

栗東橋の施工と計測

— 波形鋼板ウェブ PC エクストラードーズド橋 —

井手 俊也 *1・計良 和久 *2・須田 隆 *3・橋野 哲郎 *4

1. はじめに

栗東橋は、琵琶湖の南端から東南東に約 10 km、第二名神高速道路の天津 JCT と信楽 IC の中間付近に建設される PC 橋である。急峻な山岳地域という地形的な制約に加え、希少植物の保護という観点から橋脚位置が制限され、側径間比率が長い支間割りとなっている。このため長支間に適応可能なエクストラードーズド（以下 ED と略す）構造が採用された。一方、主桁自重の軽減、施工の省力化が可能な波形鋼板ウェブを採用し、広幅員に対応するため 3 室箱桁断面としている。写真 - 1 に全景写真を、図 - 1 に橋梁一般図を示す。

栗東橋の施工では、A 2 側の側径間閉合において、波形鋼板ウェブ橋の特長を生かした新工法を採用することで、希少植物が生育する斜面をまったく使用しない施工方法を実現した。また、最大張出し長 108 m に及ぶ波形鋼板ウェブ橋のたわみ管理として、三次元自動計測をはじめとする各種計測を実施した。本稿では、上記を中心に栗東橋の施工と計測について報告する。



写真 - 1 栗東橋全景

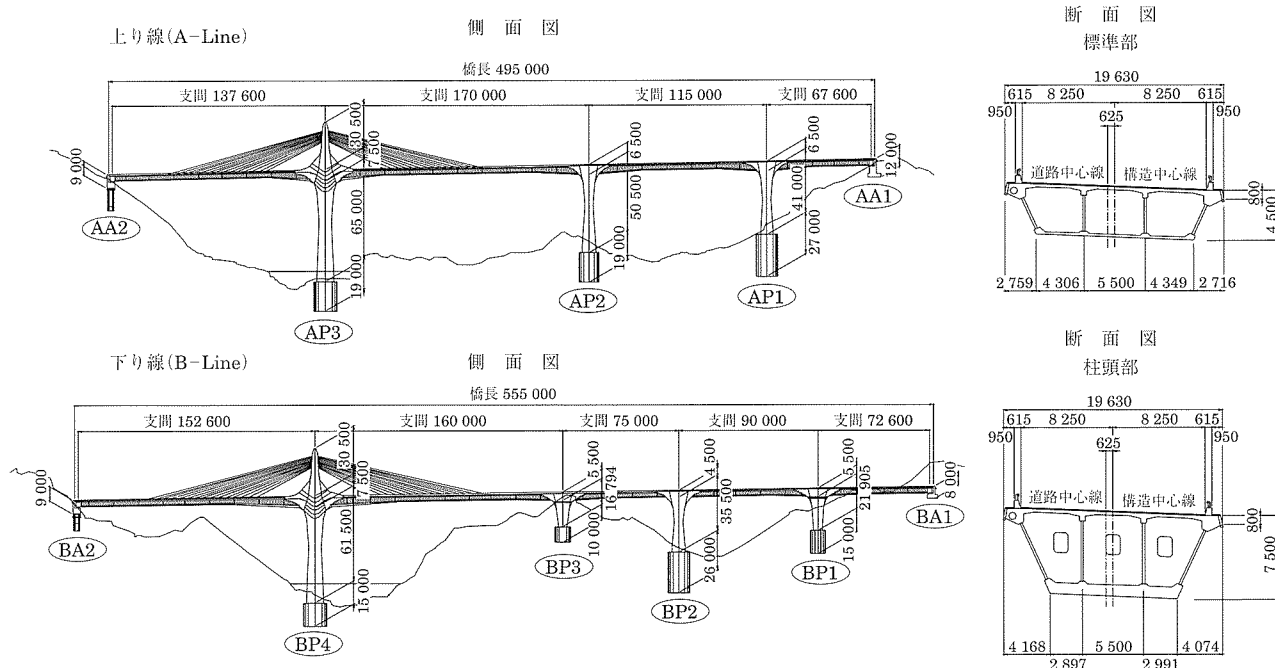


図 - 1 橋梁一般図

*1 Toshiya IDE : 西日本高速道路 (株) 関西支社 天津工事事務所 信楽工事区 工事長

*2 Kazuhisa KEIRA : 西日本高速道路 (株) 関西支社 天津工事事務所 信楽工事区

*3 Takashi SUDA : ピーエス三菱 (株)・ピーシー橋梁 (株)・ドービー建設工業 (株) 共同企業体

*4 Tetsuo HASHINO : ピーエス三菱 (株)・ピーシー橋梁 (株)・ドービー建設工業 (株) 共同企業体

2. 橋梁概要

工 事 名：第二名神高速道路 栗東橋（PC 上部工）工事
道路規格：第 1 種 1 級（A 規格）

工 期：平成 13 年 7 月～平成 19 年 4 月

形 式：波形鋼板ウェブ PC エキストラード橋

橋 長：上り線 495 m 下り線 555 m

支 間 割：上り線 138 + 170 + 115 + 68 m

下り線 153 + 160 + 75 + 90 + 73 m

有効幅員：16.50 m

平面線形：R = 3 000 m ～ A = 1 200 m

縦断勾配：上り線 2 % 下り線 1.5 %

横断勾配：4 %

図 - 1 に全体一般図を、また上部工橋体工の主要材料概算数量を表 - 1 に示す。

表 - 1 主要材料の数量

項 目	仕 様	単位	数量	備 考
コンクリート	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$	m ³	12 100	ED 部
	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	13 000	一般部
	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$	m ³	925	主塔部
鉄筋	SD345, SD490, SD685	t	5 900	
	19S15.2 エポキシ被覆鋼材	t	726	
P C 鋼材	IS28.6 プレグラウト鋼材	t	164	
斜材	109 ϕ 7 亜鉛メッキ PE 被覆鋼材	t	284	鋼線質量
波形鋼板ウェブ	SM490Y	t	2 435	
鋼製ダイヤフラム		t	933	
主塔鋼製定着体		t	184	

3. 施工概要

本橋では、図 - 2 に示すように移動作業車を用いた張出し施工を行った。ED 部では、大型架設作業車を用いてブロック長 4.8 m、一般部では中型架設作業車を用いて、ブロック長 4.0 m で施工した。平均施工サイクルは実働日で、ED 部 18 日、一般部 14 日であった。次項以下に ED 部の施工について報告する

4. 施工報告

4.1 ED 部の張出し施工

(1) 施工サイクル

ED 部張出し施工の施工サイクル図を図 - 3 に示す。

ED 部の張出しブロック数は上り線 20 ブロック、下り線は 21 ブロックである。

全外ケーブルの張出し施工では、定着リブの鉄筋組立てが煩雑となり、工程短縮上の障害となりうる。この点について本橋では、定着リブの補強鉄筋をユニット化することで解消を図った（写真 - 2）。

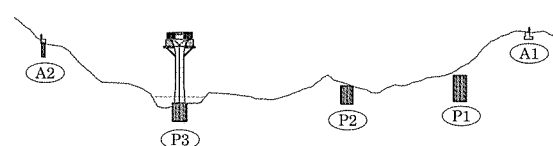
(2) 波形鋼板ウェブの施工

波形鋼板の接合は外ウェブではすみ肉溶接、内ウェブでは高力ボルト接合としている。

斜材定着ブロックでは波形鋼板ウェブとダイヤフラムが一体化されたパネル（写真 - 3）を使用している。運搬上の

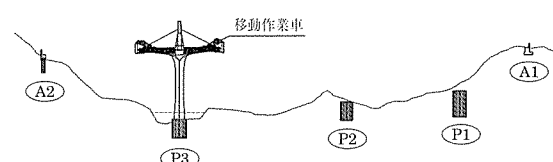
STEP-1

P 3 柱頭部施工



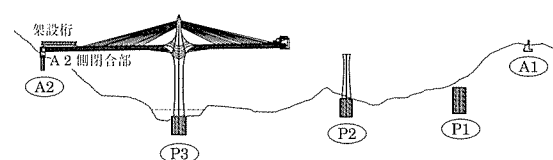
STEP-2

主塔一次施工、P 3 橋脚から主桁張出し架設



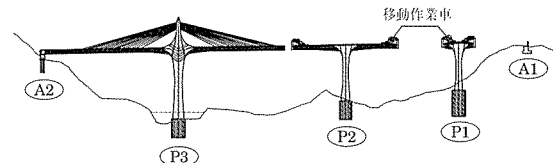
STEP-3

主塔二次施工、A 2 ～ P 3 側径間部主桁の閉合



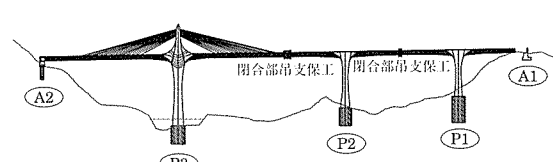
STEP-4

P 2 柱頭部施工 → P 2 橋脚からの主桁張出し架設、P 1 柱頭部施工 → P 1 橋脚からの主桁張出し架設



STEP-5

P 3 ～ P 2 径間閉合、P 2 ～ P 1 径間閉合



STEP-6

A 1 側径間部主桁の閉合 → 斜材調整 → 橋面工施工

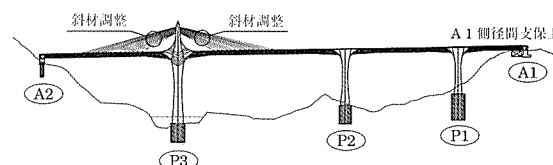


図 - 2 施工順序（上り線）

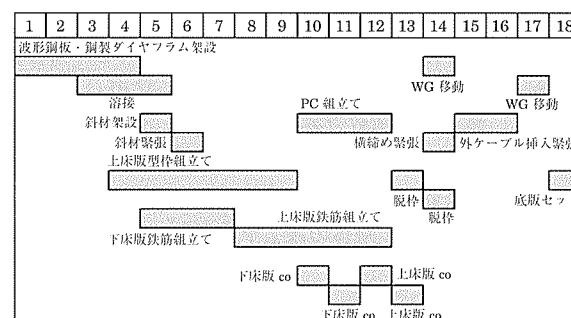


図 - 3 ED 部施工サイクル

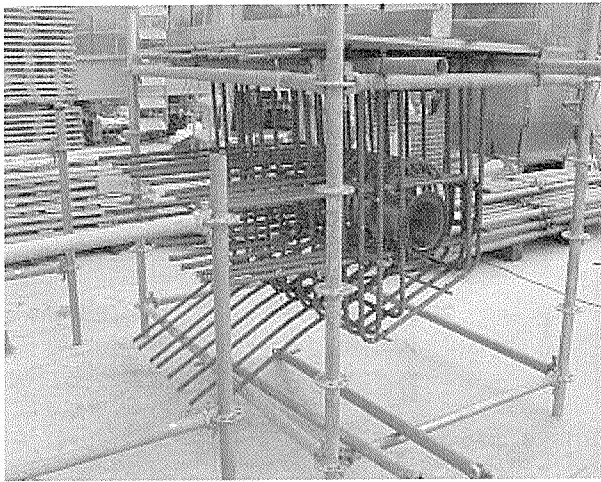


写真-2 ユニット化した外ケーブル定着部鉄筋

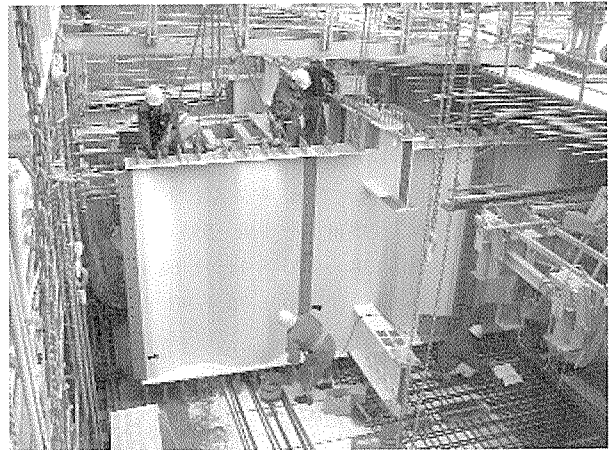


写真-3 鋼製ダイヤフラム付き波形鋼板の架設

理由から、鋼製ダイヤフラムは8ピースに分割しており、部材間の接合は高力ボルト接合を用いている。

(3) 斜材の架設および緊張

斜材には、耐久性に優れ、施工実績の豊富な亜鉛メッキ鋼材をポリエチレン被覆したプレファブケーブル(109φ7)を使用している。架設はクレーンを用いて行い(写真-4)、緊張はセンターホールジャッキで約4000kNの緊張力を与えた。張力はシムプレートの厚さを増減することによって調整している。

(4) 斜材の再緊張

施工中の斜材張力の低下分を補うため、張出し施工終了後、再緊張をおこなっている。再緊張を行わない場合に比べて、ケーブル容量が小さくて済み、コスト減となっている。施工は、写真-5のような移動できる吊下げ式の台車にジャッキを配置し、全てのケーブルを再緊張した。

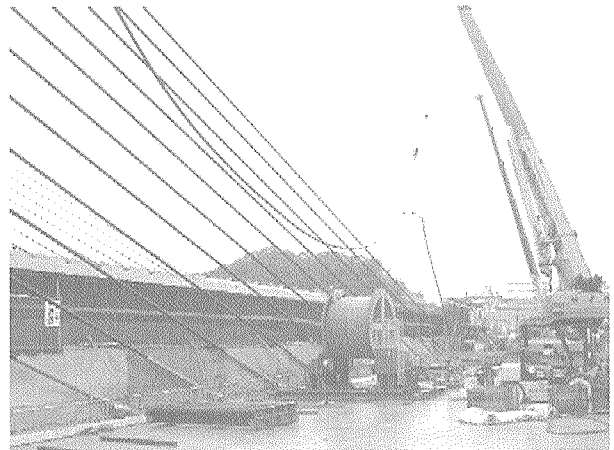


写真-4 斜材ケーブルの架設

4.2 主塔の施工

(1) 主塔基部の施工

主塔鋼製定着体の基部となる16.5mの高さを有する鉄筋コンクリート主塔の施工は、高さ5.5mずつ3ロットに分割して施工した。マスコンクリートとなるため、びび割れを防止するべく、低発熱コンクリートを使用し、エアパイプクーリングを行った。

(2) 主塔鋼製定着体の施工

高さ約10mの主塔鋼製定着体は、荷役設備の能力上、高さ方向に4分割して設置した(写真-6)。各ピースの接合面はメタルタッチ併用摩擦接合継ぎ手を採用している。施工中は、基本的に鋼製定着体で斜材張力に抵抗する構造としているが、基部のコンクリートの支圧応力度を緩和するために、第7斜材緊張後に、基部コンクリートの巻立てをおこなった。鋼製定着体の施工手順を図-4に示す。

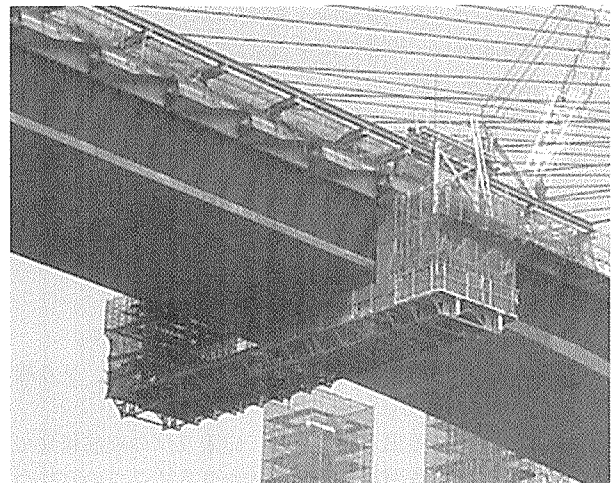


写真-5 斜材再緊張台車

4.3 側径間の施工

(1) 概要

従来、支保工の設置が困難な条件下での側径間閉合部の施工は、張出し先端と橋台の間に架設したH形鋼などの梁で荷重を負担する方法で行われているが、本橋では閉合距離が約30mと長く、この方法は適用不可能である。そこ

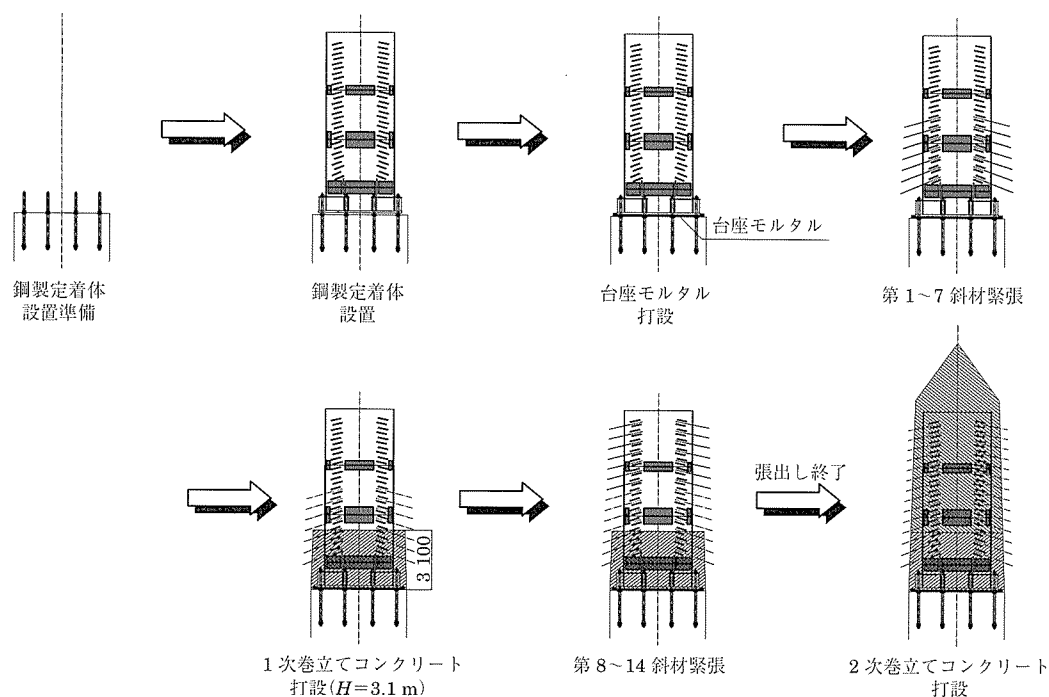


図 - 4 鋼製定着体の施工手順

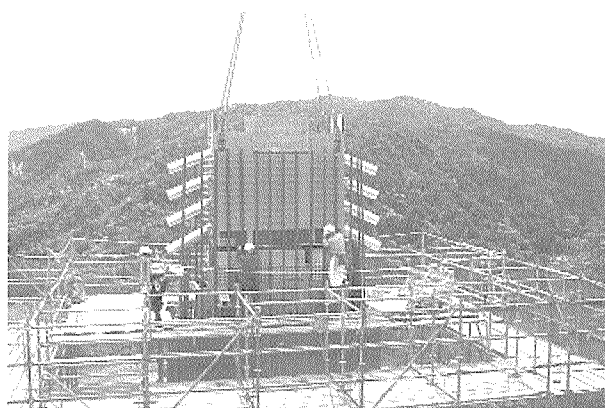


写真 - 6 主塔鋼製定着体の接合部



写真 - 7 波形鋼板ウェブ桁の架設

で、波形鋼板ウェブを鋼桁化して先行架設し、コンクリート荷重を負担する本工法を考案し、アバット側からの逆張出し工法や大型トラス桁を架設して支保工を吊下げる工法と比較検討した(表 - 2)。本施工法は、大型架設材を必要としないので、大幅なコスト減となるとともに、施工時のアンバランスモーメントやたわみを低減することができるメリットもある。また図 - 5 に本工法の施工手順を示す。

(2) 施工方法

① 波形鋼板ウェブ桁の架設

橋面の台車上に、分割した波形鋼板ウェブを配置し、対傾構および横構で2枚1組に形状保持した後、溶接接合した。波形鋼板ウェブ桁の組立てと平行して、架設桁2本を送り出し架設し、吊り装置を設置、その後、橋面のレール上を引き出し(写真 - 7)所定の位置にセットした。

② 波形鋼板ウェブ桁の連結

既設の波形鋼板ウェブと溶接にて接合する。接合方法は、桁接合部と同様、フランジを突き合わせ溶接、

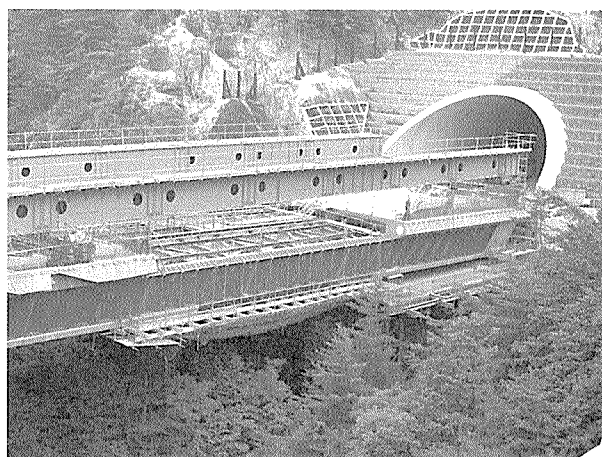


写真 - 8 下床版の施工

○ 工事報告 ○

ウェブを重ねすみ肉溶接としている。接合後、内ウェブ間の対傾構を設置し波形鋼板を一体化した。

③ 下床版の施工

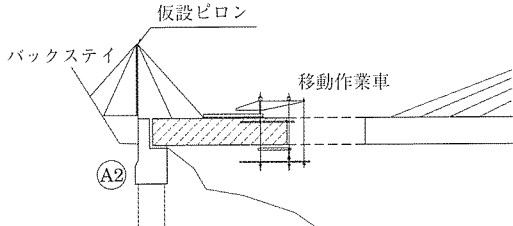
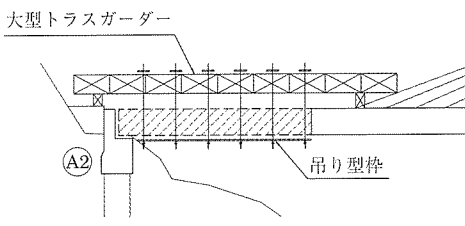
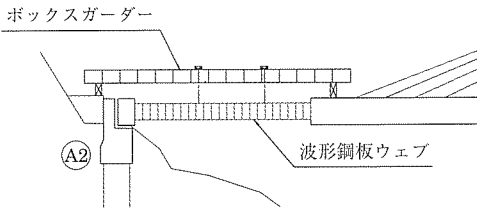
架設された波形鋼板の対傾構上に設置したH鋼から型枠を吊り下げ、分割施工を行った（写真 - 8）。施工時に発生するコンクリートの引張応力度に対して、プ

レストレスを導入した。

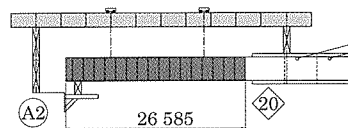
④ 架設桁の撤去

下床版コンクリート打設後、架設桁を撤去した。これによって、先行打設した下床版コンクリートに圧縮応力を導入した。

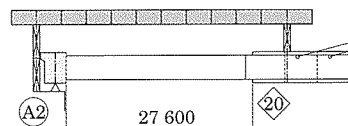
表 - 2 側径間部施工方法の比較

施工方法	概要	判 定
① 逆張り出し施工 	橋台付近にピロン柱を構築し、橋台支保工部で移動作業車を組立てる。仮設斜材（バックステイ）を配置しながら、順次張り出し施工を行う。 ただし、本橋では、トンネル坑口が橋台に隣接しており、バックステイの設置が困難であり、移動作業車等の組立てに必要なスペースが確保できない。	×
② 大型トラスガーダーによる施工 	橋面上でトラスガーダーを組立て、手延べ桁を用いて架設する。 側径間部の全主桁自重をトラスガーダーで支持する。大型トラスガーダーを新規製作する必要がある。	△
③ 波形鋼板ウェブを架設材として用いる施工 	ボックスガーダーにより側径間部の波形鋼板ウェブ桁を架設し、床版コンクリートを順次打設する。先行架設した波形鋼板ウェブ桁でコンクリート荷重を支持する方法によれば、大型のガーダーを製作する必要がなく、大幅なコスト縮減が可能となる。	○

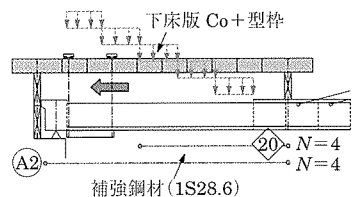
STEP ① ボックスガーダー、波形鋼板ウェブ桁架設



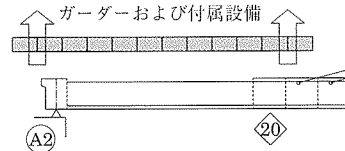
STEP ② 波形鋼板ウェブ桁連結



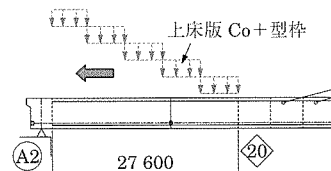
STEP ③ 下床版コンクリート分割打設(5.2 m+4@5.6 m)



STEP ④ 架設桁撤去



STEP ⑤ 上床版コンクリート分割打設(5.2 m+4@5.6 m)



STEP ⑥ 連続外ケーブル緊張



図 - 5 側径間施工手順（上り線）

5. 実橋計測結果

実橋計測は、構造物の出来形に大きく影響する上げ越し管理と設計計算の妥当性確認を目的として行った。計測は、施工期間中、長期にわたって計測する長期計測項目と、ある特定の施工段階のみに着目して計測する短期計測項目に分けて実施した。

計測項目と管理項目の一覧を表-3に示す。長期計測項目は、主に上げ越し管理に反映される項目で、変位や傾斜、各部材の温度等である。また、設計計算で重要な斜材張力、主桁コンクリート応力度についても長期的に計測を行うこととした。

一方、短期計測項目は、設計計算の妥当性を確認する項目であり、鋼製ダイヤフラムを用いた主桁側斜材定着部の応力計測や波形鋼板ウェブを架設材として用いた側径間閉合部の応力計測である。

表-3 計測項目と管理項目

計測項目	管理項目			
	たわみ管理	斜材張力管理	設計妥当性確認	異常の早期発見
①各部材の変位・傾斜	○		○	○
②各部位の温度	○	○		
③斜材張力	○	○	○	○
④主桁応力度・ひずみ			○	○
⑤波形鋼板ひずみ			○	○

本稿では、短期計測項目の計測結果と長期計測項目における主桁たわみ管理の概要について報告する。

5.1 側径間施工時の計測

A2側径間閉合部の施工は、フランジを連続化させた波形鋼板ウェブ桁に順次床版コンクリートを合成するため、施工の進捗に応じて主桁の剛性が変化する。設計にあたっては、通常の骨組解析結果を3次元弾性FEM解析により検証している。

さらに実橋での応力計測を実施することで、本施工方法に関する設計の妥当性を確認した。図-6に計測点の位置

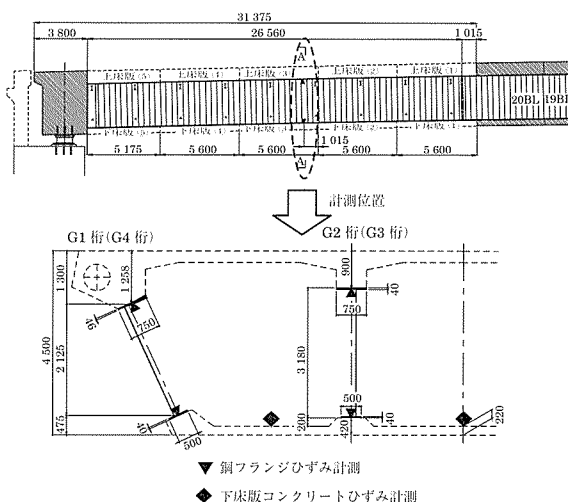


図-6 側径間部計測位置図

を示す。

(1) 上下フランジ応力度の推移

図-7および図-8は、下床版コンクリート第1ブロック打設から上床版コンクリート第5ブロック打設までのフランジ応力度累計値を示したものである。施工の進捗にともなうフランジ応力度の変化は、設計値（骨組解析値）と同様な傾向で推移していることがわかる。また、発生応力度の累計値についても、おおむね設計値と一致している。

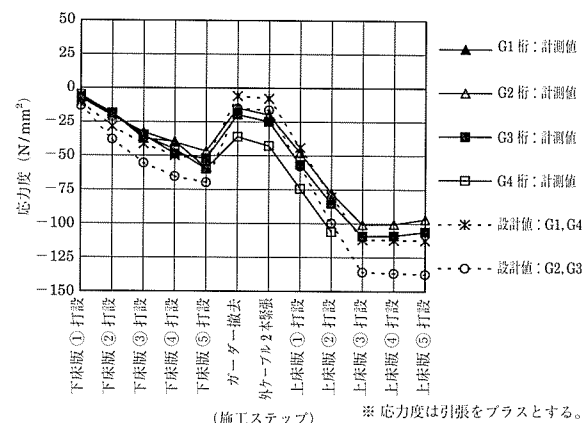


図-7 上フランジの応力度

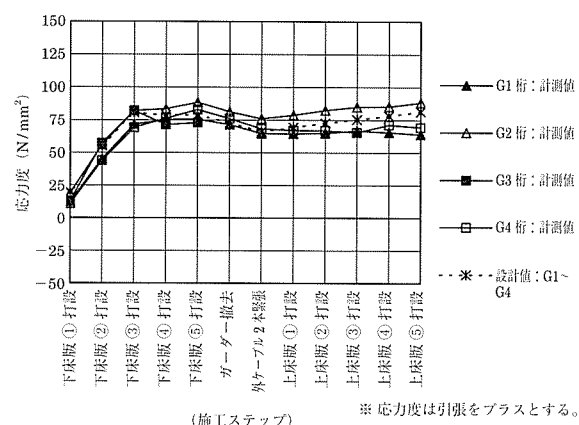


図-8 下フランジの応力度

(2) 下床版の合成による断面図心の変化

下床版コンクリートが合成することにより、上下フランジに発生する応力度の分布が変化する。この応力分布の変化を下床版コンクリート第2ブロック打設時と上床版コンクリート第2ブロック打設時の計測値から確認した。

図-9は、波形鋼板ウェブ桁の断面での発生応力度を、図-10は波形鋼板ウェブ桁に下床版コンクリートが合成した断面での発生応力度を示したものである。計測値には幾分のばらつきがあるが設計値と同様な傾向を示し、下床版コンクリートの合成による断面図心位置の変化が確認できた。

(3) 下床版コンクリートの応力度

ガーダー撤去の直前から上床版コンクリートの打設完了までの間について、下床版コンクリートの軸方向応力度を

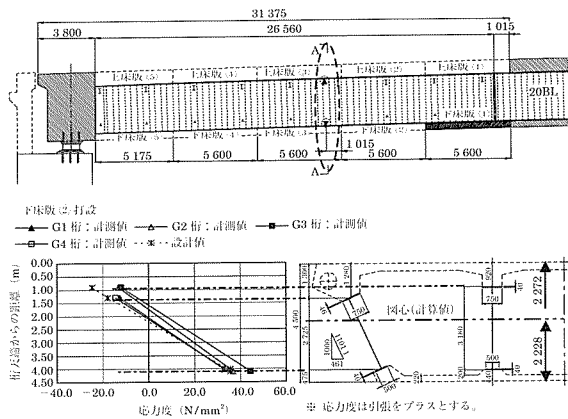


図-9 下床版第2ブロック打設による発生応力度

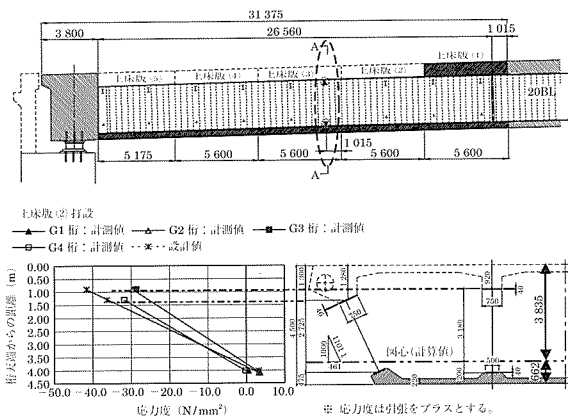


図-10 上床版第2ブロック打設による発生応力度

計測した。計測は、図-6に示す位置で行った。

図-11は、各施工段階における応力度累計値について解析値と計測値を比較したものである。計測の結果から、ガーダー撤去により導入される圧縮応力度や上床版打設による引張応力度は、解析値と良く一致しているといえる。

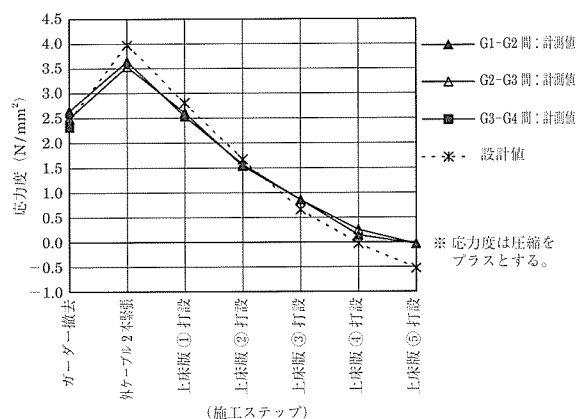


図-11 下床版コンクリートの応力度

5.2 主桁たわみ管理

(1) 自動変位計測

本橋の施工は、斜材を順次緊張しながら張出し架設するものであり、構造系が順次変化する。したがって、たわみ挙動を十分に把握することが上げ越し管理においては重要となる。そこで、たわみ管理の手法としては、各ブロックのコンクリート打設後に実施するレベル測量結果と設計計画高さの比較を行う一般的な方法に加えて、主塔・橋脚の傾斜計測やコンクリート・斜材の温度計測等の計測工を実施して総合的に判断するものとした。

さらに、光波測距器による自動変位計測システムを導入し、張出し施工時における主桁・主塔の変形挙動や昼夜の温度変化によって生じる変形を経時的に計測した。図-12および写真-9に自動変位計測システムの概要を示す。

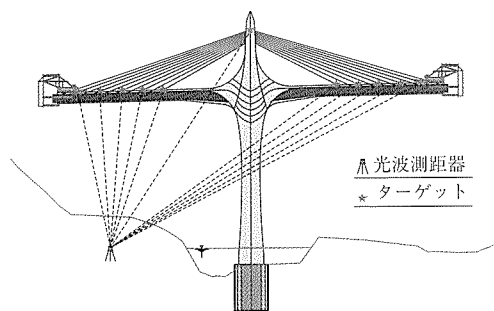


図-12 自動変位計測計画

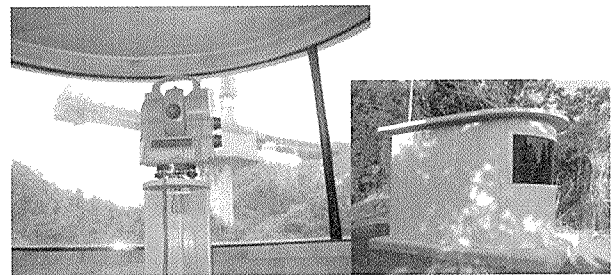


写真-9 自動変位計測システム

図-13は、荷重変動のない休工期（2004年3月28日）の張出しブロック先端（張出し長108m）の鉛直たわみ変化を示している。計測時点の施工段階は、図-2におけるSTEP-3の状態である。計測結果から、最大張出し状態であるP2側20ブロック先端では140mm程度の日変動があるが、波形鋼板ウェブ桁により閉合しているA2側20ブロック先端では30mm程度の日変動となっていることがわかる。これによって、波形鋼板ウェブ桁を先行架設して閉合することにより、張出し先端の鉛直変位量を大きく低減できることが確認できた。

図-14は、同日における床版コンクリートと斜材の温度計測データである。この計測結果より、温度変化による主桁たわみ量について設計計算値との照合を行った。また、これらの計測データから各部材間の温度差がもっとも小さ

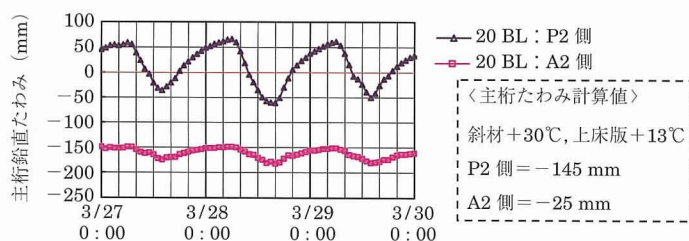


図 - 13 自動変位計測結果 (20 ブロック先端)

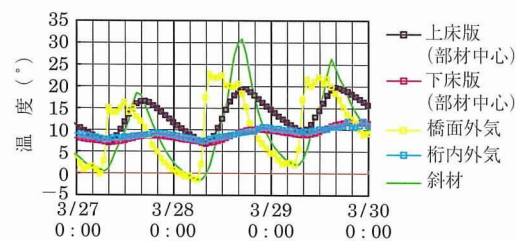


図 - 14 各部材の温度計測結果

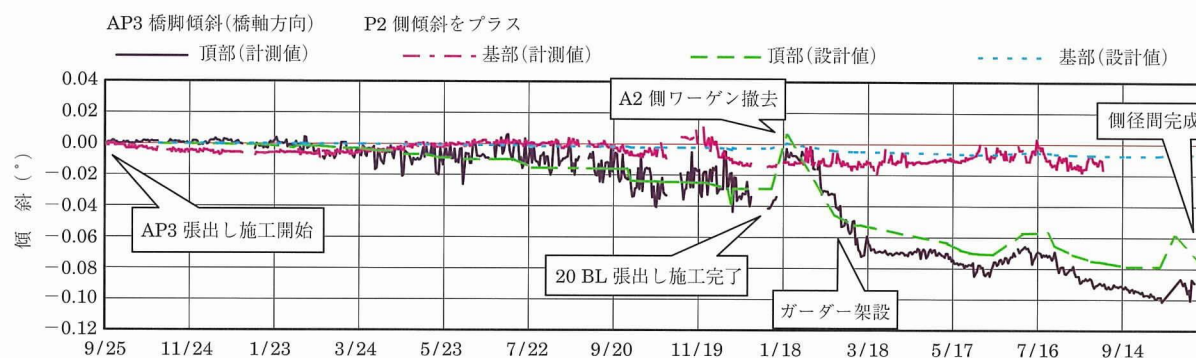


図 - 15 AP3 橋脚頂部の傾斜計測結果

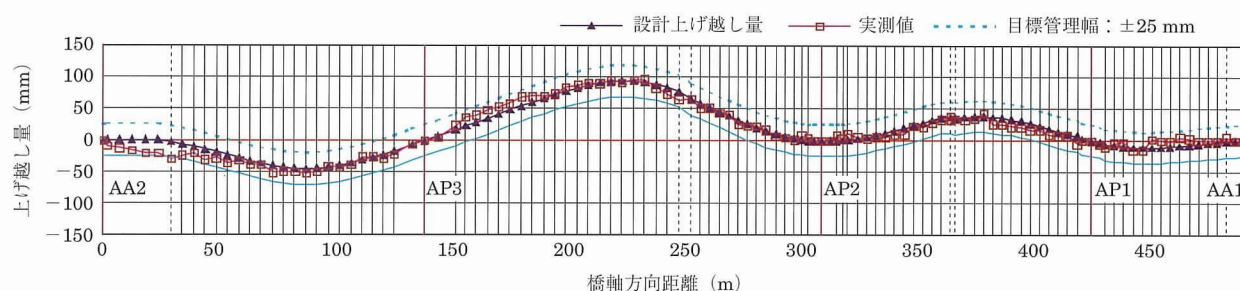


図 - 16 上げ越し管理図 (上り線)

くなる時間帯を把握し、型枠セット時の測量時間帯に反映した。

(2) 橋脚の傾斜計測

上り線 AP3 橋脚では、橋脚基部と頂部さらに主塔頂部の 3 箇所に傾斜計を設置し、張出し架設開始から側径間閉合までの間の傾斜を計測した。図 - 15 は、橋脚基部および橋脚頂部の橋軸方向傾斜の計測値と設計値を比較したグラフである。計測値は、張出し施工開始から最終 20 ブロックの完了まで、設計値とほぼ一致した傾斜値を示している。その後、側径間閉合部の施工による橋脚頂部の傾斜は、設計値よりも A2 側への傾斜が大きくなる傾向を示した。これは、橋脚基部の傾斜が設計値とおおむね一致していることから、橋脚の曲げ変形量が設計値よりも若干大きくなった影響と考えられ、橋脚の曲げ剛性の設計値との差や側径間施工時の架設機材重量の誤差等が原因であると推測できる。

側径間完成時点において、傾斜値の差は $\theta = 0.01^\circ$ 程度となり、張出し先端の鉛直変位量としては 20 mm 程度の影響を受けている。その結果、図 - 16 の構造完成時点の主桁上越し管理図に示すように、側径間部の主桁天端標高は設

計計画値に対し低めの傾向となった。

以上が本橋における、主桁たわみ管理結果についての概要報告である。今回、これらの計測工を実施することで、主桁たわみ挙動の把握をすることが可能となり、ほぼ適正な主桁たわみ管理が実現できた。

6. おわりに

栗東橋は、波形鋼板ウェブと PC エクストラード構造を組み合わせた初めての構造形式として、平成 14 年 1 月から上り線 AP3 橋脚の柱頭部施工を開始した。そして、平成 18 年 7 月現在、工事進捗率は 95 % に達し、橋体工の施工は下り線 BA2 側径間閉合部の施工を残すのみである。

来春には竣工をむかえ、橋梁の正式名称も一般公募により近江大鳥橋（おうみおおとりはし）に決定している。ここで、これまで栗東橋の設計施工を進めるにあたって貴重な助言をいただいた、数多くの関係者各位に感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 宮内, 安川, 中蘭, 森, 張: 第二名神高速道路栗東橋の計画と設計,

橋梁と基礎, Vol.37, No.12, PP.9-PP.18, 2003.12

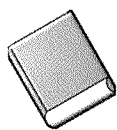
2) 中崗, 福原, 西田, 須田: 第二名神高速道路栗東橋の施工, 橋梁と基礎, Vol.38, PP.5-PP.11, 2004.10

3) 藤田, 福原, 宇佐美, 張: 栗東橋の設計概要, 第12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, PP.661-PP.664,

2003.10

4) 高瀬, 中崗, 福原, 西田: 栗東橋の施工概要, 第13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, PP.13-PP.16, 2004.10

【2006年7月10日受付】



新刊図書案内

National Report

— The Second *fib* Congress 2006 —
— Naples ITALY (英・和文併記) —
2006年5月

頒布価格: 会員特価 6 000 円 (送料 500 円)

: 非会員価格 7 200 円 (送料 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会