

Neural Network を用いた線形化解析手法の考察

—線形解析と Neural Network 解析結果の比較—

大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 正会員 ○名合 牧人 近藤 高弘

1. はじめに

各産業界で AI の導入が盛んに検討されている。その技術がディープラーニングと言われる、深層学習である。第三次人工知能ブーム以前は多層ニューラルネットの学習は、局所最適解や勾配消失などの技術的な問題によって、十分に学習させられず、性能も芳しくない冬の時代が長く続いた。近年オートエンコーダの深層化に成功し、再び注目を集めるようになり、第三次人工知能ブームが到来した。本考察では、三層の Neural Network を用いて、線形化解析する手法に関して従来の線形解析の手法との比較考察を行った。

2. 比較対象モデル

本検討で比較対象とするモデルとしてクレーン吊荷重の事例を用いる事とした。クレーンの吊荷重はクレーンブーム角とワイヤーテンションから求められる。既知の吊荷を吊上げ、その時のブーム角電圧値、ワイヤー張力電圧値を測定し、各電圧値の変化と吊荷荷重との関係から吊荷重近似式のモデルを作成し、最小二乗法を用いて近似式を作る。作った近似式を比較対象の理論モデルとする。以下に 15.30ton, 29.66ton, 21.96ton の吊荷時のセンサ電圧値を表-1 に示す。表-1 の値を用いて、吊荷重近似式 W_t をブーム角電圧値 θ とワイヤー張力電圧値 T の二次関数曲面として、最小二乗法によりモデル式を求める。

$$W_t = 1,713\theta^2 - 4,684\theta - 5,216T^2 + 47,459T - 122,111$$

(クレーン吊荷荷重の理論モデル式)

表-1 吊荷重とセンサ値

ブーム角(V)	張力(V)	吊荷荷重(Kg)
7.47	2.12	15300
7.38	2.18	15300
7.29	2.26	15300
7.20	2.33	15300
7.11	2.40	15300
7.02	2.47	15300
6.93	2.53	15300
7.47	2.71	29660
7.38	2.82	29660
7.28	2.94	29660
7.19	3.08	29660
7.11	3.22	29660
7.02	3.33	29660
6.93	3.45	29660
7.46	2.41	21960
7.36	2.50	21960
7.27	2.61	21960
7.18	2.71	21960
7.09	2.79	21960
7.00	2.88	21960
6.92	2.98	21960
6.77	3.13	21960

以上のモデル式を元にクレーンのブーム角電圧値とワイヤー張力電圧値から求めたクレーン吊荷荷重を図-1 に示す。(ブーム角:73~64° 吊荷重:29.5~15.3ton 理論誤差 3σ (推定精度 99.9%) : $\pm 1.64\text{ton}$)

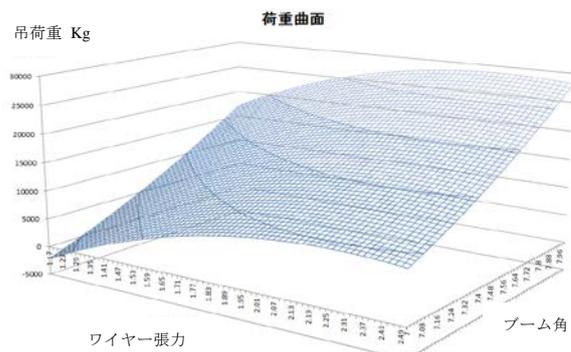


図-1 モデル式の可視化

このモデル式は 2 入力 1 出力となるため、最終解を三次元的に視覚的表示ができるため

Neural Network の学習結果を比較できるメリットがある。

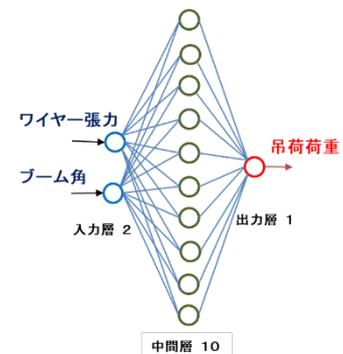


図-2 Neural Net の構成

3. Neural Network を用いた線形化解析手法

検討に用いた

Neural Network を図-2 に示す。本 Neural Network (以下、Neuro と呼ぶ) は入力層、中間層、出力層からなる三層構造で、入力層は 2 個でクレーンブーム角電圧値、ワイヤー張力電圧値を入力する。中間層は 10 個とする、出力層は 1 個でクレーン吊荷荷重を出力する。

本件で検討する Neuro はシグモイド関数を伝達関数に用いた、入出力値は 0 ~ 1 の値をとる。そのため本

キーワード Neural Network, AI, 深層学習, 線形解析, 伝達関数

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設技術センター TEL 045-814-7229

来クレーン電圧値はブーム角 $7v$ およびワイヤー張力 $2v$ 程度あるが、各入力値を $1/10$ として入力する。また出力値も同様に 25ton 程度であるため、 $1/100,000$ の値にして教師データを作成する。学習された Neuro は入力層から中間層に向け以下の式に従う。

入力値 = \mathbf{X}

学習後の結合重み = \mathbf{W}

バイアス値 = \mathbf{B}

中間層出力値 = \mathbf{U}

$f(\mathbf{U}) =$ 伝達関数(シグモイド関数)

$$\mathbf{U} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{B}$$

$$\mathbf{Z} = f(\mathbf{U})$$

$$= \frac{1}{1 + e^{(-\mathbf{U})}}$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} -2.099323 & -13.950078 \\ -13.654139 & -16.205100 \\ -3.381703 & -4.495932 \\ -3.285229 & -7.657235 \\ -3.547483 & -1.792692 \\ -2.906807 & -0.734660 \\ -3.638538 & -0.734660 \\ 5.815558 & 24.285667 \\ -6.073418 & 6.559061 \\ -3.517466 & -2.798033 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 2.635648 \\ 14.908356 \\ -0.524570 \\ 1.069103 \\ -1.354287 \\ -1.680287 \\ -1.072208 \\ -15.840473 \\ 3.966185 \\ -1.098340 \end{bmatrix}$$

\mathbf{W} と \mathbf{B} が (入力-中間) の学習結果である。

中間層から出力層に向け以下の式に従う。

中間層出力値 = \mathbf{Z}

学習後の結合重み = \mathbf{WW}

バイアス値 = \mathbf{BB}

出力層出力値 = \mathbf{UU}

$f(\mathbf{UU}) =$ 伝達関数(シグモイド関数)

$$\mathbf{UU} = \mathbf{WW} \cdot \mathbf{Z} + \mathbf{BB}$$

$$\mathbf{ZZ} = f(\mathbf{UU})$$

$$= \frac{1}{1 + e^{(-\mathbf{UU})}}$$

$$\mathbf{WW} = \begin{bmatrix} -6.443101 & -2.621659 & -2.235794 & -3.457698 & -1.216543 \\ -0.619781 & -0.180128 & -12.756620 & -2.636177 & -13.950078 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{BB} = [3.489271]$$

\mathbf{WW} と \mathbf{BB} が (中間-出力) の学習結果である。

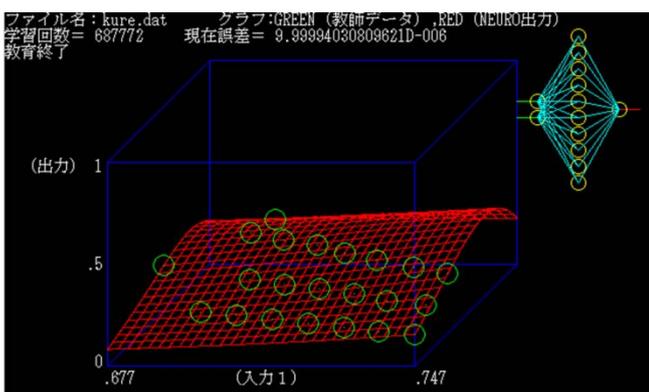


図-3 Neural 学習結果

図-3は学習結果を三次元的に可視化した結果(赤線)で、先のモデル式の結果と類似した形状となっている。また、緑の丸は教師データを示す。

先のモデル式の最小二乗算出方法で用いたデータを教師データとして与え誤差 $1/100,000$ の精度まで学習させた後、実際のクレーン計測値を入力しモデル式

と Neuro 学習結果とを比較する。

4. モデル式と Neuro 学習結果との比較

実際のクレーンブーム角電圧値、ワイヤー張力電圧値を1秒間隔で測定したデータをクレーンモデル式と Neuro 学習結果に代入した。図-4(上図)に示すようにクレーン吊荷荷重は $18 \sim 24\text{ton}$ の間で変化しているが、Neuro 学習結果では図-4(下図)に示すようにモデル式との誤差が約 2.4% 程度となり、Neuro 学習出力の方がモデル式出力より少なめに出力されている。

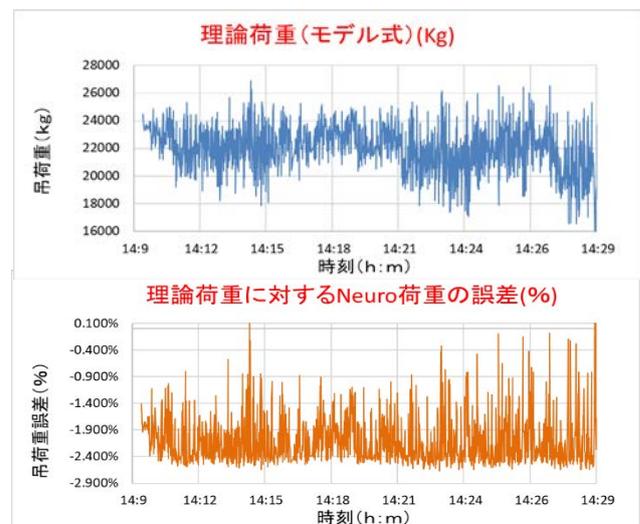


図-4 理論荷重と Neural 学習結果との誤差

モデル式は教師データを最小二乗法にて求めている。Neuro 学習では与えられた教師データとの学習差が閾値になる様に補間されるという特徴的な違いがあるのみで差異はないと考える。

今回対象としたクレーン吊荷荷重とブーム角、ワイヤー張力の関係では、Neuro 学習による線形解析値がモデル式と近似する結果となった。

5. まとめ

- Neuro 学習による線形化解析手法は複雑で簡単に解が求められない問題には有効な解決法となる。
- Neuro の学習をどこまでの精度で行うかは試行錯誤であるが、適切な学習誤差を設定する事で全体的に滑らかな補間曲線が得られる。
- モデル式の様な論理的に式を導きだす事は式に意味を与える事になるが、Neuro 学習では式に意味を与える事ができない。
- モデル式が導き出せない様な場合、その対処的措置として、Neuro 学習による線形化は実務上意味を持つ。