

I-16 GA 援用橋梁補修計画支援における足場共有の考慮

Scaffolding sharing in GA applied bridge repair planning

近田康夫*

中山 善隆**

廣瀬彰則***

Yasuo CHIKATA

Yoshitaka NAKAYAMA

Akinori HIROSE

【抄録】 多数の橋梁を維持管理するには、橋梁と補修部位の組合せ問題を解く必要がある。本研究では、橋梁群補修代替案探索問題をナップサック問題として取り扱い、遺伝的アルゴリズムを適用する。その際に、補修費用に占める割合の大きい足場を共有することを考えた。足場共有を考慮する方法の提案と、その結果補修代替案がどのように変化するかを示す。

【Abstract】 This paper deals with the repair planning of existing bridges within limited budget and period. The repair planning is treated as Knapsack problem. And Genetic algorithm is used for solving the problem, because of the huge number of combinations of repair cases. In repair of existing bridge, a large part of budget is occupied by the cost of scaffold construction. So, sharing scaffold in several repair works might be able to decrease repair cost.

【キーワード】 橋梁補修、遺伝的アルゴリズム、足場の共有

【Keywords】 bridge repair, Genetic algorithm, Sharing of scaffold

1. はじめに

戦後の経済成長期から本格的に始まった全国的な道路交通網の整備事業の実施に伴い、多くの橋梁が建設された。これらの橋梁の中には、損傷・老朽化が進行したものも少なくなく、事故や交通遮断の原因となり多大な社会的・経済的影響を与える可能性がある。こうしたことから、既存橋梁の維持管理を行っていくことは新規橋梁の建設と同等以上に重要になってきており、早急にその維持管理対策を行う必要があるといえる。また、公共事業に割り当てられる予算は、我が国の財政赤字の慢性化から今後減少の一途をたどると考えられ、補修・補強等の維持管理対策に割り当てられる予算においてもコスト削減を迫られるのは必至である。

このような背景の下で橋梁管理システム(BMS)を構築した管理の提案がなされているが、問題の捉え方として、1橋梁に着目してその供用期間中の最適化

をはかるアプローチ¹⁾と、多数の橋梁を対象に、ある時点または期間における限定された予算内で橋梁群としての最適管理をはかるアプローチ²⁾が考えられるが、ここでは後者のアプローチをとっている。

本研究では、限られた予算内で社会的満足性を最大限に満たし得る補修計画立案支援を目的に、橋梁を補修する際に必要となる足場の共有を優先させることにより、補修対象となる橋梁を効率よく補修するとともに予算のスリム化を図った。また、橋梁群全体における足場の共有状況を調整することにより多様な補修案の獲得を目指し、より実用的な橋梁補修計画作成システムの構築を試みた。

2. 橋梁維持管理システムの概要

(1) 点検データ

橋梁のデータにはI県が調査を行った表-1に示すような14の点検項目と総合評価からなる橋梁点検台

*連絡先 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 金沢大学大学院自然科学研究科システム創成科学専攻 助教授 工博

TEL.076(234)4634 e-mail:chikata@t.kanazawa-u.ac.jp

** 奈良県土木部高田土木事務所 (工修)

*** 金沢大学大学院自然科学研究科(中央復建コンサルタンツKK.)

表-2 感度解析による各点検項目の重要度係数

	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
RC 橋	.17	.23	.30	.13	.08	.13	.23	.08	—	.18	.12	.36	.32	.17
ST 橋	.17	.21	.22	.13	.08	.13	.27	.07	.08	.07	.59	.36	.18	.14

表-3 各部位の補修内容とその費用

部位	補修内容	補修費用(千円)
橋面舗装	オーバーレイ	3 (単位面積当たり)
地覆高欄	旧地覆撤去 地覆・高欄設置	80 (単位長さ当たり)
床版	旧床版撤去 新床版建設	100 (単位面積当たり)
床組工	増設桁工	850 (単位重量当たり)
支承	杓交換 (50tf)	500 (1 箇所当たり)
伸縮継手	ジョイント交換 (ゴム, 鋼, アルミ)	150 (単位長さ当たり)
排水装置	塩化ビニル管交換	5 (単位長さ当たり)
塗装	ケレン, 下塗り, 中塗り, 上塗り	4 (単位面積当たり)
安定性(材質)	ASR 補修	29 (単位面積当たり)
耐震性	移動制限装置設置	500 (1 基当たり)

表-4 各部位の足場の種類と費用

部位	足場の種類	費用(千円)
橋面舗装	必要なし	
地覆高欄	①つり足場	10 (単位長さ当たり)
床版	②つり足場	5 (単位面積当たり)
床組構	②つり足場	5 (単位面積当たり)
支承	③張り出し足場	3 (単位面積当たり)
伸縮継手	必要なし	
排水装置	②つり足場	5 (単位面積当たり)
塗装	②つり足場	2.5 (単位面積当たり)
安定材質	④枠組み足場	3 (単位面積当たり)
耐震性	③張り出し足場	3 (単位面積当たり)

を表-3、表-4に示すとおりに設定した。本来ならば、橋梁の種類・損傷度の程度などにより、補修方法・補修費用が異なってくると思われるが、その影響評価は難しく、ここでは一律に設定している。

なお、表-4において、○の中の数字は足場の種類を表しており、同じ番号の足場であれば、共有が可能であるとして、足場費用の計算を行う。

(5) ナップサック問題の適用

本研究における橋梁補修部位の組合わせ問題を一般のナップサック問題と比較すると、一定の容量を持った袋(ナップサック)が与えられた予算に、荷物

が各橋梁部位の補修費用に、それぞれ相当する。いま、一つの橋梁につき10の補修パターンがあるとすれば、その組合わせの総数は 10^{43} 通りとなり、膨大な計算量と時間を要することになる。

ここで、橋梁の補修計画にナップサック問題を適用するにあたり、式(2)、式(3)のように目的関数、制約条件を設定した。この目的関数は、橋梁の評価値と費用という全く異なった値を一つの式で扱えるように無次元化したものであり、橋梁の評価値の増加を最大に、また予算を使い切る方向に向かわせるようにしたものである。また、予算によるパラメータの調整が不要になるという利点もある。

(無次元化した目的関数)

$$F_a = \frac{\sum_{i=1}^n (e_{i2} - e_{i1})}{\zeta} - \frac{g}{E} \Rightarrow \max \dots \dots \dots (2)$$

(制約条件)

$$g = E - C \geq 0 \dots \dots \dots (3)$$

n : 橋梁数 E : 予算 C : 補修費用合計

e_{i1} : 補修前の i 番目の橋梁の評価値

e_{i2} : 補修後の i 番目の橋梁の評価値

ζ : $\left(\frac{\text{全ての要補修部位を補修した場合の評価値増加量}}{\text{した場合の評価値増加量}} \right) \times \frac{\text{予算}}{\text{総費用}}$

ζ は評価値の増加量の項を無次元化する値であるが、これは全ての要補修部位を補修した場合の評価値増加量に(予算)/(総費用)を乗じることによって、予算の項に対して、評価値増加量の項の比重が大きくなるようにしたものである。なお、全ての要補修部位を補修した場合の評価値増加量とは、橋梁補修の対象となるデータが43橋の場合、要補修部位となる137部位すべてを補修した時に得られる評価値増加量を示しており、数値としては2814となっている。また、総費用とは137部位すべてを補修するのに必要な費用であり、17億8220万7千円である。なお、この総費用は、足場が共有可能な部位すべてにおいて足場の共有を考慮している。

表-5に ζ の予算ごとの値を示す。

(6) 遺伝的アルゴリズム(GA)の適用

組合わせ最適化問題にGAを適用するにあたって、ある橋梁における線列のコーディングを図-1のよう

表-5 ζ の値

データ	43 橋		
予算	5 千万円	1 億円	2 億円
ζ	78.947	157.894	315.788

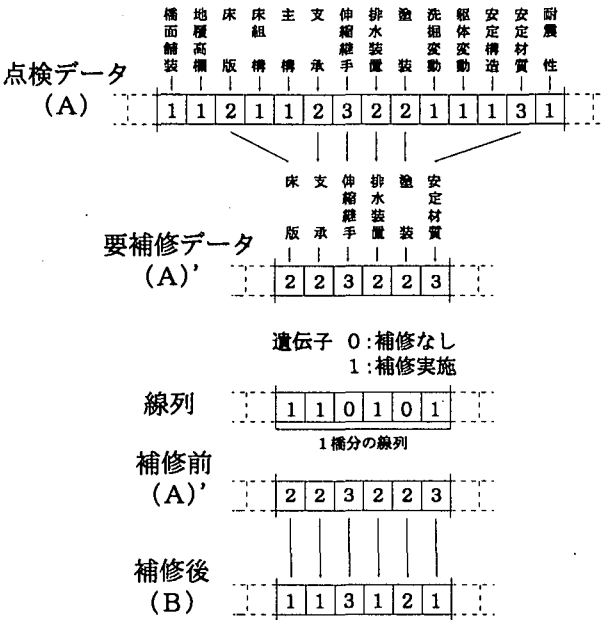


図-1 補修部位選択における遺伝子フォーマット

に行った。まず、点検データの中から補修が必要な項目だけを抜き出し、それぞれの項目に0か1の遺伝子を与え、1の遺伝子が与えられた部位は補修するとし、その損傷度を1に置き換える。ここで図-1の例は1橋分の線列であるが、実際には1個体にすべての橋梁が配置され、1つの補修計画案を示している。なお、淘汰方法にはエリート保存戦略を採用し、交叉は一点交叉で行う。

3. 足場共有の考慮

橋梁を補修する際に足場を組む場合が生じるが、この場合、経済性や実務性を考慮すると、同じ足場を利用し補修できる箇所は同時に補修した方が効率が良い。本研究では、足場の共有を「ある橋梁の複数の部位を補修する際に、ある足場を2箇所以上の部位補修に利用すること」と定義し、本文では足場共有と示す。また、足場共有以外にも施工上の都合から複数部位を同時に補修した方が良い場合があり、その同時補修部位の組合わせと足場共有可能な部位の組合わせを表-6に示す。

本研究では、足場共有を積極的に促進するために、GAによる計算過程の個体(補修案)に同時に補修す

表-6 同時補修、足場共有部位の組合わせ

同時に補修すべき部位の組合わせ (6 パターン, 15 組)			
1	支承	→	塗装 耐震性
2	舗装	→	伸縮継手 排水装置
3	材質安定性	→	支承 伸縮継手
4	床組構	→	床版 材質安定性
5	床版	→	舗装 伸縮継手 排水装置
6	地覆高欄	→	舗装 床版 伸縮継手 排水装置
足場共有可能な部位の組合わせ (4 パターン, 7 組)			
			種別番号
7	支承	→	耐震性 (3)
8	床版	→	床組構 排水装置 塗装 (2)
9	床組構	→	排水装置 塗装 (2)
10	排水装置	→	塗装 (2)

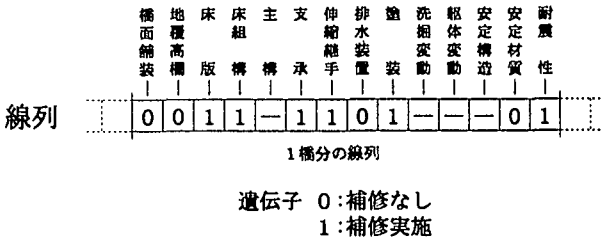


図-2 個体中の線列の例

べき部位、または足場共有可能な部位が存在すれば、ボーナスポイントを与え目的関数が増加するように新たな関数を追加する。

(1) 足場共有関数の導入

GAによる計算過程において個体中のある橋梁に対し、表-6の組合わせが存在する場合、同時補修すべき部位1組に対して t ポイント与え、足場共有可能な部位1組に対して u ポイント与える。ここで t を同時補修パラメータ、 u を足場共有パラメータとする。このようにある橋梁に対して表-6の計22組すべてを調べ、ポイントを累積する関数を足場共有関数とする。 i 番目の橋梁に対する足場共有関数の合計ポイントを S_i とする。

図-2は、ある個体中のある橋梁の補修部位データである。この線列を例にとってポイントの換算を試行する。

同時に補修すべき部位における6パターンそれぞれのポイントの合計を s_1 から順に s_6 とすると、

$$s_1 = t + t, s_2 = 0, s_3 = 0, s_4 = t, s_5 = t, s_6 = 0 \quad (4)$$

となり、同時補修ポイントの合計は、 $4t$ となる。

足場共有可能な部位における4パターンそれぞれのポイントの合計を s_7 から順に s_{10} とすると、

$$s_7 = u, s_8 = u + u, s_9 = u, s_{10} = 0 \cdots \cdots (5)$$

となり、足場共有ポイントの合計は、 $4u$ となる。

そこで図-2に与えられるポイントの合計は、

$$S_i = s_1 + s_2 + \cdots + s_{10} = 4t + 4u \cdots \cdots (6)$$

となる。ただし、 i は橋梁の識別番号である。

ここで t , u にそれぞれ“1”, “3”という値が設定された場合、図-2の橋梁における同時補修部位の組み合わせ数は4組であり、同時補修ポイントは4ポイントである。また、足場共有部位の組み合わせ数は4組であり、足場共有ポイント12ポイントである。

このようにある橋梁データに対して10パターンすべてを調べ、ポイントを累積する目的関数を足場共有関数とする。

(2) 目的関数への追加

従来の橋梁補修計画作成システムに用いるGAの目的関数は、式(2)のように与えられている。この目的関数と足場共有関数の2つを線形結合し、単目的の最適化問題として解くことにより1つの最適解が得られる。本研究では、結合の重み係数 α を用いて足場共有関数の割合を変化させることにより、多様な解を求めることを目指す。

式(7)は、足場共有関数を加えた目的関数である。 α は、0以上の数値で与えられ、式(8)は目的関数値に対して足場共有関数値が占める割合であり、以下単に占有率と示す。制約条件は、式(3)と同じである。

$$F_b = \frac{\sum_{i=1}^n (e_{i2} - e_{i1})}{\zeta} - \frac{g}{E} + \alpha \sum_{i=1}^n S_i \Rightarrow \max \quad (7)$$

$$\text{占有率} = \frac{\alpha \sum_{i=1}^n S_i}{F_b} \times 100 \quad (\%) \cdots \cdots (8)$$

4. 数値実験による足場共有の効果

(1) 従来のGAとの比較

補修案作成には部位単位の補修計画作成システムを用いた。対象となるデータは43橋データであり、式(7)に示す目的関数を用いて数値実験を行った。ここで重み係数 α を0と設定することにより、目的関数は従来の補修計画で用いられている式(2)と一致する。

表-7 補修部位選択におけるGAの諸値

集団数	: 1
人口数	: 100
エリート個体数	: 1
交叉	: 一点交叉
交叉率	: 0.6
突然変異率	: 0.05

設定する予算は、5千万円、1億円、2億円である。各予算ごとに重み係数を変化させ、占有率(式(8))を0%と約5, 10, 20, 30, ..., 90, 99%とした12パターンの解を求めた。また、各占有率に対して同時補修パラメータ t 、足場共有パラメータ u には $(t, u) = (1, 1)$, $(t, u) = (1, 3)$ の2つの組み合わせを用いている。以後、 $(t, u) = (1, 1)$ のパラメータの組み合わせを“Type1”, $(t, u) = (1, 3)$ の組み合わせを“Type2”と呼ぶことにする。また、各占有率において異なるランダムシーズを用い5回の計算を行っており、その中で最も評価値増加量が高い解を最適解とすると、各予算に対して、24通りの最適解が得られることになる。表-7にGAの諸値を示す。

(1) 解のバラツキ

例として予算1億円、Type1における評価値増加量と該当補修組数の散布図をそれぞれ図-3と図-4に示す。ここで該当補修組数とは、同時補修、足場共有パラメータによるボーナスポイントが与えられた要補修部位の組み合わせの総数である。また、目的関数値に占める追加関数値の割合とは、占有率のことである。

図-3では、占有率が増加するにつれ解の評価値増加量が減少しながら、ばらつく傾向を示している。図-4においても、占有率が0%にくらべ該当補修組数の値はばらついている。

(2) 評価値増加量の変化

図-5、図-6に予算1億円、Type1, Type2における各占有率に対する最適解の評価値増加量と同時補修組数、足場共有組数の変化を示す。

図-5、図-6からわかるように、占有率の増加に伴い評価値増加量は減少する傾向を示し、足場共有組数、同時補修組数とも増加している。ここで足場共有組数(同時補修組数)とは、足場共有(同時補修)パ

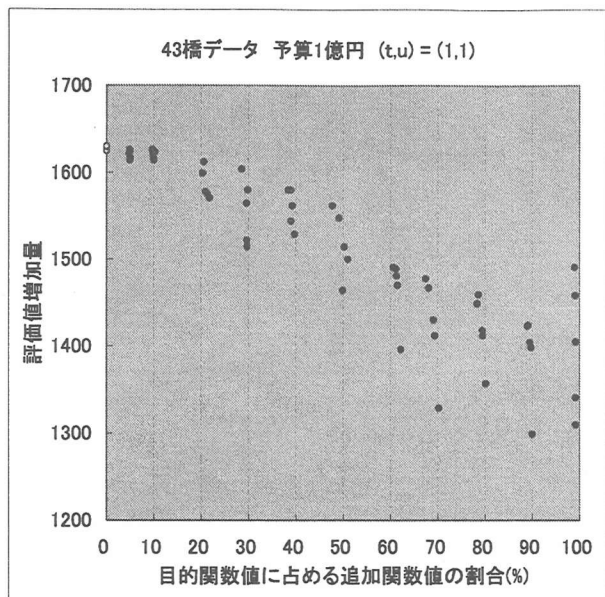


図-3 評価値増加量のバラツキ

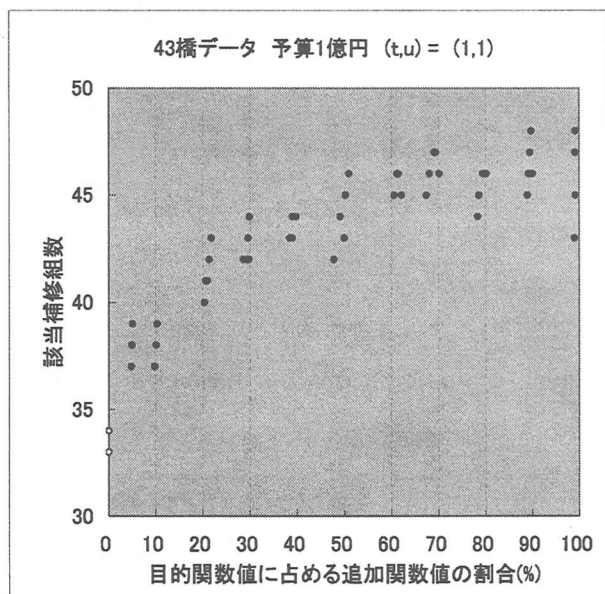


図-4 該当補修組数のバラツキ

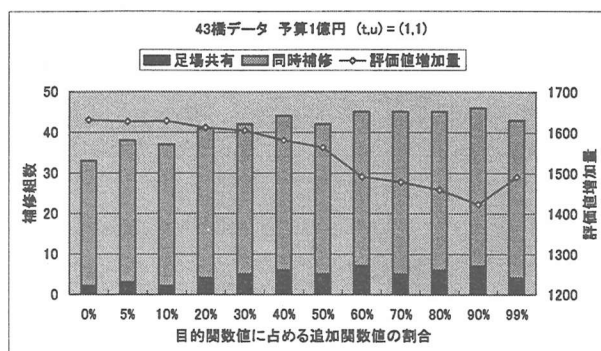


図-5 予算1億円 (Type1)

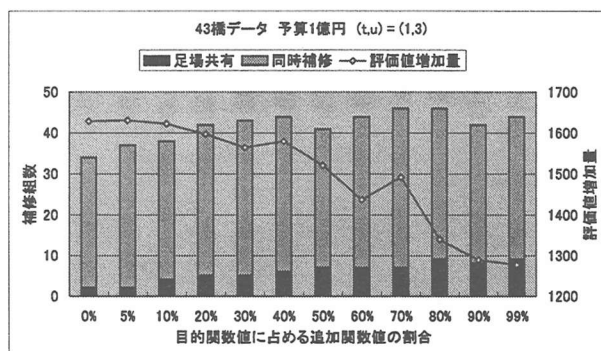


図-6 予算1億円 (Type2)

ように高い評価値増加量と0%以上の該当補修組数を示す解が多数存在することがわかる。

また、占有率が大きい場合、補修案の評価値増加量は大幅に減少しているが該当補修組数は従来のGAに比べ大幅に増加している。このような解は足場費用の削減ができ、ある橋梁を集中的に補修する補修案となるため、工事施工における実務性に優れた解であるといえる。

(3) 足場共有パラメータの効果と予算規模の影響 同時補修部位の組合わせ総数

図-7に各予算に対する該当補修組数中における同時補修組数の変化を示す。ここで同時補修組数とは、補修案に含まれる同時補修部位の組合わせの総数である。なお、図-7は各占有率における最適解をプロットしたものであり、図中右側の05, 10, 20はそれぞれ予算5千万円, 1億円, 2億円を, (1,1), (1,3)は、それぞれType1, Type2を示している。

同時補修組数は、どの予算においても占有率の増加に伴い増加する傾向がみられる。また、各予算において、Type1とType2に大きな違いは見られない。これは、同時補修パラメータ t をType1, Type2と

ラメータによりポイントが与えられた部位の組合わせの数である。また、重み係数を0とした占有率0%における解は、従来の補修計画作成システムで行ったものと同様である。

注目すべきは、各予算において占有率が5%と10%の場合である。この区間において評価値増加量は、0%と同等かそれ以上の値をとっており、かつ該当補修組数は0%に比べて増加している。図-3、図-4の解のバラツキから、従来のGAが狭い範囲で安定して高い評価値増加量を得ているが該当補修組数は最も少ない。しかし、実際には占有率5%と10%が示す

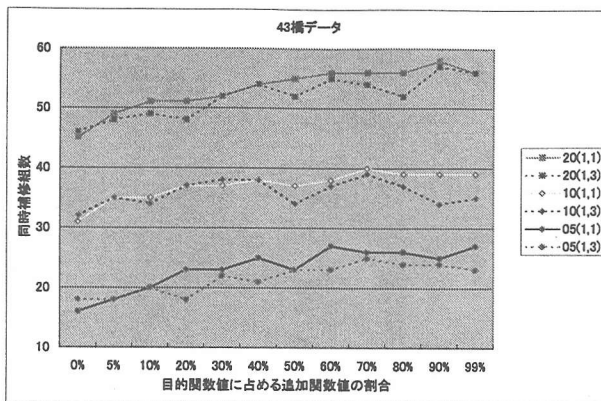


図-7 同時補修組数の変化

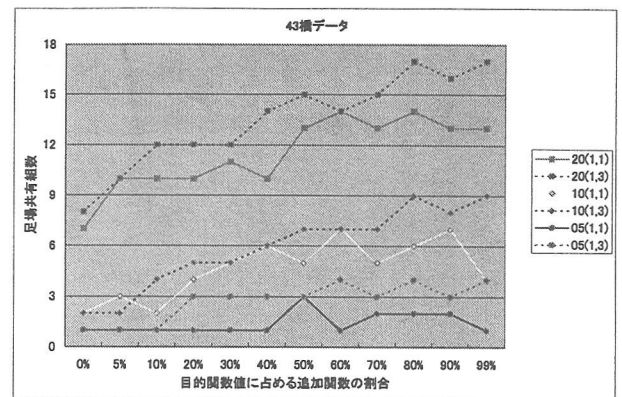


図-8 足場共有組数の変化

もに“1”と設定したためであると考えられる。

足場補修部位の組み合わせ総数

図-8に各予算に対する該当補修組数中における足場共有組数の変化を示す。なお、図-8は各占有率における最適解をプロットしたものである。

各予算を比較し考察すると、予算5千万円では、足場共有パラメータ u を“3”と設定したType2の場合のみ足場共有組数が増加する傾向が現れたが、Type1には予算1億円におけるType1のような足場共有組数の増加傾向は見られなかった。これはType1において、予算1億円では、ある程度予算に余裕があるため同時補修部位と足場共有部位の両方を選択することができるが、予算5千万円では、予算の制約が厳しく同時補修部位と足場共有部位のどちらかしか選択できないためと考えられる。

図-7の同時補修組数の変化においても全体として、若干Type1の方がType2を上回ったのは、Type2が足場共有部位を多く選択したため、足場費用が加算され予算の制約が厳しくなり、同時補修部位の選択数が減少したためと考えられる。予算2億円では予算の制約はさらに緩くなるため、足場共有パラメータの効果が顕著に現れるといえる。

図-8に示す結果は、足場共有パラメータ u を同時補修パラメータ t より大きく設定することで同時補修よりも足場共有を優先させることが可能なことを実証している。しかし、現実的には予算制約が厳しい場合が多い。このような場合、例えば図-8の予算5千万円のように、重み係数 α を大きくし占有率を20%以上増加させれば、Type2のような足場共有効果は現れる。しかし、高い評価値増加量を示す占有

率5%、10%では、足場共有効果は現れていない。

このように予算制約が厳しい場合、重み係数 α の操作により足場共有を促進させることは可能であるが、高い評価値増加量を示す α の範囲では、足場共有パラメータの効果は現れにくいと言える。

該当補修組数

図-9に各予算に対する同時補修組数と足場共有組数の合計である該当補修組数の変化を示す。なお、図-9は各占有率における最適解をプロットしたものである。

各予算において該当補修組数は、Type1、Type2ともにほとんど同等の値を得ている。GAの性質から時折良い解が得られる場合もあれば、悪い解が得られる場合もあるため、計算回数が少ないと該当補修組数の値の大小は、計算を行うごとに異なってくると考えられる。その結果、図-9のグラフにおけるType1とType2の位置関係が逆転する可能性もありうると考えられる。

以上より、同時補修組数と足場共有組数の合計である該当補修組数は、Type1、Type2ともにほぼ同等の数値を得るとするのが妥当であろうと思われる。

評価値増加量

図-10に各予算ごとの占有率の増加による評価値増加量の変化を示す。なお、図-10は各占有率における最適解をプロットしたものである。

各予算において、Type1、Type2ともに占有率の増加に伴い評価値増加量は減少している。これはGAの計算過程において足場共有部位が選択された時に増加するポイントが重み係数 α に比例するため、 α を大きく設定した場合、足場を共有した部位を多く

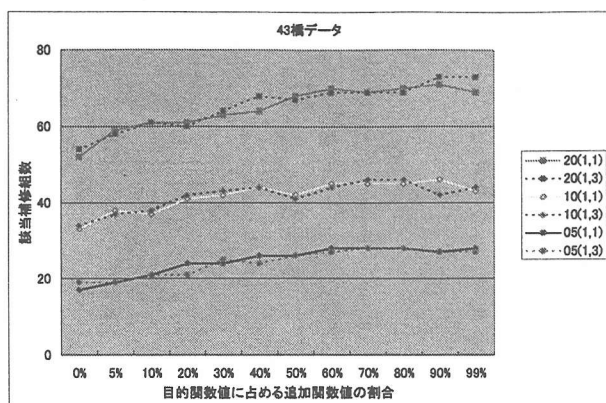


図-9 該当補修組数の変化

含む個体は高い目的関数値を得て高い適応度を持つようになる。占有率を大きくすると、つまり、重み係数 α を大きくするに従い集団中に足場共有可能な部位を多く含む個体が増加すると推測される。これらの個体は、評価値増加量の大きい部位よりも評価値増加量が小さくても同時補修、足場共有に該当する部位を選択しており、足場共有による足場費用の増加などから選択できる補修部位の総数も減り、全体として評価値増加量が小さくなるものがほとんどである。このような評価値増加量が低い、同時補修、足場共有部位を多く含む個体が多数存在する集団から選ばれた最適解の評価値増加量は、占有率の増加に伴い小さくなるものと考えられる。

また、占有率がかなり大きくなると、*Type1* と *Type2* に若干の差が生じてくる。これは、*Type2* の方が1つの足場共有部位を選択した場合、目的関数値の増加が *Type1* よりも大きいためと考えられる。このことから先に述べたように評価値増加量は減少し、その減少傾向は、占有率の増加に伴い *Type2* の方が強く現れると推測される。

(2) 実際の工事発注形態のシミュレーション

実際に一部の地方自治体が補修・補強工事を発注する場合、補修が必要な橋梁群の中から共通する要補修部位をピックアップし、該当する橋梁に対して工事の発注を行う形態をとっている場合が多い。これは、例えば、補修対象となる部位を床版とした場合、橋梁群の中から床版が損傷している橋梁を選び出し、その橋梁に対して床版のみの補修・補強を目的とした工事を発注するというものである。この発注形態に対して施工する業者は、対象となる橋梁の契

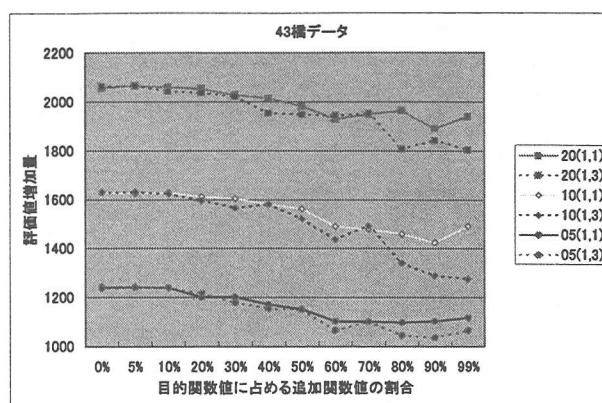


図-10 評価値増加量の変化

約した要補修部位のみの補修・補強を行い、それ以外の要補修部位に対しては足場共有が可能であっても、追加工事が発注されない限り補修・補強は一切行わない。このような発注形態で行われる工事には、多くのコスト削減の可能性が残されている。そこで、このような発注形態をシミュレートし本研究の補修計画案と比較し、その妥当性を検証する。

このような発注形態を43橋データを用いてシミュレートしてみる。補修部位選択は、以下の手順で行う。

1. 43橋データにおける各要補修部位の総補修費用（足場費用を含む）、評価値増加量、投資効率の値を計算する。ここで投資効率とは、評価値増加量を総補修費用で割ったものである。
2. 補修の基準となる部位を橋面舗装、地覆高欄、床版、床組構、支承、伸縮継手、排水装置、塗装、安定材質、耐震性の10部位とし、各基準部位の平均投資効率を求める。
3. 各部位ごとに投資効率の高い順に並びかえる。
4. 基準部位を定めデータの先頭に配置されるよう並び替え、その他の部位を平均投資効率順に並びかえる。（データは上から順に基準部位が並び、次いでその他の部位が投資効率の高い順に並んでいる。）
5. 上から順に設定された予算内に総費用が入るように選択する。選択された後、順位が下の部位であっても予算に空きがあれば、予算を使い切るためにその部位を選択する。

基準部位を床版とした場合、以上の手順によって並びかえられたデータを表-8に例として示す。なお、1部位の補修費用が1億円を超える部位（床版3部位、

塗装1部位)は除いてある。

このルールに従い、作成した補修案の諸値を予算1億円を例にし、表-9に示す。また、本研究で用いた補修計画作成システム(以下SGA)との比較のために、従来のGA(占有率0%)による最も評価値増加量の高い補修案とすべての占有率における最も評価値増加量の高い補修案、さらに参考までに占有率50%、Type2の補修案が示す総補修費用、総足場費用、足場費用の割合、評価値増加量に加え、同時補修組数、足場共有組数を表中に示す。

表-9からわかるように発注形態シミュレーションでは、どの基準部位をとってみてもSGA(0%, 5%)に対して低い評価値増加量を示している。しかし、もともと投資効率が高い部位を基準部位と設定すると、ある程度高い評価値増加量を示すことが確認された。これは、投資効率の高い部位が組合わさった結果であり、予算が大きくなるとともに含まれる部位数が増加するため、この傾向は顕著に現れる。また、低い評価値増加量となるのは基準部位の投資効率が低い場合である。この場合、予算のほとんどを基準部位の補修に使うため、残りの予算内で投資効率の高い部位を加えてもそれほど評価値増加量が増加しないためである。

次にここで示したSGAの値であるが、これは数値実験の計算結果から抽出したものである。予算に対してSGA(5%)が最も高い評価値増加量を示したが、評価値増加量においてはSGA(0%)とほとんど変わらない数値となっている。これは、予算制約が厳しく占有率が小さい場合、足場共有関数の効果は現れなくなっていると考えられる。予算制約の緩い予算2億円では、若干足場が共有されている。また、SGA(50%)では、同時補修、足場共有組数が増加していることから、足場費用も増加すると考えられる。しかし、表-9のSGA(50%)に見られるように足場共有組数が増加しているにもかかわらず、総足場費用が減少している補修案も存在する。

このSGA(5%)とSGA(50%)の補修案を比較すると、SGA(50%)では少ない費用で足場共有が可能な部位が選択されており、また、足場費用が必要で、かつ足場共有でない部位がSGA(50%)では選択されていないことがわかった。このように少ない足場費用で

表-8 床版を基準部位とした場合の並び替え

	橋梁 番号	橋種	補修 部位	補修 費用 (千円)	足場 費用 (千円)	総補修 費用 (千円)	評価値 増加量
No.1	12	ST	床版	6200	310	6510	22
No.2	2	ST	床版	15008	750	15758	44
No.3	15	ST	床版	10540	527	11067	22
No.4	14	ST	床版	18270	914	19184	22
No.5	6	ST	床版	31350	1568	32918	22
No.11	37	CO	橋面舗装	135	0	135	34
No.12	43	CO	橋面舗装	274	0	274	34
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
No.35	18	CO	排水装置	272	272	544	8
No.36	14	ST	排水装置	406	406	812	7
No.37	12	ST	床組構	425	25	450	13
No.38	34	CO	床組構	425	25	450	13
No.39	39	CO	床組構	425	25	450	13
No.40	1	ST	床組構	510	30	540	13
No.41	38	CO	床組構	595	35	630	13
No.42	40	CO	床組構	621	37	657	13
No.1~5, 11~42 までの合計				94349	5427	99777	722

表-9 予算1億円における発注形態シミュレーション

予算1億円	総補修 費用 (千円)	総足場 費用 (千円)	足場費用の 割合 (%)	評価値 増加量	同時 補修 組数	足場 共有 組数
基準部位						
橋面舗装	99922	3367	3.4	1587	0	0
地覆高欄	99807	10267	10.3	798	0	0
床版	99777	5427	5.4	722	0	0
床組構	99922	3367	3.4	1587	0	0
支承	98704	2230	2.3	883	0	0
伸縮継手	99922	3367	3.4	1587	0	0
排水装置	99922	3367	3.4	1587	0	0
塗装	99872	6462	6.5	1531	0	0
安定材質	99661	6251	6.3	1346	0	0
耐震性	99943	905	0.9	557	0	0
0% (Type1)	99746	4504	4.5	1630	31	2
5% (Type2)	99788	5829	5.8	1631	35	2
50% (Type2)	99995	5399	5.4	1521	34	7

多数の足場共有部位を補修するということは、足場を効率よく使用していると言える。このような解は常に出現するわけではないが、足場共有関数の足場共有を優先し、かつ足場費用を低く押さえるという効果が現れた解である。

5. 結論

橋梁維持管理システムとは、対象となる地域に存在する橋梁を効率よく維持管理するためのシステムである。このシステムは、対象となる地域の橋梁に関するデータ管理と、そのデータを用いた補修計画案

の作成が主となる。この橋梁維持管理システムに含まれる橋梁補修計画作成システムは、橋梁のデータを用いて限られた予算で最大の効果を生む橋梁補修計画案を作成するシステムである。本研究では、補修計画作成に足場の共有を考慮することによって、より現実的で多様な補修パターンを持つ補修計画案の作成を行った。その具体的な内容をあげると、以下に示す2点である。

1. 要補修部位選択において目的関数に同時補修と足場の共有を優先させる関数を追加することにより、合理的な補修計画案の作成を試みた。
2. 実際に行われる補修・補強工事の発注形態をシミュレートし、その発注形態による補修案とSGAによる補修案を比較することにより、橋梁補修計画作成システムの有用性を検証した。

1. に関しては、追加した目的関数(足場共有関数)の重み係数を増加させることで、同時補修、足場共有の効果は確認された。また、同時補修パラメータと足場共有パラメータの値に違いを持たせることによって足場共有のみの優先も可能であると言える。しかし、予算の制約が厳しい場合、足場共有関数の効果は現われにくく、重み係数をかなり大きく設定しなければ足場共有の効果は得られないことがわかった。

2. については、現在、一部で実際に行われている補修・補強工事の発注形態は、補修が必要な橋梁群の中から共通する要補修部位をピックアップし、該当する橋梁に対して工事の発注を行う形態をとっている場合が多い。この発注形態では対象となる部位によってその評価値増加量は大きく異なっており、橋梁によっては同時補修、足場共有によるコスト削減の可能性を含んでいるにもかかわらず、同時補修、足場共有の考慮はなされていない。本研究で構築した“足場を考慮した橋梁補修計画作成システム”は、この発注形態よりも高い評価値増加量を示し、かつ同時補修、足場共有の促進も可能である。このことから本システムの有用性を示すことができたと言える。しかし、現実的な問題として、大掛かりな工事になると施工業者が複数になる場合が多く、足場共有を考慮したとしてもコストの振分けが複雑になる。そのため、業者間の協力や同時補修、足場共有を施工計画に組み込む努力が必要であると言える。

本研究において、多様な評価値と該当補修部位の組合わせを示す解が得られたことはこれまでに述べてきた。今後の課題として、これらの解集団を位置付ける指標となるものが必要となるであろう。その1つとしてGIS(地理情報システム)での作業の展開が考えられる。また、橋梁の補修・補強工事の施工手法が多様化している現在、表-3、表-4の拡充が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、小野 正樹、宮本 文穂、中村 秀明、河村 圭：既存橋梁の最適補修・補強計画への遺伝的アルゴリズムの適用、土木情報システム論文集，pp.181-188，1997。
- 2) 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.151-159，1994。
- 3) 近田康夫，木下 真二：点検データに基づく橋梁補修計画立案へのGAの援用に関する研究，構造工学論文集，Vol.43A，pp.593-600，1997。
- 4) 近田康夫，清水宏隆，城戸隆良：ネットワーク信頼性を指標としたGA援用橋梁補修計画，土木情報処理システム論文集，Vol.8，pp.199-206，1999.10。
- 5) 近田康夫，福山 貴久：GAによる補修項目の関連を考慮した橋梁補修計画，構造物の診断に関するシンポジウム論文集，pp.59-64，1998。
- 6) 西 雄一，近田康夫，城戸隆良：GAを援用した橋梁補修計画のための橋梁評価方法に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，I-A264，1998.11。
- 7) 安田登，白木渡，松島学，堤知明：ニューラルネットワークに基づいたコンクリート構造物点検技術者の思考過程評価，土木学会論文集，No.196/V-24，pp.41-49，1994.8。
- 8) 近田康夫，西 雄一，廣瀬彰則：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。
- 9) 上前 孝之，杉本 博之，山本 洋敬：GAによる橋梁の維持・補修工事の順序決定，土木学会北海道支部論文報告集，1993.2。
- 10) 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。