

ニューラルネットワークによる耐震補強優先順位判定システム

防衛大学校 学生員 作田 健 正会員 香月 智 深和岳人

中央コンサルタンツ(株)福岡支店 正会員 杣 辰雄

1. 緒言

橋脚の耐震補強優先度を決定する場合、具体的に考慮すべき評価項目の選定や各項目の重み付けに関する考え方の標準化や統一には様々な難問が存在する¹⁾。著者ら²⁾は、ニューラルネットワークを用いた一対比較判断情報を利用して、優先順位価値関数を形成する方法を検討している。本研究は、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて、アンケートを行う一対比較データを、膨大な組み合わせの中から、効率的に抽出し、ニューラルネットワークによる耐震補強優先順位判定システムの構築を試みたものである。

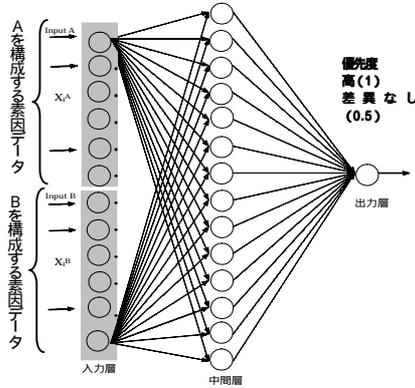


表-1 使用データ

No.	NAME	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	P
1	A	3	3	5	5	3	2.8686
2	B	3	5	3	5	3	2.5247
3	C	3	3	3	5	3	2.461
4	D	1	5	5	5	3	2.3623
5	E	1	3	5	5	3	2.3028
6	F	3	5	2	5	3	2.2355
7	G	3	1	2	5	3	2.0627
8	H	1	5	3	5	3	2.0267
9	I	1	3	3	5	3	1.9756
10	J	3	5	1	5	3	1.8158
11	K	3	3	1	5	3	1.77
12	L	1	3	2	5	3	1.7493
13	M	3	1	1	5	3	1.6754
14	N	1	5	1	5	3	1.4576
15	O	1	3	1	5	3	1.4209
16	P	1	1	1	5	3	1.3449
17	Q	3	5	5	0.0001	3	0.5807
18	R	1	5	5	0.0001	3	0.4661
19	S	1	3	5	0.0001	3	0.4544
20	T	1	3	5	5	0	0

図-1 相対評価ニューラルネットワーク

2. GA による学習データ抽出

本研究で取り扱う問題は、表-1 に示すように橋脚ごとに $x_1 \sim x_m$ の評価項目ごとの点数が与えられている。そのうえで、図-1 に示すニューラルネットワークを用いて、どちらの橋脚補強を優先するか判定を行うものである。これは、表-2 に示すように、 n 橋脚では $n^2 - n/2$ 回の総当たり判定を正常に下すことを要求される。ニューラルネットワークでは、事前学習データを基準とするが、なるべく少ない学習データで全体を適切に判定することが望ましい。そこで本研究は、学習データの抽出に、GA を適用する。この際、GA の目的関数を、大局的な大小関係知識を獲得するため、巨視的な判断を重視し、データ間のユークリッド距離が長く、各データの連結冗長性を均等にすることを表す次式に示す目的関数を定めた。

$$\frac{C_\sigma}{\sigma_n} + C_\ell \ell_T \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_{ai} - \bar{n}_a)^2}{n}} \quad (2)$$

ここで、 n_{ai} : i 番目橋脚の出現回数、 \bar{n}_a : 平均出現回数、 n : 橋脚数、 ℓ_T : 連結線の総和ユークリッド距離 C_σ, C_ℓ : それぞれ σ_n, ℓ_T 項の数値オーダーを調整する係数。

3. 実橋脚データの計算例

実際の橋脚補強問題について、現在使用されている優先度評価式を隠し評価とし、GA で抽出した一対比較に対して、アンケート結果として、現行評価に従った回答を与え、全体の評価が隠し評価と一致するかを判定する。

使用した橋脚データは、表-1 に示す 20 橋脚 5 項目のデータである。素因変数 $x_1 \sim x_5$ は、表-3 に示すような、安全性や破壊の影響度、および重要度に関するデータである。 p は、次式に示す優先度評価式により得られる値である。

$$p = x_1^{0.2} \times x_2^{0.05} \times x_3^{0.3} \times x_4^{0.15} \times x_5^{0.05} \quad (3)$$

表-2 一対比較判断表

	1	2	...	i	...	n
1		○	○	○	○	○
2	x		○	○	○	○
...	x	x		○	○	○
i	x	x	x		○	○
...	x	x	x	x		○
n	x	x	x	x	x	

表-3 橋脚補強優先度の素因変数

素因変数	内容	2次災害の影響度	数値	
	x_1	区分		跨線橋、跨道橋である 跨線橋、跨道橋でない
x_2	内容	交通量の大小	主要幹線道路(多い)20,000台/日以上 幹線道路(普通)4,000以上20,000未満 補助幹線道路(少ない)4,000未満	
	区分	S55年以前の道示		5
		S55年の道示		3
x_3	区分	H2年の道示	2	
		復旧仕様およびH8年の道示	1	
		内容	下部工補強施工有無	補強歴なし、S55年以前の施工 補強歴有り、S55年~H7年までの施工 補強歴有り、H8年以降の施工
			x_4	
x_5	区分	補強歴なし、S55年以前の施工	3	
		補強歴有り、S55年~H7年までの施工	0.0001	
		補強歴有り、H8年以降の施工	0	

この場合、全部の一对比較データの分類を行うと、190組のなかで自明比較組み合わせデータが81通り、非自明組み合わせデータが109組である。この中から各橋脚が3回出現する30組（橋脚データの1.5倍）のアンケート調査候補組み合わせ数は、 ${}_{109}C_{30} = 6.1 \times 10^{26}$ であり、これをしらみつぶしに行おうとするならば、計算時間は2GHz程度の市販パソコンで数年間という実務上不可能な時間が必要となる。そこで、GAにより計算を行うと、表-4のアンケートデータが抽出される。GAにより得られた30組の一对比較学習データに優劣判断を与え学習を終了し、図-2のフローチャートに添って行った計算結果を表-5に示す。1組のみが不一致であり、D-Fが曖昧な判断であったが非常に良好な結果であり、現行の評価をほぼ再現している。

また、全部で20橋脚であるので、全アンケートにおいて、各橋脚が1回ずつ現れる場合には、抽出データ数10対のアンケートを行うことになる。そこで、総アンケート対数を10, 15, 20, 25, 30とパラメトリックに増やして正答率を調べた。予想組数と誤数の関係を、図-3に示す。また、得られる優先順位配列を表-6に示す。図-3において、学習データ内に個々の橋脚の出現回数が整数であるもの(1,2,3)ものに比して、整数でない場合(1.5,2.5)は、推定判断の誤答数が相対的に多い。しかし、出現回数が整数であるものはアンケート数を増やすことで着実に誤答数は減少しており、平均して3回/橋脚、全30組の学習データでは、誤数が2組となっている。すなわち、正答率は94%となっている。この結果、表-6において、平均出現回数が3回の学習データを与えたニューラルネットワークを用いて、全橋脚の優先順位を判定するとA~Tの20橋脚のうち、LとMが逆順になるだけのほぼ正答を得ることができる。

4. 結言

以下に本研究により得られた成果を示す。

- (1) GAにより選ばれた一对比較判断情報を学習データとする、ニューラルネットワークを用いた優先順位決定システムを提案した。
- (2) GAを用いた学習データの抽出方法として、自明比較組み合わせにおいて、各橋脚データの出現回数を均等化する目的関数を用いた抽出方法を提案した。
- (3) 実橋脚の補強データを実例に、補強優先順位問題に適用した結果、橋脚データ数の1.5倍の数の一对比較アンケートデータを抽出することにより、現在用いられている評価関数によって得られた優劣判断とほぼ一致する評価が可能であることを示した。
- (4) 提案手法は、一对比較判断を学習データとすることを提案するものであるため、データ数が増加した際に現実的に対応できるかについて検討する必要がある。

表-4 アンケートデータ

NO.	比較データ	NO.	比較データ
1	F-H	16	B-E
2	G-K	17	D-F
3	L-N	18	L-T
4	C-H	19	M-N
5	C-J	20	A-J
6	E-H	21	F-T
7	A-D	22	I-S
8	B-D	23	A-Q
9	I-K	24	B-R
10	C-E	25	O-S
11	K-N	26	Q-T
12	M-O	27	J-R
13	G-I	28	P-S
14	L-M	29	P-R
15	G-O	30	P-Q

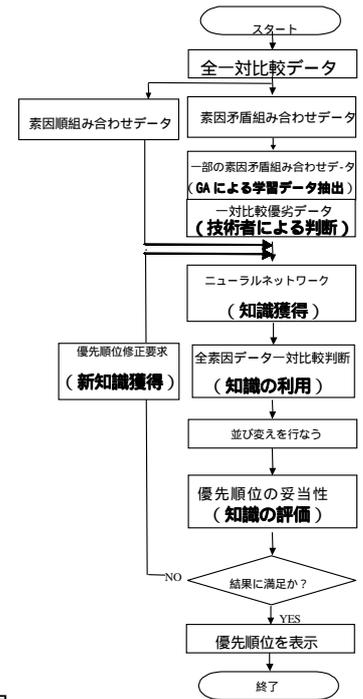


表-5 提案システムの推定結果

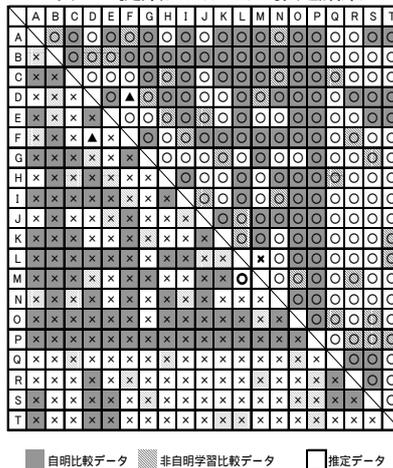


図-2 提案システムの流れ

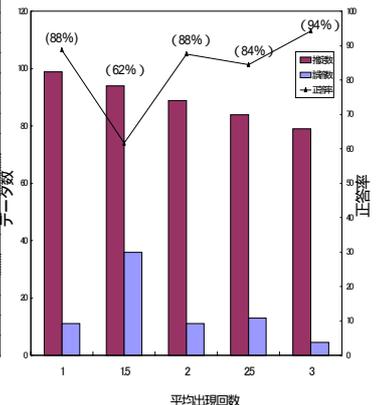


図-3 出現回数と誤数

表-6 出現回数と優先順位配列

平均出現回数	優先順位
1	A-D-B-E-C-F-H-J-G-I-K-M-L-N-Q-O-P-T-R-S
2	A-D-B-E-C-F-H-J-G-I-K-M-L-N-Q-O-P-T-R-S
3	A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-M-L-N-O-P-Q-R-S-T

参考文献

- 1) (社)土木学会 地盤工学委員会, 既設構造物の耐震補強に関する研究報告書, 2002.
- 2) 作田ら: 橋脚補強優先順位決定問題へのニューラルネットワークの適用, 構造工学論文集, 2003.3.