三次元有限要素法によるばね座金のゆるみ止め性能評価

Evaluation of Loosening Proof Performances of Spring Washer by Three-dimensional Finite Element Analysis 学 木村成竹(東大) 正泉 聡志(東大) 正 酒井信介(東大) Shinsuke SAKAI, The University of Tokyo 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

Satoshi IZUMI, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

Masatake KIMURA, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

Threaded fasteners are widely used in mechanical structures largely because the disassembly for maintenance is easy and low cost. However vibration-induced loosening due to dynamic loading has remained problematic and many anti-loosening fasteners are used in order to prevent loosening. In this paper we evaluate loosening proof performance of spring washer under conditions of shear loading by three-dimensional finite element analysis. The result shows that spring washer is easy to loose because of the rigid body rotation around the corner points of the spring washer. Moreover, of this rotation, loosening starts before complete slip at the nut bearing surface occurs.

Keywords: Finite element; Spring washer

1 緒言

ねじ締結体においてゆるみを防止することは大変重要な 課題である.締結部にゆるみが生じることによりそこから破 損に至るといった事例は数多く報告されている.そこでボル ト締結部にはさまざまなゆるみ止め部品が使用されている. ねじのゆるみについては,ねじ山のらせん形状を考慮した 三次元有限要素モデルにより再現することが可能となって いる⁽¹⁾⁽²⁾.そこで本研究では三次元有限要素解析により,広 く産業界でゆるみ止めとして使用されているばね座金⁽³⁾に ついてそのゆるみ止め効果の検証を行う.

2 解析手法

解析には汎用シミュレーションソフト ANSYS を用いた. M10 ボルト・各種ナットをグリップ長さ 28mm となるよう作 成し, 被締結体可動板は 40×40×12mm とし, ボルト穴径は 12mm とした.ナットは外形 17mm としねじ山は 4 ピッチ分 作成した.ボルト・ナットのねじ部については谷底の丸みを 再現せず,寸法公差の中央値となるよう作成した.境界条件 はボルト頭部側面,座面を全自由度拘束,被締結体可動板下 面を加振方向にのみ変位をゆるすようにした.被締結体可動 板加振方向両端面の加振方向変位をカップリングし,端面に 強制変位あるいは外力を与えられるようにした(図1参照). 接触アルゴリズムはペナルティー法を用い,接触の生じる部 位には面-面接触要素である TARGE170 と CONTA174 を用い, ばね座金の角部のような点-面接触は考慮していない.

加振方向変位をカップリングした被締結体可動板端面を 加振方向正負に加振することでゆるみを発生させた.

材料特性としてすべてにおいてヤング率 205GPa、ポアソン比 0.3,摩擦係数 0.15 を用いた。解析は準静的解析として行い,幾何学的非線形を考慮した弾性解析となる.

ばね座金は外径 10mm,内径 6mm,厚さ 2.5mm とし,0 度から 350 度までのC型ボリュームに初期応力を導入するこ とによりモデル化した.初めに,図 2(a)にしめすように片端 を完全に拘束し,多端に上方向へ 2.5mm 強制変位を与える 解析を行う.その後,(b)のように応力を消去し幾何形状の更 新を行う.次に(c)のように変形形状をもとの形状に戻すよう な強制変位を与え,解析を行う.(d)として,このとき生じた 応力状態を初期応力として書き出し,(e)に示すように,初期 応力を全体モデルの C型ボリュームに導入することにより ばねの効果を再現した.このときのばね力はおよそ 2.7kN と なる.締結力はすべて 10kN に統一してある.

ばね座金の解析については,形状の非対称性から加振はx

方向およびz方向についてそれぞれ行い, 被締結体可動板に ±0.4 mmの強制変位を与える完全座面すべりの解析,完全座 面すべりの発生よりも小さな荷重での加振による微小座面 すべり⁽²⁾⁽³⁾の解析の双方を行い, ばね座金がない場合と比較 を行う.



Fig. 1 Finite element model for loosening analysis of bolted joint



Fig. 2 Modeling method for spring washer

3 解析結果と考察

3.1 完全座面すべりによるゆるみの解析結果

図3にx方向加振において完全座面すべりを生じたときの 荷重 変位関係を,図4に図3に示すA~Dにおける接触域 の接触状態を,図5にばね座金およびナットの回転角の進行 の様子を横軸に加振サイクルをとり示す.図3のループはA ~Dの4通りの傾きを持った部分に分類できる.このときの 接触状態を図4に示す.Aではナットねじ面,座面で固着接 触,Bではねじ面全域ですべりが生じ座面は固着状態,B末 期ではばね座金の角の4点においてのみ固着状態,Cではば ね座金の角の2点のみで固着状態,D前半ではねじ面,座面 で完全なすべりが発生,D後半では座面で完全に滑っている が,ねじ面で固着している.図5より,ナットにゆるみ回転 が生じるのは完全座面すべりが生じる D 部以前の C 部 (ば ね座金の角 2 点のみで固着接触)においてであることが分か る.このことから,C部における接触状態ではばね座金の角 部を支点とした回転が生じていることが分かる.

図6にばね座金がない場合との比較として,ばね座金の有 無でのナット回転角示す.x,z方向加振ともに座金があると ナット回転が増大することが分かる.以上より,完全座面す べりを生じたときにばね座金の使用は,ゆるみの面からは不 利であるといえる.

3.2 微小座面すべりによるゆるみの解析結果

図7に横軸に完全座面すべりを生じるときの加振力(摩擦 係数と軸力の積)で規格化したもの,縦軸に20サイクル経 過時の回転速度を取ったものを示す.ばね座金z方向への加 振,x方向への加振,通常ナットの順にゆるみ速度が大きく なっている.ばね座金をいれることによりナット回転が増大 しているのが分かる.



Transverse displacement(mm)

Fig. 3 Relationship between load and displacement



Fig. 5 Loosening rotation angle of the nut and spring washer





4 結言

三次元有限要素法解析によりばね座金が並進方向外力下 でのゆるみ挙動に及ぼす影響について考察を行い,ばね座金 のゆるみ止め効果について検証した.結果,完全座面すべり, 微小座面すべり双方においてゆるみを防止する効果は確認 できず,逆にナット回転を増大することが分かった.また, そのゆるみ増大は完全座面すべり発生以前の荷重において ばね座金の角部2点のみが固着状態となり,その2点を支点 とした回転によることが分かった.

参考文献

- 1) 泉聡志,横山僑,酒井信介,機械学会論文集 A 編 71,702(2005)
- 泉聡志,木村成竹,酒井信介,機械学会論文集 A 編 72,717(2006) pp. 780-786.
- 3) 賀勢晋司ら,精密工学会誌,54,7(1988),138



Fig. 4 Classification in contact state