

〈論 文〉

8年で架け替えられた歩行者用木橋の腐朽

酒井温子・岩本頼子*

Decay damages of an Wooden Walking Bridge Serviced for Only 8 Years.

Haruko SAKAI and Yoriko IWAMOTO*

近畿地方のある公園に架設され、8年後に架け替えられた歩行者用の小型の桁橋について、予想以上に短期間に腐朽した原因を検討した。この木橋では、床版には劣化は目立たず、その下の主桁と床組の上部が著しく腐朽していた。

主桁と床組はベイマツの集成材で、ラミナ段階で第四級アンモニウム化合物系の木材保存剤が加圧注入されていた。主桁の腐朽部位から単離された木材腐朽菌は、DNA同定と菌体の形態観察から、チョークアナタケと判定された。この菌の木材分解力を調べたところ、ベイマツ心材を辺材と同じ程度に分解することができた。また、第四級アンモニウム化合物を含浸させたベイマツ試験体を分解できなかったことから、この薬剤はこの菌に対して十分な防腐効力を有していると判断された。一方、第四級アンモニウム化合物の呈色反応および定量分析の結果、この主桁には薬剤がほとんど浸潤していないことが明らかとなった。

以上より、この木橋の主桁が短期間に腐朽したのは、ベイマツ心材を辺材と同じ程度に分解できるチョークアナタケによって攻撃されたことと、木材保存剤の浸潤が不良であったことが原因であると結論づけられた。

A small wooden bridge for walkers built in Kinki area was dismantled due to decay damages. The service period was counted only for 8 years. Horizontal wooden members containing cross beams were made by lamination of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) wood boards treated with the wood preservative of AAC (alkylammonium compound). The laminated wood beams were degraded severely, although decay of the floor boards made of untreated Azobe (*Lophia alata* Banks ex Gaertn.) wood was not remarkable. The fungus attacking to the decayed beams was inoculated for isolation, and identified to be *Antrodia xantha* by the DNA analysis and morphological observations of the fungus bodies. It was revealed that the fungus of *A. xantha* could cause the severe decay damages in heartwood as well as in sapwood of Douglas fir. It was also recognized that AAC was effective to suppress *A. xantha* by the laboratory decay tests.

The wood beams of the bridge were assumed to be decayed by the insufficient penetration of the wood preservative and the fast degradation of Douglas fir heartwood by the fungus of *A. xantha*.

1. はじめに

1980年代後半から1990年代にかけて、全国各地で多くの木橋が架設された。それから10年以上が経過し、腐朽による橋の落下¹⁾や架け替え²⁾等、当初の予想に反

して短命で終わった事例が知られている。また、その原因を考察した報告³⁾もある。

今回調査対象としたのは、近畿地方のある公園に1997年に架けられ、8年後の2005年に腐朽により架け替えられた、幅約2m、長さ約5mの歩行者用の小型の桁

*：現、奈良県景観・環境局環境政策課

橋である。公園管理者や木橋施工者によると、この木橋の主桁と床組の腐朽は、架設後4,5年経過時にすでに確認されていたという情報もある。

架け替え時に、この腐朽した主桁から繊維方向に約70mmの大きさの材料が2体切り取られた。これらは直ちに当センターに持ち込まれ、木材保存剤が加圧注入された主桁が、予想以上に短期間に腐朽した原因について調査を依頼された。

そこで、腐朽を引き起こした木材腐朽菌を単離し同定すると共に、その菌の持つ木材分解力や木材保存剤への耐性の有無について試験を行った。さらに、木材保存剤の主桁への浸潤状況もふまえて、腐朽原因を考察したので報告する。

なお、本報告の一部は、(社)日本木材保存協会第25回年次大会(2009年5月・東京)にて口頭発表した。

2. 材料と方法

2.1 取り壊された木橋

この木橋の構造は、床版とその下の主桁と床組から成っている。図1に架け替え時の様子を示した。床版を取り外したところ、図中に矢印で示すように、主桁や床組の上部と側面の一部に木材腐朽菌の付着が認められた。8年間の使用で主桁と床組は著しく腐朽したが、公園管理者によると、ボンゴシ (*Lophia alata* Banks ex Gaertn アゾベ、エッキとも呼ぶ。) で作られた床版の劣化は目立たなかったという。

また、図2には、主桁から切断され当センターに持ち込まれた材料を示した。この主桁は、断面の寸法が縦約240mm、横約160mmの大断面集成材で作られており、樹種はペイマツ (*Pseudotsuga menziesii* Franco) で主に心材部分が使用されていた。ラミナの段階で第四級アンモニウム化合物系(以降AAC系と称す)木材保存剤が加圧注入され、乾燥後集成加工がされていた。図2から明らかのように、主桁は主に上部が腐朽していた。床版の隙間から雨水が浸入し、主桁の上部では含水率の高い状態が継続していたと推定された。

2.2 木材腐朽菌の単離と同定

シャーレ内の寒天培地に、殺菌したピンセットや柄付け針を用いて、持ち込まれた材料の腐朽部位から少量の木片を採取して植え付け、27℃で培養を行った。寒天

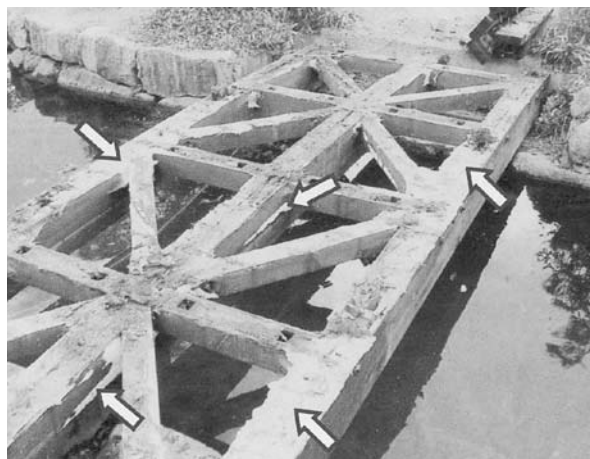


図1 床版を取り外した後の主桁と床組の様子
矢印は木材腐朽菌の菌体を示す。

Fig.1 Horizontal wooden beams after removing floor boards.

Note: Arrows show the fungus bodies covering wooden beams.

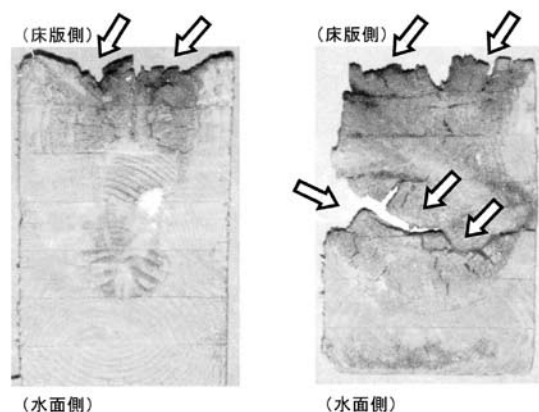


図2 主桁の横断面 (矢印は腐朽部位を示す。)

Fig.2 Transverse sections of the cross beams.

Note: Arrows show the decayed portions.

培地には、栄養源となるグルコース1%、ペプトン0.3%およびマルトエキス1%を添加して、オートクレーブによって殺菌し、その後かびと細菌の生育抑制のためにペノミルおよびストレプトマイシンを各100ppm添加した。

寒天培地上に生育した微生物を顕微鏡で観察し、クランプを有する等、担子菌の特徴を持つ菌糸を見つけ、上述した寒天培地に再度植え付ける作業を2回繰り返した。単離された木材腐朽菌の中には、菌糸が黄色を帯びる



図3 材料の表面を覆った木材腐朽菌

Fig.3 Fungus bodies covering the surface of a part of the cross beam.

ものと、白色のものがあつた。対峙培養の結果、両者は和合したため同一株の可能性が高かつたが、念のため、前者を①、後者を②として、別々の菌として取り扱つた。

菌種のDNA分析による同定は、ITS-5.8S rDNA塩基配列で行つた。相同性検索および簡易分子系統解析は、国際塩基配列データベース (GenBank/DDBJ/EMBL) により実施した。

また、単離作業後の材料は、蓋付きの大型のプラスチック製の容器に入れ、20℃下で、時々給水しながら保管したところ、約3年後に、図3に示すように材料の表面は生育した木材腐朽菌で覆れ、腐朽はさらに進行した。これを森林総合研究所関西支所の服部力氏の元に持ち込

み、肉眼および顕微鏡観察による菌体の形態からの同定を依頼した。

2.3 単離された菌の木材分解力および木材保存剤への耐性

供試菌として、単離された木材腐朽菌、および比較のために、オオウズラタケ (*Fomitopsis palustris* (Berket Curt.) Gilbn.& Ryv., FFPRI 0507) およびカワラタケ (*Trametes versicolor* (L.:Fr.) Pilát FFPRI 1030) を用いた。単離された菌①と②は、対峙培養で和合し、さらに3.1で述べるように、DNA同定および形態観察においても同一菌と判定されたので、2.3では菌①を使用することとした。

供試木材は、この木橋の主桁と同じ樹種であるベイマツの辺材と心材、および比較のためにスギ (*Cryptomeria japonica* D.Don) 辺材とし、健全で未使用の材料から、木口断面20×20mm、繊維方向10mmの試験体を切り出した。菌の持つ木材分解力を調べる際には、これら3材料を無処理で使用した。また、菌の木材保存剤への耐性を確認する際には、薬剤処理を行ったベイマツ心材とスギ辺材を使用した。試験体数はいずれの条件も12体ずつとした。

木材保存剤は、木橋の主桁に使用されていたのと同じAAC系木材保存剤 (商品名：ペンタキユアニューBM ((株) ザイエンス製)) を用いた。注入液は、この主桁の製造時に使用されたのと同じ濃度、すなわち製材の日本農林規格のK4基準を満たすための作業液 (AAC濃度1.3%) と、その1/2、1/4、1/8の濃度の4種類とした。

表1 供試した木材試験体のAAC吸収量

Table 1 Retention of AAC (alkylammonium compound) in the specimens.

注入液 Solution impregnated (商品名：ペンタキ ユアニューBM)	ベイマツ心材 Douglas fir (heartwood)		スギ辺材 Sugi (sapwood)	
	薬液の注入量 Impregnation of solution (kg/m ³)	AACの吸収量 Retention of AAC (kg/m ³)	薬液の注入量 Impregnation of solution (kg/m ³)	AACの吸収量 Retention of AAC (kg/m ³)
K4作業液 (a) Solution for JAS K4	658	8.6	829	10.8
(a) の1/2希釈 1/2 delution of (a)	657	4.3	813	5.3
(a) の1/4希釈 1/4 delution of (a)	655	2.1	818	2.7
(a) の1/8希釈 1/8 delution of (a)	667	1.1	818	1.3

希釈には脱イオン水を使用した。注入操作は、ペイマツ心材が難注入性であることを考慮し、試験体を注入液に沈めた状態で、70hPaの減圧を1時間、その後0.98MPaの加圧を2時間とし、さらに試験体を液中に沈めた状態で1晩放置し、飽水状態とした。表1に注入量と注入液の濃度から算出されたAACの吸収量を示す。注入後の試験体は、20日間室内にて風乾させ、耐候操作を実施せずに抗菌操作（腐朽操作）に供した。

抗菌操作は、JIS K 1571に準拠して実施した。すなわち、900ml容のガラス製の広口ビンに、珪砂、培養液、ブナ木粉およびプラスチック製の網を入れ、振とう培養した菌を注ぎ、菌糸が培養基中に十分に繁茂した時に、無菌状態の試験体を1ビンに3個ずつ入れた。温度27℃、湿度75%の恒温恒湿室にて12週間培養した後、試験体をビンから取り出した。菌の木材分解力および薬剤耐性の有無は、抗菌操作前後の試験体の60℃恒量から算出した質量減少率により判定した。なお、抗菌操作中、オオウズラタケに対しては、通気性を向上させたふたを使用した。

2.4 主桁内部への薬剤の浸潤状況

持ち込まれた材料の横断面を平滑にし、製材の日本農林規格に記載の方法で、すなわちプロモフェノールブルーを用いた呈色反応によりAACの浸潤度を確認すると共に、呈色が認められた8カ所から分析用試料を20×20×10mmの大きさに採取し、AACの吸収量を定量した。この分析は、(株)ザイエンスに依頼した。

3. 結果と考察

3.1 木材腐朽菌の単離と同定

単離された木材腐朽菌①と②は、DNA分析によりいずれも *Antrodia xantha*、*Antrodia sitchensis* あるいはその近縁種と判定された。*A. xantha*との相同率も*A. sitchensis*との相同率もともに98%以上であった。得られた系統樹を図4および5に示す。また、菌体の肉眼観察および光学顕微鏡による組織観察から、単離された菌①と②はいずれも*A. xantha*と同定された。*A. xantha*の和名は、チョークアナタケである。

以上より、腐朽の原因となった菌はチョークアナタケと確定された。

3.2 単離された菌の木材分解力

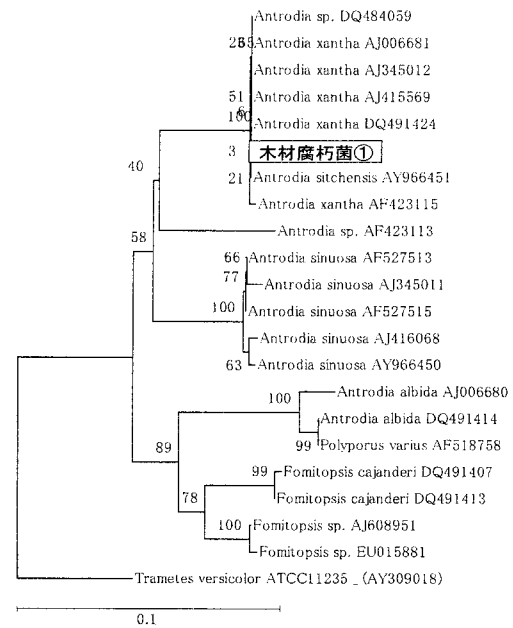


図4 木材腐朽菌①のITS-5.8S rDNAの塩基配列を用いた分子系統樹（左下の線はスケールバー、系統枝の分枝に位置する数字はブートストラップ値を示す。）

Fig.4 Dendrogram based on ITS-5.8S rDNA of the isolated fungus ①.

Note: Bar shows distance, and figures at breeches show bootstraps.

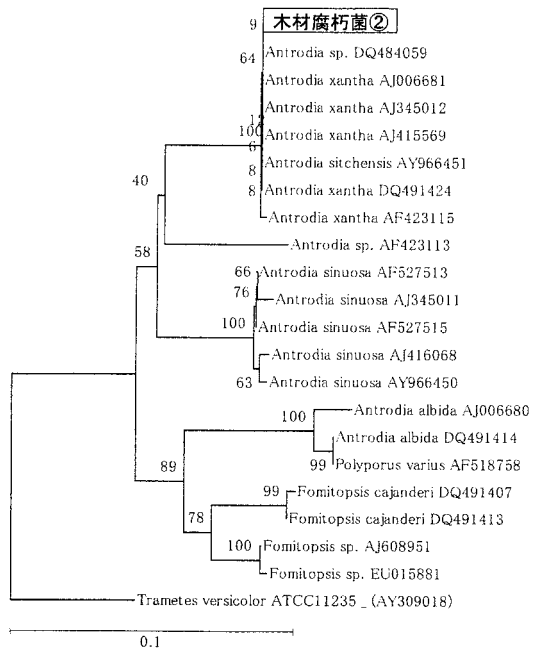


図5 木材腐朽菌②のITS-5.8S rDNAの塩基配列を用いた分子系統樹（左下の線は、スケールバー、系統枝の分枝に位置する数字はブートストラップ値を示す。）

Fig.5 Dendrogram based on ITS-5.8S rDNA of the isolated fungus ②.

Note: Bar shows distance, and figures at breeches show bootstraps.

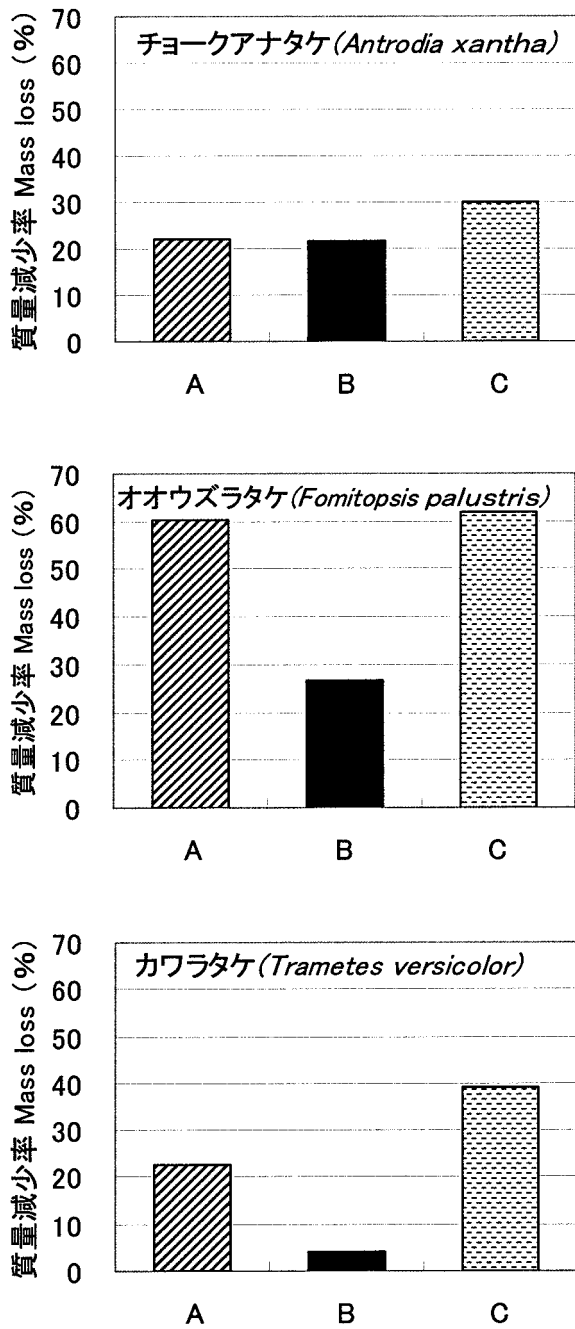


図6 無処理試験体の腐朽による質量減少率
 A: ベイマツ辺材, B: ベイマツ心材, C: スギ辺材
 (JIS K 1571準拠: 試験体の大きさ20×20×10mm, 腐朽期間12週間)

Fig.6 Mass losses of untreated specimens caused by three types of decay fungi.
 A: Douglas fir (sapwood), B: Douglas fir (heartwood), C: Sugi (sapwood)
 (Method: JIS K 1571:2004, size of specimens: 20×20×10mm, exposed period: 12 weeks)

チョークアナタケの菌糸の成長速度は、オオウズラタケやカワラタケに比べて2~3倍遅かったが、いずれの無処理試験体も、抗菌操作開始後約2週間で、チョークアナタケの菌糸によって全面を覆われた。

図6では、無処理試験体の腐朽による質量減少率を供菌ごとに示した。質量減少率は培養時の温度やビン内の通気性等、培養条件によっても変化することから、ここでは、ベイマツ辺材と心材の質量減少率の比較から菌の持つ木材分解力について考察を行うことにした。

図6に示されるように、オオウズラタケおよびカワラタケでは、ベイマツ心材はベイマツ辺材よりも質量減少率が小さく、特に、カワラタケでその傾向が顕著であった。これは、ベイマツ心材がオオウズラタケやカワラタケに対して有効な抗菌成分を持ちあわせているためと考えられる。既往の研究においても同様の結果が得られており、ベイマツ心材の耐朽性は「中」に区分されてきた⁴⁻⁶⁾。一方、チョークアナタケについては、ベイマツ辺材と心材の質量減少率はほぼ同じであった。このことから、ベイマツの心材成分はチョークアナタケに対して抵抗力が低いことが明らかになった。

3.3 単離された菌の木材保存剤への耐性

薬剤で処理された試験体について、腐朽による質量減少率を表2に示した。

木橋の主桁に使用されていたAAC系木材保存剤は、オオウズラタケ、カワラタケのみならず、単離されたチョークアナタケに対しても優れた防腐効力を有した。K4作業液の1/8希釈液で処理されたベイマツ心材に対しても、すなわちAACの吸収量が1.1kg/m³の場合でも、チョークアナタケによる質量減少は生じなかった。

以上から、腐朽した木橋の主桁には、ラミナの段階でK4作業液が加圧注入されていたにもかかわらず、薬剤が十分に浸潤していなかった可能性が示唆された。

3.4 主桁内部への薬剤の浸潤状況

持ち込まれた材料の横断面でAACの呈色反応を行ったところ、図7に示すように、矢印の位置でわずかに呈色が見られたが、その他の多くの部分において呈色は認められなかった。また、呈色がみられた8カ所で定量分析を実施したところ、吸収量はいずれも0.5kg/m³以下であった。この分析方法では、無処理のベイマツ心材においても0.3kg/m³程度の数値が得られることから、この主桁へのAACの浸潤はほとんどなかったと考えられた。

表2 AAC系木材保存剤で処理された木材の質量減少率

(JIS K 1571準拠：試験体の大きさ20×20×10mm、腐朽期間12週間)

Table 2 Mass losses of AAC treated specimens caused by three types of decay fungi.
(Method : JIS K 1571:2004, size of specimens : 20×20×10mm, exposed period : 12weeks)

注入液 Solution impregnated (商品名：ペンタキ ュアニューBM)	チョークアナタケ <i>Antrodia xantha</i>		オオウズラタケ <i>Fomitopsis palustris</i>		カワラタケ <i>Trametes versicolor</i>	
	ベイマツ心材	スギ辺材	ベイマツ心材	スギ辺材	ベイマツ心材	スギ辺材
	Douglas fir (heartwood)	Sugi (sapwood)	Douglas fir (heartwood)	Sugi (sapwood)	Douglas fir (heartwood)	Sugi (sapwood)
K4作業液 (a)	0.0	0.0	0.3	0.1	1.1	1.2
Solution for JAS K4 (a) の1/2希釈	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	0.8
1/2 delution of (a)	0.0	0.0	1.3	0.0	0.8	0.4
(a) の1/4希釈	0.0	0.0	4.9	0.1	0.6	12.3
1/4 delution of (a)	0.0	0.0	26.9	62.1	4.1	39.3
(a) の1/8希釈	21.7	30.1	26.9	62.1	4.1	39.3
1/8 delution of (a)	21.7	30.1	26.9	62.1	4.1	39.3
無処理 Untreated	21.7	30.1	26.9	62.1	4.1	39.3

(%)

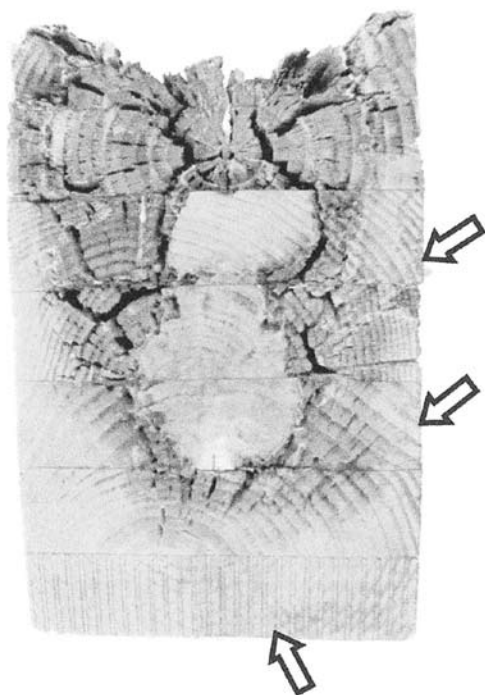


図7 AACの浸潤状況

矢印は、わずかに青色に呈色した部位を示す。

Fig.7 Penetration of AAC at the transverse section of decaying cross beam.

Note: Arrows show the penetrating area detected by blue-color staining.

ベイマツ心材は、薬液の注入性が悪い樹種として知られている⁷⁻⁹⁾。この集成材の主桁の場合、ラミナの段階で注入処理がされたために、接着前のラミナ表面のプレーナ切削や集成後の表面切削により、薬液浸潤部の多くが失われた可能性が高い。

4. まとめ

今回の一連の検討から、この木橋の主桁が短期間に腐朽したのは、ベイマツ心材を辺材と同じ程度に分解できるチョークアナタケに攻撃されたことと、木材保存剤の浸潤が不良であったことが原因であると結論づけられた。

腐朽し取り壊された木橋の跡には、水面から数百mm高い位置に、同様の材料で同じ構造をした木橋が新設され、現在、すでに約4年が経過している。最近のレジストグラフによる調査で、主桁にはすでに腐朽の疑いのある部位も見つかっている。

先代の木橋の主桁の腐朽原因が解明されたことから、今後の補修や架け替えにあたっては、雨水が浸入し停留しないような構造にするとともに、材料を適正に選択し、薬液の浸潤量を確保する工夫が必要である。

5. 謝辞

菌体の形態観察による同定を実施して頂きました森林総合研究所関西支所の服部力氏に、また、薬剤の提供と主桁の呈色反応および吸収量の定量分析をして頂きました(株)サイエンスの技術開発部の方々に感謝致します。

6. 引用文献

- 1) 鈴木憲太郎, 軽部正彦, 宮武敦, 加藤英雄: ポンゴシ材を使った公園用木橋の落下について. 木材工業, 55, 78-81 (2000)
- 2) 藤田和彦, 軽部正彦, 宮武敦, 渡辺浩: 13年で架け替えられた木橋の経緯と履歴. 木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 3, 127-132 (2004)
- 3) 伊藤良介, 堀沢栄, 佐々木貴信, 瀧内浩, 渡辺 浩, 土居修一: ポンゴシ木橋から分離された菌による耐朽性試験. 木材工業, 57, 343-346 (2002)
- 4) (社) 日本木材保存協会編: 木材保存学. 東京, 文教出版, 1982, 65-67.
- 5) 屋我嗣良ら編: 木材科学講座12保存・耐久性. 大津, 海青社, 1997, 79-82.
- 6) (社) 日本木材保存協会編: 木材保存学入門改訂2版. 東京, 株式会社大應, 2005, 48-49.
- 7) (社) 日本木材保存協会編: 木材保存学. 東京, 文教出版, 1982, 192-199.
- 8) 屋我嗣良ら編: 木材科学講座12保存・耐久性. 大津, 海青社, 1997, 131-134.
- 9) (社) 日本木材保存協会編: 木材保存学入門改訂2版. 東京, 株式会社大應, 2005, 128-129.

(2010年3月1日受理)

