

論文・報告

真桑高架橋における生産性向上への取組み

～生産性向上・省人化を目指した建設 DX の推進～

Promoting DX Aimed at Improving Productivity and Reducing Labor

安田 孝弘 *1
YASUDA Takahiro

天内 康佑 *2
AMANAI Kosuke

佐藤 勇治 *3
SATO Yuji

山田 健太郎 *4
YAMADA Kentarou

チャン タン ホアイ *5
THANH Tran Hoai

千葉 惇人 *6
CHIBA Shuto

本橋は、東海3県を結ぶ東海環状自動車道大野神戸 IC～山県 IC 間に位置する総延長 1012.6 m、主桁総本数 116 本の PC 連結コンポ橋である。約 2 年間の短い施工期間で全ての工事を完成させる必要があり、建設業界における慢性的な働き手不足・経験豊富な技術者の離職による技術力の低下といった問題に直面している状況の中、いかに効率的な業務を行うかが施工開始前からの課題であった。本橋ではこの課題に対し、①ドローンによる 3 次元測量と 3 次元 CAD を活用した主桁架設計画、②全自動緊張管理システムを採用したコンポ桁主ケーブルの緊張、③ AI 配筋システムを使用した配筋検測、④点検ロボットとひび割れ AI 解析による壁高欄の初期点検、⑤複数拠点での電子データ共有による社内ワークシェア、といった現場業務の効率化・生産性向上・省人化につながる建設 DX を取り入れ、予定工期内の工事完成を目指した。本稿では、本橋で採用した各建設 DX の特徴と実際の効果について報告する。

キーワード：生産性向上、省人化、DX、ICT 活用、ワークシェア

1. はじめに

現在建設中の東海環状自動車道は、中京圏の交通を支える 5 つの放射状道路（東名・名神高速道路、中央自動車道、東海北陸自動車道、新東名高速道路、新名神高速道路）を環状道路で結ぶ、愛知県、岐阜県、三重県にまたがる延長約 153 km の高規格幹線道路である。東海 3 件の広域なネットワークを構築することによる利便性の向上、経済性の向上、地域活性化等のストック効果が期待されており、東回り区間（豊田東 JCT～関広見 IC 間）の延長 75.9 km、西回り区間（関広見 IC～新四日市 JCT 間）のうち関広見 IC～山県 IC までの延長 9.0 km、大野神戸 IC～養老 IC までの延長 16.7 km、大安 IC～新四日市 JCT までの延長 7.8 km、全体延長 109.4 km がすでに開通している。先に開通している区間において、通勤時間短縮や物流効率化などの利便性向上のほか、工業団地の増加に伴う雇用者数の増加、利便性向上による観光入込客数の増加といった経済効果と地域活性化が確認されていることもあり、地域住民などからも早期の全面開通を期待されている重要な道路である。その中で、真桑高架橋（以下、本橋）は、大野神戸 IC～山県 IC 間に位置する、総延長 1 012.6 m、主桁総本数 116 本の PC 連結コンポ橋である（図 1）。施工量の非常に多い工事を約

2 年間という短い工期で完成させなくてはならなかったが、建設業を取り巻く状況は働き手の不足が深刻化しており、経験豊富な技術者を集めることが難しく、工事を進めるうえで生産性向上・省人化を図ることが大きな課題であった。

本稿では、本橋の施工で実施した生産性向上・省人化への取組みとその効果を報告する。



図 1 橋梁全景

2. 工事概要

本橋の工事概要は次項のとおりである。また、本橋の側面図を図 2 に示す。

*1 川田建設(株)東京支店工務部 PC 工事担当部長

*2 川田建設(株)東京支店工務部工事課 主任

*3 川田建設(株)東京支店工務部工事課 担当工事長

*4 川田建設(株)名古屋支店工務部工事課 担当工事長

*5 川田建設(株)北陸支店工務部工事課

*6 川田建設(株)東京支店工務部工事課

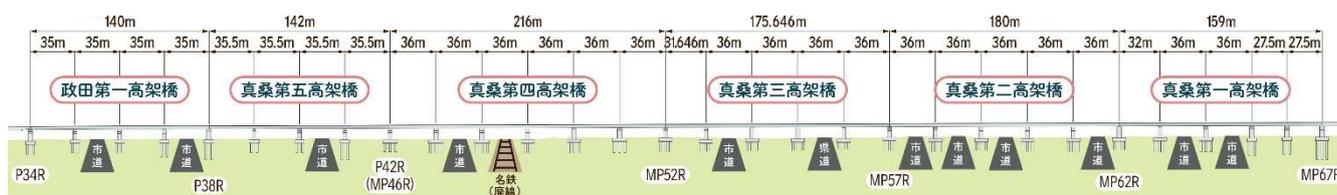


図2 側面図

工事名 東海環状自動車道 真桑高架橋他 1 橋 (PC 上部工) 工事

発注者 中日本高速道路㈱名古屋支社

工期 2022年4月21日～2024年8月7日

工事場所 岐阜県本巣市

構造形式

- ・真桑高架橋: PC (5+5+5+6+4) 径間連結コンポ橋
- ・政田第一高架橋: PC4 径間連結コンポ橋

橋長

- ・真桑高架橋: 159.0+180.0+175.6+216.0+142.0+140.0 m

- ・政田第一高架橋: 140.0 m

有効幅員: 10.75 m

架設工法: 360 t吊トラッククレーン相吊り架設

連携することで、正確に見える化された施工ヤードの情報を主桁架設計画に反映することができる(図3)。なお、本橋の主桁架設計画における3D-CADの作成業務は支店勤務職員が担当し、後述する社内とのワークシェアの実現可能性を確認した。



図3 3D-CADによる主桁架設計画

3. 生産性向上・省力化への取り組み

(1) ドローンによる3次元測量と3次元CADを活用した主桁架設計画

本橋のように、工場で作成したブロック桁を現地で組み立て、大型クレーンで架設を行う工事の場合、施工計画を進めるうえで既設構造物(下部工)や交差道路、施工ヤードの正確な情報を取得することが重要となってくる。しかし、本橋の規模の施工ヤード計測を通常の方法で実施した場合、全ての施工範囲の計測を完了するまでに2人で1週間程度を費やしてしまう。そこで本橋では、通常は人力で行う測量業務にドローンによる測量を採用した(写真1)。



写真1 ドローン測量状況

ドローン測量で取得した施工ヤードや交差道路などの点群データは、机上で作成した構造物3D-CADデータと

ドローンによる測量は、操作者1名と補助者1名で実施し、準備を含めて1日で作業を完了したことから、測量業務だけでも2名で4日間、合計8人分の人員削減を達成した。また、3D-CADを施工計画に使用することにより、二次元では見逃しがちな死角や干渉物などを容易に確認できるため、実際の作業をイメージしながら効率的に施工計画の立案を進めることができた。その結果、全6橋(116本)の主桁架設作業を工程の遅延を発生させることなく無事故で完了することができた(写真2)。



写真2 主桁架設状況

(2) 全自動緊張管理システムを採用した主ケーブルの緊張作業

緊張管理は、PC橋梁の品質を確保するうえで非常に重要なプロセスである。本橋においても、全ての主桁(主

ケーブル総本数：612本)の緊張作業を高精度かつ効率的に実施することが工期を守るうえで重要な課題のひとつであった。そこで、この課題を解消するため、当社で開発した全自動緊張管理システム¹⁾(以下、本システム)を採用した。本システム概要図を図4に、実際の機器の写真を写真3に、摩擦係数をパラメータとした管理手順を図5に示す。

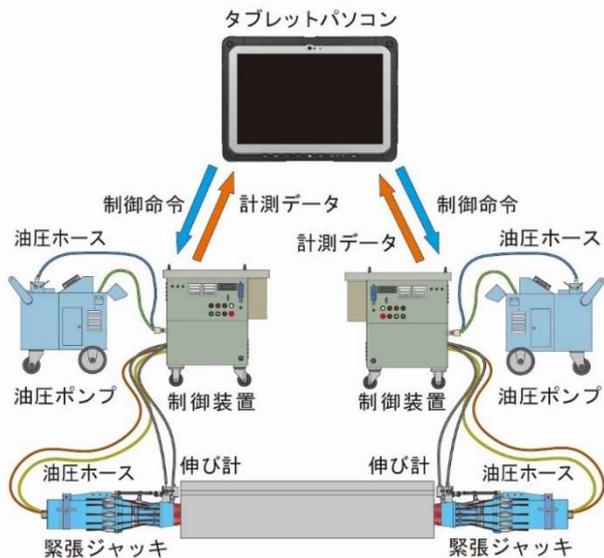


図4 全自動緊張管理システムの概要図



(a) タブレットパソコン



(b) 制御装置

写真3 実際の機器

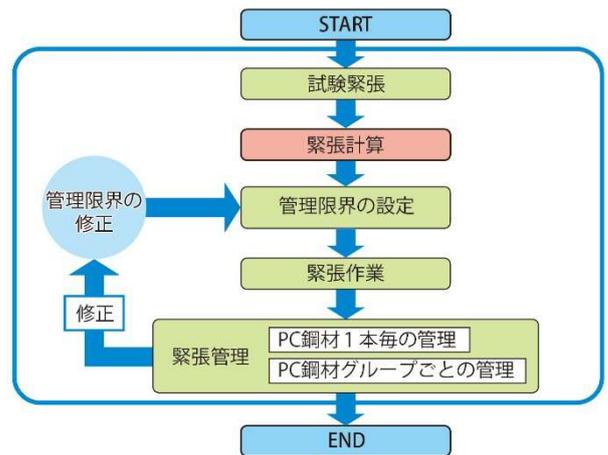


図5 摩擦係数をパラメータとした管理手順

本システムは、タブレットパソコン+制御装置から構成され、使用する定着具メーカーの油圧ポンプ・緊張ジャッキと制御装置を接続することで、試験緊張から緊張計算、緊張作業までの摩擦係数をパラメータにした管理を一貫して行うことができる。システム内には、緊張計算・緊張作業・緊張管理の3つのプログラムがあり、CSVデータで共有して入力操作を排除することによりヒューマンエラーを防止している。また、緊張管理グラフの作成から管理限界の修正までの一括管理を可能としているため、管理業務の効率化にも寄与している。通常の緊張作業では、油圧ポンプを操作する人員と緊張ジャッキの伸び量を測定する人員が必要であるが、制御装置を使用することによりこの人員を削減することができ(図6)、省人化・安全性向上にも貢献している。さらに、公共工事の建設現場において導入が推進されている遠隔臨場についても、タブレットパソコンと制御装置がローカルなネットワークを形成してリアルタイムで通信を行っているため、油圧ポンプの動作状況や油圧ポンプの圧力、PC鋼材の伸び量、緊張管理図を遠隔立会者に共有しながら実施することが可能である。緊張作業終了時に画面に表示される最終緊張力や摩擦係数を画面キャプチャして記録することもできるため、遠隔臨場で通常の立会いと同等の管理が可能で、往復移動の時間を省けるという利点がある。

本橋では、本システムを採用したことによる緊張作業時の油圧ポンプ操作者・緊張ジャッキ伸び量測定者の省人化により、232人分の人員削減を達成した。また、本システムは、現地での緊張作業が完了した時点で1本毎の緊張管理グラフとグループ管理図を同時に作成することができ、システム内のプログラム上で管理限界を修正できるため、書類作成業務時間の削減にもつながった。さらに、導入圧力0.1MPa、伸び量0.1mmまで計測が可能であるため、導入する緊張力や測定する伸び長といった緊張管理の精度向上にも寄与した(図7)。



図6 全自動緊張管理システムを用いた緊張作業

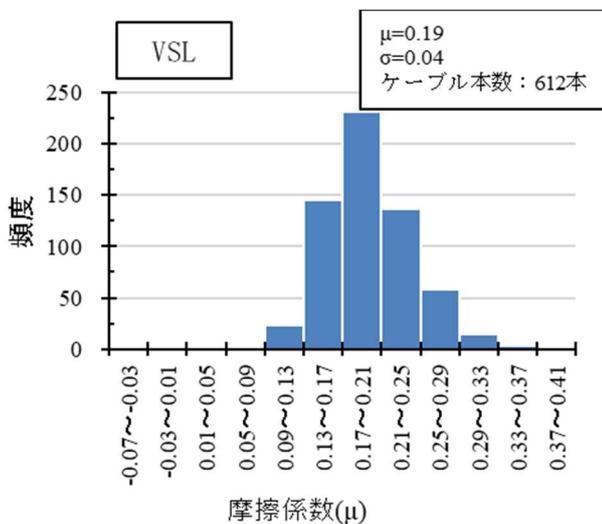


図7 摩擦係数集計表

(3) AI配筋システムを使用した配筋検測

床版施工において、鉄筋組立て完了後に実施する配筋確認業務は、職員が配筋間隔などをスケールで実測しながら設計図面と照らし合わせ、問題がないか確認するのが従来の方法である。また、現場での計測値を事務所に戻りパソコンで帳票に入力しなければならず、本橋のように施工延長が長ければ長いほど配筋確認業務と書類作成業務に相当な時間と労力を費やすこととなる。そこで、本橋ではこれらの配筋管理にAI配筋システムを採用し、職員の業務負担の軽減を図った。使用端末は、三菱電機エンジニアリング(株)製の「AI配筋検査端末 FB-110 (NETIS登録番号: KT-230164)」である(図8)。

このAI配筋システムでは、計測する配筋情報などの必要事項を事前に登録・編集し、現場で検査対象を端末で撮影すると、計測結果帳票が自動で作成される。これにより、従来2~3名で実施していた配筋計測や検査確認業務を1名で実施することが可能となり(写真4)、計測したデータを自動で帳票へ反映するため、書類作成業務時間も大幅に削減することができる。



(a) 画面イメージ

仕 様	
鉄筋検出	検出率約100% ^{※1} (ただし過検出を含む、撮影条件等による)
対象鉄筋	D10~D51 ^{※2} (判定率94%、ただし撮影条件による)
平均鉄筋間隔	±5mm (100mm計測時)
外形寸法	W320mm×H210mm×D105mm
質量	約2.4kg
周囲温度	-10℃~40℃
構造他	JIS C 0920保護等級IP65

※1 撮影画像から鉄筋を検出する確率(過検出あり)また、撮影条件、対象鉄筋によります。

※2 撮影画像から鉄筋の太さを判定。D10(太さ約10mm)からD51(同51mm)まで3mm単位で設定されている種類を判別可能。

(b) 製品仕様

図8 使用端末



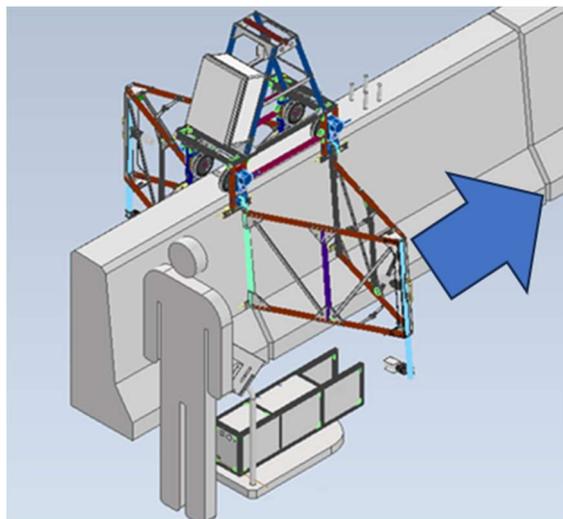
写真4 配筋計測状況

本橋では、このAI配筋システムを使用し一連の配筋管理を行った結果、計40人分(計測業務で35人、書類作成業務で5人)の人員を削減することができた。天候等の影響や過密な配筋(補強筋等が重なっている場所等)などでは計測が難しいケースもあったが、天気が良く、通常の配筋であれば十分高精度な計測が可能であるため、今後も積極的に使用を推奨していく。

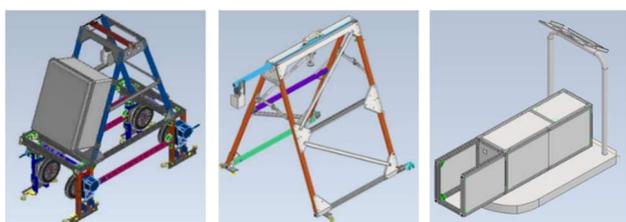
(4) 点検ロボットとひび割れAI解析による壁高欄初期点検の実施

初期点検は、完成した構造物の初期状況を把握するために供用開始前に行う業務であり、その後の維持管理へ引き継ぐ大切なデータとなる。しかし、この点検業務は知識ある技術者が目視で実施するのが一般的であり、本

橋のような長大橋梁の現場では点検作業と点検後の書類作成業務に膨大な時間を費やすことになる。そこで、点検の網羅性・精度の確保と点検技術者の業務量削減を目指し、㈱イクシスと当社が共同開発した点検ロボット(図9)をAI画像解析サービスと連携させた新たな点検システムを構築し、検証実験を実施したうえで、壁高欄の初期点検に採用した。



(a) 点検イメージ



(b) 各ユニット(センター、サイド、台車)

図9 点検ロボット

壁高欄点検システムは、合計5台(内側2台、外側2台、上面1台)のカメラを搭載したロボットが、毎分1mの速度で自動走行しながら、35cmごとに自動で写真撮影を行っていく(写真5)。足場なしで壁高欄外側も点検することが可能で、撮影された画像データは撮影後すぐに所定のフォルダへアップロードされる。アップロードされた画像データを基にAIがひび割れの解析を行い、ひび割れ幅を区分ごとに色分けして検出する。



写真5 壁高欄点検状況

結果としては、0.1mm以下の微細なひび割れについては、計測日の天候や使用しているカメラの性能もあり検知できない箇所もあったが、図10のひび割れ検出結果のとおり、ひび割れを区分毎に色分けして作図を行い、各々のひび割れ長さを検出するため、区分毎のひび割れの合計長さについても容易に集計することができる。今回の計測では、4,851m²の壁高欄に839箇所(総延長203,811mm)のひび割れを検出した。測定時間については、通常の見視点検時間のおよそ半分の時間で目視点検と同じ範囲を点検できるだけでなく、ひび割れマップ画像も同時に作成できるため、書類作成時間の削減と省力化により12人分の人員削減を達成した。また、このひび割れマップ画像を供用開始後の維持管理への引継ぎ資料として発注者へ提出することで、発注者は画像による履歴の管理が可能となり、後の維持管理業務の生産性向上も期待できる。今後は、AI解析の精度向上と天候等への対応などの課題の解決に向けて改良・検証を続け、より多くの現場での実用化を目指していく。

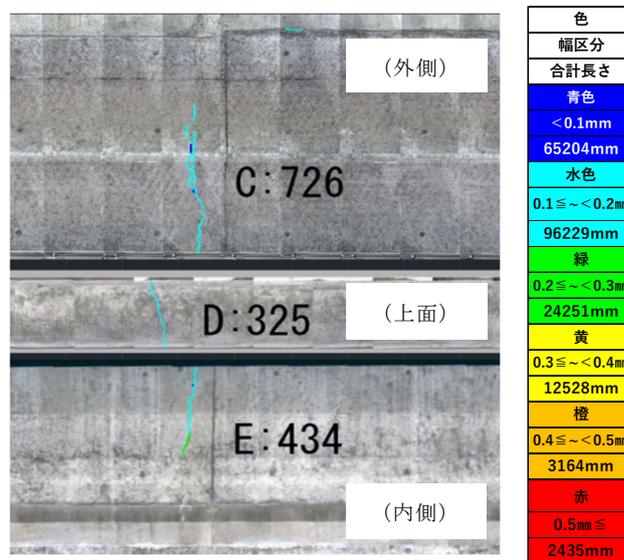


図10 ひび割れ検出結果

(5) 複数拠点での電子データ共有による社内ワークシェア

従来、検査書類等の作成や電子書類の提出業務は現場職員が分担して担当しているが、日々の現場作業終了までは現場管理業務や作業の監視に大半の時間を費やすため、現場作業中は書類作成・提出業務に十分な人手と時間を充てられないことが長年の課題であった。そこで本橋では、オンラインストレージとビジネスチャットツールを活用することで現場・支店・製作工場間で全ての情報をリアルタイムに共有できる体制を構築した(図11)。

その結果、今まで現場職員のみで担当していた書類作成業務や発注者への書類提出業務を支店・製作工場の職員へ分担することが可能になり、現場職員の業務負担の低減が実現した。また、リアルタイムな情報をそれぞれ

の拠点から同一環境で確認することができるため、データ管理と相互間の意思疎通が容易になり、同一業務を共同で行えるようになったことが全体的な書類作成業務時間の削減につながった。書類作成・提出業務以外にも、前述した架設計画における 3D-CAD 作成業務を支店職員が担当したように、直接施工に関わる業務もそれを得意とする支店勤務職員に割り振ることが可能になり、現場職員の業務負担のさらなる低減に寄与した。

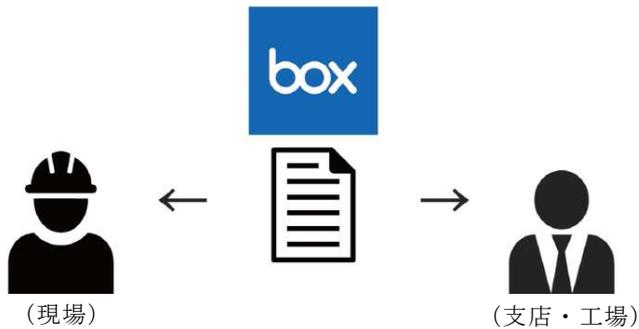


図 11 複数拠点での電子データ共有

4. 効果の確認

今回、生産性向上と省人化を目指して本橋で採用した ICT 技術による効果をまとめると以下のとおりである。

- ① ドローンによる 3 次元測量－8 人削減（80%削減）
- ② 全自動緊張管理システム使用－232 人削減（50%削減）
- ③ AI 配筋システム使用－40 人削減（57%削減）
- ④ 壁高欄点検システム使用－12 人削減（50%削減）

上記の合計で 292 人（延べ 2 336 時間）の労務数を削減することができた。効果を数値化することが難しい電子データ共有によるワークシェアでも現場職員の業務負担が低減できていることも踏まえ、今回本橋で実施した各取り組みが生産性向上・省人化に向けて良い効果を発揮することができたと判断する。その一方、測量を行う前の事前計画、緊張計算、配筋検査や初期点検に必要な調書作成といった準備業務については人員の削減には至らず、また、測量機械・緊張機械・点検システムの機械配置と片付け作業には一定の人員が必要であった。事前準備と機械配置に要する人員の省人化が、今後これらの ICT 技術を積極的に活用していくうえで解消すべき新たな課題である。

5. おわりに

今回実施した生産性向上・省人化に向けての取り組みにより、本橋は計画工程の遅延を発生させることなく、当初契約工期内に無事故無災害で完成した（写真 6）。今後は、今回の取り組みで新たに生じた課題の解消に向けてシステムのアップデートを続けていくことでシステムや端末の使用頻度を増やすことが可能となり、さらなる生産

性の向上・省人化が期待できる。本橋で実施した取り組みが、今後の橋梁工事を進めるうえでの一助になれば幸いである。

最後に、本橋の設計・計画・施工にあたり、多大なるご指導・ご尽力いただきました関係各位に本誌面を借りて感謝の意を表します。



写真 6 橋梁全景（完成）

参考文献

- 1)鈴木，今村：全自動緊張管理システムを用いた省力化および精度向上の取り組み，第 31 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論文集，pp.89-pp.92，2022.10.
- 2)小谷，今井，臂：ひび割れ調査業務の削減をめざして～壁高欄ひび割れ AI 撮影システムの開発～，川田技報 VOL.42，技術紹介 21-1，2023.01