

高力ボルトの弾性係数について

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。ボルト軸力は、ボルト断面積と弾性係数、ひずみ量を用いて算出することができるが、ボルトの弾性係数に着目した場合には、一般的な鋼材の基準値を用いることが多い。ボルト自体の弾性係数を測定する手法としては、ひずみゲージを張ったボルトに引張荷重を与え、得られた値からフックの法則によって算出することができる。本研究ではひずみゲージに替わる簡便な手法として超音波ボルト軸力計を用いて、ボルト弾性係数を検証した。ここでは、その検証結果について報告する。

2. 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-1 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(伝播時間)を超音波で測定し、その差から伸びを算出する装置である。測定方法としては図-2 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ことによりボルトの伸びを算定する。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、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下、負荷されたボルトの軸力は終結前後の長さの差(伸び ΔL)からフックの法則を用い、以下の式(1), (2)より算出することができる。

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

$$L_F = \frac{A_0 \times E}{E_L} \times 10^{-3} \quad (2)$$

ここに、 ΔL : 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 : 弾性係数、 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、ボルトの弾性係数が不明確な場合は、計算誤差が発生することになる。

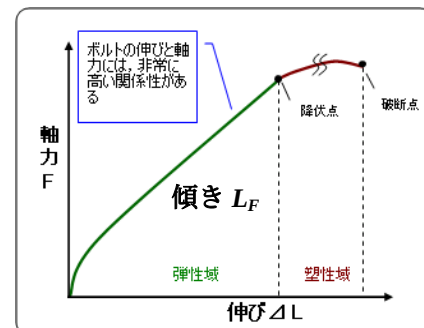


図-1 軸力と伸びの相関関係

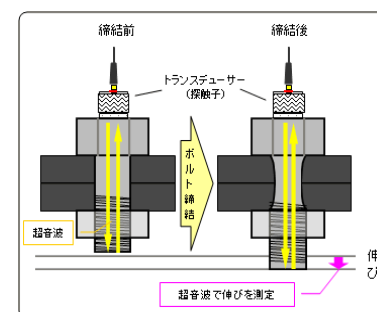


図-2 伸びの測定原理

キーワード 高力ボルト, 弾性係数, 超音波ボルト軸力計, 軸力測定

連絡先 〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口1-501 名城大学 理工学部建設システム工学科 TEL052-832-1151

3. 超音波によるボルト軸力測定の概要

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)軸力測定以外に傷の検出が可能である、という利点を有するが、一方で 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-3)の特徴を以下に示す。

- ・測定範囲：5mm 以上(ボルト径) 12mm～2440mm(ボルト全長)
- ・表示分解能：0.01kN(軸力) 0.0001mm(ボルト伸長)
- ・温度センサー(音速自動補正機能により、常時自動で温度補正される)



図-3 超音波ボルト軸力計

4. 検証方法

検証に使用した高力ボルトは、呼び径 M20、強度等級 F10T であり、超音波ボルト軸力計の欠点を補い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。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。

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。まず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。この引張実験結果から得た荷重と超音波軸力計で測定した伸びの関係から高力ボルトの弾性係数について検証した。

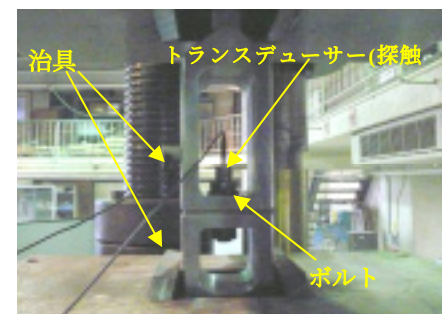


図-4 ボルト軸力の校正状況

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、弾性係数を算出すると、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。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。

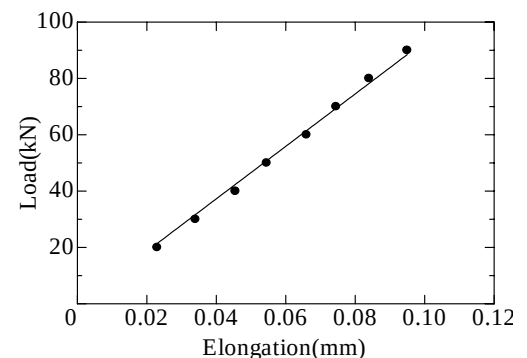


図-5 荷重と伸びの相関関係(実験値)

6. おわりに

本研究での検証の結果、高力ボルトの軸力測定に用いる弾性係数は一般的な鋼材の基準値を使用してもほぼ誤差なく算出できることが確認された。ボルトの弾性係数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弾性係数を 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。また、超音波による軸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。したがって、ボルトの有効長が既値であれば容易に高力ボルトの軸力が測定できることがわかった。今後は多種多様なボルト軸力の校正を行った上で、ボルト弾性係数を定量的にとらえ、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)