

GA による橋梁維持管理計画最適化と考察

北海学園大学大学院工学研究科 学生員 澁谷 直隆
 北海学園大学工学部社会環境工学科 正会員 ○杉本 博之

1. まえがき 橋梁の維持管理は一般的に橋梁維持管理システム (Bridge Management System, 以下 BMS) が用いられる. BMS は橋梁の定期的な点検, 点検データの蓄積と劣化予測, ライフサイクルコスト (Life Cycle Cost, 以下 LCC) の計算及び最小化との流れで行われる. このサイクルを長中期的に行う場合そのライフサイクル期間内の橋梁維持管理における最適シナリオの策定が必要となる. ここで, 本研究では遺伝的アルゴリズム (以下, GA) による LCC 最小化に基づく橋梁の補修時期及び補修レベルの最適化を目的とする. またここで行われる GA の繰り返し計算の中で, LCC 計算における既計算の格納による計算効率の向上を試みる.

2. 最適設計問題の定式化 以下に目的関数, 制約条件, 設計変数をそれぞれ示す.

○ 目的関数:
$$OBJ = \sum_{i=1}^{NB} \sum_{y=1}^{NY} C_{iy} \rightarrow \min \quad (1)$$

○ 制約条件:

- ・ 予算の制約条件
$$g(y) = \sum_{i=1}^{NB} C_{iy} - B_y \leq 0 \quad (y=1 \sim NY) \quad (2)$$
- ・ 健全度の制約条件
$$g(NY+i) = 2 - R_i^{\min} \leq 0 \quad (i=1 \sim NB) \quad (3)$$

○ 設計変数: 補修レベル $h_j \quad (j=1 \sim NG) \quad (4)$

点検間隔 $s_i \quad (i=1 \sim NB) \quad (5)$

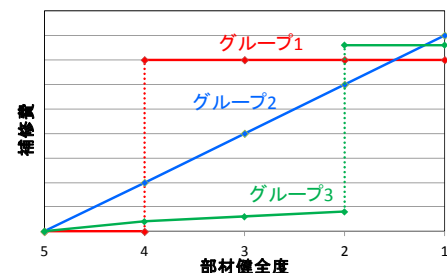


図-1 各部材グループの概念図

ここで, OBJ は目的関数, NB は対象橋梁数, NY はライフサイクル期間, NG は部材グループ数, C_{iy} は橋梁 i において y 年度に発生する総費用, $g(y)$ は y 年度の予算の制約条件, B_y は y 年度における年度予算 (2 億 4 千万円), $g(NY+i)$ は橋梁 i における健全度の制約条件, $R_i^{\min}$ は 11 年目以降における橋梁 i の健全度の 6 部材中の最小値, h_j は部材グループ j の補修レベル, s_i は橋梁 i の点検間隔を表す. 補修レベルとは補修実施の判断基準となる値であり, 点検時の部材健全度が h_j 以下であった場合に翌年度に補修を行う. また, 点検間隔とは点検を行う間隔年を表す. 本論文では補修レベルを 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 の 4 種, 点検間隔は 2 年から 9 年の 8 種を候補値とした. ここで, 部材グループとは, 本研究において使用したコストモデルでの各部材健全度に対する補修費用の関係より, 部材を分類したものである. 部材健全度によらず補修費用が一定の部材をグループ 1 (G1: 伸縮装置), 部材健全度が下がるにつれて補修費用が増加する部材をグループ 2 (G2: コンクリート主桁, 床版, 躯体, 橋面工), ある部材健全度において補修費用が急激に増加する部材をグループ 3 (G3: 鋼主桁, 支承) としている. 各グループの概念図を図-1 に示す. 最適化においては, 実際の点検結果を反映した各橋梁各部材の劣化曲線と 2010 年度の工事实績より構築したコストモデルを用いて LCC の計算を行う.

3. 既計算の格納による計算効率の向上 GA による最適化計算において, ある橋梁における設計変数の組み合わせに対する LCC や部材健全度のなどの解析結果を最初は空のデータベースに格納し, それを計算過程に利用することにより計算効率の向上を試みる. ここで, 本研究に使用したプログラムの流れを図-2 に示す. このプログラムを基本とし 2 つの計算を行う. まず, GA によって生成される設計変数の組み合わせに対してフラグを立てずに毎回 LCC の計算を行うものを計算 1 とする. 次に, 図-2 で示したプログラムの流れと同様に GA によって生成された設計変数に対して橋梁ごとにフラグのチェックを行い, フラグが立っていない場合は LCC の計算を行いデータベースに解析結果を格納し, フラグが立っている場合はデータベースにあらかじめ格納されている解析結果を用いて最適化を行うものを計算 2 とする. この 2 つの計算において GA のパラメータである人口サイズを変化させ最適解及び計算時間の比較を行う.

キーワード 橋梁長寿命化計画, GA, 最適化, LCC, 補修レベル, 点検間隔

連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条 11 丁目 北海学園大学工学部社会環境工学科 TEL 011-841-1161

4. 計算結果 300 橋の橋梁を対象とし GA のパラメータである人口サイズを 300, 400, 500, 600 及び 800 と変化させ、最適解及び計算時間の比較をおこなった。その結果を表-1 に示す。それぞれの人口サイズにおいて計算 1 及び計算 2 では同じ最終世代数と最適解を得る事が出来た。それぞれ計算における計算時間を比較すると、既計算の格納により、計算 1 に比べ計算 2 が計算時間を大きく短縮できていることが確認できる。次に人口サイズを変化させることによる計算時間に着目すると、計算 1 では、GA の精度を向上させるために人口サイズを大きくすると計算時間が莫大に増加するが、計算 2 では人口サイズを大きくしたとしても、計算時間の大きな増加なく最適化を行うことができるという結果が得られた。これは計算 2 において大きな人口サイズを用いた計算では初期数世代において最適化に必要な解析の大部分を行っており、後の世代ではほとんど新たな LCC の計算を行っていないことによるものと考えられる。GA による解析結果を格納することにより計算時間の短縮及び GA のパラメータの変更に対する柔軟な対応が可能となり最適化の精度と計算効率を向上させることができた。

5. 結果の考察 最適解について比較すると人口サイズが 600 及び 800 において他の人口サイズに比べて優良な解が得られた。この場合の補修レベル及び点検間隔について考察を加える。設計変数の比較を表-2 に示す。人口サイズごとに結果が示されており、補修レベルは、各部材グループごとの結果、点検間隔は、各点検間隔年になった橋梁数を示している。

現状の点検間隔は 5 年が標準と思われるが、得られた結果は 8 年が最も多く、7 ～ 9 年がほとんどであった。赤字で示した点検間隔が短い橋梁の特徴を検討した。

これらの橋梁は、G3 グループに属する部材の劣化曲線の耐用年数（劣化曲線において健全度が 1 になる年度）が比較的短い（20 年程度）場合が多かった。これらの部材においては健全度低下の速度が比較的早く、補修を先延ばしにすると補修費用が大幅に増加する。そのため、短い点検間隔を選択した方が LCC を低く抑える事が出来ると考えられる。点検間隔は長い方が維持管理を進めていく上で有利になるが、今後得られた結果をより詳細に検討することにより、橋梁ごとの点検間隔を決定できる簡単な指標を検討したい。

補修レベルはすべて 3.5 以上で、予防保全が有利であることを示していると思われる。

6. まとめ 橋梁の維持管理における LCC 最小化に基づく GA による補修計画の最適化において、2 つの計算を行い最適解及び計算時間の比較を行った。計算 1 と計算 2 を比較すると計算 2 では同じ最適解を得るまでの計算時間を大きく短縮することができ、既計算の格納による効率化が確認できた。今後、より多数の橋梁を扱う上で、有効に応用できると思われる。

得られた結果は、実橋梁の実点検結果に基づく結果であるので、現実的なものと思われる。今後さらに予算制約、健全度制約などを種々検討し、より合理的な維持管理手法の確立を目指していきたい。

参考文献 1) 澁谷直隆, 杉本博之, 谷祐一郎: 橋梁維持管理モデルの改良と最適化計算について, 土木学会北海道支部 論文報告集第 68 号 A-06 平成 23 年度, 2011. 2) 澁谷直隆, 杉本博之, 谷祐一郎: 実際の補修工事实績を参照する橋梁補修コストモデルの再構築, 土木学会全国大会, 2012.

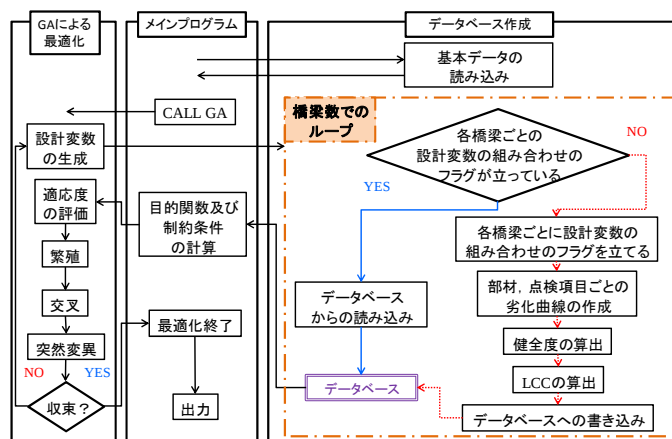


図-2 プログラムの流れ

表-1 計算結果の比較 (300 橋)

人口サイズ	300	400	500	600	800
最適解(億円)	165.2489	165.3033	165.2088	146.9922	146.9922
最終世代数	1982	1358	2070	1922	2525
計算1 (計算回数: 万回)	30h15m52s (13338)	33h30m06s (16296)	53h44m36s (31050)	62h46m59s (34596)	105h12m32s (60600)
計算2 (計算回数: 万回)	21m17s (10.9709)	24m38s (12.2420)	30m12s (13.0315)	38m42s (13.6728)	61m44s (14.3770)

表-2 設計変数の比較

人口サイズ		500	600	800
補修レベル	G1	3.5	3.5	3.5
	G2	4.0	3.5	3.5
	G3	4.0	4.0	4.0
点検間隔	2年	0	0	0
	3年	0	2	2
	4年	6	7	7
	5年	23	20	20
	6年	15	16	16
	7年	56	67	67
	8年	157	138	138
	9年	43	50	50