

# 鋼橋雑感

Miscellaneous Thoughts on Steel Bridge

川田工業(株) 代表取締役専務

KAWADA INDUSTRIES, INC. Senior Managing Director

野村 國勝

Kunikatsu NOMURA



## はじめに

橋は道路の一部であり、道路路線全体計画のなかで橋梁の区間（配置計画）が決定される。配置計画に従って架橋条件を調査し橋梁設計を行うことになるが、橋梁設計は大別すると、橋梁を計画し最適橋梁形式を決定するまでの設計（予備設計）と、実際に橋を建設するための設計（実施設計）に分けられる。

著者はこのような橋の設計技術者として長年過ごしてきた。また最近では安全と品質についても担当している。

このようなことから、設計、安全、品質について日頃感じていることを思いつくままに述べさせていただきたい。

## 橋の計画について

橋梁の計画・設計業務においては、最適橋梁案を選定することが最も重要であり、それによって橋の優劣はほとんど決定されてしまう。最適橋梁案を決定するには、数案の有力候補案を選び、それらを経済性、施工性、構造特性、美観、維持管理などの多方面から比較し、最も成績の良い案を最終案とするのが一般的なプロセスである。

問題は、このようなプロセスのなかで、有力候補案の選定が既往の橋梁形式メニューの中から適合形式を取り出してくる場合がほとんどであり、さらに初期建設コストの経済性が最優先されるので個性的な案が顔を出すことはほとんどあり得ないのである。もちろんコンペ方式やプロポーザル方式を採用したり、著名なデザイナーに計画を託すプロジェクトもあるが、全体から見ればほんの一部である。

ヨーロッパなどではそれほど大きな橋梁でなくても、

その地域の空間にとけ込んで、それぞれに個性がある橋梁が多い。むこうの著名な技術者に「設計で最も重要なことはオリジナリティである」と言われたことがあった。

たしかに、ドイツのライン川には数多くの橋が建設されているが、それぞれが個性的である。特に斜張橋形式では架橋条件に大きな差が無いにもかかわらず、どれ一つとして似ている物はないと言っても過言ではない。

橋は一度建設されれば、極めて長い期間にわたってその地域のシンボルとなるものであり、人々に大きな影響を与え続けるものである。日常生活の中で目にふれる中小スパン橋梁でも、周辺環境との調和や景観という付加価値をつけて、それぞれの地域に適合した橋が、我が国に数多く生まれることを期待するものである。

「この架橋条件においては、この橋が最適である」ということを確実にすれば、橋の設計のほとんどは完了したと言っても過言ではない。顧客と受託側の設計技術者がこのような価値観を共有し、橋を創造する予備設計業務に大いにウェイトを置いていただきたいものである。

我が国は、四方を海に囲まれ平地が全体の15%と少なく山岳地が多い。山岳地での斜面に平行する道路では、山の斜面に沿って切土・盛土を主体に計画し、道路線形に無理がある場合に高架橋などの橋梁区間を設けている。切土・盛土による道路は、野生動物の生活圏の分断、地形の大幅改変、自然景観の破壊、土砂崩れなどの自然災害の誘起など、様々な弊害を起こしやすいことは明らかであるが、経済的に有利であることが全てに優先して採用されてきた。

しかしながら最近では自然環境に対する関心の高まり

などから、この方面に関する研究も行われるようになってきた。これらの研究成果によれば、必ずしも切土構造が経済性に優れるとは限らないという結果を得ている。これは、近年、道路建設において安全性、生態系への配慮や景観面への配慮が強く求められるようになり、切り土構造であっても斜面安定や緑化に対するコストが増大し、全体工費として橋梁構造に匹敵するようになってきたからである。

ヨーロッパでは、比較的早い時期から、例えばスイスのシオン高架橋のように余裕を持った道路線形で高架橋道路が山の斜面に平行して走っているのを多く見かける。しかも自然環境を守るために、下部工の構造や施工方法にもさまざまに工夫をこらしている。我が国においても、このような橋梁計画が推進されることを期待したい。

多径間橋梁では耐震性、走行性、騒音・振動、維持管理などの面から連続化を目指す傾向にあるが、さらに出来るだけ多くの径間にまたがって連続化するような計画が好ましい。

桁橋が何連も続く場合は当然のこととして、例えば桁橋とアーチ系橋梁など異種形式の橋梁が隣接する場合でも、積極的に連続化を試みたらどうであろうか。

また、単純桁、連続桁にかかわらず、橋端部で桁と橋台を一体化し、支承や伸縮装置を省略した橋梁がアメリカにおいて数多く建設されている。いわゆるノージョイント橋梁であるが日本での施工事例は少ない。小支間橋梁への適用については今後の研究課題であろう。

多径間連続化では主に温度変化への対応が問題となるが、上・下部工に基礎工を含めた全体構造を、様々な条件の下で厳密に解析することが可能であるし、ゴム系支承の出現によって合理的に計画することが容易になった。

東京湾横断道路の沖合部では1 630 mを10径間連続鋼床版箱桁で連続化しているが、その間に伸縮継手がないので実際に走行すると非常に快適である。高架橋などで超多径間連続化橋梁の出現を期待したい。

本四連絡橋の生口橋（斜張橋）でケーブルの定着部に円筒形の鋳鋼を採用しているが、一般橋梁で主構造部に鋳鋼を本格的に用いた事例は非常に少ないのではないだろうか。

複雑な構造部位に鋼板を組み合わせた溶接構造を採用すると、溶接施工で無理を生じ、応力集中や溶接欠陥などが発生しやすいし、欠陥の検出も難しい。鋳鋼であれば、なだらかな板厚変化や曲線形状の採用などにより応力集中の緩和が可能であるし、溶接施工も不要となるの

で将来の維持管理面からも有利である。

私も設計の一担当者ころ、ある物件で桁の分岐部に鋳鋼を採用することを、顧客に提案したことがあったがイニシャルコストが高すぎて実現しなかった。現在ではライフサイクルコストの重要性が強調されるようになってきたし、FEMによる構造解析などにより、応力状態も正確に把握できるようになった。橋脚や主桁構造などで、狭隘で構造が複雑な箇所、応力集中や疲労が懸念される場合などには鋳鋼の積極的活用を計ったらいかがであろうか。

橋を構成する部品は全て等しく重要で、全体でバランスのとれた橋を設計し建設することが大切である。しかしながら橋梁技術者は、これまで付属物への配慮にやや欠けているところがあったのではなからうか。

完成して間もない橋の地覆部が高欄の定着部からの錆び汁で汚れていたり、海上部に架かる大規模橋梁で完成して数年なのに付属物の止め金具が錆びてボロボロになっていたなど、橋をトータルでとらえた場合に、このようなアンバランスに出会うことが多い。

橋本体に100年の寿命を持たせるのであれば、それに相応した付属物、部品を設計すべきであろう。垂鉛メッキ、垂鉛溶射、小さな支持金具や止めボルトはステンレス材、新素材を採用するなどして、多少イニシャルコストがかかっても耐久性のあるもので計画する配慮が必要であろう。

近年、少主桁橋梁などの合理化橋梁の出現によって、大支間PC床版や鋼・コンクリート合成床版が適用されるようになった。また、鋼とコンクリートを組み合わせた複合橋梁が、数多く実現するようになった。それにともなって、鋼橋の分野においても、コンクリートの設計・施工に関する技術力をこれまで以上に高めることが要求されている。

特にコンクリート床版のひびわれの問題が大きな課題となる。これは個々の技術者の問題というよりも、会社やその他の組織単位で考えるものであろう。

当社においても、既往の床版工事における不具合事例の収集、是正処置、予防処置などを冊子にまとめ、会社の技術の蓄積とするとともに、これからの工事の参考資料として活用している。また、社内にコンクリートの設計・施工に関する検討グループを設け活動を進めている。さいわい、川田グループにはPC橋梁を建設する川田建設があるので、恵まれた環境にある。

床版は橋梁において最も重要な構造部分である、との

認識のもとに、設計・施工部門を中心に組織的に、継続的に取り組むことが大切である。鋼構造、コンクリート床版、付属物など、橋を構成する要素をトータルでエンジニアリングする技術者の育成が、時代の要求するところである。

## 橋の構造設計について

イギリスの初代土木学会会長であるトーマス・テルフォード（1757～1834）は、数多くの橋梁を設計し建設した偉大なエンジニアとして有名である。1826年に建設された、当時世界最長のメナイ吊橋（スパン176 m）は、その代表的な作品である。幾多の補修・補強を受けているが現在も供用されている。

テルフォードの時代においては、構造設計理論や数値解析技術が未熟であったことにもよるが、彼は理論設計を信用せずほとんどの構造諸元を実験により確認し、その成果によって橋梁を設計した。理論設計は全てある仮定条件のもとになされ、構造物はある数値モデルに置き換えられて理論解をうるものである。その仮定条件と数値（力学）モデルがいい加減なものであれば、数学的解は正しいかもしれないが、工学的には大きな誤りをもたらすものである。

テルフォードは、そのことに気付いていて実証主義を採用したのである。実際、近代構造力学の創始者であり、数々の構造理論を確立したフランスのナヴィエ（1785～1836）が最新の理論に基づいて設計した橋が落ちたことがあったが、テルフォードが長い経歴を通じて設計した、数百におよぶ橋とその他の建造物で、重大な問題を起こしたものは皆無と言われている。

テルフォードの時代から約200年を経た現在では、コンピュータによる構造解析が驚異的に発展し、複雑な構造物に対しても容易に厳密解を得ることができる。しかしながら仮定条件や力学モデルに問題があればどのような厳密解析をしても、得られた結果は構造設計には適合しない。このことはテルフォードの時代と現在で全く変わらない。

30年以上前になるが、私も有限変形解析プログラムを開発し、吊橋の架設途上の解析やケーブル構造の設計などの実務に大いに活用したことがあった。その時代は、このような解析のための有力なソフトを開発することが技術力のバロメータであった。

最近では、あらゆる解析ソフトが容易に入手できるようになったので、それらの道具をいかに使いこなして優れた設計に結びつけるかが、技術力の優劣を決める時代になった。

コンピュータに使われない、コンピュータを使いこなす、いわゆる利用技術が問われる時代である。

コンピュータによる橋の設計では、設計の自動化が進み、ものによってはコンピュータがほとんど設計をするようになった。設計担当者は、それらの成果をとりまとめることが主要業務になっている。

また、計算プロセスがブラックボックスで、インプットをすれば計算結果のみがアウトプットされる。それゆえ、自分が設計しつつある橋の挙動や力学的特性を把握することなく、数値の流れに乗って設計を進める、設計のデジタル化ともいうべき状況にある。

このような状況において、設計技術者は、自分が設計しつつある橋の構造特性や力学的性状を把握するように努めることが大切である。例えばアーチ橋を想定した場合に、

- ・補剛桁やアーチ基部の支点（拘束）条件によって全体剛性がどの程度影響されるのか、
  - ・主部材において、死荷重による応力と活荷重による応力の比率、曲げモーメントによる応力と軸力による応力の比率はどの程度なのか、
  - ・どの領域に作用する、どのような荷重に大きく影響されるのか、
  - ・部材断面を決定している支配荷重は何か、
  - ・部材剛性が変化すると断面力はどの程度偏るのか、
  - ・橋の非線形性はどの程度なのか、
  - ・橋の変形性状と、それによって応力集中や疲労亀裂などが心配される構造部位、
  - ・たわみ剛生や振動数と、ゆれやすさの関係、
- などなどである。

また、さまざまな橋梁形式について、橋のあの部分に荷重が作用したら、ここには、このような断面力と変形が生ずるはずであるということをおおざっぱに推定できる能力を身につけることが大切である。それには、それぞれの橋の主要点における影響線の形をフリーハンドで頭に描けるようにするの一つの方法である。設計技術者が構造物の特性を常に意識して把握することが、技術力の向上につながるものである。

設計技術者は、‘構造計算は、それがいかに正しく厳密であっても、より安全で効率良い構造物を設計するための手段にすぎない’ということを強く認識すべきである。

構造を先に決めて、コンピュータで詳細な構造計算や断面計算をして、その結果をもって設計した、と考えるのは如何なものであろうか。全体構造にせよ部分構造に

せよ構造設計においては、まず技術者が自分の経験や知見から妥当と思われる構造案をいくつか想定し、コンピュータによる構造計算などにより、それらの案を具現化し、設計・製作・施工性など多方面から比較検討して最適構造を選定する。その時点で工学的に構造設計は完了しているが、そのようにして決められた構造について、詳細な数値解析で最終的に諸元を確認し微調整するだけのことである。

また、橋梁設計技術者は、橋について大いに語り合うべきである。性能設計の時代における橋はどうあるべきか、設計に関する技術討論、一つの橋の設計について何人かの技術者で議論し検討するなど、技術者同士でのコミュニケーションを大切にしたい。そのような場を設けることによって、情報の共有化、経験豊富な先輩技術者からの技術移転など、様々なメリットが得られるからである。

アメリカの建設コンサルタントに勤務している私の大学時代の友人がたまたま帰国した際に聞いた話だが、その会社では隣の席で電話が鳴っても受話器を取らないとの話を聞いたことがあった。自分の作業能率が低下するからとのことである。だいぶ前の話だが、その話を聞いた時には当時の日本人のマインドとの差を感じてカルチャーショックを受けた。

最近では日本でもIT化が進み、隣の席の同僚にメールで用件を伝えるとの話を聞いたことがある。職場における生のコミュニケーションや技術的ディスカッションの場がますますなくなりつつあることを憂えるものである。人と人のつながりや組織としての動きを強くするうえで日常のコミュニケーションは欠かせないものである。

いずれにせよ、設計技術者は橋の設計一式を自分で経験することが非常に大切なことである。'Most of what you hear, you forget ;some of what you see, you remember; what you do sticks.' これは海外の技術雑誌で見た文言であるが、耳や目から入るものより、やはり自分の手、自分の頭で実際に行うことが技術力を身につけるうえで欠かせない、というのは世界共通である。

## 安全について

建設業全体では、事故により毎年800人前後の死亡者を出している。20年ほど前に比べると3分の1程度に減少しているが、ここ数年ではほぼ横這い状態にある。日本橋梁建設協会の統計によれば、鋼橋工事においては毎年40件程度の災害が発生しており、その中で死亡災害が5件程度である。これらの災害数は、ここ20年ほど大きな変化は無い。橋梁工事は高所作業が多いため、他の産業に

比べて重大災害の比率が大きいのが特徴である。

当社においても安全に対して非常に努力をしており、安全作業標準・手順の整備、安全教育、安全担当者や役員による現場パトロール、その他安全にとって有効と思われることは、きめ細かく実行に移している。しかしながら、事故は毎年発生しており、特に今年度は例年に比べ悪い結果となっている。まだまだ努力が足りないであろう。

事故が多発すれば顧客の信頼を失い、会社に対する厳しい評価を受けるとともに、その姿勢までが問われることになり、これからの厳しい時代に生き残ることはできないであろう。

事故の原因を分析すると、安全作業標準や決められたルールを守っていない場合が大部分を占めている。いわゆる不可抗力と思われるものは皆無に近い。安全作業標準やルールを守り、守らせることを徹底すべきである。

「同じ種類の災害330件の内、300件は無害で、29件は軽い傷害を伴い、1件は報告を要する重い傷害を伴う」というハインリッヒの法則を持ち出すまでもなく、一歩間違えば大きな事故につながりかねない小さな事故、隠れた事故が少なからずあるはずである。小さな事故が発生したときに十分原因を追及し、是正・予防処置を講ずることにより、大事故につながる芽を摘んでおくことが大切である。

事故は多くの要因が複雑に連鎖することによって発生するものである。事故の様々な要因の一つでも欠けていれば、また要因の連鎖を断ち切ることができていれば事故は回避できるのである。

最近の工事現場では安全設備などの、いわゆるハード面は非常に充実している。これからは作業現場での組織、チームワーク、情報伝達、作業員の体調など、いわゆるソフト面に注目し力を注ぐことが大切と思われる。職場や家族間の人間関係やトラブルが心身の状態を低下させたり、注意力を奪うことになる。このような状態で作業していれば事故に結びつきやすいのは当然である。

我々も日常生活においてエレベータのボタンを押し間違えたり、違ったフロアで降りてしまうような、うっかりミスを経験しているはずである。このようなうっかりミスが工事現場などでは重大災害につながるようになる。ヒューマンエラーは必ず起こるので、そのことを前提にその時にも事故に繋がらないように安全対策を立てることが肝要である。当社においても昔から言い古されている、いわゆる「二段構え」でそなえることである。

安全は人工的に造られていることを忘れてはならな

い。安全担当者や現場工事担当者など、関係者が絶えず努力することによって安全が維持されており、少しでも力を抜くと劣化してボロボロになる。したがって、安全は生産活動の中に組み込まれていなければならないし、しかも絶えず維持補修されなければならないものである。生産活動に組み込むというのは、現場工事ならば、その工事の基本施工計画を立案する段階から、安全を第一にしてスタートすることである。

安全第一という標語は今日では誰も知らない人はいないが、これについて当社発行の「かけはし」1989年1月号の緑十字欄で以下のように紹介されている。

1906年当時世界最大の製鋼会社USスチール社のE・J・ゲーリー社長が新しい工場を建てるにあたって打ち出した経営方針が、この有名な「安全第一・品質第二・生産第三」である。生産に安全・品質を優先させたにもかかわらず、ケガが減ったばかりか生産も目標を達成したということで、Safety Firstの標語がアメリカ全土に広がったものである。

安全面から生産現場での職務分担や指示命令システムを組織化し実行することが、職場のモラルを向上させ、それが品質や生産性の向上にも繋がるのである。ある資料によれば「企業は安全対策に掛けた費用の2.7倍の利益を得る」という調査結果がある。

安全に対する職場の風土が災害と密接に関係している、と言われていることから、各職場においては、このことに十分配慮した安全管理を実行してほしい。当社では各部門で業務改善研究活動が継続的に行われている。これまでは技術、品質、生産性の向上に関するテーマが主体であったが、これからは安全に関する改善テーマを積極的に取り上げ、安全性の向上に大いに力を注いでいきたい。地道な努力の積み重ねが大きな差となるのである。

## 品質について

品質管理・品質保証システムの国際規格であるISO9000sを公共工事に適用することは、当時の建設省が主導して1995年に推進された。1996年にはISO9000sを試験的に適用したパイロット工事が実施されるようになり、鋼橋のパイロット工事も同年に発注されるようになった。その後、パイロット工事の発注は年々増加している。

2001年度に国土交通省が発注を予定している工事・コンサルタント業務のうち、ISO9000sの認証取得を参加資格とする試行対象案件は176件（建設工事155件、コンサルタント業務21件）におよんでいる。これらの中には鋼橋工事が25件、PC橋工事が20件程度含まれている。公

団会社などでもこのようなISO適用工事の発注が予想される。

ISO9000sの導入効果については、これまでの適用パイロット工事を通じて、公共工事の品質水準を向上させるしくみとして有効に機能するとの結論を得ており、今後、年を追うごとにISO適用工事が本格的に普及することになる。

このような動きのなかで、日本橋梁建設協会に加盟する企業も次々とISO9000sの認証取得に取り組んできた。2001年9月現在、日本橋梁建設協会会員会社75社のうち63社が認証取得済みであり、当社も1997年に認証を取得している。

ISO9000sは2000年に大幅に改訂された。当社においても新規格への移行に取り組んでいるところであり、今年中には移行審査を完了する予定である。新規格には旧規格に比べて様々な特徴があるが、顧客重視もその一つである。

すなわち、顧客の要求事項を満足しているかどうかに関して、顧客の評価を把握することが要求されている。したがって、我々としては顧客の満足度に常に気を配り、その情報を活用して品質管理活動を継続的に改善することが必要になる。

ここで品質管理活動とは、最終製品の出来不出来のみを重点的に管理するものではない。営業、設計、製作、工事など製品を供給するための全てのプロセスにおける品質活動を意味するものである。

‘結果が良ければ全て良し’、という言葉があるが、品質活動においては‘結果重視からプロセス重視’に重点が置かれている。これからは、結果オーライでは顧客からの信頼と高い評価を得ることは出来ない。

ところで、国土交通省では発注者（顧客）と受注者（企業）相互の基本的立場を以下のように定義している。

- ・社会資本の購買者たる発注者は「公正さを確保しつつ良質なものを低廉な価格でタイムリーに調達する」が基本。
  - ・社会基盤の整備を発注者と一体となって実施する受注者は「品質を確保しつつ、効率的に供給する」が基本。
- すなわち、公共工事の成果を製品とみなし、それを発注者が顧客として購買し、受注者は企業としてそれを供給する、ということが明確にされている。

このように公共工事における品質の概念とその重要性が変貌しつつある。また顧客の品質評価が受注活動に大きな比重を占めてくる。我々としては、このような流れを十分認識し、従来の品質管理手法に改善を加え、品質の確保に努力しなければならない。

これからの品質活動では、まずISO9000sの品質マネジメントシステムの運用をしっかりと定着させることが最も重要であろう。各種関係機関が行っているアンケート結果などを見ても、十分なじている企業は少ないように見受けられる。海外で造られた国際規格を、我が国の品質活動に定着させるには、ある程度の期間と試行錯誤が必要である。当社においても、社内での運用を今以上に定着することが、これからの課題である。

品質マネジメントシステムが十分運用されたとしても、限られた経営資源のもとに人が実行し人が管理する以上、不適合を完全に無くすことは不可能である。当社においても不具合、不適合事例が毎年発生している。

重要なことは、担当者もしくは担当部門は、発生した不適合の情報をお互いに報告しながら包み隠すことなく開示し、組織全体で協力しあって是正処置、予防処置などの対策を講じることである。すなわち「個人の品質管理」から「組織の品質管理」へ名実ともに移行させなければならない。なぜなら「個人の品質管理」では是正処置はできても、予防処置を講ずることは不可能だからである。このことを日常の業務活動の中にしっかりと定着させれば顧客満足度を向上させることにつながるであろう。

日常の品質管理においては、各部門における入り口（インプット）と出口（アウトプット）の所をしっかりと固めることが、不適合を減少させることになる。工場における外注加工製品を例にとれば、その発注仕様、外注先での自主検査要領、当社における受け入れ検査な

どの入り口部分の品質管理を強化することである。また、製品の出口部分である出荷直前の検査を充実させることである。

品質の向上、不適合の排除には日常的に取り組んでいるが、今後とも各部門で地道な努力を積み重ね、少しずつでも前進することが重要である。

## おわりに

1993年に90年ぶりといわれる入札制度の大改革、1994年には欧米に比べて高いといわれる公共事業建設費の縮減、1995年には品質確保のためISO9000sの導入など、公共事業に対する大きな変革が次々と実施された。ここ数年間は公共事業に対する風当たりが非常に厳しくなっている。なるべく早い時期に公共事業のGDP（国内総生産）に対する比率を欧米並に下げべきである、との意見も主張されるようになった。

これからの10年で社会のしくみが大きく変わり、公共事業費も大幅に減少することは避けられない情勢である。どうしても悲観的にならざるを得ないが、このような社会環境になればなるほど、確かな技術で優れた品質の橋梁を安全に建設し、その成果で顧客から高い評価を得ることが、ますます重要になる。

結局は当社の社訓にあるように、社員一人ひとりが、技術力の向上に努め、誠実に、確実に仕事を完結することが最も大切な基本である。

