

既設橋梁の耐震補強優先度の決定

九州大学 学生員 ○鶴田真紀 九州大学 正会員 松田 泰治
九州大学 フェロー 大塚久哲 九州大学 正会員 矢聳 亘

1.はじめに

平成7年の兵庫県南部地震は各種の構造物に深刻な被害をもたらし、道路橋においても、橋脚の倒壊、橋桁の落下をはじめ多くの大きな被害が発生した。このため地震荷重として新たに、内陸直下型地震を考慮したタイプⅡ地震動が加えられた。このような事態を踏まえ、全国で既設道路橋の耐震補強工事が実施されている。

本研究は、複雑な予測システムが比較的容易に構築できるニューラルネットワークを用いて橋脚の耐震性能の評価を行い、補強の必要性の有無および優先順位決定の1次判断材料を提供するシステムの構築を目指すものである。以下では、ニューラルネットワークによる橋脚の耐震性能の評価手順について述べる。

2.ニューラルネットワークの構築

ニューラルネットワークとは、人間の脳の情報処理方式を模擬しようとするもので、情報処理単位である神経細胞（ニューロン）を数学的にモデル化し、これを入力層、中間層、出力層それぞれに複数設定することでネットワークを構成する。ニューロンは図-1に示すような形でモデル化されており、このニューロンモデルをユニットと呼ぶ。ユニットは他のユニットからの重み付け入力 X を計算し、この入力 X を入出力関数 f を通して出力する。入出力関数はユニットへの入力を $[0, 1]$ の値に正規化する役割を果たし、本研究では図-2に示すシグモイド関数を用いた。ユニット間の重み（結合荷重）が適切でない場合には、実際の出力値と望ましい出力値との間に誤差が生じる。この誤差を減少させるようユニット間の結合荷重を修正していく過程がニューラルネットワークの学習である。

図-3には本研究で用いた入力層6、中間層10、出力層1ユニットからなる3層構造の階層型ニューラルネットワークを示す。橋脚の耐震性能を判断するための情報として、保耐法レベルで断面設定されたRC橋脚に対する非線形動的解析結果¹⁾を用いた。ここでは地震時の橋脚基部の最大曲率と降伏曲率の比を橋脚の損傷に基づく耐震性能評価指標とし、これに影響を及ぼす要因として、地震動の種類、地盤種別、支承形式、せん断スパン比、主鉄筋比、単位面積当り上部工重量の6項目を考えた。

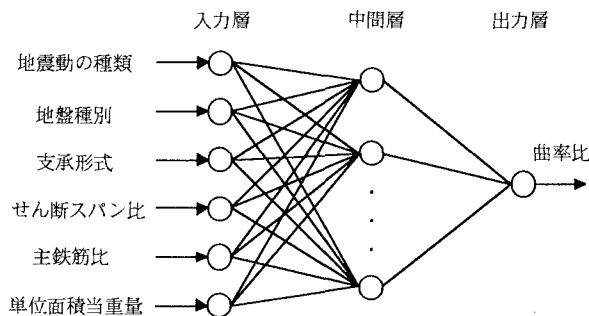


図-3 ニューラルネットワークの構造

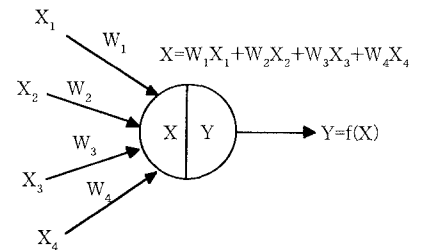
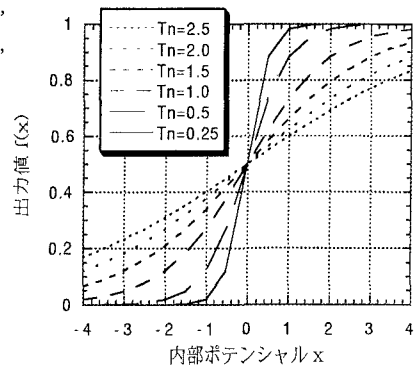


図-1 モデル化したニューロン



$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x/Tn)}$$

図-2 シグモイド関数

これらの要因を入力層に入力し、それに対応する橋脚基部の最大曲率と降伏曲率の比を出力するようなネットワークを構築した。中間層のユニット数は、3～11で変化させ、試行錯誤的に誤差の少なくなるユニット数10を採用した。

3. 学習結果

ニューラルネットワークに対し、60組の学習データを入力し、バックプロパゲーション法により10000回の学習を行い、さらに学習による推定精度を確認するため、完成したネットワークに学習に用いたデータを入力し、ネットワークからの出力値と学習データの出力値との比較を行った。図-4より、推定値と正解の比が0.8～1.2であるデータは、全学習データの約8割を占めており、精度良く学習が行われたことが分かる。

次に、学習に用いてない別の12組のデータに対するネットワークの精度確認を行った結果を表-1に示す。データ1、5、9では推定値が期待される出力値を大幅に上回り、データ10では下回っている。他は比較的良く推定されているといえる。誤差の大きい新規データの入力条件に近い学習データを表-2に示すが、これと比較すると、データ1では地震動の種類の違いによる影響が、5や9でも地震動や地盤の違いによる影響が十分反映されていないために大きな誤差が生じていると考えられる。データ10では逆に、地震動と地盤の影響が過大に評価されていることが考えられる。今後学習データを増やし、ネットワークの精度を向上させる必要がある。

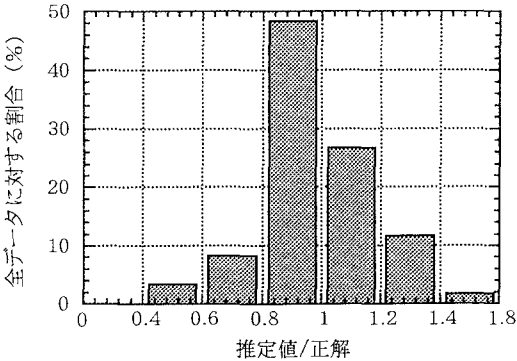


図-4 学習による推定状況

表-1 認識結果

No.	入力データ						出力データ		推定率
	地震動の種類	地盤 種別	支承 形式	せん断 力/トン比	主鉄筋比	単位面積当り 上部工重量	橋脚基部の曲率 に対する塑性率	橋脚基部の曲率 に対する塑性率	
1	A地域タイプ1	2	耐震	4.00	0.00305	83.75	8.39	11.09	1.32
2	A地域タイプ1	3	耐震	3.64	0.00469	110.23	7.87	8.06	1.02
3	A地域タイプ2	3	耐震	4.00	0.00402	83.75	19.65	15.62	0.80
4	A地域タイプ2	1	耐震	3.08	0.00481	88.46	15.43	18.73	1.21
5	B地域タイプ1	2	耐震	4.00	0.00258	83.75	6.30	8.47	1.35
6	B地域タイプ1	2	耐震	4.00	0.00429	115.00	6.29	7.35	1.17
7	B地域タイプ2	1	耐震	3.64	0.00569	73.14	10.22	8.77	0.86
8	B地域タイプ2	2	耐震	3.81	0.00572	109.52	18.62	20.79	1.12
9	C地域タイプ1	3	耐震	4.00	0.00258	83.75	5.05	7.91	1.57
10	C地域タイプ1	1	免震	4.00	0.00429	115.00	0.97	0.44	0.46
11	C地域タイプ2	3	免震	4.00	0.00258	83.75	2.10	1.83	0.87
12	C地域タイプ2	3	免震	4.00	0.00402	115.00	1.41	1.47	1.04

表-2 学習データの例

地震動の種類	地盤 種別	支承 形式	せん断 力/トン比	主鉄筋比	単位面積当り 上部工重量	橋脚基部の曲率 に対する塑性率	推定率	比較データ
C地域タイプ2	2	耐震	4.00	0.00301	83.75	17.49	0.9991	1
C地域タイプ2	3	耐震	4.00	0.00258	83.75	13.14	0.9968	5,9
B地域タイプ1	2	免震	4.00	0.00429	115.00	0.66	1.2830	10

4. まとめ

本論文では、非線形動的解析を行わず、簡便に橋脚の耐震性能を評価するシステムをニューラルネットワークにより構築した。今後は、学習データを追加することでシステムの推定精度を向上させ、ニューラルネットワークにより予測される橋脚の耐震性能から、道路網における橋梁の耐震補強優先度を決定するようなシステムの構築を目指す。