

三次元有限要素法によるナイロンのゆるみ止め性能解析

Analysis of Anti-loosening Performance of Nylon Nut by Three-Dimensional Finite Element Method

○ 非 柴田裕之 (東大院) 学 木村成竹 (東大院)
正 泉 聡志 (東大工) 正 酒井信介 (東大工)

Hiroyuki SHIBATA, University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

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

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

Shinsuke SAKAI, University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

1. 緒言

現在ボルト・ナットのゆるみを防ぐために現在様々なゆるみ止めのナットが開発されている。その一つであるナイロンナットはナイロンのプリベリグトルクによってゆるみを抑制するとされており、一般的に幅広く使用されている。しかしながら、そのメカニズムについてはよく分かっていない。

本研究ではナイロンナットを常温時と高温時の両面から考察し、有限要素法によってゆるみ止め性能を解析する。ゆるみに関しては前報¹⁾²⁾と同様、軸直角方向外力による完全座面すべりと微小座面すべり³⁾を考える。完全座面すべりは過大な荷重や変位が締結体に加わった時に座面全体で起こるすべりで、ゆるみと軸力低下が急激に進む。座面微小すべりは荷重や変位が与えられたときに座面で生じる局所的なすべりで、荷重や変位を繰り返して与えることで座面の固着部が移動して微小なゆるみが進行する。また高温時の経時変化を考察するために、クリープによるプリベリグトルクの変化を求める。

2. 軸直角方向外力によるゆるみの挙動解析

2-1 解析手法

解析には汎用シミュレーションソフト ANSYS を用いる。図1のような三次元モデルを模倣した M10 ボルト・ナット締結体モデルを作成し、可動板と固定板の摩擦を無視して可動板のみモデル化する。M10 ボルト・ナットをグリップ長さが 28mm となるように作成し、被締結体可動板は 40×40×12mm とし、ボルト穴径は 12mm とした。おねじのねじ山数は 15 ピッチであり、通常のナットで約 3.5 ピッチ、ナイロンナットでは約 1.5 ピッチ分突き出している。通常の M10 六角ナットはめねじのねじ山のピッチ数を 5 とし、M10 ナイロンナットはナイロン部のねじ山のピッチ数 1、金属部のねじ山のピッチ数 4 とする。モデル簡略化のためにねじ谷底の丸みは考慮せずに、ナットの外形は二面幅を直径とする円形とした。ナットの外周はともに 15mm とし、ナット高さは通常のナットが 7.5mm、ナイロンナットが 11.25mm となっている。

接触アルゴリズムは拡大ラグランジュ法を用いる。接触要素は面・面接触要素である TARGE170 と CONTA174 を使用し、解析の時間短縮のために非対称接触を用いた。接触要素は通常のナットではボルト・ナットねじ山間、ナット座面・可動板間に設定し、ナイロンナットではボルト・ナット(金属部)ねじ山間、ボルト・ナット(ナイロン)圧力側ねじ山間、ボルト・ナット(ナイロン)非圧力側ねじ山間、ナット座面・可動板間に設定する。拘束条件に関してはボルトの頭部の外周を全自由度拘束とし、可動板を y 軸 z 軸拘束する。また可動板の x 軸方向両端面をカップリング拘束し、端面に変位や外力を与えられるようにした。

ナイロンの物性値⁴⁾は摩擦係数 0.45、ポアソン比 0.34、ヤング率 3000MPa(23℃)→990MPa(90℃)、線膨張係数 9.0E-5/(23℃)→13.7E-5/(90℃)とする。またボルトなどの金属部は

摩擦係数 0.115、ポアソン比 0.3、ヤング率 205GPa とする。金属部における線膨張係数の影響は微小なものであるため本解析では省略する。またナイロンナットのプリベリグトルクは常温で 1.0Nm⁵⁾となるように食い込み量を調製する。また上記の物性値でこのナイロンナットを高温にした際のプリベリグトルクは 0.34Nm となる。締結力はボルト・ナットに y 軸方向に変位を与えて 10kN とする。完全座面すべりについては可動板に対して x 軸において 0→0.3→0→-0.3→0(mm) となる変位を与える。微小座面すべりでは x 方向に ± の加振力を与える。力は 300,500,600,900N とする。

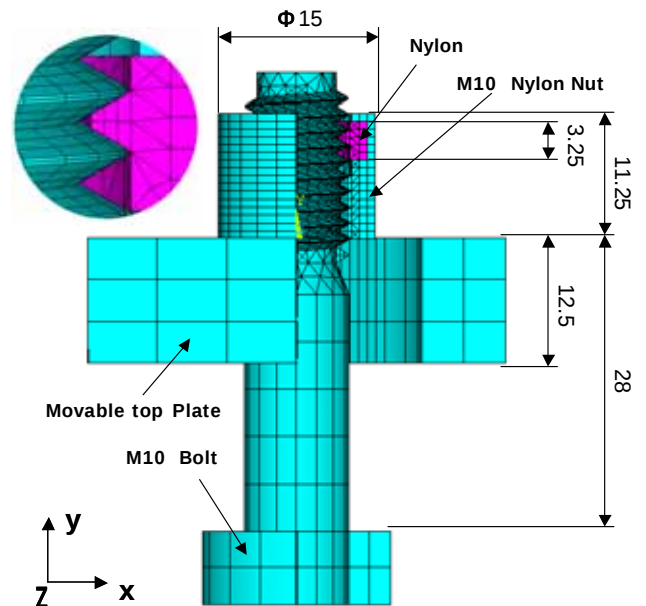


Fig. 1 3D finite element model for loosening analysis

2-2 解析結果

2-2-1 完全座面すべり

図2にゆるみの進行を示す。通常のナットに比べて常温のナイロンナットにはゆるみ抑制の効果がある。3サイクル後の回転角を比較すると通常のナットより 30%ほど回転角が減少している。また高温になるとゆるみ抑制効果がほとんどなくなっている。

2-2-2 微小座面すべり

微小座面すべりによるゆるみ速度の加振力依存性を図3に示す。加振力は完全座面すべりが生じる荷重で規格化している。通常のナットと比べて常温のナイロンナットはゆるみ抑制の効果があることが分かる。加振力が小さい時はゆるみ速度の差はあまりないが加振力が大きくなるにつれて差が生じてくる。また高温になると常温時のゆるみ抑制効果がほとんど消滅していることが分かる。

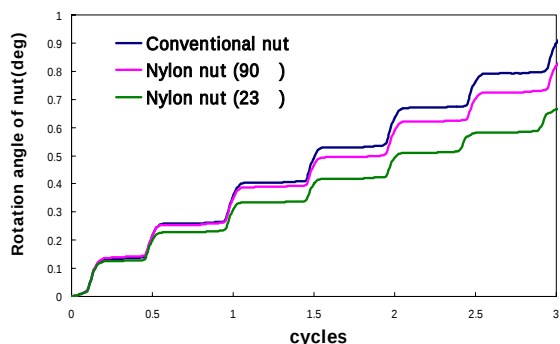


Fig. 2 Rotation angles

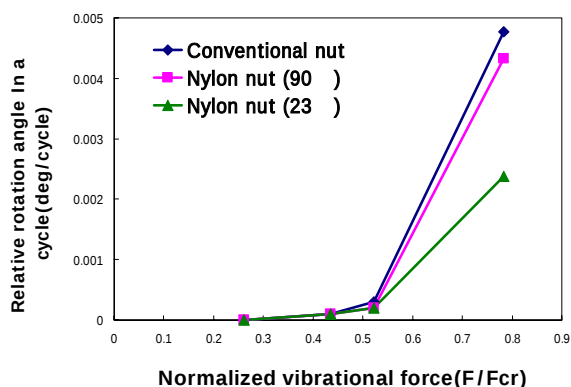


Fig. 3 Dependence of loosening rate on vibrational force

3. ナイロンのクリープ解析

3-1 解析手法

ANSYSを用いてナイロンのクリープ解析を行い、プリベリントルクの減少を評価する。図4のような二次元軸対称モデルにより、ボルトのねじ部、ナイロンナットを作成。クリープ現象は修正時間硬化則のクリープ式 $\varepsilon_c = C_1 \sigma^{C_2} t^{C_3+1} e^{-C_4/T}$ を用いて再現する。 $C_1 \sim C_4$ の係数はクリープひずみの計測値から算出する。本解析では $C_1=2.31E-4$, $C_2=1.98$, $C_3=-0.96$, $C_4=288$ とした。この係数のクリープ式を計測値にほぼ一致した。ナイロンや金属部の物性値、接触アルゴリズムやボルト・ナットの接触要素設定は軸直角方向外力のゆるみ解析と同じものを使用した。高温のプリベリントルクが 0.34Nm となるように食い込み量を調整しボルトの中心軸をx方向拘束、底面をy方向拘束し、ナットに変位を与えて締結力 10kNとした状態で 90 のクリープ解析を行った。

3-2 解析結果

クリープ解析の結果を図5に示す。プリベリントルクは始めの数時間で急速に減少し、その後長時間をかけて緩やかな減少が進行する。90 の初期では、プリベリントルクは 0.34Nm であったが最終的には 0.15Nm 程度までに減少した。三次元モデルの高温ナイロンナットのプリベリントルクが 0.34Nm であったことを考えると、クリープが進行したナイロンナット(0.15Nm)ではほとんどゆるみ抑制効果がなくなっていると考えられる。

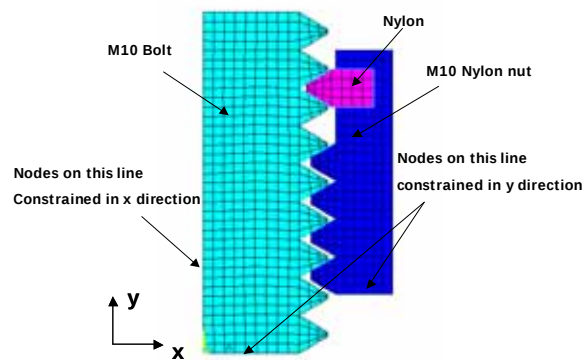


Fig. 4 2D finite element model for creep analysis

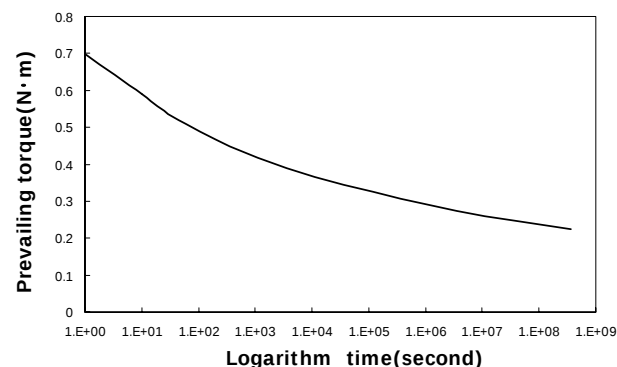


Fig. 5 Time history of prevailing torque

4. 結 言

ナイロンナットは常温では完全座面すべり、微小座面すべりともにゆるみ止め効果がある。しかし高温になるとプリベリントルクの低下によって効果はほぼ消滅する。

参 考 文 献

- 1) 泉聡志, 横山喬, 岩崎篤, 酒井信介, 日本機械学会論文集 A 編 71-702 (2005) pp.204-212.
- 2) 泉聡志, 木村成竹, 酒井信介, 日本機械学会論文集 A 編 72-717 (2006) pp. 780-786.
- 3) 賀勢晋司, 吉田諭, 石橋久典, 岡田学, 日本機械学会 2004 年度年次大会講演論文集 (4), 233, 3225
- 4) 旭化成 レオナ 1300S グレード別物性 (http://www.akchem.com/emt/emt_top.html)
- 5) JIS B1056 プリベリントルク形鋼製六角ナット - 機械的性質及び性能, JISC 日本工業標準調査会 (<http://www.jisc.go.jp/index.html>)