

ディープラーニングによる履歴復元力特性のモデル化 及び動的的非線形解析への適用

九州大学 学生会員 大武 亮太

九州大学 学生会員 ○西村 孝

九州大学大学院 正会員 松田 泰治

九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀

九州大学大学院 正会員 崔 準祐

1. はじめに

ニューラルネットワークにより構造物の非線形履歴挙動のモデル化を行い、これを動的応答解析に利用した場合、従来の定式化に基づく履歴モデルと同等の表現能力を有する可能性が知られている。現在までに様々な履歴のモデル化が行われている。しかし、ネットワーク構造を決定する入出力要因は、履歴モデルごとに研究者が設定しており、汎用性の高いものは存在していない。本研究では、Ramberg-Osgood モデル、バイリニアモデル、武田モデルの 3 つの履歴曲線を対象とし、複数の履歴モデルの認識に対応可能な多層ニューラルネットワーク、つまりディープラーニングの提案を行い、さらに構築したネットワークの動的応答解析への適用性について検討した。

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神経細胞網を工学的に模擬するもので、学習能力と自己組織化能力を有する情報処理システムである。人間の神経細胞（ニューロン）を図-1 に示すようにモデル化し（これをノードと呼ぶ）、このノードを複数結合させることに

よりネットワークを構成する。各ノードでは前層からの入力値と結合荷重の積の総和にバイアスを加えた x を求め、活性化関数(f)を通して出力する。本研究では、活性化関数として ReLU 関数、最終層にのみ恒等関数を用いた (図-2)。また、種々の入力データの組に対して、ネットワークから出力される出力値と正解値との差が最小となるように、ノード間の結合荷重 W を修正する過程が学習と呼ばれる。本研究で用いたニューラルネットワークは、入力情報として、最大経験変位・荷重、最小経験変位・荷重、最新折り返し点の変位・荷重、1 ステップ前の変位増分・荷重増分及び現在の変位の 11 項目を選択し、現在の接線剛性を出力するネットワーク構造とした。中間層数は 1~9 層とし、1 層あたりの中間ノード数は 10 個とした (図-3)。

3. ニューラルネットワークの学習

履歴復元力特性がそれぞれ R-O モデル、バイリニアモデル、武田モデルに従う 1 質点系モデルに、強制変位として漸増漸減正弦波を作用させた場合の応答履歴から学習データを作成し、これを用いてニューラルネットワークの学習を行った。学習回数は 100 万回とし

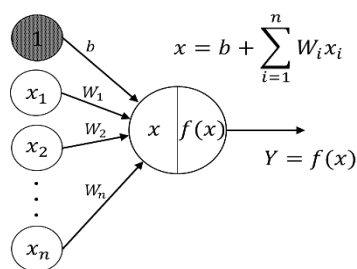


図-1 ニューロンモデル

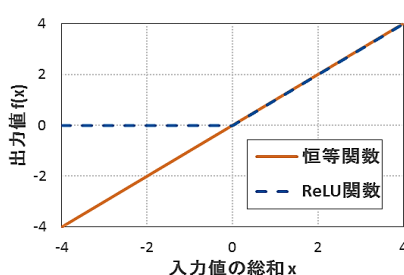


図-2 活性化関数

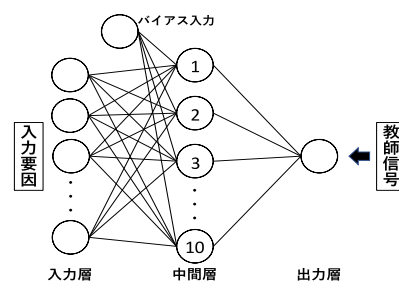


図-3 ネットワーク構造

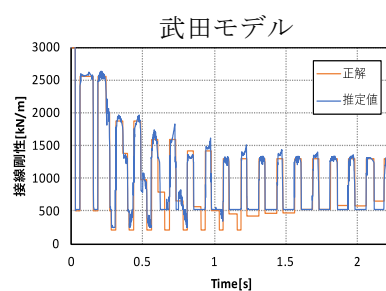
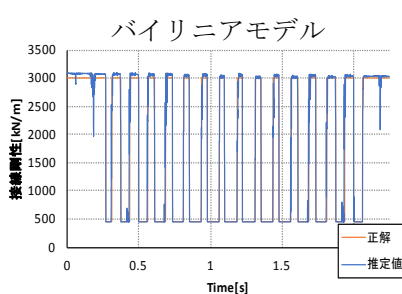
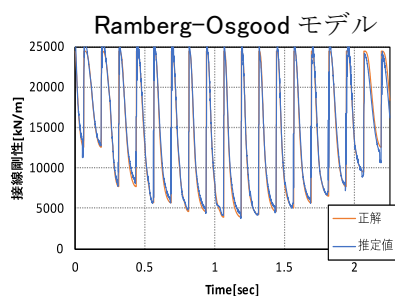


図-4 学習結果

た。各履歴モデルに対して最適な中間層の層数を試行錯誤的に求めた結果、総層数は R-O モデルが 4 層、バイリニアモデルが 8 層、武田モデルが 9 層となった。学習後のネットワークからの出力と正解の比較を図-4 に示す。これより、提案したネットワークが各種の非線形履歴曲線を認識可能な汎用性の高いネットワークであることが確認された。

4. 非線形動的解析への適用

学習を経たニューラルネットワークの地震応答解析の数値計算サブルーチンへの適用について検討を行った。1 質点系モデルに振幅調整を行った level2-type2-1 設計地震動を 10 秒間作用させた場合のニューラルネットワークによる応答推定結果と定式化に基づく履歴モデルによる解析結果の時刻歴比較を図-5,6,7 に示す。3 つ全てのモデルにおいて、変位、速度、加速度の振幅や位相の時刻歴がほぼ一致している。

5. まとめ

Romberg-Osgood モデル、バイリニアモデル、武田モデル 3 つの復元力特性を対象に、一般化した入出力情報に対して規則的なパターンの変位-復元力特性により学習を行った結果、高い精度で不規則な非線形履歴を再現できることを確認した。また、学習後のニューラルネットワークの非線形解析における数値演算サブルーチンとしての適用可能性を示した。

参考文献

- 1) 斉藤康毅: ゼロから作る Deep Learning, 2016.
- 2) 山本広: ニューラルネットワークによる履歴挙動のモデリングと数値解析への応用, 構造工学論文 Vol.38A, pp85-94, 1992. 3
- 3) 矢葺亘, 梶山義規, 松田泰治: ニューラルネットワークの動適非線形問題への適用に関する研究, 構造工学論文集 Vol.42A, pp635-644, 1996. 3

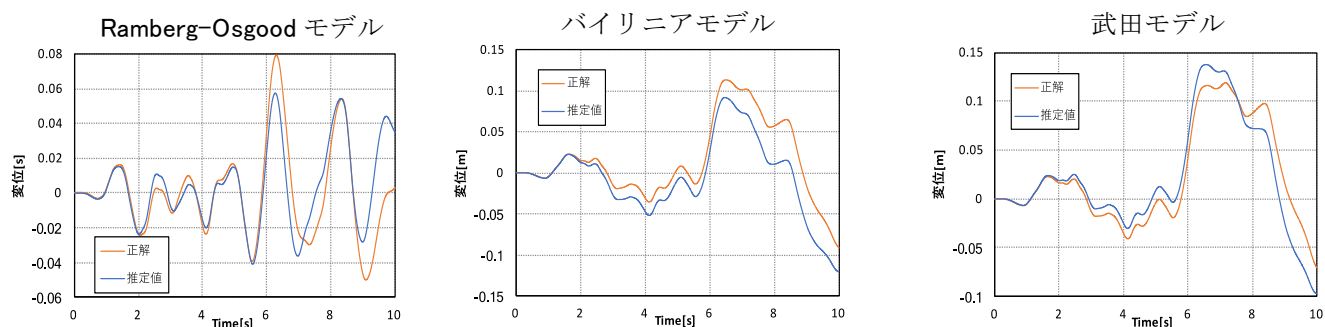


図-5 変位時刻歴応答

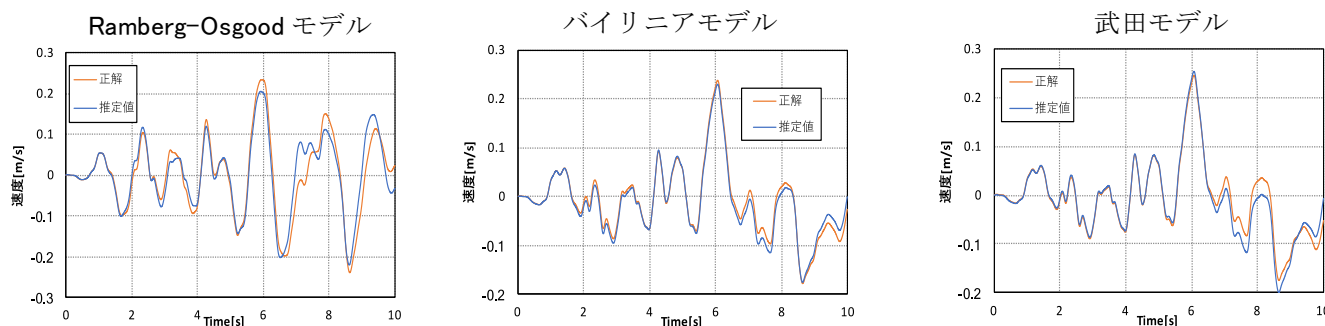


図-6 速度時刻歴応答

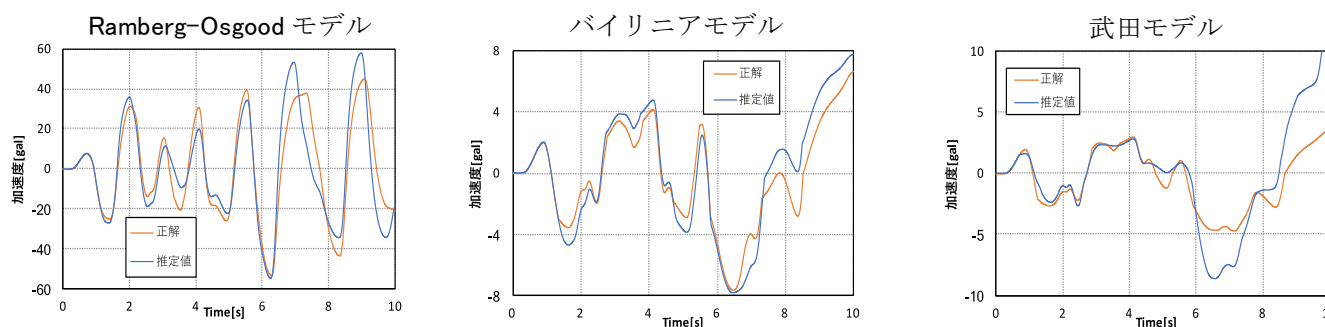


図-7 加速度時刻歴応答