

(40) 橋梁下部工の 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開発

影山 輝彰¹・矢吹 信喜²

¹ 正会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士後期課程

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: kageyam@jacic.or.jp

² フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

土木工学分野における 3 次元プロダクトモデルの利活用は、建築工学分野における BIM の急速な広がりや政府調達における義務化や生産性向上の手段に用いられることにより、その重要性が認識されつつある。本研究では、官側の調達単位や複数の建設プロジェクトを統合して客観的に評価して監理する発注者側の新たな建設マネジメント手法を示すことを目的に、橋梁下部工を対象に 3 次元プロダクトモデルより算出する工事数量、直接工事費と施工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、橋梁下部工を対象に有効性の検証を行った。

Key Words: CIM, product model, quantity survey, cost estimation, earned value management

1. はじめに

建築分野における BIM は急速な広がりを見せ、2016 年には英国政府調達における義務化¹⁾や 2018 年には EU 諸国の政府動向をまとめた『EU BIM Handbook』²⁾の発刊など、政府調達や生産性向上のための手段に用いられている。日本の政府調達においては、2012 年度より国土交通省が Construction Information Modeling/Management (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 次元モデルに連携・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³⁾。国土交通省では、CIM 試行事業（業務・工事）を通じて得られた知見を取りまとめ 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や活用事例などを取りまとめた『CIM 導入ガイドライン（案）』⁴⁾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）』⁵⁾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、建設現場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。しかしながら、官側の調達単位

や複数の建設プロジェクトを統合して客観的に評価して監理するための 3 次元プロダクトモデルと建設マネジメント手法の関係にまで着目した研究は行われていない。これらの課題を解決する方法のひとつに 3 次元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」⁶⁾である。また、プロジェクト実施時の費用、工程などの進捗状況の測定、分析と評価を行うマネジメント手法のひとつに Earned Value Management (EVM) がある。EVM は、計画出来高、実績出来高、実質原価の 3 要素を比較分析し、工程だけではなく原価要素も加えた総合的な進捗管理を行うことができる管理手法⁷⁾である。そこで、発注者側の新たな建設マネジメント手法を示すことを目的に、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構築し、有効性の検証を行った。はじめに、3 次元プロダクトモデルより算出する工事数量、直接工事費と施工日数の関係を明らかにして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、3 次元プロダクトモデルより算出した官側の工事数量を用いて EVM の実施に必要な直接工事費と施工日数を官側の基準に基づき自動算出するプロトタイプシステムを開発し、その有効性の検証を行った。

2. 既往の研究

(1) Earned Value Management (EVM) に関する研究

EVMは、1998年6月に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た。この手法は、工程と原価の2つの管理要素である原価進捗率（CPI; Cost Performance Index）と工程進捗率（SPI; Schedule 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（WBS; Work Breakdown Structure）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、建設工事に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）』⁸⁾や鈴木ら⁹⁾によりグラフ理論の中心性指標のひとつである媒介性指数を用いてEVMの価値の設定方法に関する研究が行われている。

(2) BIM/CIMを用いたEVMに関する研究

Russellら¹⁰⁾による建設プロジェクトのマネジメント手法に関する調査によれば、最近の50の国際建設プロジェクトでは、EVM、BIM、Location Based Management（LBM）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、Forst¹¹⁾らにより、2次元CADと作業や費用などの統合化においては作業分割構成を共通する分類コードに用いることの重要性を示している。また、Tanyer¹²⁾らにより国際標準フォーマットであるIFCを利用した工程管理やSu-Ling¹³⁾らにより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¹⁴⁾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。

しかしながら、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の定義に加え、官側の調達単位や複数の建設プロジェクトを統合して客観的に評価して監理するための3次元プロダクトモデルと建設マネジメント手法の関係にまで着目した研究は行われていない。

3. 統合マネジメント手法の検討

国土交通省工事契約書によれば、受注者は、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、受注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、監督職員は受注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多い⁸⁾。国土交通省では、工事監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。理由のひとつとして、EVMに用いる具体的な作業分割構成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の管理粒度は建設プロジェクトごとに異なり、過去の建設プロジェクトによって得られた知見の反映や工区分割された各建設プロジェクトの進捗状況を総合的に監理することができない。建設プロジェクトの進捗状況を総合的かつ、客観的に監理するためには、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。そこで、新土木工事積算体系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、直接工事費と施工日数の粒度の共通化を図ることとした。この各作業分解構成の粒度を共通化した統合マネジメント手法の概念を示す（図-1）。

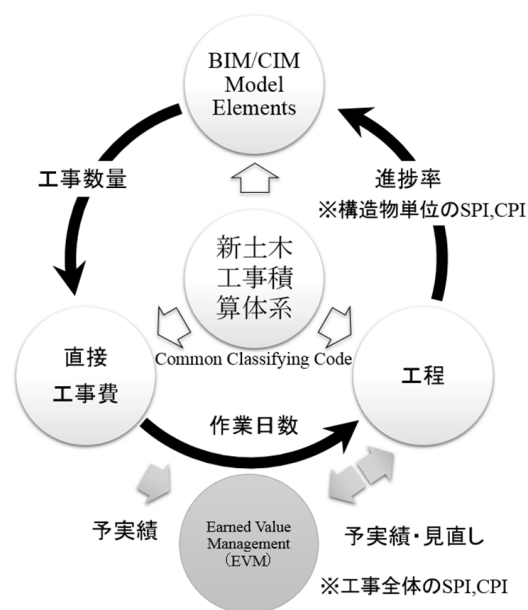


図-1 統合マネジメント手法の概念

(1) 工事数量

影山¹⁵⁾らは、「新土木工事積算体系」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ない積算階層数や階層定義、細分化方法を工種ごとに標準化と規格化が行われていることに着目し、工事数量算出用3次元プロダクトモデルを定義して、官側の積算と連携できることを示している。そこで、この工事数量算出用3次元プロダクトモデルを用いて細別（レベル4）に対応した工事数量を算出する。

(2) 直接工事費

算出した工事数量を『国土交通省土木工事積算基準書』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施工数量を算出する。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。

(3) 施工日数

細別毎の施工日数は、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、施工数量に対して『国土交通省土木工事積算基準書』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。実働日数は施工数量/（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。

数量算出を行う model_elements Class、直接工事費を算出する unitprice_packages Class、施工日数を算出する schedule_packages Class と計画出来高を算出する evm_package Class で構成する。

工事数量（model_elements Class）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クラスである。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（unitprice_packages Class）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クラスである。setup_unitprice_packages の操作により、各歩掛を抽出する。

施工日数（schedule_packages Class）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）より施工量や施工日数などを表すクラスである。setup_schedule_packages の操作により、施工日数を算出する。

計画出来高（evm_package Class）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、直接工事費と施工日数を表すクラスである。

4. データ構造の定義とプロトタイプの開発

(1) データ構造の定義

3次元プロダクトモデルより算出する工事数量、直接工事費と施工日数の関係を明らかにしてデータ構造を定義した。図-2 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

(2) プロトタイプシステムの開発

新たに定義したクラス図を用いて、工事数量より直接工事費、施工日数と計画出来高を自動算出するプロトタイプシステムを開発した。プロトタイプシステムは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。

橋台・橋脚を対象に検証に用いた工事数量を表-1に

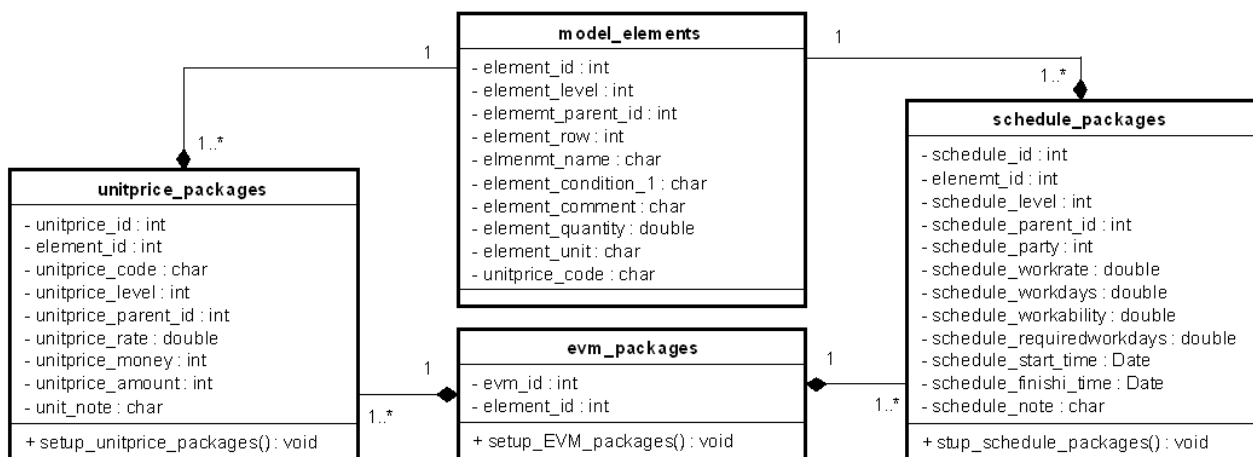


図-2 クラス図

示す。開発したプロトタイプシステムを用いて直接工事費と施工日数を自動算出した結果を図-3 に示す。この結果に施工順序を割り当て計画出来高を作成する。毎月の出来高と実工事費を用いて EVM の実施に必要な工程進捗率 (SPI) や原価進捗率 (CPI) の各種パラメータを算出する。

5. 結論

本研究では、発注者側の新たな建設マネジメント手法を示すことを目的に、橋梁下部工を対象に 3 次元プロダクトモデルより算出する工事数量、直接工事費と施工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、有効性の検証を行った。この検証により、3 次元プロダクトモデル、工事数量、直接工事費、施工日数と出来高管理を官側の調達単位に基づき連携して監理できる可能性を示した。これにより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

表-1 工事数量 (抜粋)

細別	規格	A1 橋台	P1 橋脚	P2 橋脚	P3 橋脚	A2 橋台
形式		逆 T 式橋台	壁式橋脚	壁式橋脚	壁式橋脚	逆 T 式橋台
橋台・橋脚工 (1)						
施工歩掛コード		M-082-24-34	M-082-24-23	M-082-24-23	M-082-24-22	M-082-24-34
コンクリート量		186.8	244.0	245.5	335.5	186.8
底版	20-8-20	107.0				107.0
	30-8-20		99.6	99.6	135.5	
堅壁	24-8-20	52.4				52.4
基礎	24-8-20	12.2				12.2
受台	24-8-20	1.5				1.5
翼壁	24-8-20	12.4				12.4
胸壁	24-8-20	1.3				1.3
柱	30-8-20		143.5	145.1	199.1	
台座	30-8-20		0.9	0.8	0.9	

elements_treeview	evm_packages
evm - element_name - element_co - element - e - unitprice_mx - unitprice_an - schedu -	
1 A1 橋台	
2 橋梁下部工	
3 橋台工	
4 橋台躯体工(構造物)	
5 逆T式橋台	5m以上7m未満
6 コンクリート	
7 底版	20-8-20 1.07 m3 ¥18,652 ¥1,995,775 20.7
8 堅壁	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	
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	
17 橋脚下部工	
18 橋脚躯体工	
19 橋脚躯体工(構造物)	
20 壁式橋脚	10m以上15m未満
21 コンクリート	
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	
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-3 自動算出結果 (抜粋)

示できる科学的方法で判断することが可能となる。

また、工区分割する場合には、3 次元プロダクトモデルの追加や削除を行うことで対応することができる。今後、対象工種を広げて検証の精度を高めるとともに、設計変更への対応などより実務に即した研究を進める所存である。

参考文献

- 1) HM Government. Industrial strategy: government and industry in partnership, <https://www.gov.uk/government/uploads/_system/uploads/attachment_data/file/34710/12-1327-building-information-modelling.pdf>, (入手 2018.2.14) .
- 2) EU BIM TASK GROUP. Handbook for the introduction of Building Information modeling by the European Public Sector, <<http://www.eubim.eu/handbook/>>, (入手 2017.12.10) .
- 3) 矢吹 信喜: CIM 入門—建設生産システムの変革, 理工図書, p208, 2016.
- 4) 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, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/>>, (入手 2017.4.3) .
- 5) 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), <<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/yoryo3004.htm>>, (入手 2018.4.27) .
- 6) 日本規格協会: CAD 用語 JIS B 3401, 1993.
- 7) Q. Fleming and J. Koppelman: Eamed value project management 4th ed., Newtowns Square: Project Management Institute, 2010.
- 8) 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), <<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/evms/evms.htm>>, (入手 2015.12.26) .
- 9) 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.
- 10) Russell, K., and Roby, H.: Construction Project Control Methodologies and Productivity Improvement: EVM, BIM, LBM, *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, pp.57-66, 2015.
- 11) Forest, P., Renate, F., and Martin, F.: CASE STUDY SCOPE-TIME-COST INTEGRATED MODEL WITH WORK BREAKDOWN STRUCTURE, *CIFE Working Paper*, #WP115, 2009.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.1_43-52, 2017.