橋梁の維持管理計画における最適化アルゴリズムの改良

山口大学　学生会員　○仁木　京子
JIP テクノサイエンス（株）　正会員　今野　将顕
山口大学　フェロー会員　宮本　文穂
山口大学　正会員　中村　秀明

1. はじめに

著者らは，対象を橋梁管理機関が管理する複数の橋梁とし，「予算制約がある」という条件で，最適な維持管理計画を策定するシステムの研究を行ってきた[1]．しかしながら，複数の橋梁の維持管理計画最適化問題を，単に単数橋レベルの BMS の拡張として捉え，個々の橋梁のライフサイクルコスト（LCC：Life Cycle Cost）を最小とする問題と橋梁群全体の品質を最大にする問題の両者を同時に満たすよう最適化を行うと，解空間が広くなり，最適解の導出が困難になってしまう．そこで本研究では，既存の研究をもとに，個々の橋梁の LCC 最小化と，複数橋梁の品質最大化の 2 段階で維持管理計画の最適化を行うアルゴリズムに改良した．

2. 予算配分の最適化

予定供用年数に満たない橋梁を予算配分の対象とし，計画期間中の各年において，主桁，床版それぞれに対して，補修，補強，対策なしの 3 通りの維持管理対策を排他的に選択し，橋梁の余寿命が予定供用年数を満足する維持管理計画を策定する．予算配分問題の最適化は，個々の橋梁の LCC を最小とする問題と，年度予算を制約条件として橋梁群全体の品質を最大化する問題の 2 段階で行う．予算配分の手順を**図-1** および以下に示す．

【Step1】橋梁 i において計画年 t（橋齢 $\tau_{i,t}$）に対策 m を実施した時のライフサイクルコスト $LCC_{i,\tau_t,m}$ を算定する．t+1 年以降の対策の組合せは無数にあることから，ライフサイクルコスト最小化とする維持管理計画の策定には，遺伝的アルゴリズム（GA）を用いる．

【Step2】床版，主桁ともに，維持管理対策として，「対策なし」，「補修」，「補強」の 3 種類ずつとり得るため，8 通りのすべての対策組合せ（どちらも対策しない場合は除く）について Step1 を繰返し，$LCC_{i,\tau_t,m}$ が最小となる対策プラン m を選定する．

【Step3】Step1，2 を橋梁数分繰り返す．

【Step4】計画年 t 年の予算制約のもとで，品質を最大とする対策実施橋梁の組合せを算定する．対策実施橋梁の組合せも無数に存在することから，品質を最大とする予算配分問題には GA を用いる．

【Step 5】Step1～4 を計画年数分繰り返す．

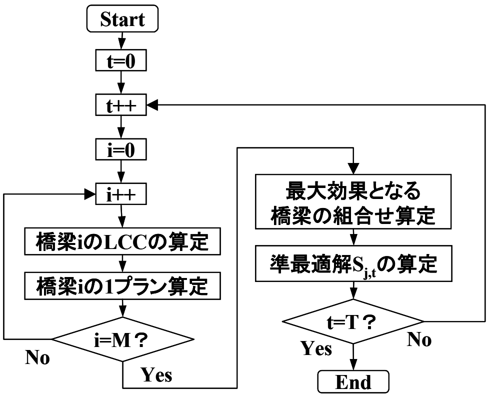

図-1　予算配分の手順

3. GA の適用による予算配分の解法

（1）個別橋梁の LCC 最小化

「対策なし」,「補修」,「補強」の 3 通りの維持管理対策を設定し，各対策を 2 進数コードと対応付けると，2 ビット必要である．そして，両者を 1 対 1 対応すると，余りが生じることから，残りを頻繁に策定されるであろう「対策なし」に対応付け，**表－1** のように定義する．予算配分問題の最適化は，個々の橋梁の LCC を最小化する問題と，年度予算を制約条件として橋梁群全体の品質を最大化する問題の 2 段階で行う．

本研究では，個々の橋梁の対策間隔は約 5 年と設定するのが妥当であり，最大供用期間を 100 年程度と想定していることから，維持管理対策施工の時期について**表-1** に示すようにコード化を行い，維持管理計画を**表-2** のようにコーディングする．この計画モデルは，対象橋梁の主桁および床版の各スパンについて，「t 年目に k 対策を行う」という組合せによって表現される．維持管理対策時期のコード化は，対策策定期間の長短によるビット数軽減を図るために，**表－1** に示すように，対策年数によりビット数を可変にすることにより，計算効率が向上する．**表-2** における対策回数 K は，対策間隔を最低 5 年と設定していることから，残存供用期間を 5 で除した値としている．

（2）橋梁群の品質最大化

年度予算制約のもと対策を行った場合の効果を最大化する橋梁の組合せを算出するために，**表-3** に示すような 2 進

キーワード　BMS，予算配分，維持管理計画最適化，LCC，遺伝的アルゴリズム
連絡先　〒755-8611　山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1　山口大学　TEL：0836-85-9531

数コードにより対策の有無を表現した遺伝子型を用いて最適化を行う．2 進数コードの「0」は対策なし，「1」は対策有りを表現している．対策有りの場合は，個別橋梁の LCC 最適化によって導出された維持管理対策を用いて橋梁群の効果最大化を行う．予算配分問題における橋梁群の維持管理計画策定を**表-3** に示すような遺伝子型にコーディングすることにより，遺伝子列は橋梁数分のビット数のみで表現できるため，橋梁数が増大しても最適解の探索が容易となる．

表-1　維持管理対策とその時期のコード化

(a)期間が20年までの場合

	Code	対策年
維持管理対策時期（t）	00001	1年目
	00010	2年目
	⋮	⋮
	10100	20年目
	others	なし
対策種類（k）	01	補修
	11	補強
	others	なし

(b)期間が50年までの場合

	Code	対策年
維持管理対策時期（t）	000001	1年目
	000010	2年目
	⋮	⋮
	110010	50年目
	others	なし
対策種類（k）	01	補修
	11	補強
	others	なし

(c)期間が100年までの場合

	Code	対策年
維持管理対策時期（t）	0000001	1年目
	0000010	2年目
	⋮	⋮
	1100100	100年目
	others	なし
対策種類（k）	01	補修
	11	補強
	others	なし

表-2　維持管理計画の遺伝子型へのコーディング

対策種類	1							…							K						
	t	スパン番号						t	スパン番号						t	スパン番号					
		1		…		N			1		…		N			1		…		N	
		De	Mg	De	Mg	De	Mg		De	Mg	De	Mg	De	Mg		De	Mg	De	Mg	De	Mg
		k	k	k	k	k	k		k	k	k	k	k	k		k	k	k	k	k	k
個体1	011…1	01	11	01	10	10	10	101…1	01	10	01	10	10	11	011…1	00	00	11	11	00	00
個体2	111…1	11	00	10	00	11	00	000…1	11	00	10	01	10	00	011…1	00	10	11	01	10	11
⋮																					
個体N	010…0	00	10	01	01	01	01	010…0	01	00	10	10	00	11	010…0	00	01	00	01	00	01

表-3　橋梁群の品質最大化における遺伝子型

橋梁番号	1	2	…	M
個体1	0	0	…	1
個体2	1	0	…	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
個体N	1	1	…	0

4. 実橋梁モデルへの適用

山口県内における橋長 15m 以上の橋梁の架設状況をもとに，架設年全体のばらつきが実橋梁の分布と同じになるよう，20 橋のデータのサンプリングを行った．さらに，健全度データや実際の点検データを参考に [2)]，架設年次ごとに，耐荷性と耐久性の健全度の分布を仮定し，サンプリングされた各橋梁の健全度が仮定した分布に従うようにサンプリングを行った．予算配分の策定は，計画期間を 2004 年の 1 年間，設定総予算額を 3000Ｕとし（1U=10,000 円），計算を行った．

この時，Case A として計画年の品質を最大化した場合と，Case B として計画年およびその次の年の品質を最大化した場合の 2 パターンを用いて予算配分を行った．その結果得られた 2004 年度の維持管理対策を**表-4** に示す．橋梁番号 2 は，個々の橋梁の LCC 最小化において，共に供用予定年までに補修２回，補強１回を行う計画が策定されているが，Case A では， 2004 年に補強を行うのに対し，Case B では，2043 年に補強を行う計画が策定されている．このため， LCC 最小化だけでなく，供用予定年までの品質も考慮し維持管理対策を策定する必要があると考えられる．

橋梁番号 11 と 15 において Case A，Case B とも**表-5** に示すように，効果は橋梁番号 15 の方が大きかったが，計画次年度のみの効果を比較すると橋梁番号 11 の効果が大きくなる．これは，橋梁番号 11 の劣化速度が速いためであると考えられる．このため，劣化速度を考慮し，維持管理対策を立てる必要があると考えられる．

また，予算をと品質の関係を**表-6** に示す．費用を多くかければ品質もそれだけ向上し，かける費用を減らせば品質が低下し，また，必ずしも費用を多くかけたからといって品質がそれに比例して向上するわけではなく，その上昇割合は緩やかになることから，準最適解が導出されていると考えられる．

表-4　維持管理計画の策定結果

対策年度のみの効果を考慮			対策年次の効果も考慮		
年度予算(U)	3,000		年度予算(U)	3,000	
年度費用(U)	2,997		年度費用(U)	2,842	
橋梁番号	対策の種類		橋梁番号	対策の種類	
	床版	主桁		床版	主桁
1	補修	補強	1	補修	補強
2	補修	補強	2	補修	補修
3	補修	補修	3	補修	補修
4	補修	補強	4	補修	補強
7	補修	補修	7	補修	補修
10	補修	補修	10	補修	補修
13	補修	―	11	補修	補修
14	補修	補強	14	補修	―
15	補修	補修	17	補修	補修
17	補修	補修	19	補修	補修

表-5　対策を行った場合の品質効果

橋梁番号	対策を行った場合の効果		
	CaseA	CaseB	計画次年
11	15.60	40.57	24.97
15	20.49	44.69	24.20

表-6　費用と品質の関係

計画番号	予算(U)	費用(U)	品質	品質増加率
1	3,000	2,997	4,692	1,05
2	2,000	1,988	4,490	
3	1,000	997	4,151	1,08

5. まとめ

① 最適化手法の一つである GA を用いて予算配分問題の最適化を行った．その結果，本最適化計算において準最適解を導出することが可能となった．

② 今後，個々の橋梁の LCC 最小化において品質を考慮する必要や，品質の最大化において劣化の速度を考慮し，維持管理対策を立てる必要がある．

参考文献

1) 中村秀明，今野将顕，宮本文穂，石田純一：年度予算制約を考慮した複数橋梁の維持管理計画策定，第 58 回年次学術講演会，土木学会，CS，pp.63-64，2003.9.

2) 宮本文穂，河村圭，中村秀明，山本秀夫：階層構造ニューラルネットを用いたコンクリート橋診断エキスパートシステムの開発，土木学会論文集, No.644/ VI-46, pp.67-86, 2000.3.