

Bridge Management System(BMS)を適用したコンクリート橋の補修・補強対策の最適化

山口大学大学院 学生員 ○山岡 健一

山口大学工学部 正員 宮本 文穂

山口大学大学院 学生員 河村 圭

1. はじめに

現在までに多くの橋梁が架設されてきたが、既存橋梁の中には、交通量の急激な増加や車両の大型化に伴い著しい損傷を受けているものも多く、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。しかし、維持管理等に投資できる予算には上限があり、従来通りの定期点検結果より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、限られた予算で最適な維持管理計画作成を支援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、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⁾の出力結果を利用することで、橋梁の劣化予測、補修・補強工法選定および必要な費用の算出が実行でき、維持管理対策を最適化することをねらいとした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ったものである。

2. BMSでのエキスパートシステムの利用法

BMSでは、橋梁各部材ごとの損傷度の把握と今後の劣化予測を行うことが必要となる。前者の橋梁各部材の損傷度の把握の手法として、本BMSでは、独自に開発中のエキスパートシステムの診断結果を利用することを考えた。このエキスパートシステムは、橋梁各部材の損傷度を把握するのに専門家の有する主観的な曖昧さを含む知識を取り入れることができ、しかもシステムへの入力項目は簡単な目視点検程度の情報でよい。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遭遇することもない。

3. BMSの構築

3.1 橋梁部材の劣化予測手法 橋梁部材ごとの健全度(損傷度)を表す指標として「耐荷性」「耐久性」の2つを考え、それぞれについて以下に示す4つの仮定を設けて、「予想劣化曲線」を導出することにした。
①エキスパートシステム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 、 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。

$$S_L = f(t) = b_{L0} - a_{L0} \cdot t^4 \quad (1)$$

$$S_D = g(t) = b_{D0} - a_{D0} \cdot t^3 \quad (2)$$

②耐荷性、耐久性の平均健全度は0~100の数値で表されるものとし、供用開始時の値を100、その後の経年劣化によって最終的に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。③補修・補強を行うことによってこれに対応する橋梁部材の耐荷性、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ととする。このとき、供用開始から補修・補強を行うまでの劣化曲線式を耐荷性に対して $S_L = f_0(t) = b_{L0} - a_{L0} \cdot t^4$ 、耐久性に対して $S_D = g_0(t) = b_{D0} - a_{D0} \cdot t^3$ とそれぞれおき、 i 回目の補修・補強後の劣化曲線式をそれぞれ $S_{Li} = f_i(t) = b_{Li} - a_{Li} \cdot t^4$ 、 $S_{Di} = g_i(t) = b_{Di} - a_{Di} \cdot t^3$ とおくことにする。④1回目の点検時までの劣化曲線式は、橋齢0年(供用開始時)の時に平均健全度が100であることと、点検時の平均健全度の値の2点を利用して求める。

3.2 補修・補強工法選定 床版についての補修・補強工法選定フローの例を図1示す。図1では基本的に下方に進むにつれて損傷の程度が著しくなっていくことになる。実際の工法選定は、損傷の状態だけでなく交通条件や構造条件、施工条件など多様な観点から判断する必要があるため、図1の分岐で与えられている条

件だけでは工法選定フローを一律に適用できない。そこで、図1のフローに従って複数の工法が推奨される場合には、それぞれの工法の特徴と予想余寿命等をユーザーに示し、これらの工法の中から最終的な工法を選択を行えるようにした。また、補修・補強を行った場合に耐荷性、耐久性の劣化曲線に与える影響は、補強を行うと耐荷性の、補修を行うと耐久性の平均健全度がそれぞれ改善されると考えた。さらに、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た。

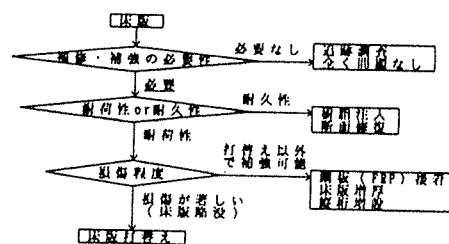


図1 補修・補強工法選定フロー(床版)

3.3 ライフサイクルコストの最適化 ライフサイクルコストの最適化を行う場合の指標として経済性、安全性、機能性、環境性等を総合して考慮すべきであるが、本研究では第一段階として比較的数量化しやすい経済性についてのみ考慮することにした。その方法としては、橋梁に予定供用年数を設定し、その年数を満足する対策の組み合わせをシステムで全て検索し、その中で総費用が最小となるものを選ぶものである。

4. BMSの出力結果

本BMSによる出力結果の1例として、橋齢61年の「Y橋」³⁾の主桁について予定供用年数が100年と設定した場合と120年と設定した場合の維持管理対策とその総費用の関係をそれぞれ表1および表2に示す。表1は予定供用年数が100年の場合の4パターン、表2は120年の場合の2パターンの総費用をU(Unit)を単位としてそれぞれ相対比較したものである。また、総費用が最小となる対策を適用したときの予想劣化曲線をそれぞれ図2および図3に示す。ここで、図2は補強と補修を組み合わせた対策であり、図3は補修を2回行い、その後補強を行う対策である。これらより、設定した予定供用年数を満足する費用の最適化が行われていることがわかる。

表1 予定供用年数100年とした場合の維持管理対策と費用の関係

橋齢(年)	維持管理対策	予想寿命(年)	費用(U)
1	61 FRP2枚(補強)+補修	106.55	115.8
2	61 外ケーシング工法(補強)	102.76	150.0
3	61 樹脂注入, 断面修復(補修)	109.91	121.8
	71 FRP2枚(補強)		
4	61 樹脂注入, 断面修復(補修)	125.52	159.6
	66 樹脂注入, 断面修復(補修)		
	71 FRP2枚(補強)		

表2 予定供用年数120年とした場合の維持管理対策と費用の関係

橋齢(年)	維持管理対策	予想寿命(年)	費用(U)
1	61 外ケーシング工法(補強)+補修	120.27	187.8
2	61 樹脂注入, 断面修復(補修)	125.52	159.6
	66 樹脂注入, 断面修復(補修)		
	71 FRP2枚(補強)		

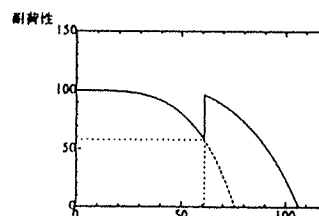


図2 予想劣化曲線(予定供用年数100年の場合)

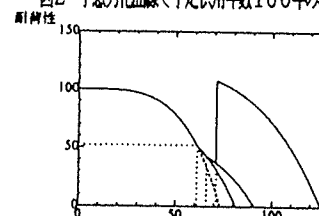


図3 予想劣化曲線(予定供用年数120年の場合)

5. 結論

本研究で得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- ①橋梁部材の性能を表す指標として、耐久性と耐荷性を用い、補修・補強の区別を明確にした。
- ②劣化予測手法として劣化曲線を定義し、橋梁部材の劣化予測を行った。
- ③ライフサイクルコストを最適化していく第一歩として、経済性を考慮して予定供用年数が100年の時には4パターン、そして120年の時には2パターンを示し、最適な維持管理対策を選定した。また、将来的には工法選定のフローから見直し維持管理対策の選択肢を増やしていくことを検討している。

参考文献 1)宮本文徳, 申田守可, 森本英典, 木下和哉: 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)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, 京都大学学位論文, 1984. 9
 3)山本秀夫: 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報論文, 1996. 5