

## 道路橋示方書の改定概要と I 共通編の内容

白戸真大

### 1. はじめに

国土交通省は、橋、高架の道路等の技術基準（道路橋示方書）を平成29年7月に改定した。今回の改定は、平成13年以来の性能規定化が推し進められたものである。必要な性能を確保しつつ建設や維持管理のコスト縮減を図るために、橋の性能をきめ細かく設定・評価でき、また、合理的かつ確実に長寿命化を図れるように、設計供用期間、部分係数設計法、限界状態設計法など新しい概念や設計手法が導入された。本稿では、新たな性能規定化の体系を中心に、改定の概要を紹介する。

### 2. 性能規定化の進化

今回の改定では、平成13年以来の性能規定化がさらに進化した。

平成13年以前の道路橋示方書では今でいう要求性能という概念はなく、仕様のな規定の一連として技術基準が定められていた。これに対し、平成13年の改定では、個々の仕様のな規定を性能の標準的な達成手段とみなしたうえで、標準的な達成手段の上位条文として、規定の意図が要求性能として示された（図-1の①）。このようにすることで、標準の求める意図を満足し、従来標準と同等の安全性を有するものであれば、標準によらないこともできることが基準として明らかにされた。

しかし、これを適用するにあたって、性能を比較、評価するための項目の充実や指標の具体化が課題として残った。また、新しい上部構造の形式など、個々の条文の範囲を超え、それを統合したものとしての性能を比較、評価するための項目や指標も必要である。しかし、平成13年の改定ではこれらは明確でないままであり、様々な材料や合理化構造が提案されるなかで、橋の性能の説明の方法について統一的な考え方が求められていた。

今回の改定は、図-1に模式図を示すように、平成13年から導入している条文単位での性能規定化はそのまま引き継いだうえで（図-1の①）、さらに、橋全体系、上部構造・下部構造・上下部接続部、部材、材料の単位で、求められる性能を階層化して規定するという、性能の階層化が行われている（図-1の②）。併せて、各階層において、外力と抵抗の関係における安全性や荷重支持機能の信頼性を設計時点で明確化することが求められる（図-1の③）。これらすべての性能規定化構造が一連となって構成されたことが、今回の最大の改定点である。

図-1の②のように要求性能に階層性を持たせることで、橋全体として求める性能とそれを満足するための前提条件となる構造や部材の性能の関係性が明確になる。たとえば、新しい材質や部材の評価を説明するうえでも、その性質や強さなどの品質が保証されればよいことに留まらず、橋全体の性能との関係性を明らかにした性能の説明が求められることになる。

また、図-1の③に示すが、改定された道路橋示方書における外力と抵抗の関係性の信頼性とは、供用中に遭遇する可能性のある様々な状況として考慮すべき外力の組合せの水準、その組合せ外力に対して確保される構造の安全性及び機能並びにそれらの達成水準である。そこで、橋の耐荷性能においては、「橋がおかれることを想定する状況（荷重）」において「橋がどのような状態（抵抗）」に「どの程度の確からしさ」でなることを意図しているのかという構図をそのまま性能マトリクスとして規定し、これに沿う形で荷重と抵抗のそれぞれに安全余裕が与えられた。

以上のような性能規定化は、ISO2394 **General principles on reliability for structures**（構造物の信頼性に関する一般原則）にて求められる構造物の性能の説明性の向上にも結果的に合致するものである。たとえば、ISO2394において、状況は、外力等の発生頻度や組み合わせとして規定される。また、限界状態は、構造物の機能や安全性の観点

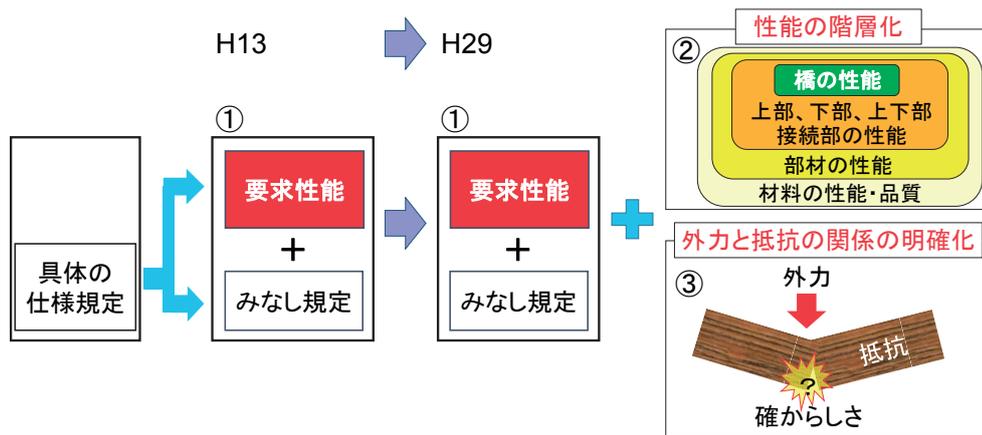


図-1 性能規定化の進化

から規定される。そのうえで、最終的に、どの状況に対してどの限界状態を超えないようにするかを組みあわせている。

また、この改定では、橋の耐久性能も規定された。耐荷性能と耐久性能は概念を別にしており、橋の耐久性能は、橋の耐荷性能を満足させるための前提条件として位置付けられている。前述のように、橋の耐荷性能は、任意時点の外力の同時載荷状況に対して、所要の橋の状態を実現できることの確からしさを定義される。しかし、任意時点で橋の耐荷性能が満足されていることの前提として、その時点までに累積している経時的な影響に対して、耐荷性能の前提となっている部材や材料の力学特性が保証されていなければならない。そこで、橋の耐久性能は、経年の影響の累積に対して、橋の耐荷性能の評価で見込んだ部材や材料の力学特性が保持される期間について所要の信頼性を満足するものと定義された。しかし、元来、作用の累積に伴う材料等の経時変化のみならず、作用の累積そのもの見積りの想定は非常にばらつきが大きい。そこで、改定された道路橋示方書では、橋の耐久性能における信頼性を、部材等の更新や修繕、点検といった維持管理戦略までを含めて、耐荷力設計の前提とした橋の状態を目標期間中維持することの確実性と捉えている。

これまでの設計では、積極的に耐荷力に対する安全率を大きくする（寸法を大きくする）ことで耐久性を向上させようという考え方もとり得たが、一方で、これは、性能を評価するうえでは、耐荷と耐久の区別を曖昧にしている。これに対して、改定された道路橋示方書では、耐荷と耐久のそれ

ぞれで性能が定義され、求められているので、それぞれに必要な性能をより適確に付与・評価できるというメリットがある。

なお、これまでの設計項目をつぶさに見れば、中には、必ずしも耐荷、耐久のいずれかに区分しがたいものもある。そこで、その他当該橋梁に求める性能も適切に設定するものとされている。たとえば、実際の通行にあたって不快感や不安を与えないようにすることや、過去の経験等を踏まえて、適切に設計をしたとしても残るリスクに対してできるだけ対処するためのフェールセーフを設置することなどが挙げられる。これに該当するものとして、従来のたわみ規定や落橋防止システムの設置が改定された道路橋示方書でも規定されている。

### 3. 共通編の構成

I 共通編は、橋に求められる性能やそれを達成する方法に関わる基本的な考え方を示すものとなるように見直された。橋全体にかかる要求性能、考慮すべき作用の条件、照査においてターゲットにする橋又は部材の状態を明らかにするための限界状態の定義やその実現の方法、部分係数による耐荷力照査の基本原則、および、耐荷性能と耐久性能の関係などの規定体系にかかる基本事項はすべてI 共通編に規定されている。ただし、レベル2地震動を考慮する場合の要求性能や耐震設計においてのみ該当する規定については、実務の便を考慮して、これまでどおり別途V耐震設計編にまとめられた。しかし、耐震性は橋全体への要求性能であり、改定された示方書の条文構成の全体像

を捉えるうえでは、V編の内容の大部分は本質的にはI編の一連として見るのがよいだろう。

また、従前より、道路橋示方書は主として鋼上部構造に該当する規定とコンクリート上部構造に該当する規定を、それぞれ鋼橋編、コンクリート橋編として分けていた。しかし、橋の性能、上部構造・下部構造の性能、そしてそれを構成する鋼部材やコンクリート部材の性能を階層的に規定した結果として、II編からIV編は、II鋼橋・鋼部材編、IIIコンクリート橋・コンクリート部材編、IV下部構造編と再編され、規定も見直された。このような改定を行ったことで、橋の構造形式や使用材料の多様化も踏まえ、様々な材料からなる部材を組み合わせた結果として橋全体として必要な性能が得られればよいことが明確になっている。たとえば、鋼部材とコンクリート部材を組み合わせた複合構造などに対しても、適確な性能の評価ができる。

I 共通編の章構成の抜粋を表-1に、橋の要求性能を表-2にまとめた。目標とする期間中に橋が使用目的を達成するために要求される性能は、橋の耐荷性能（安全性）、橋の耐久性能（耐久性）、そして、その他使用目的との適合性を満足するために必要な性能からなる。さらに、これらの性能を達成するために設計において定める条件として、維持管理の確実性と容易さの確保及び施工品質の確保があり、これらも、広い意味では橋の要求性能を構成するものである。これらの関係性を図-2にまとめた。このように、性能を構成する要素とその関係性が明確にされたことで、これからの橋の設計では、災害時はもとより、通常の状態においても求める機能を十分に発揮すること、また、維持管理と一体で、橋の安全性を照査するにあたって見込んだ材料や断面の性能が目標とする期間中確保されること、さらには、不幸にして何らかの不具合が生じた場合でも十分に粘り強く安全性を保ち、点検等を通じた確実な維持修繕が図れる構造を実現することが体系的に説明されねばならない。換言すれば、橋の性能を確保する観点が多角化されたことは、多様な条件に応じて的確に性能を付与設定したり、特殊な構造に対しても工学的に説明性のある形で性能の付与と検証を可能にしたりするなど、将来的にはより合理的な道路整備につながると考えられる。

表-1 I 共通編の章構成

章立て	備考
1章 総則 1.1 適用の範囲 1.2 用語の定義 1.3 設計の基本理念 1.4 橋の重要度 1.5 設計供用期間 1.6 調査 1.7 計画 1.7.1 架橋位置と形式の選定 1.7.2 交差物件との関係 1.8 設計 1.8.1 設計の基本方針 1.8.2 設計の手法 1.8.3 構想設計上の配慮事項 1.9 設計図等に記載すべき事項 1.10 施工	1.8.1にて性能の基本的事項を規定
2章 橋の耐荷性能に関する基本事項 3章 設計状況 4章 橋の限界状態 5章 橋の耐荷性能の照査	構造の安全性に関わる要求性能
6章 橋の耐久性能に関する基本事項と照査	耐久性に関わる要求性能
7章 橋の使用目的との適合性を満足するために必要なその他検討	その他必要な性能

表-2 共通編1.8.1 設計の基本方針

- (1) 設計にあたっては、橋の耐荷性能、橋の耐久性能、その他使用目的との適合性の観点から橋の性能を適切に設定し、これらを満足させなければならない。
- (2) 橋の耐荷性能を満足するために、設計供用期間中の交通の状況並びに地形、地質、気象その他の状況に対して、橋が落橋等の致命的な状態に対して安全な状態であること、及び、状況に応じて必要な橋の機能を満足する適切な状態にあることを、それぞれ所要の信頼性で実現できるように設計する。
- (3) 橋の耐久性能として、経年劣化を考慮し、所要の橋の耐荷性能が設計供用期間末まで確保されていることが所要の信頼性で実現出来るように設計する。
- (4) 橋の設計にあたっては、橋の使用目的との適合性を満足するために必要な性能、道路橋の損傷経験等も踏まえて付与しておくのがよい性能等のその他必要な性能について検討し、適切に設計に反映させるものとする。
- (5) 2章以後に従って設計する場合には、(1)を満足するとみなしてよい。
- (6) 橋の設計にあたっては、橋の性能の前提とする維持管理の条件を定めなければならない。
- (7) 橋の設計にあたっては、橋の性能の前提とする施工の条件を定めなければならない。

#### 4. 橋の耐荷性能

橋の使用目的を達成するうえで最も基本的な性能である安全性に関わる性能が、橋の耐荷性能である。橋の耐荷性能は、橋が、供用期間中に時々刻々と遭遇する状況に対して、常に、その状況で求める橋の使用目的に必要な状態に確実に留まるとともに、落橋のような致命的な状態に至らないことに対して十分な安全性が確保されていることの両者が確保されることと捉えている。そして、

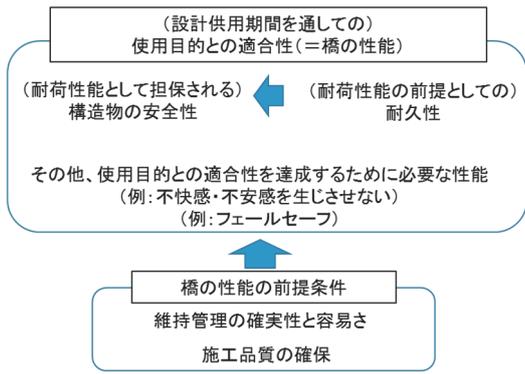


図-2 橋の要求性能

橋の耐荷性能の照査法として、今回の改定では、許容応力度法に替えて部分係数設計法と限界状態設計法が導入された。

広く言えば、部分係数設計法も限界状態設計法も、許容応力度法と同じく照査式の書式の一つである。このうち、部分係数設計法は、いわば、許容応力度法における安全率を部分化し、荷重、抵抗、またはそれらの要因など、設計で考慮する不確実性の要因毎に考慮しようとするものである。不確実性の大きいところ、小さいところでメリハリをつけて安全余裕を見込むことができ、また、安全率が部分化されていることで、ある部分のデータ等の蓄積に伴い、安全率を見直しやすくとされる。また、許容応力度法は、たとえば降伏点等に対して安全率を取ることで、構造物が機能を低下した状態から致命的な状態に至るまでの様々な事象について安全性を確保しようというものであるのに対して、限界状態設計法は、避けるべき状態を明確にして設計する方法とされる。構造物が破壊に至るまでの挙動の制御が行いやすくとされる。

橋の耐荷性能を照査するためには、時々で変化する外力の同時載荷状況を具体的に想定することが求められる。そこで、荷重を組み合わせた結果が橋がおかれる状況として一定の安全性水準以上となるように、荷重の組み合わせを規定することにされた。従来設計における荷重組み合わせの統計的な解釈や工学的な意味合いとともに、後述する橋の設計供用期間の標準である100年を念頭に、各荷重のばらつきや、組み合わせた荷重としての100年最大値分布を安全側に評価できるような荷重組み合わせとそこにおける荷重規模の内訳が調べられた。最終的に、新たな荷重組み合わせと、

それぞれの荷重組み合わせごとに各荷重に見込む「部分係数」が共通編で規定された。必然的に、今回の改定では、鋼橋、コンクリート橋問わずに、設計荷重体系は同じになる。基本的には外力の同時発生確率に基づき検討しているため、どのような形式の橋であっても、橋の耐荷性能の検証を統一的に過不足なく行えるものと考えられ、また、個々の荷重のばらつきに対しても従来よりも最適な部材配置が可能になったと考えられる。

また、橋があるべき状態にあることを照査するためには、橋や部材等の状態の変化を適確に捉え、一定の安全性水準以上で求めた状態に留まることを評価できる必要がある。そこで、抵抗特性を評価する根拠となるデータの質や量を反映し、またデータの蓄積に応じて部分的にも安全率の見直しも可能になるように、橋の抵抗特性を評価するにあたっての不確実性の要因毎に安全余裕を考慮するための「部分係数」が規定された。このとき、状態を達成することの安全余裕を測るためには、荷重変位曲線上の基準点を決め、そこからの安全余裕を測ることになる。そこで、道路橋は、外力の増加に応じて弾性挙動から非弾性挙動に変化し、さらに終局状態に至るまでの過程が明らかであり、過程における代表的な状態変化点を「限界状態」として定義できることが必然となる。

改定された道路橋示方書における橋の耐荷性能の照査は、考慮する状況の水準、達成される状態とその確実性が直接説明できるため、性能の説明性に優れており、多様な条件そして多様な橋形式、部材構造、材料の組み合わせへの性能の評価法をきめ細かく行える。橋の耐荷性能の照査に用いる部分係数設計法や限界状態設計法については、次稿でさらに詳しく紹介する。

## 5. 長寿命化の合理的な実現～橋の耐久性能

実質的に100年以上にわたり供用することを目標に設計する道路橋の場合、維持管理についても設計時点で具体的に考慮することが求められる。

そこで、今回の改定では、表-1に示す1.7条や表-2の1.8.1(6)条で規定されるように、設計にあたって、まず、交差物件との関係や道路ネットワークにおける橋の役割などを踏まえて、維持管理の前提条件を明らかにすることが求められた。そして、表-2に示す6章では、耐久性を確保する

多種多様な方法をその原理や信頼性に応じて表-3に示す方法1から3のいずれかに分類することを通じて、最終的に、目標とする期間内に劣化等が生じないことの不確実性や、劣化が生じたことを想定したときにどのような措置が必要になるのかを把握することが求められた。このとき、維持管理上の制約条件や部材の機能を考慮して、必ずしも橋についての設計上の目標期間と各部材等における耐久性の目標期間を一致させるのではなく、各部材等毎に耐久性の目標期間を設定できるものとされた。これも、橋の耐荷性能で行っているように、橋の耐久性能と部材の耐久性能を関係付け、階層化したものである。

橋の耐久性能と部材の耐久性能を階層化し関係づけたことで、適切な維持管理により橋として確実に長寿命化を実現できることが期待される。具体的には、橋として設計供用期間中の任意の時刻の組合せ荷重に対する耐荷性能が維持されるのであれば、耐久性の観点から部材そのものを交換することなどの創意工夫が考えられる。また、点検や修繕・交換等からなる維持管理の容易さや確実性を担保し、ある程度交換も織り込んだうえで実績がない材料等であっても採用するなど、新しい技術への挑戦もしやすくなっている。

すなわち、ここで示したような橋の耐久性能の規定化方法をとったことは、材料や施工の品質、診断方法や不具合の措置方法までも含めた維持管理の確実性と容易さの総合技術の開発や、総合技術としての耐久性能の評価が行われる時代の到来が企図されている。

なお、方法3は、橋の設計供用期間を考えたときに劣化が生じないと見なせる方法である。この改定では、交差物件との関係や環境条件や構造の特性など特別な理由があり、部材によっては耐久性の信頼性を特に高めたい場合に、方法3のような戦略も採り得ることが明らかにされた。今回の改定では具体的な材料は規定されていないが、現在開発や検証が行われている様々な耐食性材料の活用が期待される。

表-3 耐久性確保の方法1～3

	耐久性確保の方法	例
方法1	・劣化原因の累積的影響を考慮した寸法や構造となるように設計	・累積損傷度を考慮した疲労設計 ・かぶりへの塩分の浸透を考慮した塩害設計
方法2	・劣化原因の影響が断面に及ばないように、部材寸法や構造とは別途の対策を行う ・ただし、別途対策の更新を伴う	・塗装等による防食 ・耐食性鋼材
方法3	・橋の設計供用期間に対して劣化が生じない	・新技術の登場を期待 耐食性材料 など

## 6. 橋の重要度

維持管理を含めて、どのような橋の耐荷性能を実現するのか、また、橋の耐久性能をどのように確保するのかという検討を行うためには、道路管理上の条件を適切に設計する必要がある。そこで、今回、共通編の総則（1.4条「橋の重要度」）において、橋の設計において実現すべき橋の性能は、道路ネットワークにおける路線の位置付けや代替性を考慮して決定することが規定された。

この既定は、何らかの画一的な分類によって橋の重要度を重み付けしようとするものではない。設計においては形式の選定等の様々な項目で選択肢を設定・比較検討をすることが行われるが、その選択肢の設定や比較検討において橋が担う役割を常に念頭に置くことがこの規定の趣旨である。たとえば、道路ネットワークにおける路線の位置付けには物流等の社会・経済活動上の位置付けや防災計画上の位置付け等があり、これらの位置付けによっては、災害時はもちろんのこと、平常においても、橋の点検、維持、修繕の制約条件が変わる。また、当該橋が損傷したときに機能を代替できる橋や道路の有無や、他の路線が機能不全に陥ったときに当該路線が担う役割も考えたとき、設計で考慮する交通の状況や災害時における点検、修繕の集約条件が変わる可能性もある。ここに規定されるような、性能の設定やその達成方法の検討を行うための条件を明確にすることで、様々な道路の特性や特殊な条件にも工学的に説明性のある形で、より柔軟かつ適切に、その目的・目標に応じた道路の整備が可能になると期待される。

## 7. 設計供用期間

既に述べてきているとおり、信頼性・実現性も含めた橋の性能を説明するためには、目標とする期間を設定することは不可欠な概念である。そこで、今回の改定では、表-1に示す共通編の総則において、設計供用期間（1.5条）が初めて規定された。設計供用期間は、適切な維持管理が行われることを前提に橋が所要の性能を発揮するように設計において目標とする期間であり、100年を標準としている。

これにより、設計上考慮すべき組合せ荷重の位置付けが明確になるとともに、大地震などの特殊な状況を考慮する際に求める性能を明確にやすくなる。また、耐久性確保の方法との関係では、疲労や腐食などへの対策について、用いる技術に期待される性能や設計供用期間に対する信頼性を考慮して、維持管理計画と併せて具体的に設計できるようにする。

## 8. 構造設計上の配慮事項

橋の設計にあたっては、設計計算だけでは明確にされない不確定要因も存在する。たとえば、災害に対しては、様々な災害を外力モデルですべて表すこともできないし、耐久性に関しても、実際の施工品質と暴露条件を再現して実験室で性能を検証することは不可能である。そこで、表-1に示す共通編1章総則1.8.3条では、計算や実験等による直接の性能の検証とは別に、部材配置等、万が一のときにも橋の安全性が著しく低下しないような様々な工夫について検討することや、必要なときに状態を確認・修復するための設備等の設置の必要性を検討することが規定された。そして、これらの検討の結果は、橋の重要度や経済性も踏まえたうえで、必要に応じて可能な範囲で構造の設計に反映させるものとされた。このような規定の方法がとられたのは、橋毎に条件も異なるため画一的な規定を行うことが不合理である一方で、設計時点であらかじめ見込んでおくことが合理的な場合も多いためである。なかでも、支承、伸縮装置、ケーブル構造、床版などでは、過去の損傷の実態も踏まえ、交換の方法を具体的に検討しておくことが望ましいとされた。

計算では見込まないものの、考えられるリスク要因を洗い出し、様々な工夫によりそれらのリスクをできるだけ低減させるという考え方は、世界的にも研究が進められている。たとえば、ISO2394でも、予測しきれない事象をカバーするために、部材等の損傷が全体系の安全性に与える影響や代替の荷重経路の検討を行うこと、しかし構造解析でこれを検討するにあたっては現在使われる手法では信頼性が十分でないことが注意喚起され、これに対する設計での検討例として、局部破壊がただちに主要部分の崩壊につながらないように構造配置をチェックすること、防護対策を取ることなどが挙げられている。

## 9. おわりに

改定された道路橋示方書では、設計で考慮する活荷重や地震動の特性値は従前と同様である。また、基本的に従前と同等の耐荷性能を付与するように部分係数等を与えていることもあり、今回の改定によって橋の諸元が目に見えて変わるものではない。しかし、今回の改定は、性能規定の枠組みを新たな目で見直し、設計にあたって、橋の性能を説明し、論じるための項目や項目間の関係を刷新したものである。たとえば、個々の設計において、路線の目的は何であるのか、それも踏まえて性能をどのように与えるのか、それをどのように実現・保持するのか、そして、計算では考慮できないリスクについても洗い出したうえでどの程度、どのような配慮をしておくのかを明確にすることが求められている。

今回の基準改定の枠組みを活かし、新たな構造や形式の道路橋の登場にも道を開くような照査式の高度化・充実について、当研究室としてもスピード感を持って取り組んでいきたい。

白戸真大



国土交通省国土技術政策総合研究所  
道路構造物研究部橋梁研究室長、博士（工学）  
Dr. Masahiro SHIRATO