

BMS における維持管理対策の優先順位決定方法の提案

The proposal of method of applying priority level of a maintenance measure

仁木京子*, 今野将顕**, 宮本文穂***, 中村秀明****, 石田純一*****

Kyoko Niki,, Masaaki Konno, Ayaho Miyamoto, Hideaki Nakamura, Jun-ichi Ishida

*工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

**修士(工学) JIP テクノサイエンス株式会社 (〒135-0016 江東区東陽 2-4-24)

***工博 山口大学教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

****博士(工学) 山口大学助教授 工学部知能情報システム工学科 (同上)

*****山口県土木建築部道路整備課 (〒753-8501 山口市滝町 1-1)

This paper shows an approach to optimum maintenance plan of existing bridges within budget. The maintenance plan is settled on in consideration of the management level and the deterioration speed. The maintenance plan is optimized in two stages. One stage is a minimization of life cycle cost in each existing bridge. Other stage is a selection of the bridge where measures are necessary within annual budget. Both stages used Genetic Algorithm for optimization. Moreover, the validity of this method is verified by using the actual bridge data.

Key Words, BMS, maintenance planning, genetic algorithm (GA), lifecycle cost, deterioration speed, management level

キーワード: BMS, 維持管理計画, 遺伝的アルゴリズム, ライフサイクル コスト, 劣化速度, 管理レベル

1. はじめに

わが国の橋梁の多くは、1975 年を中心とした近年に偏って架設されているため、将来のある時期に一齐に寿命を迎えるという問題を抱えている。また、公共投資予算は大幅な削減の方向にあり、維持管理や更新のトータルコストの縮減をはかるため、効率的・計画的な橋梁の保全が注目を集めている。よって、既存橋梁に対して更新時期の平準化を行うよう合理的な維持管理を行い、限られた予算を有効に使うことの重要性が指摘されており、既存橋梁の劣化診断ならびに診断結果に基づく補修・補強工法の選定のみならず、限られた予算の中で最大の効果を得るための維持管理計画の作成が可能な統合型支援システムすなわち橋梁維持管理支援システム (Bridge Management System: BMS) の必要性が叫ばれている。

このような背景のもと、著者らは、包括的な橋梁の維持管理を支援することのできるシステムとして BMS (以下、前 BMS と記す) の開発を行ってきた¹⁾³⁾。前 BMS のサブシステムの 1 つである、維持管理計画策定システムでは、維持管理対策を行う橋梁の選定の際に、橋梁の

劣化の速度が考慮されておらず、数年後に急激に品質が低下する橋梁が対策対象として選定されないことや、路線における重要度を考慮せず、複数の橋梁を全て同じレベルで管理していることなどの問題点を有している。この問題を回避するために、橋梁の劣化速度と橋梁の管理レベルを考慮したの維持管理計画策定を行い、補修補強の優先順位を行う必要がある。古田らは⁴⁾、道路ネットワークを対象とし、5 年後のリスクを評価指標として補修順位の決定を行っている。近田らは⁵⁾、補修計画立案に対してウィルス進化型 GA を適用して、最適解探索の効率化を図っている。

そこで本研究では、路線の交通量や緊急輸送道路の有無などを考慮して、橋梁の管理レベルの設定を行い、管理レベルおよび劣化速度を考慮した指標を用いて複数橋梁を対象とした維持管理計画の策定を行う。複数橋梁を対象とした維持管理計画の策定は、管理レベルを制約条件として個々の橋梁のライフサイクルコスト (Life Cycle Cost: LCC) 最小化を行う問題と、管理レベルおよび劣化速度を考慮した指標を用いて、橋梁群の品質の最大化を行う問題の 2 段階に分けて行う。また、維持管理計画の

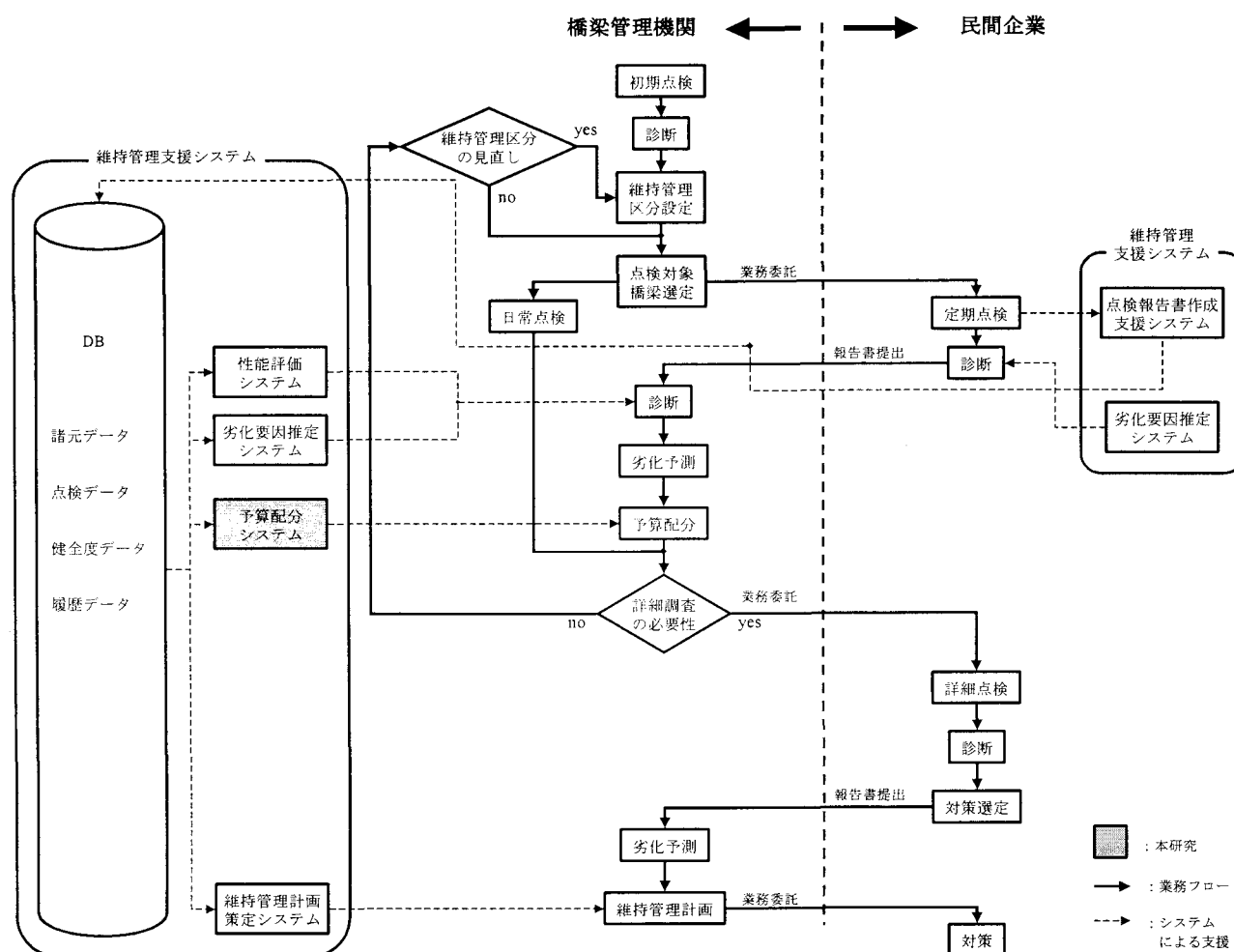


図-1 維持管理業務フローと BMS の位置づけ

策定には、最適化問題の解法の1つである遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm：GAs）の適用を試み、準最適解の導出を行い、劣化速度を考慮した指標の有効性を検証する。

2. 本研究の位置づけ

まず、維持管理手法の概要と本研究の位置づけを図-1に示す。この維持管理業務手順では、まず、橋梁管理者は供用開始前に初期点検を行う。既設構造物に関しては最初の定期点検を初期点検とする。この初期点検の結果を用いて診断を行い、橋梁の点検周期すなわち維持管理区分を設定する。通常は、この設定された点検周期により定期点検を行う。さらに、定期点検の結果を用いて、性能評価および劣化要因推定などの診断を行う。この診断結果を用いて、複数橋を対象とした性能劣化曲線を設定し、概略の維持管理計画の立案および予算配分を行う。予算配分の結果、本年度に対策が必要と判定された橋梁において詳細点検を行う。一方、詳細点検の必要なしと判定された橋梁においては、点検周期の見直しを行い、新たに、維持管理区分の設定を行う。

本研究は、この維持管理手順における予算配分を行う

際に必要となる、維持管理対策の優先順位付けの方法を提案するものである。

3. 予算配分の手順

本研究の予算配分の手順を以下に示す。まず、劣化予測を用いて、維持管理の対象となる橋梁を橋梁群の中から選定する。次に、維持管理の対象橋梁に対して維持管理計画の最適化を行う。この最適化は個々の橋梁のLCCの最小化と橋梁群の維持管理計画の最適化の2段階で行う。これは、複数橋梁の維持管理計画最適化を単に単数橋梁の場合の拡張としてとらえ⁹⁾、GAsを用いて、個々の橋梁のLCC最小化と橋梁群の維持管理計画の最適化を同時に満たそうとすると解空間が広くなり、予算を多くかけたにもかかわらず、予算が少ない場合より橋梁群の性能が低下するなど最適解を導出できないためである。まず、個々の橋梁LCCの最小化で、LCCが最小となるよう個々の橋梁の予定供用年までの維持管理計画を策定する。次に、橋梁群の維持管理計画の最適化で、計画年の橋梁群の最適な維持管理対策を策定する。以下に、橋梁の劣化予測、維持管理計画の最適化について詳しく述べる。

表-1 補修および補強の費用と効果

維持管理対策	工費 (U/m ²)		対策後の予想劣化曲線
	床版	主桁	
①補修・補強なし	0.0	0.0	$f_{(i)}(t) = b_{L(i)} - a_{L(i)}(t-t'')^4$ $g_{(i)}(t) = b_{D(i)} - a_{D(i)}(t-t'')^3$
②補修			
A) 簡易補修	A) 23.8	23.8	$f_{(i)}(t) = \{b_{L(i)} - a_{L(i)}t''^4\} - a_{L(i)}(t-t'')^4$ $g_{(i)}(t) = 100 - a_{D(i)}(t-t'')^3$
B) 大規模補修	B) 33.6	33.6	
③補強			
A) +簡易補修	A) 94.6	132.1	$f_{(i)}(t) = 100 - a_{L(i)}(t-t'')^4$ $g_{(i)}(t) = 100 - a_{D(i)}(t-t'')^3$
B) +大規模補修	B) 104.4	141.9	

注) 表中のA, Bの区別は, 耐久性の健全度の値が50以上の場合はAが選択され, 50未満の場合はBが選択されるものとしている

$f_{(i)}(t)$: 対策後の耐荷性における予想劣化曲線, $b_{L(i)}, a_{L(i)}$: 対策前の耐荷性における予想劣化曲線式の定数

$g_{(i)}(t)$: 対策後の耐久性における予想劣化曲線, $b_{D(i)}, a_{D(i)}$: 対策前の耐久性における予想劣化曲線式の定数

t : 供用開始年からの橋齢, t'' : 対策時の橋齢

3.1 劣化曲線の設定

本研究では, 橋梁群における各スパンの主桁および床版に対して劣化予測を行い, それらの耐荷性または耐久性の健全度が予定供用年までに管理レベルを下回った橋梁を維持管理対策の対象とする。ここで, 耐荷性は橋梁部材の耐荷力に基づいて評価される橋梁の性能で, 耐久性は橋梁部材の劣化速度から見た橋梁部材の劣化に対する抵抗性で, とともに0~100の数値をとる。

劣化予測には, 過去に行った実橋梁の床版および主桁に関する実験データなどから, 耐荷性を4次関数と仮定し, 耐久性を耐荷性の微係数であると考え3次関数と仮定し, 以下の式を用いている。

$$S_L = f(t) = b_L - a_L t^4 \quad (1)$$

$$S_D = g(t) = b_D - a_D t^3 \quad (2)$$

なお, S_L は耐荷性の健全度, S_D は耐久性の健全度, t は橋齢, a_L, b_L, a_D, b_D は定数である。供用開始時の b_L, b_D の値を100とし, 点検時の耐荷性と耐久性の健全度の値を用いて a_L, a_D を算出する。また, その後の経年劣化によって健全度が0になった時に維持管理の限界に達したとみなし, 架替えが早急に必要であると仮定している。

コンクリート構造物における維持管理対策の主な目的は, 「劣化因子の遮断」, 「劣化速度の抑制」, 「劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制」および「耐荷力, 変形性能の改善」の4つに大別されると考えられる⁷⁾。維持管理計画策定システムの目的は, 維持管理費用の概算や維持管理計画の概略, 詳細点検対象橋梁の選定であり, 各橋梁への概算予算の最適配分である。そこで本研究では, 「劣化因子の遮断」, 「劣化速度の抑制」, 「劣化因子の除去および鋼材腐食の大幅な抑制」を補修,

「耐荷力, 変形性能の改善」を補強とする2つの維持管理対策を用いる。

補修の効果

①耐久性の健全度が100まで向上する。

これは, 補修を行う以上, 耐久性については新設時と同じ状態まで回復させることを目標とするのが普通であるため, 補修工法による耐久性の健全度は100まで向上する。

②耐荷性の劣化速度が緩和される。

補修を行うことは, 耐久性のグレードアップのみならず, 耐荷性の劣化速度を緩やかにする働きもあるであろうと考えられるためである。

補強の効果

①耐荷性の健全度が100まで向上する。

本研究では, 補修, 補強を組み合わせたものを1つの維持管理対策である補強として捉え, 補修および補強が各性能の劣化曲線に及ぼす効果を表-1のように定義する。表-1は, 床版における補修および補強が各性能の劣化曲線に及ぼす効果とともに, 補修・補強の費用も示している。

予算配分では, 目視点検レベルのデータから維持管理費用の概算を算出し, 事業の優先順位付けを行うことが目的であるため, 事例データをもとに, 対策費用は各橋種とも同額と設定している。なお, 対策費用に用いている単位Uは, $1U \equiv 1,000$ 円と換算している。

3.2 維持管理計画の最適化

予定供用年を満たさず, 維持管理対策の対象となった橋梁の計画期間T年間における各年に対して, 表-1に示す3通りの維持管理対策を排他的に選択し, 橋梁の余寿命が予定供用年数を満足する維持管理計画を策定する。

予算配分問題の最適化は, 個々の橋梁のLCCを最小と

する問題と、年度予算を制約条件として計画年 t に対策を行う橋梁を選定する橋梁群の維持管理計画最適化問題の2段階で行う。図-2 に予算配分の手順を示す。

【Step1】 橋梁 i において τ_i 年目に対策 m を実施した時のライフサイクルコスト $LCC_{i,\tau_i,m}$ を算定する。

【Step2】 Step1 を対策数分繰り返し、 $\min_m(LCC_{i,\tau_i,m})$ となる対策プランを選定する。

【Step3】 Step1, 2 を橋梁数分繰り返す。

【Step4】 t 年目の予算制約のもと、 t 年に対策を行う橋梁を選定する。

【Step5】 Step1～4 を計画年数分繰り返す。

個々の橋梁の最適維持管理計画および橋梁群の最適維持管理計画の定式化を以下に示す。

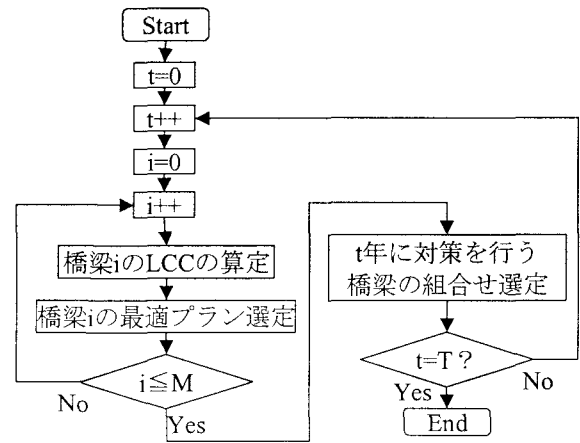


図-2 予算配分の手順

(1) 個々の橋梁の最適維持管理計画

橋梁 i において計画年 t (橋齢 $\tau_{i,t}$) に対策 m を実施したとき、 $t+1$ 年から予定供用年数までの期間で、健全度が管理レベルを下回らないという条件を満たす対策の組合せの中からライフサイクルコスト $LCC_{i,\tau_{i,t},m}$ が最小となる対策の組合せ、すなわち維持管理計画を策定する。

この維持管理計画問題の定式化を以下に示す。

[目的関数]

$$LCC_{i,\tau_{i,t},m} = \sum_{\tau=\tau_{i,t}}^{L_i} C_{i,\tau} \rightarrow \min \quad (3)$$

ただし、

$$C_{i,\tau} = l_{M_{i,\tau}} \cdot CM_{i,m} + l_{S_{i,\tau}} \cdot CS_{i,m} \quad (4)$$

[制約条件]

$$\begin{aligned} S_{SL_i}(\tau) &> level_{L_i}, \quad S_{SD_i}(\tau) > level_{D_i}, \\ S_{ML_i}(\tau) &> level_{L_i}, \quad S_{MD_i}(\tau) > level_{D_i} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、

$LCC_{i,\tau_{i,t},m}$: 橋梁 i の橋齢 $\tau_{i,t}$ に対策 m を実施した場合のライフサイクルコスト

i : 橋梁番号 ($i=1 \sim M$)

M : 橋梁数

t : 計画年 ($t=1 \sim T$)

T : 計画期間 (年)

τ : 橋齢 ($\tau=\tau_{i,1} \sim L_i$)

$\tau_{i,t}$: 橋梁 i の計画年 t における橋齢

L_i : 橋梁 i における供用年数

m : 維持管理対策の種類

$\tau_{i,t}$: 橋梁 i の計画年 t における橋齢

L_i : 橋梁 i における供用年数

m : 維持管理対策の種類

$C_{i,t}$: 橋梁 i の計画年 t における維持管理費用 (U)

$CM_{i,m}$: 橋梁 i の主桁における維持管理対策 m の費用

表-2 管理レベルの定義

大型交通量 (台/日・方向)	道路種別	一般交通量 (台/日・方向)	付加条件	健全度 $S_{SL}(t) - S_{SD}(t)$
1000以上	主要国道	—	—	I - I
		12000以上	—	I - I
		12000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	I - II II - I II - I II - II
	主要地方道	15000以上	—	I - I
		15000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	I - II I - II II - I II - II
	一般地方道	18000以上	—	I - I
		18000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	I - II I - II II - I II - II
	主要国道	—	—	II - II
		12000以上	—	II - II
		12000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	II - III II - III III - II III - III
	主要地方道	15000以上	—	II - II
		15000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	II - III II - III III - II III - III
	一般地方道	18000以上	—	II - II
		18000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	II - III II - III III - II III - III
250以上 1000未満	主要国道	—	—	III - III
		12000以上	—	III - III
		12000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	III - IV III - IV IV - III IV - IV
	主要地方道	15000以上	—	III - III
		15000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	III - IV III - IV IV - III IV - IV
	一般地方道	18000以上	—	III - III
		18000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	III - IV III - IV IV - III IV - IV
250未満	主要国道	—	—	III - III
		12000以上	—	III - III
		12000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	III - IV III - IV IV - III IV - IV
	主要地方道	15000以上	—	III - III
		15000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	III - IV III - IV IV - III IV - IV
	一般地方道	18000以上	—	III - III
		18000未満	緊, 第3 緊, 第3 第3 無	III - IV III - IV IV - III IV - IV

表-3 レベルの定義

管理レベル	$S_L(t), S_D(t)$
I	>50.0
II	>37.5
III	>25.0
IV	>12.5

$C_{S_{i,m}}$: 橋梁 i の床版における維持管理対策 m の費用
 $l_{M_{i,\tau}}$: 橋梁 i の橋齢 τ における主桁の対策の有無
 $l_{S_{i,\tau}}$: 橋梁 i の橋齢 τ における床版の対策の有無
 $SSL_i(\tau)$: 橋梁 i の橋齢 τ における床版耐荷性の健全度
 $SSD_i(\tau)$: 橋梁 i の橋齢 τ における床版耐久性の健全度
 $SML_i(\tau)$: 橋梁 i の橋齢 τ における主桁耐荷性の健全度
 $SMD_i(\tau)$: 橋梁 i の橋齢 τ における主桁耐久性の健全度
 $level_{L_i}$: 橋梁 i における耐荷性の管理レベル
 $level_{D_i}$: 橋梁 i における耐久性の管理レベル

制約条件に健全度が管理レベルを下回らないという条件を加えることによって、ライフサイクルコストが少なくなるにつれて、著しく橋梁の品質が低下してしまわないように、最低限の品質を保つことができる。橋梁の管理レベルは、文献 8)を参考に、表-2、表-3 のように定義する。表-2 における健全度の欄に記載されている I ~ IV は、表-3 に対応している。表-2 の大型車交通量、一般交通量および表-3 の健全度をユーザーが任意の値に設定することにより、各橋梁に対し適当な管理レベルを設定できる。

(2) 橋梁群の最適維持管理計画

既存の研究では、橋梁の耐荷性、耐久性の総合評価である品質をもちいて、計画年 t において、橋梁群の品質を評価指標とし、品質が最大となるよう計画年 t の維持管理計画を策定していた⁹⁾。

品質の評価には以下の式を用いる。

$$Q_{t,i} = \left\{ 1 - \frac{\sqrt{(x_0 - q_{S,i}(t))^2 + (y_0 - q_{M,i}(t))^2}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \right\} \times 100 \quad (6)$$

$$q_{S,i}(t) = \left\{ 1 - \frac{\sqrt{(x_0 - SSL_i(t))^2 + (y_0 - SSD_i(t))^2}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \right\} \times 100 \quad (7)$$

$$q_{M,i}(t) = \left\{ 1 - \frac{\sqrt{(x_0 - SML_i(t))^2 + (y_0 - SMD_i(t))^2}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \right\} \times 100 \quad (8)$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 &\text{if } SML_i(t) = 0 \text{ or } SMD_i(t) = 0 \text{ then } q_{M,i}(t) = 0 \\
 &\text{if } SSL_i(t) = 0 \text{ or } SSD_i(t) = 0 \text{ then } q_{S,i}(t) = 0 \\
 &\text{if } q_{M,i}(t) = 0 \text{ or } q_{S,i}(t) = 0 \text{ then } Q_{t,i} = 0
 \end{aligned}$$

ここで、

$Q_{t,i}$: 橋梁 i の計画年 t における品質

$q_{S,i}(t)$: 橋梁 i の床版の計画年 t における品質

$q_{M,i}(t)$: 橋梁 i の主桁の計画年 t における品質

x_0, y_0 : 品質基準点 (=100)

式(7)、(8)を用いることにより、床版、主桁における品

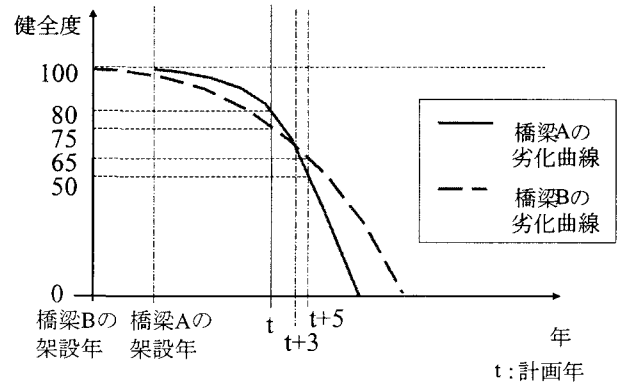


図-3 橋梁の劣化の概念図

質は、耐荷性、耐久性それぞれの状態と両者のバランスを考慮することができる。また、橋梁の品質も同様に床版および主桁の品質より算出する。これは、橋梁の品質は各部材の品質とそのバランスを考慮することが妥当であると考えたためである。

既存の研究のように、計画年 t の品質のみを評価指標とすると、それ以降の劣化状況は考慮されない。

例えば、図-3 に示すように、計画年 t において健全度のみに注目した場合、橋梁 A の健全度は 80 点、橋梁 B の健全度は 75 点で、橋梁 A が健全度が高く、橋梁 B に優先的に維持管理対策を行う必要がある。しかしながら、3 年後の $t+3$ 年には橋梁 A、橋梁 B とも健全度は等しくなり、5 年後の $t+5$ には、橋梁 A の健全度は 50 点、橋梁 B の健全度は 65 点で、橋梁 B が健全度が高く、橋梁 A に優先的に維持管理対策を行う必要があると評価が逆転する。また、何も対策を行わなかった場合、健全度が 0 になり維持管理の限界を先に迎えるのは橋梁 A であり、この場合、橋梁 A に優先的に維持管理対策を行うのが望ましく、劣化速度を考慮する必要があると考える。

そこで本研究では、劣化速度を考慮し、維持管理対策の優先順位付けを行う方法について提案する。管理レベルを考慮するため、健全度が管理レベルを下回る値を用いて品質を補正する。これを補正品質と定義する。補正品質の計画年以降数年間の和を評価指標とすることにより劣化速度を考慮した維持管理計画の最適化を行う。この予算配分問題の定式化を以下に示す。

[目的関数]

$$Q_t = \sum_{i=1}^M \sum_{t'=t}^{t+n} \alpha_{t',i} \times Q_{t',i} \rightarrow \max \quad (9)$$

ただし、

$$\alpha_{t',i} = 1 - \frac{g_{SL,i}(t) + g_{SD,i}(t) + g_{ML,i}(t) + g_{MD,i}(t)}{level_{SL,i} + level_{SD,i} + level_{ML,i} + level_{MD,i}} \quad (10)$$

[制約条件]

$$C_t \leq bud_{p,t} \quad (11)$$

$$bud_{p,1} = \frac{Bud_p}{\sum_{\tau=1}^T (1+r)^{\tau-1}} \quad (12)$$

$$bud_{p,t} = bud_{p,1} \times \prod_{\tau=1}^t (1+r) \quad (13)$$

$$Bud_p = BudT \times \left\{ 1 + \frac{1}{N_D} (N_D + 2 - 2p) \alpha \right\} \quad (14)$$

ここで、

$\alpha_{t',i}$: 橋梁*i*の*t'*年における健全度が管理レベルを

下回る量による補正係数

$g_{SL,i}(t')$: 橋梁*i*の*t'*年の床版耐荷性の健全度が

管理レベルを下回る量

$g_{SD,i}(t)$: 橋梁*i*の*t*年の床版耐久性の健全度が

管理レベルを下回る量

$g_{ML,i}(t')$: 橋梁*i*の*t'*年の主桁耐荷性の健全度が

管理レベルを下回る量

$g_{MD,i}(t')$: 橋梁*i*の*t'*年の主桁耐久性の健全度が

管理レベルを下回る量

$level_{SL,i}$: 橋梁*i*における床版の耐荷性の管理レベル

$level_{SD,i}$: 橋梁*i*における床版の耐久性の管理レベル

$level_{ML,i}$: 橋梁*i*における主桁の耐荷性の管理レベル

$level_{MD,i}$: 橋梁*i*における主桁の耐久性の管理レベル

t' : 品質を考慮する年 ($t' = t \sim t+n$)

n : 品質を考慮する年数

C_t : 計画年*t*における維持管理費用の総和

S_t : 計画年*t*における劣化曲線の傾きの総和

$S'_{L,t}$: 計画年*t*における橋梁*i*の耐荷性の劣化曲線の傾き

$S'_{D,t}$: 計画年*t*における橋梁*i*耐久性の劣化曲線の傾き

$bud_{p,t}$: 維持管理計画*p*の*t*年における予算(U)

Bud_p : 維持管理計画*p*における総予算(U)

$BudT$: 総予算(U)

r : 年度予算増加率

α : 総予算拡張率

p : 維持管理計画番号 ($p = 1 \sim N_D + 1$)

N_D : 予算分割数 (偶数のみ)

本研究では、健全度が 0 になった時に維持管理の限界に達したとみなし、架替えが早急に必要であると仮定している。このため、管理レベルが低い橋梁は、健全度が管理レベルを下回る量がわずかであっても、健全度は 0 に近づき、健全度が管理レベルを下回る量が同じで、管理レベルが高い橋梁より、架替えの必要があると考える。そこで、式(10)を用いて、健全度が管理レベルを下回る量で品質を補正することにより、健全度が 0 に近く品質が低いもの、および管理レベルを大幅に下回るものに対して、補正後の品質が低くなるように設定した。このため、計画年以降数年間の補正品質の和を取ることで、劣

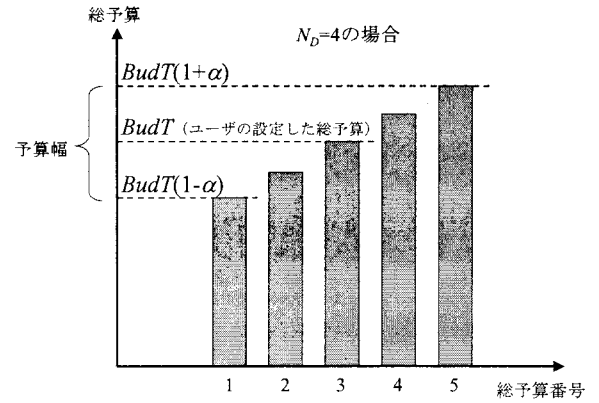


図-4 幅を持たせた総予算制約の概要

化速度が速く近年中に健全度が 0 になるもの、および、管理レベルを下回った割合が高いものは、補正品質が急速に低下するため値は小さくなる。このため、橋梁群全体の補正品質を式(9)に示すように最大化すると、劣化速度が速いもの、管理レベルを下回った割合が高いものに対策を行うと橋梁群全体としての品質は高くなる。これにより、劣化速度の速いもの管理レベルを下回った割合が高いものに対して優先的に対策が行われ、橋梁群全体の品質をより良い状態に保つことができると考える。

実際の維持管理対策の計画では、総予算ちょうどではなく、ある程度幅を持った予算内で計画を策定した方が柔軟な計画が策定できる。そこで本研究では、予算分割数 N_D 、総予算拡張率 α という変数を導入し、総予算に幅を持たせ、複数の計画案を策定する。複数計画案の各総予算制約 Bud_p は、式(13)を用いてユーザーの設定した総予算 $BudT$ および N_D 、 α より得られる。維持管理計画最適化では、この各総予算を制約条件とした $N_D + 1$ 通りの準最適解が得られる。幅を持たせた総予算制約の概要を図-4 に示す。さらに、この総予算制約より維持管理計画 p に対する t 年次の予算 $bud_{p,t}$ が式(12)、(13)によって算出される。

ここで準最適解とは、解の唯一性が保証される真の最適解ではないが、解の性質が明らかに矛盾してない解と定義する。

維持管理計画最適化問題では、この $N_D + 1$ 通りの複数計画案を提示することによって、ユーザーの計画案選択の範囲が広がることを狙いとしている。

4. GAs の適用による予算配分問題の解法

本研究では、設定した維持管理計画問題を最適化するための最適化手法として GAs¹⁰⁾を適用し、解探索の高速化を図っている。以下に本研究の GAs の適用方法について述べる。

表-4 維持管理対策の種類と実施時期のコード化

(a) 期間が 20 年までの場合

	Code	対策年
維持管理 対策時期 (t)	00001	1年目
	00010	2年目
	⋮	⋮
	10100	20年目
	others	なし
対策種類 (k)	01	補修
	11	補強
	others	なし

(b) 期間が 50 年までの場合

	Code	対策年
維持管理 対策時期 (t)	000001	1年目
	000010	2年目
	⋮	⋮
	110010	50年目
	others	なし
対策種類 (k)	01	補修
	11	補強
	others	なし

(c) 期間が 100 年までの場合

	Code	対策年
維持管理 対策時期 (t)	0000001	1年目
	0000010	2年目
	⋮	⋮
	1100100	100年目
	others	なし
対策種類 (k)	01	補修
	11	補強
	others	なし

表-5 個々の橋梁における維持管理計画の遺伝子型

対策実施時期 と対策種類	1			2			...			K		
	t			t			t			t		
	De	Mg		De	Mg		De	Mg		De	Mg	
個体 1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
個体 2	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
⋮												
個体 N	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1

4.1 個々の橋梁の LCC 最小化

本研究では表-1 に示す 3 通りの維持管理対策を設定していることから、各対策を 2 進数コードと対応付けると 2 ビット必要である。そして、両者を 1 対 1 に対応させると、1 つの余りが生じることから、致死遺伝子の発生による計算の効率の悪さを避けるため、残りを頻繁に選ばれるであろう「①補修・補強なし」に対応付ける。前 BMS における遺伝子型へのコーディング法は、この対策のコードを計画年数分連ねたものであった。しかし、組合せ数の多い維持管理計画問題では計算効率が良いとはいえない。そこで本研究では、一度対策を行うと少なくとも 5 年間は行わないとすることが妥当であると考え、最大供用期間を 100 年程度と想定していることから、維持管理対策の実施時期について表-4 に示すようにコード化を行い、維持管理計画を表-5 のようにモデル化する。すなわち、この計画モデルは、対象橋梁の主桁および床版の各スパンについて、「 t 年目に対策 k を行う」という組合せによって表現される。維持管理対策時期のコード化は、対策策定期間の長短によるビット数軽減を図るために、表-4 に示すように、残存予定供用年数が 1~20 年の場合は 5 ビット、21~50 年の場合は 6 ビット、51~100 年の場合は 7 ビットで表現する。対策年数によりビット数を可変させることにより、計算効率が向上する。ここで、表-5 における K は、予定供用期間における対策回数であり、対策間隔を最低 5 年と設定していることから、次式により算出する。

$$K = \text{roundup}\{(L_i - \tau_{i,t})/5\} \quad (15)$$

ただし、 $\text{roundup}(\bullet)$: 小数点以下切り上げとする。

個々の橋梁の LCC 最小化では、無作為に初期個体を生

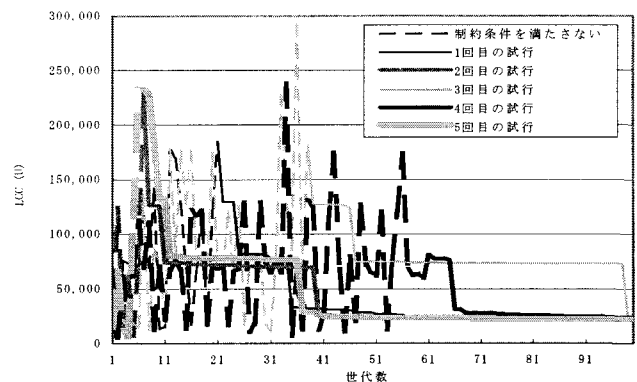


図-5 LCC 最小化における GA の世代と LCC の推移

成した場合、制約条件を満たさない個体が多量に生成される。このため、初期の世代では、すべての個体が制約条件を満たさない場合がある。なお、すべての個体が制約条件を満たさない場合は、個体の評価を費用の値にかかわらず同じものとする。図-5 に個体数を 100 とした場合の LCC 最小化における GA の世代数と最適な LCC の値の推移を示す。すべての個体が制約条件を満たさない間は、個体の評価がすべて同じため、個体群の中からランダムに 1 つ選んだものを表に示す。このため、すべての個体が制約条件を満たさない間は、LCC の値は世代ごとに激しく変化する。制約条件を満たす個体がある場合は、LCC の値が収束する傾向を示す。図-5 では、60 世代前後でも、制約条件を満たす個体がない場合がある。よって、意図的に制約条件を満たす個体を生成することによって、LCC の値の収束を早める。

GA の初期の世代では、表-6 に示すように主桁、床版ともに対策を行わないという計画が策定されやすく、このため健全度が管理レベルを下回る制約条件を満たさない

個体が多いと考えられる。よって管理レベルを下回るなら、管理レベルを下回る以前の対策年に強制的に対策を行うように遺伝子操作することにより、制約条件を満たす個体を作る。図-6 に遺伝子操作の概念図を示す。対策年 t' 年に健全度が管理レベルを下回るなら、それ以前の対策年 t'' に、耐荷性が管理レベルを下回るなら補強または補修を行い、耐久性が管理レベルを下回るなら補修を行うように遺伝子操作する。

4.2 橋梁群の維持管理計画最適化

年度予算制約のもと計画年 t に対策を行う橋梁の組合せを算出する。このため、表-7 に示すような2進数コードにより対策の有無を表現した遺伝子型を用いて最適化を行う。2進数コードの「0」は対策なし、「1」は対策有りを表現している。対策有りの場合は、個々の橋梁のLCC最適化によって算出された維持管理対策を行う。このとき、劣化曲線の傾きを評価指標として用い、劣化曲線の傾きがより緩和される計画を選定する。

予算配分問題における橋梁群の維持管理計画策定を表-7 に示すような遺伝子型にコーディングすることにより、遺伝子列は橋梁数分のビット数のみで表現できるため、

表-6 初期世代での策定結果

対策年	対策		対策年	対策	
	床版	主桁		床版	主桁
2004	補修	補修	2044	対策なし	対策なし
2009	補強	対策なし	2049	対策なし	対策なし
2014	対策なし	対策なし	2054	対策なし	対策なし
2019	対策なし	対策なし	2059	補修	対策なし
2024	対策なし	補修	2064	対策なし	対策なし
2029	対策なし	対策なし	2074	対策なし	対策なし
2034	対策なし	対策なし	2079	対策なし	対策なし
2039	対策なし	対策なし	2084	対策なし	対策なし

表-7 橋梁群の品質最大化における遺伝子型

橋梁番号	1	2	...	M
個体1	0	1	...	1
個体2	1	0	...	0
...	...	...	...	...
個体N	0	0	...	1

表-8 橋梁データ

橋梁名	架設年	点検年	主桁本数	橋長	幅員	管理レベル		床版		主桁	
						耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性	耐荷性	耐久性
A橋	1969	1998	16	27.5	18.4	50.0	50.0	75.40	60.70	90.60	75.40
B橋	1969	1999	7	84.9	9.9	50.0	50.0	82.80	93.50	93.30	78.20
C橋	1969	1999	9	60.4	10.7	50.0	50.0	85.00	95.10	93.40	82.30
D橋	1974	1999	13	37.4	15.5	37.5	37.5	92.40	89.50	97.10	69.90
E橋	1974	1999	8	19.9	11.5	37.5	37.5	81.00	61.80	97.40	80.00
F橋	1974	1999	8	63.8	12.0	37.5	37.5	96.80	95.70	97.70	88.90
G橋	1984	1999	6	57.0	9.9	25.0	25.0	85.50	71.30	98.80	78.40
H橋	1984	1999	7	86.8	10.4	25.0	25.0	93.90	90.30	98.80	82.20
I橋	1984	1999	7	50.2	10.4	25.0	25.0	96.40	93.90	98.80	82.10
J橋	1968	2003	4	8.0	12.0	25.0	25.0	49.92	51.71	59.67	44.13
K橋	1966	2003	5	7.4	8.8	25.0	25.0	71.62	50.81	47.53	36.38
L橋	1966	2003	5	7.4	10.0	12.5	12.5	62.79	57.10	69.00	43.17

橋梁数が増大しても最適解の探索が容易となる。

5. 試算例

ここでは、実際に1998年、1999年に点検を行った9橋¹⁾および2003年点検を行った3橋のデータを用いて本研究の有効性の検証を行う。なお、耐荷性、耐久性の健全度はBMSのサブシステムの1つである橋梁劣化診断エキスパートシステムを用いて評価を行った。計算対象橋梁のデータの詳細を表-8に示す。なお、供用予定年は全ての橋梁に対して、架設年から100年間と設定した。

維持管理計画の策定は、計画年を2004年の1年間とし、予算制約を50,000Uとして計算を行った。

5.1 遺伝子操作を用いた個々の橋梁のLCC最小化

制約条件を満たさない個体に対して、制約条件を満たすように強制的に遺伝子操作を行うと、図-7に示すような結果が得られる。初期の世代でも、制約条件を満たし、20世代目前後では、ある程度LCCは収束している。遺伝子操作を行わなかった場合図-5と比較すると早い世代で解が収束し、解の収束も遺伝子操作を行わない場合より保証される。よって、解の収束が保証される遺伝子操作を行う。

個々の橋梁のLCC最小化により策定されたK橋梁の維持管理計画を表-9に示す。また、図-8にこのときのK橋

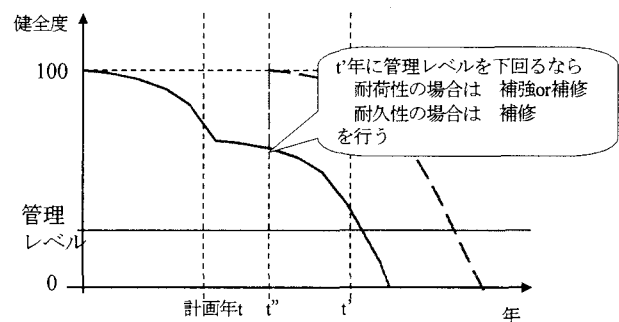


図-6 遺伝子操作の概念図

の供用予定年まで維持管理費用の推移、および耐荷性、耐久性の健全度が管理レベルを下回った場合に事後保全的に対策を行った場合の維持管理費用の推移を示す。2044 年ごろまでは、事後保全的に対策を行った場合の方が維持管理対策費用は少ないが、供用予定年の 2066 年時点では、事後保全的に対策を行った場合の費用は 16,121U、LCC 最小化により策定した計画では 11,515U となり、長期的に考えた場合、LCC 最小化で策定した計画の方が維持管理にかかる費用は少なくなる。

また、表-9 に示す維持管理対策を行った場合における K 橋の床版耐荷性の劣化予想曲線を図-9 に示す。LCC 最小化で策定した計画では、2004 年、2034 年に補修を行っているため、耐荷性の劣化速度が緩やかになっている。事後保全的に対策を行った場合は、2040 年に耐荷性が 100 まで回復する。補強は補修と比べて対策費用が高額であり、事後保全的に対策を行うより、費用の安価な補修を

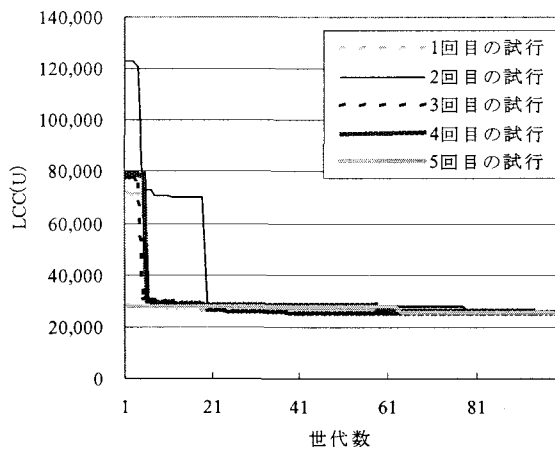


図-7 遺伝子操作を用いた GA の世代と LCC の推移

表-9 K 橋梁の維持管理計画

対策年	K 橋 対策		費用 (U)
	床版	主桁	
2004	補修	補強	10,888
2029	対策なし	補修	352
2034	補修	対策なし	275

まめに行うことで LCC の削減ができる。また、管理レベルを設けたことにより、LCC 最小とすることによる品質の著しい低下ではなく、品質をあるレベル以上に保つことが可能となった。

5.2 橋梁群の優先順位付け

橋梁群の優先順位付けの評価指標として、計画年 2004 年の橋梁の品質、計画年の 3 年後の 2007 年の橋梁の品質、

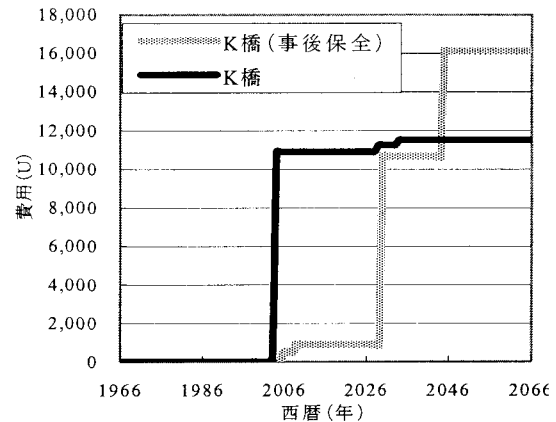


図-8 K 橋の維持管理費用移

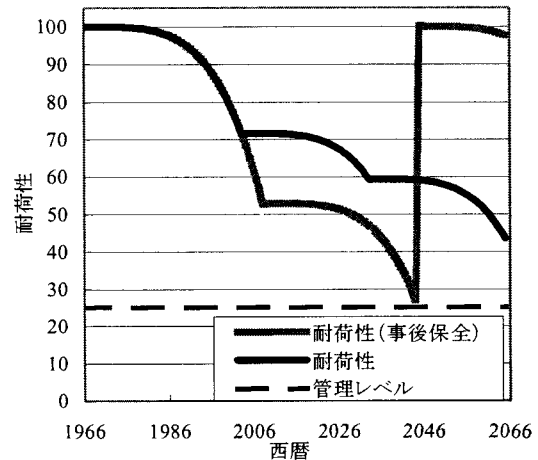


図-9 K 橋の予想劣化曲線

表-10 維持管理対策の優先順位付け

優先順位	橋梁名	品質 (2004年時)	優先順位	橋梁名	品質 (2007年時)	優先順位	橋梁名	補正品質 (2004年時)	優先順位	橋梁名	補正品質 (5年間)	優先順位	橋梁名	補正品質 (10年間)
1	K橋	45.24	1	G橋	0.00	1	A橋	45.21	1	G橋	122.13	1	G橋	122.13
2	J橋	46.06	2	J橋	28.82	2	K橋	45.24	2	A橋	156.64	2	A橋	156.64
3	A橋	50.59	3	K橋	29.18	3	J橋	46.06	3	K橋	168.64	3	K橋	181.49
4	G橋	51.62	4	A橋	34.98	4	G橋	51.62	4	J橋	169.85	4	J橋	181.59
5	L橋	52.95	5	L橋	39.34	5	L橋	52.95	5	E橋	211.29	5	E橋	211.29
6	E橋	57.77	6	E橋	42.50	6	E橋	56.42	6	L橋	219.37	6	L橋	271.13
7	D橋	71.19	7	H橋	59.62	7	D橋	71.19	7	H橋	322.09	7	H橋	409.61
8	H橋	74.04	8	D橋	61.32	8	H橋	74.04	8	D橋	323.03	8	I橋	444.12
9	B橋	75.13	9	I橋	64.34	9	B橋	75.13	9	I橋	342.41	9	D橋	470.64
10	I橋	76.80	10	B橋	66.85	10	I橋	76.80	10	B橋	348.04	10	B橋	590.14
11	C橋	78.95	11	C橋	71.84	11	C橋	78.95	11	C橋	371.02	11	C橋	656.47
12	F橋	88.93	12	F橋	85.06	12	F橋	88.93	12	F橋	431.75	12	F橋	823.75

計画年 2004 年の補正品質，2004 年～2008 年までの 5 年間の補正品質の和，2004 年～2013 年までの 10 年間の補正品質の和の 5 つを用いた場合において計算を行い，比較検討を行う。各評価指標を用いた場合における維持管理対策の必要性の優先順位を表-10 に示す。

まず，評価指標を単に橋梁の品質のとした場合，2004 年と 3 年後の 2007 年で優先順位が入れ替わる G 橋と K 橋について比較を行う。表-10 に示すように，2004 年では，G 橋の品質が 51.26 であるのに対し，K 橋の品質は 45.24 と G 橋より品質が低く，K 橋の方が維持管理対策の優先順位は高い。ここで，G 橋および K 橋における品質の経年推移を図-10 に示す。図-10 に示すように，2 年後の 2006 年には K 橋，G 橋の品質はほぼ等しくなり，3 年後の 2007 年には，G 橋の品質は 0，K 橋の品質は 29.18 と G 橋の品質が低く，G 橋の方が維持管理対策の優先順位は高くなる。これは，G 橋の方が K 橋より後に架設されたにもかかわらず，橋梁部材の劣化速度が速く，2007 年には健全度が 0 となる部材が存在し，品質が 0 となったためである。

次に，2004 年の品質で評価した場合と，2004 年の補正品質で評価した場合を比較する。補正品質で評価した場合，A 橋と E 橋は 2004 年の品質で評価した場合より低い値をとる。これは，2004 年の時点で，A 橋は耐荷性，耐久性の管理レベルがそれぞれ 50 なのに対し，床版耐荷性の健全度が 47.81，床版耐久性の健全度が 30.91 と床版耐久性の健全度が管理レベルを大幅に下回り，E 橋は耐久性の管理レベルが 37.5 であるのに対し，床版耐久性の健全度が 33.99 とわずかに管理レベルを下回る。このため，健全度が管理レベルを下回る量が多い A 橋の方が，健全度が管理レベルを下回る量が小さい E 橋より，品質の補正が大きく，補正品質は小さくなり，維持管理対策の必要性は高くなる。また，A 橋は 2004 年の健全度が管理レベルを下回る量で品質を補正した場合，品質は A 橋より低い，健全度が管理レベルを下回っていない K 橋，J 橋より維持管理対策の優先順位が高くなり，管理レベルが考慮されていると考える。E 橋は健全度が管理レベルを下回る量がわずかであったため，補正により品質はわずかし下がらず，維持管理対策の優先順位は品質で評価した場合と変わらなかった。

計画年の 2004 年の補正品質で評価した場合と 2004 年～2008 年までの 5 年間の補正品質の和で評価した場合を比較すると，2004 年の補正品質で評価した場合は A 橋の維持管理対策の優先順位が一番高いのに対し，2004 年～2008 年までの 5 年間の補正品質の和で評価した場合は G 橋の維持管理対策の優先順位が一番高くなる。これは，G 橋の劣化速度が速いためであると考えられる。A 橋と G 橋の補正品質の経年推移を図-11 に示す。なお，点線は品質の補正を行わなかった場合である。2004 年の時点では，G 橋の方が A 橋より補正品質の値が高く，維持管理対策の優先順位は低い。しかし，G 橋は劣化速度が速く，2007

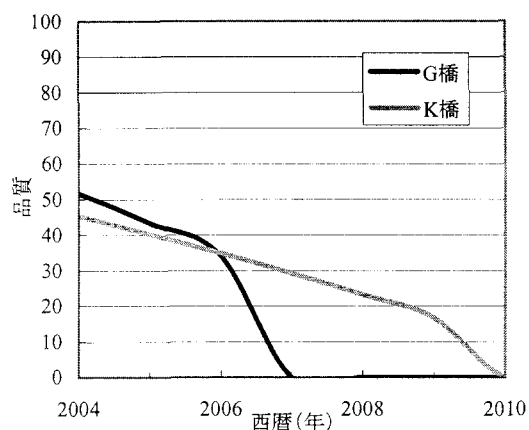


図-10 G 橋，K 橋の品質の経年推移

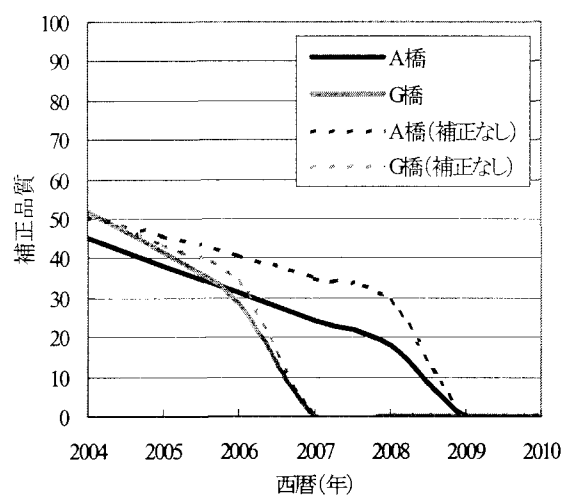


図-11 A 橋，G 橋の補正品質の経年推移

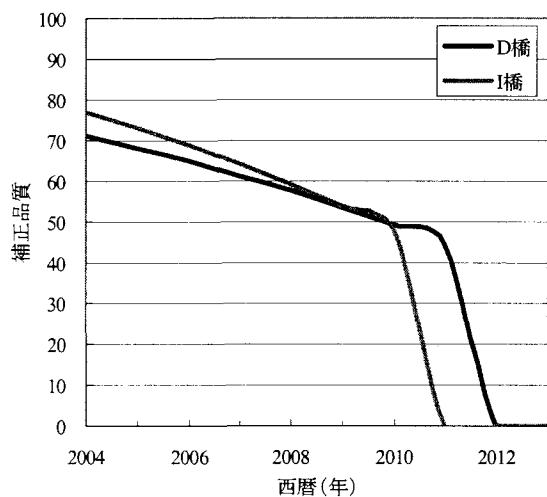


図-12 D 橋，I 橋の補正品質の経年推移

年には品質が 0 となるので，2004 年～2008 年までの 5 年間の補正品質の和をとると，A 橋より値が小さくなる。また，G 橋は A 橋と比較して管理レベルが低く，劣化速度が速く健全度が管理レベルを下回る量がわずかである

ため、品質補正量は G 橋の方が管理レベルが高い A 橋より小さい。計画年以降数年間の和で評価することにより、健全度が管理レベルを下回る量がわずかであっても、劣化速度の速い橋梁の優先順位を高く設定できると考えられる。

2004 年～2008 年までの 5 年間の補正品質の和、2004 年～2013 年までの 10 年間の補正品質の和を評価指標とした場合における維持管理対策の必要性の優先順位を比較する。この場合、D 橋と I 橋で優先順位の逆転が見られる。D 橋と I 橋の補正品質の経年推移を図-12 に示す。2004 年～2008 年までの 5 年間の補正品質の和は、I 橋の方が補正品質が accrue に高いため、I 橋の方が大きく、D 橋の維持管理対策の優先順位が高い。しかしながら、2004 年～2013 年までの 10 年間の補正品質の和を評価指標とすると、I 橋は 2011 年には補正品質が 0 となり、寿命を向かえてしまうため、I 橋の 1 年後に品質が 0 となる D 橋の方が 10 年間の補正品質の和が大きくなり、I 橋の維持管理対策の優先順位が高くなる。このため、評価指標として用いる年数の間に、補正品質が 0 となるなら、補正品質が 0 以上の橋梁と比較し、補正品質の和は小さくなり、維持管理の優先順位は高くなると推察される。また、計画年以降何年間の補正品質の和を評価指標とするかで維持管理対策の優先順位が違ってくるので劣化速度を考慮するため計画年以降何年間の和をとるかが重要である。G 橋や A 橋は 2004 年～2008 年までの 5 年間の補正品質の和と 2004 年～2013 年までの 10 年間の補正品質の和の値が同じであり、2004 年～2008 年の間に品質が 0 となるものと考えられる。値が同じであるなら、多くの年数分の和をとっても無駄であり、評価指標とするのに適当な年数は、橋梁群全体の余寿命によってある程度決まるのではないかと考える。

5.3 予算制約がある場合

個々の橋梁の LCC 最小化で求めた、計画年 2004 年の維持管理対策を表-11 に示す。なお、表-11 における品質は、計画年 2004 年に対策を行った場合の橋梁の品質を表している。維持管理対策の費用は、実施する維持管理対策、対策時の橋梁の健全度、および橋梁の規模などにより算出している。このため、J 橋、K 橋、L 橋は表-8 に示すように橋長や幅員の規模は似通っているが、K 橋は主桁に単価の高い補強を行っているため、費用が高い。

計画年 2004 年の予算制約下での維持管理計画の策定結果である 2004 年の対策費用、および品質を表-12 に示す。ここで、費用が 0 U のものは計画年 2004 年には維持管理対策を行わないものとし、品質および補正品質には、計画年 2004 年に維持管理対策を行うものに対しては対策を行った場合のものを示し、計画年 2004 年に維持管理対策を行わないものには現状どおり推移したものを示している。

表-11 策定された 2004 年の対策

橋梁名	2004年の対策		品質 (1年間)	補正品質 (5年間)	補正品質 (10年間)	費用 (U)
	床版	主桁				
A橋	補修	補修	64.67	356.35	712.24	6,993
B橋	補修	補修	75.67	414.50	828.83	9,090
C橋	補修	補修	79.31	424.10	848.04	7,738
D橋	補修	補修	72.66	457.83	915.44	8,820
E橋	補修	対策なし	73.66	354.28	651.92	1,317
F橋	補修	対策なし	89.58	437.14	841.12	3,145
G橋	補修	補修	65.59	384.99	767.30	7,923
H橋	補修	補修	76.73	450.85	900.38	9,501
I 橋	補修	補修	77.95	470.00	938.85	8,496
J橋	補修	補修	52.89	320.07	639.81	1,032
K 橋	補修	補強	52.16	421.06	841.99	10,888
L 橋	補修	補修	59.09	365.29	730.38	814

表-12 予算制約がある場合の策定結果

1年間 (2004年のみ)			5年間 (2004年～2008年)			10年間 (2004年～2013年)		
橋梁名	品質	費用 (U)	橋梁名	補正品質	費用 (U)	橋梁名	補正品質	費用 (U)
A橋	64.67	6,993	A橋	356.35	6,993	A橋	712.24	6,993
B橋	75.13	0	B橋	348.04	0	B橋	590.14	0
C橋	78.95	0	C橋	371.02	0	C橋	656.47	0
D橋	71.19	8,820	D橋	457.83	8,820	D橋	470.64	0
E橋	73.66	1,317	E橋	354.28	1,317	E橋	651.92	1,317
F橋	89.58	0	F橋	437.14	3,145	F橋	823.75	0
G橋	65.59	7,923	G橋	384.99	7,923	G橋	767.30	7,923
H橋	76.73	9,501	H橋	322.09	0	H橋	900.38	9,501
I 橋	77.95	0	I 橋	470.00	8,496	I 橋	938.85	8,496
J橋	52.89	1,032	J橋	320.07	1,032	J橋	639.81	1,032
K 橋	52.16	10,888	K 橋	421.06	10,888	K 橋	841.99	10,888
L 橋	59.09	814	L 橋	365.29	814	L 橋	730.38	814
合計	837.59	47,288	合計	4608.16	49,428	合計	8723.87	46,964

評価指標として、2004 年の品質を評価指標とした場合、2004 年～2008 年の 5 年間の補正品質の和を評価指標とした場合、2004 年～2013 年までの 10 年間の補正品質の和を評価指標とした場合の 3 つのパターンを試みた。

2004 年の品質を評価指標とした場合、および 2004 年～2013 年までの 10 年間の補正品質の和を評価指標とした場合は、維持管理対策の優先順位が高いものに対して対策が行われた。2004 年～2008 年の 5 年間の補正品質の和を評価指標とした場合は、維持管理対策の優先順位が 8 番目の D 橋、9 番目の I 橋、および 12 番目の F 橋に対策が行われたのに対して、維持管理対策の優先順位が 7 番目である H 橋には対策が行われなかった。これは、予算制約があるため、単に維持管理対策の優先順位が高いものから対策を行うよりも、優先順位は低くとも複数の橋梁に対して、対策を行う方が橋梁群全体としての評価は良くなるからである。

6. まとめ

本研究は、橋梁の管理レベルの設定を行い、劣化速度および管理レベルを考慮した指標を用いて複数橋梁を対象とした維持管理計画の策定を行ったものである。橋梁の維持管理計画の策定には GAs を適用し、個々の橋梁の LCC 最小化、橋梁群の維持管理対策最適化の 2 段階で行った。以下に本研究の成果をまとめる。

①橋梁の管理レベルおよび劣化速度を考慮するため、健

全度が管理レベルを下回る量を用いて品質を補正し、補正品質の計画年以降数年間の和を評価指標として用いた。これにより、健全度が管理レベルを下回る橋梁、評価指標年間に健全度が管理レベルを下回る量で補正した品質が 0 となり寿命を迎える橋梁の評価が低くなり、優先的に維持管理対策を行うことが可能となった。

②個々の橋梁の LCC 最小化において、管理レベルを設けることにより、LCC の減少に伴う品質の低下を抑制することが可能となった。

③GAs を用いた個々の橋梁の LCC 最小化において、制約条件を満たさない個体に対し、強制的に遺伝子操作を行うことにより、遺伝子操作を行わない場合より、解の収束性が向上することが可能となった。

最後に、本研究における今後の課題を示す。

①橋梁の劣化状況は架設されている地域や劣化要因によって異なると考える。今後のデータ蓄積により劣化予測を逐次更新する必要がある。

②橋梁の維持管理対策の優先順位付けを行うにあたって、何を指標とするかによって結果は大きく異なる。また、橋梁の維持管理の方針も管理機関によりさまざまで、橋梁の維持管理対策の優先順位付けを行うにあたって何を指標とするのが有効であるかとは一概にはいえない。多種のニーズに対応できるように、評価指標のさらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 今野将顕, 瓦谷晴信, 宮本文穂, 中村秀明: 橋梁維持管理データベースシステムの実用化に関する研究, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.12, pp.179-186, 2003.10.
- 2) 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.

- 3) 仁木京子, 今野将顕, 宮本文穂, 中村秀明: 橋梁の維持管理計画における最適化アルゴリズムの改良, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.59, pp.693-694, 2004.9.
- 4) 古田均, 能勢善夫, 大村和久, 堂垣正博: 鋼橋 RC 床版の道路ネットワークを考慮した補修順位決定支援システムの構築, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.309-319, 2000.3.
- 5) 近田康夫, 清水宏孝, 廣瀬彰則: 橋梁補修計画へのウィルス進化型 GA の適用に関する研究, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.195-202, 2002.3.
- 6) A. Miyamoto, K. Kawamura & K. C. G. Ong: Bridge Management System for existing bridge groups, *Reliability and optimization of structural systems*, pp.69-78, 2002.3.
- 7) 日本コンクリート工学協会: 複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書, 2001.5.
- 8) 山口県土木建設部: 道路舗装設計マニュアル, 1995.8
- 9) 中村秀明, 今野将顕, 宮本文穂: 年度予算制約を考慮した複数橋梁の維持管理計画策定, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.58, pp.63-64, 2003.9.
- 10) 三宮信夫, 喜田一, 玉置久, 岩本貴司: 遺伝アルゴリズムと最適化, システム制御情報学会編, 朝倉書店, 1998.
- 11) 橋梁劣化診断エキスパートシステム (BREX) の試行および検証ー学習によるシステムの再構築とその効果ー報告書: 株式会社オーデックス, 山口大学工学部知能情報システム工学科システム設計工学研究室, 2003.3.

(2004 年 9 月 17 日受付)