

京都大学大学院 学生員 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

1. まえがき 現存する橋梁の中には、何らかの損傷を呈し、使用性および安全性に問題を有する物も少なくない。これらの橋梁構造物の維持管理を行っていくには、その耐用性を評価する事が必要である。しかし、これまで耐用性評価は、経験豊かな専門家の直感や工学的判断に頼らざるを得なかった。そこで本研究では、専門家の持つ知識をプロダクションルールという形で表現しコンピュータに蓄積する事により汎用性の高い耐用性評価システム(エキスパートシステム)を作りあげることが目的とする。ここでは、評価対象を、鉄筋コンクリート床版に絞り、より詳細な評価が行えるような実用的な評価システムを作成した。その際、以下の点を考慮した。まず、実際に維持管理業務に携わっている専門家との対話を通じて専門的、経験的な知識の獲得を試みた。さらにコンピュータ言語としてLISPを用いて、ルールの変更や追加に対する柔軟性を確保し、確信度係数を導入することにより、入力データの不確実性及びルール自体に含まれる不確実性を考慮できるようにした。また、ルールおよびデータベースを複数個に分割し、必要に応じてそれらを切り替えて使えるようにすることにより、実行速度の短縮をも図った。橋梁構造物の耐用性を評価するための指標として、損傷程度他に、損傷原因および損傷進行度を考え、これらの指標を組み合わせることににより、より多面的な評価が可能になった。

2. 鉄筋コンクリート床版の耐用性評価システム 本研究では、鉄筋コンクリート床版を対象に耐用性評価システムを作成した。ここでは、評価の精度の向上を、ランク分けの細分化ではなく、損傷パターン、損傷原因、損傷進行度という3つの独立な指標を用いて試みる。損傷パターンは、パネルごとの点検により得られたデータから導かれる損傷程度(A, B, C)の分布状況が

、あらかじめ設定しておいた基準損傷パターンのどれに属するかで決定される。ここでパネルとは、主桁と対傾構で区切られた部分をいう。損傷原因は、損傷状況、損傷パターン、床版の機能劣化の程度から推定され、

床版の両端部、張り出し部、中央部について別個に求める。損傷進行度は、ひび割れ発生時期、ひび割れパターン、損傷原因、

床版の機能性等から推定される。損傷進行度もパネルごとにA, B, Cの3段階で評価し、パターン化を行う。耐用性評価は、

表1 鉄筋コンクリート床版点検データ

パネル点検データ	
(ひび割れ幅 0.1mm (0.8))	
(ひび割れ間隔 45cm (0.7))	
(ひび割れ方向 2方向 (0.7))	
(端横桁からの浮き (0.5))	
(流出 遊離石灰 0.24m ² (0.6))	
(ひび割れ形状 レンズ状 (0.4))	
(ひび割れ状況 連続 (0.4))	
(ひび割れ内の泥 多 (0.9))	
(鉄筋損傷程度 A (0.8))	
(遊離石灰 多 (0.3))	

```

IF (損傷程度=1-2
    THEN (ひび割れ幅 =X =CF1) (< -X 0.2) (>= -X 0.1)
    (*DEPOSIT (ひび割れ幅 中 =CF1)))
(損傷程度=1-5
    IF (ひび割れ間隔 =X =CF1) (< -X 60) (>= -X 40)
    THEN (*DEPOSIT (ひび割れ間隔 中 =CF1)))
(損傷程度=2-8
    IF (ひび割れ方向 2方向 =CF1)
       (ひび割れ幅 中 =CF3)
       (ひび割れ間隔 中 =CF3)
    THEN (*DEPOSIT (損傷程度 B (*TIMES 1.0 (*MIN =CF1 =CF2 =CF3)))))
(損傷程度=3-10
    IF (流出 遊離石灰 =X =CF1)
       (< -X =0.3)
    THEN (*DEPOSIT (流出 遊離石灰 小 =CF1)))
(損傷程度=4-13
    IF (流出 遊離石灰 小 =CF1)
    THEN (*DEPOSIT (損傷程度 B (*TIMES 1.0 (*MIN =CF1)))))
(損傷程度=4-20
    IF (端横桁からの浮き =CF1)
    THEN (*DEPOSIT (損傷程度 A (*TIMES 1.0 (*MIN =CF1)))))
  
```

図1 床版損傷程度ルール例

上記の損傷パターン、損傷原因、損傷進行パターンを組み合わせる。これにより、床版のどの部分に損傷が集中し、将来それがどのように進展して行くかを明らかにすることができる。

評価は、得られたデータにプロダクションルールの形で表現されている知識を順次適用して行くことによりなされるが、この際データや知識に含まれる不確実性を考慮できるように、確信度係数（CF）を導入する。CFは、0から1までの数値で表され、データおよびルールの結論部に設定される。ルールの条件部が複数の条件で構成される場合、各条件に与えられるCFのうち最小値を条件部全体のCFとし、それに結論部のCFを乗じることで全体のCFを求める。

本システムへ実際のデータを適用した例を示す。ここでは、とくに損傷パターン評価を例にとり説明を加える。あるパネルに関する点検データを表1に示す。これに図1に示すルールを適用し、表2の結果が得られた。1つのパネルについて複数の損傷程度が求まる場合は最もランクの高いものの中で最大のCFを有するものを選択する。したがって、このパネルの評価結果は、“損傷程度 A (CF=0.5)”となる。これを全パネルについてパネル位置とともに示したものが図2である。図中、かっこ内の数字は、損傷程度に対するCFを表し、“?”で示めた箇所は、与えられたデータからは評価できなかったことを示す。次に、この結果を使って損傷パターンを求める方法を示す。まず床版を図3に示すような3つのゾーン（ゾーン1、2、3）に分割する。そして表3に示すような代表的な床版の基準損傷パターンに従って損傷パターンを求める。その結果、“損傷パターン P2 (CF=0.9)”が得られる。ほぼ同様にして、“損傷進行パターン P2 (CF=0.36)”が求まる。さらに、各ゾーンごとに最大のCFを有する損傷原因を選択し、それを各ゾーンの損傷に対する主要な原因であるとみなす。損傷原因としては次のものが推論された。ゾーン1：“打ち継ぎ部の不良 (CF=0.45)”、ゾーン2：“セメントの不良 (CF=0.2)”、ゾーン3：“コンクリートの沈降 (CF=0.35)”。以上の結果より、この床版は周辺部の損傷が進んでおり、しかも損傷は現在も比較的大きな速度をもって進行中であるため再点検および補修が、とくに周辺部で必要だと思われる。さらに、これらの結果と損傷原因をあわせて評価することにより損傷の発生および進展メカニズムの解明のための有力な手がかりが得られ、また、補修が必要かどうか、あるいは必要な場合の補修工選定のための有益な情報が得られる。

3. 結論およびあとがき 専門家特有の知識をある程度盛り込むことができたため、より実用的な評価システムを作成することができた。また、評価指標として損傷パターン、損傷原因、損傷進行度を設定することにより、将来にわたっての耐用性評価が可能となった。さらに、確信度係数を導入することにより、あいまいなデータ、ルールからもある程度信頼のおける推論を行うことができるようになった。ただし、確信度係数の計算にはまだまだ検討しなければならない点が多くあり、今後さらに研究を進める必要がある。最後に、本研究に際しご協力頂いた、大阪大学大型計算機センターの馬野元秀氏に感謝いたします。

表2 損傷程度評価結果

適用ルール	損傷程度	CF
損傷程度-1-2、1-5、2-8	B	0.7
損傷程度-3-10、4-13	B	0.6
損傷程度-4-20	A	0.5

A (0.5)	A (0.8)	B (0.7)	B (0.4)	B (0.8)	A (0.4)
B (0.8)	B (0.7)	A (0.8)	?	A (0.3)	A (0.5)
A (0.8)	C (0.8)	A (0.8)	?	B (0.8)	C (0.8)
C (0.2)	A (0.5)	B (0.5)	?	A (0.7)	A (0.8)
B (0.8)	B (0.8)	C (0.4)	A (0.8)	A (0.9)	A (0.9)

→ 補修方向

図2 床版における損傷程度分布

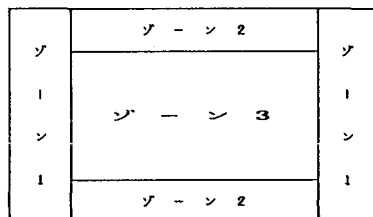


図3 床版のゾーン分割例

表3 基準損傷パターン

P1	損傷程度がAまたはBであるパネル数がゾーン1、2、3においていずれも70%以上である
P2	損傷程度がAまたはBであるパネル数がゾーン1、2においてのみ70%以上を占める
P3	損傷程度がAまたはBであるパネル数がゾーン1においてのみ70%以上を占める
P4	損傷程度がAまたはBであるパネル数がゾーン2においてのみ70%以上を占める
P5	損傷程度がAまたはBであるパネル数がゾーン3においてのみ70%以上を占める
P6	損傷程度がAまたはBであるパネル数がゾーン1、2、3においていずれも70%未満である