

日米の技術融合による木橋の耐久性

Durability of four timber bridges constructed through technology integration between Japan and U.S.

○飯村 豊

IIMURA Yutaka

博（農） 宮崎県木材利用技術センター （〒885-0037 都城市花線町 21-2）

ABSTRACT During the decade of the 1990s, more than 30 timber bridges were built across Japan using timber bridge building technology imported from the United States. Those bridges were initially assembled with all the imported components in the US specifications. With the increased construction of those bridges, however, owners' requests for a traditional Japanese bridge style were increasingly reflected in bridge railings (hand rails) in the Japanese specifications. In this paper, three timber bridges in service over 10 years and one bridge over 7 years are discussed on their performance with focus on the durability of the main structure, floor and railing as well as on their design, materials used and processing including preservative treatment. It is concluded that the bridges in the US specifications showed good performance, while those incorporating Japanese style have some challenges in bridge railings.

Keywords : 技術融合、高欄、耐久性、システム設計

integration of engineering, hand rail, durability, system design

はじめに

1989年から1990年代の10年余りの間に日本各地で米国ティンバーブリッジ技術を導入した木橋が相次いで建設された。当時、三井木材工業（株）に在籍していた筆者は、それら木橋の建設のほとんどに携わった。当初は米国仕様のキット部材を組み立てるものであったが、実績が増えるに従い発注者側などの要望から高欄などは10年耐用を目標に日本の技術で製作された。さらに、両国の法規制の違いを解消するために保存剤が新仕様に代わるなど、それら木橋の仕様は次第に日米双方の技術を取り入れた融合仕様へと進化していった。最近では供用後10年を経過するものが増え、融合仕様の結果が出始めている。そこで本稿では、今年になって実地調査を行った4つの事例を対象に主構造、床版、高欄の3部位について耐久性の視点から改めて整理してみた。また、設計法、使用材料、保存処理を含む加工法についても一覧表にまとめている。調査の結果、米国の伝統的な技術仕様に日本が求める景観対応の設計を織り込んだ融合仕様の木橋は、設計時に狙った通りの耐久性を示していた。ただ、日本の伝統的なデザインを取り入れた高欄は目標とする10年の構造耐久性を確保したものの、より長期の耐久性を担保するには改善の余地があることも分かった。

1. 背景と目的

このところ土木学会の木橋に関する論文発表で木橋の劣化を取り上げる機会が増えている。日本の近代木橋は1990年代から米国ティンバーブリッジ技術など海外技術を導入して建設されるケースが多くなり、実績が増えるに従い発注者側などからの要望で高欄などに日本の技術を取り入れる例が多くなった。そうした木橋の中には供用後10年を経過するものも出てきた。

ここでは、米国のティンバーブリッジ技術と国産技術を取り入れて建設され供用後10年を経過

した「真玉橋（仮称）」、「筑紫野市木橋（1）（仮称）」、「筑紫野市木橋（2）（仮称）」、および比較検討のために7年経過後の「やまぶき橋」を加えて劣化度を調べ、日米融合仕様の結果を分析して問題点を整理することで現在供用中の木橋（すべて国産技術によるものを含む）の維持管理に役立てるのが目的である。

2. 米国と日本の技術融合

日米双方の技術を取り入れた木橋づくりが1980年代後半から活発となる背景には、景観を配慮した土木構造物づくりが進む中、特に公園整備の一環として建設される橋には自然素材が好ましいとする木橋志向の高まりがあった。しかし当時は、国内土木仕様による木橋基準として、昭和15年(1940年)11月に内務省から発布され、伝統木造をベースとする「木道路橋設計示方書案」が存在するのみであった。

そうした中、景観に馴染みしかも耐久性も伴う木橋へのニーズに的確に応えるために必要となる設計・施工技術は未整備であったことから、豊富な実績を持つ米国西海岸のティンバーブリッジ技術を材料輸入も含めて新たに導入し、国内に普及させるのが合理的との判断が働いた。実際の技術導入に伴う活動は、現代日本の土木システムに即応できる市場性のある木橋づくりを目指す必要から意匠・構造設計、使用材料、加工法、維持管理法を日米間で総合的にバランスさせる融合仕様づくりが中心となった。

木材の良さを生かし、接触性を考慮して木材のテクスチャーを引き出しながら現代のニーズを満足させるのは大変な難題となる。米国では木橋を設計するに当たり、先ず木橋に要求される性能を分析した後、その性能を満たすために製材や集成材などの使用材料の特性を見極め、耐久性向上技術を選定してそれらをバランス良く設計に反映させる。具体的には、機能維持期間、架設場所の気候、風雨に対する木材部分の曝され方、接合部での通風性や水の滞留の有無、そしてメンテナンスができるディテールであるか否かなどを整理する。それが済むと、それらの条件に合った材料、接合法、加工法、架設法、管理方法などを総合的に検討する。その上で保存対策を選定しながら、部位と使用期間の年数を定め、構造面、意匠面、感触など、担保する期間と内容を製品仕様と構造計算に基づいた図面（施工図）に織り込む。

参考までに、耐久性に差が出た例として、日本と米国で1984年に架設された二つの木橋を比較してみたい。日本の例は、東京都下に架設され、1998年（昭和59年）に床版他取り替え補修工事が施された桧製の木橋（写真1、2参照）。米国の例は、オレゴン州ポートランドのWestern Wood Structures, Inc.（以下WWS）がフロリダ州オーランドのデズニー・ワールド内に1984年にベイマツ集成材を用いて架設した歩道橋（以下オーランド橋）である（写真3、4参照）。オーランド橋は、1998年当時の木構造設計基準に基づいて設計・製作・施工されている。両者の差は写真1,2と写真3,4で見るとように歴然としている。日本では床版や高欄支柱などの交換が必要となったが、米国では50年の耐久性能を前提に設計・製作・施工されたこともあり35年先まで現状のまま使用可能だという。オーランド橋の環境は、東京と比べ木橋に適しているとは言いがたいにもかかわらず、長持ちしているのである¹⁾。

この日米の差を説明するため、昭和15年の「木道路橋設計示方書案」と1980年代にWWSが使用していた設計法との比較を表1に示した。米国の設計で重要なことは、

木材も他の土木材料と同様に扱うとしたうえで、コスト面から流通品（一般材）を最優先していることである。このことは標準化につながり、結果的にオープンシステムの技術ノウハウが蓄積され、設計者にも分かり易く管理者にも利用し易くなる。

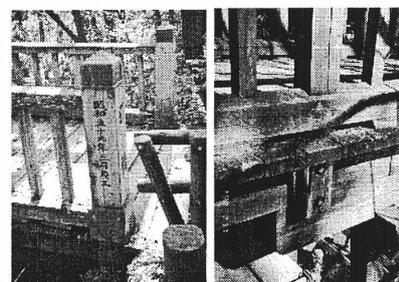


写真 1.2 補修工事前の桧製木橋

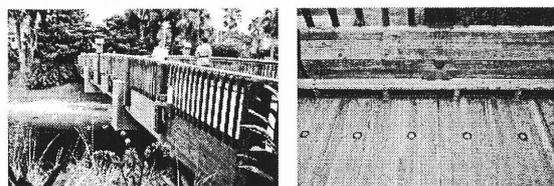


写真 3.4 供用後14年経過のオーランド橋

図1は、WWSが木橋の耐久品質を明示した5年間の保証書である。保証書には、保証の内容が具体的に示されており、保証対象については無料で交換することを発注者に約束している。一方、干割れや割れは通常の乾燥に起因する場合は免責である。

3. 技術融合による木橋の実績

表2は、日米双方の技術を取り入れた最初の木橋で1989年に建設された「鷹匠橋」から始まる木橋の実績を示したものであり、設計施工の国内技術資料出版年月も併せて載せている。「鷹匠橋」と「みどりのかけ橋」は、米国の標準仕様やディテールを基本に日本のデザインや設計条件を織り込んだ上で米国のキット商品として全部材を輸入し、完成している。第3橋目の「用倉大橋」は長大橋になることからディテールを始め構造設計法を中心に日米の技術融合が本格化した。これを機に、木橋は進化の道を辿ることとなる。木橋の建設が各地で増えるにしたがい、1995年1月には、(財)日本住宅木材技術センターから木橋設計施工の手引き「木橋づくり新時代」が出版され、2003年10月にも、(財)国土技術研究センターから木歩道橋設計・施工に関する技術資料が出版された。現代のニーズに合った木橋が市場で認知されたことを物語る。

純国産の木橋づくりも進む今日、日米の両技術を用いた木橋が示した耐久性について概要を整理するため、4橋(第9、20、21、32橋)を調査した。

4. 事例1. 真玉橋(仮称)

調査時までの経緯

大分県の河川課(高田土木事務所)は、1994年2月に、建設省所管真玉川局部改良事業と地方特定河川等環境整備事業による豊後高田市真玉町湯前の河川公園整備の一環として真玉川に橋長30m、幅員2.5mの木製斜張橋(真玉橋(仮称))を架設している(図2参照)。真玉橋は、「水と遊ぶやすらぎと心のふるさと真玉」をテーマにした“まちづくり”の下に、潤いのある快適な空間を創造し真玉川を“ふるさとの川”に蘇らせ、景観再形成の視点から木造とすることになった。

表1 昭和15年版日本道路橋設計示方書案と米国現行設計法の比較と米国の特徴

	日本木道橋設計示方書案	米国現行設計法	米国の特徴
曲げ許容応力度(長期)	90kg/cm ² (8.82MPa) (針葉樹として一律)	145kg/cm ² (14.21MPa) (ベイマツ集成材JAS1級同等)	強度等級による材料性能が明確 コスト面から流通品を選定
ヤング係数	100,000kg/cm ² (9.8GPa) (針葉樹として一律)	110,000kg/cm ² (10.78GPa) (ベイマツ集成材JAS1級同等)	ラミナの機械区分が発達 工業製品のため品質が安定
たわみ	1/300 (単純桁の場合)	1/400(死荷重時) 1/600(活荷重時)	理論との差が小さくなる
ボルトの径	16mm以上 (中小断面を想定)	19mm以上を基本としている (大断面を想定)	木材加工具類の整備が進む
ボルトのガタ	記述なし	使い分け (例:0~3mm)	接合法を標準化 加工精度の向上
キャンパー量	死荷重と活荷重のたわみ量	設計時に決める (例:死荷重の1.5倍など)	クリープたわみの加算
部材の寸法	中小サイズを想定 (主構造は100cm ² 以上の断面)	主に長大材を選定 (部材数を減らす)	大断面の集成材が主流 標準寸法を優先的に利用
耐用年数	10年程度を目安としている	10年以上の性能担保 (耐久設計法を採用)	木橋も他構造と同じ 50年耐用を目標
防腐、防腐剤	なるべく防腐処理をすること (耐用年数が不明確)	用途と要求性能により使い分け (防腐実績評価により選択)	防腐剤の種類が増加 (木材外部使用の基準類が有る)
維持管理	記述なし	点検マニュアルを使用 (実績評価を参考)	点検、補修の実績が多い

WESTERN WOOD STRUCTURES, INC.
5年間保証

当社は下記に記載のWestern Wood Structures (WWS) 製木橋に重大かつ製造上の欠陥が無いことを保証する。本橋は発注者に提供したWWSの施工図に明記された製品仕様とエンジニアリング計算に従っている。

名称: _____ 住所: _____
 発注者: _____ 住所: _____
 WWSI ジョブNo.: _____ 完成年月日: _____

当社は、WWS製木橋の完成から5年間、虫害または腐朽を原因とした劣化が起こらないことを保証する。劣化が発生した場合、WWSは必要な取替部品を発注者に無料で支給し、据え付ける。

条 件

1. 本保証は通常の乾燥による干割れおよび(または)割れが発生した鋸引き仕上げ材や集成材部材の取替には適用しない。
2. 本保証は物理的誤用、暴風、稲妻、ひょう、その他災害で橋に生じたいかなる損害にも適用しない。
3. WWSは風雨や一般的な使用による通常の摩耗により橋に発生する結果損害の責任を負わない。
4. WWSが具体的に文書で指示した場合を除き、改造や追加または補修(一時的な緊急修理を除く)を施した場合、責任を負わない。
5. 材料または出来栄上の欠陥に対するいかなるクレームも発見から15日以内に下記住所宛WWSに書面で通知しなければならない。
6. 本保証は当該物件に関わる未払い代金をWWSに全額支払った場合にのみ有効となる。

Western Wood Structures, Inc.
 BY: _____
 WESTERN WOOD STRUCTURES TREASURER

図1 WWSの保証書

表 2 日米の技術融合による木橋の実績と木橋の設計施工の国内技術資料出版年月

No.	年	月	施工場所	橋名	橋の形式	橋長×幅(m)	橋種	用途	選定理由	薬剤	樹種	仕様	設計	製作
1	1989	6	千葉県	鷹匠橋	単純桁橋	18.0×3.4	歩道	河川	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
2	1991	2	神奈川県	みどりのかけ橋	斜張橋	53.0×2.0	歩道	河川	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
3	1992	7	広島県	用倉大橋	斜張橋	145.0×5.0	車道	道路	地域材利用	PCP	ベイツ・アカマツ・スギ	土木	日・米	米・日
4	1993	3	広島県	広草田橋	単純桁橋	11.0×5.0	車道	道路	地域材利用	PCP	ベイツ・アカマツ・スギ	土木	日・米	米・日
5	1993	3	広島県	善入寺橋	連続桁橋	22.0×5.0	車道	道路	地域材利用	PCP	ベイツ・アカマツ・スギ	土木	日・米	米・日
6	1993	6	愛知県	鼎小橋	単純桁橋	22.8×2.0	人道	河川	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
7	1993	8	広島県	中央橋	上路アーチ橋	38.0×5.0	車道	道路	地域材利用	PCP	ベイツ・アカマツ・スギ	土木	日・米	米・日
8	1994	1	神奈川県	小田原木橋(仮称)	桁橋	10.0×2.0	歩道	河川	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
9	1994	2	大分県	真玉橋(仮称)	斜張橋	30.0×2.5	歩道	河川	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
10	1994	3	北海道	千樹橋	単純桁橋	32.5×3.0	歩道	河川	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
11	1994	11	東京都	ふれあい橋	吊り橋	19.5×4.0	歩道	連絡	モデル橋	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
1995 1 木橋設計施工の手引き「木橋づくり新時代」(財)日本住宅木材技術センター編														
12	1995	4	愛知県	裁断橋	単純桁橋	23.0×4.3	歩道	河川	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
13	1995	4	愛知県	木精橋	上路トラス橋	36.0×3.0	歩道	道路	景観	PCP	ベイツ	土木	日・米	米
14	1996	2	栃木県	A棟 エトラスブリッジ(仮称)	中路トラス橋	10.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
15	1996	2	栃木県	B棟 エトラスブリッジ(仮称)	中路トラス橋	10.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
16	1996	2	栃木県	C棟 エトラスブリッジ(仮称)	中路トラス橋	10.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
17	1996	3	岡山県	ノースウイレッジ木橋(仮称)	斜張橋	72.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
18	1996	3	神奈川県	東山ふれあい橋	ポニーラス橋	15.2×3.0	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
19	1996	6	兵庫県	水尾橋	単純桁橋	10.0×5.0	歩道	河川	景観	PCP	ベイツ・ジャラ	土木	日・米	米・日
20	1997	6	福岡県	筑紫野木橋(2)(仮称)	桁橋	20.7×1.5	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
21	1997	6	福岡県	筑紫野木橋(1)(仮称)	桁橋	15.5×1.5	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
22	1998	8	山口県	白糸の滝木橋	下路アーチ橋	26.0×2.0	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
23	1998	12	北海道	公園橋	下路アーチ橋	42.0×3.0	歩道	河川	木材利用	PC	ベイツ	土木	日・米	米
24	1998	12	青森県	薬研溪流木橋(I)(仮称)	連続桁橋	13.0×2.0	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
25	1999	3	愛媛県	わんぱく橋	桁橋	25.0×5.0	歩道	河川	景観	PC	ベイツ・ジャラ	土木	日・米	米・日
26	1999	8	鹿児島県	霧島高原木橋(仮称)	桁橋	10.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ・イタジ	土木	日・米	米・日
27	1999	8	鹿児島県	霧島高原木橋(仮称)	桁橋	10.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ・イタジ	土木	日・米	米・日
28	1999	8	鹿児島県	霧島高原木橋(仮称)	桁橋	13.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ・イタジ	土木	日・米	米・日
29	1999	8	鹿児島県	霧島高原木橋(仮称)	桁橋	13.0×2.0	歩道	公園	景観	PC	ベイツ・イタジ	土木	日・米	米・日
30	2000	1	徳島県	あいあい橋	下路アーチ橋	45.6×3.7	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
31	2000	9	青森県	薬研溪流木橋(II)(仮称)	連続桁橋	20.0×2.0	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
32	2001	1	茨城県	やまぶき橋	下路アーチ橋	27.7×3.0	歩道	河川	景観	PC	ベイツ	土木	日・米	米
2003 10 木歩道橋設計・施工に関する技術資料(財)国土技術研究センター														

景観を重視する真玉橋は、日本の景観設計と米国のティンバークブリッジシステムを取り入れたものだ。融合仕様による設計耐用年数については、高欄などのアクセサリを10年で交換することを条件に、主構造の耐用年数は維持管理なしで10年、維持管理をした場合には50年を目標としていた。当時は木造橋に限らず橋梁全般の高欄交換時期は10年とされていた。

完成後14年を経過した2008年5月に、橋のタワー脚部、補剛桁接合部、支承部など構造部を中心に見たが、構造上問題となる箇所はなかった。1998年9月に点検、その後再塗装も実施されていた。日米の技術融合による木橋は計画通りの耐久性を示していた。

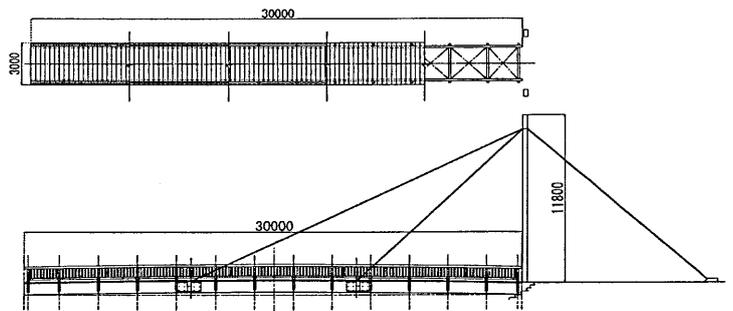


図 2 真玉橋の平立面図

融合仕様

真玉橋は融合仕様による斜張橋としては「みどりのかけ橋」、「用倉大橋」に継ぐ3橋目となり、両国で蓄積されたノウハウと実績に伴う経験が相乗的に発揮された。

主構造は、米国の新技術を新たに導入したものと、二つの斜張橋で培った技術をさらに進化させたもの大きく二つに分けられる。新技術の導入は、ベイツ集成材の骨組みだけによるタワーの剛性を確保するために、上下段の水平梁両端の仕口接合部にモーメントジョイントを可能にする特殊金具を挿入したことである。最初の斜張橋では上下段の水平梁の間に鋼製ブレスを入れていたが、真玉橋では景観重視の観点からブレスを必要としない構造としている(図3参照)。従来仕様の進化は、コンテナ輸送による補剛桁30mの3分割後の連結法に見られた。真玉橋の連結法は、「みどりのかけ橋」で経験した米国仕様のモーメント継ぎ手ではなく、2橋目の「用倉大橋」で新たに日本基準を採用したピン

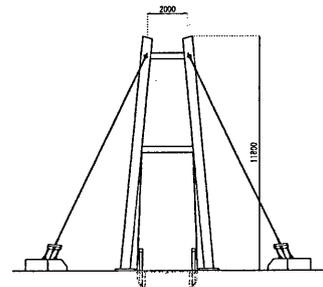


図 3 真玉橋正面図

公園とは異なり日常生活で体験できない原始体験や自然の中での遊びを中心とする「自然と、遊びと、体験と」を学ぶ野外教育活動の施設である。施設内にはキャンプ場、ログハウス、休憩棟、自然の家などがある。公園施設内を流れる宝満川に架かる両橋は、自然の地形や景観に溶け込むようなデザインを意図したもので、米国のティンバーブリッジシステムと日本の技術が用いられている。日米双方の技術による第20橋、第21橋の仕様は真玉橋と同様に高欄などのアクセサリは10年で交換することを条件に、主構造の耐用年数は維持管理なしで10年、維持管理をした場合には50年を目標としていた。

完成後10年を経過した2008年4月に、橋の全体や細部を見たが、構造上問題となる箇所は無かった。清掃や再塗装など、維持管理は実施された形跡が無いものの、当初の計画通りに耐久性は確保され、周辺環境にも溶け込んでいるようであった。

融合仕様

主構造は、自然らしさを演出しようということもあって、日本の伝統仕様に拘らず米国仕様の良さでもあるシンプルなデザインが採用されている。桁長が12mを超えることから桁継手は図7、8に示すような米国で一般的な鋼板挿入型とし、応力に併せてボルトを配列している(写真8参照)。キャンパー量などを決定する設計法も米国基準に従った²⁾。

床版は、断面65×420mm、長さ1752mmのベイマツ集成材である。床版の固定法も、桁側面にデッキクリップとボルトを用いて留め付ける米国仕様である(写真9参照)。

高欄は、支柱と横棧、笠木で構成され、部材数を最小化するシンプルなデザインとなっている。笠木には2橋共に天端に排水用の両勾配加工が施こされた(図9,10参照)。

耐久性向上技術は、従来の保存剤PCPをパーマクリア(Permaclear 65 略称PC)に変更、PCP処理時と同様に部材加工後にAWPA(American Wood Protection Association)基準の性能区分C1&P9による0.060lbs/f³(4.7kg/m³)量を注入している。PCPからパーマクリアへの変更は、日本のPCP規制強化を受けて、米国推薦の新仕様に代えたことによる。パーマクリアはナフテン酸亜鉛とペルメトリンを主成分としている。

主構造と床版、高欄支柱はインサイジング処理したが、笠木と横棧は無処理である。景観上、キシラデコールによって着色された。

外観調査

外観調査は筑紫野木橋(1)、(2)共に真玉橋で用いた維持管理マニュアルを参考に実施した。外観や接合部の様子から、両橋共に主構造と床版には問題になるようなところは見出せなかった(写真10,11参照)。高欄は10年仕様を目指したが、目標耐用年数を経過した今、笠木の天端には当初設計での狙いと異なる干割れ現象と子実体が発見された。木橋(1)、(2)の干割れの測定結果を表4、5に示す。木橋(1)で

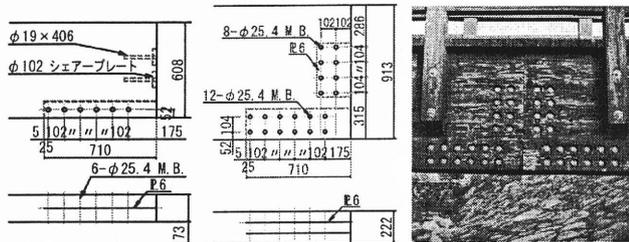


図7 木橋(1)継ぎ手 図8 木橋(2)継ぎ手 写真8 木橋(2)継ぎ手

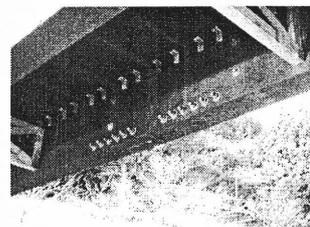


写真9 床版の固定法

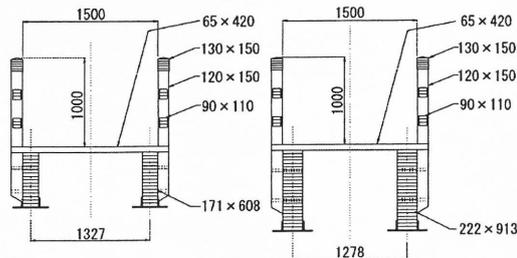


図9 木橋(1)断面図

図10 木橋(2)断面図

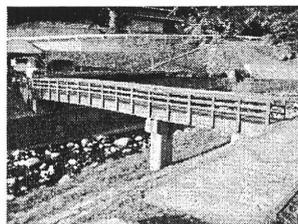


写真10 筑紫野木橋(1)

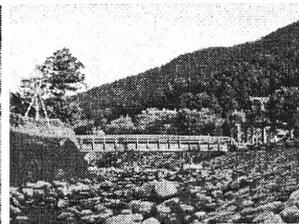


写真11 筑紫野木橋(2)

表4 木橋(1)の干割れ測定結果

断面	幅130mm×せい150mm		
長さ	7,500mm～7,735mm		
干割れの程度	5mm未満	5mm～25mm未満	25mm以上、貫通割れ
本数(本)	4	2	0
割合(%)	67%	33%	0%

表5 木橋(2)の干割れ測定結果

断面	幅170mm×せい150mm		
長さ	6,750mm～6,935mm		
干割れの程度	5mm未満	5mm～25mm未満	25mm以上、貫通割れ
本数(本)	4	1	1
割合(%)	67%	17%	17%

は、幅 130mm の笠木部材 (7500~7735mm 長さ)の天端には5mm未満の干割れが4部材、5~25mmの部材が2部材見つかった(写真12参照)。木橋(2)では、5mm未満の干割れが4部材、5~25mmの部材が1部材、25mm以上が1部材見つかった。

子実体は、木橋(1)、(2)共に、1部材から発見された(写真13参照)。

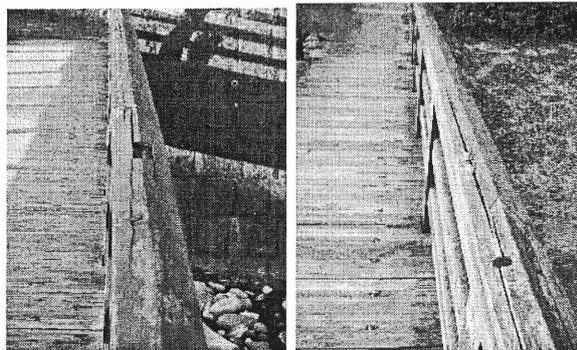


写真12 木橋(1) 笠木割れ 写真13 木橋(2) 笠木子実体

6. 事例4. やまぶき橋

調査時までの経緯

茨城県常陸太田土木事務所が2001年1月に茨城県常陸太田市を流れる源氏川に河川公園整備の一貫として橋長27.7m、幅員3.0mの下路アーチ橋「やまぶき橋」を架設している(図11参照)。この橋は、日米双方の技術によって完成した第32橋目である。真玉橋、筑紫野木橋と同じように高欄などのアクセサリは10年で交換することを条件に、構造耐用年数は維持管理なしで10年、維持管理をしながら50年を目標とする米国仕様であった(写真14参照)。

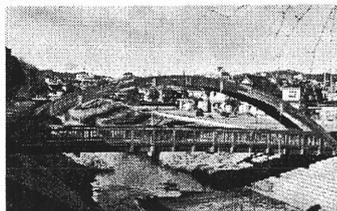


写真14 やまぶき橋

完成後7年を経過した2008年3月に、高欄を中心に調査した(図12参照)。10年経過前の状況を確認することで、10年を目標とした耐久性を整理するためである。清掃や再塗装など、維持管理は実施された形跡が無いが、このまま推移すれば筑紫野木橋と似た経緯を辿るものと容易に想像された(写真15参照)。

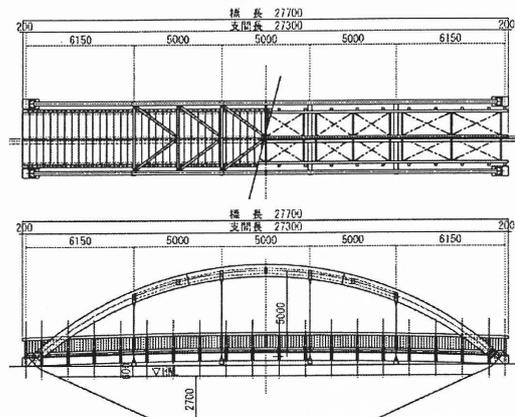


図11 やまぶき橋の平立面図

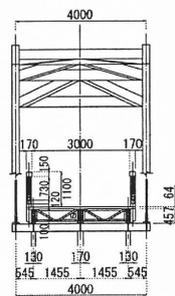


図12 断面図

融合仕様

主構造は米国の伝統仕様を守った。床版は、断面64×400mm、長さ3400mmのベイマツ集成材である。床版の固定も、デッキクリップとボルトを用い桁側面に留め付ける米国仕様である。

耐久性向上技術は、筑紫野木橋と同様に保存剤パーマクリアを部材加工後にAWPA基準の性能区分C1&P9による0.060lbs/f³(4.7kg/m³)量を注入している。主構造と床版、高欄支柱はインサイジング処理されているが、笠木と横棧、縦棧は無処理である。景観上、キシラデコールによって着色された。

外観調査

高欄笠木の干割れは、表6に示すように干割れが起きている部材が全て5mm未満で、数も少ないことがわかった(写真15参照)。

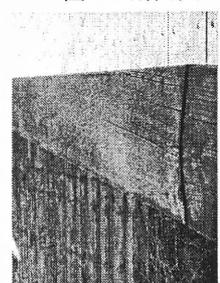


写真15 高欄笠木

7. 結果

日米の両技術を融合して日本向けに開発された景観対応の木橋は、1989年から次の10年間に日本各地で32橋建設された。その中で架設後10年を経過した3橋と8年目を迎える1橋の劣化度を今回調査した結果を以下のように整理した。

表6 やまぶき橋の干割れ測定結果

断面	幅170mm×せい150mm		
長さ	4,500mm~7,060mm		
干割れの程度	5mm未満	5mm~25mm未満	25mm以上、貫通割れ
本数(本)	10	0	0
割合(%)	100%	0%	0%

- ①米国の伝統的な技術仕様に日本が求める景観対応の設計を織り込んだ融合仕様の木橋は、主構造と床版では設計時に狙った通りの耐久性を示していた。
- ②景観重視の観点から日本の伝統的なデザインを取り入れた高欄、特に笠木は目標とする 10 年の構造耐久性を確保したものの、部材によっては予想以上に大きな干割れや子実体の発生も認められた。
- ③メラニティ 桎取りラミナを最外層に配置した新仕様異樹種集成材の笠木は、干割れ防止に効果的であると判断された。

8. おわりに

国産技術を採用した高欄笠木は目標とする 10 年の耐用年数を経過した今、干割れが発生し、腐朽も発見された。5mm を超えるような干割れや子実体が発生している高欄と発生していない主構造との耐久性の差は、米国 50 年耐用仕様の支柱勝ちのディテールを日本の伝統ともいえる笠木勝ちに変更したことで生まれたとも言える（写真 16,17 参照）。米国の高欄は、笠木を支柱天端に直接留めることは少ない。写真 16、17 に見るように、支柱の内側に横梁や地覆木をボルトで締め付けることを基本とし、水平材となる横梁や地覆木は湾曲材を用い、しかも材幅が広くなる場合は片勾配を大きく取るなど干割れ防止と雨水排水を断面設計時に工夫する。インサイジング処理もしない。

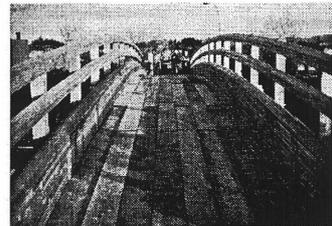
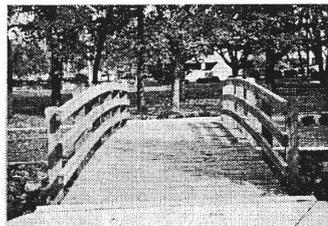


写真 14 米国木橋高欄事例(1) 写真 15 米国木橋高欄事例(2)

表 7 は、今回調査した 3 地域に加え、前述したフロリダ州オーランドの 4 地域の気象条件を示したものである。日本の 3 地域と比較すると、オーランドの気象条件は夏期に雨が多い日本と似た気候で月別最高気温は 33.0℃と大分より 5℃以上高い。その環境の中で、架設から 24 年が経過するオーランド橋は 50 年耐用を目標に大きな干割れもなくデズニー・ワールドに相応しい施設として供用され続けている。WWS によると、デズニー・ワールドからは年月の経過に伴い木橋の景観的な質が向上するエイジング効果も期待されたという。日本の景観木橋は高欄の耐久性をより長期に担保するためには改善の余地があることが分かったからには、今後は、企画・設計の段階で干割れ防止策を講じ、さらにはエイジング効果まで検討することが重要なのではないかと感じた³⁾。

表 7 木橋架設地域の気象条件

	大分県 豊後高田市	福岡県 筑紫野市	茨城県 常陸太田市	フロリダ州 オーランド
年平均気温	16.4℃	18.5℃	13.5℃	24℃
月別最高気温	28.1℃	27.9℃	26.3℃	33.0℃
月別最低気温	4.4℃	4.4℃	4.4℃	9.2℃
年降水量	1653mm	1999mm	902mm	1241mm
年積雪日数	0日	0日	8日	0日
標高	4.5m	34.2m	13.0m	6.1m

【謝辞】

日米双方の技術による木橋の開発・実用化に常に長期的な視点から指導いただいた米国 WWS のポール・ギャラン氏、故マーシャル・ターナー氏、日本では旧三井木材工業株式会社の小林辰美氏をはじめ多くの方々に指導いただいたことに感謝致します。

【引用・参考文献】

- 1) 飯村 豊：土木材料としての木質材（1）－材料選定の理由とプロセス－, JOURNAL OF TIMBER ENGINEERING, No.37, pp.2-7, 1992
- 2) 飯村豊, 小林辰美：単純桁木造橋の現状－新素材複合化への道－, 橋梁, Vol.31, No.1, pp.74-79, 1995
- 3) 橋高義典：エイジング 建築材料, 建築雑誌, vol.119, No.1524, pp.28-29, 2004