

PC 橋梁のデザインー新たな展望ー

竹内 きょう*

1. はじめに

我々は、次の21世紀を目前にして、何を目標にしておのの務めを果たしていけばよいのだろうか。何が求められ、何に就いていけばよいのかという素朴な疑問は、もの作りに携わる者には自然のことでありたい。走り続けているときには見えなかったものが、留まってみると先の距離も様子も見えてきて、勇気を得てまた歩(考え)を進められそうに思うものだ。常に、原点に立ち戻って顧みることは、立脚点を確かなものとして広い視野を手中にする。本稿では、PC構造の中でも、主に筆者の実務にある橋梁に的を絞って、デザイナーの立場で、日頃考え感じていることから、思いつくままに書き起こしていこうと思う。ただ、本稿末尾に「新たな展望」に至る回答があるのではないことをお断りしておく。

2. PC構造形態デザインのアプローチ

PC構造は、主要素それぞれの応力特性である緊張と圧縮の力のバランスによって成り立ち、さまざまなかたちを可能とする。その特性は、構造と造形、技術と美、人工と自然のように多面的で、陰陽などに代表される対比・均衡の関係性を備えており、設計家・デザイナーが強く惹かれるところである。とくにケーブルの引張りに強く、細く、長く、力の方向に自然に馴染む性質と、コンクリートの圧縮に強い性質と造形性が相互に補完・複合して得られる構造形態は、無限のように思われる。素材形状は、ケーブルの線材に対して、コンクリートの面材として対比している。前者は緊張感・透明感のあるスクリーンを醸し出し、時には線の集合が曲面(線織面)さえ作る。一方、後者はミニマムな量感と素材感がかたちの存在感を表す。それらが機能を備えた構造物・橋梁などの統一体になるとき、スレンダーで造形的にも特徴をもったデザインを可能とする。PC橋梁の優れた作品の数々に見られるように、そこには、現代の技術と審美的創造性の統合が不可欠の要素となっている。PCデザインの新たな展望が求められる所以でもある。

3. 構造とかたち

PCデザインの本題に入る前に、構造とかたちの関係について少し触れておきたい。幾何学の世界には5つの正多面体・プラトン立体が知られている(図-1)。自然界の原子の結晶・秩序と真理は、かたちと美の創造あるいはデザインの原点(origin)でもある。それらの立体は、線と面と結節点の3要素からなる構造とかたち(形状・空間)の最適なバ

ランス(均斉・安定構造)ー質量を別にしてーをもっており、かたちの美しさには普遍性がある。しかし、これらは、無機的で、多くの場合我々の住む自然および生活環境には馴染みにくい。一方、その中の正4面体は、最小要素によって最大効果を備えた、簡潔な固体・立体(空間)を構成する。それはさまざまな生活の場面で利用されており、その独自のかたちは我々の身の回りを楽しいものとする。あるいは、スペインの構造家・E. Torroja (19C) の設計によると正12面体の石炭倉庫(図-2)¹⁾に見られるように、機能とコンクリート版構造としての質量が統合されて、機能・構造美の価値あるものとなっている例もある。機能・構造・素材・かたちの統一体の見事な美しい作品と言える。このように、構造とかたち、そして素材は不即不離の関係にある。

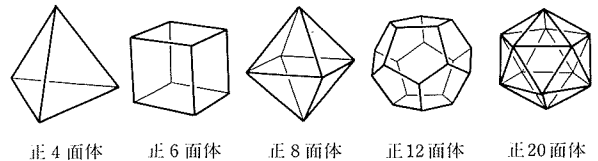


図-1 プラトンの5つの正多面体

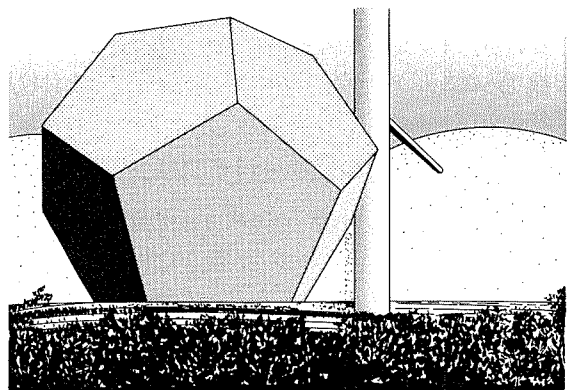


図-2 正12面体の版構造の石炭倉庫(E. Torroja設計)

4. 橋梁の美

橋梁をはじめ、公共の大規模建造物は、多くの人の目に触れ、時代を越えて利用・存続するため、社会や環境、人の心などに与える影響は多大である。都市構造の基盤整備は、人類の社会資産のストックであると同時に、上質な文化資産として評価に値する美しさを備えているべきである。美しさを求めるところには、人の生きることの喜び、楽しさの共感があるのではなからうか。人間という生き物が、知覚・知能のほか、五感(六感)、スピリット(精神

* Kyo TAKENOUCHI: 竹内きょう環境・構造企画

性)、創造性、という特質を与えられているがゆえに。

さて、橋梁デザインの一般的課題に加えて、必要不可欠な課題は、つまりデザインのコンセプト(理念・考え方)の形成と明示、橋梁の美の評価の議論は、常について回るものである。何世紀にもわたって、識者によって語り継がれている美の評価の問題は、現状では、科学や技術の分野での定理や事柄の真の証明に用いるような、数字、数式、記号を用いて絶対評価することは難しい。さらに時間・空間・評価の基準を超えて、人々の共通の観念とはなり得ないであろう。今日、専門化・細分化した科学と技術は、総合的哲学からかけ離れてしまったかのようだ。とくに、美の評価基準は、普遍的、相対的、主観的な意味合いが濃く、技術とは相反するように捉えられがちである。前出のE. Torrojaの作品例に見るように、本来、構造の原理、換言すれば、自然の法則・真理、力の流れと適材適所の素材の特性に従っている場合には、それ独自の美しさを獲得していると言える。

橋梁美について言えば、機能に即した構造システムと適切な幾何形態、それを成り立たせる素材の性能を限界利用に努めて、釣合いのとれた構造美を構成することである。また、構造を介して得る機能と美(安全性、利便性、経済性、構造美)は、橋梁の価値の必須の条件であるが、中でも、構造の骨格は「美」の値の決定的要因となることに注意を促したい。それは、全体のプロポーションを構成する線形(平面と縦断の作る立体的線形)、スパン割り、構造システムと構造各部の配置が橋梁の全体を印象付ける強い要素であるからである。架橋場の環境特性、および主要な視点に配慮した、視覚特性効果を用いたかたちの洗練は必要不可欠であり、デザインのコンセプトは終始一貫しなければならないが、ミクロの詳細部デザインや奇をてらったかたちを織り込むことがデザインの本質ではないことを付け加えておこう。

5. 橋梁システムの現状—ハイブリッド構造へ—

今、とくに大規模な建築、橋梁の建設技術は、単一の構造を用いるのではなく、その多くが複合化したハイブリッド構造によって成り立っていると考えてよいだろう。構造計画の思想がそのように推移していることは、構造を成り立たせる、素材、建設の工法においても単一・単純ではないことを容易に想像させる。単一的構造・工法の利点より、今日の技術の高度化・精密化と橋梁の機能、条件が複雑化して発展を促した。Dr. Mike Schliachによれば以下のように分かりやすい定義がなされている。「ハイブリッド構造とは、単なる構造の複合ではなく、異なる構造が、それぞれの弱点を補い、特長を高め合うように全体で作用する構造を意味する。その点で、橋脚にコンクリート、桁にスチールを用いる一橋梁に異なる素材の要素で構成するミックス構造や、部分的に異素材を用いるコンポジット(複合)構造とは分けて考えることができる」²⁾。

ここで、ハイブリッド構造を考えると必要なのは、構造を3次元空間として捉える感覚ではなからうか。構造と空間が全体として働くような3次元の空間構造は、橋梁デザ

インの可能性を広げるであろう。さらに、周辺的环境特性、時間系を取り込んだ4次元的感觉もこれからの課題となるかもしれない。しかし、従来の設計手法のみ—上部、下部工で分ける考え方など—に拘泥している限りは期待の外であるし、日本独自の受け入れ難い状況があるように感じるのは筆者だけであろうか。

6. 橋梁デザインの展開 — J. Schlaichの作品に見る—

ここで、最初に述べたとおり、少し留まって今を見てみよう。ドイツの著名な構造計画家 Jörg Schlaichを代表とする構造エンジニアのチーム(以下、J. Schlaichで代表、敬称略)の橋梁作品群には、構造デザインの展開の一つの理想的と思えるデザインコンセプトとそのプロセスを見ることができのではないだろうか。典型的PC橋梁から外れる部分もあるが、PCを用いた橋梁ということで、話を進めたい。

J. Schlaichは、橋梁デザインについて語るとき、構造物の力の働き、つまり力の流れ、の明瞭な表現の重要性を何よりも強調する。さらに、構造物に働く圧縮と引張りの関係は表裏一体であると、簡潔な図を用いて示している²⁾。この考えは、古くはR. Hooke(17C)の理論に始まり、その後A. GaudiやF. Ottoの吊りシステムの実験モデルによって明らかに示された。物事には二面性があることを、つまり構造を考えるとき、常に一方向からではなく、相対的、空間的に捉えることを示唆していないだろうか。ここに取り上げるのは、逆ステイケーブル構造に着想した橋梁デザインの3例と、続いて、PCを導入した吊り曲線橋梁の2橋である。

まず最初の3例は、Kirchheimのオーバースパス(陸橋)の第一次案と第二次案(1987年~1993年)、そしてIngolstadtの道路橋(1996年~1998年)までのデザインプロセスである。前2例は、Ingolstadt橋のプロトタイプ(原形)と考えられ、どれもがStress-Ribbon(緊張帯)の逆ステイケーブルを用いている。

それ以前にも逆ステイケーブルの橋梁(Obere Argen斜張橋、その他)の設計を経験しているJ. Schlaichは、この逆ステイケーブル支持桁の構造的、同時に美的有利さを確信して、1987年の高速道路、Kirchheimのオーバースパスの設計で、3径間の逆ステイケーブル桁の第一次案を提案した(図-3)³⁾。当初は、桁下に2本の逆ステイケーブルが吊り下げられ、その上に載せられた支持材が床版を下から支える、

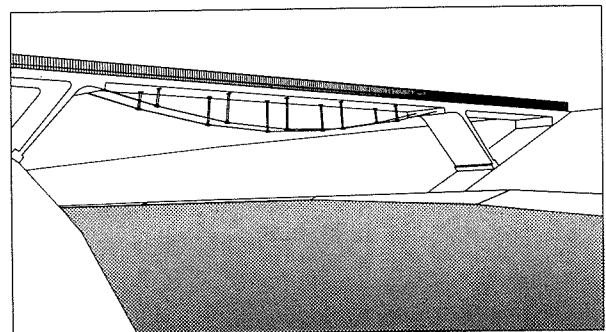


図-3 Kirchheimのオーバースパス、Stress-Ribbonのオリジナル案

一種のサスペン・アーチと言えるものであった。実現すれば、方丈のピアが支える中央径間には、吊りケーブルの作るカテナリー曲線が自然で軽快、優美な表情を作る橋梁となるはずだった。しかしその案は、ケーブルが道路の建築限界を侵しやすいこと、ケーブルの補修、交換などの作業の困難さ、不測の事態によるケーブルの損傷など、リスクの問題でこの案は退けられた。そこで、外ケーブルをコンクリートの中に収めてしまう代替案を提示し、採用された(写真-1)。それは、一体構造の力の流れく曲げモーメント図(図-4)⁴⁾を素直にかたちに表した純粋なPC橋となった。床版は非常に薄いソリッドスラブで、中央径間のセンターの部分のみ、第一次のオリジナル案の桁支材の機能を表すよう、数条の縦桁を通して、スレンダーさと桁下端の曲線を強調するようデザインを工夫している(写真-2)。「高

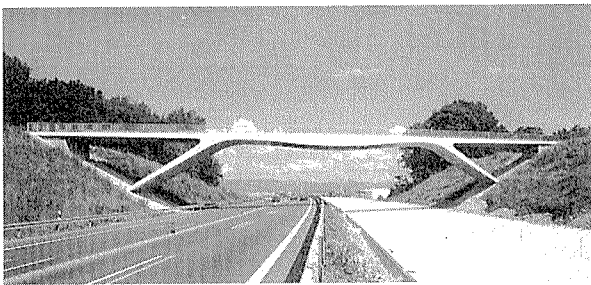


写真-1 Kirchheimオーバーパス

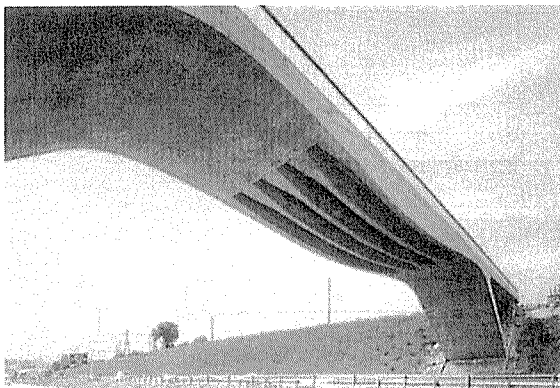


写真-2 Kirchheimオーバーパスの桁下面

速道路の従来のオーバーパスの退屈な、標準的なタイプに代わる軽快で、エレガントな、そして彫刻にも匹敵するものとなった」(J. Schlaich)。この橋梁は、かつて、L. Nerviによってコンクリート構造で、力の流れをそのままにかつ美しい表現で創られたシェルター(図-5)⁵⁾に匹敵するとして、高い評価を得た。

話を戻して、この2橋の間には、ケーブルシステムを主体とした第一次のオリジナル案から考えを進めて、第二次案の純粋PC構造の可能性にシフトしたところに、構造家の確かな立脚点、執拗な探求心、また虚心にして軽やかな視点の移動が見て取れる。実は、条件を満たすための妥協、だったかもしれないが、それより適切・実行可能な案に展開を図る前向きな姿勢には、良い結果をもたらすことに躊躇があるはずはない。1955年にすでに、J. Schlaichは、コンクリート橋の理想のかたちを心に描いていたと記されている⁴⁾。

Kirchheim オーバーパス設計の約10年後、更なる構造とかたちのデザイン展開と見られる、Ingolstadtの公園緑地内を流れるドナウ川に架けられた、橋長164m、中央径間76mの中規模の歩車道橋(1998年2月完成)に至る(写真-3)。J. Schlaichのご令息 Dr. Mike Schlaich がチーム・リーダーとなって、1996年、設計競技に優勝したものである。この橋梁について、M. Schlaich 本人の論文と解説によれば、Kirchheim オーバーパスからの影響は説明されていない。むしろ、吊り床版とラーメン橋のハイブリッド構造のコンセプトが強調されている。Kirchheim オーバーパスの先例に触発され、継承すべき価値あるものを見出す確かな目、更なるオリジナルなアイデアの取込み、展開、美しさの質の高さが加味され、斬新なデザインがあつてこそ評価されたものであろう。

橋梁全体は吊り橋梁の本来のもつ自然な力の流れを利用して、3径間の吊り床版橋を基本として、異種素材使用(コンポジット)のハイブリッド構造となっている。道路部は、自定式の Stress-Ribbon のケーブルと底面が突起状となった床版が一体となっている一次システムと、コンクリート床版と傾斜脚柱がPCラーメン構造をなしている2次システムとが複合している(図-6)²⁾。歩道部は、主ケーブルの形状

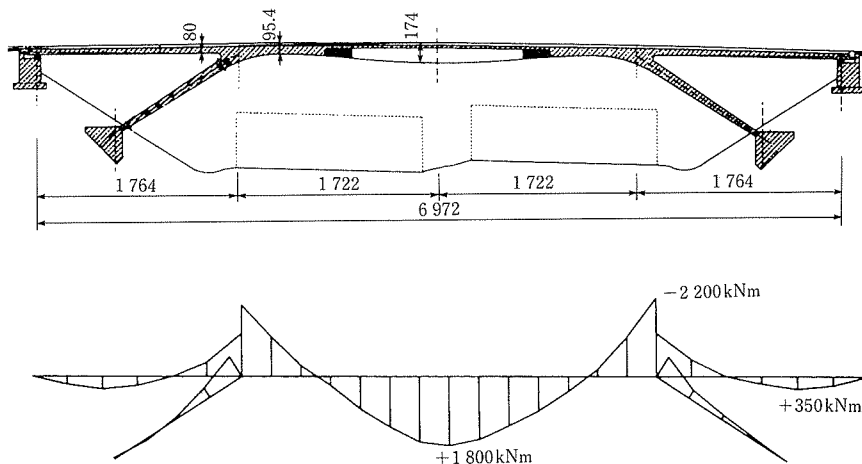


図-4 Kirchheimのオーバーパス、モーメント図に従って、力の流れを表したPC橋梁

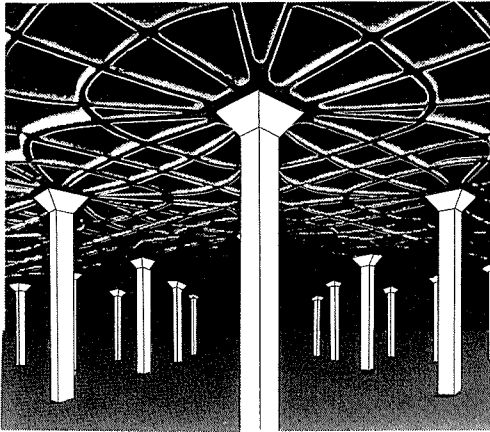


図-5 力の流れをかたちに表したコンクリートシェルター (L.Nervi設計)

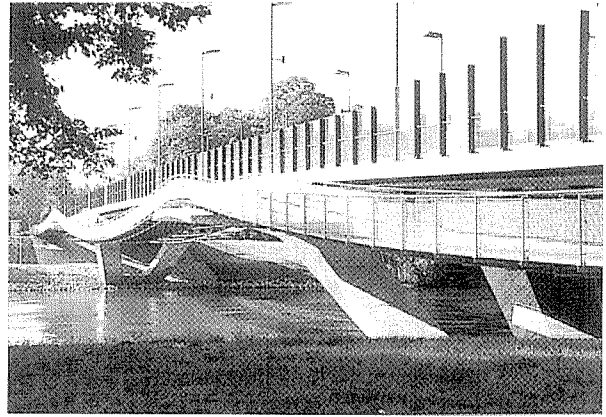


写真-3 IngolstadtのStress-Ribbonの歩車道橋

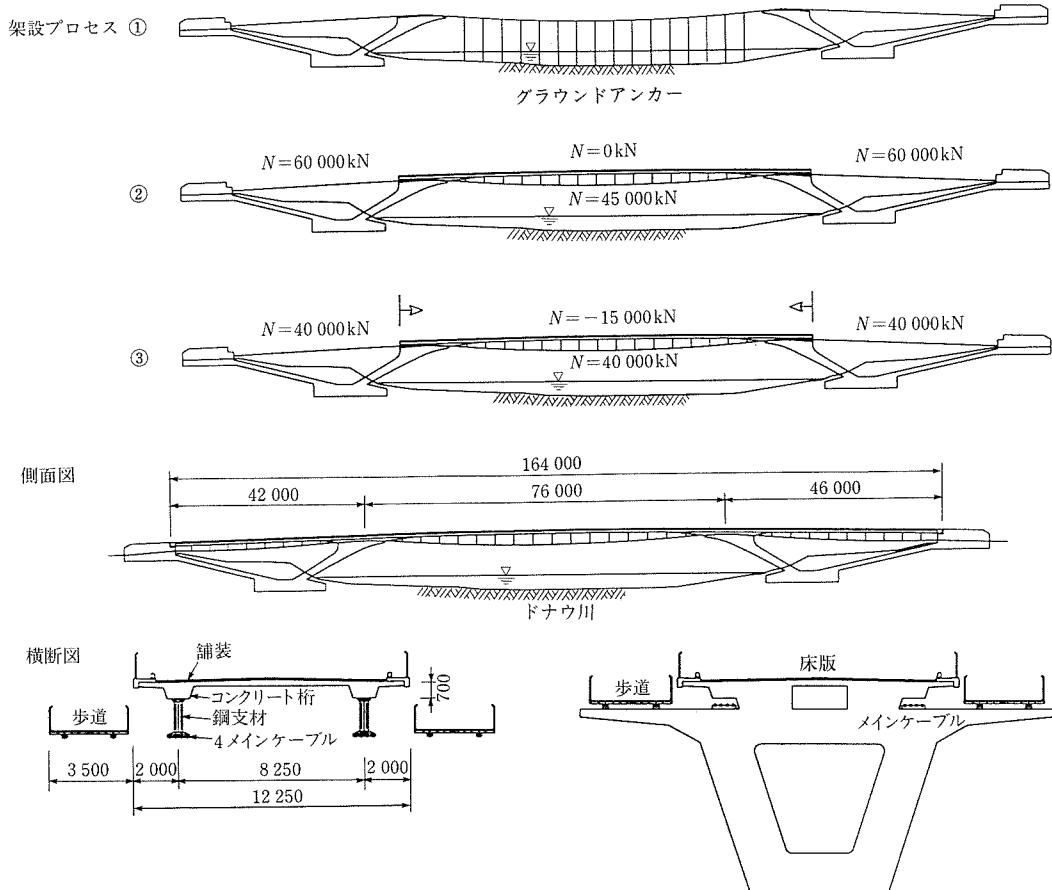


図-6 Ingolstadtの歩車道橋図

に沿って設置した吊り床版桁を、道路桁の両サイドに設けて歩車分離となっている。PC床版を用いている点はKirchheimのオーバーストと同様であるが、道路部デッキはプレストレスの効果をより高めるように力が働く。ケーブルとPCコンクリートの素材特性を最大限に生かして、少ない構造要素を大胆でトリッキーなまでに構成したデザインによって、複合機能と条件を満たしたものとなっている。やや複雑な構造の成立ちは、建設時の詳細な管理を必要としたようだ。その外観は、ケーブルの緊張感、透明感に対し、コンクリート部の力量感と流れるような骨組みが、プロポーションの良いシルエットに昇華されている。複雑な

だけにシンプルなディテールの苦勞は思いやられるが、緑の美しい公園と水辺に、優美な曲線が映え、道路橋と思えないほど、軽快でまた彫刻的な造形がユニークである。歩道のうねるようなスロープは、散策には楽しく、一般歩行者にはややきつく、サイクリストたちは楽しそうで、それでもなお、うらやましい環境に思えた。明快なコンセプト、高い技術の知識と経験の積重ね、美に対する認識、更なる創造精神、新たな構造形態を生み出そうとするパイオニア精神(情熱)、そして発想から計画、設計の全体を有機的に見据えたデザインが為せる業であろう。

次に、もう一つの例として、Kelheimの歩道橋とその発展

形のガラスの歩道橋を見比べよう。同じくJ. Schlaichによるメイン・ドナウ・カナルを渡る Kelheim の吊り構造の曲線歩道橋は、構造の斬新さと美しさでよく知られる(写真-4)。しかし、後に、J. Schlaich ご自身から、「あの橋は、自身アンハッピーなのだ」と聞かされたとき、しばらく何のことか分からなかったのであるが、昨年(1998年)再度、本人から直接話を伺いまた橋梁現地を訪ねる機会を得て、その理由がやっと分かったように感じた。それは、この橋の発展形とも言える、J. Schlaich によって新たにデザインされた橋梁に展開・明示されたことにその意図を確認できたからである(図-7)⁶⁾。この2橋については、ここでは誌面が限られているので、写真と図で両橋を比較する一規模と、架橋環境の相違に留意して一。どちらも曲線桁を一面のケーブルで吊る構造、曲線桁にPCを用いて、平面のアーチ作用を構成しているのは同じである。相互のデザインに見ると、構造の配置(傾斜タワー・独立単タワー)、素材構成の違い(コンクリート・ガラス)が意図したことの明らかに異なる意味合いと、表現として展開するのを目の当たりにした。ガラスの歩道橋では、ケーブルの張力(プレストレス)を最大限生かして、アーチのみか横梁に圧縮を導入して、桁の断面を削ぎ落とすことに成功している。橋梁の骨格となるほとんどの構造要素が透けて見ることができ、これほど、スレンダーで、透明感のある橋梁は、まれで未聞のことであろう。ただ、この橋が置かれている博物館内という

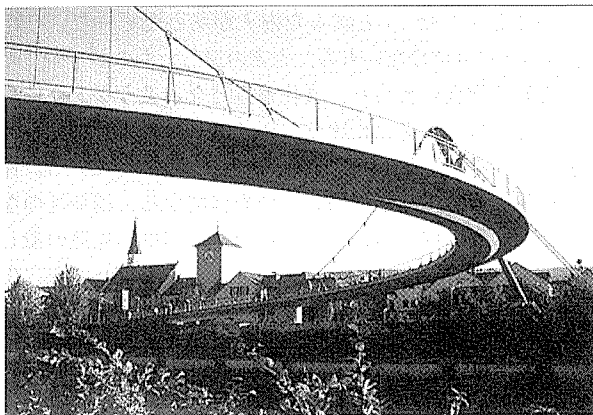


写真-4 Kelheimの曲線歩道橋

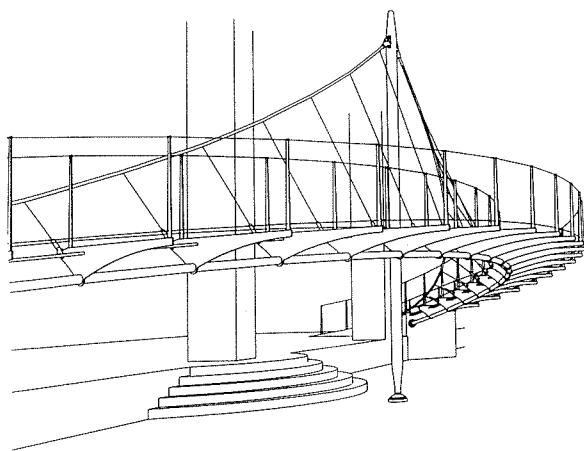


図-7 博物館内に展示されたガラスデッキの吊り・曲線歩道橋

条件のもと、「橋梁の成立ち、橋梁は生きていることを展示する」(J. Schlaich), の意図があつてのことである。

以上に見るように、J. Schlaich は、常に課題を自らのものとして、その課題をクリアにするために、いつの日かこれを実現・発展させる意思と創造的な情熱を燃やし続けているのであろう。時間の経過の長さではないが、当初の夢から、実現まで(J. Schlaich は、プロトタイプ(原形)と言う!) 25年、そして、最近の橋梁までさらに12年、理想を追い求め、成熟まで、創造性を持続・発揮するのは並大抵のことではない。その間のさまざまな構造デザインへの取り組み、達成、教育、社会への貢献まで考え合わせると、常人には程遠い話かもしれない。ただ、その姿勢に学びたいものだ。

7. 日本のPC橋梁

最後に、日本のPC橋梁について、少し触れておきたい。今、国内では、第二東名名神高速道路建設などのビッグ・プロジェクトもあつて、PC橋梁は多種多様な展開を見せている。とくに注目を集めているエクストラードロード橋梁は、構造コンセプトの提唱(1985年)をProf. J. Mativat (F) によっているが、1995年、小田原ブルーウェイブリッジで、世界初の完成を見た(写真-5)(余談であるが、構造家・E. Torojja は、工法こそ異なるがこれと同様の構造性能の水管橋を1926年に完成させている!)。PC構造の可能性にチャレンジし続けてきた、橋梁技術者各位の高い見識と長年の経験の積重ね、パイオニア・スピリット、そして完遂への努力その成果である。国内外の賞賛、評価を受けるに値するものとなった。

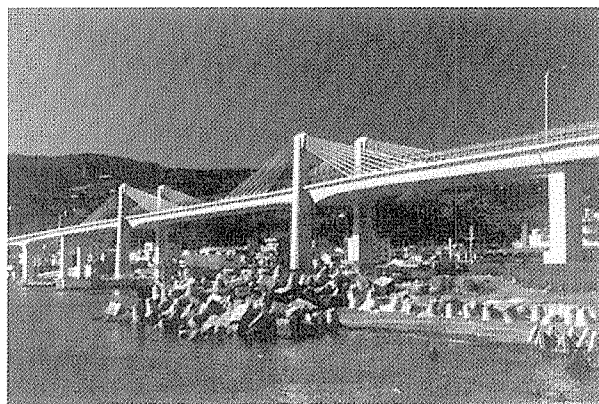


写真-5 小田原ブルーウェイブリッジ(写真撮影:春日昭夫)

このエクストラードロード橋梁の形式は、中規模スパンに対応すること、斜張橋よりタワーの高さ、ケーブル量を節約でき、経済性も管理性能も期待できる特性を備えている。デザインのうえでは、桁とケーブルの積載荷重の配分量の比率が多様に考えられるということでは、日本のように架橋場ごとに多様に変化する地形への対応、景観との調和においても、汎用性の高いPC橋梁形式と言えよう。小田原ブルーウェイブリッジ(前任事務所在任中に景観設計に携わる一筆者一)に始まったこの橋梁形式は、この数年の間に計画・建設数では優に十数橋を超え、最大支間長を更新し

続け、純粋PC橋から複合橋にまで、目を見張る速さで構造技術の面の展開、発展を見せている。しかしながら、デザイナーとしての筆者の印象では、生のままのデザインや、構造の美や環境への配慮が十分とは言えないものもあるように感じる。もうしばらくの成熟する時間、あるいは技術力に加えて創造性を発揮できる設計者の置かれる環境が必要なのではないかと思う。

また、1997～1998年、筆者は、エクストラドーズド橋の造形デザインに再度挑戦する機会に恵まれた。拙案で恐縮であるが、そのH橋（仮称・日本道路公団）の形状比較案をもって、その後、このタイプのPC橋梁のデザイン展開を目指した一例として紹介しよう。

図-8に示すH橋の計画は、九州の都市間高速道路が、小さな湾に面した漁村とそれを背にした山稜の中腹部、谷の上空を横架する橋梁として計画された3径間連続、最大支間長180m、谷からの桁高位置約40mのエクストラドーズド橋である。片側暫定施工の計画となっている。

最終採用案（図-8a）は、ほぼ対称性のあるスパン割り、タワーは力の流れに沿ったVフォーク形、桁は逆台形、ケーブルは輻湊を避けるためハープのマルチタイプである。技術的な検討もされて実行可能な構造デザインであり、抑制の効いた造形に昇華され、景観との調和も配慮されたものとなっている。その比較検討案（図-8b）は、採用はされなかったが、もう一步踏み込んで、架橋場の空間特性を考慮したもので、ややトリッキーとも見えるが、ある創案とデザインの経緯を踏まえた一案である。ここでは、桁は、深い谷底から約40mの高い位置にあり、桁下を通過する交通の建築限界条件は側径間にしかない。中央径間の桁下は、空間として十分利用できるのである。橋桁は、住宅地からは頭上高い位置にあり、両者の間を繋ぐ要素が何もない空間が残され、人々とはかけ離れたものとなってしまう。

構造の特性を考えれば、この形式はPC桁の桁内外ケーブ

ルの偏心量を桁外まで大きくとり、従来のPC桁の効率を高めたものと考えられる。そこで、PCケーブルの偏心量は、必ずしも桁上になければならないとは限らない。偏心量は桁下からサポートする支材を介して、行うこともできるはずである。そこでの利点は、プレストレス効果を高めて、少ないケーブル、やや低くできるタワー、桁高の減少、軽量化が期待されることであった。一番のねらいは、軽快で、スレンダーな印象を与える一方、構造が見えることで見る人に安心感を与えること、慎ましやかな山懐の自然・生活環境に与える影響を少なくし、うまく溶け込ませることであった。しかしここで問題は、構造解析、技術的な手法、施工は困難さが増すうえ、コストも嵩むであろうと予想されたことである。次の一步を示す比較デザインは、その時点では採用されなくとも、考えを進めるうえで意味あることである。

8. 過去・現在・未来 -文化資産-

今、こうして近い将来に思いを巡らし、何かを書けるのも、過去・現在・未来という時間・空間の中に我々が生かされていることが確認できるからである。立脚点を知らないでは後も先も推し量ることはできない。私たちの時代に作られたもの、また過去から未来に継承していくべきものを保存、修復、活用する思想、技術は、日本はまだ遅れているように思う。イタリアのある高名な建築家が、古い建物のリノベーション設計を行ったとき、「そんなに面白くないことをなぜ？」と言った友人があったそうだ。しかし、彼は「自分にはないもの、先達の遺したものから多くのことを知る機会が得られ、文化遺産となるようなものに、今の自分の視点で考えたオリジナリティと、今の文化を付け加えられることをたいへん誇り思った」と述べている。保存・修復と言え、何か古いものを修繕する、創造性のないことのように感じるかもしれないが、実は、先達の遺した貴重な社会的・文化的資産を継承し、積み重ねて今に生

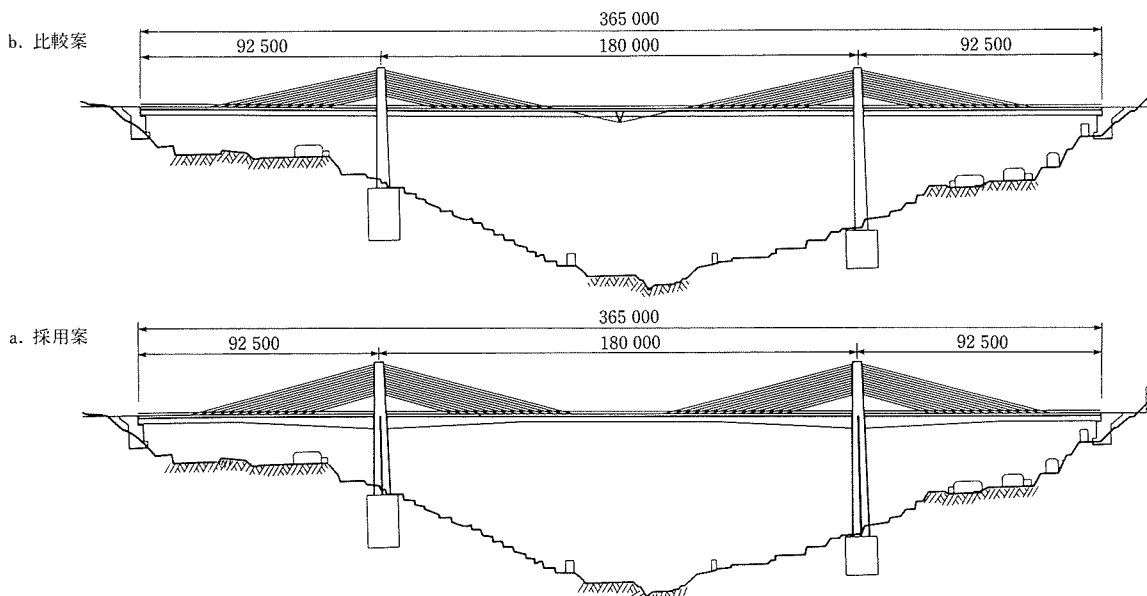


図-8 H橋デザイン比較案

かすときに、文化の質の向上も人のアイデンティティーの確立もあるのではなからうか。構造技術、素材、歴史、文化、風土、人と社会、美術の総合知識のある建築家・建設者が育って、これまで以上に日本独自の歴史・文化の継承に貢献してほしいと願う。

9. おわりに

以上述べたことから、やや飛躍があるのは承知して、要旨を以下にまとめてみよう。

9.1 PCおよび一般橋梁のデザインについて

- ① 構造形態は、力の流れに沿った3次元空間をかたち創る。
- ② PCのより効果的な利用を探る。
- ③ PCは、多様な素材と組合せが考えられる。
- ④ PCは、鉛直方向のみか平面方向、極言すれば全方向に採用できる。
- ⑤ ハイブリッド構造としてのPCの可能性は広く深い。

9.2 橋梁設計・デザインへの姿勢

- ① 理想を描く、理想の成果に近づく努力を惜しまない。
- ② 専門知識、経験の積重ね、設計者としての意志、情熱の持続、因習に拘泥されない柔軟さ、広い視野、創造性を発揮する。
- ③ マニュアル設計に革新性はないものとする。
- ④ 構造のリスクは避け、精神のリスクを恐れない、先例を作るチャレンジ精神と少しの遊び心を。
- ⑤ 一貫した設計コンセプト（理念）と手法が必須である。

- ⑥ 設計者自身が喜びとするものを提供し、人々と喜びを共有する。

以上、先に述べたとおり、「新たな展望」に十分応えるには至っていないが、多様なPCデザインへの道程、扉が遠く近く開かれることを期待したい。これを期に自らも不足を補って、橋梁設計・デザインの新たなチャレンジに向かって努めていきたいと心に銘じている。また、意見の違いや間違いのご指摘などをいただくことがあれば、感謝して受け止めたいと思う。

謝 辞

本稿を書くにあたって、日本道路公団九州支社、Prof. J. Schlaich, Dr. M. Schlaich, Dr. 春日昭夫の貴社貴兄に写真、図版、資料提供、使用許可のご厚意に与った。ここに記して感謝申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) ローランド・J・メインストン著、山本学治・三上祐三訳：構造とその形態—アーチから超高層まで、Developments in Structural Form, 彰国社, 1974
- 2) M.Schlaich Two Hybrid Bridges : The Ting Kau Bridge in HK and the New Danube Bridge in Ingolstadt, Germany, proceed. pp.164~169, The 2nd Int'l Symp. on Civil Infrastructure Systems, HK, 1996
- 3) J. Schlaich, R. Bergermann : Fuβ ängerbrücken, 1994
- 4) A. Holgate : the Art of Structural Engineering—The Work of Jörg Schlaich and his Team, pp.174~179, pp.188~189, pp.214~215, Edition Axel Menges, 1997
- 5) F・オットーほか著、岩村和夫訳：自然な構造体, SD選書201, 鹿島出版会, 1986
- 6) Schlaich Bergermann und Partner : Deutsches Museum München Fuβ ängersteg, Perspective Drawing, 1995, 1996

【1998年11月5日受付】