

新東名高速道路 郡界川橋（仮称）の設計・施工

— 不等橋脚高を有する国内最大規模の連続ラーメン箱桁橋 —

吉野 正道*1・中積 健一*2・玉井 裕明*3・笠原 哲二*4

郡界川橋は新東名高速道路豊田東 JCT の東方約 3 km に位置する PC7 径間連続ラーメン箱桁橋である。本工事は工事区間上下線 800 m の設計施工一括発注（デザインビルド）方式の試行案件として発注され、構造の成立性、維持管理性、周辺環境負荷低減などがおもな評価項目であった。

本橋は維持管理性の観点や経済性や耐久性に配慮して全部材をコンクリートとし、橋脚と主桁をすべて剛構造とした。本構造を成立させるために上部工を軽量化し、一部の橋脚に掘込み式橋脚を採用して橋脚高さを調整するとともに、主桁閉合時に水平加力方式変位調整工法を併用している。

本稿はデザインビルド方式による橋梁計画から設計、上下部工の施工について述べるものである。

キーワード：ラーメン化、ストラット、水平加力方式変位調整工法、掘込み式橋脚

1. はじめに

郡界川橋は新東名高速道路豊田東 JCT の東方約 3 km に位置する PC7 径間連続ラーメン箱桁橋である。位置図を図 - 1 に示す。

本工事は工事区間上下線 800 m の設計施工一括発注（デザインビルド）方式の試行案件として発注された。本橋は郡界川とその両側 2 つの県道、および砂防えん堤により橋脚位置が制限され、工事区間の中央部は起伏が少なく橋脚高が低くなる山間部に位置している。このような制約条件のもと、支間割りのバランスや建設コスト削減を目的に橋脚橋台位置を設定し、また建設コストのみならず維持管理コストの削減と高耐久化を目的に、全部材をコンクリートとし、全橋脚を主桁と剛結するラーメン構造を採用した。

一般的には本橋のような橋長規模のラーメン構造を成立させることは困難であるが、「上部工の軽量化」、「橋脚寸法の低減」、「水平加力方式変位調整工法」、「掘込み式橋脚」の 4 方策によりラーメン構造を実現した。

本稿はデザインビルド方式による橋梁計画から設計、施工について述べる。

2. 橋梁概要

橋梁概要を下記に示し、橋梁一般図を図 - 2 に示す。

工 事 名：第二東名高速道路郡界川橋工事
路 線 名：高速自動車国道第二東海自動車道
横浜名古屋線

工事位置：(自) 愛知県豊田市中垣内町

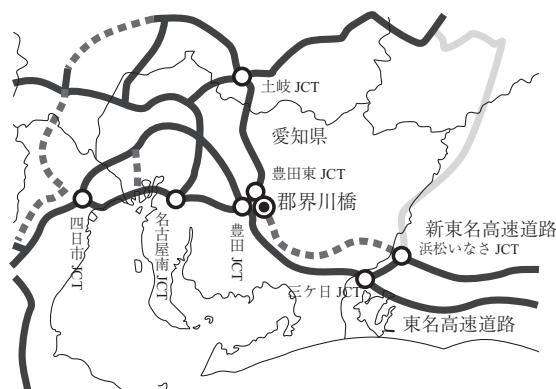
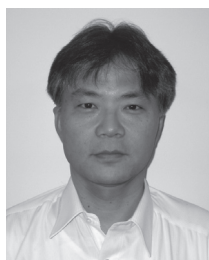


図 - 1 橋梁位置図



*1 Masamichi YOSHINO

三井住友建設 (株)
土木本部 土木設計部



*2 Kenichi NAKATSUMI

三井住友建設 (株)
土木本部 土木設計部



*3 Hiroaki TAMAI

三井住友建設 (株)
中部支店 土木部



*4 Tetsuji KASAHARA

三井住友建設 (株)
中部支店 土木部

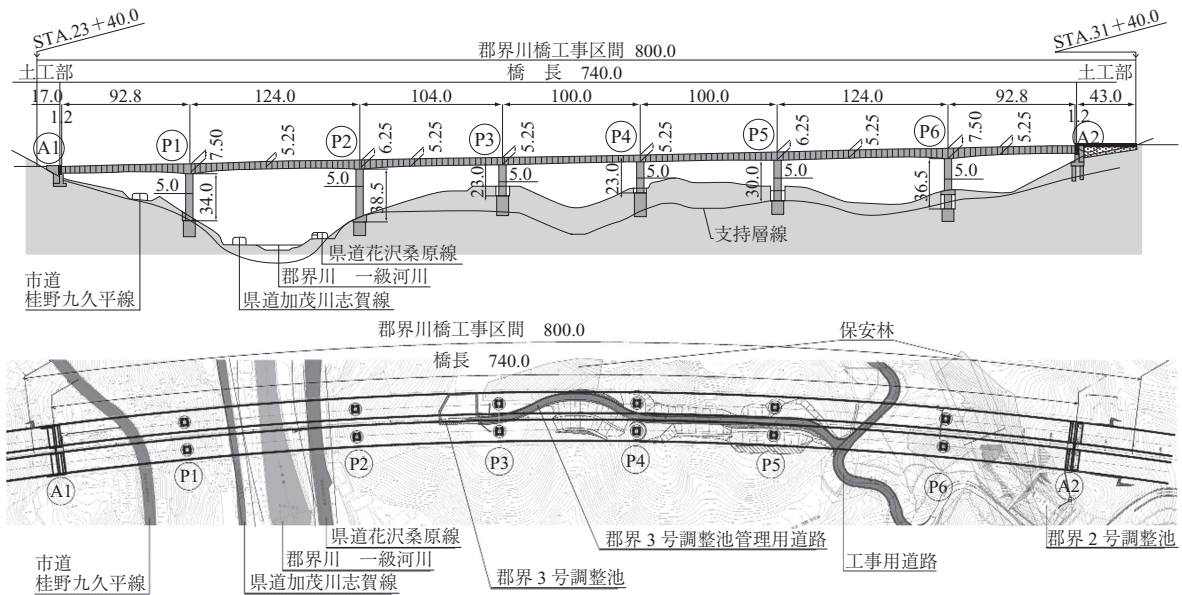


図 - 2 橋梁一般図

(至) 愛知県岡崎市宮石町

事業主：中日本高速道路株式会社名古屋支社

構造形式：PC 7 径間連続ラーメン箱桁橋

設計荷重：B 活荷重

橋長：740 m (上下線共通)

支間長：92.8+124.0+104.0+2 @ 100+124.0+92.8

有効幅員：15.0 m (壁高欄内側 14.75 m)

架設工法：張出し架設工法

3. 計画・設計

3.1 計画

郡界川橋の計画においては、まず始めに工事区間 800 m のうち、橋台を施工可能な最大高さ 15 m と設定して位置を決定し、橋長を 740 m と設定した。支間割りのコントロールポイントは、郡界川とその両側に位置する二つの県道であった。これらを跨ぐ必要最小限の支間が 100 m であったため、A1 側の橋台との間にもう一つ橋脚を設ける必要があった。このため、橋脚数を低減する目的で渡河部の支間長を 124 m としている。そのほかの支間割りを 100 m と設定することで、橋脚数が低減でき、7 径間の構造が経済性も含めて最適であると判断した¹⁾。

重要な評価項目のひとつであった維持管理の容易さを実現するために、すべてコンクリート桁とし、支承数を低減することを目的として、全橋脚ラーメン構造を採用している。これにより、鋼部材使用の場合の塗替えなどの維持管理費が低減でき、支承の無い中間支点の点検・維持管理を不要としている。

このような制約条件や経済性・維持管理性・施工性を考慮して橋脚・橋台位置を設定した結果、橋長 740 m の PC 7 径間連続ラーメン箱桁橋に決定した。

3.2 設計

本橋のような地形条件においてラーメン構造を採用する場合、橋脚中央部の P3、P4 橋脚付近は橋脚高が低いため、

橋脚剛性が大きくなり、地震時に断面力が集中し、耐力的に厳しくなる。また、P1、P6 橋脚高は固定支間長 ($L = 552 \text{ m}$) に比べて低い ($H = 34 \text{ m}$, $L/H = 8.5$ 以上でラーメン構造成立困難²⁾) ため、上部工のクリープ・乾燥収縮・温度変化における変形より端部橋脚に与える影響が大きくなり、一般的にはラーメン構造が成立しにくい。本橋では下記に示す方策により、ラーメン化を実現した。^{3) 5)}

(1) 上部工の軽量化

主桁コンクリートは基本は $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ と設定したが、作用する応力度に応じて、部分的に $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートを使用することで部材厚の低減を図った。その範囲は柱頭部から 1~3 ブロックと支間長によって使い分けている。さらにはウェブ厚を施工可能な最小厚さとして 280 mm と設定している。また、外ケーブルの配置本数の低減を目的として、外ケーブルに高強度 PC 鋼材 19S15.7 を使用している。これにより下床版幅の低減を図った。

本橋の幅員は 15.0 m と広いため、ストラットで補剛した主桁断面とし、最適な床版支間とするため斜めウェブを採用した。主桁断面図を図 - 3 に示す。

(2) 橋脚寸法の低減

橋脚幅は低減した下床版幅に合わせて 5.0 m とし、基本部材厚を施工可能な最小値として 800 mm と設定し、全体重量の低減を図っている。

また、景観に配慮し、コンクリート構造の重量感を低減するため、図 - 4 のような形状とした。全橋脚同じ形状での等断面と設定することができ、大判型枠の転用により効率的な施工を可能とした。配置主鉄筋は最大で D51 が外側 2 段・内側 1 段となり、部材厚は施工できる最小厚として 800 mm とした。帯鉄筋は最大で D29 を配置した。

(3) 水平加力方式変位調整工法

端部橋脚の P1、P6 に対しては張出し施工閉合前の「水平加力方式変位調整工法 (以下、水平加力と記す)」を採

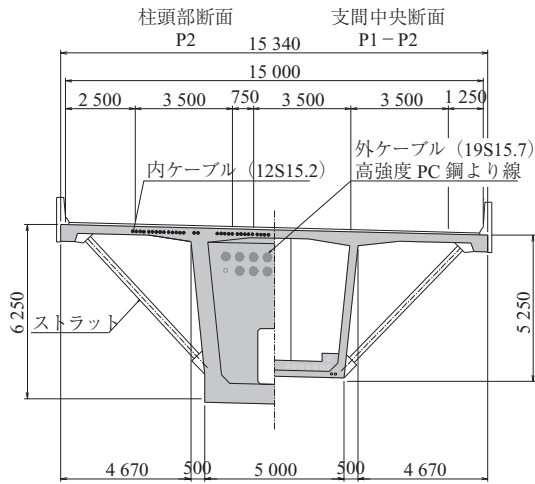


図 - 3 主桁断面図

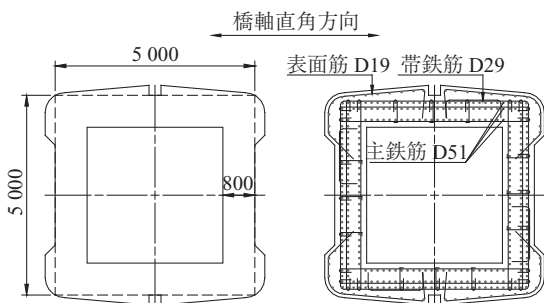


図 - 4 橋脚形状および配筋状況

用し、端部橋脚に変位を与えて常時における橋脚の曲げモーメントの低減を図った。概要図を図 - 5 に示す。水平加力を行わなかった場合、端部橋脚の上下端において完成後の温度変化（-）時に許容値を超える応力が作用し、有害なひび割れが発生する。加力量は橋脚に発生する応力より、P1-P2 で 5 500 kN、P5-P6 で 4 000 kN と設定した。橋脚上端の断面力を改善するために側径間の閉合を先に行い、P5-P6 間の水平加力は P3~P5 の閉合が完了した構造系で実施し、P1-P2 間の水平加力は構造系完成直前に行った。

(4) 掘込み式橋脚の採用

橋脚中央部の高さが低い橋脚に対しては、「上部工の軽量化」により慣性力を低減しつつ、「掘込み式橋脚」を採用し、橋脚高を高くして、柔構造とすることにより耐震性を確保した（図 - 6）。「掘込み式橋脚」とは基礎天端を施工基面付近ではなく下側に掘り込む方式であり、基礎杭長を低減できる。掘込み部内の埋め戻しは行わず、周辺には転落防止用のチェーンを設置し、上端には橋脚の変位を拘

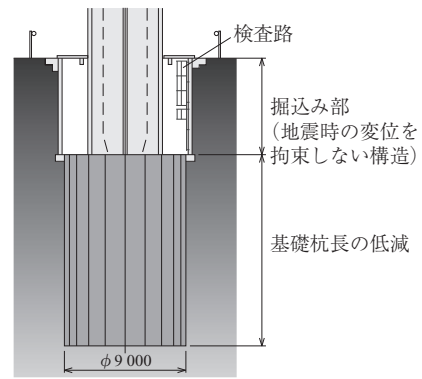


図 - 6 掘込み式橋脚

束しないような隙間を確保した上でコンクリート製の蓋を設置し転落などの第三者災害に配慮した。

3.3 維持管理性

維持管理の容易さを実現するために、すべてコンクリート桁とするとともに、支承数を低減することを目的として、全橋脚ラーメン構造を採用した。これにより、中間支点の支承の点検・維持管理を不要とし、維持管理費を低減した。また、桁端部におけるジョイント部には伸縮装置から橋座面への雨水の浸入を防止する目的で伸縮装置設置部をパラペット側にずらし、その下側には排水溝を設けた構造を採用した。（以下セットバックジョイント構造と記す）従来構造との比較を図 - 7 に示す。従来構造では伸縮装置の劣化に伴い雨水などが漏れた場合、端部橋脚壁面や橋座面に浸入し、支承が腐食する原因となっていた。セットバックジョイント構造とすることにより、雨水漏れを排水溝が受けとめ、端部支承の維持管理性の向上が期待できる。排水溝の状況確認や清掃ができるように検査用梯子と検査孔扉を設置した。

また、ストラットの基部にはウェブに貫通孔（φ30 mm）を設け、CCD カメラで桁内から容易に点検できるように配慮した。さらに、掘り込み式橋脚部に昇降設備を設け、地震後の橋脚基部の調査を可能とした。

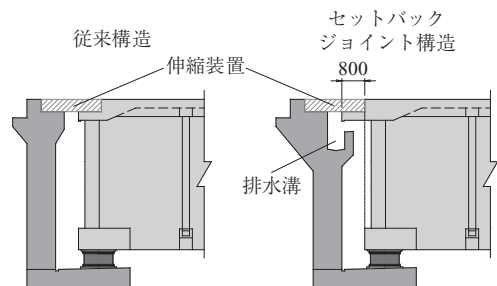


図 - 7 セットバックジョイント構造

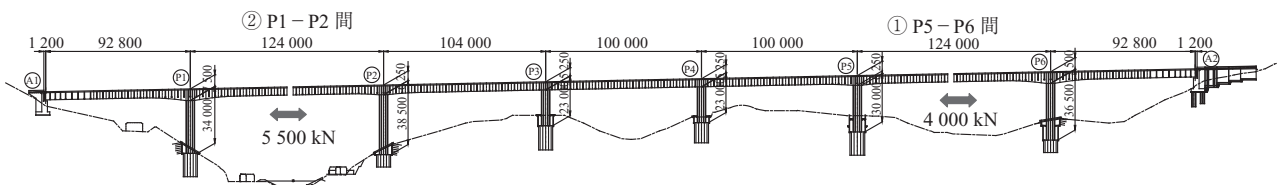


図 - 5 水平加力工概要

3.4 周辺環境負荷低減

周辺環境への配慮として、橋脚数の最小化により地形改変面積を減少させた。さらには、コンクリート桁を連続化（ノージョイント化）したことで、伸縮装置や主桁から発生する騒音・振動問題のリスクを低減させた。セットバックジョイントの排水溝部分は伸縮装置から発生する突出音を軽減する目的も併せもっている。

また下部工では、大口径深礎の一部に竹割り型土留め工を採用し、掘削による地形改変面積を最小限に留めた。P1、P2の上下線においては県道や市道に隣接するため、土砂災害リスクを考慮し、切土量を低減する目的も併せて採用した。

さらには、桁高やストラット間隔を一定としたことや、橋脚にスリットによる陰影を付けることで、構造物の重量感を低減し、周辺環境との調和を図った（写真 - 1, 2）。



写真 - 1 完成写真 (P5-P6間)

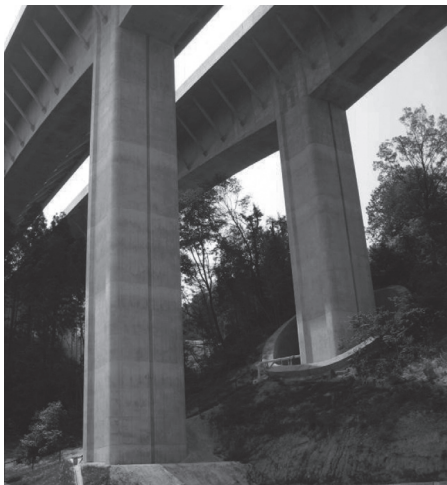


写真 - 2 完成写真 (P6橋脚上下線)

4. 下部工の施工

4.1 基礎工

竹割り型土留め工は、斜面上にリングビームを構築後、吹き付けコンクリート+ロックボルトにより施工を行った。

掘込み部および大口径深礎は、リング支保工および吹き付けコンクリートにより掘り下げていく方法で施工を行った。施工状況写真を写真 - 3 に示す。上下中央より上側

の段の位置を境に下側が大口径深礎、上側が掘込み部である。



写真 - 3 掘込み部+大口径深礎施工状況

4.2 橋台工

本橋の橋台たて壁は広幅員断面のため幅 15m、高さ 7m、厚さ 3.6m であり、マスコンクリート対策のための温度応力解析を行った。誘発目地の設置も検討したが、目地からの水分の浸入を懸念して設置せず、低熱セメント+補強鉄筋 D25 @ 150 によりひび割れ幅を制御する方法を採用した。養生および脱枠に関しては、散水養生を 14 日間、脱枠まで 27 日間と設定し養生水はポンプにて循環する工夫を行っている。実際に観測されたひび割れ幅は 0.10 ~ 0.25 mm であり、制御目標とした許容ひび割れ幅 0.4 mm 以下であり、事前解析の妥当性が確認できた⁴⁾。

4.3 橋脚工

1 リフトの高さは 5.4 m として、総足場工法にて大判型枠を転用して施工を行った。主鉄筋は固定用架台を用いて精度良く組立てを行い、施工性および品質を確保した。帯鉄筋および中間帯鉄筋は 6 段程度のプレファブ化を行い、先行して配置した主鉄筋の中に落とし込む方法を採用して組立時間の短縮を図った。この結果、1 サイクル平均で 12 稼働日の製作を実現した。鉄筋組立て状況写真を写真 - 4 に示す。さらに、前述した掘り込み式橋脚の P4 橋脚上り線の完成状況を写真 - 5 に示す。

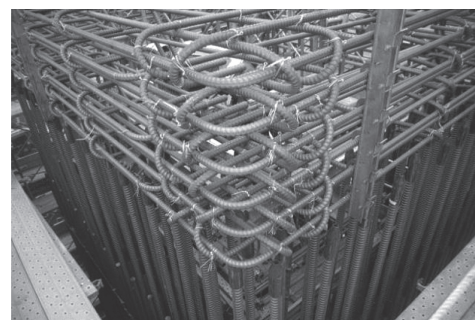


写真 - 4 橋脚鉄筋組立て状況

5. 上部工の施工

5.1 柱頭部工

柱頭部は、架設作業車を 2 基組み立てることが可能な構造として長さを 12.0 m と設定している。本橋は、すべて



写真 - 5 掘込み式橋脚完成写真

の橋脚において剛結構造としているため、柱頭部内に橋脚主鉄筋が定着され、帯鉄筋が配置される。さらには、外ケーブルの定着部および偏向管、補強鉄筋が密に配置される箇所であるため、事前に取合いを確認し、組立て方法を考慮して鉄筋加工や継手位置を決定するとともに機械式継手を追加して施工を行った。組立て状況を写真 - 6 に示す。

打設分割数を2リフトとしたため、ストラットの下端が1リフト、上側が2リフトとなる。そのため、2リフトの張出し床版部のコンクリート打設により支保工が大きく変形した場合、ストラットに曲げが作用する。そこで打設済みの1リフトよりストラットへ水平材を配置して固定するとともにブラケット支保工上に設置するH鋼もたわみを抑えるよう荷重で必要な本数以上を配置する対策を行った。

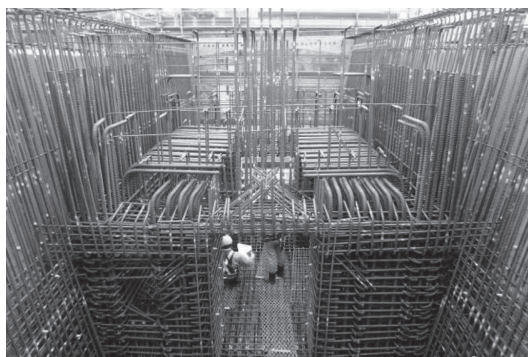


写真 - 6 柱頭部鉄筋組立て状況

5.2 張出し施工

1ブロックを4.0mとして、ブロック中央にストラットを配置した。桁高変化に左右されないようストラットの角度を一定とした断面であるため、型枠の組替えなどが不要となり、工期の短縮を図ることができた。ストラットの設置は架設作業車内に電動チェーンを左右2台ずつ配置して円滑に設置できるようにした(写真 - 7)。

また、本橋のウェブは、最小厚を280mmとして軽量化を図っている。そのため、ウェブ内に挿入する打設管径の選定などコンクリートの充填には計画段階から十分に配慮して施工を行った。

さらには、ストラットの下側取り付け部はウェブのスターラップの下側に位置し、箱桁断面におけるコンクリートの



写真 - 7 ストラット設置状況

充填にもっとも配慮する箇所であるとともに、鉄筋が密に配置される。そこで、充填性を確認する目的で供試体を用いて試験施工を行った。この結果1サイクルを10~11稼働日で施工することができた。

5.3 中央閉合部(水平加力方式変位調整工法)

水平加力を実施した中央閉合部の最終ブロックにはジャッキの力を受けもたせるための突起を設け、水平加力装置の高さ位置は支間中央での主桁図心位置に設定した。しかし、桁高および部材厚変化により柱頭部付近は図心位置が下側に変化するため、水平加力により主桁が上がる方向の鉛直変位が発生する。さらには、水平加力の左右では構造系および断面剛性が違うため、鉛直変位は均一ではない。よって上げ越しを考慮した橋面高さは水平加力前に左右で一致していないため、鉛直調整装置(写真 - 8)を用いて橋面高さの差を一致させてから水平加力を実施する方法を採用した。これにより水平加力装置(写真 - 9)に発生する回転変位を抑制でき、座屈破壊のような損傷リスクを低減した。



写真 - 8 鉛直調整装置

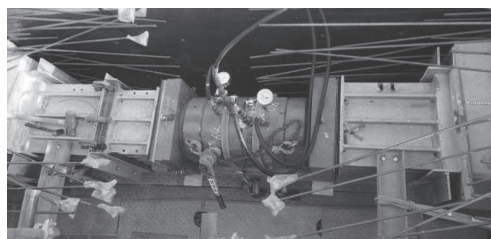


写真 - 9 水平加力装置

さらには、水平加力装置の解放は中央閉合部全断面を打設してから行うのではなく、下床版およびウェブを打設したのち、強度発現を確認してから解放した。これにより、

装置の撤去を橋面上からクレーンにて行うことができ、桁内での重量物の揚重や移動が不要となり、安全に作業することができた。水平加力装置の解放による圧縮応力をウェブ下床版のみで負担するため、3次元FEM解析により発生応力などの確認を行い、2リフト（上床版）の施工は極力材齢差が少なくなるよう速やかに行った^{6,7)}。

鉛直調整装置は運搬および吊上げを考慮するとともにできるかぎり剛性を確保して部材寸法を決定した。水平加力装置においては650tジャッキを直列で2台、断面左右で2列、計4台を用いた。設計での最大加力量は側径間側の柱頭部の水平変位が49mm、加力位置での開き量が58mmであったため、ジャッキストロークは100mmを確保した。

本工法実施時は設計で想定している曲率を橋脚に与えることを最優先として、力ではなく変位を所定の量まで与える方法で管理を行った。本橋の橋脚主鉄筋はD51が内側も含めると3段配置されているため、鉄筋も考慮した換算剛性により荷重と変位の関係を求め、ひび割れ発生の影響も考慮して荷重変位履歴を想定した。図-8に上り線P5-P6における実施結果を示す。実測値は解析値とほぼ一致し、設計変位量38mmに対し、40mmの変位を与えて水平加力を終了している。また、側径間側の柱頭部には橋軸方向と橋軸直角方向の変形を確認するため、傾斜計を取り付け、設計値との差異が大きいか確認を行った。さらには、橋脚基部にひずみゲージを取り付け、ひび割れが発生したことを確認した。想定どおり0.04mm以下であ

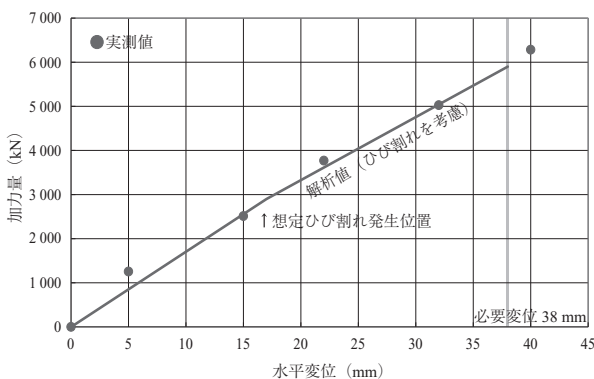


図 - 8 水平加力工結果（上り線 P5-P6）



写真 - 10 完成写真

った。

5.4 ストラット

本橋のストラットは、必要な剛性や鉄筋の配置を考慮して、250mm × 250mm のコンクリート製としている。コンクリートにははく落防止を目的として、1m³あたり4.5% (0.35 vol%) のビニロン繊維を混入し、工場にて製作したものを現場まで運搬して、設置した。また、RC構造であるため、仮置きや運搬時の支点位置に制約を設けるとともに、取り扱いには十分注意してひび割れが発生しないようにした。

6. おわりに

郡界川橋の橋梁計画から設計、維持管理性、環境への配慮などの技術的特長について述べ、上下部工の施工について報告した。本工事は平成26年7月に無事竣工している。最後に本橋梁に関わった皆様に感謝の意を表すとともに、本報告が同種橋梁施工の参考になることを願う次第である。

参考文献

- 1) 上東 泰, 春日昭夫: 第二東名高速道路 郡界川橋の橋梁計画 - 事業者案とデザインビルド案の比較 -, 土木学会第64回年次学術講演会, CS13-008, pp.441~442, 2009
- 2) 平成7年度PC橋の新しい構造事例に関する調査研究 - PC他径間連続橋に関する調査研究報告書 -, 平成8年3月(財)高速道路調査会
- 3) 酒井修平, 太田 誠, 中積健一, 南雲広幸, 阿部浩幸: 新東名高速道路(引佐JCT~豊田JCT), コンクリート工学, Vol.49, No.1, pp.61~72, 2011
- 4) 笠原哲二, 諸田元孝, 吉野正道, 畔柳昌己: 第二東名高速道路郡界川橋の橋梁計画から下部工の施工, コンクリート工学, Vol.50, No.3, pp.270~274, 2012
- 5) 竹田豪文, 川島陽子, 畔柳昌己, 中積健一, 吉野正道, 玉井裕明: 第二東名高速道路 郡界川橋(仮称)の設計と施工, 橋梁と基礎, vol.48, No.3, pp.5~10, 2014
- 6) 竹田豪文, 金本岳人, 玉井裕明, 吉野正道: 新東名高速道路郡界川橋の施工, プレストレストコンクリート, Vol.56, No.5, pp.35~41, 2014
- 7) 吉野正道, 竹田豪文, 玉井裕明, 伊藤 篤: 新東名高速道路郡界川橋(仮称)の施工, プレストレストコンクリート工学会第23回シンポジウム論文集, pp.195~198, 2014

【2015年8月31日受付】