

早稲田大学大学院 学生員 立沢正樹
早稲田大学理工学部 小川 裕
早稲田大学理工学部 正員 依田照彦

1. まえがき

近年鋼製橋脚についての研究・実験などが盛んに行われているが、地震から二年たった現在においても鋼製橋脚の地震時における基本的な挙動については必ずしも明確になっていない。

そこで、本研究では鋼製橋脚の地震時における基本的な性状を知るための一助として、円形断面を持つ鋼製橋脚の繰り返し弾塑性挙動に対していかなるパラメータが支配的となっているかを、ニューラルネットワークを用いて決定することを目標とする。

2. ニューラルネットワークシステムの構築

ニューラルネットワークとは、人間など生物の神経細胞組織を数学的にモデル化し、それを情報処理に応用したコンピュータアルゴリズムのことである。¹⁾これはいままでの情報処理などとは違い、難しいプログラムなどを必要とせず、ただ繰り返し情報(データ)を与えることにより学習を行い、教師データとの誤差を小さくするように結合荷重を修正してシステムを構築していく手法である。この手法は線形問題の解析への応用だけではなく、非線形問題に対しても使用することが出来るので、近年多くの分野で利用されてきている。

本研究ではその中で階層型ニューラルネットワークを用い、入力層を円形断面鋼製橋脚のパイプ厚・リブ数・最大耐力比 P_{max}/P_y ・靱性率 δ_{max}/δ_y の4ユニット、中間層を1層5ユニット、出力層を包絡線の負勾配 $-K$ の1ユニットとしてネットワークを構築した。なお、中間層の数及びユニット数は最も誤差収束性の良かったものを用いた。(図1参照)

また、ニューラルネットワークの学習アルゴリズムとしては、最も一般的である誤差逆伝播法(Error Back Propagation Method)を用いた。

学習パラメータとして、シグモイド関数の傾き $d=0.5$ 、結合荷重の初期設定値 $sw=2.0$ 、学習係数 $r=60$ を用いた。これは最適に収束した数値である。

結合荷重の修正には式(1)を用いた。

$$\Delta w(m) = \eta \delta o + \alpha \Delta w(m-1) \quad (1)$$

ここに、 m : 学習回数

Δw : 結合荷重の修正値

α : 平滑化係数

δ : 学習信号

o : 出力値

η : 学習係数

また、学習回数を減らすために結合荷重の初期値にバラツキを持たせた。これは、 $-1 \sim 1$ 範囲で任意の乱数を発生させ、式(2)により初期値を決定した。

$$w_s = sw * rnd \quad (2)$$

ここに、 w_s : 結合荷重の初期値

rnd : 乱数

学習データとしては円形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験の結果から表1に示されるデータを5個用いた。供試体Noは参考文献2)に一致させた。なお、ニューラルネットワークに適用するために、これらのデータを0～1の範囲で正規化した。

表1 教師データ

供試体No.	パイプ厚 t (mm)	リブ数(本)	P_{max}/P_y
4	5.79	3	1.903
11-2	5.76	0	1.563
7	3.08	3	1.273
12-1	3.08	0	1.33
19	3.09	4	1.378
供試体No.	δ_{max}/δ_y	$-k$	
4	3	0.55	
11-2	3	0.8	
7	2	0.7	
12-1	2	0.98	
19	2	0.82	

以上の教師データにより学習回数6976回において誤差0.00215となり、ニューラルネットワークが構築された。

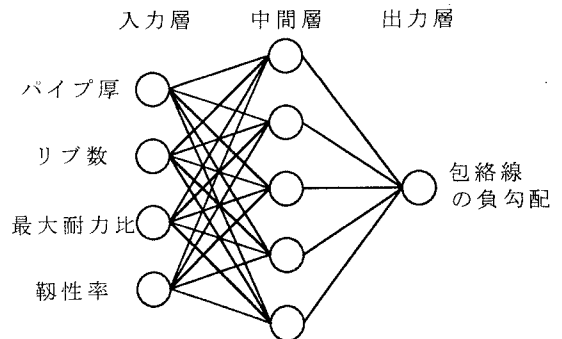


図1 ニューラルネットワークシステム

3. 解析手法

構築されたニューラルネットワークを用いることにより円形断面鋼製橋脚の弾塑性挙動に対する支配的パラメータを決定する。

本研究においては結合荷重を評価することにより支配的パラメータを決定した。

結合荷重の評価方法は一般に確立されていないのでここでは以下の方法で評価することを提案する。

ニューラルネットワークシステムを構成する結合荷重はすべて同じ重要度を持つわけではないと考えられ、出力層により近い結合荷重の方が重要であると考えられる。そこでシステムの入出力関数がシグモイド関数であることを考慮して、図2で示される簡単なシステムを例にとり、結合荷重の評価式を式(3)で表す。

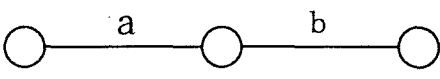


図2 システムの例

$$Z = b * \frac{1}{1 + \exp(-a)} \quad (3)$$

ここに、Z：評価値

a、b：各ユニットの結合荷重

この式(3)より求める評価値の総和を取ることににより、各パラメータの重要度の順位を決定する。

4. 解析結果

表2に示された各結合荷重を式(3)により評価した評価値が表3である。

表3より、評価値の総和はパイプ厚と P_{max}/P_y が大きく、リブ数と δ_{max}/δ_y が負の値を示している。このことは、リブ数や δ_{max}/δ_y の弾塑性繰返し挙動に及ぼす影響は、パイプ厚や P_{max}/P_y より推定できる可能性を示唆しているものと思われる。

データが少ないため、正確なことは結論として言えないが、円形断面鋼製橋脚の場合、パイプ厚及び最大耐荷力が強度劣化域を支配するパラメータである可能性が大きい。

5. あとがき

本研究は円形断面鋼製橋脚の正負交番載荷実験の結果を教師データとして階層型ニューラルネットワークを構築し、その結合荷重の評価法を提案するとともに、円形断面鋼製橋脚の弾塑性挙動に対するパラメータの重要度の順位付けを行った。その結果、円形断面鋼製橋脚の最大耐荷力以降の強度低下と剛性低下に及ぼす支配的パラメータはパイプ厚、最大耐力比、リブ数、靱性率の順であることが分かった。

この結果は地震時における鋼製橋脚の基本的な挙動の理解に役立つと思われる。

今回は円形断面についてのみ解析を行ったが、今後は矩形断面についても解析を行う予定である。

表2 結合荷重

入力層		中間層		出力層
パイプ厚	-0.1474	ユニット1	13.3976	-k
リブ数	-58.1266			
P_{max}/P_y	-10.7374			
δ_{max}/δ_y	1.0856			
パイプ厚	-0.2960	ユニット2	49.4174	-k
リブ数	0.6544			
P_{max}/P_y	-0.9108			
δ_{max}/δ_y	-1.6010			
パイプ厚	0.2558	ユニット3	-112.4746	-k
リブ数	1.2733			
P_{max}/P_y	-0.7047			
δ_{max}/δ_y	1.7558			
パイプ厚	1.3704	ユニット4	40.6827	-k
リブ数	-0.6973			
P_{max}/P_y	-0.53391			
δ_{max}/δ_y	-0.7877			
パイプ厚	0.3127	ユニット5	22.3601	-k
リブ数	-0.8602			
P_{max}/P_y	0.4167			
δ_{max}/δ_y	0.2330			

表3 パラメータ評価

経由	評価値	総和
パイプ厚から		
中間層1	6.2059	9.2485
中間層2	21.0779	
中間層3	-63.3916	
中間層4	32.4421	
中間層5	12.9142	
リブ数から		
中間層1	7.638E-25	-35.1899
中間層2	32.5162	
中間層3	-87.8770	
中間層4	13.5234	
中間層5	6.6475	
P_{max}/P_y から		
中間層1	0.0003	5.4840
中間層2	14.1750	
中間層3	-37.2043	
中間層4	15.0365	
中間層5	13.4765	
δ_{max}/δ_y から		
中間層1	10.0153	-52.3992
中間層2	8.2942	
中間層3	-95.9056	
中間層4	12.7202	
中間層5	12.4767	

参考文献

- 1) 矢川元基編：ニューラルネットワーク、計算力学とCAEシリーズ12、培風館、1992
- 2) 井浦雅司、熊谷洋司、小牧理：軸圧縮力と横力を同時に受ける円形断面橋脚柱に関する一考察、第51回年次学術講演会、1996