

BMS における GA 適用の可能性について

北海学園大学 正員 杉本博之, ○学生員 中野大志
北武コンサルタント(株) 正会員 渡邊忠朋

1. まえがき 橋梁の維持管理システム(BMS)には, 点検技術, 評価技術, 補修技術など多くの要素が含まれる. その中の一つに対策順, 対策部位などを決める意思決定問題がある. この問題は, 年度予算, あるいは劣化程度などを制約条件とし, 何らかのライフサイクルコスト(LCC)を最小にするための対策部位, 対策順の決定という問題になり, 離散性が高いので必然的に遺伝的アルゴリズム(GA)を適用するケースが多い^{1) 2)}. しかし, これまでのGAの応用例は, 規模が小さいか, あるいは単年度の中での決定問題であった. 実際の適用を考えると, 数100の橋梁の数10年にわたる計画を考えなければならず, それらのスケールの問題に対してGAが対応可能かどうかは未知である. そこで本研究では, 比較的現実的な内容で, かつ容易にスケールを拡大できるBMSの対象となる橋梁群モデルを作成した. 次に, それに対してGA³⁾を適用し, スケールの大きな問題に対してGAがどの程度対応能力があるかについて検討を加えた.

2. BMSの対象になる橋梁群モデルの作成 実際のBMSの対象となる橋梁は, 材料で分けると鋼とコンクリート, 100mを越す大規模橋梁から10m前後の小規模橋梁, また単径間か複数径間などに分けられる. また, 構成する各部材毎に劣化が進んだ橋梁か, まだ極めて健全な橋梁かなどに分けられ, これらの組合せで多数の橋梁が特徴付けられる. 本研究は, 具体的なターゲットとして, 北海道の札幌土木現業所管轄の橋梁群(以下, 札土橋梁群と略する)を考えている. その意味で, それらの橋梁のデータ⁴⁾を用いればよいが, その場合, 橋梁群の規模を任意に設定できない. そこで, 得られているデータを参考にしながら, 任意に橋梁群モデルを作成することにした.

2.1 橋梁のデータ i橋梁には, 主桁材料 m_i , 規模 s_i , 径間数 n_i の3つのパラメータがあると考えた. これらは, 主桁材料を鋼, RCの2種類, 規模を小規模の1から大規模の5までの5種類, 径間数を1から3径間の3種類からそれぞれ札土橋梁群のデータを考慮した発生確率で求めた. それらは, 主桁材料で鋼55%, RC45%, 規模はスパンの短い(15m未満)1から長い(200m以上)5まで設定し, それぞれ40%, 20%, 20%, 15%, 5%, 径間数は1が65%, 2が20%, 3が15%とした.

2.2 劣化曲線 維持補修の対象となる構成部材の単位は, 7部材とし, それらは床版, 主桁, 橋脚, 橋台, 伸縮装置, 支承, 橋面工とする. それぞれの劣化曲線は2次関数とし, 表-1の関係から得られる値を整数化して用いることにした.

表の限界年数は, 劣化の評価が1になる年数を意味し, 表に示されるように10年から50年の5パターンを用意し, 表-2に示されるように各部材毎に数パターン取り得るとし, 各橋梁, 部材毎にこれらを任意に設定することにした. それぞれの部材毎に供用開始あるいは最近の補修からの年数を任意に与えている.

2.3 補修費の計算 補修費は劣化の程度に関数とし, まず, 基準補修費を各部材毎に表-2に従って計算するものとする. この基準補修費 $c_j(r_{ij})$ に, 使用材料, 規模, 径間数に応じた割増係数 $\gamma(m_i, s_i, n_i)$ を乗じて各部材の補修費が求められることになる. 結局, i橋梁, j部材の補修費 C_{ij} は次式で表される.

$$C_{ij} = \gamma(m_i, s_i, n_i) \times c_j(r_{ij}) \quad (1)$$

表-1 劣化曲線式

年数	式
10年	$r = -0.036y^2 + 5$
20年	$r = -0.009y^2 + 5$
30年	$r = -0.004y^2 + 5$
40年	$r = -0.00225y^2 + 5$
50年	$r = -0.00144y^2 + 5$

表-2 部材と基準補修費の計算式

部材	部材番号	補修費 c (unit)	限界年数
床版	1	$c = -16.667r^2 + 416.667$	20, 30, 40
主桁(鋼)	2	$c = -4.1667r^2 + 104.1667$	10, 20, 30
主桁(RC)			20, 30, 40, 50
橋脚	3	$c = -12.5r^2 + 312.5$	30, 40, 50
橋台	4	$c = -20.833r^2 + 520.833$	30, 40, 50
伸縮装置	5	$c = 50$	10, 20
支承	6	$c = -4.1667r^2 + 104.1667$	20, 30, 40
橋面工	7	$c = 50$	10, 20

キーワード BMS, 橋梁群モデル, 遺伝的アルゴリズム, 10進数

〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目 TEL(011)841-1161 FAX(011)551-2951

3. コーディング 本研究では、各橋梁毎に7部材考慮し、50年の計画を決めるものとして、何橋程度までGAが対応できるか検討することを目的とする。各部材毎に各年度の補修をあるなし(0,1)でコーディングすると、1橋で350ビットとなり交叉の効率等を考えると効率的でない。そこで、1部材当り50年で最大4回の対策が入るとし、その年度を10進数でコーディングした。この時、劣化曲線の限界年数が10年と設定された部材は最大6回の対策が入るとした。対策年の劣化の程度が5の場合は、対策はなしとし、5以下の場合はすべて対策により5に復帰するものとした。 y_{ij} をi部材のj回目の対策年度とすると、1橋梁の線列は以下のように定義される。

$$[y_{11} y_{12} y_{13} y_{14} y_{21} y_{22} y_{23} y_{24} y_{25}^* y_{26}^* y_{31} \cdots y_{74} y_{75}^* y_{76}^*] \quad (2)$$

ここで、右肩に*があるのは、対象の部材の劣化曲線の選択において限界年数が10年の場合のみ考慮される変数を意味する。劣化の程度が1になった場合は、1年単位の交通止めになるとし、その時はユーザーコストが目的関数に加えられるとしている。結局、各年度の維持補修予算を超えないという制約の下で、補修費とユーザーコストの和が最小になるように各橋梁、各部材の対策年度を決める問題となる。

4. 計算結果 数値計算は50橋（1466変数）まで成功している。ここでは、10橋（292変数）の計算結果を、モンテカルロ法の結果とともに示すことにする。GAの計算は、人口サイズ200、交叉は多点交叉（9点）で交叉確率80%、突然変位確率10%、繁殖・淘汰法はエリート保存法で5%保存としている。表-3は、縦は橋梁名、横は供用年数を表わしている。桁内の数字は補修を行った部材を表わしている。図-2に一例として橋梁3の床版及び橋台の劣化進行曲線を示す。図は縦軸に劣化度、横軸に供用年数をとっている。

表-3 GAによる計画案（10橋292変数）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
橋梁1							7		9				2,6			1,5				4					2	7			6		1		5			2				7										
橋梁2								7						5					6		2		3,7	1		4					5						7													
橋梁3	5		7		2				4	5	1	2	6,7					2	5	7					2	5,6	1	4		7				2,5,6				1	7		5	2						7		
橋梁4	5		7						2				1				4,5		7							1,6		2				5					7		2											
橋梁5							5								1			4	5,6	2,3,7													5				7													
橋梁6														1	4,5		3	7	2					6								5	7																	
橋梁7																																																		
橋梁8									7	1			5			6				7	2						3	4		5		1								7						5				
橋梁9				2					5						7	1,2	4,6												5			1,6	7		2						5									
橋梁10		2				5,7				1	2	6	5			7			4		2		5,7			1	6			2	7	5			2,4	1				5	7			2	5					
橋梁10						5					7	2,3				5				6		1					7	4							5			7												

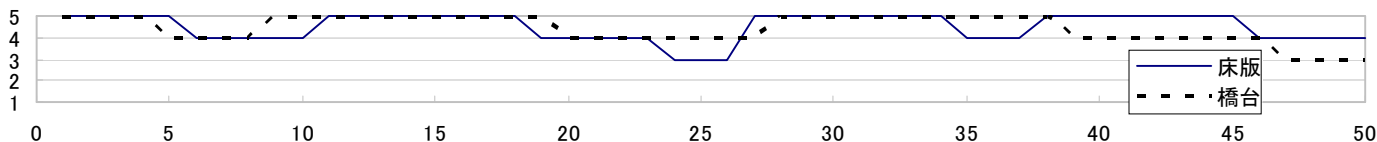


図-2 橋梁3の床版と橋台の劣化進行曲線

これらの解を、モンテカルロ法による結果と比較した。モンテカルロ法では100万回発生させたが許容解（年度予算を守る計画）はわずか2200ケースであった。これらの頻度分布とGAの解を図-3に比較した。GAの解は26,110unitであったのに対しモンテカルロ法の最良解は、110,800unitであった。なお、GAの解を得るのに要した解析回数は、125,400回であった。年度予算の制限は2000unit、ユーザーコストは500unitである。

5. あとがき 今後のBMSにGAがどの程度適応可能できるかを検討するためBMSの対象となる橋梁群のモデルを作り、GA

の適用を試みた。10橋、7部材、50年の問題に適用したが良好な結果が得られたと考えられる。

参考文献 1) 築山・古田・堂垣：道路橋の維持管理支援システムへのウィルス進化型GAの適用，第7回SSO講演論文集,2001. 2) 近田・清水・廣瀬：橋梁補修計画へのウィルス進化型GAの適用に関する研究,構造工学論文集Vol.48A,2002. 3) 杉本・鹿：工業最適設計のための汎用GAプログラムについて,北海学園大学学園論集,第96・97号,1998. 4)北海道建設部道路計画課：平成10年度橋梁現況調査,1998.

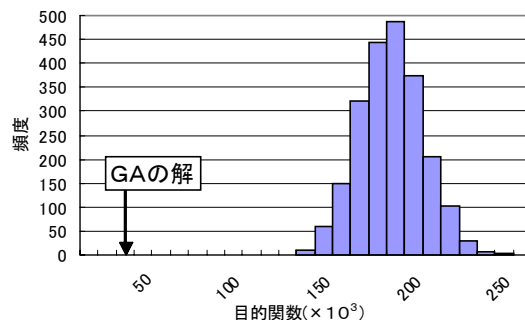


図-3 GAとモンテカルロ法の結果の比較