

## 積雪による傾斜地のスギ苗の曲げストレス

宮下彩奈<sup>1</sup>・勝島隆史<sup>2</sup>

1 森林総合研究所 森林災害・被害研究拠点

2 森林総合研究所 十日町試験地

**要旨**: 本研究ではスギ苗木を用いて、雪の荷重による幹の変形の大きさや破壊の危険性、また、これらの傾斜による違いを明らかにすることを目的とした。0, 10, 20 度の傾斜地に植栽した3年生裸苗に対し、根元に2枚のひずみゲージを貼り付け、降雪期間の幹ひずみおよび倒伏方向を記録した。また、同様の3つの傾斜を持たせた合板にスギ苗を固定し、人工降雪機を用いた曲げひずみのモニタリングを行った。結果から、スギ苗木は、積雪期初期の冠雪によってすでに強度を失うような大きさの雪圧を経験していることが示唆された。予測に反し、野外および実験ともにひずみの大きさと斜面傾斜角には相関がなかった。むしろ、20 度程度の傾斜ならば冠雪による倒伏や幹の変形によるストレスは小さい可能性が示唆されたが、さらなる試験による検証が必要である。

**キーワード**: 最大応力, 雪害, 弾性係数, ひずみゲージ, 曲げヤング率

### Bending stress of juvenile Japanese cedar by snow accumulation

Ayana MIYASHITA<sup>1</sup>, Takafumi KATSUSHIMA<sup>2</sup>

Center for Forest Damage and Risk Management, Forestry and Forest Research Institute 1

Tohkamachi Experimental site, Forestry and Forest Research Institute 2

**Abstract**: To understand mechanical stress of junior Japanese cedar by snow fall, we measured trunk strain and estimated risk of trunk failure for individuals set at different slope inclines. We used strain gauges for monitoring bending strain and direction of lodging for the seedlings which were planted field sites of 0, 10, and 20 degrees slope incline, respectively, during one snowfall season. We also conducted a similar experiment by artificial snow fall machine using seedlings set at plywood having slope incline of 0, 10, or 20 degrees. Observed strain indicates that in a snowy region Japanese cedar tree can experience mechanical stress which is near the maximum strength of the species early in the season. Interestingly, results of both field site experiment and artificial snow fall experiment indicate that there is no relationship between slope incline and strain or mechanical stress, rather, that the maximum slope gives the smallest mechanical stress in the case of that slope incline is 20 degrees at most. However, further observation is needed to conclude the result.

**Key-word**: Maximum stress, Modulus of elasticity, Snow damage of forest, Strain gauge, Young's modulus in flexure

### I 背景

多雪地においてもスギは林業で重要な樹種であり、雪による幹折れ・根返り・根曲がりは経済的損失をもたらす。多雪地のスギ苗木は幼齢期から冠雪や斜面積雪による幹の変形・根抜けなどの影響を繰り返し受け続け、そのことが根曲がりの形成をもたらすと考えられる(3)。しかし、観察的記録は多いが、スギに限らず生きた樹木に対する雪の物理的ストレスの計測例は極めて少ない(ただし2, 4, 5)。特に1 齢級の苗木において雪の荷重による幹の変形の大きさや、それによる幹の変形および破壊の危険性、および、植栽地の斜面傾斜角度の影響など

を明らかにした例はほとんどない。そこで本研究では、スギ苗木が幼齢期に受ける雪の物理的影響を解明することを目的に、①降雪期間中の幹の変形の計測と斜面傾斜の影響の検討、②人工降雪機による斜面傾斜の影響の検討、③スギ苗木の曲げ強度の推定を行った。これらの結果から積雪による力学的ストレスの大きさおよびパターンを明らかにするとともに、斜面傾斜の効果を考察した。

### II 材料と方法

1. 調査地 上記①の試験は、森林総合研究所十日町試験地(新潟県十日町市)において、2018年12月から翌

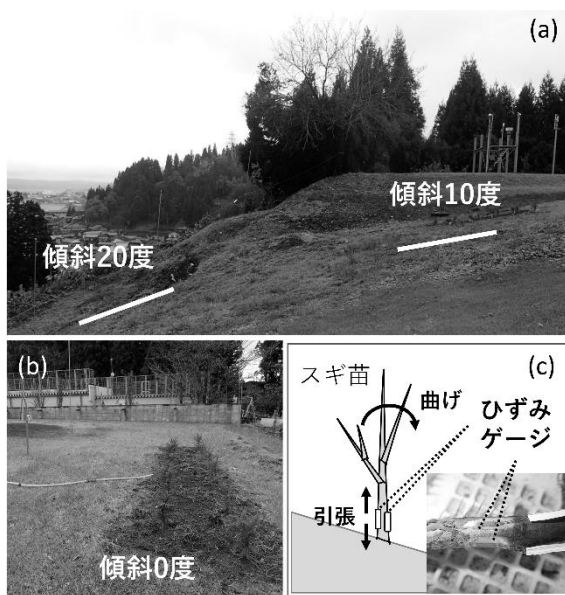


図-1. 試験①の調査地および計測方法. (a) 傾斜10度および20度の畑. (b) 同0度の畑. (c) ひずみゲージと計測の模式図.

Fig. 1 Study site and measurement. (a) Experimental field of slope incline 10 and 20 degrees, (b) that of 0 degree, (c) schema of strain gauge and the measurement.

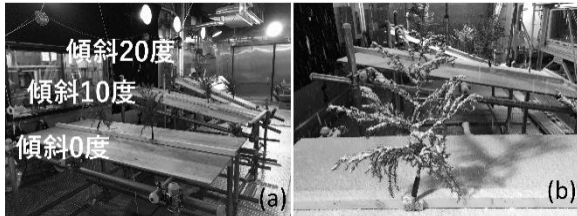


図-2. 降雪試験の様子 (a) 各傾斜を持たせた合板の上に苗を固定したところ (b) 試験中の様子

Fig. 2 Pictures of artificial snow-fall experiment

4月にかけて行った。試験地内に斜面傾斜0, 10, 20度の畑を用意し、試験用の苗を植栽した(図-1)。②の試験は防災科学技術研究所の人工降雪設備(山形県新庄市)を利用し、2019年6月に行った。③の試験は森林総合研究所にて2018年11月に実施した。

**2. 試験①** 3年生のスギ裸苗(樹高約50cm, 根元直径約2cm)を各斜面用に10個体用意し、内5個体の根元にひずみゲージ(FLA-2-11-5L, 東京測器研究所)を貼付した。ひずみゲージは材料の変形量を高分解能で計測可能な小型センサーである。出力値は $\mu\epsilon$ で、10,000 $\mu\epsilon$ が1%の変形に相当する。引張変形時に正、圧縮変形時に負の出力が得られる。ただし、ロガーの設定等の制限により、本試験における測定値の上限はおおよそ36,000 $\mu\epsilon$ で

ある。スギ1個体に対し、幹の同じ高さの円周上90度の位置に2枚のゲージを貼り、出力値をベクトル合成して幹の変形量を求めるとともに倒伏方向を計算した。ひずみゲージはスギ苗の樹皮及びび形成層を取り除いたうえで接着剤を用いて木部に直接圧着し、2枚ずつネットワークモジュール(NSW-024C; 同社)に接続した。0度斜面の5台のネットワークモジュールおよび10度、20度斜面の計10台のネットワークモジュールは、それぞれ1台のロガーコントローラー(MD-111; 同社)に接続し、出力を記録した。測定間隔は30分とした。

**3. 試験②: 人工降雪機による斜面傾斜の影響の検討** 0, 10, 20度の傾斜を持たせた合板に①と同様の3年生スギ裸苗の地上部を2本ずつ、角材と釘を用いて固定した(図-2)。人工降雪機により、降雪16h, 待機24h, 降水量5 $\text{mm h}^{-1}$ の条件で試験を行い、①と同様の計測により冠雪~埋雪過程でのひずみの大きさと苗の倒伏方向を計測し比較した。試験はスギ苗を取り換えて2度行った。

**2. 試験③: スギ苗木の曲げ強度の推定** ひずみ計測値からスギ苗木の力学的ストレスを推定するため、曲げ試験を行って比例限度応力および最大応力発生時の引張側のひずみ量を計測した。また、弾性係数を計測した。この試験は小型の試料では行えないため、気象条件に近い新潟県魚沼市に自生するスギを用いて計測を行った。試験は3点曲げ試験により行い、供試木は7本、中央部分の直径は2-8cmだった。

### III 結果と考察

**1. 降雪期間中の幹の変形パターンと斜面傾斜の影響** 幹ひずみの変化は降雪パターンとよく一致しており、12月末頃までは冠雪による倒伏と融雪による解放の繰り返しが見られた(図-3)。また、12月末以降には積雪は根雪になり、積雪重量とともにひずみも直線的に増加した。1月には多くのひずみゲージで破損がみられ、測定限界に達した個体も多くみられた。苗の倒伏方向についても、全体に積雪状況との一致が見られた(図-4)。冠雪が発生すると、ある程度決まった方向へ倒れ、解放されるとランダムな状態になり、本格的に雪が積もるとまた一定の方向に倒れる様子が観測された。斜面傾斜20度の個体では、冠雪での倒伏以後、倒伏方向に大きな変化がなかった(図-4矢印)。それに対し、他の斜面で特にひずみ値が限界を超えてしまった個体では、真横付近から斜面下方への変化がみられた。今回の結果では、傾斜0度のスギ個体も「下方」を向いたものがあったが、この植栽地は同方向に10mほど行くと傾斜しており、より広い範囲での積雪動態に影響された可能性がある。

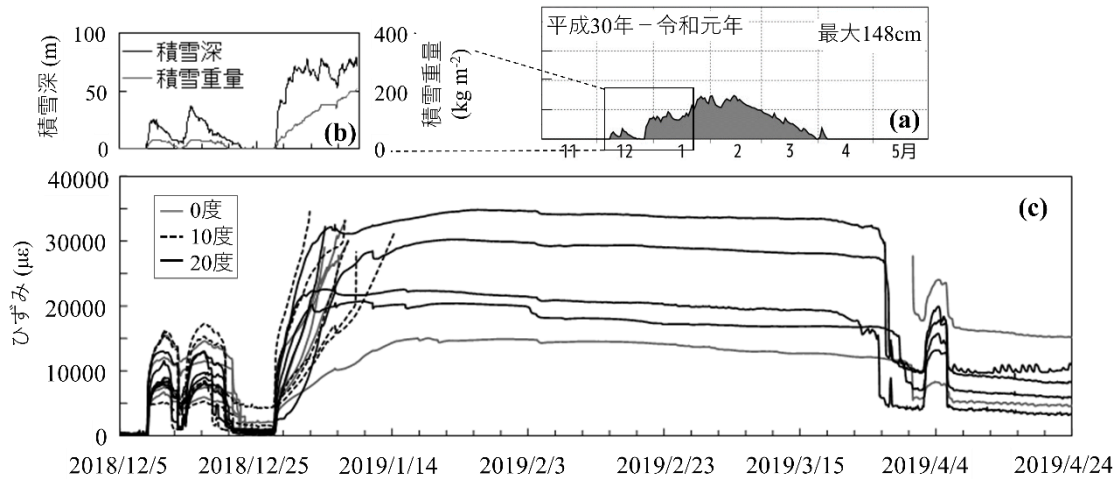


図-3. ひずみ計測結果 (a) 計測期間中の十日町試験地の積雪深の推移 (b)パネル (a) のうち積雪期初期の部分を抜粋したもの (c) 試験期間中のスギ苗各個体のひずみの変化 (1本の線が1個体のひずみの変化を示す)

Fig. 3 Result of strain measurement. (a) Change in snow depth and weight during the experimental period at Tohkamachi station and (b) those of early in the season, (c) pattern of strain observed for each seedling (a line shows an individual).

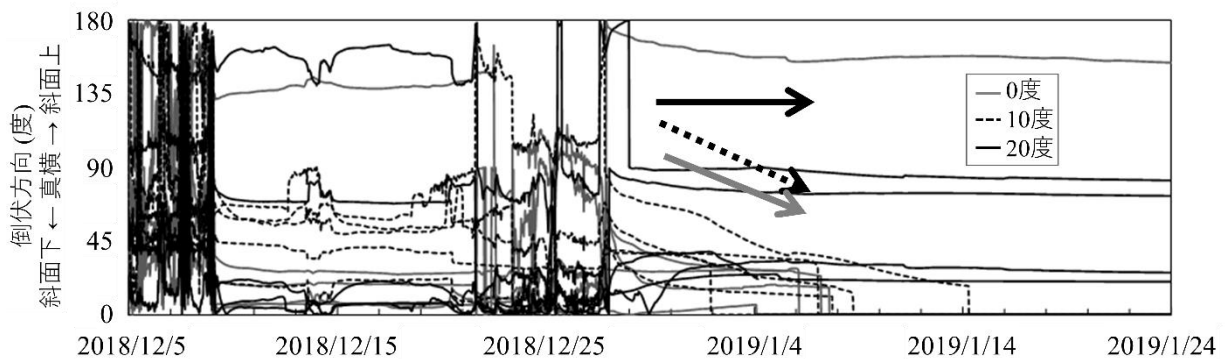


図-4. 苗の倒伏方向の変化 (2019年1月24日までの結果抜粋, 1本の線が1個体のひずみの変化を示す)

Fig. 4 Pattern of lodging direction of each seedling.

0度や10度の斜面で、ひずみ測定値が最大値を突破した個体が多かったのに対し、傾斜20度ではひずみの最大値はより小さかった(図-3)。大きな力がかかることで早々に根抜けをおこし、幹への力が解放された可能性が考えられる(ただし、次節参照)。20度斜面では、斜面積雪発達後のひずみの増加率が平均して最も大きかったが、他の傾斜地と比較して有意差はなかった。また、冠雪時のひずみの大きさも傾斜とは関係なかった。

**2. 人工降雪による幹ひずみの斜面傾斜の影響** 十日町試験地での結果と同様、この試験でも20度斜面でひずみの平均値が最も小さかった(図-5a, b)。今回の試験では根元が固定されていたため、根抜けによる幹の曲げの解放は起こりえない。一方、今回の結果では、積雪後に苗木の倒伏方向が下方へ変化したのは傾斜がある場合のみであり、十日町試験地での結果と違って下方へ流さ

れた個体で必ずしもひずみが大いわけではなかった(図-5c, d)。ただし、野外での測定と異なり、試験後の個体はどの傾斜でも比較的立った状態のままであった。

今回の試験では、何らかの要因で傾斜が急なほど冠雪時に倒伏しづらかったと考えられる。例えば、樹冠の冠雪が斜面上側の積雪と一体化したなどが挙げられる。ただし、試験における降雪の設定は一般的な野外の降雪に比べると穏やかな条件であったため、野外条件下で今回の結果にどの程度の再現性があるかについては、今後の検証が必要である。

**3. スギの強度と雪によるストレス** 試験の結果からひずみ量約10,000 μ<sub>ε</sub>がスギ生木の比例限度応力、約30,000 μ<sub>ε</sub>が最大応力発生時に相当することが分かった(図-6)。図3(c)の結果と比較すると、降雪期初期の冠雪で早くも半数の個体は弾性限界を突破しうる変形を

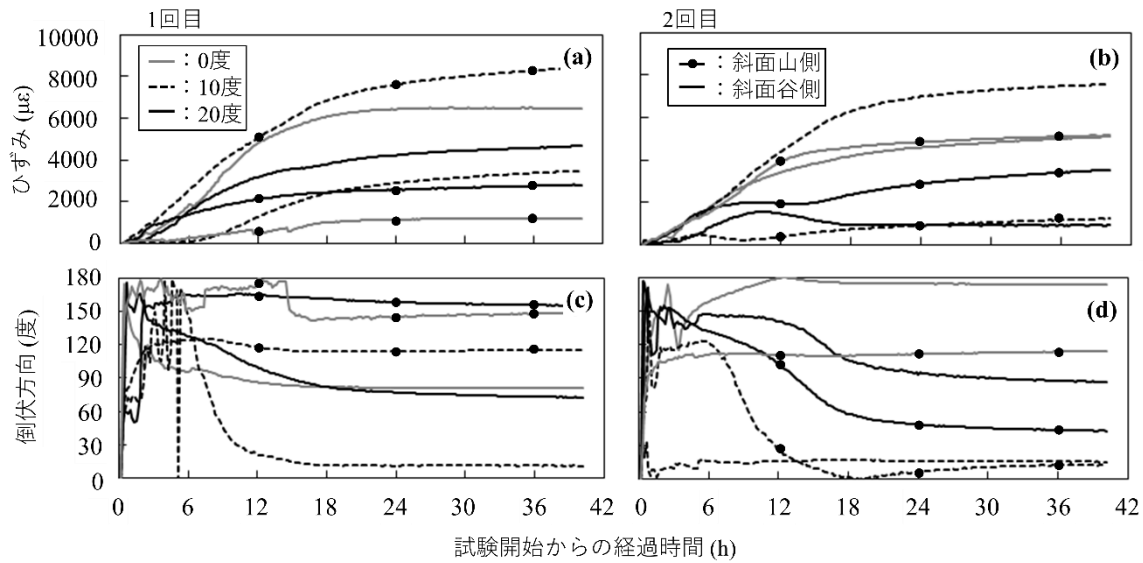


図-5. 人工降雪試験の結果 (a) ひずみ計測値 1回目 (b)同2回目 (c) 倒伏方向の変化 1回目(d) 同2回目  
 Fig. 5 Result of artificial snow fall experiment. (a) strain pater of first test and (b) second test, (c) lodging direction for first test and (d) second test. A line shows an individual.

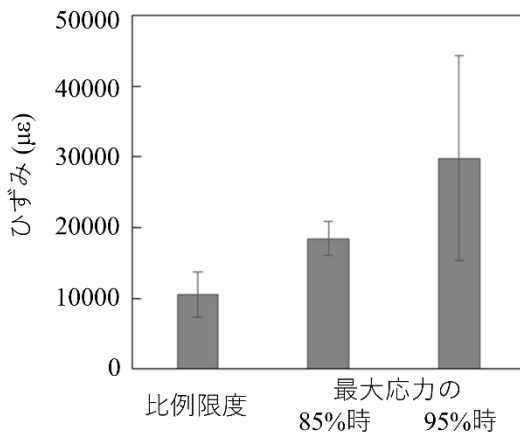


図-6. 比例限度応力発生時および最大応力の 85% ならびに 95%発生時のスギ試験体のひずみ値  
 Fig. 6 strain values at proportional limit and 85 or 95 % of maximum stress was observed.

おこしたことがわかる。さらに、斜面積雪の発達時には、破壊強度を突破しうる変形をおこしていると示唆された。

本試験で得られたスギの弾性係数は、およそ 2GPa 程度であり、文献値 (生材) の 1/2 ~ 1/3 以下であった (1)。このように非常に曲がりやすい性質は、積雪による力学的ストレスを受け流すのに有利であるのかもしれない。

#### IV まとめ

ひずみゲージを用いた計測でスギ苗木が積雪期間中に受ける力学的ストレスの大きさや経時変化が明らかになり、その結果、多雪地のスギは幼齢期から強度を失うよ

うな雪圧を経験していることがわかった。本試験の結果からは 20 度までの斜面傾斜の効果は不明瞭であったが、この程度の傾斜ならば、むしろ冠雪による倒伏や幹の変形によるストレスは小さい可能性が示唆された。しかし、これを結論付けるにはさらなる検証が必要だといえる。

**謝辞:** 本研究を行う上で、安達聖氏 (防災科研・新庄) ならびに当施設のスタッフの方々に大変お世話になりました。この場を借りてお礼申し上げます。

#### 引用文献

- (1) IDO, H., NAGAO, H., KATO, H., and MIURA, S. (2012) Strength properties and effect of moisture content on the bending and compressive the grain of sugi (*Cryptomeria japonica*) round timber. *Journal of Wood Science* 59(1), 67-72
- (2) MIYASHITA, A., MINAMINO, R., SAWAKAMI, K., KATSUSHIMA, T., and TATENNO, M. (2020) Monitoring bending stress of trees during a snowy period using strain gauges. *Bulletin of Glaciological Research* 38: 25-38
- (3) 四手井 綱英 (1950) 幼齢林の雪害 (昭和 21 年~22 年及昭和 22 年~23 年の調査より). *林業試験場研究報告* 58: 1-24
- (4) 高橋 喜平・片岡 健次郎・佐藤 正平 (1968) 立木に加わる雪圧 (第 1 報). *林業試験場研究報告* 210: 155-174.
- (5) 山野井 克己 (2006) 低木広葉樹林における斜面積雪の安定度と雪崩防止に関する研究. 博士論文 (新潟大学).