

# コンセプチュアルデザイン・構造デザイン ・ 歴史の統合を目指して

鈴木 圭<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 土木学会 (〒134-0081 東京都江戸川区北葛西 4-10-3,E-mail:4637imyc@jcom.home.ne.jp)

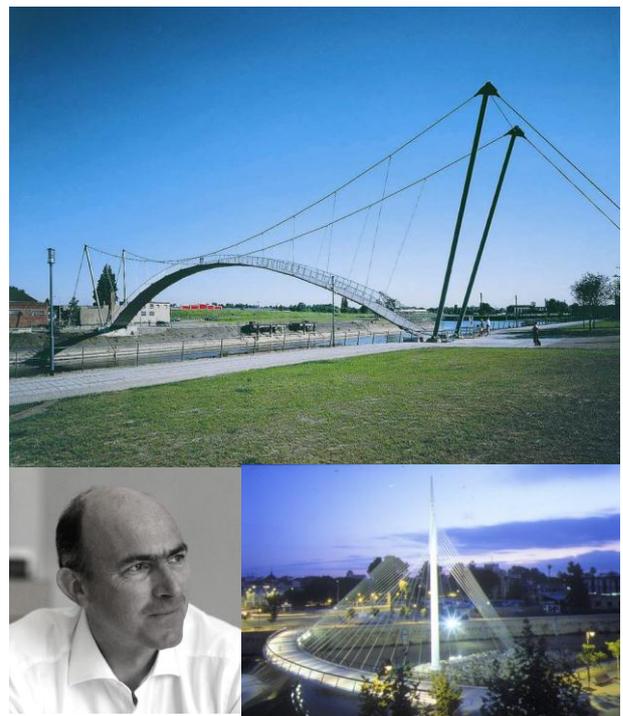
本文は、日本の橋梁デザイン教育のあり方について、著者がこれまで橋梁デザインを実践して得た知見、欧州における橋梁デザインの歴史、ドイツにおけるエンジニアリング教育の現状を踏まえて述べるものである。橋梁デザインにおけるエンジニア・アーキテクトの育成を目指して、大学初期の段階からコンセプチュアルデザインと構造デザインを同時に教えること、新しい橋梁デザインを提案するためには、エンジニアリングオリエンテッドが第一条件であること、橋梁デザインの歴史を理解すること、英語はもちろん、それ以外の語学に精通すること、歴史・文化を理解することがその要点である。

キーワード ; デザイン教育,橋梁デザイン,コンセプチュアルデザイン,構造デザイン,歴史

## 1. はじめに

橋梁デザインの実践と施工、橋梁の歴史を通じて得た知見と、現在のドイツのエンジニアリング教育に見られる転換と新たな挑戦を踏まえて、今後の日本における橋梁デザイン教育のあり方について私見を述べる。橋梁デザイン教育、構造工学におけるドイツと日本における大きな違いは、デザイン、構造を教える側が実務経験を有するか否かである。例えば、ミュンヘン工科大学のHerbert Kupfer 教授は、ディッカーホーフビイドマン社において、プレストレストコンクリート橋（以下PC橋と称す）で中央スパン200mを初めて超えたBendorf橋の設計者であった。シュツットガルト工科大学のFriz Leonhardt教授は、押し出し工法の発明家でありコッハータール橋（5径間連続PC箱桁橋）、パスコケネビク橋（PC斜張橋）の設計者であった。その後継者であるJoerg Schlaich教授は、自らSchlaich und Bergman 設計事務所を経営しながら、斬新な吊り構造形式の歩道橋を開発した。現在、ベルリン工科大学で教鞭をとっているMike Schlaich 教授は、橋梁構造を専門としながら環境や変動する荷重条件に適合するように自らの構造特性を変える「知能を有する構造」(Intelligenten bauwerks)の研究や、土木の分野を超えて可動する屋根構造 (Schwebende Daecher)の研究を行っている。

シュツットガルト工科大学やベルリン工科大学では、材料別に鋼構造、コンクリート構造というように教える方法を廃止し、1年生からコンセプチュアルデザインと構造デザインを同時に教える方向に変わろうとしている。その目指すところは鋼、コンクリート、ケーブル、ガラス等、すべての建設材料に精通したエンジニア・アーキテクトの育成である。つまり、このような状況で教壇に立つ側に求められるものは、建設材料の特性をよく知り、架橋地点の歴史・文化を理



写真—1 マイク・シュライヒ教授と未来の構造

解し、独創的なデザインを提案することが必要であることを、自らの経験をベースに語る事ができるエンジニアとなるであろう。橋梁デザインはエンジニアリングオリエンテッドでなければならないという私の主張は、特に、これから国際的な舞台で活躍しようとする若きエンジニアに向けたメッセージである。自分の考えた案が独創的であるか否かを評価するためには、土木の技術史、橋梁のデザイン史は不可欠である。それは極論すれば、これまでの100年間の構造物の歴史を知っていれば、自分の考えた案が、独創的なものな

のか、他のエンジニアの作品の物まねと言われるか自ら判断ができるからである。これは歴史を学ぶことに対するかなりバシッパな評価であるが、人間の発想力、失敗の歴史は、たとえ100年前の構造物であっても十分に現代に活かすことができる。文化・歴史を理解するには、英語は当然ながらフランス語、ドイツ語が理解できることは大前提である。現代はこれだけインターネットが普及しているため、外国語の言語能力の差は、そのままコンセプチャルデザインの質、構造デザインの独創性に現れるといっても過言ではない。果たしてこれだけのデザイン教育を日本で言い、それについてこられる若きエンジニアが出てくるであろうか。それは今後に期待することとして、ドイツのデザイン教育の転換と、コンセプチャルデザイン、構造デザインとは何かについて、以下に述べる。

## 2. Mike Schlaich教授の来日に際して

### (1) 2つの講演会に参加して

2008年10月22日、ベルリン工科大学のマイク・シュライヒ (Mike Schlaich) 教授が来日し、23日には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、続く24日の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) について講演された。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教授は、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 Bergemann 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の講座を持つアネッテ・ベグレ教授 (Dr. 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された。

この2つの講演会に参加して著者が感じたことは、土木を含め工学を目指そうとする若いエンジニアが減少しているという現実に対して、我々ベテランのエンジニア達ももっとエンジニアの育成に目を向けていかなければならないのではないかと、そのためには土木技術に捉われないこと、建築分野での軽量構造への挑戦、PC技術だけに捉われないこと、高品質の鋼材やケーブル等の組合せによって、新し

い構造物や構造形式にチャレンジしようとするエンジニアを育成することが必要ではないかということである。

### (2) 日本と海外の技術開発の比較

現在の日本のPC技術は橋梁分野で見ると斜張橋、エクストラード橋、波形鋼板ウェブ橋等の橋梁形式が普及し、複合構造、外ケーブル構造、プレキャストブロック工法等の組合せにより構造物の耐久性の向上やコスト縮減に多大な貢献をしてきたといえる。しかもその品質は世界のトップレベルにあるといっても過言ではない。しかしながら、これらの技術、または全体システムを最初に発明し、発展させたのは、どこの国の誰なのか、何がきっかけでその技術が生まれたのかという問を改めて考えてみたい。エンジニアリングの世界では、新しい技術が発明されるとその特許権が発生し、それを使用するには相当の対価を支払って特許実施権を購入しなくてはならない。例えば、プレストレッシング技術について見ると、フランスから導入したフレシネーシステム (1928年特許取得)、ドイツから導入したディビダーク (DW) システム (1935年特許取得) やDW式張出し架設工法 (1950年出願、1964年特許取得) を使用するには、特許実施権をこれを発明した組織に対して実施料を支払うことがビジネスの慣例である。ここで、オリジナルの特許が出願された後に、これに関連する特許を取ろうとすると日本のお家芸である応用特許、または架設工法や構造詳細に関する部分的な特許を取ることしか技術を独占する道はない。プレストレッシングシステムの特許はシステムに関する「0から1」の発想であり、DW式張出し架設工法は工法に関する「0から1」の発想といえる。1980年代にフランスではSETRAにおいてヴィルロージュ教授 (Michel P. Virlogeux) が中心になって開発を進めた波型鋼板ウェブ橋、外ケーブル橋、コンクリートトラス橋 (写真—2) は、構造形式に関する「0から1」の発想である。これらはフランスが国家戦略として新しいPC橋梁の開発に係わったものであったといえる。何故なら、これを世界に普及させることによってより多くの利益が得られるからである。1988年アメリカのヒューストンで開催された外ケーブル橋の会議において、ヴィルロージュ教授は、すでにフランスは実験段階を終え、長大コンクリート橋を建設する上で一般的な方法になったこと宣言している。



写真—2 クェートのBubiyan Bridge (1983年)

1989年当時、日本ではデビダーク鋼棒を使ったPC橋の総数は約780橋であり、若きPC技術者の一人としてデビダーク工法を發明したドイツ本国よりもその使用実績が多いことに誇りを感じたものである。しかし、逆の言い方をすれば日本はあまりにPC鋼棒にこだわりすぎたという反省とその理由として「0から1」の技術を持っていなかったという点を指摘しておきたい。日本で外ケーブル橋が本格的な道路橋として適用されたのは四国縦貫道松山ICに隣接し1997年に完成した重信高架橋である。橋長1.901m、7連の連続ラーメン箱桁（4～6径間）と2連の連続箱桁（5径間）でプレキャストセグメントを制作し、外ケーブル併用によるスパン・バイ・スパン工法で架設された。このようにPC橋の技術開発の歴史を比較すると、日本が出遅れたことは否定できない。課題は、今後いかにして「0～1」の発想をビジネス化するのか、そしてそのヒントはどこにあるのかということである。

### (3) 「0から1」の発想とコンセプトデザイン

「0から1」の発想をビジネス化することに得意な国はフランスである。著者は欧州における鉄筋コンクリート技術の歴史の変遷を研究したところ、鉄筋コンクリートを植木鉢や花瓶、水槽に利用する特許は1867年にフランス人のモニエ（Joseph Monier, 1823～1906）によって取得され、1884年にこの特許実施権がドイツのフライターク社を含む合同企業によって取得されている。ドイツはこの技術を大学の材料試験所で徹底的に研究して鉄筋コンクリートの実用化と理論化に貢献する。つまり「1～10」の理論化、実用化が得意な国がドイツである。この特徴は百年経った現在でも変わっていない。フランスにおいて大きく異なる点は「0から1」の発想をモニエやエネビク（Francois Hennebique, 1842～1921）のように個人でビジネス化するか国家戦略としてビジネス化するかである。

ヨーロッパと日本における知的所有権に対する考え方の違いは、前者がこれまでの常識では考えられなかった現象を実現するアイデアに対して特許権を認める傾向があるのに対して、後者では特許の詳細部分に対して詳述しないと特許が取りにくいという傾向がある。日本の場合は、その装置の内部構造のどの部分がこれまでの技術と異なるという類である。しかも特許取得期間は一般に前者の方が早い。従って、日本では構造系や全体システムに関する特許を出そうという意識やモチベーションは応用特許を出そうとする意識に対して、低くなりがちである。「0から1」の独創的なアイデアを考案したら、ヨーロッパに特許を申請して日本を適用国として指定することも一つの方法である。

一方、橋梁デザインという観点から見ると、周辺環境に適合する新しいデザイン（形、構造フォルム、システム）を提案することを意識し、環境と全体構造系との関係を考えようとする。これがコンセプトデザイン（Conceptual Design）であり、2005年に出版されたfib公報32号の「歩道橋デザインのガイドライン」に示す考え方である。自分の考えた案が独創的であるか否かを評価するためには、土木の技術史、橋梁のデザイン史は不可欠なものである。それは極

論すれば、これまでの100年間の構造物の歴史を知っていれば、自分の考えた案が独創的なものなのか、他のエンジニアの作品の物まねと言われるか判断ができるからである。つまり、新しい競争の時代に入った現代こそ、そこで闘っていくためには土木史、橋梁技術史、デザイン史に精通することは、創造性を湧かしたる源泉になるだけではなく、新しい構造物を全体系として実現できるという自信を獲得することに繋がると考える。とりわけ橋梁分野においては、エンジニアリングがベースであることはいままでもない。その上でいかに新しい構造を考えることができるかが、現在のドイツの大学教育の目標であり、Conceptual Design and Structural Design（コンセプトデザインと構造デザイン）の早期導入という考え方である。ベルリン工科大学でこの講座を担当するシュライヒ教授について以下に紹介する。

## 3. ベルリン工科大学での新たな取り組み

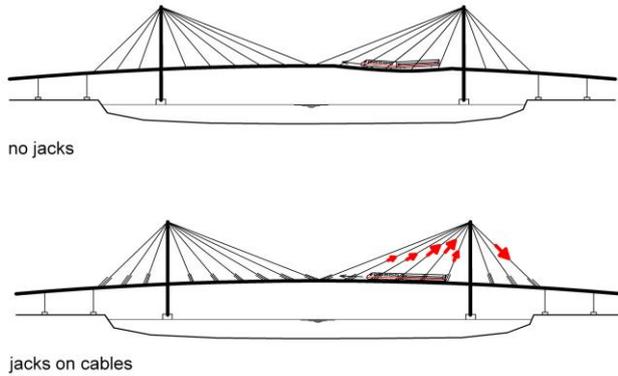
### (1) ベルリン工科大学での挑戦

シュライヒ教授は2004年10月、ベルリン工科大学のEntwerfen und Konstruieren Massivbau（土木工学 設計・建設科）の教授に就任し、橋梁構造を専門としながら環境や変動する荷重条件に適合するように自らの構造特性を変える「知能を有する構造」（Intelligenten bauwerks）の研究や、土木の分野を超えて可動する屋根構造（Schwebende Daecher）の研究を行っている。さらに、建設材料として鋼、コンクリート、ケーブル、ガラス、木をそれぞれの建設環境や構造条件に適合させるべく自由に使い、構造耐力、安定性、耐久性を確保することは勿論のこと、サステナビリティ、エコロジー、交換可能性をキーワードとして、より多目的で多様な構造物を創造するエンジニア教育を行っている。

従来の設計概念では構造物はパッシブ（Passive）な構造物として扱い、構造耐力、安定性、耐久性を確保するように設計することが求められたのに対し、この考え方は、荷重に対してそれに適合するようにアクティブ（Active）に機能する構造物、様々な環境に対して適合していく構造物を研究するものである。これらの研究は、1957年に軽量構造研究所の所長に就任したフライ・オットー（Frei Otto）等によって「自然の構造物」（Naturlichen Gestalten）に新たな造形の可能性を求めたことに始まり、そのエンジニアリングの系譜を受け継いだものだといえる。図—1はシュライヒ教授がアクティブに応答する斜張橋のイメージを例にして解説したものであり以下にその内容を示す。

従来の鉄道橋の設計では、床版の許容変位量によって設計が決まり、たとえケーブルの容量が荷重に対して十分であっても、ケーブル、または床版の剛性を上げて変形を小さくするが、これは性能とコストの対立を招くことになる。

「将来のアクティブな鉄道橋システムでは、ケーブルの両端部に設置したジャッキを制御して、列車が橋を通過する時には、床版の変位を最小にするために、ケーブル張力は列車の位置に応じて連続的に修正される。列車の乗客は快適性を得るとともに、構造部材に作用する荷重分布は最適な状態に近くなる。このシステムでは軽量なケーブル



図—1 アクティブな吊り形式の構造

や床版にすることができる。つまり変形をゼロにすることによって、仮想的には剛性を無限大にすることができるのである。」

私達の受けてきた土木工学科の授業を思い起こすと、コンクリートの教授、プレストレストコンクリートの教授、鋼構造の教授というように材料別にそれぞれの理論を教わり、構造解析もまた流体と固体によって別々の理論を学んできた。恐らくそうした分化が、建設市場にも影響を与え、コンクリートを専門とするゼネコン、鋼材を専門とするメーカーというように対象とするマーケットが明確に分けられてきたといえる。シュライヒ教授は、このような現状に対して、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。

「しかし、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のである。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) がいかにトータルにコンセプトデザインを行うかということを求めてくるのである。」

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 (Werkstoffübergreifend) 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。

## (2) シュライヒ教授の経歴

シュライヒ教授と日本との関係は2002年に大阪で開催された第1回fibコンgresに参加され、景観のセッションで講演を頂いたのが始まりである。また、2005年11月に出版されたfibの公報32号、「歩道橋デザインのガイドライン」の責任者であり、土木学会の研究成果を竹内きょう氏の協力を通じて反映させて頂いた。シュライヒ教授は、1960年に父イェルグ・シュライヒ (Joerg Schlaich) の長男としてアメリカで生まれ、1981年にシュツットガルト工科大学を卒業後、塑性設計に興味を持ちチューリッヒ工科大学に入学、85年から89年まで同大学のチューリマン教授 (Tuerlimann) の助手

としてコンピューターサイエンスの研究を積んだ。1990年から93年の3年間はスペイン、マドリッドにあるFHECOR構造設計事務所で構造エンジニアとしての経験を積み、93年からは父上の経営するシュライヒ・ベルグマン設計事務所の構造エンジニアとして参画した。また、1998年、香港で竣工した橋長1177m、全幅員42.8mの4径間連続複合斜張であるティンカウ橋 (Ting Kau bridge) の設計監理を経験されている。

## (3) コンセプチュアルデザインと構造デザイン

コンセプチュアルデザインについて、すでにシュツットガルト工科大学においてイェルグ・シュライヒ教授 (Joerg Schlaich) と、クルト・シェーファー教授 (Kurt Schaefer) が1990年代の初めに「構造物のコンセプトデザイン」と題したワークショップを導入した。1996年にはウーリケ・クールマン教授 (Ulrike Kuhlmann) と共に、「コンクリート構造」や「鉄骨構造」という名称を廃止し「設計・建設科」という名称に変更し、シェーファー教授と共に、「建設材料を総合的に把握する学科」

(Werkstoffübergreifend Lehre) というコンセプトを導入した。著者は1996年にシュツットガルト工科大学で開催された「構造物のコンセプチュアルデザイン」と題する国際会議に参加したが、これが世界に対して、ドイツの土木工学教育の方針を提言したものであった。現在もこの考えはヴェルナー・ゾーベック教授 (Werner Sobec) やクールマン教授に引き継がれ、さらに発展している。

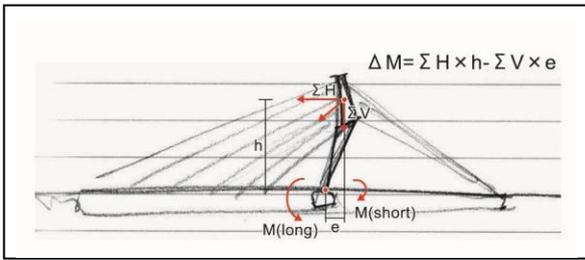
非対称の斜張橋で主塔が短スパン側に傾斜した構造系を考えたシュライヒ教授のデザイン案をもとに、構造物の設計プロセスを解説すると以下のように4つのプロセスに分けることができる (図—2)。

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」ことを構造コンセプトとして表したスケッチである。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  $\Sigma V$  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  $\Sigma H$  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。

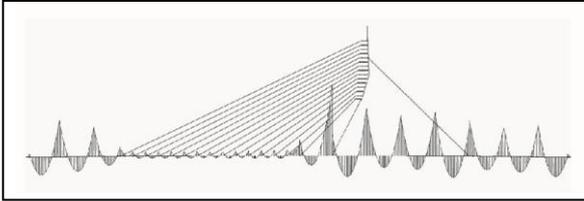
モデリングする：構造コンセプトをもとに、解析モデルを作成し、作用する荷重を設定して、ケーブル張力、曲げモーメントを算定する。

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。



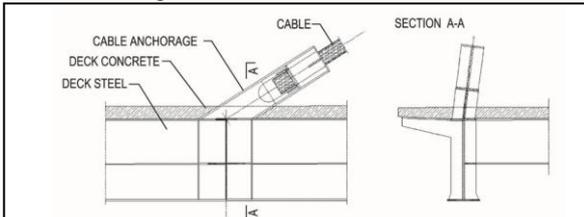
(1) **Conceiving** / 構想する.



(2) **Modeling** / モデリングする.

Backstay cables	Max N [kN]	Working stress [MPa]	No. of strands (A=150mm <sup>2</sup> 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—2 コンセプチュアルデザインのプロセス

コンセプトデザインとは、(1)の構想する段階のことであり、この段階において構造的な知識が無くてはこのような主塔を傾斜させ、かつ主塔の付け根を絞り込むアイデアは生まれません。つまり、新しい構造フォームを考案することは、同時に構造の安定性、力の釣合い等、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生まれたのである。以下にシュライヒ教授のエンジニアリング教育の信条を述べた言葉を引用する。

「私達が学生に対して本当の構造工学を提供しようとするならば、コンセプトデザインと構造デザインを同時に教えることが必要であり、以下に示す考えを伝えなければならない。構造はコンセプトデザインの段階で生まれるものであり、後になって解析、形状決定及び施工が困難になったりするのは、不十分なコンセプトデザインが原因である。土木・構造エンジニアは、自分の考案した構造に対して、文化的社会的責任がある。建築設計においては、土木・構造エンジニアは建築家にとって応力を計算

する人ではなく、パートナーである。基礎理論(数学、構造学、構造解析、コンピュータサイエンス、材料科学、建築物理学、土質工学及び、マネジメント)に関する深く豊かな知識無くして、現代に相応しい構造物のデザインは不可能である。構造デザインにおける応用理論の例を以下に示す。

(1) 現代の吊り橋、軽量屋根構造のように、軽量化し、変形・振動しやすい構造に対する空力学的解析。

(2) 形状決定解析や、自由形状の屋根やシェル構造に挑戦すること。例えば、インテグラル橋(支承、エクスペンションの無い橋梁)を対象とした支点沈下、クリープと乾燥収縮、温度変化の影響を考慮したモデリングを行う。

(3) より拡大した状況を踏まえ、持続可能性、ライフサイクルに関する問題を全体的に検討する。

(4) 構造物(橋、塔、長大スパンの屋根等)の視覚的品質に責任があるのは、私達エンジニア自身である。この責任に応えるためには、コンセプトデザインと構造デザインについて、独自の教育スタイルを持つべきである。この教育法は演繹的な科学技術的知識に元づいて、帰納的な創造力を育てるべきである。」

#### 4. 橋梁デザイン教育の発展に向けて

将来の日本の橋梁デザイン教育の発展に向けて、著者の意見を以下にまとめて述べる。

##### (1) 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、私達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。

##### (2) 「0から1」の新技術を考えるために

日本のPC技術の奇跡を可能にした背景にはPC技術協会の出版活動の果たしてきた役割が大きい。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してきたことによって、技術者相互の技術の向上が図られたからである。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。今後とも国内の技術情報のみならず、海外、特にフランス、ドイツの情報にも注意していく必要があると考える。そのためには、英語以外に、ドイツ語、フランス語も習得することを心がけて欲しい。

### (3) 橋梁デザインの目指すべき方向

将来の橋梁技術は益々、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必要がある。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。

- a. 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)
- b. 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, エクストラドーズ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

- 1) aci, MP. Virlogeux : External Prestressing from Construction History to Modern Technique and Technology, pp.1-60, 1990.

- 2) 土木学会, 鈴木圭 : 欧州における鉄筋コンクリート技術の歴史的変遷, 土木史研究論文集, pp.1-13, 2006
- 3) BetonVerlag, Hans Wittfoht : Building Bridges, pp.108-118, 1984
- 4) fib, Mike Schlaich, Guideline for the design of footbridges, pp.3-6, 2005
- 5) マイクシュライヒ教授ジョイント講演会 2008 実行委員会, 岡田章: Mike Schlaich, 講演会リーフレット, 2008

【2008年12月12日受付】