

新東名高速道路 豊田巴川橋（仮称）の設計・施工

— 分岐構造・幅員変化のある波形鋼板ウェブ箱桁橋 —

池谷 博文*1・浅井 学*2・吉田 幸太郎*3・鈴鹿 良和*4

豊田巴川橋は、新東名高速道路、東海環状自動車道および伊勢湾岸自動車道の3つの高規格幹線道路を結ぶ豊田東JCTに接続する波形鋼板ウェブラーメン箱桁橋である。本橋は本線とランプ部に分岐もしくは合流する構造であり、有効幅員が標準部の14.760mから最大で25.255mへと変化し、断面構造が2室箱桁から3室箱桁へと変化した後分岐する、複雑な線形を有した橋梁である。そこで、3次元FEM解析を用いて構造特性を適切に評価した設計を行い、施工においては波形鋼板を架設材兼用とすることにより工程短縮を図る急速施工法を採用した。一級河川巴川を横架する下りP2-P3は波形鋼板ウェブ箱桁橋では完成時点で国内最長となる164mの支間長となる。これまで施工実績の少ない張出し施工長となることから、上げ越し管理精度を高めるよう、上げ越し計算において温度変化の影響を考慮するとともに、張出し施工時の橋脚の倒れや主桁たわみの計測結果を上げ越し管理に反映させた。また、分岐部の床版形状を耐久性の向上を図る形状とし、柱頭部人通孔の形状を多室箱桁断面の維持管理性を高めるよう橋軸直角方向に移動できる構造とした。本稿では、豊田巴川橋の設計および施工の概要について報告する。

キーワード：分岐構造，幅員変化，長支間

1. はじめに

豊田巴川橋^{1,2)}は愛知県豊田市に位置する一級河川巴川を跨ぐ波形鋼板ウェブラーメン箱桁橋であり、上り線と下り線の2橋からなる。本橋は、新東名高速道路、東海環状自動車道および伊勢湾岸自動車道の3つの高規格幹線道路を結ぶ豊田東JCT（図-1）に接続する橋梁であり、本線部とランプ部に分岐もしくは合流する構造となっている。有効幅員は、標準部で14.760m、もっとも広幅員となる分岐部で25.255mであり、幅員が変化する。断面構造は多室箱桁断面であり、幅員変化に伴い、〔2室箱桁断面〕、〔3室箱桁断面〕、〔2室箱桁断面+1室箱桁断面〕とウェブ数が3から5へ変化する。最大支間長は巴川を横架する下りP2-P3で164mであり、波形鋼板ウェブ箱桁橋としては完成時で国内最長となる。

本工事では、設計および施工を行う上で以下の課題を解決する必要がある。

- ① 幅員変化・広幅員・分岐構造と複雑な線形を有した波形鋼板ウェブ箱桁橋の工程確保
- ② 広幅員でありウェブ数が増える波形鋼板ウェブ箱桁橋の品質確保と耐久性の向上
- ③ 断面構造の変化および分岐構造に対応した張出し架設鋼材配置
- ④ 長支間164mを有する波形鋼板ウェブ箱桁橋の橋面高さの出来形確保

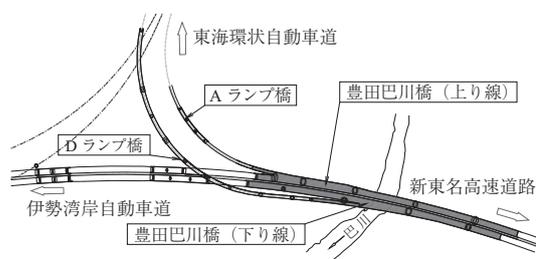


図-1 豊田JCT概要図



*1 Hirobumi IKEYA

三井住友建設(株)
中部支店 土木部



*2 Manabu ASAI

三井住友建設(株)
中部支店 土木部



*3 Kotaro YOSHIDA

三井住友建設(株)
大阪支店 土木部



*4 Yoshikazu SUZUKA

三井住友建設(株)
土木本部 土木設計部

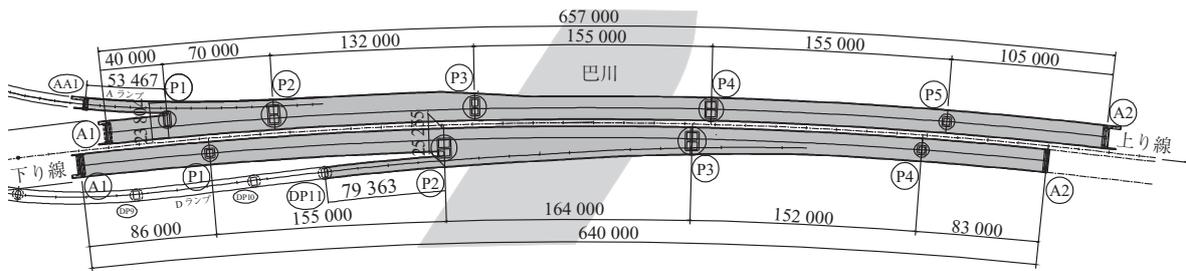


図 - 2 全体平面図

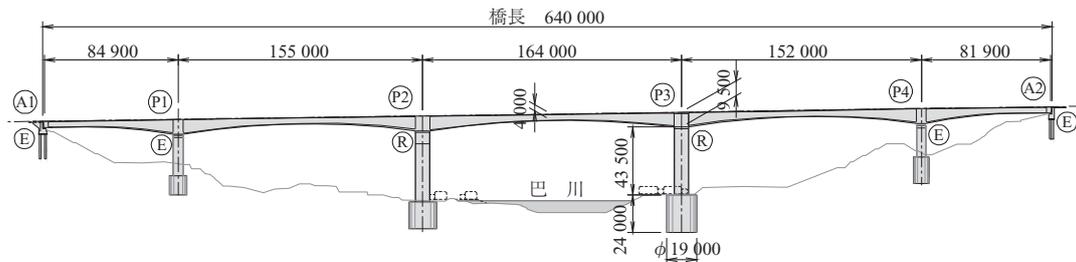


図 - 3 下り線側面図

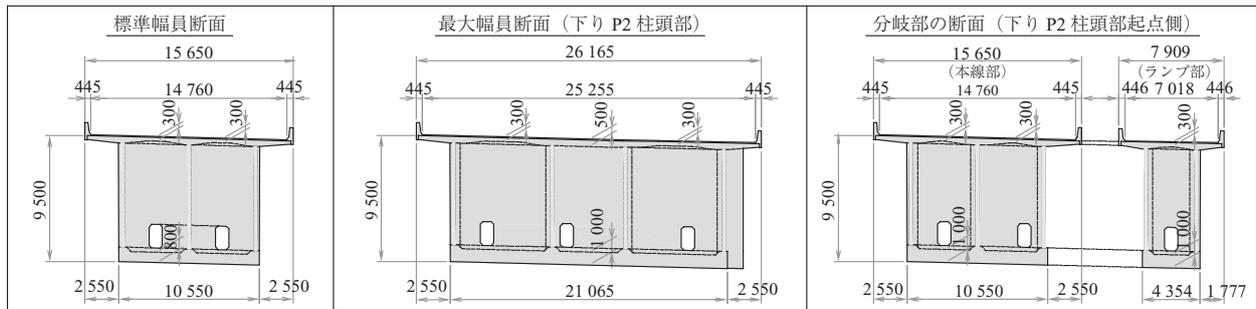


図 - 4 柱頭部の断面図

表 - 1 構造概要

	上り線	下り線
構造形式	PC 6 径間連続波形鋼板ウェブラーメン箱桁橋	PC 5 径間連続波形鋼板ウェブラーメン箱桁橋
橋長	657.0m	640.0m
支間割 (m)	38.8 + 70.0 + 132.0 + 155.0 + 155.0 + 103.8	84.9 + 155.0 + 164.0 + 152.0 + 81.9
有効幅員 (m)	14.760 ~ 23.901	14.760 ~ 25.255
架設方法	張出し施工+固定式支保工施工	張出し施工

本稿では、これらの技術的課題を踏まえて行った設計および施工の概要について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の全体平面図を図 - 2 に、下り線側面図を図 - 3 に、各断面構造での柱頭部断面図を図 - 4 に示す。上り線は A ランプ橋からの合流橋梁であり、下り線は D ランプ橋への分流橋梁である。合流部である上り P1 - P2、および、分岐部である下り P2 - P3 は幅員が広く 3 室箱桁断面であり、その他の径間は 2 室箱桁断面である。一級河川巴川を上り P3 - P4、下り P2 - P3 で横架しており、支間長は上り P3 - P4 が 155 m、下り P2 - P3 が 164 m である。上り線は、ランプ部も含めた A1 (AA1) - P1 径間が固定式支保工施工、その他の P1 - A2 径間は張出し施工であり、下り線は

ランプ部も含めたすべての径間が張出し施工である。構造概要を表 - 1 に示す。

3. 工程確保のための対策

本橋は、幅員変化、広幅員、分岐構造と複雑な線形を有しており、標準的な構造の橋梁に対して施工が煩雑になることから、工程確保が課題となった。そこで、以下に示す対策により工程短縮を図った。

3.1 張出し施工のサイクル工程の短縮

本工事では、標準的な張出し施工に対してサイクル工程を約 80 % に低減できる急速施工法を採用することにより工程短縮を図った。この工法は、波形鋼板の上に移動作業車を直接設置して波形鋼板を架設材兼用することにより、波形鋼板の架設、下床版の施工、上床版の施工の 3 工程を

隣接する異なるブロックで同時に行い、サイクル工程の短縮を図る工法である。さらに、ブロック長を桁高の高い柱頭部近傍においても 4.8 m にできることから、ブロック数を発注時の計画^{3,4)}から約 80 % に低減できることによる工程短縮が可能となる。写真 - 1 に標準幅員部の張出し施工状況を示す。

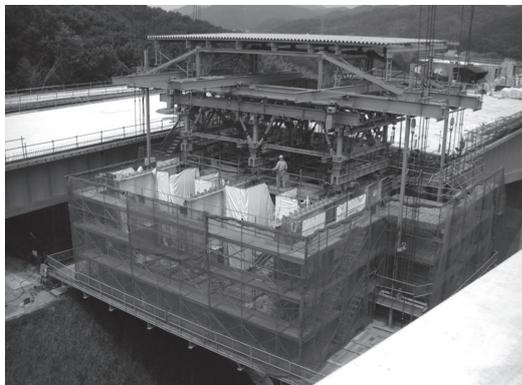


写真 - 1 標準幅員部の張出し施工状況

本工事に於いて採用した急速施工法では、波形鋼板の上フランジ上を移動作業車が移動する。本橋は幅員変化に伴いウェブ間隔が変化することから、移動作業車は波形鋼板ウェブ間隔の変化に対応する必要がある。そこで、移動作業車の大梁の下に横梁を設置して、ギア式の横移動装置を取り付けることで対応した。この横移動装置は、あらかじめ変化量を設定できるようにして、移動時の作業の効率化を図った。

3.2 波形鋼板ウェブ間隔の調整

発注時の断面構造は、幅員変化に伴いすべてのウェブ間隔が変化する構造であった。そのため、上床版底版枠の構造が毎ブロック変化することから、その組立て解体作業に大幅な時間を要することが懸念された。そこで、1室のウェブ間隔を固定し、残りのウェブ間隔を調整することで幅員変化に対応する断面構造とし、上床版底版枠の組立て解体作業を低減し、サイクル工程の短縮を図った。固定するウェブ間隔は、対象とする径間の支間中央の断面において床版支間が最適になるように決定した。上り線 P1 - P2、P2 - P3 におけるウェブ間隔の調整方法を図 - 5 に示す。

4. 設 計

4.1 幅員変化および広幅員断面に対する検討

本橋は多室箱桁断面の波形鋼板ウェブ橋であり、主方向の検討は主桁を 1 本の梁にモデル化した骨組解析により行った。幅員変化に伴いウェブ間隔が変化するため、各ウェブのせん断分担率が変化する。また、広幅員断面のため、活荷重が偏載された場合、ねじりによる付加応力により主桁の曲げ応力度が骨組解析結果より大きくなるのが懸念された。そこで、3次元 FEM 解析によりその影響を算出し、主方向の設計に反映させた。

(1) 曲げに対する影響についての検討

曲げ応力度に対する影響を考慮するため、標準幅員の 2

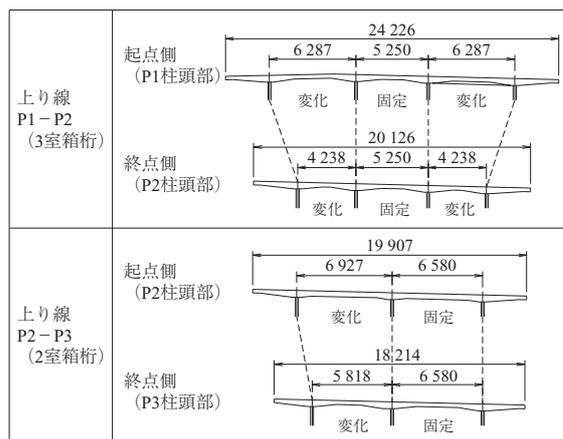


図 - 5 ウェブ間隔の調整方法

室箱桁断面と最大幅員の 3 室箱桁断面を対象に、その 2 断面それぞれに対して負の曲げモーメントに着目する柱頭部桁高 9.5 m の 2 径間モデルと、正の曲げモーメントに着目する支間中央部桁高 4.0 m の 1 径間モデルにより、検討を行った。モデルの支間長は、本橋の最大支間長である下り P2 - P3 の 164 m とした。活荷重として L 荷重を載荷し、等分布荷重を外ウェブ上もしくは中ウェブ上に載荷することで偏載の影響を考慮した。最大幅員断面における外ウェブ偏載時の FEM 解析結果を図 - 6 に示す。

検討の結果、偏載の影響は最大幅員断面の方が大きく、骨組解析結果に対する FEM 解析結果比率は、負の曲げモーメントに着目した場合で 1.56 倍、正の曲げモーメントに着目した場合で 1.18 倍となった。表 - 2 に FEM 解析結果を示す。そこで、曲げの検討では、骨組解析により算出された活荷重による曲げモーメントに対して、負の曲げモーメントは 1.6 倍、正の曲げモーメントは 1.2 倍して設計荷重時の照査を行った。

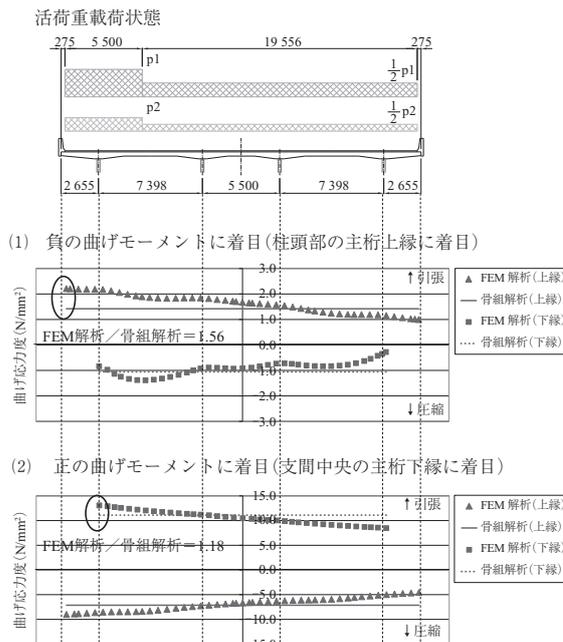


図 - 6 最大幅員断面での FEM 解析結果

表 - 2 曲げ応力度の FEM 解析 / 骨組解析の比率

	標準幅員	最大幅員	採用値
正曲げモーメント	1.12	1.18	1.2
負曲げモーメント	1.54	1.56	1.6

(2) ウェブのせん断分担率に対する検討

活荷重に対するウェブのせん断分担率は、標準幅員の 2 室箱桁断面と最大幅員の 3 室箱桁断面に着目し、せん断力が大きくなる柱頭部桁高 9.5 m の 2 径間モデルを作成し、検討を行った。活荷重の載荷方法は曲げに対する検討時と同じ等分布荷重を外ウェブ上もしくは中ウェブ上に載荷した。検討の結果、標準幅員断面では、外ウェブ上に偏載した場合の外ウェブの分担率が 43 %、中ウェブ上に載荷した場合の中ウェブの分担率が 36 % となった。最大幅員断面では、外ウェブ上に偏載した場合の外ウェブの分担率が 33 %、中ウェブ上に載荷した場合の中ウェブの分担率が 29 % となった。以上より、主方向の設計における活荷重による主桁のせん断分担率は、各断面の外ウェブおよび内ウェブの最大の分担率を採用した。表 - 3 に FEM 解析結果を示す。

表 - 3 ウェブのせん断分担率に対する検討結果

着目ウェブ		標準幅員			最大幅員			
		左外ウェブ	中ウェブ	右外ウェブ	左外ウェブ	左中ウェブ	右中ウェブ	右外ウェブ
FEM 解析	左外ウェブに偏載	43 %	35 %	22 %	33 %	27 %	22 %	18 %
	左中ウェブに偏載	32 %	36 %	32 %	25 %	29 %	26 %	20 %
採用分担率		43 %	36 %	43 %	33 %	29 %	29 %	33 %

4.2 広幅員断面における張出し床版先端部の検討

本橋は広幅員のため、張出し施工時の温度応力により張出し床版先端に橋軸方向の引張応力が発生することが懸念された。施工工程、幅員等を考慮した温度応力解析を行った結果、温度応力により最大幅員断面において -5.2 N/mm^2 の引張応力が発生する結果となった。そこで、骨組解析の検討結果も考慮し、ひび割れ幅が制限値以下となるよう張出し床版先端に最大 D25 の補強筋を配置した。張出し床版長の長い上り P2 は補強筋のほかにプレグラウト鋼材 1S28.6-2 本 / 片側を配置した。

4.3 ウェブ数変化箇所の張出し架設鋼材配置

本橋の張出し架設鋼材は 12S15.2 を使用した。本橋は、幅員変化に伴い起点側と終点側でウェブ数およびウェブ間隔が変化する柱頭部がある。その柱頭部では張出し架設鋼材を直線的に配置することが困難なため、断面方向に偏向させて配置した。図 - 7 に下り P2 柱頭部近傍の張出し架設ケーブル配置概要図を示す。

鋼材を偏向する箇所には床版に橋軸直角方向の偏向力が作用することから、鋼材は分散させて偏向するように配置し、偏向区間には偏向力に対応する床版横締め鋼材を追加配置した。

平面的な偏向角度が大きくなる鋼材は、鋼材を 2 本に分割し、それぞれ柱頭部横桁面に曲げ下げて定着させた (図

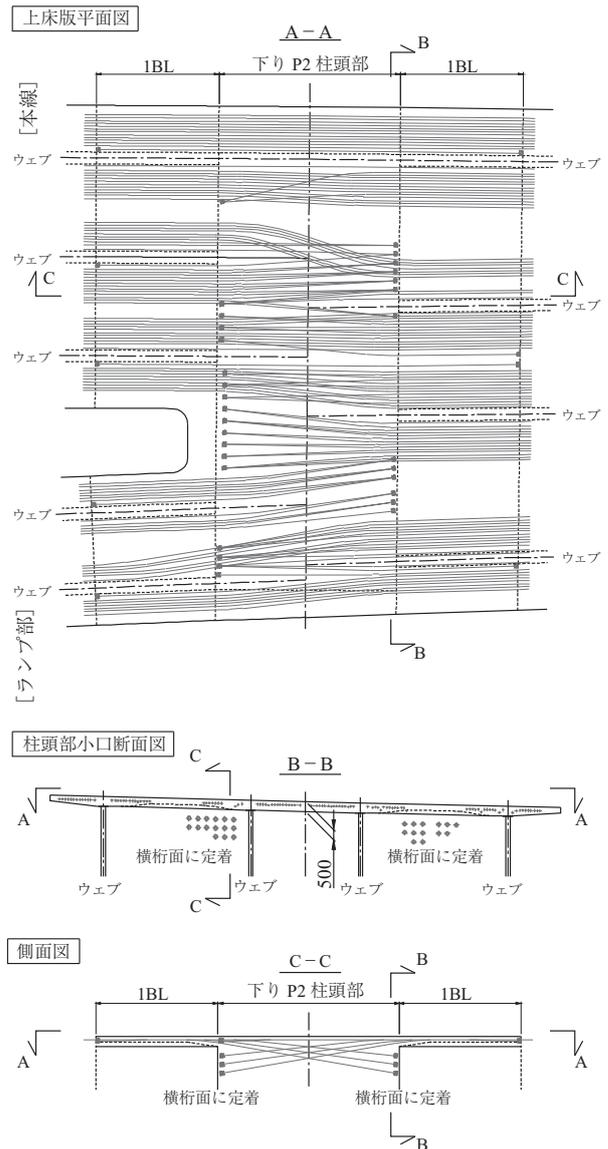


図 - 7 下り P2 柱頭部の張出し架設鋼材配置

- 7 C-C)。また、柱頭部を挟んで左右のブロック数が異なるなどの理由により必要鋼材本数が左右で異なる場合も、柱頭部横桁面に曲げ下げて定着させた。

分岐部となる下り P2 柱頭部では、張出し架設鋼材をウェブ近傍で定着できず、中間床版中央部で定着させる配置となる。そこで、中間床版中央の床版厚を 300mm から 500mm とし、定着部の縁端距離を確保することとした (図 - 7 B-B)。3次元 FEM 解析を行い、定着部近傍の安全性確保のため、補強筋を追加配置した。

5. 施 工

5.1 柱頭部の施工

柱頭部横桁と波形鋼板との接合は埋込み接合である。ラーメン橋脚では橋脚の帯鉄筋が柱頭部まで配置されることから、帯鉄筋を埋込み接合の穴あき鋼板ジベル貫通鉄筋として兼用した。施工性の向上のため、波形鋼板架設後に帯鉄筋の組立てが行えるよう、機械継手を使用して帯鉄筋を

分割できるようにした。また、帯鉄筋は橋脚部では水平方向に配置するのに対して波形鋼板は横断勾配なり設置する。そこで、脚頭部において帯鉄筋の配置調整を行い、柱頭部内では帯鉄筋を横断勾配なりに配置できるようにした。以上の対策により施工性が向上し、穴あき鋼板ジベルの貫通鉄筋として兼用する帯鉄筋の設置精度を高め、品質確保を図った。写真 - 2 にラーメン橋脚の柱頭部施工状況を示す。

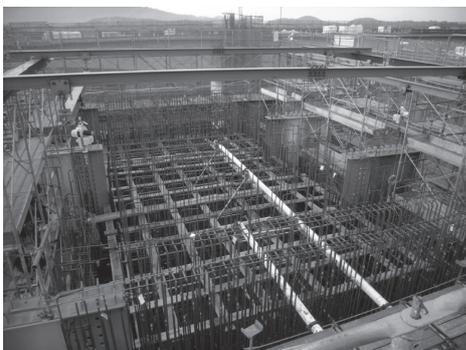


写真 - 2 ラーメン橋脚の柱頭部施工状況

5.2 張出し施工

張出し施工には、移動作業車を最大 9 基使用して施工を行った。

分岐部のある下り P2 では、本線部起点側、本線部終点側、ランプ部と同時に 3 基の移動作業車を使用した。柱頭部付近は分岐したばかりのため、本線部起点側とランプ部が近く、移動作業車を同時に組み立てることはできない。そのため、ランプ部の移動作業車は本線の移動作業車に対して 3 ブロック遅らせて組み立てて、施工を開始した。下り P2 の張出し架設状況を写真 - 3 に示す。



写真 - 3 下り P2 張出し架設状況

波形鋼板の架設は、先行して施工する下り線は橋面上に設置した 25 t ラフタークレーンで行った。下り線施工後となる上り線は、標準幅員部は下り線の橋面上のクレーンで架設し、拡幅部は幅員が広がることから上り線の橋面上のクレーンにより架設した。

5.3 長支間に対応した主桁の上げ越し管理

本橋は、最大支間長が 164 m のラーメン橋であり、張出し施工長が最大で 78 m と長いので、施工時の温度変化に

よる主桁のたわみが大きい。また、幅員が変化する分岐部では、幅員が広いゆえに、同時に 3 基の移動作業車を用いることから、3 次元的な複雑な挙動を示すことが考えられた。そこで、橋面高さの出来形確保を目的に、上げ越し計算において主桁の温度変化による影響を考慮した。さらに、コンクリート打設直後の橋面高さ、橋脚の倒れを測定し、上げ越し計算との誤差を上げ越し管理に反映させることによって、上げ越し管理精度を高めた。図 - 8 に下り P2 の最大張出し時の橋面高さを示す。対策の結果、分岐部である下り P2 の橋面高さは、目標値に対する誤差が最大で -14 mm となり、橋面高さの出来形確保につながった。

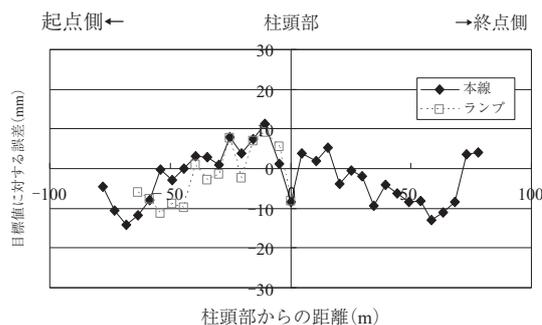


図 - 8 下り P2 の最大張出し時の橋面高さ

5.4 閉合部の施工

閉合部は、移動作業車を使用して施工を行った。本工事で採用した急速施工法では、閉合部の波形鋼板は、上下フランジを添接板で接合する必要があり、架設時の長さ、高さに厳密な管理が求められる。そのため、張出し施工中は、上げ越し管理に加えて、張出し先端部の波形鋼板ウェブ同士の橋軸方向の間隔、主桁温度の測定を行い、閉合部の波形鋼板の製作寸法の設定に反映させた。

閉合部の施工は、閉合部コンクリートを打設した次の日に、外ケーブル 19S15.2 を先行して 2 ~ 6 本緊張した。それにより、日温度変化により閉合部に発生する引張応力度を改善して品質確保を図るとともに、移動作業車および支保工解体時期を早めて工程短縮につなげた。

6. 耐久性の確保および維持管理性の向上

6.1 分岐部の外ケーブル定着部の養生

上り P1 と下り P2 は柱頭部を介して本線部とランプ部が分岐する箇所であり、本線部とランプ部に挟まれた横断面には外ケーブルの定着部がある。そこで、定着部の耐久性を確保するため、雨水が直接定着具にかからないよう、本線部とランプ部の張出し床版を横断面から 1.5 m の幅で連結させる構造とし、連結部の先端には高さ 30 mm の水切りを設けることとした。本線部およびランプ部の上床版と連結部は鉄筋にて接続することとし、架設時の主桁のたわみの影響を受けないように、構造系完成後に施工を行った。

下り P2 はラーメン橋脚であり、桁高が 9.5 m あることから外ケーブル定着部の点検が行い難い。そこで、維持管理性の向上を目的に、上床版と同じく本線部とランプ部の

下床版を横桁面から 1.5 m の幅で連結し、桁内からその連結部に通じる人通孔を設けた上で、連結部から定着部近傍に昇降できる検査路を設け、外ケーブル定着部の検査ルートを確認することとした。連結部は、張出し施工時の本線部とランプ部の主桁のたわみ差による影響を考慮し、連結部の中央に 75 cm の目地を設けて柱頭部施工時に施工し、閉合部施工後に目地部を打設した。写真 - 4 に下り P2 分岐部を示す。

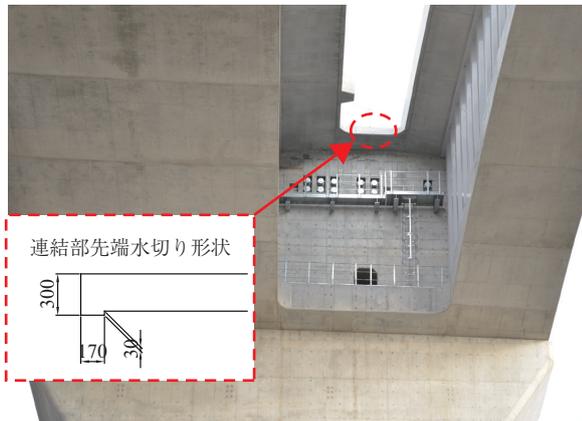


写真 - 4 下り P2 の分岐部の構造

6.2 柱頭部人通孔の構造

本橋は多室箱桁構造のため、点検時に左右の箱桁間を比較的容易に移動できるよう、柱頭部人通孔を橋軸直角方向に移動できる構造とした。それにより、維持管理性の向上とともに、波形鋼板には人通孔としての開口部を設ける必要はなくなり耐久性の向上も図った。写真 - 5 に柱頭部人通孔の施工状況を示す。



写真 - 5 柱頭部人通孔の施工状況

7. おわりに

本稿では、豊田東 JCT に接続する豊田巴川橋の設計および施工の概要について報告した。本橋では、ジャンクションと接続することによる幅員変化や主桁の分岐構造に対して、3次元 FEM 解析を行い品質確保につながる設計を行った。さらに、波形鋼板を架設材兼用する急速施工法を採用することにより工程確保を図るとともに、温度変化や

施工条件も踏まえた上げ越し管理を行うことによって、164 m という長支間の波形鋼板ウェブ箱桁橋の橋面高さの出来形確保につなげた。また、分岐部の外ケーブル定着部の養生や柱頭部人通孔の構造を工夫することにより耐久性および維持管理性の向上を図っている。本橋は平成 26 年 11 月に無事しゅん功を迎えた。写真 - 6 に最大支間長 164 m となる下り P2 - P3 の、写真 - 7 に分岐構造である下り P2 の完成写真を示す。本稿が同種橋梁の設計および施工の一助となれば幸いである。



写真 - 6 下り P2 - P3 の完成全景



写真 - 7 下り P2 の完成全景

参考文献

- 1) 竹田, 川島, 廣瀬, 平, 池谷, 清水: 新東名高速道路 豊田巴川橋 (仮称) の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol48, No4, pp.5-10, 2014.4
- 2) 清水, 竹田, 廣瀬, 池谷: 新東名高速道路 豊田巴川橋 (仮称) の施工, 第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.5-8, 2014.10
- 3) 畔柳, 高橋, 上杉, 横田, 保坂, 上東: 広幅員・分岐桁を有する波形鋼板ウェブ箱桁橋の計画と設計, 橋梁と基礎, Vol44, No3, pp.20-25, 2010.3
- 4) 横田, 畔柳, 矢田, 上杉: 新東名高速道路 豊田巴川橋の計画と設計, 第 18 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.299-302, 2009.10

【2015 年 8 月 31 日受付】