

北海道BMSの構築と運用における課題¹⁾

Development of Hokkaido BMS and Some Issues for Application¹⁾

池田憲二²⁾・大島俊之³⁾・佐藤京⁴⁾・渡邊一悟⁴⁾・加藤静雄⁵⁾

By Kenji IKEDA²⁾・Toshiyuki OSHIMA³⁾・Takashi SATO⁴⁾・Kazunori WATANABE⁴⁾・Shizuo KATO⁵⁾

1. はじめに

国土交通省北海道開発局では、約 3,500 の国道橋梁を管理しており、「橋梁点検要領(案)」(S63 建設省土木研究所、以下、要領案)により毎年約 300 橋の点検を実施している。近年、長期的視点に立った維持管理計画の立案や、国民に対し説明責任を果たすべく事業の透明性が求められており、独立行政法人北海道開発土木研究所と北見工業大学ではこれまでに蓄積した点検データを活用した北海道 BMS(Bridge Management System)およびシステム構築に関する共同研究を進めてきた。

本文では、構築を進めている北海道 BMS について概要を紹介すると共に、その本格運用に向けての課題を報告するものである。

2. 北海道 BMS の構築

(1) 北海道 BMS の基本理念

本システムは道路管理者が維持補修の意思決定を行うための支援システムと位置付けた。システム構築においては以下の 4 項目を重点目標とした。

a) 橋梁点検結果の有効活用

橋梁点検から、健全性を分かりやすく評価する

b) 重大事故の発生防止

重大事故に至る可能性のある損傷の確実な抽出

c) 全ての管理階層で活用可能なシステム

管理事務所レベルでは個々の橋を、部局では路

線、地域といった群で健全性や管理レベルを検討するため、これに対応できるアウトプット

d) 補修による効果の検証

補修の有無による健全性の推移を検討する。管理者が意思決定した事業計画の評価が可能であること

(2) 北海道 BMS の基本フロー

北海道 BMS は図 - 1 に示すような流れでシステムが構築されている。

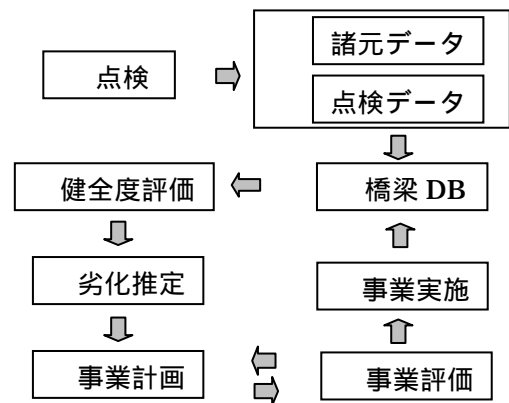


図 - 1 北海道 BMS のフロー

a) 橋梁の点検とデータベース

基本となる橋梁点検は、要領案により実施している。要領案では 20 の橋梁部材と 32 の損傷を規定し、損傷の種類(X)、深さ(Y)、拡がり(Z)により OK, , の 5 段階の損傷ランクに評価する。損傷判定例を表 - 1 に示す。

表 - 1 損傷判定例(床版)

		大	中	小
パターン	X	2方向ひび割れ	-	1方向ひび割れ
深さ	Y	錆び汁を伴うまたはひび割れ幅 0.3mm 以上	漏水を伴うまたはひび割れ幅 0.3 ~ 0.2mm	ひび割れ幅 0.2mm 以下
拡がり	Z	ひび割れ間隔 50cm 未満	-	ひび割れ間隔 50cm 以上

	X	Y	Z	ランク	X	Y	Z	ランク
大	大	大		小	大	大		小
		小				大		
	中	大		小	中	大		小
		小				大		
	小	大		小	小	大		小
		小				大		

1) キーワーズ: BMS, 維持管理, 健全度評価, 劣化推定

2) 正員, 博(工), 独立行政法人北海道開発土木研究所
(北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)
TEL 011-841-1698 FAX 011-820-2714

3) フェロー, 工博, 北見工業大学開発土木工学科
(北海道北見市公園町 165 番地)
TEL 0157-26-9488 FAX 0157-23-9408

4) 正員, 独立行政法人北海道開発土木研究所

5) 正員, (株)ドーコン構造部
(北海道札幌市厚別区厚別中央 1 条 5 丁目)
TEL 011-801-1540 FAX 011-801-1541

損傷ランク	一般的状況
	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある
	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討が必要
	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある
	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある
OK	点検の結果から、損傷は認められない

橋梁DBは、道路管理データベース（MICHIシステム、Ministry of Construction Highway Information Data Base System）から抽出した橋梁諸元に、点検により得られた損傷ランクを部材ごとに割り当てて作成したものである。橋梁DBは健全度評価、劣化推定、事業計画までの一連の検討に使用されるほか、システム上では各種検索により必要データの抽出が可能である。

b) 健全度評価

本 BMS では部材レベルの損傷評価(EHI)と橋あるいは橋梁群の健全度(BHI)を用いて検討を行っている。表 - 2 に健全度評価例を示している。

EHI は個々の部材の補修の必要性を判断するもので、5 段階の損傷ランクごとの数量と損傷による減少率：Wf を用いて以下のように表している。

$$EHI = (\text{損傷 } i \text{ ランクの数量} \times Wf_i)$$

ここで、i は OK ~

損傷による減少率 Wf は損傷ランクに応じて 1.0 ~ 0.0 の値を均等配分して用いている。減少率は損傷のランクごとに均等配分ではないことも考えられるが、現在の研究レベルではこれを定量的に表せるほどのデータが取得できていないため均等とした。

個々の橋梁の健全度 BHI は、

(部材健全度 × 部材数量 × 部材単価の総和:CEV)

と (部材数量 × 部材単価の総和:TEV) の比として

表 - 2 健全度評価例

ランク	OK					部材の健全度	全数量	部材単価	総価格 TEV	現在価格 CEV
Wf	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00					
床版	75.0	0.0	0.0	16.7	8.3	79.2	330	50	16,500	13,063
主桁	0.0	33.3	8.3	25.0	0.0	35.4	60	500	30,000	10,625
舗装	0.0	50.0	50.0			62.5	300	4	1,200	750
伸縮装置			50	50		37.5	20	50	1,000	375
排水装置	100					100.0	10	20	200	200
支承		50	50			62.5	8	1000	8,000	5,000
防護柵		80	20			70.0	60	30	1,800	1,260
橋台		50	50			62.5	700	60	42,000	26,250
橋脚						0.0	0	60	0	0
							合計		100,700	57,523

$$\text{橋梁健全度} = \frac{CEV}{TEV} = \frac{57,523}{100,700} = 57.1\%$$

BHI 算出において、荷重を支持する重要な部材と、形状を保持するための 2 次的な部材を同一に扱うことはできないので、部材の重み係数が必要となる。多種多様な部材や材料で構成される橋梁では部材の重み係数を決定するのは難しいため、本 BMS では、主桁や床版等のように部材の重要度が高いほど建設費が高く、重要度が低い部材は建設費も安価と考え、部材の建設費を重み係数として用いている。尚、橋梁個々の部材建設費を重み係数として用いることにより、橋梁規模を考慮した路線、地域などの橋梁群の健全度を以下のように算出している。

$$\text{橋梁群の健全度} = CEV / TEV$$

ここに、

CEV；対象とする橋梁群の現在価値の総和

$$= (\text{建設費} \times \text{健全度 BHI})$$

TEV；対象とする橋梁群の建設費の総和

図 - 2 ~ 図 - 4 には算出した健全度の活用事例を示す。図 - 2 は地区や路線別に比較して管理状態を示しており、管理部局間の相対的な比較により全体的な管理状態と今後の予算配分の計画が可能となる。また、図 - 3 に示すように部材ごと健全度を示すことで、地区や路線の損傷の特徴や管理状態を把握でき、例えば今後数年間で床版の健全度を上げる、地震多発地帯では特に支承の管理状態を注視するなどといった長期的な維持管理の目標や方針の設定が可能となる。

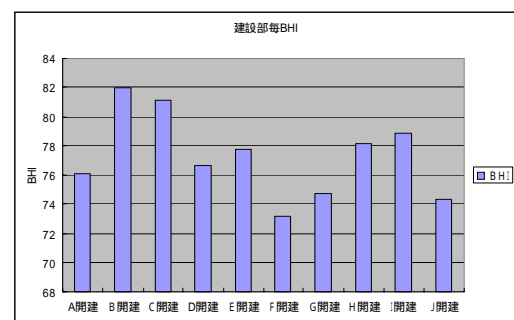


図 - 2 地区別管理状態

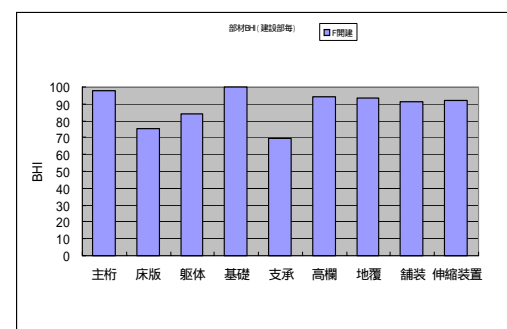


図 - 3 部材別管理状態

図 - 4 は、部材ごとの管理状態を示すもので、良い管理状態にあるもの、そうでないものを集約した結果で、EHI の管理目標を設定することにより、どれだけの量の補修が必要か、あるいは今後補修が必要となる橋梁がどれだけあるかを把握することができる。

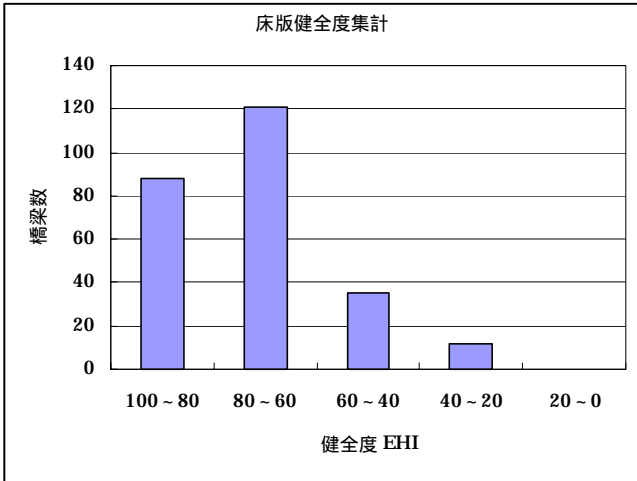


図 - 4 部材健全度ランク別の出現数例

c) 劣化推定

橋梁に限らず土木構造物には建築分野における設備等で用いられる原価償却や耐用年数といった考えを持たないため事業実施時期を検討するため、今後の劣化の推移を推定する必要がある。

本システムでは、マルコフの遷移確率理論を用いて劣化を推定している。マルコフの遷移確率を用いる手法は、劣化推移をランク毎に予測可能なことから平均化された健全度の推移だけではなく、損傷の大きさ、範囲などを考慮した予測が可能なることから有効な手法の一つとして研究を進めてきた。

劣化の進行を表す遷移確率行列には、これまでに得られている点検データを用いて、同一箇所における損傷ランクの推移を平均化した値を用いている。実際の検討手順は、

- () 床版の損傷ランクなどを抽出
 - ・最小評価単位は1パネルとする。
 - ・パネル内での最大ランクを代表値とする。
- () 損傷ランクが から , から に推移した年数を求め平均化する。
- () 初回点検が である点検から、完成時からの経年を利用し、OK から までの傾きを算出し平均化する。
- () ただし、ランクの推移が逆転しているもの(例

例えば , など)については、補修・補強の効果と考え、検討から除外する。

このようにして求めた平均的なランクの推移は表 - 3 に示すとおりであった。ここで、表に示す推移年は、例えばOKから に推移する年数は16.7年であることを示している。図 - 5 はこれらの検討結果から得られた推移年からマルコフ連鎖モデルで劣化の推移を推定した例である。

表 - 3 床版の推移年

ランク	推移年	累積年
OK	0.00	0.00
	16.67	16.67
	5.96	22.63
	5.71	28.34

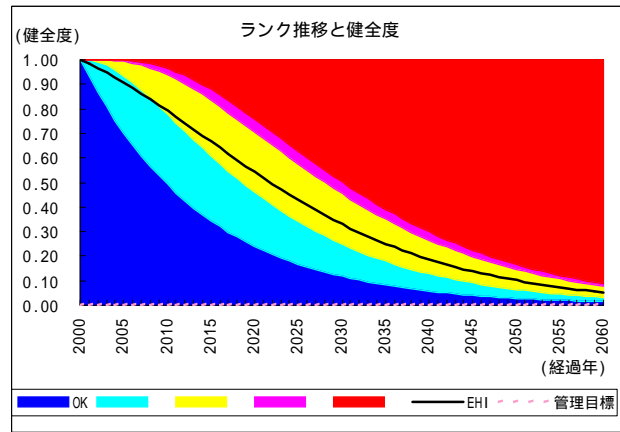


図 - 5 マルコフ連鎖による劣化推移の例

橋は多くの部材で構成される集合体で、使用材料も様々である。また、架橋環境、交通状況によっても劣化が異なり、これらの要素が複雑に影響しあって劣化が進行すると考えられ、表 - 2 に示す推移年にはバラツキが多く、今後新たな点検データを取得しながら交通量、環境などの要因別に精度を向上させる必要がある。

d) 事業計画

本BMSにおいて検討する事業計画は、劣化推定をもとに部材が補修を必要とするレベル(ランク)で事業計画を立案する方法と、損傷の早い段階で、例えばランク の段階で予防的に新技術を適用した補修を行い長寿命化を図るといった2つの事業計画を立案する。これらの2方法のライフサイクルコストを比較すると、これまでの各種研究成果として報告されているように、ほとんどの部材で損傷の早い段階で補修を行うことがライフサイクルコスト

を低減することができる。

これらの事業計画案をベースに、例えば限られた予算条件の下で路線のBHIを平準化するという目的を与えた場合、どの橋梁にいくらの予算を配分して補修すべきかを計画案を修正して、事業の効果を評価しながら最終的な事業の計画を行うこととなる。図-6はそのアウトプット例であり、補修を行わない場合の健全度の推移と補修を行った場合の健全度の推移を示している。

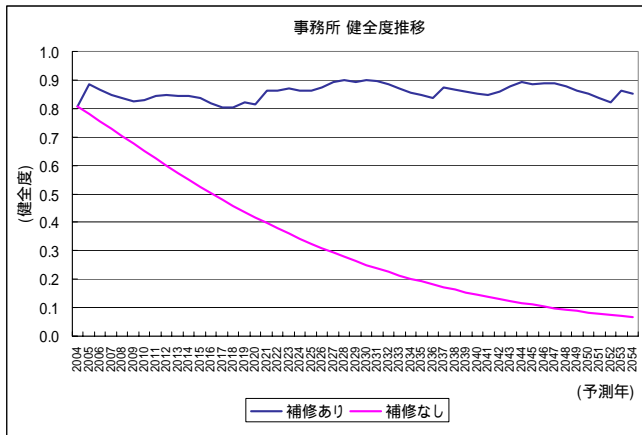


図-6 橋梁群の健全度の推移例

これまでのBMSの検討例では予算の平準化のため優先順位が重要と考えられているが、優先順位決定にはネットワーク、路線、交通量等と合わせて経年劣化による損傷を扱うこととなり、現在の研究レベルで両者を合わせて評価するのは難しいと考えられ、悪い橋梁から補修するといった方法を基本に考えている。その中で、予算の平準化を行う必要がある場合には事業を前倒し(損傷の早い段階で補修する)で対応することと考えている。なお、ここでは補修を推奨する年と、その年に必要な概算補修費用を算出するが、緊急対応が必要な損傷、劣化が経年的に推移しない部材の損傷および日常的なメンテナンスで対応可能な項目については、シミュレーションの対象とはしていない。

e) フィードバック

計画された事業については、補修実施後に橋梁DBにフィードバックされ、補修部材の健全度が補正されるシステムとなっている。

3. 運用における課題

北海道BMSは2つの開発建設部で試行的に運用した。その結果、以下の運用上の課題がある。

- (1) 劣化推定について、精度的には未だ十分とは言えず、本システムで事業計画を全て行うのではなく、点検を実施するなどにより劣化の進行度合いを確認する必要がある。
- (2) 損傷の早い段階で補修を行う予防保全を取り入れた事業計画は、LCC低減に繋がることは認知されているが、現実には予防保全での予算獲得は難しい。したがって、財政担当に説明する資料のレベルアップと精度の向上が必要である。また、予防保全を取り入れた維持管理体制への移行も必要である。
- (3) 補修・補強を実施した橋梁のDBへのフィードバックは、確実に実施しなければ事業計画に矛盾が生じることがある。しかし、DBへのフィードバックは体制的に確立されていないため、DBの管理体制とともに効率的な方法を検討する必要がある。
- (4) 実際の橋を管理する現場レベルの担当と全体的な観点で検討を行う部局レベルおよび本BMSを検討した研究レベルでは考えに比較差がある。継続的にBMSを活用していくためには実際の利用者や点検者の意見も取り入れて常に改良していく必要がある。また、近年の技術革新は著しく進化しており、新たな知見や研究成果なども取り入れて改良していく必要がある。

4. おわりに

今後は、上記課題の解決に向けた検討と、健全度評価や劣化予測の精度向上、さらには改定予定の点検要領との整合も図っていく予定である。

参考文献

- 1) 大島俊之、三上修一、丹波郁恵、池田憲二：橋梁各部材の資産的評価と橋梁健全度指数の解析、土木学会論文集 No.703 / I-59, pp. 53-65, 2002.4
- 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、1988.
- 3) 大島俊之、三上修一、山崎智之、丹波郁恵：橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析、土木学会論文集、No.675/I-55, 201-217, 2001.4.