

CIM の活用によるフロントローディングの推進と WBS を使った生産性情報管理の高度化

鹿島建設(株) 正会員 ○織田 一郎
大阪大学 フェロー会員 矢吹 信喜

1. はじめに

製造業に比べて労働生産性が低いと言われている建設業においては、CIM (Construction Information Modeling/Management) をより有効に活用して設計・施工プロセスを効率化すること、並びに客観的な指標に基づいて施工の生産性をモニタリングし、継続的に生産性向上の PDCA (Plan Do Check Action) サイクルを回していくことの重要性が高まっている。このような背景から筆者らは、国内の土木工事を対象に、CIM の活用によるフロントローディング (本稿では、設計・施工プロセスの初期段階にマンパワーを集中投入して全体最適を図ることと定義) の推進と、WBS (Work Breakdown Structure) を使った施工の生産性情報 (工程、施工効率等) の一元的かつ従来よりも精緻な管理の実現に取り組んでいる。本稿では、橋梁上下部工事でのこれらへの取り組み事例を紹介するとともに今後の課題について報告する。

2. CIM の活用によるフロントローディングの推進事例

(1) 着工前仮想竣工の実施概要

対象とした工事は、近年では施工事例の少ない特殊な構造形式の橋梁上下部工を、急峻な地形の谷間に建設する技術的難易度の非常に高い土木工事である。このため、施工上の大きな問題点を着工前に解決することを目的に、着工から竣工までの全工程を CIM によりシミュレーションし、デジタル空間上で仮想竣工させてから施工を開始した。橋梁一般図を図-1 に、工事概要を表-1 に、全体工程表を表-2 に示す。

(2) 3D モデル及び 4D-View の作成

着工前仮想竣工の実施体制及び CIM 諸元を表-3 に示す。本工事の受注者である共同企業体の現場事務所 (以下、当事務所) が主体となって 3D モデル及び 4D-View (工事工程に連動する 3D モデルの時間軸に沿った描画) を作成し、施工上の問題点把握と事前解決に役立てた。CIM モデルの詳細度 (LOD) 及び使用ツールは、表-3 に示すとおりとした。4D-View の例を図-2 に示す。

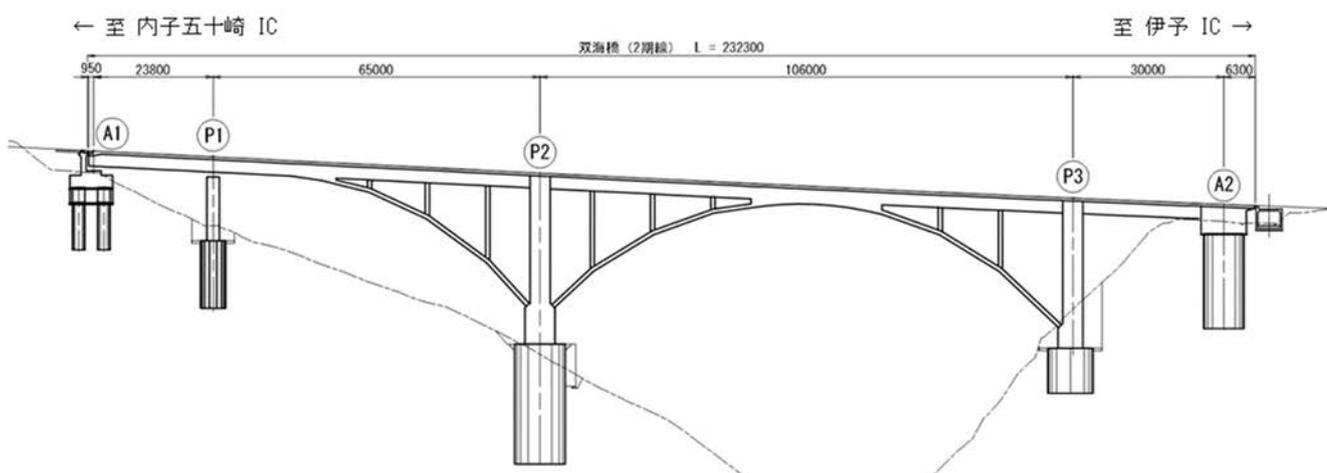


図-1 橋梁一般図

キーワード 5D-CIM, WBS, 着工前仮想竣工, フロントローディング

連絡先 〒799-3202 愛媛県伊予市双海町上灘甲 2057-3 鹿島・富士ピー・エス 特定建設工事共同企業体

松山自動車道 双海橋 JV 工事事務所 TEL 089-968-5533

表-1 工事概要

工事名	松山自動車道 双海橋工事
発注者	西日本高速道路(株) 四国支社
受注者	鹿島建設(株)・(株)富士ピー・エスJV
工事場所	愛媛県伊予市
工事内容	橋梁上下部工 一式 (PC4径間連続バランスドアーチ橋) 工事用仮栈橋 (高さ40m超) 一式 詳細設計 一式

表-2 全体工程表

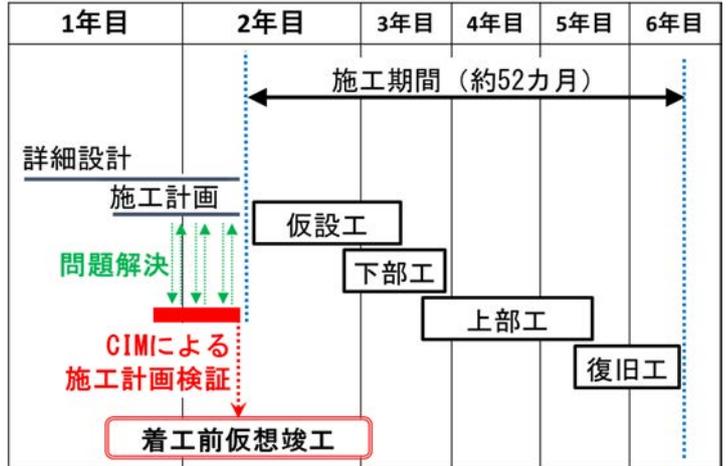


表-3 着工前仮想竣工の実施体制及び CIM 諸元

実施体制	双海橋JV工事事務所		統括管理・施工計画
	A社(建設コンサルタント)		3Dモデル・4D-Viewデータ作成
	B社(仮設材業者)		足場設備計画・3Dモデル提供
	C社(機械メーカー)		移動作業車設計・3Dモデル提供
実施期間			5カ月間(CIMによる施工計画検証)
CIM諸元	LOD※	レベル3	橋梁上下部の躯体 (鉄筋、PC鋼材以外を詳細にモデル化)
		レベル2	仮栈橋、足場支保工、他 (主要部材の外形形状を正確にモデル化)
	使用ツール	3Dモデル	Civil3D 2018、Revit 2018
		4D-View	Navisworks 2018

※ Level of Development/Detail

(国土交通省国土技術政策総合研究所 CIMモデル作成仕様<橋梁編>に準拠)

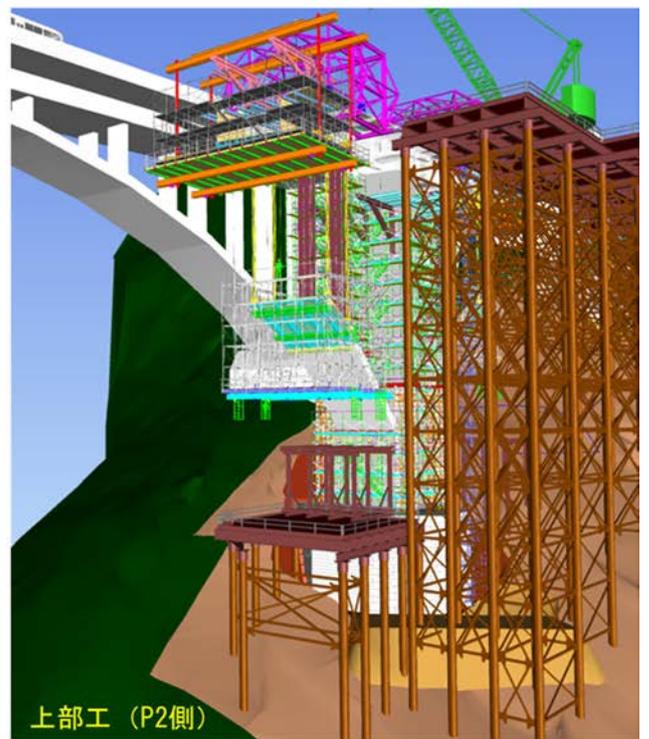


図-2 4D-View の例

詳細設計と施工計画の進捗に合わせて、着工前の地形・橋梁上下部の躯体・仮設ヤード・仮栈橋・足場支保工・上部工の架設機械（移動作業車）・建設機械（揚重機械・掘削機械）の3Dモデルを個別に作成した後に段階的に全体モデルへ統合した。更に、本工事の着工から竣工までの約52ヵ月間の日割り工程表を工程管理ソフトウェア「工程's」にて編成し、Microsoft Excelの中間ファイルを介して3Dモデルと連動させ、4D-Viewを作成した。3Dモデル及び4D-Viewの制御データ（3Dモデル各部位の表示・非表示を工程管理ソフトウェアの工事工程と紐付けるデータ）の作成はCIMの業務実績が豊富な建設コンサルタントのA社に委託した。A社への作業指示と打ち合わせは全てWeb会議（Skype for Business）にて行い、3Dモデル各部位に付与する名称、施工手順・工程等の情報を当事務所で整理してA社に伝達した。3Dモデルの作成条件として、詳細設計及び施工計画のアウトプットである二次元のCADデータをA社に渡した。大容量データの受け渡しは、ファイル共有サーバ「Box」を介して行った。当事務所にはCIMオペレータ1名を常駐させ、A社が作成するデータを随時、チェックした。本工事向けにアーチ橋の足場支保工等の仮設材を供給するB社、並びにアーチ橋架設用の移動作業車を設計・製作するC社からは、それぞれ本工事向け設備の3Dモデルの提供を受け、直接、CIMに組み込んだ。両社が担当する本工事の設備は形状・機構が複雑で、類似事例の実績も少なく、従来の二次元の図面では関係者が内容を正確に理解するのが困難であったが、Web会議で3Dモデルを画面共有し、様々な視点で閲覧しながらディテールを打ち合わせることで、設備の改善を効率的に進めることができた。

(3) 施工上の問題点への対処

a) 問題点の洗い出しと対応状況

本工事では仮設ヤード、仮栈橋、橋梁上下部の躯体及び足場支保工の形状、並びに移動作業車の位置が施工段階に応じて刻々と変化することから、施工計画を4D-Viewにより立体的かつ経時的に検証することは、問題点を発見する上で非常に有効であった。発見された問題点の内、工事の遅延や安全性・施工性の著しい低下が懸念された件数と解決時期を整理したものを表-4に示す。

表-4 大きな問題点の件数と解決時期

工種	解決時期		計	問題点の例
	着工前 ※1	着工後 ※2		
仮設工	1	0	1	仮栈橋の一時的な幅員不足による車両の通行障害
下部工	4	1	5	作業輻輳による施工性の大幅な低下、支障物との干渉
上部工	19	5	24	仮設備と躯体や地山との干渉、作業床・作業架台の不足
復旧工	0	1	1	隣接工事の施工条件との不整合
合計	24	7	31	

※1 計画段階 ※2 施工中

これら31件のうち計画段階での対処が望ましいと考えられた24件については、着工前に全て解決し、残り7件については解決期限を認識した上で、現地条件の細部確認や関係者（発注者・隣接工事）との協議・調整を進めながら対応することとした。

b) 問題点への処理事例

移動作業車の組立解体を行うP3橋脚付近は岩が露頭する急斜面で、組立解体作業の安全性確保が課題であった。特に移動作業車の解体では、アーチリブが揚重作業の障害物となり作業の難航が予想された。このため移動作業車の組立解体架台（図-3）を計画し、工事の安全性を向上させた。

総じて、着工前に工事の終盤に至るまでの詳細な施工計画を立案できたことは、施工効率の向上、並びに安全性と工程確保を図る上で有益であった。

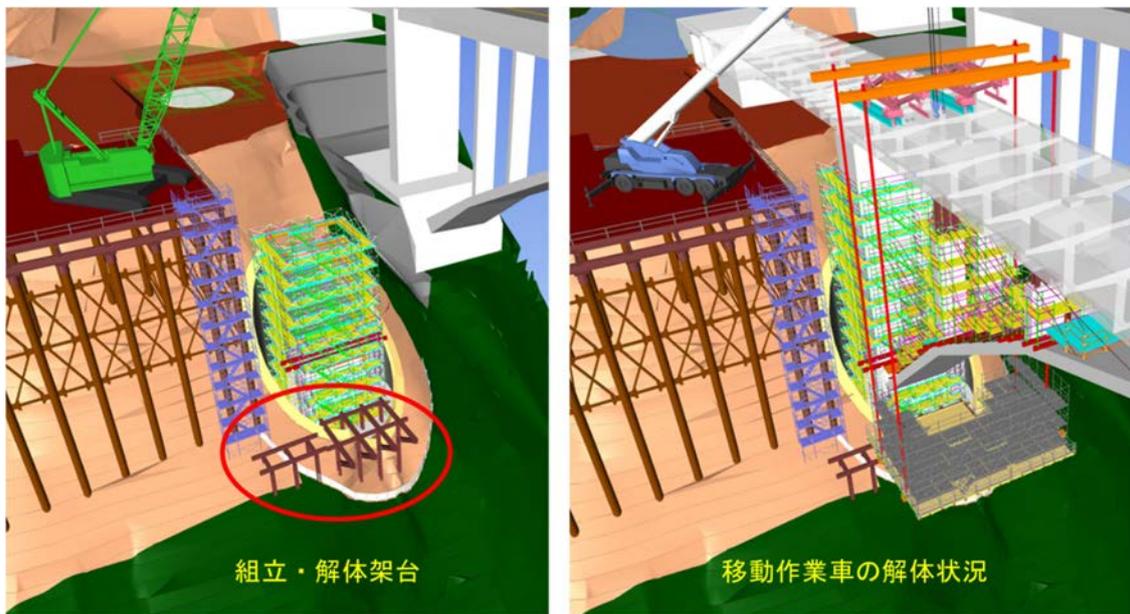


図-3 移動作業車の組立解体架台

なお当事務所では、最新の工事工程に合わせて工程管理ソフトウェアのデータと 4D-View を毎月更新し、CIM を日常的な施工管理にも活用している。

3. WBS を使った生産性情報管理の高度化事例

(1) 生産性情報管理システムの概要

生産性情報管理システム¹⁾(以下、本システム)は、筆者らが 2017 年度から研究開発を進めてきたシステムで、建設会社の現場事務所で使用されている工程管理ソフトウェア、作業間連絡調整会議の支援システム及び経理システムと連動して、資源(労務及び機械)の投入量、並びに支払額の予定と実績を月単位で可視化する。本システムの概念図を図-4 に示す。

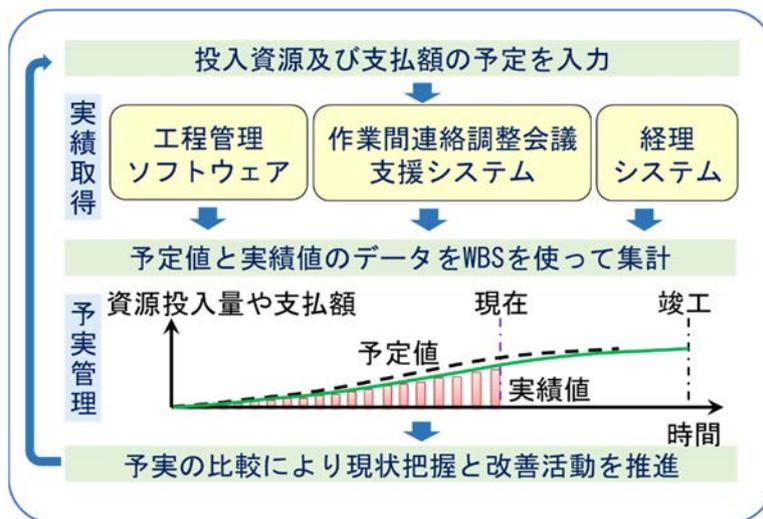


図-4 生産性情報管理システムの概念図

本システムの主な機能は以下のとおりである。

a) Sカーブによる予実比較

Sカーブ（資源の投入量や支払額の累計値を時間軸に沿って描画した曲線）を使って、予定値と実績値の推移を可視化する。当初の計画工程に対する最新の進捗状況（計画工程からの進み/遅れ）を考慮して予定Sカーブを時間軸方向に自動的にシフトすることで、予定値と実績値を正確に比較できる（図-5）。

b) 複数の要素体系によるデータ分析

予め設定した要素体系をデータの集計・分析に使うことで予定値と実績値に違いを生じた場合の原因究明を効率的に行う。要素体系は、予実管理の目的に応じ、位置・作業・資源及び原価について、自由に設定できる（表-5）。

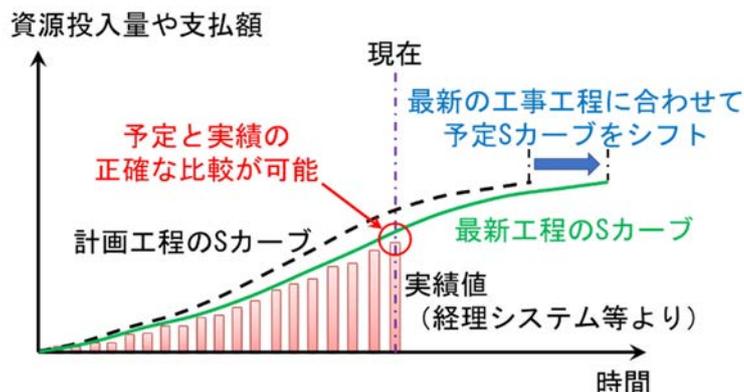


表-5 要素体系の種類

名称・略称	備考
位置要素体系 LBS	Location Breakdown Structure
作業要素体系 WBS	Work Breakdown Structure
資源要素体系 RBS	Resource Breakdown Structure
原価要素体系 CBS	Cost Breakdown Structure

図-5 予定Sカーブのシフト機能

(2) 資源の予実管理

本稿では、本システムの適用事例として前述の工事における資源の予実管理について紹介する。

a) 位置要素体系

資源の予実管理に使う位置要素体系（位置のツリー図）の例を図-6に示す。レベル1は施工箇所（例えば、P2橋脚工）、レベル2は施工区分（例えば、第1リフト）の2階層の体系で、施工部位を特定できるようにした。本システムとのデータ連携のため、これらの名称を工程管理ソフトウェア及び作業間連絡調整会議の支援システムで使う名称と共有させた。

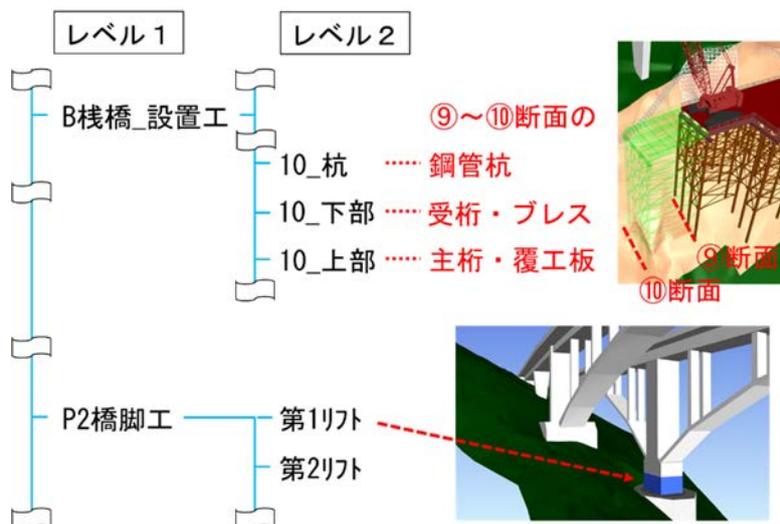


図-6 位置要素体系の例

b) 労務人日の予実管理

現場の生産性を常に把握し、問題がある場合には迅速に対処するため、目標とする施工効率（歩掛）に基づいて各種作業の労務人日の予定Sカーブを予め作成し、毎月、実績値との比較を行うこととした。

c) 仮棧橋設置工の例

仮棧橋設置工の労務人日（本工事の3カ所の仮棧橋の設置に要する合計）に関するグラフを図-7に示す。このグラフの縦軸は総労務人日の予定値を100%とした比率で表示している。図-7の縦棒と左縦軸は月別値を、折れ線と右縦軸は累計値、縦棒と折れ線の緑は予定、赤が実績を示す。作業開始から6月目時点で進捗率は68%、労務人日（累計）の実績値は予定値の96%であり、生産性が徐々に向上している傾向が伺えた。これにより、この作業が順調に進んでいることをデータ面から確認できた。

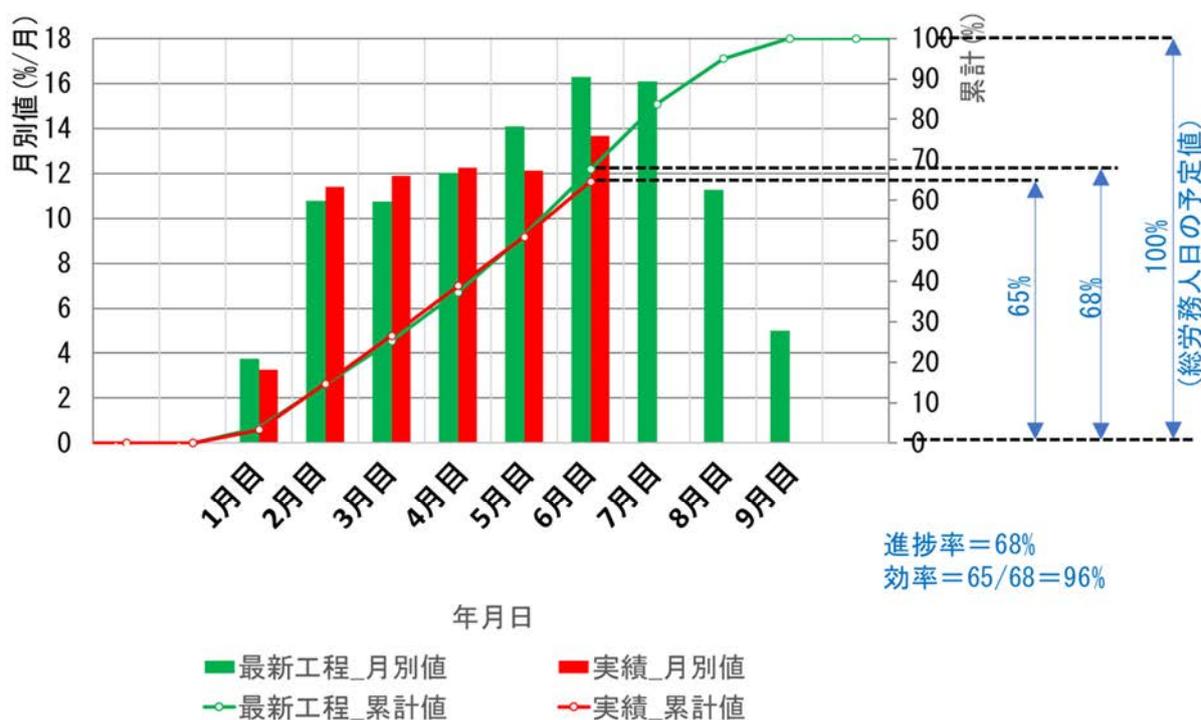


図-7 仮棧橋設置工の労務人日

4. 結論と今後の課題

技術的難易度の高い橋梁上下部工事において、CIMを使った着工前仮想竣工に取り組み、フロントローディングを推進する上でのCIMの有効性を確認した。また、建設工事の生産性情報を、SカーブとWBSを使って緻密に予実管理できるシステムを開発して前述の工事に導入し、有効性を確認した。

本稿で報告した内容は、3Dモデルに時間軸を加えて施工プロセスを可視化した4D-Viewに、更にコスト情報を加えて現場管理に活用する、所謂、5D-CIMと呼ばれるコンセプトを土木工事で実践し、その有効性を確認したものであるが、一般的な土木工事への適用性を高めるには、CIMや生産性情報管理の手法の標準化やシステムのユーザビリティ改善等が必要である。

参考文献

- 1) 織田一郎, 矢吹信喜: 複数の要素体系を有するWBSを用いた土木工事の生産性情報管理システムの検討, 土木情報学シンポジウム講演集 vol. 42, pp. 15-18, 2017年