

三次元接触・摩擦有限要素法解析によるねじ式テンショナの挙動解析

Three-dimensional Finite Element Analysis Considering Contact and Friction
on the Mechanical Behavior of Screw Type Tensioner

○学 中井 康貴 (東大院) 准 横山 喬 (東大院) 正 泉 聡志 (東大院)
正 酒井 信介 (東大院) 高橋 郁臣 (日本発条) 流石 一郎 (日本発条)

Yasutaka NAKAI, Takashi YOKOYAMA, Satoshi IZUMI, and Shinsuke SAKAI

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

Ikuomi TAKAHASHI and Ichiro SASUGA

NHK SPRING CO., LTD.

Screw type tensioner is one of the elements that sustain the tension of the timing belt or chain. Applied vibration is transformed into rotational motion by mating thread and induced torque is transmitted between an external screw and a torsion spring. Internal screw moves in the axial direction according to the rotation of external screw and reacts to the belt or chain. In order to realize the stable operation, the stable slip behavior on the contacting thread surface is of critical importance. This study aims to clarify the contact behavior on the surface and investigate the mechanism of the tensioner by applying the three-dimensional FEM for the mechanical behavior of bolted joint subjected to axial loading. We found that the external screw proceeds with rotation in the case that after the thread part rotates in the loading process, the bottom part also rotates in the unloading process. We also observed this behavior in the experiment and confirmed that FE analysis qualitatively well reproduces the experiment.

Key Words: Screw Type Tensioner, Machine Element, Finite Element Method, Contact Problem, Friction, Slip

1. 緒 言

レシプロエンジンに用いられるタイミングベルトやチェーンに発生する振動や伸びに対応して適切な張力を保つために、張力調整機構(テンショナー)が必要となる。図1に示すねじ式テンショナは、ねじりばねとおねじの回転でトルクの授受を行い、回転を拘束されためねじを出入りさせるもので、おねじの回転により無段階で張力を調整することができる⁽¹⁾。様々なエンジンの運転状況や環境に対して安定した作動を実現するためには、ねじ部における安定した接触すべり挙動が不可欠であると考えられる。本研究では、軸方向外力を受けるボルト締結体挙動の三次元有限要素解析手法⁽²⁾を応用して、ねじ部における接触挙動を明らかにし、ねじ式テンショナの作動機構を解明する。

2. 解析手法

三次元有限要素法を用いて、軸方向振動入力によって発生するねじ面のすべり挙動、およびそれに伴って発生するおねじの回転とめねじの並進の様子を明らかにする。解析ソフトとしてANSYS10.0を使用する。有限要素モデルとして、テンショナの機構に係るめねじ、おねじ、ねじりばね、およびおねじの下端に接触するケースの一部をモデル化する。有限要素モデルを図2に示す。めねじ、おねじ、ケースに対しては三次元ソリッド要素を使用した。ねじ山はおねじ有効径約14mmの台形ねじで三条ねじとなっているが、有限要素モデルにおいては初期検討として一条のみをモデル化した。おねじ、めねじとも1.5ピッチをモデル化したが、接触を考慮するはめあいねじ部は1ピッチのみである。はめあいねじ部、およびおねじとケースの接触面には接触要素を設定した。めねじ上端部への振動入力については、めねじ上端面の全節点と仮想的な入力節点とを剛体ビーム要素で連結し、入力節点に荷重を作用させる。おねじ下端に取り付けられるねじりば



Fig. 1 Screw type tensioner.

ねについては、おねじ下端の全節点とねじりばね要素とを剛体ビーム要素で連結した。めねじ上端面に作用する外力によって発生するおねじの回転により、ばね要素のねじれ、およびおねじとケースの間の摩擦が発生する。

材料特性として、めねじ、おねじ、ケースに対してヤング率205 GPa、ポアソン比0.3、すべての接触面に対しては摩擦係数0.1を設定した。ばね要素に対しては、 1.5×10^{-2} Nmm/degの線形の特性を設定した。境界条件として、めねじの外周に対して軸方向変位のみを自由とした。またケースの下面、およびばね要素の端部に対しては全自由度拘束とした。めねじへの軸方向振動の入力は仮想的な入力節点に対して行い、100N-500Nおよび400N-500Nの準静的な繰返し荷重を設定した。ただし、計算の安定のため、まず入力節点に微小な軸方向変位を与えてねじ面を接触させた後、繰返し荷重を作用させた。

3. 解析結果

3.1 テンショナの作動機構 振動のサイクル数とおねじ下端部の回転角の関係を図3に示す。100N-500Nの解析結果につ

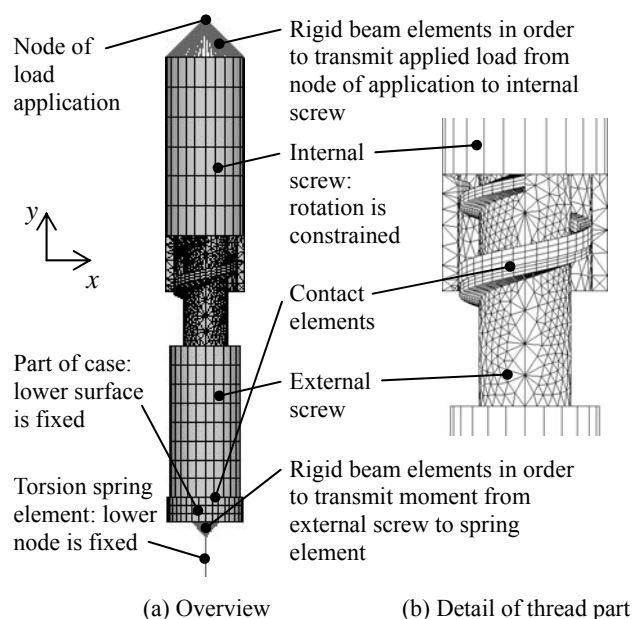


Fig. 2 Finite element model of screw type tensioner.

いては、挙動が安定した時点を 0 サイクルとして、その後の回転の様子を示した。回転角は、図 2 の x 軸から反時計回りに 0° , 90° , 180° , 270° の 4 点における回転角の平均値を用いた。図 3 の解析結果より、400N-500N の場合には回転が発生しないものの、100N-500N の場合には反時計回りの回転が進み続けることが分かる。おねじ下端部が回転することによりばねにはねじれが蓄えられるが、おねじ下端とケース間の摩擦により、ばねのねじれは解放されずに蓄積されていったものと考えられる。

次に、100N-500N の場合の振動 1 サイクルにおけるおねじ下端部とねじ部の回転角の推移を図 4 に示す。負荷過程において、荷重 100N (点 A) から負荷し、荷重が 150N (点 B) に達するとねじ部において回転が発生することが分かる。このとき、下端部においてはほとんど回転が発生しないため、おねじの軸部にはねじれが発生すると言える。最大荷重 500N (点 C) に達した後、除荷過程においては、荷重が 400N (点 D) に達すると下端部においても回転が発生することが分かる。すなわち、蓄えられたおねじの軸部のねじれが解放され

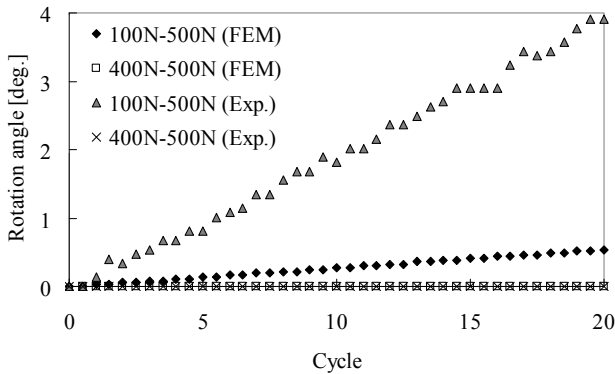


Fig. 3 Progress of external screw rotation.

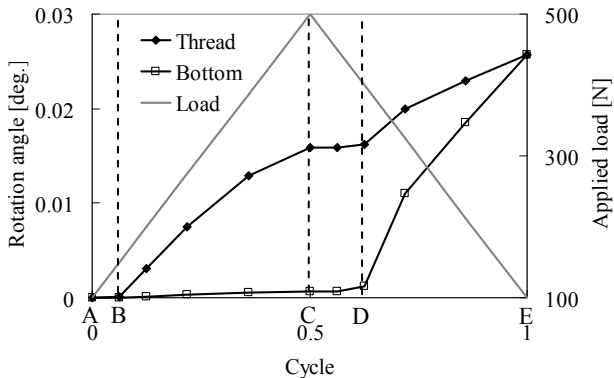


Fig. 4 Progress of external screw rotation at the thread and bottom part in one cycle (FEM).

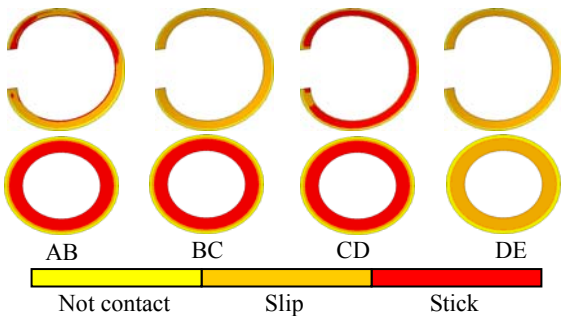


Fig. 5 Variation in contact states in one cycle; upper row: thread surface, lower row: bottom surface.

たと言える。この回転方向はばねのねじれを増す方向である。回転が進み、ばねのねじれによるトルクがおねじの軸部に発生するトルクに等しくなると回転は止まり、おねじとばねが微小なねじれと解放を繰り返す状態に移行するものと考えられる。本解析手法ではその状態に達するまでの長いサイクルに渡る計算を行うことは困難であるが、回転が進行した状態を模擬してばねに初期ねじれを与えて計算を行ったところ、おねじが微小な振動を繰り返す状態を観察した。

おねじの下端部とねじ部の回転は、その接触面におけるすべりの発生に伴って起こるものと考えられる。図 5 に、下端部とねじ部における接触状態を示す。負荷過程の AB 間では下端部、ねじ部ともに固着領域が存在する。BC 間ではねじ部において完全すべり状態となっているが、下端部には固着領域が残っているため、ねじ部のみが回転する。除荷過程に転じ、CD 間では AB 間と同様に下端部、ねじ部ともに固着領域が存在する。DE 間では下端部において完全すべり状態となり、おねじ軸部のねじれが解放される。

400N-500N の場合には、ねじ部、下端部ともに完全すべり状態にならないことが分かった。そのため、おねじの回転は起こらない。

3.2 実験との比較 油圧試験機を用いてめねじ上端面に振動を加えて、おねじ下端部の回転角を測定した。潤滑油としてエンジン油を用いた。振動数は、準静的な FEM 解析と合わせるために 1Hz とした。図 3 に示した振動のサイクル数とおねじ下端部の回転角の関係において、FEM の結果と同様に実験でも 400N-500N の場合には回転が発生せず、100N-500N の場合には回転が進み続けることが分かる。しかし、100N-500N の場合の 20 サイクル後の回転角は、FEM では 0.54° であるのに対し、実験では 3.9° と開きがある。次に、100N-500N の場合の振動 1 サイクルにおけるおねじ下端部の回転角の推移を図 6 に示す。FEM の結果と同様に、除荷時におねじ下端部が回転するが、負荷時にも同等の回転が生じていることが分かる。したがって、実験では負荷時においてもおねじ下端部が完全すべり状態になっているものと考えられる。この違いは FEM と実験での接触面における摩擦係数の違いによるものと考えられる。

4. 結 言

三次元有限要素解析手法を用いてねじ式テンショナの作動機構の解明を行った。負荷時に発生するねじ部の回転によって蓄えられたねじれは、除荷時に下端部ですべりが発生することによって解放されておねじの回転が進行することを明らかにした。この挙動は実験においても観察され、おねじの回転の様子は FEM と定性的に一致することを確認した。

参 考 文 献

- (1) 流石ほか, 自動車技術会学術講演会前刷集 924 (1992) 93-96.
- (2) 泉ほか, 機論 A, 73, 732 (2007) 869-876.

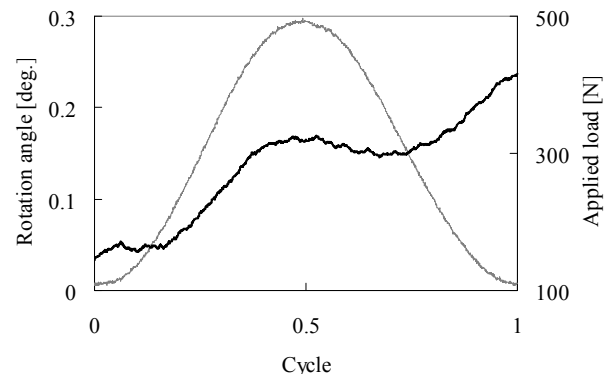


Fig. 6 Progress of external screw rotation at the bottom part in one cycle (Experiment).

