

I - A337

高力ボルト軸力と超音波伝播速度に関する基礎的研究

京都大学工学研究科 正 員 山口 隆司 京都大学工学研究科 フェロー 小林 昭一
京都大学大学院 学生員 上野 幹二 日鐵ボルト 正 員 畑中 清

1. はじめに

摩擦接合や引張接合で代表される高力ボルト接合ではあらかじめボルトに導入される高いボルト軸力によって荷重を伝達している。したがって、そのボルト軸力を管理する必要から正確にかつ簡単にボルト軸力を計測する方法が求められている。一般にボルト軸力の測定は軸心にひずみゲージを埋め込む方法、ボルトヘッド部にひずみゲージを貼り付ける方法、または軸部の表面にひずみゲージを貼り付ける方法などが採られている。しかし、これらの方法では軸力が既に導入されているボルトに対してボルトを緩めることなく軸力を測定することは不可能である。このようなことから、現状のままでの測定が可能となるような超音波を用いた計測方法について検討することとし、その第1段階として、縦波と横波のそれぞれに対して伝播速度と軸応力の関係について測定した。

2. 計測の基本原則と計測システム

計測の基本原則は、応力の変化に伴って弾性波の伝播速度が比例変化する音弾性効果を基本としている¹⁾。本研究では、高力ボルトを対象としているため、1次元応力状態と仮定し、伝播速度と応力の関係に次式を用いることにした。

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

なお、 σ 、 V_0 、 V 、 K はそれぞれ応力、無応力時の超音波伝播速度、引張荷重載荷時の超音波伝播速度、音弾性定数を表している。したがって、伝播速度を測定すれば上式より応力が決定できる。一般に伝播速度を直接計測することは困難であることから、ここでは、伝播時間を計測し、その結果を基に伝播速度を決定するという方法を採用した。

本研究で用いた計測システムの概要を図1に示す。本システムは荷重載荷システム、ひずみ測定システム、超音波伝播時間計測システムの3つの部分から構成されている。超音波の伝播速度が鋼では約6000m/sと非常に速いことから、高精度の時間計測が必要となる。そのために超音波伝播時間計測システムではシングア라운드周期計測装置²⁾を用いている。また、目的の信号だけを対象とし、計測を安定に行うためにアンプとフィルターも同時に用いている。

超音波の送信と受信に関しては、図2に示すように高力ボルトヘッド頭部に送信用振動子と受信用振動子を一体化したトランスデューサーを治具により固定し、ボルトヘッド頭部から超音波を送信し、ねじ底での反射波を受信するという方法を採用した。

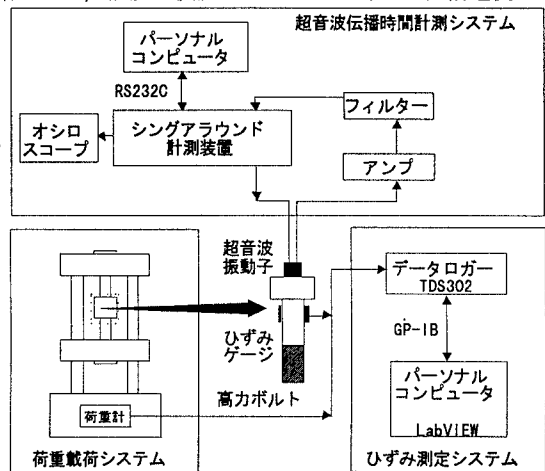


図1 高力ボルト軸力測定システム

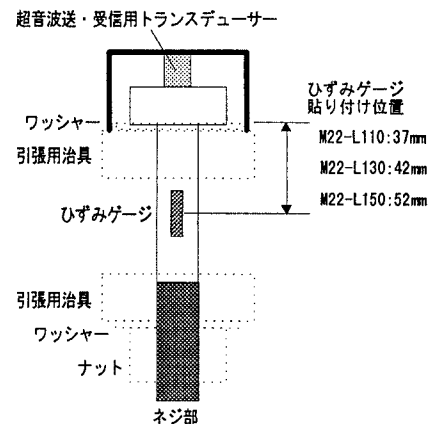


図2 トランスデューサーの取り付けとひずみゲージ貼り付け位置

Keywords : 音弾性効果, 超音波, ボルト軸力

〒606-01 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5115, Fax 075-753-5116

3. 実験概要

上で述べた計測システムを用いて、高力ボルトに引張荷重を単調に载荷し、その時の荷重と伝播時間をオンラインで計測した。対象とした高力ボルトは橋梁構造物で一般によく用いられる M22(F10T)、首下長さ 130(mm)である。締め付けねじ部長さを同一にするために余長は 3(mm)とした。超音波としては縦波 (2MHz) と横波 (2MHz) の両方を用いた。縦波用にボルトヘッドの表面を研磨した供試体 3 体と研磨しなかった供試体 1 体、横波用にボルトヘッドの表面を研磨しなかった供試体 2 体を用意した。超音波トランスデューサーと高力ボルトの接触面にはカップラントとしてシリコングリスを用いた。载荷した最大荷重は高力ボルトの標準導入軸力 (221.5(kN)) を基に 250(kN) とした。なお、温度変化による伝播時間の変化を考慮するために温度補正用のボルトに対しても伝播時間を計測している。

4. 実験結果

応力とシングア라운드周期の関係を図 3 に示す。シングア라운드周期はボルトヘッド表面からボルトヘッド表面までの往復の伝播時間を表している。これより、応力とシングア라운드周期は縦波、横波ともに比例関係にあり、荷重の増大とともにシングア라운드周期が増加することがわかる。また、縦波、横波ともに同じ首下長さにもかかわらず初期伝播時間が異なっており、実際の高力ボルトの首下長さのばらつきが大きな原因と考えられる。さらに、超音波トランスデューサーとボルトヘッドの接触条件の違いの影響も考えられる。今後はこの初期伝播時間の違いがボルト軸力の推定に及ぼす影響について検討する必要がある。

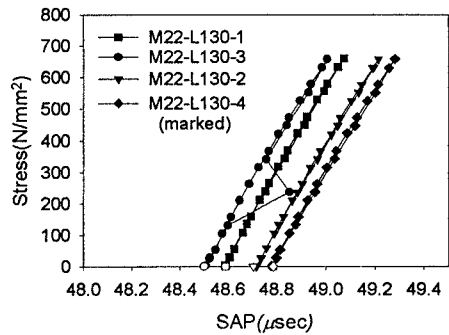
次に、(1)式の音弾性定数を荷重—シングア라운드周期関係をもとに算出した。その結果を表 1 に示す。なお、伝播速度の算出にあたっては、軸平行部のひずみの測定結果をもとに軸平行部とねじ部の伸び量を推定し、伝播距離を推定している。これより、縦波と横波で約 6 倍の差があり、縦波の方が計測しやすいことがわかる。音弾性定数のばらつきは、縦波で約 6%、横波で約 4% であり、個体間でのばらつきは少なく、定数として扱えると思われる。今後は、このばらつきがボルト軸力の推定にどれくらいの影響を及ぼすのかを調べる必要がある。

5. おわりに

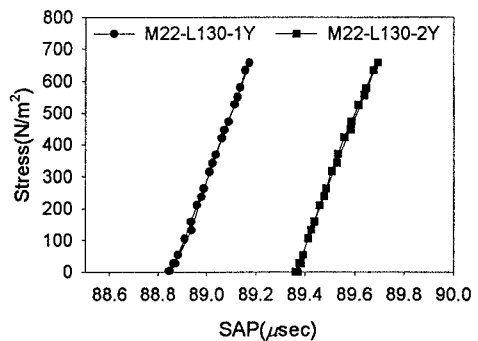
今後は、さらに、首下長さ、ねじ部長さ、余長長さ、トランスデューサーの接触条件等を変化させて応力—伝播速度の関係を検討する必要がある。また、首下長さが未知の高力ボルトに対して、横波と縦波の 2 つの伝播時間の情報を得ることで軸力推定が可能と思われるのでこの方法に対して検討していく予定である。

参考文献

- 1) Y-H. Pao and U. Gamer : Acoustoelastic waves in orthotropic media, J. Acousto. Soc. Am. Vol.77, pp.806-812,1985.
- 2) 福岡秀和 : 音弾性の基礎と応用, オーム社, 1993.



(a) 縦波



(b) 横波

図3 応力—シングア라운드周期

表1 音弾性定数の一覧

供試体名	音弾性定数 (1/N/mm ²)
M22-L130-1 (縦波)	1.104×10^{-5}
M22-L130-2 (縦波)	1.159×10^{-5}
M22-L130-3 (縦波)	1.174×10^{-5}
M22-L130-4 (縦波) (刻印有)	1.160×10^{-5}
M22-L130-Y1(横波)	1.994×10^{-6}
M22-L130-Y2(横波)	1.910×10^{-6}