

道路橋の維持管理に関する研究開発の動向

玉越 隆史*1・七澤 利明*2

1. 日本の道路橋を取り巻く状況

わが国の道路橋は、図-1に示すように高度成長期を境に急激に増加し、現在道路橋では15万橋近い数のストックを抱えている。なかでも高度成長期に建設された橋梁は、全体の約34%を占めている。現在、これらの橋梁の平均経過年数は約37年であるが、近い将来、これら大量のストックが高齢化を迎えることとなる。50歳以上の橋の数、現在約6%であるが、10年後には20%、20年度には47%となると予想されており、人間社会と同様、道路橋においても高齢化時代を迎えつつある。

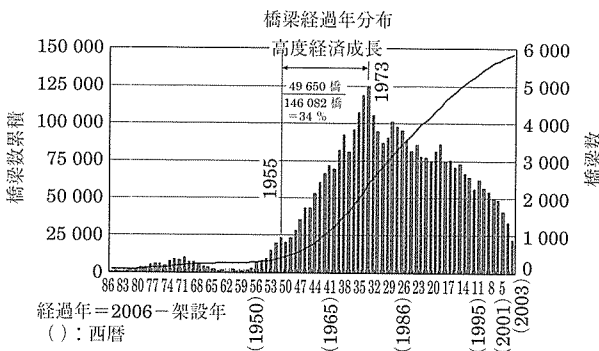


図-1 橋梁経過年分布¹⁾

図-2は、国管理の道路橋の定期点検結果から、橋の年齢ごとに主要部材の補修が必要と判定された橋梁の割合を表したグラフである。橋それぞれは固有の条件に応じて劣化の進展度合が異なるが、道路橋資産全体としては、年齢が増えるごとに補修が必要な橋梁の割合が増える傾向が明確に現れている。また近年、塩害、アルカリ骨材反応（以下「ASR」と呼ぶ。）、RC床版の疲労損傷といった、高度

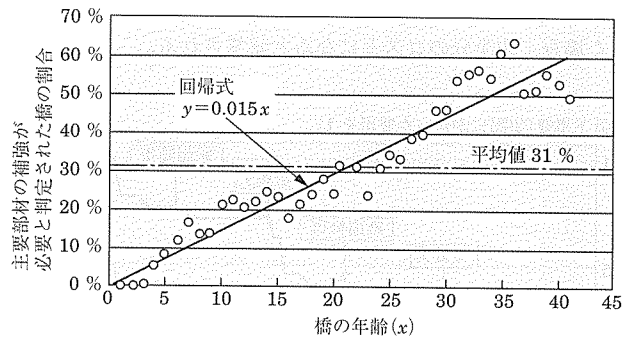


図-2 年齢別の補修が必要と判定された橋梁の割合

成長期には想定していなかった種類の損傷が顕在化していること、主桁やトラス斜材の著しい損傷等、橋の安全性に大きく影響する重大な損傷が報告されていることなど、道路橋の維持管理に関してきわめて厳しい状況となってきた。

こうした状況に対応するため、維持管理に今まで以上に十分な予算が必要となるが、わが国は現在厳しい財政状況にある。図-3に示すように新規建設の予算は大幅に減少しており、ストックの増加に伴い増えるはずの維持管理にかかる予算についても、わずかながら減少傾向にある。このようななか、今後、顕在化する道路橋の高齢化への対応、重大な損傷や事故の防止のため、早急かつ適切に対策を進めていく必要がある。

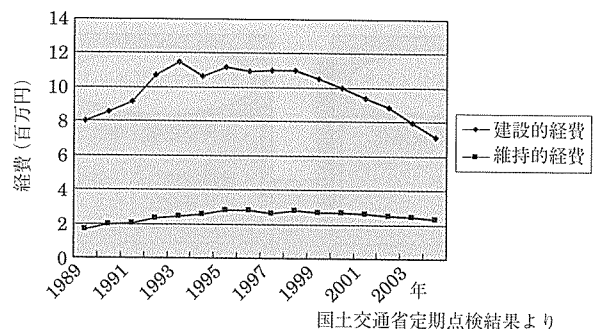


図-3 建設投資額と維持管理投資額の推移¹⁾



*1 Takashi TAMAKOSHI
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 室長



*2 Toshiaki NANAZAWA
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 主任研究官

2. 今後の維持管理のあり方

膨大な道路橋資産を合理的かつ効率的に管理していくために必要となる観点の一つとして、建設時にかかる費用だけでなく、補修費、更新費等を含めた橋梁一生にかかる費用であるライフサイクルコスト（以下「LCC」と呼ぶ。）

の縮減がある。LCCを縮減するための手段としてもっとも有効と考えられるのが、これまでの事後保全的な維持管理から予防保全的な維持管理への転換である。

たとえば、図-4は塩害地域のコンクリート橋で事後保全的な維持管理をしていた結果、建設後34年で架替えに至ったある橋梁のLCCを表したものである。仮に架替え後も同様の維持管理を実施した場合に100年間でかかる費用に対し、早い段階でコンクリート内部への塩分侵入を防止し電気防食等の塩害対策を施す予防保全的な維持管理を実施した場合、約半分のコストになると試算される。

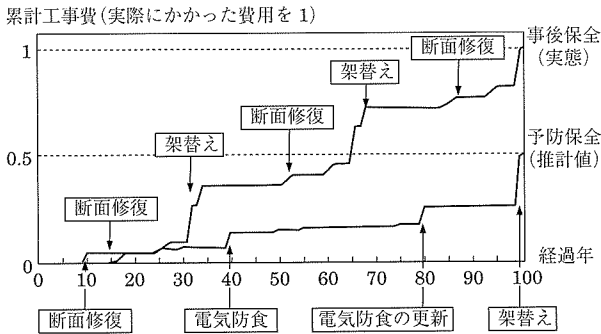


図-4 塩害地域でのコンクリート橋試算例²⁾

このような予防的な保全の概念も取り入れた合理的な維持管理の実現のためには、図-5に示すような3つのマネジメントの構成要素の発展と最適化が必要であると考えている。1つ目は多種多様で膨大なデータが有効に活用できるように適切に収集・保管されること、2つ目は構造物群全体の投資計画の最適化やネットワーク性能の将来予測などを可能とする合理的なマクロマネジメントの確立、3つ目は個々の構造物の損傷や事故の防止、補修や補強などの維持管理行為の最適化や、長寿命化を図るための維持管理の実施を可能とする合理的なミクロマネジメントの確立である。

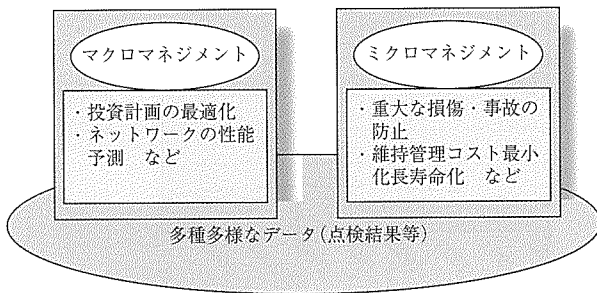


図-5 合理的な維持管理のための構成要素

マクロマネジメントの合理化に関しては、投資計画の最適化や将来ネットワークの性能予測を支援するため、個々の構造物としてではなく、ネットワークにおける路線の位置づけや求められる機能に応じた、ネットワークとしての管理のあり方や最適化について検討していく必要がある。

たとえば橋梁管理システム(BMS)については、これま

で個々の橋梁管理の合理化を目標として、橋梁ごとの劣化予測を行い、それぞれに対して将来の補修補強時期や、それらに必要な費用のシミュレーションができる機能の確立、言い換えればミクロ、マクロ双方のマネジメントへの活用を目標に開発が進められてきた。しかし、マクロな推計・予測には活用できるものの、①橋のパフォーマンスを支配する損傷の多くが局部的なものであること、②劣化の進行程度にはミクロな環境や構造の条件が支配的な影響をもつこと、③目視が主体の点検で得られているデータでは損傷の状態が正確に把握できていないことから、個別橋の適切な管理に必要な精度は得られていない。近年、日本においても主要幹線道路の通行止めを余儀なくされる橋の重大な損傷が生じているが、このような予測システムの活用だけでは、重大な損傷や事故を防止することは困難であると思われる。

個々の構造物の損傷や事故の防止、補修や補強などの維持管理行為の最適化、あるいは長寿命化を目的としたミクロマネジメントの合理化のためには、標準的な管理方針・計画等の参考としてシステムを活用するほか、システムでは対応できない個別管理を合理化・最適化する取組みを推進していく必要がある。点検や補修補強技術に関する研究開発のみならず、たとえば目視点検で得られた情報をもとに構造物の内部の劣化の状態を的確に推測できるなど、点検や診断に必要な能力を有する専門家の育成や、合理的な管理を可能とする点検制度の最適化も、こうした取組みの一環として推進していくことが不可欠である。

3. 合理的な維持管理に向けた取組み

マクロおよびミクロ双方の観点から、維持管理を合理化していくため、現在以下のような取組みを進めている。

3.1 マクロマネジメントの合理化

(1) 道路橋の状態評価指標とネットワークの評価

道路橋の維持管理では、点検等により部材ごとの損傷状態を程度に応じて区分するなどの評価が行われるが、一方で、利用者や管理者にとっては、道路網の一部としての橋の機能がどの程度健全なのかが重要であり、部材や部位ごとの状態は橋全体としての性能に影響を及ぼす要因にすぎない。そこで、部材や部位ごとに得られる点検データを基に橋全体としての機能や性能の状態を表現できる指標の開発を行っている。

指標化の対象となる道路橋の要求性能としては、すべての道路橋に該当し、かつ供用性や安全性の観点から不可欠と考えられる3つの性能(耐荷性、災害抵抗性、走行安全性)を設定した。また、多数の部材が複雑に構成された道路橋の状態を部材単位ごとのデータを基に定量的な指標で表現した場合、その精度には限界がある。したがって、定量的な計算値を「補修等の必要性のない程度の健全状態」「早期に補修する必要性が高いと考えられる状態」「所要の性能を満足していない可能性が高い状態」の3つに区分し、その区分された結果を指標のアウトプットとした。図-6に指標値の表現方法の例を示す。

それぞれの指標値は、その性能に関連する部材の点検結

果に基づく損傷度と、性能への影響度に応じた重み係数により計算される。多主桁のように同じ種類の部材が複数ある場合には、部材の重要性や橋梁全体の性能に与える影響度を考慮して、損傷度の最悪値または平均値を用いた。表-1に部材の統合方法と重み係数の例を示す。

図-7に、指標値の試算結果を示すが、耐荷性と災害抵抗性で異なる様相となり、ネットワーク上のどの位置の橋

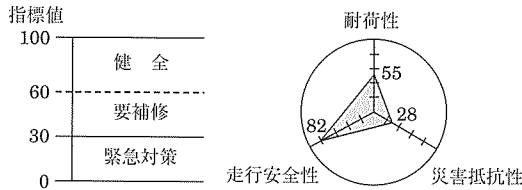


図-6 指標値の表現方法の例

表-1 部材の統合方法と重み係数の例

		耐荷性		災害抵抗性		走行安全性	
		統合方法	重み係数	統合方法	重み係数	統合方法	重み係数
上部工	主桁	最悪値	1.0	平均値	0.4	平均値	0.2
	床版	平均値	0.6	平均値	0.2	最悪値	1.0
	横桁	平均値	0.2	平均値	0.2		
	縦桁	平均値	0.2	平均値	0.2		
	対傾構	平均値	0.2	平均値	0.2		
	横溝	平均値	0.2	平均値	0.2		
下部工		平均値	0.2	最悪値	1.0		
支 承		平均値	0.2	最悪値	0.8	平均値	0.2
伸縮装置						最悪値	0.8

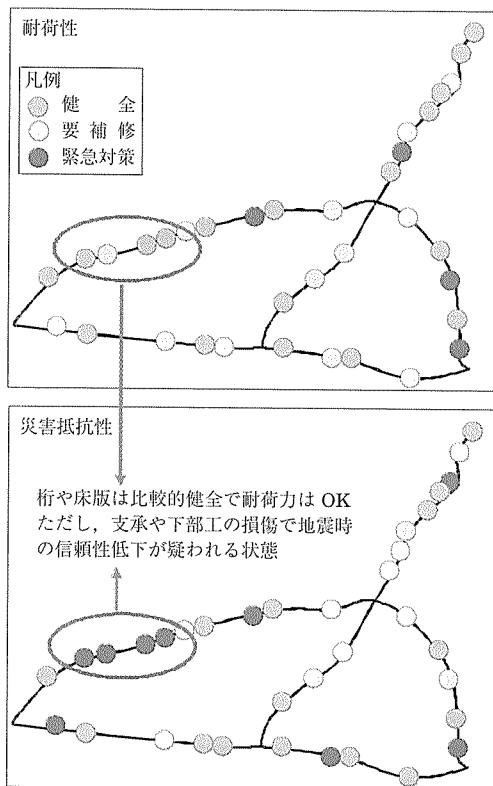


図-7 指標値の試算結果（耐荷性、災害抵抗性）

梁がどのように機能上の障害となる危険性があるのかなどが視覚的に捉えやすくなる。

現在の手法では点検での損傷度に基づき指標値を算出しているが、橋や部材の性能を評価するには、本来準拠した設計基準による相違等も反映させる必要があり、今後これらの反映方法について検討していくとともに、ネットワークにおける路線の位置づけなどの要素と組み合わせ、対策箇所の優先順位づけを行うなど管理システムへの組み込みを図っていく必要がある。路線としての状態を評価するには、橋のみならずトンネル、土工といった異なる道路施設をも含めて評価する必要があるため、これらの施設に適用できる共通指標の開発・検討についても併せて実施していく。

(2) BMS の改良

現在、国管理の橋梁に適用されているBMSは、補修履歴、諸元、点検結果、損傷管理リストをもとに、劣化予測とそれに基づく対策時期、工法、工費などのシミュレーション、損傷傾向の分析、未対策橋梁の抽出など進捗管理を行うシステムとして開発されている。今後も、点検結果や架橋条件等の分析を通じ、劣化予測モデルの精度向上など、システムの改良を進めていく。

3.2 ミクロマネジメントの合理化

3.2.1 管理手法の合理化

個々の橋梁において重大な損傷を防止し、合理的な維持管理を実施していくため、以下に示す観点から管理手法の合理化のための検討を進めている。

(1) 定期点検等の見直し

現在、国管理の橋梁に対しては、5年に1度の頻度での点検が定期点検要領（案）（以下「点検要領」と呼ぶ。）により定められているが、架設後の経過年、構造形式、交通状況、架橋環境等に、個別橋の点検結果に基づく損傷状況等に応じて差別化することにより、より合理的な管理が可能となる。そこで、直近の定期点検結果とその前の定期点検結果とを対比し、損傷の経年変化の把握、分析を行い、最適な頻度に関する検討を行っている。

また、現在は部材ごとに細分化された損傷データが点検結果として蓄積されているが、多くの場合、局所的な損傷の進展が橋全体の健全性に影響を及ぼすため、こうした健全性に影響を及ぼす部位、損傷種類に着目したデータ取得方法等の見直し、差別化が必要であると考えられる。そこで、部位・形式等と損傷程度・進展および橋全体の健全性に対する影響を分析し、現在の点検手法によるデータ取得方法・記録単位の有効性の検証とともに、点検時に着目すべき項目やデータ取得方法について見直しを検討している。

(2) 既設橋に対する評価・対策技術の確立

多くの既設橋梁では、点検の際に何らかの損傷、変状が観察されるが、それらが橋全体の健全性にどの程度影響し、どの程度の緊急性をもって対策を行う必要があるか、評価が困難である場合が多い。撤去橋梁の損傷部位を用いた耐荷力、耐久性の検証試験等を通じ、こうした損傷部材の性能評価方法を検討していく予定である。

また、損傷を生じた部位に対する補強についても、多くの場合効果が不明のため、このような補強を実施した損傷

部材の耐力評価試験等も併せて実施していく予定である。

(3) 点検の高度化に資する開発目標の設定

現在の点検要領では、目視による点検が基本となっているが、構造物の内部等目視での点検が不可能な部位の点検を行うためには、非破壊検査手法の開発や活用が不可欠である。しかし、多くの場合、非破壊検査による調査結果の評価方法、診断のため機器に求められる精度が不明のため、合理的な機器の開発や適用の促進・普及に結びついていない。このため、点検の高度化に資する技術の開発目標となる、要求性能（リクワイアメント）の設定について検討を進めている。

たとえば、PC 橋において施工時の導入量不足、PC 鋼材の劣化等によりプレストレスが不足する場合があるが、目視によりひびわれを発見したときには、大規模な補修の必要性や落橋の危険性があるなど、すでに手遅れとなっている場合もある。一方で、既設橋におけるプレストレス量やその低下度合いを精度良く計測する手法については確立されていない。しかし、以下の考え方を前提とすれば、着目すべき事象の絞り込みや必要な精度の設定など、合理的なリクワイアメントの設定が可能となると考えられる。

- ① 個々の橋は個別の条件に基づき設計され、姿形は異なるが、道路橋として時代ごとに同じ基準で設計されていることから、準拠した基準や構造形式等に応じて、着目すべき事象や検知すべきレベル等に大きな違いはないと考えられること
- ② 検査結果を踏まえた対応としては監視の継続、詳細調査の実施、補修の実施などがあるが、こうした対応との組合せで結果を区分して評価できればよいことから、いたずらに検査の精度を上げるよりも、健全度との関係が明確な事象に着目して、対応との関連づけが必要となる精度があればよいこと

プレストレス低下による影響を試算により分析・評価したところ、20～45 m のポステン T 桁橋で 20～40 % までプレストレスが低下すると、自動車荷重により有害なひび割れが発生し、長期的な耐力の低下につながる危険性が高いことが分かった（図 - 8）。この場合、このレベルのプレストレス低下を検知することが、非破壊検査技術に対するリクワイアメントとなる。

なお、プレストレス不足への対応に関しては、現在、こうしたリクワイアメントの設定とともに、プレストレスの

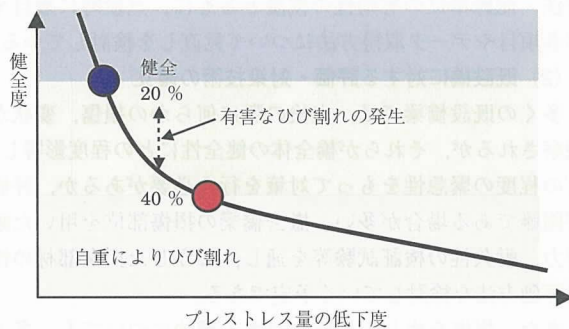


図 - 8 プレストレス低下による健全度への影響

低下を検知する非破壊検査手法の開発も並行して実施している。

(4) 点検困難な事象に対する点検・診断手法の確立

構造物内部や土中・水中部における損傷は、現在の目視中心の点検では検知が困難であるが、たとえば基礎の損傷による耐震性の低下など、橋の健全性に影響を及ぼす場合もあるため、検知手法や評価手法の開発・確立が求められている。たとえば、ASR 損傷によるフーチングの鉄筋破断については、既往の耐震補強の際に発見された事例も見られるが、橋の健全度に影響する場合もあるため、損傷の可能性のある基礎の抽出方法、最小限の手間による損傷の確認方法（たとえば地上からのコアボーリングによるコア採取）、損傷による耐力への影響評価手法等について現在検討を実施している。

3.2.2 技術開発の促進

維持管理の合理化に資する技術開発をいかに戦略的・計画的に進めていくか、またこうした技術開発をいかに促進させていくかが、国として重要な課題であるため、開発すべき技術の体系化や、技術の開発目標の設定を進めている。

図 - 9 は、維持管理の合理化のために必要な技術開発分野を整理したものである。図の左側の領域は、たとえば構造物内部の欠陥検知など、点検や診断の信頼性の向上のために必要な技術開発領域である。一方右側は、たとえば点検手法の機械化や自動化による省力化や、モニタリングによる速やかな異常検知など、点検の効率化・最適化に必要な技術開発領域である。また、左右の領域のそれぞれ上側の領域は、現在の維持管理体制の改善として導入が可能なもの、下側の領域は、維持管理の人員配置など体系そのものの改革を伴うものとなっている。

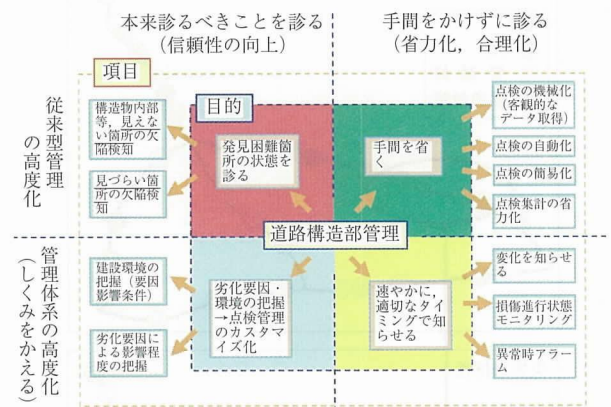


図 - 9 維持管理に関するニーズの整理

4. 今後の課題

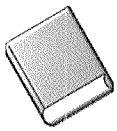
今後、管理すべきストックが増大し、高齢化が進むなかで、道路構造物群として、ネットワークとしての合理的な管理に向けた取組みを体系的、網羅的に実施していくとともに、個々の構造物の重大な損傷を防ぎ、維持管理を合理化していくために必要となる研究開発や、研究開発を促進

するための手法について、点検制度など維持管理制度への開発技術の反映方法も含め、ひきつづき検討を進めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路統計年報 2006
- 2) 玉越隆史，小林寛，武田達也：道路橋の維持管理に関する取り組み，土木技術資料，Vol.48，No.11，pp.24～29，2006

【2008年1月7日受付】

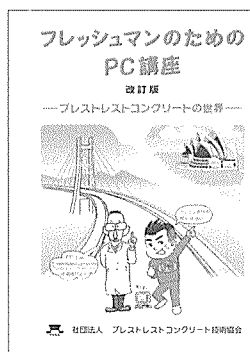


新刊図書案内

フレッシュマンのためのPC講座・改訂版 — プレストレストコンクリートの世界 —

大変ご好評をいただいております「フレッシュマンのためのPC講座」も平成9年に第一版が発刊されてから約10年が経過いたしました。

その間に、基準値・規格値をはじめとした技術基準が従来単位系からSI単位系に移行しました。また、プレストレストコンクリート構造物においても、複合構造等の新しい構造物が誕生しています。そこで、これらの項目を新しく見直して、改訂版を発刊することにいたしました。これからの技術者を育てるためには、大変有意義な図書であると確信しておりますので、是非有効利用されることをお勧めいたします。



主な改訂項目

- ・従来単位系からSI単位系に変更しました。
- ・PCを利用した構造物の紹介に、最近の新しい構造物を盛り込みました。

発刊日：2007年3月

頒布価格：会員 3,000円（非会員 3,600円）郵送料 400円／冊

体裁：A4判，140頁

申込先：(社)プレストレストコンクリート技術協会