

## 用倉大橋の地覆と高欄材の健全度診断の検討例

### Discussion for diagnosis of wheel guard and handrail members on Yokura Bridge

○渡辺 浩\* 藤田 和彦\*\* 宮武 敦\*\*\* 佐久間 太亮\*\*\*\*

WATANABE Hiroshi, FUJITA Kazuhiko, MIYATAKE Atsushi and SAKUMA Daisuke

\*博(工学) 福岡大学工学部社会デザイン工学科 (814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

\*\*広島県立総合技術研究所林業技術センター (728-0015 広島県三次市十日市町 168-1)

\*\*\*農修 (独)森林総合研究所 (305-8687 つくば市松の里 1)

\*\*\*\*福岡大学大学院工学研究科建設工学専攻 (814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

**ABSTRACT** Yokura Bridge located in the neighborhood of the Hiroshima Airport is cable stayed bridge with three spans build in 1992. It has 77m main span which is the greatest scale for timber bridges in Japan. It is designed for 14 ton truck load, however it is used as a cycling road. Japanese red pine and Japanese cedar produced on the region are used for the wheel guards and the handrails respectively.

Deterioration due to aging came to be watched because it is located at outdoors. Therefore diagnosis was carried out in 2006, and as a result, all the wheel guards and handrail members were replaced. The aim of this study is clarifying residual strength of used timber member on nondestructive and ultimate loading tests.

**Keywords:**健全度診断、残存強度、非破壊試験、破壊試験

diagnosis, residual strength, nondestructive test, ultimate loading test

### 1. まえがき

木材は建設材料として優れた性能を有する材料ではあるが、木質構造物の機能的な耐久性と比較して材料的な耐久性にあまり余裕がないため、しばしば耐久性上の検討が必要になる。特に木橋では、木材が風雨に晒されて使用されるため、このことが問題となることが多い。これに対し最近の木橋では、優れた防腐処理技術により一定の耐用年数が確保されるようになってきているが、耐久性に関する検討はやはり重要である。

写真-1 は広島空港の近くに位置する用倉大橋である。1992年に竣工した3径間連続斜張橋で、橋長145m、幅員5m、中央支間77mは木橋としては最大級の大きさである<sup>1)</sup>。設計活荷重は道路橋TL-14であるが、通常はサイクリングロード橋として利用されている。主塔はコンクリート、ケーブルは鋼製であるが、補剛桁はベイマツ集成材のトラスである。また写真-2のように地覆にはアカマツ、高欄にはスギが利用されており地域産材の利用も意識されている。

これまでの点検により地覆と高欄で腐朽が進行していることがわかっており、その結果を踏まえて2006年には地覆と高欄のすべてが取り替えられた<sup>2)</sup>。本研究は、これらの部材の一部を利用して、これまで実績のある非破壊試験法<sup>3)</sup>によりその劣化度を検討した上で、破壊試験を行い各部材の残存強度を求め、それらの関係を求めることを目的とする。

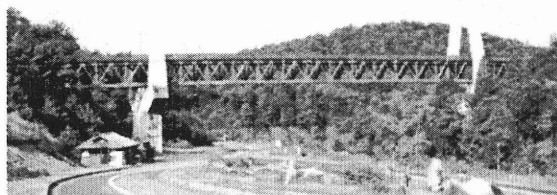


写真-1 用倉大橋の全景

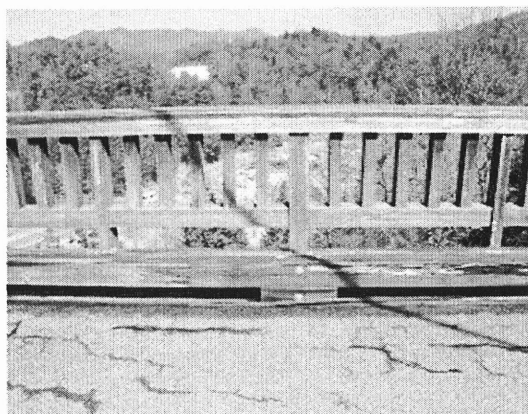


写真-2 用倉大橋の地覆と高欄

表-1 試験体の諸元と試験方法の概要

部位	種類	断面	長さ	試験方法	数量
地覆	アカマツ集成材	280×150	5040	支間比 7:4:7 で 4 点曲げ試験	6
高欄	笠木	120×170	3060	支間比 7:4:7 で 4 点曲げ試験	8
		130×130	780	縦圧縮試験	8
	下ばり	130×130	780	支圧面 90×130mm で横圧縮試験	8

## 2. 試験体の概要と種類

試験体は広島県立総合技術研究所林業技術センター内で保管されていた地覆および高欄から採取した。試験体数は以下に示す 4 種類の試験体のそれぞれについて 6~8 体とし、外観からの評価で劣化が進んでいるものとあまり進んでいないものが均等に含まれるように選んだ。なお、解体・撤去から試験体の採取まで約 1 年が経過しており、その間は屋外で供用時とは異なる向きに積んで保管されていたため、その間に現地とは異なる傾向で腐朽が進行していたと考えられる。試験体の諸元と試験方法の概要を表-1 に示す。

### ○ 地覆 (アカマツ)

地覆はアカマツ集成材である。地覆については 4 点载荷による曲げ試験を実施した。载荷方向は車両が衝突する方向を考慮して平使いとなる方向とした。支間長は高さの 18 倍としたが、断面が大きいため曲げの影響が大きくなるよう支間比を 7:4:7 とした。非破壊試験の位置は両方の支点断面に加え、図-1 のように曲げが最大となる区間について詳しく測定した。

### ○ 高欄笠木 (スギ)

高欄笠木はスギ集成材である。地覆と同様に 4 点载荷による曲げ試験とし、支間長は高さの 18 倍で支間比を 7:4:7 とした。载荷方向は利用者が外側に押す方向を考慮して、縦使いになる方向とした。非破壊試験も同様に、図-2 のように曲げが最大となる区間について詳しく測定した。

### ○ 高欄下ばりー縦圧縮試験用 (スギ)

高欄下ばりは正方形の断面を有している。試験体の長さはその辺長の 6 倍とした。うち 8 体を縦圧縮試験用とした。縦圧縮試験では部材内の応力は均等であるため、図-3 のような 3 断面について非破壊試験を行った。

### ○ 高欄下ばりーめり込み試験用 (スギ)

残りの 8 体はめりこみ試験用とした。試験体の長さは圧縮試験用と同じである。図-4 のように横圧縮荷重を与える部分の 3 断面で非破壊試験を行った。

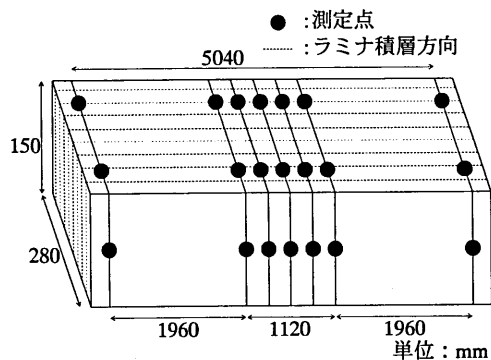


図-1 地覆の測定点

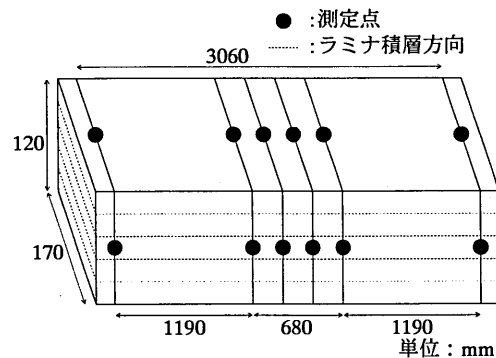


図-2 高欄笠木の測定点

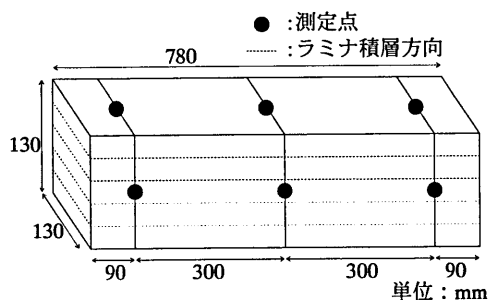


図-3 高欄下ばりの測定点（縦圧縮試験用）

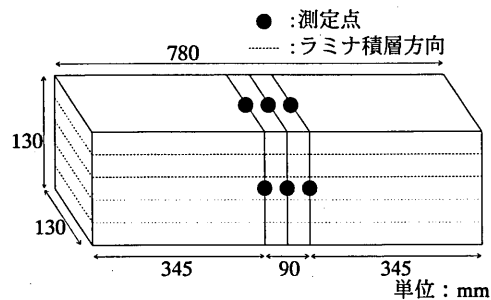


図-4 高欄下ばりの測定点（めり込み試験用）

以上の部材はいずれもボルト孔などの断面欠損や部分的な劣化が見られたが、これらを除外して試験体を選択することはできなかったため、それらの影響が大きくなならない部位に含まれるようにして、その影響を無視するものとした。

### 3. 試験の結果と検討

#### 3.1 非破壊試験

##### (1) 超音波伝播速度測定

木材が腐朽し密度が小さくなると超音波伝播速度は遅くなる。図-5 は各位置での超音波伝播速度の測定結果について、試験体の種類ごとにその割合を示している。

地覆はアカマツであることからヤング係数を  $10 \text{ kN/mm}^2$ 、密度を  $0.5\text{g/cm}^3$  とすると<sup>4)</sup>、超音波伝播速度の標準値は  $1458\text{m/s}$  となる。図-5 によるとこれを下回っているものがほとんどであることからかなり腐朽していることがうかがえる。なお、速度が測定できないものについては速度を 0 としてとりまとめているが、地覆では約 4 割がこれに該当しており、その結果からも地覆が相当に劣化していることがわかる。

一方で高欄はスギであることからヤング係数を  $7.0\text{kN/mm}^2$ 、密度を  $0.38\text{g/cm}^3$  とすると<sup>4)</sup>、超音波伝播速度の標準値は  $1399\text{m/s}$  となる。図-5 によるとかなりの数が標準値を上回っておりこれらについては比較的健全であることがうかがえる。また、下ばりよりも笠木の方がより健全であることがうかがえる。

##### (2) 目視・触診・打診

目視・触診・打診は最も基本的で簡便な診断法であるが、定量化は難しい。図-6 はその結果をとりまとめたものである。診断結果は図に示すように 5 段階で総合的に評価した。この図から、地覆については異状が認められるものが多く、高欄笠木については健全とされるものが多いこと

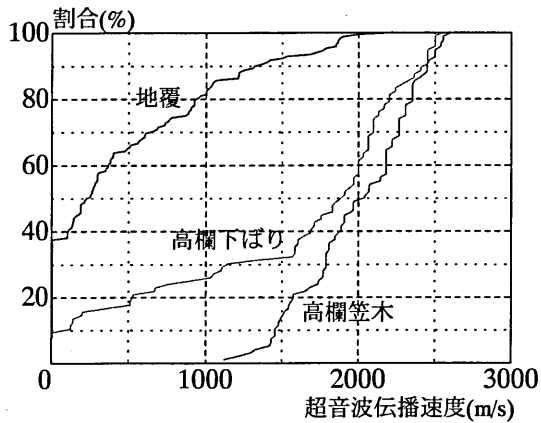


図-5 超音波伝播速度の累積分布

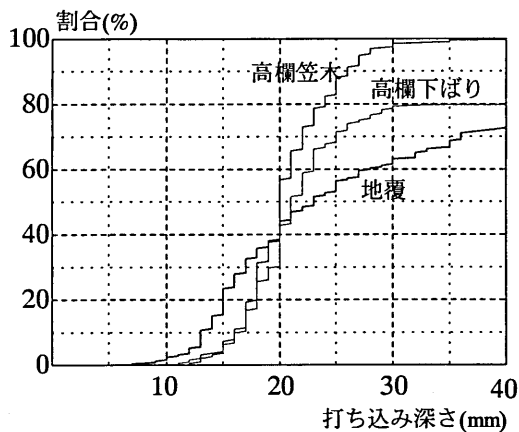
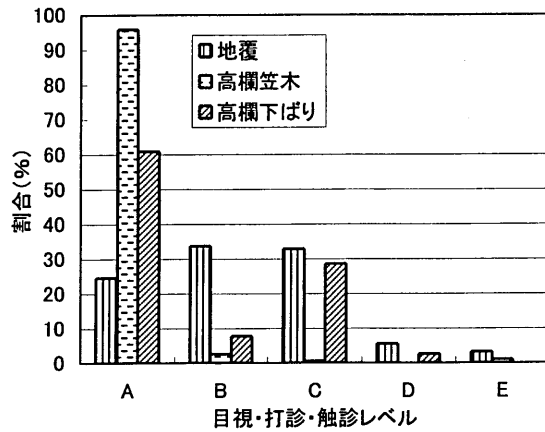


図-7 打ち込み深さの累積分布



A	健全
B	打音から異状が疑われる
C	打音から明らかに異状
D	目視で明らかに異状
E	断面欠損がある

図-6 目視・打診・触診の結果

がわかる。これは超音波伝播速度試験と同様の傾向である。

### (3) ピン打ち込み深さ測定

直径 2.5mm の金属棒を一定エネルギー6J で打ち込み、その貫入深さを測定するものである。健全なアカマツであれば 10~15mm 程度、スギであれば 15~20mm 程度が標準的な値である。図-7 は部材種類ごとの打ち込み深さを累積で示したものである。アカマツ集成材の地覆は小さい値のものも見られるが、腐朽が進行していることから大きい値のものも多く、ばらつきが大きいことがわかる。なお、100%に達してないのは打ち込み深さが測定能力の 40mm を超えたものがあるためであるが、地覆ではその数が3割近くに達しており、ここでも腐朽の進行が確認できる。

一方で高欄では 20mm 前後のものが多いが、そのばらつきは小さい。これは腐朽の程度が軽微であるものが多いためであると考えられる。

### (4) 穿孔抵抗測定

先端が 3mm のドリルによる穿孔抵抗の値を深さごとに記録するものである。内部の劣化が可視化できるが劣化度の定量的な評価は難しい。図-8、図-9 はその結果の一例であり、縦軸は抵抗値、横軸は穿孔深さを示している。図-8 は地覆のものであるが、抵抗値がほとんど記録されておらず、かなり腐朽が進行していることがわかる。一方図-9 は高欄笠木のものである。抵抗が測定される部分とされない部分が顕著に現れていることから、部分的に腐朽していることがわかる。

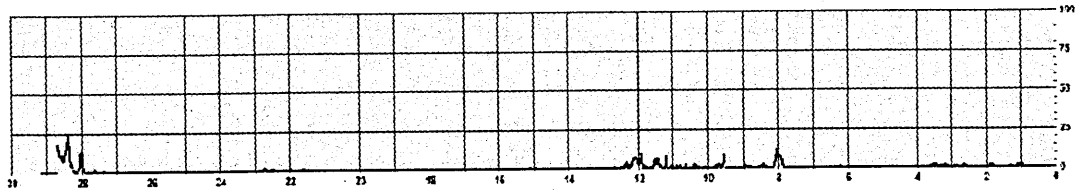


図-8 穿孔抵抗値の測定結果の例(アカマツ)

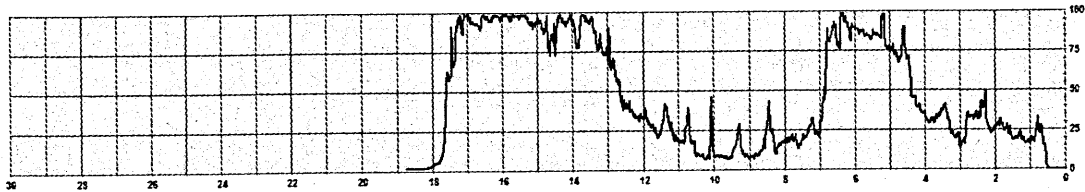


図-9 穿孔抵抗値の測定結果の例(スギ)

表-2 各強さと設計耐力との比較

設計耐力 (kN)	地覆 曲げ		高欄笠木 曲げ		高欄下ばり 縦圧縮		高欄下ばり 横圧縮	
	(kN)	比	(kN)	比	(kN)	比	(kN)	比
平均	9.3	0.47	30.3	6.18	281.0	4.29	65.49	2.80
試験体①	*0.0	0.00	29.1	5.94	426.7	6.51	87.42	3.74
試験体②	24.3	1.24	21.3	4.35	412.0	6.29	88.88	3.80
試験体③	19.6	1.00	25.6	5.22	421.6	6.44	72.29	3.09
試験体④	3.8	0.19	29.0	5.92	339.5	5.18	83.87	3.58
試験体⑤	3.1	0.16	32.2	6.57	398.7	6.09	81.50	3.48
試験体⑥	4.9	0.25	25.5	5.20	84.2	1.29	85.21	3.64
試験体⑦	-	-	50.2	10.24	49.3	0.75	16.02	0.68
試験体⑧	-	-	29.8	6.08	116.2	1.77	8.75	0.37

\*地覆の曲げ試験体①は運搬時に自重で破壊した

### 3.2 破壊試験

文献 6 の要領に従って曲げ試験、縦圧縮試験およびり込み試験を実施した。それぞれの試験結果を表-2 にとりまとめている。なお、表中の設計耐力とは実断面と一般的な許容応力度<sup>5)</sup>から求めた値であり、比とは各試験体の最大耐力とこの設計耐力との比である。また許容応力度はアカマツでは E105-F300、スギでは E65-F225 として求めている。

#### (1) 曲げ試験

写真-3 は高欄笠木の曲げ試験の様子である。図-10 は地覆の、図-11 は高欄笠木の荷重-変位の関係である。いずれも破壊までほぼ直線的に荷重が増加しているが、当初からほとんど荷重が増加しないものもあった。また地覆の曲げ耐力はほとんどの試験体で設計値を下回っていた。

#### (2) 縦圧縮試験

図-12 は高欄下ばりの縦圧縮試験の荷重-変位の関係である。うち 3 体の耐力は小さかったが、他の試験体では健全材の試験と同様な挙動であった。

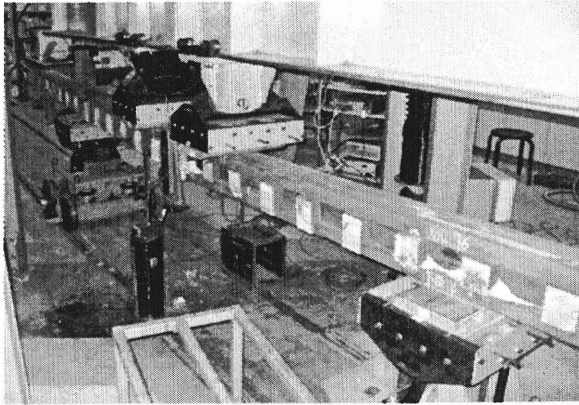


写真-3 高欄笠木の曲げ試験の様子

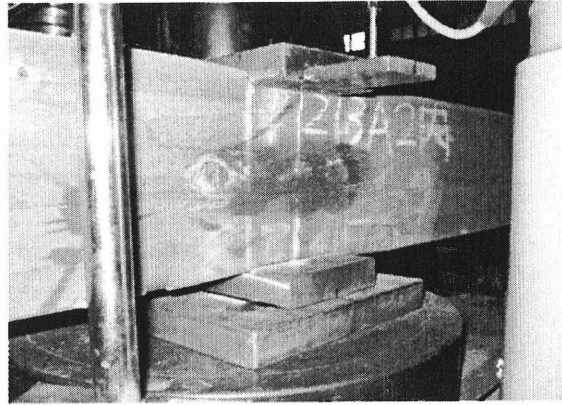


写真-4 高欄下ばりめり込み試験の様子

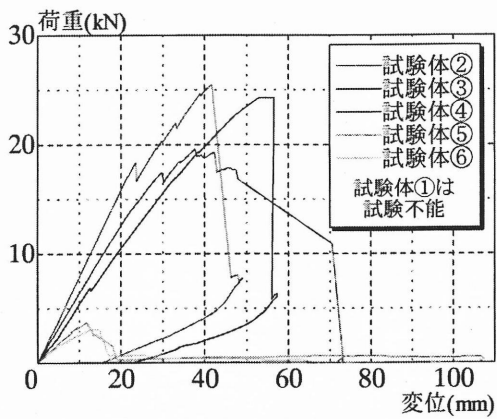


図-10 地覆の荷重変位-曲線

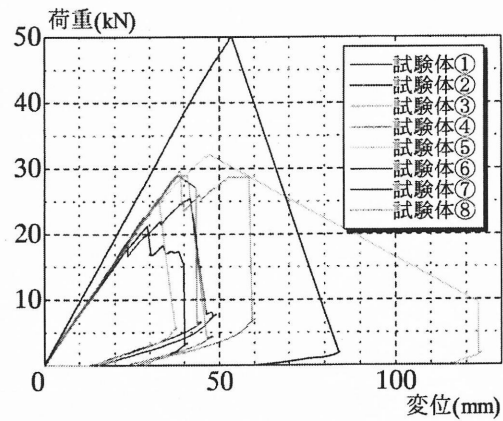


図-11 高欄笠木の荷重-変位曲線

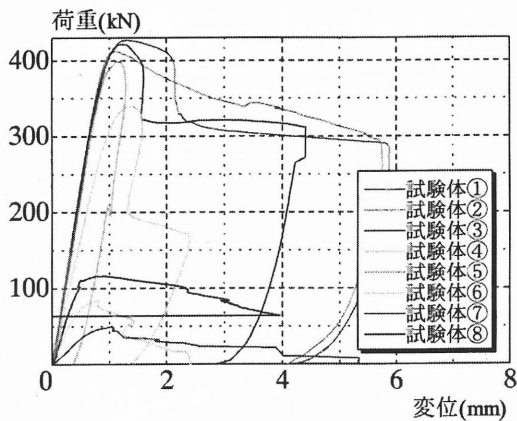


図-12 縦圧縮試験の荷重-変位曲線

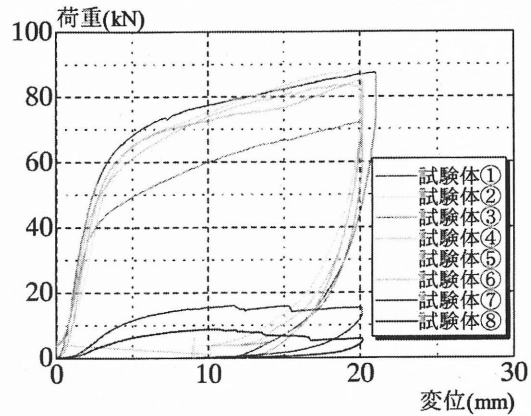


図-13 めり込み試験の荷重-変位曲線

### (3) めり込み試験

写真-4 は高欄下ばりのめりこみ試験の様子、図-13 は荷重-変位の関係である。うち 2 体の耐力は小さかったが、その他は設計耐力を上回っていた。

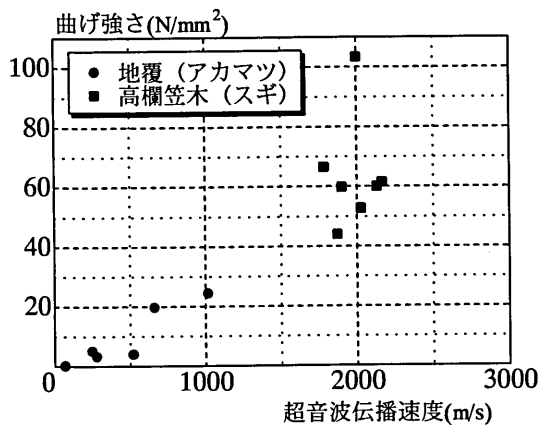


図-14 超音波伝播速度と曲げ強さの関係

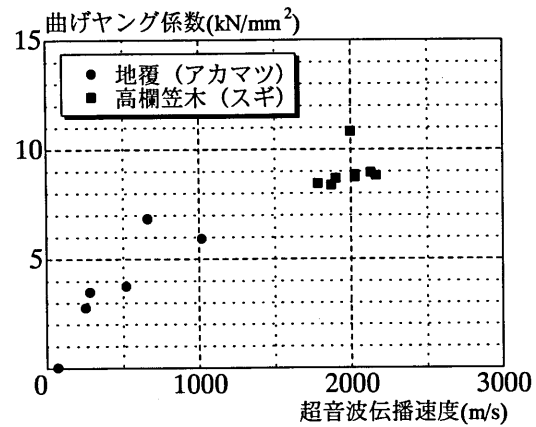


図-15 超音波伝播速度と曲げヤング係数の関係

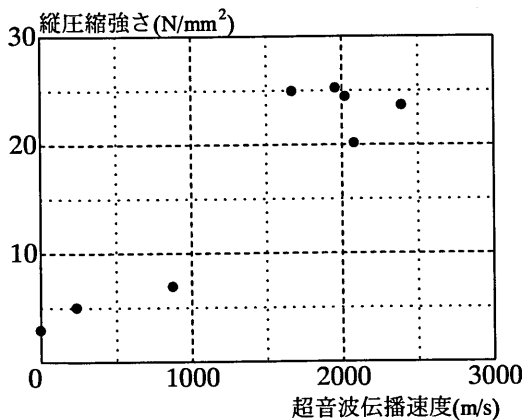


図-16 超音波伝播速度と縦圧縮強さの関係

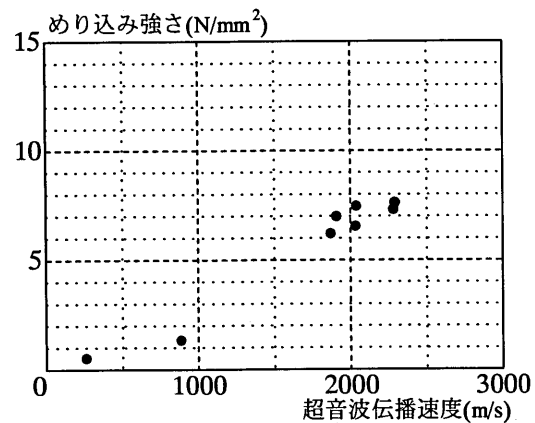


図-17 超音波伝播速度とめり込み強さの関係

### 3.3 非破壊試験の結果と残存強度との関係

維持管理を考慮すると、非破壊診断の結果から部材の残存強度を求めることができることは有益である。ここでは非破壊試験とそれぞれの破壊試験の結果の関係について考察する。

図-14～17は超音波伝播速度と曲げ強さ、曲げヤング係数、縦圧縮強さの関係、めり込み強さの関係をそれぞれ示す。いずれの図においても強度またはヤング係数は超音波伝播速度との相関がうかがわれることがわかる。試験体数が少ないため、相関式の提案は控えるが、超音波伝播速度により残存強度を推定することは可能であると考えられる。

図-18はピン打ち込み深さと曲げ強さとの関係を示したものである。ここでピン打ち込み深さの測定に用いたピロディン6Jは測定値の最大が40mmであるが、それを越えたものがあった。ここでは便宜上その値を50として数値化し、部材ごとの平均値でとりまとめた。図より、アカマツであるにもかかわらず地覆の方がピン打ち込み深さが大きいこと、残存強度とピン打ち込み深さとは明瞭ではないものの相関をうかがうことができることがわかる。

図-19は目視・打診・触診の結果と曲げ強さとの関係を示したものである。なお、ここではA, B, C, D, Eの各評価をそれぞれ0, 1, 2, 3, 4と数値化し、部材ごとの平均値でとりまとめた。図より、目視・打診・触診は簡易で数値化が難しい手法であるものの、このような方法により残存耐力の大小をおおまかに推定することは可能であることがわかる。

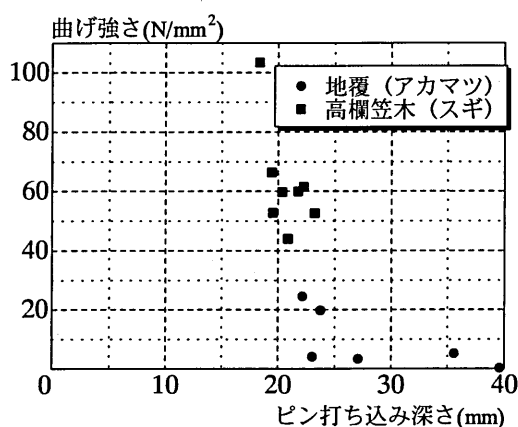


図-18 ピン打ち込み深さと曲げ強さの関係

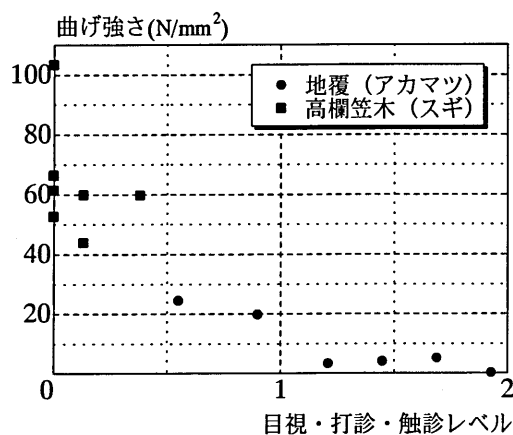


図-19 目視・打診・触診と曲げ強さの関係

#### 4. まとめ

本研究では用倉大橋の地覆および高欄として用いられていたアカマツおよびスギ集成材を対象に非破壊試験および終局耐力試験を行った。非破壊試験では超音波伝播速度、目視、打診、触診、ピン打ち込み深さ測定、および穿孔抵抗値試験を実施した。また、終局耐力試験では、曲げ、縦圧縮、めりこみ試験を実施した。これらから得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- アカマツ集成材の地覆では腐朽がかなり進行していた。一方でスギ集成材の高欄では腐朽は軽微なものが多かった。
- 超音波伝播速度により部材の劣化の程度を大まかに把握することができた。超音波伝播速度の測定は装置が必要ではあるもののスピーディに測定できることから、実橋で定期的実施することで維持管理の高度化が期待できる。
- ピン打ち込み深さや目視・打診・触診によっても劣化の程度を推定することは可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 飯村豊：「用倉大橋」を支えるシステム技術,第6回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.1-8, 2007.
- 2) 藤田 和彦, 野沢 浩二, 木村 誠二, 渡辺 浩:第7回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, 2008.
- 3) 土木学会鋼構造委員会木橋技術小委員会：木橋技術の手引き 2005, pp.213-216, 2005.
- 4) 森林総合研究所：木材工業ハンドブック 改訂4版, pp.11-19, 2004.
- 5) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説, p.335, 2006.
- 6) 日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験法, pp.6-15, 2000.