

I - 367

Bridge Management System (BMS) の開発に関する基礎的研究

山口大学工学部 正会員○宮本文穂 神戸大学大学院 学生員 松本正人
神戸大学工学部 正会員 串田守可 阪神高速道路公団 正会員 足立幸郎

1. はじめに 本研究は、従来より著者らが開発してきた「コンクリート橋耐用性診断エキスパートシステム（以下「エキスパートシステム」）」¹⁾の出力結果を利用して、対象橋梁の将来の劣化予測、最適な補修・補強工法とその費用の算定、さらには道路網の総合的なマネジメントまでが実行可能な「橋梁維持管理システム（Bridge Management System; BMS）」の開発を行ったものである。BMSの最終的な目標は、道路網を構成する橋梁全体をネットワークとしてとらえ、限られた予算の中で最大の利潤を得るための最適維持管理計画の作成を支援するシステムと位置づけられるが、本研究で開発するBMSでは、まずその第一歩として、ある一橋の対象橋梁に注目し、安全性・経済性・機能性を考慮した最適な維持管理対策を検討することにした。

2. BMS構築のフローと考え方 一橋を対象としたBMS構築のフローを図1に示す。すなわち、本BMSでは、新設および既設橋梁を対象とするものとし、システムからの最終出力としては、道路橋の維持管理に必要な①最適な補修・補強計画とその工法、②補修・補強後の余寿命予測、③必要なライフタイムコスト、などとする。ここで、新設橋梁については、建設費（インシャルコスト）を標準的なものに比べて多くかけるときに、その使い方によって橋梁部材の劣化曲線に対する影響を予測し（①②）、ライフタイムコストを最小化するようにBMS解析を行う（⑦）。一方、既存橋梁については、各種点検結果に基づくデータを（③）、「エキスパートシステム」に入力し、橋梁部材の点検時における健全度を評価する（④）。そしてその点検結果をもとにして、劣化予測式より劣化の現在までの進行経路とこれからの余寿命を予測する（⑤）。また資料等より補修・補強工法とその効果、費用の関係をあらかじめ求めておき（⑥）、劣化予想曲線への影響を考慮してBMS解析（⑦）を行う。BMS解析の出力項目は、最適補修・補強時期、工法、必要な費用の総計（ライフタイムコスト）である。なお、本BMS構築に使用する言語はC言語とし、Borland C++を使用した。

3. 橋梁部材の劣化予測 「エキスパートシステム」では、橋梁部材点検時の健全度評価は可能であるが、その後の劣化進行予測はできない。そこで、橋梁部材ごとの健全度を表す指標として「耐荷性」および「耐久性」の2つを考え、それぞれについて「予想劣化曲線」を設定することにより劣化予測を行った。予想劣化曲線の作成に際して、以下に示す仮定を設けた：

①エキスパートシステムの最終出力である耐荷性、耐久性の平均健全度をそれぞれ S_L 、 S_D とおく。橋梁部材の劣化は、一般に橋齢が古くなるに従って急速に進行すると考えられているため、橋齢を横軸に、耐荷性、耐久性の平均健全度を縦軸にとってグラフを描くと、上に凸な形状のグラフになることが予想される。そこで、それぞれについての劣化曲線式を、耐荷性については式(1)に示す年数 t についての四次関数、一方、耐久性については、耐荷性の経時変化を表す曲線の微係数で表されたと考えて、式(2)に示す年数 t についての三次関数で表すことにした。

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

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

ここで、 a, b は定数。

②耐荷性、耐久性の平均健全度は、0～100の数値で表され、供用開始時の値を100とし、経年劣化によって最終的に0になった時に使用限界に達したとみなし、架け替えが必要であるとす。③補修・補強を行うことによって

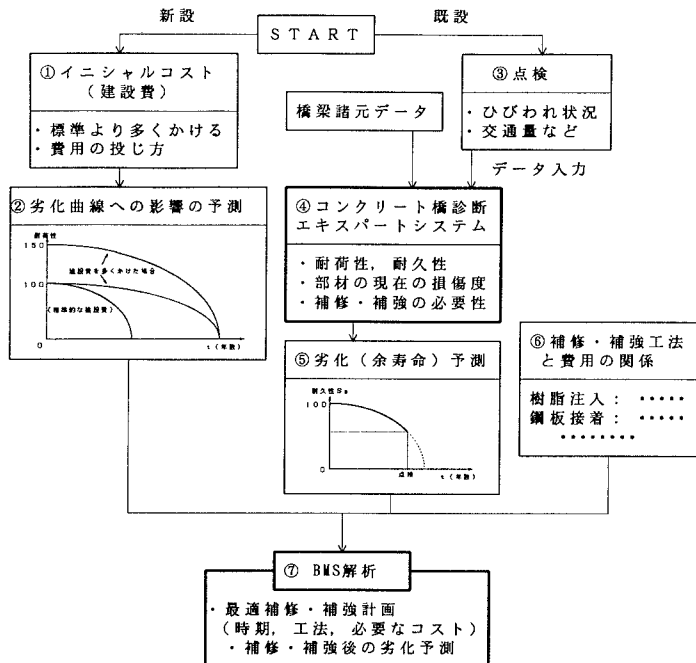


図1 BMS構築のフロー

橋梁部材の耐荷性、耐久性に何らかの影響を与えるものとし、新たに劣化および余寿命予測を行う。このとき、供用開始から補修・補強を行うまでの劣化曲線の式を耐荷性： $S_L = f_0(t) = b_{L0} - a_{L0}t^i$ 、耐久性： $S_D = g_0(t) = b_{D0} - a_{D0}t^j$ とおき、 i 回目の補修および補強後の劣化曲線式を、 $S_{Li} = f_i(t) = b_{Li} - a_{Li}t^i$ 、 $S_{Di} = g_i(t) = b_{Di} - a_{Di}t^j$ とおく。④1回目の点検時までの予想劣化曲線式は、橋齢0年（供用開始時）のときの平均健全度が100であることと、点検時の平均健全度のデータの2つを利用して求める。

4. 補修・補強工法選定と効果 BM

S構築に際し、期待した補修・補強効果が得られる最適な工法選定を行えるように床版および主桁に対する各種補修・補強工法についての特徴等を整理したものの一例を表1に示す。また、「エキスパートシステム」による診断結果の出力を利用した、主桁についての補修・補強工法選定のフローを一例として図2に示す。ここで、補修・補強を行った場合に、耐荷性、耐久性それぞれの劣化曲線にどのような影響を与えるかについては、現在のところ十分なデータがないため、実際に橋梁を維持管理する機関に所属する技術者の方の意見を参考にし、基本的には、補強を行うと耐荷性の平均健全度がアップし、補修を行うと耐久性の平均健全度がアップすると考えるが、補修の効果として「耐荷性の平均健全度の劣化速度の緩和」という概念を導入してより現実に近いモデルにした。

5. BMSの適用結果 ここでは、一例として橋齢約40年の「与井橋」²⁾床版について、[danger]～[safe]までの5段階に分類された状態に対して正規化された支持率をもって表される¹⁾、「エキスパートシステム」の出力結果を入力データとして、実際にシステムを実行した。その結果の一例として、①床版増厚工法および②床版増厚と樹脂注入を組み合わせた工法を適用した場合の予想劣化曲線として得られたものを図3に示す。これより、必要な余寿命と予算の制約条件などを満足する効果的な補修・補強の組み合わせを選定することが可能となることがわかる。

表1 補修・補強工法の分類と特徴

工法	分類	特徴
樹脂注入 床版・主桁	補修	・鉄筋の防錆効果および床版の防水性が期待できる ・耐荷力の増加は期待できない
断面修復 床版・主桁	補修	・コンクリートの欠落および材料劣化に対して有効 ・耐荷力の増加は期待できない
縦桁増設 床版	補強	・床版の活荷重負担が縦桁増設により減少する ・補強後も床版裏面が見えるので点検が容易
床版増厚 床版	補強	・床版厚が大きくなる抵抗断面の増大効果が大きい ・主桁などに対する死荷重が増加する ・交通処理が必要である
鋼板接着 床版・主桁	補強	・床版の耐荷力の増加が期待できる ・補強後の損傷状態の確認が困難である
FRP接着 床版・主桁	補強	・施工が容易で工期が短い ・軽量で死荷重の増加が少ない ・接着枚数によって効果を調整できる
床版打替え 床版	補修補強	・床版の復旧効果が最も確実である ・交通規制期間が長期におよぶ
ガラスクロス 主桁	補修	・施工が容易である ・鉄筋の防錆および主桁の防水性が期待できる
モルタル吹付け 主桁	補修	・豆板など、ひびわれ以外の損傷の補修に適する ・既存部分との付着に不安がある
外ケーブル 主桁	補強	・耐荷力の大幅な向上が期待できる ・施工が大がかりになり、費用も高価になる

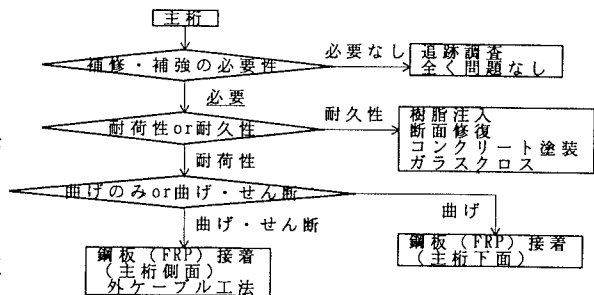


図2 補修・補強工法選定のフロー（主桁）

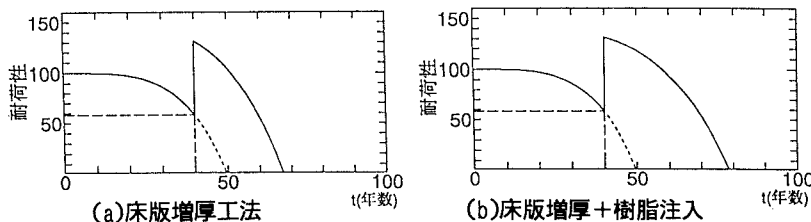


図3 与井橋床版の
予想劣化曲線

6. 結論 本研究では、橋梁部材の性能を表す指標として、耐荷性、耐久性の2つを用いて補修・補強の区別を明確にするとともに「エキスパートシステム」の出力結果に基づいて劣化曲線を定義し、補修・補強後の劣化予測も行えるようにした。そして、BMSのプログラムを構築し、実橋に適用した結果、補修・補強効果と費用の制約条件を満足するコンクリート橋の維持管理が可能となることが明らかとなった。

参考文献 1) 宮本、串田、森川、木下：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開発と信頼性の向上、土木学会論文集，No. 510，1995. 3.， 2) 串田、宮本、森川、中川：橋梁診断エキスパートシステムにおける知識ベースの洗練 建設工学研究所報告，Vol. 36，1994. 11.