

橋梁上部工事におけるDXの推進について

谷村 優¹

¹中部地方整備局 北勢国道事務所 工務課 (〒510-8013 三重県四日市市南富田町4-6)

北勢国道事務所が整備を行う東海環状自動車道三重区間は、2024年度に大安ICからいなべICまでを供用開始目標として工事を進めている。予定通り工事を完了するためには、周辺住民との円滑な合意形成を図り、工事の手戻りを最小限に抑え、且つ効率的で生産性の高い施工を実施する必要がある。1日でも早い供用開始を実現するため、生産性向上策として、工事におけるDXの活用を積極的に推進している。本稿では工事でのDX活用事例から特に有用であった物を紹介する。

キーワード DX, MRマーカー, 4Dモデル, 生産性向上,

1. 北勢国道事務所について

北勢国道事務所は、北勢・伊賀地域において国道1号（桑名東部拡幅、北勢バイパス、関バイパス）、475号（東海環状自動車道）の整備事業を担当するとともに、国道25号名阪国道の維持管理等を担当している。



図-1 北勢国道事務所担当路線図

交通結節点である四日市港への集積拡大による活性化、内陸部の適正な開発等を図ることを目的としている。

また令和8年度に、県境～いなべIC間の開通を予定している。この区間は、養老山脈に隔てられた岐阜県と三重県北勢地域を直結することで、高速交通ネットワークを形成し、地域開発を支援することを目的としている。

(2) 路線の整備効果

新四日市JCT～大安ICまでは既に開通済みであり、沿線のいなべ市では、供用後と供用前を比較し周辺の立地企業数は2.0倍、立地企業による雇用者数は1.6倍、地方税の税収は1.3倍となった。また、未整備区間が開通する事により、関西、名古屋方面からのアクセスがさらに容易になり、企業立地のさらなる進展に加え、いなべ市への観光客増加も期待される。

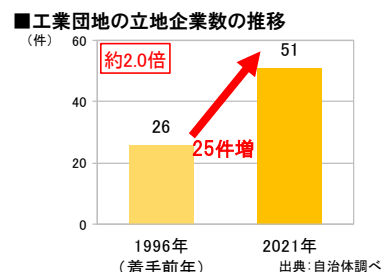


図-2 立地企業数一部区間整備前後比較

2. 国道475号東海環状自動車道

(1) 路線概要

国道475号東海環状自動車道は、延長約153kmの一般国道の自動車専用道路であり、山県IC～大野神戸IC間及び大安IC～養老IC間を除く、延長109.4kmが開通している。

三重県内では、令和6年度にいなべIC～大安IC間の開通を予定している。この区間は、新名神高速道路と一体となって、三重県北勢地域の道路網の形成、

■工業団地に立地した企業雇用者数の推移

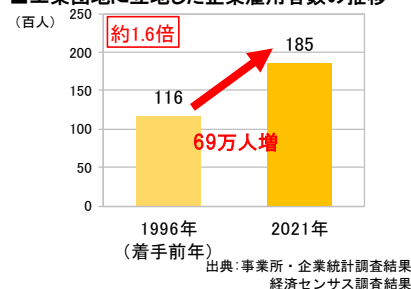


図-3 雇用者数一部区間整備前後比較

■地方税の推移

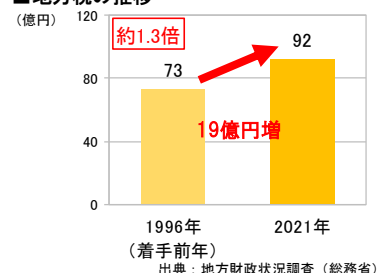


図-4 地方税収一部区間整備前後比較

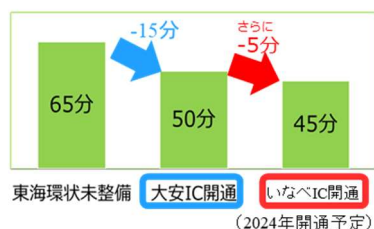


図-5 名古屋市～いなべ市のアクセス時間

3.東海環状自動車道の特徴

(1) 北勢国道事務所管轄区間について

前述の通り、北勢国道事務所管轄区間において、新四日市JCT-大安ICまでは整備済みであり、大安IC-養老ICまでの区間が現時点で未整備である。



図-6 東海環状自動車道三重区間全景

本区間の整備にあたって、工程の遅延発生を防止し、作業の効率化を図る事で、1日でも早い供用開始を目標とした。目標達成のため、また今後の工事に有効な生産性向上方法を吟味するため、以降で紹介する工事ではDX技術を積極的に活用した。

4 DXの活用事例(鋼上部架設計画)

本章では、鋼橋上部工事でのDX活用事例として、「令和4年度東海環状大安2高架橋4鋼上部工事」にて、4Dモデルを活用した、上部工架設について説明する。

(1) 工事における課題と対応

本工事は、鋼6径間連続成床版少数鈹桁橋の上部工架設工事で、第6径間は国道365号上に位置している。第6径間の上部工架設は国道の通行止めを伴う夜間施工であり、一夜間という限られた時間で施工する必要がある。そのため、径間長分の主桁を地組し、650tクレーンを使用した一括架設を行う。国道の通行止めや施工規模、使用重機の大きさから、現場作業での不具合が生じた場合や、それに伴って工事が中断された場合の社会的影響は極めて大きい。そのため、現場での不具合を防止し、確実に実施可能な施工計画の立案が本工事は課題である。

(2) 取組概要

課題解決策として、4Dモデルを使用した施工計画、検証を実施した。

4Dモデルの作成は、KOLC+というシステムを活用し、事前に取得した施工現場の点群データをベースに架設対象である上部工に加えクレーン、仮設設備のモデルを配置し、さらに時間軸である施工工程、作業の注意エリアなどを反映する事により、統合モデルの作成を行った。



図-7 KOLC+4Dモデル作成イメージ

(3) 地形データの作成

ベースとなる地形モデルは3次元レーダー測量による点群を基に作成した。3次元レーダー測量は、レーダーに当たる物体全てを捕捉するため、2次元測量を基に作成する地形モデルと比較し、反映漏れの無い現地に近い地形モデルを作成する事が可能である。これにより、詳細な施工の計画やシミュレーションを行うことができる。



図-8 点群より作成した地形データ

(4) 3Dモデルへの施工条件取り込み

本橋の施工対象箇所にはBOXカルバートが埋設されており、クレーンがBOXカルバート上でアウトリガーを張出し、作業を実施した場合に沈下が発生する恐れがある。そのため、施工条件としてBOXカルバート上は、アウトリガーの張出しを伴うクレーン作業を行わないエリアとした。施工シミュレーションで施工条件に沿っているか、確認を行うことを目的に3DモデルにBOXカルバート埋設位置を高さ方向に3Dモデル上で明示した。

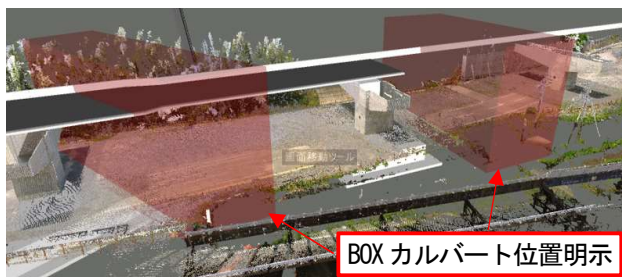


図-9 3Dモデル上施工条件表示

(5) 施工シミュレーション

本工事では実際に4Dモデルを用いて重機を動かしながら施工シミュレーションを実施した。

施工シミュレーションでは、各工程で重機及び仮設材を配置し、各配置箇所での実際の作業内容に応じた検証を行った。



図-10 4Dモデルによる施工シミュレーション

(6) 照査結果

施工シミュレーションによる計画の照査を実施した結果、当初の重機配置では施工済みの橋脚と干渉する事を確認し、重機配置計画の修正を行った。施工計画の照査

及び重機配置の修正を行うことで未然現場での作業中断や手戻りの発生を防止し、夜間施工という限られた時間且つ国道の通行止めを伴うという、状況下での確実な施工を実施する事ができた。



図-11 クレーンブームと施工済み橋脚の干渉

5. DXの活用事例(PC上部工架設)

本章ではPC上部工におけるDXの活用事例として、「令和3年度東海環状大安2高架橋2PC上部工事」にて、活用したICT施工について説明する。

(1) 工事概要

本工事は、橋長219mのPC6径間連結コンボ橋の架設工事である。現場での鉄筋配置、コンクリート打設、出来形管理に多くの時間と人員を要するため、生産性の向上が課題である。そこで、本工事ではDX技術を活用した作業の効率化、確実性の確保による生産性の向上を図った。

(2) MR配筋マーキング

a) 概要

コンボ橋における床版は膨大な数の鉄筋が密に配置されるため、配筋位置のマーキングに多くの人員を要する事が課題である。そこで、MR技術を活用し、3D鉄筋モデルを基に配筋位置のマーキングを行った。

b) MR活用の工夫

従来の配筋位置マーキングは、メジャーを用いて、各箇所での距離を測定し、2人組で実施されていた。従来の方法は、1作業に2人工を必要とすることに加え、一つ一つの作業にも時間を要していた。

そこで、本工事ではゴーグル型のデバイスを活用した、MR配筋マーキングを実施した。MRとは複合現実という技術で、リアルとバーチャルを複合させる技術であり、MR配筋マーキングの場合は、配筋3Dモデルというバーチャルを、デバイスを通すことで現実世界に配置する。モデルが位置情報を持っているため、位置が固定され、投影

したモデルの後ろに回る事や、近づく事が可能である。

実際の作業では、ゴーグル型のデバイスを介し、作業員の視界に配筋の3Dモデルを投影し、仮想の鉄筋が投影されている箇所に、マーキングを実施した。ヘルメットとマーキングペンに取り付けられたプリズムをトータルステーションで捕捉し、常に位置合わせを行う事で計測の手間を省き効率化を図ると共に、1人で作業実施可能な技術を採用する事により、省人化を図った。



図-12 配筋マーキング方法比較

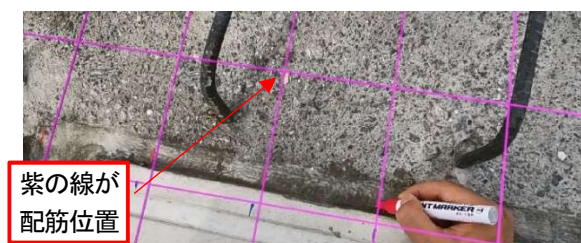


図-13 作業員がゴーグルから見ている景色



図-14 MR位置補正装置

c) 効果

上記の技術で施工した結果、マーキングの誤差が最大で5.0mm以下となり十分な精度を確保できた。従来工法と、MRを使用した施工方法について、マーキング作業にかかる作業時間×人工を比較した結果、5時間9分(従来)から3時間1分(本工法)と約41%の省人化に成功した。

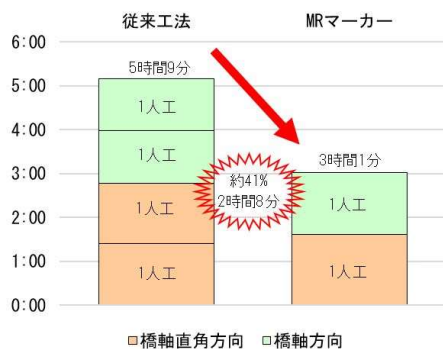


図-15 配筋マーキング作業時間比較

(3) デジタルデータによる出来形照査

a) 概要

従来の鉄筋出来形計測では、2人1組でメジャー等により手計測し、その計測結果を記録する。その後、計測結果の記録を残すため、検測テープ等を配置して写真に収める必要がある。従来の方法では現場作業に2人工を要すると共に、測定後の帳簿記入にも多くの時間を必要としていた。そこで、本工事ではデジタルデータを活用する事で現場に配置した鉄筋径・鉄筋間隔・鉄筋本数の計測ならびに調書作成を自動化させ、出来形確認を含めた配筋管理の効率化を図った。

b) デジタルデータを活用した出来形確認の手順

デジタルデータを活用した配筋の出来形照査を実施するため、配筋の写真撮影を行う。画像処理を行うため、写真撮影の際に校正プレートというプレートを配筋の間に配置し、撮影を行う。撮影した画像をコンピュータに取り込み、画像処理をかける事により、配筋検査帳票システムの起動、設計値入力、計測結果を取込み、帳票を自動作成する。



図-16 鉄筋出来形の画像撮影

c) 比較項目

今回の工事では、デジタルデータを活用した配筋出来形計測の測定精度、効率化度合いを確認するため、従来の方法でも同量の配筋出来形計測を実施した。

精度確認の項目としては、鉄筋本数、鉄筋径、配筋間隔である。各項目の精度確認の基準として以下の値を設定した。

- 鉄筋本数：計測範囲の必要本数
- 鉄筋径：D13、D16と3mm間隔でランク分けされているため、判断可能な±1.5mm以内
- 鉄筋間隔：従来工法との計測誤差±5mm以内

d) 効果

デジタルデータを使用した鉄筋出来形計測の結果は以下の通りで、各項目での実用性において、十分な精度を確認する事ができた。

表-1 デジタルデータを使用した配筋出来形計測結果

計測項目	計測誤差	誤差許容値	判定
鉄筋本数	0本	0本	○
鉄筋径	-1.4mm～+0.8mm	±1.5mm	○
鉄筋間隔	-2.3mm～+3.3mm	±5.0mm	○

従来工法と作業時間×人工で比較したところ、従来工法は32分48秒、デジタルデータ活用方法は21分25秒であり、デジタルデータを活用することで、約35%の効率化に成功した。本工事で比較した施工対象は壁高欄のみで、測定箇所が少ないにも関わらず、十分な効果を発揮する事が出来た。床版工などの計測箇所が多い施工対象に本工法を活用する事で、さらなる効果の発揮が期待できる。

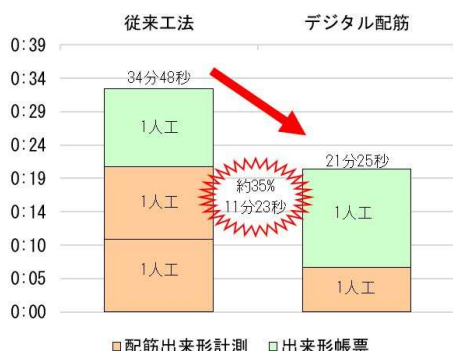


図-17 出来形照査作業時間比較

6. 地域説明会、職場説明会への活用事例

北勢国道が管轄する東海環状自動車道三重区間の整備では、DX技術を多く活用しており、施工計画や、現場作業の効率化の他にも、地域住民への事業内容説明に3Dモデルや4Dでの施工イメージを活用する事で、普段図面を扱っていない方にも、視覚的に内容を理解していただけた。

学生の職場体験では4Dモデルでの施工ステップ解説やVR技術を使用し地形・橋梁統合モデルの見学を行う事で、視覚的に建設業のスケール感や、建設物が作られることによる変化を感じてもらい、建設業に興味を持ったとの反応を得る事ができた。



図-18 BIMモデルを使用した説明会



図-19 学生職場見学でのVR体験

7 建設業界の問題と課題

(1) 働き手の減少

建設業界では構造の複雑化や構造物の大規模化に伴い、作業の内容及び工程が増加し、多くの作業時間を要している。しかし、作業量の増加に反し、少子高齢化による労働人口の減少及び、若者の建設業離れの影響で現場の働き手は減少している。そのため、将来の建設業の担い手確保や、労働者数が少ない状況で作業を完了するための、作業の効率化が課題である。

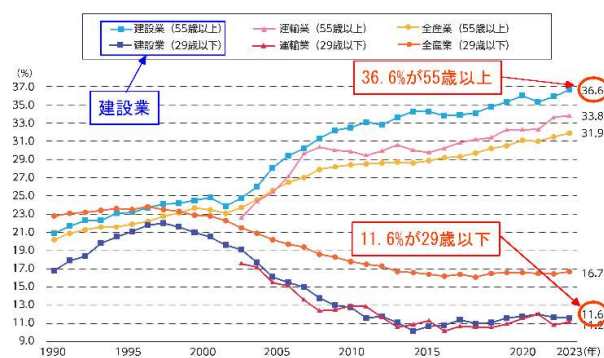


図-20 各業界年齢構成の推移

(2) 働き方改革による2024年問題

本国において、働き方改革が推進されており、「働き方改革関連法」が2019年4月に大企業を対象に、2020年4月には中小企業も含めて施行された。これによって、時間外労働時間の上限は、原則月45時間・年360時間に規制された。建設業については、業界の特性から5年間の猶予期間があり、2024年4月から施行された。

働き方改革による就業時間の短縮や、週休二日制の採用など、近年のワークライフバランスを重視した働き方へのシフトは今後も継続していくものと考えられ、従来の工法のままでは、実施可能な作業量は減少していく一方である。前述の問題に対して、働き手の数を急激に増やすことが困難な中、これらの課題を解決するには、作業の効率化や手戻りを防ぐことによって、生産性を向上する事が建設業界の課題である。

(3) 建設業界におけるDXによる課題解決

BIM/CIMモデルの作成、活用により従来では各部材毎で分断されていた図面を1つのモデルに統括する事が可能となり、設計や製造の効率化を図る事が可能で、2次元図面では見逃しがあった部材の干渉、施工計画の不具合を確実に防ぐことで手戻りを防止する事が出来る。

現場での活用についてはMR技術やデジタルデータ活用による、省力化、効率化を図り、生産性の向上が実現可能である。

また地域への事業説明で3Dモデル活用する事で円滑な合意の形成、4D・MRなどの新技術を使用する事により建設業のイメージアップまたそれに伴う次世代の担い手確保を期待している。

これらのように建設業界の課題である、効率化、生産性向上、働き手の確保において、DXは様々な効果が期待できる。



図-21 インフラ分野のDX

(4) 発注者としての課題とDXの活用

国土交通省や地方自治体をはじめとする、工事発注者においても改築事業やインフラの維持管理において、工事発注や事業管理をすすめるにあたって、発注主体の職員だけでなく、発注者支援業務の技術者なども含め、多くの時間や労力を必要としている。

工事の施工業者と同様に、発注者にも働き方改革の目的に沿った、効率的で効果的な事業運営が求められる。

現状、工事発注において図面や数量のとりまとめや、積算において、内容の確認作業も含めて、多くの人員と作業時間を要している。

また、発注図面をとりまとめ発注し、設計照査を行っていく際に多くの修正点や、現場の状況が正しく反映されていないといった課題が発生しており、その対応に多くの人員と作業時間を要している。

また、工事の検査に際しても施工されたものの寸法を測ることなどに、多くの時間と労力を要していた。

これらの課題に対して、現在、工事検査をする際に、DX技術によって管理させたデータを確認することによって、従来よりも短時間で検査できるようになってきている。また、設計時点においても、BIM/CIMなどのDX技術を活用することで、より現場の課題が設計に反映しやすくなり、手戻りの少ない工事発注をできることが期待できる。

8. まとめ

本稿で紹介した工事では、ICT施工や4Dモデルでの施工計画シミュレーションなどDX技術を積極的に活用した。

ICT施工では現場の作業時間を大きく削減する事に成功し、作業人員及び作業時間が減少する建設現場において非常に有効な技術であると確認出来た。

4Dモデルによる施工計画シミュレーションでは現場での作業開始前に施工計画の不具合を発見する事で、手戻りを防止し限られた時間での確実な施工を実現できた。

その他にも地域住民への説明や、学生への業界紹介等様々な方面への活用が可能である。

4Dモデルの作成には3Dモデルの作成に最も時間を要するが、今後3Dでの設計がスタンダードになれば、施工計画に沿ったクレーンや仮設材の追加のみで作成が可能であり、作成、活用へのハードルは低くなると考えられ、少ない作業で得られる効果は大きい。

これらの技術は本事業でのみ活用可能な技術ではなく、一般的で様々な工事に活用が可能な、汎用性の高い技術である。

少子高齢化による働き手の不足という課題が深刻化する中で、対策として有効な本稿で紹介した技術を一般的な物とし、新しい技術に目を向けると共に、今後も積極的にDX技術を活用していきたい。

そのことによって、公共工事に携わる多くの人がワークライフバランスの充実した、建設業の新3K（給与・休暇・希望）が実現できるようにしたい。これにより、多くの人が公共事業に携わることを希望してもらうことにより、中長期的な建設業の担い手を確保でき、地域の安全・安心や経済を持続的に支えていけるようにしたい。

謝辞：本稿の執筆にあたり、資料の提供やご助言を頂きました株式会社横河ブリッジ、株式会社IHIインフラ建設のご担当者様には、本紙面をお借りして深く御礼申し上げます。