

PRC14 径間連続 2 主版桁橋の設計・施工

— 首都圏中央連絡自動車道 ^{よしわら} 吉原高架橋 —

東京土木支店	土木技術部（名古屋支店駐在）	熊谷善明
東京土木支店	土木工事部	土屋智弘
東京土木支店	土木工事部	森山晋
東京土木支店	土木技術部	古村豊

概要：吉原高架橋は、首都圏中央連絡自動車道の牛久阿見 IC～阿見東 IC に位置する PRC14 径間連続 2 主版桁橋である。本橋の構造形式は多径間連続構造であり、施工ステップ改変による工程短縮を図るとともに、架設時の床版温度差により発生する中間支点下縁の引張応力に着目してステップ毎の照査を行った。更なる耐久性向上対策として、新たな工法である超小型カメラを用いた目視確認を併用した低圧圧入方式によるグラウトの充填、耐久性に配慮した橋台改築の取組みを行った。また、建設 DX について発注者と受注者で協議を重ね、相互理解のもと積極的に活用した結果、施工管理・設計照査・供用後の維持管理に対して有用なものとなった。

Key Words：施工ステップ合理化、耐久性向上、橋台改築、建設 DX

1. はじめに

首都圏中央連絡自動車道は、都心から 40km～60km 圏を環状に連絡する全区間約 300km の高規格道路であり、主要幹線道路と相互に接続することによって、首都圏の広域幹線道路網を形成し、経済面・観光面において整備効果を発揮している。茨城県内では、全区間が暫定 2 車線で開通しているが、慢性的な渋滞や対面通行による事故、維持修繕工事に伴う通行止めといった問題を改善するため、県内全区間で 4 車線化工事が進められている。本工事は、牛久阿見 IC～阿見東 IC に位置する吉原高架橋の II 期線を新設する詳細設計付き工事である。本橋の構造形式は多径間連続構造であり、当初設計に対して施工ステップの合理化および架設時の床版温度差による応力度照査について新たに実施する必要性があった。耐久性向上の取組みとして、縦締め PC 鋼材のグラウト充填は、新たな工法である超小型カメラによる目視確認を併用した低圧圧入方式を採用し確実な充填を図った。また、耐久性に配慮した橋台改築の評価についてその詳細を報告する。

一方、建設業界を取り巻く環境として、働き手不足と技能者の高齢化による技能伝承の課題やカーボンニュートラルという社会的要請に対処するため、業務の効率化・自動化・無人化が必要とされている。本橋においては、発注者と相互理解のもと、施工管理・設計照査・供用後の維持管理に対して有用となり得る建設 DX を積極的に活用した。

本稿では、上記設計・施工に対する取組みについて報告する。



熊谷善明



土屋智弘



森山晋



古村豊

2. 工事概要

本橋の工事概要を表-1に、主桁断面図を図-1に、橋梁一般図を図-2に示す。

表-1 工事概要

工事名	首都圏中央連絡自動車道 吉原高架橋（PC上部工）工事	
発注者	東日本高速道路株式会社 関東支社	
工事場所	茨城県稲敷郡阿見町吉原	
構造形式	PRC14径間連続2主桁橋（固定支保工）	
橋長	418.483m	
支間長	27.699+29.698+5@29.699+29.698 +4@29.699+27.999+32.098m	
有効幅員	9.760m	
横断勾配	2.50%	
縦断勾配	0.30%～0.90%	
PC鋼材	縦締め	SWPR7BL 12S12.7
	床版横締め	SWPR19L 1S19.3
	横桁横締め	SWPR19L 1S28.6

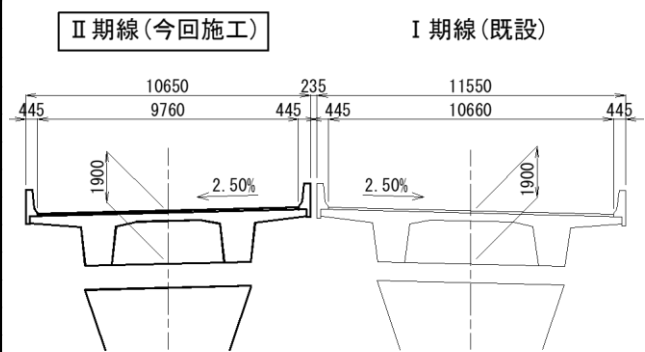


図-1 主桁断面図

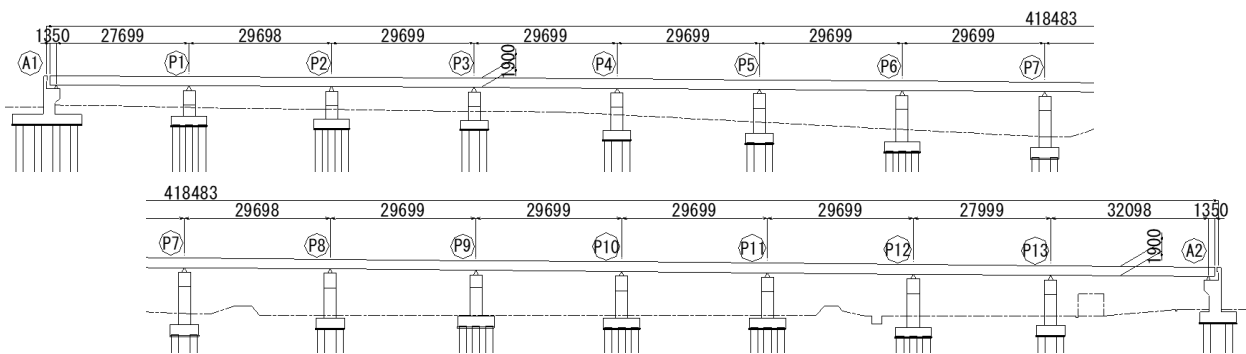


図-2 橋梁一般図

3. 施工ステップの合理化における取組み

3.1 施工ステップ改変

多径間連続構造の橋梁施工においては、施工ステップが工程・工事費に及ぼす影響が大きいため、綿密な検討が重要である。本橋の施工ステップを比較検討した結果を表-2に、施工ステップ図を図-3に示す。

当初工程では、P3～P4径間から着工する1径間分割施工であったが、工程・工事費面に対して施工ステップを比較検討した。その結果、中央径間（P6～P7径間）から起点・終点側へ均等に施工していく1径間分割施工について工程短縮効果（4カ月短縮）が認められ、採用ステップとした。なお、P6～P8径間から着工し、2径間ずつ施工するステップについて、工程短縮効果はさらに大きくなったが、支保工の供用日数増加に伴い工事費が増える結果となった。工程短縮の必要性について発注者と協議し、さらに2カ月工程短縮しても路線全体の工程に寄与しないことから、P6～P7径間から着工する1径間分割施工ステップが最も合理的であると判断された。

表-2 施工ステップ比較検討結果

	施工ステップ	橋体施工 期間	工程短縮 効果	備考
当初工程	P3～P4径間から着工 する1径間分割施工	18カ月	-----	
比較案1	P6～P7径間から着工 する1径間分割施工	14カ月	4カ月	実施工程
比較案2	P6～P8径間から着工 する2径間分割施工	12カ月	6カ月	工事費 1.4%増加

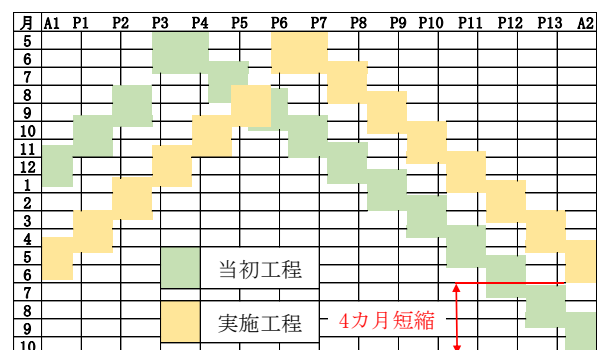


図-3 施工ステップ図

3.2 架設時の床版温度差による応力度照査

多径間連続主桁の橋梁設計においては、架設時の温度変化（とくに床版温度差により発生する引張応力）が構造の決定因子となり得る。床版面積と比較してウェブの剛性が小さい場合、その影響が顕著であり、最も重要な設計項目の1つであるが未照査の場合も散見される。詳細設計で新たに実施した架設時の床版温度差を考慮した主桁の曲げ合成応力度の照査結果を図-4に示す。

図に示すように、架設段階の途中で中間支点下縁に床版温度差による最大引張応力が発生している。これは、施工中に床版のみが日照の影響を受けて膨張し、連続桁では床版温度差による二次力が生じるため、中間支点到正の曲げモーメントが発生することに起因する。詳細設計において、架設時と完成時の両方に着目して縦締めPC鋼材の配置を検討した結果、中間支点下縁の全ステップに対する最大引張応力度 -1.42 N/mm^2 は許容応力度 -1.88 N/mm^2 を満足した。

以上の結果、架設段階で初期欠陥となる中間支点下縁のひび割れを発生させずに施工を進めることができた。

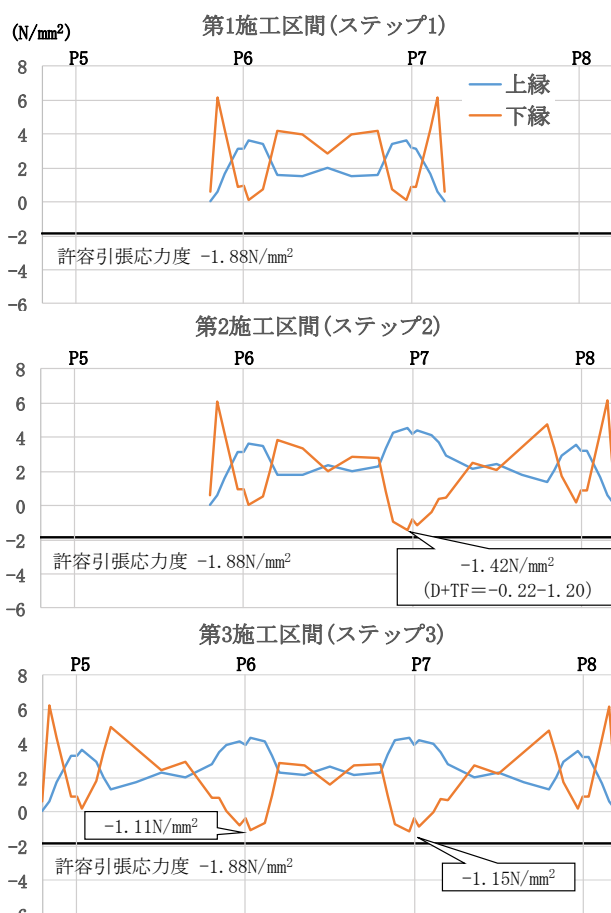


図-4 架設時の床版温度差を考慮した主桁の曲げ合成応力度

4. 耐久性向上の取組み

4.1 超小型カメラを併用した低圧圧入方式によるグラウトの充填

本橋の縦締めPC鋼材には、12S12.7 マルチストランドが使用されている。グラウトは縦締めPC鋼材緊張後、1施工区間ごとに施工した。グラウトの充填は、新たな工法である超小型カメラによる目視確認を併用した低圧圧入方式を採用し確実な充填を図った。グラウトの施工ステップを図-5に示す。また、低圧圧入方式の要点は下記のとおりである。

- 1) 橋梁の縦断勾配を考慮して、標高の最も低いシースまたは定着部の下側より注入し、標高の最も高い位置から排出する。
- 2) 注入圧力は、ケーブル形状が山部となる箇所では 5 l/min 、谷部では 10 l/min とし、グラウトの先流れによる充填不良対策として注入箇所に応じた低圧圧入とする。
- 3) ケーブル形状山部においては、超小型カメラによる直接目視確認にて充填不良の可能性を排除する（写真-1）。

以上の確実なグラウト充填を図った工法により、全196本の縦締めPC鋼材のグラウトを施工した。

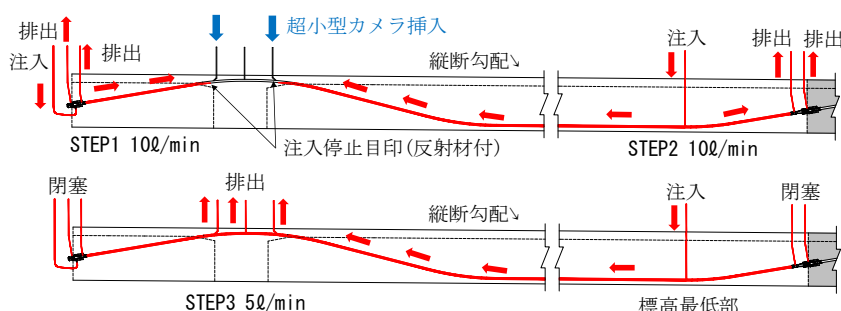


図-5 グラウト施工ステップ



写真-1 超小型カメラ目視確認

4.2 橋台改築に対する耐久性向上対策

本橋の橋台は、既設Ⅰ期線施工時に基礎・フーチング一体構造であるため、新設Ⅱ期線部も同時に施工されている。しかしながら、Ⅰ期線建設時と現在では適用基準の変更（遊間の設定等）により、橋台の縁端拡幅（拡幅幅 1.0m）が必要であった。下部工縁端拡幅では、既存の下部構造コンクリートに新設コンクリートを打ち増すため、新設コンクリートは収縮過程において外部拘束を受ける。この外部拘束に対しては、一般に新設コンクリートに膨張材を添加して、収縮ひずみの低減を図ることで対策を講じているものの、過大なひび割れが生じた事例も散見されるのが現状である。

本橋の温度応力解析結果を図-6 に示す。縁端拡幅部内部の最大引張応力度 5.0 N/mm^2 、最小ひび割れ指数 0.52 に対して、ひび割れ幅 0.2mm 未満となる鉄筋比を算定し、補強鉄筋を追加した¹⁾。施工面での更なる耐久性向上対策として、かぶり近傍にガラス繊維シートを配置し、脱枠直後に保水養生テープを貼付けることで養生効果の長期継続を図った（写真-2）。以上、設計・施工面で耐久性向上に配慮した結果、縁端拡幅部のひび割れ幅を抑制できた。

引張応力度

ひび割れ指数

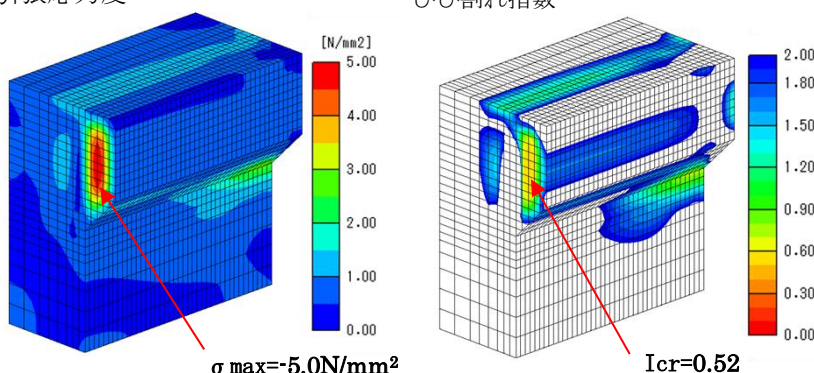


図-6 温度応力解析結果



写真-2 養生効果の長期継続

5. 建設 DX の取組み

5.1 CIM モデルの活用

高速道路は、インフラとしての社会的重要度が高く、計画・設計・施工・維持管理の全工程で一貫して活用できる BIM/CIM の推進が求められている。本橋においては、発注者と相互理解のもと、維持管理面でも有用となり得る CIM モデルを作成し積極的に活用した。

(1) 関係者協議・合意形成の促進

本橋の CIM モデル概要を図-7 に示す。CIM モデルは上下部工全体に対して詳細度 300 で作成し、将来の維持管理を視野に入れて、排水管や支承、下部工検査路も正確にモデル化した。本モデルにより、あらゆる視点からの立体イメージが可視化され、現場作業員への説明や維持管理性に着目した橋梁付属物の計画など多岐にわたり有用性が認められた。

(2) 設計段階の可視化（フロントローディング）

本橋の詳細設計段階における縦締め PC 鋼材配置の CIM による確認結果を図-8 に示す。鉛直および平面的に 3 次元変化をする PC 鋼材形状に対して、2 次元図面では把握しきれなかった PC 鋼材相互のあきの不足が確認され、平面変化を追加して回避した。初期工程において作業負荷・コスト負荷をかけて検討するフロントローディングによって、手戻りを未然に防ぐことができた。

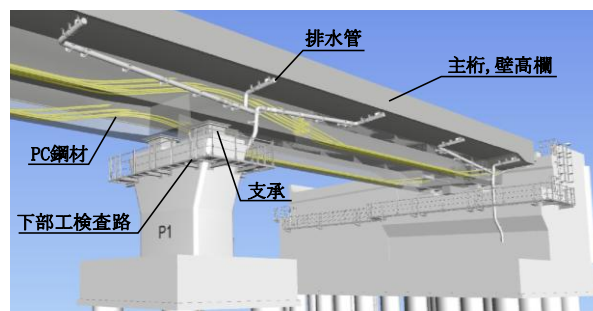


図-7 CIM モデル概要

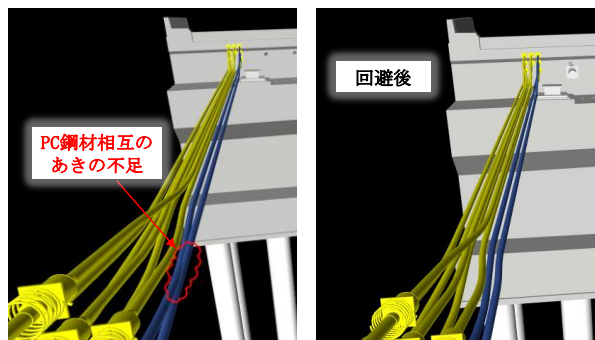


図-8 縦締め PC 鋼材配置の CIM 確認結果

(3) 360度カメラおよびCIMモデルによる遠隔監視

360度カメラにより現場状況を遠隔で監視し、CIMモデルと連動することで、施工中の現場状況と完成イメージを同時に確認できる(写真-3)。現場画像は、安全巡視時に撮影すると自動アップロードおよび関係者(発注者・受注者)に即時共有され、現場に行かずに状況を確認でき、施工打合せや工程進捗管理他さまざまなツールに有用であった。

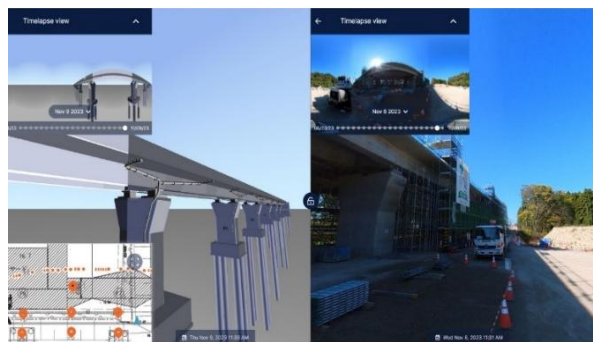


写真-3 遠隔監視状況

5.2 現場で活用した建設DX

吉原高架橋は、建設DXのモデル現場として以下の項目を実施した。

(1) 点群による出来形管理

3Dレーザースキャナーを用いて構造物の点群データを取得して橋面の出来形計測(幅員、壁高欄)を行うことにより、計測から調書作成までの作業軽減を図れるシステムと現場実測値との比較試行を行った。試行結果は、現場実測値に対して±5mm程度の精度が得られた。

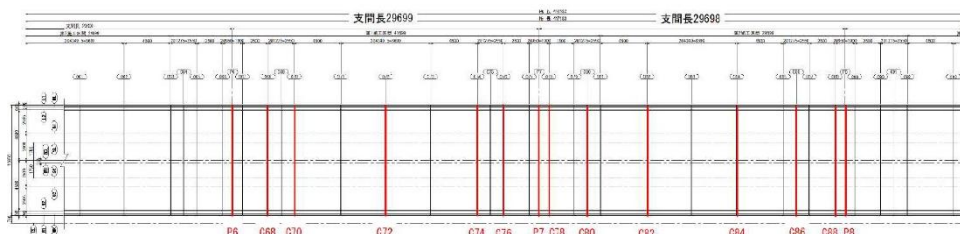


図-9 3Dレーザースキャナー測定位置図



写真-4 測定状況

(2) 音声入力システム「Ami Voice Keyboard」

音声でタブレットに表示したエクセル帳票へ数値を入力することにより、紙帳票への記入やエクセルへの手入力作業の軽減を目的としたシステムを試行した。

試行結果は、測定箇所が多い場合など紙帳票に記入することなく直接タブレットのエクセルに入力できるため、作業補助ツールとして非常に有効であることが確認できた。

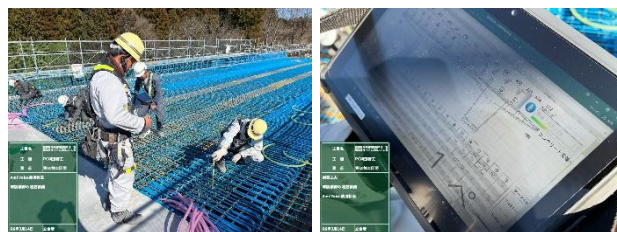


写真-5 Ami Voice Keyboard 使用状況

(3) デジタルサイネージ「BANKEN」

建設現場の施工管理サービス「Buildee」と連携したデジタルサイネージを朝礼広場や休憩所等に設置し、朝礼時のラジオ体操や当日の作業内容、安全通達情報を表示して現場従事者全員に情報共有を図った。



写真-6 デジタルサイネージ BANKEN 設置状況

(4) 墨だしロボット「SumiROBO」

測量機によって誘導されるロボットを用いて、橋面線形ライン等の墨出しを自動化し、測量作業の負担軽減を目的としたシステムの試行を行った。

従来の測量方法では2人以上の人員が必要であるが、ロボットを使用することにより1人で、かつ自動で墨だし作業を行えることから非常に有効なシステムであることが確認できた。



写真-7 SumiROBO 使用状況

6. まとめ

吉原高架橋は前述の取組みを遂行しながら 2023 年 5 月より施工を開始し、無事完了している (写真-8)。最後に本報告が同種橋梁の一助となれば幸いである。



写真-8 全景

謝辞

本橋の設計・施工では、発注者の構造技術部門および工事監理の方々の多大なご支援をいただいた。これら関係各位に、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.334-335，2022.3