

# 温度変化を受けるタッピンねじの緩み解析について

前 田 一 輝<sup>\*1</sup>

山 本 楓 雅<sup>\*2</sup>

## 【要 旨】

タッピンねじは様々な分野で使用される締結材の一種であり、ねじと相手材、非締結体は異種材料が用いられることも多い。そこで本研究では異種材料を用いた締結体が温度変化を受ける緩みを、ヒートサイクル試験と有限要素法解析を用いて検証し、緩みが生じるメカニズムを検証した。

## 1 はじめに

タッピンねじは締結方法の一種であり、家電製品、自動車部品、産業機器など、幅広い分野で用いられている。これは、相手材の下穴に直接めねじを成形する締結方法であり、事前のめねじ加工が不要であるため、コスト低減や省力化が期待できる。幅広い分野での使用されるタッピンねじは被締結材にも線膨張係数の異なる材料が多く用いられ、温度変化によって膨張差が生じ、締結力の低下（緩み）が起りやすと考えられる。これまでに、ボルト・ナット締結体を対象とした温度変動下における緩みに関する研究は報告されているが、タッピンねじを対象として、ヒートサイクル負荷による緩みを実験と数値解析の両面から検討した研究は限られている。

そこで本研究では、日本産業規格（以下、JIS という）B1122 のタッピンねじ 3 種<sup>1)</sup>を対象とし、JISB0205 の小ねじと比較して、温度変動を受けた際のねじの緩み挙動を実試験と有限要素法により解明することを目的とする。

## 2 実験方法

### 2. 1 実機によるゆるみ試験

#### 2. 1. 1 各ねじの締結の特徴

ねじ締結で使用するタッピンねじ 3 種は、相手材にめねじ形状の成形を行うため、ねじ先端部からフランク面まで相手材に接触する。小ねじは、事前にめねじ形状が加工されているため、接触面がフランク面のみであり、ねじ山頂部は接触していない。参考として、使用したねじと X 線 CT による締結状態の断面を図 1 に示す。

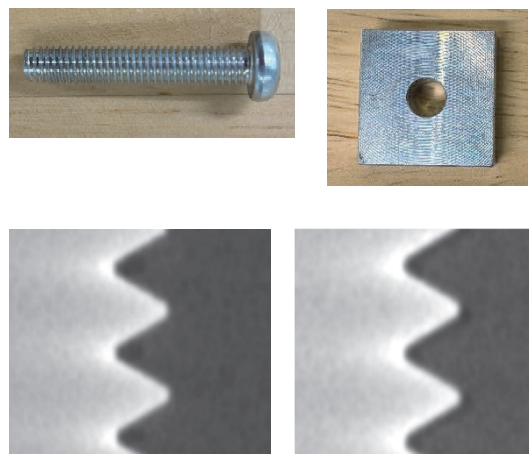


図 1 上図 使用したねじ（M5 相当）及び被締結材、下図 X 線 CT による締結時の断面観察

\* 1 中丹技術支援室 室長

\* 2 日東精工株式会社

## 2. 1. 2 締結体サンプル

図2はヒートサイクル試験に使用した締結したサンプルと試験中の様子である。

締結体サンプルは、被締結材、相手材、ワッシャー及びロードセルで構成し、タッピンねじ3種、参考に小ねじ（以下、各ねじ）を用いて1400Nの軸力で締結を行う。

試験前後のロードセルによる軸力の変化を確認し、各種ねじによる緩み量をサイクル数ごとに確認する。また、ロードセルには片当たりを防止するためにワッシャーで保護している。

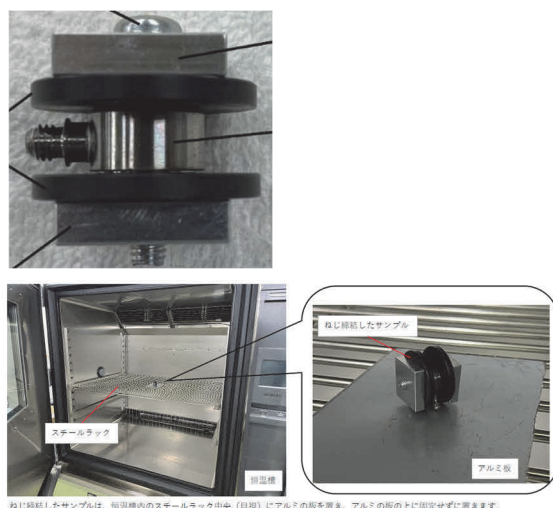


図2 上：締結体サンプル、下 実験時の様子

相手材の下穴径はφ4.5mmとして、小ねじ締結の相手材には、事前にM5のタップ加工がされている。

## 2. 1. 3 ヒートサイクル試験

自動車業界や電子部品などの信頼性評価で 사용되는規格（JIS C 60068-2-14:2011）<sup>2)</sup>を参考とし、条件は次のとおりとした。

- ・槽内温度を常温(25℃)から低温(−40℃)まで5分かけて下降させ、試料を30分間低温にさらす。
  - ・槽内温度を低温から高温(125℃)まで11分かけて上昇させ、試料を30分間高温にさらす。
  - ・槽内温度を常温まで7分かけて下降させる。
- 以上を1サイクルとして繰り返す。

また、試験後には締結体サンプルを緩めた際のロードセルの値を読み取った。

## 2. 1. 4 ゆるみ試験結果

ヒートサイクル後の軸力の試験結果を図3に示す。

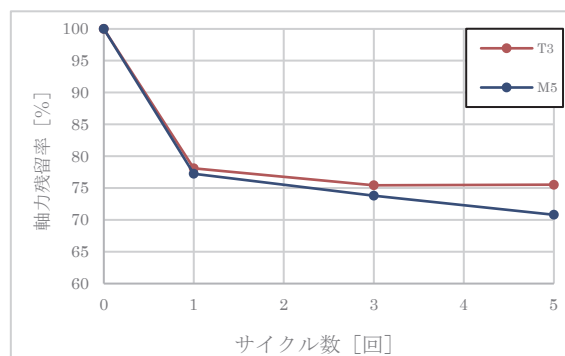


図3 試験後の軸力残留率

横軸はヒートサイクル試験のサイクル回数、縦軸は、ねじの軸力残留率（試験後の軸力を初期軸力で除した値を軸力残留率と定義する。）を示す（グラフ凡例はT3：タッピンねじ3種、M5：小ねじ 以下同じ）。

1サイクル目に軸力が大きく低下し、その後はサイクル数を増やすごとに徐々に低下する傾向を示した。また、平均の軸力残留率は、タッピンねじ3種は小ねじより、やや高くなる傾向を示した。

## 2. 2 有限要素法による検証

### 2. 2. 1 モデルの形状及び材料定数

解析モデル（図4）は、実試験モデルを参考に作成した。なお、ねじ部については、要素数の削減のため、接触しない部分や不完全ねじ部は省略して作成している。

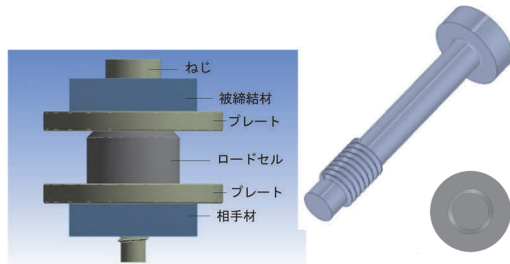


図4 左：解析モデル、右：タッピンねじ3種

材料定数を表1に表す。材料定数はANSYSのデフォルトデータを採用し、一部の試験を実施した材料については、その結果を用いている。また、接触部の摩擦係数については、過去に実施した実験で得られた値を採用している。

表1 材料定数

|                | 弾性係数<br>(MPa) | ポアソン<br>比 | 線膨張<br>係数<br>×10 <sup>-6</sup> | 降伏応力<br>(MPa) | 接線係<br>数<br>(MPa) |
|----------------|---------------|-----------|--------------------------------|---------------|-------------------|
| ねじ 及び<br>プレート  | 200,000       | 0.3       | 12                             | 900           | 1450              |
| 相手材 及び<br>被締結材 | 71,000        | 0.33      | 23.8                           | 280           | 145               |
| ロードセル          | 198,000       | 0.3       | 17                             | —             | —                 |

### 2. 2. 2 解析条件及び要素分割

解析に使用した条件を表2に、また図5に本解析で使用した要素の全体を示す。本解析では静解析を用いて実試験と同じ温度条件をステップごとに熱荷重として全モデルに一樣に与え、5サイクルの温度変動を実施している。

表2 解析条件

|       |                                                                        |
|-------|------------------------------------------------------------------------|
| 手法    | 静的構造解析                                                                 |
| 使用ソフト | ANSYS Mechanical 2019R1                                                |
| 接触条件  | 拡大ラグランジュ法<br>摩擦係数<br>ねじ部：0.33 (T3) 0.23 (M5)<br>座面：0.13 (T3) 0.13 (M5) |
| ステップ数 | AUTO Step                                                              |
| 境界条件  | 拘束：相手材 底面上下拘束、<br>側面回転固定<br>荷重：プリテンション 1400N<br>全モデル一様熱荷重              |
| 使用要素  | SOLID186, 187<br>CONTA174, TARGE170                                    |

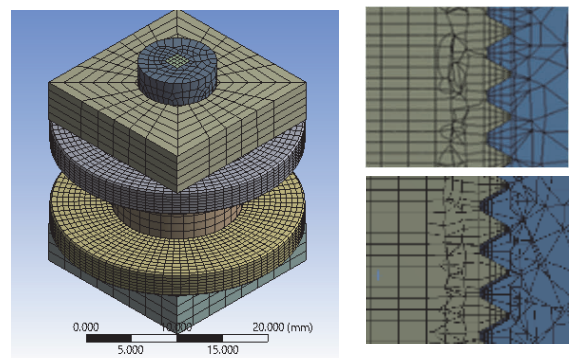


図5 左：全体モデル、右：タッピンねじ3種、小ねじ

### 2. 3. 1 解析結果

解析結果を図6～図8に示す。

図6は各ねじのヒートサイクル後の軸力残留率であり、いずれも軸力の低下が確認でき、わずかではあるがサイクル数が増すごとに軸力が低下している。

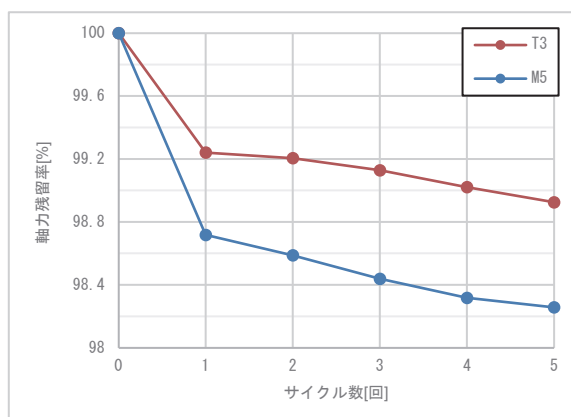


図6 1サイクルあたりのヒートサイクル時の軸力変化

次に1サイクル（常温→低温→高温→常温）で生じる軸力変化を図7に示す。締結体、被締結体等の線膨張係数の違いにより、常温から低温になると各ねじの軸力は低下し、高温になると軸力が上昇する。

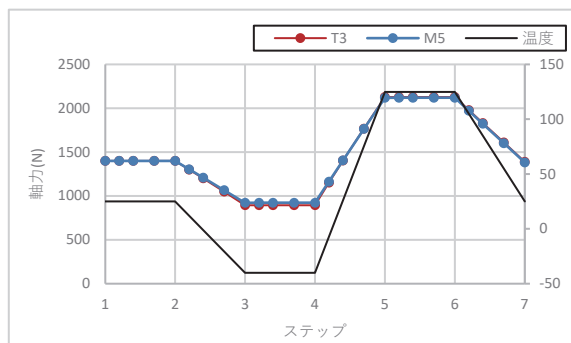


図7 1サイクルあたりのヒートサイクル時の軸力変化

図8に示す相対回転角度は、おねじ側と相手材の角度差であり、サイクルが増すにつれて、わずかに緩み方向に回転し、タッピンねじ3種より小ねじが回転していることがわかる。このことより、小ねじは温度変化を受けることにより、回転緩みが生じ、軸力が低下していると考えられる。

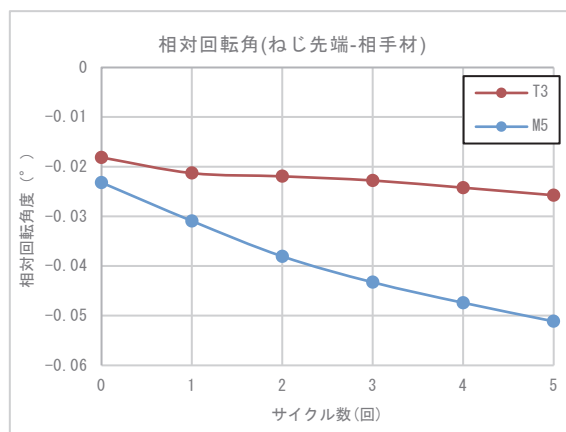


図8 サイクル毎の相対回転角度

### 3 結果及び考察

#### 3. 1 実試験結果及びFEMの結果について

##### 3. 1. 1 軸力低下の差

実試験と FEM による軸力低下率には差が生じているが、これは実試験では軸力変化に伴い初期緩みが生じているためと考えられる。初期緩みとは、負荷を受けるねじ部や座面等の表面にある微細な凹凸などが軸力の変化によって平滑化し、軸力が減少する現象<sup>3)</sup>であり、FEM 上で再現することは困難である。一方で、緩みややすさの順序は一致しているため、傾向は捉えられていると考えられる。

##### 3. 1. 2 ゆるみの要因

各ねじにおける軸力低下の要因として、2つの現象により緩みが生じると推察される。

一つ目は温度変化で生じた軸荷重方向の増減による緩みが考えられる。線膨張係数が大きい被締結体では、温度上昇により体積が膨張し、相手材およびねじの座面を押し上げることで、ねじの軸力が上昇する。軸方向荷重の増減による緩みは、ネジ山に角度があるため、半径方向に拡大し、ねじ部はポアソン比に関係づけられて半径方向に収縮する。また逆に荷重が減少するときは、反対の

現象が発生する。軸力の増大・減少に際してリード角に沿って下り、緩み回転方向に進行する。<sup>4)</sup>

二つ目は、相手材の膨張が考えられる。相手材の線膨張係数が大きいと、温度が上昇した際に相手材がおねじより、相対的に大きくなり、フランク面を滑る現象が起きる。こちらにも収縮した際にリード角に沿って下り、回転方向に進行する。

1 サイクル内の各ステップにおける相対回転角度（図9）を見ると、低温に降下した際には締まり回転方向に、高温に上昇した際には、緩み回転方向に進む。この時、高温時には緩み回転が生じているが、常温になった際には同一の位置まで戻っていないことが確認できる。

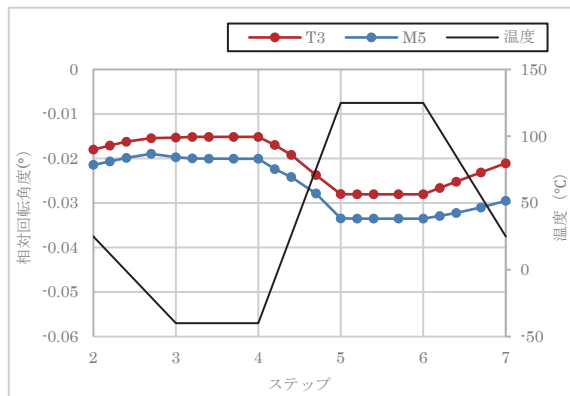


図9 1サイクルあたりの相対角度変化量

#### 4 まとめ

各ねじのヒートサイクル試験と有限要素法による解析を行い、緩みの傾向を明らかにした。

本モデルでは、締結材及び相手材と被締結材が異種材料である場合、温度変化を受けると回転

緩みが生じ、小ねじはタッピンねじ3種より緩みやすいことがわかった。

また本研究の今後の課題として、以下を挙げる。

- ・被締結体と相手材を異種材料で実施したが、今回の結果から共に緩みが生じる原因と考えられるため、緩みの要因をさらに切り分けるため締結体を、相手材と同一材料として実施する。
- ・初期軸力は1条件のみで検討したが、初期軸力の違いについても検討し、緩みの影響を確認する。
- ・低温及び高温のヒートサイクルを実施したが、低温と高温の影響の受けやすさを検証する。
- ・有限要素解析によるヒートサイクルによる緩みの傾向は出来ているため、ねじ形状の違いについても検証する。

#### (謝辞)

京都府特別技術指導員 四方 修 氏には、様々な場面でご助言を賜り、感謝の意を表します。

#### (参考文献)

- 1) JIS B1122:2011 十字穴付きタッピンねじ
- 2) JIS C60068-2-14:2011 環境試験方法—電気・電子—
- 3) 山本晃：ねじ締結の原理と設計，年養賢堂，p102 (2018)
- 4) 山本晃：ねじのおはなし，日本規格協会，p81 (2006)