

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：17701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14424

研究課題名(和文) 微小ディスク試験片を用いた新しいスモールバルジ疲労試験法の開発

研究課題名(英文) Development of Small Bulge Fatigue Testing Technique Using Small Disk-Type Specimen

研究代表者

駒崎 慎一 (KOMAZAKI, Shin-ichi)

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：70315646

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：微小ディスク試験片(平行部直径：1.6 mm，平行部板厚：0.15 mm，クランプ部長さ：2 mm，クランプ部板厚：0.4 mm，R部：3 mm)を用いた新しいスモールバルジ疲労(SBF: Small Bulge Fatigue)試験法の開発に成功した。開発した試験装置を用いることにより最大圧力21 MPa，最大周波数10 Hzにて微小ディスク試験片の両面に任意の圧力を交互に安定的に繰返し負荷することが可能である。本開発技術をSUS316の疲労強度評価に適用した結果，圧力低下を疲労寿命と定義することにより，従来の単軸疲労試験や板曲げ疲労試験と同等の試験結果を得られることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：A new fatigue testing technique with a small disk-type specimen, the small bulge fatigue (SBF) test, was developed in this study. A finite element analysis was carried out to optimize the shape and dimensions of a small disk-type specimen with flat and concave surfaces. As a result, they were finally determined as follows: diameter of gauge area, 1.6 mm; thickness of gauge area, 0.15 mm; length of clamped area, 2 mm; thickness of clamped area, 0.4 mm; radius of fillet, 3 mm. It was also confirmed that a cyclic oil pressure could be alternately applied to both specimen surfaces at the frequency of 10 Hz and maximum pressure of 21 MPa using the newly developed SBF testing apparatus. Subsequently, SUS316 stainless steel specimens were subjected to the developed SBF test, and it was revealed that there was a good correlation between the results obtained in this study and those of the conventional uniaxial and bending fatigue tests.

研究分野：高温強度学

キーワード：疲労 微小サンプル試験 液圧バルジ試験 き裂 余寿命評価 スモールパンチ試験

1. 研究開始当初の背景

図1に示すように、火力・原子力発電プラントにおける計画外停止の原因として、疲労、クリープ、腐食・浸食、摩耗、材料・施工などが報告されている。特にボイラや蒸気タービン、ガスタービンなどの高温機器では疲労が損傷事例の最大要因となっており、事業用ボイラにおいては報告されていないトラブル事例も含めると疲労が原因となる割合は過半にまで増大するものと推察される。そのため、稼働中の高温機器に蓄積される疲労損傷を精度良く検出し、正確に余寿命を評価することが火力発電プラントの長期健全性の確保あるいは事故の未然防止には大変重要である。

余寿命を診断する方法のひとつに、機器・構造物に影響しない程度のわずかなサンプルを実機から採取し強度試験を行う微小サンプル試験法がある¹⁾。Small Punch (SP: Small Punch) 試験法もそのひとつであり、微小ディスク試験片を上・下部ダイにてクランプし、小さなボールを介して試験片中央に荷重を負荷する。本試験により降伏強度や引張強度、延性脆性遷移特性、破壊靱性、クリープ特性の評価が可能であり、水素脆化や応力腐食割れなどの環境強度試験にも適用されている。疲労強度評価にも本試験技術が適用可能となれば、ほぼすべての材料強度試験が類似形状の微小ディスク試験片で実施可能となり実用上大変有用である。

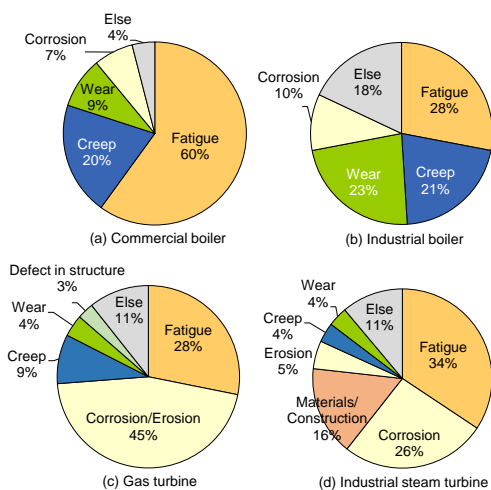


図1 火力発電プラントにおける計画外停止の原因：(a)事業用ボイラ、(b)産業用ボイラ、(c)ガスタービン、(d)産業用蒸気タービン

2. 研究の目的

本研究課題では、微小ディスク試験片を用いた新しい疲労試験法すなわちSmall Bulge Fatigue (SBF: Small Bulge Fatigue) 試験法の開発を目的とした。ボール押し込み式では接触に起因した問題が生じるため、試験片の両面に油圧で交番圧力を負荷できる液圧バルジ式とした。はじめに有限要素解析法により最適な試験片形状について調査した後、

SUS316 を対象に変位/ひずみ測定などの検証試験およびき裂観察を実施した。その後、得られた疲労試験結果を従来試験法の結果と比較し、本試験技術の有用性について検討した。

3. 研究の方法

板厚が均一な従来のスモールパンチ試験片では、試験片端部にひずみが集中することが解析結果から明らかとなった。そのため、端部からのき裂発生を抑制するため、試験片中央部付近の板厚を相対的に薄くすることにした。試験片中心でひずみが最大になるよう有限要素解析を用いて試験片形状・寸法の詳細を決定した。

本研究課題では、新たに製作した試験容器を制御盤、油圧源およびサーボバルブから成る既存の油圧サーボ試験機に取り付けることにした。使用する油圧サーボ試験機の容量より圧力：21 MPa、温度：室温として設計した。圧力計、エアー抜き弁および熱電対は細管により試験容器と接続する構造とした。また、高圧下でのひずみ測定を考慮し、一方の油圧室にはひずみゲージのリード線引出用コネクタを設置するとともに、ダミーゲージを置くためのスペースも確保した。さらに、他方の油圧室には石英製ガラス窓を配置し、ポアスコープによる試験片表面のその場観察とレーザー変位計による変位測定を行った。上述の微小ディスク試験片は両油圧室の間にクランプされており、銅パッキンで試験片を挟み込むことにより固定およびシールした。

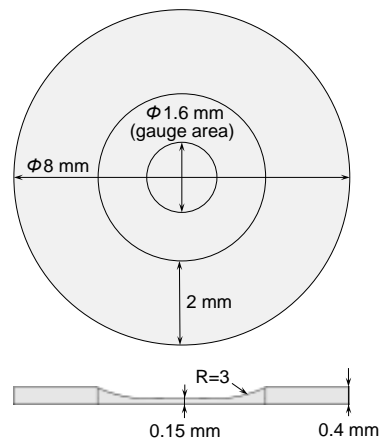


図2 新たに開発したSBF試験片

4. 研究成果

本研究課題では、図2に示すような、微小ディスク試験片(平行部直径：1.6 mm、平行部板厚：0.15 mm、クランプ部長さ：2 mm、クランプ部板厚：0.4 mm、R部：3 mm)を用いた新しい疲労試験法すなわちSmall Bulge Fatigue (SBF: Small Bulge Fatigue) 試験法の開発に成功した。板厚が均一な従来のスモールパンチ試験片では、試験片端部にひずみが集中することが解析結果から明らかとな

った(図3). そのため, 端部からのき裂発生を抑制するため, 試験片中央部付近の板厚を相対的に薄くすることにした.

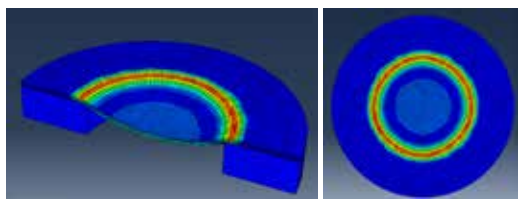


図3 従来のSP試験片の相当ひずみ分布

新たに製作した試験容器を制御盤, 油圧源およびサーボバルブから成る既存の油圧サーボ試験機に取り付けることにした. 試験容器の外観写真と内部構造を示したものが図4である.

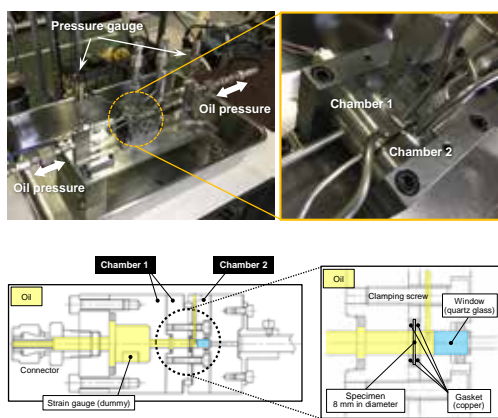


図4 新たに開発したSBF試験容器の外観写真と内部構造の模式図

図5に二つの油圧室の圧力変化の例を示す. 現時点は室温のみではあるが, 開発した試験装置を用いることにより最大圧力 21 MPa, 最大周波数 10 Hz にて微小ディスク試験片の両面に任意の圧力を交互に安定的に繰り返し負荷することが可能である.

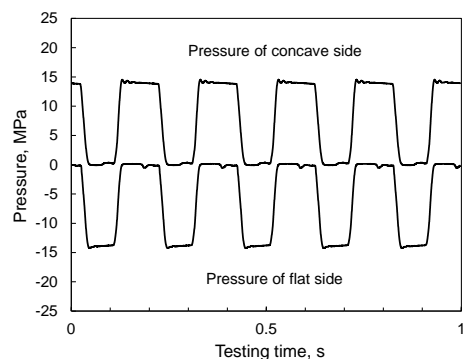


図5 平面側と凹面側の圧力変化の例

本開発技術を SUS316 の疲労強度評価に適用した結果, 図6に示すように, 有限要素解析で予想されたとおり, 最初に平面側中心付

近でき裂が発生することを確認した.

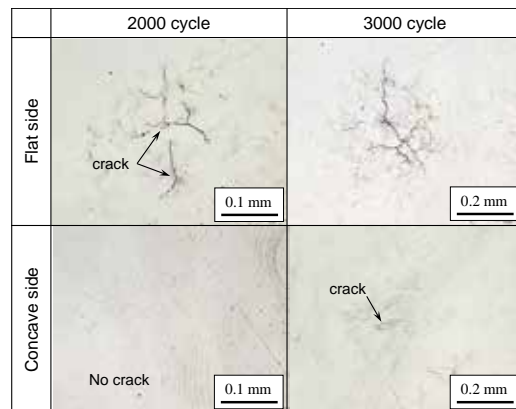


図6 平面側と凹面側で発生した表面き裂

疲労試験中に圧力が急激に低下し, 試験を継続することが不可能となった時点での試験片を観察したところ, 試験片の一部が欠け脱落していた(図7). 欠けた部分のサイズは試験によって幾分異なってはいたものの, いずれの試験においても, 急激な圧力低下はこのような試験片の一部の欠落を伴っていた. この圧力低下を疲労寿命と定義することにより, 従来の単軸疲労試験や板曲げ疲労試験と同等の試験結果を得られることが明らかとなった. 図8は疲労寿命を相当ひずみ範囲で整理した結果である.

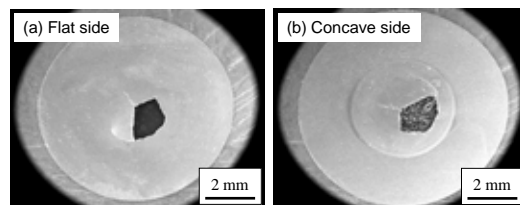


図7 圧力が急激に低下した時のSBF試験片の外観: (a)平面側, (b)凹面側

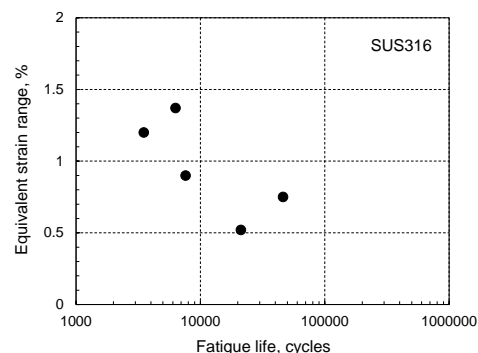


図8 相当ひずみ範囲と疲労寿命の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計5件)

駒崎慎一, 城島龍一郎, 村岡南那, 野上修平, 釜谷昌幸, 日坂知明, 藤原昌晴, 新田明人, “微小ディスク試験片を用いた新しいスモールバルジ疲労試験法の開発”, 日本機械学会 M&M2017 材料力学カンファレンス, 2017.

S. Komazaki, R. Jojima, N. Muraoka, S. Nogami, M. Kamaya, C. Hisaka, M. Fujiwara and A. Nitta, “Development of Small Bulge Fatigue (SBF) Testing Technique Using Small Disk-Type Specimen”, MAP-Seminar (国際学会), 2017.

S. Komazaki, R. Jojima, N. Muraoka, S. Nogami, M. Kamaya, C. Hisaka, M. Fujiwara and A. Nitta, “Development of a Small Bulge Fatigue (SBF) Testing Technique”, International Conference HIDA-7 (国際学会), 2017.

城島龍一郎, 村岡南那, 駒崎慎一, 野上修平, 釜谷昌幸, 日坂知明, 藤原昌晴, 新田明人, “小型バルジ疲労(SBF)試験法の開発 - 微小ディスク試験片の設計 - ”, 日本材料学会第54回高温強度シンポジウム, 2016.

村岡南那, 城島龍一郎, 駒崎慎一, 野上修平, 釜谷昌幸, 日坂知明, 藤原昌晴, 新田明人, “小型バルジ疲労(SBF)試験法の開発 - 小型両振り試験装置の開発 - ”, 日本材料学会第54回高温強度シンポジウム, 2016.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

駒崎 慎一 (KOMAZAKI, Shin-ichi)
鹿児島大学・理工学域工学系・教授
研究者番号: 70315646

(2)研究分担者

野上 修平 (NOGAMI, Shuhei)
東北大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 00431528

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

日坂 知明 (HISAKA, Chiaki)

株式会社神戸工業試験場