

特別講演Ⅱ

新発想によるこれからの橋づくり

建設省土木研究所

構造橋梁部橋梁研究室長 西川和廣

1. はじめに

21世紀の到来を待たず、世の中のシステムが大きく変わろうとしている。あらゆる分野において、発展を続けるためにはどのような変革をしていかなければならないか議論が行われている。橋の世界も例外ではなく、いろいろな切り口、観点からの議論が盛んに交わされている。これら全ての議論についてコメントするのは容易ではないが、少なくとも「これまで」の延長線にはあまり良い解決法はありそうもない。新しい発想が是非とも必要である。これからの橋づくりの方向について、最近目につく様々なキーワードを追いながら、それぞれに関してどんな発想の転換が可能であるか、個人的な見解も含め、近頃考えていることについて述べたいと思う。

一方、目先のライバルである鋼橋の分野では、最近いくつかの革新的な技術が芽生えつつある。本シンポジウムがPC技術の発展を目指したものであることは承知の上であるが、鋼橋の世界で何が起きているかについても、技術開発への刺激剤となることを期待してお話しすることにしたい。

今後検討すべき方向について、若干でもヒントになれば幸いである。

2. 「これから」の進路を示すキーワード

(1) 国際化

これから述べるキーワードの全てが、この言葉につながっている。すなわち、経済における国境がなくなりつつあることで、業界のみならず我が国の経済の競争力を高めていくために、あらゆる意味でのコスト高(内外価格差)を解消することが重要であり、それには新技術の導入を容易にする性能指向の設計法の導入が不可欠となる。同時に、経済を支える社会資本のサービスレベルを低下させないためにもライフサイクルコストの議論は避けられないし、これをベースとした政策の立案と実行は、社会資本を管理するものの責任(アカウントビリティ)である。

(2) コスト縮減

問題にされているのはコストなのかプライスなのか。世間一般には、しばしばプライスの議論のみが一人歩きしているように見受けられる。また、パフォーマンスぬきの議論は片手落ちであり、どのような「性能」が必要なのかを明確に示すことが、これからの発注者にとって大切な務めである。しかし、一方でどんな「性能」を売ろうとしているのか、売り手側も明確に示し、それを保証する努力をしなければこの問題は効果的に解決しない。

Fitness for Purposeで無駄を省き、コストダウン、競争力の強化、結果としてのプライスダウンを目指すのがあるべき姿ではないか。

(3) アカウンタビリティ(Accountability)

説明責任と訳されることが多い。政策担当者にとっては、将来予測から今何をしておくべきかを説明する責任を指す。膨大な橋梁を管理する立場には、一種の政策あるいは戦略が求められる。将来、道路網のサービスレベルを低下させないためには、今何をしておかなければならないか、的確な対応を図るには、未来から現在を見るという発想が必要である。いやなことから目をそむけないこと、期待と予測を混同しないことが大切である(バブル崩壊で十分学んだはずである)。

(4) ライフサイクルコスト(LCC)

従来からもトータルコストという言葉が用いられており、初期コストだけでなく維持管理に対する意識を喚起するために使われてきた。LCCというときには、さらに更新(橋の場合には架換え)に要するコストが含まれ、寿命の概念が加わることになる¹⁾。

LCCは一般に以下の式で表されるが、LCCを最小にするには、維持管理の手間がかからず長持ちする橋が理想的である。LCC概念に基づく設計規範の確立が急がれる。

$$LCC = I + M + R$$

LCC : ライフサイクルコスト

I : 初期コスト

M : 維持管理コスト

R : 更新(架換え)コスト

(5) 性能照査規定

性能照査設計という言葉に、何かいい定義あるいは説明が無いかと探してみたのだが、なかなか巡り会わない。それどころか、人によってあるいは分野によって受け取り方が様々であって混乱するばかりである。言葉についても様々であるが、性能指向設計という呼称が、世の流れをよく表しているのかもしれない。すなわち、この世に性能照査型の設計とその反対の細目仕様重視型の設計法しか存在しないのではなく、ふたつの方法の間に、いくつもの中間的なレベルが存在し、今、急速に性能指向型にシフトしようとしているのであり、まさに、「指向」という言葉がよく表していると思う。

個人的には、道路橋示方書に書いてないことはやってはいけないと考える人を仕様指向(思考)の技術者、道路橋示方書に書いてないことは何をやってもいいと考える人を性能指向(思考)と説明することにしているが、この説明がもっともわかりやすいようである。これまで、前者が主体であったが、これからは後者が主役になる時代が来ようとしている。

性能照査規定への移行に対して、様々な立場から慎重論が唱えられている。曰く「技術者が足りない」、「提案された技術を評価するシステムが確立されていない」等々。しかし、性能照査規定の中には「みなし適合仕様」という概念があり、従来の設計法によるものをこのひとつとして位置付けることにより、大きな混乱は防ぐことが出来よう。筆者はあまり心配していない。

(6) 限界状態設計法

国際的な技術基準の統一化が求められている。構造物の設計にとって限界状態設計法は国際語であるという意味では、早期の移行が望まれる。しかしながら、ISOなど設計基準の国際的な議論の中で主導的な立場を確立するには、よりよいものを提案することが必要である。これまでに扱われなかった限界状態や、要求性能を盛り込んで行くこと、これなくしては何のために大変な思いをして設計法を変えようとするのか意味がない。

限界状態は、ユーザーサイドから性能表現の形で設定して行くべきものだと考える。物理学的な現象を無理矢理限界状態として足れりというのは、そろそろ卒業するときではないだろうか。物理的現象からの設定に対しては、始めからその解決法が予定されているが、性能表現であれば、対処法はソフト的なものも含めいくらかでも存在し得るのだから。

(7) 品質管理／品質保証

品質保証は性能照査規定と裏腹な関係から重要である。ISO 9000シリーズの認証がを受けることが、各企業の大きな関心事になってるが、これまでのあうんの呼吸はもはや許されなくなる方向に動いているようだ。いつ、どこの国の人が見ても、どんなプロセスにより品質管理がなされ、何を根拠に品質が保証されるのが、責任はどこにあるのが理解できるように書類等を整備して行くことが主眼であるが、個々の管理法、品質の証明方法までは規定されていないので、この部分はわれわれ日本の技術者が編み出して行けばよい。

3. 今、鋼橋に起きていること

(1) PCに対するハンデ解消 防食その1

御存じのように、耐候性鋼材は通常の鋼材に較べてCr、Ni、Cuといった元素が多く含まれており、これらの効果で緻密な安定さび層が形成され、それ以上のさびの発生が抑えられるという性質を持つ。したがって、最終的に塗装についてはメンテナンスフリーとなる工法であるが、塩分の影響を受けやすく、飛来塩分量の多い海岸付近では使用できない。また、あくまでも表面はさびであり、とくに初期の赤さび状態が景観上嫌われるような場合には適していない。さらに、スパイクタイヤの禁止以降、冬期における凍結防止剤の散布量の著しい増加が懸念されている。

以上のような制約条件の一部を解消するものとして、最近、さびの安定化を促進する技術が開発され、ほぼ実用化の段階に達している。これは、一種のプライマーを塗布することにより、錆の安定化に必要な環境の保持とCrイオンの供給を行うもので、これまで10年以上(本格的な安定化には2,30年以上とも)かかると言われていた安定錆の生成期間が、1年前後まで短縮され、醜い赤さびを晒すことがなくなる。また、安定化したさび層は、塩素イオンに対しても抵抗するという実験結果も得られている。この技術は、安定さびの形成メカニズムの解明が基本となって開発されたもので、信頼性も高く、耐候性鋼材の適用範囲を一層拡大する引き金になるかもしれない。

(2) PCに対するハンデ解消 防食その2

溶融亜鉛めっきは、イオン化傾向の高い亜鉛が犠牲金属として働くことにより鋼材の腐食を防ぐ、一種の電気防食法である。亜鉛めっきの寿命については、送電鉄塔に用いられているものがひとつの指標になるものと考えられ、一般に、5,60年かそれ以上の寿命は期待できるようであるが、桁橋のように、床版により雨水に洗われること

の少ない場合には、特殊な環境でない限りほとんど永久に使用できるものと考えられる。橋梁への適用についても耐候性鋼材と同じ頃から始まり、一時期かなり使われたことがあったものの、溶接による残留応力がめっきの工程で解放され、部材の変形や溶接部に割れが発生することが懸念されたこともあり、その実績は伸び悩んでいる。亜鉛を犠牲金属とした方式にも新しい技術が開発されている。金属溶射の技術は以前から使われており、筆者も、亜鉛めっきが限界に達した場合の亜鉛補給方法として考えていたが、永久的な防錆処理としてはいくつか問題があった。最近では、亜鉛とアルミニウムをほぼ半々に溶解して吹き付けることにより、亜鉛めっきに劣らない溶射皮膜が得られるようになっている。溶射技術についても、セラミックスを用いた祖面形成剤の開発により下地処理が簡易になり、かつ付着が確実に became こと、溶射温度が低下して温度の問題が生じないこと、溶射装置の改良により施工能率が向上したこと等により、これまで局所的な腐食対策に限られてきたが、これからは橋全体の防錆工法として期待される。色彩の制約がある場合、塗装を重ねることは容易であり、そのことが溶射皮膜の寿命をさらに高めることも強みである。

(3) 壊れない床版

鋼橋技術者には、コンクリート床版は必ず壊れるものというマインドコントロールが働いている。鋼桁橋のRC床版が、現在ではほとんど非合成部材として設計されているのは、ここに由来している。

昨年(H8)の春から、建設省土木研究所の2台の輪荷重走行試験機が稼働を始め、RC床版の損傷メカニズムや各種床版の耐久性が明らかになりつつある。この結果から、「壊れない床版」の実現が可能になり、合成・複合への抵抗が解消され、新たな発想による構造形式が生まれてくる可能性が出てきた。たとえば、壊れない床版を前提とした桁橋腹板の座屈規定の見直しや2主桁橋のリダンダンシーに関する議論が始まっている。

(4) 工場から現場への移行

コスト縮減の動きは、鋼橋部材の厚板化をもたらし、現場溶接を含めた現場施工の重要性を高めることとなった。これは鋼橋にとってかなりの技術的負担になるが、それを逆手にとって箱桁を現場で組立て、送り出し架設する方法が考案されている。この方法によれば、工場ではパネルの製作のみでよくなり、人手を要する箱組や仮組立は不要になる。精度管理も箱桁製作の場合は架設精度にしばられるのに対し、現場あわせで使用上の精度を確保すればよくなることから、かえって楽になることがわかった。

鋼橋メーカーとしては、工場における鋼材の滞留時間が著しく短縮されるとともに、現場における作業が増大するため、工場の縮小など業態の再編が必要になるが、これを乗り越えれば競争力の強化につながる変化である。

よく考えてみると、プレキャスト化により工場比率を高めようとしているPCの逆を行っていることがわかっておもしろい。

4. これからのPC橋に要求されること

(1) メンテナンスフリーからミニマムメンテナンスへの脱皮

メンテナンスフリーは考えようによっては使い捨てを意味する。ミニマムメンテナンスとすることで長寿命化を優先することが必要である。

ミニマムメンテナンス橋のコンセプトをわかりやすく列挙すると以下の通りである。

① 最小限の維持管理で最大限の寿命を実現することを目標とする。

LCCを最小にするには、MとRを最小にすることがもっとも効果的である。寿命を長くすることは、更新の平準化につながる。

② メンテナンスフリーを狙うのではなく、維持管理の力を借りて長寿命化を図る。

メンテナンスフリーで永久を目指すのは極めて困難だが、維持管理行為の中で不都合な部分を改良することで、橋の寿命を「永久」に近づけることははるかにやさしい。

③ 今の技術で可能な範囲での「永久」を目指し、速やかに実行に移す。

現在の技術では、人為ミスや技術の未熟さあるいは信頼性の低さなどにより、「永久」である確率は低いかもしれない。しかし、目標は常に「永久」とすることが必要である。また、実行しない限り、何も改善されないので、とにかく実行することが先決である。

④ 目標を明確にすることで、技術開発を促す。

技術革新により、維持管理負担は軽減され、「永久」であることの確率は向上する。

詳しくは、参考文献 2)を参照されたい。

(2) 塩害問題に決着を

日本海沿岸にかかるPC橋に対する長年の調査により、塩害の兆候が見えたらいずれ架け換えられる運命を免れることはできないということが明らかになりつつある。グラウト施工の改善でよりよくなるが、塩害の対策というには不十分すぎる。塩害のためにPCの信用がどれだけ失われているか、PC技術者は一体気づいているのだ

ろうか。明確な認識と対応を自ら示すことが、信頼の回復に不可欠である。対策工法は、従来のいきさつにとらわれなければいくらかでも存在すると考えられる。

(3) 鋼橋だけがライバルではない

公共事業の伸びが期待できない現状では、トンネルや切り盛りの土工に取って代わることの出来る新工法を開発し、パイを増やす努力をしなければ、鋼橋とともに先回りになるだけである。最近目白押しの山岳部の道路を走ってみれば、走行の快適性、景観や環境への影響度など、今からでも橋が有利になる可能性はある。5段7段の切り盛り構造に対抗できるコストの橋梁構造を考案して、自然の加工度を最小にする工法を提案して欲しい。

(4) どんな性能を売るのか明確に

新形式・新工法という、どうしても「くろうと」受けのする構造や工法に惹かれがちである。しかし、その結果生み出される性能(performance)が、買い手に理解されるものであり、かつそれが保証されるものでなくてはならない。耐久性なのか、耐震性なのか、それとも景観なのか。少なくとも本邦初演というのは、近頃値が下がる一方である。

悲しいことだが、発注者に「くろうと」はほとんどいなくなっている。納税者にとってはなおさらである。

5. おわりに

昨年、ミニマムメンテナンス橋に関するパンフレットを作成し、道路管理者から見てこれからの橋に必要とされる性能を具体的に訴え始めてから、これらの新技術が急に目に付くようになった。実は3.(1)~(4)に述べた鋼橋に関する技術革新は、1年前の筆者には想像さえ出来なかったものばかりなのである。

どうやら「こうありたい」という目標を明確にして外に向かって示すことが、熟しかけている新技術を完成へと向かわせる、ひとつのきっかけになるようである。また逆の見方をすると、目標が明確になることで、熟しかけている本物の新技術がよく見えるようになるようでもある。新発想というのは、視点の位置を様々に変えてみることで最大の効果と呼ぶように思われるが、時には自らの目標を改めて整理し直すことも大切なことのように思われる。

PC橋についていえば、「コンクリートの性能のばらつきが気にする必要のないレベルに収まること」、「PC鋼材の防食が心配不要になること」の2点を目標として掲げている。1年後、いずれについても目標を達成した工法が名乗りを上げているだろうか。

ちなみに、筆者の考えるミニマムメンテナンス化技術に求められる条件2)を以下にお示しして、本稿を閉じさせていただくことにしたい。

- ① 完璧な施工に依存しないこと
- ② 理論的にメンテナンスをしないですむ可能性が高いこと
- ③ うまく行かなかったときの対応が容易であること

参考文献：

- 1) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理、土木学会論文集、No. 501/I-29、1994.10
- 2) 西川和廣：ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案、橋梁と基礎、1997.8