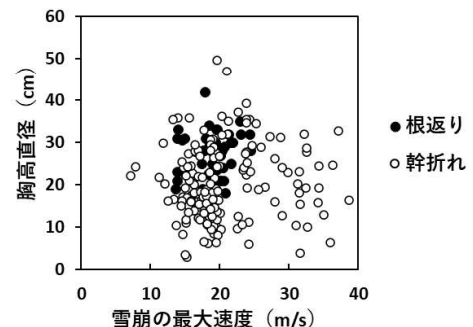


図2: 雪崩の速度と被害木の胸高直径

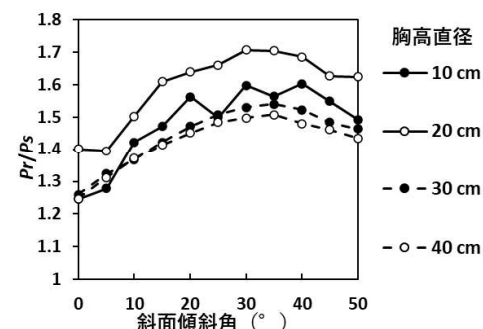


図3: 根返り抵抗力和幹折れ抵抗力 (P_r/P_s) の比の変化

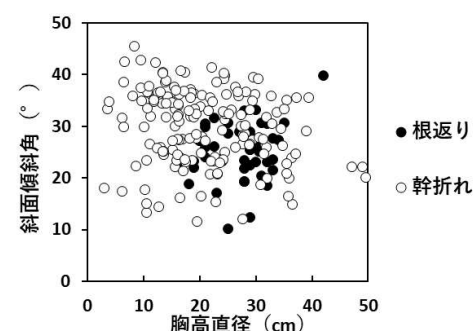


図4: 被害木の胸高直径と生育場所の斜面傾斜角

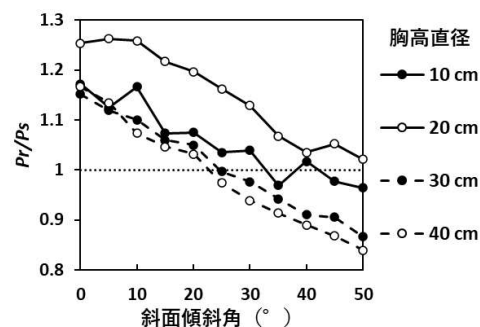


図5: 2回目の雪崩発生時の根返り抵抗力和幹折れ抵抗力の比 (P_r/P_s)