

アーチ木歩道橋の健全度に関する経年変化

Investigation on time-dependent changes of the mechanical properties of arch timber pedestrian bridges

瀬崎満弘*, 今井富士夫*, 中澤隆雄*

SEZAKI Mitsuhiro, IMAI Fujio, NAKAZAWA Takao

* 工博 宮崎大学工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎市学園木花台1-1)

ABSTRACT Two arch pedestrian bridges built with glue-laminated timber were constructed in 1997, which were the same types and sizes. Authors have been executed the investigation of the time-dependent change concerning the soundness of two bridges until current year. The contents of the investigation were the deflections, the natural frequencies and the damping coefficients obtained by static and dynamic tests in addition to visual inspection. The average rigidities of the bridges were estimated to be a decrease by about 10% from the tests, and it became clear that a part of the timbers cracked and decayed from the visual inspection.

Keywords アーチ木橋, 経年変化, 腐朽, 剛性推定
arch timber bridge, time-dependent change, decay, estimate of rigidity

1. まえがき

木材は環境や荷重条件によっては、時間の経過とともに材料が変質することもありうる。近年、特に建設が増加している木橋は野外に建設されるために、日射や風雨を直接受けている。そのため、木橋の維持管理には特に配慮が必要であり、腐朽・劣化する部位の特定なども重要な課題と考えられる。

佐々木ら¹⁾は近代木橋に導入されている遠隔操作によるモニタリングのシステムを紹介するとともに維持管理への適用について検討している。また、「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」²⁾では維持のための点検フレームやその内容を詳細に示し、さらに実橋に適用した複数の木橋の事例を紹介している。飯村³⁾は宮崎県が我国最大のスギ生産県であることから、スギ集成材の耐久性や設計から修繕に対する維持管理の位置づけを明確にするとともに、点検項目なども示している。

平成9(1997)年10月、鹿児島県串木野市冠獄に2つの同形式のアーチ木歩道橋(徐福橋と仙人橋:下路式ローゼ橋,支間長は約30m)が完成した。本研究では木橋の維持管理システムを構築するために必要な木橋の経年的変化に関するデータを収集する目的で、2つの木橋の完成直後から昨年まで数度にわたり、静的・動的試験や外観調査を実施してきており、本論文では静的試験からはたわみ性状、動的試験では固有振動数と減衰定数の経年的変化を検討するとともに固有振動数から現在の橋梁全体の平均的な剛性を推定している。また、外観調査からは部材の腐朽、主部材とハンガーの取り付け部のずれ、鋼ジョイントと木部の接触部の劣化などについて、視覚的に確認できるように各部位の写真も提示している。

2. 対象木橋の概要

写真-1は徐福橋と仙人橋の外観を示したもので、2つの木橋は支間長が約30m、ライズが6mの下路式ローゼ歩道橋であり、表-1に主な諸元を示している。表に示すように、主桁はスギ集成材を、床版にはマツ集成材を使用している。

各部材の寸法(mm)は以下のとおりである。アーチ材は300×900、補剛桁、ストラットならびに横桁は300×600となっている。また、下部工は逆T式橋台と箱式橋脚を採用しており、基礎工は直接基礎とした。

表-1 本橋の諸元

橋種		木歩道橋
橋長		31.600m+31.600m
支間長		30.540m+30.540m
幅員		5.000m
ライズ		6.000m
活荷重	主桁	350 kgf/m ²
	床組	500 kgf/m ²
縦断勾配		3.776%
横断勾配		1.5% 屋根勾配
材質	主桁	スギ集成材
	床版	サザンイエローパイン集成材
	吊材	スパイラルロープ φ28mm

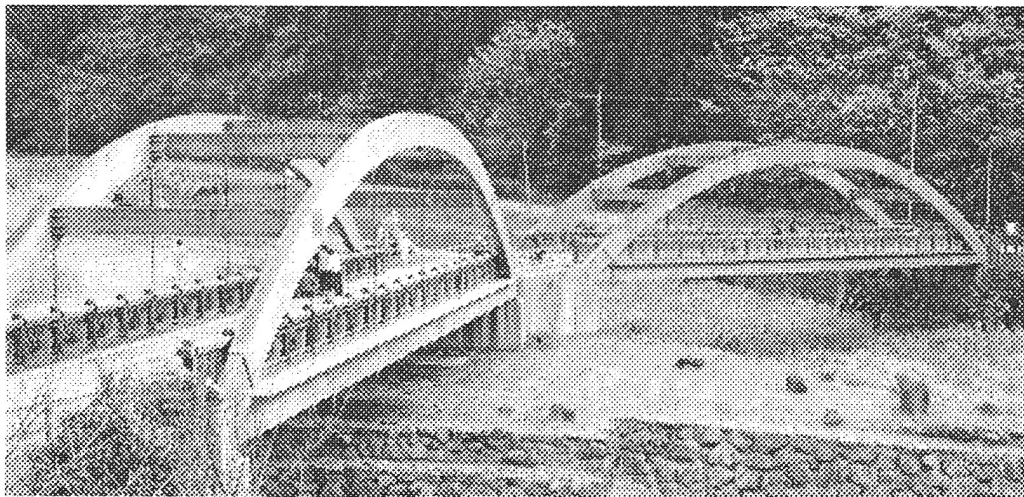


写真-1 徐福橋(右)と仙人橋(左)

3. 力学試験の結果と考察

3.1 静的試験の結果

静的試験は図-1に示すようなハンガー位置での橋軸直角方向の床版上に線荷重として載荷して、床版の中央線のたわみを測定した。荷重には砂袋を用い、たわみは床版から吊されたワイヤーの下部に分銅を付け、桁下に設置した足場から、デジタル変位計(1/200mm精度)にて測定した。

図-2は仙人橋の供用から半年後の平成10年3月のたわみ性状を示したものである。図中の○の数字は図-1での位置を示すものである。また、各載荷点の記号はすべての図で共通とする。図-2をみると、たわみ性状はアーチの力学特性である非対称変形が生じているものの、対称構造であるにも関わらず、対称点での載荷には多少のずれがみられる。これは、たわみ測定が上部工を直接測定していないために生じた誤差であると考えら

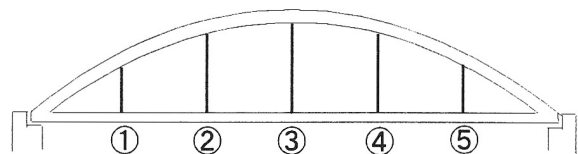


図-1 静的たわみ測定点

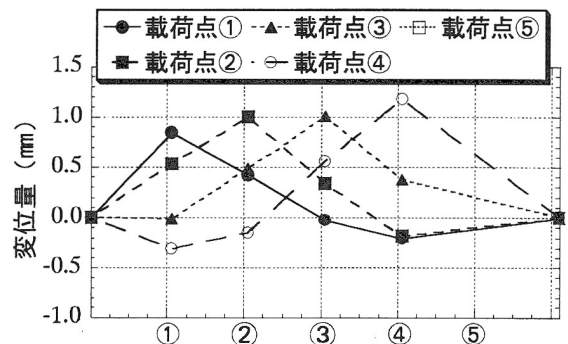


図-2 仙人橋の各点載荷によるたわみ (平成10年3月)

れる。

図-3と図-4はそれぞれ徐福橋と仙人橋の各載荷点に対する載荷点位置のたわみの経年変化を図示したものである。測定は図に示すように、平成10年には3回、平成12年と完成からおよそ6年を経た本年の1月に各1回、実施した。

初期の平成10年3月から6月まではたわみは増大しているが、それ以降では、仙人橋では平成12年までは減少し、平成16年には平成12年に比べてやや大きくなっている。また、徐福橋では変動が大きく、十分な評価はできないものの平成16年では仙人橋と同様にやや大きくなっていると判断できる。

これらの結果から、初期の変動や仙人橋での平成12年までのたわみ減少の理由については、他の木橋のデータなどと比較検討する必要がある。

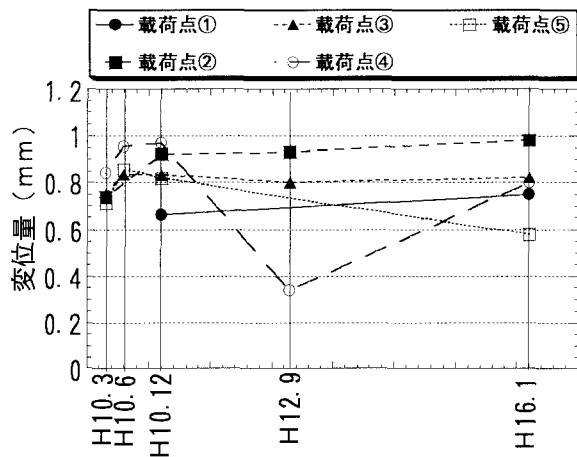


図-3 徐福橋のたわみの経年変化

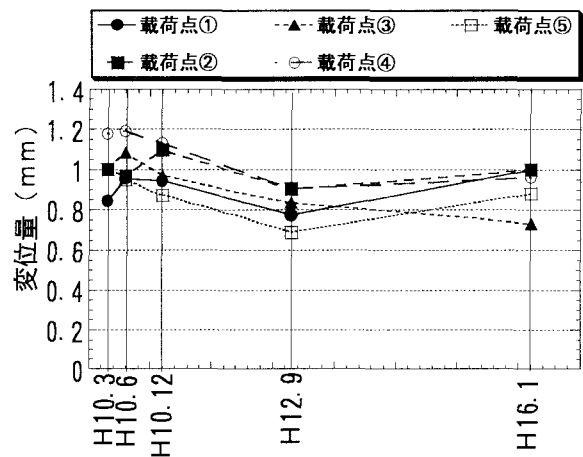


図-4 仙人橋のたわみの経年変化

3.2 動的試験の結果

動的試験では人間のジャンプによる自由振動を測定した。

実験より得られたデータを基に、パワースペクトルを求めて固有振動数を確定し、コヒーレンスと位相角から振動波形を決定した。固有振動数や波形を解析的には求めていないために、実験から得られた床版の振動波形を図-5に示している。

減衰定数は Half -Power Method を採用し、パワースペクトルでの個々の固有振動次数ごとに算出した⁴⁾。

表-2は実験で得られた固有振動数と減衰定数を示したものである。表を観て判るように、動的試験の実施時期は静的試験と異なっており、動的試験では平成10年から平成15年のいずれも冬場に実施されている。

表から明らかなように、2つの木橋ともに、固有振動数および減衰定数ともに初期の平成10年から低下する傾向にあり、特に減衰定数は、平成15年には大きく低減している。

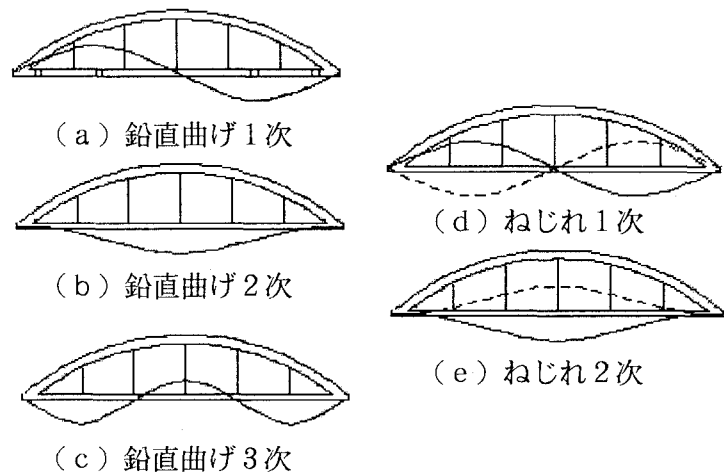


図-5 固有振動波形

表-2 固有振動数と減衰定数

		固有振動数 (Hz)				減衰定数			
		H10.12	H12.12	H13.11	H15.12	H10.12	H12.12	H13.11	H15.12
徐福橋	鉛直曲げ1次	4.16	4.10	4.10	4.00	0.0543	0.0405	0.0371	0.0169
	鉛直曲げ2次	5.66	5.47	5.47	5.37	0.0234	0.0303	0.0267	0.0156
	鉛直曲げ3次	8.59	8.59	8.00	8.23	0.0223	0.0214	0.0181	0.0154
	ねじれ1次	-	-	8.59	4.88	-	-	-	0.0167
	ねじれ2次	7.54	-	-	7.11	0.0259	-	-	0.0153
仙人橋	鉛直曲げ1次	4.10	4.10	4.10	4.10	0.0386	0.0288	0.0263	0.0167
	鉛直曲げ2次	5.43	5.47	5.27	5.19	0.0303	0.0255	0.0364	0.0273
	鉛直曲げ3次	8.40	8.50	8.30	8.05	0.0170	0.0266	0.0270	0.0241
	ねじれ1次	-	-	-	5.01	-	-	-	0.0248
	ねじれ2次	7.42	-	-	-	0.0213	-	-	0.0143

3.3 剛性の低下率

静的試験でのたわみはバラツキが多く、測定精度が十分でないように思われる。

そこで、動的試験から得られた固有振動数から木橋全体の曲げ剛性の低下率を推定する。

はりの固有振動数は曲げ剛性 EI の 1/2 乗に逆比例する。本橋はローゼ形式のアーチ橋なので、アーチリブや補剛材の軸方向剛性も変形に大きく寄与するが、橋全体の平均剛性を概算的に捉えるものとして、ここでは完成時期に最も近い平成 10 年 12 月の曲げ固有振動数を規準にして、各年次のデータとの比から橋全体の剛性低下率を予測する。

表-3 は測定最終年次での推定剛性低下率を示したもので、表からいずれの木橋もほぼ 10% 程度の剛性低下となっていることが判る。

図-6 は推定剛性低下率の経年変化を示したものである。表-3 で説明したように、これらはすべて曲げ振動から推定されるものであることから、図中の○次とはすべて曲げ固有振動数に関する次数を示している。

徐福橋では平成 12 年までは剛性に変動は観られないが、それ以降から徐々に低下しており、仙人橋では平成 12 年にも低下がみられる。平成 15 年 12 月にはいずれの木橋もほぼ同値の剛性低下となっており、その結果は表-3 に示すように 10% の剛性低下となっている。

表-3 固有振動数から推定される剛性低下率

		固有振動数 (Hz)		振動数比	推定剛性低下率
		H10.12	H15.12		
徐福橋	鉛直曲げ1次	4.16	4.00	0.96	0.92
	鉛直曲げ2次	5.66	5.37	0.95	0.90
	鉛直曲げ3次	8.59	8.23	0.96	0.92
仙人橋	鉛直曲げ1次	4.10	4.10	1.00	1.00
	鉛直曲げ2次	5.43	5.19	0.96	0.91
	鉛直曲げ3次	8.40	8.05	0.96	0.92

* 振動数比は 2 つの年の固有振動数の比であり、
振動数比 = (H15.12 / H10.12)

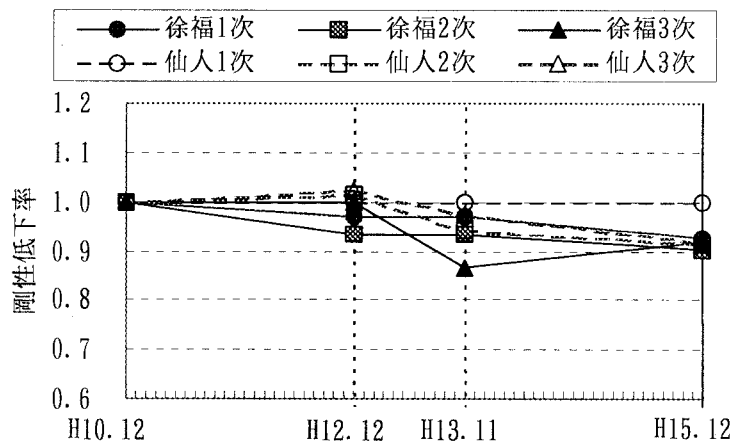


図-6 剛性の経年変化

4. 外観調査

木橋は気象や外力などの環境変化によっては腐朽や劣化が生じる場合があり、文献2)や文献3)では点検のためのチェックシートなども提案されている。対象とした2つの木橋の使用材料は表-1に示すとおりで、高欄を除くこれらの集成材にはACC加圧注入による防腐処理が施されている。

対象とする木橋は6年間供用されており、最近実施した2つの外観調査の一部を紹介する。

文献2)での平成14年10月の調査では、写真-2に示すような床版の一部に腐朽が認められており、原因として床版に使用したサザンイエローパインの含水性が高いことや架設位置が山陰にあるために日当たりが悪いことなどが挙げられ、他にも、アーチリブの上にある保護板が薄いために生じた変形や吊材定着部のキャップに雨水の溜りがあることなども指摘されている²⁾。

床版腐朽の原因は材料や気象条件と考えるよりも、腐朽箇所をみると、排水が不十分なことが最大の原因のように思われる。すなわち、腐朽箇所は高欄側の端部であり、滑り止めとして供用

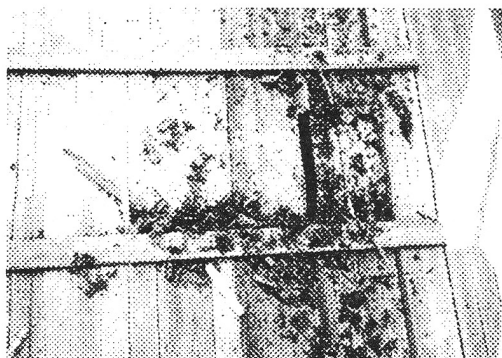


写真-2 床版の腐朽 (文献2)

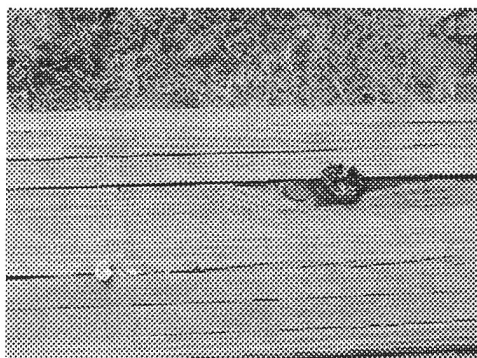


写真-3 床版張出し部の変状



写真-4 吊材定着部のずれ

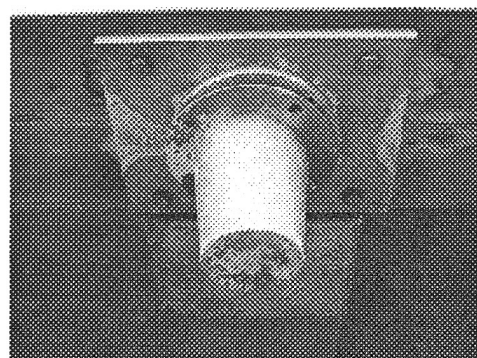


写真-5 吊材のキャップの状態



写真-6 高覧のひび割れとかび



写真-7 接合鋼板付近の変状

2年後に設置された横木が排水の流れを止めているようである。床版の腐朽箇所には簡易的にモルタルで現在は補修されていた。

著者らは文献2)の1年後にあたる平成15年12月に調査を行った。写真-3は床版張出し部を示しており、歩行者などの通過がないために、要素間に剥離のような現象やきのこの発生が確認された。

写真-4と写真-5は吊材と補剛桁の定着部の状況であり、写真-4の桁上面から判るように、吊材に大きなずれが生じてキャップに変形が生じており、上面の隙間から雨水が浸透し、底面キャップに水が溜まるような状況となっていた。

写真-6は高欄上面の状況を示したもので、高欄には十分な防腐処理を行っていなかったために、カビやひび割れが発生しており、写真-7の桁と横桁と連結部では、接合鋼板自体のさびやその周辺の脱色や塗装剤のたれも確認された。

これらの変状は老朽化を防止する意味からも、何らかの手当は必要であると考えられる。

5. あとがき

本論文は、完成から6年経過したアーチ木橋の力学的性状と外観の経年変化について論じたものであり、結果を要約すると、以下のようになる。

- (1) 静的試験で得られたたわみはバラツキが大きく、測定法の改良が必要である。
- (2) 人間ジャンプによる動的試験での固有振動数ならびに減衰定数はこの6年間に低下しており、固有振動数から推定された木橋全体の平均剛性は10%程度低下していると考えられる。
- (3) 外観調査からは、木橋の床版の一部に腐朽や脱色などが確認されたが、特に吊材と補剛材との接合部では大きなずれが生じ、雨水が浸透している。

今回示した試験結果は特に四季を意識したものではなく、今後は季節も配慮した試験を実施することを計画している。

参考文献

- 1) 佐々木貴信・植野芳彦、薄木征三：モニタリングシステムを活用した木橋の維持管理，第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp.93-96，2003
- 2) (財)国土技術研究センター：木歩道橋設計・施工に関する技術資料，2003
- 3) 飯村豊：木橋の耐久性と維持管理，第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp.85-92，2003
- 4) 橋梁振動研究会編：橋梁振動の計測と解析，技報堂出版，1993