

土木遺産のリノベーションと長寿命化

余部鉄橋「空の駅」展望施設のデザインと設計

中山 元・増田 貴充・大波 修二

社会環境の変化や劣化、機能不全により所定の役割が果たせなくなった時に寿命として廃棄される土木構造物が多い中、建設時の優れた姿が地域の風景を牽引し地域の資産として愛され、所定の役割を終えた後にそのままの姿で残される土木遺産も全国に多くある。余部鉄橋「空の駅」展望施設は、鉄道橋としての役割を2010（平成22）年に終えた後、一部を保存・改修し、地域の観光拠点となる展望施設として2013（平成25）年にオープンした。100年を超える風雨に耐えた土木遺産の保存と、利用性・安全性が重要な観光施設への大規模改修を両立させた数少ないプロジェクトとして、本報で概要を報告する。

キーワード：土木遺産の保存・利活用、リノベーション、鋼トレススル式橋脚、展望施設、長寿命化

1. 余部鉄橋の概要と保存までの経緯

(1) 余部鉄橋の建設

余部鉄橋は、兵庫県美方郡香美町香住区（旧香住町）のJR山陰本線余部駅東側（あまるべ 鎧駅側）に位置する長さ310.70 m、高さ41.45 mの鋼トレススル式橋梁である。1900（明治33）年に着工した山陰本線福知山～出雲今市間の最後の工事区間として1909（明治42）年12月に着工した。路線計画では、余部集落の深い谷間を避ける内陸ルートの場合もあったが、当時の掘削技術では不可能な長大トンネル工事が必要となるため断念され、現在の海沿いルートが採用された。計画当初、米子出張所技師岡村信三郎は、潮風害による腐食を考慮し鉄筋コンクリート橋を鉄道院に上申したが、建設費の低減（鉄橋案の33万円に対して鉄筋コンクリート橋案は47万円）や欧米での前例がないことなどから鉄橋が採用された。鉄橋の設計は、我が国の鉄道橋を牽引してきた鉄道局イギリス人建築技師C.A. ポーナルの下で橋梁設計技術を習得した鉄道院技術研究所の古川晴一が行った。

余部鉄橋には、19世紀末から米国で広範に使われていた「鋼トレススル式橋脚」が採用された。古川は1907（明治40）年7月より1年間欧米に出張し、技術的に可能なことを確認した上で、帰国後、採用を決定した。鋼トレススル式橋脚は、米国のアメリカンブリッジカンパニーで製造し、組立は米国のセールフレーザ社が請負った。海路門司港経由で運ばれた鋼材は、余部沖で舢に積み替えて陸揚げされ、橋脚の組



写真1 鋼トレススル式橋脚架設⁴⁾

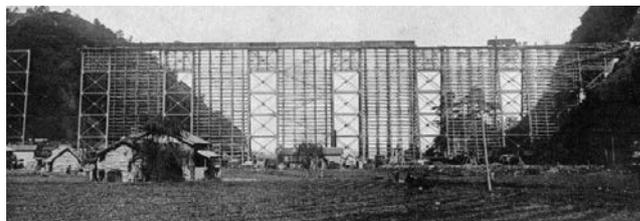


写真2 鋼桁架設⁴⁾

み立てが始まった。足場丸太を45 mの高さまで塔状に組み上げ、3～5基を1回に組み立てた。橋脚1基当たりの組み立てに13日を要し、足場の設置・撤去も含めると1基あたり約40日を要したという（写真1）。

鋼桁は東京石川島造船所で製作され、神戸から陸路で鎧駅まで輸送された後、駅構内で組み立てられた。鋼桁の架設は、橋脚間に総足場を組み、鎧駅側より縦取り架設された（写真2）。

1909（明治42）年12月に着工し約33万円の建設費、延べ25万人を超える人員を投入した工事は1912（明治45年）1月に竣工した。余部鉄橋の完成によって

山陰本線福知山～出雲今市間が同年3月1日に全線開通した。レール面までの高さ41.45 m, 11基の鋼トレスル式橋脚, 23連の橋桁を有し, 建設当時「東洋一」と言われた。

(2) 橋守による維持管理そして新橋架替え

冬季は日本海からの厳しい季節風にさらされ腐食が進行しやすいことから, 鉄道院の工事2名が鉄橋の補修のために常駐(いわゆる橋守)し, 建設3年後から腐食を防止するための塗装工事や部材の交換などが行われた。鉄橋の維持管理にかかる大きな費用(昭和61～平成15年の平均で2,300万円/年)も問題となっていた。

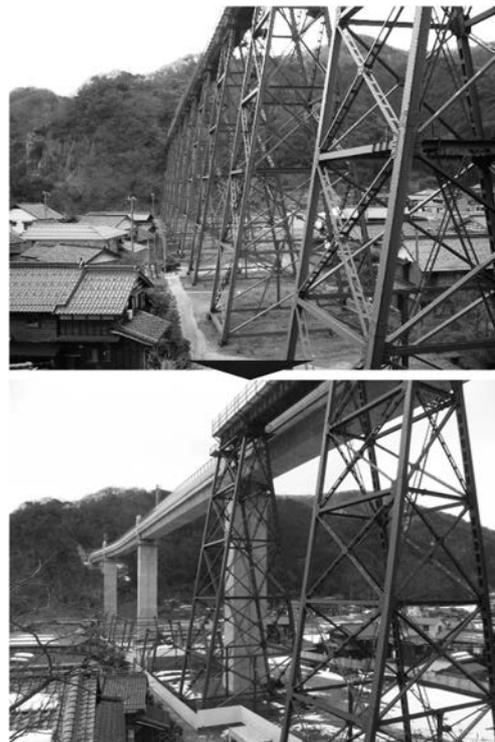
1986(昭和61)年12月28日, 突風により余部鉄橋通過中の回送列車が転落し, 死傷者12名という大事故が発生した。その後, 渡橋時の風速規制強化に伴う列車定時性の低下や安全に対する不安等もあり架替えの議論が本格化し, 2002(平成14)年からの「余部鉄橋定時性確保のための新橋梁検討会」を経て, 新橋への架替えが決定した。そして, 2007(平成19)年3月からのPC5径間連続エクストラードロード箱桁橋への架替え工事が着手され, 2010(平成22)年7月16日夜に鉄道橋としての運用を終了した。

(3) 余部鉄橋の保存・活用へ

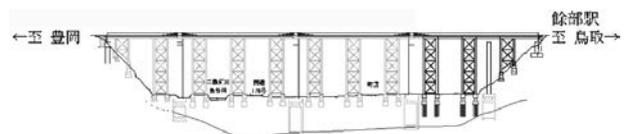
架替え計画が進む中, 2006(平成18)年度に学識経験者や地元代表を交えた「余部鉄橋利活用検討会」が立ち上げられ, 余部鉄橋の歴史的価値および観光資源としての価値や利活用を行ううえでの構造的要件を明確にするとともに, 地元住民の意見を十分に反映し, 鉄橋の保存・利活用の基本方針が取りまとめられた。

新橋が鎧駅側のトンネルを利用した線形であるため支障となる鎧駅側3基のトレスル橋脚は撤去することが決定していたが, 残る8基の鉄橋の保存方針は未定であった。保存範囲のシミュレーション等により落下物に対する住宅への危険性の少なさや維持管理のしやすさから, 余部駅側の3基3スパン(P9～A2)を保存することが決定した。

2009(平成21)年に保存利活用に向けた「余部鉄橋利活用基本計画」にて, 道の駅整備, 公園整備などとともに, 余部鉄橋の利活用として展望施設化する基本方針が決定した。その後, 新橋建設に合わせて, 余部鉄橋は余部駅側3基を残し撤去された(写真—3, 図—1)。



写真—3 鉄道橋時代(上)と余部側橋脚撤去後(下)



図—1 余部鉄橋保存区間

2. 既設橋梁の腐食状況と鋼材調査

平成22年度より余部鉄橋展望施設化の実施設計に着手した。設計に先立ち, 補修履歴の文献調査と現状の腐食状況調査を実施した。

(1) 補修履歴の整理

昭和25～26年には主柱の副部材の交換, 昭和32年から昭和50年までの3次にわたる修繕が順次実施され, 腐食材の取替えや腐食リベットの打替えおよび塗装が行われた。

近年では1996(平成8)年に大規模補修が実施されており, 塗装は厚膜エポキシ樹脂+ポリウレタン塗装, 補修として高力ボルト4,288本の取替えと橋側歩道の修繕が行われた(表—1)。

(2) 鋼材特性の把握

建設後補修した材料については材質がSS41(現在のSS400)と判明していたが, 建設当時から使われている上部工および橋脚支柱の材質が不明であった。そこで, 橋脚支柱部材の材料試験を実施し, 降伏応力

表一 1 供用後の補修履歴概要

年	塗装塗替	橋脚部材取替
明治 45	鉛丹	供用開始
大正 4 ~		
大正 10 ~		レーシングバー取替
昭和 22 ~ 31		レーシングバー等取替
昭和 31 ~ 36		第1次修繕5ヵ年計画として、水平材と垂直材、レーシングバー、リベット等の腐食部取替
昭和 37 ~ 41	フタル酸	第2次修繕5ヵ年計画として、水平材と垂直材、レーシングバー、リベット等の腐食部取替
昭和 43 ~ 50	塩化ゴム系	第3次修繕5ヵ年計画として、支柱を除いた2次部材を全面的に取替
昭和 52 ~ 55		
昭和 56 ~ 60	厚膜エポキシ	高力ボルト腐食部取替
昭和 61 ~ 平成 1	厚膜エポキシ + ポリウレタン	
平成 2 ~ 7		
平成 8		

※ 橋側歩道や桁下足場は継続的に取替

度が 254 ~ 259 N/mm², 引張強さが 447 ~ 449 N/mm²であったことから, SS 400 相当 (下降伏応力度が 245 N/mm² 以上, 引張強さが 400 ~ 510 N/mm²) であることを確認した。

(3) 現況の腐食・損傷状況調査

鉄橋の損傷種別・程度・範囲を確認するため, 腐食状況他調査を残された3脚および鋼桁に対して実施した。調査は既存の点検梯子を利用しつつクライミングケーブルを用いて全部材を調査した。損傷の評価は「橋梁定期点検要領 (案) / 国土交通省 国道・防災課 H16.3」に基づき実施した。

主桁は, ウェブに対して上下フランジに相当するアングルをリベットにより接合した I 断面で構成されている。ウェブはおおむね健全である一方で, 上下フランジのアングル材, 対傾構・横構のガセット部, 支承付近, リベットは腐食による損傷が進んでいた。これは, 積雪や枕木による湿気, 部材端部の塩分付着などが要因と考えられる (写真一4)。



写真一4 上部工の状況

橋脚支柱は, 溝型鋼 2 本にカバープレート, タイプレートをリベットにより接合された部材で構成されている。損傷状況は溝型鋼フランジ部, タイプレートおよび斜材のガセット部等の狭隘部の腐食が激しく, 断面欠損が進んでいた。支柱部のボルトの欠損率は7%程度であった。

3. 既設橋梁の腐食状況と鋼材調査

本鉄橋の特徴は透過性の高い鋼トレスル式橋脚であり, その形態を残すことを重視し補修方針を決定した。

上部工は, 損傷が激しい箇所について, 部材取替を基本とした。特に腐食による断面欠損が激しい上フランジについては, 展望施設としての橋面設備を設置するための連結部材であることを踏まえ, 全部材を取り替えることとした。

橋脚は溝型鋼フランジ部の断面欠損が激しく取替えが困難な部材であることから, 支柱全長にわたりアングルで補強し, フランジを無視した U 断面を有効断面とした。アングル補強は外観から目立たないように内側に設置し, ボルトの頭が外側となるように配慮した。

4. 既設部材の補強

鉄道橋から歩行者利用の展望施設へ用途変更となるため, 歩道橋の現行基準を適用することとした。

(1) 耐震設計方法

レベル2地震動に対しては, 落橋に対する二次的被害を防止するため, 道路橋示方書に準拠し, 耐震性能3を確保する方針とした (表一2)。

解析モデルは, 上部工は2主桁の剛性を換算した1本棒モデル, 鋼トレスル式橋脚は部材ごとにモデル化した立体モデルとし, レベル2地震動に対して非線形域となる可能性のある支柱基部をファイバーモデル

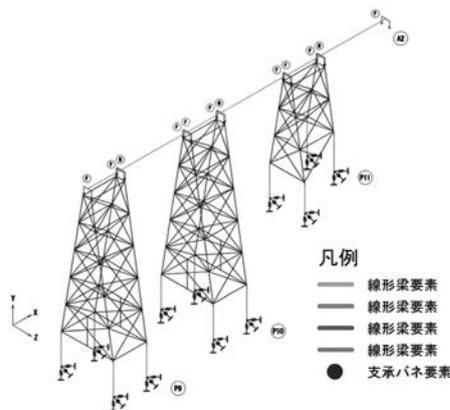
表一2 設計地震動と目標耐震性能及び照査方法

レベル1 地震動	耐震性能1 ・地震によって橋としての健全性を損なわない (地震前と同じ機能確保) ・線形静的解析及び線形時刻歴応答解析の実施
レベル2 地震動	耐震性能3 ・地震による損傷が橋として致命的とならない (落橋しない) ・非線形時刻歴応答解析の実施

とした。入力地震波は、当該地域における過去の地震波形に対して加速度を補正した「余部橋りょう改築における設計地震動の設定（平成18年9月(財)鉄道総合技術研究所）」に示される地震動および「道路橋示方書V耐震設計編（平成14年3月(社)日本道路協会）」に示される地震動を採用した。

安全性の照査では、落橋に対する安全性を確保するため、最大応答変位の照査と残留変位の照査を行った。

最大応答変位の照査は、ファイバー要素とした材料非線形と幾何学的非線形を考慮した複合非線形モデルによるプッシュオーバー解析を実施し、上部構造位置での変位急増点（橋梁全体系の降伏）を算出し、非線形動的解析により求める最大応答変位が降伏変位以下であることを照査した（図一2）。



図一2 解析モデル

結果、応答変位に達しても変位急増点は見られず構造全体系の安全性は確保されている。

(2) 既設部材の照査および補強方法

橋脚支柱はフランジ部の腐食による断面欠損を考慮した断面性能で、その他の部材は補修した部材の断面性能で照査を実施し、耐力が不足となる箇所について補強する方針とした。

上部工は、常時、風時、地震時（L1およびL2）で上部工部材の応力を照査した結果、鉄道橋から展望施設への転用のため活荷重が減少したことにより、曲げ応力度は許容応力度の50%以下と小さく、補強は不要であった。

橋脚支柱は、内側に追加した補強アングルによる断面性能でL2地震時の耐力が確保できたため、補強は不要とした。P10橋脚基部の斜材のみ防風時に発生応力度の許容値を超過したがタイプレート追加で耐力を確保できた。

橋脚基部は、レベル2地震動に伴う柱基部の上向き

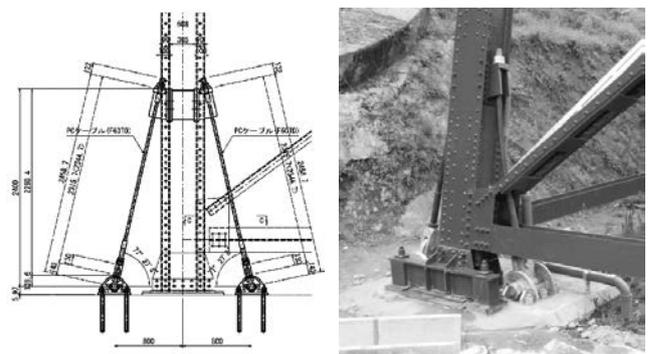
の力に対して既設アンカーの引抜耐力が不足するため、浮上がり防止を目的としたPCケーブルによる補強を実施した。

P9およびP10橋脚基礎の松杭（ $\phi 229 \text{ mm} \times \text{L}7.31 \text{ m}$ 程度）は、地下水位深において80年以上使用にしても腐朽は見られず健全な状態で残っていること、健全な場合に耐震性能にも優れているとの既往文献^{6), 7)}が出されている。当該基礎は、常時地下水位以深にあることおよび酸性土壌等の腐食環境下でないと考えられることから、健全な状態で残存しているものと判断される。よって、松杭は杭基礎としての挙動を示すと想定されることから、杭基礎モデルで解析した。なお、松杭の非線形性が明確でないことから、L2地震時においても杭、地盤を弾性体とした変位法により照査した。結果、変位、支持力とも許容値を満足したため、補強は不要とした。

(3) 落橋防止システム・支承部

落橋に対する安全性を確保するため、道路橋示方書に準拠した落橋防止システムを設置する方針とした。

A2橋台部の沓座拡幅設置、桁連結部の連結板の交換、橋脚ごとの上部工との緩衝連結チェーン設置、桁間への鋼製ブラケットを設置した。これらはトレスル式橋脚のデザインを阻害せず目立たないように設置した（図一3、写真一5）。



図一3 写真一5 PCケーブルによる橋脚基部補強

5. 展望施設のデザイン

土木遺産としての「歴史性」、展望施設としての「利用性」、利用者と周辺住民に対する「安全性」に特に配慮してデザインした（表一3）。

(1) 断面構成

鉄橋時代の面影を残すように、2本のレール（代用品）を橋面に残し枕木の長さ（約3m）を有効幅員と

表一 3 主な配慮事項

観点	主な配慮事項
歴史性	・既存の姿を極力変えない。 ・歴史ある姿との調和を図る。 ・新たな施設整備は最小限にする。
利用性	・高齢者や車椅子利用者等多様な来訪者が使いやすいように、バリアフリーに対応する。 ・日本海や周囲の自然などに対する眺望を確保する。
安全性	・積雪やつらら等、特に冬季の気候に対して配慮する。 ・投棄防止、墜落に対し、利用者及び橋梁下に対する安全を確保する。

する展望空間と、両側に位置するグレーチングの点検通路で構成した。

防護柵は、点検通路外側に転落防止柵、展望空間の両側に高欄を設置し、利用者に対する2重防護とした。床版構造は、床版下に枕木を設置し覗き窓から見える構造とするため、床版厚の薄い鋼床版を採用した。

(2) 展望施設としての仕掛けづくり

本施設は通常の展望施設と異なり、眺望が最も優れる場所に向かって進む施設ではなく、眺望対象である日本海と平行に配置される。また地上41mの高所かつ土木遺産の上を歩く特異な施設となる。そこで、鉄道遺構を歩く、高所を歩くという実感を与え、先端のP9側に向かって歩かせるストーリー性のある空間整備を行った。

(a) 日本海の眺望と浮遊感を楽しむ眺望ベンチ

P10橋脚上には、海側に3脚の木製ベンチ(1,850×550mm)を設置し、ゆったりとたたずんで日本海側の眺望や波の音を感じられるようにした。また、橋脚上に設置したためトレスル橋脚を真上から見られるようにした(写真一6)。

(b) 床面のガラス窓

P9～P10間の舗装面には、開口寸法1,000×600mmのガラス窓(ノンスリップ合わせガラス)を設置し、枕木や横構を見せて、「鉄橋の上を歩いている」とい



写真一6 眺望ベンチ

う感覚を利用者に感じさせる。

(c) 鉄橋の先端部分に手つかずの空間を残す

鉄橋の先端にあたるP9橋脚上を含む約14mは、鉄橋時代の姿がそのまま分かるように枕木や転落防止柵を残し、人が立ち入れない保存区間とし、転落防止柵越しに鉄橋時代の姿と接続されていたトンネルを見えるようにした(写真一7)。



写真一7 鉄道橋時代(上)と先端の鉄橋保存区間及び床面のガラス窓(下)

(3) 夜間や荒天時の安全対策

展望施設は夜間や荒天時に立ち入りできないように門扉で閉鎖することとした。門扉は高さ約2mとし、足がかりがない50mm以下の縦棧式とした。門扉支柱は展望施設のゲートになるため、地場材の神鍋石を用いた石柱とした(写真一8)。



写真一8 門扉(閉鎖時)

夜間閉鎖前の運用および防犯対策として、展望施設およびアプローチ部に照明を設置した。展望施設では目立たないように、線路側の転落防止柵支柱の忍び返し部にLED照明を埋め込んだ。

6. 展望施設としての運用開始

2013年5月3日、余部鉄橋「空の駅」展望施設として一般開放された。1959（昭和34）年開業の余部駅設置前は余部集落の住民が隣の鎧駅まで余部鉄橋の上を歩いていたので約半世紀ぶりに余部鉄橋の上を人が歩いたことになる。同年8月には鉄橋下の「空の駅」公園施設も一般開放された。

施設は対岸に渡ることができなくなり橋としての役割は失ったが、展望施設化や公園化によって多くの人々が利用を通じて土木遺産としての橋の歴史や技術を知ることができるようになった。旅行会社が展望施設利用と日本海の魚介類料理とのツアーを始めるなど、土木遺産をそのままの姿で保存する以上の観光波及効果を生み出しはじめている。余部鉄橋建設時の鉄道が近代日本を牽引した時代から、観光産業振興が進む現代に合わせた機能転換ともいえる。



写真一 9 地上からの展望施設を見上げる

時代に応じた保存・利活用で歴史的価値を後世に伝えていくことは立派な文化活動である。寿命を迎える橋梁が今後右肩上がりが増えていく中で、類似事業の参考となれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 兵庫県：余部鉄橋利活用基本計画，2009年3月
- 2) 福知山鉄道管理局：福知山鉄道管理局史，1972年12月
- 3) 三宅次郎，岡村信三郎：山陰本線餘部高架橋工事概況，工学会誌 第350巻，1912年4月
- 4) 土木学会土木図書館所蔵
- 5) 沢和哉：餘部鉄橋架設工事，国づくりと研修 No106，一般財団法人全国建設研修センター，2004年
- 6) 三宅 祐司，橋本 茂，網田 克明：樋門基礎として80年以上経過したマツ材の性能，技術情報カードNo45，徳島県農林水産総合技術センター森林研究所，2003年1月
- 7) 久保 光，上杉章雄：足羽川における木杭基礎の掘出し調査，福井県雪対策・建設技術研究所年報地域技術 No20 2007年8月

【筆者紹介】



中山 元（なかやま げん）
 (株)オリエンタルコンサルタンツ
 関西支店国土技術部 技師長



増田 貴充（ますだ たかみつ）
 (株)オリエンタルコンサルタンツ
 中部支店技術部
 次長



大波 修二（おおなみ しゅうじ）
 (株)オリエンタルコンサルタンツ
 関東支店都市デザイン部
 担当次長