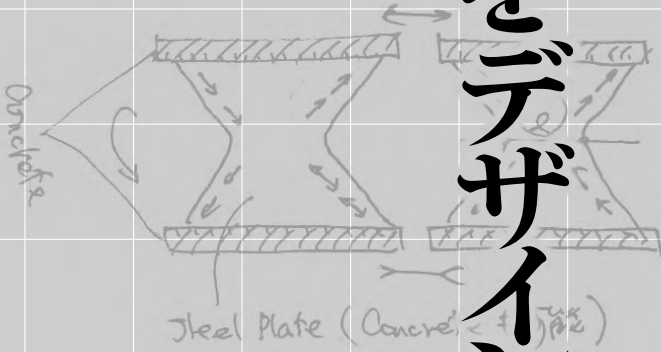


橋をデザインする

鋼板を埋めたトラス

1 segment 形状



- 鋼板の現場接合は5m
- トラスの移点にある接合部は真中を5m以下

• ポリキャストに直に113 (波形の弱点を克服)

↓ 工場の接合 (W=15m)

① T3E1は107c!

鋼板の圧縮応力 (トラスと鋼板に補強)

編著者

藤野 陽三

著者

畑山 義人

佐藤 靖彦

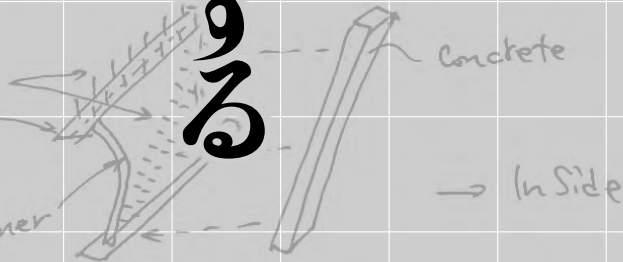
久保田 善明

松井 幹雄

八馬 智

春日 昭夫

安江 哲



目 次

序 章	1
橋とは	2
構造物としての橋	3
橋の役割	7
本書のねらうところ	8
第 1 章 橋は文化を創る	13
1-1 橋づくりへの招待	14
1-2 形を決める論理	20
1-3 設計思想のバックボーン	27
1-4 文化の形成に向けて	36
第 2 章 工学と設計の基本	43
2-1 破壊から学ぶ	44
2-2 工学と設計のつながり	46
2-3 限界状態設計法が世界の主流	53
2-4 コンクリート構造の理解の突破口	56
2-5 ライフタイムデザインのすすめ	60
2-6 夢を与えられる橋の実現に貢献する構造設計	63

第3章	つくり方から橋をデザインする	67
3-1	橋のかたちを決めるもの	68
3-2	橋梁形式と施工プロセスの関係	69
3-3	つくり方から橋をデザインする	76
3-4	橋の持続的デザイン	92
第4章	未来を拓く設計を目指して	101
4-1	より良き未来のために	102
4-2	歴史から学ぶ—時代背景から創造のヒントを掴む—	102
4-3	場所の履歴から引き出す—富山大橋架け替えの事例—	110
4-4	対比で考える—築地大橋の事例—	115
4-5	設計競技で鍛える—各務原大橋の事例—	122
4-6	デザインプロトタイプをつくる	127
第5章	価値の再発見	133
5-1	インフラストラクチャーのデザインのとらえ方	134
5-2	インフラストラクチャーを取り巻く環境の変化	138
5-3	歴史的な橋に見るデザインの拠り所	139
5-4	拡張する橋の役割	145
5-5	橋の価値を育むために	154
第6章	橋のコンセプトデザイン	157
6-1	橋梁デザイナーとは	158
6-2	橋のデザインプロセス	159

6-3	橋の美の三要素	161
6-4	橋のデザインの基本	164
6-5	橋のデザインの本質	168
6-6	橋のデザインの要諦	169
6-7	適切なコンセプチュアルデザインの要件	171
6-8	適切なコンセプチュアルデザインの事例	174
6-9	ヨーロッパと日本の橋のデザインの違い	184
6-10	日本における建築家と橋梁デザイナーの違い	185
6-11	日本の橋梁デザイナーの処方箋	186
6-12	売れるデザインを目指して	187

終章 189

増淵 基と「橋の美」	190
世界から学ぼう	192
「文化技術論」に学ぼう	194
実践しよう	194
推薦図書	197
執筆者紹介	202

序 章

藤野 陽三



日本橋 (画：藤野陽三)

橋とは

ローマにはテヴェレ川，ロンドンにはテムズ河，パリにはセーヌ河，ニューヨークにはハドソン河，東京には隅田川（写真-1），大阪には淀川（写真-2）というように，古くからの大都市には必ずといってよいほど大きな川が流れている。水はわれわれの生活に欠かせないものであり，かつては物資輸送の主役であったのが水運であったことを考えると，大きな川があったからこそ大都市が形成されたという面も大きいのだと思う。

しかし，川があると都市が分断される。船で渡ることは可能だが，時間もかかり，とても厄介だ。川に橋（bridge）が架かっていれば，その上を歩いて，あるいは馬車，列車，自動車，自転車に乗ったままで向こうに渡れるから，橋というのはとてもありがたい存在なのである。深い谷の上に架かる橋の価値も計り知れないものがある（写真-3）。

このように，橋というのは必要から生まれた，正しく実用品なのである。だからごく自然に，安全に渡れ，永く使えるようにという思いでつくることになる。



写真-1 空から見た隅田川の橋梁群。手前から勝鬃橋，佃大橋，中央大橋，永代橋……7kmあまり上流の千住大橋まで計18もの橋が架かる（撮影2005年）



写真-2 大阪市内を流れる大川（旧淀川），手前から桜宮橋，川崎橋，天満橋



写真-3 谷を跨ぎ地域を結ぶ青雲橋。国際コンクリート連合の最優秀賞を受賞（徳島県三好市）

橋は，世の中にあるいろいろな構造物，例えば事務所，住宅，学校，図書館，駅舎，寺院などのひとつだが，そのほとんどは国や地方自治体が建設し，管理しており，公共性がきわめて高いのが特徴のひとつである。宇沢弘文先生が1970年代から提唱してきた「社会的共通資本」では，自然環境，社会的インフラストラクチャー，制度資本の3つが社会的共通資本として定義されているが，橋は社会的インフラストラクチャーの代表格である。正しく誰もが渡れる，みんなの財産，すなわち社会のコモンズ（commons）なのが橋なのである¹⁾。

構造物としての橋

空間を跨いで，人や車などが安全に渡れるようにするのが橋の機能である。身の回りにある材料で，1，2mの空間を跨ぐとすると，木か石で図-1 (a) のような構造を誰でも考えるかと思う。これが橋の原形で「梁（はり；beam）」と呼ば

れる構造だ（写真-4）。スパン5mぐらいになると、ひとつの塊の石では用意できないだろうから木を使用することになるが、かなり太いものが必要になる（図-1 (b)）。10mとなると木でもほぼお手上げである。その際、真ん中に支柱を立てられれば丸太の負担が減るのは誰でもわかるだろう（図-1 (c)）。真ん中に支柱を立てられないとき、あるいは、船が通るなどの理由で橋の下の空間を空ける必要があるときは、両側から方杖を出し、実質上のスパンを短くすることができる（図-1 (d)）。事実、この方杖橋と呼ばれる構造形式は古くから各地の山間部の木橋でよく使われていた（写真-5）。

この方杖のような部材を曲線状につなげたのがアーチ（arch）という構造で、アーチ部材には圧縮力が作用する。これなら石や煉瓦のブロックを組み立てて、長いスパンを渡すことが可能となる。石アーチなら耐久性にも優れていることから、非常に古いものが今でもたくさん残っている。橋としてこれはひとつの理想形といえる（写真-6, 7）。

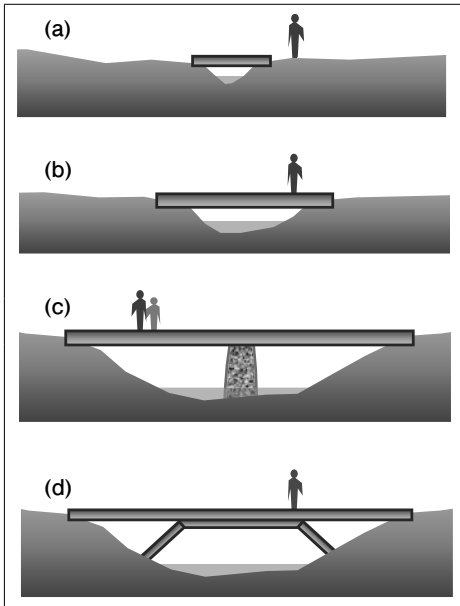


図-1 橋の始まり。丸太橋も橋長に応じて太くしたり橋脚を増やす必要が生じる。ついには単純な桁以外の構造に発展していく



写真-4 原始的な橋



写真-5 田丸橋。屋根付きの方杖橋で、橋の上は荷物を置いたり食事や休憩時に寛ぐ場になっている（愛媛県内子町）

(3) 橋の設計プロセス

次に、橋の設計プロセスについて説明しよう。ほとんどの橋の事業者は国や自治体、道路会社、鉄道会社であり、それぞれの用途に応じた独自の設計基準を定めている。建設事業は、例えば国や自治体の道路橋の場合は、①道路計画・②道路予備設計・③橋梁予備設計・④橋梁詳細設計・⑤橋梁建設工事の順で進行する。一般的には①から④までが建設コンサルタントの道路設計技術者と橋梁設計技術者が担当し、⑤を建設会社・橋梁メーカー（鋼橋の製作・架設会社またはプレストレストコンクリート橋専門の建設会社）が担当する（図-1.1）。しかし、事業者によっては④⑤をセットで建設会社・橋梁メーカーに発注する場合もある。

優れた道路にするには、路線全体を視野に入れて、交通機能や安全性の確保のほか、維持管理しやすく環境負荷が小さく、そして良好な景観を形成するものをリーズナブルなコストで実現できる計画が必要である。それには「道路計画」の段階にエネルギーを注がなければならない。大規模な地形改変を回避する目的でトンネルにする、橋にする、あるいは線形を変更するなどの比較を丁寧に行う必要がある。

橋が必要と判断された場合、その計画上最も重要なのは「橋梁予備設計」の段階である。これは図-1.2のように進行するが、なかでも中段にある「橋梁全体計画」こそが橋の良し悪しを決定付ける。本書のテーマは「優れた橋を生み出すためにどうすればよいか」を示そうというものだが、この「橋梁全体計画」のス

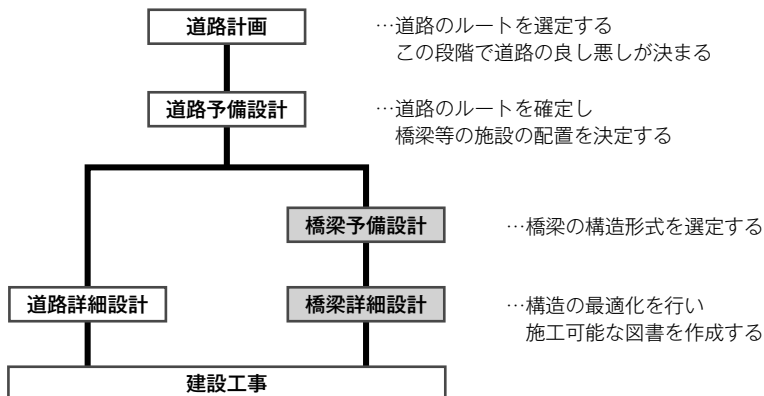


図-1.1 橋梁建設事業の流れ（道路橋の場合）

3-3 つくり方から橋をデザインする

(1) 施工プロセスを考える

橋梁形式の相互連関性が理解できたところで、次はいよいよ施工プロセスの話に入っていきたい。施工プロセスは、実際に橋を建設するために詳細かつ具体的に計画された一連のシナリオに基づき遂行されるリアルなものづくりの過程である。どのような施工を行うかはコンサルタントによる設計段階から当然想定されてはいるが、その後、橋梁メーカーや建設会社に工事が発注された段階で、あらためて橋梁メーカーや建設会社によって実際に行う施工について詳細に検討される。施工では、設計図書に示された所定の機能や形状、品質をもった構造物を契約工期内に徹底した安全管理のもとにつくりあげることが求められる。施工プロセスを通じて行われることは工事そのものだけでなく、高品質な橋を確実に完成させるためのさまざまな技術検討も含まれる。例えば、橋の本体構造が施工時にどのような構造系や荷重状態を経ながら完成していくのか、その時々々の応力やたわみの値はどのようなもので、施工時にどのような対策が必要になるのか、現地では1日に調達可能な生コンのボリュームはどの程度か、それらをふまえた最適な施工順序はどのようなものか……、などといった検討である。現場経験は技術者にとって非常に学びの多いものである。

しかし、本書の重要なテーマである「コンセプトualデザイン」と関連づけて考えるならば、施工をよりマクロな視点でとらえ、施工プロセスを全体最適の中に組み込んでいく必要がある。そのようなアプローチとして、本節では、施工の各段階を経るにしたがい橋の構造システムがどのように変化し完成状態に至るのかという観点で考えていくことにしよう。

(2) 構造システムで読み解く施工のプロセス

3-2では、橋梁形式の相互連関性を理解し、その簡易表現として、を用いることを述べた。を用いると、例えば、無補剛吊橋はのように表現されるし、トラス橋はのように表現される。また、桁とアーチリブの両方に曲げ剛性を与えるローゼアーチ橋はのように表現される。なお、図中のマルの位置は、本書では定性的に示すのみとしている³⁾。

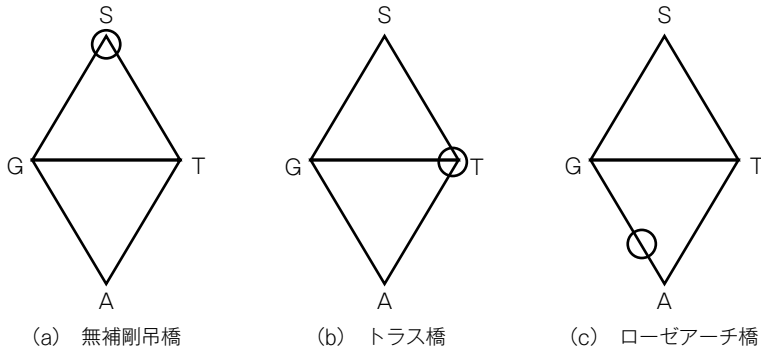


図-3.7 橋梁形式の表現例

橋梁形式をこのように表現すると、各橋梁形式の相対的な位置づけがわかりやすくなるだけでなく、施工をマクロな次元で理解するうえでも役に立つ。一般に、構造物は一定以上の規模になると一度に施工することが難しくなってくるため、段階的に施工していくことが多くなる。なかでも橋は「水平方向にスパンをとばす構造物」であるため、施工プロセスを通して構造形式が段階的に変化するケースが多い。整地された敷地の上で比較的小さなスパンしかとばさない一般的な建築物の施工に比べ、中規模以上の橋の施工は、その点、ドラスティックに構造システムの変化を遂げる場合が多い。そのような橋の施工プロセスを上記の表現方法で段階的に表すと、施工時に構造形式がどのように変遷するかが体系的にわかりやすくなる。例えば、写真-3.1の事例では、上路式のコンクリートランガー橋を架けるため両側から中央に向かってトラス形式で張り出し施工し、支間中央で閉合後、トラスの斜材を撤去して完成させる工法がとられている。このとき、構造形式は図-3.8のように変化する。

ここで重要なことは、この事例のように、施工プロセスの途中で構造形式が大きく変容するケース（図中のマルの位置が大きく変化するケース）では、施工時に構造物が経験する断面力の状態もまた大きく変化するということである。そのようなケースでは、施工を開始する前に、施工の各段階での構造の状態を解析によって明らかにし、必要に応じて、橋の本体構造を補強するなどの対策を施すこととなる。この事例で考えると、トラス形式で張り出し施工をしている状態では、トラスの上弦材として機能している桁部分（とくに支間両端部に近い桁部分）に

4-1 より良き未来のために

橋は公共事業として事業化されることがほとんどで、その建設資金は国や地方公共団体が、税金を元手に事業者として用意する。資金の用途は議会等で検討され予算化される。その予算に則り設計業務が企画・発注され、建設コンサルタント等の民間会社が「設計の仕事」を受注する。そこから設計実務は始まる。

橋にかかわるルールや利害関係者は多く、合意形成は容易ではない。一方、大多数の人達が、より良き未来を引き寄せたいと考えている点は同じだろう。

そのより良き未来とは何か、そこで求められる橋とは何か、そこにかけるコストはいかほどが適正か、それを「探る」ことが、設計者の役割である。そして、「探る」ためには創造性が欠かせない。

と同時に、その設計成果に対して多数の関係者が納得する説明も不可欠である。創造すること、説明すること、それが設計実務に求められる難しさであり、同時に面白さであり、魅力である^{1), 2)}。

4-2 歴史から学ぶー時代背景から創造のヒントを掴むー

20世紀を代表する橋梁設計者のひとり、フリッツ・レオンハルト博士は「データを与えられればすぐ一つの解答を示せる準備が必要」で「豊富な知識があって初めて既往の橋梁形式とは異なった新しい橋の創造が可能」と述べている³⁾。

限られた時間の中で創造性を発揮するためには、事前準備として知識を蓄積しておくことが必須ということだ。とくに重要な知識は歴史である。先人の経験を学ぶことで経験不足を補い、社会や技術の変遷の大きな流れをつかんで未来を見通す力を鍛えることに繋がるからである。

(1) 文明の進化から考える

橋は昔から生活の幅、移動の自由度を拡げる道具として、谷や川を越えるその場所につくられてきた。故に、橋を作る材料は、架橋現場に運搬できる事が条件となる。その観点で木材は軽く、入手、加工が容易で、橋の起源は木橋に始まったといえよう(写真-4.2)。が、腐る、燃える、流される、ために長持ちしにくく、



写真-4.1 フォース湾にかかる3世代の橋梁（英）（出典：istock.com/georgeclerk）
手前から2017年のクイーンズフェリー横断橋（道路橋）、1964年のフォース道路橋、1890年のフォース鉄道橋。それぞれの時代における社会ニーズと技術力の違いによって、3橋3様の橋が架かる

欧州等では、石造アーチの登場により主役の座を譲っていく。そして、水道、道路、運河（舟運）等のインフラ構築に活用され、その文明を支えてきた（写真-4.3）。

18世紀には鉄の生産技術が飛躍し、石炭等エネルギー生成技術の進化も加速する。蒸気機関が発明されると、19世紀には鉄道網が国中に張り巡らされ、商業資本の蓄積も進んで、石に代わって鉄の長大橋梁が架設され始めて、文明の進化は加速していった（写真-4.4）。



写真-4.2 人の移動 / 祖谷のかずら橋
現地発生材を用いた原始的な人道吊橋。現在は観光地として賑わい、数年ごとに架替えられている



写真-4.3 水の移動 / セゴビア水道橋（スペイン）
ローマ時代の石造アーチ橋。離れた水源地と都市を結ぶ水道

5-1 インフラストラクチャーのデザインのとりえ方

(1) デザインの範疇

「デザイン」という言葉の範疇はきわめて広く、使う人や場面によってその意味は異なる。広くとらえれば、世の中にあるすべての人工環境や仕組みは、誰かによって誰かのためにデザインされているといってもいい。姿かたちや色彩といった外観だけではなく、使いやすさや快適性などの印象、さらには得られる体験の価値なども、デザインの結果なのだ。

多くの人は、店舗で売られている商品は誰かがデザインしたものだと理解しているだろう。その一方で橋を含むインフラストラクチャーは、一般消費者たる自分自身との直接的な購入関係が感じられないためか、そのように認識されにくい。そればかりか、つくる側ですらデザインしている自覚がないこともある。

ここではまず、誰もがイメージしやすいであろう商品のデザインとの差異を意識することで、あらためてインフラストラクチャーのデザインの性質に迫りたい。

(2) デザインの性質

店舗で売られている商品は、購入者の態度を見据えてデザインされている。例えば、使いやすい工夫を施してユーザーの満足度を上げる、見た目の魅力を演出してライバル商品との差別化を図る、この商品を所有している自分をアピールするという自我欲求を満足するなど、人を踏まえた方向から検討されているのだ。このようなことが市場原理の中で競争的に繰り返され、あるべき姿に向けたビジョンやコンセプトが磨かれながら、必然的に多様化が進むとともに、デザインの水準が上がりやすいと考えられる(図-5.1)。

ところが、店舗で売られることがないインフラストラクチャーは事情が異なる。主な

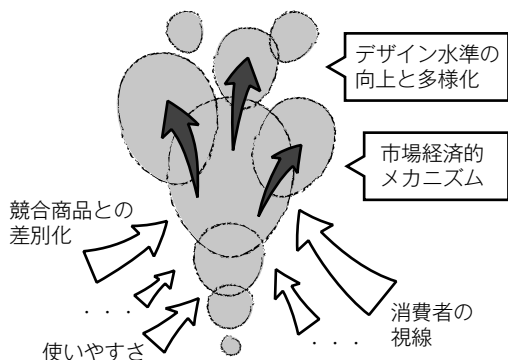


図-5.1 商品のデザインの性質

購入者が不特定多数の消費者ではなく、公的機関や元請会社などの関係者であるために、程度の差こそあれ、必然的に実際の利用者よりも関係者の方を向きやすい。そして、求めるコンセプトや性能のバランスの取り方も、自ずと変わってくる。具体的な例として、果たすべき機能や役割を満足することのみに注力する、施工や調達のしやすさなどのコストを最小化する、耐久性を高めたりやメンテナンスをしやすくすることで長持ちさせる、さらには実際の利用者からクレームが来ないようにするなどが挙げられる。こうしたことからインフラストラクチャーのデザインは、エンジニアリングを実直に積み上げつつもコストを最小化したピュアさが際立ち、コモディティ化が加速しやすい。それは、強い美意識と多くの手間をかければ凛としたエレガンスを獲得できるものの、わずかに気を抜くとたちまち洗練度の低い生々しい姿となって現れる（図-5.2）。

価値観が多様化する現代社会において、インフラストラクチャーの役割は複合化している。そのデザインの水準は、関係するキーパーソンたちが有するデザインへの理解度によって大きく異なる。中でもとりわけ橋づくりにかかわる人たちは、デザインの質の向上を常に模索していく必要があるだろう。橋は景観に与える影響がとくに大きく、地域文化の形成に不可欠な要素になるためだ。

では、どうすれば橋のデザインの完成度を高めることができるのだろうか。そのヒントを掴むため、日本で橋のデザインを行っている土木エンジニアが、どのような教育環境にあるのかを、あえてデザインの基礎教育と対比的にとらえてみよう。

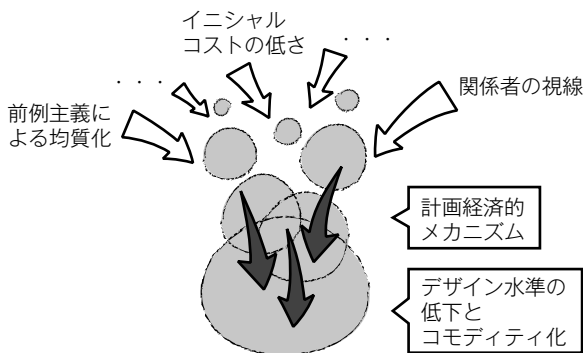


図-5.2 インフラストラクチャーのデザインの性質

6-1 橋梁デザイナーとは

技術の要は「課題発見」にあり、設計の要は「課題解決」にある。創造性を持って、いかにスマートな、いかにエレガントな、そして、いかに持続可能な解を導き出すかが重要であり、それは、力の流れがいかに単純であるかにかかっている。デザインビルドで2006年に群馬県嬭恋村に建設した青春橋（写真-6.1）を見るために、ドイツ人を案内したことがある。この橋は縦断勾配の制限、V字谷を跨ぐ60mの単支間、永久アンカー使用不可、など難しい制約条件が付いていた¹⁾。特殊な架設方法と構造形式でこの制約条件をクリアーし、工事費は三番手であったが、技術点で逆転して受注した思い出深い橋である。設計、施工などを説明した後、「あなたは橋梁エンジニアではなく橋梁デザイナーだ。」といわれた。橋の設計をトータルで考えているのでデザイナーだ、と。それまで海外の人には自分を橋梁エンジニアと紹介していたが、それ以来橋梁デザイナーに変えた。

筆者は橋の設計・施工に携わる機会に数多く恵まれたが、橋梁は最適解をどうやって導きだすべきか、という命題について長い間考えてきた。日本は設計、デザインの定義が曖昧である。そして、高速道路の橋や一部のデザインビルドを除いて、設計と施工が分業のため、建設される橋がはたして最適な解なのかどうか、疑問に思うこともある。また、橋に取り付く排水装置は「付属物」と呼ばれ、あまりエネルギーが注がれないことがしばしば起こる。しかし、橋のコストのほとんどが設計段階で決まる²⁾ことを考えると、橋をトータルで設計することが重要であり、与えられた制約条件でいかに創造性をもって解決するのが問われる。以下、筆者の考える橋のデザインの在り方を述べることにする。



写真-6.1 青春橋