

美しい橋梁を設計するための技術者教育（前編） – Educating Engineers to Create Good Looking Bridges (Part 1) –

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

本稿は、美観性の高い橋梁を設計するために、設計者の技術力を向上させる教育方法の改良を目指し、その具体策を提案する。橋梁は二つに大別される。機能性の要求に加え外観にも資金を充てた「プレミアムブリッジ (Premium Bridge)」と、一般的に建設されている、実用性を重視した「プラクティカルブリッジ (Practical Bridge)」である。本論文では、教育方法を改良するにあたりもっとも大きな効果が期待できる手法として、プラクティカルブリッジに対しても美観に優れた設計を実現させることに着目した。今回、新しく提案する教育方法では、実用的且つ美観性の高い橋梁の設計を学ぶための基礎教材を考案し、新たな経済的価値も生み出すことができた。本稿は、未来の橋梁設計者の技術向上に伴い、経済価値を付加した具体案を提案し、これを推奨するものである。

キーワード：美観性、プレミアムブリッジ

1. 序 論

橋梁の外観は重要なものである。見る人に良い印象を与え暮らしを豊かにする一方で、見た目の悪い橋梁はそれと正反対の効果をもたらすことがある。橋梁は、一部の特徴だけが目立ってしまうと、他の建設物に比べて外観に大きく影響する傾向がある。橋梁は大きさ、形状、材料など視覚的要素が多く存在するためである。それらの要素はつねに周囲に対し目立つ存在であり、すなわち橋梁の印象を決定するのは他のどんな要素よりも外観であるということを示している。例をあげると写真 - 1 に示す橋梁は、写真全体の比率としては小さく写っている。しかし、その色彩や形状が周囲から逸脱しているために写真内で存在が際立っていることが見て取れる。

加えて、橋梁は高度な性能を有していることから、耐久性に優れ、長期的な維持が可能な印象がもたれている。これは何十年の間、橋梁が一定の場所に在り続けるためであろう。写真 - 1 の橋梁は、1930 年から現在までほぼ形を変えていない。風景の中の橋梁は、一時的なものではなく、むしろ一人の人生よりも長く大きな影響を周囲に与えているといえる。

橋梁の視覚的印象というものには長期的かつ強い印象を人々に与えることを考慮すると、橋梁の外観はきわめて重要なものであることが分かる。したがって、まずは高い美観性を有する設計の手法を確立すべきである。しかしながら、そういった事例はきわめて少なく、一部の例外を除いて橋梁の外観は、平凡な形状が最良の状態であるといわれている。つまり設計者は通常、外観に関してほとんど、あるいはまったく考慮していないということである。このような現状は、橋梁の技術者だけでなく、一般的にもよく知られている。高い美観性を有する橋梁を創造できる手法が、未だに見つからずにいるのである。

このような状況に関連する事実として、多くの技術者

が橋梁の美観性を考慮した設計手法について、正しい教育を受けられないという問題がある。もし、美観の重要性を広く認識させていくのならば、設計者に対して十分な教育を受けさせる必要がある。このことから、本稿では橋梁設計者の能力を向上させ、未来の技術者育成および実用性と高い美観性を兼ねた設計法を確立するために、設計者の教育方法の改良を提案した。



写真 - 1 Salginatobel Bridge, Switzerland.
 Design: Robert Maillart

2. 教育現場の現状

一般的に、意匠について正式に取り扱っている科目はほぼ存在せず、教授たちはときおり、講義において調和の重要性等の平凡な解説のみに留めるのみである。学生向けの課題設計は、設計と意匠の統合を学生に学ばせる理想的な手段でなければいけないはずだが、現在ではその主旨をもった機会はほぼ失われている。こういった課題において、講師があらかじめ構造形式の定義を制限している場合があり、学生の創造する機会を潰してしまっている。ごく一部（100 点満点中 5 点程度）は、「意匠」の観点から評価を受ける場合もあるが、「意匠」だけで

は質の良い仕事を生み出す因子としてはやや物足りない場合が多い。そのため通常は設計としての純粋な技術面と、個人の主観で評価してしまう美観性の二面に完全に分離した状態になっている。

美観を考慮せず、排他的な理論や分析を鵜呑みにして従ってしまう学生は、本物の技術者とはいえない。こういった学生が増えている現状を打開するには、講義で教授が教える範囲で補えるものではない。近年の教授ら自身が、自らが任意で決めた範囲以外を勉強せずに研究開発にばかり専念しているためである。教授の多くが、美しい橋梁を創造することに興味をもたず、学生に対して美しい橋梁の設計方法を教える能力をもっていない現状を考慮すると、とくに驚くべきことではないだろう。

完全とはいえないがある程度適切な教材は存在し、講師が基礎を教える際に使うことがある。メンやレオンハルトといった著名な設計者は、自らの橋梁のテキストに美観性を取り入れる手法について、実践的な提案をしている。しかし、その手法はあまり包括的とはいえず、むしろその手法を用いた結果、重大な美観の欠陥をもたらす設計に繋がることになった。例をあげれば、メンはそれが本当に美観性の向上に貢献するかを詳細に議論せずに、美しい橋梁の重要な特性として透明性を提唱している。写真 - 2 のように過度に透明化を図った構造は、美観に優れているとはいえず、逆に説得力に欠ける作品になってしまった。



写真 - 2 Ponte Gov. Nobre de Carvalho, Macao

ピリントンの著書および論文では、構造芸術としての土木技術について多数論じている。構造芸術は、彫刻術や建築学とは異なるものであるが、それらにも共通する性能として効率性、経済性、優美性があることを明らかにしている。ピリントンは、卓越した技術力と美観性は、同じ作品に共存し得ることを証明している。このことは、技術力はすべてが計算に基づくものであり美観性は技術力に矛盾するという誤解を払拭した。そして著名な設計者らによる作品の分析を通じて、学生たちのインスピレーションを刺激する貴重な教材を製作した。しかし、いまだに設計者が実際に直面する課題に対する具体的な指導方法や、設計時の構造形式の選び方を教える基礎的な手法はほとんど世にでていない。その理由としては、ピ

リントンの著作を読んだ意欲ある設計者も、それらを達成する具体的な手法もなく理想のみを示されたために挫折してしまったことにある。

3. 橋梁設計の現状について

橋梁というものは、大前提として、ある障害物の上を通行人や車両を渡すための実用的な機能を果たすために造られるものである。近年の橋梁設計において美的要素がどのように扱われているのかを述べる以前に、この基本的な機能を満たしている必要がある。本稿では、橋梁を二つの主要な特性によって定義づける。その特性とは、どのような見た目なのか（その橋梁がどのような視覚的印象を与えるか）、どのように機能するか（所要の機能をどのように果たすか）である。

橋梁は、陶器や家具といった美術品と共通の特性をもっているといえる。これらも、どのような見た目か、どのような機能をもっているかの両方によって定義づけられるからである。われわれは陶器や家具の形を眺めて楽しむことはできるが、陶器は水を貯める、家具は座る人の体重を支える機能をもっていなければならない。このような考え方に従うと、橋梁は絵画や彫刻といった美術品と同類ではないといえる。なぜならこれらの作品は実用的な機能はもっておらず、どのように見えるかだけが重要な特性であるからだ。

建築歴史学者のカールコンディットは、橋梁は絵画や彫刻とは基本的に違うものであり、美術品としてはみなされないと主張している。コンディットは、美術品は単に美しさではなく、「何階層にもわたる象徴的な解釈」によって定義されると述べている。これらの階層にわたる解釈とは、彫刻や絵画の大作から読み取ることができ、それらは数多くの学術論文によって示されている。コンディットは、橋梁にはそのような内容に富んだ解釈は含まれておらず、絵画や彫刻のような美術品と別物であると主張している。実際に、橋梁は実用的な側面が強いので、ある橋が「どのように機能しているか」は確認できるものの、「製作者の意図」までは明確に確認することはできない。

ある視覚できる物体の3次元幾何形状から、どのように見えるかを定義づけることはできる。その形状自体に機能との関連があろうとなかろうと、見た目と機能には関連性はある。そのような関連性が存在するとき、ある物体のもつ実用的な機能について考慮することなく、ある物体の視覚的印象を理解しようとする、その理解は不完全なまま終わるであろう。たとえば写真 - 3 に示す橋梁をみると分かることだが、放物線状に配置されているケーブルは強い視覚的印象を与えるが、この形状は単に見た目で決まったものではなく、荷重を効率よく支える機能をもたせるために決まったのである。

本稿では、「橋がどのように見えるか」と「橋がどのような機能を持っているのか」との関連性について、「金額」を用いて述べている。橋梁工事は通常公的資金を用いて行われる比較的高額なものである。そのため、ある



写真 - 3 George Washington Bridge, USA.
Design: Othmar Ammann

橋に対してどれだけの資金を費やしたのか、支出に対してどの程度利益があったのかを考察することは適切である。ここでいう利益とは、ある橋が与える視覚的な印象である。橋は2つのグループに分類される。視覚的な印象を創造するために公的な資金を費やしたものと、そうでないものとの差である。視覚的な印象を与えるために追加投資された橋を「プレミアムブリッジ」と呼び、視覚的な印象のために追加投資されなかった橋を「プラクティカルブリッジ」と呼ぶ。ある橋梁がプレミアムブリッジとプラクティカルブリッジとどちらに分類されるかを判断する際、財務書類を参照する必要はない。橋梁についてのある程度の知識があれば、一般的に視覚的な特徴だけで分類できる。両グループの特徴を詳細に説明する。

4. プレミアムブリッジ (Premium Bridge)

プレミアムブリッジは視覚的印象を主に二つの方法で作っている。装飾品と構造的自己顕示とである。装飾品とは、視覚的印象を与えるために構造物上に追加されたもので、荷重が増える以外で構造上の機能を果たさないものである。装飾品がなければ、その橋はまったく別物に見えるだろうが、本質的な機能は同じである。たとえば写真 - 4 に示すのが、装飾品付の橋である。主塔の外装には複雑な石工が施されており、両端にはライオンの彫刻が設置されている。1849年に造られたこの橋は、



写真 - 4 Chain Bridge, Hungary

プレミアムブリッジが最近になって見られるようになった事象ではないことを証明している。

装飾品は、昔かつての外観を再現するためや、周囲の地域にとって重要なシンボルとの視覚的なつながりをもたせるために、現代の橋にも引き続き用いられる。写真 - 5 に示すのが、交通量の多い高速道路の上に動物を渡すために建てられた橋を示す。おそらく橋が造られた目的をドライバーに知らせるために、その橋を渡っていると思われる鹿や熊、そのほかの動物が描かれたコンクリートのパネルが設置されている。これらのパネルは、橋の実用的な機能に影響を与えないので、容易に省略されていたかもしれない。



写真 - 5 Wildlife Overpass, Canada.
(Source of image: Ministry of Transportation of Ontario)

視覚的印象をつくるために投資された公的資金は、構造形式そのものに対しても用いられることもある。それは視覚的な可能性を発展するため、構造物としての機能を保持しつつ、意図的に荷重の伝達経路を長くしたり、間接的なものにしたことである。これらには、独自性、大胆さ、目新しさといった印象を与える意図がある。本稿では、このような方法で視覚的印象を与えることを「構造的自己顕示」と呼ぶ。

実用的な機能を果たすために必要な荷重の伝達経路をより長くすることは、一般的に必要以上に径間を伸ばすことを含んでいる。径間が長いということは、単にその長さによる美しさだけでなく、主塔やケーブルを用いたりすることで見栄えのいい新しい構造形式の可能性を広げるので、大胆な視覚的印象を与える。写真 - 6 にそのような事例を示した。桁下の低い、1本鋼材によって支えられた径間長 206 m の河川橋である。橋長がほぼ同じの古い橋に隣接した位置に架けられている。古い方の橋は4径間のアーチ橋である。古い方の橋の構造形式と比較すると、新設橋がもつ長い径間長には確かに大胆さという印象がある。

これら2つの橋には、本質的には同じ実用的機能もっている。すなわち、乗り物や歩行者を川の上を渡すことである。この2つの橋が建設された時期の間に、新しく長い径間の橋を架けなければならなくなるような船舶交通の変化はみられなかった。2つの構造物が近接して



写真 - 6 Hongshan Bridge, China. (左) 全景、(右) 桁下より

いるので、これら2つの線形の地質的な条件は本質的には同一である。そのため、新設された橋でも、その線形に沿って河川内に橋脚基礎を建てることは可能であった。車線数や設計活荷重の違いは、この議論に関連性はほとんどない。なぜなら、これらは径間割付を決定する重要な要素にはならないからである。そのため古い方の橋が隣接していることが、4径間連続構造の方が、新設橋の長い径間の構造よりも実用的機能面で適していることや、1本鋼材の斜張橋にするよりも経済的であることを示す、明確な証拠となっている。新しい方の橋がもつ長さ206mの径間は、実用的な機能に貢献しない過大な追加投資があったことを示している。完全に視覚的な印象を作るために資金は費やされたのである。

写真 - 6 に示すような斜張橋もまた視覚的效果による間接荷重伝達経路を使用する影響を示している。片側のみに斜材ケーブルが配置された高く傾いた主塔は視覚的印象が確かに強烈であり、主塔の大断面の寸法による力強さと片側のみに配置された斜材ケーブルの存在によるアンバランスさを感じさせる。しかしながら、斜材ケーブルの配置は、主塔自体により張力の水平成分を抵抗しなければならぬことを暗に示している。設計者は、死荷重による斜材ケーブルの張力と釣り合いを成り立たせるために、主塔の傾きと自重を活用している。片側のみに斜材ケーブルを配置して傾いた主塔に働く軸力は張力の鉛直成分の合計より大きく、釣り合いが主塔の重量を見込むことによるのみ成り立たせることができるため、この配置は垂直な主塔の両側に定着された斜材ケーブルを用いた従来の構造より効率的ではない。これは効率的な配置よりも主塔断面を大きくすることが重要である。

このような間接荷重伝達経路付近の力の流れを作ることはいつも効率とはかぎらなく、費用を追加する機会が多い。直接荷重伝達経路が1次構造部材に影響を与える場合、直接荷重伝達経路システムに対しての費用の増加が著しい。間接荷重伝達経路は、実用的な機能を果たすために、橋梁の性能を強化していない。間接荷重伝達経路で必要となった追加費用により特定の視覚的效果が創造に関連しているだけである。

プレミアムブリッジは市民の意識に強く植え付けられている。これはたくさんの都市の景観で有名になったことや一般のメディアで報道されたためであるが、これにもかかわらず、実用的な機能に関連した要求を満足する必要があり、さらに視覚的印象を創造することに費用をかける橋梁の施主はめったにいない。結果として、プレミアムブリッジはある年に建設された橋梁の総数でごく少数の比率であった。

※ 2号へと続く

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
 佐藤 千鶴 (株) 銭高組
 横田 剛 (株) ピーエス三菱
 田中 慎也 (株) IHI インフラ建設
 濱崎 景太 (首都高速道路 株)
 石井 優 (鹿島建設 株)

【2016年12月22日受付】