

招待論文

鋼橋技術と技術者の役割

TECHNOLOGICAL ADVANCE IN STEEL BRIDGE AND ENGINEER'S ROLE

長谷川 諭一*

BY Shuichi HASEGAWA

In modern bridge construction, steel bridge offers the best advantage because of their ability to span longer distance with lighter members and aspect of prefabrication of steel will make faster construction speed in any combination.

During the last decade, however, precast-prestressed concrete systems for middle span bridge have gained popularity and acceptance as aviable alternative to pure structural steel or reinforced concrete systems. Further development of steel bridge in the field of design, fabrication and erection has to do with application to a variety of forms and economicl systems.

The role requested for steel bridge engineers is also discussed.

1. まえがき

構造物は、その性能が使用目的を充分満足していること、そして耐力および一定期間の耐久力が保証されることが必須の条件であり、また、土木構造物は、多数の人々の目に晒されるので、視覚的に優れたものであること、並びに振動・騒音など環境に対する配慮も必要である。われわれ鋼橋の技術者には上記の諸要素を満たす中で、経済的に鋼橋を設計、施工することが求められている。

近代の科学技術の発展は、鋼材・コンクリートの高強度材の開発、使用を可能にした。また、人類の造形の夢、即ちより長く、より高く、あるいはより巨大にの飽くことのない要求を実現すべく努力が続けられており、極めて近い将来には2000mを一跨ぎする長大橋の出現も現実のものとなりつつある。橋の基本形式である桁、アーチ、吊橋の何れについても各国共、年々長大スパン化を競い合う様になっている。このような長大橋梁の場合には、衆知が集められ、あらゆる面から技術的検討が行われ、また視覚的にもそれ自体が雄大で地域のシンボルの存在となり易いため、デザインの上でもそれなりの工夫が凝らされており優れたものが多い。

それに対し、中小支間橋梁では全体として実用重視の傾向が強く、特に鋼橋の場合には製作上から断面構成の制約を受けるためかI桁橋、あるいは箱桁橋に限定され、特色のある橋は少ない。また、それらも標準化の傾向があり、安易に取り扱われたものも多いように思える。

* 工博 株式会社 横河橋梁製作所 常務取締役 (〒108 東京都港区芝浦4丁目4番4号)

鋼橋とコンクリート橋の相対比較については、従来から種々の議論がなされ整理もされているが、何れが優れているかの結論は出ていない。しかしながら、ここ数年のP C橋梁技術の向上で鋼橋の牙城と考えられた長大支間橋梁へもコンクリート橋が進出するに及んだ今日、その理由を鋼橋の関係者が十分に理解し、適当な対応努力を行うことが現在重要な課題であると考ええる。

2. 橋梁技術の課題

2-1 橋梁形式

イギリスにおける産業革命を契機にして、それまでの石、木材を主材とした橋から鉄製橋梁の時代に入った。最初は鋳鉄を主材料としたが、石炭精錬による錬鉄が得られ、錬鉄橋に移行した。その後熱間圧延された形鋼を主材とし、ボルト、ピン、リベットで集成したアーチ、吊橋およびI桁断面を基本としたプレートガーダーが実用化され、1850年（嘉永3年）には既に英国においてブリタニアの箱桁橋が架けられている。19世紀後半に入ると鋼とコンクリートの時代になり、現在に至っている。

橋の形式としては、桁橋、アーチ、吊橋が基本的な形態であって、有史以前から現在に至るまで形状的には何ら変わる所はない。19世紀に入って新たに、トラス、ラーメンが現れ、さらに材料、工法、理論解析法の進歩に伴って種々の形式の橋が架けられるようになった。例えば、桁橋では第二次大戦後、高張力鋼の開発と溶接工法の普及があって、補剛板構造が進歩し、鋼床版橋、曲線桁橋につながった。また、合成桁や格子桁など昭和20年～40年の20年間においては著しい技術革新が遂げられた。

トラスに関しては、19世紀にアメリカにおいて種々の骨組形状の設計が多数行われ、タウントラス、ハウトラス、ワレントラスなど発明者の名前を冠したトラス橋が作られてきた。現在では設計、製作面における容易さから平行弦のワレントラスが一般化しているが、モニュメント的な構造物として橋を考えると、ワレントラスにこだわることなく、多種多様な鋼トラス橋が提案されてよいと考える。

アーチ橋はその優美な形状から古くから愛されてきた橋梁形式と言える。石造アーチあるいはコンクリートアーチは比較的、アーチ形状、ライズー支間比が鋼橋に比べバラエティがもたされて、円形、長円形、半楕円形など種々の形状がある。また、固定アーチとされることが多く、大地にしっかりと腰を落着けた形状で、見る人に安心感を与えていると言えよう。これに対し鋼アーチ橋は上路アーチ、中路アーチおよび下路アーチといった多様な構造が可能であるものの、経済性を追求するあまり一定のライズ比の放物線2ヒンジアーチのソリッドリブタイプが圧倒的に多い。形状、ライズ比にとらわれない独自のスタイルのアーチ橋も試みられてよい。

中小吊橋に代わって斜張橋が西ドイツによって開発され、今やブームとさえいえる活況を呈しており、経済性と近代感覚にマッチした外観から今後も数多くの計画がある。しかし、本来鋼橋の一つとして考えた斜張橋が、いつの間にかP C斜張橋にとって変えられる傾向にあることは寂しいことである。

2-2 設 計

1926年（大正15年）に内務省土木局による「道路構造に関する細則案」が制定され、1等級～3等級が規定された。1939年（昭和14年）には、設計細目、構造細目の整備がなされ「鋼路橋設計示方書」およびリベット橋の製作と製作管理上の指針「鋼道路橋製作示方書」が作成され、一定の基準の下に鋼道路橋の設計、製作が行われるようになった。一方、鉄道橋では道路橋より早い1910年（明治45年）に鋼鉄道橋示方書が制定されている。その後、荷重の増大、溶接接合の採用、高張力鋼の開発、および設計計算法の精密化に伴って、次々と改訂、追、増補が重ねられ、現在の「道路橋示方書」「建造物設計標準」に至っている。

示方書は本来設計に際して準拠すべき基本事項と一般的な標準を示したもので、それ以外は個々の特殊性、

計算の精密度など考慮して設計者が独自の判断で設計を行ってよいはずである。しかし最近、設計者の技術的な判断力不足のためか設計者がより詳細な規定制定を望む傾向にあり、設計示方書には順次複雑で細部にわたる解説が盛り込まれるようになってきている。また、昭和40年代から試みられている公団、公社による設計の標準化は、画一的な設計を求めることとなり、設計者の個性埋没の時代を作っており、設計者のオリジナリティー発揮の機会は減少の一途をたどっていると云っても云いすぎではない。

今後の橋梁設計を考える場合、設計技術者のオリジナリティーを発揮し得る場と環境を与えられることと、それと呼応して設計技術者の構造物に対する技術的理解度、並びに美的なセンスの向上が是非必要である。それと共に、今まで慣習的に行われていた設計をもう一度、使用性能、強度・耐力、対環境、経済性の基本に返って見直してみる必要がある。

使用性能については、交通施設として、安全性と快適性が求められ、伸縮継手の構造改善、鋼床版舗装の耐久性の向上、走行面の凍結防止など、取り組まなければならないテーマであろう。

応力解析精度が向上するに従って、構造細部の応力が明かになり、それにつれて構造物が肥る傾向にある。当然計算の結果肥らせなければならない部分もあろうが、終局の破壊の形と強度を睨んで適切な断面の強化を行うべきで、いたずらに肥らせるのは如何なものかと考える。それに近い問題で支承査がある。可動支承査は年月を経過した橋梁について見れば、腐食などによってその初期の役割を果たしているものは少ない。ここで支承査の持つべき機能と支承査のあり方について再考してみる必要がある。現在一般的に使われている可動支承は高級過ぎてしかも機能維持力のないものであると云わざるを得ない、もっと機能維持力の高いものにすべきである。

また最近問題になっている疲労に関しては、特にプレートガーダーの主桁高と対傾構高とのギャップが問題となっているが、桁高全高にわたる充腹対傾構を入れ、フランジ相互を連結し文字通り格子構造とするなど、今までの構造慣習にとらわれない構造変更を行ってもよいのではないかと考える。

また鋼橋にはI断面多主桁、格子構造が多く用いられている。設計上の応力度をいっぱいにして断面の無駄を押さえようと云う意味からか、主桁の断面配置や剛度配分が異常であると思われるものが散見されている。これは発注者の積算が重量比例で行われるためであろうが、構造物の総合的品質を結果として低下させていることになるのではないかと考える。最小重量設計がコストミニマムに直接繋がるわけではないので、基本に立返って、仮に応力度を多少余してもバランスの良い桁剛度配分、断面配置に努める必要がある。

騒音、振動問題は鋼橋にとって大きな問題で、開床式鉄道橋の影響で鋼橋は音がすると云う世論が形成されつつあり、これが鋼橋のシェア低下の一因となっている。しかし、道路橋の場合、過去の騒音に対する苦情の実例からみて、桁端の伸縮継手部分の改善を図れば可成り騒音低下の成果が上がると思われる。いま、多径間連続構造とすることで、できるだけ伸縮継手の数を減らして音の発生源を減らそうとする設計が試みられているし、その他桁端部で走行車輛との共振をさけるように、床版と一体で対傾構をコンクリートで巻き込み、桁端の剛度とマスを増加させる案も一部で提案実施されている。これらの効果は未知数であるが、可能性のあるあらゆる提案を、その効果を問わず実施してみて解決への糸口を見付けることが急務である。

最近、混合構造物、あるいは合成構造物に関する試行が種々行われている。コンクリートと鋼の各々の特性を生かして、適材適所に用いて構造物を構成することは今後の構造物のあり方として正しいが、中には、材料の節約を図るために、施工上、あるいは真の経済性を考えたときに疑問が残るものもある。

2-3 製作

ここ数年、CAD/CAMに関する社会の関心は非常に高まってきており、一部のメーカーでは各作業段階を連繋させてシステムをトータル化する動きがある。その目的とする所は、

- (1) 無駄な工程を省略する
- (2) データを集中管理することによって誤作を防止する

- (3) NC機器の活用によって、製品精度の向上を図る
- (4) 自動化によって工期の短縮を図る

などである。

しかし、橋梁業界全体としてながめた場合、普及の程度は低い。その理由として以下のような問題が挙げられる。

- (1) システム化には製作方法全般に関する概念の転換が必要で、設備投資、工場レイアウトの変更、生産組織の変更が要求される
- (2) システムの開発に多大な費用、時間、開発要員が必要となる
- (3) システムの運営に大型の電子計算機が必要で、運用費用もかなりかかる
- (4) 発注形態から、必ずしも設計と製作ラインが統合化されず、場合によってはNC機の指令情報をつくるために却って多くの人手をかけることもある
- (5) 鋼板の切断を外注によって行っているメーカーが多く、システムのライン化疎外要因となっているなどである。

橋梁部材の工場製作は典型的な多品種少量生産であり、近代加工産業におけるようなめざましい自動化は望めない。また、加工の付加価値が低いことから自動化を推進するのに障害になる要素が多く、人手にたよる部分がすくなくない。このため、年々人件費、労務費の増大があってもそれを吸収する省力化が進まず、徒らに工場設備投資を行って、自らの首を締めている現状である。

自動化、省力化を図るためには、自動化に適した構造への変更や加工度の少ない鋼橋とすることが必須であるが、前述したように各発注機関のばらばらな標準設計の存在、設計者の構造変更に対する不安、積算体系の未整備等により観念論に終わっている。時間はかかるだろうが、英知を出し合って改善に努めたいものである。

ここで、コンクリート橋の製作について考えてみる。RC、PC共特別な工場設備を必要とせず、上屋、プレテン用50tonジャッキ、養生用蒸気配管および天井クレーン程度であり、鉄筋組立て、型枠設置、コンクリート打設養生に要する時間は1ブロック当り3～4日である。大ブロック一括架設のような長大橋については、鋼橋の優位性を認めるとしても、中小径間橋の製作に材料手配を含め数ヶ月の製作工期を必要とする鋼橋のあり方を再考すべきではなかろうか。

2-4 架 設

鋼橋では、PCコンクリート橋に比べて多様な架設工法が採用されている。架設に際して架設地点の地形状況は様々で、各々の架設工法はその地点地点での合理性を求め、最も経済的な工法が選ばれている。しかし、こうした架設の多様性は多種、多量の架設材を必要とし、グローバルに見ると得策ではない。こうした見地から架設工法の整理を行う必要があるのではないかと考える。そのためには当然計画や設計段階から十分な考慮が払われなければならない。即ち、構造細目に関しても勿論であるが、支間、橋梁形式も架設地点の地形と架設工法から制約を受けることになる。

最近の架設工事には、多額の安全に対する費用が払われている。しかしながら安全保持や落下防止設備の掛け払いには相変わらず危険が含まれている。キャンチレバー工法によるPCコンクリート橋の施工を見ると、作業場所はコンクリート打設先端部に集中し、しかもワーゲンの中で行われており、安全対策費用を集中させることが出来、効率が高い。それに引き換え鋼橋は架設橋梁全面にわたって戦線が拡大しておりそれだけ危険の確率は高くなっている。この点についても設計の段階から今までの構造様式、施工様式を脱却した工夫が必要である。例えばプレキャスト床版の採用や全工場塗装工法など、架設が完了した部分では、桁下で作業を行わなくてもすむような工法の採用が必要である。

またわが国では架設工法が多様化している反面、一見大胆と見える架設工法が採用されるケースは皆無と

云ってよい。一般的に心理的な不安によって理論的に安全な工法も否定され勝ちである。国外で行われたアーチリブを立てて組み、倒して閉合するとか、河に平行に支保工上で組んだ斜張橋を水平面転させて架設した工法などは、参考になる。これらの工法採用に当たっては当然それらの工法を可能にする支間割、あるいは形式選定が必要で、架設完了までを見通した形式選定と設計が必須の条件であることは言うまでもない。

3. 橋梁美について

景観については、今やわが国の土木技術者の間でも大きな関心事となってきた。官公庁においても景観の向上に多少の予算増を認めようという姿勢も見られ、建設に際しては景観を重視する方向にある。既設高架橋に対しても、桁下の暗さや汚れなどのマイナスイメージを払拭し周辺環境との調和を図る事例が増している。

ただし、本質的でない装飾に凝ったり、奇をてらったり、あるいはまた必要以上の顔ぶれを描えた「景観委員会」を設置する動きがあるのは行き過ぎではなかろうか。この種の問題は多くの人が関与すればそれだけ良い結果が得られるという類のものではない。個性の強い（自称）芸術家、意匠専門家の協力を求める例もあるが、構造美および機能美を無視した装飾だけの橋となる心配があり、事実それに近い例もでてきている。

また構造の細部にとらわれ、例えば箱桁断面の角に丸みを付けるなど如何かと思う。鋼板は材料の特性から半径の小さいR加工は容易ではない。何も無理をしてRをつけなくても、その制約の中でより美的に優れた形状が創出し得るものではないかと考える。また、現実全体に不釣り合いなRをつけたためにかえって見苦しいものも見られる。

瀬戸大橋のように1スパン1000mを越える橋では、その雄大さのためにみる人を圧倒し、美の理屈を必要としない。これに対し中小スパンの橋は日常生活環境の中の一部であり、極端な言い方をすれば自分の庭先に位置する。したがって、より厳しい景観に対する配慮が要求される。

橋梁美とは、景観あるいは景観にマッチした橋梁とは何か、どうすべきか、どうあるべきか、あるいは誰が考えるのか等については議論がある。構造解析結果に基づいて最適設計を行えば自然に美しい橋ができるといういわゆる構造即美説がある一方、空間に架かる構造物であるため人に安全の観念を与える必要や美のために構造を犠牲にする必要があるという考え方も根強くある。更に、時間がたてば、どんな構造物でも周囲に溶け込むので、修景やペンキの塗り換えをやるべきでないという意見も聞かれる。

筆者として、どの考えが正しいかを判定するのは差し控えるが、最小限、

- ① 永久構造物としての力強さをもたせること
- ② 活荷重が無駄なく大地に伝えられる外観
- ③ 無駄な遊び（冗材）がないこと
- ④ 機能感を与えること

を満足にさせ、設計者が架設現地を自分の目で確かめた上で、自信を持って設計を行うことが必要と考える。

これは発注者への注文であるが、上部工と下部工との設計、施工が別発注となるのが一般的である。このため、統一的な見方で橋の全体構造を考える余地は上部工の設計者に与えられない。また、一連の橋でも工区間の調整が図られず、外桁位置や桁高が不連続のケースが多い。上下部構造、工区間の形状の整合について、また、主体と付属品、添加物の関連など事前に十分な検討を強く願いたい。

4. おわりに

橋の歴史は有史前からのものであり、近代橋梁は僅か100～150年の歴史を有するにすぎない。しか

しながら、鋼橋が実用化されてから、その技術開発は著しいものがあり、欧州とアメリカにおける華々しい議論、やりとりの結果次々と新しい技術、橋梁・構造形式および解析理論の発展を見た。国内においても、関東大震災後の復興事業におけるように形状は模倣としても独自の考えで種々の名橋が建設された。

しかし、昭和40年以降については、長大化あるいは製作・架設工法の発展はあるとしても、目新しい技術や新形式橋の創造は皆無といっても言い過ぎではない。我々はワーレントラス、ランガー、ローゼ、ニールセンと日常茶飯事に口にするが、日本独自の名前のついた構造、工法を即座に挙げるのに苦勞する。

次に民間の技術者・専門家の発言が余りに少ないことを指摘したい。公共事業であること、標準設計に従っておれば大過なく仕事を進められること、ルーティンワークに精一杯であること等に色々な事情はあろうが、押し着せの仕事では技術の進歩は期待できないし、技術者も育たない。追いつき、追い越せのコンクリート橋に早晚市場を奪われるのではなからうか。現場で実務に携わっている民間の技術者の意見は工学の分野では最も尊重されるべきである。

最後に景観問題に触れる。本文で述べたように景観重視の傾向が今後も続くであろうし、後世に美しい鋼橋を残すのは我々橋梁技術者の責務である。デザイナーや建築意匠家の手を煩わせることなく、自然環境にマッチし、かつ機能感溢れる鋼橋を作るべく努力をお願いしたい。

おわりに、土木学会誌第11巻第1号（大正14年2月）、第11巻第4号（同年8月）に「欧米に於ける市街橋雑感」と題する講演とその討議がある。また、第11巻第5号（同年10月）には、建築家からの講演である「橋梁美に就て」の講演論文が連載されている。半世紀以上前の我々の先人が鋼橋の有り方について真剣な討議を行っている有様がよく判る。ぜひ一読されたい。

また、鋼橋の技術と技術者の役割のタイトルと内容表現がそぐわない点が多々あることを御容赦頂きたい。

（1990年1月26日受付）