架設後５年が経過したボンゴシ歩道橋の載荷試験

Loading test for pedestrian ekki bridge serving for 5 years

○渡辺 浩* 軽部 正彦**
WATANABE Hiroshi and KARUBE Masahiko

ABSTRACT Loading test for pedestrian timber bridge was carried out. The purpose was to accumulate data and information for maintenance. This bridge is made of ekki and serving for five years. Two trucks were used as the load for easy repeatability. Differential leveling in addition to displacement gauge was used for measuring deflections. It may be possible to diagnose aging deterioration of structures if similar test is carried out regularly.

Keywords : 載荷試験、たわみ、水準測量、維持管理、ボンゴシ
load testing, deflection, differential leveling, maintenance, ekki

1. まえがき

木材資源の豊富な我が国では、古くから橋等の構造物の主要材料として木材が広く用いられてきた。日本人がいかに木材と上手につきあう術を身につけていたかは、数々の歴史的構造物を見ても明らかであり、日本文化が木の文化と言われる所以でもある。しかしこのような歴史を有する我が国にあっても木橋は高度経済成長以降次々に姿を消していった。これには交通機関の発達や荷重の増加等の社会的な要求に加え、鋼材やコンクリートの品質が安定し安価に流通するようになったこと、設計法が整備されたこと、そしてメンテナンス性がよいとされたことなど材料的な理由があったものと考えられる。

ところで近年、木橋の建設が急増している。この理由としては強度や加工、防腐等における技術革新は無論のことであるが、公共構造物に対する社会的要求の変化や環境問題等も見逃せない。このような時代的背景の下でこの 10 数年に建設された木橋の数は 1000 橋を越えるとも言われ、設計基準の整備も進められている。

一方で木橋では防腐技術が進歩したとはいえ、その材料特性からメンテナンスの重要度は高いと考えられる。このことは、木橋の維持管理の考え方と点検手法がまとめられた「木橋の点検マニュアル（第 1 版）」[1]でも紹介されている。しかし、最近建設された木橋でもメンテナンスの社会的位置づけは一般の橋梁の場合と同様に低く、検討例もほとんどないのが現状である。現在は比較的若齢の木橋が多いため問題も生じにくいが、事故の報告[2)3)]もなされており、今後早期に取り組まれるべき課題と考えられる。

このような中で筆者らは、架設後 5 年が経過したボンゴシ製歩道橋の載荷試験を行う機会を得た。この試験は今後の維持管理のための情報収集の一環として企画されたものであり、完成時にも同様の趣旨による載荷試験が行われている。よって本試験では、完成時の挙動と比較して本橋

* 熊本大学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）
** 森林総合研究所構造利用研究領域材料接合研究室（〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町松の里 1）

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

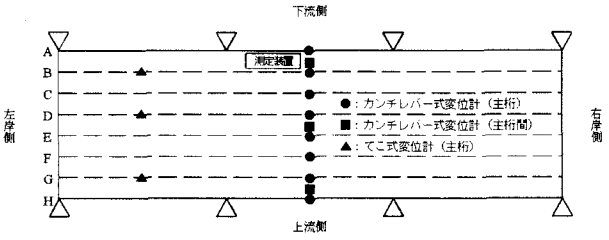


図-1　変位計の設置位置

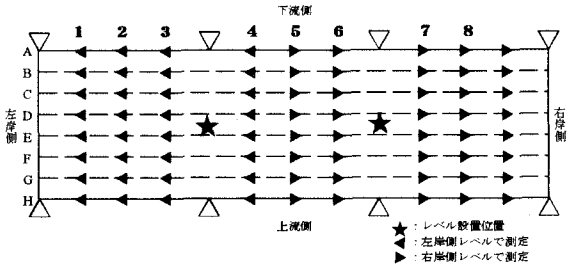


図-2　レベルと測量標の設置位置

の健全度を照査するとともに、より詳細な計測を行って今後のための詳細な情報を得ることを目的とした。本論文はこれらの載荷試験の概要と結果ならびにその方法と課題などについて報告するものである。

対象橋梁は支間 27m+31m+27m、有効幅員 6m の 3 径間連続木桁橋である。主桁はボンゴシ製の 5 層のダウエル積層桁であり、幅 225mm、高さ 1200m のものが幅員方向に 8 本配置されている。また橋長方向には 9 ブロックに分割されており、ボンゴシ製添接材を用いて連続化されている。床版もボンゴシ材で、厚さ 60mm、幅 150mm 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 81.5° の斜橋であるが、床版が河川方向と平行に設置されているため主桁と床版は直交していない。その他の部材も含めて本橋は部材の接合に補助的にステンレス鋼材が使われている以外は全て木材で構成される木橋となっている。

2. 載荷試験の概要

今回の載荷試験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に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

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。それぞれは表-1 に示すような重量と各軸重および車輪位置が予め計測されている。なお本試験に用いた車両は完成時試験のものと比較してホイールベースが約 80cm 大きく軸重の比も異なっていたため、各車両の誘導位置を調整して重心位置が同じになるようにした。

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。計測方法としては通常用いられる変位計による計測に加え、水準測量も用いた。

中央径間の中央断面には、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 箇所に自作のカンチレバー式変位計を設置した。また左岸側側径間中央断面には 3 本の主桁について自作のてこ式変位計を設置した。固定点は橋下の重錘とし、変位計とはワイヤーで結ばれている。図-1 は変位計を設置した位置を示している。

これら以外のたわみ計測については準備等の簡略化のため水準測量を利用した。方法は各主桁の各径間 4 分点、合計 72 箇所の桁下に写真-1 に示すような測量標を固定し、これをレベルにより直接視準するものである。測量標はたる木に 1mm 目盛りのテープが貼付されたものであるが、計測ではこれを 1/10mm の精度で記録した。レベルは目視距離が小さくなるように両中間橋脚上

写真-1　測量標

写真-2　水準測量風景

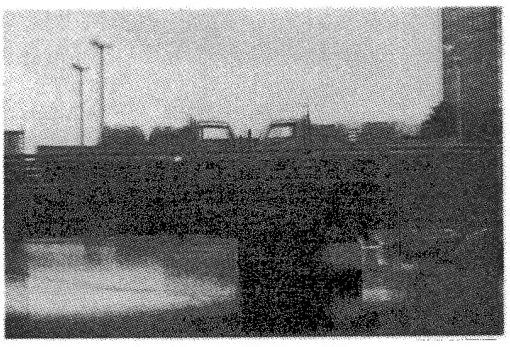


写真-3　試験の様子

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）

に各1台設置した。写真-2は水準測量の風景である。なお、今回の計測ではレベルと測量標との間に最大で20m程度の距離があること、測量標として専用のスタッフを用いていないこと、また水面が近いことによる周囲の環境の影響等により、計測結果にはある程度の誤差が含まれることが予想される。図-2は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11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。

2.3 載荷ケース

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については完成時試験と同様のものである。写真-3は試験の様子を示している。

3. 載荷試験の結果と評価

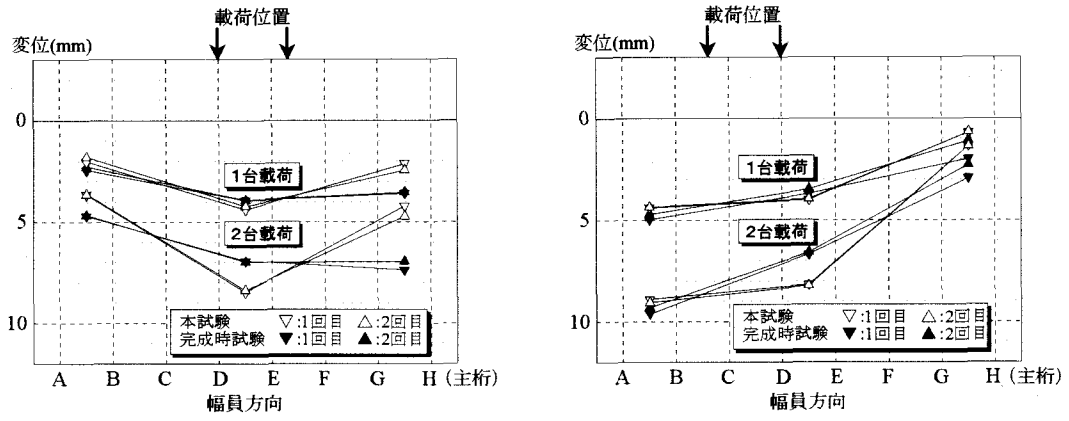
3.1 完成時試験との比較

図-3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0.26mmであったことから、良好な計測が行われたと考えられる。

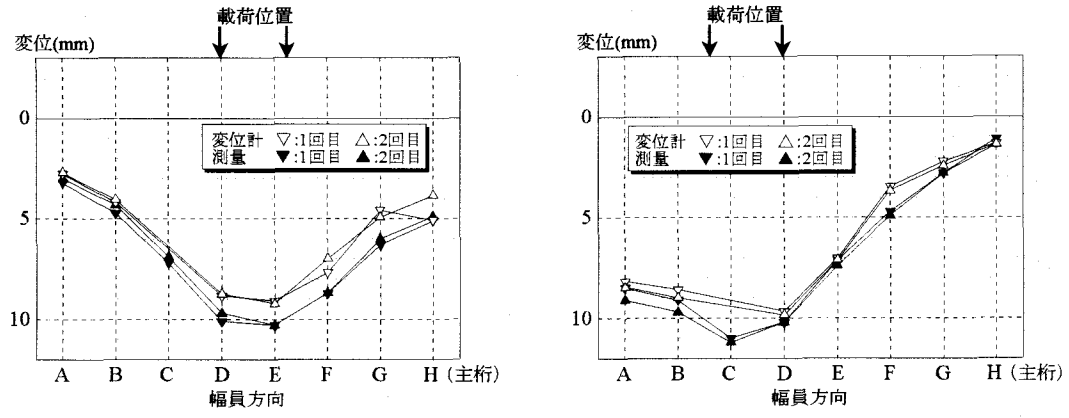
・たわみの幅員方向の分布を見ると、本試験の結果では完成時試験のものと比較して幅員中央部と端部のたわみの差が大きくなっていることがわかる。このことから、この5年間で荷重の幅員方向への伝達性能の低下、すなわち横桁もしくは床版に何らかの変化が見られたことがうかがわれる。

・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と完成時試験とほぼ同じ値が得られた。前述のように幅員方向のたわみ分布が異なるため、単に最大値を比較することは問題ではあるが、これまでのところ本橋の構造性能に大きな変化はないものと



(a) ケース 1　　(b) ケース 2

図-3　完成時試験と本試験でのたわみの比較



(a) ケース 1　　(b) ケース 2

図-4　変位計と測量による計測結果の比較（中央径間中央断面）

考えられる。

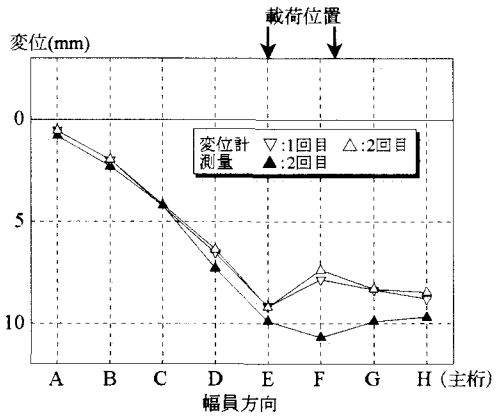
3.2 変位計と水準測量の結果の比較

図-4 は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、両者は同様な傾向を示しているものの、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全般的に小さくなっていることがわかる。この理由としては、変位計の固定度やワイヤーのたるみ等が考えられるが、水準測量による方法でもある程度の誤差は想定されることから、ここではこれらを用いた誤差補正等は行わないこととする。

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 1/10mm の計測は技術的に困難と考えられたが、載荷前と除荷時の計測値の比較等から、かなりの精度での計測が可能であったことがうかがえた。

3.3 左岸側側径間のたわみ

図-5 は左岸側側径間に載荷したケース 5 について、同径間中央断面の変位計および水準測量によるたわみの計測結果を示したものである。G 桁に設置した変位計については試験後に動作不良が確認されたが、それ以外では両者の結果はほぼ一致していることがわかる。



(c) ケース 3

図-4　変位計と測量による計測結果の比較
（中央径間中央断面）

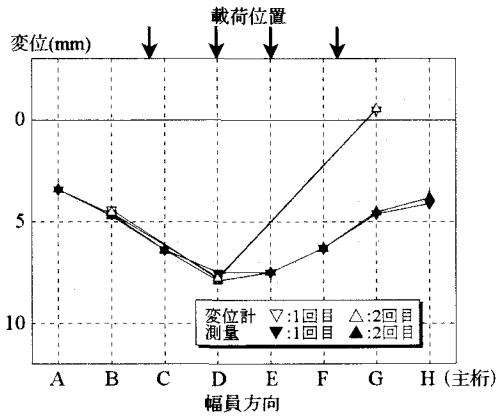


図-5　変位計と測量による計測結果の比較
（左岸側側径間中央断面・ケース 5）

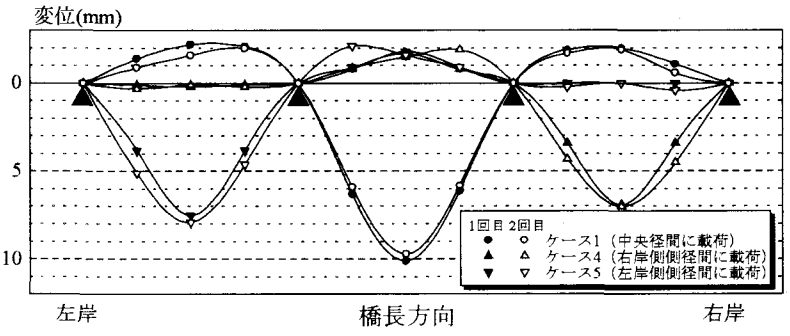


図-6　橋長方向のたわみ分布（D 桁，水準測量による）

3.4　橋長方向のたわみ分布について

図-6 はケース 1, 4, 5 における水準測量による D 桁のたわみ分布を示したものである。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。また、同一ケースでも 2 回目の方がよりその傾向が強いが、これは接合部のゆるみ等が原因と考えられる。このことから、このような試験では同一ケースの載荷を何度か繰り返す必要があることがわかる。

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、理想的には載荷位置も対称な図-6 のケース 4 とケース 5、また図-4 のケース 2 とケース 3 は対称となるはずである。対称性が乱れている原因は主に当初からの構造的要素が大きいと考えられるが、劣化が生じてもこのような現象は生じるので、今後の検討では留意しておく必要がある。

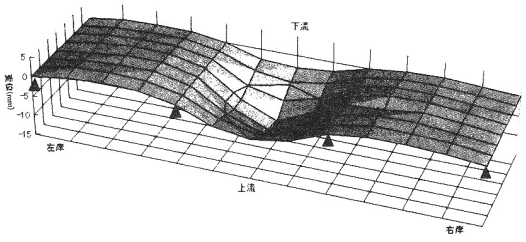
3.5 水準測量による橋全体のたわみ挙動

図-7 は各ケースにおける水準測量による橋全体のたわみ分布を示したものである。72 箇所のたわみを計測したため、橋全体のたわみを面的に捉えることができている。同様な計測を定期的に繰り返し、結果を比較することにより局部的な劣化をある程度診断・予測することが可能となると考えられる。ただし、実際の維持管理においては客観的な判断基準も必要になるであろうから、数値解析等による検討も別途必要となるであろう。

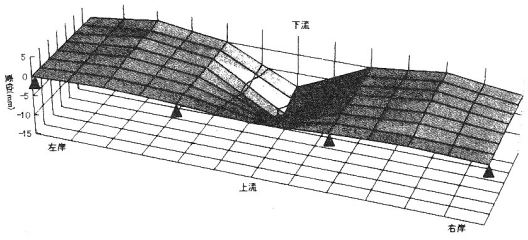
4. まとめ

本論文における成果を今後の課題とともに整理すると以下のようになる。

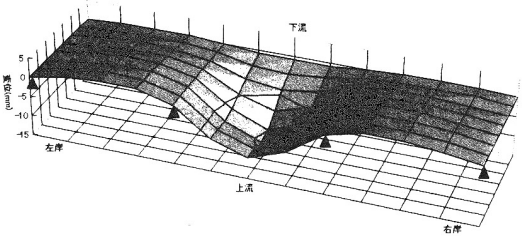
○架設後 5 年を経過した木橋の載荷試験を行い、その挙動を調べた。その結果、現時点では完成時とほぼ同様な耐荷性能を有しており機能性に問題は見られなかった。ただし、たわみは劣化



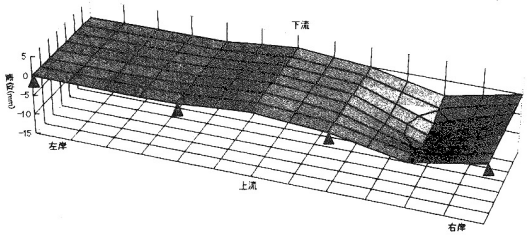
(a) ケース 1



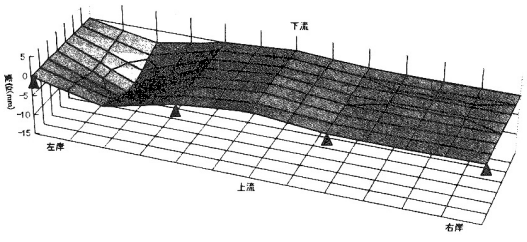
(b) ケース 2



(c) ケース 3



(d) ケース 4



(e) ケース 5

図-7　橋全体のたわみ挙動（水準測量による）

の影響が必ずしも敏感に現れるものではないことから、今後の維持管理ではこの結果のみに頼らず適切な点検がなされることが望まれる。

○たわみ計測に水準測量を用いた方法を利用し、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。

○たわみ挙動を定期的に計測し比較することで、構造材の局部的な劣化を予測・診断することが可能であると考えられる。ただし、実際の維持管理業務では客観的な判断基準が必要とされる場合も考えられることから、数値解析等による検討も別途なされる必要があるであろう。

参考文献

1) 木橋技術協会：木橋の点検マニュアル（第 1 版）, 1999.6.
2) 鈴木憲太郎・軽部正彦・宮武敦・加藤英雄：ボンゴシ材を使った公園用木橋の落下について, 木材工業, Vol.55, No.2, pp.78-81, 2000.2.
3) 軽部正彦・宮武敦：ボンゴシ橋の落橋事故について, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演要旨集, I-A227, 2000.9.