

基調講演

道路構造物の定期点検から見えてきた現状と理想

ISSUE AND IDEAL OF ROAD STRUCTURES BASED ON INSPECTION DATA

木村嘉富* , 白戸真大** , 宮原 史***

Yoshitomi KIMURA, Masahiro SHIRATO, and Fumi MIYAHARA

ABSTRACT This paper presents the characteristics of deterioration of steel road bridges obtained from analysis using periodic inspection data. Based on these results, this paper overviews issues due to both design and asset management of existing steel road bridges. Finally, this paper indicates direction in future research.

KEYWORDS : 鋼道路橋, 定期点検, 設計, マネジメント

steel road bridge, inspection data, design, management

1. はじめに

国土交通省では、平成 26 年に道路法に基づく道路橋等の定期点検が義務化される以前から、道路橋、トンネル、道路附属物などを対象に定期点検を行い、道路構造物の状態を把握してきている。本稿では特に鋼道路橋（横断歩道橋を含む）に着目し、定期点検結果のデータに裏付けされた損傷の実態や傾向を紹介する。これを踏まえ、今後も確実に道路構造物の高齢化が進む中、平成 29 年度の道路橋示方書の改定も踏まえた個々の道路橋の設計の観点、並びに中長期的なマネジメントの両方の観点から、現状の認識を述べるとともに、理想の実現に向け今後取り組むべき課題を述べる。また、ここで述べる課題の解決に向け、国土技術政策総合研究所（以下、国総研）が取り組んできている研究成果の一部を紹介する。

2. 鋼道路橋の現状

2.1 鋼道路橋の損傷の特徴

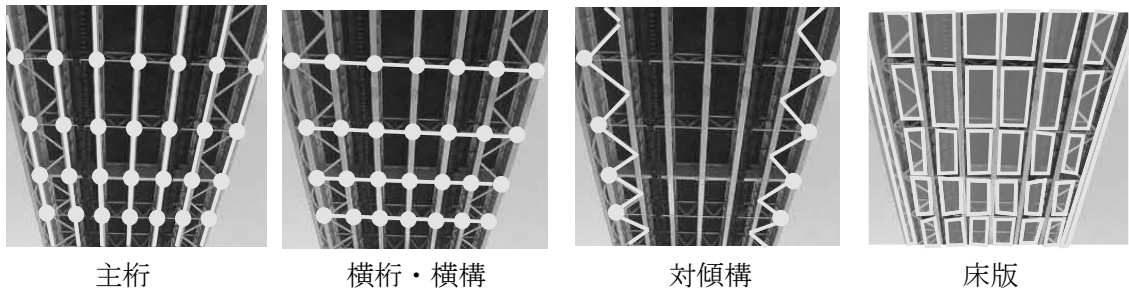
(1) 国におけるデータ取得

国が管理する道路橋では、平成 16 年に見直した橋梁定期点検要領(案)（以下、H16 点検要領）以降¹⁾²⁾、従来の部材単位での診断（対策区分の判定）に加え、さらに細かく分けた要素単位での客観的かつ詳細な状態記録（損傷程度の評価）を蓄積している（図-1）。ここでの要素単位とは、図-1に示すように、外観上の目印とする部材等に取り囲まれる範囲に番地付けをするものであり、個々の構造部材を細かく分割した単位である。例えば、床版は、一般にパネルと呼ばれる単位に区割りされ、擬似的に主桁と横桁によって囲まれた範囲（パネル）に番地（要素番号）が与えられる。主桁の要素は、横桁の接続部で分割し、横桁接続部間で番地（要素番号）が与えられる。各要素は、26 種類の損傷それぞれに対して最小 a と最大 e の a~e の 5 段階の損傷程度の情報を持つ。

H16 点検要領の導入後、国が管理する道路橋の約 24,000 橋で 5 年に 1 度の定期点検が 2 回以上行われている。これにより、要素ごとの損傷程度と経年の状況や、同一要素の損傷程度の遷移を統計的に整理することで、損傷の実態や劣化特性の把握、そして、将来状態の予測を行うための部材種別、損傷種類毎の劣化モデルとしての遷移確率及び劣化曲線の作成ができると考えられる。そして、部材の

対策区分の判定		損傷程度の評価	
目的	今回の点検までの補修対策等の必要性の評価	長期の橋梁性能評価のための外観性状の客観的な記録	
判定区分	A 損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。 B 状況に応じて補修を行う必要がある。 C 速やかに補修等を行う必要がある。 E1 橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。 E2 その他、緊急対応の必要がある。 M 維持工事に対応する必要がある。 S 詳細調査の必要がある。	a b c d e 小 ←————→ 大	
		例	コンクリートのひびわれ
		外観の数値基準	
損傷程度		最大ひびわれ幅	最大ひびわれ間隔
		RC	PC
a		損傷なし	
b		<0.2mm	<0.1mm ≥0.5m
c		<0.2mm	<0.1mm <0.5m
		0.2-0.3mm	0.1-0.2mm ≥0.5m
d		<0.2mm	0.1-0.2mm <0.5m
		0.2-0.3mm	≥0.2mm ≥0.5m
e		≥0.3mm	≥0.2mm <0.5m
評価単位	個々の構造部材に対して損傷種類ごと	要素単位に対して損傷種類ごと	
損傷種類数	26種類	26種類	
区分方法	損傷が部材機能に与える影響、損傷の原因や進展性、他の損傷や他の部材の状態との関係性、当該損傷が進展したときに他部材や橋梁全体系に与える影響を考慮した工学的判断	数値的かつ定量的な指標に基づき区分する。また、写真による損傷事例集が公表されており、それとの符合も求められる。点検者が損傷の重要性等、主観的な見解を判定、加味することは許されない。	

図－1 国土交通省の橋梁点検要領の概要（左：対策区分の判定，右：損傷程度の評価）



図－2 要素分類とデータ記録単位の例

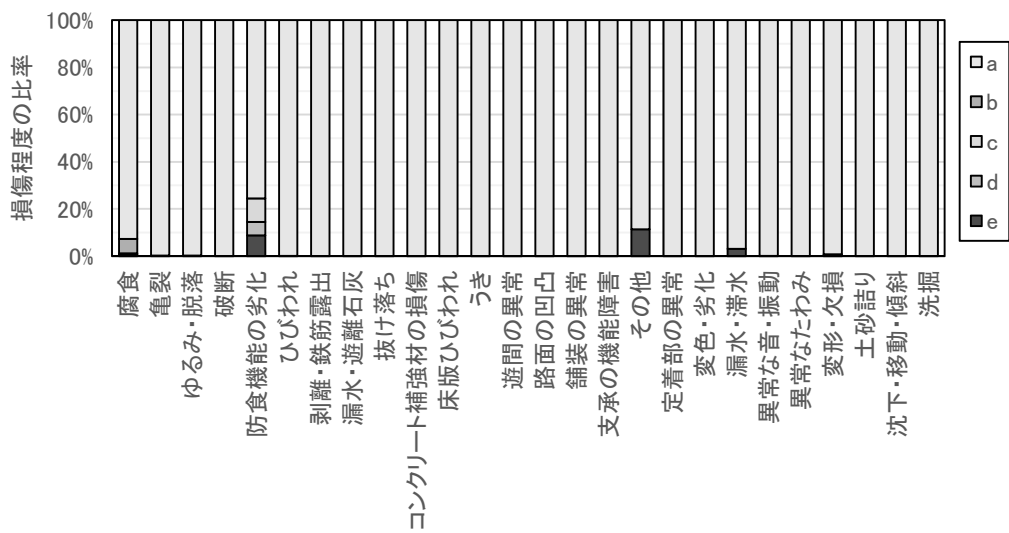
劣化特性については、架設環境や部材の平面的な位置などの条件ごとにその進行や損傷の拡がり方などの傾向が異なるなどの特徴があるものと考えられる。このような特徴を定量的に示すことができれば、アセットマネジメントを行う上で有益な情報を得られる可能性がある。

以下では、鋼道路橋を対象に、主要部材の損傷実態の把握および劣化特性の把握を試みた分析例を紹介する。なお、国総研において、国が管理する道路橋の点検結果から鋼道路橋の損傷実態と劣化の特徴を分析した結果は玉越ら³⁾においても報告されている。

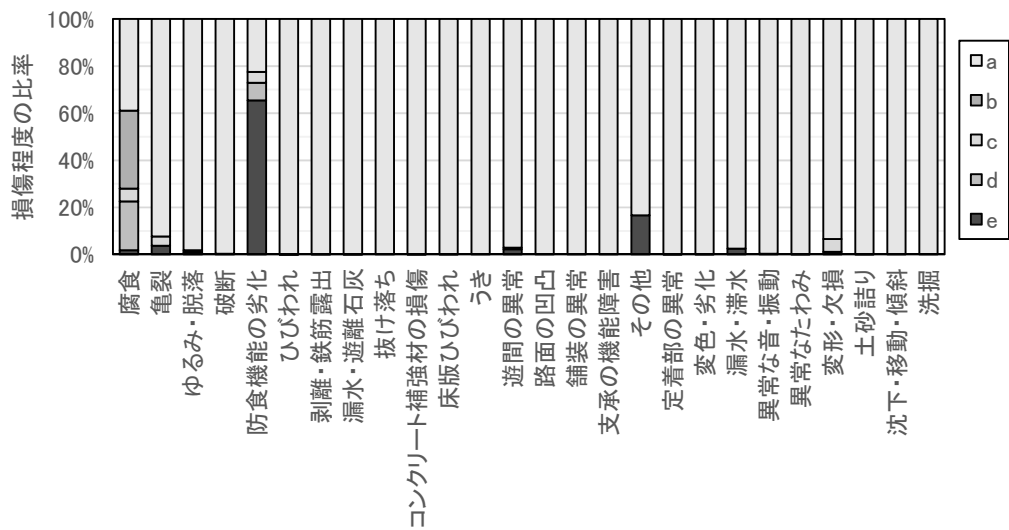
(2) 鋼主桁の損傷の発生状況

鋼道路橋の主要部材である鋼主桁の損傷の発生状況の大略を把握するため、供用開始2年以内の定期点検（初回点検）結果と、最も直近に行われた定期点検（直近点検）結果を図－3のとおり抽出した。なお、ここでは要素単位の損傷程度を各径間の最低評価値で代表させて径間単位の損傷程度を集計している。

図－3(a)から、鋼主桁においては、初回点検時点で5%程度の径間に腐食が、25%程度の径間に防食機能の劣化が生じていることがわかる。また、直近点検では、60%程度の径間に腐食が、80%近くの径間に防食機能の劣化が生じていることがわかる。これらからは、腐食や防食機能の劣化は経年により確実に進行することが定量的なデータとしても認識される。



橋梁定期点検で記録する損傷
(a) 初回点検 (対象：1,570 径間)



橋梁定期点検で記録する損傷
(b) 直近点検 (対象：28,292 径間)
図-3 鋼主桁の損傷程度の比率

(3) 鋼主桁の腐食の経過年に応じた発生状況の分析

次に、鋼主桁の腐食に着目して、経過年に応じた発生状況を確認する。図-4に、塗装橋を対象に、経過年に応じた各損傷程度の発生状況を発生割合とバブルチャートで整理した結果を示す。直近点検の点検結果を用いて、要素単位で集計を行っている。図のプロットの大きさは、グラフ内の最小度数の面積を1としたときの比率の違いを相対的に示している。なお、ここでの集計結果には補修・補強等が行われた要素も含まれている。

図-4から、全ての経過年区切りで、7~8割以上が損傷程度 a, b で、最悪状態である損傷程度 e は発生数、割合ともに極めて少ないことがわかる。補修・補強対策後の要素が含まれるものの、50年以上経過した橋梁でも損傷程度 a の要素が半分以上あることがわかる。一方、経過年50年までの間で見ると、損傷発生割合は、経年で増加する傾向が確認できる。発生数で見ると、経過10年程度で損傷程度 b, 経過15年程度で損傷程度 c, d, 経過20年程度で損傷が発生し始めており、経過40~50年で比較的発生数が多い。これらからも、腐食が経年により確実に進行することが定量的なデータとして認識される。

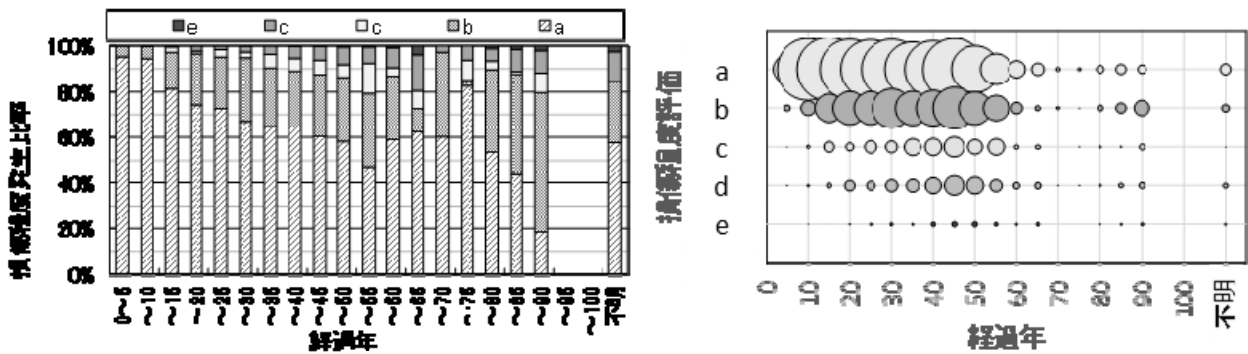


図-4 鋼主桁の腐食の経過年に応じた発生状況

(4) 鋼主桁の腐食の劣化曲線

2 回の点検結果から損傷程度の評価の変化を集計すれば、経時的な劣化過程を遷移確率行列で表現することができる。遷移確率行列が得られれば、供用開始時点の損傷程度を a として、状態遷移確率行列を基に 5 年後の損傷程度を確率的に予測する計算を何度も繰り返せば、遷移確率に基づいた多くの劣化過程を予測できる。例えば、損傷程度の評価 a~e を 1.00 から 0.00 までの数値を 0.25 刻みで点数化すれば、状態遷移確率に基づいて予測した損傷程度の変化の過程とそこから得られる損傷程度の期待値の時間変化（劣化曲線）が得られる。

図-5 に、鋼桁の腐食を例に、劣化過程にマルコフ連鎖過程を仮定し、状態遷移確率行列から得られた経過年 5 年毎の状態確率分布の算出結果と 5 年毎の損傷程度分布の期待値を経過年の関数として回帰した結果を示す。部位に応じた劣化過程の違いを比較するため、桁端部と桁中間部に分けている。図-5 からは、桁端部と桁中間部では、各損傷程度の増減の推移が異なっており、例えば損傷程度 d+e の割合に着目すると、桁端部は、経過 25 年時点で 5 割を越えるのに対し、桁中間部は、同時点で 2 割程度と桁端部の方が早期に劣化する傾向にあることがわかる。一方、図-5 に赤線で示す劣化曲線は本来ばらつきのある劣化過程を 1 本の期待値曲線に集約したものに過ぎないことが認識される。さらに、期待値 $\pm \sigma$ の特徴を表す劣化曲線からは、統計的に予測される劣化過程には極めて大きいばらつきがあることが分かる。

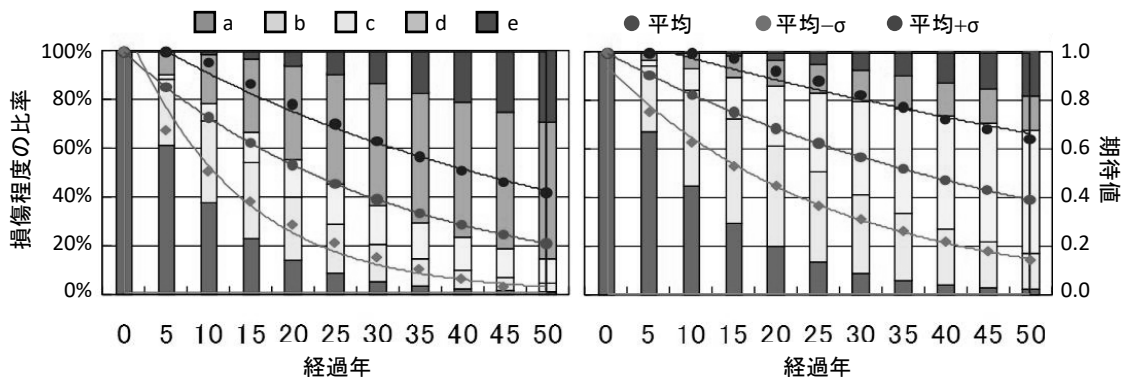
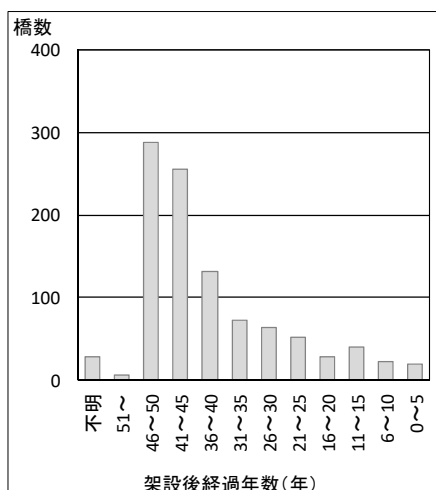


図-5 経年に応じた鋼桁の腐食の損傷程度の比率と期待値曲線および期待値周りのばらつきの劣化曲線（鋼桁・腐食の例 左：桁端部，右：桁中間部）

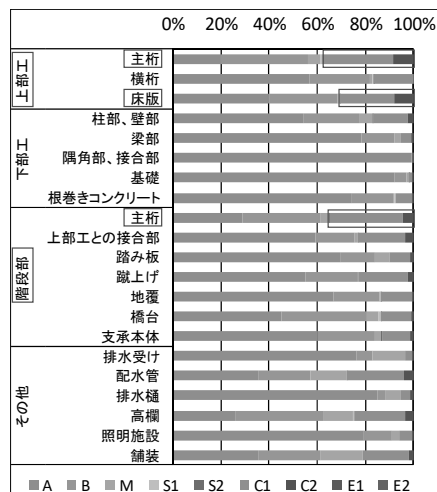
2.2 横断歩道橋の損傷の特徴整理

(1) 横断歩道橋の損傷の発生状況

横断歩道橋についても、歩道橋定期点検要領⁴⁾制定以降、約 2 カ年に渡って定期点検が行われてきている。図-6 は、国が管理する横断歩道橋約 1,000 橋の定期点検データを用いて、架設経過年数別に分布を整理したものである。架設後 40 年以上経過したものが 5 割以上を占めていることがわかる。図-7 は、部材毎の対策区分判定を整理した結果である。主桁や床版、階段部において、対策区分



図－6 架設後経過年ごとのストック数



図－7 部材別の対策区分判定の割合

判定 C1 (予防保全の観点から速やかな補修が必要なもの) 以上の早期に対策が必要な割合が大きいことがわかる。また、損傷の内訳を見るとその殆どを腐食及び防食機能の劣化が占めていた。横断歩道橋においても、腐食は代表的な損傷となっている実態が確認された。

図－8～図－10に、横断歩道橋の代表的な損傷事例として、各部位の腐食事例を示す。図－8に示す主桁においては、塗膜の付着性が悪い下フランジのエッジ、紫外線が直接当たるウェブは経年劣化や雨水の滞水による防食機能の劣化及び腐食が発生しやすいと考えられる。図－9に示す床版においては、橋面舗装の経年劣化や雨水の浸透により生じたひびわれ、剥離部からさらに雨水が浸透することで腐食が発生しやすいと考えられる。また、鋼床版下面では結露による防食機能の劣化及び腐食が発生しやすいと考えられる。図－10に示す階段部においては、桁の伸縮量を吸収する事を目的として設けた遊間より雨水が浸透し、接合部（主桁端部及び桁受け）に腐食が発生しやすいと考えられる。



図－8 横断歩道橋の主桁の腐食事例



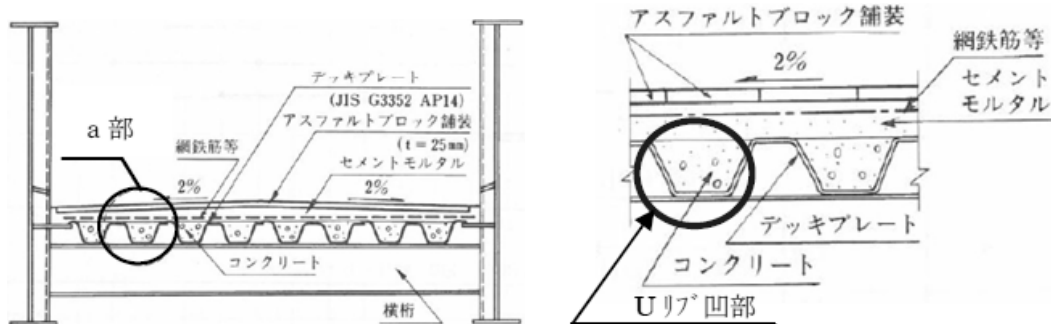
図－9 横断歩道橋の床版の腐食事例



図－１０ 横断歩道橋の階段部の腐食事例

(2) 横断歩道橋管理における留意事項

近年、図－１１に示す標準設計に類似した、Ｕリブ鋼床版（板厚 3.2mm、デッキ面は無し）に無筋コンクリートを充填し、その上に舗装（セメントモルタル＋アスファルトブロック）を設置した構造の横断歩道橋において、局所腐食部から金属片が落下する事故が発生した。以下では、本事例を教訓とする歩道橋管理における留意事項を紹介する。



図－１１ 類似構造の標準設計断面（右図は左図の a 部詳細）

本事例では、調査の結果、上面から浸入した水がデッキプレート上面に到達・滞水し、デッキプレートが上面より腐食した結果、一部で断面欠損を生じたものと推測された。この場合、腐食はデッキプレート上面側から進行していくため、下面からは腐食程度を正確に把握することは困難である。しかし、腐食が断面欠損に近い状態まで進行した場合、塗装の劣化、錆汁の滲出など外観にも異常が見られると考えられるため、著しい腐食や塗装の劣化が見られるものについては、断面欠損に近い状態である可能性を疑う必要があると考えられる。

本事例では金属片の落下が生じるのみであったものの、デッキプレートのＵリブ内部には無筋コンクリートが充填されており、構造的には、デッキプレートの腐食が進行した場合、コンクリート塊が落下する可能性も危惧される。デッキプレートの合わせ目は重ねられていることが多く、段差部に滞水することで集中的に腐食が進行している例が多く見られる（図－１２）。歩道橋のデッキプレートのＵリブには、Ｕリブ凸部で合わせた構造とＵリブ凹部で合わせた構造の２種類が確認されており（図－１３）、特に後者の場合、Ｕリブ内部に滞水し、腐食により断面欠損が生じた場合、歩道橋利用者の荷重を舗装と充填コンクリートの結合のみで支えることとなり、舗装の踏み抜き及びコンクリート塊の落下が発生する可能性がある。歩道橋のＵリブの上面は一般的な道路橋のＵリブ鋼床版と異なり閉塞されていないため、雨水はＵリブ凹部に容易に到達しているものと考えられる。

歩道橋には、過去に著しい腐食を生じたり滞水・漏水、防食の劣化を理由に補修塗装やデッキ上面の舗装の補修や更新が行われていても、Ｕリブ内部への滞水や上面からの腐食まで把握しているものは少ないと考えられる。その場合、舗装面や防食の劣化程度に比較して、Ｕリブの実際の劣化はより厳しい状況のものもある可能性が高いので、特に注意が必要である。

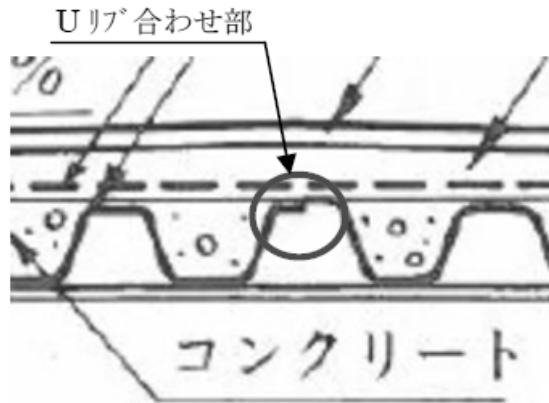


図-12 デッキプレートの合わせ目



Uリブ凸部で合わせた構造



Uリブ凹部で合わせた構造

図-13 歩道橋のUリブの構造

3. 道路橋の設計基準の現状

道路橋の設計基準である道路橋示方書は、本原稿執筆中の平成29年7月21日に改定された⁵⁾。

改定後の道路橋示方書では、多様な構造や新材料に対応する設計手法の導入の一貫として、従来の許容応力度設計法から、設計上見込む安全率を、安全率に影響を与える要因毎に細分化して設定できる部分係数設計法に設計体系が変更されており、将来に向かって安全率の合理化を図ることができる余地が拡大できるようにされている(図-14)。

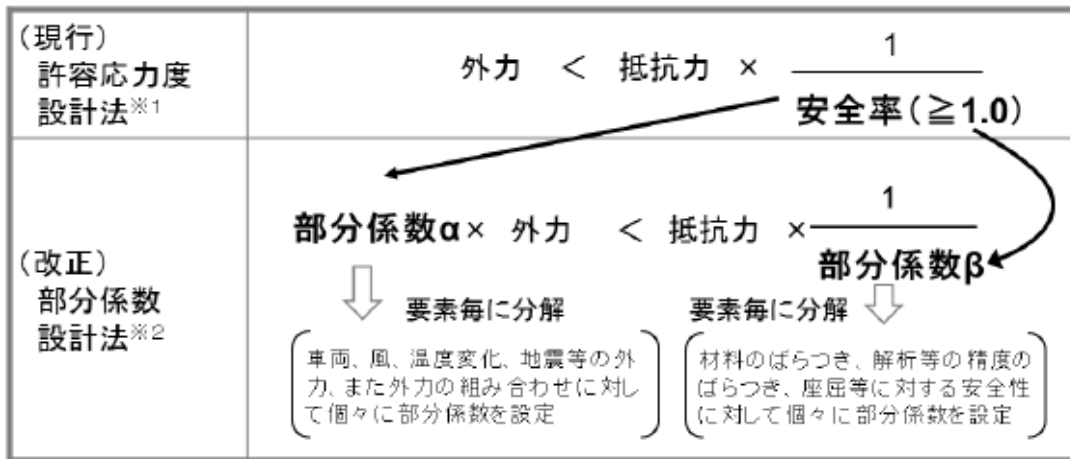


図-14 許容応力度設計法と部分係数設計法

一方、長寿命化を合理的に実現するための規定の充実の一貫として、適切な維持管理を行うことも含めて、確実かつ合理的に長寿命化を図るための規定が充実されている。例えば、適切な維持管理が行われることを前提に、橋全体としてみれば良好な状態を維持する期間として、100年を標準とすることを規定している（橋の設計供用期間）。他方、部材毎にも予め想定する維持管理が行われることを前提に部材が良好な状態を維持する期間として、部材の設計耐久期間を定められることを規定している。このことにより、LCC（ライフサイクルコスト）の縮減のため、維持管理の条件によっては、積極的に部材交換を行うという方法も採れることが明確になっている。なお、部材の設計耐久期間は、道路ネットワークにおける路線の位置付けや代替性、架橋条件等に関連した維持管理に係わる制約事項、当該部材の異常の発見と措置の容易さの程度、経済性等を勘案して決定することと規定されている。そして、耐久性確保の方法として、経年劣化を前提とした対策を行うもの以外に、設計耐久期間内における経年の影響が現れる可能性がないか、無視できるほど小さいものにできる材料等も活用できることが明確されている、このことにより、例えば耐食性に優れた材料の活用など、新技術の活用が期待される。

4. 既設橋の補修補強設計の理想の実現に向けた課題

4.1 部分係数設計法の補修補強設計への拡張のためのルールの確立

3. で述べたとおり、道路橋示方書には部分係数設計法が導入されており、設計上見込む安全率の合理化が可能な枠組が整備されている。部分係数設計法を、今後も確実に進行する腐食に対する補修補強設計に適用すれば補修補強設計の合理化が可能である。しかし、道路橋示方書は新設橋の設計を対象に整備されており、現時点では例えば活荷重に係る安全率を設計供用期間や交通実態に応じて調整するルールや、既設部材と補修補強材料の荷重分担を想定した上で既設部材の強度と補修補強部材の強度に係る安全率を調整するルールは確立されていない。部分係数設計法を補修補強設計に拡張するためのルールの確立は今後の課題である。

4.2 個別の補修補強工種毎の要求性能と強度評価法の整備

補修補強設計には技術基準が無く、様々な技術図書を参考に行われている。これらの技術図書に示される内容はまちまちであり、結果として、当該技術図書に基づいた補修補強設計の成立性は必ずしも明らかでない場合もあると考えられる。このため、個別の条件に応じて各補修補強設計の成立性が判断できるよう、補修補強設計の成立性に関する要求事項をとりまとめることが今後の課題である。

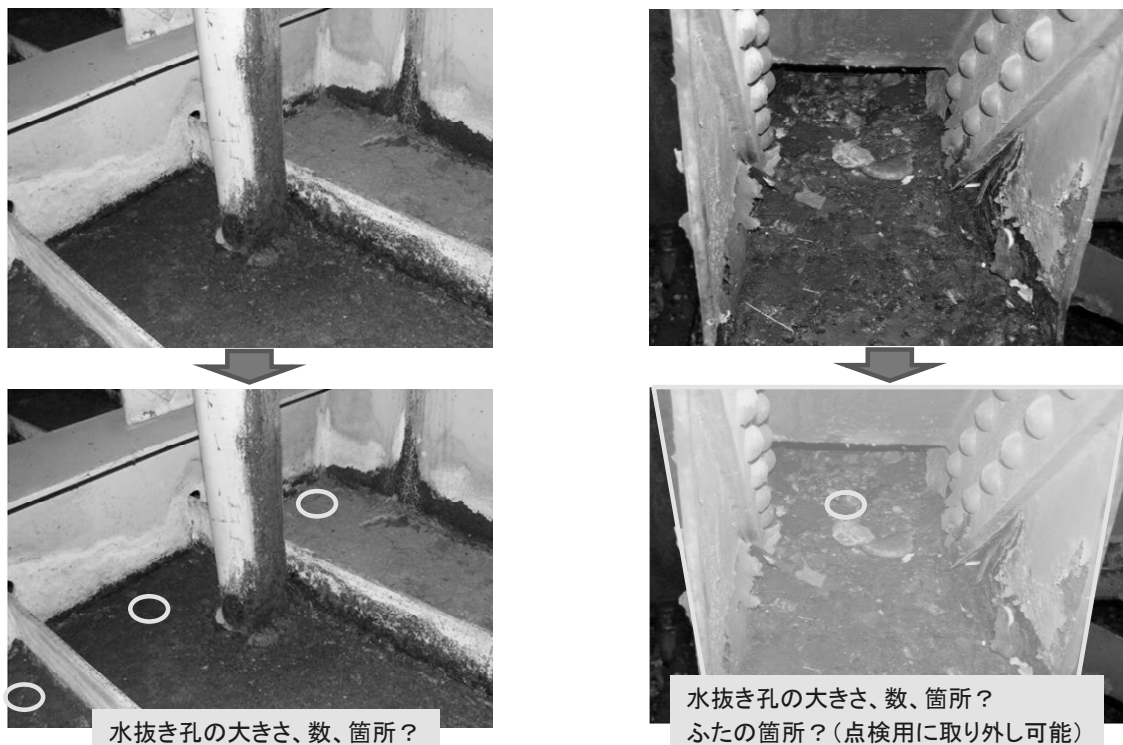
また、従来行われている補修補強設計においては、既設部材と補修補強材料の荷重分担を想定して、既設部材と補修補強材料の両者が降伏に至らないよう安全率を確保することが一般的であったと考えられる。既設部材は既に死荷重を分担しており、補修補強材料は死荷重を分担できないことを考慮すれば、両者がいずれも降伏に至らないように安全率を確保しようとすることは、結果として補修補強量が過大となっていた可能性が高い。このため、既設部材の塑性化も考慮して、既設部材と補修補強材料の一体として合理的な強度評価が可能となるよう、強度評価法を充実することも今後の課題である。

5. 鋼道路橋の耐久性の信頼性向上の理想の実現に向けた課題

3. で述べたとおり、改定された道路橋示方書では、長寿命化を合理的に実現するための規定の充実の一貫として、耐久性確保の方法を明確化し、維持管理の前提条件として設計に反映させることが求められている。すなわち、道路橋の設計にあたっては、維持管理の観点から求められる性能（維持管理レベル、予見すべき構造上の脆弱性、災害時の復旧性などの条件から判定される性能）を設計条件として与え、それらを設計の前段階で十分検証することがポイントとなる。これを実現するためには、具体的に維持管理への配慮の検討を設計のどの段階でどのように考慮することが考えられるのか参考となる資料を充実することも今後の課題である。

既に国総研では、（一社）日本橋梁建設協会、（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会、

(一社) 建設コンサルタンツ協会，(国研) 土木研究所との共同研究で，「耐久性の信頼性向上」の実現のための道路橋の設計の手引き(案)のとりまとめに向け検討を進めている。具体的には，国管理の道路橋にて実施されている定期点検のデータ分析を行い，耐久性のばらつきを減少させるために対処すべき項目及び，維持管理が容易かつ確実にするよう予め対策を講じておくことが必要な部位を特定すること，並びに統一的な構造細目や仕様を充実するための研究を行ってきている。図-15に，本研究で対象としている，新たに望まれる構造細目や仕様の一例を示す。



鋼箱桁内部の滞水，及び腐食

鋼トラス橋格点部のごみの堆積，及び腐食

図-15 新たに望まれる構造細目や仕様の一例

6. 道路橋のマネジメントの現状

我が国では平成26年より道路法に基づく道路橋の定期点検が道路管理者に義務づけられており，次回の定期点検までに必要な措置等の判断を行う上で必要な情報を得ることを目的に定期点検が行われる。道路法に基づく定期点検では，図-16に示す国土交通省告示に基づく区分で，監視や対策を行う必要性の診断が行われ，この診断に基づき道路管理者は次回の定期点検までの計画(短期計画)を策定する。ただし，Ⅱに診断された橋や部材については，予防保全を行うため，科学的知見に基づいた中長期的なマネジメントが必要となる。

そこで，中長期的なマネジメントの合理化のために，2.1でも述べたように，国が管理する道路橋では，効率的な予防保全を行うための知見を得ることも目的に，平成16年以降，定期点検において，

区分		状態
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

図-16 健全性の診断結果の分類

従来の部材単位での診断に加え、さらに細かく分けた要素単位での客観的かつ詳細な状態記録を蓄積してきている。国総研では、道路橋のマネジメントの合理化を目指して、この詳細な状態記録の統計的な分析を進めている。

一方、マネジメントにどのような指標を用いるのか、どのような橋をマネジメントの対象とするのか、どのように劣化予測をするのか、補修シナリオ（補修を行う指標の閾値、補修水準、措置範囲、措置対象）や補修工法・単価をどのように設定するのかなど、マネジメントの方法論には確立されたものがなく、各道路管理者の判断で行われているのが現状である。

7. マネジメントの理想の実現に向けた課題

7.1 状態予測や指標計算結果の解釈

状態記録を統計的に分析することで、劣化特性の把握や部材の状態予測のための遷移確率及び劣化曲線の作成ができる。また、これらの劣化特性が得られ、さらに、補修を行うと判定する状態指標と補修を行う範囲、補修単価を仮定すれば、例えば将来の維持管理費（以下、LCC）などマネジメントに用いることが想定される指標について何らかの計算値は得られる。

一方、橋梁の劣化過程は本来ばらつきが大きいことから、LCC の計算結果を確定的に扱うことができず、計画策定時には、計算結果の取り扱いに注意を要する可能性が高い。また、実際の補修判断は、その時々で工学的に行うが、LCC 計算上の補修判断は、補修を行うと判定する状態指標と補修を行う範囲、補修単価の仮定に応じて得られるが、実際とは常に異なる。仮定方法には正解がないため、仮定方法の違いが LCC 計算結果にどのように影響を及ぼすのかも維持管理計画策定時に、注意を払うべきと考えられる。以下では、以上の問題意識の下に近年国総研が取り組んできた研究成果を紹介する。

7.2 劣化曲線集の作成

国総研では、様々な推計に使えるように、橋梁定期点検結果から要素データを集計し、主要な部材の主要な損傷に対して、劣化特性をモデル化した。

国の定期点検では、診断とは別に詳細かつ客観的な状態データを取得している利点を生かし、劣化

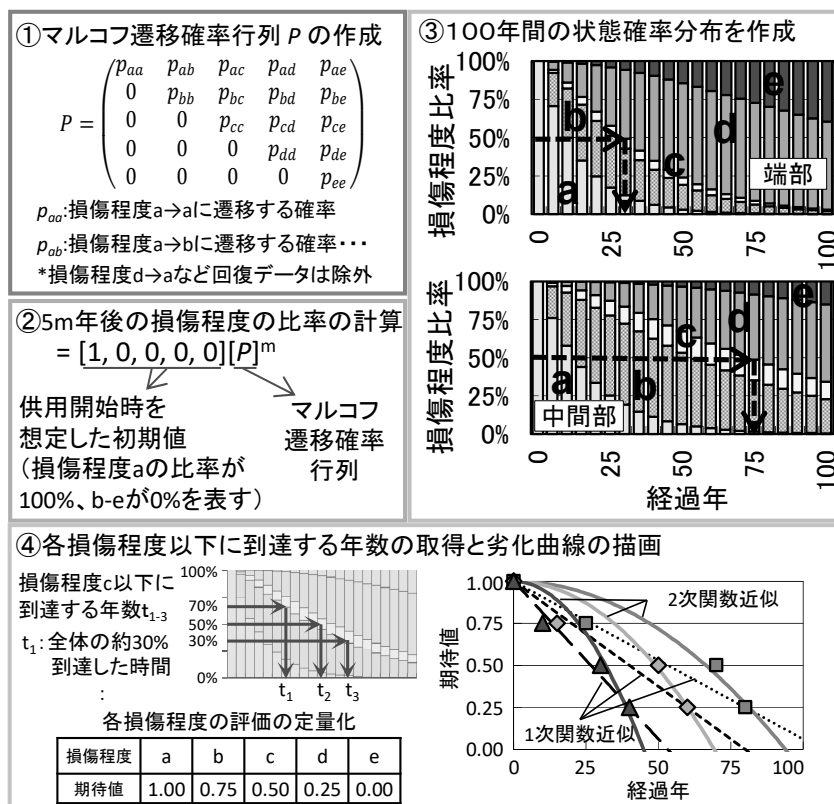


図-17 劣化特性データの作成の流れ(鋼主桁腐食の例)

モデルは、架設環境、構造形式、部材の平面的な位置などの条件を組み合わせた合計 272 通りの条件で求めた。それぞれ、マルコフ遷移確率行列、状態確率分布、劣化曲線を作成し、データ集として取りまとめた。劣化のばらつきは上位・中位・下位の劣化曲線として、状態確率分布を基に期待値および期待値周りのばらつきを求め、数種の関数近似によって表した（図-17）。

7.3 LCC 推計における仮定が推計結果に及ぼす影響の分析

一般的に、状態データを利用した LCC の計算は、以下の流れで行われる。

- ①各部材と各損傷種類に劣化特性を仮定
- ②試算条件 i)～vi)の仮定
 - i)評価期間, ii)補修を行う状態, iii)補修を行う範囲
 - iv)補修工法, v)補修単価, vi)補修後の部材の状態
- ③各部材の劣化予測と補修判定
- ④補修が必要な場合、部材状態の回復と費用の計上
- ⑤評価期間中、③～④を繰り返し計算

しかし、部材の劣化はばらつきが大きく、損傷種類や損傷部位などにも劣化の特徴が異なる。また、補修を行う状態や補修を行う範囲の与え方については、予め仮定する必要がある、その設定法に正解はない。

そこで、これらのばらつきや仮定の違いが LCC の計算結果に与える影響をモンテカルロシミュレーション（以下、MCS）を用いて調べた。劣化のばらつきは、7.2 で作成した遷移確率を基に、5 年毎に各部材、各要素の損傷程度を確率的に得ることで考慮できる。

補修の判定方法の仮定は、以下の 2 通りを考えた。いずれも定期点検と同じ損傷程度評価 a～e（a は最小の被害、e は最悪の被害を示す）を用いるが、一つ目の仮定は、1 つの要素が損傷程度 d または e に達した時に補修を行うと判定する。このとき、その要素を含む部材のみならず径間全体を損傷程度 a に回復させ、補修費用を計上し LCC を算出する。これは、全体的に劣化の進行が早く、ばらつきが小さい特性を有する部材に対して合理的と考えたものである。何故ならば、1 つの要素が d に達した時、他の多くの要素も劣化が生じ始めており、次の点検時には一斉に劣化が広がっている場合が想定されるためである。

もう一つの仮定は、状態確率分布（図-17③）の損傷程度の推移を利用し、径間内の損傷程度 d 及び e の発生率が 20%を超えた時に補修を行うと判定する。このとき、損傷程度 d や e の要素のみならず径間全体を損傷程度 a に回復させ、補修費用を計上し LCC を算出する。これは、全体的に劣化の進行が遅く、ばらつきが大きい特性を有する部材に対して合理的と考えたものである。何故ならば、1 つの要素が d や e に達した時、他の多くの要素は損傷がないか軽微な損傷状態あり、時間を掛けて劣化が広がる場合が想定されるためである。

対象は、1970 年代に架設された単径間単純非合成鋼桁橋（橋長 20.2m、全幅員 10.45m）である。当該橋の点検結果を参考に経過 0 年での部材の損傷状態を設定した。

図-18 に対象橋梁の LCC の MCS 計算結果を示す。各 5 年の LCC の分布から、平均値 μ と標準偏差 σ を算出し、 μ 、 $\mu \pm \sigma$ として表した。 μ は平均的な LCC の推移を示す。図から、劣化のばらつきが縦軸及び横軸方向の計算結果の幅として反映されている。また、補修を行うと判定する状態指標の仮定の違いが計算結果の平均値の違いとして表れている。要素が 1 つでも d や e に達したら補修を行う場合は、累積費用が 60 百万円になるまでに、 μ で約 18 年、 $\mu \pm \sigma$ で約 15～25 年と同水準までの到達年に関がある。30 年時点で必要な補修費用を見ると、 μ で約 80 百万円、 $\mu \pm \sigma$ で約 70～90 百万円と幅がある。また、損傷程度 d 及び e の発生率が 20%に達したら補修を行う場合は、60 百万円になるまでに、 μ では約 30 年、約 25～40 年と同水準までの到達年に関がある。30 年時点で必要な補修費用を見ると μ では約 60 百万円、 $\mu \pm \sigma$ では約 50～70 百万円と幅がある。

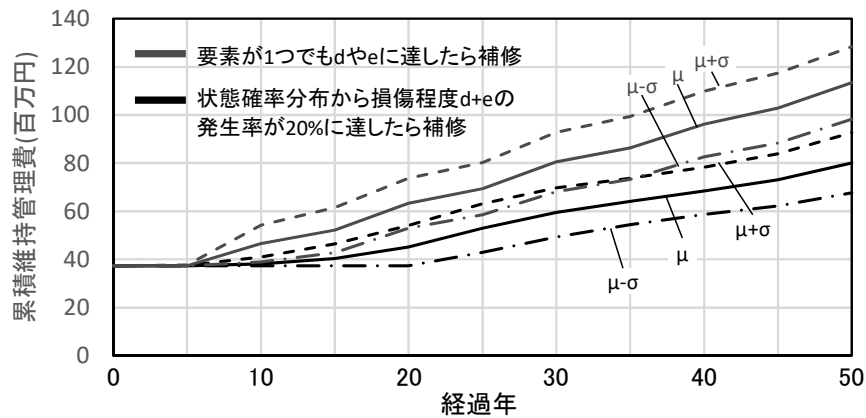


図-18 異なる補修判定を用いたLCC推計結果の比較

以上の結果から、劣化のばらつきも補修を行うと判定する状態指標の仮定もLCCの計算結果に影響を及ぼすこと、そして、計算値はばらつくため確定的には扱うことはできないことを確認した。

したがって、計画の策定にあたっては、LCC計算結果がばらつくことを認識して慎重に取り扱う必要がある。また、LCC計算時の補修の判定方法に用いる状態指標や補修範囲などの仮定方法には正解はなく、実際の補修時には、それらの仮定を工学的判断として用いることはできない。そのため、LCCの計算結果の通りに計画を実施することができないことにも注意を払うべきである。

今後は、各管理者に共有するためLCC計算や計算結果の取り扱いなどの留意事項をまとめる必要がある。

8. おわりに

国総研では引き続き、蓄積される定期点検結果データを活用するとともに、各機関とも連携して、道路構造物の耐久性の信頼性の向上を実現するための設計基準の改善、並びに中長期的なマネジメントの合理化に向けた研究に取り組んでゆく所存である。

-
- *工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 部長
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
 - **工博 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 室長
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
 - ***情報科学修 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 研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領（案），2004
- 2) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領，2014
- 3) 玉越隆史，横井芳輝，石尾真理：全国規模の道路橋点検データに基づく鋼橋の劣化の特徴，鋼構造論文集，第21巻第82号，pp.99-113，2014
- 4) 国土交通省道路局：歩道橋点検要領，2014
- 5) 国土交通省都市局長・道路局長：橋、高架の道路等の技術基準の改定について，2017