

## 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

GA applied repair planning of existing bridges with scheduling

近田康夫\*・西雄一\*\*・廣瀬彰則\*\*\*・城戸隆良\*\*\*\*

Yasuo CHIKATA, Yu-ichi NISHI, Akinori HIROSE and Takayoshi KIDO

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

\*\*工修、石川県土木部。

\*\*\* 中央復建コンサルタンツ株式会社 (金沢大学大学院自然科学研究科システム創成科学専攻)

\*\*\*\* 博(工), 金沢大学技術専門職員, 工学部土木建設工学科

This paper shows an approach to optimum repair planning of existing bridges within given budget. The planning process is formulated as the knapsack problem and the genetic algorithm is adopted. And the process is consists from 2 steps, selection of repair parts and its scheduling. The selection is done so that the total increase in the bridge evaluation value may become the maximum. The scheduling is treated as parallel projects to which the sum of interval between repairs is minimized.

**Key Words :** *genetic algorithm, bridge maintenance, repair planning, repair scheduling*

キーワード： 遺伝的アルゴリズム、橋梁維持・管理、補修計画、補修スケジュール

## 1. はじめに

我が国では、現在数多くの橋梁が、補修・補強のサイクル期にさしかかってきており、既存橋梁を効率良く維持管理していくことが、橋梁の建設と同等以上に重要視されるようになってきた。

ライフサイクルを考慮して、ライフサイクルコストを最小化する考え方も広がっているが、補修計画立案には選択肢が多すぎて、何らかの目的関数を設定しても最適案を見つけるのは容易ではない。

補修計画立案は基本的には組合せ最適化問題として捕らえることができるので遺伝的アルゴリズム (GA) の適用が有効であると考えられる。橋梁の維持管理や建設計画などの様々な問題は組合せ最適化問題として捕らえることができるので同様なアプローチが多く報告されている<sup>1)~4)</sup>

橋梁の補修計画立案に着目すれば、特定の橋梁に着目してライフサイクルを通じての最適補修計画支援を試みた報告がなされている<sup>1)</sup>が、橋梁の損傷進行あるいは部位の劣化予測には多くの仮定が必要であるものの長期的な視点に立った維持管理計画が可能である。

一方、橋梁を人間に準えて、橋梁の定期点検を定期健康診断に対応させ、損傷の早期発見早期補修を行う予防医学的な考え方も広がっている。ここでは、大規模な補修が必要となる前に適切な補修を行って橋梁性能の維持を目指している。この考え方に沿って筆者らは、既存の橋梁点検台帳に基づいて、限られた予算内で最大の効果をもたらす橋梁補修部位の組み合わせを決定する問題として橋梁補修計画立案を捕らえ、解探索手法として GA を援用した<sup>2),3)</sup>。単年度予算で割り当てられた維持管理予算に基づいて、多くの橋梁をまとめて管理することを考えれば現実的なアプローチであると言える。

本研究では、橋梁部位の補修費用に足場費用を加えた

補修計画案の作成を可能としてより効率的な補修代替案の作成を試み、さらに、補修工期を考慮したスケジューリングを行う。GAを用いた類似の研究には、橋梁補修や道路整備計画へのスケジューリングには、道路のサービスレベルを指標としたもの<sup>4)5)</sup>、新設橋梁の計画等への応用が試みられている<sup>6)</sup>。

本研究では、個々の補修部位選択に基づいたスケジュールを組み合わせている点で、異なったアプローチをとっている。橋梁点検データに基づいて、橋梁の補修計画を行う場合に、その検討単位を個々の補修部位とすることで代替案探索の自由度が高まっていると考えられる。こうして、多くの橋梁に対して、単年度で消化できない補修対象を高々数年に限定してその補修スケジュールまでも可能とすることでより現実的な意思決定支援が可能となる。なお、部位選択とスケジューリングではGAにおける線列操作が異なるので、部位選択とスケジューリングの2段階最適化を採用している。

## 2. 橋梁維持管理支援のためのデータ

## 2.1 橋梁点検台帳のデータベース化

本研究ではI県が行った定期点検により作成された橋梁点検台帳を使用する。点検項目と共に点検結果の例を表-1に示す。

表-1 点検結果の例

[illegible]

・コンクリート橋（表では、B、C 橋）に関して塗装の項目はない。

このような、定期点検データは自治体や公団など多くの橋梁を管理する組織には既に蓄積されており、これらを使った損傷要因の分析が多く行われてきた。本研究では、これを補修計画立案に利用する。

各点検項目の3段階評価、○、△、×を順に1、2、3とし、各点検項目の結果に基づいて専門家が行う各橋梁の損傷度評価の4段階評価、A、B、C、Dを順に1、2、3、4と数値化しデータベース化を行った。

2.2 橋梁の評価

補修計画を立案するには、橋梁の現状と補修によって橋梁がどの程度よくなったのかを数量で表現する必要がある。これにより、予算内で、橋梁群全体としての状態(の変化量)が最も良くなる補修部位の組合せを求める問題として補修計画を捕らえることができる。橋梁の評価を行うにあたり、これまで様々な手法を用いて行われてきたが、本研究においては、ニューラルネットワークの感度解析結果に基づく重要度係数値を使用する。各点検項目の重要度係数は図-1に示すように、データとして使用した橋梁をコンクリート橋と鋼橋別に分けて感度解析を行い、別々に求められている。

求められた重要度係数を用い、線形判別式を式(1)のように設定し各橋梁の評価値を求める。ここで、 $R$ はアイテム数(点検項目数14)、 $c_j$ は $j$ アイテムのカテゴリー数(1~3)、 $w_j$ は $j$ アイテム(各点検項目)の重要度係数である。

(評価式)

$$Y = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} w_j b_{jk} \delta_{jk}, \begin{cases} b_{j1} = 300 \\ b_{j2} = 200 \\ b_{j3} = 100 \end{cases} \quad (1)$$

$\delta_{jk}$  は  $j$  アイテム  $k$  カテゴリーに反応したとき:1  
その他のとき:0

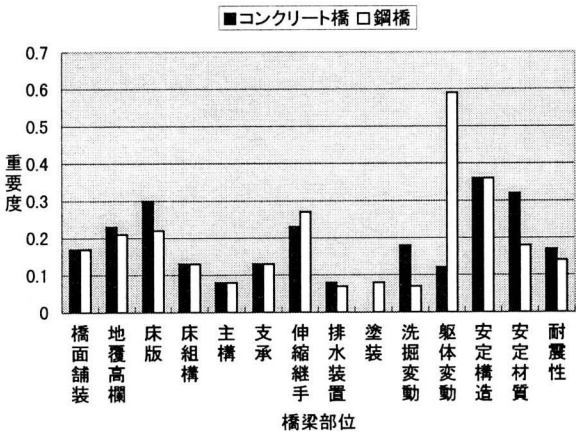


図-1 重要度係数<sup>7)</sup>

2.3 橋梁各部位の補修費用・足場の種類と費用

補修計画を行うにあたり、専門家のアドバイスに基づいて、橋梁各部位の補修費用および足場の費用を表-2に示すとおりにした。

表-2 補修・足場費用

| 部位          | 補修費用 (千円)        | 足場費用 (千円)        |
|-------------|------------------|------------------|
| 橋面<br>舗装    | 3<br>(単位面積当たり)   |                  |
| 地覆<br>高欄    | 80<br>(単位長さ当たり)  | 10<br>(単位長さ当たり)  |
| 床版          | 100<br>(単位面積当たり) | 5<br>(単位面積当たり)   |
| 床組構         | 850<br>(単位重量当たり) | 5<br>(単位面積当たり)   |
| 支承          | 500<br>(1 箇所当たり) | 3<br>(単位面積当たり)   |
| 伸縮<br>継手    | 150<br>(単位長さ当たり) |                  |
| 排水<br>装置    | 5<br>(単位長さ当たり)   | 5<br>(単位面積当たり)   |
| 塗装          | 4<br>(単位面積当たり)   | 2.5<br>(単位面積当たり) |
| 安定性<br>(材質) | 29<br>(単位面積当たり)  | 3<br>(単位面積当たり)   |
| 耐震性         | 500<br>(1 基当たり)  | 3<br>(単位面積当たり)   |

また、足場の種類を以下のように設定する。なお、同じ種類の足場を使用する部位については、補修を行う場合、足場を共有できるものとする。すなわち、同種類の足場を使用する部位が補修対象として選ばれた場合には、足場費用を一組分のみ補修費用に加算する。一方、足場設置が必要で軽微な損傷箇所1ヶ所を有する橋梁では、その部位が選択されると、本来の補修費用よりも足場費用の方が金額的に大きくなる場合も生じる。

| 足場     | 補修項目 (部位)      |
|--------|----------------|
| つり足場   | 地覆・高欄          |
| つり足場   | 床版、床組構、排水装置、塗装 |
| 張り出し足場 | 支承、耐震性         |
| 枠組み足場  | 安定材質           |

3. 橋梁補修計画案

3.1 橋梁補修部位選択

(1) ナップサック問題の適用

補修計画案作成の第一段階として、補修部位の選択を行う。本研究においては、補修部位選択をナップサック問題として扱う。一定の予算内で、全体として最大限の効果をあげるように橋梁の補修部位を選択する。ナップサック問題は組み合わせ数が膨大であり、最適の組み合わせを見つけ出すには多大な時間が必要となってくる。そこで、本研究においては組合せ最適化問題に適した遺伝的アルゴリズムを適用する。

(2) GA への適用

ナップサック問題に GA を適用するにあたって、線列のコーディングを図-2 のように行った。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個体とする。1の遺伝子が与えられた部位は補修することとし、損傷度を1と

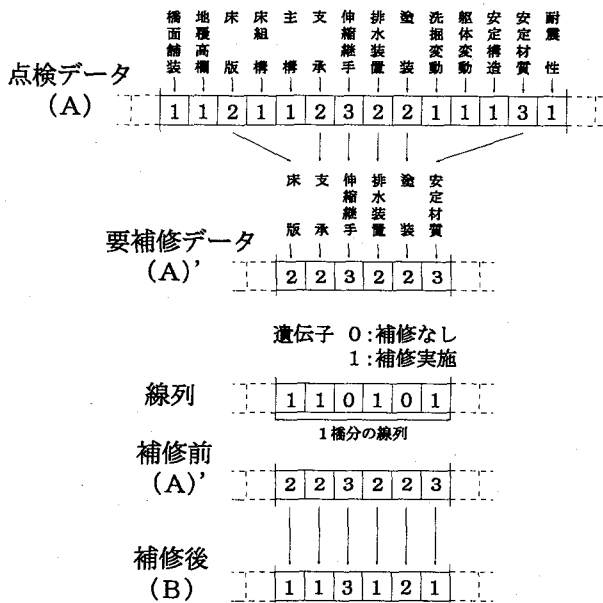


図-2 補修部位選択における遺伝子フォーマット

する。

なお、淘汰方法にはエリートルールを採用し、交叉は一点交叉で行う。

### (3) 目的関数と制約条件 (目的関数)

$$F_a = \frac{\sum_{i=1}^n (e_{i2} - e_{i1})}{\sqrt{g} + \delta} \Rightarrow \max \quad (2)$$

### (制約条件)

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

- $n$  : 橋梁数  
 $e_{i2}$  : 補修後の  $i$  番目の橋梁の評価値  
 $e_{i1}$  : 補修前の  $i$  番目の橋梁の評価値  
 $E$  : 予算  
 $C$  : 補修費用合計  
 $\delta$  : 補正值 (分母の 0 除算防止のため)

GA を適用するにあたって、目的関数として式 (2) を設定する。この関数は、分母を最小に (予算を使いぎり)、分子を最大に (評価値増加量の最大化) することにより、高い効果をあげる補修部位の選択を目指す。

式 (2) においては、補正值  $\delta$  により補修部位の選択に大きな影響が現れる。最適な補正值を求めるために、予算を 5 千万・1 億・2 億円としてそれぞれ  $\delta$  を  $10^0 \sim 10^8$  まで変化させ解析を行った結果、最も高い評価値増加量を示した  $\delta$  の値は  $10^5$  (予算 5 千万円),  $10^4$  (予算 1 億円),  $10^6$  (予算 2 億円) となった。

この結果、予算と最適であると思われる  $\delta$  の値との関係がわかりにくく、予算から最適な  $\delta$  の値を推測することは困難に思われる。

### (4) 無次元化した目的関数 (無次元化目的関数)

$$F_b = \frac{\sum_{i=1}^n (e_{i2} - e_{i1})}{\zeta} - \frac{g}{E} \Rightarrow \max \quad (4)$$

$\zeta$  = 総評価値増加量  $\times$  (予算/総費用)

式 (2) においては、金額 (費用) と橋梁の評価値という異なった次元の値を扱っている。そこで、式 (4) では、無次元化を行う。評価値増加量をなるべく高く、予算を使いきりような補修部位選択を行うという基本的な考え方は式 (2) と同じである。なお、制約条件・諸値については式 (2) と同様である。

式 (4) 右辺第 1 項分母は、 $\zeta$  = 総評価値増加量と  $\zeta$  = 総評価値増加量  $\times$  (予算/総費用) として解析を行った結果、5 千万・1 億・2 億円いずれの予算においても後者の値がより評価値増加量の高い結果となっており、無次元化関数において  $\zeta$  = 総評価値増加量  $\times$  (予算/総費用) とする。なお、 $\zeta$  の定義式の総評価値増加量と総費用とは解析対象とした 43 橋梁の要補修部位となる 137 部位すべてを補修した場合に得られる評価値増加量と補修費用をそれぞれ示している。式 (4) 中の  $e_{i2} - e_{i1}$  が GA で選択された補修部位による評価値増分であることとの違いに留意されたい。

### (5) 2つの目的関数による解析の比較

図-3 に予算 5 千万円・1 億円・2 億円として、それぞれの関数において採用した補正值を用いて行った 10 回の解析の評価値増加量の平均値を表して比較を行う。

GA での諸パラメータの値は表-3 を示す。

表-3 補修部位選択における GA の諸パラメータ値

|         |        |
|---------|--------|
| 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 |

この結果を見ると、どの予算に対しても 2 つの関数の差はほとんどないことが分かる。また、解の内容を調べたところほぼ同等な橋梁補修部位選択が行われていた。

式 (2) と無次元化関数を用いた解析の結果を比較・検討の結果、以下の理由より無次元化関数がより優れているものと判断できる。

- 選択された補修部位の評価値増加量はほとんど差がない。
- 無次元化関数を用いた場合も、式 (2) を用いた場合とほぼ同等な補修部位選択が行われている。
- 式 (2) では予算との関係がわかりにくい補正值を設定する必要があるが、無次元化関数においては使用するデータと補修予算に対応した関数として設定できる。

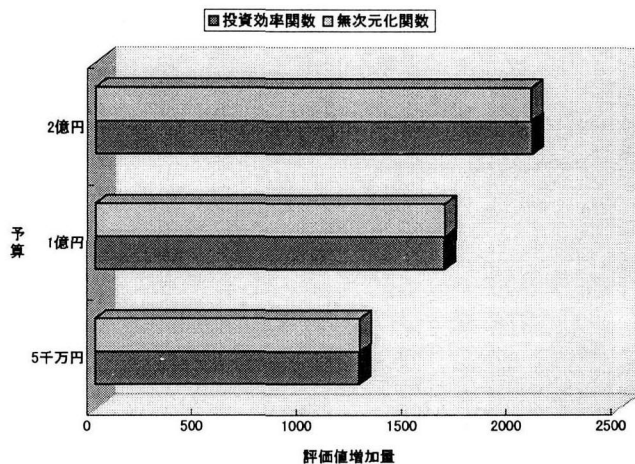


図-3 2種類の関数の総合評価

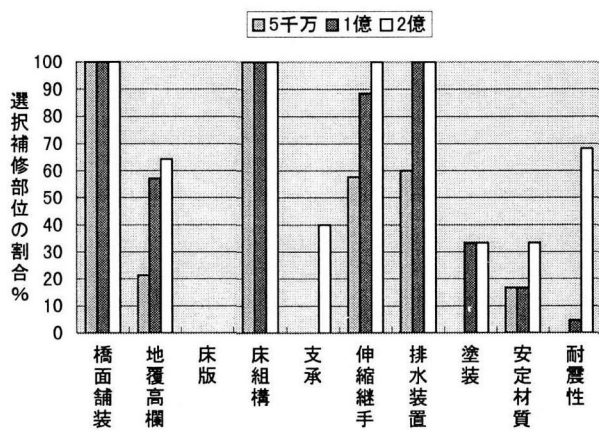


図-4 足場費用を含んだ場合の補修部位の割合

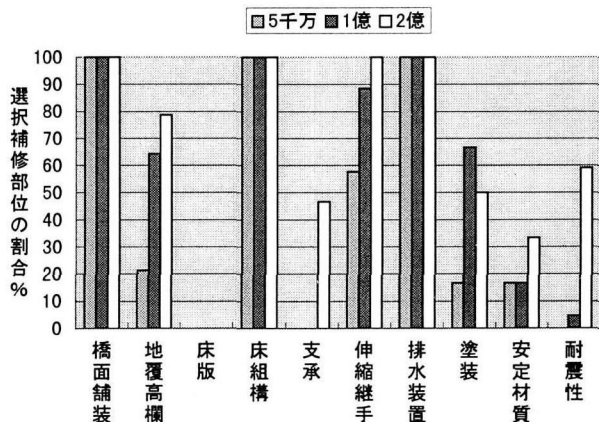


図-5 足場費用を抜いた場合の補修部位の割合

#### (6) 足場費用の考慮

これまで、橋梁維持管理支援システムにおいては橋梁各部位の補修費用のみを考慮してきたが、本研究においてはさらに足場費用を考慮した補修計画を行う。

図-4と図-5は、各橋梁部位において要補修となっている部位のうち何%の部位が補修部位として選択されたのかを示している(10回ずつ行った解析の中でそれぞれ最も評価値増加量の高い解析の結果)。

表-4 各橋梁部位の補修工期

| 部位      | 補修工期(単位:日)        |
|---------|-------------------|
| 橋面舗装    | 0.05<br>(単位面積当たり) |
| 地覆高欄    | 0.5<br>(単位長さ当たり)  |
| 床版      | 1<br>(単位面積当たり)    |
| 床組構     | 5<br>(単位重量当たり)    |
| 支承      | 3<br>(一個所当たり)     |
| 伸縮継手    | 0.5<br>(単位長さ当たり)  |
| 排水装置    | 0.05<br>(単位長さ当たり) |
| 塗装      | 0.02<br>(単位面積当たり) |
| 安定性(材質) | 0.5<br>(単位面積当たり)  |
| 耐震性     | 2<br>(一基当たり)      |

ただし、1日の補修実施時間を8時間とする

無次元化関数を用いて、足場費用を考慮した場合と考慮しない場合で選択された補修部位を比較すると、足場を必要としない部位に関してはどちらも同様の選択をしていた。補修費用に対して足場費用が高額な排水装置と塗装は、足場を考慮した場合選択されにくくなっていた。すなわち、足場費用の効果はそのまま部位の補修単価の増加として影響しているだけであり、費用の重複がないように考慮したとしても、足場の共有を促進するまでには至らないことが分かる。これに関しては、目的関数のさらなる検討が必要と考えられる。

### 3.2 補修のスケジューリング

#### (1) スケジューリング

補修部位選択の後、実際に補修を行うスケジューリングを行う。ナップサック問題の適用により、予算2億円として選択された補修部位を基に、各橋梁部位の補修工期を考慮し、限られた日数で橋梁補修のスケジューリングを行う。補修部位の選択では、予算を制約条件としたが、スケジューリングにおいては、限られた日数(1年であれば365日)でしか補修は行えないという制約条件を設定する。つまり、限られた予算・限られた期間で最も効果をあげる補修計画案の作成を行うわけである。ここでは、専門家の意見を参考に、補修工期を表-4のように設定し、橋梁各部位の補修工期の算出を行う。なお、1日当たりの工事実施時間を8時間とする。

さらに、橋梁補修のスケジューリングでは、例えば舗装と伸縮継手の補修を行う場合、伸縮継手を先に補修しなければならない、など守らなければならない補修順序が存在し、補修計画案を作成するにあたり、その順序関

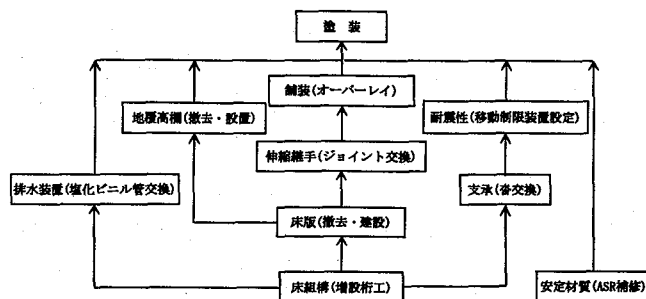


図-6 補修順序のアーロ・ダイアグラム

係を守ることが要求される。そこで、スケジューリングを行うにあたって、図-6の補修順序のルールを設定し、これに従って行うものとする。

遺伝的アルゴリズムは組み合わせ最適化問題のみならず、スケジューリング問題にも適用することが可能であるので、ここでもGAを適用する。

## (2) GAへの適用

スケジューリング問題にGAを適用するにあたって線列のコーディング(図-7)は、まず補修部位として選択された部位(表-1の各部位に1~14の番号を対応させる)に通しナンバーを割り振り(STEP-1)、それらをランダムに発生させた後、各橋梁で図-6に従うように部分的な入れ替えを行う(STEP-2)。各橋梁の補修部位数に応じた割合で橋梁番号の乱数を発生させ、発生した乱数の橋梁の補修部位を左から1部位ずつ取り出し、線列に左から順に格納する(STEP-3)。左から取り出し、左から格納することで、橋梁ごとの補修順序は保持される。なお、線列(A)の下段に示されている“①-3”とは橋梁①の3番部位(14の点検部位のうちの3番目の部位)を表している。

順序に制約のあるスケジューリング問題における、交叉には順序関係が崩れないような工夫が必要となる(図-8)。まず、交叉する場所を決め個体(A)の長い方の線列を残し(個体(A)'とする)、短い線列を個体(B)の順序関係と同じになるように並べ替える。すなわち、個体(A)'に無い番号を個体(B)での線列左端からの出現順序に従って個体(A)'の残りの部分に左から格納する。ここでも、左から探索して、左から格納することで補修部位間の順序関係(図-6)は保持される。個体(B)においても同様の作業をすることによって、新しい個体(B)'を得て交叉が完了する。

ここでのアプローチに対比する考え方として、個々の橋梁毎に最適な補修代替案を事前に求めておいて、橋梁間の組合せを求めこともできるが、事前に補修代替案を求めるために多くの労力が必要となる。また、複数の補修部位を含む一つの橋梁の補修スケジュールは、個々の部位の補修が必ずしも時間的に連続する必要はなく、各部位の補修順序が乱されなければ間欠的に実施することも現実にはあり得る。これを考慮するための方法の一つがここで採用した要補修部位毎に捕らえる取り扱いである。

スケジューリングにおける、GAの諸パラメータ値を表-5に示す。

## (3) 補修工事の各事業への割り当て

本研究においては、橋梁補修計画案を作成するにあたって橋梁補修を実施する事業を考えながら行う。事業とは

## STEP-1

橋梁① : 1 3 4 橋梁② : 2 6  
通しナンバー : 1 2 3 4 5

## STEP-2

橋梁① : 3 4 1 橋梁② : 6 2  
通しナンバー : 2 3 1 4 5

## STEP-3

線列(A) : 2 4 3 1 5  
①-3 ②-6 ①-4 ①-1 ②-2

図-7 線列生成

個体(A) : 7 2 3 6 ↑ 1 5 4  
個体(B) : 6 2 3 4 ↑ 7 5 1

個体(A)' : 7 2 3 6 4 5 1  
個体(B)' : 6 2 3 4 7 1 5

図-8 スケジュールでの線列交叉

個体(A) : 3 5 8 2 10 7 4 6 1 9

第1事業 : 3 2 4 9  
第2事業 : 5 10 6  
第3事業 : 8 7 1

図-9 事業割り当て

表-5 スケジューリングにおけるGAの諸値

|         |        |
|---------|--------|
| 集団数     | : 1    |
| 人口数     | : 200  |
| エリート個体数 | : 1    |
| 交叉      | : 一点交叉 |
| 交叉率     | : 0.6  |

補修を行う系列を表しており、事業ごとに限られた日数(例えば1年間ならば365日)で割り当てられた補修工事を実施し、かつ年間予算内で最も効果をあげるような橋梁補修計画案の作成を目指す。

各事業への補修工事の割り当ては、事業数を $n$ 、総補修部位数を $m$ とすると、1から $m$ 番目まで並んだ遺伝子を左側から順番に第1事業から第 $n$ 事業まで順番に割り当てる方法とする(図-9)。1番目の遺伝子から $n$ 番目までの遺伝子を第1事業から第 $n$ 事業まで割り当て、 $n+1$ 番目の遺伝子から $2 \times n$ 番目までの遺伝子を再び第1事業から順に第 $n$ 事業まで割り当てる。これを、遺伝子 $m$ 番目が割り当てられるまで行う。以下に、総補修部位数:10・事業数:3の場合の補修部位割り当て方法の例を示す。

以上により、スケジューリングを以下のルールに従って行う。

1: 事業年数を $p$ 年、1年当たりの工事実施日数を $q$ 日、年間予算を $E$ 円とすると、割り当てられた補修工事

を順番に工期と予算の加算を行い、工事日数が  $q$  日を越える工事は翌年に実施することとする。つまり、2 年間に渡って行われるような工事实施の計画は行わず、各事業年内で工事を終了するように補修計画案の作成を行う。

- 2:  $n$  事業の補修費用を割り当て順に加算して  $E$  円をオーバーした場合は、予算を超えた工事以降に割り当てられている補修工事は翌年以降に持ち越すこととする。

本研究においてはスケジューリングを行うにあたり、事業別に橋梁補修を実施するものと考え、事業ごとに1年間の事業日数を260日・事業年数4年・1年当たりの補修予算5千万円として事業ごとに割り当てられた工事を実施するものとする。なお、事業数は3事業とし、工事の割り当ては線列の左から順に1・2・3事業、1・2・3事業・・・・のように割り当てる。

#### (4) 目的関数の設定

ここで考えるスケジューリングでは単に順序のみならず、適切な期間に個々の橋梁の補修を完了することを意図して、以下の4種類の関数を設定した。

obj1: 橋梁補修がより早く終了することを目的とした関数。ただし、右辺は補修部位選択において補修部位と選択された部位すべてを補修することが可能なスケジューリングが行われた場合のみ加算されるようにする。

obj2: 同一橋梁の補修を短期間でインターバルなしに補修することを目的とした関数。式(6)の右辺で用いている同一橋梁のインターバル( $b$ )とは、事業ごとに割り当てられた補修工事のスケジューリングを行い作成された橋梁補修計画案を、橋梁単位で調べ、スケジューリングの“初期線列の生成”の説明で記したように橋梁ごとの補修順序を基にし、 $j$  番目の補修部位の工事開始日から  $j-1$  番目の補修部位の工事終了日を除算した値を各橋梁ごとに加算し、 $n$  橋梁分のインターバルを加算した値である。同一橋梁の工事が同時に行われているような場合、つまり  $j-1$  番目と  $j$  番目のインターバルがマイナスになるような場合にもそのまま加算し、インターバルが減少するように設定する。このようにインターバルが大きければ目的関数値が減少するように設定することによって、同一橋梁の補修工事が一時期に集中して実施されるような橋梁補修計画案の作成を目指す。

obj3: 同一足場の部位をインターバルなしに補修することを目的とした関数。補修するにあたり床版・床組構・排水装置・塗装は同一のつり足場を利用することができ、支承・耐震性は同一の張り出し足場の共有が可能である。そこで、式(7)においては同一の足場を使用する部位についてはなるべくインターバルなく補修が行われるのが好ましいと考え、設定を行った。同一橋梁のインターバルの算出方法と同様に、各橋梁ごと同一足場を使用する補修部位のインターバルを加算した値が  $a$  である。

obj4: obj2, obj3 を同時に目指す関数。つまり、同一橋梁は集中して補修を行い、更にその中で同一足場の補修部位のインターバルが短くなるような橋梁補修計画案の作成を目指す。

具体的には、以下のようなものである。スケジューリングにおいて、各個体の適応度の算出を行う目的関数を4種類設定する。目的関数を設定するにあたって補修部位選択で用いた無次元化関数( $F_b$ )にスケジューリングにおいて考慮した項を加える形の関数とする。補修部位はあらかじめ選択されているので、各目的関数の橋梁評価値の部分はトータルでは増減しないが、各年度あるいは各事業単位での部位選択には影響する。意味合いは、本論文前段での部位選択である程度対象を絞り込んでおいて、最適解を探索することになる。

#### 目的関数

obj1:

$$F_1 = F_b + \frac{\sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^Y (D - d_{jk})}{D} \Rightarrow \max \quad (5)$$

obj2:

$$F_2 = F_b - \frac{\sum_{i=1}^n b}{D \times n} \Rightarrow \max \quad (6)$$

obj3:

$$F_3 = F_b - \frac{\sum_{i=1}^n a}{D \times n} \Rightarrow \max \quad (7)$$

obj4:

$$F_4 = F_b - \frac{\sum_{i=1}^n (a + b)}{D \times n} \Rightarrow \max \quad (8)$$

#### 制約条件

$$g = E - C \geq 0$$

ただし、

|          |                              |
|----------|------------------------------|
| $n$      | : 橋梁数                        |
| $E$      | : 予算                         |
| $C$      | : 補修費用合計                     |
| $D$      | : 一年間の工事实施日数                 |
| $Y$      | : 事業年数                       |
| $P$      | : 事業数                        |
| $d_{jk}$ | : $j$ 事業における $k$ 事業年の最終工事終了日 |
| $b$      | : 同一橋梁のインターバル                |
| $a$      | : 同一足場のインターバル                |

#### (5) 解析結果の検討

スケジューリングを行うにあたって、補修部位選択において予算2億円とし無次元化関数を用いて行った10回の解析の中で最も高い評価値増加量を示した解析において選択された補修部位を基に、事業数3、事業年数4、1日当たりの工事实施時間を8時間、工事实施日数を週5日間、年間260日として解析を行う。つまり、一年当たりの予算を5千万円と設定して橋梁補修計画案の作成を行う。

解析結果を図-10、図-11にそれぞれ表すとobj2, obj3, obj4の関数の特徴が良く現れた結果となっていることが分かる。同一橋梁のインターバル(橋梁毎のインターバル



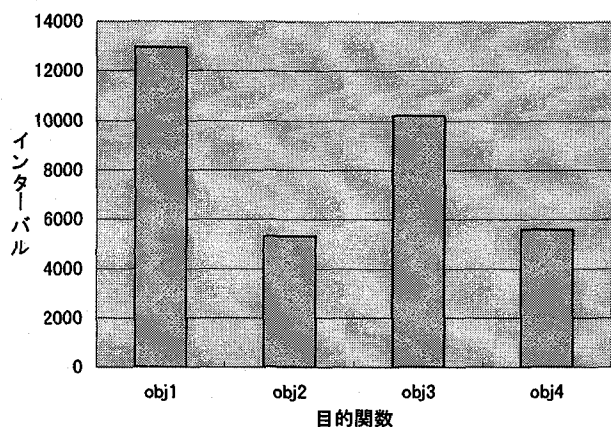


図-10 同一橋梁のインターバル

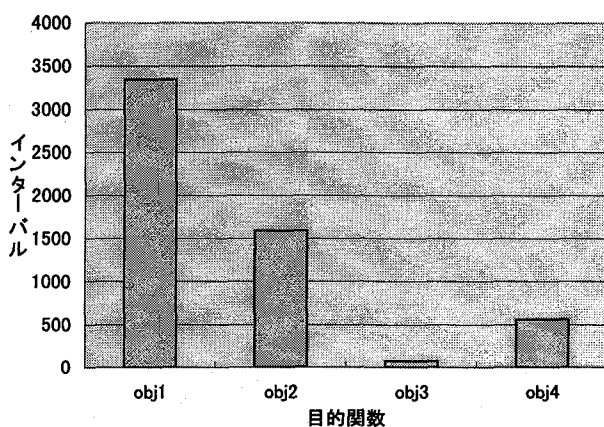


図-11 同一足場のインターバル

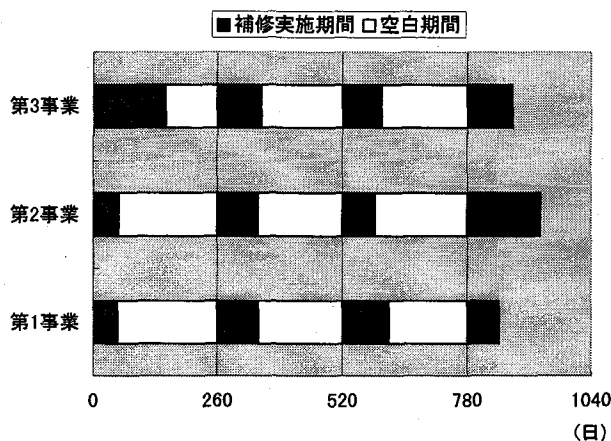


図-12 obj1 における事業別の橋梁補修計画案

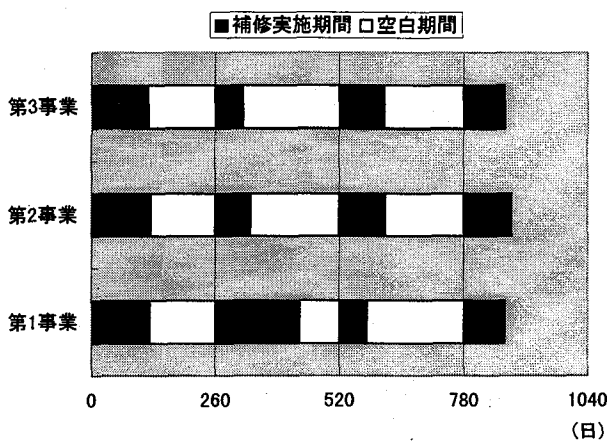


図-13 obj2 における事業別の橋梁補修計画案

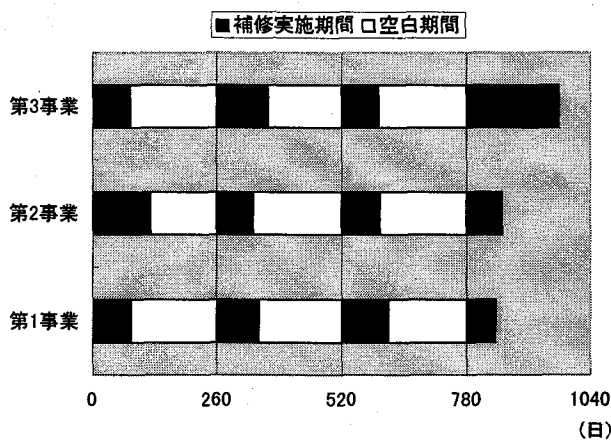


図-14 obj3 における事業別の橋梁補修計画案

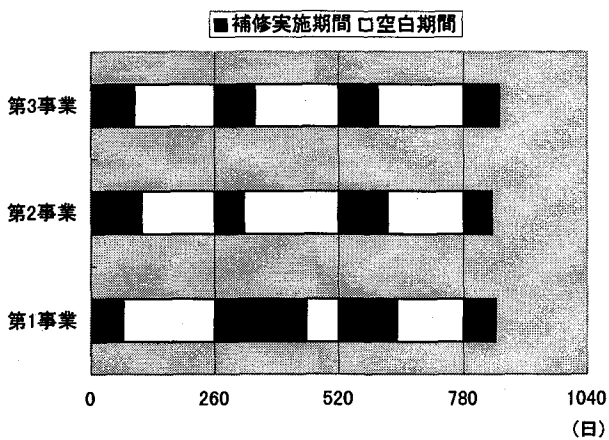


図-15 obj4 における事業別の橋梁補修計画案

累加) は obj2 が最も少ない結果となり、足場のインターバル (足場毎のインターバル累加) に関しては obj3 を用いた場合、ほとんどインターバルのない橋梁補修計画案が作成されていることが分かる。

橋梁単位での補修計画案の比較を行うと、obj3 に関しては同一足場の部位はインターバルなしで補修が行われており、効果が十分に現れていたが、obj2、obj4 においては同一橋梁の部位であっても補修が終了するのに2年以上かかっている橋梁があり、また同一足場の部位に関してもインターバルが大きい部位が存在しており、補修計画全体としてはインターバルは減少しているが、橋梁単位ではまだ十分に目的関数の効果が現れているとは言

い難い結果となった。複数のターゲットを単に加算した形式での目的関数の設定が原因の一つと考えられる。

図-12～図-15 に事業ごとの橋梁補修計画案を、大まかに補修工事を実施している期間を補修実施期間、補修を実施していないを空白期間として表す。

これらの図より、どの目的関数においても日程的に十分な余裕を持った補修計画案が作成されていることが分かる。

一方、特定の橋梁に着目して一例を、図-16 に示す。図より、obj1 に比べ、残りの関数を用いた結果はインターバルが少ない計画案となっていることが分かる。特に、同一足場を使うことを優先させる obj3 では、ほぼインター

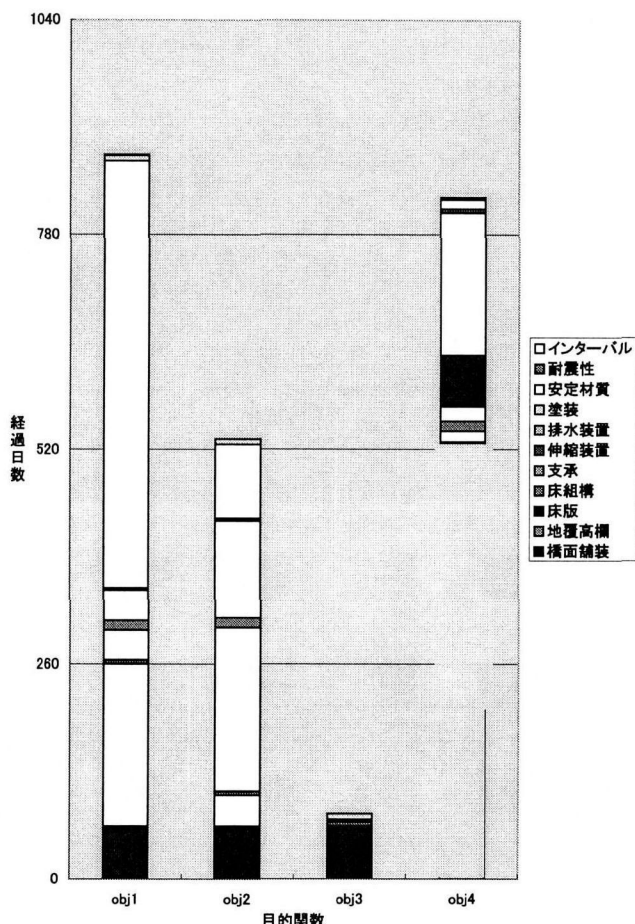


図-16 補修計画例：ST 橋・橋梁番号 12

バルなしに一時期に補修が実施されている。しかし、obj2 は同一橋梁の補修部位を短期間で補修することを目的としているにもかかわらず、図に示した例ではすべての補修が終了するのに 2 年以上かかっている。他の橋梁データに関する例でも同様であり、obj2 を用いた計画案は十分な効果が現れているとは言い難い結果である。

obj4 を用いた計画案を見ると同一橋梁のインターバルと同一足場のインターバルを減少させる効果がうまく現れている。

#### 4. 結論

本研究で得られた知見を要約すると以下のようである。

- 無次元化した目的関数を導入したことで、式 (2) のような補正值を導入する必要がなくなり、使用するデータと補修予算に対応した目的関数を設定できる

ようになった。

- 足場費用を考慮した結果、足場共有による補修部位選択への影響は確認できなかったが、足場を考慮できたこと自体で、より現実的な橋梁補修計画案の作成が可能となった。
- 選択された補修部位を基に、スケジューリングを行うことにより、数か年の橋梁補修計画を立てることが可能となった。同一橋梁・同一足場の補修部位を短期間で補修する計画案の作成を目指してスケジューリングを行った結果、同一足場に関してはその条件設定の効果を反映した補修計画案の作成が可能となったが、同一橋梁に関しては目的を満たすにはまだ不十分な結果であった。

今後の課題としては、補修方法を 1 部位に対して 1 手法として計画案の作成を行っているが、橋種・損傷度などに合わせた補修方法を選択する方法の確立が求められる。また、目的関数に組み込んだ、同一足場を使う補修部位はできるだけ連続して補修する、同一橋梁の補修部位はできるだけ連続して補修する、といった条件を、多目的問題として構成する場合との比較も必要であろう。

謝辞： この研究の一部は文部省科学研究費補助金 基盤研究 (C)(2) 一般#09650521 によることを付記する。

#### 参考文献

- 1) 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.539-600, 1997.3.
- 4) 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, 1992.
- 5) 田村亨, 杉本博之, 上前孝之: 遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への適用, 土木学会論文集, No.482/IV-22, pp.37-46, 1994.1.
- 6) 古田均, 杉本博之, 井下泰具, 横田哲也, 廣瀬彰則, 中谷武弘: 中長期事業計画問題への GA の応用, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.497-502, 1998.3.
- 7) 近田康夫, 辻岡信也, 城戸隆良: NN による橋梁損傷度判定の精度向上に関する研究, 鋼構造工学年次論文報告集 (日本鋼構造協会), Vol.6, pp.451-456, 1998.11.
- 8) 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, 1998.10.
- 9) 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 (土木学会), pp.59-64, 1998.7.

(1999.9.17. 受付)