

I-557 鉄筋コンクリート床版の維持補修のための ファジィ・ニューラル・エキスパートシステム

京都大学大学院 学生員 賀 建紅 京都大学工学部 正員 渡邊 英一
 京都大学工学部 正員 古田 均 大阪大学工学部 正員 馬野 元秀

1. まえがき

本研究では、多岐にわたる橋梁構造物の耐用性評価の中で、特に鉄筋コンクリート床版(RC床版)の耐用性評価を取り上げ、前向き推論と後向き推論両者を用いる統合推論を用いて、損傷原因、損傷度、損傷進行度に着目して補修工法を自動的に選定するファジィ・プロダクション・システム(FPS)の構築を目的とする。また、ファジィ・ニューラルネットワーク(FNN)をRC床版の耐用性評価FPSに導入し、より有効な耐用性評価エキスパートシステム(ES)の構築を試みた。

2. RC床版の耐用性評価ESの構築

本システムはFPSとFNNを用いて、ワークステーション上で、図-1に示すような手順で構築されている。

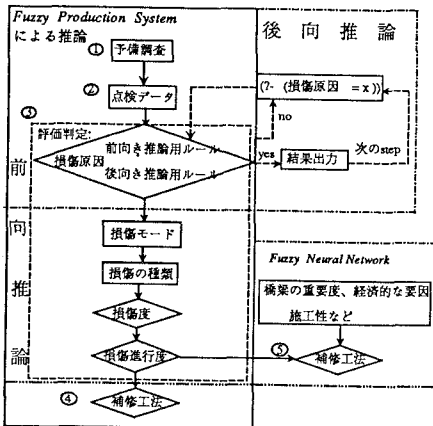


図-1 本システムの推論手順

(1) FPSを用いたRC床版の耐用性評価システム

FPSの構築は図-2に示すようにファジィ・ルールを含むルール部、ファジィ・データを含む作業記憶、それらを用いてファジィ推論を行う推論制御部からなる。このシステムでは、ファジィ述語(ファジィ集合)と可能性分布を用いて、あいまいなデータとあいまいなルールを記述することができる。そして、作業記憶

中のファジィ・データと各ファジィ・ルールの条件部とのマッチングの度合いを調べて、最も良く一致するルールを選び出し(複数個でもよい)、そのルールの動作部を実行する。

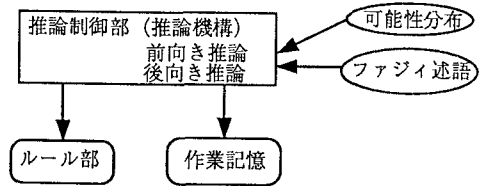


図-2 ファジィ・プロダクション・システムの構造

FPSに基づくRC床版の耐用性評価システムでは、図-1に示すように、まず、損傷の原因を橋梁の設計諸元、環境条件および点検データから前向き推論と後向き推論を用いて推定する。そして、各原因の損傷度と損傷進行度を評価し、補修工法を自動的に判定する。

本システムでは、用いられたメンバーシップ関数は17種類であり、図-3はその中の1部を示している。

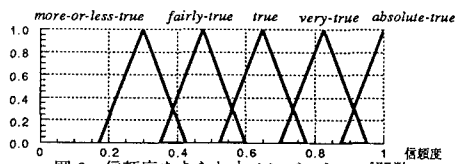


図-3 信頼度をあらわすメンバーシップ関数

ルールは次のような形である。

(rules 損傷原因-1-2-2

```

very-true
if (構造形式 桁-plate)
    (ひび割れ 形状 幅員(主筋) 方向)
    (ひび割れ 位置 片持部 真上)
    (輪荷重 位置 片持部 真上)
then (deposit (損傷原因 過大な輪荷重))
    (change-rb 損傷原因-1-3))
    
```

(2) FNNを導入したRC床版の耐用性評価システム

図-1の④段階において、補修工法を選定するサブシステムはRC床版の構造的な要因のみを考えていたが、

実際には橋梁下部工などに関する要因、橋梁の重要度、経済性、施工性などを合わせて考慮する必要がある。しかし、これらの各要因の相関関係には解明されていない点が多いため、プロダクション・ルールのみでは、有意な結論を導くことができないと考えられる。そこで、④段階において、橋梁の重要度、経済的な要因、施工性などを考慮するために、FNNをESに導入し、最適な補修工法を選定するシステムの構築を⑤段階に示すように試みた。

本研究では、あいまいさを含む入力値と、それに基づいた事例あるいは教師信号(出力値)からなるデータをNNに学習させ、得られた情報を一般化し、NN知識を具体化してあいまいさを含むデータの診断および識別を行う方法を利用する。

3. 実行例

本システムを検証するために、実際に大阪市が過去に実施した13橋梁の補修工法選定例(表-1)を対象として、FPSとFNNにより、補修工法選定に関する数値実験を行う。

表-1 実際の橋梁の補修工法選定例

橋梁番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
床版	ひび割れ損傷度	a	b	a	b	b	o	b	b	c	o	b	b
	剥離									o	o	o	o
	コンクリートの劣化その他		o		o			o	o	o	o	o	o
橋梁	ひび割れ損傷度	o	o	o	a	b	c					b	o
	剥離												
	その他												o
高欄・地盤	破損						o						
	変形							b					
	その他	o	o	o					o				o
伸縮継手	破損									o			
	変形												
	その他									o			
球水の傷	腐食			o	o	o	o	o					o
	ゴミの堆積												
	その他												
支承	腐食			o	o	o	o						
	モルタル破損	o								o			
	その他		o										
主桁	塗装		o	o	o	o				o	o	o	o
	変形												
	その他												
下部工	コンクリートの劣化	o	o							o	o	o	o
	剥離												
	その他												
その他	腐食												
	剥離												
	その他												
経済性	重視するデータがない		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	重視するデータがない		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	交通規制をできるだけ避ける	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
施工性	交通規制を避ける必要はない												
	データがない												
	補修工法	A	A	C	A	A	B	C	C	A	C	C	B

A: 損傷小さい B: 損傷が中くらい C: 損傷が大きい

まず、表-1の各橋梁のデータを図-1に示すように構築したRC床版の耐用性評価システムにより、各損傷原因における損傷度と損傷進行度を判定する。その推論結果はあいまいさを含むとともに、RC床版の補修工法を選定する際、大きな影響を与えたと考えられる。

そこで、その推論結果と表-1に示すデータを合わせて考慮し、あいまいさを含むデータ(a, b, c)をファジィ・ユニット・グループとして、あいまいさを含まないデータ(oと空白)をクリस्प・ユニット・グループとして表現する。例えば、あいまいさを含むデータである「ひび割れ損傷が小さい」={1/0, 0.66/1, 0.33/2, 0/3, 0/4, 0/5, 0/6, 0/7, 0/8, 0/9, 0/10}のように定義されているとする。このとき、FNNの入力層には、ファジィ・ユニット・グループとして、「ひび割れ損傷度が小さい」={1, 0.66, 0.33, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}の11ユニットが与えられる。あいまいさを含んでいないデータの場合、クリस्प・ユニット・グループとして2値で表される。例えば、「鉄筋露出がある場合」を1、「鉄筋露出がない場合」を0とする。出力値はA, B, Cの3つである。例えば、出力がBであることを(A, B, C) = (0, 1, 0)で表現する。次に、入力データを学習させる。学習が終了したFNNの性能評価には、例えば橋梁番号1の出力値は、A(増桁工法)が0.94、B(鋼板接着工法)が0.05、C(打換工法)が0.05であり、A(増桁工法)が補修工法として選択されたことがわかる。実際の学習データと比較すると、学習データでの補修工法と全く一致しており、学習が高い精度で行われたことが分かる。

4. 結論

本研究で明らかになったように、具体的な問題を効率的に解決するためには、知識獲得が容易な部分、すなわち、知識の事象間の相関関係が明確な場合には、FPSを用いて、適切な推論結果が得られる。また、ルールの作成が困難な部分については、FNNの学習能力を用いれば、少ない事例を用いることにより、何らかの意義ある解を得ることができる。すなわち、FNNをFPSに導入することにより、様々な要因を考慮することができる。大規模なESを構築する場合、FNNを組み込んで使えば、より有効なESを構築することができる。

参考文献 1)古田均:土木学会関西支部共同研究グループ報告書「橋梁構造物の健全性評価に関する調査研究」(1990). 2)馬野元秀:Lispによるファジィ集合システム, 3th Fuzzy System Symposium, pp167-172 (1987)