

# 付 録

## 13年の供用履歴を持つ既存木橋の載荷破壊実験

### Destructive loading test of a rebuilt wooden bridge served for 13 years

○軽部正彦<sup>\*1</sup> 林知行<sup>\*2</sup> 加藤英雄<sup>\*3</sup> 宮武敦<sup>\*3</sup> 新藤健太<sup>\*1</sup> 青木謙治<sup>\*2</sup> 藤田和彦<sup>\*4</sup>  
KARUBE Masahiko, HAYASHI Tomoyuki, KATO Hideo, MIYATAKE Atsushi,  
SHINDOU Kenta, AOKI Kenji and FUJITA Kazuhiko

- <sup>\*1</sup> 博(工学) 独立行政法人森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)  
<sup>\*2</sup> 農博 独立行政法人森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)  
<sup>\*3</sup> 農修 独立行政法人森林総合研究所 (〒305-8687 茨城県つくば市松の里1)  
<sup>\*4</sup> 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)

**ABSTRACT** We report the loading experiment of 36m span wooden truss bridge built in May 1990. Because of the deterioration of some members, this pedestrian bridge was replaced by steel bridge in December 2003 without the verification of residual strength performance. All of the wooden members, steel connections and fasteners were stored in indoor-warehouse. In March 2007, we rebuilt the bridge in the research field in Hiroshima. After curing for the 15 month, we carried out the loading experiment in June 2008. The upstream lower-cord was broke at 94.4kN, and completely collapsed at 189.7kN by compression failure of downstream upper-cord.

**Keywords:** 破壊載荷、実大実験、トラス橋、耐久性、崩壊  
*Load to destroy, Full-size experiment, Truss bridge, Durability, Collapse*

### 1. はじめに

2003年12月に13年という短い供用期間を終えて木造トラス橋が解体撤去された<sup>5)</sup>。安全性が問題視されたこの橋は、その真の残存耐力が判らないままに鉄橋に置き換えられた<sup>6)</sup>。我々は、解体に際して全ての部材と接合部品を回収して屋内保管し、この木橋の真の耐荷性について検証する機会をうかがってきた<sup>7)</sup>。2007年3月に機会を得て、保管していた架設当初からの部材だけを使って木橋を再組立した<sup>9)</sup>。それ以降、各種非破壊調査を元に劣化の内容および評価方法について検討してきたが、2008年6月に、その結果を実際に検証する目的で載荷実験を実施し破壊に至らしめた。本報では、その概要について報告する。(写真1参照)



写真1 土嚢積載により破壊した13年の供用履歴を持つ木トラス橋



写真2 解体前の対象橋梁の全景（2003/11/06 撮影・4枚を合成）

## 2. 対象橋梁の概要

破壊した木橋は、1990年（平成2年）5月に広島県立山野峡自然公園内の歩道橋として架設された下路式木造単純トラス橋「かっぱ橋」の第1径間である<sup>1)</sup>。同木橋は、架設位置の都合から「くの字」に配置された、第1径間(36.3m)と第2径間(18.3m)の2径間からなり、両径間とも有効幅員2.3m、主構高さ2.7mであった<sup>4)</sup>。（写真2参照）

部材は、集成材ベイマツ1級に天然系防腐塗料を塗布したもので、その断面寸法は、上下弦材がW220×D262mm、斜材がW220×D170（両橋詰のみ228）mmである。設計は、道路橋示方書・同解説(昭和55年)に準拠し、群集荷重350kgf/m<sup>2</sup>、死荷重800kgf/m<sup>3</sup>で行われ、格点接合部は、SS400で作られた「コの字」型金物とボルトによる鋼板添え板二面せん断ボルト接合である。2000年頃より木部材の劣化が認められ、13年後となる2003年12月に木橋は除却、同じ下路式鋼製単純トラス（角型鋼管に木装樹脂塗装仕上げ）に置き換わって現在に至っている<sup>6)7)</sup>。

## 3. 破壊载荷の方法とその状況

木橋の耐荷性能検証の目的で破壊し落下するまで加力を続ける方法として、荷重積載による加力を考えた。幸いにして、木橋を再組立した現地には作業用重機演習用土砂があり、これを土嚢袋に詰め、クレーンにより上弦材間の水平ブレースをかわしながら、吊り込むこととした。直径900mmの土嚢は約320kgになるが、劣化した木橋を破壊するに十分な約400kN分（130袋）を用意した。なお、関係者の安全を確保するため载荷開始後は、木橋上及び安全距離内の立ち入りを禁止し、吊り荷の切り離しは、木橋上に位置させた高所作業車から行った。（写真3参照）

土嚢は、橋長の1/2にあたる中央部分に対して、出来るだけ均等な分布となるよう、橋長および幅員方向に対して、左右対象に積載した。土嚢積載の位置とその順序を、図1にまとめる。

土嚢26袋（94.4kN）を積載したところで、上流側下弦材が破断して傾いたが、その後も载荷を続け、53袋（189.7kN）を積載した時に下流側上弦材がトラス格点間中央で圧縮破壊し、最終破壊に至った。（写真4、写真5参照）なお、正確な積載荷重は、木橋と橋台との間に設置した4台のロードセルで支点反力を測定し、载荷前後の差分として算出した。



写真3 クレーンにより床板上に土嚢を載せる（写真は一次破壊後）

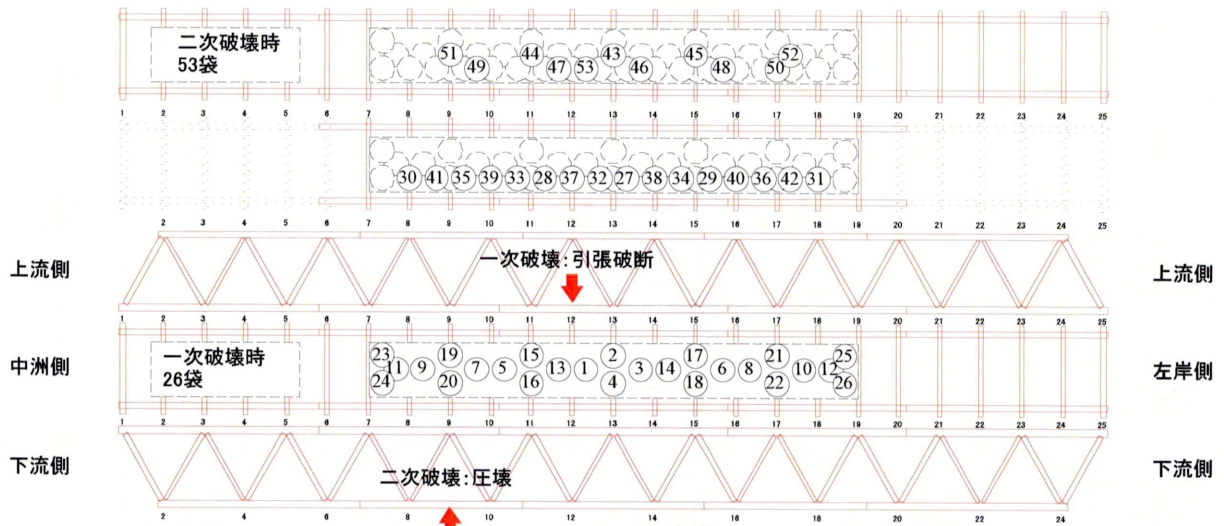


図1 土嚢積載位置とその順序



写真4 上流側下弦材の破断により傾ぐ



写真5 部材破壊状況（一次破壊）



写真6 下流側上弦材の圧壊により着地



写真7 部材破壊状況（二次破壊）

#### 4. 破壊状況とその考察

荷重による破壊は大きく二段階に分けられるが、最終破壊後の主な部材の破壊位置を木橋全体の構造と合わせて図2に示す。

##### 4.1 破壊の過程

一次破壊は、上流側下弦材のトラス格点11-13間が引張破断し、上流側下弦材は破断箇所から左右に分かれ、木橋全体が上流側に傾いた。しかし、木橋全体として見れば、一気に落下することなく、変形が停止した。この際、木橋全体の落下を止めたのは、破壊部位を跨るように配置され

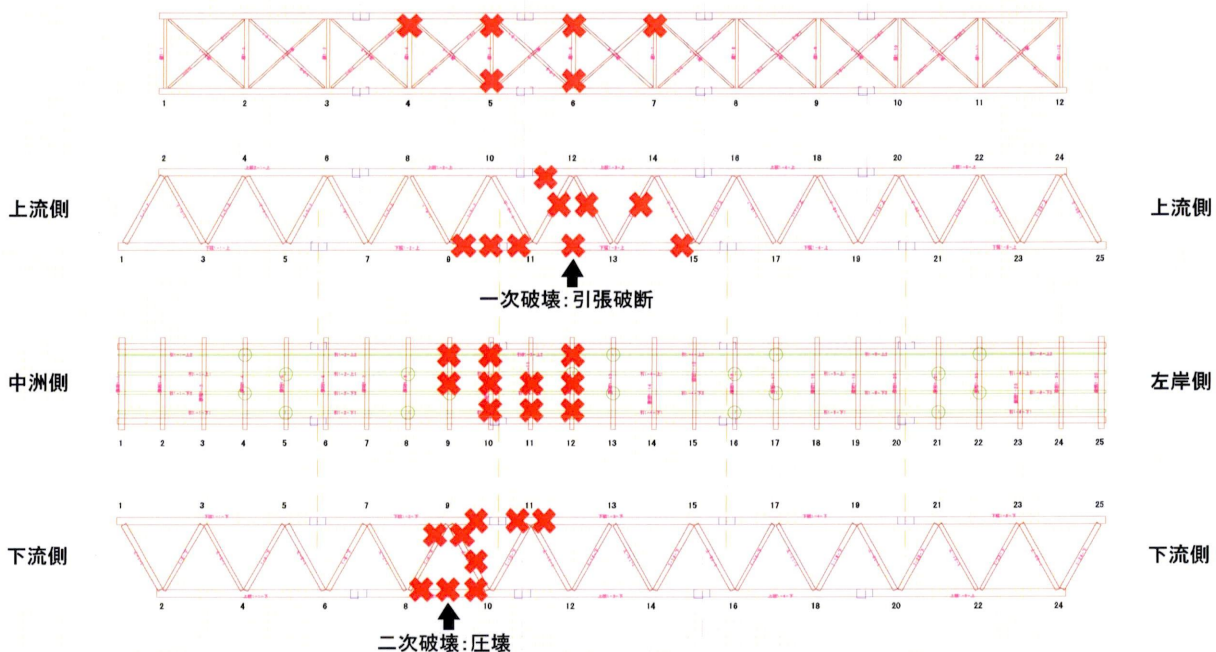


図2 構造および部材破壊位置

ていた床根太であり、その床根太が固定していた敷梁を介して、トラス下弦材が負担していた軸力を保持していたようである。このことは、その後の载荷によって、床根太固定ボルトが敷梁を木材繊維方向に引き裂いて行ったことから裏付けられる。(写真4、写真5参照)

一次破壊後の载荷では、木橋全体が上流側にはらみ出し、またその度合いを強めながら変形を続け、木橋全体の落下に繋がった二次破壊では、下流側上弦材上部から発生した木材の繊維座屈からなる圧縮線（もめ）が成長し、部材中心から爆発するように圧壊した。破壊し落下した状況から判断すると、上弦材の圧壊後、着地するまでの間にその直下の下流側下弦材トラス格点9の左岸側端部ボルト位置で破断したようである。(写真6、写真7参照)

#### 4.2 破壊位置

一次破壊の発生位置は、広島県下の自然公園内で供用されていた2000年に行われた調査で、重大な腐朽が生じている、との指摘を受けた箇所であった。また破壊载荷実験開始前にも、部材に生じた割れが、数日來のうちに拡大しているようだと指摘があり、注目していた部分でもある。再組立後の全重量とスパン中央の鉛直変位の変化をまとめた図3では、変位測定を開始した200年7月から8月と、2008年5月以降で、下流側に比べて上流側の垂下が大きくなっている。

また再組立後、適宜、下弦材トラス格点の水準測量を実施してきたが、破壊载荷直前における橋台からの相対高さをまとめた図4では、中央が大きく垂下り、その最大値は下流側トラス格点13の位置で-211.0mmとなっていた。これに対して、再組立直後から破壊载荷直前までの鉛直変位増分をまとめた図5では、最大は上流側トラス格点15の位置で-58.2mmであり、上流側のトラス構面の変形が大きく、それも上流側トラス格点13から15付近に変曲点があるようにも見える。また同図の下流側トラス格点23付近でも曲率が変化しているようであり、これらが該当部位の部材腐朽によるものなのか、それとも立体的なトラスとして挙動している結果であるのか、破壊载荷実験時の測定した変位や部材ひずみの測定結果を元に、今後検討を進めていきたい。

二次破壊の発生位置は、破壊载荷前の調査でもV字の溝状に腐朽している状況が指摘されていた箇所、部材上面から入った干割れがその原因と思われる。

一次破壊後は、安全で安定した载荷作業実施の都合から幅員方向に対称な積載を改め、破壊していない下流側トラス構面に近い位置に積載を続けた。その結果として、上流側のトラス構面が

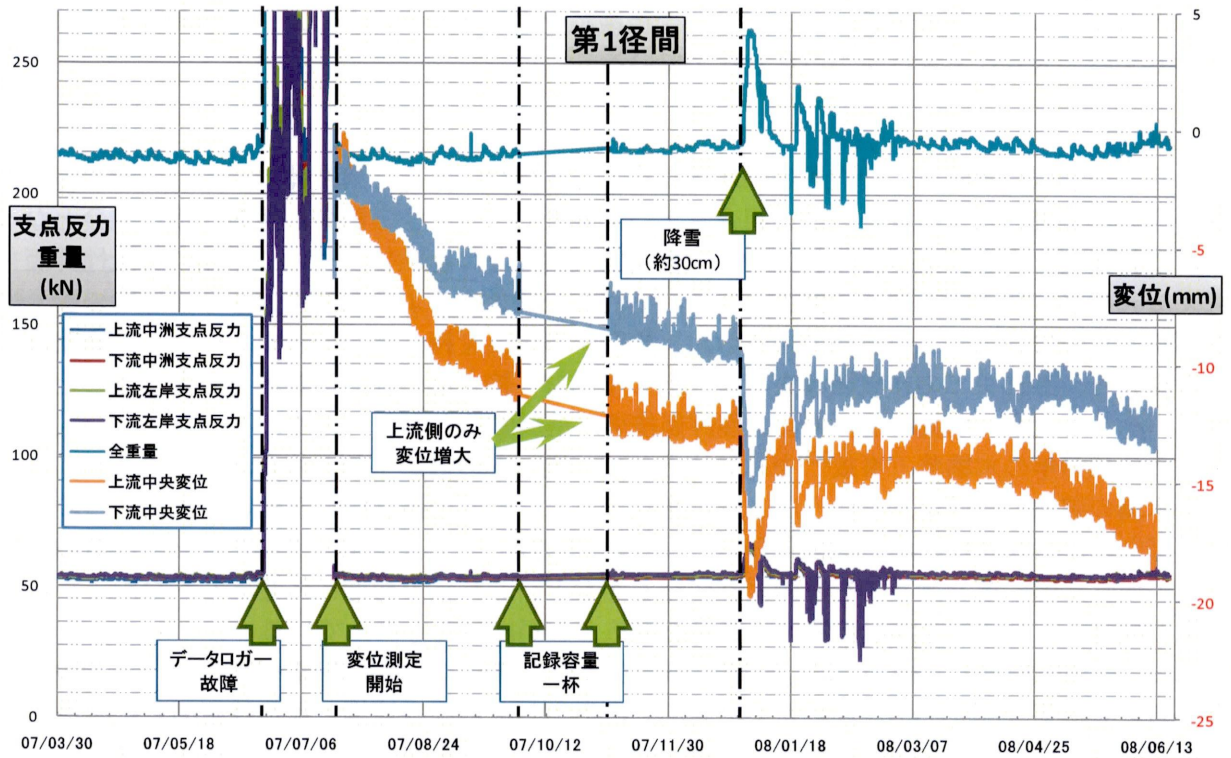


図3 再組立後の全重量とスパン中央鉛直変位の変化

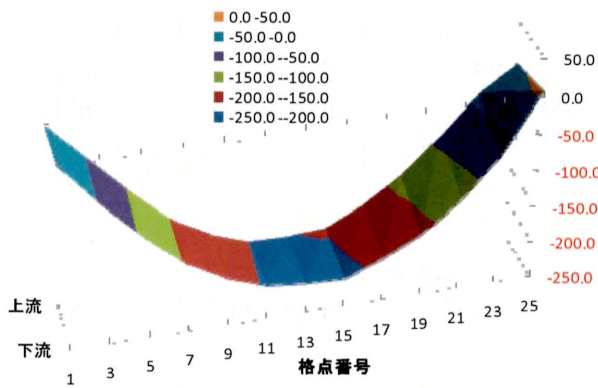


図4 橋台からの相対高さ(mm)  
(破壊载荷直前)

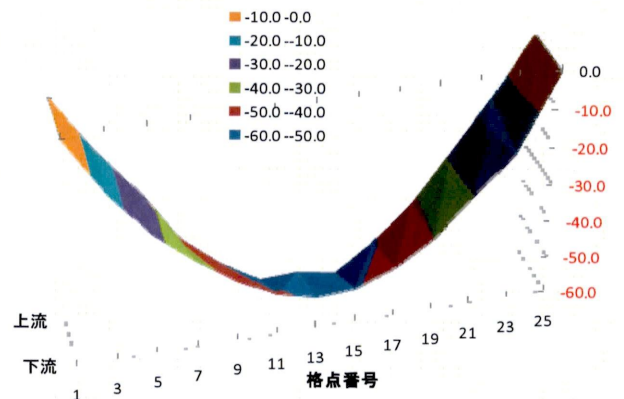


図5 再組立直後からの鉛直変位増分(mm)  
(破壊载荷直前まで)

より多くの荷重を負担していることが、幅員方向の支点反力の差として測定された。また一時破壊後は、橋長方向でも支点反力の変化が測定されており、これが、土囊の载荷位置によるものなのか、それとも破壊の進展による立体トラスの形状変化なのか、同様に今後検討を進めたい。

#### 4.3 解体・再組立の影響

今回の破壊载荷実験は、諸般の事情により、供用の現地ではなく、平地に解体・運搬して再組立して実施した。また解体から再組立までの3年余りの間、屋内にて保管している。この影響として、再組立後の1年3カ月の間、屋外に静置して観測した結果、木材含水率の変化による重量増加が確認され、またボルト接合部の鋼板と木材表面の摩擦と、ボルトの軸部と先孔間の遊びが複合しながら全体変形に影響していることが確認できた。ただし、破壊载荷実験への影響は無かったと考えている。

この他、河川上と平地、配置方位、周辺樹木の存在などの暴露環境の変化の影響や、都合によ

り固定しなかった床板の影響については、今後検証を進める予定であるが、破壊載荷実験の結果に対しては、大きな影響は無かったと考えている。

### 5. まとめ

今回の破壊載荷実験は、国内各地の木橋が抱える木部材の劣化と構造体の安全性に対する不安を、非破壊調査と安全性評価方法の組合せによって解決しようとする際の、重要な検証機会となった。これまで、木造住宅の劣化調査や実大構造物実験などの経験に基づいて木橋の安全性評価を考えてきたが、屋外で長期間暴露され、それも河を一跨ぎするような長く大きな構造物の安全性を判断するのにふさわしい情報であるのか、検証する機会を持ち得なかった。今回の破壊載荷実験の結果と、これまでの非破壊調査結果、そして部材・接合部の部分実験等を総合することで、木橋、そして大型の木質構造物の安全性評価技術が進展するものと考えている。

また、1999年の木橋落下事故<sup>2)3)</sup>をはじめとして、幾つかの破壊事例が報告されているが、これまで木橋の破壊の瞬間に立ち会うことは出来なかった。今回の破壊載荷実験は、ただ一つの事例に過ぎないかも知れないが、木橋がどのように壊れるのか、もし人が乗っていたらどうなるのか、一部が壊れた際に橋を渡る人をどのように守るかなど、これまで想像に任せるしかなかった安全確保の検討を、具体的な議論に繋げる成果を得ることが出来たと考えている。

なお、破壊実験後の木橋からは、非破壊部分を集めて18mの木橋に再編・架設し、2007年9月に再組立てした第2径間(18m)と合わせて、局部的に劣化した木橋の補修・補強技術開発に活用する予定である。また残る部材は、部材・接合部の加力破壊実験を実施して、非破壊強度調査および評価方法の検証と高度化に活用する予定である。

本研究は、独立行政法人 森林総合研究所 運営費交付金プロジェクト研究「既存木橋の構造安全性を維持するための残存強度評価技術開発」によって実施したものである。また、本研究の実施にあたり、広島県立総合技術研究所 林業技術センター、銘建工業(株)並びに同社 孕石剛志氏、(株)河本組他、関係各位に多大なる協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 飯村豊：新しい木橋の事例、木材工業、Vol.54, No.9, pp. 432-435, 1999/09.
- 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, 2000/02.
- 3) 軽部正彦・宮武 敦・鈴木憲太郎・加藤英雄：ボンゴシ材を用いた公園用木橋の落下調査報告、日本建築学会 技術報告集、No. 12, pp. 89-92, 2001/01.
- 4) 土木学会 木橋技術小委員会：木橋事例集、土木学会 木橋技術に関する講習会・テキスト・シンポジウム論文報告集、pp. 304-307, 2001/07.
- 5) 藤田和彦：さようなら かつぱ橋、木材工業、Vol.59, No.5, pp. 229-232, 2004/05.
- 6) 藤田和彦・軽部正彦・宮武 敦・渡辺 浩：13年で架け替えられた木橋の経緯と履歴、土木学会 第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、pp. 127-132, 2004/07.
- 7) 軽部正彦・藤田和彦・宮武 敦・原田真樹・平松 靖・渡辺 浩：架橋後13年経過した木橋の調査概要と移設実験、土木学会 第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、pp. 133-138, 2004/07.
- 8) 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：架橋後13年経過した木橋部材の非破壊調査報告、土木学会 第3回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、pp. 139-146, 2004/07.
- 9) 軽部正彦・藤田和彦・築山健一・長尾博文・宮武 敦：13年で架け替えられたトラス木橋の再組立とその変化、土木学会 第6回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集、pp. 113-118, 2007/08.