

桃介橋—文化財としての修復・復元

(株)建設技術研究所 正会員 後藤 和満
同 正会員 石塚 喬康
同 尾崎 健博
名古屋大学 正会員 馬場 俊介

Restoration of Momosuke-Bashi Suspension Bridge as Cultural Properties

By Kazumitsu GOTOH, Hiroyuki ISHIZUKA, Tatehiro OZAKI and Shunsuke BABA

概 要

木曽川の読書発電所の建設に際して大正11年に架設された桃介橋は、全長247 mというわが国で現存する最大・最古の木製補剛吊橋であるが、洪水による耐風索破断後に供用を制限して以来約14年を経過し、廃墟の感を呈している。桃介橋は、わが国の大正・昭和期の水力開発を物語る第一級の土木遺産であるだけでなく、南木曽町のランドマークとして町民に長く親しまれてきた経緯があり、この度、自治省の「ふるさとづくり特別対策事業」による地方債を用いて修復・復元されることになった（平成4年度事業）。南木曽町では、文化庁からの指導もあって、桃介橋の修復・復元にあたり、将来文化財に指定されることを前提として実施計画を立てることになり、「桃介橋保存・活用検討特別委員会（委員長：太田博太郎・東大名誉教授）」が設けられた。本稿は、平成4年1～4月に実施された現地調査とその分析結果について簡単に触れるとともに、調査結果に基づいて委員会に提案された各種の修復・復元案を、委員会における取捨選択の経緯を含めて紹介しようとするものである。（大正・橋梁）

1. 序 論

歴史的な土木構造物の保存・活用を通じて地域の文化的求心力を高めようとする試みは、近年少しずつではあるが増加傾向にある。しばらく前までは、長崎眼鏡橋と小樽運河の二者が、住民運動にまで発展した特異な保存例と考えられていた。ところが、土木学会による四谷見附橋の改・修築を契機に、品川台場の学術調査（今回の研究発表会で特別セッションが設けられている）、山手線煉瓦アーチ高架橋の修復美化、横浜みなとみらい21の25街区における旧・横浜船渠第2号ドックの再生活用、稚内港北防波堤ドームの復元、旧・四谷見附橋の多摩ニュータウンへの移築決定、碓氷峠の煉瓦アーチ鉄道橋の保存計画、黄柳橋の保存決定（今回の研究発表会で報告される）というように、多くの実施例が見られるようになった。特に、国の史跡である品川台場の場合は、文化財としての修復のあり方について土木関係者と文化財関係者との間で真摯な議論を交換できたという点が高く評価されている。

本論文で紹介される桃介橋は、土木構造物の保存・活用の一例というには留まらない、土木史的にみて大きな意義を抱えている。それは、「近代土木遺産にふさわしい修復・復元のあり方」について、土木関係者

と文化財関係者の双方が話し合いの場を持ったという点で、品川台場での立場の延長線上にあるばかりでなく、管理者の立場から要求される安全・管理上の制約と、文化財として保持すべき必要条件との折合いをどこでつけるかについて、（修復・復元された後で国の文化財に指定されることを前提として）細部にわたる比較検討を行う必要が生じた初めてのケースだからである。桃介橋を管理する長野県南木曽町は、桃介橋の修復・復元計画を立てるにあたり、文化庁からの指導もあって、「桃介橋保存・活用検討特別委員会（委員長：太田博太郎・東大名誉教授）」を設けた。委員会には土木サイドから、山田健太郎・名大教授（橋梁工学）、檜貝勇・山梨大教授（コンクリート工学）が加わり、著者らが幹事として素案の取りまとめを行った。

本論文は、1992年1～4月に実施された現地調査とその分析結果について簡単に触れるとともに、調査結果に基づいて提案された各種の修復・復元案を、その取捨選択の経緯を含めて紹介しようとするものである。大正期の吊橋である桃介橋は、木造床桁（完全な消耗品）、鋼製ケーブル（本来は耐久部材だが、放置されたため錆びてボロボロ）、鉄筋コンクリートの主塔（安全性不明）というように、耐久性に問題の多い材料から出来上っている構造物であり、安全性を確保するためにはできるだけ原材料をそのまま残し、やむを得ず改変する場合も、「いつでも元通りに戻せることを前提とする」という制約が課せられている。このように、正反対の命題をどうすり合わせるかということが桃介橋の最大の注目点であり、その結末のつけ方は、安全性が強く要求されなければならない土木構造物において、「文化財としての修復・復元」の方向性を示す一つの有効な指針となろう。

2. 桃介橋の来歴

（1）福沢桃介と桃介橋

桃介橋（桃之橋とも呼ばれる）は、福沢桃介を創業者とする木曽電気製鉄（大正10年に大阪送電を吸収合併して大同電力となる）により、大正11（1922）年9月頃に架設された吊橋である。架設の目的は、中央西線の三留野駅（現・南木曽駅）の下流側・対岸に建設中の読書発電所まで資材を運搬するためのトロッキ軌道を木曽川に渡すことにあった。このような吊橋は、当時、福沢桃介が先頭に立って進めていた木曽川水系の水力開発に伴って、木曽川上流域で10橋以上が架設された。これらの橋にはいずれも、日本の土木構造物としては珍しく、個人に由来した呼称が付けられている。表-1は関西電力の社内資料である『木曽川開発の歴史¹⁾』より転載したものだが、表中に由来が記されているように、会社幹部もしくは事業推進にあたっての功労者に係わる命名となっており興味深い（現在まで姿を留めているのは、対鶴橋、下出橋、桃介橋など4～5橋）。これらの橋の中で桃介橋、は会社の創業社長であり「日本の電力王」と呼ばれたほどの大事業家である福沢桃介の名前を受け継いでいる。橋の長さは、ちょうど中洲のある河幅の広い地点で、他の橋の倍近い長さとなっているほか、コンクリートの主塔のデザインも他橋と違って格段に洗練されている。会社にとっても桃介個人にとっても、桃介橋は木曽川水力開発事業のシンボリック存在であったことがうかがわれる¹⁾。

福沢桃介（1868～1938）は、慶応義塾に学び、才能を福沢諭吉に見出されてその女婿となった人物である。木曽川を自ら歩いて調査してその潜在的な可能性を確信した桃介は、大正7（1918）年に名古屋電灯の社長を退いて新たに木曽電気製鉄を設立し、木曽川の水力開発に乗り出した。読書発電所（大正8年）を皮切りに大桑発電所（大正10年）、須原発電所（大正11年）、桃山発電所（大正12年）と立て続けに水路式の発電所を築いていった。これらの発電所は、木曽川の溪谷美の破壊を危ぶむ世論を反映して景観にも十分配慮が払われており、煉瓦造りの大桑、塔付き屋根の須原、城砦風の桃山など個性あふれる外観を川面に映している。

読書発電所は一連の発電所造りの総決算であり、京阪方面への電力販売を目的として154000Vの長距離送電を計画した第1号であった。桃介は、読書発電所の建設工事関係の来訪者の宿泊施設を兼ねて、大正11年に別荘を完成させた。発電所の工事に用いたトロッキ軌道は、三留野駅から中洲（旧村有地）を経て対岸に渡り、その別荘の前を通り、インクラインにより断崖を上って建設現場に至るというものであった。明確なことは

表-1 発電所建設と橋梁名の由来

橋 名	発 電 所 名	橋 名 由 来
対 鶴 橋	賤母発電所	皇室林野管理局長官 南部光臣氏の家紋名より
下 出 橋	大桑発電所	名古屋電灯副社長 下出民義氏の苗字より
満寿太橋	須原発電所	大同電力常務取締役 増田次郎氏の苗字に因む
三 根 橋	読書発電所	大同電力常務取締役 三根正亮氏の苗字より
村 瀬 橋	落合発電所	大同電力常務取締役 村瀬末一氏の苗字より
藤 波 橋	笠置発電所	大同電力常務取締役 藤波収氏の苗字より。他説あり
石 川 橋	御岳発電所	発電所建設役長 石川栄次郎の苗字より
桃 介 橋	読書発電所	大同電力社長 福沢桃介氏の名前より
栄 橋	桃山発電所	大同電力取締役 杉山栄氏の名前より。他説あり

判っていないが、別荘にはアメリカ人技師が約2年間常駐して建設指導したとされ¹⁾、桃介橋のデザインにも関与したと考えられている。

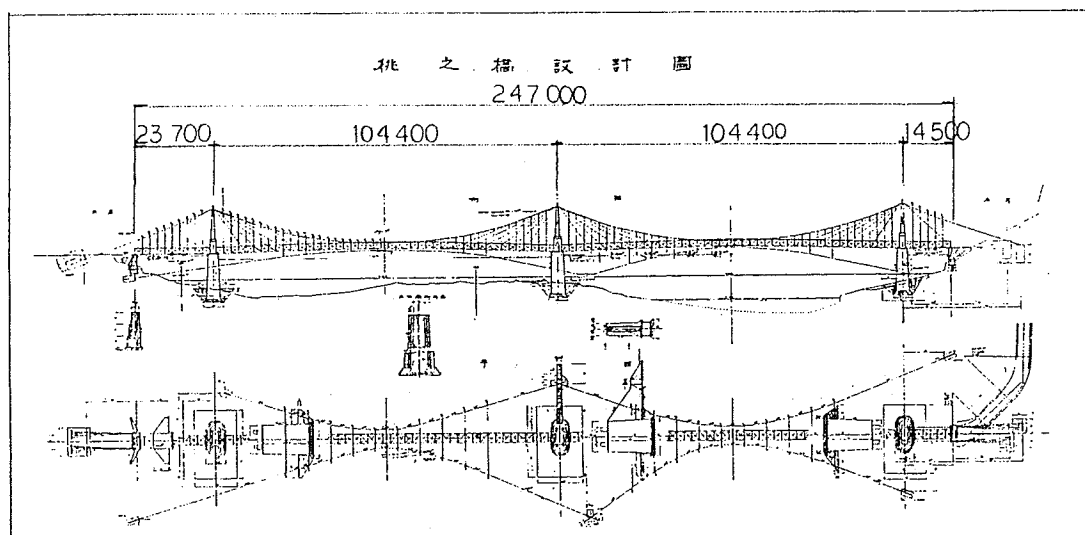
その後の桃介橋は、昭和25（1950）年に読書村（現・南木曽町）に移管され村道として日常の用に供されてきたが、洪水による耐風索破断後に供用が制限されるようになり（昭和53年以降）、現在では廃墟の感を呈している。南木曽町では、桃介橋の右岸側に天白公園や桃介記念館を含む総合文化施設として「大正ロマンを偲ぶ桃介記念公園」を計画することとなり、桃介橋はそこに至るゲートと位置付けられた。橋の修復・復元は、自治省の「ふるさとづくり特別対策事業」による起債を充てることになり（平成4年度事業）、歴史的建造物に理解のある町（妻籠宿も抱える）の方針もあって、文化財にふさわしい厳密な復元が方針として浮かび上がったのである。

（2）明治・大正期の吊橋技術と桃介橋

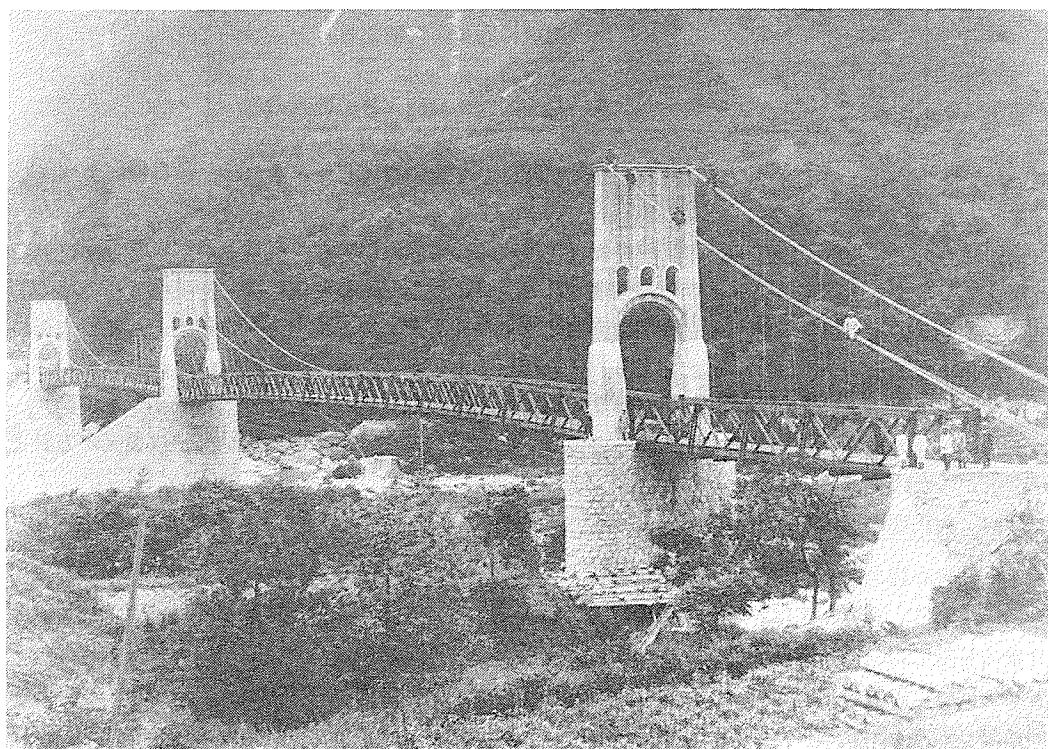
図-1に、桃介橋の竣工図を示す。全長は247m、スパン104.4mの桁が2本連続して架けられた多径間の木製補剛吊橋である。写真-1は、竣工当時の状況を示す（ケーブル上に作業員が乗っている点に注目）。

桃介橋の特徴には、多径間吊橋というきわめて稀な形式であること以外にも、主塔のデザインにアーチ要素が各所に取り入れられるなど凝っていること、ステイ・ケーブルが使われていること、中央主塔から階段で中洲に降りられる構造となっていること（今日的に見れば親水空間）などがある。単なる発電所用の吊橋としては立派過ぎることは確かで、巷間言われているように、桃介にとって記念碑的存在であったという話も十分頷ける。

桃介橋の価値を、単に全長247mという数値のみから判断すると、どのようなものになるであろう。建設省では吊橋の実態調査を全国レベルで実施し、市町村道に架かる1225橋の分析を行っている（昭和58年）^{2, 3)}。

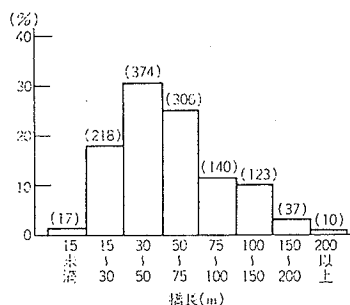


図－1 桃介橋竣工図面（南木曾町役場保存版）

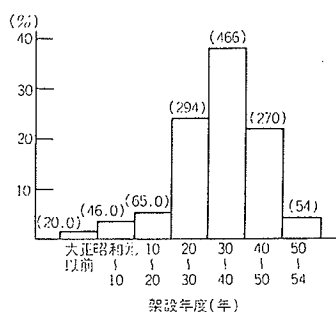


写真－1 桃介橋竣工写真（大正11年当時南木曾町役場）

それによれば^{2) 3)}、橋長別の分布では、全長200m以上のものは10橋に過ぎず（図－2 参照）、架設年度別の分布では、明治・大正期のものは20橋に過ぎない（図－3 参照）。非常に大まかな評価ではあるが、これらの調査から、桃介橋は現存する最大で最古の木製補剛吊橋であると位置付けることができよう。



図－2 吊橋の橋長別実態分布



図－3 吊橋の架設年度別実態分布

わが国で最初にワイヤーケーブルを使用した吊橋は、明治3（1870）年に皇居内に架けられた山里の吊橋である（明治14年に撤去）⁴⁾。これ以降、明治から大正にかけて全国各地で吊橋が構造されるが、国産のケーブルを用いた最初の吊橋は、明治41（1900）年の桐淵橋（群馬県）である⁵⁾。『東京製綱百年史⁵⁾』によれば、大正年間の吊橋ケーブル実績は、表－2 のようである。残念ながら、この中に桃介橋の名前はない。

当時のケーブル制作技術よりみて、アメリカからの輸入と考えられよう¹⁾。表－2 の中で、三好橋（徳島県）はわが国の国道に架かる吊橋の第1号で⁴⁾、橋梁設計者として名高い増田淳の設計である。

表－2 大正期の国産ケーブルによる吊橋実績⁵⁾

主な吊橋用ロープ納入実績（大正11～15年）						
製作年月	架 設 地	橋 名	鋼索の構造及寸法	破断力 (t)	数 量 (m)	注
大正11年	島根県	川本橋	廿七本鋼六ッ 共 心 5 吋	95.7	620	32
同	岐阜県	美濃橋	七本鋼六ッ 共 心 4 吋	53.2	505	14
大正12年	栃木県	幾世橋	廿七本鋼六ッ 共 心 6 吋	135.0	200	2
同	新潟県	十日町橋	十九本鋼六ッ 共 心 5 吋	85.0	658 644	28 10
同	高知県	勝美橋	廿七本鋼六ッ 共 心 4 吋	不明	不明	不明
同	同	水野橋	同 上 共 心 5 吋	同	同	同
同	同	美良布橋	同 上 共 心 5 吋	同	同	同
同	同	柳井瀬橋	同 上 共 心 5 吋	同	同	同
大正13年	徳島県	水沼橋	同 上 共 心 4 吋	51.0	550	14
同	高知県	小川橋	廿七本鋼六ッ 共 心 5 吋	不明	不明	不明
同	石川県	桑島大橋	十九本鋼六ッ 共 心 5 吋	同	320	8
大正14年	栃木県	恒明橋	廿七本鋼六ッ 共 心 6 吋	122.0	405	2
同	高知県	大杉橋	廿七本鋼六ッ 共 心 5 吋	不明	不明	不明
同	同	穴内橋	同 上	同	同	同
同	熊本県	天狗橋	十九本鋼六ッ 共 心 5 吋	同	210	4
大正15年	徳島県	三好橋	同 上 共 心 5 吋	88.0	902	38
同	同	智之瀬橋	十九本鋼六ッ 共 心 6 吋	120.0	300	2
同	同	清橋	同 上 共 心 5 吋	83.3	275	2
同	同	(カレイタモ) 五降魚谷橋	同 上	83.3	300	2
同	福島県	本谷橋	同 上 共 心 4 吋	45.4	470	14

桃介橋には、桃介の別荘に滞在していたアメリカ人技師とか、アメリカ製のケーブルといったように、アメリカにまつわる話題が多い。そういった意味で、桃介橋のデザインを考えると、アメリカとの関連性ももっと見えてくる。大正から昭和にかけての20世紀初頭は、アメリカにおいては「吊橋黄金時代」と呼ばれ、アンマン (O. H. Annan) をはじめとする構造技術者が活躍した時代であった⁶⁾。しかし、これらの「長さを競う時代」の長大吊橋と桃介橋とを比較してもあまり意味はない。むしろ、19世紀のローブリング (J. A. Roeb ling) の吊橋と比較すべきであろう。ローブリングは、「近代吊橋の父」とも呼ばれ、その代表作は1883年に完成したニューヨークのブルックリン (Brooklyn) 橋である。この名橋の特徴を挙げると、

- ① 重厚な石造りの主塔 (意匠にも配慮されている)
- ② 主ケーブルとステイの兼用 (初めて亜鉛メッキケーブルが採用されている)
- ③ 頑強な補剛トラス (ローブリングは木製トラスも多数手掛けている)

のように、桃介橋を強く連想させるようなものとなっている。すなわち、主塔の材質は別として細部の意匠に凝るという点では両者は似ており、ステイを併用しているという点でも19世紀の吊橋の雰囲気を色濃く残している。ローリングは、さらに、ブルックリン橋以前にも、ナイアガラ渓谷 (Niagara Canyon) 橋 (世界最初の鉄道用吊橋、1855年) やモノンガヒーラ吊橋 (1846年) を手掛けており、特に後者は桃介橋と同様に、木製補剛トラスをもつ多径間吊橋であった⁷⁾。このように、桃介橋にはローブリングの吊橋に代表される19世紀アメリカの装飾的な吊橋デザイン技法が反映しているらしいことは、桃介橋の設計にアメリカ人技師の直接的あるいは間接的な関与があったことを強く示唆している。

3. 主塔

(1) 主塔の現状

吊橋の主塔は構造物にとっては表玄関に位置し、橋全体のシンボルでもある。とくに、桃介橋の場合は、

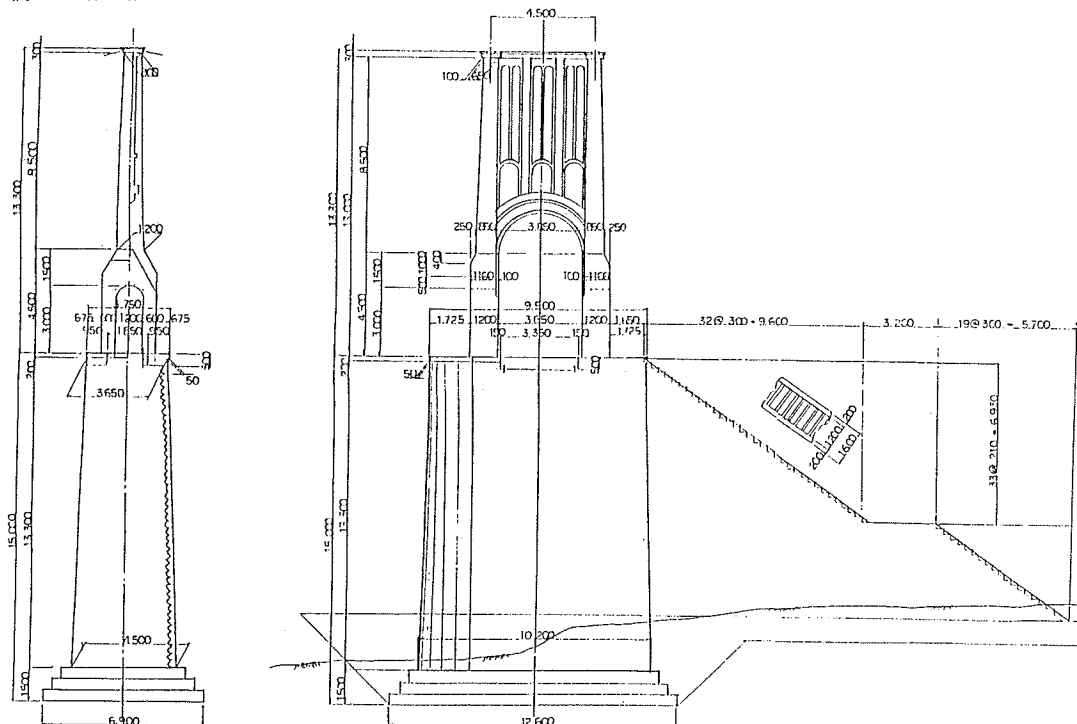


図-4 桃介橋主塔コンクリート形状図

図－４に正面図を示すように、時代を反映して、装飾的で個性のあるユニークなデザインとなっている。３本ある主塔のうち真ん中のもの（中央主塔）は、階段で中洲に降りられるように側面にアーチ状の上の開口部があり、親水空間の実践という意味で高く評価されるだけでなくデザイン上の要点にもなっているのだが、残念ながら構造的には弱点となっている。事実、この部分のコンクリートには２mm幅の垂直の亀裂をはじめ、多くのひびわれが縦横に走っており（図－５の展開図を参照）、遊離石灰の溶出も見られるなど、補修・復元を考える上で最大の関門となっている。

桃介橋のように３本の主塔からなる多径間吊橋では、中央主塔には偏載時に大きな水平力が作用することから、設計にあたっては、そもそもこうした形式は採用しないこと、万一採用する場合には中央主塔を特別強固にするなど特別な配慮をすべきことが常識視されている^{8)・9)}。ところが、桃介橋の設計者にはそのような認識はなかったらしく、中央主塔の方が開口部がある分だけ逆に弱くなってしまっている。従って、桃介橋の修復・復元にあたって構造的にみて最も検討を要するのは、現在の設計規準に準じた場合、中央主塔の安全性が確保されるかどうかという点である。すなわち、偏載によって塔頂に生ずる水平力によって、主塔が中央の断面急変部で曲げ破壊を生ずるか否かが問題で、破壊するようなら主塔になんらかの補強を行うことが必要となるわけである。

上記の点を考慮して、主塔（中央および左岸側、下部および断面急変部）について、つぎのような調査を行った。

① 主塔の曲げ強度を把握するための調査

◇配筋、かぶり調査（ＲＣレーダー、図－６参照）

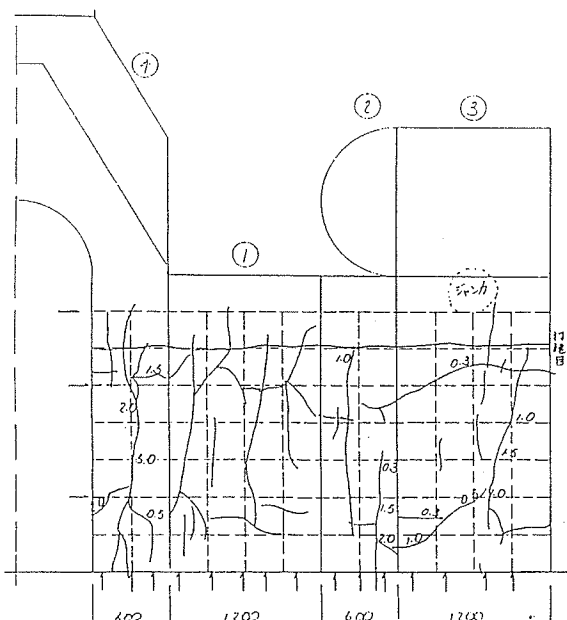
◇コンクリートの圧縮強度の推定（コア試験、超音波速度法、シュミットハンマー）

◇コンクリートの静弾性係数の推定（コア試験、超音波速度法）

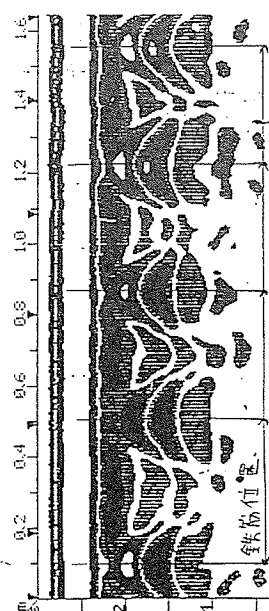
② 主塔に多く見られるひびわれの原因を探ることで、主塔の耐久性に関する指針を得るための調査

◇鉄筋腐食調査（自然電位、分極抵抗、はつり出し）

◇中性化による腐食環境調査



図－５ 主塔コンクリートひびわれ展開図



図－６ 内部鉄筋探索（ＲＣレーダー）

以上の調査の結果、強度に関しては、鉄筋は径22mmのものが $3 \times 5 = 12$ 本使われていて（「無筋ではない」という程度）、腐食は認められないこと、コンクリートは圧縮強度が $200 \sim 300 \text{ kgf/cm}^2$ であり、締固め不足のためか空洞が多いながらも、セメント量 350 kg/m^3 とかなり堅固（上質）な材質であることが判明した。

また、耐久性に関しては、中央主塔の大きい亀裂も深刻な原因によるものとは思われず、鉄筋やコンクリートも劣化していないことから、今後数十年は今のままの耐力が持続するであろうと結論づけられる。

中央主塔の断面急変部で曲げ破壊が生じないための基準値をこれらのデータに基いて計算すると、戦前の鉄筋の許容応力度の目安値として 1200 kgf/cm^2 を用いた場合、5～6トン程度の水平力（中央主塔の頂部）安全上の限界値となる。5～6トンという数値は、片側のスパンに150人程度が偏って載った場合に相当する。150人という数値はいかにも多いようだが、3mの幅員に 200 kg/cm^2 の群集荷重を載せるという現行基準では1000人分の偏載に耐えることが要求される。従って、中央主塔については、1000人分の偏載に耐えるように補強するか、150人（有限変形理論により詳しく検討すれば200人程度に増えるかもしれない）¹⁰⁾を超えないように通行制限を行うかが、検討の対象となる。

（２）主塔の修復・復元

主塔の修復・復元を図る上で、比較検討の対象となったのは、表－３に示すように、中央主塔の耐力不足とコンクリート壁面の耐久性向上の２点であった。前者については、通行制限か構造補強という相反する方針のうち、桃介橋の特徴が最も出ている、「原物保存」の意義が最も大きい主塔にはできる限り手をつけたいという立場から、主塔を傷付ける構造補強案は採用されず、通行制限案の方が採択された。通行制限を実施に移す方法としては、通行できる幅を狭くして物理的に通行人数を減らす案は、例えば３分の１の幅１mに狭めても計算上では330人まで偏載される可能性があり、その場合に絶対的な安全性が確保できない、建造当時のスタイルと違う、狭いとなんとも惨めっぽい、通行柵は建造物としてみてもない、などの理由から一致した参同が得られなかった。後者のコンクリート壁面の補修に関しては、あくまでも現状を維持するための補修ということで、無機材料の使用を提言している。

表－３ 主塔の修復・復元に対する比較検討案と採択・却下の理由

検討事項		番号	案の主旨	検討結果
中央主塔の耐力不足	通行制限	暫定採択 案①	通行者数を自動カウントし、橋への進入をゲートなどで物理的に防げる。	案③～⑤と違い原形のまま保存できる。案②と違って確実に規制できる。
		保留 案②	3mの幅員の一部をロープ、床面の工夫などで通行しにくくする。	建設当時のイメージと違う。幅1mにしても330人(> 150)。例え起こりえない状況でも、確実に期さねばならぬ。
		案③	案①＋「保険」の意味で、断面急変部に鋼板接着で部分補強を行う。	案①で完璧なら、蛇足は不用。鋼板接着は元の構造物を傷付ける。不粹。
	構造補強	案④	塔の周囲に巨大なトラスかフレームを組む。塔には手を付けない。	外観の印象が不粹。
		案⑤	塔の側面全体を鋼板接着＋トラス組により、「葦山の反射炉」式に補強する	元の構造物が大きく傷付けられる。補強効果に疑問がある。
コンクリート壁面の耐久性向上	ひびわれ	採択 案①	無機系の注入材を使用。	無機材料には無機系が最も自然。
		案②	有機系（エポキシ系あるいはアクリル系）の注入材を使用。	表面保護材と合わなかったり、場合により収縮したりする。有機系は不自然。
	表面保護	採択 案①	無機系の表面保護法（ＣＰ工法）を使用。表面から浸潤させて固定。	表面の質感がそのまま保持される。
		案②	無機系の表面保護法（ＣＰ工法）を使用。表面から研磨する。	完成当時のままの白い色に戻る。1mm以下にせよ、表面を傷付けることになる。
		案③	有機系の表面保護法（ポリマー系のライニング）を使用。	文化財にペンキを塗るようなもの。

4. 吊構造

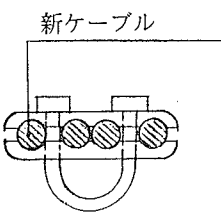
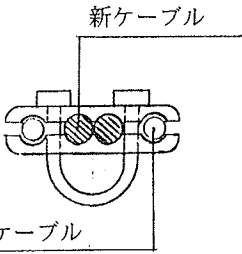
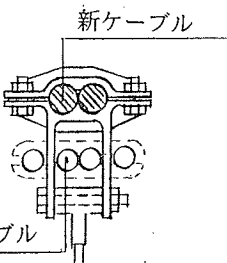
(1) 吊構造の現状

主ケーブルには、径42mm（7本撚り線）のストランドロープ4本1組が用いられている。耐風索ケーブルにも、同様のストランドロープ1本が使われている。ハンガー、耐風支索、ステイなどの補助ケーブルには、径10mm程度の細いワイヤーが用いられている。これらケーブル関係では、文化財として「原物保存」の対象となるのは主ケーブルだけで、ハンガーなどの補助ケーブルは細くて腐食が進行していることもあって方々で破断しており、全面的に更新されてしかるべきである。従って、吊構造の検討にあたって調査されるべきことは、古い主ケーブルは再利用に足るほど強度・耐久性を有しているかという点にある。この場合、主ケーブルを切断して材料試験を行うことはもちろんできないが、幸い、洪水の折に切断したまま放置されている耐風索ケーブルが主ケーブルと同一材料であることから、主ケーブルの引張強度を類推できるわけである。

耐風索ケーブルの引張破断値は、32.5トン、19.0トンであった。これらの数値は、死荷重に対して2以上の安全率があることを意味しているが（橋が今すぐ壊れるものではないことを保証）、ケーブル全面に錆が浮き、亜鉛メッキも犠牲陽極としての機能を喪失して内部まで腐食が進行している状態では、存置するとしても荷重負担を考えることはきわめて危険である。そこで、「原物保存」というスタンスに立つならば、古い主ケーブルは飾りとして残すだけで、吊橋の全荷重は新しい主ケーブルでもたせるような構造を考えなくてはならない。

(2) 吊構造の修復・復元

吊橋全体の構成要素の中では主ケーブルは「原物保存」に値する重要なパーツであるという前提のもとに、古いケーブルを4本とも残すという完全保存案（表－4の案③）と、古いケーブルを2本だけ残すという形態保存案（表－4の案②）の2案を原案として提示した（図－7参照）。前者のデメリットとしては、新ケーブルを固定するアンカーの新設工事がきわめて困難なこと、4本の古いケーブルと2本の新しいケーブルが2段構造となり、塔頂サドルやハンガーの取合い部の構造が複雑となること、4本の古いケーブルに力をかけないように施工することの難しさ、などが指摘された。後者の場合は、古いケーブルのアンカーを新ケ

主 ケ ー ブ ル		
案 ①	案 ②	案 ③
		
全面更新案 4本すべてを新ケーブルに変える。	形態保存案 2本を残して、新ケーブル2本とする。	完全保存案 旧ケーブルは4本残して、新ケーブルは2本とする。

図－7 主ケーブルの保存案

ーブルに転用できる、新旧ケーブルを水平に並べるため外観上のイメージが継承される、4本が2本になるにせよ原物が保存されるといったメリットがあるものの、「原物保存」の立場からは4本すべてを残すべきで、「いつでも元通りに戻せる」という前提に立てば2本だけ残すのは無意味、という原則論を覆すだけの説得力をもち得なかった。対策として急きょ検討の対象となったのが、古いケーブルを4本とも撤去して新ケーブルに取り替えるという全面更新案（表－4の案①）であり、結局この案が採択された。

表－4 吊構造の修復・復元に対する比較検討案と採択・却下の理由

検討事項		番号		案の主旨	検討結果
主 ケーブル	全面 更新	採択	案①	4本すべてを新ケーブルに変える（材質向上のため新ケーブル2本でも十分だが、古いケーブルと同径のストランドロープ4本を敢えて用いる）。	吊橋の主要構成物であるケーブルが全くなくなるのは、原物至上主義に反する。アンカーが再利用できれば、アンカー部は逆に原物保存が可能。サドル、ハンガー取付け部にも、できる限り原物を再利用することで、トータルな復元度はアップすると理解する（新解釈）。
	形態 保存		案②	2本を新ケーブルにし（2本で吊橋を支える）、2本の古いケーブルを飾りとして残す（原物保存）ことで、水平4本ケーブルという形態を再現する。	中途半端な方法。古いケーブルが2本残るとはいえ、2本は撤去されてしまう。サドル部、ハンガー取付け部は、案③に比べて原形に近くなるが、アンカー部に依然問題がある。
	完全 保存		案③	4本の古いケーブルは飾りとして残し（原物保存）、吊橋はその上に張り渡す2本の新ケーブルで支える。新旧ケーブルが2段構造となる。	主ケーブルは吊橋にとって主要構成物なので、文化財としての補修としては当然の方法。アンカー部の工事が非常に難しく。サドル部、ハンガー取付け部とも、構造が複雑になる。
耐風索 の アンカー		採択	案①	中央主塔の耐風アンカーのみ再利用する。兩岸の耐風アンカーは、河川協議の結果を踏まえて付け替える。	やむを得ない。既に埋没している耐風アンカーは（掘り出さず）現地保存する。
ハンガー ステイ 耐風索		採択	案①	全面的に取り替える。	取付け金具などで再使用可能なものは転用する。新調の場合も、極力古いものに似せて作成する。

「原物保存」という、文化財にとっての必須要件を回避できたのは、完全保存案（案③）に付随するアンカー部の施工を筆頭とした各種のデメリットが受け入れられたからでない。全面更新案（案①）を採用した場合には、古いアンカーがそのまま再利用でき、塔頂サドルやハンガーの取合い部も可能な限り原形に近づけられるなど、トータルな意味で「原形再現性」が高いことが判り、この新発見が、『つまるところ消耗品に過ぎない（太田委員長）』主ケーブルを、あらゆる経済的合理性を無視してまで「原形保存」することの意義を低いものとしたのである。土木にとっては、当たり前のような全面更新案であるが、文化財としてのあり方すれば非常識ともいえる全面更新案、これが桃介橋の復元にあって「トータルな原形再現性」という新しい判断基準によって日の目を見たことは、今後の土木文化財の修復・復元を考える上で、重要な一歩になるものと思われる。もちろん、土木サイドとしては、最善を尽くして原形に近付けるよう努力することで、文化財サイドからの譲歩に応じていくことを忘れてはならない。

5. 木構造

(1) 木構造の現状

桃介橋の木構造部の詳細を、図-8に示す。トラス組の部分は、上・下弦材が2スパン分通しで使われている（パネル中央部に添接）のが特徴である。また、隅沓材と斜材とは、金具などで固定されておらず、単に隅沓材に穿たれた浅い凹みに斜材が挿入されているだけの簡単な構造となっている。また、横断面の方では、トロッコ軌条に合せた桁造りが最大の特徴である。これら木部は、十数年にわたる供用停止の間に、耐用年限をとくに過ぎてしまい、吊桁、トラス部（上下弦材、斜材、隅沓材）、床組（縦床桁、横床桁、床板）のすべてが再利用不可能な状態にある。

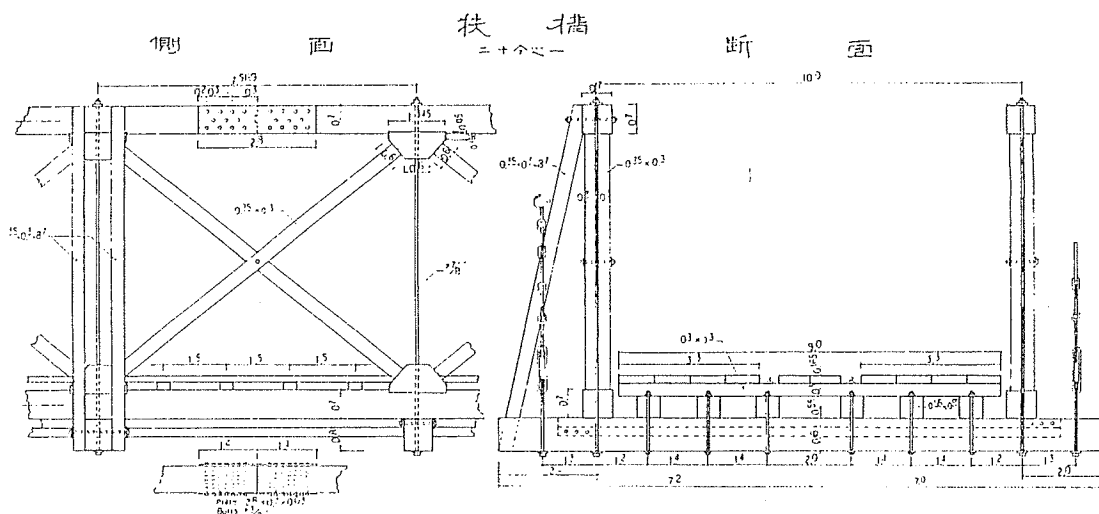


図-8 木構造部の詳細図（南木曽役場）

(2) 木構造の修復・復元

木構造の修復においては、すべての部材が新調されるわけであるが、そんな場合に文化財としての意義をどのように見出すか。表-5には各種の案を示すが、採択された案をもとに原則を導いてみると、つぎのようになる。

(1) 部材寸法、部材の配置など形状に関しては、忠実に原形を再現しなければならない。例えば、トラス部の木材の使用法は当時の技術を伝える意味で踏襲すべきであるとか、床組はトロッコ軌条という当初の用途を表現していなければならないといった指摘がこれにあたる。

(2) 材質には特にこだわらない。例えば、耐久性の点から一部の構造材に超強木材（ボンゴシ）を使用することには全く問題がない。ただし、木材の代りに鋼材を使うのは行き過ぎである。

(3) 金具の取付け方については、現行の方法に明らかな欠陥がある場合には、若干の改良を加えることが許される。土木サイドにとっては安全の確保と日常の維持管理のしやすさという2点が、かなり重要な問題となる。今後、土木文化財が普及していくためには、この点のハードルが低くないとダメだが、今回は、安全性と管理性に対しては十分配慮されたものとなっている。

表－5 木構造の修復・復元に対する比較検討案と採択・却下の理由

検討事項		番号		案の主旨	検討結果
吊 桁	材質	採択	案①	超強木材（ボンゴシ）を使用する。オランダにおいて70年の使用実績。将来の供給体制も不安なし。	現状設計では吊桁の強度が不足。かつ、交換困難な部位であり、耐久性が要求される。ヒノキの倍以上の耐久性能と白アリへの高い耐性は魅力。
			案②	アスヒ材を防腐処理して使用する。建設当初の栗材は入手困難。	耐久性に欠け、吊桁には不適。
			案③	鉄材に擬木加工を施して利用する。	耐久性はあるが、文化財としては不適。
	ハンガー取付け部	採択	案①	従来方式に準ずるが、吊桁下部の当て板を若干大きくする。	技術の継承という観点から望ましい。ボンゴシ材の使用経験から出た推奨法。
			案②	従来方式。	吊桁の破損が目立つので現状は不適。
トラス部	木組	採択	案①	従来方式（上下弦材は1部材が2スパン分の長さ、スパン中央で継ぐ）。	伝統技術の伝承にこそ意義がある。
			案②	現代方式（上下弦材は1スパン1部材とし、隅角部で継ぐ）。	効率主義は文化財に不適。その上、木構造の場合はかえって作りにくい。
	材質	採択	案①	隅沓材のみボンゴシを使用する。	隅沓材の破損が目立つので現状は不適。隅沓材のボンゴシ化は効果的であろう。
			案②	隅沓材と下弦材の双方にボンゴシを使用する。	トラス部は消耗材のため、管理上は定期的に更新するのがベター（下弦材のみ強くても意味がない）。
床 組	縦床桁の配置	採択	案①	軌条のあった当時の配置とする（レールの直下に桁を配置）。	桃介橋がトロック橋であったという経緯を残すべき。
			案②	軌条までは復元しないので、等間隔に配置する。	同上。
	縦床桁の固定	採択	案①	現代方式（吊桁と縦床桁をアングルで固定する）。	吊桁の破損が目立つので現状は不適。吊桁に穴を開けずに縦床桁を固定する。
			案②	従来方式（吊桁と縦床桁をボルトで貫通させて固定する）。	吊桁の破損が目立つので現状は不適。
	床組	採択	案①	従来方式（吊桁、縦床桁、横床桁、床板の4層）。	当初の姿＝長手方向に床板が並んでいなければならない。軌条の部分にボンゴシ材を使って、昔レールのあったことを視覚的に示すと面白い。
			案②	現代方式（吊桁、縦床桁、床板の3層）。	維持が容易。床板が横断方向となってイメージが違う。

注）木構造には、他に杭風材・親柱・枕木などの部材が配置されており、耐風支索との取付方法や鋼製ラテラルとの結合方法など詳細部の検討をしている。基本的には「原形保存」の立場で修復・復元するが、耐風安定性向上のための支材などの検討も必要となる。尚、木構造の検討に際しては「木構造計算規準」（1973）日本建築学会を参考としている。

6. 結 論

桃介橋を、主塔、吊構造、木構造と大きく3つに分けて、それぞれ、①現状分析、②修復・復元方法の比較検討、③最終選択の理由を紹介した。以下、簡単に再録すると、つぎようになる。

(1) 主塔に対しては、構造上の補強措置は一切行わない。その場合、片側スパンに150～200人以上が偏載すると中央主塔の安全性に問題が生ずる恐れがある。橋の両端にゲートを設けて入橋者数を無人コントロールするなど、実効的な通行制限措置を必ず導入することが前提となる。

(2) 吊構造に対しては、主ケーブル、ハンガー、ステイのすべてを取り替える。主ケーブルは吊橋の主要構造物であり、文化財保存の観点からはそのまま残すべきとの強い意見が提示されたが、旧・ケーブルを残した場合にアンカー部の施工が非常に困難となることから、アンカーから各種の小部品に至るまで可能な限り再利用を図ることを条件として、全面的な更新が認められた。

(3) 木構造に対しては、すべてに新材を用いるものの、形態的には原則として当時の姿をそのまま再現する。例外は、吊桁に超強木材を使用すること、吊桁に係わる金具を改良することなど、強度上問題のある場合に限られる。

桃介橋の修復・復元における議論と最終選択の内容は、土木構造物という「管理者にとって安全性の確保が絶対必須条件となる構造物」が文化財となるためのハードルの高さを再認識させるとともに、逆に、合理的かつ不可避な理由さえあれば柔軟な対応も期待できるという望みを与えてくれた。土木サイド、文化財サイドでのこうした快い意見の一致が、将来いろいろな対象物に対して見られることを期待したい。

最後になるが資料作成は委員会活動の一貫として検討したもので、関係各位に謝意を表すものである。

参 考 文 献

- 1) 「木曽川開発の歴史」関西電力社内資料（関連部分）
- 2) 「小規模吊橋実態調査結果」建設省土木研究所・橋梁研究室、1983年3月
- 3) 「小吊橋の維持管理」宮田年耕、橋梁と基礎、1983年8月
- 4) 新体系土木工学別巻「土木資料百科」成岡昌夫、技報堂
- 5) 「東京製網百年史」東京製網社内資料
- 6) 「吊橋の文化史」川田忠樹、技報堂
- 7) 「吊橋の国際会議論文集（Ⅰ）～（Ⅱ）」長大橋技術研究会、リスボン、1966年
- 8) 「長大吊橋の架設・資料集」長大橋技術研究会、1976年
- 9) 「鋼橋Ⅲ」平井敦、技報堂、1956年
- 10) 「竜神ダム歩道吊橋設計報告書」（株）建設技術研究所、1991年3月