

第二京阪道路 門真高架橋西（鋼上部工）工事の設計・施工

Design and Construction of Kadoma Viaduct on Daini-Keihan Expressway

Une Kouji
宇根 孝 司*

Tonegawa Taro
利根川 太 郎****

Nobunaga Hirobumi
信 永 博 文**

Nakamura Hiroshi
中 村 宏*****

Ohshiro Takeshi
大 城 壮 司***

Mine Katsuhide
三 根 克 秀*****

ま え が き

第二京阪道路は、近畿地域における二大都市圏である京都市圏・大阪都市圏間を結ぶ延長約28.3 kmの6車線の自動車専用道路であり、今回供用となる枚方東IC～門真JCT間は、第二京阪道路のうち先行して一部供用している巨棕池IC～枚方東IC間に直結し、近畿自動車道と連結する門真JCTに至るまでの延長約16.9 kmの区間である（図-1）。

本報告では、門真JCTの手前に位置し、専用部（高速道路）、一般部（国道1号）の上下線約1 km区間の鋼・コンクリート複合橋脚、本線およびランプ部高架橋から構成される門真高架橋西（鋼上部工）工事について、設計、施工概要を報告するものである。

1. 工 事 概 要

本工事の全体一般図を図-2に示す。本工事範囲（P50～P67）には、ON・OFFランプおよび一般国道の高架橋、本線高架橋が輻輳した構造となっている。また、架橋条件より、3基の鋼・コンクリート複合橋脚が採用されている。

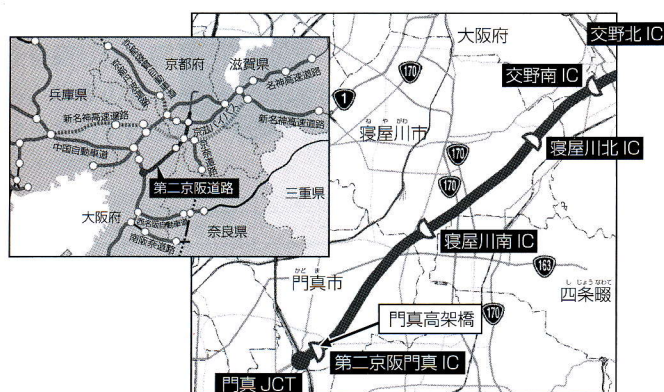


図-1 路線の概要

* 西日本高速道路(株) 枚方工事事務所 門真東工事長
** " " " 門真東工事区
*** " " 関西支社 構造技術グループ サブリーダー
**** 横河住金ブリッジ・横河工事JV 設計部会
***** " " 製作部会
***** " " 現場代理人

2. 鋼・コンクリート複合橋脚の構造検討

2-1 構造概要

本工事範囲の橋脚3基は、交差道路の交差点周りの制約や上下線とランプを支持する構造とする必要があったことから鋼製の梁を有する橋脚が選定された。鋼・コンクリートの接合部の構造については、図-3に示す形式で比較検討を行い、鋼柱被覆形式の構造が採用された（図-3, 4）。

2-2 応力伝達機構の把握¹⁾

本構造形式の採用にあたって、類似の構造（合成柱）を参考としたが、既往の構造は、隅角内充填コンクリートが端部ダイヤフラムによって拘束されていることが特徴である。一方、当工区で採用した形式は、設計要領²⁾に示す鋼製柱形式（せん断遅れ考慮）の柱が外側に配置されたタイプである。このため既往の類似構造がなく、FEM解析による複合部の応力伝達機構の把握を行い、定着長の選定、構造の把握を行った。対象部位および解析モデル概要を図-5に示す。

3. プレキャストPC床版の連続合成桁への適用性検討

3-1 概要

鋼少数主桁橋にプレキャストPC床版（以下、PCa床版）を採用した場合、施工期間の短縮、施工の合理化、品質の向上が図られ、更なる鋼連続合成桁橋の構造合理化に寄与できるものと考えられる（図-6）。

さらに、ひび割れ幅制御設計によりPCa床版に橋軸方向プレストレスを導入しない場合には、床版施工の簡素化が図られ、工期の大幅な短縮が可能となること、長期間の供用を経て床版が損傷した場合でも、床版の部分的な取替えが容易であるなどのメリットが生じる。一方で、「PCa床版」、「鋼連続合成桁橋」および「ひび割れ幅制御設計」の組み合わせでは各種の課題があり、設計方針を確認する必要がある。

キーワード：鋼連続合成桁橋、PCプレキャスト床版、合成桁模型実験、鋼・コンクリート複合橋脚

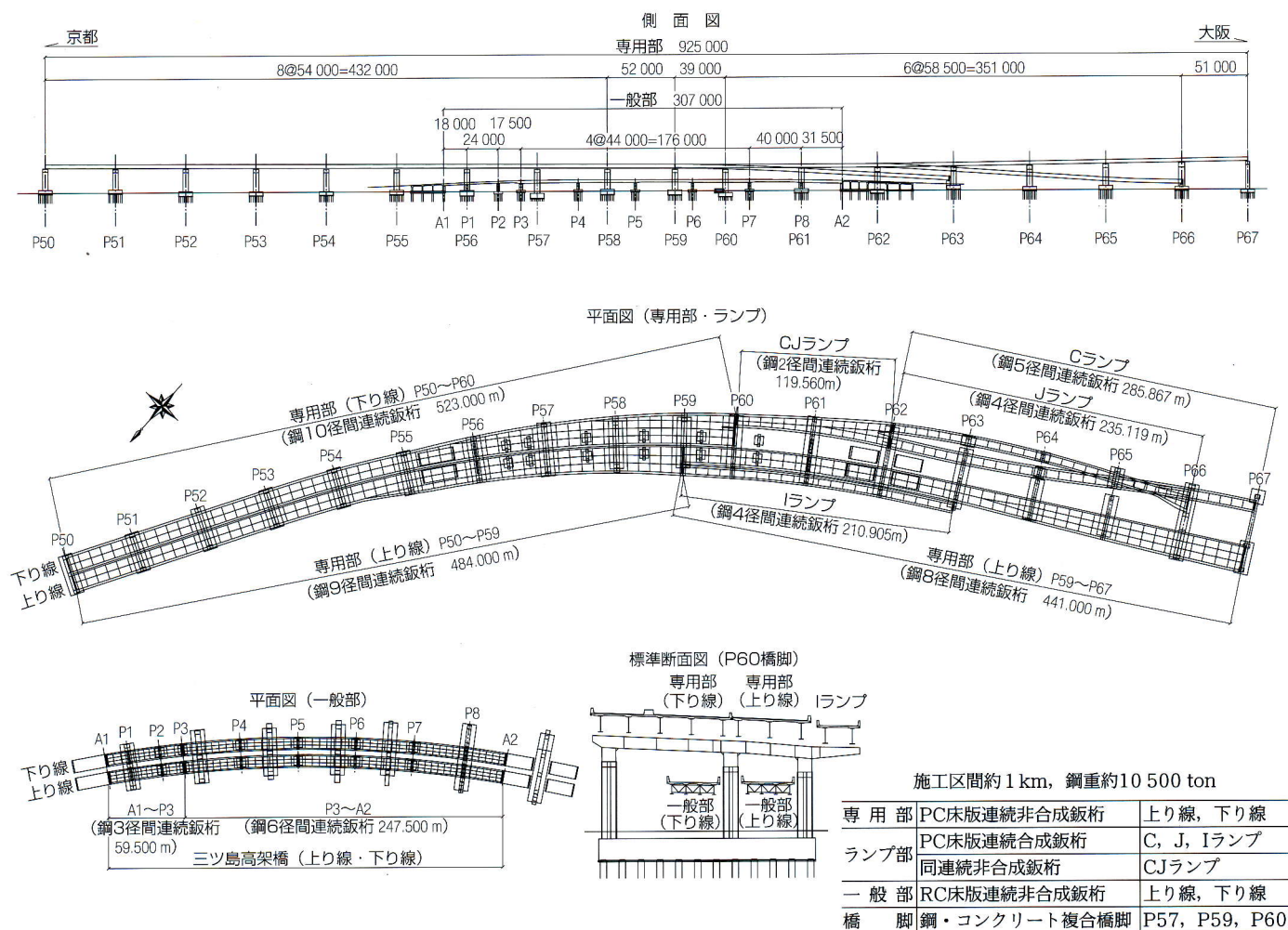


図-2 全体一般図

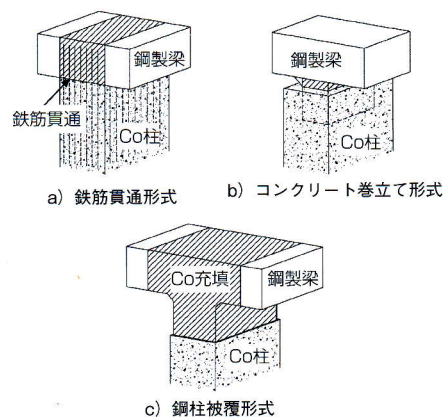


図-3 橋脚接合部の比較検討

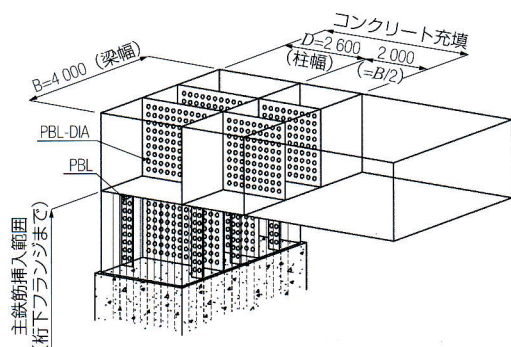


図-4 橋脚接合部のイメージ

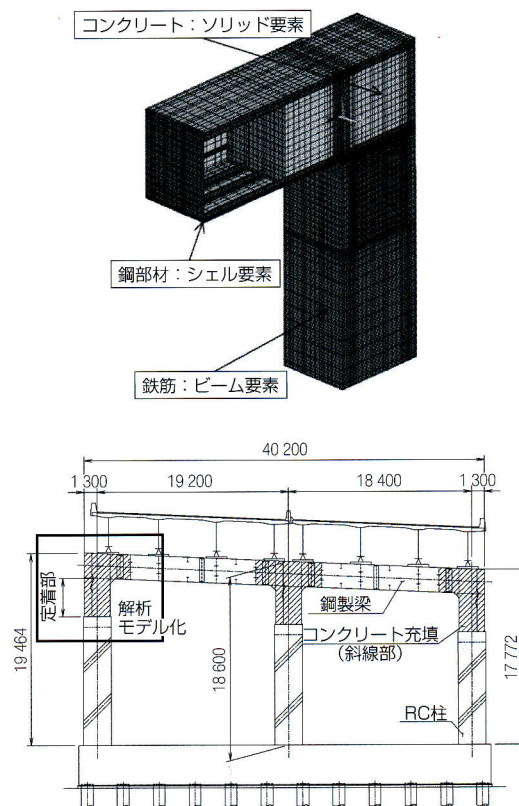


図-5 対象部位および解析モデル概要

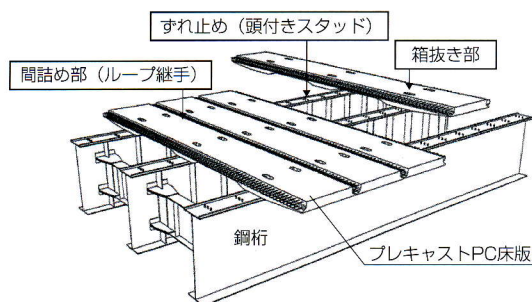


図-6 PCa床版合成桁の概要

以上の背景をもとに、筆者らはPCa床版連続合成桁橋を適用することを目的に、スタッドの押抜き実験、さらに、スタッドの橋軸方向間隔を800 mmまで拡大した場合の合成桁の正曲げ実験、合成桁の負曲げ実験を実施した。

3-2 スタッドの押抜き実験³⁾

PCa床版では箱抜き孔内にスタッドを配置する必要があるが、従来の設計法では、合成桁として多数のスタッドが必要であること、道路橋示方書のスタッドの橋軸方向最大配置間隔(600 mm)で配置した場合、箱抜き孔も多数必要となり、PCa版としての構造が成立しないという課題があった。このため実橋で用いるM24ねじスタッドのせん断耐力について、スタッドの押抜き試験により評価した。実験の結果を下記に示す。

- (1) せん断耐力を文献⁴⁾に従い評価することが可能(許容せん断力は、この実験で得られたせん断耐力式をもとに設計した)。
- (2) ねじスタッドは有効断面積で評価する。

3-3 合成桁の正曲げ実験⁵⁾

PCa床版にスタッドの箱抜きを配置した場合、最大ピッチを道示の最大ピッチ(600 mm)より大きく、800 mm程度まで広げる必要がある。スタッドを密にグループ化して配置した場合、合成桁としての挙動に問題がないか、合成桁を模擬した正曲げ実験結果により、通常スタッド配置とグループ配置(スタッドピッチ800 mm)との比較では、荷重変位関係などのマクロな挙動については差異はないことを確認した。

また、別途実施した弾塑性FEM解析により挙動の差異を検証した。図-7に示すとおり、実験および解析においても、 $P-\delta$ の傾きに大きな変化が見られないことから、スタッドのずれ限界の荷重において、ずれがほぼ認められな

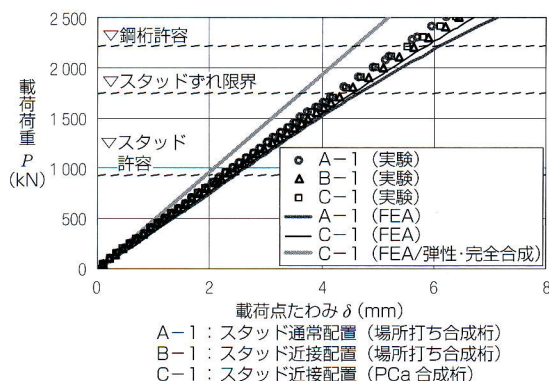


図-7 各試験体の載荷点たわみ

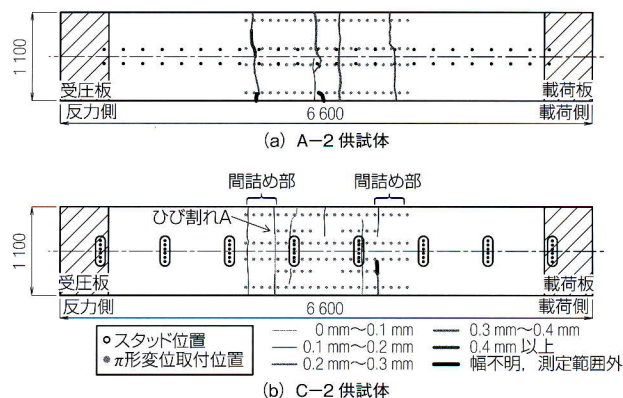


図-8 ひび割れ図(鉄筋応力度=140N/mm²時)

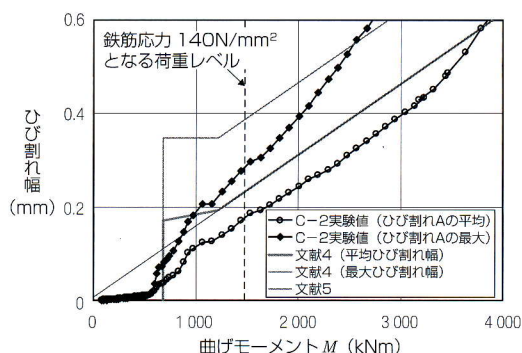


図-9 間詰め部のひび割れ幅(C-2)

いことが分かる。今後は、別途スタッドの疲労強度特性について十分検討が必要であるものの、更なる合理化(本数削減)の余地があるものと考えられる。

3-4 合成桁の負曲げ実験結果⁶⁾

前述のとおり、合成桁が負曲げを受ける中間支点付近において、プレキャスト部や間詰め部(場所打ち部)のひび割れ性状は十分には明らかにされておらず、これを把握しPCa床版のひび割れ幅制御の考え方を実験結果等を分析して、整理する必要があった。

ここでは、3-3と同様にスタッドの配置と床版形式(場所打ち、またはPCa)に着目し、静的曲げ実験を行った。図-8にひび割れ状況図を示す。また、載荷荷重と間詰め部のひび割れ幅との関係を図-9に示す。

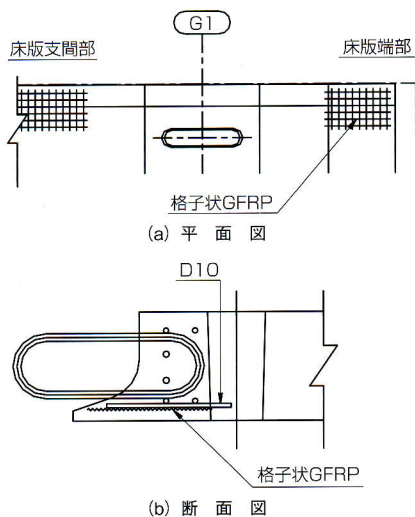
PCa床版合成桁モデル試験体(C-2)は、場所打ち合成桁モデル試験(A-2)と比較して、間詰め部の打ち継目でひび割れ幅が大きくなる傾向があるが、場所打ち床版を対象とした初期ひび割れを考慮したひび割れ幅算出式⁷⁾と実験結果との対応は良好であることが分かった。

以上のことから、PCa合成桁であってもひび割れ間隔を適切(間詰め部においては、間詰め幅をひび割れ間隔とする)に設定することにより既往のひび割れ幅照査方法が適用可能である。

4. 上部工の設計概要

4-1 合成桁の設計

鋼主桁については、経済性および疲労耐久性向上を図るため設計要領²⁾に準じた薄肉少補剛設計にて設計を行った。また、実験結果よりPCa床版をプレストレスしない



※格子状GFRPはD10に固定する
図-10 PC床版アゴ部剥落防止対策

連続合成桁に適用することを検討した。

本工事範囲の合成桁橋梁は、スパンが概ね55～60 m程度あること、8 m遮音壁などの設置から死荷重に占める後死荷重の比率が比較的大きいことなどから、負曲げ部においては、主桁作用と床版作用の重ね合わせ応力度の照査にて鋼桁断面が決定した。

4-2-1 PCa床版の設計概要

PCa床版の設計は、橋軸直角方向をPRC構造、橋軸方向をRC構造とし、版同士の橋軸方向継手構造はRCループ継手とした。RCループ継手構造の型枠として設けられるアゴ形状部には剥落防止対策として格子筋状のガラス繊維補強材を先端付近に配置した(図-10)。

版の割付けは、支間部に長方形の標準版を設置し、平面曲率の影響は中間支点付近に台形形状のPCa床版を配置して調整した。

なお、合成桁に適用する版は、正曲げ実験を反映し、スタッドピッチを800 mmとして箱抜きを設定し、パネル長さを2.4 m (0.8×3倍)とした。

4-2-2 床版横締め、グラウト

本橋は、本線とランプの分岐等の影響で幅員が拡幅する部分があり、輸送上の制約からある区間でプレキャストPC版に縦目地を設けて橋軸直角方向に分割する必要がある。分割したPC版単体には、輸送、架設段階で必要となるプレストレスを工場プレテンション方式で導入し、架設後に床版全幅にわたって現場ポストテンション方式でプレストレスを導入して一体化を図る方針とした。現場ポストテンション用PC鋼材の配置は、グラウトの充填性を考慮して直線配置とした(図-11)。

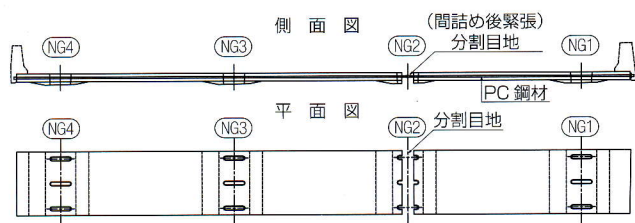


図-11 PCa床版分割版

4-2-3 PCa床版適用の今後の課題

国内においては、場所打ち床版連続合成桁においても、重ね合わせ照査を満足させるため、諸外国と比較してもかなり大きな鉄筋比を採用しており、鉄筋比の制約を受けるPCa床版合成桁では今後の課題は下記のとおりであると考え。

- 重ね合わせ時の鉄筋応力度制限値
- 太径鉄筋 (D22以上) のループ継手の疲労耐久性検証と、間詰め部の構造詳細 (曲げ半径、間詰め幅、およびそれらの算出の前提となる鉄筋応力度) の検討
- 妥当なひび割れ幅制限値の採用
- 橋軸方向鉄筋がジベル孔で分断される部分の合理的な補強方法の検討

実橋においては、現場工程上の理由から上記の課題を検証する時間的余裕がなかったため、正曲げ部をPCa床版、負曲げ部を場所打ち床版とした合成桁構造を採用した。負曲げ部も含めたPCa床版合成桁の採用は、これらの課題を解決することで、今後対応していく予定である。

5. 工場製作

5-1 複合橋脚の製作

5-1-1 耐疲労鋼の適用検討

コンクリート充填構造ではあるが、充填によって将来的な隅角部の目視確認が困難となることから、隅角部に耐疲労鋼⁸⁾ (NETIS KK-070020-A) を採用した。構造概要を図-12に示す。

また、累積損傷度評価による寿命延伸効果の確認を、フィ

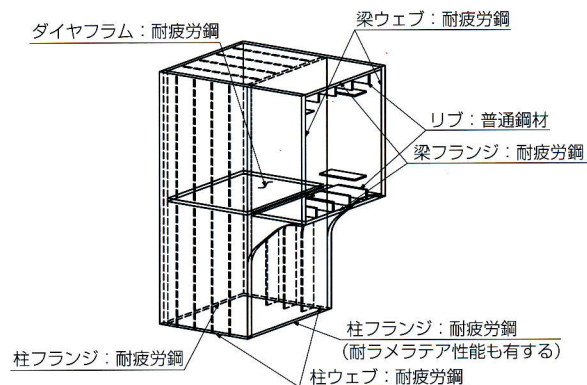


図-12 隅角部構造の概要

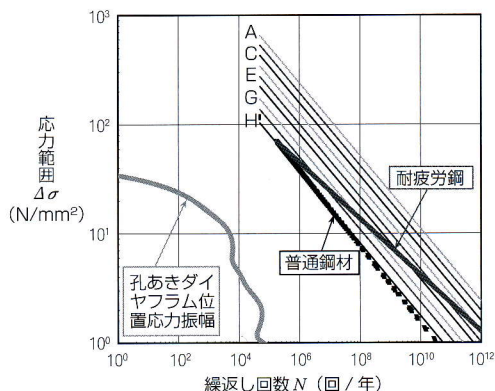


図-13 応力範囲とS-N線図

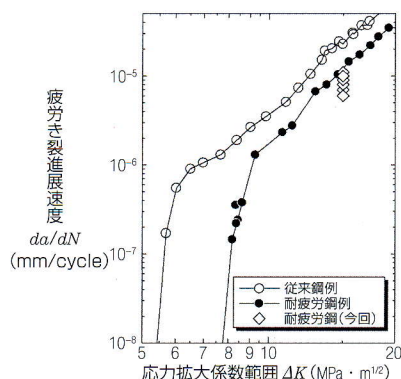


図-14 耐疲労鋼と従来鋼の疲労き裂進展特性

レット部のHSS (Hot Spot Stress) により評価した。通常、鋼と比較して約3倍程度以上の疲労寿命を確保できる試算結果となった⁹⁾(図-13)。

5-1-2 耐疲労鋼の性能確認

耐疲労鋼は、き裂進展速度が従来鋼より低減できることを特徴としている。このため本鋼材の耐疲労特性の性能確認を疲労き裂進展速度評価 (ASTM E647) により行った。下記にき裂進展速度 da/dN を縦軸に、応力拡大係数 ΔK を横軸にとった、き裂進展特性の結果をプロットしたものを図-14に示す。

耐疲労鋼は、一般の鋼材で知られているき裂進展速度の概ね1/2程度以下の値となり、耐疲労特性に優れていることが分かる。

5-1-3 実仮組立時の配慮事項

複合橋脚の鋼部材の製作にあたり、RC柱部の出来形を反映した製作が必要である。本工事においては、現地コンクリート柱間隔の出来形を反映させるため調整ブロックを設け、現地実測後、調整ブロックの余長の切断を行った。複合部についても、コンクリート柱側の鉄筋位置を実測し、定着板 (孔あき鋼板ジベル) と鉄筋が干渉しないように調整した。

また、現場溶接を考慮した製作キャンバーにより近づけるため、調整ブロック連結部にダミーSPLを使用し、仮組立て時にキャンバーを調整後、隣接ブロックの孔間隔を測定し、正規SPLの加工に反映した。

5-2 鋼上部工の製作

5-2-1 仮組立てシミュレーションと部分実仮組立ての併用

本橋は、本線とランプの分岐等の影響で鋼桁は分岐構造となっており、実仮組みにて精度確保を図る必要があったが、仮組立てシミュレーションのデータとを組み合わせることで常に橋梁区間全体での出来形をイメージすることができ、架設時期、区間が異なっても全体出来形精度を確保できた。

5-2-2 PCa床版との取合い詳細

本橋梁は、プレキャスト床版を採用した構造としては、比較的線形が複雑であったため、プレキャスト床版の割付けから決定されるスタッド位置とHTB接合部の取合いが複雑となるが、ジベル位置ライン線形を考慮し、主桁HTB配置を微調整することで対応した。

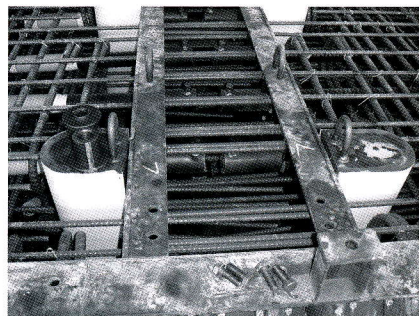


写真-1 縦目地部

5-3 PCa床版の製作

5-3-1 製作工程

本橋は、本線部で587枚 (うち201枚は分割版)、ランプ部で185枚、合計772枚のPCa床版を約9ヵ月で製作した。このため1工場では製造が困難なため3工場同時に、3枚/日の製作で対応した。

5-3-2 分割版の製作

分割版の製作は、縦目地部の重ね継手用鉄筋配置、ポストテンション用シース管の通りを考慮した製作を行うため、現地設置状態と同じ縦目地幅を設けた型枠を製作し分割版1枚 (1枚は分割版1組を表すので版としては2枚) を製作した。縦目地部の配筋状態を写真-1に示す。

6. 現場施工

6-1 概要

本橋は水路・一般道・送電線などと複数箇所で交差しており、施工条件に多くの制約があった。また、関連工事との調整や道路切替えの予定などから、約17ヵ月の間に複合橋脚および上部工の施工を行う必要があった。現場工程を表-1に示す。

6-2 複合橋脚施工

6-2-1 複合橋脚の架設

複合橋脚は、輸送の制約から断面を2分割する構造とした。そのため部材は現場で箱形状に地組立てを行った後、360t吊り～550t吊りトラッククレーンで架設を行った。また、架設作業・形状管理を容易にするため、梁部に仮受ベントを設けて中柱から外側へ架設を行い、落とし込みブロックを設けない施工順序とした。図-15に橋脚の施工要領を示す。

6-2-2 充填コンクリートの施工

隅角部の充填コンクリートは、締固めが困難なことから

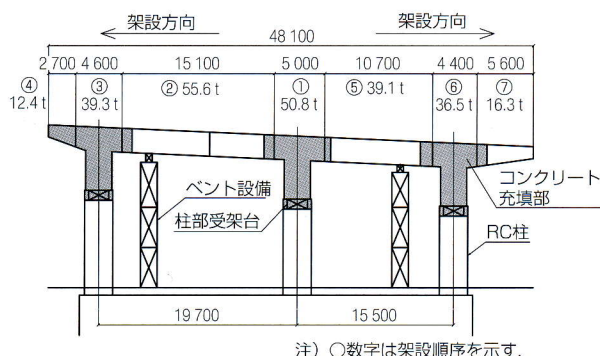


図-15 複合橋脚の施工要領

表-1 現場工程

		2008年												2009年												備考
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12							
複合橋脚					P57, P59, P60																					
専用部・ランプ				上り線P50～P59, P59～P67																						
					下り線P50～P60																					
										Jランプ																
												Cランプ														
一般部				上り線A1～P3, 下り線A1～P3																						
										上り線P3～A2																
													下り線P3～A2													
施工数量	鋼桁・複合橋脚 (t)		151	548	709	619	820	713	1 094	1 312	1 010	593	896	875	1 187					計10 527 t						
	プレキャスト PC 床版 (パネル)											184	179	287	191	131				計972パネル						
	現場打ちコンクリート (m³)							291	329	472	324	244	541	696	1 166	1 137	1 516	1 703	469	計8 888 m³						

表-2 高流動コンクリートの配合

材齢28日における 圧縮強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	水結合材比W/(C+E) (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能 AE 減水剤	膨張材 E	石灰石 微粉末
30	20	60	4.5	47.8	51.0	165	325	826	820	5.5	20	155

自己充填性を有する高流動コンクリートを使用した。配合を表-2に示す。

充填部は断面4.0×2.6 m、高さ6.4 mの大きさで、水和熱による初期ひび割れが懸念された。そこでセメントの水和反応時の非線形性を考慮したFEM解析を行い、打設ステップを決定した。解析モデルおよび解析結果を図-16に示す。施工においては、鋼殻上面に打設孔および空気抜き孔を設けて充填確認を行った。

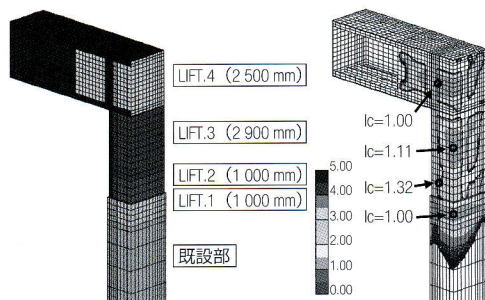


図-16 温度応力解析

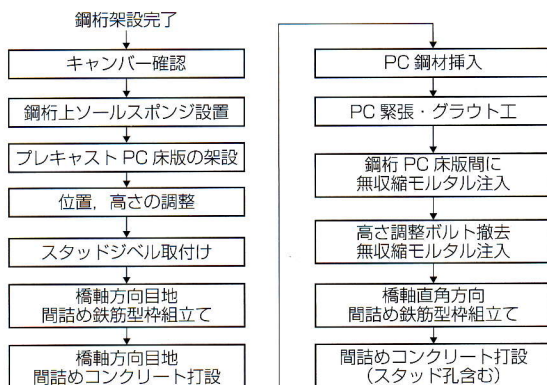


図-17 分割床版部の施工順序

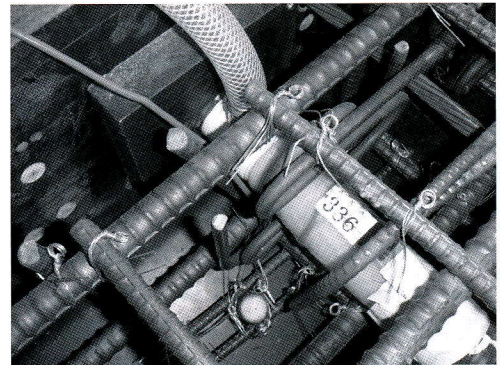


写真-2 MSセンサー設置部

6-3 桁架設工

桁の架設は、トラッククレーンベント工法により行った。本工事区間は一般部と専用部の2層構造となっていることから、上層の専用部の架設には門形状の仮受ベントを設置した。

6-4 プレキャストPC床版工の施工

6-4-1 拡幅部分割PC床版の施工

ランプが接続する本線部は幅員(版幅)が標準幅約16 mから徐々に拡幅し最大で25 m程度となることから、輸送制限を超えるPC床版は左右分割する構造とした。

分割版の接合は、床版製作時にあらかじめ配置したシース管内にPC鋼より線(1S28.6)を挿入し緊張を行った。緊張後のPCグラウトの充填管理については、注入時の熱伝対式放熱抵抗センサー(MSセンサー)および硬化後の広帯域超音波法による確認を行った。

あとがき

工期が非常に制約されていた中での現場作業であったが、無事工期内での竣工となった。最後になりましたが、鋼連続合成桁橋の構造合理化に関する技術検討委員会(委員長 長井正嗣 長岡技術科学大学教授)の委員の方々に

は大変お世話になりました。この場をお借りして謝意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 松野正見, 宇根孝司, 大城壮司, 利根川太郎, 上條 崇: 鋼・コンクリート複合橋脚の隅角部の設計, 土木学会第64回年次学術講演会 (2009.9)
- 2) 西日本高速道路 (株): 設計要領第2集 (2007)
- 3) 井ヶ瀬良則, 山浦明洋, 上條 崇, 奥井義昭, 長井正嗣: プレキャスト床版連続合成桁のスタッドに関する実験, 土木学会第64回年次学術講演会 (2009.9)
- 4) 土木学会: 鋼・合成構造標準示方書 (2007年制定), pp. 257~260 (2007.3)
- 5) 井ヶ瀬良則, 上條 崇, 山浦明洋, 和内博樹, 長井正嗣: プレキャスト床版連続合成桁の正曲げ実験および解析, 土木学会第64回年次学術講演会 (2009.9)
- 6) 井ヶ瀬良則, 利根川太郎, 山浦明洋, 岩川貴志, 長井正嗣: プレキャスト床版連続合成桁の負曲げ実験, 土木学会第64回年次学術講演会 (2009.9)
- 7) 長井正嗣, 奥井義昭, 岩崎英治: 連続合成桁の初期ひび割れ状態を考慮したひび割れ幅, 鉄筋応力算定法の一提案, 土木学会論文集, No. 759/I-67, pp. 283~292 (2004)
- 8) 住友金属工業 (株): 耐疲労鋼 (パンフレット)
- 9) 前田隆雄, 宇根孝司, 大城壮司, 利根川太郎, 松野正見: 鋼・コンク

リート複合橋脚への耐疲労鋼の適用, 土木学会第64回年次学術講演会 (2009.9)

〔プロジェクトデータ〕

工 事 名: 第二京阪道路門真高架橋西 (鋼上部工) 工事
所 在 地: 大阪府門真市北島~三ツ島
橋 長: 上り線484.0 m+441.0 m, 下り線523.0 m
構 造 形 式: 鋼非合成鉄桁 (PC床版) 4 橋
鋼連続合成鉄桁 (PC床版) 3 橋
複合橋脚 3 基, その他4 橋
荷 重: B活荷重
事 業 主: 西日本高速道路 (株)
基 本 設 計: (株)復建エンジニアリング, (株)日本構造橋梁,
開発虎ノ門コンサルタント (株),
三井共同建設コンサルタント (株)
詳 細 設 計: (株)横河住金ブリッジ・横河工事 (株) JV
施 工: (株)横河住金ブリッジ・横河工事 (株) JV
プレキャスト床版: (株)ピーエス三菱, 三井住友建設 (株)
落橋防止ケーブル: (株)エスイー
支 承: 東海ゴム工業 (株)
鋼製排水溝: (株)興和工業所
塗 料: 日本ペイント (株)
伸縮すべり止め処理: 山田金属防蝕 (株)
工 期: 詳細設計 2007年 3月~2009年 5月
工場製作 2007年12月~2009年 6月
施 工 2008年 8月~2010年 2月

強く、美しく、そして
環境に優しい橋梁塗料。

弱溶剤形塗装システム

ニッパ
ファイブシステム

フッ素系

デュフロン100ファイブ
デュフロン100ファイブ中塗
ハイボン20ファイブ

上塗り

中塗り

下塗り

ウレタン系

ハイボン50ファイブ
ハイボン30ファイブ中塗
ハイボン20ファイブ



日本ペイント株式会社

<http://www.nipponpaint.co.jp/>

お客さまセンター

☎03-3740-1120 ☎06-6455-9113



写真-1 鋼コンクリート複合橋脚

橋梁基礎

Kadoma Viaduct 門真高架橋

現場施工の大幅短縮と耐久性向上を
図った複合橋脚とPC連続合成桁構造

橋 名 | 門真高架橋
所 在 | 大阪府門真市北島～三ツ島
事 業 者 | 西日本高速道路(株) 関西支社
詳細設計 | 横河住金ブリッジ・横河工事JV
施 工 | 横河住金ブリッジ・横河工事JV

プロジェクト概要

第二京阪道路は、近畿地域における二大都市圏である京都市圏・大阪都市圏間を結ぶ延長約28.3 kmの6車線の自動車専用道路であり、一般国道1号の慢性的な渋滞解消をするとともに周辺道路の交通混雑を緩和し、既に供用している名神高速道路、京滋バイパス、近畿自動車道と一体となって近畿地方における幹線道路網を形成する道路である。

今回対象となる枚方東IC～門真JCT間は、第二京阪道路のうち先行して一部供用している巨椋池IC～枚方東IC間に直結し、近畿自動車道と連結する門真JCTに至るまでの延長約16.9 kmの区間である。

本工事の対象橋梁は、門真JCTの手前に位置し、専用部（高速道路）、一般部（国道1号）の上下線約1 km程度区間の鋼・コンクリート複合橋脚、本線橋およびランプ部高架橋から構成される。施工工期が非常に厳しい中、専用部およびランプ部においては、工期短縮や今後の維持管理性を鑑み、PCプレキャスト床版を有する連続鈑桁構造を採用している。

PCプレキャスト床版合成鈑桁構造の適用にあたっては、スタッドピッチやせん断耐力に着目した合成桁の模型実験、床版のひび割れ制御に着目した模型実験を実施し、構造の妥当性を確認している。

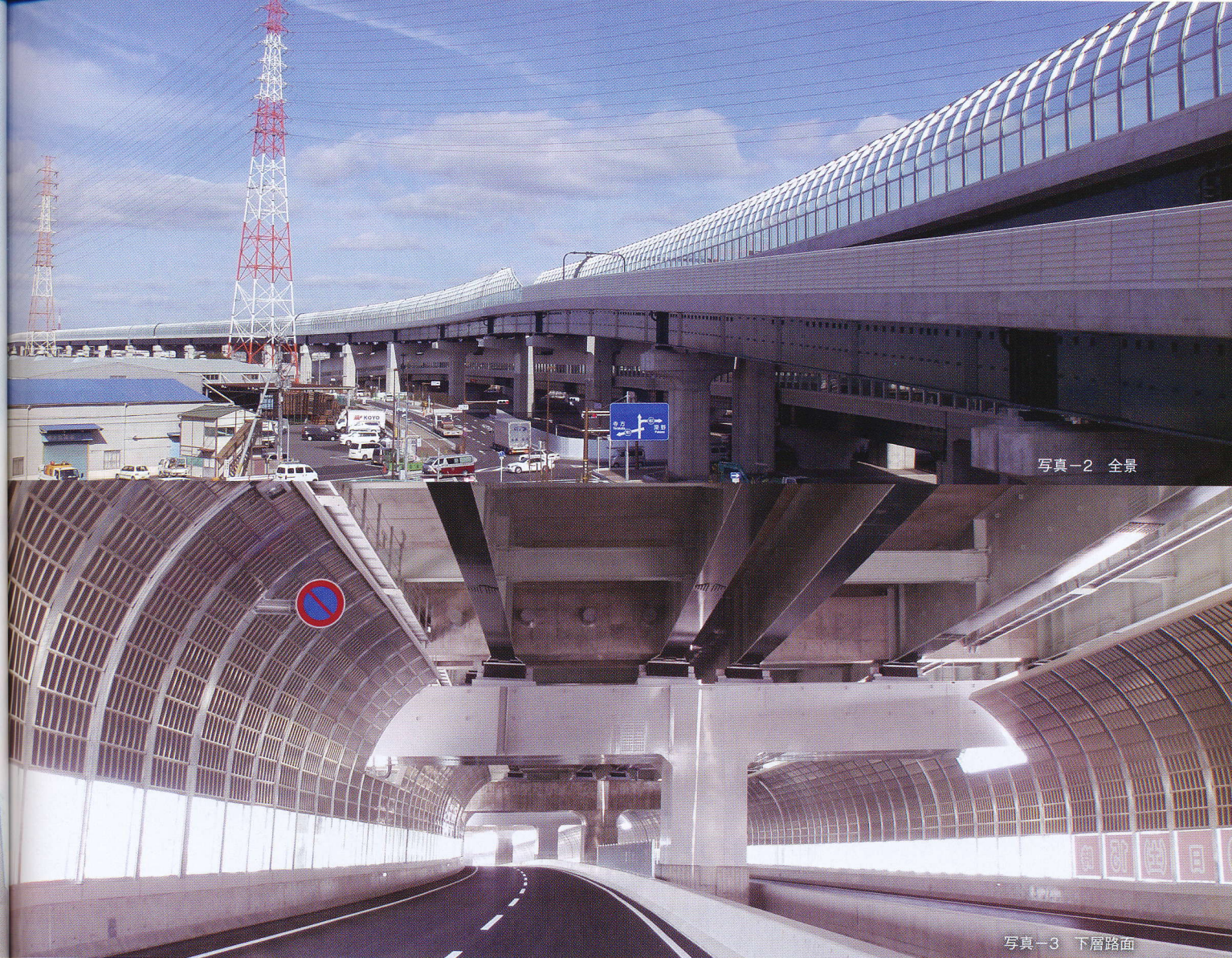


写真-2 全景

写真-3 下層路面

Project Summary

The Daini-Keihan Expressway is a six-lane motorway that extends roughly 28.3 km connecting the metropolitan areas of Osaka and Kyoto, the two major cities of the Kinki Region. Together with the existing Meishin and Kinki Expressways and the Keiji Bypass, it forms a highway network for the Kinki Region that alleviates traffic on the surrounding roads while eliminating chronic congestion on National Highway No. 1.

The Kadoma Viaduct section, from the Hirakata-Higashi Interchange to the Kadoma Junction, connects directly between the Oguraike and Hirakata-Higashi Interchanges—a section of the Second Keihan Road previously constructed and open to operation—and extends approximately 16.9 km from the Kadoma Junction that connects to the Kinki Expressway.

Located before the Kadoma Junction, this viaduct is comprised of an approximately 1km-long section with steel and concrete composite piers along the expressway and the outbound and inbound National Road No. 1 highway, the main bridge and a ramp viaduct. Under an extremely tight construction schedule, continuous I-girders using a PC precast slab were employed for the expressway and ramp sections in order to shorten the construction period and for operation maintenance.

Toward the application of a composite I-girder structure with a precast concrete slab, structural performance was verified through test models to investigate stud pitch and shear capacity for the composite girders, and crack width control in the PC slab.





写真-4 複合橋脚（RC柱部）



写真-5 複合橋脚の架



写真-6 Jランプ鋼桁の架設



写真-7 一般部鋼桁の架



写真-8 プレキャストPC床版据付け完了



写真-9 プレキャストPC床版分割部の間詰交差部



写真-10 Cランプ、Jランプ完成（連続合成鋼

橋梁 基礎



門真高架橋（大阪府）

橋梁と基礎 2010 vol.44

5