

沙流川橋耐震補強工事における生産性向上とDXに向けて

室蘭開発建設部 苫小牧道路事務所 ○武藤 翔吾
同 上 谷口 拓也
東海建設株式会社 山崎 信人

道路橋の新設工事では、設計図を3次元化し維持管理まで有効活用するなどCIMの適用が段階的に拡大しており、既設橋梁の維持管理においてもCIM適用を推進しているところである。本稿では、一般国道235号 日高町 沙流川橋耐震補強外一連工事(橋脚耐震および落橋防止システム設置工事)において、各施工段階(要素技術)および竣工後の維持管理(マネジメント)を視野にいれたCIM適用の状況とDXに向けた取り組みについて紹介する。

キーワード：生産性向上、維持管理CIM、3次元技術、DX

1. 本稿の構成

本稿では以下に示す項目に沿って、道路橋の維持管理工事におけるCIMの適用、効果、課題、インフラ分野のDXへの繋げ方を説明する。

2. CIMの目的、インフラ分野のDXの定義
3. 維持管理工事におけるCIMの適用性
4. 本工事の目標
5. CIM適用内容
6. CIM適用の効果
7. 課題
8. DXに向けて

2. CIMの目的、インフラ分野のDXの定義

すでに周知のことと思われるが、今一度、CIM、インフラ分野のDXの目的、定義を記載する。

(1) CIMの目的

『計画、調査、設計段階から3次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産、管理システムの効率化・高度化を図ることを目的とする。』(国土交通省ホームページより抜粋)

(2) インフラ分野のDXの定義

『社会経済状況の激しい変化に対応し、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、

業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現』(国土交通省ホームページより抜粋)

3. 維持管理工事におけるCIMの適用性

道路橋の新設工事ではゼロから設計を行い構造物を建設するが、維持管理工事の場合は、すでに建設されているものに対して、劣化対策や機能更新などを行う。特に建設年度の古い橋梁の場合、CIMを活用するためには、以下の課題がある。

- a) 既に建設されている橋梁を3次元化する必要がある。
- b) 竣工時の情報(竣工図書等)が少ない。
- c) 建設時以降に補修・補強や、ライフライン設備の追加など手を加えている場合が多い。
- d) 河川上や高所など調査が実施困難な場合がある。
- e) 既に劣化が生じている場合がある。
- f) 調査を行うのに交通規制や特殊車両が必要となる。

これらの課題を解決するように新技術やCIMを活用できれば、CIM適用の範囲は広がり維持管理工事での生産性は著しく向上するものと考えられる。

4. 本工事の目標

本工事の対象橋梁である沙流川橋は昭和63年に建設され、令和2年度に鋼板巻き立てによる耐震補強を実施している。その際に対象橋脚を地上型3Dレーザースキャナーを使用して橋脚の点群データを取得した。また、設計図(巻き立て鋼板)の3Dモデルを作成して差分解析(図-1)にて設計寸法と現場寸法の対比を行っている。

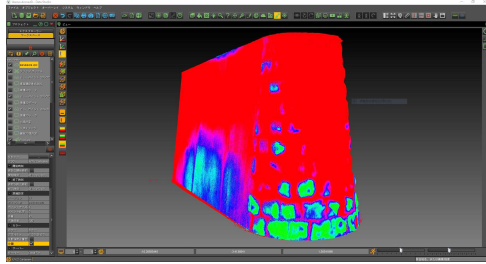


図-1 巻き立て鋼板と躯体の差分解析
(青～緑が干渉箇所)

前回工事での課題としては、

- データ処理に時間を要す。
現場計測時間、測りもれ等は改善できるが、処理(内業)に時間を要する。
- 精度は良くても費用は高い。
測定方法、適用箇所を工夫すれば十分、製作に支障のない精度が得られるが、適用箇所が少ない割に高性能な機材を使用するため費用は高めとなる。
- 3次元の特徴が生かし切れていない。
差分解析は視覚的な成果(ビデオなど)を提出できたが、計測図や製作図の作成については計測は3次元上で行うものの、提出物としては2次元図面であり、3次元の特徴(表現の豊かさ、正確性、リアル空間の再現性など)を生かし切れていない。
- スケールメリットが少ない。
施工前照査のみの部分的な利用であったため、工事全体としてのスケールメリットが少ない。
- CIMの目的に合致していない。
新技術の活用にとどまり、CIMの目的である施工後の維持管理に利用できるのは点群のみであった。

上記の課題のうち、a)はハードウェアの改善により大部分の改善が可能である。b), d)はスケールメリットを感じられる提案ができれば解消するものと考えられた。c), e)は工事の成果品として3次元成果を提案できればCIMの目的に合致するものと考えた。

以上より、今回工事でのCIM適用にあたっての目標としては、

『工事全般にわたるCIMの活用と3次元成果の提案』とした。

具体的には、概算工程表(図-2)に示すように、従来の方法による概算工程を算出し、施工日数の短縮、品質の向上・製作ミスの撲滅、3Dの幅広い活用を念頭に、図中(図-2)のStep-1~4の4段階に分けてCIMを活用するものとした。

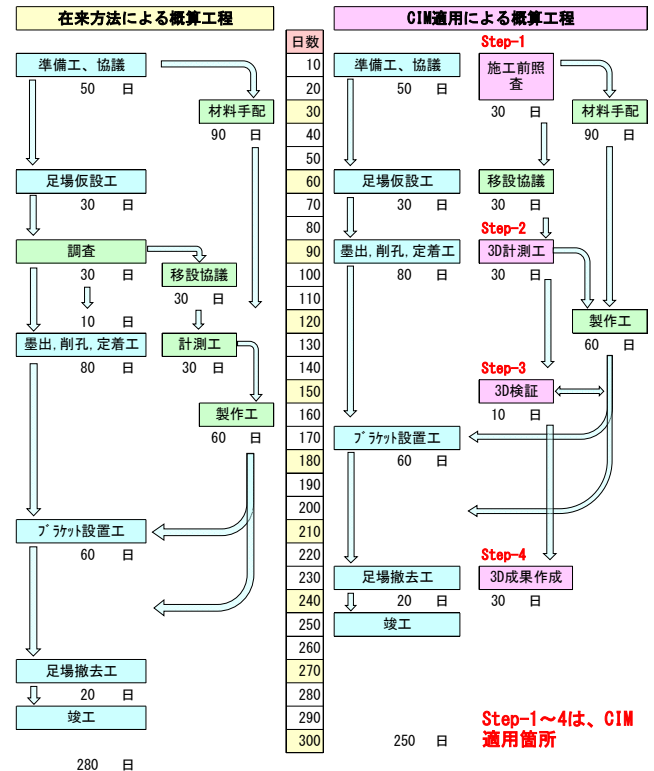


図-2 概算工程表

5. 本工事でのCIM適用内容

(1) Step-1：3Dデータ取得と施工前照査

準備工、協議として確保された約50日間に、施工前の現橋を3Dモデル化し、落橋防止システムの設置にあたり支障となるものを3Dモデル上で干渉チェックを行った。

1) 使用機材およびソフトウェア

地上型3Dレーザースキャナー

小型特殊UAV

点群処理ソフト(3Dスキャナー付属)

SfMソフト

汎用4Dマネジメントソフト

3D-CAD

2) データ取得方法

河川敷より地上型3Dレーザースキャナーを使用して点群データを取得(写真-1)した後、地上型3Dレーザースキャナーではデータを取得しにくい橋脚上、支承等を小型特殊UAVを使用して河川敷より飛行させ、4Kビデオカメラで撮影(写真-2, 3)を行った。

この小型特殊UAVはVisual SLAM(自己位置推定機能)付きであり、障害物があるところでも1mの空間があれば自動回避しながら飛行し、撮影対象物まで50cmまで近接して撮影できる。



写真-1 地上型3Dレーザースキャナー
(点群データ取得)

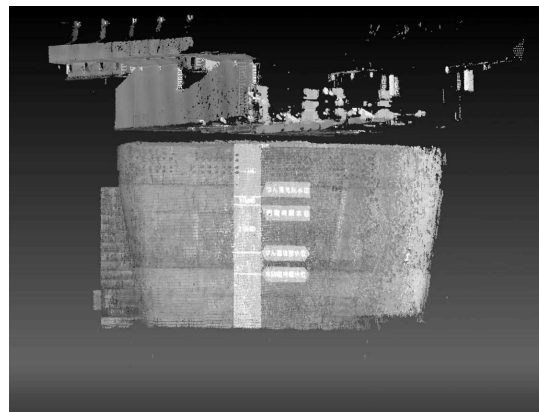


図-3 点群のみ(地上型3Dレーザースキャナー)



写真-2 小型特殊UAV

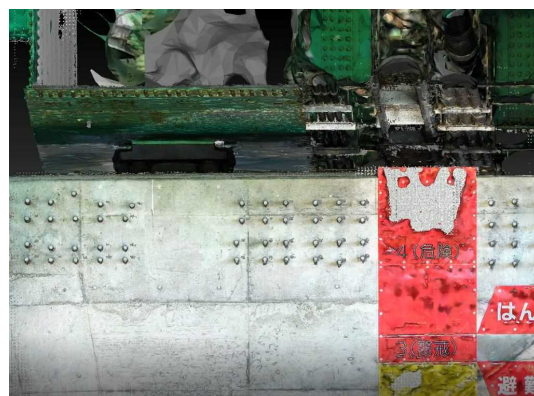


図-4 現場3Dモデル (点群と3Dメッシュデータ
UAV)の合成データ)



写真-3 小型特殊UAVの撮影画像の確認
(4Kビデオカメラ)



図-5 3Dモデル(設計図)との干渉チェック
(落橋防止システムと既設水道管等)

3) データ処理方法

地上型3Dレーザースキャナーのデータは点群、小型特殊UAVで撮影した4Kビデオ画像はSfMソフトを利用して3Dメッシュデータ(テクスチャ付き)に変換した。両データを汎用4Dマネジメントソフト(※1)を利用して点群と3Dメッシュデータの合成(図-3, 4)を行い、現場3Dモデルを作成した。

4) 活用方法(施工前照査)

設計図(落橋防止システム)をあらかじめ3D化しておき

(3Dモデル(設計図))、前述の現場3Dモデルと重ね合わせを行い、既設構造物との干渉チェック(図-5)を実施した。

(2) Step-2 : 3D計測(定着アンカー位置計測)

落橋防止システムの設置にあたっては、既設橋脚前面に定着させたアンカー位置と整合したボルト孔の製作が必要である。しかし、定着アンカー位置は既設鉄筋を避けて設置しているため、設計位置とは全く異なった位置となっており、この位置を計測して正確にブラケット製

作図に反映する必要がある。

1) 使用機材およびソフトウェア

一眼レフカメラ(1000万画素程度)

SfMソフト

2D-CAD

2) 測定方法

あらかじめアンカー定着位置を取り囲むように基準墨を設置し、一眼レフカメラで連写(重複率70%程度)するように撮影を行う。

3) データ処理方法

一眼レフカメラで撮影した画像をSfMソフトに取り込み3Dメッシュデータを作成する。1平面上の位置関係が分かればよい場合は、そのまま必要な面のオルソ画像を作成する。3D上の位置関係を把握したい場合(アンカー定着位置+下部工と上部工の位置関係、勾配など)は、3Dメッシュデータを点群に変換する。

4) 活用方法(計測図、製作図作成)

2D上の計測で用をなす場合は、オルソ画像を2D-CADに縮尺を揃えて貼り付けを行えばmm単位での計測図が作成(図-6)できる。

3D上での位置関係が必要な場合は、点群データ上で座標のほしい箇所へ標点を設置し、その標点座標値を得る。あらかじめ簡単な作画プログラムを作成しておけば半自動で2D-CADに計測図または製作図が作成可能となる。

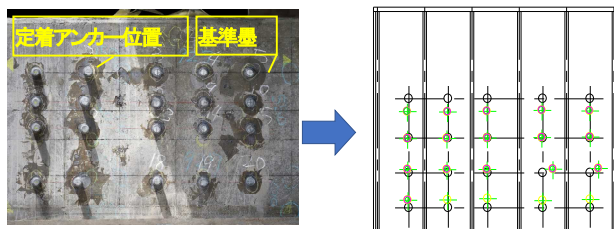


図-6 オルソ画像⇒CADへ

(3) Step-3 : 3D検証

ブラケットの製作に際し、ブラケットが大型のものに関しては、溶接ひずみ等も生じるため、必ずしも製作図どおりに製作できていない場合がある。大型ゆえに現場で取りつかない場合は非常に大きな損失となるため、必要に応じて出荷前に3D検証を行った。

1) 使用機材およびソフトウェア

一眼レフカメラまたはハンディスキャナー

SfMソフト

汎用4Dマネジメントソフト(※1)

2) 測定方法

工場で製作されたブラケットを一眼レフカメラを使用して削孔穴と同様の撮影方法で撮影(写真-4)する。



写真-4 アンカー位置に合わせて製作されたブラケット

3) データ処理方法

工場で撮影した画像をSfMソフトを使用して3Dメッシュデータとする。

4) 活用方法(整合性確認)

汎用4Dマネジメントソフト(※1)を利用して、製作したブラケットの3Dメッシュデータと現場アンカー定着後の3D点群データの重ね合わせを行い、整合性を3D上で確認する。

(4) Step-4 : 3D成果作成

CIMの目的の一つである竣工以降の維持管理においても活用できるデータを残すためには、今回取得した3Dデータおよび今回の施工内容のうち、今後の維持管理で必要になるデータを集約した形で残し、かつ、後に本橋に携わる技術者が容易に追加・編集できる必要がある。

1) 使用機材およびソフトウェア

汎用4Dマネジメントソフト(※1)

2) 作成方法

汎用4Dマネジメントソフト(※1)を使用して、点群をベースとし、その上に写真、各種3Dデータ、TEXT、2D、3D-CADデータなどを重ね合わせて、着工～竣工までを3Dで表現する。また、今後の維持管理に必要と思われるデータはリンクを紐づけし、今回の工事内容を集約する。

集約した結果を3Dビデオや、VRゴーグルを使用して3D空間を体験できる3D空間を作成し、パッケージソフトとして納品する。

3) 活用方法

施工検討会や協議打合せなどに、現場の状況を3DビデオやVRゴーグルを利用し打合せ室で3D空間を再現し、スムーズな合意形成を図る。

施工後の維持管理に必要となるデータを3D成果とすることにより、後の橋梁点検時などの資料として利用したり、被災時には現場と本部の共通認識を生むためのデジタルツインとしての利用方法も考えられる。

6. CIM適用の効果

(1) Step-1：3Dデータ取得と施工前照査

今回設置する落橋防止システムと干渉する支障物を、足場架設着工とほぼ同時期に把握できた。その結果、支障物を移設するための協議やその後の工程を約1か月短縮できた。また、調査結果を3Dビデオとして作成したため、干渉している状況が分かりやすく表現でき、打合せ資料としてそのまま利用できた。

足場架設前の工事の準備期間に新技術を取り入れることで、工程短縮と、それに伴う費用軽減という効果を発揮できたと考える。

(2) Step-2：3D計測(定着アンカー位置計測)

3D計測を用いることで手計測の場合の約半分の時間で現場計測は完了した。計測図の作成は写真上でのアンカー位置のプロットまたは座標値からの半自動プロットであり、人手を介す機会が少ないため、ヒューマンエラーが発生する確率が著しく減少した。現在、工事は7割程度設置完了しているが、すべて問題なく設置している。

また、現場計測、製作図作成に係る工数の減少、ブラケット製作精度の向上に加え、現場でのブラケット取付が非常にスムーズに行えるため、作業員の安全面にも寄与した。

(3) Step-3：3D検証

出荷前に問題なく現場で取付が可能であることを確認し、大型部材では3D検証は有効であることを確認した。

(4) Step-4：3D成果作成

工事の進捗に合わせ、施工前照査に使用した3Dデータ(点群)上に工事完了済みのデータを重ね合わせる事により、工事進捗を直感的に把握することができる。これらの記録は施工後の維持管理において利用や追加が可能なこと及び、従来の提出書類や打合せへの活用が期待できる。

Step1～4の適用により、工事全体および今後の維持管理を見越してのCIM適用が行えたと考えている。

7. 課題

(1) Step-1(施工前照査)の実施時期

今回の施工前照査は足場架設前に行い工程を約1か月前倒しすることができたが、この調査を設計段階に実施出来ればより効果があるものと考ええる。

(2) Step-2(3D計測)

一眼レフカメラでの撮影は人がカメラを構えて撮影を行っているため、若干ではあるがカメラ位置や姿勢で誤

差の生じ方に変化が出ることがわかった。人がカメラを構えると足場の状況や撮影頻度、撮影対象の位置、疲れなどで、撮影姿勢が一定に保てないことが要因である。

将来的には、UAVであれば撮影対象を一様に撮影できるため、UAVの活用も視野に入るものと考ええる。

(3) Step-3(3D検証)

SfMソフトを使用する注意点として、今回の製作ブラケットのように色的に変化のないものは苦手であり、収束せず発散してしまう場合がある。削孔穴のようなコンクリート面が汚れや気泡などで特徴がある場合は精度よく3次元化が可能である。今回の様に単調な構造物が対象物の場合は工夫(マーキングやテープ等)が必要であった。

また、整合性の検証では工場出荷前というタイミングであるため、処理時間のさらなる短縮が求められる。

(4) Step-4(3D成果 作成)

前述と同様に作成に時間を要する。また使用している汎用4Dマネジメントソフト(※1)は、あくまで汎用であるため、すべて要望を満足するには要件に応じたカスタマイズが必要となってくる。また、そのカスタマイズには長年培ってきた橋梁の維持管理におけるノウハウを構築する必要がある。

8. DXに向けて

今後、道路橋梁に限らずインフラの維持管理に係る工事は益々増加する。この情勢を踏まえれば、新設だけではなく、既設構造物の維持管理においてもCIM適用は必須と思われる。

本工事において、既設構造物に対するCIM適用の課題抽出及び今後の維持管理を鑑みた検討を行い、実施することが出来た。今後も、このような実践を積み重ねることにより、CIM適用によるメリットを十分に理解することにより、課題解決に向けて何が必要かを見極めていきたい。そして、3次元成果(アウトプット)の有効活用を考えていけば、自ずとインフラ分野のDXへの道は開かれるものと考ええる。

本稿が生産性向上・DXを考える方々の一助となれば、幸いである。

謝辞：本論文を作成するにあたり、協力頂きました東海建設(株)、新興開発(株)、(株)補修技術設計の皆様にご感謝いたします。

(※1)は点群をベースデータとし、その上に様々な2D, 3Dデータの重ね合わせができる3D編集汎用ソフト