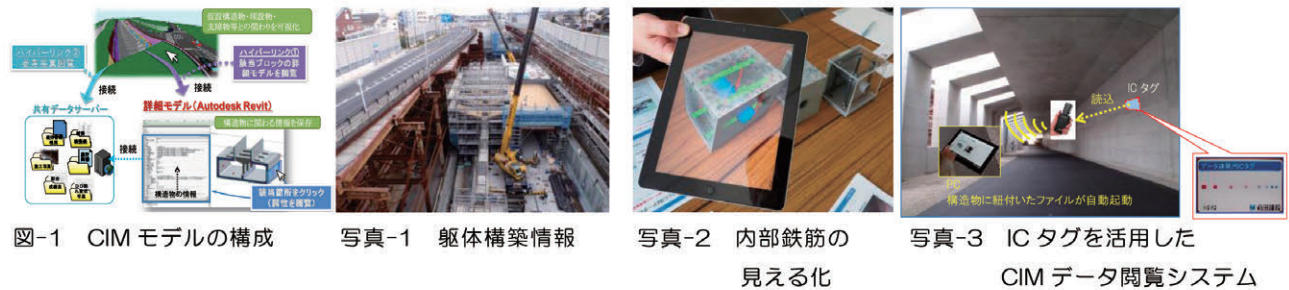


開削トンネルにおけるライフサイクルを考慮した CIM の試行

笹倉 伸晃*1・工藤 敏邦*2・松林 卓*1・平澤 江梨*2

Trial Application of Construction Information Modeling for Open Cut Tunnel with Considering of Life Cycle Management

Nobuaki SASAKURA, Toshikuni KUDO, Taku MATSUBAYASHI, Eri HIRASAWA



研究の目的

実工事において CIM (Construction Information Modeling) を導入した事例は少なくないが、そのほとんどが、設計および施工段階を中心としたものである。

本稿では、東京外かく環状道路建設事業の「矢切函渠その9工事」において、設計・施工から維持管理までのインフラ連のプロセスにわたる情報を付与した CIM モデルを構築し、躯体の維持管理に活用するシミュレーションを行い、現状での CIM 導入効果を確認した事例について報告する。

技術の説明

CIM モデルは、周辺地形・上部に国道が走る既設仮橋や山留等の仮設構造物・新設構造物（躯体）を3次元化した「全体モデル」、属性（コンクリート、鉄筋、工程などのデータ）が付与された施工ブロック別の「詳細モデル」、構造物に関するデータベースが保存された「共有データサーバ」で構成した。

「全体モデル」により、複雑な施工ステップや仮設構造物と躯体の位置関係が明確化し、施工上の問題点の早期解決を図ることができる。また、供用後の躯体コンクリートにひび割れが発生した際のシミュレーションを実施し、「詳細モデル」を活用することで、様々な設計・施工および維持管理データの迅速な収集が可能となり、ひび割れの発生原因の特定、補修計画の策定などの一連の業務効率化を確認することができた。

構造物のライフサイクルの中で最も多くの情報を扱う維持管理段階の情報の効果的な活用にあつては、ICタグから取得した情報に対する CIM データとの連携の適用性および構造物の形状、変位等を測定して CIM モデルに反映することも非常に手間が掛かる作業であるため、実際に組立てた鉄筋の3次元モデルの作成において、写真計測を活用した取組みも実施した。

主な結論

- ・ 施工ステップや躯体・仮設構造物を3Dモデルで表現したことにより、関係者間の理解が深められ、施工上の問題点を事前に解決することができた。
- ・ 構造物に、設計～維持管理までのライフサイクル全般の情報を付与することで、維持管理業務の効率化を図ることができるが、設計段階・施工段階で属性付モデルを作成する手間をできるだけ省くため、付与する属性は最小限に絞らなくてはならない。
- ・ 現時点では、設計・施工段階での CIM モデル活用メリットは、見える化に留まると言っても過言ではなく、作成に非常に手間と費用がかかり、費用対効果が少ない。

*1 本店 土木技術部

*2 本店 土木設計部

開削トンネルにおけるライフサイクルを考慮したCIMの試行

笹 倉 伸 晃^{*1}工 藤 敏 邦^{*2}松 林 卓^{*1}平 澤 江 梨^{*2}

要 旨

本報告では、開削トンネルの構築工事において、実際の設計、施工の情報、ならびに仮定した維持管理の情報を付与した一連の設計～維持管理までのプロセスにわたるCIMモデルを構築し、その効果と課題を検証した。

本検証により、CIMモデルを導入することで、施工段階での可視化による効果だけでなく、各プロセスの情報の一元化が実現することにより維持管理業務の効率化にも有効であることが示唆された。また、CIMモデルのデータを活用した劣化予測シミュレーションを実施し、今回のCIMモデルが維持管理業務の高度化に寄与する可能性があることを確認した。

今後は維持管理業務の更なる高度化を実現するため、LCC評価とCIMモデルとの連携等が課題でとえられる。また、インフラのライフサイクル全ての段階でCIMモデルを活用していくためには、各プロセスの実務者にとって使い易く、業務の効率化を実感できるCIMを開発していくことが重要であると考えられる。

キーワード CIM／維持管理／可視化／劣化予測／LCC／開削トンネル

目 次

- | | |
|------------------|--------------------------|
| 1. はじめに | 4. CIMモデルによる維持管理シミュレーション |
| 2. 工事概要 | 5. 今後のCIMの方向性 |
| 3. 構築したCIMモデルの概要 | |

TRIAL APPLICATION OF CONSTRUCTION INFORMATION MODELING FOR OPEN CUT TUNNEL WITH CONSIDERING OF LIFE CYCLE MANAGEMENT

Nobuaki SASAKURA
Taku MATSUBAYASHI

Toshikuni KUDO
Eri HIRASAWA

Synopsis:

This paper describes a research on the effects and problems of CIM (Construction Information Modeling/Management) which was built with all information obtained from actual designing, actual construction, and supposed maintenance works for the open cut tunnel construction project.

As a result of this research, it is suggested that the unification of all information is effective in the efficiency of maintenance work. Additionally, the authors carried out a simulation on the deterioration prediction using CIM data, and confirmed the possibility of functional enhancement on the maintenance work by this CIM.

The cooperation between life cycle cost estimation and CIM will be a subject on further functional enhancement of maintenance work, therefore development of user-friendly CIM for all relevant stuff is most important.

* 1 本店 土木技術部

* 2 本店 土木設計部

1. はじめに

現在、建設業でも実業務で CAD、CG 等の 3 次元関連技術の活用が不可欠なものとなっており、構造物の干渉チェックや施工の可視化の部分において特に効果を発揮している。このような中、国土交通省により 3 次元モデリングとインフラのライフサイクル全般にわたる情報を結びつけた CIM (Construction Information Modeling/Management) と呼ばれる新しい概念が提唱された¹⁾。CIM は、公共事業の計画から調査・設計、施工、維持管理、更新に至る一連の過程において、ICT を駆使して、設計・施工・協議・維持管理等に係る各情報の一元化及び業務改善による一層の効果・効率向上を図り、公共事業の安全、品質確保や環境性能の向上、トータルコストの縮減を目的とするものである²⁾。しかし、これまでの CIM の導入事例は、設計および施工段階からの試行に留まり、維持管理段階までの移行に至っておらず、多くの事例が設計・施工フェーズを中心としたものがほとんどである。

そこで本稿では、東京外かく環状道路建設事業の「矢切函渠その 9 工事」において、設計・施工から維持管理までのインフラ一連のプロセスにわたる情報を付与した CIM モデルを構築し、躯体の維持管理に活用するシミュレーションを行い、現状における CIM 導入の可能性に関して考察した事例について報告する。



写真-1 躯体構築状況

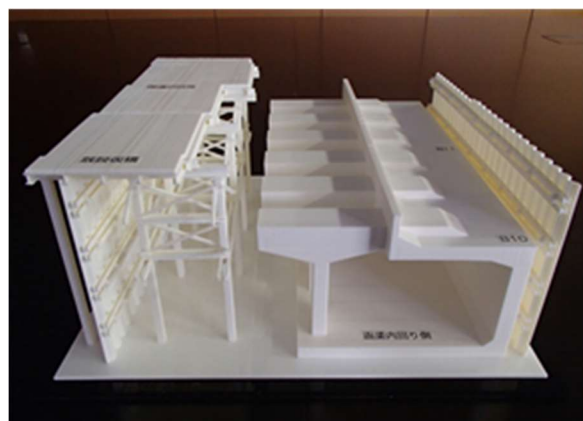


写真-2 3D プリンタ模型

2. 工事概要

「矢切函渠その 9 工事」は、発注者が国土交通省関東地方整備局首都国道事務所であり、施工は、前田建設工業株式会社の単独受注工事である。本工事は、東京外かく環状道路の松戸市小山～市川市高谷の延長約 12km 区間のうち、上矢切から中矢切に至る延長約 240m 区間に、掘割スリット構造ボックスカルバートを築造する工事であり（写真-1）、工期は平成 23 年 12 月 28 日～平成 26 年 10 月 31 日となっている。

本工事の特徴の1つとして国道を支える仮設構台直下で躯体を構築するため、仮設構台の部材と新設躯体との干渉が課題となっており、3D-CADや3Dプリンタ(写真-2)を活用して施工を進めている。なお、当工事は国土交通省より平成25年度希望型CIM試行工事に指定された。

3. 構築した CIM モデルの概要

3.1 CIMモデルの構成

構築した CIM モデル(図-1)は、周辺地形、上部に国道が通る既設となる仮橋や山留め等の仮設構造物、新設構造物などを詳細に 3 次元化した「全体モデル」、属性(コンクリート強度、鉄筋種別、打設日などのデータ)が付与された施工ブロック毎の「属性モデル」および構造物に関する情報が保存された「共有データサーバ」で

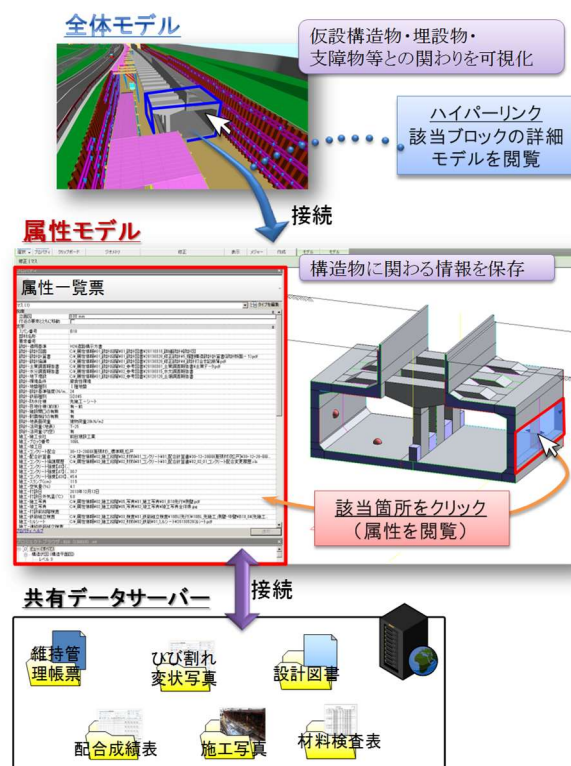


図-1 CIMモデルの構成

表-1 付与した属性の一覧

◆ 設計段階

設計-適用基準	直接入力
設計-設計図面	リンク
設計-設計計算書	リンク
設計-設計協議	リンク
設計-土質調査報告書	リンク
設計-水文調査報告書	リンク
設計-地下埋設	リンク
設計-環境条件	直接入力
設計-地盤種別	直接入力
設計-設計基準強度(N/mm2)	直接入力
設計-鉄筋種別	直接入力
設計-防水仕様	直接入力
設計-目地仕様(前後)	直接入力
設計-施設開口の有無	直接入力
設計-耐震検討の有無	直接入力
設計-地表面荷重	直接入力
設計-活荷重(地表)	直接入力
設計-活荷重(内空)	直接入力

直接入力…モデルに数値、
情報を入力
リンク …データベース上の
ファイル(EXCEL
等)にリンク

◆ 施工段階

施工-施工会社	直接入力
施工-ブロック番号	直接入力
施工-竣工日	直接入力
施工-コンクリート配合	直接入力
施工-配合計算書	リンク
施工-コンクリート協議履歴	リンク
施工-コンクリート強度(d3)	直接入力
施工-コンクリート強度(d7)	直接入力
施工-コンクリート強度(d28)	直接入力
施工-スラブ	直接入力
施工-空気量	直接入力
施工-打設日	直接入力
施工-打設日外気温	直接入力
施工-施工写真	リンク
施工-竣工写真	リンク
施工-打設前段階検査	直接入力
施工-鉄筋組立検査	リンク
施工-ミルシート	リンク
施工-型枠組立検査	直接入力
施工-コンクリート温度	直接入力
施工-骨材試験成績表	リンク
施工-塩化物量	直接入力
施工-鉄筋図	リンク
施工-地下水位	直接入力

◆ 維持管理段階(仮想のデータ)

維持-点検年月日	直接入力
維持-点検結果(判定)	直接入力
維持-ひび割れの有無	直接入力
維持-うき・はく離の有無	直接入力
維持-漏水の有無	直接入力
維持-対策の有無	直接入力
維持-定期点検表	リンク
維持-点検報告書	リンク
維持-調査報告書	リンク
維持-対策報告書	リンク
維持-アルカリ骨材調査年月日	直接入力
維持-アルカリ骨材反応の可能性	直接入力
維持-アルカリ骨材反応調査報告書	リンク
維持-塩害調査年月日	直接入力
維持-塩害腐食の可能性	直接入力
維持-塩害調査報告書	リンク
維持-中性化調査年月日	直接入力
維持-中性化腐食の可能性	直接入力
維持-中性化調査の報告書	リンク
維持-圧縮強度調査年月日	直接入力
維持-圧縮強度(N/mm2)	直接入力
維持-鋼材強度調査年月日	直接入力
維持-引張強度(N/mm2)	直接入力

構成されており、それぞれが互いにリンクしたものとなっている。

3.2 属性モデルの構成

本 CIM の特徴とも言える『属性モデル』は、3D モデルの必要な箇所をクリックすると、設計・施工から維持管理までの構造物に関わる情報を参照することができ、属性モデルは様々な工事情報の“インデックス”のような役割も果たすものとした。

4. CIM モデルによる維持管理シミュレーション

4.1 属性情報の設定

構造物のライフサイクルにおいては、施工写真や協議記録、施工記録といった多種多様で大量の情報が存在する。本試行では、これらの情報の中から、CIM モデルを活用した躯体の維持管理のあり方を考察するために必要と思われる項目を選定し、「属性モデル」に付与した(表-1)。なお、当現場は施工中であるため、維持管理段階の情報は存在しないが、定期点検等の情報を仮想的に導入し属性として付与することで、維持管理業務に対する CIM モデルの検証を行うものとした。

属性は、一覧表の中に直接入力される情報と、データファイルとしてサーバーに保存され、ハイパーリンクによって接続する情報に区分した。これは、施工管理の帳票等は、属性を付与した CIM モデル作成に再度入力する手間がかかることを避け、また CIM モデルに必要以上の負荷をかけないことを目的としたものであり、特別な変換等は実施せず、そのまま PDF 化してハイパーリンクに

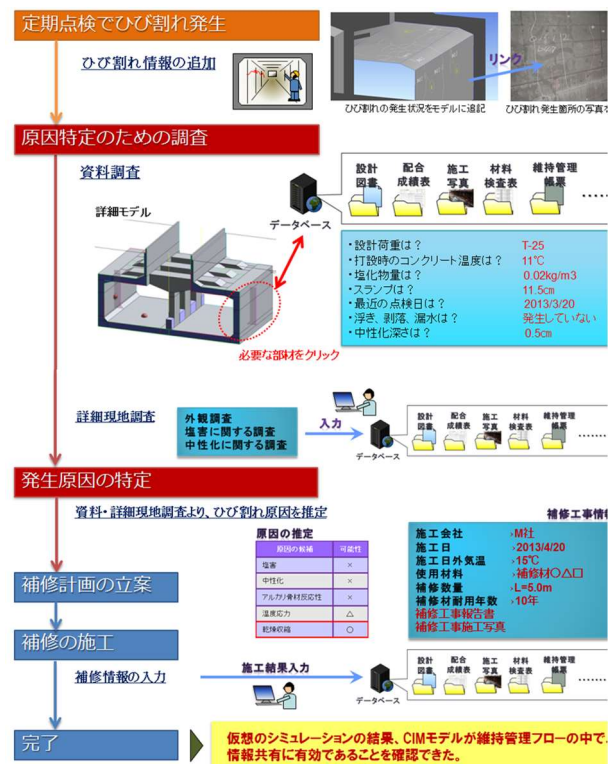


図-2 ひび割れ発生時の対応シミュレーション

より付与することとした。

4.3 維持管理における CIM モデルの検証

維持管理業務に対する CIM モデルの有効性を検証するため、本 CIM モデルを活用して、将来的に躯体コンクリートに発生したひび割れに対応する際のシミュレーショ

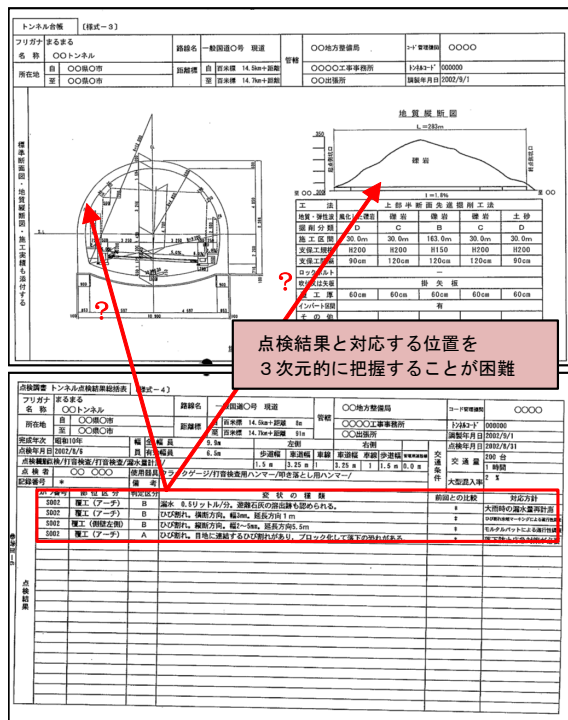


図-3 従来の2次元による点検結果の整理

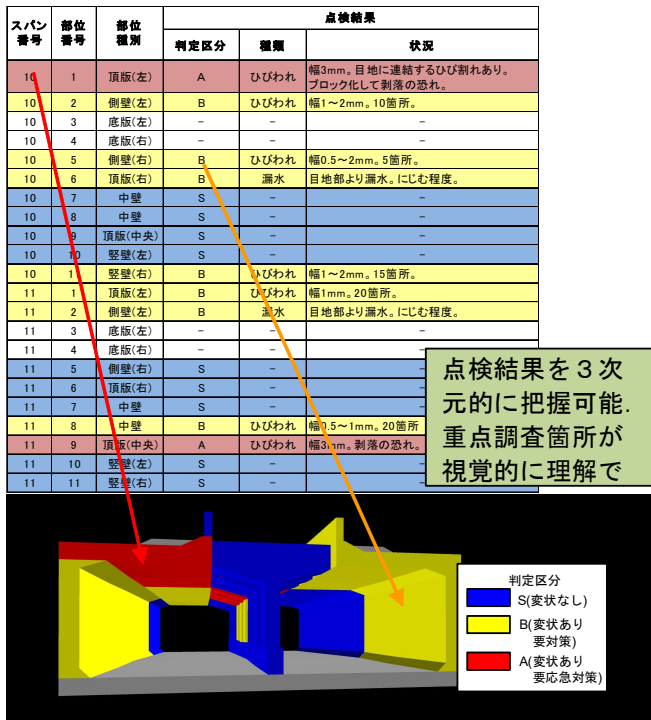


図-4 CIMモデルによる点検結果の可視化

ンを実施した（図-2）。

躯体の定期点検において、コンクリートに発生したひび割れを確認したと仮定する。ひび割れの発生状況をCIMモデルで視覚的に表示することで、ひび割れ発生箇所を空間的に把握することができる。さらにCIMモデルから収集した設計、施工段階での情報、現地で実施した追加調査の結果を合わせて発生原因を推定することができる。次に推定された発生原因に基づいて補修工事を施工し、施工データをCIMモデルに追加更新する。

将来的に構造物に問題が発生した際に、CIMモデルによる発生状況の可視化、各種情報の一元化が維持管理業務における業務効率化をもたらすことを本検証により確認することができた。

4.4 点検結果の「見える化」への活用

(1) 従来の2次元による点検業務の課題

従来の躯体コンクリートの点検では、点検作業者が現地にて躯体の2次元展開図に点検結果を記入し、その結果を事務所に持ち帰り、エクセル等の点検シートに整理するという手順が一般的である。躯体の点検結果は点検要領に基づき要素分割された部位ごとに記入されることになる。作成された点検結果シートは、部位の番号ごとに並べられることから、発生したひび割れの位置や、大きいひび割れ幅が集中している箇所等、点検結果の分析結果を空間的に表現することが困難であった（図-3）。

(2) CIMによる点検結果の可視化

本検討では、これまでと同様に作成された点検結果シートによる帳票とCIMモデルを連動させることで、CIM

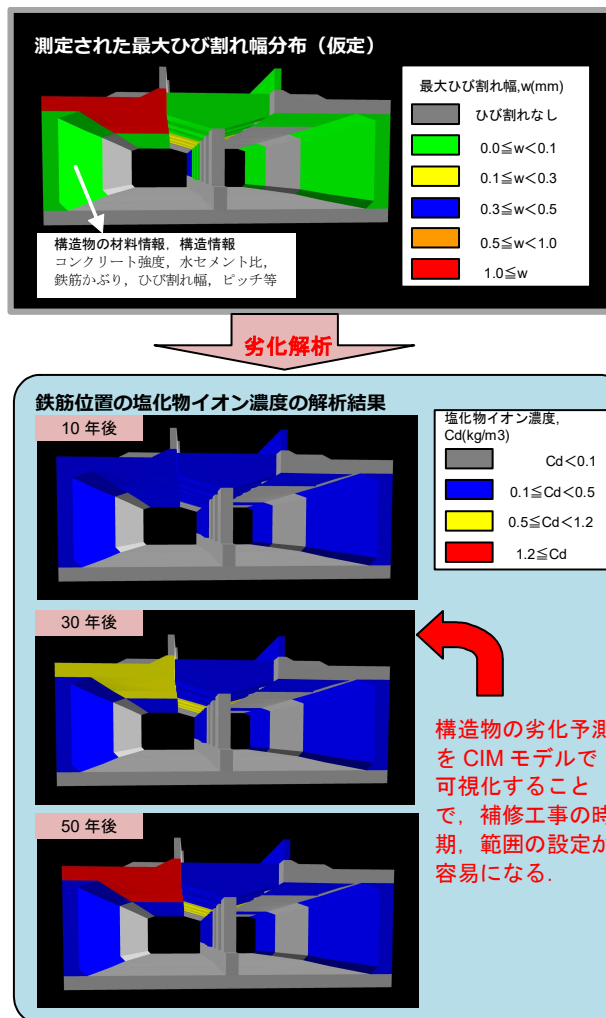


図-5 構造物の劣化解析へのCIMモデルの活用

モデルを活用した点検結果の可視化を試みた。

従来の点検では、構造物の部位毎に点検評価が示されていることから、CIM モデルでは、部位毎に整理した点検シートを仮想的に作成し、仮想点検シートと同様に部位毎に分割した CIM モデルの部位番号をキーとして連動させた。

これにより、点検結果を CIM モデルで 3 次元的に把握することが可能となり、構造物全体を俯瞰して、重点的に調査を実施すべき箇所の抽出等に役立つことから、維持管理において有用なツールになると思われる（図-4）。

4.5 維持管理の高度化に向けて

(1) 構造物の劣化予測への活用

CIM モデルに付与された設計、施工、維持管理時の情報を活用して、各種ツールにより分析を実施し、その結果を CIM モデルで可視化することで、維持管理業務の効率化を図ることが可能となるとと思われる。

ここではシミュレーション用に点検調査時の最大ひび割れ幅の分布を仮定し、施工時の材料情報や周辺環境等の情報を加えて、劣化解析を実施することで、将来における構造物の劣化状況の予測を行った。

なお、今回のシミュレーションは、2012 年制定土木学会コンクリート標準示方書[設計編]に準拠し、構造物が厳しい塩害環境下にあると仮定して、初期の塩分量からコンクリートの拡散係数および表面塩化物量を仮定し、対象年の鉄筋位置における塩化物イオン濃度を推定した。その解析結果を図-5 に示す。

解析結果と CIM モデルと連動させることで、10、30、50 年後における鉄筋の塩化物イオン濃度分布を可視化することができた。鉄筋の腐食発生限界濃度を 1.2kg/m^3 と考えると、10 年後は鉄筋が腐食する可能性はほとんどな

いと推定されるが、30 年後には腐食発生限界濃度に近くなる箇所があり、50 年後では鋼材に腐食が発生する箇所が出てくることが明らかとなった。

供用中のインフラの維持管理においては、補修工事の際に交通規制等の対策が必要となることも多いため、補修工事实施の時期および範囲の設定が重要になる。前述した CIM モデルにより将来の構造物の劣化状況を可視化することで、「現状の状況では補修工事を実施するのは困難だが、5 年後であれば実施可能であり、その時の構造物の劣化状況は問題ない」といった判断が可能になる。そのため、CIM モデルと劣化予測の連携は、維持管理業務の効率化につながると考えられる。

(2) ライフサイクルコスト評価との連携に向けて

将来的な展開としては、ライフサイクルコスト（LCC）評価との連携が考えられる。CIM モデルには LCC 評価に必要な設計～施工～維持管理までの情報が集約されているため、それらの情報を活用することにより、適切な補修計画の策定が可能になるとと思われる。

今後、日本のインフラ整備が維持管理に大きくシフトしていく中で、構造物の長寿命化は建設業全体の課題となっている。そのため、インフラのライフサイクル全般にわたる情報を集約する CIM と LCC 評価の連携を図り、維持管理業務の高度化、省力化を図ることに取り組んでいくことが重要と思われる。

5. 今後の CIM の方向性

長期にわたり多数の関係者が存在するインフラのライフサイクルにおいて、CIM モデルによる情報一元化を継続するためには、全ての関係者が怠りなく情報を更新していくことが重要である。そのためには、CIM モデルの作成、変更作業が、関係者にとって簡便かつ安価に行え



図-6 IC タグを活用した実構造物と CIM モデルの連携イメージ

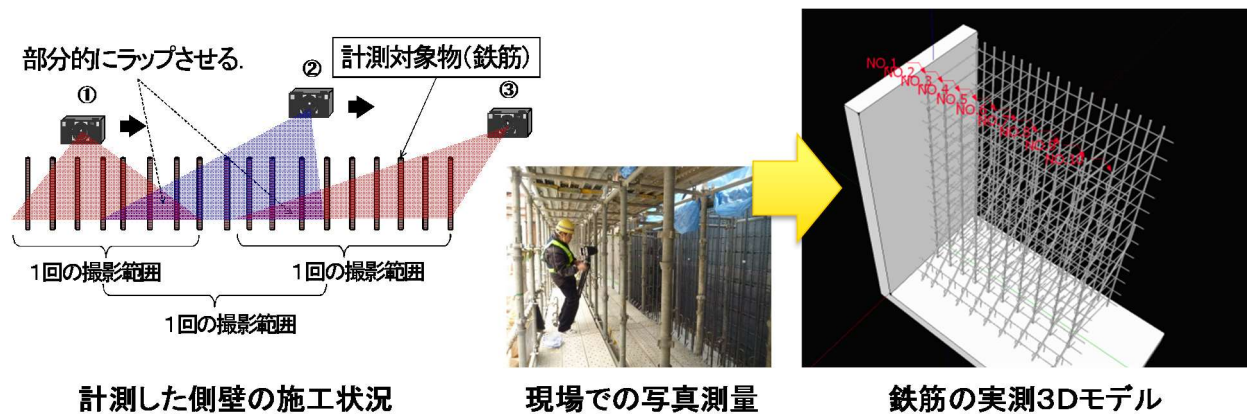


図-7 写真計測結果を基に作成した配筋 3 次元モデル

るものでなくてはならない。

構造物のライフサイクルの中で最も多くの情報を扱う維持管理段階では、情報の入手を短時間でできることが CIM を活用する大きなメリットである。筆者らは、CIM モデルから情報を取得する 1 つの方法として、供用後の構造物に設置した IC タグや QR コードをリーダーで読み取ることにより、構造物の情報を参照できるシステムの開発を進めている（図-6）³⁾。この技術が実用化すれば、現場にタブレット PC 等を持ち込むことで、実際に構造物の点検をしながら属性情報を容易に確認することが可能になる。

また、構造物の形状、変位等は維持管理において非常に重要な情報であるが、それらを測定して CIM モデルに反映することも非常に手間が掛かる作業である。筆者らは実際に組立てた鉄筋の 3 次元モデルの作成において、写真計測を活用した取組みも実施している（図-7）⁴⁾。

このように、近年のタブレット端末、PC、通信機器や計測機器、解析・分析ソフトの発展は目覚ましいものがある。今後は、これらのツールとの連携を強化し、イン

フラの全ての関係者にとって使い易く業務の効率化に繋がるような CIM を開発していきたい。

謝辞：国土交通省関東地方整備局、首都国道事務所、ならびに金町国道出張所の関係各位には、本研究の実施にあたり多大なるご理解とご協力を頂きました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省「技術調査関係」ホームページ：CIM の概要，<http://www.mlit.go.jp/tec/it/index.html>
- 2) JACIC ホームページ：CIM 技術検討会平成 24 年度報告，<http://www.jacic.or.jp/jacic-hp/index.php>
- 3) 工藤敏邦ほか：開削トンネルにおけるライフサイクルを考慮した CIM の試行，土木学会第 69 回年次学術講演会発表予定，2014.9.
- 4) 平澤江梨ほか：写真計測を用いた実施工における 3 次元配筋モデルの構築，土木学会第 69 回年次学術講演会発表予定，2014.9.