

実橋試験に基づく木橋の挙動評価法に関する一考察

A study on the estimation of aging behavior of a pedestrian timber bridge based on a loading test

渡辺 浩*, 軽部 正彦**, 崎元 達郎***

Hiroshi WATANABE, Masahiko KARUBE, Tatsuro SAKIMOTO

* 博(工) 熊本大学助手 大学院自然科学研究科環境共生科学専攻 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

** 博(工) 森林総合研究所主任研究官 構造利用研究領域 (〒305-8687 茨城県稲敷郡基崎町松の里 1)

*** 工博 熊本大学教授 工学部環境システム工学科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

A study on the estimation of aging behavior for a pedestrian timber bridge based on a loading test was carried out. This bridge is made of ekki that has high strength and durability and is serving for five years.

Loading tests were carried out. The purpose was to accumulate data and information for maintenance. Two trucks were used as the load for easy repeatability. Differential leveling in addition to displacement gauge was used for measuring deflections.

Numerical study was also carried out. These results coincide well when the suitable numerical condition is taken into consideration. It may be possible to diagnose aging deterioration of structures if similar studies are carried out regularly.

Key Words : timber bridge, maintenance, loading test

キーワード : 木橋, メンテナンス, 載荷試験

1. まえがき

木材資源の豊富な我が国では古来より数多くの木橋が見られたが、高度経済成長期以降徐々に姿を消していった。しかし近年再び木橋の施工が積極的になされるようになってきている。これらの木橋は品質に優れた集成材を用い、防腐対策を施すなど旧来型の木橋とは一線を画するものであり、近代木橋とも呼ばれている¹⁾。また、海外から高強度の木材を輸入して木橋がかけられる例も急増している²⁾。

木橋の構造特性に関する研究成果も徐々に示されるようになってきている。例えば佐々木らは、プレストレス木床版を有する集成材タイドアーチ橋の載荷試験を行いその挙動特性を明らかにするとともに、モニタリングシステムを導入することにより使用環境下での挙動変化を調べている³⁾。また本田らは、数多くの木橋の実橋実験と解析から、近代木橋が鋼橋等と比較して遜色ない構造特性を有していることを明らかにしている⁴⁾。

一方で木橋では、主構造に有機物である木材を用いることから、腐朽による劣化が問題となる。防腐技術が進歩したとはいえ、これは木橋の耐久性を決定づける重要なポイントであり、適切な維持管理が必要とされる所以でもある⁵⁾⁶⁾。しかし、木橋の維持管理の必要性に関する

認識は必ずしも高いとはいえず、現状では検討例はきわめて少ない⁷⁾。本研究はこのような観点から、既設の木歩道橋を対象として車両を用いた静的載荷試験を行うとともに解析的な検討によりその評価を行い、木橋の今後における維持管理のための一情報を示すことを目的とするものである。

なお、本論文で述べる載荷試験の詳細については文献8)に示されていることから、本論文ではその概略を述べることにし、新たに解析的な検討ならびに評価について述べることにする。

検討対象とした木橋は図-1のような支間 27m+31m+27m の3径間連続の木桁橋で、有効幅員は6mである。都心部に位置する歩道橋で中規模河川を跨ぐことから生活道路としての利用も多い。本橋には、接合部等にステンレス鋼材が用いられているほかはすべて西アフリカ産の高強度木材であるボンゴシ材が用いられている。主桁は断面幅 225mm、高さ 1200mm を有する、ダウエルピンによりせん断補強された積層部材であり、幅員方向に8本配置されている。それぞれは9ブロックに分割して製作・搬入され、木製添接材と鋼ピンにより連続化されている。床版は、厚さ 60mm、幅 150mm、全幅1部材のものが主桁上面に交差するように敷き並べられている。なお本橋は若干ながら斜橋であり、床版が河岸方

向と平行に設置されているため主桁と床版は厳密には直交していない。

なお本橋は供用後約5年を経ているが、完成時には今後の維持管理に供することを目的とした載荷試験が行われており、経年的な挙動の変化を評価することが可能である。このことが、本橋を今回検討対象とした最大の理由である。

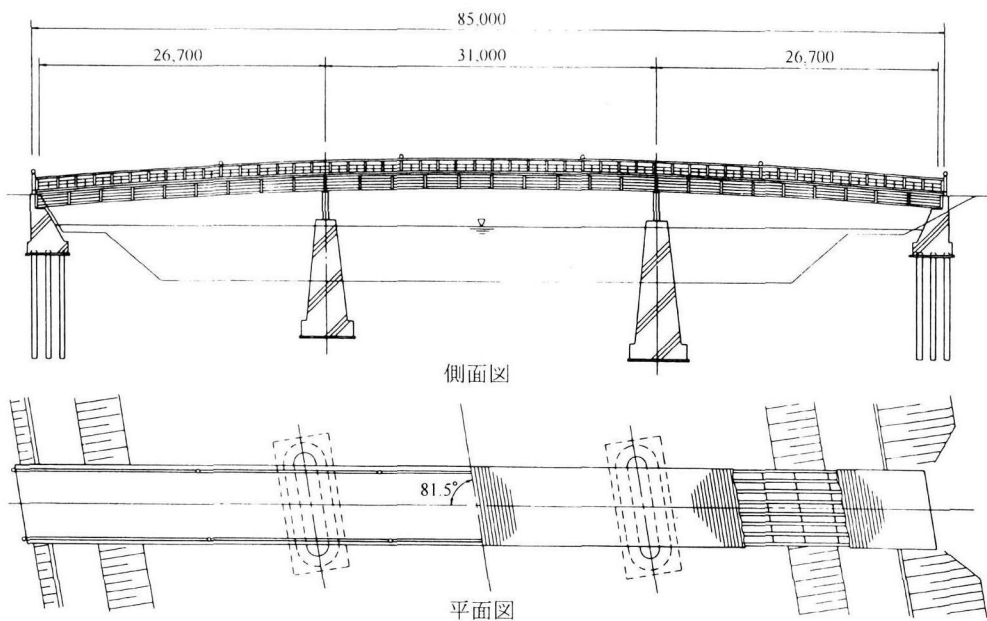


図-1 検討対象とした木橋

2. 載荷試験の概要

今回の載荷試験（以下本試験という）は完成時に行われた載荷試験（以下完成時試験と称する）との比較を容易にするため、荷重や計測条件が同じなるように計画した。さらに、載荷ケースとたわみの計測箇所を増やすことにより、より詳細な挙動が把握できるよう考慮している。

2.1 荷重と載荷ケース

荷重は今後の再現性が容易であること、および橋中央に載荷した場合の曲げモーメントが活荷重による設計曲げモーメントに近くなることを考慮し、荷台に2トンの水槽を積載した2 トントラック 2 台を用いた。重量と各軸重の測定値は表-1 に示すとおりであったが、完成時試験のものと軸重やホイールベースが異なっていたため、車輪位置も計測し車両の配置位置を調整することによって荷重の重心位置が等しくなるよう調整した。

載荷ケースは表-2 のような5 ケースとした。このうちケース 1,2 は完成時試験と同様のものである。写真-1 は試験の様子を示している。

2.2 たわみの計測

完成時試験ではたわみの計測位置は中央断面の3 箇所のみであったが、本試験では75 箇所とした。

中央径間中央断面には、各主桁および完成時試験で計測された桁間 3 箇所のあわせて 11 箇所に変位計を設置した。図-2 は変位計を設置した位置を示している。

また、本試験では準備の簡略化や計測の迅速化等の試みのため水準測量によるたわみ計測を併用した。計測点は各主桁の各径間 4 分点、合計 72 箇所であり、桁下に固定された測量標をレベルにより直接視準した。図-3 は



写真-1 試験の様子

表-1 試験に用いた車両の概要

	車両重量	車両総重量	前輪荷重	後輪荷重
車両①	2650kg	4290kg	2280kg	2010kg
車両②	2510kg	4270kg	2230kg	2040kg

表-2 載荷ケース

ケース	内 容
1	中央径間中央載荷（完成時試験と同様）
2	中央径間下流偏心載荷（完成時試験と同様）
3	中央径間上流偏心載荷 （ケース 2 と幅員方向に対称）
4	右岸側側径間載荷
5	左岸側側径間載荷 （ケース 4 と橋長方向に対称）

水準測量によりたわみを計測した位置を示している。なおこれら 72 点の計測点のうち中央径間中央断面の 8 箇所については変位計による計測点と同一点となっている。

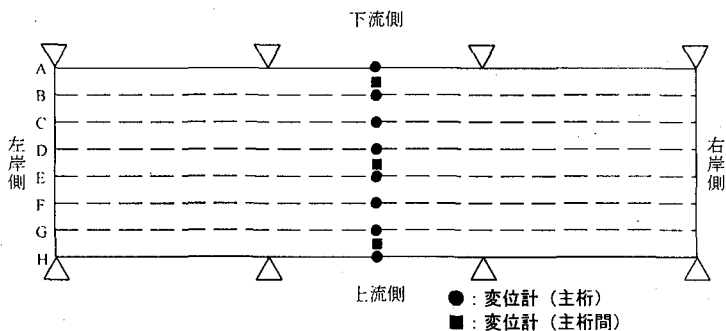


図-2 変位計による変位計測位置

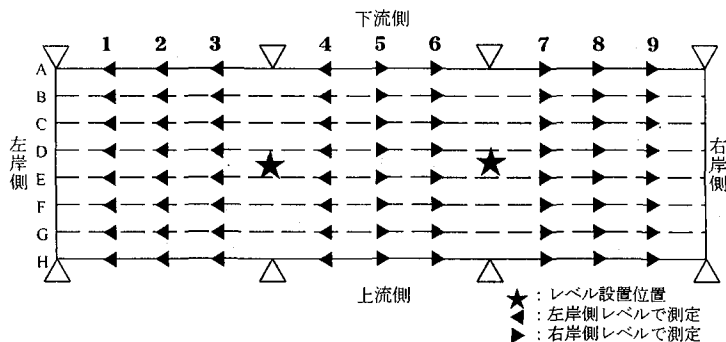
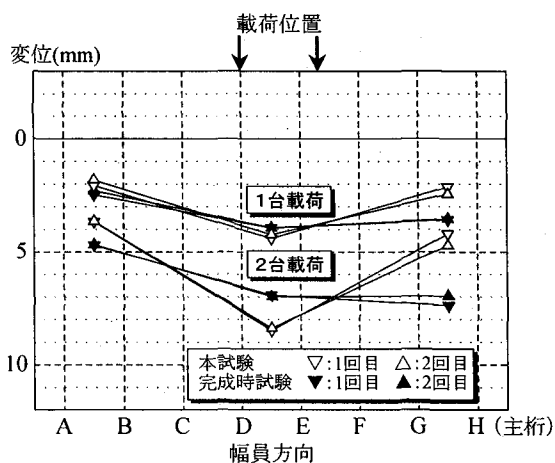
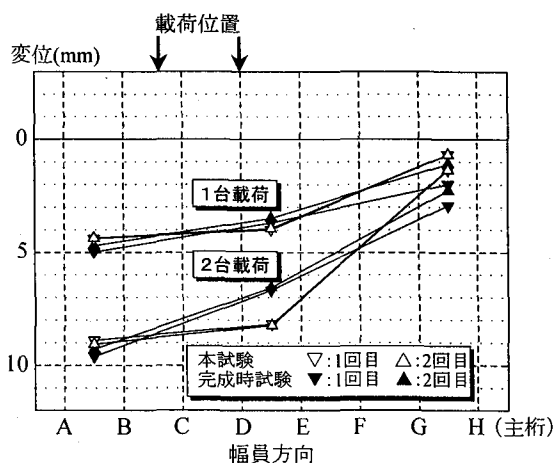


図-3 水準測量による変位計測位置



(a) ケース 1



(b) ケース 2

図-4 完成時試験と本試験でのたわみの比較 (変位計による計測結果)

3. 載荷試験の結果と評価

3.1 完成時試験との比較

図-4 は本試験の結果のうち、ケース 1, 2 について中央径間中央断面の桁間 3 箇所に設置した変位計による計測結果を完成時試験のものとあわせて図示したものである。なお、ここでは下向きの変位を正とする。これらの結果から以下のことがわかる。

- それぞれの載荷ケースを 2 回ずつ計測しているが、1 回目と 2 回目はいずれもほぼ同様な傾向を示しており、除荷時の残留変位の最大値も十分に小さかったことから、良好な試験と計測が行われたと考えられる。

- たわみの幅員方向の分布を見ると、本試験の結果では完成時試験のものと比較して幅員中央部と端部のたわみの差が大きくなっていることがわかる。このことから、供用後に横桁もしくは床版に何らかの変化が生じたため荷重の幅員方向への伝達性能が低下した可能性も存在する。

- 各ケースの 2 台載荷時の最大値に着目すると、ケース 1 で 8.38mm、ケース 2 で 9.06mm であり、完成時試験と比較すると若干大きくなっているもののほぼ同じ値であった。この違いは前述のように幅員方向のたわみ分布に起因するとも考えられることから、現時点では本橋の主桁の構造性能に大きな変化はないものと考えられる。

3.2 変位計と水準測量の結果の比較

図-5 は本試験における中央径間中央断面のたわみについて変位計による計測結果と水準測量による計測結果を比較したものである。なお、ここでは異常値を示した変位計によるC桁の計測結果は除外されている。これらによると、変位計による計測値は水準測量による計測値と比較して若干小さい傾向があるものの、ほぼ同様な結果であった。

なお水準測量で1回の計測に要した時間は32~40箇所の測点に対して7~8分程度であり予想以上に迅速な計測が可能であった。また残留たわみ値等の検討からかなりの精度での計測がなされたことも示され、本手法の有効性をうかがうことができた。

3.3 橋全体のたわみ挙動

図-6は例としてケース1,4における水準測量による橋全体のたわみ分布である。72箇所のたわみを計測したため、たわみを面的に捉えることができています。

これをわかりやすくするため、ケース1,4,5における水準測量による幅員中央に位置する主桁(D桁)のたわみ分布を示したものが図-7である。いずれのケースでも連続桁としての挙動が示されているが、同一ケースでも2回目の方がよりその挙動がはっきりと現れていることがわかる。これは木構造ではしばしば見られる現象で、接合部の特異な挙動に起因するものと考えられる。このことから、このような試験では同一ケースの荷重を何度か繰り返す必要のあることが示されている。

なお、本橋は斜橋であるものの橋長および幅員方向にはほぼ対称な構造であるため、理想的には幅員方向において荷重荷重が対称な図-5のケース2とケース3、また橋長方向において荷重荷重が対称な図-7のケース4とケース5はたわみ分布も対称となるはずである。対称性が乱れている原因は当初からの材料や構造的な要素が大きいと考えられるが、劣化によっても同様な結果が得られるとも考えられるので、今後も同様な計測を行い比較・検討を行っていく必要があると考えられる。

4. 数値解析による検討

以上により本橋の詳細なたわみ挙動を知ることができた。よってここではケース1を例として解析的検討を行い、その挙動特性についての検討を行った。

4.1 解析モデル

ここでは主桁、横桁、床版のすべてをモデル化し、312節点577要素の弾性骨組要素モデルを作成して微小変位理論による解析を行った。木材のヤング係数については設計標準値として16.7GPaを用いた⁹⁾。荷重は各車両荷重を車輪位置に配分し、さらに床版による幅員方向の荷重分配効果を、床版を各主桁位置で単純支持された連続ばりと考えて各主桁に作用する荷重を計算した上で与

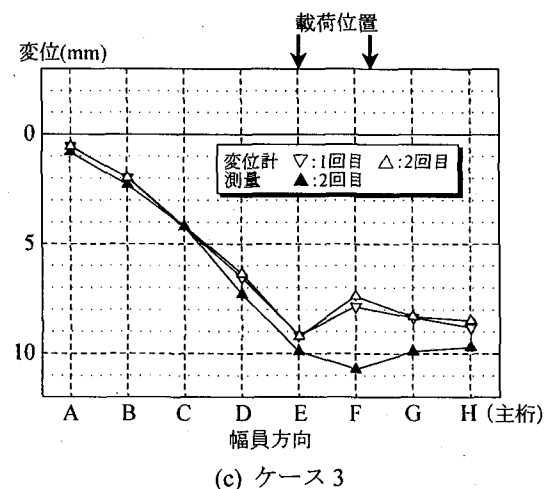
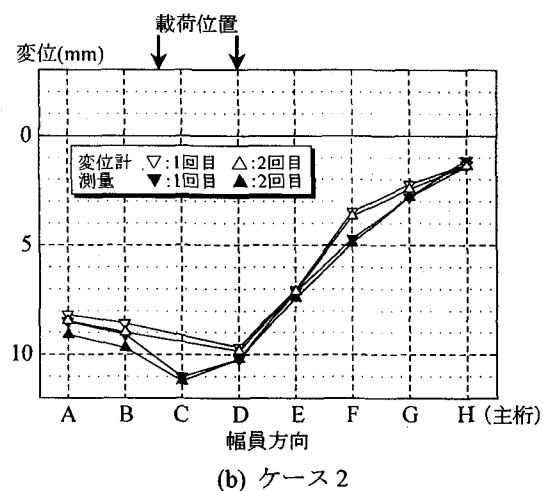
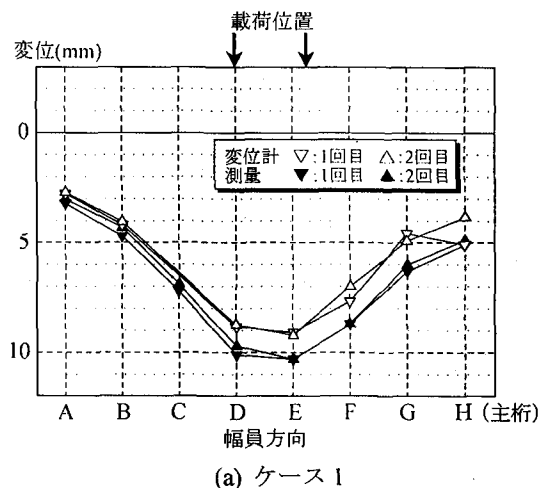


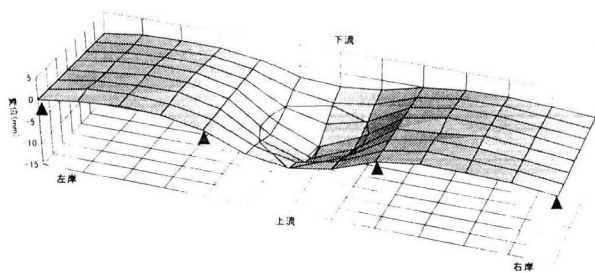
図-5 変位計と測量による計測結果の比較
(中央径間中央断面)

えた。拘束条件は両橋台と橋脚について単純支持とした上、これらの位置に対傾構が設置されていることから主桁のねじりを拘束した。

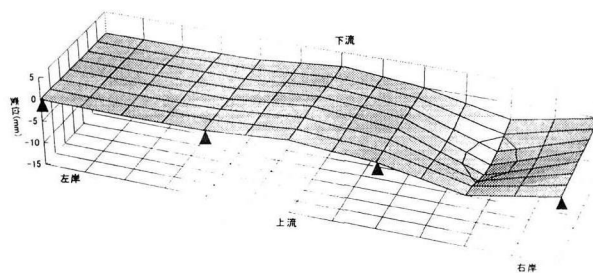
4.2 解析結果の検討

(1) 中央断面の挙動の違い

図-8 は中央径間中央断面におけるたわみ分布につい



(a) ケース 1



(b) ケース 4

図-6 橋全体のたわみ挙動（水準測量による測定）

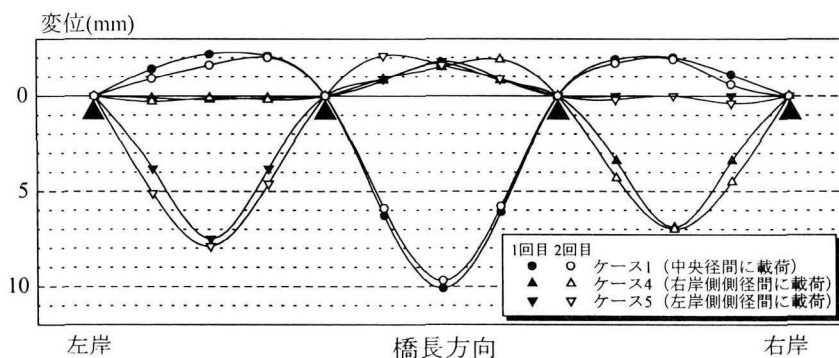


図-7 橋長方向のたわみ分布（D 桁／水準測量による計測結果）

て、先に示した完成時および本試験における中央断面のたわみ分布とあわせて、2 とおりの解析結果を示したものである。この解析条件の違いとは横方向部材の剛性の与え方の違いである。すなわち、解析条件①は横桁と床版の主桁への取り付け位置を考慮して横方向部材の曲げ剛性を算出した場合であり、解析条件②とは横桁と床版の曲げ剛性をそれぞれの和として故意に小さく与えたものである。実際の横方向部材の剛性はこれらの解析条件の間中であると考えられる。

この図から、完成時試験での挙動は解析条件①と類似しており、また本試験での挙動は解析条件②と類似していることがわかる。すなわち、完成時試験の挙動と本試験での挙動はいずれも横方向部材の剛性を変えただけで模擬できることから、3.1 節で考察したように、両試験での実挙動の違いは必ずしも桁橋で重要な主桁部材の劣化を示しているとは限らないことがわかる。なおこのような挙動の変化は木材の乾燥収縮等に起因する部材接合部、ここでは主桁と床版との接合部の剛性変化によるものと考えられるが、維持管理の視点からもその様子を継続的に観察し留意していくべき点と言える。

(2) 2,3 の考察

本試験の実測値と解析条件②を比較すると、実測値ではたわみ分布が最外縁主桁のみ乖離した結果になっていることがわかる。これは最外側とその内側の桁間のみに

設置されている対傾構の影響が現れているためと考えられることから、解析条件③ではこれを考慮するため最外縁主桁のねじり剛性を 10 倍としている。図-9 によるとこのような条件を与えることにより実挙動を模擬することが可能であることがわかる。

図-10 は幅員中央に位置する主桁（E 桁）のたわみ分布を示したものであるが、解析条件③の結果は中央径間のたわみが小さい一方で側径間の浮き上がり量が多いことがわかる。その理由として、本橋の主桁はそれぞれ 8 箇所（継ぎ手）を有しており、その接合部は弾性的な挙動をすると考えられることから、解析条件④では③の操作に加えて、中間橋脚近傍の負曲げが作用する接合部に弾性バネを与えてみた。具体的には橋脚至近の継ぎ手について、1cm 区間に対して曲げ剛性を 1/1000 とする弾性バネを与えている。解析条件④により、本試験での挙動をほぼ模擬できていることから、詳細は不明であるが継ぎ手部の特異な挙動が表れていることがわかる。

以上の考察は一種の逆解析的手法であるが、このようなアプローチは本橋の構造特性を把握するのみならず、今後の維持管理のための基本的な性状の把握という意味で非常に重要である。

5. まとめ

本論文における成果をまとめると以下のとおりである。

1) 架設後 5 年が経過した木橋の載荷試験を行い、そのた

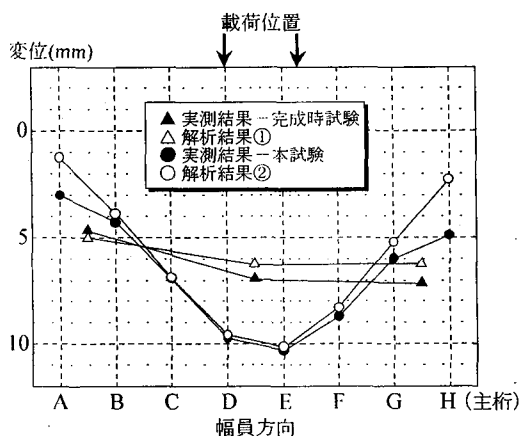


図-8 実測値と解析値の比較
(ケース1/中央径間中央断面)

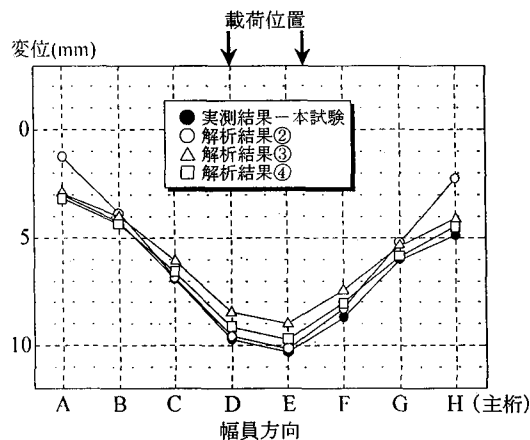


図-9 解析条件の比較
(ケース1/中央径間中央断面)

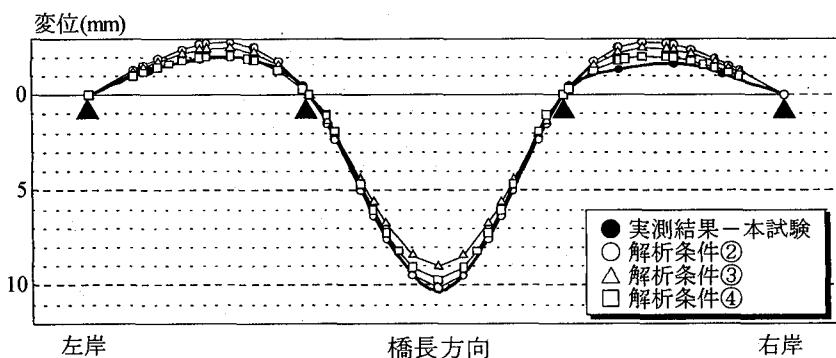


図-10 解析における完成時との比較 (ケース1/E桁)

わみ挙動を詳しく知ることができた。同様な試験を定期的に行うことで、これらのデータは本橋の局所的な劣化を予測・診断するための重要な情報となると考えられる。

- 2) たわみ計測に水準測量を用いた方法を利用することにより、有効な結果を迅速に得ることができた。このことは、特に小規模の橋梁における点検業務の省力化につながるものと期待できる。
- 3) 構造解析により本橋の挙動特性を推測することが可能であることがわかった。また解析的検討から、本橋のたわみ挙動の供用中の変化は主桁の劣化に起因するものではないことは明らかであり、現状では完成時とほぼ同様な耐荷性能を有していることがわかった。ただし、構造体の劣化の影響はたわみに必ずしも敏感に表れるわけではないことから、今後の維持管理では加えて適切な点検がなされることが望まれる。

参考文献

- 1) 林野庁監修, 薄木征三編集指導: 近代木橋の時代, 龍源社, 1995.
- 2) 堀江 和美: エッキ材を用いた木造歩道橋について,

日本木材学会北海道支部講演集, No.26, pp.23-27, 日本木材学会, 1994.

- 3) 佐々木 貴信・薄木 征三・長谷部 薫・柴田 悟: 集成材タイドアーチ橋「百目石橋」のモニタリングと載荷実験, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集, Vol.55, I-A, pp.390-391, 土木学会, 2000.
- 4) 本田 秀行・三品 吉彦: 木橋の最近の動向, 第2回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp.15-26, 土木学会, 1999.
- 5) 木橋技術協会: 木橋の点検マニュアル(第1版), 1999.
- 6) 鈴木基: 木橋の建設と維持管理の重要性, 木材保存, Vol.26-5, p.1, 日本木材保存協会, 2000.
- 7) 宮武 敦, 山本 幸一, 桃原 郁夫, 大村 和香子: 木橋に用いられた集成材の耐久性調査(Ⅱ), 日本木材学会第51回大会研究発表要旨集, p.413, 日本木材学会, 2001.
- 8) 渡辺 浩・軽部 正彦: 架設後5年が経過したボンゴシ歩道橋の載荷試験, 木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.23-28, 土木学会, 2001.
- 9) (財)日本住宅・木材技術センター: 木橋設計施工の手引〜木橋づくり新時代, ぎょうせい, 1995.

(2001年9月14日受付)