

美しい橋梁を設計するための技術者教育（後編） – Educating Engineers to Create Good Looking Bridges (Part 2) –

著：Paul Gauvreau, prof., Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, Canada.pg@utoronto.ca
 訳：会誌編集委員会海外部会

5. プラクティカルブリッジ (Practical Bridge)

橋梁の多くがプラクティカルブリッジ，すなわち施主が視覚的印象を創造する特別な目的のために資金を分配していない橋梁である。そのため，プラクティカルブリッジは装飾や構造的自己顕示が欠けていることが多い。それは確かにプラクティカルブリッジの施主がこれらの橋梁を見た目の悪いものにしようとしているとは推論できない。むしろ，施主がこれらの橋梁がどのように見えるかについてとくに注視していないと述べたほうがより正確といえる。

プラクティカルブリッジは視覚的な印象を創造する特別な内容の橋梁に費用を使うことはないという，唯一の基準をベースに分類されている。構造的な効率，経済性および外観などのあらゆる品質が橋梁を分類するのに考慮されていない。そのため，多くのプラクティカルブリッジは，非効率なものから効率のよいもの，高価なものから経済的なもの，外観の悪いものから魅力的なものまで幅広い範囲の工事を含んでいる。

写真 - 7 に示す橋梁はプラクティカルブリッジの一例である。4車線にもわたる単径間オーバブリッジである。その構造系は平行に配置されたプレキャストコンクリート I 桁と場所打ちコンクリート床版からなり，力学的に安定化させた土留壁から構成される橋台に支持されている。それは明らかに装飾もしくは構造的自己顕示の痕跡が残っていない。

概して，相対的に高い桁高だけでなく橋梁の全長に及んだ頑丈なコンクリート高欄が，視覚的な重苦しさを与える要因の一つとなっている。橋梁の外観は，よくいっても平均的で，この橋梁の設計者もしくは施主が橋梁の見られ方を気にしていたという目に見える痕跡が残っていない。この橋梁の欠落は，視覚的なインパクトが多

く潜在していることに矛盾している。この橋梁は，何百もの運転者が構造物の下を通過するため，毎日運転者によって見られ，かなり目立つ存在となっているまさに晒される作品であるといえる。

この橋梁により得られる視覚的印象は「安物買いの銭失い」という諺と一致する。言い換えれば，その施主が積極的な視覚的印象を創造するためにとくに費用を使わなかったためこの橋梁の外見は平均的である。この論理の妥当性はある。しかしそれは豊かで美的意義をもつ少数ではあるが，多くのプラクティカルブリッジには適用できない。

写真 - 8 に示すロベールマイヤールが設計した Salginatobel 橋はこの種の橋梁に代表される。そのアーチ支間は 90 m，3 ヒンジコンクリートアーチ橋で深い渓谷に架橋している。短い側径間は主径間の片側に配置されている。橋梁にまったく装飾や構造的な自己顕示の痕跡が見当たらない。本稿における定義によれば，Salginatobel 橋はプラクティカルブリッジであるといえる。

この橋梁はもっとも美的な品質をもつ作品である。その外観は目立っているがバランスもとれている。そのスプリング部とアーチクラウン部が薄く 1/4 点で厚くなっているアーチ形状は特徴的であり，最初の印象的な特徴としてすぐに目立つ。この橋梁が 80 年以上も前に建設された事実にかかわらず，そのアーチ形状は新鮮で近代的な印象を与える。しかし，そのアーチはとげとげしくもアンバランスなものでもない。この構造系だけがこの渓谷に架橋するために建設することができたという印象を受ける。その際，安定性や力強さの感覚を深く伝達される。これは芸術作品の技術者や学者によってその外観について称賛され研究されるわずかな橋梁の一つである。

Salginatobel 橋はその構造系の外観を通して視覚的印象を創造する。この点において，構造的自己顕示を具体化



写真 - 7 Single-Span Overpass, Canada



写真 - 8 Salginatobel Bridge, Switzerland.
Design: Robert

しているプレミアムブリッジに類似している。同様に、構造形式が視覚的印象を創造するための第一の手段として使用される。類似点はここまでだが、構造的自己顕示を使用するプレミアムブリッジの視覚的印象は荷重伝達を考慮しないため、アンバランスで過剰であることが特徴である。そして、いつも費用がかかるのもそれが要因である。Salginatobel 橋はこれらの特徴をもたなく、まさにプラクティカルブリッジそのものである。

6. 教育内容

以降、本稿では橋梁の外観の改善を目指した技術者のカリキュラムの強化について議論する。このカリキュラムの変化から生じている潜在的な利益を最大限に生かすために、この効果について、プラクティカルブリッジのみに焦点を当てることを推奨する。この焦点は、全面的に橋梁の外観を改善する強化案の可能性を限定する意志・予定ではない。最近の橋梁はプラクティカルブリッジが大半を占めている。施主がプレミアムブリッジの比率を著しく増加させることは理論的に可能であるが、これが近い将来に起こりうる兆候はない。ある年に、大量に建設されたプラクティカルブリッジは視覚的印象が著しく重苦しい作品ばかりである。写真 - 7 に示すオーバーブリッジはこの種の橋梁の一例である。これらの橋梁では、外観への深い配慮がつねに保証され、技術者がこの品質提供に関連する課題に取り組むために実現可能な戦略をもつ必要がある。

プラクティカルブリッジの技術的な焦点は、結果を達成するために特別にお金を費やすことなく、橋に視覚的な品質を与えることである。はたから見ると、これを無から何かを得る無益な試みとして解釈するかもしれない。写真 - 8 の Salginatobel 橋に示されるように、美観性の高いプラクティカルブリッジを設計する力を開発し、焦点を当てることは実に合理的である。

カリキュラムからプレミアムブリッジを除外することを推奨し、かぎられた時間で工学生を教育するため、利用できるリソースを最大限に活用できるようにした。プレミアムブリッジの設計を支配するのは、一般に、実際の橋梁に関連するものよりも複雑であり、通常、これらのより複雑な要件を満たすには、他の職業に属する知識

および技能が必要である。たとえば、構造的自己顕示を用いて視覚的印象を創造する場合、主要構造部材の配置と寸法は、もはや合理的かつ効率的な力の流れを確立するために選択されておらず、むしろ、抽象的および象徴的な形の純粋に視覚的な特徴をもつことになる。技術者は前者の課題については、効果的に処理する方法を予測できる。なぜならば、力の流れはこれまでの知見から判断できるためである。しかし、後者のような抽象的で象徴的な視覚形式を整理するという課題は、技術者の知見の枠外にある。写真 - 5 のような、野生動物を描いたパネルのデザインのような明らかに些細なものでさえも、技術者のカリキュラムには含まれない。現在のカリキュラムを維持しながらプレミアムブリッジを作成する技術以外の側面についても、信頼のおける教育をするためには、カリキュラムを大幅に長くする必要があり、実現の可能性はほとんどないと考えられる。

7. プラクティカルブリッジにおける美的品質の起源

プラクティカルブリッジがどのように見えるかを改善するためのカリキュラムの強化は、特定のプラクティカルな機能を実行するために必要なものだけを利用できるような作品で、視覚的な品質をどのように作り出すかを明確に理解することに基づいていなければならない。このような理解を得るため、豊かな美観性で広く認識されており、かつプラクティカルな橋であるマイヤールの作品をみてもよい。

ピリントンによると、マイヤールの作品の本質的な特徴は、効率性、経済性、そして優雅さであり、これらの特性は密接に関連している。経済性と優雅さをマイヤールの設計努力を推進する目標とすると、効率的な構造がこれらの両方の目標を達成できる手段であった。効率的な構造により、実用的な要件が最小限の材料で満たされ、経済性が確保される。構造はオリジナルで、調和のとれた形状をしており、これにより、マイヤールは追加投資をすることなく優雅な作品を作ることができた。

しかし、現代の橋梁設計者にとって、効率性、経済性、そして優雅さの関係を自らの作品で示すことは困難であった。写真 - 9 に示す橋梁は、そのジレンマを表している。この橋はI型のプレキャストコンクリート桁、現場打ちコンクリート床版および中央の複数列の橋脚からなる構造を有している。コンクリート構造における効率に関する決定的な尺度はないが、コンクリートおよびPC鋼材量は、他の実現可能な桁構造と同様であるため、これを効率的な構造と考えることは妥当であると考えられる。カナダの大半の地域では、高速道路を跨ぐ橋のもっとも経済的な構造であると一般的に考えられており、多くの場合に選択されている。この橋梁の外観はよくいっても平凡であることは明白である。通常この形式の橋梁の視覚的観点については克服し難い課題である。コストを増やすことなく視覚的に改善することは難しい。この構造選択の背景にある根本的な理由を破ることになるからであ

る。そのため、これらの事実とその他多数の要因のために、効率性、経済性そして優雅さという理想を体现する橋梁を設計することは非常に困難となる。

このジレンマは、橋梁の建設における経済の2つの異なる解釈に由来する。写真 - 9 の高架橋設計者らは、数ある選択肢のなかでもっとも安価な既存の構造形式を選択することで、もっともコストの低い選択肢を見つけた。この構造は、50年以上にわたり、ごくわずかな変更を加えながら、実際に使用されているが、マイヤールは、Salginatobel 橋（写真 - 8）において、現在知られているすべての代替案よりも安価でかつ根本的に新しい構造形式を生み出すことによって同じ問題を解決した。高架橋設計者らが設計した橋は新しいアイデアではなかったため、現状よりも経済的にはそれほど優れていない可能性があるが、マイヤールは現状から大幅に逸脱した新しいアイデアを生み出したため、現状と比較して追加の経済的価値を創造することができた。

美観性の問題に関連する経済的な橋梁を設計することはあまりないが、新しいアイデアを通じて経済的価値を創造するのがマイヤールのアプローチであった。マイヤールの新しいアイデアは、大胆な視覚的材料を生み出した。そのため、マイヤールの橋の美的意義は、現状と比較し、経済的価値を高める新しいアイデアに由来する。

この関連性はマイヤールのみ固有のものではなく、視覚的な品質を備えたプラクティカルな橋梁設計を望む設計者が実際に做うことができる。ここ数年の間に新しいアイデアが橋梁工学に比較的ゆっくりと入ってきたが、それは新しいアイデアがなくなったからではない。人間の創造力は限界を知らない。それゆえ、工学の基本的な公理として、技術者は過去に開発された技術よりも優れた技術を創造し、同様の問題を解決することがつねに可能となる。現状を改善する新しいアイデアを創造することは容易ではないが、技術者にとって創造的な努力を必要としない既知の解決策を提案することは容易なことである。しかしながら、工学における社会への基本的な貢献は創造的な仕事を行うことである。言い換えれば、工学が社会にもたらす最も重要な利点は、つねに既存のものを複製することではなく、新しいアイデアを通じて価値を創造することである。新しいアイデアを実践するためには、つねにリスクが伴うこととなる。橋梁の場合、予想外の変状から生じる人的および財政的損失の可能性

は大きい。同様の条件の箇所に、過去に做った橋を建設することは、社会から新しいアイデアの恩恵を奪うものであるが、リスクを最小限に抑え、長期的には良い方向性であるということもできる。しかし、この見方は、工学の本質を理解していないことを裏付けるものとなる。工学が他の創造的な職業と区別されるのは、技術者が科学の関連原則を習得したということにある。工学の設計手順における科学の役割は、与えられたデザインに従って構築された創造物が適用可能な要件を満たすことを実証することである。この検証は、机上で確認することができる。すなわち橋梁の供用が開始され、人命が危険に晒されるよりもずっと前に確認することができる。このことは、物理現象を正確かつ確実に予測する科学的原理によって可能となる。それゆえ、新しいアイデアは、未知のものへのリスクのある課程である必要はなく、むしろ、新しい価値を創造するために考えられ、リスクを許容範囲内に保つことを保持するために検証されることとなる。したがって、ピリントンによって提唱された効率性、経済性、優雅さという理想は、経済が現状と比較して経済的価値の増加として理解される場合のみ做うことができるということを理解することが、高品質のプラクティカルブリッジを設計するための鍵となる。確立された選択肢のなかでもっともコストの低い選択するだけで経済を達成することは、プラクティカルブリッジを作るための効果的な基礎とはならないが、現状と比較して付加的な経済的価値を創出する新しいアイデアは、新しい視覚的表現のための必要条件を作り出すため、プラクティカルブリッジにおける美的意義の起源とみなすことができる。このような新しいアイデアを具現化する橋梁を、本稿では「優れた橋梁」と呼ぶこととする。

8. 教育方法

学生に実用的で美しい橋梁の設計方法を教えるには主に2つの課題がある。一つ目は、経済的な価値を高めるための新しいアイデアを取り入れて現状の問題を改善するような優れた橋梁の設計を教えることである。新しいアイデアが無ければ、設計者は既存の構造形式の視覚的な可能性の限界に縛られることになる。2つ目の課題は、美的意義を有する橋梁に対する新しいアイデアの可能性に取り組むことである。なぜなら、優れた橋梁を設計するための学習は、美しく実用的な橋梁の設計に必要な条件



写真 - 9 Two-Span Overpass, Canada

を満たしているからである。もし学生が価値を創造する新しいアイデアを組み込んだ橋梁を設計する方法を最初に学んでいない場合、美観的な設計の要素を伝えることには意味がないからである。優れた橋梁を設計するうえで最初に重点を置くことは、景観を重視するような教育やそれを目的とするような装飾的な過程による結果ではなく、むしろ技術領域での美点から分離できない過程を通してのみ到達できるということを強調することが、工学系学生を説得するうえで重要だろう。美しい橋梁の設計の基礎を教育することに加えて、優れた橋梁を設計するための教育をすることは、社会にとって実質的な経済的利益をもたらすだろう。技術者が写真・9のオーバブリッジのような、数十年もほとんど変わっていない構造形式を設計し続けるかぎり、新しい価値を生み出す橋梁から生じる利益を社会から奪ってしまう。

優れた橋梁を設計する技術者に育てるためのカリキュラムに必要な要素は、知識・技能・価値である。

ここでいう知識とは、新しいアイデアの作成と検証の過程で用いられる概念的な要素を意味する。現在のカリキュラムでは多くの知識に重点を置いているが、一般的に欠けている重要なトピックの一つは、完成した橋梁に対する詳細な知識である。創造的な努力が必要なあらゆる分野において、完成した作品の体系的な研究は、確立された教育手段である。

研究は質の良い橋梁について行わなければならない。研究対象の橋梁には、旧式の技術を使用し、美的な表現がほとんど無く、多くの地域で建設されているような(写真・9のオーバブリッジのような)橋梁は含めてはならない。これらの研究では構造解析が必要となるが、意図は、単に構造解析の演習ではない。学生たちにとってより重要なことは、主要な構造と構成要素の定義をもたらしたもっとも重要な設計上の意思決定を特定し、その理由を理解し、さらに橋梁の改善方法を見つけることである。

完成した橋梁の詳細な調査は、学習過程のすべての段階をサポートする知識の体系を与えてくれる。たとえば、カリキュラムで学んだことの意味の重要な背景や批判的な感覚を得るための基礎、また自ら設計する際の有益な出発点となる。

技能とは、利用可能な知識を新しいアイデアに変換する概念的な道具である。教えなければならないもっとも重要な技能は、ドローイング(Drawing): 作画と新しいアイデアを検証する手段として科学的原理を使用することである。

ドローイングは創造する過程において、技術者が利用できるもっとも強力な道具である。アイデアを現実にする主な手段として、アイデアを紙に描きとめることは、設計を実現するための最初のステップである。あまり重要なこととして取り上げられることはないが、ドローイングは設計者の心の中の新しいアイデアを創造するための効果的な手段である。ドローイングと創造性との関係性については多くの論文がある。また、ドローイングと

創造性は右脳に依存していることも事実である。もし学生たちが設計過程の道具としてドローイングを学んだ場合、彼らは、必然的に創造的に考えるようになるだろう。

しかしドローイングは教えなければならない。学生たちはどのように書くのかではなく、描くことに集中できるように十分な技術的能力を身に着けなければならない。想像力(心で見ていること)によって描くことは、現実(目で見ているもの)によって描くことよりも、より設計過程に密接している。手作業やコンピューターなどの手段は2次的に重要であるが、フリーハンドによるドローイングの習得は、設計過程の初期段階における手段としては、コンピューター技術(CAD)よりも優れている。

2つ目に重要な技能は、新しいアイデアを検証するために科学的原則を使用することである。科学の原則はすでにカリキュラムのかかなりの部分を占めているが、これらの原則の適用は、一般的な部材寸法の決定や複雑なコンピューターモデルを使用した力と変位の計算を含む標準的な演習に限定される傾向がある。これは、未知のものを扱う手段として、科学技術の原則を使用することに対する適切な講義を受ける機会を生徒に与えないということである。代わりに、それらの橋梁のなかで新しいアイデアを有効にするために、科学的原則がどのように使用されたかを検証するのに、前述した完成橋梁の参考資料を使用することができる。学生は、自分の設計演習や業務で開発した新しいアイデアを検証することに挑戦することができる。重要なことは、一般には必要とされない高度に複雑な検証ではなく、むしろ科学的原則の基礎を単純で合理的に適用することである。

近年では、計算値が設計における良し悪しを判定する基準として参照される。現在のカリキュラムにおけるこの問題に対する考察は、通常、荷重による応力が許容値内であることを制限するものである。しかしながら、将来の橋梁の設計者はつねにより複雑な設計要求事項を効果的に扱う手段を必要とする。これは完成した業務の研究を通して教えることができる。学生は、うまくいったことと、よりうまくいったことの区別がつくように自らの批判的センスを発達させる必要がある。最高の作品でさえも改善することができるという感覚を学生に与えることは、新しいアイデアを通して価値を創造する機会が無限であるという事実を彼らに納得させることにつながる。

優れた橋梁は必ずしも美しい橋梁というわけではない。むしろ、優れた橋梁は美的意義のある業務のなかで有能な設計者によって形作られた基本的理念を具現化している。この基本的理念による視覚的な優位性を学生に教えることは、経済的価値の増大を意図した設計を教えるよりもはるかに挑戦的で困難である。この課題には簡単な解決策はない。実用的で美しい橋梁の設計を学生に教えることは、構造形式とプロポーシオンを正しく理解し、また優れた橋梁と美しい橋梁の関係を理解し、若い学生の才能を引き出すことができる教育者に預けられて

いる。これを念頭に置いて、これらの課題に対する効果的な解決方法を開発するのに役立つ提案がなされている。

優れた橋梁を設計するためのカリキュラムの多くは、美しい橋梁の設計を教えることに適用可能である。創造の過程で主要な道具として必要とされるドローイングの技能は、設計上の意思決定における視覚的な影響を実証するうえで役立つ。ドローイングをする習慣を身につけた学生は、構造形式やプロポジションに関するセンスも大幅に改善されていることがわかる。完成した橋梁の標準的な構造を慎重に研究することによって発達した批判的なセンスは、景観に関する意思決定と同様に経済的価値に関する意思決定においても同様に適用される。良く発達した創造的能力は、経済的価値を高めるという目標のための新しいアイデアを開発することと同様に、優れた景観設計に関連する課題に対しても適用される。要点は、学生達の創造的努力が必要とされるかにかかわらず、彼らの創造的な能力を発達させることである。

優れた橋梁に美的な形状を付加するという課題のなかで経済的価値を生み出すためには、創造的な視点を維持しなければならない。学生達は、美的な問題が支配的になって、経済性をおろそかにしてしまわないように教育されなければならない。したがって、教育者たちは、ピリントンがいうところの構造芸術 (structural art) としての橋梁工学における偉大な作品を参考とすることを勧めない。将来の橋梁設計者が自らを芸術家と考えることは、純粋に美的な問題に対して焦点を当てる可能性を増加させ、それは実用的な橋 (プラクティカルブリッジ) を過剰に装飾した橋 (プレミアムブリッジ) に変えてしまう可能性がある。「構造的にも視覚的にも厳密に制限されているにもかかわらず、真に美的な性格を備えたまれにみる高い技術」としての最高の橋梁の特徴は、つねに創造的な先駆者であり、実用的な機能の優位性を認められ、さらに有用であることである。

9. 結 論

プラクティカルブリッジの美観を向上させる基本的な課題は、基礎的な橋梁技術に経済的価値を付加させる新しいアイデアを提案することである。新しいアイデアの導入には、これらのアイデアを創造する能力と需要の両方が必要である。本稿では、技術者の教育方法を向上させ、新しいアイデアを生み出す能力を高める方法について、いくつかの考えを概説した。

新しいアイデアの着実な需要を創出することは、厳密には設計者の手を離れているため、それ自体が課題である。しかし、多くの場合、新しい橋梁を委託する公共の管理者は、技術者である可能性が高い。もし彼らが設計者と同様の高度な教育を受けていれば、現在の多くの管理者より新しいアイデアを受け入れる傾向がある。さらに、新しいアイデアの質が継続的に良いものであれば、それらの利益を受けている人々を公に否定することは、管理者にとってますます困難になるだろう。

当然のことながら、カリキュラムの強化を提案することで、新しい世代の橋梁設計者をマイヤールの信者にするようとは企てていない。むしろ、謙虚にはあるが、すべての橋梁の経済的価値と美観の向上を成し遂げることが目的である。さらに重要なことは、カリキュラムの変更の提案により橋梁設計の文化に根本的な変化をもたらす、社会により優れた美しい橋梁を提供する技術者の育成が期待されていることである。

This article was first issued in SEI (Structural Engineering International), 2016, Volume 26, Number 3, page 198-206

*: 会誌編集委員会海外部会
横田 剛 (㈱ピーエス三菱)
田中 慎也 (㈱IHIインフラ建設)
濱崎 景太 (首都高速道路㈱)
森田 遼 (鹿島建設㈱)
佐藤 千鶴 (㈱銭高組)

【2017年2月21日受付】



刊行物案内

第44回 PC技術講習会テキスト

生産性向上へむけたPC技術の展開

平成28年6月

定 価 6,000円/送料300円

会員特価 5,000円/送料300円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会