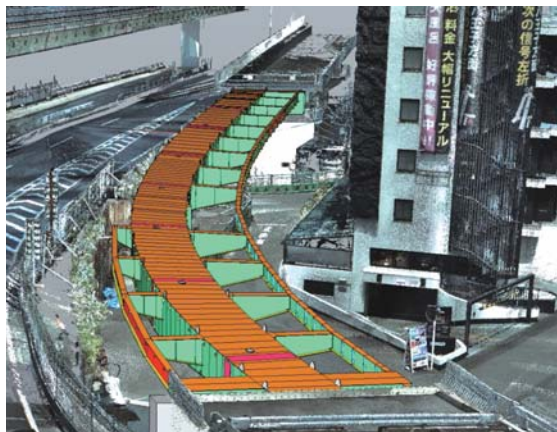


橋梁用3D施工支援システム「Concerto」の開発

Development of 3D Bridge Construction Support System “Concerto”



岡村 敬 Takashi Okamura ①
 松下 裕明 Hiroaki Matsushita ②

あらまし

Hitz日立造船は、国土交通省が推進しているBIM/CIMに対して、製作支援に活用している「Symphony」から作成した橋梁CIMモデルと、レーザースキャナ計測等から得られた地形モデルとの合成で構築した3D仮想現場モデルを用いて、施工計画や管理を支援するシステム「Concerto」の開発を行った。

本システムは、施工の約8割を占めるクレーンベント工法に対して、ベントなどの仮設物の自動構築、クレーンの最適配置支援、施工中の部材間の動的干渉チェックや反力表示などが可能であるとともに、送り出しや一括架設等の特殊工法に対しても各種シミュレーションが可能である。これにより、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および安全性向上が期待できる。

Abstract

Hitachi Zosen Corporation has developed a system “Concerto” that supports construction planning and management using a 3D virtual site model. This 3D virtual site model is formed by combining a bridge Construction Information Modeling/Management (CIM) created from the existing system “Symphony” and a topography model obtained from laser scanner measurements.

The system enables automatic construction of temporary objects such as bents, support for optimal arrangement of cranes, dynamic interference check between members, and reaction force display. This is applicable to the crane bent method, which is used in 80% of bridge construction projects. In addition, it can perform various simulations for special construction methods such as incremental launching and large block erection method. The system is expected to satisfy the demands on CIM application in bridge construction field, which is recently promoted by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. It can make the conventional construction plan more efficient, improve safety, and prevent trouble during construction.

1. 緒言

BIM/CIM (Building and Construction Information Modeling/Management) とは図1に示す通り、形状情報と仕様・性能・数量などの属性情報を合わせ持つ3Dモデル（以降CIMモデルと記す）を調査・計画・設計から、施工と維持管理の各段階で連携・発展させるとともに、事業全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図るものであり、国土交通省を中心にその導入が積極的に進められている。当社では、製作用のCIMモデルを作成し、原寸や仮組立で活用するシステムであるSymphony（シンフォニー）を2001年度から運用しており、2014年度からはSymphonyとデータ連携が可能な架設用の施工支援シ

ステムConcerto（コンチェルト）の開発を行ってきた。

本報ではConcertoの基本機能^①を説明した後、2017年度から開発してきた拡張機能および今後の展開について述べる。

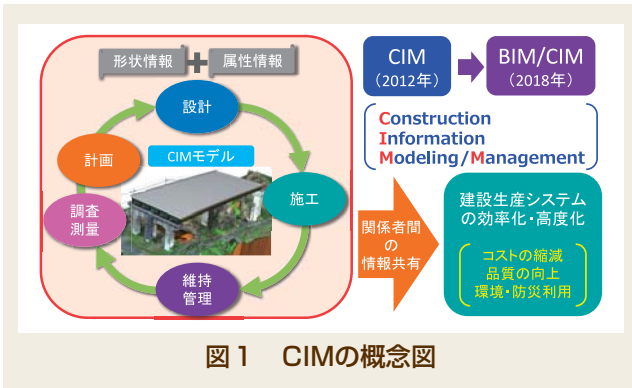
2. Concertoの目的

従来の2Dでの施工計画に対し、次のような効果を得ることを目的にConcertoの開発を行った。

2.1 現場での干渉トラブルの防止 3D仮想空間内では架設橋梁と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ションすることで、部材干渉のチェックを行うことも可能である。

① 社会インフラ事業本部 橋梁設計部

② 社会インフラ事業本部 橋梁設計部 博士(工学) 技術士(建設)



2.2 施工時の安全性向上 視覚化による施工イメージの確認は計画段階での施工の安全性検証を可能とし、狭隘部の施工要領などを事前に確認することで、現場の事故防止に役立てることができる。

2.3 関係者への合意形成 3Dを利用した現場内のウォークスルーや施工手順の動画等は、読解力が必要な2D図面とは異なり直感的に施工状態が理解できるため、地域住民や関係者の合意形成に有効である。

3. Concertoの基本機能

Concertoのフローを図2に示す。まず、インプットモデルとしてはSymphonyから橋梁モデルを国土地理院やレーザースキャナ計測等から地形モデルを取得し、それをシステム内の施工機械モデルや仮設備モデルと合成することで3D仮想空間モデルを構築する。次に、施工

の約8割を占めるクレーンバント工法に対して、現場モデルを用いて以下のような各種施工検討が可能となる機能を開発した。

- (a) クレーンによる架設作業時の動的干渉チェック
- (b) 架設時の支点反力計算・表示
- (c) 架設工程に沿った4D施工シミュレーション
- (d) クレーン仕様・配置の簡易判定
- (e) 仮設備（バント）の自動配置・構築
- (f) 橋脚、床版、足場等の簡易構築
- (g) 造成土量の数量計算

このうち、(a)～(c)の機能について以下に述べる。

3.1 クレーン作業の動的干渉チェック機能

本システムのクレーンはブームや旋回体などが分割して登録されており、クレーンの各部の回転・並行移動・拡張は、位置や形状によって変化するパラメータと時間を含む数式で基本パターンとして定義されている。このため、桁架設においてクレーン配置と桁地組位置を決めれば、吊り上げ開始から設置完了までの施工アニメーションを全自動で作成することが可能である。そして、アニメーションから施工中にクレーンや架設桁と周辺構造物などの干渉が懸念される場合は、動作フレーム単位で干渉の有無を確認し、干渉箇所を着色にて表示する機能を開発した（図2、図3）。また、干渉した際はクレーン動作のパラメータ変更や配置の再検討により、最適な架設条件を見つけることも容易である。この機能により、2D施工計画では予見が難しいクレーン施工時の干渉事故を未然に防ぐことが可能である。

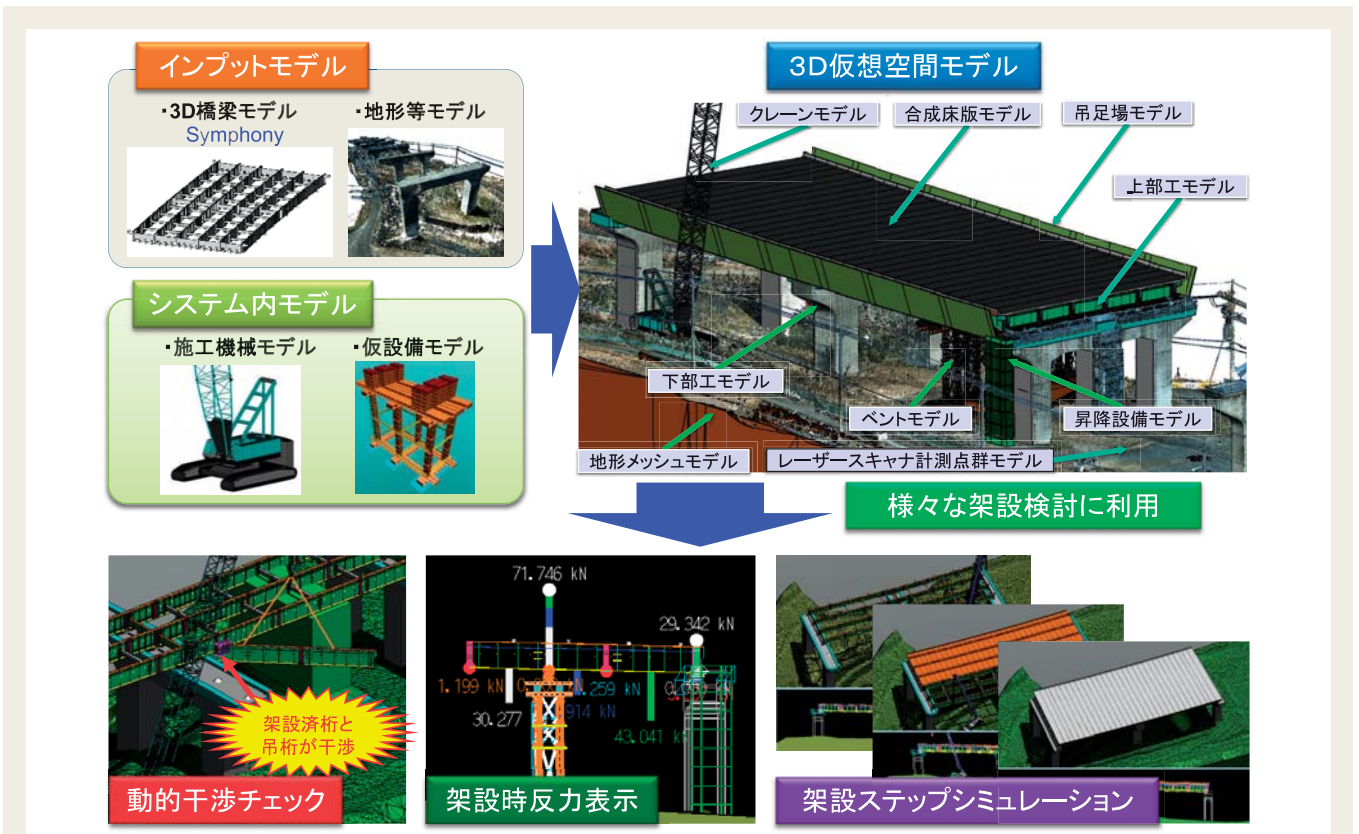


図2 3D施工計画システム（Concerto）のフロー図

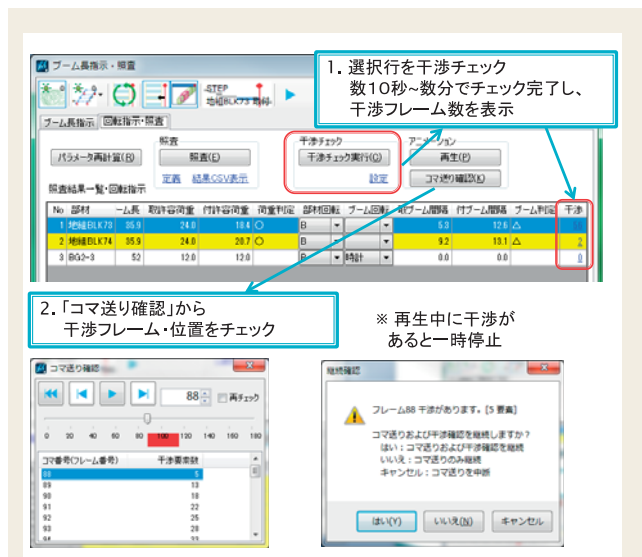


図3 クレーン干渉照査ダイアログ

3.3 4D施工シミュレーション機能 従来の2D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記し、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、検討や作図には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5**の工程マネージャー、**図6**に示す工程表および**図7**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。この架設ステップ図は視点を任意に変更でき、あらゆる角度から現場の把握が可能である。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、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、クレーン配置などの決定が容易に行えることとなる。

3.2 架設時の支点反力計算・表示機能 3D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、部材同士の位置関係を考慮した荷重分配を三角形による影響線で簡易計算(1-0法)することで、橋脚やバント上での反力を自動的に算出できる機能を開発した。また、**図2**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とした。さらに、本機能は**図4**に示す通り、後述の施工シミュレーションと連動することが可能のため、反力の変化も容易に把握できる。これらの機能により架設ステップごとにバント位置等に作用する過大な荷重の有無と原因が容易に把握でき、安全性の高い仮設物配置などが可能である。

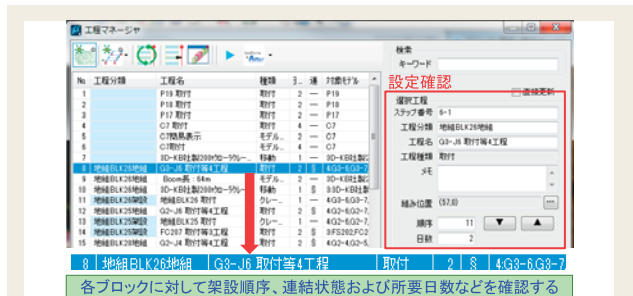


図5 工程マネージャー(確認画面)

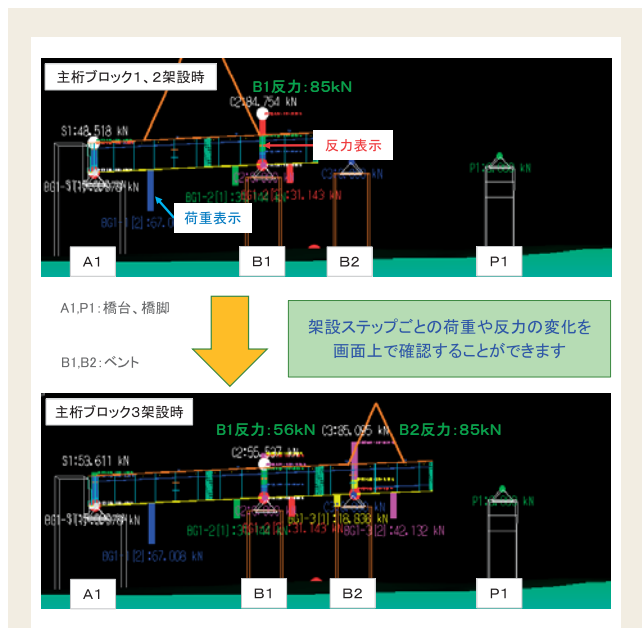


図4 荷重および反力表示例

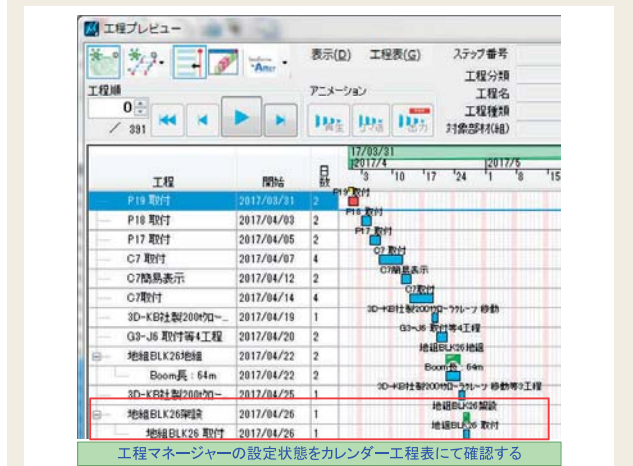


図6 架設工程表

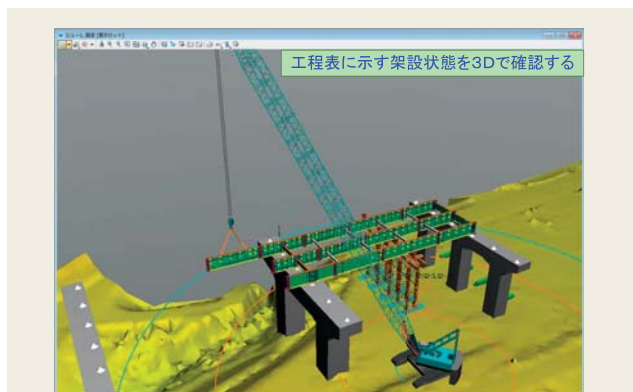
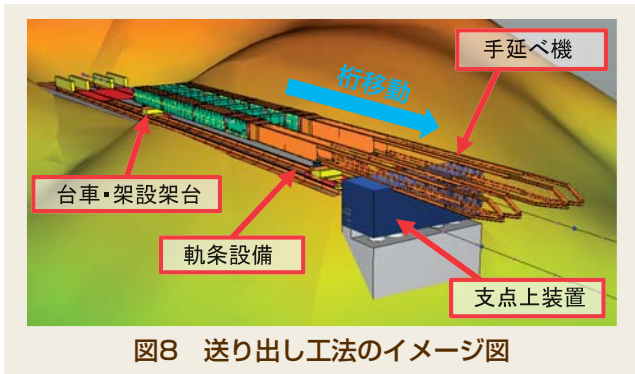


図7 架設ステップ図

4. Concertoの拡張機能

2017年度からはクレーンバント工法以外の工法に特有な施工計画に対応する開発を実施した。対象としたのは河川上や跨道条件で適用例の多い送り出し工法および、都市部で多い地上一括架設工法である。それぞれに対して開発したシステムを述べる。

4.1 送り出し工法 送り出し工法は谷や河川などの架設支間に隣接するヤードまたは既設桁上に橋梁ブロックを地組した後、手延機や複数の推進装置により所定の位置に移動させて架設する工法である (図8)。



送り出し工法は一般に図9に示すフローにて施工計画を実施するため、その支援として以下の項目の開発を実施した。

- (a) 送り出し範囲指示機能
- (b) 送り出し基線指示機能
- (c) 送り出し設備簡易モデリング機能
- (d) 送り出し工程作成機能
- (e) 送り出し反力・変位計算、表示機能

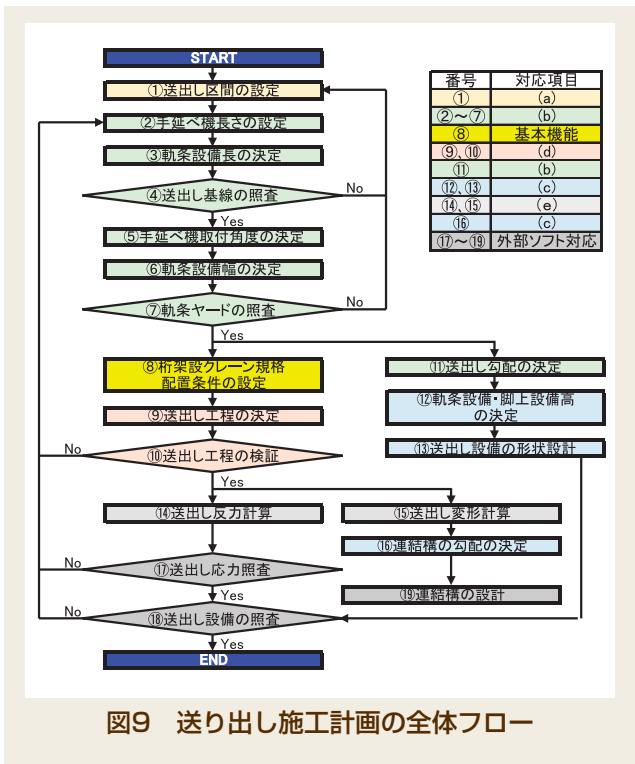


図9 送り出し施工計画の全体フロー

このうち、(b)~(e) について以下に述べる。

4.1.1 送り出し基線指示機能 送り出し基線とは桁を地組位置から所定の架設位置まで移動させた際の軌跡を示す。曲線橋の場合は、縦移動するごとに橋脚などの受点で横移動を伴うため、送り設備から桁が外れることがないように横移動を最小限に抑えた基線を設定する必要がある。2Dでの施工計画では平面図で様々な円軌跡を作成し、受け点位置のずれを測定する作業を実施していたため選定に時間を要したが、本システムでは3Dモデルを使用して円弧による最小二乗法解析から、所定の許容変位内での基線を短時間でリストアップすることが可能となった (図10)。また、選択した基線長から手延機や軌条桁などの設備長を決定する機能も作成した。

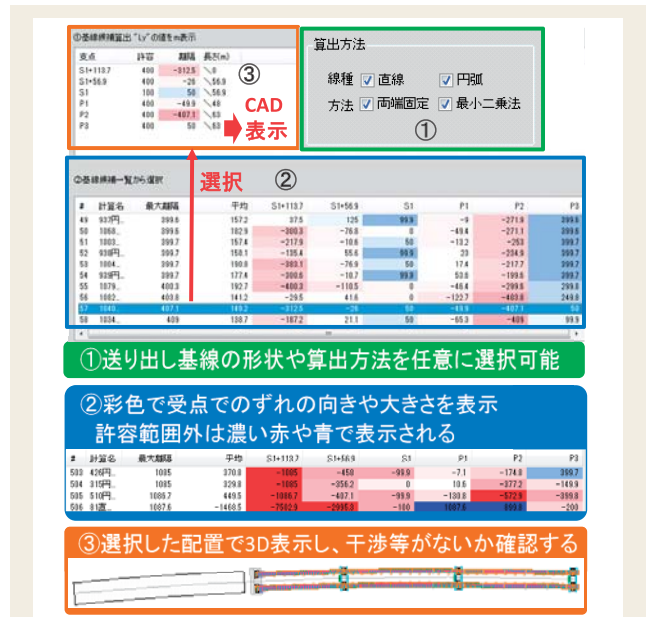


図10 送り出し基線指示機能

4.1.2 送り出し設備簡易モデリング機能 手延機とは、送り出し架設時の張り出し状態で主桁に作用する断面力を軽減するために、軽量かつ十分な剛性を有する梁材であり、連結構を介して主桁先端に取り付けられる。また、軌条設備は桁を地組するヤード等の上に設置し、レール上の台車により縦方向へ送り出し作業を担うものである。本システムでは前節で算出された必要長とCIMの桁情報から、それぞれの仮設備を自動的に簡易モデリングすることが可能である (図11)。

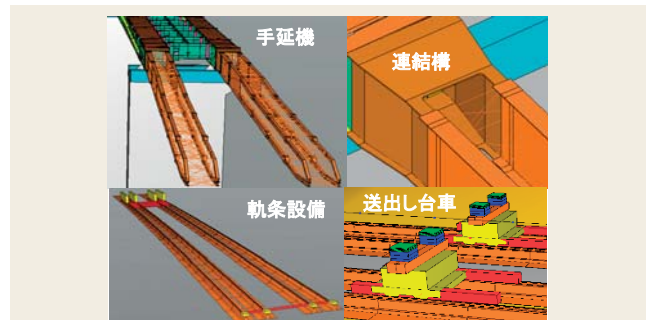


図11 送り出し設備簡易モデリング機能

4.1.3 送り出し工程作成機能 送り出し工法では決定した軌条設備上に組立可能な数の桁ブロックを順次地組する作業と、送り出し設備で桁を縦移動させる作業を交互に実施する必要がある。地組作業時では、先端の既設桁の片持ち状態を可能な限り小さくすることが望ましい。本システムではヤードやブロック条件から送り出し工程表を自動構築するとともに、必要地組桁数や各ステップでの送り出し長および台車位置などを自動算出することができる。また、工程表から3Dの送り出しステップシミュレーション図を作成して、干渉等の問題がないか確認するとともに、必要に応じて手動による工程調整もできる。これにより、効率的な送り出し計画の立案が可能である(図12、図13)。

4.1.4 送り出し反力・変位計算、表示機能 送り出し工法では軌条や橋脚上など複数の受点を設けている。そして、架設ステップごとに支持状態が変化するため、反力や変位等の算出では解析プログラムに個々に条件を入力する必要がある。手順を見直す際は計算作業をやり直す手間がかかっていた。そこで、過去に自社にて開発した骨組解析プログラム(FGR)とConcertoを連携させて、不静定構造における構造解析を容易に実施できるシステムを構築した(図14)。

本システムでは各架設ステップの桁状態や支点位置を3D工程モデルから自動的に抽出して解析モデルを構築するとともに、断面性能や自重などの自動計算により入力作業を大幅に低減することができる。また、解析した反力や変位の結果を3Dモデル上にグラフ化するとともに、前節のステップシミュレーションにて連続表示することで、送り出し時の状態を視覚的にとらえることができ、より安全性の高い施工計画が可能となった。

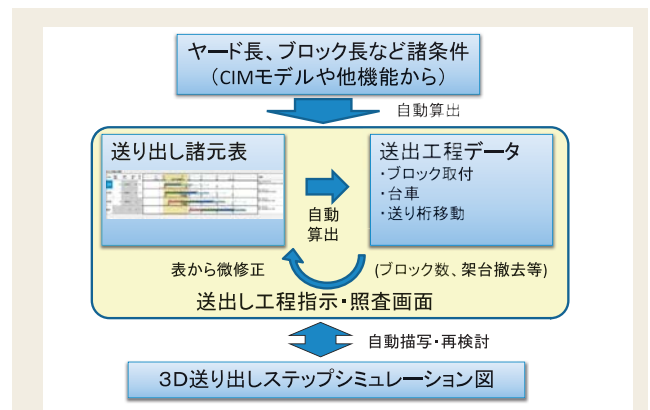


図12 送り出し工程作成のフロー

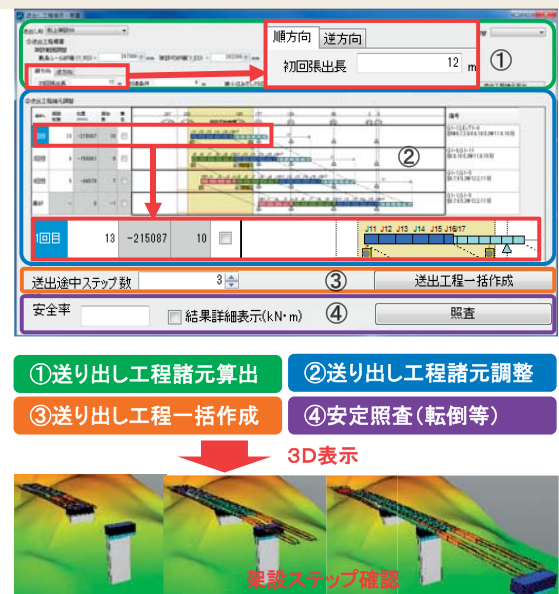


図13 送り出し工程作成機能

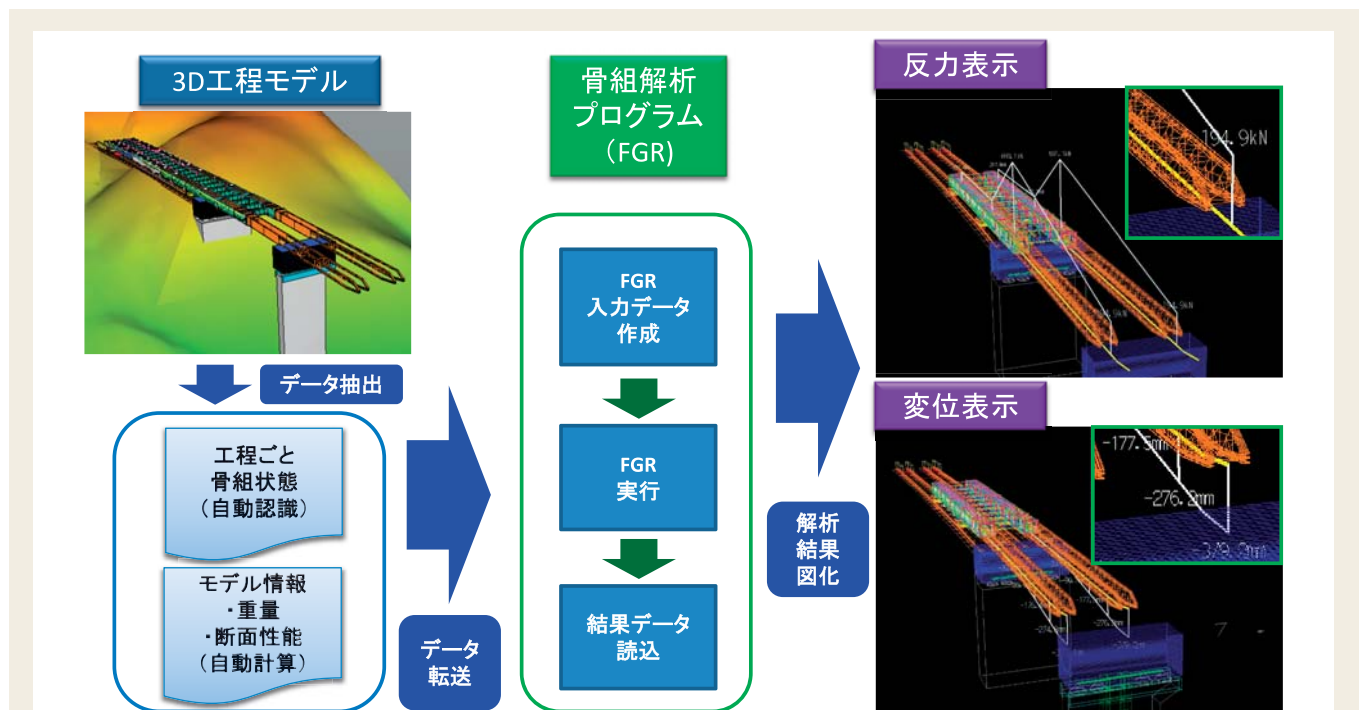


図14 送り出し反力・変位計算、表示機能

4.2 地上一括架設工法 橋梁架設における地上一括架設工法は架橋位置とは、別の場所にて橋梁の組立を行い、多軸台車等をベースとした移動ベントによって運搬・架設を行う工法である(図15)。従来は2D平面上で断片的な移動ステップ図を作成して移動時の干渉等の確認を行っていたが、立体的な干渉を把握するには別途断面図を作成する手間がかかるだけでなく、作図していないステップ間で生じる問題の把握は困難であった。そこで、本工法に対して以下のように計画時だけでなく施工時においても問題が生じていないか確認できるシステムを構築した。

- (a) 一括架設範囲指示機能
 - (b) 地組ヤード照査機能
 - (c) 移動ベント作成機能
 - (d) 移動シミュレーション機能
 - (e) GPSを利用したシミュレーション照査機能
- このうち、(c)～(e) について以下に述べる。

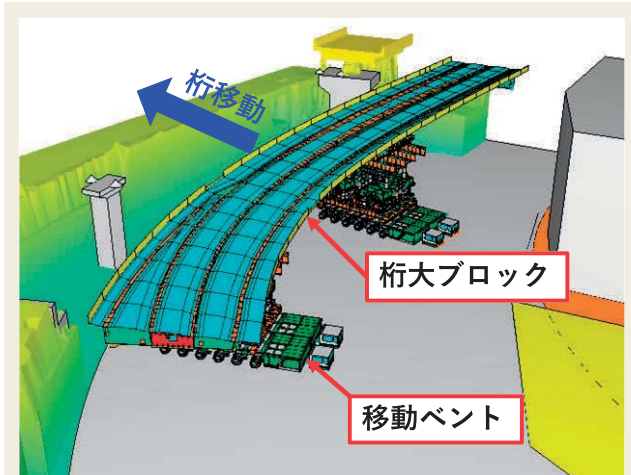


図15 地上一括架設工法のイメージ図

4.2.1 移動ベント作成機能 移動ベントとは、車両の連結により荷台の大きさや搭載荷重を変えられることができる全方向に移動可能な多軸台車をベースに、桁を支える上部梁部と台車に荷重を分配する基礎梁部および必要に応じて大ブロックを1~2m程度上下移動させることが可能なリフターを有する中間架台部からなる(図16)。移動ベントの大きさは架設場所の桁下空間長や受け点の支持状態および移動時の安定状態等を考慮して決定されるため、本システムでは、現場モデルから移動

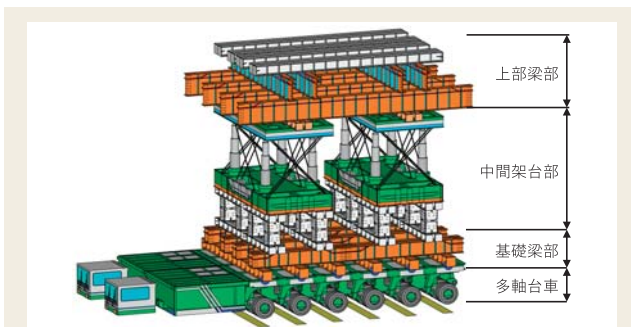


図16 移動ベントの構成

ベントの支持方法や構造高を決定し、安定状態を照査できる機能を開発した(図17)。また、登録されているパーツを利用してマクロ機能により容易に移動ベントの詳細構造の構築も可能である(図18)。

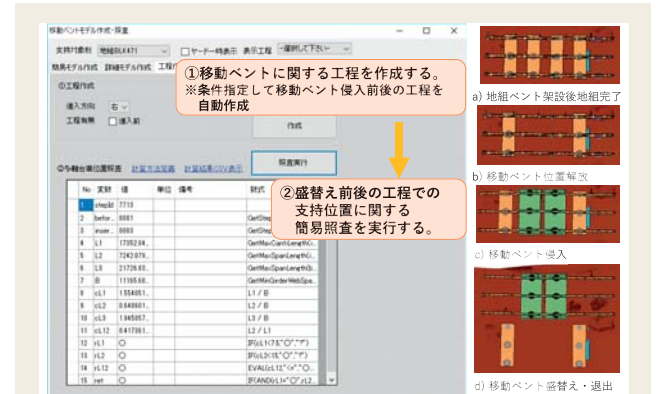


図17 支持状態における安定照査機能

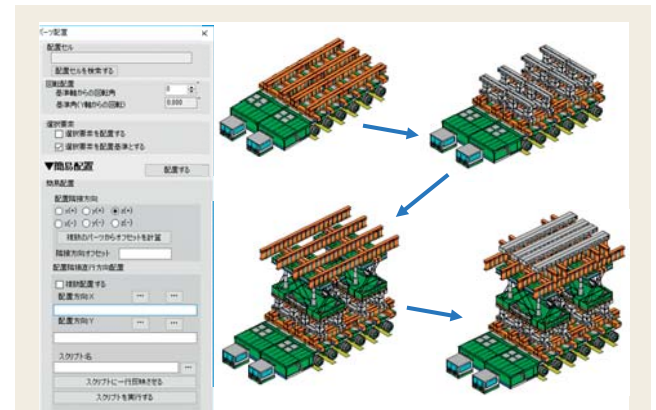


図18 移動ベントモデリング機能

4.2.2 移動シミュレーション機能 移動シミュレーション機能とは、桁の地組位置から設置位置までの移動ベントを含む桁の軌跡をアニメーションにて3D上で表示できる機能である。まず、桁の基準位置を設定して中継点を複数設置し、中継点間の多軸台車の動作パターンを決定する。パターンは通常車両と同じような前進・後進と多軸台車特有の斜行から選択でき、図19に示すようにベジエ曲線による経路補間の結果を連続表示することで、滑らかなアニメーションを作成する。この機能により移動中に周辺構造物との干渉や移動に要する経過時間等の確認を行うことができる(図20、図21)。

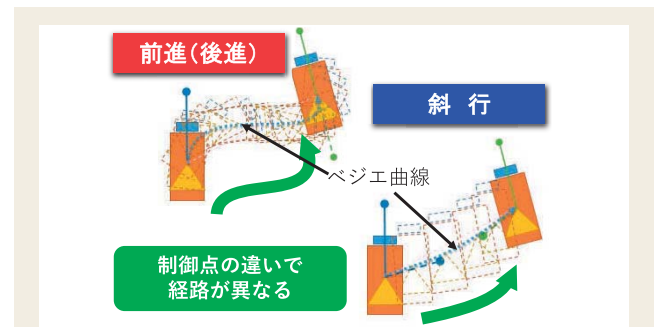
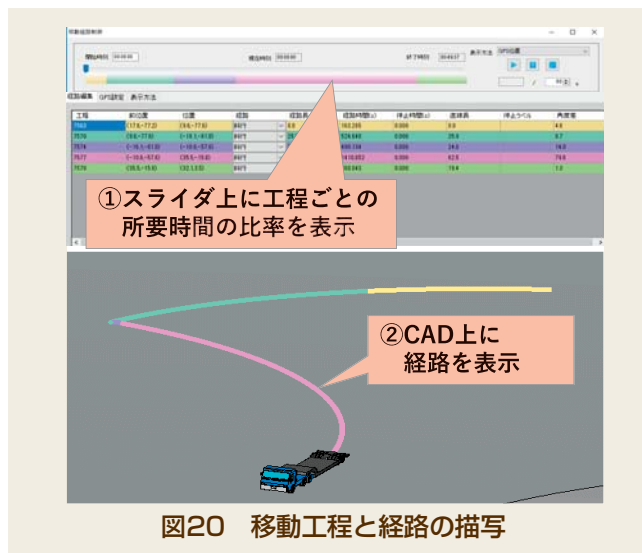


図19 動作パターン別の経路補間

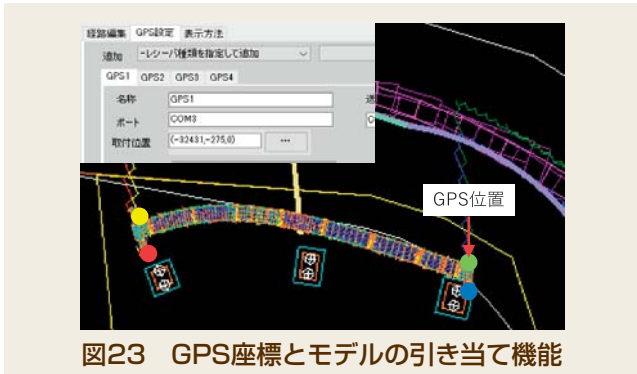


②GPSデータから3Dモデルの位置表示機能
 複数のGPS座標から3Dモデルの基準点位置と向きを特定し、3D仮想空間内に表示する(図23)。

③モデルの簡易表示機能
 桁の動きやシミュレーションとの同期を迅速化するための桁モデルの保存方法を改良した。

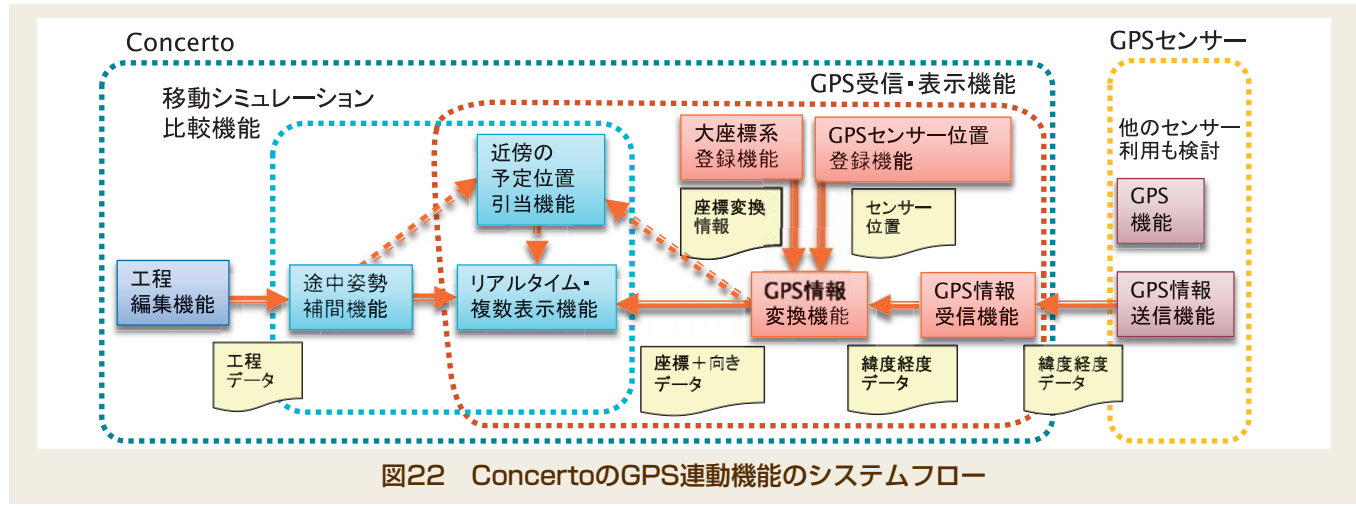
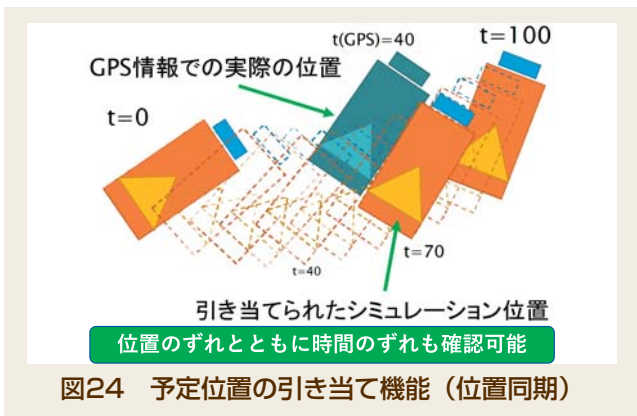
④予定位置の引き当て機能
 実際の位置との比較のため、計画時のシミュレーションの近傍位置および経過時間に相応するモデルを抽出して表示する機能を作成した(図24)。また、この機能を応用して現在位置から未来位置を予測する技術も開発中である。

本機能により、計画通りの施工が実施されているか確認できるとともに、将来的には送り出し工法開発で構築した反力算出機能と連動して反力管理も同時に可能なシステムとして構築する予定である。



4.2.3 GPSを利用したシミュレーション照査機能
 前節の移動シミュレーションが施工時に反映されているか確認するため、桁に取り付けたGPS受信機で得られた桁位置を3D内の桁モデルに反映し、計画時の位置とリアルタイムで比較できる機能を開発した。全体のシステムフローを図22に示す。そのための開発項目は以下のとおりである。

- ①複数のGPS受信機への対応機能
 ConcertoのベースソフトであるMicroStationでは1つのGPSしか対応できず、架設ブロックの向きなどが特定できないため、機能を拡張した。



5. 今後の課題

本システムは現在も開発中であり、今後も以下の機能等を追加する予定である。

- (a) CIMモデル変形対応機能
 - (b) VR/MR対応機能
 - (c) 属性情報対応機能
 - (d) 出来形管理対応機能
- (a) は効率的なプロダクトモデルを作成するために、(b) は現場施工状況をより把握しやすくするために、(c) はCIMモデルによる維持管理用のデータベース構築のために、そして(d) は現場施工の効率化のためであり、施工計画支援だけでなく工事全体の作業効率化を目指して開発を行っている。

6. 結 言

Concertoは国土交通省が求める橋梁上部工の施工計画における主要な検討項目にほぼ対応しており、独自に開発した各種の自動設定機能やチェック機能は作業の迅速化や安全性の向上を実現している。これにより複数の実施工事においてCIM試行工事として適用して、高い評価を得ているシステムである。また、**図25**に示す通り、当社では橋梁CIMに対して計画、設計、施工および維持管理の各段階で対応するシステムを開発および運用しており、相互の連携によりCIMモデルの有効活用と橋梁工事の効率化、高度化を図る計画である。

国土交通省では2019年度にCIMにおける複数の規定が公表され、本格的な運用が開始された。その動向に注視しつつ早期に橋梁CIMシステム(SCRuM)の完成および運用を実施する所存である。

参考文献

- 1) 岡村敬, 松下裕明: 橋梁CIMにおける3D施工計画システムの開発, Hitz技報, 2016, 77 (1), 27-32.

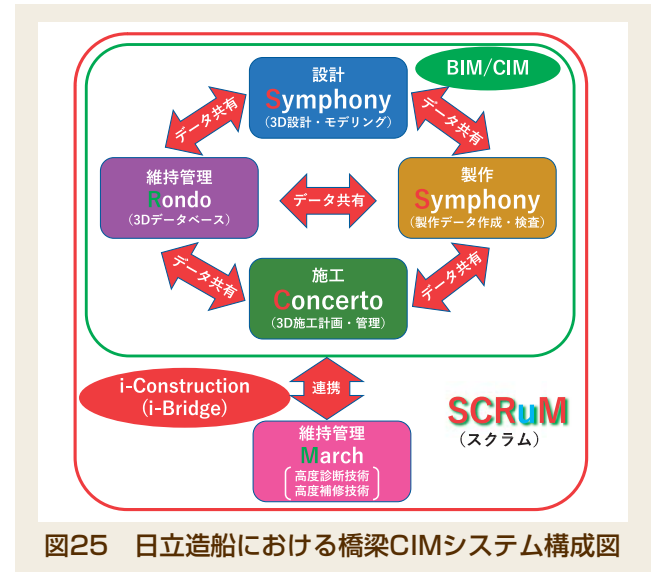


図25 日立造船における橋梁CIMシステム構成図

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 社会インフラ事業本部
鉄構・防災ビジネスユニット 橋梁設計部
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
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