

南海本線跨線橋架設工事 — 関西空港連絡線下り線高架化工事 — CONSTRUCTION OF NANKAI RAILWAY VIADUCT FOR THE KANSAI AIRPORT

菊寄 良侑¹⁾ 嘉村 昌浩¹⁾ 岡田 昌樹²⁾
Yoshiyuki Kikuzaki Masahiro Kamura Masaki Okada

1. まえがき

平成6年6月より仮線にて運行されていた南海空港線（泉佐野～関西国際空港）の高架化工事において、平成4年にアンカーフレーム（DP4）、平成14年に鋼製橋脚（DP4）、平成15年に上部工（DGC3、4）の製作工事を受注し、引き続き、上部工の架設工事に従事した。本架設工事は軌電停止中の作業となる時間の制約と、施工箇所が住宅地に近接し、作業ヤードの厳しい制約条件から、架設工法は手延べ機による送出し工法を採用した。図-1に位置図、図-2に一般図、図-3に断面図を示す。

荷重：165 kN/1 軸
平面線形：R=600 m
縦断勾配：5.4‰～24.0‰
工期：平成12年12月～平成17年9月
施主：南海電気鉄道株式会社
元請：奥村・大成・南海辰村共同企業体
施工：ハルテック・日本橋梁共同企業体

2. 工事概要

工事名：空港連絡線建設工事（第4工区）のうち南海本線乗越部鋼桁架設工事
工事箇所：大阪府泉佐野市大西2丁目付近
構造形式：下路式RC床版鋼単純I桁橋
橋長：147.0 m（34.0+35.0+43.0+35.0）
架設工法：送出し工法
主桁間隔：5.9 m
鋼材重量：410.9 t（93.7+94.4+128.0+94.8）
（ハルテック製作分：222.8 t）



図-1 位置図

関西国際空港方

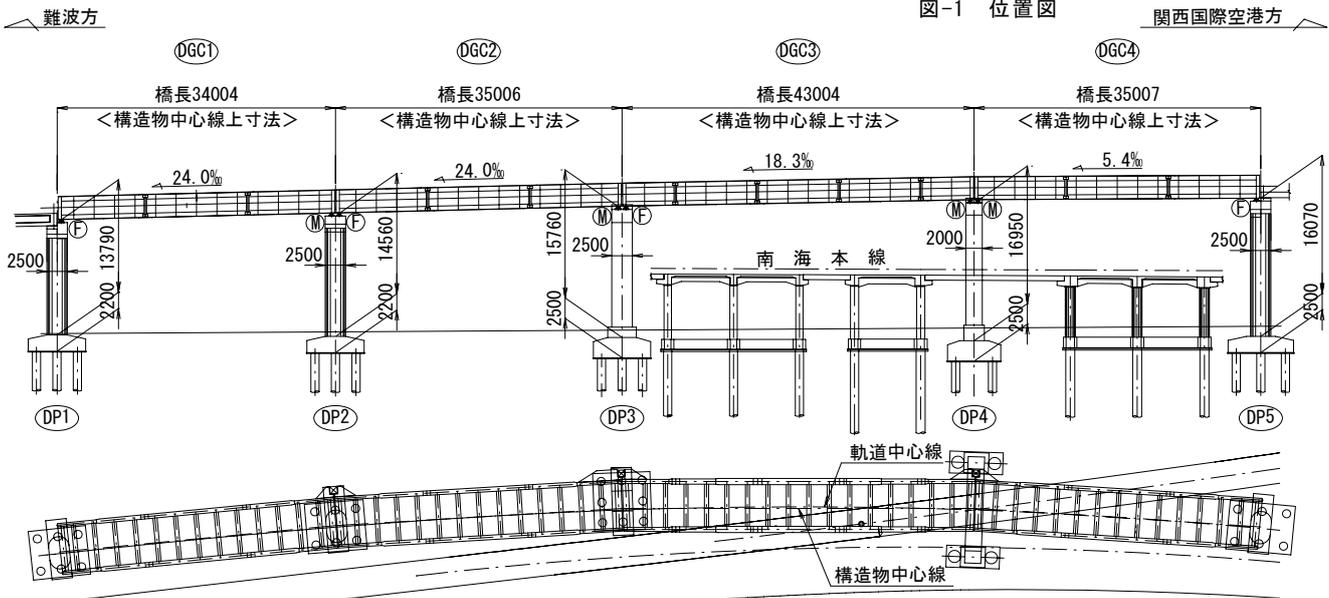


図-2 一般図

1) 第二生産グループ 工事部 大阪チーム
2) 技術グループ 設計部 大阪チーム

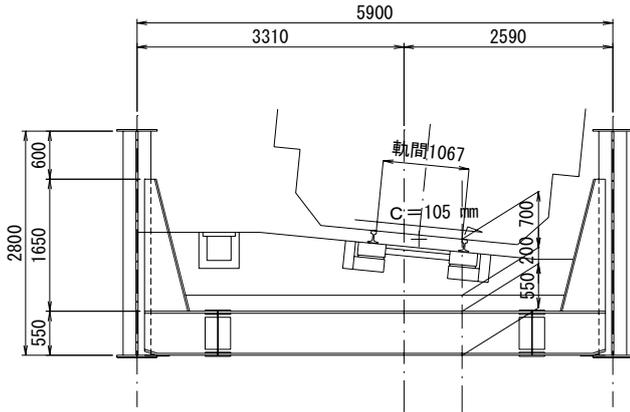


図-3 断面図

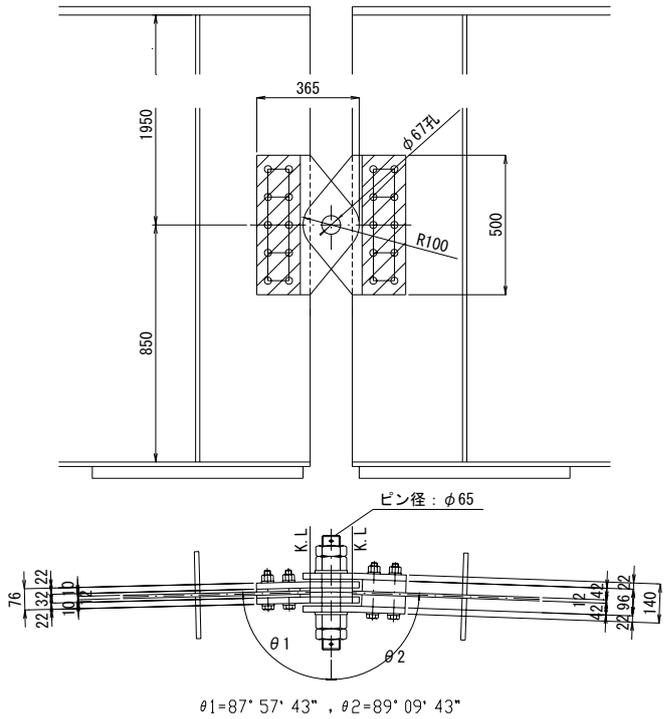
3. 架設計画

3.1 送出し時の主桁の連結方法

本橋は支間長の異なる単純桁4連(34+35+43+34m)から構成されており、各主桁の製作キャンバーや手延機の各橋脚への到達時先端たわみが異なるため、各桁を剛結して送り出すと各橋脚上での高さ管理が煩雑で作業時間が長くなり、限られた時間内(AM 0:00~4:00)での送り出し作業の進捗を妨げる要因となる。したがって、4連全てを図-4に示すピン構造で連結し、送り出すこととした。これにより送出し高さに誤差が生じても仮支点の反力の誤差は剛結の場合に比べて小さくなり、作業の進捗が容易となる。表-1に連結部の構造比較を示す。

表-1 構造比較表

	ピン連結	剛結
添接部構造	面外方向の変位に対して剛性が小さい	面内方向の変位に対して剛性が大きい
仮支点の架台調整	一定の架台量で対応可能	送り出し段階毎に架台高さを調整
反力調整	容易	煩雑
盛替作業時間	短時間	長時間



$\theta_1=87^{\circ}57'43''$, $\theta_2=89^{\circ}09'43''$

図-4 ピン連結構造図

3.2 送出し時の主桁の降下方法

主桁の降下方法としては、センターホールジャッキとジャッキングホイストによる方法、またはサンドルによる方法が考えられたが、ジャッキホイスト降下設備については、各橋脚上に設置スペースを確保できなかった。よって、限られた時間内での作業において、安全性・安定性・施工実績を重視し、図-5に示すようにサンドルを使用して各支点を交互に降下させていく方法を採用した。なお、降下1サイクル毎に設備の鉛直度の誤差などともなう水平方向の誤差(最大2mm程度)が生じると予測されたため、慎重に作業を行った。

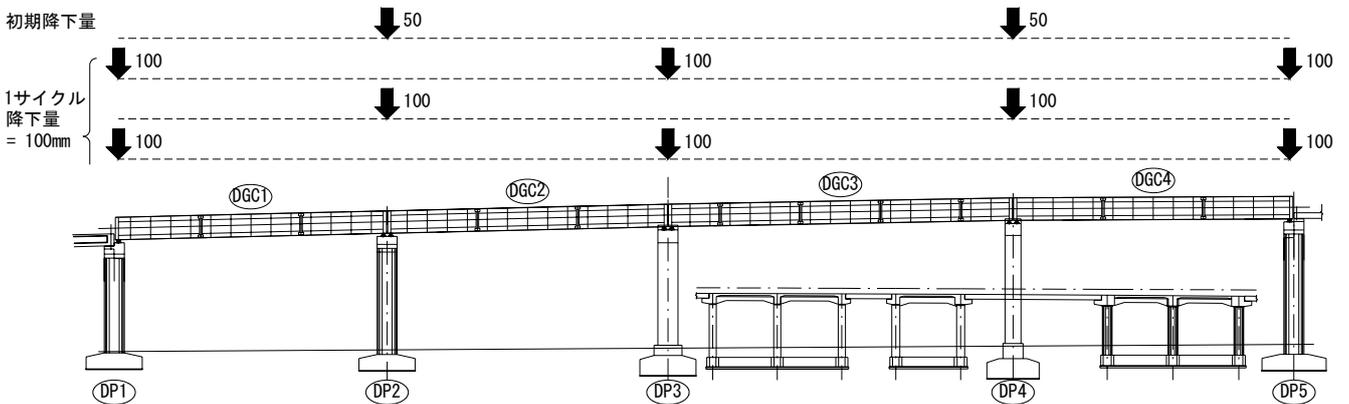


図-5 降下概要図

4. 架設準備

4.1 架設上の制約条件

(1) 時間の制約条件

DP3~5 にかけて DP4 鋼製門型橋脚の柱間を南海本線が運行しているため、手延べ機先端が DP3 に到達するまでの作業は AM 0 : 00~4 : 00 に制限された。そこで、この時間内での送出し量は作業の安全性や準備、片付けなどの時間を考慮し、15m/日 (6m/h) を目標とした。図-6 に作業サイクルを示す。

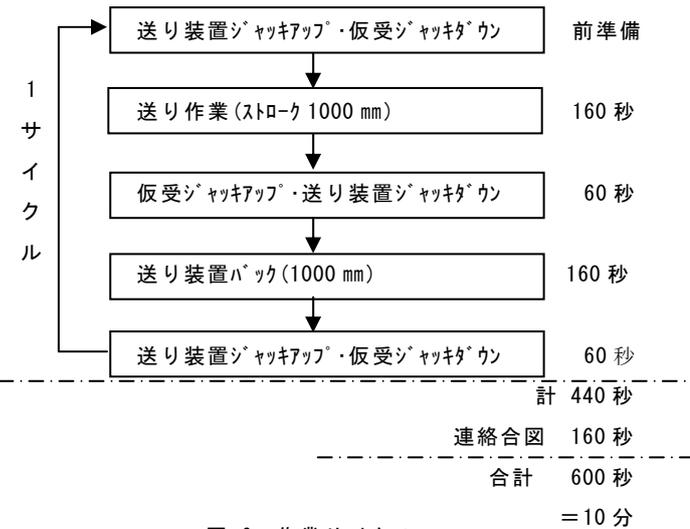


図-6 作業サイクル

(2) 線形上の制約条件

軌道の平面線形は R=600m で、鋼桁は縦断勾配と桁長の異なる直線の単純桁 4 連である。したがって、円弧上に沿って送り出す事は不可能であり、送り出しのための基準線として、送出し時の主桁中心線の軌跡と基準線のシフト量が最も少なくなるよう検討する必要があった。図-7 に架設全体図を、図-8 に送出し基準線を示す。

(3) 作業ヤードの制約条件

手延べ機と桁の組立ては、組立て用クレーンの設置や組立てスペースの制約より DP5 後方の RC ラーメン橋の橋面を使用することとした。また、軌道平面線形は曲率を有し、さらに主桁間隔が 5.9m と広いことから、図-7 断面図に示すように RC 橋脚支柱に方杖によるブラケット設備を設けて幅員を広げ、送出しヤードとしても使用した。

送出しヤードは、組立て用クレーン能力等により作業範囲が制限されたので桁の組立ては、1 回に 2 ブロックを基準とした。よって、送出し量も 1 回に 2 ブロック分となり、合計 14 回の送出しを行った。

(4) 計測管理の制約条件

送出し架設中や休工中(計測管理は 24 時間体制)の計測管理は各橋脚上で反力と橋軸直角方向の水平変位(以下、シフト量という)について行った。ここで、シフト量とは図-8 に示すように、送出し基準線と桁中心線の変位量を示している。断面図を図-9 に示す。

4.2 送出し架設

(1) 手延べ機と連結構

手延べ機本体は I 桁構造で全長は 24.5m とし、主桁間隔が 5.9m と通常より広いことから、耐風性と座屈に対する安定性を考慮して上下に横構を設置した。

連結構は手延べ機と同様の I 桁構造で全長は 2.5m とし、線形上の制約を緩和させるために平面折れを設けた。また、手延べ機先端が脚へ到達する直前の最大鉛直たわみを考慮して製作する必要があったが、本工事では不等径間であるため、橋脚上の受け台高さを抑えることを目的に短い支間でのたわみ値を用いて連結構の製作を行った。

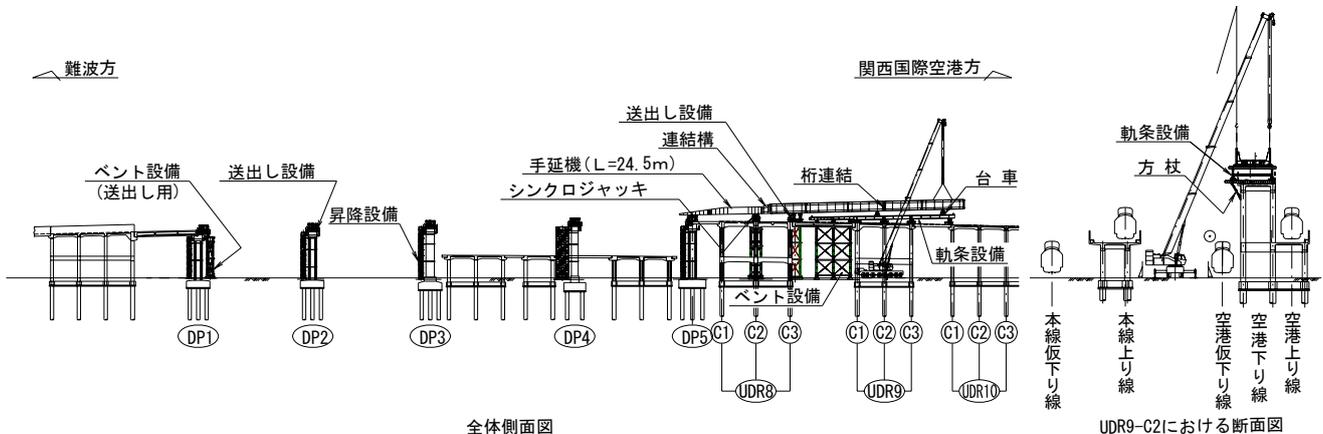


図-7 架設全体図

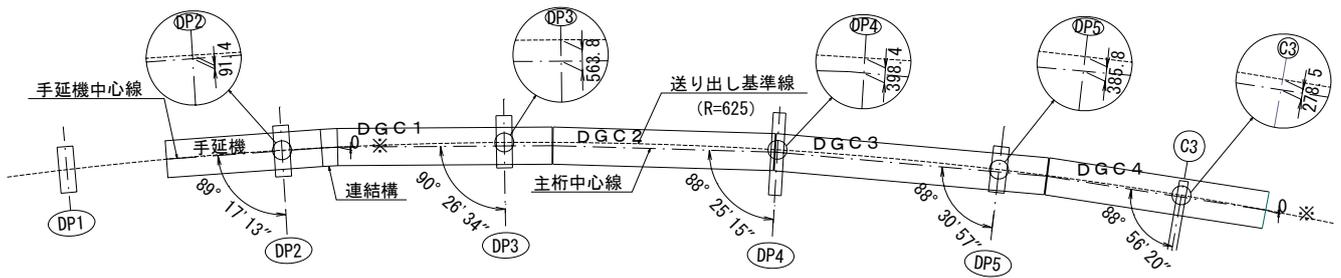


図-8 送り出し基準線

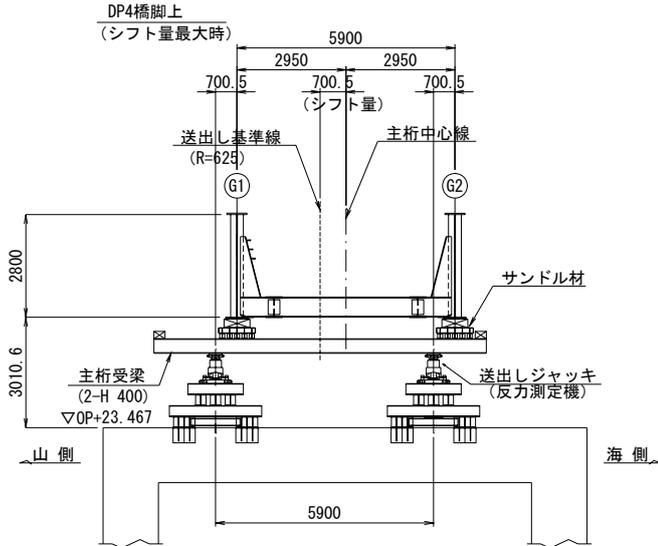


図-9 送り出し基準線とのシフト量

(2) 主桁の応力照査について

図-9 に示すとおり、送り出し中は送り出し基準線と主桁中心線にずれが生じ、受け点（送り出しジャッキ）と主桁との位置関係が変化するので、主桁に作用する鉛直反力・曲げモーメント・せん断力が施工ステップ毎に変化する。そこで、合計 14 ステップの送り出し開始時と終了時、および発生断面力の大きいステップ（主桁の補強が必要となる範囲）では送り出しジャッキの 1 ストローク（1,000mm）毎に解析を行った。この結果から、座屈防止のために腹

板へ補強を適宜行った。図-10 に最大応力時でのステップ図と補強箇所（着色部）を示す。照査は、鋼構造架設計施工指針 2001（土木学会）の提案式により水平補剛材と垂直補剛材で囲まれたパネルに対して行った。

なお、シフト量の変化による G1 と G2 の計算上の反力誤差は最大 170kN（G1 桁：630kN，G2 桁：800kN）であった。

(3) 送り出し線形の決定

本橋は曲線区間にあるため、主桁中心線とは別に送り出し用の基準線を設定した。具体的には、図-8 に示すとおり、送り出し完了時点での手延機の先端、主桁の先端および最後尾の 3 箇所における主桁中心を通る仮想円（R=625m）を想定した。なお、シフト量の変化にとまなない、営業線路上への張出し量の変化にも留意した。

(4) 送り出し設備の選択

送り出し設備は、送りしヤードに H 形鋼と 37kg レールから構成される軌条設備を設置し、台車上に手延べ機と桁 2 ブロックを組み立てた。送り出し装置（ジャッキ）は DP1～5 上と後方の RC ラーメン橋脚の 6 箇所各 2 基ずつ設置した。装置の構成は、送り台・鉛直ジャッキ・送りジャッキからなる送り出しジャッキ（反力：3,000kN，水平力：118 kN）と仮受けジャッキ（反力：3,000 kN）、および油圧ポンプユニットで構成される（写真-1）。送り台は手動油圧ポンプ操作により推進方向と直角方向の修正

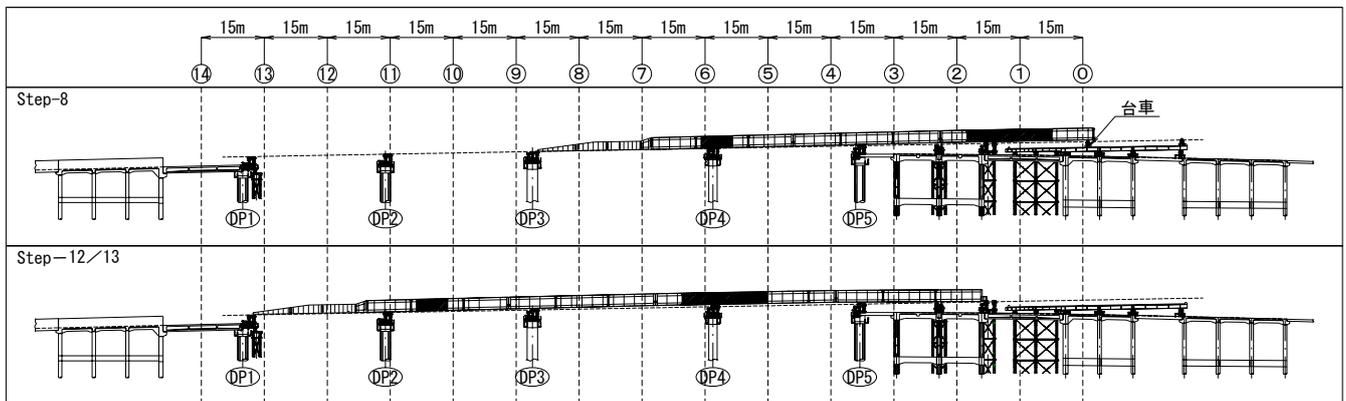


図-10 最大断面力発生時の架設ステップと主桁補強位置（着色部）

が可能である。また、DP5 の後方には、最初の1径間 (DP4-5) の送出し時に初期の推進力不足 (手延べ機を受けている送出し装置の反力が少なくすべりが生じる可能性が考えられた) を補うことを目的に、写真-2 に示すキャタピラタイプのシンクロジャッキ (反力: 1,960 kN) を設置した。さらに、送出しは下り勾配 (最大 2.4%) となるので、逸走防止対策として送出し後方軌条部にレールランプ設備とチルホールをそれぞれ2基セットして万全を期した。図-11 に逸走防止設備の配置図を示す。



写真-1 送りジャッキ 写真-2 シンクロジャッキ

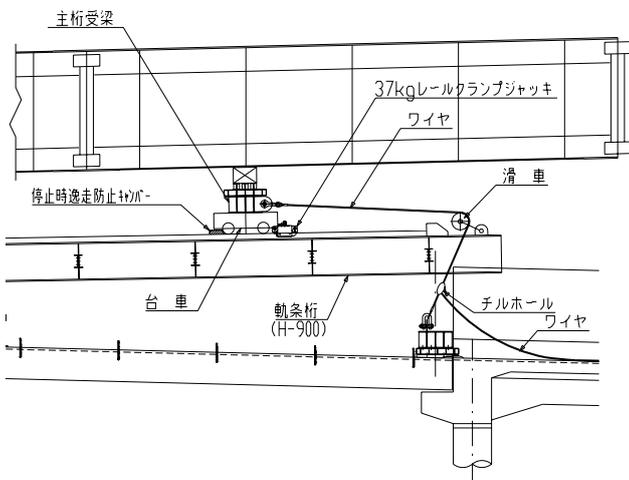


図-11 逸走防止装置配置図

(5) 計測管理システム

送出し時の主桁腹板の座屈防止を目的として、送出しジャッキ位置での桁受け点反力を監視する必要があった。そこで、各支点の送出し装置と集中管理室のパソコンを高速無線 LAN で結び、パソコン上で反力と変位をモニタリングしながら一括管理を行うシステムを採用した。各送出しステップにおけるジャッキ反力と送出し基準線からのずれ量の設計値をあらかじめ管理基準値として計測システムのパソコンにインプットしておき、基準値と計測値との誤差をリアルタイムで認識できるこのシステムにより、誤差が管理値を超えた場合は直ちに反力や変

位の調整が可能となる。同時に、送出し量、各ジャッキ反力および基準曲線に対する橋軸方向、橋軸直角方向の水平変位量や鉛直変位量も超音波変位計を使用してリアルタイムで計測を行い、誤差を補正しながら所定の位置まで安定した状態で安全に送出すことができた。

以上のように、各計測項目を一括で集中的に管理するシステムを構築することにより、施工の安全性と精度向上に努めた。その結果、計測した反力と設計値との間には大きな誤差が生じることなく、安全かつ高い精度で送出し作業を行うことが可能となった。図-12 に一括集中管理システムの画面、図-13 に計測機器類の配置を示す。画面では管理値と計測値との誤差の大きさにより、青→黄→赤色表示に変化し、問題箇所が即座に判断できるようになっている。その管理値を表-2 に示す。さらに、作業を行わない間も各変位計、反力計からの信号をパソコンに送り、想定外の反力値や異常な変位量の発生時には電話回線を通じて警報を関係先に発信するシステムとし、夜間および休日の異常発生に対応できる体制で万全を期した。

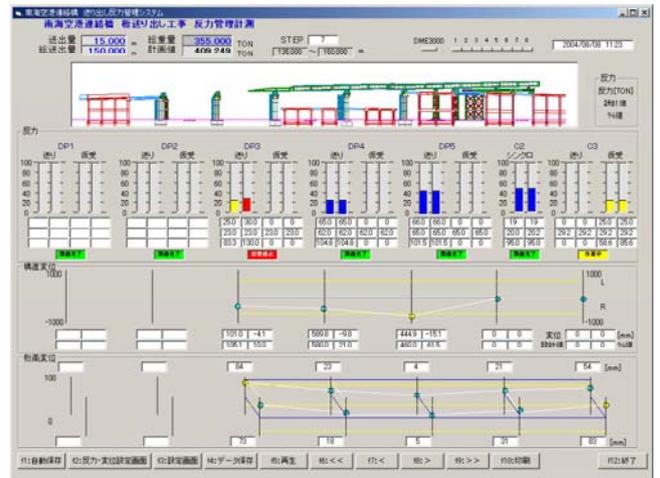


図-12 集中管理システム画面

(6) 送出し時の高さ管理

送出し時の桁の高さは、各橋脚に鉛直変位計 (超音波式変位計) を設置し、変位計からのデジタル信号を集中管理室のパソコンへ高速無線 LAN により転送し、これをもとに自動的に鉛直変位量を演算してもとめた。送出し作業時における高さ管理は、あらかじめ各送出しステップにおける設計値とキャンバーの合計を算出してパソコンにデータをインプットしておき、送出し時には鉛直変位をリアルタイムで計測した。ピン結合による送出しであることから、高さ方向の誤差は各橋脚の支点反力に大きな誤差が生じないかぎり、特別な修正は行わないこととした。

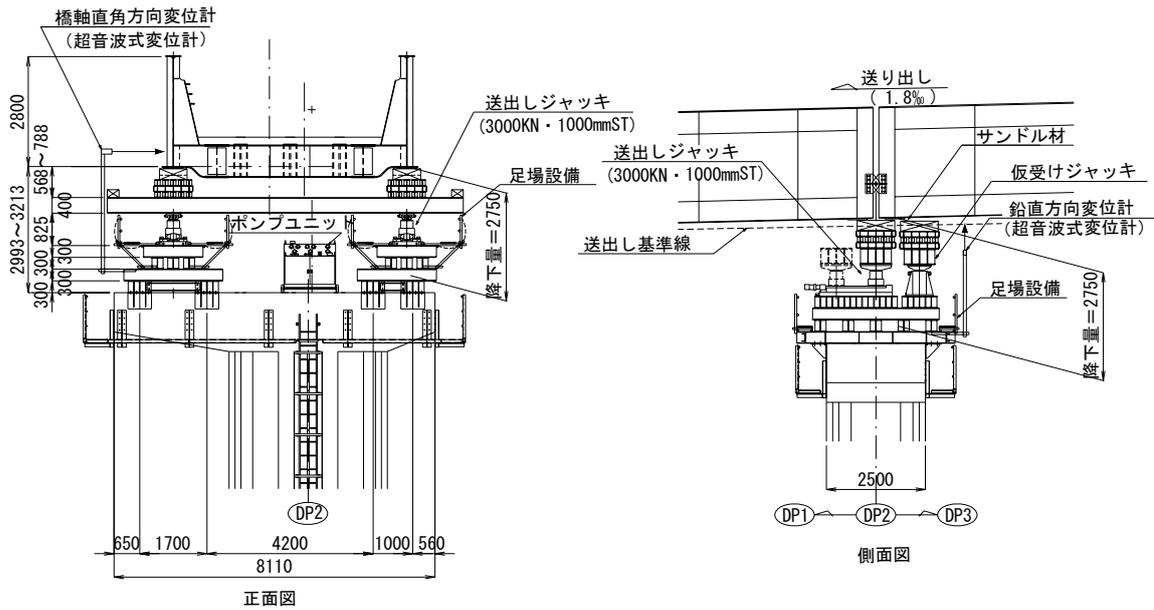


図-13 計測機器配置図

表-2 管理項目と管理値

管理項目	黄色表示	赤色表示	備考
支点反力	1.2Rd*1	Vcr*2/1.5	
シフト量誤差	15mm	30mm	水平方向の最大補正可能量 50mm
鉛直変位誤差	15mm	30mm	

注 *1: Rd とは架設ステップで仮支点に生じる反力
 *2: Vcr とは局所荷重を受ける腹板の座屈耐力

5. 架設結果

5.1 反力結果

反力の計測結果を図-14 に示す。ほぼ設計値付近を推移する結果となった。反力値に多少のばらつきがあったが、これは直線桁を曲線方向に送るため、図-8 で示したとおり、送りジャッキと主桁位置の断面方向のシフト量

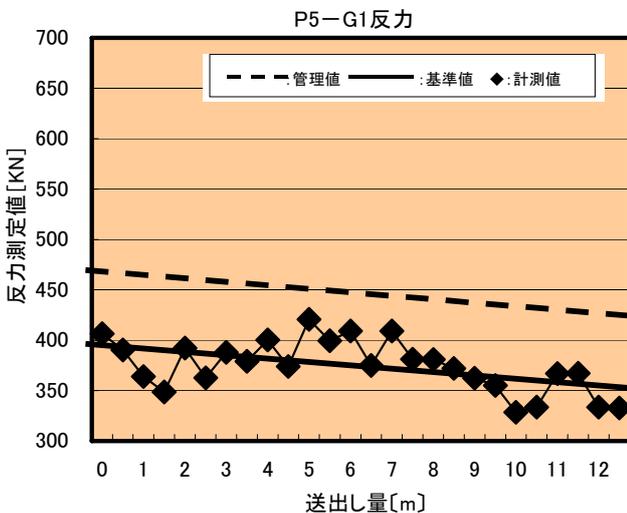


図-14 反力計測結果

が架設ステップの進捗に応じて変化することが原因である。

5.2 変位結果

水平変位量の計測結果を図-15 に示す。図に示す通り、一日の架設ステップの中で送出し量により大きく変化する。なお、基準値と計測値の異なることがあったが、これは変位計の超音波が垂直補剛材や添接板に干渉した結果であり、今後は計測機器の設置箇所や方法に工夫が必要と考えている。

また、ピン連結部が山折れから谷折れに急激に変化することや上フランジが干渉する恐れが予想されたが、架設ステップの解析ではその折れ角が小さいと判断できたので、特別な対策は行わなかった。しかし、架設条件が異なれば大きな変化が生じることが危惧されるので、詳細の検討が必要となる。なお、図-16 に上フランジの遊

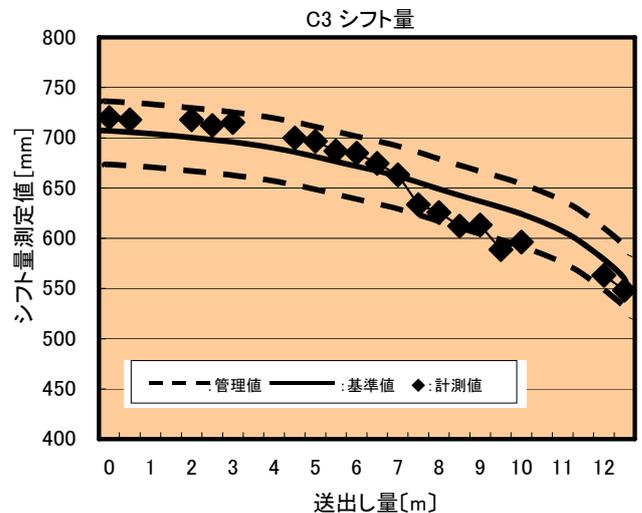


図-15 水平変位計測結果

間変化量の計算結果を示す。計算上は最大 10mm であり、送出し中の変化は実測により確認を行った。

写真-3 に送出し架設中のピン連結部、写真-4 に送出し架設中の全景を示す。

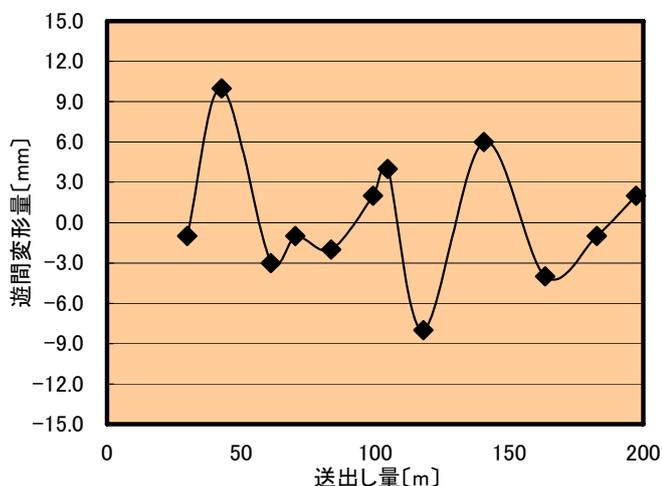


図-16 DGC1~2 遊間変化量

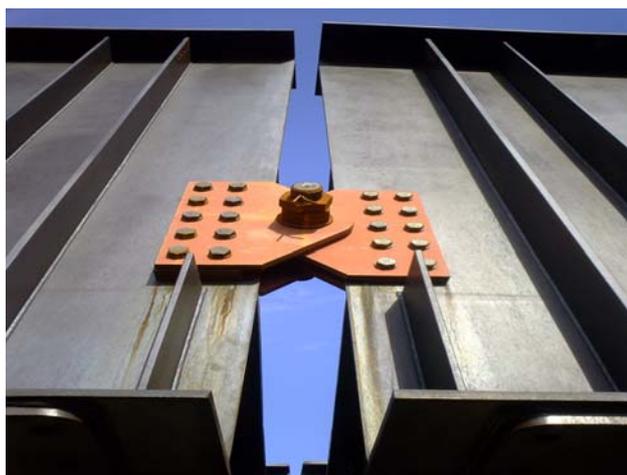


写真-3 ピン連結部



写真-4 送出し架設中の全景

6. あとがき

多くの制約条件が重なる中、経済性、架設中の安全性、工期の短縮、営業本線および近隣への配慮を含め、十分な成果を納めることができた。

また、本工事では前述した以外にも下記の特徴がある。

- ① 軌道構造にフローティング・ラダー軌道を開西で始めて採用した。
- ② 安全性向上・工期短縮のため、型枠と支保工を兼用した鋼製型枠（厚さ 6mm）を採用した。
- ③ ライフサイクルコスト（LCC）の最小化を目的とし、耐候性鋼板（錆安定化处理）を採用した。

詳細については、文献 3) にて報告しているので、参考にされたい。

最後に、平成 17 年 11 月 27 日に無事開通し（写真-5）、鋼橋であっても本工事に採用した優れた防音対策（フローティング・ラダー軌道）により走行音は低減されていると聞いている。本工事において、多大のご指導、ご協力を賜った南海電気鉄道株式会社、中央復建コンサルタンツ株式会社、奥村・大成・南海辰村共同企業体、大滝ジャッキ株式会社に心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中村，長谷川，楠井，山本，中原：高架橋上の営業線を乗り越す鉄道橋の計画・設計，建設コンサルタンツ協会近畿支部第 38 回研究発表会論文集，2005.7.
- 2) 梶谷，田中，長谷川：南海本線跨線橋鋼桁架設工事，日本鉄道施設協会誌，2005.5.
- 3) 中村，梶谷，長谷川，中原，村上，岡田：南海本線跨線橋の設計・施工，橋梁と基礎，2006.2.



写真-5 開通時状況（平成 17 年 11 月 27 日）

架設状況写真



写真-1 連結構と上横構



写真-3 手延べ機



写真-2 最後部逸走防止構造



写真-4 架設時の桁下状況