

特集：道路インフラの「本格的なメンテナンス時代」を支える技術

本格的なメンテナンス時代における 道路橋の維持管理技術の方向性

玉越隆史・宮原 史

1. はじめに

現在、日本には約70万の道路橋(2m以上)が存在している。その2割強を占める橋長15m以上の橋のうち建設後40年以上のものが約32%に達するなど、現在急速に高齢化が進んでいる(図-1) 1)。

本稿では、本格的なメンテナンス時代に入ったといわれている我が国の道路橋について、維持管理の観点からその特徴について整理するとともに、それらを踏まえた持続性のある合理的な保全体制の確立のために求められる技術と国土技術政策総合研究所(以下、国総研)の取り組みの例を紹介する。

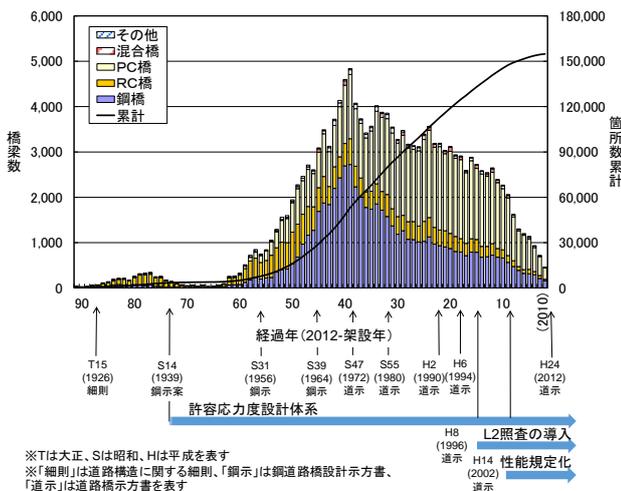


図-1 橋梁数の経年変化(橋長15m以上)と道路橋技術基準の改定の概要

2. 維持管理の視点でみた既存資産の特徴

2.1 耐久性とその信頼性

我が国では、戦後に急速に進められた道路網の整備に伴って多くの道路橋が整備されてきた。このとき並行して整備されてきた技術基準類が、効率的に一定の品質水準を満たす道路橋を全国で大量に建設する上で大きな役割を果たしたと考えられている。設計に関しては、現在の道路橋示方書につながる許容応力度設計法を基本とした基準が、

関連の品質規格や便覧類とともに順次整えられた。

許容応力度設計法では、作用と抵抗の間に確保する安全余裕を、材料強度などの抵抗に対する余裕に集約して見込む。そのため、設計で考慮される様々な荷重要因の生起確率との関係など、実際に橋が遭遇する状況との対応や供用期間との関係が明確でない面がある。加えて、2002年の道路橋示方書の改訂まで、道路橋では特殊な条件を除いて定量的な耐久性の照査はほとんど行われず、鋼部材の疲労やコンクリートの塩害などに対しても主として部材寸法や構造細目など経験に基づく仕様に従う対応が行われてきた。

一方で、近年の点検実績の蓄積に伴い、疲労亀裂や塩害など経年劣化によって深刻な事態となる例も多く報告されてきており、予防保全の実現が望まれている。しかし、劣化メカニズムに即した定量的な設計が行われてこなかったために、既設橋の劣化特性は個々に大きく異なっており、個々の既設橋に対する精度の高い劣化予測は困難な状況となっている。

2.2 不測の事態への対応性

道路橋の設計では、一般的に部材それぞれに対して所要の安全余裕が確保されるものの、各部材の破壊が他の部材や橋全体の安全性等に及ぼす影響については特に考慮されてこなかった。しかし、近年、国内ではトラス橋の斜材の破断やコンクリート橋のプレストレス鋼材の破断など、橋全体に致命的な影響を与える部材が破壊する例も報告されている²⁾。海外でも、大規模橋梁が一つの部材の破壊を引き金に突如全橋崩壊し、多数の死傷者を生じる事故も発生している³⁾。また、東北地方太平洋沖地震に伴う津波被害をはじめとする被災経験から、長期に供用される道路橋では、設計段階で想定が困難な事象に遭遇する可能性もある程度想定せざるを得ないことが認識されている。これらを踏まえると、道路橋では不測の部材破壊に対しても致命的な事態が回避できるような構造的な配慮を行うことが望ましい場合もあると考えられる。しかし、これまでの設計基準ではこのよ

うな観点での具体の要求はなされていない。さらに近年、合理化の名の下に従来構造の部材を省略して、一つの部材に様々な機能を兼ねさせる構造形式の採用も散見される。多くの既設橋やこのような新形式橋梁では、一部の部材破壊が橋全体にどのような事態をもたらすのかについて不明な点も多いと考えられ、不測の事態に対する対応性の観点からは課題も想定される。

3. 本格的なメンテナンス時代への対応

以上の現状認識のもと、持続性のある合理的な保全体制を確立し、本格的なメンテナンス時代に対応するために橋梁分野が今後目指すべき技術的取組みの方向性について整理するとともに、関連する国総研での取組みの一部を紹介する。

3.1 パフォーマンスマネジメント

1つ目は、道路橋の具備する性能を制御された信頼性でもって説明できる状況の実現である。具体的には、新設のみならず既設橋の補修補強にあたっては、供用中に遭遇する外力等に対して、橋がどの程度の確からしさで、どのような機能を発揮しうるのかを性能と位置づけ、耐久性の目標年限とともにこれが定量的に説明できるように設計・施工されることを目指すものである。

これによって、個々の橋の経年劣化の性質が架橋条件に応じて一定の信頼性で制御できれば、少なくとも新設橋や新たに補修補強される橋については、これまでよりも高い信頼性で劣化予測が行える可能性があり、高齢化した際にも予測に基づく合理的な維持管理が行えることが期待される。さらに同じ考え方で、既設橋においては既に明らか品質等の実力や期待する余寿命を、定量的に補修補強の設計に反映できれば、過不足のない合理的な対策の実現に資することが期待される。

これらの実現のためには、現在の設計基準体系を、作用と抵抗の信頼性を評価期間との関係において定量的に考慮できる設計基準体系へ転換するとともに、劣化現象をそのメカニズムに即して時間軸の中で定量的に評価できる耐久性能照査手法を確立することが有効と考えられる。

現在の設計基準では、鋼部材の疲労や腐食、コンクリートの塩害や中性化などの主たる劣化事象のほとんどにおいて、時間的な信頼性を定量的に見込んだ設計は行われておらず、標準的な仕様の

採用による対応が行われている。そのため、現在の設計基準のままでは、既設橋同様に個々には大きく異なる多様な条件下において、劣化傾向の推定が困難な橋梁が建設され続けることとなる。多岐にわたる劣化現象の解明と、それらを反映した定量的耐久性照査技術の開発は急務であり、産官学の連携による戦略的取組みが期待される。

なお、国総研では、道路橋の設計基準を定量的な時間と信頼性の概念を導入した部分係数設計法に転換する作業を進めるとともに、全国の既設橋の点検結果を分析し、劣化特性の解明、定量的耐久性照査技術の開発も並行して進めているところである。

3.2 メンテナンスマネジメント

2つ目は、現有の道路橋資産に対する維持管理の最適化が常に図られている状態の実現である。

既設橋の劣化には大きなばらつきが避けられないため、統計的手法により劣化や損傷の発生を予測することの精度には限界がある。そのため、維持管理ではある程度の頻度で状態の確認を行い、変状の発生やその兆候の把握に努めることが不可欠である。このとき、必ずしも外観に現れるとは限らない危険な損傷やその兆候を如何にして検知するのかが大きな課題となっている。

目視の限界を克服するための技術に関しては、現在も超音波やX線などの電磁波を応用した検査技術を中心に様々な非破壊検査技術の開発が各方面で進められている。しかし、非破壊検査では対象を直接視認できないため、検出精度や技術の信頼性が管理水準そのものとなる。したがって、道路橋のような公共資産の検査への適用にあたっては、その信頼性の明確化と保証が不可欠であり、開発される様々な原理や手法の検査技術に対して公平かつ適正にその性能を評価できる手法や技術の確立が急務となっている。

国総研でも、検査技術の性能検証とその評価基準の確立のための研究を進めている。(独)土木研究所及び産学と行っている共同研究では、道路管理者から提供を受けた撤去橋梁や各種の模擬損傷を封入した大型供試体(写真-1)に対して、公募した種々の非破壊検査技術を適用してその結果を分析するなど、検査技術の評価基準の確立に向けた検討を進めている。



写真-1 模擬損傷部材への非破壊検査

一方、個々の橋の維持管理の最適化を図っても、予算や人員など様々な制約の中では、保有する橋の全てに最適な管理を行うことは難しく、対策の優先順位づけを行うなどによる全体として管理の最適化を図ることも必要となる。

国では2004年(平成16年)より、5年間隔で全部材を近接目視する定期点検を行っている⁴⁾。国総研において進めている定期点検の結果の分析から、劣化速度は橋や部材毎に大きくばらつくことが実証されつつある。図-2は、国管理の道路橋の主桁の塗装劣化実績から推計した、状態遷移確率分布の例である。同じ橋の中でも部位毎に劣化傾向が大きく異なることを示す確率分布となっている。このことから、それぞれ固有の架橋条件下にある個々の部材や橋が巡る劣化過程は、極めて大きな不確実性を有するといえる。

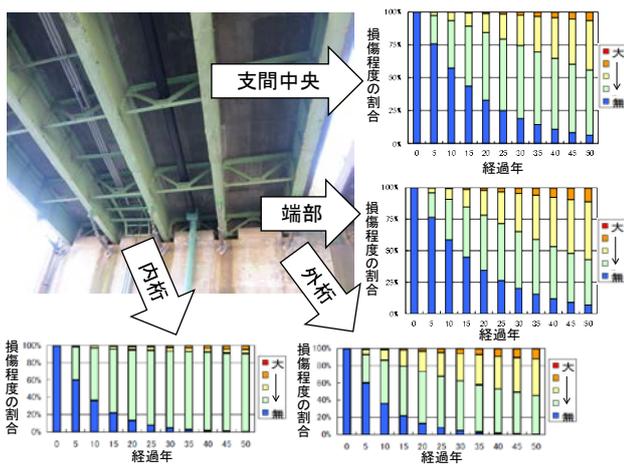


図-2 定期点検データに基づいた要素単位の劣化予測

これらを踏まえると、一定量の資産群に対して統計的手法を用いた将来状態の予測や各種の推計を行うためには、まず設計における耐久性の見積もりと実態の乖離要因を明らかにするとともに、劣化のばらつきが将来推計の結果に及ぼす影響を

実務で活用できる形で定量的に評価できる手法の開発が望まれる。

国総研では、蓄積されてきた全国の直轄道路橋の定期点検結果のデータの統計分析などから劣化特性の解明を進めるとともに、設計基準に精度の高い定量的な耐久性照査手法を反映させるための研究にも順次取り組んでいる。例えば現在は、PC部材の耐久性照査手法の確立に向けた産官共同研究にも取り組んでいる。これは、持続荷重の影響を設計において考慮する手法の相違が、ひび割れ発生リスクに及ぼす影響に着目したものであり、PC部材のひび割れが橋の長期耐久性に及ぼす影響評価の信頼性向上に資するものである。

引き続きマイクロ・マクロ両方の視点から、維持管理の最適化方策の確立に資するための検討を行う予定である。

3.3 リスクマネジメント

3つ目は、道路橋の維持管理にリスクが適切に考慮されている状態の実現である。

道路橋の場合、長期の供用期間中には設計の前提と乖離のある作用や外力の影響を受けることも考えられる。このような場合にも悪影響の拡大を防ぎ社会的影響を小さく抑えることは、災害大国である我が国では重要な視点である。しかし、橋梁の構造設計において構造的冗長性やフェイルセーフ機能などを、個々の橋に具体的にどこまで求めるのかといった要求水準や、その達成度を評価する方法は確立していない。また、構造的冗長性の効果や部材の破壊が橋全体に及ぼす影響の評価は、従来の棒モデルを基本とした設計手法のみでは、局部応力の影響が適正に表現できない等の理由から困難である。そのため、設計段階で実際の橋の挙動を簡便かつ精度よく評価できる解析手法の確立も望まれる。

他方、道路橋の維持管理では、定期点検など様々な点検が行われる。しかし、点検は間歇的に行われるため、突発的な事象への対応性には限界がある。例えば、写真-2は地震により路面に段差や異常な変位が生じた例である。

二次災害防止の観点からは、こういった事象の発生を出来るだけ早く認識することが重要であることから、点検に加えて常時の異常監視を行うことが有効と考えられる。しかし、常時監視は経済性や機器の長期耐久性が課題となって採用が見送



写真-2 地震で生じた路面段差や橋梁の異常変位られることも多く、これらの課題を克服したシステムの開発が期待される。

国総研でも、リスク低減などの維持管理水準の向上のための常時監視システムの実務への導入方策の検討を進めている。またその一環として、機器の陳腐化リスクや新たなシステム導入によるコスト増をできるだけ抑え、現行の点検体系を補完できる常時監視システムについても検討してきた。現在は、既存のGPSシステムや画像監視装置を活用し、供用性に深刻な悪影響が想定される事象の検知のみに特化することで、新たに必要となる装置を最小限に抑えた監視システムの開発を進めるとともに、実務への導入効果についての検証を進めている(図-3)。

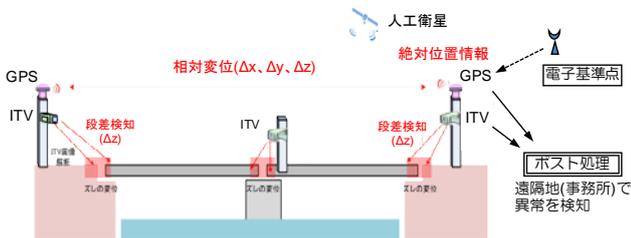


図-3 道路橋の常時監視システムのイメージ

4. まとめ

本格的なメンテナンス時代に対応するため、道路橋分野で求められる技術について、3つの観点(図-4)から見て、課題と開発ニーズを示すとともに、国総研での取組みの一部を紹介した。

開発されるべき多くの技術があり、それらの多岐にわたる技術の開発は、現在道路橋と関わりの

深い業界や職種、学問分野のみで達成できる保証はない。そのため、広範な分野の知見や技術力が投入されるように、広く情報発信を行い、開発ニーズとしての要求性能のみならず、開発技術の導入から普及までの道筋をも明らかにして開発リスクを負う者が開発しやすい環境を整えることも重要と考えられる。国総研としても、引き続き積極的に情報の発信を行って必要な技術が開発されるように努めるとともに、それらの円滑な導入のための技術基準や評価基準の検討を積極的に進めていく。

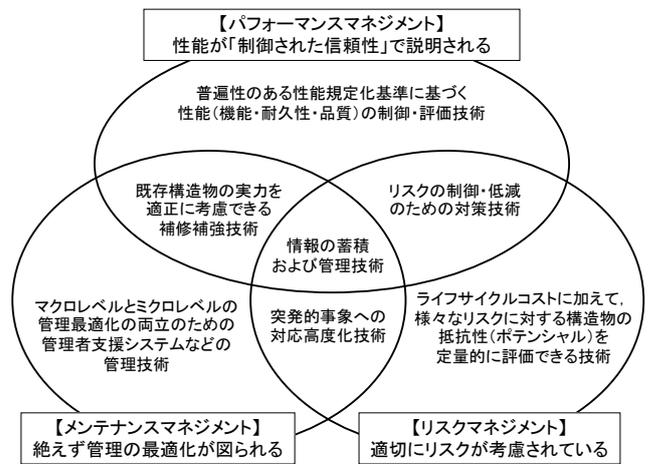


図-4 道路構造物のマネジメントに関する研究分野

参考文献

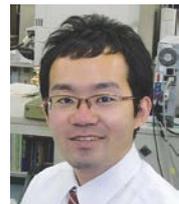
- 1) 平成24年度道路構造物に関する基本データ集、国土技術政策総合研究所資料第776号、2014。
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0776.htm>
- 2) 玉越隆史：近年発生した橋梁の重大損傷の概要、道路、Vol.816、pp.28~32、2009。
- 3) 玉越隆史：米国橋梁崩壊事故に関する技術調査団の調査結果について、建設マネジメント技術、2008年1月号
- 4) 橋梁定期点検要領(案)：国道防災課、2004

玉越隆史



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
Takashi TAMAKOSHI

宮原 史



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室 研究官
Fumi MIYAHARA