

新東名高速道路 佐奈川橋（仮称）の設計・施工

— 高橋脚 PC 箱桁橋の施工 —

相馬 良太*1・渋谷 和弘*2・戸張 正利*3・盛田 行彦*4

新東名高速道路佐奈川橋（仮称）は、総合評価落札方式における設計・施工一括発注（以下、DB）方式として上下部一体で発注された橋梁工事（土工区間含む）である。DB方式は、橋脚位置の選定など自由度が高い橋梁を対象としており、新技術や新工法を取り入れやすい特徴がある。本橋においても橋長とスパン割、構造形式は応札者が自由に設定可能であった。本橋は上下部分離構造で、与条件より日本有数の高橋脚橋梁になると想定されたため、耐震性・耐久性の確保と景観・環境に配慮し、橋長約700m、最大スパン142m、最大橋脚高89mのPRC6径間連続ラーメン箱桁橋を提案し受注に至った。

本稿は、佐奈川橋の工事概要、設計を含めた構造・技術的特徴さらに施工の概要について報告するものである。

キーワード：Super-RC構造、高強度材料、バケット打設、高橋脚

1. はじめに

新東名高速道路佐奈川橋（仮称）（以下、佐奈川橋）は2008年9月に中日本高速道路(株)名古屋支社（以下、NEXCO中日本）から管内4件目となる総合評価落札方式におけるDB方式にて発注された上下部一体発注の工事（土工区間含む）である。NEXCO中日本におけるDB方式は、橋脚位置の選定など自由度が高い橋梁を対象としており、新技術や新工法を取り入れやすいことから、より良い橋梁を採用しやすいという特徴をもっている。本工事でも発注時においては事業者案は示されず道路線形と道路種別、地形図、用地範囲および工事区間を付与するのみで、構造形式をはじめ橋長とスパン割ならびに使用材料等については応札者が自由に設定可能であった。

本橋は隣接両工区がトンネルとなる急峻な地形に位置しており、日本有数の高橋脚橋梁になると想定されたため、耐震性および耐久性の確保と景観および環境に配慮した設計を行った結果、橋脚には高強度鉄筋（降伏強度：685N/mm²）、高強度コンクリート（設計基準強度：50N/mm²）を用いたSuper-RC構造を適用した。上部工は波形鋼板ウェブ橋と比較して耐久性向上および工期短縮が図れ

るコンクリートウェブを有する箱桁構造とし、場所打ち張出し架設としては高強度となる設計基準強度50N/mm²のコンクリートを用いて部材厚を低減し、軽量化を図った。

施工面では、高さ60m以上となる6橋脚にクライミングフォームを用いて高所作業を低減させるとともに、上部工では最大16基の移動作業車を用いた張出し架設を行い、工期短縮を図った。基礎工においては環境配慮の観点から竹割り型構造物掘削工法を8橋脚で採用し、森林伐採範囲を工事用道路部分と一部施工ヤードのみに限定するなど、地形改変面積を縮小し自然環境を保護しながら工事を進めた。

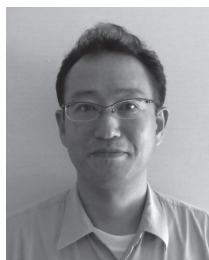
上記のような設計・施工上の取組みの結果、2009年10月の仮設工事着手から約3年で、架設物の設置撤去や付属物を含む上下部工全体を完成させ、約300日の工期短縮を達成した。また、本稿に記す技術的特徴等が評価され、2012年度の土木学会田中賞作品部門およびプレストレストコンクリート工学会賞作品賞を受賞している。

本稿では、佐奈川橋工事の要点、構造概要、技術的特徴、ならびにクライミングフォームとコンクリートバケットを用いた橋脚施工や上部工施工の施工方法、環境に配慮した土工部の施工などの概要について述べる。



*1 Ryota SOMA

鹿島建設(株)
土木設計本部



*2 Kazuhiro SHIBUYA

鹿島建設(株) 中部支店
男川浄水場JV工事



*3 Masatoshi TOBARI

鹿島建設(株) 東北支店
長部高架橋上部工工事



*4 Yukihiko MORITA

鹿島建設(株) 東北支店
月館高架橋上部工工事

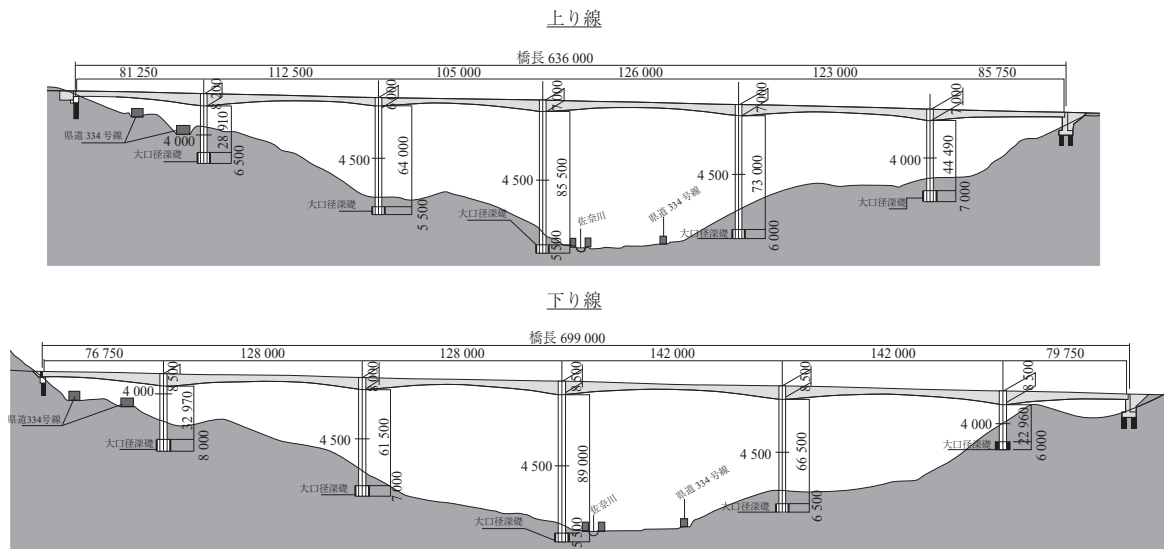


図 - 1 佐奈川橋一般図

2. 工事概要

2.1 全体工事概要

佐奈川橋は、愛知県豊川市の山間部を水源とし市内を流れる2級河川佐奈川を渡河する、橋梁区間（上り線：橋長636m、下り線：橋長699m）を主体とする工事である。図-1に本橋の一般図を示す。

工事概要を以下に記す。

発注者：中日本高速道路(株) 名古屋支社

設計・施工者：鹿島建設(株)

工事場所：愛知県豊川市千両町

工事区間：

	総延長 (m)	橋梁区間 (m)	土工区間 (m)
上り線	702.0	636.0	66.0
下り線	731.0	699.0	32.0

工期：2009年2月21日～2012年10月31日

上部構造：PRC 6径間連続ラーメン箱桁橋

上部支間割：

上り線：81.25 + 112.5 + 105.0 + 126.0 + 123.0 + 85.75 m

下り線：76.75 + 2@128.0 + 2@142.0 + 79.75 m

下部構造：

RC逆T式橋台：4基

RC単柱式橋脚：10基（橋脚高22.96m～89.0m）

基礎構造：

深礎杭：φ3.0m × 12本、杭延長94.0m

大口径深礎：φ8.5, 9.0m × 10本、杭延長63.5m

2.2 基礎工

本橋の基礎構造は、橋台では杭径3.0mの深礎杭を、橋脚は杭径8.5mおよび9.0mの大口径深礎を採用している。周辺地形の急峻性から判断して基礎構築にあたっては地形改変面積を約6割縮小でき、買収用地内のみで基礎構築が可能となるよう、竹割り型構造物掘削工法を8橋脚で採用した(写真-1)。

深礎に用いる吹付けコンクリートには、黄鉄鉱含有土による劣化が懸念されたため、化学抵抗性に優れた高炉セメントを用いることとした。さらに、通常60%程度の水セメント比を55%と低く抑えることで、水密性を確保することとした。

大口径深礎の掘削深さは7.0mから18.0mであり、床付けの基礎地盤はCLからCM級の片麻岩主体である。掘削中の土留め形式は、DL級がライナープレート、CM級以上は吹付けロックボルトとし、そのほかは吹付け+鋼製リング支保工とした。



写真 - 1 竹割り型構造物掘削工法

2.3 橋脚工

橋脚形状は、設計段階において型枠の転用と急速施工を念頭に、橋脚基部から柱頭部まで断面形状を全橋脚で統一することとし、また、経済性の比較から高さの低い下り線P5橋脚以外はすべて中空断面とした。

橋脚断面は矩形断面の各辺を若干突出させた八角形断面を採用し、さらに各辺中央にスリットを入れることにより、陰影効果による圧迫感の減少とハイビアーの美しさを強調する景観的配慮を施した(写真-2)。また、桁高が異なる柱頭部に統一感を与えるため、橋脚面の突出を柱頭

部まで連続させるとともに、スリットを柱頭部半ばまで連続して配置した（写真 - 3）。さらに、排水管をスリットに格納することで景観にも配慮した。

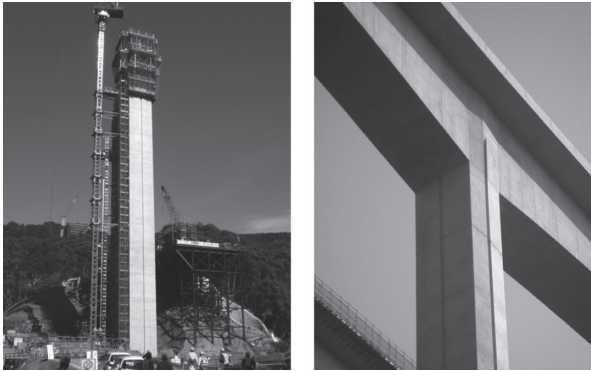


写真 - 2 スレンダーな橋脚 写真 - 3 柱頭部内のスリット

2.4 上部工

上部工は、耐久性と維持管理の容易さを追求しライフサイクルコストの最小化を狙ったコンクリート断面を採用している（図 - 2）。張出し PC 鋼材はすべて上床版内に配置された内ケーブルであり、床版横締めはプレグラウト PC 鋼材、連続 PC 鋼材の外ケーブルは内部充填型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線を使用している。

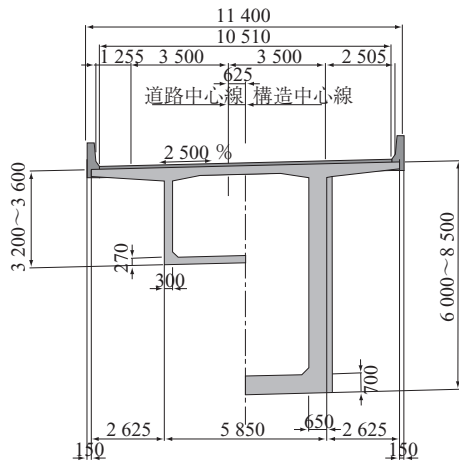


図 - 2 上部工一般断面図

通常、張出し架設工法では早期強度を確保するため設計基準強度 40 N/mm^2 の早強セメントを使用することが多いが、本橋では以下の点に配慮し、普通セメントを用いた設計基準強度 50 N/mm^2 のコンクリートを用いている。

- ① 高強度化により部材断面が縮小化でき、重量軽減によって橋脚・基礎への負担を低減し、それにより耐震性向上を図る。
- ② 40 N/mm^2 の早強セメントを使用した場合と比較して初期欠陥やひび割れの可能性を低減する。なお、試験練りにてプレストレス導入時の必要強度は材齢 2 日で確保できることを事前に確認している。

3. Super-RC 構造

以下に、本橋脚最大の特徴である Super-RC 構造について述べる。

3.1 Super-RC 構造の概要

Super-RC 構造は、橋脚高 118 m を有する東海北陸自動車道鷺見橋で初めて採用された構造であり、高強度鉄筋と高強度コンクリートを組み合わせた橋脚構造である。

Super-RC 構造は作用断面力が大きくなる高橋脚に対して表 - 1 に示す利点をもつ構造である。

表 - 1 Super-RC 構造の利点

効果	副次効果
橋脚断面の縮小	橋梁の振動を長周期化し、作用地震力を低減
	基礎断面の縮小（橋脚断面から基礎平面形状が決定される場合）
過密配筋の解消	多段配筋を 1 段配筋に変更など
	コンクリート施工性の向上（橋脚内部で締め込みが可能）

とくに本橋の場合には、最大橋脚高 89 m となる下り線 P3 橋脚においても上部工の下床版幅での橋脚断面で十分に設計可能であり、橋脚全高を通して橋脚断面が統一できた。さらに、上記した構造上の利点に加え、後述するクライミングフォーム（自昇式枠足場支保工）を使用することで、工期短縮や経済性にも期待できること、景観的にも好ましいことから、高さが 60 m 以上となる P2, P3, P4 橋脚に Super-RC 構造を採用することとした。

Super-RC 構造の設計は、設計手法が高強度鉄筋 PPC 構造設計指針¹⁾（以下、PPC 指針）として取りまとめられており、これに準拠し設計を行った。従来の材料を用いた場合と Super-RC 構造を適用した場合の橋脚断面と基礎断面の比較を図 - 3 に示す。従来の材料を用いた場合と比べ、橋脚断面積で約 40 %、基礎断面積で約 20 % 縮小できており、また、多段配筋を一段配筋と出来るなどの効果が現れている。

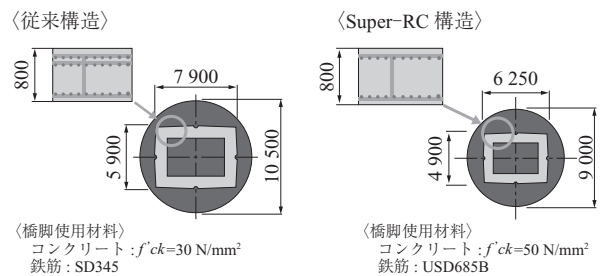


図 - 3 従来構造と本橋脚構造との断面比較

さらに、全体系の一次固有周期は、橋軸方向で約 3.5 秒、直角方向で 5.5 秒程度となっており、従来構造に比べ 20 % 程度の長周期化が図れている。この長周期化に伴いレベル 2 地震時においても橋脚基部が降伏に至らず、本橋の維持管理性の向上に大きく貢献している。しかし、長周期化に伴い地震時変位は大きくなるため、付加曲げモーメントの影響が懸念された。そこで、材料非線形と幾何学的非線

形性を考慮した複合非線形動的応答解析を実施し断面力を算出した。その結果、橋脚基部の付加モーメントは通常の非線形動的応答解析と比較しても、最大5%程度の増加であり、耐震性に問題がないことが確認できた。

3.2 高強度鉄筋

Super-RC 構造の橋脚に使用する鉄筋の材質は USD685 B であり（橋脚高 30 m 以下の橋脚においては、SD490 を使用）、PPC 指針における高強度鉄筋の規格を満足するものを用いた。また、橋脚の過密配筋を避け、施工性改善を図る目的で帯鉄筋に SD490 を使用している。降伏強度 400 N/mm² を上回る高強度材料の SD490 鉄筋は構造実験により有効性を確認してから適用した。

3.3 高強度コンクリート

本橋の橋脚には、高強度鉄筋との応力バランスから設計基準強度 50 N/mm² の高強度コンクリートを使用している。通常 50 N/mm² の配合は単位セメント量が増えるため、温度応力によるひび割れ等の初期欠陥を生じさせる可能性が懸念される。そこで、本橋では強度保証材齢を 28 日から 91 日とし、さらに後述するバケット打設を併用することとした。バケット打設は配管圧送によるスランプ低減を考慮する必要がないため、通常のポンプ打設の強度保証材齢 28 日と比較して、単位セメント量で約 40 kg/m³ 削減することが可能となり、温度応力を低減し初期欠陥の少ない耐久性の高い配合とすることができた。

4. 施工の特徴

4.1 橋脚の施工

(1) クライミングフォーム工法

本橋では、橋脚高 60 m を超える上下線 P2、P3、P4 橋脚について、高所作業の安全性、工期短縮を目的にクライミングフォーム工法を採用した（写真 - 4）。



写真 - 4 クライミングフォーム組立状況

このクライミングフォームは、橋脚躯体にガイディング柵と呼ばれる部材を固定し、レールと一体となった作業足場をガイディング柵で反力を受けながら上昇させるもので、外型枠も足場と同時に上昇する。足場の上昇は、各面の足場を独立して上昇させることも可能だが、本橋では安全性確保のため、上昇ジャッキ 8 台を使用し、橋脚 4 面の足場を同時に上昇させた。上昇ジャッキの 1 ストロークは

30 cm で、レールについているつめをガイディング柵に固定しながらジャッキを盛り替え、1 ブロック 5.5 m 分を上昇させる。

橋脚外周の作業足場は、7 階層で構築されており、各層における主な作業は表 - 2 のとおりである。

表 - 2 階層別作業内容

作業足場	主な作業内容
Level +2	コンクリート打設
Level 0~Level +1	型枠設置・脱型
Level -2	クライミング上昇
Level -1~Level -4	コンクリート仕上げ

表 - 3 クライミングフォームを用いた橋脚施工の標準サイクル工程

項目	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
コンクリート打設	■						
養生・レイタンス処理 ・足場組立て		■					
鉄筋組立て			■	■			
足場解体・型枠脱型					■	■	
クライミング							■
型枠組立て						■	■
打設段取り							■

高橋脚におけるサイクル工程は、当初からの目標であった 7 日サイクルで施工を行うことができた（表 - 3）。総足場施工で施工を行った上り P1 橋脚の施工サイクルと比較して 1~2 日の短縮につながっており、橋脚全体としては 1 ヶ月程度の工程短縮となった。

最大 89 m である橋脚の精度管理はレーザー鉛直器および光波測距儀を用いて所定の品質を確保した。

(2) バケットによる橋脚コンクリートの打設

本橋では前述したとおり一部の橋脚においてバケットを用いた打設を行った。橋脚コンクリートのバケット打設は 3.3 で前述した配合上の利点を有するとともに、後追いパイブレッタによる入念な締固めなど品質上の利点およびポンプ打設と比較してのコスト上の利点を有する。本橋では作業ヤードやクレーンの制約からクライミング施工となる上下線 P2、P3、P4 橋脚において、コンクリートバケットによる打設を行った（写真 - 5）。



写真 - 5 バケットによる打設状況

コンクリートバケットは、油圧式電動開閉バルブを搭載した容量 2.5 m³ のバケットを使用した。打設にあたってはバケットを 2 台用意し、アジテータ車 1 台分のコンクリートを 2 台のバケットに順次投入し、それらを交互に打設することでサイクルタイムの削減に努めた。

4.2 上部工の施工

(1) コンクリートの圧送

上下線 P2, P3, P4 および上り線 P5 のコンクリート打設は、各橋脚下部に自走式ポンプ配管車を配置し、昇降階段に沿わせて設置した鉛直配管と橋面上の水平配管による圧送とした。鉛直配管の設置状況例を写真 - 6 に示す。鉛直配管には暑中時の断熱対策ならびに寒中時の保温対策として断熱材を巻いた。一方、上下線 P1, 下り線 P5 は橋脚高も低いいため、橋脚下部にコンクリートブーム車を配置し、橋面上の水平配管による圧送打設を行った。



写真 - 6 鉛直配管の設置状況 (下り線 P3)

上部工施工時における配管の水平換算距離の概略値を表 - 4 に示す。

高橋脚で最初の柱頭部施工である下り線 P3 橋脚は橋面まで約 90 m の高さがあり水平換算距離は約 360 m となる。これは他の高橋脚の張出し施工最終ブロック打設時の水平換算距離を上回ることになる。そこで下り線 P3 橋脚の柱頭部施工前にポンプ圧送性試験を実施し、ポンプ圧送前後でのスランプおよび空気量の変化について問題の無いことを確認したうえで施工を行った。

表 - 4 上部工施工における水平換算距離

	橋脚	昇降階段部の鉛直配管 (m)	橋面上の最大水平配管 (m)	水平換算距離* (m)	
				柱頭部施工時	張出し架設時 (最終 BL)
上り線	P2	62	42	248	290
	P3	70	63	280	343
	P4	62	63	248	311
	P5	47	60	188	248
下り線	P2	62	57	248	305
	P3	90	72	360	432
	P4	61	72	244	316

* 水平換算距離は、ベント管、テーパ管およびフレキシブルホースを除いた概略値

(2) 柱頭部工

柱頭部は部材厚が 80 cm 以上のマスコンクリートとなり、温度応力ひび割れが懸念された。そこで、3 次元 FEM

温度応力解析結果に基づき、打設リフトを 3 層に分け、下床版から外ケーブル定着部までの 1, 2 リフトは中層熟ポルトランドセメントを、上床版部の 3 リフトについては普通ポルトランドセメントをそれぞれ用いて温度応力ひび割れの発生を軽減した (図 - 4)。また、目標ひび割れ指数 1.45 を確保できなかった箇所についてはひび割れ補強筋を追加した。

施工中は柱頭部の部材内部に熱電対を設置し、打設中ならびに養生中の実構造物の温度履歴と解析結果との整合性を確認しながら施工を進めた。

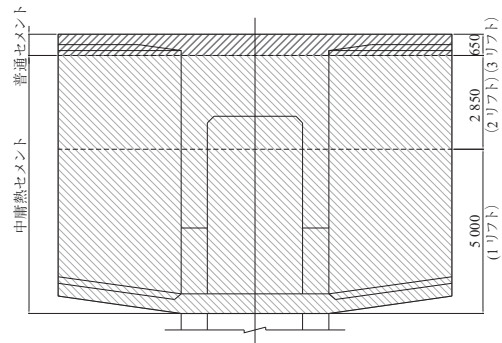


図 - 4 柱頭部の打設割図

(3) 張出し架設工

張出し架設工の施工状況を写真 - 7 に示す。張出し架設工のサイクル工程は 1 ブロックに対して実働 7 日で実施した。これは後述するように設計基準強度 50 N/mm² の高強度コンクリートを採用したことでプレストレス導入時の必要強度が材齢 2 日で確保できたことや、上部構造として異工種作業の無いコンクリート断面を採用したことによる工程の効率化により可能となった。さらに工程短縮のため最盛期においては 8 橋脚 16 基の移動作業車を同時使用して張出し架設を行った。



写真 - 7 張出し架設工の施工状況

前述したとおり、本橋では張出し架設工におけるプレストレスの導入は材齢 2 日で行うことを基本とした。プレストレス導入時の圧縮強度試験結果を表 - 5 に示す。上り線、下り線において生コン工場は異なるものの、プレストレス導入時の必要強度である 27 N/mm² は材齢 2 日で十分確保されていることが分かる。とくに冬期の施工において



写真 - 8 地形改変面積を最小化した工事用道路

は、打設箇所を防災シートで覆いジェットヒーターを使用した寒中養生を行うことで所定の強度を確保した。

表 - 5 張出架設工におけるプレストレス導入時の圧縮強度試験結果 (材齢 2 日)

	生コン工場	個数	平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	最大値 (N/mm ²)	最小値 (N/mm ²)
上り線	A 工場	53	34.3	1.8	38.6	31.1
下り線	B 工場	62	31.9	2.2	36.4	28.0

4.3 周辺環境への配慮

本橋架橋地点は住宅地から数 km 離れた里山にあり、事前に行った自然環境調査の結果などから、佐奈川支川には希少種であるナガレホトケドジョウが生息し、また、現地の休耕田はサシバ等の猛禽類の餌となるカエル等小動物の生息領域となっていることが判明した。

そこで、これらの豊かな自然環境の保護を目的に、地形改変面積を最小化し (写真 - 8)、工事排水を支川には流さないこと、地山の保水性状や生態系になるべく変化を与えないことなどを基本条件として施工計画を立案した。以下、ヤード計画上の主な特徴を記す。

- ① 工事用道路：地形形状に合せた切盛土工となるルートを選定し、森林伐採を工事用道路部の構築に必要な最小範囲に限定した。切土の法面は安定確保のためすべて吹付けコンクリートを施工し、盛土法面は種子吹付けを行い緑化するとともに土砂流出防止柵を設置し、佐奈川支川への土砂流出を防止した。
- ② 基礎掘削：急傾斜部に位置する基礎および橋脚の施工にあたっては、竹割り型構造物掘削工法を採用し、法切りオープン掘削に対して掘削土量を 6 割以上低減した。
- ③ 緑地の保全：猛禽類等の希少種に対して、餌となるカエル等小動物の移動経路を確保するため、佐奈川沿いの休耕田からなる緑地を保全した。

5. おわりに

本工事は、DB 方式にて発注された上下部一体発注の工事であり、橋脚への Super-RC 構造の適用、高橋脚のパケット打設、上部工への高強度コンクリートの採用など設計面・施工面ともに技術的な特徴を持った橋梁である。工期

に関しては 2009 年 10 月の仮設工事着手から、架設物の設置撤去や付属物を含む上下部工全体とともに工事用道路の復旧など土工事も含め 2012 年 11 月に竣工し (写真 - 9)、約 300 日の工期短縮を達成した。



写真 - 9 完成写真 (2012 年 11 月)

工事を通じて、地元住民を始め多くの方々に見学いただき、そのなかで建設技術の素晴らしさをアピールできたと考えている。

最後に、本工事の遂行にあたってご尽力いただいた関係各位の皆さまに対して、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 高強度鉄筋 PPC 構造設計指針, (社) プレストレストコンクリート技術協会, 2003.11
- 2) 上東 泰, 山本 徹: 新東名高速道路 佐奈川橋の設計と施工 - 高強度材料を用いた PRC 箱桁ラーメン橋 -, コンクリート工学, Vol.49, No.7, pp34-40, 2011.7
- 3) 南雲広幸, 遠藤 史, 川上光雄, 中井義政, 長尾千瑛, 酒井修平: 新東名高速道路 (仮称) 佐奈川橋の設計・施工, 橋梁と基礎, Vol.46, No.7, pp.5-10, 2012.5
- 4) 盛田行彦, 南雲広幸, 川上光雄, 中井義政: 新東名高速道路佐奈川橋の施工 - 高橋脚 PC 箱桁橋の施工 -, プレストレストコンクリート, Vol.54, No.5, pp.8-13, 2012.9
- 5) 川上光雄, 中井義政, 相馬良太: 新東名高速道路 佐奈川橋の設計・施工, 高速道路と自動車, Vol.56, No.12, pp.28-32, 2013.12

【2015 年 8 月 26 日受付】