

橋梁診断ニューロ・ファジィエキスパートシステムの開発と適用性

Development and Practical Application of Neuro-Fuzzy Expert System
for Serviceability Assessment of Bridges

中村秀明*

山本秀夫**

河村 圭*

宮本文穂*

Hideaki NAKAMURA, Hideo YAMAMOTO, Kei KAWAMURA and Ayaho MIYAMOTO

*山口大学工学部

**山口県庁

Faculty of Engineering, Yamaguchi Univ.

Yamaguchi Prefect. Gov.

Abstract: The aim of this study is to develop the Bridge Rating Expert System with machine learning employing the combination of neural network and bidirectional associative memories. By applying the system to an actual in-service bridge, it has been verified that employed machine learning method using results of questionnaire surveys on bridge experts is effective for the system.

1. まえがき

道路交通網の中で重要な位置を占める橋梁は、近年の自動車交通量の増加や、車輦の大型化、さらには経年劣化などにより著しい損傷を受け、耐久性や耐荷力が低下したものが年々増加している。今後これらの橋梁の維持・管理、補修・補強が重要な問題となることが予想される。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「診断」には、確立された診断方法がなく、現場の経験豊富な専門技術者の判断に頼っているのが現状である。しかしながら調査結果を基に橋梁の診断を行える橋梁技術者の数は非常に少なく、今後、維持管理業務の増加や専門技術者の不足が懸念されている。そこで本研究では、以前より、橋梁の維持管理に携わる専門技術者の知識・経験を導入し、橋梁の点検結果や橋梁台帳などのデータから既存橋梁の診断が可能な「橋梁診断エキスパートシステム（以下、本システム）」の開発を行ってきた¹⁾。本研究は、この橋梁診断エキスパートシステムに実橋梁の調査データを入力し、診断結果を検証することにより、本システムの適用性を検討した。

2. 本システムの概要

2.1 知識表現

本システムでは、まず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 if-then ル

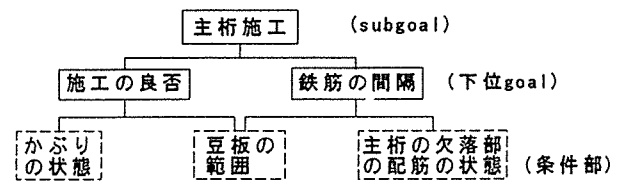


図-1 診断プロセスの例

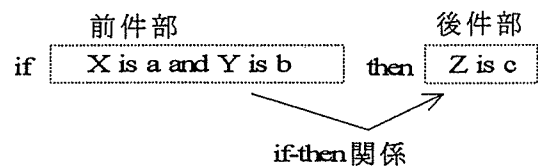


図-2 ファジィ集合を含む if-then ルール

ールの形で表現する。本研究では、条件部の帰属度関数を橋梁診断の専門家に対するアンケートによって π 関数で表現し、それを診断プロセス（図-1 参照）に従い Dempster の結合則で結合することにより subgoal ごとの帰属度関数を求めた。そして、帰属度関数の重心をとったものにスケーリングを行うことによりばらつきをもたせ、その結果から if-then ルールを抽出している。抽出されたルールは、それぞれ前件部命題、if-then 関係、後件部命題の3つのパートに分解しており、前件部および後件部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を用いて表現し、if-then の関係にニューラルネットワークの連想記

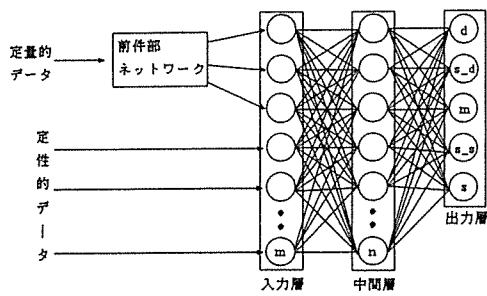


図-3 入力データの入力方法

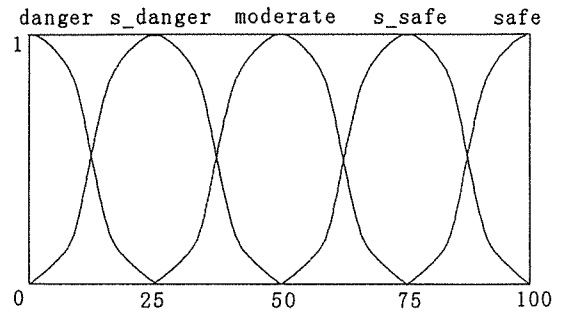


図-4 判定用帰属度関数

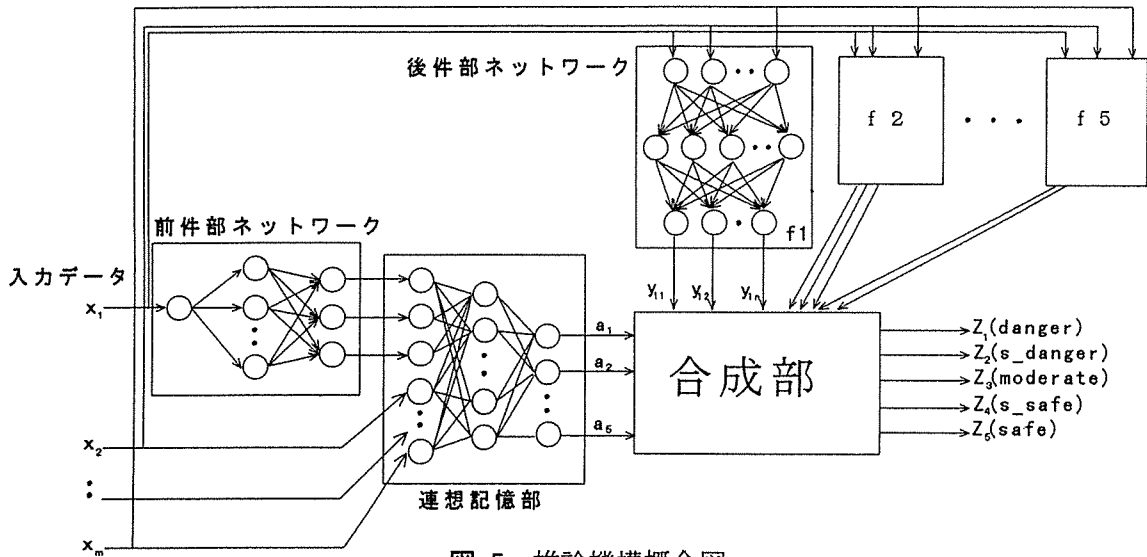


図-5 推論機構概念図

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として、双方向連想記憶(BAM:Bidirectional Associative Memory)を用いている。

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および定性的なデータが入力される。入力項目のうち定量的なデータは、前件部ネットワークにおいて if-then ルール前件部の各命題の帰属度が出力される。また、定性的なデータはそのまま連想記憶部の入力層へと入力されている(図-3 参照)。それらを基に、連想記憶部において if-then ルール後件部の各命題の重みが算出される。後件部ネットワークでは、後件部ファジィ命題の状態を danger, slightly danger, moderate, slightly safe, safe の5つの帰属度関数を0から100まで5点きざみ21分割したものが出力される。そして、合成部において後件部ネットワークで得られた帰

属度関数と連想記憶部で得られた後件部への重みを掛け合わせて合成し、これを図-4に示す判定用帰属度関数と照合することにより5段階で評価が出力される(図-5 参照)。なお、本システムの前件部および後件部のニューラルネットワークは、バックプロパゲーション(BP)で学習を行い、ひび割れ幅の学習については10mmまで学習を行った。

3. 実橋への適用

3.1 診断対象橋梁の概要

診断例として山口県内に架設されているY橋を取り上げ診断を行った。Y橋は昭和12年に架設された橋齢60年の3主桁単径間RC単純T桁橋である。田園地区に架設され、交通量はほとんどなかった。損傷状態としては、高欄の一部が崩れて無くなっているなど、見た目にも損傷の大きさが確認できた。診断に使った入力データを表-1～表-4に示す。

表-1 「Y橋」の初期入力データ

橋梁名	Y橋	架設箇所	田園地区
橋長	11.0m		一般道路
幅員	4.10m		
主桁本数	3本	拡幅	されていない
主桁スパン長	10.5m	道路の勾配	小さい
床版スパン長	1.57m	信号の有無	無い
床版厚	30.cm	路面のひび割れ・陥没	ひび割れあり
橋齢	60年	路面の平坦性	ほとんど平坦
構造形式	単純橋	交通量	少ない
断面形状	T型断面	大型車交通量	0 (台/日)
断面寸法	小さい	橋梁の振動	小さい
支承形式	単純支持	高欄	小さい
不等沈下の有無	ない	横桁の有無	無い
適用示方書	大正14年	排水管	無い
等級	2等橋	豆板の発生	無い

表-2 「Y橋」のひび割れに関する入力データ

ひび割れ種類 入力データ	床版			主桁			
	ハンチ沿いひび割れ	支承付近ひび割れ	床版中央のひび割れ	曲げひび割れ	せん断ひび割れ	鉄筋の腐食ひび割れ	付着ひび割れ
ひび割れ状況	多い	多い	発生なし	少ない	発生なし	かなり発生	発生なし
最大ひび割れ幅	0.2mm	0.3mm	—	0.2mm	—	3.0mm	—
遊離石灰	かなり発生	かなり発生	—	少し発生	—	少し発生	—
コンクリートの欠落	少し欠落	少し欠落	—	少し欠落	—	かなり欠落	—
鉄筋の腐食状況	少し錆	露出なし	—	少し錆	—	かなり錆	—
鉄筋の錆汁	—	発生なし	—	—	—	—	—

表-3 「Y橋」の床版の入力データ

入力データ	回答
コンクリートのかぶり	小さい
コンクリート欠落部の配筋の状態	不明
床版ひび割れの方向性	ほぼ2方向

表-4 「Y橋」の主桁の入力データ

入力データ	回答
コンクリートのかぶり	小さい
コンクリート欠落部の配筋の状態	普通の状態

3.2 診断結果の検証

表-1～表-4の入力データをもとに得られた診断結果を表-5に示す。ここで、耐荷性とは、橋梁の耐荷力の低下に対する抵抗性を示す指標であり、耐久性とは橋梁の材料の経年劣化に対する抵抗性を示す指標である。耐用性とは、耐荷性、耐久性の両面から見た橋梁の総合的な状態を示す指標である。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0～100点で表示したものである。また、5段階評価のピーク位置には網掛けを施した。

各 Subgoal ごとに診断結果の検証を行った。「床版材料劣化」では、平均健全度が33.5と低い値を示しているが、これは遊離石灰の析出が床版のい

たるところで見られ、また床版中の鉄筋腐食も起こっており、排水機能も備わっていないことから考えるとほぼ妥当な値であると言える。「ハンチ沿いひび割れ」および「支承付近のひび割れ」は、if-thenルールによるとともにひび割れ状況と遊離石灰の入力項目に大きく影響を受けるようになっている。実橋では、ハンチ沿いおよび支承付近ともにひび割れが多く、遊離石灰もかなり析出していたことから、ほぼ妥当な結果であると言える。実橋による目視点検で、最大ひび割れ幅が3mmと、特に損傷が目立った「鉄筋腐食ひび割れ」は、平均健全度が25.1と大変低い値を示しており、目視点検から推測されるような低い結果となった。上位 subgoal である「床版の全体的損傷」では、

表-5 「Y橋」の診断結果

	判定項目	danger	Slightly Danger	moderate	slightly safe	Safe	平均健全度
床版	床版設計	0.009	0.370	0.167	0.319	0.135	55.0
	床版施工	0.105	0.249	0.402	0.168	0.077	46.3
	路面状態	0.018	0.116	0.465	0.326	0.076	58.7
	床版供用状態	0.002	0.124	0.743	0.127	0.004	50.1
	床版材料劣化	0.164	0.467	0.161	0.200	0.008	35.5
	ハンチ沿いひび割れ	0.083	0.339	0.363	0.167	0.046	43.1
	支承付近のひび割れ	0.082	0.382	0.347	0.154	0.034	41.2
	床版中央のひび割れ	0.005	0.022	0.020	0.237	0.716	94.1
	床版の全体的損傷	0.159	0.295	0.162	0.199	0.186	49.0
	床版耐荷性	0.022	0.216	0.296	0.289	0.177	59.6
	床版耐久性	0.009	0.426	0.211	0.329	0.025	48.4
	床版耐用性	0.030	0.309	0.267	0.342	0.052	51.9
	主桁	主桁設計	0.016	0.055	0.159	0.643	0.127
主桁施工		0.071	0.191	0.436	0.207	0.095	51.4
主桁供用状態		0.000	0.121	0.757	0.121	0.000	50.0
主桁材料劣化		0.045	0.102	0.259	0.582	0.013	60.4
主桁曲げひび割れ		0.095	0.510	0.317	0.072	0.006	33.5
主桁せん断ひび割れ		0.005	0.029	0.018	0.233	0.715	94.1
鉄筋の腐食ひび割れ		0.117	0.733	0.121	0.008	0.021	25.1
主桁付着ひび割れ		0.007	0.042	0.007	0.229	0.715	94.1
主桁の全体的損傷		0.258	0.160	0.029	0.174	0.379	56.4
主桁耐荷性		0.027	0.158	0.313	0.306	0.194	62.1
主桁耐久性		0.020	0.581	0.245	0.129	0.025	39.0
主桁耐用性		0.036	0.385	0.294	0.240	0.044	46.8

danger～safe に属する程度がどれも 0.15 以上となり、また「主桁の全体的損傷」では、danger と safe の2つを大きく支持するという「あいまいさの爆発」がおこった結果を示した。床版および主桁の「耐荷性」、「耐久性」ではそれぞれ実橋の目視点検から推測されたように「耐荷性」よりも「耐久性」に対して低い結果を示した。

以上のようにほとんどの subgoal と実橋の目視点検から推測されるような点検結果が得られ、本システムの推論結果の妥当性が確認できた。しかし、上位 subgoal である「床版の全体的損傷」、「主桁の全体的損傷」では、あいまいな診断結果を示した。

4. まとめ

本研究では、定量的データと定性的データの両方を扱うことができる推論機構を有する「橋梁診断エキスパートシステム」を既存橋梁に適用することにより、診断結果の有効性を検証した。

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- ①本システムによる診断結果は、ほとんどの subgoal と実橋の目視点検から推測されるような点検結果が得られ、推論結果の妥当性が確認できた。
- ②上位 subgoal の一部では、複数のカテゴリーを支持するといった「あいまいさの爆発」がおこっており、今後検討の余地がある。

参考文献

- 1) 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, pp.91-101, 1995.3

[問合わせ先]

〒755 山口県宇部市常盤台 2557
 山口大学工学部知能情報システム工学科
 中村 秀明
 TEL: 0836-35-9111 Ext.8528
 FAX: 0836-35-9951
 E-mail: nakamura@ec.csse.yamaguchi-u.ac.jp