

西津和野大橋の補修・補強

MAINTENANCE, REINFORCEMENT OF NISHITSUWANO BRIDGE

山崎 義実¹⁾ 有村 英樹²⁾ 辻野 竜介³⁾
Yoshimi Yamazaki Hideki Arimura Ryusuke Tsujino

1. まえがき

西津和野大橋は国道9号上に架かり、南谷川を横断する橋梁である(図-1)。

本橋は1963年に施工された上路ランガー橋であり、これまでも定期的に塗装塗替え、床版補強などの補修、補強が実施されてきた。本工事では、塗装塗替え等の補修に加え、後述する当て板補強、耐震ブレース材施工等の補強工事など大規模な施工を実施した。図-2に施工内容と併せて橋梁一般図を示す。

本工事施工にあたり、これらの補強効果の把握・確認に加え、車両通行下での施工時における設計の妥当性についても検証した。

本稿では、これら一連の検証結果について紹介するとともに、耐震補強工事のうち耐震ブレース材の施工、足場構造等の施工内容についても紹介するものである。



図-1 位置図

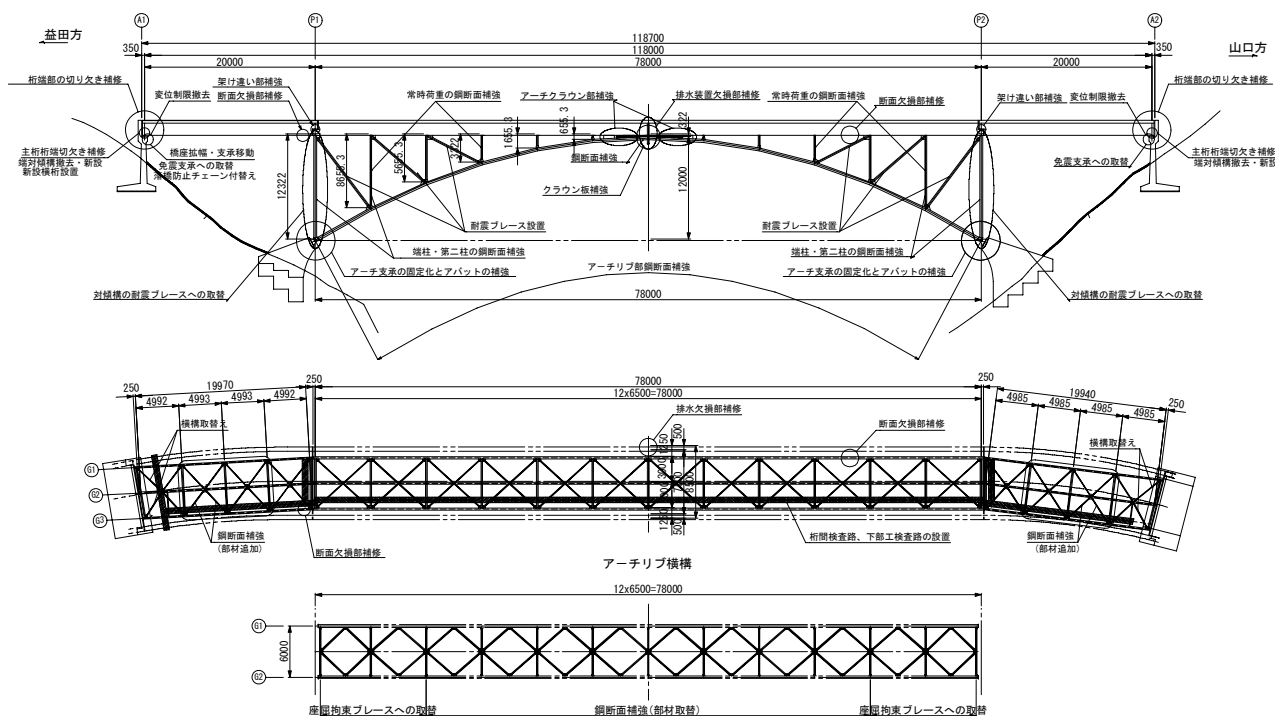


図-2 橋梁一般図

1) 工事グループ 橋梁工事部 工事1課
2) 工事グループ 工事計画部 架設計画課
3) 技術グループ 橋梁設計部 東京設計課

2. 工事概要

本工事は、本橋の損傷箇所の補修・長寿命化、常時鉛直荷重（L-20）に対する補強、さらに耐震性能向上も併せた補強を活荷重載荷状態（車両通行下）で実施するものである。全景を写真-1に、緒言を以下に示す。

工 事 名：国道9号西津和野大橋補修工事

工事箇所：島根県鹿足郡津和野町中座地内

工 期：（自）平成22年3月11日

（至）平成23年3月31日

施 主：国土交通省 中国地方整備局

浜田河川国道事務所

橋 長：118.7m

形 式：単純鋼桁＋ランガー桁＋単純鋼桁

支 間 長：20.35m（単純鋼桁）＋78.0m（ランガー桁）＋
20.35m（単純鋼桁）

有効幅員：7.5m

工事内容の概要を以下に示す。

補修設計：腐食箇所の補修および取替、欠損部補強、
排水管の補修および取替、床版・橋座拡
幅部等のコンクリート補修

補強設計：耐震ブレースの設置、免震支承への取替、
アーチアバットの固定化、グラウンドア
ンカーの設置、アーチリブ・端柱・中間
支柱部への当て板断面補強、横構取替お
よび追加設置、掛け違い部補強

長寿命化：側径間端部の切り欠き、塗装の塗替え、
点検検査路の設置



写真-1 全景（工事完了時）

3. 設計概要

本工事は、補修・補強・長寿命化の3項目について施工を行うものであり、各工種を以下に示す。

（1）補修設計

本橋梁は日本海側の山間部に位置し、冬期日照が少なく積雪も多いため年間を通して湿度が高い。また、冬期は路面凍結防止剤を散布することも、鋼部材およびコンクリートの腐食・劣化を進行させる要因となっている。そのため、橋台や床版・地覆コンクリートはひび割れや剥がれが進行し、桁端近傍や地覆損傷部直下の補剛桁などでは腐食による鋼板の減厚や欠損が見られた。また、

アーチ横支材や横構ガセット部の滞水しやすい部位などでも同様の減厚、欠損が確認された。本工事での補修は、これらの直面する損傷・劣化部位への対策として、各部材が本来所有する機能の回復を図るものである。床版や橋台損傷部への樹脂注入、床版下面の鋼板接着部のうきの補修、鋼部材の腐食による減肉断面欠損部へは、欠損断面を補う鋼板を高力ボルトにて当て板することで断面を確保する。

（2）補強設計

道路橋示方書で規定される地震荷重を用い、非線形時刻歴応答解析による応答値にて照査を行い耐震性能の向上を図るものである。解析モデルは、実際の挙動に近い応答値を得るために立体骨組みモデルで構成部材を再現されている。立体骨組みモデルを図-3に示す。

地震波を低減させるエネルギー吸収部材として、耐震ブレース（端支柱・アーチリブ横構・斜材）の設置、側径間端支点部への免震支承の設置を行った。これらの部材には降伏点を超過して塑性化が起こることによる履歴減衰を考慮するため、バイリニア型の履歴モデルを適用し解析を行っている。これらの制震設計、免震設計によりエネルギー吸収を図っているが、アーチ基部のピン支承の耐力が不足することから、アーチリブ下端、端柱下端部をアーチアバットと一体のRC構造とした。合わせて、固定化したアーチアバット部に作用する水平力に抵抗させるためグラウンドアンカーにて補強する。また、掛け違い部の落橋防止構造として既設線支承の耐力不足を補うかたちで、既設耐震連結板を水平沓に取り替える。

主要部材は地震荷重に対して線形部材として弾性域に収めるため、既設鋼断面へ当て板補強を行う。箱断面を構成するアーチリブと端柱部材は、断面外側から当て板をボルトで接合するため、片側からの施工で摩擦接合が可能なワンサイドボルトを用いた。また、アーチリブおよび側径間の横構を部材取替、部材追加により補強する。

常時鉛直荷重（L-20 荷重）に対応しては、斜材に設置した耐震ブレースがトラスを構成することにより有効に機能し、主構面内の全体としての剛性を向上させる。また、鉛直荷重の影響が大きい中間支柱への当て板補強も行う。

（3）長寿命化計画

長寿命化計画は、ライフサイクルコストを踏まえた橋梁の長期耐久性向上を図ることを目的としたものであり、以下の工種を行った。①側径間端支点部の腐食部分を切欠くことで取り除き、支点部分の通気性を向上させる。②定期点検への対応が可能となるように、当初は部分的にしか無かった既設点検検査路を撤去し、上部工全長に渡って新設点検検査路の配置、下部工検査路の設置を行う。③当て板補強部及び橋梁全面の塗装塗り替えを行う。

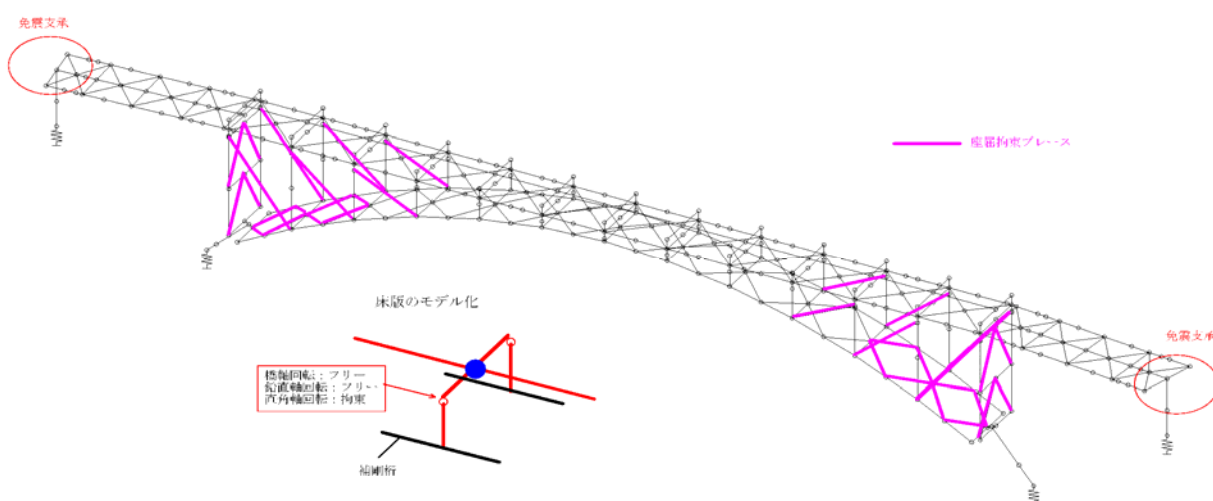


図-3 立体骨組みモデル

4. 補強効果の把握

補強工事は、その外観だけでは補強効果を評価することが難しい。よって、補強前後の橋体固有振動数を計測することにより定量的に補強効果を評価する必要がある。

そこで、補強前後の剛性の変化に着目し、サーボ型加速度計を橋面に設置し、常時微動及び、車両通行時での橋体固有振動数を計測した。

振動モード図を図-4、計測状況を写真-2、計測結果を表-1に示す。いずれのケースも補強前と比較して補強後は固有振動数が大きくなっており、斜材・横構部材の追加、当て板断面補強等による効果が確認できた。

なお、設計段階では鋼橋本体、床版をモデル化し、振動数を算出しているが、実橋では、高欄、地覆等が存在し、解析モデルに比して実際には剛性が高いことから、実橋での振動数が解析値を上回る結果となったと判断した。

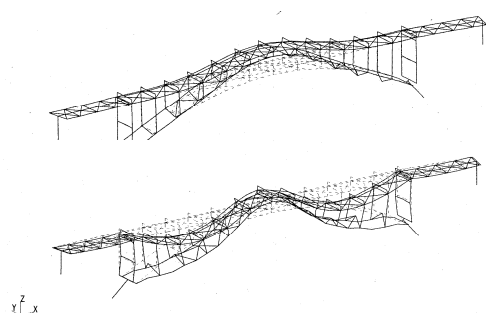


図-4 振動モード図（鉛直モード）

表-1 振動計測結果

振動モード	補強前		補強後		計測点
	解析値	計測値	解析値	計測値	
鉛直1次	2.129	2.451	2.398	2.944	支間中央
鉛直2次	3.060	3.431	5.048	6.015	支間中央
水平(橋軸)(1次)	1.260	1.710	2.180	2.459	支間中央
水平(橋軸)(2次)	2.488	2.448	4.639	3.174	支間中央
面外(橋直)(1次)	1.271	1.471	1.381	1.480	支間1/4点
面外(橋直)(2次)	3.294	2.443	4.937	2.959	支間1/4点



写真-2 計測状況（加速度計の設置）

5. 補強施工時の設計の妥当性評価

本橋の補強工事は、耐震補強に加え、活荷重（TL-20）に対する耐荷力の向上を目的としている。そのため補強工事は活荷重を制限した中で実施されるべきであるが、道路の使用状況上長期の交通規制は困難である。よって、車両通行状態での工事施工時の設計の妥当性を評価する必要があった。

そこで、車両通行状態での工事施工時の設計の妥当性評価として「応力頻度測定要領（案）」¹⁾に基づき、一般車両による活荷重応力度の頻度測定を実施した。

計測条件を以下に示す。

- ①頻度測定による処理方法は、ピーク・バレー法（極大値・極小値法）により実施する。
- ②計測は、連続 72 時間（24 時間×3 日）を原則とし、計測日については交通条件の異なる土・日（他休日）を避け月曜日から金曜日の間（平日）を基本とした。

図-5 に計測位置図、計測状況を写真-3、4 に示す。計測結果として、計測結果の一覧を表-2、縦軸に発生応力度、横軸にカウント数（発生回数）をプロットした応力頻度分布を図-6 に示す。

部位毎の評価を以下に示す。

（1）当て板補強部位（アーチリブ、中間支柱）

当て板補強部位は、アーチリブおよび中間支柱について計測を行った。

表-2 より、設計値と比較して、補修・補強施工時間帯である 8 時～17 時では、設計値（活荷重）に対して、最大でもアーチリブ；約 28%程度、中間支柱；約 10%の活荷重応力しか発生していない。

また、最大応力発生頻度についても、全計測回数（全カウント数）に対してアーチリブ；約 0.03%程度、中間支柱；約 4%と非常に低い発生頻度となった。※中間支柱で若干割合が高いのは発生応力度自体が低いためと判断できる。

さらに、施工時間帯での活荷重応力の平均値では、アーチリブ；約 2N/mm^2 程度、中間支柱；約 1.6N/mm^2 程度としており、常時では非常に微小な応力しか発生していないことが分かった。

結果として、応力最大値及び発生頻度より勘案し、車両通行下における補強施工については、十分に安全に施工可能と判断した。 ※夜間で若干、高い応力度を示す要因としては大型車通行の影響と判断される。

（2）取り替え部位（アーチリブ横構、端柱対傾構）

部材を取り替える部位は、アーチリブ横構と端支柱対傾構について計測を行った。

設計値と比較して、補修・補強施工時間帯では、最大でもアーチリブ横構； 12N/mm^2 、端柱対傾構； 6N/mm^2 程度の活荷重応力しか発生しておらず、許容応力度 140N/mm^2 に対して微小であると判断できる。

また、最大応力発生頻度についても、全計測回数（全カウント数）に対してアーチリブ横構；約 0.01%程度、端柱対傾構；約 0.1%と非常に低い発生頻度となった。

さらに、施工時間帯での活荷重応力の平均値では、アーチリブ横構、端柱対傾構とも 0.2N/mm^2 程度としており、常時ではほぼ応力が発生していないことが分かった。結果として、応力最大値及び発生頻度より勘案し、車両通行下において、部材取替えについても十分に安全に施工可能と判断した。



写真-3 計測機器設置状況



写真-4 歪みゲージ設置状況

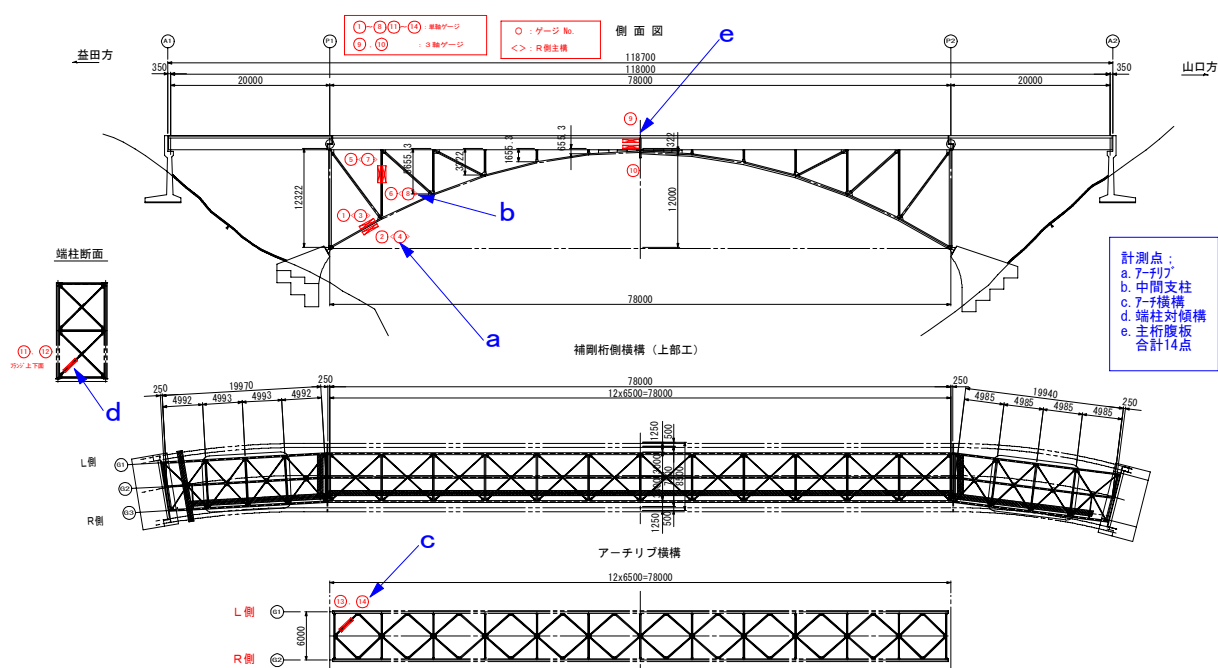


図-5 応力頻度計測 計測位置図

表-2 応力頻度計測結果一覧

部位	設計値(応力度)(N/mm ²)				計測値(応力度)(N/mm ²)				計測値/設計値(活荷重時)(%)		最大応力度発生時頻度比較				
	死荷重 応力度	活荷重 応力度	死+活荷重 応力度	許容 応力度	施工時間帯		夜 間		施工時間帯	夜 間	全計測 回数	施工時間帯		夜 間	
					最大値	平均値	最大値	平均値				回数	比率(%)	回数	比率(%)
アーチリブ (a)	133.6	67.0	200.6	210	-18.8	0.2	-20.8	-0.9	28.0	31.1	66737	17	0.03	1	0.0
	133.6	67.0	200.6	210	-16.5	2.0	-19.8	1.7	24.6	29.5	54417	15	0.03	3	0.0
中間支柱 (b)	43.6	61.0	104.6	140	-6.3	0.0	-6.9	-0.5	10.4	11.4	370	1	0.3	1	0.3
	43.6	61.0	104.6	140	-4.9	1.6	-5.9	0.4	8.0	9.7	343	15	4.4	3	0.9
主桁 (c)	75	43.0	118.0	210	-17.8	0.1	-11.8	-4.5	41.3	27.3	3854	1	0.03	15	0.4
	51	61.0	112.0	210	-35.2	16.6	31.7	2.1	57.7	52.0	118414	1	0.00	1	0.0
端柱対傾構(d)	0	0.0	0	140	-6.1	-0.1	-5.4	0.6	-6.1	-5.4	34178	24	0.1	114	0.3
アーチリブ横構(e)	0	0.0	0	140	-12.2	-0.2	10.4	-0.2	-12.2	10.4	135036	9	0.01	153	0.1

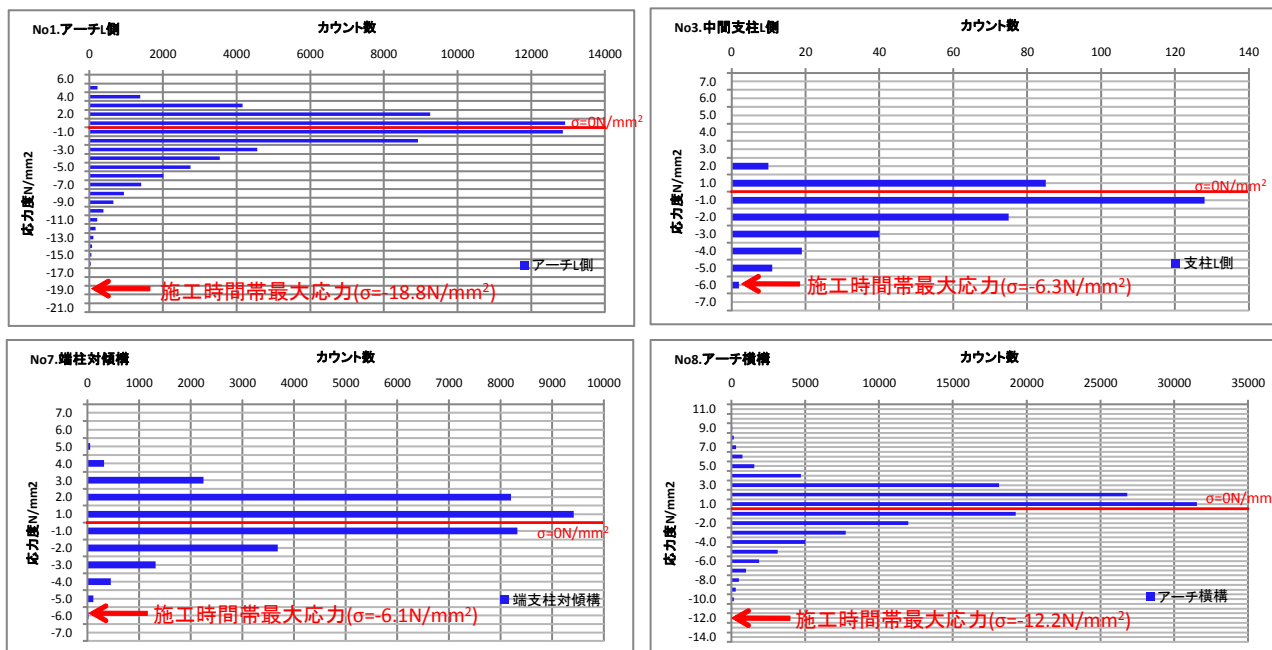


図-6 応力頻度分布

以上より、3 日間の応力頻度計測を行った結果、当て板補強部位および部材取替え部位とも、いずれも活荷重応力の設計値に比較して低い値を示した。また、最大値の発生頻度も低いことから、本工事において、車両通行下であっても、当て板補強及び部材取り替え施工は問題ないものと判断でき、当初計画通り、施工時の全面的な車両通行規制は必要ないものとした。

6. 補修・補強・長寿命化工事

本工事では、2. 工事概要で示したように多種多様な補修・補強・長寿命化工事を行っている。その内、足場構造と併せ、当て板補強、端柱対傾構の耐震ブレースへの取替えを中心に施工内容を紹介する。

(1) 足場構造

現場は山間の谷が 30m と深く地上からの足場設備を設けることは困難であることから、施工を行うに当たり作業足場の設備について検討が必要であった。そこで、

本橋のアーチ構造を考慮し、階段状の吊り足場を設けることとした。また、端柱部へは、主桁から架台を吊り、その上に枠組み足場を設ける構造とした。

足場計画図を図-7 に、足場設置状況を写真-5 に示す。

足場構造には、作業性の向上や足場上からの落下物を避けることを目的にパネル足場を採用した。結果、足場設置・解体期間を短縮し、交通規制回数を減らすことが可能であり、山間への落下物も防ぐことが出来た。



写真-5 足場設置状況

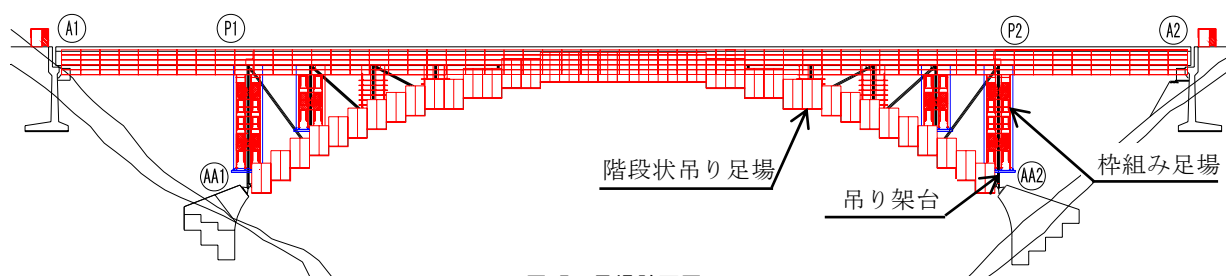


図-7 足場計画図

(2) 当て板補強

既設桁の柱部およびアーチリブ部について、全面に当て板補強を行った。

当て板補強完了写真を写真-6に示す。

アーチリブの構造は、箱断面になっており、ハンドホールが無い場合、外面からの作業となった。そのため高力ボルトは、外面から締め付け作業が行える専用のボルトを採用した。

既設桁への孔明けには、孔明け機（アトラ）を用いて削孔を行い、削孔後に発生するカエリ（バリ）の除去作業に、専用のバリ取り機を用いることで密閉断面内についても確実にバリの除去を行い、品質の確保を行った。

バリ取り状況写真を写真-7に示す。



写真-6 当て板補強完了写真



写真-7 バリ取り状況

(3) 耐震ブレースの施工

耐震ブレースの製作期間は、約7ヶ月を要するため工程的に施工時期が冬時期の1月になることが避けられない厳しい条件であった。耐震ブレースの取込みは、交通規制を行い路面上から取込む計画とした。耐震ブレースは、長い部材で9m以上あることから、日々交通規制を行いながら撤去・設置作業を行う必要があった。さらに当現場は、特別融雪区域に指定されており、雪の影響により取替作業が中断することも懸念されていたことから、事前に応力計測等を行い既設橋梁の状況把握を行った。また、日々の作業が補強完了状態になるよう詳細な作業フローを計画し作業を進めた。

図-8に耐震ブレースへの取替フローを示す。

施工前の状況を写真-8、施工後を写真-9に、取替フローSTEP-4を写真-10に示す。

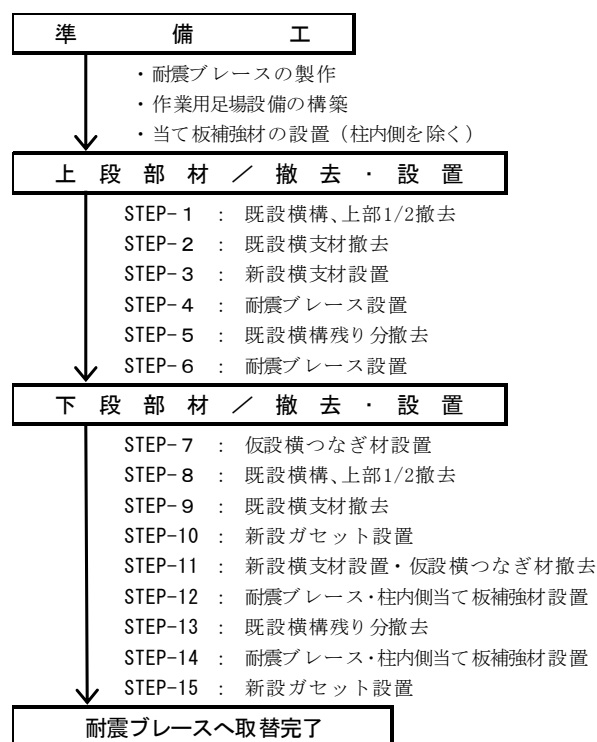


図-8 耐震ブレースへの取替フロー



写真-8 耐震ブレースへの取替施工前



写真-11 アーチ支承固定化施工前



写真-9 耐震ブレースへの取替施工後



写真-12 アーチ支承固定化施工後

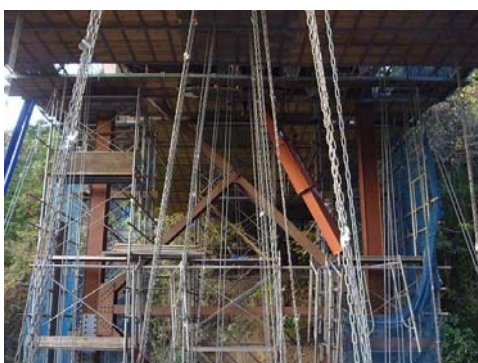


写真-10 耐震ブレース取替状況 (STPE-4)



写真-13 シール施工状況

施工期間中は、寒波に見舞われ連日のように雪が降り続く厳しい条件下であったが、大きな手戻りなく、無事故・無災害で作業を完了することが出来た。

(4) アーチアバットの補強について

本工事では、耐震性向上のためアーチ支承（ピン構造）をコンクリートで巻立て支承の固定化を実施した。また、アーチアバットの水平方向への力を抑止するために、グラウンドアンカーにて岩盤との定着を行った。

施工前の状況を写真-11、施工後を写真-12に示す。

さらに、コンクリート巻立て後、コンクリートと鋼部材の境界部からの浸水による鋼部材の腐食防止のため、境界部にシール施工を実施することとした。

シール施工状況を写真-13に示す。

(5) 補修および長寿命化工事について

1) 腐食部の補修について

桁端部および主桁の一部に腐食が著しい部位があり補修を行った。

桁端部の腐食状況を写真-14に示す。

桁端部の補修内容としては、①橋台天端の拡幅、②拡幅を行った天端上へ支点を移動、③端対傾構をメッキ部材へ取替、④旧支承および腐食部を切断撤去である。補修を実施したことで、桁端部の換気が良くなり、点検者のアクセスが可能となったことから、確実な点検も行えるようになった。

桁端部補修の施工状況を写真-15に示す。



写真-14 桁端部腐食状況



写真-15 桁端部補修状況

2) 横支材(形鋼)内への泥等の堆積防止について

アーチリブ間にある横支材にH形鋼を使用されているが、アーチの曲線に合わせてH形鋼も傾いており、その形鋼の中に泥等が堆積していた。

横支材への泥等の堆積状況を写真-16に示す。

泥等の堆積や滞水を防ぐために、横支材に径26mmの水抜き穴を数箇所設けた。



写真-16 泥等の堆積状況

3) 排水管の取替について

排水管は、過去の補修の中で塩ビパイプに補修されていた。寒冷地のため塩ビパイプが凍結破損し水漏れを起こしていた。

排水管の破損状況を写真-17に示す。

寒冷地を考慮し、排水管の材料には、STK管を採用し排水管の取替を行った。

排水管取替え完了状況を写真-18に示す。



写真-17 排水管損傷状況



写真-18 排水管取替完了状況

7. あとがき

本橋は、観光名所として有名な津和野城下に位置する。明治維新前には津和野藩亀井氏の城下町であり、山間の小さな盆地に広がる町並みは、「小京都」の代表格として知られている。また、毎年7月末には、鷺舞が街中を練り歩く祇園祭が行われている。このような自然豊かな環境の中で、リニューアルした本橋が新たなランドマークになることを望む。

本工事の施工に際しては中国地方整備局浜田河川国道事務所様より多大なるご指導、ご鞭撻を頂いた。紙面を持って感謝の意を表すものである。

参考文献

- 1) (財)道路保全技術センター：応力頻度測定要領(案)，1996。