

橋の性能と耐久性

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室
西川和廣

はじめに

いわゆる性能設計あるいは性能照査型規定についての議論が盛んになってきた。これらは本来、要求する性能と、それを保証あるいは確認する検査手法との関係を明確にすることから出てきたものであるが、我が国では、むしろ設計の自由度を拡げる手段として捉えられ、コスト縮減あるいは競争力の強化につながるという文脈で期待されている。

道路橋示方書においても、「性能照査型規定」をひとつのキーワードとして次期改訂作業に入っているが、あくまでも性能照査型規定あるいは性能設計の理念を手段として捉え、目的とはしていないことに注意する必要がある。

いうまでもなく、耐久性は橋に要求される性能の中でももっとも重要な項目のひとつである。以下は、今回の道路橋示方書改訂の基本方針及びその中の耐久性関連規定の考え方について、使用するOHPに解説を加える形で書かせていただいた。当日の講演では、耐久性に関連する事項に重点を置く予定である。

1. 道路橋示方書改訂の方向

道路橋示方書における性能照査型設計への取り組み

1. 改訂の基本方針

- ①国際化への対応
 - ・競争力と透明性の確保
- ②構造等の多様化への対応
 - ・利用者・納税者の要求、構造、景観、環境、契約方式etc.
- ③維持管理、耐久性の重視
 - ・具体性のある規定
- ④コスト縮減等の成果の早期導入
 - ・新技術・新工法

☆以上の方針を可能とする基本原理としての「性能照査型規定」
☆大半を占める中小規模の事業への配慮

道路橋示方書改訂の基本方針は、ほぼこれにつきる。①～④が改訂の目的であり、性能照査型規定の理念をこれらを実現するために最適な基本原理として利用することとしている。

①について、国際化という言葉には様々な事柄が含まれるが、国内の橋梁技術の「競争力」強化を促すためにはフレキシブルな技術基準が、国際的に理解を得るためには「透明性」のある技術基準が望まれる。そ

してこのことは、国際的な技術基準統一の流れにも合致する。

②について、利用者、納税者からの様々な要求を満たすことがますます重要になり、それらの要求を満たすための発注、契約方法についても多様な工夫が必要とされるが、これらに対して技術基準が障害になってはならない。

③について、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」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。たとえ不十分でも、具体性のある規定が必要である。

④について、道路橋示方書に規定されていないために新技術の採用に消極的になったり、逆に他機関での工夫を形だけ真似たりすることが懸念される。このため、最新の技術についても最低限の記述が必要である。

性能照査型規定の理念は、これら①～④の目的達成に方向付ける都合の良いキーワードである。しかし、性能照査型規定への道のりは短いものではなく、また多くの技術者にとって対応が難しくなることも想定される。そこで以下の戦略が必要になる。

◎改訂は2段階

● 1st

「要求性能」を明確化＋「現行道示のみなし仕様化」
書式、編構成等は据え置き

● 2nd

法的位置付け、委員会構成、編構成、書式等の改革

まず、性能照査型規定に向かうことを明言するため、最初のステップとして各章、各節に含まれている要求性能を抽出し、冒頭に明示するところから始める。困難な場合は文学的表現でも良しとする。さらに現行の仕様規定をすべて「みなし適合仕様」と位置づけることによって、激変による混乱を避けることができる。

これだけの変更でも、「道路橋示方書が原則」から「道路橋示方書の方法でも良い」へと大きな転換になる。今後、研究開発が進むにしたがって、徐々に道路橋示方書は充実してゆくことになる。

ここまでを可能な限り速やかに実施、その後第二段階として以下に述べるような形式上本格的な改訂に着手することを構想している。

2. 法令上の位置付け

○通達→政令、省令、告示等へ

○各レベルに分類

①本来、国の責任で規定すべき要求性能

→道路橋構造令等？

②検証方法、要求を充たすと見なされる仕様

→標準技術仕様書
③技術情報、基本理論（教科書的内容）の再掲
→便覧、資料集等

道路橋示方書は、建設省道路局長と都市局長共管の通達である。この中で、国が本来責任を持って規定すべき要求性能は1割程度と考えられ、この部分については省令等に格上げすることも考えられる。逆に残りの部分については、技術的な標準仕様として、あるいは設計上の参考資料として位置づけた方が、機動的かつ責任の所在が明確になると期待されている。

3. 編構成

○共通（全体構造）編、上部構造編、下部構造編、
耐震設計編は共通（全体構造）編の一部

橋としての要求性能、検証方法を記載

○鋼部材設計編、コンクリート部材設計編、合成・複合構造設計編等、
必要ならばケーブル構造編、木橋編等

材料の基本性能、保証方法等は、共通編あるいは材料編

現在の編構成が複合構造の採用を阻んでいる可能性がある。橋全体としての要求性能とその検証方法を述べる部分と、部材の設計に関わる部分に大別することが設計の多様化を促すものと期待している。

4. 委員会構成

①建設省の諮問に応じるための委員会
官、学識経験者、専門家により構成

②新技術・新工法、検証方法等の信頼性確認するための委員会
（みなし仕様等の合意形成の場合）
発注機関の代表者（AASHTOのイメージ）
＋学識経験者、専門家によるアドバイス

③日本道路協会に限定する必要は無いかもしれない

基準の法的位置づけや編構成が変われば、それらの原案作成を担う組織も変わる必要がある。

上記はあくまでも筆者の私案であるが、②は、発注者の代表技術者が、新技術・新工法に対する一種の

認証機関を構成することを想定している。

一般化した技術に対する参考書や資料集は、必ずしも官の手によるものである必要はないと考えている。

5. 新示方書の書式について

●限界状態設計法の三つの側面

○限界状態設計法

要求性能の明確化≒限界状態の明確化

○部分安全係数設計法

死活荷重係数の導入→鋼、コンクリート橋間競争力に影響

○信頼性設計法

社会科学的要素の強い係数については、適用の是非を含めた議論が必要

◎短期的改訂に引き続き、書式の変更版を準備して公表

限界状態設計法も橋を設計するための手段であることは同様である。

限界状態設計法には3つの側面があるが、限界状態と要求性能とは非常に近い関係にあると考えられ、要求性能の検討が行われる中で、議論が深められることを期待したい。部分安全係数は国際共通言語となりつつあり、性能照査型規定を適切に表現するには不可欠と考えられる。すべての分野を信頼性に基づいた設計法にすることは現実的とは思われないが、個々の事象を扱う中で最新の知見を考慮することは可能だと考える。

書式の変更については、第一段階完了後速やかに私案を作成、公表する中でバージョンアップを図ることを構想している。性能照査型規定化の第二段階と並行作業になるだろう。

6. 改訂への具体的な方策、内容について

○性能照査規定への第一歩

- ・条文と解説の分析、要求性能を抽出、各章、節の冒頭に記述
- ・現行基準はそのまま「みなし適合仕様」

○維持管理に関する規定

- ・新設橋の整備と既設橋の活用の考え方に違い
- ・「既設橋の耐荷力照査要領（案）」を巻末付録

- ・ライフサイクルコストを参考とした構造決定（共通編）
- ・ライフサイクルコスト算出で最小限考慮すべき要素（各編）
- ・設計の前提となる維持管理の条件

○鋼橋の疲労設計基準

維持管理に関して新たに追加する具体的な規定を例示したものである。

新規に設計する橋に対する要求と、既に供用されている橋に対する要求は自ずから異なるものと考えられるが、何らかの形で明記することにより、維持管理の考え方を明確にしたい。

ライフサイクルコストの概念を導入することは、耐久性があり維持管理負担の小さい橋づくりの促進に寄与することは明らかであるが、どのようにすれば円滑に導入できるかについては、今後検討してゆくつもりである。少なくとも、設計時にどんな維持管理を前提とした橋であるかの明示を義務づけることが大切である。

疲労設計基準の導入は、かえって鋼橋の設計に有利に働く可能性があると考えている。その理由は設計の限界がはっきりするからであるが、これについては8月末の「鋼構造と橋のシンポジウム」(土木学会鋼構造委員会主催)でご紹介する予定である。

○床版を2段階に区分

- ①プレミアム床版：2主桁、外ケーブルPC等、低リダンダンシー
→(高耐久性)PC床版等、高性能防水、高レベル施工管理
- ②スタンダード床版：多主桁橋の床版
→RC可、一般防水、一般的施工管理

○床版設計における要求性能(設計限界状態)

- ①満載の場合の耐荷力
- ②大型車通行による疲労耐久性
- ③腐食耐久性
- ④荷重分配効果
- ⑤横荷重
- ⑥振動等

コンクリート床版の耐久性については、輪荷重走行試験機による疲労試験成果が出るにつれて明らかになってきている。ここでは、床版が大きな役割を果たす橋梁形式と、そうでないものとの床版の使い分けを提案している。

筆者の考えている床版に対する要求性能の項目を示した。乞うご意見。

現行の規定+仕様では、①～⑥まですべて満たしていると考えられることも可能だと考えれば、特殊な構造形式の橋あるいは床版を採用する場合、従来と異なる部分について別途性能の検証を行うことになる。たとえば、疲労耐久性の検証については輪荷重試験機による疲労試験により証明することが考えられる。

2. 耐久性関連規定の表現について

道路橋示方書耐久性関連規定の表現について

1. 規定の要件

- 疲労設計などに用いる設計寿命（供用期間）を定めること。
- LCCの算出が可能であること（=LCC最小への誘導）。
- 道路管理者としてのマネジメント（橋梁群の管理）につながるものであること。

設計寿命あるいは設計供用年数に対応するものを規定することは避けられないが、どのようにして決定すればよいか？どのような意味を持たせるのが適当か？

疲労設計、ライフサイクルコスト等の計算は、この期間について行うことになる。

個々の橋の最適マネジメントと群としての橋梁マネジメントには自ずから違いがある。

2. 海外における事例

(1) ユーロコード方式

- 設計供用期間を規定（適切な維持管理を前提としている）

クラス	設計供用期間（年）	例
1	1－5年	一時的な構造物
2	25年	取替え可能な構造物の一部
3	50年	建築物、他の公共構造物
4	100年	記念構造物、橋梁、他の土木構造物

利点：整備レベルを決めるものとしては単純でわかりやすい

欠点：LCCの概念が希薄、マネジメントにつながりにくい
（個々の橋のレベルでしか考えられない）

適切な維持管理がなされた場合を前提とした、一種の耐用年数である。

期間を一律の耐用年数とすると、決められた年数でちょうど使用不能になるように設計し、維持管理することが最適のマネジメントになるが、それは本当に最適なのだろうか。もっと長持ちさせることは不経済なのだろうか。将来の技術革新の入り込む余地は考えないのだろうか。疑問が多い。

(2) AASHTO方式

- 設計寿命 (Design Life) として75年を設定。
設計上長期的な検討を行う場合の期間。
疲労、LCC算定の対象期間。
これを超える再現確率を有する事象は異常事態限界状態と分類。

利点：単純でわかりやすい。LCCにも対応。

欠点：75年の意味するところが不明。

LCCは算出できるが、寿命固定なので、マネジメントにどのようにつなげるのか不明。

AASHTOの方法は、LCCを意識している点、生起確率がきわめて低い現象を別扱いしている点で評価できる。しかし、ニューヨーク市の主要橋梁の平均年齢が70年を超えていることなどを考えると、75年の意味するところが何であるのか、明確にする必要があるように思える。

3. 現時点での構想

1) 十分に長い供用期間を設定 (100, 150, 200年?)

(ここまで持たすことができれば永久とみなす)

- ☆共通編：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、便宜的に永久とみなしてよい。
橋のLCCを算出する期間は〇〇年とする。

2) 上記期間橋を維持するための設計上の条件を明示する。

(架換え、再塗装、部材・部品等の交換を含む)

- ☆鋼橋編：1. ○ 設計の前提となる維持管理の条件
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。

(参考：1.5 設計の前提となる施工の条件)

ここで設定する「十分に長い期間」とは、橋として必要な機能を保持するための維持管理処方箋を設定する期間である。そして、処方が書けるものについては、「永久橋とみなして」よいこととしている。ユーロコード等では、設計寿命が経過した時点で使用不能になることを容認しており、その時点で更新に関わる設備投資が不可欠になるが、永久橋とみなすことにより、延命化努力による費用の軽減のアプローチが可能となる。

機能を保持するための維持管理方法を前もって設定することは、適切な維持管理が行われた場合の寿命とするユーロコード等に較べて能動的である。さらに将来必要とされる維持管理業務が具体的なので、技術革新による負担軽減を引き出しやすいと想像される。

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

☆共通編：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。

☆鋼橋編：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。

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、各機関の実績と調査等により概算値を決定してよい。

高い精度のLCCの算出は、理論的に期待できない。設計時点において得ることのできる、各種材料、工法等の耐久性やコストは、その時点までの経験やデータにより見積もるしかないが、LCCを試算した次の瞬間から技術開発が始まる可能性があり、数十年後、あるいは百年後においてそれらの数値はほとんど必ずといって良いほど変わってしまうからである。したがって、LCC試算における数値の精度を問うことはあまり意味のあることではなく、単なる初期値の設定と考えるべきである。精度の向上については、マネジメントを行う中で、修正を加えて行けばよい。

個人的には、担当技術者の経験からの期待値を用いることでも十分であろうと考えている。ただし、計算結果をもとに橋梁形式や様々な工法を決定する場合、その精度からかなりの幅を持ってLCC評価することが大切である。同時に、維持管理段階においては、それぞれの機関ごとに、常に基礎データを更新することが必要である。

LCCを算出すると、維持管理のどの部分にコストがかかっているかが明確になり、技術開発の目標を示すことになる。この点もLCC概念の導入の利点である。

利点：設計寿命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寿命が一致）。

維持管理をしっかり行うことで、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。

欠点：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。（ただし、規定の内容で対処可能）

どのレベルの道路管理者あるいは設計者に対してLCCの算出を義務づけるか、LCCの算出期間を疲労設計などと同じ〇〇年とすることの妥当性、割引率など、経済学上の指標をどのように扱うべきかなど、今後の課題である。