

PS I - 9

RC床版の健全度評価のためのファジィエキスパートシステム

NTT 正員 川上宏一郎 京都大学工学部 正員 白石成人
 京都大学工学部 正員 古田 均 大阪大学大型計算機センター 馬野元秀

1. まえがき 交通量の激増、大型車混入率の増大等によりRC床版の損傷、破損がきわめて重要な問題となってきた。したがって、RC床版の維持管理は橋梁構造物の機能を維持するためにはきわめて重要であると思われ、これを適切に遂行するには、その健全度を的確に評価する必要がある。以上に鑑み、本研究ではRC床版の健全度を評価するためのエキスパートシステムを作成した。本システムでは、健全度を的確に評価するために以下のことを行った。①維持管理業務の専門家と何度も会い時間をかけて対話することにより、専門家特有の知識を獲得した。特にRC床版の損傷原因、損傷進行度に関しては専門家の経験的な知識を獲得できた。②ファジィ理論を導入することにより、点検から得られたデータに含まれるあいまいさ、専門家から獲得した知識に含まれるあいまいさを取り扱うことが可能となった。③RC床版の健全度を評価するためには、余寿命の推定が重要であると考え、RC床版の余寿命の推定を試みた。そのための指標として、損傷原因、損傷程度、損傷進行度を考えた。ここでは、RC床版の健全度評価法について詳しく述べるとともに、本システムの実橋への適用例を示す。

2. RC床版健全度評価法

健全度評価は、床版の各パネル単位で行う。評価は、図1に示す手順にしたがって進められる。まず、1パネルについて点検により得られた損傷に関するデータから損傷の種類を特定する。本システムでは、損傷の種類として「ひび割れ」、「路面の損傷」、「鉄筋の損傷」、「コンクリートの損傷」、「構造上の損傷」を設定する。つぎに橋梁の設計諸元、環境条件、床版の点検結果等から損傷原因を推定する。損傷原因として考えられるものを表1に示す。原因は一般に複数個推定されるが、それぞれの原因に対して損傷モードというものを考える。損傷モードとは、各損傷原因から損傷の種類だけから構成されたものである。損傷原因から損傷モードを特定した後、損傷モードごとにひび割れ、鉄筋、路面、コンクリート、構造上の損傷度を求め、それらをまとめて、モードの損傷程度が得られる。さらに損傷原因から損傷の進行度を求める。以上のようにして求めたモードの損傷程度と損傷進行度、さらに床版の経年をあわせて評価することにより、各損傷モードについて余寿命を推定する。以下、本研究における余寿命の推定方法について述べる。

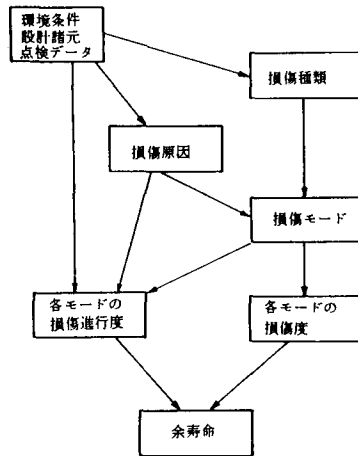


図1 評価手順

表1 損傷原因

荷重	過大な軸荷重の作用 衝撃作用
設計・構造上	支持桁配置の不適切 床版厚不足による剛性不足 主鉄筋量不足 配力鉄筋量の不足 荷重分配機構の不備 主桁の不等沈下による付加曲げモーメント
施工上	コンクリートの低品質 締め固め不足 養生の施工不良 施工打継目の処理不十分 かぶり不足
その他	塩分 表面排水の不良 下工の移動

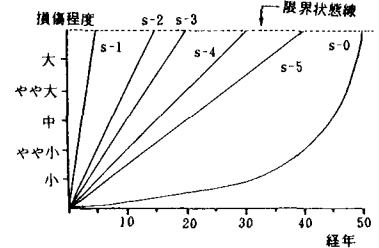


図2 経年と損傷程度の関係

設計上考慮されていない有害な作用を受けることがないような床版の、経年と損傷程度を関係図2中の曲線S-0のように仮定する。さらに、損傷進行度「大」、「やや大」、「中」、「やや小」、「小」のそれぞれに対応するものとして、図2に示す直線S-1～S-5を仮定した。ここで、たとえば経年20年のRC床版の、

設計上考慮されていない有害な作用を受けることがないような床版の、経年と損傷程度を関係図2中の曲線S-0のように仮定する。さらに、損傷進行度「大」、「やや大」、「中」、「やや小」、「小」のそれぞれに対応するものとして、図2に示す直線S-1～S-5を仮定した。ここで、たとえば経年20年のRC床版の、

損傷程度が「やや小」、損傷進行度が「やや小」であるパネルの余寿命を推定することを考える。このパネ

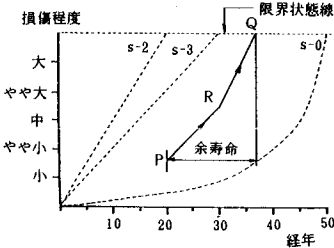


図3 余寿命の推定

ルの状態は、図3中の点Pで表される。損傷進行度「やや小」は、曲線S-0における経年30年以降の損傷進行度を下回るので、経年30年を越えた辺りでは曲線S-0の進行度（直線S-3で近似）が支配的になると思われる。したがって、損傷は図3に示すように、点Rまでは点Pから直線S-4に平行な直線上を進行し、点R以降は直線S-3に平行な直線上を進行し、点Qで限界状態に達する。以上より、余寿命はQの水平座標からPの水平座標を差し引くことにより求めることができる。

3. 適用例および考察 取り上げた橋梁（A橋）は、昭和13年に架設された3径間ゲルバー板桁である。表2に設計諸元および環境条件を示す。ここでは、評価を行ったパネルのうちの1つのパネルP-1について、その実行過程を簡単に説明する。

まず、設計諸元、環境条件、輪荷重通行位置、表3に示したパネルP-1の点検データ等から損傷原因が、表4のように推定された。ここで、原因①を推定する際、実行されたルールを図4に示す。これらの原因に起因する損傷の種類から損傷モードを特定し、損傷程度を損傷モードを構成する損傷種類の損傷度を評価することにより求め、さらに損傷進行度を損傷原因と環境条件などより求める。これらの結果を表にまとめると表5のようになる。この結果をもとに、各原因に起因する損傷に対するパネルP-1の余寿命を推定すると、表6に示すような結果が得られた。A橋は交通量の非常に多い地域に位置しており、また適用示方書も大正15年と古いことから、「過大な輪荷重の作用」が損傷原因であることは十分考えられることである。また、「配力鉄筋量の不足」に関しても、適用示方書の古さが大きな要因ではないかと思われる。さらに、「表面排水の不良」が推定されていることより、排水管の目詰まり等が生じている可能性が大きく、これに対する余寿命も2年と短いことから、至急に補修することが求められる。以上、損傷原因の推定結果などは、かなり妥当な結果が得られたと思われるが、余寿命に関してはまだまだ推定誤差も大きいと思われ、推論精度の向上が今後の課題であると思われる。

4. 結論 本研究では、橋梁構造物の維持管理には、その健全度を適切に評価することが重要であると考え、実用的な健全度評価のためのエキスパートシステムを作成した。維持管理業務の専門家との綿密な対話により、評価に有用な専門的知識の獲得ができた。さらにRC床版の健全度を損傷原因、損傷程度、損傷進行度から余寿命を推定して評価することにより、維持管理上の種々の判断に直接利用できる評価結果を得ることができた。

表2 A橋の設計諸元及び環境条件

種類	項目	データ	確信度
設計諸元	構造形式	3径間ゲルバー板桁(直線桁)	1
	適用示方書	道路構造に関する細則案(大正15年6月)	1
	床版の経年度	古い	大
	床版厚	20cm	1
	橋長: 69.00m		1
	幅員: 12.95m		1
	3車線 片側歩道		1
環境条件	道路の種類	幹線道路	1
	大型車進入率	普通	やや大
	輪荷重位置	支間中央の真上	大

表3 パネルp-1の点検結果

損傷種類	損傷項目	状況	確信度
ひび割れ	状態	幅員方向	やや大
	位置	支間中央の真下 ハンチ部の真下	やや大 普通
	密度	1.72m/m ²	1
	間隔	大きい	やや大
コンクリート	遊離石灰	中くらい	やや大
		程度は中くらい	やや大

表4 損傷原因推定結果

	損傷原因	真理値
原因①	過大な輪荷重	やや小
原因②	配力鉄筋量不足	やや小
原因③	表面排水不良	やや小

```

(rule-1-1-2-2
  if (ひび割れ 形状 幅員方向)
    (ひび割れ 位置 支間中央 真下)
    (輪荷重 位置 支間中央 真上)
    (適用示方書 昭和42年まで)
  then (deposit (損傷原因 過大な輪荷重の作用)
    (*cf times very-true =match)))

(rule-1-3-4-5
  if (ひび割れ 形状 幅員方向)
    (ひび割れ 位置 ハンチ部 真下)
    (適用示方書 昭和42年まで)
  then (deposit (損傷原因 過大な輪荷重の作用)
    (*cf times fairly-true =match)))

(rule-1-5-3-6
  if (ひび割れ 形状 横軸方向)
    (ひび割れ 位置 支間中央 真下)
    (適用示方書 昭和42年まで)
    (輪荷重 位置 支間中央 真上)
  then (deposit (損傷原因 過大な輪荷重の作用)
    (*cf times true =match)))

```

図4 損傷原因推定ルール例

表5 損傷程度、損傷進行度推定結果

損傷原因	損傷程度	確信度	損傷進行度	確信度
①	中	小	中	やや小
②	中	小	中	小
③	大	小	やや大	やや小

表6 余寿命推定結果

損傷原因	余寿命	真理値
①	5年～10年	やや小
②	5年～10年	小
③	2年	やや小