

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

山口大学大学院 学生員 ○山本秀夫  
 山口大学工学部 正会員 宮本文穂  
 山口大学大学院 学生員 河村 圭

1. はじめに

コンクリート橋は長い間メンテナンス・フリーと考えられてきたが、最近の交通量の増加、車両の大型化、周辺環境の変化など様々な理由により、劣化、損傷が顕著となってきつつあり、新規橋梁の架設以上に既存橋梁に対する合理的な維持管理の必要性が高まってきている。橋梁の維持管理の基本フローである「調査」→「診断」→「補修・補強」のうち、体系的な補修・補強を行うために特に重要となる「診断」は、経験豊富な専門技術者を必要とする場合が多く、今後の維持管理業務の増大を考えると、専門技術者の不足により維持管理業務の遂行に支障をきたすことが心配される現状にある。この現状に対処できる新技術として人工知能(AI)に端を発した「エキスパートシステム」の応用がある。本研究は従来より本研究室で開発してきた「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」(以下、本システム)を既存橋梁に適用し、その診断結果の有効性を検証することによって、今後の維持管理に役立てようとしたものである。

2. 本システムの概要<sup>1)</sup>

2.1 知識表現

本システムではコンクリート橋の維持管理に携わる専門技術者の経験的な診断および評価に関する知識をファジィ集合を含む複数のif-thenルールの形で表し、それぞれを前件部の命題、if-then関係、後件部の命題の3つのパートに分解し(図1参照)、前件部および後件部の命題を非線形関数が同定可能な3層ニューラルネットワークで表現し、両者を結びつけるif-then関係にニューラルネットワークの連想記憶を適用してファジィ推論を可能としている。なお、連想記憶を行うネットワークには双方向連想記憶(BAM: Bidirectional Associative Memory)<sup>2)</sup>を適用している。

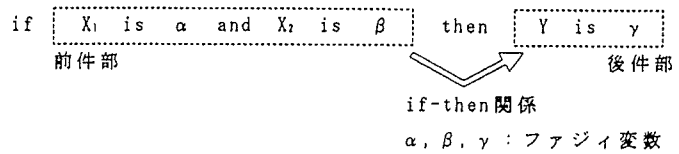


図1 ファジィ集合を含むif-thenルール

2.2 推論方法

本システムに診断対象橋梁の橋梁諸元、環境条件、交通量、各ひび割れの状態といった定量的、定性的なデータが入力されると、前件部ネットワークにおいてif-thenルール前件部の合致度が求められ、それを基に連想記憶部において各ルールに対する重みが算出される。また、後件部ネットワークにおいてif-thenルール後件部の状態をdanger~safeの5つのカテゴリーに属する程度で表されたものが得られる。そして合成部において連想記憶部により算出された各ルールの重みと、後件部ネットワークからの5段階の出力を合成し、最終的な診断結果であるdanger~safeの5段階評価が得られる(図2参照)。これにより、複数のルールから

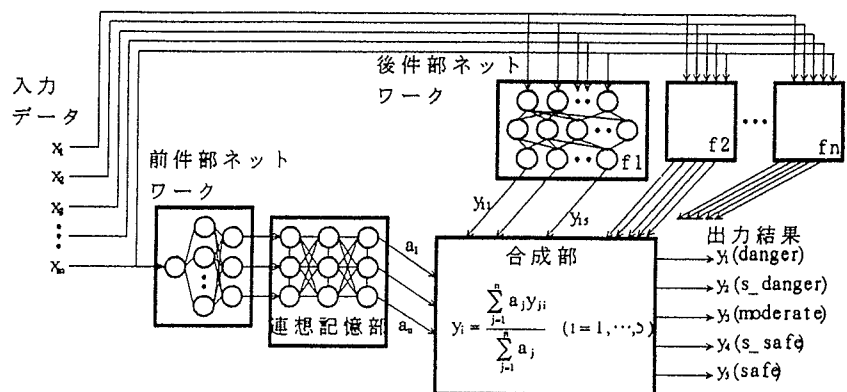


図2 本システムの推論機構

類推されたファジィ推論による出力値を得ることができるようになる。

### 2.3 知識ベースの構築

本システムでは、推論機構がニューラルネットワークにより構成されているため、知識ベースはニューラルネットワークのユニット間の結合重みで表現されている。したがって、既存橋梁のデータを入力データ、それに対する専門技術者の診断結果を教師データとしてニューラルネットワークの誤差逆伝播法を用いて知識更新が可能な知識ベースを構築した。

### 3. 既存橋梁への適用

#### 3.1 診断対象橋梁の概要

今回本システムを適用して診断を行うために目視点検を行った山口県内に架設されている3橋梁の概要および損傷状況を表1にまとめて示す。

#### 3.2 診断結果

上述3橋に対する本システム

表1 診断対象橋梁の概要と損傷状態

橋梁名	N橋	Y橋	F橋
所在地	山口県厚狭郡橋町	山口県厚狭郡橋町	山口県宇部市二俣瀬
架設年(橋齢)	昭和38年(33年)	昭和10年(61年)	昭和33年(38年)
橋梁形式	3径間RC単純T桁橋	単径間RC単純T桁橋	3径間RC連続ゲルバー桁橋
主桁損傷状態	「鉄筋腐食ひび割れ(10.0mm)」 「曲げひび割れ(0.3mm)」 「遊離石灰」 「コンクリートの欠落」	「鉄筋腐食ひび割れ(0.4mm)」 「曲げひび割れ(0.05mm)」 「遊離石灰」 「コンクリートの欠落」	「曲げひび割れ(0.1mm)」
荷重状態	あまり厳しくない	あまり厳しくない	厳しい
目視による損傷程度	大	中～大	小

ムによる主桁についての診断結果の一例を表2にまとめる。表中の平均健全度は5段階評価を非ファジィ化したものであり、帰属度関数の重心値を用いている。これから以下のことが明らかとなる。

表2 本システムによる3橋に対する診断結果の例

橋梁名	診断項目	損傷程度	平均健全度	危険度				
				danger	slightly danger	moderate	slightly safe	safe
N橋	主桁耐荷性		63.3	0.003	0.070	0.359	0.396	0.172
	主桁耐久性		55.6	0.008	0.267	0.175	0.635	0.015
	主桁耐用性		59.4	0.018	0.137	0.268	0.508	0.068
Y橋	主桁耐荷性		58.9	0.014	0.177	0.310	0.345	0.153
	主桁耐久性		31.6	0.102	0.767	0.093	0.026	0.013
	主桁耐用性		41.9	0.059	0.525	0.209	0.176	0.032
F橋	主桁耐荷性		57.3	0.005	0.202	0.455	0.096	0.242
	主桁耐久性		67.6	0.002	0.087	0.063	0.729	0.120
	主桁耐用性		61.3	0.017	0.125	0.253	0.492	0.114

①「N橋」の診断結果は「耐久性」および「耐用性」がslightly safeを大きく支持する結果となり、目視点検結果よりも良好な評価が得られている。これは「N橋」の「鉄筋腐食ひび割れ」に目視点検データとして10.0mmを入力したが、知識ベース構築の際に「ひび割れ幅」については1.0mmまでしか学習していないことが矛盾の原因の1つであると考えられる。

②「Y橋」については「耐荷性」に比べて「耐久性」の方が評価が悪く、「F橋」については逆に「耐久性」に比べ「耐荷性」の方が評価が悪くなっており、目視による2橋の荷重状態および損傷程度とほぼ対応する結果が得られていると考えられる。また、「耐荷性」および「耐久性」の両方から判断した「耐用性」についても「Y橋」が41.9点、「F橋」が61.3点となっており、目視点検結果に近い妥当な評価が得られている。

### 4. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

- 山口県内に架設されている3橋の既存橋梁に本システムを適用した結果、診断結果は目視点検の状況と比較してかなり妥当なものが得られており、その有効性は高いといえる。
- 本システムの知識ベースを構築する際の学習データが十分であるとはいえず、未学習のデータが入力された場合の診断結果の有効性は保証できない。したがって、本システムの実用化に向けて、更に幅広い学習を行って知識ベースを更新していく必要がある。

### 参考文献

- 宮本文穂、串田守可、森川英典、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/VI-26、91-101、1995.3
- 山口亨、関根智、Dennis Montgomery、遠藤経一：ファジィ連想推論に基づく知的インターフェイスとそのコマンドスペル修正器への適用、T. IEE Japan、Vol. 113-C、No. 9、1993.