

歴史的鋼橋の補修補強工事

土木遺産である晩翠橋の補修補強工事の紹介

蛭澤 隆 行

晩翠橋は、栃木県北東部を流れる那珂川に架設された橋梁で、架橋から80年以上が経過し、一部に著しい劣化や損傷が見られたことから、栃木県では長寿命化修繕計画に基づき2011年に補修補強工事に着手し、2015年に完成した。本稿では、歴史的な価値のある晩翠橋を未来に残していくために、景観を考慮しどのような補修補強を行ったか、これまでの歴史を振り返るとともにその内容について報告する。

キーワード：歴史的鋼橋、長寿命化、耐震補強、継続的維持、保守

1. はじめに

晩翠橋は、栃木県の北東部を流れる一級河川那珂川に1932年に架設された県道橋で、ロイヤルリゾートと呼ばれる那須の玄関口に位置し、2002年にはその美しさ、歴史的な価値が認められ土木学会選奨土木遺産に認定されている。

歴史的鋼橋は、橋の維持管理において構造物の基本的な機能である安全性や耐久性、使用性に加えて歴史性を考慮することが求められる。

そこで、本稿では、橋の基本的な機能と歴史的な機能との両立を図ることを目指して実施した補修補強工事について、晩翠橋の魅力の1つである周囲の景観と調和のとれた左右対称のアーチ形式を活かした上で、どのような補修補強を行ったか、これまでの歴史を振り返るとともにその内容について報告する。



写真—1 工事中の晩翠橋

2. 晩翠橋の歴史

(1) 歴代の晩翠橋

初代晩翠橋は、1884年に栃木県令三島通庸による陸羽街道の改修工事に伴って架設された。

この街道の改修工事は、那須野が原を縦断する新たなルートとして、主街道を奥州街道から西側にシフトさせたものである¹⁾(図—1)。



図—1 那須地域の街道

これは、不毛の地であった広大な那須野が原開拓のための那須疎水の本幹水路完成(1885年)に1年先立つものであった。

架橋位置は付近で川幅が一番狭いところを選んだ。しかし、川幅が狭いと渡河するには効率的である一方、洪水時には流速が早くなり橋への影響が大きい。木造で腐りやすく、洪水で流出されるなどして、その後4代にわたり同じ位置に架け替えられた(図—2)。

(2) 晩翠橋（現橋）

(a) 経緯

現在の晩翠橋は5代目にあたり、1929年の世界恐慌による政府の失業救済事業をきっかけとして、1932年に架け替えられたものである¹⁾。

架橋位置は、那須御用邸の道筋にあたる国道4号の改修に伴い、橋前後の道路線形の見直しが行われたため、先代よりも数十m下流に変わった（図-2）。



図-2 位置図

(b) 事業概要

設計から現場監督まで、内務省土木局が総指揮を担った。設計者は土木局技師の永田年と富樫凱一、現場監督は米田正文であり、彼らはのちに土木学会会長を務めている²⁾。

事業：内務省直轄工事

工期：1931年4月～1932年6月

工事費：145,800円

鋼重：734t

組立：浅野造船所

(c) 諸元

橋長：126.0m (28.0 + 70.0 + 28.0)

斜角：90度

活荷重：8t (2等橋)

幅員：7.0m (車道) + 1.7m (片側歩道)

上部工形式：鋼ブレースドリブ・

3径間バランスドアーチ

下部工形式：重力式橋台・橋脚

基礎形式：直接基礎

支承：鋼製ピン支承（橋台：可動 橋脚：固定）

適用示方書：大正15年細則

添架物：NTT管路5条

(d) 構造形式

晩翠橋の上部工形式は、上下2段のアーチをトラス

でつないだ構造（ブレースドリブ）であり、連続する側径間は地形に合わせて左右対称にバランスをとったものである。

この形式は全国でも2橋しかなく、もう1橋は埼玉県秩父市にある荒川橋（1929 設計者：増田淳）だけであり、2002年には栃木県内で初めて土木学会選奨土木遺産に認定されている。

また、組合せ部材としては、架設当時の特徴として現行設計では見られないリベットやレーシングバーといった部材で構成されており、歴史的・文化的価値の拠りどころの1つとなっている³⁾（写真-2）。

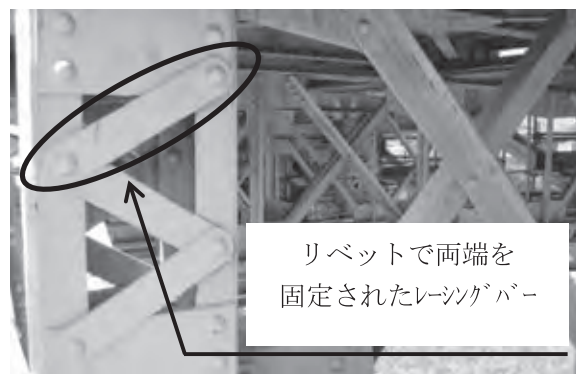


写真-2 リベット及びレーシングバー

(e) 建設当時の架設方法等

那珂川の河原に運搬用のトロッコ道を敷設して、コンクリート用の砂利や砂は現地採取し、ふるいにかけて選別した。また、鋼部材の組み立ては上空にケーブルを渡して実施した³⁾（写真-3）。



写真-3 架設状況

(f) ライトアップ

ライトアップは旧黒磯市（現那須塩原市）が1999年からクリスマスなどのイベント時に実施してきた。

その後、東日本大震災の計画停電や当該補修工事の関係で大震災以降ライトアップを行っていなかったが、工事完成を祝ってライトアップを行い、その後は



写真—4 ライトアップ状況

クリスマスや上流の花火大会時に点灯を再開している(写真—4)。

3. 点検結果及び補修履歴

(1) 点検結果

2007年に県で実施した詳細点検における主な部材の点検結果概要は以下の通りである。

(a) 各部材（アーチ、縦桁、横桁、対傾構等）

防食機能の劣化と腐食が見られるが、錆は表面的であり、著しい板厚減少は見られない。状況に応じて補修が必要である。

(b) 床版コンクリート

路面からの浸透水による伸縮継目部の剥離・鉄筋露出が顕著である。原因究明により適切な補修・補強が必要である。

(c) 防護柵支柱（高欄）

全体的にコンクリート劣化に伴う鉄筋腐食による剥離・鉄筋露出が見られるため、耐力低下が想定され、

速やかに補修を行う必要がある。

(2) 補修履歴

橋全体の塗り替えは国管理時代の1972年に1回と、県管理になってから1999年に1回行っている。また、部分的な補修として2001年に高欄の塗り替えを行っている。

4. 設計方針

(1) 補修補強の基本方針

晩翠橋は土木遺産であり、また、代替路線は下流約1 kmに国道4号の新晩翠橋と上流約2 kmに新橋の計画があるものの直近にはない。今後も晩翠橋を未来に残していくためには、橋の交通機能と歴史的な機能との両立が求められた。

そのため、保全方針は、「継続的維持」と「保守」を選択した。

「継続的維持」とは橋全体としての景観・外観を変更するような改変は行わずに、現状のまま供用しながら機能を維持するという方針であり、「保守」とは社会から要求される機能に適応するため部分的に改変を許容するという方針である³⁾(表—1)。

(2) 部材等の設計方針

晩翠橋は溶接やボルトは使われておらず、すべてリベットにより接合されている。

リベットでの復元事例としては、四谷見附橋（東京1993）³⁾等があるが、専門のかしめ職人がほとんどおらずリベット利用が困難である。そのため、ボルト頭部がリベットに似たトルシアボルトを採用した。

表—1 保全方針とその適用範囲

保全方針	概 要	供用の有無	移設の可否	補修・補強の例	今回該当
継続的維持	現状の機能を維持	○	×	・部分的、軽微な補修 ・塗装塗り替え	●
保 守	小規模な改変及び改造	○	×	・床版補強 ・部分的な主構補強 ・高欄改修 ・耐震補強	●
再 生	外観の変更を伴う 大規模な改変・改造	○	両方可	(「保守」の例に加えて) ・用途変更(例：鉄道橋の歩道橋転用) ・支間短縮、延長 ・幅員拡張、縮小 ・新たな構造部材の追加	
復 元	オリジナルの機能や 外観を再現	両方可	両方可	・架替えに伴い、旧橋を移設して再利用、あるいは公園内などの展示	
保 存	現状の状態を維持	両方可	×	・架替えの後、旧橋を利用せずそのまま残置	

また、レーシングバーについては、当て板補強を行う場合にはそのままでは補強ができないため、撤去した。

床版については、一般的に裏側を見上げられる機会も少なく、晩翠橋は上路橋で水面から約 15 m と比較的高さもある。そのため、目立ちにくく全体の景観を損ねることが少ないことから、一般橋梁と同様に床版補強を行った。

(3) 耐震補強の設計方針

道路橋示方書（以下、道示）における耐震補強の照査方法は静的解析と動的解析に分けられる。

アーチ橋である晩翠橋は地震時の挙動が複雑となる。そのため、発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動であるレベル 2 地震動の照査は動的解析により行うものとし、どのレベルの補強が最適かを検討した。

【事業概要】

- ・ 工事期間 2011 年 10 月～2015 年 1 月
- ・ 全体工事費 約 4.4 億円
(うち耐震補強約 0.7 億円 床版補強約 0.9 億円 補修約 2.8 億円)
- ・ 適用示方書 2002 年 3 月版

5. 耐震補強設計

(1) 設計概要

竣工当時の図面が残っていたため、すべての部材（アーチリブやブレース上部工など）を忠実に再現し、3次元立体骨組モデルを作成した。

次に、耐力照査のため、静的解析（常時及びレベル 1 地震動）及び動的解析（レベル 2 地震動）により各断面の断面力及び変位を算出した。

(2) 解析結果

静的解析の照査では、ほとんどの部材が許容値の 1.5 倍以下の発生応力で収まったが、動的解析の照査では、ほとんどの部材で許容値を超過し、2 倍以上の発生応力となる部材も多かった。

なお、下部工については、地質・測量調査の結果、基礎は強固な岩盤層に支持され、転倒・滑動・支持力について安定照査を行った結果、問題はなかった。

(3) 採用案

レベル 2 地震動対応については、解析上、特に橋軸直角方向での挙動が厳しく、既存部材の補強だけでな

く新たな部材の設置など大規模な構造改変が必要となり、土木遺産としての価値を保ったままで、道示に対応した補強は現実的ではないと判明した。

そこで、「レベル 1 地震動対応の耐震補強（一部の鋼部材補強）に加えて、落橋防止システム（レベル 2 地震動対応での落橋リスク軽減）の補強案」を採用して、橋全体の景観に配慮した上での耐震補強を行うこととした。

6. 耐震補強及び床版補強工法

設計で想定されない地震動の作用等、不測の事態に備えるフェールセーフ機構として落橋防止システムがある。その構成要素は、今回適用した H14 道示では「けたかかり長」、「落橋防止構造」、「変位制限構造」及び「段差防止構造」の 4 つである。

晩翠橋では「けたかかり長」は基準を満たしているため、それ以外の 3 つについて設置のための比較検討を行った。

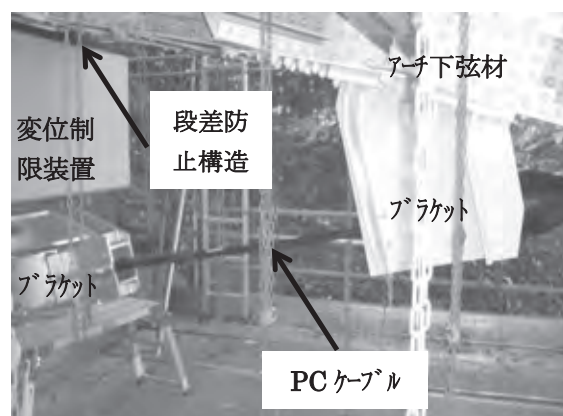
(1) 落橋防止システム

(a) 落橋防止構造（PC ケーブル方式）

落橋防止装置については「緩衝チェーン」、「ゴム被覆チェーン」及び「PC ケーブル」の 3 案について、施工性、景観性、経済性等を総合的に比較検討し、「PC ケーブル」を採用した（写真—5）。

(b) 変位制限構造（RC ブラケット方式）

橋台の現況支承はタイプ A 支承で、変位制限構造と補完しあってレベル 1 以上の地震力に抵抗するものである。そのため、「鋼製ブラケット突起」及び「RC ブラケット突起」の 2 案について、施工性、景観性、経済性等を総合的に比較し、「RC ブラケット」を採用した（写真—5）。



写真—5 落橋防止システム

(c) 段差防止構造（変位制限装置兼用）

桁下と橋座面の高低差が約 700 mm と高いことから、万一支承が損傷しても災害時に緊急車両が通行できるように、変位制限装置天端にゴム製の段差防止構造（桁下遊間 50 mm）を設けた（写真—5）。

(2) 主構造補強（当て板補強）

主構造である鋼部材については、施工性や土木遺産としての橋全体の景観に配慮し、解析により耐荷力の不足している計 82 箇所の部材に対して、板を重ねる当て板により補強を行った。

(3) 床版補強（鋼板接着補強）

耐力不足の床版を B 活荷重対応とするため、「鋼板接着補強」、「炭素繊維」及び「炭素繊維+床版上面増厚」による比較検討を行い、構造的、経済性に優れ、桁下作業により施工時の交通規制の影響が小さい「鋼板接着補強」を採用した。

7. 補修工法

(1) 床版の連続化

床版には 4 箇所の目地があり、漏水による床版・鋼材の損傷が激しい。当時は生コン工場やポンプ車が存在しないため、人力での練混ぜ・打設作業であったことから、構造上意図したものでなく施工目地と推定し、漏水対策及び走行性向上のための連続化を行った。

(2) 床版の断面補修

床版下面については、締固め不足などの施工不良と思われるジャンカや、乾燥収縮が原因と思われる微細なクラック及び遊離石灰が見られた（写真—6）。

そのため、床版補強に先立ち、セメントモルタルに比べ接着性や乾燥収縮性に優れる、ポリマーセ



写真—6 床版損傷状況

メントモルタルによる断面修復を行った。

(3) 損傷部材の当て板補修

工事用の吊足場により詳細に調査を行った結果、橋梁点検車を使った点検では発見できなかった損傷が確認された（写真—7）。

主に床版目地において、漏水により付近の横桁の損傷が激しく、母材厚が減少していたため、当て板による補修を行った。



写真—7 鋼材損傷状況

(4) 塗装塗替

晩翠橋の周辺には赤松が多く、「晩翠」には「冬枯れになっても木々の葉が緑である」という意味があることを踏まえ、橋の色は景観に配慮した淡い緑系の色を採用した。

塗装仕様については、補修前は耐用年数 10 年程度の A-1 系（長油系フタル酸樹脂塗装）で塗装であるが、今回は中・上塗りに重防食塗装の C 塗装系（フッ素樹脂）を採用した。

また、下塗りに赤錆を緻密な安定錆である黒錆（マグネタイト）に転換させる錆転換型の塗装を採用することで、次の塗装塗替え作業を軽減するとともに、耐久性のより一層の向上が期待される。

なお、今回 NTT の添架管やライトアップ照明も、NTT や市役所と調整し、橋と同一色に塗替えを行うことで景観に配慮した。

(5) その他

その他の補修として、高欄や地覆、伸縮装置、舗装、歩道照明の更新（LED 化）を行った。

なお、高欄はコンクリート製だったものを鋼製にし、色については橋と同一系統で橋よりも濃い緑色を採用して、景観に配慮した。

8. 苦労した点

(1) 交通規制に伴う渋滞対応

工事施工にあたり、工期短縮のため全面通行止めによる工事実施も検討したが、以下の理由により片側通行規制で工事を行った。

晩翠橋はJR黒磯駅など中心市街地にアクセスする日交通量1万台を超える幹線道路の一部であり、迂回路の橋が上下流とも遠く、行楽期には観光地那須への玄関口にあたることから、最小限の交通規制での施工が求められたからである。

そこで、工事期間は閑散期である2月上旬から一番の行楽期である夏休みの前の7月中旬までとし、その中でゴールデンウィークは工事を中止することとした。また、下流側の迂回路となる国道4号の新晩翠橋でも、晩翠橋と同時期に補修工事を行っていたため、規制時期が重ならないよう宇都宮国道事務所と工程調整を行いながら工事を実施した。

交通規制を行う際は、市広報誌への交通規制情報の提供、地元回覧や看板による迂回路の周知を徹底し、交通管理者と綿密な連絡調整を行った。

また、工事資材や足場の搬入にあたっては、橋上からの規制を伴った荷卸しではなく、極力橋下からの搬入とし、交通への影響が出ないようにした。

以上のような対応を行った中で、地元や道路利用者から何件かの苦情をいただいたが、苦情により工事が滞ることなく進めることができた。

(2) 損傷確認

晩翠橋のような特殊橋梁では、橋梁点検車による調査では桁下に入り込むスペースが限られており、すべての部材を確認できず、工事着手後に新たな損傷が発見され補修工事の追加を余儀なくされた。

点検を行う際には可能であれば足場の設置が確実に

あるが、経済的な問題から現実的ではない。そこで、部分的な足場の設置や最新の技術を生かした点検ロボット、ドローン等の活用が有効と考える。

9. 工夫した点

床板補強のため採用した鋼板接着補強工は、点検手法としては打音調査や各種非破壊検査があるが、一度鋼板を取り付けてしまうと、床板下面について直接目視による状況確認ができない。

そこで、縦横桁で囲まれた床板ブロック毎に、鋼板強度への影響を確認した上で鋼板に予めφ100の孔を設けて、床板下面の一部（ブロック中央付近）を確認できるようにし、今後の維持管理に活用できるようにした。

10. おわりに

歴史的鋼橋などの土木遺産は地元で親しまれ大切にされることが重要である。晩翠橋は、夏の花火の際には花火をバックにライトアップされた写真がよく撮られるなど、地域のランドマークでありカメラスポットとして人気がある。また、右岸橋詰の下流側に展望スペースがあり、右岸上流にある旧橋の橋詰からは橋下に降りることができる。これからも地元から愛される橋として存在し続けることを願ってやまない。

また、2015年度から橋梁等の土木構造物の法定点検が本格的に開始され、全国の各自治体で橋梁補修が実施されており、今後、歴史的鋼橋においても補修補強の必要性が増していくことが想定される。橋の歴史性といった内容はあまり馴染みがないと思われるが、本稿が歴史的鋼橋の補修補強を行う上での一助となれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 黒磯郷土史研究会：晩翠橋 その歩みと柴田久朗氏旧蔵写真 2009
- 2) 土木学会：土木コレクション HANDS+EYES 2014
- 3) 土木学会：歴史的鋼橋の補修・補強マニュアル 2006

〔筆者紹介〕

蛸澤 隆行（えびさわ たかゆき）
栃木県県土整備部交通政策課
主査



写真一8 完成した晩翠橋