

論文

高温ひずみゲージによる小ねじ部品のクリープ試験装置の開発

舟山 義弘* 小林 光男** 野口 賢三***

Development of a Creep Examination Device for Machine Screw Parts using a High-temperature Strain Gauge

Yoshihiro Funayama*, Mitsuo Kobayashi**, Kenzo Noguchi***

This report covers development of a displacement gauge for measurement while hot of elongations of machine screws due to creep, and a load cell for measurement while hot of reduction in tightening force of machine screws due to relaxation, utilizing a high-temperature strain gauge capable of measuring strains at comparatively high temperatures. Further, we developed an examination device implementing these components, for assessment of safety related to breakage and loosening due to effects of creep and relaxation of machine screws at around 300°C. Further, assessment of the performance of this examination device revealed that creep examination and relaxation examination could be performed satisfactorily.

キーワード: 高温ひずみゲージ, 小ねじ, クリープ

Keywords: High-temperature strain gauge, Machine screws, Creep

1. はじめに

クリープのように時間とともに損傷が進む現象は、製品機器にとって深刻な問題になる。したがって、この高温締結部に使用される小ねじ（ねじの呼び: M3~M6）は、高温状態でのクリープやリラクセーション（残留締付け力の低下）の影響を考慮し、比較的耐熱性に優れるステンレス製小ねじが従来から使用されている。

このような製品機器は、最近コストダウンを図る目的から、ステンレス製小ねじより安価な鋼製小ねじへの要求や、アルミ製機器に関しては、同質でより軽量さらにリサイクルの容易なアルミ製小ねじへの要求がある。こうした要求から、ステンレス製小ねじに変えて比較的高温状態で鋼製及びアルミ製小ねじの使用が検討され、高温状態でのクリープやリラクセーションによる破断やゆるみについて安全性を確認する試験要望がある。

しかし、鋼製及びアルミ製小ねじのねじ形状で、クリープやリラクセーションに関する試験を高温状態において行ったデータはなく、試験装置もないのが現状である。

そこで、比較的高温でもひずみ測定が可能な高温ひずみゲージを活用し、高温状態でクリープによる小ねじの永久伸び（以下伸び）を測定する変位計や、高温状態でリラクセーションによる小ねじの締付け力の変化を測定するロードセルを開発し、さらに、これらを組み込み鋼製及びアル

ミ製小ねじの高温状態でのクリープやリラクセーションの影響を評価する試験装置を開発した。

2. 試験装置の必要性

クリープは、一定の荷重を静的に加え保持すると伸びが進行する現象である。また、リラクセーションは、一定の締付け力を与えて保持するとクリープのために伸びが進行し、その結果締付け力が時間とともに低下する。どちらも、室温で降伏点より低く小さい荷重であれば、そのまま保持しても伸びの進行はないが、この状態が高温になると時間とともに伸びが進行する。一般的に鉄鋼材料のクリープは、450°C以下では問題ない⁽¹⁾とされるが、ねじ部品は平滑な試験片と異なりねじ部に大きな応力集中を生じることから、300°C程度でのクリープの影響を評価する必要がある。

また、JIS B 1051「炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質—第1部: ボルト, ねじ及び植込みボルト—付属書A (参考) 高温における降伏点又は0.2%耐力」によると、ボルト等の機械的性質は、高温になると温度とともに変化し、高温状態が続いた場合には、リラクセーションが発生することがある。この結果300°Cで100時間保持すると、降伏点の低下のために、初期締付け力が25%以上低下すると考えられ重要視しなければならない⁽²⁾とある。

したがって、ステンレス製小ねじに変えて比較的高温状態の300°C程度で鋼製小ねじや80°C程度でアルミ製小ねじを使用した場合、クリープやリラクセーションによる破断やゆるみについて安全性を確認する試験装置が必要である。

* 製品化支援室

** 工学院大学

*** 株式会社昭和測器

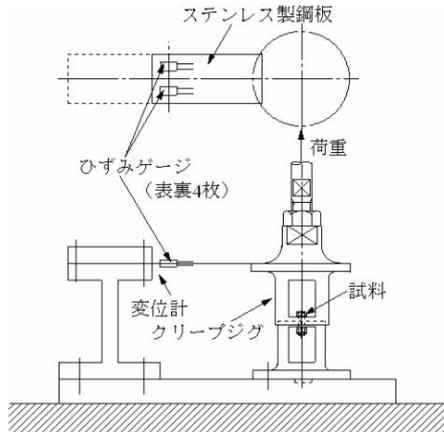


図1. 変位計とクリープ試験用ジグの概観

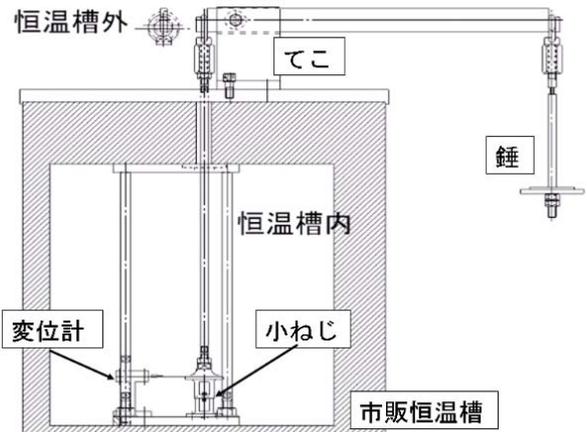


図2. クリープ試験用装置の概観

3. 試験装置の開発方法

試験装置を開発するうえで、高温状態でクリープによる小ねじの伸びを測定する変位計や、高温状態でリラクセーションによる小ねじの締め付け力を測定するロードセルが必要である。しかし、現状この変位計及びロードセルは鋼製及びアルミ製小ねじの高温状態でのクリープやリラクセーションの影響を評価することができない。したがって、最初に変位計及びロードセルを開発し、これらを組み込みクリープ試験とリラクセーション試験の両試験が可能な試験装置を開発する。

変位計及びロードセルの開発には、比較的高温（300℃程度）でも測定可能な高温ひずみゲージを使用し、この接着等の取り扱いができるようにする。つぎに、図1に示す変位計に使用するステンレス鋼板や、ロードセルに使用するステンレス鋼成形品に高温ひずみゲージをそれぞれ接着しこれらの製作を行う。

試験装置の開発は、図2に示すクリープ試験用装置を、市販の恒温槽内に開発した変位計とジグを、恒温槽外にて錘を取り付け、小ねじに高温状態で静的荷重が一定に加わるように製作を行う。また、リラクセーション試験用装置は、クリープ試験用装置から恒温槽外にて錘を取り外し、さらに恒温槽内のクリープ試験用の変位計及びジグをロードセルと交換し取り付けが可能なように製作を行う。

一方、変位計やロードセルのひずみデータは、恒温槽内から高温用リード線により恒温槽外のインターフェースに取り込み、パソコンによりデータ処理を行い解析する。

4. 試験装置の開発及び考察

4.1 高温ひずみゲージの接着

高温ひずみゲージ（株式会社共和電業製：KFU-2-120-C1）の接着方法は、汎用箔ひずみゲージと接着する表面処理は同じであるが、瞬間接着剤を使用しないことから、専用の接着剤を塗布後けがき線に合わせ貼り、この上にテフロン粘着テープを貼り、位置がずれないように固定する。さらに、テフロンシート、シリコンゴム、金属板の順に重ねセットし、ステンレ

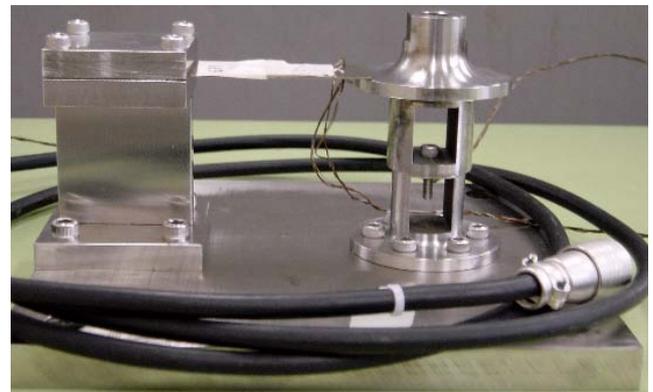


図3. 変位計とクリープ試験用ジグ

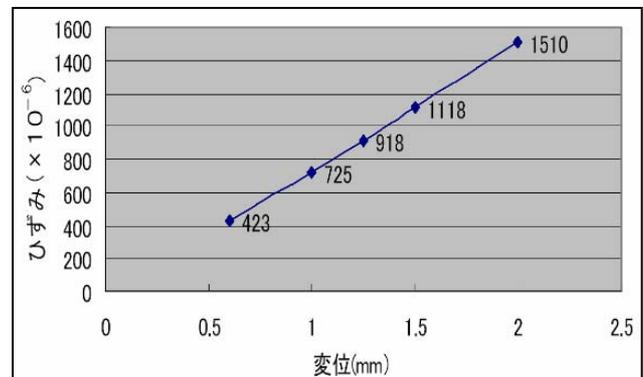


図4. 変位計の校正線図

ス製クランプにより200～500kPaで加圧固定する。この加圧固定した状態で、加熱炉に入れキュアリング（100℃で1時間加熱処理後昇温、200℃で2時間加熱処理後除冷）を行い、次に加圧固定を外し被測定体と仮接着状態の高温ひずみゲージだけを再度加熱炉に入れエージング（昇温速度は毎分5℃で昇温後、300℃で2時間加熱処理後除冷）を行う。エージングが終了すれば300℃程度での測定が可能になる。

このように複雑な接着作業を行うことから、けがき線からのずれ、加圧固定が不十分なことによるゲージのはく離等の接着不良、ゲージリード線溶接部の断線等に注意する必要がある。また、高温ひずみゲージは被測定物と同じ線膨張係数のものを選定する必要がある。

4.2 変位計及びロードセルの開発

図3に開発した

クリープ試験用の変位計とジグを示す。この変位計は、片持ちはり（スパン：55mm）のステンレス鋼板（SUS304、板厚：0.6mm）表裏に高温ひずみゲージ（KFU-2-120-C1-16H1M3）を4枚貼り付け製作する。ジグに取り付けた小ねじが伸びて片持ちはりを曲げ、これにより生ずるひずみを測定する。この伸びである変位を2mmまで測定することが可能である。

図4にこの変位計の校正線図を示す。これはブロックゲージで変位させ生ずるひずみの関係で、この関係はほぼ直線であり、繰り返し変位させても同様のひずみを示し、精度的に問題のないことを確認した。また、この変位計自体の高温状態での補正ひずみを測定した結果、100℃あたり40μひずみの補正を行う必要があった。これは、薄いステンレス鋼板が高温状態により若干変形することによるものと考えられるが、試験には大きな影響がないことが分かった。

図5に開発したロードセルを示す。このロードセルは、ステンレス鋼成形品（SUS631、外径：70mm、高さ：33mm）の曲げ検知部に高温ひずみゲージ（KFU-2-120-C1-11H1M3）を貼り製作し、ロードセルに締め付けた小ねじの締め付け力を10kNまで測定することが可能である。

図6にこのロードセルの校正線図を示す。これは試験機による荷重とひずみの関係でこの関係は直線であり、10kNまで繰り返し荷重を加えても同様のひずみを示し、除荷後も0に戻り直線性や再現性に問題がないことを確認した。また、このロードセル自体の高温状態での補正ひずみを測定した結果、変形によるひずみが0で補正する必要はなかった。これは、ステンレス鋼成形品自体に剛性があり変形することがないためと考えられる。

4.3 試験装置の開発 図7に開発したクリープ試験用の装置を示す。クリープ試験は、変位計とジグを恒温槽内（W450×H450×D450mm）に、てこと錘を恒温槽外（W1040×H820×D635mm）に取り付け、小ねじに高温で錘の10倍の静的荷重が一定に加わる状態にして、伸びの進行を測定する。このクリープ試験装置は、市販の恒温槽を使用したことから、恒温槽内に補強材を使い強度を上げるように改善した。しかし、全体的な剛性がなく重い錘を載せると、恒温槽自体が変形することが分かった。したがって、錘は15kg程度が限界で、これ以上は特別な仕様の恒温槽が必要である。

また、リラクセーション試験は、クリープ試験用装置の恒温槽外にてこと錘を取り外し、恒温槽内にロードセルを取り付ける。このロードセルには小ねじとナット等を締め付け、高温状態で締め付けた小ねじの締め付け力の低下を測定するようにした。このリラクセーション試験では、恒温槽内でロードセルに小ねじの締め付けを考えたが、締め付けるには若干狭く大きな締め付け力が得られなかった。したがって、恒温槽外で締め付けを行いその後恒温槽内に入れ試験を行うようにした。

4.4 試験装置の性能確認 開発したクリープ試験用



図5. 開発したロードセル

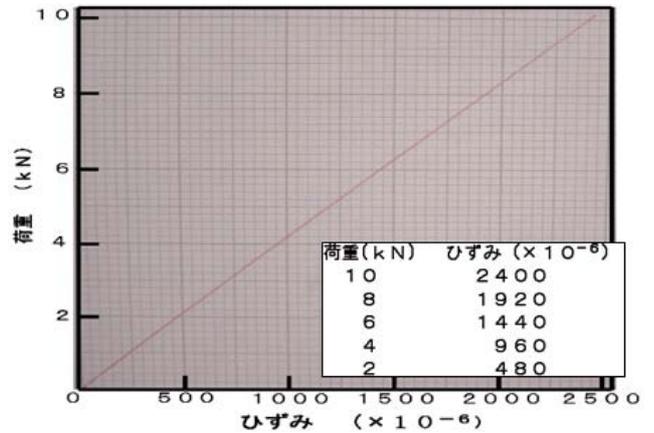


図6. ロードセルの校正線図

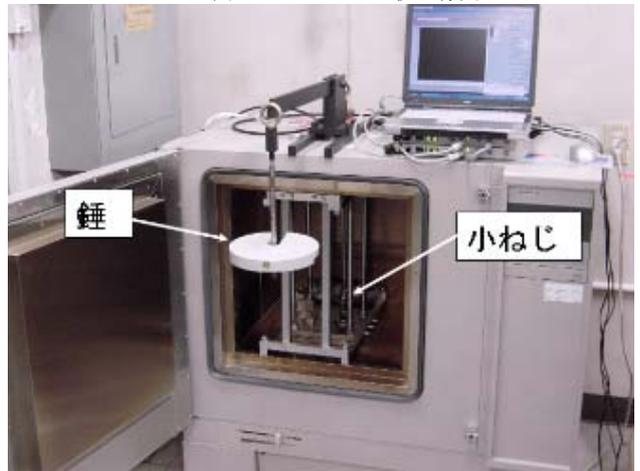


図7. 開発した試験装置

装置の性能確認のために、アルミ製小ねじ（M4×20）のクリープ試験を行った。その結果、図8に示すようなクリープ変形を測定することができた。このデータは5分に1個のサンプリングを行い、収集したデータを解析したものである。この性能確認では、特に恒温槽に変形等はなく測定することができた。なお、この試験条件は、温度250℃、錘5kg（ねじ部に生ずる応力約43MPa）とした。これは、連続運転ができないことから、温度を高くして短時間で評価する必要があった。

また、鋼製鍋小ねじ（M6×25）とナットをロードセルに締め付け、締め付け力1.65kNを発生させ、締め付け状態の初期

ゆるみが落ち着いた後、昇温し 200℃で締付け力の低下を測定するリラクゼーション試験を行った結果、図9に示すように3時間後に 1.10kNと 33%締付け力が低下した。これは、高温状態でリラクゼーションの影響により小ねじの初期締付け力の低下とナットのめっきが溶けること等より締付け力が大きく低下したためと考えられる。

5. まとめ

比較的高温（300℃程度）でもひずみ測定が可能な高温ひずみゲージを活用し、高温状態でクリープによる小ねじの伸びを測定する変位計や、高温状態でリラクゼーションによる小ねじの締付け力の変化を測定するロードセルを開発した。また、ステンレス製小ねじに変えて比較的高温の300℃程度で鋼製小ねじを使用した場合や、80℃程度でアルミ製小ねじを使用した場合の、クリープやリラクゼーションの影響による破断やゆるみについての安全性を評価する試験装置を、開発した変位計やロードセルを組み込み開発した。さらに、この試験装置の性能確認を行った結果、クリープ及びリラクゼーション試験が可能であることが分かった。

(平成 18 年 10 月 20 日受付, 平成 18 年 11 月 24 日再受付)

文 献

- (1) 西島 敏：金属材料の寿命－疲労とクリープ，東京都立工業技術センター長期講習テキスト p.146, (1988)
- (2) JIS ハンドブックねじ I：日本規格協会 p.578 (2004)

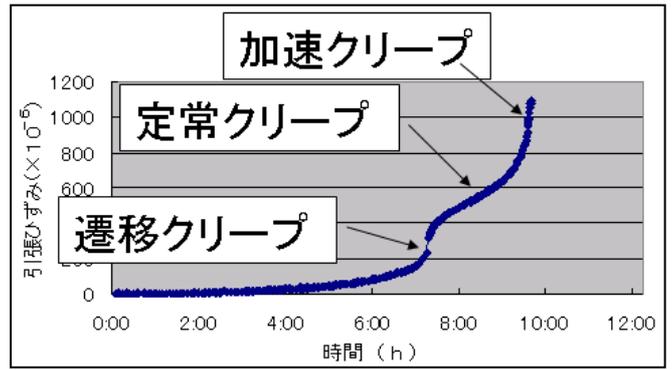


図8. クリープ曲線

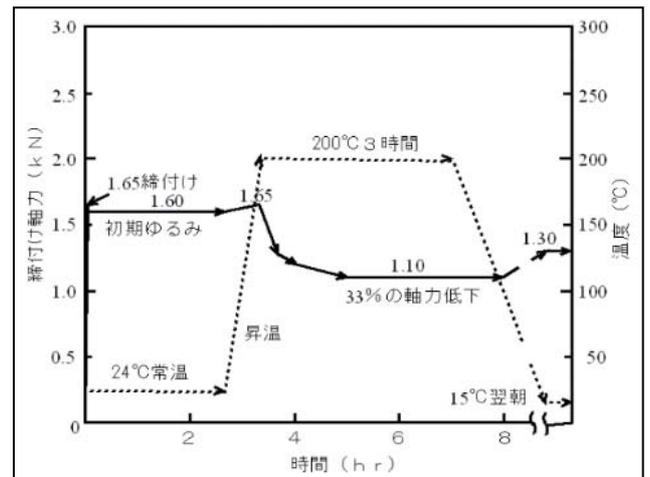


図9. リラクゼーションによる締付け力の変化