

道路橋示方書の性能照査規定化とこれからの橋
—耐久性・維持管理関連規定を中心として—

PERFORMANCE BASED DESIGN CONCEPT AND TOMORROW'S BRIDGES
—EMPHASIZED ON DURABILITY AND MAINTENANCE—

西川和廣*
Kazuhiro NISHIKAWA

ABSTRACT The swiftly changing condition concerning bridge design and construction requires a more flexible design criteria. This paper describes that the principle of performance based design is a tool to fulfil those requirements. Specified suggestions how to revise the current specifications for highway bridges in Japan, especially on durability and maintenance aspect, are also presented.

KEYWORDS：道路橋、性能照査規定、ライフサイクルコスト

Highway Bridges, Performance Based design, Lifecycle Cost

はじめに

道路橋示方書の改訂作業がこの春から行われている。来年度には新しい示方書が姿を現すことになる予定である。

新道示の旗印は「性能照査規定」である。しかし、これは改訂の基本理念であり、目標を示すための手段であって、目的は別のところにある。それは国際化への対応であり、新しい材料・構造、多様な発注・契約方式への対応であり、耐久性・維持管理関連規定の具体化である。

これらのうち、耐久性・維持管理関連規定については、疲労設計やライフサイクルコストの概念が導入されるなど、新たな項目が導入されることになる。このような道路橋示方書の改訂が、これから橋梁にどのような変化をもたらすのか、鋼構造物に対して有利になるのか不利になるのか、さらにどんな耐久性向上技術が出現しつつあるのか等について、3人の発表者とともに話題を展開してゆくことにしたい。

1. 道路橋示方書の改訂、性能規定化への取り組み

(1) 改訂の背景と目的

前回平成8年に改訂したばかりの道路橋示方書を、今改訂しなければならない主たる背景と目的は以下の通りである。

①国際化への対応

国際化といえば外国企業の参入が想い起こされるが、わが国の技術者が海外で活動することも視野に入れなければならない。ここでは技術者の競争力がものをいう。ところがわが国の技術基準は、大量の構造物の建設を質、量ともに必ずしも十分でない技術者により成し遂げなければならなかつた背景から、仕様書的な色彩が強く、新たな技術提案を受け入れにくく印象を与えてきており、競争力の強化を阻んできた嫌いがある。

一方、外国から見ると、経験則に基づいた仕様規定の占める割合が多く、不透明な印象を与え、非

*工修 建設省土木研究所 構造橋梁部橋梁研究室長（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

関税障壁との誤解を生む原因ともなっている。

さらに I S O における技術基準の国際統一化の動き（S I 単位への移行を含む）も大きな背景である。

②構造等の多様化への対応

利用者の要求が多様化し、構造形式、造形、景観、環境との調和等への対応が不可欠になるとともに、これらを実現するために、V E、D B など、発注・契約方法も多様化しつつある。しかしながら、現行示方書がやや工法を限定するような印象を与えるため、新技術の導入において障害になっているケースが見られる。技術基準が新技術の導入や新しい発注形態を制限することは、本来あるべき姿ではなく、より柔軟な基準への移行が望まれている。

③維持管理、耐久性の重視

維持管理の時代と言われるようになってから久しい。

現在の道路橋示方書にも、「耐久性に考慮して」、「維持管理に便利な」等の表現はあるが、大半が精神論的であり、具体性に欠けることが耐久性のある橋づくりが進まない要因となっている。

耐久性に関係する規定は、その妥当性を確認するのに長い時間を要すること、施工や維持管理の良否に左右されることなどからどうしても抽象的になってしまう傾向がある。筆者はたとえ不十分なものであっても、具体性のある規定を設けることによって、今後設計、建設される橋がよりよい方向にシフトするものと信じている。不完全さについては、維持管理を行う中で修正されればよいのではないかだろうか。この点が本論文におけるひとつの主題である。

④コスト縮減等の成果の早期導入

近年のコスト縮減努力の結果、従来とは発想の異なった橋梁構造や設計の考え方が出てきている。

これらの中には、安易に見かけだけ真似をすると耐久性に問題が出るおそれがあるものがある。同時に、非常に優れた構造でありながら、道路橋示方書に位置づけられていないというだけの理由で、せっかくの技術が活かされないという問題も存在している。

このようなことから、一定の評価が出来るものについては、道路橋示方書に何らか最小限の記述をすることが求められている。

(2) 改訂の基本戦略

以上の背景を注視すると、より透明性のある柔軟な基準が望まれていることがわかる。言い換えれば透明性とは、各条項の目標とするところが明示されていることであり、柔軟性とは、新技術を含め複数の代案を許容することに他ならない。これはまさに性能照査型規定（性能規定）の目指すところと一致する。そこで今回の改訂では、この理念を改訂の方向を明確にするものとして活用することにした。したがって、いわゆる性能照査型規定を完全な形で実現することは必ずしも目的ではない。

現在の状況から、改訂作業にはスピードが重要な意味を持つ。また、複雑に制度や経済構造が絡み合った中で、混乱を最小限に押さえ、新しい規定の考え方方が円滑に導入されることも必須の条件である。そこで採用することにしたのが以下に述べる 2 段階の改訂スケジュールである。

第一段階は、短期間に道路橋示方書の性格を性能規定の方向に向けることを最重点と考え、「みなし適合仕様」という概念の活用することとした。すなわち、現在の道路橋示方書の条文及び解説（場合によっては行間）の中から、それぞれの条項における要求事項を探り出して冒頭に記述、現行の規定をみなし適合仕様としてそのまま残そうというものである。この際要求性能の表現など、不完全さは許容することにしている。

このことにより、道路橋示方書の性質は、「この通りしなければならない」から「この通りでもよい」へ 180 度変わることになる。これにより大半を占める中小事業に対しての混乱を回避することが可能となると同時に、短期間で本格的性能規定化への一種の遺伝子が組み込まれることになる。

第二段階では、性能照査型の規定としてより完全な形への移行を目指すことになるが、これにはかなりの時間を要することになりそうだ。ここではそれについての詳細を述べる余裕はないので、主

な項目を列挙するにとどめたい。

- ・道路橋示方書の法令上の明確化、局長通達から省令へ、基準と標準仕様の分離
- ・編構成の再考、橋としての要求性能・検証方法を規定する編と、部材設計に関する規定との分離
- ・委員会の再構成（検証方法、みなし適合仕様の認証機関として）
- ・書式の変更、国際共通語になりつつある部分安全係数設計法の書式へ

2. 耐久性関連規定

2. 1 現状と問題意識

図-1は、平成8年4月1日現在の橋梁数及び延長を示している。橋長（全長）15m以上の道路橋は全国で約13万橋、そのうち鋼橋が約40%、PC橋が約35%となっている。なお、延長で見た場合、鋼橋が約50%となっている。

図-2は、建設年次ごとの橋梁数を示したものである。昭和40～50年代に建設時期が集中しており、一種の団塊の世代を形成していることがわかる。

橋のタイプの主流が、RC→鋼→PCと移行しているのが読みとれるが、最近のPC形式の増加は、コスト比較とともに、将来の維持管理費を考慮したものと推測される。

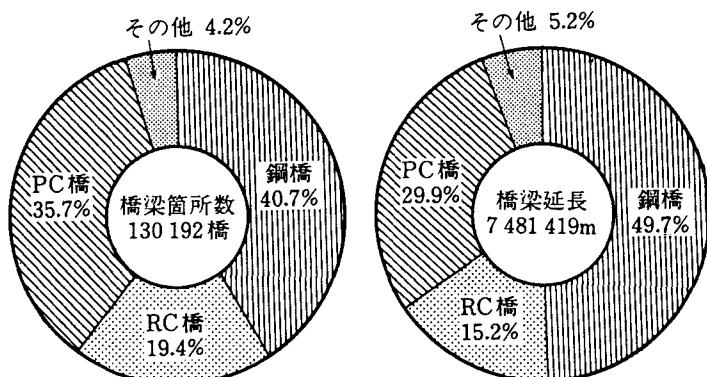


図-1 形式別橋梁数及び橋梁延長

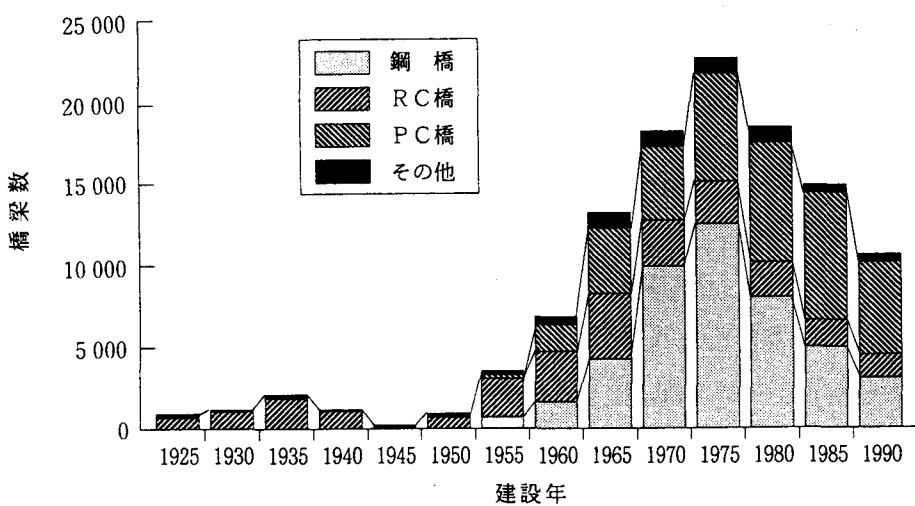


図-2 建設年次別橋梁数

橋の寿命（耐用年数）についてはいろいろ議論のあるところであるが、もし一般に言われているように50年程度だとしたら、 $130,000 \text{ 橋} \div 50 \text{ 年} = 2,600 \text{ 橋/年}$ となる。最近の新設橋梁は、1年間におよそ2,000～2,500橋のペースで建設されているが、毎年これを上回るペースで架換えを行わなくてはならないことになる。

これは橋の年齢構成が一定であるとした場合であり、さらに団塊係数を掛けるこの数字はかなり増幅される。図-3に示すように、団塊世代の橋の供用期間が50年を超える始める15～20年後から、老朽橋の数が急激に増加することがわかる。新設と異なり、既存の橋の架換えでは、仮橋の設置や交通の切り回しなど、コスト、工期の両面において非常に不利であり、さらに工事期間中の渋滞による社会経済的損失を考慮すると、その負担は極めて大きなものとなることは確実である。

今後、我が国も本格的な高齢化社会に突入することになるが、同時に高齢化する橋梁に対し、どのようにしたらサービス水準を下げることなく対処することが出来るかが、我々に与えられた課題である。

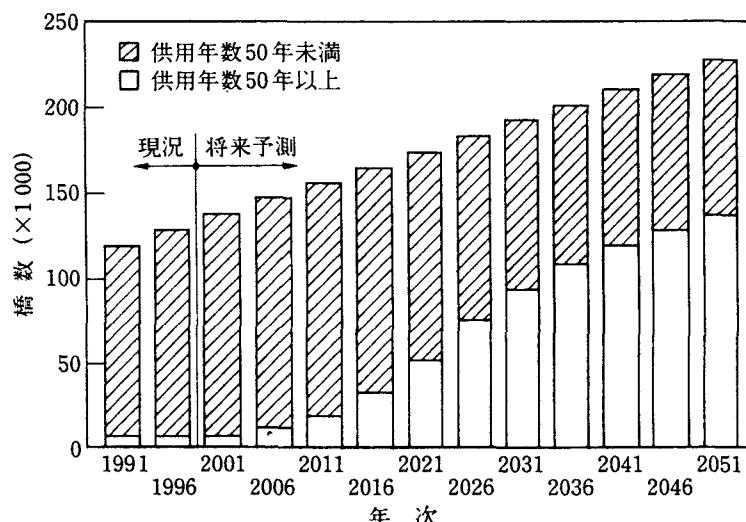


図-3 全橋梁数と老朽化橋梁数の将来予測

2. 2 ライフサイクルコスト概念の導入

(1) 橋のライフサイクルコスト

将来の維持管理負担を減らすための有力な回答のひとつとして、ライフサイクルコスト（以下、LCCと略記する）の最小化があげられる。

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。

LCCは一般に以下の式で表される。

$$LCC = I + M + R$$

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

LCCによる経済性評価はパフォーマンスとの関係で議論される必要がある。Rすなわち更新コストをかけた結果、どのような性能（パフォーマンス）の向上が期待されるかということである。

パソコンや自動車のように、年々そのコスト（IあるいはR）に対する性能（コストパフォーマンス）の向上が著しい工業製品では、適当な耐用年数を設定して更新するのが適切な方法であることに説明は不要であろう。このような製品を必要以上に長く保持しようとすれば、部品調達などに大きな負担が必要になり、趣味の領域になってしまう。

道路の場合、いつでも障害なく通常の走行が確保されることが最大のサービスであると考えれば、それを阻害する更新や維持管理作業の頻度を限りなく小さくすることが優先されるべきである。また、更新の費用及びそれにともなう社会的損失の大きさを考慮すると、ライフサイクルコストを最小にすることとは、橋の寿命を長くすることによりR（更新コスト）を抑えること、同時にM（維持管理コスト）を小さくすることに集約されよう。

(2) 橋の寿命は何で決まるのか

図-4は、昭和61年から平成8年の10年間に架け換えられた道路橋の主たる架換え理由を示したものである。図-4によれば、現時点において上下部構造の劣化、損傷により架け換えられた橋は15%程度であり、交通容量や道路線形の改良あるいは設計活荷重や耐震設計の改訂などに対応するために架け換えられたものが大半である。

図-5は、これらのうち上部構造の劣化、損傷により架け換えられたものに注目してその内訳を示したものであるが、鋼、コンクリートに関係なく、腐食（コンクリートの亀裂、剥離を含む）と床版の損傷が大半を占めていることがわかる。現時点では顕在化していないが、これに鋼部材の疲労を加えれば、ほとんどの「耐久性喪失要因」をカバーでき、それらを克服することさえ出来れば、永久橋の実現は不可能ではないと筆者は考える。

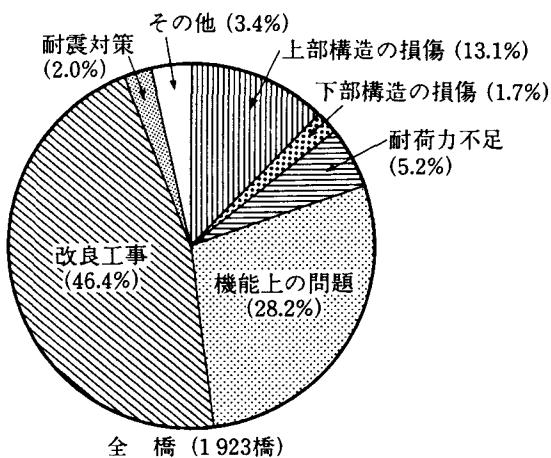


図-4 橋の架換え理由（平成8年建設省調査）

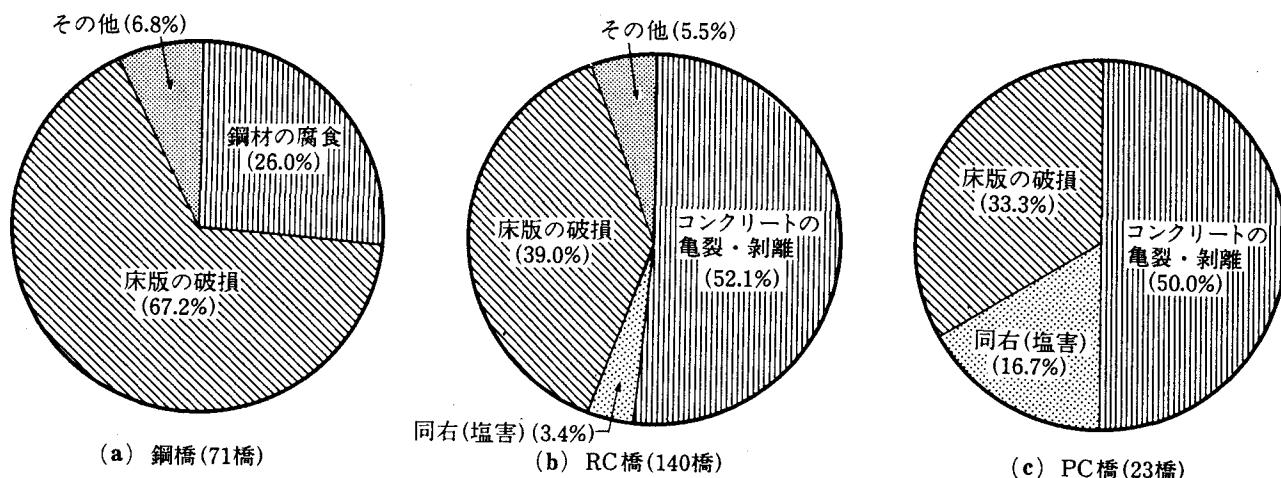


図-5 上部構造の損傷による架換え理由の内訳（平成8年建設省調査）

筆者は、現在のストックを適切に保全しつつ、順次更新して行くことのできる橋の平均寿命を必要寿命と称しており、基本的には永久橋目指すべきだと考えており、現実的に対応可能な方法として工学的永久橋の概念を提案している。

工学的永久橋とは、現時点で明らかになっている橋の耐久性を阻害するすべての要因について、設計、施工上の配慮に加え、最小限の維持管理を効果的に組み合わせることにより、ほぼ永久的な寿命を達成することを目標とする橋をいう。

上の考察により、具体的には床版、鋼材の腐食そして疲労を克服することにより、ほとんどの場合について工学的永久は達成できるものと考えられる。また、目標が明確になるため、維持管理負担の小さくする技術開発も促進されるものと期待している。

(3) 具体的にどのような基準化が考えられるのか?

LCCの概念を道路橋示方書にどのような形で位置づけるかについては検討中であるが、現時点での筆者の個人的な構想を示すと、おおよそ以下の通りである。

①十分に長い供用期間（設計供用期間）を設定し、ここまで持たすことが技術的に可能であれば永久橋とみなす。

例えば、「耐久性の設計及び維持管理の条件設定において、〇〇年の供用期間を満たすものは、便宜的に永久橋とみなしてよい。」（共通編）

②上記期間橋を維持するための条件を設計の段階で明示する（架換え、再塗装、部材・部品等の交換を含む）。

例えば、「橋の設計に当たっては、完成後〇〇年間における維持管理上の前提条件（架換えを想定する場合はそれを含む）を明示しなければならない。」（共通編）

③上記に基づいて〇〇年間のLCCの概算値を算出し、これを参考に経済性の評価を行う。

例えば、「橋の経済性の比較をする場合には、初期コストだけでなく、LCCの概算値を算出してこれを参考に構造を決定しなければならない（望ましい）。なお、架換えを前提とする場合には、工事に伴う社会的損失を考慮しなければならない。」（共通編）

例えば、「LCCの算出に当たっては、少なくとも床版、塗装、支承及び伸縮装置について考慮するものとする。」（鋼橋編）

もっとも、LCCの算出に用いる個別要素の寿命（耐久性）及び単価については、将来予想の精度は理論的にも良いはずがなく、道路管理者の経験や地域特性により評価が異なることが考えられるので、各機関の実績と調査等により概算値を決定し、隨時調整することが適當であろう。当初の数字は初期値設定と考えればよい。

上記の方法の利点は、設計供用期間の意味するところが明確になる（設計上の期間とマネジメント上の期間が一致）こと、維持管理をしっかりと行うことで、事実上永久橋として扱う（架換えを考慮しない）マネジメントが可能となることである。（耐用年数的な考え方では、期間満了時点での設備再投資の資金を留保しておくことが求められる。）

しかし、永久と見なせるような長い期間を設定すると、疲労設計等が過大になる可能性があるので注意が必要である。このような観点から、〇〇年については100年が適當という意見が大勢となりつつある。

2. 3 床版の耐久性

図-6は、RC床版におけるクラックの進展と、荷重を支持する構造系の変化を説明したものである。すなわち、もともとの床版は①等方性に近い版であり、耐荷力は極めて大きい。ところが、乾燥収縮クラックにより②異方性化し、橋軸直角方向に梁が並んだような状態になる。この状態で集中荷重が作用すると、こんどは橋軸方向のクラックが生じ、③橋軸方向の異方性が強くなる。このような現象が④サイクロ状に近い状態まで繰り返され、⑤荷重の移動によりクラックが版を貫通、擦り磨き

効果によりクラック幅が拡大、⑥押し抜きせん断強度が低下して、抜け落ちが生じることになる。

以上のメカニズムは、輪荷重走行試験機による疲労試験により、実橋床版における損傷パターンを実験室で再現できるようになったために明らかになったものである。

損傷メカニズムが明らかになれば、壊れない床版を設計することは不可能ではない。すなわち、①～⑥のどこかでその進行を断ち切ればいいのである。そしてそれは早い段階であるほど容易である。

例えば、①で止めるには、乾燥収縮が入らないような施工（養生、膨張コンクリートなど）をする、配力筋を増やす、橋軸方向にプレストレスを導入すること等が考えられる。また、乾燥収縮クラックは避けられないとして、②から③への移行を阻止することも考えられる。すなわち、橋軸直角方向の耐荷力をアップすること、あるいはこの方向にプレストレスを導入することも考えられる。

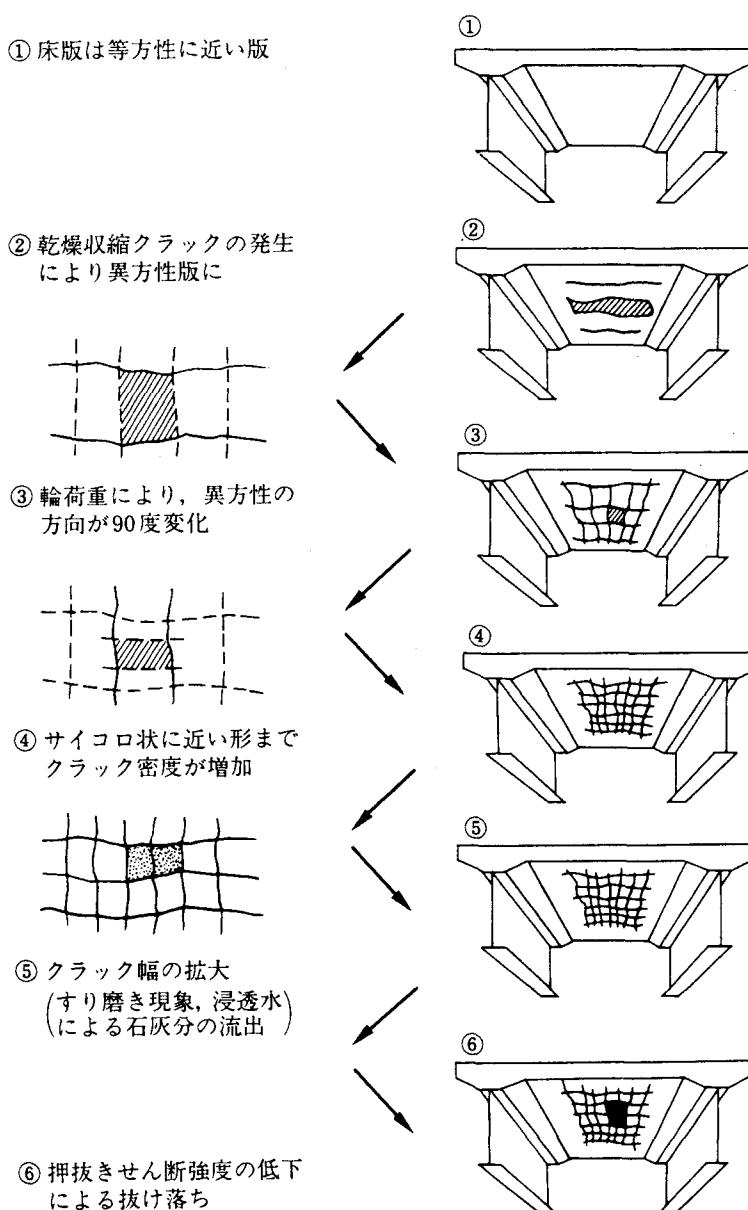


図-6 RC床版の損傷メカニズム

ところで、床版の設計法であるが、床版に対する要求性能（照査項目）として、主桁作用のほかに、①満載時の耐荷力、②疲労耐久性、③腐食耐久性、④荷重分配効果（桁の不等沈下）、⑤横荷重、⑥たわみあるいは振動を上げることができる。

これらの内、最も難しいのが②の疲労耐久性であろうと考えられる。数多くの疲労試験を行い、その結果からいわゆる疲労設計を行うことも可能かもしれないが、建設省土木研究所での疲労試験結果（図-7）からR C床版のレベルとP C床版レベルに大別できることから、床版の耐久性を、R C床版を長期的には打ち換える必要な床版とし、輪荷重試験で破壊しなかったP C床版及び同等の疲労耐久性を有するタイプの床版とに大別することも考えられる。また、図の階段載荷による疲劖試験方法を、床版の疲労耐久性に対する検証方法と位置づければ、新形式床版の採用の判断も容易になる。

ただし、より高い性能を期待する床版にあっては、施工管理、腐食耐久性に対する対策（具体的には防水及びP Cケーブル等鋼材の腐食対策）等の条件についても考慮し、LCCの中に見込んでおく必要がある。

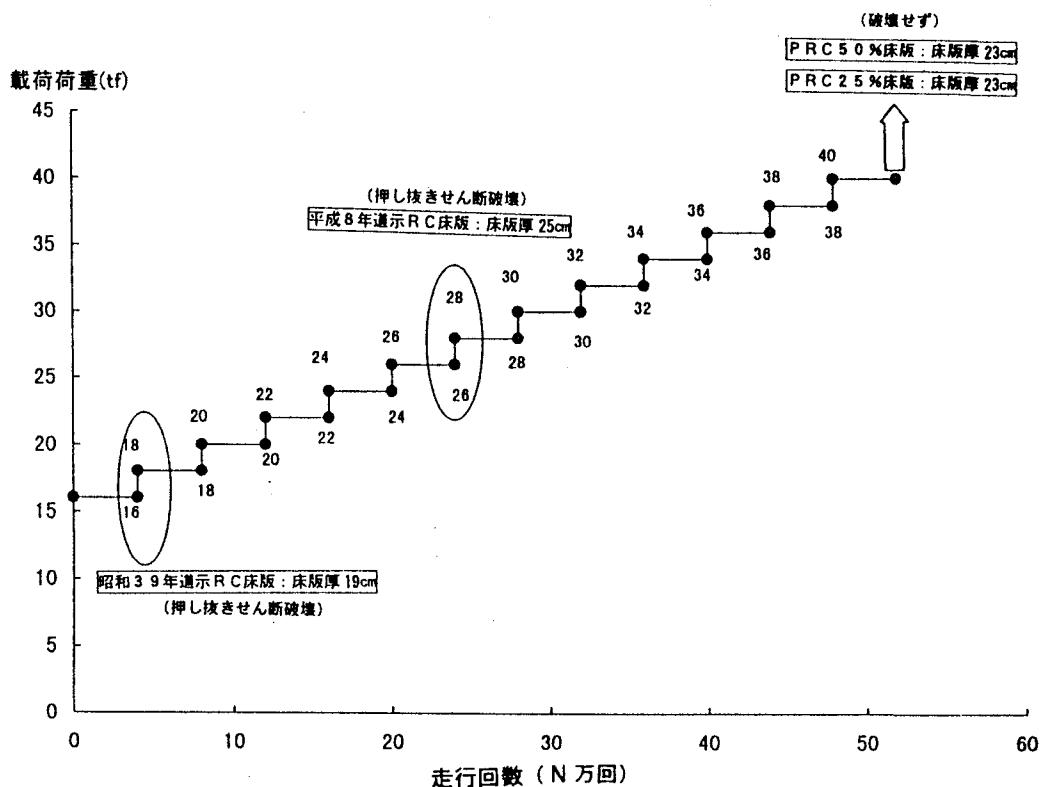


図-7 床版の輪荷重走行試験結果（R C床版とP C床版の比較）

2. 4 疲労設計基準の導入

従来、疲労設計は鉄道橋において必要とされるものとされ、道路橋に疲労設計は必要ないと言われてきた。事実、現在の道路橋示方書においても、「道路橋においては、鋼床版ならびに道路橋に軌道または鉄道を併用する場合などを除いて一般に疲労の影響を考慮しなくてもよい。」とされている。その理由は、道路橋の活荷重が鉄道橋に比べて相対的に小さいこと、及び鉄道橋では個々の列車の重量が設計活荷重にほぼ相当するのに対し、道路橋の設計活荷重が車両の満載状態を想定していることから、設計荷重に相当する応力が生じる確率、すなわち荷重の繰り返し回数が著しく小さいと考えられたことによる。

しかし、設計で想定する供用年数が長期化することにより、道路橋においても疲労は、橋の寿命を決める物理的要因としてより重要度を増すことになる。疲労に対する照査を行うことを基本とすべき時期が到来したと考えている。

ただし、ここで注意しなければならないのは、耐久性の定量的な設計において、不用意に安全側の仮定を設けないことである。対象にもよるが、耐荷力に関する設計と異なり、安易に安全側の仮定をすると、現実的な設計が不可能になることもある。十分に長いサービスライフを目標としているのだし、適切な維持管理を前提としていることから寿命に関する安全率は1.0に限りなく近いものでよい

と考えている。

疲労設計基準が導入されると鋼橋にとって不利になると考える人が多いものと想像する。しかし、むしろ疲労についての正しい知識が周知されることにより、疲労に対して有利な構造、ディテールが明確になるとともに、要求性能あるいは限界状態が明確にされることから、これまで消極的であった高張力鋼の使用も可能性が探れるようになるものと考えている。

2. 5 鋼構造物の腐食対策

鋼橋の塗装は、維持管理上の宿命と考えられ、ライフサイクルコストを考慮するとどうしてもP C構造にはかなわないとあきらめていたのではないだろうか。しかし、最近の技術開発はめざましく、既に塗装は必ずしも維持管理上の重荷では無くなりつつあると筆者は考えている。

鋼橋の防食対策として、以下のような工法がが考えられる。ただし、滯水や塵埃の堆積などを生じないディテールの採用など、設計・施工上のきめ細かい配慮が大切なことはいうまでもない。

- ①錆びない鋼材の使用
- ②耐候性鋼材の無塗装使用
- ③亜鉛めっき等犠牲金属による防食工法
- ④耐久性の高い塗装（コーティング）

①について、ステンレススチールあるいはチタンによるクラッド鋼の使用がこれにあたる。チタン被覆については東京湾横断道路連絡橋の橋脚の一部に用いられたのでよく知られているが、いずれも試験的な使用の域を出ておらず、施工性も含め、まだ評価は定まっていない。

②について、耐候性鋼材の無塗装使用は、適用地域さえ誤らなければもっともLCCを低減できる方法である。しかし、耐候性鋼材は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が著しく増加しているので、既設の橋も含めて注意する必要がある。

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ている。一種のプライマーを塗布することにより、これまで10年以上（本格的な安定化には2,30年とも）かかるとされていた安定錆の生成期間が、1年前後まで短縮される。また、鋼材そのものについても新しいタイプの耐候性鋼材が開発されつつあり、その中には飛来塩分の多い海浜部での使用に耐えるものも出てきており、無塗装使用の適用範囲が一層拡大されることが期待される。

③について、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り、塗装とは防食メカニズムを異にしており、傷に弱いという塗装の欠点がない。

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。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、特殊な環境でなければほとんど永久に使用できるものと筆者は考えている。既に架設後30年以上を経過しためっき橋がいくつか供用されており、それぞれほとんど変状を生じていない。

一方、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きている。金属溶射の技術は以前から使われてきたが、最近では、亜鉛とアルミニウムの擬合金溶射等、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表面形成剤の開発により下地処理が簡易になり、かつ付着が確実になったこと、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、これまでの局部的な腐食対策から、橋全体の防錆工法としての活用が期待される。

④について、いわゆる重防食塗装についても様々なタイプのものが開発されいるが、15年や20年の寿命ではLCCに対する負担はやはり大きい。基本的に鋼材の表面を覆うことによって酸素と水の供給を遮断するという原理は従来の塗装と共通であり、傷などの弱点により全体の寿命が決まってし

まうことも難点である。

さらに環境負荷の観点から、鉛フリー、有機溶剤フリーが世界的な流れになっており、塗装については今後の技術開発が求められているが、最近、無機質系の無溶剤型塗料が実績を増やしつつあり、塗装の救世主になるかどうか期待が持たれる。やはり鋼橋にとって、色彩の選択は重要な付加価値であり、塗装についても一層の技術開発を期待したい。

2. 6 支承・伸縮装置等

耐震設計の改訂以来、支承が高価になったとの不満が多く聞かれる。しかし、支承が付属物などではなく、上下部構造間の重要な境界条件を担う部材であることを考えれば、耐震設計における要求レベルが高くなっているのであるから至極当然と考えるべきである。とはいものの支承そのもののコストダウンが必ずしも目的を射ていないことも一つの要因であろう。

設計ツールの急速な発展を見れば、これから耐震設計は全体系を対象とした動的解析が主流になって行くことは当然の流れである。維持管理の観点からは、できればない方がよいのが支承や伸縮装置であるが、耐震設計上非常に有効な部材として活用するというポジティブな面についても注目して行く必要があると考えている。

コストダウンの観点から、機能分散型支承の開発の動きが期待される。これは支承を従来の形式にこだわらず、支点部全体として必要な性能を明確にし、それぞれの性能に対し最も適切な部材あるいは部品の集合体として捉えようというもので、まさに性能規定化の流れを先取りするものである。

3. これからの橋

現在、我が国の橋づくりは大きな変革の流れにさらされている。試みにキーワードを列挙してみると以下のようになる。

国際的な競争力の強化と透明性、量産から質の重視へ、造るから使うへ、どうやって造るかからどんな橋を造るかへ。また、発注者としての官と民間企業の関係も、官が自ら造るから発注して共に造る、さらには調達する、買うへと。もちろん橋梁構造についてもコンクリートとの合成複合はもちろんのこと、上下部一体構造など当たり前になりつつあり、設計法も全体系の立体解析、動的解析が主流になってきている。

このような状況において、橋の技術基準としての道路橋示方書はどのようにあるべきだろうか。ここに述べたのは現時点での筆者の回答でもある。すなわち、性能照査型規定への移行と耐久性・維持管理規定の具体化である。これにより、創意工夫が活かされやすくなり、我が国の橋梁技術（センスも含めて）向上が加速されることを願っている。

これからの橋とは？

それは読者それぞれにお考えいただきたい。

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、Vol.31、No.8、1997.8
- 3) 建設省土木研究所：既設橋梁の架替に関する調査結果、土木研究所資料第3512号、1997.10
- 4) 西川和廣：社会資本の維持管理－道路橋からみた社会資本維持管理の現状と課題－、土木学会誌、Vol.83-2、1998.2
- 5) 西川、内田：既設道路橋床版の疲労耐久性に関する検討、土木学第1回鋼橋床版シンポジウム論文集会、1998.10
- 6) 西川、八部、川畠、佐々木、内田、宮崎：パーシャルプレストレスを導入したPC床版の輪荷重走行実験、土木学会第1回鋼橋床版シンポジウム論文集、1998.10