

橋梁 CIM における 3D 施工計画システムの開発

Development of 3D Construction Planning System for Bridge CIM



岡村 敬 Takashi Okamura ①
松下 裕明 Hiroaki Matsushita ②

あ ら ま し

当社では橋梁事業に対するCIMへの取り組みとして、製作支援に活用している橋梁3次元プロダクトモデルシステム（Symphony¹⁾）をベースに、レーザースキャナを用いた現場形状のモデリング技術を融合させてコンピュータ内に3次元仮想空間を構築し、仮想空間上で施工計画が可能となるシステムを開発した。

3次元仮想空間上で橋梁本体や架設機材（ベントやクレーン等）を実構造どおりに構築することで、時間軸まで考慮した施工計画が容易に行えるとともに、施工中の部材間の動的な干渉や、構築した架設機材の反力や数量の自動算出が可能となる。この結果、従来の施工計画を効率化するとともに、施工時のトラブル防止、安全性向上が期待できる。

Abstract

As part of our initiative in construction information modeling (CIM) for bridges, we have developed a system for drawing construction plans in a 3D virtual space in the computer. The new system is based on a 3D bridge modeling system used for construction support called Symphony, and fuses site-specific modeling technology employing a laser scanner to create the virtual space.

By constructing as-built models of the bridge and construction equipment (bent, crane, and so on) in the virtual space, the system facilitates construction planning including time management and automatically calculates interference between structures during construction as well as the reaction force and quantity of materials. Not only does this streamline the planning process, it is also expected to prevent trouble and improve safety during construction.

1. 緒 言

橋梁はわが国の重要な社会インフラであり、限られた予算と人的資源の中で建設から維持管理まで含めいか効率よく実施するかが喫緊の課題となっている。

このような中、図1に示すように3次元プロダクトモデルをベースとしたプラットフォーム上で、調査・計画から設計・施工、維持管理に至るまでの事業プロセス全体を一貫して管理する「CIM (Construction Information Modeling / Management)」の導入が国土省を中心に積極的に進められている。3次元プロダクトモデルとは、形状情報を表現する3次元モデルに、各プロセスに必要な材料・部材

の仕様・性能・数量、コスト情報等を属性として付加することで構造物を定義したもので、二次元図面と数量表等の複数の書類で構造物を定義する従来の方法と大きく異なるものである。

当社では橋梁用の3次元プロダクトモデルを構築するシステム (Symphony) を開発し、既に製作支援に活用している。本開発では、当社の橋梁事業におけるCIM活用の一環として、3次元プロダクトモデルを施工計画に展開できる3D施工計画システムを開発したのでここに報告する。

2. 開発目的

従来の二次元の施工計画に対し、次のような効果を得ることを目的に3D施工計画システムを開発した。

① 社会インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 鉄構・橋梁部

② 社会インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 鉄構・橋梁部 技術士(建設)

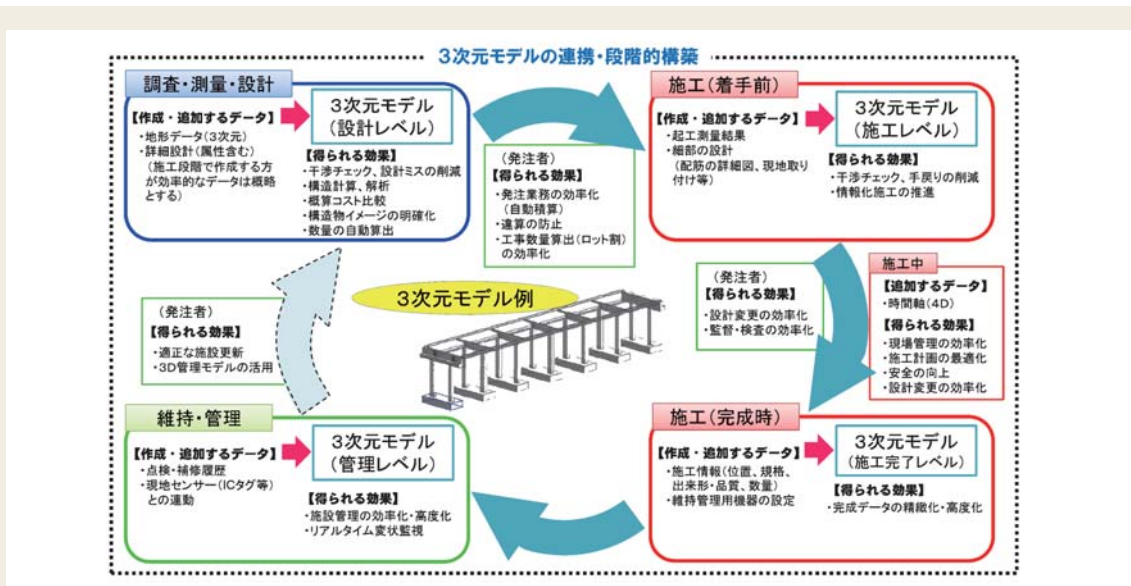


図1 CIMの概念図(国交省ホームページより)

2.1 現場での干渉トラブルの防止 3次元仮想空間内では架設橋梁近接構造物との位置関係が容易に把握できるため、相互の干渉の有無を早期に確認できる。また、施工時におけるクレーン等の施工機械の動きをシミュレートすることで、動的な部材干渉の照査も可能となる。

2.2 施工時の安全性向上 3次元に視覚化された施工イメージは計画段階での施工の安全性検証を容易にし、また3次元的な狭隘部などの施工困難箇所を様々な視点から事前に確認することで、現場で事故を未然に防ぐことが可能である。

2.3 関係者との合意形成への活用 構築した3次元モデルから必要に応じ現場のウォークスルーや施工手順の動画等を簡単に作成することができ、地域住民や関係者への協議・説明に活用することができる。

3. 開発方法

3D施工計画システム(Concerto:コンチェルト)の開発内容を図2に示す。まず、Symphonyで作成した橋梁3次元プロダクトモデル、レーザースキャナ等から取得した地形および周辺構造物の3次元モデル、および仮設備やクレーンなどの施工機械の3次元モデルを融合して3次元仮想空間を構築する。次に、3次元空間上で以下の各種施工検討が可能となる各機能を開発し、最後に3次元モデル上で作成した施工計画・設計・数量算出情報を出力する機能を開発した。

- (a) 4D施工シミュレーション
- (b) 仮設備(バント)の自動配置・構築
- (c) 架設時反力計算・表示

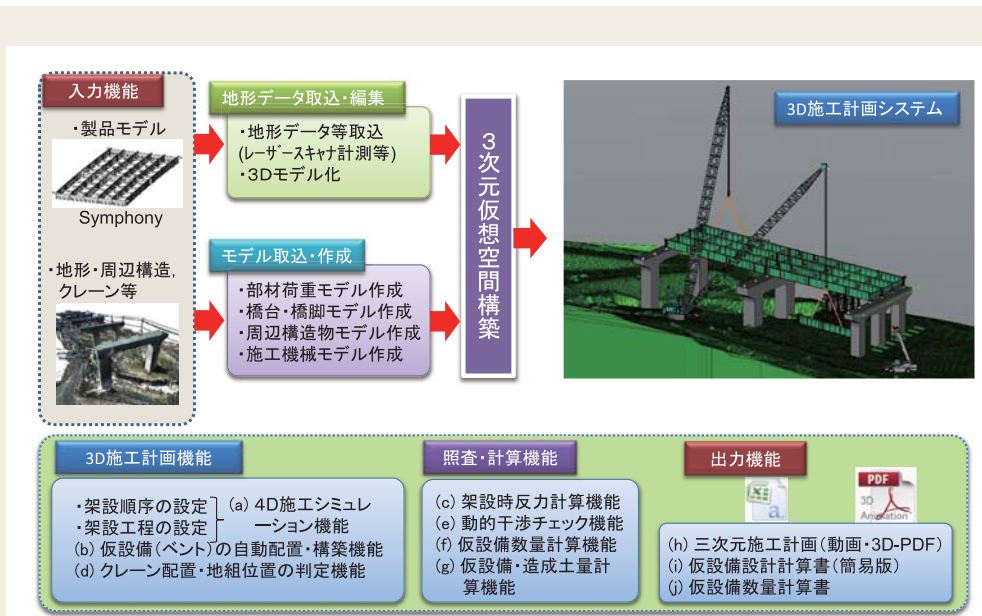


図2 3D施工計画システム(Concerto)の開発内容

- (d) クレーン配置・地組位置の判定
- (e) 動的干渉照査
- (f) 仮設備、造成土量の数量計算
- (g) 計画・設計・数量結果の出力

なお、Symphonyおよび、地形や周辺構造の3次元モデル作成技術は既に開発済みの技術であることから、以下に概要のみ示す。

3.1 橋梁プロダクトモデリングシステム(Symphony)

Symphony (シンフォニー) は、図3に示すように主に鋼橋の製作工程における原寸作業の効率化や品質向上等に活用されている。シンフォニーで作成される3次元プロダクトモデルは実構造と同じソリッド要素で構成され、さらにプロダクトモデルとして鋼重や材質、ブロック等の属性情報も有しているため、架設計画システムへの拡張が比較的容易なモデルである。

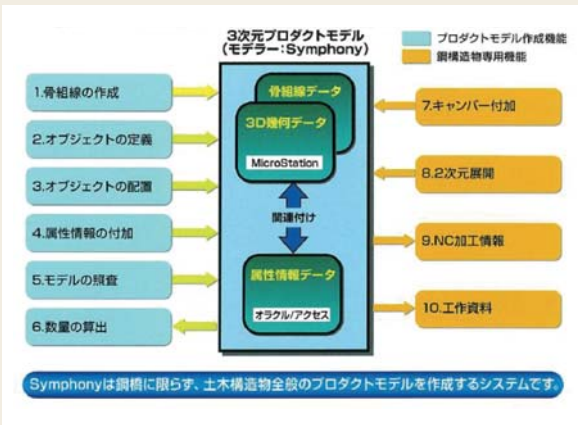


図3 Symphonyの主な機能

3.2 点群データモデリング技術 当社では図4に示すようにレーザースキャナから得られた大量の点群データを、統計理論に基づく各種フィッティング手法を用いてソリッドモデルに変換する技術を開発し、実橋にて

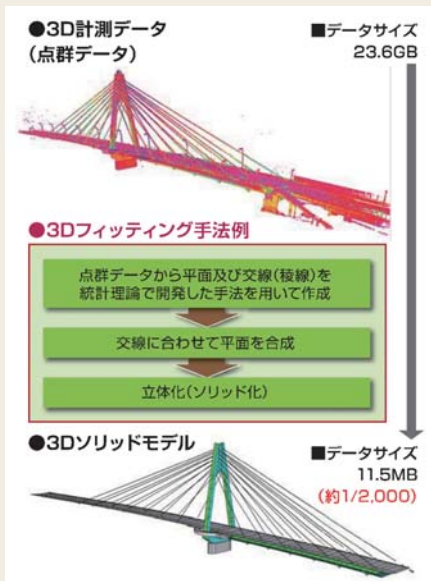


図4 点群データモデリング手法

精度の検証等を行ってきた実績²⁾がある。この技術を利用し、地形や周辺構造物を精度良く3次元空間に融合させることができる。なお、地形表面のメッシュ化には図5に示すように点群データのノイズにより生じる不必要な凸部を除去するプログラムを開発した。

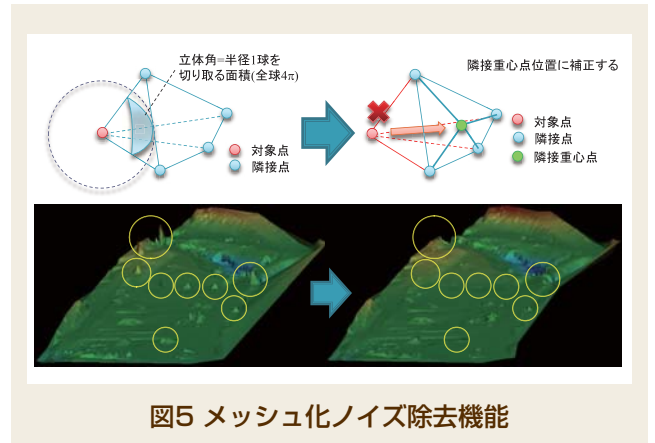


図5 メッシュ化ノイズ除去機能

4. 3D 施工計画システム

前述の開発項目の内、(a) ~ (e) について以下に示す。

4.1 4D施工シミュレーション 従来の二次元の施工計画では、主に各施工ステップを平面または側面方向から表現し、干渉等が懸念される場合は、別途断面図を追加する等の対応を行うが、検討や作図表現を定めるのに多くの時間が必要であった。そこで、本システムでは、まず、クレーン配置、地組順序、および架設順序を入力・設定すれば、図6に示す工程マネージャー、図7に示す工程表、および図8に示す架設ステップ図が自動的に作成される機能を開発した。架設ステップ図は架設時の状況をあらゆる角度から把握するために、視点を任意に変更できるように開発した。さらに、工程マネージャーで入力情報の確認した上で、工程表とステップ図を同期させて、工程順に架設ステップを連続表示させる機能を持たせることで時間軸を含めた4D架設シミュレーションを可能とした。この結果、より合理的な施工手順、クレーン配置への計画変更が直接架設状況を把握しながら、かつ容易に行えることとなる。

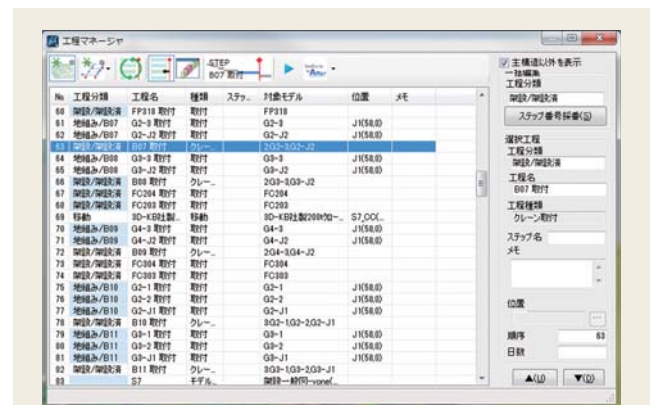


図6 工程マネージャー(確認画面)

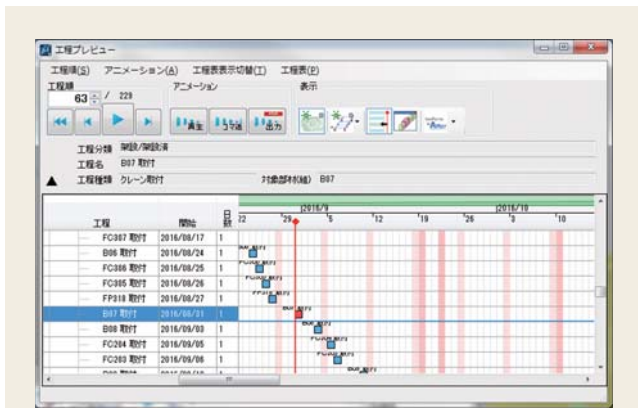


図7 架設工程表

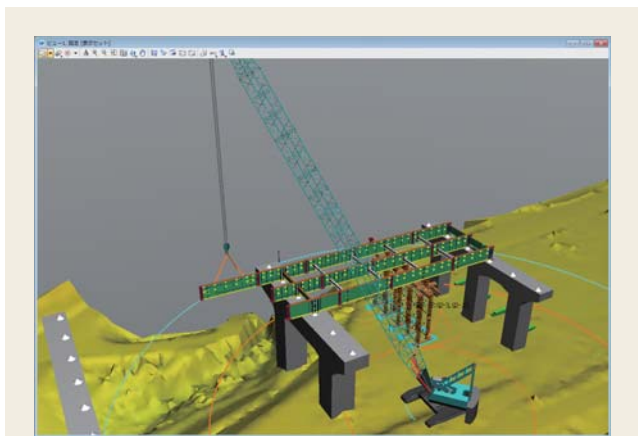


図8 架設ステップ図

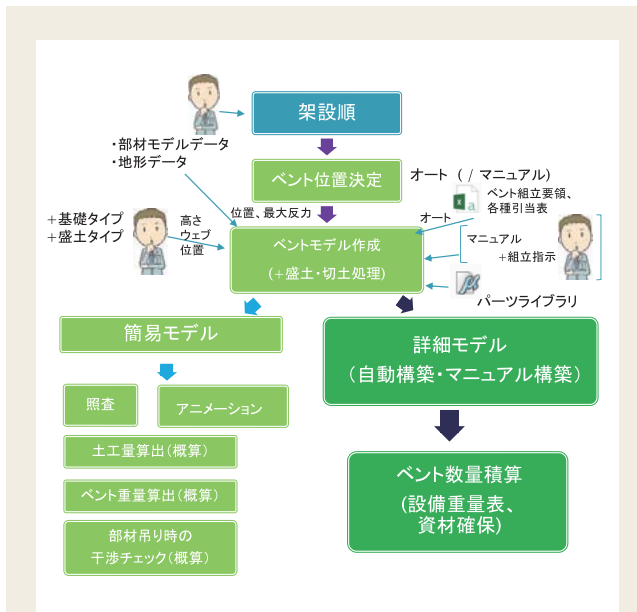


図9 ベントの自動配置・構築の手順

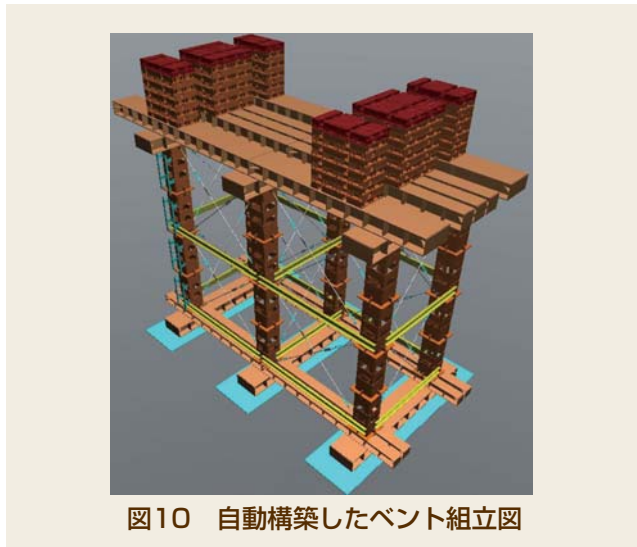


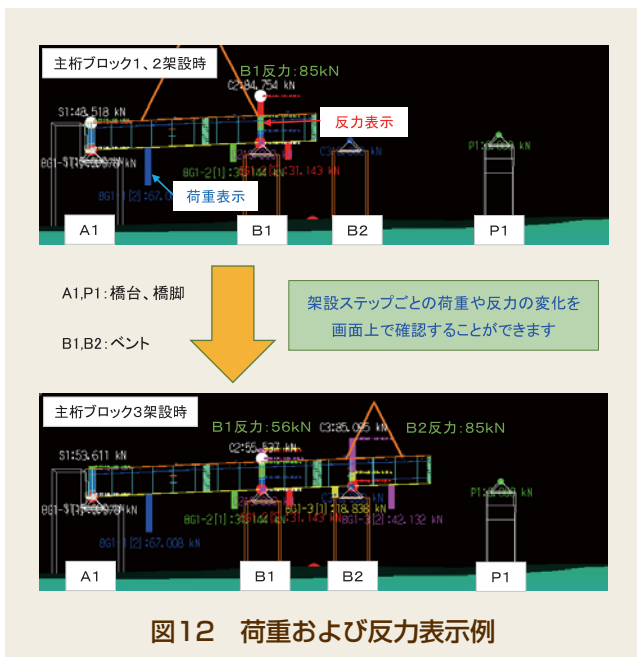
図10 自動構築したベント組立図

4.2 仮設備 (ベント) の自動配置・構築 ベントは桁架設において一時的に桁を受ける仮支柱であり、従来は桁ブロックの架設順序を定めた後、桁の張り出し状態を認識してベントの配置を手動で決定する必要があった。本システムでは、架設計画の効率化が可能となるように、図9に示すような手順でベントを自動配置できる機能を開発した。さらに、既に仮想空間で定義された設置位置の地盤高や桁高、桁幅情報からベントの大きさや重量を概算できる機能を開発した。加えて、当社が保有するベント機材を使用する場合は、その大きさや荷重に応じて、図10に示す詳細なベント組立図を自動的に構築し、図11に示す機材リストまで作成できる機能を開発した。この結果、従来の方法に比べ、仮設備 (ベント) 計画の時間・コストが大幅に削減可能となった。

4.3 架設時反力計算・表示 3次元仮想空間に構築された桁などの各部材はソリッドモデルのため単位重量を与えれば容易に部材重量を算出することができる。そこで、事前に単位重量を与えた上で、各部材の重量を自動的に算出させるとともに各部材の重心計算を行い、さらに、部材同士の位置関係を考慮した荷重分配を自動で算出した上で、橋脚やベント上での反力を自動的に算出する機能を開発した。さらに、図12に示すように、算出された荷重や反力結果を個別に色分けし、その大きさと割合を視覚的に把握できる機能を開発し、直接、架設状態の把握と安全性の確認が可能となるようにした。

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
区分	寸法	保有数	数	品名	単位	規格	長さ	数量	重量	重心	質量
1	012	-	-	H300x300x10 / 15 鋼梁	H300x300x10 / 15	4000	4	539	2156		
2	012	-	-	H300x300x10 / 15 鋼梁	H300x300x10 / 15	4000	16	435	6960		
3	012	-	-	500x500x5000 ベント柱	500x500	5000	8	764	6112		
4	012	-	-	500x500x5000 ベント柱	500x500	5000	10	256	2560		
5	012	-	-	H21 横子 (2.4m)	H21 横子	2500	2	79.2	158.4		
6	012	-	-	H200x80x7.5 / 11.4 水平材	H200x80x7.5 / 11	3000	20	74	1480		
7	012	-	-	縦筋目録 PL12x200 水平材	縦筋目録 PL12x400	200	8	7.5	60		
8	012	-	-	縦筋目録 PL12x200 水平材	縦筋目録 PL12x500	75	16	3.5	56		
9	012	-	-	H150x300x700 サンドリ	H150x300x700	1500	115	41.7	4795.5		
10	012	-	-	H100x200x700 サンドリ	H100x200x700	1000	8	35.5	316.5		
11	012	-	-	6mmφx2500 鋼材	RB-22φ	2500	8	9.5	76		
12	012	-	-	縦筋 PL12x75x600 鋼材	縦筋 PL12x75	600	28	4.2	117.6		
13	012	-	-	H150x300x700 サンドリ	H150x300x700	1500	115	41.7	4795.5		
14	012	-	-	H100x200x700 サンドリ	H100x200x700	1000	8	35.5	316.5		
15	012	-	-	6mmφx2500mm 正交鋼材	1.5mmφ25mm	3000	4	1604	6416		
16	102	-	-	合計			160		27334		
17	012	-	-	H400x400x13 / 21.6 鋼梁	H400x400x13 / 21	5000	4	1020	4160		
18	012	-	-	H300x300x10 / 15 鋼梁	H300x300x10 / 15	5000	12	539	6468		
19	012	-	-	500x500x2000 ベント柱	500x500	2000	4	433	1732		
20	012	-	-	500x500x5000 ベント柱	500x500	5000	5	256	1280		
21	012	-	-	H21 横子 (2.4m)	H21 横子	2000	11	25.9	284.9		
22	012	-	-	H200x80x7.5 / 11.4 水平材	H200x80x7.5 / 11	3000	6	74	444		
95	2合計	600	576	500x500x5000	ベント柱	500x500	5000	27	256	6912	
96	2合計	279	266	H21 横子 (2.4m)	H21 横子	2500	14	31.2	436.8		
97	2合計	105	108	H21 横子 (2.4m)	H21 横子	2000	4	25.9	103.6		
98	2合計	55	53	H21 横子 (2.4m)	H21 横子	1500	2	20.9	41.8		
99	2合計	1026	998	H200x80x7.5 / 11.4	水平材	H200x80x7.5 / 11	4000	28	96	2744	
100	2合計	1289	1172	H200x80x7.5 / 11.4	水平材	H200x80x7.5 / 11	3000	117	74	8658	
101	2合計	800	838	縦筋目録 PL12x200 水平材	縦筋目録 PL12x400	200	82	7.5	496		
102	2合計	1800	1676	縦筋目録 PL12x200 水平材	縦筋目録 PL12x500	75	124	3.5	434		
103	2合計	3890	3714	RB-22φx2500 鋼材	RB-22φ	2500	176	10.4	1830.4		
104	2合計	3920	3669	RB-22φx2500 鋼材	RB-22φ	2500	152	9.5	1444		
105	2合計	850	806	RB-22φx1500 鋼材	RB-22φ	1500	64	7.5	480		
106	2合計	1200	1180	RB-22φx1100 鋼材	RB-22φ	1100	20	5.5	110		
107	2合計	2130	2004	縦筋 PL12x75x600 鋼材	縦筋 PL12x75	600	125	4.2	525.0		
108	2合計	1800	1836	縦筋 PL12x75x600 鋼材	縦筋 PL12x75	500	64	3.5	224		
109	2合計	1280	1252	縦筋 PL12x75x400 鋼材	縦筋 PL12x75	400	28	2.8	78.4		
110	2合計	10500	10422	H150x300x700 サンドリ	H150x300x700	1500	78	41.7	3252.6		
111	2合計	4600	4581	H100x200x700 サンドリ	H100x200x700	1000	39	35.5	1384.5		
112	2合計	1000	990	6mmφx2500mm 正交鋼材	1.5mmφ25mm	3000	4	1604	6416		
3合計	-	-	-	合計			1313		14990.7		

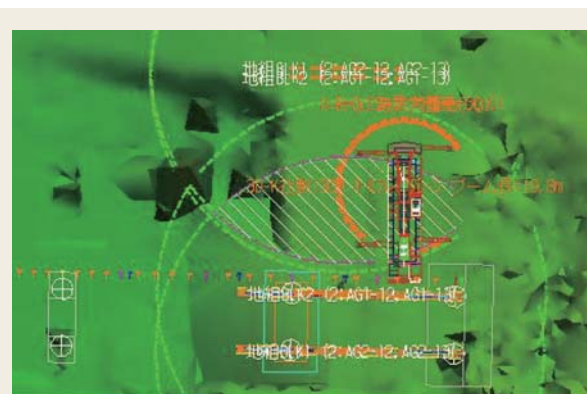
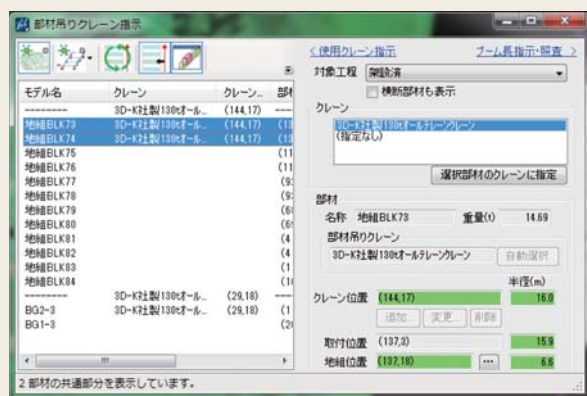
図11 機材リスト出力例



4.4 クレーン配置支援と動的干渉照査

4.4.1 クレーン配置支援機能

各施工ステップでのクレーン配置計画を支援するため、図13に示すように使用するクレーンと架設する桁を指定することで、選択したクレーンの吊上能力に応じてクレーンが設置可能な円弧状の範囲をモデル上に表示する機能(図14)を開発した。この結果、複数の架設桁に対するクレーンの設置可能位置を踏まえてクレーンの移動量が最小となる位置

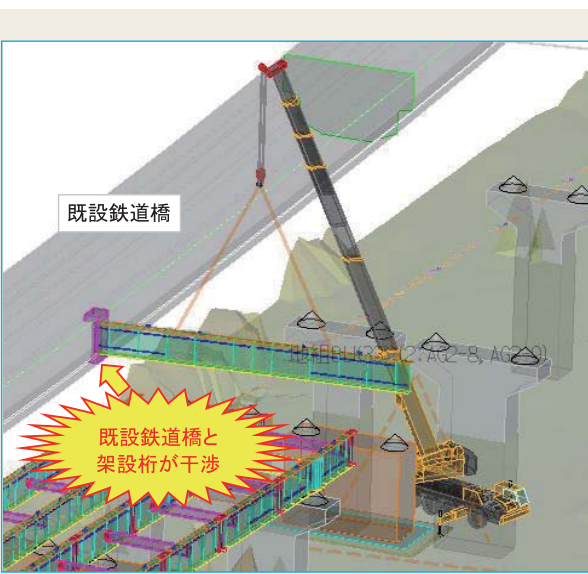
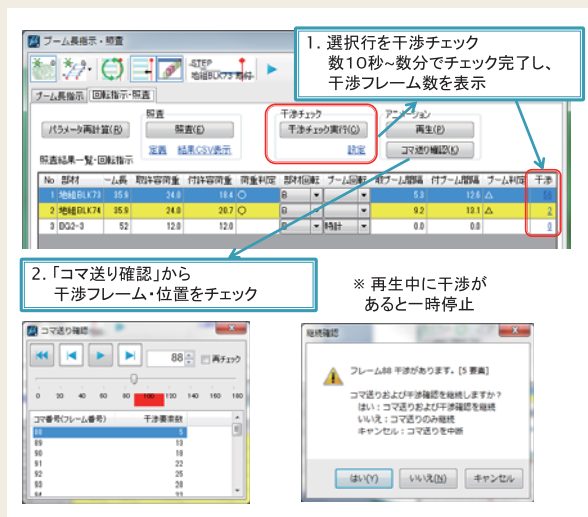


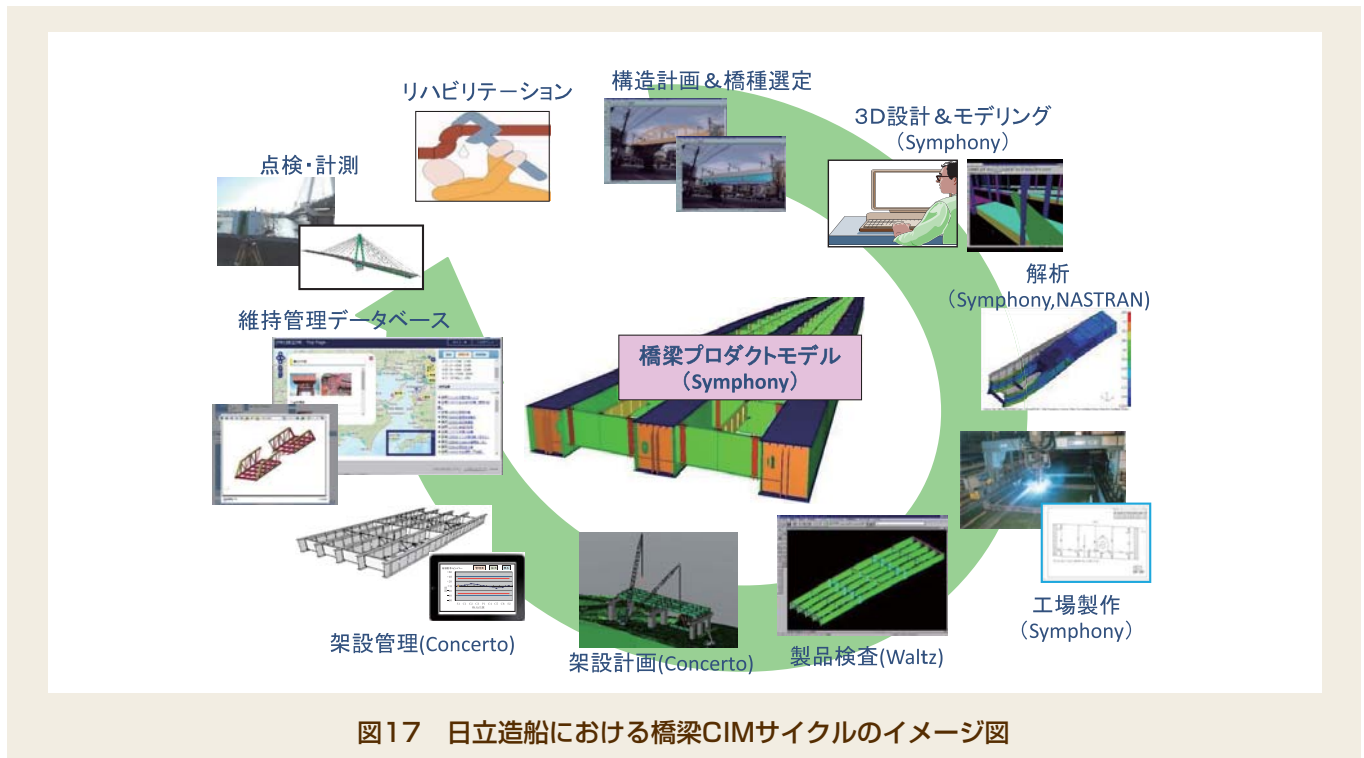
の決定や、地形や支障物の状況を踏まえたクレーン位置の決定など、最適なクレーン位置の決定に要する時間を大幅に短縮することが可能となった。

4.4.2 クレーン動的干渉照査

クレーンをシステムに導入するにあたり、まず、可動部(ブームや旋回体など)ごとに、分割したクレーンおよび簡易図形と数式を含む吊りアニメーションのパラメトリックなパーツを定義した。次に、各施工ステップでの各部の位置・状態から、アニメーションに必要なパラメータを算出し、定義したパーツを施工ステップに応じて変形・組み合わせることでアニメーションを自動作成するシステムを開発した。なお、基本的なクレーンの動きである部材回転の有無は必要に応じて任意設定も可能とした。

クレーンを3次元空間上で自動あるいは任意で動かす機能を開発した上で、吊り上げ過程において、クレーンと既設桁もしくは周辺構造物との干渉を自動で照査できる機能を開発した。さらに、アニメーションのフレーム単位でクレーンの干渉状態を照査し、干渉がある場合はそ





の箇所を着色にて表示する補助機能も開発することで、従来の施工計画方法では熟練の技術が必要なクレーンの干渉を容易に把握することが可能となった。図15および図16にクレーンの干渉を把握するための入力状況、干渉チェック状況を示す。

5. 結 言

橋梁3次元プロダクトモデルシステムと現場形状のモデリングシステムを融合させて、3次元仮想空間上で実構造と同様に施工計画が可能となるシステムを開発した。本システムを活用することで、施工計画を効率化するとともに、現場での干渉トラブル防止、施工時の安全性向上、関係者との合意形成への活用などが期待できる。本システムは既に国土交通省の実工事1件でCIM試行工事として施工計画段階での適用している。

図17に示す通り、当社では橋梁CIMに対し、計画、設計、施工および維持管理の各段階で対応するシステムの実用化を目指しており、そのために3Dモデルの有効活用と橋梁工事の効率化、高度化を図っている。

国土交通省では2016年度末にCIMに対して導入ガイドラインが策定され、近年中に義務化される計画である。引き続き、その動向に注視しつつ、本システムに対し適

用範囲の拡張、出力機能の充実、および現場施工時の品質確認への活用に向けた開発を進める予定である。

参考文献

- 1) 当社を含む5社で開発されたシステムでNETIS登録技術, KK-040011-V, 事後評価済技術
- 2) 日経コンストラクション, 2014. 8. 11, P21 ほか

【文責者連絡先】

Hitachi Zosen(株) 社会インフラ事業本部
鉄構・防災ビジネスユニット 鉄構・橋梁部
岡村 敬
Tel : 06-6569-0261 Fax : 06-6569-0257
e-mail : okamura_t@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Infrastructure Business Headquarters
Steel Structure & Disaster Prevention
Business Unit
Steel Structure & Bridge Planning Department
Takashi Okamura
Tel : +81-6-6569-0261 Fax : +81-6-6569-0257
e-mail : okamura_t@hitachizosen.co.jp



岡村 敬



松下 裕明