

I-24 プロダクトモデルによる PC 中空床版橋の 設計照査と概略積算の統合化

Integration of Conformance Checking and Estimation of
Prestressed Concrete Hollow Slab Bridges by a Product Model

矢吹 信喜¹ 古川 将也² 加藤 佳孝³ 横田 勉⁴ 小西 哲司⁵

Nobuyoshi Yabuki Masaya Furukawa Yoshitaka Kato Tsutomu Yokota Tetsushi Konishi

【抄録】橋梁のライフサイクルにおいて使用される解析、設計、積算等各種システム間のデータの相互運用を可能にするためには、3次元のプロダクトモデルを開発する必要があると考えられる。本研究では、まずPC中空床版橋を対象として、アプリケーションに依存しない3次元プロダクトモデルを提案し、XML (Extensible Markup Language) を用いて実装した。次に、PC中空床版橋の設計照査システムと数量計算・積算システムを開発し、これら2つのシステムと3次元CADシステムを、3次元プロダクトモデルを中心に統合化した。本システムを簡単なPC中空床版橋に適用させ、データ相互運用の効率化の検証を行った。

【Abstract】 In order to enable interoperability of various systems for analysis, design, estimation, etc., in the lifecycle of bridges, three dimensional product models are necessary. In this research, first, we proposed an application-independent 3D product model for prestressed concrete (PC) hollow slab bridges, and we implemented it by using Extensible Markup Language (XML). Then, we developed conformance checking and estimation systems for PC hollow slab bridges and integrated these two systems with a 3D CAD system by the 3D product model. We investigated the improvement of the efficiency by applying this system to a simple PC hollow slab bridge.

【キーワード】プロダクトモデル、3次元CAD、設計照査、積算、PC中空床版橋、XML

【Keywords】 Product model, 3D-CAD, Conformance checking, Estimation, Prestressed concrete hollow slab bridge, XML

1. はじめに

土木構造物の、計画、予備設計、構造解析、詳細設計、設計照査、積算、施工計画、施工管理、維持管理といったライフサイクルにおいて、各作業はコンピュータによって、概ねシステム化されている。しかし、各種システム間ではデータの互換性が低く、データを自動的に受渡しすることが困難で、手作業

によるデータ入力に頼らざるを得ない現状となっている。例えば、橋梁設計においてCADシステムによってモデリングを行っても、システム間でのデータの互換性が低いと、構造解析や設計照査に直接CADデータを活用することができない場合が多い。そのため、手作業による人為的ミスの発生、時間と労力の浪費等の問題が存在し、作業の効率化の妨げ

1 正会員 Ph.D. 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助教授 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1

TEL: 0143-46-5219 FAX: 0143-46-5218 Email: yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp

2 学生会員 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

3 正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所建設技術マネジメント技術研究室

4 オリエンタル建設(株) 第2技術部 部長

5 川田建設(株) 工事本部 技術部設計課 課長

となっている。このような非効率的な状況を打開するために、各種システム間において、容易にデータの受け渡しができるように、アプリケーションソフトウェアに依存しないデータフォーマットを開発することが必要だと考えられる。

現在、我が国の建設 CALS/EC の取り組みの中では、2次元 CAD データの交換用標準フォーマット SXF (SCADEC eXchange Format)¹⁾ が開発されているが、2次元 CAD データでは直線や円といった図形データの交換は可能なものの、梁や柱といった構造部材そのものを3次元オブジェクトとして取り扱うことは困難である。そのため、2次元 CAD データを設計照査や積算等のシステムへ入力しても意味のあるデータとして取り扱うことは難しいと考えられる。

従って、設計照査、積算、施工計画といった異なる作業間やアプリケーション間でデータを共有して飛躍的に効率性を上げるためには、3次元の製品データ、すなわち3次元プロダクトモデルが必要であると考えられる。我々は、オブジェクト指向技術に基づき、3次元の製品データを保有する3次元プロダクトモデルを用いて、図-1のように3次元プロダクトモデルを中心として、各作業システム間にコンバータを配置することにより、3次元 CAD システム、構造解析システム、設計照査システム、積算システム、施工計画システム、契約書システム、施工管理システム、維持管理システムが容易にデータの受け渡しが可能なシステムモデルを提案している²⁾。

3次元プロダクトモデルの研究や開発については、ISO の STEP (the Sandard for the Exchange of Product model data)³⁾ や IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry Foundation Classes)⁴⁾ 等によって行われており、機械、建築分野⁵⁾ 等では盛んであるが、土木分野での3次元プロダクトモデルの研究は一部の大学⁶⁾ や企業⁷⁾ において行われているものの、他の分野に比べて進んでいるとはいえないようである。

そこで本研究では、簡単な PC 中空床版橋の構造物データを3次元プロダクトモデル化し、さらに、3次元 CAD システム、設計照査システムおよび積算システム間でデータを運用する統合化されたモデルを構築し、データ運用の検証を行った(図-2)。

2. 3次元プロダクトモデル

本研究では、PC 中空床版橋を対象とした3次元プロダクトモデルを開発した。PC 中空床版橋とは、図-3に示すように床版部分にホロー管を埋め込むことにより、自重の軽量化を図っている PC 橋梁である。PC 橋梁の中では比較的好く使われる橋梁形式であるが、T 桁 PC 橋のような標準設計が確立されていないことから、本研究のデータ運用例として PC 中空床版橋を採用した。

3次元プロダクトモデルの記述言語はSTEPではEXPRESS 言語を使用しているが、本研究では、XML を使用した。XML の利点として①テキストファイルで扱いが容易であること、②タグを自由に決定できること、③書式が厳格であること、④階層構

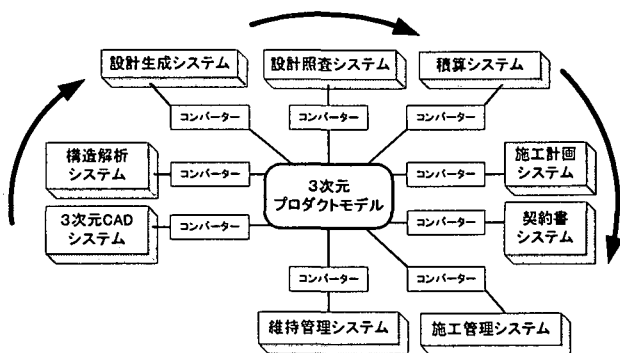


図-1 3次元プロダクトモデルを中心としたシステムモデル

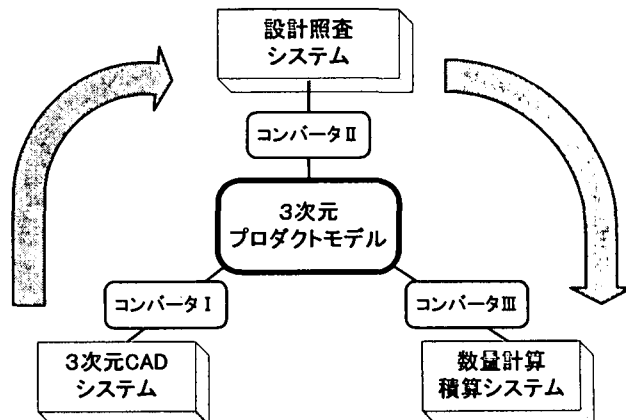


図-2 実際に運用するシステムモデル

造や属性の表現が可能であること、⑤データベースとしての検索が可能であること、⑥EXPRESS 言語への変換あるいは読み替えが可能であることなどが挙げられる。

PC 中空床版橋を 3 次元プロダクトモデル化するには、PC 中空床版橋をオブジェクトに分解して、表現する必要がある。PC 中空床版橋をオブジェクトに分解し、階層構造として表現したものを図-4 に示す。クラス PCHollowSlabBridge は、大きく Superstructure (上部構造)、Support (支承)、Substructure (下部構造) の 3 つのオブジェクトから構成されている。さらに、Superstructure は、HollowSlab (中空床版)、Cantilever (片持ち版)、WheelGuard (地覆)、Pavement (舗装) といったように PC 中空床版橋を構成するクラスごとに記述されており、それぞれ Length, Material といった各クラスの材料、形状等の Attribute (属性) を持っている。XML による 3 次元プロダクトモデルを Web ブラウザによって表示したものを図-5 に示

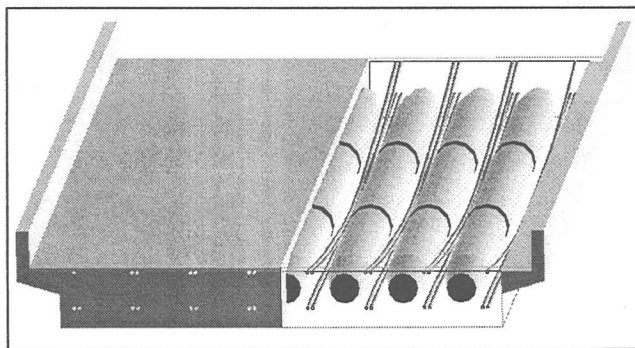


図-3 PC 中空床版橋の 3 次元 CAD イメージ

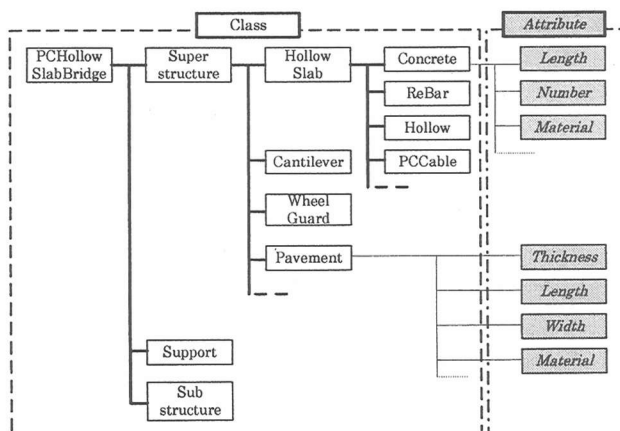


図-4 PC 中空床版橋のオブジェクト構成

す。

また、本研究では、3 次元プロダクトモデルの他に構造物の施工過程を示すプロセスモデルを開発している。プロセスモデルも 3 次元プロダクトモデルと同様に記述言語に XML を用いており、図-6 のように作業手順が記述されている。3 次元プロダクトモデルとプロセスモデルを同時に用いることにより 3 次元 CAD を 4 次元 CAD として動作させることが可能となる。すなわち、構造物の施工過程を時系列的にシミュレーションすることが可能となる。

3. 設計照査システム

本研究では、PC 中空床版橋を対象とした設計照査システムを、道路橋示方書・同解説⁸⁾に基づいて開発した。照査項目としては、詳細な照査項目やあらゆる場合をすべて網羅することが本研究の目的で



図-5 3次元プロダクトモデルの XML 表示

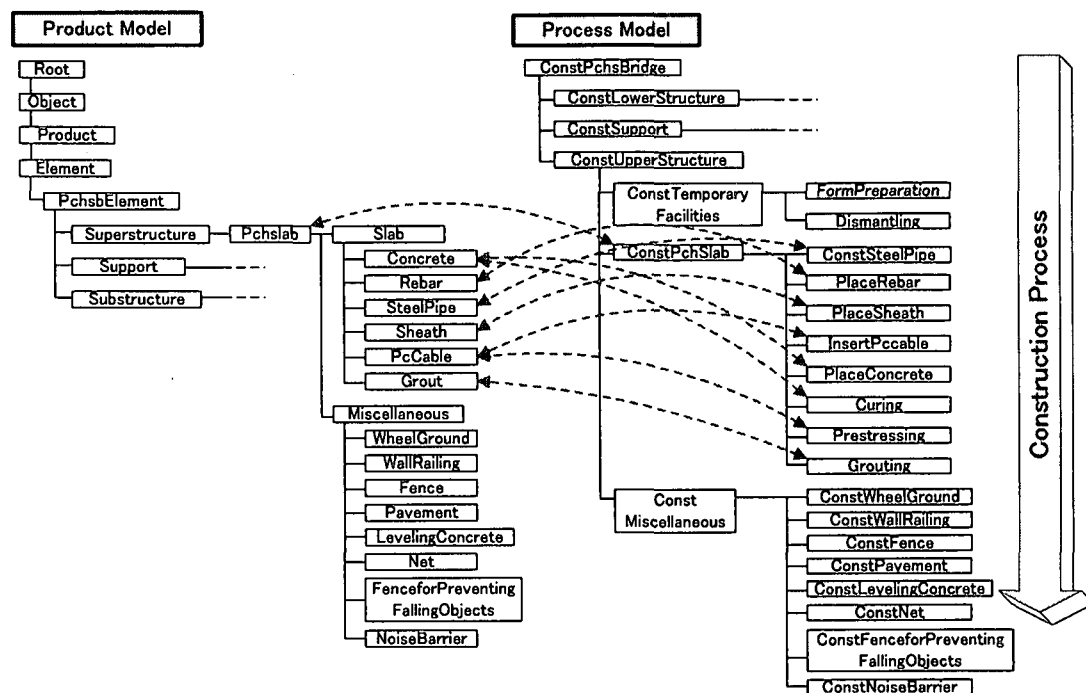


図-6 プロダクトモデルとプロセスモデル

はないため、直線単純橋の概略設計における照査レベルを念頭においてシステム構築を行った。

設計照査システムは、床版を片持ち床版部分および主版部分に分割して考えて（図-7）、設計照査を行っている。本研究で照査の対象としたPC中空床版橋の設計条件、断面形状および片持ち部分の詳細図をそれぞれ表-1、図-8、図-9に示す。

設計照査の手順を図-10に示す。まず、コンバータⅡによって3次元プロダクトモデルより、PC中空床版橋の構造物データを取得し、設計条件の決定を行う。次に、片持ち床版部分の照査を行い、その結果より主版部分の照査を行う。以下に片持ち床版部分と主版部分の設計照査手順の詳細を示す。

片持ち床版部分については、①片持ち部の全死荷重による曲げモーメントの算出、②外荷重としてB活荷重と風荷重による曲げモーメントの算出、③曲げモーメントの集計を行い、常時・衝突時・風荷重作用時の最大曲げモーメントと、桁端部の曲げモーメントを算出する、④常時換算断面と桁端部断面に分け、各断面条件である鉄筋量での応力度の算出、⑤許容応力度との比較、を行う。以上の作業により片持ち床版部分が設計される。

また、主版部分の照査手順については、①桁自重・

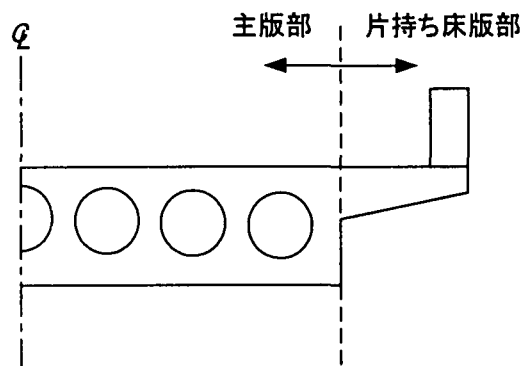


図-7 主版と片持ち床版

橋面荷重・活荷重について荷重強度を算出、②桁長を10等分した断面における断面力を算出、③総断面・純断面・PC鋼材換算断面について諸値を求め、主桁の断面諸値とする、④曲げモーメントと断面諸値を用いて、曲げ応力度を算出、⑤PCケーブルの有効プレストレス力を算出、⑥曲げ応力度と許容応力度を比較し、照査する、⑦終局荷重時の曲げ破壊安全度の照査、⑧せん断力および斜め引張り応力度の照査、を行う。

設計照査システムは、以上の作業を自動的に行い、照査結果をHTML形式のファイルに出力する（図-11）。

プログラム開発言語には、システムの更新・維持管理効率が良く、XMLと相性の良い、オブジェク

表-1 PC 中空床版橋の設計条件

形 式:	ポストテンション方式PC単純中空床版橋
橋 長:	24.500 (m)
桁 長:	24.440 (m)
支間長:	23.700 (m)
幅 員:	10.400 (m)

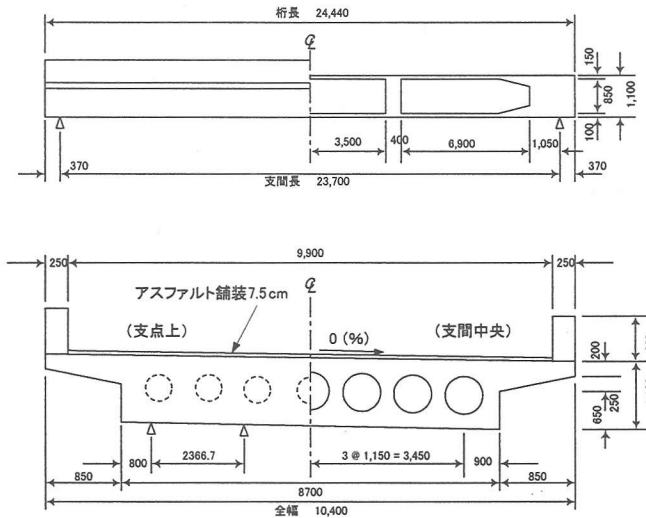


図-8 PC 中空床版の断面形状 (単位: mm)

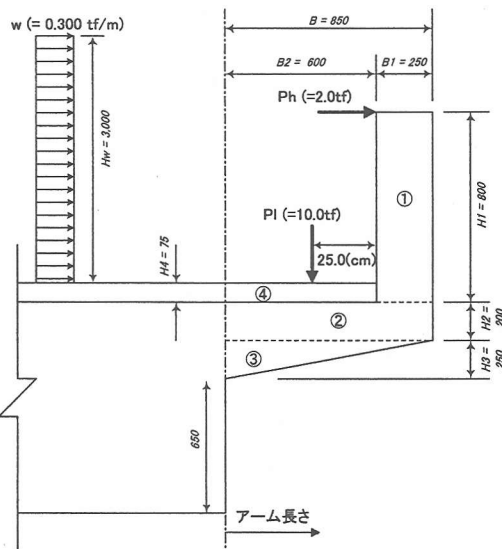


図-9 片持ち版部分の詳細寸法 (単位: mm)

ト指向プログラミング言語Javaを採用した。また、設計照査システムと3次元プロダクトモデル間のデータ運用は、XMLパーサをプログラム中に組み込みコンバータとすることで運用が可能となった。

4. 数量計算・積算システム

従来、積算を行う上で、ボトルネックとなっているのは、2次元の図面から頭の中で3次元の構造物イメージを描いて、体積や面積等の数量を計算する

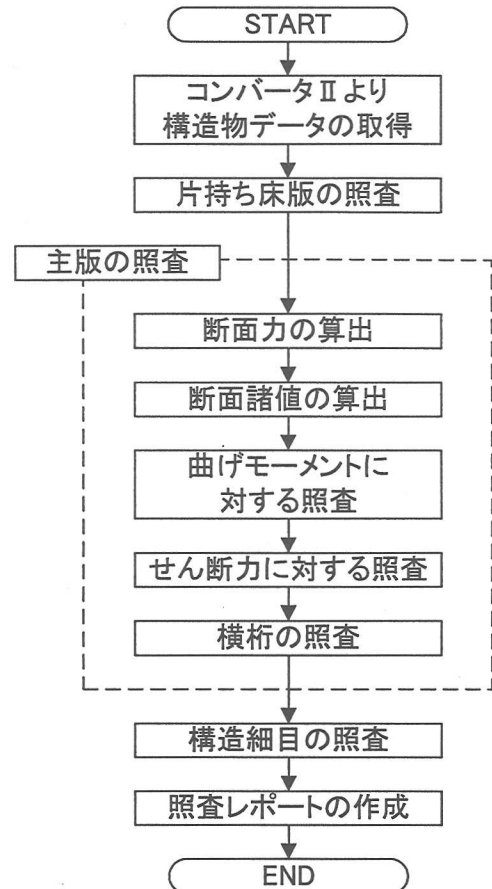


図-10 設計照査の手順

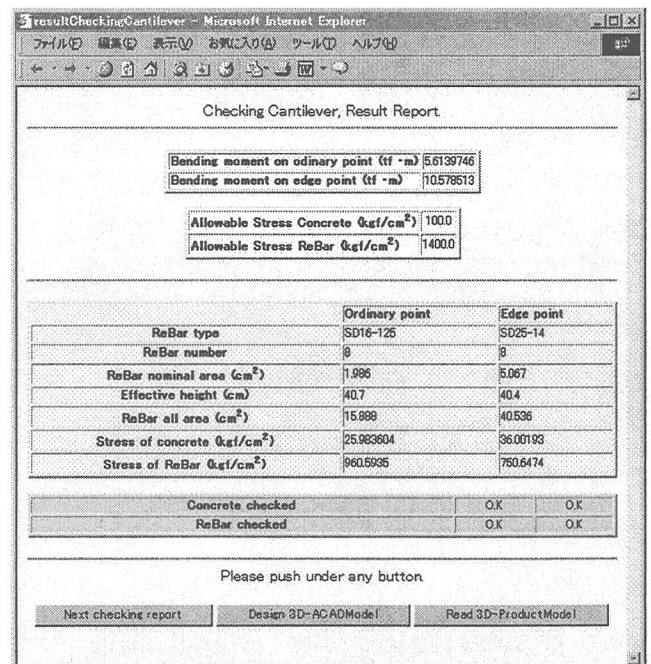


図-11 PC 中空床版橋の照査結果

作業である。数量計算は、時間と労力がかかり、ミスも犯しやすく、さらに工事費算定のミスに直結しているため非常に大変である。図面と数量との間のギャップを少しでも埋めるためには、3次元 CAD

システムのモデリングデータから直接数量を計算することが望ましいが、CAD アプリケーションに依存した数量計算システムは、ポータビリティの面から避けたい。そこで、3次元プロダクトモデルから数量計算を行うこととした。数量さえ求めれば、積算については、各種ソフトウェアが用意されていることが多い。

数量計算・積算システムは図-12に示すように、まず、3次元プロダクトモデルをコンバータⅢによって読み込み、得られたデータから数量計算を行う。数量計算としては、床版のコンクリート体積、床版型枠面積、ホロー管の長さ、床版鉄筋重量、PC ケーブル重量、シース長さ、地覆コンクリート体積、地覆型枠面積、地覆鉄筋重量、舗装面積、支保工空立米等を求め、値を集計し、積算部分に集計値を受け渡すという動作を行っている。

次に、単価表から必要な単価を取得し、コンクリート工、鉄筋工等の各作業工程の単位価格を算出することで、橋体工、支承工、支保工、橋面工の価格が得られる。これらの価格から直接工事費、間接工事費を求め、工事価格が算出される。数量計算・積算システムは以上の計算を自動的に実行する。例として、床版コンクリートに着目し、実際に数量計算・積算システムの運用例を図-13

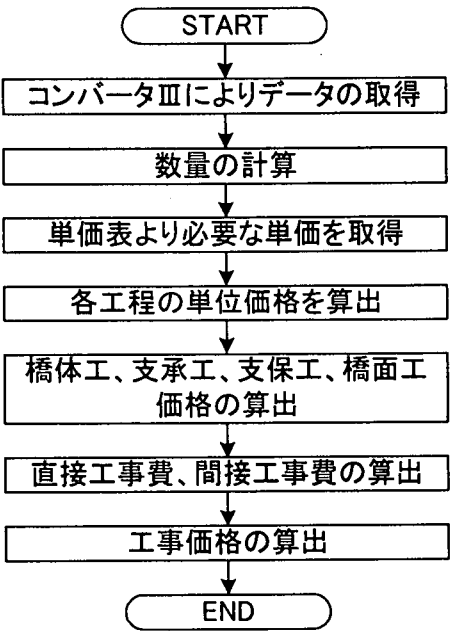


図-12 数量計算・積算の手順

コンクリート数量の代入

主桁製作工	単位	1本当り	全橋(1本)積	要
コンクリート $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$	m ³	183.98	183.98	
型枠 側枠、妻枠 円筒枠	m ²	317.9	317.9	
鉄筋 SD295(D13~D18)	t	19.68	19.68	
PC鋼材 SWPR7A12T-12.4mm	kg	4997	4997	
シース 主桁用φ65 横締め用	m	537.8	537.8	
面引き緊張 12S12.7B	ケーブル	20	20	
片引き緊張 12S12.7B	ケーブル	20	20	
定着装置 12S12.7B	組	48	48	

橋体工のコンクリート工の単価算出

単価 1-1 号表		コンクリート工(ブーム式90m3~110m3/h)		(10 m ³ /日)
名	種	規	格	単
地覆工		人	0.9	21,400
特殊作業者		"	0.6	17,500
型枠工		"	4.2	18,900
土工		"	0.2	18,200
骨組作業者		"	3.8	14,000
生コンクリート	36H-8-25 ブーム式	m ³	10.2	14,580
コンクリートポンプ車運搬費	90m3~110m3/h	h	0.5	12,920
原価費	上記計の14%	式	1	44,980
計				366,117

橋体工の工事価格の算出

内訳 1号表		主桁製作工		(1式/日)
名	種	規	格	単
コンクリート工	早強	m ³	183.98	36,611
鉄筋工		t	19.68	156,178
鉄筋工	主桁用鉄筋	"	18.04	243,958
円筒型枠工	φ900 標準型	m	147.0	12,801
PCケーブル工	2200kN(225)型 SWPR7A12	m	537.8	6,523
張設工(円引き)	2200kN(225)型	ケーブル	20	92,764
張設工(片引き)	2200kN(225)型	ケーブル	20	81,331
機械器具損耗		式	1	537
原価費		式	1	930
計				17,964,000

PC 中空床版橋の工事価格算出

ポストテンション方式PC中空床版橋 工事費総括表										
項目	名	種	規	格	単位	数量	単価	金額	備	考
直接工事費	橋体工		式		1			17,964,000	内訳 1号表	
	支承工		式		1			33,808,000	内訳 2号表	
	支保工		式		1			7,951,000	内訳 3号表	
	橋面工		式		1			65,416,000	内訳 4号表	
								125,139,000		
直接工事費計										
間接工事費	共通仮設費		式		1			15,216,000	12.16%	
	現役管理費		式		1			19,312,000	140,355,000：純工事費 13.76%	
間接工事費計								34,528,000		
工事原価								159,667,000		
一般管理費			式		1			16,765,000	10.5%	
工事価格								176,432,000		

図-13 コンクリートに着目した積算の流れ

に示す。数量計算部によって床版のコンクリート体積が算出され、橋体工のコンクリート工の単価が決定される。次に橋体工の工事価格が決定され、最後に工事価格が算出される。

数量計算・積算システムの積算部分については、Microsoft Excel 2000 によって作成しており、数量計算部分については、VBA (Visual Basic for Application) を用いて開発を行った。コンバータⅢについては、設計照査システムと同様に XML パーサをプログラム中に組み込むことで 3 次元プロダクトモデルの読み込みを実現した。

5. システムの統合化

本研究では、図-2 で示したように、3 次元 CAD システム、設計照査システム、数量計算・積算システムの 3 種類の異なる作業システムと 3 次元プロダクトモデルを統合化した。3 次元 CAD システムについては、AutoCAD2000i を使用し、コンバータⅠは、AutoCAD2000i に付属する VBA マクロ機能によって開発した。このシステムモデルを基に、PC 中空床版橋の 3 次元プロダクトモデルを実際に運用することでデータ運用効率の検証を行う。データ運用の流れを図-14 に示し解説する。

まず、3 次元 CAD システムによってモデリングを行い、コンバータⅠによって、モデリングされた PC 中空床版橋の 3 次元プロダクトモデルを生成する。次にコンバータⅡによって 3 次元プロダクトモデルから PC 中空床版橋のデータを抽出し、設計照査システムにデータを受け渡す。照査結果は、図-11 のように出力され、この例では、設計基準を満足している。設計基準を満足しているため、次のステップとして、数量計算・積算システムにコンバータⅢを通してデータを受け渡し、PC 中空床版橋の工事価格が算定される。

この例で明らかであるように、本研究でのシステムモデル中において、3 次元 CAD システムでモデリングされた PC 中空床版橋のデータを他の作業システムで運用する際にも、一貫して手作業による入力を行うことなく効率的にデータ運用が可能である

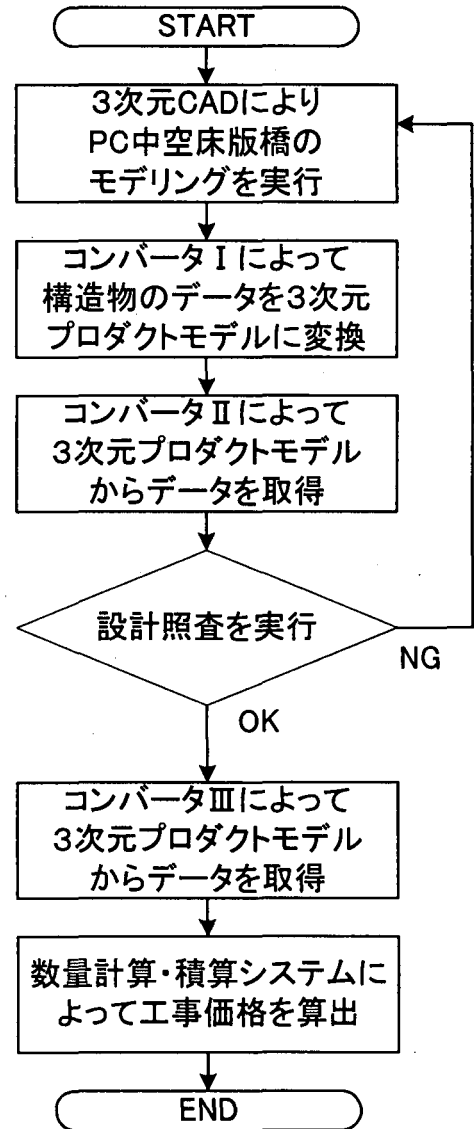


図-14 データ運用の流れ

ことを示している。

さらに、プロセスモデルを用いることにより、図-15 で示すように、3 次元 CAD 上で時系列的な構造物の施工過程を確認することが可能であり、実際に構造物を施工する前に施工シミュレーションをすることができる。そのため、事前に部材の干渉の問題の確認等に活用することが可能である。

6. おわりに

従来、設計照査積算システムは、特定の構造物毎に作成され、汎用的な構造物モデルや手法に立脚してこなかったため、一般性に乏しかった。本研究では、アプリケーションソフトウェアに依存しないプロダクトモデルに基づいて、3 次元 CAD、設計照

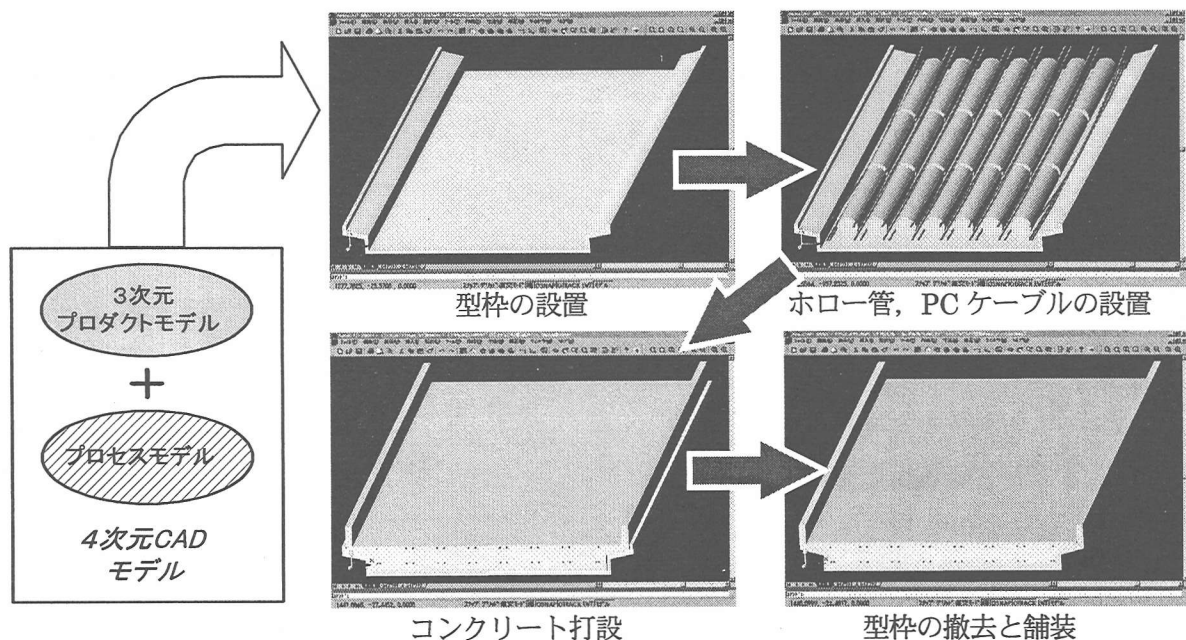


図-15 4次元CADモデルによる施工シミュレーション

査、数量計算・積算の3つのシステムを統合化することにより作業効率が大きく上がることを示した。

本研究では、設計照査システム、数量計算・積算システムおよび各システムと3次元プロダクトモデルとの間で必要なデータの受け渡しを行うコンバータを開発した。さらに、構造物データを効率的に運用するために、3次元プロダクトモデルを中心とする、3次元CADシステム、設計照査システムおよび数量計算・積算システムを統合化したシステムモデルを提案した。また、システムモデルに基づき、実際のPC中空床版橋を例として、データ運用の検証を行った。その結果として、3次元CADシステムによってモデリングされたPC中空床版橋の構造物データは、他のシステムにおいて、再度データ入力を行う必要なく効率的にデータ運用を行うことが可能となった。3次元プロダクトモデルを用いることで、各種作業システム間での効率的な構造物データの運用が可能となり、更なる労力、費用の低減に繋がると考えられる。

但し、本研究で開発したシステムは、簡単なPC中空床版橋の概略設計を対象としたプロトタイプシステムであり、詳細設計や斜橋等の場合には対応していない。今後は、さらに開発を進めていきたいと考えている。

謝辞：

本研究を遂行するに当たり、内閣府沖縄総合事務局開発建設部北部ダム事務所山下武宜所長、社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会の性能発注に関する検討委員会の皆様および当時室蘭工業大学建設システム工学科の佐々木貢君（現北海道庁）には、多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献：

- 1) <http://www.cad.jacic.or.jp/>
- 2) 矢吹信喜, 宮島良将, 志谷倫章, 岸徳光：統合化された鋼構造接合部の設計システムの構築, 土木学会北海道支部論文報告集, 第57号, pp.166-169, 2001.
- 3) Julian Fowler：STEPがわかる本, 工業調査会, 1997.
- 4) <http://www.interoperability.gr.jp/>
- 5) 古川暁, 他7名：IFC鉄筋コンクリート構造モデル仕様の提案の概要, 第23回情報システム利用技術シンポジウム論文集, pp.217-222, 2000.
- 6) 三上市蔵, 田中成典, 窪田諭, 石井由美子：インターネット技術を用いた橋梁の製品モデルデータベースの構築, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.511-522, 1999.
- 7) 宮下泰, 他6名：橋梁プロダクトモデルの開発, 日立造船技報, 第58巻, 第4号, pp.27-32, 1998.
- 8) 道路橋示方書・同解説, 日本道路協会, 1996.