

新猪名川大橋上部工主桁部の施工

大阪建設局 池田工事事務所 奥田英品
大阪建設局 工事部 工事審査課 大池岳人

要 約

大阪池田線(延伸部)の新猪名川大橋は、一級河川猪名川を24.5°の斜角で渡河する橋長400m、主塔高さ90.5mの2径間連続PC斜張橋で、本形式ではわが国最大である。

柱頭部は河川占用期間の制約を受け、通常の支保工を用いた施工ができなかったため、ピロン式吊り支保工で施工を行った。張出し部は超大型フォルバウワーゲンを使用して施工し、張出ブロック長が6m、張出し施工長194mは日本一の規模となった。また、側径間部はブラケット方式の主桁制振工および支保工を設置し施工した。

斜材架設における従来工法では、橋面上に配置した移動式クレーンで、斜材の中間を吊り上げることによってサグ取りを行い、別の移動式クレーンおよびウィンチ等で主桁定着部に引き込む方法が一般的であった。しかし、この工法では、狭い橋面上での施工用資機材物流の障害となっていたことに加え、本橋の場合には重機を配置することによる主桁の補強が必要になった。そこで「移動式クレーンを用いない斜材引込・架設方法」を開発し実施した。

なお、PC斜張橋の施工系は、主桁の剛性が低いため荷重変化に敏感でたわみやすく、施工中の誤差が累積されないう、本橋の施工にあたっては張出しの進捗に伴う各施工ステップ毎に主桁応力度・たわみ等を設計値と比較するための管理計測を実施した。

キーワード：PC斜張橋、張出し架設工法、超大型フォルバウワーゲン、作業台車、主桁制振工、工場製作ケーブル、施工時管理計測

まえがき

新猪名川大橋における主桁部の施工は全体工期に対する比率が大きく工期短縮のためには主桁部の急速施工が最も重要であった。そこで、主桁の施工サイクルタイムを短縮するため、ウェブ鉄筋を超大型フォルバウワーゲンに後続する作業台車内で横筋と縦筋を別に組立て、ドッキングさせて製作し、併設するクレーンで所定の場所に運搬・架設するブロック化による「一括架設工法」を採用した。

また、内型枠には、組立・脱型を省力化した「開

閉式移動型枠」を使用した。その他、鉄筋およびPC鋼材の物流改革を実施し、従来の施工サイクルタイムを25%以上短縮した。斜材架設においては、主桁架設の物流の障害にならないようサグ取り用の移動式クレーンを使用しない斜材引き込み装置を開発した。

主塔部とコーベルの施工については、技報第15号で報告済みであり、本稿は主桁部の施工を中心に、施工管理計測を含めて報告するものである。

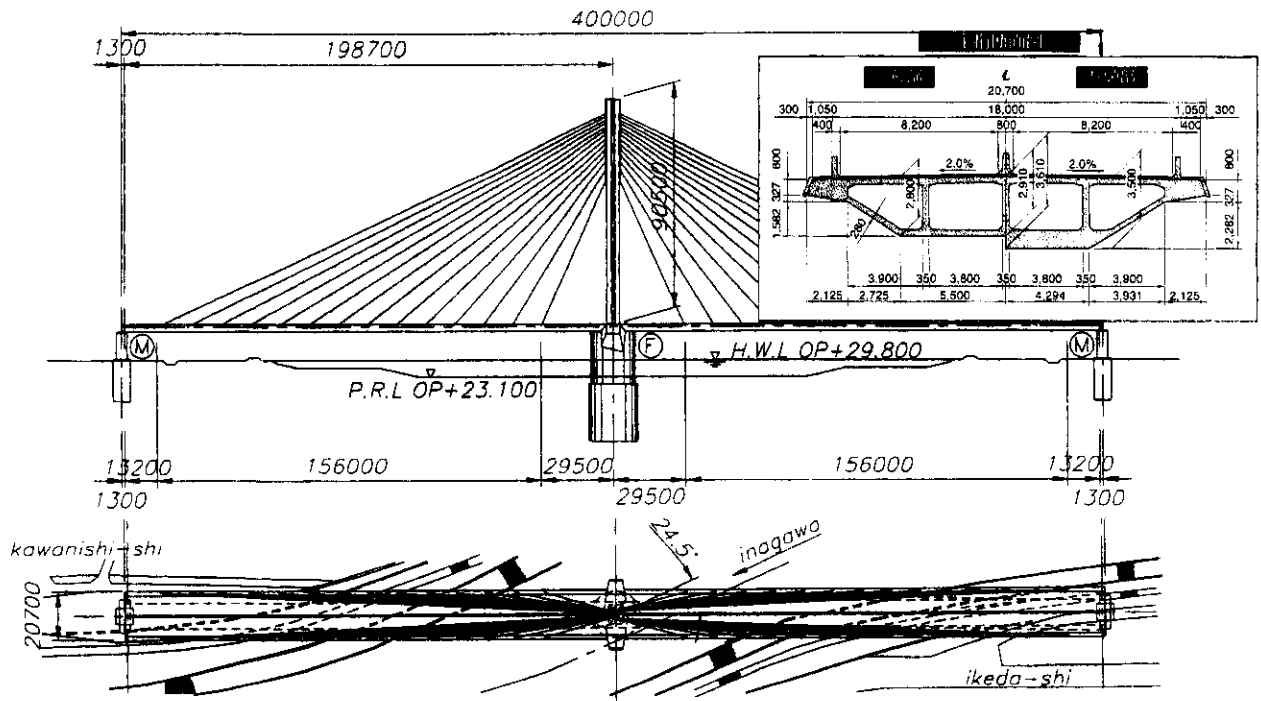


図 1 構造一般図

1. 構造概要

主桁は図-1の構造一般図に示すように斜めウェブを有する4室箱型断面で、桁高は柱頭部で3.61m、一般部で2.91mであり、柱頭部付近で放物線に変化している。橋体は縦断勾配0.5%、横断勾配は2%である。主桁は斜材を定着しない標準ブロックと斜材を定着する定着ブロックの交互に配置され、斜材の定着間隔は12mとなる。斜材はφ7mmの垂鉛メッキ鋼線を187~301本束ねたロングラウトタイプのHiAmアンカーケーブルを使用しており、保護管は白色に着色されている。

2. 施工手順

主桁の施工はヒロン式支保工を用いた柱頭部施工後、超大型フォルパウワージェン設置し、主塔を施工しながら順次張出し部を施工した。端橋脚到達部（以下張出し架設を行わない端橋脚到達部を「側径間」と言う。）では支保工により施工を行った。主桁施工手順図を図-2に示す。

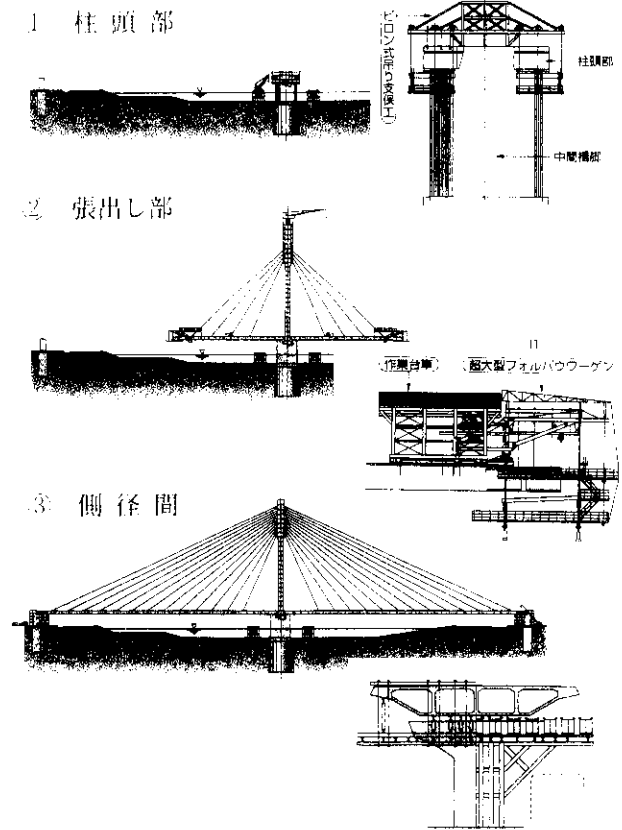


図-2 主桁施工手順



写真-1 柱頭部施工状況



写真-2 主桁架設状況

3. 施工概要

3-1 柱頭部の施工

柱頭部施工時は、出水期に入り、通常の支保工では河川占用の関係上施工できなかった。そこで、コーベル上の鉄骨柱に鋼材を通し、型枠および作業足場を吊り下げる構造であるピロン式吊り支保工を用いて計画高水位を侵さないように施工を行った。写真-1に柱頭部施工状況を示す。

3-2 張出し部の施工

張出し部の施工は、主塔が逆Y型で斜材定着部が主塔頂部に集中しているため、主塔分岐部施工が終了してから行った。張出し部は、ブロック長6m、片側31ブロックであり、超大型フォルパウワージェンを使用し片持ち架設で行った。

超大型フォルパウワージェンに後続しているのがウェブ鉄筋のプレファブ化を行う作業台車である。天候に左右されない作業環境を実現するため、超大型フォルパウワージェンおよび作業台車に屋根を設置した。写真-2に張出し架設状況を示す。

片持ち長が長くなる柱頭部から第1段目の斜材定着ブロックまでの施工では、上床版およびウェブに配置可能な内ケーブルだけでは主桁縁応力の許容値を満足することができないため、張出し架設用の外ケーブル(φ36mmゲビンデ鋼棒)を橋面上に配置し対処した。斜材定着部の標準的なPC鋼材の配置を図-3に示す。

第1段目の斜材架設後、主桁は斜材を定着しない標準ブロックと斜材を定着する定着ブロックの交互に施工を行い、次の標準ブロックのコンク

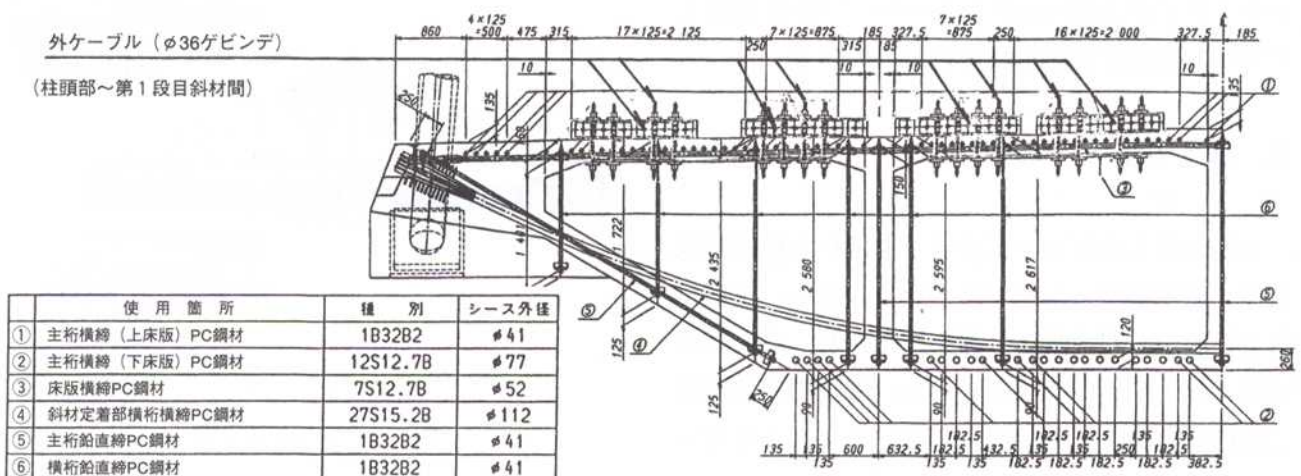


図-3 PC鋼材配置断面図

リートを打設する前に斜材を架設した。

3-3 側径間部の施工

側径間部は超大型フォルパウワーゲン撤去後、ブラケット方式の制振工および支保工で施工した。制振工（写真-3）は、コンクリート打設時の温度変化、風による振動防止を目的として設置した。



写真-3 ブラケット式制振工

3-4 主桁内型枠

主桁内型枠には、組立・脱型を省力化した開閉式移動型枠を使用している。

開閉式移動型枠の施工手順は、先行ブロックの施工後、型枠に付属するジャッキで型枠を縮め、移動させる。次の張出しブロック施工のため、所定の位置に固定し、型枠のケレン後PC鋼材の配置・鉄筋の組立を行い、妻型枠のセット後、開閉式移動型枠をフォルパウワーゲンから吊り、コンクリートを打設する。

写真-4 に開閉式移動型枠を示す。

3-5 鉄筋組立

図-4 にウェブ鉄筋架設概要を示す。鉄筋組立

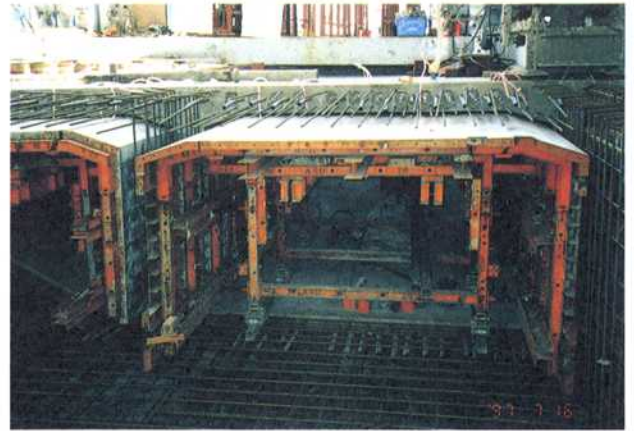


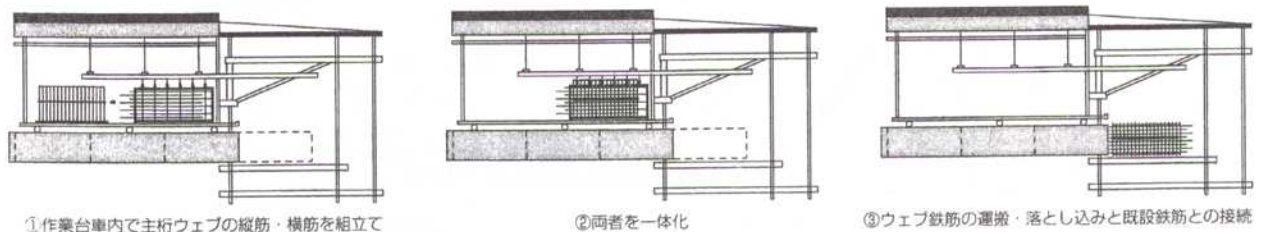
写真-4 開閉式移動型枠

のサイクルタイム短縮のためウェブ鉄筋をフォルパウワーゲンに後続する作業台車内で、横筋と縦筋を別々に組立てドッキングさせる方式で製作（図-4-①）し、併設するクレーンで所定の位置に運搬（図-4-②）、既設鉄筋に接続させる方法（図-4-③）で施工した。また、張出し架設する主桁では、施工の進捗に伴い運搬距離が遠くなることから、鉄筋加工形状に適合した複数の運搬台車を製作し、鉄筋運搬の効率化を図った。

写真-5 に運搬台車を示す。



写真-5 鉄筋運搬台車



①作業台車内で主桁ウェブの縦筋・横筋を組立て

②両者を一体化

③ウェブ鉄筋の運搬・落とし込みと既設鉄筋との接続

図-4 ウェブ鉄筋架設概要

3-6 斜材の施工

斜材緊張はジャッキを装着した緊張用作業車を用いて主桁側で行った。

従来の大容量の工場製作斜材架設は、橋面上に移動式クレーンを載せ、斜材中間を吊り上げ、サグの影響を軽減し、移動式クレーンおよびウィンチ等で主桁定着部に引き込む方法であった。この工法では物流の障害となるため、「移動式クレーンを用いない斜材引込・架設方法」を開発した。

移動式クレーンを用いない斜材引込架設について以下に述べる。

まず、主塔側に斜材を定着後、タワークレーンで斜材を展開した。主桁上に展開した斜材を図5に示すように超大型フォルバウワーゲンの梁上に搭載しているウィンチにより、斜材リフター装置まで引き込み固定した。斜材リフターの昇降装



写真-6 斜材引込装置

置により、斜材を所定高さまで引き上げ、再びウィンチによりローラコンベア上を引込装置まで引き込み固定した。引込装置により斜材を当該角度に調整し、斜材に取り付けたテンションロッドをセンターホールジャッキ（1100トン）で引き込み緊張し、リングナット方式で定着した。

写真-6に斜材引込装置を示す。

4. 施工管理

4-1 施工管理の概要

本橋は、張出し架設工法で施工される高次不静定構造の長大PC斜張橋であり、施工進捗に応じて構造系が逐次変化する。主桁は、張出し長が長く、また剛性が低いため荷重変化に敏感でたわみやすく、施工中の累積誤差が完成系の形状や応力状態に影響を与える可能性があることが予測された。

そこで施工管理では、各施工ステップごとに、応力度・たわみ等について設計値と比較し、適宜、誤差量を定量化するとともに、誤差要因を明確にすることとした。

誤差要因としては、材料のバラツキ（ヤング係数、クリープ係数等）や環境条件の差異、設計モデルとの相違、施工誤差等が考えられる。これらの各要因に関するデータ収集を目的として、部材温度、たわみの変化、コンクリート応力度等の計測管理を実施した。

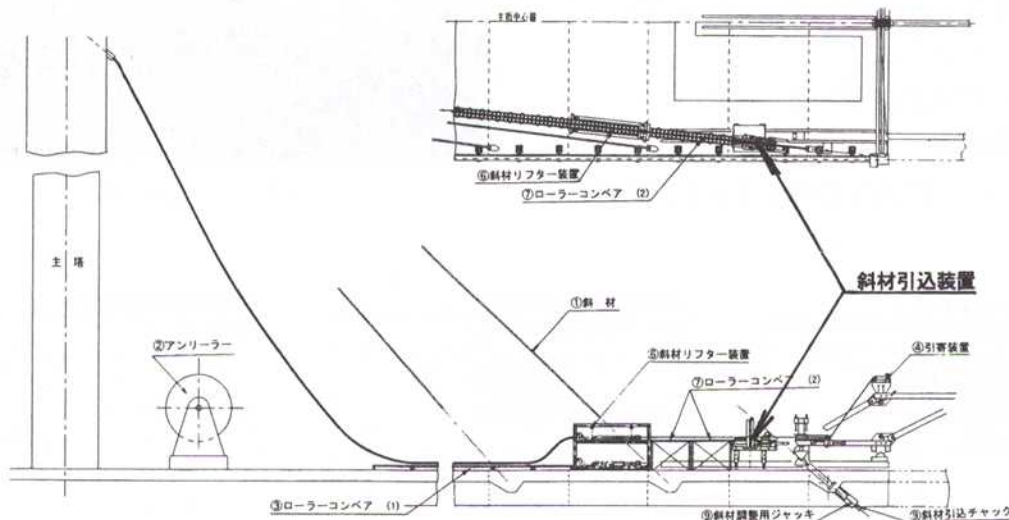


図-5 斜材架設状況図

表-1 計測の目的・方法一覧

計測項目		計測の目的	計測の方法
斜材張力	緊張時張力	斜材緊張時および張力調整時に所定の張力を導入したことを確認する。	ジャッキの油圧を油圧変換器で計測し、受圧面積から張力を指示する。
	張力の経時変化	斜材張力の経時変化を捕らえ、張力変化が計画値通りであることを確認する。	斜材振動数を計測し、これを張力に換算する。振動数と張力の関係は、斜材緊張時にキャリブレーションを実施して求める。
	点検時の張力	点検時構造系での張力状態を把握し点検時補正のためのデータとする。	点検時に全斜材の振動数を計測し、これを張力に換算する。
橋体変形	主桁のたわみ増分、経時変化	主桁のたわみ形状を把握し、主桁の上げ越し管理に反映させる	各施工ブロックの計測点においてレベル測量を行う。
		コンクリート打設、斜材の緊張等に伴う主桁のたわみをリアルタイムで把握する。	コンクリート打設前後、斜材緊張・調整前後、ワーゲン移動後等に主要計測点において電子スタッフおよび差圧式沈下計を用いて自動計測する。
	主桁の横断線形	主桁のねじれの影響、左右の高低差を確認する。	差圧式沈下計で自動計測する。
	主塔のたわみの経時変化	張り出し施工中および斜材緊張中のアンバランスの影響を把握し橋体の安全性を確認する。	傾斜計を用いて、柱頭部および主塔の回転角を計測する。
	基礎の不等沈下	主塔施工時および主桁の張り出し施工中の基礎の不等沈下量を把握する。	傾斜計により連壁頂版における橋軸方向と橋軸直角方向の傾斜を計測する。
橋体応力	コーベル部の応力	施工中のコーベル部上下縁の応力変動を監視する。	有効応力計により、コンクリートに生じている応力を計測する。
	主塔基部の応力	高軸力が作用する柱部材の応力状態を監視する。	有効応力計により、コンクリートに生じている応力（軸方向応力）を計測する。
	主塔側斜材定着部の応力	斜材張力により発生する主塔側斜材定着部付近の応力状態を監視する。	鉄筋計により、鉄筋に生じている応力（橋軸直角方向応力）を計測する。
	主塔分岐部の応力	斜材張力により発生する主塔分岐部の応力状態を監視する。	鉄筋計により、鉄筋に生じている応力（橋軸直角方向応力）を計測する。
	主桁の応力	主桁のコンクリート応力を計測し、応力状態が計画通りであることを確認する。	有効応力計により、コンクリートに生じている応力を計測する。
橋体温度	外気温および各部材の温度	気温変化や日射の影響による主桁・斜材・主塔の温度変化を把握して、主桁のたわみや斜材張力の温度補正に反映させる。	主桁・主塔：熱電対を埋設して計測する 斜材：ダミー斜材に熱電対を埋設して計測する。 外気温：直射日光の影響がない所に熱電対を設置し計測する。
	マスコンクリートの硬化熱	コーベル・主塔基部のコンクリート硬化時の発熱および温度勾配を確認する。	熱電対を埋設して計測する。
風観測	風向・風速、雨量	斜材が振動した場合、制振対策を検討する場合の基礎データを収集する。	風向・風速計、雨量計により自動計測する。
	主桁の振動観測	主桁の風による振動を把握し、主桁制振対策の基礎データを収集する。	振動計により自動計測する。
	斜材の振動観測	斜材の風による振動を把握し、主桁制振対策の基礎データを収集する。	振動計により自動計測する。
コンクリートの物性値		コンクリートのヤング係数を測定し、設計値との差異を把握する。	コンクリートの静弾性係数試験方法(案) (JSCE-G502 1988)により、コンプレッソメーターを用いて供体対のひずみを計測する。

誤差量が大きい場合には、誤差量および計測結果等について解析を実施し、斜材調整量および型枠セット高さ等について補正処理を行った。

4-2 施工時管理計測

施工時管理計測は、斜材張力、橋体変形、橋体応力、橋体温度、風観測およびコンクリートの物性値について実施した。

表-1に計測の目的・方法一覧を示す。

4-3 施工管理システム

実測値と設計値との比較処理、補正量算定処理等の作業は、パーソナルコンピュータによって迅速な作業が可能となる「施工管理システム」を用いて行った。

このシステムは、大型電算機にて計算された単位荷重や温度変化、斜材の単位緊張量による影響線をデータベースとして蓄えておき、これを用いた実測値の補正や予測計算を行うものである。図-6に施工管理システム概念図を示す。

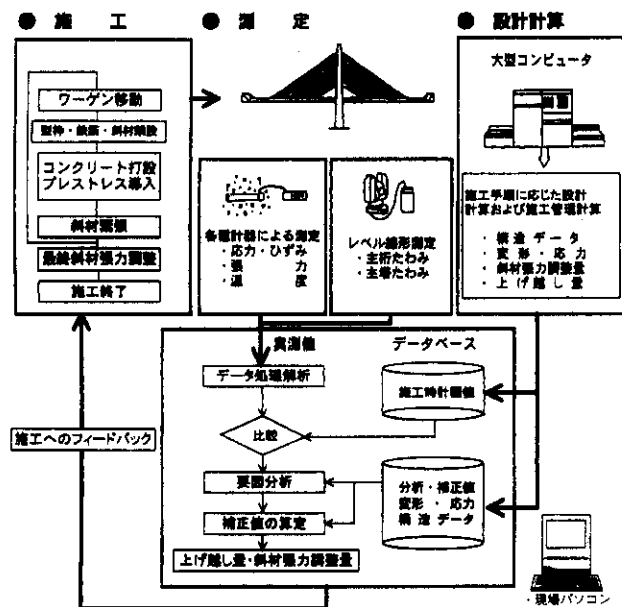


図-6 施工管理システム概念図

4-4 上げ越し管理

(1) 実測値の補正

上げ越し管理（たわみ管理）は、実測時の温度および作業荷重に対して補正処理を行った各ブロック端の2点の平均値を主桁中央値に換算した値を用いて実施した。

温度補正は、レベル測量実施時の気温、日照等

の条件と設計時に仮定した部材温度（15℃）との差分に対する補正であり、①全体温度変化、②左径間（P1側）斜材温度変化、③右径間（P3側）斜材温度変化および④床版温度差（主桁上面と下面との温度差）の4項目に関して作成した影響線によりたわみの補正量を算定して行った。

なお、斜材温度は、温度測定用のダミー斜材を用いて行った。

荷重補正は、設計時に想定した作業荷重の荷重状態が実際の荷重状態と異なる場合の補正であり、全構造系について主桁の各ブロックに荷重を載荷した時の影響線に基づき、設計時の荷重状態と施工時における実際の荷重状態を比較することにより補正量を算定した。

(2) 設計値との比較

上げ越し管理はコンクリート打設、斜材緊張前後等の代表的な施工段階について実施し、計測した実測値を主桁や斜材の温度変化および鉄筋、PC鋼材等の作業荷重を施工管理システムで補正し、設計値と比較検討した。

比較処理実施結果の一例として、図-7に38ブロック打設後の橋面高さ補正值（実測値に温度補正を実施）と設計値との比較を示す。補正值と設計値は、ほぼ一致しており施工が設計値どおりに進捗していたことがわかる。

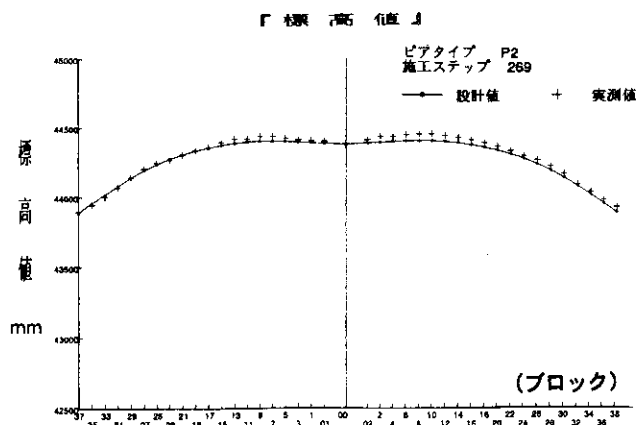


図-7 標高値比較

(3) 型枠セット高の決定

たわみ量の設計値と実測値間の誤差に対して、新設ブロックの型枠セット量の補正で対処した場合、局部的な桁の角折れが生じる可能性が考えら

れた。そこで、たわみ量の誤差補正は、桁の連続性保持を考慮し型枠セット量による補正を極力行わずに、斜材調整量での補正を中心に実施した。型枠セット時の上げ越し量は、主に、コンクリート打設時の荷重による超大型フォルパウワーゲンの弾性変形量および型枠のなじみ量等から構成される相対高さである。上げ越し量の補正を実施する場合には、桁の回転による成分と鉛直方向の成分の2つに分け、回転による成分に関し補正を行った。なお、桁回転成分の値は、既設ブロック端と1つ前のブロック端の標高差を用いた。

4-5 風応答観測

本橋の斜材ケーブルに主として雨天時に観測されるレインバイブレーションによる振動が発生する可能性が考えられることから、施工中に風応答観測を実施した。

本橋張出し架設中において、うなりを伴った微震動が継続していたが、11段斜材架設以降最外縁および2～3段までの顕著な振動が目視された。

風応答観測では、観測期間が短く、しかも、比較的強風日数の多い冬期を経っていないこと、また、降雨強風時および台風時による強風を観測していないことにより、十分なデータは得られなかった。しかし、本橋の斜材ケーブル、特に、長いケーブルではレインバイブレーションによる振動が発生する可能性が高いことより、上段から3段の斜材に制振装置（ダンパー）を設置した。写真-7に風応答観測状況、写真-8にダンパー設置状況を示す。

あとがき

本橋は河川内に立地していることから施工期間の制限を受けたことや大阪池田線延伸部の早期完成のため急速施工が必要であった。そこで、本橋では、「施工容態の変革」を機軸に様々な工夫・改善を実施し、厳しい施工条件を満足し、平成10年4月2日に供用開始となった（写真-9）。

今後、施工法を検討する上で当工事の工法は貴重な参考例になると考える。



写真-7 風応答観測状況

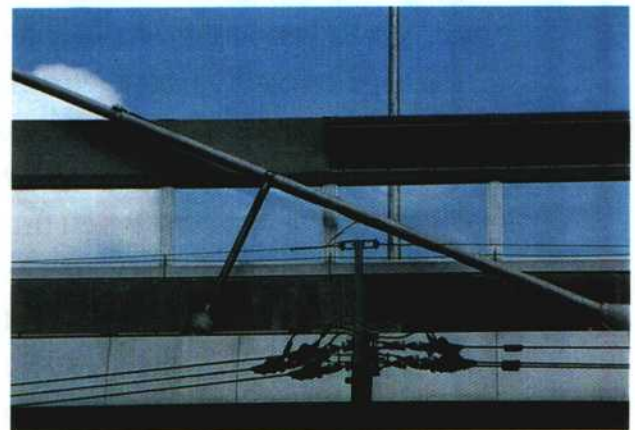


写真-8 ダンパー設置状況

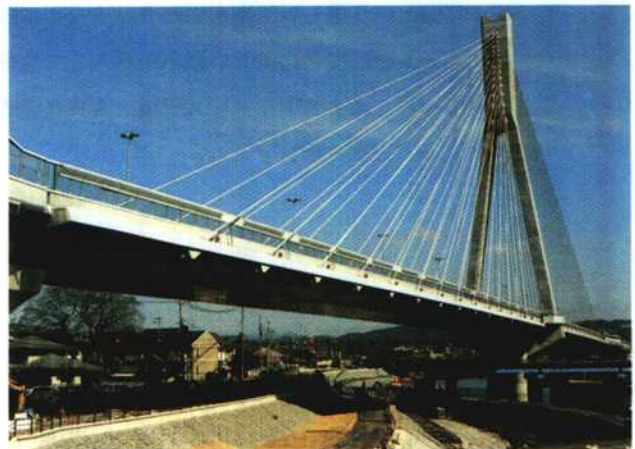


写真-9 完成写真

最後に、新猪名川大橋の施工にあたって貴重なご助言・ご指導をいただきました関係者の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団 技報第15号
「新猪名川大橋コーベル・主塔の施工」