

(5) 超音波によるボルト軸力の測定

1) はじめに

鋼橋では、高力ボルトの軸力を管理することは維持管理の観点から重要であり、従来から種々の検討がなされている。文献¹⁾では、軸力測定法として①点検ハンマーによるたたき点検法、②磁気軸力計による測定法、③超音波軸力計による測定法、④電気抵抗線ひずみゲージを用いた測定法、⑤戻しトルク法について調査・検討を行い、通常点検には①の方法が、軸力の確認には④の方法が実用的であると説明している。

現在では、①の方法と並行して機械的な測定方法である⑥トルク（コントロール）法や⑦ナット回転角法が多方面で使用されているが、種々の要因でトルク係数がばらつき、正確な軸力を測定できない場合がある。特に、維持管理において、ボルトが回転し始める時点のトルクから軸力を推定することを試みても、多くの場合、トルク係数のばらつきから測定結果の信頼性は低い。

舟山ら²⁾は、④の方法を改良して、ゆるみの発生を検出して外部に表示する、ゆるみ検出機能付ボルト（センサーボルト）を開発し、種々の性能評価試験を実施して、その実用化への第一歩を踏み出している。長期のモニタリングが可能であることから連結部等の代表的な箇所にセンサーボルトを取り付け、軸力の経時変化、特にゆるみを追跡調査する上では有効なツールであると考えられるが、鋼橋のように膨大な本数の高力ボルトの軸力を対象とする場合にはその適用が困難である。

三上ら³⁾は、自動ハンマーを用いた高力ボルト自動緩み検知機によって得られた波形データをもとに、ニューラルネットワークが持つパターン認識機能を利用して、高力ボルトの残存軸力または導入軸力の大きさを推定するシステムを構築した。同軸力推定システムの誤差は±5%程度であり、従来の方法と比較して高精度である。しかしながら、実用化・汎用化については、今後の課題であり、その対応が待たれるところである。

一方、超音波によりボルト軸力を測定する方法も幾つか試みられているが、実用化されている方法は、高力ボルトの軸方向の超音波の伝搬時間の変化から軸力を算定するものである。この方法では、ボルトの端面を精密に仕上げ、精密な音速測定を行うなど、初期値を必要とし、装置も比較的大型となり、現場での測定は困難となる⁴⁾。

このような問題点を解決したのが、次項の超音波を用いた新しい測定方法であり⁴⁾、その原理や実際の構造物への適用結果等について以下に述べる。

2) 測定原理

超音波を用いた従来のボルト軸力の測定方法は、図-5). 1 に示すようにボルトの軸方向の音速の変化及び伝搬時間の変化を測定するものである。この変化は非常に小さいため、ボルトの両端で高い精度の仕上げと、精密な音速測定を必要とし、さらに軸力が0となる初期値も必要で、現場での測定は困難であった。超音波による新しい測定方法は、図-5). 2 に示すようにナット対面での超音波の透過パルスの大きさからボルト軸力を評価する方法である。

この方法では、超音波の経路はボルト軸力が十分な場合（図-5). 3(a)参照）、ナットとボルトのネジ山を通してナット → ボルトと伝搬するが、軸力が低下すると、ナット対面の最短距離での超音波の送受は減少し、軸力が0になると（図-5). 3(b)参照）、ナット部で超音波が反射や回折で伝搬するだけである。

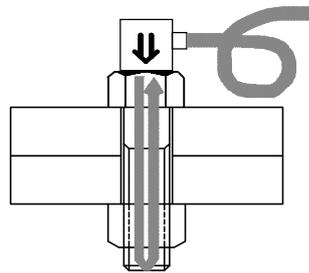


図-5). 1 従来の測定方法

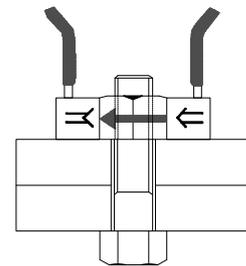


図-5). 2 新しい測定方法

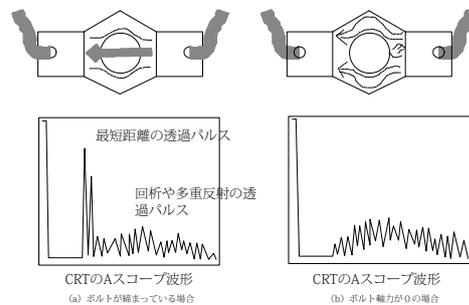


図-5). 3 測定原理

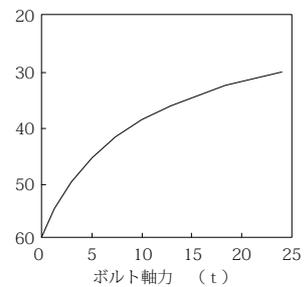


図-5). 4 ボルト軸力と透過パルスの関係

そこで、測定しようとするボルトと同形状・同寸法のボルト・ナットで軸力と、ナット対面の最短距離における超音波の透過パルスの大きさの関係（図-5). 4）を予め求めておけば、初期値なしでボルトの軸力を推定することができる。

3) 計測システムの構成とその特徴

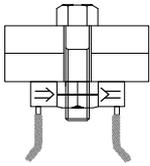
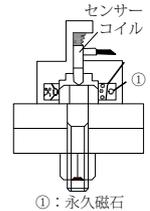
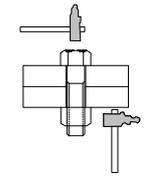
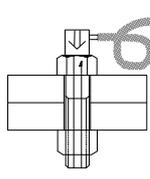
計測システム（超音波ボルト軸力計）の構成を写真-5). 1 に示す。本体が CPU を内蔵することによって、試験片による感度校正のためのゲイン調整や透過パルスからの軸力換算が自動的になされ、各データが記憶・出力される。専用探触子（センサー）は、ボルトの大きさ毎に製作され、M24 対応のものでは、先端部φ61 mm、ハンドリング部81 mm、長さ10 mm、重さ約1.7 kgである。

使用周波数は5MHzであり、400件のデータを記憶することができる。本体はバッテリーを内蔵し、サイズが90 mm×160 mm×27 mmで重さが約3 kgと小型・軽量であるので、可搬性に富む。超音波ボルト軸力計の特徴を表-5). 1 に示す。ここで、比較のためにハンマーによるたたきの点検法、従来の超音波法、1) 項では触れなかったが、有力な方法の一つと考えられる複合法（電磁波+超音波）も併記する。



写真-5). 1 超音波ボルト軸力計の構成

表-5). 1 超音波ボルト軸力計の特徴と他の方法との比較

方法	原 理	特徴・利点	欠 点
超 音 波 軸 力 計	 <p>ナットの表面に超音波センサーを取り付け、対抗するナット表面に受信センサーを取り付けて超音波の透過量を想定する。 軸力が大きくなると、ナット対向面の超音波の透過量も増え、小さいと、透過量も少なくなる。</p>	1)ボルトの原寸法の数値不要 2)ボルト両端の仕上げ・初期値設定不要 3)速い検査速度(30秒/箇所) 4)軽量・小型で作業性良好 5)塗装・多少の錆→測定可能 6)軸力直読可能・データ記録 7)パソコンへのデータ転送可 <測定精度：軸力±15%>	1)ナット側からのみ検査可能 2)著しい錆・ごみ・砂等除去 3)ボルト軸力と超音波透過量の校正曲線必要
複 合 法	 <p>①：永久磁石</p> <p>センサー部の永久磁石とコイルによってボルト部に励起された渦電流に軸力線の相互作用でボルトに振動が発生する。渦電流発生機の発信機でこの振動を10KHz～35KHzに変動させ、ボルトの共振周波数を求める。軸力と共振周波数が比例関係にあることから評価する。</p>	1) 塗装・多少の錆→測定可能 2)ボルト原寸法の数値不要 3)ボルトの両端の仕上げ不要 4)データ記録	測定精度 ↓ 1)軸力10t未満 or 以上の判別 2)軸力10t以上では共振周波数の変化微小 3)塗装条件により除去不要 4)ボルトを挟む鋼板の板厚の影響大 5)装置比較的大→AC電源不要
た た き 点 検 法	 <p>点検ハンマーでボルト・ナットを叩き、音響の差で検出する。</p>	1)簡便・最も早い検査方法	1)信頼性→問題 2)データ記録不可 3)軸力数t以下のみ判別 ↑ 測定精度
超 音 波 法	 <p>軸力導入によりボルトの軸力方向変化量(軸方向の長さの変化、縦波と横波の音速比の変化等)を超音波で捉える。</p>	1)ボルト頭・底部からの検査可能 2)亀裂の検出可能	1)ボルト原寸法(初期値)必要 2)ボルト頭・底部仕上げ必要 3)ボルト材質・温度の影響大 4)検査速度→遅い <測定速度> 1)不明→なし 2)未実施→なし

・参考文献、引用文献

- 1) 西村、加藤、神田、山崎、米谷：既設高力ボルトの各種非破壊検査の特質、橋梁と基礎、Vol.17、No.11、昭和58年
- 2) 舟山、池田、西島：ゆるみ検出機能付ボルトの開発、共和技報、No.493、平成11年
- 3) 三上、田中、樋渡、山浦：鋼橋の高力ボルトの軸力推定システム、土木学会論文集、No.549/I-37、平成8年
- 4) 池ヶ谷靖：超音波によるボルト軸力計、検査技術、Vol.3、No.1、平成10年

(6) 碁盤目・クロスカットテープ付着試験

現場で塗膜の付着性能を診断する手法として、トルク付着試験法や引張付着試験法があるが、一般に粘着テープとカッターナイフで簡単に塗膜の付着性能を評価できる碁盤目・クロスカットテープ付着試験が広く利用されている。

碁盤目状もしくはクロスカットに素地に達する傷をいれた塗膜を、セロハンテープの粘着力を用いて強制剥離することにより、塗膜の素地への付着性および塗膜の層間付着性を評価する。

使用器具および材料

- ① カッターナイフ (JIS K 5400 塗料一般試験方法)
- ② セロハン粘着テープ [24 mm] (JIS Z 1522)
- ③ 切り込み用ガイド (JIS K 5400 8.5.1) (2 mmと 5 mm間隔)

測定方法

- ① 切り込み用ガイドを用いて素地に達する切り込みを縦横おのおの 6 本 (2 mm間隔) 又は 4 本 (5 mm間隔) ずつ入れる。
- ② 切り込み部にセロハンテープを貼り丸みのある棒などでこすり、テープを十分に貼り付ける。
- ③ テープの一端を図-6). 1 に示すように、90° 程度の角度で勢いよく引きはがす。
- ④ ②→③の操作を再度繰り返し評価基準と照合する。
- ⑤ 碁盤目カットに不都合が生じる場合は、60° クロスカットを行う。カットの要領及びテープの貼り付け、引き剥がしは碁盤目と同じように行う。

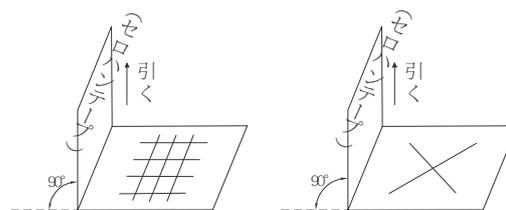


図-6). 1 テープ付着試験¹⁾

基盤目の幅は、塗膜厚、塗膜の劣化度、および第1層目の塗料に対応して2又は5mm間隔の選択をする。

評価基準¹⁾は図-6). 2に示す剥離状態と評価基準、評価点に従う。

この試験法によって得たデータは、塗膜の付着性(劣化度)を判定する上に大変重要な情報をもたらす場合が多いので、測定結果の記録には詳細にわたって剥離の状態を記載することが望ましい。

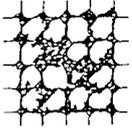
剥離状態				剥離 50%以上
評価点 (RN)	3	2	1	0

図-6). 2 (1) 基盤目試験評価点¹⁾

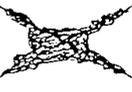
剥離状態				評価点 1以上の 剥離
評価点 (RN)	3	2	1	0

図-6). 2 (2) クロスカット試験評価点¹⁾

・参考文献

1) (社)日本鋼構造協会「鋼橋塗膜調査マニュアル JSS IV - 03」1993年