

ノート

超音波疲労試験機を用いたねじ締結体のギガサイクル軸力負荷試験法

櫻庭 健一郎*¹⁾ 新垣 翔*²⁾

Giga-cycle axial load test method of bolted joints using ultrasonic fatigue testing machine

Kenichiro Sakuraba*¹⁾, Sho Niigaki*²⁾

キーワード：超音波疲労試験機, ねじ締結体, ギガサイクル, ゆるみ

Keywords : Ultrasonic fatigue testing machine, Bolted joint, Giga-cycle, Loosening

1. はじめに

ねじ締結体の疲労強度やゆるみに関する特性は、安全確保の上で重要な要素である。特に近年、疲労強度は 10^8 から 10^9 回オーダー (ギガサイクル) での評価が求められてきている。各種金属材料に関しては、S-N 線図 (応力-繰返し数線図) に 2 段折れ現象が生じることが明らかになってきた⁽¹⁾⁽²⁾。一方、ねじ締結体⁽³⁾⁽⁴⁾に対するギガサイクル疲労特性については、評価事例がないため知見を有しておらず、データの蓄積が急務となっている。本研究では、超音波疲労試験機⁽⁵⁾を用いたねじ締結体のギガサイクル疲労試験方法を提案する。超音波疲労試験機⁽⁵⁾で共振するねじ締結体試験片の作製を行い、共振の得られる締付け条件と試験片長さの関係性を明らかにする。

2. 実験装置および測定方法

本研究で用いた超音波疲労試験機 ((株)島津製作所製: USF-2000) の概略を図 1 に示す。試験機は、振動源、振幅増幅部、試験片および冷却部で構成される。試験は、 piezo 素子アクチュエータによる 20 kHz の縦波振動をブースタ及びホーンで増幅し、試験片へ振動を負荷する。試験片に生じる応力は、試験片端面に設置された渦電流変位計により測定される試験片端面振幅から次式より算出される。

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \dots \dots \dots (1)$$

(σ : 応力, E : ヤング率, ε : ひずみ)

超音波疲労試験機は、共振周波数が 20 kHz に固定されているため、20 kHz に近い共振周波数を持つ試験片を作成する必要がある。本研究では、図 2 に示す試験片全長 136 mm、試験片中央部に呼び径 M6 のねじ締結部を有する試験片形状を設計、製作した。ねじ締結部は「めねじ」「軸力測定リング」「おねじ」の 3 ピース構造となっている。軸力測定リングにはひずみゲージが貼付されており、ねじ部に生じた

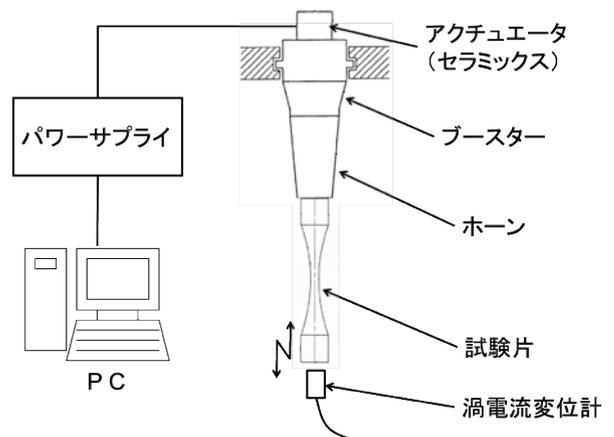


図 1. 超音波疲労試験機概略

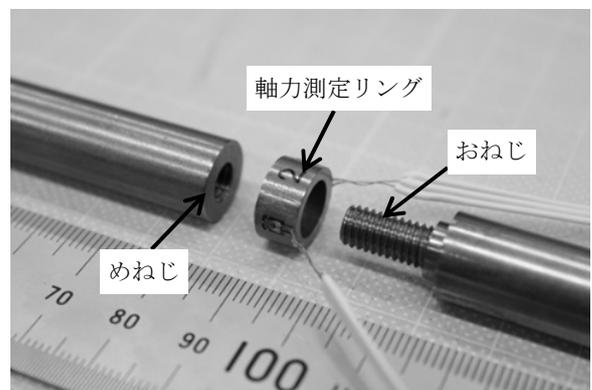
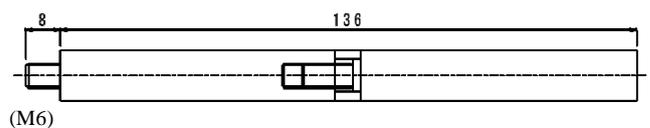


図 2. ねじ締結体試験片

事業名 平成 25, 27 年度 基盤研究

*¹⁾ 城東支所

*²⁾ 実証試験セクター

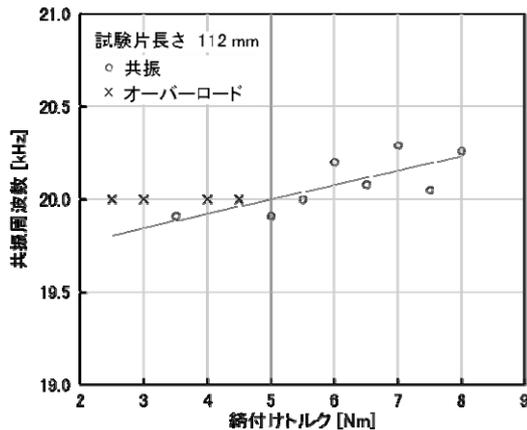


図3. 共振周波数と締付けトルク

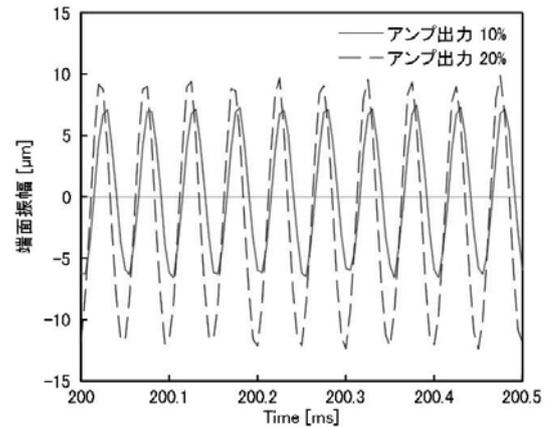


図4. 試験片端面振幅

軸力（圧縮ひずみ）を測定することができる。

3. 実験結果および考察

3.1 最適共振長さと締付けトルク 作製した試験片の端面を1 mm 間隔で切削し、超音波疲労試験機で共振可能な長さを調査した。図3に、試験片長さ112 mmの試験片に対し、各種締付けトルクを加えた際の共振周波数を調査した結果を示す。試験片長さ112 mmの場合、締付けトルク3.5 Nmおよび5 Nm以上の条件において、共振が得られている。各共振周波数における回帰直線では、締付けトルク5 Nm付近において、最適共振周波数20 kHzを得られることが判明した。

3.2 試験片の端面振幅 図4は、試験片長さ112 mm、締付けトルク5 Nmの試験片において、超音波による加振を行った際、試験片の端面振幅を測定した結果である。アンプ出力10%の試験条件では端面振幅が約8 μm、アンプ出力20%の試験条件では端面振幅が約13 μm得られることがわかった。

3.3 試験片ねじ部の軸力変化 図5に、試験片長さ112 mm、締付けトルク5 Nmの試験片を加振した際、試験片ねじ部に生じる軸力を計測した結果を示す。試験開始前（アンプ出力0%）では、試験片ねじ部に610 Nから660 Nの軸力が発生している。軸力に幅が生じているのは、計測時のノイズが原因と考えられる。アンプ出力10%で試験を行った場合、試験開始直後にわずかな軸力の低下が観察できる。その後、加振を停止すると軸力が回復し、試験前と同程度に回復する。これは、加振中は試験片に引張の応力が負荷されており、片振り振幅が生じているためと考えられる。アンプ出力20%では、試験開始直後に30 N程度軸力が低下し試験機は停止する。試験機停止後は、軸力が10 N程度回復するが、試験前よりも軸力は低下しており、試験片のねじ部がわずかに緩んでいることが確認できる。

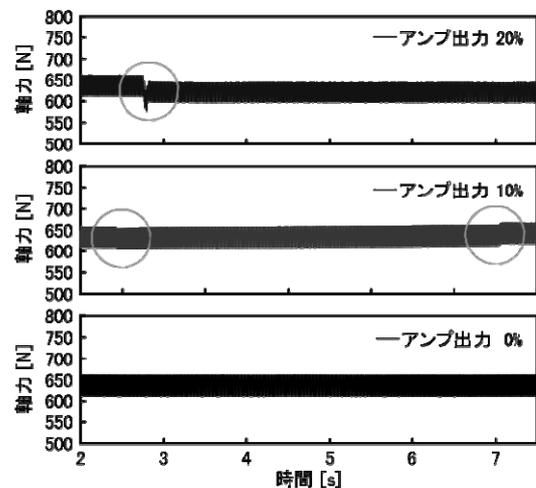


図5. 軸力の変動

4. まとめ

本研究では、超音波疲労試験機を用いたねじ締結体のギガサイクル軸力負荷試験方法の検証を行った。その結果、試験片長さ112 mmにおいて、締付けトルク5 Nmで約20 kHzの共振を得ることができた。また、この試験片において、アンプ出力10%の試験条件では端面振幅が約8 μm、アンプ出力20%の試験条件では端面振幅が約13 μm得られることがわかった。今後は、S-N線図の取得を行い、ねじ締結体のギガサイクル軸力負荷試験法の確立を目指す。

（平成28年7月4日受付，平成28年7月19日再受付）

文 献

- (1) 金澤健二, 杉本真優, 戸塚美菜: 「オーステナイトステンレス鋼の高温疲労における内部破壊」, 日本材料学会学術講演会講演論文集, Vol.59, pp.139-140 (2010)
- (2) 森田繁樹, ほか4名: 「マグネシウム合金押出材のギガサイクル疲労特性」, M&M 材料力学カンファレンス, pp.1019-1021 (2010)
- (3) 酒井達雄, ほか4名: 「各種締結ボルトの疲労特性解明に関する研究」, 機講論, Vol.58, pp.79-80 (2009)
- (4) Thomala Wolfgang: 「ねじ締結体のより高い安全性」, 日本ねじ研究協会誌, Vol.11, No.8, pp.231-241 (1980)
- (5) 松浦融: 「超音波疲労試験機におけるギガサイクル疲労」, 材料試験技術, Vol.57, No.3, pp.114-117 (2012)