

CS-148

鋼橋の高力ボルトの軸力推定のための
実用ニューラルネットワークシステム

関西大学工学部	フェロー	三上 市藏
関西大学総合情報学部	正会員	田中 成典
修成建設コンサルタント	正会員	○樋渡 達也
三井造船	正会員	鹿野 顕一
三井造船		山浦 忠彰

1. まえがき 鋼橋の架設時の検査および維持管理において、継手に使用される高力ボルトの軸力を測定する必要がある。著者らは、三井造船で開発された自動ハンマを用い、高力ボルトを打撃して得られる反発力波形と加速度波形から、高力ボルトの軸力を推定するニューラルネットワークシステムを構築した^{1)~3)}。

本研究では、一連の研究結果^{1)~3)}を踏まえて、反発力波形のみを用いた実用的なシステムを構築する。次に、実橋にみられる主桁添接部と二次部材連結部を想定したモデルを用いて、高力ボルトの打撃実験を行う。このデータを用いて開発したシステムを検証する。

2. システムの構築 システムの構築のための学習データには、2160個の波形データ³⁾を再利用する。そこで、現場で加速度波形が安定して採取されない場合を考慮し、本研究では、反発力波形のみを用いる。

ネットワーク構造は、入力層（240ユニット）、第一中間層（148ユニット）、第二中間層（60ユニット）、出力層（1ユニット）の4層からなる階層型とした。入力層に反発力波形データを、出力層にボルト軸力(tf)を与えた。そして、学習パラメータを $(\varepsilon, \alpha, \beta) = (5, 0.5, 0)$ に設定し³⁾、バックプロパゲーション法により学習させ、システムを構築した。

3. 実験の計画と実施 実験模型6体とF10T(M22)の高力ボルトを用いて、システムの実用性を検証する。24種類の実験計画を表1に示す。模型1~5は、実橋の添接部を想定したものである。一例（模型4）を図1に示す。模型6（図2）は、二次部材連結部を想定したものである。

表1の実験計画に沿って24種類の実験を行った。各実験では、1本の高力ボルトを対象とした。24本の高力ボルトに11段階（2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22.6tf）の軸力を導入し、自動ハンマで10回ずつ打撃して波形データを採取した。

表1 実験計画

実験番号	実験模型	対象要素	ボルト列数		ボルト中心間隔(mm)		配列	板厚(mm)				ボルト 首下長さ(mm)	ボルト 余長(mm)
			鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向		ウェブ	フランジ	添接板	合計		
1	1	上キメントプレート	2	3	120	75	並列	9	――	9, 9	27	65	2
2	1	上キメントプレート	2	3	75	75	並列	9	――	9, 9	27	65	2
3	1	シャブプレート上側	5	2	100	75	並列	9	――	9, 9	27	65	2
4	1	シャブプレート上側	5	2	100	75	並列	9	――	9, 9	27	70	7
5	1	シャブプレート下側	5	2	75	75	並列	9	――	9, 9	27	65	2
6	1	上フランジ	――	――	50	55	千鳥	――	12	9, 9	30	70	4
7	1	下フランジ	2	4	80	75	並列	――	12	9, 9	30	75	9
8	1	下フランジ	2	4	80	75	並列	――	12	9, 9	30	70	4
9	2	上キメントプレート	2	4	120	75	並列	9	――	9, 9	27	65	2
10	2	上キメントプレート	3	3	120	75	並列	9	――	9, 9	27	65	2
11	2	シャブプレート上側	5	3	100	75	並列	9	――	9, 9	27	65	2
12	2	上フランジ	――	――	50	55	千鳥	――	17	9, 9	35	75	4
13	2	下フランジ	2	4	80	75	並列	――	17	9, 9	35	75	4
14	3	下キメントプレート	2	4	80	75	並列	12	――	9, 9	30	75	9
15	3	シャブプレート上側	5	2	100	75	並列	12	――	9, 9	30	75	9
16	3	上フランジ	――	――	50	55	千鳥	――	22	14, 14	50	90	4
17	3	下フランジ	2	4	80	75	並列	――	22	14, 14	50	90	4
18	4	シャブプレート上側	5	2	100	75	並列	12	――	12, 12	36	75	3
19	4	上フランジ	――	――	50	55	千鳥	――	26	12, 12	50	90	4
20	4	下フランジ	2	4	80	75	並列	――	26	12, 12	50	90	4
21	5	上フランジ	――	――	50	55	千鳥	――	30	25, 25	80	120	6
22	5	下フランジ	2	4	80	75	並列	――	40	35, 35	110	150	6
23	6	山形鋼	3	――	75	――	並列	――	15	15	30	70	6
24	6	山形鋼	3	――	75	――	並列	15	――	15	30	70	6

4. 実験結果 実験で得られたデータを用いて、システムを検証した。まず、実験1～22（添接部模型1～5）で得られた波形データを推定データとしてシステムに入力した結果を図3に示す。横軸に導入軸力、縦軸に推定軸力をとった。図中、導入軸力に対する推定軸力の平均二乗誤差と相関係数を併記した。破線は実験許容誤差で、推定値がこの範囲内であれば、システムの推定精度は実用上問題ないと判断できる。図から高力ボルトの軸力を測定する上で満足できる結果が得られていることが分かる。また、推定軸力の平均二乗誤差（1.647）や相関係数（0.981）の値から、精度良く軸力を推定できることが分かる。

次に、実験23、24（二次部材連結部模型6）で得られた波形データを推定データとしてシステムに入力した結果を図4に示す。この図から明らかなように、十分正確な推定軸力の値が得られた。

5. あとがき 本研究では、鋼橋の高力ボルトの軸力の大きさを推定できるシステムを構築した。実橋の主桁添接部を想定した実験模型から得られた波形データをこのシステムに入力した結果、かなり正確な推定軸力の値が得られ、システムの信頼性が確認できた。また、対傾構などの二次部材連結部を想定した模型についても高力ボルトの軸力を精度よく推定できた。したがって、本システムは、鋼橋全般に対して使用できることが検証された。

参考文献 1) 三上・鹿野・田中・神戸：ニューラルネットワークのパターン認識を応用した鋼橋添接部の高力ボルトの残存軸力推定システム，ファジィ土木応用シンポジウム講演論文集，日本ファジィ学会，Vol. 1, 1993. 11.
2) 三上・田中・山浦・山本・樋渡・宇高：ニューラルネットワークを用いた鋼橋添接部の高力ボルトの軸力推定システム，構造物の安全性および信頼性，日本学術会議，Vol. 3/86-A, 1995. 11.
3) 三上・田中・樋渡・八代：高力ボルトの締付け長さの情報を認識する軸力推定ニューラルネットワークシステム，土木学会関西支部年次学術講演概要，1996. 5.

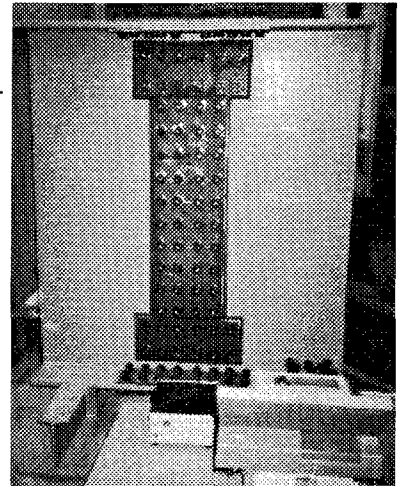


図1 実験模型4

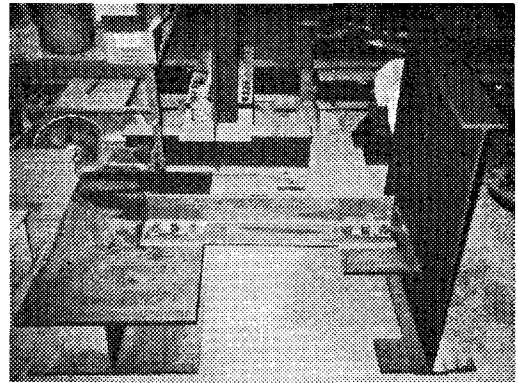


図2 実験模型6

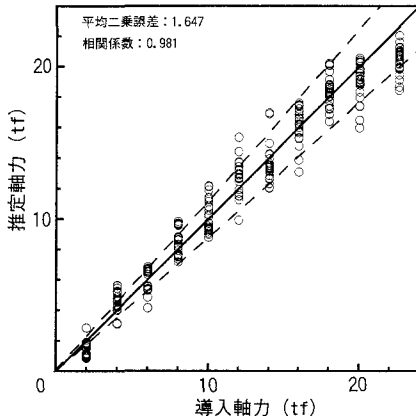


図3 推定結果（実験模型1～5）

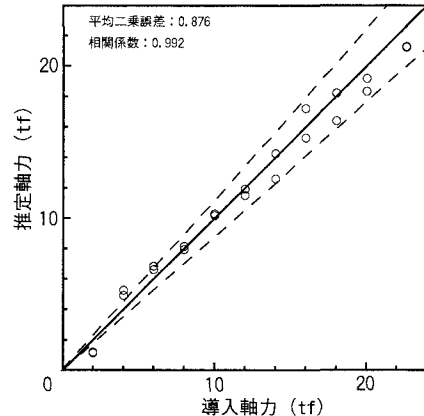


図4 推定結果（実験模型6）