

論文・報告

野田第二橋耐震補強工事の施工報告

～温泉地帯での PC 中空床版橋の耐震補強～

Seismic retrofitting of prestressed concrete hollow floor slab bridges in hot spring areas

野世溪 真 *1
NOSETANI Makoto丸山 直人 *2
MARUYAMA Naoto児玉 良太 *3
KODAMA Ryouta野間 秀行 *4
NOMA Hideyuki梅田 隆朗 *5
UMEDA Takaaki大久保 孝 *6
OKUBO Takashi

本工事は、1989年に大分自動車道（現：東九州自動車道）の別府湾 S.A～別府 I.C 間に架橋された4径間連続 PC 中空床版橋の支承取替、耐震補強、構造物補修を行う工事である。施工場所は日本有数の温泉湧出地である大分県別府市の山間部に位置し、冬期には雪氷対策が採られ凍結防止剤が散布される地域であり、現地踏査においてはコンクリート橋の支承装置の劣化、構造物のひび割れ、コンクリート桁端部の剥離、検査路の劣化が確認された。これらの現状を踏まえて詳細設計と施工計画作業に着手した。

本稿では、耐震補強工事の内容と現地条件を考慮した施工方法について報告する。

キーワード：支承取替、3次元点群測量、制震ダンパー、コンクリート巻立て、遊間部止水工

1. はじめに

野田第二橋は、1989年の完成より約30年経過した4径間連続 PC 中空床版橋である（図1）。冬期に散布される凍結防止剤による塩害のため、支承装置や検査路等の構成品の腐食が甚だしく早期の更新が求められた。

また、上下線合わせて6橋脚を有する構造（写真1）となっているが、L2地震に対する全体系の耐震性能を確保する為に、コンクリート巻立て工事が必要とされた。巻立て工事にあたっては、基部までの掘削工事のため、親杭横矢板工法が採用された。本稿では、耐震補強工事の内容と現地条件を考慮した施工方法について報告する。

2. 工事概要

橋梁諸元と工事概要を以下に示す。

工事名：大分自動車道 野田第一橋他6橋耐震補強工事

発注者名：西日本高速道路株式会社 九州支社

路線名：大分自動車道（現：東九州自動車道）

工事場所：(自)大分県別府市大字野田

(至)大分県別府市大字鶴見

工期：2017年9月26日～2021年9月4日

型式：4径間連続 PC 中空床版橋

橋長：112.5 m（上下線）

供用開始：1989年（平成元年）同年供用開始

設計荷重：TL-20 L1地震動（建設時）

B活荷重 L2地震動（耐震設計時）



写真1 野田第二橋全景

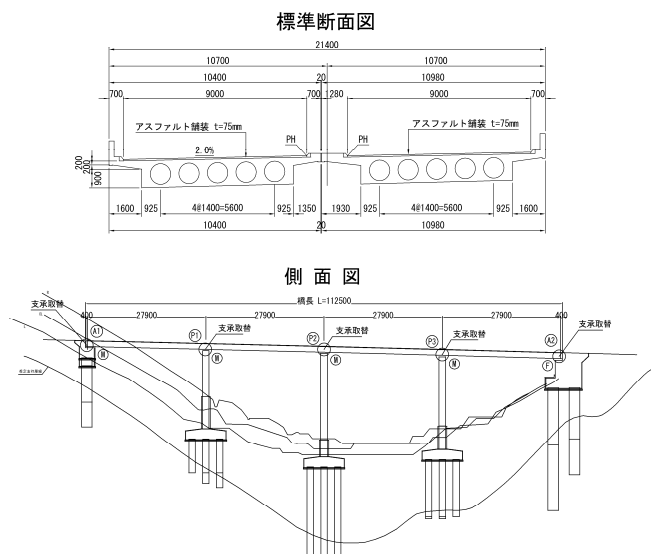


図1 野田第二橋 一般図

*1 川田建設(株)大阪支店工事事務課 担当工事長

*2 川田建設(株)九州支店工事事務課 主任

*3 川田建設(株)大阪支店工事事務課

*4 川田建設(株)大阪支店工事事務課 担当工事長

*5 川田建設(株)大阪支店技術部技術課 主幹

*6 川田建設(株)大阪支店技術部 担当部長

3. 支承取替工

支承の耐震設計において、現況の支承条件である1点固定支持（M・M・M・M・F）で支承形状を検討すると、1点固定支持のA2橋台部への支承反力が過大となり支承が配置不可能な程、大型化することが確認されたため、再検討が必要となった（図2）。対策案としては支持条件を1点固定支持（M・M・M・M・F）から多点固定支持（M・F・F・F・M）への大幅な変更であった。これにより、A2橋台に集中していた水平反力が大幅に低減できる構造となった。しかし、その反面、固定支承となった3橋脚については他に耐震補強検討が必要となった。これについては“4. コンクリート巻立て”で記述する。

支承条件	▲	▲	▲	▲	▲
	A1	P1	P2	P3	A2
当初建設時	Mov	Mov	Mov	Mov	Fix
耐震設計検討	Mov	Fix	Fix	Fix	Mov

図2 支承条件

既設支承はBP-A支承（高力黄銅支承板支承）であるが、伸縮部からの塩化物イオンを含んだ漏水による腐食が激しく、特に支承下部構造を固定するアンカーボルトのナットについては、錆の層状はくりが確認され、早期の対策が必要であった（写真2）。



写真2 A2橋台BP-A支承腐食状況

この劣悪な現地条件を踏まえて、新規支承装置の防錆仕様はアルミニウム・マグネシウム溶射+封孔処理とした。コンクリートやモルタルとの接地面は、溶射、封孔処理に加えて耐アルカリ・耐塩水性に優れたふっ素樹脂塗装とすることにした（写真3）。



写真3 A2橋台新規ゴム支承

支承取替準備として初めに足場の整備を行った。支承装置等の重量物は台車で移動を考えたため、フラットな作業床を設置する計画とした。上載荷重（1000kg）より型枠用のくさび式支保工を採用し、上面にはベニヤ板を敷き詰めて、水平で段差のない作業床を設置した。これにより台車で重量物の移動作業が安全かつ容易に行うことが可能となった（写真4）。



写真4 重量台車で移動作業

次に主桁を仮受けするためのジャッキアップを行った。主桁仮受け用ジャッキの設置位置は、A1橋台の基礎コンクリート上のサンドル設備、P1～P3橋脚の脚頭部支承間、A2橋台のフーチング上とした（写真5）。



写真5 A2橋台ジャッキアップ作業

供用中の高速道路下の作業なので、バランスを調整しながら最大3mmまで主桁を慎重にジャッキアップした。支承取替に伴うジャッキアップは図3のフローに基づき、同時期にジャッキアップするのは3支承線までとし、A2の水平固定は2橋脚への盛替え後に開放した。

No.	フロー	▲	▲	▲	▲	▲
		A1	P1	P2	P3	A2
①	当初建設時	Mov	Mov	Mov	Mov	Fix
②	着手(P1,P3)	Mov	Jack	Mov	Jack	Fix
③	着手(P2)	Mov	Jack	Jack	Jack	Fix
④	完了(P3), 着手(A1)	Jack	Jack	Jack	Fix	Fix
⑤	完了(P1), 着手(A2)	Jack	Fix	Jack	Fix	Jack
⑥	完了(A1,P2,A2)	Mov	Fix	Fix	Fix	Mov

図3 ジャッキアップ作業フロー

既設支承の切断・撤去作業については、ワイヤーソーイング工法を採用した。既設アンカーバーは支承補強検

討計算に含めないため、支承と調整モルタルの境目にワイヤーソーを水平方向に走らせて、アンカーバーごと切断した（写真6）。



写真6 既設支承切断作業

橋台コンクリートの撤去はウォータージェット工法（以下、WJ工法）を採用した。大断面（高さ60cm、幅120cm、奥行き120cm程度）のコンクリートを撤去するもので、隣接する他構造物に損傷を与えないように、WJ先端ノズルの向きを固定できる機械施工で作業を進めた。防護シートを作業エリアに隙間なく設置して、関係者以外の立入を禁止した。また、コンクリート撤去範囲は、新規支承の取付け作業の支障とならないよう、必要最低限の作業スペースにした（写真7）。



写真7 橋台コンクリート撤去作業

上向きの新規支承アンカーバーの位置については、PC定着部を避けた横桁部への設置が可能であることを確認し決定した。上向きアンカーバーの樹脂定着後に3次元点群測量でアンカー位置を計測し（写真8）、当て板を製作した。当て板の収まりを確認してから、新規支承（コンパクトゴム支承）の製作を開始した（写真9）。



写真8 3次元点群測量



写真9 当て板製作

支承上部のソールプレートと主桁下面の隙間は、一般

的に無収縮モルタルを注入するが、注入箇所が主桁下面になるため、注入状況等を目視することは不可能であった。これを現地と似た条件で充填できるかを確認するためにA2橋台のレアーモルタルを想定した注入試験を実施することにした。A2橋台のレアーモルタルは10mm～40mmと比較的薄いため、3種類のモルタル（スラリー型、小間隙型、汎用型）から材料選定も含めて実施した（写真10）。試験の結果、注入作業中にホース内での目詰まりが無いことや主桁下面の空隙率が他と比較して少ないことから、施工性・充填性に優れる骨材を含まないスラリーセメントを採用した。



写真10 無収縮モルタル注入試験

WJ工法で撤去した箇所の復旧コンクリート配合は30-15-20(N)で膨張材を20kg/m³の普通ポルトランドセメントと置き換えとした。桁下空間が約30cm程度と狭い部でのコンクリート打設となったが、その条件を考慮して圧送管を細くし、現着スランプ15cmのコンクリート打込んだことにより密実な仕上がりとした。復旧したコンクリートは長期の型枠存置期間（14日間以上）を設けて養生したことで、ひび割れの無い仕上がりとなった。またコンクリート中への劣化因子等の浸入を防止する目的で表面保護工（コンクリート塗装）を施工した（写真11）。



写真11 復旧コンクリート・表面保護工完了

4. コンクリート巻立て

耐震設計については、性能2（地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能）を必要とする条件で、設計作業を進めた。前述のように、支承条件を多点固定支持に変更したこと

により、P1、P2、P3 橋脚にコンクリート巻立てを実施することが検討されたことで、支承変位量を低減し、かつ橋脚基部、段落とし部も許容値を満足することとなった。

コンクリート巻立て工事実施にあたっては、フーチングまでの掘削が必要であり、現地は谷間の地形であるため、P1、P2、P3 すべてに親杭横矢板工法を採用することとなった。P1 部はグラウンドアンカー、P2 部は自立式、P3 部はタイロッドにて土留めを計画した（図 4）。

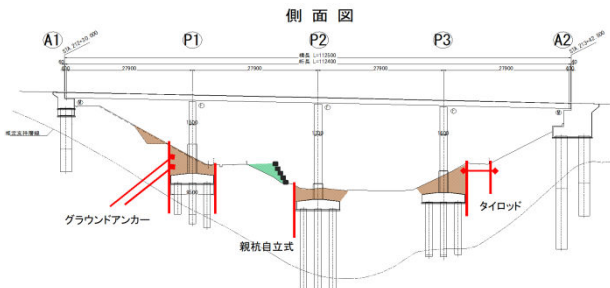


図 4 親杭横矢板工概略図

親杭建込に先立って、パイロハンマー工法で試験打設を行ったが、地山に転石が多く親杭を打ち込めなかったため、ダウンザホールハンマー工法に変更した。ただし P1 橋脚はコンクリート巻立てより先行して支承取替用の吊り足場を設置していたため、桁下空間が約 9.0 m と狭く通常のダウンザホールハンマーでの掘削が不可能であった。このため、小型の杭打機を使用して短尺で掘削し、親杭は短い H 鋼を数多く継ぐことで狭い桁下空間での親杭設置工事に対応した。しかし施工スピードは一般的なダウンザホールハンマーより劣るため、小型であることの特徴を生かして 2 台の杭打機を同時に稼働させて、工程の短縮に努めた（写真 12）。



写真 12 P1 橋脚部小型杭打機による掘削作業

別府市は日本でも有数の温泉湧出地であり、当現場には明礬温泉郷が近接していることもあり、建設当時より温泉地帯におけるコンクリート構造物の腐食対策として、野田第二橋の橋台、橋脚の埋戻し部には防食コンクリート（無筋：t=210mm）が増設されていた。このためコンクリート巻立てを施工するにあたっては、既設の防食コンクリートの取り扱い、巻立て完成後の埋戻し土につ

いてそれぞれ対策を検討する必要があった。

①既設防食コンクリートについては、無筋であることから復旧することを前提に切断撤去することにした。

②構造物掘削部の埋戻し土は、建設後 30 年経過し、酸性地下水や弱酸性土壌の影響を受けて、埋戻し当時の石灰処理土の pH が 8.2 と中性に近い数値を示したため、再度石灰処理を行うことになった。

防食コンクリートの撤去方法は、ウォールソー・ワイヤーソーイングの併用工法を採用した。橋脚より切断された無筋コンクリート板をクレーンで吊って撤去した（写真 13、14）。



写真 13 ウォールソー切斷 写真 14 ワイヤーソー切斷

コンクリート巻立て工事着手前に、3 次元点群測量により橋脚の現況出来形を確認した。橋脚の倒れや凹凸をヒートマップで表現することで現況出来形の視覚化を図った（図 5、6）。

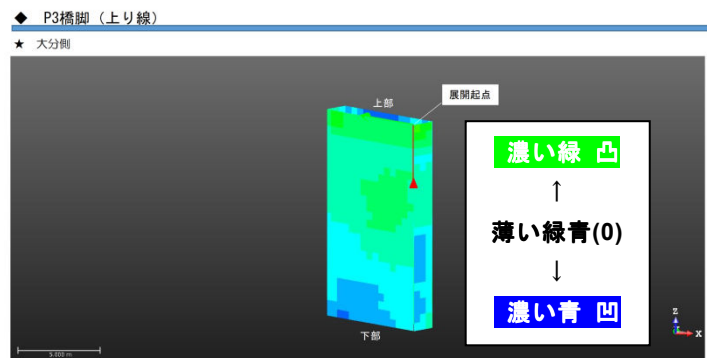


図 5 現況ヒートマップ

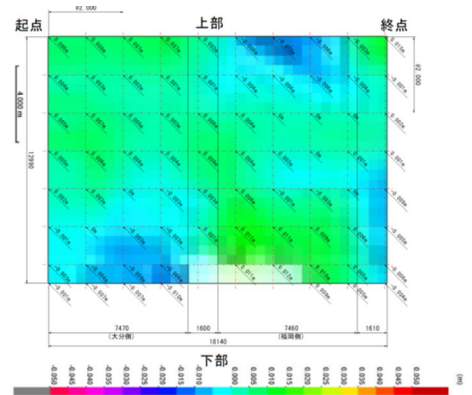


図 6 現況ヒートマップ

図 5、6 のヒートマップをもとにコンクリート巻立ての型枠組立方法を計画し規格値を逸脱しない管理を行った。新旧コンクリート打継ぎ面は脆弱層やレイタンスを除

去する必要がある、その付着性能は、 1.5 N/mm^2 以上を有することが必要なため、この付着力を確保できると確認されている WJ 工法を採用した (写真 15)。



写真 15 表面処理作業 WJ 工法

コンクリート巻立ての軸方向鉄筋は、一般的にガス圧接で設計されるが、気象条件や作業員の熟練度により品質が左右されてしまうため、継手単体での性能評価がガス圧接と同等な SA 級を有し、強度、剛性、伸び能力がほぼ母材鉄筋に相当する“ねじふし鉄筋継手”に変更することで天候に左右されず安定した工程管理、継手品質管理が可能となった。

コンクリートは、湿潤養生のため型枠存置期間を 14 日以上存置したことにより、膨張材の効果を十分に発揮させるとともに、初期乾燥を防止した。また、型枠解体後に高性能収縮低減剤をコンクリート表面に塗布して、更なる養生効果を高めひび割れの抑制、耐久性の向上に努めた (写真 16)。

補強概要

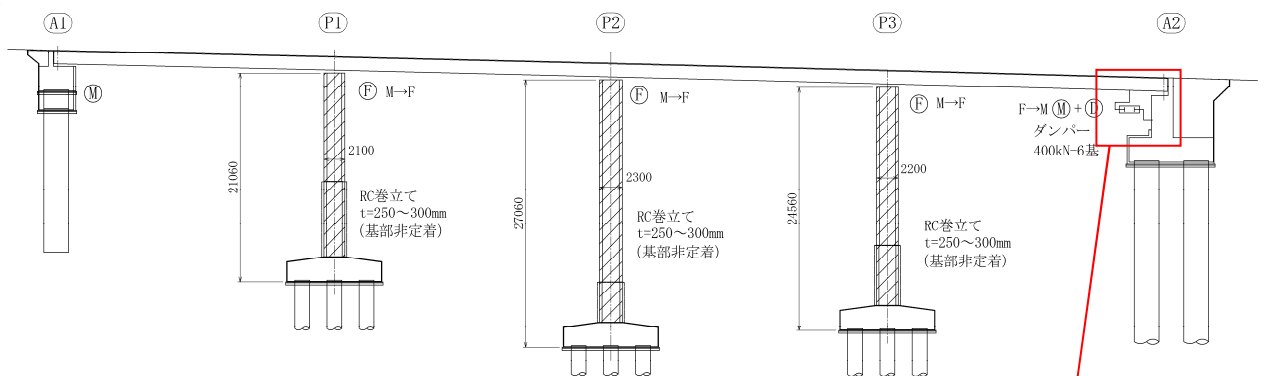


図 7 耐震補強概要図



写真 16 コンクリート巻立て完了

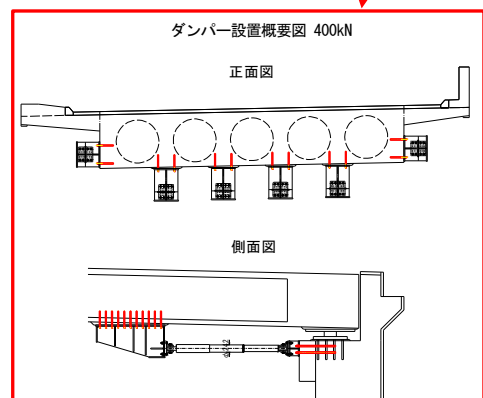
5. 制震装置工

支承の「多点固定化」,「コンクリート巻立て補強」を最適案として設計を進めてきたが、L1 地震時の P1 橋脚基部の曲げ応答、橋台と上部工の衝突、L2 地震時の遊間量の考え方について再検討が必要となった。A2 橋台にダンパーを設置することで両橋台での変位量は抑制できるが、ダンパーストロークは 400 mm 必要となった。これにより、L1 地震時には、中間橋脚に作用する地震時水平力を低減し橋台と上部工の衝突を回避できた。また L2 地震時には、ダンパーは微小変位でもその性能を期待できるため、遊間量不足 (計算値 400 mm に対して実遊間量 40 mm) による問題は生じない。この検討結果により、A2 橋台に制震装置 (粘性ダンパー 400 kN×上り線, 下り線各 6 基) を設置することとした (図 7)。

ダンパーの 1 ユニット当たりの型式が大きいと設置が難しくなるため、主桁側面と下面に分散して配置することで小型化するように検討した。ダンパーの小型化により取付け用ブラケットに使用するアンカーが主桁側面では D22, 下面では D19 と細径とすることができ、主桁内部の PC 鋼材や円形ボイド管に干渉しないサイズとなった。

ダンパーの施工に当たっては、着手前に主桁側面、下面を 3 次元点群測量により現況を図化して、ダンパー取付け用アンカー位置と支障物 (ゴム支承アンカーボルト、鉄筋、排水管、検査路梯子) との取合いを検討した。

主桁側面、下面のアンカーボルトの計測、作図についても同測量方法を用いた。3 次元点群測量は、非接触、短時間で正確なデータ (精度 2.5 mm) を取得でき、部



材寸法や横断面図作成なども取得した3次元データから行える。あと施工アンカーボルトの設置後に3次元点群測量を行い、得たデータを2次元図面に変換してボルト位置を図化して、ダンパー取付け用ブラケットの製作に反映させた(図8)。

これまでは人手に頼っていた計測、作図作業をより早く、正確に行うために、3次元データを有効に活用することが、今後の建設現場の生産性向上を推進するものと期待する。



図8 (左)3次元点群データ、(右)2次元

ダンパー部材の横移動については、支承装置と同様にフラットな作業床上で重量台車を使用する方法とした(写真17)。下部工取付け用ブラケットの重量は約800kgあるため1t台車2台を連結させた上にブラケットを固定して横移動させ、各部材の設置を完了させた。

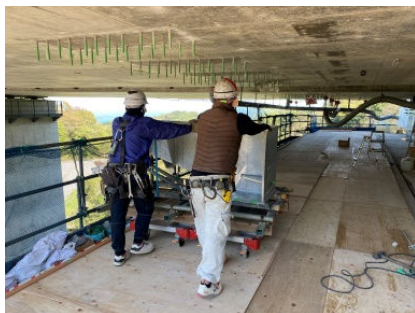


写真17 ダンパー取付ブラケット

制震ダンパーは、これまで一般的に単一色で塗装されており、伸縮状況を確認するために梯子や点検車等を使用した近接目視やスケール計測が必要で、現地条件によっては点検自体も難しい場所もあると考えられる。この問題を経済的に解決し、制震ダンパーの維持管理の効率化を図るため、その移動可能範囲の危険度に合わせて着色(青・黄・赤)して、点検時等に遠方からでも容易に目視確認ができるように工夫した(図9)。

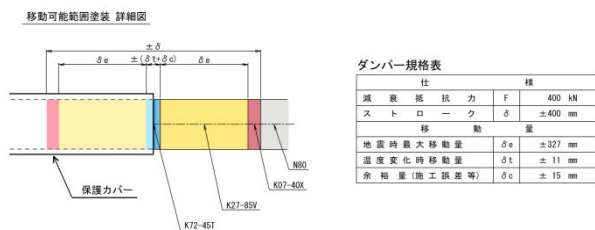


図9 ダンパー塗分け図

保護カバーの端部に青色が確認できる状態が、“正常”，黄・赤色がともに“異常”でそれぞれ“(黄)地震時”，“(赤)損傷”を表している。写真18は実際の点検者目線でのダンパーの視認状況を撮影したもので、撮影時は“正常”であることが容易に確認できる。



写真18 ダンパー視認状況

6. 遊間部の止水工について

前述のとおり、A2橋台の既設支承の腐食は伸縮部からの漏水が原因である(写真19)。支承取替作業時においても降雨のたびに、雨水が作業箇所へ流出するため、施工中の新規支承装置や復旧コンクリートの品質低下を招く恐れがあった。特に降雪期の凍結防止剤散布によって塩化物イオンを含む融雪水が流出することが予想されたため、その度に施工箇所全域の高圧洗浄が必要であった。そこで支承取替前に遊間部分(40mm)の一部に特殊なシーリング材を充填させて止水処理をすることで、この不要な作業を削減し、品質向上や工程遵守に努めた(写真20)。



写真19 着手前の漏水状況



写真20 止水工事後

7. おわりに

野田第二橋の耐震補強工事の主だった工種について設計・施工の概要を記述しました。今後の橋梁耐震補強工事の参考となれば幸いです。

あまり経験のない土木工事の要素を多く含んだ耐震補強工事ではありましたが、西日本高速道路株式会社九州支社、同大分高速道路事務所の皆様方からのご指導により無事しゅん功しましたことに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 伊藤，一瀬，上東：技術資料 温泉地帯におけるコンクリート構造物の腐食対策—九州横断自動車道別府橋(仮称)の例—，土木施工27巻16号，1986