橋梁の資産劣化予測による長期的補修計画の検討

北見工業大学　学生会員　○向井　隆行
(財)北海道道路管理技術センター　正会員　竹田　俊明
北見工業大学　フェロー会員　大島　俊之
(株)ドーコン　正会員　佐藤　誠
北見工業大学　正会員　三上　修一

1. はじめに

近年，高度経済成長期に構築された膨大な数の橋梁が老朽化し，今後，補修・補強および更新にかかる財政的な負担が飛躍的に増大することが予想される. そのため，限られた予算の中で効率的かつ効果的な維持管理を遂行することの必要性が高まり, 我国では Bridge Management System（以下，BMS）の開発が進められてきた．BMS の主な機能としては,「点検データの管理」,「健全度評価」,「劣化予測」,「事業シミュレーション」等がある．本研究では，健全度評価や劣化予測に関する既往の研究成果[1)]を踏まえて，長期的に必要となる補修事業費の把握と架設環境を考慮した補修計画の検討を実施している．

2. 健全度評価

本研究では，主桁，床版，支承，高欄，地覆，伸縮装置，舗装，躯体（橋台・橋脚）の 8 部材に対して，健全度評価を行う．ここで扱う健全度には，橋梁毎の健全度（Bridge Health Index：BHI）と部材毎の健全度（Element Health Index：EHI）があり，それぞれの定義は式(1)～(3)によって表される．

$$EHI = \sum\left(\text{損傷ランク}i\text{の部材割合} \times W_{fi}\right) \qquad (1)$$

ここで，i：OK～Ⅰ（旧建設省の橋梁点検要領（案）[2)]による損傷ランク），部材：橋梁点検要領（案）における部材番号の単位にあたるもの，W_{fi}：減少率（OK：1，Ⅳ：0.75，Ⅲ：0.5，Ⅱ：0.25，Ⅰ：0）

$$BHI = \frac{\sum \text{各部材の現在資産}}{\sum \text{各部材の初期資産}} \times 100 \qquad (2)$$

ここで，

初期資産：全部材が健全な状態（建設当初）の建設費

現在資産：部材が損傷を有する状態（現在）の建設費

なお，各部材の現在資産は以下の式により求まる．

$$\text{現在資産} = \text{初期資産} \times EHI \qquad (3)$$

3. 劣化予測

本研究では，単純マルコフ理論の遷移確率を用いた確率論的立場からの劣化予測手法を採用した．この遷移確率は，北海道の国道橋において，S63～H14 に点検された 3369 橋の点検データを基に, 前述した 8 部材について算出している[1)]．ここで，マルコフ連鎖による劣化予測手法の説明として，表-1 に遷移確率，図-1 にランク・健全度推移の例を示す．

表-1　遷移確率

	OK	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
OK	0.931	0.069			
Ⅳ		0.881	0.119		
Ⅲ			0.892	0.108	
Ⅱ				0.500	0.500
Ⅰ					1.000

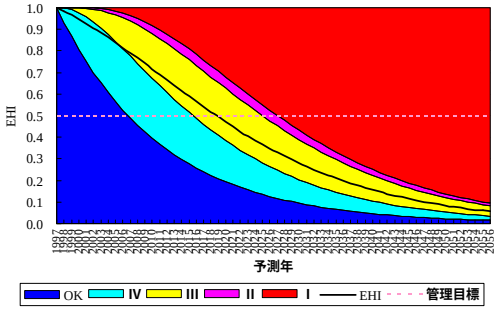

図-1　ランク・健全度推移

図-1 は，表-1 の遷移確率を用いて劣化予測した場合のランク（OK～Ⅰ）の推移と，それに伴う健全度（EHI）の推移を示している．以下に，計算過程を示す．

まず，最新の点検年度を予測初年度（この場合，1997 年）とし，全ての部材が健全（OK）であるので，EHI は 1 となる．そして，翌年（1998 年）以降は，表-1 の遷移確率と式(1)より，

1 年後：$1\times0.931\times1+1\times0.069\times0.75=0.983$

2 年後：$0.931\times0.931\times1+(0.931\times0.069+0.069\times0.881)\times0.75+0.069\times0.119\times0.5=0.965$

となる．この計算を繰り返すことで，健全度推移（図-1 の実線）を表すことができる．さらに，部材毎の健全度（EHI）推移と式(2)，式(3)の関係から，橋梁全体の健全度（BHI）推移を算出することが可能となる．

4. 補修事業シミュレーション

4.1. 概要

北海道の国道橋の中から，橋梁種別や環境の異なる橋梁を選定し，それぞれの橋梁に対して，2006～2056 年における BHI 推移および補修事業費推移を算出した. また，補修のシナリオとして，予防保全型，事後保全型，更新

キーワード：BMS，BHI，マルコフ連鎖，補修，事業シミュレーション
連絡先：〒090-8507　北海道北見市公園町 165 番地

型の 3 パターンを設定し，部材毎に初回の補修ランク，工法，単価，耐用年数，耐用後の扱い等を設定した．表-2 に鋼主桁のシナリオ，図-2 にシナリオを適用した劣化モデルの例を示す．

表-2　鋼主桁のシナリオ

ランク	工法	単価 (千円/m²)	耐用年数 (年) 一般環境 (山間部)	やや厳しい環境 (市街地)	厳しい環境 (海岸)	耐用後の扱い
III	塗替え (C-3)	14.6	60	45	30	繰り返し
	塗替え (C-1)	14.2	40	30	20	繰り返し
II	塗替え (C-3) ＋当て板	17	60	45	30	繰り返し
	塗替え (C-1) ＋当て板	16.6	40	30	20	繰り返し
II※	架け替え	465	100			塗替え

※腐食の損傷範囲が全体的で，断面欠損がある．

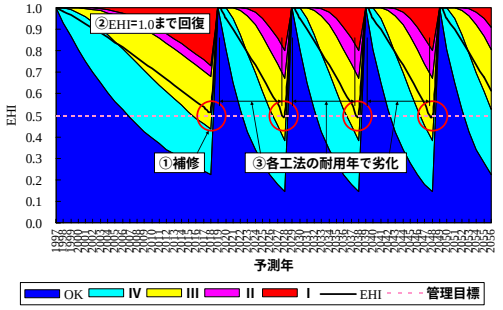

図-2　シナリオ適用後の劣化モデル

4.2.　結果

全ての橋梁で予防保全型のシナリオを推奨する結果となった．ここで，架設環境の比較として，図-3～図-6 に女満別橋（一般）と八木川橋（塩害）の BHI 推移および累積補修事業費推移を示す．また，表-3 に選定橋梁の諸元および各シナリオにおける満 50 年（2006～2056 年）での総補修事業費を示す．

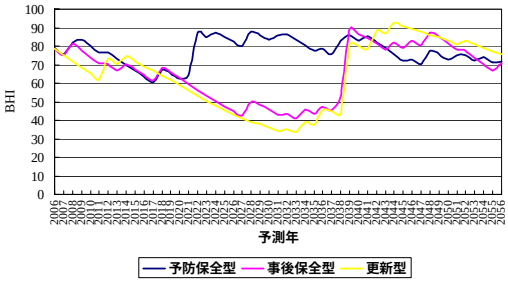

図-3　BHI 推移（女満別橋）

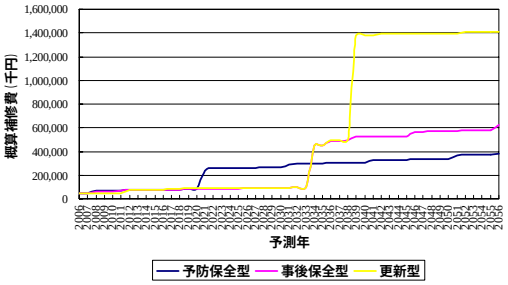

図-4　累積補修事業費推移（女満別橋）

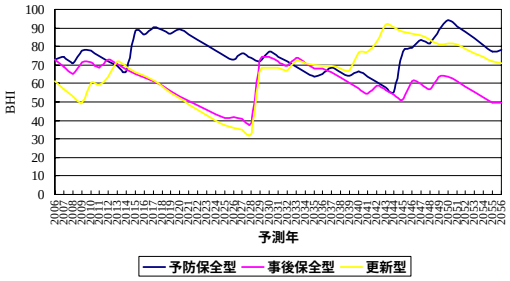

図-5　BHI 推移（八木川橋）

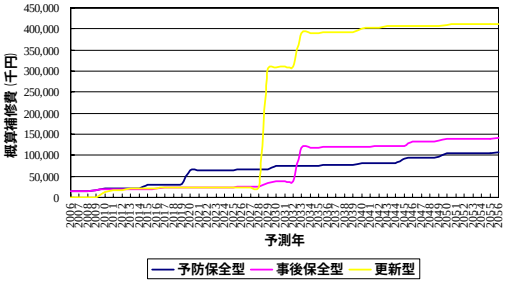

図-6　累積補修事業費推移（八木川橋）

5.　まとめ

事業シミュレーションによって，今後，50 年間で必要となる補修事業費の把握が可能となった．また，長期的な補修事業を展開するにあたって，3 パターンのシナリオの内，予防保全型が最も経済的かつ高いレベルの健全度（BHI）を保持していることが確認された．今後の課題としては，以下のようなことが考えられる．

(1) 様々な架設環境（塩害，凍害など）における橋梁に対して，より多くのシミュレーションを実施し，環境毎に BHI 推移および累積補修事業費推移の比較をする．また，大型車交通量や凍結防止剤散布量の大小による劣化傾向の違いなどを反映させたシミュレーションの実施も検討する．

(2) 各シナリオ（予防保全型，事後保全型，更新型）における補修内容の改良を検討する．

(3) 劣化予測に関して，それぞれの架設環境における遷移確率の精度を高める．

これらを考慮することで，より現実的かつ地域の特性を反映させた補修計画の検討が可能になると考えられる．

【参考文献】

1) 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.

2) 建設省土木研究所：橋梁点検要領（案），土木研究所資料，第 2651 号，1998.

表-3　橋梁諸元および満 50 年での総補修事業費

橋梁名	建設部	事務所	路線	上部形式	橋長(m)	架設年	橋梁種別	環境	総補修事業費（満50年）単位:千円 予防保全型	事後保全型	更新型
新江別橋	札幌	当別	R12	2径間連続箱桁　3径間連続鈑桁	521	S51	鋼	一般	2,083,250	2,978,226	6,828,107
境橋	旭川	旭川	R39	3径間連続鋼鈑桁	134	S39	鋼	一般	561,773	903,326	3,161,909
女満別橋	網走	網走	R39	合成鋼鈑桁	77	S54	鋼	一般	379,353	623,131	1,410,285
新川橋	札幌	当別	R275	鋼単純合成桁	91	S37	鋼	一般	264,820	325,570	1,056,731
津別橋	網走	網走	R240	PC桁	72	S36	コンクリート	一般	280,728	814,258	977,392
声問橋	稚内	稚内	R238	ポステンPC桁	71	S33	コンクリート	一般	201,114	624,851	747,191
八木川橋	函館	森	R278	活荷重鋼合成単純桁	74	S37	鋼	塩害	107,113	140,779	412,238
神岬橋	小樽	小樽	R229	3径間連続PCホロースラブ	72	S59	コンクリート	塩害	182,625	252,043	313,009
幣舞橋	釧路	釧路	R38	3径間連続鋼床版箱桁	124	S51	鋼	凍害	430,195	873,718	3,257,283