

## 3D 情報モデルを活用した維持管理に関する研究 JR 西日本における鉄道橋への適用

○清水 智弘\*<sup>1</sup> 吉川 眞\*<sup>2</sup>  
瀧浪 秀元\*<sup>3</sup> 中山 忠雅\*<sup>4</sup>

キーワード：BIM/CIM システム開発 維持管理 3D

### 1. はじめに

機械設計・製造分野では1970年代からCAD(Computer Aided Design)とCAM(Computer Aided Manufacturing), CAE(Computer Aided Engineering)を統合化したCIM(Computer Integrated Manufacturing)が推進され、その中で3D-CADも利活用されていった。建築分野でも、CIM(Computer Integrated Manufacturing)などの情報化技術によって建築生産の合理化に取り組んできた<sup>1)</sup>。さらに、BIM(Building Information Modeling)が普及してきており、意匠や構造、設備などの設計からFMなどの維持管理まで幅広く利活用されている。一方、土木インフラ分野に目を転じてみると2008年に策定された「CALS/ECアクションプラン」の中でICT(情報通信技術)を活用した建設生産システムの構築を目指して3Dデータの利活用が押し進められたものの十分に浸透せず、今もなお2Dデータの利用が多い状況にある。実務の現場での電子納品、情報化施工、情報共有システムなどCALS/ECによって一定の成果が得られたものの、一方でCALS/ECが目指してきた調査～計画～設計～積算～施工～維持管理までの建設プロセスを一貫して情報化させるためのシステム構築については実現には至らず課題として残っていた<sup>2)</sup>。

そのような中、2012年になると土木版BIMと呼ばれるCIM(Construction Information Modeling)が国交省から提唱された<sup>3) 4)</sup>。CIMとは、施設や構造物の3Dの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)を併せもつ建設情報モデルのことである。建設プロセス全体で関連情報を一元的に共有・活用させることにより生産性の向上を図ることを目的としており、これはBIMの概念を参照している。CIM(Computer Integrated Manufacturing)は3D形状のみで、各々の形状に意味を持たせていない3Dモデルを扱うことが主流であるのに対し、BIM/CIM(Construction Information Modeling)は、3D形状にくわえ材料・部材の仕様、性能、数量、コストなどの属性情報(意味情報)を持たせた3Dモデルであるといえる。このような動向のもと、国交省は2012年にBIM/CIM導入検討会を設立しており、BIMとCIMを一体的に捉えることで建設生産システム全体の効率化と生産性の向上を目指している。

### 2. 研究の目的

BIM/CIMは次元(軸)を「評価軸」として捉えている。立体的な構造物を示す3Dにくわえ、「時間」軸を考慮した4Dや「コスト」軸を考慮した5Dを含めた活用の検討が進められている。さらには、「維持管理」軸を考慮した6Dが出現し始めており<sup>5) 6)</sup>、我が国においても少子高齢化、技術の伝承、施設の更新等の社会資本を取り巻く環境が変化してきている中でBIM/CIMを活用した「維持管理の効率化・高度化」が重要となっていくと考えている。そこで、本研究では維持管理に焦点を当てた。

わが国では、高度経済成長期に大量の社会資本(インフラ)が整備・蓄積されてきた。これらの社会資本(インフラ)ストックは、建設後すでに30～50年の期間を経過していることから、今後、急速に老朽化が進行していくと想定される。このような状況を鑑みれば社会資本における適切かつ効率的な管理と評価技術の高度化が一層求められる状況にある。これまでの社会基盤施設における維持管理については、機能的な信頼度が直ちに大きく損なわれるような事象が少なかったことから、損傷が発生してから修繕などの対処をする「事後的管理」が行われていた。しかし、今後、高齢化したストック(社会基盤施設)が増大していくと致命的な損傷が発生する可能性が飛躍的に高まる。そのような中、事後的な対処で万全を期すことは困難であり、結果として安全性が大きく損なわれる恐れがある。既存の構造物を効率的かつ適切に維持・管理・更新していくためには、早期に修復が必要な箇所を発見することにより、構造物の長寿命化を図る「予防保全的管理」への転換が必要である。

予防保全的管理として構造物の機能を維持していくためには、検査～計画～工事という流れの中で、各種データを蓄積するとともに、これらを常に最新のデータに更新しておくことを継続的に実施していく必要がある。

すでに構造物の老朽化が深刻な状況となっている米国においては、BIM/CIMが土木分野でも実務レベルで展開されはじめている。米国での土木に関わる発注者や設計会社、ゼネコンなどを対象に行った調査では、実務でのBIM/CIM利用率は2013年には52%になると予測されている<sup>7)</sup>。このようにBIM/CIMは、生産性向上の効果を発揮するものとして期待されているだけでなく、すでに

3Dモデルの有意性について一定の成果が得られている。わが国の社会インフラについても上述したように本格的なメンテナンス時代を迎えるため、維持管理におけるBIM/CIMへの展開は重要性が非常に高いと考えている。

わが国では、建設プロセスの各段階におけるさまざまなリスクをより上流で管理する「フロントローディング」がBIM/CIMの目指すべき方向として掲げられている<sup>8)</sup>。そのため、計画や設計段階におけるBIM/CIMの活用については積極的に取り組まれている<sup>9)</sup>。計画や設計段階で施工や維持管理を見据えてどこまでのデータを作成するかを見極めることはBIM/CIMが普及するうえで欠かせない。しかしながら、施工や維持管理を考えて作成したつもりのデータが、実際の施工や維持管理の場面で役に立たなければ、設計の手間が無駄に増えてしまうだけになる。すなわち「フロントローディング」を効果的に進めていくうえでも下流の施工や維持管理において3Dモデルがどうあるべきかといったあり方についても併せて議論し、3Dモデルの重要性について「ボトムアップ」していくこともBIM/CIMを推進していくうえで重要であると考えている。

以上の点を踏まえ本研究では、予防保全的管理を目指した維持管理を支援していくための適切かつ効率的な手法を開発するとともに、今後のBIM/CIMを活用した建設プロセスの重要性について維持管理の観点から考察する。

### 3. 研究の方法

わが国における鉄道構造物は、橋梁（1m以上）が102,293施設、トンネルは4,737施設に上る。鉄道は自動車（マイカー）の普及以前に整備された路線も多く、平均経年数は橋梁が56年、トンネルが62年で、100年以上にわたり継続使用される橋梁やトンネルは15,000施設を超えているといわれている<sup>10)</sup>。

そのような状況のもと、国土交通省は2007年に鉄道施設の検査方法や検査周期といったメンテナンスに関する技術基準となる「維持管理標準」を施行し<sup>11)</sup>、2013年になるとその検査の周期や方法等について妥当性を検証し、必要な対応を検討するなどの見直しが進められている<sup>10)</sup>。現在はすべての鉄道事業者が共通の体系でメンテナンスに取り組んでおり、JR西日本においても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。

その中で、2Dの図面(展開図)を参照しながら検査～計画～工事までの維持管理業務を行っている(図1の一方矢印部分)。この方法は、熟練した技術者のみで作業を進めていくのであれば有効である。しかしながら、実際には一連の維持管理の中には、さまざまな関係者が多数存在する。その場合、2Dの情報のみで維持管理に関わる内容などを十分に理解し合うことは難しい。最悪のケー

スでは、関係者間で十分な合意形成ができないまま作業を進めてしまい、その結果、作業の手戻りや作業期間の延長といった問題が発生してしまうことも考えられなくはない。すなわち、2Dのみの管理では、適切な維持管理が難しく生産性を低下させてしまう可能性がある。

適切な維持管理を行うためには、関係者間で検査や工事段階の知識を簡単に共有することが重要であり、視覚的表現に優れた3Dデータの利用が有効であると考えられる。とくに構造が複雑であればより効果的であると考えられるため、本研究では、3D橋梁モデルを活用した維持管理システムの構築を行った。具体的には、JR西日本における山陽新幹線の高架橋と桁橋を対象とし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。

## 4 3D情報モデルを用いた維持管理システム

### 4.1. 3Dモデルの構築

本システムで維持管理を行うためには3Dモデルを構築する必要がある。まず、橋梁構造別の橋梁3Dモデルから対象橋梁と同タイプの3Dモデルを選択すると標準的なモデルが自動的に構築される(図2)。次いで、部材寸法が分かる図面などを参照して構造パラメータに部材寸法を入力することで詳細な橋梁3Dモデルを構築することができる(図3)。

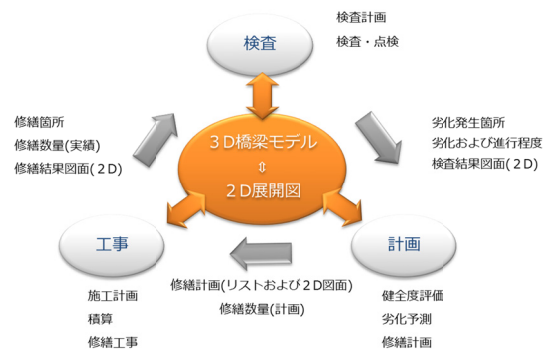


図1 従来の維持管理の流れと本手法の比較

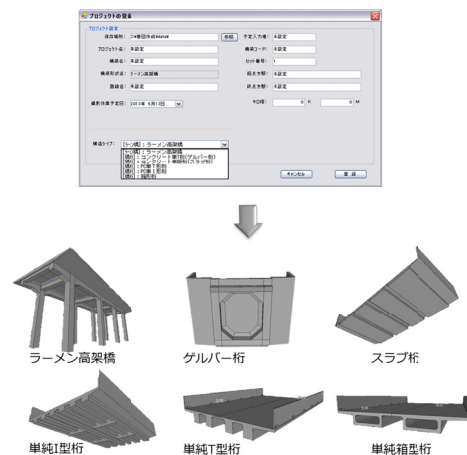


図2 標準モデルの構築

## 4.2. 写真管理

維持管理業務では、図面管理と併せて現場で撮影した写真も管理している。一度の現場作業で膨大な写真を撮影するために撮影写真の管理が煩雑となってしまう、過去のデータを検索することが困難な状況になることも少なくない。構造物の測定や点検においては、撮影写真がどの部位をどの位置から撮影したものであるかを管理できなければ撮影した写真は効力を持たない。しかしながら、撮影した構造物の部位と撮影位置を対応づけて管理することは非常に面倒な作業であり、それぞれの撮影写真の位置関係を把握することはさらに困難であった。

そこで本システムでは、構造物と撮影写真の位置関係を視覚的に把握できるようにするため、3Dモデル空間上に撮影した写真が配置される仕組みを構築した。具体的には、3Dモデルと撮影写真の両者に対して、部材端部などの特徴的な点を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撮影方向が正確に求められ、3D空間上に正確に配置することができる(図4)。この際、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マッチングさせることができる(図5)。これにより、別日あるいは別の作業者が撮影した写真であっても写真同士の位置関係が容易に把握・管理できるようになった。本システムにより現場で撮影してきた写真が一元的に管理できるだけでなく、撮影してきた写真を効果的に活用できる仕組みが構築できた(図6)。

## 4.3. 検査・工事履歴管理

「予防保全管理」を実現するためには、構造物の腐食や劣化などの経年変化をいち早く把握し、さらには、最も費用対効果の高い修繕計画を策定することが必要となる。そのためには、検査・工事の内容を時系列でわかりやすく把握しておく必要がある。また、優先的に修繕すべき箇所を把握するためには、その進行具合(健全度)を的確に評価する必要がある。そのためには、検査・工事箇所の位置や数量を正確に記録しなければならない。

そこで、本システムでは、前章で述べた3D空間上に配置させた撮影写真を活用した測定方法を採用した。3D空間上に配置された撮影写真は、写真の撮影位置およ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・修繕図形のXYZ座標値が計算される(図7)。すなわち、写真上の検査・工事箇所を図形でなぞることで、3Dモデルに正確な位置および形状や数量(長さや面積)が反映される(図8)。

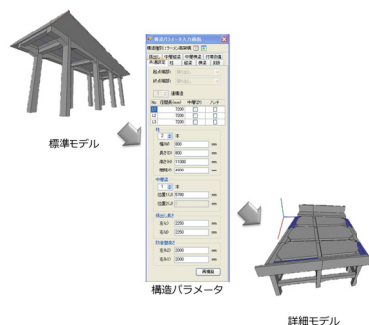


図3 詳細モデルの構築

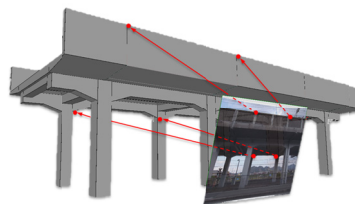


図4 写真マッチング手法



図5 写真マッチング結果

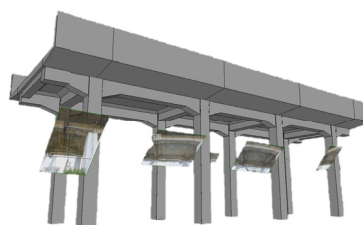


図6 3D空間上への写真配置

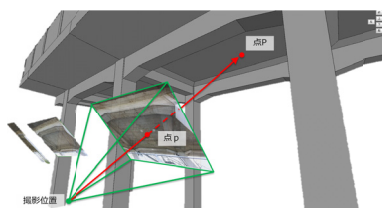


図7 3Dモデルと写真の対応関係

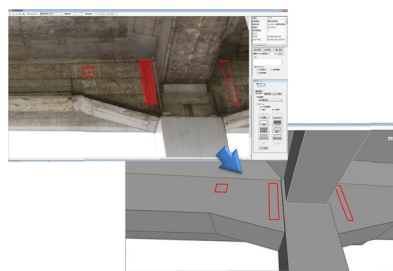


図8 変状・修繕図形入力結果



また、個別の検査・工事図形にIDを持たせることにより、経年的な変状の進行や工事時による修繕履歴も把握することが可能となった(図9)。

2D図面による構造物の腐食や劣化、あるいは修繕履歴などを管理していく場合、実物の橋梁構造物の3D的な空間構成をイメージすることが難しいだけでなく、経年変化を把握しにくいという問題が発生していた。また、検査・工事箇所的位置および数量を正確かつ安全に測定することは容易でない。たとえば、検査箇所的位置および数量を測定するためには、高所作業車などにより対象箇所に接近し、スケールを用いて測定することとなる。しかし、このような測定方法は準備作業が多く作業負担が大きい。さらには、高所作業となるため安全性の点においても課題が残る。また、ズームカメラによる点検作業を行うことも可能であるが、この場合、点検箇所的位置および数量の測定に正確性を欠く。さらに、その結果を別途手動により2D図面(展開図など)に記載するため、記載自体が模式的なものになってしまう。本システムを活用すれば、3Dモデルを用いて検査・工事箇所が視覚的かつ容易に把握することができる。さらに、正確で安全な点検位置・数量(長さや面積)の測定が可能となる。

#### 4.4. 2D図面の作成・出力

橋梁のような構造物の場合、その構造が多種であり複雑なため、個々の構造に対して図面を作成することに多くの労力がかかっていた。また、図面自体の精度についても十分に確保されない場合もある。本システムによれば、構造パラメータを変更するだけで3Dモデルが生成され、その形状を反映した2D図面(展開図)が自動的に出力できる機能を有しているため、どんな複雑な構造でも瞬時にかつ高精度に出力することが可能となる。さらには、構造の形状だけではなく、3Dモデルに表現されている点検・補修箇所についても位置および形状や数量も正確に出力することができる(図10)。

### 5. 検証

検査～計画～工事の一連の維持管理サイクルのうち、検査と補修工事の工程に対して、現地作業を試行し本システムを用いた新作業方法と従来の検査法の作業時間について検証を行った。具体的には、同じ3径間ラーメン高架橋(計2セット)に対して実際に内業・外業にかかった時間をストップウォッチにて測定し、1セット当たりの平均作業人工の算出(1人当たりの作業時間×作業人数)を行った。なお、検査の方法は眺望目視である。その結果、従来方法に比べ検査工程では約1/4程度へ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(図11)。従来法の検査は、外業では3人/組(写真撮影者、眺望目視での変状箇所寸法計測員、変状メモ作成等記録

員)で検査が行われるのに対し、本手法では外業は2人/組(写真撮影者、撮影箇所指示員)、内業は準備(3Dモデル作成)、写真取込・変換、写真貼付、変状図形入力、展開図・数量出力の作業を1人のみで行える。このように本システムでは外業は写真を撮影するのみで行える。さらに、内業についても従来法では個別に写真の整理や展開図、記録簿、変状数量表の作成を行っていたが、本システムでは写真に写った点検箇所をなぞるだけで自動的に管理・出力されることが短縮につながったと考えている。

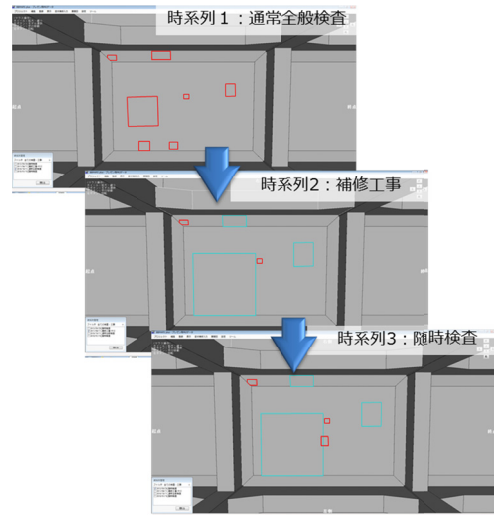


図9 時系列管理(赤線:変状 水色線:補修)

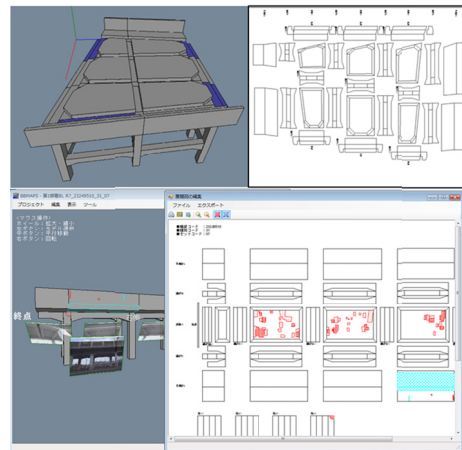


図10 2D図面(展開図)の出力

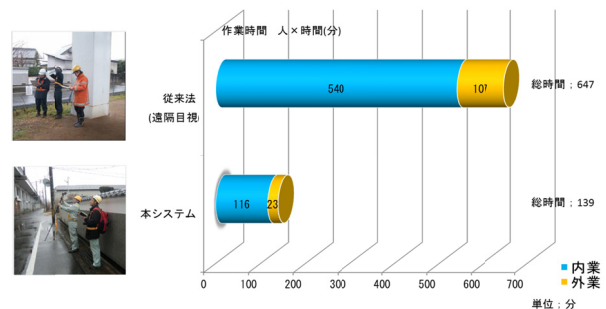


図11 従来法との作業時間比較

つぎに、測定精度について比較検討を行った。個別の工事箇所（断面修復箇所）を抜粋し、①従来法面積（工事写真からの定規読取值）と②本システム面積の誤差（①－②）を算出し、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㎡であった。また、図12に示す通り誤差の平均値が0中心にあること、誤差分布が正規分布に近い分布にあることから本システムの測定値の信頼性は高く現場作業に十分適用できる精度結果が得られた。

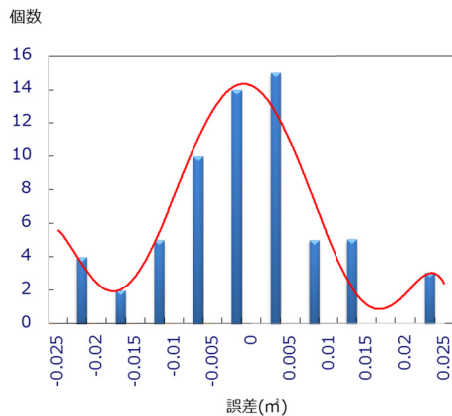


図12 補修工事比較による誤差

## 6. 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、BIM/CIM の目指している関係者間での撮影位置や検査・工事履歴、図面などの共有化・一元管理が可能となった。くわえて、蓄積されたデータを活用する環境が構築された。さらに、本システムで構造寸法を入力するだけで容易に 2D 図面（展開図）が作成できるだけでなく、一度 3D モデルを構築しておくことで、以降は新規に作成する必要もなくなった。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、時間の短縮を図れる。また、検査・工事箇所の正確な位置関係や寸法が経年的に管理できるため「予防保全管理」としてのアセットマネジメントが実現可能であると考えている。本システムでは、鉄道橋梁を対象としているが、この仕組みをうまく活用すれば、他のさまざまな構造物や施設、設備への展開が十分に可能であると考えている。

このように、BIM/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得られた。BIM/CIM の活用について関連技術、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<sup>4)</sup>。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。

現状システムの課題として、3D モデルと撮影写真の対応点を指示する「撮影写真の 3D 空間配置」の作業と写真をなぞることで描画される「検査・工事図形の入力」

作業が手作業であるために内業の大部分を占める作業となっている（図 13）。これらの課題に対しては、3D レーザースキャナーや画像処理による特徴点や図形の自動抽出などを導入することによってさらなる「維持管理の効率化・高度化」を進めていくことができると考えている。

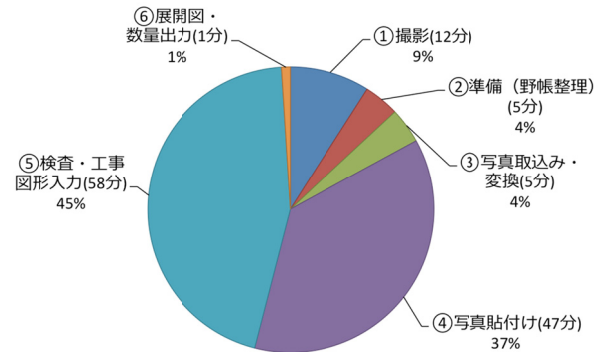


図13 本システム作業時間の工程別割合

## [参考文献]

- Godfried Augenbroe : Integrated Building Design Systems in Context of Product Data Technology, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol/8, No.4, 1994, pp.420-435
- 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](http://committees.jsce.or.jp/cceips07/system/files/CIM02_motonaga.pdf), (入手 2013.06.20)
- 国土交通省 : CIM の導入検討について, <http://www.mlit.go.jp/common/000221538.pdf>, (入手 2013.06.20)
- CIM 技術検討会 : CIM 技術検討報告会 平成 24 年度報告, [http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/Contents/CIM\\_Report130430.pdf](http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/Contents/CIM_Report130430.pdf), (入手 2012.06.20)
- 情報化施工推進会議 : 情報化施工推進戦略, <http://www.mlit.go.jp/common/000991631.pdf>, (入手 2013.06.20)
- Behzad Abbasnejad, Hashem Izadi Moud : BIM and Basic Challenges Associated with its Definitions, Interpretations and Expectations, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622 www.ijera.com Vol. 3, Issue 2, 2013, pp.287-294 287 | Page
- McGraw Hill Construction :The Business Value of BIM for Infrastructure, SmartMarket Report, 2012
- 小林一郎, 池本大輔, 竹下史朗, 坂口将人 : 3D-CAD を基盤としたトータルデザインシステムの提案, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp.171-182, 2008
- 小林一郎, 島津卓郎, 増山晃太, 宮崎浩三 : 河川堤防設計における CIM の可能性, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol. 38
- 国土交通省 鉄道構造物の維持管理に関する基準の検証会議について <https://www.mlit.go.jp/common/000995186.pdf>
- 例えば鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編 コンクリート構造物) <https://www.mlit.go.jp/common/000995186.pdf>

\*1 大阪工業大学大学院工学研究科 博士後期課程 修(工)

\*2 大阪工業大学工学部 教授 工博

\*3 西日本旅客鉄道株式会社 鉄道本部

\*4 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社 IT・環境事業部

# A Study on Maintenance Cycle Management using Three-Dimensional Information Models

## Application to the Railway bridges in West Japan Railway

○Tomohiro SHIMIZU\*<sup>1</sup> Shin YOSHIKAWA\*<sup>2</sup>  
Hideyuki TAKINAMI\*<sup>3</sup> Tadamasa NAKAYAMA\*<sup>4</sup>

Keywords : BIM/CIM, System development, Maintenance cycle management, 3D model and stereo photo

### Purpose and method of this study

It is necessary to manage various data in order for maintaining bridge structures appropriately. In the usual maintenance management of the West Japan Railway, inspection and repair are carried out by referring to 2D drawings (extended elevation). However, the following problems exist. The first problem is that the 2D drawings (extended elevations) are only a schematic illustration without dimensions. The second is that those drawing are not shared in both repair and inspection. The third is that it is difficult to grasp in chronological order based on those 2D drawings. In this study, the authors developed a maintenance management system by using 3D bridge models. Also, the authors developed system that can easily make the 2D drawings (extended elevations) for management of the inspections and repairs. In addition, the validity of this system was confirmed by comparing with the conventional method.

### Main functions of this system

- (1)Construction of 3D bridge models : The initial rough bridge model is generated by selecting the type of structure from the list of prepared standard structures. A complex and precise bridge model can be generated by entering parameters for each part of the structure.
- (2)Photo management : It is possible to precisely place the photo images in 3D space because 3D models and photos can be matched using characteristic points such as the corners of the structural parts.
- (3)Inspection and repair management : This system is possible to trace the shape of damages and repairs on the photo. As previously mentioned, if the 3D model and the photos are integrated the shapes and position such as damages and repairs traced on the photos are reflected in the 3D model. In addition, this system can track the progress of each damage and repair by given it an ID number.
- (4)Output of 2D drawings (extended elevation) : This system can automatically output 2D drawings (extended elevation) from the bridge model as generated by entering the structure's parameters. In addition, the system can damage and repair points output their exact location, shape and quantity.

### Future development

This system the engineers must manually enter the photo position in 3D space. This operations is a large part of the indoor work. In addition, the operation of tracing damages and repairs from photos is another major manual operation and also takes up most of the indoor work. Future development is needed for automation of photo positioning and damage and repair tracing. A potential solution would be to use image processing to extract automatically the damages and repairs shapes.

---

\*1 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Osaka Institute of Technology, M. Eng.

\*2 Professor, Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology, D. Eng.

\*3 Professional Engineer, Senior Engineer of Technical Research & Development Dept., West Japan Railway Co.

\*4 Professional Engineer, System Design Dept., JR West Japan Consultants Company