

RESISTOGRAPHを用いた木橋部材の劣化診断

Deterioration diagnosis of timber bridge members using the RESISTOGRAPH

○黄 元重* 金高 悟** 佐々木貴信***

HWANG Won-Joung, KANETAKA Satoru and SASAKI Takanobu

*博（農）秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒016-0876 能代市字海詠坂11-1)
** 財団法人秋田県木材加工推進機構 (〒016-0876 能代市字海詠坂11-1)
***博（工）秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒016-0876 能代市字海詠坂11-1)

ABSTRACT The wooden structures can be degraded by fungi, insects, termite, etc., because it is biological material. If continued a biodegradation risk caused by a variety of organisms, it will be happen that the wood strength is going to decrease and a danger by a cave-in of the wood structures. In fact, the aomori hiba is highly resistant grade wood species against to fungi and termite in durability section. In recent, however, the decayed members was detected an timber bridge. Therefore, we evaluated the deterioration diagnosis using the RESISTOGRAPH on the timber bridge members and the sound wood of same wood species to the timber bridge members for the maintenace of a timber bridge in the future. The relationships between drilling resistance values and wood density, temperature and moisture contents of wood were also investigated in this study.

Keywords : 劣化診断、レジストグラフ、穿孔抵抗値、青森ヒバ、耐久性
deterioration diagnosis, resistograph, drilling resistant value, Aomori hiba, durability

1. はじめに

野外の木造施設に劣化が生じる要因はいくつかあるが、腐朽菌やシロアリによる生物劣化の被害によるものが大きな部分を占めている。これは、腐朽菌やシロアリが木材を栄養分として利用するからであり、生物劣化が進行することにより木材強度が減少し、施設の崩壊などの被害や危険性の高い状態になる恐れもあることから、たとえ天然耐久性が高い木材を使った木橋や木造建築物等であっても、建設後の維持や補修のために定期的な劣化診断が必要である。

木材の劣化を非破壊的に評価する方法として超音波伝播速度測定 (SYLVATEST®)、穿孔抵抗測定 (RESISTOGRAPH®)、ピン打ち込み深さ測定 (ピロディン)、あるいはX線システム¹⁾、などが一般的であるが、中でも穿孔抵抗測定は測定器の運搬や測定が容易であり、劣化の度合いを視覚的に確認することができるため、野外の現場での適用性に優れていると考えられる。本研究では1994年7月に架設された青森県鶴田町の「鶴の舞橋」(橋長300m, 写真1)を対象に実施した劣化診断の結果や同じ樹種である青森ヒバ材の健全材の結果を用いて、穿孔抵抗測定による劣化診断法に影響を及ぼす因子として木材密度、木材温度、木材含水率との関係について調べた。鶴の舞橋の部材(橋脚、床板、高欄など)に用いられた青森ヒバ材は樹齢150年以上であり、耐久性が極めて高いことから塗装や防腐処理がされない無処理の状態で使用されているが、15年が経過した現在では辺材部分を中心に部材の腐朽や欠損が認められていた。



写真1 鶴の舞橋

2. 実験概要

2.1 実験材料

本実験での供試木は青森産ヒバ材 (Aomori Hiba; *Thujopsis dolabrata* S. et Z. var. *Hondae* Makino) として、鶴の舞橋から採取した床板部材 (長さ3000mm、幅300mm、厚さ45mm ; 樹齢150年以上) および高欄支柱部材 (100×100、高さ1500mm ; 樹齢150年以上)、健全材には樹齢131年のものをそれぞれ用いた。

2.2 実験方法

(1) 腐朽度評価

腐朽した木材の健全度を評価することを目的としてレジストグラフ (RESISTOGRAPH® 3450, RINNTECH社製) を用いて穿孔抵抗による抵抗値を測定した。レジストグラフはDrilling device、Power pack、Cableおよびプログラムとして構成され、Drilling device 中のドリルニードルによる木材の穿孔抵抗値の変化を測定してpower pack中の内装プログラムによって波形表示される。写真2に測定装置および測定方法を示した。

レジストグラフによる木材の劣化度や健全度の評価方法は、いくつか提案されているが^{2),3)}、本研究では穿孔深さ毎の平均抵抗値を健全部の基準値と比較する方法と、穿孔抵抗値を結んだ波形の面積と比較して劣化度を評価する方法について検討した。後者については健全部の平均穿孔抵抗値を基準として、基準値以下の面積を計算した。なお、レジストグラフは各3~5回を繰り返して測定し、その平均値を使用した。

(2) 密度、温度、含水率の影響評価

測定対象材の密度、温度および含水率の違いがレジストグラフの測定値に及ぼす影響を評価した。まず年輪撮影用軟X線装置 (SOFTEX CMB, SOFTEX社製) およびX線年輪構造解析装置 (DENDRO SR-1010) を用いて行った密度解析結果と抵抗値の関係を調べた。L方向 (繊維方向) 厚さ4mmの柁目板の試験体を製作し、軟X線を照射 (20kVp, 14mA, 540sec.)、現象した後、光学濃度の変化を測定した。次に、温度の変化が測定値に及ぼす影響を調べるために摂氏-4度および、+8度の環境下に置いた青森ヒバ材の穿孔抵抗値を測定した。最後に、試験体の含水率を変化させて穿孔抵抗値を測定した。

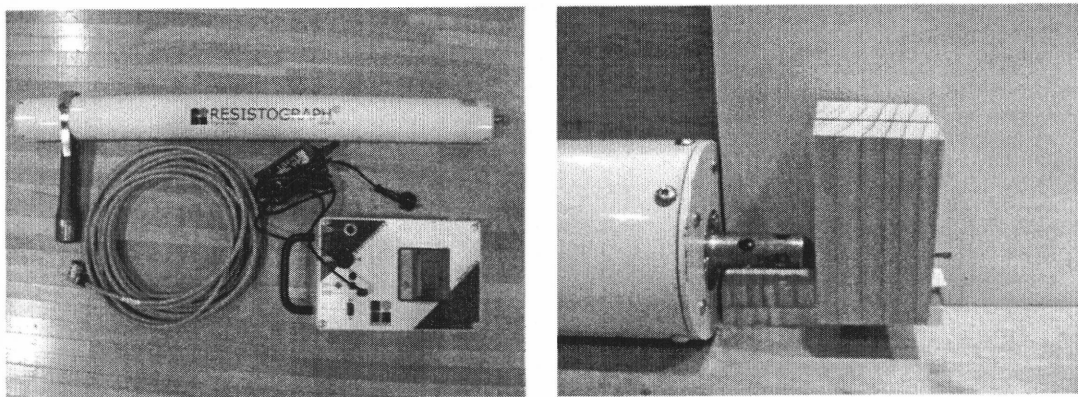


写真2 レジストグラフ 3450の構成装置と測定例

3. 実験結果

3.1 腐朽度評価

一例として高欄支柱部材の穿孔抵抗値を図1に示す。このとき、穿孔抵抗値の比較では図の上から順に健全部に対して9%、15%、20%、78%の減少率であった。また、穿孔抵抗値を結んだ波形の面積の比較では、それぞれ12%、19%、23%、78%の減少率であった。また、床板部材では健全材の平

均穿孔抵抗値を基準として計算した面積の比較の結果、腐朽しなかった部分で6%、腐朽した部分で11%、17%の減少率が見られた。腐朽しなかった部分に対しても部材の劣化傾向が認められた要因として、建設から15年の間の使用環境（紫外線、雨、風など）や歩行荷重による摩耗による影響などが考えられ、こうした使用環境下では、天然耐久性が非常に高い青森ヒバ材の抽出成分の溶脱も考えられる。

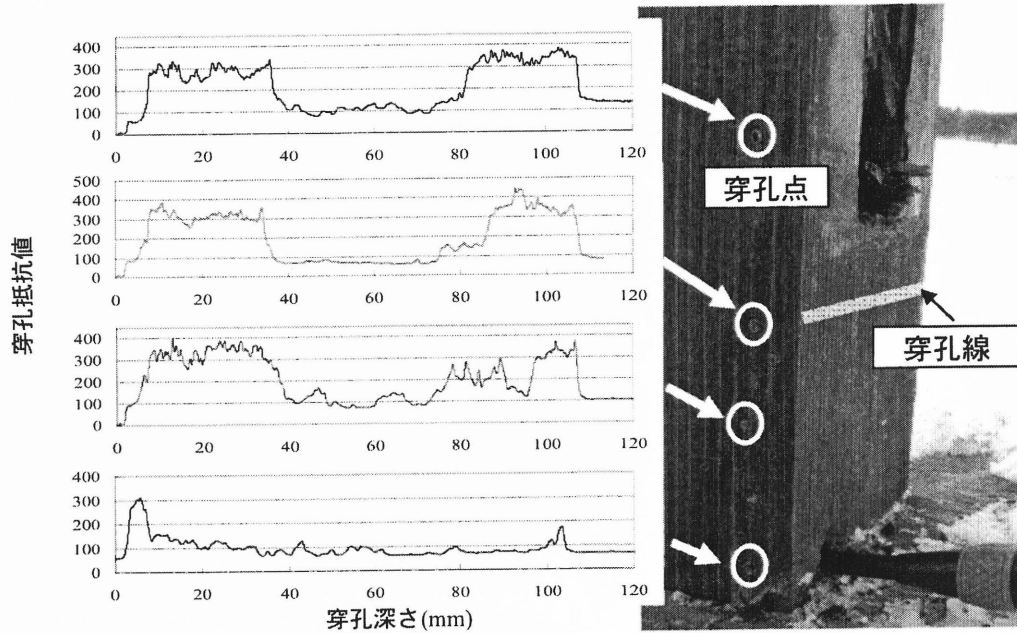


図1 腐朽菌によって腐った木橋部材の穿孔抵抗値の変化

3.2 穿孔抵抗値と木材密度との関係

木材密度の異なる欧州アカマツ、ブナ材の穿孔抵抗性を測定し青森ヒバ材と比較した。図2に示したのは欧州アカマツのレジストグラフによる穿孔抵抗波形および軟X線解析による密度分布波形の一例である。同図よりレジストグラフでは早材と晩材の穿孔抵抗値の差すなわち密度差を明確に現すことができることが確認できる。図3に各樹種の平均穿孔抵抗値と平均密度の関係を示す。穿孔抵抗値は欧州アカマツで210、青森ヒバで平均310、ブナで平均500として現れた。なお、レジストグラフ測定は木材の含水率が15%以下となる気乾状態で行った。以上より、穿孔抵抗値は木材密度と高い相関があることが本研究からも確認された。

3.3 穿孔抵抗値に及ぼす温度の影響

野外に設置された木製構造物の管理のためには季節や天候にかかわらず診断を実施しなければならないことも想定されるため、使用環境下での木材温度を想定しレジストグラフによるドリル穿孔抵抗と材温の関係を調べた。図4に示したのは摂氏-4度と+8度の環境下に置いた15年間使用された青森ヒバ材の測定結果である。穿孔抵抗値はそれぞれ 251 ± 45 と 353 ± 46 として優位差 ($p < 0.01$) が認められた。これは氷点下の状態では木材中の自由水が凍結し、切削抵抗が低下することが要因であると推察される。同様の傾向は健全材を用いた室内試験でも確認された。

3.4 穿孔抵抗値に及ぼす木材含水率の影響

野外に設置された木製構造物を対象とした穿孔抵抗測定においては、腐朽発生の有無と関連して広い範囲の含水率状態が考えられるが、図5に示すように試験木材の含水率の違いによって異なる穿孔抵抗値を示し、含水率の増加と共に穿孔抵抗値が高くなる傾向が確認された。

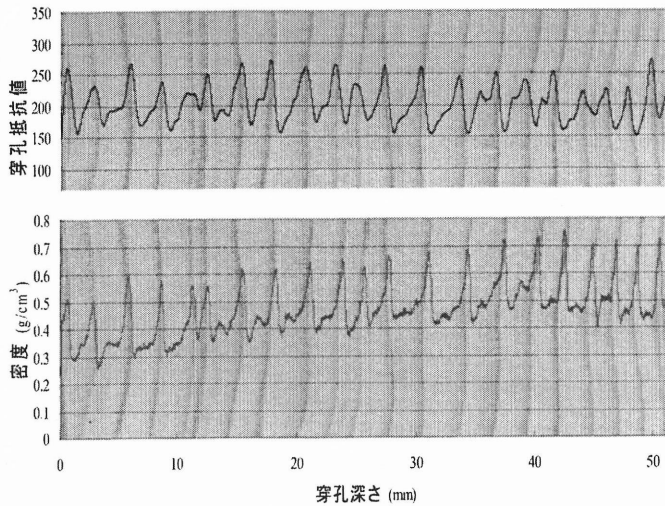


図2 穿孔抵抗値と木材密度の傾向（欧州アカマツ）

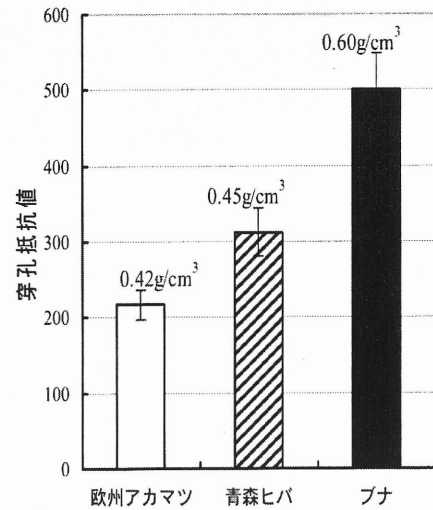


図3 穿孔抵抗値と木材密度の関係

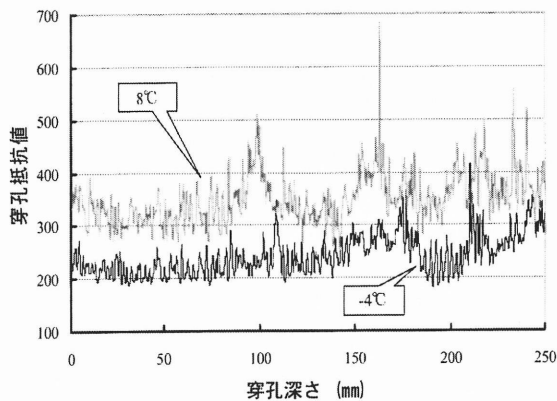


図4 穿孔抵抗値と木材温度の関係

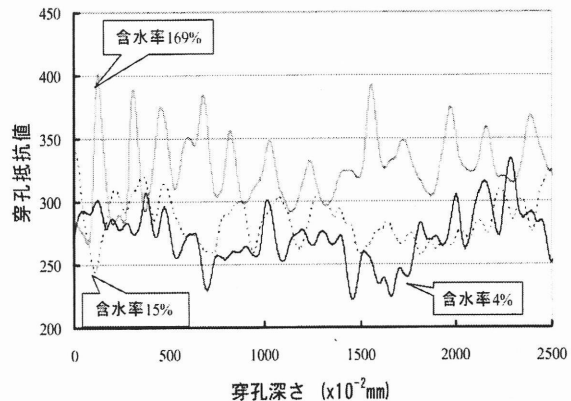


図5 穿孔抵抗値と木材含水率の関係

4. まとめ

本研究では木橋に使用された青森ヒバ材を対象に行った、レジストグラフによる劣化診断に関連して、レジストグラフ劣化診断法に影響を及ぼす因子として木材密度、木材温度、木材含水率との関係について調べた。本研究の結果を以下に要約する。

- (1) 野外に設置された木材建築物、特に木橋の部材の劣化診断ではレジストグラフによる欠陥部分の定量的評価に対する有用性が示唆された。
- (2) 穿孔抵抗値は木材密度と高い相関があり、密度の増加と共に抵抗値が高くなる。
- (3) 穿孔抵抗値は木材温度差によって異なる値を示すことが示唆された。
- (4) 穿孔抵抗値は木材の含水率が増加すると共に高くなる傾向が認められた。

参考文献

- 1) Lee, J. -J.・K. -M. Kim : Evaluation of structural safety for wooden cultural properties using NDT. Proceeding of the 8th World Conferences Timbers Engineering, pp.689-692, 2004.
- 2) Brashaw, Brian K.・Robert J. Vatalaro・James P. Wacker・Robert J. Ross : Condition assessment of timber bridges: 1. Evaluation of a micro-drilling resistance tool. General Technical Report FPL-GTR-159. U. S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory. 8p. 2005.
- 3) 渡辺 浩・小松 幸平・森 拓郎：錦帯橋古材の残存強度と診断法の検討、第6回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、pp.105-112, 2007.