

余部橋梁架替工事にみる橋梁技術の変遷

The transition of bridge technology seen from the construction of Amarube Bridge replacement

東京工業大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻
Department of Civil Engineering,
Tokyo Institute of Technology, Professor, Dr. Eng.

教授
二羽 淳一郎
Junichiro NIWA



1. はじめに

平成21年6月にプレストレストコンクリート（PC）技術協会編集委員会は、山陰本線の^{あまるべ}余部橋梁架替工事の見学会を開催した。現存の余部橋梁はわが国の鉄道史上においても、また構造あるいは景観上も、さらにはその悲劇的な事故からも、大いに注目されている橋梁である。日本海に面したリアス式の海岸線に突如として現れる朱色の鋼トレススル橋は、現在もなお構造技術者ならびに全国の鉄道ファンの興味を惹きつけて止まない（写真1～2）。明治45年（1912年）の開通以来、約100年の供用期間を迎えようとしている本橋の建設や維持管理の歴史については、既往の各種の報告に詳しいが（例えば1）、あらためてここに紹介し、往時の土木技術を偲ぶこととしたい。

また架橋位置における安全性の向上、耐風対策、列車走行の定時性確保のため、現在、PCエクストラドーズド箱桁橋へと架替工事が進んでいる。後半ではこの内容についても紹介させていただきたい。

2. 余部橋梁の建設について

2.1 設計者は誰？

余部橋梁は、JR山陰本線の^{よろい}鎧駅と^{あまるべ}余部駅の間に位置しており（図1）、全長は約310mである（図2）²⁾。ちなみに、橋梁名は余部であるが、駅名は餘部である。これはJR西日本・姫新線の^{よべ}余部駅との混同を避けるため、このように旧字体の駅名のままとしているとのことである。この区間に下部工として、高さ38.240mの鋼製橋脚9基と、高さ約15mと約24mの鋼製橋脚が各1基（計11基）、および2基の橋台が配置されている。上部工はプレートガーダーであり、橋脚上には長さ9.144m（30フィート）のものが配置され（合計11連）、橋脚間

は長さ18.288m（60フィート）のものが配置されている（合計10連）。さらに端部には長さ8.540mと17.420mのものが各1連配置されている。

本橋の最大のポイントは、鋼トレススル橋脚であると思われる。これについては、大正6年の久保田敬一氏（明治38年東大土木卒、鉄道省次官、貴族院議員を歴任、第22代土木学会会長）の論文「本邦鐵道橋の沿革に就いて」³⁾を引用してみよう。

「山陰線鎧久谷間凹地ニ架セル餘部陸橋（Trestle）モ亦之レヲ特殊橋桁ト見ルヲ得ヘシ。明治40年我依嘱ニヨリ米國橋梁技師うるふえる氏（P. L. Wolfel）ノ設計スル處ニシテ所用荷重E33。明治43年米國橋梁會社ペンこいど工場製作（但シ上部鉋桁ハ東京石川島造船所製作）。明治44年11月ノ架設ニ係ル30呎（筆者注：フィー



写真1 冬の余部橋梁



写真2 夏の余部橋梁



図1 余部橋梁の位置（兵庫県香美町香住区余部）

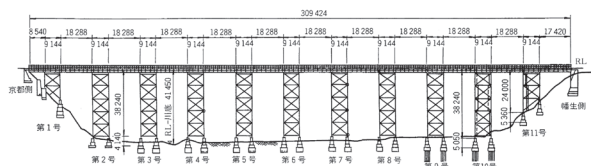


図2 余部橋梁一般図²⁾

ト) 鉸桁ヲ載スル構架12個ノ間ニ60呎上路鉸桁11連ヲ架シ全長1019呎。橋頂ヨリ地上面ニ至ル高サ136呎ニ達ス。此種ノ高架橋ハ米國ニ於テ屢々見ル處ナルモ本邦ニ在リテハ他ニ其類ナシ。」（句点は筆者が追加）。なお、正確にはトレッスル橋脚は前述の通り11基であり、その上には長さ30フィートのプレートガーダーが配置され、橋脚間には長さ60フィートのプレートガーダーが合計10連配置されている。なお本論文中の第15図には、餘部橋梁全般図が示されているが、図中の説明は全て英文で記されている。

久保田論文によれば、この鋼トレッスル橋脚は米国の橋梁技術者P. L. Wolfelの設計によることとなっているが、明治45年の工学会誌に掲載された三宅・岡村論文⁴⁾には別の記載がある。これも該当箇所を引用することにした。

「本区間の工事方法に付ては各種の比較研究をなしたる後本院建設部に於ても亦慎重なる研究を重ねたる結果遂に目下建設中の高架橋式を採用せられたり。本工事設計施工に付ては本邦に於て未だ其経験乏しきを以て猶ほ充分の調査を遂んが為先年鐵道院技師古川晴一氏歐米各國出張の際成案を以て米國費府（筆者注：ペンシルベニア州フィラデルフィア）橋梁技師「ポール、エルウオルフエル」と篤と協議を遂げられたる結果現設計の如く決定せられたり。」（濁点、句点は筆者が追加）。著者の

三宅氏は三宅次郎氏（当時鐵道院米子出張所長）、岡村氏は岡村信三郎氏（明治40年京大土木卒、当時鐵道院米子出張所技師）である。引用中にある古川精一氏は明治14年工部省工技生養成所卒の橋梁技術者である。鐵道院のお抱え外国人であった英国人Charles A. W. Pownallの下で橋梁設計技術を修得し、大井川、天竜川、碓井線など、数多くの鐵道橋の設計に従事した。

余部橋梁の鋼トレッスル橋脚が古川氏の設計であるという点については、例えば小西純一氏も同様の観点から設計者は古川精一氏であると推定している¹⁾。なお、福知山鐵道管理局史⁵⁾には、岡村氏に直接インタビューした、より具体的な記述があるので引用したい。以下は岡村氏の談話である。

「鐵橋の設計計画は、本院では古川技師が前にやっておられました。トレッスルの幅は30フィート、トレッスルとトレッスルの間隔が40フィートという設計でありました。しかしこのような高架橋式の経験に乏しいわが国では、なお検討の余地があるということで、この設計図の成案を持ってアメリカの専門家の意見を聞くということになり、古川技師が渡米し、図のようにトレッスルの幅は30フィートでよいということでそのままとし、間隔を60フィートに修正することになりました。」

この図を図3に示す。実に具体的な内容であり、P. L. Wolfelによる指導はあったものの、現設計は古川精一によるものであったことが理解できる。

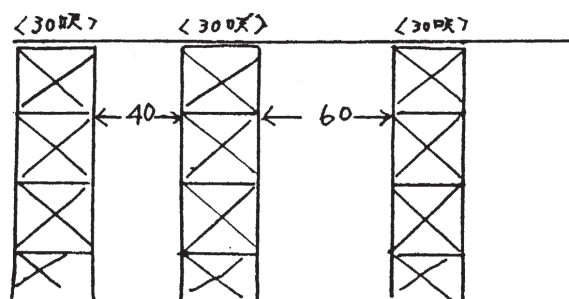


図3 トレッスル間隔の変化
(40フィートから60フィートへ)⁵⁾

2.2 なぜトレッスル橋脚か？

岡村氏の談話⁵⁾は非常に興味深いので、さらに若干概要を紹介したい。明治40年に京大土木を卒業して鐵道院に入省し、明治41年10月に餘部勤務となった岡村氏は

「この海岸に高い橋は維持管理がたいへんだ、保守には大量のペンキと常用人夫11人くらいは必要である。これは鉄筋コンクリートにしなければいけない。」と思い、外国の橋梁を勉強しはじめた。またこの頃、母校にはフランスから帰国した日比忠彦教授が居られたので、日比教授に相談したところ、「鉄橋の予算は33万円、鉄筋コンクリートになると46～47万円、もし築堤として埋立てるとすれば70万円くらいかかる。しかしこの三者の比較で、補修費、人件費を考えてみると、結局は鉄筋コンクリートがもっとも安いものになる。」という試算結果が得られた。

ちなみにこの日比忠彦教授は、明治35年から2年間、ドイツ、フランスに留学し、明治38年から建築雑誌に鉄骨構造の本格的な設計手法の論文を連載された方である。明治39年京大土木工学科教授となり、大正9年の建築学科設立とともに建築学科教授に配置換えとなっている。なお、日比教授は土木学会誌第7巻6号（大正10年12月刊行）所載の論文「混凝土の弾性係数に関する実験」で大正10年度の土木学会論文賞を受賞されている。鋼構造の専門家が客観的にコンクリート構造を推奨したり、建築の教授が土木学会の論文賞を得たりと、当時の垣根の低い、清新な学問や技術の世界がうかがわれて興味深いところである。

さて、このような試算結果を得た岡村技師は早速、米子出張所の三宅所長に相談した。その結果、三宅：「できるか。」、岡村：「できます。」、三宅：「ではやろう。」ということになり、早速東京に上申文を書くこととなった。当時の鉄道院は建設部長が野村龍太郎氏（明治14年東大理学部土木卒（明治18年卒まで理学部と工学部に土木があった由）、鉄道院副総裁、満鉄総裁、東京地下鉄社長を歴任、第3代土木学会会長）、技術課長が石丸重美氏（明治23年東大土木卒、鉄道院副総裁、鉄道次官、貴族院議員を歴任）であった。当時、餘部から東京に出張するには、鳥取までは徒歩で、鳥取から米子までは汽車で、さらに米子から境港に出て汽船で敦賀に上陸し、敦賀から東海道線に出て東京に向かうという甚だ煩わしい経路であったとのことである。

岡村技師の考案した鉄筋コンクリート橋の概念図を図4に示す。

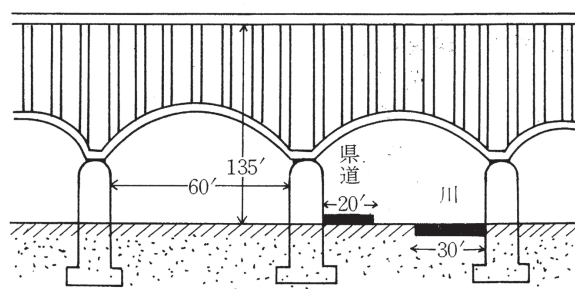


図4 鉄筋コンクリートを用いた余部高架橋の概念図⁵⁾

三宅所長と岡村技師が、野村氏、石丸氏に鉄筋コンクリート橋の計画を説明したところ、石丸氏より「現在、鉄筋コンクリートで設計・施工しているところがあるか。」との質問があり、岡村氏が「日本では現在ないが、フランスでは随分とやっているらしい。」と答え、と、「この前フランスに行ってきたが、鉄筋コンクリートの橋など見かけなかった。鉄筋コンクリートの橋がよいとしても、もしものことがあったらどうするか、役人は新しいことをやるものではない。先輩のやったことをやれば間違いのないだよ。」と諭され、遂に鉄橋でやることになったとの経緯が参考文献⁵⁾には示されている。事実、石丸氏は明治40年（1907年）に欧米に出張しているが、鉄筋コンクリートの発明自体が19世紀後半であり、鉄筋コンクリート橋の完成も19世紀末であったことから、フランスにおいても鉄筋コンクリート橋は当時まだ稀有な存在であったものと推測される。

岡村氏は石丸氏の意見に納得できないものの、反対することもできず、これを受け入れた旨を正直に述べている。新技術の導入ということを考えた場合、このような事例は現在においても充分にありうる話であると言える。なお、日本国有鉄道百年史⁶⁾によれば、「余部陸橋は築堤が容易でないので延長1 019フィート（310.6 m）、最高130余フィート（約40 m）の高架橋としたもので、施工は鉄道工業合資会社で明治42年12月に着手、44年6月15日に竣工し、工事費は8万5 124円で、橋脚は12台、総重量642トンの橋脚用鋼材は米国から輸入したが、301トンの鋼桁は国産を使用した。」と述べられている。

2.3 施工について

余部橋梁の施工については、岡村氏の談話⁵⁾によれば、「明治42年3月頃に地質調査を始め、同43年4月ごろ基礎の石積みに着手したのですが、この基礎工事は請負で、およそ1年ぐらいでできました。そのあとのトレスル組立工事は官鉄直営工事に切り換え、大阪からトビ職を雇ってきて建造したものです。」とある。

トレスル用の鋼材は、米国American Bridge CompanyのPencoyd Iron Worksから太平洋を越えて船便で送られてきたものであり、九州の門司で3000トンくらいの内航汽船に積換えて余部沖に到着し、そこでハシケに移して陸揚げしたと記されている⁵⁾。陸揚げ作業は明治43年8月であったが、天候に恵まれ、海上も風いであり、積替中の事故も無く、無事作業を終えることができたとのことである。プレートガーダー用の鋼材は石川島造船所で製作しているのであるから、プレート材は製作できたものの、600トンを超える鋼材を米国から輸入したということは、当時のわが国ではトレスルに組む型钢の生産が困難であったということを示していると思われる。

トレスルの組立はすべてリベット接合である。岡村技師は、リベット接合の検査を自ら行ったが作業現場は地上20～30mの高所であった（写真3）⁷⁾。このため当時としては巨額な2万円の生命保険を契約した。またリベットの総数は6万8千本に達したとのことである。写真4～7は施工中の状況である⁸⁾。架設用の足場には丸太を使用している。トレスル橋脚を組み上げた後、橋脚間に桁架設用の総足場を組み、その上をカンチレバー方式で主桁の架設を行っている。

2.4 トレスル橋について

トレスル用鋼材を製作したAmerican Bridge Company（以下AB社）は、28社の製鉄会社や建設会社を統合して1900年にJ. P. Morganにより設立された会社である。翌1901年にJ. P. Morganはさらに巨大な鉄鋼トラストのUS Steelを設立し、AB社はその子会社となった。同社は鋼橋を始めとした鋼構造物の製造、建設およびエンジニアリングに強みを持ち、米国内はもとより世界各国の鋼橋等の建設に従事してきた。フィラデルフィ



写真3 リベット検査の状況
(中央右の白い制服が岡村技師と推定されている)⁷⁾

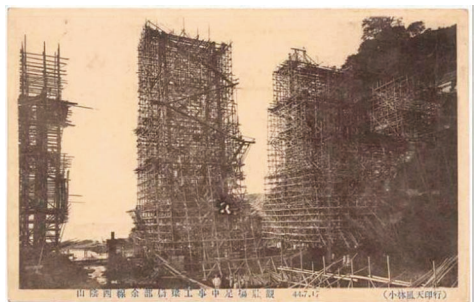


写真4 橋脚足場の状況（明治44年7月17日）⁸⁾

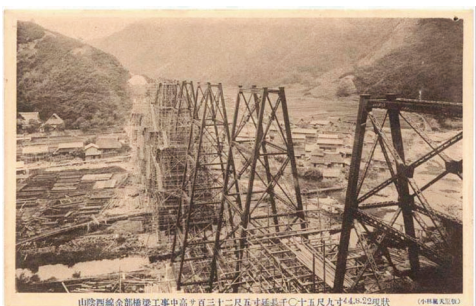


写真5 橋脚建設の様子（明治44年8月22日）⁸⁾
(鉋側から餘部側を見た状況)

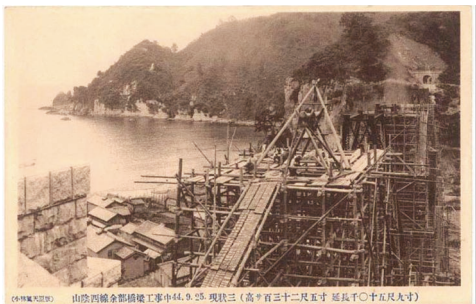


写真6 橋脚建設の様子（明治44年9月25日）⁸⁾
(餘部側から鉋側を見た状況)



写真7 主桁架設に向けた橋脚間の総足場構築⁸⁾
(明治44年9月28日)

アにあるPencoyd Iron WorksはこのAB社に加わった企業の一つである。AB社のホームページには同社がこれまで建設に関与した多数の橋梁が示されているが、残念ながら余部橋梁の写真は見当たらない。ただし、同様な鋼トレスル橋の写真があったので示しておく（写真8）⁹⁾。これは中西部アイオワ州のDes Moines川に架かるUnion Pacific鉄道のKate Shelly橋である。本橋は1901年（明治34年）から供用開始されたが、2009年に新橋が架設され、現在は土木遺産として保存され、供用を停止しているとのことである。写真9はアイオワ州鉄道クラブのホームページ¹⁰⁾から転載したものである。



写真8 米国における鋼トレスル鉄道橋⁹⁾（Kate Shelly 橋）



写真9 Kate Shelly 橋¹⁰⁾

わが国には余部橋梁の他に10橋余りのトレスル橋が現存している。そのほとんどは鉄道橋であり、建設は1910年代から1930年代までがほとんどとなっている。1929年竣工の現JR東日本・青梅線の奥沢橋梁（橋長

105.5 m、橋脚高さ26.5 m、トレスル橋脚2基）、1931年竣工の現JR東日本・仙山線の第2広瀬川橋梁（橋長134.4 m、橋脚高さ40.2 m、トレスル橋脚3基）などが主なものである。

2.5 橋守による維持管理

岡村技師の懸念通り、余部橋梁の維持管理は大変な人手が掛かるものとなった。建設後3年を経た大正4年から橋脚などの腐食を防止するため、ペイントの塗り替え作業が開始された⁵⁾。大正6年には本橋建設当時から「日本ペイント製造」の社員として現地に出向していた上倉音吉氏と望月保吉氏が鉄道院に採用となり、余部橋梁の専属工手となって、橋梁の保守に当たることとなった。いわゆる「橋守」である。参考文献7)によれば、昭和38年まで次の人たちが余部橋梁専属の工手等になり、毎日橋梁の錆との戦いを続けてきたとのことである。

工事工手	上倉 音吉	大正6年3月～昭和10年3月
	望月 保吉	大正6年3月～昭和24年3月
	岡本 和	昭和2年1月～昭和24年3月
	山崎一太郎	昭和21年6月～昭和29年9月
	山崎 彦人	昭和25年10月～昭和37年7月
工事士	福井興七郎	昭和33年3月～昭和38年2月



写真10 保守作業の状況⁷⁾



写真11 保守作業時の携帯道具⁷⁾

表1 事業効果予測⁸⁾

風速規制値	抑止回数（回）		影響列車本数 (30分以上遅延)（本）		運休本数（本）		遅延時間（時間）	
	年平均	低減率	年平均	低減率	年平均	低減率	年平均	低減率
現在（20m/秒）	120	—	168	—	84	—	131	—
橋梁架け替え後 （30m/秒）	6	95%	13	92%	8	90%	10	92%

なお、昭和38年から保守方式が変更となり、直轄保守は廃止された。写真10は橋梁の保守作業をしている状況、写真11は保守作業時の携帯道具であり、いずれも参考文献7)による。

3. 新橋の建設

3.1 新橋への架替計画

余部橋梁と言えば、1986年12月28日の強風による回送列車の転落事故は、実に痛ましい事故であった。回送列車の車掌、列車転落地点の工場従業員など6名の方が亡くなっている。40歳以上の方であれば記憶に残っているものと思われる。この事故を契機に列車の運転抑止基準が風速25m/秒から20m/秒に引き下げられた。しかしこのため、列車の遅延や運休が頻発することとなった。このことは沿線地域の通勤・通学や経済活動に大きな影響を与えるものであり、この問題を解決すべく防風壁を備えた新橋（運転抑止基準風速30m/秒）の建設が計画されることとなった。余部鉄橋活用検討会が予測する事業効果は表1の通りであり⁸⁾、列車の遅延や運休を含めて、いずれも概ね90%程度の低減が見込まれている。

3.2 新橋の施工

新橋への架替にあたっては、様々な構造形式が検討されている。例えば、PCラーメン橋の他、RC充腹アーチ

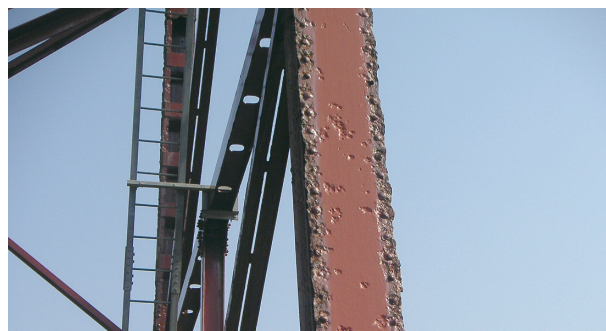


写真13 腐食の状況が著しい主鋼材

橋および鋼上路トラス橋などが有力な候補に挙がっている¹¹⁾。しかしながら、維持管理を含めた経済性と耐久性、ならびに景観上の観点からPCラーメン橋をさらに発展させたPCエクストラードード橋が選定されたようである。

新橋は5径間連続PCエクストラードード箱桁橋である。景観を考慮し、また現存する余部橋梁（写真12）のスレンダーで直線的なイメージを踏襲するため、桁高は3.5mの等桁高とすることとなった。また、最大支間長は82.5m、橋長は310.6mである。

また橋脚は耐久性を考慮して鉄筋コンクリート（RC）製とし、その高さは約36.0mである。岡村信三郎技師のアイデアは約100年を経て、ようやく実現されることになったわけである。主桁は1室箱桁であり、その両側には透明の亚克力製防風壁を設け、前述の通り、風速30m/secまで列車運行を可能とすることを目指している。



写真12 現存の余部橋梁

写真14 餘部側から錯側を望む
（新橋架設用のタワー・クレーンが隣接している）



写真 15 工事現場の直近を通過する普通列車

RC橋脚にはSD490の高強度鉄筋を使用し、塩害を考慮して、東側（鎧側）の橋脚P1とP2では、かぶり200mmが採用された。かぶり200mmと聞くとそんなに厚い無筋コンクリートを橋脚躯体の周囲に設けてかぶりコンクリートの剥落の点は大丈夫かとやや懸念されるのであるが、かぶりコンクリートの剥落防止の観点から橋脚のコンクリートには繊維補強コンクリート（PET繊維、使用量0.6vol%）を使用しているとのことである。これであれば、かぶりコンクリートの剥落は問題にはならないと言えよう。

新橋の軌道中心は山側（南側）に7m移動していると言うものの、旧橋との超近接施工（水平方向の最小離隔は約300mm）となっている（写真14～15）。東側（鎧



写真 16 張り出し架設の状況



写真 17 平成 22 年度の完成を目指して架設作業の進む新橋



写真 18 完成予想図
(JR 西日本、清水建設・銭高組 JV パンフレットより)

側）のトンネル坑口に付け替えるため、主桁の完成時には現行の山陰本線の山側（南側）で製作したS字状の平面形状をしたPC箱桁を仮支柱から本橋脚へ空中で水平移動し、さらに水平面内で回転して既存の軌道に繋げるとのことであり、非常に注目すべき工事となっている。

明治以来100年間の橋梁技術の進歩により、以上のように画期的な新橋への架替えが可能となったものであり、平成22年度の無事竣工が待たれるところである。

4. おわりに

4.1 夢千代日記と余部橋梁

本稿を終えるにあたって、最後に少し個人的な感想を書かせていただきたい。

最初は、夢千代日記である。昭和56年（1981年）2月～3月、57年（1982年）1月～2月、59年（1984年）1～3月にNHKで放送された吉永小百合主演の夢千代日記（正、続、新、計20回）では、タイトルバックに余部橋梁が映し出されていた。特に通過する列車を橋桁の下側から撮影したシーンが印象に残っている。CSなどでは再放送されているようであるが、放送から既に25年以上も経過したので、最近の若い人には何のことかサッパリ分からないかも知れない。白血病と闘う主人公の夢千代が



写真 19 桁下から見上げた余部橋梁



写真 20 釧一餘部間の列車から見た余部浜

神戸の病院に行き来する際に、列車はこの余部橋梁を渡るのである。トンネルから出て余部橋梁を通過するところから、オープニングが始まる。冬の日本海は人を寄せ付けない厳しさがあるが、物語に登場する人物はみな親切で優しくったように覚えている。なお、夢千代の働く湯村温泉は、余部駅からさらに西に行った浜坂駅から、南に向かって山陰山地の中に入った新温泉町にある。

4.2 土木遺産に対する敬意

今回、新橋の建設とともに旧橋は撤去されてしまうが、西側の3径間はそのまま残して、鋼トレスス橋のモニュメントとして、また展望台として活用される方針であるとのことである¹²⁾。この件については、賛成反対各種の意見もあるようであるが、筆者は素直に慶びたいと思う。本橋のような土木遺産については、その歴史を正しく次世代に伝えていくとともに、現存する構造物を適切に維持管理して、技術の伝承を図ることが、先人の努力や尽力に対する土木技術者としての正しい姿勢であると考えている。何事にも変革を求める昨今の風潮に対して、余部橋梁は、変わらないことの重要性を実証しているのではないかと思うのである。

本稿の記述にあたっては、多くの文献を参考にしました。ここで改めて、各文献の著者の皆様に感謝の意を表します。また文中の写真1, 2, 16, 17, 18はいずれも清水建設(株)より提供いただきました。併せて衷心より御礼申し上げます。なお、写真12, 13, 14, 15, 19, 20は筆者撮影のものであり、その他のものについては全て引用先を明示致しました。

参考文献

- 1) 小西純一：余部鉄橋（その1），鉄道ファン，2007年7月，pp.114～123および余部鉄橋（その2），鉄道ファン，2007年8月，pp.124～133.
- 2) 「余部橋梁（日本国有鉄道）」（代表的な鋼橋），橋梁と基礎，1981年8月，pp.88.
- 3) 久保田敬一：本邦鐵道橋の沿革に就いて，土木学会誌，第3巻，第1号，1917年2月，pp.83～130.
- 4) 三宅次郎，岡村信三郎：山陰線餘部高架橋工事概況，工学会誌，第350号，1912年4月，pp.167～176.
- 5) 日本国有鐵道福知山鐵道管理局：福知山鐵道管理局史，第11節 岡村技師と餘部鉄橋，1972年，pp.278～290.
- 6) 日本国有鐵道：日本国有鐵道百年史，第6巻，pp.112～115，1972年10月.
- 7) 高木 稔，山崎彦人，古寺貞夫：余部橋梁秘話，橋梁と基礎，1993年8月，pp.108～111.
- 8) 兵庫県：余部鉄橋利活用検討会，第1回会議資料，2006年3月，pp.1～54.
- 9) <http://www.americanbridge.net/images/Brochure/Brochure.pdf>
- 10) <http://www.stuorg.iastate.edu/railroad/Ames/kateshelley.html>
- 11) 兵庫県：余部鉄橋新橋梁検討会，余部鉄橋定時性確保対策のための新橋梁の形式選定に関する提言，2003年9月，pp.1～7.
- 12) 兵庫県：余部鉄橋利活用検討会，余部鉄橋の保存と再出発に向けた提言，2007年3月，pp.1～12.