

# 尾瀬における木道施設の劣化診断

Diagnosis of deteriorating Woodenness facilities of Oze Natural park

工藤康夫・小林慧・野田龍\*

## 要旨

1. 尾瀬ヶ原の木製施設周辺の気温と相対湿度を観測した結果、尾瀬ヶ原における木材腐朽速度は平地の1/5程度と推察された。
2. 非破壊試験方法による心去材敷板の強度低下推定の効果が認められ、現地での簡易な劣化診断の可能性が示唆された。
3. 一方で心持材敷板は、心去材敷板に比べて短期間で強度の低下が認められ、かつ非破壊試験方法による強度低下の推定も不可能であった。

キーワード：公園木製施設、劣化調査、強度試験

## I はじめに

県内には尾瀬をはじめとして多くの国立、県立自然公園が存在する。ここに設置されている歩道や標識等の施設には、景観の維持、また周辺環境に与える影響を最小限に抑えるため、自然公園等施設技術指針（環境省,2013）等に準じて地域流通材（県産木材）が使用されている。

しかし、これらの施設が設置される場所は、山岳地帯奥地が多いことから現地到達手段がほぼ徒歩に限られる。さらに例年12月中旬から5月初旬頃まで相当量の積雪がある地域も多く、施設用資材の搬入と解体した資材撤去の手段はヘリコプターによる空輸にほぼ限られており、施設の設置や更新にはその都度多額の費用がかかることから施設管理者の負担が大きい。また、木材の長寿命化を図る方法としては防腐処理木材の使用が上げられるが、前述したとおり周辺環境への負担を最小限に止める必要性から防腐処理木材の使用は困難である。

その一方、例えば尾瀬では年間およそ20万人の入山者があり（公益財団法人尾瀬保護財団,2021）、木道での転倒、転落事故も年間数十件発生している（公益財団法人尾瀬保護財団,2020）。木道の損傷が原因による事故は管理者が施設管理責任を問われることもあるため、日常的に劣化診断を行って木道資材の損傷を早期に発見し、速やかな資材交換が必要になる。しかし、実情は施工関係者または木道の管理を行う現場担当者が、目視による劣化診断を必要に応じて行っているのみであり、目視以外の簡易な劣化診断方法は導入されていない。

そこで、設置から年数が経過した尾瀬の木道敷板の強度を測定して歩行時の荷重に対する強度の安全性を確認し、また併せて自然公園の現場で簡易に実施が可能な劣化診断方法を用いて強度を想定する方法を検証した。

---

\* 秋田県立大学木材高度加工研究所

## II 方法

### 1 木道周辺の気温と相対湿度調査

図-1 のとおり、尾瀬ヶ原自然研究見本園内の展望デッキ上（標高約 1,400m・以下尾瀬という）に、温湿度計（おんどり（T&W 社製））本体部を収めたヒノキ製の保護箱を設置し（図-2）、1年間を通した木道周辺部の気温と相対湿度を1時間ごとに測定した。なお、センサー部分は日射や降雨を直接避けるため保護箱横の傘木内に設置した。さらに同期間、群馬県北群馬郡榛東村の群馬県林業試験場木材加工技術センター建屋南側軒下（標高約 220m・以下榛東村という）にも、温湿度計本体部を収めたヒノキ製の保護箱を設置して、同様に気温と相対湿度を測定して両者を比較した。



図-1 調査場所



図-2 保護箱とおんどり

### 2 経年木道資材の劣化調査

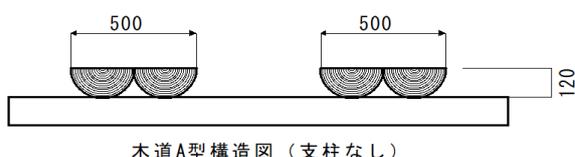
#### (1) 試験体

令和元年度の改修工事により撤去された平成8年度設置木道敷板（図3、設置から23年経過の無処理心去カラマツ材、以下23年経過材という）の一部、また令和2年度改修工事により撤去された平成19年度設置木道敷板（図4、設置から13年経過の無処理心持カラマツ材、以下13年経過材という）の一部を現場から回収して試験体とした。敷板の回収にあたっては事前に現地調査を行い、できるだけ広いエリアから採取箇所が偏らないよう選定した。また、13年経過材と同一断面寸法(w=170mm、h=120mm)のカラマツの新材を比較用とした（表-1）。

表-1 劣化調査に使用した木道敷板

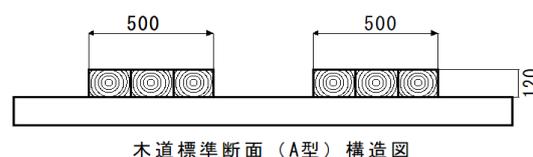
名称	部材名	長さ (mm)	断面寸法 (公称)		本数	断面形状	備考
			W (mm)	H (mm)			
23年経過材	敷板	4,000	250 (170~262)	120 (50~132)	10	心割材	
13年経過材	敷板	4,000	160・170 (158~173)	120 (110~119)	15	心持平角	
(比較用) 新材	敷板	4,000	170	120	8	心持平角	

注) 23年経過材、13年経過材の断面寸法は劣化による欠損があるため、断面寸法の実測値を ( ) 書きとした。



木道A型構造図（支柱なし）

図-3 23年経過材断面図



木道標準断面（A型）構造図

図-4 13年経過材断面図

## (2) 敷板の曲げ試験およびせん断試験

敷板の経過年数別の許容応力度を確認し、敷板のプロディン打込み、フォースゲージ貫入試験の整合性を検証するため曲げ試験、またせん断試験を実施した。

表-2のとおり、曲げ試験は回収した23年経過材の内7体、13年経過材の内10体を用いて木道の設置状態に合わせて中央から2,000mm×2本に切断して全て試験に供した。スパンはJISZ2101に準じて、せいの12倍=1,440mmとし中央集中3点曲げ試験とし、クロスヘッドスピードは10mm/minとした。比較対象として13年経過材新材のカラマツ材5体を供した。

また表-3のとおり、せん断試験は表3のとおり23年経過材敷板の内3体、13年経過材敷板の内5体を用いて敷板を1,000mm×4本に切断して試験に供した。スパンはJISZ2101に準じて、せいの6倍=720mmとし、クロスヘッドスピードは10mm/minとした。比較対象として新材のカラマツ材3体を供した。

## (3) 強度劣化材の評価

登山者が歩行する際に敷板にかかる荷重を木製歩道橋設計時の床板及び床組に作用する活荷重(L)=5.0kN/m<sup>2</sup>(財団法人国土技術研究センター,2003)を用いて敷板にかかる曲げ応力、せん断応力を求めた。一方、各敷板の曲げ強度、せん断強度に短期荷重係数=2/3(山辺,2013)、及び常時湿潤状態の係数=0.7を乗じて曲げ許容応力とせん断許容応力を求めた。なお、13年経過材、23年経過材とも欠損などにより断面寸法は敷板ごとに異なるため、それぞれの敷板の実寸法から求めた断面寸法、断面モーメントを用いて応力、許容応力を計算した。曲げ、せん断とも許容応力が応力を下回っている敷板を強度劣化材と判定した。また、敷板は2,000mm、または1,000mmに切断して試験に供したが、敷板延長上のいずれかの箇所強度劣化が発生した場合には敷板全てが交換の対象となることから、長さ4mの敷板いずれかの箇所に強度劣化が認められるものは全て強度劣化材として評価した。

表-2 曲げ試験体

名称	部材名	試験体数	長さ (mm)	試験方法	スパン (mm)	クロスヘッド スピード
23年経過材	敷板	14 (敷板7×2分割)	2,000	中央集中 3点曲げ試験	1,440	10mm/min
13年経過材	敷板	20 (敷板10×2分割)	2,000			
新材	敷板	10 (敷板5×2分割)	2,000			

表-3 せん断試験

名称	部材名	試験体数	長さ (mm)	試験方法	スパン (mm)	クロスヘッド スピード
23年経過材	敷板	12 (敷板3×4分割)	1,000	3点荷重 せん断試験	720	10mm/min
13年経過材	敷板	20 (敷板5×4分割)	1,000			
新材	敷板	12 (敷板3×4分割)	1,000			

(4) 目視被害度調査

回収した敷板全てについて、木材劣化調査の経験者複数人が JISK1571 (表-4、日本規格協会,2010) に基づいて被害度判定を行った。

表-4 目視被害度判定の基準 (JIS K1571)

被害度	状態
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽
2	全面的に軽度の腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽
5	腐朽によって形が崩れる

(5) 敷板のピロディン打込み、フォースゲージ貫入試験

現場で簡易に実施できる材の劣化診断方法を検証するため、ピロディン(PILODYN 6J)による打込み試験とフォースゲージ (IMADA 社製) による貫入試験を実施し、曲げ強度およびせん断強度との関係を調べた。

ピロディン打込み、フォースゲージ貫入とも現地での非破壊調査を考慮して、踏面 (敷板上面) に行い、敷板の幅に応じて長さ方向、幅方向いずれも等間隔に3列 (敷板幅 250mm) または2列 (敷板幅 160mm~170mm) に直径 50mm の穴を開けた合板製型枠を使用して (図-5、図-6) 穴のある位置にピロディン打込み、フォースゲージ貫入を行い、それぞれその結果を平均値で評価した。また打込み、貫入位置に節がある場合、および敷板端部の欠損している場所は打込み、貫入箇所から除外した。

なお、フォースゲージ貫入はフォースゲージの先端に+ドライバーを装着し、150N 時貫入深を測定した (野田,2018)。

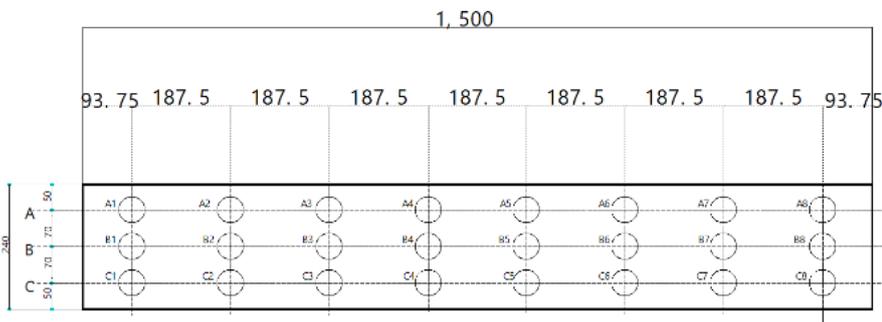


図-5 打込貫入用型枠 (幅 250mm)



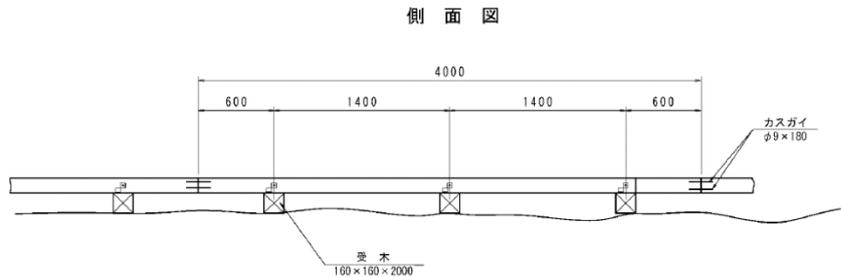
図-6 打込貫入試験の様子 (ピロディン打込)

### (6) 曲げたわみ振動法によるみかけのヤング係数測定と劣化調査

腐朽等による劣化調査を現地で行う場合、部材を取り外して重さを確認、または切断して内部状況を確認する調査はほぼ不可能であり、また外観からは確認が不可能な空洞等の欠損が存在する部材は打込み、貫入試験でもその存在を探り当てることは困難である。そこで、ピロディン打込みやフォースゲージ貫入以外に、木製資材を解体や切断することなく簡易に実施できる劣化診断方法として、曲げたわみ振動法を検討した。

敷板の踏面（上面）をハンマーで叩き、打音時の1次曲げ固有振動数を計測して見かけの動的ヤング係数を得ることで、腐朽等による劣化状態を把握する方法を試みた。曲げ試験に用いた13年経過材20体（表2）を用いて、構造用木材の試験マニュアル（日本住宅・木材技術センター,2011）の曲げたわみ振動法に準じて見かけのヤング係数 $E_{afb}$ を求め、敷板の曲げ試験で得られた曲げヤング係数MOEと比較して検証した。なお、同マニュアルでは、スパン延長（枕間）を試験体長さの0.522倍（=1,044mm）と指定しているが、本試験では群馬県木道標準設計の支持スパンである1,400mm（図-7）とした。

また、固有振動数計測にはFFT（Wave Spectra ver.51・フリーソフト）を用いた。



## III 結果

### 1 木道周辺の気温と関係湿度調査

令和元年（2019）6月から令和2年（2020）6月までの1年間の尾瀬の気温と関係湿度の推移を図8に、また、尾瀬と榛東村の比較を表5に示す。

例年尾瀬は12月から翌年の5月までの約半年間は積雪下となるため、気温は0℃、関係湿度95%前後で推移していた。また、年間の平均気温は6.8℃、平均関係湿度は86%Rhで、無雪期（6月から11月）の気温も平均で13.4℃であった。多くの木材腐朽菌が属する好中温菌の生育適温である25℃～30℃（日本菌学会,2013）の累積時間は年間を通して148時間であった。一方、ほぼ同期間の令和元年（2019）8月から令和2年（2020）7月までの榛東村では、25℃～30℃の累積時間は996時間であった。尾瀬と榛東村での測定期間と時間が若干異なるため単純比較はできないが、一般的な好中温菌の生育適温累積時間は、尾瀬は榛東村の約15%であった。

年間を通して平衡含水率が高い湿潤状態でありながら、標高1,400m以上の高層湿原である尾瀬では、腐朽菌の活動に適した温度の累積時間が平地に比べて著しく少なく、またこの地域ではシロアリによる食害や生息事例が報告されていないこともあり、腐朽劣化速度は平地の約1/5程度であると推察される。また、木道資材として利用されている無処理カラマツの心材の耐朽性は中程度（屋外で5～6.5年）であるが、辺材の耐朽性は極小（屋外で2.5年以下）とされている（日本木材学会,2001）。このことから、資材の交換を視野に入れた腐朽劣化診断はこの約5倍の年数となる設置後10年を目処に本格的に実施することが望ましいと考えられる。

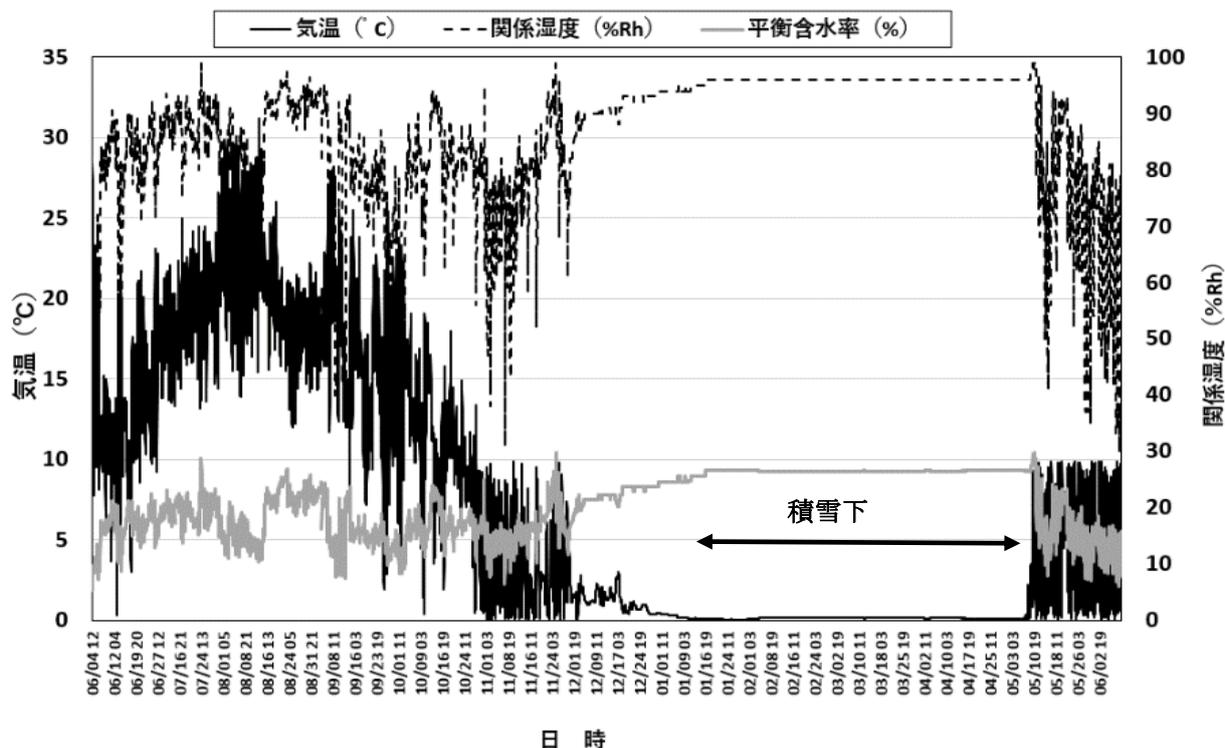


図-8 尾瀬木道周辺の気温と関係湿度

表-5 気温と関係湿度（尾瀬と榛東村比）

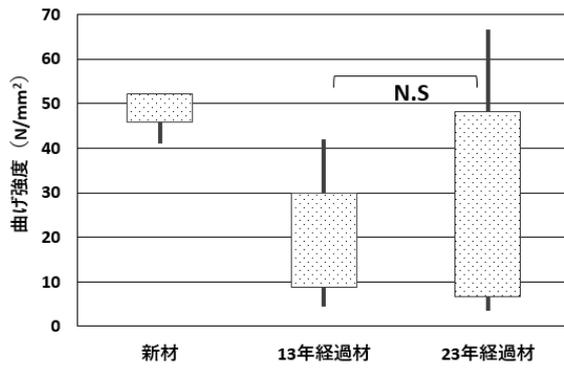
測定場所	測定期間	実時間	気温 (°C)			左記の内 25°C以上30°C未満 累積時間	関係湿度 (%RH)		
			最高	最低	平均		最高	最低	平均
尾 瀬	令和元年6月～令和2年6月	8,649	31.2	0.0	6.8	148	99.0	28.0	86.1
榛 東 村	令和元年8月～令和2年7月	8,000	41.6	-3.4	15.9	996	73.0	6.0	34.0

## 2. 木道資材の劣化調査と強度劣化材の評価

### (1) 敷板の曲げ強度およびせん断強度

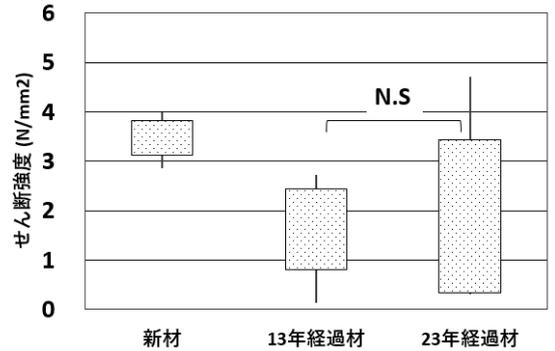
図-9に敷板の曲げ試験結果、および図-10に敷板のせん断試験結果を示す。13年経過材、23年経過材は曲げ強度、せん断強度とも新材に比べて強度の大幅な低下が認められた。また、t検定の結果、曲げ強度、せん断強度とも13年経過材と23年経過材には有意差が認められなかった。さらに、表6に曲げ強度劣化材、表7にせん断強度劣化材の割合を示す。13年経過材の敷板は、曲げ強度で10体の内3体、せん断強度で5体の内2体が強度劣化材と認められ、23年経過材の割合と大きな違いが見られなかった。

このことから、13年経過材は設置後10年程で強度低下が進むことが示唆された。



N.S 有意差無し

図-9 敷板の曲げ試験結果



N.S 有意差無し

図-10 敷板のせん断試験結果

表-6 強度劣化材の割合 (曲げ強度)

新材		13年経過材		23年経過材	
敷板枚数 (4m)	うち 強度劣化	敷板枚数 (4m)	うち 強度劣化	敷板枚数 (4m)	うち 強度劣化
5	0	10	3	7	3

表7 強度劣化材の割合 (せん断強度)

新材		13年経過材		23年経過材	
敷板枚数 (4m)	うち 強度劣化	敷板枚数 (4m)	うち 強度劣化	敷板枚数 (4m)	うち 強度劣化
3	0	5	2	3	1

(2) 目視被害度調査

図-11 に目視被害度と曲げ強度の関係、また図-12 に目視被害度とせん断強度の関係を示す。目視被害度と曲げ強度の関係、目視被害度とせん断強度にはいずれも相関が認められなかった。目視被害度調査は特別な測定器具を必要とせずに現場で調査が可能である反面、客観的判断が困難なことや腐朽劣化診断の経験者が実施する必要がある。しかし目視被害調査は今回の結果から、部材の裏側や木口など、現地で目視できない箇所を持つ施設の点検には適していないと結論づけられる。

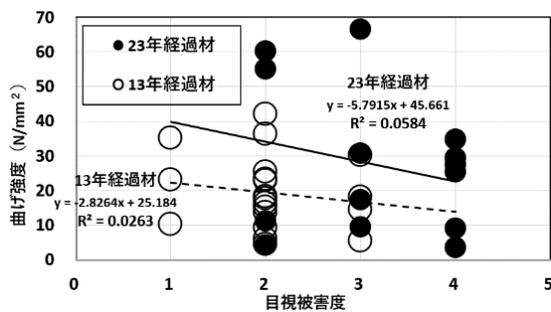


図-11 目視被害度と曲げ強度の関係

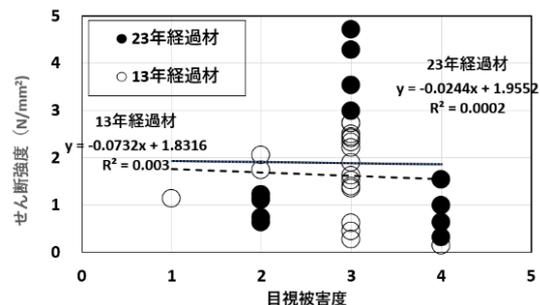


図-12 目視被害度とせん断強度の関係

(3) ピロディン打込、フォースゲージ 150N 時貫入深平均と曲げ強度、せん断強度 (23 年経過材)

図-13 に 23 年経過材敷板のピロディンの打込み深平均と曲げ強度の関係を、図-14 に同じく 23 年経過材フォースゲージ 150N 時貫入深平均と曲げ強度の関係を示す。なお、切断面以外からは目視が不可能かつピロディン打込み深さの限界 (40mm) を超えた材中心部に空洞を持つ試験体 2 体 (図-15) については、特殊な事例であることから、23 年経過材と別に表示した。また、強度劣化材は白ヌキで表示した。23 年経過材のピロディンの打込み深平均と曲げ強度の関係、フォースゲージ 150N 時貫入深平均と曲げ強度の関係はいずれも高い相関関係 (決定係数 R:ピロディン=0.682、フォースゲージ=0.645) が認められた。さらに図-16 に 23 年経過材敷板のピロディンの打込み深平均とせん断強度の関係を、図-17 にフォースゲージ 150N 時貫入深平均とせん断強度の関係を示す。ピロディンの打込み深平均とせん断強度の関係、またフォースゲージ 150N 時貫入深平均とせん断強度の関係も非常に高い相関関係 (決定係数 R : ピロディン=0.919、フォースゲージ=0.928) が認められた。このことから、ピロディンやフォースゲージを用いた貫入試験により、非破壊で強度劣化をほぼ正確に把握可能と示唆された。スギ円柱加工材のピロディン打込み量から曲げ強度の把握が可能であることが報告されているが(小柳ら,2012)、樹種、材の形状寸法が異なる場合であっても同様に強度の把握が可能であることが確認できた。

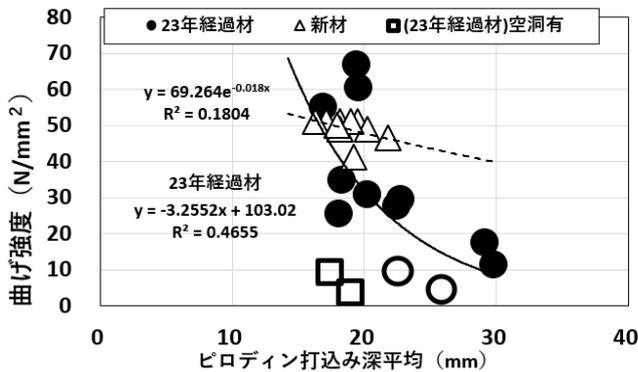


図-13 敷板のピロディンの打込み深平均と曲げ強度の関係 (23 年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材

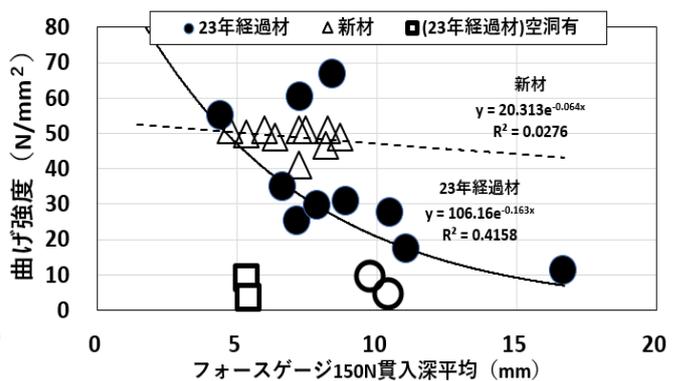


図-14 敷板のフォースゲージ 150N 時貫入深平均と曲げ強度の関係 (23 年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材



図-15 断面中央部に空洞を持つ敷

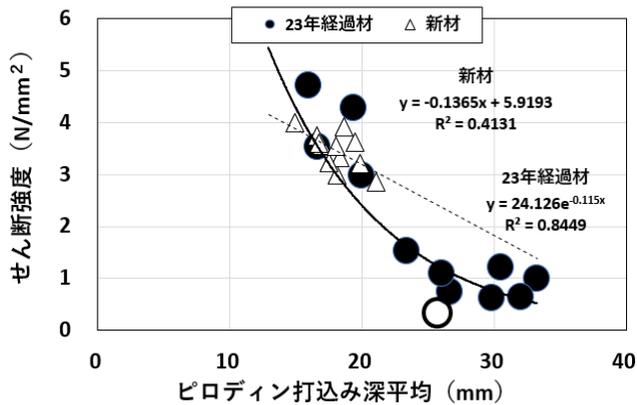


図-16 敷板のピロディンの打込み深平均とせん断強度の関係 (23年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材

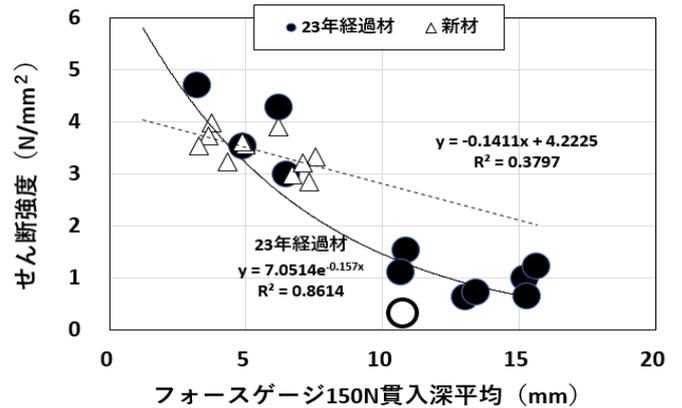


図-17 敷板のフォースゲージ 150N 時貫入深平均とせん断強度の関係 (23年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材

(4) ピロディン打込、フォースゲージ 150N 時貫入深平均と曲げ強度、せん断強度 (13年経過材)

図-18 に 13 年経過材敷板のピロディンの打込み深平均と曲げ強度の関係を、図-19 にフォースゲージ 150N 時貫入深さと曲げ強度の関係を示す。13 年経過材はピロディンの打込み深平均、フォースゲージ 150N 時貫入深平均とも曲げ強度との間に相関が見られなかった。

さらに、図-20 に 13 年経過材敷板のピロディンの打込み深平均とせん断強度の関係を、図-21 にフォースゲージ 150N 時貫入深平均とせん断強度の関係を示す。13 年経過材はピロディンの打込み深平均、フォースゲージ 150N 時貫入深平均とせん断強度との間にもほとんど相関が見られなかった。

特にフォースゲージ打込深平均が 5 mm 以下でありながら曲げの強度劣化が生じているもの (図 19)、また、せん断の強度劣化が生じているもの (図-21) が認められた。13 年経過材についてはピロディンやフォースゲージを用いた貫入試験貫入試験では、強度劣化を把握することが不可能であった。

23 年経過材では貫入試験により、強度劣化の把握がほぼ正確に把握できた一方で、13 年経過では把握がほぼ不可能であった。23 年経過材と同タイプの木道は現地設置後 10 年以上経過しても踏面 (敷板上面) にクラックがほとんど発生していない (図-22) のに対し、13 年経過材と同タイプの木道は設置直後から踏面にクラックが発生していた (図-23) ことが大きく違っていた。

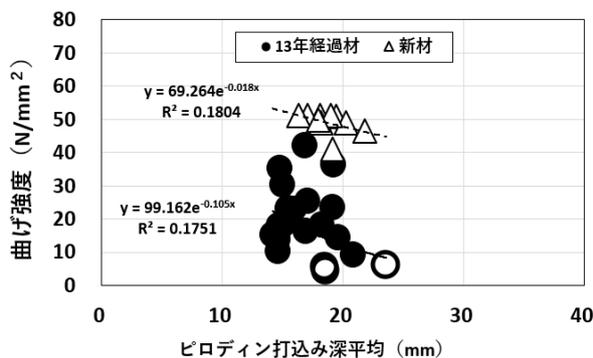


図-18

敷板のピロディンの打込み深さと曲げ強度の関係 (13年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材

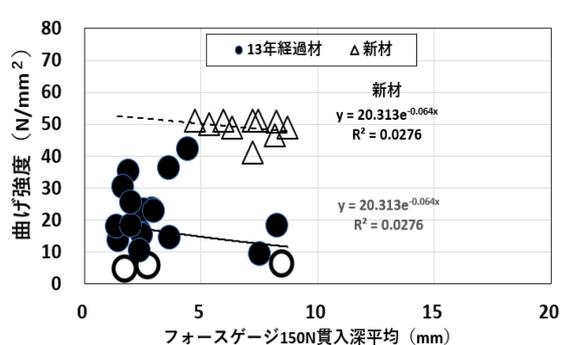


図-19

敷板のフォースゲージ 150N 時貫入深さと曲げ強度の関係 (13年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材

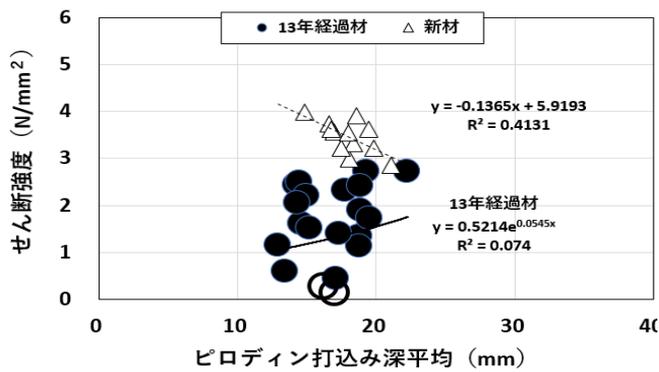


図-20 敷板のピロディンの打込み深さとせん断強度の関係 (13年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材

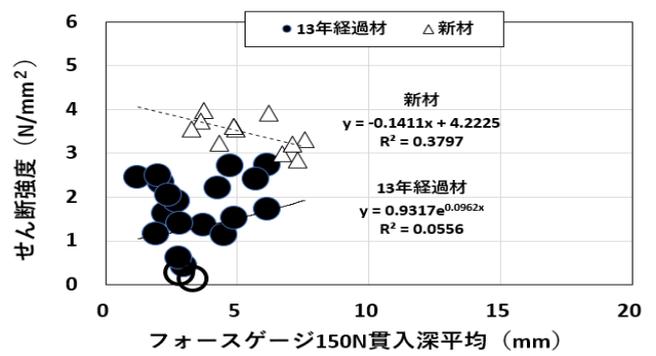


図-21 敷板のフォースゲージ 150N 時貫入深さとせん断強度の関係 (13年経過材)

白ヌキ表示は強度劣化材



図-22 23年経過材と同タイプの木道



図-23 13年経過材と同タイプの木道

#### (5) 曲げたわみ振動法によるみかけのヤング係数測定と劣化調査

図 24 に、曲げたわみ振動法によるみかけのヤング係数  $E_{afb}$ 、曲げヤング係数 MOE の関係を示す。 $E_{afb}$  と、曲げヤング係数 MOE には、相関関係 (決定係数  $R=0.5631$ ) が認められた。曲げたわみ振動法によるみかけのヤング係数測定によって、強度が低下した部材の特定が可能であることが示唆された。しかし、 $E_{afb}$  と曲げ強度 MOR には相関関係がほとんど見られず、曲げたわみ振動法から強度を直接想定することはできなかった。さらに曲げたわみ振動法を用いたみかけのヤング係数測定には計算因子として各部材それぞれの密度を用いる必要があるが、現場で木製部材の密度 (重量) を正確に測定することもほぼ不可能である。

また、図-15 に示した敷板 2 体は、もともと同一の敷板を切断したものであるが、内部に空洞が存在していることが外観の目視、またピロディン打込み、フォースゲージ 150N 時貫入でも確認ができなかった。これは非常に稀な事例と考えられるが、このような内部に空洞を持つ材の強度低下を特定するため、曲げたわみ振動法について今後さらに検証を進めて行く必要がある。

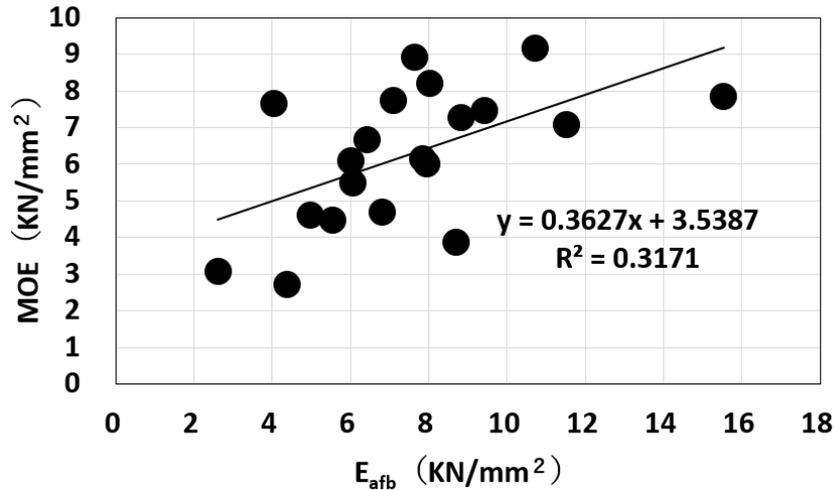


図-24 みかけのヤング係数  $E_{afb}$  と、曲げヤング係数 MOE の関係 (13 年経過材)

#### IV. まとめ

今回、木道の強度劣化を把握すると同時に、現場で簡易に劣化診断を行うことを想定した木材資材の強度劣化診断方法について検討した。その結果、ピロディン打込みやフォースゲージ貫入による強度劣化の把握は、23 年経過材のように敷板の踏面にクラックがほとんど発生しない心去材では有効であることが確認できた。一方で心持材は設置直後から踏面 (敷板上面) にクラックが発生し、そこに雨水の浸入と滞留を繰り返す (図-25)。ことで腐朽等が進み、10 年程で強度劣化が生じたと考えられる。

心持材は強度劣化が早い上、目視診断、貫入試験いずれによっても強度劣化を把握すること困難であることから、当面は経過年数に応じて設置後概ね 10 年で更新を行う必要がある。ま、今後設置する木道敷板は、クラックがほとんど発生しない心去材や板材を使用することが望ましい。



図-25 クラックに浸入した水 (13 年経過材と同タイプ)

#### 引用文献

- 環境省 (2013), 自然公園等施設技術指針 第一章総論,3
- 公益財団法人尾瀬保護財団 (2021), 尾瀬データブック, 2, 8
- 公益財団法人尾瀬保護財団 (2020), 令和元年度尾瀬傷病事故統計, 3
- 小柳正彦・岩崎昌一・菅原弥寿夫 (2012), スギ外構材の曲げ強度の経年変化, 新潟県森林研究所研究報告 53 号, 33-37
- 日本住宅・木材技術センター (2011), 構造用木材の試験マニュアル, 18
- 日本菌学会編 (2010), 菌類の辞典, 朝倉書店 (東京) 162,
- 野田龍 (2018), 荷重測定器を用いた腐朽劣化診断手法の基礎的実験, 木材保存 Vol44-1
- 社団法人日本木材学会 (2001), 木材保存学入門 (改定版), 356pp, 79
- 山辺豊彦 (2013), ヤマベの木構造改定版, 株式会社エクスナレッジムック (399pp, 東京) 180-181,
- 財団法人国土技術研究センター (2003), 木製歩道橋設計施工に関する技術資料, 第 1 編第 2 章 1-5
- 財団法人日本規格協会 (2013), JIS 木材保存剤-性能基準及びその試験方法 JISK1571, 10