

# 構造物内部のボルトの軸力測定

利用者 今瀬 肇<sup>1</sup>、浅井 洋光<sup>2</sup>、伊藤 登史政<sup>2</sup>、騎馬 英嗣<sup>2</sup>、村田 慎治<sup>2</sup>、久保 亮佑<sup>2</sup>  
 所属 <sup>1</sup>茨城県企画部、<sup>2</sup>(株)デンソー

## 1. はじめに(背景, 目的等)

自動車用エアコンプレッサなど自動車部品として用いられる部品の多くは、ボルト締結部を有しているが、ハウジング内部に締結部を有していることが多く、製品外部から直接軸力を測定することができない。そのため、ひずみゲージを用いた間接的な測定手法が用いられるが、歪ゲージ貼付のためには締結形状を変更した模擬形状にせざるを得ないことが多いため、製品との整合性に問題が生じる。また、ねじ部、勘合部といったボルト内部の軸力分布などはCAEにより予測可能であるが、実験的な検証は極めて困難である。さらに、ボルトにはMボルト以外にもタッピングスクリューなどがあり、軸力評価が困難な場合も多い。したがって、構造物内部のボルト軸力を直接測定する手法が確立できれば、より高精度な締結構造の設計が可能となると考える。そこで、エアコンプレッサの締結部を模擬した試験片を用いて、ひずみゲージおよび中性子により軸力測定を行い比較検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片

コンプレッサに用いられるボルトを模擬するため、アルミ中空円筒にM8ボルトを締結し、中性子により軸力測定を行った。試験片模式図を図1に示す。ボルト材質はSCM435でありボルト径はM8である。また、ひずみゲージをボルト軸部に埋め込み外部負荷軸力を測定可能とした。なお、負荷軸力とひずみゲージ出力間の校正は測定前に引張り試験機で行った。アルミニウム中空円筒は内径9mm、外径19mmのA6061-T6製を用いた。

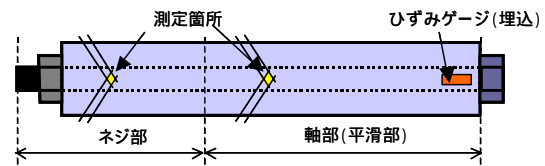


図1. 試験片模式図

### 2.2 試験条件

ボルトの負荷軸力は前述のひずみゲージで制御し、0~1500μεの範囲で250με刻みの7水準とした。中性子測定条件を表2に示す。回折面は測定時間の関係から後述する(110)面のみを使用し、回折角は得られたプロファイルのガウス関数による近似曲線のピークから決定した。また、測定ひずみ方向は軸方向のみとした。測定位置は図1に示す軸部および完全ねじ部とし、3×3mmのスリットを用いた。高さ位置合わせはボルト頭部およびその反対のねじ外形を各ひずみ負荷後に計測して傾き補正を行った。

表1 測定条件

回折面	(110)
検出器角度	65.8
中性子波長	2.2124 Å
スリットサイズ	3 × 3mm
測定方向	軸方向
ピーク近似関数	ガウス関数

### 2.3 解析条件

中性子測定による応力は、測定から得られた回折角からBraggの式 $d = \lambda / (2 \sin \theta)$ を用いて各条件における格子間隔 $d$ を求め、無負荷の格子間隔 $d_0$ を基準として格子ひずみ $e = (d - d_0) / d_0$ を算出、回折弾性係数 $E = 224 \text{ GPa}$ を用いてボルトに負荷されている応力 $\sigma = E \cdot e$ を得た。この得られた応力をゲージにより実測した応力と比較することで測定の妥当性を評価した。ただし、ねじ部応力はおねじの谷径を用いた公称応力を用いた。本実験で用いたM8ボルトの場合、ねじ部公称応力は軸部応力の約1.21倍となる。

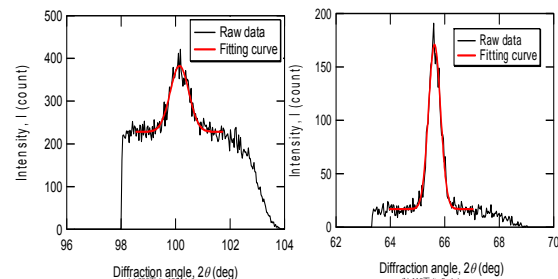


図2. 回折プロファイル

## 3. 測定結果

### 3.1 予備測定

軸力測定に先立ち、測定回折面を決定するため(200)および(110)面の回折プロファイルを測定した。結果を図2(a), (b)にそれぞれ示す。図から分かるように同程度のピーク強度を得るには(200)面では120min、(110)面では8min要した。この顕著な回折強度の違いはボルトの製造工程すなわち、冷間鍛造によってボルトに生じた集合組織の影響と考えられる。そこで、S/N比に優れた(110)面を軸力測定に用いた。

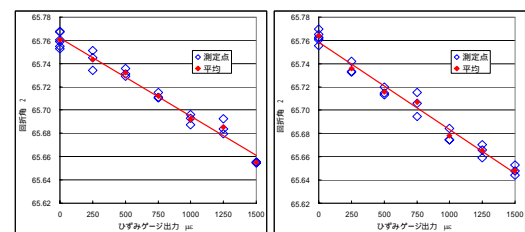


図3. 軸ひずみと回折角の関係

### 3.2 軸力測定結果

ひずみゲージ出力と回折角の関係を図3(a), (b)に示す。図中には各ひずみでの測定測定回折角、算術平均値および平均値の最小2乗近似直線を同時に示す。軸部、ねじ部とも軸力が高くなるにつれて回折角が線形的に小さくなり、単調的な引張りひずみの増加が予想される。軸部とねじ部の負荷軸力と中性子測定応力の関係を図4(a), (b)に示す。図中には中性子測定ひずみの最小2乗近似直線および各場所の負荷公称応力も同時に示す。いずれの測定場所も負荷公称応力と中性子測定応力は良く一致した。つまり、ボルトの軸力は中性子応力測定手法により非破壊的に測定可能であると考えられる。

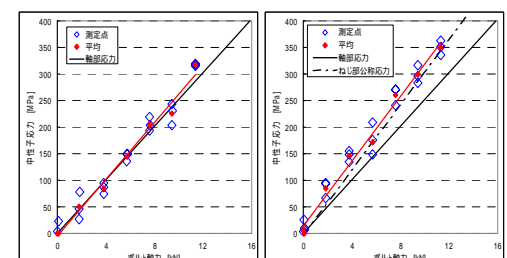


図4. 負荷軸力と中性子測定応力の関係

## 4. まとめ

1. Fe(110)面を使用したボルト軸部、ねじ部の中性子測定応力は機械的負荷による公称応力と一致した。
2. 中性子応力測定手法はボルトの軸力を非破壊的に測定することが可能である。