

特集：データに基づく道路のマネジメント

道路構造物群のマネジメント(管理)における点検データの活用 ～定期点検結果の分析から見た損傷発生・進行の特徴及び現有性能の指標化～

玉越隆史* 大久保雅憲**

1. はじめに

現在約68万橋を有する我が国の道路橋は、戦後の高度経済成長期に急ピッチで整備されたことから、今後確実に高齢化割合が増大する¹⁾。道路橋の高齢化に伴い、通行規制を伴う深刻で様々な損傷が散見され始めた。直轄道路橋の点検結果の分析からは、経年に伴って異常が現れる可能性が増大する傾向が顕著であった²⁾。高齢橋が少ない時代には、損傷が発見された都度の対応（いわゆる事後保全）で対処できていたのに対して、高齢化時代では発見された損傷は氷山の一角に過ぎず、次々と同様な事象が発生する危険性を有していると考えられ、先送りが許されず、先手を打つ維持管理（いわゆる予防保全）が求められる。すなわち、データに基づく科学的な維持管理に移行し、道路橋の長寿命化とライフサイクルコストの縮減を図ることが必要であり、このためには、橋の状態を知り（点検）、それを分析して管理に反映させていくことが重要となる。

一方、道路はネットワークとしての機能が発揮されることが、極めて重要である。道路ネットワークを構成する道路構造物は、橋梁、トンネル、土工、舗装である。例えば、地震発生時にこれらのどれかが被災すれば、ある区間は通行規制が余儀なくされる。道路構造物の種類に応じて復旧期間に差はあるものの、路線として一定の管理水準を確保するためには、道路構造物を群として捉えた同一観点からの評価を行い、選択と集中でもって脆弱部に対処することが、今後重要となる。

本稿では、信頼性と経済性の観点から最も合理的に維持管理できるための手法の一助となるべく研究中的のものうち、前半では橋梁定期点検結果を分析して得られた損傷発生・進行の特徴に基づく管理の留意事項を、後半では道路構造物の点検結果の損傷状況のデータを活用した道路構造物群の現有性能評価指標の開発状況を報告する。

2. 橋梁定期点検結果の分析

2.1 初期損傷

直轄道路橋においては、橋梁定期点検要領(案)³⁾に基づき、供用後2年以内の初回点検と、その後は5年毎の定期点検が行われている。初回点検と全点検それぞれに対する損傷種類の損傷率を、主な損傷とそれが発生する主な部位について、積算棒グラフとして図-1に示す。なお、

$$\text{損傷率} = \frac{\text{損傷ありの径間数}}{\text{全径間数}}$$

$$\text{伸び損傷率} = \frac{\text{全点検での損傷率}}{\text{初回点検での損傷率}}$$

である。損傷の特徴は、大きく3タイプに区分された。初期損傷率が小さく、その後の経年により損傷率が増加するものとして、腐食、剥離・鉄筋露出。初期損傷率がやや高く、その後の経年により損傷率が増加するものとして、防食機能の劣化。初期損傷率は高いもの、その後の経年による増加は少ないものとして、ひびわれ、漏水・遊離石灰、床版ひびわれである。第3タイプの損傷は、初期損傷の発生を抑制するか、又は初期損傷に早

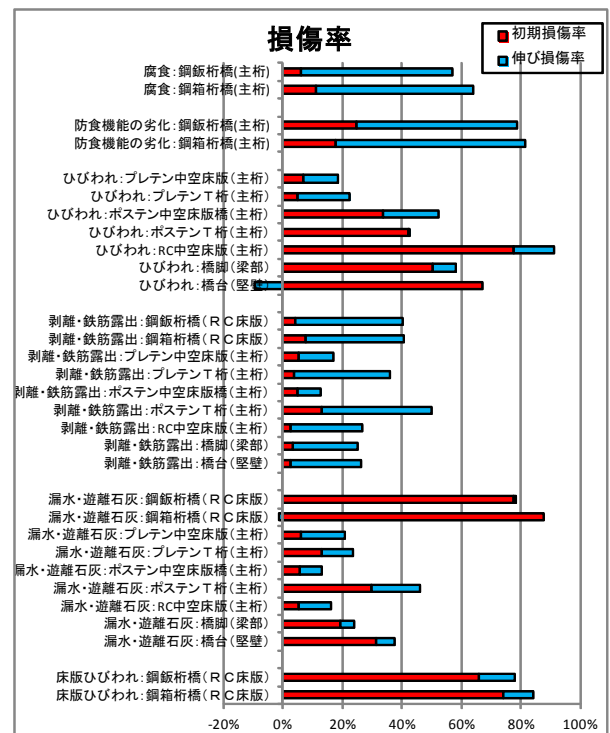


図-1 主な損傷の主な部位の損傷率

期に対処すれば、予防保全に有効に寄与する可能性があることを示唆していると考えられる。

2.2 損傷発生・進行の特徴

(1) 部位による差

経年による損傷率が増加するものの代表例として、鋼鈑桁橋の腐食の部位（桁端部・中間部）別の損傷発生状況を図-2に示す。腐食の程度は、桁端部が中間部に比べて悪化している傾向がうかがえる。

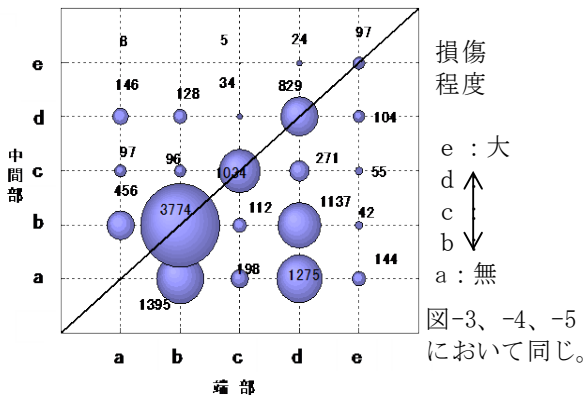


図-2 鋼鈑桁橋主桁腐食の部位別発生状況(単位：径間)

直轄道路橋の定期点検は、平成16年の橋梁定期点検要領(案)より前の昭和63年から橋梁点検要領(案)⁴⁾により実施されており、同一橋梁で複数回の点検結果が蓄積されつつある。そこで、同一橋梁の同一箇所に対して異なる時期に行われた2回の定期点検結果から、損傷の進行状況をマルコフ遷移として求めた。図-3に、鋼鈑桁橋にA・B系塗装が施された主桁の腐食を例として示す。損傷発生状況と同様、腐食の進行は、桁端部に比べて早い傾向が顕著に表れている。

また、図-3には、損傷程度に重み付けを行い(無=1.0~大=0.0)、経過年毎に平均及び標準偏差を算出して求めた回帰曲線を併記している。桁端部において、仮に平均を劣化曲線に採用すると、25年後の予測は0.5弱 (=「c」)となる。しかし、どの橋でも25年後に確実に「c」になるのではなく、信頼性は高くないものの期待値として「c」程度になると言えるに過ぎない。更に、腐食の進

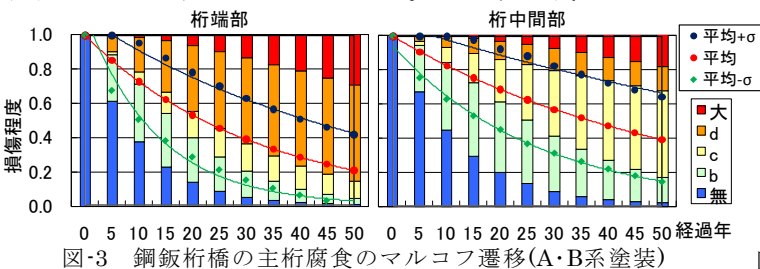


図-3 鋼鈑桁橋の主桁腐食のマルコフ遷移(A・B系塗装)

行は、架橋環境（沿岸部かどうか、凍結防止剤散布の有無など）でも異なる。つまり、劣化予測には圧倒的に大きなバラツキがあるのが実態である。このバラツキの程度を表す一つの方法として、標準偏差を含めて劣化曲線を提示した。

将来予測に基づいて予防的な措置を行ったり、補修補強時期の最適化を模索することは、道路資産全体のライフサイクルコストの最小化に資する合理的な維持管理手法であるものの、将来予測の信頼性には解消困難な大きな限界があり、それらに過度に依存しない現実的で信頼性の高い維持管理体系の構築が不可欠であると考えている。

(2) 構造による差

初期損傷率が高いものの代表として、コンクリート主桁のひびわれがある。プレテンT桁、ポステンT桁、RC-T桁のひびわれパターン³⁾別のひびわれ発生部材数を図-4に示す。プレテンT桁橋はパターン⑤（支承上桁の鉛直ひびわれ）が、ポステンT桁橋はパターン②（支間中央部の桁下面縦方向ひびわれ）が、RC-T桁橋はパターン①（支間中央部の桁下面及び側面の鉛直ひびわれ）が突出して多い特徴がうかがえる。これら構造により発生するひびわれの違い等を点検時の着目箇所等としてとりまとめることにより、損傷見

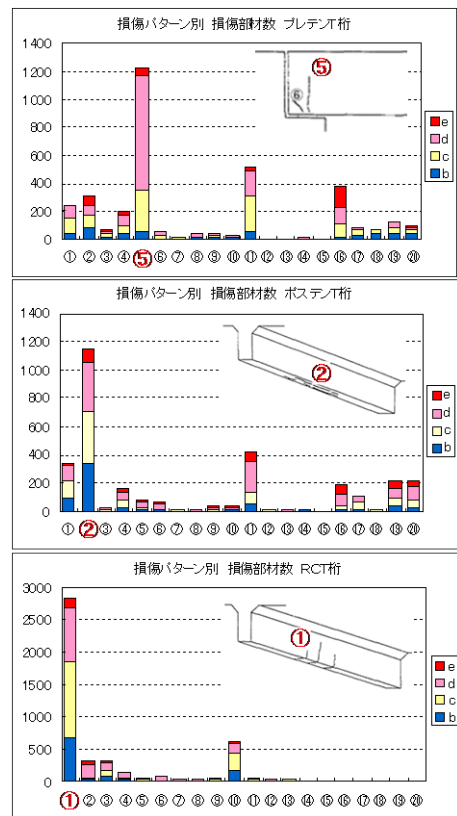


図-4 ひびわれパターン別のひびわれ発生部材数

逃しの危険性を減少させるなど点検の質の向上が期待できるとともに、原因の究明と損傷抑制に必要な措置の促進に繋がるものと考えている。

(3) 架橋環境による差

架橋環境による損傷進行の違いを示す例として、PC主桁の剥離・鉄筋露出について、塩害地域内外別のマルコフ遷移を図-5に示す。剥離・鉄筋露出の進行は、塩害地域内が早い傾向がうかがえる。また、塩害地域内においては、プレテンT桁の方がポステンT桁よりも早い傾向がうかがえ、かぶりの違いが原因の一つに想定される。なお、平成14年の道路橋示方書の改訂で、塩害に対するかぶりの規定は改訂されている。

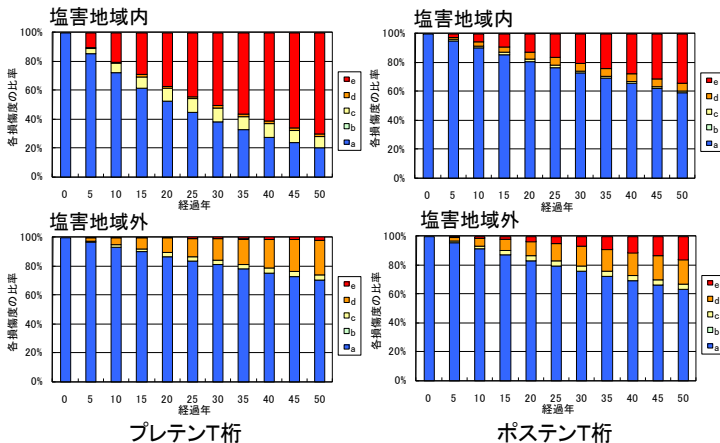


図-5 PC主桁の塩害地域内外別の剥離・鉄筋露出のマルコフ遷移

2.3 目視点検の限界

橋梁からコンクリート片が落下し、第三者に被害を与える危険性のある部位に対しては、コンクリートのうきを目視点検で把握することに限界があることから、原則、2～3年毎に打音検査が行われている⁵⁾。プレテンT桁及びポステンT桁について、この打音検査結果と目視点検である定期点検結果との相関を、表-1に示す。両検査の時期は一致していないものもあることから一概には決めつけられないものの、定期点検ではうき無と判定された要素のうち5～10%は打音検査でうき有となっており、目視点検の限界が証明される結果であった。このような目視点検の限界に対しては、

表-1 うきに対する打音検査と目視点検の相関

うきの有無		打音検査結果 (単位:要素)			
		プレテンT桁		ポステンT桁	
		無	有	無	有
定期点検結果	無	33,676	1,710	7,920	820
	有	243	1,159	142	442

特別な点検方法と頻度を別途定めた特定点検を実施していくことが重要であり、その一証左である。

3. 道路構造物群の総合評価指標

道路構造物の状態について、道路利用者や一般国民に理解しやすく示されているとは言えず、点検、補修・補強等の維持管理行為の必要性や重要性が適切に理解されているかは明確でない。このため、点検データを用いて、管理状態である現有性能を道路構造物の種類を問わず共通の指標で評価する手法の開発を進めている。

現有性能は、道路の通行機能と道路構造物の機能について表-2に示す整理を行い、耐荷性、災害抵抗性、走行安全性の3指標に設定した。

表-2 道路の通行機能と道路構造物の機能、性能との関係

道路法	通行機能	道路構造物の機能	道路構造物の性能	
			耐荷性	重量車両の通行に対する信頼性
通常の衝撃に対して安全	安全性	路面の確実な支持	災害抵抗性	災害時に所要の機能・性能が発揮されることの信頼性
	信頼性			平常時の安全・快適な車両走行に対する信頼性
安全かつ円滑な交通の確保	円滑性	路面の平坦性の維持 走行空間の確保	走行安全性	
	快適性			

指標は、構造物に損傷がない状態で発揮されるはずの性能が損傷等によって損なわれている程度のみに着目することとした。これは、現在一般に供されている道路構造物の基本的な性能には極端に大きな差異がないと考えられることと、耐震対策が未実施等の既存不適格性は、損傷状態とは別に明確に特定できることから、損傷状態による評価とは別に把握しておき、両者を適宜組み合わせることで活用することが適当であると考えたためである。

今後、既設構造物が建設時に適用された基準や設計・施工技術との関係において実際に具備している性能水準を明らかにして、現況評価に反映させる手法の確立が必要である。

橋梁、土工、トンネル、舗装について、3性能の低下誘因、性能が低下する素因を表-3に示す。表には、性能が低下する素因に対して、現状の点検における把握状況を合わせて示した。構造物の性能面からの状態把握のためには、未把握の素因の把握が不可欠であり、今後、点検等で把握すべき事象が抽出されたものと考えられる。

指標は、構造物の種類を問わず、その性能に関連する部材の点検結果に基づく損傷程度と、性能への影響に応じた重み係数から計算される。

表-3 道路構造物の性能低下要因と把握状況



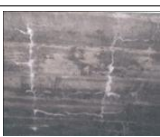


性能		耐荷性	災害抵抗性		走行安全性	
性能低下誘因		重交通荷重	地震	豪雨	(突発的事故)	(路面状態)
性能が低下する要因	橋梁	・主桁 ・床版 の疲労損傷や材料劣化	・下部工の傾斜 ・支承の損傷 ・落橋防止構造の損傷	・洗掘	・床版の疲労損傷や材料劣化	・段差(伸縮装置)の状況
	土工(盛土・切土)	—	・対策工の損傷 ・のり面の変状 ・踏掛板無	・対策工の損傷 ・のり面の変状	・対策工の損傷 ・のり面の変状 ・浮き石 ・表土の浸食	—
	トンネル	—	・覆工のひびわれや材料劣化 ・背面空洞 ・坑口の変状	—	・覆工のひびわれや材料劣化 ・異常土圧	—
	舗装	—	—	—	・路面下の空洞	・摩耗、流動
				定性的把握	未把握	

指標算出結果は、数値そのものではなく、「補修等の必要性のない程度の健全状態」(60点以上)、「早期に補修する必要性が高いと考えられる状態」(30点以上60点未満)、「所要の性能を満足していない可能性が高い状態」(30点未満)の3区分で評価することとした。これは、限られた点検データから機械的に個々の構造物の状態を定量化することの限界を考慮し、一方で指標化の目的と想定する活用方法を検討した結果である。

走行安全性の例を表-4に示す。例えば、指標で30点未満に判定された橋梁の床版の抜け落ち、トンネル坑門からのコンクリート片の落下及び斜面の表層土の崩壊の危険性の高い状態は、構造物の種類に拘わらず、いずれも通常走行に対して潜在的危険性が同じ程度であることが、表現できていると考えられる。

道路構造物毎の指標をもとに、区間にある構造物の最低値を区間の指標とした性能状態を3色で、また、車線数を線の太さで表現したネットワークの性能マップのイメージを、図-6に示す。このようなネットワークの走行安全性に係る状態の可視化が、補修優先度が高い区間の評価など、整備水準・管理水準の評価ツールとして有効に活用できると考えられる。

表-4 道路構造物の総合評価指標 (走行安全性の例)

	橋梁	トンネル	土工
30点未満	 床版抜け落ち	 坑口上部コンクリートの「うき」	 表層土のずり落ち
60点未満	 床版の遊離石灰を伴うひびわれ	 覆工側壁部の「うき」	 壁面より水のしみ出し

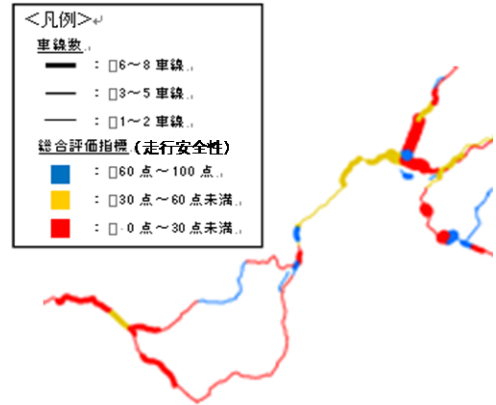


図-6 ネットワークの性能マップ (イメージ)

4. まとめ

橋梁定期点検データを分析し、初期損傷への対応の考え方、部位、構造、架橋環境による損傷発生・進行の特徴を明らかにして維持管理で留意すべき事項を述べるとともに、劣化予測の限界について言及した。また、道路構造物の現有性能を指標化し、ネットワーク性能の可視化を試みた。

今後も、情報処理技術など最新の科学的手法を活用し、個々の構造物にネットワークとして最適化された管理が行われることにより、道路構造物群全体のライフサイクルコストの最小化、利用者のリスクの最小化が図られている賢い維持管理体制の実現に向け、各方面と連携して、各種研究に取り組むこととしている。

参考文献

- 1) 平成21年度・平成22年度道路構造物に関する基本データ集、国総研資料第645号、2011
- 2) 玉越隆史：道路橋保全を取り巻く状況と課題、土木技術資料、第53巻、第2号、pp.6~9、2011
- 3) 橋梁定期点検要領(案)、国道・防災課、2004
- 4) 橋梁点検要領(案)、土木研究所資料第2651号、1988
- 5) 橋梁における第三者被害予防措置要領(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

大久保雅憲**



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
Masanori OKUBO