

5.4 計測管理

【その他／計測管理】

技 術 名	計測管理システム
番 号	No. 5-6
発 注 者	国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所
施 設 名	橋梁
所 在 地	東京都江東区若洲 他
工 事 名 称	東京港臨海大橋(仮称)橋梁基礎工事
施 工 期 間	2005年1月12日～2007年3月23日
施 工 者	五洋建設(株)
キーワード	計測管理、Web モニタリング、安全性確保、鋼管矢板基礎
<p>(1) 概 要</p> <p>東京港で建設中の東京港臨海大橋(仮称)のうち、海上部に架かる橋梁の基礎工として仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎が採用された。本方式の鋼管矢板基礎は、基礎本体部の外壁鋼管矢板を水面上まで立上げ、本体鋼管矢板と仮締切り壁体を兼用することで合理性を高めたものである。しかし、仮締切り時に生じる応力が本体鋼管矢板に残留するため、各施工段階で変動する鋼管矢板の応力の状況を把握し、設計との整合を確認しながら施工を行う必要があった。</p> <p>1) 設計概要</p> <p>東京港臨海道路Ⅱ期事業の一環として建設中の東京港臨海大橋(仮称)は、総延長2,933mの橋梁であり、このうち東京港第三航路を跨ぐ主橋梁部(橋長760m)は、中央径間長440mを有する鋼3径間連続トラス・ボックス複合橋である(図-1)。</p> <p>海上部橋梁が建設される付近の海底は、N値0～1の沖積粘性土層が30m以上堆積する超軟弱地盤であったため、海上施工により深い支持層まで確実な施工を行うことができる基礎形式として、仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎が採用された(図-2)。本方式の鋼管矢板基礎は、基礎本体部の外壁鋼管矢板を水面上まで立上げ、本体部鋼管矢板と仮締切り壁を兼用するものであり、鋼管矢板基礎特有の施工方式である。</p> <p>外壁鋼管矢板と仮締切り工を同時に施工できるため、工期が短く水域占用面積も小さく済み合理的性の高い基礎形式であるが、仮締切り時に鋼管矢板に発生する応力が本体部鋼管矢板に残留するため、これを踏まえた設計が必要である。また、この残留応力は施工手順により変化するため、設計段階における施工手順の検討とその手順に応じた管理が重要となる。</p> <p>以上を鑑み、本基礎の施工に当って、外壁鋼管矢板の応力、変形および支保工の応力等に着眼した計測管理を実施し、各施工段階における鋼管矢板の残留応力の管理および仮締切り内施工時の安全管理を行った。</p>	

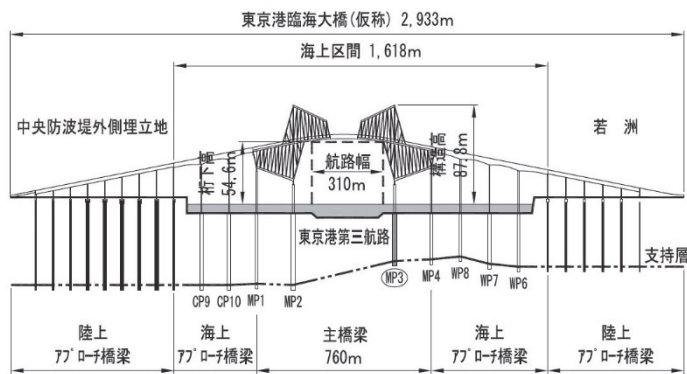


図-1 東京港臨海大橋（仮称）概要図

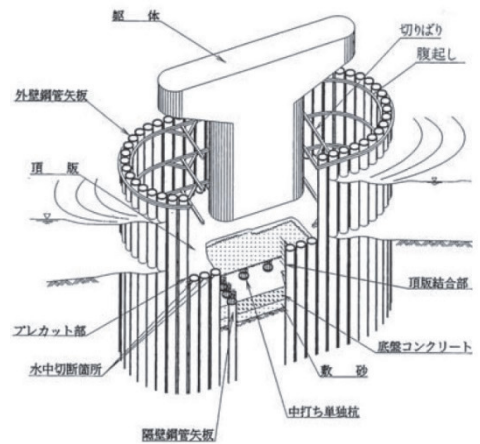


図-2 仮締切り兼用方式の鋼管矢板基礎模式図

2) 施工概要

橋脚基礎構造一般図を図-3(1)および図-3(2)に示し、主要工種の一覧を表-1に示す。

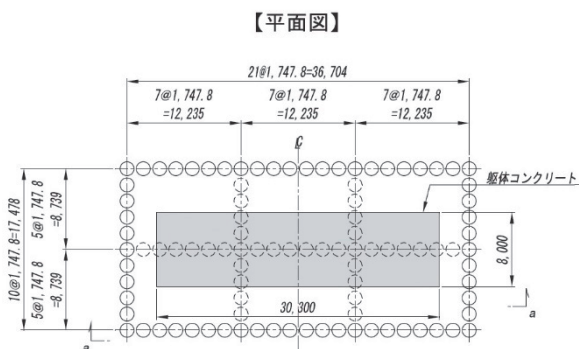


図-3(1) 橋脚基礎構造(平面)図

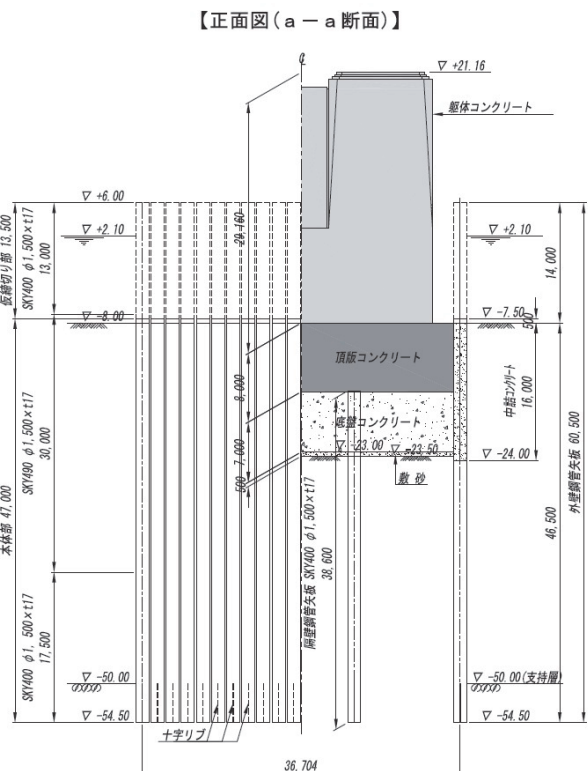


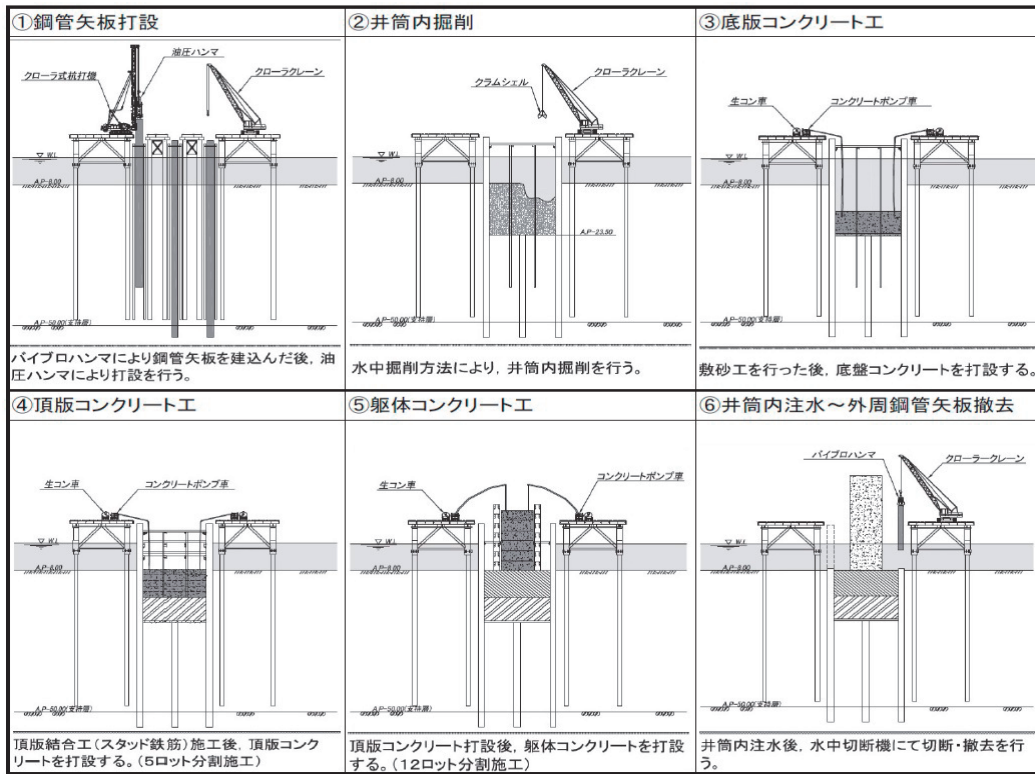
図-3(2) 橋脚基礎構造(正面)図

表-1 主要工種一覧表

主要工種	規格・仕様	数量
外周鋼管矢板	SKY490/400 φ 1,500 × t17, L = 60.5m	62 本
隔壁鋼管矢板	SKY400 φ 1,500 × t17, L=58.5m	36 本
底盤コンクリート	21-15-20BB (水中コンクリート)	3,657 m ³
頂版コンクリート	30-12-20L	4,693 m ³
躯体コンクリート	36-12-20L	6,789 m ³
頂版結合	D22 (SM490A 相当)	8,680 箇所
井筒内掘削	海上運搬	8,829 m ³
支保工	山留材 H-400 ~ H-500	320 t

また、主要工種の施工手順を表-2に示す。

表-2 施工手順概要(主要工種)



(2) 技術詳細

基礎工の設計条件に関する整合性の確認および仮締切り内作業時の安全性を確保することを目的として計測計画を立案、施工管理を行った。

表-3 計測項目と目的

計測対象	計測項目 (計測機器)	目的
仮締切り部 基礎本体部	鋼管矢板の応力 (ひずみゲージ)	・ 鋼管矢板の応力分布を把握する。
	鋼管矢板の変形 (埋設型傾斜計, 挿入式傾斜計)	・ 鋼管矢板の変形状況を把握する。
	鋼管矢板に作用する土圧, 水圧 (土圧計, 間隙水圧計)	・ 鋼管矢板に作用する側圧を把握する。
	締切り内外の水位 (水位計)	・ 潮位変動状況を把握する。 ・ 井筒内排水時の水位管理を行う。
掘削底面	敷砂層の間隙水圧 (間隙水圧計)	・ 掘削底面、底盤の安全性を確認する。
支保工	切梁の軸力 (ひずみ計, 温度計)	・ 切梁、腹起し材の安全性を確認する。

表-4 計測機器一覧表

計測項目	計測機器	設置点数				記号
		計測A	計測B	計測C	計測D	
鋼管矢板の応力	ひずみゲージ	32点	—	—	—	●
鋼管矢板に作用する水圧	間隙水圧計	5台	—	—	—	■
鋼管矢板に作用する土圧	土圧計	5台	—	—	—	◆
敷砂層の水圧	間隙水圧計	1台	—	—	—	▼
潮位	水位計	2台	—	—	—	◻
鋼管矢板の変形	埋設型傾斜計	25台	—	—	—	●
	挿入式傾斜計	1本	1本	—	—	☆
切梁軸力	ひずみ計	—	—	3台	3台	⊗

【側面図(a-a断面)】

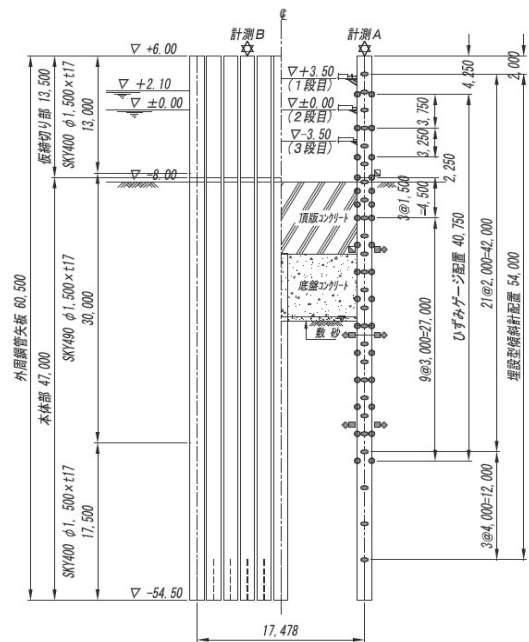


図-4(1) 計測器配置図(側面)

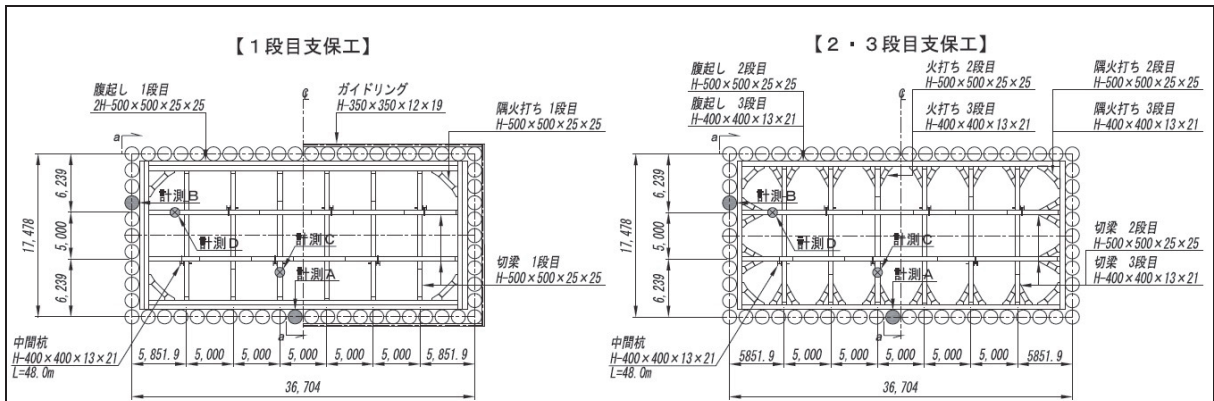


図-4(2) 計測器配置図(支保工)

表-5 計測頻度

井筒内掘削に着手する2週間前から事前測定を実施し、各計測機器が正常に作動することを確認した。計測は井筒内掘削から井筒内注水が完了するまで実施し、計測頻度は表-5を標準とした。

施工段階	測定方法	測定頻度	対象機器
【事前測定】 掘削開始前 2週間以上	自動測定	1回/30分	ひずみゲージ、土圧・水圧計、水位計 間隙水圧計、切梁ひずみ計、埋設型傾斜計
	手動測定	1回/週	挿入式傾斜計
井筒内掘削	自動測定	1回/30分	ひずみゲージ、土圧・水圧計、水位計 間隙水圧計、切梁ひずみ計、埋設型傾斜計
	手動測定	施工ステップ毎	挿入式傾斜計
掘削完了後	自動測定	1回/30分	ひずみゲージ、土圧・水圧計、水位計 間隙水圧計、切梁ひずみ計、埋設型傾斜計

現場の計測室に計測データ集録・モニター用のパソコンを設置し、リアルタイム計測を行った。計測値が管理値を超えた場合は、場内に設置した警報機(回転灯)により周囲の関係者に警報を発した。更に、インターネットを介して任意のパソコンにて計測データを監視できる「Webモニタリングシステム」を導入した。これにより、夜間や休日を問わず計測データを監視できる他、計測値が管理値を超えた場合は、自動的にEメールで携帯電話またはパソコンに警報を送付できるため、現場を離れていても仮締切り工および本体鋼管矢板の状況を察知することができた。

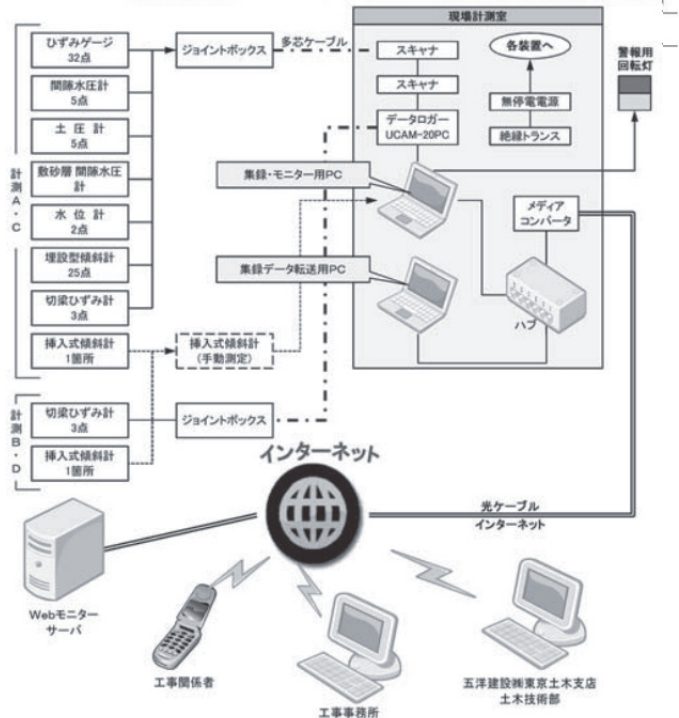


図-5 計測管理システム図

表-6 に示す管理基準値を設定し、得られる計測値の範囲に応じて対処した。なお、対策工の検討、実施に対する余裕を確保するため、二段階(一次・二次)の管理値設定を行った。

表-6 管理基準値

管理項目	一次管理値	二次管理値	管理限界値	
鋼管矢板の応力	仮締切り部	設計値の80%	設計値の100%	許容応力度*
	本体部	設計値の80%	設計値の100%	許容応力度
切梁の軸力	支保工	設計値の80%	設計値の100%	許容応力度*
敷砂層の間隙水圧	掘削底面	設計値の80%	設計値の90%	設計値

*仮締切り部および支保工の管理限界値は、短期許容応力度(許容応力×1.5)とする。

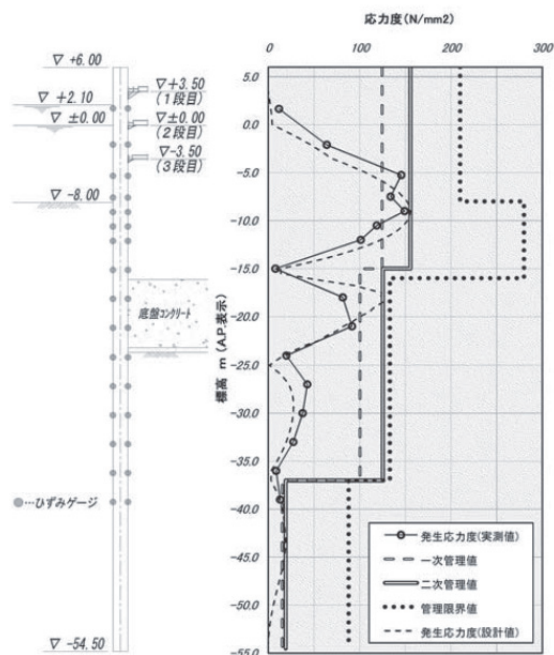


図-7 鋼管矢板の応力分布(井筒内排水完了時)

(3) 結果

今回の計測施工は、基礎完成後における構造上の安全性を確認することを主目的としたが大水深かつ軟弱地盤上の大規模な海上仮締切り工事という性格上、施工時における安全性の確保という側面からも十分に機能を果たすものであった。井筒内排水作業は、昼夜を通じての作業であったが、Web モニタリングシステムの導入により危険度が高まる夜間の現場に臨場することなく任意の場所で複数の関係者によりリアルタイム計測を行うことができ、安全かつ確実に計測管理を行うことができた。

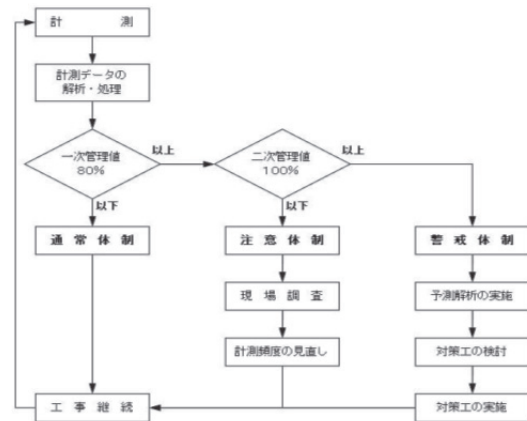


図-6 計測管理フロー図

設計上支配的となる「井筒内排水完了時」における鋼管矢板の応力分布図を図-7 に示す。

鋼管矢板の応力は、全ての計測点で二次管理以下に収まっており、ほぼ設計値に近い分布状況を示した。

本施工段階でピークに達した本体部鋼管矢板の応力は、これ以降の施工過程(頂版コンクリート工~井筒内注水終了)においても、二次管理以内に十分に収まっており、完成後における鋼管矢板基礎の安全性(設計との整合性)を確認することができた。

参考文献

- ・建設の施工企画(2010年4月)PP.9~13
- ・(社)日本道路協会, 鋼管矢板基礎設計施工便覧, 1997年12月

備考

—

技 術 名	桁送り出し総合管理システム
番 号	No. 5-7
発 注 者	名古屋高速道路公社
施 設 名	橋梁
所 在 地	愛知県名古屋市
工 事 名 称	新幹線 336K670 付近六番町 B0 新設
施 工 期 間	2009 年 11 月～2013 年 11 月
施 工 者	清水建設(株)
キーワード	桁送出し総合管理、集中管理、自動制御

(1) 概 要

1) 工事概要

名古屋高速 4 号東海線建設工事の一環として、国道 1 号と市道江川線が交差し、その上空に東海道新幹線のローゼ橋（地上高 22m）が位置する名古屋市熱田区六番一丁目交差点に、六番町跨線橋（支間長 104m 鋼製桁）を「手延式送出し工法」にて架設した。東海道新幹線と主要幹線道路直上で地上約 35m となる高所作業かつ市街地の狭隘な施工条件の下で、鉄道交通と道路交通の安全確保に特段の配慮を伴う難工事である



写真-1 全景



図-1 名古屋高速道路路線概要図

2) 当工事の重要課題

- ① 新幹線構造物・地下鉄構造物に近接した橋脚の施工橋脚基礎は東海道新幹線 336km670m 付近第 2 六番町架道橋橋脚に近接し、さらに地下鉄函体直上に位置しており、土留鋼矢板打設から基礎杭・躯体構築に至るすべての施工が鉄道構造物との近接施工となるため、既設構造物への影響が懸念された。
- ② 東海道新幹線・主要幹線道路直上での桁送出し架設地点が東海道新幹線および国道 1 号・市道江川線の直上となるため、工事の大部分は交通規制を伴う夜間作業となる。

桁架設作業は、列車が運行していない時間帯（深夜約3時間）で、桁移動時は直下（俯角75°範囲）の歩行者・一般車を通行止めするという、限られた時間内で複雑な道路規制を行いながらの施工が必要であった。

- ③ 東海道新幹線直上での桁回転移動施工区間がカーブ区間となっているため架設桁を所定の位置に収めるには、送出し後に回転移動させる必要があった。東海道新幹線の上空では初の試みであり、桁回転移動を成功させることが本工事の最重要課題であった。

(2) 技術詳細

1) 桁送出し総合管理システム

送出し工法では、軌条のわずかな不陸やベント設備の微沈下により送出し反力のバラツキが生じることが想定される。本工事では、新幹線・主要幹線道路直上での施工であり限られた時間の中で安全かつ迅速な送出しが求められたため、対策として送出し総合反力管理システムを導入した。このシステムは、送出し台車に内蔵された油圧ジャッキや到達側駆動シンクロジャッキをリアルタイムで集中管理して、反力を自動制御することができる。

架設設備や桁補強は設計荷重×1.2（不均等荷重20%割増）の荷重条件で設計しているため、設計反力±15%（85%～115%）の範囲で制御する設定として送出し、荷重不均衡を低減させ安定した桁送出しを実現することができた。



写真-2 第1回桁送出し全景



写真-3 駆動シンクロジャッキ

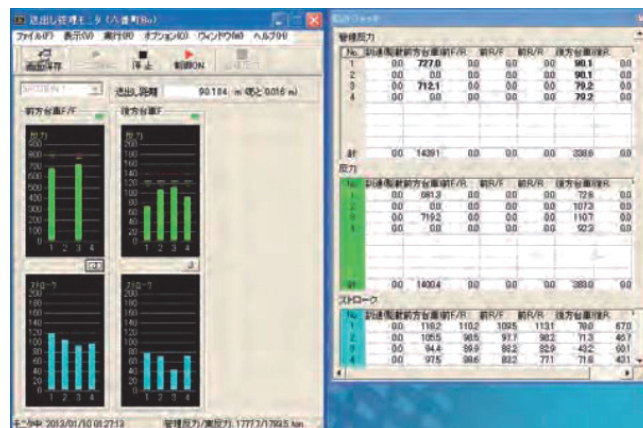


図-2 送出し総合管理システム画面

2) 傾斜修正システム

2軸スライド装置を導入するに当たり、2軸スライドクローラ部の摩擦力増加に伴いクローラ回転前に装置本体の傾斜が懸念された。過去には本体傾斜による不具合が発生した事例もあり、限られた時間内で2軸スライド装置を正常に作動させるために、傾斜修正システムを開発導入した。桁送出しに伴い、2軸スライド装置本体に設置した傾斜センサーの値が 1° を超えると傾斜修正ジャッキが作動し傾斜を自動修正させるようにした。

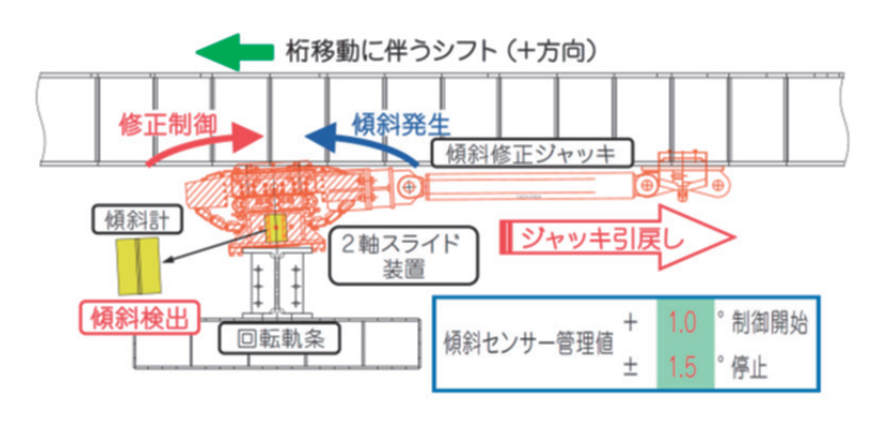


図-3 傾斜修正システム概要図

3) 桁回転総合管理システム

限られた時間内で、安定かつ迅速な桁回転移動が更なる課題であった。回転移動時、支持点が常時変化し反力バランスも常時変化する。この変動が適正範囲外で不均衡を発生させると安定した回転移動が行えない。桁送出し総合管理システム同様、桁回転総合管理システムを導入し、設計反力 $\pm 15\%$ （85%~115%）の範囲での制御を設定して回転移動時の支持点となる油圧ジャッキ鉛直反力をリアルタイムで集中管理・自動制御した。また回転移動量と橋軸方向のシフト量の監視、傾斜修正システムの集中管理・自動制御を行い、荷重不均衡を低減させ回転移動を実施した。

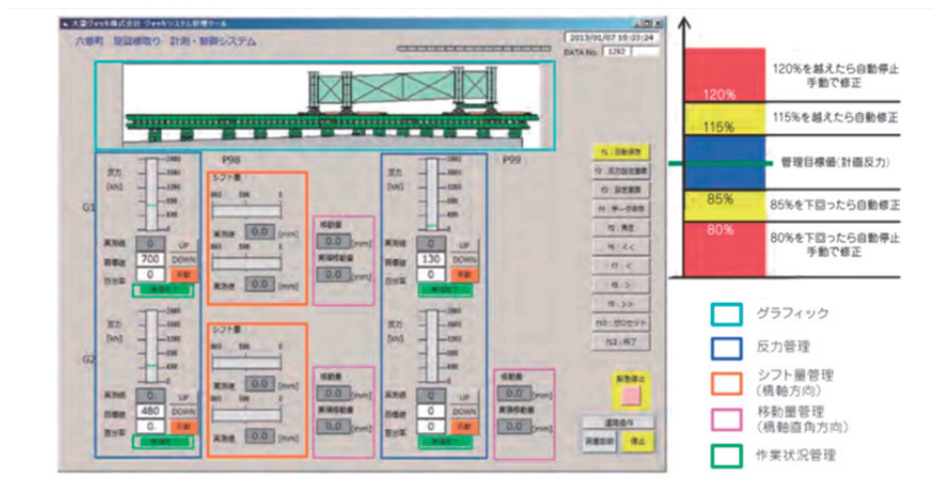


図-4 桁回転総合管理システム画面



写真-4 550t 回転中心ジャッキ



写真-5 300t スライドベース

(3) 結果

回転開始から終了まで計画値とほとんど差はなく（最大 4.3%差）安定した回転移動が行われたと考えられる。

図-5 に 2 軸スライド装置のクローラ方向である橋軸方向の変位量を示すが、計画シフト量とほぼ一致しており（計画と実測の最大差 22mm）、2 軸スライド装置が正常に機能したと言える。また、回転移動中は傾斜修正システムが適切に作動し、2 軸スライド装置の機能を十分に発揮させたことが示された。

これらの結果より、桁回転における回転中心・2 軸スライド装置を用いた桁回転工法と桁回転総合管理システムが有効に働いたことがわかる。

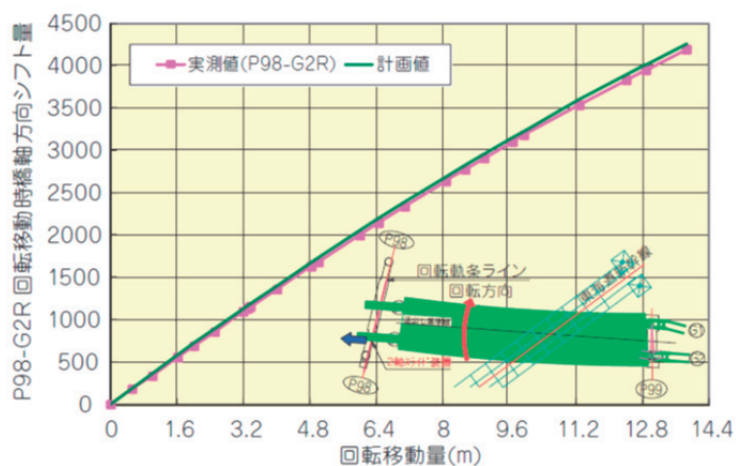


図-5 回転移動量 橋軸シフト量

参考文献	清水建設(株) Feb.2014 土木クォーター Vol.181 施工記録：東海道新幹線・国道1号を跨ぐ高速道路鋼製橋梁（上下部工）の施工
備考	—

技 術 名	計測管理システム
番 号	No. 5-8
発 注 者	広島市道路交通局
施 設 名	橋梁
所 在 地	広島県 広島市
工 事 名 称	広島南道路太田川工区橋りょう新設工事
施 工 期 間	2011 年 9 月～2013 年 12 月
施 工 者	清水建設(株)
キーワード	橋梁上部工、上げ越し計測管理

(1) 概 要

1) 工事概要

太田川大橋は、太田川放水路を渡河する橋長 412m の 6 径間連続鋼・コンクリート複合アーチ橋である。当工事は、河川管理上の制約や広島西飛行場の空域制限等の制約条件の中、上下部工を 27 カ月という短期間で施工された。また、張出し架設の途中段階でアーチ主構の台船一括架設、上下線の連結およびアーチ主構からの主桁の懸垂を行う特殊な構造である。



写真-1 アーチ主構の台船一括架設図



図-1 位置図

本橋は、PC連続ラーメン箱桁橋を鋼アーチ主構で補剛した構造で、主桁とアーチ主構で荷重分担することにより桁高を一定としたスレンダーな桁形状（桁高・スパン比＝約 1/43）である。アーチ主構は上下線間の中央分離帯部に配置され、アーチ基部はフィンバック構造にて橋脚・主桁と剛結されている。張出し架設の途中段階でアーチ主構を一括架設し、アーチ主構からの吊ケーブルにより主桁を懸垂しながら張出し架設する。吊ケーブルは、上下線を連結した吊材横桁に緊張・定着させる。

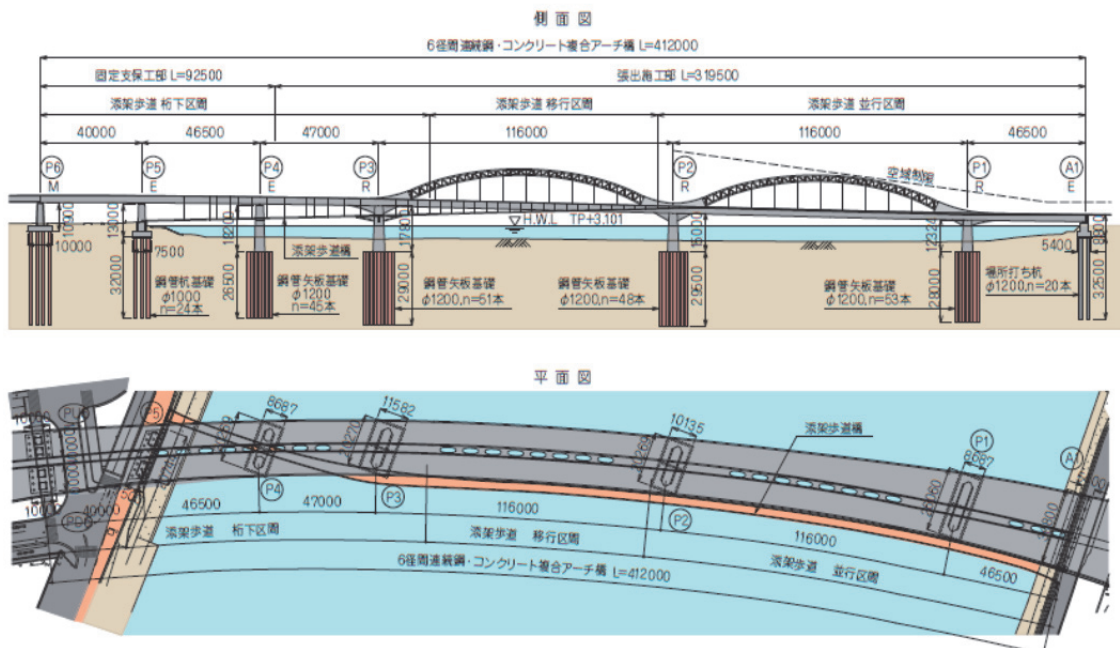


図-2 全体一般図

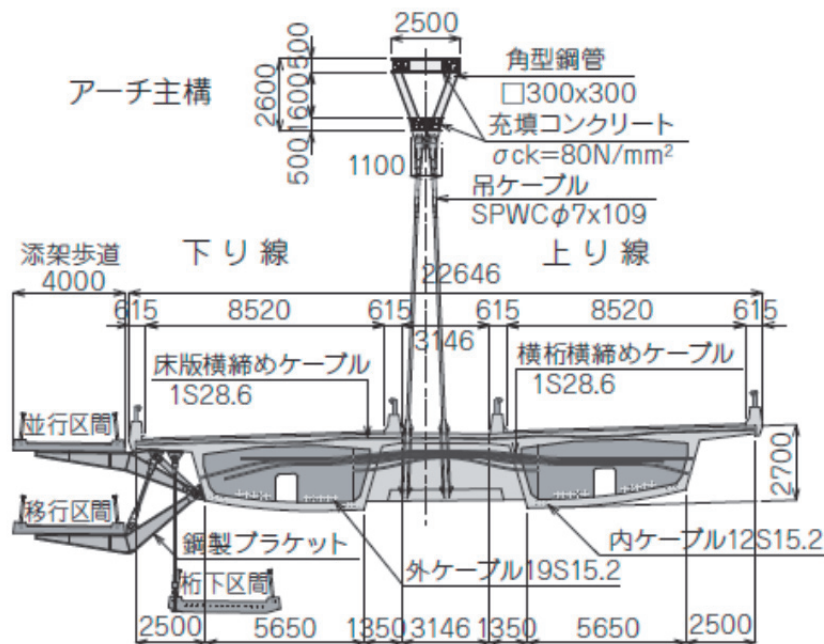


図-3 標準断面図

1) 計測概要

施工中の上げ越し管理、健全性の確認を行うために施工時計測を実施した。

計測項目は、温度（外気温・主桁・フィンバック部・アーチ・橋脚・吊ケーブル〔ダミーカーブル〕・仮斜材）、傾斜（P1～P3 橋脚）、ひずみ（主桁・フィンバック部・吊材横桁・アーチ）、張力（吊ケーブル・仮斜材）、変位（橋面・アーチ・支承）である。

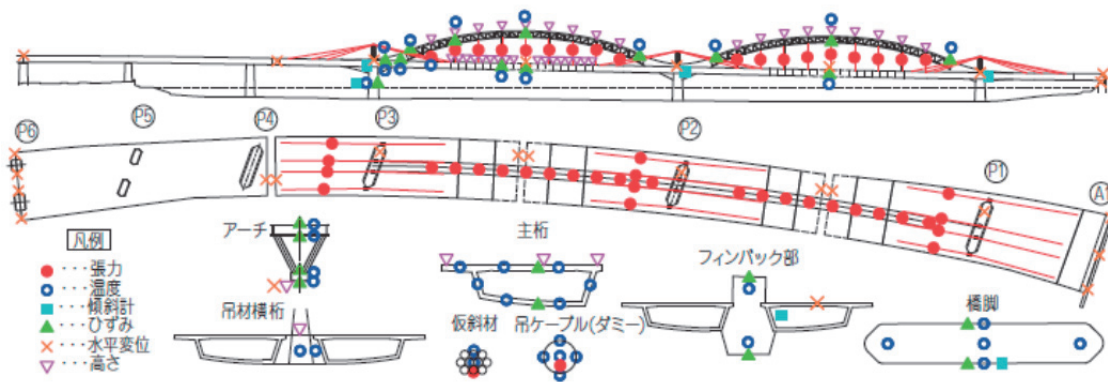


図-4 計測計画



写真-2 ダミーケーブル

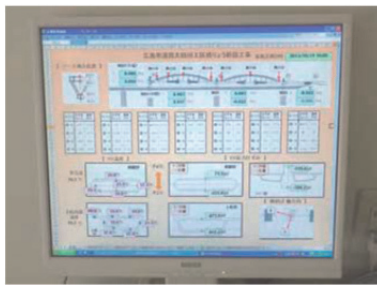


写真-3 計測管理システム



写真-4 振動計測

(2) 技術詳細

1) 温度補正による上げ越し管理

本橋は鋼・コンクリートの複合構造であるとともに複雑な構造形式であるため、温度上昇によって、アーチ温度が上昇しアーチが上凸になり主桁が持ち上げられ、主桁の上床版温度上昇・吊ケーブルの温度上昇により主桁が下にたわむという、相反する現象が発生する。アーチ主構、主桁と吊ケーブルの温度変化は一律ではないため、それぞれの部材に対して温度補正を行った。上げ越し管理は極力早朝のデータを使用するとともに、日中の管理には計測温度による補正した値を用いた。また、吊ケーブル緊張、中央閉合の施工は温度の影響の小さい時間帯で行った。

2) 水平変位計測

本橋はアーチの下路補剛桁がない状態で張出し架設を行うため、張出し架設の進捗とともに橋脚の水平変位が増大する構造である。そのため橋脚基礎の水平地盤バネが全体構造に与える影響が大きいためと考え、張出し架設中に橋脚の傾斜・橋面の水平移動量を計測した。

張出し架設での片側の主桁 BL のコンクリート打込みでアンバランスが発生し、両側の主桁 BL のコンクリート打込み完了後にバランスが取れることを利用して、打込み中の橋脚の傾斜および BL 打込みごとの柱頭部の水平変位の計測を実施した。

3) 吊ケーブル張力の計測

吊ケーブルの張力は加速度計による振動計測により測定した。架設時に緊張力と振動数からキャリブレーションを実施し、仮想ケーブル長を求め振動数と張力の関係式を設定した。以降は施工ステップの進捗ごとに振動計測を実施した。振動計測結果を用いて、吊材張力調整時の調整シミュレーションを行い、吊材張力調整を実施した。

(3) 結 果

1) 温度補正による上げ越し管理

温度補正を行った上げ越し管理により、橋梁完成時の主桁高さはすべて管理値以内となった。

2) 水平変位計測

計測結果より設計値と比較して過大な水平変位は発生していないことを確認した。

3) 吊ケーブル張力の計測

供用開始前の測定結果において吊ケーブル張力はすべて許容値以内となった。

参 考 文 献	清水建設(株) Nov. 2014 土木クォーターリー Vol.184 施工記録：世界でもまれな特殊構造 6 径間連続鋼・コンクリート複合アーチ橋の施工
備 考	—