

制震ダンパーを用いた初湯川大橋の耐震補強設計と施工

Seismic Retrofit of Ubuyugawa Bridge using Vibration Control Dampers

Yamamoto Hirokazu 山本 弘*
 Kobayashi Osamu 小林 修**
 Yamamoto Takayuki 山本 貴之***
 Sago Dai 佐合 大****
 Oono Eiichi 大野 栄一*****

はじめに

初湯川大橋は、和歌山県日高郡日高川町において一次緊急輸送路に指定される一般国道424号が初湯川を跨ぐ箇所に建設された上路アーチ橋である。本橋は昭和48年通達により設計され、昭和59年に竣工した橋梁であり、平成14年の道路橋示方書で規定される耐震性能を満足しないため、平成17年度に耐震補強設計、平成22年度に耐震補強工事を行ったものである。橋梁概要を表-1に、側面図を図-1に示す。

平成7年に発生した兵庫県南部地震以来このような大規模地震に対する橋梁の耐震補強が行われてきたが、長大アーチ橋に関する耐震補強の実績は少ない。

表-1 橋梁概要

橋梁形式	連続補剛桁を有する逆ローゼ桁橋
橋長	236.0 m
支間長	アーチ支間170.0 m
幅員	総幅員9.75 m, 有効幅員8.75 m
支承条件	端支点可動, 脚柱・アーチ支点ピン
地盤種別	I種地盤
地域区分	A地域 (cz=1.0)

表-2 鋼部材の許容ひずみ (「橋の動的耐震設計」準拠)

構成部材	許容ひずみ
アーチリブ, 補剛桁, 支柱, 端柱	$2\varepsilon_y$
斜材, 横構, その他2次部材	ε_{95}

ε_y : 鋼材の降伏ひずみ ε_{95} : 最大耐力より95%まで低下したときのひずみ

本文では、アーチ橋本体の構成部材およびアーチ支点部の大反力支承部の耐震性能を確保するため、制震ダンパーを用いて補強した設計、施工を中心に報告する。

1. 現橋の耐震性能照査

(1) 耐震性能の照査方法

レベル2地震時に上部構造に塑性化を許容した設計を行う方針とし、現橋の耐震性能照査は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編 (平成14年3月) に示される“耐震性能2”および「橋の動的耐震設計 (土木学会平成15年3月)」に示される“性能水準2”を満足させることを目標として以下の条件で行った。

- ① 解析手法 : 時刻歴応答非線形動的解析
- ② 入力地震動 : 道示の標準波 (TYPE- I, II各3波)
- ③ 解析モデル : 3次元ファイバーモデル (図-2)
材料非線形考慮, 微小変位理論

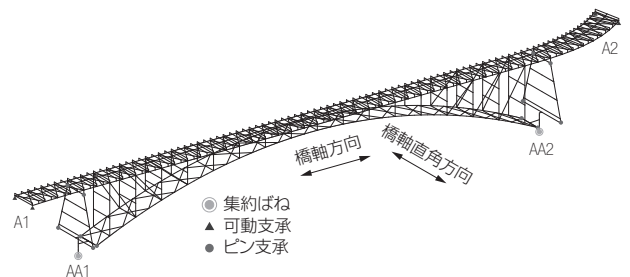


図-2 補強前の動的解析モデル

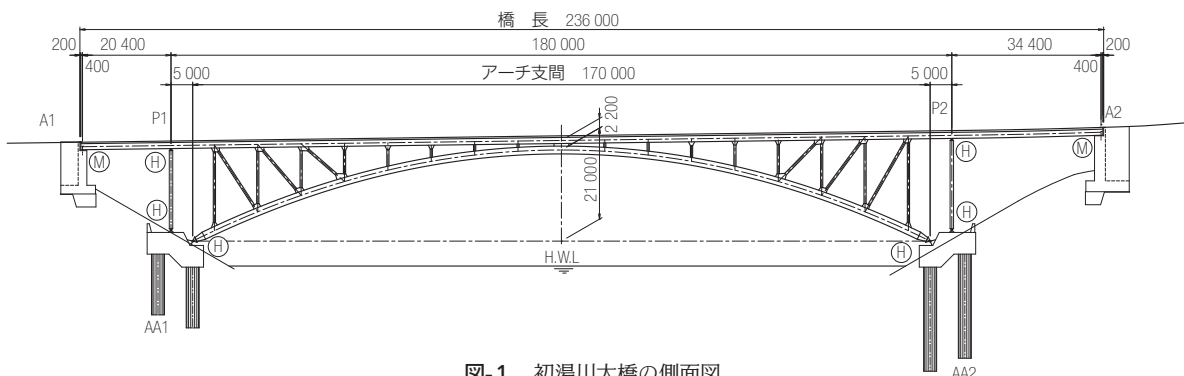


図-1 初湯川大橋の側面図

* セントラルコンサルタント(株) 大阪支社 技術第2部 構造橋梁グループ 次長
 ** " " " " " " " " 課長
 *** 高田機工(株) 技術本部 設計部 設計課 主任
 **** " " " " " " " " 設計課長
 ***** " " 工事本部 工事部 工事課長

キーワード : 耐震補強, 座屈拘束ブレース, シェイプアップブレースBr

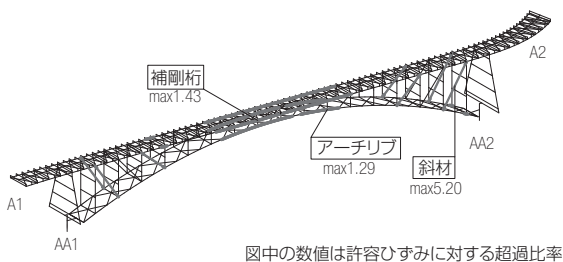


図-3 現橋の照査結果（鋼材ひずみ照査・橋軸方向）

図中の数値は許容ひずみに対する超過比率

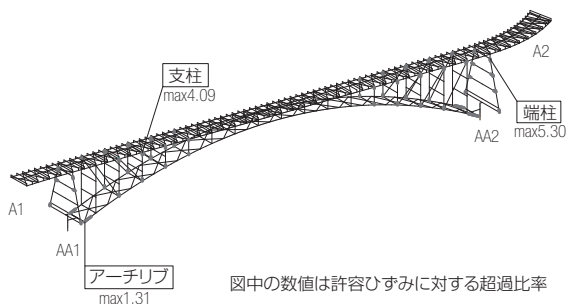


図-4 現橋の照査結果（鋼材ひずみ照査・橋軸直角方向）

図中の数値は許容ひずみに対する超過比率

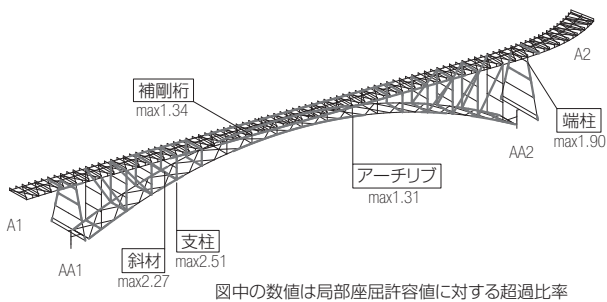


図-5 現橋の照査結果（局部座屈）

図中の数値は局部座屈許容値に対する超過比率

アーチを構成する鋼部材の照査は、①非線形動的解析より塑性域で発生するひずみ量が表-2の許容ひずみ以下となること、②座屈後の挙動を評価できないため圧縮力を受ける板の局部座屈は許容しない方針とし道示Ⅱ照査式(4.3.5)を用い安全となることを照査した。また、支承部については解析の支点反力応答値で照査し許容値内であること（許容応力度の割増し1.7）を確認した。

(2) 耐震性能照査結果

「鋼材ひずみ照査」結果を図-3, 4に示す。太線部が許容ひずみを超過する箇所である。橋軸方向照査ではアーチクラウン部付近および斜材が、橋軸直角方向照査では支柱および端柱の隅角部が許容ひずみを大幅に超過する結果となった。「局部座屈の照査」結果を図-5に示す。太線部分が局部座屈許容値を超過する箇所である。橋軸方向、橋軸直角方向の解析での超過箇所の出現傾向はひずみ照査と同様であるが、その範囲はひずみ照査より広範囲であった。

支承部について解析の支点応答反力を用いた応力度照査を行った結果、すべての支承部で許容値を超過した。取替えが難しいアーチ支点部（1850tfピン支承、図-6）では表-3に示すとおりピン、下沓接触部コンクリート、アンカーボルト、セットボルトの引張応力度が許容値を超える結果となった。

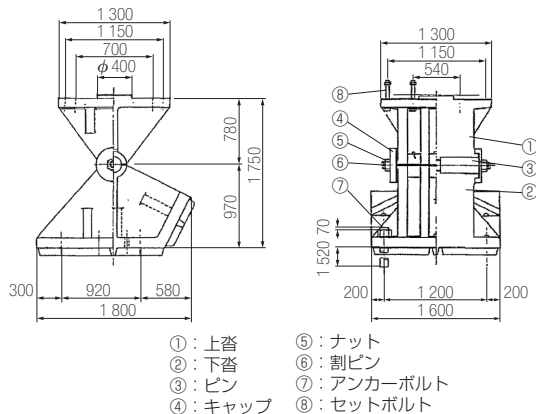


図-6 アーチ支点部支承（構造図）

表-3 アーチ支点部の照査結果

照査部位	照査内容	超過率
ピン	支圧応力度	1.48
下沓	コンクリート支圧応力度	1.83
アンカーボルト	引張応力度	2.50
セットボルト	引張応力度	7.95

2. 耐震性向上策の検討

(1) 現状の課題整理と目標設定

前項の照査結果より、初湯川大橋はアーチ構成部材および支承部の耐震性能が不足し補強が必要となるが、実施にあたっては斜め方向に大反力を受けるアーチ支点部支承の取替え施工が困難であるほか、上部工の補強対象がきわめて多く、補強コストの増大、供用交通への規制影響が著しい課題があった。

このため、近年施工実績が増加している制震ダンパーを使用して地震エネルギーを吸収させる方針とし、地震力の低減目標は、アーチ支点部支承の取替えが不要となるレベルまでの反力低減、補強難易度の高い部材（アーチリブ、補剛桁）の補強回避とした。

(2) 検討した制震ダンパー

検討した制震ダンパーの種類を表-4に、その配置を図-7に示す。

座屈拘束ブレースは、曲げやせん断よりも軸力が卓越する部材、例えば、トラス橋、アーチ橋、ラーメン橋などの

表-4 設置検討した制震ダンパーの種類

制震ダンパーの種類	設置箇所	設置目的
座屈拘束ブレース	斜材（追加）	橋軸方向地震力の低減
	横構（取替え）、端柱の対傾構（追加）	橋軸直角方向地震力の低減
粘性ダンパー	主桁端部（追加）	橋軸方向地震力の低減

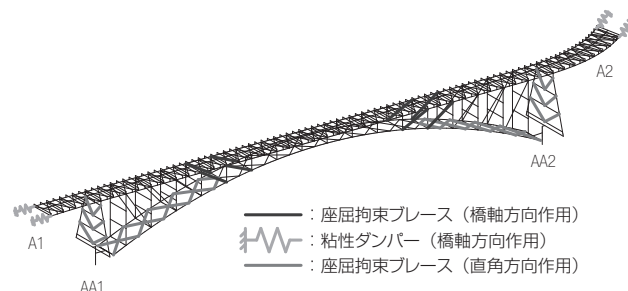


図-7 制震ダンパーの配置

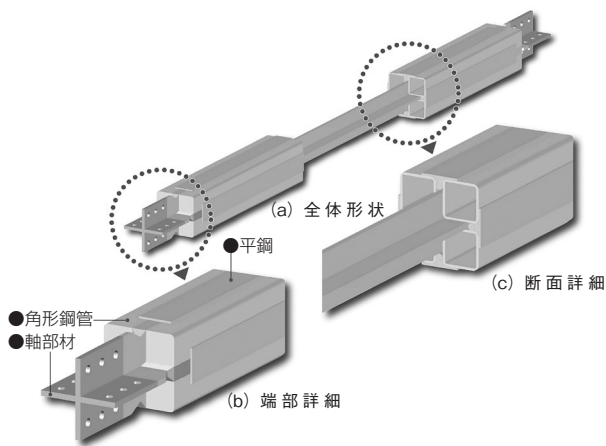


図-8 座屈拘束ブレース

斜材、横構などに取り付けることで、常時は弾性部材として機能し、レベル2地震時には軸部材が降伏して地震エネルギーを吸収し、橋梁の各部に作用する応答値を軽減するものである。本橋に用いた座屈拘束ブレースの構造(図-8)は、軸力を負担する軸部材と、軸部材の座屈を防止するための座屈補剛材から構成されている。また、橋梁の重要性と発注者の防錆性能要求に対応するため、塗替え困難な軸部材には、亜鉛アルミ溶射を採用して、維持管理に配慮した仕様とした。さらに、設置箇所のほとんどが高所で不安定な作業環境であることから、1基当たり0.5~1トン程度の軽量型ダンパーを採用し、現場作業者のハンドリング性、安全性にも配慮した仕様とした。なお、座屈拘束ブレース取付け部のガセット等は、弾性領域内で設計している。

本橋では、地震時に変形が大きい箇所に配置すると効果的なため、図-9に示す変形モード図より斜材部、アーチリブ間の横構、端柱の対傾構に適用した。

粘性ダンパーはシリンダー、ピストン、特殊充填材で構成された図-10に示す構造であり、地震時の伸縮変形時にピストンがシリンダー内の充填剤を押しつける際の抵抗履歴により地震力を減衰させる。地震時に安定したストロークが期待できる桁端と橋台間に適用した。

3. 制震ダンパー設置後の耐震性能の照査

(1) アーチ支座位部支承

制震ダンパー設置後のレベル2地震時アーチ支座位部の反

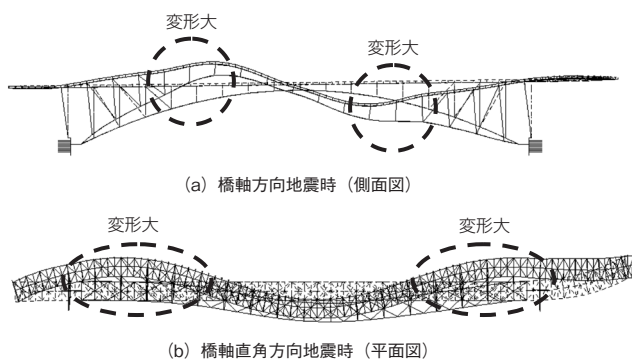


図-9 地震時変形モード図(変形倍率300倍)

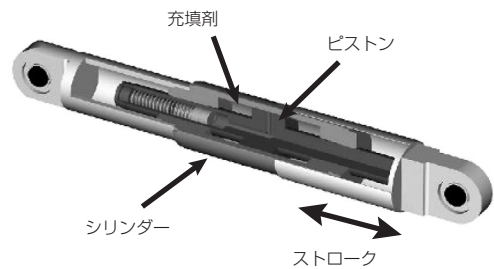


図-10 粘性ダンパー

表-5 アーチ支座位部の照査結果

照査部位	照査内容	超過率
ピン	支圧応力度	0.98
下沓	コンクリート支圧応力度	0.65
アンカーボルト	引張応力度	0.39
セットボルト	引張応力度	1.25

力は軸力35%減、アップリフト83%減となり、支座位部の照査は表-5に示すとおりセットボルトを除き耐震性能を満足できる結果となった。セットボルトは強度区分の高いボルトへの交換で対応した。

(2) 鋼部材

制震ダンパー設置後の「鋼材ひずみ照査」結果を図-11、12に、「局部座屈の照査」結果を図-13に示す。太線部で示した補強対象部材が大幅に減少したほか、補強対象は斜材や支柱など比較的補強が容易な部材に限定された。

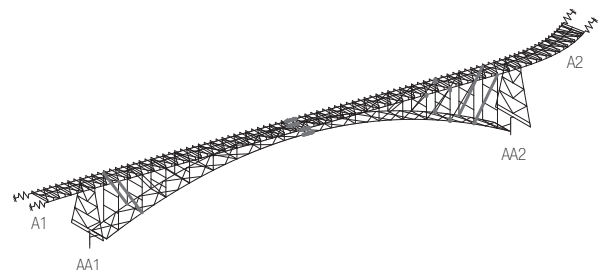


図-11 対策後の照査結果(鋼材ひずみ照査・橋軸方向)

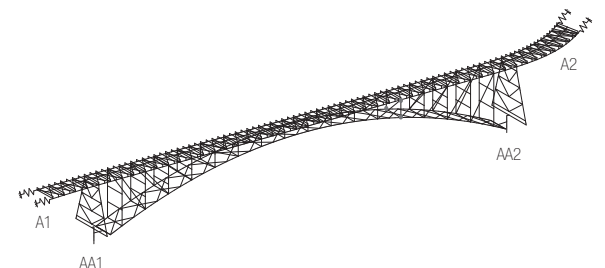


図-12 対策後の照査結果(鋼材ひずみ照査・橋軸直角方向)

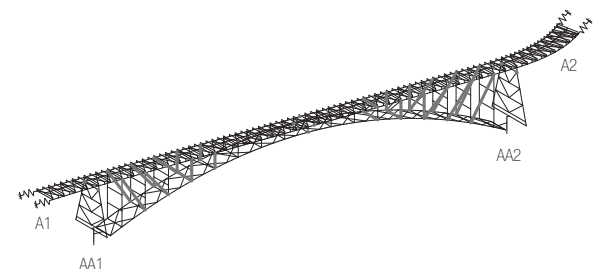


図-13 対策後の照査結果(局部座屈)

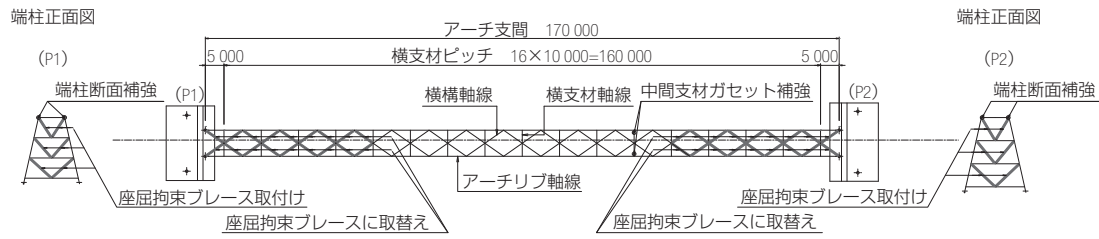
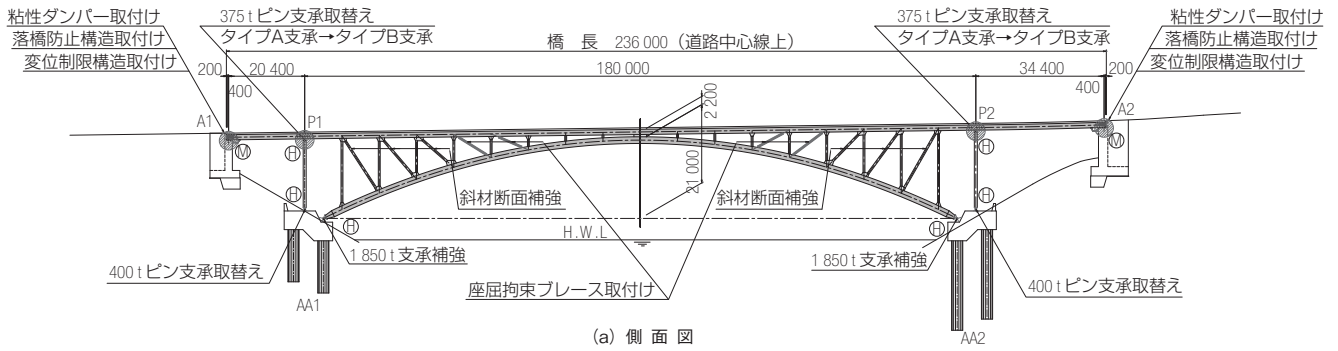


図-14 補強概要図

4. 全体の補強概要

本工事で実施した全体の補強概要図を図-14に示す。前述のとおり、斜材部、アーチリブ間の横構、端柱の対傾構に座屈拘束ブレース、桁端部には粘性ダンパーを設置し、各種部材の応答値低減を図った。また、落橋防止システムの一つとして桁端部には、落橋防止構造(チェーン式)を設置した。支承部では、アーチ支点部の支承が取替え不要となったが、端柱上部はタイプB支承に取り替え、端柱下部支承は上沓・ピンのみ取替えとなった。

橋軸直角方向の制震対策としては、端柱(P1橋脚、P2橋脚)に斜材として2,000 kNクラスの座屈拘束ブレースを合計12基追加設置(写真-1)し、アーチリブの下横構の36箇所には既設下横構部材を1,200 kNクラスの座屈拘束ブレースに取り替えた(写真-2)。座屈拘束ブレースの施工フローを図-15に示す。新設のガセット取付け用ボルト孔の削孔には、実物大フィルム型を製作し、現場の野書用型として利用した(写真-3)。また、下横構

5. 耐震補強の施工

(1) 座屈拘束ブレース工

橋軸方向の制震対策として、既設橋で斜材の無い箇所に4,000 kNクラスの座屈拘束ブレースを合計8基追加設置した。

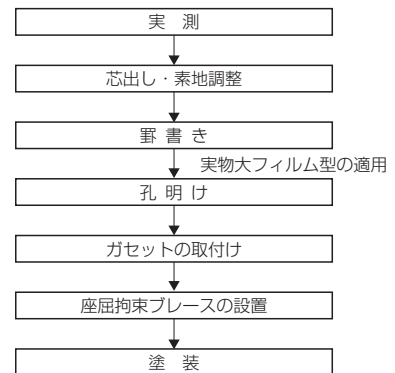


図-15 座屈拘束ブレースの施工フロー

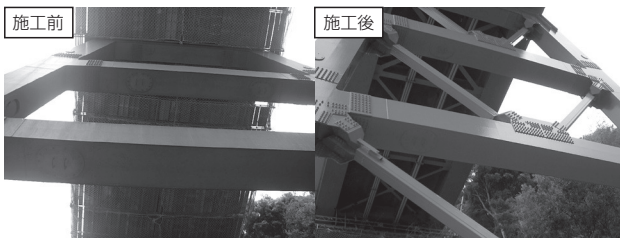


写真-1 座屈拘束ブレース施工(端柱)

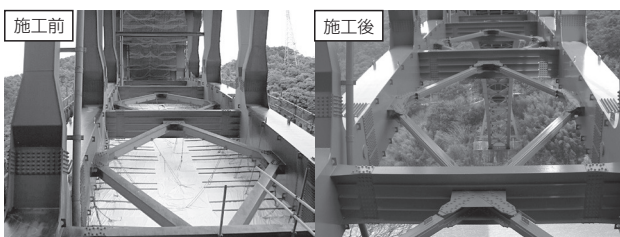


写真-2 座屈拘束ブレース施工(下横構)



写真-3 実物大フィルムによる野書き(端柱)



写真-4 部材搬入

の継手構造は、既設ガセットを利用するため、下横構と同じ差込み式複せん断継手を採用した。このため、座屈拘束ブレース本体に実測反映をしなければならなかったが、中間部材などを設けなかったため、部材数削減や景観性に配慮した構造となった。なお、座屈拘束ブレースの施工は、橋面上に設けた施工ヤードから桁下へブレースを搬入した(写真-4)。

(2) 粘性ダンパー工

桁端部には、箱桁ウェブと橋台を接続する粘性ダンパーを全16基設置した(写真-5)。粘性ダンパーの施工フローを図-16に示す。アンカー施工は、鉄筋探査を実施し、削孔を行った。桁間のアンカー削孔は、端横桁とアバット前面までの作業空間が狭いため、計画時に使用する削孔機械との干渉確認を十分に行った。また、粘性ダンパーは、初期剛性が強く、現場で長さ調整が困難であるため、搬入前に設置長さを実測した。



写真-5 粘性ダンパー施工

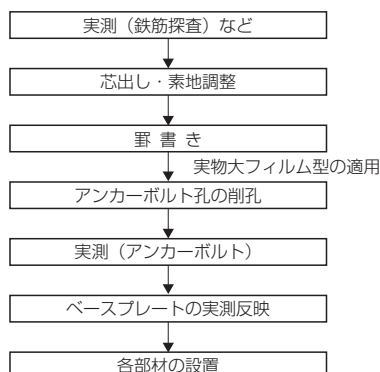


図-16 粘性ダンパーの施工フロー (部材設置まで)

箱桁ウェブの桁内面側には、ダンパー設置による補強部材が必要であったため、既存マンホールからの搬入が可能なサイズで構成できる補強部材を計画した。

(3) 支承取替え工

アーチ基部の支承は、ダンパーの制震効果によって反力が低減し取替えが不要となった。その他の支承では、端柱上部支承をタイプA支承からタイプB支承に取り替え、端柱下部支承は、ピンおよび上沓の取替え、アンカーの増設を行い、タイプB支承化を行った。端支点のタイプA支承は、変位制限構造を新設し、レベル2地震動における慣性力に抵抗する落橋防止システムとした。

端柱下部支承は、リブ本数を既存の3本から5本に変更した上沓に取り替えた(写真-6)。既設下沓に新設上沓をはめ込む構造となるため、リブ厚、リブ間隔の正確な反映が必要となるが、リブに設けられたハンチ部を撤去前に実測することは不可能であった。そこで、あらかじめ上沓の製作を進め、撤去後直ちに実測し、新設の上沓リブに設けているハンチ部を削ることで実測反映を行った。本橋の支承では、4本ある下沓リブの外側2本で外面側の出来形に誤差が大きくあることが分かった。これは、両端2本のリブは、上沓リブと接する面が無い場合、当時の支承製作時

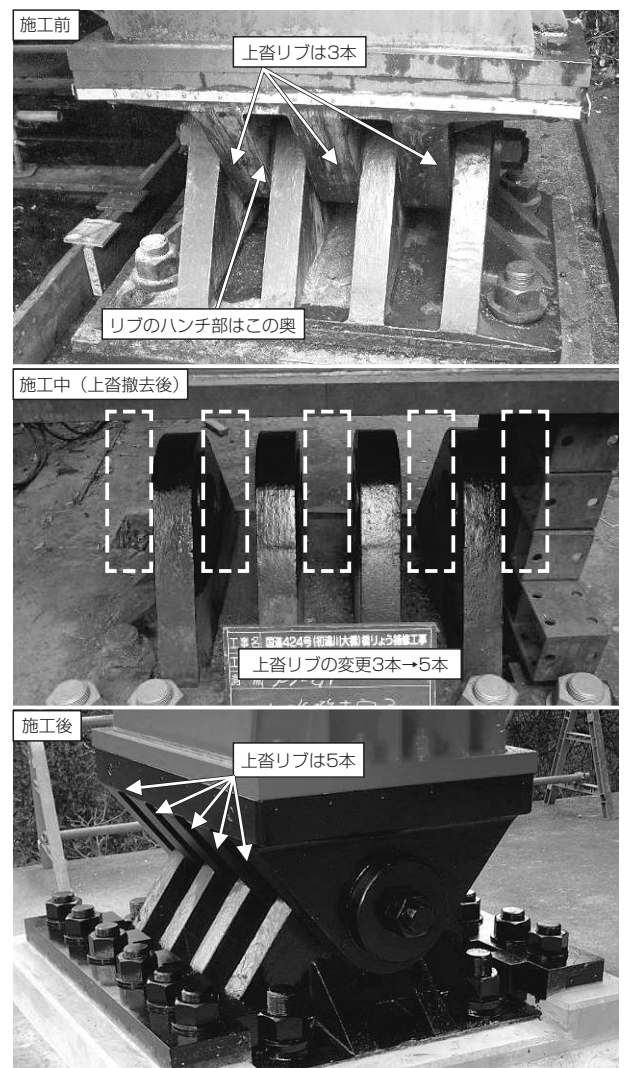


写真-6 支承取替え施工状況

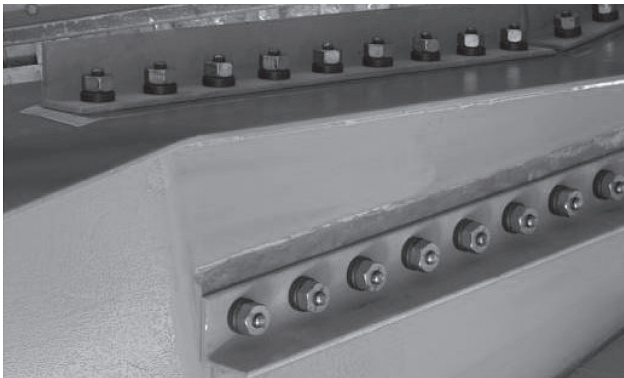


写真-7 ワンサイドボルト施工

の許容値に厳しい制限がなかったためであると考えられる。

(4) 桁補強工

各種制震ダンパーにより地震力の低減を行った結果、アーチリブ、補剛桁の無補強化など多くの部材で無補強状態が可能になったが、発生応力が大きく、許容値を超過していた斜材、端柱などの部材には、高力ボルトによる補強リブプレートを設置した。また、斜材密閉部への補強リブプレート取付けは、片面からの施工が可能なワンサイドボルトをおよそ4700本採用した(写真-7)。ワンサイドボルトは、狭小の箱断面など片面からの施工しかできない箇所でもボルト締めができる高力ボルトである。補強部材の製作時は、ボルト孔径の許容値が厳しいため(表-6)、24.5 mmの孔径で補強部材を製作し、既設桁へのボルト孔削孔には、フィルム型を使用して25 mmの孔を設置した。現場では、工場製作した補強部材孔をゲージプレートとして現場当てもみで施工した。

表-6 ワンサイドボルト用ボルト孔の許容値
(メーカーカタログより) 適用呼び径: 24

● 下穴径

呼び径	部材裏側(バルブ側) 下穴径*(mm)	部材手前側(NUT側) 下穴径*(mm)
20	21.1~21.8	24.0以下
24	25.0~26.4	27.0以下
27	29.0~30.5	32.0以下

おわりに

本橋では、各種制震ダンパーを効果的に用いることで、補強範囲を大幅に減らすことが可能となり、安全かつ短工期で耐震補強工事が実施できた。

一方、端柱下部支承は、実測後直ちに実測反映を行ったが、新規支承に実測反映を行う間の1ヵ月程度は仮受け状態が続くこととなった。仮受期間を短くするためには、上査、下査ともに新設するほうがより安全であったと考えられる。

最後に、本橋の設計・施工を行うにあたり、ご指導ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

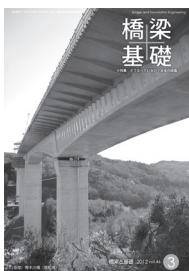
- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編(2002.3)
- 2) 土木学会：橋の動的耐震設計(2003.3)

【プロジェクトデータ】

橋名：初湯川大橋
所在地：和歌山県日高郡日高川町初湯川地内
橋長：236 m
支間長：20.4+180.0+34.4 m
構造形式：逆ローゼ桁橋
事業主：和歌山県
詳細設計：セントラルコンサルタント(株)
施工：高田機工(株)
施工期間：平成23年3月5日～平成24年3月15日

「橋梁と基礎」小特集 最近号のご案内：ぜひ一読ください

各定価1120円(税込)



2010年4月号 小特集 首都高速中央環状線(3号渋谷線～4号新宿線)

2010年9月号 小特集 鉄道の連続立体交差事業

2010年10月号 小特集 羽田空港D滑走路の施工

2011年4月号 小特集 東北新幹線・九州新幹線全線開業

2011年5月号 小特集 歩道橋の魅力を探る

2011年10月号 小特集 駅における橋梁技術の活用

2012年2月号 小特集 橋を取巻く空間

2012年3月号 小特集 どうなっているの? 日本の流儀

2012年4月号 小特集 塔状構造物

2012年6月号 小特集 鋼橋の防食

2012年7月号 小特集 道路橋示方書改定

2013年2月号 小特集 新湊大橋



バックナンバー・内容のお問い合わせは…

(株)建設図書 電話 03(3255)6684