

## 引張を受ける高力ボルトのねじ部の FE モデル高精度化に向けた検討

岩手大学 学生会員 ○菊池 領真  
 岩手大学 正会員 杉本 悠真  
 岩手大学 正会員 大西 弘志

## 1. はじめに

高力ボルトのねじ部の遅れ破壊に対する検討として、ねじ部の形状を再現した FEM 解析が広く用いられている<sup>(1)</sup>。しかし、ねじ部に発生する応力集中を評価するための要素条件は明らかにされていない。そこで本研究では、引張を受ける高力ボルトのねじ部の FE モデル高精度化の検討として、ボルトねじ部の要素条件に着目した FEM 解析を行う。

## 2. FEM 解析

## 2.1 概要

解析は ABAQUS2022 を用い、ねじ部の要素条件が解析結果に与える影響を比較する。解析結果は、ねじ部の伸びと最大主ひずみに着目した。

## 2.2 解析モデル

本解析は、呼び径 M16 の高力ボルト(F10T)を対象とする。図 1 に解析モデルを示す。モデルは、ボルト・ナット・座金を軸対称モデルとして作成し、おねじ(ボルト側)とめねじ(ナット側)の嵌合を再現している。なお、実際のねじ部は螺旋形状であるが、本解析では軸対称と仮定し、ねじ山、ねじ谷を JIS ねじ形状としてモデル化した。

境界条件として座金上部の面の全節点の全自由度を拘束し、ナットと座金の接触面およびねじの嵌合部には摩擦係数 0.1 を設定した。また、解析ステップは引張荷重導入の 1 段階とし、ボルト軸部の最上端の全節点 Y 軸方向に均等に初期ボルト軸力に相当する引張力が働くように、次式より求められた 527.201N/mm<sup>2</sup> を引張圧力として与えた。

$$P = \frac{0.75 \times 900 \times 7.069^2 \times \pi}{(16/2)^2 \times \pi} \cong 527.201 \text{N/mm}^2$$

ここで、0.75 : 係数、900 : F10T の降伏点(N/mm<sup>2</sup>)、7.069 : M16 の有効径(mm)である。

解析モデルの材料構成則は、既往の実験の材料試

験結果から得られた値を用いた<sup>(2)</sup>。なお、ヤング率、ポアソン比はそれぞれ 2.0×10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup>、0.3 とし、ナットと座金もボルトと同じ材料とした。

解析ケースを表 1 に示す。要素種類、要素分割数を解析パラメータとして変化させている。文献<sup>(1)</sup>は CAX3 の要素分割数 5 に近いケースである。なお、ボルト軸部、座金の要素種類は CAX8R とし、ボルトねじ部とナットの要素種類を変化させた。また、図 1 に示すように、ねじ部をねじ山、ねじ谷、傾斜部に分け、ABAQUS の局所シードの要素数による要素分割機能により要素分割した。ねじ部の要素分割数に対応するボルト軸部、座金の要素サイズは、ねじ部要素サイズの 10 倍とした。

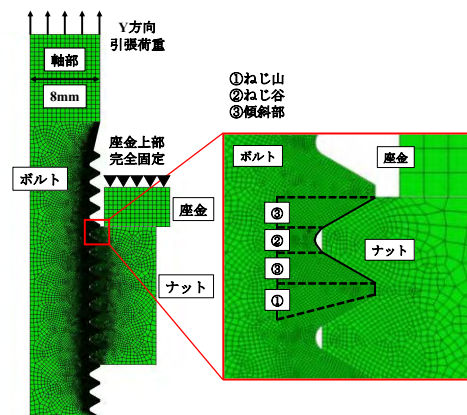







図 1 解析モデル

表 1 解析ケース

要素種類	ねじ山要素分割(要素サイズ)
 4節点低減積分要素(CAX4R)	2(0.09)
 8節点低減積分要素(CAX8R)	4(0.06)
 4節点完全積分要素(CAX4)	3(0.07)
 3節点線形要素(CAX3)	5(0.05)
 6節点2次要素(CAX6)	6(0.04)

### 3.2 解析結果

#### 3.2.1 ねじ部の伸び

ねじ部の伸び(公称ひずみ)を次式より求めた。

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 10^6$$

ここで、 $\varepsilon$  : 伸び(公称ひずみ),  $\Delta l$  : 変化量(mm),  $l_0$  : ねじ部の標点距離である。図 2 に計測範囲を示す。ねじ部の標点距離は、ナットのすぐ上のねじ山からボルト軸平行部までの 12mm に設定した。

図 3 より、各解析ケースによるねじ部の伸びの差は 1%未満となり、大きな違いはみられなかった。

#### 3.2.2 ねじ部の最大主ひずみ

図 4 に最大主ひずみの最大値の発生位置を示す。おねじ(ボルト側)全体を計測範囲とし、最大値は節点ひずみで取得した。最大値は、ナットと嵌合している一番上のねじ谷部に発生し、要素条件によって発生位置に違いはみられなかった。

図 5 より、各ケースの結果の変動は、CAX4R は約 7%, CAX8R は約 5%, CAX4 は約 3.5%, CAX3 は約 11%, CAX6 は約 4%となった。また、要素分割数 2 のとき約 12%結果に変動が生じているが、要素分割数 6 のとき約 4%と小さくなり、結果が収束している傾向が見られた。

### 4. まとめ

本研究で行った解析より、以下の知見が得られた。

- (1) ねじ部の伸びは、要素種類、要素分割数による解析結果の影響は小さく、差は 1%未満であった。
- (2) ねじ部に発生する最大主ひずみは、CAX8R, CAX4, CAX6 の解析結果の変動はそれぞれ 5%, 3.5%, 4%と小さい傾向にある。また、ねじ山の要素分割数を 6 分割とすることで、要素種類による結果の変動が小さくなる。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費（課題番号：JP22K14319）のご支援をいただき実施しました。ここに感謝申し上げます。

### 参考文献

- (1) 山口隆司ら：1,800N/mm<sup>2</sup>級超高力ボルトに使用するねじ形状の開発および性能確認試験，土木学会論文集 A1, Vol.70, No.3, 409-417, 2014.
- (2) 杉本悠真, 山口隆司：スプリットティー継手における FEM 解析のベンチマークモデルの検討，鋼構造論文集, Vol. 29, pp.65-79, 2021

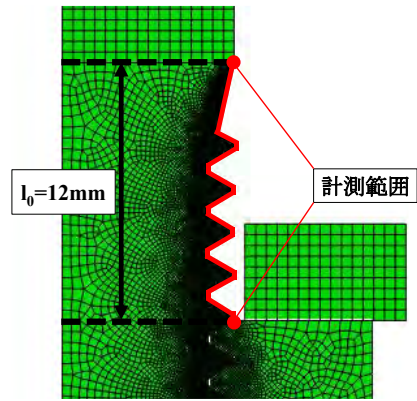


図 2 ねじ部の伸びの計測範囲

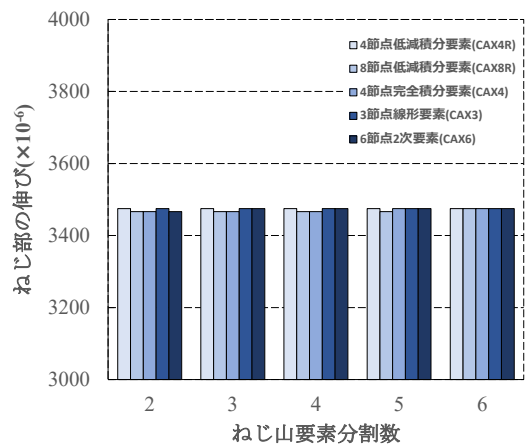


図 3 ねじ部の伸び

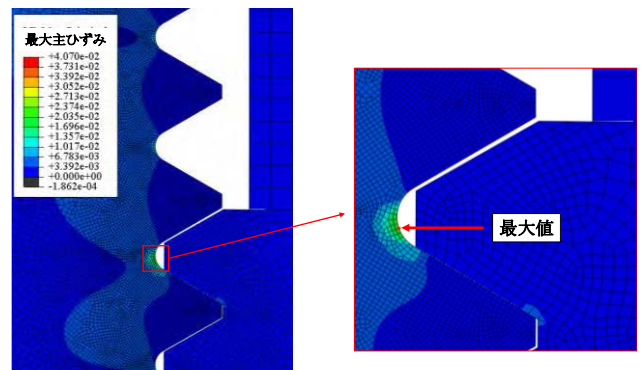


図 4 最大主ひずみの最大値の位置

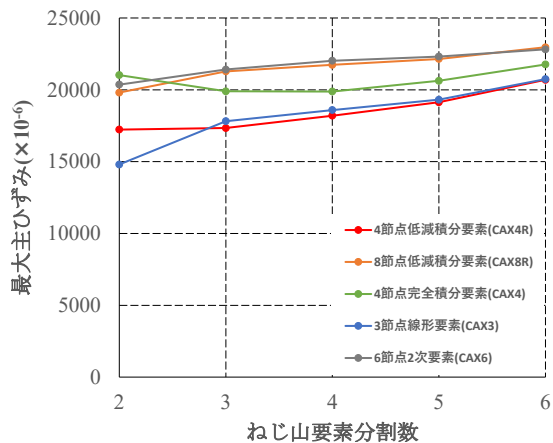


図 5 最大主ひずみの最大値