

土木工事におけるプロダクトモデルの活用 — ICTおよびCIMの活用による施工の合理化への試み —

古 屋 弘 辻 奈 津 子 今 井 淳 一 郎
(本社土木本部) (本社土木本部)

伊 奈 啓 輔 中 野 孝 二
(本社土木本部) (東京本店)

Inflection of Product Model in Public Construction

Hiroshi Furuya Natsuko Tsuji Junichiro Imai

Keisuke Ina Koji Nakano

Abstract

Recently, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport has promoted information communication technology (ICT) construction in domestic public works, mainly earthwork and roadwork. A computerized construction technique was developed and adopted for earthwork. This technique was first used by Obayashi in the 1990s. In recent years, the validity of 3D design data models has been recognized. Based on the case studies of a construction management system for earthwork and the application of a shield tunnel using IFC, a system was built to manage the casting of temporary steel products and placement of concrete using 3D data for water treatment plant construction. This paper reports on the usefulness of the data exchange from the inflection between the product model and realization of rational construction management.

概 要

近年、国土交通省では、土工・道路工事を中心にICTを導入しつつあるが、大林組では、土工関連で1990年代から情報化施工技術の導入を図っている。最近では、情報化施工はICTツールの施工への適用のみならず、設計データモデル自体の有効活用へ広がりつつある。筆者らは、これまでに「土工管理システム」や「シールド工事へのIFCの適用」など、土木工事におけるプロダクトモデルの活用を積極的に行ってきた。これらの実績を基に、浄水場工事において、仮設鋼材の管理、構造物のコンクリート打設管理、設計図書の3次元化等を組み合わせ、CIMの目指すデータ交換と、現場で活用できるシステム構築を行った。プロダクトモデルの活用によるデータ交換は、施工においても有用であり、合理的な施工管理が実現できる事が分かった。

1. はじめに

我が国の土木施工における情報化施工は、近年では計測や機械施工の分野で数多く使われるようになった。この背景には、各種センサや解析に用いるPCの高機能化、無線LANを含む通信ネットワークの普及とその高速化、GNSS(Global Navigation Satellite System)をはじめとする測量機器の普及と一般化、3D-CADの普及とそれらを用いたアプリケーションの多様化など、情報化施工を支える基盤技術の進歩によるところは大きい。

これら進展は、国土交通省が2008年度からは開始した「情報化施工推進戦略」¹⁾により、ICT(Information Communication Technology)の積極的な活用が推進されたことが大きく影響している事は間違いない。さらに、2012年からはICTの活用を基盤として、建築で実績を上げつつあるBIM(Building Information Modeling)を土木分野に拡張したCIM(Construction Information Modeling)も推進され²⁾、3次元データを用いた新たな情報化施工が始まりつつある。

このような建設を取り巻く環境の変化の中で、筆者らは、土工関連で1990年代から情報化施工技術を開発し、現場適用を行っている。これまでにICT関連の要素技術としては、「 α システム」³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾、「車両トータル運行管理システム」⁷⁾、「マルチホップによるリアルタイムモニタリングシステム」⁸⁾などを開発・実用化してきた。2000年以降は、要素技術に加えデータモデルの活用という観点から、「3Dプロダクトモデルを用いた土工管理システム」⁹⁾、「シールド工事における3次元プロダクトモデルの適用実験」¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾を経て、仮設鋼材の管理、構造物のコンクリート打設管理、設計図書の3次元化等を組み合わせ、CIMの目指すデータ交換と、現場で活用できるシステム構築の試行を実施した。

本論文では、プロダクトモデルの有用性と、その活用におけるデータ交換に関して論じ、効果を検証した結果を報告する。

2. 情報化施工の変遷

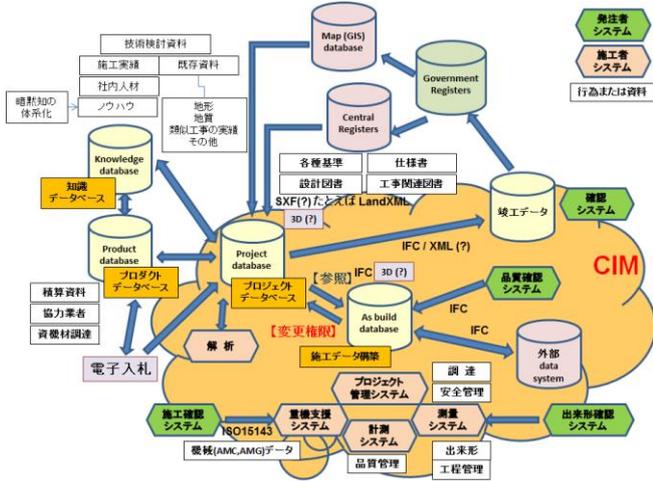


Fig. 4 CIMのデータ交換と3次元データ活用のイメージ
Outline of Data Exchange and the 3-dimensional Data Inflection of 'CIM'

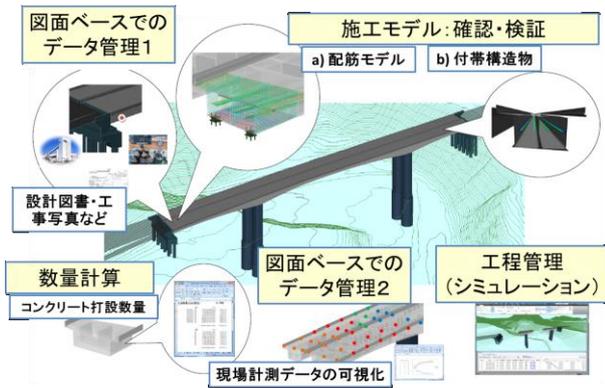


Fig. 5 橋梁工事におけるデータモデルの活用例
Inflection Example of the Data Model in the Bridge Construction

を用いたプロジェクト管理よりも多岐にわたることが予想される。CIMの基本的な概念をFig.3に示す。3次元データの活用とプロダクトモデルはFig.4に示すように密接に関係する。CIMは、調査・設計データに施工中の数々の情報を付加し、施工中は工程・品質などの管理や資機材調達支援を円滑に行い、納品後の維持管理にもこれらの情報を生かそうとするものである。

CIMの試行においては、作業員ならびに近隣住民との可視化による合意形成や、施工シミュレーションによる不具合・不整合の事前チェック、数量計算などに活用され、成果が報告されている (Fig.5参照)。今後はプロダクトモデルとして、施工中の工程や原価管理にも活用されることは容易に想像できるが(4D,5D管理)、さらに、他のアプリケーションとのデータ交換もXMLやIFC(Industry Foundation Class)¹⁴⁾を用いて実施され、建設プロジェクトの変革が期待されている。

4. プロダクトモデルの施工への適用

本章では、シールドトンネル工事と浄水場工事における

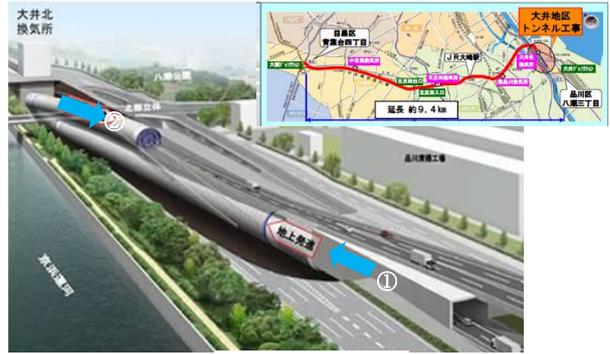


Fig. 6 現場概要 (適用現場(1))
Summary of the Job Site

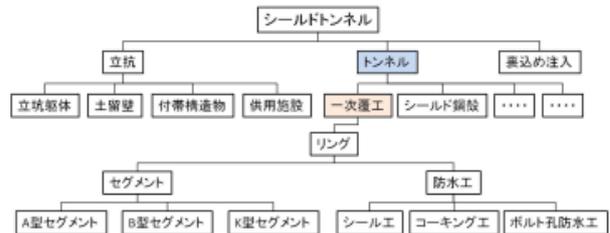


Fig. 7 概念的プロダクトモデル
Conceptual Product Model of Shield Construction

プロダクトモデルの利用事例について記述する。適用現場は(1)東京都品川区の中央環状品川線大井シールドトンネル工事, (2)山口県下関市長府浄水場排水処理施設築造工事, の2箇所である。

4.1 シールド工事への適用 (事例(1))

ここで紹介する事例は、プロダクトモデルそのものが土木工事に適用可能であるかの判断と、アプリケーション間のデータ交換の実験、および施工に適用した場合の活用範囲の検証を実験的に試みたものである。

中央環状品川線大井シールドトンネル工事は、東京都品川区の中央環状品川線大井地区の大井ジャンクションから大橋ジャンクションまでの延長約9.4kmのトンネル工事である。今回は、そのうちのFig.6のような①上りの大橋方面(長さ:550m)と②下りの大井方面(長さ:336m)のトンネルを対象とした。

元来プロダクトモデルは、機械分野を主対象として国際標準が規定化されてきた。建築分野では、buildingSMART (旧 IAI : International Alliance for Interoperability) がIFCを規定化している。IFCとは、IAIによって定められ、建築分野の要素 (梁や柱等) や設計、施工、維持管理等を規格化したものである。土木分野においてもIFCに準拠し、道路や橋梁のプロダクトモデルの開発がなされている。さらに、現在、シールドトンネルについても研究開発が試みられている¹⁵⁾。Fig.7は開発されたシールドトンネルの概念的プロダクトモデルの一部である。概念的プロダクトモデルで定義されている要素は多岐に渡り、ツリー状に表記されている。例えばトンネル要素に着目すると、トンネルというメインクラス

```

Revit Export Layers
# Map Categories and Subcategories to layer names and color numbers
# Category <tab> Subcategory <tab> Layer name <tab> Color number <tab>
# Out layer name <tab> Out color number
# Do not remove the colon (:) after certain category names.
-----
Air Terminals IfcAirTerminal
Area Polylines Not Exported
Area Tags Not Exported
Areas IfcSpace
Cable Tray Fittings IfcCableTrayFitting
Cable Trays IfcCableTraySegment
Callouts Not Exported
Casework IfcFurniture
Casework Tags Not Exported
Ceiling Tags Not Exported
Ceilings IfcCovering
Ceilings Surface Pattern IfcCovering
Color Fill Not Exported
    
```

Fig. 8 セグメントのマッピングファイル
Mapping File of the Shield Segment



IfcBuildingElementProxyとは
IfcBuildingElementを継承、未定義の構造物要素を表現する場合に使用される。
IfcBuildingElementとは
構造物を構成するすべての要素に対して共通の属性を定義する。

Fig. 9 RevitStructureでのスキーマの代用
Substitute of the Schema in RevitStructure

と、一次覆行等のクラスで表記されている。これらは Fig.7に示すように構造化され、それぞれのクラスは個別に施工履歴や計測データとの対比を行う等の利用法も考えられ、工程管理やモニタリング、工事資材の管理など工事管理の高度化が期待される。

4.1.1 IFC適用の課題 開発されたIFCシールドのスキーマは、現状では土木構造物の要素であるため、既存の建築などで活用されているIFCの規格で定義することはできない。したがって、概念的プロダクトモデルを考慮しつつ、IFCの既存スキーマを拡張、もしくは代用する必要がある。

4.1.2 課題の解決方法 IFCの利点は、形状モデルに対して構造化による情報の付加が行えることにある。例えば、Fig.8は、IFCによるセグメントモデルのプロパティである。横幅Hや曲率Aのパラメータを定義し、任意の値を入力することで、3次元モデルに反映される。さらに、識別情報として、製造元や価格等のパラメータを定義した。

セグメントは土木構造物であるため、IFCファイルに出力する時は既存のIFCスキーマで代用しなければならない。その際に、Fig.8、およびFig.9のようなIAI標準に基づいた新しいマッピングファイルを作成する必要がある。

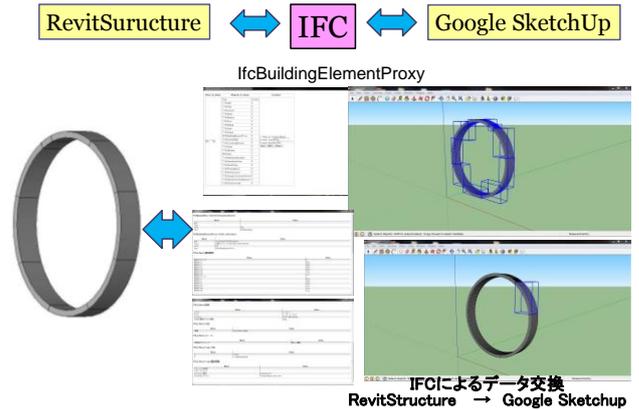


Fig. 10 IFCによるデータ交換
RevitStructure → Google SketchUp
Data Exchange using IFC Schema

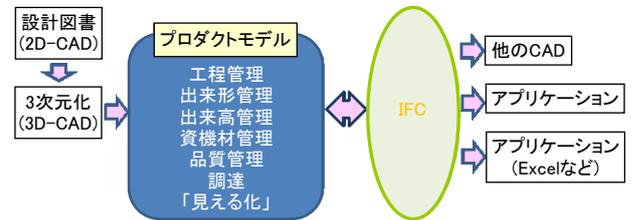


Fig. 11 IFCシールドがもたらす機能
The Function of using IFC Shield Schema

図の左列がモデルカテゴリを表わしており、Fig.8がIFCシールドのマッピングファイルであるが、コメント行の下に記載された右列がIFCエンティティ名を表わしている。今回は、IfcBuildingElementProxyを用いて概念的プロダクトモデルの当該属性を代用した。これは、オブジェクトタイプが不明である場合のIFCの汎用データとして用いられる要素である。

IFCシールドがCADソフト等に実装されることが望ましいが、ユーザの数が少ないとこの実装は難しいと言える。しかし、IFCシールドのスキーマは工事管理において有用なスキーマであることから、当面は建築で使われるIfcBuildingやIfcBeamのプロパティを代用することで、IFCシールドのスキーマの活用を図るべきであると考える。

4.1.3 IFCによるデータ交換 異なるアプリケーション間でのデータ交換が行える点も、IFCの重要なメリットである。今回の重要な検証要件である、データ交換を、モデル作成を行ったAutodesk社のRevit StructureとGoogle SketchUp間で実施した。データ交換に関しては、前述したIfcBuildingElementProxyを用いてFig.7に示すファイルをRevit Structureから出力し、Google SketchUpによって読み込むこととした。読み込みは各セグメント毎に行い、それらを合わせることでFig.10に示すように、3次元データを再構築することができた。

4.1.4 プロダクトモデル利用の効果 今回の実験では、Autodesk社のNavisworksを利用して工程管理のシミュレーションも行ったが、このデータをXMLを介して

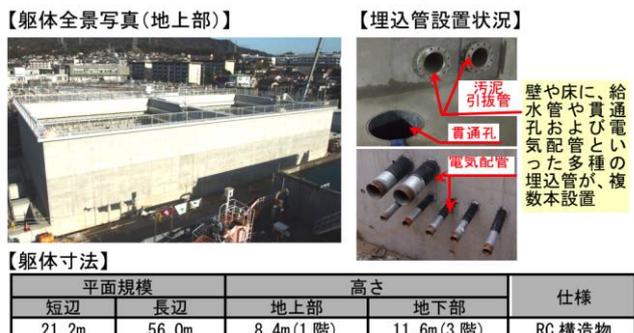


Fig. 12 現場概要(適用現場(2))
Summary of the Job Site

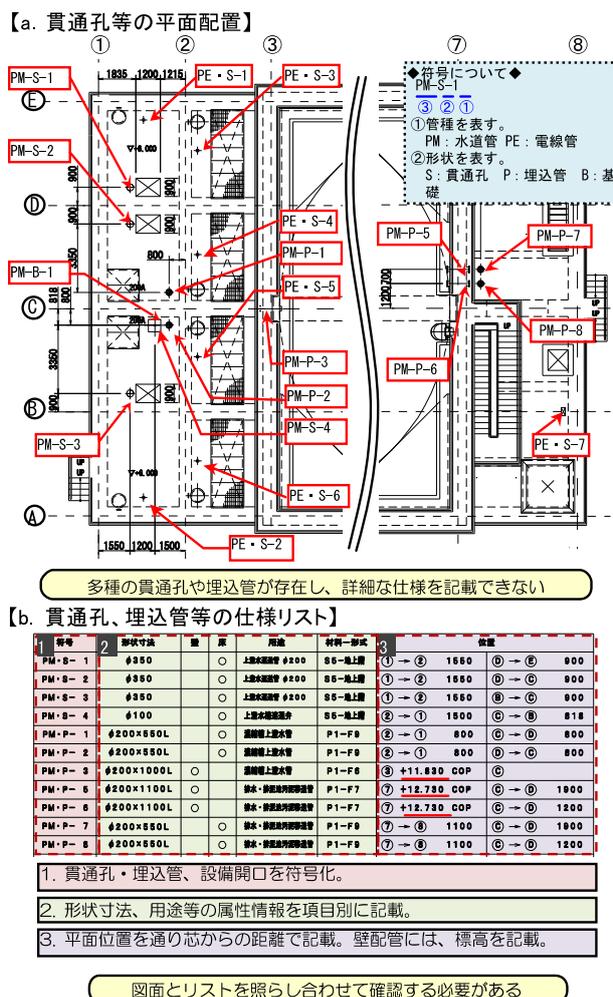


Fig. 13 発注図書(貫通孔、埋込管はリストに記載)
Ordering Drawing

Excelに出力できることもできた。これらの結果から、工事に参加する多様な業者が、異なるアプリケーションを用いて施工状況などを参照することが可能となること、また必ずしもCADを有しなくても施工状況や進捗、出来高管理を共通のデータから実施できることが確認できた。以上のように、実施中でのIFCを用いることによ

り実現可能な業務形態をFig.11に示す。IFCシールドを用いることにより、必ずしもCADを用いて設計図書や施工状況を確認する必要はなくなる可能性があり、新しいプロダクトモデルのユースケースが生まれる可能性がある。

4.2 土木における地下構造物への適用(事例(2))

この事例は、プロダクトモデルを積極的に利用し、施工管理の高度化と合理化を試みたものである。

対象工事は、山口県下関市上下水道局発注の「長府浄水場排水処理施設築造工事(土木)」(Fig.12参照)で、施工管理を担当する職員は、当社職員1名とJV構成会社職員2名の計3名という小規模な構成であった。

施工管理において、工事数量の大部分を占めるのは躯体構築工であり、日々のコンクリート打設計画や品質管理、出来形管理などが繰り返される。特に、本工事のような処理場では、仮設土留工、掘削工、構築施工など様々な工種を少人数の職員でこなさなくてはならなかった。特に構築躯体にはFig.12に示すような埋込配管や設備開口が多く、それらの諸元について、2次元図面で作成された設計図書を確認しながら進める必要があり、見落とし等によるヒューマンエラーを防止することも重要であった。施工管理に際しては、配置平面図と仕様リストを照合しながら、貫通孔・埋込管・設備開口の平面位置を把握するだけでなく、壁の埋込管の場合には、配置断面図が設計図にないことから「仕様リスト」よりその高さを確認する必要があった(Fig.13)。

以上のような状況から、施工情報を一元管理できる3次元データの活用が有効であると考え、仮設部材管理および躯体施工での活用を試みた。3次元モデルの作成にあたっては、各種CADソフトが利用されているが、埋込管の仕様なども管理するためには、形状データ以外に複数の属性情報を定義できる、プロダクトモデルが有効であると判断した。また、CADソフトのみでの活用だけでなく、他ソフトとの連携の実験も行うため、IFC形式でのデータ交換ができるAutodesk社のRevit Structureを使用した。

4.2.1 仮設工事におけるモデルの活用 今回の工事ではコンクリート構造物を地下に築造することから、開削に伴う仮設構造物(土留工)の施工を行った。この鋼材の管理に関して、土留め壁・土留め支保工・仮設栈橋をモデル化し、Revit Structureにてデータを作成時に、生材・リース材といった区分や部材の単位体積重量などの属性を付与した。

このデータを用いることにより、仮設計画においては、当初計画における栈橋ブレース材と躯体との干渉を事前に確認し、配置計画を見直すことができた(Fig.14参照)。また、仮設鋼材のリストは、施工部位、鋼材の種類毎にExcel形式に出力させることで、仮設部材の数量管理にも活用することも可能となった。

4.2.2 躯体構造モデルの活用 今回の工事ではコン

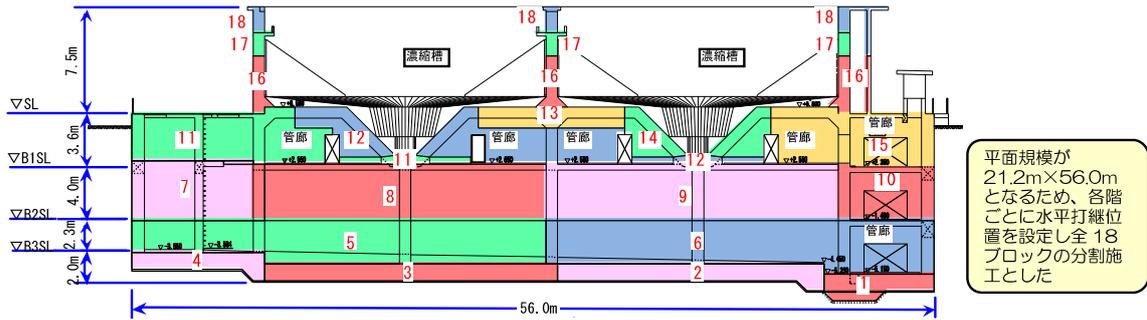


Fig. 16 コンクリート打設ブロック (断面図)
Concrete Placing Block (Cross Section)

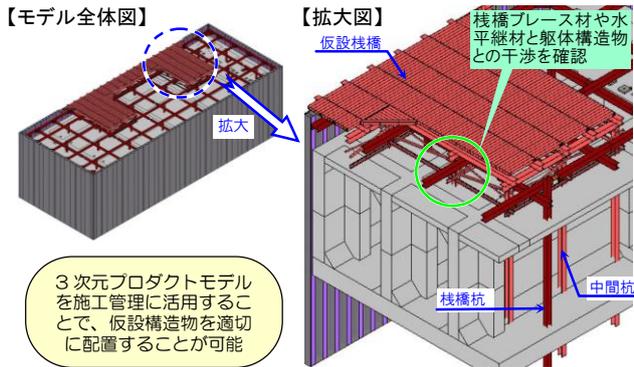


Fig. 14 仮設構造物と躯体の干渉チェック
Interference Check of the Temporary Structure and Skeleton

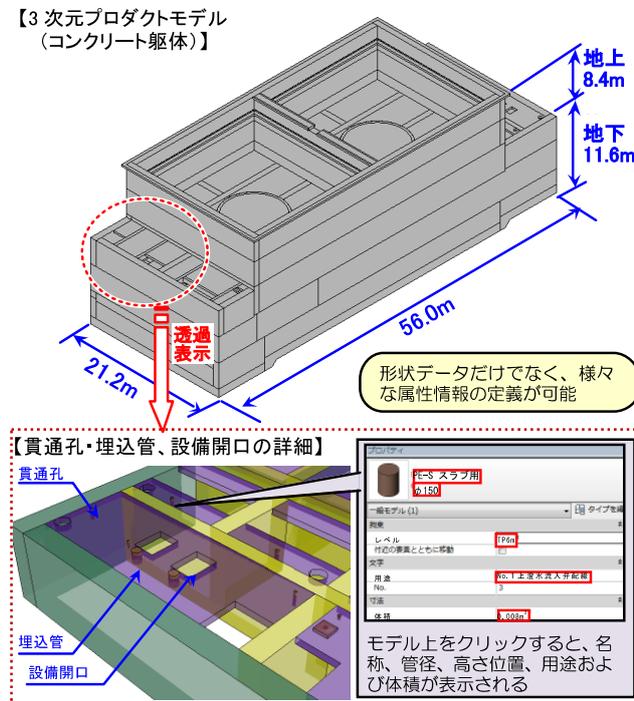


Fig. 15 構築の3次元プロダクトモデル
Architectural Three-dimensional Product Model

クリートの種類が少なかったため、躯体は形状データのみモデル化し、前述のように施工ミスを起こさないように、構築の3次元図面に貫通孔、埋込管を記載するとともに

に、仕様リストに記載されていた配管の用途区分や管種といった属性を付与した。

3次元モデルでは、視点を切り換えることで360°あらゆる角度から配置を確認することが可能であり、Fig.14に示すような透過表示によって、床や壁の貫通孔や埋込管、設備開口の設置計画を容易に確認することができた。

また、プロダクトモデルを用いることで、例えばモデル内の埋込配管を選択するだけでプロパティが表示され、各種仕様も確認することができた。これにより、埋込配管や設備開口の確認作業を大幅に省力化でき、見落としといったヒューマンエラーによる手戻りを生じることなく、確実な施工を行うことができた。

4.2.3 コンクリート打設管理への適用 現場のコンクリート打設管理には、打設ブロック計画、型枠計画、品質管理、出来形管理などがある。このうち、打設ブロック計画においては、①打設時間やプラント能力等を考慮した打止め位置の決定、②複雑な躯体形状の型枠計画などが含まれる。①については、一般的に現場職員が手計算により算出しているが、打設計画が変更になる度に再計算する必要があり手間を要している。②についても、同様に手計算により数量算出しているが、開口等の控除も必要であり計算手間を要している。

そこで、3次元プロダクトモデルから数量を直接算出する方法を用いて、施工管理の省力化を試みた。コンクリートの打設ブロック計画では、品質への配慮はもとより、他工事の影響も考慮したプラントの出荷能力、住民との協定も含む工事の作業可能時間などから決まる日計画打設数量以下となるように、Fig.16に示すように各階の水平打継位置を設定する。なお、3次元モデルの打設ブロックの設定は、Revit Structureのパーツ機能を用いた。以下に、コンクリート数量の算出手順を示す (Fig.17参照)。

- 1) 鉛直打継高さごとにパーツモデルを分割する。
- 2) ブロック割を設定する階のパーツモデルの平面図を表示させ、画面上の任意の位置にラインを追加し、パーツをさらに分割する。
- 3) 対象ブロックを画面上で選択すると、各属性(床、壁、梁など)の体積とその合計が表示される。
- 4) 2で追加した分割ラインを画面上で移動させることで、変更後の数量も同様に確認できる。

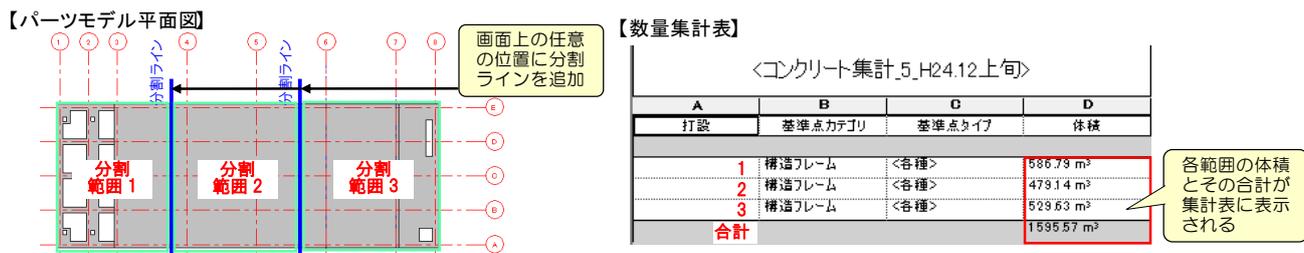


Fig. 17 コンクリート数量の算定画面
Calculation Screen (on the PC) of the Concrete Amount

3次元モデルにより算出したコンクリート数量Aと増打ちコンクリート数量Bの和を計画数量とし、実際の打込み数量Cとの比較を行った結果をFig.18に示す。増打ちコンクリートとは、土留め壁の内側と躯体との間の空間（150mm幅分）をコンクリートで充填した部分で、今回は別途手計算により算出した。

実打設数量と計画数量の差C-(A+B)は打設ブロックにより差異はあるが、地下部分で計画数量(A+B)の±5%程度で概ね10m³前後となった。また、土留め壁の打設精度や変形の影響を受けない地上部分では、計画数量の-1%程度で3m³前後となった。本工事では、土留め壁と躯体の離隔の実測は行っていないが、平面規模が大きな地下構造物の構築では、増打ちコンクリートによる誤差が大きくなるものと推察される。

地下部分の数量誤差は、目標値としたアジテータ車1台相当（4m³程度）に比べると大きな相違が生じた。今後更なる検証が必要であるが、打止め位置を簡易に設定することを目的とする施工管理においては、十分適用性があると考えられる。

4.2.4 型枠計画への活用 現状では、既存のCADソフトは、型枠面積を直接算出できる機能を有していない。このため、プロダクトモデルのファミリー（Revit Structure

ブロック	部位	モデル数量 A m ³	増打ち 数量 B m ³	計画数量 A+B m ³	実打設 数量 C m ³	差 D=C-(A+B) m ³	D/A %			
地下部分	B3階	①	202.9	5.5	208.4	219.0	10.6	5.1%		
		②	519.0	7.3	526.3	522.0	-4.3	-0.8%		
		③	496.2	7.0	503.2	495.0	-8.2	-1.6%		
		④	256.9	7.5	264.4	273.5	9.1	3.4%		
		⑤	458.7	31.3	490.0	490.5	0.5	0.1%		
	B2階	⑥	559.6	38.3	597.9	589.5	-8.4	-1.4%		
		⑦	247.3	24.1	271.4	272.5	1.1	0.4%		
		⑧	壁	⑧	566.7	24.2	590.9	580.5	-10.4	-1.8%
				⑨	572.8	24.2	597.0	578.8	-18.2	-3.0%
		B1階	壁	⑩	218.0	19.5	237.5	224.0	-13.5	-5.7%
⑪	469.0			26.0	495.0	490.5	-4.5	-0.9%		
壁 スラブ	⑫		428.0	8.0	436.0	454.5	18.5	4.2%		
	⑬		339.0	9.0	348.0	342.0	-6.0	-1.7%		
	⑭		373.0	6.4	379.4	366.5	-12.9	-3.4%		
地上部分	壁	⑮	220.4	18.8	239.2	248.0	8.8	3.7%		
		⑯	476.0	0.0	476.0	472.5	-3.5	-0.7%		
		⑰	211.0	0.0	211.0	207.0	-4.0	-1.9%		
⑱	239.0	0.0	239.0	237.0	-2.0	-0.8%				

実打設数量と計画数量の差は、ブロックによる差異は見られるが地下部分で±5%程度、地上部分で-1%程度となった

Fig. 18 コンクリートの計画数量と実打設数量の比較
Comparison of Concrete Amount
between Plan and Placing Work

の機能）と呼ばれる柱や壁などの機能を有す集合体にマテリアル設定を行うことで、数量を算出する方法を試みた。3次元モデルから型枠数量を算出するには、ある程度のCAD操作スキルが必要となることから、本工事では、すり鉢状の「濃縮槽」のみ手計算との比較を行った（Fig.19, およびFig.20参照）。両者の値がほぼ一致していることから、今後、使い勝手の良いインターフェースを準備することにより、施工管理への活用が広がるものと考えられる。

4.3 プロダクトモデルの現場適用に関するまとめ

3次元プロダクトモデルの施工管理への活用により、他のアプリケーションとの連携を行う事が確認できた。日々の計画・管理業務の省力化が図れ、施工ミスの防止にも寄与することが確認された。現在、CIMの様々な取組みが進められているが、施工管理という視点においては、大規模工事のみならず、本工事を含む中小規模現場での活用効果も大きく、本事例のようなツールの積極的な活用は有効である。

また、様々なソフト間でのデータ交換を可能とするIFC形式などが利用できるプロダクトモデルは、施工管

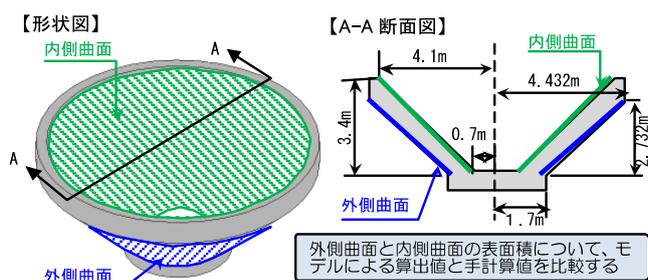


Fig. 19 構築（濃縮槽）の形状
Shape of the Construction (Concentration Tank)

	モデル数量	手計算数量*	A-B(m ²)
	A(m ²)	B(m ²)	
①外側曲面	74.41	74.43	0.02
②内側曲面	72.51	72.51	0.00
合計(①+②)	146.92	146.94	0.02

*手計算による算出方法



「濃縮槽」の曲面部の型枠面積について、モデル数量と円錐台公式を用いて算出した手計算数量はほぼ一致した

Fig. 20 型枠算出数量の比較
Comparison of the Calculation Amount of the Concrete Form

理の現場で使い慣れたEXCEL等との連携を容易にするため、特に施工管理の場面では利用が広がるものと考えられる。

5. プロダクトモデル活用の課題

これまで述べたように、プロダクトモデルの活用は、建設プロジェクトにおいて有効なツールとなり、設計、施工、維持管理に大きな変革をもたらすものであると期待されている。現状では、3D-CADを含め、まだ簡易に利用できるとはいいきれないが、データの共有、データ交換の実現、施工履歴の記録なども行えたとともに、情報の共有や「見える化」への貢献も大きい。しかし、このような物理的な利点の反面、解決すべき課題も存在する。

5.1 プロダクトモデル利用の留意点

CIMはプロダクトモデルを包含した概念であり、数々の取り組みが2012年度より開始され、一部パイロット工事（設計/施工）も始まりつつある。ここでは、このCIMに関して課題を整理する。CIMのBIMとの大きな違いは、社会インフラの構築・メンテナンスに適用する点と発注形態にある。BIMでは、施工段階に行っていた詳細検討を設計段階に前倒しで行うこと（フロントローディング）により、設計品質の向上と施工時の手戻り削減が期待できると考えられている。しかし、これは設計施工分離と入札制度に関わる事で、ここで論ずるには大きすぎる課題であるため割愛する。

ところで、CIMの論理モデルは既にFig.4に示したが、この図において重要な点は、設計図書を含むProject Databaseと施工によって蓄積されるAs build Databaseの分離である。前者の不用意な変更は混乱のもとになる。変更権限の一元化はCIMの運用にあたって重要な点である。

また、3次元化を伴う設計・施工データは肥大化することが予想される。これらの運用にはデータハンドリングを充分考慮したデータベース構築が必要である。

5.2 品質管理への適用に関する課題

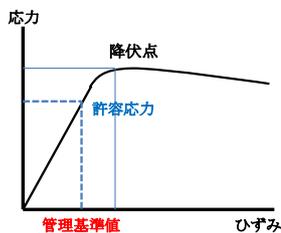
プロダクトモデルは、3次元データの活用や施工シミュレーション、「見える化」による施工ミスや手戻りの防止などに有効であることは、4章で示したが、ここでは、プロダクトモデルを用いることによる施工の高度化のうち、品質管理や維持管理への適用に関して考察する。

プロダクトモデルは、維持管理への適用も期待されており、その中には品質管理は大きなウエイトを占める。ここで、建設現場における品質管理に関しては、例えば鋼材の管理をイメージしたFig.21(a)に示すような、降伏点があらかじめ解っていて、それに対する安全率を考慮した許容応力度を設定し、その値を閾値として管理する手法はごく一般的である。この手法においては、計測とデータ整理・（逆）解析の迅速な処理は非常に重要で、構造物を構成する部材の材料種別や施工履歴などを容易に参照できるプロダクトモデルは、計測データとともに利用する事で大きな効果を発揮できる。近年のセンサネットワークやモニタリングシステムの高度化は、CIMの活用とともにさらに進展するであろう。

一方、Fig.21(b)に示すような管理基準値が明確でないものに関しては、ICTによる多頻度の計測を行い、プロダクトモデルによる情報を参照しても、計測値の評価は技術者が担うこととなる。ところでFig.21(b)の左側の図は、一見すると管理基準値を適用して管理できそうであるが、劣化などの判定には、そもそもどのような指標を用いるのかを明確にする必要があり、その意味で管理基準が不明確であるという例示に用いた。さらに、Fig.21(b)の右図は、盛土のように材料の性質が安定せず、ばらつきが大きい場合の概念図である。このような対象物には

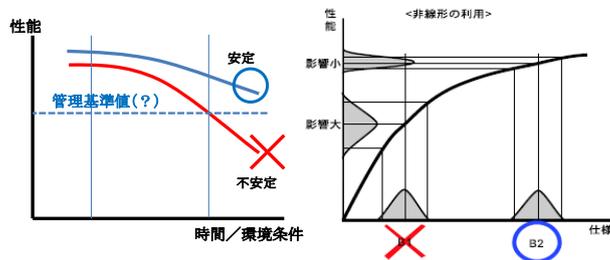
(a) 管理(基準)値が明確にわかっているもの

例えば、下の図は鋼材の(曲げ、せん断応力)管理
 ・材料が均質→降伏点を設定
 ・比較的容易に管理が行える



(b) 管理(基準)値が明確でないもの

下図(左)は構造物の劣化による性能
 下図(右)は施工時などの「もの」のばらつき



- ・劣化による性能の判定 → どのような指標を用いるのか (変形量, サンプルによる強度?)
- ・ばらつきの判定 → そもそも「管理基準値」と扱う「材料」は対応しているのか? (例えば土の締固め)

Fig. 21 プロダクトモデルの品質管理への適用での留意点
 Confidentiality of Quality Control using the Product Model

どのような管理も一見無意味に思われるが、この場合はICTを用い、多点計測（多くのデータを収集）を行い、その品質の安定化傾向を統計におけるCauchyカーブなどの非線形性を利用して、安定化傾向を検討し、管理するなどといった方法も考えられる。

5.3 データ交換標準のIFCの利用に関する課題

プロダクトモデルは、構造物の形状だけでなく様々なプロパティを付加できる。このデータをアプリケーション間で交換することと、ソフトウェアがオブジェクトを自動的に認識させる事により、様々な場面でデータを活用し、建設プロジェクトの合理化と高度化を図ることがプロダクトモデルの本来の目的である。Fig.22は、データ連係を中心として、CIMにおけるプロダクトモデルの活用のこのような概念を示したものである。また、Fig.23には、この概念の基にアプリケーション間でのデータ連係の例を示したものである。

しかし、特に土木の分野では、スキーマの構築は進みつつあるものの、IFCの定義（クラス）をサポートしているソフトウェアがほとんど無い状態である。4.1節でも、建築で用いられているクラスへ定義の「読み替え」を行って対応することになったが、これが解決できないと普及促進は難しい面がある。しかし、データ交換の仕組みとして、2013年3月21日に国際標準(ISO 16739)になったことから、今後も注目しなければならない技術である。

5.4 プロダクトモデル適用に関する課題のまとめ

以上、プロダクトモデルの適用に関する課題を施策面以外の点に関しまとめたが、本節の最後にICTおよびプロダクトモデルの活用における留意点を示す。

- 1) 情報化施工に限らないが、どのようなタイミング、頻度でデータを取得するか事前に検討しておく。
- 2) 取得した情報を有効に活用するために、ICTを現在以上に有効活用し、数々の情報の組合せによる評価も考える。
- 3) 新しいデータ、データ取得方法には、新しい解釈や新しい基準値の適用も検討する。
- 4) データの取捨選択も時には必要：必要なデータ、保存すべきデータを考える（BIMの運用でTB（テラバイト）クラスのデータとなってしまった事例もある）。
- 5) 3次元モデル（2次元データから3次元モデルの作成）は、その後の利用方法を検討し、単なる形状の3次元化ではなく、施工順序や部材が表現できるモデルとして作成する。

建設分野における情報化施工は、旧来から行われている計測管理（観測施工）から、ICTの活用を経て、3次元データ、およびプロダクトモデルの活用により新たなステージに移行しつつある^{16) 17)}。3次元プロダクトモデルの活用に関しては、課題は存在するものの、施工結果と計画値の定量的な評価、データ分析を多角的により多くの

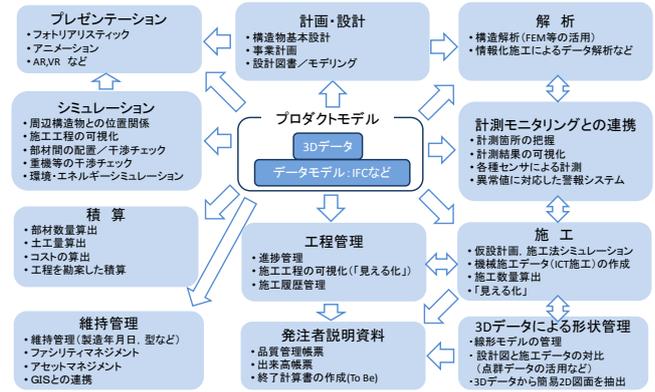


Fig. 22 プロダクトモデルの活用
Inflection of the Product Model

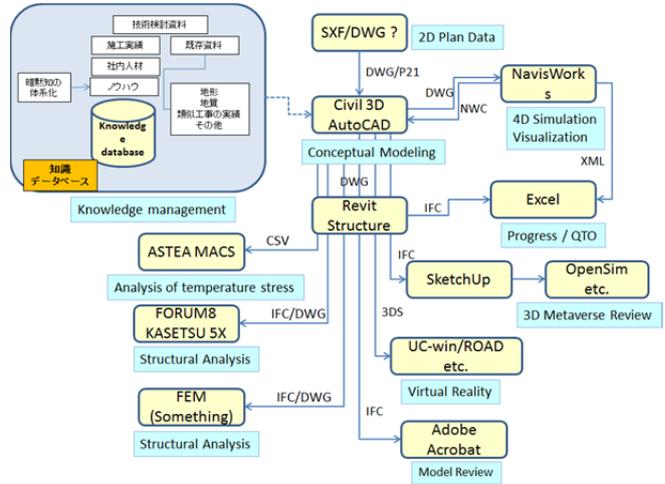


Fig. 23 データ連係に関する物理モデルの例
Physical Model about the Data Connection

データから行う事により、新たな技術的見知の創出も期待されている^{18) 19)}。

今回は、解析などへの利用事例を示すことは出来なかったが、情報化施工の根幹には、品質・安全の管理があり、各種FEM解析などとの連携事例も今後増えてくるであろう。この時、我々技術者は、ICTや3次元データの単なるユーザになってはならない。基本的なICTシステムやモデルの活用のみならず、工学的な分野のリテラシーの向上も常に心がけなければならない。

6. まとめ

今回の実験的なプロダクトモデルの活用検証において、以下の知見を得た。

- 1) 土木におけるプロダクトモデルの活用は、ソフトウェア面で実装が進んでおらず活用に制約はあるが、データ交換を行う事が出来た。
- 2) 施工における活用は「見える化」の効果が大きく、不具合の防止に役立つ。
- 3) 施工数量管理をはじめとする施工における適用で、効果を確認することができた。

プロダクトモデルの利用を含む情報化施工に関しては、特にICTツール（PC、センサー、通信技術など）が施工現場に急速に取り入れられるようになり、3次元データも比較的容易に利用できる環境が整いつつあることから、技術者にイノベーションをもたらしつつある。我々はこれらの利点と考慮すべき点、および導入・運用コストなどを冷静に検討し、合理的な活用を考えていかねばならない。

参考文献

- 1) 国土交通省：
<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/cimnogaiyou.pdf>
(2014.10現在)
- 2) 国土交通省：情報化施工推進会議（第10回）CIMの導入検討について，
<http://www.mlit.go.jp/common/000221538.pdf>, (2014.10現在)
- 3) 古屋 弘・藤原宗一：加速度センサーとGPSを組み合わせた締め固め管理システムの開発，土と基礎，No.48.Vol4, pp.21-24, 2000.4.
- 4) 古屋 弘・串間正敏：振動ローラーに取り付けた加速度センサーによるリアルタイム施工管理技術，土と基礎，No.50.Vol6, pp.19-21, 2002.6.
- 5) H. Furuya, Y. Tsukimoto, H. Koseki, T. Mansell, V. “Lee” Gallivan, & K. Uchiyama：Innovative QC/QA Compaction Method for HMA Pavement using Intelligent Compaction (IC) Technology, The 11th International Conference on Asphalt Pavements, 2010.8.
- 6) Hiroshi Furuya, & Tetsuo Fujiyama：Development of soil stiffness evaluation equipment “Alfa-system” using acceleration response of vibratory roller, The 28th International Symposium on Automation and Robotics Construction, 2011.6.
- 7) 岡本寿春, 古屋 弘, 疋田喜彦, 関目季亮, 金本裕治：携帯電話による車両トータル運行管理システムの開発，第66回土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.66, 3-186, pp.371-372, 2011.9
- 8) 疋田喜彦・古屋 弘・末長正司・安田敏夫：騒音・振動リアルタイムモニタリングシステムの開発と現場適用，第63回土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.63, 6-181, pp.361-362, 2008.9.
- 9) 古屋 弘・千葉洋一郎：3Dプロダクトデータを用いた土工事施工支援システムの開発と現場適用，第29回情報利用技術シンポジウム論文集，Vol.13, pp.243-250, 2004.10.
- 10) 古屋 弘：シールド工事をモデルとした3次元データを用いた施工管理の研究（特に工程・コスト管理におけるプロダクトモデルの適用実験），日本建設情報総合センター，第9回研究助成事業成果報告会，第2010-02号，2011.11.
- 11) 古屋 弘：シールド工事における3次元データ活用の試みープロダクトモデルを用いた施工管理の検証ー，第13回建設ロボットシンポジウム論文集，pp.1-10, 2012.9.
- 12) Nobuyoshi Yabuki, Takashi Aruga, Hiroshi Furuya：DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A PRODUCT MODEL FOR SHIELD TUNNELS, The 30th International Symposium on Automation and Robotics Construction, 2013.8.
- 13) 国土交通省：河川・海岸・砂防土工，道路土工の工事でトータルステーションを利用する場合の出来形管理要領，2012.3.29.
- 14) 一般社団法人IAI日本：IFCとは，http://www.building-smart.jp/mission/whats_ifc.php (2014.10現在)
- 15) 矢吹信喜，東谷雄一朗，秋山実，河内康，宮亨：シールドトンネルのプロダクトモデルの開発に関する基礎的研究，土木情報利用技術論文集，Vol.19, pp.261-268, 2007.
- 16) 古屋 弘：近年の施工管理技術の中での情報化施工，地盤工学会誌 Vol.58 No.1 Ser.No.624, pp.24-25, 2010.1.
- 17) 古屋 弘：【総説】建設事業における情報化施工（ICT）の活用，基礎工 Vol.40, No.5, pp.2-7, 2012.5.
- 18) 古屋 弘：情報化施工における3次元データの活用，土木技術 Vol.69, No.2, pp.28-33, 68, 2014.2.
- 19) 古屋 弘：情報化が導くスマートな建設現場—事例紹介—，建設機械施工 Vol.66, (No.770), pp.18-24, 2014.4.