

ニューラルネットワークの補修工法への適用

京都大学工学部 正 員 白石成人 京都大学工学部 正 員 古田 均
近畿日本鉄道(株) 正 員 〇大谷裕生

1. はじめに 橋梁構造物の維持管理を適切に行うには、まず橋梁の損傷状況を的確に把握しなければならない。さらに構造物の損傷度が大きく、補修工事を行わなければならないという判断が下されたときには、早急に補修工法の選定を行い、補修工事を実施しなければならない。ところが現状は、舗装、高欄、地覆、伸縮継手、床版、排水装置、主桁等の点検結果より、技術者の工学的判断によってその損傷度の判定あるいは補修工法の選定がなされている¹⁾。現在、多くの橋梁が何等かの損傷を受けていることが報告されており、その全てに維持補修の専門家が対処することは困難である。

そこで本研究では、ニューラルネットワークの学習機能を利用して、補修工法自動選定システムを構築することを目的とする。ニューラルネットワークを用いることにより、過去の補修例を参照することにより、専門家と同等の判断を得ることが期待できる。一般に橋梁の補修工法を選定するに当たっては、構造物の損傷度だけでなく、例えば橋梁工事を行う際の交通規制が及ぼす社会的影響など、より広い視野に立って検討しなければならない。そこで、本研究では橋梁の補修工法を選定するための要因を「構造性」、「経済性」、「施工性」に大きく分類して、システムを構築している。

2. ニューラルネットワークの原理²⁾³⁾ ニューラルネットワークは複数のユニットの結合体である。ユニットは図1のように複数の入力 I_k と1つの出力 Q 、各入力に対する重み W_k とユニットのしきい値 h によって構成される。ここで出力値 Q は $Q=f(\sum W_k \cdot I_k - h)$ として定義される。ここで一般に、関数 f として

は $f(x)=1/(1+\exp(-x))$ (シグモイド関数)が用いられることが多い。このユニットが複数個結合することによりニューラルネットワークが形成される。ニューラルネットワークには、相互結合型、階層型・フィードバック結合混在型、階層型・層内結合混在型など種々のものが考えられるが、本研究ではネットワークのモデルとして、比較的モデル化が単純である階層型ネットワークを用いることにする。ここで、第 k 層の第 p ユニットのしきい値を h_{kp} 、そのユニットへの入力値を I_{kp} 、出力値を Q_{kp} 、第 $k+1$ 層第 q ユニットとの結合の重みを $W_{k,k+1,pq}$ とすると、

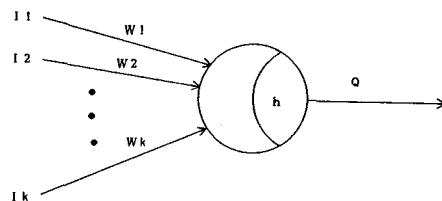


図1 ユニットの構造

のように表すことが出来る。ただし X_r は、入力層(第1層)の第 r 番目のユニットの値であるニューラルネットワークの最大の特徴は、その学習機能にある。学習とは、いくつかの変換の例(学習データ)を与えることによって、それらの変換の例を真似るようにネットワークのしきい値と重みを決定することである。ここで、入力変数の数が n 個、出力変数の数が m 個のニューラルネットワークの学習データが、 $(x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}, \dots, x_{kn}) \rightarrow (y_{k1}, y_{k2}, y_{k3}, \dots, y_{kn})$ (ただし、 $1 \leq k \leq p$) の p 個与えられていたとし、例えば入力値に $(d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)$ を与えたときのネットワークの出力値 q_i が $q_i = q_i(d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)$ (ただし、 $1 \leq i \leq m$) で与えられるとする。学習とは、説明変数をネットワークの「重み」、「しきい値」とし次の目的関数 S を最小化することである。

$$S^2 = \sum \sum (y_{ij} - q_j(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}))^2 / mp \quad (\text{ただし } 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq m, S \geq 0) \quad (2)$$

3. ニューラルネットワークの補修工法選定への適用 本研究では、ニューラルネットワークを用いて、橋梁構造物の補修工法を自動的に選定する方法⁴⁾について検討を加えた。

一般に橋梁の補修工法を選定するに当たっては、構造物の損傷度だけでなく、例えば橋梁工事を行う際の交通規制が及ぼす社会的影響など、より広い視野に立って検討しなければならない。そこで、本研究では橋梁の補修工法を選定するための要因を「構造性」、「経済性」、「施工性」に大きく分類した。

実際に過去に実施された13橋梁の補修工事について、各要因と補修工法の関係を表1のようにまとめた。ここでは補修工法を選定する要因として、a~cの評価で表されるものと、○または空白の二値で表されるものがある。a~cの評価で表される要因についてはそれぞれ、評価aは「損傷が小

さい」、評価bは「損傷がやや大」、評価cは「損傷が大きい」、空白は「損傷が見られない」を意味している。また、二値で表される要因についてはそれぞれ、○は「その要因に該当する」、空白は「その要因に該当しない」を意味する。また、各要因においてデータが未知である場合は、「データがない」を選択する。また、表1における補修工法の記号はそれぞれ、Aが増桁工法、Bが鋼板接合工法、Cが打換工法を表している。

本研究では補修工法の自動選定を実現するために、市販のニューラルネットワークのシステムであるRHINEを用い、表1を学習データとして学習を行った⁵⁾。ネットワークの構造としては、4層（第1層49ユニット、第2層20ユニット、第3層20ユニット、第4層3ユニット）のものを用いる。学習データは、表1における空白を0、○印を1、aを1、bを2、cを3に置き換えたものを用いる。また、ネットワークの出力値はA（増桁工法）、B（鋼板接合工法）、C（打換工法）の3つであり、例えば出力がBであることを（A, B, C）=（0, 1, 0）で表現する。

学習データの入力を終え、学習を開始してから約15分程度ではば学習が終了した。表2は、橋梁番号1～橋梁番号13の「構造的」、「経済性」、「施工性」の各データを入力したときの出力値を表している。例えば橋梁番号1の出力値は、「増桁工法」が0.998、「鋼板接合工法」が0.044、「打換工法」が0.001であり、各々の値は認識の程度を表すので、「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、橋梁番号1の補修工法は増桁工法で行われており、学習が高い精度で行われていることがわかる。橋梁番号2～13も同様に、学習データでの補修工法選定と全く一致しており、学習が高精度で行われたことがわかる。

4. 結論および今後の課題 本研究では「構造的」、「経済性」、「施工性」を考慮した補修工法を自動的に選定するシステムを、ニューラルネットワークの学習機能を利用して構築した。今後は、補修工法を選定するための要因である「構造的」、「経済性」、「施工性」の他にどのような要因をあげることが出来るか検討し、さらに学習データ追加することによって、より精度の高い補修工法自動選定システムを構築することが望まれる。参考文献1)阪神高速道路公団：道路構造物の点検標準（土木構造物編）(1985) 2)麻生英樹：ニューラルネットワーク情報処理、産業図書(1988) 3)高木英行：ニューラルネットワークの学習およびファジィとの境界、日本ファジィ学会 ファジィ推論とエキスパートシステムに関するワークショップ資料(1989.11) 4)三上市蔵、江澤義典、田中成典、朝倉隆文：道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷度判定と補修工法選定のための知識ベースエキスパートシステム、土木学会構造工学論文集Vol. 33A p3 17～ p326(1987) 5)RHINEユーザーズマニュアル、CRC（株）

表 1 実橋の各要因とその補修工法

補修工法		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
実橋	補修工法	○	○	○	a	b	c	○	○	○	○	○	○	○
	ひび割れ ^{a)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	腐食 ^{b)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	変位 ^{c)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ひび割れ ^{d)} コンクリートの劣化	a	b	a	b	b	b	b	b	c	c	b	b	b
	鉄筋露出 ^{e)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	排水設備 ^{f)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	支保 ^{g)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	主桁 ^{h)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	F ⁱ⁾ そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	工 ^{j)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	その他 ^{k)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	経済性 ^{l)} そのデータがない	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 2 各橋梁の補修工法出力例

橋梁番号	増桁工法	鋼板接合工法	打換工法
1	0.998	0.044	0.001
2	0.957	0.021	0.012
3	0.021	0.003	0.998
4	0.988	0.002	0.012
5	0.969	0.033	0.030
6	0.001	0.999	0.002
7	0.011	0.013	0.997
8	0.001	0.002	0.991
9	0.989	0.001	0.002
10	0.001	0.002	0.974
11	0.011	0.021	0.998
12	0.010	0.996	0.003
13	0.987	0.100	0.090