

第Ⅰ部門

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

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
京都大学大学院 正 員 山口隆司 日鐵ボルテン(株) 正 員 畑中 清

1. はじめに

高力ボルトは橋梁等の接合部において用いられ、設計時のボルト軸力が正しく導入されているか否かが、維持・管理の面から重要である。本研究では、首下長さの異なる高力ボルト(M22(F10T))に対して引張試験を行い、荷重変化に伴う超音波(縦波)の伝播時間をシングア라운드装置を用いて計測した。そして、これらの結果をもとに伝播速度の変化から軸力の推定を試みた。

2. 実験の概要

図1に示すような実験システムを用いて引張試験を行った。供試体の一覧を表1に、ひずみゲージ貼り付け位置及び超音波トランスデューサーの設置位置を図2に示す。ボルトの表面荒さの超音波伝播速度への影響を調べるために、ボルトヘッド部に刻印の有無のものを供試体として設定している。載荷する最大荷重は高力ボルトの標準導入軸力に基づいて250(kN)とした。荷重変化に伴う超音波(縦波)伝播時間の変化は高精度で測定する必要があるため、シングア라운드装置を用いて計測した。

表-1 供試体の一覧

供試体名	刻印の有無	ボルトヘッド	首下長さ	全長	余長
M22-L110-1	無	14.100	110.700	124.800	6.000
M22-L110-2	無	14.275	110.275	124.550	6.000
M22-L110-3	無	14.150	110.325	124.475	6.000
M22-L110-5	有	14.300	110.625	124.925	6.000
M22-L130-1	無	14.150	129.950	144.100	6.000
M22-L130-2	無	14.250	130.350	144.600	6.000
M22-L130-3	無	14.150	130.325	144.475	6.000
M22-L130-4	有	14.250	130.350	144.600	6.000
M22-L150-1	無	14.500	151.300	165.800	6.000
M22-L150-2	無	14.325	151.200	165.525	6.000
M22-L150-3	無	14.425	151.250	165.675	6.000
M22-L150-4	有	14.275	150.625	164.900	6.000

単位:(mm)

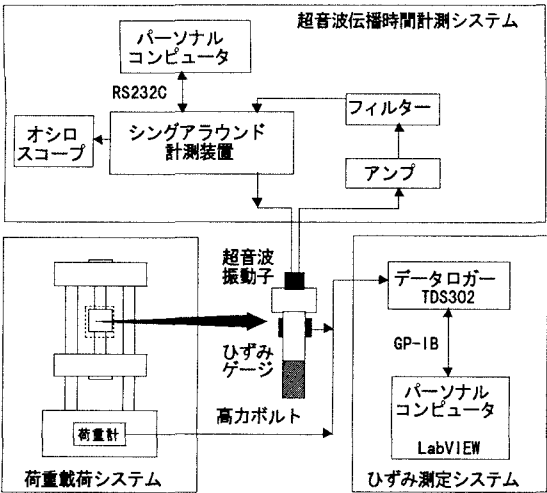


図-1 高力ボルト軸力測定システム

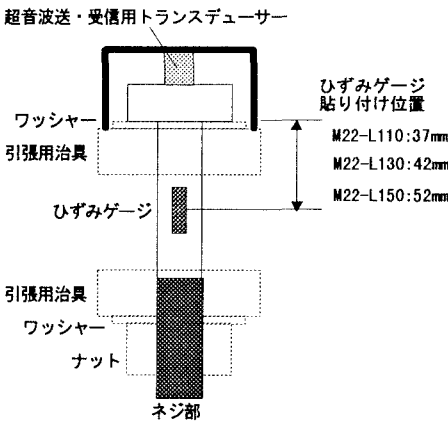


図-2 ひずみゲージ貼り付け位置およびトランスデューサー設置位置

3. 実験結果と考察

得られた応力-シングア라운드周期(伝播時間)関係を図3に示す。これより応力と伝播時間が比例関係にあり、荷重の増大に伴い伝播時間が増大しているのが確認できる。次に、これらの結果をもとに音弾性定数(K)を決定した。音弾性定数(K)は高力ボルトの軸力を一次元応力状態と仮定し、 $\frac{V-V_0}{V_0} = K\sigma$ で表される一次元の音弾性法則に基づいている。なお、 σ は応力、 V_0 は初期(無応力時)の超音波伝播速度、 V は引張荷重載荷時の超音波伝播速度である。

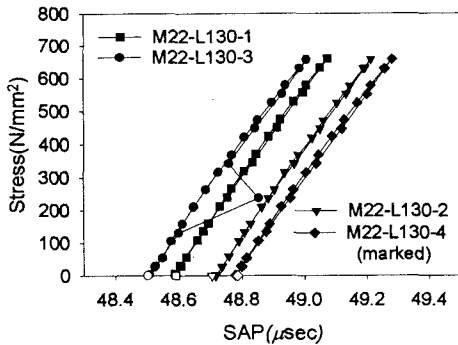


図-3 応力—シングアラウンド周期

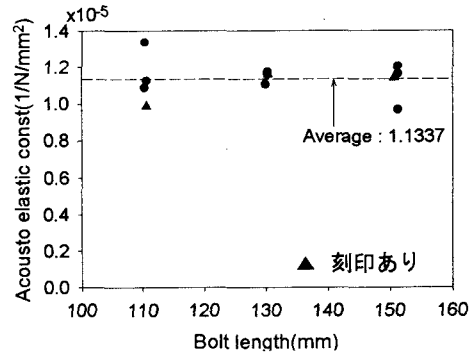


図-4 音弾性定数の一覧

各供試体の音弾性定数を図4に示す。またネジ部長さ約48.5(mm)、余長6(mm)の場合の音弾性定数を 1.1337×10^{-5} (1/N/mm²)と決定した。次に、この音弾性定数を用いて2つの方法で軸力推定を行った。得られた推定結果を図5に示す。軸力の推定に当たっては一次元応力状態の音弾性法則

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{1}{E_{\text{eff}}} - K \sigma$$

の式をもとに、 E_{eff} はボルトが一樣に伸びたと仮定した時のヤング率である。推定法1(Estimation1)は実際に測定した初期伝播時間を用いて応力を推定したものであり、推定法2(Estimation2)は初期伝播時間が測定できない場合を想定し、あらかじめ求められた無応力時の平均伝播速度より初期伝播時間を算定し、これを用いて応力を推定したものである。実際の初期伝播時間を用いた場合(推定法1)、誤差が±10(%)の範囲内にありこの方法で推定が可能である。しかし、実際には、初期伝播時間を知ることは導入軸力を一度解放することを意味し、実用にはあまり適していない。一方、平均伝播速度を用いた場合(推定法2)、ボルトの首下長さが長くなるにつれて軸力の推定が困難になってくる。これは、ボルトの長さが長くなるほど、首下長さのばらつきが大きくなるためと考えられる。

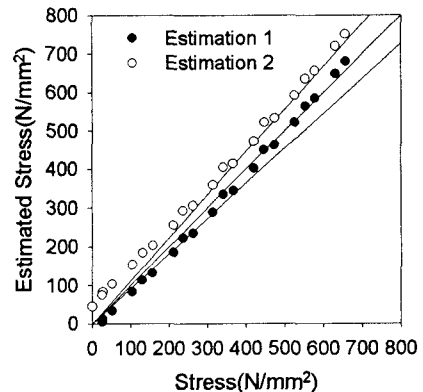
4. あとがき

本実験により、あらかじめ初期長さがわかれば超音波(縦波)を用いて高力ボルトの軸力推定が可能であることがわかった。また、精度良い推定を行うには無応力時の初期伝播時間の正確な推定が重要となる。

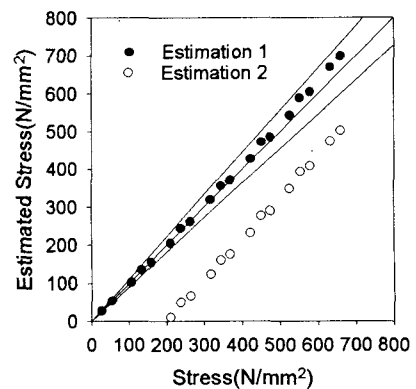
今後は、ボルトの初期長さの情報をを用いない推定法を確立するために、超音波(横波)を用いた軸力測定などを行う予定である。

参考文献

福岡秀和：音弾性の基礎と応用，オーム社，1993。



(a) M22-L110-3



(b) M22-L150-1

図-5 軸力の推定結果