

# 豊田アローズブリッジについて

## ～波形鋼板ウェブを用いたPC・鋼複合斜張橋～

### Outline of TOYOTA-Arrows-Bridge

大谷 満  
Mitsuru OTANI

川田建設(株)九州支店  
工事部総括工事長

瀬田 真  
Makoto SETA

橋梁メンテナンス(株)東京事業所  
工事部次長

新井 達夫  
Tatsuo ARAI

川田建設(株)名古屋支店  
工事部技術課課長

中井 靖彦  
Yasuhiko NAKAI

川田工業(株)大阪支社  
工事部工事課係長

田中 太郎  
Tarou TANAKA

川田建設(株)名古屋支店  
工事部工事課係長

野口 秀一  
Hidekazu NOGUCHI

川田建設(株)東京支店  
技術部設計課係長

第二東名高速道路「豊田アローズブリッジ」(旧称：矢作川橋)は、世界初となる波形鋼板ウェブを用いたPC・鋼複合斜張橋である。水滴をイメージしてデザインされた逆Y型のコンクリート製主塔は、地上高125.8 m (P4)を有し我が国最大規模であり、主桁は上下線一体構造の主桁総幅員43.8 mを一面吊りとするなど独創的な構造となっている。構造的な特徴としては、主塔基部におけるSC構造の採用、主桁斜材定着部における鋼定着構造の採用など、鋼とコンクリートの複合構造を多く採用している点などが挙げられる。また、工期短縮の必要性などから超大型移動作業車の使用、さらに東工事 (P4) では幅員方向に3分割したプレファブユニット工法の採用など施工的にもユニークな工夫がなされている。本報告では、豊田アローズブリッジの構造および施工の概要について報告する。  
キーワード：波形鋼板ウェブ、複合斜張橋、急速施工、鋼殻構造、斜材ケーブル定着部

## 1. はじめに

第二東名高速道路豊田アローズブリッジ (旧称：矢作川橋) は、第二東名高速道路と東海環状自動車道の共有区間となる豊田ジャンクションと豊田東ジャンクション間の一級河川矢作川渡河部に建設された。

橋梁形式は4径間連続PC・鋼複合斜張橋であり、橋長は820 m (最大支間：235 m)、上下線一体構造 (8車線) の総幅員43.8 mを有する、第二東名高速道路の中でも最大級の橋梁であり、波形鋼板ウェブ橋としては世界最大支間となる。



写真1 豊田アローズブリッジ完成写真

本橋では経済性・施工性・景観などの観点から初めての試みが積極的に採用されている。波形鋼板ウェブを有するPC斜張橋、波形鋼板ウェブPC箱桁橋と鋼箱桁を接合した複合構造などは過去に例がなく、詳細な検討を行う必要があった。また、本橋は愛知万博へのアクセス道路であるため、急速施工を行うための工夫が数多くなされている。

本報告では、この新しい知見をふんだんに取り入れた豊田アローズブリッジの、構造概要および施工概要について報告する。

## 2. 工事の概要

以下に、工事の概要と構造諸元を示す。

### (1) 工事概要

路線名：高速自動車国道 第二東海自動車道  
横浜名古屋線

工期：自)平成13年8月22日  
至)平成17年3月13日

### (2) 構造諸元

形式：4径間連続PC・鋼複合斜張橋  
(波形鋼板ウェブPC箱桁)

道路規格：第二東名 B規格

設計速度：120 km/h

活荷重：B活荷重

橋 長：820.0 m  
 PC箱桁部 343.3 m×2  
 鋼床版箱桁部 133.4 m  
 支 間 長：173.4+2@235.0+173.4 m  
 幅 員：全 幅 員 43.800~47.167 m  
 有効幅員 40.000~43.367 m  
 平面線形：R=2 600 m~A=1 000 m~R=8 000 m  
 横断勾配：3.5~2.5%

斜 角： $\theta = 90^\circ$  (P1, P2, P4, P5)  
 $\theta = 46^\circ 59' 38''$  (P3)

図1に橋梁全体一般図を、図2、3にそれぞれ主桁（PC桁部）と主塔断面図を示す。

### (3) 工事工程

表1は東工事（P4側）における概略実施工程である。実質的に、主塔（橋脚）部の着手から主桁張出し施工および橋面・付属物工を2年強で完了させる厳しい工程であった。

表1 概略実施工程（東工事）

	平成15年												平成16年												平成17年			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
主塔工	橋脚部 Aロット	■	■	■	■	■																						
	主塔基部 Bロット				■	■	■	■	■																			
	主塔分岐部 Cロット									■	■	■	■	■	■													
	主塔定着部 Dロット																											
主桁工	柱頭部																											
	張出架設																											
	閉合工・斜材調整工など																											
橋面工																												
付属物工																												

### 3. 構造概要

本橋の構造概要については、特徴的な構造として下記2項目に重点をおいて述べることにする。

- ・主塔基部および受け梁部の鋼殻構造
- ・主桁の斜材定着部構造

#### 3.1 主塔

本橋全体は、水をモチーフとした「アクアリズム」を基本テーマにデザインがなされている。その中心となる主塔は「水滴」をイメージし曲線を基調とした逆Y形の独創的なデザインになっている。

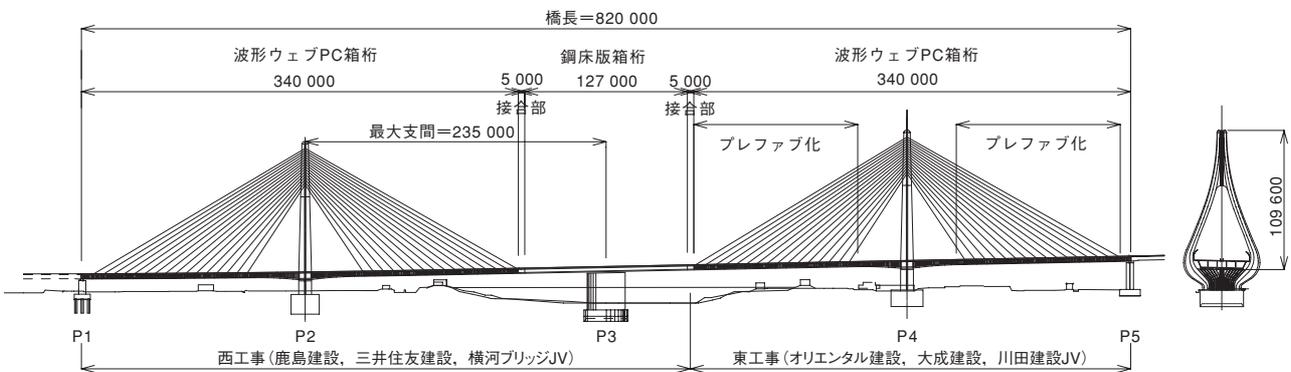


図1 橋梁全体一般図

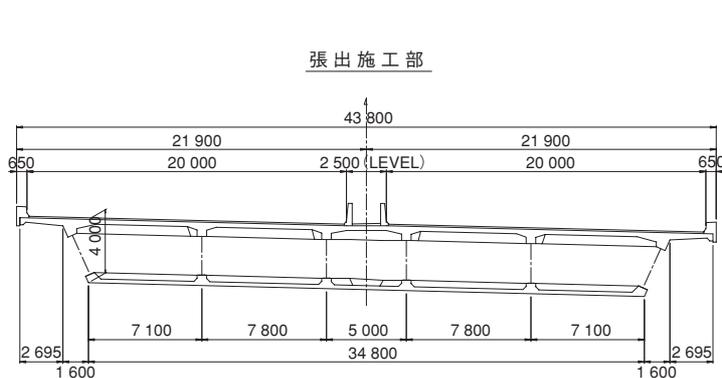


図2 主桁断面図 (PC桁部)

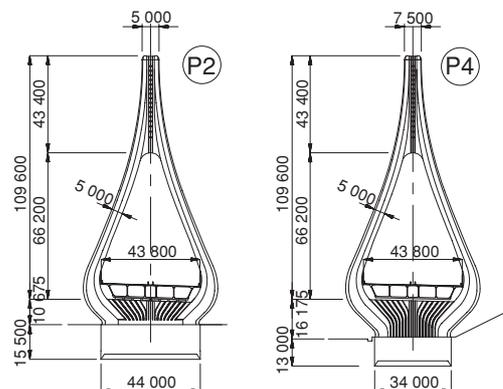


図3 主塔断面図

### (1) 主塔基部・受け梁部構造

主塔基部とそれを支える受け梁部は、橋梁全体を支える最重要部位の一つである。この部分には非常に大きな断面力が作用するため、これに対抗するための構造形式を比較検討した結果、経済性および施工性に優れた厚板鋼板を組み合わせた鋼殻構造<sup>1)</sup>を採用した(図4参照)。

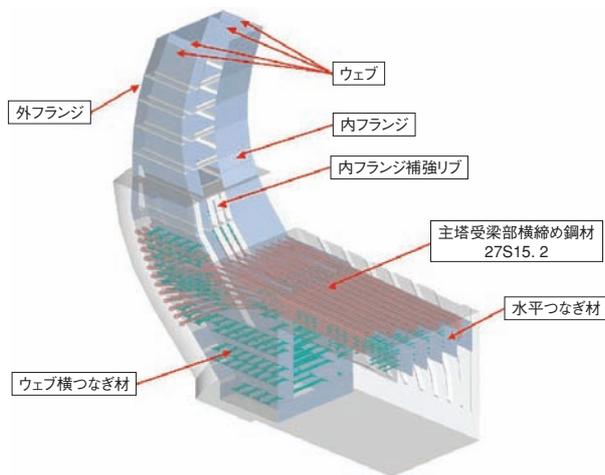


図4 主塔基部・受け梁部の構造イメージ

鋼殻部材については、スタッドジベルによりコンクリートと一体化した合成構造としている。曲げモーメントおよび軸力に対しては引張材として、せん断力に対してはコンクリートと共同で抵抗するものとして考えた。

横締めPC鋼材は、受け梁部の引張応力改善と同時に、せん断力に対しては、曲げ下げによる逆せん断力として考慮した。

受け梁部のせん断耐力については、コンクリート負担分と鋼殻負担分さらにPC鋼材の逆せん断力分を累加した値とした。この部分の安全性については1/10模型を用いた耐荷力実験を行って検証している<sup>2)</sup>。

### (2) 主塔分岐部

主塔基部より上部の分岐部は、大きく湾曲した形状となっており、橋軸方向および橋軸直角方向の2軸の断面力が作用する部材である。また、クライミング施工時と主塔頂部の閉合後は、大きく断面力が異なる構造となっている。これらの影響を3次元骨組み解析により検討した結果、軸方向鉄筋がD51tc150 mm×2段配置、横方向鉄筋がD29のRC構造となった。

### (3) 主塔斜材定着部

主塔の斜材定着部は、斜材ケーブルが交差定着される構造である。1主塔当たり4本×16段=64本が密に定着される部位であり、斜材1本当たり張力が最大で約10 000 kNの大容量ケーブルを用いている。

主塔定着部断面は、4点曲げを受けるディープビーム(斜材1段当たり)として設計を行い、設計荷重作用時においてひび割れ幅の制限値を0.2 mmとして鉄筋量を検討

した。ここで鉄筋のみでひび割れ幅の制御ができない場合には、PC鋼材(1S28.6)を配置して、許容ひび割れ幅を満足させることとした。

さらに、立体的な応力の重ね合わせの影響および局部応力を検討するために3次元FEM解析を実施して補強方法の検証を行った。

## 3.2 主桁

### (1) 主方向の設計

主方向の全体解析は、2次元骨組みモデルにより施工時クリープを考慮した弾性解析を行った。斜材張力の有効伝達長、波形ウェブのせん断分担率等については別途3次元モデルにより解析を行っている。

斜材張力の制限値を以下のように定めた結果、斜材ケーブル容量はφ7 mm亜鉛メッキ鋼線が295, 337, 379, 421本の計4種類となった。

- ・設計荷重作用時：0.40 Pu
- ・施工時：0.60 Pu
- ・終局荷重作用時：0.74 Pu

(ここで、Pu：斜材ケーブル引張荷重)

斜材ケーブル以外のPC鋼材は、仮設PC鋼棒としてφ32(構造系完成後解放)、完成系で必要なものは外ケーブル19S15.2を用いた。

### (2) 横方向の設計

上床版は、最大床版支間が8.2 mのPRC構造であり、活荷重時にひび割れ発生限界、風および衝突荷重時でひび割れ幅限界として横締めPC鋼材(1S28.6)を決定した。

また、斜材ケーブル定着部の床版横方向には斜材定着部で支持された片持ち梁としての引張応力に加え、斜材定着点近傍では局部応力が発生する。これらの力に対しては、補強用にPC鋼材と鉄筋を配置して許容ひび割れ幅以内に制御することとした。

### (3) 主桁斜材定着部構造

#### 1) 定着部構造の比較検討

本橋は、総幅員43.8 mの一面吊りの斜張橋であることから、主桁側の斜材ケーブル定着部には設計荷重作用時で最大20 000 kN程度の張力が作用する(定着部1ヶ所当たり)ことになる。

構造的にも非常に重要な部位であり、従来のコンクリート突起定着を含めて詳細な比較検討を行った<sup>3)</sup>。検討結果を表2に示す。構造の比較検討の際は、以下のポイントについて着目した。

- ① 定着部重量と主方向の設計への影響
- ② 床版応力度と補強方法
- ③ 波形ウェブに生じる鉛直方向応力度
- ④ 急速施工を可能とする施工性

これらの評価結果をもとに、経済性も含めた総合評価で鋼定着梁構造を採用した。

## 2) 鋼定着梁構造

豊田アローズブリッジで採用した主桁斜材定着構造全体イメージ図を横桁を含めて図5に示す。

本橋は波形鋼板ウェブ橋として初めての斜張橋であり、斜材張力による波形ウェブへの悪影響を最小限に抑える必要があった。このため、斜材張力を直接波形ウェブに伝えないように、鋼製定着梁を挟むかたちで応力伝達用鉛直鋼板（以下、シャイベ鋼板という）を設けた。このシャイベ鋼板前後を鋼製の横桁および補助横桁で挟んで格子構造を形成し、波形ウェブへの影響を低減することとした。

この部分の拡大図を図6に示す。

シャイベ鋼板に伝達された斜材張力は、鋼横桁（鉛直力）、ならびにシャイベ鋼板上下の孔あき鋼板ジベルにより上下床版（水平力）に伝達する構造とした<sup>4)</sup>。

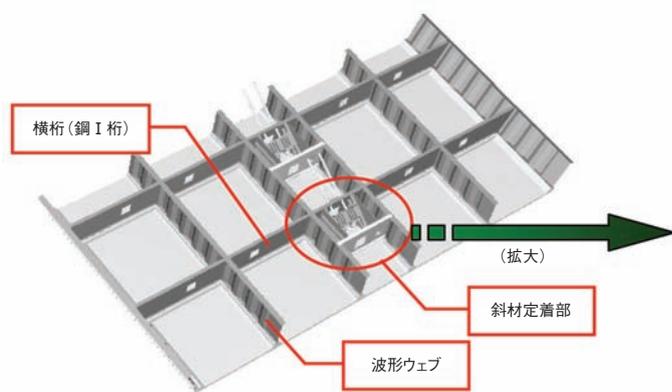


図5 主桁斜材定着構造全体イメージ図

## 3) 定着構造の実験による検証

鋼定着梁構造は、PC斜張橋で前例のない構造であったので、実験により設計の妥当性および安全性の検証を行った。

- ① 孔あき鋼板ジベル実物大要素実験<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>
- ② 主桁斜材定着部耐荷力確認実験<sup>2)</sup>
- ③ 主桁斜材定着部疲労実験

実験の結果、設計上の仮定は満足しており、耐荷力および疲労に対しても安全な構造であることが判明した。

## 4. 施工概要

### 4.1 主塔の施工

#### (1) 主塔鋼殻部の施工

既述のように主塔基部および受け梁部には厚鋼板を組み合わせた鋼殻が用いられており、その数量は両橋脚で

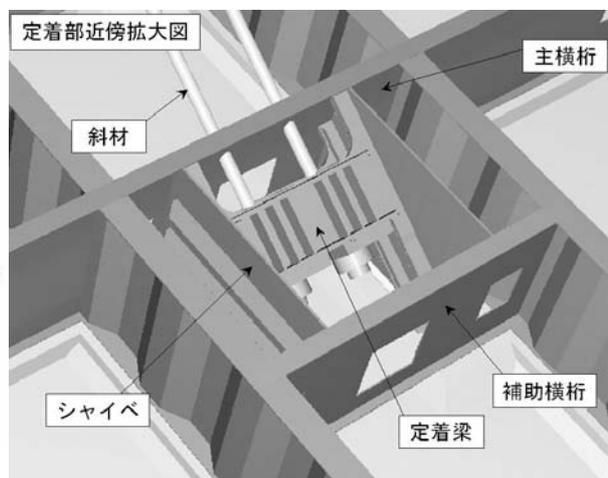


図6 主桁斜材定着構造詳細（鋼定着梁方式）

表2 主桁斜材定着部の比較

	① 鋼定着梁構造	② 鋼・コンクリート合成定着構造	③ コンクリート定着構造
イメージ図			
概算重量 および 経済性	鋼材：20.5 (t) 合計：44.2 (t) 最も軽量で経済性も ③ とほぼ同等 ○	鋼材：20.0 (t) 合計：75.0 (t) ③ より鋼重増で経済性劣る △	鋼材：13.6 (t) 合計：103.1 (t) 最も重い鋼重減で ① とほぼ同等 ○
床版応力度	引張・せん断応力度が大きい △	引張・せん断応力度が大きい △	引張・せん断応力度が小さい ○
波形ウェブ応力度	鉛直方向応力度が小さい ○	鉛直方向応力度が小さい ○	鉛直方向応力度が大きい △
施工性	コンクリート工少なく施工性良い ○	コンクリート工少なく施工性良い ○	突起部の施工が煩雑となる △
総合評価	○	△	△



写真2 主塔鋼殻の施工状況



写真3 主塔分岐部および主桁柱頭部の施工

約4 100 tである。写真2はその施工状況である。

鋼殻の現場継手は主にM24のトルシア形高力ボルト(S10T)を用いた。工場で仮組検査を行い、高精度に組み立てられた鋼殻は、鉄筋および型枠の位置決め時の精度向上にも寄与した。

## (2) 主塔分岐部の施工

主塔分岐部は、主塔基部の上方45 mの曲線的な形状変化を有するRC区間である。その施工状況を写真3に示す。施工は主塔分岐部を1リフト高さ4.5 mの10リフトに分割し、工程短縮および高所作業の安全性・簡略化を目指してクライミング足場を採用した。

その他、帯鉄筋・中間帯鉄筋のプレファブ化<sup>5)</sup>、さらに鋼製型枠の大パネル化等の工夫により、左右1リフトの施工サイクルをほぼ14日とすることができた。

## 4.2 主桁の施工

### (1) 柱頭部の施工

主桁柱頭部は軸方向長さが77 mあり、支柱式支保工でH鋼梁材を支え、その上に枠組支保工を組み立てる場所打ち支保工とした(写真3参照)。コンクリート打設は橋軸方向に分割し、下床版を先行打設する方法とした。

### (2) 張出し施工部の施工

P4橋脚側の施工では、工期の関係から張出し施工のサイクルを短縮する必要があった。このため、図7に示す

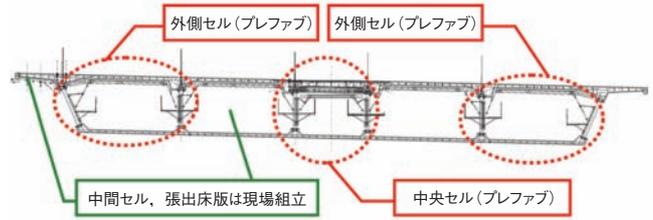


図7 プレファブ化位置

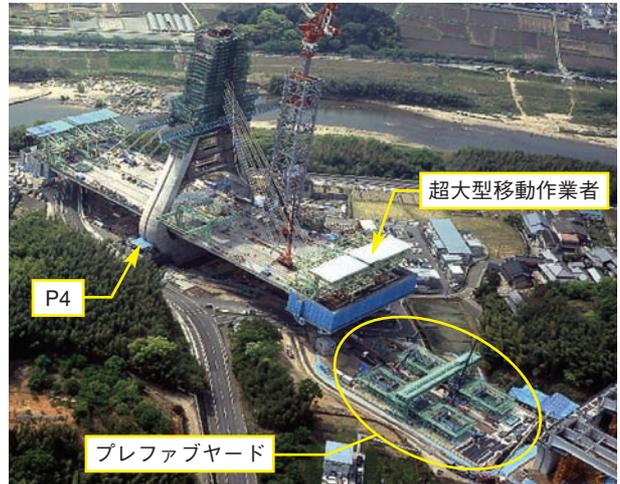


写真4 施工ヤード全景 (P4)



写真5 プレファブユニットの吊上げ

ように5室箱桁断面を外側セル2ヶ所と中央セルに3分割した形でプレファブ化<sup>6)</sup>した。

プレファブユニットはP5側の桁下ヤード(写真4)で組み立てることとし、鋼部材・鉄筋・型枠を一体のユニットとして製作した。斜材定着部を含む中央セルユニット重量は最大で52 tであった。

製作されたプレファブユニットは、引き出し軌条を台車によりP4の吊上げ装置まで運搬後、桁上まで引き上げた(写真5)。

東工事で使用した超大型移動作業車を図8に示す。1ブロック長8 m(重量約750 t)に対し、作業車能力は1 500 (t・m/2フレーム当たり)である。作業車の設計に際し、後方からのユニット通過、作業車内ユニット運搬のための縦横行可能なクレーン設置等を考慮した。写真6は移

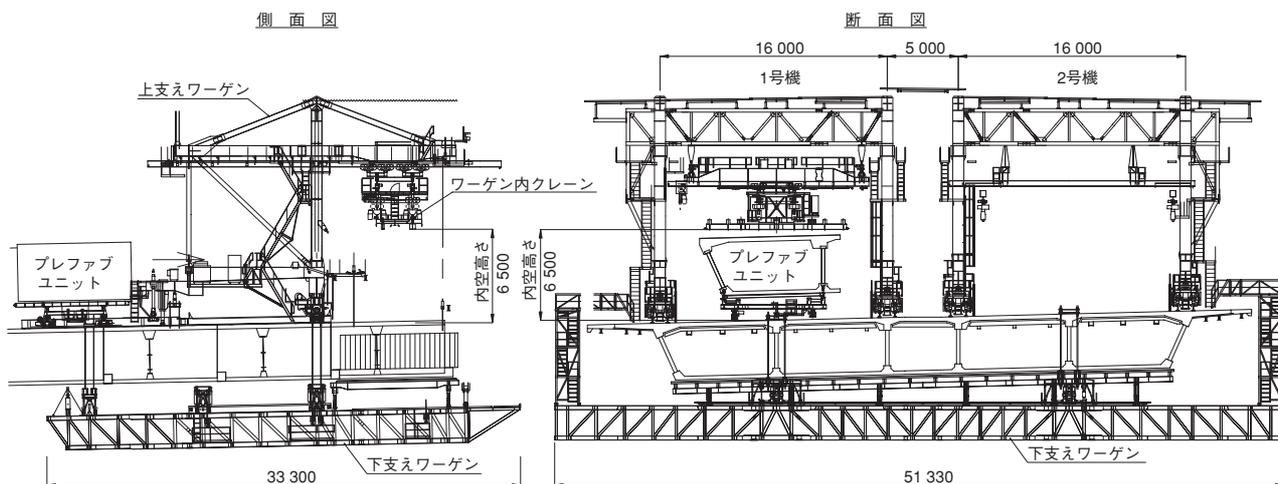


図8 超大型移動作業車（東工事）



写真6 プレファブユニットの架設



写真7 張出し架設完了

動作業車内のユニット架設状況である。

プレファブユニットの架設後、中間セルおよび張出し床版部を移動作業車内にて組み立てた。1ブロック当たりの鉄筋重量の約75%をプレファブ化することができたことから、当初サイクル工程（20日間／サイクル）から6日程度短縮され、14日間程度のサイクル工程が可能になった。

## 5. おわり

豊田アローズブリッジは、平成17年3月に無事竣工することができた。愛知万博のアクセス道路としての役割を果たし、将来的には第二東名高速道路と東海環状自動車道の共用区間として、大動脈となるシンボリックな橋梁が完成した。まさに不眠不休とも言える本工事を無事故で終えることができたのは、ご指導いただいた「矢作川橋の設計・施工に関する技術検討委員会」の先生方、ならびに、昼夜を問わずご協力いただいたJH中部支社豊田工事事務所の方々をはじめとする工事関係各位のおかげであります。ここに深く感謝の意を表したいと思います。

最後に、本橋は、新しい構造形式にチャレンジした鋼・コンクリート複合橋梁である。従来の枠組みにとらわれず鋼とコンクリートの良いところを活かしつつ、急

速施工をも可能にした橋梁として、今後の時代にマッチした要素が多く含まれていると考えられる。本報告が今後の橋梁技術の参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 上東，忽那，垂水，山本，奥山：矢作川橋の上部構造の設計，橋梁と基礎，Vol.39，pp.17-25，2005.2.
- 2) 寺田，上東，山本，奥山：第二東名高速道路 矢作川橋の設計，プレストレストコンクリート，Vol.46，pp.14-22，2004.9.
- 3) 角，寺田，関根，山内，関口：矢作川橋の構造概要，橋梁と基礎，Vol.39，pp.9-12，2005.2.
- 4) 白谷，垂水，佐々木，新井：第二東名矢作川橋の主桁斜材定着部における孔あき鋼板ジベル構造と耐荷力確認実験，PC技術協会第12回シンポジウム論文集，pp.293-296，2003.10.
- 5) 上東，宮本，山本，広瀬，中村，笠原，長沼，大谷：矢作川橋の上部構造の施工，橋梁と基礎，Vol.39，pp.35-45，2005.2.
- 6) 藤木，上東，佐々木，笠原：第二東名高速道路 矢作川橋における急速施工，PC技術協会第13回シンポジウム論文集，pp.541-544，2004.10.