

第2回 PC 上部工施工への CIM の適用

講師：中村 定明*

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下、PC）橋における3次元モデルの開発および実橋への適用については、2002年に当時の社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会の3次元プロダクトモデル（以下、3DPM）検討小委員会において、研究開発を実施しました。この当時は、建築分野でのBIM（Building Information Modeling）という用語はありましたが、CIM（Construction Information Modeling/Management）という用語は使用されていませんでした。橋梁の分野では、欧州の発注機関、ゼネコンおよびコンサルタントが中心となって、橋梁の3DモデルであるIFC Bridgeの構築を行っていました。3DPM検討小委員会では、当時の矢吹委員長を中心として、PC橋梁のモデル化をフランスと共同で開発するプロジェクトを行い、一定の成果を上げましたが、その後3次元モデルを使った施工事例はほとんど報告されませんでした。2012年に国土交通省がCIMの試行を開始し、PC橋上部工においても多くの現場で希望型での試行が開始されました。

CIMとは、対象とする構造物などの形状を3次元で表現した「3次元モデル」と「属性情報」を組合せたものを指します。また、作成されたモデルはCIMモデルと呼ばれています。CIMの導入により、計画、予備設計、設計、施工から維持管理に至るまでを統一のモデルにより相互運用することで、生産性の向上や働き方改革などに活用されることが期待されます。図-1にCIMモデルを中心とした橋梁構造物の相互運用システムの例を示します。

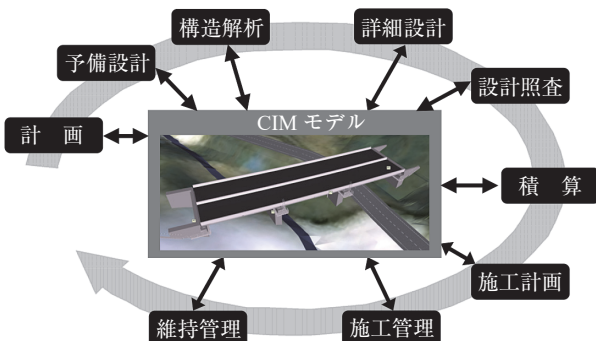


図-1 CIMモデルによる橋梁構造物の相互運用システム

2. CIMモデルの作成

CIMを利活用するためには、まずCIMモデルを作成する必要があります。橋梁のCIMモデルとして作成されるものには、線形、地形、構造物（鋼上部工、PC上部工、下部工、仮設構造物）、地質・土質、広域地形および統合モデルがあります。これらのモデル化の方法については、国土交通省CIM導入推進委員会よりCIM導入ガイドライン（案）^{1,2)}（以下、ガイドライン）に詳細に示されているので参照してください。紙面の関係上、ここではPC上部工に特化して線形モデル、地形モデルおよび構造物モデル（下部工、PC上部工および付属物）の概要、詳細度の考え方および属性情報の付与方法についてガイドラインを参考にその概要を述べます。

2.1 CIMモデルの考え方

CIMにおける「3次元モデル」および「属性情報」については、以下のように定義されています。

- ・3次元モデル：対象とする構造物などの形状を3次元で立体的に表現した情報
- ・属性情報：3次元モデルに付与する部材や部品の情報（部材などの名称、形状、寸法、物性および物性値（強度など）、数量、その他付与が可能な情報）

2.2 CIMモデルの分類

CIMモデルは、構造物や地形などの分類ごとに作成・更新・管理されます。CIMモデルには、「線形モデル」、「土工形状モデル」、「地形モデル」、「構造物モデル」、「地質・土質モデル」、「広域地形モデル」および「統合モデル」があります。以下に、PC上部工のCIMモデル作成に必要な線形、地形、構造物モデルの概要を述べます。

(1) 線形モデル

線形モデルは道路中心線や構造物中心線を表現する3次元モデルを指します。図-2に線形モデルの例を示します²⁾。

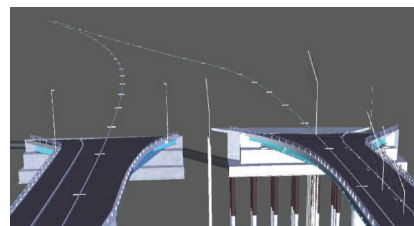


図-2 線形モデルの例²⁾

* Sadaaki NAKAMURA：(株)IHI インフラ建設 開発部長

(2) 地形モデル

地形モデルに使用する測地座標系は世界測地系³⁾、投影座標系は平面直角座標系とし、単位系はm(メートル)に統一します。しかし、PC上部工の設計では、mm(ミリメートル)の精度が一般的に求められます。この場合、作成される構造物モデルもmmの精度で作成されます。ただし、これはモデル作成時の単位をmmに限定するものではなく、単位はmとして小数点以下第3位の精度でモデルを作成してもよいことを示しています。したがって、構造物モデルを地形モデルや地質・土質モデルに重ね合わせる際にm単位で座標をあわせる必要があるので注意が必要となります。

(3) 構造物モデル

橋梁の構造物モデルには、基礎、橋脚、PC上部工、橋面工(壁高欄、舗装など)、仮設構造物(支保工、仮栈橋など)および付属物工などが含まれます。構造物モデルは、3次元CADなどを用いて作成されますが、3次元モデル形状はソリッドモデル⁴⁾で作成することが望ましいとされています。これは、構造物モデルから数量計算(体積計算)を実施する必要があることやあと工程でモデルの修正(モデル分割など)の作業を行いやすくするためです。構造物モデルの作成は、小座標系で行い地形モデルや土質モデルに重ね合わせる際に大座標系に変換すればよいことになっています。

2.3 詳細度

「CIMモデルをどこまで詳細に作成するか(以下、詳細度)」は、CIMモデルの活用目的によって異なります。3次元モデルの作成レベル、作成範囲などを表現する指標がない場合には、3次元モデルを構築・納品した際に、作成者ごとに作り込みの内容が異なるなどの理由から、無駄・手戻りなどの発生や混乱が生じる可能性があります。そのため、CIMの活用工事においては、受発注者間で事前に確認・協議のうえ、詳細度を決定しておく必要があります。

CIMモデルの詳細度については、(一財)日本建設情報総合センターの社会基盤情報標準化委員会で検討され、ガイドラインには鋼橋の詳細度が示されています。しかし、PC橋の詳細度は委員会で特に議論されておらず、ガイドラインにはPC橋の詳細度の目安が示されています。詳細

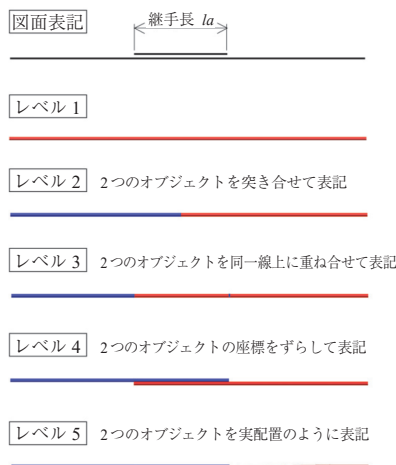


図 - 3 CIMモデルにおける鉄筋継手の表記方法⁵⁾

度は、100、200、300、400および500で定義されます。詳細度100は対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル、詳細度200は対象の構造形式が分かる程度のモデル、詳細度500は対象の現実の形状を表現したモデルと定義されており、鋼橋とPC橋でその差はほとんどありません。PC橋の詳細度300としては、T桁橋を対象とした場合、主桁、間詰め床版、端横桁および中間横桁の形状を表現したモデルと定義されています。詳細度300ではPC鋼材および鉄筋についてはモデル化しません。PC鋼材の中心位置の形状およびシースの外径形状のモデル化は詳細度400で作成されます。鉄筋は、主に干渉チェックを目的としてモデル化を行うものとし、過密配筋部を中心に必要に応じて作成するものと示されています。ただし、CIMモデルを用いて鉄筋数量を算出する場合は、全橋にわたって鉄筋をモデル化しなければなりません。鉄筋をモデル化する場合、継手部のモデル化に留意する必要があります。図-3は、鉄筋の重ね継手のモデル化をレベル別に示したものです⁵⁾。鉄筋干渉チェックを行う場合は、レベル4あるいはレベル5でモデル化する必要があります。また、鉄筋数量の算出が要求される場合、レベル1~3でも可能ですが、レベル1およびレベル2では重ね継手の部分を考慮する必要があります。

2.4 属性情報

CIMは、3次元モデルに部材などの名称、形状、寸法、物性および物性値(強度など)、数量などの属性情報を付与する必要があります。属性情報の付与方法としては、CIMモデルを作成するソフトウェアの機能により「3次元モデルに直接付与する方法」と文書や図面のように非定型な情報を「外部参照ファイルとして付与する方法」の2種類があります。図-4に構造物の場合の3次元モデルと付与する属性情報の関係を示します。

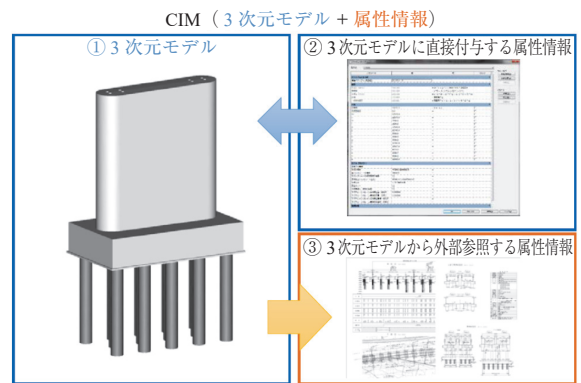


図 - 4 3次元モデルと属性情報の関係¹⁾

3. CIMの設計・施工への適用事例

図-1に示したように、CIMモデルを計画から設計・施工、また維持管理に利用することで、さまざまな効果が考えられます。表-1は平成27年に試行された工事を対象に施工段階でCIMの効果が認められた活用項目を示したものです²⁾。以下、施工段階におけるCIMの適用事例の概要を紹介します。

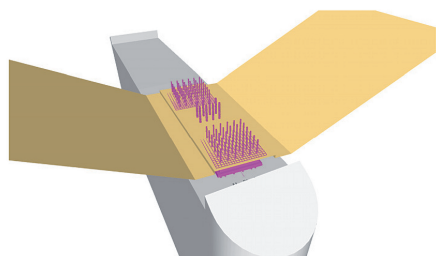
表 - 1 施工段階で CIM の効果が認められた項目²⁾

活用項目	主な検証内容
安全教育・安全管理	施工対象可視化による危険予知活動, 安全対策の向上
品質管理・施工管理	モデルによる施工記録管理(属性データ化)による品質管理, 施工管理の効率化
出来形管理	計測機器とモデルの相互利用による測量作業等の効率化
施工計画検討	手順等の計画可視化による, 施工調整の効率化 可視化ステップによるシミュレーション, 施工手順計画の効率化 施工段階可視化による, 協議, 説明の効率化 等
設計照査	鉄筋干渉チェック等の照査効率化

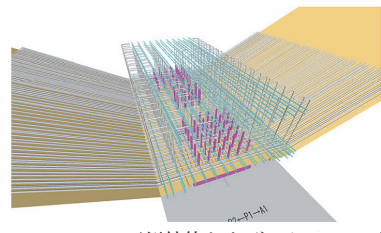
*) 出典: 国土交通省 第9回 CIM 検討会資料

3.1 干渉問題への適用事例

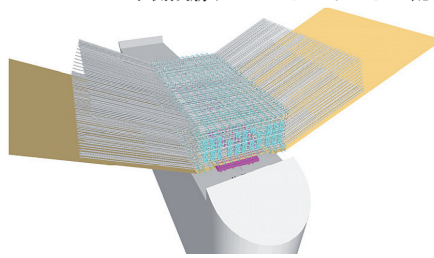
CIM の施工段階での適用事例として, 鉄筋や付属物の干渉チェックがあります。図 - 5 は, V脚を有する PC 連続橋の脚付根部の支承部アンカーバー, 鉄筋および横締め PC 鋼材との配置について, 干渉チェックおよび組立手順を検証した事例です。複雑な配筋も 3次元モデルを使用することで, 施工時の手戻りがなく作業を続けることが可能となります。また, 図 - 6 には, 検査路と排水管が干渉している



STEP1: 支承部アンカーバーおよび補強鉄筋の配置



STEP2: 下側鉄筋およびスターラップの配置



STEP3: 上側鉄筋および横締め PC 鋼材の配置

図 - 5 鉄筋干渉チェックおよび組立手順への適用

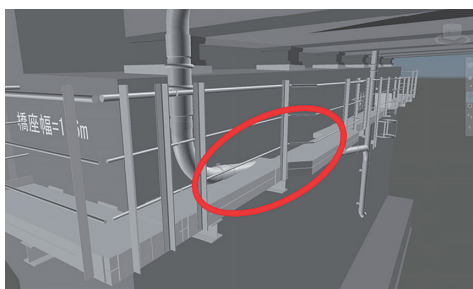


図 - 6 検査路と排水管との干渉チェックへの適用

る事例を示します。この図は, 検査路の開口部と排水管の位置がずれているため両者が干渉する結果となったことを示しています。2次元図面では, 平面図および側面図を相互に照査して干渉を発見しないといけませんが, 3次元モデルでは1つのモデルで容易に干渉を発見することができます。その結果, 早期に設計へフィードバックすることができ, 工程遅延のリスクを減らすことが可能となります。

3.2 施工工程管理への適用事例

施工段階における CIM の効果的な活用方法として施工工程管理があげられています(表 - 1)。図 - 7 は, PC コンボ橋の架設ステップを段階ごとにシミュレーションした事例を示しています。このモデルは市販の CIM ソフトのスケジュール機能を利用して計画日および実施日を設定することが可能です。日付を指定するとその時点での計画および現状の3次元図面を表示することができ, どの工種および工程が遅延あるいは進捗しているかを容易に把握することが可能となります。また, 施工計画作成時にこの機能を利用して, 合理的な架設計画を立案することも可能となります。

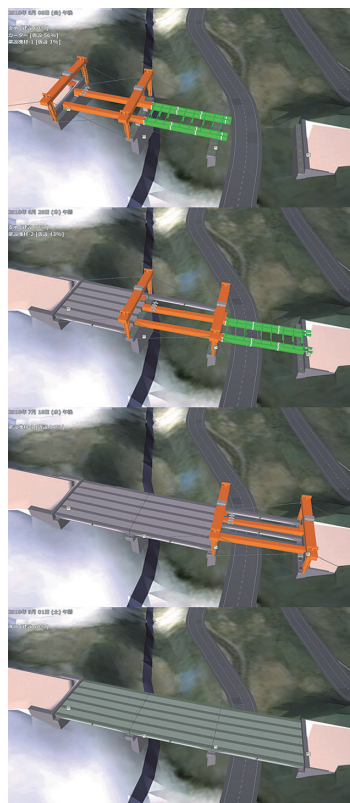


図 - 7 工程管理への CIM の適用

3.3 出来形検査への適用事例

出来形検査への CIM の活用の効果が認められています。とくに, PC 工場のように比較的大型の製品部材の出来形検査への適用は検査の効率化, 省人化に効果があると考えられています。図 - 8 は, PC コンボ橋のセグメント桁の出来形検査をデジタルカメラにより実施した事例⁶⁾を示しています。この事例では, ターゲット設置, デジタルカメラでの撮影, データ解析から帳票の作成までの作業を1

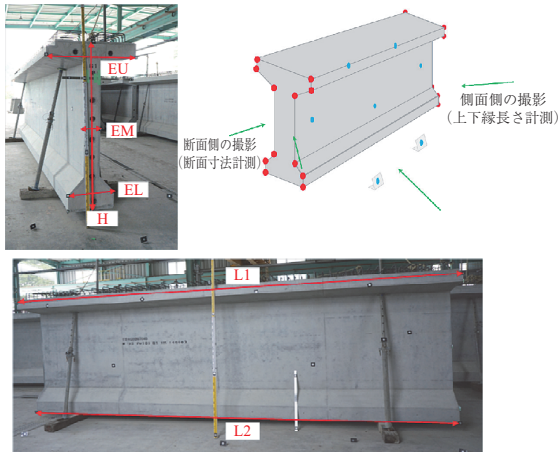


図 - 8 デジタルカメラを用いた出来形検査⁶⁾

名の作業員が約 17 分で完了したと報告されています。また、計測精度については、断面および側面ともに従来のテープ計測と比較して最大 ± 2 mm の誤差で、計測精度として問題ないレベルと報告されています。

3.4 安全管理への適用事例

施工段階での効果的な CIM の事例として安全管理への適用が挙げられています(表 - 1)。図 - 9 は、クレーン 2 台を用いた相吊り架設のシミュレーションの事例⁶⁾を示したものです。空中の赤い領域は、既設の通信設備による規制領域を示しており、桁架設時にその領域を侵さないようクレーンの配置およびブーム角度を事前にクレーンのオペレータと打合せをして安全管理を実施した事例です。CIM モデルを用いた架設シミュレーションでは、オペレータが実際には確認できない状況も事前に確認することができるため安全対策として有効な方法であると考えられます。

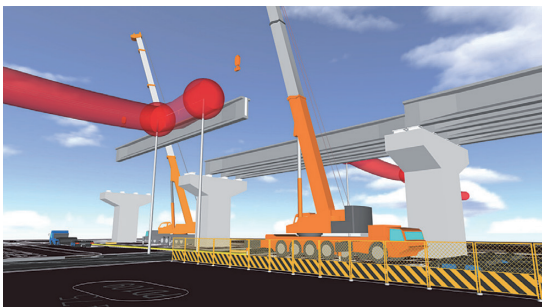


図 - 9 桁架設時における安全対策への適用⁶⁾

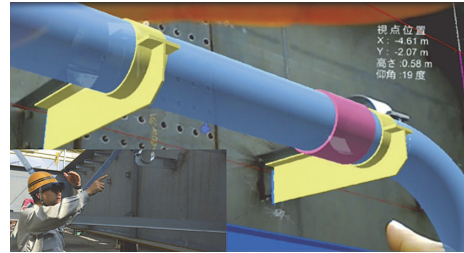
3.5 AR の適用事例

AR (Augmented Reality) は、「拡張現実」のことです。ヘッドマウントディスプレイやスマートグラスなどを使って現実世界にさまざまな情報を重ね合わせて表示するので、CIM 適用事例として今後ますます適用の拡大が期待される分野であります。

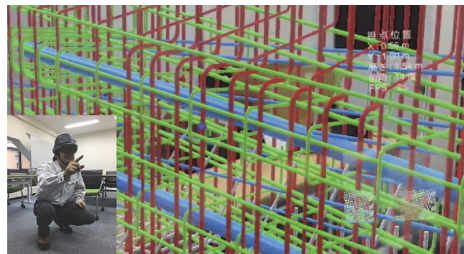
図 - 10(a) は、鋼橋で採用された事例で、仮組された主桁に市販のスマートグラスと位置合せ用のマーカーを用いて排水装置の CIM モデルを重ね合わせています。PC 橋でも現場で同様な試行が可能です。このように本架設前に排水管の取付け金具の位置などを確認することが可能となり、

干渉による施工の手戻りを減らし、事前に安全性などの留意点を確認することで、効率よく施工を進めることが可能となります。

図 - 10(b) は、現実空間に定着突起部の配筋および PC 鋼材の配置を重ね合わせた事例です。実際の鉄筋および PC 鋼材配置と重ね合わせることで出来形検査に使用することが可能となります。また、検査データの記録および転送を行うことで、発注側の検査員が現地の立会いを行うことをなくすことも可能となります。



(a) 主桁と排水管 CIM モデルの重ね合せ (提供：(株)駒井ハルテック)



(b) 現実空間と配筋 CIM モデルの重ね合せ (提供：オフィスケイワン (株))

図 - 10 AR の適用事例

4. おわりに

本稿は、PC 上部工の施工段階における CIM 適用事例を紹介することで、その効果について概説しました。PC 上部工施工への CIM 試行については、いくつかの課題も指摘されています。たとえば、3次元モデルを取り扱うことのできる人材の不足、CIM ソフトやハードの導入コスト、CIM モデルの作成コストおよびモデル作成の詳細度の明確化など制度面の整備があげられます。今後、これらの課題が解決され、CIM が PC 上部工施工にますます活用されることを期待します。本稿が、その一助になれば幸いです。

参考文献

- 1) 国土交通省 CIM 導入推進委員会：CIM 事業における成果品作成の手引き (案), 2018
- 2) 国土交通省 CIM 導入推進委員会：CIM 導入ガイドライン (案) 第 1 編 共通編, 第 5 編 橋梁編, 2018
- 3) 国土交通省国土地理院：世界測地系の導入に関して, <http://www.gsi.go.jp/LAW/jgd2000-AboutJGD2000.htm>
- 4) 矢吹：講座「PC の周辺技術を学ぼう」第 1 回橋梁 CIM の概要, プレストレストコンクリート, Vol.60, No.3, pp.90-94, 2018
- 5) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 橋への 3 次元プロダクトモデルの適用に関する検討報告書, 2006
- 6) 杉本, 田中, 河合, 井野：PC 上部工への CIM の適用 - 東海環状下宮高架橋北 PC 上部工 -, 第 24 回プレストレストとコンクリートの発展に関する論文集, pp.151-154, 2015

【2018 年 5 月 16 日受付】