

支管に圧縮軸力を受けるコンクリート充填鋼管 T 継手の 応力集中係数算定のためのニューラルネットワークモデルの構築

長崎大学 学生会員 ○野北莞爾
長崎大学大学院 正会員 奥松俊博

長崎大学大学院 正会員 中村聖三
長崎大学大学院 正会員 西川貴文

1. はじめに

鋼管の中にコンクリートを充填することで耐荷力が顕著に向上するため、中国では近年コンクリート充填鋼管 (CFST) 継手を用いたアーチ橋が数多く建設されている。しかし、一部の橋梁では構造安全性を損なうような疲労亀裂が生じた事例が報告されている。そのような中で、Zheng らは、T 形¹⁾および K 形²⁾ CFST 継手を対象として有限要素解析を実施し、最小二乗法を用いた回帰分析により応力集中係数 (SCF) の算定式を導出した。しかし、この方法では得られる算定式の精度が予め設定する関数形に依存する。場合によっては、関数形を適切に設定することが困難となる可能性もある。

そこで本研究では、支管に圧縮軸力を受ける T 形 CFST 継手(図 1)について SCF 算定用のニューラルネットワークモデルを構築し、Zheng らの導出した SCF 算定式と比較することで、その精度および有用性を評価する。

2. 検討方法

2.1 比較対象

本研究における比較対象は、Zheng が既往研究¹⁾において有限要素解析結果に基づき提案した SCF 算出式 (式(1))である。

$$SCF = 6.025\beta^{-0.007}\gamma^{-0.329}\tau^{0.326} \quad (1)$$

式(1)は、支管と主管の直径比 $\beta (=d/D)$ 、主管の径厚比 $2\gamma (=D/T)$ 、支管と主管との板厚比 $\tau (=t/T)$ の 3 つの無次元幾何学パラメータを表 1 に示すように変化させて合計 140 モデルの FE 解析を用い、その結果から算定した SCF をもとに構築されている。式(1)で算出した SCF と FE 解析で得られた SCF を比較して図 2 に示す。本研究では、この 140 モデルの幾何学パラメータと SCF を利用する。

2.2 ネットワーク構成とハイパーパラメータ

本ネットワークを構築するにあたって Anaconda に搭載されている Jupyter Notebook の Python を用いた。ハイパーパラメータは中間層の数、ノードの数、学習率とし、活性化関数は入力層と中間層ではシグモイド関数、出力層では恒等関数と設定した。正解値と予測値における誤差関数には二乗誤差、各層ごとの重みの学習方法には確率的勾配降下法を用いた。また 140 個あるデータのうち 70 個を教師データ、残りの 70 個を検証データとした。この教師データの分類方法に関しては、ランダムに分類を行うと各パラメータの値の分布が偏る恐れがあるので、教師データ、検証データのそれぞれでパラメータ値がバランスよく分布するように分類を行った。エポック学習を行う際のエポック数は 5000 回に設定し、教師データ 70 個ごとに重みパラメータを更新していくネットワークを構築した。構築したネットワークが予測した値の精度の評価については、正解値とネットワークによる予測値との二乗平

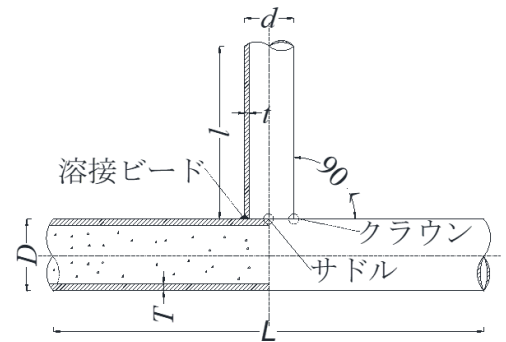


図 1 コンクリート充填鋼管 T 継手

表 1 試行したパラメータの値

パラメータ	値
β	0.3, 0.4, 0.5, 0.6
2γ	40, 50, 60, 70, 80
τ	0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0

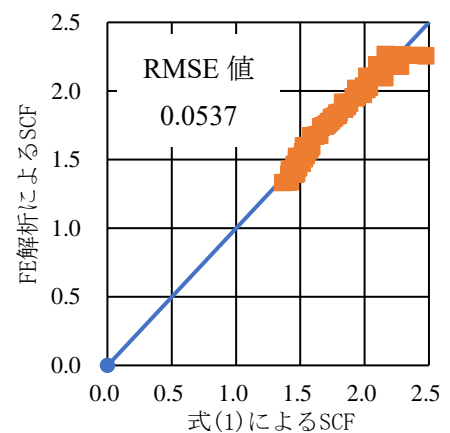


図 2 SCF の比較

均平方誤差(RMSE)を用いた。また今回はネットワークにおけるノード数と中間層数が SCF 算定精度に及ぼす影響を確認するために、中間層におけるノード数を3に固定して中間層を1~3層に変化させたネットワークと、中間層を2層に固定して中間層におけるノードの数を2~4に変化させたネットワークを作成した。

3. 結果と考察

3.1 中間層数の影響

ノード数を3に固定した場合の中間層数と RMSE の関係を図3に示す。中間層3層の RMSE 値は中間層1層の RMSE 値に対して約35%にまで減少している。このことから、ネットワークを構成する中間層の数が SCF 値に及ぼす影響は大きいと言える。

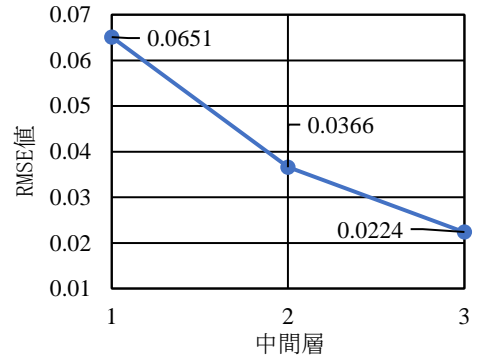


図3 中間層数が RMSE 値に及ぼす影響

3.2 ノード数の影響

中間層を2層に固定した場合のノード数と RMSE の関係を図4に示す。ノード数が5の時の RMSE 値はノード数が3の時の RMSE 値に比べて約8%しか減少していない。このことから、ネットワークを構成するノードの数が SCF 値に及ぼす影響は比較的小さいと言える。

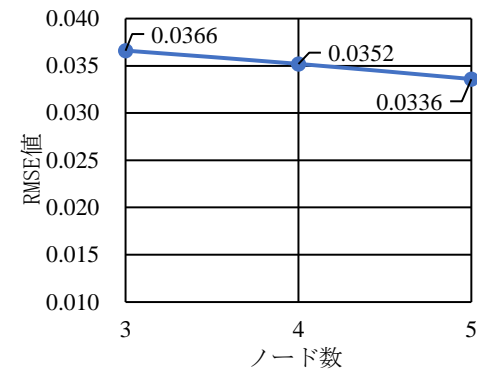


図4 ノード数が RMSE 値に及ぼす影響

3.3 最適なネットワーク

本研究にて構築したネットワークの中で最も精度の良かったネットワークは中間層3層ノード数3のものであった。このネットワークを用いて算出した SCF と FE 解析で得られた SCF との比較を図5に示す。前述したように RMSE 値は0.0224であり、図2に示した式(1)を用いた場合の RMSE 値0.0537の半分以下であり、高い精度のネットワークが構築できたと判断できる。なお、図3から中間層の数を更に増やすと精度が上がるのが期待できるが、中間層が4層程度で精度向上が収束すると思われる。

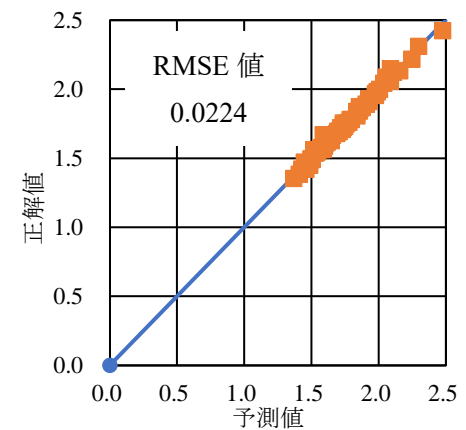


図5 最も精度の良かったネットワーク

4. まとめ

本研究では関数的な回帰分析を用いず、ニューラルネットワークによるコンクリート充填鋼管 T 形継手の SCF 算定モデルの構築を試みた。今回検討した範囲で最も高い精度を示したのは、中間層3層、ノード3個のネットワークであった。エポック数を5000とし、教師データ70個を用いて学習すれば、中間層1層、ノード3個のニューラルネットワークでも Zheng らが提案した SCF 算定式と同程度の精度の予測値が得られることが分かった。

今後の研究では、他の荷重条件や継手形状に対するネットワーク構築と、十分な精度のネットワークを構築するにあたって、最低限必要な教師データ数の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) J. Zheng et al.: Formulation of stress concentration factors for concrete-filled steel tubular (CFST) T-joints under axial force in the brace, Engineering Structures, Vol. 170, pp.103-117, 2018
- 2) J. Zheng et al.: Formulation of stress concentration factors for concrete-filled steel tubular (CFST) K-joints under three loading conditions without shear forces, Engineering Structures, Vol. 190, pp. 90-100, 2019.