

I-28 維持管理を目的とした橋りょう 3次元モデルの作成

Development of 3D models for Bridge Maintenance

河畑充弘¹・有賀貴志²・諸橋由治³・三浦孝智⁴・松川俊介⁵

Mitsuhiro KAWABATA, Takashi ARUGA, Yuji MOROHASHI, Takanori MIURA and Shunsuke MATSUKAWA

抄録：東京メトロが管理する土木構造物は、トンネル以外にも鋼橋が100橋近くある。多くの橋りょうは架設後40年以上経過し、高密度輸送地域にあることから適切な維持管理が求められている。構造物の維持管理はその構造を把握することが重要である。しかし、主構や床組など橋りょうを構成する部材が多く構造が複雑であり、従来の2次元の設計図から、構造全体を把握するには熟練を要する。そこで、本研究では、鋼橋の維持管理を目的とした、3次元モデル作成手法の構築を試みた。本報告では、供用中のトラス橋に関する3次元モデルの作成結果に基づく、次元モデルの作成手法およびオブジェクトの体系的な管理手法等について述べる。

Abstract: Tokyo metro maintains approximately 100 steel bridges except for tunnels. A number of bridges have been used for 40 years after the completion. They require suitable maintenance, as they are located in the high density transportation area. The understanding of the bridges structure is indispensable for their maintenance. However, it requires skills in reading traditional two-dimensional technical drawings, as the steel bridges are complicated structures that consist of many members such as trusses or floor beams. Thus, we studied a method of making 3D models aimed to maintain the steel bridges. In this reports, we described the method of making 3D models and systematic management of objects based on the result of making 3D models of a truss bridge in service.

キーワード：3次元モデル、維持管理、鋼鉄道橋、フリーソフト、ディティール

Keywords : three-dimensional model, maintenance, steel bridge, free-software, detail

1. はじめに

2007年6月に三重県で発生した木曽川大橋のトラス斜材の破断事故、2007年8月にミネソタ州ミネアポリス市で発生したミシシッピ川橋りょうの落橋事故など、近年鋼橋に多くの事故が発生している。

東京メトロが管理する土木構造物には、トンネル以外にも東西線の南砂町駅から西船橋駅間をはじめ、地上区間に鋼鉄道橋が100橋近くある。また、その多くの橋りょうは1960年代に架設され、架設後40年以上経過していることや、営業領域が東京都心部にあり高密度輸送であることなどから、これまで同様に適切な維持管理をしなければならない。

構造物の維持管理を行う際、その構造を把握することは重要であるが、鋼橋の場合その板組が複雑であることから、従来の2次元の図面で構造およびそのディティールまで理解するには熟練を要するのが現状である。また、発生している変状と構造の幾何条件との関係性を把握することも同様に熟練が必要である。

近年、3次元データの利活用¹⁾²⁾や鋼橋の維持管理に

おける3次元モデルの利用に関する研究³⁾⁴⁾がされているが、鋼橋の次元モデル作成に関する具体的な手法を示した事例は少ない。そこで、鋼鉄道橋の維持管理における技術者の理解を補完する支援ツールとしての3次元モデルの作成方法と作成事例について報告する。

2. コンセプト

東京メトロが管理する鋼鉄道橋には、下路トラス橋、下路ランガー橋、上路プレートガーダー、下路プレートガーダー、Iビーム、トラフガーダー、合成桁など多種多様な構造形式がある。これらの構造形式の内、開床式の下路トラス橋の3次元モデルを作成することとした。これは、主構や床組など橋りょうを構成する部材が多く構造が複雑であること、床組部分が他の開床式の桁と構造が似ており多くの鋼橋の構造を理解する助けとなるためである。

モデル作成のコンセプトは、以下のとおりである。

- ・3次元モデルは設計図に基づいて作成する。
- ・構成要素を個々に体系的に管理する。
- ・フリーあるいは安価なソフトウェアを利用する。

1：正会員 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 土木課 課長

(〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6, Tel: 03-3837-7230, E-mail: m.kawabata@tokyometro.jp)

2：正会員 株式会社コンポート 代表取締役 (〒191-0011 東京都日野市日野本町 3-8-3, E-mail: t.aruga@conport-4d.com)

3：東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 日比谷線工務区

4：東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 土木課

5：正会員 東京地下鉄株式会社 鉄道本部 工務部 土木課

3. 3次元モデル

(1) 利点

本研究において、3次元モデルは対象構造物の設計図に基づく寸法、部品等を用いて、その形状および構成を再現した3次元CADデータと定義した。3次元モデルを用いることで以下のような利点が見込まれる。

- ・ 3次元モデルは、ディスプレイに表示される立体のイメージである。このイメージを操作することにより対象構造物を様々な角度から見ることができ、鋼橋等の複雑な構造・ディティールを有する構造物を把握するための様々な情報を得ることができる。
- ・ 3次元モデルに、橋りょうの部材に生じた変状を記載することで、変状の発生状況と構造物の幾何学的条件を関連づけて考察することができる。

(2) 3次元モデルの現状

近年，AEC/FM分野 (architecture, engineering, construction and facility management)において3次元モデルの利用が活発である。建設分野においても3次元モデルを用いる利点は認識されつつあるものの、実務で3次元モデルが用いられる事例はいまだ少ない。

この要因として、①3次元モデルを使用することによる業務における明確な効果が判定できない、②3次元CADソフトの価格が高く、費用対効果の面で導入が消極的になる、③3次元CADの操作の習熟にある程度の時間を要する、などが考えられる。

(3) 3次元CADソフトの選定

本研究では、このような状況を解決するひとつの手段として、フリーの3次元CADソフトを用いることを試みた。そこで、グーグル株式会社から提供されているGoogle SketchUp⁵⁾（以下、SketchUp）に着目した。SketchUpは、無償版および有償版の二つの形態で提供されている3次元CADソフトある。

SketchUpは、インターフェイスが2次元CADに近く、アイコンで操作することができ、オブジェクト指向スクリプト言語「Ruby」による機能拡張をサポートし、無償版であっても営利目的の利用が可能⁵⁾といった特徴がある。

これにより、3次元CADソフトの導入コストを大幅に削減することが可能となり、一度に多くのソフトを供給できるため、3次元モデルを使用する機会が大幅に増えるものと思われる。また、SketchUpを用いて3次元CADの操作を練習し、その後、専門的、高機能の3次元CADへステップアップするといった利用法も考えられる。

なお、本文中にSketchUpの仕様にに基づく用語を使用している箇所があるが、用語の解説等は専門書に譲るものとして、本報告ではモデル作成において最低限必要と思われる場合のみ、用語の補足を行った。

4. モデル作成

(1) 対象橋りょう

3次元モデルの作成対象は、2 径間連続の開床式下路ワーレントラス構造の鋼鉄道橋で、スパンはそれぞれ 65.5mである。下路ワーレントラス構造は、上路プレートガーダー、下路プレートガーダー等に類する構造を有しており、今後様々な構造形式の橋りょうの3次元モデル作成に応用ができるためである。

(2) 橋りょうの構造

橋りょうは、一般的に図-1に示すように上部工、支承、下部工で構成される。上部工は、橋りょう上を通過する列車等の荷重を支える主桁（主構）、床組等で構成される。支承は、上部構造の荷重を支え、下部構造に伝達する部分をついて、支承の橋軸方向の可動の有無に応じて固定支承と可動支承に分けられる。下部工は、躯体と基礎で構成され、上部工からの荷重を強固な地盤に伝える役割をもつ。一般的に橋りょうの端部の下部工を橋台、中間にある下部工を橋脚という。

本研究で対象とした下路ワーレントラス構造の一般的な構成を**図-2**に示す。トラス橋とは、細長い部材を三角形に組んだ構造をもつ橋をいう。軽量で頑丈な構造であることから、河川横断など大きな支間を要する場合に適用されるが、骨組みで構成されるため構造部材が非常に多いという特徴がある。

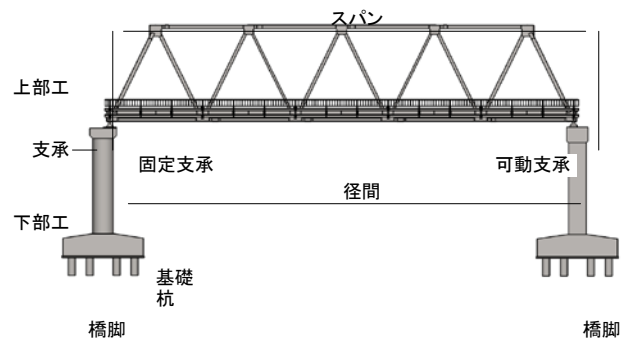


図-1 橋りょうの構成

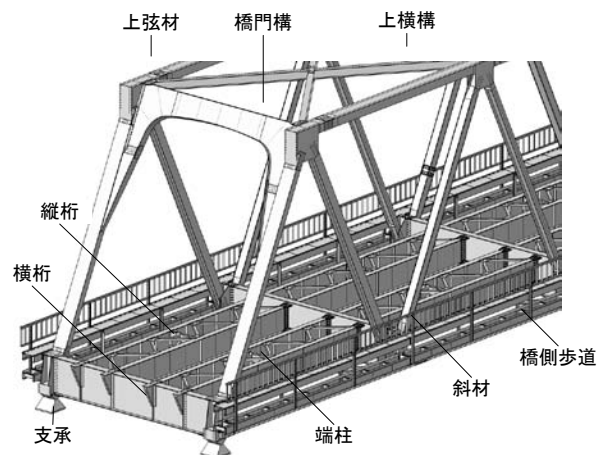


図-2 トラス橋の構成

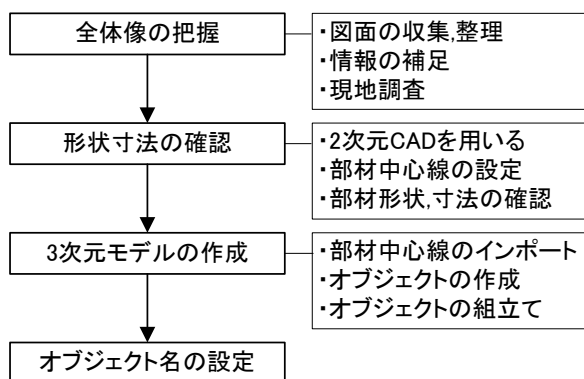


図-3 作成手順

(3) 作成手順

3次元モデルの作成は、設計図からデータを起こす、3次元スキャナにより実構造物から形状取得するなど、3次元モデルを作成する目的および予算に応じて様々な方法がある。3次元モデルを効率的に作成する様々なツールや手法は開発されているが、設計図に記載されている構成部材の形状寸法を正しく理解し、3次元モデルを組み上げることが基本であると考ええる。そこで本研究では、設計図に基づいて3次元モデルを作成する手順を構築するものとした。図-3に作成手順を示す。

まず、対象橋りょうの全体像を把握するため、図面を収集・整理した。設計当時、図面は手書きが主流であり、現在は劣化により一部の寸法や材料の文字がかすれて読み難い部分があったため、情報を補足するため調査報告書等も収集した。本研究では供用中の橋りょうをモデル化するため、できるだけ実構造物に近いモ

デルになるよう現地調査も行った。次に、橋りょう全体の形状・寸法を確認するため、図面から部材中心線のみを抽出し、2次元CADを用いて部材中心線図を作成した。部材中心線図は、3次元CADで部材を組み立てる際の基準となる。また、横断面図、側面図等を精査し、部材を構成する鋼材等の形状・寸法に矛盾がないか確認した。続いて、部材中心線図を3次元CADにインポートし、部材を構成するオブジェクトを個別に作成し、部材中心線図に沿ってオブジェクトを組み立てた。オブジェクトの組立てが完了した後、各オブジェクトにオブジェクトコードの設定を行った。

(4) 完成図

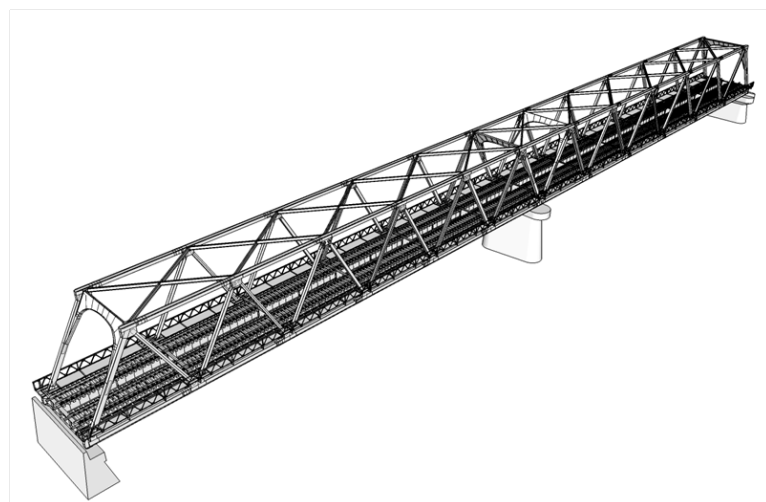
図-3に示す作成手順に準じて、AutoCAD LTおよびSketchUPを用い、図-4に示す3次元モデルを作成した。

5. モデル構造

(1) モデル構造

橋りょうの3次元モデルは、図-1に示す橋りょうの構成に準じて上部工、支承、下部工で構成するものとし、それぞれを本体構造物と附帯構造物に分類した。

本体構造物は、列車の荷重を支持し、列車運行に直接影響する構造物で、設計標準⁶⁾に記載されている設備を含む構造物と定義した。附帯設備は、橋りょうを維持するための設備、橋りょう上で作業する作業員の安全を確保する設備など、列車運行には直接影響しない構造物と定義した。3次元モデルを構成する最小の要素は、H鋼、I形鋼、L形鋼、鋼板等の鋼材およびリベット、ボルトとした。本研究では、これらの構成要素をオブジェクトと呼ぶものとした。



a) モデル全体



b) 軌道上から見た図

モデルデータ

File Size: 約 43MB

Component Instances: 約 78,000 個

Edges: 約 1,739,000 個

Faces: 約 613,000 個

図-4 完成図

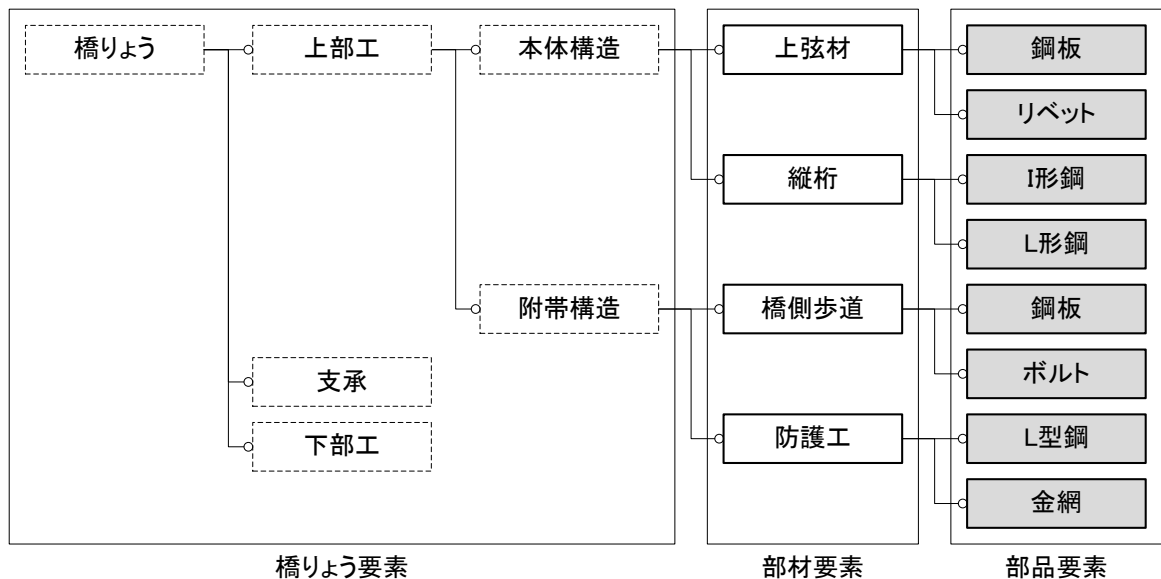


図-5 モデル構造

図-5に、3次元モデルを構成する上部工、支承、下部工のうち、代表として上部工に関するモデル構造の一部を抜粋して示す。橋りょうのモデル構造は、橋りょう要素、部材要素、部品要素に分類した。橋りょう要素は、橋りょうを構成する要素を示し、「橋りょう」を最上位として、橋りょうを構成する「上部工」、「支承」、「下部工」とし、上部工は「本体構造」、「附帯構造」で構成した。部材要素は、橋桁の構造部材を構成する要素を示し、「上弦材」、「縦桁」、「橋側歩道」および「防護工」などで構成した。部品要素は、橋桁の部材を構成する要素を示し、「鋼板」や「リベット」などで構成した。

3次元モデルを構成する最小要素であるH鋼、I型鋼等のオブジェクトは部品要素に分類される。部品要素の上位である部材要素は、部品要素の集合として表現するものとする。同様に、部材要素の上位である橋りょう要素は、部材要素の集合として表現するものとする。

(2) オブジェクトの管理

SketchUpでは、EdgeやSurfaceで作成したオブジェクトをComponent Instanceでグループ化し、橋りょう要素、部材要素、部品要素はComponent Instanceの階層構造で表現するものとした。

SketchUp による各要素の管理は、Component Instance の定義名とよばれる固有名称、および図-6に示すアウトライン表示機能を用いて行うものとした。アウトライン表示は、SketchUp 内にある Component Instance を階層として表示するツールである。これら機能を用いることにより図-5に示すモデル構成とほぼ同じ階層構造を SketchUp 内に構築することができる。また、アウトライン表示で要素を直接選択、あるいは定義名による検索機能を用いた選択が可能である。さらに、選択した要素を中心に拡大表示する機能もあることから、膨大な要素で構成される橋りょうモデルから効率的に特定の要素を検索することが可能となる。

(3) オブジェクトコード

a) 概要

橋りょうモデルを構成する個々のオブジェクトを体系的に管理するための、人間が識別可能な固有番号(以下、オブジェクトコード)を設定した。すべての橋りょうを体系的に管理するためには、オブジェクトコードはひとつのモデル内で固有であるだけでなく、事業者等の管理対象であるすべての橋りょうのモデルにおいて固有であることが保証されることが重要である。オブジェクトコードには、GUID などの識別子(擬似乱数)を用いる方法もあるが、オブジェクトコードによる部材の検索等を行うことを考慮して、意味付けされた記号により構成するものとした。

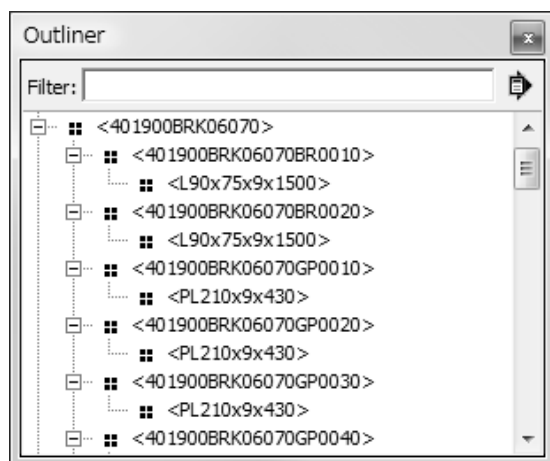


図-6 アウトライン表示

表-1 オブジェクトコードの設定例

301301STR02041BR0010								
3013	01	STR	02	04	1	BR	001	0
橋りよう番号	連数番号	部材コード	格点番号1	格点番号2	横断位置	要素コード	通し番号	変更履歴

表-2 部材コードの設定例

和名	英名	部材コード
上弦材	Upper Chord Member	UCM
上横構	Upper Lateral Bracing	ULB
斜材	Diagonal Member	DGM
橋門構	Portal	PTL
縦桁	String	STR
端横桁	End Floor Beam	EFB
中間横桁	Intermediate Floor Beam	IFB

表-3 要素コードの設定例

和名	英名	要素コード
フランジ	Flange Plate	FL
ウェブ	Web Plate	WP
添接板	Splice Plate	SP
補剛材	Stiffener	SF
対傾鋼	Bracing	BR
リベット	Rivet	RV
高力ボルト	Bolt	BL

表-1 に上部工に関するオブジェクトコードの作成例を示す。下部工についても同様のオブジェクトコードを設定した。

このようなオブジェクトコードを用いる利点は、オブジェクトコードから当該部材の位置を推定できる、維持管理の補修・補強等により部材を交換した際の履歴の管理ができる、などが挙げられる。

b) 橋りよう番号

橋りよう番号は、橋りように固有の番号(数字4桁)を示す。橋りよう番号は、路線番号(1桁)と各路線の基点からの順序(3桁)の組合せで構成した。

c) 連数番号

連数番号は橋りようを構成する桁の番号(数字2桁)で、スパンの数を示す。複数スパンの場合は起点方を「01」として終点方に向かって昇順に設定し、単スパンの場合は「00」を設定するものとした。

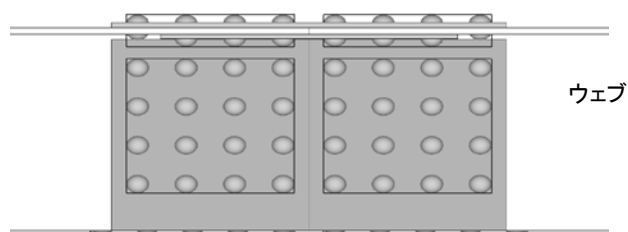


図-7 リベットオブジェクト

d) 部材コード

部材コードは、鋼橋設計資料⁷⁾を参考に上弦材、縦桁等の部材区分に関する名称の英語表記をアルファベット3文字で設定した。表-2 に部材コードの一部を示す。部材コードは、図-5 に示す部材要素を表す名称である。

e) 格点番号

格点番号は各部材の結節点の番号(数字2桁)を示す。格点番号は、橋りようの起点を「0」として終点方に向かって昇順に設定するものとした。

f) 横断位置

横断位置は、横断面方向の部材の位置(数字1桁)を示す。複線の軌道を支持する橋りようはA線側を「1」、B線側に向かって昇順に設定するものとし、A線とB線の間にあるいはどちらにも含まれないものは「0」と設定するものとした。

g) 要素コード

要素コードは、フランジ、ウェブ等の鋼材の役割に関する名称の英語表記をアルファベット2文字で設定した。表-3 に要素コードの一部を示す。要素コードは、図-5 に示す部品要素を表す名称である。

h) 要素番号

要素番号は、最終的に構成要素を固有化する番号(数字3桁)を示す。要素番号は、要素コードで示す部品要素ごとに通し番号で設定するものとした。

i) 変更履歴

変更履歴は、当該要素に関する補修や交換の履歴を設定する番号(数字1桁)を示す。設計図に基づく3次元モデルの場合に、作成した3次元モデルは竣功時の状態を表すものとして、変更履歴を「0」に設定するものとした。供用開始後に補修や交換等の措置が行われた場合、変更履歴の数字を措置の順番で増加させるものとした。

リベットおよびボルトは、図-7 に示すように部材の締結位置で要素を集合して一つのオブジェクトとした。複数あるボルト・リベットの集合のうち1本でも交換した場合は、当該オブジェクトに変更を行ったものとして変更履歴を設定するものとした。

(4) プロパティ

プロパティは、オブジェクトの形状や位置等の他に材質、強度、重量、価格等の付加的な情報を含めたオブジェクトの性質を表すデータをいう。オブジェクトの物理表現は、オブジェクトの形状や位置の情報で行われるため、オブジェクトの性質を表すプロパティは物理表現には直接関係しない。そのため、オブジェクトの作成とプロパティの設定を分離し、プロパティは必要に応じてオブジェクトに付加するものとした。

プロパティの設定に関しては、開削トンネルの維持管理を対象にした3次元モデルの利用に関する研究⁸⁾のなかで、SketchUpと外部データベースを関連づけるプログラムの提案がある。しかし、本研究は3次元モデルの作成手法の開発が目的であることから、外部データベースとのリンクを現時点では想定せず、オブジェクトのプロパティは、AttributeDictionaryクラスを用いて設定するものとした。

6. オブジェクトの表現方法

(1) オブジェクトの可視化レベル

a) 可視化レベル

モデル構造は、図-5に示すようオブジェクトの位置づけによりモデル全体を階層化したもので、5.モデル構造で述べたようにオブジェクトは部品要素と部材要素に分類した。部品要素は3次元CAD上ではH形鋼やボルトなどでそのものを目で見ることができるオブジェクトであるが、目で見えるオブジェクトが部品要素というよりも、部品要素に目で見えるEdgeやSurfaceを割り当てるという方が正確である。たとえば、六角ボルトの部品要素が、ボルトとして規定されている完全な形状寸法として作図されていなくても、六角柱であればボルトとして認識することができる。

3次元モデルは、橋りょうを構成するすべての要素が正確な形状と寸法で再現されていることが理想的である。一方、精度を維持すると要素を構成するためのEdgeやSurfaceは莫大な数になり、その結果、ファイルサイズが肥大化し、ディスプレイ上の描画時間も遅くなる。

3次元モデルを実際の業務内で使用するためには、できるだけ現状のハードウェアの性能でストレスのない操作が求められ、3次元モデルの精度と操作性の妥協が必要になる。

そこで本研究では、橋りょうの維持管理の観点から、列車の運行に直接影響を与える部材とそれ以外の部材でオブジェクトの可視化精度（以下、可視化レベル）を分けることを試みた。可視化レベルは、5.モデル構造で示した本体構造物と附帯構造物に対して定めるものとし、表-4に可視化レベルの設定例、表-5に可視化レベルの適用を示す。

表-4 可視化レベルの設定

Level	概要	作図例
1	オブジェクトの形状が概ね把握できる程度で、オブジェクトの外形の寸法は正確である。	
2	オブジェクトのパーツ構成が概ね把握できる程度で、各パーツの外形の寸法は正確である。	
3	オブジェクトを構成するすべてのパーツが描画されていて、各パーツの外形の寸法は正確である。	

表-5 可視化レベルの適用

分類	適用レベル
本体構造物	レベル3とする。
附帯構造物	レベル1以上とし、附帯構造粒が本体構造物に接続する箇所はレベル2以上とする。

b) 可視化レベルの識別

可視化レベルは、オブジェクトコードで識別できるように、可視化レベルに応じて要素コードを設定するものとした。可視化レベル3のオブジェクトは、5.モデル構造で定義した要素コードをそのまま用いる。可視化レベル2以下のオブジェクトコードの要素コードは、可視化レベル2の場合は「x2」、可視化レベル1の場合は「x1」とするものとした。

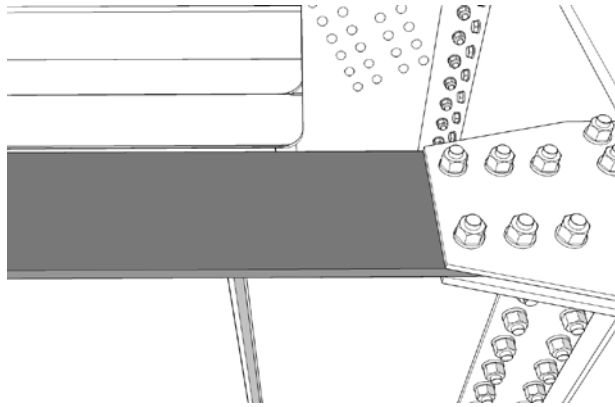
オブジェクトの見た目だけでは可視化レベルの識別は煩雑であり、また、膨大なオブジェクトの中から特定の可視化レベルのオブジェクトを探すのも困難である。そのため、オブジェクトコードの要素コードで可視化レベルを識別するものとした。

c) 可視化レベルの置換え

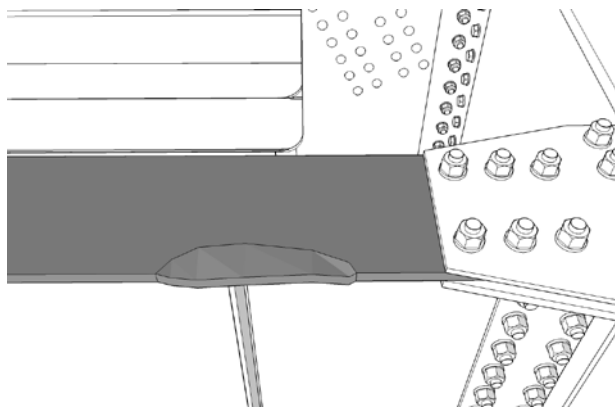
可視化レベルは、図-7に示した部品要素内におけるオブジェクトの作成方法の違いであり、可視化レベルの相違はモデル構造に直接影響しない。そのため、可視化レベル1のオブジェクトを、可視化レベル3のオブジェクトに置換えることは比較的容易である。

(2) 変状の表現

部材に生じた亀裂、塗装の剥離等の変状を3次元モデルに再現すれば、橋りょうのディティール、すなわち構造の力学的、幾何学的条件等と変状の関係性を把握することができる。しかし、様々な変状のうち、亀裂や変形などは3次元モデルとして表現しやすいが、塗装の剥離や粉塵の堆積など、3次元モデルでは表現し難いものもある。そこで、変状の表現は、3次元モデル自体の維持を考慮して、変状の種類および構造物維持管理標準⁹⁾で示される判定に応じて次の2つの表現方法を選択するものとした。変状の詳細については、5.モデル構造(4)に示したプロパティ管理の手法により、当該オブジェクトに設定するものとした。



a) 変状の有無のみの表現の作図例



b) 詳細な表現の作図例

図-8 変状の表現

a) 変状の有無のみの表現

橋りょうで確認された変状で、直ちに橋りょうの安全性に影響はないと判断した変状は、当該部材の変状の有無のみを示すものとした。変状の有無のみの表現は、具体的な変状を3次元モデル化せず、変状が存在していることを示すためオブジェクトのマテリアルを用いて着色し、他の部材と区別するものとした。図-8aは、縦桁のフランジに変状が確認され、変状の有無のみの表現で、変状の存在があることを示した例を示す。

b) 詳細な表現

変状のうち、変状の種類が亀裂および部材の変形で、構造の安全性に与える影響が大きい、あるいは継続的な進展の確認が必要であると判定された場合に、当該変状を詳細な3次元モデルで表現するものとした。

図-8b)に、縦桁のフランジに変形がある場合を想定した作図例を示す。図-8b)では、フランジの変形を具体的にモデル化した。詳細な図で表現しているため、変形の位置や形状を見るだけで把握できる。

なお、モデル全体のなかから当該変状を探しやすくするために、a)変状の有無のみの表現と同様に着色のためのマテリアルを設定した。

(3) 補修部材の管理

橋りょうは、供用期間中に部材の補修、補強等の措置により部材そのものが交換となることがある。このような措置が行われた際には3次元モデルにおいても当該部材の置換えが必要となる。モデル構造における部材の置換えは、既存のオブジェクトに置換えられる新規のオブジェクトを作成し、オブジェクトを置換え、オブジェクトコードの変更履歴の設定で識別することができる。

補修した部材のオブジェクトを置き換えると既存のオブジェクトと新規オブジェクトが重なるが、既存のオブジェクトは変更履歴として保存するため消去しないものとした。なお、補修日時等の時系列の識別は、新規オブジェクトに補修日を名前としたレイヤーを割り当て、さらに、プロパティとして5.モデル構造に示す方法で当該部材に設定するものとした。

7. 作成期間

3次元モデルを業務で用いるためには、その作成時間も重要な要件である。本研究で示した、2径間の下路ワーレントラス橋りょうのモデル作成に要した時間は、20日程度である。この期間は、設計図の整理、寸法の確認、モデルの作成、オブジェクトコードの設定等を含んだものである。

8. 3次元モデル作成の留意点

本研究では、橋りょうの維持管理を目的とした3次元モデルの作成の実例について示した。3次元モデルを作成する際の代表的と思われる留意点を示す。

a) 全体像の把握

3次元モデルは2次元の設計図に比べて立体的で具体的なイメージとしての情報を得ることができる。しかし作成に当たっては、対象橋りょうの全体像を把握し、3次元モデルとしての完成イメージを予め用意する必要がある。これは2次元の設計図から頭の中で立体イメージを構築する作業と同じである。

この作業の要点は、設計図の中にある矛盾点を洗い出し、3次元モデルの作成作業を効率的に行うための段取りを考えることにある。設計図の中には同じ部材の寸法あるいは組合せ方法が、横断面図と縦断面図で一致しない場合がある。このような矛盾点をあらかじめ洗い出し、場合によっては現場調査等の対応を取らなければならない。

一方、鋼製橋りょうの様な規格化された材料を用いる構造物は、中間横桁や中間縦桁等のように同じ部材が繰り返し用いられることも多い。このような繰り返しの部材を把握することで3次元モデルの作成を効率的に行うことができる。

b) 形状寸法の確認

設計図に記載されている対象橋りょうの全体および部分の形状および寸法を、設計図上で十分に確認する必要がある。土木構造物は機械部品や建築意匠等と比べて曲線形状が少なく単純な形状であり、3次元モデルの作成は簡単だろうと認識されることがあるが、鉄道や道路は縦断線形や平面線形が厳密に定義されており、個々の部材には線形を考慮した形状と配置が要求されるため、見た目よりも複雑な構造である。そのため、構造物を構成する個々の部材の形状や配置、特に縦横断の接続部の形状および寸法を整理する必要がある。

設計図は投影法で作成されており、構造物が曲線形状を有している場合などは、3次元モデルの部材の寸法と設計図の寸法が一致しない場合もあるので注意が必要である。

c) 2次元 CAD データの精度等

本研究では、紙の設計図から3次元モデルを作成したが、2次元CADで作成されたデータを用いた方が効率的に3次元モデルを作成できる場合が多い。しかし、2次元CADのデータの状況によっては思わぬ不具合や手間がかかることがある。そこで、2次元CADを用いて3次元CADを作成する場合の代表的な留意点を述べる。

① 2次元CADで作成されたデータの寸法値の精度を確認する。たとえば、ある構造物材について設計図として示されている寸法値と、その構造物材の2次元CAD上のデータの寸法が異なる場合がある。CAD上で小数点以下6桁あるいは8桁まで計算された線形座標から基準線を用いて構造物を作図すると、構造物を示すCADのオブジェクトの精度は、線形座標と同等になるが、設計図の寸法値はミリメートル単位であるため、自動的に小数点第1位を四捨五入した整数に設定されることにより、構造物を示すCADのオブジェクトと設計図の寸法値の間に誤差が生じるためである。曲線上の構造物も寸法値の誤差が生じている可能性があるため、注意が必要である。

② 2次元CAD上で面を構成する線分オブジェクトの端点が閉じていることを確認する。3次元CADに2次元CADのデータをインポートして3次元モデルを作成する場合、2次元CADの作成方法によっては、3次元化に必要な面が作成されないことがある。これは、2次元CADで面を作成した際に線分オブジェクトの端部処理を適切に処理せず、画面上では線分オブジェクトの端部が閉じているように見えても、2次元CADのデータとしては線分オブジェクトが閉じてないためである。3次元CADにインポートする前に、2次元CAD上で線分オブジェクトの端部処理を適切に処理しておく必要がある。

思わぬ不具合を回避するためにも、2次元CADデータの状況を十分に確認する必要がある。

9. まとめ

本報告では、橋りょうの維持管理を目的とした3次元モデルの作成方法について示した。オブジェクト自体の作図方法は、ソフトウェアの操作法を解説する専門書に譲るが、3次元CAD上のデータを、橋りょうモデルとして管理する具体的な手法を示したと考える。

使用したソフトは、フリーあるいは安価な3次元CADであり、これまで導入コスト等の関係から3次元モデルの作成に踏み込めなかった事業者や技術者が、3次元モデルを作成するひとつの機会となると考える。本研究で示した作成方法は、橋りょうに限らず様々な構造物の3次元モデルの作成に役立つものと考えている。

今後、3次元モデルの作成や管理について、今以上に多くの研究がなされ、実務においても3次元モデルを使用する機会が増えることは想像に難くない。そのような流れの中で、今はまだ考え付かない3次元モデルの様々な利用法が現れるものと思われる。本研究が、土木分野の実務において3次元モデルを作成する場合の一助となれば幸いである。

今後の課題は、モデル作成時間の短縮、3次元モデルのデータを恒久的に保存するためのIFCなどのデータ形式への準拠、計測データと3次元モデルの連携等が挙げられる。

参考文献

- 1) 蒔苗耕司: 土木における情報の意義と役割, 土木学会論文集 F, Vol.64 No.2, pp.148-162, 2008 年 6 月
- 2) 青山憲明, 上坂克己, 平田吉男: 3 次元 CAD データの活用及びデータ連携の効果と課題, 土木情報利用技術講演集, Vol.30, pp.1-4, 2005 年 10 月
- 3) 矢吹信喜, 李占涛: 日仏橋りょう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.59-66, 2006 年 12 月.
- 4) 本郷延悦, 石村久治: 橋りょう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.12, pp.11-20, 2003 年 10 月.
- 5) Google Sketchup : < <http://sketchup.google.com/intl/ja/>, (アクセス日 2010.5)
- 6) 財団法人鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物, 2006 年 7 月.
- 7) 橋りょう研究会: 鋼橋設計資料(第五版), 1995 年 2 月.
- 8) 新井泰, 大石敬司, 蒲地秀矢, 有賀貴志, 瀧浦猛郎: 開削トンネルの維持管理に資する情報の収集, 活用に関する検討, トンネル工学報告集, Vol.18, pp.267-274, 2008 年 11 月
- 9) 財団法人鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編) 鋼・合成構造物, 2007 年 1 月.

(2010. 5. 28 受付)