

(36) 3Dモデルを用いた 橋梁展開図作成・管理システムの開発

清水 智弘¹・吉川 眞²・瀧浪 秀元³・御崎 哲一⁴・高橋 康将⁵
 中山 忠雅⁶・内田 修⁷・近藤 健一⁸

¹正会員 大阪工業大学 工学研究科 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮五丁目16-1)
 E-mail: shimizu@civil.oit.ac.jp

²正会員 大阪工業大学 工学部 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮五丁目16-1)
 E-mail: yoshikawa@civil.oit.ac.jp

³正会員 西日本旅客鉄道株式会社 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24)
 E-mail: hideyuki-takinami@westjr.co.jp

⁴正会員 西日本旅客鉄道株式会社 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24)
 E-mail: norikazu-misaki@westjr.co.jp

⁵正会員 西日本旅客鉄道株式会社 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24)
 E-mail: yasumasa-takahashi@westjr.co.jp

⁶非会員 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社 (〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島五丁目4-20)
 E-mail: nakayama@jrnc.co.jp

⁷非会員 アジア航測株式会社 (〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋一丁目8-30)
 E-mail: os.uchida@ajiko.co.jp

⁸正会員 アジア航測株式会社 (〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋一丁目8-30)
 E-mail: ken.kondo@ajiko.co.jp

適切に橋梁構造物を維持管理していくためには、各種データを一元管理する必要がある。JR西日本では通常のメンテナンスは展開図を参照することによって検査、補修が行われている。しかし、変状もしくは補修の位置や形状を記録する維持管理用の展開図は、寸法のない模式図である。さらに、検査と工事で共通に使用できず、時系列管理を行いにくいという課題がある。そこで、著者らは、3D橋梁を活用した維持管理システムを開発した。また、点検や修理を管理するための展開図を簡単に作成できるシステムを開発した。さらに、本システムの有効性を確認した。

Key Words : construction information modeling, system development, maintenance cycle management, 3D model and stereo photo

1. はじめに

平成24年に土木施設や構造物の3D形状情報にくわえ属性情報(材料・部材の仕様、性能、コストなどの情報)をもつ建設情報モデルであるCIM(Construction Information Modeling)が国交省から提唱された。3Dモデルを活用して土木情報を一元的に共有・活用させることで品質・生産性の向上を図ることを目的としており、維持管理においても重要視されている¹⁾。

JR西日本では、土木構造物が供用期間を通じてその要求性能を満足するよう、定期的に検査を行い、必要に応じて措置を講じている。

維持管理を適切に行い、ライフサイクルコストを最小にするためには、検査→計画→補修工事という流れの中で、各種データを蓄積するとともに、これらを最新のデータに随時更新、編集することが重要となる。

JR西日本では、適切な維持管理を行うために、橋梁諸元、検査データ、補修履歴等のデータベース化を行い、検査計画、補修計画を支援する橋梁保守管理システム(以後、BRAMSと呼ぶ)²⁾を平成14年度に構築した。しかし、構築後10年が経過し、様々な課題・改善要望が挙げられている。その一つとして、展開図の使用性の向上がある。現状の展開図における問題を以下に示す。

①現場スケッチによる展開図作成，写真整理，数量算出などのデータ管理作業に多大な労力を要する。

②展開図は検査と補修工事で異なるフォーマットで作成しており，データの相互利用ができていない。

そこで，一連の維持管理サイクルの中で展開図を中心とした正確な時系列管理ができる環境の構築や各種データの一元管理，および作業員による記録作業の効率化を目的に，山陽新幹線の橋梁で約7割を占めるラーメン高架橋を対象とし，3Dモデルから寸法を持った展開図を作成し，撮影写真から変状・補修数量を算定する手法を開発した。また，この手法を用いて検査と補修工事で現場試行し，有効性が確認されたので紹介する。

2. 橋梁展開図作成・管理システムと橋梁検査ツールの概要

橋梁展開図作成・管理システム（以後，BBMAPSと呼ぶ）は二つの機能で構成される。

一つ目は3Dモデルから寸法を持った展開図を簡易に作成する機能（橋梁展開図作成システム），二つ目は3Dモデルを活用した撮影写真の効率的な管理手法と撮影写真から変状・補修箇所的位置や数量を算定する機能（変状・補修管理システム）である。

また，検査や補修工事の外業を支援する機能（橋梁検査ツール）も開発した。以下に概要を述べる。

(1) システムの関連性

BBMAPSと橋梁検査ツール，BRAMSとの関連性を図-1に示す。あらかじめBBMAPSにより対象高架橋のプロジェクトデータを作成し，その情報をタブレット端末の橋梁検査ツールに出力する。入力されたタブレット端末を現地に持参し，写真撮影位置や変状および補修箇所の状況・位置などを撮影写真上で記録する。現地作業終了後，事務所に帰り，橋梁検査ツールで作成されたデータをBBMAPSに出力する。入力されたデータをもとに，BBMAPSで内業を行い，展開図の作成や数量の算出を行う。その後，BRAMSへ出力する仕組みである。

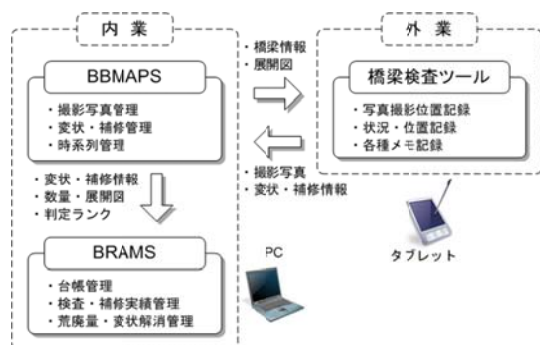


図-1 システムの関連性

(2) 橋梁展開図作成システム

本システムは，デフォルトの標準形橋梁3Dモデルをもとに，部材寸法が分かる財産図面などを参照して，部材寸法を修正することにより3Dモデルを完成させるとともに，白図の展開図を自動作成できるものである。

(3) 変状・補修管理システム

橋梁展開図作成システムで作成した3Dモデルを活用し，時系列管理や変状・補修数量の計測・管理手法を実現するため，変状・補修管理システムの開発を行った。

a) 撮影写真管理

変状・補修管理システムを構築するための基礎となる撮影写真の効率的な管理手法の開発を行った。

撮影写真と3Dモデルの間で，部材端部など特徴的な点を4点指示することで，撮影したカメラ情報をもとに撮影位置と方向を算出し，3D空間上に配置することが可能となる(図-2)。また，図-3に示すように，レンズひずみなどを除去することにより，3Dモデルと撮影写真を一致させることが可能となる。

b) 変状・補修管理

撮影写真管理で3D空間上に配置された撮影写真は，写真の撮影位置及び撮影角度が求められているため，写真上の点pが示す3D空間上の視線ベクトルが一義的に決定される。その視線ベクトルと3Dモデルが交差する面上の点Pを計算することで，変状・補修図形のXYZ座標値が計算される(図-4)。

この手法を利用することで，変状や補修箇所を単写真で撮影し，図-5に示すように写真上の変状（目視調査であれば目で見える範囲，近接調査であればチョーキング範囲）や補修箇所を図形でなぞることにより，図-6，図-7に示すように検査や補修工事の記録を3Dモデルや展開図の正確な位置に自動反映させることができ，同時に数量の算出も行うことができる。



図-2 3D空間上への写真配置



図-3 3Dモデルと写真の重ね合わせ

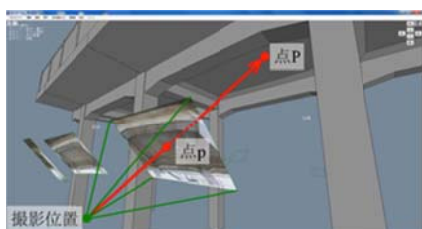


図-4 3Dモデルと写真の対応関係



図-5 変状・補修図形入力

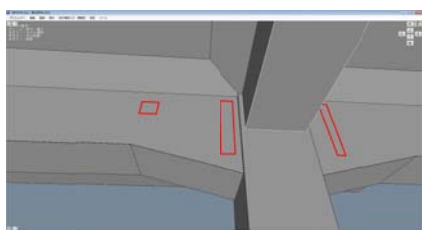


図-6 3Dモデル上での図形表示



図-7 展開図上での図形表示

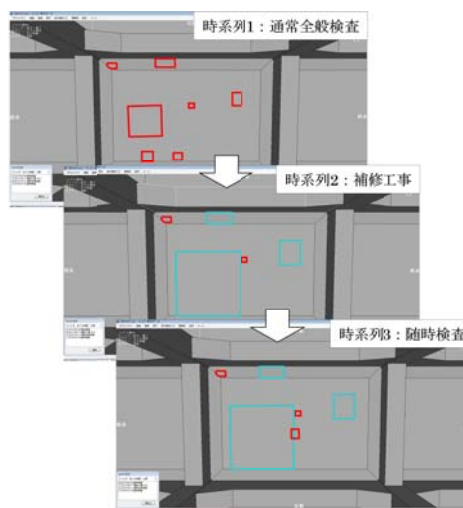


図-8 時系列管理

(赤色線：変状 水色線：補修)



図-9 ホーム画面（画像取込み後）

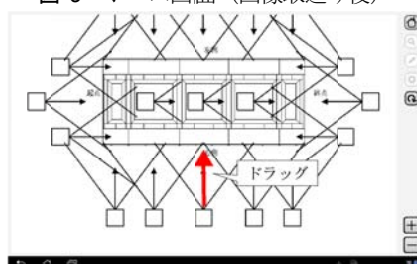


図-10 撮影位置設定画面

時系列管理については、個別の変状に対して ID を持たせることにより、経時的な変状の進行や補修時の変状解消も把握することができる（図-8）。

4) 橋梁検査ツール

前章までは内業に重点をおいた開発であるが、橋梁検査ツールは、携帯端末を活用することで現地作業や検査記録などの外業を支援することを目的としている（図-9）。また、BBMAPSと連携し、現場作業から事務所作業までのスムーズなデータの引渡しを可能とした。基本的な考え方としては、現在行われている検査の外業作業方法、すなわち紙で打ち出した展開図を持参し、メモ（撮影写真番号、撮影位置、変状状況、変状箇所位置など）を作成する方法にとって代わるものである。以下にその概要を示す。

デジタルカメラから転送された撮影写真から撮影点と撮影方向を撮影計画図上で入力することで、それら情報

が容易に記録される（図-10）。この作業を行うことで、撮影位置や撮影対象箇所の確認を別途行わなくてもよくなる。また、BBMAPSに出力する際には、この情報がそのまま引き継がれ、簡易に写真が配置される仕組みとなっている。

検査記録方法については、選択した写真上で変状箇所をマーキングする。マーキングした図形には、変状、部位、健全度判定などを入力することができる（図-11）。この作業を行うことで、写真のどの位置に、どのような変状を撮影したかなどの確認作業を行わなくてもよくなる。BBMAPSに出力する際には、撮影位置と同様、情報が引き継がれ、メモ機能として登録される。

3. 検証

検査→計画→工事の一連のサイクルのうち、検査と補



図-11 検査記録画面

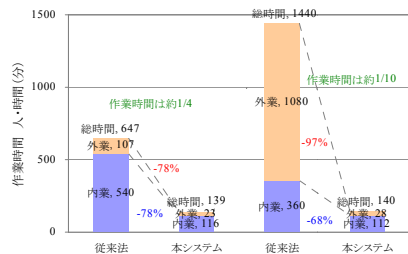


図-12 従来法と本システムの作業時間比

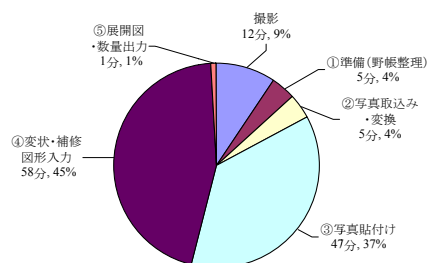


図-13 本システム作業時間の工程別割合

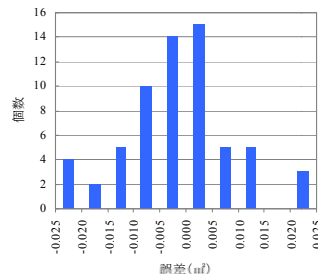


図-14 補修工事における誤差分布図

修工事の工程に対して、現地作業を試行し、BBMAPSを用いた新作業方法で3径間ラーメン高架橋1セット当りの平均作業時間の評価を行った。なお、橋梁検査ツールは使用していない。

(1) 作業時間

従来法とBBMAPSの作業時間を比較した結果については、図-12に示す。BBMAPSを用いた外業と内業に要する作業時間は、作業者のシステム熟練度や処理PC性能等と多少の違いはあるものの、検査工程では約1/4程度、補修工事工程では約1/10への程度の時間短縮と作業人数の削減が可能であることがわかった。一方、BBMAPSを用いた作業時間は、検査と補修工事で差がほとんどなく、139分と140分であった。

本システムでの作業時間の工程別割合を図-13に示す。③写真貼付け、④変状・補修図形入力が約80%以上の割合を占めており、両工程については引き続き時間短縮を図っていく必要がある。

(2) 測定精度

補修工事において、補修寸法は工事費に直結する。そこで、個別の補修箇所に関して、断面修復を抜粋し、①従来法面積（工事写真からの定規読取值）と②BBMAPSで算出した面積の誤差（①－②）をもとめ、測定精度の評価を行った。検証箇所は63箇所、平均断面修復面積は1.612㎡/箇所(0.11%)であり、結果としては、平均誤差が-0.002㎡、標準偏差が0.010㎡でありBBMAPSで算出した測定値は従来法に対して、ほとんど差異がないことが分かった。また、図-14に示すとおり差異の平均値は0中心にあり、分布は正規分布に近い値を示していることから、BBMAPSの測定値自体の信頼性に問題はないことが分かった。現場作業に十分適用できるといえる。

4. おわりに

3D情報モデルを活用した本システムを利用することにより、CIMの目指している関係者間での撮影位置や変状・補修記録、展開図などの共有化・一元管理が可能となった。2D図面（展開図）以外にも写真整理、数量算出などデータ管理に多大な労力を要していたが、本システムを利用することにより、作業効率化やコスト縮減も期待できる。このように、CIMの活用が維持管理の場面においてもさまざまな効果があることを示すことができた。CIMの活用していくためには関連技術、とくにセンシング技術との連携の重要性を指摘している⁴⁾。この点についても本システムは写真測量技術との連携というかたちで一定の成果が得られた。今後、技術面では現在対応していない複雑な構造への対応や、写真貼付の簡便化および操作性の向上、運用面ではBBMAPSを活用する際に必須となる初期データの整備方法や、ネットワーク化および他システムとの連携について、検討を行っていく。

参考文献

- 1) 元永秀：CIMが目指す理想を実現するために、
http://committees.jsce.or.jp/cceips07/system/files/CIM02_motonaga.pdf,
(入手2012.06.20)
- 2) 鈴木秀門, 木村元哉, 御崎哲一, 中山忠雅：RC 高架橋のコンクリート劣化に対応した橋梁保守管理システムの構築, 土木学会第 58 回年次学術講演会, IV-087, 2003
- 3) 竹内淳, 久保学, 内田修, 近藤健一, 坂本保彦, 御崎哲一, 中山忠雅, 辻家 弘貴：橋りょう維持管理図作成のためのステレオ撮影装置の開発, 日本写真測量学会平成 22 年度秋季学術講演会, 2011
- 4) CIM 技術検討会：CIM 技術検討報告会 平成 24 年度報告,
http://www.cals.jaic.or.jp/CIM/Contents/CIM_Report130430.pdf,
(入手2012.06.20)