

G Aを適用した橋梁の最適補修・補強計画策定に関する基礎的研究

山口大学大学院 学生会員 ○河村 圭 山口大学工学部 正会員 宮本文穂
山口大学工学部 正会員 中村秀明

1. はじめに

現在供用中の数多くの既存橋梁の中には、老朽化に加えて急激な交通量の増加や車両の大型化に伴う損傷の進行の著しいものも多く、維持管理対策を急ぐべき状態のものが年々増加している。そのため、近い将来これらに対する維持管理業務が増大し、補修・補強対策費が新設橋梁の建設費を圧迫する事態になることが予想されることから、既存橋梁の正確な劣化診断、診断結果に基づく補修・補強工法の選定のみならず、限られた予算で最大の効果を得るための最適維持管理計画の作成を合理的かつ効率的に実施するための統合型支援システムが必要とされてきている。本研究は、従来より開発を行ってきたコンクリート橋診断エキスパートシステム¹⁾による推論結果を利用し、経済性および橋梁部材の品質の両方を考慮した最適維持管理(補修・補強)計画が作成できる橋梁維持管理支援システム(BMS:Bridge Management System)のプロトタイプの開発を行ったものである。なお、最適解の探索には、遺伝的アルゴリズム(GA)を適用すること²⁾で高速な近似解の提示を可能とした。

2. BMSの開発

2.1 システムの概要 本研究で開発したBMS(以下、本BMS)は、図1に示すフローに従って最適維持管理計画の策定を行う。まず既存橋梁に対して、ひび割れ状況、環境条件などに関する点検データの収集を行い、上述のエキスパートシステムを用いて橋梁部材の劣化診断を行う(①, ②)。次に、これらの診断結果をもとにして、劣化予測式より現在までの劣化の進行経路を決定し、余寿命を予測する(③)。また種々の資料等より補修・補強工法とその効果、費用等の関係をあらかじめ求めておき(④, ⑤)、劣化予想曲線への影響を考慮してBMS解析を行う(⑥)。BMS解析の出力項目は、最適補修・補強時期、工法、耐荷性、耐久性、必要な費用の総計である。

2.2 橋梁部材の劣化診断¹⁾ 橋梁部材の劣化診断手法としては、従来より本研究室で開発を行っている「コンクリート橋診断エキスパートシステム」を適用している。具体的には、コンクリート橋の維持管理に携わる専門技術者の経験的な診断および評価に関する知識をファジィ集合を含む複数のif-thenルールの形で表し、それぞれを前件部の命題、if-then関係、後件部の命題の3つのパートに分解する。そして、前件部および後件部の命題を非線形関数が同定可能な3層ニューラルネットワークで表現し、両者を結びつけるif-then関係にニューラルネットの連想記憶を適用してファジィ推論を可能とするエキスパートシステムである。このシステムは、損傷程度を示すdanger~safeの5段階評価を支持する程度を最終的に出力する。このシステムによる最終診断結果の一例として、山口県内に架設されている「Y橋」に対する点検データを入力した結果を表1に示す。なお、表中の平均健全度は、5段階評価を非ファジィ化したものであり、帰属度関数の重心値を0~100点で表示したものである。

2.3 橋梁部材の劣化予測手法 本研究において、橋梁部材の劣化を表す指標とした「耐荷性」および「耐久性」の劣化の進行程度を予測するために、それぞれについて『予想劣化曲線』を考える。いま、劣化診断からの出力結果である耐荷性、耐久性の平均健全度をそれぞれ $S_{L(t)}$ 、 $S_{D(t)}$ とおくと、これを表す式として、耐荷性については過去の実験データからおおよそ四次関数に近いカーブを描くことから、以下に示す式(1)の

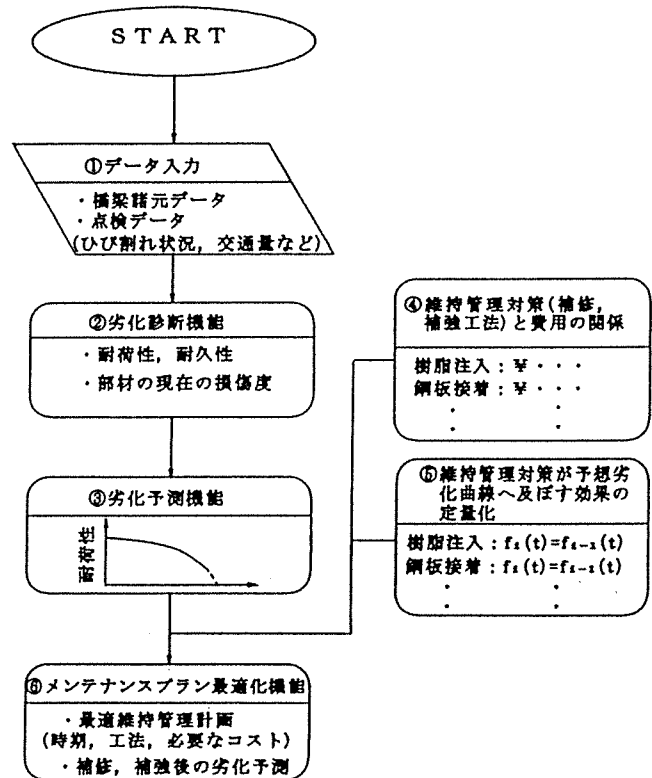


図1 本BMSのフロー

ように年数 t についての四次関数，一方，耐久性については式(2)のように耐荷性よりも次数が一つ少ない(微係数)三次関数で表した。

$$S_{L(t)} = f(t) = b_L - a_L \cdot t^4 \quad \dots(1)$$

$$S_{D(t)} = g(t) = b_D - a_D \cdot t^3 \quad \dots(2)$$

2.4 補修・補強効果 補修・補強が予想劣化曲線に及ぼす基本効果を次のように設定した。《補修の効果》①耐久性の平均健全度は，架設時と同じ状態に回復する。②耐荷性の劣化曲線の傾きが補修工法に応じて回復する。《補強の効果》①耐荷性の平均健全度は架設時以上に回復する。②耐久性には効果なし。

本研究では，これをもとに維持管理対策(補修・補強・その組み合わせ)の予想劣化曲線に及ぼす効果の定量化を行っている。

3. 維持管理計画の最適化²⁾

本BMSでは，費用の総和としての経済性と耐荷性，耐久性の両方を考慮した品質を評価指標とした維持管理計画の策定を行う。その方法は，対象橋梁に対して予定供用年数を設定し，その年数を満たす維持管理対策の組み合わせの中で，維持管理費の最小化($F1$)と品質の最大化($F2$)を考慮した最適維持管理計画を求める。これは多目的な組み合わせ問題であることから，本研究では，組み合わせ問題の最適解探索にはGAを用い，多目的計画問題には ϵ -制御法³⁾を用いて対処した。この問題を定式化すると次式となる。

なお，この問題では，毎年，補修および補強の組み合わせである維持管理対策 j ($j = \{1, 2, \dots, n\}$) のうちいずれかが，排他的に選択されるとしている。

[目的関数]
$$F1 = \sum_{t=1}^{T-j} C_{ij} \rightarrow \min \quad , \quad F2 = \sum_{t=1}^T \{S_{L(t)} + S_{D(t)}\} \rightarrow \max$$

[制約条件]
$$S_{L(t)} > 0 \quad , \quad S_{D(t)} > 0 \quad , \quad 0 \leq t \leq T$$

ここで， t : 橋齢， j : 実施される維持管理対策の種類， t' : 現在の橋齢， T : 予定供用年数， $S_{L(t)}$: 橋齢 t 年での耐荷性の平均健全度， $S_{D(t)}$: 橋齢 t 年での耐久性の平均健全度， C_{ij} : 橋齢 t 年に実施される維持管理対策 j の費用。

この出力結果の一例として，表1の診断結果となる「Y橋(橋齢61年)」の主桁について予定供用年数を100年とし，経済性のみを考慮した場合に得られた本BMSの最終出力画面を図2に示す。この画面下部のウィンドウより，今後，Y橋に対して何らかの維持管理対策を行わなければ耐荷性および耐久性からみた余寿命は，予定供用年数100年を満たすことができないことがわかり，本BMSでは，維持管理計画案として橋齢67年，73年，78年に維持管理対策を行う計画を策定している。この計画では余寿命が44年に延び，その対策コストは127Uである。さらに，画面上部の2つのウィンドウには，耐荷性および耐久性の予想劣化曲線が示される。これからも，選択された工法が設定した予定供用年数を満足していることがわかる。

4. まとめ

本研究では，劣化予測手法として劣化曲線を定義し，維持管理対策がこの曲線に及ぼす効果を定量化することで橋梁部材の劣化予測を可能とした。また，予定供用年数を満足し，経済性と品質を考慮した維持管理計画を策定する組み合わせ最適化問題に対してGAを適用することで，高速な解探索が可能となった。

参考文献 1) 山本秀夫，宮本文徳，村井圭：コンクリート橋診断ニューロ・ファジィエキスパートシステムの実用化，土木学会中国支部年講演文，1996. 5
 2) 小野正樹，山岡健一，中村秀明，宮本文徳：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，土木学会中国支部年講演文，1997. 5
 3) 伊理正夫，今野浩：数理計画法への応用<理論編>，産業図書，1982

表1 診断結果の例(主桁)

診断項目	損傷程度	平均健全度	danger	slightly danger	moderate	slightly safe	safe
主桁設計		70.8	0.017	0.061	0.175	0.639	0.107
主桁施工		56.4	0.112	0.209	0.204	0.262	0.203
主桁供用状態		51.2	0.000	0.117	0.717	0.151	0.015
主桁材料劣化		60.5	0.044	0.102	0.259	0.583	0.013
主桁曲げひび割れ		50.3	0.012	0.136	0.692	0.145	0.016
主桁せん断ひび割れ		94.1	0.001	0.008	0.040	0.237	0.715
鉄筋の腐食ひび割れ		25.3	0.117	0.727	0.125	0.010	0.021
主桁付着ひび割れ		94.1	0.007	0.042	0.007	0.229	0.715
主桁の全体的損傷		64.4	0.200	0.113	0.040	0.204	0.444
主桁耐荷性		62.7	0.024	0.153	0.314	0.310	0.199
主桁耐久性		45.6	0.011	0.487	0.190	0.289	0.023

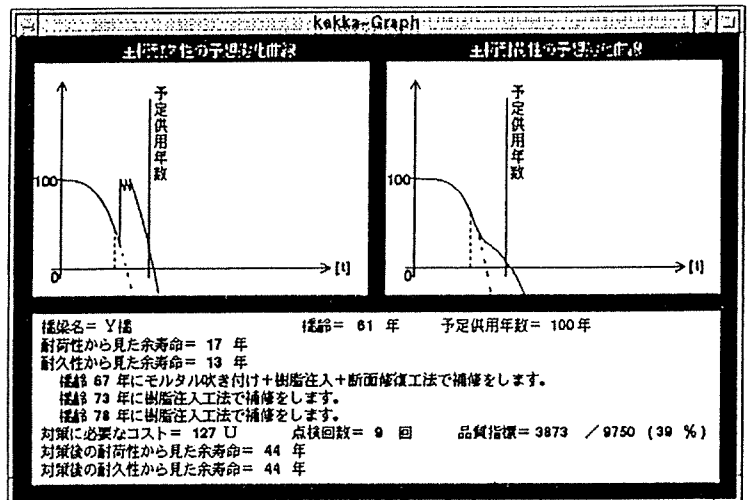


図2 維持管理計画案