

I-17 遺伝的アルゴリズムの階層化による橋梁の維持管理計画モデルの開発

Modeling of maintenance strategies for highway bridges
by using multi-layer genetic algorithms

原田 隆 郎*

富田 義 紀**

横山 功 一***

Takao Harada

Yoshinori Tomita

Koichi Yokoyama

【抄録】道路構造物に対する維持管理費の増大に伴い、近年、橋梁や舗装、トンネルなどに対する経済的かつ予防保全的な維持管理の重要性が高まっている。本研究では、遺伝的アルゴリズム（GA）を階層化させることにより、複数橋梁の中・長期的な維持管理計画を策定する最適化モデルを開発した。数値シミュレーションの結果、階層型GA最適化モデルでは局所解からの回避が実現できたとともに、複数橋の維持管理計画の策定に関して有効であることを見出せた。

【Abstract】 Recently, due to the increasing maintenance expense for road and bridge structures, it is urgently demanded to draw up maintenance strategies more economically. In this study, proposed was to make maintenance strategies of highway bridges by using multi-layer GA. Through the numerical simulations, the following conclusions are obtained; 1) The proposed GA model can successfully achieve the escape from the local minimum; 2) This model is effective for making maintenance strategies of highway bridges.

【キーワード】 遺伝的アルゴリズム, 階層化, 橋梁, 維持管理計画, 最適化

【Keywords】 genetic algorithms, multi-layer, highway bridges, maintenance strategies, optimization

1. はじめに

道路構造物に対する維持管理費の増大に伴い、近年、橋梁や舗装、トンネルなどに対する経済的かつ予防保全的な維持管理の重要性が高まっている。特に、道路管理者にとっては、年度予算や各種構造物の管理レベルに関する制約のもと、管理対象となる多数の構造物の中・長期的な維持管理計画を立てることが必要である。このような現状に鑑み、現在、関係各所で各種構造物、特に橋梁を対象としたマネジメントシステムの研究・開発が積極的に実施されている^{1)~4)}。著者らも、このような橋梁マネジメントシステムの開発を念頭に、その計画策定モジュールの一つとして、複数橋梁を対象にした維持管理の年度計画を策定する遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithms：以下、GA）最適化モデルを構築してきた⁵⁾。本研究では、このGA最適化モデルを中・長期的な補修計画の策定が可

能となるように拡張することを目的とする。

しかしながら、複数橋梁への予算配分と、それによる中・長期的な補修計画を同時に最適化する問題を考えると、例えば個々の橋梁の供用レベルを一定に保ちつつ、年度予算の制約も満足させなければならないというように、考慮すべき制約が増えるばかりでなく、最適解を検索する空間も広くなり、これまで用いていたGA（遺伝的操作の淘汰・増殖処理にエリート保存を加えた単純GA）を拡張するだけでは解の品質が落ちることが予想される。そこで本研究では、複数橋梁への予算配分計画を策定する問題と個々の橋梁の中・長期的な補修計画を策定する問題をそれぞれ別々のGAモデルで最適化させるとともに、両者を階層的に結合させることによって、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開発し、数値シミュレーションによってその有用性を確認した。

*正 会 員 茨城大学助手 工学部都市システム工学科（〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1）

**正 会 員 （株）千代田コンサルタント 道路部（〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-3-7）

***フェロー 茨城大学教授 工学部都市システム工学科（〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1）

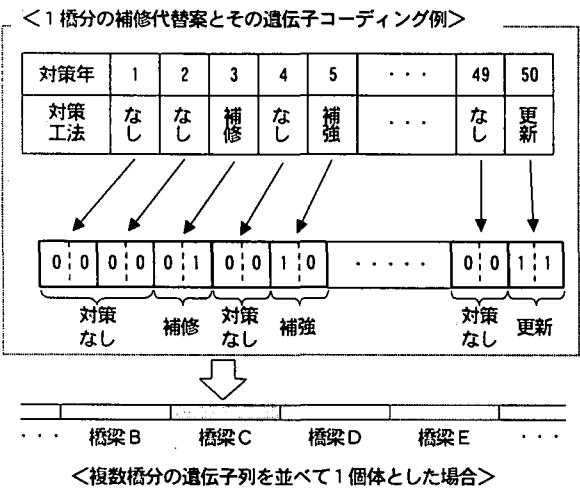


図-1 複数橋梁の中・長期的な維持管理計画のためのGAの遺伝子コーディングの一例

2. 既往の維持管理GA最適化モデルの問題点

GA⁶⁾によって複数橋梁の中・長期的な維持管理計画の解を導出するためには、計画対象となるすべての橋梁に対して、計画策定年までの各年の維持管理対策が選定されるように、個体の遺伝子コーディングを定義する必要がある。例えば、遺伝子コーディングの一例として図-1のような場合を考えると、30 橋梁の 50 年計画を検討する場合、仮に 4 種類の維持管理対策（対策なし、補修、補強、更新）を遺伝子「00」「01」「10」「11」のように表現するならば、1 個体を表現するために 2×30×50 の遺伝子列が必要となる。そして、解候補の組み合わせも維持管理対策数 4 の (30×50) 乗という膨大な数になる。よって、このようなすべての組み合わせを個体の遺伝子列に単純に定義づけると、解候補の含まれる母集団が非常に大きくなり解の品質が落ちることが予想される。そこで本研究では、このような問題を解決するために、維持管理計画を単年度の予算配分計画と長期の補修計画とに分けて考え、それぞれを個別のGAモデルで最適化することを考えた。これにより、これまで用いてきたGA（遺伝的操作の淘汰・増殖処理にエリート保存を加えた単純GA）を現状のまま利用し、複数橋梁の中・長期的な維持管理計画の最適案導出が可能になる。

3. GAの階層化による維持管理計画最適化モデル

(1)モデルの概要と処理の流れ

階層型GA最適化モデルの概念図を図-2 に示す。このモデルは、各橋梁の長期補修計画を策定する問題と複数橋梁への予算配分を行う問題とを分離させること

で、GAの遺伝子列が表現する解候補の組合せ数を減少させることを狙う。そして、各橋梁の長期補修計画を導出するGAを、すべての橋梁に対する予算管理を行う予算配分計画策定GAと階層的に組み合わせることにより、複数橋梁の中・長期的維持管理計画の策定を実現する。

階層型GA最適化モデルの処理の流れを図-3 に示す。図-3 では、予算配分計画策定GAと長期補修計画策定GAがそれぞれ個別のGAで構成されている。予算配分計画策定GAにおける「各個体の適応度の計算（第2段階）」では、長期補修計画策定GAによる最適化が（橋梁数×個体数）だけ繰り返される。このことより、予算配分計画策定GAにおける各個体の適応度は、各橋梁へ配分される予算を制約条件とした場合の、長期補修計画策定GAで得られた最適な補修計画案の適応度を、すべての橋梁について総和したものとなる。

なお、本モデルにおける適応度は、維持管理計画に関する最適化問題で設定された目的関数や制約条件によって定義でき、例えば各橋梁の健全性や劣化度、供用性の総和値などが考えられる。

(2)遺伝子コーディング

予算配分計画策定GAでは、各橋梁に予算総額の何%を配分するかを表現できるように、図-4 のような遺伝子コーディングを行った。つまり、1 つの橋梁への予算配分額を表現するために7つの遺伝子（0 or 1）を用い、総予算額に対する割合で表現することとした。なお、7つの遺伝子の並びによって100%より大きな値が表現された場合は100%に読み替えた。

長期補修計画策定GAの遺伝子コーディングとしては、図-1 に示すような各年の維持管理対策を遺伝子列で表現する方法もあるが、本研究では、維持管理対策を実施する年のみに着目して遺伝子コーディングすることにより、図-1 のようなコーディング方法よりも補修代替案の組合せ数を減らし、解の探索空間を縮小させた。具体的には図-5 に示すように、前回対策の何年後にどのような対策を行ったか（維持管理のサイクル）を表現できるように遺伝子コーディングを行った。また本研究では、複数橋梁を対象とするマクロな維持管理計画案の導出を目標とすることから、対策としては補修、補強、更新の3対策を選択することとした。例えば、図-5 では1回目の維持管理対策が4年目の補修であることから、遺伝子列「0011」で4年目を表現し、

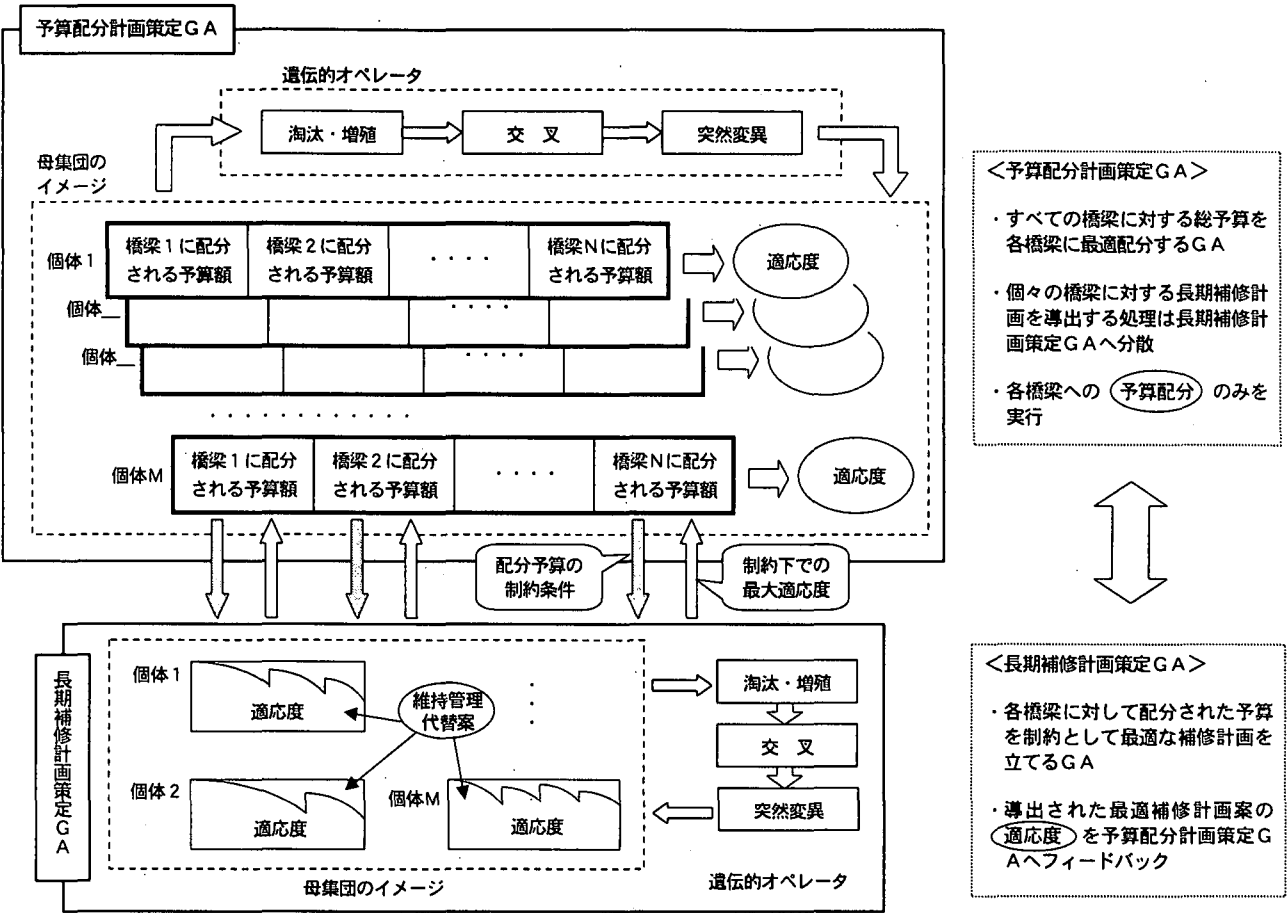


図-2 階層型GA最適化モデルの概念

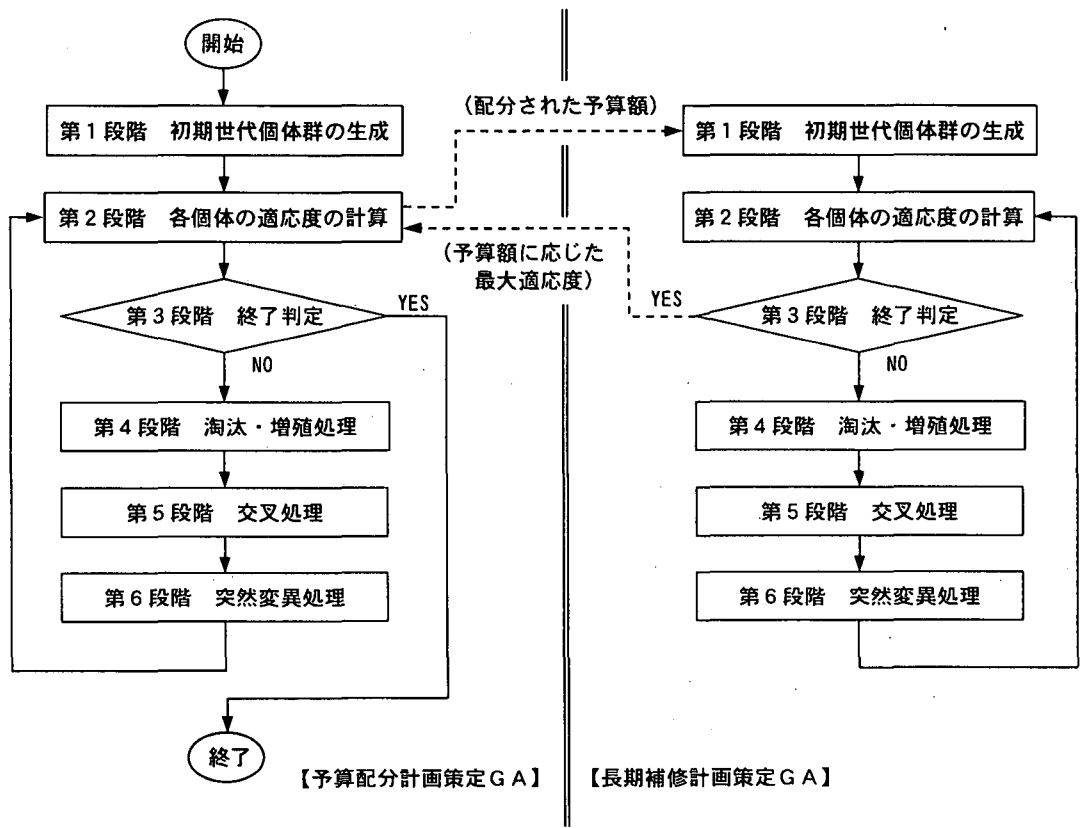


図-3 階層型GA最適化モデルの処理の流れ

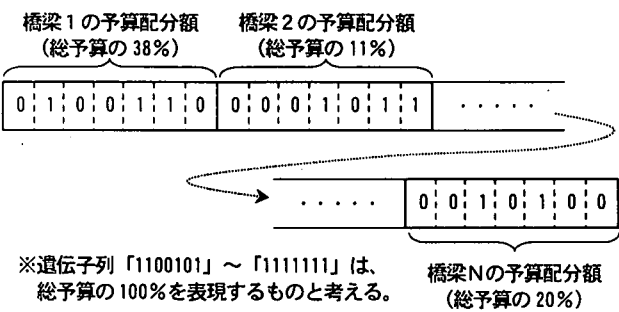


図-4 予算配分計画策定GAの遺伝子コーディング

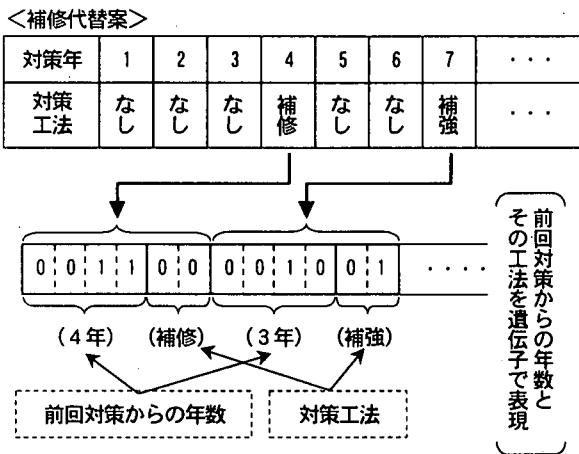


図-5 長期補修計画策定GAの遺伝子コーディング

遺伝子列「00」で補修を表現している。このコーディング方法では維持管理対策を実施する年のみを考えるため、「対策を実施しない」という選択肢は考える必要がない。よって、遺伝子列「10」および「11」はいずれも更新を表すものとした。また、維持管理サイクルを表現する年数は、後述する数値シミュレーションで対象としたRC床版の一般的な維持管理サイクルを参考にし、遺伝子列「0000」＝1年から遺伝子列「1111」＝16年までを表現した。

(3) 遺伝的操作手法

予算配分計画策定GAおよび長期補修計画策定GAの遺伝的操作手法を表-1に示す。予算配分計画策定GAと長期補修計画策定GAのいずれも同様の遺伝的操作手法を用いた。このように同じ遺伝的操作手法を用いることによって、各GAの淘汰・増殖、交叉、突然変異処理のサブルーチンが共通的に利用でき、プログラムの構造化が実現できる。

淘汰・増殖処理ではルーレット方式をベースとし、最大適応度を持つ個体はエリート保存方式によって無条件に次世代へ生き残るようにした。また、交叉処理については最もオーソドックスな1点交叉を採用した。

表-1 遺伝的操作手法

淘汰・増殖処理	ルーレット方式+エリート保存方式
交叉処理	1点交叉
突然変異処理	通常の突然変異（ただし、適応度の最大値が一定サイクル変化しない場合は突然変異率を変化させる）
終了判定方法	設定した世代数に到達したとき終了

そして、突然変異処理についても、ランダムに選ばれた遺伝子を、その対立遺伝子に置き換える通常の突然変異を採用した。ただし、適応度の最大値が一定サイクル変化しない場合は突然変異率を1サイクルだけ変化させ、母集団に多様性を持たせる方法を取り入れ、局所解からの回避を図ることとした。また、終了判定方法は、GAモデル運用時にあらかじめ設定しておいた世代数に達した場合とした。

4. 数値シミュレーション

本研究では、橋梁のRC床版を対象として、提案する階層型GA最適化モデルと、既往のGAモデルを複数橋梁の中・長期維持管理計画を策定できるように拡張した最適化モデルとの求解能力の比較および適用性、信頼性の検討を行った。ここで後者のGAモデルは、各橋梁の長期補修計画を図-1に示すように遺伝子コーディングを行うとともに、すべての橋梁を1個体で表現したモデルであり、解導出のために1つのGAを利用するものである。以下では、このモデルを「非階層型モデル」と呼び、提案する階層型GA最適化モデル（以下、階層型モデル）と区別する。

(1) 最適化問題の設定とGAの適応度

本シミュレーションでは、提案する階層型モデルの求解能力や適用性、信頼性を検証するため、導出結果の考察が行いやすいように、以下のような最適化問題を設定することとした。つまり、最適化問題としては、「予算制約のもと複数橋梁の計画策定年を通しての総健全性を最大にする」とことと定義し、目的関数として式(1)、制約条件として式(2)を設定した。

$$\sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^T H_{k,t} \Rightarrow \max imum \tag{1}$$

$$\sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^T C_{k,t} \leq C_{budget} \tag{2}$$

ここで、 H_{kt} : k 橋梁の t 年目の健全性、 C_{kt} : k 橋梁の t 年目のコスト、 C_{budget} : 維持管理予算総額、 N : 橋梁数、 T : 計画策定年である。

なお、本 GA モデルにおける適応度は式(1)の目的関数より計算される「総健全性」とした。よって、式(2)の制約条件が満たされる場合には、適応度は「すべての橋梁の計画策定年を通しての健全性の総和値」となり、制約条件が満たされない場合には、適応度は「0 (ゼロ)」とすることとした。

(2) 健全性および維持管理コストの考え方

橋梁の維持管理計画を立案するためには、橋梁の健全性の経年変化を表現するモデルと、計画策定時に設定するライフサイクル期間中の総コストを算出するモデルが必要である。特に、前者の健全性の経年変化を長期に渡って定量化することは非常に難しい課題となっている。そこで、本シミュレーションでは、目的関数で最大化される健全性 H_{kt} は、古田ら⁷⁾による RC 床版の経年劣化モデルにおける遷移確率行列 P を用いて、次式のように簡略的に定義することとした。

$$H_{kt} = 100 - QP^t S(0) \quad (3)$$

ここで、 P : 遷移確率行列、 $S(0)$: 計画策定時点の RC 床版の状態ベクトル、 Q : 換算ベクトルである。遷移確率行列 P の各要素 P_{ij} は、RC 床版における各健全性ランク (OK~I の 5 段階) の 1 年後の状態遷移 (変化) 確率を表しており、状態ベクトル $S(0)$ は、RC 床版の健全性ランクに応じて、 $OK = \{1, 0, 0, 0, 0\}$ 、 $IV = \{0, 1, 0, 0, 0\}$ 、 $III = \{0, 0, 1, 0, 0\}$ 、 $II = \{0, 0, 0, 1, 0\}$ 、 $I = \{0, 0, 0, 0, 1\}$ のいずれかをとる。また、換算ベクトル Q は、健全性ランクの低い要素 (III, II, I) の重み係数を高く設定し、t 年目の RC 床版の状態 $P^t \cdot S(0)$ をスカラー化するものである。よって、健全性 H_{kt} は床版の新設状態を 100 点とする値で表現される。

遷移確率行列 P は各 RC 床版ごとの点検データから統計的に算出される行列であるが、本シミュレーションでは、RC 床版の経年変化として 3 タイプを仮定して計算を実行することとし、劣化タイプ X として式(4a)、劣化タイプ Y として式(4b)、劣化タイプ Z として式(4c)に示す行列を利用した。また、RC 床版の現在状態を表現する $S(0)$ ベクトルについては、すべて健全性ランク OK の状態 (新設または更新) から考えることにし、

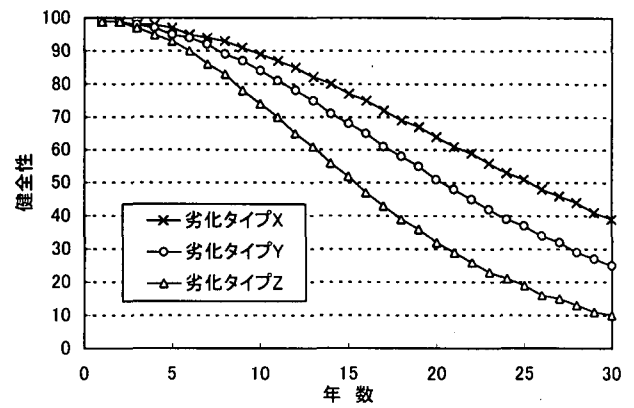


図-6 健全性の経年劣化曲線 (3 タイプ)

式(5)に示す値を利用した。さらに、劣化タイプ X では新設後の約 25 年、劣化タイプ Y では新設後の約 20 年、劣化タイプ Z では新設後の約 15 年で健全性が 50 程度となるように、換算ベクトル Q を式(6)のように仮定した。各劣化タイプの健全性の経年劣化を図-6 に示す。

$$P = \begin{bmatrix} 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.05 & 0.90 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.09 & 0.86 & 0 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0.13 & 0.83 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01 & 0.17 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (4a)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.90 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.09 & 0.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0.01 & 0.13 & 0.83 & 0 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0.15 & 0.80 & 0 \\ 0 & 0 & 0.02 & 0.20 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (4b)$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.14 & 0.82 & 0 & 0 & 0 \\ 0.01 & 0.16 & 0.79 & 0 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.19 & 0.77 & 0 \\ 0 & 0 & 0.02 & 0.23 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (4c)$$

$$S(0) = \{1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}^T \quad (5)$$

$$Q = \{0 \ 0 \ 20 \ 40 \ 100\} \quad (6)$$

ところで、本シミュレーションにおいて選択する維持管理対策は補修、補強、更新の 3 対策であり、これらが実施されると先述の健全性は回復する。このような健全性の回復量は表-2 の最右列に示す遷移確率行列

表-2 対策費単価と P_{ij} の回復割合

維持管理 対 策	対策費単価 (千円/㎡)	P_{ij} の回復割合 ^{注)} (%)
補 修	14	20
補 強	44	60
更 新	200	100

注) 遷移確率行列 P の要素 P_{ij} が各維持管理対策によって、初期値まで回復する割合のこと。

表-3 実橋 10 橋の橋長，幅員，橋面積など

橋梁	橋長(m)	幅員(m)	橋面積(㎡)	橋面積による順位
A	122.90	9.6	1179.840	2
B	43.85	11.5	504.275	7
C	144.14	7.5	1081.050	3
D	38.90	8.5	330.650	9
E	58.00	15.8	916.400	6
F	126.19	7.5	946.425	5
G	186.00	12.0	2232.000	1
H	40.74	11.0	448.140	8
I	144.00	7.5	1080.000	4
J	55.70	4.0	222.800	10

P の各要素 P_{ij} の回復割合によって決まるとした。例えば、 t 年目の維持管理対策として「更新」が選択されると、 t 年目の遷移確率行列 P の各要素 P_{ij} は、初期状態の遷移確率行列 P の各要素 P_{ij} の値（式(4a)～(4c)の値）まで戻る（100%回復）。本シミュレーションでは、各要素 P_{ij} は「補修」において 20%，「補強」において 60%，「更新」において 100%回復すると設定した。

一方、維持管理コスト $C_{k,t}$ は、各維持管理対策ごとに橋面積と関連づけることとした。表-2 に各維持管理対策の㎡当たり単価を示す。対策費単価については、各対策の代表的工法の実際価格を採用しており、本シミュレーションでは各対策のコストは橋面積と対策費単価との積として求めることとし、これを合計して全体の維持管理コストとした。なお、本シミュレーションでは、一般にライフサイクルコストとして計上される建設費や管理・運営費、さらに社会的割引率によるコストの時間的な価値換算は考慮していない。

(3)入力データとGAの運用条件

本研究では、表-3 に示す実橋 10 橋のデータを用いて数値シミュレーションを行った。また、GAの運用条件としては、交叉率を 0.6、突然変異率を 0.005（ただし、適応度の最大値が連続 30 世代変化しなかった場合は、1 世代だけ突然変異率を 0.5 に上げる）、終了判

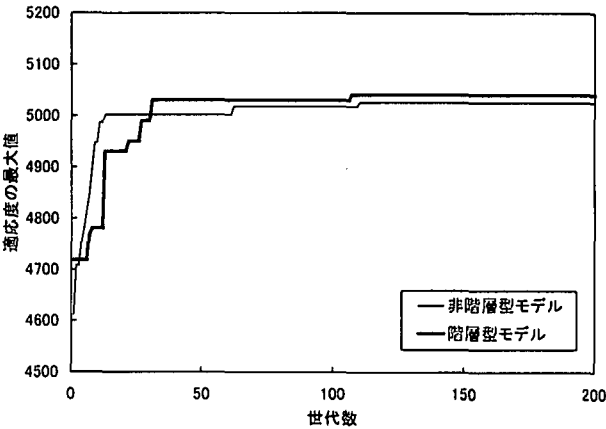


図-7 最大適応度の推移（2 橋，劣化タイプ Y）

表-4 各橋梁の最大適応度の比較（2 橋，劣化タイプ Y）

橋梁	非階層型モデル		階層型モデル	
	費用（千円）	適応度	費用（千円）	適応度
A	68,431	2411	51,913	2352
B	58,496	2616	73,624	2690
合計	126,927	5027	125,537	5042

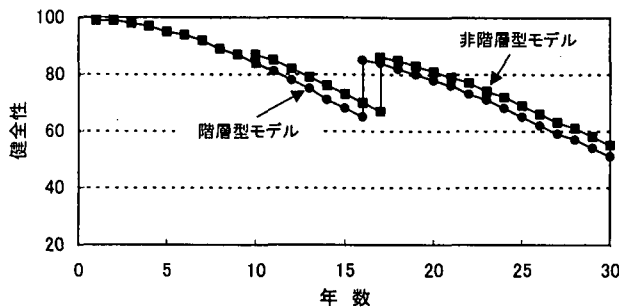
定の世代数を 200 世代とした。

(4)モデルの求解能力に関する検討

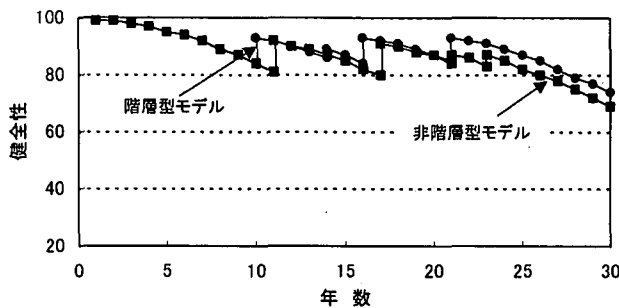
ここでは、提案する階層型モデルの求解能力を確認するために、A 橋と B 橋を対象に、計画策定年 30 年、総予算 1.3 億円で解析した。なお、健全性の劣化タイプは式(4b)のタイプ Y を利用し、A 橋と B 橋ともに同じ劣化タイプとしてシミュレーションを行った。

まず、GAでの求解過程における両モデルの最大適応度の推移を図-7 に示す。階層型モデルの最大適応度は 5042 で、非階層型モデルの最大適応度よりも高い値となった。また、いずれのモデルも 100 世代を越えた時点で最大適応度は更新されず収束した。

次に、両モデルの最大適応度と費用の比較を表-4 に示す。この表から分かることは、非階層型モデルが B 橋よりも A 橋に多くの予算を投じ、適応度も低いのに対して、階層型モデルではその逆の解を導出しているということである。表-3 に示すように、A 橋と B 橋では面積規模が異なり、先述した維持管理コストの計算では、この橋面積が大きな影響を及ぼす。一方、今回のシミュレーションでは、各橋梁の健全性は規模に関係なく同等の評価であると設定したので、面積規模の大きな橋（A 橋）に予算を投じた場合よりも、規模の小さな橋（B 橋）に予算を投じた場合の方が全体としての適応度は高くなる。階層型モデルでは、面積規模



(a) A橋における健全性の推移



(b) B橋における健全性の推移

図-8 階層型モデルと非階層型モデルの維持管理
対策シナリオの比較 (2 橋, 劣化タイプ Y)

が小さい B 橋に多くの予算を投じることで高い適応度の解を導出していることから、非階層型モデルでは導出できなかった解を探し出すことができたといえる。

また、両モデルの適応度の違いは各橋梁の健全性の推移により異なるため、各橋梁の維持管理対策シナリオ (図-8) を検討した。その結果、両モデルの健全性の推移はほぼ同じ傾向を示すものの、A 橋については階層型モデルの対策回数が 1 回だけ少ないことが分かった。そして、階層型モデルでは、橋面積の大きい A 橋に関する 1 回の対策の有無についても敏感に反応し、結果として非階層型モデルよりも適応度の高い解が探索されている。このことは、階層型モデルでは、長期補修計画策定 GA が 1 橋のみの長期補修計画の最適化を行っているのに対し、非階層型モデルでは、複数橋梁分の長期補修計画策定が 1 つの個体で同時に行われていることの影響であると考えられる。

(5) モデルの適用性に関する検討

ここでは、提案する階層型モデルの適用性を確認するために、A 橋～J 橋を対象に、計画策定年 30 年、総予算 8 億円で解析した。なお、前項の 2 橋でのシミュレーションと同様に、健全性の劣化タイプは式(4b)のタイプ Y を利用し、A 橋～J 橋のすべてに対して同じ健全性の劣化タイプを用いることとした。

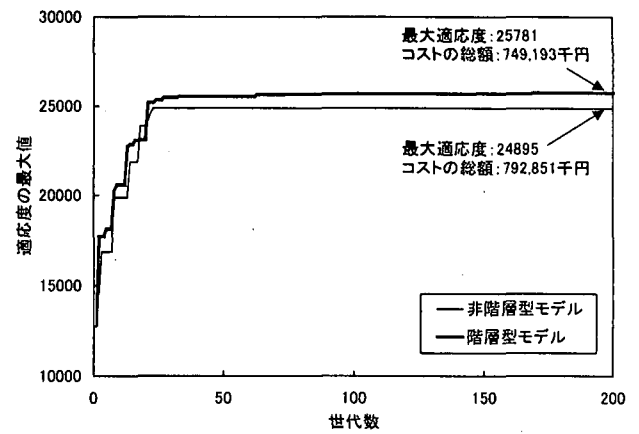


図-9 最大適応度の推移 (10 橋, 劣化タイプ Y)

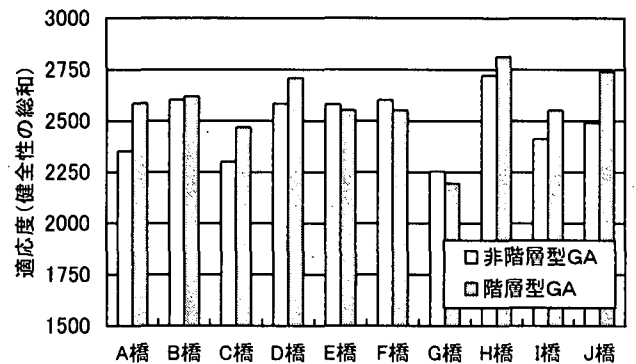
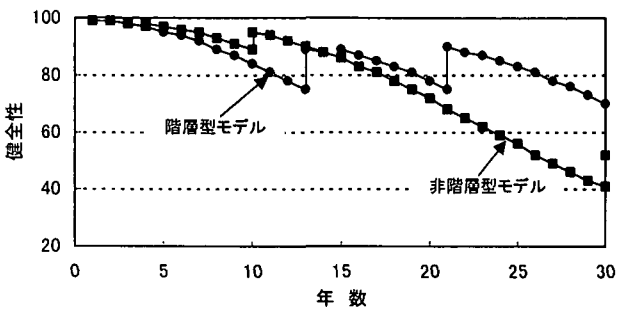


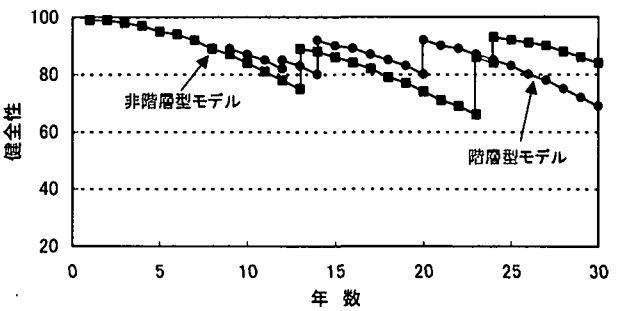
図-10 各橋梁の最大適応度の比較 (10 橋, 劣化タイプ Y)

まず、GA での求解過程における両モデルの最大適応度の推移を図-9 に示す。2 橋でのシミュレーション結果と同様に、階層型モデルの方が低いコストで高い最大適応度 (差は 886 ポイント) となることが分かった。また、両モデルともに最大適応度は 50 世代程度で安定する傾向も見られた。

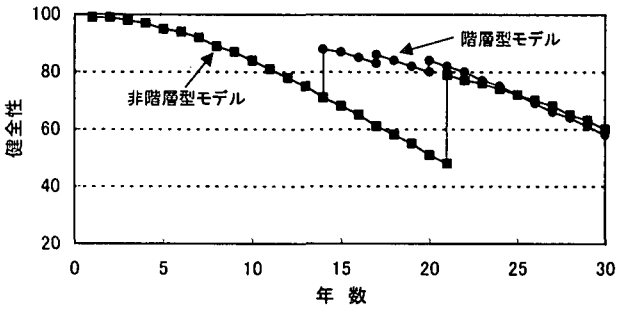
次に、両モデルに関する各橋梁の最大適応度の比較を図-10 に、各橋梁の健全性の推移に関する比較を図-11 に示す。階層型モデルでは、殆どの橋梁の適応度が非階層型モデルに比べて上回っており、少ない費用で高い適応度が得られているとともに、規模の小さい橋梁の適応度が高くなっており、2 橋でのシミュレーション結果と同様の傾向があることが分かった。また、各橋梁の健全性の推移を見ても、面積規模の小さな D 橋や J 橋は、階層型モデルによる対策案ではできるだけ高い健全性を保つように維持管理を実施するのに対し、非階層型モデルではその逆の解が導出されている。一方、面積規模が中程度の E 橋や F 橋では、両モデルによる維持管理対策シナリオはほぼ同様であり、モデル運用結果の全体的な傾向としても、階層型モデルの



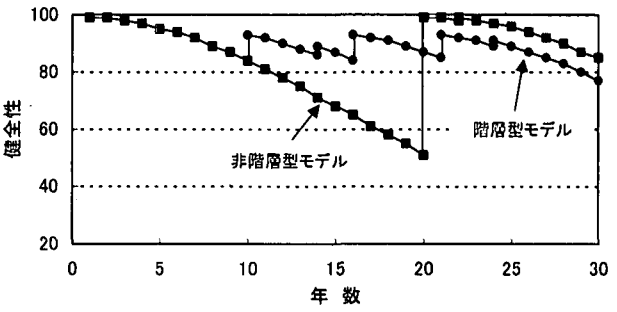
(a) A橋における健全性の推移



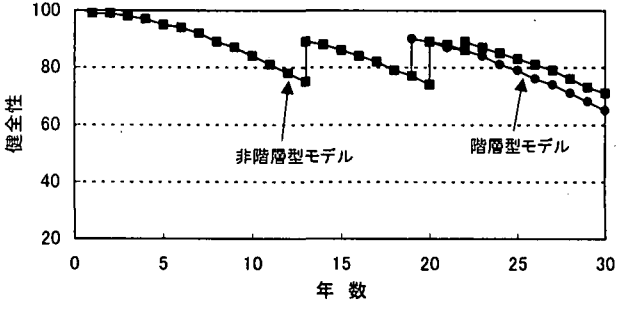
(b) B橋における健全性の推移



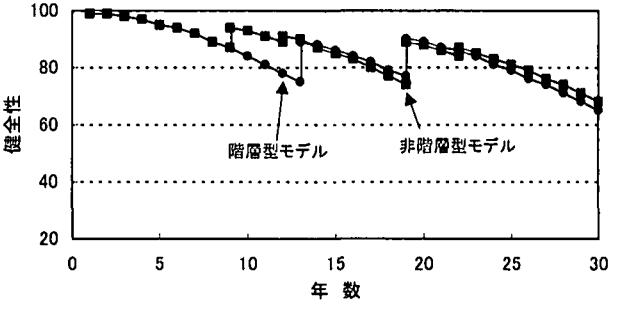
(c) C橋における健全性の推移



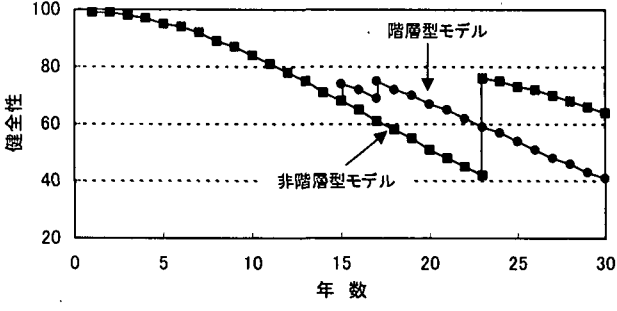
(d) D橋における健全性の推移



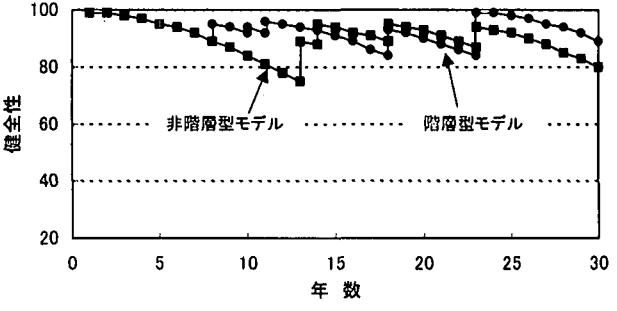
(e) E橋における健全性の推移



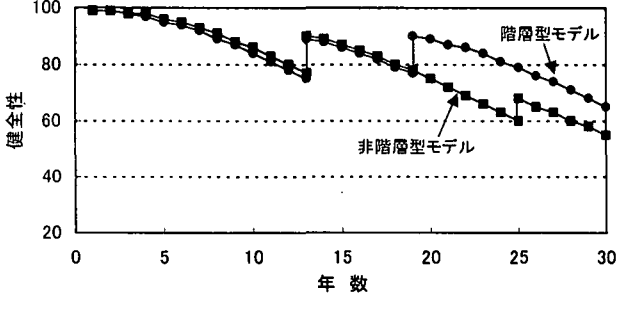
(f) F橋における健全性の推移



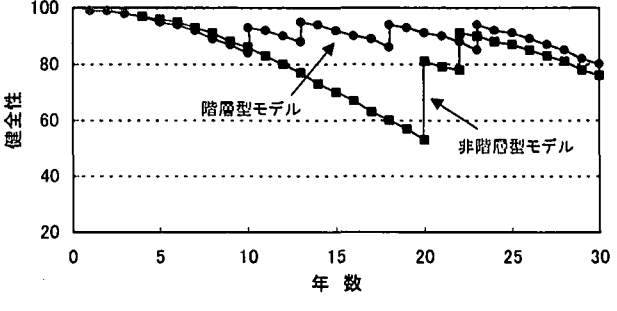
(g) G橋における健全性の推移



(h) H橋における健全性の推移



(i) I橋における健全性の推移



(j) J橋における健全性の推移

図-11 階層型モデルと非階層型モデルの維持管理対策シナリオの比較 (10 橋, 劣化タイプ Y)

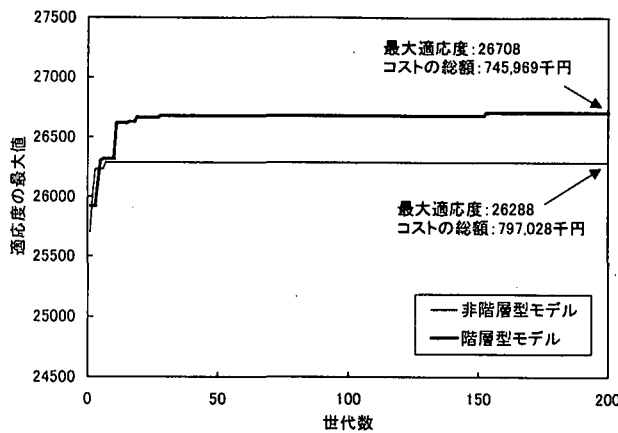


図-12 最大適応度の推移 (10 橋, 劣化タイプ X)

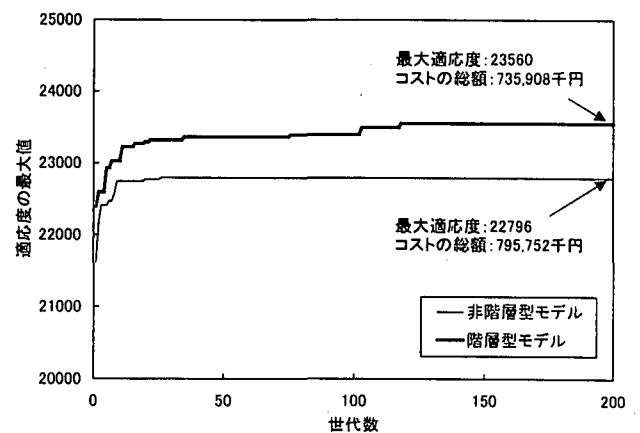


図-14 最大適応度の推移 (10 橋, 劣化タイプ Z)

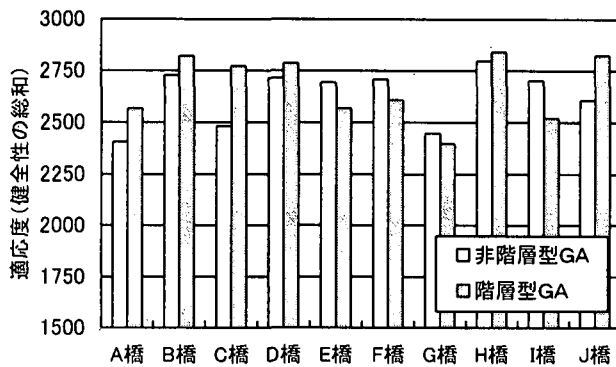


図-13 各橋梁の最大適応度の比較 (10 橋, 劣化タイプ X)

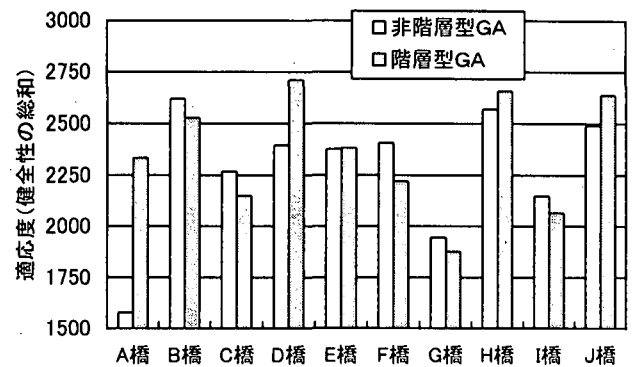


図-15 各橋梁の最大適応度の比較 (10 橋, 劣化タイプ Z)

方が有効な解を導出していることが確認できた。

(6) モデルの信頼性に関する検討

ここでは、提案する階層型モデルの信頼性（頑健性）を確認するために、A 橋～J 橋それぞれの健全性の経年劣化タイプを変化させて解析を行った。具体的には、①前項で検討した劣化タイプ Y 以外について、すべての橋梁が同じタイプ（X または Z）の劣化をすると仮定した場合と、②劣化タイプ Y を含め、各橋梁がそれぞれ劣化タイプ X～Z のいずれかの劣化をすると仮定した場合のシミュレーションを行った。特に、②のケースは各橋梁が異なる健全性の経年劣化タイプを持つという点では、より現実的なケースのシミュレーションとなる。なお、他の運用条件については前項の 10 橋でのシミュレーションと同様であり、計画策定年は 30 年、総予算は 8 億円とした。

まず、A 橋～J 橋の健全性の経年劣化をすべて劣化タイプ X として解析した場合について、GA での求解過程における両モデルの最大適応度の推移を図-12 に示す。10 橋の健全性の推移をすべて劣化タイプ Y として解析したケース（図-9）の解析結果と同様に、階層型

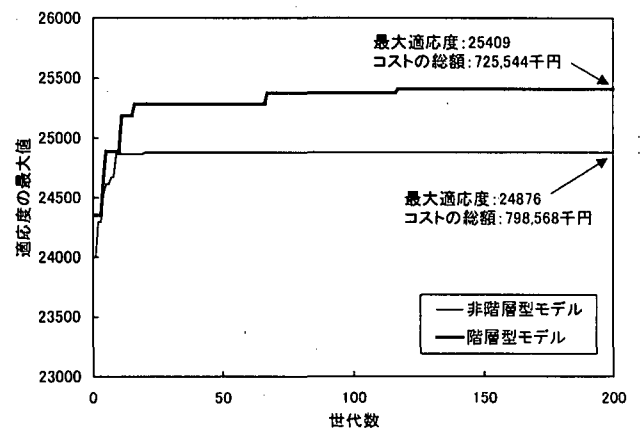


図-16 最大適応度の推移 (10 橋, 劣化タイプ X~Z)

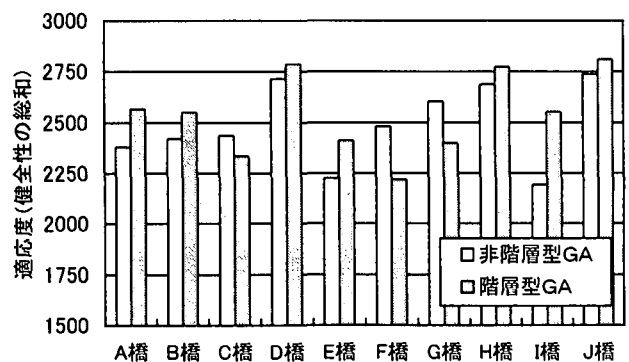


図-17 各橋梁の最大適応度の比較 (10 橋, 劣化タイプ X~Z)

モデルの方が低いコストで高い最大適応度（差は 420 ポイント）が得られた。また、両モデルに関する各橋梁の最大適応度の比較を図-13 に示す。階層型モデルでは、規模の小さい橋梁の適応度が非階層型モデルに比べて上回っており、少ない費用で高い適応度が得られているという結果となった。

次に、A 橋～J 橋の健全性の経年劣化をすべて劣化タイプ Z として解析した場合について、GA での求解過程における両モデルの最大適応度の推移を図-14 に示す。これまでに検討してきた健全性の経年劣化タイプの解析結果と同様に、階層型モデルの方が低いコストで高い最大適応度（差は 764 ポイント）を導出している。一方、両モデルの各橋梁の最大適応度を比較した結果（図-15）では、前項までの結果の傾向（階層型モデルの方が面積規模の小さい橋梁で適応度が高くなる）が必ずしも成立していない。これは、非階層型モデルでの運用結果（特に A 橋の結果）が十分に最適化されていないことが原因と考えられる。因みに、階層型モデルの運用結果は、健全性の経年劣化タイプの影響で全体的に低い適応度となっているが、前項までのシミュレーション結果とほぼ同様な傾向が見られている。

さらに、10 橋の健全性の経年劣化タイプが橋梁ごとに異なるケースについても解析を行った。具体的には、各橋梁の健全性の経年劣化タイプとして、タイプ X を A, D, G, J の 4 橋梁、タイプ Y を B, E, H の 3 橋梁、タイプ Z を C, F, I の 3 橋梁に設定した。GA での求解過程における両モデルの最大適応度の推移を図-16 に、両モデルに関する各橋梁の最大適応度の比較を図-17 に示す。階層型モデルと非階層型モデルの最大適応度の差は 533 ポイントであり、階層型モデルの方が低いコストで高い最大適応度を得ていたことは、これまでのシミュレーション結果と同様であった。また、橋面積規模の違いによる適応度の影響についても、橋面積規模の小さい橋梁の適応度が高い傾向が見られ、橋梁ごとに異なる健全性の経年劣化タイプが与えられた場合（より現実的なケース）でも、本モデルでは適切な解を導出できていることが分かる。

このように、シミュレーションの解析対象範囲や解析条件がより複雑になっているにも関わらず、階層型モデルから導出された解の傾向は同じであるとともに、非階層型モデルよりも高い最大適応度を導出している。このことから、本研究で提案した階層型モデルは、多

種多様な実橋を対象とする維持管理計画を策定する場合にも十分に有効であることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、GA の階層化により、複数橋梁の中・長期的な維持管理計画を策定する最適化モデルを開発した。結論を以下に取り纏める。

- 1) 複数橋梁の中・長期的な維持管理計画問題を予算配分計画と長期補修計画に分け、それぞれの計画策定問題に対して一般的な GA を適用させた最適化モデルの構築を行った。そして、それぞれの GA モデルを階層的に結合させることにより、維持管理計画のための階層型 GA 最適化モデルを開発した。
- 2) 数値シミュレーションの結果、階層型 GA モデルが、非階層型 GA モデルでは回避できなかった局所解からの脱出を実現できたとともに、モデルの適用性や信頼性（頑健性）を確認することができ、複数橋の維持管理計画の策定に関して有効である可能性を見出せた。
- 3) 現状のモデルでは GA を階層的に利用しているため、解の導出に要する時間が非階層型モデルの数倍程度必要となっており、今後、長期補修計画策定 GA を並列処理させるなど、計算時間を短縮させる検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室：橋梁マネジメントシステムの開発に関する調査研究報告書、土木研究所資料、第 3633 号、1999.3
- 2) 宮本文穂、串田守可、足立幸郎、松本正人：Bridge Management System (BMS) の開発、土木学会論文集、No.560/VI-34, pp.91-106, 1997.3
- 3) 宮本文穂、河村 圭、中村秀明：Bridge Management System (BMS) を利用した既存橋梁の最適維持管理計画の策定、土木学会論文集、No.588/VI-38, pp.191-208, 1998.3
- 4) 近田康夫、橘 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, 1995.4
- 5) 呉 智深、原田隆郎、横山功一：遺伝的アルゴリズムによる大規模既存道路橋の耐震補強計画支援モデルの構築、構造工学論文集、Vol.44A, pp.1037-1046, 1998.3
- 6) 坂和正敏、田中雅博：遺伝的アルゴリズム、朝倉書店、1995.9
- 7) 古田 均、金森敦司、堂垣正博：ライフサイクルコストを考慮した橋梁群の RC 床版の最適維持管理計画支援システムに関する研究、材料、Vol.47, No.12, pp.1245-1250, 1998.12