

劣化した木橋主桁の残存耐力に関する検討

Experimental study of load-carrying capacity for deteriorated lumber beam

渡辺 浩* 佐々木 貴信** 瀧内 浩***

WATANABE Hiroshi, SASAKI Takanobu and TAKIUCHI Hiroshi

*博(工) 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

**博(工) 秋田県立大学木材高度加工研究所 (〒106-0876 秋田県能代市海詠坂 11-1)

*** (株)コシイプレザービング (〒559-0026 大阪市住之江区平林北 2-9-145)

ABSTRACT For durability of timber bridges, it is extremely important to estimate ultimate strength and behavior of used and decayed element. Six lumbars used as main girders at two different bridges were obtained. Ultimate loading tests of them were carried out. Hardness, propagation velocity of ultrasonic and moisture content were measured at several points in order to estimate degree of deterioration. It seems that failure mode of ultimate loading tests could be expected by diagnosis for deterioration.

Keywords: 桁橋、古材、腐朽、終局耐力

beam bridge, used element, decay, ultimate strength

1 はじめに

集成材技術の進歩により、木材は大断面化や高信頼性など、従来には考えられなかった性能を持つようになった。このような技術的背景から、近年では木橋をはじめとする大規模木構造物を目にする事も珍しくなくなっている。またこれらの取り組みには、地域環境保全の観点からの地域産木材の利用拡大、また地球環境問題への対応のための低環境負荷素材へのシフトといった時代的背景もある。自然素材である木材の特性を活かして、歩道橋に木橋が採用される例も多い。このように木橋、大規模木構造物は時代の要請でもあり、今後もその事例は増加するものと考えられる。

かつての木橋が姿を消した理由のひとつに、耐久性が挙げられる。天然素材である木材には、腐朽と呼ばれる特有の劣化現象がある。腐朽は微生物の食害であるため、その劣化速度は設置される環境によって大きく異なる。しかしながら常時日光や風雨に曝される木橋の設置環境は木材にとっては過酷であり、かつては10数年で架け替えを余儀なくされる例も多かったようである。

これに対して最近架設された国産材を用いた木橋では、集成材の使用や優れた防腐技術により耐久性能の向上が期待されている。これまでのところ、それらはいずれも比較的新しいため、腐朽により深刻な劣化が生じたという報告はなされていないが、主構造材に木材を利用する以上、長期に渡って安全に供用し続けるためには長期使用による性能低下を把握することが必要である。ところが、実大材を対象にした腐朽劣化と強度の関係に関する研究はほとんど見られない。そこで本研究では、実際に木橋の主桁として長期間使用された部材を対象に終局載荷試験を行って残存耐力とその特徴を調べるとともに、各種点検器具による診断を行い、残存性能の推定・診断の可能性について検討した。

表-1 実橋と試験体の諸元

試験体名	A シリーズ	B シリーズ
採取橋	A 橋(秋田県)	B 橋(新潟県)
架設年	1949 年	1952 年
用途	道路橋(4t 制限)	道路橋
全長/径間数	20m/3 径間	110m/10 径間
部材採取年	1999 年	2003 年
樹種	スギ製材	ベイマツ製材
部材長	6450mm	9200mm
断面寸法	350H×260W	350H×350W
試験体数	3	3

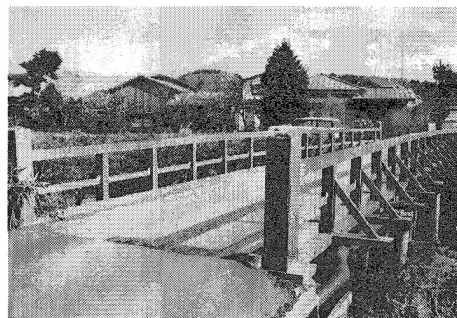


写真-1 A 橋の全景

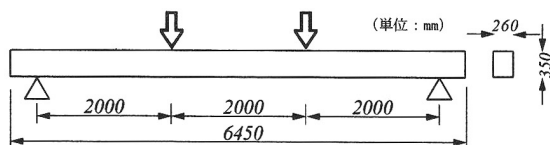


図-1 A 橋の実験载荷試験諸元

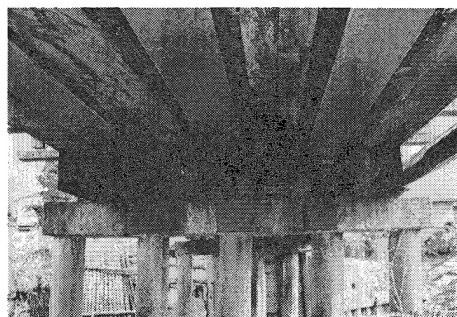


写真-2 A 橋の主桁

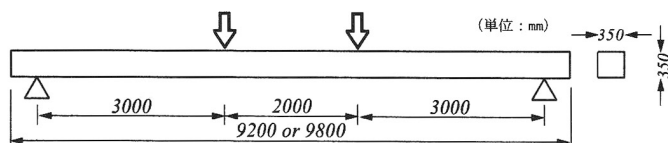


図-2 B 橋の実験载荷試験諸元



写真-3 B 橋の全景

2 試験体と载荷試験の概要

試験体は表-1 のように、秋田県下の A 橋、および新潟県下の B 橋で使用されていたものである。

A 橋は写真-1 のように都市郊外の河川をまたぐ道路橋で、昭和 24 年(1949 年)に架設され 1999 年に河川改修のため撤去された。1996 年頃の最後の改修で写真-2 のように鋼桁を挿入する等の大規模な改修がなされているが、その他にも幾度か補修を受けているようであり、試験体の部材が何年使用されていたかは明らかではない。路面も木製で桁材にも漏水の痕が多数見られ、腐朽も進行していた。

試験対象とした部材は全長 6450mm の 3 体で、これを支間 6000mm として図-1 のように 2 点で载荷した。断面は幅 260mm、高さ 350mm で、丸みは含まれない完全な矩形断面であったが、一部は腐朽により上部断面が大きく欠損しているものもあった。またこの部分に他の部材をあてて補修されているものもあったが、除去による部材の損傷を避けるためにこれを取り外さず試験を行った。

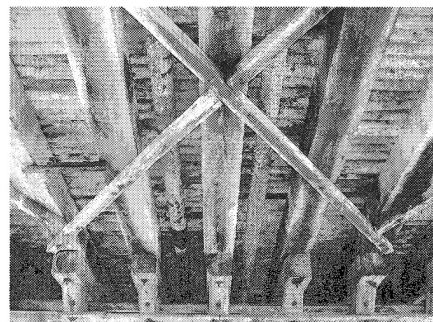
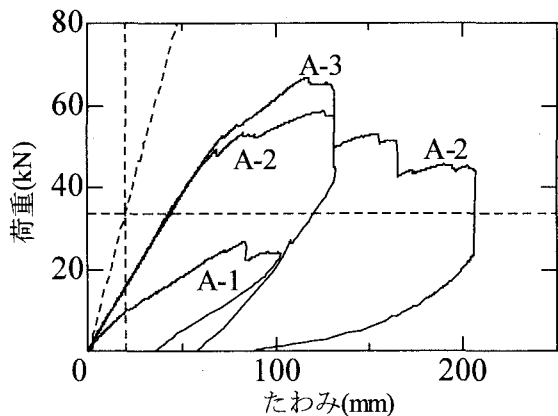


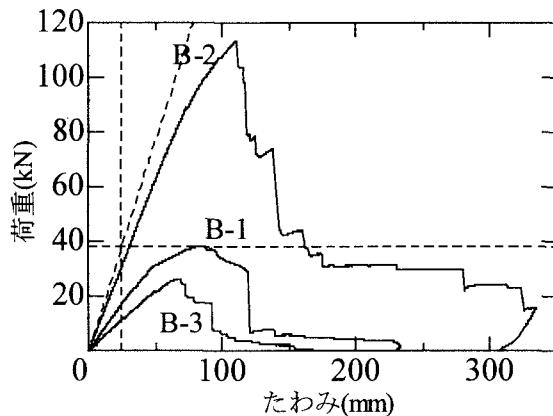
写真-4 B 橋の主桁

B 橋は昭和 27 年(1952 年)に架設され、現在も供用されている。写真-3 のように都市中心部に位置する道路橋であり、交通量も多い。改修の記録には交換された部材の数しか記載されてお



(点線は設計荷重・たわみ・剛性)

図-3 荷重-変位関係 (A シリーズ)



(点線は設計荷重・たわみ・剛性)

図-4 荷重-変位関係 (B シリーズ)

表-1 結果一覧

試験体		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
設計標準値*1	許容応力(N/mm ²)		9.0			11.4	
	設計ヤング係数(kN/mm ²)		7.0			12.0	
	最大荷重(kN)		35.3			38.0	
	たわみ(mm)		41.6			49.4	
試験結果	最大荷重 (kN)	24.1	53.0	66.8	38.3	113.4	26.3
	(設計標準値との比)	(0.72)	(1.58)	(2.00)	(1.01)	(2.98)	(0.69)
	最大荷重時たわみ (mm)	103	207	130	82.5	110.9	66.2
(設計標準値との比)	(5.23)	(10.50)	(6.60)	(3.34)	(4.49)	(2.68)	
	初期剛性 (kN/mm)*2	0.43	0.78	0.76	0.69	1.24	0.48
(設計標準値との比)	(0.26)	(0.46)	(0.45)	(0.45)	(0.81)	(0.31)	

*1 目視等級区分甲種構造材 1 級と仮定 *2 最大荷重の 10%から 40%の範囲の平均

らず、この部材が架設当初のものなのかどうかは明らかではない。しかしながら交換された桁材数を総桁材数と比較すると、半数以上の桁材が架設当初のものと推測される。試験体とした 3 体は端部支間の耳桁とその内側である。設置箇所、あるいは現状を見ても途中で交換された可能性が高いが、何年使用されていたかは不明である。

試験対象とした部材は全長が 9200mm または 9800mm であり、これを支間 8000mm として図-2 のように 2 点で載荷した。断面は幅、高さともに 350mm で、丸みは含まれない完全な矩形断面であった。上面からは腐朽が確認されたが、いずれも断面が欠損するほどではなかった。

3 載荷試験の結果とその検討

図-3 は A シリーズの曲げ試験における荷重-たわみ関係を示したものである。また表-1 はその結果をまとめたものである。なお、設計計算書が残されておらず桁材に当初どの程度の強度が期待されていたのか不明であるため、スギの目視等級区分甲種 1 級材¹⁾として設計標準値を求め、これと比較することで残存性能を評価した。写真-5~7 はそれぞれの破壊時の様子を示している。

A-1 で載荷初期より片側の支点と載荷点の間の割れからせん断破壊が進行した。その結果、初期剛性が小さく、最大荷重も設計標準値の 7 割程度であった。写真-5 は破壊時のものであるが、この部分のせん断破壊により終局に至った様子がわかる。一方で A-2 では、剛性は小さめであるが荷重が設計標準値を超えても比較的安定した挙動を示した。その後載荷点付近の曲げ破壊が生じたが、

最大荷重以降もねばり強い挙動を示した。A-3も同様に安定した挙動を示したが、その後支点付近で急激な破壊が生じ耐力を失った。

図-4はBシリーズの曲げ試験における荷重-たわみ関係を示したものである。また表-1にはその結果がまとめられている。ただし、A橋と同様にベイマツの目視等級区分甲種1級材¹⁾をもとに設計標準値を求めている。写真-8～10はそれぞれの破壊時の様子を示している。

B-1では支点と載荷点の間のせん断破壊により終局に達した。またB-3では桁上面から腐朽の進行が認識でき、Bシリーズの中ではもっとも劣化していると予想されたが、載荷点の片方での局所的な破壊により終局に達した。これに対しB-2では安定した耐荷性能を示した。

以上のように長期間使用された木桁材では、劣化の部位や程度により耐荷挙動にこのような大きな差があることが明らかになった。またこれらを安全に使用していくためには、劣化を的確に把握する点検技術とその評価法の必要性が認識される。

4 腐朽の程度とその評価

ここでは前述の曲げ試験体の載荷試験結果を各種点検手法から予測できるかについてAシリーズを例に検討する。これらの試験体では載荷試験とあわせて各断面位置でのシルバテストによる超音波伝搬速度、ピロディンによる針入値、電気抵抗式水分計による含水率測定、断面を切断しての目視評価、およびその切断片を使用しての全乾法による含水率測定を実施している。このうち図-5～7は各断面位置での超音波伝搬速度、また図-8～10はピロディン針入値を示したものである。またこれらの図には全乾法による含水率もプロットされている。

まずA-1は写真-5のように、載荷点と支点の間でのせん断破壊により終局に至り、Aシリーズ中で剛性、耐力ともに最も小さかったものである。写真-12によるとせん断破壊部の内部での腐朽の進行は明らかであるが、写真-11を見ると、それを外観から目視で判定することは容易ではないこ

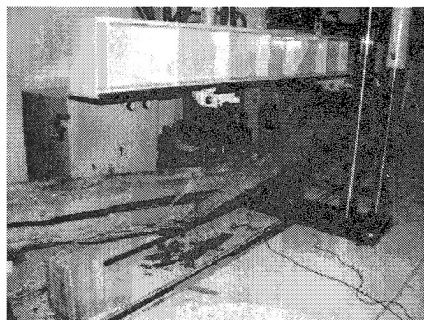


写真-5 A-1の終局時の様子

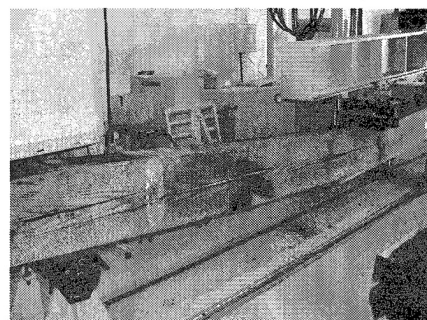


写真-8 B-1の終局時の様子

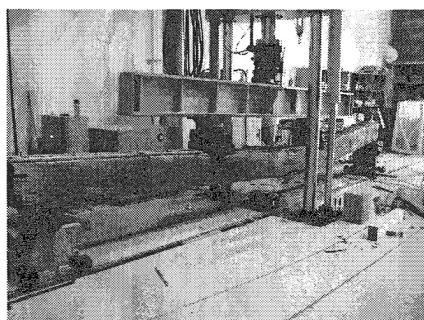


写真-6 A-2の終局時の様子

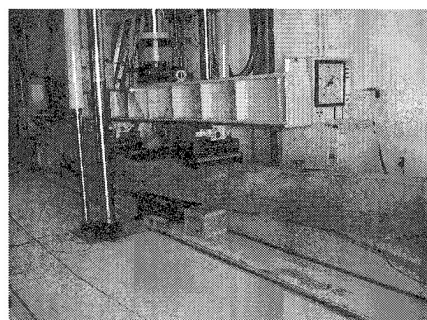


写真-9 B-2の終局時の様子

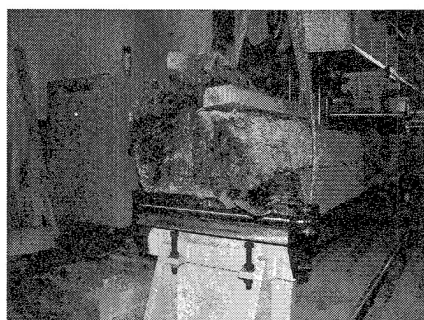


写真-7 A-3の終局時の様子

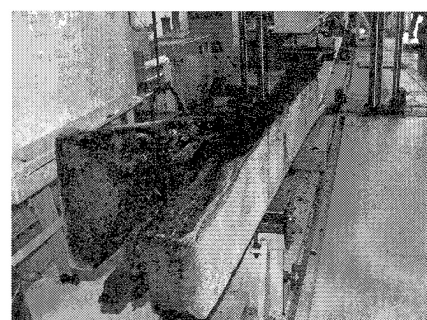


写真-10 B-3の終局時の様子

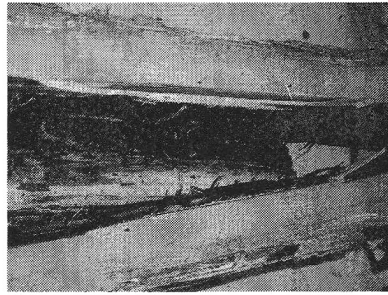
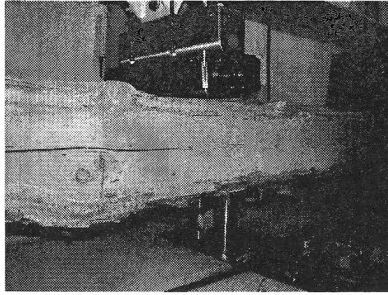


写真-11 A-1の荷重前の様子

写真-12 A-1のせん断破壊部

写真-13 A-3の破壊した支点部



写真-14 A-1の破壊部の断面

写真-15 A-2の破壊部の断面

写真-16 A-3の破壊部の断面

ともわかる。しかしながら図-5でわかるようにこの部材では全長に渡って超音波伝搬速度の測定ができなかった。また図-8によると、試験後であったため破壊部分の測定は不可能であったがピロディン値は全体的に40mmの最大値を示しており、これらのデータから内部の著しい腐朽を予測することは可能であると考えられる。

次にA-2とA-3である。ともに当初の挙動は安定しておりA-3は支点部で、A-2は荷重点付近で破壊している。図-6,7によると超音波伝搬速度は中央部で大きく端部で小さいこと、含水率は逆に支点部で大きく、100%を超える例もあることがわかる。また図-9,10によるとピロディン値は片側の支点部で大きくなっている。これらはA-2、A-3でほぼ同様の傾向を示しており、支点部付近で腐朽が進行していることがうかがえる。

さらにA-2について詳しく見ると、右側の支点部から中央に向かって超音波伝搬速度が小さくピロディン値が大きく、含水率も高い部分がある。A-2はこの付近で破壊しているが、これらのデータでそれを裏付けることができる。またA-3については左側支点部付近での腐朽が著しいことがわかる。破壊はこの部分で生じており、こちらについても推定することは可能であったと考えられる。

5. 耐久性向上のための2つの知見

桁材の破壊では一般的に突然耐力を失うせん断破壊よりも、ねばり強い挙動を示す曲げ破壊の方が好ましいとされる。AシリーズではA-2が曲げ破壊形、A-3がせん断破壊形であることが図-3からもわかる。これらのことを考慮すると、好ましくないせん断破壊形を避けるには支点部付近を腐朽させないことが重要と考えられる。しかしながら支点部付近は支承や橋台、橋脚と接しており、また木口面が露出することからもっとも腐朽しやすい部位であるとも言える。

また写真-14~16は各試験体の破壊部の断面であるが、この時代の木橋は多くの場合雨水に対する対策があまりなされていないため、床版との接触面に滞留した雨水により腐朽が上面から内部へ進行していると考えられる。ところがこの場合でも側面は比較的健全であることから、内部の腐朽を外観から認識することは困難ということになる。

以上の2点から木桁橋の耐久性を向上させる方法を考えると、特に支承まわりと桁上面を腐朽さ

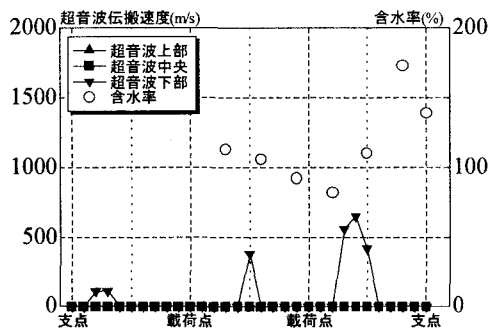


図-5 A-1の超音波伝搬速度の分布

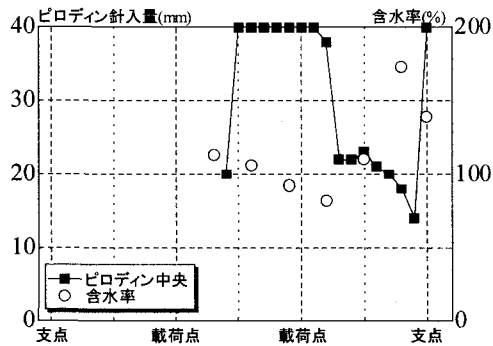


図-8 A-1のピロディン値の分布

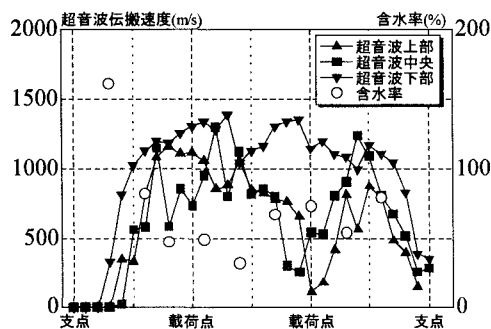


図-6 A-2の超音波伝搬速度の分布

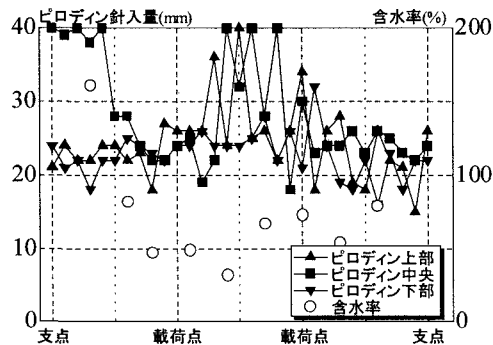


図-9 A-2のピロディン値の分布

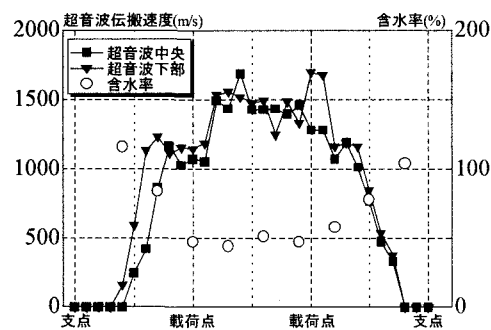


図-7 A-3の超音波伝搬速度の分布

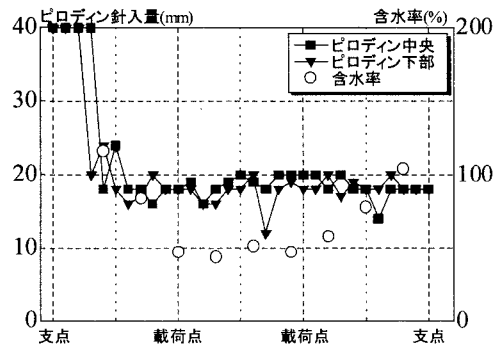


図-10 A-3のピロディン値の分布

せないように工夫することが重要であることがわかる。

6 まとめ

本研究では、実際に木橋で使用された古材の载荷試験を行い、その耐荷性能を調べた。またそれらの腐朽劣化度を調べ、破壊の予測の可否や耐久性向上策について検討した。しかしながらこれらは一例にすぎず、また腐朽劣化度を一義的に行うことも困難でもある。今後はさらにデータを増やして検討がなされることが望まれる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説, 1995, 2002.