

年次費用均等化を考慮した既存橋梁群の補修計画支援

著者	近田 康夫, 阿曾 克司, 佐々木 貴惟, 城戸 隆良
雑誌名	構造工学論文集 = Journal of Structural mechanics and earthquake engineering
巻	54A
号	1
ページ	134-141
発行年	2008-03-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/11664

年次費用均等化を考慮した既存橋梁群の補修計画支援

Repair planning support of existing bridge group with annual budget equalization

近田康夫*, 阿曾克司**, 佐々木貴惟***, 城戸隆良****

Yasuo Chikata, Katsushi Aso, Takanobu Sasaki, Takayoshi Kido

*金沢大学大学院自然科学研究科 (〒 920-1192 金沢市角間町)

**株式会社日本海コンサルタント

***三重大学学生 (元金沢大学工学部土木建設工学科学生)

****金沢大学技術専門員

There are many proposed methodologies for implementation of asset management of bridge group. Some of them try minimizing the LCC of each bridge in the group under consideration, but the difference between annual budgets becomes impracticable. Thus in this report, an approach is proposed to equalize the annual budget for the bridge group repair by using the genetic algorithm with two dimensional string structure. Numerical examples show that the proposed approach works effectively.

Key Words : Bridge maintenance, Genetic algorithm, Asset management

キーワード : 橋梁補修, 遺伝的アルゴリズム, アセットマネジメント

1. はじめに

我が国では現在までに建設されてきた多数の橋梁が、近い将来、劣化による補修・補強が必要となることが予想されている。そこで、橋梁を資産としてとらえ、管轄下にある橋梁群の状態を把握・評価し限られた予算の範囲内で費用対効果の高い補修を行っていく、アセットマネジメントの取組みが試みられだしている^{1),2)}。

アセットマネジメントを実現するためのアプローチには複数あり、これまでに様々な考え方が提案されている。単年度における費用対効果の高い補修橋梁と補修部位の組合せを得ようと試みたもの、1つあるいは少数の橋梁を対象として、LCCの最小化、確率的な手法から補修部位の詳細な劣化予測、そして中長期的に補修費用を年度ごとに均等化しようと試みたものなどがある。

既存の研究では、単年度における費用対効果の高い補修橋梁と補修部位の組合せを得ようと試みたもの^{3),4),5)}がある。LCC最適化の研究としては、道路橋の床版のLCCの最適化⁶⁾、社会的損失費用、信頼性などを考慮したLCCの最適化⁷⁾を試みている。河村ら⁸⁾はBridge Management System(BMS)の一部として、1橋梁における各部位において詳細な劣化予測を行い、予定供用年数内における経済性、および部位の品質の両方を考慮した最適維持管理計画の作成を試みた。原田⁹⁾は道路構造物の維持管理計画を支援する計算モデルの一つとして、単年度における一定の補強予算の下、道路橋の耐震補強の組合せ最適化、および2階層のGAを援用して複数橋梁に対する中長期的な維持管理計画を策定するモデルを提案した。津田ら¹⁰⁾はマルコフ推移確率を用いて橋梁部位の統計的劣化予測を行う方法を提案した。貝戸ら¹¹⁾は実測データを用いて構造物群全体平均劣化曲線の算出手法を構築、およびマルコフ過程を用いた確率論的手法により個別の構造物の劣化予測

を行った。

個々の橋梁のLCCを最小化した場合には個別橋梁の管理計画としては最適化されるものの、管理対象橋梁数が増加すると、補修予定が重複して年度間の補修予算に大きな差が生じ、実現可能性に疑問が生じる場合が少なくない。これに対して、小林¹²⁾は平均費用法の適用を提案し、貝戸ら¹³⁾は、単一橋梁部材を対象にマルコフ推移確率による劣化予測と平均費用法に基づく最適補修戦略を、青木ら¹⁴⁾は、さらに複数橋梁に対しての適用性を検討している。

本報告では、何らかの方法で橋梁の劣化予測あるいは補修計画がなされた場合に、多数の橋梁を対象としてLCCの最小化を図りつつも年度補修費用を均等化するプロセスを組み込むことで、より実現的な中長期管理アプローチをGAを適用することで試みた。

また、橋梁の補修計画をGA(遺伝的アルゴリズム)の遺伝子型にコーディングする際、2次元線列として表現するとともに、各部位の補修間隔を遺伝子列に含めないことにより冗長性の少ない線列デザインとすることで処理効率の向上を目指した。

筆者らはすでに、劣化曲線に基づいて補修対象レベルに達した時点で対象部位を補修する場合に、補修時期を高々数年前後にずらすことで、年度補修費用の平坦化がある程度得られることを示しているが¹⁵⁾、ここでは、さらに探索自由度を広げる試みを行った。

2. 補修

2.1 補修対象

使用する橋梁データは、I県が昭和57年から63年に行った定期点検に基づく橋梁点検台帳のデータである。ここから、欠損のない204橋を対象とし、さらに14点検項目から8項目を補修対象とした。

14点検項目は、橋面舗装、地覆・高欄、床版、床組構、主構、支承、伸縮継手、排水装置、塗装、洗掘変動、躯体変動、安定構造、安定材質、耐震性である。このうち、洗掘変動、躯体変動、安定構造、安定材質の評価が低いと多くの場合、橋梁の架け替えを必要とすること、また経年劣化とは言い難いと考えられるため本システムの補修部位から除外した。また、床組構の増設桁は補強であり、耐震性は移動制限装置の設置であり、同じく経年劣化とは言い難いと考えられるため除外した。

また、3段階評価(1が健全)の点検結果の数値を一般的な5段階に振りなおした。ただし、点検結果の1については全1632部材に対し、829部材と過半数が該当したので、1と2に分けて読み替えた。読み替えは、点検台帳に記載されたコメントや、写真を参考に、主観的に行った。

各橋梁の各部位は後述する劣化曲線に従って経年劣化するものとする。

部位によっては足場費用などを考慮すると、同時に補修の方が合理的かつ経済的である場合が多い。これを考慮するための組合せを表-1に示す。この組合せは、橋梁コンサルタント・エンジニアの協力を得て作成したものである。表中のつり足場①、②は、前者が部分的に設置するもの、後者は橋下全面に設置するタイプのものを分けている。

2.2 補修費用

橋梁の補修工法・補修費用は、各橋梁の種類、損傷度などの程度により異なるが、全橋梁の全補修部位に対して個別に補修工法を決定し、補修費用を算出するには橋梁数が多い場合には組合せが複雑になりすぎて現実的ではない。中長期の計画では予想される標準的な劣化とそれに対応する標準的な工法・費用を用いざるを得ない。そこで補修を行うときの各橋梁、各部位の損傷度は一定とし、各部位の補修工法・補修費用を一律に定めて用いることとする。

補修工法・補修費用の算出には主桁、伸縮継手、橋台、沓、移動制限装置の数、および橋梁の塗装面積などのデータが必要である。しかしこれら全てのデータは得られず、またシステムを実際に運用する際、全橋梁のデータを入力するのも現実的でないと判断し、全て単純橋として算出した値を用いる。算出方法を以下に示す。

- 主桁 3mを主桁間隔の最大値として幅員より算出(幅員÷3ただし余りは繰り上げ)
- 伸縮継手 支間数より算出(支間数+1)
- 橋脚数 支間数より算出(支間数-1)
- 橋台数 2
- 沓・移動制限装置 支間数と橋桁数から算出
 - 単純橋—主桁数×((橋脚数×2)+橋台数)
 - 連続橋—主桁数×(橋脚数+橋台数)

また、今回用いた各部位において一律に定めた補修工法・補修費用を表-2に示す。実務においても、一つの橋梁をスパンごとに評価するなどの工夫が行われるので、スパンごとに単純桁橋としてとらえれば、この取り扱いでも実問題への対応は可能と考えられる。補

表-1 同時に補修することが好ましい項目

タイプ	点検項目	舗装	高欄	床版	主構	支承	継手	排水	塗装	材質
1	橋面舗装							②		
2	地覆高欄		①	②				②		
3	床版			②	②	③			②	
4	主構			②	②					④
5	支承					③			②	
6	伸縮継手									
7	排水装置							②		
8	塗装				②	③			②	

数字は足場の種類(同じ番号であれば共有可)

①、②つり足場、③張り出し足場、④枠組み足場

表-2 補修工法・補修費用

補修部位	補修工法	補修費用
橋面舗装	オーバーレイ	5,760 円/m ²
地覆・高欄	旧地覆撤去、地覆・高欄設置	60,000 円/m
床版	旧床版撤去、新床版建設	130,000 円/m ²
主構	断面修復工	250,000 円/m ²
支承	鋼製支承交換	500,000 円/箇所
伸縮継手	ゴム製ジョイント交換	200,000 円/m
排水装置	塩化ビニル管交換	5,000 円/m ²
塗装	塩化ゴム系塗装	6,000 円/m ²

主構は全面ではなく、任意の割合を設定可能とした。

補修工法・補修費用についても表-1と同様に橋梁コンサルタント・エンジニアの協力から得た情報、および文献^{16),17)}などを参考に設定した。

なお、橋梁の架け替えは考慮していない。この供用予定期間を越えた橋梁の架け替えを考慮しないのは、プログラム上の制約ではなく、今回のコーディング方法や目的関数の設定などの効果を確認することを優先したための簡略化である。

3. GAの適用

3.1 概要

まず、対象橋梁群が補修費用の制約無しに仮定された経年劣化に基づく理想的な補修を受けた場合の計画を初期計画と定義する。

ここでは、橋梁部位の劣化予測が何らかの方法で行われ、その結果が劣化曲線として与えられたものとする。

さらに、現実の橋梁の維持・管理では、劣化曲線を設定したとしても、健全度レベルを階段状に設定し、健全度レベルが管理レベルに達した段階で処置を実施するのが一般的である。

本報告の目的としている年度補修費用の均等化は、各橋梁における各補修部位の補修年度を初期計画(劣化曲線に基づいた健全度レベルが管理レベルに達した時点)から次の健全度レベルに達するまでの期間中に補修を行うように補修時期に幅をもたせることで実現する。

GAは、遺伝子に2次元線列を用いること以外一般的な流れのものを使用した¹⁸⁾。

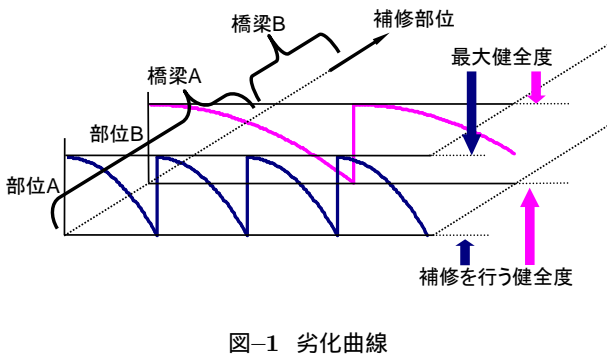


図-1 劣化曲線

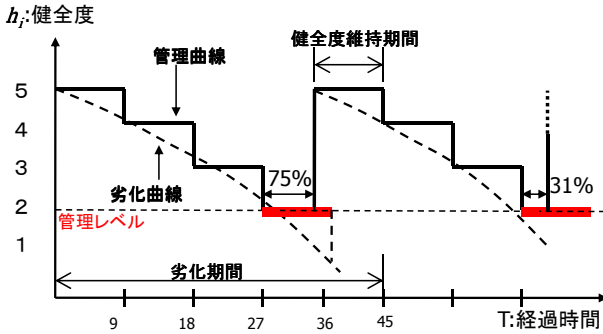


図-2 劣化曲線 2

表-3 各部材ごとの健全度維持期間 (年)

補修部位	劣化期間	健全度維持期間	最小補修期間
橋面舗装	10	2	6
地覆高欄	20	4	12
床版	45	9	27
床組構主構	45	9	27
支承	30	6	18
伸縮継手	20	4	12
排水装置	10	2	6
塗装	20	4	12

終了条件は、①最大世代数に達する、②任意の世代数間最優良解が更新されない、とした。

3.2 劣化予測

すでに述べたように、桥梁の劣化予測に基づく補修時期の最適化には様々なアプローチがあるが、ここでは、その方法にはこだわらず、時間経過に伴う性能劣化や危険性の増加を予測した結果が劣化曲線の形式で与えられたものとする。なお、以下では劣化曲線の取り扱いを簡便にしているが、これは、本報告の主眼が年度費用均等化であることによる。

一般的な劣化曲線を用いた補修は、各桥梁の各補修部位が与えられた劣化曲線に従って経年劣化し、任意に定めた健全度に達した時点に行う。健全度は補修によって完全に元の状態に戻り、再び同じ劣化曲線に従って経年劣化を繰り返すこととした(図-1)。

プログラム上は、個々の部位にそれぞれ異なる劣化曲線を与えることは可能であり、種々のアプローチで得られる劣化予測の結果を劣化曲線の形式で取り込む

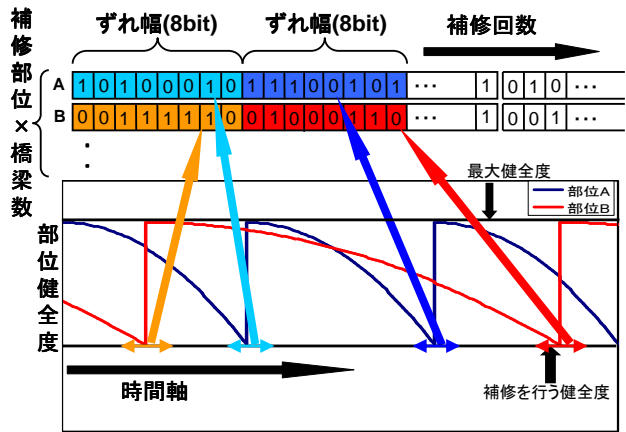


図-3 線列構造

ことができる。

さらに、本研究では、劣化曲線を直接補修計画に利用するのではなく、劣化曲線に基づいて階段状の健全度レベル表現を設定し、補修対象レベル(階段関数の同一段)にある期間のどこで補修してもよいと考えれば、図-2に示す方法が考えられ、補修対象健全度レベルに達した時点で補修するよりも補修時期に関する自由度は高くなる。例えば、図-2において75%の表示は、補修対象レベルに達した時点から補修対象健全度期間の75%を経過した時点で補修を行うことを示している。このように、補修時期を数年ずらすことにより費用の均等化を図る。

劣化曲線は、部材の寿命とも言うべき期間を劣化期間と称し、その劣化期間内で各部材が経年劣化していくものとして設定した。ただし、各部材の劣化は一方の劣化が他方に影響しないものとする。劣化期間は文献^{16),17)}を参考に各部材ごとに異なる期間を設定した。各部材ごとの劣化期間を表-3に示す。

3.3 遺伝子の構成

遺伝子フォーマットは、初期計画における補修期間のどの時点かを遺伝子とし、部位毎に初回、2回目…の補修時期が行を構成、数行でひとつの桥梁の補修計画部分線列となる。これを全桥梁分組合せて2次元の全体線列となる(図-3)。

交叉は、1次元軸、2次元軸それぞれに対する一点交叉を用意し、任意にどちらか一方、あるいは両方を実行する。すなわち、線列平面を2分割して一方を交換または、4分割して一部分を交換する。突然変異は1bitごとに行う。

デコードの流れは、まず8bitで表現した補修対象レベル期間を100%として全部位のずれ幅を計算する。GAで採用する2次元線列では、1行が1つの部位の供用期間内の補修計画を意味し、個々の遺伝子は、補修期間の始点からのずれの量を表す。補修対象レベル(補修対象期間の始点)に達した時点が0%、補修対象期間の最後が100%となる。従って、線列から読み取った1番目の遺伝子の情報に基づいて、最初の補修時期が定められ、そこから劣化曲線に基づいて次の補修時期を求

表-4 シミュレーションの諸値

設定状況	GA の諸値	
橋梁数 :204 橋	世代交代	:10000 世代
部位数 :8	人口数	:100 個
管理レベル :レベル 2	保存個体数	:1 個
計画期間 :100 年	交叉 (交叉率)	:一様交叉 (0.8)
予算制約 :無	突然変異	:0.001
足場共有 :有	収束条件	:世代交代完了

表-5 重みの割合

	重みの割合	
	鋼橋	RC 橋
主構	0.51	0.68
床版	0.38	0.18
支承	0.01	0.02
下部工	0.1	0.12

め、2 番目の遺伝子情報から補修時期の修正を行う。この作業を繰り返して 100 年分の補修計画を再構成する。

3.4 目的関数

目的関数は GA の評価において、解の適応性を決める判断基準である。本研究では費用のばらつきを抑えるべく、100 年間の費用のうち、以下の年度費用の、最大最小差と標準偏差の二つの指標に着目して均等化を評価した。これらの指標を用い、世代交代によって均等化が進むように目的関数式 (1) を設定した。

$$F_a = \alpha \frac{\min GAP[1]}{GAP_{i,j}} + (1-\alpha) \frac{\min StdDev[1]}{StdDev_{i,j}} \Rightarrow \max \quad (1)$$

- i : 世代数
- j : 個体番号
- α : 係数
- $\min GAP[1]$: 年度費用の最大最小の差額値
- $GAP_{i,j}$: エリート個体 j の、最大最小の差額
- $\min StdDev[1]$: 初期世代における、標準偏差の最小値
- $STDEV_{i,j}$: エリート個体 j の、標準偏差の最小値

4. 橋梁補修計画案の検討

GA で設定した諸値については表-4 に示す。

部材ごとの点検結果を統合して橋梁としての健全度を数値的に評価する指標として BHI (Bridge health Index) がある。具体的には、部材 i ごとの健全度 h_i に重み w_i を乗じて足し合わせ、橋梁の健全度として 100% 評価で示す指標である。重みについては総和が 1.00 となるように調整がとられる。また、その算出には荷重平均法が用いられ、以下の式 (2) で計算される。

$$BHI = \sum_{i=1}^8 w_i \times h_i \quad (2)$$

- w_i : 部材の重み, $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1.00$
- h_i : 部材の健全度

また、ここで用いる部材の重みは東京都橋梁の点検要領 2002 を基に、コンクリート橋・鋼橋それぞれに

表-6 理想補修仮定に基づく初年度健全度分布

	level1	level2	level3	level4	level5
床組	0	70	79	47	8
地覆	0	63	56	69	16
床版	0	70	79	47	8
支承	0	76	70	49	9
塗装	0	63	56	69	16
舗装	0	53	63	64	24
継手	0	63	56	69	16
排水	0	53	63	64	24

表-5 に記すように与えた。なお、本研究では橋台は補修項目に含めていない。

4.1 理想補修を仮定した場合の計算結果

劣化予測と定期点検により適切な管理がなされていれば、すべての管理対象橋梁は一定レベル以上の健全度を有していることになるので、その場合をはじめに検討する。しかし、一般には、劣化予測と定期点検に基づく管理を導入した時点で既に要補修レベルあるいはより危険な状態に達した橋梁が存在すると考えられることから、引き続いてその場合を検討する。

(1) 橋梁群の初期健全度状態

まず、管理する橋梁群がこれまでに十分な補修をされ、健全度状態が良好な状態から費用均等化を検討する。初年度健全度について、今回利用した橋梁点検台帳のデータでは状態が悪く、補修の集中は避けられない。従って、良好な状態から費用均等化を試みて均等化プログラムの基本的な効果を確認する。以下に示す表-6 に架設年度から理想的に補修が行われたと仮定した場合の 2006 年での健全度を予測し、橋梁群の初期状態をまとめる。

(2) 計算結果と考察

年度補修費用計画

年度補修計画費用について、均等化を行う前の結果と均等化した結果を併せて表示する。非均等化の補修計画、および、均等化の補修計画、それぞれの結果を図-4、および、図-5 に表示する。ただし、均等化の補修計画では解の改良が最も進んだ $\alpha = 0.3$ の場合を示している。

均等化した補修計画が非均等化の補修計画に対して、どの程度均等化を進めたかについては目的関数で評価され、評価値 1 を基準に単調増加していく。評価値の増加の具合は橋梁の初期状態によって差があることが考えられるので、理想補修の場合の評価値の推移を図-6 に示す。

さらに、BHI における均等化の影響を確認するために BHI 分布の年度推移を図-7 に示す。

目的関数の係数 α について、 $\alpha = 0.0$, $\alpha = 0.3$, $\alpha = 0.5$, $\alpha = 0.7$, および $\alpha = 1.0$ の 5 種類の最適解の探索した。結果的に $\alpha = 0.3$ の場合が最も均等化したとして表示してきたが、係数ごとの違いを確認するために係数ごとの計算結果のまとめを、表-7 と図-8 に示す。

理想補修状態での結果から確認できることは、以下の点である。

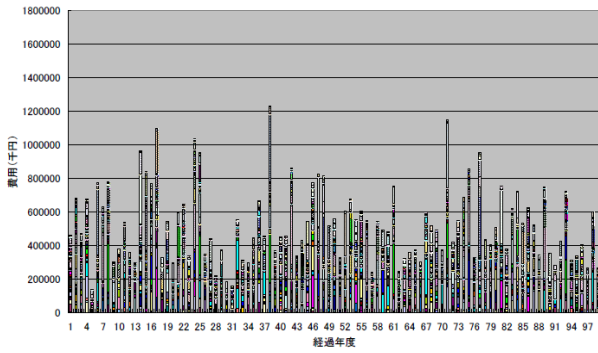


図-4 非均等化の補修計画

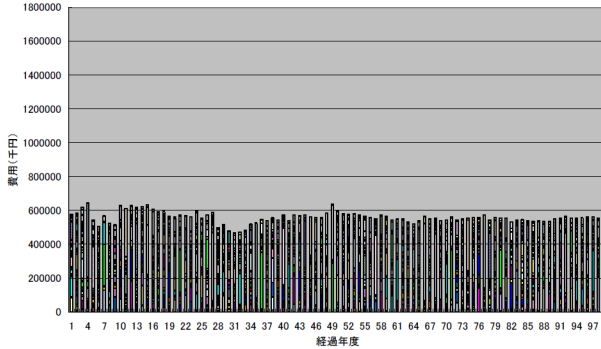


図-5 均等化後の補修計画

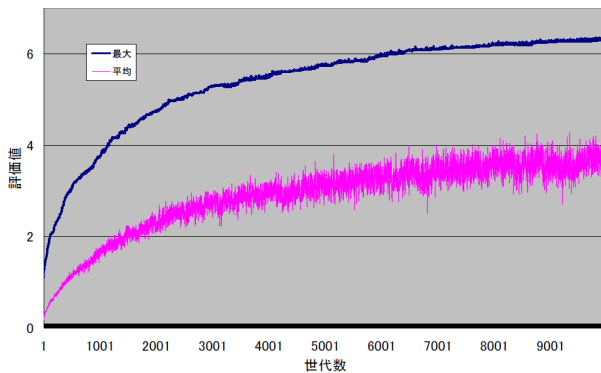


図-6 $\alpha = 0.3$ における評価値の推移

- 補修費用の平均値がそのまま長期的な定額予算になりうるくらいに均等化が進む。
- 目的関数は GAP と StdDev を組み合わせて用いたほうが解の改良が早い。
- 費用の均等化を実行しても BHI が悪化することはない。

4.2 実際の点検データでの計算結果

(1) 橋梁群の初期健全度状態

使用した橋梁点検台帳より点検結果を橋梁部材の初年度健全度として与え、以下に示す表-8 に点検台帳完成当時の橋梁群の初期状態をまとめる。

この初期状態では、健全度レベル 2 以下の部材は全 1632 項目中 964 個が該当し、全体の約 6 割が計画年度

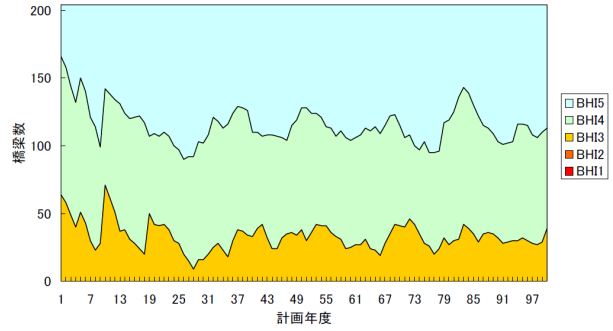


図-7 $\alpha = 0.3$ における BHI 分布

表-7 理想補修の場合での計算結果のまとめ (千円)

	MAX	GAP	AVE	StdDev	評価値
$\alpha=0.0$	703437	262085	559555	41371	4.81634
$\alpha=0.3$	645285	176767	559077	33069	6.31547
$\alpha=0.5$	644728	159217	555052	38309	5.10034
$\alpha=0.7$	677072	219216	554954	46492	4.82956
$\alpha=1.0$	726557	342868	551184	123838	3.13950

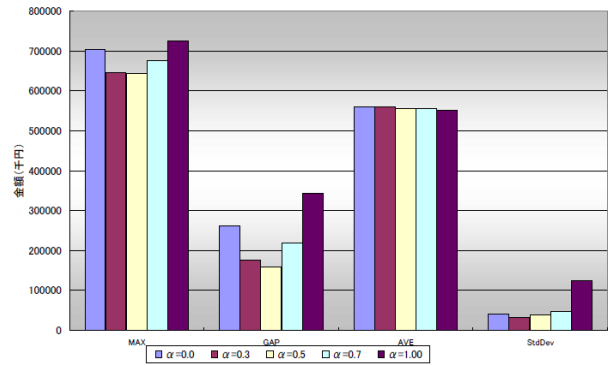


図-8 α ごとによる計算主要値の比較

表-8 橋梁点検台帳に基づく初年度健全度分布

	level0	level1	level2	level3	level4	level5
床組	0	0	126	57	21	0
地覆	0	57	59	77	11	0
床版	0	0	135	58	11	0
支承	0	91	31	78	4	0
塗装	0	69	44	84	7	0
舗装	0	37	69	78	20	0
継手	0	34	53	95	22	0
排水	37	72	50	26	19	0

9 年以内に補修されることになり、計画の初期に補修が集中することは避けられない状態である。

(2) 計算結果と考察

非均等化の補修計画、および、均等化の補修計画、それぞれの結果を図-9、および、図-10 に表示する。ただし、均等化の補修計画では解の改良が最も進んだ $\alpha = 0.3$ の場合を採用する。

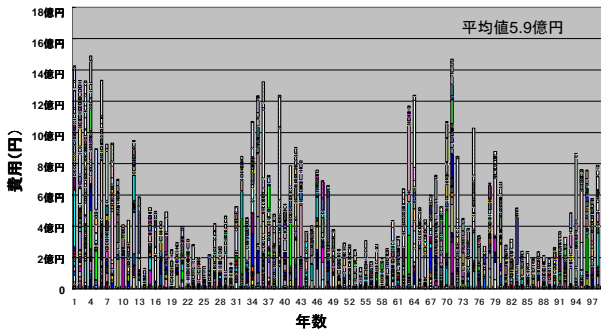


図-9 非均等化の補修計画

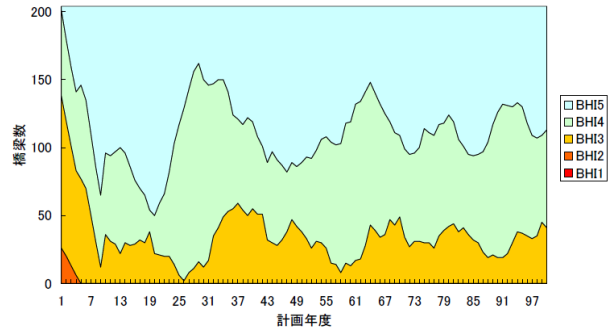


図-12 $\alpha = 0.3$ における BHI 分布

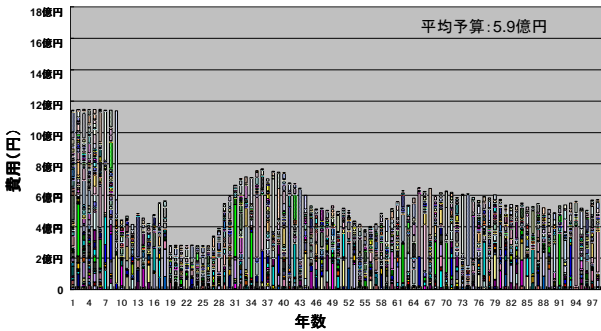


図-10 均等化後の補修計画

表-9 実際の点検データでの計算結果のまとめ (千円)

	MAX	GAP	AVE	StdDev	評価値
$\alpha=0.0$	1184218	924687	583717	199560	1.95016
$\alpha=0.3$	1156208	879812	583414	213267	1.60832
$\alpha=0.5$	1158726	874975	586538	221516	1.49822
$\alpha=0.7$	1163191	897979	589956	220204	1.67438
$\alpha=1.0$	1202502	937347	590466	321024	1.84532

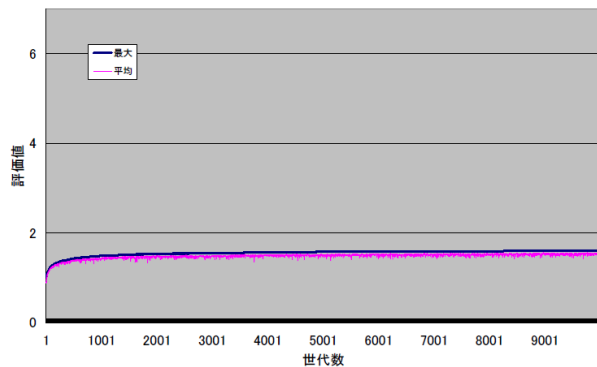


図-11 $\alpha = 0.3$ における評価値の推移

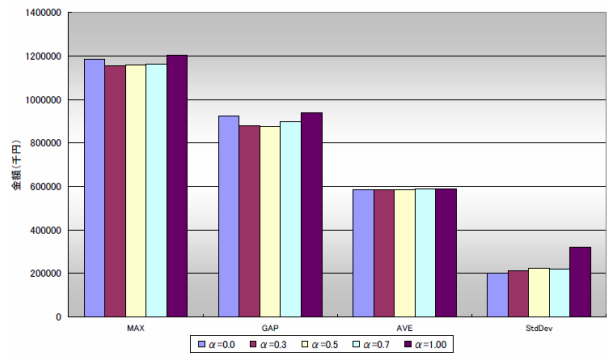


図-13 α ごとによる計算主要値の比較

評価値の世代更新に伴う推移を図-11 に示し、実際の点検データの場合を理想補修の場合の評価値の推移(図-6)と比較する。

さらに、BHI における均等化の影響を確認するために BHI 分布の年度推移を図-12 に示す。

本研究では、目的関数の係数 α について、 $\alpha = 0.0$ 、 $\alpha = 0.3$ 、 $\alpha = 0.5$ 、 $\alpha = 0.7$ 、および $\alpha = 1.0$ の 5 種類に渡って最適解の探索した。結果的には $\alpha = 0.3$ の場合が最も均等化が進んだとして、結果を表示してきたが、係数ごとの違いを確認するために計算結果のまとめ表-9 と図-13 に示す。

使用した橋梁点検台帳に基づく計算結果から確認できることは、以下のとおりである。

- 年数が経つほどに、均等化が進む傾向がある。

- 100 年間のうち、必ずしも均等化できない時期が存在する。

- LCC に大きな影響がなく均等化ができる。

これまで理想補修を仮定した場合の初期健全度と既存橋梁点検台帳に基づく初期健全度と、2つの橋梁の初期状態で補修費用の計算を実行してきたが、後者について費用均等化が大きく進まない結果となった。

前者が図-5 から分かるように、平均値 (AVE):5.5 億円で予算が 6 億円つけば 100 年間の予算の見通しが着くものに対して、後者では図-10 を見ても明らかのように、平均値 (AVE):5.9 億円であるが予算として 100 年間で一定の予算を組むのは現実的でない。

しかしながら、後者について費用均等化がほぼ完了している可能性がある。再度図-10 を確認すると、補修計画の序盤において 1-9 年の間は 11.5 億円でほぼ均一であり、18-27 年の間では 2.8 億円でほぼ均一であるのが分かる。1-9 年間は初期状態で健全度レベル 1 とレベル 2 に相当する床組と床版が補修され、19-27 年

の間は健全度レベル4の床組と床版が補修されている。しかもそれぞれの健全度維持期間が9年間であり、補修計画の序盤においてはこれらが9年間ごとに費用均等化が行われている。つまり、床組等の最少補修期間である27年度以内は他の健全度レベルとの干渉がなく、9年ごとの階段状の補修費用が組まれるのが最も均等化された状態であると言える。従って、最大値が11.5億円、最小値が2.8億円はこれ以上に平均値に近づけない。ゆえに、最大最小差(GAP)は約8.7億円よりは最小化できないことになる。

また、既存橋梁台帳に基づく費用均等化では最大最少差(GAP)の最小化が限界に達することが容易に起こり、最大最少差(GAP)を目的関数に取り込むほどに評価値が上がりにくいと言える。

以上のことより、橋梁点検結果に基づく中長期の維持管理計画は計画開始時点での橋梁群の状態に大きく依存することになるが、3回目の補修サイクル以降はほぼ均等化される。

5. 結論

本研究は最小の投資で、最大の効果を得ることを目指した橋梁アセット・マネジメントにおいて、橋梁部位の劣化予測が劣化曲線の形で与えられた場合を想定し、中長期的な視点に立って年度補修費用を均等化することに主眼を置くことにより「補修費用の最小化と均等化を両立したより現実的な橋梁補修計画の提案」を目指した。得られた結果を要約すれば以下のとおりである。

- 費用均等化は、均等化が進めばBHIをある程度の範囲内で平衡に保つことができる。
- 費用均等化には、橋梁群の初期状態による影響が大きく、あまりに初期状態が悪い場合は一定以上の橋梁の健全性を保ちながら費用を均等化することはできない時期が存在する。
- 目的関数と最適解との関係は元データに依存することがあり、元データに対して最適な目的関数の係数 α の値を調整する必要がある。

本研究のシミュレーションでは、部位固有の劣化周期を同一に与え、同じタイミングから劣化を開始した。これが必然的に最初の補修の集中を発生させる根本的な原因であり、補修時期をズラす仕組みにより補修の集中が緩和する結果となり、高度経済成長期に集中して画一的に橋梁が建設された過去を考えると、本研究の結果はわが国の抱える橋梁群の特徴を反映していると言えよう。

初期状態が良好な場合

費用、健全度ともに均等化が十分に行われると、平衡状態に陥る。平衡状態での橋梁の維持管理では、ほぼ一定額の補修費用で要求される橋梁の性能(健全度)を長期にわたって保つことができる。従って、地方自治体などでは橋梁の維持管理に必要な予算が最低いくらか必要であるかが分かり、予算計画が組みやすくなる。これにより、中長期において「最少の予算を投資し、最大の補修効率を得る」ことになる。

本研究ではその目安となる金額を提案し、その根拠を作成したことになる。

初期状態が悪い場合

基本的には、本研究での補修戦略を「橋梁の健全度を一定以上に保つ前提で、費用の均等化を図る」と定める限り、費用の均等化には限界があることが分かった。ただし、ここで言う均等化とは100年間全ての予算を平均値に近い値でまかなうというものである。しかし、図-10の計画序盤のように、まとまった期間でほぼ必要な補修費用が同額になれば部分的に均等化がされたことになる。その期間ごとに最も近い予算が組めれば、部分的な均等化がされた補修計画も橋梁アセットマネジメントとして、有効な考え方になってくると言える。ただし、この場合には、自治体の建設投資の維持管理費の割合を一時的に急増させる、などの必要があるという問題は残るが補修サイクルが進めば均等化が実現される。

本研究により、LCC最小化を目指した橋梁群の中長期補修計画立案における年度費用均等化の可能性を示すことができた。今後、より効果的な目的関数の設定や、取扱いを簡略化した事項への対応を進めることで実務への適用の可能性を検討することとしたい。

参考文献

- 1) 中谷昌一：国土交通省における道路アセットマネジメントの考え方，土木学会誌 Vol.89, pp.24-26, 2004.
- 2) 小澤一雅：アセットマネジメントシステム導入の考え方，土木学会誌 Vol.89, pp.10-11, 2004.
- 3) 近田康夫，清水宏孝，廣瀬彰則：ウイルス進化型GAを援用した橋梁補修計画支援に関する研究，構造工学論文集 Vol.47A, pp.211-218, 2001.
- 4) 近田康夫，橋謙二，城戸隆良，小堀為雄：GAによる既存橋梁の補修計画支援の試み，土木学会論文集 No.513/I-31, pp.151-159, 1995.
- 5) 近田康夫，西雄一，廣瀬彰則，城戸隆良：スケジュールを考慮したGA援用橋梁補修計画支援の試み，構造工学論文集 Vol.46A, pp.371-378, 2000.
- 6) Mark G. Stewart, Allen C. Estes, and Dan M. Frangopol: Bridge Deck Replacement for Minimum Expected Cost Under Multiple Reliability Constraints, JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, SEPTEMBER 2004.
- 7) Jung S.Kong, and Dan M. Frangopol: Probabilistic Optimization of Aging Structures Considering Maintenance and Failure Costs, JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, 2005.
- 8) 河村圭：Bridge Management System(BMS)の開発および実用化に関する研究，山口大学博士論文，2000.
- 9) 原田隆郎：道路構造物の維持管理を支援する計算モデルの構築，茨城大学博士論文，2003.
- 10) 津田尚胤，貝戸清之，青木一也，小林潔司：橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定，土木学会論文集 No.801/I-73, pp.69-82, 2005.
- 11) 貝戸清之，阿部允，藤野陽三：実測データに基づく構造物の劣化予測，土木学会論文集 No.744/IV-61, pp.29-38,

2003.

- 12) 小林潔司：分権的ライフサイクル費用評価と集計の効率性，土木学会論文集，No.793/IV-68，pp.59-71，2005.
- 13) 貝戸清之，保田敬一，小林潔司，大和田慶：平均費用法に基づいた橋梁部材の最適補修戦略，土木学会論文集，No.801/I-73，pp.83-96，2005.
- 14) 青木一也，貝戸清之，小林潔司：ライフサイクル費用評価が複数橋梁の劣化・補修過程に及ぼす影響，土木計画学・研究論文集，土木学会，Vol.23，No.1，pp.39-50，2006.
- 15) 近田 康夫，新谷 光平，阿曾 克司：GA を援用した橋梁群の経時的補修費用均等化に関する研究，土木情報利用技術論文集，Vol.15，pp.175-182,2006.
- 16) 日経 BP 社：これから始めるコンクリート補修講座，日経コンストラクション，pp.206-217，2002.
- 17) 岡田 清，今井 宏典：道路橋のメンテナンス，阪神高速道路管理技術センター,pp.7～11,1993.
- 18) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書,p.13,1993.

(2007 年 9 月 18 日 受付)