

G1-16. 歩道橋を対象とした設計論の構築に向けた基礎的研究

石橋知也

1. 研究の背景および目的

歩行者専用橋（以下、歩道橋）は、人が最も身近に感じるものの出来る土木構造物の一つである。その規模は、橋長が10m程のものから100mを超えるようなものまで多岐に渡っており、構造形式についても多様である。また、歩道橋の利用者からは、人の歩行速度で近くから見られる対象であり、非利用者からは、都市景観、河川景観などの一部分として見られる対象となる。

人を中心としたまちづくり、健康的なライフスタイル、環境に優しい社会の構築などが現代社会の要請になりつつある中、ヒューマンスケールの土木構造物である歩道橋の設計には重要な課題がある。それは、歩道橋が都市や自然の中にどう取り込まれていくか、また、利用者がどう感じるか、という点などである。

今日ではコスト縮減が土木構造物の設計の前提条件となり、標準設計に代表されるように、設計業務が効率化されている。この中で、橋梁は離れた地点をつなぐという機能ばかりが重要視されているのは紛れもない事実である。また、現在ではなくなりつつあるが、橋梁上部構造の装飾に重点をおいたものが流行したことの名残から、「良い橋梁設計」には余計なコストがかかるという意識があることも否定できない。同様に、歩道橋でもただ単につなぐという機能が最優先されている。また、過剰な橋面加工や化粧版の取り付けなどの装飾美に走る傾向が未だにある。

一方で、歩道橋分野では、新しい構造形式が提案されたり、新しい構造材が用いられたり、橋梁設計分野の先進的な動きを見せつつある。設計者にとっては、公共性が高く、安全性については保守的な発想での設計とならざるを得ない自動車用道路橋に比べて、歩道橋では挑戦的な設計ができる。また、建築分野などの土木分野以外の職種との協働を試みる機会も多い。

このような背景を受けて、歩道橋設計において、設計者が設計条件をどのように解釈し、設計のコンセプトを構築し、どのような工学的解決策を見出してきたかを、事例ごとに整理し、設計者の設計思考の流れを追うことで、歩道橋設計の可能性を考察する手掛かりを得ることができると考えられる。この考えのもと、現在の歩道橋設計の概要を理解するための調査を行うことを第一の目的とする。次に、事例ごとに設計者の設計思考の流れを分析し、それに

基づいて、歩道橋の可能性について考察を行うことを第二の目的とする。

2. 研究の進め方

既往研究や文献において、歩道橋の設計全般についての記述は、横断歩道橋に関するもの以外はほとんど見受けられない。第一の目的を達成するため、現在歩道橋の設計に携わっている、建設コンサルタントやゼネコンの実務経験15年以上の技術者に直接面談形式でヒアリングを行った(7社10名)。第二の目的を達成するため、土木学会田中賞受賞橋梁や「日経コンストラクション」、「橋梁と基礎」などの専門誌に多数紹介されている橋梁(10数橋)をケーススタディの対象に取り上げて、その設計者(設計者と一緒に業務に当たった人も含む)から意見を得た。その意見を基に設計思考図を作成し、分析、考察を行った。

3. 歩道橋設計の概要

現在の歩道橋設計の概要を次の項目で整理した。

- ・歩道橋の制度上の分類と特徴
- ・歩道橋の設計条件の特徴

最後の項目は歩道橋に限らず、橋梁設計が抱える設計体制の問題点について整理した。

3.1 歩道橋の制度上の分類と特徴(図-1)

(1)道路構造令に基づくもの

道路構造令に基づく道路としての橋梁という位置付けで歩道橋を分類すると、主に河川や港湾などに架かる「歩行者専用道路」と道路の付属施設としての「立体横断施設(道路横断歩道橋)」になる。これらは、道路橋示方書、立体横断施設技術基準および各種指針・ガイドラインによって設計される。土木構造物である以上、原則として、行政管理の公共事

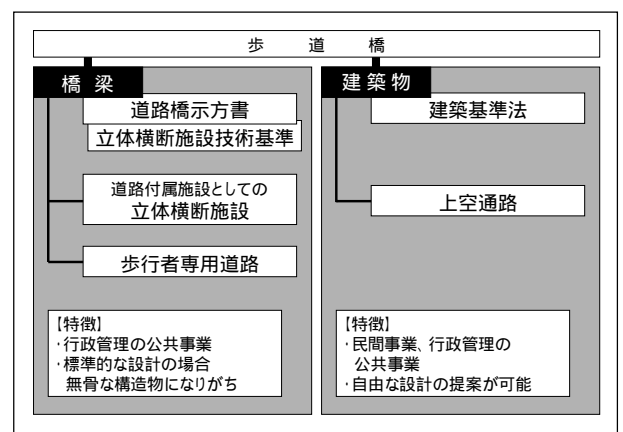


図 - 1 歩道橋の制度上の分類と特徴

業になる。発注者は行政で、一般的には建設コンサルタントが設計を受注する仕組みとなっている。示方書による規準範囲が確立しており、標準的に設計すると無骨な構造物になりがちであるという特徴がある。また、予備設計と詳細設計で担当する設計者が異なるのが一般的で、設計意図の一貫性の確保が困難になるケースが多い。

(2) 建築基準法に基づくもの

建築基準法によって設置が許可された施設として位置付けた場合、「上空通路」と呼ばれる橋の形をした建築物になる。建築物である以上、民間事業と行政管理の公共事業のどちらもありえ、設計者と施主で取り決めた範囲で比較的自由な設計提案が可能であるという特徴がある。また、設計者が一貫しており、設計意図の一貫性も確保されやすい。

3.2 歩道橋の設計条件の特徴

歩道橋の設計条件の特徴を明らかにするために、自動車用道路橋との比較から整理した。

(1) 平面線形、勾配（縦断線形）の設定条件

歩道橋を利用するのは、歩行者および自転車利用者であるため、設計速度が小さく、平面線形が自動車用道路橋に比べて、自由に設定できる。例として曲線や折れ線で構成されたものなどが挙げられる。縦断方向にも自由度があり、階段状の歩行面や様々な勾配のスロープなどが挙げられる。ただし、歩道橋の場合でもバリアフリーへの対応を考慮する場合、歩道橋の勾配の許容最大値は12%に制限される。

(2) 死荷重が小さいことによる影響

一般に必要とされる道路幅員は、自動車用道路橋の方が歩道橋よりも広くなる。従って、歩道橋の方が、橋長に対する幅員の割合が小さくなる。これは、同じ橋長でも歩道橋の方が死荷重が小さくなることを示していて、その分だけ構造計算が容易になる。

(3) 歩道橋に要求される機能

自動車用道路橋の場合、自動車を効率的に通すという機能が最優先になり、その他の機能が考えられる余地が少ない。それに対して、歩道橋では、歩行空間をどのように演出するかという点において、ただ歩行者や自転車利用者が通るという機能だけではなく、ある場所の出入り口としての機能やくつろぎの場など、多様な機能が考えられる余地が比較的多いといえる。

(4) 「疲労」の検討の必要がない

自動車用道路橋では、「疲労」に対する検討が必要であるのに対して、応力振幅が小さい歩道橋には必要がない。この分、設計の制約条件が減ると考えられる。しかし、吊橋などのように常に振動が想定される

場合は、「疲労」の検討は避けられない場合がある。

(5) 振動、たわみの検討

歩行者の歩調などの活荷重による主桁の振動は約2Hzであり、歩道橋の固有振動数がこの値にならないようにする必要がある。また、活荷重による主桁の最大たわみは、支間長の1/600を超えてはならない。

以上のように特徴を整理したが、(1)～(4)は、設計の提案を広める側に働くものであり、(5)は逆に狭める側に働くものである。

3.3 橋梁全般に関する設計体制の問題点

(1) 行政管理の公共事業では、発注者である行政と受注者である民間の建設コンサルタントの間で互いに設計業務の無駄を極力省く方向へと向かいやすい。示方書に従った標準的な設計の範囲では、リスクは発生しないに等しい。この場合のリスクとは、作業コストの設計者負担、社会的な説明責任、設計責任、未経験による不測事態などである。技術者は高い技術力を備えているにもかかわらず、挑戦的な設計に踏み切れないのは、わざわざリスクを負わなくても、示方書に従って標準的な設計をしていれば問題が生じないからである。「やれる(能力がある)のに、やろうとしない(リスクを負わない)」傾向にある。

(2) 発注者である行政は、担当者が数年で変更になることによって、設計意図を一貫することが困難になる。予備設計の段階での受注者(建設コンサルタント)と詳細設計の段階での受注者が異なる場合があり、ここでも設計意図を一貫するのに困難となる。規準法、規準および機能要求事項以外に一貫して求められる要素が希薄になる可能性がある。

(3) 国内では、橋梁設計に関するコンペティション(以下、コンペ)の数が少ないと同時に、欧米型のコンペが行われていない。欧米型のコンペの事例に見られる特徴は次の通りである。

- ・ 独創的なアイデアが提示され、実現しており、選考段階でオーナー(市長、議員)が参加する。
- ・ 橋梁の構造デザインと周辺環境の整合を重視したコンペ形式が多い。
- ・ 設計者は一貫しており、報酬、著作権も与えられる。これによって、設計者の責任が明確になり、特許使用料も発生し、類似転用などを防ぐことができる。
- ・ 二次選出で報償がある。選定後コスト縮減できればボーナス、超過すればペナルティがある。
- ・ 第三者(建設コンサルタントや政府系研究機関)の照査プロセスが確保されている。

(4)「工数ミニマム」の設計の考え方が現在主流になっている。「工数ミニマム」の設計とは、建設コストを抑える方法として、建設に発生する工数(作業の手間)を最小にするという考え方である。これは橋梁を構成する部材の加工方法や施工方法に影響を与えることであり、橋梁の出来栄にそのまま関係してくる。一方で、「重量ミニマム」の設計の考え方がある。これは、文字通り橋梁に用いる部材の重量、つまり使用量を最小に抑えようとする考え方である。例えば、長崎県佐世保市の西海橋のように、部材厚を限界まで薄くすることや板の軽量化のための穴を開けることなどが挙げられる。容易に想像がつくことではあるが、「重量ミニマム」を実行しようすると、高度な部材加工技術を必要とすると同時に、工数が増大することになる。重量よりも工数を最小に抑えることの方が、総合的に見て、コストを抑えることになるという考え方が現在の主流になっているわけだが、本当にその通りなのかは検証の余地がある。

4. 設計思考図の作成と分析

国内における歩道橋事例において、「構造デザイン」の考え方に基づいた提案をしているものに着目した。歩道橋は荷重の考え方の他、振動、たわみも十分に考慮した上での全体系の設計が必要となる。そのため、「構造デザイン」に根ざした設計提案は容易ではない。従って、「構造デザイン」に基づき洗練された設計事例からは設計の手本として学ぶところが大きいと考える。

ここでは、設計の前提条件、設計コンセプト、設計上の課題、工学的解決策などについて、設計段階ごとに要素として抜き出し、設計思考の流れを示したものを「設計思考図」と名付ける。各事例について「設計思考図」を作成し、分析した。

本研究では、「構造デザイン」を『景観用語辞典』(景観デザイン研究会著、1998年)を参照し定義する。

「構造デザイン」の基本とは、機能的・構造的必然性を重んじ、過度な装飾を避け、シンプルで分かりやすい形を旨とすることにある。「機能的なものは美しい」として機能の合理性を追求するモダニズム思想があり、その形は力の流れがダイナミックに感じられ、透明感(シンプルで純粋なイメージ)と緊張感とを伴う意匠になりやすい。近年の「構造デザイン」は「技と巧」を視覚的に現し、見る人の感覚を刺激するという傾向にある。つまり必ずしも構造力学的な合理性に固執せず、力の流れの新しい視覚表現によって魅力的な造形を追求するデザイン思想を展開している。

ケーススタディ 「イナコスの橋」

この事例の設計思考図を図-2に示す。発注者による抽象的な橋梁のイメージを、構造設計家である設計者が解釈して、「構造デザイン」の新提案を前提としてコンセプトを構築できている。それが、設計の流れの中で、明快な一貫性を持っていることが特徴である。具体的には、石材を構造材に利用する提案とそれを構造的に合理化するシステムが打ち立てられている。

多数の比較検討案から選考するという手法ではなく、構造システムの原型を既存の好事例に学び、コンセプトから形にまとめ上げていく過程を経ていることも特徴といえる。決してコンペ形式を採用しているわけではない。

ケーススタディ 「スプリングスひよし展望連絡橋」

この事例の設計思考図を図-3に示す。橋梁コンセプトを明確にする拠りどころとして、建築家が施設全体のコンセプトを描いている。これによって明快なコンセプトの一貫性が保たれることになる。具体的なコンセプトは、橋梁のフォルムが持つ視覚的なボリュームを下げることであり、「構造デザイン」に基づく構造システムの提案は、極めて基本的な桁構造とケーブル構造を発展させることであり、加えて3次元的に構造を解くことで様々な設計課題を解決していることが特徴である。

前出事例同様、比較案検討ではなく、基本的な構造システムの組み合わせと、設計の洗練作業によって、合理的な構造に収束させた結果として他に類がない形をつくり出している。

ケーススタディ 「ときめき橋」

この事例の設計思考図を図-4に示す。一般的に橋梁設計は比較案検討のもと、10案、3案と絞り込み、構造形式を決定後、詳細設計に移るという流れを踏む。この事例でも同様に比較案検討の中で、構造形式が決定されたが、結果的には既存事例のない新形式が選ばれている。具体的には、採用案は吊床版と偏平アーチの複合構造であり、構造安定の工夫としてコンクリート部材を一体化させた自碇式構造である。初期段階における比較案の中に、既存形式ではない発想の斬新な案が存在していたことが特徴といえる。そもそも比較案に挙がっていなければ採用される可能性は皆無である。荷重の考え方が明快であるなど、歩道橋設計では自由な発想で提案がされやすいということが示されている。また、この場合、単に発想が斬新であるだけでなく、経済性、施工性、景観性などのあらゆる面で総合的に優れた案

であることも注目すべきである。3案から最終決定に至る際には、設計者の新形式へ挑戦しようとする意識の高さがうかがえる。

5. 結論

5.1 考察：「構造デザイン」と歩道橋設計

(1) 橋梁コンセプトの明快さと一貫性の効果

何の条件も与えられず、好きにつくように求められても、逆に橋梁設計は困難となり、仮に生み出された形も理由のつけようがないものとなり兼ねない。これでは、形が必然性を失い「構造デザイン」に基づく設計の洗練は期待できない。しかし、橋梁コンセプト

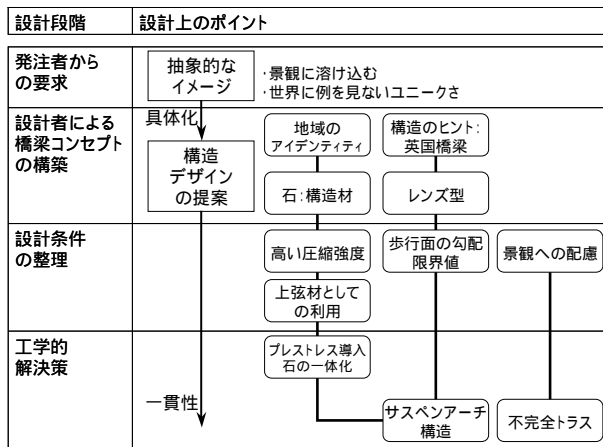


図 - 2 「イナコスの橋」の設計思考図

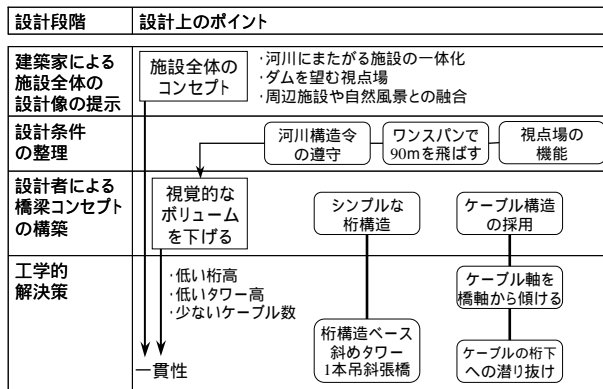


図 - 3 「スプリングスひよし展望連絡橋」の設計思考図

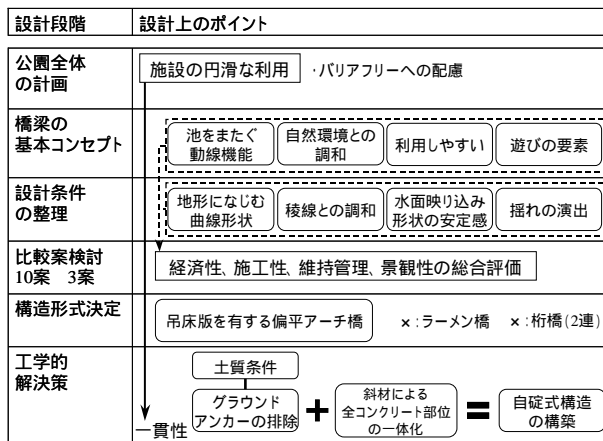


図 - 4 「ときめき橋」の設計思考図

が実に明快に、かつ初期段階から一貫性を保つ場合、設計者は必然性を求める拠りどころを見失うことなく、設計の洗練に努めることが可能となる。明快で一貫性のあるコンセプトが生み出す効果は大きい。

(2) 構造材として用いる材料の選択

一般の橋梁では、道路橋示方書などによって、橋梁に用いることの出来る材料は決まっている。コンクリートおよび鋼が基本であり、他にはPC用の緊張材などがある。歩道橋の設計においては、歩道橋としての構造力学的な性能を照査できれば、石材や木材でも使用可能である。このように構造材として用いることのできる材料の面で設計上の挑戦ができる。

(3) 設計主導者による影響

公私を問わず、歩道橋は道路空間や河川空間などよりもさらに限定された範囲で建設されることが多い。その限定された空間が建築家によって設計されている場合は、建設される歩道橋はその建築家による意図の影響を少なからず受ける。予め建築家によって、歩道橋の位置付けや形状のイメージが描かれている場合には、歩道橋の設計者との協働で取り組むことになる。場所全体の設計コンセプトに合致するように、歩道橋を設計する過程で新たな「構造デザイン」が提案される場合が少なくない。

(4) 既存構造形式の組み合わせ

新しい「構造デザイン」を提案する場合において、一から全て新しいことを生み出すのは困難である。しかし、既存の構造形式を新しく組み合わせたり、組み合わせ方を変えることによって、新しい「構造デザイン」を提案できる場合がある。歩道橋の場合、想定される設計荷重が小さく、構造的な合理性を得やすいものであるため、歩道橋を「実験橋」としてとらえているものがある。

5.2 考察：歩道橋設計を取り巻く体制づくり

歩道橋における「構造デザイン」の提案は、土木分野だけでは成立しない場合が多い。ある全体計画の中に歩道橋の計画をきちんと据えて、建築分野などとの協働の中から「構造デザイン」の提案を行うべきである。また、欧米型のコンペをアイデアのレベルで留めることなく、実用化できるような体制にすべきである。

5.3 今後の課題

本研究では、極めて限定された事例から分析を行ったが、今後も調査を進めて事例数を増やし、様々な設計のケースを補っていく必要がある。また、今回の事例は国内に限定しているが、国外の事例も対象としていくことで事例に幅がでると考えられる。今回は、分析からの考察に留まったが、歩道橋を設計する上での有用なデータとして、多くの設計者に利用してもらおう方向に研究を進める必要がある。

G1-16. Fundamental studies on construction of design theory about pedestrian bridges

Tomoya Ishibashi

A pedestrian bridge is one of the most familiar civil engineering works structures for the person. As for the scale, it is to the one to exceed 100m from about 10m, and a structural form is also various. Moreover, a pedestrian bridge is an object seen from the user at the walking speed of the person, and it becomes an object seen from non-user partially of landscape of city and river, etc.

In the contemporary society, a city planning that centers on the person, a construction of healthy lifestyles and environment-friendly societies are requested, and the design of a pedestrian bridge that is civil engineering works structure of a human scale has an important problem.

The cost reduction becomes the precondition of the design of civil engineering works structures today, and the design business is made efficiency, for example, a standard design. As for bridges, only the function of connecting a point away is attached to importance. Moreover, it is also certain that there is consideration of costing an extra cost to "Good bridge design" because of the remaining influences in the age that gives priority to decorations. It is similar also in pedestrian bridges.

On the other hand, a new proposal of a structural form and the use of the new material are progressively performed in the field in pedestrian bridges. In the design of pedestrian bridges, designers can do challenging design compared with road bridges for cars that consider high public and safety. Moreover, there is a chance of collaboration with an architectural field etc.

In this research, the first purpose is to understand the outline of a present pedestrian bridge design from the hearing to the designer in pedestrian bridges. The second purpose is to consider the possibility of the pedestrian bridges based on the analysis of design mind of a designer of each case.