

I-26 ネットワーク信頼性を指標としたGA援用橋梁補修計画

GA Applied Bridge Repair Planning Considering Network Reliability

近田康夫*

清水 宏孝**

城戸隆良***

Yasuo CHIKATA

Hirotaka SHIMIZU

Takayoshi KIDO

【抄録】 本研究は、橋梁点検台帳に基づいて橋梁の最適補修代替案作成支援を目的に、補修代替案を橋梁の要補修箇所に関する組合せ最適化問題として捉え、橋梁群全体としての評価値を最大化するように定式化している。検討すべき組合せ数が膨大となるため遺伝的アルゴリズムを解探索に適用し、橋梁の数値評価項目として橋梁群のネットワーク信頼性を採用している。ネットワーク信頼性を考慮したことで、橋梁群全体の評価値の増加量は若干減少するが、より現実的な補修計画立案の指標となるものと考えられる。

【Abstract】 In this research, the best repair plan of the bridge is treated as a combination optimization problem concerning the repair necessary part of the bridge based on the bridge check result. The Genetic algorithm(GA) is applied to the solution search because the number of combinations which should be examined becomes huge, and the network reliability of the bridge group has been added as an evaluation item. A more realistic repair plan was obtained though some amounts of an increase of the evaluation value of the entire bridge group decreased by having considered the network reliability.

【キーワード】 橋梁補修計画, 遺伝的アルゴリズム, ネットワーク信頼性

【Keywords】 bridge repair plan, Genetic algorithm, network reliability

1. はじめに

橋梁は、計画・設計・施工・供用の後、補修・補強を経て、架け替えというライフサイクルをたどり、十分な維持管理のもとでは、目標とする耐用年数以上を供用することができる。したがって、既存橋梁を効率よく維持管理していくことが、新しい橋梁の建設と同等以上に重要視されるようになってきている。しかし補修を必要とする橋梁が増加する一方で、補修に割り当てられる予算には限度があり、損傷箇所を全て補修することは現実的に不可能である。このため、補修箇所をより効率よく選択して、社会的満足性を最大限に満足できるような適切な補修計画を

立案する手法を確立する必要がある¹⁾。

橋梁維持管理システムの考え方からは、特定の橋梁に着目し、その損傷進行を予測してライフサイクルを考慮した補修計画を考えるもの²⁾、多数の橋梁を対象に橋梁群としての評価値最大化を目指すもの^{3),4),5)}、補修によるネットワークサービスの低下の最小化を目指したもの⁶⁾などが報告されている。

本研究では、道路交通網を形成する上で橋梁が占める役割の重要性を考え、ネットワークの一部としての橋梁の評価を視野に入れて、ネットワーク信頼性の最大化を目指すことで、より実用的な橋梁補修計画立案支援方法を検討する。

* 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

** 金沢大学大学院自然科学研究科 環境基盤工学専攻

*** 金沢大学工学部 技術専門職員 博(工)

表-1 点検結果の例

橋梁名	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	損傷度評価
A 橋	○	○	△	△	△	○	△	△	○	○	○	○	○	○	B
B 橋	○	△	○	○	○	○	○	○	-	○	○	△	○	△	D
C 橋	○	○	×	×	×	×	×	×	-	△	○	△	○	△	A
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Z 橋	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	C

・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。

2. 橋梁点検台帳に基づく補修計画

(1) 橋梁点検台帳

橋梁の定期点検は、橋面上、橋下から橋梁の細部について点検するものであり、長期点検計画に基づき所定区間にわたって足場などを用いて、目視、叩き点検などを行う点検である⁷⁾。

本研究では、I 県が昭和 57 年度から昭和 63 年度の間に定期的に調査を行った定期点検によって作成された、橋梁診断台帳のデータ提供を受けて利用した。

収容橋梁数は 208 橋で、そのうちコンクリート橋 148 橋、鋼橋 60 橋である。点検項目と点検結果の例を表-1 に示す。

各点検項目の評価基準として、次の 3 段階評価が設定されている。

- : ほとんど損傷していない。危険性はない。
- △: 損傷している。危険性はやや高い。
- ×: 損傷が激しい。危険度が高い。

また、各橋梁の損傷度評価は、各点検項目の結果に基づいて専門家が次の 4 段階で行う。

- A: 架け替え、あるいは全面的な補修を必要とする。
- B: 早急に補修を必要とする損傷がある。
- C: 軽微な補修を必要とする損傷がある。
- D: 健全であり、目立った損傷は見られない。

なお、本研究では今後各要因の判断基準を○, △, ×の順にそれぞれ 1, 2, 3, 損傷度評価を A, B, C, D の順にそれぞれ 1, 2, 3, 4 と数値化している。

(2) 橋梁の評価

補修代替案の優劣を数値的に評価・比較するためには、補修前・後の橋梁を数値的に評価する必要がある。

ここでは、式(1)で与えられる線形判別式を利用する。これから各橋梁の評価値 Y が求められる。

$$Y = \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^{c_j} w_j b_{jk} \delta_{jk} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 δ_{jk} は要因の j アイテムの k カテゴリーに反応したとき 1、それ以外るとき 0 をとる関数である。

$$\begin{cases} b_{j1} = 300 \\ b_{j2} = 200 \dots \dots \dots (2) \\ b_{j3} = 100 \end{cases}$$

ここで、 I はアイテム数、 c_j は j アイテムのカテゴリー数、 w_j は j アイテムの重要度係数である。

式(2)のように各要因(点検項目)の点検結果 1, 2, 3 に対し、順に 300, 200, 100 の点数を与えれば、式(1)は、単調増加関数となる。

さて、式(1)に含まれる、重要度係数を与える方法を検討した結果、点検台帳をニューラルネットワークで学習させ、さらに感度解析を行った結果を利用することにした。

重要度係数を与える方法としては、点検台帳の数量化理論第Ⅱ類の分析結果(カテゴリスコアとそのレンジ)を利用する方法、ファジィ理論の min-max 法あるいは λ 積分により逆解析して求める方法、ニューラルネットワークの感度解析結果を用いる方法を検討した。その結果、数量化理論を援用した場合にはカテゴリスコアに基づいた線形判別式が単調増加関数とならない(補修すると橋梁評価値が減少する)場合がある。ファジィ理論の援用では、min-max 法あるいは λ 積分のいずれの方法も得られる重要度係数が、0 あるいは 1 に偏った値となる(小数の補修項目の影響が大きくなりすぎる、あるいは影響の程度の差がほとんど無い)。ニューラルネットワークの感度解析では、重要度係数の値は偏らず点検結果の再現能力も優れていた。

以上を勘案して、ニューラルネットワークの感度解析結果を用いるのが良いと判断した。

表-2 ニューラルネットワークの感度解析による重要度

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

詳しい比較分析の内容は文献⁸⁾に譲ることにし、ここではニューラルネットワークの感度解析によって得られた重要度係数について、RC 橋と ST 橋を区別して求めたものを表-2 に示す。

本研究では今後、このニューラルネットワークの感度解析によって求められた重要度係数を用いて、数値実験を行っていくこととする。

(3) ナップサック問題の適用

ここでは、予算内で最も効果的な補修となる、補修箇所を選択問題にナップサック問題を適用する。目的関数および、制約条件は次のように設定できる。

目的関数

$$F_a = \sum_{i=1}^n (e_{i2} - e_{i1}) \rightarrow \max \dots \dots \dots (3)$$

制約条件

$$g = E - C \geq 0 \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 n : 橋梁数、 e_{i1} : 補修前の橋梁の評価値、 e_{i2} : 補修後の橋梁の評価値、 α : 係数、 C : 代替案の費用、および E : 予算 である。

ここで、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、1つの橋梁につき 14 箇所の点検箇所があるので、たとえば、補修の対象となる橋梁が 10 橋あるとすると、組合せは $2^{14 \times 10} = 2^{140} \approx 1.4 \times 10^{42}$ 通りになる。したがって、膨大な計算量と時間を要することになる。

(4) 遺伝的アルゴリズムの導入

遺伝的アルゴリズム(GA)とは、生物進化(選択淘汰・突然変異)のメカニズムを工学的にモデル化したものであり、確率的探索・学習・最適化の一手法と考える事ができる。生物進化の原理とは、各個体

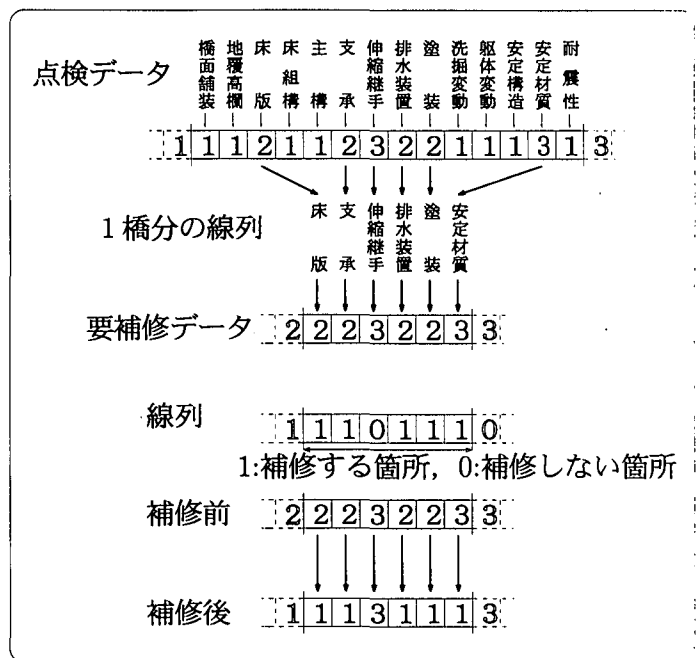


図-1 補修橋梁の遺伝子フォーマット

の中でより優れた環境への適応度の高い個体のもつ遺伝的情報が、優先的に伝達されることにより、世代を重ねると、環境への適応度の高い個体が多くなるというものである。GAにおいては、解の候補を遺伝子型として染色体に1次元的に表現する^{9),10)}。

本研究では、基本的には、選択(淘汰)、交叉、突然変異による単純GAを採用する。

実際の問題にGAを適用するには、線列(遺伝子列)として扱えるように、ナップサック問題をコーディング(コード化)しなければならない。本システムでは、線列を図-1のように定めた。

点検データ(A)から補修する必要がある項目、すなわち、2および3の項目を抜き出し、要補修データ(A)'を得る。これは、補修する必要のない項目(点検結果が1の項目)にも遺伝子を与えると、組合せを大幅に増やし、GAの解探索の効率を大きく阻害することになるからである⁵⁾。

そこで、線列は、(A)'の項目数に合わせて遺伝子を与えている。(B)の補修後の点検結果は、床版、支承、排水装置、塗装、安定性(材質)の評価が1になったことを表している。これは、中途半端な補修は行わないと考えたためである。

収束条件

GAは適応度の計算、淘汰、交叉、突然変異という操作を以下の収束条件に当てはまるまで繰り返す。

1. 集団中の最大の適応度が 1000 世代更新されなかったとき.
2. 集団中の遺伝子(個体)が, 全て同一の線列になったとき.
3. 世代交代が 5000 世代に到達したとき.

(5) 代替案の決定

ネットワーク信頼性を考慮する以前の補修代替案の基本的な考え方は以下のようなものである^{3),4),5)}.

点検台帳中で数値実験の対象となった橋梁数は, 主構, 洗掘変動, 躯体変動, 安定性(構造)の4項目の点検結果が1(損傷がない)の43橋である. 43橋のうち, コンクリート橋が26橋, 鋼橋が17橋である. これは, 上記4項目の損傷が大きい橋梁は架け替えや大規模補修が必要になり, 本研究の対象外となるためである.

橋梁の各部位の補修費用(工事費を含む)に関しては, 実績調査などにより, 基本的に単位面積, または, 単位長さ当たりの費用として定めた. 補修時に足場を設ける場合には, 複数の損傷を同時に補修したほうが経済的なことが多いと考えられるが, ここでは, そのような作業効率や補修作業に伴う交通規制などは考慮していない³⁾.

3. ネットワーク信頼性を指標とした評価

(1) ネットワーク信頼性

橋梁を単体ではなく橋梁群としての最良の補修代替案を探索する場合, ネットワークの一部としての橋梁の捕らえ方をすべきであるという観点に立って, ネットワークの信頼性を指標とした目的関数の設定を行う.

本研究においては, 2点間連絡を目的とする2点間の信頼度と, ネットワーク全体のすべての地点の連絡を目的とする全点サービスの信頼度の算出を行い, 評価関数に組み込んだ. 2点間の信頼度算出については, 連絡可能な全ての状態のうち, 現実的に取りうるパスのみを拾い上げて信頼度を算出している^{11),12),13)}. これらを用いて, ネットワークとしてとらえたときの橋梁の補修計画を構築していく.

以後, 連絡すべき地点を節点(ノード), 節点を接続している道路区間を枝(リンク)として取り扱うことにする. ここで, 橋梁を含まない道路区間は信頼

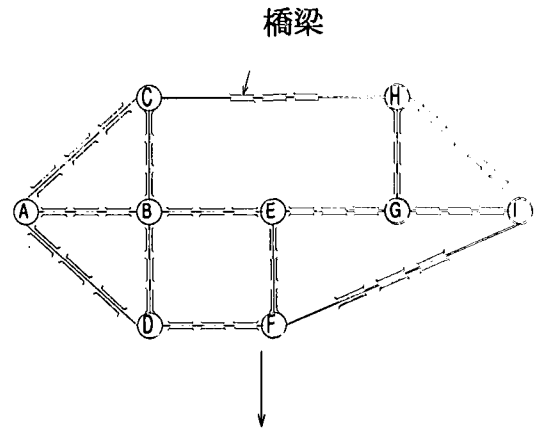


図-2 ネットワークモデル

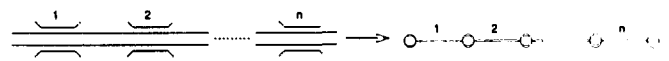


図-3 リンク*i*のモデル

度が1であるとして省略する.

また, 本研究で利用した点検データに含まれる橋梁は, 一路線上に一橋梁しか存在しないものがほとんどであり, 評価価値のあるネットワーク形態を構成しているとはいえない. このため本研究では, 点検データにある橋梁(データ)を少なくとも一つ含むリンクのみで構成される仮想のネットワークモデルを設定した.

ネットワークモデルを図-2に示す.

(2) 橋梁の損傷度に基づく各橋梁の信頼度の算出

ある橋梁において, ある期間中安全な走行移動が保証される確率を橋梁の信頼度と定義する.

また, *i* 番目の橋梁の信頼度 P_i について式(5)のように定義する.

$$P_i = \frac{Y_i - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}} \dots\dots\dots (5)$$

Y_i : 橋梁の評価値

Y_{min} : 損傷度が最小のときの橋梁の評価値

Y_{max} : 損傷度が最大のときの橋梁の評価値

式(5)によって橋梁の損傷度を0から1の範囲で

表すことができるようになる。損傷が無ければ信頼度は1, 損傷が最も激しい時に信頼度が0となる。

また, 道路網の構成リンクに対し, 安全な走行移動が保証される確率を, リンク信頼度と定義し, これをもってそのリンクが通行できるかできないかを表す連結確率とする。

リンクの連結確率 R_s は, そのリンクに含まれる i 番目の橋梁の信頼度 P_i が式 (5) によって与えられた場合, 以下のようにして求めることができる。

すなわち, 道路網のある地点とある地点とをつなぐ一本のリンクを考えた場合, それは図-3 のような n 個の節点と $n-1$ 個の橋梁からなる直列構造とみることができる。このような直列系の構造の場合, 一ヶ所でも通行不能になれば, この系全体が機能しなくなる。すなわち, この系が機能を果たすためにはすべての橋梁が通行可能でなくてはならない。ここで, 各橋梁の通行不能状態が独立に起こるとすれば, 乗法定理によってリンクの連結確率 R_s は式 (6) で表される。

$$R_s = \prod_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots (6)$$

本研究では, 図-2 において特に A-I 間の連結性を高めるために, A-I 間の信頼度を最小パス法により算出し, ネットワークの評価の指標としている。その際, 得られる最小パスの集合は全部で 30 のパスを含むが, そのうち大きな迂回を必要とするパスは除き, 実際に取りうるパスのみを拾い上げた。

(3) ネットワーク全体での信頼度算出

ネットワーク全体での信頼度の算出方法は文献を参考して設定した¹³⁾。

すなわち, k 個の節点, l 本のリンクからなるネットワークにおいて, k 個の節点のいずれもが分離しない確率 R は, ネットワークがとりうるすべての連結状態 2^l 個を列挙し, その中で全節点が連結されている状態のみを拾い出し, それらの状態の生起確率の和として求められる。

図-2 のネットワークモデルにおける連結状態は全部で $2^{14} = 16384$ 通りあり, そのうち全点が連絡可能な状態にあるものは 3570 状態である。したがって, 橋梁の補修前におけるこのネットワークの信頼度は 0.65133 となる。

(4) 目的関数の設定

さらに本研究では, ネットワークの信頼性を指標とした補修計画を立てるために, 式 (7), 式 (8), 式 (9) に示す目的関数を設定する。

$$F_{R2} = \frac{R}{\sqrt{g} + \alpha_2} \rightarrow \max \dots\dots\dots (7)$$

$$F_{R4} = \frac{\sum_{i=1}^n (e_{i2} - e_{i1}) + \beta_3 R}{\sqrt{g} + \alpha_4} \rightarrow \max \dots\dots\dots (8)$$

$$F_{R6} = \frac{R \left\{ \sum_{i=1}^n (e_{i2} - e_{i1}) \right\}}{\sqrt{g} + \alpha_6} \rightarrow \max \dots\dots\dots (9)$$

ここで n は橋梁数, e_{i1} は補修前の橋梁の評価値, e_{i2} は補修後の橋梁の評価値, R は全点サービスにおけるネットワークの信頼度, $\alpha_2, \alpha_4, \alpha_6, \beta_3$ は係数である。

新しい目的関数のパラメータ決定のための数値実験を行うにあたり, GA のパラメータおよび目的関数のパラメータを表-3 に示すものとした。予算額は, 多すぎれば, 要補修箇所がほとんど補修できてしまい, 少なすぎれば補修費用の大きな補修項目が選択されにくくなる傾向が顕著となる。そこで, 文献⁴⁾の検討(予算を2億円, 1億円, 5000万円と設定して比較)を参考に, GA の解の差が生じるように5000万円と設定した。交叉方法は一点交叉とし, 多点交叉法との比較検討は行っていない。

これらのパラメータを用いて, 数値実験をそれぞれ5回ずつ行った。

表-3 GA の主なパラメータ

予算	: 5千万円		
人口数	: 100		
淘汰	: エリート保存と増殖		
交叉率	: 0.6(一点交叉)		
突然変異率	: 0.05		
α_2	: 10000,	50000,	70000
β_3	: 5000,	20000,	100000
α_4	: 10000,	50000,	70000
α_6	: 10000,	50000,	70000

4. 数値実験結果と考察

本節では、前節で得られたパラメータを用いて、 F_a , F_{R2} , F_{R4} , F_{R6} の各目的関数の補修代替案を比較検討する。

比較する各目的関数の5回の数値実験の結果の中で目的関数値が最も高かったものを代替案として採用する。各目的関数のネットワークの信頼度を図-4に、橋梁の評価値の増加量を図-5に、補修費用を図-6にそれぞれ示す。いずれの図にも、5回の数値実験結果を示している。

図-4、図-5より、目的関数 F_a (式(3))による数値実験では橋梁の評価値の増加のみ考慮しているの、信頼度の改善は他の目的関数を用いた場合よりも低い結果となっている。しかし、補修前のネットワークの信頼度が0.65133であることを考えると、ネットワークの信頼度を考慮しなくても、平均して0.98以上にまで信頼度を向上させることが可能であるということが言える。

逆に、評価値の増加量を考慮せずに信頼度の改善のみを目的とした目的関数 F_{R2} による場合は、信頼度が0.988をこえる高信頼度となっている。しかし、評価値の増加量はかなり落ち込んでしまっている。

目的関数 F_{R4} による数値実験の結果では、評価値の増加量は F_a に比べて若干劣る結果となっているが、信頼度が高い値を得ており、両者を最大化させようとする目的関数の効果が現れているといえる。また、予算についても2回目の試行以外はほぼ使い切っており、これも投資効率を考慮した目的関数のためであるといえる。本来、補修代替案は経済性や安全性などあらゆる側面を考慮にいたれた多目的最適設計問題となるが、ここでは単純に考慮する項目の効果を加算しているのみであるため細部の調整は難しいと考えられる。各目的関数の中では、 F_{R4} がネットワーク信頼度と橋梁評価値の両者のバランスがとれた妥当な結果を示している。

目的関数 F_{R6} の場合は、評価値の増加量は十分高い値となっているが、信頼度の向上が十分とは言えない。 F_{R6} も F_{R4} と同様に橋梁の評価値の増加と信頼度の向上の両者を考慮して設定したものであるが、式(9)では、両者の寄与を積の形で取り扱ったことにより、信頼度の項が代替案の作成にあまり反映さ

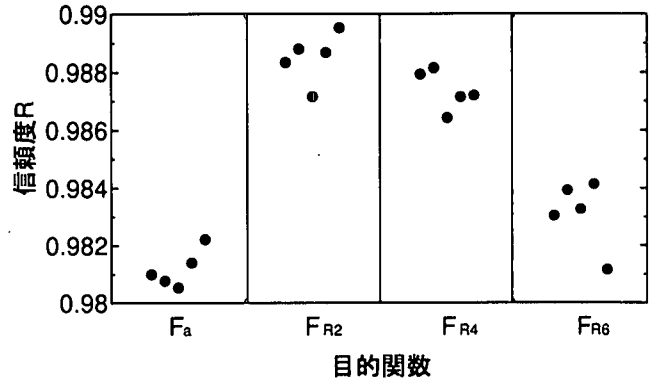


図-4 各目的関数のネットワークの信頼度

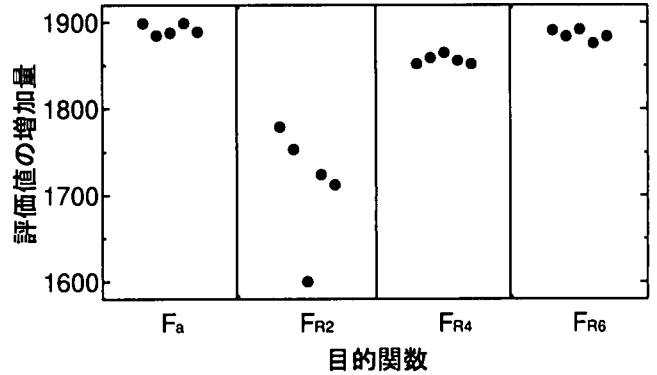


図-5 各目的関数の橋梁の評価値の増加量

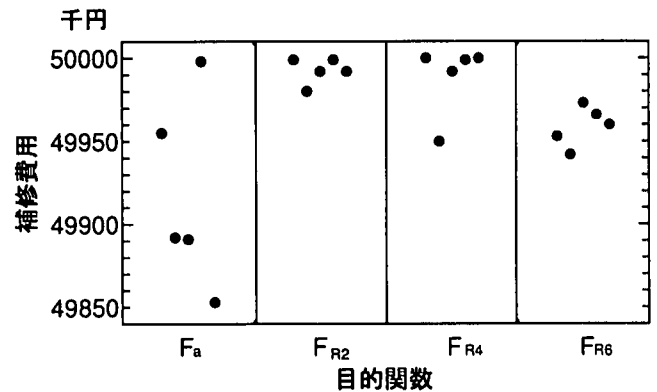


図-6 各目的関数の補修費用

れなくなったものと考えられる。

また、補修前と各目的関数による補修後のネットワークの各リンクの連結確率について、表-4に示す。さらに、補修前と補修後のネットワークの状態を図-7から図-11に示す。この図は各リンクの信頼度を線の太さで表している。

表-4を見ると、ネットワークの信頼度に重きを置いた目的関数 F_{R2} および F_{R4} では、リンク6とリンク9の信頼度が1となっている。これは、このリンクにある橋梁について、重点的に補修が行われたためと考えられる。すなわちネットワーク全体の信

表-4 各リンクの信頼度

リンク No.	補修前 評価値	目的関数			
		F_a	F_2	F_4	F_6
1	0.48235	0.68492	0.64801	0.68531	0.74960
2	0.69710	0.82425	0.82425	0.82425	0.82425
3	0.88855	0.91220	0.92592	0.91220	0.91220
4	0.70366	0.89197	0.73174	0.84475	0.89197
5	0.57214	0.81236	0.69724	0.73799	0.73799
6	0.70517	0.87105	1.00000	1.00000	0.90630
7	0.66825	0.95400	1.00000	0.95400	0.95400
8	0.70693	0.87600	0.87600	0.87600	0.87600
9	0.64456	0.91011	1.00000	1.00000	0.91011
10	0.72462	0.91166	0.91166	0.91160	0.91166
11	0.83536	0.86623	0.86623	0.86620	0.86623
12	0.56008	0.90800	0.60437	0.76510	0.86623
13	0.43959	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
14	0.64421	0.91011	1.00000	0.91011	0.91011

信頼度 $R = 0.65133$

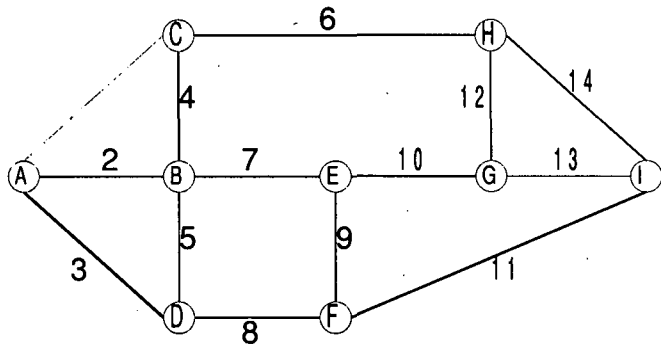


図-7 ネットワークモデル (補修前)

信頼度をあげるためには、このリンクが重要であるということがわかる。

採用した代替案の一部を表-5 に示す。ただし、○の付いた項目が補修項目として選ばれた項目である。

なお、各橋梁の

- 1 段目：目的関数 F_a による代替案
- 2 段目：目的関数 F_{R2} による代替案
- 3 段目：目的関数 F_{R4} による代替案
- 4 段目：目的関数 F_{R6} による代替案となっている。

補修前の信頼度の低かったリンク 13 について、信頼度が 1 にまで大きく値が改善されるように補修が施されている。このリンクの補修内容について表-5

信頼度 $R_a = 0.98099$

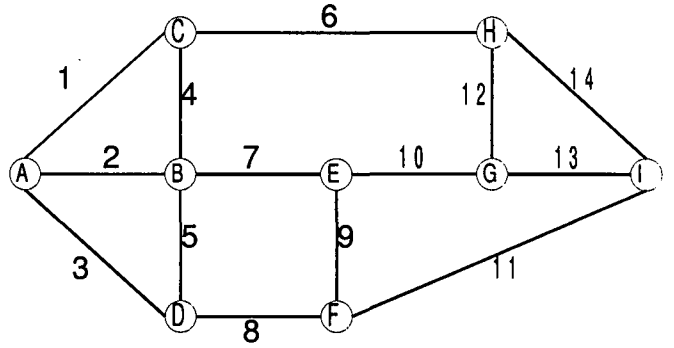


図-8 ネットワークモデル (目的関数 F_a による補修後)

信頼度 $R_2 = 0.98952$

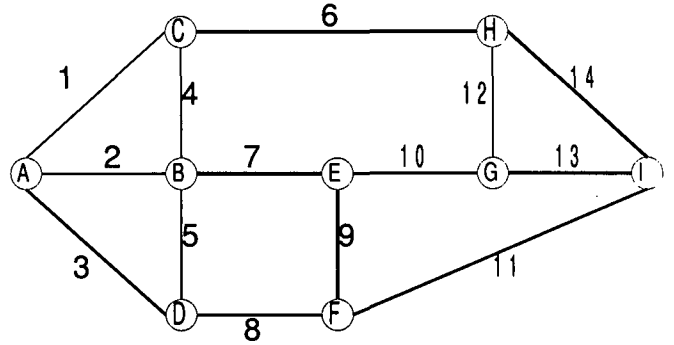


図-9 ネットワークモデル (目的関数 F_{R2} による補修後)

信頼度 $R_4 = 0.89814$

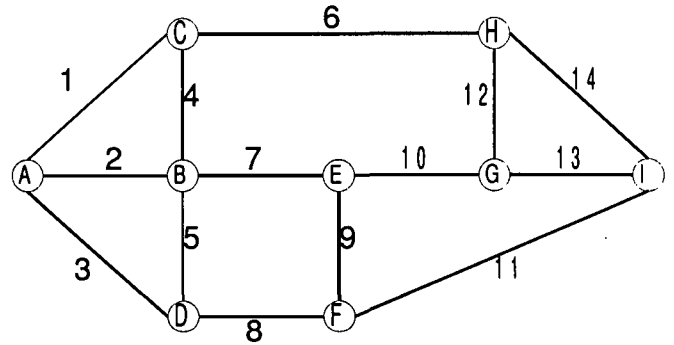


図-10 ネットワークモデル (目的関数 F_{R4} による補修後)

信頼度 $R_6 = 0.98326$

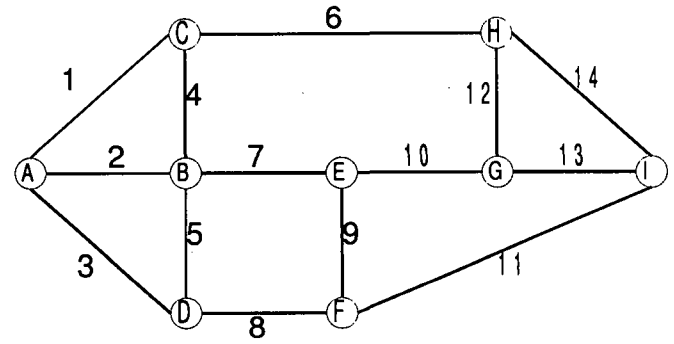


図-11 ネットワークモデル (目的関数 F_{R6} による補修後)

表-5 各目的関数による数値実験の結果

リンク No.	橋梁名	橋面舗装	地覆高欄	床版	床組	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	評価値		
																補修前	補修後	
13	RC 37	③	③	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	②	②	187.	375.	
		③	③	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	②	②	187.	375.	
		③	③	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	②	②	187.	375.	
		③	③	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	②	②	187.	375.	
	RC 38	1	1	1	②	1	1	②	1	0	1	1	1	1	②	106.	159.	
		1	1	1	②	1	1	②	1	0	1	1	1	1	②	106.	159.	
		1	1	1	②	1	1	②	1	0	1	1	1	1	②	106.	159.	
	RC 39	②	1	1	②	1	②	③	1	0	1	1	1	1	②	143.	249.	
		②	1	1	②	1	②	③	1	0	1	1	1	1	②	143.	249.	
		②	1	1	②	1	②	③	1	0	1	1	1	1	②	143.	249.	
	14	RC 40	1	1	1	②	1	②	2	②	0	1	1	1	1	1	114.	148.
			1	1	1	②	1	②	②	②	0	1	1	1	1	1	114.	171.
1			1	1	②	1	②	2	②	0	1	1	1	1	1	114.	148.	
1			1	1	②	1	②	2	②	0	1	1	1	1	1	114.	148.	
RC 41		1	1	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	1	②	83.	159.	
		1	1	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	1	②	83.	159.	
		1	1	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	1	②	83.	159.	
		1	1	1	1	1	②	③	1	0	1	1	1	1	②	83.	159.	
RC 42		②	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1	1	80.	97.	
		②	1	1	1	1	1	②	1	0	1	1	1	1	1	80.	120.	
		②	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1	1	80.	97.	
RC 43		③	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	17.	51.	
	③	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	17.	51.		
	③	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	17.	51.		
	③	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	17.	51.		

を見てみると、どの目的関数を用いても同じように補修されている。これはすなわち、このリンクに橋梁の評価値を大きく増加させる補修部位が多く含まれていたことと、このリンクがネットワークの信頼度を向上させる上で、重要であったことが、一致したためと考えられる。このようなリンクを補修することで、評価値の増加と信頼度の改善の両者を、共に良くすることができるようになる。しかし、すべてのリンクでこのように両者同時に良くすることはできるとは限らない。ネットワークの形態など様々な因子に依存していると思われるが現時点ではそこまでの分析はできていない。

5. 結論

本研究では、橋梁の補修計画が、橋梁群全体での評価値の増加量を指標としたものに加えてネットワー

クの信頼性も考慮したものとなるように、システムの再構築を試みた。その結果、ネットワークの信頼性が改善されるように補修箇所を選択する代替案の作成が可能となった。その具体的な内容としては、以下に示すものがあげられる。

- 目的関数にネットワークの信頼度の項を加えることで、橋梁の評価値の増加量とネットワークの信頼度の両者を同時に考慮できるようになった
- 目的関数 F_{R4} では、ネットワークの信頼度の項を加えても、橋梁の評価値の増加量を下げることなく補修案が作成できた

今後の課題としては、今回は評価関数の設定にあたって、橋梁評価値とネットワーク信頼度の最大化を一つの目的関数にまとめたが、多目的最適化問題として定式化を改めた場合の方が有効かどうかの比較検討が考えられる。

参考文献

- 1) 西川 和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集 No.501,pp.1-10, 1994.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 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, 1998.7.
- 6) 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.
- 7) 岡田 清，今井 宏典：損傷と補修事例にみる道路橋のメンテナンス 阪神高速道路，山海堂，1993.
- 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) 今野 浩，鈴木 久敏：整数計画法と組み合わせ最適化，日科技連，p.149, 1982.
- 10) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書，p.13, 1993.
- 11) 佐佐木 綱，飯田恭敬：交通工学，国民科学者，p.171, 1992.
- 12) 塩見 弘：信頼性工学入門，丸善，1967.
- 13) 小林 正美：道路網・ネットワークシステムの信頼度解析法に関する研究，都市計画論文集別冊，pp.385-390, 1980.