

(17) シールド工法用プロダクトモデルを用いた

施工管理に関する基礎的研究

Fundamental Study on Construction Control by using Product Model of Shield Tunneling Method

小林一郎¹・古屋弘²・柿本亮大³・江頭遼一⁴

Kobayashi Ichiro, Furuya Hiroshi, Kakimoto Ryouta, and Egashira Ryouichi

抄録:近年、土木分野における電子化が急速に普及している。一方で、このような動きに対し様々な問題が生じている。その中の一つにアプリケーションの乱立によるデータの互換性の違いがあげられる。道路や橋梁ではプロダクトモデルの開発・提案が行われている。シールドトンネルについては、大阪大学の矢吹らにより開発が行われている。しかし、実現場へ適用された例はない。そこで本研究では、開発段階のシールド工法用プロダクトモデルに着目し、3次元モデルを基盤としたプロダクトモデル構築を行う。さらに、構築したプロダクトモデルは、主に対象現場の施工管理に適用し、有効性の検証を行う。

キーワード: シールド工法, プロダクトモデル, 施工管理, 3次元

Keywords : shield tunneling method, product model, construction control, 3-D

1. 序論

土木分野における電子化は急速に普及し、ライフサイクルにおける各作業はコンピュータでのアプリケーションシステムを用いた自動化により効率化が図られている。一方で、様々なアプリケーションの乱立により、①情報共有が円滑に行われていない（現場と支援部門、受注者と発注者など）、②設計図書と施工データ、および出来形データの連繋がない、③データフォーマットがシステムにより異なる、といった問題が起きている。これらの問題を解決するために、近年プロダクトモデルの研究開発が行われている¹⁾。現在、開発が試みられている構造物は道路や橋梁²⁾がある。さらに、シールドトンネルのプロダクトモデル開発も矢吹ら³⁾により試みられている。しかし、実現場への適用には至っていないというのが現状である。

そこで本研究では、開発段階のシールド工法用プロダクトモデルに着目し、3次元モデルを基盤としたプロダクトモデルの構築を提案する。3次元モデルを基盤とすることで形状情報を確認しつつ、必要な情報を付加させることが可能となる。

2章では、シールド工事の特徴と課題、シールド工法用プロダクトモデルの開発について述べる。3章では、3次元データを基盤としたプロダクトモデルの構

築について提案する。4章では、現場へ適用し、結果の考察をする。5章では本研究の結論を述べる。

2. シールド工事の現状とプロダクトモデルの開発

シールド工事は、他の土木構造物の工事とは異なり、地中を掘削しながらトンネルを構築していく。施工の際は、掘進方向を適宜調整しつつ掘削が行われる。またそれに伴い、特有の管理がなされている。

(1) シールド工事の特徴と課題

シールド工事には、発注の際に、線形制約や空間制約といった条件が課される。線形制約とは、設計時の線形変更を不可とする条件である。空間制約とは、線形や横断は変更可能であるが、一定の空間に収まるように施工を行わなければならないという条件である。シールド工事は専用のマシンにより地中を掘進していく施工であり、土壌の性質や障害物等が問題となるため、これらの条件が課されている。一方で、発注時に作成された設計図面は現場の地盤情報等が不足しており、施工の際に設計図の変更が必要となる。さらに、線形の変更の際、図面や帳票、提出書類といった管理データも全て修正しなければならないといった問題が生じる。これらの作業は、工事の時間と労力を費やし、工期を遅らせる原因となっている。

1 : 正会員 工博 熊本大学大学院 教授 自然科学研究科

(〒860-0855 熊本県熊本市黒髪 2-39-1, Tel : 096-342-3531, E-mail : ponts@gpo.kumamoto-u.ac.jp)

2 : 正会員 博(工) (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任技師 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640)

3 : 非会員 修(工) (株)トリオン 第一開発部 システム技術課

(〒160-0022 東京都新宿区新宿 2-5-12 FORECAST 新宿 AVENUE)

4 : 学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (Tel: 096-342-3531, E-mail : 111d8803@st.kumamoto-u.ac.jp)

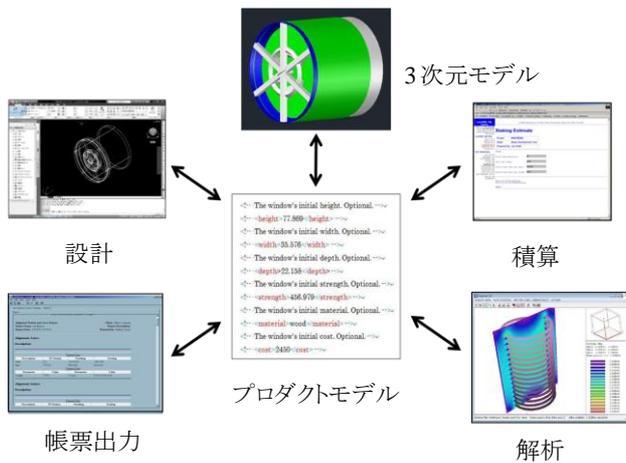


図-1 プロダクトモデルによる一元管理

(2) シールド工法用プロダクトモデルの開発

a) プロダクトモデルの概要

近年、機械や建築の分野において、プロダクトモデルを実務に用いる動きが盛んに行われている。プロダクトモデルを利用することで、図-1のように製品を生産する際、各ライフサイクルにおける作業の一元管理が可能となる。前述した構造物の設計変更が生じた場合、各作業データの修正を行う必要はなく、プロダクトモデルのデータに修正を加えるのみで、各作業データへ修正を反映できる。さらに、各作業におけるアプリケーションの互換性の違いにも対処できるといった特徴がある。

b) シールド工法用プロダクトモデルと IFC の連携

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、IAIがIFC⁴⁾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。図-2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と、一次覆行等のサブクラスで表記されている。また、これらは土木構造物の要素であるため、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。開発されたプロダクトモデルは、あくまで概念的なモデルであるため、実現場に即したモデルとなり得るか、検証する必要がある。

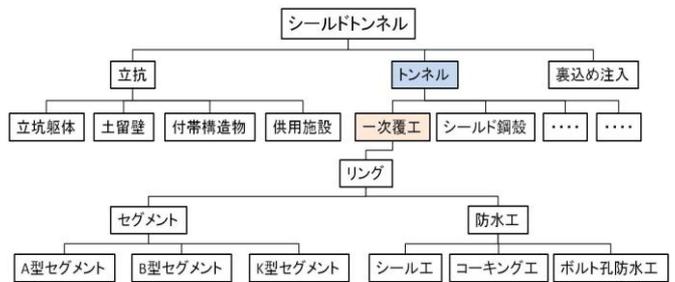


図-2 概念的プロダクトモデル³⁾

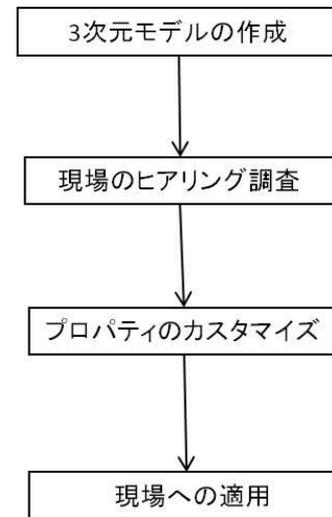


図-3 フロー図

3. 3次元モデルを基盤としたプロダクトモデル構築

本章では、概念的プロダクトモデルの検証を踏まえ、シールド工法用プロダクトモデルの構築と現場への適用について述べる。プロダクトモデルの構築手順を図-3に示す。また、今回の3次元モデルの作成には、Autodesk社のRevitStructure2011(以下、Revit)を使用した。

(1) 構築手順

a) 3次元モデルの作成

本研究では、3次元モデルを構造物の形状管理に利用するだけでなく、検証結果から必要と見なされた情報を付加するための器として取り扱う。すなわち、3次元モデルを情報の集積所と捉える。Revitは、3次元モデルのプロパティカスタマイズ機能を有しており、モデルへの情報の付加が可能である。そのための基礎として、図面から3次元モデルを作成する。

b) 現場のヒアリング調査

実現現場を対象として、ヒアリング調査を行う。概念的プロダクトモデルは、全てのシールド工事に対して、その要素を満たしているわけではない。各現場によって必要とされる情報が異なるため、ヒアリング調査を

実施しなければならない。ヒアリング内容は、概念的プロダクトモデルの構造や用語の見直し、対象現場に該当しない要素の抽出などが挙げられる。

c) プロパティのカスタマイズ

作成した3次元モデルに形状情報を定義し、任意の値を入力することで部材形状を適宜変化させることが可能である。また、ヒアリング調査によって得られた属性情報を付加させることも可能である。さらに、作成した3次元モデルは、IFC形式のファイルとして入出力が可能である。書き出されたIFCファイルはIFCの規格を自動的に引き継いでいる。例えば、Revitで作成した壁のモデルをIFCファイルに出力するとモデルプロパティではIFCWallと定義される。しかしながら、概念的プロダクトモデルには土木構造物特有の要素も含まれているため、すべての3次元モデルがIFCの規格を引き継ぐことはできない。このような場合、マッピング⁵⁾機能を用いて、土木構造物特有の要素を既存のIFCスキーマで代用し出力する。

(2) 現場への実用

各種情報をモデルに定義させた後、部材数量や土量の算出、工程シミュレーション等を行う。プロダクトモデルに座標情報を定義することで、測量データとの連携が図れるだけでなく、シミュレーションの際に線形座標ベースの工程管理が可能となる。また、IFCのデータフォーマットはオープンな仕様であり、様々なソフトウェアに対応しているため、必要に応じた用途で使い分けることが可能である。例えば、Google SketchUp⁶⁾等の無償ソフトウェアにも対応しているため、高価な専用ビューワを保有していなくとも、モデルの閲覧が可能である。さらに、タブレット型の携帯端末を利用することで、現場での閲覧も可能となる。

4. 適用事例

(1) 現場概要

対象現場は、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、その中にある図-4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。

(2) セグメントのプロダクトモデル構築

本研究では、トンネルを構成する部材であるセグメントに着目し、検証を行った。プロダクトモデルの構築は、3章に記述した手順に沿って行う。

a) 3次元モデルの作成

図-5は、図面をもとに作成したセグメントの3次元モデルである。対象現場のトンネルセグメントは円筒形で、A型セグメント、B型セグメント、K型セグ



図-4 現場概要

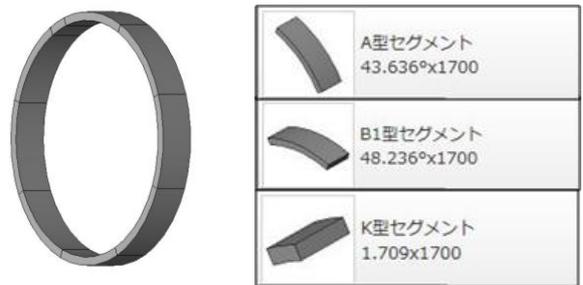


図-5 セグメントの3次元モデル

表-1 シールドトンネルのヒアリング調査結果

シールドトンネル	立坑				
	立坑躯体				
	土留壁				
	付帯構造物				
	供用施設				
	トンネル				
	シールド鋼殻				
	一次覆工	リング			
			セグメント		
				Kセグメント	
				Aセグメント	
				Bセグメント	
			防水工		
				シールド工	
				コーキング工	
				ボルト孔防水工	
			裏込め注入		
	付帯構造物				
	供用施設				
	裏込め注入				

メントの3種類で構成されている。この3次元モデルを利用してプロパティのカスタマイズやIFCの入出力を行っていく。

b) 現場のヒアリング調査

表-1はシールド工事の対象現場におけるヒアリング調査結果の一部である。表の青い部分に記述されているコーキング工やボルト孔防水工といった要素は今回の対象現場に存在しないため消去した。また、裏込め注入については、表では立坑やトンネルと同一階層で定義されていたが、現場では一次覆工の要素に含まれると判断された。セグメントリングについての変更点はなかったが、概念的プロダクトモデルに表記されている内容に沿って、幅や角度、重量を定義するだけ

でなく、コストや座標情報を定義する要望が挙げられた。

c) プロパティのカスタマイズ

図-6は、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、図-7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。図の左列がモデルカテゴリを表わしており、右列が IFC クラス名を表わしている。規定の IAI 標準に基づいたマッピングファイルを使用して IFC 形式に書き出した場合に、自動マッピングされていない要素は IFC クラス名に Not Exported と表示される。IfcBuildingElementProxy とは、構造物を構成する全ての要素に対して共通の属性を定義するクラスであり、これを用いて概念的プロダクトモデルの当該属性を代用する。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。

Parameter	Value
Dimensions	
H	1700.0
A	48.236°
Identity Data	
Keynote	トンネル部材
Model	B1型セグメント
Manufacturer	〇〇〇工業
Type Comments	構造コンクリート
URL	http://www.〇〇〇.co.jp/
Description	シールドトンネル用部材
Assembly Description	
Assembly Code	
Type Mark	
Cost	¥〇〇〇〇〇
OmniClass Number	23.25.30.21.14
OmniClass Title	Trussed Beams and Joists

図-6 セグメントのプロパティ

```

# Revit Export Layers
# Maps Categories and Subcategories to layer names and color numbers
# Category <tab> Subcategory <tab> Layer name <tab> Color number <tab>
# Cut layer name <tab> Cut_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
Color Fill Legends     Not Exported
Columns                IfcColumn
Communication Devices  IfcBuildingElementProxy
Conduit Fittings       IfcConduitFitting
Conduits               IfcConduitSegment
Constraints            Not Exported
Contour Labels         Not Exported
Curtain Panel Tags    Not Exported

```

図-7 セグメントのマッピングファイル

(3) 考察

今回はセグメントの3次元化を行った。シールド工事には、トンネル以外にも構造物が多数存在する。今後は、それらの構造物の3次元モデルを作成し、セグメントと同様にプロパティのカスタマイズやIFCの入出力を行っていく。

現場のヒアリング調査は、対象とする現場により異なるため、ヒアリング内容に漏れがないか詳細に調査を行う必要がある。今回の調査では、セグメント以外の要素に必要な要素が含まれていた。このように、ヒアリング調査はプロダクトモデルの構築に大きく影響することから重要な項目であるといえる。

プロパティのカスタマイズは、ヒアリング調査の要素を入力する。また、今回は IfcBuildingElementProxy でセグメントの代用を行ったが、今後は他の IFC 要素でも代用できるか検証する必要がある。

5. 結論

3章では、現在、開発段階のシールド工法用プロダクトモデルに着目し、3次元データを基盤としたプロダクトモデル構築の手法を提案した。さらに、4章では、提案した手法を用い、対象現場への適用、検証を行った。しかし、今回は、対象現場への実用までは至っていないため、有効性の有無は検証できていない。今後は、現場への適用をみなし、有効性の検証を行う必要がある。検証内容としては工程管理、コスト管理があげられる。また、今回はセグメントのみを対象にしたが、今後は立抗、シールドマシン、仮設備といった他の構造物のプロダクトモデル構築も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 寺中愛瑛, 小林一郎, 古屋弘, 柿本亮大: 3D-CAD を用いたシールド工法用プロダクトモデルの可視化, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2011.
- 2) 矢吹信喜, 志谷倫章: プロダクトモデルを用いた包括的設計支援システムの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol. 12, pp. 273-280, 2003.
- 3) 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.
- 4) 一般社団法人 IAI 日本: IFC とは, <http://www.building-smart.jp/mission/whats_ifc.php>, (入手 2011. 7. 22)
- 5) Autodesk WikiHelp: 2012 WikiHelp <http://wikihelp.autodesk.com/Revit/jpn/2012>, (入手 2011. 6. 20)
- 6) Google: Google SketchUp <http://sketchup.google.com/intl/ja/>, (入手 2011. 7. 25)

(2011.7.29 受付)