

- 5) Friedlich Tamms, Erwin Beyer, Kniebrücke Düsseldorf, Beton-Verlag GmbH, 1969
- 6) Schaechterl K., Leonhardt F., Gestaltung der Bruecken, Volk und Reich Verlag, 1927
- 7) 中村英夫, 中村良夫監訳, 道路の線形と環境設計, 鹿島出版会, 1978
- 8) 田村幸久, 三ッ木幸子, 景観研究会, ブリュッケン, 1998, メイセイ出版
- 9) Zeitgeschichte in Hessen Daten Fakten Hintergründe,
- 1 0) Friedlich hartmann, Ästetik im Brückenbau, Report of the 2nd International Congress for Bridge and Structural Engineering
- 1 1) Friedlich hartmann , Ästetik im Brückenbau, Franz Deuticke, 1928
- 1 2) ハンス・ローレンツ, 中村英夫・中村良夫編訳, 道路の線形と環境設計, 鹿島出版会, 1976 年
- 1 3) Gerd Lomer, Brückenbaukunst, p321 - p331, Der Stahlbau, 1964

第5章 橋梁に対する一般生活者の感じ方と構造原理

5.1 はじめに

本章では、橋梁デザインの基本となる2つの事項について整理する。第一は、橋梁デザインにおいて一般生活者が橋梁形式に対してどのように感じているのか、専門家の感じ方と異なるのか、また、橋梁とそれがマッチングする風景との関係について、専門家と一般生活者の区別はせず、どのように感じているかを整理する。第二に、橋梁デザインにおいてエンジニアリングが不可欠であり、構造デザインは、橋梁の構造形式の選定から詳細デザインに至るまで常に考慮しなければならない要素であり、その基本となる構造原理の理解について整理する。

5.2 橋梁に関する一般生活者の感じ方に関する調査

第4章において、橋梁景観論とその歴史についてふれ、橋梁形態を表現する言葉として形容詞が使われていることを示した。例えば、プロポーショナル、リズムカル、シンメトリー、アンシンメトリー、コントラスト、空間透視性等である。これらは橋梁デザインを単独で評価する場合にはよく使われる形容詞であるが、「周辺風景との調和」や「図と地」のように橋梁と背景との関係性を示す言葉も使われる。これらの形容詞は、橋梁の専門家や、橋梁デザインの専門家が、それぞれの橋梁デザインの特性を評価する場合に用いるが、一般生活者が橋梁デザインを評価する言葉として使われるかどうかは別である。課題はどのような形容詞を使うかということではなく、専門家と一般生活者の間で橋梁デザインに関する感じ方の違いがあるかどうかということである。橋梁デザインの判断については、必然的に個人の「主観」や「経験」が影響して、工学的な扱いをすることに困難をきたすことがある。このため、アンケート調査や、有識者の意見を聞いて設計に反映させる方法や、

計量心理学的手法を用いて、主観的な感じ方の中に普遍性や一般性を見出し、それを定量化し客観性をもたせる方法が採用されることがある。例えば、工業製品の商品開発の分野では、そのマーケティングの戦略上、デザイン（意匠）に関する一般生活者の嗜好性の調査・分析を行い、消費者の嗜好性や感性を定量的に評価する手法が採用されている。そこで、橋梁デザインにおいても、この商品開発で用いられている言葉を使って、工業製品や車とおなじように、デザインの評価ができないかという視点で調査・研究を行ったので、以下にその成果を整理する。

5.2.1 調査手法¹⁾

橋梁の種類には、構造形式の上から見ると、吊り橋、斜張橋、アーチ橋、桁橋など構造的に多種多様であるとともに、鋼、コンクリート、石材、木材などを単独で使った構造である場合と、鋼とコンクリートを複合的に使う場合があり、それぞれの材料または、材料の組合せによっても橋梁デザインの印象が異なる。また、道路橋や歩道橋のように車中心の橋か、人が中心の橋であるかによっても橋梁デザインの印象や評価は異なる。特に、道路橋は、外から橋を見る外部景観が評価の対象となり、歩道橋の場合は、外部景観と渡橋時の内側からの眺め、すなわち内部景観の評価も加わるからである。そこで、本研究の対象は、道路橋とし、外部景観として見た場合の印象を評価し、材料による違いは考慮していない。そのためコンクリート橋、鋼橋を区別せずに橋梁の写真、風景写真、背景を捨象した橋梁フォルム（線画）等を複数用意して、被験者に対してアンケート調査を行い、その結果を統計処理して、一般生活者の橋梁フォルムに関する嗜好性があるかどうか、また、専門家との感じ方の違いがあるかどうかを調査した。その手順は以下の通りである

- ① 専門家や一般生活者を対象に橋梁の写真と並べたビジュアルパネル（**図-5.1**）を用いて面談アンケート調査を行い、各個人のデザイン感性に関するデータ、およびその他の趣味、好み、好きな街づくりの方向性についてのデータを収集する。例え

ば、橋梁のタイプとそのイメージが相応しい背景の組合せについて調査するパネルがある（図-5.2）。橋梁フォームを別々に線画で示し（図-5.3），それぞれの橋梁形式に関する印象を一对の形容詞の尺度で評価させる方法もある。例えば，洗練された⇔野生的な，近代的な⇔伝統的な，女性的な⇔男性的な，動的な⇔静的な，都会向き⇔田園向き，軽快な⇔重厚な，海岸向き⇔山間向き，我がまちに欲しい⇔我がまちに欲しくない等の質問用紙（図-5.4）に，印象を7段階で記入する。

- ② データを計量心理学の一手法である SD（Semantic differential）法の因子分析を用いて解析する。
- ③ 因子分析結果から得られる支配的な因子としての「動的-静的」因子と「女性的-男性的」因子に着目してそれぞれの橋梁が有しているそれぞれの因子の定量的な度を2次元座標上にプロットする。



図-5.1 橋梁デザインの好みの選択に関するビジュアルパネル¹⁾

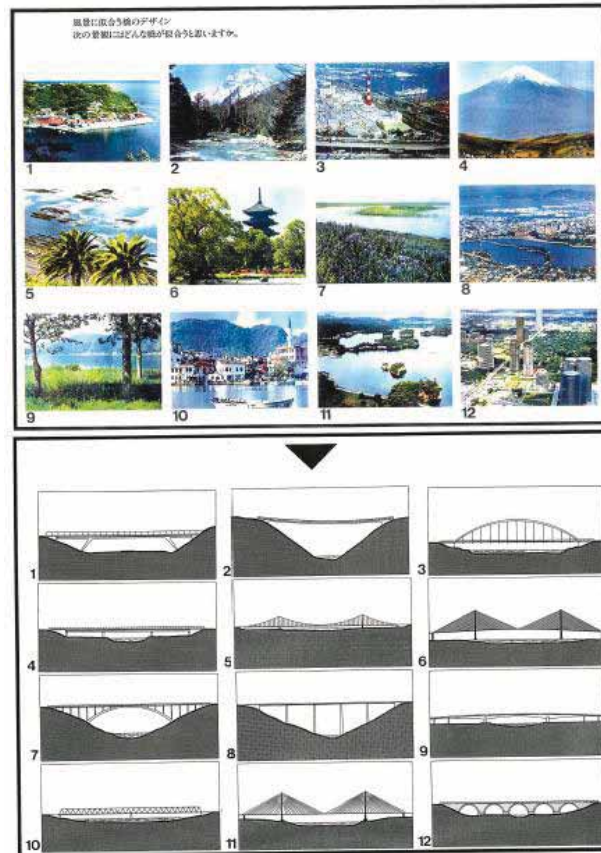


図-5.2 風景と橋梁形式のマッチングに関するビジュアルパネル¹⁾

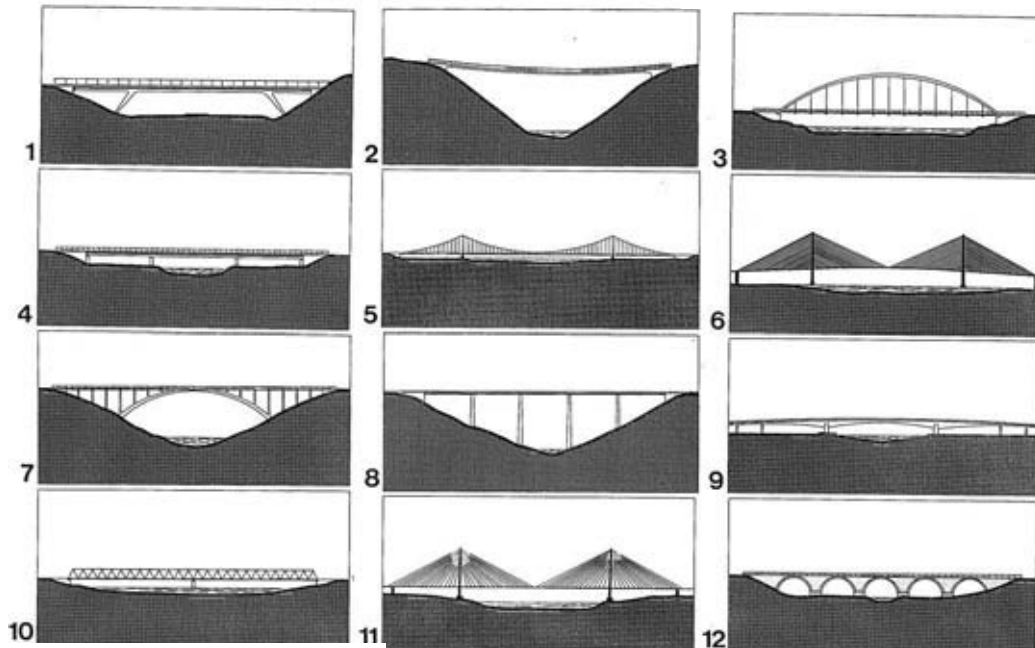


図-5.3 背景を捨象した橋梁フォルム¹⁾

No. 3 の橋梁フォームに対するあなたの印象

| | ひ | か | や | ふ | や | か | ひ | |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|-----------|
| | じ | | | | | | じ | |
| | よ | な | | つ | | な | よ | |
| | う | | | | | | う | |
| | に | り | や | う | や | り | に | |
| (1) 洗練された | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 野生的な |
| (2) 近代的な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 伝統的な |
| (3) 女性的な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 男性的な |
| (4) 運動的な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 静態的な |
| (5) 軽快な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 重厚な |
| (6) 親近感がある | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 信頼感がある |
| (7) 自然な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 人工的な |
| (8) ソフトな | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | ハードな |
| (9) さわやかな | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | おだやかな |
| (10) 長大な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 短小な |
| (11) 暖かい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 冷たい |
| (12) 丈夫な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | きゃしゃな |
| (13) 陸上向き | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 水上向き |
| (14) 都会向き | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 田園向き |
| (15) 海岸向き | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 山間向き |
| (16) わが街にほしい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | わが街にほしくない |

図-5.4 橋梁フォームを1対の形容詞で評価する質問シート¹⁾

- ④ このテイストスケールのそれぞれの位置と感性用語との対応が、(図- 5.5) のように表せる。③との対比で各橋梁にどのような感性用語が対応するかを把握する(図- 5.6)。
- ⑤ 橋梁の構成要素や付属物および風景に対しても、同様にテイストスケールにプロットし、それぞれの相関を見ることにより、景観面で望ましい組合せを検討することができる。
- ⑥ 橋梁に関する好みと、その他の好みや好きな街づくりの方向性について相関を検討することもできる。

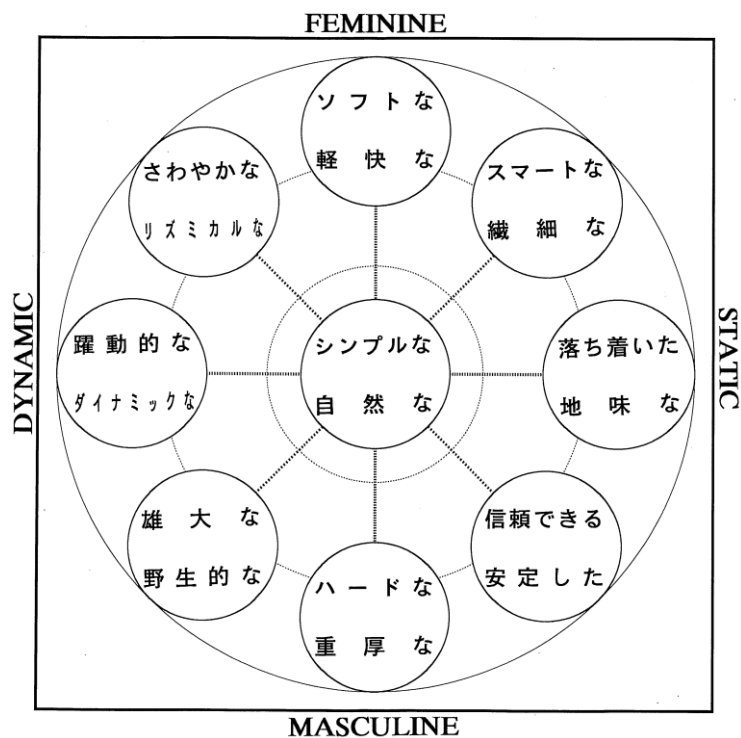


図-5.5 橋梁の感性用語に関するテストスケール¹⁾

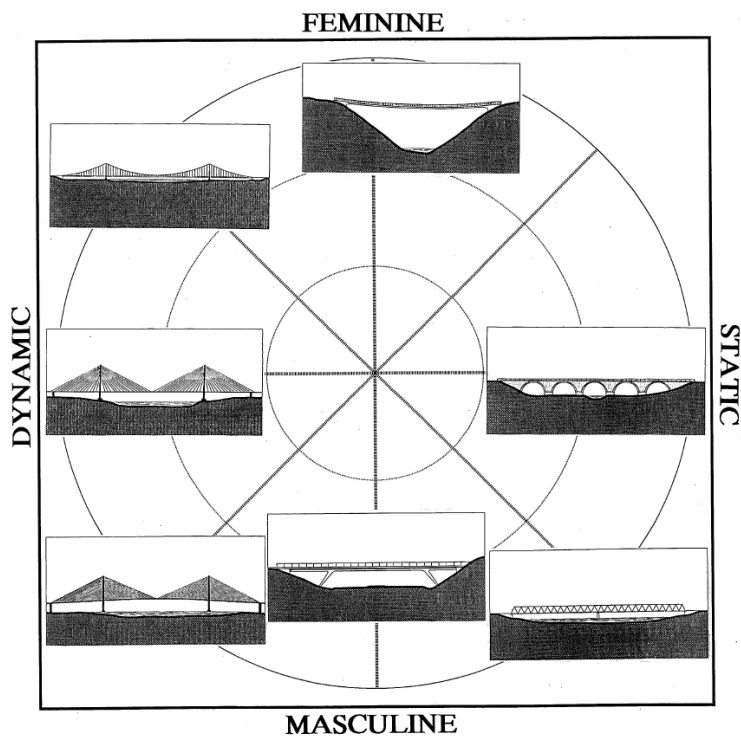


図-5.6 橋梁タイプに関するテストスケール¹⁾

5.2.2 調査・分析

橋梁の景観設計に関する調査・分析の結果を以下に示す。調査対象者は330人であり、このうち専門家90人、一般生活者のうち北海道出身者120人、九州出身者120人である。

(表-5.1) にアンケート回答者数を示す。

表-5.1 橋梁調査 回答者数

| | | |
|-------|-----|------|
| 専門家 | | 90人 |
| 一般生活者 | 北海道 | 120人 |
| | 九州 | 120人 |
| 合計 | | 330人 |

先ず、(図-5.6) に示す橋梁タイプに関するテイストスケールから、充腹アーチは静的な印象が強く、斜張橋は動的な印象が強いこと。吊り床版形式は、きゃしゃな印象と女性的な印象が強く、パイ型ラーメン橋は男性的な印象が強いこと。トラス橋は、一般には敬遠される橋梁形式であるが、静的で男性的な印象が強く。これに対して吊橋は、動的で女性的な印象が強いという結果になった。

次に、個々の橋梁形式についてレーダーチャートで、力動感、親近感、堅牢間、用途感、洗練感について、専門家と一般生活者の感じ方の違いを調査した。充腹アーチは、専門家も一般生活者も堅牢感、丈夫なという印象が強く、感じ方が同じ傾向にある。力動感については一般生活者のほうが専門家よりもやや強く感じている。

次に、斜張橋（ファン型形式）について、橋梁専門家と一般生活者の感じ方を比較すると、両者が近代的な、洗練された、都会向きという印象を強く感じている。やや印象が異なるのは、専門家は長大であるという印象が強いのに対して、一般生活者はそうではない点と、陸上向きであるかということについては、専門家はそのようには感じていない。これは斜張橋という橋梁のスパンや規模についての情報が専門家にはインプットされているが、一般生活者にはそれが無いということの違いであると考えられる。

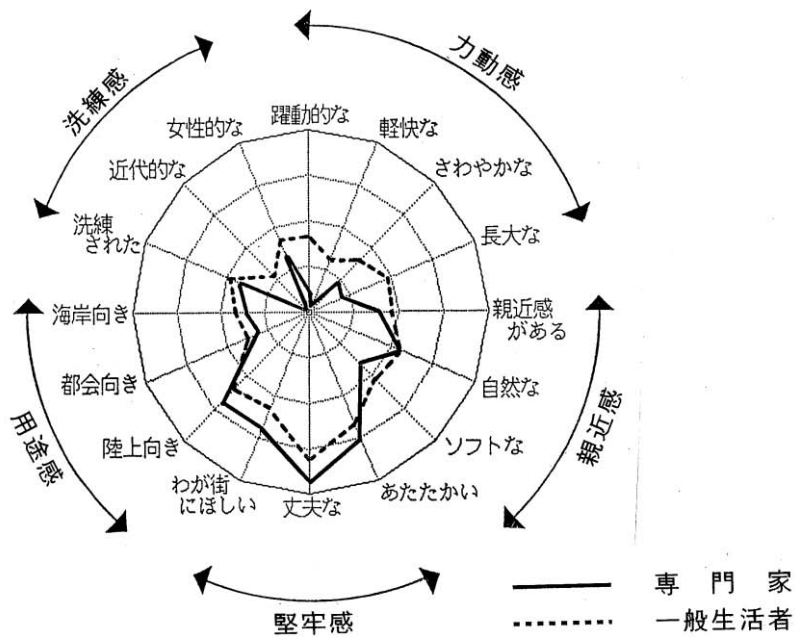
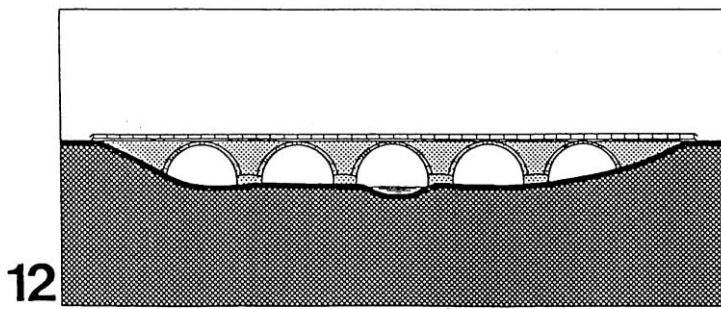


図-5.7 充腹アーチに関する専門家、一般生活者の感じ方の違い¹⁾

5.2.3 風景と橋梁形式のマッチング

背景を捨象した橋梁タイプとそれぞれの背景とのマッチングに関する試験については、一般生活者と専門家との区別をせずに調査を行った。上路アーチは様々な風景にもっともよく適合する構造形式といえる。京都のような伝統的な街並みや、欧州のレンガ造りの港には、充腹アーチのように静的で頑丈な印象が強い連続したアーチが相応しいと感じている。ここではアーチの材料はコンクリートであるか、石であるかは表現していない。

11

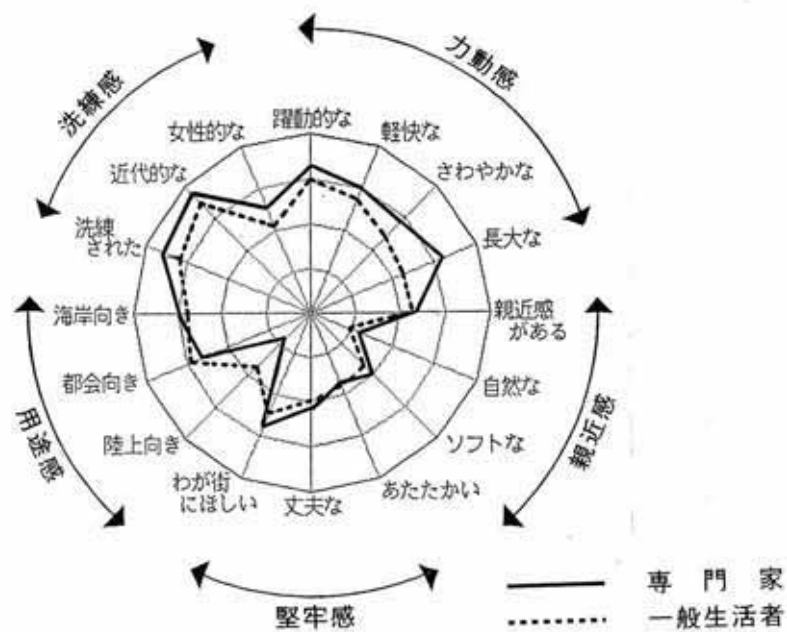
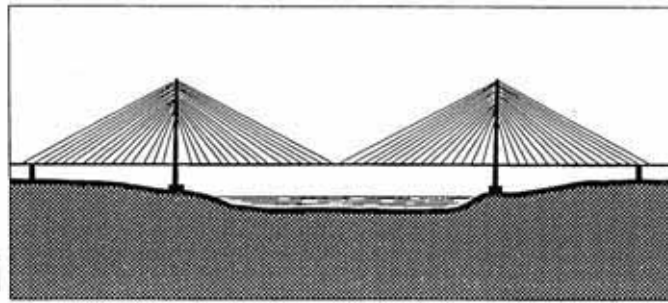


図-5.8 斜張橋に関する専門家，一般生活者の感じ方の違い¹⁾

湖沼地域には、桁の上に構造物がなく、リズムカルに湖沼を渡るイメージの強い桁橋が相応しいと感じている。その選択には、自然の風景を主役、橋を脇役とすることが好ましいので、橋はできるだけ控えめデザインするという判断が含まれていると考えられる。

近代的なファン型斜張橋は、規模が大きいことから島々を巡る海岸や近代的な都市景観、見通しの良い臨海部に相応しいと感じている。これらの結果は、橋梁デザインの専門家としてみた場合でも、大きくは変わらないという判断である。

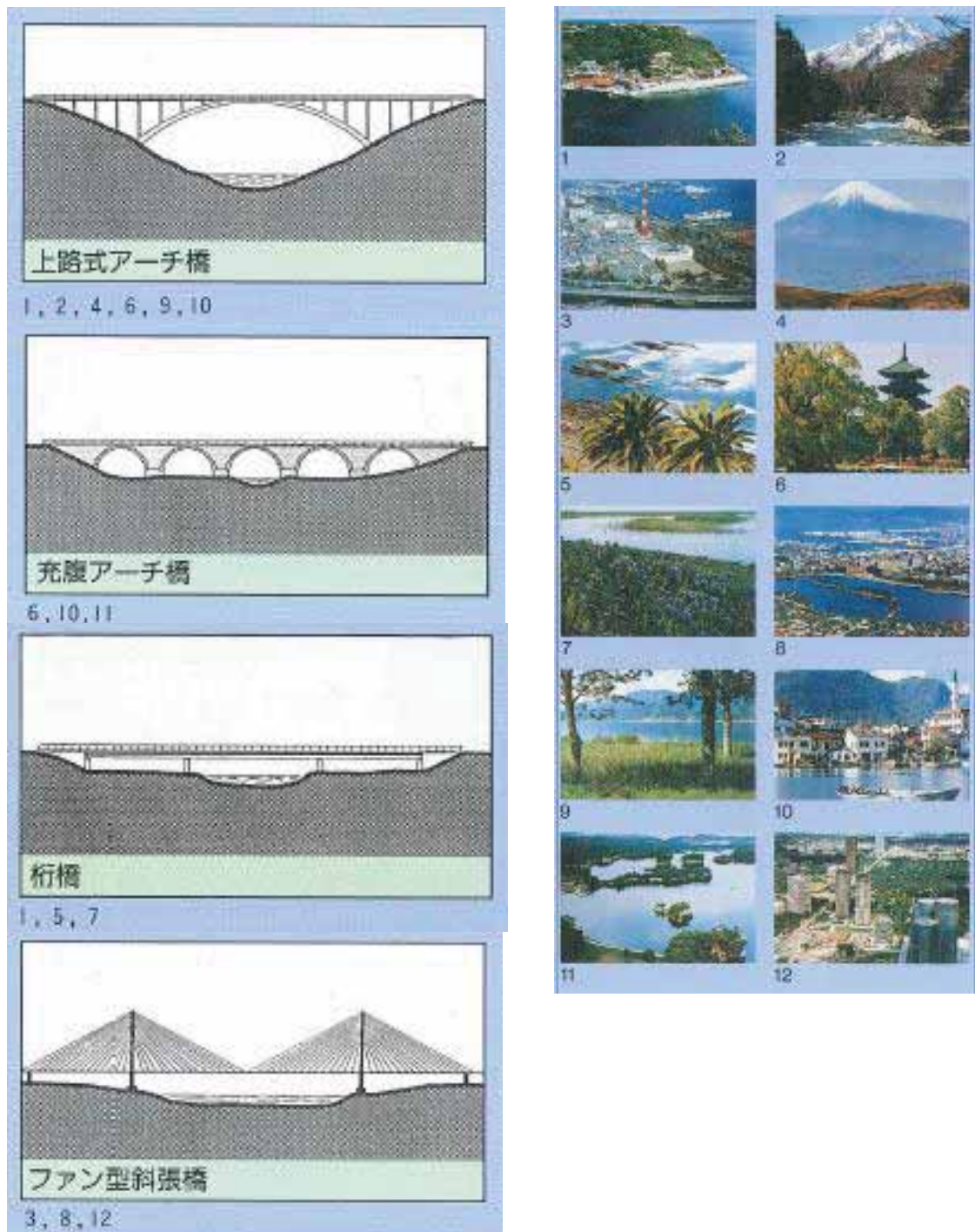


図 - 5.9 風景と構造形式のマッチング²⁾

5.3 構造原理の理解

橋梁デザイン教育において、大学1年生からコンセプチャルデザインと構造デザインを同時に教える試みがドイツの大学、特に、シュツットガルト工科大学、ベルリン工科大学において行われている。2008年10月22日、ベルリン工科大学でそうした試みを実際に行っているマイク・シュライヒ（Mike Schlaich）（写真-5.1）が来日し、日本建築学会主催のアーキニヤリング展の会場でAdaptable structures（環境に適合する構造物）について、日本大学理工学部における土木工学科と建築学科主催によるジョイント講演会ではFuture structures（未来の構造物）について講演した。内容はエンジニアの創造性を改めて認識させるものであり、若き土木科、建築科の学生に新たな希望を与えるだけでなく、中堅のエンジニアや建築家に対しても新たな構造への挑戦に誘う内容であった。この講演会に先立ち、日本建築学会の会長である斉藤公男は、10月17日から28日にわたり田町にある建築会館において、「ArtとArchitectureとEngineeringの関係を見据え、その歴史的展望から未来の建築へ向けての示唆と展望を示す」ことを目的として、建築構造ではエッフェル塔（1889年）、代々木体育館（1964年）からシュツットガルトサッカー場の軽量屋根（1993年）、札幌ドーム（2001年）等の構造模型を展示し、土木構造では錦帯橋（1673年）、フォース鉄道橋（1890年）等の歴史的橋梁から現代のアラミージョ橋（1992年）、ミュンヘンドイツ博物館のガラスの一面吊り斜張橋（1998年）等の模型展示を行った。この同じ場所で、シュライヒ教授がパートナーとして参加するシュライヒ・ベルグマン設計事務所（Schlaich Bergermann



写真-5.1 マイク・シュライヒと未来の構造物³⁾

und Partners) の設計した軽量構造物のパネル展示も行われた。同伴したベルリン工科大学で土木構造物の歴史講座を持つアネッテ・ベグレ (Anette Boegle) は、建築展において初めて土木構造物が展示された画期的な展示会であると評価した。美しいと評価された世界の橋梁や建築の模型が日本において一同に介したのは、筆者の記憶ではこれが初めてである。構造について、興味を持つエンジニア、建築家にとっては、大変、有意義な機会だと感じたはずである。ここで、橋梁デザインに興味を持つには、構造が安定であるとはどういうことか、力強いとはどういうことかを理解する必要がある、アーチ、梁、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート等の構造原理を楽しんで理解することが必要であると考え。また、簡単な構造計算ができることが望ましい。しかしながら、橋の設計や施工した経験もない人が、どうしてそれに興味を持つことができるかという、なかなか大変な仕事になる。そこで、土木史における橋梁の歴史の中から、ガールの水道橋 (AD70年) とアビニョンの石橋 (1177年) を例として、構造原理に関する興味を引き出すことを考える。

5.3.1 ローマ時代の橋の施工技術と 1000 年後のデザインの変化

約2000年前のAD60年に建設されたローマのガール水道橋 (写真-5.2) を提示し、アーチを構成する1個の石は約6トンであり、それを持ち上げるにはどんな機械や支保工を使ったのか、またどのようにして、水を流すための水路勾配の0.003% (100m進んで3cm下がりの勾配) を確保したのか、その測量にはどのような器具や材料を使ったのか (写真-5.3) 、ローマの時代の技術に関して疑問をなげる。現代の我々ならば、クレーンを使って重量物を持ち上げ、水準器を使って測量することが考えられるが、当時はそのような道具はなく、滑車や (図-5.1) 、木をくり貫いて水を張った水準器でレベルを出し (図-5.2) 、水路にはセメントを使って勾配を確保し、アーチの構築には木製のトラス架構が使われた (図-5.3) 。2000年前に現在のクレーン、水準器、支保工の起源となる技術がすでに存在していたということである。ここまでが歴史を使ってローマの時代の建設技

術を理解することができる。次にアーチに作用する水平力は、どの程度掛かるのか？また、それをどのように計算で求めるのか？という点について、模型を使って体感させ、



写真-5.2 ガールの水道橋全景 (BC19) (筆者撮影) 写真-5.3 セメント使用の水路 (筆者撮影)

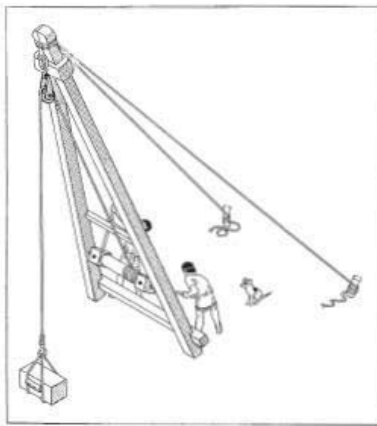


図-5.1 滑車で石材を揚げた事例

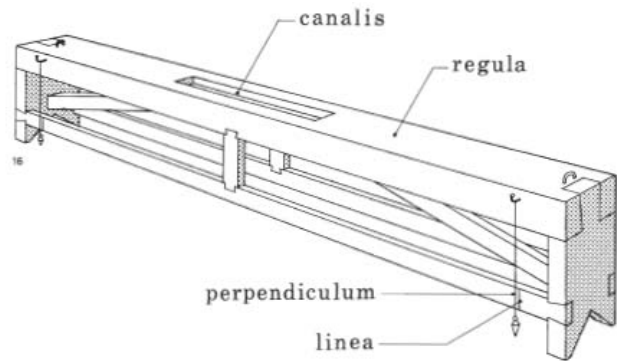


図-5.2 木をくり貫いて水を張り水準器とした事例⁴⁾

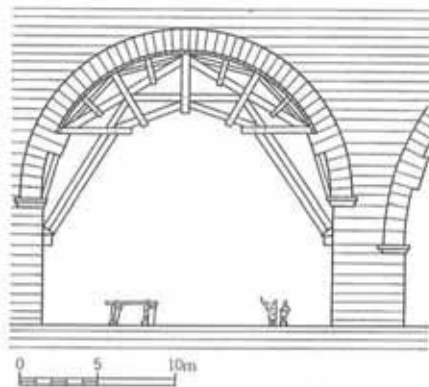


図-5.3 木製支保工で施工した事例⁴⁾



写真-5.4 アビニョンの石橋 (1177) (筆者撮影)

その解法を考えさせる方法を示す。アーチの形は、時代が進むにつれて1177年に完成したアビニョンの石橋のようにアーチライズが約半分になる（写真-5.4）。この場合、アーチスパン、荷重が同じ条件でライズが半分になった時、水平力はどの程度になるか？というような問題を与えモデルを作って体感する方法として、（写真-5.5）に示すアーチ（スパン30cm）、鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリートのモデルを考案した。これを実際に学生に組み立てさせる場合は、最初は3人に依頼し、次は2人で作るという課題を与える。その場合、支保工として、ボール紙を曲げたものを使うと2人でアーチの模型を完成させ、支保工の意味を理解できる。

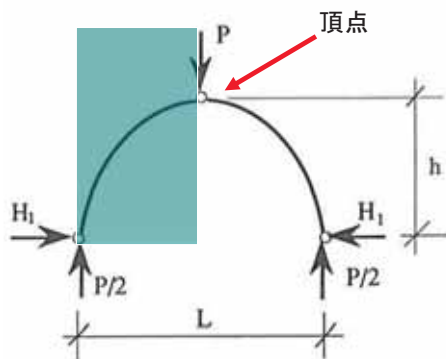


写真-5.5 アーチ、鉄筋コンクリート、PCコンクリートの模型（筆者撮影）



写真-5.6 3人でアーチを組立てている風景（筆者撮影）

次に実際に、アーチを支えるために必要な水平力を求める方法を、静定構造として3ヒンジアーチと仮定すると、アルキメデスの発明したてこの原理（B.C.約250），力の釣り合い



頂点に関するモーメントの釣り合いを考える

$$\Sigma M=0$$

$$H_1 \cdot h - P \cdot L / 2 = 0$$

$$H_1 = P \cdot L / 2h$$

$$H_1 = 110 \cdot 30 / 2 \cdot 15$$

$$= 110 \text{ g}$$

図-5.4 アルキメデスの「てこの原理」を使ったアーチの水平力の算定方法（筆者作成）

式を使って簡単に計算することができる（図-5.4）。さらに、高さを半分にした場合
 水平力がどうなるかについては、上記の h を $1/2$ とすれば、水平力が 2 倍の結果となること
 が導ける（図-5.5）。

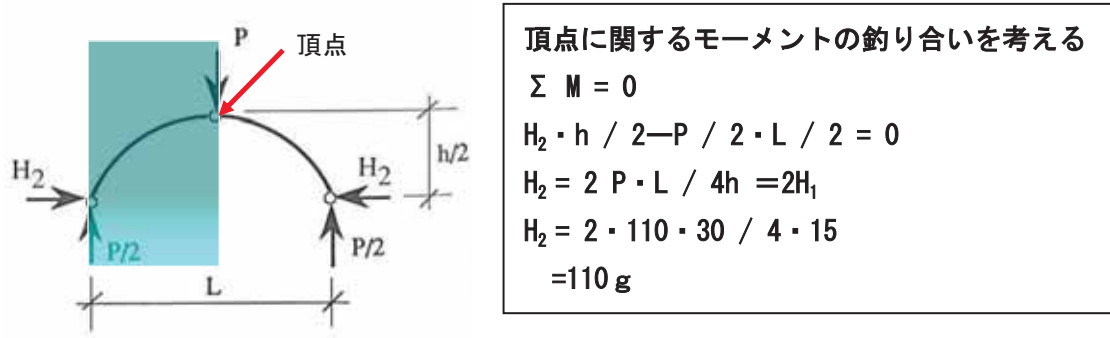


図-5.5 アーチの高さが $1/2$ になった時の水平力の算定方法（筆者作成）

鉄筋コンクリートの模型の場合も同様で、実際に学生に作らせた状況を（写真-5.7
 (左)）に示す。もし鉄筋の配置を誤って、配筋した場合にどうなるかを示したものが（写
 真-5.8 (右)）である。鉄筋コンクリートも力の釣り合いから、鉄筋に作用する引張力を
 簡単に求めることができる（図-5.9）。このようにして、何故構造が成り立つかを、模型
 を使って体感させ、実際にそれを理論的に解析しようとしたのが力学の歴史であると講義
 を進めていくことができる。

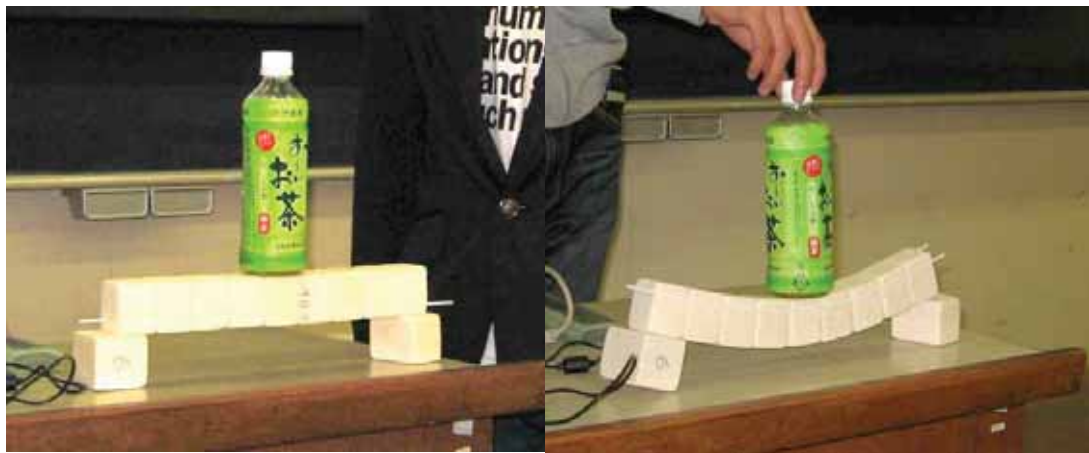


図-5.7 RCの模型を作らせた実験：（左）正しい配筋，（右）誤った配筋（筆者撮影）

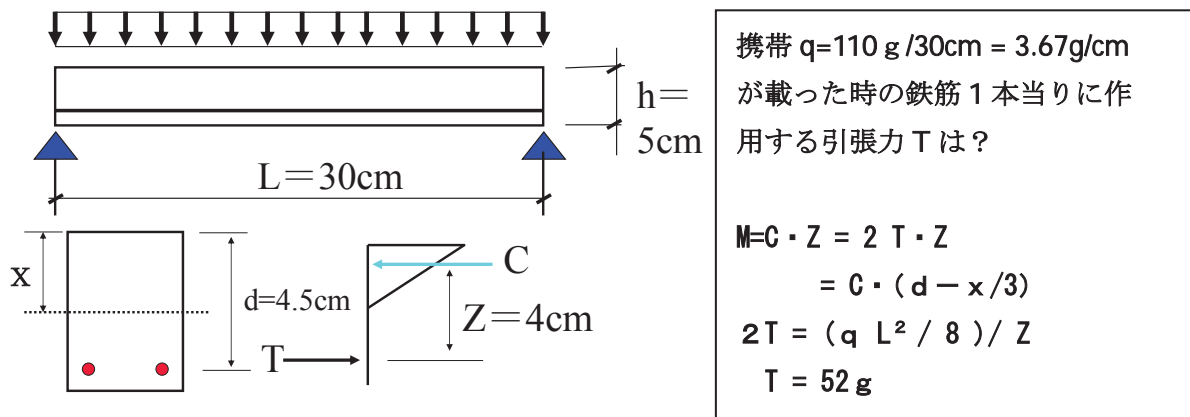


図-5.9 RC梁に携帯110gが載った時に鉄筋1本に作用する引張力（筆者作成）

ここで示した事例は、構造物の設計や施工経験がなくても、模型を使って楽しみながら力の流れを感じ、その大きさを簡単な計算で解くという、構造計算の基本を理解できる。

5.4 おわりに

本章では、一般生活者の橋梁形式に関する感じ方は専門家と大きく異なるという点と、構造デザインの基礎となる構造原理を楽しく理解し、その力の大きさを自分で計算する方法を述べた。橋梁デザインは「0から1」の発想が必要ではあるが、それは大変なことではなく、やってみると以外に楽しいと感じることが、橋梁デザインへの最初のステップになると考えている。

参考文献・注釈

- 1) 中尾俊司, 一般生活者の感性を反映した橋梁の景観設計手法, p1256-p1257,
I-541, 土木学会年次講演会 (平成4年9月)
- 2) KAJIMA, p5, 1996年3月
- 3) マイク・シュライヒョイント講演会 2008 実行委員会, 岡田章 : Mike Schlaich
- 4) J.P. Adam : La Construction Romaine, G. M. Pichard 2005

第6章 コンセプチュアルデザイン、構造デザインと材料・施工法

6.1 はじめに

本章では、橋梁デザインにおけるコンセプチュアルデザインについて定義する。まず、橋梁デザインは、エンジニアリングに精通したエンジニアまたはアーキテクトの責任のもとで実施されることが前提であるため、少なくとも橋梁を設計するための指針である立体横断施設基準・同解説や道路橋示方書（Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編，Ⅲコンクリート橋編，Ⅳ下部工編，Ⅴ耐震設計編）・同解説は十分理解し、これに準拠した設計ができる技能を有することが前提である。次に、実際のデザインプロセスを見ると、コンセプチュアルデザインが初めにあって、構造デザインが次ぎにくるというような一方向的な流れではない。第7章で述べる代官山人道橋のデザインのように、デザインを考える前段階から橋を接続する場所に橋の自重を作用させてはならないという接続条件がすでに存在し、それが可能な構造デザインでなければならないという状況で、コンセプチュアルデザインを考える場合や、第8章で述べる池田へそっ湖大橋のデザインのように、アーチの両側同時張出施工という架設工法に関するアイデアがあり、連続アーチの構造デザインが実現する場合もあり、さらに第9章で述べるAKIBA BRIDGEのように超高強度コンクリートという新しい材料が開発されて、その材料を活かした構造デザインを考えるという観点からコンセプチュアルデザインを実施する場合もある。しかもこれらは、どちらが先にあるかということを確認にすることが困難な場合がある。つまり、橋梁デザインにおいて、コンセプチュアルデザイン、構造デザイン、材料・施工法は相互補完的な関係にあり、それらに関する情報、経験、知識を総動員して橋梁デザインを考えるということが行われるからである。これらの関係を（図-6.1）に示す。ここで、材料とは鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート、超高強度コンクリート、ガラス、ケーブル等であり、これらの材料特性と使用環境によって、どのように汚れ、ひびわれや錆が進行するかを理解していることが必要である。

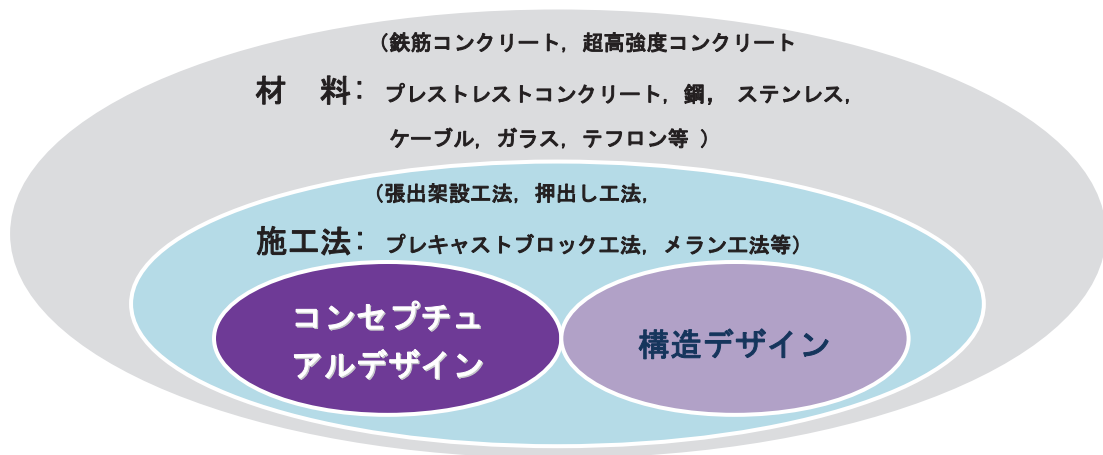


図-6.1 コンセプトアルデザイン、構造デザイン、施工法、材料の相互関係(著者作成)

施工法とは、例えば、材料に関連した施工法として、プレストレストコンクリートを使った張出し架設工法、押出し工法、プレキャストブロック工法があり、コンクリートアーチ橋の施工法として、鋼製部材を先行して架設し、それを巻き込むようにアーチリブコンクリートを打設するメラン工法、アーチの片側張出し架設工法等があり、これらが発明された経緯や歴史を知っておくことが必要である。

第2章において、欧州における鉄筋コンクリートの発明と発展の歴史を材料工学と橋梁工学の観点から整理したが、鉄筋コンクリートのアイデアを発想して実現化し、さらにビジネス化して普及させることに得意な国はフランスであり、この活動を「0から1」と称した。これに対して、アイデアを購入して、実験的な研究を重ねて理論化することに得意な国としてドイツを挙げ、この活動を「1から10」と称した。橋梁デザインにおいて、特に、「0から1」の発想は重要であり、鉄筋コンクリートが発明・普及してから現在に至るまで、「0から1」の技術が開発され、それを使って新しいタイプの橋梁が架設されてきたからである。材料工学の点から見ると鉄筋コンクリートの次の技術としてプレストレストコンクリート(PC)技術があり、フランスのフレシネー(Eugène Freyssinet, 1879～1962)が1928年に鋼より線を使って発明した技術はプレストレッシング工法に関する「0から1」の技術である。これに対して鋼棒を使ってプレストレストコンクリート工法を発

明したのがドイツのフィンスターバルダー (Finster Walder) であり、特に、フィンスターバルダーは、プレストレストコンクリート技術を使って、橋脚の両側にバランスを取りながらコンクリート桁を張出して施工する張出し架設工法を発明したことが架設工法における「0から1」の技術とすることができる。橋梁デザインは、こうした「0から1」の技術的基盤に立って、様々な応用や技術的チャレンジがなされることを理解しておくことが重要である。

6.2 コンセプチュアルデザインの定義

Conception とは、仏語では企画、構想のことを意味し、橋梁デザインのみならず構造材料・構造形式の選定、構造寸法の決定、部材の制作も含めて使っている。しかし、この論文ではコンセプチュアルデザインとは、原則的には、橋梁構造以外の問題、特に、橋梁デザインにおけるコンセプチュアルデザインの対象は、周辺環境と橋梁との関係、および橋梁の造形フォルムに限定している。勿論、橋梁は社会資本整備の一環として整備されることが多く、国民が提供した税金を使って整備されることから、建設コスト、維持管理、サステナビリティについても考慮し、建設が完了しても説明責任を負う必要があるため、計画段階から考えておかなければならない事項である。しかし、これはコンセプチュアルデザインで考えるべき対象とは定義しない。同様に、橋梁の幅員、平面計画、橋梁の使い方についても、コンセプチュアルデザインで考えるべき対象とは定義しない。何故なら橋梁の幅員は、コンセプチュアルデザインとは関係なく歩行者密度 (人/m 分) によって一義的に決定されるものであり、平面線形はコンセプチュアルデザインに関係して、それに相応しいように決定されるからである。また、橋梁の使い方とは、例えばバリアフリーとか、車椅子の利用可能ということとは、コンセプチュアルデザインとは独立して考えるべきことである。ここでコンセプチュアルデザインについて、橋と風景との関係と、橋の造形フォルムについて具体的に定義したものを (表 - 6.1) に示す。

表-6.1 コンセプチュアルデザインの定義事例（著者作成）

| 対象 | 定義内容 | 対応事例 |
|----------|---------------------|--------------------------|
| 橋と風景との関係 | 橋梁が風景に対して主役である | |
| | 橋梁が風景に対して脇役である | 代官山1号橋 7章 池田へっそ湖大橋 8章 |
| | 橋梁が風景を俯瞰する視点場である | |
| | 橋梁が変化する風景を楽しむ視点場である | |
| 造形フォルム | 桁がスレンダーである | AKIBA BRIDGE 9章 |
| | 桁がマッシブである | 代官山2号橋 7章 |
| | 桁に透明感がある | 代官山1号橋 7章 池田へっそ湖大橋 8章 |
| | 桁下に空間透視性がある | AKIBA BRIDGE 9章 |
| | 桁が動的，ダイナミックである | AKIBA BRIDGE 9章 |
| | 桁が静的，スタティックである | |
| | 川面に浮かぶような橋 | 浮庭橋 10章 |

黄色の部分は、コンセプチュアルデザインの定義の中で、構造的にチャレンジングな定義あることを示す。

ここで、コンセプチュアルデザインと構造デザインとの関係性について考えると、構造デザイン的にチャレンジングなコンセプチュアルデザインとは、表-6.1で黄色に塗った部分である。橋梁が風景に対して脇役とする場合は、橋梁フォルムが背景にある風景の見え方を疎外しないように（目立たないように）桁をスレンダーにデザインするか、橋の構造に透明感を付与する必要がある。桁をスレンダーにするためには、高強度材料や外ケーブルを使って桁高を低く抑えること（AKIBA BRIDGE 9章）、ケーブルで桁を上側から吊ることによって、吊り点間隔を短くすることで桁をスレンダーにすること、または、部材

の陰影効果で桁をスレンダーに見せること（AKIBA BRIDGE 9章）等、様々なアイデアを適用することが必要である。橋の構造に透明感を与える場合は、補剛アーチ橋のようにアーチと桁をつなぐ鉛直壁の間隔を広くするか（池田へそつ湖大橋 8章）、桁構造に立体トラスを適用する方法（代官山1号橋 7章）がある。桁が動的／ダイナミックに見えるためには、桁に5%程度の縦断勾配を与えること、または、平面的に曲線を導入し、かつ1～2%の縦断勾配を同時に付与すること（AKIBA BRIDGE 9章）によって達成することができる。橋梁が変化する風景を楽しむ視点場である場合は、歩くにつれて橋からの風景が刻々と変化することであり、それを満足するのは曲線橋の場合である。さらに動線がS字の場合は最もそのニーズを満足するものとなる。しかしながら、桁をS字にすることは、常に桁にねじりモーメントが作用することになり、それに対して抵抗できる構造デザインが要求される。その結果、**写真 - 6.1** に示すマレコン橋のように、曲線の内側を1面だけ斜張橋のように吊る橋梁デザインが可能となる。川面に浮かぶような橋の場合は、橋が川の上に浮かんで見えるような橋梁構造ということであり、従来の橋脚に支えられた橋という概念とは異なったコンセプトであるが、吊り構造形式を基本として、川に沿った橋を眺める視点場から、橋が浮かんで見えるような構造を考えることによって実現可能となる。このように、コンセプチュアルデザインは、構造デザインを考える場合の方向性を与えるものであり、そのために定義対象を橋と風景の関係と造形フォルムに絞る必要がある。



写真 - 6.1 マレコン橋 (Pasarela del Malecon) (提供 : Mike Schlaich)

6.3 構造デザインの定義

現在のドイツにおける大学教育では、コンセプチュアルデザインと構造デザインの早期入という考え方が取り入れられている。しかも鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート、鋼、ケーブル、ガラス等を自由に使えるエンジニアの育成に重点が置かれている。

2004年10月、ベルリン工科大学の *Entwerfen und Konstruieren Massivbau* (土木学 設計・建設科)のに就任したマイク・シュライヒは、これまで鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリート、鋼構造というように材料別にそれぞれの理論を教え、構造解析もまた流体と固体によって別々の理論を伝えてきたことに対して、本来の姿に戻るべきであることを次の言葉で表している。

「構造工学において、材料別に分かれなければならないという原理はどこにも存在しない。力学、材料力学、コンピューター科学では、材料の違いに関係なく教えることができるし、すべての材料を対象としている。新しい材料を適切に組合せ、それらが一体となって荷重に抵抗させることが、最良で高品質な結果を得ることにつながる。すべての建設材料を自由に使えると感じたエンジニアだけが創造的なデザインができるのである。現代の建設の最前線では、(発注者、エンジニア、建築家、施工者)がいかにかにトータルにデザインを行うかということをも求めてくるのである。」¹⁾ ベルリン工科大学の「土木工学設計・建設科」という名称は、これまでの材料別に教室が分かれていたことに対して、材料を総合的に把握する (*Werstoff übergreifend*) という考えに基づいて、教室を統合化する方向を示している。

構造デザインとは、橋梁構造について、構想し、モデリングし、部材断面を決定し、詳細部を決定するというプロセスをいう。例えば、橋梁のコンセプチュアルデザインの段階において、非対称の斜張橋がデザインの候補に挙げられた場合、これまででない「0から1」の構造フォルムを追求することが橋梁デザインの課題となる。そこで非対称の斜張橋の主塔の付根を絞ることを構造コンセプトとした場合の構造デザインのプロセスを (図 - 6.2)

に示す.

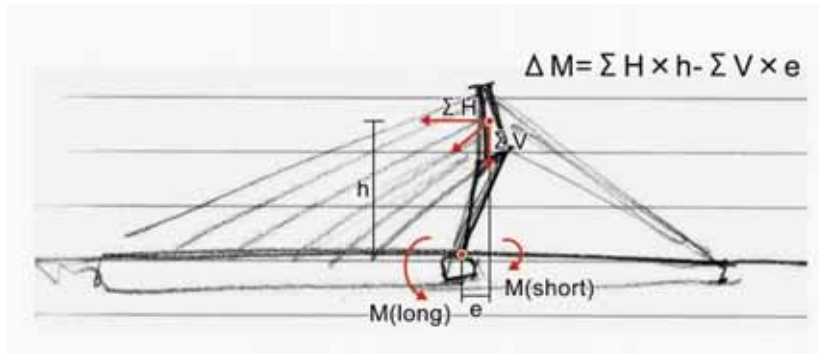
構想する：「非対称の斜張橋における主塔の付根の断面を絞る」ためには、主塔の左右の曲げモーメントの差分をできるだけ小さくし、その曲げモーメントの差分 ΔM に対して主塔断面を設計すればよい。そこで主塔を傾斜させることによって、主塔頂部における長スパン側のケーブル定着点が短スパン方向に長さ e だけ偏心する。この偏心量 e とケーブル張力の鉛直成分 ΣV によって、主塔付根には時計回りの曲げモーメント $M(\text{short}) = \Sigma V \times e$ が発生する。長スパン側のケーブル張力の水平成分 ΣH による主塔付根の曲げモーメントは作用位置を h とすると $M(\text{long}) = \Sigma H \times h$ で表され、主塔付根の曲げモーメントは、 $\Delta M = M(\text{long}) - M(\text{short})$ となる。

モデリングする：構造コンセプトをもとに、解析モデルを作成し、作用する荷重を設定して、ケーブル張力、曲げモーメントを算定する。

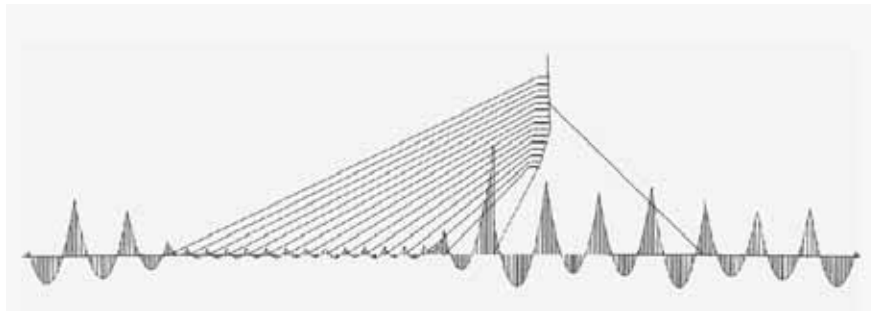
部材断面を決定する：解析によって得られた断面力から必要なケーブルの大きさ、主塔付根の断面の大きさを算定し、構造コンセプトで考えた通りのデザインが実現できるかを検証する。

詳細部を決定する：ケーブルを定着するデッキ部分の補強構造、主桁の断面等詳細構造を決定する。

ここで、(1)の構想する段階は、コンセプチュアルデザインにも存在し、構造デザインにも同様に存在する。しかしながら、構造デザインにおいて構想するためには、構造的な知識がベース無くてはならない。この場合は、主塔を傾斜させることによって、主塔付根に発生する曲げモーメントを低減するというアイデアである。つまり、新しい構造フォルムを考えるということは、同時に構造の安定性、力の釣合等、設計理論に基づいて考えることであるといえる。ここにベルリン工科大学では、コンセプチュアルデザインと構造デザインを大学1年生から教えるという教育スタイルが生まれた。



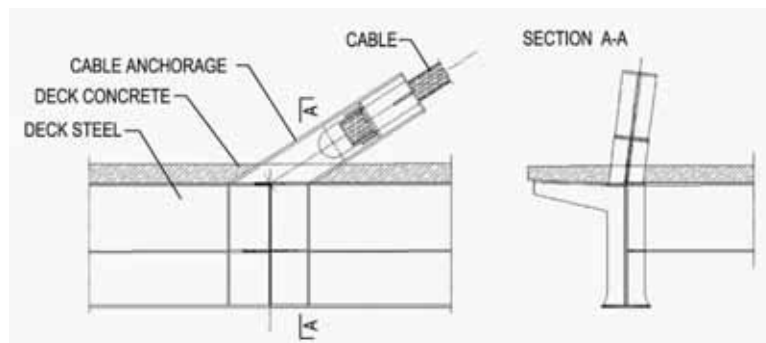
(1) 構想する.



(2) Modeling / モデリングする.

| Backstay cables | Max N [kN] | Working stress [MPa] | No. of strands (A=150mm ² each) |
|-----------------|------------|----------------------|--|
| 1 | 13820,00 | 725,46 | 127 |
| 2 | 13439,00 | 705,46 | 127 |
| 3 | 11185,00 | 684,10 | 109 |
| 4 | 10755,00 | 657,80 | 109 |

(3) Dimensioning / 部材断面を決定する.



(4) Detailing / 詳細を決定する.

図-6.2 構造デザインのプロセス²⁾

6.4 すべての材料に精通したエンジニアの育成

1997年に完成した重信高架橋以来、現在までのわずか11年間に、日本のPC橋の設計・施工技術は瞬く間に世界のレベルに追いついた。2001年には長大エクストラドーズド橋である木曾川橋、揖斐川が完成し、2005年には4径間連続鋼複合斜張橋で世界最大のスパンを235mを有する矢作川橋が、そして日本最大のアーチスパン265mを誇る鋼複合アーチ橋である富士川橋が完成した。第二東名プロジェクトという日本の将来の産業を活性化する動脈を形成することは、エンジニアの大きな目標であったといえる。これらのモチベーションが発注者、設計者、施工者を含めて同じベクトルに向かわしめ奇跡を引き起こしたといえよう。今後これらの新技術を継承するために、コンクリートだけの知識だけではなく、鋼材やケーブルに関する知識も必要とされる。すべての材料に精通したエンジニアの育成に継続して取り組んでいく必要があると考える。新しい技術が実施されるたびにその技術に関する詳細な広報をすることによって、技術者相互の技術の向上が図られてきた。1900年の初頭、ドイツ、スイス、オーストリアのドイツ語圏において、鉄筋コンクリート構造物が著しく普及したのは、鉄筋コンクリート構造物の設計、施工、実験に関する情報を発信する機関誌があったからである。それがドイツ建設新聞（Deutsche Bauzeitung）、スイス建設新聞（Schweizerische Bauzeitung）でありコンクリートと鉄筋コンクリート（Beton & Eisenbeton bau）であった。こうした技術に関する広報は、「0～1」を目指すエンジニアには不可欠の情報となるため、今後とも継続して広報活動が継続されることが望ましい。

6.5 橋梁デザインが目指すべき方向

橋梁デザインにおいて、重要な点は、鉄、コンクリート、ケーブル等の様々な材料特性と、どのように施工するかを理解していることが前提である。そのような能力が自分にならない場合には、他の専門家との協働作業によってそれを補うことができる。また、コンセプト

チュアルデザイン、構造デザイン、材料・施工法は相互補完的な関係にあるといえる。つまり、それだけ4つの要素のバランスが重要であるということである。

将来のコンクリート橋の技術は益々、軽量化、高強度化、シンプル化、急速施工化の方向に進むであろう。その中で特に考えなければならない点は、「0から1」の国産技術を目指すことである。安易に海外の技術の導入に走ってはならないと考える。フランスの技術が優れているとしても、その導入に当たり年間どの程度の費用が請求されるかじっくりと考えるべきである。超高強度コンクリートについても、現場で使い易い材料に変えていく必要がある。常に高流動であると勾配がついた部位へのコンクリート打設は手間もコストも掛かることになる。使用部位により流動性を制御し、バイブレータを使用することも考えていく必要がある。そのためには、湿度、温度に敏感なコンクリートの性質をどのようにコントロールしていくかが課題となるであろう。また、「0から1」の構造デザインを考える場合、道路橋、鉄道橋だけを考えるのではなく、世界の歩道橋のデザイン、建築のデザインについてもじっくり研究する必要がある。何故なら、この分野において、様々な革新的な技術や構造デザインが試みられるからである。そしてこれまでの *passive* な構造物から *active* な構造物への転換を考えると、様々な可能性が見えてくる。これらの検証は、現在のVR技術や流れの可視化が可能なソフトを使えば、強風の中で航空機のように自ら振動をコントロールする橋を創造することも可能であろう。人間の肉体には成長の限界があっても、私達の創造力には成長の限界はない。今後とも橋梁の分野であつと驚かせるコンセプトデザインが実現することを期待したい。以下に構造デザインとコンセプトデザインにおける **Keyword** を示す。

(1) 新しい材料を使った構造デザイン

- ・高強度材料（鋼，コンクリート，ステンレス）
- ・超軽量コンクリート

- ・ケーブル材料（鋼，ステンレス，複合材料，接続部材）

すべての建設材料を使った挑戦的，先進的構造物のコンセプトチャルデザイン

- ・建築物（低燃料消費，環境順応型）
- ・超高層建築（ニューヨーク，台湾からドバイに見られる事例）
- ・橋梁：インテグラル橋，可動橋，自律的な橋，エクストラロード橋や折りたたみ橋のような新しいタイプの橋
- ・軽量で長大スパンな屋根，メンブレン構造，空間構造，アクティブで可変な構造

参考文献・注釈

- 1) Mike Schlaich, Challenges in Education- Conceptual and Structural Design, Joint Lecture for Architecture + Civil Engineering in Nihon University, 2008
- 2) マイクシュライヒジョイント講演会 2008 実行委員会，岡田章: Mike Schlaich, 講演会リーフレット，2008

第7章 代官山人道橋のデザイン

7.1 はじめに

本章では、橋梁デザインの具体的な事例として代官山人道橋を取り上げ、デザインのプロセスについて定義し、コンセプチュアルデザインと構造デザインの実際について述べる。

旧同潤会代官山アパートは、1923（大正13）年に発生した関東大震災の災害復興アパートとして、「壊れにくい、燃えにくい住宅」を目指し、（財）同潤会が代官山女学院跡に建てた鉄筋コンクリート製のアパートである。1927（昭和2）年から1928（昭和3）年に竣工し、全36棟337室、部屋は2Kを中心とする近代的集合住宅として先駆的な仕様を備えていた（写真-7.1）。娯楽室、食堂、水洗トイレ、ダストシュート、自家水道施設、児童公園や公衆浴場等を完備し、当時のまちづくり精神が活かされていた¹⁾。完成後約50年が経過した1980（昭和55）年、インフラ設備の老朽化と生活環境改善のため、建替えを検討する「再開発を考える会」が町会役員を中心として設立され、1983（昭和58）年には住民代表として谷口壮一郎を理事長とする「再開発準備組合」が発足した²⁾。旧同潤会アパートの建替えは、都市再開発法に基づく組合施行の事業方式であり、様々な利害関係者との調整や地権者全員の合意形成を粘り強く図っていかねばならなかった。建物の設計は日本設計・NTTの2社が担当し、36階建の超高層住宅を中心とした集合住宅501戸と商業施設、公共施設等を備える都市居住空間となった。ランドスケープの基本計画は、ニューヨーク近代美術館を設計したロバート・ザイオンが担当した。

代官山人道橋2橋は、高低差のある「代官山アドレス」と代官山駅相互間のアクセスを容易にするため、階段を使わずになだらかなスロープで結んだ第1人道橋と代官山駅上空を横断し恵比寿方面に渡る跨線橋に接続する第2人道橋からなる（図-7.1）。これらの整備は、再開発地区と周辺地域に住む住民および代官山訪問者の交通利便性を高めるためには不可欠のインフラ施設であり、東京都と渋谷区から開発条件として与えられ、代官山再開発組合が整備した後に渋谷区に移管するものである。このようにプロジェクトの初期段階から橋梁に求められる目的と機能を明らかにし、様々な課題に対する解決策とコストとのバランスを考え、企業者や使用者の満足するデザインを提案することが橋梁デザイナーに求められている。以下にデザインのプロセスを追って、どのように新しい構造やフォルムを考えるべきか、考えを整理する。



写-7.1 旧同潤会代官山アパート²⁾



図 - 7.1 代官山人道橋位置図³⁾

7.2 デザインプロセス⁴⁾

(1) 橋梁デザインの流れ

橋梁デザインのプロセスは、大きく以下に示す3つの段階からなる(図-7.2)。第一段階のConcept Researchでは、デザインコンセプトの方向性を調査する段階であり、人道橋を架けるにあたって様々な課題を抽出する。再開発事業の計画方針を確認し、架設条件として接続条件、道路占有に関する課題、さらに周辺住民の要望等を踏まえ、人道橋に要求される性能、設計上の課題を、利害関係者との協議を踏まえて確認する。また、橋と風景との関係について、橋が風景の主役であるべきか、あるいは風景を引き立てる脇役とすべきなのか、明確な考えを持つことが要求される。第二段階のConcept Makingは、第一段階で得られた橋の役割や課題を統合し、デザインの方向性を示すコンセプトを考える段階を示す。コンセプトには2通りあり、「橋と風景との関係をどう捉えるか」、「橋の造形フォルム」を示したものがコンセプトデザインのコアコンセプトであり、それを実現するために「どのような材料を使い、構造的にどのようなフォルムとするか」を示すのが構造デザインのコアコンセプトである。これらのコンセプトはデザインチームで動く時は、それがチームの意志を統一し、新しいデザインや構造を創造する原動力となる。第三段階のDesign Developmentは、第二段階のコンセプトに従って、デザイン上の課題を解決し、具体的な形にするための様々な案をつくる段階であり、もっともデザイナーの力量が問われる。フォルム、デザイン、構造、材料において様々な可能性にチャレンジすることが独創性を生む。さらにパース、CGまたは模型を製作し、それぞれのモデルを比較検討してベストの案を選定する。

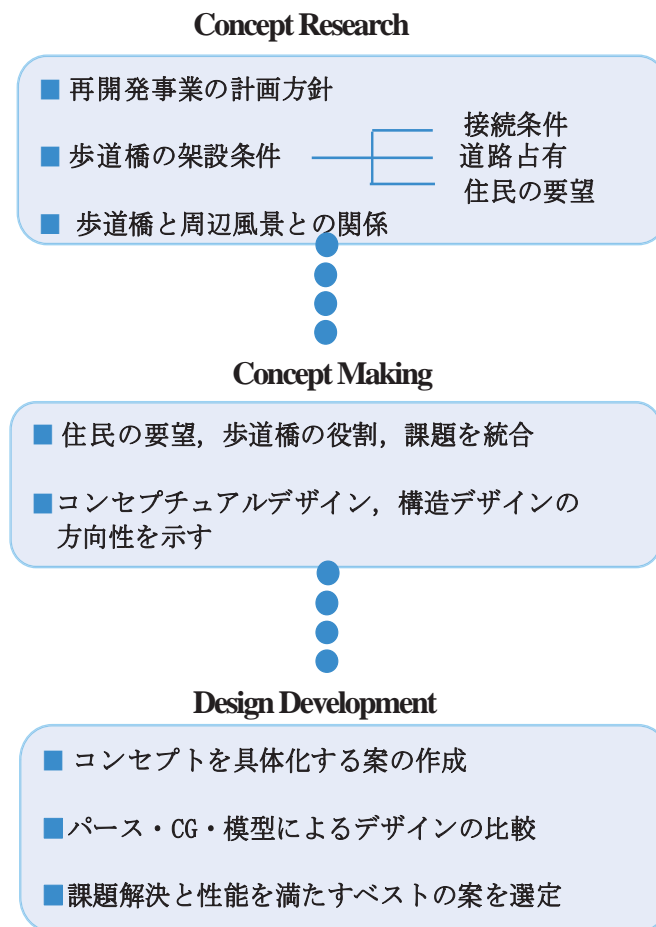


図 - 7.2 橋梁デザインの流れ (著者作成)

(2) Concept Research (コンセプトリサーチ)

a) 再開発事業の計画方針

代官山再開発事業は、21世紀に向けた新たな都心居住環境づくりを柱とし、「代官山ルネッサンス」をコンセプトに、「旧同潤会アパートの建築精神とまちづくり精神の継承」，「高品質で個性豊かな代官山のイメージに相応しい都市アメニティ空間の創出」を目指した再開発事業の計画方針を(表-7.1)に示す。第1歩道橋は代官山駅から「代官山アドレス」のモールを中心とした商業施設(写真-7.1)に至る主動線であるため、人々の足取りを軽くさせるデザインが望まれた。一方、往年の樹木であるヒマラヤスギを移植した代官山公園の上空を通過するため(写真-7.2)，できるだけ存在感の薄い橋が必要だと考えた。つまり、橋を風景の脇役として位置付け、構造的には桁形式として極端にスレンダーな桁とするか、透過性の高い桁とすることが構想できた。橋長は約48m，中間橋脚を再開発の敷地内に設置するため、スパン割は20m+28mの非対称2

表 - 7.1 再開発事業の計画方針

- ・ 公益施設や多彩なオープンスペースの確保により豊かなコミュニティ空間を創造
- ・ モールを中心に商業・業務・スポーツ施設等を配し、魅力あるアメニティゾーンを創出
- ・ 同潤会アパート時代を偲ばせる緑豊かな散策路、往年の樹木を残した公園等を整備
- ・ 旧同潤会アパートの建築精神を継承し、耐震性耐火性を追及した安全な住環境を創造



写真-7.1 代官山アドレスの商業施設(著者撮影) 写真-7.2代官山公園の上に架かる状況(第1人道橋)(著者撮影)



写真-7.3 第2人道橋から見た商業施設(著者撮影)

写真-7.4 跨線橋に接続する第2人道橋(著者撮影)

径間と想定した。

第2人道橋は、代官山公園とコミュニティーセンターや公共プール施設を中心とした公益施設との境界に位置する(写真-7.3)。また、代官山駅上空を横断する跨線橋に接続して恵比寿方面に至る副動線である(写真-7.4)。デザイン的には2つの異なるエリアの風景を分節する役割を与えること、第1人道橋との関係性として、同様に存在感を薄くするか、対照的に強調するかのいづれかになることが想定された。橋長は約30m、スパン割りは15m+15mの2径間であり、特に、

桁形式としても問題ない規模であった。しかし、この段階の課題は、跨線橋への接続方法であり、橋脚の設置を前提とすると道路脇の歩道部に位置し、歩行者の障害となることが考えられる。これらを想定して利害関係者と協議に臨んだところ、架設条件がさらに厳しいものになった。

b) 架設条件

人道橋が開発敷地境界を越えて、それぞれ異なる事業者の建造物に接続する場合、様々な利害関係者と架設条件に関して事前協議を行う。架設条件として人道橋の接続条件（橋脚の設置位置、敷地確保、接続部の形状等）、維持管理区分および道路占有協議をはじめとして、相手事業者や近隣住民の要望を確認しなければならない。著者は、これらの協議事項（表 - 7.2）について再開発組合の立場で参画し、課題を確認した。

c) 接続条件の課題

事前協議の結果、接続条件について大きな課題が浮かび上がった。（図 - 7.1）に示す第1、第2人道橋の接続部において、人道橋の荷重を駅舎、再開発側建物、及び跨線橋に作用させてはならないという条件である。それぞれの理由と協議の結果得られた対策を（表 - 7.3）に示す。

特に、駅舎と跨線橋との接続において、第1人道橋は8mの片持ち構造、第2人道橋は19mの片持ち構造となる。桁の先端部において活荷重が作用した時に桁の振動が問題になることが予想されたので、第2人道橋については、少なくとも桁の自重は跨線橋に作用させないが、歩行者により渡橋時に発生する活荷重は一時的であるため、振動防止を目的として活荷重のみ跨線橋に作用させるという、これまでに例のない接続条件を提案した。いずれの場合においても、桁端の振動をどのように抑えるかが構造上の課題の一つであった。このように代官山人道橋のデザイン

表 - 7.2 事前協議項目の一覧と内容

| | |
|----------|---|
| 接続協議 | 駅舎、跨線橋への接続条件に関し、第1人道橋は東急電鉄、第2人道橋は渋谷区と協議する。 |
| 道路占有協議 | 第1人道橋下の駅舎から外周道路までの区間には、東急電鉄、近隣住民所有の民地があり、道路占有を協議するにあたり、民地の取扱いと架設中の桁下交通の扱いを協議する。 |
| 維持管理区分協議 | 完成後の維持管理について二事業者と維持管理の範囲と対象を協議をする。 |
| 近隣住民協議 | 覗き・投石防止施設の設置、橋の設置により周辺店舗の訪問者数低下に対する対策を協議する。 |

表 - 7.3 各建造物に対する荷重非載荷の理由とその対策

| 接続側 | 荷重非載荷の理由 | 対策 |
|----------------------|----------------------------|--|
| 駅舎建物 (第1人道橋) | 13号線副都心線乗入れに伴い、将来の駅舎改造をする。 | 橋脚は駅舎に近接せず、8m離れた道路脇の旧河川の中（国有地）に設置する。 |
| 再開発側建物 (第1, 2人道橋) | 構造評定申請時、人道橋の荷重を想定していない。 | 第1人道橋端部には橋脚を設置できるが、第2人道橋側は、荷重を一切作用させない。 |
| 跨線橋 (第2人道橋) | 既存の基礎に耐力的な余裕がない。 | 橋脚設置は不可。ただし振動防止のため、一時的に活荷重分は跨線橋に作用させてよい。 |

は、厳しい接続条件を満足させる構造形式を考案することが前提にあり、それを踏まえたデザインを提案しなければならなかった。

(3) Concept Making (コンセプトメイキング)

人道橋のコンセプトメイキングは、ヨーロッパで活躍するスイスの橋梁アーキテクトであるフィリッポ・ブロッジニ (Filippo Brogini) と共同で実施した。デザインの共同作業は1997年12月26日から28日の3日間に亘って、スイスのベルンツォーナ (Bellinzona) にあるブロッジニの設計事務所で、コンセプトリサーチの結果と接続条件を踏まえ、2人道橋のデザインコンセプトについて検討した。

a) コンセプチュアルデザインのコンセプト

第1人道橋は、代官山駅からセントラルプラザに至る主動線であり、人々を歓迎するメインゲートとして位置付けた。また、代官山駅と区道の間は幅員4.5mの狭い私道の上空を通過することから、桁下への採光性を高めること、さらに緑豊かな旧同潤会の面影を残す代官山公園の上空を通過することを考慮して、できるだけ周辺の風景を主役、橋は脇役と位置付け、透明感 (Transparent) をコンセプチュアルデザインのコンセプトとした。

第2人道橋は、恵比寿側からセントラルプラザに至るサブゲートであり、代官山公園と公益施設 (区営プール、集会場) との境界に位置する。そこで1号橋との対比を考慮し、2号橋は2つの施設を視覚的に分節するために存在感のあるマッシブ (Massive) な橋、かつ緊張感のある橋

をコンセプトアルデザインのコンセプトとした。

b) 主構造の材料

2橋ともに上部工自重は、接続する駅舎および跨線橋に作用させないことが接続条件であり、主桁の先端部が片持ち構造となることから、上部工の桁重量をできるだけ軽くする必要があった。また、2橋とも区道を跨ぎ、施工中も交通を遮断してならないという施工中の道路占有に関する条件を踏まえ、コンクリート構造よりも軽く、工場でブロック製作し、現場で組立て、クレーンで一括架設ができる鋼構造とした。

c) 第1人道橋の構造フォルム

第1人道橋は、厳しい設計条件から構造的には斜張橋、または、吊り形式の構造が考えられたが、2タイプについて構造フォルムを比較検討した結果、代官山のように密集した都市空間の街路上空を横断する斜張橋の場合には、(表-7.4)に示す景観的な課題が明らかになった。上記の問題に対する解決策は、ケーブル形状と桁のなす形が一つの閉じた系となるケーブル配置にすると橋のスケール感を抑えることができる(図-7.5)。また、渡橋時のケーブル近接による圧迫感を軽減するためには、できるだけケーブル定着点を歩道部から離すとともに、主塔を外側に傾斜させて、できるだけ外側から主桁を吊ることであった(図-7.6)。主塔を傾斜させる構造的なメリットは、主ケーブルが橋軸に対して外側に開くことにより、橋軸直角方向にケーブル張力の水平成分が作用し、これが桁に作用する地震力や歩行者による振動を減衰させる効果を発揮する(図-7.7)。斜めに傾斜したケーブルで主桁を吊った場合(A案)と、鉛直に主桁を吊った場合(B案)のモデルの比較を示す。A案は、桁が左右に揺れようとする時、その振動を抑えるようにケーブル張力の水平方向成分が働くため、B案に比較して桁の揺れが早く収まる。地震力に対しても同様に、橋軸直角方向の揺れを減衰される効果が得られる。これは著者等が1995(平成7)年に考案した特許を適用したものである⁵⁾。

表-7.4 斜張橋タイプの場合の景観的な課題

| | |
|---------|--|
| 街路からの景観 | 橋の全体像を認識する視点が少なく、ケーブルの一部が見えた時、橋の全体スケールを認識できない(図-7.3) |
| 橋上景観 | 渡橋時にケーブルが歩道に近接しているため圧迫感がある(図-7.4)。 |

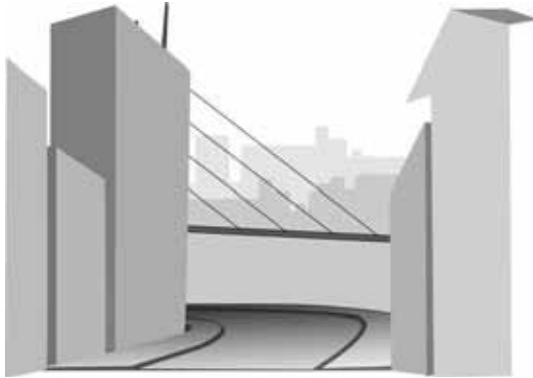


図 - 7.3 橋のスケールが認識できない状況（斜張橋）



図 - 7.4 ケーブルが近接する橋上景観（斜張橋）

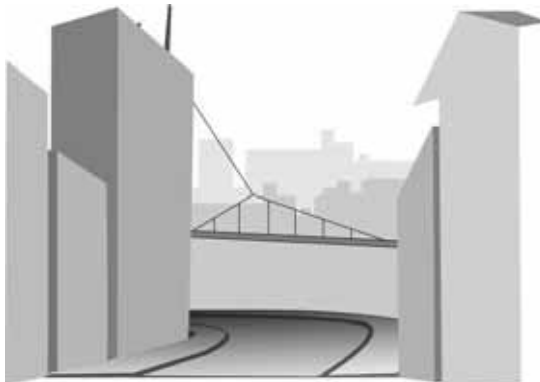


図 - 7.5 橋のスケール感を抑えた状況（吊り形式）
（著者作成）

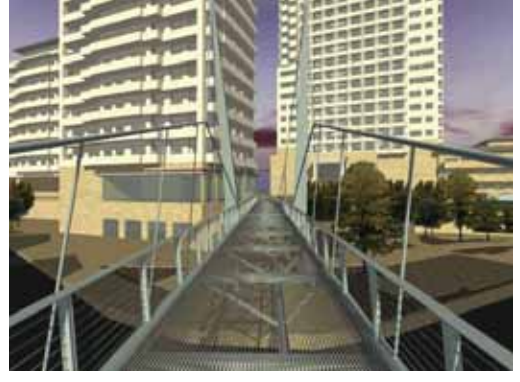


図 - 7.6 主塔が傾斜しケーブルを離れた時の橋上景観
（著者作成）

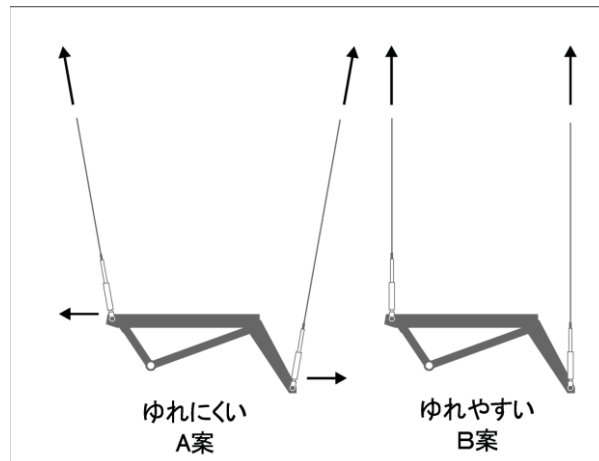


図 - 7.7 ケーブル傾斜による制振効果（著者作成）

d) 第1人道橋の構造デザインのコンセプト

透明感を表現するためには、桁は箱桁構造よりもフレーム構造の方が望ましいと考え、斜め材のないフィーレンデル形式かスペーストラス鋼管構造を想定した。さらに桁下への採光性を確

保するために、床板はガラス床版を想定した。夜間照明は、従来は桁上に配置されるが、照明柱とケーブルが緩衝し、すっきりとした橋上景観が演出できない。そこで照明は片側の鋼管に片持ち梁を取付けて、先端を斜材の吊り点とし、かつこれを照明ライトの柱として兼用することにした。そこで、第1人道橋の構造デザインのコンセプトは、スパン割り、主桁断面も非対称であるため「非対称性 (Unsymetry) を活かした構造」とし、主塔形状、桁断面をすべて非対称にすることで上記の問題を解決することにした。コンセプトメイキングの段階における主桁断面を (図 - 7.8) に示す。

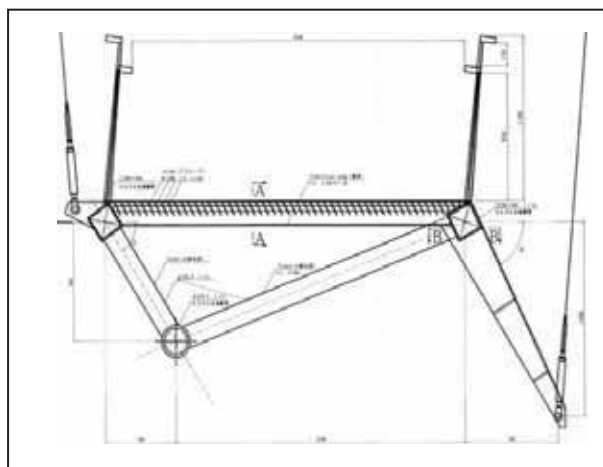


図 - 7.8 非対称の主桁断面 (吊り形式)

e) 第2人道橋の構造デザインのコンセプト

第2人道橋は、桁端の自重を建物、跨線橋に作用させないことが条件であり、中央の橋脚自体で主桁の自重を支持する構造を考案する必要があった。第1人道橋は吊り構造であり、対比性を考慮して桁構造で検討を進め、構造形式のヒントはワイン立てから発想した (写真 - 7.2)。張感があるが、構造的にはワインの重心が斜めに支える板の底面内にあるためバランスしている。これを第2人道橋の構造デザインに応用し、橋脚1本で桁の全自重を支持するTラーメン構造とした。第2人道橋の構造デザインのコンセプトは「緊張感を感じさせながら、構造的に安定した橋」である。構造部材である主桁と橋脚のフォルムは、光の陰影効果を取り入れて多面体を美しく見せることを狙った。張出し部が長くなることから主桁付根に作用する曲げモーメントが大きくなるため、壁高欄も構造体として機能させ、曲げモーメントの大きさに従って桁高が変化する多角形とした。この形状の面白さは、昼は太陽光を浴びて桁の上面が明るくなり、夜になると桁下のライトアップによって、橋脚の面と桁下が浮かび上がる効果が得られることである。



写真 - 7.2 第2人道橋の構造形式のヒント (著者撮影)

(4) Design Development (デザインディベロップメント)

a) ラフスケッチによるデザインのスタディ

2橋のコンセプトが定まったので、これらのコンセプトに従って基本フォルムを検討した。建築家と話しをしながら、簡単なスケッチを描き、背景とは独立した橋のフォルムのイメージを作成したものを (図 - 7.9) に示す。

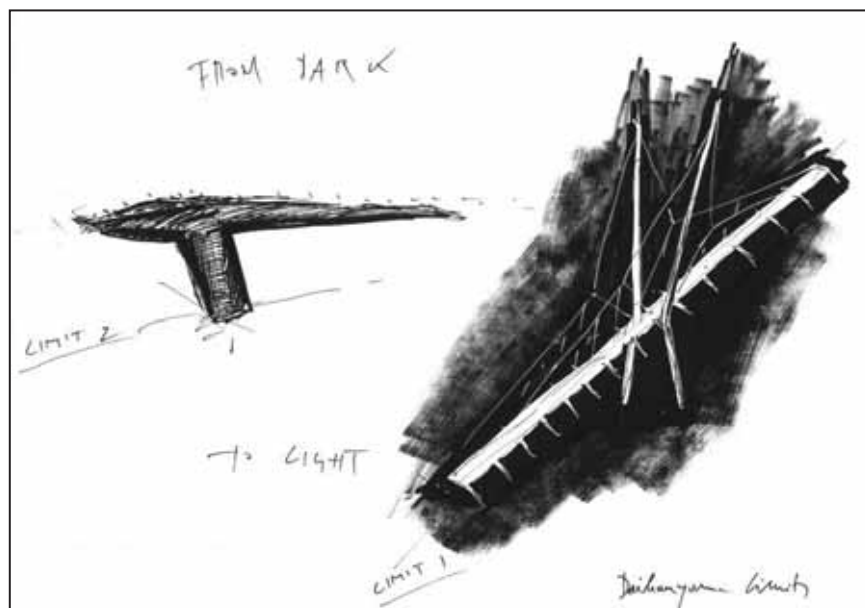


図 - 7.9 第1人道橋 (右) , 第2人道橋 (左) の基本フォルム (提供 : F.Broggini)

ブロッジニーは、夏目漱石の「明暗」を愛読し、2橋の対称性を表す言葉として、軽快で透明感のある第1人道橋には「Mei bashi」、マッシブで存在感のある第2人道橋には「An bashi」と命名した。第1人道橋のスケッチでは2本の主塔を外側に傾斜させ、その角度も異なっていることがわかる。第2人道橋のスケッチでは、緊張感を演出するため、橋脚を後方に傾斜させている意図が読み取れる。

b) 模型による構造フォルムのスタディ

続いて、模型を制作し立体的なフォルムを検討した。模型は、周辺建物を含めて、周辺風景との関係性を検討する場合もあるが、最初に人道橋の構造フォルムそのものの美しさを検討するために製作した。第1人道橋の模型の床版部は、板構造であるが、理想的にはコンクリート床版を採用するのが好ましいと考えていた。しかしながら、第1人道橋の代官山駅から8mの道路脇には、両側に民家と店舗があり、支保工施工の場合にはクリアランスの確保が厳しいことが予想されたため、一括架設の可能な鋼構造とし、検討段階における主桁はフィーレンディール形式の鋼製立体トラスを想定した（写真 - 7.3）。透明感を演出するために、手摺のデザインも重要な要素になる。模型では、線材でシンプルに表現しているが、できるだけそれに近い手摺とすることが望まれた。さらに照明柱が立っていないとスッキリとした橋上景観を得られることも確認できた。

第2人道橋は、マッシブな多面体をいかに美しく見せるかということが造形上の課題であったため、主桁と橋脚形状について、（写真 - 7.2）に示すモデルを数個製作しながら比較検討した。第2人道橋の正面図、側面図を（図 - 7.11）に示す。平面図であるが、陰影を付けることによ



写真 - 7.3 第1人道橋の初期模型（提供：F. Brogini）

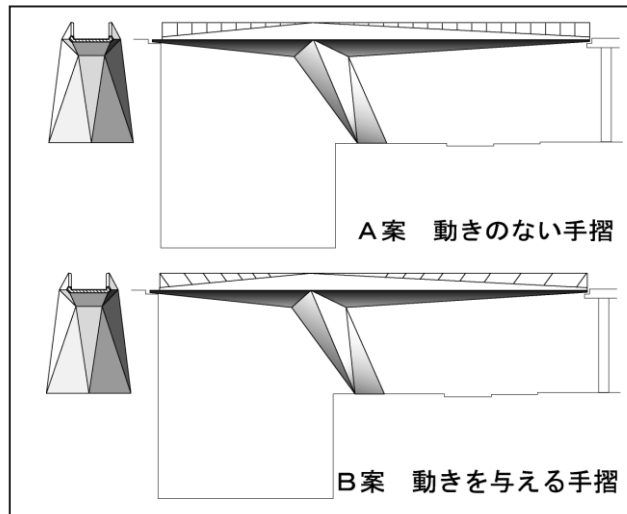


図 - 7.11 第2人道橋のイメージ（手摺を鉛直にした場合：上図，手摺を傾斜した場合：下図）

（著者作成）

て立体感を表現できる。第2人道橋はマッシブであるため、手摺の支柱を鉛直にすると視覚的な動きを失うことが予想されたため（**A案**），支柱を前傾させ、1フレームの幅を中心から先端に向かって等差数列的に広げていくと、視覚的な動き演出することも分かった（**B案**）。左側側径間部の真下には、B 1階に公共プールのサンクンガーデンがある。そこから桁裏の見え方もフォルムのチェックポイントになる。主桁の地覆部分は橋脚の中心から跨線橋に向かって低く変化させ、橋脚は下端が三角形で上端に向かって八角形に変化していく。

c) CGによるデザインディテールのスタディ

CGは様々な目的のために使われるが、唯一の利点は、見る視点を変化を変えて構造物のフォルムを検討できることである。橋のフォルムを置き換えて、それぞれ比較検討したり、詳細なデザインディテールも検討できるため便利なツールといえる。

第1人道橋の場合、斜張橋と吊り形式の2案をCGで製作した。斜張橋案は主塔の高さをできるだけ低く抑える必要があると考え、斜材の張り方を塔頂部のサドルから放射状に伸びるファン型とした（**図 - 7.12**）。この場合、視覚的な問題は左右の斜材が交錯して、スッキリとしたフォルムが得られないことである。一方、吊り形式案（**図 - 7.13**）は、視点がどのような位置にあってもケーブルが交錯することはなく、斜張橋案に比較してスッキリしたフォルムとなっていることがわかる。

第1人道橋の有効幅員は2.3mと比較的狭いため、斜張橋の場合(図-7.12)は、斜材が近接すると圧迫感を与えることがわかる。手摺のデザイン、主塔の断面形状、桁下の照明用アームの形状についても、課題が明らかになった。一般に手摺は支柱を約1.5m間隔で配置するが、その縦方向のラインが視覚的に強くなるため、できるだけ支柱の存在を意識させないデザインが望まれた。また、建築の事例では、ステンレスワイヤーを支柱間に水平に張る場合があるが、公共人道橋の場合、子供が手摺に足を掛けて登ることを防止するために認められないことが多い。そこで手摺のデザインは、支柱をできるだけ細い縦材で統一し、連続した面を構成することにした。完成後のすっきりとした橋上景観を(写真-7.3)に示す。

主塔形状について、CGでは斜張橋の場合を四角形断面、吊り形式の場合を三角形断面として表現している。明らかに、(図 - 7.13) に示す三角形断面の方がシャープな印象を与えることがわかる。同様に、照明用アームの断面はCGでは四角形になっているため、取って付けた印象を拭えない、そこで三角形断面にすることにより、第1人道橋の全体デザインに統一性が生まれる。

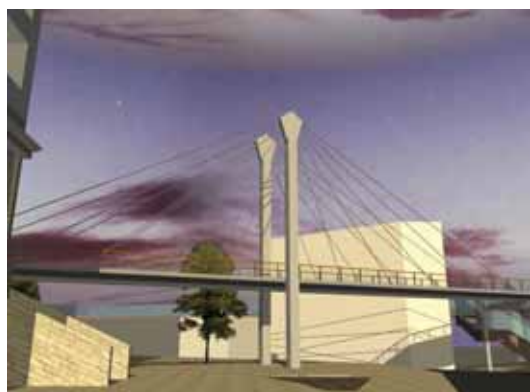


図 - 7.12 第1人道橋 斜張橋案のCG (斜材形状: ファン型) 図 - 7.13 第1人道橋 吊り形式案のCG



写真 - 7.5 第1人道橋の橋上景観 (筆者撮影)

第2人道橋については、模型スタディの結果を反映してCGを作成した（図 - 7.14）。主桁の下側面に陰をはっきりとつけるために、上部の鋼板端部の処理を、水切り機能も付加させ（図 - 7.15）のように若干の張出し部を設けている。



図 - 7.14 第2人道橋のCG

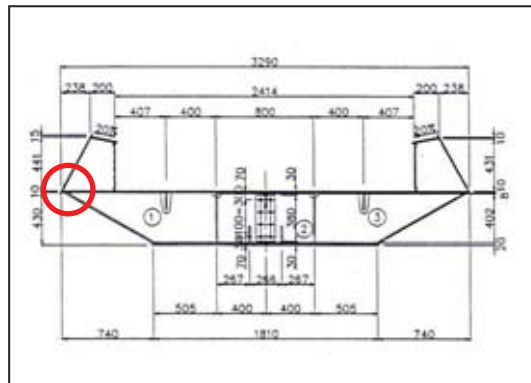


図 - 7.15 断面図（○の部分は、エッジ処理を示す）

（5）住民説明会におけるデザイン案の承認

第1、第2人道橋のデザイン案が完成した後、デザイン案に対する意見を聴取するため、同潤会アパート住民代表の方々に対して、人道橋計画に関する説明会を実施した。ご年配の方々が多く、代官山駅と恵比寿方面に至る平坦な通路が確保できることを喜ぶ意見が多く寄せられた。デザイン案については、普段あまり見られないデザインであったため、斬新さに驚かれる方々も少なくなかった。しかし、我々設計担当者のデザインに掛ける思いを説明し、谷口理事長からのフォローも頂いた結果、この2つのデザイン案を住民代表の方々に承認して頂いた。

7.3 基本設計

（1）基本設計の方針

基本設計はコンセプトデザイン及び構造デザインを実現するために、構造エンジニアと橋梁デザイナーがコラボレーションし、材料、構造について様々なチャレンジをする段階である。したがって従来の示方書や既成概念には捕らわれず、できるかぎり自由な発想をし、振動問題や、たわみなどについて使用状態での問題が明らかになった場合には、柔軟に変更する方針とした。

第1人道橋および第2人道橋の構造設計上の課題を（表 - 7.5）に示す。第1人道橋の場合3

表 - 7.5 第 1, 第 2 人道橋の構造設計上の課題

| | |
|---------|-------------------------------------|
| 第 1 人道橋 | a) 主桁3本の鋼管の全体座屈問題. |
| | b) フィーレンディール形式に伴う桁の振動特性の把握. |
| | c) ケーブルシステムの効果の確認. |
| 第 2 人道橋 | a) 橋全体の荷重バランスの検討. |
| | b) 長い桁の先端たわみを抑えるため, 活荷重作用時の桁の挙動を検証. |

つの課題があった。透明感を演出するためには主部材となる3本の鋼管は、できるだけ細い径のものが望ましい。しかも、立体フレーム構造として、斜め部材のないフィーレンディール構造を想定している。当然ながら、部材が細くなり、斜め材が無くなれば、主桁は全体座屈しやすく、たわみ易く、かつ揺れやすくなる。

従来の道路橋示方書では、構造物の使用状態において問題が生じないように最小部材の規定はしているものの、構造物全体の座屈問題については規定がない。そこで、主桁の全体座屈問題どのように解決するかが第一の課題である。第二の課題は、主桁の固有周期の問題であるが、桁の振動を制御しながら主桁部材をどこまで細くできるかである。第三の課題は、主ケーブルが直線ではなく、途中で折れた場合、このケーブルシステムに導入される張力の大きさと効果の確認である。これらの問題をどう解決するかが、第 1 人道橋の構造デザインの鍵となった。

第 2 人道橋の課題は以下に示す 2 つである。第一に、橋脚を後方に傾斜させた場合に主桁と橋脚の重心位置を、橋脚下端の三角形断面内に納めるように荷重バランスを調整しながら断面形状を決定すること。第二の課題は、(図 - 7.14) に示す長い方の主桁の長さが約 19m になるため、完全な片持ち梁構造とした場合に、活荷重が作用した時に、桁先端が大きく振動することになる。これを防止するためには、活荷重作用時は桁先端が支承に触れて振動を防止する性能を付与することである。以下に第 1 人道橋の基本設計について述べる。

(2) 第 1 人道橋の基本設計

第 1 人道橋の基本設計は、(図 - 7.16) に示す設計フローに従って実施した。主桁断面を仮定し、構造全体系の安全性を確認した後、使用状態での構造特性を把握した。

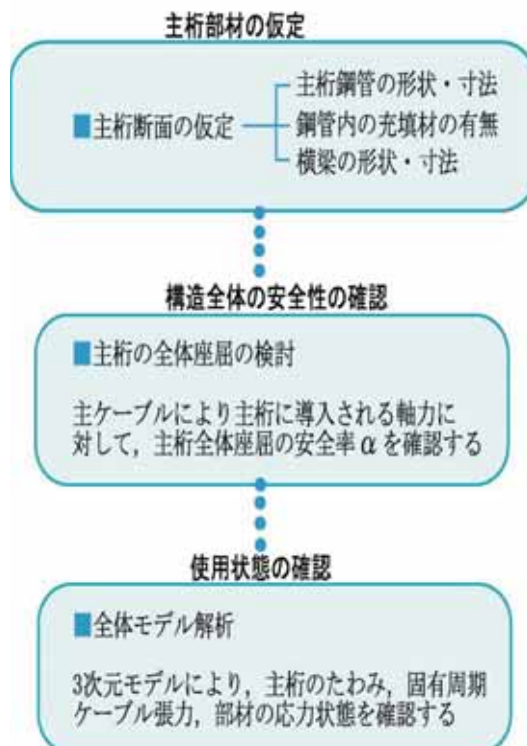


図 - 7.16 第1人道橋の設計フロー (筆者作成)

a) 主桁の全体座屈に対する検討

基本設計の段階であるが、斬新な構造であるため、構造解析は最初から三次元有限要素法 (FEM) の構造解析プログラムであるNastranを使って検討した。主桁断面の検討に際し、先ず主桁の全体座屈に対する検討を行った。駅舎側のスパン28mの主桁を対象に、一端固定、一端フリーの条件で先端の鋼管2本にそれぞれ70tfを作用させ、座屈荷重を算定した (図 - 7.17)。ここで、全体座屈に対する安全率の指標として、建築ドームの設計に用いる安全率 $\alpha = 7.0 \sim 8.0$ を許容値とした。桁高80cm, 主桁に角鋼管 $\square 200 \times 200 \times 12$ を2本と鋼管 $\phi 216, 3 \times 12$ にコンクリートを充填した部材を想定している。主桁先端の軸力が12tfであるため安全率 $\alpha = 7.5$ となる。

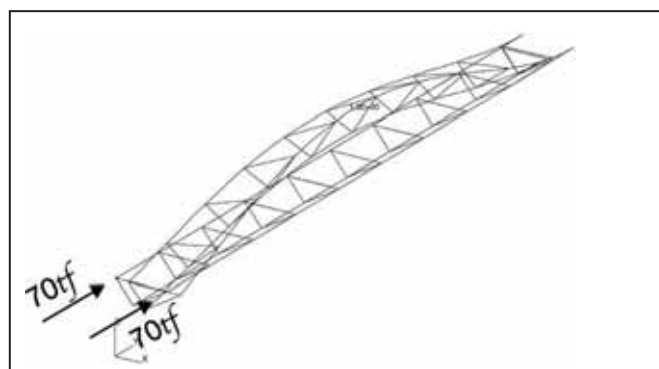


図 - 7.17 全体座屈に対する検討 (筆者作成)

b) 主桁の全体モデルの解析

主塔、主桁断面の非対称形状に伴う影響を確認主塔の傾斜に伴うケーブルシステムの効果の確認、主桁のたわみ、桁の固有振周期及び部材の応力を確認するために、Nastranによる3次元立体フレーム解析を行った。検討事例を(図-7.18)に示す。

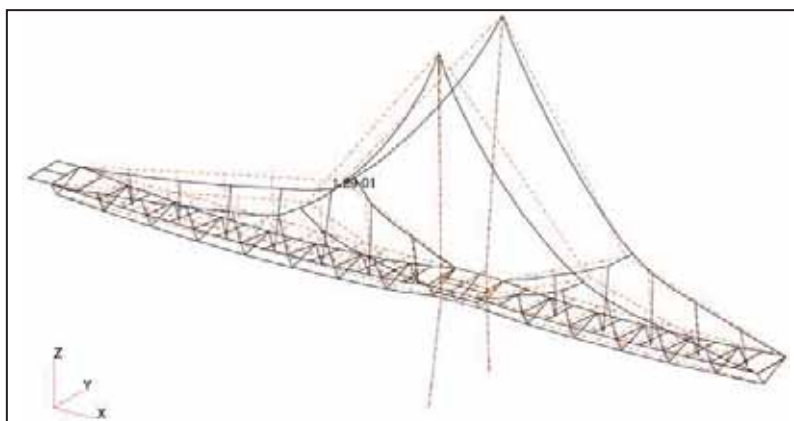


図 - 7.18 3次元FEMモデルによる解析結果(筆者作成)

検討の結果、主塔が斜めに傾斜している場合の効果は、地震時直角方向の支承部に作用する水平反力を低減することがわかった。しかし、振動問題に対してフィーレンディール形式では、固有周期が制限値の1.5Hz～2.3Hzの間にあるため、歩行者に不快感を与えることが予想された。そのため主桁をフィーレンディール形式からスペーストラス形式に変更して桁の剛性を上げることにした。また新しい材料の試みとして、コンクリート充填鋼管を主桁に3本に使用する予定であったが、98年当時はコンクリートと鋼管の付着の問題が明確になっていないことを理由に断念した。主桁は、架設時に主桁を一括架設した時に、スパン28mの単純梁として一定期間機能させることを考慮して、最終的にはコンクリートを充填した角鋼管 $\square 200 \times 200 \times 12$ から鋼管2本 $\phi 366.5$ $t=11.1$ に変更している。

(3) 工事概要及び構造概要

第1、第2人道橋の工事概要を(表-7.5)に構造概要を(表-7.6)に示す。また、第1人道橋、第2人道橋の構造一般図をそれぞれ(図-7.19)、(図-7.20)に示す。

表 - 7.5 工事概要

| | |
|-----|----------------------------|
| 発注者 | 代官山市街地再開発組合 |
| 企業者 | 鹿島・大成・東急人道橋工事JV |
| 工事名 | 代官山再開発地区第1種市街地開発事業に伴う人道橋工事 |
| 橋種 | 歩道橋 |
| 工期 | 平成11年6月～平成12年12月 |

表 - 7.6 構造概要

| | |
|-----------|--------------------|
| 第1人道橋 | |
| 橋梁形式 | 2径間連続自碇式鋼製吊り橋 |
| 橋長 | 47.7 m |
| 支間割 | 28.3 m + 19.4 m |
| 幅員(有効幅員) | 2.7 m, (2.34 m) |
| 使用材料(上部工) | |
| スペーストラス | 25.6 t (STK400) |
| 主塔 | 18.1 t (SM400A) |
| 橋脚 | 4.1 t (SM400A) |
| 総重量 | 48.1 t |
| 床版 | 強化ガラス (t=12mm ×2枚) |
| ケーブル | 構造用ストランドロープST1570 |

| | |
|-----------|------------------|
| 第2人道橋 | |
| 橋梁形式 | 2径間連続鋼製箱桁橋 |
| 橋長 | 30.2 m |
| 幅員(有効幅員) | 4.21 m, (2.41 m) |
| 使用材料(上部工) | |
| 主桁 | 37.6 t (SM400A) |
| 橋脚 | 18.6 t (SM400A) |
| 総重量 | 56.2 t (SM400A) |

7.4 おわりに

代官山第1人道橋と第2人道橋は、2000年8月、代官山アドレスのオープンに合わせて供用を開始した。第1人道橋については、基本設計終了時において、近隣店舗から、このままでは店の売り上げに影響があるので、主塔の位置にデッキレベルから階下に降りられる階段をつけて欲しいとの要望が出された。橋梁デザイナーとしては、橋のフォルムをシンプルに見せるためには、避けたいデザイン変更であったが、開発地域外に住む住民の意向や代官山公園から駅へのアクセスの利便性の向上を考慮して、螺旋階段を設置することになった。代官山駅近隣の民家からは、橋をできるだけ遠ざけるとの要望があり、幅員の幅を狭めている部分がある。このように、必ずしも、橋梁デザイナーの意図どおり実施できない部分もあったが、様々な関係者の地道な努力と協力により、2橋が完成した。すでに6年が経過したが、代官山町会長からは人道橋が住民をはじめとして、高齢者にとってなくてはならない存在であると、感謝の言葉を頂いた。

第1人道橋の完成状況を（写真-7.6）、（写真-7.7）、（写真-7.8）に、第2人道橋の完成状況を（写真-7.9）、（写真-7.10）、（写真-7.11）に示す。



写真 - 7.6 第1人道橋 代官山公園側から見る



写真 - 7.7 第1人道橋 桁下から見上げた状況



写真 - 7.8 第1人道橋 夕方の橋上空間 ライトアップ



写真-7.9 第2人道橋 跨線橋側からアドレス側を見る



写真-7.10 第2人道橋 夕方の橋上空間 ライトアップ



写真-7.11 第2人道橋 アドレス側から跨線橋側を見る

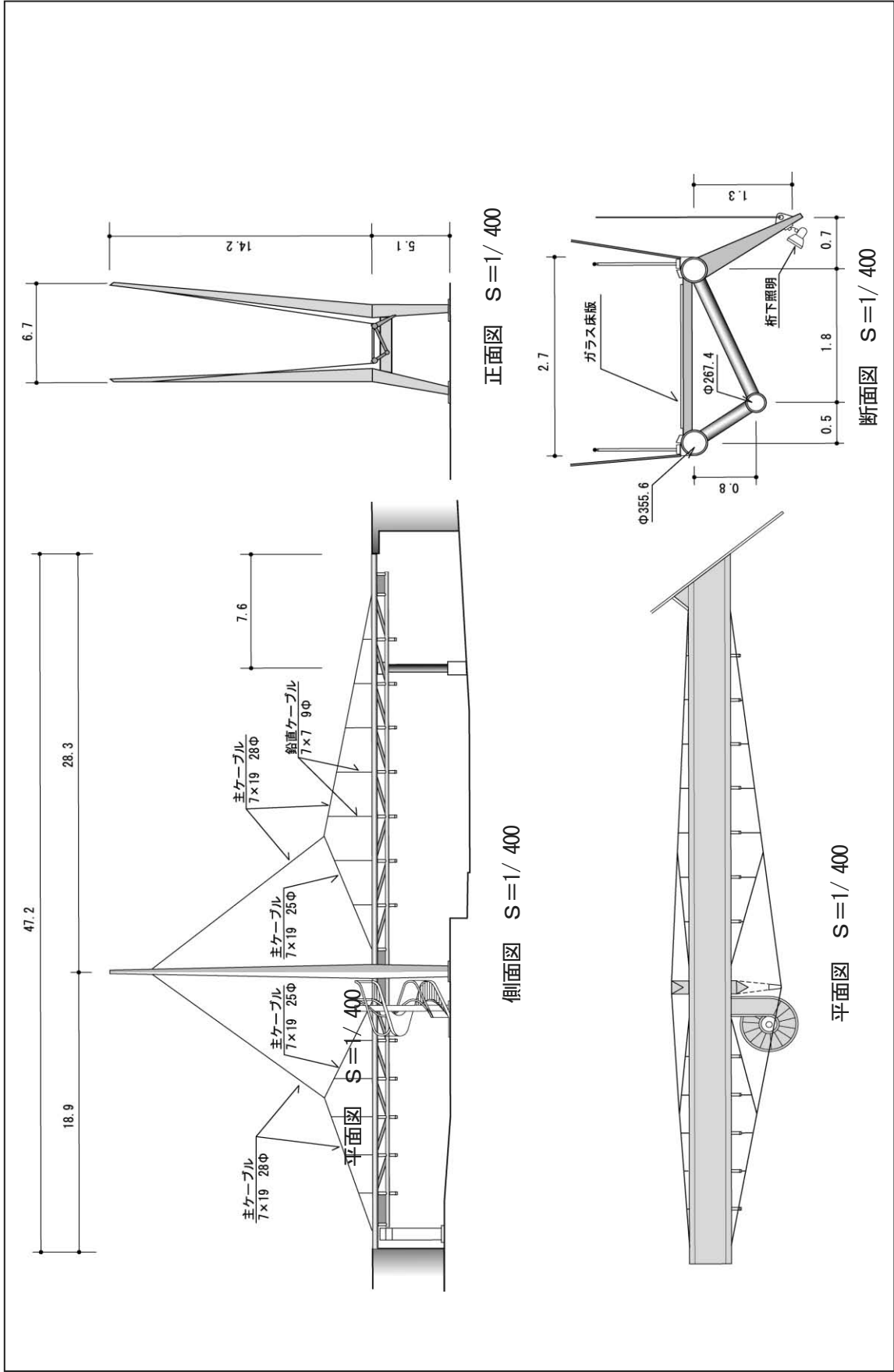


図 - 7.19 代官山第 1 人道橋 構造一般図 (筆者作成)

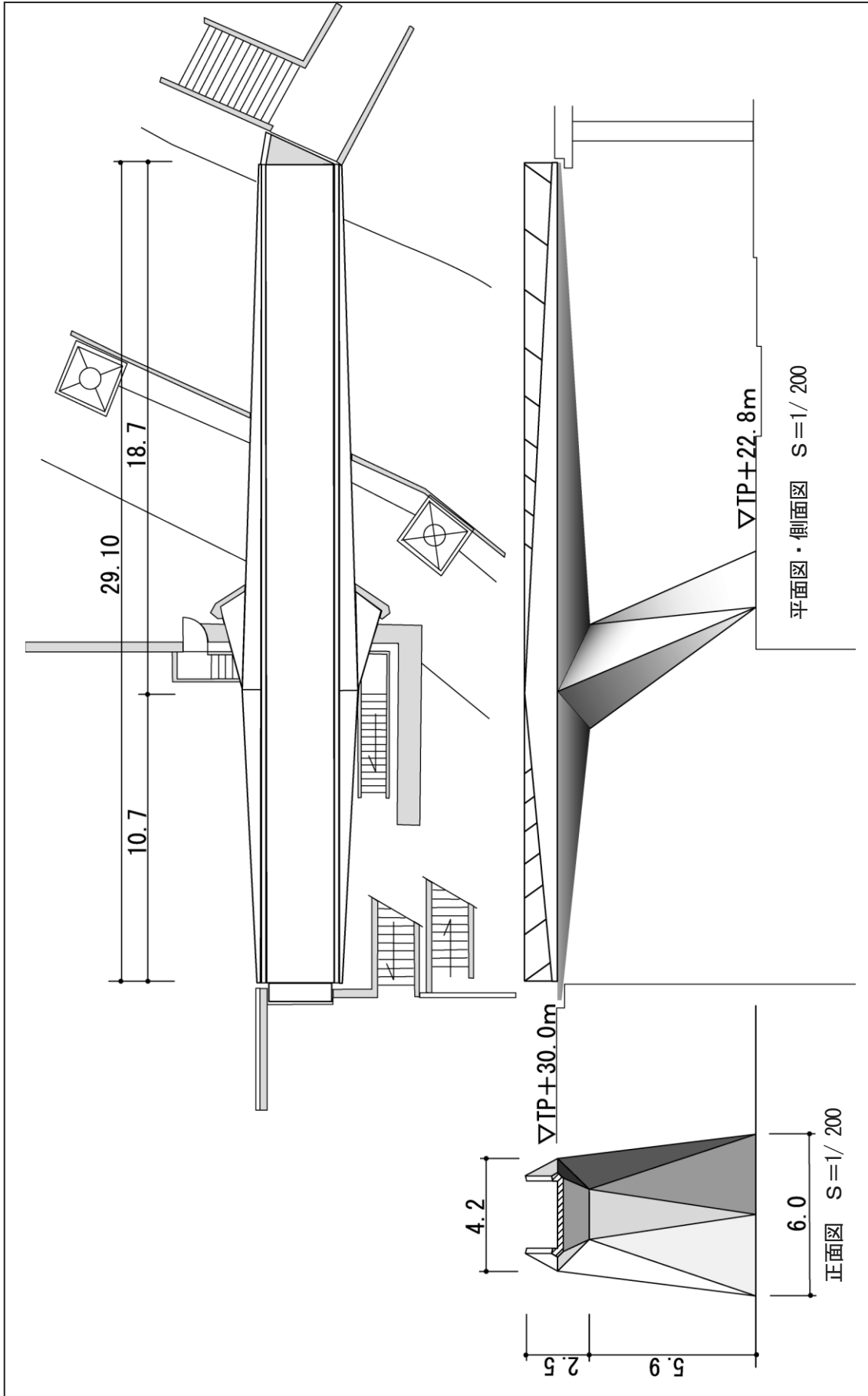


图 - 7.20 代官山第2人道橋 構造一般図 (筆者作成)

参考文献・注釈

- 1) KAJIMA, 特集：代官山再開発 回想・旧同潤会代官山アパート, 1999
- 2) 鹿島建設月報, 特集：代官山再開発・インタビュー 代官山アパートの建替え, 1999
- 3) 代官山地区市街地再開発組合, 再刊山地区第1種市街地再開発事業 パンフレット, 1996
- 4) 鹿島建設土木設計本部編：新・土木設計の要点 景観設計, pp.54-63, 鹿島出版会, 2003
- 5) 鈴木圭 安永正道 深田敦宏, 主塔を傾斜させた斜張橋, 特許広報 特公平7-6529, 日本国特許庁, 1995

第8章 池田へそっ湖大橋のデザイン

8.1 はじめに

本章では長大コンクリートアーチ橋である池田へそっ湖大橋を事例として、景観設計の中で特に重要な、架橋地点の分析とコンセプトデザインの展開、および構造デザインにおける構造形式の選定について整理する。

池田へそっ湖大橋は、徳島自動車道・井川池田 IC～川之江東 JCT 間（平成 23 年 3 月開通）のうち、井川池田 IC の西方約 5km に位置する橋長 705m の PC 5 径間連続アーチ橋である（**図-8.1**）。本橋の架設条件は県道、一級河川吉野川池田ダム湖、吉野川運動公園、JR、国道、町道と交差し、両端の橋台位置はトンネル坑口に近接する¹⁾。また本橋は「四国のへそ」に位置する池田町内に位置する池田町内に建設されることから、ランドマークとしての役割も期待された。橋梁名称は、地域お方々から募集し、1,159 通の中から決定された。



図-8.1 位置図

8.2 周辺状況とデザインの方針

8.2.1 周辺状況

主たる交差物件である吉野川水系池田ダム湖の周辺状況を（**表-8.1**）に示す。地形形状としては山地と河川が近接しており、吉野川の線形は大きく蛇行している（**図-8.2**）。また、近くから橋を見る視点場も少ない。しかし、視点場の1つである国道の線形が変化

表-8.1 周辺状況

| | |
|--------------|-----------------------------------|
| 地形 | 右岸側：やや緩やかな山地 左岸側：急峻な山地 |
| 土地利用 | 右岸側河川敷：公園, グラウンド 商業施設（ホテル等） |
| 周辺道路 （交通） | 右岸側：国道 32（192）号, JR 土讃線 左岸側：県道 |
| 集落 | 右岸側：接近している 左岸側：池田大橋（国道）付近に有 |

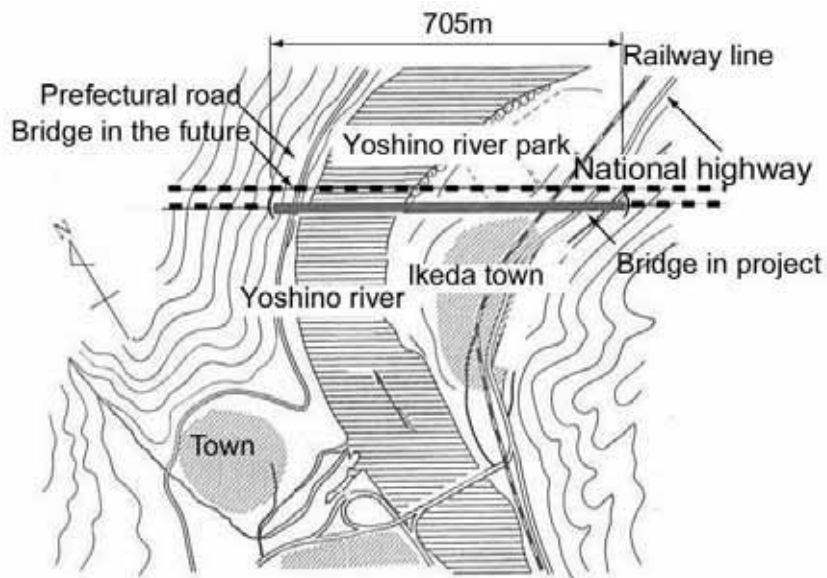


図 - 8.2 架橋位置図²⁾

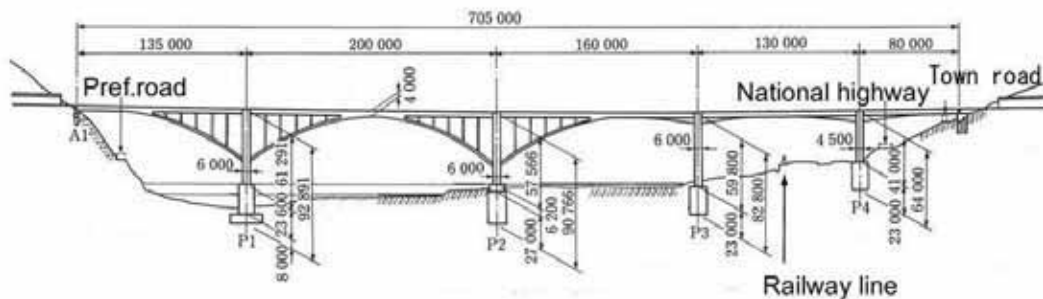


図 - 8.3 橋梁一般図²⁾

に飛んでいるため、国道からの景観はめまぐるしく変化する(図-8.3)。本橋の架設条件から以下に示す2点が橋梁形式選定のポイントになる。

- ① 橋梁のスケールが大きいため、橋梁の造形（フォルム）が明快であること。
- ② 大きな河川があり、かつ地形の変化が豊かであるため自然景観を損なわないこと。

以上のことから橋梁デザインの基本方針は、伸びやかな吉野川沿いの大自然と調和し、骨格のしっかりした明確な造形表現がなされた橋梁であることとした。

8.2.2 計画条件

本橋の道路計画条件を(表-8.2)に示す。表のように、交差条件も多くかつ周辺景観への配慮も必要である。架橋地点は、北流していた吉野川が東方へ約90度変更する場所である。吉野川北岸には和泉層群が分布し、水衝部となるため河床付近まで急峻な地形を呈しており、河川から山頂までの最大比高は約400m、山腹斜面の傾斜は最大60度となる箇所も見られる。一方、吉野南側には三波川変成帯が分布する。河川から国道32号線付近までは、吉野川により形成された段丘面が広がっており、国道より南側には和泉層群由来の地すべり堆積物から構成される比較的緩やかな斜面の山地となっている。

表 - 8.2 計画条件

| | |
|------|---|
| 路線名 | 拘束自動車道 氏刻縦貫自動車道 |
| 道路規格 | 第1種第3級B規格 |
| 道路幅員 | 9m（暫定2車線施工） |
| 設計荷重 | B活荷重 |
| 設計速度 | 80km/h |
| 基本線形 | 平面線形：R=∞ 縦断線形：-2.39%～2.00% 縦断勾配：2.00% |
| 交差物件 | 吉野川水系池田ダム湖 国道32（192）号，県道，町道 JR土讃線 |

8.2.3 第1次橋梁形式比較

形式については、最大径間部分を1) 斜張橋案、2) エクストラドーズド橋案、3) 鋼アーチ+鋼(箱桁)橋案、4) PC連続ラーメン箱桁橋案、5) PCアーチ案(RC逆ランガー+PC連続ラーメン箱桁)とする案が第一段階の比較対象となった(図-8.4)。形式比較については、計画条件より以下の3点を前提として検討を行った。

- A. 暫定2者線であること
 - B. 橋梁前後はトンネルであることから、本橋は単独で設計・施工を行うこと。
 - C. 将来線も踏まえて並列での景観も考慮する。
- 1), 2)案については、ケーブルのための主塔が必要となるが、上下線一体型の4車線を施工する場合に比べ、今回は暫定であり合理的でないばかりか、将来施工時にも費用的

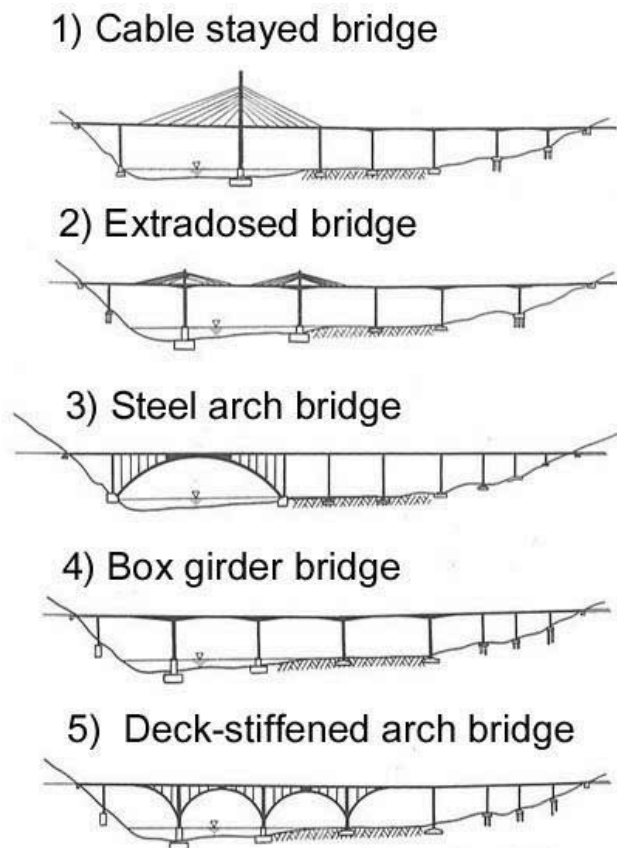


図-8.4 橋梁形式比較案²⁾

に不利となる。また、橋脚高さが約 60m となる上に主塔高さが、斜張橋では 60m、エクストラードズドで約 20m 程度の塔が必要となることから、圧迫感を与えてしまうことになる。

3)案の鋼橋では、他 4 案のコンクリート系のように橋脚部からの張出し架設が不可能であるため、架設面では不利である。また、維持管理の面でも将来の塗替えが生じること、アーチ・箱桁・版桁と橋梁形式が不連続になるため、視点が近い本橋の付近では連続性が確保しにくい点でもやや劣ると考えられる。

4)案では、支間長が 200m～80m で支点上の桁高が 11m～7m（桁高比は支間長の 1/18 とした）となり、約 60m の橋脚高さの 1/6 ほどを占め、重量感を与えることが考えられる。また、支間長が 100m 以上となる橋梁にコンクリート箱桁を採用した場合、PC 鋼材の配置など、構造的に不利となる。このような規模の橋梁にはエクストラードズド形式が最適と考えられるが、採用の可否は前述の通りである。

5)案は 3)案の最大支間長部分の形式見直しとも言える案で、橋脚上のアーチライズが小さくなり、重量感を軽減するため、最大支間長部分に鉛直材を有する開腹アーチとすることによって開放感を与えた。その他、国道付近の桁下空が比較的低い部分は、箱桁とした。以上の 5 案から、

- ① 構造としてコンクリート系が有効であること。
- ② 桁側面の圧迫感の少ないこと

から、アーチ系を主とする構造に決定し、アーチと箱桁の連続性を確保するデザインの検討に移った。

8.3 形式の選定

8.3.1 架橋条件

河川部は下部工設置可能な場所が河川監理上制限されたため、河川部の P1・P2 橋脚が決

定された。このため最大支間長は 200m となり、山岳部に設置される橋梁としては国内でも最大級の支間長を有する橋梁となった。また、河川部では、水面から路面までの高さが焼く 60m であるが、国道部のクリアランスは約 30m となり、河川部の開放感に比べ相対的に低く感じられるので、国道交差部分で軽やかに感じられる構造系が求められた。

8.3.2 日本のアーチ橋の歴史

日本では最初のプレストレストコンクリート（P C）橋が橋長 11.6m の長生橋として 1951 年に施工された。1950 年代、60 年代は、日本の橋梁技術者は、日本の経済再建のために欧州から橋梁の設計・施工技術を学んだ時期である、例えば、ドイツで発明されたディビダーク式張出し架設工法は、1959 年に橋長 59m の嵐山橋の施工に初めて導入された、1970 年代は、プレストレストコンクリート橋に関する様々な橋のタイプや施工法が実現され、小本川橋梁のように P C ステーを有する鉄道斜張橋やコンクリートトラス橋が施工された。また、アイデアとして吊り床板構造を道路橋に使うコンセプトも紹介された。コンクリートアーチ橋については、張出架設工法をアーチ橋の施工に適用するアイデアが実現した。これは従来、桁橋の張出し施工に使われていた架設工法をアーチの施工に応用したもので、日本独自の工法であり、1974 年にアーチスパン 150m の保川津橋に世界で初めて適用された（写真－8.1）、1979 年には、補剛アーチ形式の鉄道橋に適用され、アーチスパン 116m の赤谷川橋が完成した。また、1979 年には、アーチスパン 145m の帝釈橋の施工に



写真－8.1 世界初のアーチの張出架設工法が採用 保川津橋 1979 年²⁾

ピロン・メラン工法が採用された。この工法は、架設中の地震の影響を低減するために、アーチの中央部分に鋼製ガーダーを用いて、早期にアーチリングを完成させ、アーチリング部を構造的に安定化させる方法である。その後、コンクリートを打設して鋼製ガーダーをコンクリート内部に取り込みコンクリートアーチとする工法である。ピロン工法は、張出架設時に仮支柱を立てて、橋台後方のアンカーからケーブルを張り、仮支柱を經由して、先端のアーチリングを支持しながら張出していく工法である。メラン工法は、第1章で述べたヨーゼフ・メランが発明した工法で、先に鋼製アーチを架設して、コンクリートで包み込むように一体化する工法である。これらのピロン工法とメラン工法を併用するために、ピロン・メラン工法という。このアーチ架設工法は、日本のアーチ橋の施工において、スパンの長大化と施工の合理化に大きく貢献した。例えば、1991年、ピロン・メラン工法を使ってアーチスパン235mの別府明礬橋が施工された（写真-8.2）。本橋は1991年に開催されたFIP国際会議（Federation International Precontraint）において技術と景観に優れた橋梁として特別賞を受賞した。アーチ橋の張出架設工法は、これまで橋台から片側に向けて架設していたが、橋脚から両側同時張出し架設するアーチの施工法が、世界で初めて池田へそつ湖大橋に適用されることになった。



写真-8.2 別府明礬橋 1990年²⁾

8.3.3 第2次橋梁形式比較

第1次比較で、コンクリートアーチを主構造とすることを決定したが、次にアーチ部と桁橋部とバランスを検討するため、全体景観の比較を行った。アーチが連続するような橋梁では、支間長が均等な橋梁が多い。これはアーチ部の連続によるリズム感と、規則的な鉛直部材配置が統一感を与えるためである。支間長が不均等な場合、鉛直材の寸法・配置が各径間毎に異なり、見た目にも煩雑さを与えかねない。よって、スパンが異なる場合には、連続アーチの適用は景観上不利であるといえる。しかし、今回は橋脚設置上、各径間が不均一とならざるを得ないことから、アーチ部と鉛直部材の配置を検討することで、視覚的煩雑さを軽減させるべく、アーチの数、鉛直材間隔、箱桁との連続性の確保などの検討を行った。

(1) 視点場の設定および課題の抽出

最初にメインの視点場を設定することにより景観上の課題を抽出した (図-8.5)。

- ① 視点1：左岸側 山の中腹から橋梁全体を見渡すことができる A (図-8.6)。
- ② 視点2：左岸側 県道からアーチ部と箱桁部の繋ぎの部分が見やすい A (図-8.7)。
- ③ 視点3：右岸側 鉄道、国道32号などから箱桁の部分がよく見える B (図-8.8)。
- ④ 箱桁ウェブ部が圧迫感を与える可能性がある B (図-8.9)。

視点1、視点2においてはアーチ部と箱桁部との繋がりに課題があると考えられた。視点3については、アーチの連続性を確保するか、アーチと桁の複合とするかの判断である

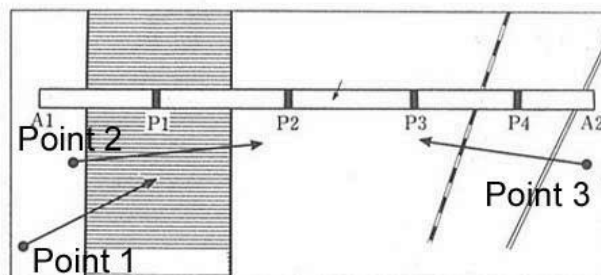


図-8.5 視点場の設定²⁾

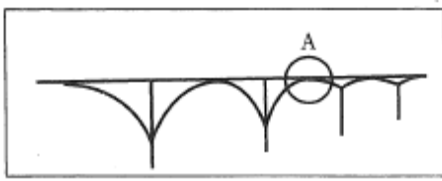


図-8.6 視点 1

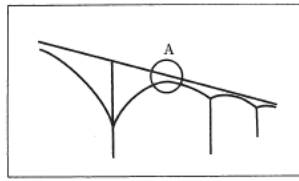


図-8.7 視点 2

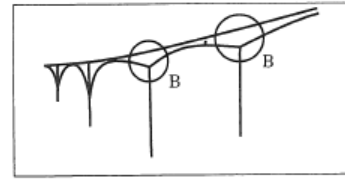


図-8.8 視点 3

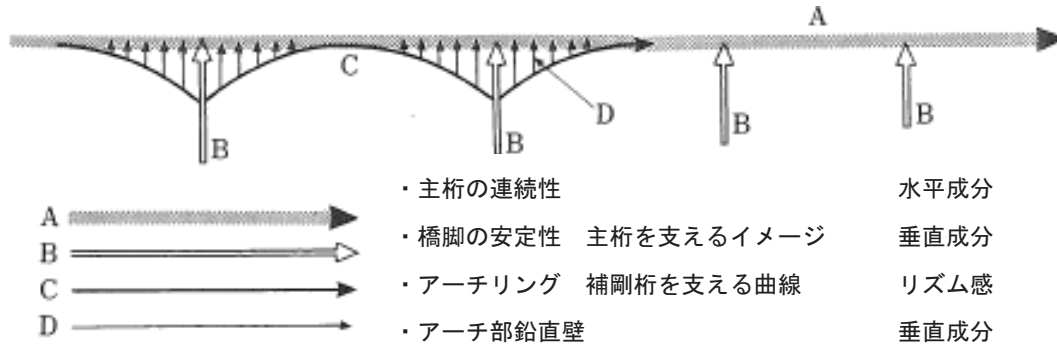


図-8.9 計画案のサイコベクトル図¹⁾

(2) サイコベクトルによる形態の分析

池田へそつ湖大橋のサイコベクトルは次のように考えることができる。ベクトルの優先順位は (A,B,C,D) となる。このベクトルを階層別と感じさせることが、理解しやすい造形となる (図-8.9)。階層別とは、平面的な位置を表し、主桁、橋脚、アーチ、鉛直壁の順に、平面的な位置をづらし、それぞれのグループにおいて視覚的に統一した印象に揃えることを意味している。例えば、最も外側に張出しているのが主桁であり、主桁の連続性を最も視覚的に強調するものは、この池田へそつ湖大橋の場合、地覆高欄のコンクリート壁面外側のラインである。特に、張出し部には太陽が当たり、張出部の下側には影ができることから、地覆高欄部のコンクリートは白く輝いて目立ちやすいといえる。この主桁の連続性、または直線性を視覚的に明確に主張するには、このライン上に電光表示板や非常電話等の橋梁付属物の突起物を設けないことである。これが主桁の印象として連続性を感じさせるための方法の一つである。主桁の印象に影響するものとして主桁下端のラインがあり、(図-8.6, 8.7) に示す A 部の検討に最も影響する部分である。これについては次

節（3）橋梁形式の比較で扱う。

主桁を支えるものとして橋脚があり、これは主桁が水平成分であるのに対して、鉛直成分である。本橋の場合は、橋脚の面を桁の張出部より 1 段奥側に配置し、しかも床板の位置まで延長することによって、橋脚を支える印象を強めた。これは主桁と橋脚が構造的に剛構造であり、配筋上の効率性を考慮していることにも由来している。従って、主桁の面は橋脚よりさらに一段奥の配置としている。橋脚と主桁の平面的な位置については、主桁と橋脚の構造的な関係性にも影響し、本橋の場合のように剛構造である場合は、橋脚の位置を主桁より外側にするのが配筋上からも効率的である。これに対して、主桁が橋脚上で支承に支えられている場合は、橋脚の面を内側にすることもある。特に、歩道橋のデザインでは、主桁の内側にすることが多い。

アーチリングの面は、支点部では橋脚よりもさらに内側に配置しているが、主桁とアーチリングが接するアーチクラウン部では、主桁の外側のラインとアーチリングの外側のラインを一致させている。

主桁を支える鉛直壁は、アーチリングに支持されているため、アーチリングよりも奥側で、しかも主桁下端の位置よりもさらに奥側に配置した。

このようにして、主桁、橋脚、アーチリング、鉛直壁の順に階層性を設けて配置することにより、構成部材の多いアーチ橋の構造デザインに一貫性を与えることができる。

(3) 橋梁形式の比較 P3～P4 部の検討

計画案について抽出された P2～P3 部にかけての連続性という課題に対し 2 種類の橋梁形式の比較案を作成し、計画案と併せて合計 3 案について比較検討を行った。

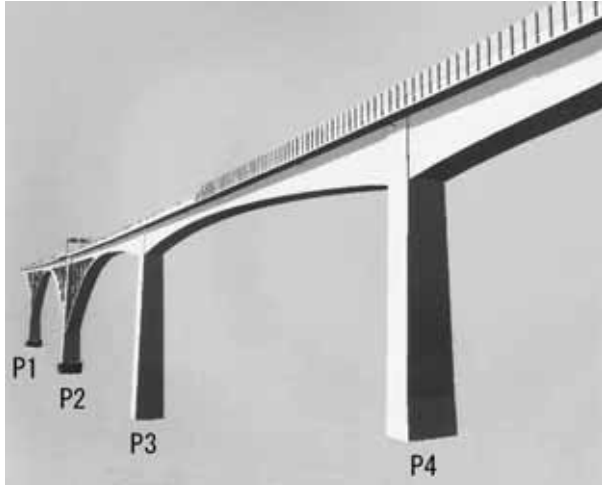


図-8.10 箱桁案¹⁾

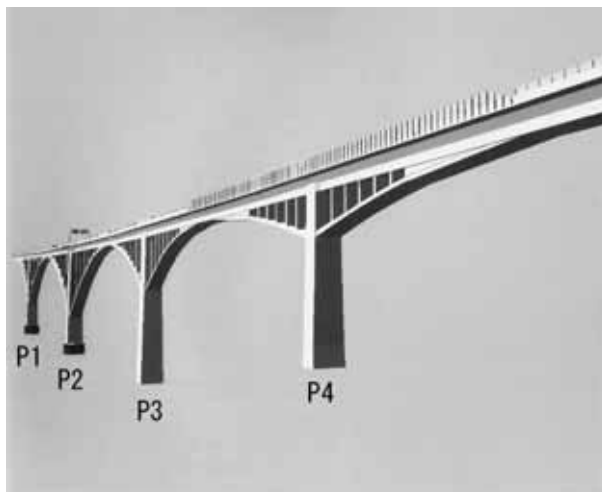


図-8.11 連続アーチ案¹⁾

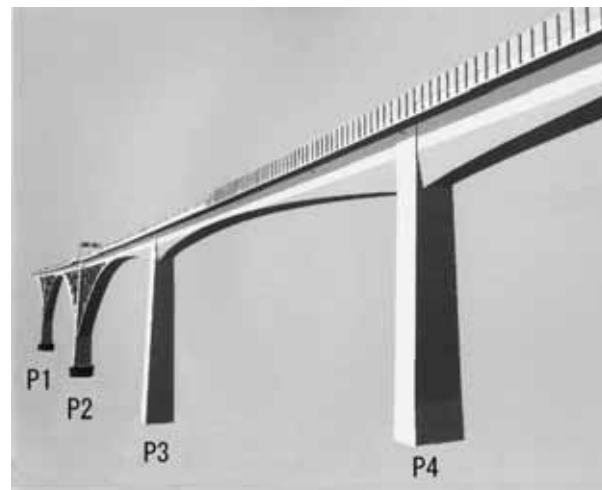


図-8.12 斜めウェブ案¹⁾

① 箱桁案 (図-8.10)

本案では、箱桁部がアーチ部に対し、脇役に徹したシンプルな形状となっている。そのためいくつかの視点からみても、景観的な混乱は避けられているといえる。しかし、アーチ部と箱桁部のラインの曲率が異なるため連続性に違和感が幹事られる。

② 連続アーチ案 (P3, P4 部を連続アーチとした案。(図-8.11))

P3, P4 部のアーチの曲率が P1, P2 部のアーチの曲率とは異質なものであるという点では①と大差がないといえる。また、アーチのフォルムの違いが遠近感の混乱を起こすことも考えられる。

③ 斜めウェブ案 (図-8.12)

アーチ橋の補剛桁高 (4.0m) のラインを箱桁橋部の P3, P4 主桁部まで通し、連続性を強調した案である。主桁天端より 4.0m 以下のウェブを「斜めウェブ」とすることにより補剛桁のラインを通りを強調している。

以上、3 案の比較検討により、国道交差部の圧迫感を軽減する効果やサイコベクトルを活かす補剛桁部の連続性効果を期待できる「斜めウェブ案」を採用した。

8.4 細部構造の景観

8.4.1 非常駐車帯拡幅部の検討

当初計画では、P2 柱頭部には非常駐車帯を設置するために拡幅部がある。また、拡幅部中央には非常電話、拡幅部より東側には情報板を設置するための拡幅部があった。これらの 3 箇所の拡幅部の大きさ、形状、設置物が異なるため景観的混乱を引き起こすことが予想された。そこでこれら P2 上の非常駐車帯の上にまとめることにより、拡幅部をシンプルに見せる効果を狙った (写真-8.3)。



写真-8.3 非常駐車帯拡幅部 付属物のデザイン¹⁾

8.4.2 落下物防止柵の検討

国道，民家，公園，鉄道を跨ぐ部分でコンクリート製の地覆高欄部に落下物防止柵を設置しなければならない。これらの柵のアンカーはコンクリート壁の外側鉛直面にアンカーされることが多く，補剛桁の視覚的連続性を阻害することが懸念された。そこで，防止柵をコンクリート地覆高欄部の天端にアンカーすることにより，外側鉛直面の連続性を確保することによって，視覚ベクトルで示す主桁の連続性を確保した（写真-8.4）。



写真-8.4 落下物防護柵のデザイン¹⁾

8.5 おわりに

大規模コンクリートアーチ橋の景観デザインについて、周辺風景との関係性を捉えて、デザイン方針を決定し、視点場からの景観を設定して景観の課題を整理し、その解決策をサイコベクトルを利用して検討した。また、落下物防護柵等も完成後設置されるために、事前に検討することができずに、美しいフォルムを活かせないことがある。本事例は、構造デザインから付属物のデザインに至るまで詳細に検討したために、全体的にも詳細にも美しい橋梁フォルムが実現できたと考える（写真－8.5, 8.6）。



写真－8.5 池田へそつ湖大橋 完成状況²⁾



写真－8.6 池田へそつ湖大橋 完成状況²⁾

注釈・出典

- 1) 望月秀次, 安藤博文, 鈴木 圭, 木暮雄一, 池田へそつ湖大橋における景観設計,
Vol142, No. 2, Mar , プレストレストコンクリート, 2000
- 2) Hirohumi ANDO, Hidetsugu MOCHIZUKI, Kei SUZUKI, Yuichi KOGURE, ■
AESTHETIC DESIGN OF LONG SPAN ARCH BRIDGE , - THE IKEDA
HESOKKO OHASHI BRIDGE , pp14-119 ~ pp14-124, Proceedings of the first
FIB congress 2002

第9章 AKIBA BRIDGE のデザイン

9.1 はじめに

第6章において独創的な橋梁デザインを目指す場合、新しい材料を使うことの可能性を示し、その Key word として高強度材料とケーブル材料を挙げた。本章では、前者の事例として東京、秋葉原に建設した AKIBA BRIDGE を第9章で取上げ、後者の事例として大阪、道頓堀に建設した浮庭橋を第10章で取り上げ、コンセプトデザイン、構造デザインの実際を示す。その際、第7章において筆者が提示した3段階のデザインプロセス、Concept research, Concept Design, Design Development に従って整理する。

9.2 秋葉原駅前都有地の再開発計画と歩道橋整備

2002年2月15日、ユーディーエックス（UDX）特定目的会社グループが、東京都の保有する秋葉原駅前都有地（合計 15,728m²）を IT 産業の世界的拠点として整備する売り払い公募コンペに応募した。ユーディーエックス（UDX）特定目的会社グループとは、エヌ・ティ・ティ都市開発㈱と鹿島建設㈱で構成されるユーディーエックス（UDX）特定目的会社とダイビル㈱で構成される。これに先立ち、東京都は2001年12月7日に、秋葉原駅前都保有地の売り払いに関する募集を行い、**（表-9.1）**の予定で買受事業者を決定した。

この事業では IT タウンに相応しい超高層ビルを2棟整備する。1棟は神田明神通りの北側に位置する UDX ビルで、地上22階・塔屋・地下3階からなる。駅前広場に面した壁面には大型 LED ビジョンを配置して、秋葉原への来街者に対して戦略的に情報発信を行ってゆく施設となる。低層部（1～4階）は、「IT&集客機能スペース」と位置付け、一部をピロティー空間として一般の人々に開放され、ここに「飲食モール」「ショールーム」「デジタルワークショップ」「イベントスペース」「デジタル多機能スタジオ」が配置されている

表-9.1 再開発計画の手続き

| 契約までの手続き | 期 間 |
|----------|----------------|
| 募集要項の配布 | 2001年12月7日~12日 |
| 募集要項の受付 | 2001年12月12日 |
| 事業計画の受付 | 2002年1月21日~31日 |
| 買受者の決定 | 2002年2月15日 |
| 契約の締結 | 2002年3月29日 |

(写真-9.1)。2棟目は、秋葉原ダイビルで、神田明神通りの南側に位置し、中低層部には「産学連携機能」を集約した「ベンチャー教育機能」とコンベンションホールを配置し、高層部には、一般テナントオフィスが配置され、さらに秋葉原 IT センターを支える「データセンター」を配置し、ギガビットクラスの高速度大容量通信を可能としている(写真-9.2)。

「秋葉原ダイビル」と「UDX ビル」の間には JR 秋葉原駅と電気街との人々の流れのスムーズ化を図るために歩道橋を架設し、これがデザインの対象とする AKIBA BRIDGE である。AKIBA BRIDGE は、(UDX) 特定目的会社グループが秋葉原の再開発事業と併せて整備し、完了後、千代田区に移管して維持管理を行うことが決まっていたため、ユーディーエックス (UDX) 特定目的会社グループが橋梁の設計を発注し、その整備内容については、千代田区も審査し、公共デッキとして承認される必要があった。(図-9.1) に秋葉原再開発事業によって整備される「UDX ビル」と「秋葉原ダイビル」の完成予想図を示す。



写真-9.1 ピロティー空間 (著者撮影)



写真-9.2 ダイビルへのアプローチ(著者撮影)



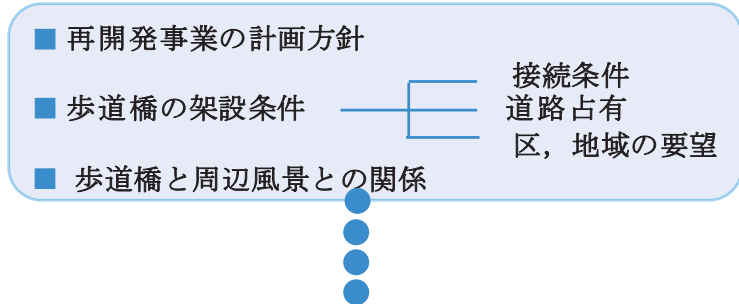
図-9.1 「秋葉原ダイビル」(手前)「UDX ビル」(奥)と AKIBA BRIDGE

9.3 デザインプロセス

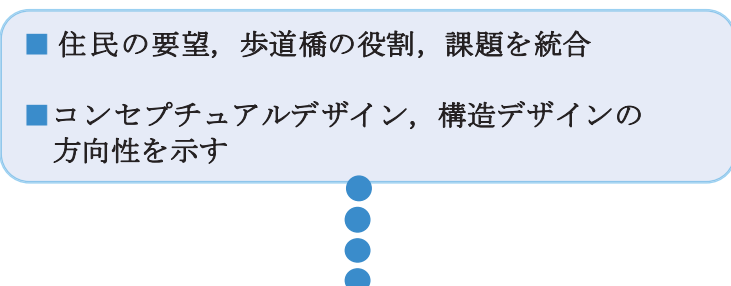
(1) 橋梁デザインの流れ

AKIBA BRIDGE の橋梁デザインフローを (図-9. 2) に示す. 第一段階の Concept research では, ユーディーエックス (UDX) 特定目的会社グループが東京都に対して示した事業計画, 秋葉原地区まちづくりガイドラインに示す整備方針, 千代田区が主催する秋葉原交通計画委員会の整備方針等を調査して検討する. 歩道橋と風景との関係では, 先ず, 歩道橋と秋葉原の電気街との位置的な関係性を把握し, ここを訪れる人々が渡ってみたいと思ふような造形フォルムと動線との関係を検討する. また, この歩道橋が整備される一帯を秋葉原秋駅前のロータリーとして整備することから, 桁下空間の利用方法やゆとりあるスペースの確保が検討対象となる. 第二段階の ConceptMaking では, 第一段階で得られた情報と課題を統合して, コンセプチュアルデザインのコンセプトを示す. 次にそのコンセプトを実現するためにどのような材料を使い, 構造的にどのようなフォルムとするかを決定する構造デザインのコンセプトを示す. 第三段階の Design Development では, 歩道橋の主構造のフォルムの決定に対して様々な案を検討するだけでなく, 動線計画, 階段・エレベータを使った隣接構造物または建物へのアクセス計画, 舗装材として石材・レンガ・ブロック等を使った

Concept Research



Concept Making



Design Development

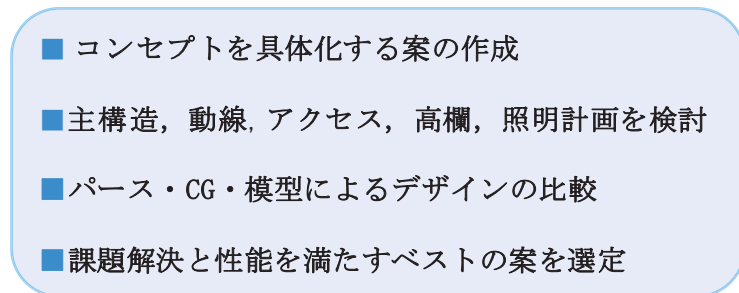


図-9.2 橋梁デザインの流れ（筆者作成）

橋面工デザイン，手摺・防風パネルを含む防護柵デザイン，照明デザイン，排水設備のデザイン等，様々な詳細デザインを検討し，決定していく段階である．第1章でデザインを定義したように歩道橋は，人がゆっくり歩いたり，デッキの上に佇んで風景を眺めたり，手摺に触れたり，直接体験することが多いため，デザインの細部に亘って気を配る必要がある．

(2) Concept Research (コンセプトリサーチ)

この段階では企業者が歩道橋に対して何を求めているかを調査する。次に歩道橋が架かる場所はどのような場所であるか、背景はどのような状況であるか等、対象地の景観特性を調査する。AKIBA BRIDGE の整備は、「秋葉原地区まちづくりガイドライン」と、千代田区秋葉原交通計画検討委員会が定めた目的に合致させる必要があった。公共デッキに要求される整備目的を(表-9.2)に示す。この公共デッキの整備目的を満足するための設計と条件を(表-9.3)に示す。設計と条件は、秋葉原の再開発事業を進める段階で決定されたものであり、この段階では構造デザインを担当する構造エンジニア、または意匠を担当する景観デザイナーは関与していないが、設計と条件では、有効幅員 8.0m、桁下道路から桁下までの高さ(建築限界) 4.7m、歩道橋へのアプローチ、バリアフリーの要件等が決定されている。

表-9.2 AKIBA BRIDGE の整備目的 (筆者作成)

| 整備の根拠 | 整備目的 |
|------------------|---|
| 秋葉原地区まちづくりガイドライン | <ul style="list-style-type: none">・ 秋葉原の顔としての公共性の高いデッキを整備する・ 回遊性確保による JR 秋葉原駅西口地区全体の活性化を図る |
| 千代田区秋葉原交通計画検討委員会 | <ul style="list-style-type: none">・ 都市計画駐車場により発生する交通混雑を緩和する・ 歩車分離を図る立体横断(複層断面)とする・ デッキ整備により地上レベルでの横断歩行者を抑止する・ 滞留スペース確保する・ 歩行者の安全性及び自動車交通の円滑性を確保する |

表-9.3 AKIBA BRIDGE の設計と条件 (筆者作成)

| | 設計と条件 |
|---------------------|---|
| 共通コンセプト | <ul style="list-style-type: none"> ・秋葉原の顔として相応しいデザインとする ・千代田区の地区歩行者ネットワーク図との整合化を図る ・公共移管を前提とし、将来的な維持費が過大でない仕様設計とする ・公共側に設置する橋脚本数を少なくする形状、構造設計とする |
| AKIBA BRIDGE のコンセプト | <ul style="list-style-type: none"> ・階段・エスカレーター上部に溜まりスペース確保する ・イベント開催時の2方向避難経路を確保する ・有効幅員 8.0m以上確保する(交通量調査をもとにピーク時のB水準通行量を満足する幅員) ・神田明神通り上の建築限界は、4.7mとする ・1街区、3-1街区内共用ロビーにEV設置し、公共デッキのバリアフリーを補完させる ・デッキ上り口を駅寄りに配置する(千代田区秋葉原交通計画検討委員会) ・エスカレーター及びデッキ上部に屋根を設置する(千代田区) ・3-1街区内の広場4号は露天で200㎡確保する |

a) 動的印象 (dynamic) を与える動線計画

秋葉原再開発地域は北西部に電気街エリアを控えるため、ダイビル、UDX ビルの利用者のみならず、電気街の利用者が渡ってみたいと思わせる橋とする必要があった。もし、前者のニーズだけであるならば(図-9.2)の橙色の線の示すように直線でよい。しかし、電気街へと導く動線とするならば赤色の線の示すように曲線が望まれる。ここで桁に上下の動きが加わると橋のイメージとして静的(Static)ではなく、動的(Dynamic)に見える。これは人間の視覚心理の傾向である。二次元に動きのある事例として(写真-9.3)にデームズポイント橋(Dames Point bridge)を、(写真9-4)にブロンヌ橋(Brotonne)を示す。この上下の動きに加えて平面的な曲率 $R=170m$ をつけることによって、桁が三次元的にダイナミックに見えるようになる。AKIBA BRIDGE の縦断勾配は、秋葉原駅側が 1.1%、UDX ビル側が 2.0%としており、このわずかの勾配によっても視覚的な動きは十分感じられ



写真-9.3 Dames Point bridge¹⁾

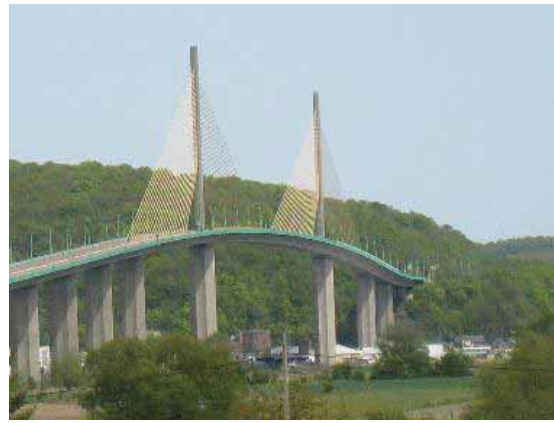


写真-9.4 Brotonne bridge²⁾

る。まず、スパン 33.2m で桁高 1.2m では、スパン桁高比=27.6 : 1 となるが、一般的な PC 桁ではスパン桁高比=15 : 1 なので、桁のスレンダーネスを（写真-9.5）に示す。曲率 170m が付いた場合、アーチの内側から見た場合を（写真-9.6）に示す。



（写真-9.5）桁のスレンダーネス (27.6:1) (筆者撮影) (写真-9.6) 曲率 170m の見え方 (筆者撮影)



（写真-9.7）橋軸の 15° 方向から見る (筆者撮影) (写真-9.8) 真横から縦断+曲率を見る (筆者撮影)

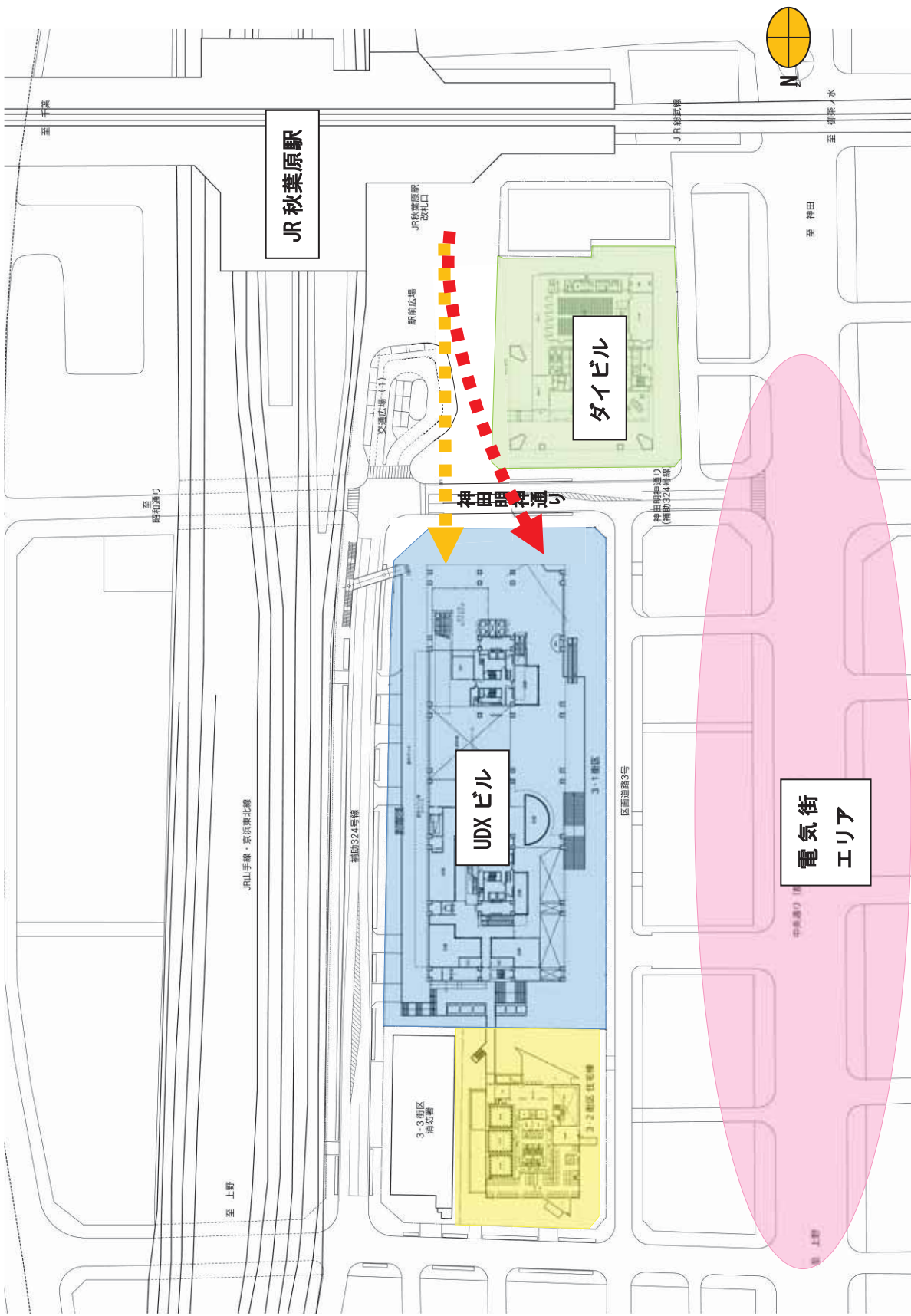
(写真-9.7)には、最も良く縦断勾配が認識できるように、橋軸に対して 15° の角度で AKIBA BRIDGE を見た場合を示す。(写真-9.8)には、縦断勾配 1.1~2.0%と平面曲率 170m を橋の真横から見た場合を示す。これらの写真から平面曲率 170m と縦断勾配 1.1%~2.0%の組合せは、視覚的に動的な印象を与えることが判明した。

b) ロータリーと桁下空間のゆとりの確保

秋葉原の駅前広場の面積は 40m X 60m と比較的狭く、橋長 60m 歩道橋とロータリーが互いに干渉しないように配置すると、歩道橋部は 20m X 60m、ロータリー部分は 20m X 60m となり、かなり狭い印象を与える(写真-9.9)。ここで、ロータリーと歩道橋の投影部分が互いに干渉してもよいと考えると(図-9.4)のような配置が可能となる。そのためには、スパン割を 3@20m から 2@30m に変更して、桁の陰の部分および橋脚間にロータリーの円弧部分を浸入させることが必要である。ここでUDX側の2階のデッキレベルは



写真-9.9 AKIBA BRIDGE から見たロータリー(筆者撮影)



図一9.2 歩道橋の動線 橙色：直線，赤色：電気街へと向かって曲線³⁾



図-9.3 歩道橋とロータリーが干渉しない配置

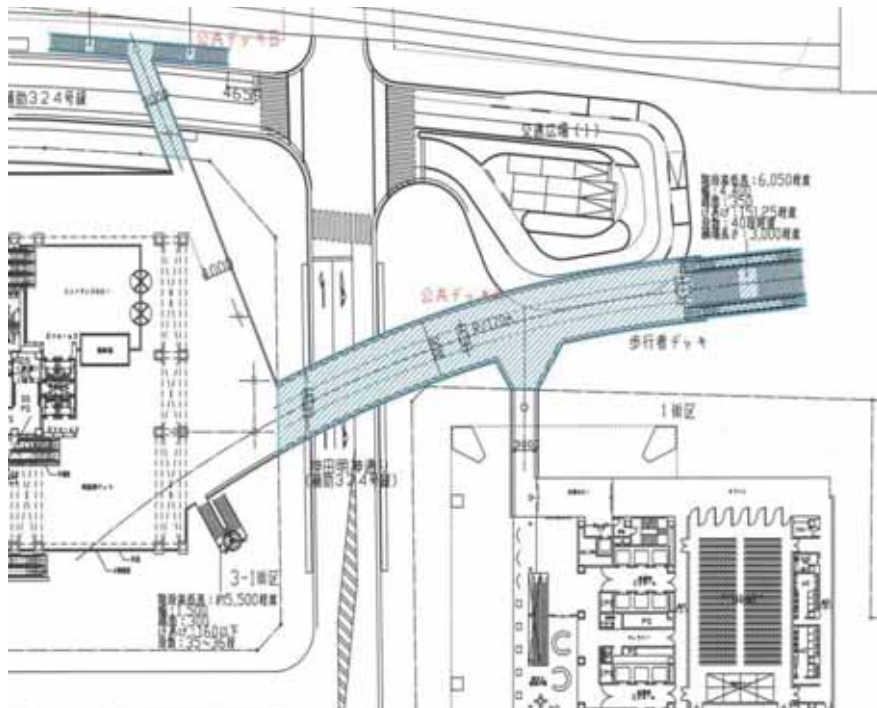


図-9.4 歩道橋とロータリーが互いに干渉することを許した場合の配置³⁾

AP+10.2m と規定され、神田明神通り上で 26.7m の位置での橋面レベルは、勾配 $1/48.5$ で AP+10.75m であり、この位置での路面高は AP+4.650m であるため、桁下空間 4.70m を加算すると桁下レベルは AP+9.35m であり、桁高 $h=10.75-9.35=1.40\text{m}$ となる。(図-9.5) に歩道橋の側面図を示す。最終的な平面線形を(図-9.6)に示す。

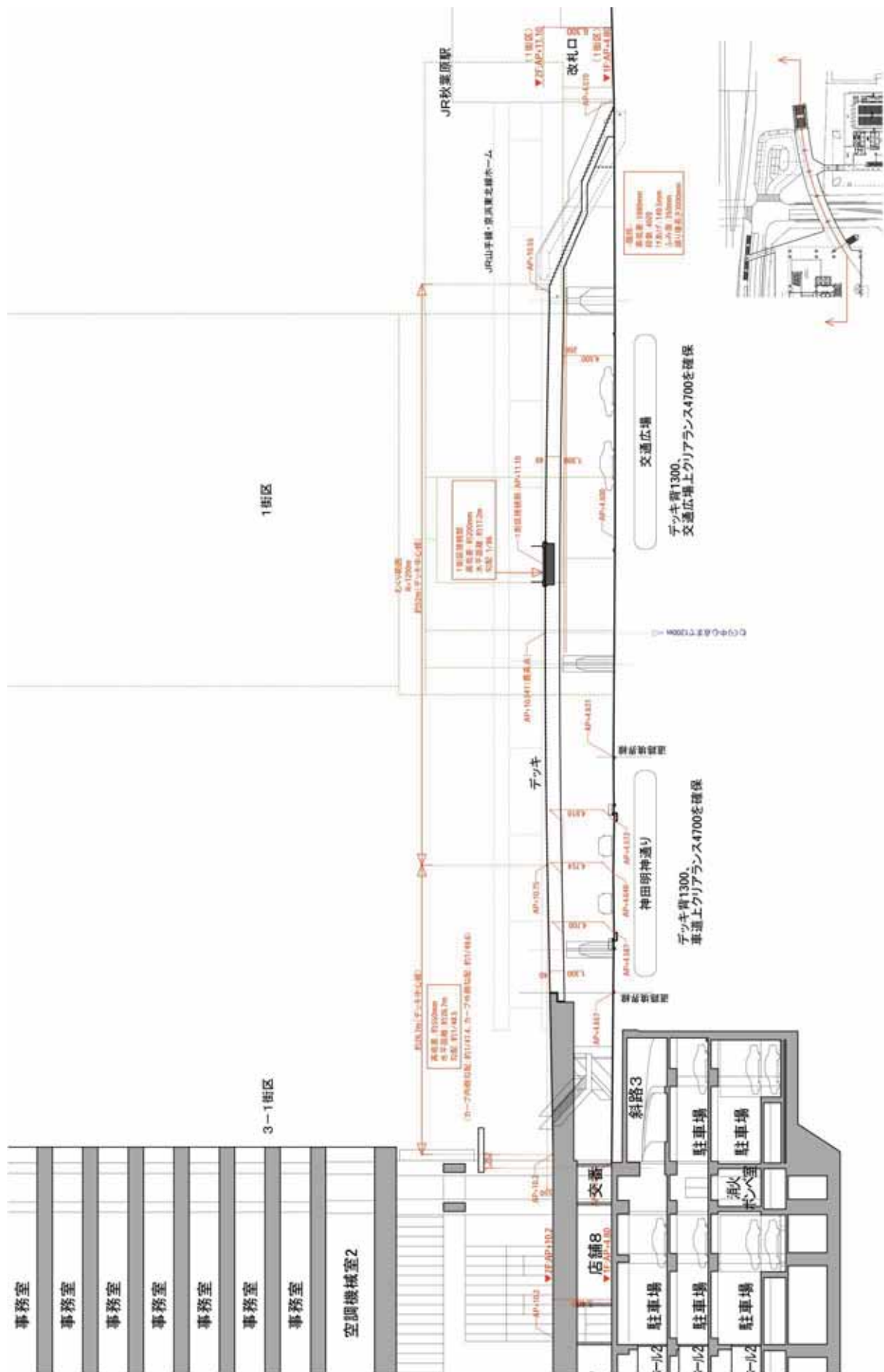
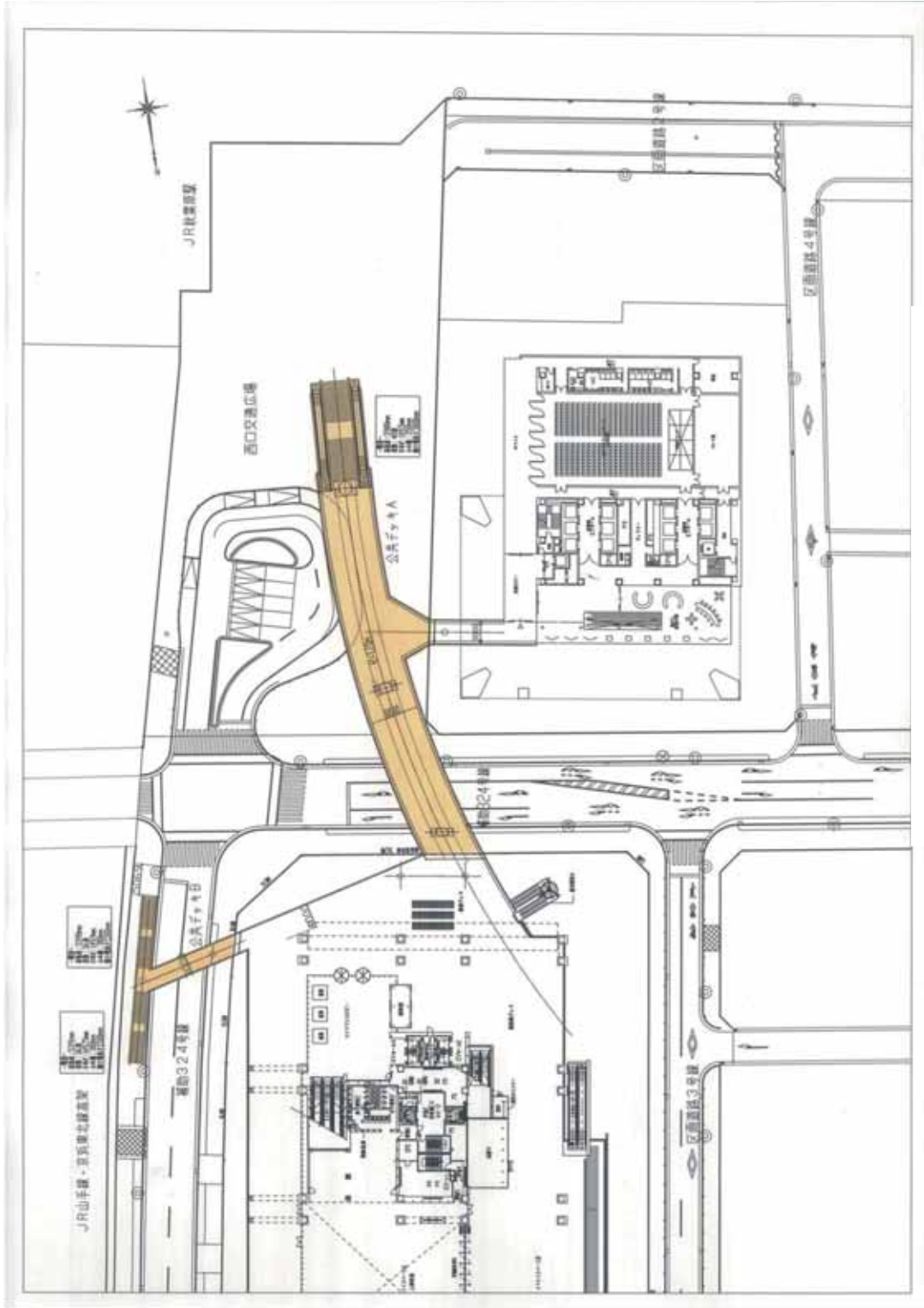


図-9.5 歩道橋の桁高レベルの検討断³⁾



図一9.6 最終的な平面線形 R=170m³)

桁高は余裕を見て 1.3m とすると、ここで課題となるのが、スパン 30m に対して一般的なプレストレストレストコンクリートを使うとスパン桁高比 15 : 1 であるので、桁高は約 2.0m が必要になる。桁高 1.3m では、スレンダー過ぎて応力、たわみ、固有振動の点で許容値を超えてしまう可能性が高くなる。そこで、この課題を解決する方法の一つが、超高強度コンクリートを使用して応力とたわみの問題を解決すること、また固有振動の問題はダイビルとの分岐部を本橋に剛結して、歩道橋の固有振動数を変えることが考えられた。

c) 小さな橋脚で幅広の主桁を支えるデザイン

有効幅員 8m の主桁を支える主構造とこれを支える橋脚のデザインを検討する。b) でロータリーを含む秋葉原駅前空間の印象を述べたように、比較的狭い空間であることから橋脚はできるだけコンパクトな造形が望まれた。橋脚のフォルムの候補として(図 9-7) に示す Y 型橋脚と(図-9.8) に示す門型橋脚を比較する。デザイン的にはどちらも問題はないが、橋脚の上に幅員 8m の桁が載ることを考えると、Y 字型のように下に向かって絞られていく造形が好ましく感じられる。橋脚の上の広さは、幅 3.75m X 奥行き 1.4m であり、この上に 2 本の主桁が 2.75m の間隔を空けて載ってくる。この桁の断面形状として考えられるケースは、(図-9.9) に示すように 2 パターン有り、上のようにリブ付き床版とするか。



図-9.7 Y字型橋脚³⁾



図-9.8 門型橋脚³⁾

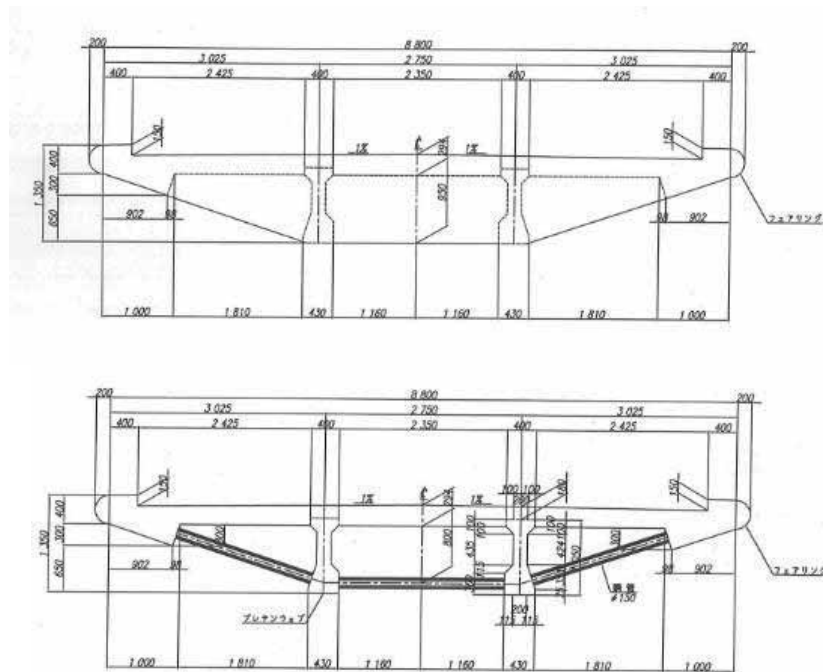


図-9.9 桁断面の比較 上側 リブ付き床版, 下側 ストラット付き床版³⁾

下のようにストラット付き床版とするかである. 2者を比較するとストラット付き床版の方が桁の重量が軽くなること, 外観からみた場合, 主桁が軽く見えて, コンクリートと FRP のように異なった材料の組み合わせとすることによって, 桁下の表情が豊かになるメリットがある. (図-9.10) に主桁と橋脚を組合せた正面図を示す. 床版の全幅員が 9.156mで, レベルが 1.2m下がって主桁の幅が 3.18mに縮小し, 橋脚天端の 3.75mがさらに 1.4m下がって 2.2mに絞られる形状とした. ここで橋脚頂部には, 免振沓が載るため当初 Y字にカットした断面にしていたが, その部分を埋めたために, Y字の印象が薄くなる. そこで Y字以外の部分は, 8角形断面としてそこに縦スリットを入れてテクスチャーの違いを強調し, Y字を目立たせる工夫をした. (写真-9.10) に完成した橋脚の現況を示す. 特に, 橋脚側面と正面にも中央部に橋脚天端から地面までスリットを設置し, ここに橋面からの雨水排水を地中の排水柵に導くように排水管を設置し, 橋脚の全面から飛び出さないように工夫している.

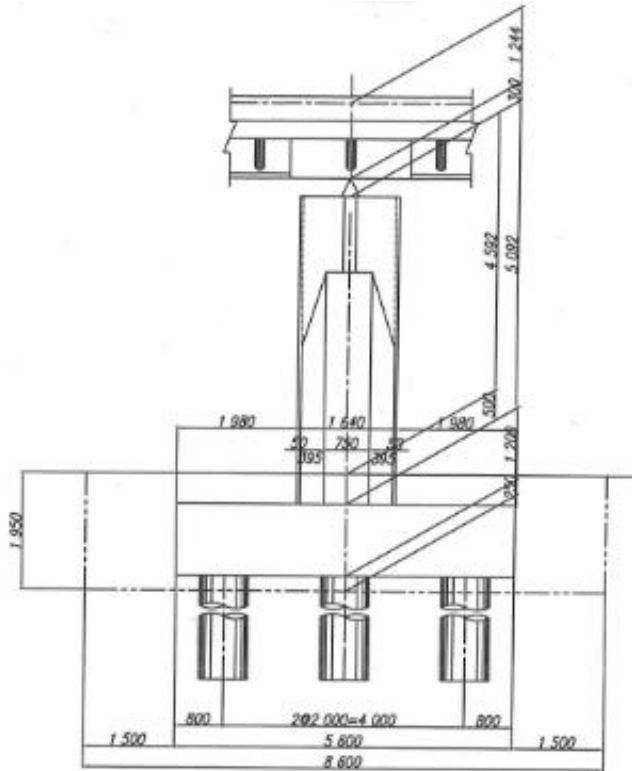
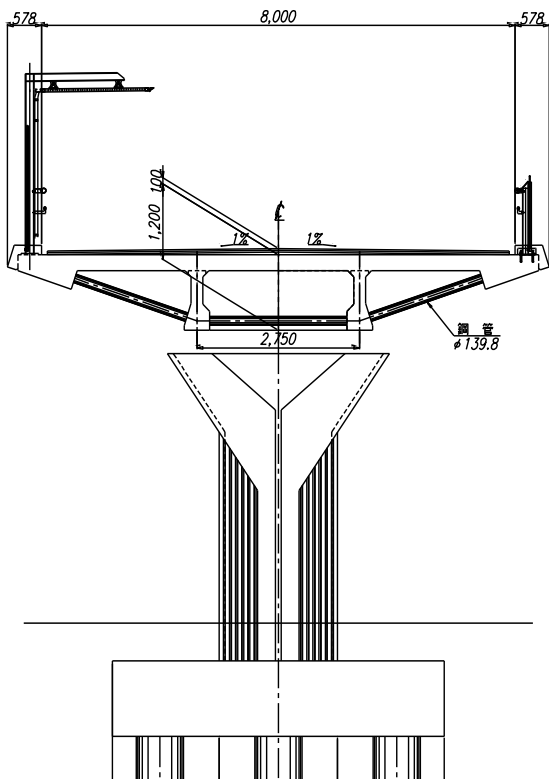


図-9.10 AKIBA BRIDGE の橋脚と主桁断面の関係³⁾



写真-9.10 AKIBA BRIDGE の橋脚のデザイン (筆者撮影)

(3) Concept Making(コンセプトメイキング)

AKIBA BRIDGE のコンセプトデザインのコセプトは、「世界の IT センターの中心の街に相応しく、秋葉原の顔となる橋」である。また、この橋は秋葉原の電気街にも人々を誘導するように「ダイナミックな曲線が美しい橋」、「雨風から人々を守る橋」がサブテーマである。また、構造デザインのコセプトは、コンクリート橋でありながら、「スレンダーで、日本的なテイストを感じさせる橋」をテーマとした。

a) 主構造の材料

主構造は、鹿島建設が開発した低収縮型超高強度コンクリートで設計基準強度 $f'_{ck} = 120$ N/mm² とした。さらに現場打ちが可能な超高強度コンクリートを使った。上床版の厚みは 250mm である。主桁断面はパイ型で 2 本の主桁と床版で構成され、主桁は工場で製作したブロックを現地に運び、ここで組立てるプレキャストブロックを採用した。床版を支える斜めのストラットは、鋼管 $\phi 139.8\text{mm}$ を採用し、2.0m 間隔で配置し、床版を現地で打設する時にこの中にコンクリートを充填して主桁と一体化している。主鋼材は PC 鋼より線 19S15.2 SWPR7B を外ケーブルとして使い、2 本の主桁の間に配置し、床版の橋軸直角方向には、床版横締め鋼材として PC 鋼より線 1S28.6 を床版コンクリート内に使っている (写真-9.11)。



写真-9.11 AKIBA BRIDGE の主構造のデザイン (筆者撮影)

b) 高欄と防風板のデザイン

コンセプトデザインに示す「ダイナミックな曲線が美しい橋」とするためには、床版の地覆の外側の部分を目立たせ、高欄は控え目にする必要がある。そこでこれまでの高欄を使おうとすると、天端に直径 100mm 程度の鋼管をハンドレールとして設置し、この中にデッキ照明を組み込む等、ハンドレールが大きくなって存在が目立つことが懸念された。そこで防護柵設置基準が改定されたことを切っ掛けに、ゼロから高欄の本来の機能とは何かを問い直し、高欄に新しいデザイン性を付与させることとした。具体には、高欄の転落防止に強化ガラスを使い、しかもこの強化ガラスの天端に群集荷重としての S P 荷重が作用しても、構造的な問題がないように変更したいと考えた。このデザインについては、国土交通省道路局地方道・環境課 道路交通安全企画官と交渉した。視覚的な印象を明確にするため以下にその概要を示す。

- ・歩道橋の西側には、歩行者に対するビル風の影響を軽減するため、全橋に渡って強化ガラス 2 枚合わせの防風板 (PT6mm+PT6mm、高さ $h=2.0\text{m}$ 、幅 $b=2.0\text{m}$) を設置する (図-9.11, 図-9.12)。
- ・デッキの東側は強化ガラス 2 枚合わせ (PT6mm+PT6mm、高さ $h=1.2\text{m}$ 、幅 $h=2.0\text{m}$) とする (図-9.13)。ただし、西側については、その後屋根付きに変更した。笠木を省略し、照明手摺 ($\Phi 79.3$) + 手摺 ($\Phi 40$) を設置する考えの根拠は、いわゆる必要とされる性能を満足させる性能設計の考え方である。以下にその根拠を示す。
- ・歩道橋には全橋に亘り強化ガラスを採用するため、十分な転落防止機能を備えている。
- ・手摺、高欄のデザインは福祉のまちづくり条例に準拠している。但し、階段部には 2 本の手摺を設置するが、デッキ部は子供の利用が少ないと考え手摺は 1 本とした。
- ・笠木+手摺 2 段のデザインでは水平材が 3 本になり煩雑に見えるため、良好な都市景観形成上好ましくないと考えた。笠木を省略することにより、スッキリとした橋上景観とすることが歩道橋上のデザイン性を高めることにつながる。



図-9.11 防風板(高さ $h=2.0\text{m}$ 、幅 $b=2.0\text{m}$)³⁾



図-9.13 高欄(高さ $h=1.2\text{m}$ 、幅 $=2.0\text{m}$)³⁾

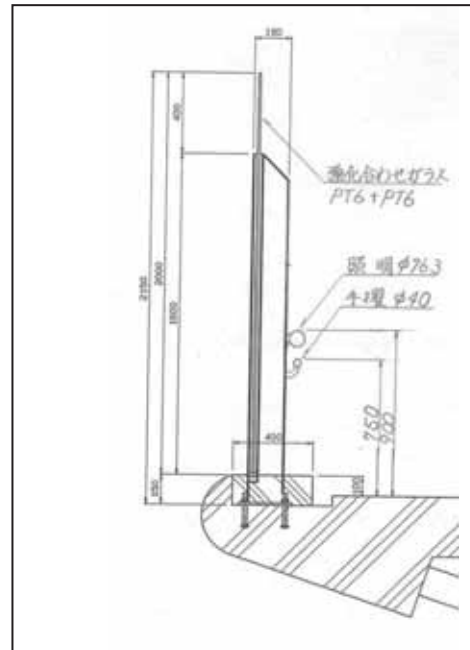


図-9.12 西側防風板断面 (筆者作成)

- ・強化ガラスは、防護柵設置基準に規定された SP 荷重に対して強度的に安全である。
- ・歩行者を安全に誘導するため、手摺 (Φ40) を 1 段、路面から 75cm の位置に設置する。
- ・照明は路面から 90cm の位置とし、Φ76.3mm の SUS 管の中に埋込む。手摺は防護策設置基準に規定された P 種荷重に対して安全性を確認している。

これに対して、道路企画安全企画官から高欄を防護柵として考える場合の考え方は、新しい防護柵設置基準は、歩行者用防護柵も自転車用柵も性能規定となっているため、柵の先端に所定の荷重をかけて塑性変形しなければよい。本件の場合、防風パネル (強化ガラス) に同荷重をかけて強度を確認すればよいことになる。それ以外で定めている点は、突起物等歩行者に危害を及ぼさないこと、転落防止のもの、の棧間隔は容易にすり抜けられないことである。これらを満足すれば問題ないとのことであった。

今回考案した高欄は、転落防止という高欄の性能を検証することによって、高欄のデザインを変更することができるかどうかを示した事例であり、手すりを設ける目的を明確にすれば、色々な高欄のデザインも可能であることを示すことができた。

以上の結果をまとめると、

- ・防護柵設置基準は性能規定であり、強度、安全性を有することを示すことができる場合は、従来のデザインを変更することができる。
- ・手すりについては、その設置目的に添った計画とすることができる。
- ・防護柵に関する高さの規定はあくまでも標準値である。

(写真-9.8)(図-9.14)に最終的に決定した高欄を示す。ガラスは厚さ6mmの強化ガラスを2枚重ねて用いており、支柱から10cm張出したデザインとした。転落防止機能と、年少者、身体障害者へ配慮を踏まえた、また、上段の手摺には、照明を仕込んでおり、手摺と照明機能が融合してすっきりとした高欄が実現した。これまで高欄の天端にあった手摺がなくなり、歩道橋の外側から見た高欄の印象を押さえることができるようになった。つまり、床版のコンクリートエッジの部分の白さを強調することにより、AKIBA BRIDGEの曲線が一層強調されることになった(写真-9.13)。



写 - 9.12 AKIBA BRIDGE の高欄，上段手摺φ76.2mmの中に照明を内蔵(筆者撮影)

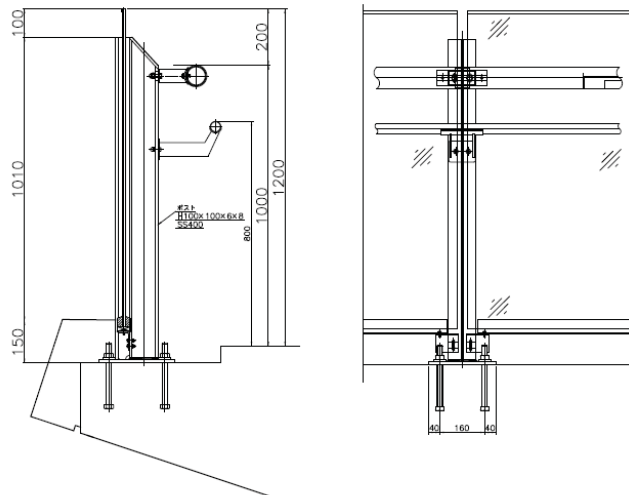


図 - 9.14 高欄の断面図



写真 - 9.13 強化ガラスの高欄が脇役，主桁のエッジが主役のデザイン（筆者撮影）

西側には，エスカレーターから連続して屋根を取り付けることとし，すっきりとした曲線のイメージを屋根にも表現するため，屋根のハニカム構造を吊る治具は，通行中は一切見えない工夫をした．暴風パネルの大きさは2.0m X 2.0mで厚さ8mmの強化ガラスを2枚重ねている．（写真-9.14）に歩行時の印象を示し，（図-9.15）に図面を示す．



写真 - 9.14 AKIBA BRIDGE 上の防風パネルと屋根（筆者撮影）

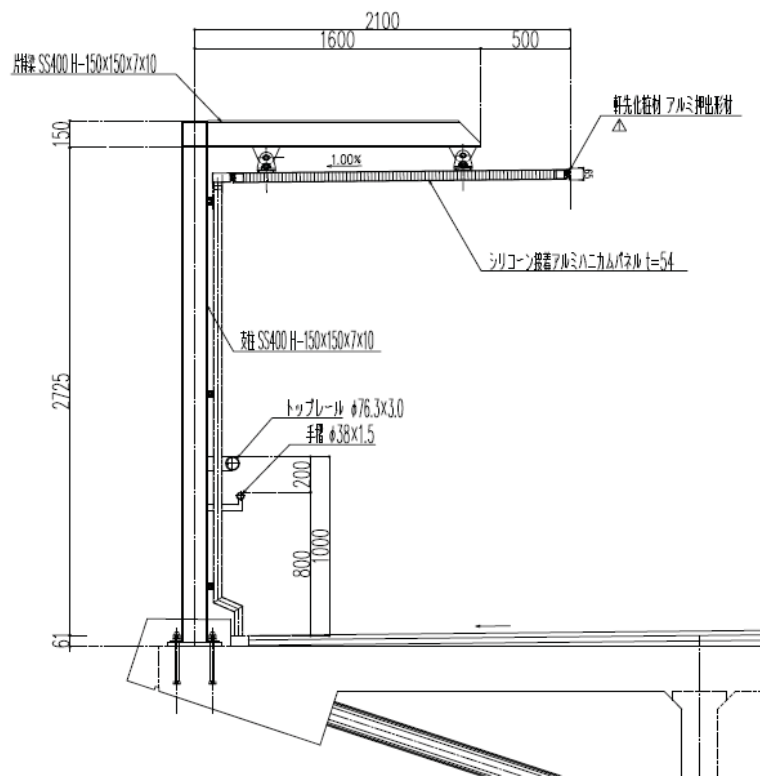


図 - 9.15 防風パネルと屋根の図面

c) 歩道橋の振動性能を向上させる

AKIBA BRIDGE の橋長，スパン割り，桁高を（表 - 9.4）に示す。

表 - 9.4 AKIBA BRIDGE の橋長, スパン割, 桁高, 桁高/スパン比

| | |
|---------|-------------------------|
| 橋 長 | 63.653m |
| スパン割 | 3.89m + 25.90m + 33.20m |
| 桁 高 | 1.2m |
| 桁高/スパン比 | 1 / 21.6, 1 / 27.7 |

AKIBA BRIDGEの桁断面はパイ型であり、桁断面が閉じていないため純粋な2径間連続桁である場合は、桁の固有振動数が1.5Hz～2.3Hzに近くなって桁が振動しやすくなる傾向がある。立体横断施設技術基準・同解説（昭和54年1月）1)では、この共振を避けるために主桁の固有振動数が1.5Hz から2.3Hz の範囲に入らないよう規定している。そこで、ダイビルへの接続部を剛構造として質量付加することにより（図 - 9.16 ）、AKIBA BRIDGEの固有振動数を安全な方向に変えることを試みた。解析結果を（表 - 9.5 ）に示す。



図 - 9.16 AKIBA BRIDGE の分岐部（ダイビルへのアクセス部）

表 - 9.5 AKIBA BRIDGE の振動特性

| AKIBA bridge | | |
|----------------------------------|--------------|-----------|
| | P1～P2間 | P2～P3間 |
| スパン | l=33.205m | l=25.908m |
| 活荷重によるたわみ | 32.2mm | 13.2mm |
| 活荷重に対する許容たわみ $\delta = l/600$ | 53.7mm | 25.9mm |
| 固有振動数(1次) | 1.14Hz | |
| 固有振動数(2次) | 3.68Hz | |
| 共振振動数 | 1.6～2.3Hz | |
| AKIBA分岐部 | | |
| | ダイビル～デッキA接続部 | |
| スパン | l=5.939m | |
| 活荷重によるたわみ | 0.46mm | |
| 活荷重に対する許容たわみ $\delta = l/600$ | 9.9mm | |
| 固有振動数(1次) | 11.94Hz | |
| 固有振動数(2次) | 47.74Hz | |
| 共振振動数 | 1.6～2.3Hz | |

AKIBA BRIDGE の 1 次固有振動数は 1.14Hz であり 1.3Hz を下回っているため、共振の問題は避けることができた。AKIBA BRIDGE の構造一般図を (図 - 9.17) にしめす。また、AKIBA BRIDGE の設計台帳を (表 - 9.6) に示す。

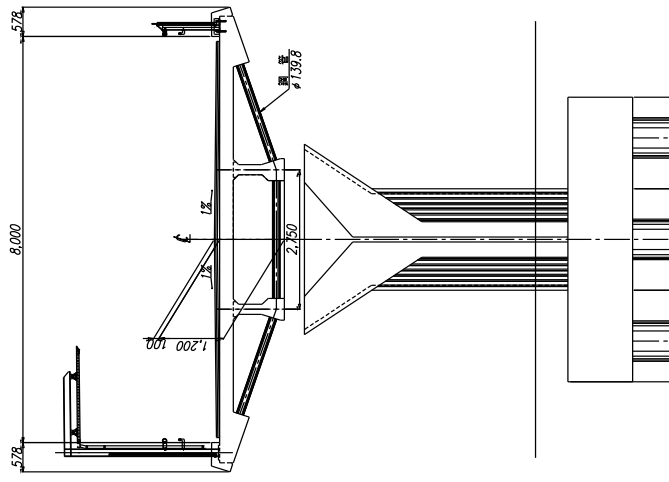
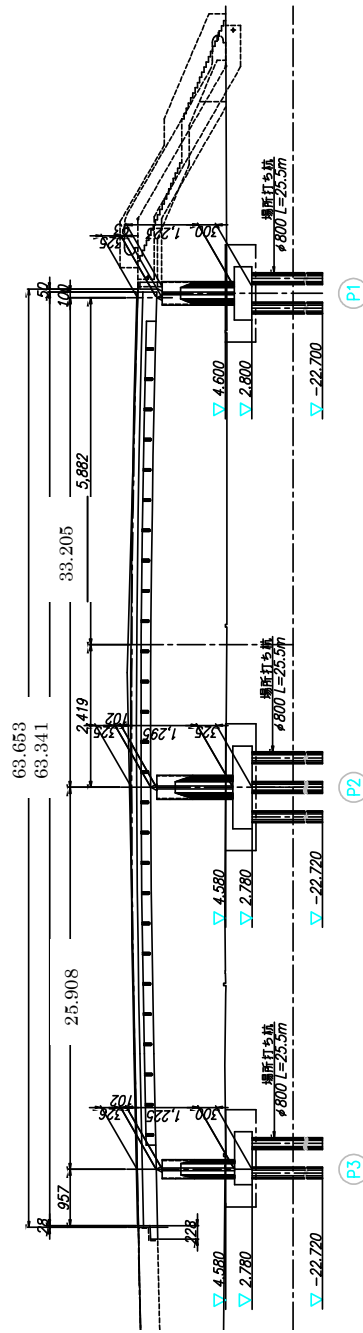
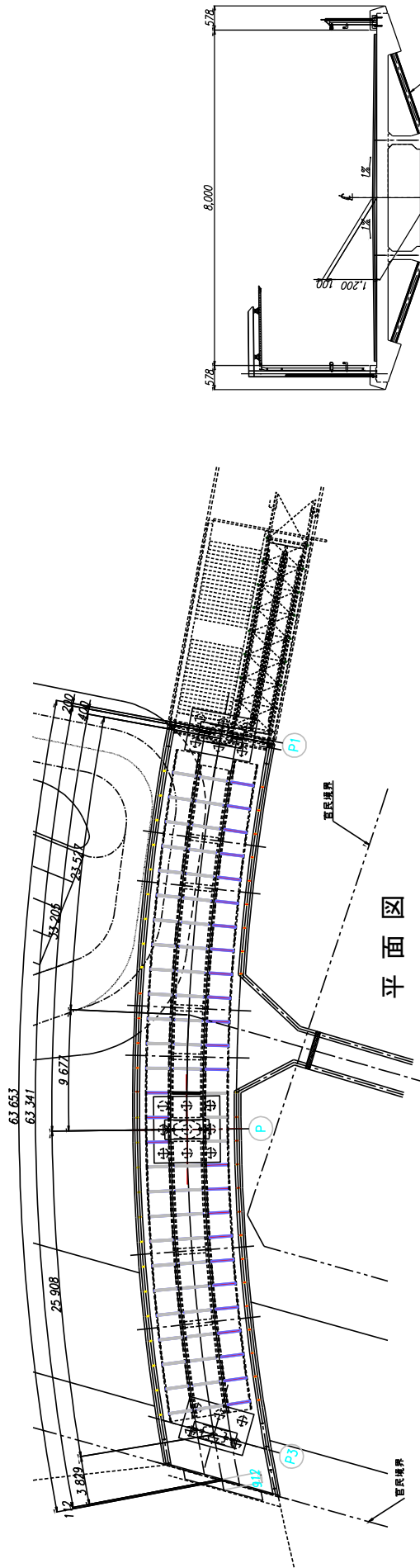


図 - 9.17 AKIBA BRIDGE の構造一般図 3)

表 - 9.6 AKIBA BRIDGE の設計台帳

| 設計条件 | | | | | |
|---|-----------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| 橋 | 長 | 63.653m | | | |
| 桁 | 長 | 63.403m | | | |
| 道 路 規 格 | | 横断歩道橋 | | | |
| 活 荷 重 | | 群集荷重 | | | |
| 形 式 | | PC2径間連続桁橋 | | | |
| 支 間 | | 3.891m + 25.908m + 33.205m | | | |
| 斜 角 | | P1、P2 90° P3 64° 56' 46" | | | |
| 有 効 幅 員 | | 8.0 m | | | |
| 横 断 勾 配 | | ← 1.000% → | | | |
| 縦 断 勾 配 | | ← 2.062 % 2.836 % → | | | |
| 設 計 水 平 震 度 | | 橋軸方向 直角方向 Kh=0.3 (Ⅲ種地盤) | | | |
| 構造物の環境状況 | | 一般の環境 | | | |
| 上部工 | コンクリートの品質 | 使用コンクリート | 低発熱型シリカヒューム | | |
| | | 設計荷重強度 | 120 N/mm ² | | |
| | | プレストレス導入時の強度 | 42 N/mm ² | | |
| | | 粗骨材の最大寸法 | 20 mm | | |
| | | スランプ | 650±50mm | | |
| | | クリープ係数 | 2.0 | | |
| | | 乾燥収縮度 | 200 × 10 ⁻⁶ | | |
| | 鋼材の品質 | | PC鋼より線(19S15.2) | PC鋼より線(1S28.6) | 鉄筋 |
| | | 材質 | SWPR7B | SWPR19 | SD345 |
| | | 設計引張強度 | 2220N/mm ² | 1800N/mm ² | 490N/mm ² |
| | | 設計降伏強度 | 1920N/mm ² | 1500N/mm ² | 345N/mm ² |
| | | リラクセーション | 5.00% | 1.50% | — |
| | | セットロス | 12mm | 5mm | — |
| | 鉄筋かぶり | | 35mm(主桁)、30mm(床版) | | |
| 下部工 | コンクリートの品質 | | 橋脚 | フーチング | 杭 |
| | | 使用コンクリート | 普通ポルトランド | 普通ポルトランド | 普通ポルトランド |
| | | 設計荷重強度 | 30 N/mm ² | 24 N/mm ² | 24 N/mm ² (呼び強度 30N/mm ²) |
| | | 粗骨材の最大寸法 | 20.25mm | 40mm | 40mm |
| | スランプ | 8.0±2.5cm | 8.0±2.5cm | 18.0±2.5cm | |
| | 鋼材の品質 | | 鉄筋 | 鉄筋 | 鉄筋 |
| | | 材質 | SD345 | SD345 | SD345 |
| | | 設計引張強度 | 490N/mm ² | 490N/mm ² | 490N/mm ² |
| | | 設計降伏強度 | 345N/mm ² | 345N/mm ² | 345N/mm ² |
| | 鉄筋かぶり | | 70mm | 70mm (下面は200mm) | 120mm |
| | 適用示方書 | | 上部工 | [1] 道路橋示方書・同解説 I 共通編 H14.3 (社)日本道路協会 | |
| [2] 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編 H14.3 (社)日本道路協会 | | | | | |
| [3] コンクリート道路橋設計便覧 H6.2 (社)日本道路協会 | | | | | |
| [4] プレストレストコンクリート工法設計施工指針 H3.3 (社)土木学会 | | | | | |
| [5] コンクリート標準示方書 構造性能照査編 2002年版 H14.3 (社)土木学会 | | | | | |
| [6] 外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル H8.8 高速道路技術センター | | | | | |
| [7] 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準(案) H8.3 プレストレストコンクリート技術協会 | | | | | |
| [8] 人にやさしい歩道橋計画設計指針・同解説 H9.6 日本鋼構造協会 | | | | | |
| 下部工 | | | [1] 立体横断施設技術標準・同解説 S54 | | |
| | | | [2] 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 H14.3 (社)日本道路協会 | | |
| | | | [3] 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 H14.3 (社)日本道路協会 | | |
| | | | [4] コンクリート標準示方書 構造性能照査編 2002年版 H14.3 (社)土木学会 | | |
| | | [5] 鉄筋継手指針 S57.2 (社)土木学会 | | | |
| | | [6] 鉄筋フレア溶接継手設計施工指針 S63.11 (財)鉄道総合研究所 | | | |

9.4 AKIBA BRIDGE のデザインが実現した意義

AKIBA BRIDGE は 2006 年にグッドデザイン賞を受賞した。これは公共土木構造物のデザインが評価された点で、大きな意味がある。一方で、AKIBA BRIDGE は日本で開発した独自の超高強度コンクリートを使って、デザインの可能性を追求した歩道橋である。超高強度でありながら、工場生産も、現場打ちもできるコンクリートという点が評価の高い点である。コンクリート強度でいうと、エレベータ横にあるコンクリート階段には、 $f'_{ck} = 150 \text{ N/mm}^2$ のステンレス繊維補強を使った超高強度コンクリートを使った。第二の特徴は、建築家と協働の成果であるという点である。再開発規模が大きくなると、開発エリア内の建築デザインと橋のデザインとの整合性を図ることが必要となってくる。当初は、開発エリア内の構造物はすべて、東西南北の格子状に配置する計画であったが、エンジニアからの提案に理解を示し、この開発エリア内で唯一、 $R=170\text{m}$ の曲線を有する構造物が実現した。これも建築家、発注者とのコミュニケーションと相互理解の成果である。第三に、エンジニアが新しいデザインの実現を常に考えたことが、この成果につながった。AKIBA BRIDGE のデザインが実現した意義は、かつてマイヤールが実現したように、設計仕様書を越える高強度のコンクリート材料を使うことによって、スレンダーで広幅員のコンクリート橋の構造フォームを提案し、性能設計を実現したことであり、歩道橋を移管した後、維持管理の主体となる区がそれを承認したことである。このように提案者と管理者の相互理解が根底にあって、AKIBABRIDGE の性能設計が実現した意義は大きいと考える。

注釈・出典

- 1) 橋と景観 北アメリカ編, pp59, 財団法人海洋架橋調査会, 1990年12月
- 2) 橋と景観 ヨーロッパ編 I, pp84, 財団法人海洋架橋調査会, 1990年12月
- 3) 小暮雄一, 中村泰弘, 岡本裕昭, アキバ・ブリッジのデザイン, pp.57~63, Vol49, No.6, プレストレストコンクリート, Nov. 2007

第 10 章 浮庭橋のデザイン

10.1 はじめに

第 1 章において、鋼、コンクリート、木、ケーブル、ガラス等、様々な材料を自由に組み合わせ、新しい構造を提案できること、その場所のコンテクスト（文脈、または歴史的文化）の変遷）を理解し、その環境に相応しいデザインを提案できることが、これからのエンジニア、アーキテクトに求められる能力の 1 つであると述べた。また、第 6 章において独創的な橋梁デザインを目指す場合、高強度材料とケーブル材料に注目することを述べた。本章で示す浮庭橋は、第 1 章で挙げたほぼすべての材料をデザインに用い、かつ、ケーブルを活かして、従来の吊り橋とは全く異なる構造デザインを実現した事例として紹介する。

大阪道頓堀に架かる浮庭橋は、大阪市が管理する歩道橋であるが、道頓堀と大阪の歴史的、文化的中心地で、現在も商業地域として活性化している場所にある。この場を対象として 2005 年に設計コンペが開催され、当時、筆者の所属していた都市計画コンサルタントである株式会社アバンアソシエイツの建築家、内藤俊彦によるデザインがデザインコンペで最優秀賞を受賞した。続いて、その案に対して詳細設計提案競技が開催され、筆者が詳細デザインの主任、(株)日建設計シビルの古市和行が詳細構造デザインの担当としてジョイントベンチャー（JV）を組み、詳細設計業務を受託したものである。本章では、コンセプトデザインを実施する上で、橋の架かる場を多面的に理解すること、すなわち道頓堀の歴史的整備、文化的発展経緯、都市計画的発展経緯、さらに現在、大阪市が進めている河川整備に関する理解をベースとした上で検討する必要がある、また、使う側の対場から環境的な配慮、休憩設備、将来物品販売等のできるアメニティー空間としての利用、さらに橋下に整備される遊歩道との回遊性などを複合的に満足させる回答を構築したプロセスを整理し、それを具体に実現する構造デザインの 2 つの側面について、整理したものである。その際、第 7 章で筆者が提示した 3 段階のプロセス、Concept research, Concept

Making, Design Development に従って整理する.

10.2 道頓堀川の歴史

道頓堀川は、大阪ミナミの中心を東西に流れ、東横堀川から木津川までの延長 2.7km であり、1612(慶長 17)年から開削工事を行い、1615(元和元)年に完成した。当時、道頓堀川周辺には、道頓堀五座といわれる芝居小屋が立ち並び、歓楽の地として発展し、明治の中頃まで、道頓堀川では芝居見物にあわせて屋形船や茶舟が利用され、川岸の軒を連ねた芝居茶屋は、紋提灯をもって情緒のある風景をつくりあげていた。

近代に入り、1950(昭和 25)年のジェーン台風、1961(昭和 36)年の第二室戸台風により、道頓堀川周辺も高潮による大被害を受け、高潮対策として、防潮壁や船型の護岸整備を行った。その後 1995(平成 7)年から、大阪水都再生として、道頓堀川水辺整備事業を行い、高潮防御や潮の干満で変化する水位の影響を受けず、水位を一定に保つ水門を建設し、水面近くの遊歩道整備、さらには沿岸の大規模開発との一体的な水辺づくりを実施し、水辺空間の積極的な利用を促進して、川とまちを一体化し、にぎわいあふれる空間の創出を目指した整備を進めている。

10.3 浮庭橋整備の背景と道頓堀川河川整備

浮庭橋の南側にある湊町地区では 1996(平成 8)年に開業した OCAT(大阪シティエアーターミナル)を起点に民間ビルが建設され、2002(平成 14)年には、コンサートホールや多目的イベント施設、FM 大阪がある湊町リバープレイスがオープンし、にぎわいを集めている(図-10.1)。川の北側には、南堀江地区計画による民間開発が行われており、浮庭橋ならびに遊歩道と接続する飲食施設である「キャナルテラス堀江」が 2008(平成 20)年 7月にオープンし、2009(平成 21)年 2月には西側がオープンした。将来的には、地上 31階建、商業・住居・ホテルからなる大型の複合施設がオープンする予定である。さらに、

架橋位置のまちづくり計画



図-10.1 架橋地点のまちづくり計画^{注1)}

北側の堀江一体には、新しい店がオープンし、立花通り（通称：オレンジ通り）を中心に脚光を浴び、道頓堀川水辺整備遊歩道事業とともに、ミナミのにぎわい創出に向けた交流拠点を目指し、地区毎の開発と連携したまちづくりが展開されている。

浮庭橋は、大阪ミナミの新たな開発エリアである湊町、南堀江地区、ならびに道頓堀川水辺歩道を安全かつ快適に回遊できる動線を確保し、周辺の地域開発の促進と発展、地域の活性化に寄与することを目的とし、単に歩くだけの橋ではなく、にぎわい、たたずみができ、地域のランドマークとなるように、デザインコンペならびに、設計提案協議を実施することになった。

浮庭橋の架橋位置である西区湊町周辺から中央区道頓堀に架かる日本橋までの延長 1km の区間で親水性の高い道頓堀川水辺遊歩道整備を進めている（図-10.2）。現在、戎橋か

道頓堀川水辺整備

<事業概要>

道頓堀川は、大阪を代表する河川であり、都心南部に残された貴重な水辺空間である。

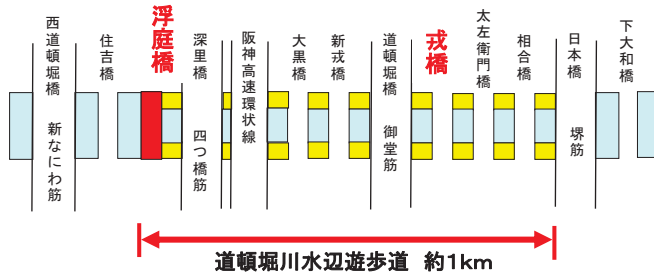
「水の都大阪再生」を目指し、「川」と「まち」を構成する重要な空間として捉え、水を身近に感じられる親水性の高い遊歩道整備を進めている。



整備前



整備後



図－10.2 道頓堀川水辺整備^{注2)}

ら相合橋間に、川の両岸に8mの幅の遊歩道（愛称名：とんぼりリバーウォーク）が整備され、川の水を身近に感じることができる親水性の高い空間を利用できるようになっている。これによって、今まで川に背を向けていた建物が、川に向くことになり、川とまちが一体となって賑わいあるまちなみを演出している。さらに、船運の活性化として、遊歩道内に船着場を設け、あわせて橋梁の整備を行うことにより、船や遊歩道からの景観も向上している。

この遊歩道は大阪市が国交省の許可のもと、公共空間としての遊歩道の適切な管理を行い、かつ河川環境・景観等にも配慮しながら、規制緩和による社会実験を行うことにより、イベントや物販行為を行い、にぎわいを演出している。

（表－10.1）に浮庭橋のデザインコンペの実施から竣工するまでの経緯を示す。この事

表-10.1 浮庭橋のデザインコンペから竣工までの経緯

| 浮庭橋竣工までの経緯 | 期 間 |
|-------------|----------------------------------|
| デザインコンペの実施 | 2005（平成17）年4月-5月 |
| 詳細設計提案競技の実施 | 2005（平成17）年12月 -2006（平成18）年2月 |
| 詳細設計 | 2006（平成18）年4月 |
| 現地工事着手 | 2006（平成18）年12月 |
| 橋名募集 | 2008（平成20）年9月 |
| 供用開始 | 2008（平成20）年12月 |

業で特徴的な点は、初めにデザインコンペが実施されて最優秀作品に2案が決定され、続いてこの2案のどちらかに基づいて設計提案競技が実施されたことであり、競争設計が2度開催されたことである。

10.4 デザインコンペの条件

10.4.1 基本コンセプト

歩道橋は、「開発が進む周辺エリアからの人の流れを考え、整備を予定している水辺の遊歩道との回遊にも配慮した賑わいを創出する新たな大阪の名所となる橋としてデザインすること」が求められた。デザインコンペの課題は、以下の2点であった。

- 1) 歩道橋には、通行に供する部分以外に、賑わい創出のために自由に活用できる空間（以下、「賑わいスペース」と呼ぶ。）を設けること。
- 2) 川沿いの遊歩道を歩く人々、船で遊覧する人々ならびに、この地域を訪れる人々から親しまれ、憩いとくつろぎのオープンスペースや、人々が賑わい楽しみのあるスペースとなるような斬新なアイデアを提案すること。

10.4.2 提案条件

(1) 人道橋の規模

- ・橋の長さ 約 70 m
- ・通行部分の幅員 4.0 m
- ・賑わいスペースの面積 250 m² 程度

*橋の形式は自由であるが、下部構造（橋桁を支える橋脚）の位置は、河川法上の条件（（3）参照）、あるいは構造上の制約を受ける。

（2）橋と周辺施設との接続

- ・人道橋には、以下に接続する施設を設ける。

<北側（南堀江側）>：歩道橋は、計画条件図の A 地点（OP+7.6：大阪市用地）に接続させる。

<人道橋の南側（湊町側）>：歩道橋は、計画条件図の B 地点（OP+7.6：2F 広場）および C 地点（OP+7.6～8.3：階段踊り場（I）～なんば Hatch 間のスロープ）のどちらか片方、または両方に接続させる。

（3）河川法上の条件

- ・橋脚は少ない方が望ましく、有効河川幅員を 25 m 以上は確保する。

（4）桁下クリアランス

- ・桁下のクリアランスは、水辺遊歩道部では人が通行できるように、遊歩道面から桁下まで 2.5 m 以上のクリアランスを確保する。
- ・河川流下断面内には船が航行するので、桁下高さは、OP + 5.0 m 以上とする。

（5）にぎわいスペースの配置

にぎわいスペースの配置パターンを（**図-10.3**）に示す。i) 並行設置型：通行部の幅員に沿ってにぎわいスペースを確保する方法。ii) 分散集約型：通行部の両側に分散して設置する方法。iii) 一点集約型：通行部の一部分に集約して確保する方法がある。分散した場合でもトータルの面積で 250m² を確保することが条件であった。（**写真-10.1**）に浮庭橋架設前の架設地点の状況を、（**写真-10.2**）に歩道橋の架設方向と周辺設備の接続状

況を示す。なんば Hatch は大階段を有する大規模施設である。

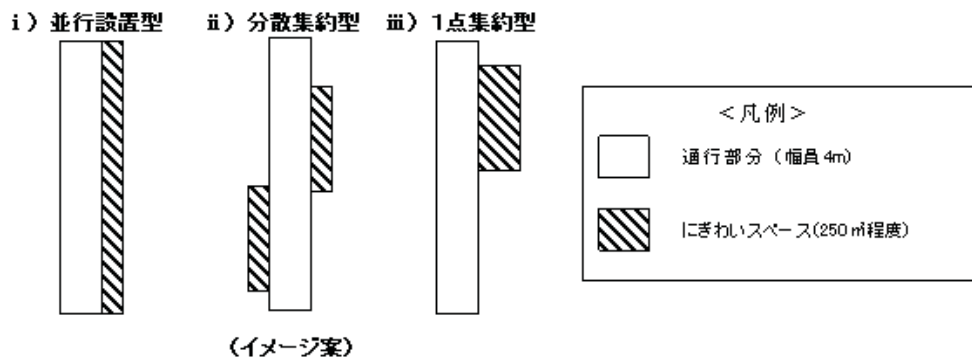


図-10.3 にぎわいスペースの配置パターン²⁾



架設地点北側から「なんば Hatch」を望む

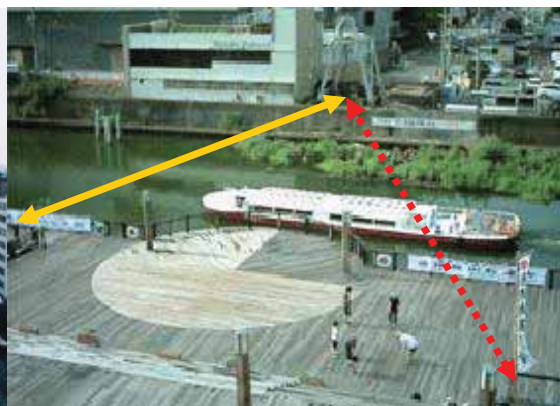


「なんば Hatch」から北岸を望む

写真-10.1 浮庭橋架設前の架設地点の状況 (筆者撮影)



「なんば Hatch」全景と架設位置



「なんば Hatch」前の船着場と架設方向

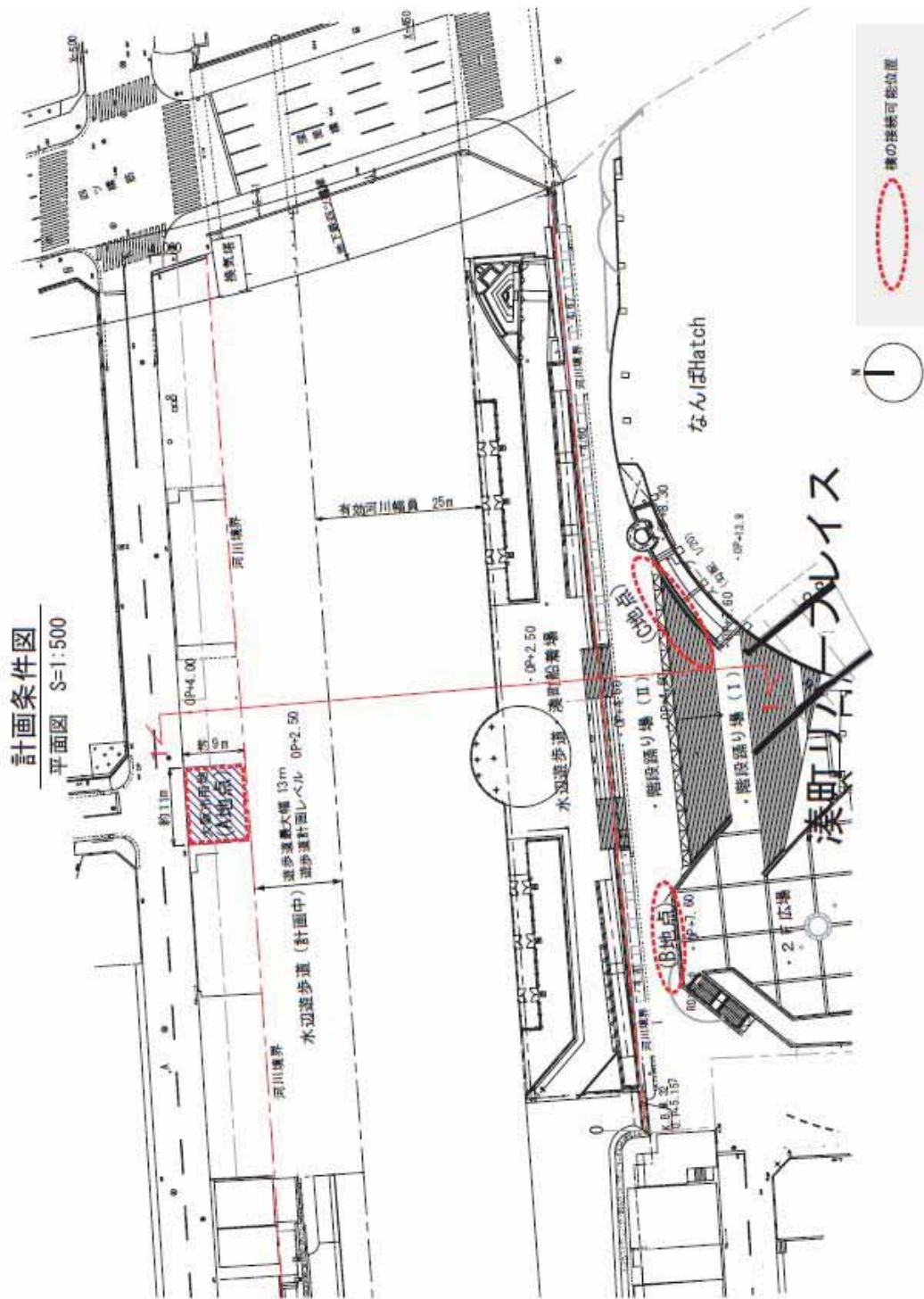
写真-10.2 架設方向と周辺設備との関係 (赤・黄色の矢印は選択可能な架設方向を示す。 ²⁾

(図-10.4) に架設位置の平計画条件図(平面図)を示す。ここで赤の点線は、接続可能な位置を示す。(図-10.5) に架設位置の平計画条件図(縦断図)を示す。河川幅員 54 mのうち、有効河川幅員 25mは、船の航行に配慮して、その中に橋梁下部構造物(橋脚等)一切配置してはならないこと、歩道橋の桁下と河川水面との空間は 5m以上確保すること、歩行者通路は 2.5mを確保することが条件であった。

10.5 デザインプロセス

(1) 橋梁デザインの流れ

浮庭橋の橋梁デザインフローを(図-10.6)に示す。デザインコンペであるため、独創的で審査委員の評価が高いデザインを提案することが最も重要である。さらに、提案方法は A1 サイズのパネル 1 枚にデザインの趣旨をまとめ、2 枚目に昼と夜のイメージパースを提出することが条件であったため、プレゼンテーション技術として紙面編集の技術(DTP)が不可欠となる。第一段階の Concept Research では、すでに大阪市から基本コンセプトである「水辺の遊歩道との回遊も配慮した賑わいを創出する新たな大阪の名所となる橋」が与えられているため、架設位置周辺のまちづくり、道頓堀水辺整備事業の目的を調査し、デザインコンペの条件を把握することをベースとして、設計チームが目指すべきデザイン目標を設定するために、現地踏査を行い現地の課題抽出を行う。第二段階の Concept Making では、第一段階で得られた情報と、現地踏査によって得られた課題を解決するために、コンセプチュアルデザインを実施し、歩道橋の接続方法を検討し、コンセプチュアルデザインをできるかぎり忠実に表現する構造デザインを検討する。その場合、歩道橋の主構造のフォルムを検討し、これまでに事例のない独創性のある構造の提案を目標とする。第三段階の Design Development では、各部材をどのようなサイズに収めるべきかを検討する。独創的なモデルであるほど、構造安定性の課題として、地震力に対する対策を考えておかなければならない。デザインコンペの課題であるアメニティー空間の



図一10.4 計画条件図(平面図)注3)

計画条件図

1-1 断面図 S=1:250

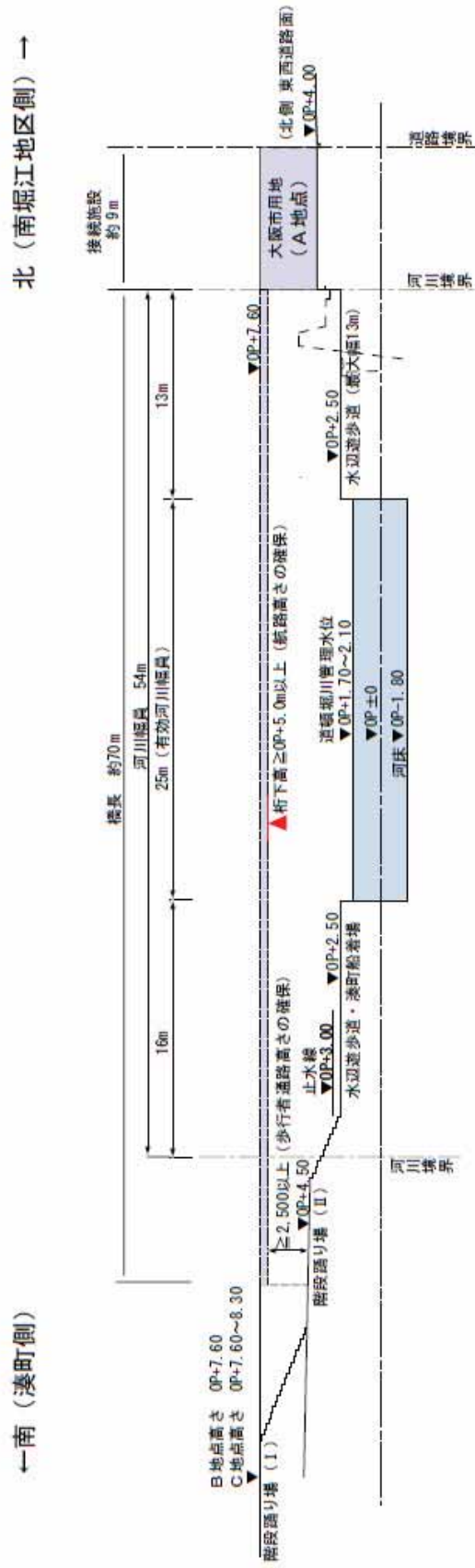


図-10.5 計画条件図(縦断面)注4)

配置と活用法についても、動線計画と併せて検討する。デザインコンペの場合には、特に、技術的な詳細検討は必要とはされないが、詳細設計競技の段階においては、鋼製歩道橋の橋面に軽量土壌を配置して植栽を行う場合は、主構造部材の腐食を防ぐために防水機能を確保し、散水のための給排水設備を設ける必要があるため、従来の橋面工デザインに加えて、散水のための給排水設備、照明デザイン等を検討して決定する。

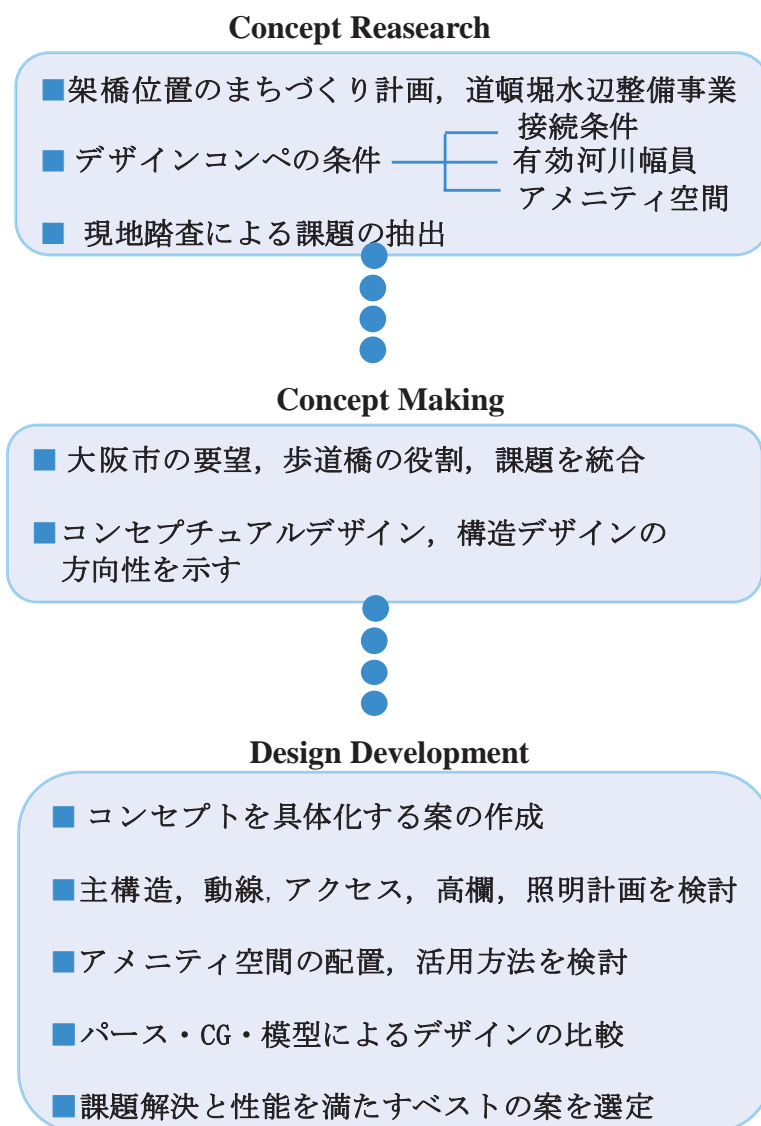


図-10.6 浮庭橋の橋梁デザインフロー（著者作成）

(2) Concept Research (コンセプトリサーチ)

本章の 10.2, 10.3, 10.4 節においてコンセプトリサーチにおける架設位置のまちづくり、道頓堀水辺整備事業およびデザインコンペの条件について整理したため、現地踏査における課題の抽出について整理する。「なんば Hatch」周辺の護岸整備状況を(写真 - 10.3)に

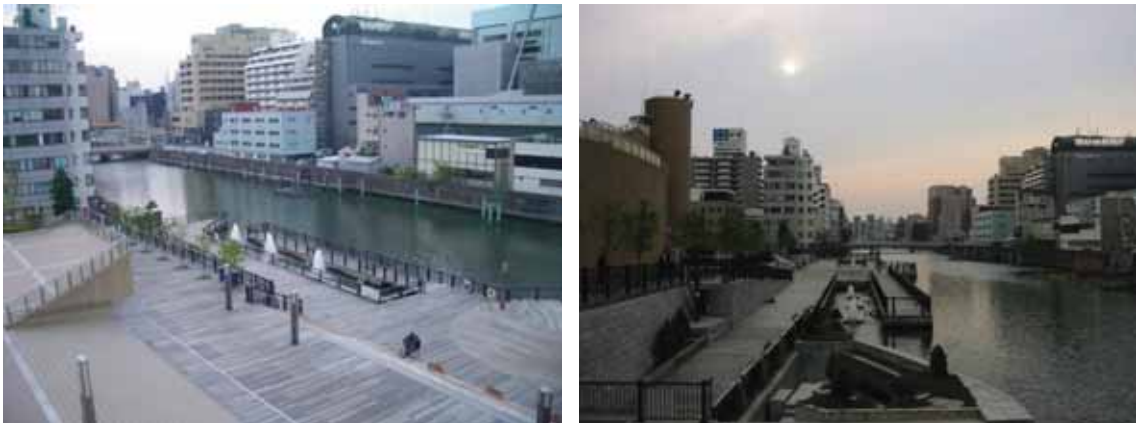


写真-10.3 なんば Hatch 周辺の護岸整備状況 (提供：行徳正則)

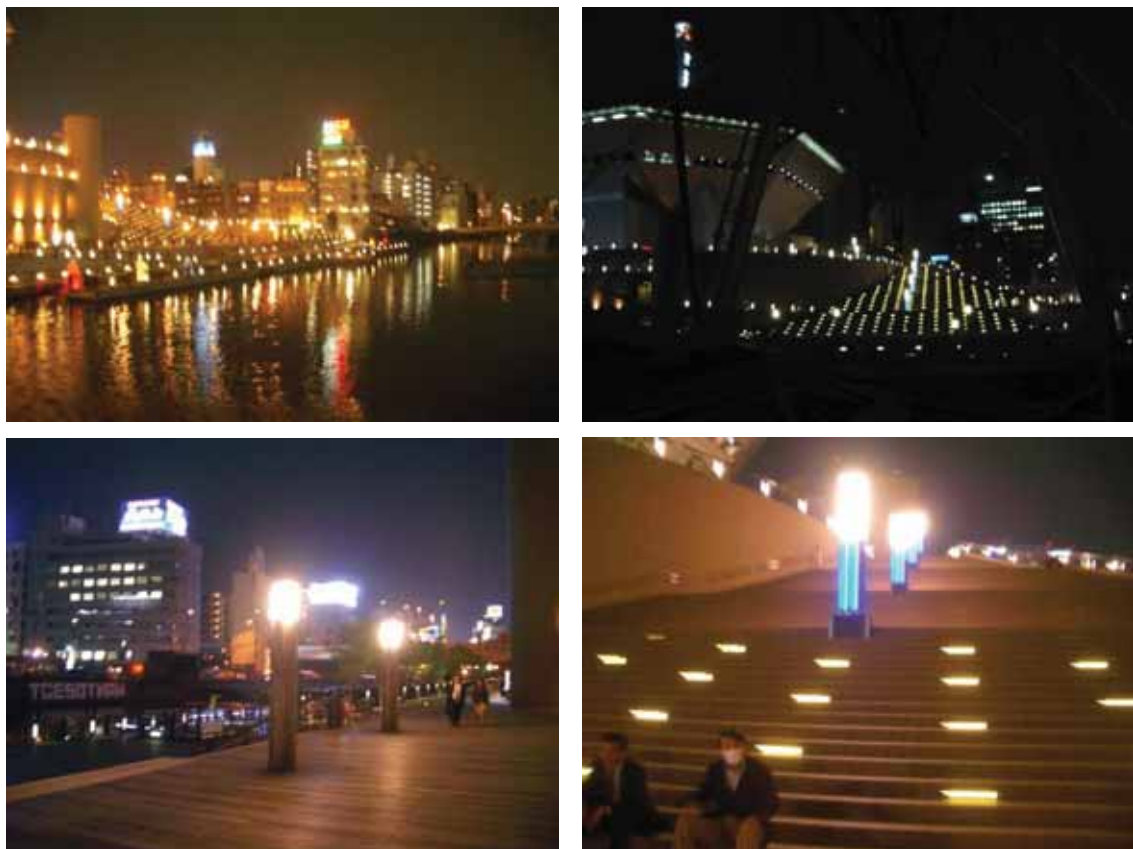


写真-10.4 なんば Hatch 周辺の夜間照明 (提供：行徳正則)



写真－10.5 堀江界隈のまちなみ（提供：行徳正則）

「なんば Hatch」周辺の夜間照明の整備状況を(写真 - 10.4)に、北側の堀江界隈のまちなみの状況を(写真 - 10.5)示す。

道頓堀川の河川整備状況であるが、緑が少ないことが第一印象であった。「なんば Hatch」側河岸は船着き場としてウッドデッキが整備され、大階段の中心線の延長上には円形ステージが整備され、ここで野外コンサートや催しが行われていることがわかった。「なんば Hatch」の建物のデザインが空飛ぶ円盤をイメージしたような6面体で商業的なデザインであることが特徴であった。大階段の照明は、階段の中央部のセンターラインに沿って規模の大きな照明柱が4本整備されており、浮庭橋のデザインにおいても大階段のセンターラインとの関係性を示す必要があることが考えられた。道頓堀川北側の堀江界隈は、若者向きの商店街であり、地域との関係性が深く、中小規模な店舗が多いこと、また、まちなみ

に緑が少ないことが特徴として挙げられた。Concept Research の段階では、緑を橋に持ち込むこと、川岸の円形デッキを活かすことが一つのコンセプトデザインの構成要素になると考えられた。

a) 回遊性を考慮した動線計画

円形ステージを活かした平面計画とするならば、歩道橋がこの真上を通過して、円形ステージが桁下になることを避けなければならない。そこで、A 地点と B 地点、A 地点と C 地点を一定の幅員を持った橋を想定して接続すると（図-10.7）のようになる。A 地点と B 地点を結んだ方が、円形ステージからの距離を確保できて好ましいことから、A 地点と B 地点を接続することとした。続いて、通行部 4.0m とアメニティ空間として 250m²を通行部の両側に確保することを考えると（図-10.8）のような平面計画になる。ここで、

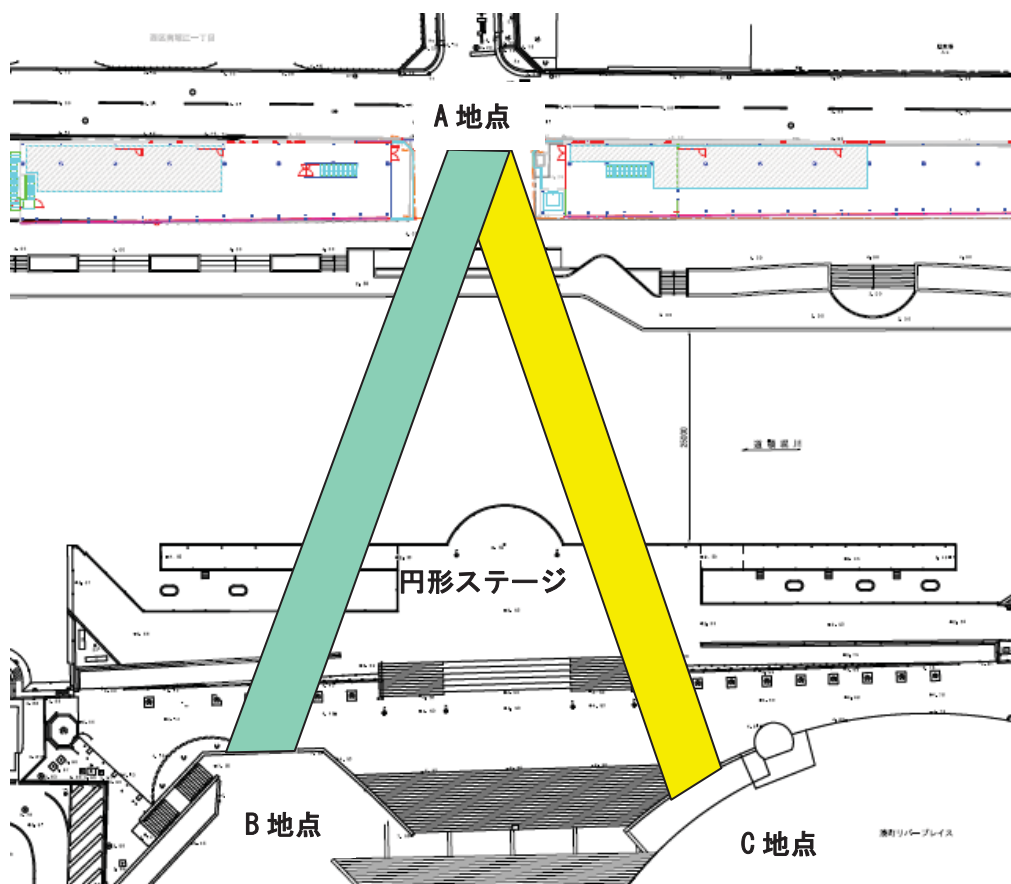


図-10.7 歩道橋の接続地点の概略検討（著者作成）

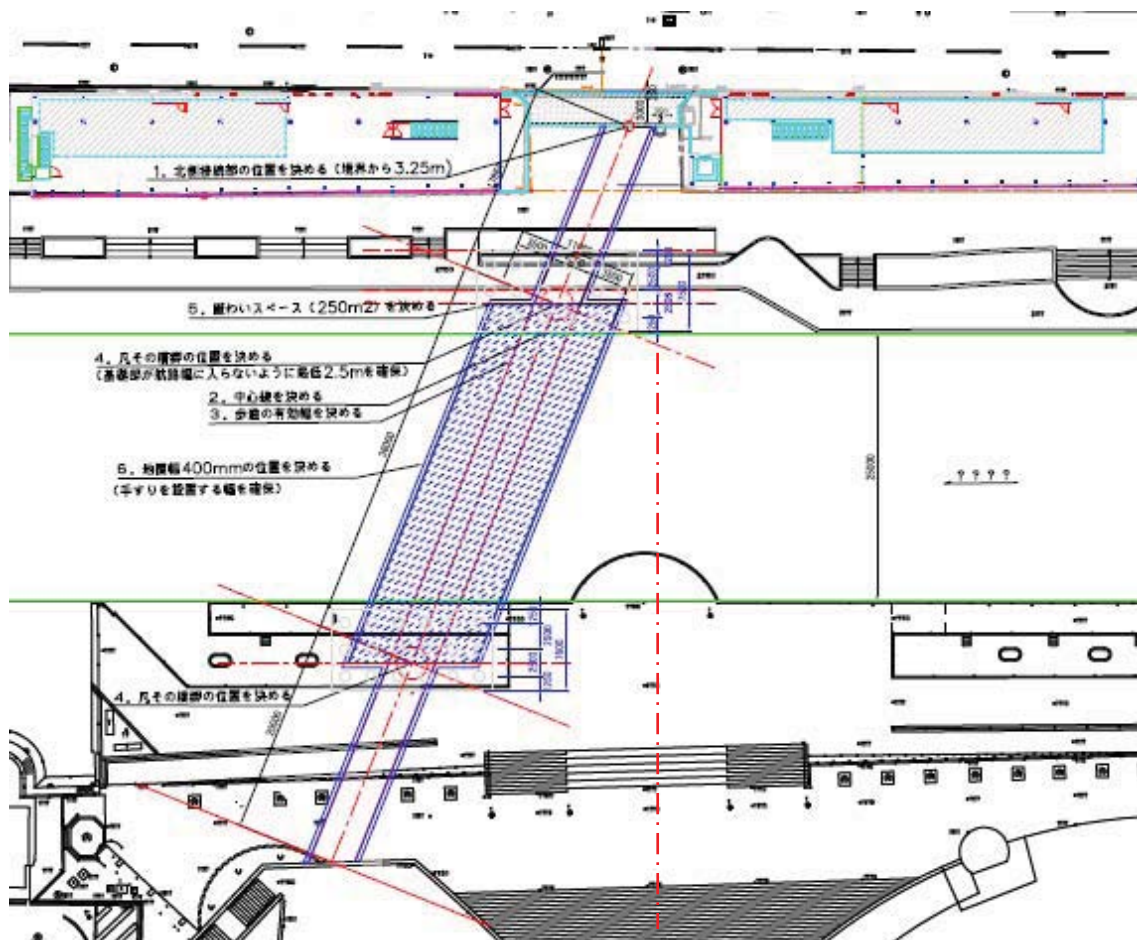


図-10.8 A地点とB地点を直線で結んだ場合の通行部とアメニティー空間の配置（著者作成）

有効河川幅員 25m の中には橋脚は一切配置できないことから、この平面計画を活かすことのできる構造形式を考えると桁橋、アーチ橋、斜張橋、吊り橋が考えられる。

主橋部を桁橋とした場合、主橋部の桁天端のレベル、遊歩道部の桁天端のレベルを検討する。なんば Hatch 側の階段踊り場 (II) のレベルが OP+4.5m であり、遊歩道面から 2.5m のクリアランスを確保しなければならないため、桁下のレベルは OP+7.0m であるが、20cm の余裕シロを考慮すると桁下のレベルは OP+7.2m となる。B 地点の屋根のスラブのレベルが OP+7.4m であるため、その差分が 0.2m である。ここで、地点 B へと接続する桁の桁高を考える場合、歩道橋から地点 B への勾配をできるだけ小さくすることが、地点 B にお

ける接続部の構造をコンパクトにまとめることにつながるため、0.8mを追加して桁高1.0mと仮定すると、主桁構造の天端レベルはOP+8.2mとなる。主橋部の構造として桁構造を考えた場合、桁高は、スパン25mに対してスパン／ライズ比として15：1を想定すると、桁高は最低でも1.6m程度になる。一方、道頓堀川管理水位は、OP+1.7m～OP+2.1mであるため、水位が最大のOP+2.1mの場合に、主橋部の桁下レベルは、桁下5.0m以上確保しなければならないため、桁下レベルはOP+7.1mである。ここに、桁構造の場合の桁高1.6mを加えると主橋部の天端レベルはOP+8.7mとなる。以上より桁構造の場合は、主橋部の主桁の天端レベルはOP+8.7mであり、B地点に接続する場合のレベルをOP+8.2mとなるので、主橋部からB地点のレベル差が0.5mとなる。従ってB地点側の勾配は、 $0.5 / 20.0 \times 100 = 2.5\%$ となり、A地点の勾配は $0.5 / 17.8 = 2.8\%$ となる。

主橋部の桁高を1.6mより小さくするためには、アーチ橋または、斜張橋として桁を上から吊る構造とする必要がある。その場合のスパン割は、20m+36m+17.8mとなる。

主橋部を吊り橋とした場合、バックステーケーブルのアンカー位置が遊歩道部を占有するため、実現はかなり難しいことが予想された。アーチ橋も遊歩道部と接触する部分で、遊歩道部を占有することから詳細な検討が必要であることが予想された。

主橋部をアーチ橋または、斜張橋とした場合、桁高を1.1mとすると主橋部ではOP+8.2mとなる。(図-10.7)に示す平面計画の場合、大階段のセンターラインとの関係性は全く存在しない。

回遊性を確保するにあたって、地点A側には、OP+8.2mから地上レベルのOP+4.0mまでの間に、健全者に対しては階段を設置し、身障者に対してはエレベータを設置する必要がある。

b) 歩道橋に緑豊かな空間整備を導入する

道頓堀川の河川整備に共通していることは、緑が少ないことであった。これは、河川法の規定を尊重して、河川内には、緑を置かないことが影響していることが考えられた。そ

ここで建築家、内藤俊彦を中心とする設計チームでは、橋に緑を持ち込むことをテーマとすることを1案として検討した。つまり、浮かぶ公園を道頓堀川に架かる歩道橋に整備するという考え方である。公園が道頓堀川の上に浮かんで見えるような構造を考案することが、構造デザインの1案となった。一般的に、橋の構造は橋軸方向に桁が連続しているため桁が浮かんで見えることはない。そこで桁が浮かんで見えるようにするためには、吊り形式の構造として中央のデッキをケーブルで吊り上げることが考えられた。課題は、主塔の位置とメインケーブルをバックステー（主塔の背後でアンカーすること）するためには、主塔の外側の遊歩道部に場所を確保することが必要である。主塔の形状も垂直に立てるか、または傾斜させることによって、2本の主塔間にある中央部のデッキを吊っている印象を持たせることが可能である。a) の検討の結果、地点Aと地点Bを直線で結んだ平面計画では吊り形式の主塔を配置することは困難である。従って、歩道橋の橋軸をさらに河川軸の方向に傾斜させる必要があった。課題は、河川法の規定で、川または運河を渡る場合はできるかぎり最短距離で渡らなければならないという考え方である。例えば、歩道橋を河川軸に対して45°に配置することが、住民のためのアメニティー空間を設置するためという理由で認められるのかという課題があった。しかし、アイデアコンペの段階では、それを提案することによって、もしデザイン案が認められた場合には、大阪市とデザイン選定委員会が、国交省近畿地方整備局の河川管理担当官との間で交渉することが考えられた。歩道橋を河川軸に対して45°で配置した場合の平面図を(図-10.9)に示す。ここで大階段のセンターラインと北側から主橋部にアプローチするサブデッキの軸線を一致させることができる。

(3) Concept Making (コンセプトメイキング)

道頓堀川に架かる歩道橋のコンセプトデザインは、河川空間に緑豊かな空間を整備することを考えて「浮かぶはらっぱ」の整備とした。川に浮かぶ公園が整備され、それ

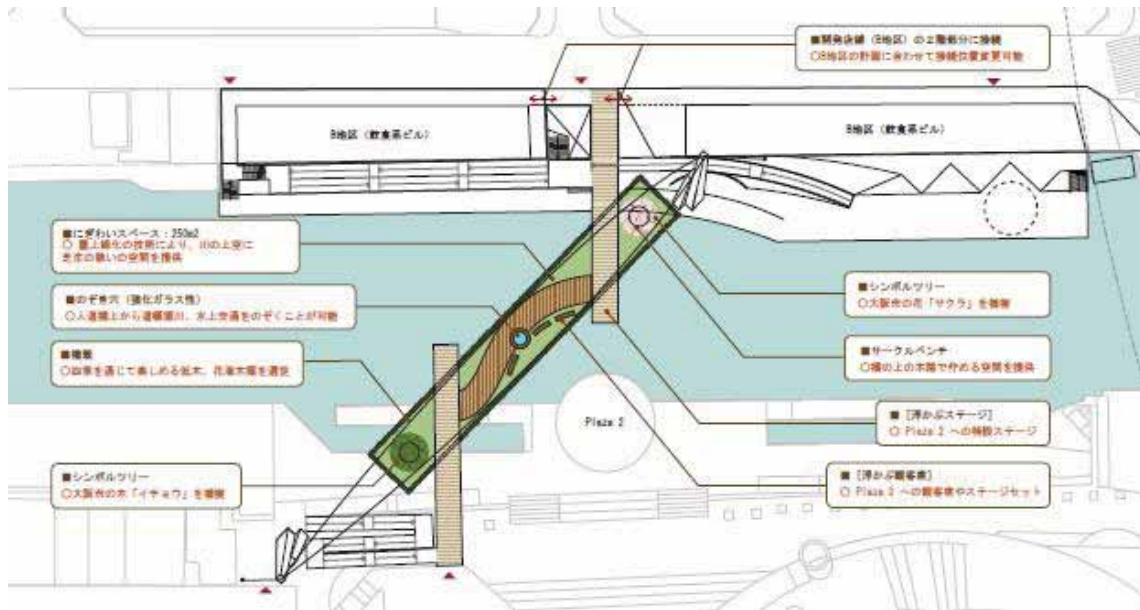


図-10.9 歩道橋の橋軸を河川軸に対して45°で配置した場合の平面計画(提供:内藤俊彦)

が大阪の名所にもなることを祈念してのコンセプトである。デッキが道頓堀川に浮かび、アメニティー空間として利用できるように通行部4mは曲線を使った動線とし、その両側に芝生を、さらに周囲に沿って花壇を整備し、四季折々の植栽を植えることとした(図-10.9)。構造デザインコンセプトは、「デッキを空間に浮かぶように演出する吊り形式の橋」である。

a) 浮かぶはらっぱの橋面整備

「浮かぶはらっぱ」には、幅員4mの通行部をメインデッキの中央に配置し、その両側に芝生と、周囲にそって花壇を整備することを考えた。単に通行するだけの橋ではなく、芝生やベンチなどの「たたずみスペース」を利用し、周辺の風景を眺めながら、都会の真ん中で、ゆっくりと語り合える憩いの場所になることを期待している。橋の上には、芝生や低木、両端にシンボルツリーを配置するとともに、橋梁の側面にツタを這わせ、緑あふれる「はらっぱ」をイメージしている。また、橋の緑はヒートアイランド対策にも寄与する。

(図-10.10)に橋面整備のレイアウトを示す。

両岸の道頓堀川遊歩道と一体化した快適な回遊動線

多目的使用のための300㎡に及ぶ分散型賑わいスペース

植栽帯、桁側面緑化、植樹等による景観向上とヒートアイランド対策

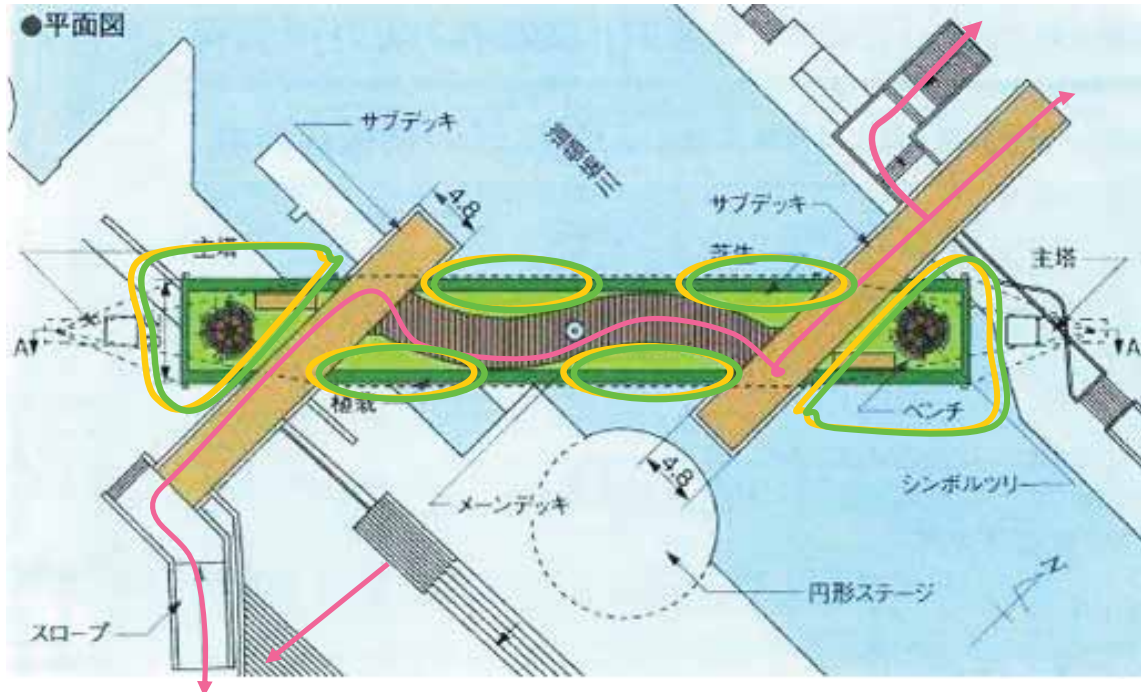


図 - 10.10 「浮かぶはらっぱ」の橋面整備^{注5)}

b) 浮かぶ原っぱの構造

「浮かぶはらっぱ」の特徴は、道頓堀川の河川軸に対して45度の傾きを有する主橋部と道頓堀川を直角に渡り、主橋部に北・南側からアプローチするサブデッキ部で構成される。主橋部を浮かせるために、主塔とメインデッキをつなげず、2本のメインケーブルでデッキを吊り、横揺れを防止するために、河川と直交するサブデッキをメインデッキに剛結させている。(図-10.11)に「浮かぶはらっぱ」の構造概要を示す。地震時の水平力に対しては、サブデッキ支承部の水平支承(橋軸方向は免振機能、橋軸直角方向は固定)と鉛直支承で負担する構造となっている。ケーブル定着部(バックステーケーブル)は、地盤を考慮し主塔基礎と一体化構造の地中梁に定着している。(図-10.12)に主橋部の構造一般図を(図-10.13)に主塔基礎と地中梁の構造を示す。

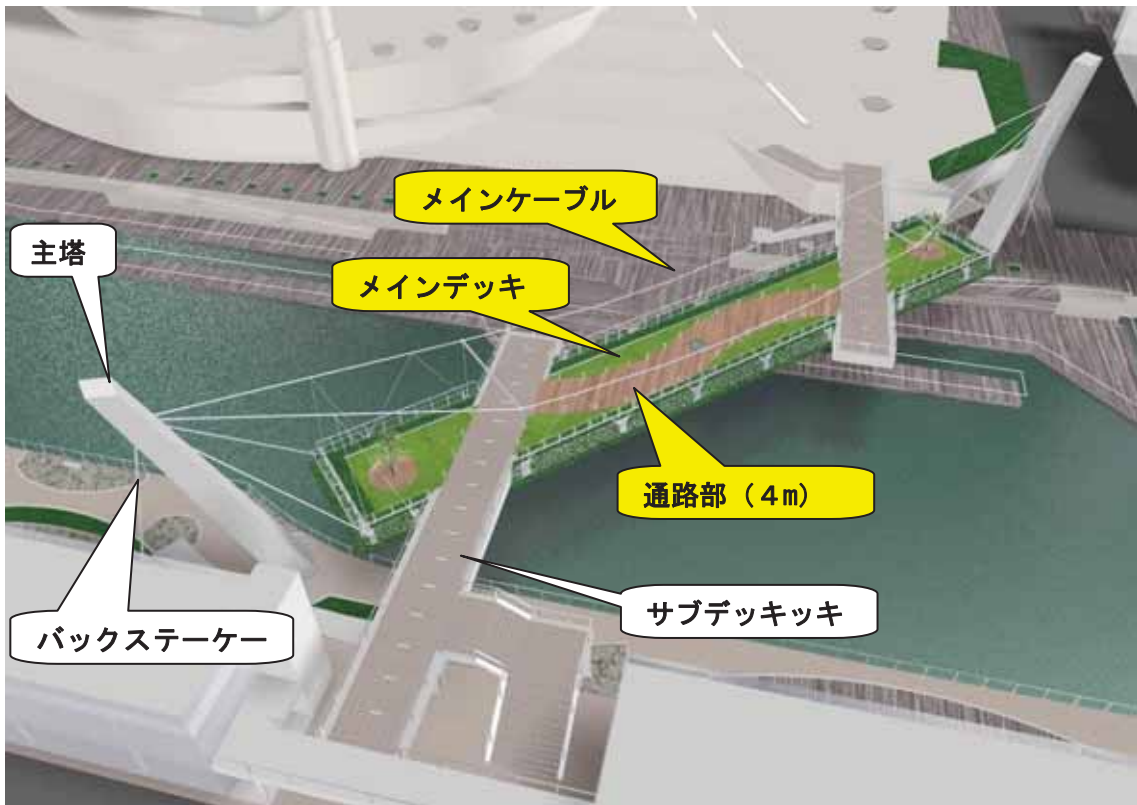


図-10.11 「浮かぶはらっぱ」の構造概要(著者作成)

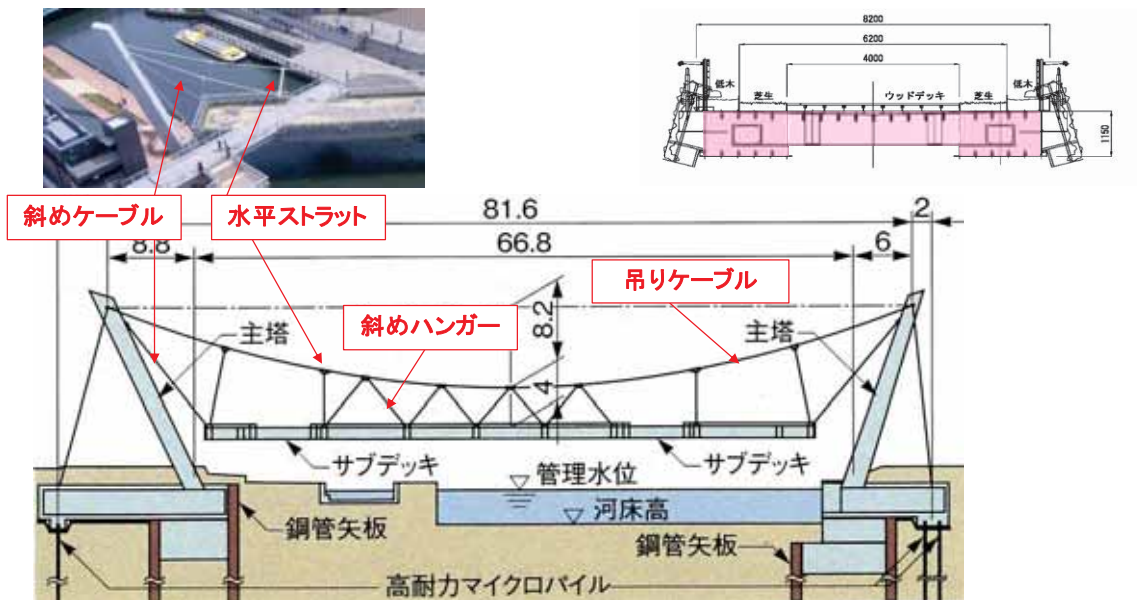


図 - 10.12 主橋部の構造一般図^{注6)}

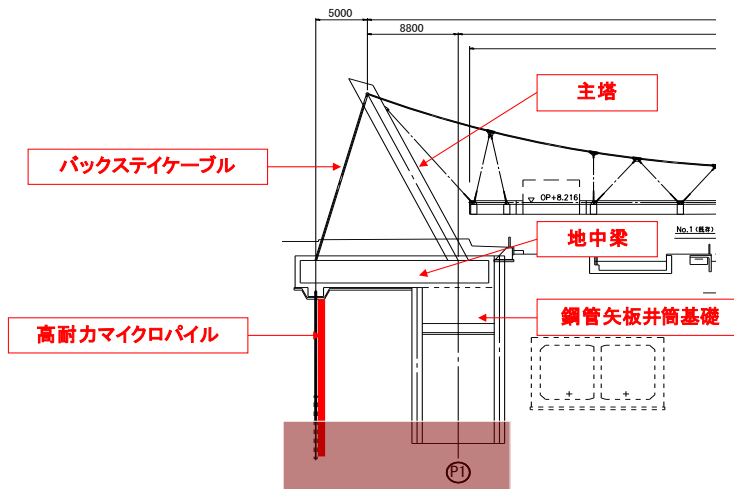


図 - 10.13 主塔基礎と地中梁の構造 注7)

(4) Design Development (デザイン ディベロップメント)

ここでは、デザインした「浮かぶはらっぱ」をCGで作成し、道頓堀川に浮かぶ印象が出ているのかどうかを検証する。(図-10.14)に北側の遊歩道から見た「浮かぶはらっぱ」の昼間の状況をCGで示す。また、夜間のCGを(図-10.15)に示す。アプローチのサブデッキが視覚に入らないため、主橋はうまく浮いているように見えることが確認できた。



図-10.14 CGで作成した「浮かぶはらっぱ」昼間の景観 注8)



図-10.15 CGで作成した「浮かぶはらっぱ」夜の景観（提供:内藤俊彦）

アメニティー空間の演出には、様々なデザインを取り込んでいる。例えば、通行部にはボードウォークを配置し（写真-10.6）、通行部の中央にガラス窓を設けて川面をデッキから覗く仕掛けや（写真-10.7）、シンポルツリーをデッキの両端部に配置し、そこにサークルベンチを配置して休息のできる設備を設けている（写真-10.8）。このような工夫



写真-10.6 「浮庭橋の橋面植栽とボードウォーク（著者撮影）



写真-10.7 通行部の中央に設置した覗き窓（著者撮影）



写真-10.8 デッキの両側端部に配置したシンボルツリーとサークルベンチ（著者撮影）

が訪れる人々に、休憩する機会を提供したり、橋の上でまどろんだりというような機会を提供することになる。すなわち、橋面のデザインによって、おもてなしの風景を演出することにつながるといえる。橋面工のデザインでは、それぞれを脈絡なく点在させるのではなく、人々をおもてなしする道具として考えると、デザインの一貫性が生まれると考える。

10.6 浮庭橋が実現した意義

「浮庭橋」という名称は、橋の名前について一般公募を行い、応募総数 343 通の中から設計コンセプトのイメージと、オリジナル性が高い点が評価された安田直樹考案の「浮庭橋」（うきにわばし）に決定されたからである。この橋の実現に当たって、従来の河川法の範囲を超えるデザインとなった部分がある。まず、河川軸を 45 度で渡る橋であること、次に、浮庭橋のにぎわいを創出するために、橋上の多目的広場を利用したカフェテラスや物販を計画しているが、浮庭橋は河川の敷地内にあるため河川占用許可準則の特別措置（河川法）の適用が必要となる。このため大阪市と国土交通省が平成 16 年度から協議を行い、平成 21 年 9 月に、橋上で初となる河川占用許可準則の特別措置の適用を受けた。その結果、現在、一定の条件下ではあるが、社会実験としてイベントや物販行為などが行われている。このように、浮庭橋を使う人々にアメニティー空間を提供するというコンセプトが、現実の河川法の見直し、または、特例の設置等に繋がり、今後、こうした現象は数多く出現するものと考えられる。浮庭橋はそうした意味において、河川法に新しい解釈をもたらした歩道橋である。（写真 - 10.9）に浮庭橋の全景を、（写真 - 10.10）に浮庭橋の夜景を、（写真 - 10.11）にカナリーテラスから浮庭橋を望んだ鳥瞰を、（写真 - 10.12）に壁面緑化のヘデラが成長している状況を示す。

- 主塔形式 : 単柱鋼製主塔
- 吊り形式 : (メインケーブル) 2本の吊りケーブル+水平ストラット
:(ハンガーケーブル) 斜めハンガー+斜めケーブル (桁端)
- 使用ケーブル: SPWC φ135 (メインケーブル)、SPWC φ160 (バックステイ)
- 位置 大阪市浪速区湊町1丁目～西区南堀江1丁目
- 事業期間 平成16年～平成20年度
- 事業費 約10億円
- 発注 大阪市建設局



写真 - 10.9 浮庭橋の全景（提供：古市和行）



写真 - 10.10 浮庭橋の夜景（提供：古市和行）



写真 - 10.11 カナリーテラスから浮庭橋を望む（著者撮影）



写真 - 10.12 壁面緑化のヘデラが成長している状況（著者撮影）

注釈・出典

注1) 文献1), pp4

注2) 文献1), pp3

注3) 文献2), 計画条件図 平面図

注4) 文献2), 計画条件図 断面図

注5) 文献1), pp13.

注6) 文献1), pp11.

注7) 文献1), pp12.

注8) 文献1), pp10.

1) 平成21年度土木学会田中賞「作品部門」候補内容説明会資料, 浮庭橋

2) (仮称) 道頓堀川人道橋デザインコンペ 募集要項

第 11 章 結論

11.1 本研究の成果

本研究では、橋梁デザインについて、使う人の様々なニーズに応え、鋼、コンクリート、ケーブル、ガラス、木等を自由に選択し、環境へのインパクトを考慮して、サステイナブルで低コストである橋梁デザインが実施できるエンジニアを目指すこと、または、自ら要求性能を設定して橋梁の「性能設計」ができるエンジニアを目指すことに着目して、論考を試みた。橋梁デザインは、コンセプチュアルデザインと構造デザインの両面を考えることが必要であり、それぞれに何が要求され、どのように実施していくかということを理解しなければならない。つまり、技術的な要素のみならず、その橋梁が架かる場所や、その地域の歴史・文化に関する理解も必要とされる。また、橋梁デザインは、これまでに実現されなかった独創的なデザインが要求されることが多いため、どのような点に着目して、橋梁デザインを研究していくべきか、ということも今後の重要なテーマとなる。本研究の成果は、以下の6点である。

1) 欧州における鉄筋コンクリートの変遷からみた材料工学の発展についての取りまとめ

鉄筋コンクリートが19世紀後半から欧州で発展した経緯を整理し、この技術を初めて発明し特許化したフランスの功績を「0から1」と位置付け、そのアイデアを購入して、実験を通じてその成果を基準に反映したドイツの功績を「1から10」と位置付けた。初期の鉄筋コンクリートは、フランスのエヌビックの発明した工法の欠陥を切掛けにして、スイスにおいて欧州初の鉄筋コンクリート規準ができたことを明らかにした。また、ドイツ語圏においては、専門雑誌による情報公開によって、新しい技術の普及が加速した

2) マイヤールの橋梁デザインの功績に関する取りまとめ

鉄筋コンクリート橋の様々な形式を生み出したスイスの橋梁エンジニアであるマイヤールの業績を分析し、美しい造形フォルムの背景には、 $30\sim 45\text{N/mm}^2$ の高強度コンクリートを使っていたことを明らかにした。コストを安くするための対策として、アーチの分割施工を行い、アーチリブのコンクリートの重量を軽量化することによって、支保工コストを低減したこと、実橋を使った荷重裁荷試験を実施して、マイヤールが設計したコンクリート橋の性能を常に確認していたことを明らかにした。これはマイヤールのこれまでの研究の多くが視覚的造形美についての評価であったのに対して、構造力学的、材料工学的評価を実施した点で重要な意味がある。また、本研究によって、マイヤールのエンジニアとしての姿勢が明らかになったことは、今後のマイヤールの研究のみならず、新しい構造デザインを考える上で、参考になる事例である。

3) ドイツアウトバーンの設計体制と橋梁景観論の取りまとめ

ドイツアウトバーンのエンジニア、建築家、造園家による協働体制と、その機能について取りまとめた。お互いを尊重することによって、意見の交換をスムーズに行い、業務の効率化を図ると同時に、若いエンジニアや建築家の育成が図られた。橋梁景観論が体系化され、橋梁デザインを表現する言葉、形容詞が使われるようになった意義を明らかにした。同時に、19世紀後半のドイツ語圏における鋼橋の入り口に、中世の石造りの門や塔が作られた背景を考察し、1920年代から国際会議の席上で景観論が議論されるきっかけとなった意義を明らかにした。

4) 一般生活者の橋梁デザインに関する感じ方と構造原理のとりまとめ

橋梁デザインの基本となる2つの事項について整理した。第一は、橋梁デザインにおいて一般生活者が橋梁形式に対してどのように感じているのか、専門家の感じ方と異なるの

かをビジュアルパネルを使ったアンケート調査を行い、その結果についてSD法を使って解析することにより、両者には大きな違いはないことを確認した。第二に、吊り床板橋、吊り橋、斜張橋、アーチ橋、充腹アーチ橋、II型ラーメン橋、桁橋を対象として、水平軸に動的⇔静的、縦軸に女性的⇔男性的という2次元のテイストスケールにそれぞれの構造形式に関する印象を1対となる形容詞、例えば、洗練された⇔野性的な、近代的な⇔伝統的な、軽快な⇔重厚等で評価し、そのクロス集計分析し、その結果をテイストスケールにまとめた。第三に、それぞれの橋梁タイプ毎に、力動感、親近感、堅牢感、用途感、洗練感に代表されるレーダーチャートに専門家と一般生活者の感じ方をまとめて比較した。第四に、それぞれの構造形式とマッチングする風景を示した。これらの結果、専門家と一般生活者のそれぞれの橋梁形式に対する感じ方には大きな差異はないことを確認した。

橋梁デザインにおいてエンジニアリングが不可欠であり、構造デザインは、橋梁の構造形式の選定から詳細デザインに至るまで常に考慮しなければならない要素である。その基本となる構造原理を楽しく理解する方法について、筆者の考案した模型を使って体感し、簡単な計算で力の大きさを知る方法を提案した。

5) コンセプチュアルデザインに関する定義を行った。

コンセプチュアルデザインとは、橋と風景との関係と、橋の造形フォルムについて具体的に定義したものであり、橋梁のデザインにおいては、デザインの方針を定める考え方である。しかし、橋梁デザインにおいて、常に、コンセプチュアルデザインがはじめにあって、構造デザインが次にくるものではなく、材料、施工法という観点からも新しい橋梁デザインが生まれることもある。従って、コンセプチュアルデザイン、構造デザイン、材料・施工法は相互補完的な関係にあり、それらに関する情報、経験、知識を総動員して橋梁デザインを考えるということが行われる。

同時に、新しい構造フォルムを考えるということは、構造の安定性、力の釣合等、設計

理論に基づいて考えることであり、コンセプトデザインと構造デザインを大学1年生から教えるという教育スタイルがベルリン工科大学において、行われていることを紹介した。

すべての材料に精通したエンジニアの育成と、デザインプロセスにおいて「0から1」への発想が重要であり、今後の橋梁デザインが目指すべき方向をまとめた。具体には、高強度材料、超軽量コンクリート、ケーブル材料等、新しい材料を使った構造デザインを目指すことによって、新しい構造体が生まれる可能性が高いことを示した。

6) 代官山人道橋のデザイン

橋梁デザインを客観的に評価するためには、完成した形のみを評価するだけでは不十分である。何故なら、そのデザインを実現するに当たって、様々な制約条件があり、それをどのように克服したかを記述することが重要であり、それが今後の新しいデザインを実現する場合に活かされると考える。本研究の意義は、橋梁デザインを評価するに当たり、橋梁デザインのプロセスを3つの段階に分けて、コンセプトリサーチ、コンセプトデザイン、デザインディベロップメントの段階で何を問題として設定し、どのように方針を立て、それをどのように解決したかを記述する指標を提示したことである。デザインコンセプトとして、1号橋は「透明感のある橋」、2号橋は「マッシブであるが、緊張感のある橋」であり、構造コンセプトは、1号橋は「非対称を活かした橋」、2号橋は「緊張感を感じさせながら、構造的に安定した橋」とした。1号橋では、狭隘な街路景観における橋の見え方が課題であったため、視覚的にコンパクトであり、揺れにくい構造フォルムを考案した。2号橋は橋の接続部に荷重を掛けない構造として、ワイン立てをヒントとして構造フォルムを考案した。

7) 池田へそっ湖大橋のデザイン

長大アーチ橋のデザイン事例として池田へそつ湖大橋を取り上げ、橋梁を取り巻く風景の分析方法を整理した。また、アーチ橋のデザイン手法について、歴史的なアーチの施工法から「0から1」の技術であるアーチの両側同時張出施工の開発やメラン式工法の併用により施工の迅速化を進めたことを整理した。桁、橋脚、アーチリブ、鉛直壁等、様々な部材が存在する中で、サイコベクトルを使って、構造部材の重要度を階層化し、主桁、橋脚、アーチ、鉛直壁の順に、それぞれの面を1段階奥に配置する方法を整理することによって、アーチを美しく見せる方法を提示した。

8) AKIBA BRIDGE のデザイン

これまでにない独創的な歩道橋をデザインした事例がアキバブリッジである。マイヤールが挑戦したように、鉄筋コンクリートの設計規準強度を超える超高強度コンクリートを主桁に使い、歩道橋デザインの可能性を追求した性能設計の事例である。特に、ITの拠点となる都市景観に相応しいデザインが求められたため、主桁に $R=170\text{m}$ の曲線を採用し、この曲線を動的に美しく見せるための考えた方として、縦断勾配と平面線形 $R=170\text{m}$ を組み合わせ、さらに主桁のエッジ部分を強調し、高欄の存在を脇役とするコンセプトを考案した。高欄デザインは、従来とは異なる性能設計を導入し、橋上から人が転落しないこと、群集が高欄に寄りかかっても、高欄を構成する強化ガラスが破壊しないことを前提として、上段手摺と照明を兼用し、補助手摺をその下に1本として、合計2本の手摺を実現し、すっきりとした高欄デザインを実現した。

9) 浮庭橋のデザイン

大阪、道頓堀川に架ける歩道橋のデザインコンペの事例を取り上げ、デザインコンペの条件を満足させながら、最終的な構造を提案するプロセスを整理した。また、河川軸を45度で渡ることはこれまで河川法の観点からはあり得なかったことであるが、橋を使う人々をもてなすアメニティー空間の整備を考えることによって、河川法の特例として、物販等

ができるようになった初めての事例であることを示した

以上の研究成果が、様々な材料を自由に組合せて、社会のニーズに応える独創的な橋梁デザインを実現し、構造物に要求される性能を満足することができるエンジニア、「性能設計」ができる エンジニアの育成に資するとともに、橋梁デザインを評価する場合、3つのデザインプロセスを追って作品が的確に評価されれば深甚である。

11.2 今後の課題

1) 1950年以降の橋梁デザインの歴史と評価

今回の研究は、特に、鉄筋コンクリートに特化した研究であったため、鋼橋に関する考察が十分ではなく、一般によく知られた橋梁の事例にとどまっている。特に、1950年以降から現在に至る橋梁デザインの実績について評価をする必要がある。

2) 橋梁デザインの対象を道路橋にも拡大する

橋梁のコンセプトデザインは、特に、歩道橋に適用しやすいため、歩道橋の事例が多くなった。実際には道路橋においても、様々なアイデアが考案され、実現化しているので、道路橋のデザインについても、今後検討していく必要がある。

4) 橋梁デザインに限らない提言の適用

今回の研究は、橋梁デザインについて提言したが、橋梁デザインに限らず、まちづくり等にも適用できると考える。ハードな技術と歴史・文化に関するソフトな技術の活用等も視野に入れておく必要がある。

5) 土木史研究の更なる発展に向けての活用

本研究は、研究対象を欧州においたため、欧州における橋梁、材料工学関連の資料ならびにロベール・マイヤールに関する文献や図面の収集ができた（参考資料）。今後は、こうした資料に多くの方々がアクセスして、それぞれ独自の研究ができるような環境を整備していくことが重要だと考える。

添付資料

1. マイヤールの橋に関する論文（その1） P1
2. マイヤールの橋に関する論文（その2） P2
3. マイヤール図面一覧..... P3
4. Salginatobel 橋 側面図, 平面図..... P4
5. Salginatobel 橋 断面図, 正面図..... P5

マイヤールの橋に関する論文（その1）

出典: Schweizerische Bauzeitung (スイス建設新聞)

| No. | タイトル | 論文名 | 内容 | 巻 | ページ | 月日 | 発表年 | 所有 | |
|-----|---|-----------------------------------|-------------------------|-------------|--------|--------|--------|------|---|
| | Stauffacher-bruecke | シュタウファヒャー橋 | | | | | | | |
| 1 | Die neue Stauffacher-bruecke in Zuerich | チューリッヒの新しいシュタウファヒャー橋 | | Bd. 33 | Nr. 10 | S. 82 | 3月4日 | 1899 | ○ |
| | Uto-bruecke | ウト橋 | | | | | | | |
| 2 | Wettbewerb zur Ealangung von Projekten und Uebernahmsofferten fuer die neue Uto-bruecke ueber die Sihl in Zuerich | | | Bd. 44 | Nr. 7 | S. 76 | 8月13日 | 1904 | ○ |
| | | プロジェクト実施を伴う競技設計とジール川に架かるウト橋の入賞作品 | | | | | | | |
| | Rhein-bruecke Laufenburg | | | | | | | | |
| 3 | Rhein-bruecke Laufenburg | ライン橋ラウフェンブルク | 設計と施工（コンクリートブロック） | Bd. 56 | Nr. 15 | S. 163 | 9月24日 | 1910 | |
| | Wehr-brucke August-Wyhlen | | | | | | | | |
| 4 | Wehr-brucke August-Wyhlen | ヴェール橋アウグストヴィレン | 初の3ヒンジ式木製支保工、スパン68m | Bd. 61 | | S. 196 | 4月12日 | 1913 | |
| | Aare-brucke Aareburg | | | | | | | | |
| 5 | Aare-brucke Aareburg | アール橋アールブルク | 鉄筋コンクリート固定式アーチ | Bd. 62 | Nr. 4 | S. 45 | 7月26日 | 1913 | ○ |
| | Muota-bruecke bei Vorder Ibach | | | | | | | | |
| 6 | Muota-bruecke bei Vorder Ibach | ムオタ橋イバッハ | 15mの片持式コンクリート橋 | Bd. 62 | | S. 355 | | 1913 | |
| | Rhein-bruecke Tavanasa | | | | | | | | |
| 7 | Rhein-bruecke Tavanasa | ライン橋タバナサ | 初の3ヒンジ式リブ付きアーチ、スパン51m | Bd. 63 | Nr. 24 | S. 343 | 6月13日 | 1914 | ○ |
| 8 | Ihre gewaltsame zerstoerung | ライン橋タバナサの崩壊事故 | | Bd. 90 | | S. 195 | | 1927 | |
| | ” | ” | | Bd. 90 | Nr. 18 | S. 233 | 10月29日 | 1927 | ○ |
| | Piltz Deck | | | | | | | | |
| 9 | Zur Entwicklung der unterzuglosen Deck in der Schwez und in Amerika | スイスとアメリカにおけるピルツデッキの発展 | | Bd. 87 | Nr. 21 | S. 263 | 5月22日 | 1926 | ○ |
| 10 | Entwicklung der Maillat'schen Piltzdeck | マイヤール式ピルツデッキ | 1908年からの実験Chiassoの倉庫他 | Bd. 87 | Nr. 21 | S. 263 | 3月22日 | 1926 | ○ |
| 11 | Zur Frage der Biegung | 曲げに関する問い | せん断中心に関する定義 | Bd. 77 | Nr. 18 | S. 195 | 4月30日 | 1921 | ○ |
| 12 | Bemerkungen zur Frage der Biegung | 「曲げに関する問い」の注釈 | | bd. LXXVIII | Nr. 2 | S. 18 | 7月9日 | 1921 | ○ |
| 13 | ” | ” | ” | Bd. 79 | | S. 254 | | 1921 | |
| 14 | ” | ” | ” | Bd. 83 | | S. 109 | | 1921 | |
| 15 | ” | ” | ” | Bd. 83 | | S. 176 | | 1921 | |
| 16 | Ueber Drehung und Biegung | 回転と曲げについて | | Bd. LXXIX | Nr. 20 | S. 254 | 3月20日 | 1922 | ○ |
| 17 | Betrachtung zum Nietproblem | リベットに関する観察 | | Bd. 82 | Nr. 4 | S. 43 | 7月28日 | 1923 | ○ |
| 18 | Der Schubmittelpunkt | せん断中心 | | Bd. 83 | Nr. 10 | S. 109 | 3月8日 | 1924 | ○ |
| 19 | Zur Frage des Schubmittelpunkt | 「せん断中心」に関する質問について | | Bd. 83 | Nr. 15 | S. 176 | 4月12日 | 1924 | ○ |
| 20 | Betrachtung zum Gewoelbebau | アーチ施工に関する観察 | | Bd. 85 | | S. 151 | | 1925 | |
| 21 | Beim Umbau des Grandfey-Eisenbahn-Viadukts | グランフィー高架橋の改修工事 | スイス鉄道鋼製高架橋、マイヤールの監修による | Bd. 88 | | S. 217 | | 1926 | |
| | Val Tschiel-Bruecke bei Zillis | | | | | | | | |
| 22 | Val Tschiel-Bruecke bei Zillis | ファルチール橋ツィリス | 初の補剛アーチ、スパン43m | Bd. 90 | Nr. 14 | S. 172 | 10月1日 | 1927 | ○ |
| | Waeggital-Stanbbogen | | | | | | | | |
| | Zwei Waeggital-Stabbogen | ヴェギタール橋 | 荷重載荷試験 | Bd. 90 | Nr. 14 | S. 172 | 10月1日 | 1927 | ○ |
| | Aquedukt Eau Noire | | | | | | | | |
| | Aquedukt Eau Noire | オノア水路橋 | アーチ式ラーメン橋 | Bd. 90 | Nr. 14 | S. 172 | 10月1日 | 1927 | ○ |
| | Staumauern | | | | | | | | |
| 23 | Origineller Vorschlag fuer Gewoelbestaumauern mit abgestufter Druckhoehe | 段階別の圧縮高さを有するアーチ式堰堤 堰堤に関する独自の提案 | | Bd. 91 | Nr. 15 | S. 183 | 4月14日 | 1928 | ○ |
| 24 | Zur Gewoelbestaerke bei Bogenstaumauern | アーチ式堰堤に関するアーチの強度 | | Bd. 92 | | S. 55 | | 1928 | |
| 25 | Die Wahl der Gewoelbe staerke bei Bogenstaumauern | アーチ式堰堤の強度の選定 | | Bd. 92 | Nr. 5 | S. 55 | 8月4日 | 1928 | ○ |
| | Lanndquart-bruecke bei Rh-Bahn bei Kloster | | | | | | | | |
| 26 | Lanndquart-bruecke bei Rh-Bahn bei Kloster | ランドクアルト橋クロースター | レーティッシュ鉄道の補剛アーチ橋 R=125m | Bd. 96 | | S. 340 | | 1930 | |
| 27 | Belastungsversuche mit zahlreichen Diagrammen | 複数の図表を使った荷重載荷試験 | | Bd. 98 | | S. 36 | | 1930 | |

M.ros

M.ros

M.ros

マイヤールの橋に関する論文（その2）

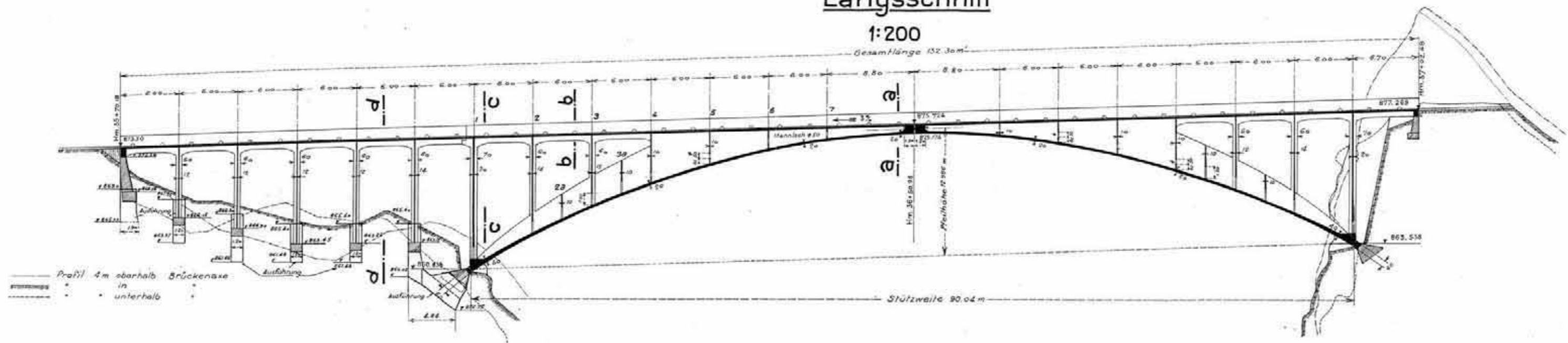
出典：Schweizerische Bauzeitung（スイス建設新聞）

| No. | タイトル | 論文名 | 内容 | 巻 | | ページ | 月日 | 発表年 | 所有 |
|-----|---|--|-----------------------|---------|--------|--------|--------|------|----|
| | Lorraine-Strassenbruecke in Bern | | | | | | | | |
| 28 | Die Lorraine-Strassenbruecke in Bern | ロレーヌ橋ベルン | コンクリートブロックアーチ橋 スパン82m | Bd. 97 | Nr. 1 | S. 1 | 1月3日 | 1931 | ○ |
| 29 | " | | | | Nr. 2 | S. 17 | 1月10日 | | ○ |
| 30 | " | | | | Nr. 3 | S. 23 | 1月17日 | | ○ |
| 31 | " | | | | Nr. 4 | | | | |
| 32 | " | | | | Nr. 5 | S. 47 | 1月31日 | | ○ |
| 33 | Piltzdecken im Sihlpostgebäude in Zuerich | チューリッヒの郵便局におけるピルツデッキ、特殊な形状と荷重載荷試験と図表 | | Bd. 97 | | S. 165 | | 1931 | |
| 34 | Sicherung des Schiefen Turms in St.Moritz | 傾斜した煙突の安全性 | | Bd. 98 | | S. 29 | | 1931 | |
| 35 | Masse oder Qualitaet im Betonbau ? | コンクリート構造物はマッシブであるべきか、品質を問うべきか | | Bd. 98 | | S. 149 | | 1931 | |
| 36 | Leichte Eisenbeton-bruecken in der Schweiz | スイスにおける軽快な鉄筋コンクリート橋 (DER BAUINGENIEUR) | | Heft10 | | S. 165 | 3月6日 | 1931 | ○ |
| 37 | Zu den neuen Eisenbeton-Normen | 新しいコンクリート示方書について | | Bd. 99 | | S. 55 | | 1932 | |
| 38 | " | " | | Bd. 99 | | S. 125 | | | |
| 39 | Erdbebenwirkung auf Hochbauten | 建物への地震の影響 | | Bd. 100 | Nr. 24 | S. 309 | 12月10日 | 1932 | ○ |
| 40 | Wandlungen der Baukonstruktion seit 1882 | 1882年以降の施工を振り返って | | Bd. 100 | Nr. 27 | S. 27 | 12月31日 | | ○ |
| 41 | Rossgaben-bruecke bei Schwarzenburg | ロスグラベン橋シュバルツェンブルク | 3ヒンジ式アーチ | Bd. 100 | | S. 361 | | | |
| 42 | Piltzdecken, Dachbinder und Musikpavillion | ピルツデッキ、屋根梁と | | Bd. 101 | Nr. 9 | S. 99 | 3月4日 | 1933 | ○ |
| 43 | im Sihlhoeltzli,Zuerich | ジールホルツェリィにおける音楽堂 | | Bd. 105 | | S. 130 | | | |
| 44 | Schwandbach-bruecke | カーブした補剛アーチ橋 | スパン37.4m | Bd. 102 | | S. 218 | 10月28日 | 1933 | ○ |
| 45 | " | | | Bd. 103 | | S. 132 | 3月17日 | 1934 | ○ |
| | Verstaerkung einer Eisenbetonkonstruktion | 鉄筋コンクリート構造の補強 | | Bd. 105 | Nr. 11 | S. 130 | 3月16日 | 1935 | ○ |
| 46 | Flachdaecher ohne Gefaelle | 危険性の無い扁平な屋根 | | Bd. 105 | Nr. 15 | S. 175 | 4月13日 | 1935 | ○ |
| 47 | " | | | Bd. 105 | Nr. 11 | S. 130 | | | |
| 48 | Wettbewerbsentwerfe fuer Hochbruecke in Schaffhausen und eine originelle Eisenbeton Balkenbruecke ueber Rhein in Feuerthalen | シャッフハウゼンの高架橋コンペとライン川を渡る鉄筋コンクリート桁橋 | | Bd. 106 | | S. 248 | | 1935 | |
| 49 | Nuere Eisenbetonbruecken:Tess bei Wuelflingen Spital-bruecke Engstligen Aarebruecke Innerkirchen Thurbruecke Felsegg,Eisenbahnbruecke Liesberg | テス川橋ヴュルフリンゲン シュピタル橋エンゲストリゲン アール橋インナーキルヘン トゥール橋フェルゼック、リースベルクの鉄道橋 | | Bd. 107 | | S. 157 | | 1936 | |
| 50 | Quai Perdonne, Vevey | ヴェヴェイのベルドネ橋 | | Bd. 108 | | S. 159 | | | |
| 51 | Viergleisige SBB-Aarebruecke in Bern Entwurf eines Dreigelenk-Rippenbogen | 4軌道を有するベルンのスイス鉄道アール橋 リブ付き3ヒンジ式アーチ橋の開発 | 迫台を移動させたスパン132mのアーチ | Bd. 108 | | S. 215 | | 1936 | |
| 52 | Aktuelle Frage des Eisenbetonbaues in Geschaltung und Berechnung | 鉄筋コンクリート構造物の景観と計算に関する実践的な問い | | Bd. 111 | Nr. 1 | S. 1 | 1月1日 | 1938 | ○ |
| 53 | Arve-bruecke Genf-Vessy | アルヴ橋ジュネーブ | 上部工の影響を受けるリブ付きアーチ | Bd. 112 | Nr. 24 | S. 287 | 12月10日 | 1938 | ○ |
| 54 | Zementhalle der LA | ローザンヌのセメント協会会館 | コンクリートシェル屋根 | Bd. 112 | Nr. 10 | S. 127 | 9月3日 | | ○ |
| 55 | Bauausfuhrung der Zementhalle der LA | セメント協会会館の施工 | | Bd. 113 | | S. 123 | | 1939 | |
| 56 | Belastungsversuche der Schwandbach-bruecke | シュバントバッハ橋の荷重載荷試験 | | Bd. 113 | | S. 53 | | 1939 | |
| 57 | Rhone-bruecke Aire-Peney | ローヌ橋アイエ・ペネ | | Bd. 114 | | S. 320 | | 1939 | |
| 58 | Quai turrettini in Genf | ジュネーブのトレッティーニ橋 | | Bd. | | S. | | 1940 | |

Längsschnitt

1:200

Gesamtlänge 152,30m



Grundriss



Querschnitte

1:25

1:100

a-a

b-b

c-c

d-d

Scheitel

