

## 解説 5

# 油圧テンショナを用いた ボルト締結体の軸力推定手法

日立製作所 丹野 洋平\*

\*たんの ようへい：研究開発グループ  
機械イノベーションセンタ 主任研究員

### はじめに

ボルトの締付け方法は、ナットやボルト頭部を回転させて被締結体を締め付ける方法と、油圧や熱によりボルトを軸方向に伸張させた後にナットを着座させて被締結体を締め付ける方法の2種類に大別される。風力タービンのブレードボルトや圧力容器のフランジボルトなど、大径ボルトで高軸力の締付けが要求される場合は、主に後者の方法が適用され、その中でも油圧テンショナを使用した締付け方法<sup>1),2)</sup>が多用されている。

この締付け方法には、油圧によって簡便にボルトに高軸力を負荷でき、かつ、締結部材間の接触摩擦による軸力のばらつきを低減できるという利点がある。しかしながら、この締付け方法では、油圧開放後のボルトと被締結体の剛性変化や移動・変形により、締付け完了時にボルトに残留する軸力が油圧で負荷した初期軸力よりも低下する。残留軸力を初期軸力で除算して得られる係数を有効軸力係数と呼称する。

本稿では、油圧テンショナを用いたボルト締付け(以降、油圧締めと呼称)に関して、セッティングから締付け完了までの手順や、ボルトと被締結体の力学特性を表す締付け線図について説明する<sup>3),4)</sup>。また、有効軸力係数を推定するための各式や有限要素解析手法、および、締結部材の各種パラメータが有効軸力係数に及ぼす影響について説明する<sup>3),4)</sup>。

### 油圧締めの原理と力学

#### 1. 締付け手順

図1に油圧テンショナの構造と締付け手順を示す。本図では、上フランジにボルト穴、かつ、下フランジにめねじが加工され、植込みボルトとナットにより上下フランジを締結する例を示している。図1(a)に示すように、油圧テンショナはフート、油圧ジャッキ、テンションロッドで構成され、ナットを上フランジ上部に配置した状態で、フートと油圧ジャッキを設置し、テンションロッドによりボルトを把持する。そして、図1(b)のように、油圧ジャッキに油圧を負荷してテンションロッドを上昇させることで、ボルトは軸方向に伸張する。

この際、ボルトには初期軸力 $F_i$ が発生し、ナット下面と上フランジ上面の間には間隙が発生する。さらに、図1(c)のように、油圧を負荷した状態で、ナットを回転させて、ナット下面を上フランジ上面に着座させる。最後に、図1(d)のように、油圧を開放することで、ボルトには初期軸力 $F_i$ より小さい残留軸力 $F_r$ が発生し、締付けが完了する。ここで、残留軸力 $F_r$ を初期軸力 $F_i$ で除算して得られる値を有効軸力係数 $\gamma$ と定義する。

#### 2. 締付け線図

図2に油圧締めの締付け線図を示す。締付け線図は、ボルト・ナットと被締結体の荷重・変位関係を表し、図2では、ナット下面と上フランジ上面の変形に着目して線図を描いている。図2(a)は、油圧テンショナの油圧によりボルトに初期軸力 $F_i$ が発生している状態の締付け線図と、説明図を示