

縦目地構造解消を目的とした大阪都心部における鋼桁大規模修繕工事の概要

OUTLINE OF A LARGE-SCALE REPAIR PROJECT OF STEEL GIRDERS IN CENTRAL OSAKA FOR THE PURPOSE OF ELIMINATING VERTICAL JOINT STRUCTURES.

杉村泰一郎*, 田畑晶子**

Taiichiro SUGIMURA and Akiko TABATA

ABSTRACT In the vicinity of Awaza on the Hanshin Expressway Higashiosaka Route, one lane was widened to eliminate traffic congestion in 1997. The widening girder and the existing girder are not integrated, but they are supported by different piers, with vertical joints installed between the widening section and the main line section. Damage had occurred in many spots on this vertical joint and problems accompanying the damage, such as noise. To address these problems, various measures had been taken, but no thoroughgoing solution had yet been achieved. This paper describes the design and construction outline of a large-scale repair project of steel girders in central Osaka.

KEYWORDS : 阪神高速道路, 縦目地構造, 大規模修繕工事

Hanshin expressway, vertical joint structure, large-scale repair project

1. はじめに

阪神高速道路東大阪線の阿波座付近 (図-1) は、環状線および阿波座入路からの交通の合流と、神戸線・大阪港線分岐部の間で車両の通行が輻輳するため、慢性的な渋滞が発生していた。その対策として、1997年に高架道路を3車線から4車線に拡幅している (図-2)。その際、拡幅桁と既設桁とは一体化せず、既設橋脚の間に拡幅桁のみを支持する橋脚を新設し、支持する構造としている。そのため拡幅部と本線部との隙間には縦目地 (図-3) を設けることにより路面を連続化させている。しかし、本線桁と拡幅桁の支点位置が異なるため、活荷重による桁のたわみ差が生じ、縦目地の損傷



図-1 阪神高速道路網



図-2 阿波座拡幅部位置図

*阪神高速道路(株) 大阪保全部 改築・更新事業課 (〒552-0006 大阪府大阪市港区石田 3-1-25)

**阪神高速道路(株) 技術部 技術推進室長 (〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島 3-2-4)

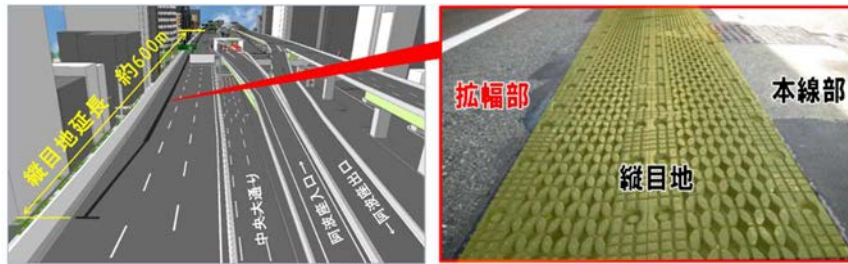


図 - 3 阿波座拡幅部の縦目地

が多く発生してきた。また、この縦目地の損傷に起因して、走行性への悪影響や騒音発生の不具合が生じており、過去から種々の対策を講じてきたが、抜本的な解決には至らなかった。そこで、縦目地を撤去し拡幅桁と既設桁とを一体化するため、既設橋脚の梁を拡幅するとともに、桁を架け替えて支点を統一し、走行面を連続化する大規模な改築工事を実施することになった。

工事は2020年12月に着手しており、既設橋脚梁部の拡幅が概成している。

本稿では、縦目地構造解消にかかる大規模修繕工事の設計概要として、支点位置の統一に伴う耐震上の課題、および既設橋脚を補強することなく橋梁全体で耐震性能を満足させた工夫を紹介する。また、大阪都心部の高速道路供用下という制約条件下において実施した施工概要について報告する。

2. 橋梁概要

対象となる橋梁は図 - 4 に示す P-38R から P-54 までの約 600m の区間である。このうち、本線部は鋼 3 径間連続鈹桁橋、鋼 4 径間連続合成鈹桁橋、鋼 3 径間連続合成鈹桁橋、鋼単純鋼床版箱桁橋、鋼 2 径間連続合成鈹桁橋、鋼単純合成鈹桁橋 2 連で構成されている。また、拡幅部は、鋼単純合成箱桁橋 2 連、鋼単純鋼床版箱桁橋、鋼単純合成箱桁橋 5 連、鋼単純鋼床版箱桁橋、鋼単純合成箱桁橋 3 連で構成されている。1974 年に供用した既設桁は T 型の RC 橋脚 (P-39~P-54) により支持されており、一方の、1997 年に供用した拡幅桁は逆 L 型の鋼製橋脚 (P-38R~P-53R) により支持されている (図 - 5、写真 - 1)。そのため既設桁と拡幅桁とでは支点位置が異なっている。

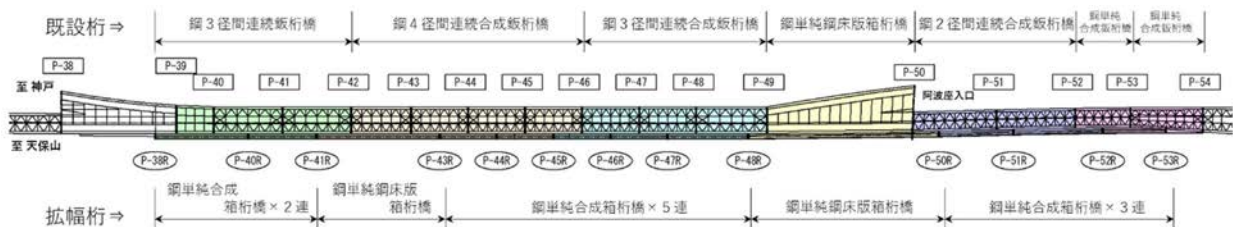


図 - 4 阿波座拡幅部の縦目地

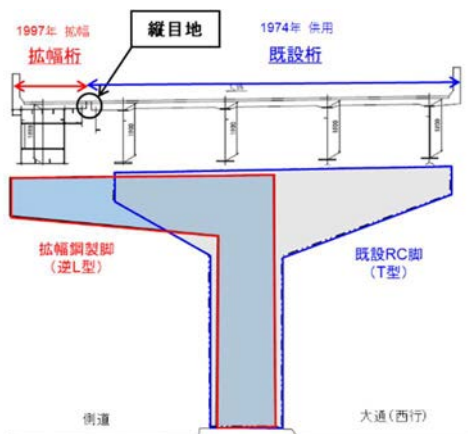


図 - 5 断面図 (RC 橋脚・鋼製橋脚)

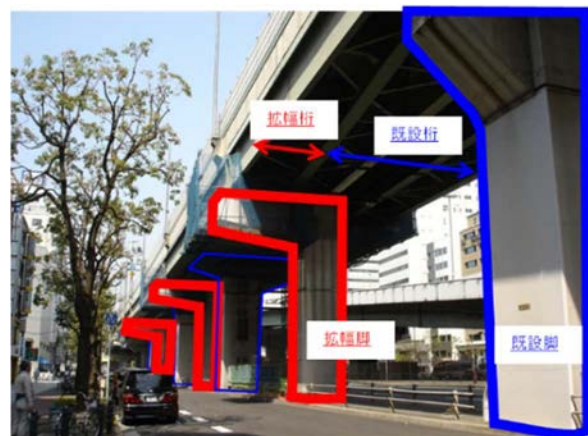


写真 - 1 現場状況

3. 縦目地構造解消にかかる耐震設計の概要

3.1 現状

既設桁と拡幅桁の支点位置が異なっていることにより、本線部と拡幅部との間において、活荷重によるたわみ差が生じ（図-6）、縦目地で損傷が多発している。また、たわみ差や縦目地の損傷に起因して、大型車両通行時には大きな騒音が発生しており、沿道住民からの苦情が絶えない状況にあるが、限られた施工時間では抜本的な対策が行えていない。

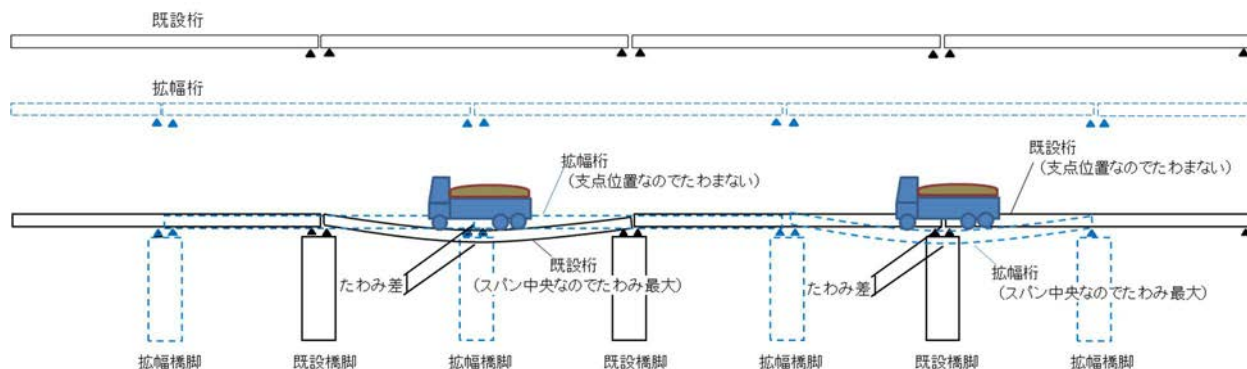


図-6 たわみ差発生状況図

3.2 縦目地解消の方針

縦目地の損傷や騒音発生に対する抜本的な対策を目指し、過年度の対策の効果¹⁾に鑑みて、縦目地構造の解消を前提として検討を実施した。縦目地における損傷、騒音の最大の要因は、支点位置の不揃いによるものである。立体構造解析にて現況の縦目地構造を再現した復元解析によると、現況構造における最大たわみ差は約50mmであった。また同解析で支点を合わせることで、この差が3mmまで低減され、更に横桁の連結を行うことで約1mm程度まで低減されることがわかった。

以上により、図-7に示すようにRC橋脚の梁部を拡幅し、拡幅桁の支点位置を既設桁に統一することで上部工の縦目地を撤去して床版を連結する構造とした。これに伴い、既設桁の死荷重に加え、これまで鋼製橋脚で支持されていた拡幅桁の死荷重も合わせてRC橋脚のみで支持することにした。改築後の耐震性確保のため、設計にあたっては以下の方針で検討を行った。

- ・ 拡幅桁の支点位置を既設桁と合わせるため、RC橋脚を拡幅し、拡幅桁も加えた全ての常時荷重をRC橋脚のみで支持する。
- ・ 鋼製橋脚に支承は設置せず、つまり鉛直荷重は支持せず、地震時のみ機能する橋脚として活用する。
- ・ 拡幅桁分の死荷重が増加するため、不足するRC橋脚梁部の曲げ耐力はPC外ケーブルで補完する構造とし、常時荷重に対しては構造が成立することを確認する。
- ・ 地震時水平力に対しては、鋼製橋脚に地震時のみ機能する水平力分担構造を設置し、RC橋脚と協働で抵抗する。

3.3 耐震上の課題と対策

支点位置を統一することでRC橋脚は支持する死荷重が増加するが、建築限界の制約のため既設橋脚の更なる補強・増築を行うことは困難であった。そのため、これらの補強は行わないことを念頭に以下の構造検討を実施した。

(1) 支持荷重の軽量化

拡幅桁を流用する場合、支点構築や桁の切断・桁連結が必要となるうえ、断面力形状の変更に伴い大規模な補強が必要となり重量が増加する。施工手間、コストや工期など総合的に評価した結果、拡幅桁は流用せず、新設桁への架け替えが優位となった。またRC橋脚の支持荷重を極力最小にするため、新設桁は鈹桁構造とし、床版は鋼床版を採用した。

(2) 地震時水平力の軽減

支点統一による支持荷重の増加に伴い地震時水平力が大幅に増大し、RC 橋脚だけでは耐震性の確保ができないため、既設鋼製橋脚を図 - 7 に示す通り拡幅し、常時鉛直荷重は支持せず、地震時のみ機能する水平力分担構造を設けることで、地震時に RC 橋脚に作用する水平力を軽減させ、耐震性能を確保した。

なお水平力分担構造について図 - 8 に示す。水平力分担構造は主桁に橋軸・橋軸直角方向を兼ねたブラケット（上部工付水平力分担構造）を設け、ここから地震時の水平力を下部構造に設けたブラケット（下部工付水平力分担構造）へ伝える。下部構造のブラケットは橋軸・橋軸直角方向それぞれの方向に設けた。

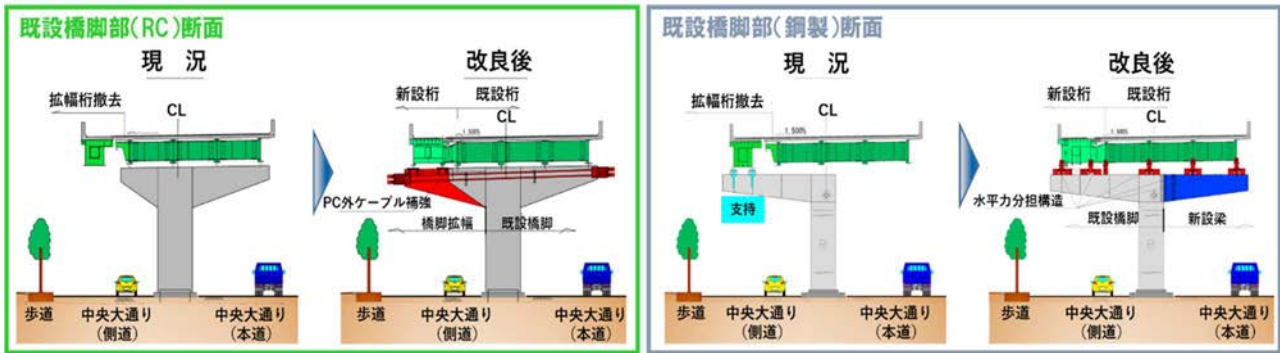


図 - 7 橋脚の改良前後比較図

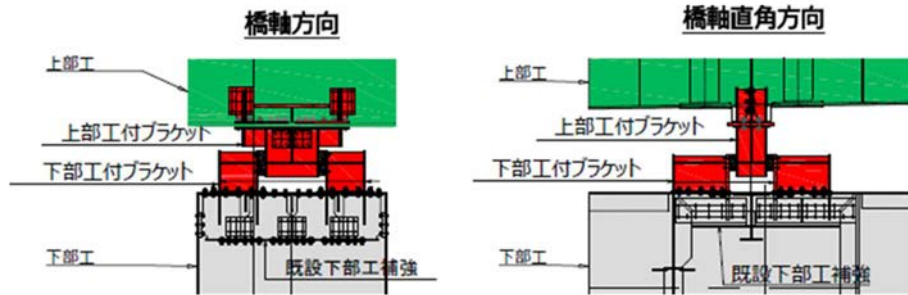


図 - 8 鋼製橋脚に設置する水平力分担構造

3. 4 耐震性の検証

既設橋脚を活用した橋梁全体系での耐震性評価は、道路橋示方書・同解説に基づき、非線形性を考慮した動的解析（時刻歴応答解析）により検証した。

解析ソフトは Engineer's Studio Ver. 7.2.0 を用いた。骨組みモデルは上部工、RC 橋脚、鋼製橋脚を含めた全体系で構築し、動的照査法にて照査を行った、なお、工事施工時期に合わせて、P-39～P-49 及び P-49～P-54 の 2 つに分割したモデルとした(図 - 9)。

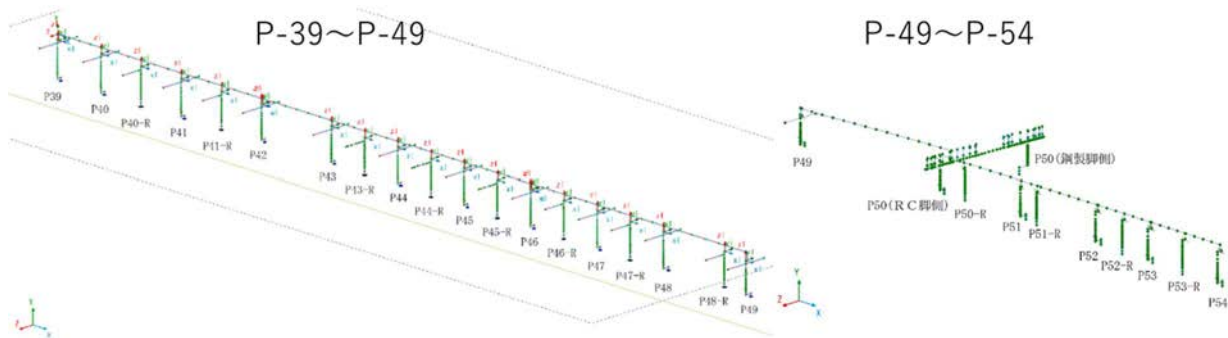


図 - 9 全体モデル

RC橋脚は、柱部下端側にM-θ非線形特性をもつ塑性ヒンジを設け、その他の柱一般部はM-φ非線形特性部材としてモデル化した。塑性ヒンジ部の非線形回転ばねの非線形特性は、曲げモーメントと回転角の関係(M-θモデル)をトリリニア型とした骨格曲線とし、橋脚一般部の非線形はり要素の非線形特性は、部材断面の曲げモーメントと曲率の関係(M-φモデル)をトリリニア型とした骨格曲線を用いてモデル化した(図-10)。

また鋼製橋脚は、非線形はり要素でモデル化する。非線形特性は、部材断面力の曲げモーメントと曲率の関係(M-φモデル)でモデル化した(図-11)。上下部接続部は、以下のとおりとし、鋼製橋脚の並進方向をすべて固定とすることで鋼製橋脚に水平力を負担させた。

- ・RC橋脚上(ゴム支承) 橋軸方向:弾性, 橋軸直角方向:固定, 鉛直方向:固定
 - ・鋼製橋脚上(水平力分担構造) 橋軸方向:固定, 橋軸直角方向:固定, 鉛直方向:自由
- なお、本検討において求める耐震性能は道路橋示方書・同解説に基づき、表-1の通りとした。

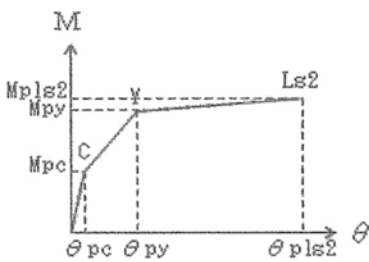


図-10-RC橋脚の非線形履歴モデル

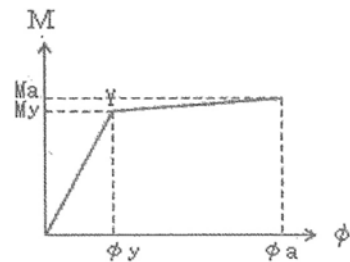
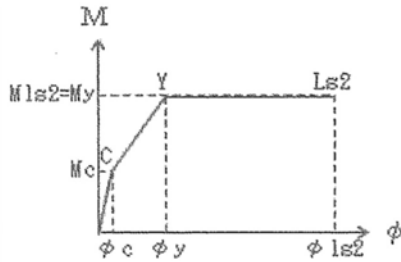


図-11-鋼製橋脚の非線形履歴モデル

表-1-要求する耐震性能と照査項目、制限値

		橋の耐震性能	耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	上部構造	支承部	橋脚
レベル1地震動		耐震性能1: 地震によって橋としての健全性を損なわない性能	落橋に対する安全性を確保する	地震前と同じ橋としての機能を確保する	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態 許容応力度を満足	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態 ゴム:せん断ひずみ150%以下 鋼部材は許容	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態 許容応力度を満足
レベル2地震動	タイプIの地震動 (プレート境界型の大規模な地震)	耐震性能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	落橋に対する安全性を確保する	地震後橋としての機能を速やかに回復できる	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態 許容応力度を満足	力学的特性が弾性域を超えない限界の状態 ゴム:せん断ひずみ250%以下 鋼部材は許容応力度を満足	損傷の修復を容易に行い得る状態 最大応答変位(応答曲率、応答回転角) 残留変位 最大応答せん断力
	タイプIIの地震動 (兵庫県南部地震のような内陸直下型地震)						

3.5 解析結果および照査

時刻歴応答解析の結果、レベル1、レベル2地震動とも照査結果は満足したが、本稿ではレベル2地震動の照査結果について報告する。

(1) 解析結果および照査

タイプIおよびタイプIIのそれぞれについて、橋軸方向加震時と橋軸直角方向加震時の動的解析を行い、その応答値を照査した。RC橋脚の照査項目は、塑性ヒンジ部の応答回転角、一般部の応答曲率、せん断力、残留変位を道路橋示方書・同解説の許容値にて照査し、許容値に収まっていることを確認した。一例として、応答回転角の解析結果を図-12に示す。また、鋼製橋脚の照査項目は、応答曲率、残留変位を道路橋示方書・同解説の許容値にて照査し、許容値に収まっていることを確認した。一例として、応答曲率の解析結果を図-13に示す。

(2) 水平力分担構造の効果

上記解析の結果より、各橋脚に作用する水平力について、水平力分担構造の有無で比較を行った結果を図 - 14 に示す。水平力分担装置を設置することで、橋軸方向で 25~79%、橋軸直角方向で、45~88%に支承部水平力を低減できることを確認した。

また、本線桁のみ支持した状態の現況と、本工事が完了した状態の完成時で比較すると、現況より支承部水平力を同等以下に制御できており、水平力分担構造の効果を確認できた(図 - 15)。

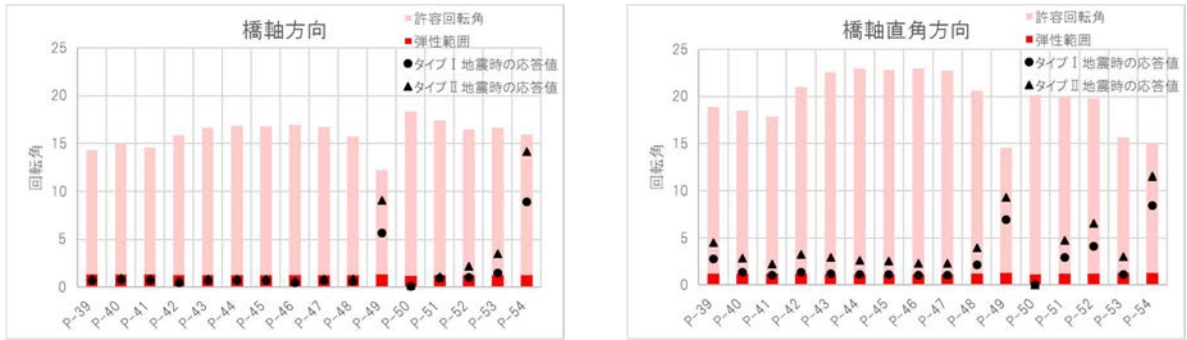


図 - 12 RC 橋脚解析結果 (応答回転角)

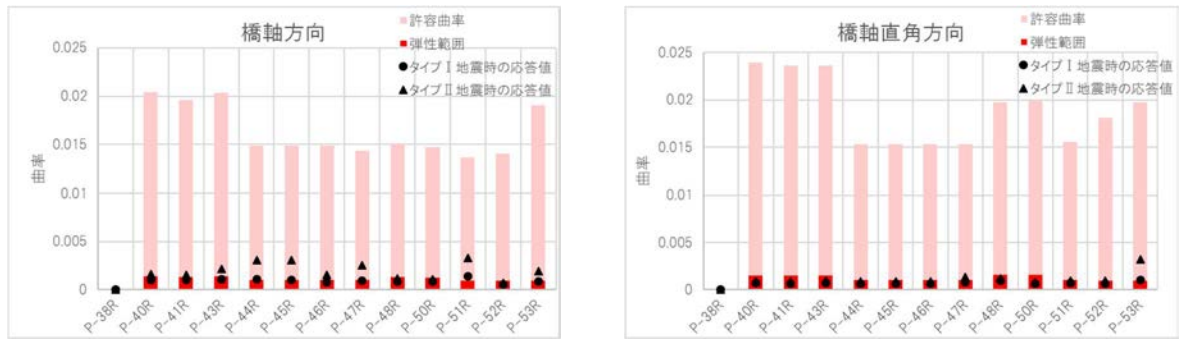


図 - 13 鋼製橋脚解析結果 (応答曲率)

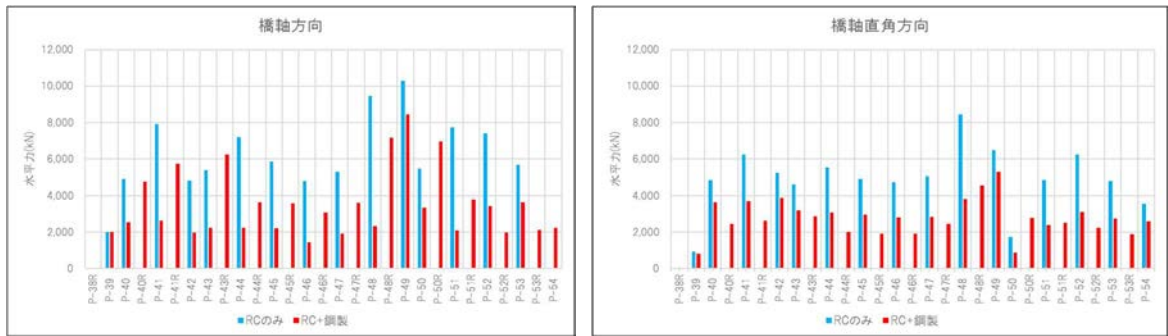


図 - 14 各橋脚の負担する地震時水平力 (水平力分担装置の有無比較)

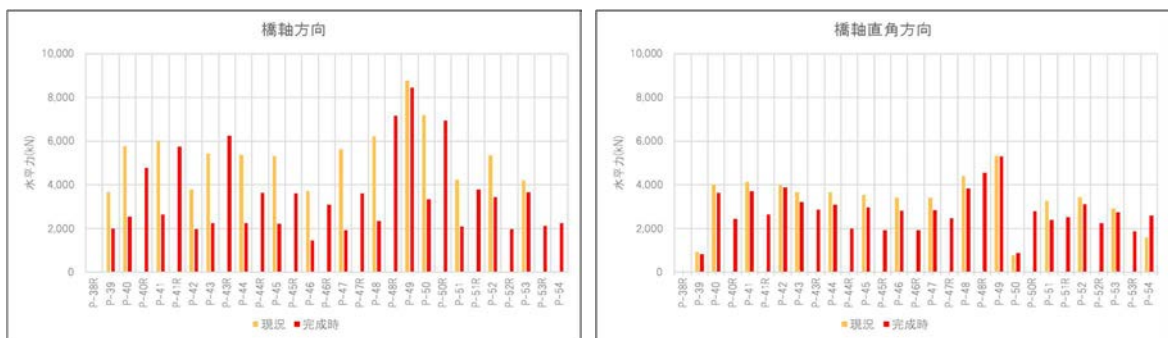


図 - 15 各橋脚の負担する地震時水平力 (現況と完成時の比較)

4. 制約条件下における施工概要

工事は2020年12月に着手し、高速道路直下の中央大通り（大阪市道築港深江線）西行き本線1車線、側道半車線と歩道の一部に終日固定規制を設置して橋脚梁部の拡幅を進めてきた。2022年7月現在、橋脚梁部の拡幅は概ね完成しており、高速道路上に終日1車線の固定規制を設置して、上部工の撤去および改築に着手している。

大阪都心部における高速道路供用下という狭隘な施工空間での大規模な改築工事の実施にあたり行った様々な対応について報告する。

4.1 RC 橋脚梁部拡幅

(1) RC 橋脚梁部拡幅

RC 橋脚梁部の拡幅にあたり梁端部の既設コンクリートを300 mm 研り、鉄筋を露出させる必要がある。施工場所は都市内かつ民家が近くにあるため、コンクリートを研る際は近隣への騒音を考慮し低騒音工法のウォータージェット工法を採用した。なお、上空にある桁にウォータージェットの研る音が跳ね返り、音が漏れ出してしまう懸念があったため、写真-2に示す通り、施工箇所だけでなく、周囲を桁まで覆うことで、跳ね返り音に対応した。また、露出した既設鉄筋と拡幅部の鉄筋の継ぎ手はエンクローズ溶接とした。配筋完了後、型枠を組立て、コンクリートを打設した。コンクリート打設においては、既設橋脚梁部にコンクリートを打ち継ぐ形での施工となるため、以下の点が懸念される。

- ・既設橋脚梁下面への狭隘な部分への打設となり、締固め作業が困難
- ・供用中の既設桁下空間での打設作業となるため、作業性が悪い
- ・コンクリート硬化後にPCケーブルでの緊張を行うこと、また新設桁を支持する箇所であるため、確実な打設コンクリートの充填が必須

以上より、未充填箇所が生じないように、使用するコンクリートは自己充填性、材料分離抵抗性に優れる高流動コンクリート（27-65-20BB）とした。また、狭隘な部分への打設状況を随時確認するために、写真-3に示すとおり型枠の一部に樹脂版による透明型枠を設置し目視による確認を行った。また、写真-4に示すとおり、コンクリート充填判定装置を使用した打設状況のモニタリングも実施し、充填状況を確認した。コンクリート充填判定装置は、空隙やジャンカ、ブリーディング等の未充填部分と正常に充填された箇所を瞬時に判定できる装置である。センサー先端からモルタルへ光を発し、モルタルから受光した色の違いから充填、未充填を判定する装置である。センサーは充填が困難と考えられる既設梁の根本部分に設置した。（図-16）

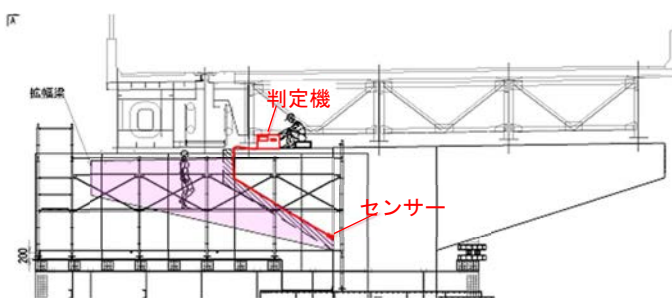


図-16 コンクリート充填判定装置の設置位置



写真-2 防音シートの設置状況



写真-3 透明型枠



写真-4 コンクリート
充填判定装置

(2) PC 外ケーブルの設置・緊張

拡幅桁の支点位置を既設桁と合わせるため、拡幅桁も加えた全ての常時最大荷重を RC 橋脚のみで支持することになる。そのため、拡幅桁分の死荷重が増加することになり、不足する RC 橋脚の曲げ耐力は PC 外ケーブルで補完する構造とし、常時荷重に対して成立する構造とした。なお、コンクリートの設計基準強度は既設部設計基準強度が 27 N/mm^2 であるため、同強度にて設計した。PC ケーブルの設置状況を図 - 17 に示す。PC ケーブル固定側端部とワイヤーロープを接続し、中央大通り側道側からクレーンでケーブルを巻き下げ、ウィンチでの巻き取りにて PC ケーブルを固定側定着装置まで引き込んだ。なお、引き込み時はローラーコンベアを架台上に設置しその上で引き込むことで施工性の向上を図った。

現場でのケーブル緊張状況を写真 - 5 に示す。現場での施工は、中央大通りの側道を通り止めし、ケーブル 4 本の緊張速度の違いにより偏心力を作用させないよう緊張ポンプは 1 台とし、ケーブル 4 本を同時に緊張できる能力をもった 4 連式油圧ポンプを使用した。夜間の道路占用や施工性、作業スペース等を考慮し、緊張は側道側からの片引きとした。また、油圧ジャッキの圧力を 5 MPa 毎加圧させケーブルの伸び量を確認しつつ、管理図にプロットしていくことで緊張に異常がないかを確認しながら作業した。ケーブル 1 本あたり約 2800 kN (約 64 MPa) のプレストレスを導入し、写真 - 6 の通り設置を完了した。

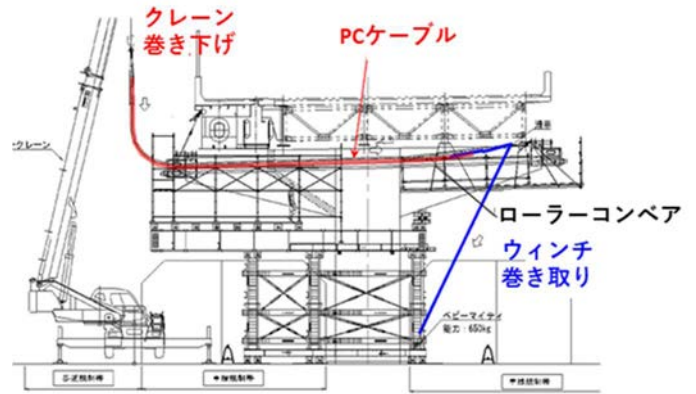


図 - 17 PC ケーブルの設置状況



写真 - 5 PC 外ケーブルの緊張状況



写真 - 6 PC 外ケーブルの設置完了状況

4. 2 鋼製橋脚梁部拡幅

(1) 仕口部材の設置

図 - 18 のとおり、鋼製梁を拡幅するにあたり、既設鋼製橋脚との取り合い部分に仕口部材を設置した。仕口部材を設置せずに既設鋼製橋脚から直接拡幅梁を架設する場合、梁の拡幅を一夜間で行うことができる利点があるが、既設鋼製橋脚と拡幅梁の添接は現場合わせとなるため、取り合い部分の不具合発生の懸念があり、精度の面で不安がある。また、不具合があった場合は現場での調整作業に大幅な時間がかかる恐れがあり、多軸台車に拡幅梁を搭載した状態では施工ヤード内が狭く退避場所がないため、夜間の規制時間内に

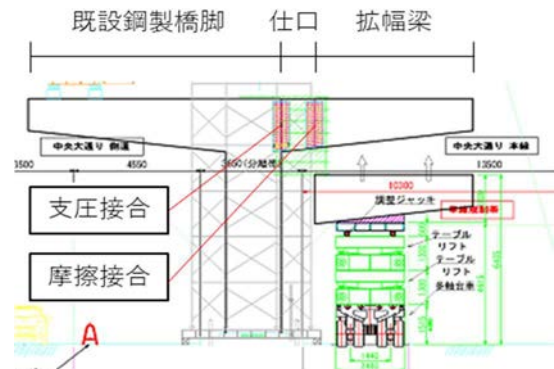


図 - 18 鋼製橋脚の拡幅部材および接合方法

交通規制を開放できないことが懸念される。

そこで、施工ステップは増えるものの、仕口部材を既設鋼製橋脚と拡幅梁の間に設置し、製作工場において仕口部材と拡幅梁を仮組立することで部材精度を予め確認した。これにより、現場での拡幅梁架設をスムーズに行うことができた。

(2) 多軸台車での梁架設

仕口部材および鋼製梁の架設は、供用中の高速道路桁下という施工条件のため、クレーンによる架設はできない。そこで、クレーンを使用せず安全かつ迅速に架設できる方法として、写真-7 に示すとおり、多軸台車によるジャッキアップ架設を実施した。

多軸台車は積載能力 164 t の 3 軸車を 2 台連結し 6 軸車とした。また、多軸台車にテーブルリフトを上下に 2 台設置し、1 台当たりのストローク量は 2.1 m、昇降能力は 1 台当たり 250 t で、上部のテーブルリフトには橋軸方向に ±50 mm、橋軸直角方向に ±80 mm、微調整をすることが可能な xy 調整装置を 4 基設置した。(図 - 19)

拡幅梁の架設は、多軸台車で架設箇所近辺の所定の位置に到達後、あらかじめ路面に墨出しをした野書線上を多軸台車が走行するように振り子を使用して慎重に架設箇所直下へ走行し。約 8 t の拡幅梁を 2 台のテーブルリフトで 3 m 程度ジャッキアップすることで架設した。垂直方向の調整はテーブルリフト、水平方向の調整は多軸台車の移動、加えて、水平方向の微調整は xy 調整装置を使用して架設した。

なお、架設は夜間に中央大通り本線 4 車線のうち 3 車線を規制（うち 1 車線は固定規制）し、仕口部材を架設した後に、別日に拡幅梁を架設し、それぞれ 1 夜間 1 脚ずつ実施した。

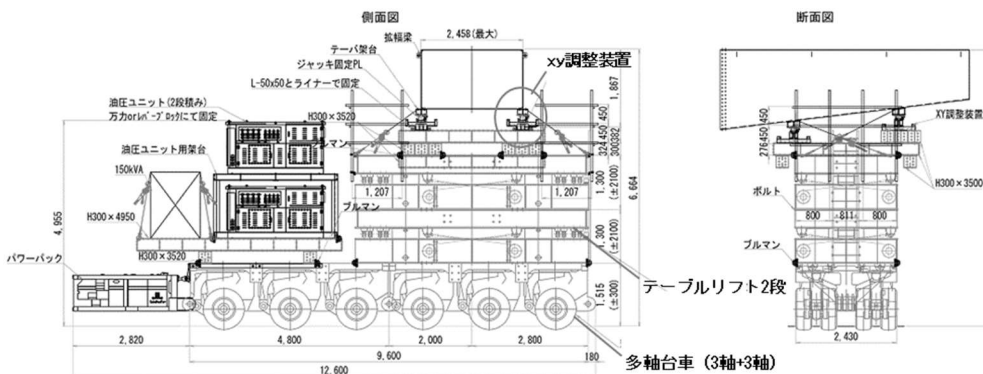


図 - 19 拡幅梁の積載状況図

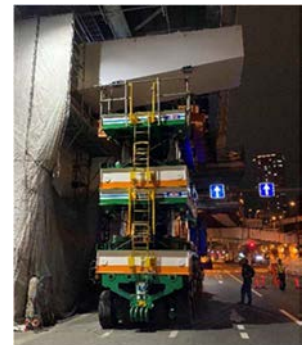


写真-7 多軸台車による拡幅梁架設

4. 3 上部工改築

本工事では縦目地構造の解消のため、基本的に拡幅桁は撤去し、新設桁に架け替えて支点を統一することでたわみ差を解消し、床板を連続化させる。しかし、東上 P-49～東 P-50 間は交通量の多い交差点上にあり、桁の架け替えに伴う交通規制は社会的影響が非常に大きい。そこで、当該区間だけは桁を架け替えせず、既設桁を流用して支点を統一する構造に改造することで、一般道路への交通影響を最小限に抑えることとした。また、縦目地を取り除いた範囲には既設同士を繋ぐ鋼床版を採用した。

既設桁を流用するにあたり、次の改造を行った。

- ① 本線桁と同じ長さにして支点位置を合わせるため、支間の長い拡幅桁を切断
- ② 先に拡幅した RC 橋脚梁部で支えるため、桁の支点部を補強
- ③ 本線桁と横桁にて連結
- ④ 既設同士を結ぶ鋼床版を製作

なお、既設桁は建設ときに製作キャンバーが設けられており、支間を短くするとこれが残ること（以降、残キャンバーと呼ぶ）が、流用する上での課題となった。

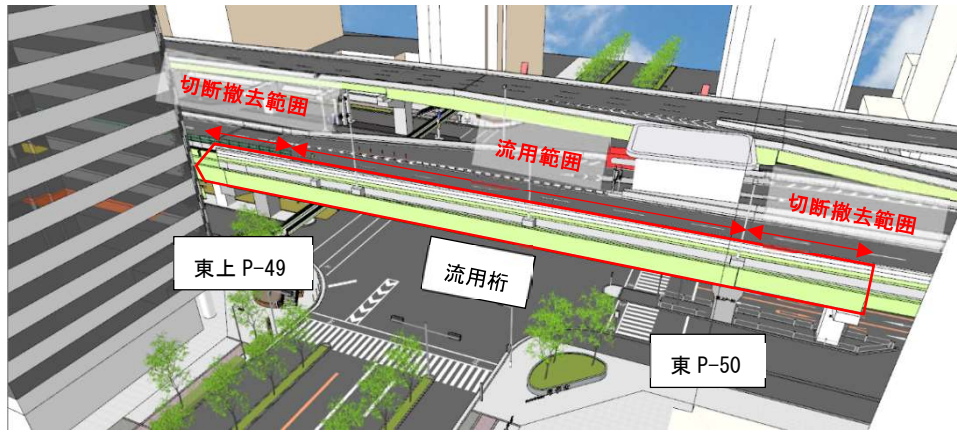


図 - 20 東 P-49～P50 間流用桁の状況

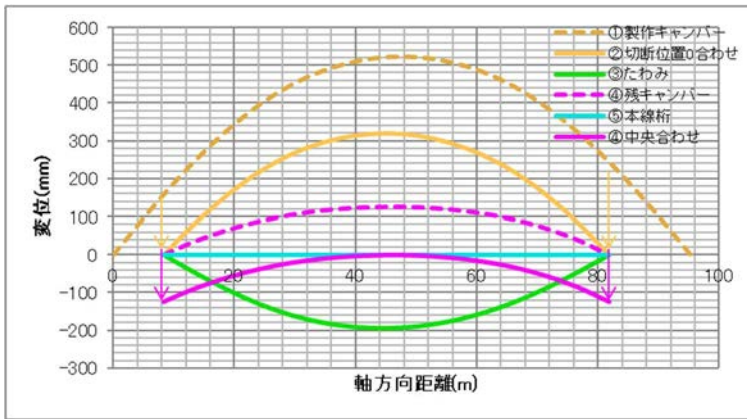


図 - 21 残キャンバーの概念図

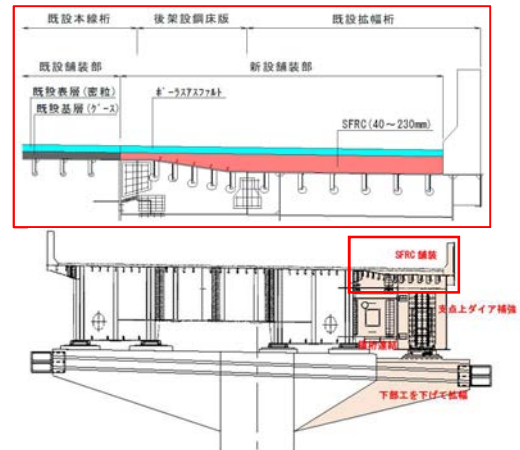


図 - 22 流用桁上の SFRC 舗装

課題解決のため実施した対策は以下の通りである。

- ・残キャンバー縮小および本線桁への応力負担を軽減するため、拡幅桁の切断後、壁高欄等の上載荷重を先に載荷して流用桁をたわませてから横桁を連結することとした。
- ・舗装厚を確保するため、残キャンバーの頂点で本線桁との高さを合わせた。(桁全体を下げた)
- ・支点を下げるため、下部工の拡幅を段落とした。
- ・支点部は舗装厚が厚くなり、わだち掘れの懸念があるため、基層を通常のグース As でなく SFRC 舗装とした。また、これにより既存鋼床版の疲労対策として副次的なメリットも期待できる。

5. おわりに

阪神高速道路の大規模更新・修繕事業は、安全・安心・快適を未来に繋げるため必要不可欠な事業である。何れの事業も都市部の狭隘な空間での工事となり、交通影響や騒音・振動等に対する対策を十分に行いながら進めなければならない。

今回報告したような、設計および施工における、できる限りの様々な工夫を行うことで、高速道路をご利用されるお客さま、並びに沿道にお住まいの皆さまのご理解、ご協力を得られるように、関係機関との調整を進め、早期完成を目指して事業を進める所存である。

参考文献

- 1) 高村義行, 大坪英一, 崎谷 淨: 阿波座縦目地の改良効果, 阪神高速道路第 42 回技術研究発表会論文集, 2010
- 2) 阿波座縦目地解消にかかる大規模修繕工事の設計概要, 阪神高速道路第 53 回技術研究発表会論文集, 2021