

## 2 4 2 圧縮予ひずみを施した鉄系形状記憶合金ナットの緩み防止

02D1050 小池 拓

### 1. 緒論

ボルト・ナットによる締結は最も一般的な結合方法であり、さまざまな機械や構造物に用いられている。しかし、他の締結法と比べ取り外せるなどの利点がある反面、外力が働くなどの要因で自然に緩んでしまうことがある。ナットが緩むことで締結力の低下だけではなくボルトの破損を招き、大事故につながる危険性を含んでいる。そのため、今までにもさまざまな緩み防止機能をもったナットが開発されてきている。

本研究では単軸圧縮加工により、中実及び中空円筒材に予ひずみを与えその形状回復特性を調査し、緩まないナットへの応用を検討する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材

供試材には 61%Fe-28%Mn-6%Si-5%Cr 合金(mass%)の鉄系形状記憶合金を用いた。供試材は、鍛造でφ35mmの丸棒を製造し、950℃で1時間の形状記憶処理を兼ねた溶体化処理を施した。

鉄系形状記憶合金は、応力によってひずみを与えると、母相(オーステナイト相)がε-マルテンサイト相に変態する。これに熱を与えるとε-マルテンサイト相が逆変態して母相に戻る。このときに形状も元に戻る。これを形状記憶効果<sup>2)</sup>と呼ぶ。また、単軸引張り試験によるトレーニングあり・なしでの予ひずみと形状回復ひずみの関係式は以下の(1)、(2)式で定義される。

$$\epsilon_{r0} = 21.850 \epsilon_p^3 - 7.328 \epsilon_p^2 + 0.706 \epsilon_p \quad (1)$$

$$\epsilon_{r1} = 39.953 \epsilon_p^3 - 12.869 \epsilon_p^2 + 1.206 \epsilon_p \quad (2)$$

#### 2.2 形状回復力によるナットの緩み防止

図1のようにボルトに働く軸力により、ねじ部には摩擦力Mとナットを緩ませる力Uがかかっている。通常は、この2つの力が釣合っているためナットは緩まない。しかし、

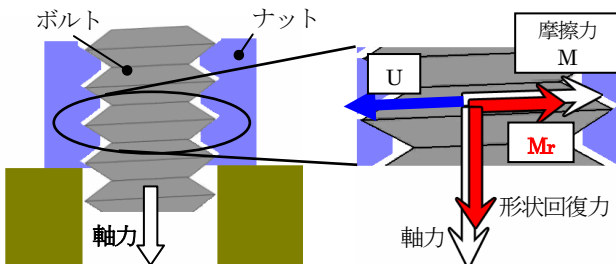


図1 形状回復力による緩み防止

機械的振動などによりねじ部面圧が低下するとナットが緩む原因となる。これを防止するためには、ねじ部の面圧を増加させることが効果的である。形状回復力による軸力の増加によって、摩擦力(M<sub>r</sub>)が増加すれば、ナットの緩み防止機能と成り得る。

#### 2.3 圧縮変形に対する形状回復試験

圧縮変形を施した中実及び中空円筒材の形状回復特性を調査した。形状回復試験は、変形を施す予ひずみ付与工程と、加熱による形状回復工程である。また、トレーニングのあり・なしの比較検討も行った。

まず切削加工により、中実及び中空円筒材を図2の寸法のように供試材より作製した。

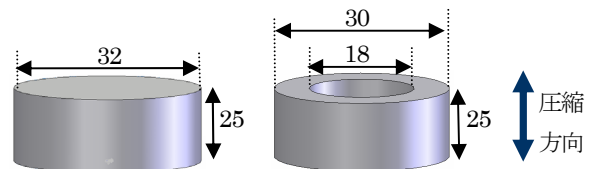


図2 圧縮試験片

試験片作製後、圧縮試験機により軸方向に圧縮加工を施し、2%から10%まで1%刻みを目標に塑性ひずみを与えた。潤滑剤には耐極圧用の二硫化モリブデングリースを用いた。

圧縮加工前後にマイクロメータで外径、内径、高さをそれぞれ測定し、加工前の高さをh<sub>1</sub>、加工後の高さh<sub>2</sub>をとし、軸方向予ひずみをε<sub>p</sub>(ln(h<sub>2</sub>/h<sub>1</sub>))とする。

圧縮加工に続き、中実円筒材は切削加工により内径18mmの穴を開けた。その後、中実・中空試験片とも形状回復処理として350℃で10分間保持と空冷を施した。加熱後の高さをh<sub>3</sub>とし、加熱前後の形状変化を形状回復ひずみε<sub>r</sub>(ln(h<sub>3</sub>/h<sub>2</sub>))とする。

トレーニング時は、6%の予ひずみを与え、600℃で10分間保持の形状回復処理と空冷を施した。

#### 2.4 形状記憶合金ナットの性能評価試験

試験1の結果を踏まえて、中実円筒材からナットを作製し、緩み防止の性能評価を行った。

まず、ナット寸法がJIS1181 M16の並目六角ナットとなるよう、供試材から外径25.7mm、高さh17.5mmの中実円筒材を作製した。これを6%の予ひずみ付与と600℃で10分間保持と空冷のトレーニングを施した後に、5%の予ひ

ずみを付与しタップによる切削加工でねじ切りを行った。その後全長  $l$  60mm の S45C 製ボルトとともに被締結部材に締結し、ナットの形状回復処理のために 350°C で 10 分間保持と空冷を施した。締結時の試験条件を表 1 に、各締付け状態を図 3 に示す。

表 1 試験条件

| 試験片番号 | 名称       | 状態図 | 締付けトルク [N・m] | 形状回復処理 |
|-------|----------|-----|--------------|--------|
| 1     | 手締め      | B   | 0            | あり     |
| 2     | フリースピニング | C   | 0            | あり     |
| 3     | 規格通常締付け  | A   | 117          | なし     |
| 4     | 規格通常締付け  | A   | 117          | あり     |
| 5     | 高締付け     | A   | 150          | なし     |
| 6     | 高締付け     | A   | 150          | あり     |

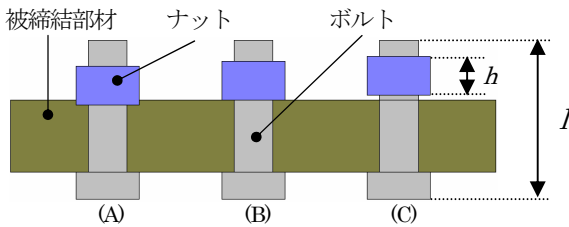


図 3 締付け状態図

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 圧縮変形に対する形状回復特性

中実・中空材の圧縮変形に対する軸方向予ひずみと形状回復ひずみの関係を図 4 に示す。

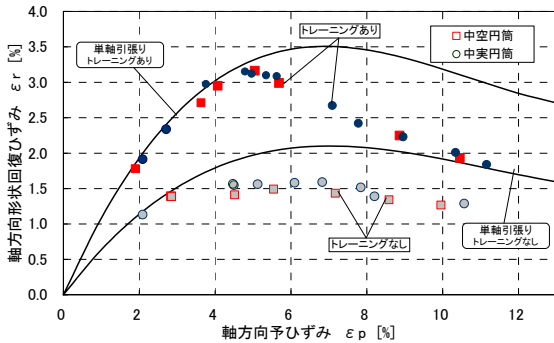


図 4 軸方向の形状回復特性の比較

トレーニングを行うと母相の強度が上がるため、転位が入りにくくなる。そのため形状回復性能は向上する。

単軸引張りのデータでは 6~8% でピークがあるのに対し、圧縮試験では 5% あたりでピークになっている。予ひずみが少ないと無理なく結晶が変態するが、次第に転位が導入され塑性変形の割合が高くなる。そのため、形状回復性能が下がっていく傾向にある。本圧縮試験では軸方向予ひずみが大きくなるほど試験片はバレル状に変形した。そのため、単軸引張りよりも複雑に転位が入るために回復性能が劣る

と考えられる。

軸方向の形状回復特性において、中実・中空とも形状回復性能に大きな差はない。しかし、内径の収縮量では圧縮時に中実材であった方が多い結果となった。これは、圧縮時の変形挙動の違いによるものと考えられる。

#### 3.2 形状記憶合金ナットの性能評価

形状回復処理なしのナットの戻しトルクを一般のナットのものとし、形状回復処理前後での戻しトルクの比較を行った。各戻しトルクの比較を図 5 に示す。

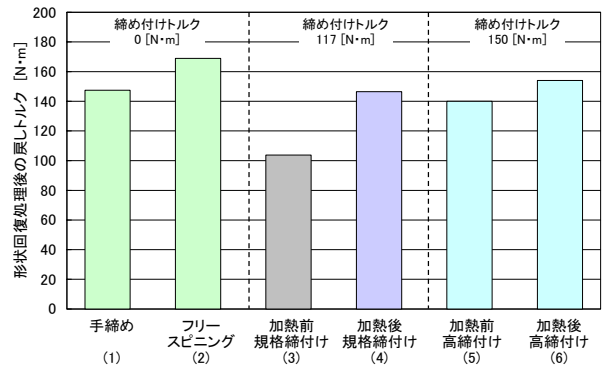


図 5 形状回復処理前後の戻しトルクの比較

形状回復処理前と比べ、通常締付け及び高締め付け共に戻しトルクの増加がみられた。フリースピニングでは、形状回復時にナットのピッチが変化したため、結果として戻しトルクが増加したと考えられる。

### 4. 結論

圧縮予ひずみ付与時に中実円筒材である方が中空円筒材よりも、内径の形状回復特性に優れる。

圧縮予ひずみを施した試験片を圧縮下で形状回復させる場合、形状回復機能の低下及び形状回復温度の上昇が確認されている。そのため、軸力によりねじ部には面圧が働くが、これが形状回復性能を妨げていると思われる。高締め付けで戻しトルクの増加が規格締め付けと比べわずかしかないのはこのためと考えられる。また、一般にナット座面に近いねじ山ほど大きな荷重を負担することが知られている。ナットの形状回復によって、ナット座面から遠いねじ山にも荷重をかけ、面圧を上げる効果が期待できるため結果として戻しトルクの向上による緩み防止となる。

### 5. 参考文献

- 1) 田中喜久昭他：形状記憶合金の機械的性質，養賢堂(1993)
- 2) 直井久他：鉄系形状記憶合金における加工・熱処理の形状記憶特性に及ぼす影響，JCOSSAR 2000 論文集 pp. 141-148
- 3) 丸山忠克ほか：ここまでの鉄系形状記憶合金，金属 Vol66(1996)，pp. 1079-1088