

橋梁診断エキスパートシステムの推論機構の再構築と診断結果の比較

山口大学大学院 学生員 ○三宅秀明

山口大学工学部 正会員 中村秀明

山口県庁 正会員 山本秀夫

山口大学工学部 正会員 宮本文穂

1. はじめに

既存橋梁を維持管理していくことが新設橋梁の架設以上に重要視されるようになってきている。橋梁の維持管理の中でも「診断」は経験豊富な専門技術者の知識あるいは直感にゆだねられる部分が多いが、実際に各種点検結果に基づいて橋梁の診断を正確に行える専門技術者の数は非常に少ないのが現状である。そこで本研究では、今後予測される橋梁診断の重要性およびこれに携わる専門技術者不足にそなえて、各種点検結果を入力することにより橋梁の劣化状況を診断可能なエキスパートシステムの開発を行っている。前年度までに開発してきたシステム（以下、前システム）の推論機構は、すべての条件部が考慮されている完全な if-then ルールで構築されていなかった。そこで本研究では、専門技術者の持っている知識（ルール）を過去に本研究で行った専門技術者に対するアンケート調査の結果から、if-then 形式で抽出し、それをもとに推論機構を再構築した（以下、本システム）。また、本システムを既存橋梁に適用し、前システムの診断結果と比較することにより、本システムによる診断結果の妥当性を検証した。

2. ルールの抽出

本研究では、従来より専門技術者の知識をファジ理論における帰属度関数と対応させて表現するため、数名の専門技術者に対するアンケート調査結果を利用することにより、 Π 関数のパラメータ(a,b,c)を求める手法を提案している¹⁾。本研究では Π 関数の形状パラメータより帰属度関数を設定し、それを診断プロセス（図1参照）に従い、Dempster の結合則²⁾で順次結合することにより各 subgoal ごとの帰属度関数を求めた。そして、結合させた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。

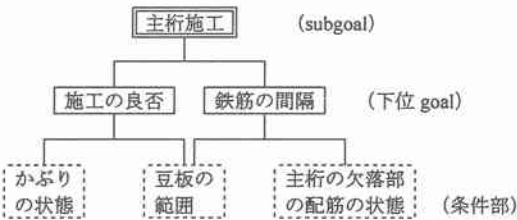


図1 診断プロセスの例

3. 推論機構の再構築

本研究では、上述のように抽出したルールを図2のように分割し、if-then ルールの前件部および後件部を非線形関数が同定可能なニューラルネットワークを用いて表現し、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双方向連想記憶 (BAM: Bidirectional Associative Memory)を適用している³⁾。

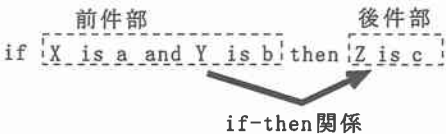


図2 ファジ集合を含む if-then ルール

本システムに、橋梁諸元、環境条件、交通量、各ひび割れの状態等々といった定量的、定性的データが入力されると定量的データは前件部ネットワークにおいて前件部ファジ命題の合致度が求められ、一方、定性的データはそのまま連想記憶部へ入力される。それらをもとに、連想記憶部において後件部に対する重みが算出される。後件部ネットワークでは後件部ファジ命題の状態を表す danger

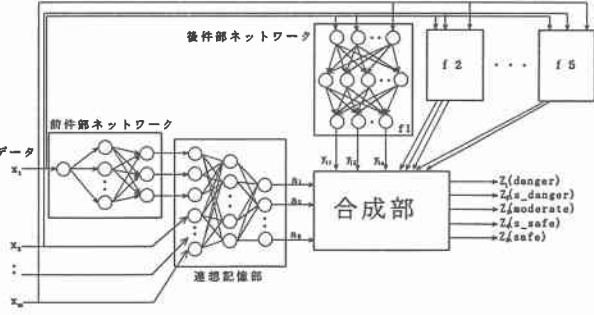


図3 推論機構の概念図

～ safe に対応させた5種類の帰属度関数を出力するようになっている。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、これを判定用帰属度関数と照合することにより5段階評価 (danger ～ safe) が出力される (図3参照)。さらに合成された帰属度関数の重心を求めたものを平均健全度として出力するようにしている。なお、本システムの前件部、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、特に、ひび割れ幅の学習については前システムが 1mm までしか学習していないのに対して本システムでは既存橋梁の現状を考慮し 10mm まで学習させることにより適用範囲を広げている。

4. 前システムの診断結果との比較

ルールを抽出し再構築した推論機構の妥当性を示すため目視点検結果との比較や前システムの診断結果との比較を行った。ここでの診断対象橋梁は前年度調査した「N橋」、「Y橋」、「F橋」の3橋とした。これらはいずれも鉄筋コンクリート製単純T桁橋である。目視点検を行った橋梁の概要を表1に示す。表2に本システムによる主桁の診断結果の一例を示す。表中の「G」は平均健全度、「前G」は前システムの平均健全度を表す。

表1 診断対象橋梁の概要

橋梁名	N橋	Y橋	F橋
架設年 (橋齢)	昭和38年 (33年)	昭和12年 (59年)	昭和33年 (38年)
主桁損傷状態	鉄筋腐食ひびわれ (10.00mm) 曲げひび割れ (0.3mm) 遊離石灰 コンクリートの欠落	鉄筋腐食ひびわれ (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)
目視による損傷程度	大	中～大	小

表2 本システムによる3橋に対する診断結果の一例

橋梁名	判定項目	danger	s danger	moderate	s safe	safe	G	前G
N橋	鉄筋腐食ひびわれ	0.117	0.733	0.121	0.008	0.021	25.1	56.0
	主桁耐荷性	0.001	0.106	0.332	0.330	0.230	67.0	63.3
	主桁耐久性	0.023	0.627	0.206	0.110	0.035	37.7	55.6
	主桁耐用性	0.033	0.380	0.281	0.252	0.054	47.9	59.4
Y橋	鉄筋腐食ひびわれ	0.117	0.727	0.125	0.010	0.021	25.3	27.6
	主桁耐荷性	0.024	0.153	0.314	0.310	0.199	62.7	58.9
	主桁耐久性	0.011	0.487	0.190	0.289	0.023	45.6	31.6
	主桁耐用性	0.031	0.311	0.265	0.337	0.056	51.9	41.9
F橋	鉄筋腐食ひびわれ	0.000	0.001	0.001	0.242	0.755	94.1	86.3
	主桁耐荷性	0.083	0.074	0.224	0.324	0.295	66.9	57.3
	主桁耐久性	0.005	0.310	0.154	0.499	0.031	56.0	67.6
	主桁耐用性	0.028	0.169	0.190	0.506	0.106	62.3	61.3

これから以下のことが明らかとなる：①抽出したルールや目視点検結果から判断すると、全体的に本システムでは前システムと同程度、もしくはそれ以上の診断結果が得られている。②本システムの診断結果がひび割れ幅の学習範囲を広げたことにより前システムで起こった「鉄筋腐食ひび割れ」の subgoal における診断結果の矛盾点が解消された。③本システムでは、主桁の最上位 subgoal である主桁耐用性について目視点検結果と対応した診断結果が得られた。

5. まとめ

本研究では以下のような成果が得られた。

- ①過去に本研究室で行った専門技術者に対するアンケート調査結果等から、すべての条件部を考慮したほぼ完全な if-then ルールの抽出を行うことができた。
- ②抽出したルールをもとに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再構築した。
- ③いずれの subgoal においても目視点検結果から推測される劣化状態にほぼ対応した診断結果が得られることが明らかとなり、本システムが前システムよりさらに信頼性の高い診断結果を出力することが可能となった。

参考文献

- 1) 串田守可, 徳山貴信, 宮本文穂: 橋梁診断における経験的知識に内在するあいまいさの定量化に対するファジィエントロピーの適用, 構造工学論文集 Vol.38A, pp.571-584, 1992.3.
- 2) 古田均, 小尻利治, 宮本文穂, 秋山孝正, 大野研, 背野康英: ファジィ理論の土木工学への応用, 1992.8.
- 3) 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.