

(13) 鉄道高架橋を対象とした三次元設計モデルの積算への利用

Application of the 3D model of railway viaducts to cost estimation

藤澤泰雄¹・矢吹信喜²・五十嵐善一³・吉野博之⁴

Yasuo FUJISAWA, Nobuyoshi YABUKI, Zenichi IGARASHI and Hiroyuki YOSHINO

抄録：土木分野での三次元モデルの利用は、設計・施工などの各分野の中の一部で利用されているにすぎず、設計⇒積算⇒施工というプロセス間をまたがった検討は行われていない。本研究では、現在の設計から施工における積算の流れを確認し、詳細設計で作成される二次元図面から得られる積算情報を三次元モデルでも同様に作成・利用できることを検証した。

キーワード：三次元モデル，設計，積算，プロダクトモデル，CALS/EC，BIM

Keywords：3D Models, design, estimation, product model, CALS/EC, BIM

1. はじめに

土木分野では、公共事業の減少に伴い設計・施工などの各分野で ICT を利用したコスト削減策や品質向上策の検討が進められている。こうした流れは、従来、CALS/EC の一環として進められているが、三次元モデルの利用に関しては、住民説明用の資料の作成や、情報化施工として土工での利用が始まった程度で、本格的な普及には至っていない。

一方で、建築分野では BIM(Building Information Modeling)として三次元モデルの活用が始まっている。建築分野では、building SMART の IFC がスタンダードとして利用できる環境が整っているため、異なるアプリケーションデータを IFC で統合して利用可能であることが普及を支えている¹⁾。

土木分野では、二次元モデルに関しては SXF(Scadec data eXchange Format)が策定され、国土交通省の CAD データの交換が行われているが、二次元モデルであるため、図形の交換だけで属性情報を含んでおらずモデルの交換には至っていない。

しかし、一部の設計では住民説明用に CG・VR・パースなどとして三次元モデルを作成したり、施工時には、三次元の配筋チェック²⁾や施工計画などのために三次元モデルが作成され、活用され始めている。

これらは、設計または施工という自工程の中で必要に迫られて作成されているものであり、次の工程や最終的な維持管理を考慮してモデル化を行っているわけではないため、作成されたモデルは、特定の用途(住民説明や施工チェックなど)のためにだけ作成・使用され、用途が終わると廃棄される。

計画⇒調査⇒設計⇒施工⇒維持管理というライフサ

イクル全体を考えた場合、そのサイクルの中だけで利用される三次元モデルをその都度作成していることは非効率であるばかりでなく、かえってミスを増加させている可能性もある。このため、計画⇒調査⇒設計⇒施工⇒維持管理というライフサイクル全体で利用できる具体的な三次元モデルの提案が必要である。

本研究は、ライフサイクルのうち設計から施工にいたるプロセスにおいて、積算が橋渡しの役割を演じていることに注目して、三次元モデルの活用方法を検討する一環として、鉄道高架橋を対象構造物として、積算に活用できる三次元設計モデルの提案と検証を行うことを目的とする。

なお、土木分野では、設計者と施工者が分かれているため、本研究では、構造物の設計する者を設計者、施工するものを施工者、施工者に工事を発注するものを発注者と表現している。

2. 設計から施工までの事業プロセスにおける積算手順

土木分野では、設計⇒積算⇒施工というプロセスが個別に区分され、設計者・発注者・施工者の役割が明確であるという認識が一般的である。積算という視点では、設計者が、設計(詳細設計)において積算のための二次元図面、数量計算、概略施工計画、予算要求レベルの工事費を作成する。同様に、施工者は、発注者が提示する入札のための積算で用いた二次元図面、数量計算と概略施工計画から、入札金額を決定する。

表-1は、従来の設計から施工までの事業プロセスを入札という視点で整理したものである。この中で、設計・積算・入札時を総括し入札として分類している。このように分

1 : 正会員 工修 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

2 : 正会員 Ph. D. 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1, Tel :06-6879-7660, E-mail : yabuki@see. eng. osaka-u. ac. jp)

3 : 正会員 (株)奥村組 管理本部 情報システム部

4 : 正会員 工修 八千代エンジニアリング株式会社 技術推進本部 情報技術部

類すると、施工段階は、入札と入札後の施工時・竣工時として区分できる。このように分類して、各プロセスでの作成者と作成物の関係をまとめたものが表－1である。設計者・発注者・施工者が、フェーズ段階ごとに要求される図面、数量計算、施工計画、工事費を作成し、これを後のフェーズで活用している。さらに、設計⇒積算⇒施工というプロセスは、一般的な認識とは異なり、入札というプロセスを考えると、明確に区分されるものではないことがわかる。

施工時に判明する設計計算ミス、配筋ミス、数量計算ミス等は、設計時に由来するものであり、設計段階の二次元図面および数量計算にはミス発生の懸念があると言える。さらには、設計段階のミスが施工時・竣工時における施工数量変更、工事費変更となり、発注者・施工者の負担になっている。

3. 三次元設計モデルによる積算の提案

(1) 設計・発注者積算時での利用

このように現状の二次元図面を用いた設計⇒積算⇒施工の流れの中では、設計ミス・積算ミス、設計変更・工費変更などが多く、成果品の品質向上と工費縮減が課題となっている。

このため、設計段階から三次元モデルを作成し、後のフェーズで利活用する場合を検討した結果を表－2に示す。三次元モデルは、データ修正・変更が容易であるため、修正・変更の度に関係図面をすべて確認する必要がある二次元図面よりもデータ流通の面で優れている。同様に、

三次元モデルより求められる各種数量も、既往の数量計算書と比較し計算精度は高く、データ修正・変更も確実に行われる。三次元モデルではモデル作成時にミスが発生する可能性も高いが、三次元形状として、各種の取り合いなども表現されるため、各フェーズでのチェックが掛けやすく修正しやすい。

本研究で対象とした鉄道高架橋における数量計算構成例を表－3に示す。同表は、「土木工事数量算出要領(案)」に基づき、種別－細目毎に代表的な項目を整理したものである。各細目では、単に数量を求めるだけでなく、数量に紐付けられる属性情報を詳細に設定しなければならない。二次元図面の場合は、属性情報は文字情報として図面に書き込むしかないため、関連する部材の修正はすべて手作業で行わざるを得ないが、三次元モデルの場合は、部材の属性を変更するだけで良い。

また、実際の施工では二次元図面が利用されているが、二次元図面も三次元モデルから出力することにより、変更時の修正漏れによるミスを大幅に低減することが可能である。

(2) 施工者積算時での利用

前述のように、施工者が入札時に利用している積算数量は、設計時の詳細設計によるもので、この中には、材料費の他に、施工計画の費用も含まれている。従来は、設計者が検討した施工手法・手順による施工計画で応札しているが、構築物の三次元モデルだけでなく周辺の三次元モデルデータを入手できれば、施工者の

表－1 設計から施工までのプロセス（従来）

フェーズ		入札			施工	
		設計	積算	入札時	施工時	竣工時
作成者		設計者	発注者	施工者		
作成物	モデル	二次元モデル	二次元モデル			二次元モデル
	図面	二次元図面●	二次元図面			二次元図面 (管理用台帳)
	数量計算	設計数量●	積算数量		施工数量■	
	施工計画	概略	概略	概略	詳細■	
	工事費	予算要求	発注	応札	応札・変更	
備考		●：ミス発生の懸念が高い ■：変更発生の可能性が高い				

表－2 設計から施工までのプロセス（三次元モデルを利用した場合）

フェーズ		入札			施工	
		設計	積算	入札時	施工時	竣工時
作成者		設計者	発注者	施工者		
作成物	モデル	三次元モデル				
	図面	二次元モデル(必要に応じて)				
	数量計算	設計数量	積算数量			
	施工計画	概略		詳細■		
	工事費	予算要求	発注	応札■		
備考		●：ミス発生の可能性はあるが、各段階でチェックが可能 ■：変更発生の可能性が高い				

得意な施工手法を採用することにより、全体の工期・工費を低減することも可能である。また、現在広く行われている総合評価落札方式の技術点の評価にも利用できるとともに、より現実に近い積算が可能となる。

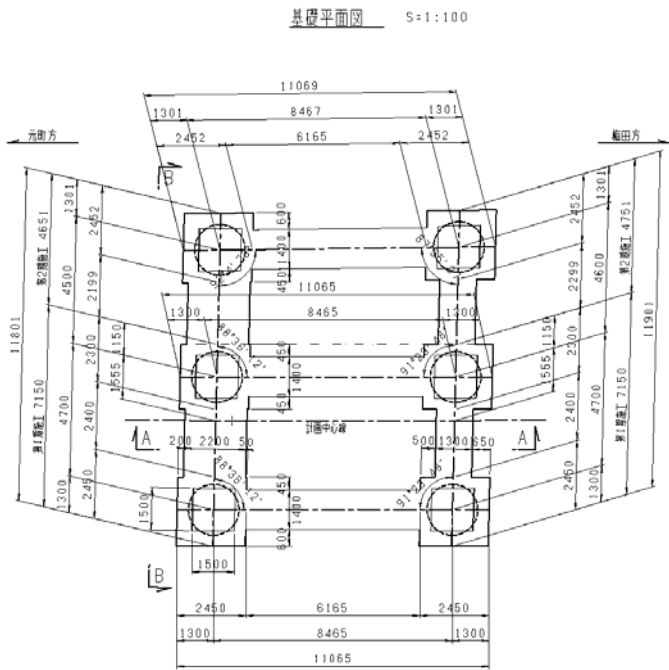
4. 実設計データによる検証

表－3 鉄道高架橋の数量計算構成例

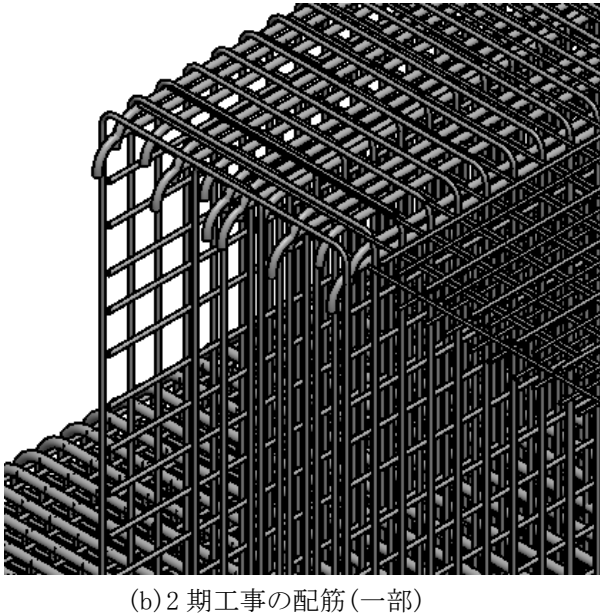
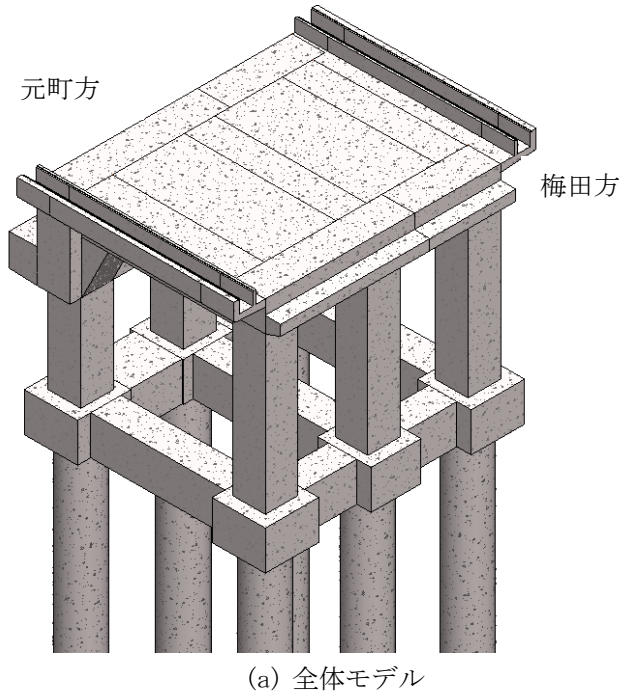
種 別	細 目	数 量	属 性	
土工	掘削	○	土質 施工形態	構造物 水陸
	残土処理	○	土質 施工形態	構造物
	盛土	○	土質 施工形態	構造物
場所 打杭工	場所打杭	○	杭径	杭長
			鉄筋	コンクリート
			丸丸 H型鋼	中詰材 鋼管
	杭土処理	○	杭径 土質	杭長
土留・ 仮締切工	杭頭処理	○		
	殻運搬処理	○		
	鋼矢板	○	工種	規格
	腹起し	○	規格	
	切梁	○	規格	
	火打ち	○	規格	
柱・ 梁・ スラブ	中間杭	○	規格	
	基礎材	○	規格	
	均しコンクリート	○	規格	
	支保	○	工法	支保耐力
			設置高	
	足場	○	工法	
	型枠	○	規格	
	鉄筋	○	規格・仕様 鉄筋径	材料規格 施工条件
	コンクリート	○	規格・仕様	
	打継ぎ処理	○	規格	

(1) モデル

二次元モデルによる積算と三次元モデルによる積算を比較するために図－1に示す阪神電気鉄道株式会社青木(おおぎ)工事現場におけるB29ラーメン高架橋を対象とした三次元モデルの作成を行った。図－2に作成した三次元モデルを示す。モデルの作成には、Autodesk 社の Revit Structure 2011(以下 RSTとする)を用いた。RSTは、



図－1 B29 ラーメン高架橋(平面図)



図－2 三次元モデル

梁、柱などの分類ごとに部材を事前に部品として作成しておき、寸法をパラメータとして変更させることで、モデルを構築していく。このため、同じ部品では、材料特性(コンクリート強度、単位体積重量など)は同じ設定となる。

（２）部品リストと数量

二次元図面での積算数量に合わせられるように、部品を作成した。作成した部品を表－４に示す。

対象とした高架橋の施工は、はじめに元町方下り線から施工(第 1 期工事)を開始し、下り線を切り替えてから梅田方上り線を施工(第 2 期工事)する。積算においても、第 1 期工事と第 2 期工事に分けて算出されているため、モデル化もこの施工手順に合わせて部品を定義した。このようにして算出した躯体コンクリート体積と型枠面積の詳細を表－４に示した。

（３）数量比較

二次元図面と三次元モデルから算出した主な積算数量の比較を表－５に示す。

RST では、配筋時の重ね継手(ラップ)が簡単に指定できないため鉄筋数量で違いが生じているが、これ以外の箇所では、同様の結果が得られた。三次元モデルでも、積算を考慮したモデルの作成手法(部品の区分け方法など)を事前に検討しておけば、配筋を除いて積算を行うことは問題ないことが分かった。

５．まとめ

本研究では、鉄道高架橋を対象に、三次元モデルを作成して、二次元図面から作成した数量との比較を行い、躯体コンクリート体積・型枠面積ではほぼ同じ結果を得られ、三次元モデルでの積算が可能であることを検証できた。しかし、使用したモデル作成ツールの機能不足により配筋に関しては、簡単に検証することができなかった。実際にはこの他に、型枠支保など単に三次元形状だけを作成しても算出できない項目も検討していない。

本論で作成した鉄道高架橋モデルは、梁・柱・杭というモデルとして簡単な構成要素であり検証も比較的容易であった。実際の橋梁などでは、もっと多くの構成要素があり、検討すべき事項は多くなるが、これも事前にどのようにモデルを作成するかを検討しておけば、十分可能であると思われる。

本論で入札時の積算に関して検討を行ったが、今後は実際の施工に取り掛かる際の実行予算作成にまで踏み込んだモデルの検討を行う予定である。

謝辞：本研究の遂行に際して、実際の高架橋のモデルを提供していただきました阪神電気鉄道株式会社の関係者の皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 矢吹信喜, 蒔苗耕司, 三浦憲二郎:工業情報学の基礎, 理工図書, 2011 年 4 月
- 2) 五十嵐善一: 3 次元配筋モデルの施工現場への適用についてー現状の効果と課題および今後の方向性ー, 土木学会第 65 回年次学術講演会, VI-525, pp. 1049-1050, 2010 年 9 月

表－４ 部材リストとコンクリート体積・型枠面積

番号	記号	名称	形状	寸法	コンクリート体積(m³)		番号	記号	名称	形状	寸法	コンクリート体積(m³)	
					1期	2期						1期	2期
1	P1	場所打ち杭	直径×高さ	φ 1.8×L=22.0m	(111.966)	(55.983)	19	Bu1(sea)	受け桁	幅×高さ×奥行	1.3×1.55×7.351	14.414	
2	P2	場所打ち杭	直径×高さ	φ 1.8×L=22.0m	(111.966)	(55.983)	20	Bu1(Mt)	受け桁	幅×高さ×奥行	1.3×1.55×4.341		8.531
3	F1	杭受台	縦×横×高さ	2.45×2.45×1.8	21.610		21	Bu2(sea)	受け桁	幅×高さ×奥行	0.7×0.75×6.851	2.954	
4	F2	杭受台	縦×横×高さ	2.3×2.45×1.8	20.286		22	Bu2(Mt)	受け桁	幅×高さ×奥行	0.7×0.75×3.959		1.703
5	F3	杭受台	縦×横×高さ	2.452×2.452×1.8		21.644	23	S(sea)	スラブ	縦×横×高さ	6.965×3.3×0.3	6.895	
6	F1(sea)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	2.2×1.8×2.4	9.504		24	S(Mt)1	スラブ	縦×横×高さ	6.965×0.7×0.3	1.463	
7	F1(Mt)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	2.2×1.8×2.199		8.708	25	S(Mt)2	スラブ	縦×横×高さ	6.965×2.4×0.3		5.119
8	F2(sea)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	1.3×1.8×2.4	5.616		26	Sk(sea)	片持ちスラブ	縦×横×高さ	6.965×1.471×0.35	3.301	
9	F2(Mt)	線路直角地中梁	幅×高さ×奥行	1.3×1.8×2.299		5.380	27	Sk(Mt)	片持ちスラブ	縦×横×高さ	6.965×1.696×0.35		3.763
10	F	線路方向地中梁	幅×高さ×奥行	1.4×1.8×6.165	31.072	15.536	28	SkB(sea)	片持ちスラブ梁部	縦×横×高さ	1.5×0.927×0.35	1.087	
11	C1	柱	縦×横×高さ	1.5×1.5×4.4	19.800	9.900	29	SkB(Mt)	片持ちスラブ梁部	縦×横×高さ	1.5×1.142×0.35		1.283
12	C2	柱	縦×横×高さ	1.5×1.5×7.2	32.400	16.200	合計					270.228	153.035
13	B1(sea)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×4.2×7.35	46.305								
14	B1(Mt)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×4.2×4.35		27.405	番号	記号	名称	形状	寸法	型枠面積(m²)	
15	B2(sea)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×1.4×6.85	14.385		30	Wall	標準壁	縦×横	－	379.066	204.065
16	B2(Mt)	上層線路直角梁	幅×高さ×奥行	1.5×1.4×3.95		8.295	31	Slab	床	縦×横	－	92.958	61.535
17	B	線路方向梁	幅×高さ×奥行	1.4×1.8×6.965	35.104	17.552	合計					472.024	265.600
18	Bh	線路方向梁ハンチ	幅×高さ×奥行	1.4×2.4×1.2	4.032	2.016							

表－５ 数量の比較

工種	①二次元モデル	②三次元モデル	①/②
型枠工 (m²)	737.6	737.6	1.00
躯体コンクリート (m³)	423.5	429.0	1.00
鉄筋 (t)	141.9	135.5	1.05