

架橋後13年経過した木橋部材の 非破壊調査報告

Non-Destructive Evaluation of Wooden Bridge Members
served in 13 years

○原田真樹、長尾博文、加藤英雄、井道裕史、
宮武敦、平松靖、軽部正彦、藤田和彦、Yin Yafang

● ● ● 研究の背景・目的

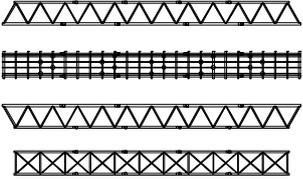
- 木橋の維持管理に必要な技術
 - 簡便、客観的、間接的に劣化診断ができる技術
- 本研究について
 - 劣化との関連が深いと考えられる因子について
橋梁、部材の各種非破壊測定を実施
 - 実際の劣化状況との比較
 - 劣化診断手法として有用な技術の検討

● ● ● 対象木橋の概要




第1径間 第2径間

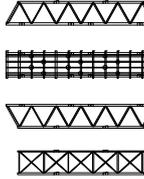
下流側



入口側

上流側

下流側



キャンパ場

上流側

中 州

*1990年に竣工、13年間供与
 *ベイマツ1級集成材による2連下路式単斜トラス橋
 *橋長：第1径間-36.3m、第2径間-18.3m、有効幅員：2.3m、主構高さ：2.7m
 *接合部：コの字金物を用いた2面せん断型ボルト接合部

● ● ● 測定項目

橋梁調査 (架橋状態)

- 架橋環境：温度、相対湿度
 - 斜材、敷梁
- 含水率：含水率
 - 斜材、敷梁
- 打音：共振周波数→MOE
 - 上弦材、敷梁、水平ブレース
- 人力加振：共振周波数

部材調査 (解体後)

- 超音波伝播時間：音速→MOE
 - 上弦材、下弦材、斜材、敷梁、耐傾材
- 打音：共振周波数→MOE
 - 上弦材、下弦材、斜材、敷梁、耐傾材
- 劣化調査：劣化部位・程度
 - 上弦材、下弦材、斜材、敷梁、耐傾材

● ● ● 結果の概要

各非破壊測定手法の現場診断指標としての有用性

測定項目	指標値	有用性	利 点	注 意 点
温湿度	温度 相対湿度	△	簡便に計測できる	長期の観測データ必要
含水率	含水率	○	その場で判定可能	含水率計により値が異なる 電気抵抗式含水率計で20%以上 を示した場合は要注意
打音	共振周波数 MOE	×	簡便に測定できる	架橋時の測定において 信頼できるデータを得る手法を 検討する必要がある
超音波 伝播時間	伝播速度 MOE	◎	局所的な部材の劣化状況 を把握できる	閾値の決定方法が 定まっていない
人力加振	共振周波数	○	全体剛性の指標値 となりうる	閾値の決定方法が 定まっていない

● ● ● 含水率

橋梁・測定手法




電気抵抗式含水率計 高周波容量型水分計

- 測定手法
 - 測定機器のセンサー部を測定対象箇所へ刺すか、あるいは当てることにより測定
- 測定機器
 - 電気抵抗式含水率計 (PROTIMETER社製 Surveymaster)
 - 高周波容量型水分計 (ケット科学研究所 HM-520)
- 測定対象部材
 - 敷梁：外気が最も滞留
 - 斜材脚部 (欄干付近)：架橋状態で足場を用いずに測定できる箇所
- 測定日時
 - 12月8日 15:30～16:00、12月9日 9:40～10:00

超音波伝播時間

部材・測定手法

測定手法

- 集成材ラミナの積層方向に対して平行方向に超音波送信部および受信部を配置して押さえつけ、その間の伝播時間を測定
- (伝播速度) = (伝播距離) / (伝播時間) [m/s]

測定機器

- 超音波式コンクリート品質試験機(C. N. S. Electronics Ltd., PUNDIT)

測定対象部材・箇所

- 上弦材、下弦材、斜材、敷梁、耐傾材
- ボルト先穴近傍および先穴間の中央部付近
- 劣化が生じやすく、かつ、木橋の維持管理上重要なポイント

劣化状況調査

部材・測定手法

劣化調査の記録例

測定手法

- 割れ、剥離、腐朽の位置、程度、大きさ(長さ、幅、深さ)を展開図へ記録

測定対象部材

- 上弦材、下弦材、斜材、敷梁、耐傾材

劣化状況(1) 第1径間

結果・考察

劣化部位と範囲および程度(赤:大、橙:中、緑:小)を示す

上弦材、敷梁において程度の大きい劣化が認められた

劣化状況(1) 第2径間

結果・考察

上弦材、敷梁の劣化程度が大きかった

含水率

結果・考察

	第1径間		第2径間	
	敷梁 (%)	斜材 (%)	敷梁 (%)	斜材 (%)
最大値	15.0	13.8	18.1	19.0
	39.0	32.5	35.5	28.5
平均値	12.8	9.8	12.8	12.5
	27.9	19.8	23.9	20.0
最小値	10.5	4.7	9.4	8.1
	21.0	13.0	18.0	11.5

注) 上段: 電気抵抗式含水率計による値、下段: 高周波容量式含水率計による値

部材の種類による含水率の違いなし

高周波式水分計の値は、電気抵抗式含水率計の約2倍であった

木材の腐朽は含水率20%以上で進行(既往の研究、スギ板材)

- 敷梁について、高周波容量式の値が30%以上となった
- 劣化状況と一致

判断基準(目安): 20%

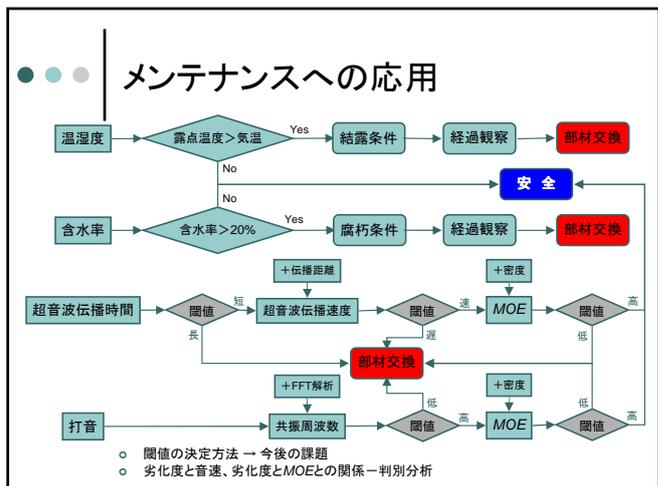
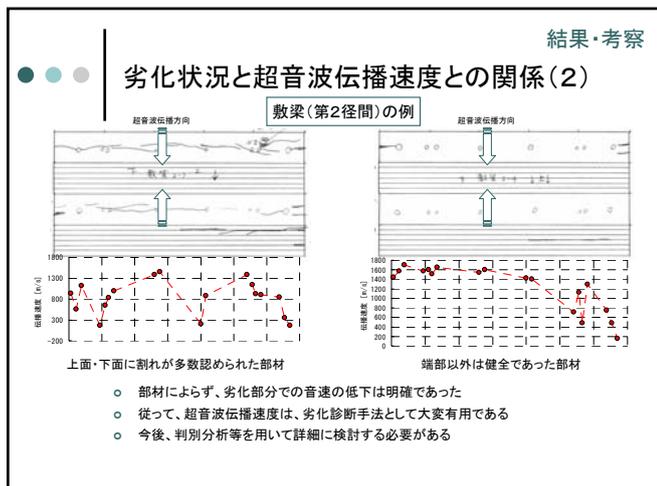
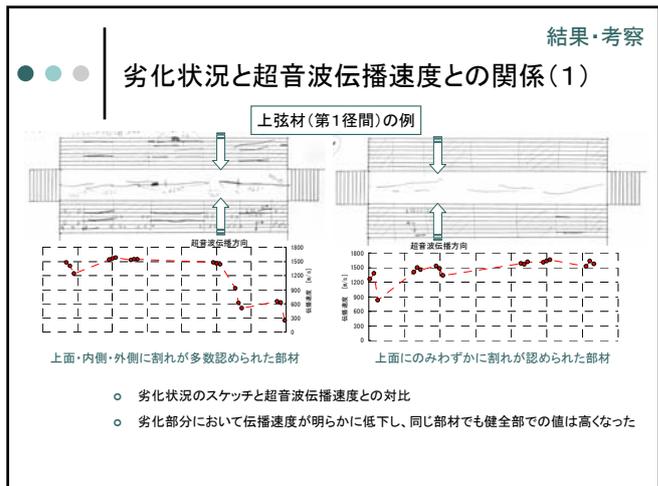
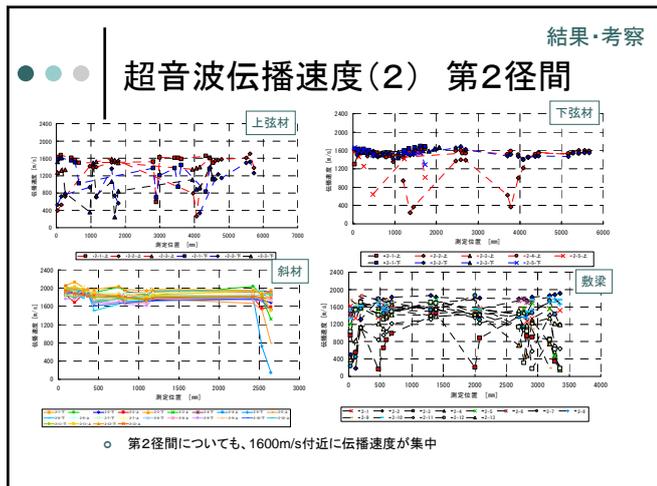
- ただし、含水率計による値の違い、水分分布等について考慮必要

超音波伝播速度(1) 第1径間

結果・考察

1本の連続直線は1本の部材、各プロットは測定点における伝播速度を表す

1600m/s付近が標準的な値と考えられる



● ● ● 謝辞

本研究を進めるにあたり、
 広島県立東部工業技術センター・江越航氏
 愛媛県林業試験場・藤田誠氏
 山佐木材株式会社・原田浩司氏
 広島県立林業技術センター各位
 に多大なご助力、ご助言をいただいた。
 ここに記し、改めて感謝の意を表す。

● ● ●

部材の名称

温湿度環境

橋梁・測定手法

HOBO Pro RH/Temp Data Logger
THS-101

- 測定手法:ビスあるいはビニールテープで部材にセンサーを固定、測定後回収
- 測定機器:マイクログテック社製 THS-101、Onset社製 HOBO Pro RH/Temp Data Logger
- 測定箇所:8カ所
- 測定期間:2003年12月8日 9:00~10日 15:30(2日+6.5時間)、測定間隔:2分

共振周波数

橋梁・測定手法

- 測定手法
部材打撃→打撃点近傍の打撃音をマイクロホンで収集→FFTアナライザにより共振周波数計算
- 測定機器:FFTアナライザ(小野測器社製 CF-1200)、マイクロホン(MI-1141)、プリアンプ(MI-3310)
- 測定対象部材:水平ブレース、数梁、上弦材(第2径間のみ)
- 測定日時:12月8日 12:00~14:00

全体振動性状

橋梁・測定手法

- 測定手法
 - 人間の跳躍による加振 ($w = 73\text{kg}$) → 加速度波形測定 → FFT解析
- 測定機器
 - 加速度ピックアップ、プリアンプ、FFTアナライザ
- 測定箇所
 - 右表参照
- 測定日時
 - 12月9日 10:50~13:20、12月10日 13:00~13:30

加振点	加速度測定点
スパン中央	スパン中央
スパン中央・幅員方向偏心	スパン中央
1/4スパン	スパン中央
スパン中央	3/4スパン
スパン中央	スパン中央
スパン中央・幅員方向偏心	スパン中央
1/4スパン	スパン中央
3/4スパン	スパン中央
スパン中央	3/4スパン

共振周波数

部材・測定手法

- 測定手法
 - 部材寸法・重量測定 → 部材固定 → 打撃:木口面・長軸方向、スパン中央部・鉛直方向 → 波形収録 → FFT解析
- 測定機器
 - FFTアナライザ、マイクロホン、プリアンプ、重量計、メジャー
- 測定対象部材
 - 上弦材、下弦材、斜材、数梁、耐傾材

温度および相対湿度

橋梁調査 結果・考察

- 全体の傾向
 - 温度:1.00~5.08~23.2℃、相対湿度:49.0~81.5~99.0%RH (最小値~平均値~最大値)
 - 9日0時~10時、10日6時~10時に相対湿度が上昇
- 温湿度と平衡含水率
 - 平均値(5.05℃、81.5%)における木材の一般的な平衡含水率は、約17% → 腐朽条件に達するレベルではない
- その他
 - 斜材:上流と下流による温湿度の変化傾向に差異は認められなかった。
 - 支索部:相対的に温湿度の変化量が少なかった。
 - 腐朽痕の認められた床梁:露点温度と気温との差が小 → 結露発生条件→水の滞留とともに重大な影響

註)左:第1径間斜材下流側の場合、右:第2径間床梁の場合

橋梁調査 結果・考察

共振周波数

測定部材	共振周波数 [Hz]			MOE計算値 [GPa]
	最大値	平均値	最小値	
水平ブレース 第1径間	125	109	100	0.595
水平ブレース 第2径間	115	103	95	0.540
敷桁 第1径間	600	472	300	5.75
敷桁 第2径間	975	552	388	7.87
上弦材 第2径間	595	237	10	22.7

- ペイマツ1級集成材の平均的なMOE(13.2GPa、下限値10.8GPa)との差が大きかった
- 今回は簡便に測定する目的で、打撃音を直接マイクロホンで収集したが、例えば、部材に装着した加速度ピックアップで振動波形を収集する等の改善を行えば、測定値の信頼度を上げることができると考えられる。
- 架橋状態での打撃法によるMOEを用いて劣化診断する場合の判断基準については明確にすることができなかった。

橋梁調査 結果・考察

橋梁全体の振動性状

	振動モード	加振点	ピックアップ設置位置	固有振動数 (Hz)
第1径間	鉛直曲げ対称	スパン中央	スパン中央	3.75
	ねじれ対称	スパン中央偏中心	スパン中央	10.75
	鉛直曲げ逆対称	1/4 スパン	スパン中央	21.75
	鉛直曲げ対称	スパン中央	3/4 スパン	3.75
第2径間	鉛直曲げ対称	スパン中央	スパン中央	11.75
	ねじれ対称	スパン中央偏中心	スパン中央	15.75
	鉛直曲げ逆対称	1/4 スパン	スパン中央	11.75
	鉛直曲げ逆対称	3/4 スパン	スパン中央	11.75
	鉛直曲げ対称	スパン中央	3/4 スパン	11.75

- 支間長と固有振動数に関する既往の研究成果
 - 概算式: (固有振動数) = 100 / (支間長)
 - 支間長36m(第1径間)の場合約3Hz、同18m(第2径間)の場合約5Hz
 - 第1径間についてはほぼ妥当、第2径間については約2倍
- 橋梁全体としての剛性は低くなかった

部材調査 結果・考察

共振周波数

縦振動法によって求めた各部材のMOE たわみ振動法によって求めた各部材のMOE

- 1本の連続直線は部材の種類を、各プロットは、各部材のMOEを表す
- 共振周波数から計算されるMOEの値
- ペイマツ1級集成材の平均的な値(=13.2GPa)とほぼ一致
- 部材での測定値は妥当→架橋時での打音測定の困難さ