The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	鋼橋の3次元プロダクトモデルを用いた公共工事の数量算出と出来高管理（EVM）に関する研究
Author(s)	影山，輝彰
Citation	大阪大学，2019，博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/73568
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

博士学位論文

鋼橋の3次元プロダクトモデルを用いた公共工事の数量算出と出来高管理（EVM）に関する研究

影山　輝彰

2019年7月

大阪大学大学院工学研究科

目次

第 1 章　序論 1
1.1 研究の背景 1
1.1.1 公共工事執行プロセスの現状と課題 1
1.1.2 プロダクトモデルを利用した公共工事のマネジメント 2
1.1.3 BIM（Building Information Modeling） 3
1.1.4 土木工学分野への BIM 適用（BIM for Infrastructure） 3
1.2 研究の目的 4
1.3 論文の構成 4
第 2 章　既往の研究 7
2.1 橋梁の 3 次元プロダクトモデルに関する研究 7
2.1.1 国際標準化 7
2.1.2 設計照査，工場製作や配鉄検査などへの応用 8
2.2 BIM を用いた積算に関する研究 8
2.2.1 建築：BIM を利用した積算 8
2.2.2 土木：3 次元プロダクトモデルを利用した積算 9
2.3 出来高管理（EVM）に関する研究 10
2.4 BIM/CIM を用いた EVM に関する研究 10
2.5 本研究の新規性 11
2.5.1 公共工事の調達数量と積算を行うための新たなデータ構造の定義 11
2.5.2 発注側の新たな積算マネジメント手法の開発 11
第 3 章　開発手法と開発環境 13
3.1 開発手法 13
3.2 開発環境 14
第 4 章　鋼橋を対象にした工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルの開発 17
4.1 本章の概要 17
4.2 国土交通省における積算 17
4.2.1 積算に関する要領及び基準 17
4.2.2 工事工種体系 18
4.2.3 工事数量算出と新土木工事積算システム 18
4.3 工事数量算出用データ構造の定義 20
4.3.1 工事工種体系との関連の定義 20
4.3.2 工事数量算出用データ構造の定義 23
4.3.3 IFC スキーマの適用 27
4.4 有効性の検証 33
4.4.1 数量計算の単位及び数位 34

4.4.2 橋梁上部（桁製作工：単純プレートガーダ） 34
4.4.3 橋梁下部（橋台躯体工：逆 T 式） 38
4.4.4 工事数量総括表 40
4.4.5 改善効果 42
4.5 まとめ 43
第 5 章　鋼橋の 3 次元プロダクトモデルを用いた出来高管理（EVM）システムの開発 45
5.1 本章の概要 45
5.2 積算マネジメント手法の検討 45
5.2.1 工事数量算出用 3 次元プロダクトモデル 47
5.2.2 直接工事費 49
5.2.3 工事日数 49
5.2.4 EVM 用パッケージ 49
5.3 データ構造の定義と EVM システムの開発 52
5.3.1 データ構造の定義 52
5.3.2 EVM システムの開発 53
5.4 EVM 用パッケージの検証 58
5.5 まとめ 64
第 6 章　工事数量算出と出来高管理（EVM）に関する IDM の定義 67
6.1 本章の概要 67
6.2 業務プロセス分析 67
6.3 Information Delivery Manual（IDM） 68
6.3.1 IDM 68
6.3.2 プロセス・マップと交換要件 68
6.4 鋼橋詳細設計と出来高管理を対象とした IDM の作成 70
6.4.1 公共工事の執行プロセス（道路事業）の整理 70
6.4.2 工事数量算出に関する IDM の定義 73
6.4.3 出来高管理（EVM）に関する IDM の定義 77
6.5 まとめ 79
第 7 章　結論 81
7.1 本論文のまとめ 81
7.2 今後の課題 82
参考文献 83
謝辞 89

第1章　　序論

1.1　研究の背景

1.1.1　公共工事執行プロセスの現状と課題

(1) 公共工事の現状

我が国の公共工事は，人口減少や少子高齢化をはじめ，激甚化する自然災害，加速する老朽化や厳しい財政状況など多くの課題に直面する中で，強い経済を実現するために費用対効果を重視した戦略的な維持管理と更新，国民の安心と安全を確保して，さらなる成長を支える重要な役割が期待されている．我が国の建設投資は，1992 年度の 84 兆円を頂点に 1997 年度の財政構造改革に伴う公共工事費の削減によって減少し，2010 年度にはピーク時の半分，42 兆円を割るまでに落ち込んだ. 2011 年 3 月に発生した東日本大震災の復興需要や政府の「国土強靭化」施策の推進により 2013 年度以降は 50 兆円台を推移している．

このように厳しい財政状況の中で過当競争による工事品質の低下や優良な建設業者や技術者が保てるように事業方式の見直しや社会施設の戦略的な維持管理と更新を行うためのアセットマネジメントの導入，さらには建設技術の海外展開を促進するための仕組みや技術基準を整えるなど時代に即した公共調達制度の改善や新たな制度設計が望まれている [1)]．

(2) 公共工事執行プロセスの現状

公共工事は，事業主（発注者）が，公的機関（公共部門）であり，公的資金，一般的には税金を財源とする政府の予算で建設事業を執行することであり，「製造業」や「物をつくる産業」などと比較した特長として「事業が，現地・屋外生産である.」，「一品（個別）毎の注文生産である.」，「生産過程（ライン）が同時に進行しない.」や「設計変更が頻繁に起こる.」ことがあげられている [2)]．また，公共工事の契約制度は，設計段階から施工者が関与する ECI（Early Contractor Involvement）方式や設計施工一括発注方式などの多様な発注方式の検討と実施を進めているが，原則，設計施工分離発注方式である．公共工事の執行プロセスは，調査・計画や発注方式の検討に始まり，設計・積算，公示・入札・契約に続く施工管理と監督・検査と竣工後の維持管理にまでに至り，設計者・発注者・施工者の役割が明確に分離されている．

このため，「設計（設計者）から積算（発注者）」と「積算（発注者）から施工管理（施工者）」の段階を含めた執行プロセスにおいて従来の紙を主体とした情報の授受を改善する取り組みが行われている．

(3) 公共工事執行プロセスの課題

設計から積算に関する課題には，設計者は設計において積算ができる程度の 2 次元図面の作成と数量計算を行い，発注者は受領した数量計算を基に発注を行うための工事の上限の価格を積算する．施工者は，発注者が提示する入札のための積算で用いられた 2 次元の図面，数量計算と概略施工計画より見積りして入札金額を決定する．現状の 2 次元図面を用いた設計・数量算出，積算，施工管理の流れでは，設計ミス・積算ミス，設計変更・工期変更などが多く，設計品質の向上が求められている．積算から施工管理に関する課題には，発注者は，施工者が適切な品質・出来形管理や出来高管理などが行われているかを監督・検査する必要がある．しかしながら，施工者は進捗状況を判断する出来高と工程の整合を図りながらも別々に管理している場合が多い．

このため，発注者は施工者が適切な進捗管理を行っているか個人の経験により判断しているところが大きい．現状の出来高と工程が整合していない進捗管理では，出来高超過や工程遅延の兆候を定量的に把握することができない．このような背景より，公共工事の執行プロセスに跨る課題を改善し，公共投資の経済効果などをより向上させるための取り組みが喫緊に求められている．

1.1.2　プロダクトモデルを利用した公共工事のマネジメント

公共工事執行プロセスの役割分担により生じている課題を解決する方法の 1 つに 3 次元幾何形状のみを表現した 3 次元モデルではなくプロダクトモデルがある．プロダクトモデルとは「製品を製造するために必要な形状，機能およびその他のデータによって，その製品をコンピュータ内部に表現したモデル」[3] である．

建築土木工学分野の 3 次元プロダクトモデルの国際標準は，bSI（buildingSMART International）が各国と協業して開発を進めている IFC（Industry Foundation Classes）[4] である．IFC は，1996 年にロンドンで開催した北米，ヨーロッパ，アジアの代表者間の会議で設立された IAI（The International Alliance for Interoperability）により開発と運用を開始した．IFC は，プロダクトモデルを表現するために共通の意味を持つデータ構造により記述される．このため，異なるソフトウェア間での相互利用が可能である．また，プロダクトモデルの目的や用途に応じて柔軟に IFC を拡張することが可能である．IAI は，組織の性質と目的をよりよく反映するために，2008 年に現在の名称への変更を行った．bSI は，2013 年に建築工学分野の国際標準フォーマット（ISO 16739）を策定したことから，土木工学分野のコンソーシアムを組織化して橋梁の 3 次元プロダクトモデルである IFC-Bridge[5] などについて国際標準化する活動を進めている [6]．

1.1.3 BIM（Building Information Modeling）

2004 年頃より，3 次元プロダクトモデルの技術を取り入れた BIM という用語が建築業界全体に広まり始めた．BIM は Building Information Modeling の略であり，米国ジョージア工科大学のチャック・イーストマン（Chuck Eastman）教授が最初に提唱したといわれ，「建築物とプロセスのデジタル表現を使用して情報の交換と相互運用を促進し，設計，施工から施設管理に対する新しい手法」[7] と述べている．その後，10 年間で建築工学分野における BIM は急速な広がりを見せ，NIBIS（National Institute of Building Sciences）では，「建築物の物理的および機能的特性のデジタル表現であり，BIM は建築物のライフサイクルにおいて，意思決定を行うための信頼できる基盤を形成する建築物に関する情報共有資源である．」[8] と定義している．

建築工学分野における BIM の導入効果を通じて，2016 年には英国政府調達における義務化[9] や 2018 年には EU 諸国の政府動向をまとめた『EU BIM Handbook』[10] の発刊など，公共工事の執行プロセスを改善するとともに，生産性や品質向上の骨幹を支える技術的手段に用いられている．

1.1.4 土木工学分野への BIM 適用（BIM for Infrastructure）

土木工学分野への BIM 適用については，日本における CIM（Construction Information Modeling/Management）に加え，海外の研究者や団体により Civil BIM，CIM（Civil Infrastructure Modeling），VDC（Virtual Design and Construction）や Heavy BIM など様々な呼び方がある[11)~13)]．Fith[11] によれば，米国の高速道路，空港，ダム，河川や上下水道などの土木工学分野への BIM の効果事例とともに，この分野への投資を行う企業が 2011 年の 38%から 2016 年には 51%へと増大していることが報告されている．

日本の政府調達においては，2012 年度に国土交通省直轄事業におけるダム，橋梁，トンネルなどの 11 件を対象に CIM の試行を開始した．CIM は「調査，設計段階から 3 次元モデルを導入し，施工，維持管理の各段階での 3 次元モデルを連携・発展させることにより，設計段階での様々な検討を可能とするとともに，一連の建設生産システムの効率化を図るものである．」と定義している[13]．同年度に開始した CIM 試行事業は，詳細設計を中心に現在の 2 次元図面に加えて，新たに 3 次元モデルを作成して，業務における利活用場面を検討した．2013 年度は，概略設計を加えた 13 件の設計業務と 47 件の工事に対して CIM 試行事業を実施した．CIM 試行事業における効果と課題を通じて，国土交通省は，2016 年度に調査・設計から維持管理段階における 3 次元モデルの作成目安などを取りまとめた『CIM 導入ガイドライン（案）』[14] を策定した．2018 年度は，新たに工事数量算出に用いる 3 次元モデルの基本的な表現方法を加えた『土木工事数量算出要領（案）』[15] の改定や従来の 2 次元図面に替わり 3 次元モデルでの契約方法の検討などを進めている．このように，BIM/CIM を含めた 3 次元データを活用し，公共工事の生産性向上を実感できる環境の整備が進められている．

1.2　研究の目的

本研究の目的は，鋼橋を対象に公共工事にて使用する工事数量算出と積算を行い，工事の進捗状況を定量的に把握するための 3 次元プロダクトモデルを開発することである．はじめに，既往の研究を通じて現状の課題を整理し，改善を必要とする項目について取りまとめた．次に，改善を必要とする項目を解決するための 3 次元プロダクトモデルの構造を定義して，準拠すべき設計基準や指針などに従った鋼橋の 3 次元プロダクトモデルを開発した．最後に，研究の達成結果について考察を行った．

1.3　論文の構成

本論文は，全 7 章で構成する．本論文の構成を図 1-1 に示す．

第 1 章では，研究の背景として，公共工事の執行プロセスの現状と課題を踏まえ，3 次元プロダクトモデルを利用した公共工事におけるマネジメント手法を整理し，研究の目的を述べる．

第 2 章では，既往の研究および本研究の新規性について述べる．既往の研究は，橋梁の 3 次元プロダクトモデルに関する研究，BIM を用いた積算に関する研究，出来高管理（EVM）に関する研究と BIM/CIM を用いた EVM に関する研究を整理した．それらを踏まえて，既往の研究に対する本研究の新規性を述べる．

第 3 章では，本研究にて開発した公共工事の調達数量に基づいた橋梁の 3 次元プロダクトモデルの作成方法と開発環境の概要を述べる．

第 4 章では，土木工学分野の 3 次元プロダクトモデルの検討が進められつつある橋梁を対象に公共工事の工事数量算出を行うための 3 次元プロダクトモデルの構築手法について述べる．

第 5 章では，公共工事の調達単位や複数の公共工事を統合して客観的に評価して監理する発注側の新たな積算マネジメント手法について述べる．

第 6 章では，公共工事の執行プロセスに橋梁の 3 次元プロダクトモデルを適用する方法を述べる．

第 7 章では，結論を述べる．

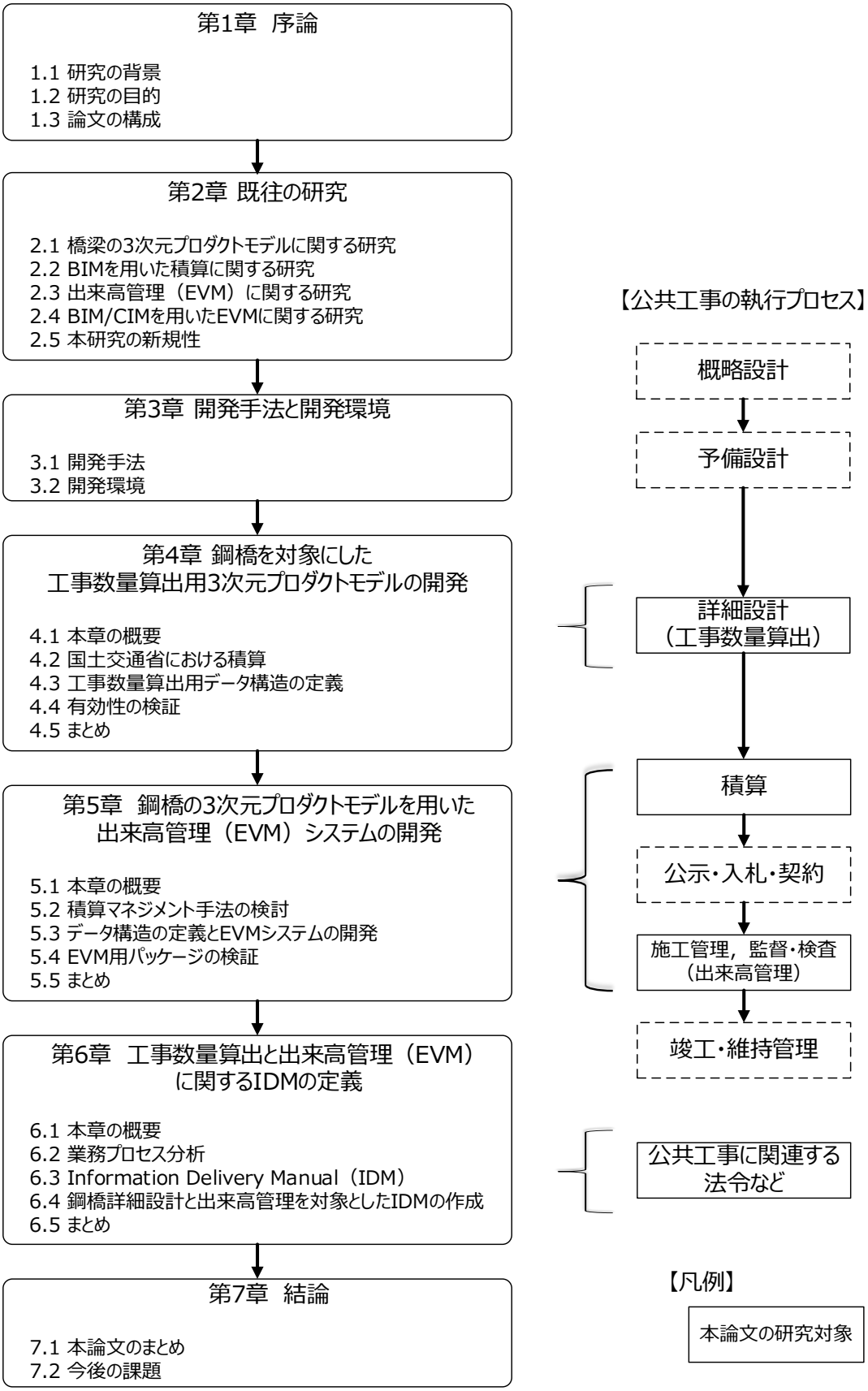
第1章　序論
1.1 研究の背景
1.2 研究の目的
1.3 論文の構成
第2章 既往の研究
2.1 橋梁の3次元プロダクトモデルに関する研究
2.2 BIMを用いた積算に関する研究
2.3 出来高管理（EVM）に関する研究
2.4 BIM/CIMを用いたEVMに関する研究
2.5 本研究の新規性
第3章 開発手法と開発環境
3.1 開発手法
3.2 開発環境
第4章 鋼橋を対象にした
工事数量算出用3次元プロダクトモデルの開発
4.1 本章の概要
4.2 国土交通省における積算
4.3 工事数量算出用データ構造の定義
4.4 有効性の検証
4.5 まとめ
第5章　鋼橋の3次元プロダクトモデルを用いた
出来高管理（EVM）システムの開発
5.1 本章の概要
5.2 積算マネジメント手法の検討
5.3 データ構造の定義とEVMシステムの開発
5.4 EVM用パッケージの検証
5.5 まとめ
第6章　工事数量算出と出来高管理（EVM）
に関するIDMの定義
6.1 本章の概要
6.2 業務プロセス分析
6.3 Information Delivery Manual（IDM）
6.4 鋼橋詳細設計と出来高管理を対象としたIDMの作成
6.5 まとめ
第7章　結論
7.1 本論文のまとめ
7.2 今後の課題
【公共工事の執行プロセス】
概略設計
予備設計
詳細設計
（工事数量算出）
積算
公示・入札・契約
施工管理，監督・検査
（出来高管理）
竣工・維持管理
公共工事に関連する
法令など
【凡例】
本論文の研究対象

図 1-1　本論文の構成

第2章　既往の研究

2.1 橋梁の 3 次元プロダクトモデルに関する研究

2.1.1 国際標準化

橋梁のプロダクトモデルに関する開発には，1999 年より矢吹ら[16]により土木構造物を対象にした研究が行われている．当時，モデリングに関する標準的な方法論が未だ確立されておらず，各研究者や組織などにより，様々なアプローチがなされていた．そこで，将来の国際標準化の視点からも有利であるため，IFC の基本構造を壊さず，最小限の部材クラスを新しく定義し，他の土木構造物の表現にも利用できるよう汎用性を考慮した開発方法により，プレストレストコンクリート中空スラブ橋を対象に，基本設計から詳細設計，施工における各種アプリケーションシステム間のデータ相互運用を可能とするための 3 次元プロダクトモデル YLPC-BRIDGE（Yabuki Laboratory Prestressed Concrete BRIDGE product model）が開発された[17)~20)]．開発した橋梁の 3 次元プロダクトモデルを実務に適用させていくために，一般に広く使用されている 3 次元 CAD を用いたデータの相互運用と 3 次元プロダクトモデルの作成に必要な形状定義などの入力作業を軽減するコンバータプログラムを開発している[21)]．

YLPC-BRIDGE に続き，鋼桁橋を対象としたプロダクトモデル YLSG-BRIDGE（Yabuki Laboratory Steel Girder BRIDGE product model）を開発し，これら 2 つの橋梁の 3 次元プロダクトモデルを統合したものが J-IFC-BRIDGE（Japan IFC-BRIDGE）である．しかしながら，J-IFC-BRIDGE は PC 橋梁と鋼桁橋のプロダクトモデルのため，他の橋梁形式を表現することは困難であった．

同時期にフランスにおいて，IFC に基づく橋梁一般を対象としたプロダクトデータモデル IFC-BRIDGE が SETRA（Service d’Etudes Techniques des Routes et Autoroutes：道路及び高速道路技術研究所）が中心となり開発された．IFC-BRIDGE は，橋梁全般を対象としたプロダクトモデルのため，ボイド，シースや PC 鋼材定着装置などの部材を表現するクラスは存在しなかった．そこで，IFC-BRIDGE と J-IFC-BRIDGE の相方の長所を生かし，短所を補い橋梁全般を対象とした新 IFC-BRIDGE が開発された．新 IFC-BRIDGE は，ほぼ全ての橋梁形式に対応し，ほぼ全ての各橋梁上部工部材を表現するクラスが定義されている[22)~25)]．

米国 FHWA（Federal Highway Administration）では，bSI により検討された成果を分析し，高度な 3 次元モデリングを用いて橋梁の資産管理を含めたライフサイクルに全般にわたる情報基盤を構築する BrIM（Bridge Information Modeling Standardization）と呼ばれる研究が行われている[26)]．BrIM の研究結果を踏まえ，IFC を利用した IFC Bridge Design to Construction Information Exchange（U.S.）[27)]が公開されている．また，有賀[28)]らにより，国際的な情報交換を前提として BrIM を日本の橋梁へ適用する研究が行われている．

2.1.2 設計照査，工場製作や配鉄検査などへの応用

我が国の橋梁に関する情報標準化は，1997 年より（一社）日本橋梁建設協会に設立した「建設 CALS 特別委員会」において設計段階の情報を製作段階で利用するための交換仕様として「構造設計モデル」と称する考え方が提案されている．また，山崎ら [29] により道路管理のデータモデルとして，Japan Highway Data Model（JHDM）と称する研究が行われている．この取組みの中で，本郷ら [30] により鋼橋の基本設計から現場架設までの業務分析に従い，必要とする情報を体系化した道路構造モデルの研究が行われている．先進的な企業において 3 次元プロダクトモデルを中核とした鋼橋製作情報システムが開発され，設計照査から仮組み立てまでの業務を支援する複数のシステムが市販されている [30]．3 次元プロダクトモデルの相互運用性を高めるため，現実世界にコンピュータで構築した仮想世界を組み合わせる AR（Augmented Reality）技術と 3 次元プロダクトモデルを組み合わせた配鉄検査システムの開発が行われている [31), 32]．

維持管理段階では，高経年橋梁の増加により既設橋梁の維持管理の重要性が高まることから，山岡ら [33] により維持管理段階で必要とする構成部材毎の詳細度と属性情報に関する研究や板倉ら [34] により，3 次元プロダクトモデルの詳細度案の設定および 3 次元プロダクトモデルの作成に必要とする費用と便益に関する検討が行われている．また，橋梁のライフサイクル全体で発生する膨大なデータ管理と共有に関する研究には，四月朔日ら [35] により DBMS（DataBase Management System）への格納方法に関する研究が行われている．

橋梁の 3 次元プロダクトモデルに関する研究は，主にその開発及び工場製作に関する研究がほとんどであり，公共工事の数量算出や積算と 3 次元プロダクトモデルの関係にまで着目した研究までは見当たらない．

2.2 BIM を用いた積算に関する研究

2.2.1 建築：BIM を利用した積算

建築工学分野における BIM を用いた積算に関する研究には，Faraj ら [36] によりサルフォード大学での建設工事を対象に，IFC 形式の BIM をインターネット環境により複数の関係者と共有して設計，予算や工程に関する作業を協業する WISPER（Web-based IFC Shared Project EnviRonment）と呼ばれる研究が行われている．Staub-French ら [37] により，IFC 形式のファイルを直接読み込んで，部材形状と特性に応じて対応する価格を自動的に適用する積算システムが提案されている．また，設計段階の進捗に伴い発生する変更に対応するため，設計段階に応じて主な工事数量を集計して，建築物全体の工事費算出や RC 構造物を対象に構造躯体の各工法に必要とする概算費用の比較に関する研究が行われている [38), 39]．早坂ら [40] により，IFC を使用して建築意匠・設備設計が一体となったデジタル環境設計手法を提案し，建築設計の BIM 情報，建材データベースとの連携による自動積算ツールの開発が行われている．BIM の活用例として環境や設備のシミュレー

ションや効率的な数量積算などが既に技術的には実現可能であることが指摘されている[41]．独自の中間フォーマットに関する取り組みには，民間建築において設計，積算や施工などの業務毎に異なるソフトウェアが利用されていることから，（公社）日本建築積算協会では，BIM と建築積算システムを連携する中間ファイルを公開している[42]．（公社）日本建築積算協会が公開している中間ファイルは，積算システム側から見た IFC の仕様が複雑であることより，独自に定義した中間ファイル形式である．公共工事の調達に関する研究には，Ma ら[43] により，積算用ソフトウェアに適用する情報モデルを定義して，BIM を使用して中国の要求仕様に基づいた骨組みの積算を行うソフトウェアを開発している．また，同時期に，中国における製品仕様を分析し，IFC を用いた BQ（Bill of Quantity）品目を識別するモデルと運用規則が提案されている[44]．

BIM を利用した積算に関する研究は，主に民間建築が対象である．理由として，意匠，構造や設備など異なる分野の技術者が協調的・効率的に素早く建築構造物の設計や施工を行う必要があることなどが挙げられる．公共建築では，広く公平に調達可能な設備などを求めることより，特別な場合を除き設計段階で調達する設備の製品などを指定することができない．このため，公共建築を対象として 3 次元プロダクトモデルを用いた設計，積算や施工といったプロセスを跨ぐ研究は少ない．

2.2.2　土木：3 次元プロダクトモデルを利用した積算

土木工学分野における 3 次元プロダクトモデルを利用した積算に関する研究には，矢吹ら[45] により，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するとともに，設計照査システムと数量計算・積算システムの開発や藤澤ら[46] により実際の鉄道プロジェクトに適用させて，現在の設計から施工における積算の流れを確認し，橋梁下部を対象に詳細設計で作成した 3 次元プロダクトモデルについて民間積算に活用する際の手法が検討されている．また，有賀ら[47] により，土地造成工事や道路工事の土量配分にブロックモデルを用いて，完成形状の確認，プログラムによる土工分類の判定，積算および工程表に関する研究が行われている．

公共工事の契約制度は，原則，設計施工分離発注方式である．国土交通省工事契約書によれば，施工者は，仮設，施工方法その他工事目的物を完成するために必要な一切の手段については，この契約書及び設計図書に特別の定めがある場合を除き，施工者の責任において定めることとなっている．このため，施工者が行う独自の手段に合せて工種体系や内訳を使用した 3 次元プロダクトモデルと積算に関する研究が行われている．土木工学分野において共通の工事工種体系を使用して公共工事の執行プロセスを跨ぐ，工事数量算出から積算と 3 次元プロダクトモデルの関係に着目した研究は見当たらない．

2.3 出来高管理（EVM）に関する研究

EVMS（Earned Value Management Systems）は, 1967 年に米国国防省（DoD: Department of Defense）によりコスト/スケジュール管理基準（C/SCSC: Cost/Schedule Control System Criteria）として策定された[48]．約 30 年にわたる C/SCSC での運用を経て，1998 年 7 月に米国国家基準/電子産業連名（ANSI/EIA）よりプロジェクト実施時の費用, 工程などの進捗状況の測定, 分析と評価を中心に, プロジェクトのマネジメントシステムとして発行されている[49]．EVM は，工程と原価の 2 つの管理要素である工程効率指数（SPI: Schedule Performance Index）と出来高効率指数（CPI: Cost Performance Index）を用いて工事の進捗状況を把握する．EVM を実施するためには，プロジェクトに必要な作業を具体的な作業工程と進捗が把握可能な作業単位まで階層化して詳細化する必要がある．この作業は，作業分割構成と呼ばれ，その作業分割構成の最下位層を構成するものを作業最小単位（WP: Work Package）と呼ぶ.

我が国における EVM に関する研究には, 公共工事に EVM を適用する場合の標準的な手順や留意点などを示した『EVMS による公共工事の出来高・工程管理の手引き（案）』[50] や鈴木ら[51] により EVM の評価軸である工程と費用に対する価値の設定方法にグラフ理論の中心性指標の 1 つである媒介性指数を用いる研究が行われている．また，織田ら[52] により施工者側の工事事務所に点在する様々な情報を日常業務の作業手順に沿って，自動的に記録，活用することを目的とした「生産情報管理システム」に関する研究が行われている．生産情報管理システムは，作業分解構成の共通化にあたり，土木工事における慣用的な用語，体系や契約などの一意に定まる用語や体系に起因する課題の解決策にマトリックス型の要素体系を用いている．この複数の要素体系を有する作業分解構成を用いることで工程，原価，資源などの土木工事の生産情報を時間軸に沿ってリアルタイムに管理し, EVM に基づく生産性指数を使った工程及び原価の分析を行うシステムである.

EVM は，プロジェクトのマネジメントに必要な要素を設定し，その進捗状況を測定，分析と評価する手法を示している．しかしながら，作業分割構成の設定は EVM 実施者の経験や知見に依存する．さらに，発注者は，進捗の異なる複数の公共工事を同時に監督する必要がある．このため，共通の解釈の基に利用でき粒度が整った作業分解構成が必要である.

2.4 BIM/CIM を用いた EVM に関する研究

Russell ら[53] による公共工事のマネジメント手法に関する調査によれば，最近の 50 の国際公共工事では，EVM，BIM，LBM（Location Based Management）の 1 つ以上をマネジメント手法に使用している．また，3 つのマネジメント手法のうち 2 つを使用している割合は 38.1%であり，3 つを使用している割合は 23.8%と報告している．建築工学分野における BIM を用いた EVM の要素である工程と費用に関する研究には，Forest ら[54] により，2 次元 CAD と作業や費用などの統合

化には作業分割構成に共通する分類コードを用いることの重要性を指摘している．また，Tanyer ら[55]により国際標準フォーマットである IFC を用いた工程管理や Su-Ling ら[56]により BIM より出力した情報を用いて工程と費用の自動連携に関する研究が行われている．

土木工学分野における 3 次元プロダクトモデルを用いた EVM に関する研究には，矢吹ら[57]による施工管理の効率化，高度化及び出来高部分払い方式への対応を目的として，切土盛土工事を対象に 4 次元 CAD と EVM を統合化したシステム構築に関する研究が行われている．

BIM/CIM を用いた EVM に関する研究は，3 次元プロダクトモデルの国際標準フォーマットである IFC が土木構造物を直接的には未対応であることにより，建築物を対象とした研究が主体である．さらに，複数の公共工事を統合監理するための 3 次元プロダクトモデルまで着目した研究は見当たらない．

2.5　本研究の新規性

本研究の目的は，鋼橋を対象に公共工事にて使用する工事数量算出と積算を行い，工事の進捗状況を定量的に把握するための 3 次元プロダクトモデルを開発することである．

2.5.1　公共工事の調達数量と積算を行うための新たなデータ構造の定義

国土交通省では，2012 年度から 2016 年度までに実施した 3 次元モデルを用いた CIM 試行事業（業務・工事）の効果には，関係者間の「合意形成の迅速化」が最も高く，意思伝達のツールとしての有効性が確認されている．一方，監督・検査，工事数量算出や進捗状況の把握など，本来効果が見込める項目の活用効果が少ない. その理由の 1 つに 3 次元モデル作成の手順に関する「基準，ルールの未整備」があると報告されている．このうち公共工事の工事数量算出に使用できない理由には，公共工事の数量算出項目及び区分に従った工事数量算出が可能な 3 次元モデルの作成手法が示されていないことに加え，算出した工事数量をどのように公共工事の積算に連携するか示されていないからである．

そこで，本研究では，土木工学分野の 3 次元プロダクトモデルの検討が進められつつある橋梁を対象に公共工事の工事数量算出を行うための 3 次元プロダクトモデルの構築手法を提案した．提案手法の基本的な着眼点は，3 次元プロダクトモデルに『土木工事数量算出要領（案）』に従った「数量算出項目及び区分」などの新たなデータ構造を定義して，工事数量算出を行い，公共工事の積算への連携手順を示すことである．

2.5.2　発注側の新たな積算マネジメント手法の開発

公共工事において調査から積算を経て工事を実施し，構造物を完成するまでの過程を対象として，コストを適正に管理する手法は「積算マネジメント」と呼ばれている[58]．積算マネジメント

を行う手法の 1 つとして EVM が存在している．国土交通省では，公共工事の進捗管理を体系的に実施するため，EVM を用いた出来高と工程管理を推奨しているが，導入事例は多くない．理由の 1 つとして，EVM に用いる具体的な作業分割構成（WBS：Work Breakdown Structure）の粒度が示されていないことが挙げられる．このため，作業分割構成の粒度は作成者の知識や経験などに依存する．その結果，EVM の管理粒度は公共工事毎に異なり，過去の公共工事によって得られた知見の反映や工区分割された各公共工事の進捗状況を総合的に監理することができない．公共工事の進捗状況を総合的かつ，客観的に監理するためには，積算マネジメントにおいて共通に利用でき，標準化され，互いに粒度が整った作業分割構成が必要である．

そこで，本研究では，公共工事の調達単位や複数の公共工事を統合して客観的に評価して監理する発注側の新たな積算マネジメント手法を提案することを目的とした 3 次元プロダクトモデルを用いた出来高管理（EVM）システムを構築し，工程計画の妥当性や進捗状況について論理的に明示して，分析することが可能か検証を行うこととした．

第3章　　開発手法と開発環境

3.1 開発手法

本研究の目的は，鋼橋を対象に公共工事にて使用する工事数量算出と積算を行い，工事の進捗状況を定量的に把握するための 3 次元プロダクトモデルを開発することである．

はじめに，新土木工事積算体系に従った工事数量算出から積算までの流れを DFD（Data Flow Diagram）[59] に整理し，公共工事の積算に使用している新土木工事積算システムの工事工種体系データを基に数量算出項目及び区分と積算を連携するために必要な情報を抽出し，階層関係を判別する新たなタグを追加して連携用のデータ仕様を定義した．DFD は，情報システムに関わるデータの入出力と手順を表現する図である．DFD にて明らかにしたデータの入出力と手順を 3 次元プロダクトモデルに実装するため，IDEF1X[60] の表記に従い ER（Entity Relationship Diagram）図を用いてデータ構造を定義した．ER 図とは，データを「実体（entity)」,「関連（relationship)」と「属性（attribute)」の 3 つの構成要素を用いてデータを定義するものである．これを用いて，数量算出項目及び区分を 3 次元プロダクトモデルにあてはめて，実体を表現する幾何形状情報（entity)，実体間の関連（relationship）と単位や規格などを表す属性情報（attribute）のデータ構造を定義した．この ER 図に従い鋼橋の 3 次元プロダクトモデルを構築し，公共工事の積算に使用する工事数量総括表などを作成できることを確認するとともに，従来では必要としていた作業を自動化して有効性を検証した．（第 4 章）．

次に，公共工事の調達単位や複数の公共工事を統合して客観的に評価して監理する発注側の新たな積算マネジメント手法を提案することを目的とした 3 次元プロダクトモデルを用いた出来高管理（EVM）システムを構築した．第 4 章にて新たに定義したデータ構造を用いて，公共工事の積算基準に従い EVM の実施に必要な直接工事費と工事日数を自動算出するシステムを開発し，工程計画の妥当性や進捗状況について論理的に明示して，分析することが可能か検証を行った．検証の結果，工事数量，直接工事費，工事日数と出来高管理を公共工事の調達単位に基づき連携して監理できることを示した（第 5 章）．

おわりに，本研究にて提案する 3 次元プロダクトモデルを公共工事の執行プロセスに適用するため, 準拠すべき法令や基準類に基づく作業や情報を Business Process Modeling Notation（BPMN）の標記方法に基づき体系的に整理し，橋梁詳細設計の設計項目，工事数量算出，積算から出来高管理までの流れを IDM（Information Delivery Manual）[61] を用いて定義した（第 6 章）．これにより，提案する 3 次元プロダクトモデルを現在の公共工事の執行プロセスにあてはめて使用する方法を示した．

3.2 開発環境

本研究では，提案手法の有効性を検証するために，汎用的なデスクトップ PC に 3 次元プロダクトモデルを構築して検証を行った．本研究に使用したシステムの開発環境を**表 3-1**，使用ソフトウェアを**表 3-2** に示す．本研究の流れと使用したソフトウェアを**図 3-1 に**示す．

3 次元プロダクトモデルの構築は，BIM のソフトウェアである Autodesk Revit を使用した．Autodesk Revit は幾何形状の他，これに付随する材質などの属性情報も追加できる．工事数量は Autodesk Revit の数量集計機能を用いて，新土木工事積算体系に基づいた工事数量の CSV（comma-separated values）ファイルを抽出できるように工夫した（第 4 章，第 5 章）．

データベースアプリケーションは，Microsoft Access の Visual Basic for Applications を使用して，工事数量の CSV ファイルを読み込んで直接工事費と工事日数の算出し，EVM 用パッケージの出力を行うアプリケーションを開発した．EVM 用パッケージは，算出した直接工事費と工事日数を新土木工事積算体系の細別までの階層にあてはめたものである（第 5 章）．

表計算ソフトウェアである Microsoft Excel を使用して，EVM 用パッケージを読み込み，施工工程を入力し，工程効率指数（SPI），出来高効率指数（CPI），完成時予測工事費（EAC）と完成時予測工期（Tec）を自動算出する出来高管理（EVM）システムを構築し，工程計画の妥当性や進捗状況について論理的に明示できる方法に基づいた分析が可能か検証を行った（第 5 章）．

アプリケーション設計に必要とするデータの入出力と手順を表現する DFD や ER 図などは，Change Vision 社の astah professional を使用した．

表 3-1 システムの開発環境

分類	仕様
Windows Edition	Windows 7 Professional
CPU	Intel（R）　Core（TM）i-7-4770 CPU@3.4GHz×2
実装メモリ	8.00GB
システムの種類	64 ビットオペレーティングシステム

表 3-2 使用ソフトウェア

分類	会社	ソフトウェア名
アプリケーション設計	Change Vision 社	astah professional
BIM ソフトウェア	Autodesk 社	Revit 2016，Revit 2018
データベース	Microsoft 社	Access 2013
BPMN 標記	Microsoft 社	Visio 2013
EVM 用パッケージ	Microsoft 社	Exvel 2013

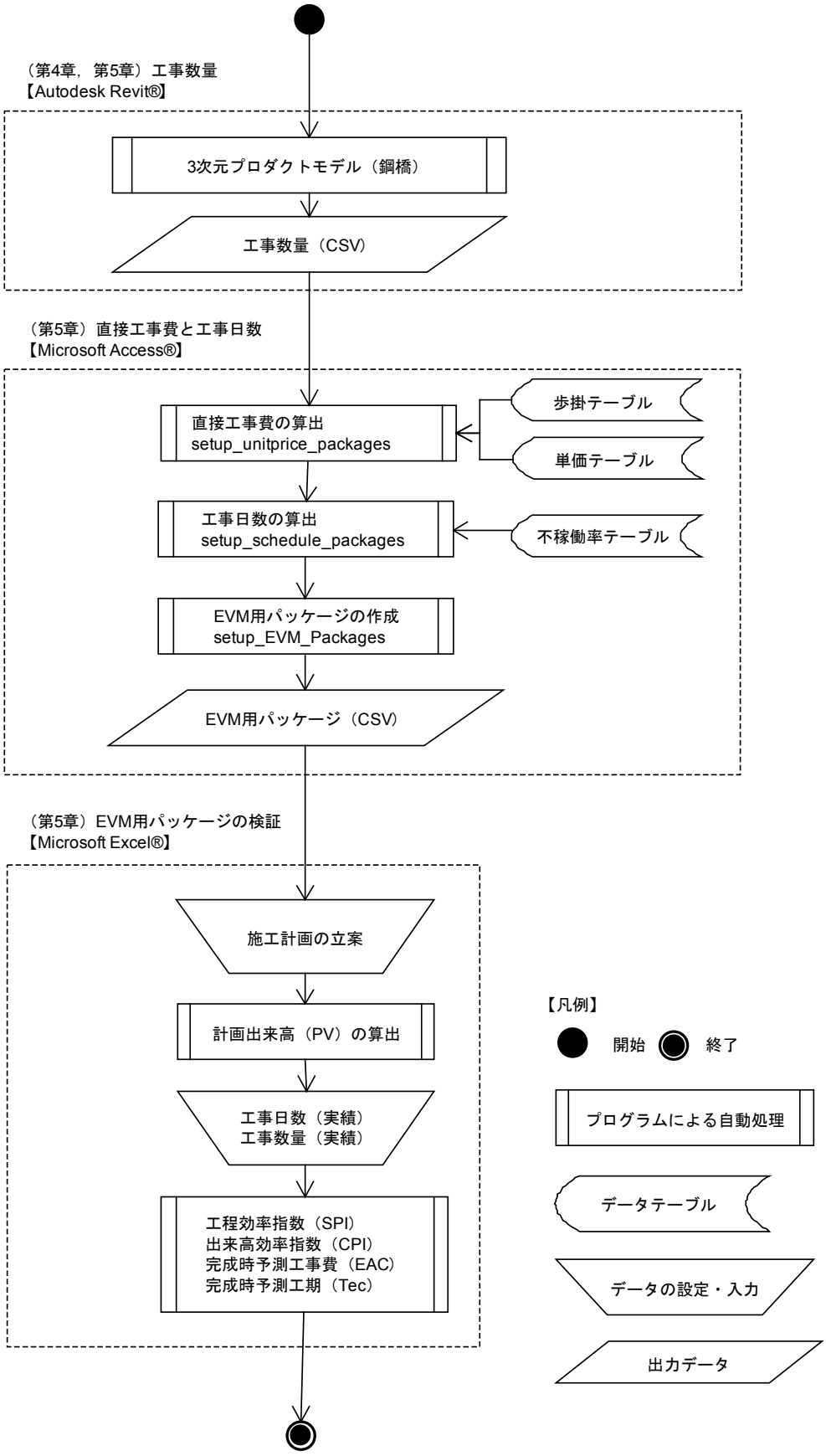

図 3-1　本研究の流れと使用したソフトウェア

第4章　鋼橋を対象にした工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルの開発

4.1 本章の概要

本章では，土木工学分野の 3 次元プロダクトモデルの検討が進められつつある橋梁を対象に公共工事の工事数量算出を行うための 3 次元プロダクトモデルの構築手法を提案する．提案手法の基本的な着眼点は，3 次元プロダクトモデルに『土木工事数量算出要領（案）』に従った「数量算出項目及び区分」などの新たなデータ構造を定義し，公共工事の積算への連携手順を示すことである．

はじめに，工事数量算出から積算までの手順と入出力しているデータを DFD（Data Flow Diagram）[59] を用いて明らかにした．DFD は，情報システムに関わるデータの入出力と手順を表現する図である．次に，DFD にて明らかにしたデータの入出力と手順を 3 次元プロダクトモデルに実装するため，IDEF1X[60] の表記に従い ER（Entity Relationship Diagram）図を用いてデータ構造を定義した．ER 図とは，データを「実体（entity）」，「関連（relationship）」と「属性（attribute）」の 3 つの構成要素を用いてデータを定義するものである．これを用いて，数量算出項目及び区分を 3 次元プロダクトモデルにあてはめて，実体を表現する幾何形状情報（entity），実体間の関連（relationship）と単位や規格などを表す属性情報（attribute）のデータ構造を定義した．この ER 図に従い 3 次元プロダクトモデルを構築し，公共工事の積算に使用する工事数量総括表などを作成できることを確認するとともに，従来では必要としていた作業を自動化して有効性を検証した．

4.2 国土交通省における積算

4.2.1 積算に関する要領及び基準

「積算・見積りとは，対象とする工事を完成させるにはいくらかかるか，その金額を算出すること」[58] である．一般的に土木工事では，発注者が行う工事費算出までを“積算”といい，施工者が行うそれを“見積り”という．国や地方公共団体が発注する公共工事では，発注者側で積算を行い『会計法』や『地方自治体法』などに基づいて「予定価格」を設定して調達を行っている．国土交通省では，請負工事の予定価格の算定を適正にすることを目的に『土木工事 工事費積算要領及び基準』[62] を定めている．これは，国土交通省直轄の土木工事を施工する場合に工事の設計書に計上すべき当該工事の工事費の算定について必要な事項を定めたものである．**図 4-1** に公共工事に関する法律や要領・基準類を示す．

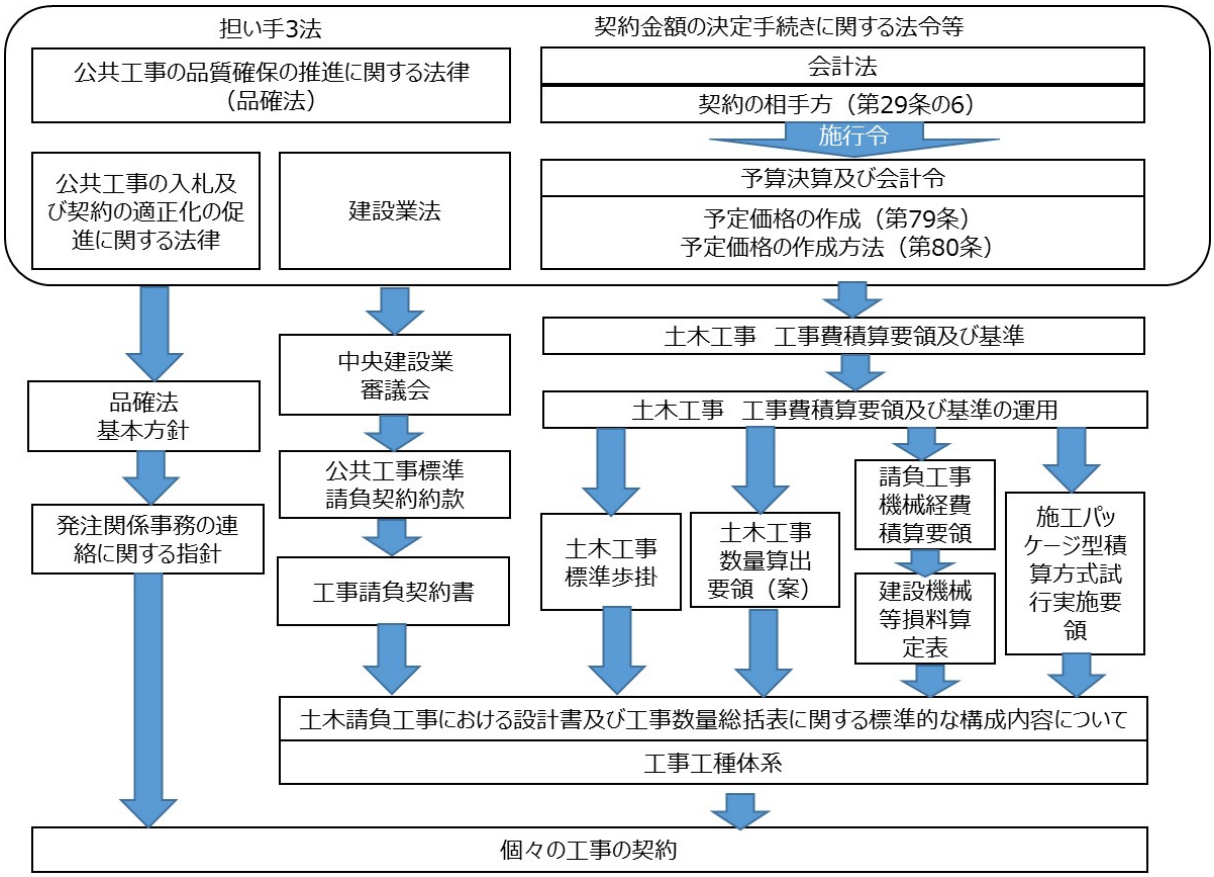

図 4-1　公共工事に関する法律や要領・基準類

4.2.2　工事工種体系

国土交通省では，従来の積算体系について合理的・機動的かつ，統一性・一貫性のある体系への見直しを行い，新しい積算の枠組みを作るため「新土木工事積算大系」と称する作業に取り組んでいる．この作業により，直接工事費の積算に使用する工事工種の体系化を行い積算階層数や階層定義，細分化方法などの構成方法，用語名称や数量単位などの表示方法を工種毎に標準化と規格化を進めている[63)]．工事工種体系は，さまざまな公共工事の内容を標準的に細分化するための体系ツリー図である．この体系ツリー図は，7 つの階層（レベル）により構成されている．これにより，契約対象となる工事目的物の必要かつ標準的な構成要素を把握することができる．工事工種体系の階層（レベル）を**表 4-1** に示す．

4.2.3　工事数量算出と新土木工事積算システム

工事数量算出は，設計にて作成した図面を基に土木工事数量算出要領（案）の数量算出項目及び区分に示されるレベル 4（細別）とレベル 5（規格）の工事数量を集計して「工事数量集計表」

[64] に取りまとめている．国土交通省は，「新土木工事積算システム」[65] と称した積算システムを開発し，運用している．新土木工事積算システムは，工事工種体系に基づき公共工事に必要な材料費，労務費，直接経費を積み上げて工事価格を算出し，「工事数量総括表」や「積算計算書」を作成するものである．**図 4-2** に設計から積算までの流れを DFD に整理した結果を示す．積算では，詳細設計段階の工事数量集計表に記載されるレベル 4（細別），レベル 5（規格）の数量と図面を照合し，記載内容や工事数量に間違いがないことを照査する．新土木工事積算システムでは，工事数量集計表に記載されるレベル 4（細別）に付随するレベル 5（規格）に対するレベル 6（積算要素）の歩掛や単価を選択して積算する．しかし，レベル 4（細別）やレベル 5（規格）が同一名称であっても上位のレベルが異なる場合，レベル 6（積算要素）は異なる．このため，新土木工事積算システムと連携するには，土木積算基準データの工事工種体系のレベル 1（工種区分）からレベル 4（細別）までの各階層の上位項目を特定できる情報を工事数量集計表に付与しておく必要がある．すなわち，3 次元プロダクトモデルより工事数量を算出して積算と連携するには，算出した工事数量には工事工種体系との関連が具備されていること，数量算出項目及び区分に従っていることの 2 つの条件が必要である．

表 4-1　工事工種体系の階層（レベル）

レベル	名称	内容
レベル 0	事業区分	予算制度上および事業執行上の区分を中心とした区分
レベル 1	工事区分	工事発注ロットおよび発注者を考慮してレベル 0 を分割したもの
レベル 2	工種	レベル 1 を構成する要素のうちで，一定の構造をもつ部位を施工するための一連作業の総称
レベル 3	種別	体系全体の見通しを良くするため，レベル 2 とレベル 4 をつなぐレベル区分
レベル 4	細別	工事を構成する基本的な単位目的物もしくは単位仮設物であって，単位とともに契約数量を表示するレベル
レベル 5	規格	レベル 4 を構成する材料等の客観的な材質・規格ならびに契約上明示する条件等
レベル 6	積算要素	レベル 4 の価格算定上の構成要素であって，基本的には契約上明示しないもの．

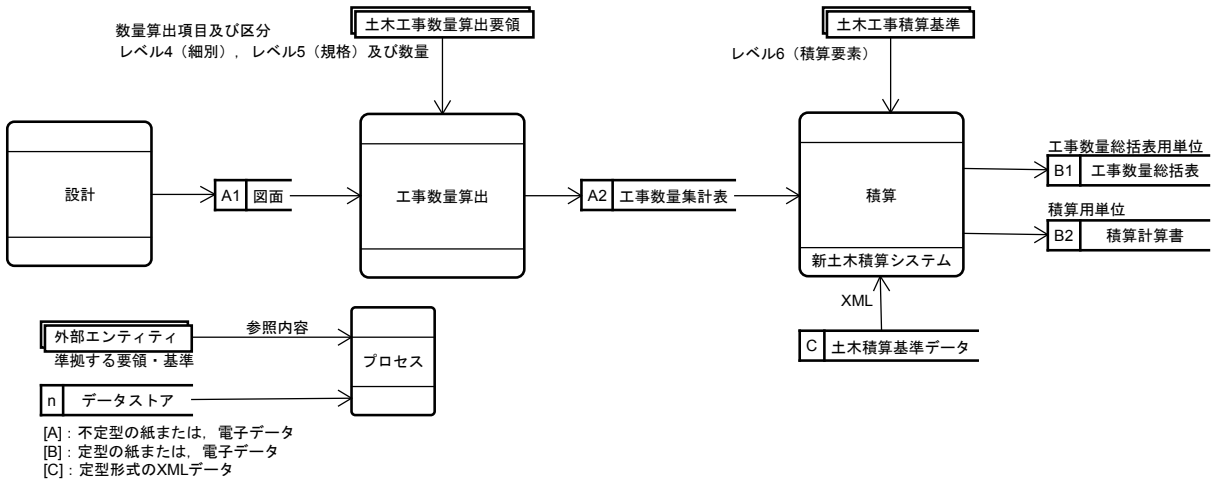

図 4-2　数量算出から積算（DFD）

4.3　工事数量算出用データ構造の定義

4.3.1　工事工種体系との関連の定義

新土木工事積算システムにて取り扱う情報は土木積算基準データと呼ばれ，そのデータ構造，内容とデータ記述形式は，『XML 形式基準データ仕様解説書』[66] により公開されている．全体のデータ記述規則は，文字コード：EUC-JP，タグ名称：日本語，DTD：宣言必須であり，データ記述形式は XML に統一されている．しかし，土木積算基準データの工事工種体系データは，各レベルの名称一覧であるためレベル間の階層関係を把握できる仕様になっていない．そこで，算出した工事数量と工事工種体系の関連付けを行うため，土木積算基準データ（**表 4-2**）の工事工種体系データ仕様を基に，工事工種体系の階層関係を判別するための「上位体系名称」のタグを追加した積算連携用データ仕様を定義した．**表 4-3** に数量算出項目及び区分（鋼橋上部）の桁製作工を，**図 4-3** に新たに定義した積算連携用データ仕様を，**図 4-4** に積算連携用データ（鋼橋上部）のインスタンスを示す．

表 4-2　土木積算基準データ

データ名	データの内容
工事工種体系データ	工事工種体系の工事区分以下において，標準的な構成内容を階層構造で規定する．
細別情報データ モジュール内訳書	細別項目の施工単価（ST）データで構成される要素の組合せ．
施工単価（ST） データ	単価表を生成するため土木施工に関するものを始め,機械運転単価表等も含まれる.単価表を生成するために設問（J 条件）が定義する．
施工パッケージ（SP） データ	標準単価を構成する機械・労務・材料の構成比率（機労材構成比）を用いて積算単価を算出する．
労務属性データ	構成行の一部である労務の名称，単位等．ただし，労務単価は含まれない．
材料分類データ	構成行の一部である材料の分類．
機械分類データ	個々の材料に関わる詳細な情報（名称，規格，単位他）を持つ．但し，材料の価格は含まない．
機械損料データ	建設機械等の分類，名称，規格，単位に加え，機械損料．但し，賃料で利用される機械については，賃料（単価）を含まない．
間接工事費等率 データ	共通仮設費，一般管理費，現場管理費等の各種間接費を計算するための率情報．
基準書・章・項データ	基準書の「編」,「章」,「項」の名称．
施工単価（ST） 一覧データ	施工単価（ST）毎に「編」,「章」,「項」の情報を持つ．

表 4-3　数量算出項目及び区分（鋼橋上部）

工事区分（レベル 1）	工種（レベル 2）	種別（レベル 3）	
鋼橋上部	工場製作工	桁製作工	
細別（レベル 4）	規格（レベル 5）		
	規格	積算用単位	総括表用単位
製作加工	鋼材規格	t	t
ボルト・ナット	ボルト・ナット種類	組	組
スタットジベル	径・長さ	本	本

```
<?xml version="1.0" encoding="EUC-JP" ?>
<積算連携用工事工種体系データ>
<工事工種体系 [1]体系名称="×××" [2]体系レベル="X" [3]上位体系名称="×××"
                [4]内訳書単位="×" [5]総括表単位="×"  />
</積算連携用工事工種体系データ>

【凡例】
  [1]工事工種体系名称 [2]工事工種体系レベル番号 [3]工事工種体系の上位名称
  [4]設計内訳書の単位 [5]工事数量総括表用の単位
```

図 4-3　積算連携用データ仕様

```
<?xml version="1.0" encoding="EUC-JP" ?>

<積算連携用工事工種体系データ>

 <工事工種体系 体系名称="鋼橋上部" 体系レベル="1" 上位体系名称=""
  内訳書単位="式" 総括表単位="式" />
 <工事工種体系 体系名称="工場製作工" 体系レベル=2" 上位体系名称="鋼橋上部"
  内訳書単位="式" 総括表単位="式" />
 <工事工種体系 体系名称="桁製作工" 体系レベル="3" 上位体系名称="工場製作工"
  内訳書単位="式" 総括表単位="式" />
 <工事工種体系 体系名称="製作加工" 体系レベル="4" 上位体系名称="桁製作工"
  内訳書単位="t" 総括表単位="t" />
 <工事工種体系 体系名称="ボルト・ナット" 体系レベル="4" 上位体系名称=" 桁製作工"
  内訳書単位="組" 総括表単位="組" />
 <工事工種体系 体系名称="スタットジベル" 体系レベル="4"  上位体系名称="桁製作工"
  内訳書単位="本" 総括表単位="本" />

</積算連携用工事工種体系データ>
```

図 4-4　積算連携用のデータ（桁製作工）のインスタンス

4.3.2 工事数量算出用データ構造の定義

3 次元プロダクトモデルは実体を表現する幾何形状情報（entity），実体間の関連（relationship）と単位や規格などを表す属性（attribute）により構成される．そこで，3 次元プロダクトモデルより数量算出項目及び区分に従った工事数量を算出するため，3 次元プロダクトモデル用の数量算出項目及び区分を検討して，そのデータ構造を定義した．

(1) 数量算出項目及び区分の検討

現行の数量算出項目及び区分は, 2 次元図面からの数量算出を前提としている. このため, 3 次元プロダクトモデルより工事数量を算出するためには，従来と同様の工事数量を算出できる 3 次元プロダクトモデル用の数量算出項目及び区分を検討する必要がある．そこで，土木工事数量算出要領（案）に示される体積，面積や長さなどの求積条件を基に，幾何形状表現の有無や数量算出条件などを整理した．**表 4-4** に 3 次元プロダクトモデル用の数量算出項目及び区分の分類条件を示す．なお，3 次元プロダクトモデルはソリッドモデルの使用を前提にしている．**表 4-5** に数量算出項目及び区分（橋梁下部）の橋台躯体工，3 次元プロダクトモデル用数量算出項目及び区分の鋼橋上部（**表 4-6**）と橋梁下部（**表 4-7**）を示す．

表 4-4　数量算出項目及び区分の分類条件

分類		条件
幾何形状情報		◎：3 次元幾何形状の作成が必須なもの．（必要条件） ○：必要条件の 3 次元幾何形状を使用するもの．（十分条件） △：条件により 3 次元幾何形状の作成が必要なもの． ×：3 次元幾何形状の作成が不要なもの．
属性情報	数量算出	A：3 次元幾何形状より直接的に数量算出を行うもの． B：3 次元幾何形状より間接的に数量算出を行うもの． C：条件により，3 次元幾何形状より数量算出を行うもの． D：3 次元幾何形状を不要とし，必要性の有無の記載するもの．
	単位	工事数量を算出する単位
	規格，形式	○：数量算出にあたり，必要とするもの． ×：数量算出にあたり，不要なもの．

表 4-5　数量算出項目及び区分（橋梁下部）

工事区分（レベル 1）	工種（レベル 2）	種別（レベル 3）	
橋梁下部	橋台工	橋台躯体工	
細別（レベル 4）	規格（レベル 5）		
	規格	積算用単位	総括表用単位
基礎材	基礎材規格（砕石の場合等），敷厚	m^2	m^2
均しコンクリート	コンクリート規格，敷厚	m^2	m^2
コンクリート	コンクリート規格，養生費，コンクリート夜間割増の有無	m^3	m^3
鉄筋	鉄筋材料規格・径	t	t
型枠	型枠の種類	m^2	式 or m^2
足場	安全ネットの有無	掛 m^2	式 or 掛 m^2
水抜パイプ	管径・管種類，フィルターの有無	m	式 or m
有孔管	作業区分，工法区分，施工規模	m	m

表 4-6　3 次元プロダクトモデル用数量算出項目及び区分（鋼橋上部）

区分 / 項目	幾何形状情報	属性情報		
		数量算出	単位	規格
製作加工	◎	A	t	○
ボルト・ナット	◎	A	組	○
スタットジベル	◎	A	本	○

表 4-7　3 次元プロダクトモデル用数量算出項目及び区分（橋梁下部）

区分 / 項目		幾何形状情報	属性情報			
			数量算出	単位	規格	形式
基礎材	敷均し厚 20cm 以下	×	D	—	×	×
	敷均し厚 20cm 超え	△	A	m^2	○	×
均しコンクリート		×	D	—	×	×
コンクリート		◎	A	m^3	○	○
鉄筋		◎	A	t	○	×
型枠		○	A	m^2	×	×
足場		○	B	—	×	×
水抜パイプ		×	D	—	×	×
有孔管		×	D	—	×	×

(2) データ構造の定義

検討した 3 次元プロダクトモデル用の数量算出項目及び区分では，実体間の関連（relationship）を表現することができない．そこで，**図 4-5** に**表 4-6** と**表 4-7** を基に実体間の関連（relationship）を付与したデータ構造を定義した．データ構造は 3 階層で構成する．

第 1 階層のエンティティはレベル 3（種別）を表す．第 2，3 階層のエンティティはレベル 4（細別）を表し，その属性にはレベル 5（規格）の情報を格納する．第 2 階層のエンティティは，3 次元プロダクトモデルの形状情報を表現するエンティティまたは，3 次元形状を不要とし必要性の有無の記載などの属性情報を表現するエンティティで構成する．第 3 階層は第 2 階層の 3 次元形状を用いて工事数量算出を行うエンティティで構成する．

鋼橋上部の桁製作工の第 2 階層は**表 4-6** より幾何形状の作成が必須であるため製作加工，ボルト・ナットとスタットジベルを幾何形状情報のエンティティに分類している．属性情報には鋼材規格などが格納される．橋梁下部の橋台躯体工の第 2 階層は**表 4-7** より幾何形状情報のエンティティには，体積，面積や長さを直接的に算出する基礎砕石，コンクリートと鉄筋を分類している．幾何形状を表現しない均しコンクリート，水抜きパイプと有孔管は属性情報に格納する必要性の有無などにより工事数量算出を行う．第 3 階層には，3 次元幾何形状より間接的に数量算出を行う型枠や足場を分類している．また，各エンティティには，工事数量集計表を作成し，新土木積算システムと連携するため新たに定義した積算連携用工事工種体系データを含んでいる．

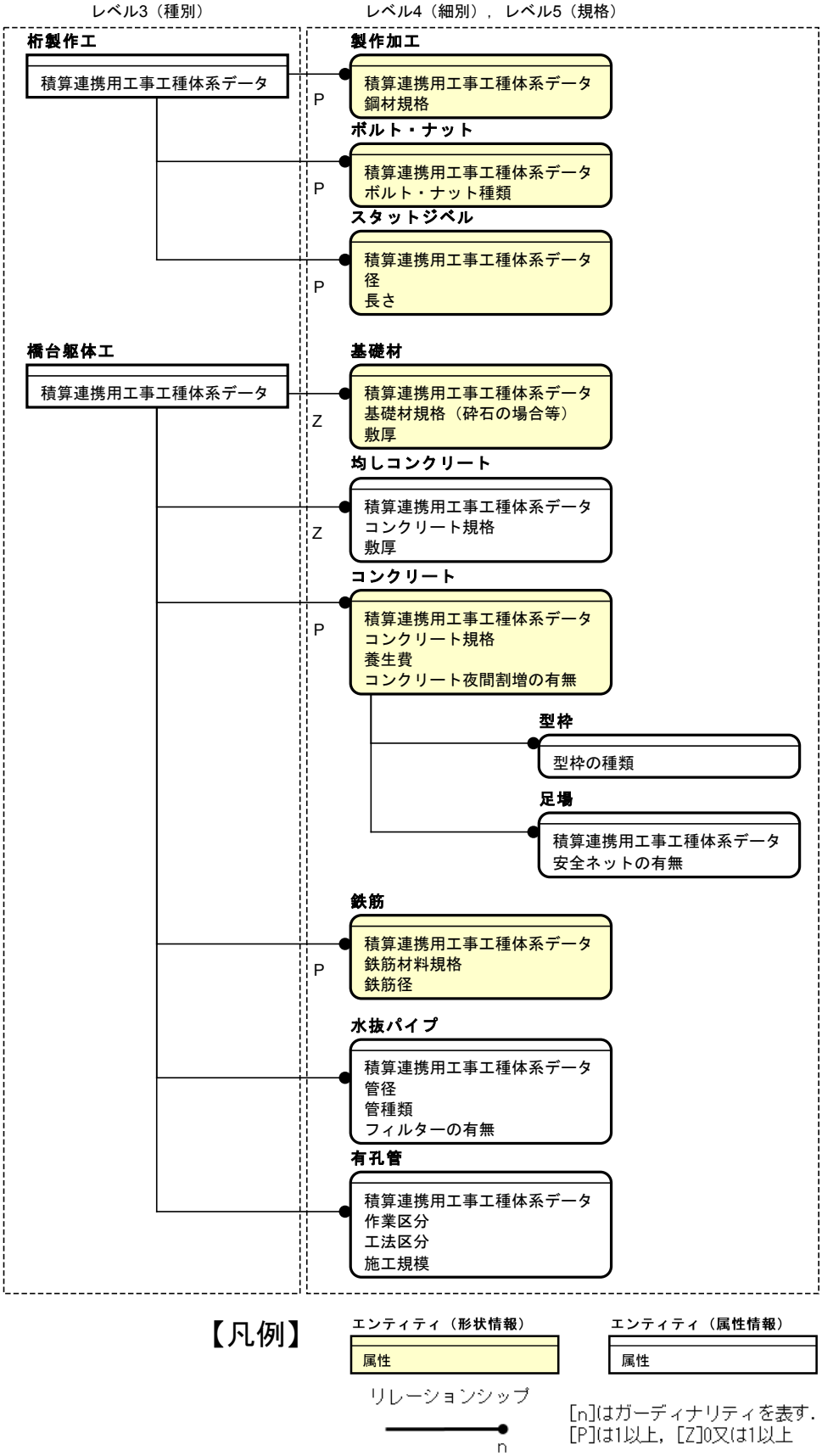
レベル3（種別）
レベル4（細別），レベル5（規格）
桁製作工
積算連携用工事工種体系データ
製作加工
積算連携用工事工種体系データ
鋼材規格
P
ボルト・ナット
積算連携用工事工種体系データ
ボルト・ナット種類
P
スタットジベル
積算連携用工事工種体系データ
径
長さ
P
橋台躯体工
積算連携用工事工種体系データ
基礎材
積算連携用工事工種体系データ
基礎材規格（砕石の場合等）
敷厚
Z
均しコンクリート
積算連携用工事工種体系データ
コンクリート規格
敷厚
Z
コンクリート
積算連携用工事工種体系データ
コンクリート規格
養生費
コンクリート夜間割増の有無
P
型枠
型枠の種類
足場
積算連携用工事工種体系データ
安全ネットの有無
鉄筋
積算連携用工事工種体系データ
鉄筋材料規格
鉄筋径
P
水抜パイプ
積算連携用工事工種体系データ
管径
管種類
フィルターの有無
有孔管
積算連携用工事工種体系データ
作業区分
工法区分
施工規模
【凡例】
エンティティ（形状情報）
属性
エンティティ（属性情報）
属性
リレーションシップ
n
[n]はカーディナリティを表す．
[P]は1以上，[Z]0又は1以上

図 4-5　データ構造

4.3.3 IFC スキーマの適用

橋梁の 3 次元プロダクトモデルへの実装方法を示すため，NIBS より提供されている IFC Bridge Design to Construction Information Exchange （U.S.）を用いて，工事数量算出用データ構造に IFC を適用した．なお，本節では，幾何形状（entity）を「エンティティ」，実体間の関連（relationship）を「リレーションシップ」，単位や規格などを表す属性（attribute）を「アトリビュート」と記述する．

(1) 工事数量算出用のエンティティ構成

IFC は，3 次元プロダクトモデルの対象となる構造物を階層化した空間構造を表現する空間要素と構造物の物理的な形状や特性を表現する物理要素を関連付けて表現する．IFC のエンティティは，ツリー構造で構成されている．ツリー構造の上位にあるエンティティのアトリビュートは，同じツリー構造にある下位のエンティティが継承する．IfcCivilElement は，土木工学分野のすべての要素を一般化したものであり，道路，橋梁や舗装などの線形構造物も含まれる．建築工学分野の構造物は IfcBuildingElement に含まれ，配管や排水などは IfcDistributionElement に含まれる．**図 4-6** 工事数量算出用のエンティティ構成を示す．

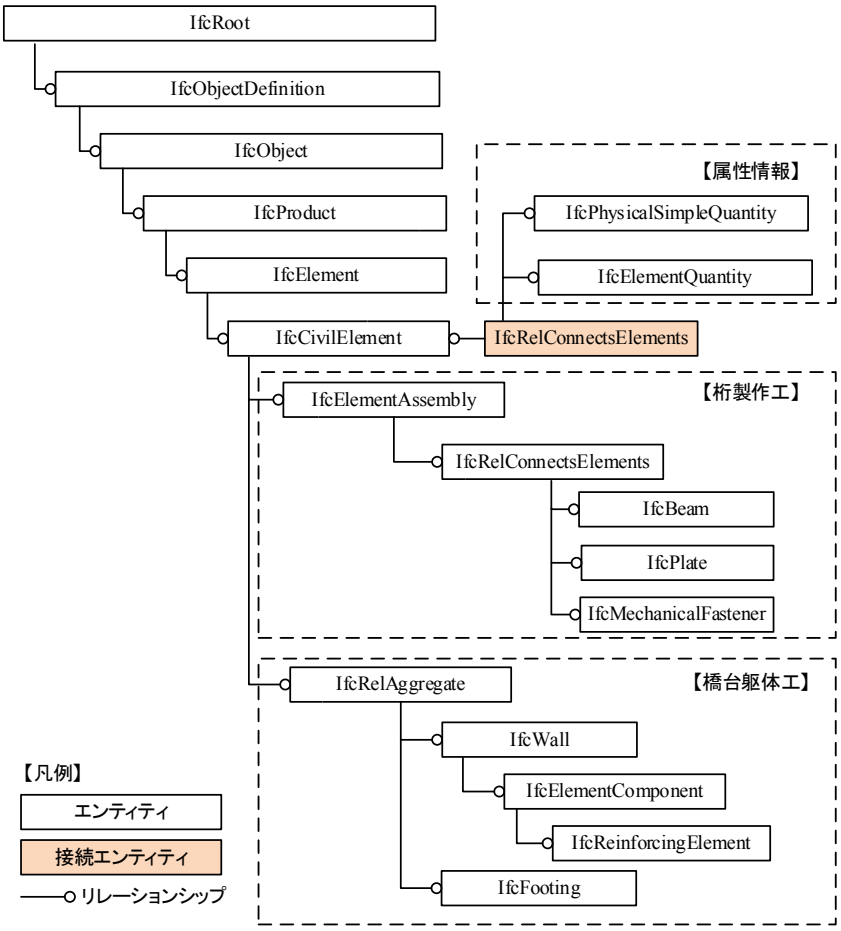

図 4-6　工事数量算出用のエンティティ構成

工事数量算出用のエンティティ構成は，幾何形状を表すエンティティを IfcCivlElement の下位に配置している．IfcElementAssembly は下位に桁製作工の幾何形状を表現するエンティティを, IfcRelAggregate は下位に橋台躯体工の幾何形状を表現するエンティティを構成する．属性情報は，IfcRelConnectsElements により，IfcCivlElement との関連付けを行い，IfcElementQuantity により面積，体積や個数を算出する．IfcPhysicalSimpleQuantity を使用して積算連携用工事工種体系データと規格（レベル 5）の情報を格納する．

(2) 幾何形状のエンティティとスキーマ

桁製作工は，IfcBeam（I 型鋼），IfcPlate（補剛材）と IfcMechanicalFastener（ボルト・ナット）のエンティティを用いて幾何形状を表現する．IfcRelConnectsElements により各エレメントを接続して主桁などの部材を構成する．構成した部材のブロック化は，IfcElementAssembly を用いて表現する．**図 4-7** に桁製作工の幾何形状を，**図 4-8** に使用するエレメントのスキーマを抜粋して示す．

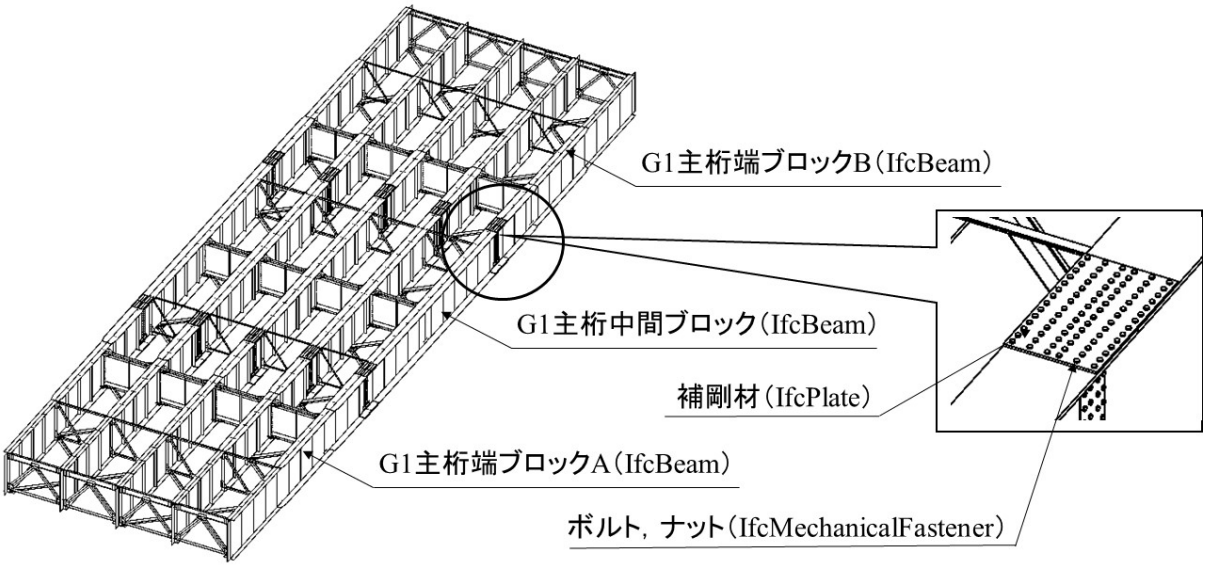

図 4-7　桁製作工の幾何形状

```
  <xs:element name="IfcElementAssembly" type="ifc:IfcElementAssembly"
  substitutionGroup="ifc:IfcElement" nillable="true"/>
    <xs:complexType name="IfcElementAssembly">
      <xs:complexContent>
        <xs:extension base="ifc:IfcElement">
          <xs:attribute name="PredefinedType" type="ifc:IfcElementAssemblyTypeEnum" use="optional"/>
        </xs:extension>
      </xs:complexContent>
    </xs:complexType>

  <xs:element name="IfcRelConnectsElements" type="ifc:IfcRelConnectsElements"
  substitutionGroup="ifc:IfcRelConnects" nillable="true"/>
    <xs:complexType name="IfcRelConnectsElements">
      <xs:complexContent>
        <xs:extension base="ifc:IfcRelConnects">
          <xs:sequence>
            <xs:element name="ConnectionGeometry" type="ifc:IfcConnectionGeometry" nillable="true"
  minOccurs="0"/>
            <xs:element name="RelatingElement" type="ifc:IfcElement" nillable="true"/>
            <xs:element name="RelatedElement" type="ifc:IfcElement" nillable="true"/>
          </xs:sequence>
        </xs:extension>
      </xs:complexContent>
    </xs:complexType>

<xs:element name="IfcBeam" type="ifc:IfcBeam" substitutionGroup="ifc:IfcBuildingElement"
nillable="true"/>
  <xs:complexType name="IfcBeam">
    <xs:complexContent>
      <xs:extension base="ifc:IfcBuildingElement">
        <xs:attribute name="PredefinedType" type="ifc:IfcBeamTypeEnum" use="optional"/>
      </xs:extension>
    </xs:complexContent>
  </xs:complexType>
```

図 4-8　桁製作工（主桁）の使用スキーマ（抜粋）

橋台躯体工は，IfcWall（躯体）と IfcFooting（基礎）のエンティティを用いて幾何形状を表現する．型枠や足場などの面積を算出する場合は，IfcAnnotationFillArea を使用する．IfcReinforcingElement（鉄筋）は，IfcElementComponent を用いて躯体内部に表現する．**図 4-9** に橋台躯体工の幾何形状を，**図 4-10** に橋台躯体工に使用するエレメントのスキーマを抜粋して示す．

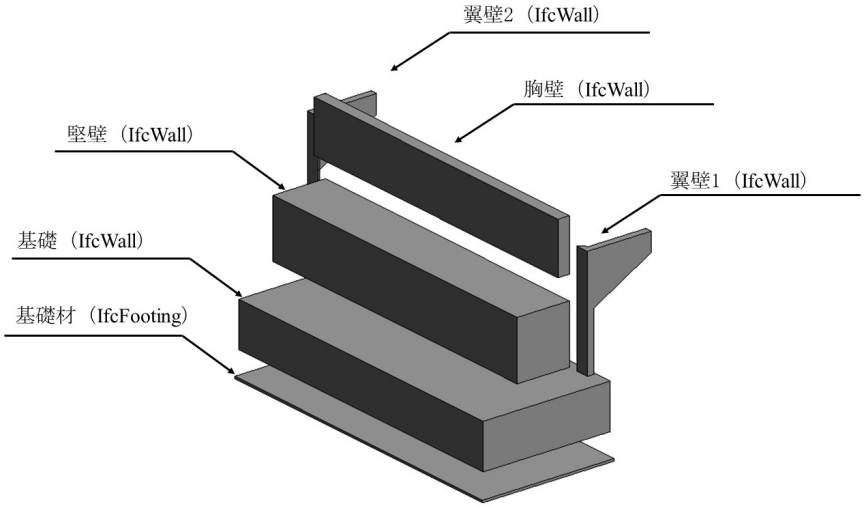

図 4-9　橋台躯体工の幾何形状

```
<xs:element name="IfcWall" type="ifc:IfcWall" substitutionGroup="ifc:IfcBuildingElement"
nillable="true"/>
 <xs:complexType name="IfcWall">
  <xs:complexContent>
   <xs:extension base="ifc:IfcBuildingElement">
    <xs:attribute name="PredefinedType" type="ifc:IfcWallTypeEnum" use="optional"/>
   </xs:extension>
  </xs:complexContent>
 </xs:complexType>

</xs:complexType>
<xs:element name="IfcReinforcingElement" type="ifc:IfcReinforcingElement" abstract="true"
substitutionGroup="ifc:IfcElementComponent" nillable="true"/>
 <xs:complexType name="IfcReinforcingElement" abstract="true">
  <xs:complexContent>
   <xs:extension base="ifc:IfcElementComponent"/>
  </xs:complexContent>
 </xs:complexType>
```

図 4-10　橋台躯体工のスキーマ（抜粋）

(3) 属性情報のエンティティとスキーマ

属性情報を表すエンティティは，IfcRelConnectsElements により，IfcCivlElement との関連付けを行い，IfcElementQuantity により面積，体積や個数を算出する．IfcPhysicalSimpleQuantity には，積算連携用工事工種体系データと規格（レベル 5）の情報を格納する．なお，これらに関する情報は，スキーマの既存選択肢には無いので USERDEFINED を用いて追加する．**表 4-8** に数量の属性情報を，**表 4-9** に積算連携用工事工種体系データと規格（レベル 5）の属性情報を示す．**図 4-11** に属性情報（積算連携用工事工種体系データと規格）に使用するスキーマを示す．

表 4-8　属性情報（数量）

名称	幾何形状	属性情報	使用単位
桁製作工			
主桁	IfcBeam	IfcElementQuantity	volume
補鋼材	IfcPlate	IfcElementQuantity	volume
ボルト・ナット	IfcMechanicalFastener	IfcElementQuantity	count
橋台躯体工			
基礎材	IfcFooting	IfcElementQuantity	volume
コンクリート	IfcWall	IfcElementQuantity	volume
鉄筋	IfcReinforcingElement	IfcElementQuantity	length
型枠	IfcAnnotationFillArea	IfcElementQuantity	area
足場	IfcAnnotationFillArea	IfcElementQuantity	area

表 4-9　属性情報（積算連携用工事工種体系データと規格）

名称	属性情報	選択肢	データ型
積算連携用工事工種体系データ	IfcPhysicalSimpleQuantity	USERDEFINED	string
規格（レベル 5）	IfcPhysicalSimpleQuantity	USERDEFINED	string

```
<xs:element name="IfcElementQuantity" type="ifc:IfcElementQuantity"
substitutionGroup="ifc:IfcQuantitySet" nillable="true"/>
 <xs:complexType name="IfcElementQuantity">
  <xs:complexContent>
   <xs:extension base="ifc:IfcQuantitySet">
    <xs:sequence>
     <xs:element name="Quantities">
      <xs:complexType>
       <xs:sequence>
        <xs:element ref="ifc:IfcPhysicalQuantity" maxOccurs="unbounded"/>
       </xs:sequence>
       <xs:attribute ref="ifc:itemType" fixed="ifc:IfcPhysicalQuantity"/>
       <xs:attribute ref="ifc:cType" fixed="set"/>
       <xs:attribute ref="ifc:arraySize" use="optional"/>
      </xs:complexType>
     </xs:element>
    </xs:sequence>
    <xs:attribute name="MethodOfMeasurement" type="ifc:IfcLabel" use="optional"/>
   </xs:extension>
  </xs:complexContent>
 </xs:complexType>

<xs:element name="IfcPhysicalSimpleQuantity" type="ifc:IfcPhysicalSimpleQuantity"
abstract="true" substitutionGroup="ifc:IfcPhysicalQuantity" nillable="true"/>
 <xs:complexType name="IfcPhysicalSimpleQuantity" abstract="true">
  <xs:complexContent>
   <xs:extension base="ifc:IfcPhysicalQuantity">
    <xs:sequence>
     <xs:element name="Unit" type="ifc:IfcNamedUnit" nillable="true" minOccurs="0"/>
    </xs:sequence>
   </xs:extension>
  </xs:complexContent>
 </xs:complexType>
```

図 4-11　属性情報（積算連携用工事工種体系データと規格）のスキーマ

4.4 有効性の検証

新たに定義したデータ構造に従い構築した鋼橋の工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルより公共工事の積算に使用する工事数量総括表などを作成できることを確認するとともに，従来では必要としていた作業を自動化して有効性を検証した．新たに定義した積算連携用データと工事数量算出用データを具備した 3 次元プロダクトモデルは Autodesk Revit2016（以下,「Revit」とする.）を使用して作成した．Revit では形状の他，これに付随する属性情報も追加できる．工事数量は Revit の数量集計機能を用いて, 使用する単位及び数位や鋼材重量の算出方法など 3 次元プロダクトモデルを構成する部材の作成方法を工夫した.

表 4-10 に土木構造物標準設計[67] を参考に検証に用いた鋼橋上部（桁製作工 : 単純プレートガーダ），橋梁下部（橋台躯体工 : 逆 T 式）の設計条件を示す．以下に Revit を用いて公共工事の工事数量算出を行うための 3 次元プロダクトモデルの構築手順を示す.

表 4-10　設計条件

<table>
<tr><td rowspan="3">形式</td><td rowspan="3">単位</td><td>上部工</td><td colspan="2">単純プレートガーダ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下部工</td><td>A1 橋台</td><td>逆 T 式橋台</td></tr>
<tr><td>A 2 橋台</td><td>逆 T 式橋台</td></tr>
<tr><td>橋長</td><td>m</td><td colspan="3">40.80</td></tr>
<tr><td>桁長</td><td>m</td><td colspan="3">40.60</td></tr>
<tr><td>斜角</td><td>度</td><td colspan="3">0°</td></tr>
<tr><td>活荷重</td><td></td><td colspan="3">B 活荷重</td></tr>
<tr><td>大型車交通量</td><td colspan="2">台/日/1 方向</td><td colspan="2">2000 以上</td></tr>
<tr><td>床版厚</td><td>mm</td><td colspan="3">250</td></tr>
<tr><td>設計水平震度</td><td></td><td colspan="3">Kh = 0.25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">コンクリート
設計基準強度</td><td rowspan="2">N/mm²</td><td>上部工</td><td colspan="2">24</td></tr>
<tr><td>下部工</td><td colspan="2">24</td></tr>
<tr><td rowspan="4">許容応力度</td><td rowspan="4">N/mm²</td><td rowspan="2">上部工</td><td>コンクリート</td><td>24</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td>195　(SD 295)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下部工</td><td>コンクリート</td><td>24</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td>195　(SD 295)</td></tr>
</table>

4.4.1 数量計算の単位及び数位

土木工事数量算出要領（案）では，工事数量の計算に用いる単位及び数位が定められている．このため，3 次元プロダクトモデルより工事数量を計算する場合には，コンクリート体積や型枠面積毎に決められた「幅」,「高さ」,「長さ」,「体積」や「個数」の拾い上げに使用する単位と数位に従う．しかしながら，鉄筋の曲線延長に定められた数位での四捨五入を行なわずに計算した質量及び，鋼材の対傾構や横構のガセットプレートや連結材を 3 次元プロダクトモデルの体積より求めてしまう場合などでは計算結果が異なる．すなわち，土木工事数量算出要領（案）に従って作成された 3 次元プロダクトモデルより算出される工事数量は，従来の手法を用いた場合の工事数量算出結果との差は生じない．**表 4-11** に数量計算の単位及び数位を示す．

表 4-11　数量計算の単位及び数位一覧表（抜粋）

計算書名	種別	単位	数位	摘要
コンクリート体積	幅	m	少数位以下 2 位止	3 位四捨五入
	高	m	少数位以下 2 位止	3 位四捨五入
	長	m	少数位以下 2 位止	3 位四捨五入
	体積	m^3	少数位以下 1 位止	2 位四捨五入
型枠面積	面積	m^2	少数位以下 1 位止	2 位四捨五入
鉄筋質量	φ径	m m	整数	
	単位質量	kg/m	少数位以下 3 位 有効数字 3 桁	1 本あたり質量は少数 2 位止四捨五入
	質量	kg	整数位止	1 位四捨五入
足場・支保	面積	掛 m^2	整数位止	1 位四捨五入
鋼材質量	幅	m	少数位以下 3 位止	4 位四捨五入
	高	m	少数位以下 3 位止	4 位四捨五入
	長	m	少数位以下 3 位止	4 位四捨五入
	質量	kg	整数位止	1 位四捨五入

4.4.2 橋梁上部（桁製作工：単純プレートガーダ）

土木工事数量算出要領（案）では,「構造物中の鉄筋・水抜き穴等で，その容積又は面積が僅少なものは，構造物の数量から控除しなくてもよい」とされている．鋼材中のボルト孔及び隅欠きもこれに該当する．さらに，数量算出方法は，部材の特徴よりネット質量とグロス質量がある．ネット重量は幾何形状が単純で面積の算出が可能である台形部材や伸縮継手のくし形部などが該当し鋼材の実質量を計算する．他方，グロス質量は幾何形状が複雑で面積の算出が困難であるガセットプレートや板厚変化のテーパなどが該当し，単純化した面積より求まる質量を計算する．そこで，検証に用いた鋼橋上部の数量算出用 3 次元プロダクトモデルでは従来の工事数量算出結

果と照合するためグロス重量にて算出する部材の幾何形状表現と数量算出方法について「ボルト孔及び隅欠きは表現しない.」「ボルト位置にダミーの幾何形状を配置し個数を算出する.」「鋼材の対傾構や横構のガセットプレートなどは設計の幾何形状を表現するが単純化した面積より質量を計算する.」こととした. **図 4-12** に鋼橋上部（桁製作工：単純プレートガーダ）の図面を示す. 鋼橋上部の工事数量は製作加工数量を拾い上げる必要がある．そこで，**表 4-12** に示す構成部材と計算方法に従い，主桁を構成する上フランジ，下フランジと壁板及び連結部を構成する各材料を作成した．**図 4-13** に主桁部材料を，**図 4-14** に連結部材料を示す.

これにより材質や各材料に工事数量を集計することができる．工事数量算出後の公共工事の積算では，材質毎の鋼板重量を基にした材料費の算出に加え，本体の加工組立工数，溶接工数や仮組立工数などの製作加工費を算出する．この場合，組立工数は各材料より構成する部材毎にブロック化を行い算出する（**図 4-15**）．溶接延長は各材料に溶接する辺を与えておくことで公共工事の積算時に必要な数量も算出することができる．**図 4-16** に全ての部材を配置した主桁を示す.

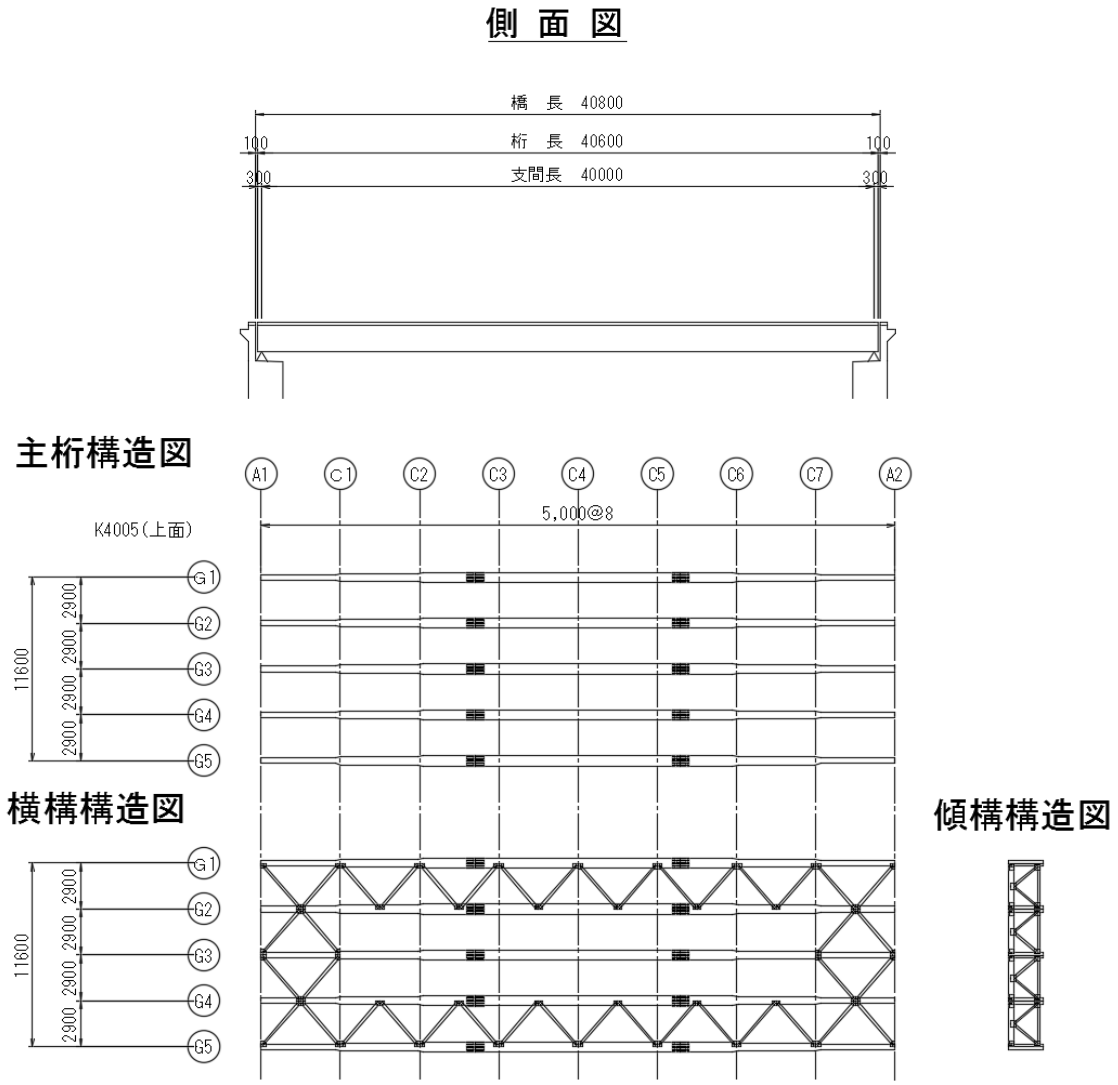

図 4-12　鋼橋上部

表 4-12　部材構成と計算方法（橋梁上部）

部材構成	幾何形状表現	数量算出単位	数位	計算方法	積算用単位
製作加工	ソリッドモデル	kg	整数位止	断面×単位質量×長さ	t
ボルト・ナット	なし（ダミー）	個数	整数位止	個数	t

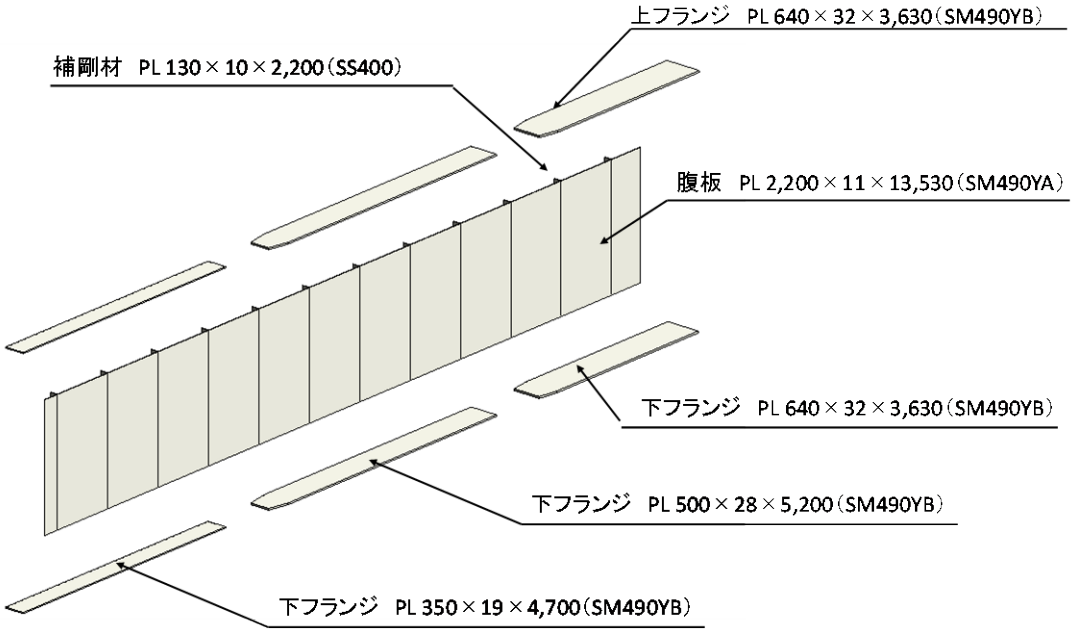

図 4-13　主桁部材料

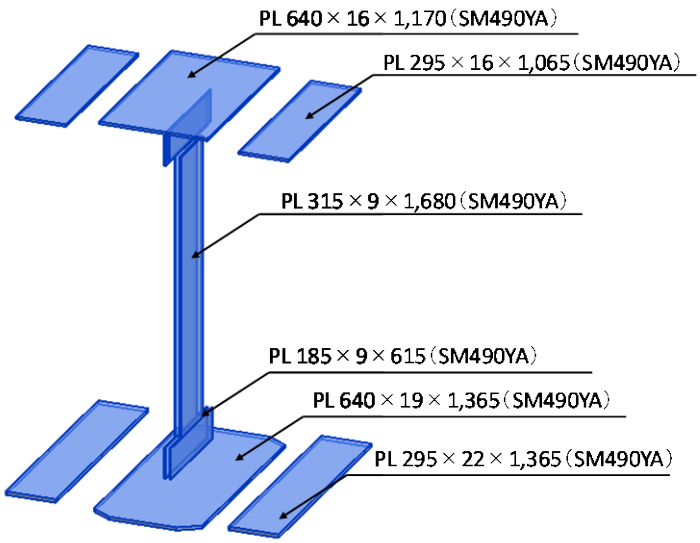

図 4-14　連結部材料

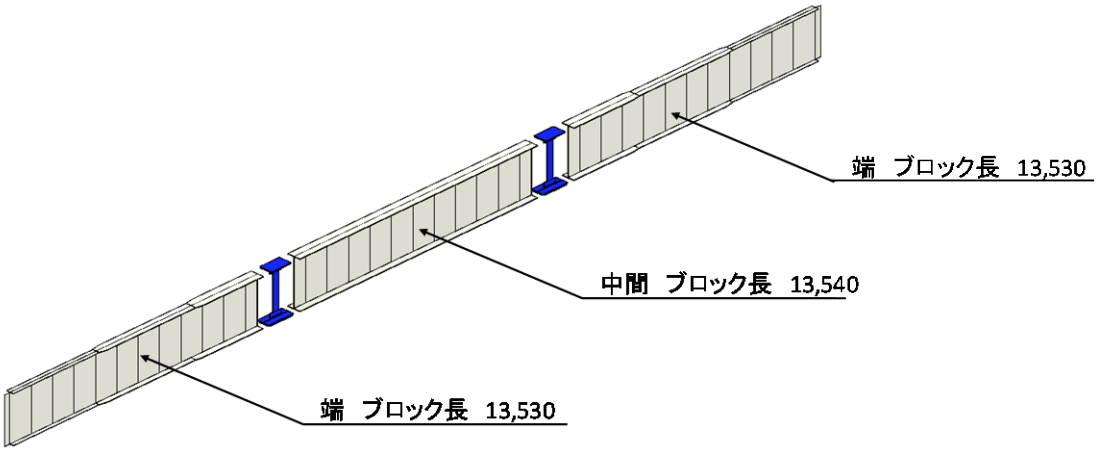

図 4-15　組立工数

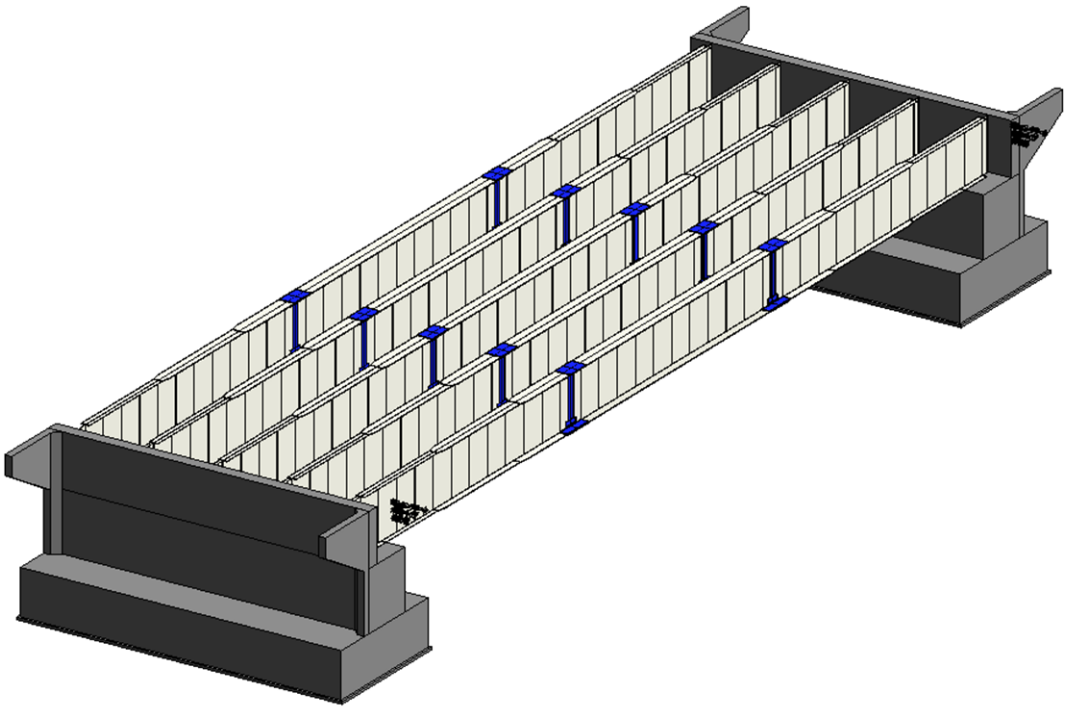

図 4-16　主桁

4.4.3 橋梁下部（橋台躯体工：逆 T 式）

検証に用いた橋台下部の工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルではデータ定義にて幾何形状を持たない属性情報に分類した均しコンクリート，水抜パイプと有孔管はダミーの 3 次元モデルを配置して工事数量を算出できるようにしている．鉄筋は鉄筋径の円柱のソリッドモデルを用いて幾何形状を表現し，延長は中心延長を算出している．**表 4-13** に橋台下部（橋台躯体工）の工事数量算出用の 3 次元プロダクトモデルの構成部材と計算方法を示す．**図 4-17** に翼壁 1 に付与している属性を示す．**図 4-18** に全ての部材を配置した橋台躯体工（逆 T 式）を示す．

表 4-13　部材構成と計算方法（橋梁下部）

部材構成	幾何形状表現	数量算出単位	数位	計算方法	積算用単位
基礎材	ソリッドモデル	m^2	少数位以下 1 位止	幅×長さ	m^2
均しコンクリート	なし（ダミー）	m^2	少数位以下 1 位止	幅×長さ	m^2
コンクリート	ソリッドモデル	m^3	少数位以下 1 位止	幅×長さ×高さ	m^3
鉄筋	ソリッドモデル	mm	整数位止		
		kg	整数位止	長さ×質量	t
型枠	ソリッドモデル	m^2	少数位以下 1 位止	幅×長さ・高さ	m^2
足場	ソリッドモデル	掛 m^2	整数位止	基礎外周延長×足場幅	掛 m^2
水抜パイプ	なし（ダミー）	m	少数位以下 1 位止	長さ	m
有孔管	なし（ダミー）	m	少数位以下 1 位止	長さ	m

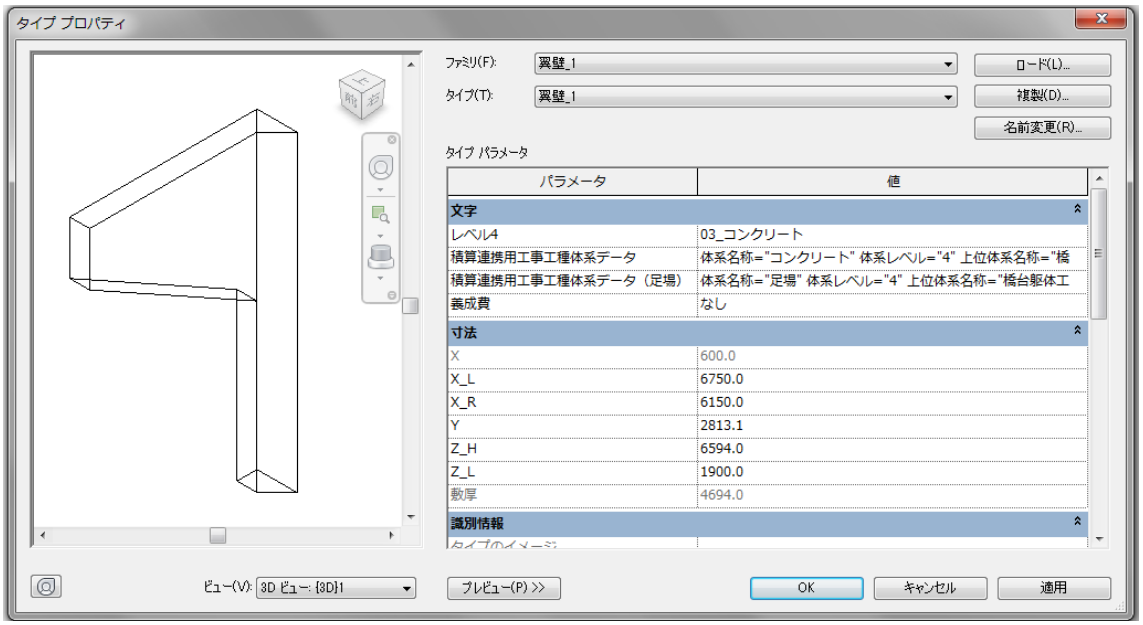

図 4-17　翼壁 1

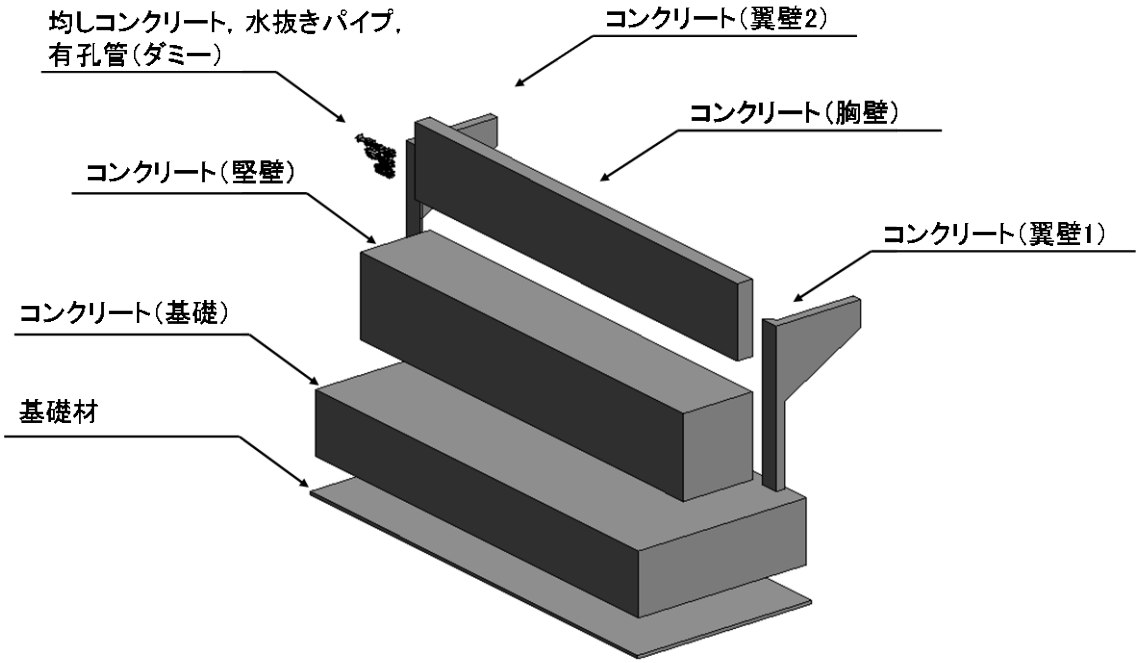

図 4-18　橋台躯体工（逆 T 式）

4.4.4 工事数量総括表

工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルより算出した結果を基に工事数量総括表などを作成できることを確認した．工事数量集計表などは Revit より CSV ファイルを出力し，各帳票様式に出力した．公共工事の積算に用いる工事数量総括表を作成するには，土木工事数量算出要領（案）に示される算出方法と単位に従って工事数量を算出するだけではなく，算出した工事数量が土木工事積算体系のどのレベルに該当しているのかを正しく表現できる必要がある．検証に用いた 3 次元プロダクトモデルを構成する各部材のインスタンスには新たに定義した積算連携用データを具備している．このため，工事工種体系に従った工事数量総括表（**表 4-14**，**表 4-15**）や工事数量集計表（**表 4-16**）の様式に従い取りまとめすることができる．

表 4-14　工事数量総括表（鋼橋上部：桁製作工）

細別（レベル 4）	規格（レベル 5）	積算用単位	数量区分	合計
製作加工	鋼材規格	t	SM490YB	20,934
ボルト・ナット	ボルト・ナット種類	個	HTB M22×100	103
			HTB M 22×110	108
			HTB M 22×65	102

表 4-15　工事数量集計表（鋼橋上部：桁製作工）主桁

種別	断面寸法	長さ（mm）	個数	単位重量（kg/m）	重量（kg/個）	重量	材質
上フランジ							
PL	350 × 19	4,700	2	52.20	245.35	491	SM490YB
PL	500 × 28	5,200	2	109.90	571.48	1,143	SM490YB
PL	640 × 32	3,630	2	160.77	583.59	1,168	SM490YB
PL	640 × 32	12,940	1	160.77	2080.34	2,081	SM490YB
下フランジ							
PL	350 × 19	4,700	2	52.20	245.35	491	SM490YB
PL	500 × 28	5,200	2	109.90	571.48	1,143	SM490YB
PL	640 × 32	3,630	2	160.77	583.59	1,168	SM490YB
PL	640 × 32	12,940	1	160.77	2080.34	2,081	SM490YB
壁板							
PL	2,200 × 11	13,000	1	189.97	2469.61	2,470	SM490YB
PL	2,200 × 11	13,830	2	189.97	2627.29	5,255	SM490YB
垂直補鋼材							
PL	130 × 10	2,200	35	10.21	22.45	786	SM490YB
PL	130 × 10	2,200	70	10.21	22.45	1572	SM490YB
連結板							
PL	640 × 16	1,065	2	80.38	85.61	172	SM490YB
PL	295 × 16	1,065	4	37.05	39.46	158	SM490YB
PL	640 × 19	1,365	2	95.46	130.30	261	SM490YB
PL	295 × 22	1,365	4	50.95	69.54	279	SM490YB
PL	315 × 9	1,680	4	22.26	37.39	150	SM490YB
PL	185 × 9	615	8	13.07	8.04	65	SM490YB
高力ボルト・スラブ止め							
HTB	M22	100	168	-	0.52	103	S10T
HTB	M22	110	168	-	0.52	108	S10T
HTB	M22	65	200	-	0.52	102	S10T

表 4-16　工事数量総括表（橋梁下部：橋台躯体工）

細別（レベル 4）	規格（レベル 5）	積算用単位	数量区分	合計	
基礎材	基礎材規格	CR40~0	m^2	-	7.95
	敷厚	20cm			
均し コンクリート	コンクリート規格	180-8-25	m^2	-	15.9
	敷厚	5 cm			
コンクリート	コンクリート規格	24-8-25	m^3	翼壁（1）	1.76
				翼壁（2）	1.76
	養生費	なし		基礎	143.64
	夜間割増	なし		堅壁	77.44
				胸壁	14.85
	型枠の種類	A 種	m^2	-	118
鉄筋	鉄筋材料規格	SD295	-	-	-
	鉄筋径	D13	kg	-	283
		D16			1932
		D22			59
		D25			101
足場	安全ネット	なし	掛 m^2	-	25
水抜パイプ	なし	-	-	-	0
有孔管	なし	-	-	-	0

4.4.5 改善効果

従来では工事数量算出に必要としていた総計 6,082 部材（**表 4-17**）に対する図面との照合や各種様式への転記作業を自動化することで有効性を確認した. 従来の紙を用いた橋梁詳細設計では，図面を作成した後に図面と参照しながら工事数量の算出を行っていた．このため，図面と工事数量算出の関係が不明確であり，工事数量算出漏れや図面修正に伴う工事数量の拾い直しなどの作業が発生していた．また，施工者は，契約図書である図面と工事数量算出結果に誤りが無いか設計照査を行う義務があり，多大な労力を必要としていた．工事数量算出用データを具備した 3 次元プロダクトモデルを用いることで，従来では不明確であった数量算出根拠と図面の関係を明らかにすることができる．さらに，プロダクトモデルを修正することで，工事数量算出結果も変更されるため大幅な作業効率化と設計品質の向上を期待することができる．

本章では，3 次元プロダクトモデルの構築に国際標準フォーマットである IFC を使用した．IFC のエンティティは，幾何形状と属性情報を別々に管理することができる．このため，共通するエンティティを作成することで，他の分野の土木工事物にも利用できるので非常に汎用性が高い．また，特定の 3 次元 CAD に依存しない中間フォーマットのため他の作業との相互運用が可能である．

表 4-17　部材数の内訳

鋼橋上部				橋梁下部	
主桁	部品数	横構	部品数	A1, A2	部品数
G1	76	端対傾構	72	基礎材	2
G2	111	中間対傾構	144	均しコンクリート	2
G3	112	分配横桁	144	コンクリート	10
G4	111	横構	120	鉄筋	396
G5	76	-	-	足場	2
ボルト・ナット	2,680	ボルト・ナット	2,024	-	-
合計	3,166	合計	2,504	合計	412

4.5 まとめ

本章では，鋼橋を対象に公共工事の工事数量算出を行うための 3 次元プロダクトモデルの構築手法を提案し，公共工事の積算に使用する工事数量総括表などを作成できることを確認するとともに，従来では必要としていた作業を自動化して有効性を検証した．3 次元プロダクトモデルを構成する各部材を修正または，追加や削除することで工事数量も変更される．このため作業工数が削減するとともに，転記に伴う単純なミスをなくすことができる．さらに，上下部工を分割発注する場合は不要な部材を削除するだけで必要な工事数量を算出することもできる．本章の研究結果を次に列挙する．

- 『土木工事数量算出要領（案）』の「数量算出項目及び区分」を具備する 3 次元プロダクトモデルの幾何形状と属性情報の考え方を示した．
- 「新土木工事積算体系」の「工事工種体系」と整合するデータ構造を新たに定義した．
- 定義したデータ構造を具備する 3 次元プロダクトモデルを用いて工事数量を算出して公共工事の積算と連携できることを示した．

はじめに，新土木工事積算体系に従った工事数量算出から積算までの流れを DFD に整理し，公共工事の積算に使用している新土木工事積算システムの工事工種体系データを基に数量算出項目及び区分と積算を連携するために必要な情報を抽出し，階層関係を判別する新たなタグを追加して連携用のデータ仕様を定義した．次に，鋼橋上部と橋梁下部を対象に数量算出項目及び区分の情報を分析し，ER 図を用いて 3 次元プロダクトモデルの幾何形状を表現する実体（entity），実体間の関連（relationship）と材料緒元などを表す属性（attribute）に区別して 3 次元プロダクトモデルに具備する工事数量算出のデータ構造を定義した．この ER 図に従い構築した鋼橋の 3 次元プロダクトモデルより公共工事の積算に使用する工事数量総括表などを作成できることを確認するとともに，従来では必要としていた作業を自動化して有効性を検証した．この新たに定義した 3 次元プロダクトモデルに具備する工事数量算出のデータ構造を用いることで，3 次元プロダクトモデルより新土木工事積算体系に従った工事数量を算出して公共工事の積算と連携できることを

示した.

工事工種体系には,多くの工種が含まれているが基本的な考え方と算出方法は統一されている.このため，本研究にて提案した 3 次元プロダクトモデルに具備する工事数量算出のデータ構造は他工種にも応用できると考えられる．さらに，新土木工事積算システムに使用している土木積算基準データの工事工種体系データは標準化されているため研究を進めることで，工事工種体系データを基に 3 次元プロダクトモデルに具備する工事数量算出のデータ構造を自動的に定義できる可能性も考えられる.

工事数量算出に使用するレベル 4（細別）の単位は，公共調達における契約単位である．公共工事の積算に使用している数量算出項目及び区分は，材料や労務などの膨大な市場調査や施工実績を基にした歩掛や施工パッケージ型積算基準などにより作成されている．3 次元プロダクトモデルによる工事数量算出と積算の連携が進めば，事業予算に応じた工区分割や新土木積算システムへの入力作業も大幅に効率化されることが予見できる.

第5章　鋼橋の 3 次元プロダクトモデルを用いた出来高管理（EVM）システムの開発

5.1 本章の概要

本章では，公共工事の調達単位や複数の公共工事を統合して客観的に評価して監理する発注側の新たな積算マネジメント手法を提案することを目的とした 3 次元プロダクトモデルを用いた出来高管理（EVM）システムを構築した．はじめに，新土木工事積算体系 [63] の階層を作業分解構成にあてはめて，3 次元プロダクトモデル，工事数量，直接工事費と工事日数の粒度の共通化を図るデータ構造を定義した．次に，新たに定義したデータ構造を用いて，公共工事の基準に基づき EVM の実施に必要な直接工事費と工事日数を自動算出するシステムを開発し，工程計画の妥当性や進捗状況について論理的に明示できる方法に基づいた分析が可能か検証を行った．

5.2 積算マネジメント手法の検討

本章にて提案する発注者側の新たな積算マネジメントでは，共通に利用でき，標準化され，互いに粒度が整った作業分割構成が必要である．国土交通省では，従来の積算体系について合理的・機動的かつ，統一性・一貫性のある体系への見直しを行い，新しい積算の枠組みを作るため新土木工事積算大系と称する作業に取り組んでいる．この作業により，直接工事費の積算に使用する工事工種の体系化を行い積算階層数や階層定義，細分化方法などの構成方法，用語名称や数量単位などの表示方法を工種毎に標準化と規格化を進めている．新土木工事積算体系は，さまざまな工事の内容を標準的に細分化するための体系ツリー図である．この体系ツリー図は，7 つの階層（レベル）により構成されている．これにより，契約対象となる工事目的物の必要かつ標準的な構成要素を把握することができる．そこで，作業分割構成に新土木工事積算体系を用いて 3 次元プロダクトモデル，工事数量，直接工事費と工事日数の粒度の共通化を図ることとした．提案する発注者側の新たな積算マネジメントの概念を**図 5-1** に示す．実際の公共工事における利用を想定し，提案する積算マネジメントの実施手順を**図 5-2** に示すとともに以下に記述する．

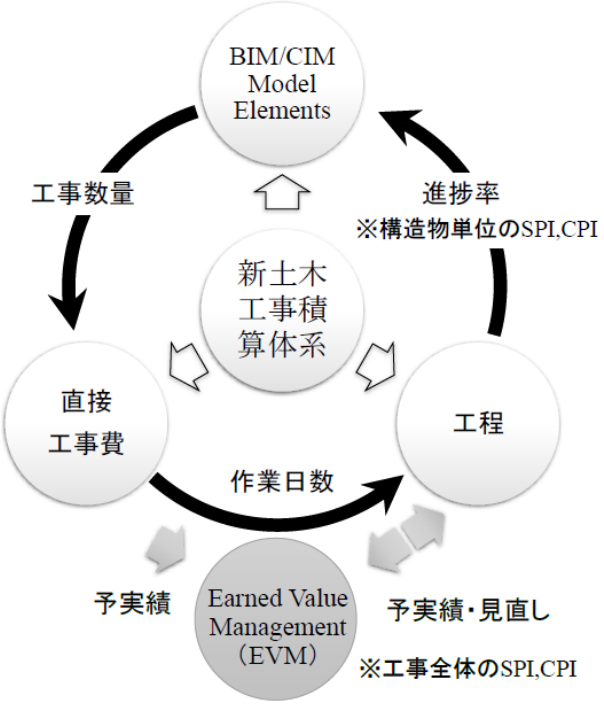

図 5-1　積算マネジメントの概念

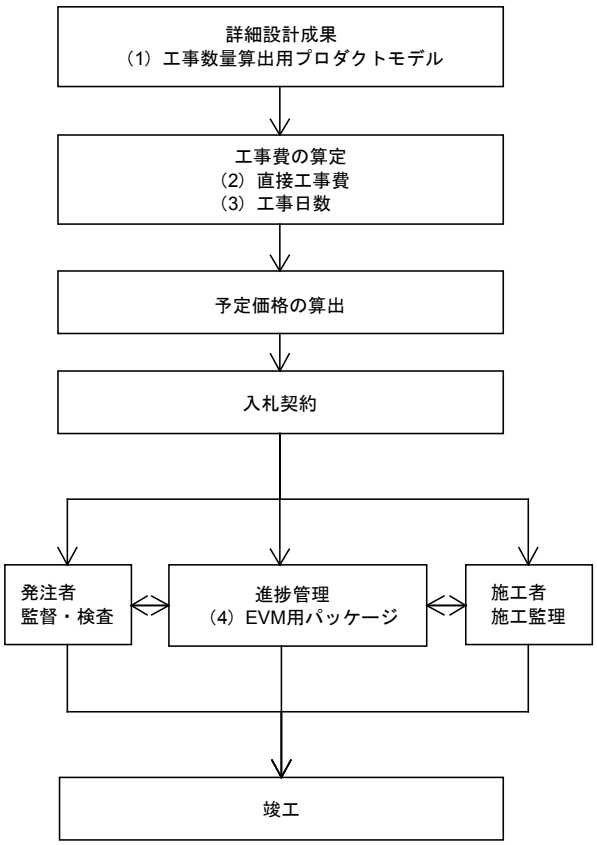

図 5-2　積算マネジメントの実施手順

5.2.1　工事数量算出用 3 次元プロダクトモデル

影山ら[68]は，鋼橋上部（桁製作工：単純プレートガーダ），橋梁下部（橋台躯体工：逆 T 式）を対象に，新土木工事積算体系を作業分解構成にあてはめた「工事数量算出用 3 次元プロダクトモデル」を定義して，作業最小単位に細別（レベル 4）を用いて公共工事の積算と連携できることを示している．工事数量算出は，設計にて作成した図面を基に土木工事数量算出要領（案）の数量算出項目及び区分に示されるレベル 4（細別）とレベル 5（規格）の工事数量を集計して「工事数量集計表」[64]に取りまとめている．国土交通省は，「新土木工事積算システム」[65]と称した積算システムを開発し，運用している．新土木工事積算システムは，工事工種体系に基づき工事に必要な材料費，労務費，直接経費を積み上げて工事価格を算出し，「工事数量総括表」や「積算計算書」を作成するものである．橋梁上下部の数量算出項目及び区分を**表 5-1** と**表 5-2** に，工事数量算出用の 3 次元プロダクトモデルのデータ構造を**図 5-3** に示す．

第 1 階層から第 6 階層までのエンティティは，新土木工事積算体系のレベル 1（工事区分）からレベル 6（積算要素）と整合している．第 1 階層から第 4 階層のエンティティは，3 次元プロダクトモデルの階層を表し，第 4 階層（細別）は，幾何形状情報を表現するエンティティである．また，第 5 階層（規格）と第 6 階層（積算要素）は，工事数量算出を行うにあたり必要な情報を付与するエンティティで構成する．

表 5-1　数量算出項目及び区分（鋼橋上部）

工事区分（レベル 1）	工種（レベル 2）	種別（レベル 3）	
鋼橋上部	工場製作工	桁製作工	
細別（レベル 4）	規格（レベル 5）		
	規格	積算用単位	総括表用単位
製作加工	鋼材規格	t	t
ボルト・ナット	ボルト・ナット種類	組	組
スタットジベル	径・長さ	本	本

表 5-2　数量算出項目及び区分（橋梁下部）

工事区分（レベル 1）	工種（レベル 2）	種別（レベル 3）	
橋梁下部	橋台工	橋台躯体工	
細別（レベル 4）	規格（レベル 5）		
	規格	積算用単位	総括表用単位
基礎材	基礎材規格（砕石の場合等），敷厚	m^2	m^2
均しコンクリート	コンクリート規格，敷厚	m^2	m^2
コンクリート	コンクリート規格，養生費，コンクリート夜間割増の有無	m^3	m^3
鉄筋	鉄筋材料規格・径	t	t
型枠	型枠の種類	m^2	式 or m^2
足場	安全ネットの有無	掛 m^2	式 or 掛 m^2
水抜パイプ	管径・管種類，フィルターの有無	m	式 or m
有孔管	作業区分，工法区分，施工規模	m	m

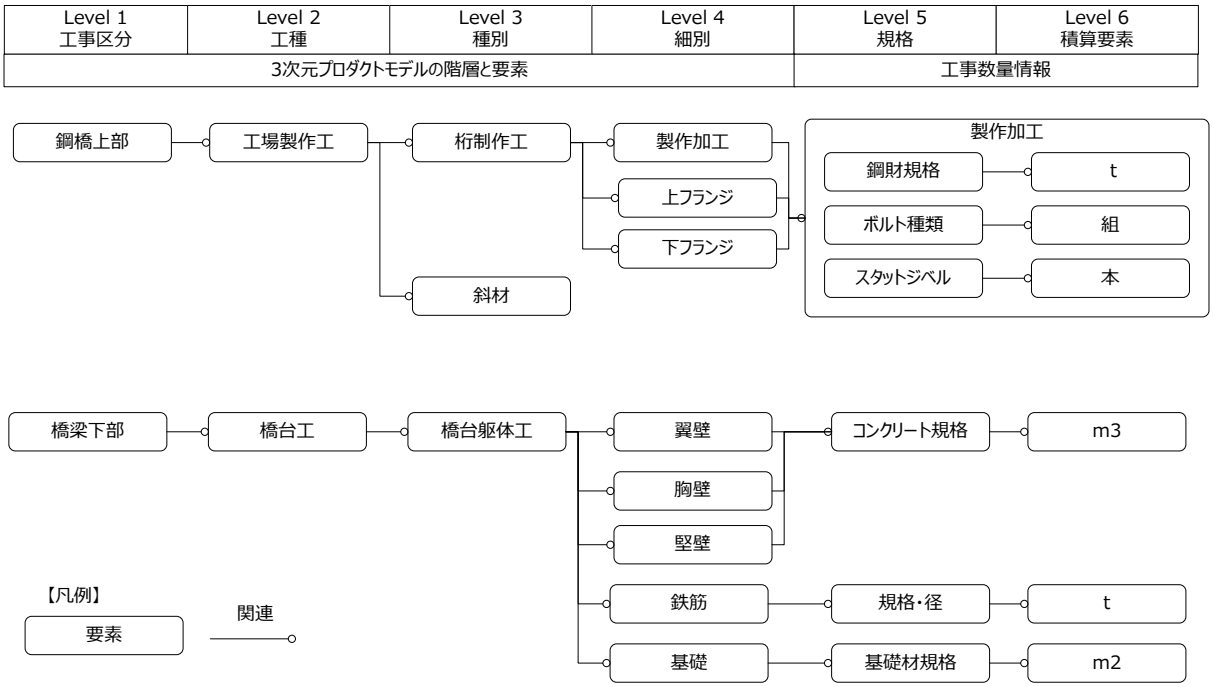

図 5-3　工事数量算出用の 3 次元プロダクトモデルのデータ構造

5.2.2 直接工事費

発注者は，算出した工事数量に『国土交通省土木工事積算基準』[62] に示されている歩掛をあてはめて，当該構造物の築造に必要とする労務人工数や材料数などの工事数量を算出する．これに，施工地域の労務単価や市場価格を掛け合わせ細別毎の直接工事費を算出する．

5.2.3 工事日数

発注者は，工事に必要とする工期を算出する．工期の算出に必要な細別毎の工事日数は，日当たり施工量，施工班数，実働日数と不稼働率より算出する．日当たり施工量は，工事数量に対して『国土交通省土木工事積算基準』に記載されている「作業日当たり標準作業量」と「市場単価の 1 日当たり標準作業量」を用いて算出する．実働日数は工事数量 /（日当たり施工量 / 施工班数）である．不稼働率は休日，降雨日，降雪期，出水期や現場状況を考慮した作業不能日数の割合である．

5.2.4 EVM 用パッケージ

国土交通省工事契約書によれば，施工者は，仮設，施工方法その他工事目的物を完成するために必要な一切の手段については，この契約書及び設計図書に特別の定めがある場合を除き，施工者がその責任において定めることとなっている．発注者の監督職員は，設計図書に基づく工程の管理，立会い，工事の施工状況の検査又は工事材料の試験若しくは検査する権限を有している．公共工事における工程管理は，週間/月間作業工程打合せなどにより，監督職員は施工者が把握している出来高や工程の進捗率の報告を受けて確認している．なお，工程計画の妥当性や進捗状況の評価は，監督職員個人の経験により判断しているところが大きい[50]．

EVM 用パッケージは，算出した直接工事費と工事日数を新土木工事積算体系の細別までの階層にあてはめたものである．新土木工事積算体系の細別は公共工事における調達と契約の数量と単位である．これに基づき監督と検査が行われる．**表 5-3** に EVM の用語と解説[50] を示す．EVM は評価する時点の計画出来高（PV : Pland Value）に対する実工事費（AC : Actual Cost）と出来高（EV : Earned Value）を用いて，工程効率指数（SPI）と出来高効率指数（CPI）を算出する．これを確認することで，工程だけではなく原価要素も加えて総合的に工事の進捗状況を把握して将来の状況を予測する仕組みである．工事の進捗状況は着手時点から評価時点までの計画と実績の乖離により将来の状況を推定する．施工段階における EVM パッケージの運用をシーケンス図に示す（**図 5-4**）．シーケンス図は，クラスやオブジェクト間のやりとりを時間軸に沿って表現する図である．着手時に発注者は施工者より提出される細別単位の工事日数に合わせて当初工期を調整し，計画出来高（PV）を設定する．施工中は，週間/月間作業工程打合せなどにあわせ発注者は施工者より提出される細別単位の工事日数（実績）と工事数量（実績）の報告を受け，出来高（EV）と実工事費（AC）を算出し，EVM の実施に必要な工程効率指数（SPI）や出来高効率指数（CPI）の各種パラメータを算出する．

表 5-3　EVM の用語と解説

用語	名称	解説
基本事項		
作業分割構成	Work Breakdown Structure（WBS）	プロジェクトに必要な作業を，具体的な作業スケジュール（工程）と進捗が把握可能な単位まで詳細化し，階層構造で表したもの．作業分割構成の各要素に対して以下の事項が定義される． ①作業内容 ②作業の開始日・終了日 ③予算（金額，所要時間等） ④責任者 ⑤責任部署 ⑥作業最小単位（WP） ⑦出来高の計測方法
作業最小単位	Work Package（WP）	作業分割構成（WBS）の最下位層．必要な作業を遂行するための詳細な短期作業または資材項目である．
状態		
当初工事費	Budget at Completion（BAC）	プロジェクトの当初の総予算．
当初工期	Target day of Completion（Tc）	プロジェクトの当初の工期．
評価時点	Time Index（Ti）	プロジェクトの評価時点．間隔は週間，月間．
計画出来高	Planned Value（PV）	プロジェクトの当初に作成する計画出来形を金額換算した計画予算．一般には，出来高基準線または実施時の基礎情報となるのでベースラインとも呼ばれる．
出来高	Earned Value（EV）	プロジェクトの達成された成果物の出来形実績を金額換算した出来高．一般には，出来高価値とも呼ばれる．
実工事費	Actual Cost（AC）	プロジェクトの出来形実績に実際にかかった費用（工事費）．一般には，実コストとも呼ばれる．
工程差異	Schedule Variance（SV）	評価時点でのスケジュール（工程）に関する予定と実際の差異． 算定式:SV = EV-PV ・SV>0: 工程が計画より進んでいる ・SV<0: 工程が計画より遅れている
出来高差異	Cost Variance	評価時点での「出来高」と「実工事費」の差異． 算定式: CV = EV-AC

用語	名称	解説
		・CV>0: 出来高内に実工事費が収まっている ・CV<0: 出来高より実工事費が超過している
工程効率指数	Schedule Performance Index（SPI）	「計画出来高」に対する「出来高」の割合．評価時点での工程面から見た達成状況を表す. 算定式: SPI = EV/PV ・SPI>1: 工程が計画より進んでいる ・SPI<1: 工程が計画より遅れている
出来高効率指数	Cost Performance Index（CPI）	「実工事費」に対する「出来高」の割合．評価時点での出来高面から見た達成状況を表す. 算定式: CPI = EV/AC ・CPI>1: 出来高内に実工事費が収まっている ・CPI<1: 出来高より実工事費が超過している
予測		
完成時予測工事費	Estimate at Completion（EAC）	完成までの必要総予算を評価時点で予測する（見積もる）もの. 算定式 1:EAC1 = AC+（BAC-EV）/CPI 算定式 2:EAC2 = AC+（BAC-EV）/（CPI×CPI） SPI≧1 の場合は算定式 1 を，SPI <1 の場合には安全側に配慮して算定式 2 を用いる．（算定式 2 は工程効率も考慮した場合の式であり，工程が遅れているときには算定式 1 より工事費の超過が大きく予測される）
完成時予測工期	Time Estimate Completion（Tec）	完成までの必要工期を評価時点で予測する（見積もる）もの. 算定式 1: Tec1 = Ti+（Tc-Ti）/SPI 算定式 2: Tec2 = Ti+（Tc-Ti）/{SPI×（EAC-PV）/（EAC-EV）} SPI≧1 の場合は算定式 1 を，SPI <1 の場合には安全側に配慮して算定式 2 を用いる．（算定式 2 は EAC に対する工程効率も考慮した場合の式であり，出来高が下まわっているときには算定式 1 より工期の遅れが大きく予測される）
残作業出来高予測	Estimate to Complete（ETC）	ETC = EAC-AC 現時点から完成までに見積もった残作業の出来高見積り
完了時出来高差異	Variance at Complete（VAC）	VAC = BAC-EAC 完了時点の予算に対する実績の差異予測

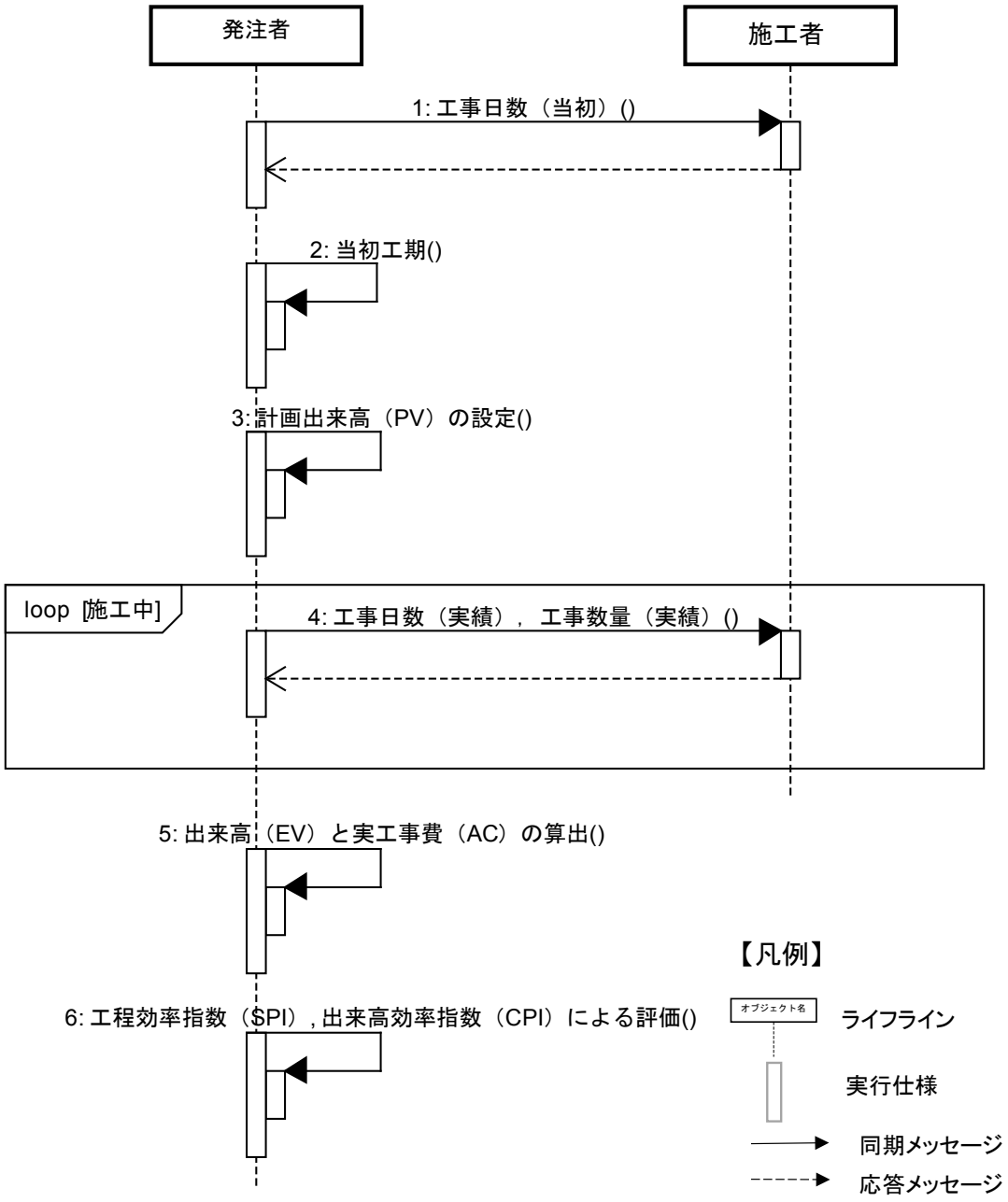

図 5-4　EVM パッケージの運用

5.3　データ構造の定義と EVM システムの開発

5.3.1　データ構造の定義

本章では，3 次元プロダクトモデルより算出する工事数量，直接工事費と工事日数の関係を明

らかにしてデータ構造を定義した．**図 5-5** に，新たに定義したクラス図を示す．クラス図は，3 次元プロダクトモデルより工事数量算出を行う model elements Class，直接工事費を算出する unitprice_packages Class，工事日数を算出する schedule_packages Class と計画出来高を算出する evm_package Class で構成する．

各クラスには，クラス名，データ型を含む属性と操作の 3 つを定義した．工事数量のクラスは，『土木工事数量算出要領（案）』に基づいた 3 次元プロダクトモデルの部品構成を表す．このクラスの属性のうち element level は新土木工事積算体系の階層構造を表し，新土木工事積算体系の細別までを構成する．element_parent_id は各部品の親子関係を表す．element row は同一階層での表示順序を表す．element name は新土木工事積算体系の名称を表す．element condition は細別の規格を表す．element quantity は数量を表す．element unit は単位を表す．unitprice_code は細別の規格に基づいた施工歩掛コードを表す．直接工事費のクラスは，3 次元プロダクトモデルを構成する部品（element_id）に付与した施工歩掛コード（unitprice_code）より必要とする労務，材料や諸経費などの歩掛を表す．Setup unitprice_packages の操作により，各歩掛を抽出する．工事日数のクラスは，3 次元プロダクトモデルを構成する部品（element_id）に付与した細別の規格（element_condition）より施工量や工事日数などを表す．setup_schedule_packages の操作により，工事日数を算出する．計画出来高のクラスは，3 次元プロダクトモデルを構成する部品（element_id）の細別に対応した，直接工事費と工事日数を表す．

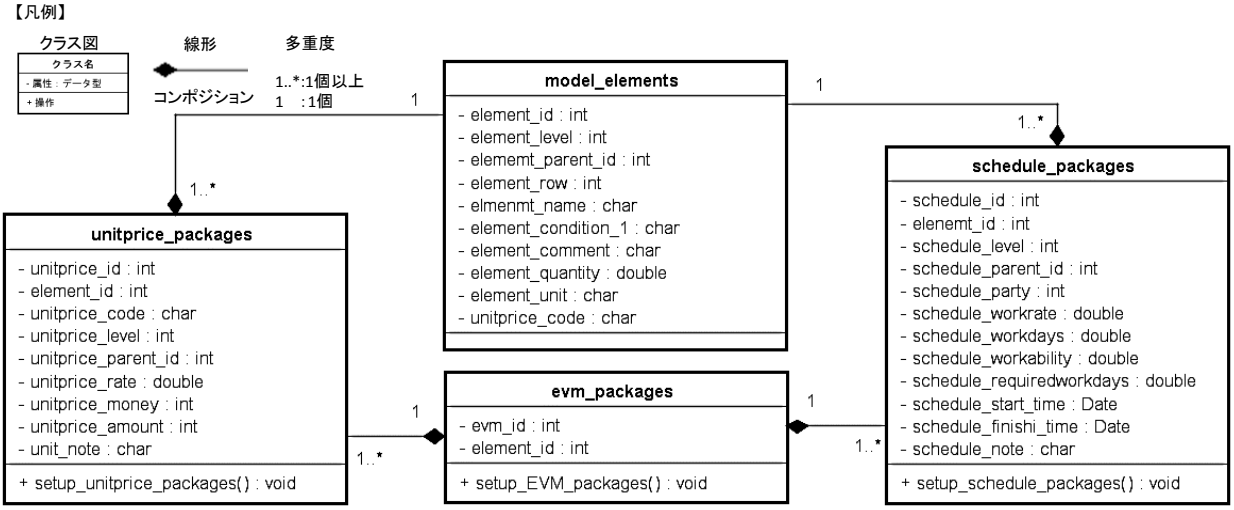

図 5-5　クラス図

5.3.2 EVM システムの開発

新たに定義したクラス図を用いて，工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルより出力した工事数量を読み込み，直接工事費，工事日数を自動算出する EVM システムを開発した．**図 5-6** に開発した EVM システムの構成を示す．工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルは Autodesk Revit 2018（以下，「Revit」とする．）を使用して作成した．Revit では幾何形状の他，これに付随する

属性情報を追加することができる．工事数量は Revit の数量集計機能を用いて，新土木工事積算体系に基づいた工事数量を抽出できるように工夫した. 直接工事費と工事日数の算出は, Microsoft 社のデータベースアプリケーションである Access の Visual Basic for Applications を用いて構築した．

EVM システムの処理手順を**図 5-7** に示す．はじめに，Revit を用いて工事数量用 3 次元プロダクトモデルより新たに定義した model_elemets に従ったデータを CSV 形式で出力する. 次に, CSV 形式のファイルを Access に読み込むと自動的に直接工事費（setup_unitprice_packages）および工事日数（setup_schedule_packages）の順に計算処理を行ない，直接工事費と工事日数を統合した EVM 用パッケージ（setup_EVM_packages）を作成する．最後に，CSV 形式に出力した EVM 用パッケージのファイルを Excel に読み込み，立案した施工計画に従い施工順序を割り当てると自動的に計画出来高（PV）を作成する．毎月の出来高と実工事費を入力すると EVM の実施に必要な工程効率指数（SPI）や出来高効率指数（CPI）の各種パラメータを自動算出する．

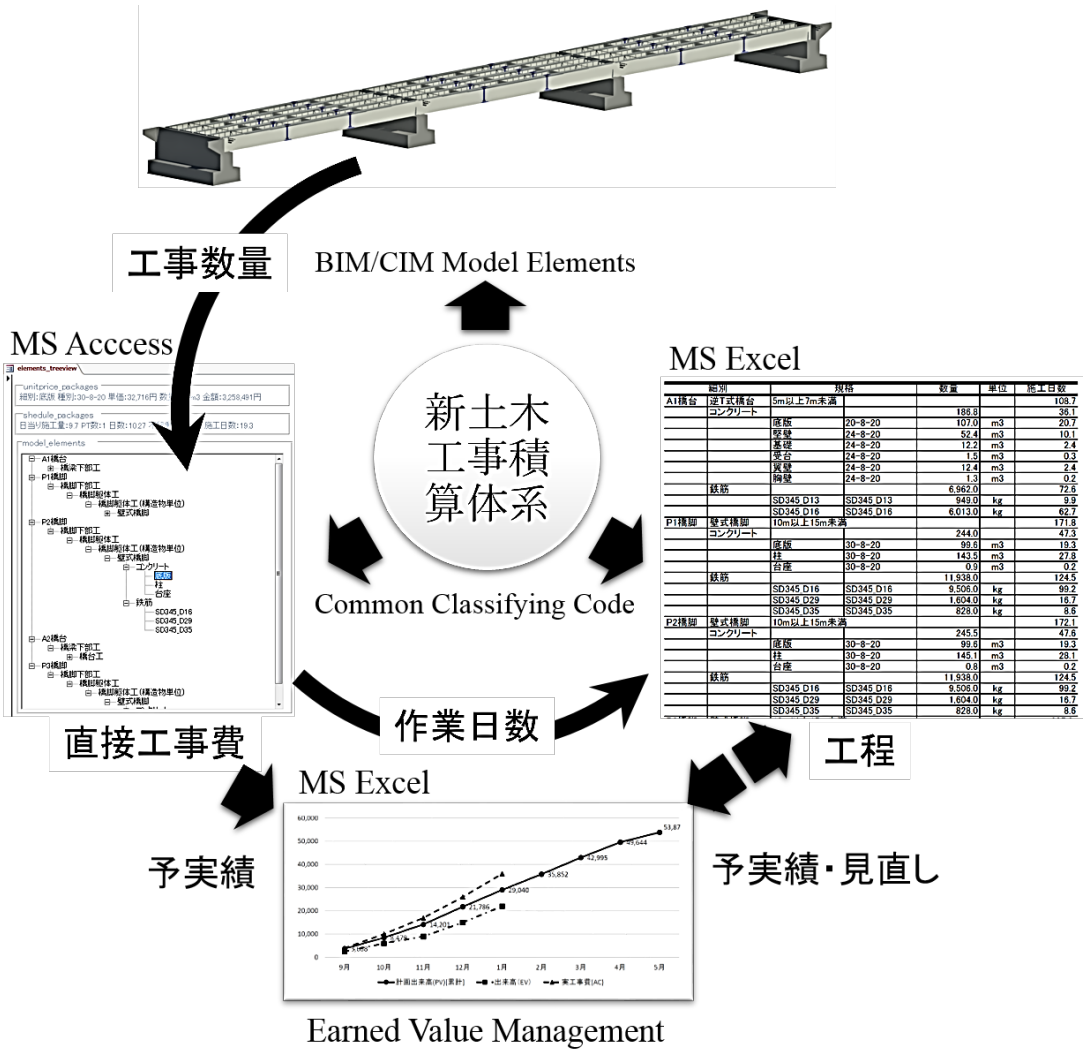

図 5-6　EVM システムの構成

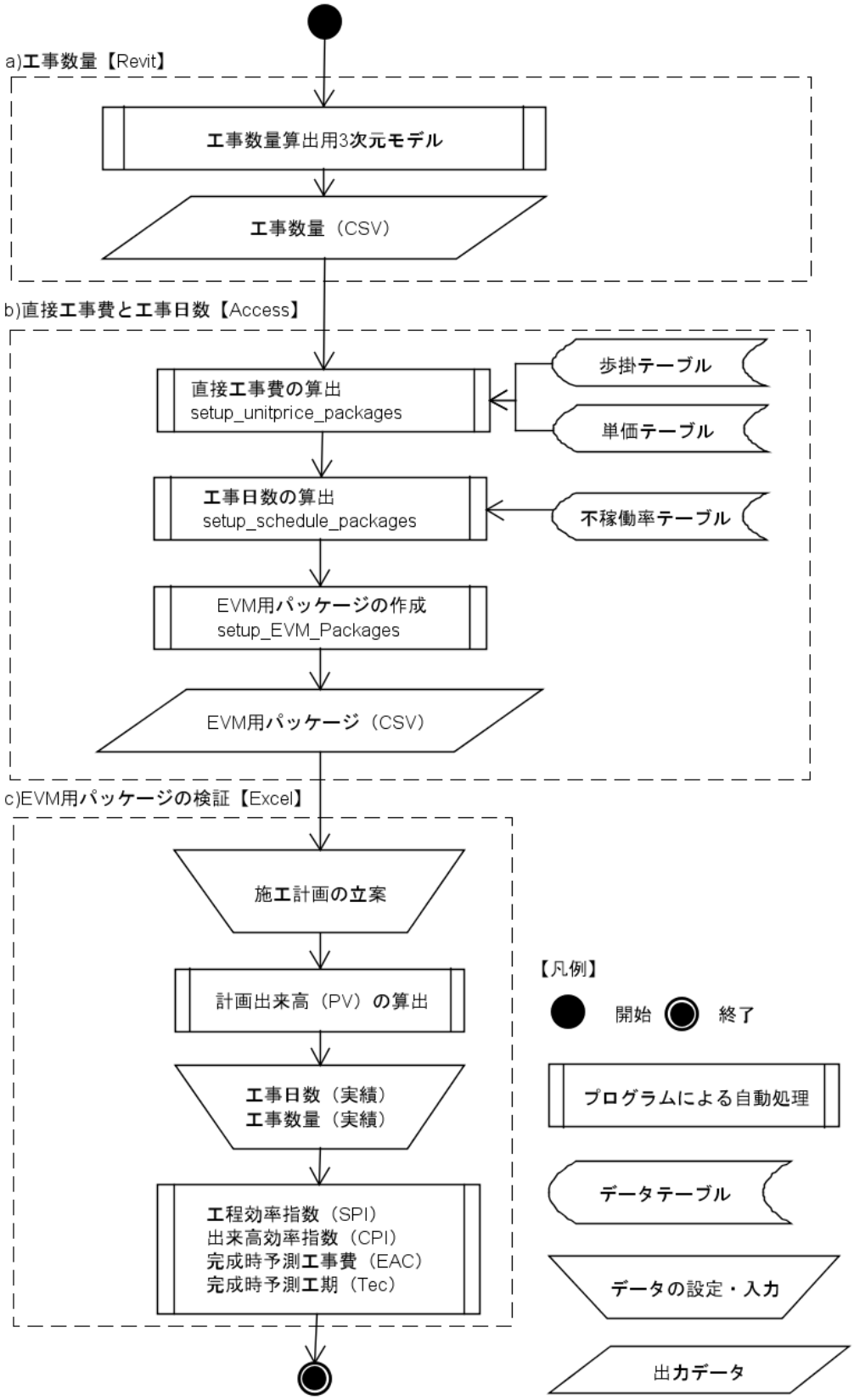

図 5-7　EVM システムの処理手順

(1) 工事数量

新土木工事積算システムにて取り扱う情報は土木積算基準データと呼ばれ，そのデータ構造, 内容とデータ記述形式は,『XML 形式基準データ仕様解説書』[66] により公開されている．全体のデータ記述規則は，文字コード : EUC-JP，タグ名称 : 日本語，DTD : 宣言必須であり，データ記述形式は XML に統一されている．しかし，土木積算基準データの工事工種体系データは，各レベルの名称一覧であるためレベル間の階層関係を把握できる仕様になっていない．そこで，算出した工事数量と新土木工事積算体系の関連付けを行うため，土木積算基準データの工事工種体系データ仕様を基に，新土木工事積算体系の階層を表す element_level と階層構造の親子関係を表す element_parent_id を加える工夫を行った．

(2) 直接工事費と工事日数

直接工事費は，3 次元プロダクトモデルを構成する部品に付与した施工歩掛コードを基に抽出した工事数量と単価を掛け合わせて算出する．開発したプロトタイプでは，直接工事費を算出するために，各工種の歩掛に応じた歩掛テーブルと労務費や材料費の単価テーブルを作成している．歩掛テーブルには『国土交通省土木工事積算基準』に示される単位あたりの職種毎の労務人数，材料，施工機械，雑工種や諸経費を記録している．単価テーブルは施工する地域を東京に設定し，労務費，材料費と施工機械費を記録している．労務費の単価テーブルは国土交通省が公開する公共工事設計労務単価と職種，材料費の単価テーブルは一般財団法人経済調査会が発行する『積算資料』, 施工機械の単価テーブルは各業界団体が公表している標準料金表を使用した．

工事日数は細別の規格に基づき実働日数と不稼働率を算出する．開発したプロトタイプでは工事日数を工事数量 /（日当たり施工量 / 施工班数）を用いている．不稼働率は『国土交通省土木工事積算基準』に示されている定数を使用した．なお，不稼働率は施工地域の季節に応じた雨休率を算出することでより正確な値を用いることができる．また，不稼動率に考慮する土曜日と日曜日に各発注機関において定めた特別休暇を加えた休日数，日常の交通量確保，商店営業時間や騒音・振動などの住環境保全を考慮した工事抑制期間や準備・後片付け期間は，現場条件に応じて日数を設定する．鋼橋の工場製作工数は，加工組立工数，溶接工数，570 材相当品による影響割増，仮組立工数，対傾構及び横構組立工数と付属物製作工数を合算する．検証に用いた鋼橋上部の数量算出用 3 次元プロダクトモデルは，グロス重量を算出する部材の幾何形状表現と数量算出方法について「ボルト孔及び隅欠きは表現しない.」「ボルト位置にダミーの幾何形状を配置し個数を算出する.」「鋼材の対傾構や横構のガセットプレートなどは設計の幾何形状を表現するが単純化した面積より質量を計算する.」こととしている．加工組立工数は，主桁を構成する上フランジ，下フランジと壁板及び連結部を構成する部材毎にブロック化を行い算出している．溶接延長は各材料に溶接する辺を与えている．Access を用いて開発した直接工事費と工事日数を算出するプログラムの画面構成を**図 5-8** に，計算結果のデータテーブルの抜粋を**図 5-9** に示す．

図 5-8　画面構成

evm	element_name	element_conditi	element_quantit	element_unit	unitprice_money	unitprice_amoun	schedule_require
1	A1 橋台		1		¥6,608,552	¥6,608,552	108.7
2	橋梁下部工		1		¥6,608,552	¥6,608,552	108.7
3	橋台工		1		¥6,608,552	¥6,608,552	108.7
4	橋台躯体工(構造		1		¥6,608,552	¥6,608,552	108.7
5	逆T式橋台	5m以上7m未満	1		¥6,608,552	¥6,608,552	108.7
6	コンクリート		186.8	m3	¥4,858,025	¥4,858,025	36.1
7	底版	20-8-20	107	m3	¥18,652	¥1,995,775	20.7
8	竪壁	24-8-20	52.4	m3	¥35,874	¥1,879,803	10.1
9	基礎	24-8-20	12.2	m3	¥35,816	¥436,956	2.4
10	受台	24-8-20	1.5	m3	¥35,845	¥53,767	0.3
11	翼壁	24-8-20	12.4	m3	¥35,847	¥444,500	2.4
12	胸壁	24-8-20	1.3	m3	¥36,326	¥47,224	0.2
13	鉄筋		1550.3	kg	¥1,750,527	¥1,750,527	72.6
14	SD345_D13	SD345_D13	949	kg	¥253	¥240,483	9.9
15	SD345_D16	SD345_D16	6013	kg	¥251	¥1,510,044	62.7
16	P1 橋脚		1		¥10,986,481	¥10,986,481	171.8
17	橋脚下部工		1		¥10,986,481	¥10,986,481	171.8
18	橋脚躯体工		1		¥10,986,481	¥10,986,481	171.8
19	橋脚躯体工(構造		1		¥10,986,481	¥10,986,481	171.8
20	壁式橋脚	10m以上15m未満	1		¥10,986,481	¥10,986,481	171.8
21	コンクリート			m3	¥7,982,918	¥7,982,918	47.3
22	底版	30-8-20	99.6	m3	¥32,716	¥3,258,491	19.3
23	柱	30-8-20	143.5	m3	¥32,714	¥4,694,465	27.8
24	台座	30-8-20	0.9	m3	¥33,291	¥29,962	0.2
25	鉄筋		11938	kg	¥3,003,563	¥3,003,563	124.5
26	SD345_D16	SD345_D16	9506	kg	¥251	¥2,387,552	99.2
27	SD345_D29	SD345_D29	1604	kg	¥252	¥404,417	16.7
28	SD345_D35	SD345_D35	828	kg	¥256	¥211,594	8.6

図 5-9　計算結果のデータテーブル（抜粋）

5.4 EVM 用パッケージの検証

実務における適用を想定し，『土木構造物標準設計』[67] に示される鋼橋上部（単純プレートガーダ）の事例を基に鋼橋の 3 次元プロダクトモデルを構築し，部材構成や鋼材数量などの整合性を確認した．検証に使用した鋼橋の設計条件を**表 5-4** に示す．鋼橋の 3 次元プロダクトモデルの平面と側面を**図 5-10** に，投射を**図 5-11** に示す．上下部工の工事数量と直接工事費を**表 5-5** と**表 5-6** に示す．

表 5-4　設計条件

<table>
<tr><td rowspan="3">形式</td><td rowspan="3">単位</td><td>上部工</td><td colspan="2">単純プレートガーダ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下部工</td><td>A1 橋台</td><td>逆 T 式橋台</td></tr>
<tr><td>A 2 橋台</td><td>逆 T 式橋台</td></tr>
<tr><td>橋長</td><td>m</td><td colspan="3">122.20</td></tr>
<tr><td>桁長</td><td>m</td><td colspan="3">40.60×3 径間</td></tr>
<tr><td>斜角</td><td>度</td><td colspan="3">0°</td></tr>
<tr><td>活荷重</td><td></td><td colspan="3">B 活荷重</td></tr>
<tr><td>大型車交通量</td><td colspan="2">台/日/1 方向</td><td colspan="2">2,000 以上</td></tr>
<tr><td>床版厚</td><td>mm</td><td colspan="3">250</td></tr>
<tr><td>設計水平震度</td><td></td><td colspan="3">Kh = 0.25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">コンクリート
設計基準強度</td><td rowspan="2">N/mm^2</td><td>上部工</td><td colspan="2">24</td></tr>
<tr><td>下部工</td><td colspan="2">24</td></tr>
<tr><td rowspan="4">許容応力度</td><td rowspan="4">N/mm^2</td><td rowspan="2">上部工</td><td>コンクリート</td><td>24</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td>195　（SD 295）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">下部工</td><td>コンクリート</td><td>24</td></tr>
<tr><td>鉄筋</td><td>195　（SD 295）</td></tr>
</table>

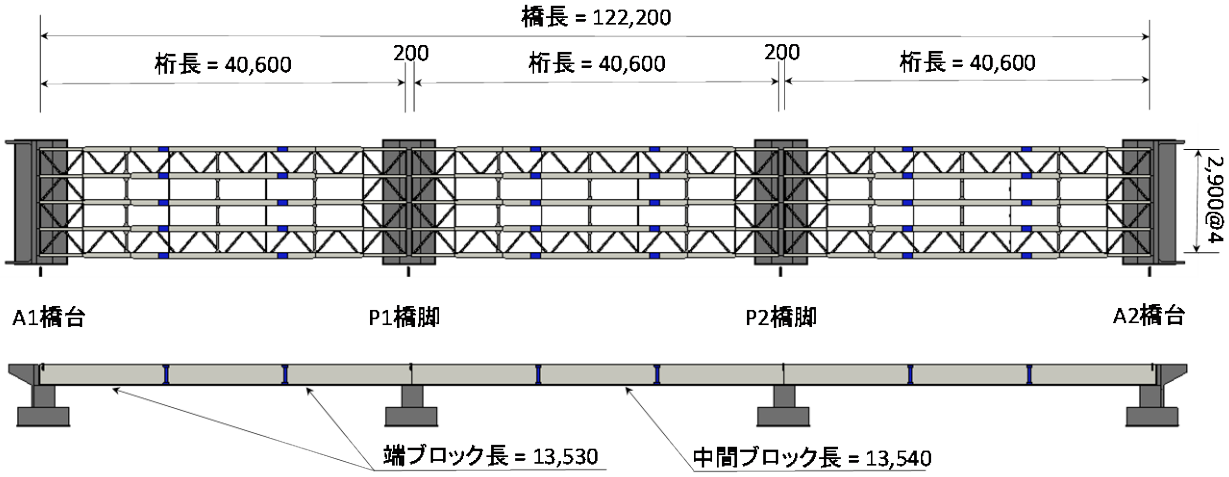

図 5-10　鋼橋の 3 次元プロダクトモデル（平面と側面）

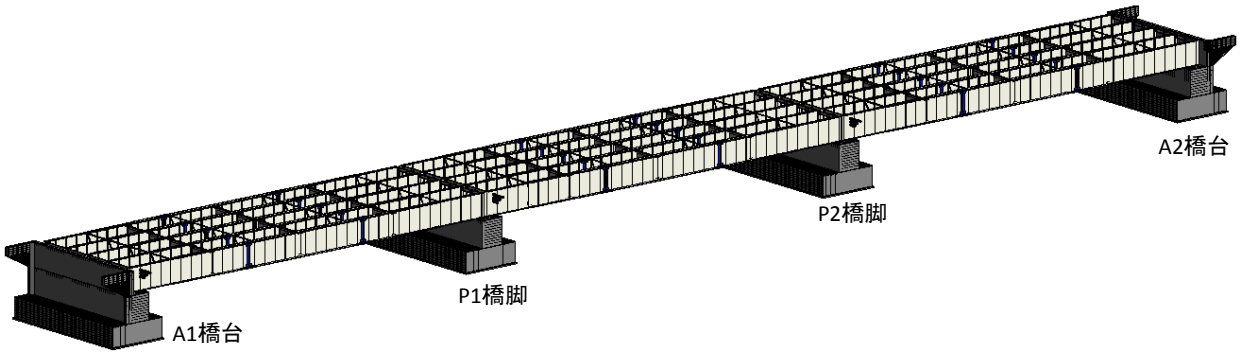

図 5-11　鋼橋の 3 次元プロダクトモデル（投射）

表 5-5　上部工数量と直接工事費

（金額単位　千円）

工種			仕様	単位	単価	数量	金額
工場原価	材料費	鋼材	SM490YB	t	131.0	62.8	8,227
			SS400	t	113.3	13.4	1,518
		支承工	A1：ゴム支承（端支承部）	個	2400.0	2.0	4,800
			P1：ゴム沓（中間支点部）	個	2300.0	2.0	4,600
			P2：ゴム沓（中間支点部）	個	2300.0	2.0	4,600
			A2：ゴム支承（端支承部）	個	2400.0	2.0	4,800
		H.T.B	S10T	t	220.0	1.4	308
		材料費計					28,853
	製作費		直接労務費	人	26.1	1458.0	38,054
	直接工事費		（A）=材料費+製作費				66,907
	間接労務費		（B）=直接労務費×38.0%				14,460
	純工事費計		（C）=A+B				81,367
	工場管理費		（D）=C-材料費				52,514
	工場製作原価		（E）=C+D				133,882
現場工事原価	架設工	輸送工	30km（東京）	t	7.0	76.2	533
		架設工	移動式クレーン	t	56.0	76.2	4,267
		小計	（F）	一式			4,801
	共通仮設費		（G）=F×17.00%				816
	率計上分		（H）= F×14.34%				688
	純工事費		（Ｉ）				6,305
	現場管理費		（J）=I×30.98%				1,953
	現場工事原価		（K）=I+J				8,258
	一般管理費		（L）=K×9.54%				788
合計			E+K+L				142,928

表 5-6　下部工数量と直接工事費

（金額単位　千円）

工種			単位	数量	単価	金額
A1	基礎材		m^2	79.0	1.4	111
	均しコンクリート		m^2	2.0	1.6	3
	コンクリート	基礎	m^3	163.6	12.5	2,046
		竪壁	m^3	77.4	12.5	968
		翼壁_1	m^3	1.8	12.5	22
		翼壁_2	m^3	1.8	12.5	22
		胸壁	m^3	14.9	12.5	186
	型枠		m^2	176.0	7.4	1,302
	小計（A）					4,659
P1	基礎材		m^2	79.0	1.4	111
	均しコンクリート		m^2	2.0	1.6	3
	コンクリート	底版	m^3	163.6	12.5	2,046
		柱	m^3	77.4	12.5	968
	型枠		m^2	160.0	7.4	1,184
	小計（B）					4,311
P2	基礎材		m^2	79.0	1.4	111
	均しコンクリート		m^2	2.0	1.6	3
	コンクリート	底版	m^3	163.6	12.5	2,046
		柱	m^3	77.4	12.5	968
	型枠		m^2	160.0	7.4	1,184
	小計（C）					4,311
A2	基礎材		m^2	79.0	1.4	111
	均しコンクリート		m^2	2.0	1.6	3
	コンクリート	基礎	m^3	163.6	12.5	2,046
		竪壁	m^3	77.4	12.5	968
		翼壁_1	m^3	1.8	12.5	22
		翼壁_2	m^3	1.8	12.5	22
		胸壁	m^3	14.9	12.5	186
	型枠		m^2	176.0	7.4	1,302
	小計（D）					4,659
合計						17,941

直接工事費と工事日数を算出するプログラムより出力した EVM 用パッケージを基に施工計画を立案した．鋼橋上下部工の工事日数の合計は 360 日である．施工手順は，鋼橋の工場製作期間中に，A1 橋台と A2 橋台の同時施工を行い，完了後に P1 橋脚と P2 橋脚を順次施工する手順とした．鋼橋の架設は A1 側から行う．工期は出水期を避け 9 か月に設定した．なお，各月の作業可能日数は 20 日に統一している．

施工計画に基づき各工種の工程をあてはめて計画出来高（PV）を設定した．橋梁上下部工の場合，原則的に上部工と下部工は分割して発注される．施工中は，週間/月間作業工程打合せなどにあわせ，それぞれの施工者より提出される細別単位の工事日数（実績）と工事数量（実績）を統合して，EVM の実施に必要な工程効率指数（SPI）や出来高効率指数（CPI）を算出して工事の進捗状況を評価する．さらに，完成時予測工事費（EAC）と完成時予測工期（Tec）を用いて今後の動向を予測する．検証用に 5 か月分のデータを入力して EVM の各種パラメータを算出した結果を**表 5-7** に示す. **図 5-12** に EVM による工事進捗を評価するために工程効率指数（SPI）を横軸，出来高効率指数（CPI）を縦軸に配置した直交座標系のグラフを示す．工事の進捗状況の把握は，工程効率指数（SPI）と出来高効率指数（CPI）を用いて低原価・早工程，低原価・遅工程，高原価・早工程と高原価・遅工程の 4 つの状態に分類して評価する．

検証用のデータの場合，着手月は現場施工条件の確認や資機材などの準備により出来高（EV）が計画出来高（PV）を下回る左下の低原価・遅工程の領域を示す．完成時予測工期（Tec2）は 390 日となり当初工期より 30 日延長することが予測できる. 工事の進捗に伴い工程と原価の状態が安定し，右上の高原価・早工程領域に遷移している状態が読み取れる．完成時予測工期（Tec1）は 358 日となり遅延を取り戻し，当初工期より 2 日短縮することが定量的に予測できる．

表 5-7　EVM に用いる各種パラメータの算出結果

施工個所	直接工事費	工事日数	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	備考
工場製作	66,907	132	10,137	10,137	10,137	10,137	10,137	10,137	6,082			表 5-5（A）
架設工	4,801	30								1,600	3,201	表 5-5 （F）
A1 橋台	4,659	51	1,827	1,827	1,005							表 5-6 （A）
P1 橋脚	4,311	48				1,796	1,796	719				表 5-6 （B）
P2 橋脚	4,311	48						1,078	1,796	1,437		表 5-6 （C）
A2 橋台	4,659	51	1,827	1,827	1,005							表 5-6 （D）
計画出来高（PV）[月]			13,792	13,792	12,147	11,934	11,934	11,934	7,879	3,037	3,201	
計画出来高（PV）[累計]			13,792	27,583	39,730	51,664	63,598	75,531	83,410	86,447	89,648	
出来高（EV）			13,200	27,100	39,800	52,500	64,900					
実工事費 （AC）			14,400	28,600	40,500	50,800	59,700					
工程効率指数（SPI）			0.96	0.98	1.00	1.02	1.02					
出来高効率指数（CPI）			0.92	0.95	0.98	1.03	1.09					
完成時予測工事費		（EAC1）	97,798	94,610	91,225	86,745	82,465					SPI≧1
		（EAC2）	101,535	95,787	91,136	86,173	82,008					SPI <1
完成時予測工期		（Tec1）	373	364	360	357	358					SPI≧1
		（Tec2）	390	366	359	354	349					SPI <1

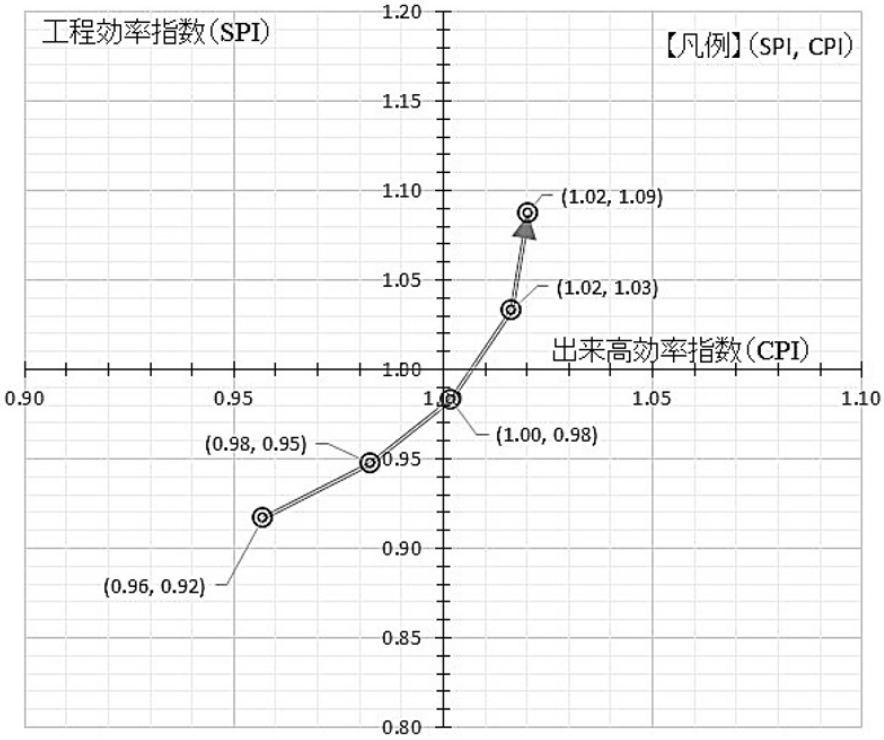

図 5-12　工程効率指数（SPI）と出来高効率指数（CPI）

5.5 まとめ

本章では，公共工事の進捗状況を総合的かつ，客観的に監理する発注者側の新たな積算マネジメント手法を示すことを目的に, EVM に用いる作業分割構成の粒度に新土木工事積算体系の階層をあてはめて，鋼橋を対象に 3 次元プロダクトモデルより算出する工事数量，直接工事費と工事日数の関係を明らかにしてデータ構造を定義した．この新たに定義したデータ構造を用いて 3 次元プロダクトモデルを用いた EVM のプロトタイプシステムを開発し，工事進捗を評価できること確認し，その有効性の検証を行った．本章の研究結果を次に列挙する．

- EVM に用いる作業分割構成の粒度に「新土木工事積算体系」の階層をあてはめる考え方を示した．
- 鋼橋を対象に 3 次元プロダクトモデルより算出する工事数量，直接工事費と工事日数の関係を明らかにしてデータ構造を定義した．
- 3 次元プロダクトモデルを用いた EVM のプロトタイプシステムを開発し, 工事進捗状況を定量的に評価できること確認して，有効性の検証を行った．

国土交通省では BIM/CIM を含めた 3 次元データを活用し，公共工事の生産性向上を実感できる環境の整備を進めている．BIM/CIM 適用事業では，発注者側の生産性向上に資する工事数量算

出や工程管理などをリクワイヤメント（要求事項）として，施工者に求めている．しかしながら，受発注者の立場や役割の違い，契約に基づき準拠すべき要領や基準類に従ったものでなければ実務に適用することはできない．

本章では，鋼橋を対象に 3 次元プロダクトモデル，工事数量，直接工事費，工事日数と出来高管理を公共工事の調達単位に基づき連携して監理できることを示した．さらに，EVM 用パッケージは新土木工事積算体系の細別に対応した工事数量，直接工事費と工事日数の階層構造のデータである．細別は，公共工事の調達単位であることに加え，工事における監督・検査に使用する工事数量である．これにより，調達数量に基づく監督と検査に加え，監督職員個人の経験により判断していた工程計画の妥当性や進捗状況の評価を論理的に明示できる方法で判断することが可能となる．しかしながら，公共工事の調達単位は，我が国における標準的な工法を想定したものであり，必ずしも施工者が実際に行う工法と施工手順を示すものではない．このため，本研究にて提案した手法を施工時に適用する場合には，施工者が行う工法の仮設設備と本体の施工手順に合わせて鋼橋の 3 次元プロダクトモデルの施工計画を修正する必要がある．

第6章　工事数量算出と出来高管理（EVM）に関するIDMの定義

6.1 本章の概要

本章では，第 4 章と第 5 章で開発した 3 次元プロダクトモデルを公共工事の執行プロセスに適用するため，公共工事において準拠すべき法令や基準類に基づく作業や情報を Business Process Modeling Notation （BPMN）の標記方法に基づき体系的に整理し，橋梁詳細設計の設計項目，工事数量算出，積算から出来高管理までの流れを IDM（Information Delivery Manual）[61] を用いて定義した．これにより，提案する 3 次元プロダクトモデルを現在の公共工事の執行プロセスにあてはめて使用する方法を示した．BPMN は，ISO/IEC 19510 に登録されたビジネスプロセスの流れを描画するグラフィカルな記法手法である．

6.2 業務プロセス分析

情報技術を用いた公共工事の執行プロセスの改善や効率化に関する取り組みは，1997 年に国土交通省が策定し，推進した CALS/EC（Continuous Acquisition and Lifecycle Support/Electronic Commerce；公共工事支援統合情報システム）アクションプログラムがある [69]．CALS/EC アクションプログラムは，公共工事の調査・計画，設計，工事施工および維持管理の各フェーズで発生する多種多様で膨大な情報の電子化と，関係者間で効率的に情報を交換・共有・連携する環境を整備する計画である．この取り組みの一環として，2001 年より，国土交通省では，データ再利用環境の構築を目指し，調査・設計や工事施工などの各フェーズの成果品を電子化して納品する電子納品を開始した. この結果, 公共工事の各執行プロセスにおける電子成果品が蓄積される一方，情報の授受，引き継ぎやデータの再利用性に課題が明らかになった．この課題を解決するために UML や IDEF などの記法を用いて業務プロセスの情報の流れをモデル化する研究 [70), 71] が行われている．しかしながら，標記手法を用いた業務プロセスのモデル化が主体であり，生じている課題を抽出するための詳細な分析までは行われていない．また，業務プロセスの各作業の作業者と報告書，書類および図面などの成果物に着眼した研究 [72) ~75] が行われているが，公共工事の執行プロセスを跨いだ情報連携の観点まで踏み込んだ分析は行われていない．これらの研究結果を踏まえて, 国土交通省の道路事業を対象に業務およびデータ流通の現状を分析して問題点を抽出し，適切な改善策を講ずる業務プロセス改善の可視化手法に関する研究が行われている [76]．

これまでの業務プロセス改善に関する研究は．既存の 2 次元を主体とした電子成果品を用いた

業務プロセスの改善であり，3 次元プロダクトモデルを用いた業務プロセスの改善に関する研究までは行われていない.

6.3 Information Delivery Manual（IDM）

6.3.1 IDM

我が国の公共工事の執行プロセスにおいて，3 次元プロダクトモデルの技術を用いた BIM/CIM を効果的に活用するためには，既往の業務プロセス分析に関する研究成果を踏まえ，利用場面に応じた使用方法と情報を定める必要がある．BIM を使用した建築物のライフサイクルにて行われる一連の作業とこれらの作業を実施するための情報要件の規格には，ISO 29481 の IDM（Information Delivery Manual）がある．ISO 29481 は，『ISO 29481-1:2016』と『ISO 29481-2:2012』の 2 部で構成されている．ISO 29481-1：2016 は，建築物のライフサイクルのすべての段階で使用されるソフトウェアアプリケーション間の相互運用性を促進することを目的としている．ISO 29481-2：2012 は，建築物のライフサイクル全体にわたる参加者間の調整や確認事項を説明するための方法論と様式を提供している．IDM は，別途，buildingSMART が定めるデータ辞書（Data Dictionary）と IFC の 2 つの規格との相互運用が行われている.

6.3.2 プロセス・マップと交換要件

IDM は，プロセス・マップ（Process Map）と交換要件（Exchange Requirements）の 2 つで構成する．プロセス・マップは，目的を持つ特定の範囲内における作業の流れを表す．交換要件は，プロジェクトの特定の作業を実施するために必要とする情報を表している.

(1) プロセス・マップ

プロセス・マップは，目的を達成するための作業の構成，関係者，必要とする情報，不要となった情報や新たに作成した情報を記述する．プロセス・マップの記述方法は，ISO/IEC 19510 に登録されている BPMN が推奨されている．なお，BPMN は業務プロセスを中心とした概念のモデリングに利用可能であり，システム開発の過程で用いられる機能の詳細化やデータモデルの作成には適していない.

図 6-1 に BPMN の基本要素を，**表 6-1** に使用方法を示す.

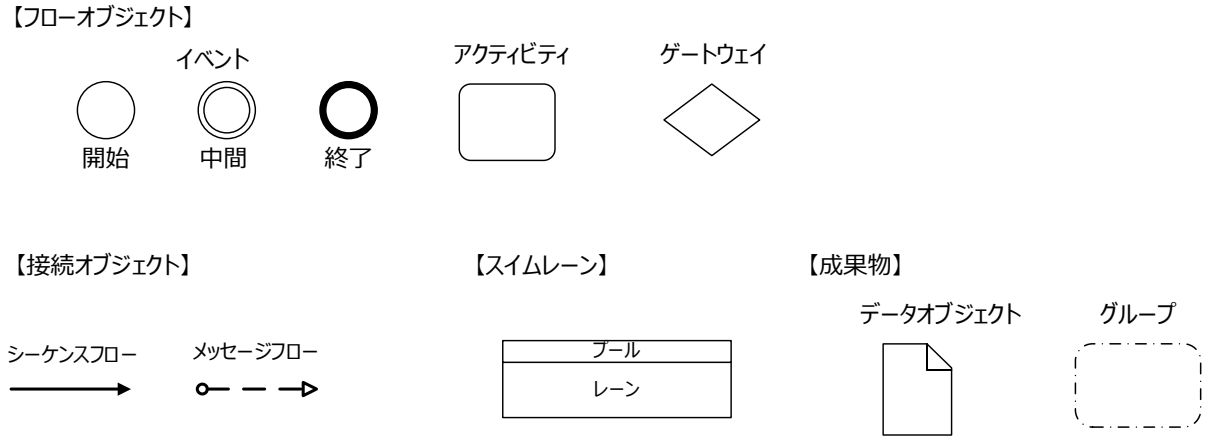

図 6-1　BPMN の基本要素

表 6-1　BPMN の使用方法

要素		使用方法
フローオブジェクト		
	イベント	丸で表され，事象の発生を示す．
	アクティビティ	角を丸めた四角形で表され，実施すべき作業を示す．
	ゲートウェイ	菱形で表され，条件判断を示す．
接続オブジェクト		
	シーケンスフロー	実線矢印で表され，アクティビティの実施順序を示す．
	メッセージフロー	破線白抜き矢印で表され，メッセージのやり取りを示す．
スイムレーン		
	プール	長方形で表され，部署や役割を記載する．
	レーン	要素を記述する．
成果物		
	データオブジェクト	長方形で表され，必要とするデータや生成されるデータを示す．
	グループ	角の丸い一点鎖線の四角形で表され，異なる作業をグループ化する．

（2）交換要件

交換要件は，特定の段階における特定の作業を実施するための作業手順とデータ間の関係を表す．交換要件は，作業が他の作業者によって実行されることを可能にするために作業者により実行された作業の情報を記述する．情報要件（Information Requirements）は，交換要件に必要とする技術的情報の詳細を記載する．情報要件は，プロジェクト全体，壁や窓などの単位の情報や概念を扱う．交換要件の記述例を**図 6-2** に示す．

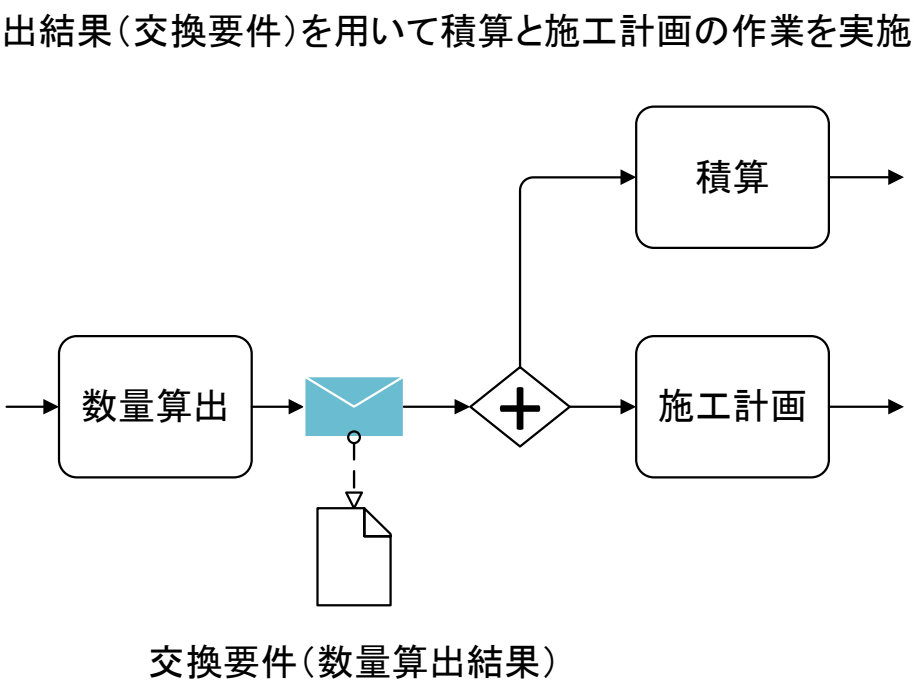

図 6-2　情報交換要件の記述（例）

6.4　鋼橋詳細設計と出来高管理を対象とした IDM の作成

6.4.1　公共工事の執行プロセス（道路事業）の整理

今井ら [76] の研究結果を参考に，公共工事における事業計画から工事竣工までの執行プロセスを『設計業務等共通仕様書』[77] などに基づき BPMN を用いて整理した結果を**図 6-3** に示す．各執行プロセスの概要を**表 6-2** に示す.

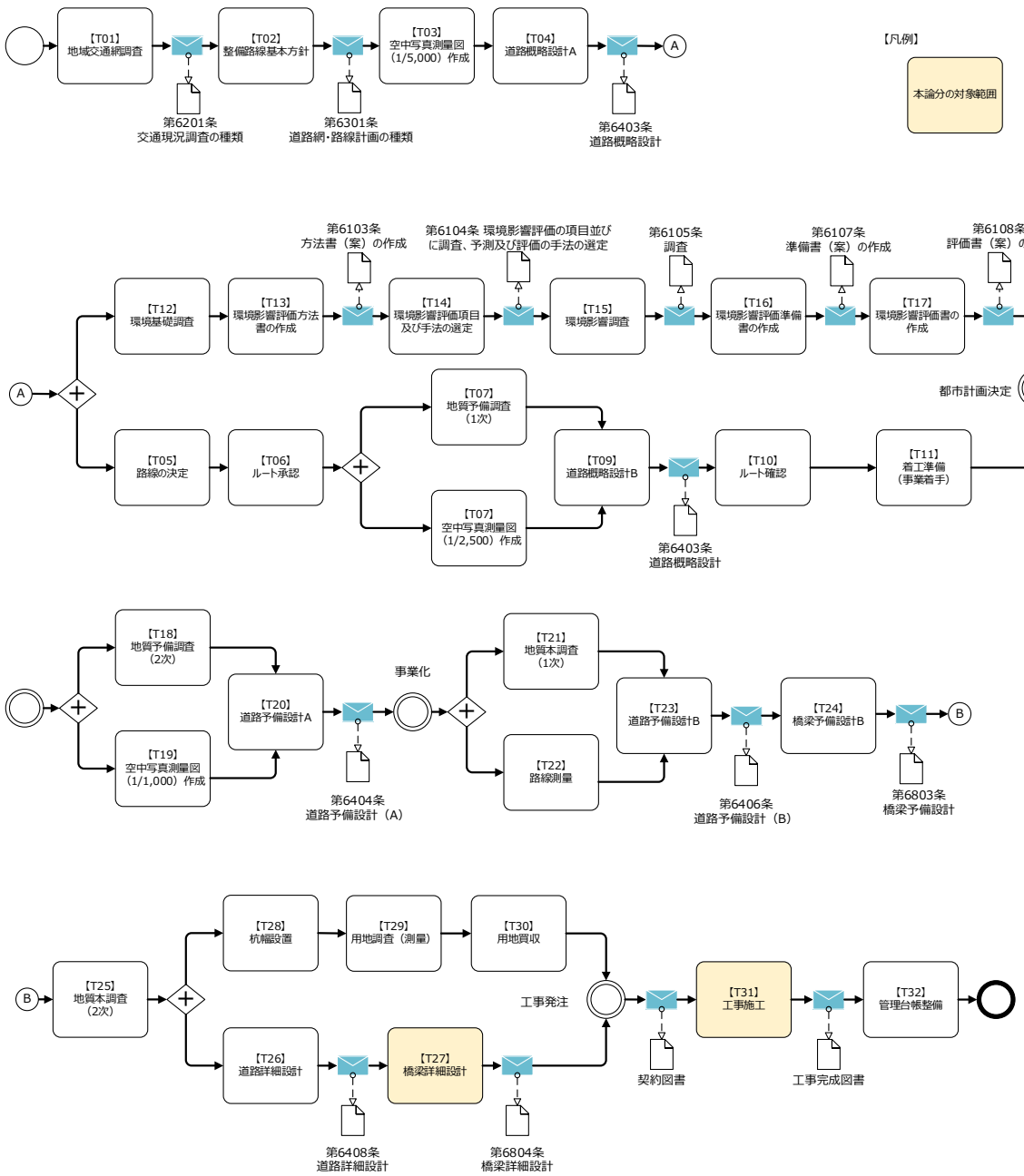

図 6-3　事業計画から工事竣工までの執行プロセス

表 6-2　執行プロセスの概要

No.	名称	概要	設計業務等共通仕様書
T01	地域交通量調査	道路整備計画立案のための調査を行う.	第 6201 条
T02	整備路線の基本方針	道路の正確，機能等を定め，比較する計画線を設定する.	第 6301 条
T03	空中写真測量図（1/5,000）	整備路線の計画線を図示する.	
T04	道路概略設計（A）	計画線の比較設計を行う.	第 6403 条
T05	路線の決定	路線の全体評価を行い，最適道路（案）を策定する.	
T06	ルート承認	最適道路（案）を道路局長が承認する.	
T07	地質予備調査（1 次）	路線全体の地盤に関する基礎資料を作成する.	
T08	空中写真測量図（1/2,500）	決定した路線を図示する.	
T09	道路概略設計（B）	都市計画決定に必要となる図面を作成する.	第 6403 条
T10	ルート確認	一般国道の新築及び改築路線を確認する.	
T11	着工準備	都市計画，環境影響評価，事業手法等を準備する.	
T12	環境基礎調査	環境に関する基礎資料を作成する.	
T13	環境影響評価方法書の作成	環境影響評価の方法について県知事や市町村に送付する.	第 6103 条
T14	環境影響評価項目及び手法の確定	実施する環境調査項目及び評価手法を決定する.	第 6104 条
T15	環境影響調査	決定した環境調査項目及び評価手法を用いて調査を実施する.	第 6105 条
T16	環境影響評価準備書の作成	環境調査項目に対する調査結果，予測，評価を取りまとめる.	第 6107 条
T17	環境影響評価書の作成	住民，県知事や市町村の意見を踏まえ，環境影響評価準備書の内容を精査する.	第 6108 条
T18	地質予備調査（2 次）	路線全体の地盤に関する基礎資料を作成する.	
T19	空中写真測量図（1/1,000）	一般国道の新築及び改築路線を図示する.	
T20	道路予備設計（A）	自治体及び関係機関の協議に使用する図面を作成する.	第 6404 条
T21	地質本調査（1 次）	構造形式の比較検討に必要となる調査を行う.	
T22	路線測量	実測平面図及び路線縦横断図を作成する.	
T23	道路予備設計（B）	用地を決定するための測量を行う.	第 6406 条
T24	橋梁予備設計（B）	橋梁形式を比較検討するための設計を行う.	第 6803 条

No.	名称	概要	設計業務等共通仕様書
T25	地質本調査（2 次）	構造形式の詳細検討に必要となる調査を行う.	
T26	道路詳細設計	工事実施（積算を含む）に必要な設計図面及び工事数量算出を行う.	第 6408 条
T27	橋梁詳細設計	工事実施（積算を含む）に必要な設計図面及び工事数量算出を行う.	第 6804 条
T28	幅杭設置	用地取得範囲を決定する.	
T29	用地調査（測量）	事業実施に必要な用地及び支障物件を調査する.	
T30	用地買収	用地買収及び支障物件の移転保障を行う.	
T31	工事施工	道路施設を建設する.	
T32	管理台帳整備	各道路施設に関する台帳や調書を整備する.	

公共工事における事業計画から工事竣工までの執行プロセスでは，多種多様で膨大な情報が発生している．各執行プロセスにおける実施成果は,『設計業務等共通仕様書』に基づき，従来の 2 次元図面を主体として電子化を行い（電子成果品），後続する執行プロセスに引き継がれる．本論文では，広範にわたる公共工事の執行プロセスより，特に，設計ミス・積算ミス，設計変更・工期変更などが多く，設計品質の向上が求められている「設計（設計者）から積算（発注者）」と「積算（発注者）から施工管理（施工者）」の執行プロセスの改善に着目した.

6.4.2 工事数量算出に関する IDM の定義

本節では，第 4 章にて研究した橋梁の 3 次元プロダクトモデルを用いて工事数量算出を行うための，IDM を定義した.

(1) 交換要件と成果物

交換要件は，特定の段階における特定の作業を実施するための作業手順とデータ間の関係を表す．交換要件は，作業が他の作業者によって実行されることを可能にするために作業者により実行された作業の情報を記述する．**表 6-3** に工事数量算出を行うための IDM で定める「交換要件」を示す．**表 6-4** に,『設計業務等共通仕様書』の「第 6803 条　橋梁詳細設計」より交換要件の対象となる成果物を示す.

表 6-3　交換要件

No.	交換要件
ER.1	工事数量算出項目及び区分を表示する 3 次元プロダクトモデルを作成する.
ER.2	工事数量算出結果を具備した 3 次元プロダクトモデルを作成する.
ER.3	工事数量算出結果を公共工事の積算に伝達する.

表 6-4　交換要件の対象とする成果物

設計項目	成果物	縮尺	適用	交換要件
設計図	橋梁位置図	1:25,000～1:50,000	市販地図　等	-
	一般図	1:50～1:500	橋種・設計条件・地質図ボーリング位置等を記入	-
	線形図	1:50～1:500	平面・縦断・座標	-
	構造一般図	1:50～1:500		-
	上部工構造詳細図	1:20～1:100	主桁・横桁・対傾構・主構・床組・床版・支承・伸縮装置・排水装置・高欄防護柵・遮音壁・検査路等・製作キャンバー図・PC 鋼材緊張順序等施工要領	-
	下部工構造詳細図	1:20～1:100	橋台・橋脚等	-
	基礎工構造詳細図	1:20～1:100	杭・ウィル・ケーソン等	-
	仮設工詳細図	適宜	仮締切・土留・仮橋等	-
数量計算	数量計算書	-	材料表・塗装面積，溶接延長等	○
報告書	設計概要書	-		-
	設計計算書	-		-
	線形計算書	-		-
	施工計画書	-	施工方法・特記事項等	-
	その他参考資料等	-	検討書	-

(2) プロセス・マップ

交換要件に基づく，プロセス・マップを

図 6-4 に示す．プロセス・マップは，橋梁詳細設計業務に関する発注者のプロセスおよび施工者の作業を示している，各作業の管理番号の付番規則は，「[執行プロセス番号]-[設計業務等共通仕様書条項]-[発注者（A）or 施工者（B）+作業番号]」としている．発注者の作業は 2 段階で示している．第 1 段階は，「橋梁詳細設計業務を実施する.」ことを示している．橋梁詳細設計業務を発注し，施工者が一連の橋梁詳細設計業務を行い，終了することを示している．成果物は業務完了後に発注者に提出されるが，プロセス・マップでは，要求要件の発生作業にあわせて記載している．第 2 段階目は，「積算を行う.」ことを示している．施工者のプロセスは，『設計業務等共通仕様書』の「第 6803 条　橋梁詳細設計」に記載される作業である．発注者および施工者は，一連の作業を組織で行う場合や個人で行う場合があるが，このプロセス・マップではいずれも含むものとする．

本プロセス・マップで定義する交換要件は，3 カ所ある．施工者が「[T27-6804-B06] 設計図」にて行う「ER.1：工事数量算出項目及び区分を表示する 3 次元プロダクトモデルを作成する.」，「[T27-6804-B07] 数量計算」にて行う「ER.2：工事数量算出結果を具備した 3 次元プロダクトモデルを作成する.」及び，発注者が「[T27-6804-A2] 積算を行う.」ために使用

する「ER.3：工事数量算出結果を公共工事の積算に伝達する.」である.

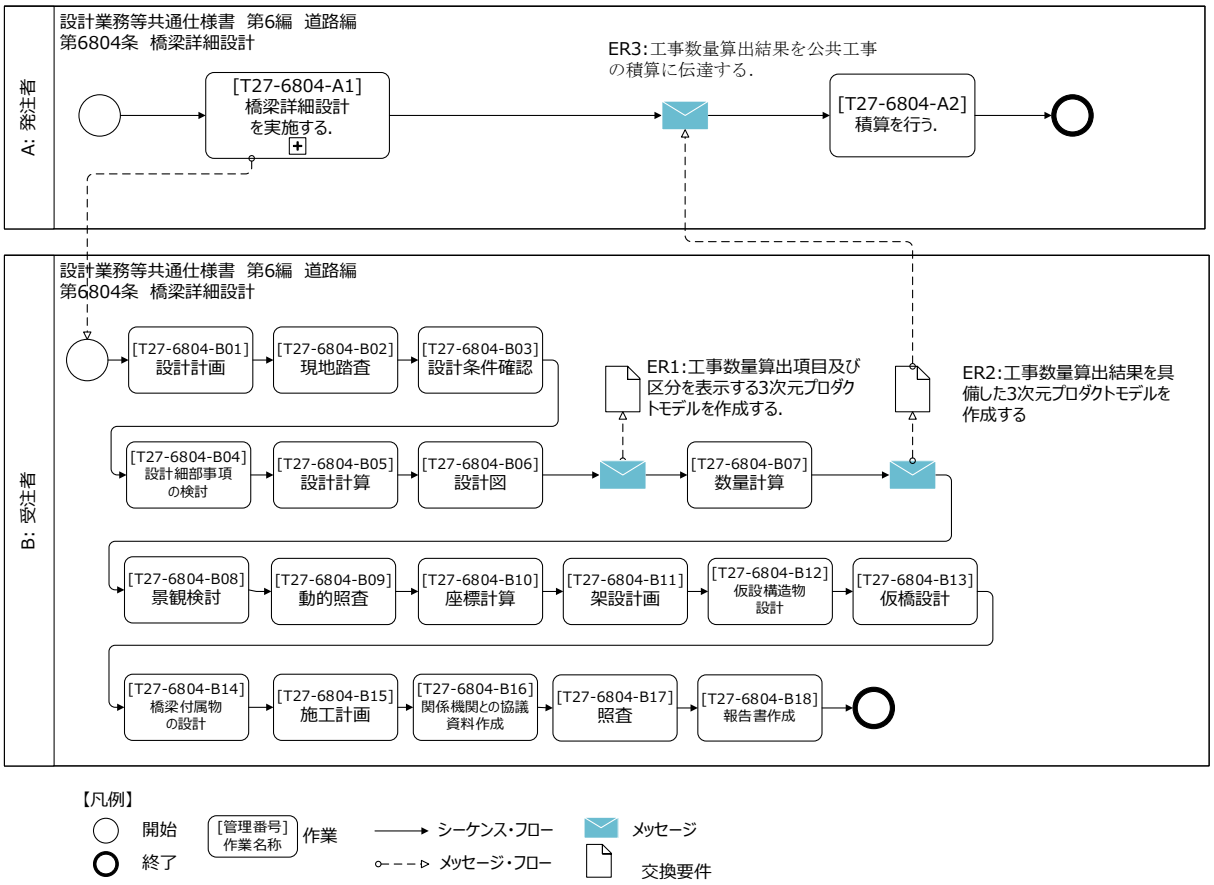

図 6-4　橋梁詳細設計の工事数量算出に関するプロセス・マップ

(3) 3 次元プロダクトモデルの表現および具備する情報

3 次元プロダクトモデルの表現に関する要件は,「精度」,「要素と階層構造」,「幾何形状」と「工事数量情報」の 4 つとする.「精度」は,『土木工事数量算出要領（案)』の「第 1 編（共通編）　1 章 基本事項」に従った工事数量が算出できる精度とする. 要素と階層構造は, 新土木工事積算体系のレベル（階層）を表現するものとし, 3 次元プロダクトモデルの要素と階層構造を**図 6-5** に示す. **表 6-5** に幾何形状に対する要件を示す.

工事数量情報の基本構成は,『土木工事数量算出要領（案)』の記載事項を新土木工事積算体系の規格（レベル 5）と積算要素（レベル 6）を当てはめたものとする. 細別要素に対して 1 つ以上の工事数量情報を持つ. 工事数量情報は, 1 つの規格要素と対となる積算要素を持つ.

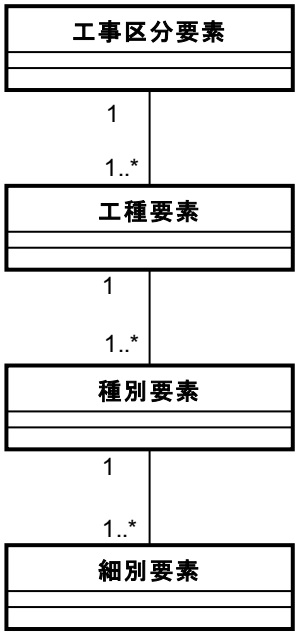

図 6-5　3 次元プロダクトモデルの要素と階層構造

表 6-5　幾何形状に対する要件

要素	要件	幾何形状
事業区分要素	新土木工事積算体系の工事区分（レベル 1）を構成する要素であり，工事発注ロッドを表す.	-
工種要素	新土木工事積算体系の工事区分（レベル 2）を構成する要素であり, 一定の構造をもつ部材を施工するための一連の作業の総称を表す.	-
種別要素	新土木工事積算体系の工種（レベル 2）と細別（レベル 4）を繋ぐ要素を表す.	
細別要素	新土木工事積算体系の細別（レベル 4）の工事を構成する基本的な単位目的物もしくは単位仮設物であり, 単位とともに契約数量を構成する要素を表す. 『土木工事数量算出要領（案)』の各工種の「数量算出項目及び区分」に示される「体積」,「質量」,「長さ」,「面積」や「個数」の算出が可能な幾何形状とする.	ソリッドモデル

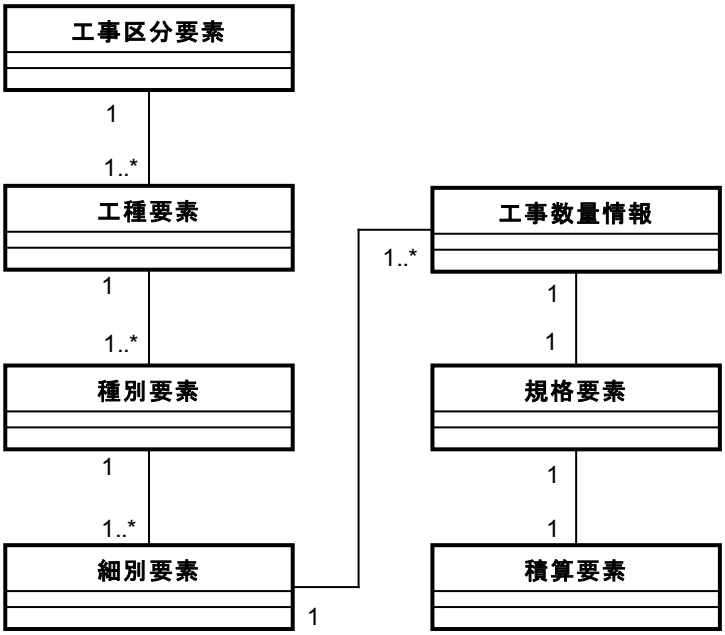

図 6-6　工事数量情報の要素と階層構造

表 6-6　工事数量情報の要素と要件

要素	要件
工事数量情報	3 次元プロダクトモデルの細別要素と工事数量算出情報を繋ぐ要素を表す.
規格要素	新土木工事積算体系の規格（レベル 5）を構成する要素であり，材料等の客観的な材質・規格ならびに契約上明示する条件等を表す.
積算要素	新土木工事積算体系の積算要素（レベル 6）を構成する価格積算上の構成要素であり，基本的に契約上明示されないものを表す.

6.4.3 出来高管理（EVM）に関する IDM の定義

『土木工事共通仕様書』[78] の「第 1 編 共通編 第 1 章総則 1-1-1-24 工事履行報告」において施工者は契約書第 11 条の規定に基づき工事履行報告書を監督職員に提出しなければならない. これにより，公共工事における工程管理は，週間/月間作業工程打合せなどにより，監督職員は施工者が把握している出来高や工程の進捗率の報告を受けて確認している.

そこで，本節では，第 5 章にて研究した橋梁の 3 次元プロダクトモデルを用いて監督職員が出来高管理（EVM）を行うための IDM を定義した．監督職員が行う工事履行報告に含まれる出来高管理（EVM）には，EVM 用パッケージを使用する．EVM 用パッケージは，算出した直接工事費と工事日数を新土木工事積算体系の細別までの階層にあてはめたものである.

(1) 交換要件と成果物

表 6-7 に出来高管理（EVM）を行うための IDM に定める「交換要件」を示す.

表 6-7　交換要件

No.	交換要件
工事着手時	
ER.1	新土木工事積算体系の細別（レベル 4）を記載した EVM パッケージ作成する.
ER.2	EVM パッケージの細別毎に工事日数（当初）を設定する.
施工中（週間/月間作業工程打合せ時）	
ER.3	EVM パッケージの細別毎に工事日数（実績）と工事数量（実績）を入力する.

(2) プロセス・マップ

交換要件に基づく，プロセス・マップを**図 6-7** に示す．プロセス・マップは，監督職員が行う設計図書に基づく工程の管理作業を示している．着手時に発注者は施工者より提出される細別単位の工事日数に合わせて当初工期を調整し，計画出来高（PV）を設定する．施工中は，週間/月間作業工程打合せなどにあわせ発注者は施工者より提出される細別単位の工事日数（実績）と工事数量（実績）の報告を受け，出来高（EV）と実工事費（AC）を算出し，EVM の実施に必要な工程効率指数（SPI）や出来高効率指数（CPI）の各種パラメータを算出する.

受発注者の作業は，工事着手時と施工中に区別する．工事着手時に行う発注者の作業は，「新土木工事積算体系の細別（レベル 4）を記載した EVM パッケージ作成する.」ことを示している．施工者は，「EVM パッケージの細別毎に工事日数（当初）を設定する.」ことを示している． 施工中に施工者は「EVM パッケージの細別毎に工事日数（実績）と工事数量（実績）を入力する.」ことを示している.

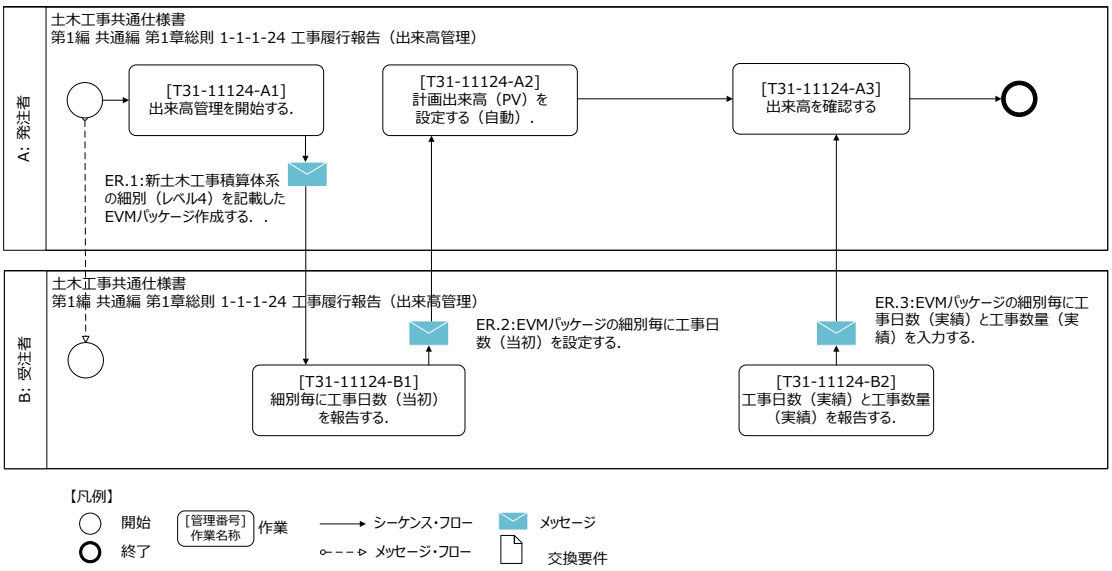

図 6-7　出来高管理に関するプロセス・マップ

(3) EVM パッケージに具備する情報

EVM パッケージに具備する情報に関する要件は,「工事日数 (実績)」と「工事数量 (実績)」の 2 つとする.「工事日数（実績)」は，施工者が，報告時点における新土木工事積算体系の規格（レベル 5）を構成する工事数量要素の施工日数の累計を表す.「工事数量（実績)」は，施工者が，報告時点における新土木工事積算体系の規格（レベル 5）を構成する工事数量要素の施工数量の累計を表す.

EVM パッケージに具備する情報の要素と階層構造を**図 6-8** に示す. **表 6-8** に要素に対する要件を示す.

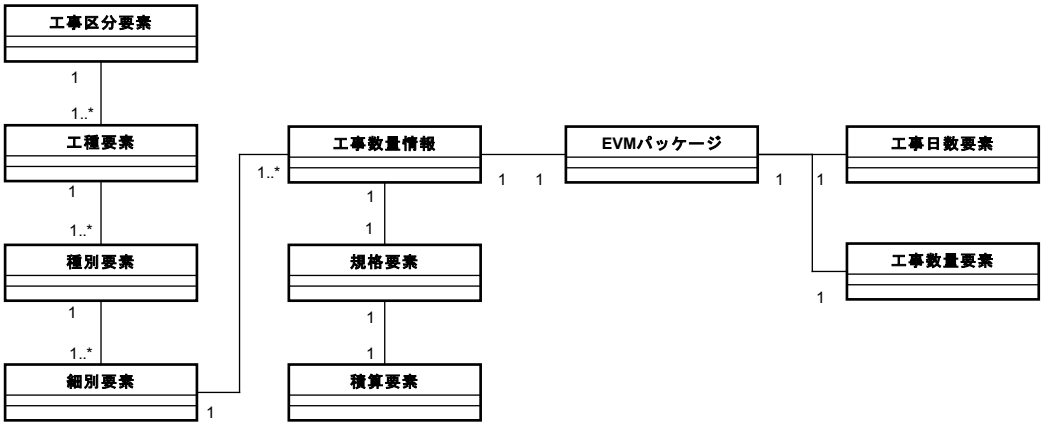

図 6-8　EVM 用パッケージの要素と階層構造

表 6-8　EVM 用パッケージの要素と要件

要素	要件
EVM 用パッケージ	新土木工事積算体系の規格（レベル 5）を構成する工事数量要素と 1 対 1 の関係を表す.
工事日数（実績）要素	工事数量要素に対する工事日数を表す.
工事数量（実績）要素	工事数量要素に対する工事数量を表す.

6.5 まとめ

公共工事における事業計画から工事竣工までの執行プロセスでは，多種多様で膨大な情報が発生している．本論文では，広範にわたる公共工事の執行プロセスより，特に，設計ミス・積算ミス，設計変更・工期変更などが多く，設計品質の向上が求められている「設計（設計者）から積算（発注者)」と「積算（発注者）から施工管理（施工者)」の執行プロセスの改善に着目した.

そこで，本章では，第 4 章と第 5 章で開発した，3 次元プロダクトモデルを公共工事の執行プ

ロセスに適用するため，公共工事において準拠すべき法令や基準類に基づく作業や情報を BPMN の標記方法に基づき体系的に整理し，橋梁詳細設計の設計，工事数量算出，積算から出来高管理までの流れについて IDM を用いて定義した．これにより，提案する 3 次元プロダクトモデルを現在の公共工事の執行プロセスにあてはめて使用する方法を示した．本章の研究結果を次に列挙する．

- 『設計業務等共通仕様書』の橋梁詳細設計に定める工事数量算出にあたり，受発注者が授受する情報交換要件を定義した．
- 『土木工事共通仕様書』の工事履行報告に EVM パッケージを用いる場合の情報交換要件を定義した．

はじめに, 橋梁の 3 次元プロダクトモデルを用いて工事数量算出を行うための IDM を定義するため，執行プロセスにおいて定められる成果物をプロセス・マップに当てはめて情報交換要件の発生場面を明らかにした．情報交換要件に用いる 3 次元プロダクトモデルには,「精度」,「要素と階層構造」,「幾何形状」と「工事数量情報」の 4 つを要件とした．これにより,「設計（設計者）から積算（発注者）」の執行プロセス間を跨ぐ情報伝達において，二重入力や転記ミスを回避することができる．

次に，監督職員が出来高管理（EVM）を行うための IDM を定義するため,『土木工事共通仕様書』に定められる工事履行報告にて監督職員が行う設計図書に基づく工程の管理作業をプロセス・マップに当てはめて情報交換要件の発生場面を明らかにした．情報交換要件には，本論文の 5 章にて新たに定義した EVM 用パッケージを適用した．EVM 用パッケージは，算出した直接工事費と工事日数を新土木工事積算体系の細別までの階層にあてはめたものである．これにより，設計，積算から出来高管理まで共通に利用でき，標準化され，互いに粒度が整った情報を用いて繋げることができる．

第7章　　結論

7.1 本論文のまとめ

本論文では，我が国の公共工事の執行プロセスにおいて喫緊に解決すべき課題に対する具体的な解決策を示すため，土木工学分野の 3 次元プロダクトモデルの国際標準化が進められている橋梁に着目して研究を行い，次に示す 3 つの研究成果を取りまとめた．

- 土木工学分野の 3 次元プロダクトモデルの検討が進められつつある橋梁を対象に公共工事の工事数量算出を行うための3次元プロダクトモデルを新たに定義して開発した（第5章），
- 開発した 3 次元プロダクトモデルと出来高（EVM）を用いて公共工事の調達単位や複数の公共工事を統合して客観的に評価して監理する発注側の新たな積算マネジメント手法を開発し，検証を行った（第 6 章）．
- これらの研究成果を公共工事の執行プロセスに適用するため，準拠すべき法令や基準類に基づく作業や情報を IDM に定義した（第 7 章）．

第 5 章では，鋼橋を対象に公共工事の工事数量算出を行うための 3 次元プロダクトモデルの構築手法を提案し，公共工事の積算に使用する工事数量総括表などを作成できることを確認するとともに，従来では必要としていた作業を自動化して有効性を検証した．3 次元プロダクトモデルを構成する各部材を修正または，追加や削除することで工事数量も変更される．このため作業工数が削減するとともに，転記に伴う単純なミスをなくすことができる．検証の結果，新たに定義した 3 次元プロダクトモデルに具備する工事数量算出のデータ構造を用いることで，3 次元プロダクトモデルより新土木工事積算体系に従った工事数量を算出して公共工事の積算と連携できることを示した．なお，工事工種体系には，多くの工種が含まれているが基本的な考え方と算出方法は統一されている．このため，本研究にて提案した 3 次元プロダクトモデルに具備する工事数量算出のデータ構造は他工種にも応用できると考えられる．

第 6 章では，公共工事の進捗状況を総合的かつ，客観的に監理する発注者側の新たな積算マネジメント手法を示すことを目的に, EVM に用いる作業分割構成の粒度に新土木工事積算体系の階層をあてはめて，鋼橋を対象に 3 次元プロダクトモデルより算出する工事数量，直接工事費と工事日数の関係を明らかにしてデータ構造を定義した．この新たに定義したデータ構造を用いて 3 次元プロダクトモデルを用いた EVM のプロトタイプシステムを開発し，工事進捗を評価できること確認し，その有効性の検証を行った．検証の結果，鋼橋を対象に 3 次元プロダクトモデル，工事数量，直接工事費，工事日数と出来高管理を公共工事の調達単位に基づき連携して監理できることを示した．さらに，EVM 用パッケージは新土木工事積算体系の細別に対応した工事数量，直接工事費と工事日数の階層構造のデータである．細別は，公共工事の調達単位であることに加え，工事における監督・検査に使用する工事数量である．これにより，調達数量に基づく監督と検査に加え，監督職員個人の経験により判断していた工程計画の妥当性や進捗状況の評価を論理

的に明示できる方法で判断することが可能となる．

第 7 章では，第 4 章と第 5 章で開発した 3 次元プロダクトモデルを公共工事の執行プロセスに適用するため，公共工事において準拠すべき法令や基準類に基づく作業や情報を Business Process Modeling Notation （BPMN）の標記方法に基づき体系的に整理し，橋梁詳細設計の設計，工事数量算出，積算から出来高管理までの流れを IDM（Information Delivery Manual）を用いて定義した．これにより，提案する 3 次元プロダクトモデルを現在の公共工事の執行プロセスにあてはめて使用する方法を示した．

7.2　今後の課題

本研究で明らかにした 3 次元プロダクトモデルと工事数量算出に使用するレベル 4（細別）の単位は，公共調達における契約単位である．公共工事の積算に使用している数量算出項目及び区分は，材料や労務などの膨大な市場調査や施工実績を基にした歩掛や施工パッケージ型積算基準などにより作成されている．3 次元プロダクトモデルによる工事数量算出と積算の連携が進めば，事業予算に応じた工区分割や新土木積算システムへの入力作業も大幅に効率化されることが予見できる．さらに，これらの調達単位は，工事における監督・検査に使用する工事数量であるため，将来的には，3 次元プロダクトモデルを用いた調達数量に基づく監督と検査に適用する可能性も考えられる．しかしながら，公共工事の調達単位は，我が国における標準的な工法を想定したものであり，必ずしも施工者が実際に行う工法と施工手順を示すものではない．

このため，本研究にて提案した手法を施工時に適用する場合には，施工者が行う工法の仮設設備と本体の施工手順に合わせて鋼橋の 3 次元プロダクトモデルの施工計画を修正する必要がある．これらの作業を低減する方法には，契約制度と学術的研究の側面が考えられる．契約制度では，設計段階から施工者が関与する ECI（Early Contractor Involvement）方式や設計施工一括発注方式にて適用することが考えられる．学術的研究では，本研究で定義した IDM を基に，土木工学分野におけるプロダクトモデルをどのように扱うかを記述した Model View Definition（MVD）に繋げる必要がある．

参考文献

1) 木下 誠也. “公共調達研究”, 日刊建設工業新聞社, 2012.
2) 國島 正彦, 庄子 幹雄. ”建設マネジメント原論”, 山海堂, 1994.
3) 日本規格協会, “CAD 用語 JIS B 3401”, 1993.
4) buildingSMART International. “Industry Foundation Classes Version 4 - Addendum 2”, Available from: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/> [Accessed: 17-October-2016].
5) Lebegue, E., Fies, B., Gual, J., Arthaud, G., Liebich, T. and Yabuki, N. “IFC-BRIDGE V3 Data Model IFC4 Edition R3”, February 2013.
6) buildingSMART International. “Infrastructure Room”, Available from: < https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/infrastructure/ > [Accessed: 30-June-2019].
7) Chuck, E., Paul, T., Rafael, S., and Kathleen, L. “*BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors”*, John Wiley & Sons, 2011.
8) National Institute of Building Sciences （NIBIS）. “About the National BIM Standard United States”, Available from: <https://www.nationalbimstandard.org/about>, [Accessed: 12-Janualy-2019].
9) HM Government. “Industrial strategy government and industry in partnership”, Available from: < https://www.gov.uk/government/uploads/_system/uploads/attachment_data/file/34710/12-1327-building-information-modelling.pdf>, [Accessed: 14-February-2019].
10) EU BIM Task Group, “*Handbook for the introduction of building information modeling by the European Public Sector”*, Available from: <http://www.eubim.eu/handbook/>, [Accessed: 10-December-2017].
11) Fitch, E （Ed.）. “The Business Value of BIM for Infrastructure” , *America’s Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology SmartMarket Report*, McGrow-Hill Construction, 2012.
12) Cheng, J. C. P., Lu, Q. and Deng, Y. “Analytical review and evaluation of civil information modeling”, *Automation in Construction*, Vol.67, pp.31-47, 2016.
13) 矢吹 信喜. “CIM 入門―建設生産システムの変革”, 理工図書, p.208, 2016.
14) 国土交通省「技術調査関係」ホームページ, ”CIM 導入ガイドライン”, Available from: <http://www.mlit.go.jp/tec/it/>, [Accessed: 3-April-2017].
15) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ, “平成 30 年度（4 月版） 土木工事数量算出要領（案）”, Available from: <http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/yoryo3004.htm>, [Accessed: 27-April-2018].
16) 矢吹 信喜. “橋梁 3 次元プロダクトモデルの国際標準の構築 IAI 日本・土木分科会と IAI フランス支部のコラボレーション：IFC-BRIDGE”, *橋梁と基礎*, 建設図書, Vol.39, No.7, pp.47-52, 2005.
17) Yabuki, N. and Furukawa, M. “An Integrated Design and Project Management System for Prestressed

Concrete Hollow Slab Bridges", In *Proceedings of the Ninth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Taipei, Taiwan, pp.1207-1212, 2002.

18) Yabuki, N., Furukawa, M., Matsui, K., Kato, Y., Yokota, T. and Konishi, T. "An Integrated Design and Cost Estimation Environment for Prestressed Concrete Hollow Slab Bridges by Product and Process Models", In *Proceedings of the First fib Congress*, Osaka, Japan, S-12, pp.17-26, 2002.

19) Yabuki, N. and Shitani, T. "Development and Integration of an IFC-Based Product Model for Prestressed Concrete Bridges", In *Proceedings of the fib Symposium 2004*, CD-ROM, pp.1-6, 2004.

20) 矢吹 信喜, 志谷 倫章. "PC 橋梁の 3 次元プロダクトモデルの開発と応用", *土木学会論文集*, No.784, pp.171-187, 2005.

21) 矢吹 信喜，志谷 倫章，今村 晃久，近藤 琢也. "PC 橋梁用プロダクトモデルのコンバータプログラムと簡便な現場寸法チェックシステム", *土木情報利用技術論文集*, Vol.13, pp.235-242, 2004.

22) Yabuki, N., Lebegue, E., Gual, J., Shitani, T. and Li, Z. "International Collaboration for Developing the Bridge Product Model（IFC-BRIDGE）", In *Proceedings of the Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, Montreal, Canada, pp.1927-1936, 2006.

23) Yabuki, N. and Li, Z. "Development of New IFC-BRIDGE Data Model and a Concrete Bridge Design System Using Multi-agents", In *Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning （IDEAL）*, Burgos, Spain, LNCS 4224, Springer-Verlag, pp.1259-1266, 2006.

24) 矢吹 信喜, 李 占涛. "日仏橋梁プロダクトモデルの統合化による新 IFC-BRIDGE の開発と CAD コンバータの改良", *土木情報利用技術論文集*, Vol.15, pp.55-66, 2006.

25) Yabuki, N., Soubra, N., Lebegue, E., Gual, J. and Arthaud, G. "A proposed bridge information model IFC-BRIDGE and semantic comparison of synchronized product model data", In *Proceedings of the1st International Conference on Computational Design in Engineering （CODE）*, pp.21-24, 2009.

26) Dpartment of Federal Highway Administration. "Bridge Information Modeling Standardization，U. S.", Available from: < https://www.fhwa.dot.gov/bridge/pubs/hif16011/>,[Accessed: 1-September-2016].

27) National Institute of Building Sciences（NIBIS）. "IFC Bridge Design to Construction Information Exchange （U.S.）", Available from: <http://docs.buildingsmartalliance.org/IFC4x2_Bridge/>, [Accessed: 1-September-2016].

28) 有賀 貴志，矢吹 信喜. "橋梁モデル BrIM の CIM への適用に関する研究，日本建設情報総合センター，*研究助成事業報告書*，2017.

29) 山崎 元也，本郷 廷悦，千葉 洋一郎. "Japan Highway Data Model 構築の基礎研究"，*土木情報システム論文集*，Vol.10，2001.

30) 本郷 廷悦, 石村 久治. "橋梁鋼上部工を対象とした JHDM 構築に関する研究"，*土木情報利用技術論文集*，Vol.13，2004.

31) 矢吹 信喜，李 占涛. "拡張現実感技術を用いた配筋施工支援に関する基礎的検討"，*土木情報*

利用技術論文集, Vol.16, pp.99-106, 2007.

32) 中村 定明, 横田 勉, 矢吹 信喜. “3 次元プロダクトモデルを利用した施工管理技術”, *プレストレストコンクリート*, Vol.52, No.6, pp.103-108, 2010.

33) 山岡 大亮, 青山 憲明, 谷口 寿俊, 藤田 玲, 重孝 浩一. “維持管理での利用を想定した橋梁の 3 次元データモデル標準の策定”, *土木学会論文集 F3（土木情報学）*, Vol.71, No.2, pp. I_204-211, 2015.

34) 板倉 崇理, 矢吹 信喜, 福田 知弘, 道川 隆士. “維持管理のための橋梁 3 次元プロダクトモデルの最適詳細度に関する基礎的検討”, *土木学会論文集 F3（土木情報学）*, Vol.70, No.2, pp.I_42-49, 2014.

35) 四月朔日 勉, 矢吹 信喜. “各種 DBMS による橋梁 3 次元プロダクトモデルの管理手法に関する研究”, *土木学会論文集 F3（土木情報学）*, Vol.71, No.2, I_87-98, 2015.

36) Faraj, I., Alshawi, M., Aouad, G, Child, T. and Underwood, J. “An industry foundation classes Web-based collaborative construction computer environment （WISPER）”, *Automation in Construction*, Vol.10, pp.79-99, 2000.

37) Staub-French, S., Fischer, M., Kunz, J. and Paulson, B. “A generic feature-driven activity-based cost estimation process”, *Advanced Engineering Informatics*, Vol.17, pp.23-39, 2003.

38) 長尾 眞, 福島 清, 曽根 巨充, 藤井 裕彦, 松葉 裕, 綱川 隆司, 東間 敬造, 萱島 敬. “数量算出とコストコントロールの可能性-生産設計における 3 次元 CAD の利用システム（その 1）”, *日本建築学会技術報告書*, 第 21 号, pp.373-377, 2005.

39) 今井 佑允, 木本 健二. “生産設計における 3 次元オブジェクト CAD の活用に関する研究汎用的な方法論の構築と試行”, *第 25 回建築生産シンポジウム論文集*, 2009.

40) 早坂 拓之, 許 雷. “国際規格 IFC による建築デジタル設計に関する研究（自動積算ツールの開発）”, *日本建築学会大会学術講演便概集*, D-1, pp.1201-1202, 2009.

41) 木本 健二. “BIM 積算への影響の最新事情”, *建築コスト研究*, pp.34-40, 2010.

42) 日本建築積算協会ホームページ, “積算システム, BIM-積算システム連携中間ファイル「BS-Transfer」”, Available from: < http://www.bsij.or.jp/reporting/report.html l>, [Accessed: 5-June-2019].

43) Ma, Z., Wei, Z., Song, W. and Lou, Z. “Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China”, *Automation in Construction*, Vol.20, pp.196-204, 2011.

44) Ma, Z., Wei, Z., Zhang, X., Qiu, S. and Wang, P. “Intelligent generation of bill of quantity from IFC data subject to Chinese standard”, In *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction（ISARC）*, pp.740-745, 2011.

45) 矢吹 信喜, 古川 将也, 加藤 佳孝, 横田 学, 小西 哲司. “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”, *土木情報システム論文集*, Vol.10, pp.210-220, 2001.

46) 藤澤 泰雄, 矢吹 信喜, 五十嵐 善一, 吉野 博之. “鉄道高架橋を対象とした三次元設計モデルの積算・施工への利用”, *土木学会論文集 F3（土木情報学）*, Vol.67, No.2, pp.8-17, 2011.

47) 有賀 貴志, 矢吹 信喜, 城古 雅典. “ブロックモデルを用いた土工計画および積算シミュレーション”, *土木学会論文集 F3（土木情報学）*, Vol.66, pp.432-446, 2010.

48) Fleming, Q. and Koppelman, J., *Earned value project management* （4th ed.）, Newtowns Square: Project Management Institute, 2010.
49) National Defense Industrial Association （NDIA） and Program Management Systems Committee （PMSC）, *ANSI/EIA 748 Earned Value Management System Acceptance Guide （DRAFT）*, 2006.
50) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ, ”EVMS による公共工事の出来高・工程管理の手引き（案）”, Available from:<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/evms/evms.htm>, [Accessed: 26-December-2015].
51) 鈴木 信行，鈴木 明人，高崎 英明. “建設施工マネジメントにおける出来高管理システム（EVM）適用法に関する一考察”, *建設マネジメント論文集*, Vol.15, pp.227-238, 2008.
52) 織田 一郎，矢吹 信喜. “複数の要素体系を有する WBS を用いた土木工事の生産性情報管理システムの検討”, *土木工学シンポジウム講演集*, Vol.42, pp.15-18, 2017.
53) Russell, K. and Roby, H. “Construction Project Control Methodologies and Productivity Improvement: EVM, BIM, LBM”, In *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, pp.57-66, 2015.
54) Forest, P., Renate, F. and Martin, F. “Case Study Scope-Time-Cost Integrated Model With Work Breakdown Structure”, *CIFE Working Paper*, #WP115, 2009.
55) Tanyer, A. M. and Aouad, G. “Moving Beyond the Fourth Dimension with an IFC-Based Single Project Database”, *Automation in Construction*, Vol.14, pp.15-32, 2015.
56) Su, L. F., Chen, H. W. and Chien, C. H. “Integration of Cost and Schedule Using BIM”, *journal of Applied Science and Engineering*, Vol.18, No.3, pp.223-232, 2015.
57) 矢吹 信喜，志谷 倫章，嶋田 喜多. “4 次元 CAD と EVMS を用いた切土盛土施工管理システムの開発”, *建設マネジメント論文集*, Vol.11, pp.91-98, 2004.
58) 木下 誠也. “公共工事における積算マネジメント”, 経済調査会, p.12, 2018.
59) Bruza, P. D. and Van der Weide, Th. P., *The Semantics of Data Flow Diagrams*, University of Nijmegen, 1993.
60) Integrated DEFinition Methods, Available from: <http://www.idef.com>, [Accessed: 18-June-2016].
61) buildingSMART International, *Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods*, Available from: <http://iug.buildingsmart.org.> , [Accessed: 20-April-2019].
62) 国土交通省関東地方整備局ホームページ, ”業務関係積算基準”, Available from: < http://www.ktr.mlit.go.jp/gijyutu/gijyutu00000057.html>, [Accessed: 15-April-2017].
63) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ,”体系階層（レベル）の定義”, Available from: <http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/-theme2/sekisan/tree/t1-2.pdf>, [Accessed: 18-June-2016].
64) 国土交通省国土技術政策総合研究所ホームページ, “土木工事数量算出要領数量集計様式（案）”, Available from: <http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/suryo.htm>, [Accessed: 18-June-2016].
65) 日本建設情報総合センターホームページ, “積算システム”, Available from: < http://www.jacic.or.jp/about/jigyo/johoka-2.html>, [Accessed: 20-June-2016].
66) 日本建設情報総合センターホームページ, “*XML 形式基準データ仕様解説書（土木工事編）第*

6.0 版", Available from: <http://www.sekisan01.jacic.or.jp/top/pdf/201705_V6.0_Data_doboku.pdf >, [Accessed: 26-June-2017].

67) 建設省土木研究所, "*建設省制定土木構造物標準設計第 23～27 巻（単純プレートガーダー橋）の手引き*", 全日本建設技術協会, p.39, 1994.

68) 影山 輝彰, 矢吹 信喜. "鋼橋を対象にした工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルに関する研究", *土木学会論文集 F3（土木情報学）*, Vol.73, No.2, pp.I_43-52, 2017.

69) 塚田 幸広, 青山 憲明, 光橋 尚司. "統合情報の活用による建設事業の高度化－建設 CALS/EC を中心とした動向－", *土木学会論文集*, No.581, VI-37, pp.1-15, 1997.

70) 塚田 幸広, 阿部 徹, 青山 憲明, 光橋 尚司, 船越 義臣. "建設 CALS に向けた現状分析", *土木情報システムシンポジウム講演集*, Vol.21, pp.197-200, 1996.

71) 服部 達也, 村松 敏光, 朝倉 義博. "業務プロセスの再構築に向けた業務分析のあり方", *建設マネジメント研究論文集*, Vol.6, pp.27-38, 1998.

72) 服部 達也, 吉田 正, 森下 博之. "維持管理プロセスにおける将来モデルの検討", *土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集*, pp.224-225, 1998.

73) 窪田 諭, 三上 市藏, 君嶋 三恵. "コンクリート橋における維持管理業務の To-be モデルの構築に関する研究", *土木情報利用技術論文集*, Vol.13, pp.143-150, 2004.

74) 保田 敬一, 三上 市藏, 今井 龍一. "CALS/EC を目指した橋梁維持管理業務における現状分析と XML による点検 DB の構築", *建設マネジメント研究論文集*, Vol.11, pp.99-110, 2004.

75) 今井 龍一, 青山 憲明, 金澤 文彦, 影山 輝彰, 櫻井 和弘. "工事施工中の書類授受・管理の効率化に向けた業務プロセス分析", *土木情報利用技術論文集*, Vol.16, pp.117-126, 2007.

76) 今井 龍一, 青山 憲明, 金澤 文彦, 上坂 克巳, 大石 龍太郎, 櫻井 和弘, 柴崎 亮介. "電子納品を導入した公共工事を対象にした業務プロセス改善の可視化手法の実証的研究", *土木学会論文集 F*, Vol.64, No.2, pp.185-199, 2008.

77) 国土交通省関東地方整備局ホームページ（業務関係積算基準）, "設計業務等共通仕様書", Available from:< http://www.ktr.mlit.go.jp/kikaku/guide00000034.html>, [Accessed: 20-April-2018].

78) 国土交通省関東地方整備局ホームページ（業務関係積算基準）, "土木工事共通仕様書", Available from:< http://www.ktr.mlit.go.jp/gijyutu/gijyutu00000035.html > , [Accessed: 20-April-2018].

謝辞

研究活動に加え，本論文取りまとめにあたり，寄り添ったご指導を頂きました，主査の大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻矢吹信喜教授，ならびに副査の澤木昌典教授，福田知弘准教授に深く感謝申し上げます.

小職は，約 25 年前に大学を卒業後，中堅のゼネコンに工事現場の技術者として約 10 年間勤務しました．その後，（一財）日本建設情報総合センターにて，主に国土交通省からの建設分野の情報化に関する受託業務の管理技術者として勤務させていただいております．小職の専門分野は，技術士（総合技術監理部門，建設部門：施工計画・積算，建設マネジメント）です．日々の業務を遂行する中で，世界規模で劇的に進化する情報工学分野の技術を調査・分析し，土木工学分野への導入を計画・評価することは容易ではなく，国際動向の把握に加え，情報工学分野の学術体系や専門知識を修得する必要性を痛感しておりました．このような思いから，土木情報工学分野の先駆的かつ先進的な研究を行う矢吹研究室に入学させて頂きました．日々の業務と並行しての研究活動となり，矢吹教授には論文の基本事項をはじめ，年末年始に加え，同行させて頂いた海外出張先においても昼夜を問わず貴重なお時間を頂きご鞭撻頂けたことは感謝の念に堪えません.
また，研究を支えて頂きました同研究室の博士後期卒業生である藤澤泰雄様，有賀貴志様，羽鳥文雄様，田原孝様，四月朔日勉様ならびに，博士課程の八巻悟様，福士直子様，Yaser Alipour 様，池田雄一様，山本耕平様，Chavanont Khosakitchalert 様，Natthapol Saovana 様，朱閲晗様と屋代裕一様，全ての方にここに感謝申し上げます.

学位取得は，新たな領域のスタート地点に立ったに過ぎないと考えております．本論文は，小職がさせて頂いております業務と非常に密接する分野であります．学ばせて頂いた知識を微力ながら我が国の建設生産・管理システムの改善と効率化への挑戦に繋げていきたいと考えております.

最後に，3 年半に亘る研究活動の実施にあたり，精神的かつ経済的に負担をかけたにも関わらず支援してくれた父憲道，母美智子と妻真由美とともに，父親として過ごすべき時間を削ることを理解してくれた崇嗣，実奈と優奈に感謝し，結びといたします.

2019 年 7 月

影山　輝彰