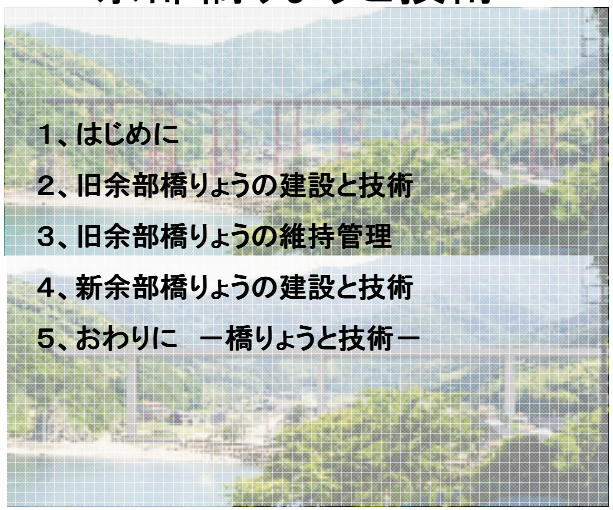
第11回（2014年度）ブリッジマネジメントフォーラム　基調講演

余部橋りょうと技術



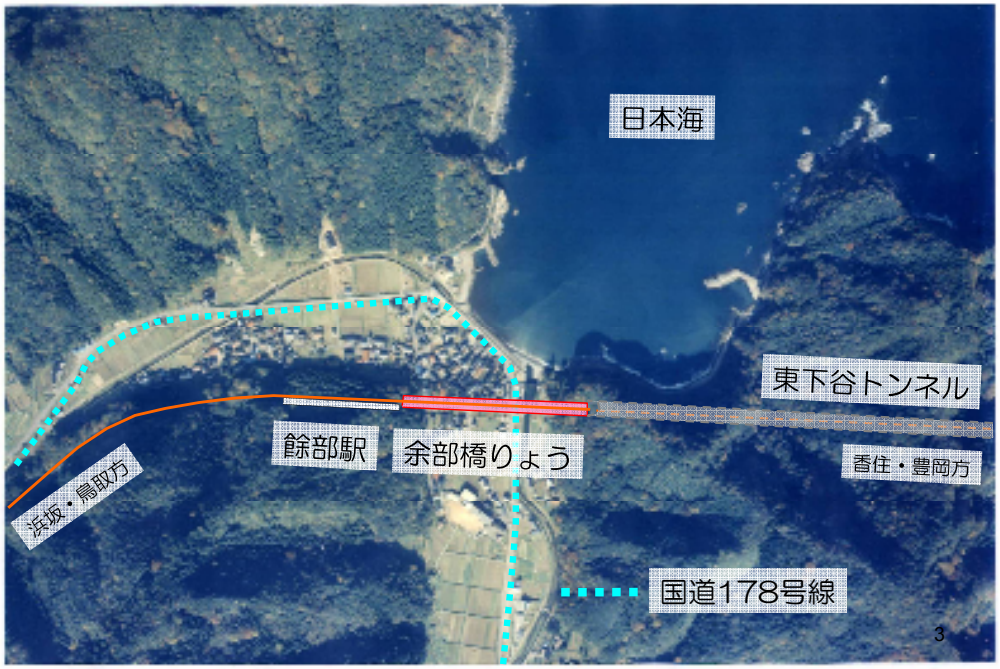
1、はじめに
2、旧余部橋りょうの建設と技術
3、旧余部橋りょうの維持管理
4、新余部橋りょうの建設と技術
5、おわりに　－橋りょうと技術－

平成26年6月3日　(火)　14:40～16:50

西日本旅客鉄道株式会社
技術理事 構造技術室長　松田　好史

余部橋りょう位置図

余部橋りょう位置図（航空写真）



旧余部橋りょう

香美町観光協会資料から引用

旧余部橋りょうと新余部橋りょう

香美町観光協会資料から引用

鉄道の発展と技術

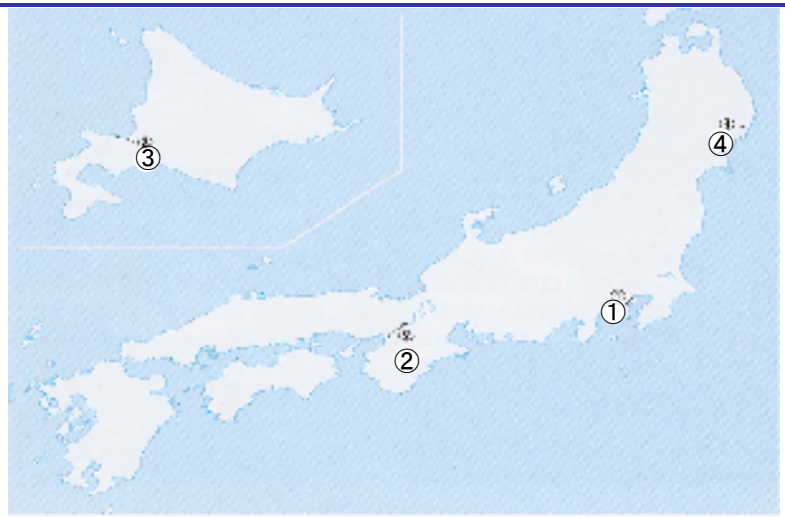
【原田勝正著;「日本鉄道史」−技術と人間− 刀水書房】

車両	線路
1825年　イギリスで世界最初の鉄道開通	
1867年　大政奉還、明治維新	
1869年　東西両京間、東京・横浜間、京都・神戸間、琵琶湖畔・敦賀間の**鉄道敷設を決定**	
⇐　緊急の課題『封建制の打破、人心を驚かすべき事業』	
1870年　外国人技師長　エドモント・モレル	
大隈重信「元来が貧乏な国であるから軌幅は狭いほうがよかろう。」 ⇒**狭軌を決定**	
1872年　新橋・横浜に鉄道開通	
技術の自立;線路の設計、測量、土木工事、橋梁など構造物の設計、架設、トンネルの掘削技術および列車の運転などは、1880年代半ばまでに自立。(大津～京都、長浜～敦賀間の線路建設、鴨川などの橋梁架設)	
1875(M8)年　神戸工場で国産材料により客貨車を製作(台枠の鋼材、車輪・車軸を除く)	
1880年　日本人だけで逢坂山トンネル完成	
1893年　神戸工場で国産機関車1両製作	
1894年　日清戦争	
1896年　汽車製造合資会社創立(鉄道の父:井上　勝)	
1901年　八幡官営製鉄所操業	
1906年　鉄道国有法	
コピー方式から技術自立の必要性、機関車の国産化;必要な条件を想定して設計する技術、資材の自給や工作、組み立て技術が必要	
1913年貨物用の9600形、1919年18900形、1923年貨物用大形機9900形と発展し、国産化を実現	
1942年　関門トンネル完成（それまでのトンネル工事に使われた技術の集大成）	

鉄道の発展と歴史(「日本国有鉄道百年史」、「日本国有鉄道百年写真史」より抜粋)

創業期	**明治5年にわが国ではじめての鉄道が開業し、その後明治22年に東海道線は全通した。また、私設鉄道も建設され現在の幹線網の基礎がかたちづくられていく。**	
1,蒸気機関車の渡来 2,創業 新橋・横浜間の鉄道 鉄道反対論と賛成論 3,京都・神戸間の鉄道とその延長 4,創業時代の車両 5,私設鉄道 たとえば山陽鉄道	**1825年　イギリスのストックトン・ダーリントン間で世界最初の鉄道開通**	
	1854年	アメリカ使節ペリー持参の蒸気車模型を横浜で運転
	1869年	東西両京間、東京・横浜間、京都・神戸間、琵琶湖畔・敦賀間の鉄道敷設を決定
	1872(M5)年10月14日	**わが国で初めての鉄道が新橋(現在の汐留)・横浜間に開通**
	1874年5月11日	大阪・神戸間仮開業
	1877(M10)年2月5日	京都・神戸間開業
	1884(M17)年4月16日	柳ケ瀬トンネル完成し、長浜・敦賀間全通
	1888年11月1日	山陽鉄道　兵庫・明石間開通
	1889(M22)年7月1日	新橋・神戸間全通
	1890年5月4日	**第3回内国勧業博覧会でわが国初の電車運転**

鉄道網の発達(創業期);1880年(明治13年)



①官設鉄道（新橋～横浜間)、②官設鉄道（神戸～大津間)、③幌内鉄道（手宮(小樽)～札幌間)、④釜石製鉄所鉄道（大橋～釜石間)が別個に営業しているに過ぎなかった。鉄道機材は輸入に依存していた。

柳ヶ瀬トンネルの石額

柳ヶ瀬トンネル（1884（M17)年完成、延長1351.8m

長浜鉄道スクエアにある石額

『萬世永頼　参議伊藤博文』

萬世永く頼む；この鉄道が世のために働いてくれることを
いつまでも長く頼りにする

鉄道の発展と歴史(「日本国有鉄道百年史」、「日本国有鉄道百年写真史」より引用)

幹線伸長期	**「鉄道敷設法」、「北海道鉄道敷設法」が公布され、各地に官設鉄道が建設されていった。 また、日清・日露の両戦争を経て、私鉄の躍進ぶりにもめざましいものがあった。**
	1892（M25）年6月　幹線鉄道網の拡充をめざして**「鉄道敷設法」が公布**、 各地に官設鉄道が建設 1893年　神戸工場で初めての国産機関車を製作 **1894年　日清戦争** 1895年　京都電気鉄道開業（**電気鉄道のはじめ**） **1901年　八幡官営製鉄所操業** 1901年　山陽鉄道神戸・馬関（現在の下関）間全通 **1904年　日露戦争**
鉄道院時代	**M39年から主要17私設鉄道が買収され、国鉄の営業キロは一挙に7000キロを超えた。 また、鉄道院のもと逓信省から独立して鉄道運営を行うこととなった。**
	1906（M39）年3月31日　鉄道国有法が公布、M40年にかけて主要17私設鉄道を買収 1908（M41）年　鉄道院官制公布 1911年　宮ノ越。木曽福島間完成により、中央線全通 **1912年　余部橋りょう完成により、山陰本線京都・出雲今市（現在の出雲市）間開通** **1913年**　北陸線米原・直江津間全通 天竜川橋梁工事完成し、**東海道本線複線全通** **1914年　第1次世界大戦**
興隆期の国鉄	**鉄道院は鉄道省に拡充され、第1次世界大戦後の日本経済の発展に即応するため約1万キロにわたる 鉄道網を整備し鉄道の隆盛期を迎えた。**
	1920（T9）年　鉄道省官制公布 **1923(T12）年　関東大震災** 1931年　清水トンネル完成し上越線新前橋・宮内間全通 **1933年2月24日　須佐・宇田郷間開通し、京都・幡生間山陰本線全通** 1934年　丹那トンネル完成

鉄道網の発達(幹線伸長期);1900年（明治33年）

**・1892年「鉄道敷設法」の制定などにより、全国の鉄道網は急速に拡大された。
特に私鉄は、5大私鉄(日本鉄道、山陽鉄道、関西鉄道、九州鉄道、炭炭北海道磧鉄道）を
中心に官設鉄道を上回る発展を記録した。**

**・官設鉄道は、東海道線全通（明治22年）、信越線高崎～直江津開通（明治26年)に続いて、
北陸線が富山まで開通（明治32年)した。**

鉄道網の発達(興隆期の国鉄);1920年（大正9年）

・1906（M39）年「鉄道国有法」が制定され、翌年までに17私鉄が国有化された。

・一方、少ない資本で鉄道を建設できるように、1910(M43）年 「軽便鉄道法」が制定され、幹線鉄道から分岐する規模の小さな鉄道が多く建設された。

・東京、京阪神、名古屋地区では、市内や郊外に電気鉄道が開業して次第に大きくなる交通需要に対応していた。

・国鉄では、それまで輸入に依存していた蒸気機関車の国産化と標準化に着手し、1920年代初頭までに完全な国産化を達成した。

山陰線余部橋りょう誕生の時代背景

鉄道院時代	**M39年から主要17私設鉄道が買収され、国鉄の営業キロは一挙に7000キロを超えた。 また、鉄道院のもと逓信省から独立して鉄道運営を行うこととなった。**	
	1,**鉄道院の発足** 2,**新線の建設** 3,**東京付近の電車運転** 4,**当時の輸送 特急の運転**	**1906(M39)年3月31日　鉄道国有法が公布**、M40年にかけて主要17私設鉄道を買収 1906年　新橋・神戸間　最急行列車に急行料金を設定　急行列車券を発売 1908(M41)年　鉄道院官制公布 1909年　山手線品川・上野間、池袋・赤羽間に電車運転開始 1911年　宮ノ越。木曽福島間完成により、中央線全通 **1912年　余部橋梁完成により、山陰本線京都・出雲今市(現在の出雲市)間開通** **1913年**　北陸線米原・直江津間全通 天竜川橋梁工事完成し、**東海道本線複線全通** **1914年　第1次世界大戦**
興隆期の国鉄	**鉄道院は鉄道省に拡充され、第1次世界大戦後の日本経済の発展に即応するため約1万キロにわたる鉄道網を整備し鉄道の隆盛期を迎えた。**	
	1,鉄道50周年 2,関東大震災 3,鉄道網の伸展 4,施設の改良と電化 5,鉄道通信 6,スピードアップと旅客サービス 7,車両の増強	**1920(T9)年　鉄道省官制公布** **1923(T12)年　関東大震災** 1931年　清水トンネル完成し上越線新前橋・宮内間全通 **1933年2月24日　須佐・宇田郷間開通し、京都・幡生間山陰本線全通** 1934年　丹那トンネル完成 1937年　盧溝橋事件

「山陰鐵道発祥の地」碑

明治20年代から昭和10年頃の鉄道土木技術

	トンネル	鋼橋	鉄筋コンクリート橋
明治	**1880年；逢坂山トンネル(滋賀県、664.8m)** 1884年；柳ヶ瀬トンネル(福井県、1351.8m) 1890年；加太トンネル(三重県、929.6m) 1898年；金山トンネル(福島県、1762m) **1902年；笹子トンネル(下り線)(山梨県、4656m)**	**1889年；多摩川橋梁(上り線)、錬鉄PG439.98m)** **1899年；上淀川橋梁(上り線)、大阪府、鋼ﾌﾞﾗｯﾄﾄﾗｽ、729.28m)** **1903年；紀ノ川橋梁(上り線)和歌山県** **1907年；新神通川橋梁(富山県、鋼ﾌﾞﾗｯﾄﾄﾗｽ、ﾋﾟﾝ結合、424m)** **1911年；竹野川橋梁(兵庫県、鋼ﾗﾁｽ桁(上路)　、101.21m)** **1912年；余部橋梁(兵庫県、鋼ﾄﾚｯｽﾙ、309,42m)、(M45)**	**1907年；島田川暗渠　(島根県、RC拱渠　、1.87m)**
大正	1921年；東山トンネル(上り内、外線)(京都府1864.8m)		1919年；東京・万世橋間市街線高架橋(東京都、RC(ﾚﾝｶﾞ張)ｱｰﾁ、1154m) 1920年；山生橋梁(千葉県、164.8m,RC桁) 1925年；東京・上野間市街線高架橋(東京都、3571mRCﾌﾗｯﾄｽﾗﾌﾞ、RCｱｰﾁ)
昭和	1931年；清水トンネル(上り線)(群馬県、新潟県、9702.3m) 1934年；丹那トンネル(静岡県、7840.9m) 1942年；関門トンネル(山口県、3614m)	1927年；第一白川橋梁(熊本県、鋼ｱｰﾁ、166.3m)	1926年；梅田高架橋(大阪府、853.1m、RCﾗｰﾒﾝ) 1929年；阪和高架橋(大阪府、約1.5km、RCﾗｰﾒﾝ) **1932年；惣郷川橋梁**　(山口県、189m、RCﾗｰﾒﾝ)**(S7)** 1936年；三宮高架橋(兵庫県、約2.5km、RCﾗｰﾒﾝ) 1936年；第二領地橋梁(高知県、RC充腹ｱｰﾁ、107.7m)

余部橋りょうを回避するための内陸側の想像ルート

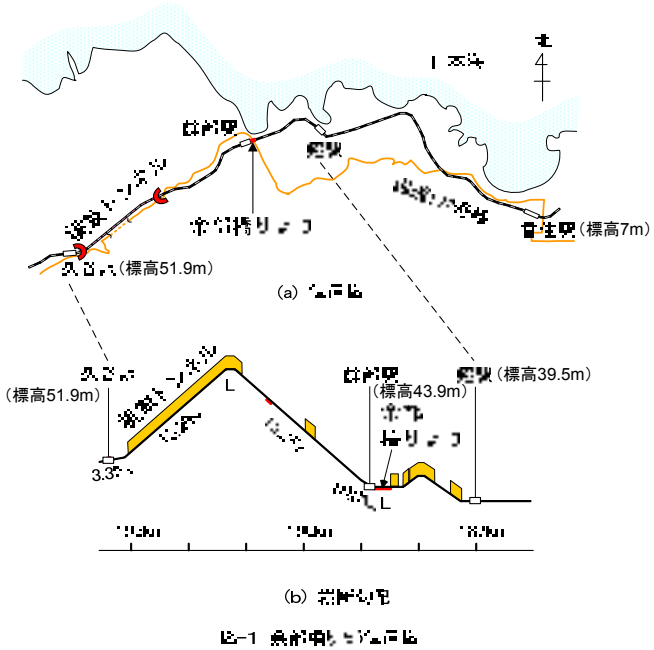
1895年12月の踏査時に、香住町長山田五郎兵衛は現在の国道178号に沿う内陸ルートを進言(後に余部橋りょうを設計することになる**古川晴一**技師や工事に従事した**最上慶二**技師は、それぞれ内陸ルートを主張)

米子出張所長の**石丸重美**技師は現ルートを主張

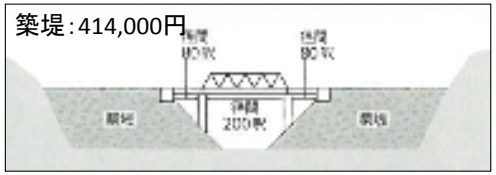
比較検討の結果、一つずつのトンネルが短い現ルート(石丸重美案)に決まった

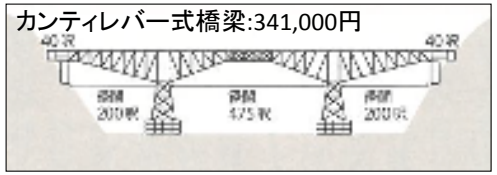
小西純一氏(信州大学名誉教授)は、内陸ルートA案、内陸ルートB案のいずれでも、桃観トンネル並みの長大トンネルがもう1本必要となるので、工期や工事費の増大に比べて、鉄橋の腐食問題は小さいと判断されたのであろうか、と記述されている。

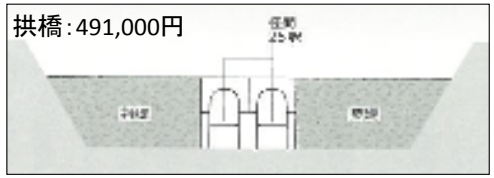
『出典：余部橋梁；小西純一、鉄道ファン第47巻7号(2007年7月号)』

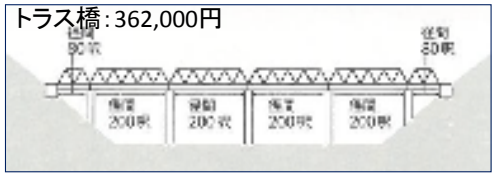


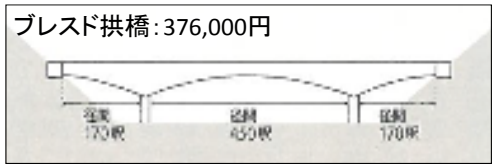
検討された余部橋りょうの形式

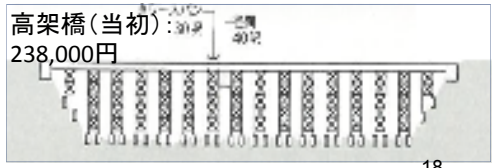






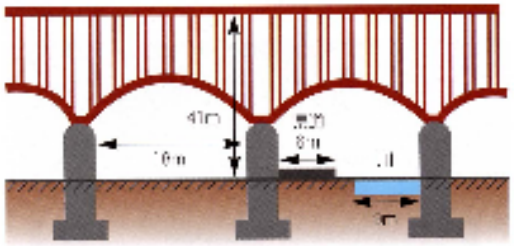






『余部鉄橋物語』（新潮社；田村喜子著）から引用、修正

検討された余部橋りょう（RC造アーチ）



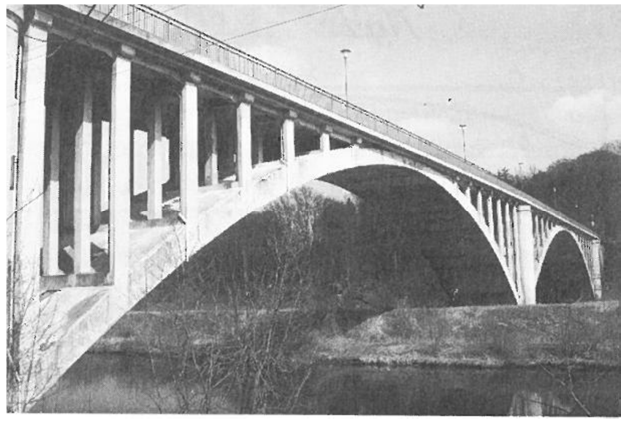
■岡村技師が上申した鉄筋コンクリート橋の案

岡村信三郎氏(昭和37年撮影)
建設工事の主任技師

（出典；「福知山鉄道管理局史」）

岡村信三郎：　1908 (M41)年餘部勤務になる(当時25歳)。維持管理の観点から鉄筋コンクリート造を勉強し、米子出張所の三宅次郎所長とともに上申した。
この案は、京都大学日比忠彦教授の指導を受けて、60フィート間隔で橋脚を建設しその上にアーチ橋を架設するものであった。概算工事費は、46～47万円とでたが、保守費を含めた総額で考えると、最終的にはアーチ橋が一番安くなると試算されたことから、岡村は、この案を主張した。
しかし、石丸技術課長から、『鉄筋の橋が　良いとしても、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ないのだ。』と諭された。トレッスル、RC、築堤を比較し、斯界の学識に問うべく論文を作成したが、石丸課長預かりとなる。

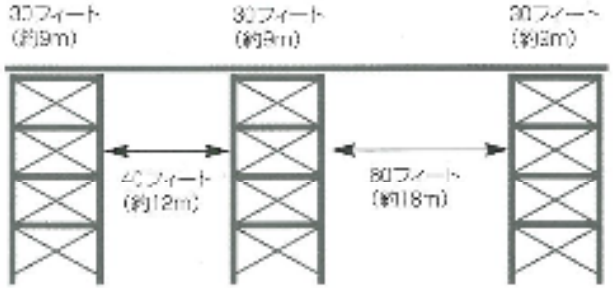
ヨーロッパにおける黎明期の鉄筋コンクリート橋りょう



ミュンヘン市イザール川にかかるグリューンバルト橋
（1904年完成、スパン70m）

余部橋りょうの構造形式

設計者;古川晴一 （兵庫県生まれ。明治14年工部省工技生養成所卒業後、明治15年に鉄道院に招かれたイギリス人技師チャールズ・ポーナルの下で橋梁設計技術を習得。明治40年頃、鉄道院技術部分科長。大正4年に退官するまで、数多くの橋梁を設計。）
1907 (M40)年、欧米出張の際に、餘部鉄橋の設計案を携えてフィラデルフィア在住の橋梁技師ポール･エル･ウォルフェルの指導を受ける。この時、トレッスル幅は30fのままでトレッスル間隔を40fから60fに修正された。
（工事報告論文の応力計算図面にはMarch1909の年月が記入されている）



国鉄信越線横川～軽井沢駅間　碓氷第三橋りょう
（1891年着工1893年竣工）

全長91m、川底からの高さ31mの4連アーチ橋、使用された煉瓦は約200万個。
現存する煉瓦造りの橋の中では国内最大規模

設計者は1882年に鉄道作業局技師長としてイギリスから日本に招聘されたイギリス人技師のﾎﾟｰナル（Charles　Assheton　Whately　Pownall）と古川晴一。

日本のトレッスル橋りょう

トレッスル（trestle）とは、鋼材をトラス状に組んだ橋脚（＝構橋脚）のこと

イギリス式のトレッスル
（橋脚をトラス構造にしたもの）

関西本線　笠置～加茂間
下の川橋りょう（1897年）
（橋長34.36m；現存する国内最古のトレッスル橋脚）

アメリカ式のトレッスル
（構橋脚上にタワースパンと称するプレートガーダーを架設 ）

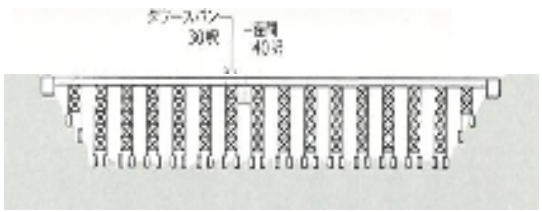
南阿蘇鉄道 立野～長陽間
立野橋りょう(1928年)
（橋長；138.7m　　高さ；34m）
国産技術で完成させた最初のアメリカ式トレッスル、鋼材に（SEITETSUSYO YAWATA）の刻印

キンズア橋（Kinzua　Bridge）
米ペンシルベニア州、トレッスル構造の鉄道橋（高さ92m、長さ625m）

1882年、鉄を使って建設され当時世界で最も高い鉄道橋であった。
1900年、より重量のある列車に対応できるように鋼鉄を使って架け替えられ、
1959年まで使用された。2003年竜巻に襲われ橋の大部分が崩壊した。

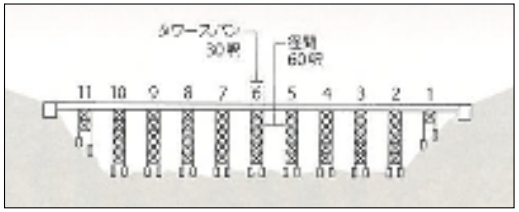
検討された余部橋りょうの構造

当初計画　(トレッスル間隔：40フィート)：238,000円

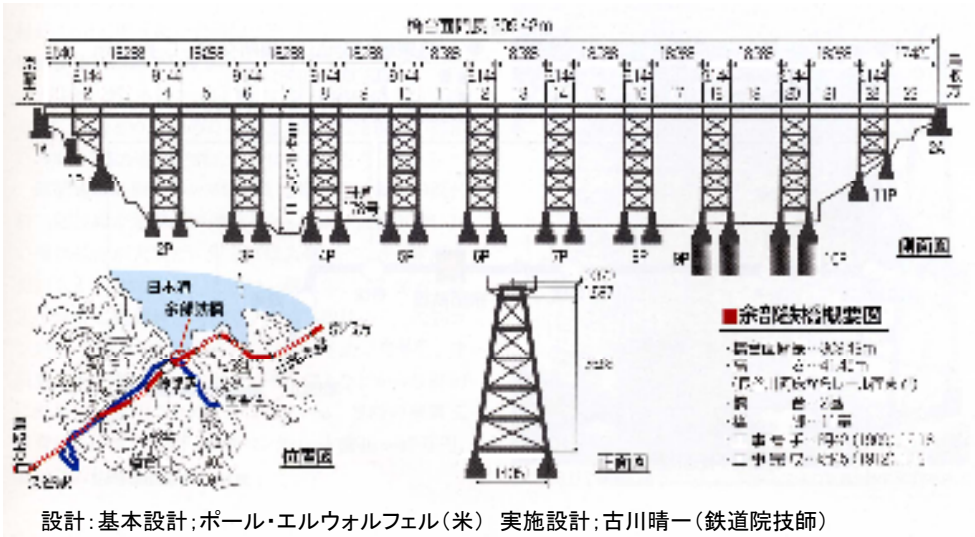


アメリカで協議の結果、トレッスル相互間の距離は40フィート（約12m）から60フィート（約18m）に修正された。
この修正がなければ11基の橋脚は16基となっていた。

旧余部橋りょう　(修正案のトレッスル間隔：60フィート)：実際の工事費は、331,535円



余部橋りょうの建設



設計：基本設計；ポール・エルウォルフェル（米）　実施設計；古川晴一（鉄道院技師）

下部構造；橋台2基、橋脚11基（9P，10Pは杭基礎（松末口21cm、長さ5.5m）他は直接基礎）

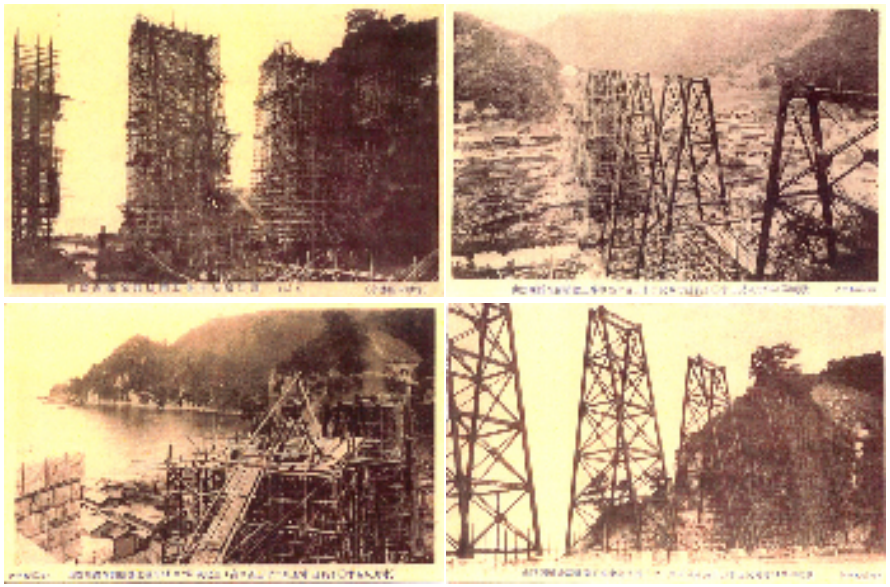
上部構造；上路プレートガーダー　23連

建設時の様子（海から資材を搬入）

橋脚の鋼材（重量655t）は、アメリカで製作され余部沖からハシケで陸揚げ、組み立て作業は鉄道院直轄、

橋桁(重量339t)は、石川島造船所で製作、工事列車で陸送。

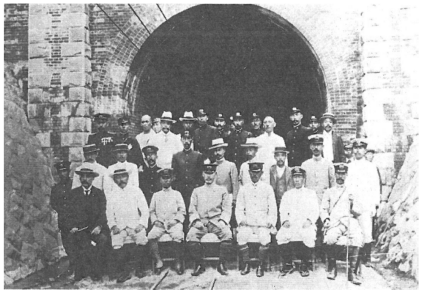
橋脚の建設状況　1911（明治44）年8～9月頃



リベット数；約67,000本、足場丸太；約20,000本　建設時の塗装面積；18,982㎡

総工事費；331,535円（基礎工事費；85,124円、橋脚・橋桁工事費246,411円）

桃観トンネルの石額



明治43(1910)年9月12日
桃観トンネル西口（出典:「福知山鉄道管理局史」）

西口の石額『萬方惟慶　明治庚戌中秋　新平題』

東口の石額『惟徳岡小　明治庚戌中秋　新平題』

桃観トンネル西口（2010年7月23日）

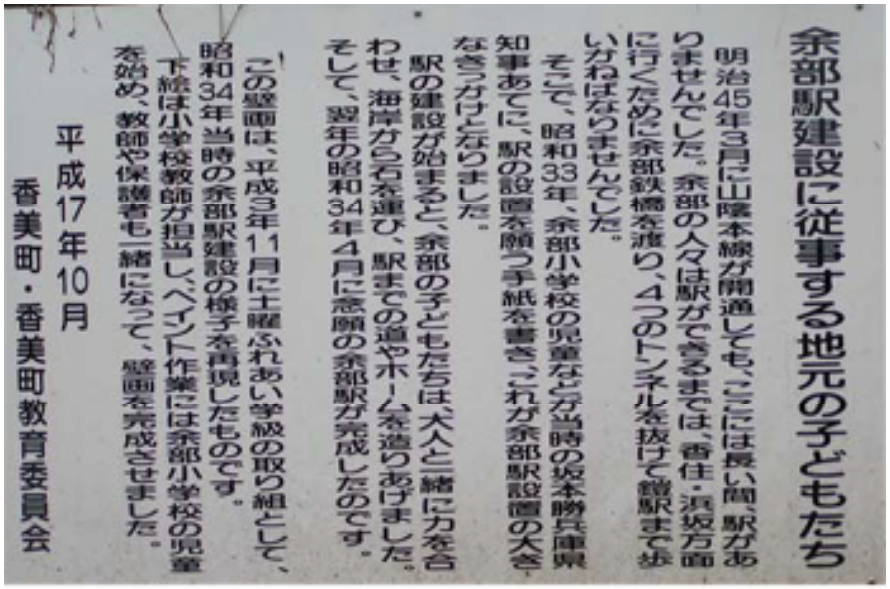
トンネルの開通は四方八方の人がよろこぶところであり、この開通による利便の徳は、大変大きい。

待望の餘部駅の誕生（昭和34年4月16日開業）

左上：一番列車を迎える地区の人々
左下：子供たちも海岸から石を運んだ
（昭和34年2月）
右下：余部小児童が描いた壁画と記念碑
（阪本 勝　兵庫県知事(当時)揮毫

出典：写真は、いずれも『余部鉄橋』(香美町発行（平成19年2月））から引用

待望の餘部駅の誕生（昭和34年4月16日開業）



余部駅建設に従事する地元の子どもたち

明治45年3月に山陰本線が開通しても、ここには長い間、駅がありませんでした。余部の人々は駅ができるまでは、香住・浜坂方面に行くために余部鉄橋を渡り、4つのトンネルを抜けて鎧駅まで歩いかねばなりませんでした。

そこで、昭和33年、余部小学校の児童などが当時の坂本勝兵庫県知事あてに、駅の設置を願う手紙を書き、これが余部駅設置の大きなきっかけとなりました。

駅の建設が始まると、余部の子どもたちは大人と一緒に力を合わせ、海岸から石を運び、駅までの道やホームを造りあげました。そして、翌年の昭和34年4月に念願の余部駅が完成したのです。

この壁画は、平成3年11月に土曜ふれあい学級の取り組として、昭和34年当時の余部駅建設の様子を再現したものです。下絵は小学校教師が担当し、ペイント作業には余部小学校の児童を始め、教師や保護者も一緒になって、壁画を完成させました。

平成17年10月
香美町・香美町教育委員会

山陰線の建設

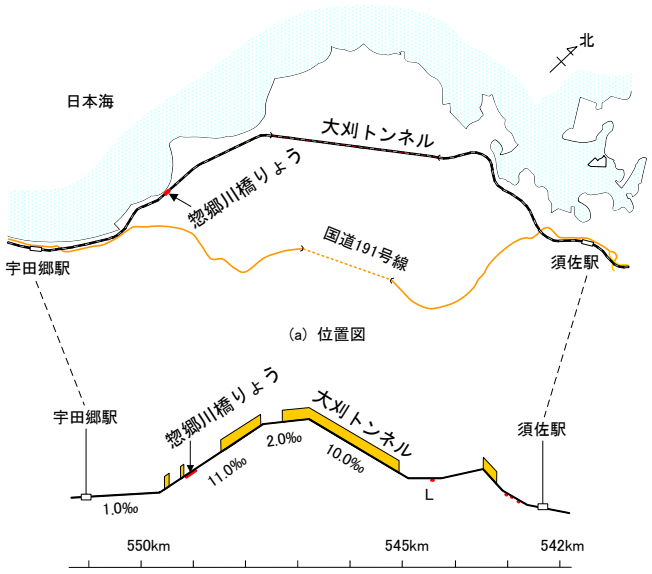


図-2 惣郷川橋りょう位置図

山陰本線(須佐～宇田郷間)惣郷川橋りょう

1932年(昭和7年)竣工

A案	鉄桁にモルタル吹付け	列車振動によりモルタル剥離を生じ防錆効果の維持に懸念 アメリカの道路橋では相当有効との報告があるが、未だ長年月の実績なし
B案	鉄骨鉄筋トラス構造 (SRCトラス)	防錆効果は期待できるが施工が困難 工事費は安価ではない ⇒将来の研究に待つことに
C案	**鉄筋コンクリート ラーメン構造**	**防錆効果は期待できる、工事費も小**

余部橋りょうと惣郷川橋梁

	余部橋りょう	惣郷川橋梁
	余部橋りょうと桃観トンネル(1991.9m)の 完成で山陰線京都～出雲今市が全通	**惣郷川橋梁と大刈トンネル(2214.7m)の** 完成で山陰線出雲今市～幡生が全通
特徴	①高さ(RLから河床)41m45 ②**構橋はアメリカで製作され輸入** ③橋守が長年にわたり維持管理	①高さ(RLから河床)約15m ②**RCラーメン高架橋**(延長189.14m(3径間 ラーメン高架橋6ブロック)、R600) ③塩害対策(通常の2倍のかぶり) 柱:8cm、主桁:6cm、床版:5cm ④養生(型枠撤去) 柱14日、主桁(横)14日、主桁・スラブ(下)28日
工期 完成	着工:明治42(1909)年12月 竣工:明治45年(1912)年1月 開通:明治45年(1912)年3月	着工:昭和6(1931)年5月 竣工:昭和7(1932)年8月 開通:昭和8(1933)年2月24日
工事費	331,535円	95,530円
環境	いずれも、日本海に面した厳しい塩害環境下にある **⇒余部橋りょう完成後20年間における鉄筋コンクリート技術の進歩** **⇒余部橋りょうの維持管理に苦労**	
その他	設計者:古川晴一 平成22年8月架け替え	設計者:不明 市川順市:山陰線惣郷川橋梁工事、 土木工学、第2巻第5号、昭和8年5月 経年79年、部分的に鉄筋腐食発生、補修対策

鉄筋コンクリート橋りょう技術の発展

余部橋りょうと 惣郷川橋りょう	材料(セメント、鉄)、基準	鉄筋コンクリート橋りょう
1824年;イギリスのアスプジンがポルトランドセメント発明 **1855年;イギリスのヘンリー・ベッセマーが製鋼法を開発** 1867年;フランスのジョゼフ・モニエが鉄筋を格子状に配置する特許 1880年代～90年代;マチアス・ケーネンやヨハン・バウシンガー(独)が実大はり部材の実験を行い、 1890年代;フランソワ・アネビク(仏)はスターラップや折曲げ鉄筋による補強方法を考案するなど 鉄筋補強に関する理論的研究が進み鉄筋コンクリートの基礎が確立されていった **1875(M8)年;東京深川の大蔵省土木寮撮綿篤製造所(官営工場)で生産開始**、1884年民間に払い下げ **1883(M16)年;山口県小野田市の民営セメント工場で生産開始** **1901年;八幡官営製鉄所操業開始**		
		1903年;琵琶湖疏水第11号橋 **1907年;島田川暗渠(島根県、RC拱渠S1.87m)** 1909年;広瀬橋(仙台市、スパン127m、幅員10.3m)
1912年;余部橋りょう (兵庫県、鋼ﾄﾚｯｽﾙ、309,42m)	1914(T3)年 達684鉄筋混疑土橋梁設計心得 1930(S5)年 橋梁設計標準(建設局)	1919年;東京・万世橋間市街線高架橋(東京都、RC(ﾚﾝｶﾞ張)ｱｰﾁ、1154m) 1920年;山生橋梁(千葉県、164.8m,RC桁) **1925年;東京・上野間市街線高架橋(東京都、3571mRCﾌﾗｯﾄｽﾗﾌﾞ、RCｱｰﾁ)** **1926年;梅田高架橋(大阪府、853.1m、RCﾗｰﾒﾝ)** **1929年;阪和高架橋(大阪府、約1.5km、RCﾗｰﾒﾝ)**
	1931(S6)年;土木学会で鉄筋コンクリート標準示方書が初めて制定	
1932年;惣郷川橋りょう (山口県、RCﾗｰﾒﾝ高架橋、189m)		1936年;三宮高架橋(兵庫県、約2.5km、RCﾗｰﾒﾝ) 1938年;第二領地橋梁(高知県、RC開腹ｱｰﾁ、107.7m)

日本の黎明期の鉄筋コンクリート橋

1907年　島田川暗渠（スパン1.8m、
山陰線米子～安来間、最初の鉄道RC橋）

1903年　琵琶湖疏水第11号橋（スパン7.3m、
メラン式アーチ型の日本最初のRC橋）

1909年　広瀬橋（スパン127m、幅員10.3m、
仙台市、最初の道路RC橋）

東京・上野間市街線高架橋（1925年完成）

山手線の外側から神田駅方面を見る

『東京市街線高架橋東京・万世橋間建設紀要』(鉄道省／1920年発行)より引用

山生(やもめ)橋りょう（内房線江見～太海間）

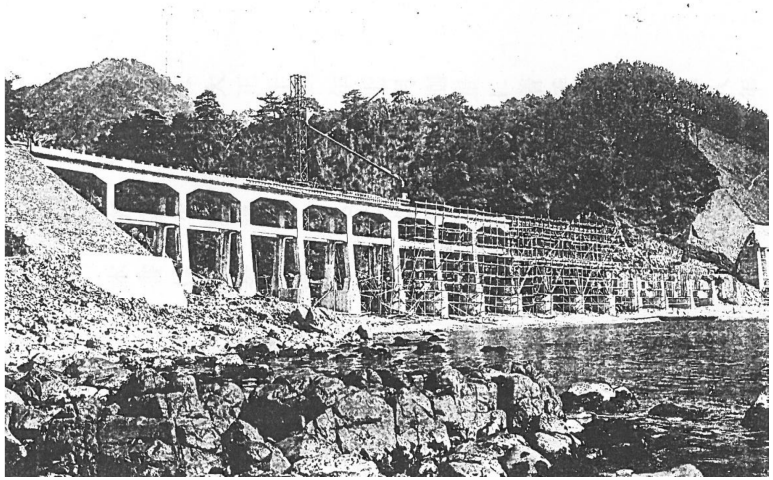
1920（大正9）年完成

鉄筋コンクリート造16径間T桁上路橋、全長164.7m，脚高最大11.2m，
鉄道で初めてのT桁

第二領地橋りょう（土讃線　土佐新荘-安和間　単線）

1938（昭和13）年完成　　RC 開腹アーチ(長107.7m、スパン25.00m)

惣郷川橋りょうの建設



出典；日本鉄道請負業史

建設時において塩害対策として配慮された点(文献より)
①かぶり厚さの増加（3cm→6cm）
②コンクリートの締固め（小さな子供が形枠内で締固め）
③十分な養生

過酷な塩害環境下の鉄筋コンクリート構造物

検査・補修等の記録

1932年 完成
1962年（経年30年） 変状調査の実施
1965年 モルタル吹付け工
1969年 橋脚補強（根固め）
1986年 変状（ひび割れ・浮き部）外観調査
1989年（経年57年）詳細調査実施（外観調査、ひび割れ深さ、中性化深さ、塩分含有量等）
1989年 表面被覆工実施

過酷な塩害環境下の鉄筋コンクリート構造物

1932年 完成

1986年 (経年54年)変状外観検査
はりハンチ部付近にひび割れや浮きが
多く認められ、鉄筋腐食が生じていた

（7P－8P山側中層ばり 内側）

1989年 (経年57年)中性化深さ調査
健全部では0～5mm程度との報告

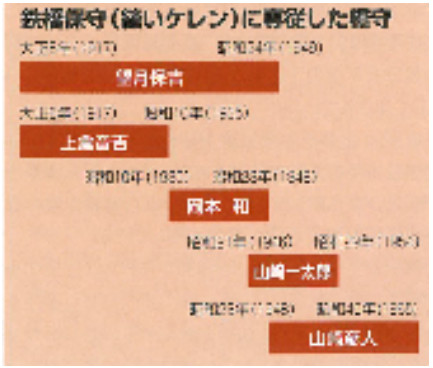
惣郷川橋りょう

上；建設当時の惣郷川を走るSL

下：夕陽に映える惣郷川とキハ120形（2012年10月撮影）

検査・補修の状況

検査状況（橋守）

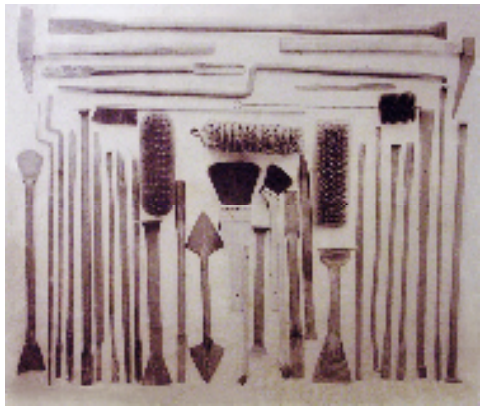


検査状況（JR社員）

「橋守」　強い潮風にさらされ腐食の進行しやすい環境から橋梁を守るために、わずか数センチ四方の塗膜の異常を追い続けた橋守の努力があった。

大正6年（1917年）～昭和40年（1965年）まで、望月保吉、上倉音吉、他3名

橋守と維持管理



スクレーパー、ワイヤーブラシ、ハケなどの「繕いケレン」用具

「繕い(つくろい)ケレン」

サビ落としと塗装をあわせた作業のことで、小さな異常部分の塗膜をトンカチ、スクレーパー、ワイヤーブラシ、ウエス等の手工具で取り除き、下塗り、中塗り、上塗りを行う。

手抜きやごまかしがあると、塗膜が長持ちしないばかりか、外見できない内部のサビを進行させることになるので、並以上の丁寧さが必要であった。

旧余部橋りょうの維持管理の歴史に学ぶ

鋼橋の耐久性を左右するのは、腐食と疲労

「維持管理の歴史」から学ぶことは多い　（何が、なぜ有効であったのか？）

維持管理の重要性

丁寧にする／確認する／工夫する／責任を持つ

専門技術者（国鉄構造物設計事務所等）の指導と維持管理シナリオの重要性

シナリオに基づいた着実な保守

最新技術の取り入れ

維持管理に携わるものの矜持

4、新余部橋りょうの建設と技術

平成22年度　土木学会田中賞　作品部門　受賞
2011年度　日本コンクリート工学会賞　作品賞　受賞
平成22年度　プレストレストコンクリート技術協会賞　作品賞　受賞

余部橋りょうの架け替えに至る経緯

列車転落事故発生（昭和61年12月28日）

↓

運転規制の強化（風速25m/s停止→風速20m/s停止）

↓

列車の徐行・運休が頻繁に発生

↓

定時性確保のための検討組織 『余部鉄橋対策協議会』が発足
兵庫県、鳥取県と沿線自治体1市18町（当時）

↓

風速30m/sまで運転可能な橋梁への架け替えを決定

余部橋りょう 列車転落事故

【事故概要】

発生；昭和61年12月28日　午後1時25分頃

福知山発浜坂行き回送列車が、余部橋梁を走行中、最大風速33m/sの突風にあおられて客車7両が約41mに転落し、水産加工場と民家を直撃した。水産加工場で働く女性5名と車掌1名が死亡、6名が重軽傷を負った。

この事故をきっかけに、風速による運行規制は25m/sから20m/sになり、特に冬季に集中して列車の遅延・運休本数が大幅に増加し、列車運行の安全性と定時性の確保が大きな課題となった。

【定時制確保のための検討】

余部鉄橋対策協議会において、定時性確保のための検討が行われ、規制値30m/sまで運転可能な橋梁への架け替えが検討された。

新余部橋りょうの特徴

1、デザイン性を考慮した新橋りょうの構造
　～ 旧橋りょうのイメージを継承した橋～
　　①直線で構成されたシンプルな美しさ
　　②風景に溶け込む透明感

2、厳しい自然環境に対応した設計・施工
　　①強風下における安全性、走行性（定時性）の確保
　　②塩害環境下における耐久性の確保
　　③現地の地形に応じた設計・施工

3、列車運休期間の短縮
　　①桁横移動・回転架設工法の採用

構造形式の選定

【旧橋梁のイメージを継承したデザイン検討の前提条件】
①構造形式はPC連続ラーメン橋を基本とする
②定時性確保が大前提であり、防風壁（2m程度）等を考慮する
③維持管理に配慮する　④経済性に配慮する　⑤周辺環境、景観に配慮する
⑥トンネル坑口からのすり付け区間の設計施工（架設方法）に配慮する

案	上部工	下部工
1	5径間中路形式	2柱式橋脚
2	5径間中路形式(大偏心外ケーブル構造)	2柱式橋脚
3	4径間上路形式	6柱式橋脚
4	4径間中路形式	V字2柱式橋脚
5	4径間上路形式	1柱式橋脚
6	6径間中路形式	V字2柱式橋脚(水平力を橋台で負担させる案)

「直線で構成されたシンプルな美しさ」、「風景に溶け込む透明感」

⇒①低桁高、等桁高　②主塔高さの低減

③透明なアクリル板防風壁　④風速計支柱、点検足場の景観上の配慮

構造形式の選定

旧橋りょう

『旧橋りょうのイメージを継承した橋』

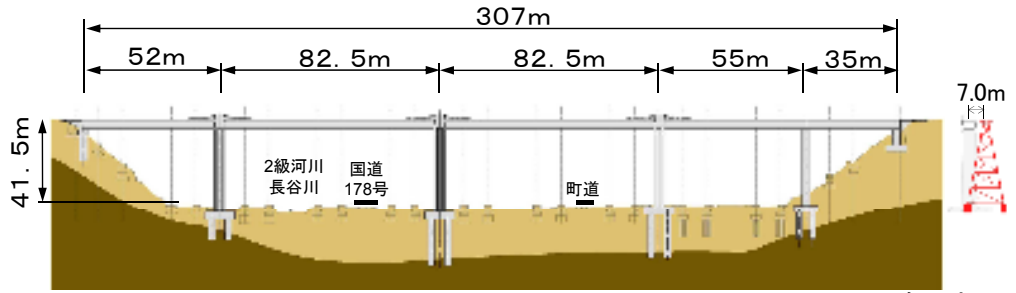
⇒　5径間連続PC箱桁エクストラドーズド橋

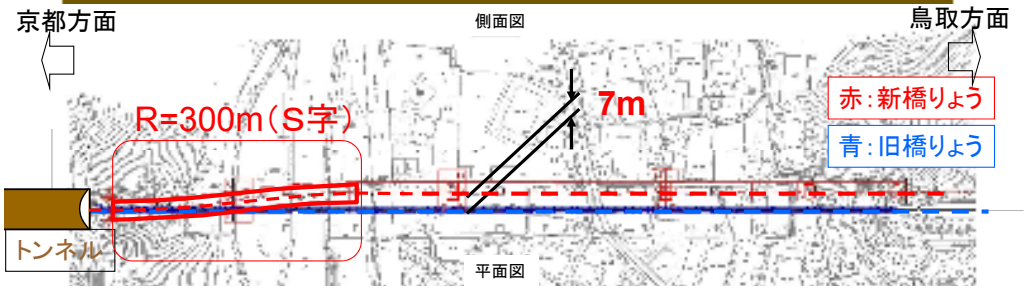
新橋りょう

［北側（海側）より望む新旧余部橋りょう］

新橋りょうの構造概要（平面）

新橋りょうの構造概要



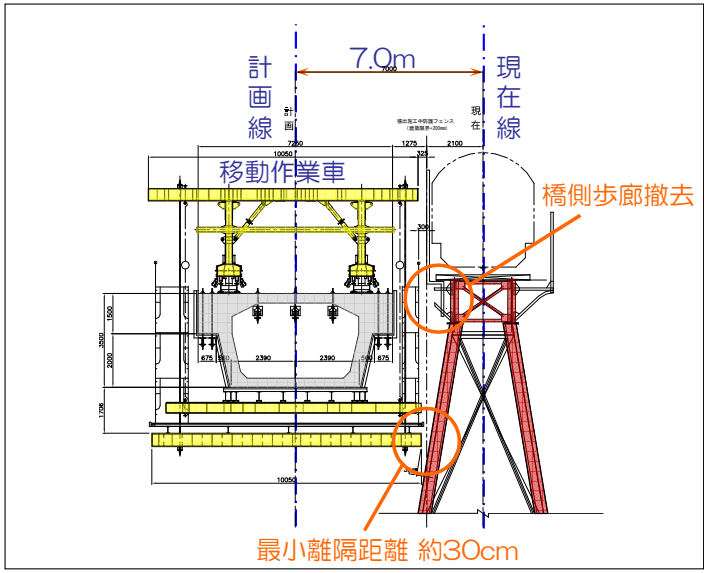


【新橋りょうの構造】

構造形式　5径間連続PC箱桁（エクストラドーズド橋）　全長　L=約310m

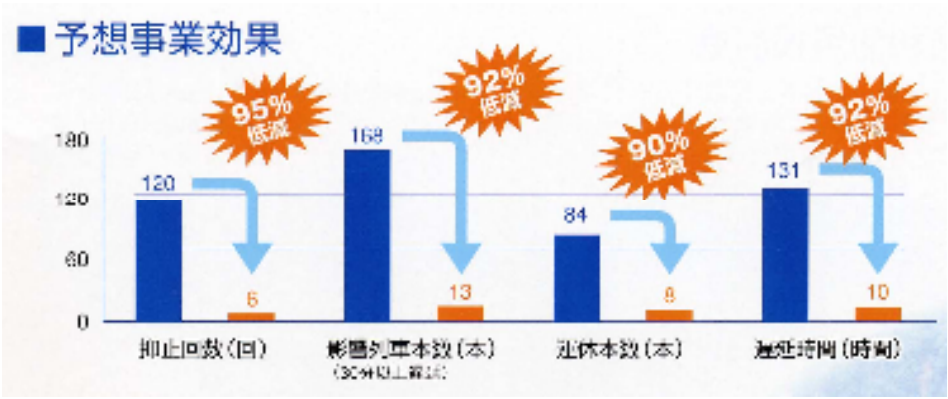
施工方法　別線施工（既設線軌道中心から7m南側へ架け替え）　高さ　H=約40m

～ 上部工施工状況図 ～



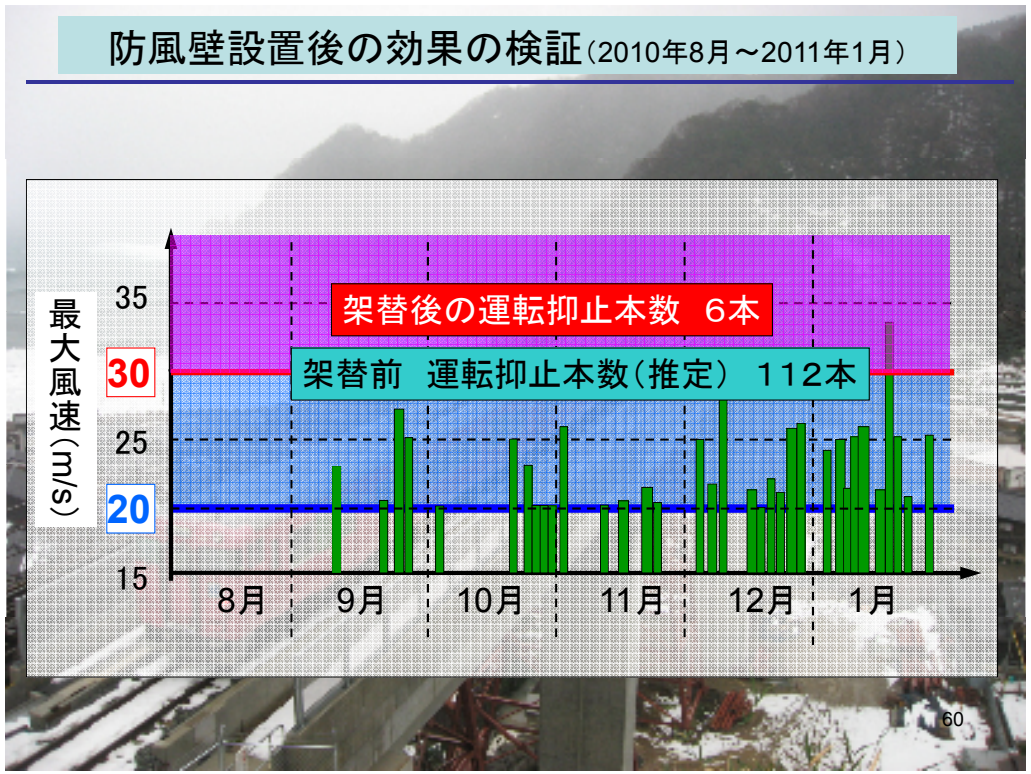
強風下における列車走行安全性の確保

余部橋りょう架け替えによる運休・遅延等の改善効果



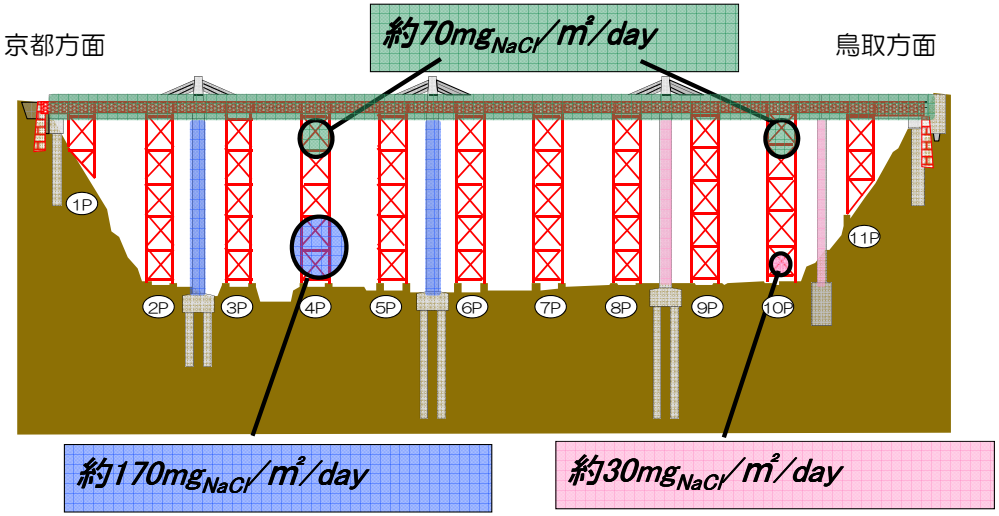
＊予想事業効果については「平成17年度 兵庫県公共事業等審査会資料」による。
＊各項目の左側は、運転抑止基準20m／s（現在）、右側は架け替え後の運転基準（30m／s）の場合を示す。

防風壁設置後の効果の検証（2010年8月～2011年1月）



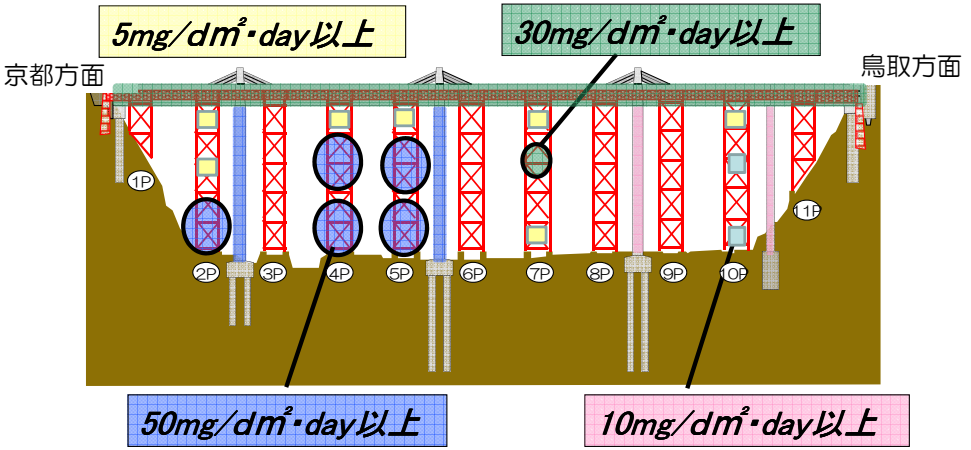
旧橋りょう飛来塩分量測定（ガーゼ法）

JR西日本福知山支社福知山施設区で測定(1989年3月～1993年12月までの4年間)



旧橋りょう暴露鋼板の腐食減量

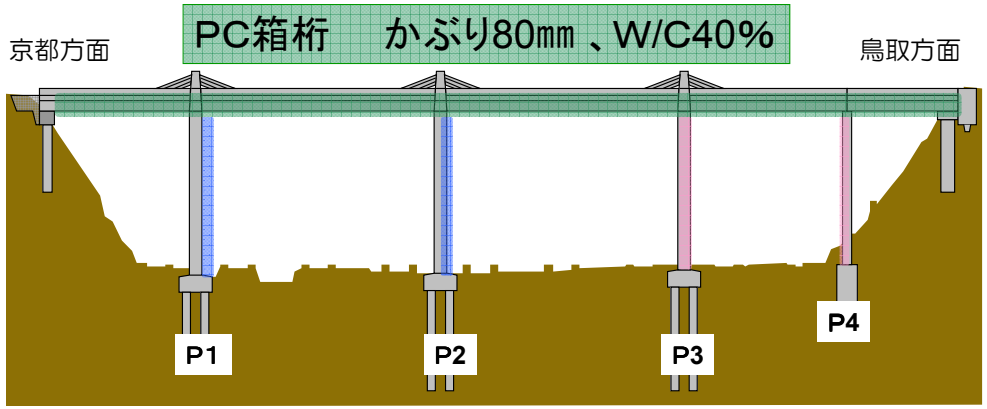
JR西日本福知山支社福知山施設区で測定(1989年3月～1994年10月までの5.5年間)



腐食減量50mg/dm^2・day以上は、田園環境の10倍以上の値であり、
腐食性の高い環境であることがわかる。

塩害対策の検討結果

⇒ 鉄筋かぶりの増大
⇒ 水セメント比の低減

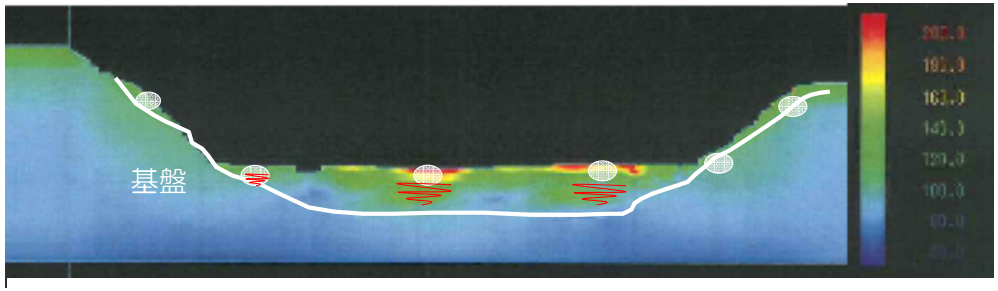


P1・P2橋脚
かぶり200mm、W/C45%

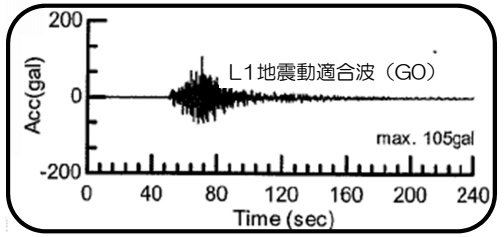
P3・P4橋脚
かぶり130mm、W/C45%

地震に対する検討

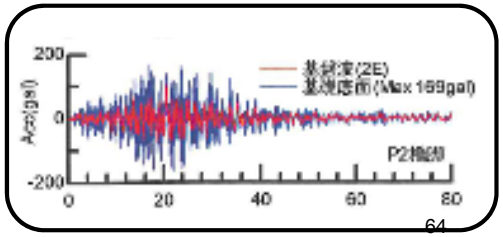
応力加速度最大値のコンター図



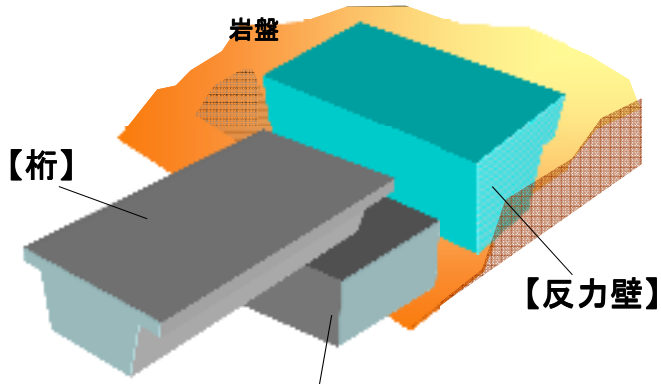
基盤地震動波形（L1地震動適合波）

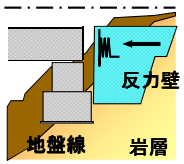


応答加速度波形



変位制限構造





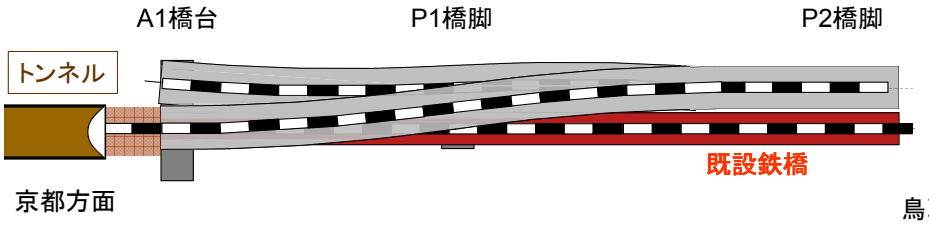
〈側面図〉

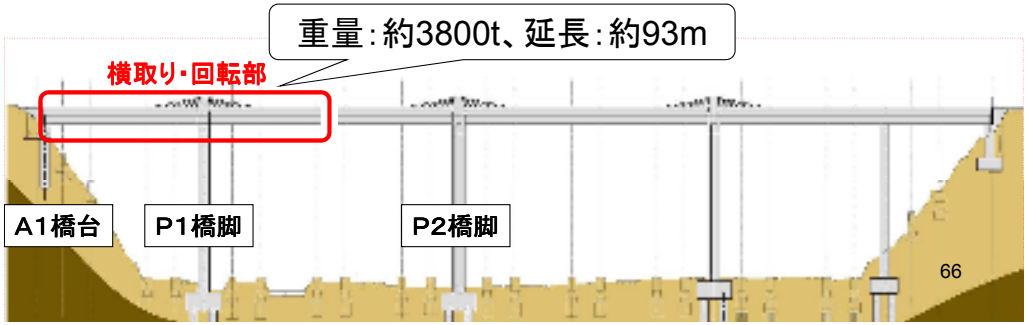
・変位制限構造設置
背面地山を反力体として活用

・地震時変形量の抑制効果

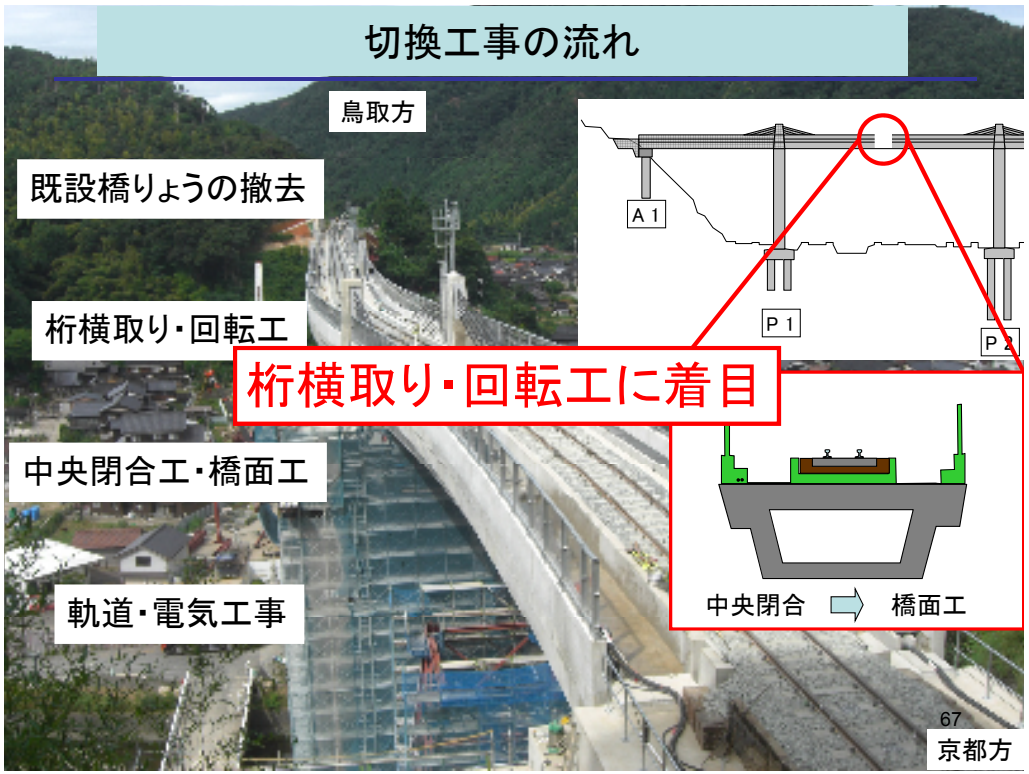
桁横移動・回転架設

桁の製作　既設鉄橋撤去　横移動　回転　中央閉合　完成

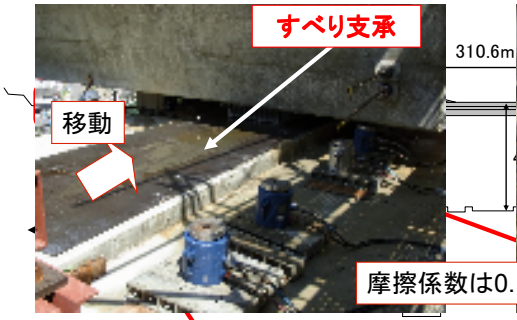


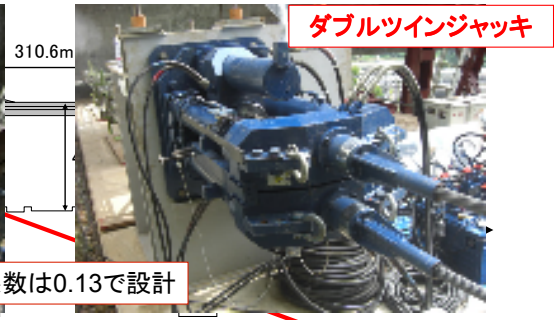


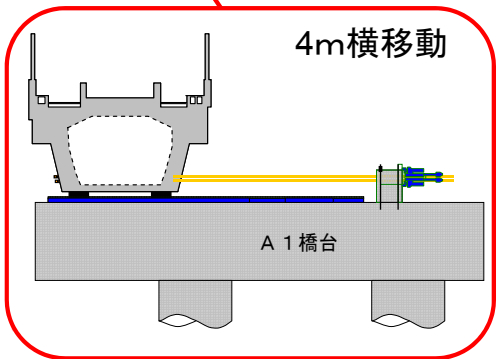
切換工事の流れ

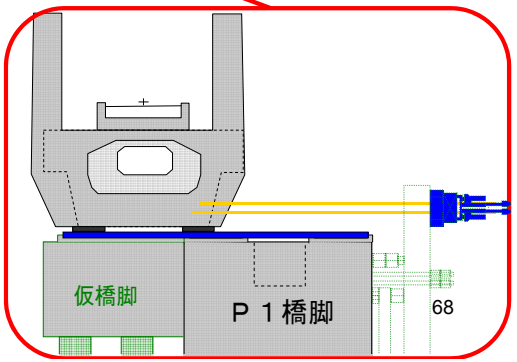


横取り施工計画

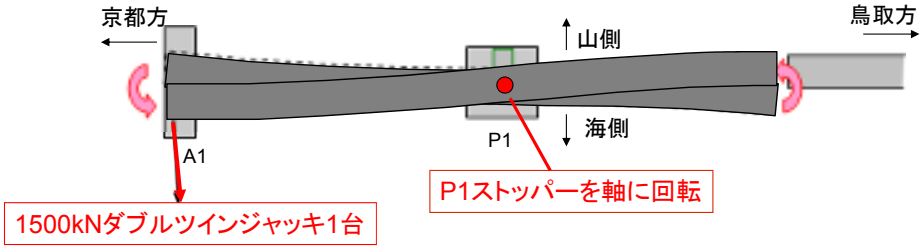


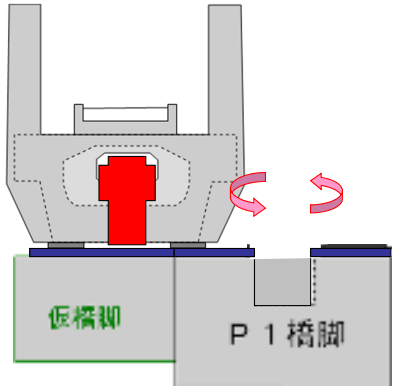






回転架設施工計画





桁の中にストッパー設置

↓ 桁横取り

仮設すべり支承撤去（支障部）

↓

ストッパーをP1橋脚に落とし固定

↓

ストッパーを軸に回転

桁横移動・回転架設工法

平成22年8月12日　新橋りょう開通

『旧余部橋梁撤去部材を用いた調査研究に関するシンポジウム』（H24年11月7日）

余部橋りょう撤去部材を用いた腐食、疲労、接合強度に関する研究

【腐食】

『橋梁部位における腐食状態調査と局所腐食箇所の分析』　（坂本達朗；JR総研）

- ・塗替え塗装の寿命：　飛来塩分や雨水、部材形状等のほか、塗替え時の素地調整の程度が大きく影響
- ・錆中の塩分：　鋼材と錆の界面に多く残留
- ・防食上の弱点：　雨洗効果がない部位、部材端部・接合面

↓

橋守による「繕いケレン」の有効性

『桁端ウェブの腐食表面の特徴と残存強度解析』　（藤井　堅；広島大学　教授）

ウェブパネル表面の腐食を3次元レーザー計測機で計測

⇒ ウェブパネルに下フランジ山形鋼上縁に沿って線状に腐食
支承部付近の角部で腐食

腐食状況をモデル化したFEM解析

⇒支承直上のウェブに孔開（他の橋梁）　約10%程度せん断耐荷力低下

↓

支承部の腐食はせん断強度低下にあまり影響しない

余部橋りょう撤去部材を用いた腐食、疲労、接合強度に関する研究

【接合強度】

『リベット、高力ボルトの腐食状況と現有性能』　（中山太士；JR西日本）

腐食したリベットの断面観察　⇒リベットは腐食が進行しても緩みにくい接合方法

腐食したリベット単体の継手強度試験（複せん断）⇒著しい腐食の場合でも強度低下なし

腐食した高力ボルトの軸力測定 ⇒頭部腐食量(Δh)に応じて残存軸力低下

高力ボルト・打ち込み式高力ボルト・リベットによる補修を模擬した試験
⇒リベットは腐食形状に追従

『リベット継手構造の残存強度実験』　（藤井　堅；広島大学　教授）

桁に使用した鋼材の材料特性試験
⇒強度はJIS規格鋼材と同等、不純物元素が多く注意が必要(溶接性)

腐食したリベット継手の残存強度試験⇒母材や添接板の腐食が継手強度に影響

頭部の腐食を模擬したリベット単体の継手強度試験（単せん断）
⇒リベット頭部がない場合、継手強度低下(約20%)

100年前に製作されたリベットの強度試験から得られた知見を今後に活かす

『旧余部橋梁撤去部材を用いた調査研究に関するシンポジウム』(H24年11月7日)

余部橋りょう撤去部材を用いた腐食、疲労、接合強度に関する研究

【疲労】

『撤去桁の疲労実験』　（坂野昌弘；関西大学　教授）

100年近く塩害環境下で供用した桁の強度試験(静的、疲労)

- ・局部的な腐食凹み部近傍の応力測定→ばらつきがあるが公称応力の1.5倍程度
- ・疲労き裂発生箇所(下フランジ腐食凹み部や縁部、リベット孔)：疲労強度の違い

腐食桁の疲労強度特性に対する貴重なデータ

経年構造物の保有性能に関する研究

『橋脚の残存水平耐力に関する解析的研究』　（杉浦邦征；京都大学　教授）

撤去部材の外観観察からリベット頭部腐食をモデル化し，FEM解析

- トレッスル主構と斜材・水平材等をつなぐ格点部の継手強度
- トレッスル全体の残存水平耐力

⇒ リベット頭部に著しい腐食がある場合、リベット抜け出しによる大幅な水平耐力低下の可能性を示唆

経年構造物の保有耐力に対する貴重なデータ

近代土木遺産（土木学会指定Aランク）としての旧余部橋りょう

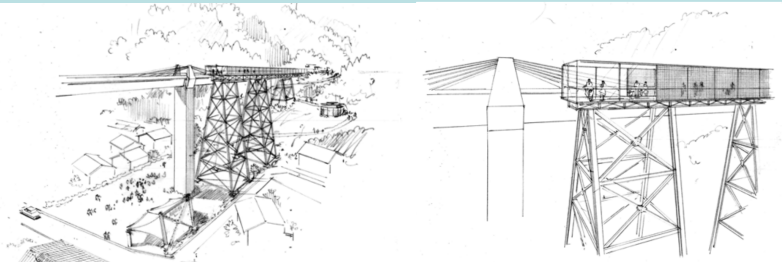
Aランク；最も重要な土木遺産で国指定重要文化財に相当するもの
（評価基準）

(1)技術評価
①年代の早さ　②規模の大きさ　③技術力の高さ　④珍しさ

(2)意匠評価
①周辺景観との調和

(3)系譜評価
①地域性　②土木事業の一環としての位置づけ　③故事来歴　④地元での愛着度
⑤保存状態

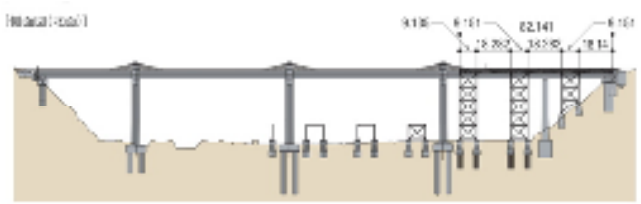
空の駅計画（地域づくりの核として、多彩な交流活動の場として、H25春～）

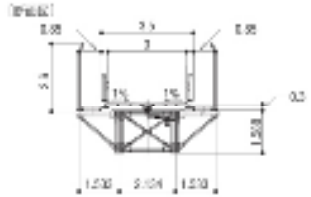


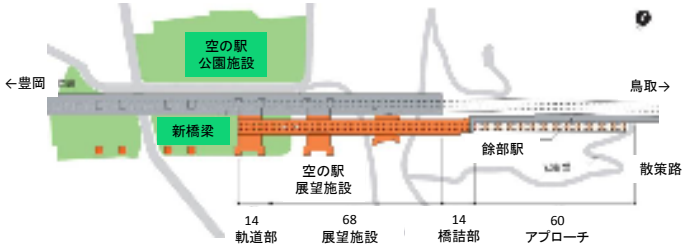
鉄橋展望台「空の駅」の施設整備イメージ　（出典；余部鉄橋利活用基本計画（兵庫県））

余部鉄橋「空の駅」

餘部駅側の橋脚3基を残して、平成25年5月3日に「空の駅」が完成オープン







出典：日経コンストラクション2013年7月3日号から引用、一部修正

余部鉄橋「空の駅」

国道178号線側から望む

海側から望む

空の駅アプローチ部分

空の駅展望施設部分

出典：日経コンストラクション2013年7月3日号から引用

技術者たちの思い

旧余部橋りょうに関わった技術者たち

鉄道敷設	大隈重信(当時32歳) 伊藤博文(当時29歳) エドモント・モレル(当時29歳)	1969年鉄道敷設を決定 イギリスから招聘
余部橋りょう	**古川晴一(当時30歳代半ば)** **石丸重美(当時40歳代半ば)** **橋本敬之(当時20歳代半ば)** **岡村信三郎(当時20歳代半ば)** **上原直吉(当時20歳代半ば)** **望月保吉(当時21歳で採用)** **上倉音吉(当時19歳で採用)**	1881年工部省工技生養成所卒、鉄道院技師 1890年東京帝国大学卒、鉄道院技術課長 1906年鉄道院工学士、浜坂派出所主任技師 1907年京都帝国大学卒、余部詰所主任技師 1906年鉄道院工学士、余部詰所工区技手 延べ5名の橋守による維持管理（1965年まで） （望月；退職するまでの32年間）
惣郷川橋りょう	**市川順一(当時26,27歳)**	1929年東京帝国大学卒 鉄道省山口建設事務所技手
琵琶湖疎水第11号橋	田辺朔郎(当時42歳)	1903年完成
広瀬橋	廣井　勇(当時47歳)	1909年完成

技術者たちの思い

旧余部橋りょうに関わった技術者たちの懸ける思い
（責任感、使命感、気概、信念、矜持・・・）の源泉は何か？

・ビジョンを持っていた／自分のするべきことを分かっていた／それを確実に実行した・・・

・丁寧にした（手抜きやごまかしをしない）／納得できるまで検討した／工夫した・・・

環境や地域に対する配慮

・自然環境（塩害、強風など）、自然との調和（景観、地域との共生など）

・地震（1925年北但馬地震;M6.8／1927年北丹後地震;M7.3 ／1943年鳥取地震;M7.2）

⇒ 時代が進んで、大事なものを失いつつあるのではないか？
あるとしたら、それは何か？

⇒ 維持管理の重要性をふくめ、旧余部橋りょうから
学ぶことは多い