

超音波ボルト軸力計による高力ボルト軸力測定

名城大学 吉川瑛人
名城大学 正会員 渡辺孝一

1. はじめに

一般に、高力ボルトの締付けは様々な安全率が考慮された施工方法によって管理されるため、締付け後の導入軸力を測定して確認する作業は行われない。多くの橋梁の架設現場では予め、導入軸力を校正する手法として、ボルト軸力計による軸力測定が一般的である。ボルトの軸力測定に着目した場合には、最も基本的な手法としてひずみゲージによる測定などがあり、他に電磁式軸力計による測定、測定磁気軸力計による測定などの測定機器も開発されている。これらは、それぞれに利点欠点を有しており、どのような条件でも確実に軸力を測定可能な手法は現在のところ見当たらない¹⁾。

今回、ボルト軸力を正確に測定する手法として、超音波を用いたボルト軸力の測定を行った。ここでは、その測定精度と測定許容誤差について報告する。

2. 超音波による軸力測定の概要

超音波ボルト軸力計による測定では、(1)ボルト頭部、軸先端部からの計測が可能である、(2)軸力計測以外にきずの検出が可能である、という利点を有するが、(3)ボルトの原寸法が既知でないと精度が低い、(4)ボルト頭部、軸先端の高精度な仕上げが必要である、(5)材質、温度の影響が大きい、という欠点がある。

本研究で使用した装置 BORT MAXII(図-1)の特徴を以下に示す。

- ・測定範囲：5mm 以上(径) 12mm～2440mm(長)
- ・表示分解能：0.01kN(軸力) 0.0001mm(長)
- ・温度センサー(音速自動補正機能)
- ・測定データ：8,000 件



図-1 超音波ボルト軸力計

3. 超音波ボルト軸力計の測定原理

締結により生じるボルトの伸びと軸力との間には図-2 に示すように、非常に高い相関関係がある。超音波ボルト軸力計はこの関係を利用して、締結前後のボルト長さを超音波で測定する。測定概念は図-3 に示すように、トランスデューサー(探触子)から超音波のパルスをボルトの軸方向に入射し、他端面からの反射パルスを再びトランスデューサーで検出する。したがって、超音波を用いたボルト軸力の測定では、ボルト端面からボルトの軸方向に超音波を入射し、

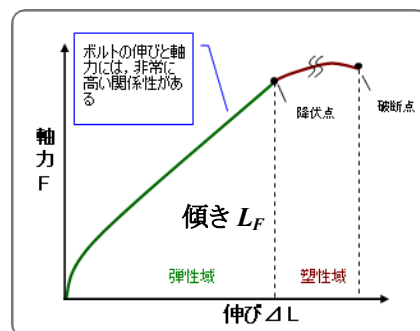


図-2 軸力と伸びの相関関係

他端面からの反射波を検出する必要があるため、精度よく測定するには、被検体ボルトが以下の条件を満足する必要がある。

- ・ボルトの両端面が平坦で超音波の入射を妨げる凹凸が無い
- ・ボルト両端面は平行である
- ・ボルトに曲がりなど発生していない

このような条件を満足している前提で、ボルトの端面にあてたその長さの差(伸び ΔL)からフックの法則を用い、負荷された軸力を以下式(1)、(2)より算出することができる。

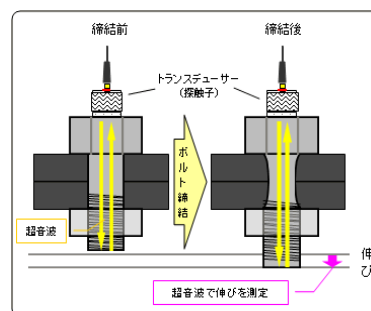


図-3 伸びの測定原理

$$\text{軸力(N)} = L_F \times \angle L \quad (1)$$

$$L_F = \frac{A_\sigma \times E}{E_L} \times 10^{-3} \quad (2)$$

ここに、 $\angle L$: ボルトの伸び長, L_F : ロードファクター, A : ボルト断面積, E : ヤング率, E_L : 有効長

式(1), (2)について, ボルトの断面積と有効長(締付け長さ)は既知であるが, ボルトのヤング率が不明確な場合は, 計算誤差が発生することになる.

4. 実験方法

実験は, アムスラー試験装置に, ボルト軸力を検定するための治具を使用した. 引張り前の有効長を超音波軸力計にて測定した後, 図4に示すように, ボルトに引張り荷重を与えながら適時ボルトの伸びを超音波軸力計により測定した. 実験に使用した高力ボルトは, 呼び径 M20, 強度等級 F10T であり, 測定精度を高めるためボルト両端面はフライス盤を用いて平坦に加工し, 予め, 曲がりや傷がないことを確認している. この引張実験結果を基に荷重と超音波軸力計で測定した伸びの関係を検証した.

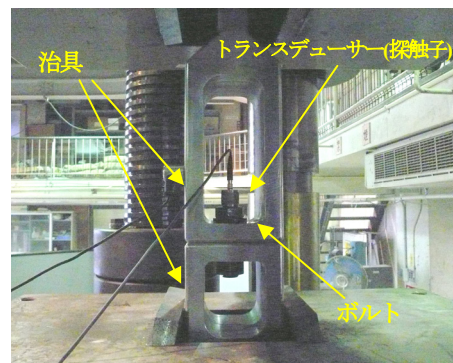


図4 ボルト軸力の校正状況

なお, 温度による誤差は, 超音波軸力計に装備された温度センサーにより温度を常時測定し, 自動的に補正される.

5. 結果

実験で得た荷重と伸びの関係を図5に示す. 縦軸にアムスラー試験機から得られた荷重, 横軸に超音波軸力計で得られた伸びとして, グラフにプロットし, 近似直線を求めた. その直線の傾きが上述(1)式の L_F となる. 図5に示すように伸びと荷重が一次直線のグラフとなり, 理論どおり比例関係になることが確認された. また, その一次直線の傾きから算出される L_F は 931.44 となった. これらの値を上述(2)式に代入し, ヤング率を算出すると, 206.56GPa となった(ボルト断面積 245, 有効長 54.333mm). これは AISI 規格の鋼材の基準値 206.6GPa とほぼ一致することを確認した.

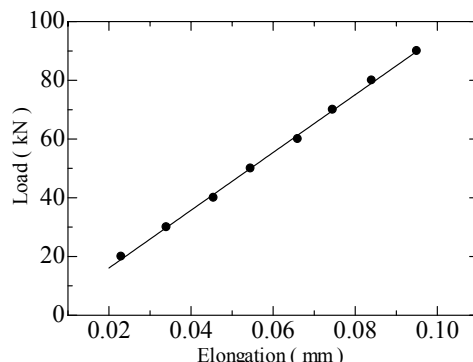


図5 荷重と伸びの相関関係(実験値)

また, 今回使用した超音波軸力計の分解能力は軸力 0.01kN であるので, 通常使用する高力ボルトの軸力は, 有効数字 3 桁とされているため, 実用上支障ないことになる. しかし, ボルトのヤング率による計算誤差が直接影響することに留意する必要があるが, 例えば, 同一諸元のボルトのヤング率を 200GPa として軸力を計算しても, 計算上の推定誤差は 3%程度である.

6. おわりに

本研究での検証の結果, 超音波による力の測定は欠点を補えば高精度で測定を行えることが確認された. ただし, 音波軸力計による軸力測定はボルトの有効長が既値であれば容易に測定できることがわかったが, トランスデューサーをボルト頭部中央に設置することが前提であり, 少しのずれが測定値に影響を及ぼす. しかしこれは人的な誤差であるため, ある程度の経験が必要とされる. 今後は多種多様なボルト軸力の校正を行った上で, ボルトヤング率を定量的にとらえ, ボルト軸力に関する研究に応用したいと考えている.

参考文献

- 1) 土木学会 鋼構造委員会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)