

ニューラルネットワークを用いた高力ボルト軸力低下推定システムの構築

山口大学大学院 学生会員 ○山下 雅和 片山ストラテック (株) 正会員 石原 靖弘
山口大学工学部 正会員 中村 秀明 山口大学工学部 正会員 宮本 文穂

1. はじめに

日本では、昭和 30 年から昭和 40 年代にかけて多くの橋梁が建設されてきた。これらの橋梁は建設後 30 年以上経過したものも多く、これらの橋梁の老朽化が問題になっている。そのため、橋梁に対する適切な維持管理が求められている。本研究では鋼橋の接合方法として最も多く用いられている高力ボルト摩擦接合継手を対象とした維持管理システムの開発を目的としている。高力ボルト摩擦接合継手の耐荷力評価を行うためには、経年的に緩んでいくボルト軸力を推定する必要がある。そこで、今回は高力ボルト摩擦接合継手耐久性評価システム開発の第 1 段階として、高力ボルト軸力低下推定システムの開発を行った。このシステムはニューラルネットワークを用いて高力ボルトの軸力低下曲線を推定するものである。

2. Maxwell モデル¹⁾

高力ボルトの軸力低下は、一般にネジが緩むといった現象と同じである。このような物理現象を応力緩和 (Stress Relaxation) と呼ぶ。応力緩和の表現に適したモデルとされるのが Maxwell モデルである。Maxwell モデルは、図-1 のようにスプリングと呼ばれる 100% 弾性部分とダッシュボッドと呼ばれる 100% 粘塑性部分を縦に並べた直列型粘弾性モデルである。ここで、図中の G はスプリングの弾性定数、 η はダッシュボッドの粘性係数を示している。

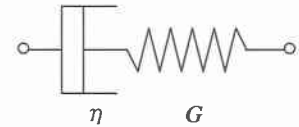


図-1 Maxwell モデル

Maxwell モデルを用いて、応力緩和を表わすと次式のようになる。

$$S = S_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

ここで、 S は時間 t における Maxwell モデルに加わる応力、 S_0 は初期応力、 τ は $\tau = \eta / G$ で表わされる緩和時間と呼ばれる値である。本研究では、この式 (1) の S を時間 t (年) におけるボルト軸力 N 、 S_0 を初期ボルト軸力 N_0 に置き換えて

$$N / N_0 = e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

という式で高力ボルト軸力低下曲線を仮定している。

3. 高力ボルト軸力低下推定システム²⁾

本研究で開発した高力ボルト軸力低下推定システムは、階層構造ニューラルネットワークを用いて高力ボルト軸力低下曲線を推定するシステムである。ニューラルネットワークに与える入力、試験部位、交通荷重、ボルト種別、錆、ボルト首下長さの 5 つである。この入力に対して、ニューラルネットワークは式 (2) における緩和時間 τ を推定する。ニューラルネットワークによって推定された緩和時間 τ と式 (2) より、システムは軸力低下曲線を導出する。本システムの一連の流れは図-2 に示したようになっている。

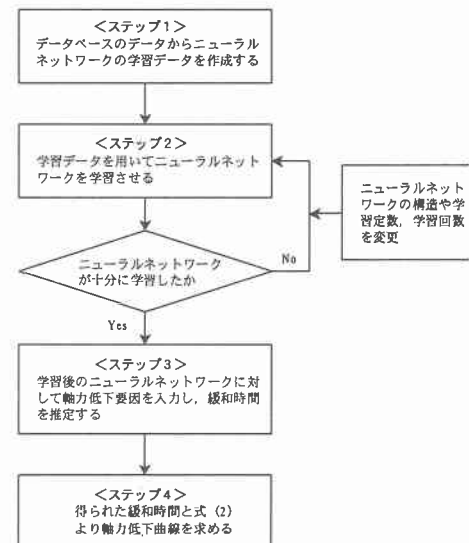


図-2 本システムの流れ

ここで、ニューラルネットワークの学習に用いたデータは、専門家の実橋調査により採取されたデータから作成した。学習データは全部で 26 組である。

4. 高力ボルト軸力低下推定システムの精度検証

実際にシステムを実行した結果を示す。このときのニューラルネットワークのニューロン数は入力層から5・8・4・1となっている。ニューラルネットワークに入力として与えるのは試験部位、交通荷重、ボルト種別、首下長さ、錆の5つであり、これに対してニューラルネットワークが出力するのは緩和時間である(図-3)。このニューラルネットワークを1000万回学習させ、緩和時間の実測値と推定値を比較し、その精度を検証した(図-4)。このグラフより、学習によってニューラルネットワークの推定値は、実測値とほぼ同じ値であることがわかる。

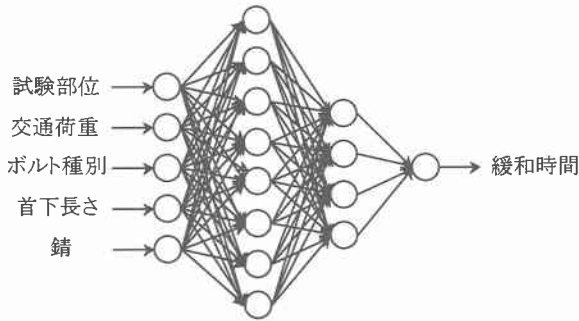


図-3 ニューラルネットワーク構造図

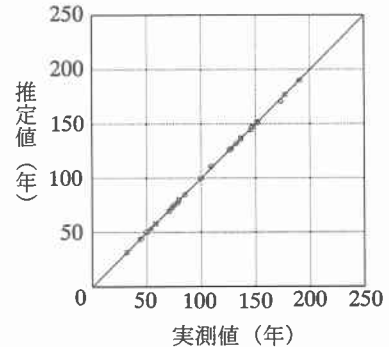


図-4 緩和時間の実測値と推定値の比較

5. 軸力低下曲線の推定

図-4の入力画面で入力を設定し、その入力からシステムが導出した軸力低下曲線は図-5のように表示される。ここで、ボルトの経過年数を指定すれば、その時点におけるボルト軸力の残存率を数値として表示することが可能である。

6. まとめ

本研究において得られた成果は次のとおりである。

- ①高力ボルト軸力低下推定システムの開発により、高力ボルト摩擦接合継手耐久性評価システムに必要な高力ボルト軸力の推定が可能になった。
- ②高力ボルトの軸力低下という物理現象を Maxwell

モデルで仮定し、ボルト軸力低下曲線という形でグラフ表示することで、軸力低下を視覚的に捉えることが可能となり、ユーザーにとって理解しやすい表現にすることができた。

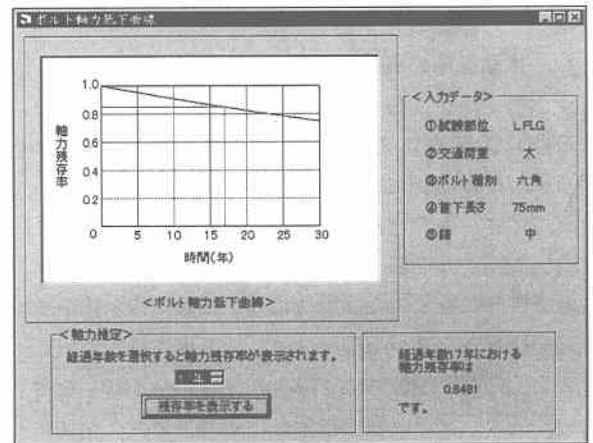


図-5 軸力低下曲線の例

参考文献

- 1) 村上謙吉：レオロジー基礎論，産業図書，1991.5.
- 2) 狩野正人，亀井正博，石原靖弘，小林剛，谷平勉：ニューラルネットワークを用いた高力ボルト軸力低下特性の要因分析，土木学会第54回年次学術講演会講演概要集，I-A194,1999.9.pp388-389