

鋼橋の合理化と技術革新

Rationalization and Technical Innovation in Steel Bridges

大阪大学大学院教授

Professor, Graduate School of Osaka University

西村 宣男

Nobuo NISHIMURA



1. 鋼橋における技術革新の流れ

第二次大戦以降の約半世紀におけるわが国の鋼橋の技術革新は以下の3期に分けて論ずることができる。

第1期は戦後復興期から東京オリンピック・大阪万博までの約25年間であり、溶接技術、高力ボルト接合の導入、合成桁や曲線桁理論の開発と実用化など中小スパン橋梁を中心とした技術開発であった。

第2期は設計に電子計算機が導入され始めた昭和40年頃から今日までで、この間で特筆すべきは長支間化への挑戦であり、明石海峡大橋（吊橋）、多々羅大橋（斜張橋）はそれぞれの橋梁形式で世界最長となった。

第3期は第2期と並行して昭和60年頃から始まり次世代に繋がる中小スパン橋梁への新技術の導入である。中小スパン橋梁が対象という観点からは第1期と同様に見えるけれども、以下のような点で第1期の技術革新とは異なることを認識しなければならない。

コスト縮減と耐久性の両立が保証されていること。

構造解析技術および施工管理技術の向上が反映されていること。

要求性能の明確化と最新の照査技術が適用されていること。

2. 鋼橋分野に新技術の活用が求められる背景

21世紀初頭に迎える超高齢化社会に備えて、社会基盤の充実のために投資できる機会は現在をおいてないことが、1980年代の後半から言われ始めた。またわが国の貿易黒字に対する海外からの批判をかわすために、10年間630兆円の社会基盤への投資を国際的に約束してから数年の間に、わが国も含めてアジアの経済環境は曲がり角にきており、前の約束は反古になろうとしている。

このような経済情勢の中で、なお社会基盤の充実が国民生活レベルの向上のために必要であり、建設コスト縮

減施策¹⁾が政府の重要課題となった。この施策の背景にはわが国のコスト高、とりわけ建設コストの内外価格差の是正に対する要望がある。同時に、公共工事の入札に絡んだ不祥事への対処、WTO協定発効に対応するために導入され始めた一般競争入札制度²⁾もコスト縮減施策を支援するものとの見方もある。

さらに、一般競争入札の円滑な施行のために、公共施設の品質保証³⁾の重要性が指摘され、折からの規準や資格の国際的統一の動きと併せて、企業についてはISO9000sおよびISO14000の認証、技術者個人に対してはPE（Professional Engineer）やVE（Value Engineering）リーダー等の資格取得が求められる時代が始まっている。建設コスト縮減、一般競争入札および品質保証はお互いにリンクしあいながら、公共建設事業の仕組みに一大変革をもたらそうとしている。

公共工事にかかわる設計・施工の品質確保に関して建設省の施策⁴⁾として、以下の5項目が挙げられている。

技術者・技能者の技量を向上させ、能力を十分に発揮させる。

技術開発を促進し、技術基盤を整備する。

発注者・設計者・施工者の役割と責任を明確にする。

品質確保・向上のインセンティブを付与する。

発注体制の強化・支援策を充実する。

これらの基本思想に基づいて、具体的な施策が実施に移されようとしている。

建設コスト縮減と同時に品質確保のために、新技術の導入による成果が期待されている。建設省の公共工事のコスト縮減に関する行動指針⁵⁾では、平成11年度末までに、施主側の努力で6%、受注者側の努力で4%、合計10%以上の縮減を目指している。その中で民間技術提案の反映（VE）、新技術の開発・活用・普及が挙げられている。コスト縮減は新技術・新工法の採用や海外資材の

活用等、受注者側の縮減努力だけでなく、発注ロットの適正化や設計と施工の一体化を目指したデザインビルドの導入等、受注側の努力を支援する規制緩和策の整備が有効である。

ゼネコンは設計段階にまで業務を拡大することでその保有する技術力を発揮しようとしている。製鉄メーカーの建材開発部門でも資材の販売を越えて新工法・新構造を積極的に開発し、その売り込みに力を注いでいる。また鋼橋を製作している重工業も下部工から上部構造までの一括受注を狙って、土工部門や床版工事部門の社内設置を目指している。このように公共建設事業の変革の胎動がすでに始まっている。

3．コスト縮減施策と鋼桁橋の合理化

わが国では、1990年頃から、建設コスト縮減を目指して、社会基盤施設の設計・製作・架設の各段階における技術革新の導入が注目されるようになった。西欧ではわが国に先立つこと10年、すなわち、1980年頃から、社会基盤建設コスト縮減の施策が講じられてきた。その効果が最も顕著に現れたのは、鋼橋を中心とした橋梁分野であった。鋼桁橋に関して、徹底した合理化が推進された結果、コンクリート橋に比べて鋼橋の経済的競争力が増し、新設橋梁における鋼橋の割合が増加したと言われている⁵⁾。鋼橋の合理化は少数主桁化と横繋ぎ材の簡素化、主桁フランジへの厚板の採用等に見られるが、圧延変厚鋼板（Longitudinally Profiled Plate＝LP鋼板）を用いることにより、鋼重増加を最少に抑える工夫が取り入れられている。

わが国でも、日本道路公団を中心として、合理化桁橋への取組みが開始され、技術革新の一つとして圧延変厚鋼板の採用例が増えてきている⁶⁾。桁フランジの突き合わせ溶接工程を省略することによる製作工程の簡略化に加えて、等厚鋼板を使用する場合の鋼重増加を、変厚鋼板の採用により回避できることが認められるようになった。さらに、変厚鋼板はフランジのみならず、連続桁橋の中間支点付近のウェブや鋼箱桁の補剛フランジにも採用されるようになった。LP鋼板以外にも鋼橋の合理化に対して、さまざまな技術革新が導入されてきている。鋼橋に求められている技術革新はコスト縮減と耐久性の向上である。

それらの新技術は、発案者の属性によって、以下のよう

A - scheme：構造形式における発想の転換で発注側と受注側の合意に基づく。

B - scheme：新しい構造要素、構造材料の開発で民間からの提案による。

C - scheme：設計規準の見直しで、受注者側からの提

案もあるが、発注者側の裁量に負う。

支間長が60m以下の鋼桁橋を対象とした代表的な新技術としては、以下のものが挙げられる。

A - scheme：横繋ぎ材の簡素化を考慮した少数主桁化

B - scheme：LP鋼板、新型プレキャスト床版

C - scheme：高力ボルト摩擦接合継手の限界強度の見直し、主桁腹板の補剛法の見直し、鋼板の板厚制限の緩和

各schemeは文末の表1に掲げるような得失を有しており、個々の新技術の採用に際しては、お互いの関連性を十分に把握する必要がある。また、新技術を導入する際に、現行の設計規準に記述されていない強度条項が必要となる場合がある。これまでは実務設計に関連して実験的あるいは解析的検討が行われているが、それらの技術情報を統一的に整理する作業が望まれている。

4．公共工事の推進における新技術導入のあり方

（1）新技術導入の現状

公共施設の建設は、設計と施工の分離の原則により、発注者—設計者（コンサルタント）・発注者—施工者（ファブリケーター）の2段階で行われている。新技術の導入は計画設計の段階から考慮されることが望ましいが、現在の受発注制度の中では最初から3者が協議することは許されない。

新技術の導入に対して3者はそれぞれに問題点を抱えている。行政のスリム化が強く求められる中で、発注者が高度な技術開発に専念する時間的余裕は与えられていない。設計者グループには高度な技術開発を実行できる人材は多くない。現状では高度な技術力を有する施工者がその能力を発揮するには受注に際してのVE提案にのみ活路が開かれている。長大橋梁や特殊橋梁の場合は技術委員会が組織され、総合的な技術課題について学識経験者を含むエキスパートによる審議が行われる。しかし、技術委員会への新技術の提案の多くはコンサルタントをサポートする施工者によって行われているのが現状である。また、公社公団等の常置的審議会・技術委員会は新しい技術を普遍化する役割を担っているが、実施施工に先立って新技術の可能性を審議することはない。

（2）望ましい制度

上述のような問題点を克服するために、以下のような制度の導入が考えられる。

公共施設の建設は官主導から、CM（Construction Management）専門集団に移行する。

CM専門集団はNPO（Non Profit Organization）の性格でなければならない。

CM専門集団は計画設計、製作、施工までに長じた人材であれば、発注者、設計者および施工者のいずれ

でも登用可能である。ただし、プロジェクトの完了まで責任をまっとうできることが条件となる。

CM專業集團はプロジェクトオリエンティドである。プロジェクトの規模に応じて個人、あるいは複数名で構成される。

(3) CM專業集團の育成と評価

上述のような新しい公共施設建設の遂行制度への転換を一気に行うことは不可能である。新しい制度は試行的に導入され、継続的にCM專業集團の能力の育成と制度の熟成を図っていくことが重要である。そのためには新しい制度の効用を適切に評価するシステムの構築が必要である。このようなCM專業集團の育成と評価システムの構築こそ、行政内の専門家が担うべき緊急の課題であると考えられる。

5. 今後の合理化橋梁に求められる技術開発目標

合理化桁に関するデザインマニュアル⁷⁾の事例調査でも明らかにように、道路橋の合理化に向けてさまざまな技術開発が試みられている。この段階でこれらの新技術に関する資料を系統的に整理して、鋼橋の合理化に与える効果を評価することが重要である。また合理化橋梁は適切な耐久性と使用性を確保した上でライフサイクルコストを低減した橋梁を言うのであって、初期コストのみを取り上げて論ずることは過ちである。

(1) 耐久性の確保

橋梁の耐久性を確保するためには、以下の項目に留意しなければならない。

a) 損傷しない床版

昭和40年代に施工された鋼桁橋を中心として、コンクリート床版の損傷が多数発生し、床版の打ち替えが困難な合成桁橋が敬遠されるようになった。しかし、欧米では桁橋を合成構造とすることが標準であり、わが国で見られたような床版の損傷はほとんど発生していない。最近、輪荷重移動試験装置を用いた実験により、床版の陥没に到る損傷のメカニズムおよび主たる原因が明らかにされるとともに、少数主桁橋に見られる床版の長支間化に対応するために、耐久性に優れた各種のプレキャスト床版、PC床版が開発されている。さらに床版の耐久性を確実なものとするには、コンクリートと舗装の間に防水工を施工するとよいことも指摘されている。

b) 疲労問題のない鋼桁の構造法

都市高速道路などで横繋ぎ材取り付け個所の主桁腹板やガセットに疲労損傷が多数発生している。床版の剛性不足、重車両の増大などの要因もあるが、設計上考慮していない大きな局部応力を発生し、しかも疲労等級の低い構造詳細が用いられていることが主たる原因である。このように設計計算で捉えられない局部応力は、下路ア

ーチ橋の主構造と横桁の取り付け部における疲労問題にも共通している。

今日、構造詳細まで考慮して鋼橋の3次元解析を行い、局部応力の発生状況を調べることはそれほど困難ではない。鋼橋の立体的構造特性を考慮して、横繋ぎ材の適正配置を検討することが必要になっている。

c) 腐食しやすい構造詳細の改善

鋼材の腐食も大きな問題である。錆の発生には空気と水分が関係するが、水はけの悪い個所、塗装の乗りにくい細部の構造改善など、細かい配慮が必要である。また、耐候性鋼材の信頼性を高める材料開発を推進することが期待される。

(2) 使用性に関する留意事項

一方、使用性に関しては、すべてがインフラ側だけで解決できる課題ではないが、以下のような車両の走行性(乗り心地)、車両走行による振動騒音の問題を解決しなければならない。

a) 路面の平滑性の確保

路面の平滑性は走行車両によって励起される動的応答倍率(設計上は衝撃係数で評価)に大きな影響を与えるので、耐久性のある舗装材料の開発が望まれる。勿論、舗装の劣化を引き起こすような床版の変形や床版上の突起などは避けなければならない。

b) 伸縮継手部の段差の改善

車両の乗り心地に対して、伸縮継手部の段差の影響が大きい。段差のある伸縮継手上を通過する重量車によって、付近の床版や床組に対する衝撃係数の増大、騒音、地盤振動などが誘起される。上部構造の連続化、ノージョイント化によってこの問題は軽減ないしは解消されるが、構造的に別の問題が生ずる場合がある。

c) 路面と車輪の摩擦音・エンジン音・排気音の低減

交通車両の騒音問題は、最終的には車両側の音源を改善する他はない。インフラ側で支援できること、例えば、縦断勾配を可能な限りなだらかにすること、路面の消音処理などについて努力する必要がある。

(3) 環境負荷の評価

さらに、今後は橋梁の建設に伴う環境負荷の総量に対して、厳しい条件が課せられる可能性がある。例えば、

使用材料の製造時のエネルギー消費量とCO₂、SO₂排出量、工事に伴う汚水の発生、生態系への影響、舗装材料の磨耗、凍結防止材料、塗装の剥げ落ちなどの環境負荷要因を数量化し、橋梁評価の一指標とすることが考えられる。

6. 性能設計が導入された後の設計・施工システム

最近、各分野において性能設計への志向が強くなっている。道路橋示方書についても次回の中間改訂では各条

項に要求性能が明確に記述され、これに応える性能照査法として新しい照査法を認めるとともに、見なし仕様として現行の条項の適用も可能にする２層構造が考えられていると聞く。このような書式を導入することによって橋梁の設計に新技術を適用する自由度が増すものと期待される。このような設計・施工システムが導入されたとき２つの問題点が存在する。

２つの照査法のうち、技術革新が期待できる新しい照査法は慣行的な見なし仕様より上位にあるから、橋梁の設計業務は現在より高い能力を技術者に要求する。

新しい照査法を認定する作業を担当する組織の設立とその運用の適正化を図ることが重要である。

このような問題点は単に示方書や制度の改革ではなく、社会体制の変革なくしては実効が挙がらない。発注機関、設計会社、製造会社で社会基盤施設の計画・設計・製作に関する能力を蓄えた人材は、前述したようなCM專業集団に移動する“人材の流動化”が必要となる。そうすることが当人の名誉であると社会的に認知されれば、土木技術者とりわけ橋梁技術者の社会的ステータスが向上するであろう。

7. おわりに

誌面の都合で本文中では述べられなかった２、３の想いについて述べる。

橋梁の更なる合理化に向けて期待される材料開発としては、大型圧延材、海浜対応耐候性鋼材、超高強度ボルトなどがある。また、橋梁構造の合理化と耐震性を両立させることに留意することが大切である。

新技術の導入に際しては、事後にその効果を適切にレビューすることが重要である。実構造に対して最初に新しい技術を適用する際には、各種の調査や実験が行われ、

その経費を考えると総工費的には大きなコスト縮減効果は期待できない。しかし、以降の適用に当たっては研究開発費等の初期投資を伴わないので確実にコスト縮減が達成できる。したがって、公共施設の建設コスト縮減に対して共通的に貢献する技術開発に対しては公的資金の適切な運用が望まれる。

新技術の効果を適正に評価するためには建設にかかわる種々の技術情報が確実にデータベースとして整備されていることが必要である。現在、急速に適用範囲が拡大している建設CALS/ECがそれを実現する可能性を秘めているように思われる。

最後に、現在進められている合理化橋梁の命題である“安くて長持ちする橋梁”を実現するためには、発注者、設計者、施工者のみならず道路利用者も含めて、それぞれが遵守すべき節操を重んじることが大切である。

参考文献

- 1) 建設省：公共工事の建設費の縮減に関する行動計画，1994．
- 2) 建設省：公共工事の入札・契約手続の改善に関する行動計画，1994．
- 3) 公共工事の品質に関する委員会報告，1996．
- 4) 公共工事コスト縮減対策に関する行動指針，1997．
- 5) 関西道路研究会道路橋調査研究委員／構造計画小委員会：橋梁の技術革新，1994．
- 6) 西村宣男：合理化桁橋梁へのLPプレート適用について，鋼材倶楽部：第2回土木鋼構造研究シンポジウム，1998．
- 7) 日本鋼構造協会／次世代土木鋼構造研究特別委員会／合理化桁の設計法研究小委員会：合理化桁に関するデザインマニュアル（中間報告），1998．

表1 新技術 scheme ごとの得失の比較

A - scheme	○ コスト縮減に対する効果大 ● 設計思想・安全性の考え方に十分な配慮が必要
B - scheme	○ 適材・適所の使用をするとコスト縮減の効果あり ● 開発コストを要す - コスト縮減に対する効果を引き出す工夫が必要
C - scheme	○ コスト縮減にある程度の効果あり ● 適用に際しては、十分な裏付けが必要 ● 適用区分など条件がつき、設計は若干複雑になる