

(4) CIM の概念を用いた 鋼上部工の 3 次元モデルの構築

小林 優一¹・吉野 博之²・谷口 和昭³・金光 都⁴・徳武 広太郎⁵

¹正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)
E-mail:yc-kobayashi@yachiyo-eng.co.jp

²正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)
E-mail:yoshino@yachiyo-eng.co.jp

³正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)

⁴非会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)

⁵非会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)

平成 24 年度より国土交通省が CIM の試行に精力的に取り組んでいるが、橋梁分野における鋼上部工に関しては、次の問題点等により未実施である。①各部材の鉛直方向の位置算出が困難、②3 次元 CAD における 3 次元線形の精度の確保。これらと併せて、3 次元モデルの効率的な作成及び修正に関する手法も課題である。

本研究は、鋼上部工の 3 次元モデルをパラメトリックモデルで構築し、従来の 2 次元設計に対して業務効率化の効果検証を行うことを目的とした。本稿では、従来の 2 次元設計に対して 3 次元モデルの①精度、②数量、③構築時間の比較、検証結果から業務効率化への可能性を示すとともに、今後の課題をまとめた。

Key Words: *Construction Information Modeling/Management, superstructure, 3d model, parametric modeling, direct modeling*

1. はじめに

平成 24 年度より国土交通省が実施している Construction Information Modeling/Management (以降“CIM”と略記)の試行は、橋梁分野における鋼上部工に関するものは未実施である。鋼上部工の設計において 3 次元モデルが導入されない理由としては、2 点の問題が想定される。①各部材の鉛直方向位置の算出、②3 次元 CAD における 3 次元線形の精度の確保。また、それらの問題と併せて 3 次元モデルの効率的な作成及び修正に関する手法も課題である。

本研究は、鋼上部工の 3 次元モデルをパラメトリックモデルで構築し、従来の 2 次元設計に対して業務効率化の効果検証を行うことを目的とした。

2. 鋼上部工の 3 次元モデル構築に関する課題

(1) 3 次元モデルの精度

3 次元 CAD は 3 次元線形の要素に含まれる平面方向の緩和曲線、縦断曲線などを、直線の集合により疑似的に作図している。鋼上部工の 3 次元モデルの構築には、それらの曲線を再現する必要がある、その際、各部材の X,Y,Z の座標値が必要となった。

従来の 2 次元図面では、平面図や構造図で X-Y 方向の部材位置は確認可能であるが、縦断勾配を考慮した Z 方向の部材位置については図面情報から確認困難であった。

(2) 3 次元モデルの構築手法

鋼上部工の 3 次元モデル構築では、構成部材が数千にも及び、かつ設計検討を進める上で作成した 3 次元モデルを修正する可能性もあるため、効率的な手法が求められる。

3 次元 CAD で立体形状を作成する手法は、ダイレクト・モデリングとパラメトリック・モデリングの 2 種類に大別される 1)。ダイレクト・モデリングとは、部材の辺や面を指定して移動させることにより立体形状を作成していく方法である。一方で、パラメトリック・モデリングは、部材の辺の長さや傾きなどの関係性を変数で定義し、それらを数値で管理することにより作成する方法である (図-1)。本研究において効率的な手法は、パラメトリック・モデリングを適用すると効果が図れる可能性があった (図-2)。

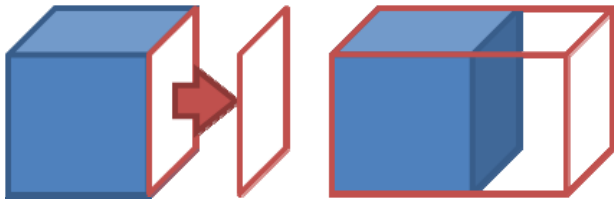


図-1 ダイレクトモデル

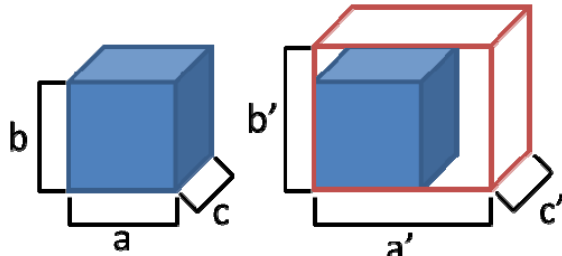


図-2 パラメトリックモデル

3. 鋼上部工の 3 次元モデル構築に関する解決策

(1) 任意位置における Z 方向の座標値算出の機能開発

当社の道路・鉄道線形計画は、株式会社エムティシーの道路・鉄道線形計画システム「APS-MarkIV Win（以下“APS”と略記）」を活用している²⁾。APS では、①平面線形、②縦断線形、③幅員構成、④横断勾配などの情報を入力し、計画を実施する。しかしこれらの情報では、線形計画は可能であるが、CIM として主構造（主桁・横桁）以外の任意位置の標高値を算出することは、これまでの利用用途がないため不可能であった。

これに対し筆者らは株式会社エムティシーと共同で、道路中心線形から任意位置の標高値が算出可能な機能を開発した。本機能は、図-3 の青色丸印で示す添接位置、補剛材の取り付け箇所など、取得したい標高値の場所を APS 上でクリックすることにより、座標値が算出可能である。算出した座標値の精度検証結果は、表-1 のとおり。下部工位置において線形計算書に記載されている標高値と、APS から算出した標高値は全て 0.1mm 以下の精度を確保した。

(2) パラメトリックモデルの構築

筆者らは、これまで業務効率化の一助となり得るパラメトリックモデルについて検証を進めてきた²⁾。

パラメトリック・モデリングに用いたソフトウェアは、Autodesk 社の Revit Structure 2014 である。本ソフトウェアでは作成対象の構造物を、部材ごとに作成する。図-4 は、パラメトリック・モデリングで作成した橋脚の躯体工のモデルと、そのプロパティ画面を示している。本モデルはプロパティ画面上で数値を変更することにより形状の変更が可能で、これらの数値情報から体積や型枠面積などの数量も

算出できる。コンクリートの設計強度等については、本モデルへ属性情報として付与した。これらの設計条件を属性情報として本モデルへ付与することは、次工程の施工段階や維持管理段階において、業務担当者が報告書などの資料を確認しなくても把握できるようにするためである。なお、属性情報は、コンクリート、鋼のように材料に関する属性と、ウェブ、フランジ、リブなど構造に関する属性に区分される。本モデルにおいて、材料属性はソフトウェア側で用意されているものを利用し、構造に関する属性は新規項目として追加した。

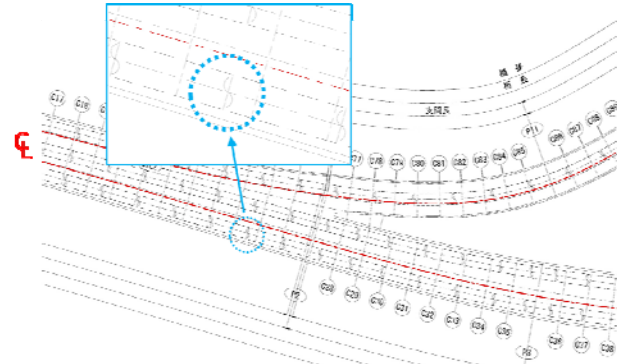


図-3 取得したい箇所の一例

表-1 下部工における標高値の精度検証（一部抜粋）

ID	① 標高値 Z (m)	② 計算値 (m)	$\Delta = \text{①} - \text{②}$ (mm)
1	22.7534	22.7534	0.0200
2	22.7576	22.7577	-0.0500
3	22.7662	22.7662	0.0300
4	22.9589	22.9589	-0.0300
5	23.2480	23.2480	0.0400
6	23.7798	23.7798	-0.0400
7	24.4910	24.4910	0.0400
8	25.6019	25.6019	-0.0100
9	27.3460	27.3460	0.0000
10	28.3860	28.3860	0.0000

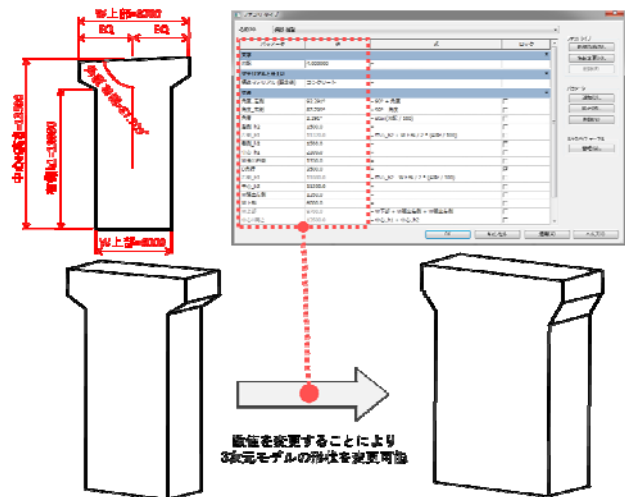


図-4 下部工のパラメトリックモデル

4. CIM の試行業務への適用

CIM の試行業務として、JCT の事業計画等に用いるため 3 次元全体モデルを構築し、上記手法を適用した。本試行では、詳細設計が完了している鋼橋を対象とし、3 次元モデルの①精度、②数量、③構築時間の観点から有用性を検証した。

(1) 検証結果

a) 既往成果の線形計算書の座標値と、開発した機能で算出した座標値の精度比較

作成対象の橋梁は、当社設計、および他社設計である。他社設計の橋梁についても、線形計算書を基に線形を再現し、自社設計成果から算出する標高値と同じ精度で管理を行った。表-2 は、他社成果の橋梁の添接位置において線形計算書に記載されている標高値と、本システムから算出した標高値の精度を比較したものを一部抜粋した。両者の差分は全て 0.1mm 以下であるため、他者の設計においても非常に正確な精度で座標値を算出できた。

b) 従来の 2 次元設計成果と 3 次元モデルから算出した数量との比較

表-3 は、数量計算書①と、構築した上部工 3 次元モデル②から数量算出した結果をまとめ、比較した。モデルケースは当社設計の橋梁とした。

項目は、それぞれ大型材片および小型材片の材変数および材片質量を列挙した。概算工費を算出する際に必要となる鋼重は、モデル上の体積に単位体積重量を乗じた値とした。

大型材片は、3 次元モデルの方が数量計算書より材片質量が約 0.95%少ない結果となったが、材片数は同値となった。材片質量が少ない理由としては、数量計算書の部材はネット率による体積減少を全て正確には考慮していないのに対し、3 次元モデルの部材は実際の部材形状から体積を計上しているため誤差が生じていると考えられる。

表-2 他社設計橋梁での標高値の精度検証
(一部抜粋)

ID	①標高値Z (m)	②計算値 (m)	Δ=①-② (mm)	ID	①標高値Z (m)	②計算値 (m)	Δ=①-② (mm)
1	16.7763	16.7762	0.0900	11	24.8135	24.8135	0.0000
2	16.8389	16.8389	0.0500	12	24.6885	24.6885	0.0000
3	16.9015	16.9015	0.0000	13	26.7547	26.7547	0.0400
4	18.8715	18.8714	0.0700	14	26.6439	26.6439	-0.0200
5	18.8583	18.8583	-0.0200	15	26.5332	26.5332	0.0300
6	18.8452	18.8452	-0.0100	16	28.9400	28.9400	0.0000
7	22.3150	22.3150	0.0000	17	28.9150	28.9150	0.0000
8	22.1900	22.1900	0.0000	18	28.8900	28.8900	0.0000
9	22.0650	22.0650	0.0000	19	31.0978	31.0978	0.0100
10	24.9385	24.9385	0.0000	20	31.0728	31.0728	0.0100

表-3 鋼上部工の数量算出の比較

集計要素		単位	数量計算書 ①	3次元モデル ②			②/①
				主桁	横桁	計	
大型材片	材片数	ヶ	378	312	66	378	100.00%
	材片質量	kg	788,589	732,688	48,381	781,069	99.05%
小型材片	材片数	ヶ	4,408	2,408	2,002	4,410	100.05%
	材片質量	kg	191,285	105,846	78,070	183,916	96.15%

小型材片は、3 次元モデルの方が数量計算書より材片数が 0.05%多い結果となったが、材片質量は 3.85%少なくなった。材片数に相違がある原因は、小型材片として作成の対象外としたジャッキアップ用補剛材、マンホール、ハンドホール、水切り版板を含んでいることが挙げられる。また、材片質量が少なくなる原因としては、大型材片のネットに関する要因と、作成対象外の部材が影響していると考えられる。以上より、3 次元モデルから算出した鋼重は、設計時における仮定/実鋼重の許容誤差 5%以内と同程度の数値となっている。

c) パラメトリック・モデリングとダイレクト・モデリングの構築時間比較従来の 2 次元設計成果と 3 次元モデルから算出した数量との比較

表-4 は、鋼上部工の各部材をダイレクト・モデリングと、パラメトリック・モデリングで構築した時間を比較したものである。ダイレクト・モデリングは、実際にソフトウェアを操作した人間に対してヒアリングを行い、想定時間を積み上げて算出した。パラメトリック・モデリングは、ダイレクト・モデリングより、約 4 割程度の時間短縮が可能であった。本要因は、最小部材単位でパラメトリックモデルを構築していることである。例えば主桁のウェブを構築する際、添接位置から添接位置までの形状である。これは同部材の 1 部材目に対してパラメトリック・モデリングに時間を要したとしても、2 部材目以降は数値入力で構築可能であるため、構築時間の短縮に寄与した。したがって、構築部材が定型である場合は、パラメトリック・モデリングの方が作業効率の向上が図れる。

表-4 構築手法の比較

			モデリング手法	
			ダイレクト	パラメトリック
期間	主桁	中心線形準備	10日 (2週間)	1日
		パラメータ化		1日
		3次元化		2日
		配置		1日
	添接板	パラメータ化	30日 (1.5か月)	5日
		3次元化		10日
		配置		4日
	横桁	パラメータ化	30日 (1.5か月)	10日
		3次元化		5日
		配置		3日
	対傾構	パラメータ化	30日 (1.5か月)	10日
		3次元化		5日
		配置		3日
	補剛材	パラメータ化	10日 (2週間)	1日
		3次元化		4日
		配置		5日
	床版	中心線形準備	15日 (3週間)	1日
		パラメータ化		2日
		3次元化		1日
配置		1日		
		合計	125日	75日
			削減(%)	40%

(2) 3次元モデルの課題

図-5 で示すように 3 次元線形を 3 次元モデルで構築する上で縦断曲線は、現時点においては正確に再現することは非常に困難であった。最小部材単位での起終点座標値は、開発した機能により 0.1mm 以下で算出可能であるが、起終点間の曲線は、緩和曲線と併せて 3 次元モデルにすることが現状のソフトウェア機能の限界であり不可能だった。

本研究において縦断曲線は、直線で近似しようとしたが、曲率が大きい箇所や部材長が長い場合には数 mm 程度の誤差が発生する。しがたって現状では部材を最小単位の部材よりさらに分割した座標値を算出し、縦断曲線を直線として近似し 3 次元モデルを構築していくことが最適手法と考える。

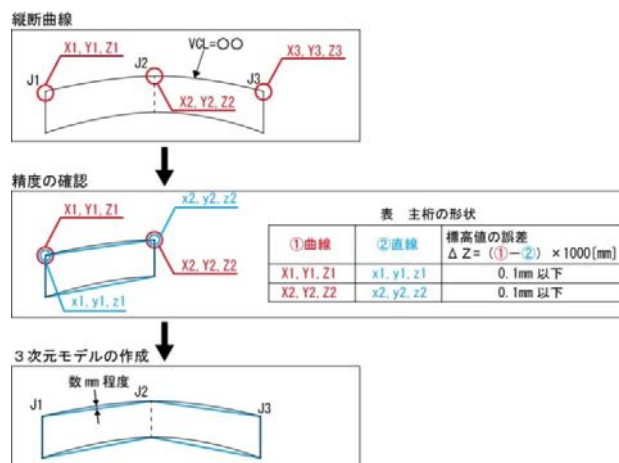


図-5 3次元モデルの課題

5. おわりに

本研究では、鋼上部工の 3 次元モデルの構築手法、業務効率化への可能性について、CIM の試行業務においてその技術を導入し効果検証を行った。

鋼上部工の設計は、作用荷重や耐震設計等で各部材の細部寸法・板厚が変化していく。線形情報の精度を保持したパラメトリックモデルの活用は、図面間の齟齬や数量算出のミス防止また作業を実施する技師 C 及び技術員の人工削減など業務効率化に寄与する。さらに、CIM の導入は今後の施設維持管理においても不可欠な情報になると考えている。

今後の課題は、①属性情報や部材寸法などをデータベースとして紐付けする手法、②作成した 3 次元モデルに対するキャンバーに関する部材寸法や各数量の算出手法の 2 点である。

謝辞：株式会社エムティシーは、必要とする技術の機能開発にご協力いただき、本研究をおこなうことができました。ここに、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日 経 テ ク ノ ロ ジ ー : <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20130705/291110/?rt=nocnt> (入手 2016.6.30) .
- 2) 小林優一, 吉野博之: 3 次元モデルの The Model Level of Development に関する一考察, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.39,pp.45-46,2014.
- 3) 株 式 会 社 エ ム テ ィ シ ー : http://www.mtc-aps.co.jp/products/alignment/aps_mark4.html (入手 2016.6.30) .