

歴史のある木橋の復元計画の在り方 (山中温泉 こおろぎ橋)

はまだやすゆき うえだてつべい しらいじゅんこ やまだしんや うらしゅうぞう
濱田康行¹・上田哲平²・白井淳子³・山田真也⁴・浦修造⁵

1, 2, 3, 4, 5 (株) 国土開発センター技術開発研究所 (〒924-0838 石川県白山市八東穂3-7)

本報告は石川県加賀市山中温泉に位置するこおろぎ橋の復元計画をもとに、歴史ある木橋の復元計画の在り方を整理したものである。歴史ある木橋では、老朽化による架替えが繰り返されている。復元設計では対象橋梁が置かれる環境を把握し、水仕舞等の耐久性向上や部分補修を可能とするなどの維持管理しやすい構造とすることが、後世に引継ぐために必要となる。また、大工が建築工事の概念で木橋の仕口加工を行うと耐久性の低下につながる恐れがある。そのため、施工者と設計者の連携をいかに図るかが重要となる。その他に、歴史のある木橋は重要な観光資源として活用されることが多く、復元計画について地元との合意形成が重要となる。

Key Words : 木橋, 復元計画, 3次元レーザースキャナ, 耐久性向上, 部分取換え

1. はじめに

我が国で過去に多く存在した木橋は、豪雨災害による落橋や老朽化により、順次鋼橋やコンクリート橋へと架替えが行われてきている。しかし、中には歴史のある木橋が長年にわたり新しい木橋へと架替え続けられている。このような歴史のある木橋のうち、岩国の錦帯橋や伊勢神宮の宇治橋等では計画的な架替えが行われているが、地方に点在する多くの木橋では、復元時に材料調達の困難や既存資料の不足、熟練職人の不足等の問題に直面することとなる。

このような背景をふまえて、本報告はこおろぎ橋復元計画での取組みをもとに、木橋の復元で留意すべき点を整理したものである。

2. こおろぎ橋の概要

写真-1に示す「こおろぎ橋」は加賀温泉郷の一つである山中温泉に位置し、石川県加賀市が管理する橋長20.8mの木造副方杖橋である。一般供用されている道路橋であるとともに山中温泉の観光名所となっており、200年以上の歴史がある。現在の構造形式は昭和16年から変更されておらず、現在までに3回の架替えが行われており、令和元年には4回目の架替えが予定されている。

現橋は平成2年10月に架橋され、令和元年8月現在で架橋後28年が経過している。道路橋として一般供

用されているが、通行車両には3tの重量制限がかけられている。木材は台湾檜と国産の唐松が使用されており、合計593部材55m³の木橋となっている。接合方法は仕口加工に加えてめっきボルトによるボルト固定である。腐朽対策として木材には銅、クロム、ヒ素を含んだCCAによる加圧注入処理がされている。

環境特性として本橋は河川を渡河している橋梁であり、桁下12m程度に水面がある。両岸には旅館および料亭が近接しており、周囲には樹木が植生している。冬期には過去10年間で最大1.7mの積雪となる積雪寒冷地である。架橋後に補修は行われていないが、年に1度、地元住民による高欄や擬宝珠の清掃活動が実施されている。



写真-1 こおろぎ橋

3. 復元計画

平成27年度の調査¹⁾により剛性低下に伴う耐力力低下が指摘され、令和元年10月の架替えに向け、平成29年度から架替え事業が計画された。平成29年度に復元設計を実施し、平成30年度に材料調達、令和元年度に架替え工事を実施する計画であり、復元には以下の課題を整理する必要があった。

- ・前回架替え時の工事図書により材料表や構造一般図は確認できたが、詳細な寸法は不明確であり、復元設計には現橋の詳細調査が必要となる。
- ・復元に必要な足場を使用した調査は、近接する旅館等の繁忙期(10～3月)を避ける必要がある。
- ・檜材による架替えの方針であるが、大断面の材料調達には時間を要する。
- ・観光スポットへの立入禁止や生活道路の通行止めに対して、地元との合意形成が必要である。

平成29年度の復元設計時には工程上、足場を設置した現状調査が不可能であったが、材料調達を行うためには木材数を早期に算出する必要があった。そこでレーザースキャナを用いた3D測量を行うことにより、木材寸法を把握して必要数量を算出した。さらに、地元や木橋有識者をふくめた意見交換会を行い、工実施に関して早期の合意形成を図った。

4. 3次元レーザースキャナの活用

復元設計にあたり、既存図書の確認を行った。既存図書として一般図程度の図面と一次製材数量、工事写真は存在していたが、各部材の詳細寸法は不明であった。そこで現況寸法を調査するとともに既存資料との整合性を確認し、部材寸法を明確にすることを目的に調査を行った。こおろぎ橋は部材数が多く、複雑な形状をしているうえに、渡河部は足場なしでは桁下へのアプローチが不可能なため、従来のトータルステーションやレベルを用いた計測では部材の形状把握が困難であった。

そこで3次元レーザースキャナを使用して構造物の詳細形状を把握した。また図-1で示すとおり3次元レーザースキャナで取得した点群データと既存図面から3Dデータを作成して、各断面での整合性の確認を行うことにより、材料調達で必要となる材料寸法を確定した。さらに、3DCADで作成したモデルと3Dプリンタを用いて写真-2の模型を作成し、関係者協議の円滑化を図った。

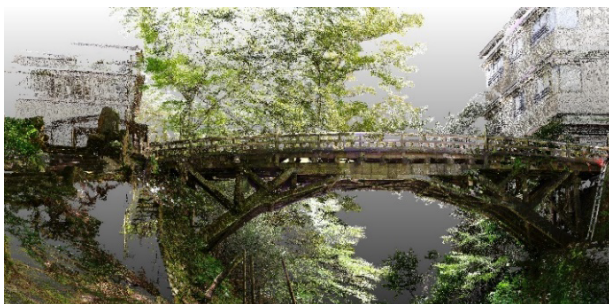


図-1 点群データ

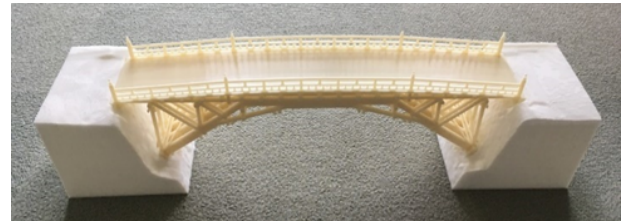


写真-2 3Dプリンタによる模型

5. 詳細調査による劣化状況の把握

(1) 動的調査と健全性調査

架替えに先立ち、動的調査と健全性調査が実施されている²⁾。平成22年および平成27年の動的調査と解析による建設当初の想定値から、固有振動数と構造剛性は50%程度の低下が見込まれた。また、2回の調査と逆解析による初期値を比較した結果、平成22年から平成27年にかけて急速に剛性が低下したことが判明した。さらに、動的調査と含水率測定や超音波伝播速度試験結果から、健全度は早期に支障をきたす可能性があり、補修の必要があるとされた。

(2) 近接目視点検結果

閑散期に吊足場を設置して、打音および触診による橋梁近接目視点検を実施した。なお、供用中の橋梁であるため、微小でも破壊を伴うレジストグラフ等の内部腐朽調査は実施しなかった。近接目視調査の結果を図-2に示す。写真-3の水分供給が原因と推定される腐朽や、写真-4の腐葉土堆積が原因である腐朽が確認された。その他に方杖受台や枕土台といった基礎付近には土砂が堆積している状況であり、橋面の敷板では、敷板自体の腐朽や輪荷重の衝撃が原因と推定される欠損が生じていた。

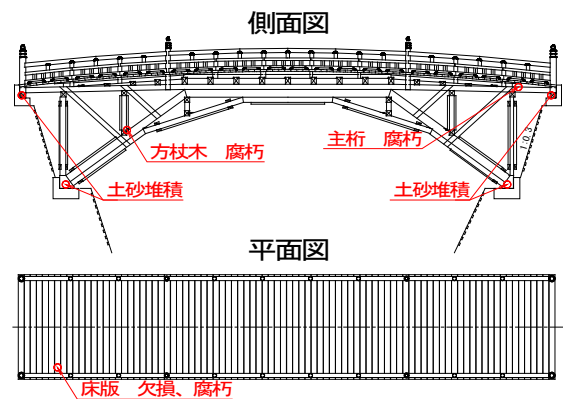


図-2 主な損傷箇所

(3) 損傷原因と対策案

現在のまま復元を行った場合、構造条件および環境条件を変更しなければ同様の損傷が生じる恐れがある。そこで復元後の耐久性向上に向けて損傷原因を整理するとともに、その対策案を検討した。

a) 接合部の腐朽

図-2や写真-4のとおり、上向きの鋭角部では、飛来土砂や落ち葉がたまりやすい環境となる。環境の改善として、橋梁周辺の樹木の剪定もしくは構造の変更が必要である。

b) 主桁の腐朽

路面からの漏水が主原因と考えられるため、敷板部からの完全止水構造の構築、もしくは腐朽しにくい構造の検討が必要である。

c) 敷板等の橋面部材の欠損

敷板自体の腐朽および衝突や衝撃等の車両荷重が損傷の原因と考えられる。主部材ではないため、部分交換による対応が必要である。



写真-3 桁の腐朽



写真-4 腐葉土堆積

6. 耐久性向上に向けた取組み

前章で整理した損傷原因と対策案のうち、架替えるこおろぎ橋の耐久性に影響を及ぼす接合部の腐朽、主桁の腐朽、柱基部の腐朽への耐久性向上を目的として次の対策を行うこととした。

(1) 接合部の腐朽対策

環境の改善として、橋梁周辺の樹木の剪定が最も有効であるが、本橋は夜間にライトアップされており、紅葉時期には紅葉をバックにした本橋の景観を目的とした観光客が多く訪れる観光スポットとなっているため、橋梁付近の樹木の剪定は望ましくない。そこで、堆積を抑制できる構造への変更が必要とな

る。ただし、主部材の構造変更は橋梁景観の変更につながるため、カバー等による附属物の追加設置とした。図-3に示すとおり、カバー材は木材とし、傾斜勾配を設けることで腐葉土の堆積防止を図った。

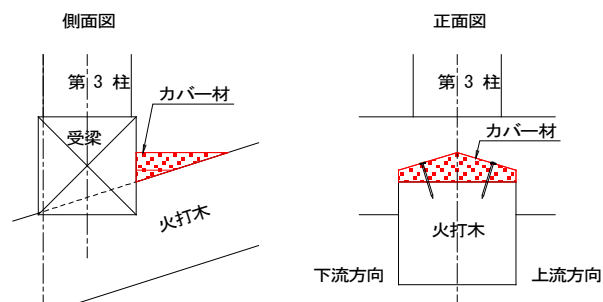


図-3 腐葉土の堆積対策

(2) 銅板巻きによる腐朽対策

主桁では敷板隙間からの漏水により腐朽が進行していると考えられる。屋根を設置することが雨水対策には最適であるが、景観が著しく損なわれるため不採用とした。また、木主桁に木敷板を使用している本橋では、コンクリート床版や鋼床版とは異なり、止水可能な面が存在しない。さらに水分供給の繰返しによる収縮は必ず生じるため、敷板の隙間を完全に埋めることは不可能である。そこで、水分が供給されることを前提として、いかに腐朽速度を低下させるかを検討した。

木橋設計指針³⁾に基づき、新設部材には事前に防蟻防腐の加圧注入を行い、防腐効果のある木材保護塗料の表面塗布を行うこととした。さらに対象部材の水分接触面には銅板処理を行うこととした。主桁では敷板からの漏水原因となる上面に銅板を設置した。柱基部では図-4に示すとおり、柱と方杖木を対象として、基部から100mmを4面ともに銅板で被覆した。銅板設置により完全に対象面への水分供給を防ぐことは困難であるが、直接的な水分供給を防止するとともに、銅成分溶出による抗菌効果を期待した。

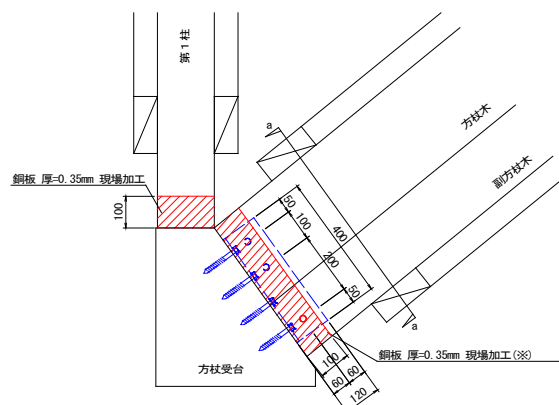


図-4 柱基部の腐朽対策

7. 維持管理を考慮した橋面構造

本橋では特有の組み方により、各部材が組重なっているため、敷板が欠損した場合の一部の取換えにも高欄部材を含めた全部材の取り外しが必要となる。部分的な老朽化や欠損による取換えを考慮して、各部材を簡易に取り外せる構造とした場合、接合部で多くのボルト止めが必要となり、従来からの景観が大きく損なわれることとなる。そこで、短い区間で高欄と敷板が交換可能な構造となるような組み方を検討した。図-5に示すとおり、擬宝珠がついた高欄柱が片側に4本あり、この区間で3ブロックに分けて、笠木、腰木、地覆木といった水平部材の仕口加工を細工することで、ブロック毎に部材を取り外せる構造とした。

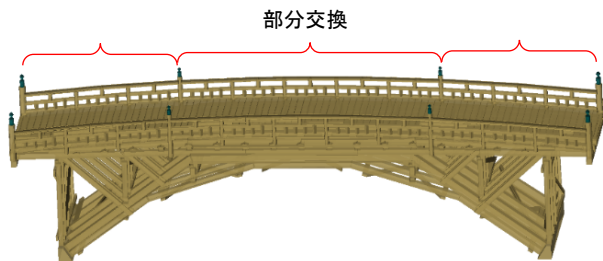


図-5 橋面部材の部分交換

8. 合意形成を図るための委員会

第3章で述べたとおり、復元計画に当たっては地元と有識者をメンバーとした意見交換会および技術検討委員会を設置した。

(1) 意見交換会

設計段階から発注者と有識者、地元関係者をメンバーとした意見交換会を開催した。意見交換会では、発注者側からの架替えに至った経緯や設計内容の説明を行うだけでなく、こおろぎ橋を今後も観光資源等として活用するためにどのような取組みを行うべきかの意見を交換した。今回の架替えで適用可能な意見は取入れ、困難な課題については次回架替え時に引継いでいく予定である。

(2) 技術検討委員会

木工事の多くは建築工事であり、本来屋根のある構造物である。屋外の厳しい環境下におかれる土木構造物である木橋では、建築物と同様な加工を行った場合には耐久性が大きく低下する恐れがある。また、設計思想が設計図書だけでは伝わらずに施工されることで、耐久性の低下につながることも想定される。そこで、関係者の意思疎通を図ることを目的として、施工業者決定後に木橋有識者と発注者、施工者、設計者の4者からなる技術検討委員会を設置した。技術検討委員会は施工着手時と材料検査時、仕口決定時に以下の内容で実施した。なお、今後は軸組架設後の最終確認を本委員会にて実施する予定である。

本委員会以外にも、施工者と設計者が各工事工程の段階で確認協議を重ね、課題解決に取り組んだ。

a) 施工着手時

使用木材の材料規格の徹底、木材加工に関する内容の意思疎通(背割り、切込み禁止箇所等)

b) 材料検査時

使用木材の数量、等級や木材性能および材質異常の確認、原寸図による課題点の抽出

c) 仕口決定時

解体した旧橋の仕口を確認して仕口方法を決定

9. 維持管理計画

適切な維持管理を実施することが本橋の耐久性の向上と長寿命化につながる。そこで、今後は以下に示す架橋後の維持管理方針を整理する予定である。

- ・維持管理計画書の作成
- ・暴露試験体による劣化予測と防腐対策
- ・初期点検時の初期値計測
振動試験、橋面レベル計測、含水比計測等

10. まとめ

木橋の復元では、その時代における環境の変化に応じて生じる課題克服が重要となる。こおろぎ橋の架替え事業を通じて、木橋の復元計画で留意すべき点は以下のとおりと考える。

- ・調査にて現況の弱点を把握し、設計では耐久性向上を図る工夫を行う。さらに維持管理計画書を作成し、維持管理方法を提案する。
- ・地元に愛され続ける橋梁であるために、一般的な地元説明会に加えて、意見交換会を行い、地元との確実な合意形成を図る。
- ・設計者の意図を施工者に伝えるため、発注者と施工者、設計者からなる合同会議を行う。

謝辞

本報告は、こおろぎ橋の復元計画を通じて、木橋の復元計画で留意すべき内容をまとめたものである。事業主体である加賀市に加えて、技術的な内容について助言をいただいた金沢工業大学工学部の本田秀行教授および富山市建設技術統括監の植野芳彦氏に感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 経年による山中温泉こおろぎ橋の構造特性と健全度評価・調査報告書、金沢工業大学 環境・建築学部 環境土木工学科 橋梁工学研究室, pp. 1-42, 2016年3月。
- 2) 本田秀行, 糠山尚希, 興津光: 20年経過した木製方杖車道橋の健全性と木材の強度低下, 木材利用研究論文報告集 10, 木材利用研究発表会, Vol. 10, pp. 108-115, 2011年8月。
- 3) 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, p. 1-119, 2003。