

報告日 2011年(平成23年)1月7日
報告者 石川工業高等専門学校 機械工学科 准教授
旭吉 雅健

1. 研究概要

(和文)

(1)課題名 (日本語)

内外圧負荷環境下での電気油圧サーボ式引張・圧縮－ねじり多軸疲労試験装置の開発

(2)研究者氏名

旭吉 雅健 (石川工業高等専門学校・機械工学科・准教授)

(3)研究概要 (日本語)

発電プラント配管など、複雑な応力状態に曝される構造材料の強度評価には多軸応力下での疲労試験が要求される。これまで、多軸疲労試験の方法としていくつか提案されてきたが、実機の応力状態をより正確に模擬できると考えられる、中空円筒形状の試験片に内外圧および機械的な負荷を重畳して負荷する試験装置は、その技術的な困難さから実現化されていなかった。本研究で、アクチュエータを改良した汎用試験装置に圧力容器を組み合わせることによって、内外圧負荷環境下での引張・圧縮－ねじり多軸疲労試験が可能な装置を設計・開発した。

(4)キーワード

内外圧負荷・多軸応力・疲労・寿命評価・試験装置開発

(英文)

(1) Research title

Development of A Hydro Electronic Tension-Torsion Multiaxial Fatigue Testing Machine under Inner/Outer Pressure

(2) Name of researcher with title of position

Noritake HIYOSHI

Associate Professor, Ishikawa National College of Technology, Department of Mechanical Engineering

(3) Summary

In this project, we have developed a new type hydro electronic tension-torsion multiaxial fatigue testing machine under inner/outer pressure. It is needed to carry out

multiaxial fatigue test for accurate fatigue life estimation of tube, which is used at power plant. There was no fatigue testing machine which can carry out multiaxial fatigue test cause of technical difficulty. We have combined a new type actuator with pressure vessel to carry out the multiaxial fatigue test.

(4) Key Words

Inner/Outer pressure, Multiaxial stress, Fatigue, Life estimation, Development of instrument

2. 本研究の意義・特色

構造材料の寿命評価のためには、実機での応力状態をより正確に模擬した多軸疲労試験が不可欠である。多軸疲労試験の手法のなかでも、引張－ねじりの機械的負荷と、圧力負荷とを組み合わせた実験手法はその技術的な困難さのために実現化されていなかった。本研究で設計開発した多軸疲労試験装置を用いることによって、これまで未解明であった分野のデータ蓄積を図ることができる。

3. 実施した研究の具体的内容、結果（本文）

本研究プロジェクトの目的は、対象となる試験片に内外圧を負荷した状態で、引張圧縮・ねじりの多軸負荷を重畳して加えることのできる疲労試験装置を開発することである。

研究の第一段階として、要素試験による中空円筒形状試験片への内圧および外圧負荷検証実験を行った。要素試験装置の外観を図 1 に示す。実験中の安全確保のために圧力容器全体を防爆用鉄板で囲んだ。要素試験の目的は試験片に所望の内外圧を負荷することのできる機構や制御の確認、圧力容器や試験片の

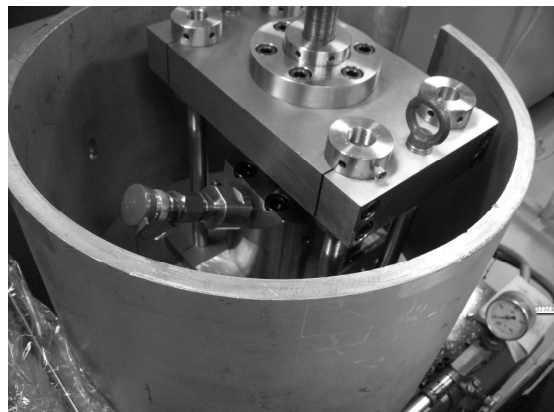


図 1 要素試験装置外観写真

形状寸法の確認、圧力容器の安全性検証である。本研究プロジェクトで優先的に解決しないといけない技術的な課題は、油の漏れ防止である。高い圧力を確保するためには完全な密閉が必要となる反面、疲労試験を行う場合には、動的な機械的負荷が必要となり、両者のバランスが重要である。高圧の油が、容器に発生した微小なき裂や隙間等から容器外部に漏れ、オペレーターが負傷する事態は絶対に許されない。

要素試験装置は圧力容器本体と上部のフタ部とから成り、容器の中に中空円筒形状の試験片が挿入される。圧力容器とフタ、圧力容器と試験片との間には機械的な隙間が存在す

るが、それらの隙間からの油の漏れを防ぐために適切な O リングを選定し、シールを施した。さらに、圧力容器には圧力計測装置を取付けるためのネジ加工や、圧力容器内部からの信号線を取り出すためのネジ加工が施してあるが、圧力の上昇とともにそれらネジ部からの油漏れがないかについても併せて検証した。

30 回以上にわたる要素試験を行い、130MPa の圧力を負荷することができる圧力容器および中空円筒試験片の形状寸法を決定した。併せて、次に記述する、内外圧負荷環境下での多軸疲労試験を行うときの実験技術的なノウハウを蓄積した。

- ・ 使用する油の容積を少なくするために、中空円筒試験片内部、および圧力容器内部にスペーサーを挿入する。
- ・ 油の粘度を下げて循環性向上を図る。
- ・ 実験開始前に循環ポンプを用いて油を強制的に循環し、内部の空気を完全に除去する。
- ・ 実験中はシリンダの上下移動によって所望の圧力を負荷するが、実験開始前に、別途準備した加圧ポンプで初期圧力を加えておくことで 100MPa を超える圧力を確保することができる。

上述の要素試験結果を受けて、研究プロジェクトの第二段階として、汎用疲労試験装置に組み合わせることのできる圧力容器、中空円筒試験片、機械的負荷用ロッドの設計を完了した。圧力容器本体、フタ部、中空円筒試験片、下部プルロッドすべてを組み合わせ、疲労試験装置に取付ける状態の組図を図 2 に示す。なお、圧力容器本体および中空円筒試験片等の詳細な寸法については、特許出願の都合により現時点では割愛する。

汎用疲労試験装置のメイン支柱に圧力容器本体を取付け、ボルト止めするために、圧力

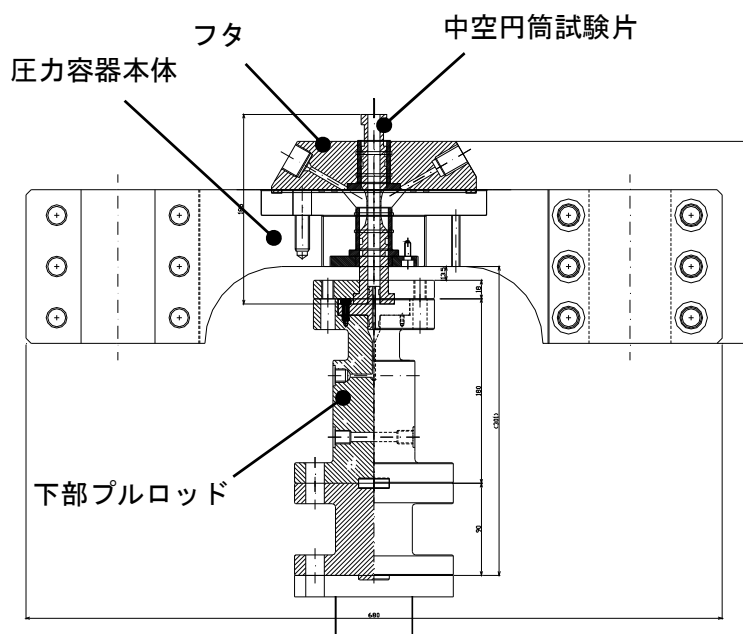


図 2 内外圧多軸試験装置組立図

容器本体の左右は二つ割れ型とした。500mm の支柱間に圧力容器本体を配置し、フタを取付けることによって圧力容器として機能する。

圧力容器内に中空円筒試験片を挿入した後、試験片の上側は疲労試験装置の上部プルロッドに、下側は下部プルロッドに機械的に接続される。上部プルロッドは同心円状の 2 重構造のプルロッドとなっており、外側プルロッドによって試験片に引張・圧縮の機械的な負荷を与え、内側プルロッドによって試験片内部の油を圧縮して所望の内圧を負荷する機構である。下部プルロッドは軸方向とねじり方向に動くことが可能であり、下部プルロッドの軸方向の移動によって試験片が軸方向に動き、それに併せて、試験片と圧力容器との隙間の油が圧縮され所望の外圧を負荷することが可能である。また、下部プルロッドのねじりによって試験片にねじり負荷を与える。各部の設計にあたり、要素試験での結果を踏まえて以下の点を考慮した。

○ 圧力容器本体

疲労試験では、試験片の中心軸上で機械的な繰返し負荷を与えることが重要である。偏心した状態では試験片が座屈したりし、正確な疲労寿命が得られない。今回設計した内外圧多軸疲労試験装置では、試験片の中心、疲労試験装置の中心、および圧力容器の中心すべてを正確に合わせる必要がある。したがって、取付け位置の微調整が可能な機構とした。具体的には、圧力容器本体を、さらに親部、子部と呼ぶ 2 つの部品に分けて親部を疲労試験装置に取付ける。子部は円筒形状の容器であり、親部の中心に、はめあいで挿入される。すべての中心位置が決定した後に、下述するフタ部とともにボルトによって機械的に接合される。

○ フタ

容器を密閉する機能のみではなく、各種計測装置の信号線を取り出す機構も兼ね備える。疲労試験を行う際に試験片中央部のひずみを計測する必要があり、容器内部からの信号線を外部に取り出す。小スペース化を図るために、水平方向から約 30° の傾きを持った角度で信号線等引き出す機構を 4 箇所にも備えた。

○ 中空円筒試験片

設計した中空円筒試験片の形状を図 3 に示す。詳細な寸法については現時点では割愛する。図中の左側（試験時には上側）の直径と右側（同下側）のそれとの違いに

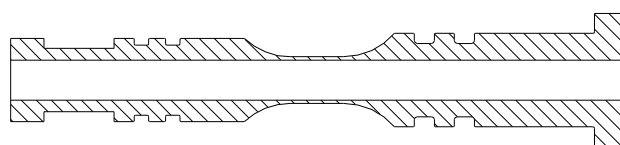


図 3 中空円筒試験片

よって圧力差が生じ、試験片に対して外圧を負荷することのできる機構である。さらに、試験片外側の数箇所に O リングをはめることによって、試験片と圧力容器との隙間から

油が漏れることを防ぐ。ただし、疲労試験中に、Oリングによって過剰な機械的な摩擦となることは避けなければならない、適切なOリング寸法を要素試験によって求めた。

○ 下部プルロッド

下部プルロッドから、中空円筒試験片の内側に内圧負荷用の油を注入する。下部プルロッドが疲労試験装置下部に設置された、引張圧縮・ねじり型のアクチュエータと接合されており、試験片に対して機械的な負荷や外圧負荷を与える。

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

旭吉 雅健（石川工業高等専門学校・機械工学科・准教授）

伊藤 隆基（福井大学大学院・工学研究科・准教授）

5. 研究実施時期

2008年（平成20年）12月1日から 2010年（平成22年）12月28日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

現在、特許出願に向けて準備中であり、これまでに外部への発表は行っていない

7. 内外における関連研究の状況

対象となる試験片に内外圧および引張ねじりの機械的負荷を重畳して負荷する試験装置は国内では見当たらない。また、国外では、これまでに米国の研究室が開発を試みたことがあったが実現には至っていない。

8. 今後の発展に対する希望

設計開発が完了し、現在、各種試験装置の設計開発や金属加工の実績のある外部業者によって加工中である。納入され次第、内外圧負荷環境下での引張・圧縮－ねじり多軸疲労試験を行い、データの蓄積を図る計画である。

以上