

京都大学大学院 学生員○上野幹二 京都大学大学院 フェロー 小林昭一
大阪市立大学 正 員 山口隆司

1. はじめに

本研究で対象とした高力ボルトは、橋梁等の現場接合部において用いられ、設計時に期待されただけの軸力がボルトに正しく導入されているか否かは、橋梁等の構造物の維持・管理の面から非常に重要となる。

本研究では、応力の変化に伴って伝播速度が変化するという超音波の音弾性効果を利用して、高力ボルトに導入されている軸力を、ボルトが締め付けられた状態のままで、精度良く測定することを試みた。なお、ボルトの軸力測定を行うに当たって、必要となるボルト長さや断面積については、すべて公称値を用いた。

2. 音弾性法則

高力ボルトの軸部をその幾何学的形状から一元応力状態にあると見なし、次式に示す一元応力状態での音弾性法則を用いて、ボルトの軸力測定を試みた。

$$\frac{\Delta V}{V_0} = K\sigma \quad (1)$$

ここで、 K は音弾性定数、 σ は応力、 V_0 は無応力時の超音波伝播速度、 V は応力を受けた時の超音波伝播速度、 ΔV は超音波伝播速度の差($\Delta V = V - V_0$)である。式(1)より、超音波伝播速度の変化を計測できれば、ボルト軸力の推定が可能であることがわかる。ただし、音弾性定数 K は、材料固有のものであり、あらかじめ载荷実験などにより調べておかなければならない。そこで、本研究では、橋梁の現場接合部で一般的によく用いられている高力ボルト (M22(F10T)) を対象に引張载荷実験を行い、荷重変化に伴う超音波伝播時間をシングアラウンド計測器¹⁾を用いて高精度に計測し、高力ボルトの音弾性定数を求めた。

3. 超音波の応力伝播特性を調べる基礎実験

図1に示す実験システムを用いて、高力ボルトに対し引張载荷実験を行った。供試体の諸元を表1に、ひずみゲージおよびトランスデューサー設置位置を図2に示す。超音波送・受信用のトランスデューサーは、縦波用 5Z5ND-S (トキメック社製(5MHz))、横波用 S2Z8×4S (富士セラミックス社製(2MHz))を用いた。求められた超音波縦波および横波の音弾性定数をそれぞれ図3、図4に示す。縦波の音弾性定数については、既に行った実験²⁾から得られた音弾性定数 $1.134 \times 10^{-5}(\text{MPa})^{-1}$ と非常に良く一致している。これらの結果から、縦波および横波の音弾性定数をそれぞれ $1.134 \times 10^{-5}(\text{MPa})^{-1}$ 、 $2.493 \times 10^{-6}(\text{MPa})^{-1}$ と決定した。

また、式(1)を用いてボルトの軸力測定を行うには、

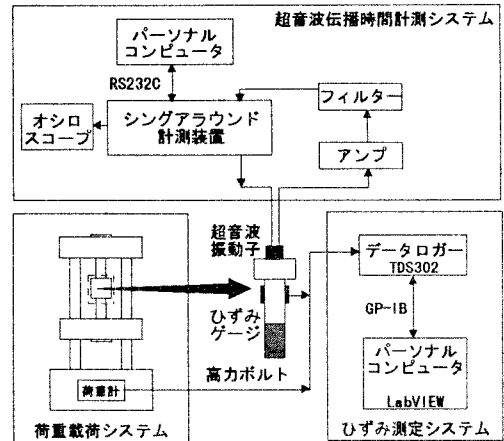


図1 実験システム図

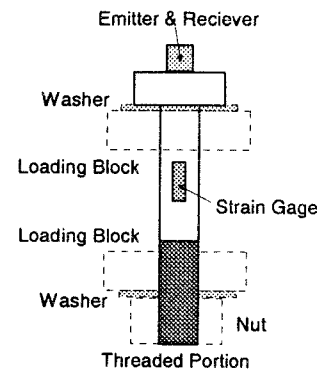


図2 トランスデューサーおよびひずみゲージ設置位置

表1 供試体の諸元

供試体名	ボルトヘッド	首下長さ	全長
A	13.905	100.225	114.130
B	13.910	100.265	114.175
C	13.895	100.225	114.120
D	13.870	100.085	113.955
E	14.100	110.250	124.350
F	14.200	110.700	124.900

単位:(mm)

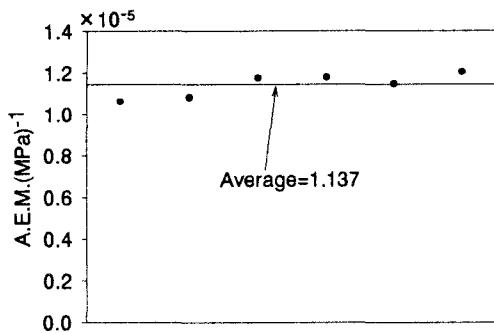


図3 縦波の音弾性定数

無応力時の超音波伝播速度 V_0 を知る必要がある。そこで、キャリブレーション実験を行い、無応力状態でのボルト内における超音波縦波の伝播速度を 5919(m/s)、超音波横波の伝播速度を 3245(m/s)と決定した。

4. 超音波を利用した高力ボルト軸力評価

超音波縦波のみを用いてボルト軸力の評価を行った結果を図7に示す。横軸は載荷実験での実際の応力、縦軸は評価した応力を示す。軸力の測定誤差は、実際の導入応力(約 700(MPa))の 30(%)の範囲内で、現状の軸力管理精度と比べれば問題ないと思われるが、縦波だけでボルト軸力を評価する場合、ボルトの初期長さに大きく影響される。文献 2)の初期長さの計測結果では、最大 0.6(mm)の差が確認されており、これは、応力に換算すれば約 300(MPa)の差に相当する。

次に、正確なボルトの初期長さが不明でも軸力評価がより精度良く行える方法として、超音波縦波および横波両方を用いる評価法を試みた。得られた結果を図5、図6に示す。図5では、縦波のみで軸力評価した結果より、真値との誤差が小さくなる結果が得られたが、図6では、縦波のみで軸力評価した結果より誤差が大きくなった。これは、横波の測定精度が悪いため、横波の情報を加えることによって誤差が大きくなったと考えられる。

5. あとがき

本研究で行った軸力評価法は、高力ボルトの軸力管理に適用可能であると考えられる。ただし、さらに精度良い評価を可能とするためには、受信波の分解能を向上させると同時に、受信波をはっきり区別できる矩形波のようなパルス波をボルトに入射する必要がある。

参考文献

- 1) 福岡秀和：音弾性の基礎と応用，オーム社，1993.
- 2) 上野幹二，小林昭一，山口隆司，畑中清：超音波を用いた高力ボルト軸力測定に関する基礎的研究，土木学会関西支部年次学術講演概要集，I-43-2，1997.5.

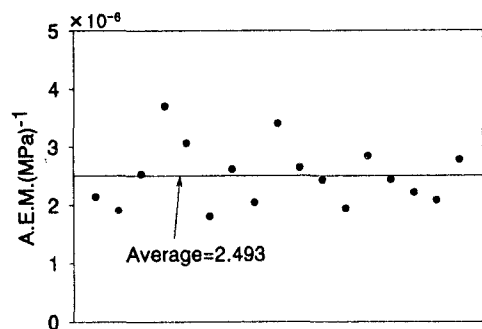


図4 横波の音弾性定数

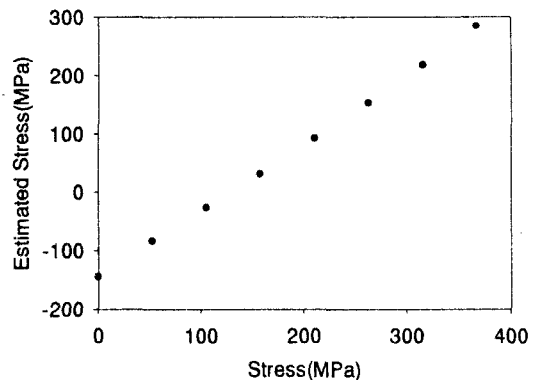


図5 軸力評価結果（縦波のみ）

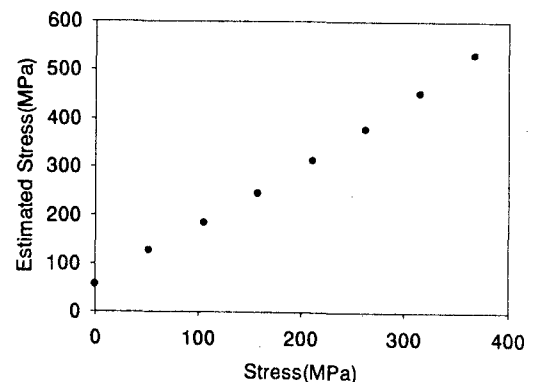


図6 軸力評価結果（縦波と横波）

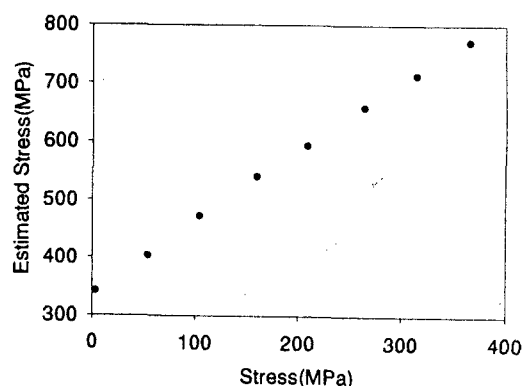


図7 軸力評価結果（縦波と横波）