

日本電子計算(株) 正会員 丹羽量久
 関西大学工学部 フェロー 三上市藏
 日本電子計算(株) 山根健嗣

1. まえがき

人工知能技術の一つであるニューラルネットワークは、入力値と出力値との高次の非線形関係を学習して、それらの関係を忠実に再現できる特徴を持っている。著者らは、世界中で実施された鋼補剛 I 断面部材の終局強度実験データを活用し、富士通製ニューラルネットワークシミュレータ NEURO/SIM Light を用いて、それらの曲げ終局強度を精度よく推論できるニューラルネットワークシステムを構築した。¹⁾ この NEURO/SIM は一つのアプリケーション・ソフトウェアであるので機能に制限がある。

一方、MathWorks 製の著名な数値解析ツールである MATLAB²⁾ は、非常に汎用性の高いソフトウェアである。MATLAB には高度なニューラルネットワーク構築環境³⁾ が整備されており、適用する問題に適切な伝達関数や学習方法などを選定することができる。すなわち、ニューラルネットワーク構築の自由度が拡大するものと期待できる。

そこで、MATLAB を利用してニューラルネットワークを構築する場合の自由度を探るために、上述の鋼 I 断面部材の曲げ終局強度算定ニューラルネットワークシステムの再構築を試みた。本報告はその結果を紹介するものである。

2. ニューラルネットワーク構築ツール

ニューラルネットワークの構築にあたり、Linux 上で稼動する汎用数値解析ツール MATLAB²⁾ と Neural Network Toolbox³⁾ を用いる。Neural Network Toolbox³⁾ はニューラルネットワークの構築支援に特化した関数群で、ニューラルネットワーク構造、伝達関数、学習方法などの多彩な関数を選択し、システムフローを形成させることができる。

3. ニューラルネットワークシステムの構築

既システム¹⁾ は、鋼補剛 I 断面部材の寸法・材料特性・製作条件に関する 31 個の入力パラメータから曲げ終局強度の推論値 M_{mn}/M_{Yfc} を出力する。既システム¹⁾ と同じニューラルネットワーク構造(入力層: 1, 中間層: 2, 出力層: 1 の計 4 層の階層型)を MATLAB 上で再現し、学習方法として「Fletcher-Reeves 共役勾配法」によるバックプロパゲーション法を選んだ。このニューラルネットワークを Net-cgf とよぶ。

この Net-cgf に 357 体の純曲げを受ける鋼補剛 I 断面部材の実験結果 M_{max}/M_{Yfc} を学習させる。学習過程における学習回数と二乗和誤差 $\sum (M_{mn}/M_{Yfc} - M_{max}/M_{Yfc})^2$ の関係は図 - 1 のようになる。また、比較のために、NEURO/SIM Light と同じ学習方法「モーメンタムと適応学習比を用いた勾配降下法」によるバックプロパゲーション法を用いたものも構築し、図 - 1 に付記した。このニューラルネットワークを Net-gdx とよぶ。図 - 1 から、Netcgf に対して、 M_{max}/M_{Yfc} と M_{mn}/M_{Yfc} の相関係数を調べると、学習回数 100 回で 0.9 を超え、10,000

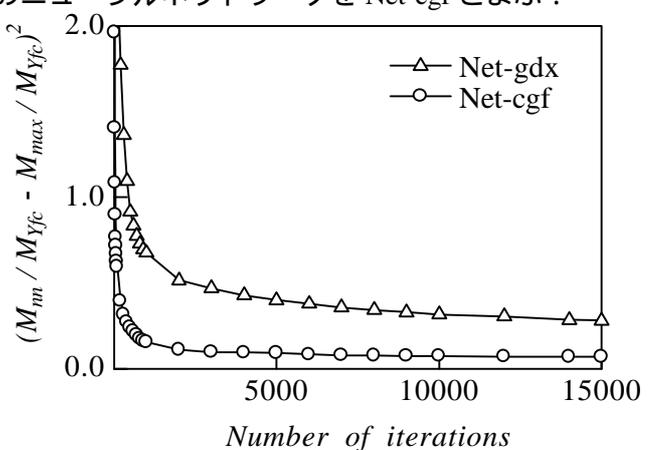


図 - 1 ニューラルネットワークの学習課程

キーワード：鋼補剛 I 断面部材，曲げ終局強度，ニューラルネットワーク，数値解析ツール

連絡先：〒532-0011 大阪市淀川区西中島 2-12-11 日本電子計算(株) TEL 06-6307-5462 FAX 06-6305-1968

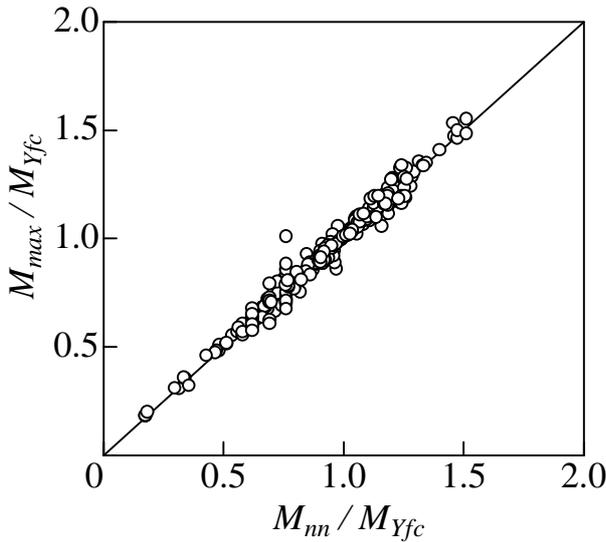


図 - 2 推論値と実験値の比較

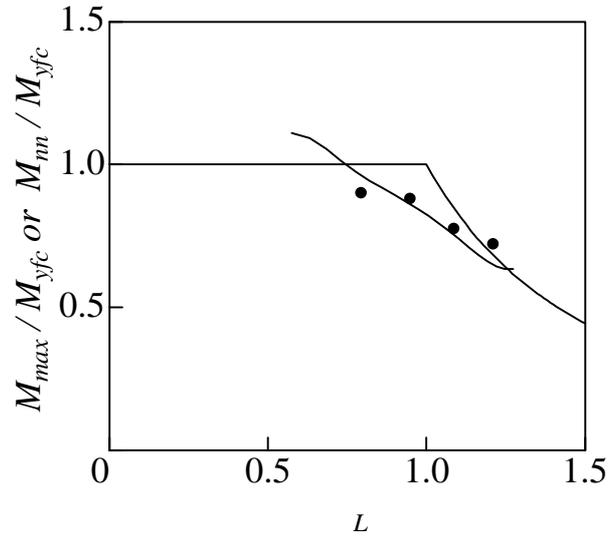


図 - 3 仮想部材に対する推論結果

回で 0.9890 ,15,000 回で 0.9898 となった。一方,Net-gdx では学習を 330,000 回繰り返しても相関係数は 0.9829 である。Net-cgf は Net-gdx の 20 倍以上の学習効率をもっており、学習方法として有効な手段である。

次に、ほぼ収束したとみなせる学習回数 15,000 回の Net-cgf を使って、 M_{\max}/M_{Yfc} と M_{\min}/M_{Yfc} を比較すると図 - 2 が得られる。 M_{\min}/M_{\max} の平均値と標準偏差はそれぞれ 1.002 と 0.0392 である。学習に用いた供試体ごとに $e = |1 - M_{\min}/M_{\max}|$ を調べると、 $e \leq 0.01$ に 142 体、 $e \leq 0.03$ に 250 体、 $e \leq 0.05$ に 306 体、 $e \leq 0.10$ に 346 体が収まっている。既システム¹⁾と比較しても遜色ない推論精度をもっており、十分に満足できる。

この学習回数 15,000 回の Net-cgf のニューラルネットワークを使って、仮想部材（上・下フランジの幅厚比：12.5，上・下フランジと腹板の断面積比：0.79，腹板の幅厚比：33.5，鋼材の弾性係数と降伏応力の比：705，ポアソン比：0.3）の曲げ終局強度を推定してみた。推論結果 M_{\min}/M_{Yfc} と部材としての横ねじれ座屈に関するパラメータ $I_L = \sqrt{M_{Yfc}/M_{cr}}$ の関係を図 - 3 に示す。ただし、弾性横ねじれ座屈モーメント M_{cr} は次式で計算した。

$$M_{cr} = \frac{P}{L_e} \sqrt{EI_z GJ \left(1 + \frac{P^2 EI_w}{L_e^2 GJ} \right)} \quad (1)$$

ここに、 L_e は有効座屈長、 EI_z は弱軸回りの曲げ剛度、 GJ はねじり剛度、 EI_w はそりねじり剛度である。図 - 3 には、同じパラメータをもつ実験供試体の曲げ終局強度を印で示した。図 - 3 より、得られた曲線は曲げ終局強度曲線としてほぼ妥当なものであると考えられる。

4. あとがき

ニューラルネットワーク構築における、汎用数値解析ツール MATLAB の自由度を探るために、Fletcher-Reeves 共役勾配法によるバックプロパゲーション法を用いて、純曲げを受ける鋼補剛 I 断面部材の曲げ終局強度算定システムを構築した。詳細は講演会当日に述べる。

参考文献

- 1) 丹羽量久・三上市藏：鋼 I 断面部材の終局曲げ強度の算定ニューラルネットワークシステム，構造工学論文集，土木学会，Vol.44A，pp.537-544，1998.3.
- 2) The MathWorks Inc., Using MATLAB Version 5, 1999.1.
- 3) The MathWorks Inc., Neural Network Toolbox User's Guide, 1998.1.