

I - A263

階層構造ニューラルネットを用いた橋梁診断エキスパートシステムの構築

山口県 正会員 ○山本秀夫 山口大学大学院 学生員 三宅秀明
 ㈱栗本鐵工所 正会員 串田守可 山口大学工学部 正会員 中村秀明
 山口大学工学部 正会員 宮本文穂

1. はじめに

近年では、コンクリートの化学的な腐食に加え、交通条件の悪化により鉄筋コンクリート橋の老朽化、早期劣化が顕著となってきた。一方で、公共投資予算は大幅な削減の方向にある。このような社会情勢を背景に、橋梁は合理的かつ経済的な維持管理の必要に迫られている。橋梁の維持管理の基本フローは「調査」→「診断」→「補修・補強」となっているが、体系的な「補修・補強」を行うためにも橋梁の損傷程度を正確に「診断」することは重要である。そこで、著者らは「橋梁診断エキスパートシステム」(ES)の開発を進めてきた。本研究は、階層構造をもつニューラルネット(階層構造 NN)を用いて ES の推論機構を構築し、その学習機能により、診断結果に対する信頼性の向上を目指したものである。

2. 橋梁診断エキスパートシステムの概要

2.1 知識表現

ES による橋梁診断は、橋梁の維持管理に携わる専門技術者(専門家)の診断過程を階層構造化した診断プロセスに沿って行う。診断プロセスの一例を図-1 に示す。また、この診断プロセスを基に、推論機構を構築するためのプロダクションルールを作成した。プロダクションルールは一般的に以下のように表される。

$$R^i: \text{if } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } \dots \text{ and } x_m \text{ is } A_m \text{ then } y \text{ is } b_i \quad (1)$$

ここに、 R^i は i 番目のルール、 $x_1, \dots, x_m$ は入力(条件)、 $A_1, \dots, A_m$ はファジィ変数、 y は出力(結論)、 b_i はクリスプ変数である。また、if 以下を前件部、then 以下を後件部と呼ぶ。

2.2 推論機構

ES の推論機構は、診断プロセス毎に階層構造 NN を用いて、プロダクションルールに従って初期状態の構築(プリワイヤ)を行う。推論機構は、図-2 に示すように、5 層構造となっている。

2.3 学習アルゴリズム

推論機構の学習は、階層構造 NN が一つのネットワークから構成されていることに着目し、誤差逆伝播法(BP)の考え方に基づいて行う。すなわち、 N 個の学習データが与えられたとして、学習データ全体による出力誤差 E の最小化のため、 p 番目の学習データに対する出力誤差 E_p を最小にするため、階層構造 NN の $(n-1)$ 層 i 番目のニューロンと (n) 層 j 番目のニューロンの結合重み $w_{ji}^{(n)}$ に対する更新量 $\Delta w_{ji}^{(n)}$ を以下のように定める。

$$\Delta w_{ji}^{(n)} \propto -\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}^{(n)}} \quad (2)$$

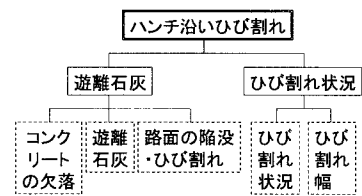
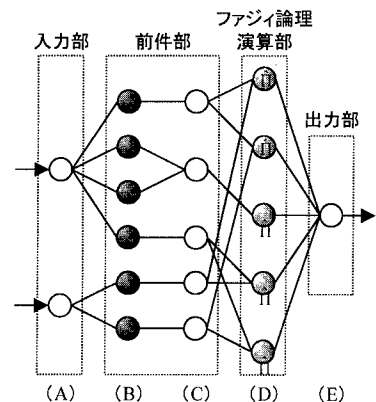


図-1 診断プロセスの一例



● シグモイドニューロン
 ○ 線形ニューロン
 ⊕ 規格化ニューロン

図-2 推論機構の概観

キーワード：橋梁診断 階層構造ニューラルネット 学習

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557 TEL&FAX：0836-35-9484

3. 実橋調査

ES より得られる診断結果の信頼性および推論機構に対する学習の効果を検証するためには、専門家による診断結果が必要である。そこで、表-1 に示す山口県が管理している7橋梁9スパンについて目視点検を行い、専門家に実際に診断をしてもらった。なお、左岸側から第1スパンとした。

4. 実橋への適用

4.1 プリワイヤにおける診断

ES を表-1 に示した橋梁に適用した結果の一例を表-2、表-3 に示す。表中の「専門家」は、専門家の評価値の平均値である。「プリワイヤ」は、初期状態の推論機構より得られた ES の診断結果である。これを見ると、「MI 橋①」の『床版の全体的損傷』、『床版耐荷性』、「NI 橋⑥」の『床版中央のひび割れ』、『床版耐荷性』の診断項目においては、専門家の評価とは大きな誤差が生じていることがわかる。

4.2 学習後における診断

目視点検結果および専門家の評価をそれぞれ学習用入力データおよび教師データとして leave-one-out 法²⁾および全標本学習法²⁾により学習を試みた。各学習法による学習後における ES の診断結果を表-2、表-3 の「leave-one-out」および「全標本」に示す。「MI 橋①」では両学習法において、ES の診断結果と専門家の評価との誤差が大幅に減少しているが、「NI 橋⑥」では、leave-one-out 法では専門家の評価との誤差が依然として大きい。この原因として、「NI 橋⑥」が他のスパンに比べて特に損傷が著しいものであり、leave-one-out 法では、損傷の著しいスパンに対しての学習が行われていないことが考えられる。全標本学習法は、診断対象スパンと同様な損傷程度のスパンに対しての学習履歴がある状態に相当し、「NI 橋⑥」についても専門家に評価に近い診断結果が得られている。

5. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- ①ES の推論機構を階層構造 NN で構築し、BP の考え方にに基づき、推論機構の学習アルゴリズムを導出した。
- ②本研究で構築した ES を実橋へ適用し、専門家の診断結果と比較を行った。
- ③初期状態の推論機構（プリワイヤ）では、満足のいく診断結果は得られなかったが、学習により、診断結果に対する信頼性の向上が見られた。
- ④leave-one-out 法と全標本学習法の2つの学習法を試みた結果、様々な状態の橋梁（スパン）について学習をしておくことが望ましいことがわかった。

参考文献

- 1) 堀川真一，古橋武，内川嘉樹：ファジィニューラルネットワークの構成法と学習法，日本ファジィ学会誌，Vol.4，No.5，pp906-928，1992。
- 2) 鳥脇純一郎：認識工学，コロナ社，1993.3。

表-1 点検調査実施橋梁一覧

	橋齢 (年)	橋長 (m)	幅員 (m)	対象スパン
HA 橋	43	18.00	4.50	①
NI 橋	58	90.00	4.50	⑥
NO 橋	41	33.20	6.00	①
MI 橋	31	33.25	8.90	①，③
GE 橋	32	36.50	3.25	③
TO 橋	42	24.80	5.10	①，②
O 橋	29	25.20	6.60	②

表-2 「MI 橋①」の診断結果（床版）の一例

	専門家	プリワイヤ	Leave-one-out	全標本
『ハンチひび』	31.3	36.5	24.9	26.9
『支点ひび』	65.0	73.4	60.3	61.1
『中央ひび』	52.5	52.2	50.4	52.1
『全体的損傷』	42.5	70.1	50.9	47.0
『耐荷性』	48.8	76.1	47.5	46.8
『耐久性』	41.3	66.7	41.9	40.7
『耐用性』	42.5	69.3	46.1	44.9

表-3 「NI 橋⑥」の診断結果（床版）の一例

	専門家	プリワイヤ	Leave-one-out	全標本
『ハンチひび』	22.5	28.6	27.8	23.3
『支点ひび』	61.3	51.1	43.2	56.7
『中央ひび』	31.3	73.4	70.3	42.3
『全体的損傷』	32.5	39.2	26.0	33.2
『耐荷性』	40.0	75.3	46.8	47.5
『耐久性』	36.3	44.3	21.8	30.5
『耐用性』	38.8	61.5	32.6	39.5