

パターン認識を用いた高力ボルトの打音による軸力診断技術の研究

日本橋梁(株)

正会員

○小西日出幸

関西大学

正会員

広兼 道幸

日本橋梁(株)

非会員

鈴木 直人

関西大学

非会員

中田 弘一

1. 目的

わが国においては、高度経済成長期以降、大量の道路・鉄道構造物が建設されてきた。道路においては高度経済成長期に形成された橋梁は全橋梁の約 40%を占めるという。これらの鋼橋は建設後 40 年を超え、経年劣化が進んでおり、その対策が急務となっている。一方、これらの鋼橋の現場連結には高力ボルト摩擦接合が使用されている。その健全性の調査については通常、たたき点検で行われている。しかし、その診断は経験技術者であっても、検査員の主観に左右され、ばらつきが大きく客観性に乏しいと考えられる。そこで、筆者らは高力ボルトの軸力をコントロールした試験体を用いて、パターン認識手法により高力ボルトの軸力診断技術の基礎的研究を行ったので報告する

2. 試験方法

試験は、高力ボルトの振動特性、ハンマーによるたたき方の影響の差をみるための要素試験体と、桁のフランジの連結を模した小型試験体による試験を実施した。試験で使用した高力ボルトは、M22 (F10T) とし、首下長さは、標準的な 85mm と、長尺ものとして 100mm の 2 種類の試験体とした。

要素試験では、高力ボルト 1 本で締めつけた試験片を使用し、たたく箇所（ナットまたは頭）、たたく位置（辺または角）、たたき方（軽くまたは強く）を組み合わせた打音データを採取した。軸部をオープンにした試験体であるので、マイク位置も軸部に近づけた場合と試験体の外側の 2 種類のデータを採取した。また首下長さ 85mm について、軸力を設計軸力 100%から 80%程度、60%程度に低減した打音データを採取した。軸力はひずみゲージにて計測した。試験体とデータ採取状況を写真―1 に、採取データ種別を表―1 に示す。打音データは各 5 回ずつ採取した。

小型試験は、H 鋼 (H-350×350×12×19×500) の上フランジに切り込みを入れ、高力ボルト片側 8 本使用した添接を再現した。添接板の厚さを変えて、首下長さ 85mm の試験体 A、100mm の試験体 B、試験体 A に無機ジンクリッチペイントを塗装した試験体 C の 3 種類を使用した。たたき方は要素試験の結果を踏まえて、ナットの辺を軽くたたく方法でボルト軸力を設計軸力の 100%から 80%、60%、40%程度と低減した打音データを各 10 個採取した。軸力はひずみゲージにて計測した。小型試験体での試験状況を写真―2 に示す。

表―1 要素試験におけるたたき方種別					
首下長さ	軸力	たたく箇所	たたく位置	たたき方	マイク位置
100	100%	ナット	角	軽く	内
			辺	強く	
		頭	角	軽く	
			辺	軽く	
		ナット	角	軽く	外
			辺	軽く	
		頭	角	軽く	
			辺	軽く	
85	100%	ナット	角	軽く	内
			辺	軽く	
		頭	角	軽く	
			辺	強く	
	80%	ナット	角	インパルスハンマ	
			辺	軽く	
		頭	角	軽く	
			角	軽く	
	60%	ナット	辺	軽く	
			角	軽く	
		頭	角	軽く	
			角	軽く	



写真―1 要素試験の状況



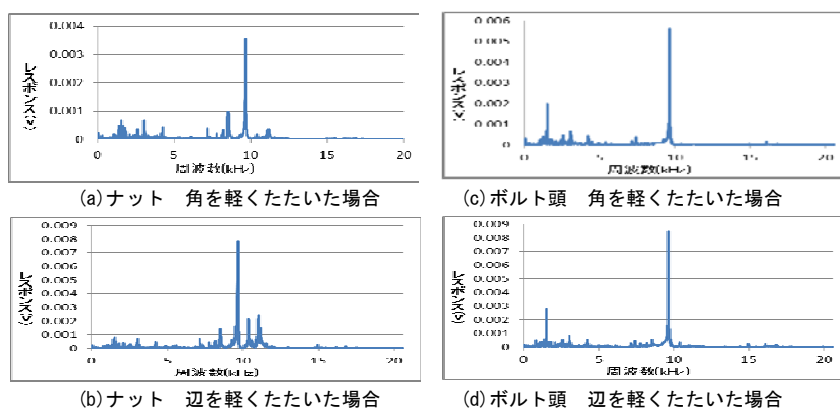
写真―2 小型試験の状況

キーワード 高力ボルト，たたき点検，打音診断，パターン認識

連絡先 〒675-0164 兵庫県加古郡播磨町東新島 3 日本橋梁(株) TEL 078-941-3750

3. 要素試験による打音データ採取方法の検討

打音波形デジタル情報を高速フーリエ変換したデータから、ハールウェーブレット変換によるノイズ除去処理を行った周波数—レスポンスグラフにより評価を行った。たたく強さでは差異はなかった。たたく箇所と位置の差の比較を図—1に示す。ピークがボルト固有の振動と考えられ、この周辺のレスポンスが高く、大きく離れた低次の雑音と考えられる領域のレスポンスが低いナットの辺をたたく方法が診断に有利と考え、小型試験体ではこのたたき方を用いた。



図—1 たたき方と周波数特性の比較

4. 打音データによる診断手法の検討

診断方法の検討は、各グループの最初の6割のデータを学習用データ、残り4割のデータをテスト用データとし、パターン認識手法により軸力診断を行った。パターン認識で使用する特徴量としては、レスポンスの高い(ピーク)上位5個の周波数と最大ピーク時のレスポンスを除く4個のレスポンス値の9個の特徴量データとした。識別手法としては、ニューラルネットワーク、サポートベクターマシン、決定木およびランダムフォレストの4手法を比較した。要素試験では軸力100%、80%、60%の3段階での分類認識で評価した。識別率はどの手法においてもほぼ90%の識別結果となった。表—2にランダムフォレストによる識別結果を示す。小型試験では軸力100%、80%、60%、40%の4段階での分類認識で評価した。採取全データについての各パターン認識での平均識別率は、表—3のようになった。ランダムフォレストによる識別率が明らかに高い結果となった。塗装しない首下長さ85mmのランダムフォレストによる識別結果を表—4に示す。軸力40%は100%識別できている。軸力80%は、識別結果が100%、60%に分かれ、識別率が低くなっていることがわかる。

表—2 要素試験におけるランダムフォレストによるパターン認識結果

		実際の軸力		
		軸力100%	軸力80%	軸力60%
識別結果	軸力100%	28	1	1
	軸力80%	0	3	1
	軸力60%	0	0	2
識別率		91.7%		

表—3 全データに対するパターン認識手法の識別率の比較

パターン認識手法	識別率
ニューラルネットワーク	56.3%
サポートベクターマシン	59.4%
決定木	53.8%
ランダムフォレスト	70.6%

表—4 ランダムフォレストによる試験体Aのパターン認識結果

		実際の軸力			
		軸力100%	軸力80%	軸力60%	軸力40%
識別結果	軸力100%	10	2	0	0
	軸力80%	5	7	2	0
	軸力60%	0	7	13	0
	軸力40%	1	0	1	16
識別率		63%	44%	81%	100%

たたき点検のたたき方については、従来から用いられているナットの辺をたたく方法が認識上有利であることが、周波数解析でも確認できた。筆者らは、データ採取時に耳での打音確認も行ったが、軸力40%の場合でも聞き分けることは全く不可能であった。パターン認識では、ランダムフォレスト法が比較的高い軸力識別率結果となった。

今後、実用に向けては、識別率の向上させるための、周波数の減衰率など特徴量の検討を行う。また、今回は打音1個1個を識別対象としたが、複数のテスト用データをグループとして識別することによる識別率を検討する。ジンクリッチ塗装した試験体では周波数特性が異なってくることから、塗装した試験体による識別方法などを検討する必要がある。