

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

前田建設工業株式会社 正会員 ○笹倉 伸晃
前田建設工業株式会社 河野 浩之
前田建設工業株式会社 正会員 平澤 江梨

前田建設工業株式会社 正会員 工藤 敏邦
前田建設工業株式会社 正会員 松林 卓
中央復建コンサルタンツ 正会員 工藤 新一

1. はじめに

現在、建設業では実業務で 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、これまで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きた。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)と呼ばれる新しい概念が提唱された。CIM は計画、設計、施工から維持管理に至るまでのインフラのライフサイクル全般の効率化を目標としているが、これまでの CIM の導入事例は、設計・施工フェーズを中心としたものがほとんどである。

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、現状での CIM 導入効果を確認した事例について報告する。

2. 工事概要

「矢切函渠その 9 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る（写真-1）。

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

(1) CIM モデルの構成

構築した CIM モデルは図-1 に示す。本 CIM モデルは、周辺地形、上部に国道が通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「共有データサーバー」で構成

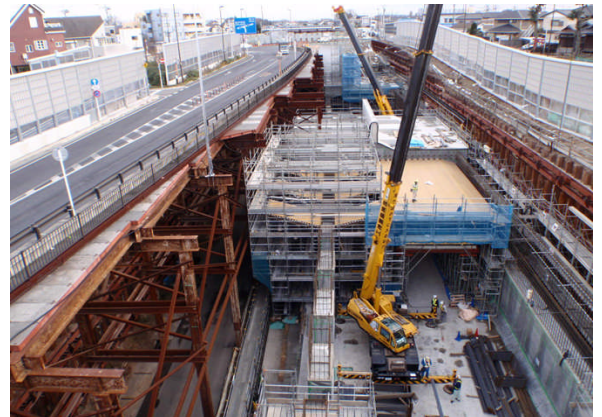


写真-1 躯体構築状況



写真-2 3D プリンタ模型

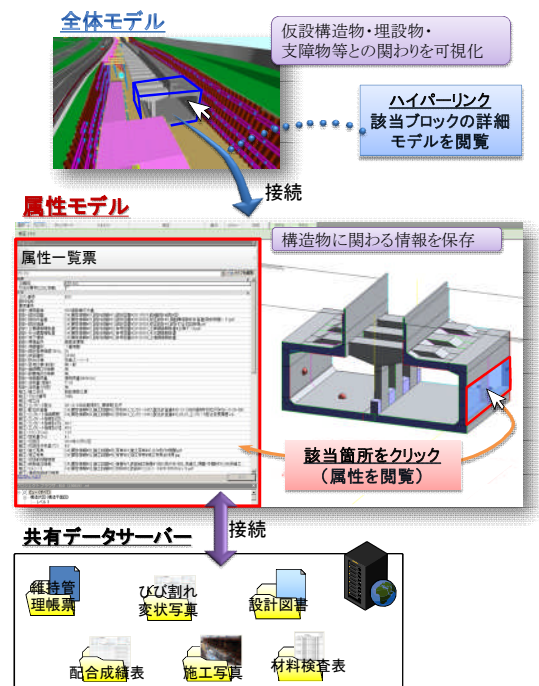


図-1 CIM モデルの構成

キーワード 開削トンネル, CIM, ライフサイクル, 維持管理,

連絡先 〒160-0004 東京都千代田区富士見 前田建設工業株式会社 土木技術部 TEL 03-5276-5166

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。

(2) 属性モデルの構成

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、ファイルデータ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 モデルに必要な以上の負荷をかけないことを目的として、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より付与することとした。

4.2 属性モデルによる情報の一元化

通常のプロジェクトでは、設計、施工、維持管理に関わる情報がそれぞれの業務ごとに個別に保存されているため、必要性が生じて各段階の情報を収集する際には非常に手間が掛かるという問題が少なくない。しかし、本試行で作成した「属性モデル」では、見たい箇所をモデル上で選択することで様々な各段階の情報の入手が可能である。設計から施工、維持管理までの構造物に関わる様々な情報が、3次元の CIM モデルを中心として一元化することで、必要な時に迅速に抽出することが可能となる。これにより、膨大なビッグデータを扱う維持管理段階における業務の効率化が見込めると考えられる。

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

表-1 付与した属性の一覧

◆ 設計段階		◆ 施工段階		◆ 維持管理段階(仮想のデータ)	
設計-適用基準	直接入力	施工-施工会社	直接入力	維持-点検年月日	直接入力
設計-設計図面	リンク	施工-ブロック番号	直接入力	維持-点検結果(判定)	直接入力
設計-設計計算書	リンク	施工-竣工日	直接入力	維持-ひび割れの有無	直接入力
設計-設計協議	リンク	施工-コンクリート配合	直接入力	維持-うき・はく離の有無	直接入力
設計-土質調査報告書	リンク	施工-配合計算書	リンク	維持-漏水の有無	直接入力
設計-水文調査報告書	リンク	施工-コンクリート協議履歴	リンク	維持-対策の有無	直接入力
設計-地下埋設	リンク	施工-コンクリート強度(d3)	直接入力	維持-定期点検表	リンク
設計-環境条件	直接入力	施工-コンクリート強度(d7)	直接入力	維持-点検報告書	リンク
設計-地盤種類	直接入力	施工-コンクリート強度(d28)	直接入力	維持-調査報告書	リンク
設計-設計基準強度(N/mm2)	直接入力	施工-スランブ	直接入力	維持-対策報告書	リンク
設計-設計種類	直接入力	施工-空気量	直接入力	維持-アルカリ骨材調査年月日	直接入力
設計-防水仕様	直接入力	施工-打設日	直接入力	維持-アルカリ骨材反応の可能性がある	直接入力
設計-目地仕様(前後)	直接入力	施工-打設日外気温	直接入力	維持-アルカリ骨材反応調査報告書	リンク
設計-施設開口の有無	直接入力	施工-施工写真	リンク	維持-損害調査年月日	直接入力
設計-耐震検討の有無	直接入力	施工-竣工写真	リンク	維持-損害調査の可能性がある	直接入力
設計-地表面積	直接入力	施工-打設前段階検査	直接入力	維持-損害調査報告書	リンク
設計-活荷重(地表)	直接入力	施工-鉄筋組立検査	リンク	維持-中性化調査年月日	直接入力
設計-活荷重(内空)	直接入力	施工-ミルシート	リンク	維持-中性化調査の可能性がある	直接入力
		施工-型枠組立検査	直接入力	維持-中性化調査の報告書	リンク
		施工-コンクリート温度	直接入力	維持-圧縮強度調査年月日	直接入力
		施工-骨材試験成績表	リンク	維持-圧縮強度(N/mm2)	直接入力
		施工-塩化量	直接入力	維持-鋼材強度調査年月日	直接入力
		施工-鉄筋図	リンク	維持-引張強度(N/mm2)	直接入力
		施工-地下水水位	直接入力		



図-2 ひび割れ発生時の対応シミュレーション

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の評価結果と、CIM モデルとを連動させることで、点検結果の可視化を試みた。要素番号（部位番号）ごとに整理した点検シートと、要素番号ごとに分割した CIM モデルを、要素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、今回の試行においては、構造物が厳しい塩害環境下にあると仮定して、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。

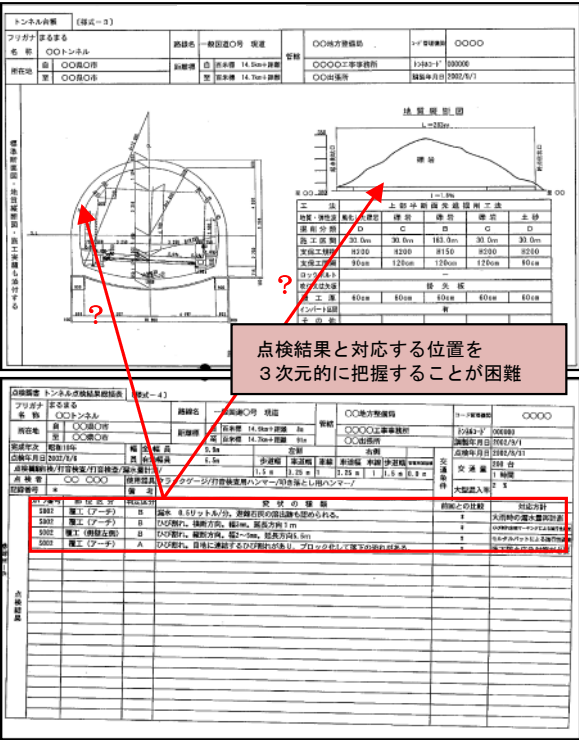


図-3 従来の 2 次元による点検結果の整理

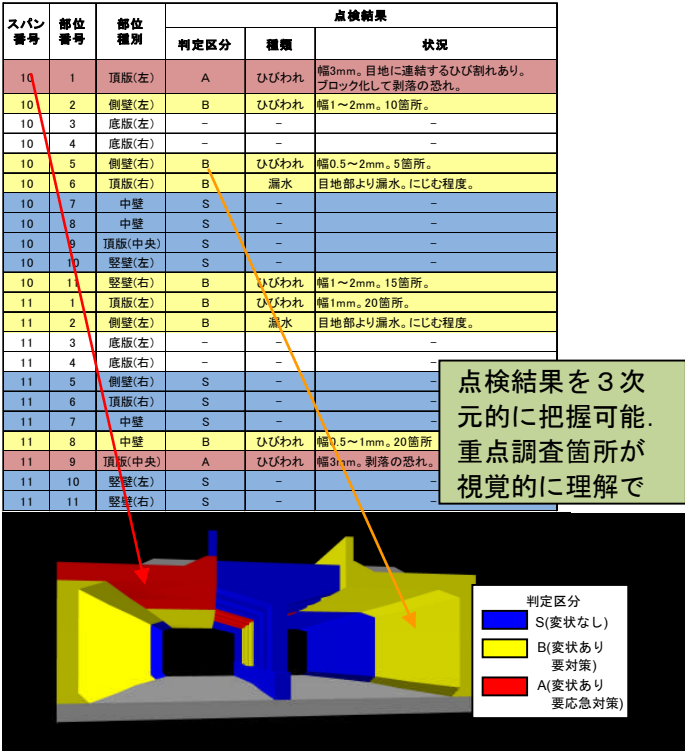


図-4 CIM モデルによる点検結果の可視化

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、補修工事実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。

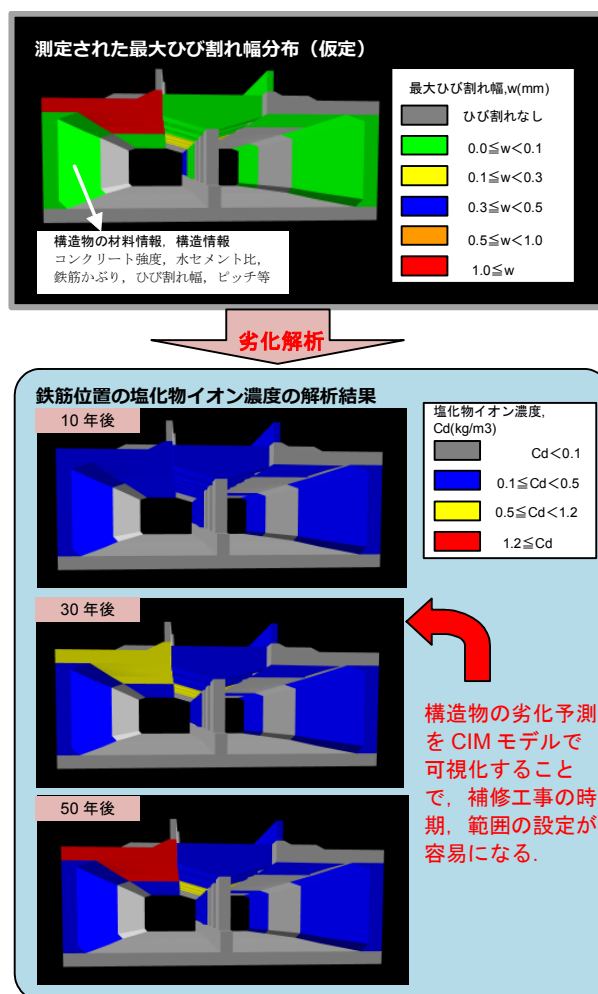


図-5 構造物の劣化解析への CIM モデルの活用

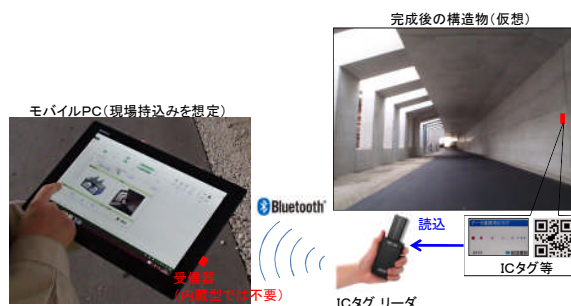


図-6 IC タグを活用した実構造物と CIM モデルの連携イメージ

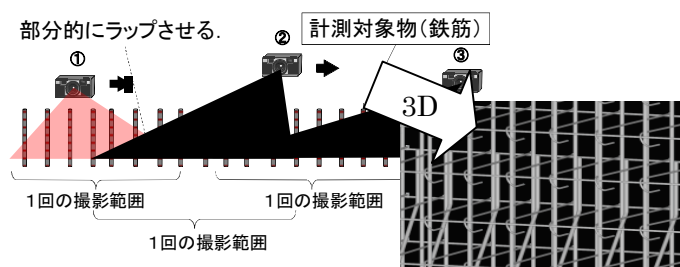


図-7 写真計測結果を基に作成した配筋 3 次元モデル

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）¹⁾。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）²⁾。

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) 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
- 2) 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