

令和6年度 インフラ DX 大賞 優秀賞受賞

「国道4号 箱堤高架橋上部工工事」における施工管理と夜間施工の高度化の実現

高田機工株式会社 技術本部 技術計画部 技術計画課長 兼 技術開発部 開発課長 すけ こうへい 壽系 亘平

1. はじめに

当社、高田機工株式会社は、1922年の創業以来、橋梁および鉄骨分野を中心とした鋼構造事業を通じて、日本の社会インフラ整備に貢献してまいりました。

近年、少子高齢化や業種の多様化に伴い、建設業界では人手不足が深刻化しており、当社においても生産性の向上や業務の効率化が重要な課題となっています。その解決策の一つとして、工場および現場の双方において、デジタル技術を活用し

たDX（デジタルトランスフォーメーション）を積極的に推進しています。

その取り組みの一環として、国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所より受注した「国道4号 箱堤高架橋上部工工事」において、国内最大級とされる交差点上での急速送出し工法に対し、「デジタルツインシステム」を適用しました。これにより、施工情報の一元管理、情報伝達の明確化、夜間作業時間の短縮など、多くの成果を得ることができました。この実績は、国土交通省が主催する「令和6年度 インフラ DX 大賞」において工事・業務部門の優秀賞を受賞するなど、高く評価されています（図-1）。

4. 国道4号 箱堤高架橋上部工工事

推薦者 東北地方整備局

発注者 東北地方整備局 仙台河川国道事務所

業者名 高田機工（株）仙台営業所

工期 2022年1月25日～2023年10月20日

施工場所 宮城県仙台市

請負金額 2,610,553,000円

【取組概要】

交差点立体化事業として、箱堤高架橋の上部工工事を施工。交差点内の架設に際し、交通への影響を最小限に抑えるため、1夜間で約100mを送出す「急速送出し工法」を採用。

本工法を確実に施工するためにレーザースキャナ測量や4D架設シミュレーションを活用し、高度な施工計画を実施するとともに、送出し架設時にはデジタルツインシステムを構築し、現地施工状況を管理情報とともにクラウドで一元管理することで、施工管理の省人化と夜間施工時間（交通規制時間）の短縮を実現。



図-1 令和6年度 インフラ DX 大賞 受賞取組概要

本稿では、当該工事において活用したデジタルツインシステムの具体的な内容と、その効果について紹介します。技術関係者の皆さんにとって、今後の取り組みの一助となれば幸いです。

2. 事業概要

本工事は、国道4号仙台拡幅事業の一環として実施されたものであり、仙台市内を通過する国道4号（延長約6km）の交通渋滞の緩和を目的としています。本事業は3期に分けて段階的に整備が進められてきました。

第1期では、平成元年に仙台市宮城野区苦竹から燕沢にかけて6車線化事業に着手し、平成19年3月に完成しています。続く第2期では、平成18年度より宮城野区鶴ヶ谷までの約1.8km区間

において6車線化が進められ、令和2年10月に完成しました。

そして第3期においては、令和元年度より、箱堤交差点（卸町交差点から苦竹インターまでの約1.4km）を含む区間の立体化工事に着手し、令和7年2月には立体部への交通切替えを完了しています。本工事は、第3期として実施された箱堤高架橋の上部工架設工事であり、令和5年10月、事故もなく完了しました（図-2）。

3. 工事の概要

本橋は、橋長285mの鋼5径間連続4主箱桁橋であり、箱堤交差点をまたぐ中央径間を送出し工法で架設し、引き続き側径間をクレーンベント工法で架設する計画が採用されました（図-3）。

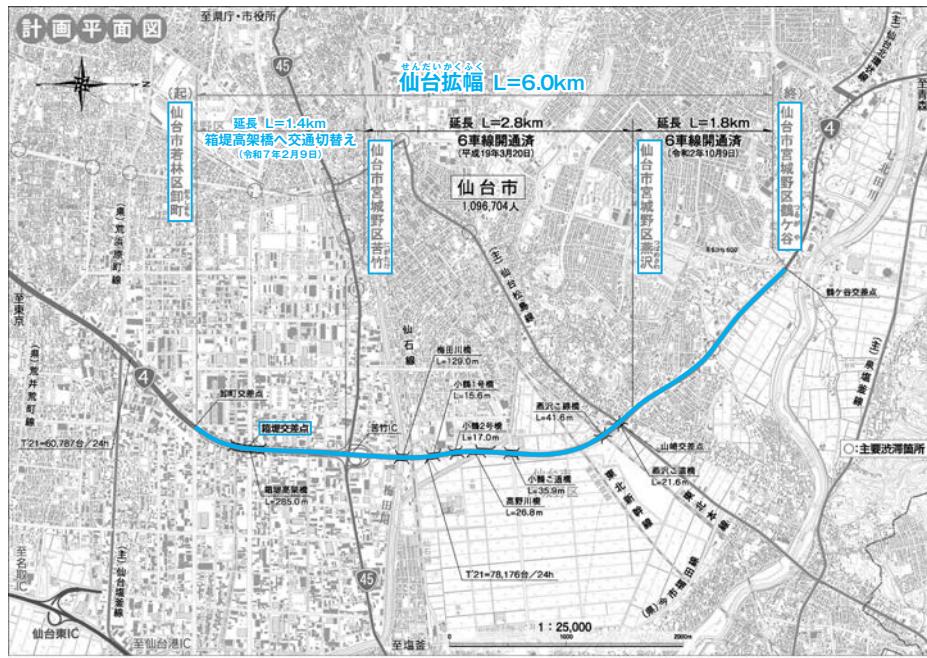


図-2 仙台拡幅事業位置図



図-3 箱堤高架橋側面図（架設工法の区分）

箱堤交差点は、東北地方で最も交通量が多いとされる国道4号と、市道元寺小路福室線が交差する、片側最大8車線となる日本最大級の交差点です。この交差点上での送出し架設は、全面通行止めを要するため、道路利用者への影響を最小限に抑える必要がありました。そのため、1夜間で移動量が100mを超える急速な送出し架設により実施することが求められました。

4. 施工シミュレーション

施工に先立ち、交差点上での送出し架設に関するシミュレーションを実施しました。シミュレーションでは、レーザースキャナ測量により取得した現地地形を基に3Dモデルを作成し、各工程における近接道路への影響（支障物や俯角など）を可視化しました。これにより、事前に適切な対応を講じることが可能となりました（図-4）。

さらに、この3Dモデルに時間軸の要素を加えた4Dモデルを構築し、送出しの進捗（タイムスケジュール）に応じた反力やたわみの変化を視覚的に確認できるようにしました。これにより、より現実的で理想的な施工モデルを構築しました（図-5）。

加えて、作成した4DモデルをMR（複合現実）技術を用いて現地に投影し、干渉物の確認、施工手順の周知、施工計画の妥当性の検証を実施しました（図-6）。これにより、架設計画の視覚化が図られたため、若手の管理者や作業員でも架設作業のイメージを容易に把握することができ、作業手順の周知が可能となりました。また、問題点の事前把握が可能となり、作業の遅れや手戻りを最小限に抑えることができたほか、危険予知の精度も向上し、事故やトラブルの防止にも寄与しました。

これらの結果、施工シミュレーションにより施工計画の高度化を図るだけでなく、作業員の教育コンテンツとしても活用し、作業手順のより確実な周知を実現しました。



図-4 現地地形を反映した3Dモデル



図-5 4Dモデルによる施工シミュレーション



図-6 MRによる施工シミュレーション

5. デジタルツインシステム

日本最大級と言われる箱堤交差点上での送出し架設は、交差点を全面通行止めし、1夜間で実施しました。タイムスケジュールは、21時から交通規制を開始し、次の手順で進めました（図-7）。

- ① 22時10分 第1回送出し推進開始（約50m）
- ② 23時00分 手延べ機が対岸に到達

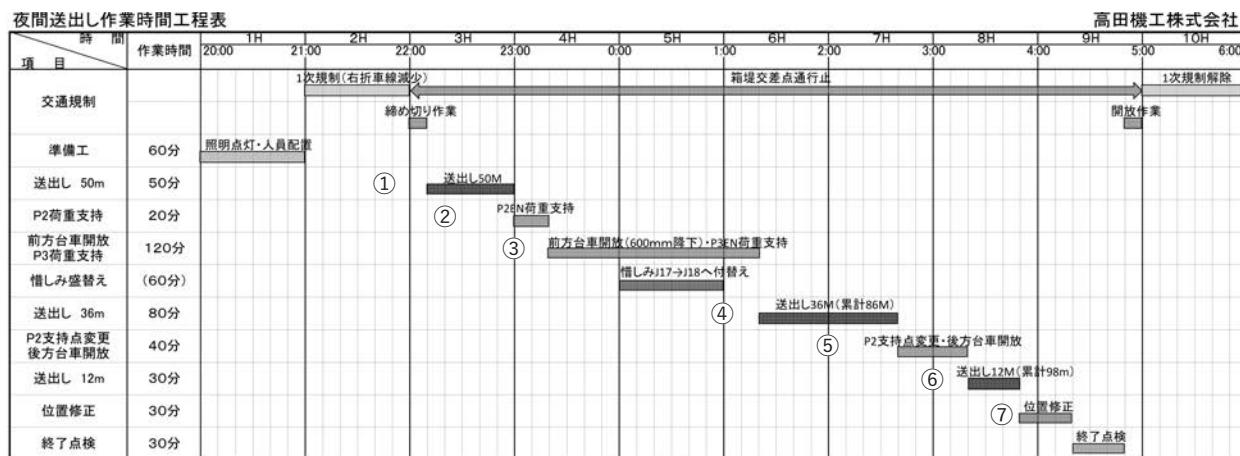


図-7 タイムスケジュール

③ 23時20分 前万台車開放、各支持点で反力調整を実施

④ 1時20分 第2回送出し推進開始（約36m）

⑤ 2時40分 後万台車開放

⑥ 3時20分 第3回送出し推進開始（約12m）

⑦ 3時50分 到達後位置修正と終了点検を実施
本工事の送出し架設は、作業時間に制約があることから、①・④・⑥の工程で使用する推進ジャッキには、連続稼働により1m/分の速度でけん引可能な「ダブルツイン®ジャッキ」を、また各支持点には、推進に伴う盛替え作業が不要な「エンドレス滑り装置」を採用しました。

この装置は、一般的には直線方向への送出しを前提とした構成となっていますが、本橋はわずかに曲率を有する線形であるため、盛替え作業による時間ロスを回避しながらスムーズに送出しを行うには、推進方向（通り）の厳格な管理が求められました。また、②の工程では、手延べ機先端に生じる約2mのたわみを解消し、適切な反力を載荷させる必要がありました。

さらに、③・⑤・⑦の工程では、全体の反力バランスを調整し、④・⑥の送出しに伴って変動する支持点の反力の妥当性をリアルタイムで評価する必要がありました。これらの課題に対して、従来は各管理点に管理者を配置し、それぞれが手動で計測を行い、無線で作業指揮者に情報を伝達し、手計算により分析・判断を行うという手法が取られていました。しかし、この方法では計測や

連絡に時間を要する上、常にヒューマンエラーのリスクを伴います。

そのため、限られた夜間作業時間内で交差点上の送出し架設を安全かつ確実に完了させるためには、通り・たわみ・反力といった情報を迅速に収集し、一元的に管理する体制を整えることが重要でした。これにより、作業指揮者が適切な判断（意思決定）を行える環境を構築することが、本工事における大きな課題となりました。

そこで本工事では、必要な工事情報をリアルタ



図-8 デジタルツインシステム

イムで再現できる「デジタルツインシステム」を構築しました。デジタルツインとは、現実世界から収集したさまざまなデータを、まるで双子のようにコンピューター上に再現する技術です（図-8）。

まず、桁位置および変形に関する計測（送出し推進量、通り、たわみ）については、手延べ機の先端および桁の両端の計3カ所にGNSSを設置し、データを取得しました。取得したデータはクラウドシステム上で演算され、ブラウザ上に表示される3Dモデルの位置や、各種ウィジェットにリアルタイムで反映される仕組みとしました（図-9）。

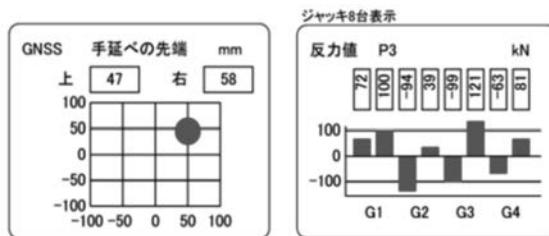


図-9 ウィジェット表示（左：通り、たわみ 右：反力）

次に、主桁を支持するジャッキの反力については、ジャッキの集中管理システムから出力されるデータをリアルタイムでクラウドにアップロードし、同様にウィジェットに表示させました。桁の通りおよびジャッキ反力値には、それぞれ2段階の閾値を設定しました。第1段階（通り： ± 20 mm、反力：主桁許容荷重の70%）では、対象箇所のウィジェット表示を黄色に点灯させ、第2段階（通り： ± 30 mm、反力：主桁許容荷重の90%）では赤色に点灯することで、異常の発生を視覚的に把握できるようにしました。

さらに、施工計画段階で構築した4Dモデルを基に作成した施工シミュレーション（送出し架設の理想値）を、デジタルツインと同様にブラウザ上でリアルタイムに再生できるようにし、両者を比較しながら管理する体制を整えました。送出し当日には、現場全体を見渡せる位置にテントを設置し、50インチの大型モニターでデジタルツインと施工シミュレーションの映像を並べて表示し



写真-1 現地での運用状況

た上で、一般公開も行いました（写真-1）。

本システムの活用により作業の進捗状況が明確になったことで、タイムキーパーの人数を削減できたほか、通りやたわみの計測も確認作業程度にとどめることが可能となりました。また、無線では伝達が困難であった情報についても、円滑に共有し、個別の無線連絡を最小限にとどめることができました。

作業指揮者においても、情報を視覚的かつ俯瞰的に把握できるようになったことで、状況の分析が容易となり、迅速かつ的確な意思決定に貢献しました。さらに、状況の把握がしやすくなったことから、現場見学に訪れた若手技術者の理解が深まり、教育コンテンツとしても有効であることが確認されました。

これらの効果により、施工の効率が約30%向上したものと考えています。加えて、本システムはインターネットブラウザを介してアクセスが可能なため、現場に立ち会えない熟練技術者が遠隔地からでも状況を把握することができ、遠隔支援の実現にもつながりました。

その結果、安全性および品質の向上にも寄与したと考えています。また、施工状況をデジタルデータとして記録・保存できることから、今後の技術伝承への活用も期待されます。

6. おわりに

本工事では、地域の学生を対象に現場見学会を積極的に実施し、その一環として、工業系の大学生や工業高校生を招いた体験型の学習プログラム



写真-2 現場見学会の様子



写真-3 インフラ DX 大賞授与式

も複数回行いました。学生自身がMRを活用した施工シミュレーションなどの最新技術に触ることで、建設業や本事業に対する理解が深まりました。これらの取り組みはメディアにも紹介され、情報共有や技術紹介の手段としても高く評価されました（写真-2）。

私たちはDXを積極的に推進することで、人手不足などの社会課題に対して、より効率的で持続可能な未来の実現を目指しています。

このたび「インフラ DX 大賞」において優秀賞を受賞できたことは、これまでの取り組みが評価された証しであり、大変うれしく思います（写真-3）。今後も現場の課題に真摯に向き合い、技術と創意工夫をもってインフラの未来に貢献してまいります。

本取り組みに際し、各種調整や助言など、多大なるご協力を賜りました関係各位に、心より感謝申し上げます。