

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19560488  
 研究課題名 (和文) 近代木橋の経年による構造性能と健全度の実態評価に基づく  
 維持管理法とその基準開発  
 研究課題名 (英文) STRUCTURAL PERFORMANCE OF MODERN TIMBER BRIDGES BY AGING AND  
 DEVELOPMENT OF STANDARD IN MAINTENANCE METHOD BASED ON ACTUAL  
 EVALUATION OF SOUNDNESS  
 研究代表者  
 本田 秀行 (HONDA HIDEYUKI)  
 金沢工業大学・環境・建築学部・教授  
 研究者番号：00110990

研究成果の概要 (和文)：本研究では、架設後の補修工事の実態、経年による錦帯橋の木材の強度低下や近代木橋の振動特性の変化の実態、13 年を経過した近代木トラス歩道橋の破壊実験から木材の腐朽による強度低下の実態、木製歩道橋の振動使用性評価に対して振動特性が既知である橋梁では解析的に検討することができるシステムの構築、および維持管理の振動基準の妥当性などを定量的に明らかにした。そして、近代木橋の保全に関する具体的な維持管理基準の開発が可能である知見を得た。

研究成果の概要 (英文)：This study was being clarified as follow, actual condition of repair work after construction, actual condition of wood strength degradation of Kintaikyou Bridge and change of vibration characteristics of modern timber bridges by the aging, actual condition of wood strength degradation by the decay from fracture experiment of modern timber truss pedestrian bridge, construction of the system in which the examination is possible analytically for the vibration serviceability evaluation of timber pedestrian bridges and validity of the vibration standard for maintenance, and then knowledge in which the development of concrete maintenance standard on maintenance for modern timber bridges was possible was obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：木橋、実験、構造解析、構造特性、振動使用性、維持管理

## 1. 研究開始当初の背景

木橋の健全度は、雨水の進入から含水率の増加による白色腐朽菌の発生と腐朽など、鋼橋等が無い環境負荷の要素が大きい。残念な

結果であるが、架設後 10 年で落橋した木歩道橋や架設後 7 年程で白色腐朽菌の発生による腐朽などが多くの木橋に散見されるようになって来た。

わが国の近代木橋は、約 60 年前から建設が始まっている欧米の歴史に比べて非常に浅く、維持管理法を学術的に論議する基盤がほとんど無かった。しかし、落橋事故もあり、すでに避けることができない状況にある。欧米の先進諸国で維持管理手法が進んでいるが、木橋は環境負荷の要素が大きいため、諸外国の管理方法や基準をそのまま日本の木橋に適用することができない。

このことから、わが国独自の近代木橋の保全に対して、経年による構造性能と健全度変化の実態把握に基づく維持管理手法の開発が緊急な課題となっている。

## 2. 研究の目的

木橋の架設実績による要因分析、実橋での実験や調査などによって、経年による近代木橋の構造性能や健全度の定量的な実態評価を総合的に検討する。その結果に基づき、環境負荷によって木材の物性値の変動が大きいわが国独自の近代木橋の健全度に最も有効な測定法、健全度の評価法、木材の強度低下など維持管理手法と具体的な管理基準の開発を目的としている。

## 3. 研究の方法

(1) 近代木橋の架設実績と点検や保守工事のデータを収集し、要因分析からそれらの実態を定量的に把握した。

(2) 完成直後の実橋実験で得られ近代木橋の構造特性に関する初期値に対して、再度に実橋実験や健全度調査を行い、経年による近代木橋の構造性能の変化や木材の腐朽等の実態把握を行った。

(3) 歩行者の歩行による近代木歩道橋の 3 次元動的応答解析を世界的に初めて定式化し、解析的に木歩道橋の振動使用性を検討する方法を構築した。そして、振動使用性を評価する振動限度の妥当性も検証した。

(4) 近代木橋の架設実績、実橋実験、動的応答解析、健全度調査の実態把握に基づき、近代木橋の維持管理方法とその管理基準の試案を検討した。そして、維持管理法の基準の妥当性についても検証を行った。

(5) 近代木橋の構造性能と健全度の実態評価に基づき、近代木橋の保全と健全度評価のための維持管理方法の開発を検討した。

## 4. 研究成果

(1) 木橋の架設実績と補修工事のデータを収集して、要因分析を行った。図 1 は完工年と

補修工事の橋梁数を示している。1990 年代から政府の補助事業もあったため木橋架設数は増加し、1996 年にピークを迎えている。補修工事は、木橋建設のピークと約 10 年のピーク差がある。床板、地覆、高欄などの木材が腐朽して行く年数が約 10 年とする根拠も見られる。

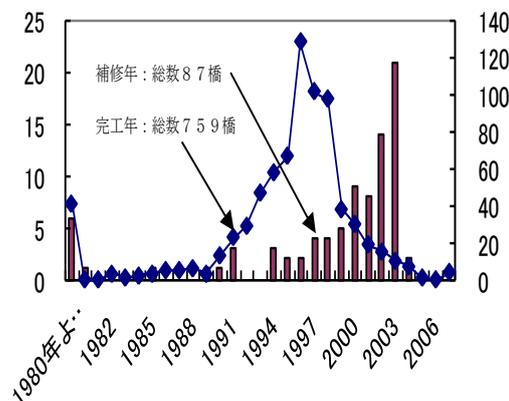


図 1 完工年と補修工事の橋梁数

図 2 は木橋が完成してから補修工事を行うまでの年数を表している。補修工事の橋梁数は 1 年から 10 年に集中しており、木橋建設か

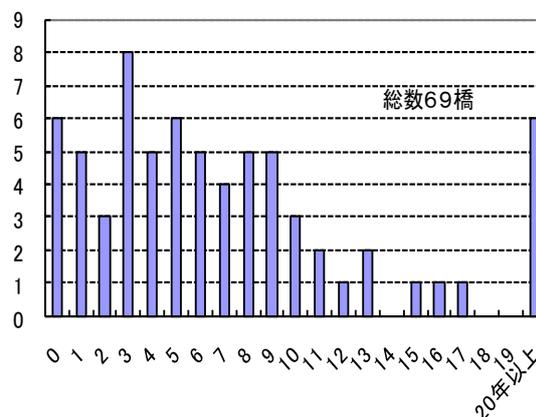


図 2 完工年から補修工事の年数

ら 10 年以内に高い確率で補修工事が行われる実態が認められる。完工後 20 年以上に補修工事も多く行われている。これは、木橋の主要部材の劣化によって安全性に問題が生じたための抜本的な補修工事であると思われる。すなわち、点検や維持管理を行うことによって木橋でも長い供用が可能であることを示している。また、図 2 では完工後の 3 年後に補修工事数が最も多いことから、完工して 2 年以内に点検を行う必要性も認められる。

しかしながら、図 3 に示すように、点検の費用がない、点検マニュアルが整備されていないなどが主な理由になっており、早急な維持管理・点検マニュアルの整備が必要である。

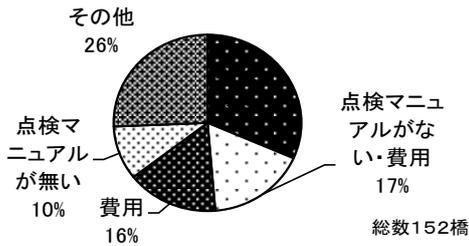


図3 点検を行わない理由

(2) 長野県で完成後に 11 年間供用されて来た「木のかけはし (木床版車道橋)」を再度の実橋実験を行った。その結果を表 1 に示す。

経年によって鉛直曲げ 1 次固有振動数が 0.5% 小さくなっている。また、表 2 に示すようにその固有振動数の減衰定数は 28% 逓減していることが認められた。

表 1 経年による木のかけはしの振動特性

振動次数	振動モード	固有振動数 (Hz)	
		実験値 平成 9 年	実験値 平成 20 年
1	鉛直曲げ 1 次	9.18	9.13
2	鉛直曲げ 2 次	10.35	9.53
3	鉛直曲げ 3 次	12.21	12.37
4	鉛直曲げ 4 次	14.45	-

表 2 経年による木のかけはしの減衰定数

振動数 (Hz)	減衰定数 h 平成 9 年	振動数 (Hz)	減衰定数 h 平成 20 年
9.18	0.0139	9.13	0.0100

長野県で完成後に 10 年間供用されて来た「みどりばし (π ラーメン車道橋)」を再度の実橋実験を行った。その結果を表 3 に示す。経年によって鉛直曲げ 1 次固有振動数が 4.5% 小さくなっている。また、表 4 に示すようにその固有振動数の減衰定数は 5% 逓減していることが認められた。

表 3 経年によるみどりばしの振動特性

振動次数	振動モード	固有振動数 (Hz)	
		実験値 平成 10 年	実験値 平成 20 年
1	水平曲げ 1 次	-	2.76
2	水平曲げ 2 次	-	4.53
3	鉛直曲げ 1 次	7.23	6.90
4	鉛直曲げ 2 次	8.69	8.63
5	ねじれ 1 次	9.08	9.00

表 4 経年による木のかけはしの減衰定数

振動数 (Hz)	減衰定数 h 平 10 年	振動数 (Hz)	減衰定数 h 平成 20 年
7.23	0.040	6.90	0.038

従って、両橋とも経年による構造性能の変化が見られることから、目視などでは確認できないような木材の腐朽による劣化が進行していると考えられる。

(3) 48 年間供用された錦帯橋に対して、5 年ごとに測定された鉛直曲げ固有 1 次振動数から、経年による木材の強度低下を解析的に逆算推定した。その結果を図 4 に示す。この図では錦帯橋の完成時の木材強度を 100% にしている。また図中の実線は経年によって木材の乾燥等による単位体積当たり重量 (比重) を考量しない場合を、破線はその比重を考慮した場合である。

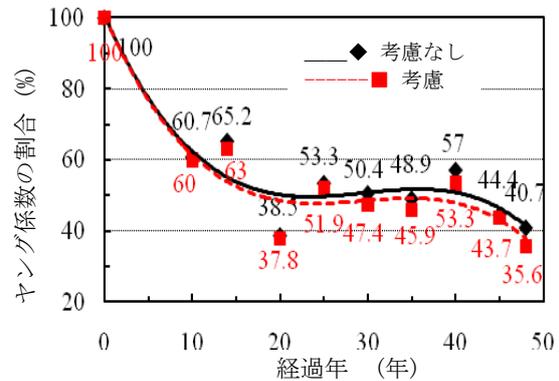


図 4 経年による錦帯橋の木材強度割合

経年による木材比重の変化を考慮した場合、48 年間での木材のヤング係数が変化する割合は 35.5% となることから、64.5% の木材強度の低下が推定された。比重の経年変化を考慮しない場合は、約 5% の差異が生じることも解析的に確認された。

(4) 架設後 13 年で木材の腐朽等による劣化で撤去・移設された「かっぱ橋 (木トラス車道橋)」に対する世界初の破壊実験が行われた。その際、破壊実験時の木材劣化による強度低下を実験値から推定した結果を図 5 に示す。橋梁全体で 10% の腐朽、また腐朽が顕著であった 5 か所のトラス格点部での腐朽が 40% であることが解析的に検証された。

トラス格点部の腐朽状況を現地で確認する方法として、歩行者の歩行によるかっぱ橋の 3 次元動的応答解析を実施し、腐朽による応答速度の相違を検討した。その一例を図 6 に示し、解析点 7 番での応答速度に顕著な波形のずれが確認される。すなわち、橋梁の架設

現場で木材の腐朽箇所へ速度計等のセンサーを置いて振動波形を測定した場合、図6のような応答波形にずれが生じるならば、その箇所は明らかに腐朽が顕著であることを確認できることになる。この方法は、従来の非破壊試験での健全度調査にない新たな試験法とし

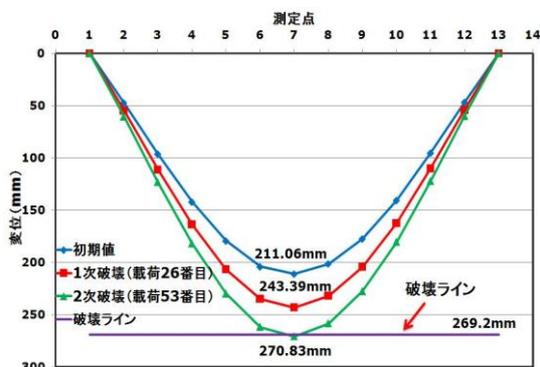


図5 破壊実験時の木材強度低下の推定

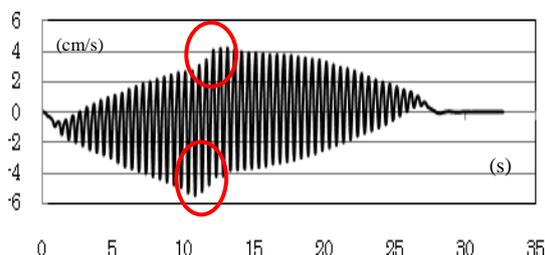


図6 格点部90%の腐朽(解析点7番)

て期待がもたれる方法である。

(5) 木歩道橋の維持管理で重要な振動使用性と振動基準を実験と解析の両面から検討した。対象橋梁は福岡県小倉区に架設されている「常盤橋」である。橋長が85m、最大支間長が31mの積層桁橋である。対象橋梁の振動実験で得た振動特性を表5に示す。鉛直曲げ1次固有振動数が2.25 Hzで、振動使用性を検討する1.7-2.3 Hzの範囲に入っている歩道橋でもある。

表5 対象橋梁の振動特性

振動次数	振動モード	固有振動数(Hz)	減衰定数
1	水平曲げ1次振動	1.37	0.0050
2	鉛直曲げ1次振動	2.25	0.0145
3	鉛直曲げ2次振動	3.10	0.0128
4	ねじれ1次振動	3.71	0.0154
5	鉛直曲げ3次振動	—	—
6	ねじれ2次振動	—	—
7	ねじれ3次振動	4.88	0.0124
8	ねじれ4次振動	5.30	0.0072
9	鉛直曲げ4次振動	6.59	0.0065
10	鉛直曲げ5次振動	—	—

振動使用性に対する解析的な検討として、歩行者の歩行や走行による木歩道橋の3次元動的応答解析法を世界的に初めて構築した。その解析と実験結果とを示したのが図7である。横軸は測定点および解析点で、縦軸は実験と解析で得た応答速度の最大値である。実験値解析値の両者ともよく一致していることが認められる。対象橋梁は、歩行者が振動を少し感じる程度の反応であり、維持管理としての振動使用性には特に問題が具現化することは少ないことが認められる。

従って、振動使用性の評価は実橋実験の振動実験から検討されるが、対象橋梁の振動特性が既知である場合は本研究の結果から解析的にも検討が可能である有用な知見を得た。

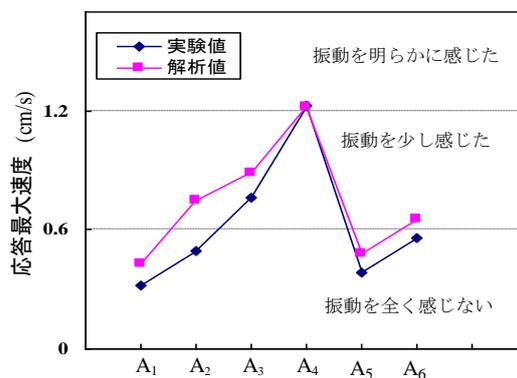


図7 対象橋梁の振動使用性評価

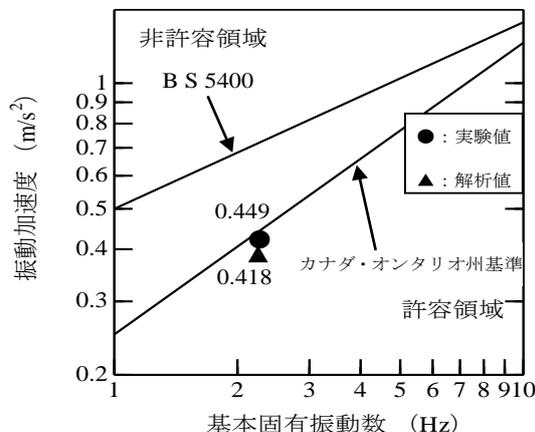


図8 諸外国の基準による振動使用性評価

振動使用性を評価する場合、歩行者が振動を感じて反応する振動感覚に対する維持管理上の基準(振動耐限度)がある。すなわち、最大応答速度で使用性を評価する場合、「振動を明らかに感じた」の振動耐限度は1.2-2.4 cm/s、「すこし歩きにくい」の振動耐限度は2.4-3.8 cm/sである。それらの振動耐限度の妥当性についても検討した。

また、諸外国の多くや Euro-code 5 (欧州基準5:木橋編)では、振動使用性を応答加

速度で評価している。この応答加速度での基準と前述した最大応答速度での振動限度の関係も検討した。

振動限度と応答加速度の関係を検討した一例を図8に示す。図中のBSは英国の基準である。実験値と解析値と英国やカナダ許容領域に入っており、振動限度が木歩道橋を維持管理する上で振動使用性を評価するための基準になる妥当性が見出された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

- ① Kusaka M. and Honda H., Vibration serviceability of large scale timber pedestrian bridge, Proc. of the EVACES' 09, 査読有, 2009, 483-490.
- ② 伊東隆博、本田秀行、大規模木製トラス車道橋の構造モデル化による動的応答特性、第8回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、査読有、2009、127-136.
- ③ 中田雄太、本田秀行、植野芳彦、木製中路式アーチ車道橋の減衰性能と3次元動的応答解析による縦桁の荷重分配に対する影響、第8回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、査読有、2009、137-148.
- ④ 中田雄太、本田秀行、植野芳彦、縦桁を有する木製中路式アーチ車道橋の構造特性、構造工学論文集Vol. 55A、査読有、2009、915-924.
- ⑤ Honda H., Structural performance of modern glulam timber bridges in Japan, Proc. of the EASEC-11, 査読有, 2008, 1-10(CD-R).
- ⑥ 中田雄太、本田秀行、植野芳彦、木製中路式アーチ車道橋の構造特性、第7回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、査読有、2008、13-20.
- ⑦ 伊東隆博、本田秀行、大規模木製トラス車道橋の構造モデル化と構造特性、第7回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、査読有、2008、21-28.
- ⑧ Honda H., Strength decrease of wood materials in Kintaikyō used 48 years, Proc. of the WCTE2008, 査読有, 2008, 1-8(CD-R).
- ⑨ Miyatake A., Kobayashi T. and Honda H., Glulam bridges: the last two decades in Japan, Proc. of the WCTE2008, 査読有, 2008, 1-8(CD-R).
- ⑩ 日下真彰、本田秀行、解析による大規模木製歩道橋の動的挙動と振動使用性、第6

回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、査読有、2007、9-20.

[学会発表] (計6件)

- ① 中田雄太、本田秀行、木製中路式アーチ車道橋の動的挙動に及ぼす縦桁の影響、土木学会第64回年次学術講演会、2009年9月3日、福岡大学(福岡県)。
- ② 伊東隆博、本田秀行、大規模木製トラス車道橋の構造モデル化と動的挙動、土木学会第64回年次学術講演会、2009年9月3日、福岡大学(福岡県)。
- ③ 中田雄太、本田秀行、木製中路式アーチ車道橋の構造特性評価、土木学会第63回年次学術講演会、2008年9月11日、東北大学(宮城県)。
- ④ 伊東隆博、本田秀行、大規模木製トラス車道橋の構造モデル化と構造特性、土木学会第63回年次学術講演会、2008年9月11日、東北大学(宮城県)。
- ⑤ 日下真彰、本田秀行、大規模木製歩道橋の3次元動的応答解析による振動使用性評価、土木学会第63回年次学術講演会、2008年9月11日、東北大学(宮城県)。
- ⑥ 日下真彰、本田秀行、大規模木製歩道橋の3次元動的応答解析に基づく振動使用性の検討、土木学会第62回年次学術講演会、2007年9月12日、広島大学(広島県)。

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

本研究課題に関するホームページ等その他に該当なし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 秀行 (HONDA HIDEYUKI)  
金沢工業大学・環境・建築学部・教授  
研究者番号：00110990

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：