

次世代の建設生産システムに関する基礎研究



田原 孝*



柳沼 謙一**



清水 満*

当社の建設・改良プロジェクトには、企画・計画段階から調査・設計・施工・維持管理まで多くの部署・組織が関係しており、プロジェクトの進捗に応じて、各段階で紙の図面をもとに部署間の業務引継ぎが行われている。各段階の引継ぎでは図面の加工に多大な時間を費やしているとともに、情報は部署ごとに分散して蓄積されているため、効率的な運用とは言えない状況である。

本研究では、関係する各部署が情報を共有し、企画・計画、調査・設計、工事施工段階から維持管理段階まで一貫した情報管理により、構造物の高品質化を図り、かつ効率的な運用をめざす「次世代の建設生産システム」の構築について検討し、その技術的課題を明らかにした。また、次世代の建設生産システムの構築に併せて、調査・設計段階における3次元モデルの導入についての検討を行った。

●キーワード：建設生産システム、3次元CAD、プロダクトモデル、3次元プラットフォーム

1. はじめに

鉄道事業における建設・改良プロジェクトでは、企画・計画段階から調査・設計、工事施工、維持管理段階に至るまで、多くの部署・担当者が関係している。プロジェクトの進捗に伴う業務プロセス段階ごとの関係者間の引継ぎは、主に紙の図面により行われ、また、データについては部門・系統ごとに個別に蓄積されている。そのため、現状の仕組みでは引継ぎを重ねるたびに情報が分散し、必要とされる情報が十分に流通していない場合があるなど弊害も発生している。

本研究ではこういった弊害を解消し、併せて業務の効率化、構造物の品質の向上を図ることをめざして、次世代の建設生産システムを考案した。同システムの定義づけを行うとともに、調査・設計段階の3次元モデル化について検討を行い、実現に向けての技術的課題を明らかにした。

2. 当社の建設生産システムの現状

鉄道建設工事に関係する部署は多岐に亘る。例えば駅部での建設工事では、直接的に携わるものとして、建築、土木、軌道、機械設備、停車場設備、電車線、電灯・電力、信号、通信、用地などが挙げられ、このほかにこれらの保守部門、間接部門も加わる。現在の建設生産システムでは、それぞれの部門・系統において独自にデータベースを構築してデータを保有し、紙の図面により管理・引継ぎが行われている。紙媒体は見やすい、書き込みやすい、持ち運びが容易といった利点があるものの、段階ごとに図面の加工・作成が必要で手間がかかるとともに、独立した媒体のため情報の流通・共有が難しいといった欠点もある。情報が十分でない

図面での施工は、構造物の品質の低下や手戻りを招く一因となる。その結果、設計段階で複数の図面間の取り合いの不整合に気付かず、施工段階になって初めて不具合が発覚し、現場で設計・施工を改めるといった事象も発生している。

また、プロジェクトに携わる要員は年々減少してきており、以前よりも少ない要員で品質を落とすことなく、これまでと同等の作業量をこなす必要があるため、手間隙のかかる作業の見直しや効率化が求められている。

そのため、施工の効率化、構造物の品質の向上を図るためには、現状の紙媒体を用いた業務を電子化により減少させ、併せて3次元化を行うことで2次元図面では見落としやすいディテールの明確化を可能にし、設計の精度を高めるとともに、情報を一元的に管理することで関係者間の情報共有を容易にする仕組みを構築する必要がある。そこで、ICTを活用して関係する各部署の情報を共有し、企画・計画、調査・設計、工事施工段階から維持管理段階まで一貫した情報管理を行う「次世代の建設生産システム」の構築をめざすこととした。その概要について、第4章で述べる。

3. 建設業界における動向

建設事業においては、国土交通省におけるCALS/ECアクションプログラム2008などで、情報の共有・連携、および構造物の品質確保が急務の課題となっており、その中で情報通信技術をいかに活用するかが検討されている。特に、3次元モデル設計（プロダクトモデル）と呼ばれる構造物全体を1つのモデルとしてとらえて、モデルに建設ライフサイクル上の必要な多くの情報を統合的に盛り込んだ設計手法に注目が集まっている。CALS/ECとは、「公共事業支援統合情報シ



図1 CALS/ECの概念

システム」の略であり、従来は紙で交換されていた情報を電子化するとともに、ネットワークを活用して各業務プロセスをまたぐ情報の共有・有効活用を図ることにより公共事業の生産性向上やコスト削減などを実現するための取り組みである。図1にCALS/ECの概念図を示す。電子入札、電子納品については整備が進んでいるが、現在の制度上の問題により3次元モデルの導入はなされていない。

建築分野ではすでに、BIM (Building Information Modeling) として、コンピュータ上の仮想空間に構築した3次元の建物のモデルにコストや性能、素材、管理情報といった属性のデータベースを追加し、建築物の設計、施工から維持管理まであらゆる過程をシミュレートしながら情報の活用を行っていく手法の実用化が進められ、国土交通省官庁営繕事業では2010年度より、基本設計段階でBIMを導入した設計の試行を開始している。図2にBIMの運用イメージを示す。

また、国土交通省は「地理空間情報活用推進基本計画」を発表し、地理情報システム (GIS) と衛星測位システム (GPS) の活用を通じ、誰もがいつでもどこでも必要な地理空間情報を利用でき、高度な分析に基づいた確かな情報を入手し、行動できる地理空間情報高度活用社会の実現をめざしている。つまり、行政、福祉や防災から産業までありとあらゆる情報がプラットフォーム上に一元的に管理され、基盤地図の位置を指標として情報が利用可能な社会へと向かっている。

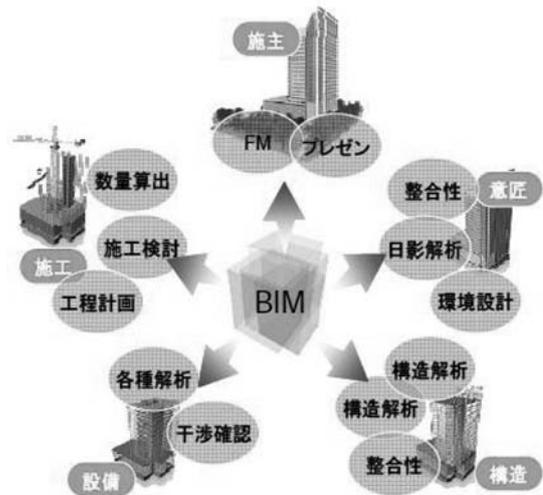


図2 BIMの運用イメージ

4. 次世代の建設生産システム

これから構築をめざす建設生産システムをイメージで示すと図3のようになる。次世代の建設生産システムは、従来は紙媒体で交換されていた情報を電子化するとともに、ネットワークを活用して部門・系統間、業務プロセス段階間で鉄道構造物に関する情報の流通、共有、連携を可能とする。また、地形、構造物の3次元モデルによる可視化を行い、これとデータベースとの連携を行うことで、企画、設計、施工、維持管理の情報を連携させ、完成形のイメージを各段階で視覚的に共有することで、施工前に設計、施工、および構造ディテール上の問題点を把握することを可能とする。さらに、一層の品質向上とコストダウンを実現するため、現地での品質管理、施工管理の高度化をめざして実施している技術開発の成果との連携が可能なシステムとする。これにより、鉄道構造物の高品質化、ライフサイクル全体の生産性向上などを実現することができる。

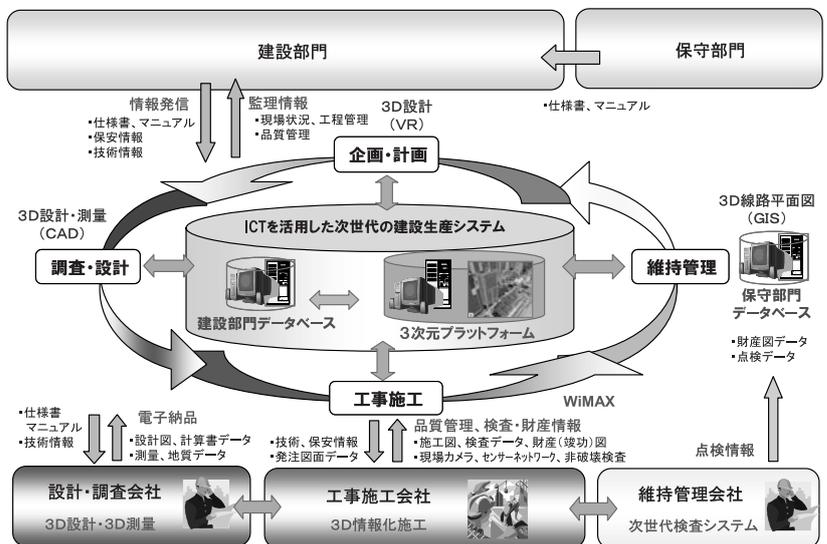


図3 次世代の建設生産システムのイメージ

以上から、次世代の建設生産システムの定義付けを行うと、次にあげる3つの機能を有する電子データシステムであると言うことができる。

- ①関係者間の情報の交換・連携によるコミュニケーションの円滑化
- ②企画・設計・施工・維持管理段階を通じた電子データの共有による利活用
- ③施工段階における情報通信技術との連携による効率化・高品質化

これらの機能ごとに、建設生産システム構築のために解決すべき課題とその方策について整理した。

4.1 関係者間の情報の交換・連携によるコミュニケーションの円滑化

(1) 建設部門・保守部門の連携

建設部門・保守部門にはそれぞれ独自のデータベースがあり、各々でさまざまな種類・形式の情報を保持しているが、設計図面などの他部門でも必要となる情報が多々あり、必要に応じて受け渡しを行っている。そのため、スムーズな情報交換を実現するためには、各部門のニーズを調査したうえで、部門間で共有すべき情報を整理し、部門を跨ぐデータベースを構築することが必要である。現在は新たなデータベースの構築に向け、仕様の検討とコンテンツの整理が行われている。

(2) 設計・施工会社との連携

設計・施工会社が発注者から必要とする情報としては、図面、基準、要領などがあげられる。図面については、発注段階で発注者から受領するものの、規程、要領などは随時見直しが行われるため、実施時には最新のものを入手する必要があるが、最新情報が周知されるまで時間を要する場面も生じている。そのため、発注者・受注者間の情報共有システムを構築し、タイムリーな情報交換を実現することが有効と考えられる。この点については、JR東日本では2010年度より、インターネットを介して仕様書、マニュアル、鉄道建設事故情報などを配信する「鉄道建設情報ポータル」サイト(図4)の運用を開始しており、順次システムの改良を行いながら受発注者間のコミュニケーションの円滑化が進められていく予定である。



図4 鉄道建設情報ポータル

4.2 企画・設計・施工・維持管理段階を通じた電子データの共有による利活用

(1) 3次元プラットフォームの構築

設計・施工上の図面や情報は紙媒体を中心に扱われ、一部が電子データとなっている。紙媒体のため、必要な情報が各業務プロセス段階でクローズされ、流通していない場合も多く、不具合を招く要因にもなっている。そのため、情報の完全電子化を実施するとともに、一元的に管理することができるプラットフォームを構築して、情報の共有を可能にすることが有効であると考えられる。プラットフォームについては、保守部門において、デジタル化された市街地図・線路平面図にキロ程・線路中心・駅・鉄道設備などを属性情報として付与し、図面管理と保守・資産台帳データベースの融合を図り情報共有を実現した3次元鉄道GIS(図5)が整備済みであることから、将来的な建設部門と保守部門のデータ連携を考慮して、3次元プラットフォームの構築を目指して検討を進めている。



図5 鉄道GIS

(2) 地形・測量データとの一体化

地形情報は3次元電子基盤情報の整備が進み、線路情報については3次元の電子線路平面図が導入され、測量の分野でも3次元測量が多く行われるようになってきている。しかし、こういった3次元の情報が設計、施工には活かされず、2次元へ変換して利用しているのが現状である。そのため、3次元モデル設計手法を開発し、3次元測量から、3次元設計、3次元情報化施工への流れを構築し、各業務プロセス段階で情報の利活用を可能とすることで、業務の効率化へと繋げることができると考えられる。3次元モデル設計への取り組みについては第5章に述べる。

4.3 施工段階における情報通信技術との連携による効率化・高品質化

現場における調査、施工、検査などの効率化、高品質化のニーズが年々高まっている。そのためには、調査、検査業務において、3次元レーザスキャナ、非破壊検査といった新技術の導入や、モバイル端末、ネットワークを活用した検査手法（図6）の導入による効率化、異なる組織間でプロダクトモデルを共有することによる品質の向上といった対策が効果的であると考えられ、新たな検査手法などについて現在検討を進めている。

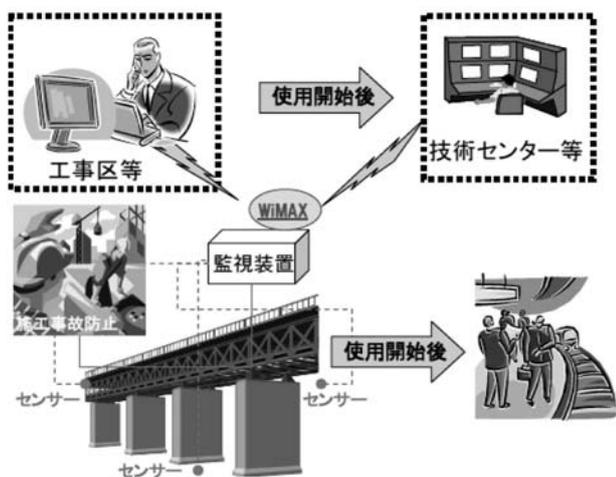


図6 ネットワークの活用例

5. 設計段階の3次元モデル化

建設生産システムにおける土木建設部門の設計段階を対象として3次元モデル化の検討を行った。対象構造物は、1径間の単純鋼床版桁橋で、鋼橋の設計、RC橋台・基礎構造物の配筋および外観について、汎用品の3次元CADを用いて3次元モデル化に取り組み、また参考のために、隣接する鋼床版ローゼ橋の外観についてモデル化を実施した。

5.1 上部工のモデル化

橋梁メーカーでは、製品を設計・製造するための3次元データに製品の生産工程に必要な情報を一体化させたものをプロダクトモデルとしている。今回、MicroStation V8 XM Editionを基本CADソフトとした橋梁プロダクトモデルシステムであるSymphonyを使用して上部工のモデル化を行った。このシステムは、3次元データの情報共有サイクルを構築しており、設計・原寸から野書・切断・孔明け・溶接、さらに仮組立までの一連の生産工程では、データの一元管理や情報共有が行なわれ、プロダクトモデルが情報伝達の媒体（メディア）となり、橋梁の計画から運用管理を通じた情報共有が実現されている。なお、今回のモデルは維持管理まで考慮する

ことを前提としており、設計図通りのモデル（完成形）を作成することとなるので、骨組みはキャンバーを考慮しないもので作成した。図7に3次元モデル化のフローを示し、図8～10に骨組み線モデル、オブジェクト、プロダクトモデルのそれぞれ一例を示す。

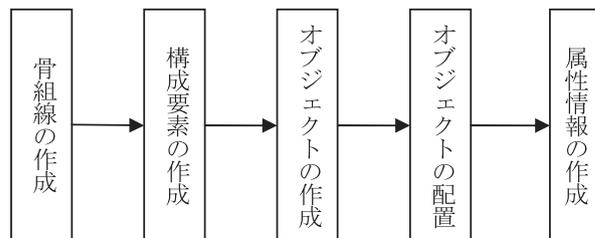


図7 上部工3次元モデル化フロー

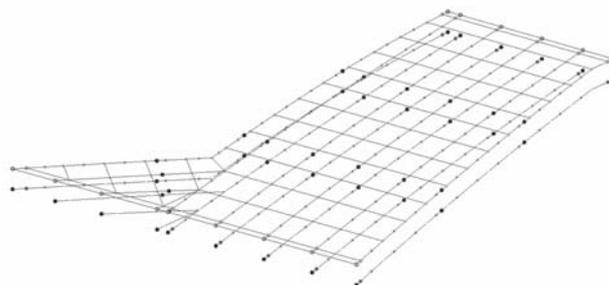


図8 骨組線モデル

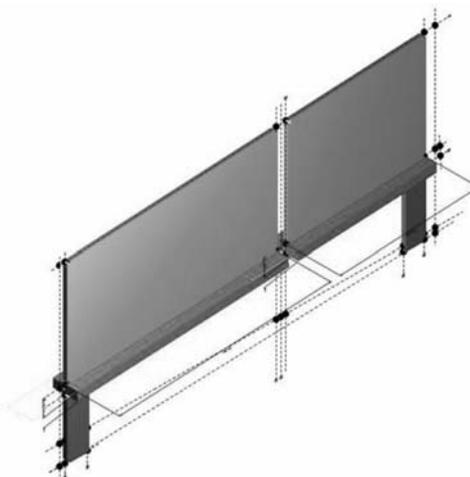


図9 オブジェクト

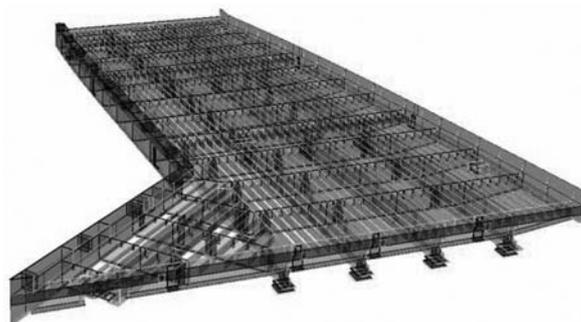


図10 橋梁プロダクトモデルの例

5.2 下部工のモデル化

下部工の3次元モデル化はRevit Structureを用いて行った。Revit Structure はBIMに対応して開発された3次元CADである。RC橋台の3次元設計としては、まず3次元モデルを作成し、図面は必要な断面を切り出して作成した。こうすることで設計変更があった場合でも、3次元モデルを修正することで切り出された図面へ変更は自動的に反映し、不整合の無い設計が行えることとなる。作成の流れは図11のとおりで、平面座標上にプロジェクト基点を設け、そこに高さ付加することで基準を設定した。構造体は任意の形状で作成した部材を結合することでモデル化し、配筋は構造体の断面図に平行または垂直に鉄筋を配置していくことで実施した。構造体の作成イメージを図12に、作成した3次元モデルの一例を図13に示す。

RC構造物については3次元モデルの作成後、Navis Worksを用いて鉄筋の干渉を確認した。Navis Worksは読み込んだ複数の3次元モデルの干渉をチェックする機能を有する施設施工シミュレーションソフトである。Revit Structureで作成したデータをNavis Worksに対応した形式で出力し、Navis Worksで干渉チェックを実行し、干渉箇所をRevit Structureで修正することを繰り返した。(図14)

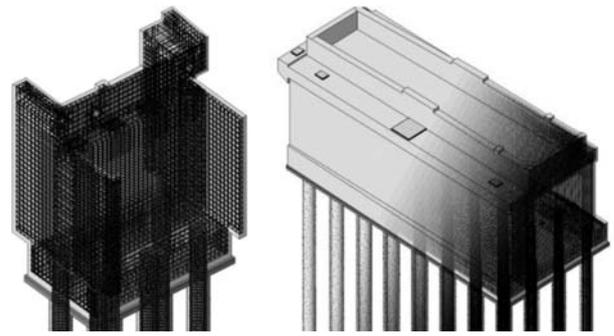


図13 下部工3次元モデル化の例

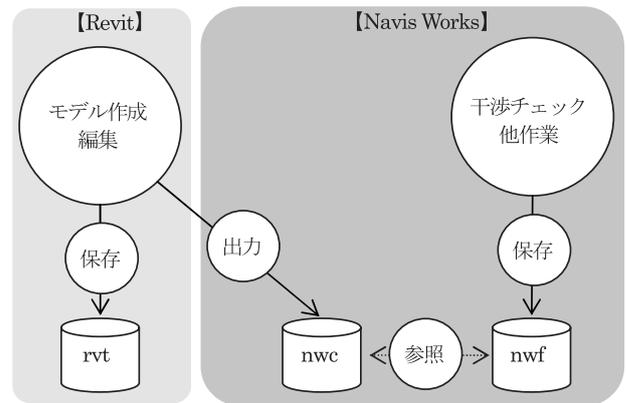


図14 干渉チェックの流れ

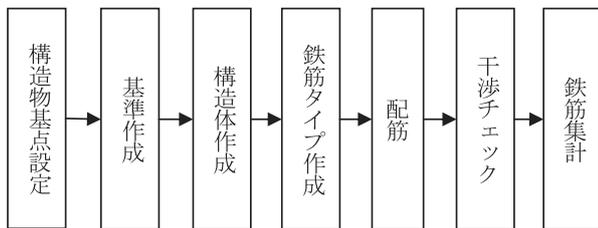


図11 下部工3次元モデル化フロー

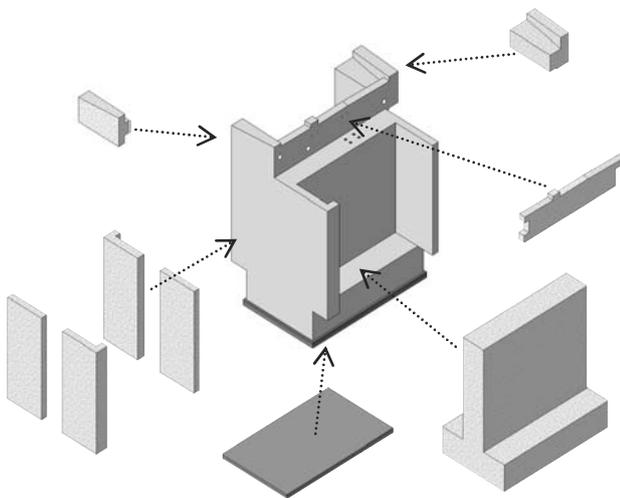


図12 構造体の作成イメージ

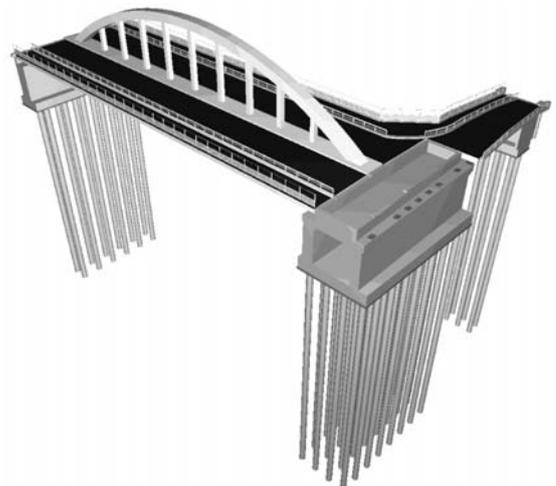


図15 一体化した3次元モデルの例

5.3 構造物の一体化

ここまで示したプロダクトモデルは複数のCADソフト (DGN形式、DWG形式) により作成したが、Navis Worksを3次元プラットフォームとして一体化した。その一例を図15に示す。

座標形式や属性などはソフトやファイルごとに異なるため、プラットフォーム上に単純にCADデータを取り込むだけでは一体化は出来ず、いくつかの変換や調整を経て一体化が可能となった。そのため、データ変換に伴うタイムロスやデータ抜けなどのリスクを軽減させるため、3次元モデル化の実施前にあらかじめ座標やスタイルなどのルール付けしておくことが重要であると言え、これにより生産性の向上へと繋がる。

6. 地形情報との一体化

JR東日本グループでは、地形データと航空写真真画像をもとに、任意に操作可能な擬似的な3次元表示による鳥瞰図を作成し、鉄道施設と周辺の地形状況の把握を容易にした電子線路平面図システム(図16)を導入している。この電子線路平面図システムに、今回作成した構造物の3次元モデルを挿入して、一体的な図面を作成できるか検証した。

まず上部工データと下部工データを一体化させたものと電子線路平面図情報の統合を行い、続いて標準の3次元地形プラットフォームへ配置を行った。これらの複数のファイルは、形式が異なるため、データ変換をし、属性情報を関連付けたうえで、Navis Worksを用いて一体化した。図17は線路平面図と構造物を一体化させた結果の一例である。

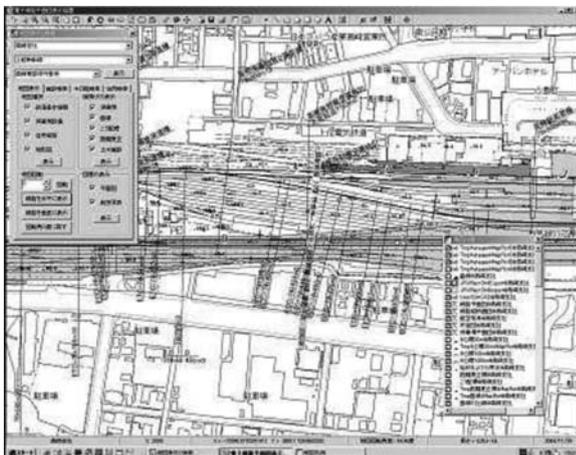


図16 電子線路平面図



図17 地形情報との一体化の例

これらの過程において、構造物モデルおよび線路平面図のデータともに容量が大きく、そのすべてを一体化に用いたNavis Worksに取り込むことが出来ないことが判明したため、データを対象構造物周辺の地形情報のみ限定して一体化を実施した。そのため、線路平面図システムに構造物の詳細な情報を反映させて運用するためには、データの軽量化の取り組み、大容量データに耐え得るソフトの整備が必要となる。

地形情報に構造物情報を落とし込む際には、線路方向、高さ方向ともに位置のずれが発生する。これは、地形情報はGPSをもとに世界測地系により作成されているため、厳密には球面体となっているのに対し、構造物は平面系で測量、設計されているため、球面と平面の形状の違いがずれへと繋がっている。任意の地点において、個別に構造物の位置合わせを行うことは可能であるが、7,500km以上に及ぶJR東日本の線路延長(営業キロ)全体と合致させることは困難であり、どのように整合を取っていくかが課題となる。

7. おわりに

次世代の建設生産システムの定義付けを行い、同システムの構築を推進するため、設計段階の土木構造物の3次元モデル化に取り組み、その課題を検討した。今後は、計画段階、施工段階に3次元モデル化の対象を広げていくとともに、建築、電気といった土木以外の系統や保守部門との情報交換・共有・連携を可能とする仕組み作りに取り組み、高品質化、効率化、コスト削減に繋げていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省 CALS/EC推進本部; CALS/ECアクションプログラム2008, 2009.3
- 2) 国土交通省 国土政策局; 地理空間情報活用推進基本計画, 2008.4
- 3) 経済産業省 商務情報政策局; 地理空間情報に関する政策パッケージ, 2008.7
- 4) 南波宏志; 施工段階におけるBIM(3次元データ)の活用について, 国土交通省関東地方整備局 平成23年度スキルアップセミナー関東論文集, 2011.7
- 5) 新井裕之, 宍戸敏, 成嶋信二; 製品モデル作成システム「シンフォニー」の紹介と実橋への適用について, 東骨技術報, No.49, pp.126~134, 2003