

歴史的橋梁の造形分析への 3D-CAD利用の可能性

POSSIBILITY OF UTILITY OF 3D-CAD FOR ANALYZATION THE SHAPE OF HISTORIC BRIDGE

川崎 仁美

Hitomi KAWASAKI

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) has been introduced CIM (Construction Information Modelling/Management) since 2012. After the introduction of CIM, 3D-CAD is utilized positively in various projects. However, the utilization of 3D-CAD in CIM business is only limited to problem-solving and consensus forming. Nevertheless, result from 3D-CAD application is the generation of knowledge through the model building process. In addition to the existing problem, there is an issue where students have no originality in education. In this study, the author analyzes shape of historic bridges with 3D-CAD application. The author considers the possibility of 3D-CAD from this analysis. Furthermore, comparing analysis results of 3D-CAD's effect on learning, the author considers utility of 3D-CAD in education.

Key Words : 3D-CAD, analyzation the shape, education, historic bridge

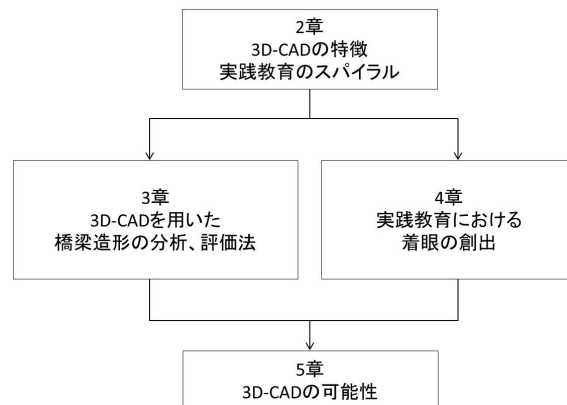
1. はじめに

平成24年度に国土交通省により、CIM (Construction Information Modeling/Management) が提唱された。3次元モデルを建設ライフサイクルの各段階で有効に活用し、事業効率化を図ることが目的とされている。これにより現在、さまざまな現場において3D-CADが活発に活用されている。しかし、CIM事業における3D-CADの活用は課題解決や合意形成のための活用に留まっている。3D-CADを活用することで、モデル作成後の活用はもちろん、モデル作成の過程で得られる知識の創出もある。そこで本研究では、歴史的橋梁の造形分析へ3D-CADを活用する。そして3D-CADを活用して橋梁造形の分析、評価をおこなうことで、3D-CADの可能性について検討する。

また、学生は独自の着眼を持った学習をおこなっていないといった教育の現状がある。3D-CADの活用には、モデル作成を通して独自の着眼が得られるといった可能性を秘めている。そこで、学習の過程に3D-CADを活用した場合と活用しない場合を比較することで、造形分析の結果の違いを明らかにする。これにより、理解促進のためのツールとして3D-CADを活用することの有用性について検討する。以上より本研究では、歴史的橋梁の造形分析へ3D-CADを活用し、3D-CADの可能性および学習

過程における活用の有用性を明らかにすることを目的とする。

なお第2章では、本研究をおこなう発端となった講義概要、3D-CADの特徴と課題、および理想の学習過程について示す。第3章では、詳細度により分類した3段階のモデルを通して造形分析をおこなう。さらにCAD的評価項目により、段階ごとに各橋梁を評価する。第4章では、学生のレポート分析を通して現状の学習過程について分析する。第5章では、3章および4章から得られた分析結果を基に、3D-CADの可能性および学習過程への3D-CAD活用の有用性について考察する。本論文の構成を、図-1に示す。



2. 研究の背景

(1) 構造設計論

a) 講義概要

熊本大学大学院自然科学研究科修士前期課程1年次に開講される講義に、構造設計論がある。本講義では、歴史を俯瞰する意義および構造を語る着眼の獲得が目的とされている。講義内容としては、全15回の講義を通してフランス橋梁史（技術者と作品）および現代の橋梁デザイナーの作品について学ぶ。また毎回の講義後に課せられる課題を通して、独創性の由来について考える。課題では毎講義1橋梁が示され、独自の着眼を持って各橋梁の造形について論じていく。また本講義では、敢えて海外の橋梁が課題とされている。加えて主要な橋梁が既に存在していない場合もあるため、現存するものに限って課題橋梁とされている。海外の橋梁について学習することで、日本の橋梁設計の課題についても講義を通して検討、把握していく。

今回課題として示された橋梁および、各橋梁のデザイナーを表-1に示す。前述したとおり課題橋梁は海外の橋梁であり、実際に現地で見ることが難しい橋梁となっている。そのため学生は、ウェブ上の地図や写真のみを用いて造形を論じなければならない。すなわち、存在しない橋梁の造形分析と同一の方法で各橋梁の造形を論じていくこととなる。

b) 参考資料

各課題橋梁に対して学生は主に、ウェブ上の①地図（主にGoogleMap¹⁾）、②写真・図面、③論文などの文章の3つを活用する。まず地図を用いて周辺の状況を確認し、その後写真を少なくとも3枚確認することで各橋梁の造形を把握する。さらに参考となる論文などがある場合は目を通すことで、さらなる知識の蓄積をおこなう。

しかし実際には、写真や図面などは古い橋梁であると保管されているものは少なく、一般的には参考資料として重要視されない。また写真を用いる場合でも、全体像の把握に活用するのみで、細部の形状や複数視点からの形状の把握には活用されない。すなわち、一般的には①地図と③論文などの文章の2つを活用して論じていくこととなる。

一方、CADとは「一般にはコンピュータを利用した設計技術あるいは作業をいうが、狭義にはコンピュータを利用した図面作成をさす」²⁾と定義されている。すなわち3D-CADを用いることは、作成された図面を基に3次元モデルの作成をおこなうことといえる。したがって3D-CADを用いて既設構造物の造形を論じる際には、写真や図面などが必須となる。各種図面や橋梁を正面から見た写真がなければ、モデルを作成することは難しい。また、1枚の写真だけでは作成することができず、さま

表-1 課題橋梁図-1 論文の構成

	橋梁名	デザイナー
1	シャパンヌ橋	Emiland-Marie Gauthey
2	コンコルド橋	Jean-Rodolphe Perronet
3	フルク橋	Marc Seguin
4	ガラビ橋	Alexandre Gustave Eiffel
5	リソルジメント橋	François Hennebique
6	トゥーバン高架橋	Harel de La Noe
7	カタラン橋	Paul Séjourné
8	サンミッシェル橋	Eugène Freyssinet
9	アラミージョ橋	Santiago Calatrava
10	イゼール橋	Alain Spielmann
11	ソルフェリーノ橋	Marc Mimran
12	クノッケ橋	Laurent Ney
13	ミヨー高架橋	

ざまな視点からの写真を参考にする必要がある。そのため、3D-CADを用いて橋梁の造形を論じることは、一般的に疎かになりがち写真や図面などに重点をおいて論じることとなる。これにより、他とは異なる独自の着眼を得ることが可能となる。

(2) 3D-CADの特徴

3D-CADには、以下の特徴がある。

a) 操作の容易性³⁾

3D-CADは、図形の編集が容易である。直線で太さが同一の線を描くことが誰でも可能であり、高度な技術が必要としない。さらに操作に失敗しても容易に編集することができるため、誰でも手軽に手に付けることができる。このように、3D-CADは誰もが手軽に活用できるツールであるといえる。

b) 任意面の把握

前述した通り、3D-CADで橋梁モデルを作成するには断面図や正面図のような写真、図面が必要となる。そのためモデルの作成にあたり、ある面の把握を必ずおこなう。また3D-CADで作成した橋梁モデルは、任意点で切断することが可能である。これにより、任意点における断面の確認をおこなうことができる。一方で歴史的な橋梁であると、図面などの資料が十分に残されていない。そのため写真より橋梁モデルを作成し、作成した橋梁モデルを用いることで任意断面の把握が可能となる。現在構造を検討、分析する道具としては、図面が主となっている。そのため任意面の確認ができる3D-CADは、構造を把握するのに適しているといえる。

c) 視点の自由設定

3D-CADでは、利用者目線や施工者目線、橋梁内部からの目線、鳥目線などさまざまな視点を設定することができる。これにより、確認をおこないたい複数の視点から、自由に橋梁を把握することが可能となる。実際に橋梁を渡る際には、橋桁や橋脚の形状、装飾などを把握することは難しい。しかし、3D-CADでは普段目にすることのできない箇所や特に見たい箇所に自由に視点を設定し、確認することが可能である。すなわち、構造設計論の講義において課題とされているような海外の橋梁においても、現地に行かずとも自由に観察ができるといえる。

d) データ管理³⁾

図面が図形データベースとして記録されるため、効率的な管理運用が可能となる。歴史的な橋梁については、図面や写真が十分に保管されていない場合が多い。しかし、3D-CADを活用して作成したモデルを保管しておくことで、図面や写真の役割を果たせる。また、3D-CADのモデルは1つのデータであり、保管に場所を取らない。その上デジタルデータとして保管されるため、検討過程において生じた多数のデータを一括で保管することができる。さらに、紙媒体と比較して長期保存が可能である。これより、資料保管の面でも活用が図れるといえる。

以上述べてきたような特徴により、3D-CADは橋梁の造形を分析するのに適したツールであるといえる。さらに、保管したデータは、資料としての活用といった可能性があることもわかる。

(3) 3D-CAD活用の現状

国土交通省は平成24年度にCIM (Construction Information Modeling/Management) を提唱した。CIMとは、「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」⁴⁾と定義されている。そのため、さまざまな現場の調査段階から維持管理段階までの各段階において、活発に3D-CADが活用されている。橋梁に関するものについては、伊藤ら⁵⁾により設計段階における構造的課題解決や合意形成のための活用がおこなわれている。また、新設構造物に対してのみでなく、既設構造物に対する課題解決のための活用もおこなわれている。森ら⁶⁾による維持管理段階でのCIMの活用研究や、井出ら⁷⁾による3次元測定の構造物設計への応用などもある。3D-CADの活用により、既設構造物の点検計画や点検結果の分析、竣工時の情報確認がおこなわれている。このように、さまざまな現場において3D-CADが活用されているものの、これらは課題解決のための活用にすぎない。

また、課題解決への活用のみでなく橋梁造形分析への活用もおこなわれている。たとえば松井ら⁸⁾により橋梁形態の特徴とそれらから人々が感じ取る感覚の関係に関する研究がおこなわれている。さらに、杉山ら⁹⁾により橋梁景観の定量的評価についての検討がおこなわれている。このように、橋梁造形に関して3D-CADを活用した研究も進められているが、これらは造形とそれらから人々が感じ取る感覚に関するものであり、利用者目線での分析に限られている。すなわち、3D-CADを用いた橋梁造形の分析、評価はおこなわれていない。

そこで、本研究では橋梁造形の分析をおこなうにあたり3D-CADを活用し、造形を分類、分析する。さらに、その過程における分析内容によって3D-CADの可能性について整理する。

(4) 実践教育のスパイラル

学習過程の流れとして、図-2に示す実践教育のスパイラル¹⁰⁾がある。図-2は、身体の2つの状態を図化したものと、臨床の知と科学の知の構成原理を図化したものを重ね合わせた図である。縦軸が身体の2つの状態であり、上部が受動的な場、下部が能動的な場となっている。また横軸が世界の2つの構成原理であり、右部が明示知の存在する場、左部が暗黙知の存在する場となっている。詳細については文献10)を参照されたい。

以下、学生の学習過程を実践教育のスパイラルより示す。ある事柄の検討をおこなうにあたり、学生はまず観察場において現実の世界に対して受動的に対峙し、さまざまな事柄の観察をおこなう。観察場で得た知識を基にどのような検討をおこなっていくかを考慮する際、得た知識の一般化をおこなう。次に学習場では、既存の知識を取り込む。取り込んだ既存の知識および一般化した知識をもとに再度検討をおこない、それらを整理したものを応用場において出力する。さらに創出場において、何

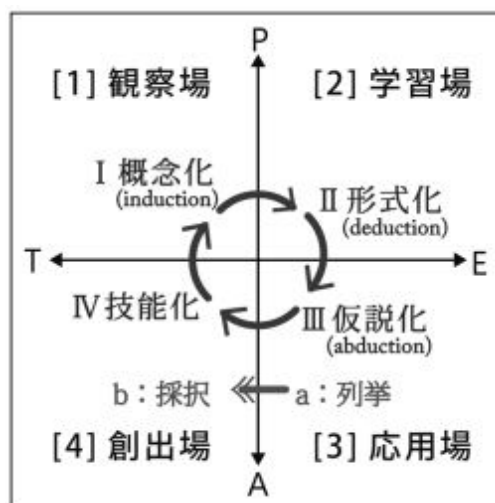


図-2 4つの場と4つの過程（文献10）より転載）

らかの成果（口頭発表，論文投稿など）を世に出す．創出場において世に出した成果により得られた疑問を，再度追及していくことで再度観察場に戻りスパイラルを1周回することが可能となる．

しかし，実際の学習の場においてはスパイラルが1周回されていることは少ない．学習した内容を基に与えられた数式を解くといった受動と能動の反復や，論文作成において読む人に言いたいことがきちんと伝わる図表が作成されているかといった，明示知と暗黙知の反復がおこなわれているのみである．前述したとおり学習の場においてはスパイラルを1周回することが重要であり，そのためにも学生は自分で課題を発見し自分で考えることが大切であるとされている．

また本稿では，観察場から学習場に移る際に一般化した知識を着眼点と呼ぶことにする．すなわち本稿では，着眼点を「ある局面で用いる一般化された評価基準」と定義する．この着眼点をもとに，橋梁造形の分析をおこなっていく．

以上の背景より，本研究では造形分析へ3D-CADを活用し，橋梁造形をCAD的に分析，評価する．さらに，造形分析を通して3D-CADの可能性について検討する．また，実践教育のスパイラルを1周回するためのツールとして3D-CADを適用し，3D-CADによる学習の深化についても検討する．

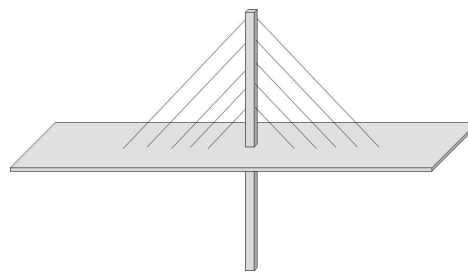
3. 3D-CADの活用による橋梁造形の評価法

2章で述べてきたような特徴が3D-CADにはある．そこで，橋梁の造形分析に3D-CADを適用することでさらなる可能性について検討する．本章では，3D-CADを用いて橋梁の造形分析をおこない，その過程で得られた造形に関するCAD的評価項目やCAD的分類を示す．さらに，13橋梁をCAD的評価項目により評価をおこなった結果を示す．

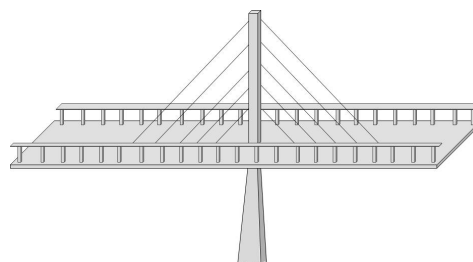
(1) 3段階のモデル

3D-CADを活用するにあたり，図-3に示すようにモデルの段階として3段階を設けた．

1段階目では図-3 a)に示すように，写真や図面から読み取れるおおよその形状をAutodesk社¹¹⁾のAutoCAD Civil3D2016を用いて作成した．作成にあたりまず，橋梁の架かる周辺状況の確認のためにGoogleMapを活用した．どのような土地に架かっている橋梁で，どのような役割を果たしているのかなどの把握をおこなった．このように周辺状況をある程度理解した上で，モデルを作成する．モデルの作成に関しては，まず全体像の把握をおこなう



a) 第1段階（形状のみ）



b) 第2段階（細部形状）



c) 第3段階（地形，陰影，色彩を含む）

図-3 モデルの段階分け

ためにウェブ上で正面図および平面図の収集をおこなった．13橋梁の多くが歴史的な橋梁であり，図面がウェブ上に残されているものは少数であった．そのため図面を得られるものについては図面を活用し，その他は正面から撮られた写真や地図上から得た平面図を活用した．さらに全長や幅員といった主な数値を把握後，収集した正面図および平面図を参照して，全体像が把握できる程度にモデルを作成した．その後，写真から把握できる程度で装飾の作成もおこなった．高さやスパンなどの数値が明確でないものは，論文などの文章に目を通すことで確認した．さらに文章により，形状の変遷やその経緯など歴史的な内容についてもある程度理解した上でモデルの作成をおこなった．

2段階目では図-3 b)に示すように，さらに写真の検索やGoogleMapによる探索をおこない，主塔や橋脚形状，高欄のような細部の作りこみをおこなった．GoogleMapのストリートビューや論文中の図面などを活用し，1段階目で着目しなかった点など，より詳細に着目することが目的である．ただし第2段階では，1段階目のモデルの形状に関してのみ作り込みをおこない，装飾や色彩については変更を加えていない．

3段階目では図-3 c)に示すように、Autodesk社のInfraworks360を用いて地形や航空写真を取得後、地形上に2段階目で作成した橋梁モデルを配置した。3段階目のモデルには、地形、航空写真、周辺構造物、周辺道路、さらに太陽による陰影が追加されている。すなわち、橋梁自体の形状に関しては変更を加えておらず、色彩や陰影に関してのみ変更を加えた。これにより2段階目までは橋梁のみであったのを、周辺環境を含んだ分析へと変化させている。

ここで、各段階のモデルの違いを詳細度（以下、LOD：Level Of Detail）を用いて示す。LODについては、BIM Formによる定義¹²⁾を参考に作成された、CIMにおける各工種統一的な詳細度の定義¹³⁾を参照する。区分については、AIA（米国建築家協会）による区分を参考としている。LODは、100～500までの5段階で区分されている。今回作成した1段階目のモデルは、LOD100で示される線や記号のような単純形状を用いて作成されたモデルよりは詳細に作成した。おおよそ橋梁の構造形式がわかる程度のモデルであるため、1段階目のモデルはLOD200程度のモデルとする。2段階目のモデルは、接続部などを除いて高欄や装飾、主塔の特異形状など、外形形状を細部まで再現したモデルであるため、LOD300程度のモデルとする。さらに3段階目のモデルは、接続部などの細部構造や配筋などすべての部材を正確に表現したモデルではないが、位置を与え、地形や陰影などにより現実を再現している。そこで3段階目のモデルをLOD500程度のモデルとする。

以上3段階のモデルについて、各段階ごとに評価項目を定め、造形の分析、評価をおこなう。

(3) オブジェクトと視点の関係

3D-CADを活用して橋梁造形を分析することで、多様なオブジェクト（以下、OT）と視点（以下、VP）が生じる。そのため、オブジェクトと視点の関係について整理する。前述したようにモデルを3段階に分類することで、オブジェクトとして構造OTと周辺OTの2種類があることがわかる。また、構造OTは橋梁の全体像を示す形状OTと装飾などの細部を示す細部OTに細分類される。さらに、周辺OTは地形OTと周辺構造物などの付加OTに細分類される。今回作成した第1段階のモデルは形状OTということができ、第2段階のモデルは構造OTであるといえる。また、構造OTと周辺OTを組み合わせたものを統合OTとすると、第3段階のモデルは統合OTであるといえる。

さらに、OTとVPの関係を整理する際の指標としては、特異点を用いる。特異点とは、小林らにより「日常生活実感として、ある点の近傍で最もよく見える視点場」

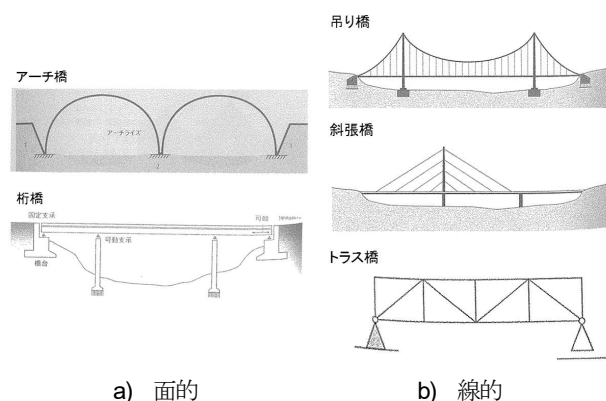


図-4 正面図の造形（文献16）より転載）

と定義されている¹⁴⁾。さらに、小林らは特異点を風景点、関係点、造形点、細部点、文脈点の5つに分類している¹⁵⁾。風景点とは橋のある風景が最も美しく見える点、関係点とは近接する構造物同士の関係において美しく見える点、造形点とは造形だけが美しく見える点、細部点とは橋の細部が美しく見える点である。細部点から風景点に至るまで、視野が広がっていったということである。また文脈点とは、歴史など知っていることで見えてくる点である。ここで、風景点および関係点は周辺を含んだもの、造形点および細部点は橋梁自身によるものと大きく分類できる。前述したOTを用いてこれらを示すと、以下のようにいえる。細部点は細部OTが見える視点、造形点は形状OTが見える視点、関係点は構造OTと周辺OTの一部が見える視点、風景点は構造OTと周辺OTのすべてが見える視点である。

以上のような特異点も活用して、橋梁造形の分析をおこなっていく。以下、段階ごとに詳述していく。

(2) 第1段階

各橋梁の作成したモデルについては、付録を参照されたい。

a) 評価項目

ここでは橋梁造形をCAD的に分析、評価をおこなうにあたり、正面図の造形、細部の造形、卓越した視点からの造形の3点を評価項目として設定した。

正面図の造形として、橋梁を3D-CADでの作成方法により3分類にした。橋梁の3D-CADによる作成方法としては面からできるものと線からできるものの2種類がある。また橋梁の種類としては文献16)を参照とし、アーチ橋、桁橋、吊り橋、斜張橋、トラス橋の5種類とする。これら5種類の橋梁を3D-CADの作成要領により、図-4)に示すように分類した。図-4 a)に示すように、アーチ橋や桁橋など正面図をなぞることで作成した面を3次元化することで、おおよそその外形を作成できる面的なもの、図-4 b)に示すように、吊り橋や斜張橋など正面図から形状を把握できるものの正面図をなぞり1つ1つの部材を3次元化

することで作成していく線的なもの、そして面的でも線的なでもないその他の3分類である。以上の3分類より、分析、評価する。橋梁の全体像については、正面図の造形から述べることができる。

次に細部の造形として、開口部や水切りなどの付加機能の数、影の創出や周辺との調和のための装飾の数、橋梁を構成する部材の数の3点より分析、評価する。開口部の曲率の違いや主塔形状の違いなど、細部まで見ることによって各橋梁の特徴を把握することができる。すなわち各橋梁の特徴については、細部の造形から述べるができる。

さらに卓越した視点からの造形として、視点の数により分析、評価をおこなう。2章2節で述べたように3D-CADの特徴として、視点の自由設定がある。これにより、実際の現場では見ることのできない視点から橋梁を眺めることや、桁裏の把握などをおこなうことが可能となる。分析をおこなう際には、卓越した視点として、利用者、施工者、特異点の3つを設定する。利用者目線とは実際に現地に行かなければわからない視点であり、施工者目線とは完成した現状では見ることのできない視点である。視点を変えても見えが変化しない橋梁や、視点を変えることで見えが変化する橋梁など様々である。そのため、視点変化すなわち卓越した視点より造形を述べるができる。

以上3点の評価項目より、以下各橋梁の分析、評価をおこなっていく。

b) 造形分析

ここで作成したモデルを付図A1-1～付図A1-13に示す。以下、各評価項目より造形分析をおこなう。

正面図の造形として図-4に示すように分類することで、橋梁の構成部材を把握することにもつながった。モデル作成の過程で、フルク橋は全体的には線的な造形をしているものの、主塔・側塔については面的な造形をしていることがわかった。面的な造形をしている橋梁は、石材やコンクリートにより構成されている橋梁であるため、主塔・側塔についても同様の素材により構成されていることがわかる。

また細部の造形について、13橋梁のモデルを比較すると、正面図が線的な造形をしている橋梁よりも、面的な造形をしている橋梁の方が装飾が多いことがわかる。また、ガラビ橋やトウパン高架橋は正面図の造形は線的であり部材数が多い。このような橋梁は、外観よりも橋梁内の構造など細部の造形に特徴があるといえる。これは、付図A1-4や付図A1-6に示すように施工者目線として、橋梁内に視点を設定し構造を把握している点からいえる。他の橋梁は、施工者目線として橋脚付近からのものを示している。しかしガラビ橋やトウパン高架橋については、橋脚付近からではなく橋梁内部を施工者目線と

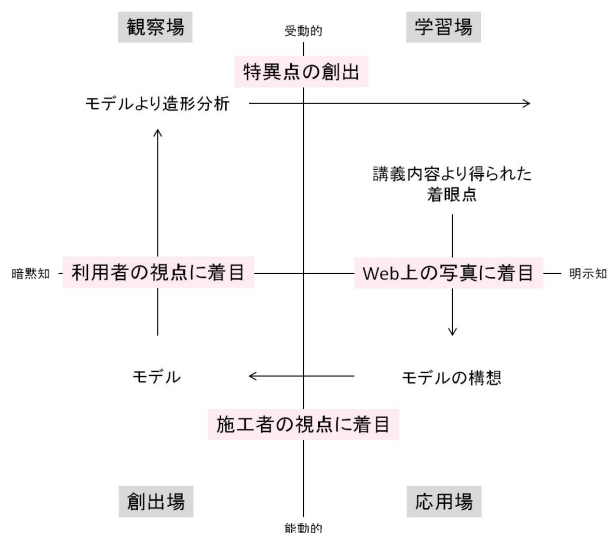


図-5 視点の移り変わり

している。すなわち、内部に特徴がある橋梁だといえる。このように細部の造形として、正面図の造形が面的な橋梁は側面（装飾）、線的な橋梁は内部（構造）に特徴を持たせていることがわかる。

最後に、卓越した視点からの造形について分析する。コンコルド橋のように、拉幅工事により橋脚に特徴があることが、河川上に視点を設定することで確認できた。また、その他の橋のように現地に行かずとも橋梁を渡る人の視点で確認することが可能となった。さらに、第1段階で作成したモデルを示す付図A1-1～付図A1-13は、利用者目線、施工者目線、特異点およびウェブ上の写真より構成されている。また各視点の配置は、実践教育のスパイラルに対応している。3D-CADを活用してモデルの作成をおこなうにあたり、図-5に示すように着目した。学習場から応用場に移る際は、講義内容およびウェブ上の情報から得た着眼点より、モデルの構想を検討した。この過程においては、ウェブ上の写真を主として着目した。その後応用場から創出場に移る際、すなわちモデルの作成をおこなう際は、施工をおこなった人の目線で橋梁を見ることとなった。さらにモデル完成後、創出場から観察場に移る際は、さまざまな視点から橋梁の観察をおこない、主として利用者目線で橋梁を見ることとなった。その後観察場から再び学習場に移る際は、再度講義内容なども含めて特異点が得られた。このように着目した視点の画像を示し、最終的に得られた特異点の画像と比較することで、橋梁ごとの特異となる視点を把握することができる。付図A1-1や付図A1-8に示すように、面的な橋梁についてはウェブ上の写真の視点が特異点となっている。すなわち、面的な橋梁については主に実際に現地でいくことのできる視点が特異点となる。一方、付図A1-4に示すように、線的な橋梁については施工者の視点の主として特異点となっている。すなわち、線的な橋梁については現地では見ることが難しく、施工当時しか見るこ

とのできない視点が特異点となる．さらに付図A1-11に示すように，利用者の視点が特異点となっている橋梁もある．このような橋梁は橋梁を渡る人に与える印象に工夫を凝らした造形をしているといえる．

c) 評価

前述した3点の評価項目をもとに，評価基準を表-2に示すように定めた．部材数については，1mあたりの部材数により評価をおこなう．また，卓越した視点からの造形に関して，橋梁を正面から見る視点，橋軸方向に見る視点，斜め方向から見た視点の3点を基準としている．評価基準に従って，各橋梁の評価をおこなったものを表-3に示す．

13橋梁を3D-CADを用いて作成し分析，評価をおこなった結果，表-3に示すようにクノック橋が全ての項目においてAの評価を得た．すなわち，13橋梁を3点の評価項目より評価すると，クノック橋が最も特異な造形をしているといえる．クノック橋が最も特異となった大きな要因は，正面図の造形にある．面的，線的，その他の3分類で評価をおこなった結果，クノック橋のみ面的でも線的でもない造形であった．面的および線的な造形をし

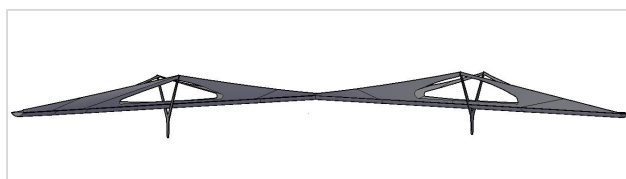
ている橋梁は，正面図からおおよその形状を把握できるが，図-6のように平面図および正面図だけでは，全体像をイメージすることが困難なことがわかる．すなわち，任意断面を用いない限り論じることのできない造形をし

表-2 評価基準

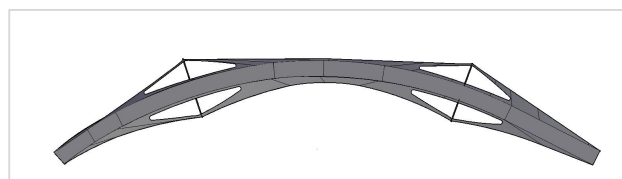
項目		評価	
正面図の造形		面	C
		線	B
		その他	A
細部の造形			
	付加機能	1	C
		2	B
		3	A
	装飾数	3, 4	C
		2	B
		0	A
	部材数/m	1 ≤	C
		0.1 ≤	B
		>0.1	A
卓越した視点からの造形		3	C
		4	B
		5 ≤	A

表-3 第1段階の評価

		正面図の造形		細部の造形							卓越した視点	
		形状	評価	付加機能	評価	装飾数	評価	部材数	/m	評価	視点数	評価
1	シャバンヌ橋	面	C	3	A	4	C	28	0.2	B	3	C
2	コンコルド橋	面	C	3	A	2	B	37	0.24	B	4	B
3	フルク橋	線	B	2	B	3	C	2115	13.1	C	4	B
4	ガラビ橋	線	B	1	C	0	A	2394	5.52	C	5	A
5	リソルジメント橋	面	C	1	C	3	C	14	0.1	B	3	C
6	トゥーパン高架橋	線	B	2	B	0	A	660	4.3	C	4	B
7	カタラン橋	面	C	3	A	4	C	15	0.06	A	4	B
8	サンミッシェル橋	面	C	3	A	0	A	22	0.07	A	4	B
9	アラミージョ橋	線	B	3	A	0	A	44	0.18	B	4	B
10	イゼール橋	線	B	2	B	0	A	71	0.23	B	3	C
11	ソルフェリーノ橋	線	B	1	C	0	A	556	4.03	C	4	B
12	クノック橋	その他	A	3	A	0	A	5	0.05	A	10	A
13	ミヨー高架橋	線	B	1	C	0	A	178	0.07	A	3	C



a) 正面図



b) 平面図

図-6 クノック橋の正面図および平面図

ており、13橋梁の中で最も特異な造形をしているといえる。また細部の造形に関して、クノック橋は薄板およびY字橋脚のみにより構成されており、装飾数および構成部材数が他と比較して極端に少ない。これにより簡易な造形をしているように考えられるが、前述したとおり正面図の造形に特徴があり、CAD的にはモデルの作成が困難な造形となっている。さらに卓越した視点からの造形に関して、平面線形が直線でないことにより、図-7に示すように視点によって異なる見え方をすることがわかる。前述したとおり橋梁を見る際の視点としては主に正面方向、橋軸方向、斜め方向の3視点が考えられる。他の橋梁では橋軸方向の視点に関して、左右で見えが異なることはない。またほとんどの橋梁は、道路面の両側に高欄以外の壁となるものは存在しない。しかしクノック橋では道路面の両側に高欄および薄板が存在しており、歩行を進めるにあたって開口部の有無によっても見えが変化する。このようにクノック橋には橋軸方向だけでも多数の見えがあり、すなわち視点によって様々な顔を持つ橋梁であるといえる。

以上のように、第1段階における3点の評価項目から各橋梁を分析、評価すると、クノック橋が最も特異な造形をしているといえる。

(2) 第2段階

ここでは橋梁の造形の細部に着目し、装飾や色彩は変化させず1段階目のモデルの形状に関してのみ、さらに作り込みをおこなった。作成したモデルについては、付録を参照されたい。

a) 評価項目

細部までモデルの作成をおこなうことは、橋梁の構造的により着目することとなる。そこで、再度ウェブ上の写真などを見直すことで、新たに気づく点の有無より構造の複雑さに関して分析をおこなう。

また、構造が複雑になることでモデル作成における作業量は増加し、モデルの作成難易度は上昇する。作業量を増加させる要因としては、図-8に示す平面線形、縦断勾配、左右の対称性がある。平面線形が直線であれば軸に沿った作成をおこなえるが、曲線であると軸に沿った作成がおこなえない。また同様に、縦断勾配のない橋梁は軸に沿った作成をおこなえるが、縦断勾配のある橋梁は軸に沿った作成をおこなえない。そのため、平面線形が曲線であり縦断勾配のある造形をしている橋梁は2方向からの確認が必要となる。さらに、橋軸方向や正面から見て左右が対称である橋梁は片側を作成すれば反対側は同様のものを活用できる。一方左右非対称である橋梁は、非対称であることにより全体を作成しなければならない。このように、平面線形、縦断勾配、左右の対称性により作業量は大きく変化する。平面線形、縦断勾

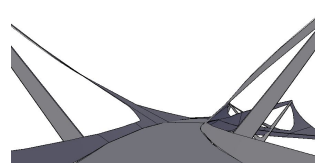
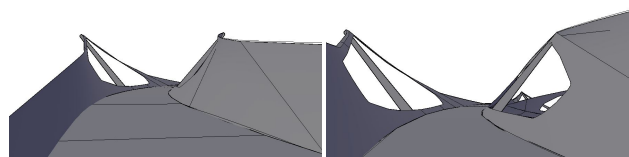


図-7 進行方向による見えの変化

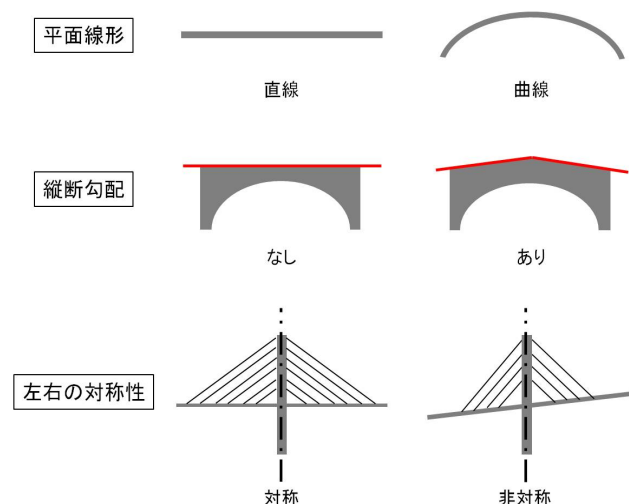


図-8 第2段階の評価基準

配、左右の対称性から判断すると、平面線形が曲線で縦断勾配がある橋梁が最も作成難易度の高い橋梁といえる。以上のようなモデル作成難易度にも着目し、造形の分析をおこなう。

b) 造形分析

2段階目のモデルを作成していくにあたって、1段階目のモデルからの変化および気づきのあった橋梁について詳述する。また2段階目では1段階目のモデルより、装飾や色彩ではなく形状のみに着目して作り込みをおこなっているため、変化のなかった橋梁については細部形状に特異な点がないといえる。

細部に着目することで付図A1-20に示すように、カタラン橋では上流側と下流側で橋脚形状が異なることがわかった。上流側は水切りの機能を果たすために三角形形状となっているのに対し、下流側では水切りの機能を必要としないため円形状になっている。このように橋梁は、自然環境に対応する機能を保持している。一方、シャバンヌ橋は両側に同一の三角形形状の水切りを設けている。このように、施工の容易さより一般的には上流側と下流側で同一の形状をしている。そのためカタラン橋のように、上流側と下流側で異なる形状をしていることは珍しい。すなわちカタラン橋は、形状の変化によって機能性

及び特異性を向上させている橋梁だといえる。

またミヨ橋について、1段階目でモデルを作成した段階では平面線形が直線な橋梁だと判断していた。しかし2段階目で細部まで見ることで、付図A1-26に示すように、平面線形は緩やかな曲線を描いていることがわかった。本橋梁の架かる地形には縦断勾配が発生しており、運転者に恐怖感を与えないために緩やかなカーブが設けられている。これより、縦断勾配のある地形に架かる全長の長い橋梁では、平面線形に工夫を凝らしているといえる。さらにミヨ橋は、主塔形状が下部ほど重量感があり、塔頂に向かうにつれて細くなる形状をしている。これにより橋梁の高さを強調しており、また視線を自然と空へ誘導している。さらに桁を基準に太さの変化があることで、ケーブルとの調和を図り、桁上空間に開放感を与える造形をしていることがわかる。

またイゼール橋について付図A1-23に示すように、象徴的な塔頂部をしていることがわかる。さらに主塔形状についても、橋軸方向に見た場合と正面から見た場合とで形状が異なっている。すなわち主塔形状についても、特異性のある形状をしていることがわかる。イゼール橋は、ケーブルの接続が他の斜張橋と比較して特異である。これにより、塔頂部および主塔形状においても特徴が表れることがわかる。

以上、13橋梁すべてについて1段階目から形状のみに着目して再作成をおこなった結果、シャバンヌ橋やリソルジメント橋などの石橋に関しては変化が見られなかった。これは石橋は、形状については統一感があり、装飾や色彩、陰影によって特徴を見出す造形をしているといえる。一方、線的な造形をしている橋梁については、装飾ではなく形状（構造）に特徴を持っているといえる。2段階目では装飾や色彩ではなく、細部形状に着目したため、面的な造形をしている橋梁は変化があまり得られなかった。

c) 評価

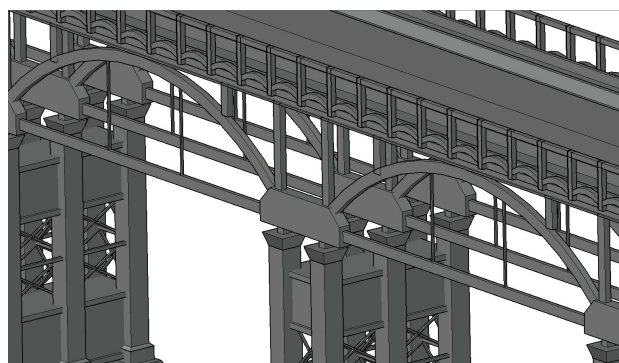
作成難易度により、各橋梁を評価したものを表-4に示す。前述したとおり構造が複雑になる程、モデルの作成をおこなう際の作業量は増加する。そのため構造が複雑である一方で、3D-CAD作成難易度が低いものは特異な造形をしているといえる。そこで評価をおこなう際は、構造の複雑さに対する3D-CAD作成難易度に着目して評価する。

作成が容易な橋梁としては、表-4より平面線形が直線で縦断勾配がなく左右対称である、シャバンヌ橋、フルク橋、トゥーパン高架橋、イゼール橋の4橋梁がある。一方表-3より、シャバンヌ橋およびイゼール橋は部材数が少なく、フルク橋やトゥーパン高架橋と比較すると構造的複雑さを有していないことがわかる。さらに、フルク橋とトゥーパン高架橋を比較する。図-9 a)および図-9

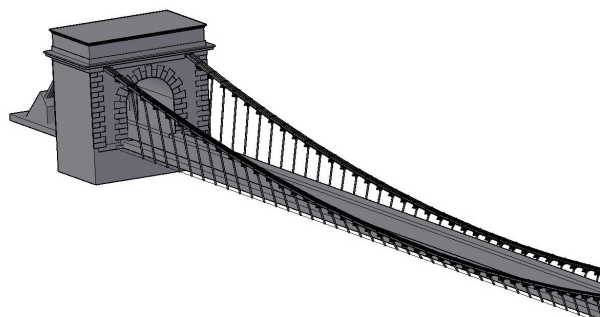
b)からわかるとおり、トゥーパン高架橋は長さ、形状が同一の部材を用いているのに対し、フルク橋は任意箇所によって部材の長さ、形状が異なっている。また、トゥーパン高架橋は各部材が鉛直水平方向に直角に配置されているのに対し、フルク橋は道路の中心に向かう形で角度を設けて配置されている。これにより、フルク橋より

表-4 第2段階の評価

		作成難易度		
		平面線形	縦断勾配	左右対称性
1	シャバンヌ橋	直線	×	
2	コンコルド橋	直線	○	
3	フルク橋	直線	×	
4	ガラビ橋	直線	×	非
5	リソルジメント橋	直線	○	
6	トゥーパン高架橋	直線	×	
7	カタラン橋	直線	○	非
8	サンミッシェル橋	直線	○	
9	アラミージョ橋	直線	×	非
10	イゼール橋	直線	×	
11	ソルフェリーノ橋	直線	○	
12	クノッケ橋	曲線	○	非
13	ミヨ高架橋	曲線	○	



a) トゥーパン高架橋



b) フルク橋

図-9 構成部材の比較

もトウパン高架橋のほうが作成が容易であるといえる。以上より構造の複雑さと3D-CADによるモデル作成難易度より各橋梁を評価すると、トウパン高架橋が最も特異な造形をしているといえる。

(3) 第3段階

ここでは、2段階目において作成した橋梁モデルを地形上に配置した。作成したモデルについては、付録を参照されたい。

a) 評価項目

地形を含んだ空間上に配置することで、橋梁と周辺環境との関連に着目することとなる。そこで、2段階目のモデルを地形を含んだ空間上に配置したことによる橋梁の見えの変化の有無により、橋梁造形の分析をおこなう。3段階目では、2段階目のモデルに地形、航空写真、色彩、陰影、周辺構造物や周辺道路が追加された。高さのある橋梁は地形により造形が強調され、装飾のある橋梁は陰影により造形が強調される。さらに、現状が再現されていることで利用者目線が変化する橋梁もある。そこで、橋梁の見えの変化の要因として周辺環境（地形）、自然環境（色彩や陰影）、利用者（スケール感や利用者目線）の3点を評価項目とする。

b) 造形分析

周辺環境（地形）により橋梁に与える効果の有無、自然環境（色彩や陰影）により橋梁に与える効果の有無、利用者（スケール感や利用者目線）にもたらす効果の有無の3点による橋梁の見えの変化に着目して分析していく。

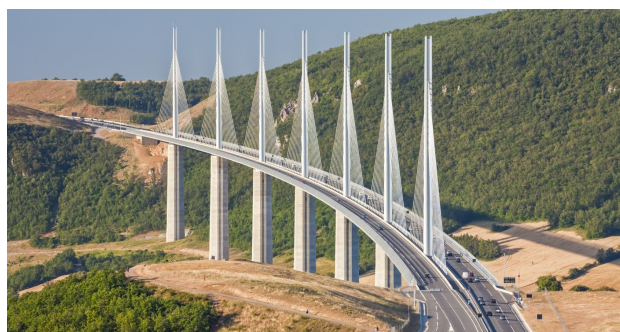
付図A1-27に示すように、シャバンヌ橋のような装飾の多い橋梁は陰影がつくことで、より装飾が際立っている。またシャバンヌ橋に対して、太陽は橋軸方向に移動していく。そのため、付図A1-27の上流側からのものと下流側からのものを比較してわかる通り、上流側は常に日が当たり、下流側は常に影となっている。ウェブ上の写真を見てみると、上流側から撮られた写真が多いが、これは日の当たりに起因しているといえる。すなわちシャバンヌ橋のような装飾に工夫が凝らされている橋梁は、

陰影が重要となることがわかる。また、シャバンヌ橋は平坦な地形に架けられており、河川の湾曲部分に位置している。これにより、カーブを過ぎた箇所からの確認が困難となっている。このように、平坦な地形に架けられる橋梁は、遠景ではなく近景を重要視しているといえる。

またミヨー橋は世界で最も美しい橋梁とされている一方で、前節までで示したように橋梁のみについてCAD的に評価をおこなうと、他と比較して特異な造形は得られなかった。しかし3段階目において地形上に配置することで、ミヨー橋らしいスケール感を確認することが可能となり、橋梁の造形が強調された。これより、ミヨー橋は地形との関連が重要な造形をしているといえる。

さらに、クノッケ橋は歩道橋であり周辺道路との接続が重要となる橋梁である。しかし2段階目までで橋梁自身のモデルを作成する際は、地形との接続を考慮せず、図面に示されている箇所のみを作成した。そのため地形上に配置した際に、橋梁が浮いた形となってしまうどこまでを橋梁ととるかが重要となる造形をしていることがわかった。地形上に配置することで、周辺道路との接続を重視している橋梁は他にもあることがわかった。例として、ミヨー橋がある。ミヨー橋は緩やかなカーブにより緩やかな縦断勾配の創出をおこなっている。しかし図-10に示すように、写真と比較して見えが全く異なることがわかる。これは、周辺道路も含めた平面線形の検討がおこなわれた橋梁であったためだといえる。すなわち、クノッケ橋やミヨー橋は、周辺との接続を考慮した線形検討のように、橋梁自身のみでなく周辺との関連が重要な造形をしている橋梁といえる。また、写真とモデルを比較するとわかるとおり、写真はカメラのズーム機能を用いて撮られたものが多い。そのため、現地で写真のように見えることは少なく新たに視点の探索をおこなう必要がある。このような場合、3D-CADを用いた視点探索は有効的であるといえる。

次に利用者目線による見えの変化について分析する。2段階目までの造形分析では、橋軸方向の見えを利用者目線としていた。しかし図-11 a)に示すように、周囲の環境が追加されることで、周辺道路からの視点や橋梁を



a) 現地写真



b) 第3段階のモデル

図-10 平面線形の比較

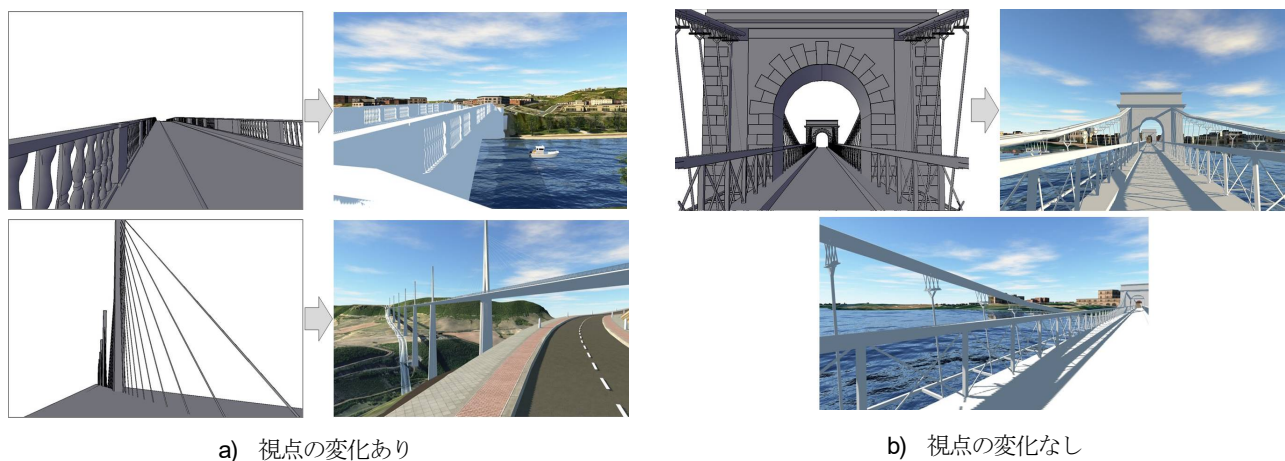


図-11 視点変化



図-12 現地写真との比較

渡る際に見る周囲の状況へと利用者目線が変化した。一方、図-11 b)に示すような橋梁では変化がなかった。これは、地形が平坦であり周辺構造物にも特徴のない地域に架けられた橋梁であったためだといえる。河川上や周辺道路に視点を設定しても、2段階目までにおこなったような橋梁のみの観察と同様の見えをするため変化は得られなかった。このように、周辺が重要な造形をしている橋梁と、そうでない橋梁の2つに分類できることがわかる。

さらに、図-12に示すように、イゼール橋において写真では木々が茂っていることにより視界が開けていない。またモデルと比較することで、この視点からはカメラのズーム機能を用いなければ詳細な構造まで把握することが困難なことがわかる。このように、整備することで視点場が創出されることや、実際に現場に行かなくても現場の状況を確認することが可能となった。

c) 評価

周辺環境により橋梁に与える効果の有無、自然環境により橋梁に与える効果の有無および、利用者にもたらす効果の有無の3点により、各橋梁を評価したものを表-5に示す。評価にあたり、良い効果を与えたものをA、効果のなかったものをB、悪い効果を与えたものをCとして評価している。また、星印で示しているものについては、前述したクノック橋やミヨ一橋の平面線形のような

表-5 第3段階の評価

		周辺環境による 効果	自然環境による 効果	利用者目線に もたらす効果
1	シャパンヌ橋	B	A	B [*]
2	コンコルド橋	A	A	B
3	フルク橋	C	B	C
4	ガラビ橋	A	A	A
5	リソルジメント橋	B	A	A
6	トゥーバン高架橋	C	C	C
7	カタラン橋	B	A	B
8	サンミッシェル橋	B [*]	C	B
9	アラミージョ橋	C	B	B
10	イゼール橋	B	C	A
11	ソルフェリーノ橋	A	B	A
12	クノック橋	C [*]	B	C
13	ミヨ一高架橋	A [*]	B	A

新たな発見のあったものである。

表-5より13橋梁の評価をおこなった結果、ガラビ橋がすべての項目においてAの評価を得ていることがわかる。ガラビ橋は付図A1-30に示すとおり、深い溪谷に架けられている橋梁であり、アーチが際立っている。深い谷であることにより、付図A1-30に示すように遠くから見た際にはアーチ部分が隠れ、存在感を主張しすぎではない

ことがわかる。また周辺には緑が広がっており、ガラビ橋の赤色が非常に際立つ。さらに、ガラビ橋は構造の複雑さを持つ橋梁であるため、水面への投影が非常に美しい。また高さのある橋梁であるため付図A1-30に示すように、周囲に広がる緑により創出された雄大な景色を見渡すことが可能となっていることがわかる。

以上のように、現状の再現をおこない13橋梁を周辺環境により橋梁にもたらす効果、自然環境により橋梁にもたらす効果、利用者にもたらす効果の3点により評価すると、ガラビ橋が最も特異な造形をしているといえる。

以上、3D-CADを活用し3段階のモデルを通して橋梁造形の分析をおこなった。各段階で造形を論じる際の評価項目はそれぞれ異なっていた。評価項目がそれぞれ異なることにより、評価項目の変化による特異な橋梁の変化を明らかにすることが可能となった。また、2段階目での特異な橋梁はトウパン高架橋と評価したが、表-5からわかるとおり周辺環境を含むと最も低い評価を得ている。すなわち、トウパン高架橋は橋梁自身が特異な造形をしており、周辺環境に左右されない構造的橋梁であるといえる。このように、1、2段階目の橋梁のみと3段階目の橋梁と周辺環境の2つのパターンで造形分析をおこなうことで、橋梁には構造に特徴のある橋梁と、周辺が重要となる橋梁の2種類があることがわかった。

4. 実践教育における着眼の創出

(1) レポート分析

他学生のレポート内容を各橋梁ごとに整理したものを付表A2-1に示す。表の着眼とは、講義内容などにより得た知識をレポートを作成するにあたり一般化したものである。また、講義において紹介された点についてはグレーで示している。造形については、姿、形に関する評価をしたもの（以下、造形1とする）と機能、効果に関する評価をしたもの（以下、造形2とする）の2点について整理した。また造形1について、緑で示すものは周辺環境を含んだもの、ピンクで示すものは橋梁自身のものである。他学生は、講義内容およびウェブ上の情報のみを用いて造形を論じている。そのため付表A2-1からわかるとおり、講義において学習した内容に主に着目している。すなわち、独自の着眼の創出がおこなわれておらず、講師の意見をもとに造形を論じているといえる。また造形1について、緑が多くを占めていることが見て取れる。これは、他学生が造形を論じるにあたり参考にするウェブ上の写真とは、周辺を必ず含んでいるためであるといえる。

一方、3D-CADを活用した場合のレポート内容を各橋

梁ごとに整理したものを付表A2-2に示す。着眼1とは他学生と同様に講義内容およびウェブ上の情報より、造形を論じるのに必要だと判断した着眼点である。着眼2とは講義内容およびウェブ上の情報と、3D-CADにより作成したモデルを活用した際の着眼点である。すなわち、着眼2とは3D-CADの活用により得られた着眼点であり、3章で示した評価項目がこれに値する。レポート提出の際には1段階目のモデルしか作成していなかったため、1段階目の着眼点のみを示している。造形については、他学生と同様に造形1および造形2により整理している。付表A2-1に示すように、3D-CADを活用した場合も、一度は講義において学んだ講師の意見に着目している。しかしその後、着眼2で示すとおり13橋梁のモデル作成を通して、3D-CADならではの着眼を創出している。すなわち、3D-CADを活用することで他学生に不足していた独自の着眼を得ることが可能となった。また造形1に関して、3D-CADを活用した場合のレポートでは、橋梁自身のものが多数を占めている。前述したとおり、他学生が造形を論じる際に活用したウェブ上の写真は、必ず周辺環境を含んでいる。しかし、3D-CADを活用した場合は、1、2段階目では橋梁のみ、3段階目では橋梁と周辺環境と造形の把握に活用する対象範囲を変更させた。すなわち3D-CADを用いることは、橋梁自身（構造物）と周辺を異なるものとして捉えることにつながるといえる。これにより、橋梁自身の姿、形を論じることが可能となった。

さらに2章で示したように、3D-CADの特徴として任意面の把握がある。作成したモデルの断面や、モデル作成にあたって正面図および平面図を活用したことで、構造的な造形の分析が可能となった。しかし、講義において図面が活用される場面はほとんどなく、他学生も活用していない。そのためレポート内容も姿、形や機能が目立つ一方で、構造的な分析が得られなかった。今回3D-CADを活用した際に任意面に着目し、構造的な分析をおこなったように、図面を活用することでさらなる造形分析がおこなえると考えられる。そのため、他学生は写真のみでなく図面の活用をよりすべきであったと考える。

また3章で述べた通り3D-CADを活用した造形分析を通して、橋梁には構造を重視した橋梁と周辺を重視した橋梁の2通りあるという分析結果が得られた。他学生のレポートにおいても、同様の傾向が表れている。例として、ミヨー橋およびトウパン高架橋について、学生ごとにレポートを整理したものを表-6に示す。表-6からわかるとおり、ミヨー橋は造形2に対して造形1に関するものが多数を占めている。一方、トウパン高架橋は造形1に対して造形2に関するものが多数を占めている。すなわち、講義内容およびウェブ上の情報をもとにした場合もミヨー橋は周辺を重視した橋梁、トウパン高架橋は構

造を重視した橋梁と論じられていることがわかる。

(2) 実践教育のスパイラル

2章で示した実践教育のスパイラルに、他学生および3D-CADを活用した場合の講義後からレポート作成までの学習過程を示す。図-13に他学生の学習過程を示す。観察場では、講義を受講し講義内容およびウェブ上の情報を整理する。ここで、講義内容より得た講師の着眼を着眼0とする。その後学習場では、観察場で得た情報より各橋梁の造形について着眼点を整理する。ここでの着眼点を着眼1とする。それら整理した着眼点をもとに、応用場ではレポートの構想をおこない、創出場でレポートを提出する。ここで、観察場から学習場に移る過程において、本来なら着眼1には図の星印で示すレポート作成者個人の着眼が含まれる。しかし現状では、前節で示したように講義内容にしか着目しておらず、独自の着眼を含むことができていない。また他学生のレポート作成までの学習過程では、実践教育のスパイラルを1周回することができていないことがわかる。2章で述べたとおり、スパイラルを1周回することに意義があり、そのような教育法および学習法の確立をおこなう必要があると考える。

一方、3D-CADを活用した場合のレポート作成過程を図-14に示す。図-14 a)に示すのは、第1段階のモデルを通してレポート作成をおこなった際の学習過程である。観察場および学習場では、他学生と同様に講義内容およびウェブ上の情報を整理し、着眼点の抽出をおこなった。3D-CADを用いてモデルを作成するにあたり必要となる情報の収集をおこないつつ、応用場ではモデルの構想をおこなった。その後モデルを作成することで創出場に移る。さらに、再度講義内容およびウェブ上の情報と、作成したモデルを用いて各橋梁を再評価することで観察場に戻る。その後学習場ではCAD的着眼点の抽出をおこなう。ここでの着眼点を着眼2とする。さらにレポートの構想をおこなった後、レポートを作成することで創出場に移る。ここで、着眼1が得られてからモデルの構想をおこなうまでの過程を再分析とする。再分析とは、各橋梁の造形を再度分析することでモデルを作成するにあたって必要となる情報（全長や幅員など各種数値、平面図、正面図など）を収集することである。次に、モデルの構想をおこなった後モデルを創出するまでの過程を作成の過程とする。ここでは、収集した情報をもとに3D-CADを活用してモデルの作成をおこなう。さらにモデル完成後、再度観察場に移る過程を評価の過程とする。ここでは、作成したモデルをさまざまな視点より観察し造形分析をおこなう。これらの再分析、作成、評価の過程を通してCAD的着眼点が抽出される。このように、3D-CADを活用することでスパイラルを1周回することが可能となった。さらに、図-14 b)に3段階のモデルを通して造形分析をおこなった際の学習過程を示す。図-14 b)か

らわかるように、1段階目から3段階目まで3D-CADを活用して再分析、作成、評価をおこなったことでスパイラルを3周回することにつながった。またスパイラルを1周回すごとに着眼が創出されており、3周回することで3D-CADの活用により造形分析をおこなう際の3つの異なる着眼を創出することが可能となったといえる。

前述したように、本稿における橋梁造形の分析では3つの着眼があった。着眼0が講師による着眼、着眼1が講義受講後に得られる学生による着眼、着眼2が3D-CADの活用により得られる着眼である。また、着眼0と着眼1はほぼ同等のものであったため、このように3D-CADの活用により、新たな着眼の創出が可能となった。

表-6 学生ごとに整理

a) ミヨ一橋			b) トウーパン高架橋		
	造形(変形)	造形(機能・効果)		造形(変形)	造形(機能・効果)
A	調和	光の差込み	A	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
B	雲海突き抜け	軽量化	B	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
C	シンプル、すっきり、調和	圧迫感の大きさ	C	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
D	存在感	見渡す	D	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
E	シンプル、連続性	見渡す	E	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
F	シンプル、スレンダー、連続性	見渡す	F	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
G	圧迫感の存在	必要最低限	G	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
H	シンプル	必要最低限	H	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
I	シンプル、景観に溶け込み	軽量化、風雨対策	I	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
J	シンプル、自然と共存	風雨対策	J	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
K	力強く美しい	風雨対策	K	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
L	夢と感動	風雨対策	L	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
M	重量感	風雨対策	M	特徴的な外観	軽量化、安定性向上
N	スマート	風雨対策	N	特徴的な外観	軽量化、安定性向上

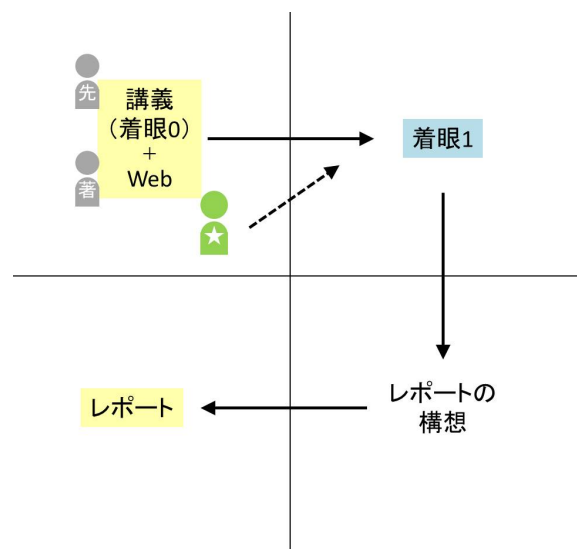


図-13 他学生の学習過程

また、再分析、作成、評価、着眼2の創出の各過程において、さまざまな視点を持つこととなる。図-14 a)に示すAの人物は、モデルを作成するために必要となる情報を調査、収集する人である。モデルの詳細度や作成範囲の決定のために、橋梁の細部にまで着目することとなる。次に作成の過程におけるBの人物は、モデル作成を通して橋梁断面、構造に着目することとなる。さらに評価の過程におけるCの人物は、橋梁を施工者目線や利用者目線、鳥目線などさまざまな視点より観察する。その後星印に示す人物は、A、B、Cが着目した点をすべて総合して造形分析をおこなう。そのため星印に示す人物は、細部、CADの特徴および構造、さまざまな視点の3点から分析をおこなうこととなる。

以上示したように、3D-CADを活用しモデルを作成するという過程を踏むことで、4つの場においてそれぞれ異なる点に着目した。これにより実践教育のスパイラルを1周回することが可能となった。すなわち、実践教育のスパイラルを1周回するために3D-CADは有効的なツールであったといえる。

5. 考察と展望

3章および4章において得られた分析内容をもとに、3D-CADの可能性および学習過程への3D-CAD活用の有用性について考察、整理する。

(1) 考察

a) 着眼の創出

橋梁の造形分析をおこなうにあたり、特異点を大いに活用してきた。ここで、3章において示したオブジェクトと視点の関係より着目した点の移り変わりを整理する。整理したものを図-15に示す。上段に示す青丸が3D-CADを活用しなかった場合のもの、下段に示す緑丸が3D-CADを活用した場合のものである。

図-15からわかるとおり、3D-CADを活用しなかった場合は、橋梁自身に関するものとしてまず細部に着目していた。講義において学習する内容とは、各橋梁を構成する部材に関するものであった。また前述したとおり他学生は講義内容およびウェブ上の情報に着目していた。そのため細部にまず着目することとなったと考える。その後、ウェブ上の写真などの検索をおこなうにあたり、橋梁の全体像に着目していったと考える。さらに周辺を含むものに関しては、まず風景点すなわち遠景に着目していた。ウェブ上の写真には橋梁自身が美しく見える写真が多く、すなわち橋梁の全体が写る遠景のものが多い。そのため、まず風景点に着目することとなったと考える。一方3D-CADを活用した場合は、第1段階のモデルを形

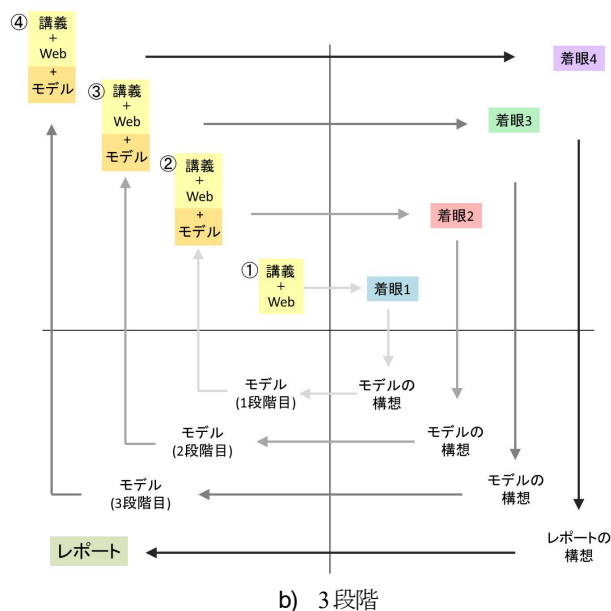
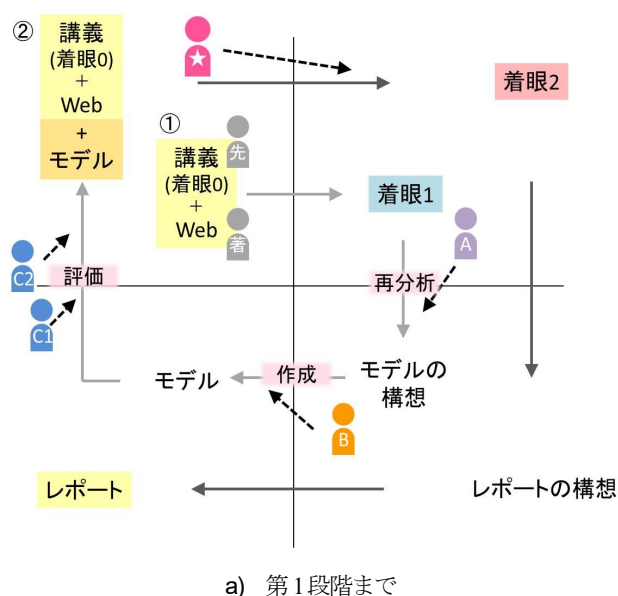


図-14 3D-CADの活用による学習過程



図-15 特異点の変化

状OT、第2段階のモデルを細部OTとしていたように、造形点に着目し、その後細部点へ移った。さらに第3段階のモデルは統合OTとしており、構造OTと周辺OTに着目している。また地形上に橋梁モデルを配置するにあたり、まず周辺道路との接続や周辺施設との調和を確認する必要があった。そのため細部点への着目の後は、構造OTと周辺OTの一部に着目しており、関係点に着目した。

その後、地形および橋梁モデルが配置された空間内を散策することで、地形の特徴や造形の特異点の探索をおこなった。ここで風景点へ移った。

このように3D-CADの活用の有無による、着目した点の移り変わりを比較することで、異なる分析プロセスを経たことがわかる。3D-CADを活用しなかった場合は橋梁自身と周辺を同時に着眼していた。しかし3D-CADの活用においては、橋梁自身と周辺を分離して考えた。そのため、橋梁自身である造形点および細部点への着目後、周辺を含む関係点、風景点へ移った。以上示したとおり、他学生と3D-CADを活用した場合で、着目する対象範囲の変化過程が全く異なっていた。異なる着目の仕方や分析プロセスを経ることで、独自の分析をおこなうことが可能となる。すなわち、4章で示したように3D-CADを活用することで独自の着眼の創出につながったといえる。

本稿において3D-CADを活用したように、学習の過程において自分の得意とする分野を取り入れることで、独自の着眼の創出がおこなえと考える。また4章で述べたとおり、3D-CADの活用により実践教育のスパイラルを1周回することが可能となった。さらに、場が変化するその都度さまざまな点に着目した。さまざまな点に着目することは、スパイラルを1周することにもつながる。またさまざまな点に着目するということは、さまざまな着眼が創出されるということである。これより、学習の過程において着眼の創出は重要であると考えられる。

また前述した特異点は、3D-CADを活用することで定量化が可能となる。現地調査での特異点探索では、図-16 a)に示すように人々が行くことのできる視点の中からおこなわれるが、3D-CADを活用することで図-16 b)に示すようにすべての点から探索することが可能である。また3D-CAD上の点はすべて座標を持っているため、視点を数値化することが可能である。これにより、特異点の定量化が可能であるといえる。そのため、3D-CADを活用しなかった場合の特異点は定性的であるのに対し、3D-CADを活用することで定量的な特異点を用いることが可能となる。すなわち、3D-CADの活用により定量的評価が可能になったといえる。

b) 着眼の増加

構造物を設計する際に考慮すべきものとして、環境性、機能性、構造的性といった設計に留意すべき3項目がある¹⁷⁾。環境性とは、地形などの自然環境のみでなく、対象地の歴史などを含めたものをいう。構造的性とは、設計をおこなう際に安全性の確保の根拠となる、力学的要件などである。さらに機能性とは、利用者からの見え方や使い勝手、使い心地のことである。設計をおこなう際はこれら3項目について、環境性と機能性を議論しながら、構造的性について確認するといった流れが理想とされている。

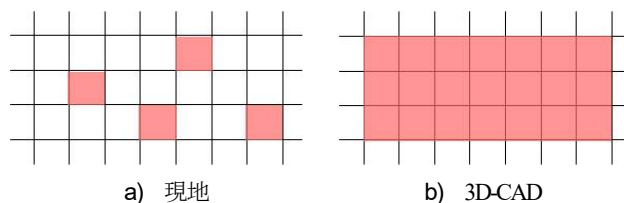


図-16 特異点探索

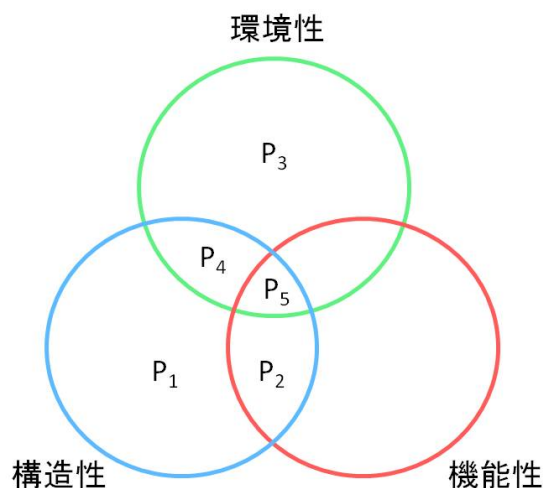


図-17 着眼の増加

ここで、設計に留意すべき3項目をもとに、本研究をとおして得られた造形分析の際に着目した点を整理していく。整理したものを図-17に示す。P1～P5が、3段階目までのモデル活用により着目したものである。1段階目のモデル作成における各種数値の確認や断面図の把握を通して、橋梁自身の構造を把握した。さらにモデルの作成過程では、図面を重視し、施工過程を想定しながら作成した。そのため造形分析をおこなうにあたり、施工者目線に着目することとなった。すなわち、まず構造的性(P1)に着目したといえる。その後4章2節で示したように、作成したモデルを用いてさまざまな視点からの分析をおこなった。この時利用者目線での分析をおこなっており、構造的性と機能性の重なる部分(P2)に着目したといえる。3段階目のモデルの作成をおこなう際は、まず橋梁の架かる地形を作成した。この時、まず橋梁の架かる地形は平坦か溪谷かなど地形のみの確認をおこなった。すなわち環境性(P3)に着目した。その後、地形上に作成した橋梁モデルを配置し、橋梁と地形など周辺環境との関連について分析した。すなわち、環境性と構造的性の交わる部分(P4)に着目したといえる。最後に、橋梁と地形を含む空間を利用者目線で分析することで、特異点の探索をおこなった。すなわち最終的に環境性、構造的性、機能性のすべてが交わる部分(P5)に着目した。このように、3段階のモデルを作成し造形分析をおこなうことで、5つの点に着目した。これは、着眼の増加につながるともいえる。また、3D-CADの活用をとおして環境性、構造的性、

機能性の3項目すべてに着目した分析をおこなうことが可能となった。3章で述べたように、着目する点が変わることにより特異な橋梁も変化する。土木構造物とは、構造物によって景観を阻害するもの、構造物によって周辺を際立たせるもの、構造物自体が美しいものとさまざまである。すなわち、構造的な面と周辺を含んだものと十分に検討する必要がある。これを3D-CADは可能とした。すなわち、3D-CADを活用することで着目の増加を図ることが可能となり、十分な分析をおこなえたと考える。

c) 専門家的分析

橋梁の造形分析をおこなう際、専門家はまず現地調査をおこなう。実際の地形や周辺道路との接続、地域との調和や視点の確認など、現地でしか確認ができないことの把握をおこなう。その後、対象地の歴史や施工過程、地盤状況などを書籍や論文などの文章を通して調査する。さらに、橋梁の構造を把握、分析するために保管されている図面などの確認をおこなう。この流れを図-18の赤線で示している。一方、本研究における3D-CADの活用による造形分析を図-18の青線で示す。3D-CADの活用により造形分析をおこなう際は、まず図面や写真により把握できる範囲で構造分析をおこなった。さらに論文などの文章や地図による周辺の歴史などの把握、地形を含むモデルによる周辺状況の確認をおこなった。すなわち、3D-CADを用いた造形分析は専門家が造形分析をおこなう過程の逆順を辿った。これにより、専門家と同じ視点を持って造形分析をおこなえたといえる。すなわち3D-CADの活用により、専門家の視点で分析をおこなうことができる。と考える。

(2) 展望

a) 教育

橋梁造形のCAD的分析およびレポート分析を通して、3D-CADにより学習過程の確立を図れることが示された。3D-CADの活用により独自の着目を得ることが可能となり、また実践教育のスパイラルを1周回することが可能となった。さらに3D-CADを活用した造形分析により、講義で学習することのなかった内容に着目できた。このため、理解の促進を図ることが可能となったといえる。このように3D-CADは学習過程における理解促進に有効なツールである。と考える。

しかし、現状では講義における3D-CADの活用として、製図など図面の理解のための活用が多数である^{18) 19)}。2章で述べたとおり、CADの特徴としては図面を重視する点および、作成したモデルを用いて任意断面の把握がおこなえる点にある。このため、図面の理解のための活用が主となっている。と考える。しかし、本研究において示したとおり、3D-CADの活用は図面の理解はもちろん、

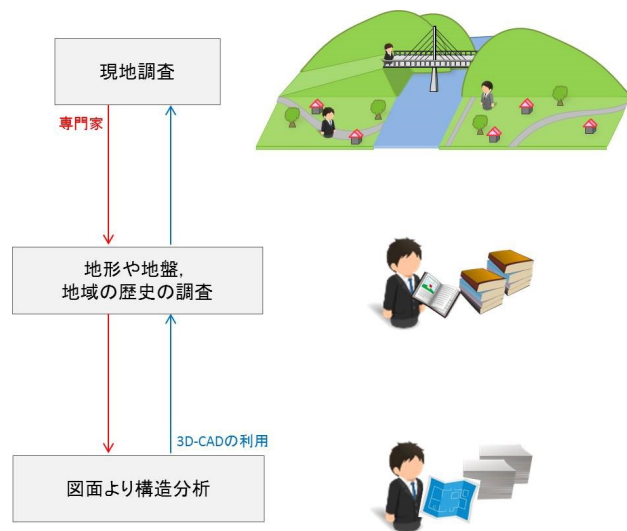


図-18 分析方法

多様な点に着目して造形を分析できる点にもあった。これは、自身でモデルの構想を考える点にある。と考える。モデル作成にあたり必要となる情報を自身で考えることで、着目の創出につながる。さらに、CAD的に橋梁を分類することにもつながった。このように、3D-CADには図面の理解以外にもさらなる可能性がある。構造物の造形の理解促進のためはもちろん、より積極的に3D-CADを活用することには意義がある。と考える。

さらに、1度モデルを作成すれば再利用することが可能となる。講義において作成したモデルを活用することで、議論の活発化およびイメージの共有を図ることが可能となると考える。3D-CADの活用には、モデル作成過程での知識吸収と、作成したモデルの活用による学習の確立の2種類の活用があると考える。

b) デザイン検討

前述したように、土木構造物には構造が美しいものと周辺を際立たせるものの2種類がある。本研究で分析したトウパン高架橋は、構造的には美しいのに対し、周辺による際立ちはなかった。これは、周辺との調和が得られていないともいえる。このような橋梁は構造的な検討に重点が置かれた一方で、環境性を含んだ検討が十分になされていない。デザイン検討では、構造的と環境性、機能性の融合が重要となる。ここで土木構造物のデザインにおける検討項目として、住民や来訪者がその景観に寄せる精神的期待、見せ場と隠す所、色彩や規模など主要な景観構成要素のバランスの3点が重要であるとされている²⁰⁾。そのため現在土木事業においておこなわれているCIM事業では、地形をまず作成しLOD100程度の構造物モデルを追加、その後構造物モデルを詳細に作りこんでいくことで検討をおこなっている。本研究では橋梁の造形分析を目的としていたため、橋梁モデルのみの作成からおこなった。しかし前節で示したように、3D-

CADの活用により結果的に環境性、構造的性、機能性のすべてに関して分析することが可能となった。すなわちCIM事業においておこなっている、環境性、機能性の検討をおこないながら構造的性について検討していくといったデザイン検討が可能となっている。これにより、3D-CADはデザイン検討へ十分に活用することができると考える。

また前述したように、現存する構造物には構造の美しいものと周辺との関連が重要なものの2つがある。3D-CADの活用により、橋梁と周辺を異なるものとして考えることが可能となり、構造の美しいもの、周辺が重要なもののそれぞれについてデザイン学習をおこなうことができる。3D-CADの活用により構造物と周辺を分断して考え、これにより得た知識をデザイン検討において活用する。このようにして新設構造物の検討をおこなう際、環境性、構造的性、機能性の融合された検討をおこなうことで、よりよい構造物の建設が可能となると考える。

c) データの保存法

2章で示したように、3D-CADにはデータ管理の点に特徴がある。1つのデジタルデータであること、1つのメディアで保存されること、保存したデータはコピーが可能であり、また複数人への転送が可能であることなどがある。さらに1つのデジタルデータの中には、オブジェクトはもちろん、分析・検討をおこなう際に用いた視点や着眼も保存される。そこで、3D-CADの保存方法として図-19に示すテンプレートを提案する。本テンプレートは、正面図、平面図、側面図、全体図の客観的視点からのものと、利用者目線、施工者目線、記入者目線の主観

的目線からのものから成っている。図-19に示すようなテンプレートを作成し、保管することで図面がなくても造形の把握が可能となる。また、主観的視点が一例として示されていることで、他の人が分析や観察をおこなう際参考にすることが可能である。このように、モデルを資料として保管することはもちろん、図に示すように図面の代わりとして保管することも可能であるといえる。

d) 再利用

前項で示したようなテンプレートを保存しておくことで、教育・学習の場や複数人での議論の場において再利用が可能であると考えられる。また、データの保存をおこなう際、1つのデジタルデータとしてオブジェクトと視点や着眼を保存しておくことで、視点や着眼を辿ることで検討過程を得ることが可能となると考える。

ここで、図-20にサンミッシェル橋の施工過程の様子を示す。本橋梁は、架け替えがおこなわれた橋梁であり、架け替え前の橋梁を完全に撤去せず、旧橋を供用しながら新橋の架橋がおこなわれた。そのため図-20に示すように、旧橋の橋脚部分を新橋では開口部としている。これにより旧橋の撤去をおこなわずに新橋をかけることが可能となっている。3D-CADによりモデルを作成する際、施工過程を想定しながら作成することが可能である。また前述したように、保存されている視点や着眼を辿ることで検討過程を辿ることが可能である。これにより設計過程の追体験が3D-CADにより可能になると考える。また、3章2節で述べたカタラン橋の橋脚形状の違いのように、橋梁モデルを作成する過程で気づく点もある。このようにモデル作成の過程を通して、設計の際に留意され

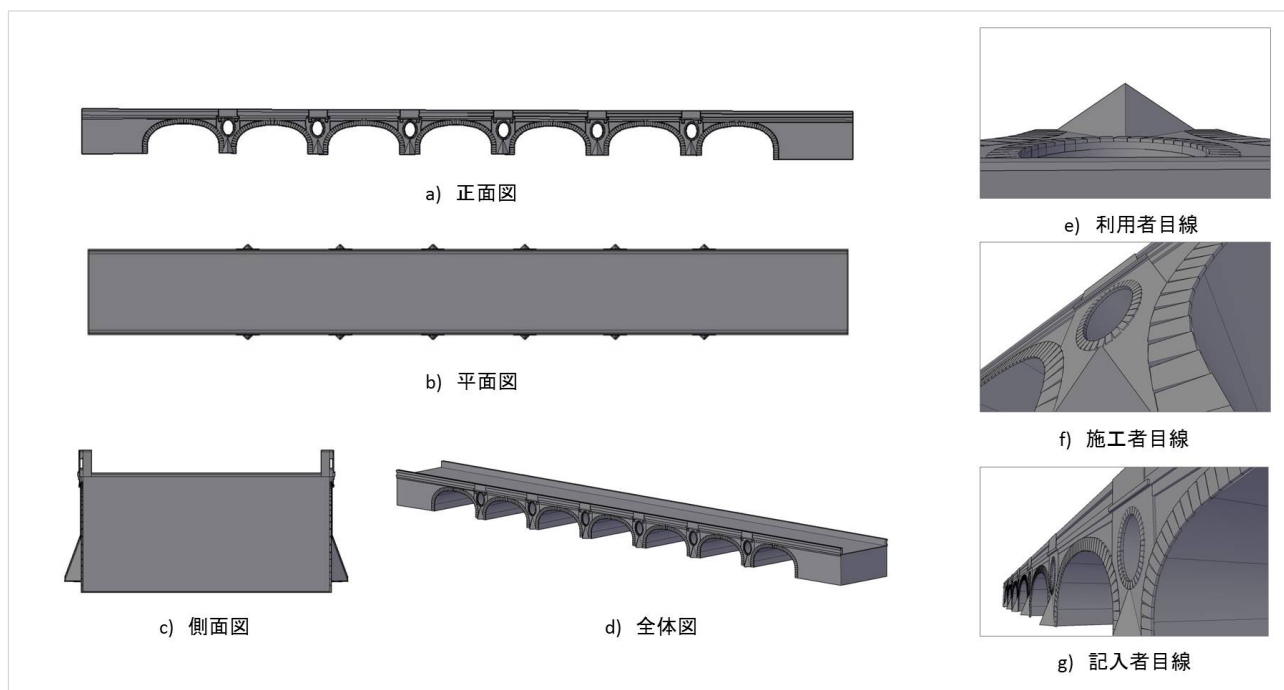


図-19 テンプレート

た点や条件などを把握することも可能となる。以上のように、設計過程の追体験への再利用も可能であると考えられる。

さらに、図-21および図-22に示す現存しない橋梁の履歴を追うことも可能であると考えられる。ここで、作成したモデルのアイソメ図を図-21に示す。このモデルは、架橋当初の図面を用いて作成した。トゥルノン橋は1825年に建設され、歴史的記念物にも指定されていたが、河道改修により1965年に撤去された。径間数は2径間であり、主塔と側塔ではメインケーブルが背越定着されている。また、ウェブ上のトゥルノン橋の写真を図-22に示す。図-21と図-22を比較してわかるとおり、建設時は門型であった主塔側塔がいずれも柱状に変更されていることがわかる。また定着部についても、背越定着ではなくなっていることがわかる。このように、形状の変遷を一目で理解することが可能であるといえる。以上のように、既設構造物をモデルとして保管しておくことで、後に撤去された際も造形分析や形状変化の履歴を追うことが可能である。

6. おわりに

本論文では、歴史的橋梁の造形分析へ3D-CADを活用し、3D-CAD活用による造形分析の可能性および学習過程への活用の有用性を示した。また3D-CAD活用の応用として、いくつかの展望を示した。

(1) 2章では、本研究をおこなうきっかけとなった講義である構造設計論の概要、3D-CADの特徴および現状について述べた。さらに、教育論を述べるにあたり実践教育のスパイラルを示した。

(2) 3章では、3D-CADを用いた橋梁の造形分析について示した。LODにより分類した3段階のモデルより、造形分析における評価項目を示し、各段階で最も特異と評価された1橋梁を示した。各段階で評価項目を抽出し、分析をおこなったことで3D-CADの可能性を示した。

(3) 4章では、他学生のレポートおよび3D-CADを活用した場合のレポートそれぞれを、着眼点および2つの造形について整理、分析した。また、それぞれのレポート作成までの学習過程を実践教育のスパイラルより示し、現在の学習過程における課題を指摘した。これにより、3D-CADの学習過程への活用の有用性を示した。

(4) 5章では、3D-CAD活用による橋梁造形のCAD的分析および教育論について総合的に考察した。さらに3D-

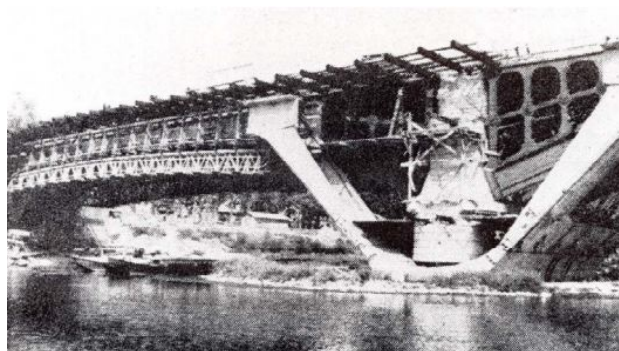


図-20 施工過程（文献21）より転載

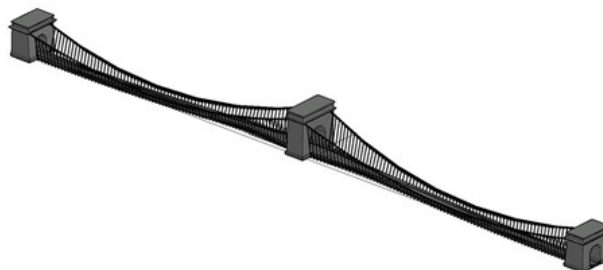


図-21 トゥルノン橋のモデル



図-22 トゥルノン橋の写真

CAD活用の応用として、教育、デザイン検討、データ保存法、再利用の4つの展望を示した。

橋梁の造形分析へ3D-CADを活用することで、現地に行かずともさまざまな分析をおこなうことを可能にした。また3D-CADを活用することで、独自の着眼を創出することにつながった。着眼が変化することにより特異な橋梁も変化することが示され、橋梁造形の面白みが明らかになった。さらに、学習を深化させるのに3D-CADが有用であることも示され、今後の3D-CADの活用に期待がもてる。

また本研究では、講義において課せられた橋梁のみに関してしか分析をおこなうことができなかった。さらなる3D-CADの可能性のためにも、より多くの橋梁に対して分析、評価をおこなう必要がある。

7. 付録

付録は別冊とする。以下、目次のみ示す。

A1. 3D-CADモデル

- (1) 1段階目
- (2) 2段階目
- (3) 3段階目

A2. レポート分析結果

A3. テンプレート一覧

謝辞：本研究を進めるにあたり，終始適切かつ熱心なご指導をいただいた熊本大学大学院先端科学研究部，小林一郎教授，星野裕司准教授には心より感謝しております。また，研究室のメンバー，学生生活を支えてくれた家族に深く感謝し，本論文の結びとさせていただきます。

参考文献

- 1) Google 社 HP : <<https://www.google.co.jp/intl/ja/about/2017.02.01> 入手>.
- 2) 社団法人土木学会：土木用語辞典，pp.255，技報堂出版，1999.
- 3) 光成豊明：パソコン CAD，pp.3，産業図書株式会社，1987.
- 4) CIM技術検討会：CIM技術検討会 H25年度報告
<http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/Contents/H25report_0519.pdf
2014.10入手>.
- 5) 伊藤浩和他：有明海沿岸道路 筑後川・早津江川橋梁における CIM を活用した設計及び合意形成について，国土交通省国土技術研究会論文集，pp.339-342，2014.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所：3次元モデルを利用した橋梁の維持管理ガイドブック，2014.
- 7) 井出孝他：3D 測定の構造物設計への応用—3次元設計から 3D プリンタまで，土木学会誌，Vol.100，No.1，pp.30-31，2015.
- 8) 松井哲平他：新機能主義における橋梁デザインの形態的特徴とその印象の関係，景観・デザイン研究講演集，No.5，pp.67-70，2009.
- 9) 杉山俊幸他：加重目的決定分析法を用いたサイコベクトルによる橋梁景観の定量的評価，構造工学論文集，Vol.37A，pp.677-686，1991.
- 10) 小林一郎：実践教育のスパイラル，土木学会誌，Vol.99，No.10，pp.34-35，2014.
- 11) Autodesk 社 HP :
<<http://www.autodesk.co.jp/suites/infrastructure-design-suite/> 2015.1 入手>.
- 12) BIM Forum : LEVEL OF DEVELOPMENT SPECIFICATION，pp.12-13，2016.
- 13) CIM 技術検討会：CIM 技術検討会 H27 年度報告
<http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/study/pdf/h27/H27report_0629.pdf
2017.02.01 入手>.
- 14) 山下真樹他：橋梁景観の評価と設計への特異点概念の利用，構造工学論文集，Vol.45A，pp.615-622，1999.
- 15) 小林一郎他：特異点探索—フィールドワークとしての土木史・景観教育—，土木史研究，Vol.21，pp.241-246，2001.
- 16) ディルク・ビューラー：BRUCKENBAU 博物館で学ぶ橋の文化と技術，pp.23，78-79，128，鹿島出版会，2003.
- 17) 小林一郎：河川 CIM におけるデータマネジメントに関する研究，(一財)日本建設情報総合センター研究助成事業 研究成果報告書，pp.16，2015.
- 18) 矢吹彰広：化学装置設計製図における CAD の導入と教育効果，工学教育研究講演会講演論文集 平成 26 年度，pp.20-21，2014.
- 19) 北畠正巳他：高専の低学年で実施している土木分野の CAD 教育，工学教育研究講演会講演論文集 平成 25 年度，pp.150-151，2013.
- 20) 土木施工編集委員会：橋梁/景観とデザイン，山海堂，pp.157，2008.
- 21) Freyssinet, E. : Pont Saint Michel sur la Garonne à Toulouse<<http://efreyssinet-association.com/wp-content/uploads/St-Michel-2008-Souvenirs.pdf> 2017.02.01 入手>

(以上)

7. 付録

A1. 3D-CAD を用いて作成したモデル

- (1) 第1段階
- (2) 第2段階
- (3) 第3段階

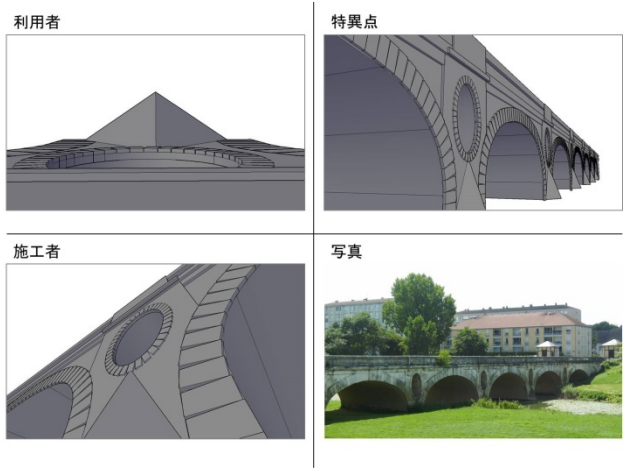
A2. レポート分析結果

A3. テンプレート一覧

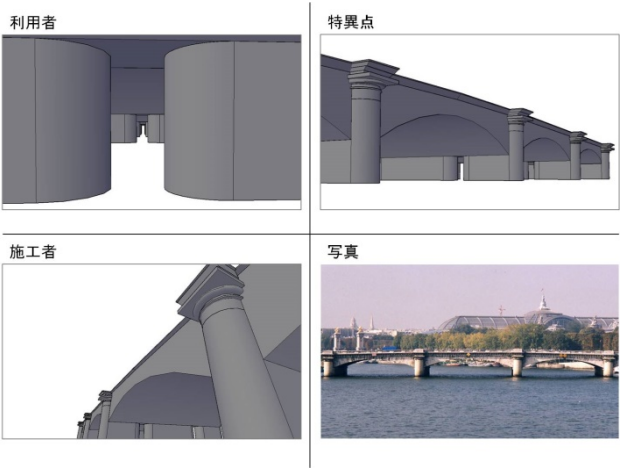
A1. 3D-CAD を用いて作成したモデル

(1) 第 1 段階

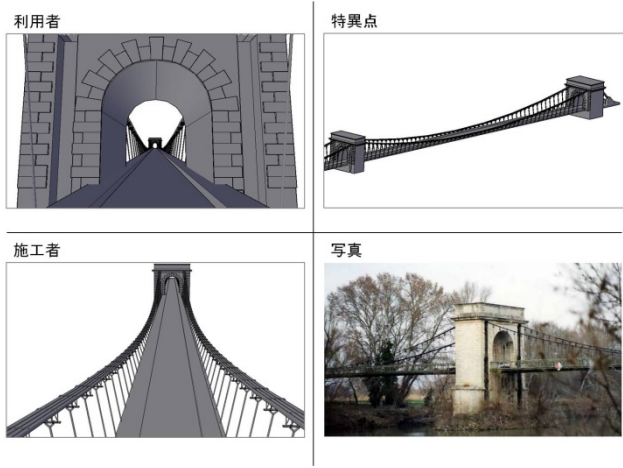
作成したモデルのキャプチャを付図 A1-1～付図 A1-13 に示す.



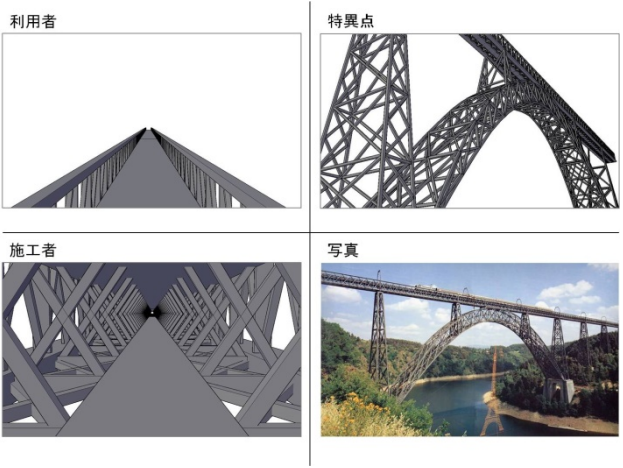
付図 A1-1 シャバンヌ橋



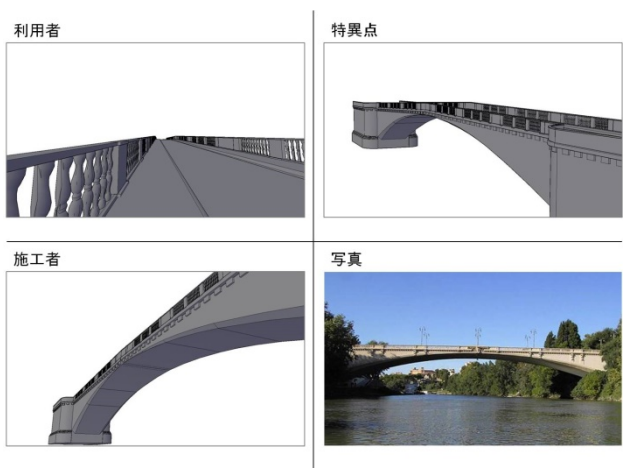
付図 A1-2 コンコルド橋



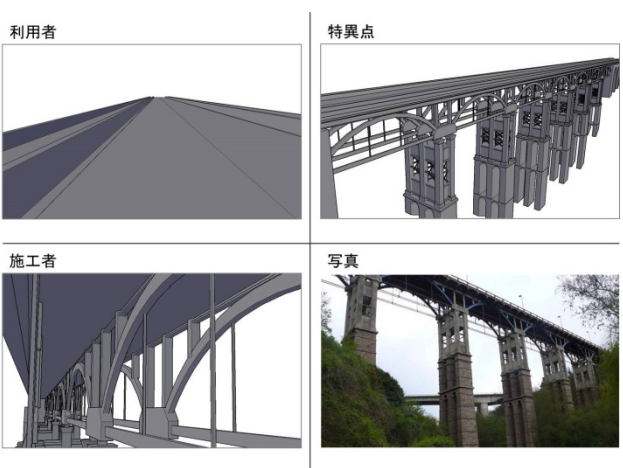
付図 A1-3 フルク橋



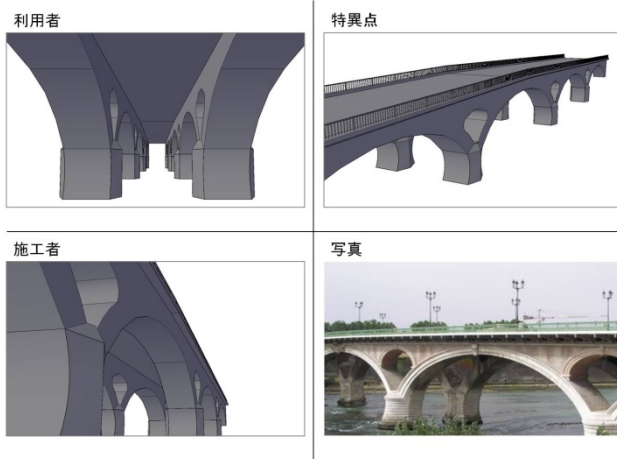
付図 A1-4 ガラビ橋



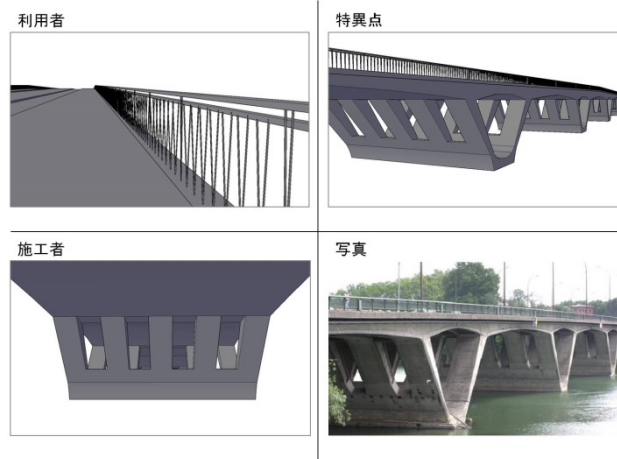
付図 A1-5 リソルジメント橋



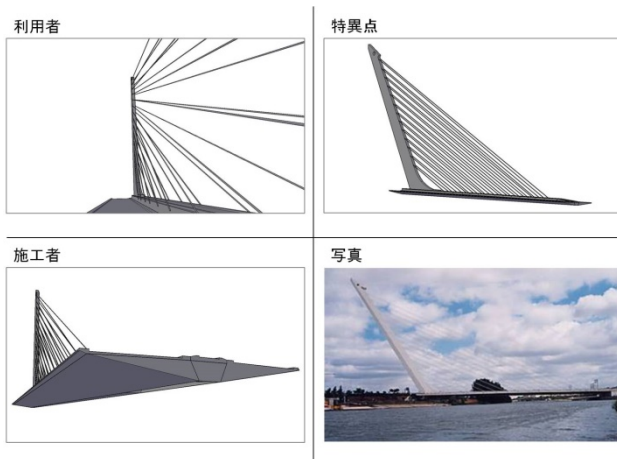
付図 A1-6 トゥーパン高架橋



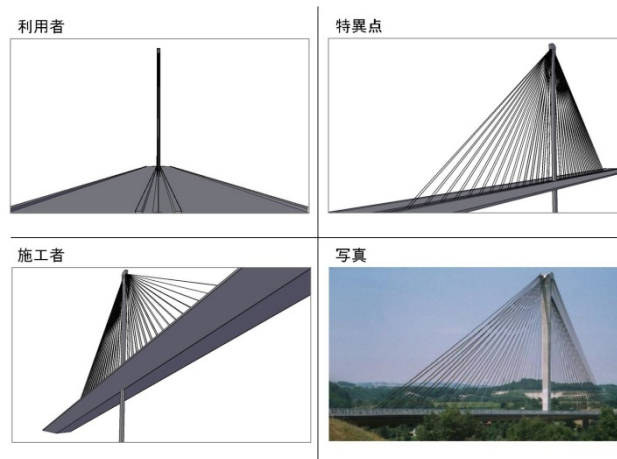
付図 A1-7 カタラン橋



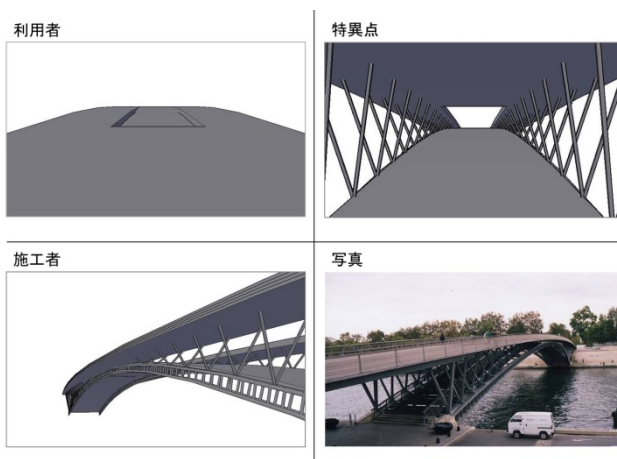
付図 A1-8 サンミッシェル橋



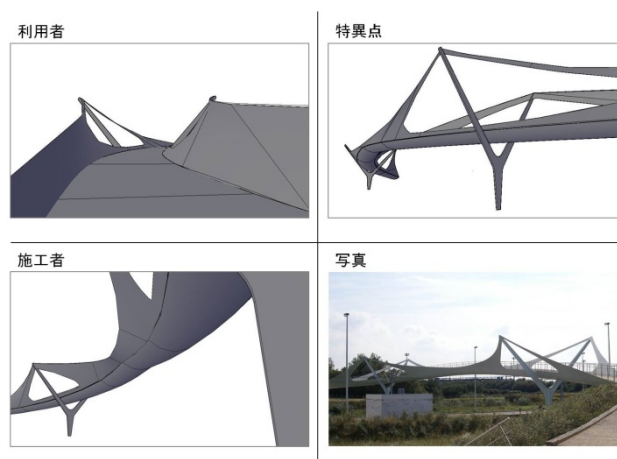
付図 A1-9 アラミージョ橋



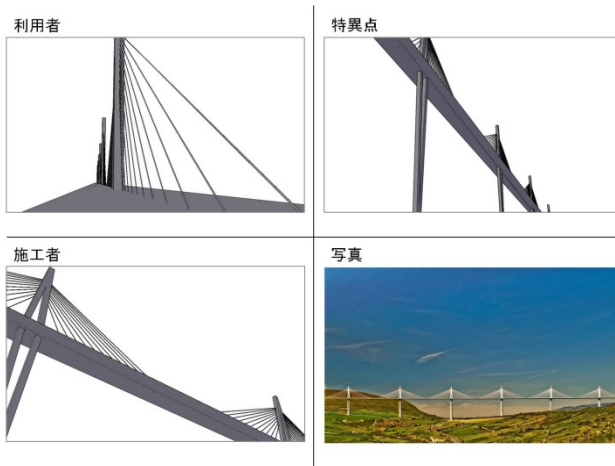
付図 A1-10 イゼール橋



付図 A1-11 ソルフェリーノ橋



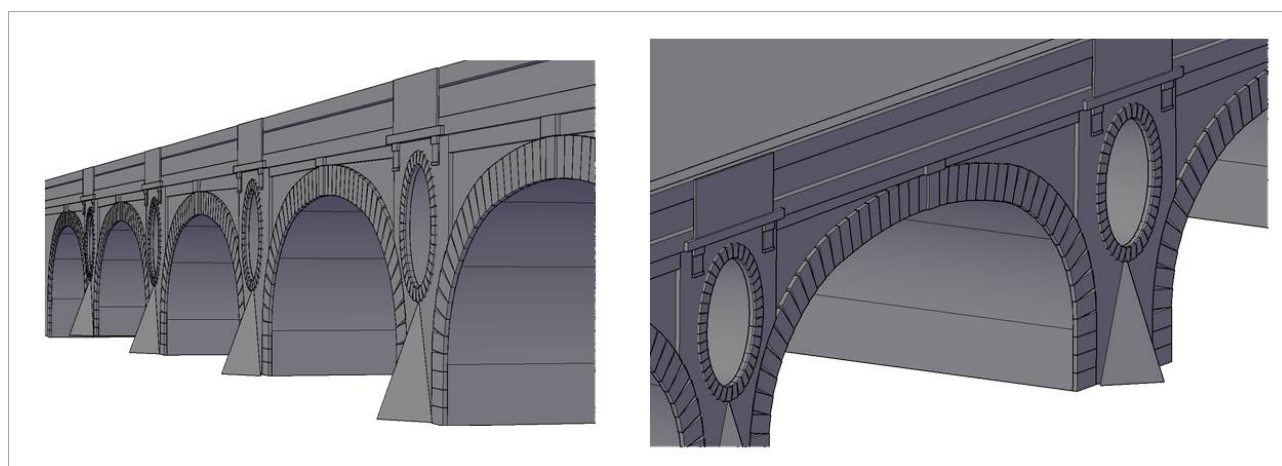
付図 A1-12 クノッケ橋



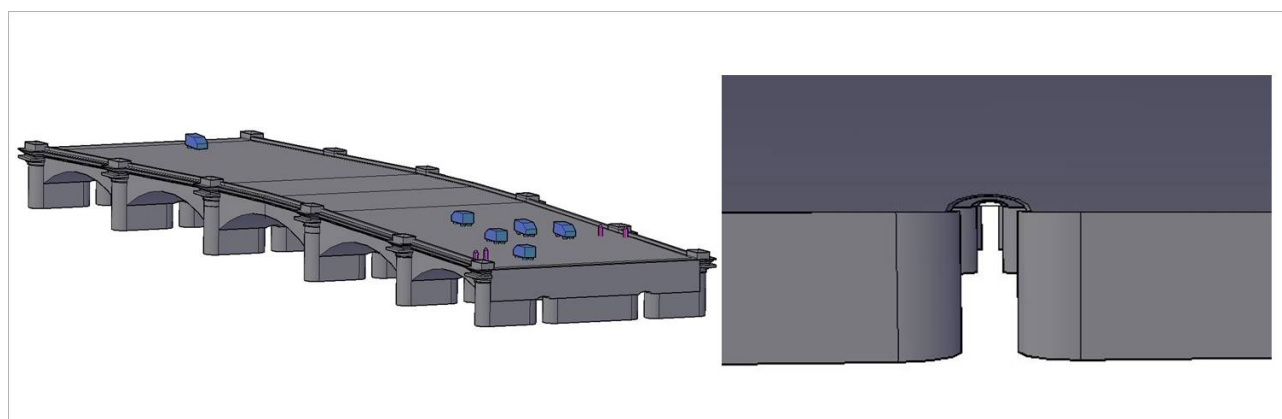
付図 A1-13 ミヨー橋

(2) 第 2 段階

作成したモデルのキャプチャ付図 A1-14～付図 A1-26 に示す.



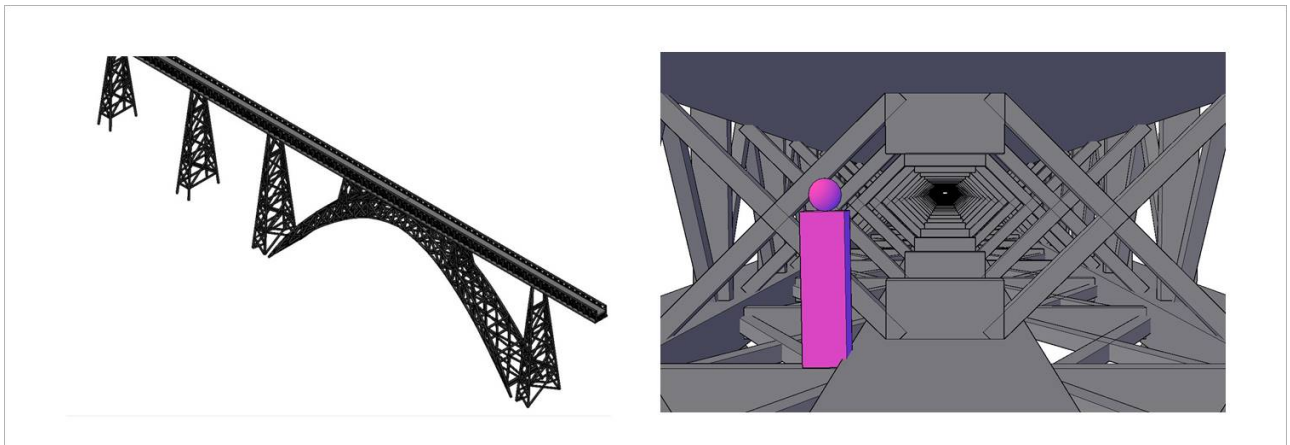
付図 A1-14 シャバンヌ橋



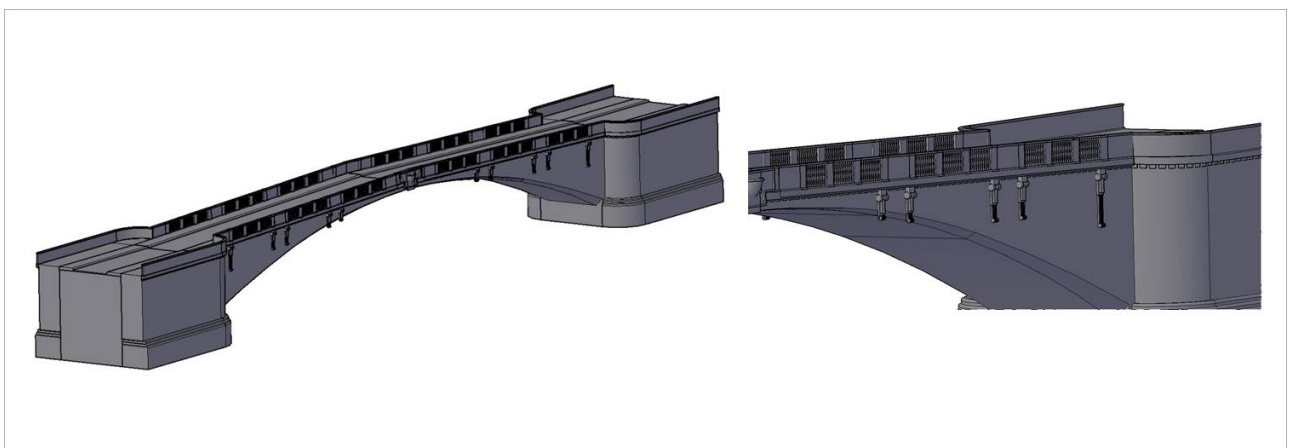
付図 A1-15 コンコルド橋



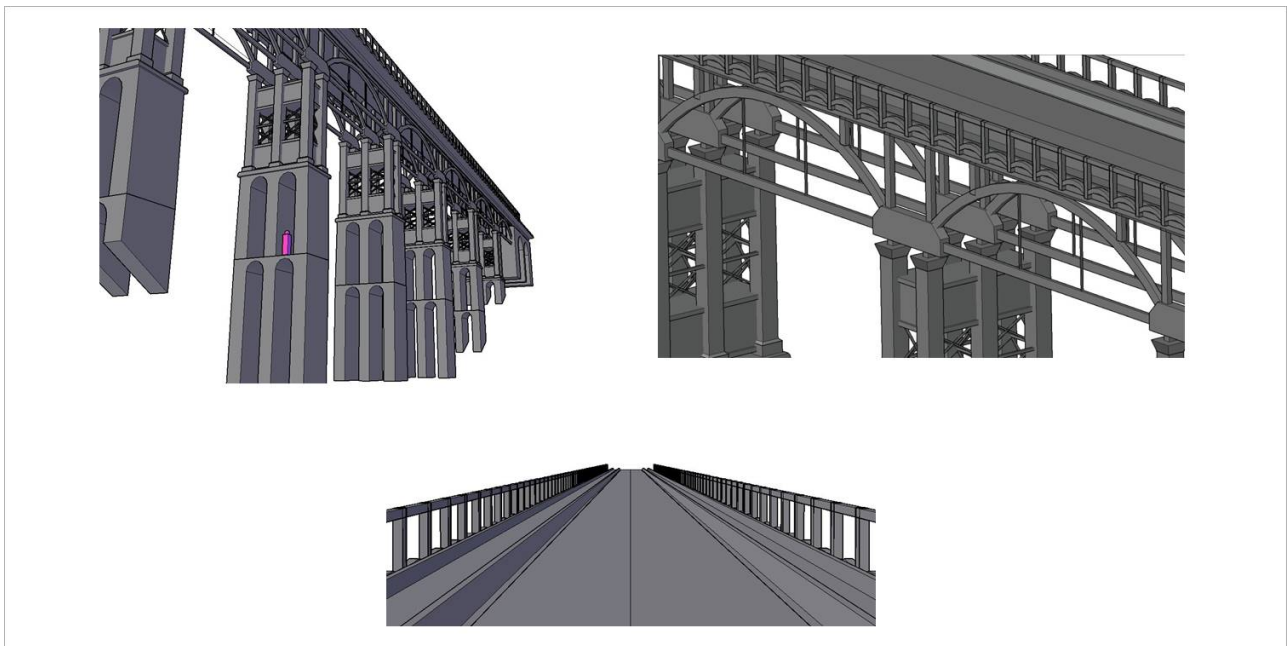
付図 A1-16 フルク橋



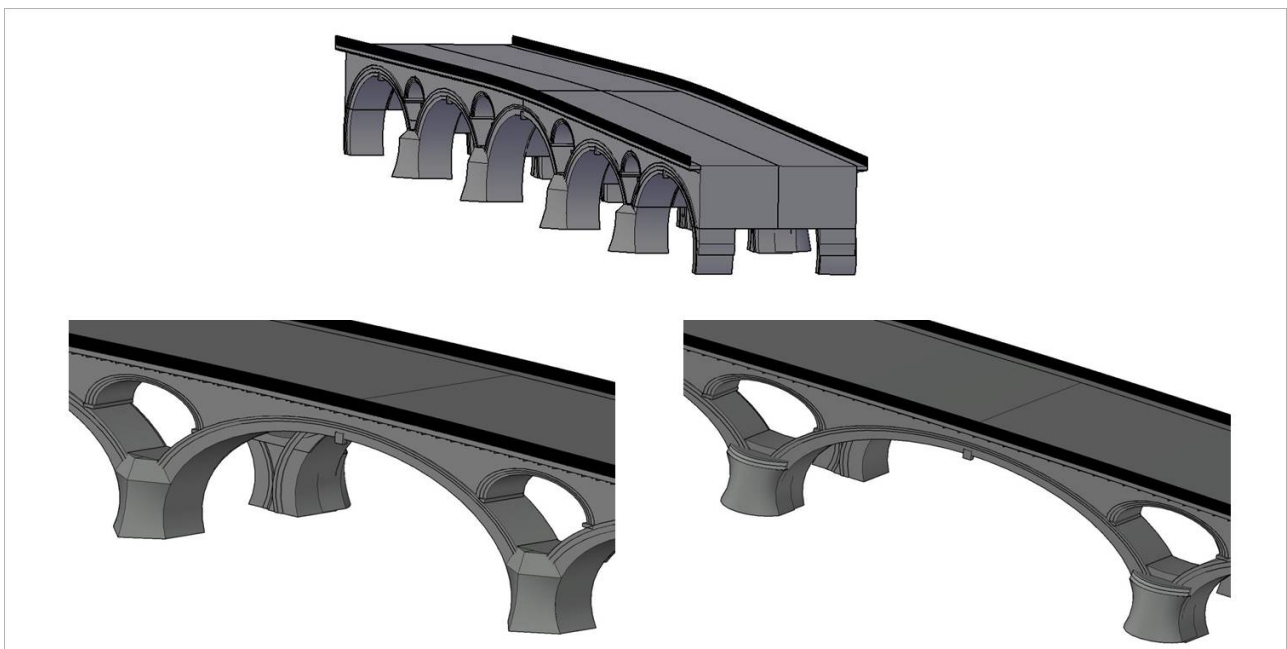
付図 A1-17 ガラビ橋



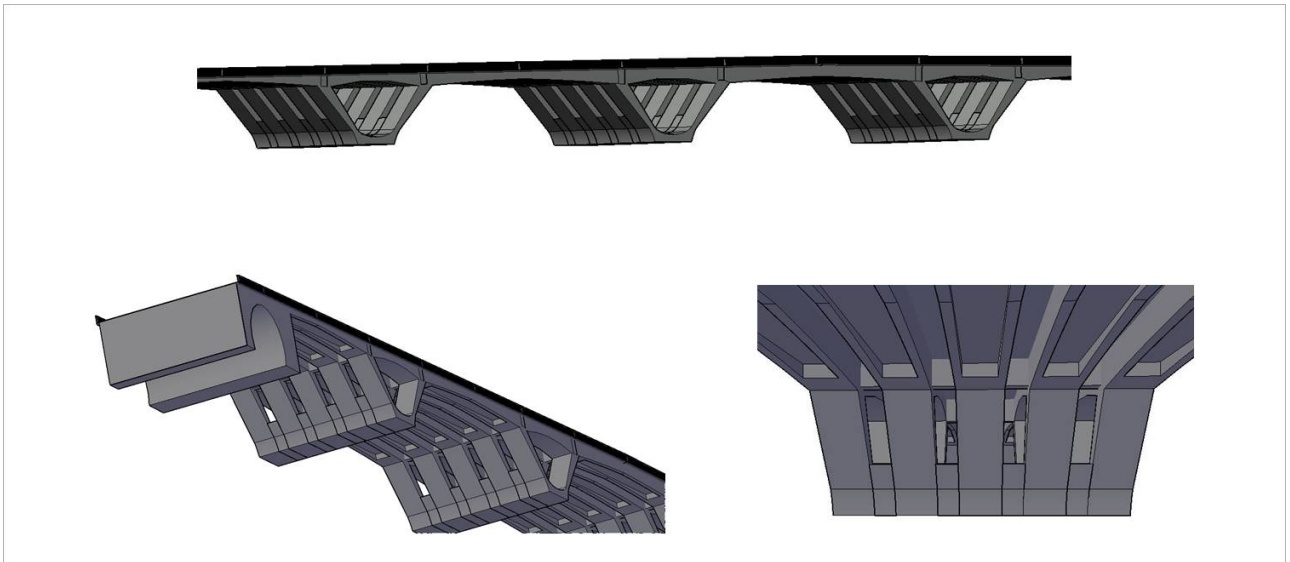
付図 A1-18 リソルジメント橋



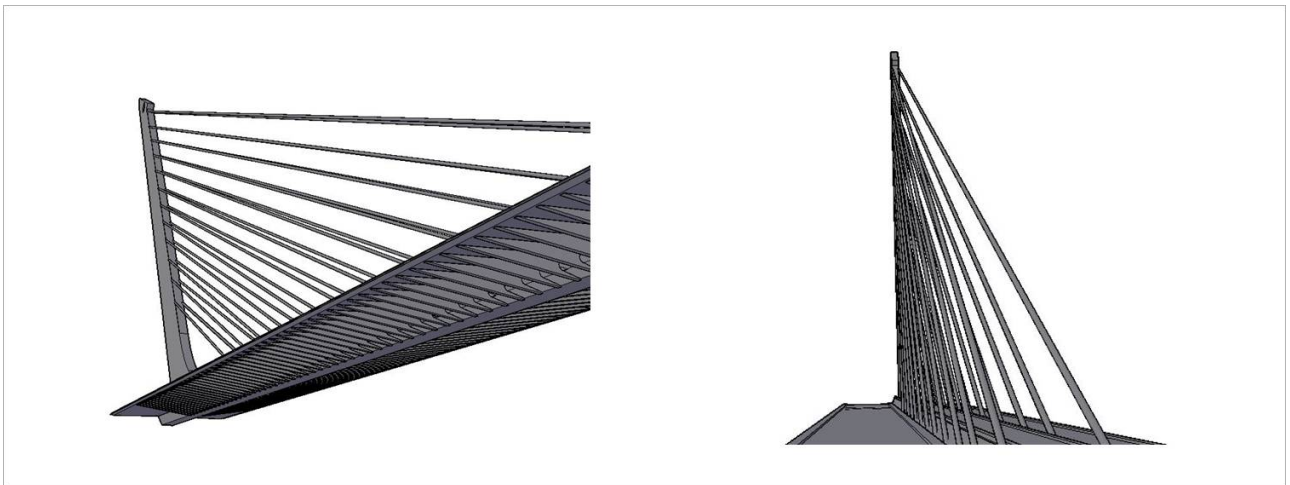
付図 A1-19 トウーパン高架橋



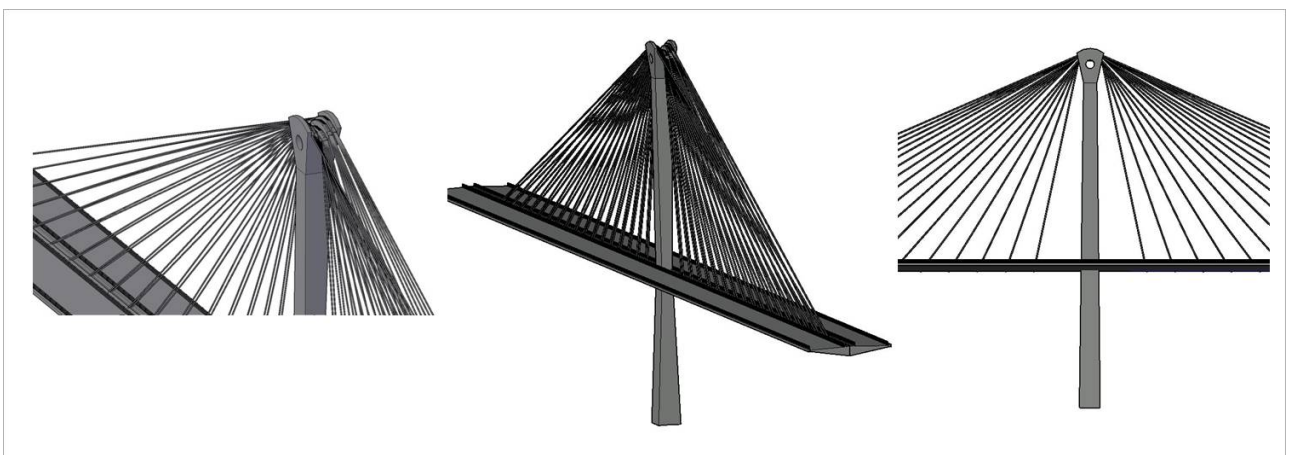
付図 A1-20 カタラン橋



付図 A1-21 サンミッシェル橋



付図 A1-22 アラミージョ橋



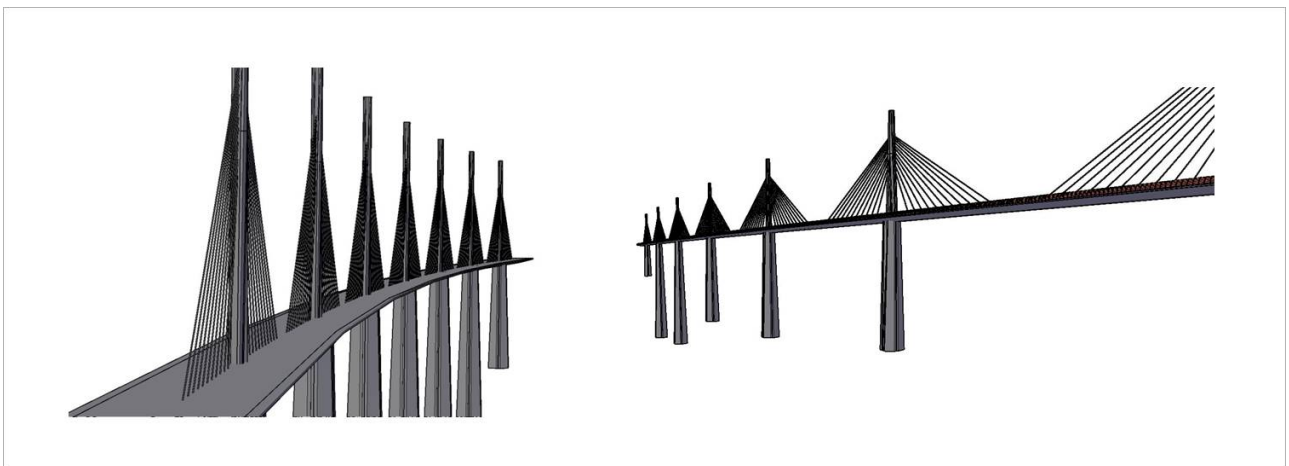
付図 A1-23 イゼール橋



付図 A1-24 ソルフェリーノ橋



付図 A1-25 クノッケ橋



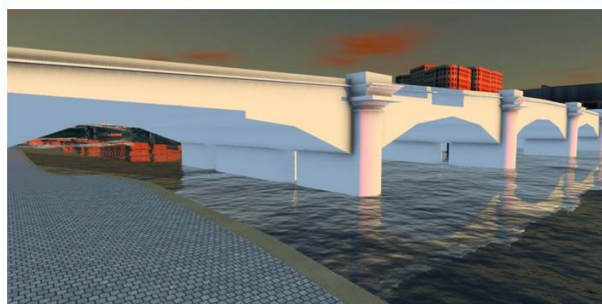
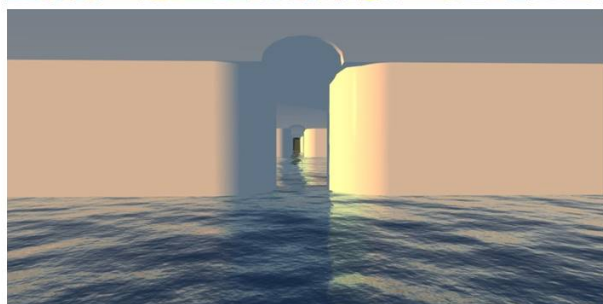
付図 A1-26 ミヨー橋

(3) 第3段階

作成したモデルのキャプチャ付図 A1-27～付図 A1-39 に示す。



付図 A1-27 シャバンヌ橋



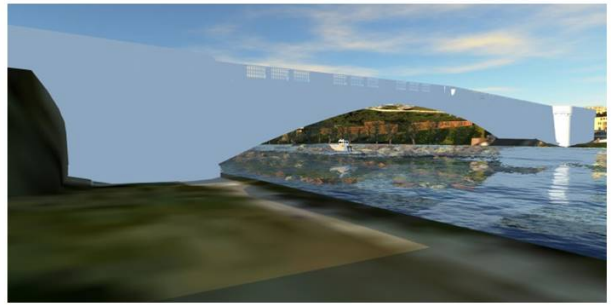
付図 A1-28 コンコルド橋



付図 A1-29 フルク橋



付図 A1-30 ガラビ橋



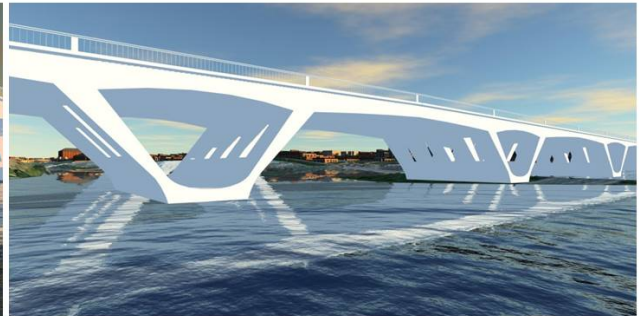
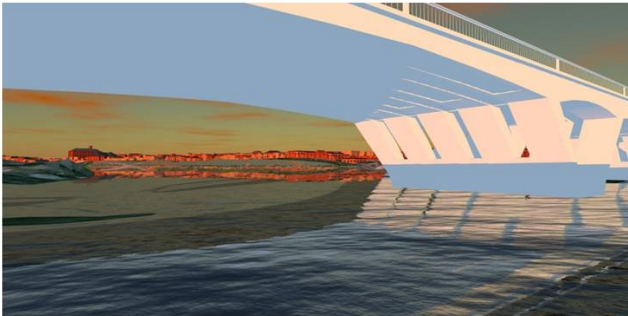
付図 A1-31 リソルジメント橋



付図 A1-32 トゥーパン高架橋



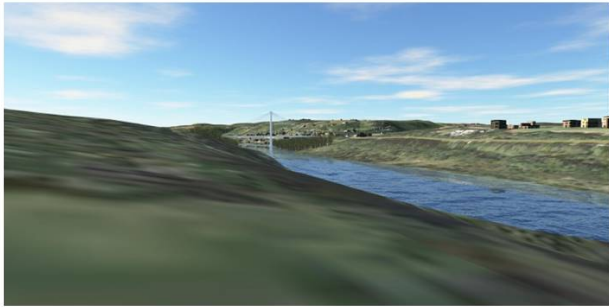
付図 A1-33 カタラン橋



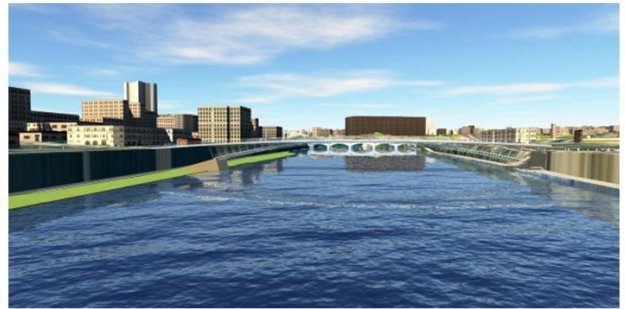
付図 A1-34 サンミッシェル橋



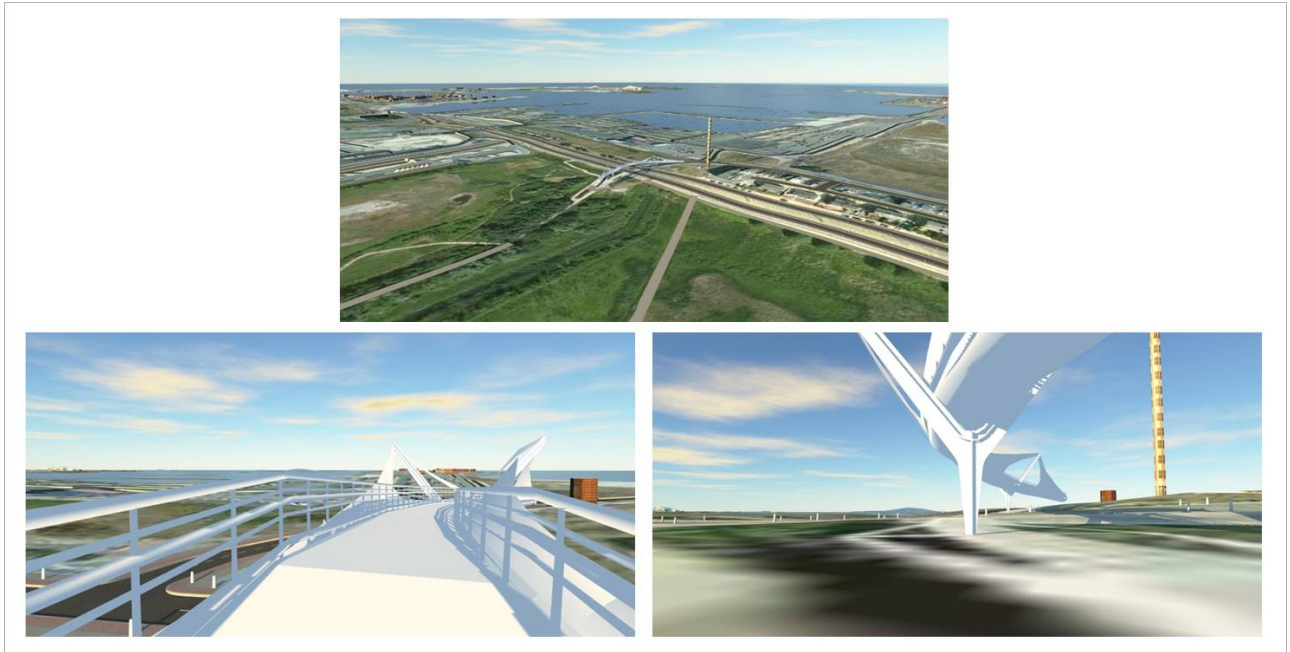
付図 A1-35 アラミージョ橋



付図 A1-36 イゼール橋



付図 A1-37 ソルフェリーノ橋



付図 A1-38 クノッケ橋



付図 A1-39 ミヨー橋

A2. レポート分析結果

他学生のレポート内容および 3D-CAD を活用した場合のレポート内容を整理したものを付表 A2-1, A2-2 に示す。

付表 A2-1 他学生のレポート内容

		他学生		
		着眼	造形1(姿・形)	造形2(機能・効果)
1	シャパンヌ橋	多心円アーチ、開口部	奥まで見渡せる	洪水対策、軽量化
		水切り	影の創出	機能からデザインへの変化
		周辺との関連	周辺環境との調和	
2	コンコルド橋	多心円アーチ	奥まで見渡せる	
		橋脚	スマート、アーチ際立つ	
		拡幅工事	周辺環境に調和	景観保持
		周辺との関連	一体化、世界遺産を結ぶ架け橋	
3	フルク橋	主塔側塔、背越定着		独立、リスク軽減
		マッシブな塔門	存在感、アーチを通して見る街並み	
		ケーブル定着部の張り出し		ケーブル劣化防止
4	ガラビ橋	錬鉄	開放的、見通しがいい	構造計算容易、機能性の向上
		色(周辺と橋梁)	調和、目立った存在	
		アーチ		安定感
		塔	天と地をつなぐもの	
5	リソルジメント橋	一体構造	スマート	安定感、企業による橋梁の普及
		外観	存在感、周辺環境との調和	
		鉄筋コンクリート	周辺環境との調和	安く強い、自由な形状
		木々、一方通行の道路	特定の視点に限定	
6	トゥーバン高架橋	様々な素材	複数の見え	材料費削減、軽量化、時間短縮
		地盤		軽量化、橋脚数の減少
		色(素材ごと)	複雑、存在感	
		H型橋脚		軽量化
7	カタラン橋	開口部	奥まで見渡せる	洪水対策、軽量化
		多層環		支保工の負担軽減
		多主構	スレンダー、安定	軽量化
		全体	スマート、シンプル、開放感	
8	サンミッシェル橋	桁下フランジ	軽やか、スマート、一体感	
		傾斜脚	開放的	洪水対策、軽量化、材料費削減
		橋脚 根元につれて薄く	浮遊感、スレンダー	
		新たな造形		ラーメン構造による開口部
9	アラミージョ橋	左右非対称	奇抜、異様	
		ハープ型、道路の高低差		光の透過
		主塔	生き物の骨格、存在感、シンプル	陰影の創出、芸術性
		周辺との関連	存在感、アクセント、調和	
10	イゼール橋	ケーブルの1点集中		視線の誘導、透過性
		逆三角形断面	存在感	形の統一
		主塔スリット&拡幅	スリム、安定感	視線の誘導
		一面吊り	スタイリッシュ、調和	ねじり剛性低い

11	ソルフェリーノ橋	木材の使用	温かみ、調和、自然	軽量化
		2重アーチ	開放的、明るい	行動の選択肢増、好奇心
		上部スペースの利用		橋本来の機能+α、街並み楽しむ
12	クノック橋	白で統一	シンプル、孤立、近未来、シンボル	
		1枚の板	ハンモック	軽量化
		非対称、曲線	不可解	傾斜を抑制
		Y字橋脚	スレンダー	
13	ミヨー高架橋	緩やかなカーブ	力強さの中にやさしさ	傾斜緩和
		世界一の高さ	存在感、力強さ	街を見渡す
		部材・装飾	シンプル、スレンダー、調和	透過性
		台形断面		風荷重の緩和、軽量化

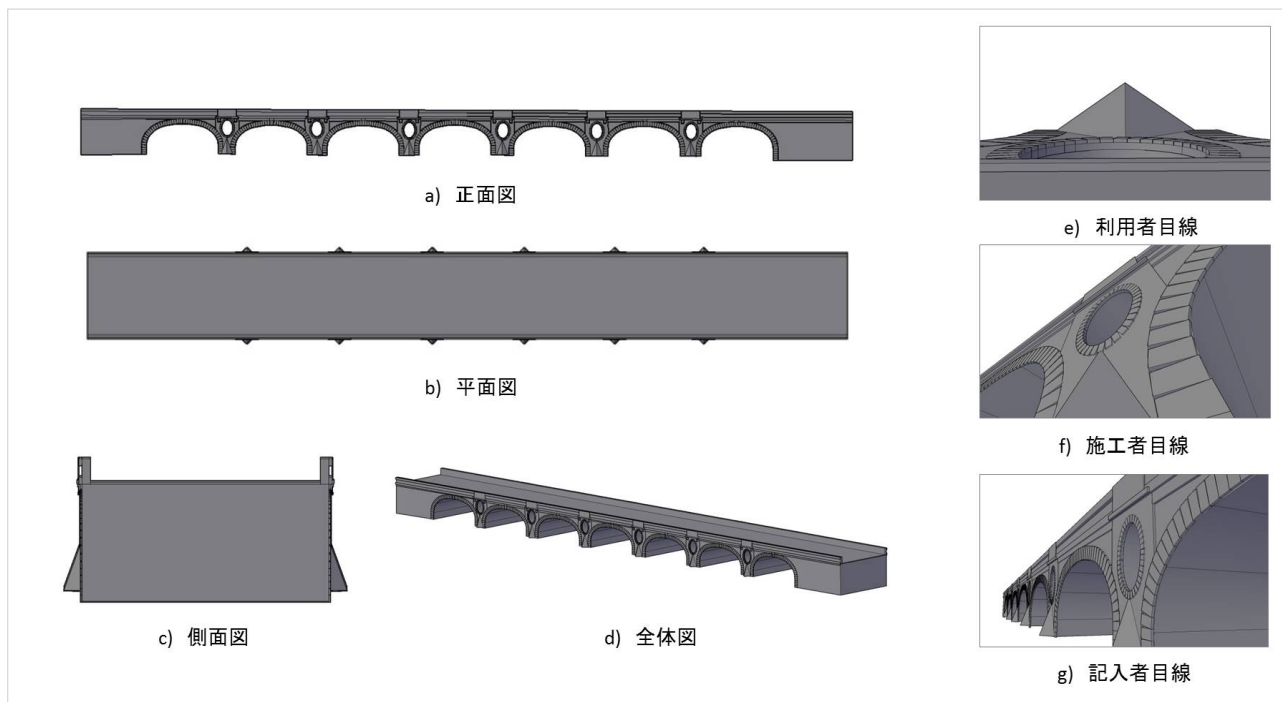
付表 A2-2 3D-CAD 活用におけるレポート内容

		CAD			
		着眼1	着眼2	造形1(評価)	造形2(姿・形)
1	シャバンヌ橋	開口部	橋面	面	全体像の把握可能
		水切り	細部	付加機能数多い	装飾のこだわり
		装飾	卓越した視点	標準数	
2	コンコルド橋	橋脚	橋面	面	全体像の把握可能
		桁の勾配	細部	付加機能数多い	
		装飾	卓越した視点		拡幅工事の理解
3	フルク橋	背越定着	橋面	線	全体像の把握可能
		塔門	細部	部材数多い	装飾のこだわり
		ケーブル数	卓越した視点		門をくぐる印象
4	ガラビ橋	錬鉄素材	橋面	線	全体像の把握可能
			細部	部材数多い、付加機能数少ない	
			卓越した視点	視点数多い	迫力
5	リソルジメント橋	アーチ	橋面	面	全体像の把握可能
		装飾	細部	付加機能数少ない	装飾のこだわり
			卓越した視点		重量感
6	トゥーバン高架橋	素材の違い	橋面	線	場所によって把握可能
		H型橋脚	細部	部材数多い	装飾なし
		3主構	卓越した視点		細部の把握
7	カタラン橋	開口部	橋面	面	全体像の把握可能
		2つの橋	細部	部材数多い	装飾のこだわり
			卓越した視点		2主構構造の把握
8	サンミッシェル橋	開口部	橋面	面	全体像の把握可能
		5主構	細部	部材数少ない	装飾なし
			卓越した視点		桁裏構造の把握
9	アラミージョ橋	桁下形状	橋面	線	全体像の把握可能
		片側斜張橋	細部		装飾なし
		車道と歩道の高低差	卓越した視点		浮遊感

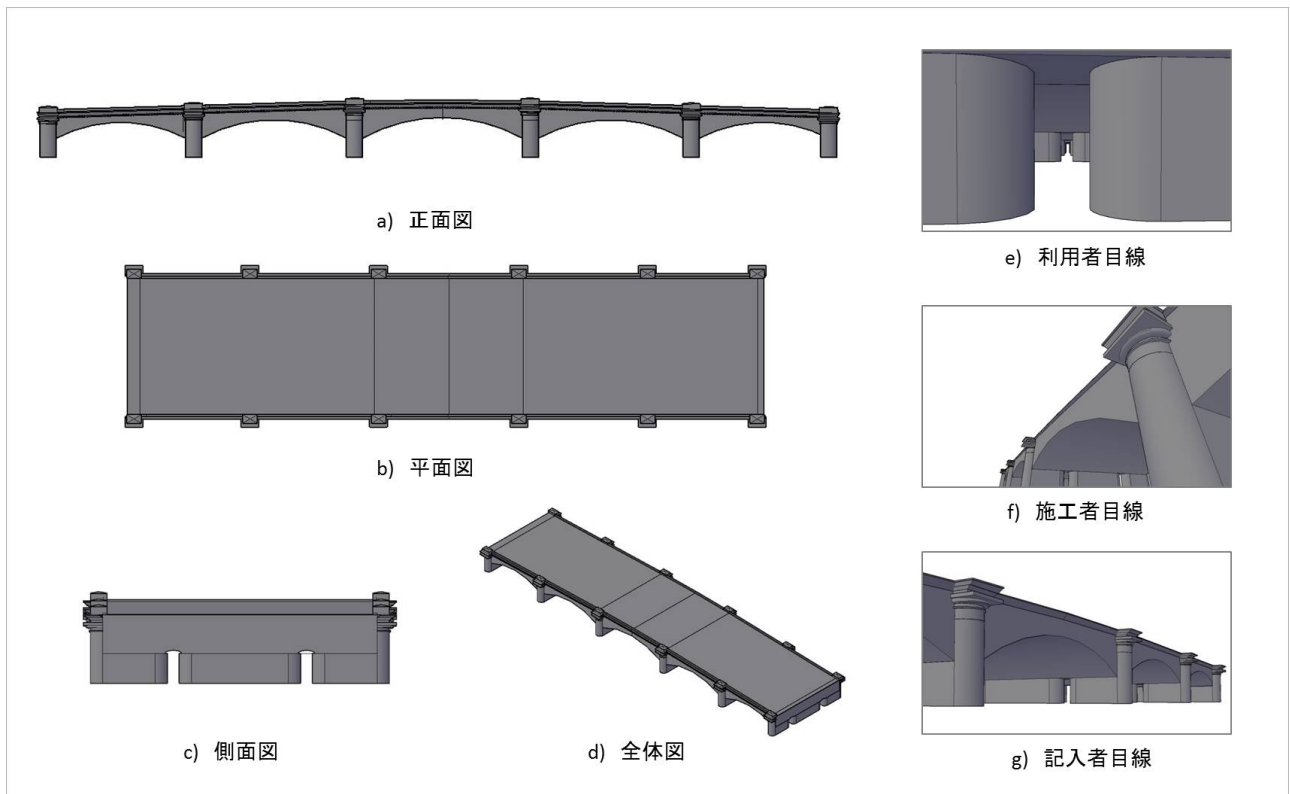
10	イゼール橋	ケーブルの塔頂部集中	橋面	線	全体像の把握可能
		主塔形状	細部		装飾なし
			卓越した視点	標準数	
11	ソルフェリーノ橋	2つのアプローチ	橋面	線	一部を除いて全体像の把握可能
			細部	部材数多い、付加機能数少ない	
			卓越した視点		行く先を想像
12	クノッケ橋	薄い板	橋面	その他	把握不可
		Y字橋脚	細部	部材数少ない	装飾なし
		開口部	卓越した視点	視点数多い	同一の見え方がない
13	ミヨウ高架橋	塔の形状	橋面	線	全体像の把握可能
		高さ	細部	付加機能数少ない	
			卓越した視点	標準数	

A3. テンプレート一覧

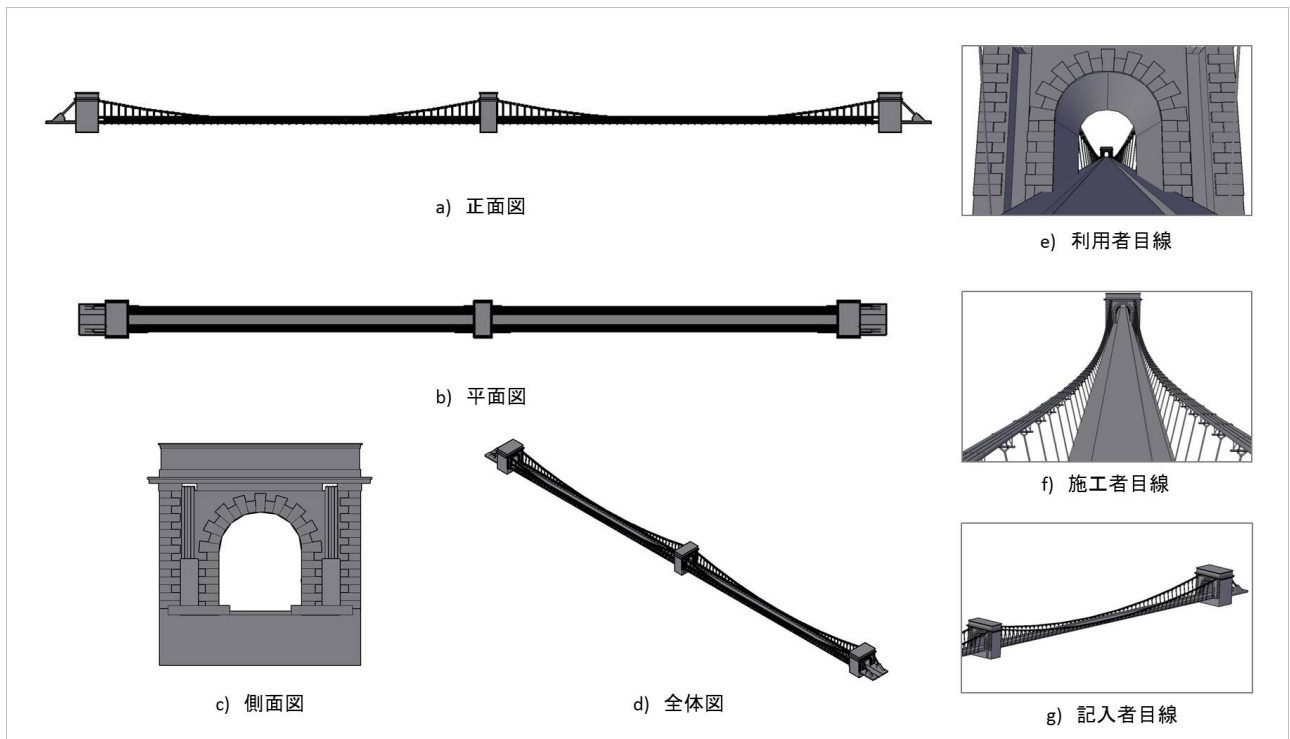
各橋梁について作成したテンプレートを付図 A3-1～A3-13 に示す。なお、テンプレートは正面図、平面図、側面図、アイソメ図、利用者目線、施工者目線、特異点から構成されている。



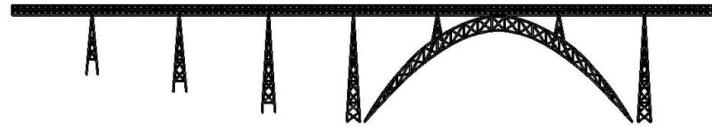
付図 A3-1 シャバンヌ橋



付図 A3-2 コンコルド橋



付図 A3-3 フルク橋



a) 正面図



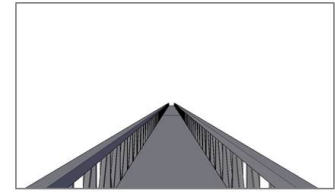
b) 平面図



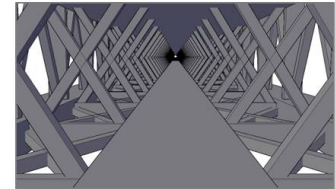
c) 側面図



d) 全体図



e) 利用者目線



f) 施工者目線

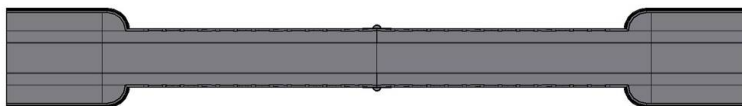


g) 記入者目線

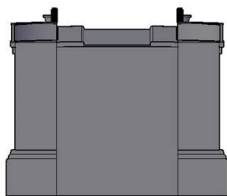
付図 A3-4 ガラビ橋



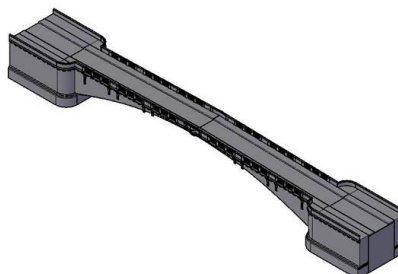
a) 正面図



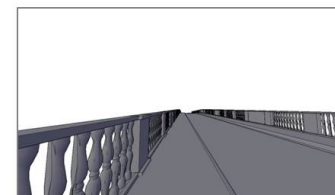
b) 平面図



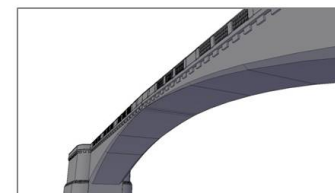
c) 側面図



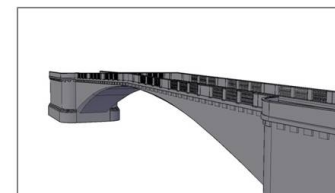
d) 全体図



e) 利用者目線

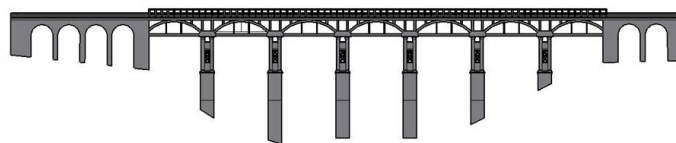


f) 施工者目線



g) 記入者目線

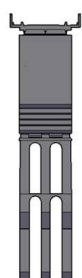
付図 A3-5 リソルジメント橋



a) 正面図



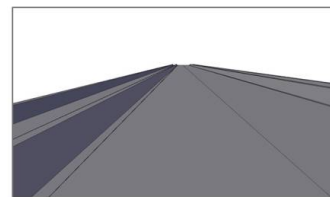
b) 平面図



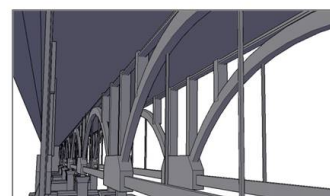
c) 側面図



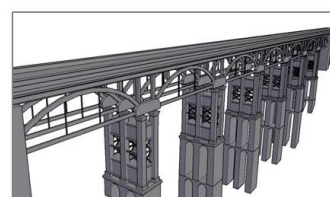
d) 全体図



e) 利用者目線



f) 施工者目線



g) 記入者目線

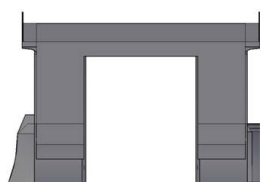
付図 A3-6 トーパーン高架橋



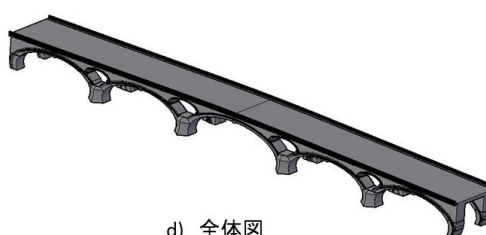
a) 正面図



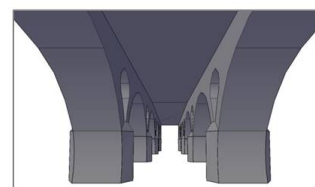
b) 平面図



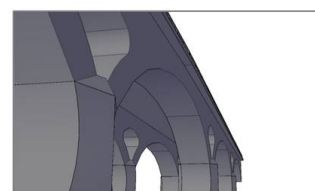
c) 側面図



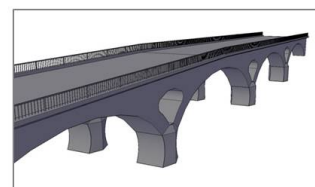
d) 全体図



e) 利用者目線



f) 施工者目線



g) 記入者目線

付図 A3-7 カタラン橋



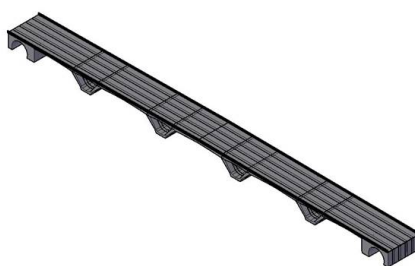
a) 正面図



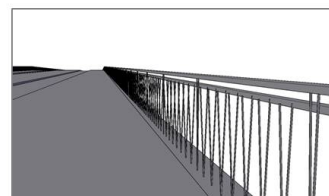
b) 平面図



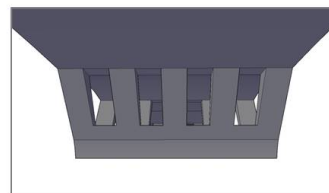
c) 側面図



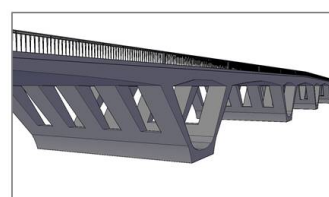
d) 全体図



e) 利用者目線

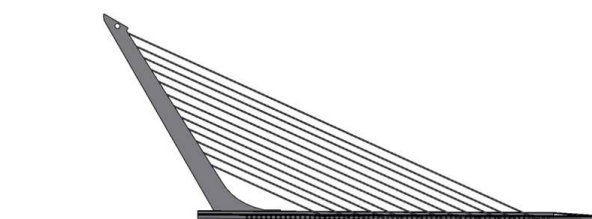


f) 施工者目線



g) 記入者目線

付図 A3-8 サンミッシェル橋



a) 正面図



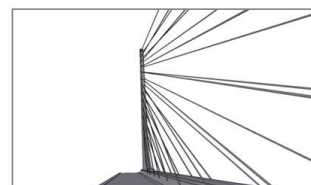
b) 平面図



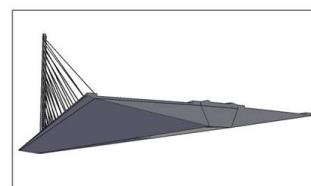
c) 側面図



d) 全体図



e) 利用者目線

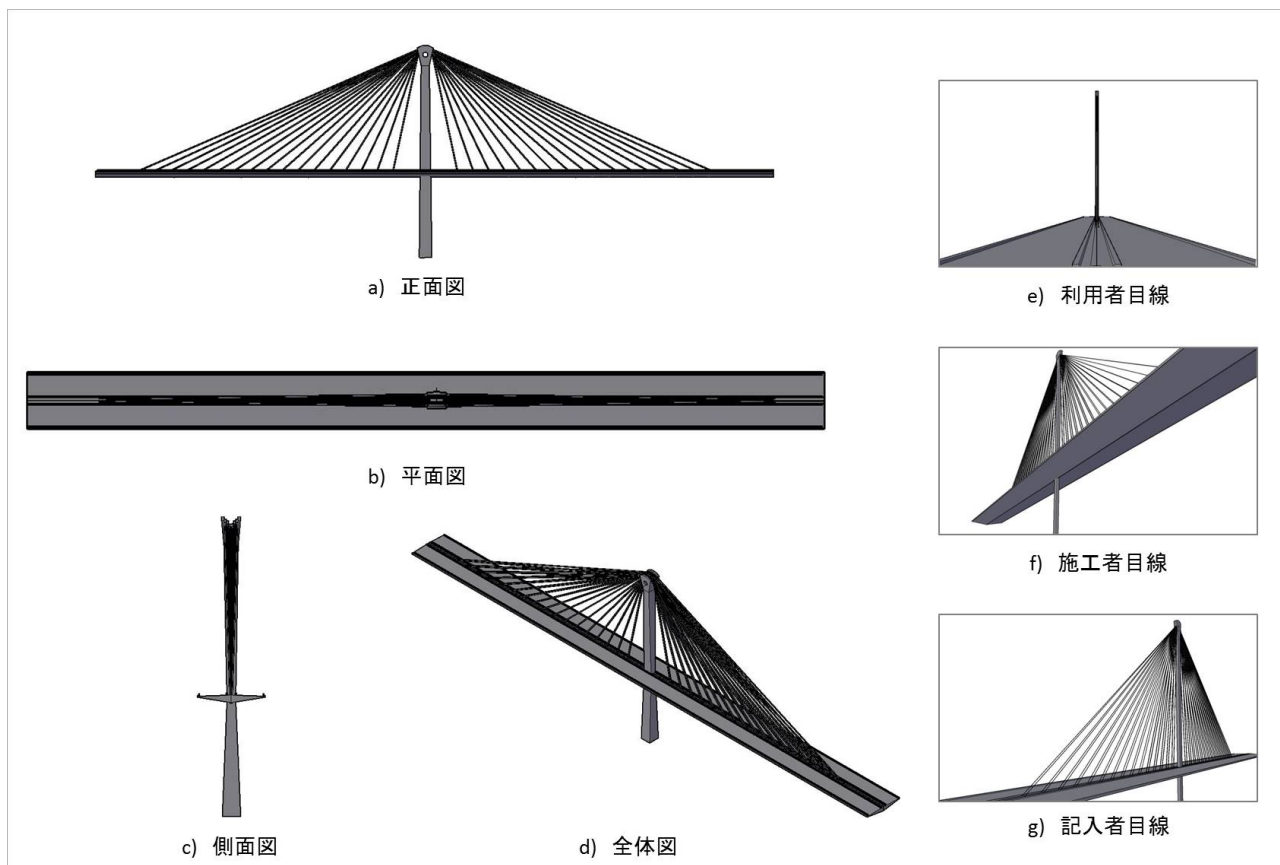


f) 施工者目線

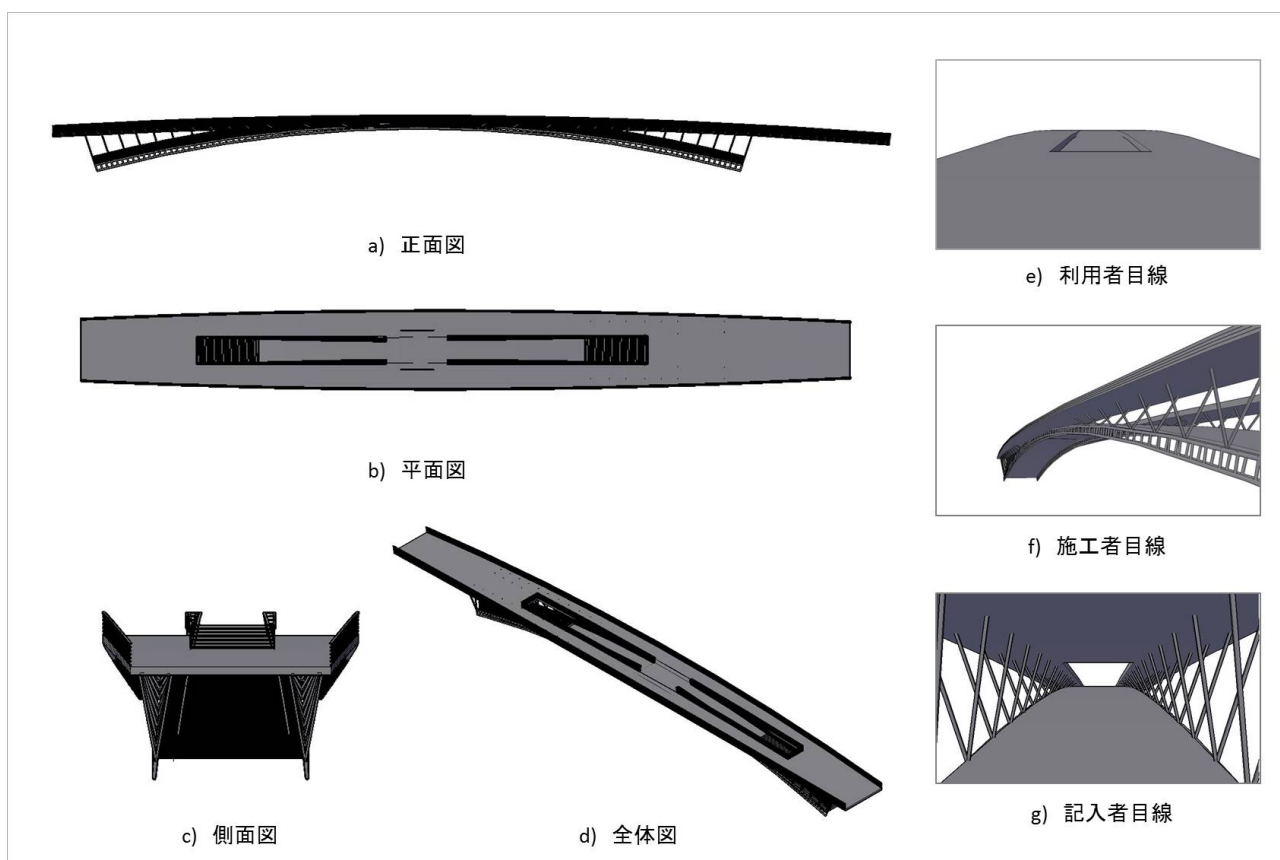


g) 記入者目線

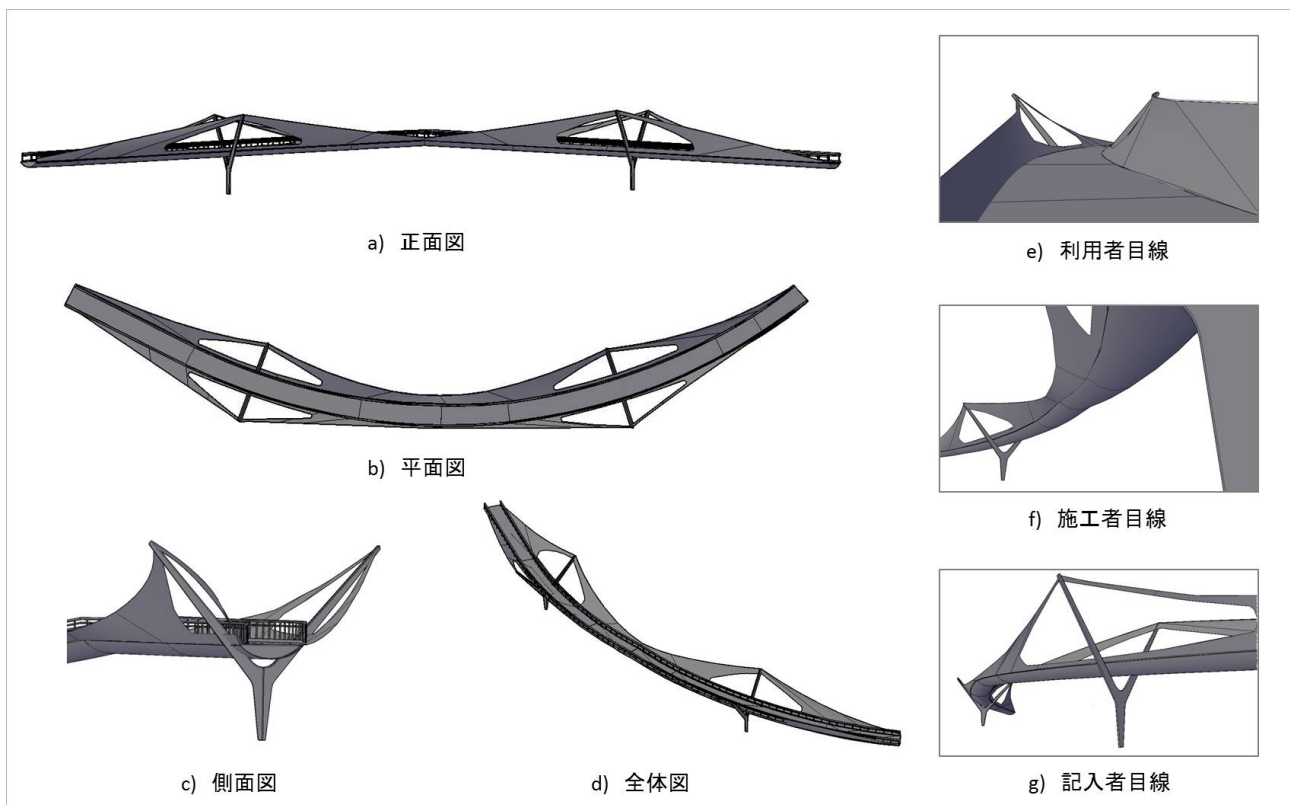
付図 A3-9 アラミージョ橋



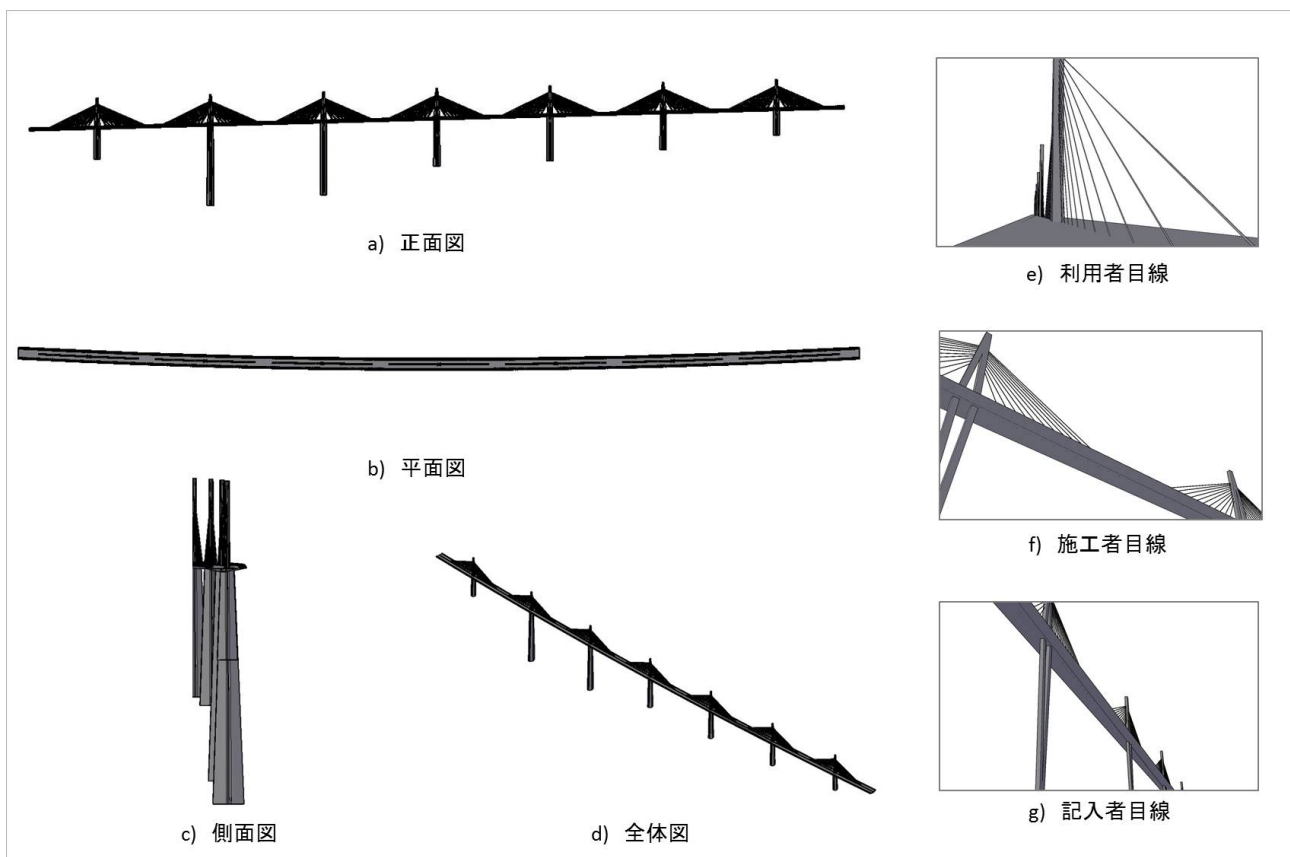
付図 A3-10 イゼール橋



付図 A3-11 ソルフェリーノ橋



付図 A3-12 クノッケ橋



付図 A3-13 ミヨ橋