

遺伝的アルゴリズムを用いたコンクリート橋梁群の最適維持管理計画の策定

Optimal Maintenance Planning of Group of Bridge Structures Using Adaptive Genetic Algorithm

古田均*, 亀田学広**, 伊藤弘之***, 高橋祐治***
Hitoshi Furuta, Takahiro Kameda, Hiroyuki Ito, Yuji Takahashi

*工博 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)

**関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)

***鹿島建設(株) 土木設計本部 設計技術部 (〒107-8502 港区赤坂 6-5-30)

Recently, maintenance of structures has become more and more important in many fields. A structure follows a life-cycle that consists of planning, design, construction, maintenance and replacement. In order to establish a rational and economic maintenance program, the concept of Life-Cycle Cost (LCC) has gained much more attention in engineering fields. In this paper, an attempt is made to develop a practical method based upon the adaptive genetic algorithm with Variable-Length chromosome (VL-GA) for an optimal maintenance planning of many concrete bridges based upon life-cycle cost. A numerical example is presented to demonstrate the applicability and efficiency of the proposed method..

Key Words: Genetic Algorithm, Variable Length, Life-Cycle Cost, Maintenance planning

キーワード: 遺伝的アルゴリズム, 可変長表現, ライフサイクルコスト,
維持管理計画

1. はじめに

近年, さまざまな分野で構造物の維持管理への関心が高まっている。一般に構造物は建設計画, 調査, 設計, 施工, 供用開始後の点検と補修の繰り返しというライフサイクルをたどる。耐用年数の延命や安全性維持には, 適切なタイミングで随時補修・補強を行う必要がある。しかしながら, ライフサイクルを考慮した経済的で効果的な維持管理計画の策定は, 数多く存在する補修・補強工法をいつ, どのように組み合わせて実施してライフサイクルコストを最小にするかという組み合わせ最適化問題に帰着する。

本研究では, コンクリート橋梁を対象に汎用性の高い組み合わせ最適化問題の解法の一つである遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: 以下 GA) ¹⁾ を適用し問題解決を図る。対象とするコンクリート橋梁は, 6つの部材から構成され, 劣化速度が異なる。また, 環境によっては, 各補修・補強の間隔が20年から50年以上あく場合もある。したがって, 従来の固定長 GA (Fixed-Length GA: 以下 FL-GA) では, 効率的な探索を行うことができない。そこで本研究では可変長の遺伝子表現を採用した可変長 GA (Variable-Length GA: 以下 VL-GA) による最適化を行い,

FL-GA と VL-GA の比較, 検討を行いシステムの有用性を検証する。

2. コンクリート橋梁の維持管理計画の最適化

2.1 対象の橋梁群

本研究でモデルとしたコンクリート橋梁群 ²⁾ は, 海岸付近を通る高架の道路橋を想定している。このうち, 維持管理計画策定の対象とするのは, 連続する 10 カ所の橋脚及び 10 カ所の床版(鋼製桁と RC 床版の合成構造)からなる橋梁である。高架橋の 1 径間は, 6つの構造部位(橋脚上部, 橋脚下部, 沓, 桁, 床版支承部, 床版中央部)から構成され, 10 径間ともに同一構造である(図-1, 2)。

コンクリート構造物の性能が低下する要因としては, 構造物を取り巻く環境条件, 気象条件, 外力条件など外的要因のほか, 設計条件及び施工条件による内的要因がある。また, 主な劣化機構としては, 中性化, 塩害, 凍害, 化学的侵食, アルカリ骨材反応などの環境作用が原因のものと, 疲労や過大荷重などの主に荷重条件が原因のものに大別される。本

研究では、劣化要因を中性化、塩害弱、塩害中、塩害強の4つに大別する。各橋梁の環境と、表-1に、環境による部材の劣化速度の1例を図-3にそれぞれ示す。表-2に各補修・補強の効果を示す。

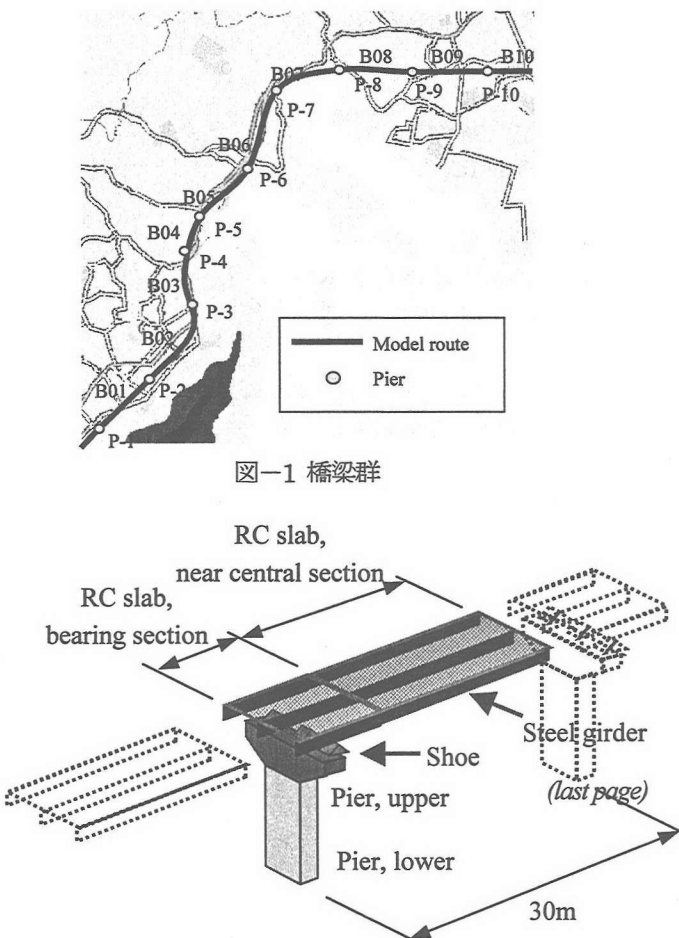


図-1 橋梁群

図-2. 橋梁の構造

表-1 完成時の経過年数と環境作用による劣化機構

橋梁名	橋梁群完成時の経過年数 ^{*1}	主な環境作用による劣化機構
B01	00年	中性化
B02	00年	中性化
B03	02年	塩害弱
B04	02年	塩害中
B05	02年	塩害強
B06	02年	塩害中
B07	02年	塩害強
B08	01年	塩害中
B09	01年	塩害弱
B10	01年	塩害弱

^{*1} 橋梁が完成してから供用されるまでの経過年数

本研究では、部材の性能を、健全時に有している性能に対する割合として性能指数(IP)で表す²⁾³⁾。部材の性能低下は、考慮する部位により劣化機構が異なるため、各構造部位(橋脚上部及び下部、沓、桁、

床版支承部及び中央部)に区分して設定した。

橋脚の性能低下は環境作用の影響が主要因と考え、鉄筋残存率で表した。鉄筋腐食の過程はコンクリート標準示方書⁴⁾に基づき、潜伏期、進展期、加速期を経て腐食するモデルを用いた。

沓の性能低下、桁の性能低下は環境条件によらずそれぞれ、ゴム支承の耐用年数、塗覆装の耐用年数で表した。

床版の性能低下は環境作用と繰り返し荷重の両方の影響によると考え、鉄筋残存率及び疲労に対する耐用年数を比較して劣化の進行が速い方を床版の性能低下として表した(図-3)。

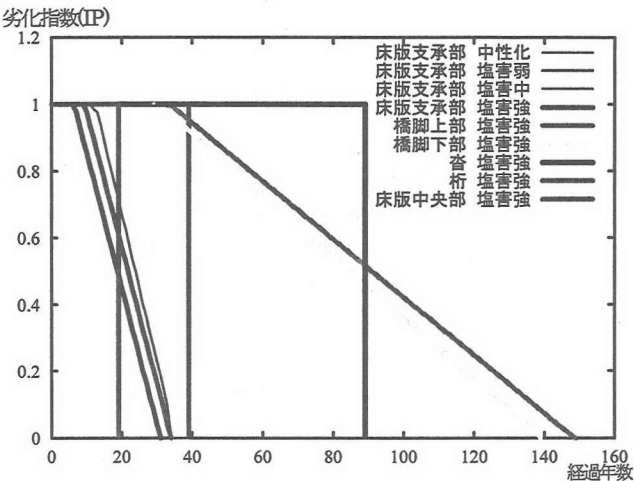


図-3 部材、環境の違いによる劣化速度の変移
表-2(a) 補修・補強工法の効果

部位	対策工法	平均的な効果の内容
橋脚 床版	表面塗装	性能低下を7年間抑止
	表面被覆	性能低下を10年間抑止
	断面修復 (鉄筋補強)	性能指数を100%まで回復。その後は初期の劣化曲線に従って劣化する
	脱塩 (再アルカリ化)	現状の性能指数から初期の劣化曲線に従って劣化する
	電気防食	性能低下を40年間抑止
	断面修復 及び表面被覆	性能指数を100%まで回復させ、性能低下を10年間抑止。その後は、初期の劣化曲線に従って劣化する

表-2(b) 更新の効果

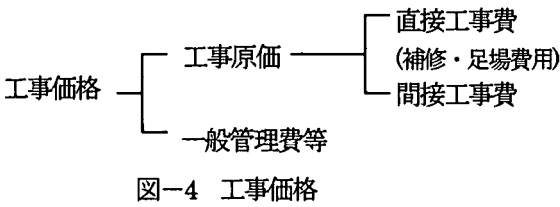
部位	対策工法	平均的な効果の内容
桁	鋼桁塗装	初期性能を耐用年数だけ維持
沓	支承取替	初期性能を耐用年数だけ維持
床版	打替	初期性能を耐用年数だけ維持

表-2(c) 架替の効果

部位	対策工法	平均的な効果の内容
すべて	架替	性能指数を100%まで回復。その後は、初期の劣化曲線に従って劣化する

2.2 補修計画の最適化

供用期間の維持管理費用は、工事原価は補修費用＋補修に必要な足場費用からなる。更に工事をする上で必要な諸経費が加えられる（図－4）。

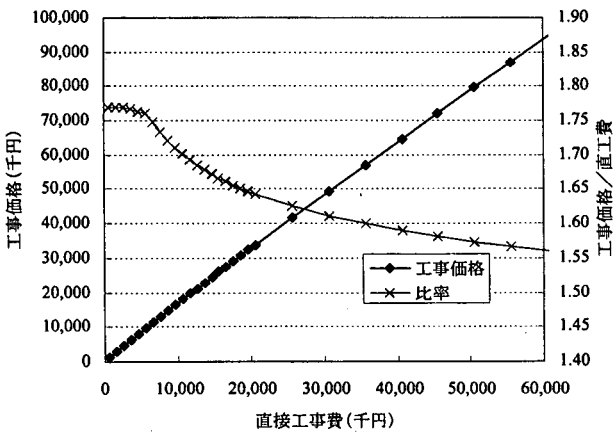


足場費用は、他の部材と共有可能である。可能な組み合わせを表－3に示す。基本的にある部材を補修するために必要な足場は、その部材の下方にある部材の足場を含む。また、工事原価にかかる諸経費は工事原価が大きくなるにつれ、割引率が高くなり安価になる（図－5）。同時に工事を行うことでコスト削減が期待できる。しかしながら、補修・補強の間隔が短いものに合わせ、まだ使用できる部材をも交換を行うと無駄が生じ、コストが上がる。

補修計画を最適化するには、先に示した各部材の劣化曲線と補修工法の効果および、費用（千円）（表－4、表－5）を参考になるべく無駄がでないように足場費用の削減を促し、同時工事による諸経費の削減を行う必要がある。部材群の補修工法と補修年度は無数の組み合わせが存在し、組み合わせ最適化問題と考えられる。

表－3 足場費用削減ルール

補修対象部材	足場を共用できる部材
橋脚上部	橋脚下部
橋脚下部	なし
沓	橋脚上部・下部
桁	全ての部材
床版支承部	橋脚上部・下部、沓
床版中央部	なし



図－5 工事費用と諸経費用割合

表－4 補修・補強費用

対象部位 対策工法	橋脚 (/m ²)	沓 (/基)	桁 (/m ²)	床版 (/m ²)
補修				
表面塗覆装	20	—	—	20
表面被覆	70	—	—	50
補強				
断面修復	530	—	—	270
脱塩	90	—	—	90
再アルカリ化	90	—	—	—
電気防食	100	—	—	100
断面修復 +表面被覆	580	—	—	320
更新				
鋼桁塗覆装	—	—	20	—
支承取替	—	1,400	—	—
床版打替	—	—	—	150
架 替	5,000(/m)			

表－5 足場費用

橋脚 上部	橋脚 下部	沓	桁	床版 支承部	床版 中央部
360	190	360	4,830	690	510

3. 遺伝的アルゴリズムによる維持管理計画策定

3.1 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムとは、生物の進化に着想を得た確率的探索手法の一つである。問題の解候補を個体としてGA空間に写像し交叉、突然変異、自然選択といった遺伝的オペレーターを行う。

- 1) 初期世代発生
- 2) 親の決定
- 3) 交叉・突然変位
- 4) 自然選択

2) から4)を条件が満たされるまで、あるいは指定回繰り返す。各個体は環境に対する適応度を持つ。環境とは問題空間を表す。各個体は、染色体すなわちDNAとしての側面である遺伝子型(Gene Type : GTYPE)と解候補としての側面である表現型(Phenomenon Type : PTYPE)を持つ。GA オペレーターは、遺伝子型に対して行われる。

(1)コーディングルール

GAは問題空間中を効率よく探索を進めるために、有用な解候補（個体）のいくつかから、新たな解候補（子孫）を作りだし、解候補の近傍を並列的に探索する。また、初期に発生させた個体の持つ可能性以外にも考慮するために突然変異を行い、探索空間を広げる。

有用な個体から子孫を作り出すGA オペレーターは、単純に個体の持つ遺伝子(遺伝子型)を操作するのみであり、特別な知識を用いるわけではない。様々な問題に応用されている汎用性の要因の一つと考えられる。有用な解を判断する評価関数は、遺伝子型からコーディングした実際の解候補である表現型で行われる。さらに対象とする問題空間をGA空間に写像するルールをコーディングルールと呼ぶ。もちろんコーディングルールには、交叉の方法、突

然変異などの GA オペレーターの設計も含まれる。

実問題を効率よく解くには、コーディングルールを適切に設計することが肝要である。

(2)適応度計算

コーディングルールとともに重要であるのが適応度計算である。各個体のもつ解候補に対して評価し適応度を与え、各個体は適応度に応じて生存率がきまる。実問題では、解に複数の制約条件が存在する場合が多い。解候補自体が制約条件を満たす解のみを持つように設計することが重要であるが、事実上不可能な場合がある。その際、制約条件の充足をペナルティーとして適応度に付加する。例えば、制約を満たしていない程度に応じて適応度から差し引くなどの工夫が必要である。しかしながら、ペナルティーの設計は非常に困難な場合が多く、経験的な側面が存在する。

3.2 FL-GA の適用

(1)コーディングルール

表現型(PTYPE)は補修シナリオを表す線列とし、遺伝子型(GTYPE)は補修工法に任意の ID をふり、それを 2 進数に変換したものを用いる。これにより、交叉の多様性をもたせる。遺伝子座は、補修年度を表し、各遺伝子情報は補修工法を表すものとする (図-6)。すなわち遺伝子の長さは、供用年数×ビット数になる。本研究では何らかの補修を行う場合は、補修工法の候補に任意の ID をふり、補修がない場合は 0 を用いた。具体的には、1 を表面塗覆装、2 を表面被覆、3 を断面修復、4 を脱塩・再アルカリ化、5 を電気防食、6 を断面修復+表面被覆、7 を更新とした。4 の脱塩、再アルカリ化は塩害環境では脱塩のみを行い、中性環境では再アルカリ化のみを行うために一つの候補で対応した。

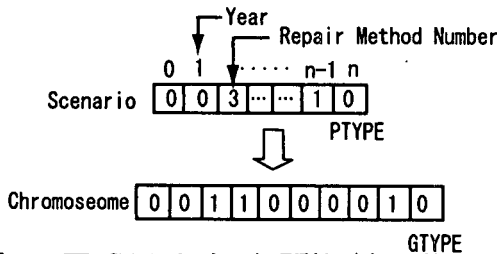


図-6 FL-GA における表現型と遺伝子型

また、交叉方法は多点交叉をもちいる(図-7)。

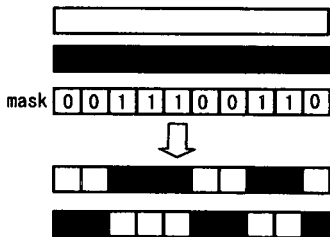


図-7 交叉方法

交叉する際、マスクビットを生成し、それに応じて交叉点をもうける。これにより、個体の多様性を維持すること

が可能となる。

各個体 i の適応度を式(1)によって決定する。

$$fitness_i = h(\sum Cost_k + penalty) \tag{1}$$

ただし、 $h(x)$ は評価値を適応度に対応させる関数、 $Cost$ は各構成部材 k の補修シナリオの工事費用、 $penalty$ は制約条件を満たせなかった場合の負荷を表す。本研究では制約条件は、塩害中、塩害強において床版支承部、床版中央部を 30 年に一度かならず更新することおよび、各部材が要求された最低許容劣化率の充足である。要求される最低許容劣化率は、維持管理計画の性質を表すもので、劣化が進行しすぎないように補修を繰り返し、耐用年数を伸ばす近年の傾向から本研究では、0.8 と定めて計算を行った。本研究では、ペナルティー設定に経験的に決定したパラメーターを用いた。具体的には、許容劣化指数を満たせなかった年数にもっとも高い補修費用を乗じて、補修シナリオの費用が高く設定されるように設定した。最適なパラメーターの設定は今後の課題である。

(2) 結果

本研究では FL-GA、VL-GA の性能を比較するために 1 部材のシナリオを染色体として持つ個体 (以後、部材レベル)、1 橋梁のシナリオを染色体として持つ個体 (以後、橋梁レベル)、全橋梁の補修シナリオを染色体として持つ個体 (以後、全橋梁レベル) に分ける。

図-8 は部材レベルで FL-GA を実行した結果である。各部材の補修シナリオの進化と 1 橋梁としての補修シナリオの進化を示す。1 橋梁の補修シナリオは各々の部材レベルの FL-GA が求めた 1 部材の補修シナリオをまとめたものである。図-9 は橋梁レベルの FL-GA を実行した結果と部材レベルの FL-GA で求めた 1 橋梁の補修シナリオを比較したグラフである。それぞれ劣化が激しい塩害強の環境下での橋梁の補修シナリオを対象とした。図-10 は、各レベルの FL-GA によって全橋梁の補修シナリオを求めた結果を比較したものである。

部材レベルの FL-GA を実行した場合、最適解に近いものが得られた。しかし、1 部材のシナリオとしては最適であっても橋梁のシナリオとしては足場費用や諸経費等の同時工事による費用削減が実現されておらず、削減余地が多い。図-9 から見て取れるように橋梁レベルの FL-GAの方がコストを削減できていることがわかる。しかしながら、橋梁レベルの実行結果を解析すると無駄な補修の存在が確認できる。無駄な補修とは補修が行われた直後や短期間に行われた明らかに不必要な補修の事である。さらに図-10 が示すとおり、全橋梁を対象として各レベルの FL-GA を実行した場合、全橋梁レベルの FL-GA が求めた補修シナリオが、橋梁レベルの FL-GA が探索した結果より劣る結果が得られた。

これは、FL-GA のコーディング方法に関係があると考えられる。全橋梁レベルでは、求めるべき部材のシナリオ数は、60 部材になり、本研究での実験では 100 年間にわ

たる補修計画を表す際、染色体の長さは、18000 ビットに達する。18000 ビットの線列中、有効な遺伝子は少なくほとんどの遺伝子は0（補修なし）である必要があり、更に交叉の際、交叉点が0のビット列の中に埋もれ、新たな解の探索を妨害していると考えられる。同様に突然変異もほとんど意味をなさない状態に陥っていると考えられる。同様に橋梁レベルにおいても染色体の長さは1800 ビットになり、探索を鈍らせていると考えられる。

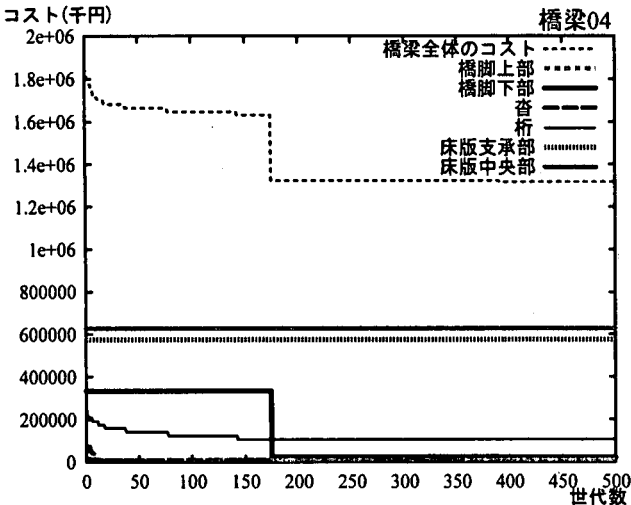


図-8 部材レベルを個体とした FL-GA

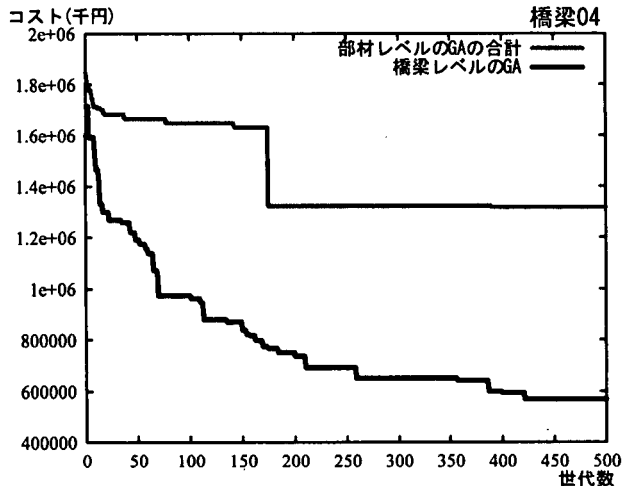


図-9 橋梁レベルの FL-GA と部材レベルの FL-GA

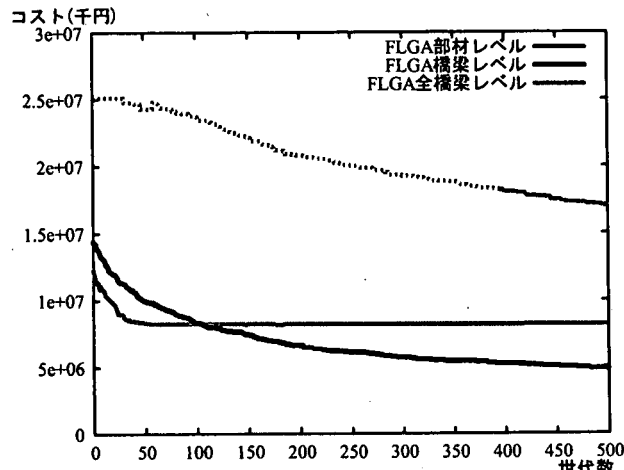


図-10 各レベルによる全橋梁のシナリオの結果

3.3 VL-GA の適用

FL-GA の問題を克服するために本研究では、可変長遺伝子表現を採用した GA(VL-GA)を開発し適用する。

(1) コーディングルール

VL-GA における遺伝子は、図-11 に示すように、各遺伝子は、補修年度と補修工法を1組とした遺伝構造を取る。

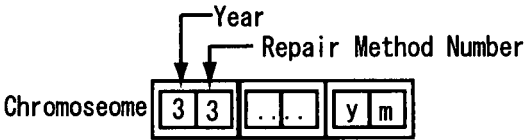


図-11 VL-GA の遺伝子構造

すなわち、補修回数が遺伝子の長さとなる。可変長表現では意味を持たない0の補修工法を持つことはない。

交叉を行う場合は、各個体の染色対中の遺伝子を参照し、補修年度が近い遺伝子同士が交叉を行う。交叉を行う場合、補修年度と補修工法をそれぞれビット列に変換して行うが、補修年度と補修工法は独立して発生させる。すなわち、補修年度は変更されても、補修工法は変更しないという交叉が起こる可能性を持たせている。VL-GA では遺伝子座は補修年度をもっており、補修工法を固定して補修年度のみを変更するという当たり前の近傍探索が難しかった。しかし、VL-GA を用いることで FL-GA ではできなかった精度の高い探索を効率よく行うことが可能になると考えられる。すなわち、積極的に遺伝子の構造を問題に合わせて設計することで探索が容易になると考えられる。

制約条件や GA パラメーターなどは FL-GA と同等に設定しシステムの実行を行った。

(2) 結果

図-12 は FL-GA と VL-GA を部材レベルで実行し、比較を行ったものである。図-13 では、FL-GA と VL-GA を橋梁レベルで実行し比較している。図-14 では、FL-GA と VL-GA を全橋梁レベルで実行し比較を行っている。

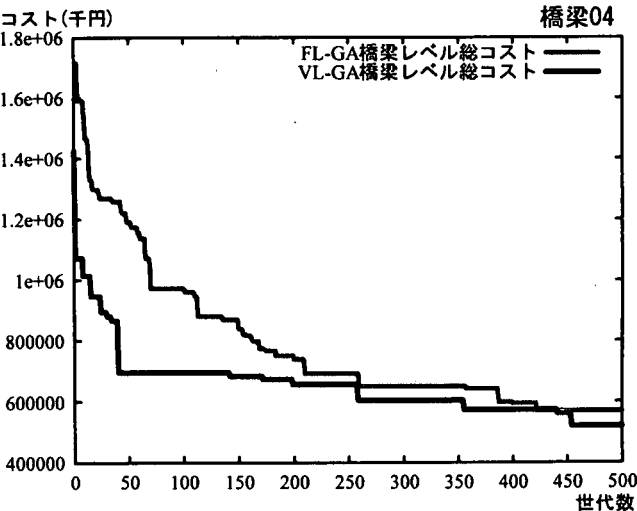


図-12 FL-GA, VL-GA 部材レベル

な状況で交叉を行った場合、無駄な工事が簡単に発生してしまい、更に親の形質を遺伝しているとはいえない結果を招きやすい。すなわち、精度が荒くランダム探索に近づく傾向があると考えられる。

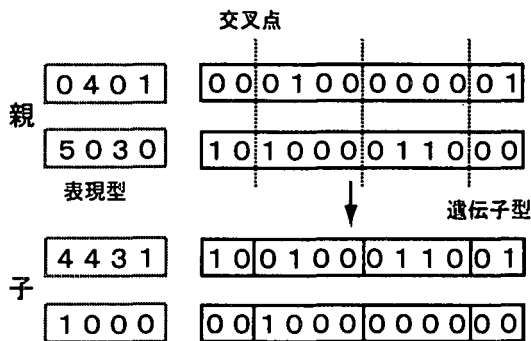


図-15 FL-GA 交叉における遺伝子の変化

表現型であるスケジュールを中心に考えれば、明らかに冗長な探索を行っている事になる。すなわち、親の形質を遺伝し、親（有用な解候補）の近傍探索が阻害されていると考えられる。

そこで本研究では従来の FL-GA ではなく、積極的に表現型を見直し、近傍探索の促進、多様性の維持を目的として VL-GA を提案した。その結果、FL-GA では探索できなかった精度の高い探索を行うことに成功した。ここでは、GA が求めた解の実用性等を検証する。

VL-GA が求めた補修シナリオの一例を図-16 および表-6 に示す。図-16 が示すように同時工事を行う補修工法が得られた。また、制約条件である 30 年に 1 度の架け替えも行われていることが見て取れる。各橋梁の劣化率を図-17、図-18 に示す。制約条件を満たし劣化が進むと補修が行われ、劣化率が一定の水準以上に保たれている。B04、B05 はそれぞれ塩害中、塩害強の環境下の橋梁である。劣化が激しい橋梁ではあるが 1 つの補修・補強から次の補修・補強までの期間は数年から十数年と間隔がある上に自由度が大きい。

- 表面塗覆装 ■ 表面被覆 ■ 断面修復
- 脱塩・再アルカリ化 □ 電気防食
- 断面修復+表面被覆 ■ 更新

図-16 (a) 補修の凡例

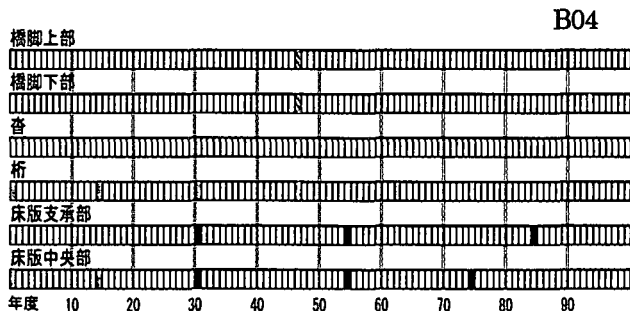


図-16 (b) 橋梁 B04 補修シナリオ

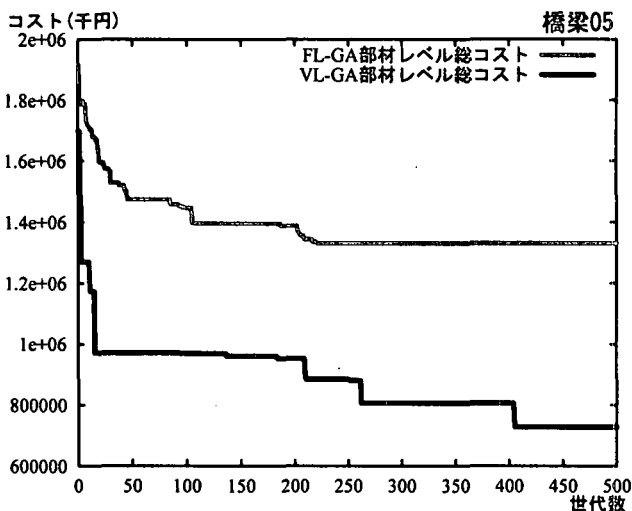


図-13 FL-GA, VL-GA 橋梁レベル

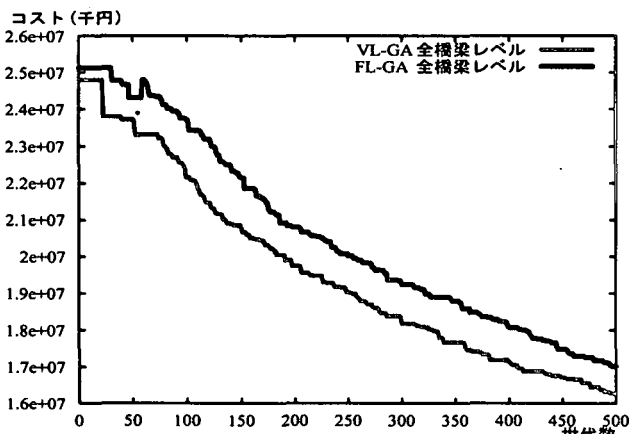


図-14 FL-GA, VL-GA 全橋梁レベル

図-12 が示すように部材レベルでは、FL-GA と VL-GA の探索能力に大きな差は生まれなかった。しかしながら、数値実験の結果、VL-GA は収束速度と準最適解を発見する確率が FL-GA より高かった。これは先に述べたように、効率よくかつ精密に探索を行っているためと考えられる。次に図-13 が示すように橋梁レベルでは、明らかに VL-GA がよい補修計画を導出している。これは、冗長な遺伝子表現を避けたことが、解の探索効率につながり、さらに多様性を維持し続ける事ができた結果だと考えられる。しかしながら、図-14 に示すように全橋梁レベルでは VL-GA は FL-GA よりよい結果を出しているが、有意な差は確認できない。

4. 考察

数年、数十年に 1 度に補修・補強を行うコンクリート橋梁を対象にシステムを構築した結果、冗長な遺伝子を持つ FL-GA では、実問題には対処しきれないことが明確になった。固定長の染色体の遺伝子表現は、親の形質を受け継ぎ進化をおこす遺伝的アルゴリズムとしての機能を発揮させることができない。なぜならば、図-15 に示すよう

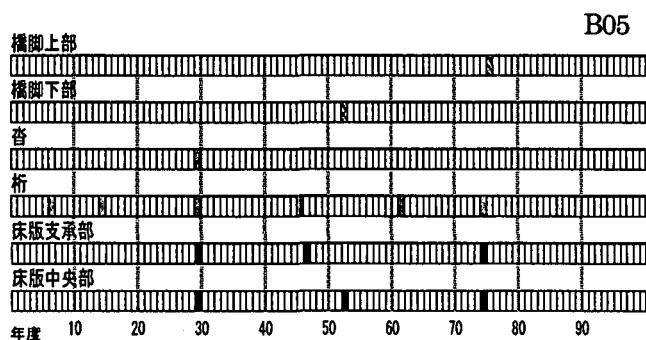


図-16(c) 橋梁 B05 補修シナリオ

表-6 工事費用詳細 (単位千円)				
	補修費	足場費	工事費	諸費削減
B04	210,510	34,680	395,086	3,680
B05	231,150	34,320	424,656	3,350

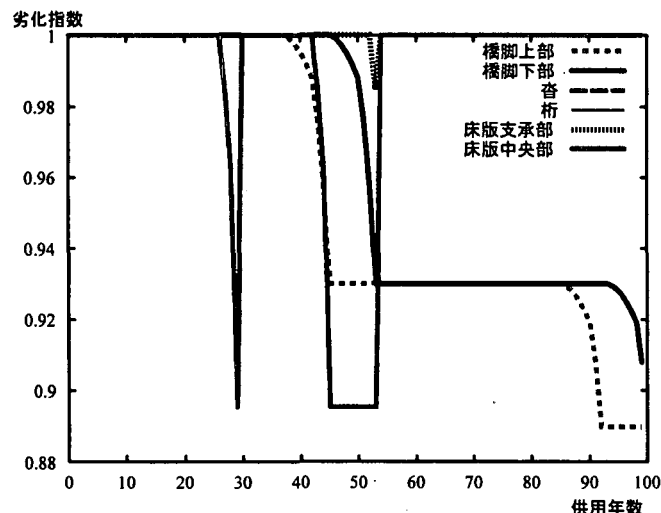


図-17 B04 部材劣化率

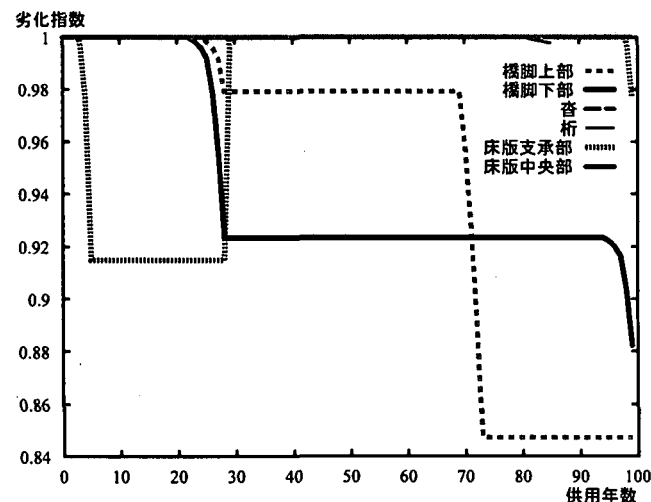


図-18 B04 部材劣化率

図-16のB04と図-17から、橋梁B04は、先行工事に

より供用開始年度時点で、2年分の劣化が進行しており、供用開始年度、1年目に補修工事を行っている。これにより床版が30年以内に1度の更新時期に同時に工事を行えるような補修パターンが形成されている。これにより劣化速度の遅い橋脚上部を除いて同時に5部材が工事を行うことで、大幅なコスト削減効果を生むことが可能となっている。足場費用の削減と工事に関わる諸経費の大幅削減額を表-6に示す。足場費用の削減費は、各部材の補修に必要な足場を「共用なく設置した費用」と「共用を考慮した場合の費用」の差である。諸費用も同様に「各部材の諸経費を各々計算した合計」と「部材全ての費用に諸経費計算を行ったもの」の差を諸費削減とする。

同様に橋梁B05の補修計画をみると、図-18の床版支承部の劣化曲線に見て取れるように急速に劣化している部材は数年で許容劣化率を満たさなくなる。そこで劣化防止策を取り、その後、制約条件である30年に1度の更新工事が行われ劣化率が改善される。床版の更新工事に合わせ、橋脚下部、査、桁も何らかの延命補修が行われ、費用削減効果を生みだしている。

一方、橋梁B08の補修シナリオを図-19に示す。塩害中、強の環境下とちがい劣化速度も緩いため、補修間隔が十数年以上あく補修計画である。しかし適切な補修が繰り返されることでコスト削減された補修シナリオを作り出している。FL-GAでは大量の0が含まれ探索が進まず、よい結果を得ることができなかった(図-20)

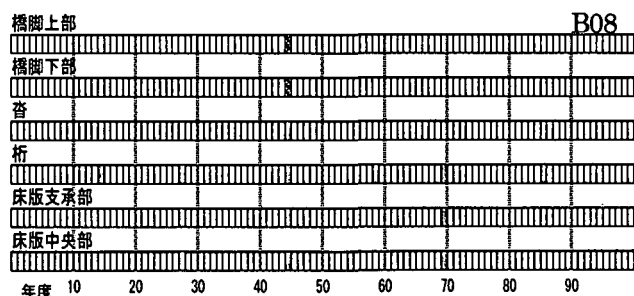


図-19 B08 VL-GAによる補修シナリオ

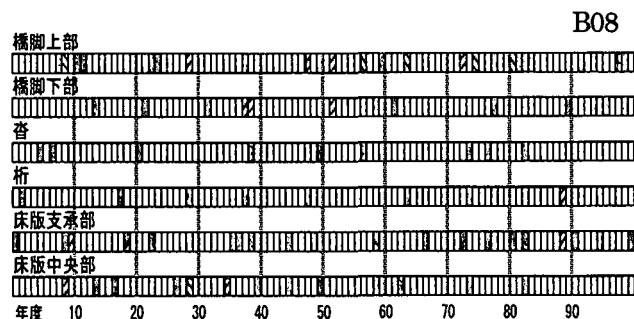


図-20 B08 FL-GAによる補修シナリオ

5. おわりに

本研究では、コンクリート橋梁群を対象として遺伝的アルゴリズムを用いて最適な維持管理計画の策定を試みた。従来用いられてきた固定長の遺伝的アルゴリズムでは、そ

の仕組みから冗長なビットが多く含まれてしまう維持管理計画の探索を行うことが難しかった。その結果、1部材を対象とする最適化では制約条件を満たし実用的な解が得られたが、1橋梁の最適な維持管理計画を求めるには、遺伝子長が長すぎ、探索が進まずよい結果が得られなかった。

これらの問題点を克服するために、可変長の遺伝的アルゴリズムを開発し適用した。その結果、精度の高い探索を行うことが可能となり、補修間隔が短い計画の最適化および補修間隔が長い計画の最適化を効率よく行えるようになった。本研究の結果から次の補修時期が決定されて順序の組み合わせのみのスケジューリング問題と違い、単発的で、自由度が大きいスケジューリングを行う際、可変長遺伝的アルゴリズムが有効であると証明された。

今後の課題は、自由度が大きい各部材の補修シナリオに対して、いくつかの制約条件が加わる際、橋梁レベルの可変長遺伝的アルゴリズムを用いても、よい解が得られないことや、制約条件を満たさない解に収束することがある。原因として制約条件に対するペナルティーが有効に働いていない事が考えられる。すなわち、ペナルティーをゆるめると解が制約条件を満たさない方向へ進化する可能性がある。反対にペナルティーを強めすぎると探索を阻害しやすくなる。しかしながら、上記のように大規模な維持管理計画全体の評価に、局所的な様々な制約条件を満たし最適化を促す適切なペナルティーを与えることは、非常に困難な問題である。

したがって、ペナルティーが設計しやすい程度の問題に分割し個々で最適化を行い、総括し、解とする必要がある。しかしながら、本研究の例のように個々の評価の総合計が全体の評価と等しくならない問題、すなわち分割された解候補どうしの関係が評価に関わる問題では、よい結果を得ることが期待できない。

そこで、今後の研究では、全橋梁を対象とした大規模な維持管理計画の最適化を行うために、維持管理計画を分割

し、分割された分問題ごとに制約条件の充足を促し、全体との協調をはかるような探索手法として、ウィルス型共進化アルゴリズム⁹⁾の適用を行う必要があると考える。

本研究では、実際の維持管理で発生する点検結果、補修による性能向上、劣化速度等の不確実性に対応するため平均的な評価関数を用いた。しかしながら、不確実な環境に対応するロバストな解を探索し、最適化を行っているとは言い難い。今後は、年齢構造を用いたGA等⁹⁾を適用し不確実性を考慮したロバストな解を探索するシステムを構築する必要がある。しかしながら、ロバストかつ安価な補修計画の鍵を握るのは、同時工事による費用削減効果であると考えられる。すなわち、同時工事によって費用を削減し、部材を耐用年数ぎりぎりになるまでに、補修を行うことで不確実性に対応できると考える。

参考文献

- 1) 古田・杉本：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用，森北出版，1997.
- 2) 伊藤・高橋・古田・田丸・亀田：ライフサイクルコストを考慮したコンクリート橋梁群の最適維持管理計画の策定，第7回システム最適化に関するシンポジウム，2001
- 3) Hiroyuki Ito, Yuji Takahashi, Hitoshi Furuta, and Takahiro Kameda. *An Optimal Maintenance Planning for Many Concrete Bridges Based on Life-Cycle Cost*. IABMAS, 2002
- 4) 2001 年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]，土木学会，2001
- 5) 久保田直行，福田敏夫：ウィルス進化とファジィ理論，日本ファジィ学会誌，1998
- 6) 田野岡，玉置，阿部，木村：遺伝的アルゴリズムによるロバスト解探索のための年齢構造モデルに関する考察，システム/情報合同シンポジウム，1998

(2000 年 4 月 19 日 受付)