

CS-114 Bridge Management System(BMS)における最適維持管理計画の策定

山口大学大学院 学生会員 山岡健一 山口大学工学部 正会員 宮本文穂
山口大学大学院 学生会員 河村 圭 山口大学工学部 正会員 中村秀明

1. はじめに

現在までに数多くの橋梁が架設されてきたが、既存橋梁の中には、繰り返し活荷重などの物理的要因や、環境の影響による化学的要因により著しい損傷を受けているものも多く、早急に何らかの維持管理対策が必要な状態のものが年々増加している。しかし、これらの橋梁の維持管理等に投資できる予算には上限があり、定期点検結果を基に必要な維持管理対策を順次実行していくならば、近い将来、老朽化した橋梁の補修・補強費が新設橋梁の建設費を圧迫する事態になると考えられる。そこで、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が作成できるシステムの必要性が注目されてきている。こうした背景のもとに、本研究では、橋梁の劣化診断、劣化予測、経済性および橋梁部材の品質の両方を考慮した最適な維持管理計画を作成できる橋梁維持管理システム(Bridge Management System(BMS))のプロトタイプの開発を行い、実際に供用中の橋梁に対する維持管理計画を策定したものである。

2. BMSの構築

本研究で開発したBMS(以下、本BMS)は、主に3つの機能によって構成されている。橋梁部材ごとの損傷度の把握を行う劣化診断機能、橋梁部材の劣化を予測する劣化予測機能、さらにメンテナンスプラン(補修・補強)の最適化機能である。これらの機能と本システムの入力項目および出力項目を合わせた本BMSのイメージを図1に示す。これらの機能を利用することで、メンテナンスプランを維持管理者に提案できるBMSの構築が可能となる。

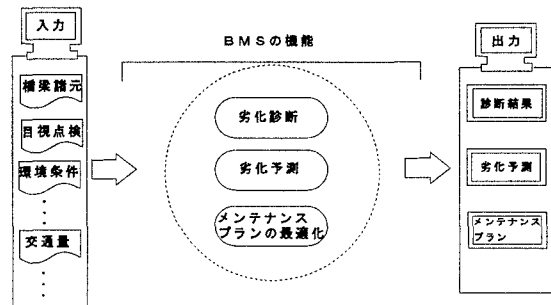


図1 本BMSのイメージ

2.1 橋梁部材の劣化診断

橋梁各部材の損傷度を把握する手法として、本BMSでは、独自に開発中の「コンクリート橋診断エキスパートシステム(以下ESと略記する)」¹⁾の診断結果を利用することを考えた。このESは、橋梁各部材の損傷度を把握するのに専門家が持つ主観的な曖昧さを含む知識を取り入れることができ、入力項目は簡単な目視点検程度の情報で良いため、近年問題となっている橋梁診断が行える専門家の不足という事態に対処することができる。このESを劣化診断機能として本BMSに導入していることが、他の機関のものとは異なる最大の特徴と言える。このESの出力は、耐荷性および耐久性の平均健全度(0~100の数値で表される)であり、橋梁部材の劣化予測を行うときに用いられる。

2.2 橋梁部材の劣化予測

ESから出力された耐荷性および耐久性の平均健全度から、「耐荷性」・「耐久性」のそれぞれについて「予想劣化曲線」を考える。まず、耐荷性、耐久性の平均健全度をそれぞれ S_L 、 S_D とおく。それぞれの劣化曲線を表す式として、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²⁾、以下に示す式(1)のように年数 t についての四次関数、一方、耐久性については耐荷性よりも次数が一つ少ない(微係数)という考え方が一般的な定義となっているので式(2)に示すような三次関数で表すことにした。

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

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

また、耐荷性、耐久性の平均健全度は、供用開始時の値を100としており、その後の経年劣化によって

キーワード: Bridge Management System(BMS), 劣化診断, 劣化予測, メンテナンスプラン最適化
〒755 山口県宇部市常盤台2557 TEL 0836-35-9951 FAX 0836-35-9951

最終的に0となったときを管理の限界に達したとみなし、架け替えが必要とする。

補修、補強を行うと橋梁部材に何らかの影響があるものとし、新たに劣化予測を行う。具体的に補修、補強が劣化曲線に及ぼす影響を以下のように仮定した。①補修を行った場合には「補修を行った瞬間に耐久性の劣化曲線の平均健全度が不連続に100まで回復するが、その傾きは変化しない。そして、耐荷性の劣化曲線の傾きがいくらか回復する（劣化速度の緩和）」とし、②補強を行った場合には「補強を行った瞬間に耐荷性の劣化曲線の平均健全度が不連続に回復するが、曲線の傾きは変化しない。なお、耐久性の劣化曲線には影響がない」とした。

2.3 メンテナンスプラン（補修・補強）の最適化⁹⁾

予想劣化曲線を用いて、経済性（維持管理対策に必要なコスト）および品質（耐久性と耐荷性の両者を考慮したもの）を最適化指標として既存橋梁のメンテナンスプランの策定を行った。その方法は、対象橋梁の予定供用年数を設定し、その年数を満たすことのできる補修、補強等の維持管理対策の組み合わせの中で、コストの最小化と品質の最大化の両方を考慮した最適補修・補強計画を求める。これは多目的な組み合わせ最適化問題として考えられることから、本研究では多目的計画問題の解法として、 ϵ -制御法を用い、組み合わせ最適化問題の解法にはGAを用いてその最適化を行った。

3. BMSの出力結果

本システムの出力結果の一例として、実際に山口県下に架設されている「Y橋（橋齢60年）」の主桁について予定供用年数を100年と設定し、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。画面上部には、耐久性および耐荷性の予想劣化曲線が表示され、画面下部には、橋梁名、橋齢、予定供用年数、維持管理計画などの情報が表示される。この画面下部の表示より、Y橋に対して維持管理対策を行わない場合、耐荷性からみた余寿命は16年、耐久性からみた余寿命は10年なので、予定供用年数100年を満たさないことがわかる。そこで、本BMSでは、維持管理計画案として橋齢62年、72年、80年に維持管理対策を行う計画を策定している。この計画では耐荷性、耐久性の余寿命がそれぞれ42年、43年に延びており、そのコストは131U（1U $\approx$ ¥1,000/m²と概略換算）である。次に、費用最小化を行った維持管理計画のコストに管理者が上乗せできるコストを考慮し、主桁の品質最大化を目的とした最適化を行った結果を図3に示す。この例では、75U上乗せし、コスト上限206Uで維持管理対策を策定した。これにより、維持管理対策に補強が選ばれ、耐荷性が向上したために品質指標が39%から63%に向上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、補修、補強等の維持管理対策がこの曲線に及ぼす影響を定量化し、橋梁部材の劣化予測を可能にした。また、経済性と品質を考慮した維持管理計画の策定を管理者と対話的に行い、最適な維持管理計画を示すことを可能にした。

- 参考文献 1) 三宅秀明, 山本秀夫, 宮本文徳, 中村秀明: 橋梁診断エキスパートシステムの推論機構の再構築と診断結果の比較, 土木学会中国支部講演要集, 1997. 5
2) 宮本文徳: 道路橋鉄筋コンクリート床版の力学特性とその耐用性判定に関する基礎的研究, 京大大学学位論文, 1984. 9
3) 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, 土木学会中国支部講演要集, 1997. 5

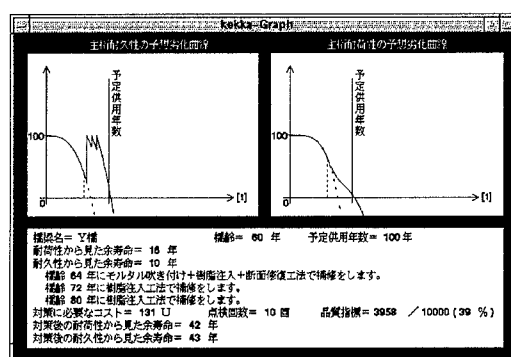


図2 費用最小化の最適出力結果

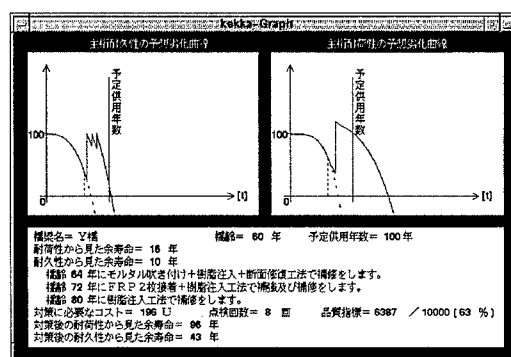


図3 品質最大化の最適出力結果