

橋梁の補修補強実績データの現状分析と補修補強効果の検討

Investigation of Effect of Bridge Maintenance and Reinforcement based on Actual Maintenance Data

北見工業大学大学院	○学生員	向井隆行 (Takayuki Mukai)
北見工業大学	フェロー	大島俊之 (Toshiyuki Oshima)
北見工業大学	正員	三上修一 (Shuichi Mikami)
(財)北海道道路管理技術センター	正員	竹田俊明 (Toshiaki Takeda)
(株)ドーコン	正員	丹波郁恵 (Ikue Tanba)

1. はじめに

我国では現在に至るまで橋梁の補修補強実績がデータベース化されており、それらの実績を考慮して適切な時期に対策を講じる必要がある。橋梁維持管理システム (Bridge Management System, BMS) においては点検・調査、劣化予測・評価、対策の判定・選定など一連の維持管理業務が体系的に実施されるが、対策後の効果を評価し劣化予測等にフィードバックすることも必要である。したがって、橋梁の維持管理計画においてはライフサイクルコスト (Life Cycle Cost, LCC) を考慮するとともに補修補強効果を考慮して総合的に策定されることが望ましい。さらに維持管理計画を策定する際には劣化予測の精度が重要であり、補修補強後の劣化予測も含めて議論されるべき課題である。このような検討課題に対して本論文では補修補強実績の現状分析を実施し、経年的な補修補強サイクルについて把握するとともに橋梁各部材の健全度に着目して補修補強実施時期における健全度の推定について検討している。また、補修補強後の効果に関して検討すべき課題などを列挙して今後の可能性を述べている。

2. 補修補強実績データの現状分析

2.1 概要

北海道内国道橋における補修補強実績は「橋梁、トンネル、立体横断施設、覆道等現況調査」やMICHIなどに蓄積されており、近年では統合補修データとしてデータベース化されている。本章ではこれらの実績データに基づいて塗装の塗替え傾向、橋梁各部材の補修補強実績の経年推移、架設環境による補修補強の実施傾向等について分析し、維持管理の現状を把握する。

(1) 分析データ

本分析では MICHI および統合補修データを用いて 2005 年までの補修補強実績を整理する。各データの内容を以下に示す。

(a) MICHI

全国的に整備されている Ministry of Construction Highway Information (以下、MICHI) には橋梁諸元、径間ごとの補修履歴および塗装履歴等に関するデータが蓄積されている。MICHI に登録されている北海道内国道橋

表-1 主な補修補強工法の区分

対策区分	主な補修補強工法
補修	再塗装, 表面保護工法, ひびわれ補修工法, 断面修復工法, 床版防水工
補強	接着工法, 巻立て工法, 桁増設工法, 上面増厚工法, 外ケーブル工法
更新	打換え工法, 取替え工法
改良	拡幅
その他	足場工, 構造物の取壊し, 撤去等

梁 3579 橋の内、改良 (架け替え, 拡幅等) の対策データを除くと上下部工を合わせて 2546 橋 (12900 件) の補修履歴データが蓄積されている。また、上部工の塗装履歴に関しては 1474 橋 (5512 件) のデータが蓄積されている。

(b) 統合補修データ¹⁾

従来、各管理機関が独自に作成していた補修・補強等の記録についてデータの収集、管理の重複を避けるとともに今後の BMS で使用されることを目的として北海道開発局が取りまとめた補修履歴データである。本論文で使用しているのは過去 7 年間 (1999~2005 年) で 680 橋 (1875 件: 1 径間を 1 件として集計) のデータであり、表-1 は本データベースにおける主な補修補強工法とその対策区分を示している。

以上、2 つのデータを合わせて 2005 年までの補修履歴が作成できる。なお、MICHI と統合補修データにおいて 1999~2001 年のデータが重複する場合があるが、それらは 1 件として集計している。

(2) 対策区分

表-1 に示すように補修補強実績データにおける様々な対策工法を大まかに①補修、②補強および③更新等に分類して分析することとし、それぞれの対策区分は以下に定義される。

- ① 補修: 今後の劣化進行を抑制し、耐久性の回復・向上を目的とする。
- ② 補強: 耐荷性や剛性などの力学的な性能低下の回復・向上を目的とする。
- ③ 更新: 広義に補強として分類されるが、ここでは基本的に部材の交換で対応する工法を区別して扱う。また、上記以外にも機能性の低下によって施される拡

表-2 補修補強実績データ数

部材名	補修	補強	更新
主桁 (鋼)	26	54	20
主桁 (コン)	33	74	4
床版 (鋼)	35	15	10
床版 (コン)	212	319	425
橋台	140	33	0
橋脚	107	636	5
支承	786	0	90
高欄	435	0	998
防護柵	301	0	1127
舗装	264	0	1055
伸縮装置	394	0	798

幅等は「改良」、足場工、構造物の取壊しおよび撤去等は「その他」として分類する。ただし、拡幅等は物理的寿命と異なり機能的寿命による対策であり、その他は補修、補強および更新の付随的な工法であるため、これらは以降の分析では除外している。表-2 では鋼桁の再塗装を除く各部材の補修補強実績データ数を対策区分別に整理している。

2.2 補修補強実績の経年推移

本節では補修補強が実施されるまでの経過年に着目し、橋梁各部材ごとに供用開始から初回の経過年と2回目以降のサイクル年について分析している。表-3 では部材ごとの平均経過年を整理しており、0.0年のものは実績がないことを示している。なお、更新後に補修および補強が実施されている場合は更新年度からの経過年を1サイクルとして集計している。以下に部材ごとの実績内容および分析結果を示す。

(1) 主桁

鋼主桁は再塗装を除くと、主に桁増設や外ケーブル工法等による補強が平均32年程度で実施されている。また、コンクリート主桁はびびわれ注入工法、断面修復工法および表面保護工法等による補修、接着工法等による補強が平均30年程度で実施されている。

(2) 床版

鋼床版は主に再塗装等による補修が平均28年程度で実施されている。また、コンクリート床版は特に打換えの実績が多い傾向にあるが、防水工や局部的な補修、上面増厚工法や接着工法等による断面補強なども多く実施されている。

(3) 躯体 (橋台・橋脚)

橋台は局部的な補修が概ね25~35年の範囲で多いのに対して、橋脚はRC巻立て工法等による耐震補強の実績が概ね20~30年の範囲で多い傾向にある。

(4) 支承

支承部は支承本体の取替え(更新)とそれ以外のアンカーボルト、杓座モルタル、台座コンクリートの各部位に対する補修に大別され、概ね25~35年の範囲で多く実施されている。

表-3 各部材の平均経過年

部材名	補修	補強	更新
主桁 (鋼)	32.6 (0.0)	31.7 (0.0)	28.6 (0.0)
主桁 (コン)	31.4 (0.0)	30.0 (0.0)	42.5 (0.0)
床版 (鋼)	27.9 (0.0)	29.7 (0.0)	29.8 (0.0)
床版 (コン)	28.3 (6.4)	29.9 (7.5)	26.1 (0.0)
橋台	29.0 (0.0)	27.8 (0.0)	0.0 (0.0)
橋脚	27.8 (0.0)	24.1 (6.4)	41.0 (0.0)
支承	28.9 (4.0)	0.0 (0.0)	31.4 (0.0)
高欄	23.7 (0.0)	0.0 (0.0)	30.8 (11.8)
防護柵	23.3 (0.0)	0.0 (0.0)	24.4 (8.7)
舗装	24.8 (0.0)	0.0 (0.0)	28.7 (5.3)
伸縮装置	24.3 (7.3)	0.0 (0.0)	28.5 (10.4)

左側：初回，右側 ()：2回目以降のサイクル年

(5) 高欄・防護柵

高欄・防護柵は特に取替えの実績が多い傾向にあるが、経過年にばらつきがある中で13~18年の範囲における補修および更新実績が突出している点が特徴的である。また、初回の経過年と比較して2回目以降のサイクル年は平均的に15~20年程度早い傾向にある。

(6) 舗装

舗装は打換えの実績が多く、平均28年程度で実施されているが、経過年にばらつきがある中で14年後の補修(部分打換え・オーバーレイ等)が突出している点が特徴的である。

(7) 伸縮装置

伸縮装置は取替えの実績が多く、平均28年程度で実施されている。また、補修に関しては更新より平均的に4年程度早い24年後に実施されている。

2.3 塗装の塗替え傾向

著者らは文献²⁾において鋼桁の塗装劣化について構造形式、部位、架設環境、塗装系、下地処理、塗替え回数など様々な要因によって塗膜の耐久性が異なることを示している。ここでは架設環境(塩害)と塗替え回数に着目して塗替え傾向を分析する。表-4は塩害対策指針に基づく塩害地域区分を示しており、北海道における塩害地域区分は地域区分A(沖縄県)を除く各地域区分B~Dおよび対策区分I~IIIにより分類される。図-1では塩害地域区分別の塗替え実績、図-2では塗替え回数による実績の傾向を分析している。

表-4 塩害地域区分

地域区分	地域	海岸線からの距離	対策区分	コード
A	沖縄県	海上部と海岸線から100mまで	I	A1
		上記以外の範囲	II	A2
B	下表に示す地域	海上部と海岸線から100mまで	I	B1
		100mを超えて200mまで	II	B2
		200mを超えて300mまで	III	B3
C	上記以外の地域	海上部	I	C1
		海岸線から100mまで	II	C2
		100mを超えて200mまで	III	C3
D	-	上記以外	-	D1

稚内市、小樽市、猿払市、豊里市、礼文町、利尻町、東利尻町(宗谷支庁)留萌支庁、石狩支庁、後志支庁、檜山支庁、松前町(渡島支庁)

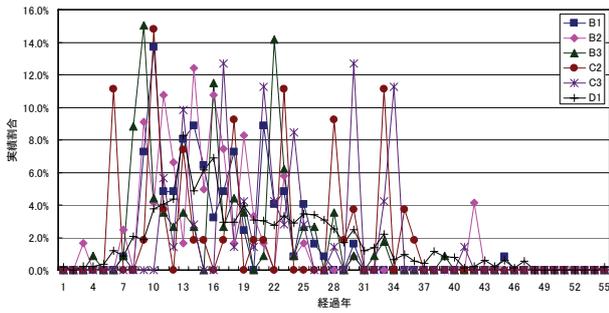


図-1 塩害地域区別塗替え実績 (1回目)

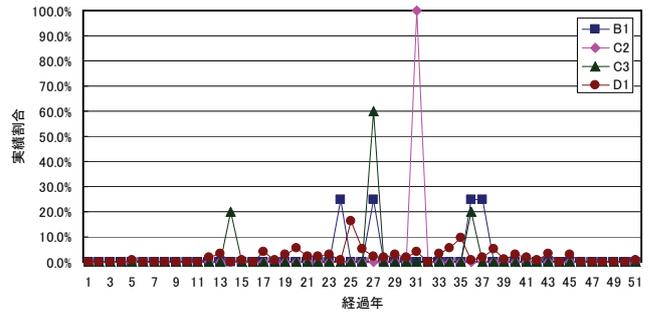


図-3 塩害地域区別補修実績

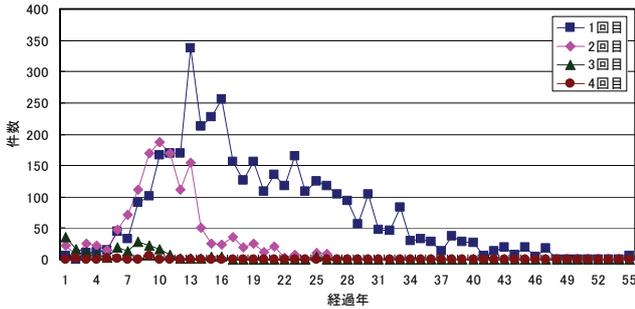


図-2 塗替え回数別実績

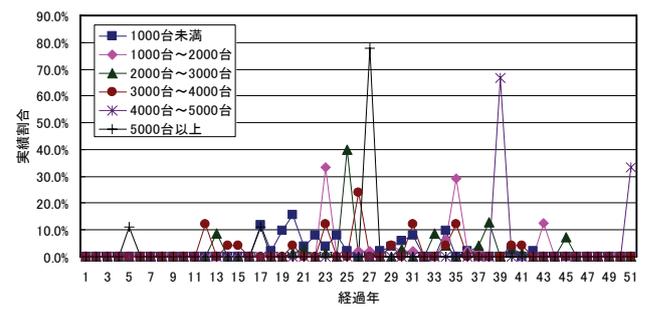


図-4 大型車交通量別補修実績

以下に分析結果および考察を示す。

- (1) 塩害地域区別の塗替え実績においては塩分以外の劣化要因により全体的にばらつきはあるものの、概ね沿岸部の塗替えサイクルが短い傾向を示している。
- (2) 塗替え回数に着目すると塗替え 1 回目では 13~16 年、塗替え 2 回目では 9~13 年、塗替え 3 回目では 6~10 年、塗替え 4 回目では 9 年で多くの実績があり、塗替え回数が増えるにしたがって塗膜の耐久性が低下している傾向を示しているものと考えられる。

2.4 架設環境による補修補強実績の傾向

予防保全の考え方に基づくと劣化が進行する前に何らかの対策がとられるが、基本的には劣化の進行に応じて補修補強が実施される。したがって、劣化の進行が早ければ補修補強の実施時期も早まるものと考えられる。

本節ではコンクリート床版を対象にして劣化を促進する要因である塩害および疲労劣化に関連する大型車交通量によって実施時期の傾向を分析している。塩害地域については 2.3 節で述べたように塩害対策指針に基づいて区分している。大型車交通量については道路交通センサスを用いて 24 時間交通量に大型車混入率を乗じた日平均大型車交通量により区分している。ここでコンクリート床版における補修の経年実績に対して、図-3 では塩害地域区別、図-4 では大型車交通量別の傾向を分析している。

以下に分析結果および考察を示す。

- (1) 全体的にばらつきはあるものの、比較的良好な環境(塩害地域区分 D1)と比較して B1 および C3 の地域の一部で経過年が早まる傾向がみえる。

- (2) 大型車交通量が 5000 (台/日) を超える地域では約 80% が 27 年後に補修されており、コンクリート床版全体の平均経過年(表-3)とほぼ同等の値を示していることから、大型車交通量がコンクリート床版の補修実施までの経過年に影響していることが考えられる。

3. 劣化予測による補修補強実施時期の健全度評価

著者らは点検データに基づいてマルコフ過程の遷移確率を解析し、橋梁各部材ごとの劣化曲線を得ている³⁾。本章ではこれらの劣化曲線と 2.2 節で分析した補修補強実績の経年推移を比較して補修補強実施時期の健全度を推定する。図-5 はコンクリート床版を例にとって劣化曲線と補修補強の経年実績を重ね合わせたものであり、図-6 は各部材の劣化予測における補修補強実施時期の健全度範囲を示している。なお、ここでは健全度範囲を 1~0.75, 0.75~0.5, 0.5~0.25, 0.25 未満の 4 段階に区分し、各段階における補修補強実績の割合を算出している。以下に特徴的な傾向をまとめる。

- (1) 鋼主桁は予測での劣化速度が遅いこともあり、健全度 0.75~0.5 の範囲で 88%, 0.5 までに 99% の対策を実施していると推定される。
- (2) コンクリート主桁および床版では概ね 60~80% 程度が健全度 0.5~0.25 の範囲で対策を実施していると推定される。
- (3) 躯体(橋台・橋脚)、支承、伸縮装置は予測での劣化速度が速いため、概ね 95% 以上が健全度 0.25 未満で対策を実施していると推定される。

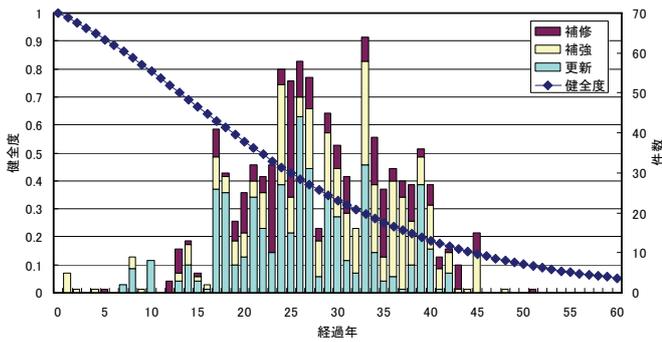


図-5 劣化予測と補修補強実績の関係
(コンクリート床版)

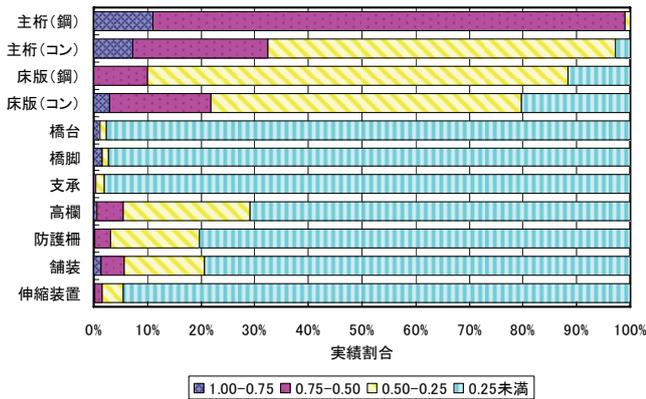


図-6 補修補強実施時期の健全度範囲

(4) 高欄・防護柵，舗装では概ね 70～80%程度が健全度 0.25 未満で対策を実施している。

しかし，ここで推定された健全度は予測に基づくものであり，実際には施行状況や架設環境など様々な要因によって予測とは異なる劣化速度を示すことが考えられるため，一様に評価することは困難である。したがって，今後は本章で検討した劣化予測による補修補強実施時期の健全度範囲に対して劣化予測の補正も考慮して，より精度の高い推定を検討していく必要がある。また，適切な補修補強実施時期に加えて補修補強による効果に着目して，より効果の高くなる実施時期についても検討の余地がある。

4. まとめ

本論文では北海道内国道橋の補修補強実績について現状分析を実施し，その結果として以下の傾向がみられた。

- (1) いずれの部材においても概ね平均 20～30 年程度で補修，補強および更新による対策が実施されている。
- (2) 塩害地域において塗替えサイクルおよびコンクリート床版の補修サイクルが短い傾向にある。また，大型車交通量の多い地域における経過年が全体の平均経過年とほぼ同値を示しており，大型車交通量による補修サイクルへの影響が確認された。

(3) 劣化予測における補修補強実施時期の推定では主桁，床版は比較的高い健全度で補修補強を実施しているのに対して，それ以外の部材は健全度 0.25 未満での実施が圧倒的に多いとされる。

今後の課題としては，これらの補修補強実績データに基づいて点検データとの関連から補修補強実施時期における健全度を推定する内容やその後の効果として補修補強後の劣化予測および補修補強による損傷ランクの回復・向上に関する検討が必要である。

謝辞

本論文をまとめるに当たり，(株)ドーコンの安江哲氏，佐藤誠氏には有益なご意見ご協力を頂きました。ここに名前を掲載して感謝の意を表します。

また，本研究は平成 18 年度日本学術振興会科学研究費補助金（課題番号：17560418 代表：大島俊之）の補助を受けて行われました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北海道開発局 道路維持課：統合補修データ 作成要領（案），2005.11.
- 2) 竹田俊明，大島俊之，三上修一，山崎智之，岩渕直：ACM センサを用いた鋼桁塗装劣化予測手法の検討，構造工学論文集，Vol.51A，pp.1129-1138，2005.
- 3) 竹田俊明，大島俊之，佐藤誠，三上修一：橋梁点検実測データに基づく橋梁資産劣化予測評価の検討，構造工学論文集，Vol.51A，pp.1157-1167，2005.
- 4) 佐藤誠，大島俊之，三上修一，樋口匡：点検データに基づく床版劣化の推定と BMS への応用，構造工学論文集，Vol.51A，pp.1147-1155，2005.
- 5) 佐藤栄作：鋼道路橋の補修・補強の概要，橋梁と基礎，Vol.28，No.8，pp.11-16，1994.8.
- 6) 小松秀樹：コンクリート橋の補修・補強の概要，橋梁と基礎，Vol.28，No.8，pp.71-74，1994.8.
- 7) 但木純，佐藤誠，大島俊之，三上修一，池田憲二，竹田俊明：BMS における補修事業シミュレーション，土木学会北海道支部論文集，第 60 号，pp.228-231，2004.
- 8) 関口幹夫：道路橋補修履歴の現状分析，土木学会年次学術講演会，第 61 回，pp.1247-1248，2006.