

木製土木構造物の簡易劣化診断手法の開発および凍結融解作用による強度性能評価

秋田大学大学院 理工学研究科 システムデザイン工学専攻

土木環境工学コース

野田 龍

1. はじめに

屋外の木製土木構造物の腐朽度を評価する方法として、ドライバーピンを用いた刺診やピロディンを用いた打込み試験などがある。いずれも簡便な方法であるが、前者では定量的な評価が難しく、後者では機材がやや高価といった点がある。構造物の管理者にとって、日常点検用に安価に購入でき、時間と労力をかけずに大まかな腐朽状況を定量的に把握することは有益なことである。このような観点から、入手が容易で簡便に取り扱いができ、かつ安価な試験機として荷重測定器にドライバーピンを取り付けた劣化診断装置の開発が進められている。一方、積雪寒冷地に建設される木製土木構造物では、寒冷期に凍結融解作用を受けていると考えられ、それに伴う強度低下が懸念される。

本研究では木製土木構造物の簡易劣化診断手法の開発を行うとともに、凍結融解によって木材の強度がどのように変化するのか評価を行った。

2. 実験方法

2.1 ピン打ち込み試験

2.1.1 室内試験

試験材として、4樹種5種類（スギ角材・丸太材、カラマツ・ヒノキ・ヒバ丸太材）で長さ2mの試験体を各5本用意した。各試験体から丸材では厚さ約6cm、角材では長さ約10cmの供試体をそれぞれ6個切り出した。重量を測定後、全供試体を水道水中に浸漬させた。浸漬開始後、定期的に水中から取り出し、約5分静置後の重量測定と各種打ち込み試験（ピロディン、荷重測定器にドライバーピンを用いたピン打ち込み）を行った。荷重測定器による押し込み荷重は150Nとし、勢いをつけずに押し込んだ。先端に取り付けるドライバーピンはプラス、マイナスの2種類とした。50～60日間浸漬後、水中から取り出し、実験室内に静置して自然乾燥させた。乾燥過程においても定期的な計測を行った。すべての試験終了後、試験体をそのまま乾燥させ、全乾法にて含水率を求めた。

2.1.2 既設木製治山ダム

秋田県内に設置されている木製治山ダム（図1）を対象に、ピロディンおよびドライバーピンを用いたピン打ち込み試験を行った。ドライバーピンには室内試験で用いたものと同じマイナスピンを使用し、打ち込み荷重が150Nに達した時の貫入深を測定した。

2.2 凍結融解による強度評価

木製土木構造物では、用途に応じて防腐処理を施した



図1 木製治山ダム

材（防腐処理材）と施さない材（未処理材）が使われている。そこで、本研究では2017年～2018年の各年度に試験材としてL=4,000mm, H=W=40mmの秋田県産スギの角材を未処理材、防腐処理材それぞれ20本用意し、各材から長さ640mmの試験体を採材した。目標含水率は2017年度は5種類（15%、30%、50%、100%、120%）、2018年度は4種類（50%、100%、150%、200%）を設定し、真空・加圧含浸装置（(株)ヤスジマ製）を用いて減圧注水を行った。その後、目標含水率まで浸漬または自然乾燥を行った後、凍結融解試験を行った。なお、凍結融解試験時に試験体の含水率変化を防ぐための予備実験を行った結果から、本試験に用いる試験体はラップで梱包した。

凍結融解試験には恒温恒湿機（ESPEC社製）を使用し、図2に示すサイクル条件とした。サイクル数は24時間を1サイクルとし、2017年度は0（凍結融解前）、30、60サイクル、2018年度は0、15、45、75、90サイクルで行った。凍結融解試験を行った後、支点間距離560mm、載荷速度5mm/minとして中央集中載荷による曲げ試験を行った。載荷点下に変位計を設置し、試験体中央の変位を測定した。曲げ試験終了後、試験体から小片を切り出し、全乾法にて試験時の含水率を求めた。

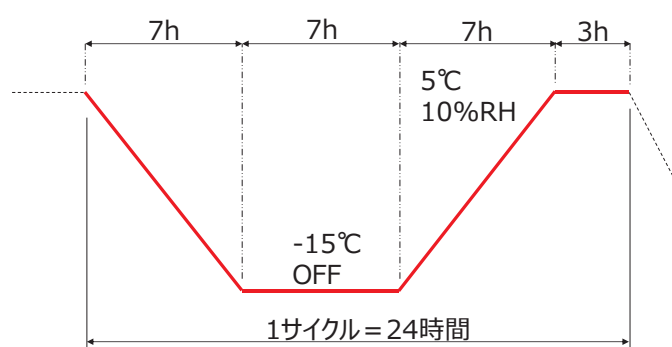


図2 凍結融解試験におけるサイクル条件

3. 結果と考察

3.1 ピン打ち込み試験

3.1.1 室内試験

図3にスギの丸太材について、荷重測定器によるピン打ち込み深さ値（F値）とピロディンによる打ち込み深さ値（P値）の関係を示す。P値の増加に伴いF値も増加していることが確認された。ドライバーピンの先端形状で比較すると、P値の増加に伴うF値の増加割合はプラスよりもマイナスの方が大きくなった。これらの傾向はすべての樹種において確認された。

図4にスギ角材のF値と含水率の関係を示す。繊維飽和点以下のF値はプラスで3-5mm、マイナスで2-6mmの範囲であるのに対し、繊維飽和点以上から約190%の含水率範囲ではプラス3-8mm、マイナス4-9.5mmとなり、若干の増加傾向にあるものの、一定の範囲に収まることが明らかとなった。この結果は、トドマツ・アカマツ・クロマツ・ベイマツの皮むき丸太を対象に行った既往研究と同様の傾向を示した（山田ら、2017）。

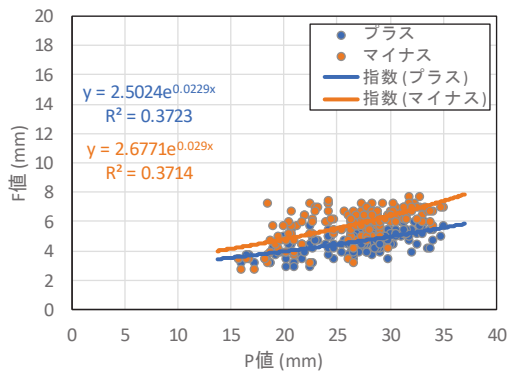


図3 F値とP値の関係（スギ丸太材）

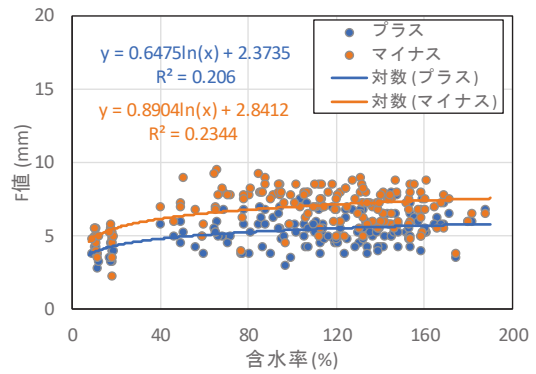


図4 F値と含水率の関係（スギ角材）

3.1.2 既設木製治山ダム

図5に既設木製治山ダムより得られたF値とP値の関係を示す。既設木製治山ダムの袖部は乾湿を繰り返す部位、放水路部と水叩き部は常時水に浸かっている部位である。これまでの室内実験より、F値とP値には正の相関があることが分かっているが、既設木製治山ダムでは室内実験に比べると相関は低くなった（ $R=0.28\sim0.40$ ）。特に乾湿を繰り返す部位である袖部で貫入深さが大きくなるにつればらつきが大きくなった。ただし、貫入深さが大きいときは外観上、腐朽の進行が認められる場合が多く、詳細な腐朽調査を必要とするかどうか判断するための指標としては十分使用可能であると考えられる。

室内実験の結果と合わせると、ある程度の腐朽状況を推定する場合、荷重測定器にドライバーピンを用いた劣化診断でも十分に対応できることが示唆された。

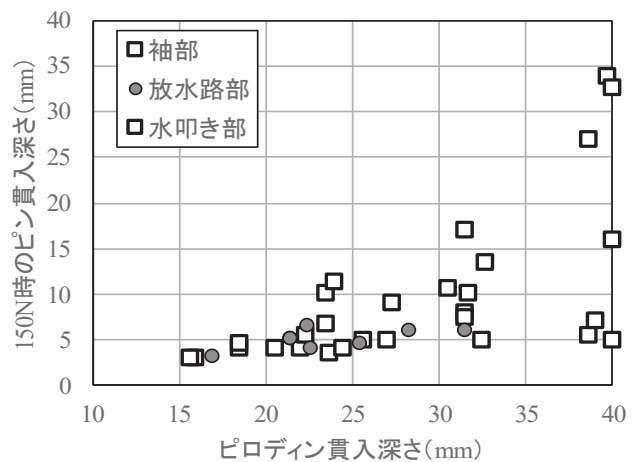
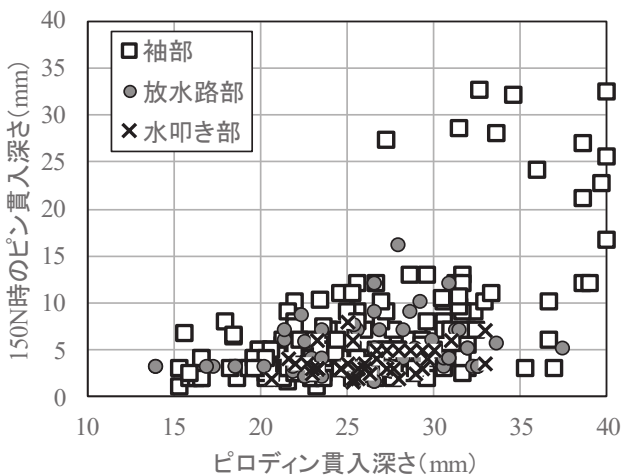


図5 F値とP値による貫入深さの関係（左：マイナスピン、右：プラスピン）

2. 凍結融解作用による強度性能の評価

未処理材について、2018年度に行った凍結融解の繰り返し回数別の曲げヤング係数および曲げ強さを図6、図7に示す。図中の実線は各サイクルの平均値を結んだ線である。凍結融解の繰り返し回数を変化させても曲げヤング係数および曲げ強さの最低値はほぼ一定であった。一方、最大値では凍結融解作用により大きくなる場合が認められた。これらの傾向は防腐処理材でもみられたことから、曲げ強度に対する凍結融解作用の影響は少ないと考えられる。

その一方で、これらの傾向は2017年度に行った試験とやや異なる結果となった（図8）。異なる傾向が得ら

れた要因として、試験体の条件設定の違いが考えられる。1本の材から試験体を採材する際、2017年度では1本の材から切り出した5種の試験体は同一サイクル数として、含水率を変化させた。一方、2018年度では1本の材から切り出した試験体は同一含水率として、サイクル数を変化させた。この試験条件の設定の違いを含め、再検証が必要である。また、本研究で行った最長90サイクルは秋田県の気象条件より5,6年程度の凍結融解作用と考えられ、屋外の木製土木構造物の設置期間を考えると、さらなる長期スパンを想定した強度の推移を評価する必要がある。

また、曲げ試験終了後に試験材の一部を切り出して、電子顕微鏡を用いて内部割れの有無を確認したところ、図9に示すような割れが確認された。この割れが凍結融解の繰り返しによるものかどうかは現時点で不明であり、今後割れの発生部位・規模等について評価を行う必要がある。

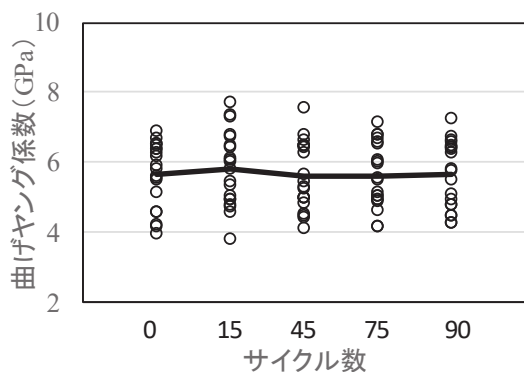


図6 サイクル数別の曲げヤング（未処理）

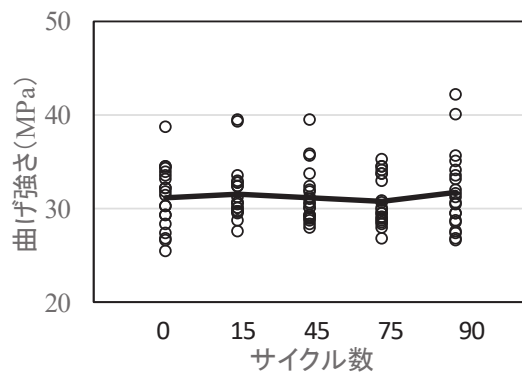


図7 サイクル数別の曲げ強さ（未処理）

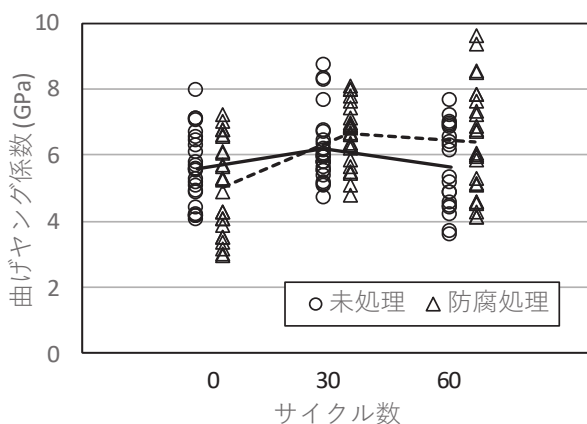


図8 サイクル数別の曲げヤング（2017年度、未処理）

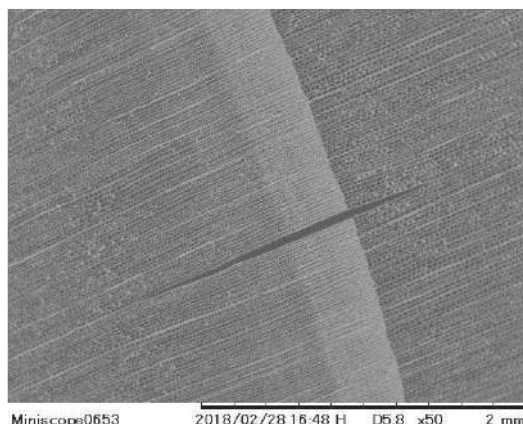


図9 木材内部の割れ

4. おわりに

本研究では、屋外の木製土木構造物を対象とした劣化診断手法の開発と凍結融解作用を受けたときの木材強度について評価を行った。荷重測定器にドライバーピンを組み合わせた劣化診断手法は、ピロディンの代替として有効であり、荷重測定器の押し込み荷重は150Nとすればよいことが分かった。凍結融解による強度変化では、90サイクルまでであれば未処理材、防腐処理材ともに凍結融解による曲げ強度への影響は少ないと考えられた。しかし、木材内部に割れが確認されており、この割れが凍結融解によって発生したものなのか、腐朽に対する影響も含めた評価を今後進めていく必要がある。