

## 橋梁の劣化過程を考慮した対策計画策定システムの開発

オリエンタル建設(株) 正会員 工修 ○二井谷教治  
 オリエンタル建設(株) 正会員 大谷 悟司  
 JIPテクノサイエンス(株) 工博 今野 将顕  
 JIPテクノサイエンス(株) 家入 正隆

### 1. はじめに

これまで、多数の橋梁が建設され、社会資本として市民生活に供されているが、これらの橋梁も着実に高齢化が進みつつあることもまた事実である。それに伴って、橋梁の維持管理費も年々増加する傾向にある。このような状況のもと、限られた予算の中でいかに効率よく補修・補強計画を進めるかを策定するためのツールとして、橋梁維持管理システム(BMS)が各機関で開発されつつある<sup>1)</sup>。これらのシステムは、数多くの管理橋梁について、どのような順序でどのような対策を行っていけば最も効果的で効率的であるかを策定するため、管理者の手助けを行うツールである。

これに対して本システムは、多数の橋梁群の維持管理を目的とする一般のBMSとは性質を異にし、個々の橋梁に対して維持管理計画を策定するものである。塩害および中性化により劣化することが懸念される橋梁を対象として、予測される劣化過程を踏まえて現状を評価し、最適な補修・補強計画と概略の工事費(LCC)を算出する。本稿は、今回開発したシステムの概要について述べるものである。

### 2. システムの概要

図-1に本システムの流れを示す。本システムは個々の橋梁に対して対策の策定を行うため、まず既に構築されている橋梁DB(データベース)を検索して、対象とする橋梁の必要なデータをシステムに抽出する。不足しているデータや詳細点検結果などデータがあれば追加入力する。

次に劣化要因の推定を行う。ただし、現状では本システムで対象とする劣化要因は、塩害および中性化のみであり、判定についても使用者の判断によるものとしている。

つづいて劣化程度の判定、劣化予測および健全度の評価を行い、対象とする橋梁の予定供用期間に応じて、最適となる対策の策定を行う。供用期間中に必要となる補修・補強工法とその対策時期およびそれらに要する概略対工事費(LCC)を算定する。これらの結果については、画面で確認できるが、必要に応じて調書形式に出力することもできる。なお、これらの評価判定方法などの詳細については後述する。

### 3. 劣化程度の判定

対象とする橋梁の現時点における劣化程度の判定は、点検結果によって劣化過程のどの段階にあるかを評価することによって行う。なお、塩害および中

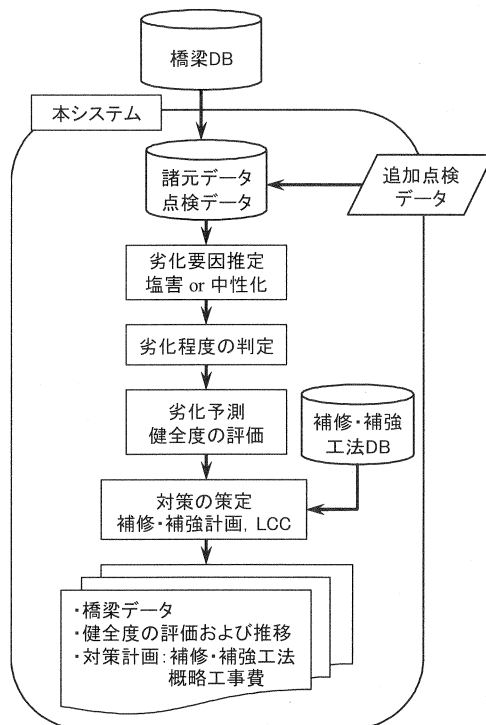


図-1 本システムの流れ

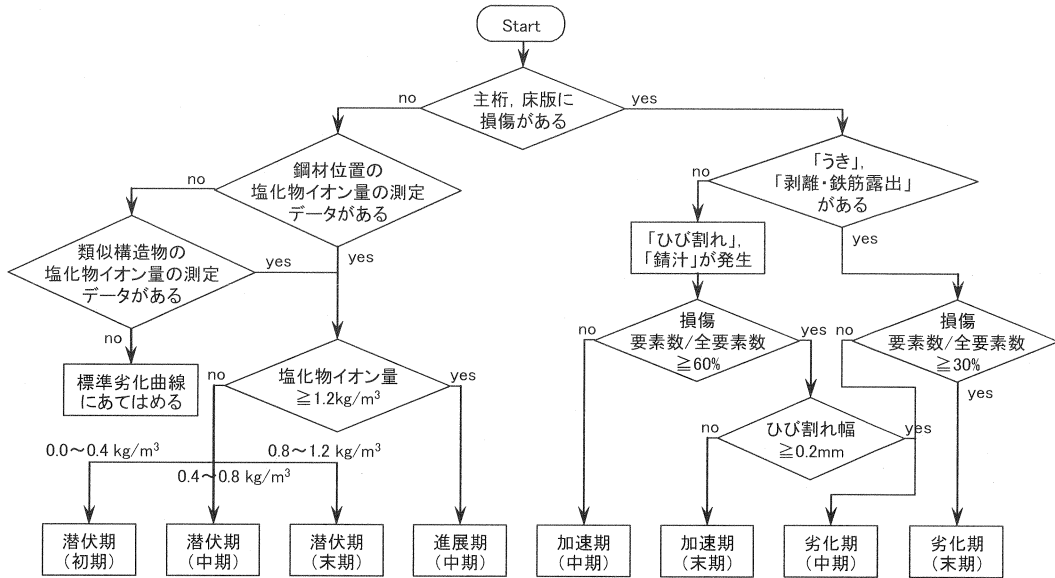


図-2 劣化程度の判定フロー (塩害の場合)

性化による劣化の進行過程は、土木学会の定義<sup>2)</sup>を基本とする。

塩害の場合を例にとり、劣化程度の判定フローを図-2に示す。対象橋梁の現状の劣化程度を、点検結果をもとに潜伏期初期～劣化期末期の8段階にランク付けする。点検で取扱う要素および損傷などは、橋梁定期点検要領(案)<sup>3)</sup>に準拠し、劣化程度の評価は、鋼材位置の塩化物イオン濃度および損傷要素率やひび割れ幅を用いて行う。なお、ここでいう損傷要素率は、損傷要素数/全要素数であり、対象とする損傷は、「ひび割れ」、「剥離・鉄筋露出」、「漏水・遊離石灰」、「コンクリート補強材の損傷」、「床版ひびわれ」および「うき」である。また、劣化要因が中性化の場合の劣化程度の評価は、鋼材位置の中性化残りおよび損傷要素率やひび割れ幅を用いて行う。

#### 4. 劣化予測および健全度の評価

橋梁を適切に維持管理し、必要に応じて適切な対策を施すためには、点検した橋梁の現時点での健全度を評価するとともに、以後の劣化進行を予測することが重要である。そのためには、劣化曲線の設定が必要となる。本システムにおいては、塩害および中性化の劣化要因ごとに基本となる標準劣化曲線を備えておき、診断する橋梁ごとにそれらの標準劣化曲線を利用して、個々の劣化曲線を設定する方法を採用している。具体的には、先に述べたようにまず、点検結果により対象橋梁の劣化程度を評価してランクづけする。次に、点検時の橋梁の材齢と劣化程度に対応した健全度によって、標準劣化曲線を個々の橋梁に適する劣化曲線に補正する。

本システムで設定する劣化曲線は、耐久性に関する劣化曲線と耐荷性に関する劣化曲線の2種類である。塩害および中性化による劣化進行は、土木学会で示されている劣化過程<sup>2)</sup>を基本としている。この劣化過程に対して、横軸に橋梁の材齢をとり、縦軸に橋梁の健全度をとったものを劣化曲線と呼ぶ。耐久性能の低下は、コンクリート中に浸入する塩化物イオン量あるいは中性化深さによって決まるものとし、鋼材位置での塩化物イオン量あるいは中性化残りや鋼材腐食発生限界値との比較によって、耐久性の健全度である鋼材腐食指標を設定する。耐荷性能に関しては、橋梁の曲げモーメントに対する耐荷力の安全率を指標として、健全度の評価を行うものとする。この場合、塩害あるいは中性化による曲げ破壊抵抗モーメント

表-1 劣化曲線の種類と健全度の考え方

劣化曲線の種類	健全度の呼び名	健全度の判定指標	健全度	
			100	0
耐久性の劣化曲線	塩害	鋼材腐食指標	鋼材位置の塩化物イオン量	0kg/m <sup>3</sup>
	中性化		鋼材位置の中性化残り	かぶり
耐荷性の劣化曲線	塩害	耐荷安全性指標	曲げ耐力力比(安全率)	1.7
	中性化			1.0

の低下は、曲げモーメントに対する引張鋼材の腐食減量に左右されることになる。なお、標準劣化曲線を設定するための材齢と劣化程度との関係は、塩害あるいは中性化による劣化が予測される環境下に建設された橋梁を想定し、解析的なシミュレーションによって行った。

表-1は、本システムで設定する劣化曲線と健全度の考え方をまとめたものである。想定橋梁に対する劣化過程のシミュレーション結果と、表-1に示す健全度の評価基準によって、標準劣化曲線が設定できる。図-3および図-4に塩害の場合の耐久性および耐荷性の標準劣化曲線を示す。塩害の場合、供用後10年で耐久性の健全度が0、供用後63年で耐荷性の健全度が0となる。これらは、あくまで本システムに備える基本の劣化曲線であり、限られた仮定条件のもとに設定したものである。実際には、個々の橋梁に対する劣化曲線は、これらの標準劣化曲線を利用して、それぞれの環境条件や点検結果に基づいて適切に設定することになる。標準劣化曲線から個々の橋梁に対する劣化曲線への補正方法の詳細については、ここでは割愛する。

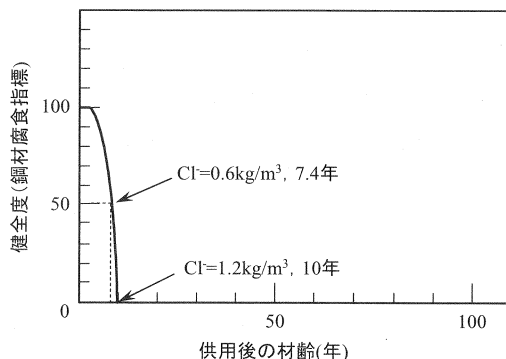


図-3 耐久性の標準劣化曲線 (塩害の場合)

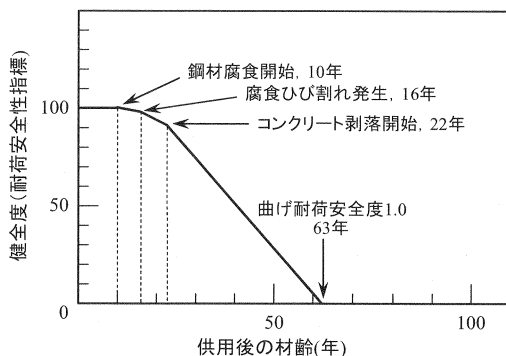


図-4 耐荷性の標準劣化曲線 (塩害の場合)

5. 対策の策定およびLCCの算出

塩害および中性化は、基本的には劣化因子が外部から浸入し構造物内部の鋼材が腐食することによって起こる劣化であるため、本システムで考慮する補修・補強工法は、両方の劣化要因に対して同様な工法とした。適用できる補修・補強工法は、劣化過程ごとに設定し、工法の種類および単価は、既往の研究成果や過去の実績を参考にして決定した。また、補修・補強を実施した場合、適用された工法により橋梁の性能が回復したり、その時点の性能が維持されたり、適用後の性能の劣化度合いが緩やかになったりすることが考えられる。このため、補修・補強工法ごとに対策を実施した場合の回復度およびその後の劣化度も併せて決定した。本システムで設定している補修・補強工法の種類、ならびにそれらを適用した場合の健全度の回復度の考え方の一覧を表-2に示す。

次に、対象とする橋梁の予定供用期間を通じて、必要となる対策費の総計(LCC)を算出する。一般的に、割引率やリスクを考えない場合には、LCCは初期建設費、維持管理費(補修・補強工費および点検・調査費)および撤去費の和で表される。ところが、本システムでは既設の橋梁を対象としているため、LCCは補修・補強工費および撤去費の総和で算出する。最適なLCCの決定方法は、補修・補強を実施する材齢を

表-2 補修・補強工法および対策による健全度の回復度

劣化過程	補修・補強工法	健全度の回復度およびその後の劣化進行
潜伏期	①表面被覆	回復しないが対策時の健全度を5年間保持する
	②電気防食	対策時の健全度をそのまま保持する
進展期	③表面被覆	回復しないが対策時の健全度を5年間保持する
	④断面修復+表面被覆	健全度が100に回復し潜伏期が5年延伸する
	⑤電気防食	対策時の健全度をそのまま保持する
加速期	⑥ひび割れ注入+断面修復+表面被覆	健全度が100に回復し潜伏期が5年延伸する
	⑦ひび割れ注入+断面修復+電気防食	対策時の健全度をそのまま保持する
	⑧断面修復+炭素繊維シート接着	健全度が100に回復し潜伏期が5年延伸する
	⑨断面修復+下面増厚	健全度が100に回復する
劣化期	⑩断面修復+表面被覆+外ケーブル補強	健全度が100に回復し潜伏期が5年延伸する
	⑪断面修復+炭素繊維シート接着	健全度が100に回復する
	⑫断面修復+下面増厚	健全度が100に回復する
	⑬架替え	健全度が100に回復する

分岐点とし、その時点で補修・補強を行うか否かの2方向の分岐を作成し、これを全ての分岐点において同様に行い、表-2 で示した補修・補強を組み合わせた全てのシナリオについてLCC算出する。そして、これらの全てのシナリオの中からLCCが最小となる組合せなどを条件として、最適なシナリオを抽出することができる。なお、補修・補強を実施する分岐点のタイミングは、各劣化期の間および劣化期の末期とした。

## 6. 結果の出力

結果の出力は、例えばLCCが最小となる順番で5ケースであるとか、あらかじめ設定した条件のシナリオに対して、LCCの推移、健全度の推移および補修・補強の内容が、橋梁の諸元とともに画面出力される。また、これらの結果は、「比較表」および「LCC内訳」の2つの調書形式のシートとしても出力することができる。これらのシートでは、上記の情報に加えて、各シナリオにおける対策実施年の補修・補強工法の種別、費用、補修範囲などの詳細情報が出力される。

## 7. まとめ

本稿では、橋梁の維持管理業務の拡大を背景に、個別の橋梁ごとに点検結果を利用してLCCを考慮した適切な補修・補強計画を策定するシステムについて紹介した。今回開発したシステムは、橋梁の健全度を確実に評価し完全な対策を策定するというものではないが、今後、管理者あるいは施工者が橋梁の維持管理業務を行う場合の一助となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) たとえば閉上 直浩, 西林 素彦, 片山 大介: 阪神高速道路における橋梁マネジメントシステムの検討について, 土木学会第60回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM 6-196, 2005
- 2) (社) 土木学会: コンクリート標準示方書 [維持管理編] pp. 83-84, pp. 99-100, 2001
- 3) 国土交通省国道・防災課, 2004