

BMS への GA の応用と最適戦略に関する基礎的考察

北海学園大学 正会員 杉本博之 学生員 ○赤泊和幸 北武コンサルタント（株）正会員 渡邊忠朋

1. まえがき 少なくない橋梁が、50 年以上の供用年数を迎え、その数が 10 年後には急増することが予想される現在、余寿命の推定は重要な研究課題である。また、公共投資の削減予想を言うまでもなく、今後橋梁の維持管理に当てられる予算は大変厳しいことが予想される中、予算の有効利用もやはり重要な研究課題と考えられる。今後数十年間のトータルな予算投資の効率を考えると、橋梁の終局的な状態を待っての対策でなく、早い時期の補修補強に対する投資の方が、結局は経済的であるということも考えられるからである。

筆者らはそのような観点に立って、北海道の一地方行政単位管轄の橋梁群を対象に、橋梁の補修時期、補修部材、補修程度などについて基礎的な検討を加えてきた^{1) 2)}。本研究は、その延長上として、20 橋を抽出しその橋梁群に対して、健全度指定の補強戦略、及び最適化計算を試み、結果に対して考察を加えたものである。

2. 対象橋梁群と劣化曲線 本研究で対象として橋梁群は、部分的に欠損している構造データを、存在するデータと同じ統計的母集団に属するとして統計的に再生した 227 橋より任意に選ばれた鋼橋 10 橋、コンクリート橋 10 橋である。個々の橋は実在の橋梁と対応しており、それらのユーザーコスト³⁾もすでに計算されているものである。それぞれの橋梁は、床版、主桁、橋脚、橋台、伸縮装置、支承、及び橋面工の 7 部材から構成されているとし、これらの部材のライフサイクル期間の補修計画を求めることになる。

劣化曲線については地域特有の気象条件や施工場所等に起因して劣化形状の変化が考えられるが、本研究では途中何も補修等が行われない場合は、下記の式 (1) により健全度が推移するとした。健全度とは、部材の健全状態を示す 5 段階の指標で、5 は健全状態、1 は損傷が著しく交通安全確保に支障があり緊急対策を要するもので 2, 3, 4 はそれぞれ、その中間の状態である。

$$r(y) = -3.5 \left(\frac{y-1}{y_0-2} \right)^f + 5 \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 y は初年度(建設年度)からの経過年数、 $r(y)$ は y 年度の健全度、 y_0 は耐用年数(初期の使用から健全度が 1 になるまでの年数)である。耐用年数は、各部材の特性を考慮する平均耐用年数の前後に正規分布的にばらつくとして任意に与えた。例えば橋脚であれば、40 年を平均耐用年数とし 30～50 年の間の分布を与えた。式(1)の f の値は、1 と 1.5 をそれぞれ与えて数値計算を行い検討した。式(1)により得られる関係を図-1 に示す。

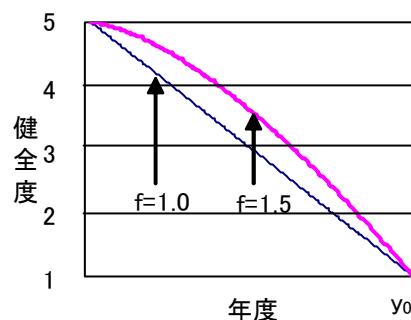


図-1 劣化曲線形状

3. 補修費と健全度 補修費のモデル化については、健全度毎に設定されている損傷領域⁴⁾を基本として、それらに対する補修工法を設定し、足場工も考慮して各部材の健全度毎の補修工事費を計算した。

また、健全度 1 あるいは 2 の場合は、部材によっては補修工事のために交通制限が入るとし、それらの損失は UC として計算し、最適化計算の場合は補修費に UC を加えて目的関数とした。

また、維持補修の効果を量的に見るために大島ら⁵⁾の研究を参考にして、次式で計算される全橋梁の健全度の平均値(BHI)を計算し維持補修の効果、あるいは最適化計算の制約条件として用いた。

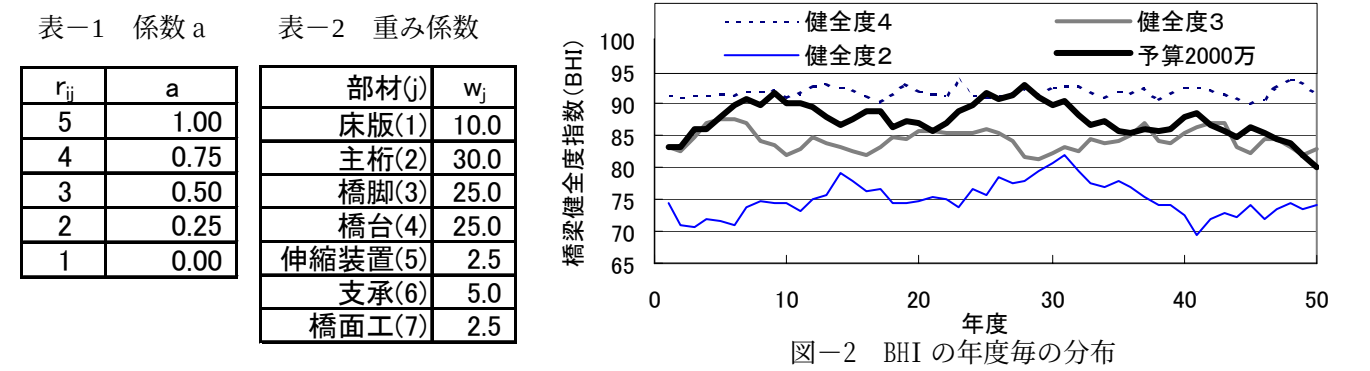
$$BHI = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^7 w_j \times a(r_{ij}) \quad \dots \dots (2)$$

ここで、BHI は平均健全度指数、 m は橋梁数(ここでは 20)、 w_j は j 部材の重み、 $a(r_{ij})$ は i 橋梁の j 部材の健全度 r_{ij} に対応する係数 w_j 、 a の値は表-1 のように与え、重み係数 w_j は表-2 のように与えた。

本報告では平均健全度指数は目的関数に入れず、補修効果の評価、あるいは制約条件として用いた。

キーワード BMS, データベース, 劣化曲線, 補修費, 遺伝的アルゴリズム

連絡先 〒064-0926 北海道札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 1-1 TEL 011(841)1161 FAX 011(551)2951



表－3 f=1.5 における健全度を指定した場合と GA を用いて最適化を行った場合の計算結果

× 10 ⁴ unit					補修回数																												
					床版				主桁				橋脚				橋台				伸縮装置				支承				橋面工				
					健全度				健全度				健全度				健全度				健全度				健全度								
計算法	年度 予算	補修費	UC	補修費+UC	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1					
					健全度4	健全度3	健全度2	GA	GA	GA																							
健全度4	-	83161	-	83161	71	0	0	0	98	0	0	0	31	0	0	0	61	0	0	0	83	0	0	0	50	0	0	119	0	0	0		
健全度3	-	79340	-	79340	0	44	0	0	0	65	0	0	0	19	0	0	0	38	0	0	0	83	0	0	0	50	0	0	0	73	0	0	
健全度2	-	179303	11067	190369	0	0	37	0	0	0	48	0	0	0	14	0	0	0	32	0	0	0	62	0	0	0	42	0	0	0	57	0	0
GA	20	61139	305	61444	25	17	0	0	38	23	3	0	25	2	0	0	49	8	0	0	55	5	0	0	44	1	0	78	6	1	0	0	
GA	21	46377	383	46760	17	22	0	0	46	20	0	0	27	2	0	0	53	7	0	0	53	7	0	0	46	1	0	74	9	0	0	0	
GA	22	45728	463	46191	15	23	1	0	38	24	1	0	27	3	0	0	45	11	0	0	53	9	0	0	45	0	0	64	12	1	0	0	

4. 数値計算結果の説明 20 橋を対象とする数値計算として、まず橋梁、部材に関わらず、補修が実施される健全度を指定する単純な戦略をとる場合と、遺伝的アルゴリズム(GA)による最適化の計算を行った。

健全度を指定した場合の結果を表－3 の上半分に示した。補修費、補修費+UC の値(最適化計算では目的関数になる)、及び各部材毎に実施された補修回数である。指定健全度は 2, 3, 及び 4 である。補修費に着目すると、健全度 3 あるいは 4 で補修を実施した場合がほぼ同じで、若干健全度 3 で補修を実施した方が少ない結果となった。健全度 2 で補修を実施した場合以外は UC は発生していない。図－2 は、平均健全度指数の経年的な変化を示した図である。健全度指定であるので当然であるが、指定健全度に応じた値をとっている。

最適化の計算結果は、表－3 の下半分に示してある。目的関数は、前記のように補修費+UC であり、制約条件としては、年度毎の補修費の合計が各年度の予算(2000 万、2100 万、2200 万)以下、及び最終年度の平均健全度指数が 80 以上を与えている。設計変数は、各橋梁、各部材の補修年度である。年度予算の値により補修費は差があるが、いずれも上記の単純な戦略よりは補修費は少なく、60%弱になっている場合もある。補修が実施された健全度を部材毎に見ていくと、床版、主桁は健全度 3, 4 でほぼ同数、橋脚、橋台、橋面工は 4、伸縮装置、支承は 3 で多く実施されている。予算制約が 2000 万の時の平均健全度指数の経年的推移をやはり図－2 に示した。健全度 3 で補修を実施する単純な戦略に比べると、補修費は 40%くらい少ないにもかかわらず、平均健全度指数は同等かあるいは良い状態を保っていることがわかる。

最終年度の平均健全度指数に制約を入れたのは、次のライフサイクル期間へ残す橋梁を、悪い状態で残さない方が好ましいと考えられるからである。また、目的関数に UC を入れることには多くの議論があるところであるが、もし入れなければ、設定した橋梁の健全度ぎりぎりの状態(今回は設定していない)を保つ最低の補修費しか出てこず、利用者の利便性を考える時、UC を用いないのなら、他の項目を考慮する必要がある。

5. あとがき 単純な計算も最適化の計算も、実橋梁群を対象としているとはいえ橋梁数はもっと多く考慮する必要があるし、より多くのパラメータを考慮する必要があると考えられる。これらの結果を検討することにより、簡便で有効な維持管理戦略を提案したいと考えている。

参考文献 1)杉本・中野・赤泊・渡邊：北海道の橋梁の維持管理計画に関する一考察，北海道支部論文集，第 59 号，2003. 2)杉本・赤泊・中野・渡邊：北海道の橋梁の LCC モデルの構築と補修費の推定について，北海道支部論文集，第 59 号，2003. 3)杉本・首藤・渡邊・田村：北海道の橋梁のユーザーコストの定量化の試みとその利用について，土木学会論文集，No.682/I-56，2001. 4)札幌土木現業所橋梁補修委員会：橋梁維持管理マニュアル（案），（財）北海道建設技術センター，2002. 5) Oshima,T., S. Mikami, I. Tanba : Study on Bridge Integrity Evaluation and Analysis of Bridge Health Index for BMS, 2nd Int. Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems, Ube, pp.93-96, 2001.