

機関番号：17301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 年度 ～ 2010 年度

課題番号：20560749

研究課題名 (和文)

疲労き裂発生から伝播までの寿命推定を革新的に向上させるための材料特性に関する研究

研究課題名 (英文)

Study on the material properties for improving the life estimation of fatigue crack

研究代表者

勝田 順一 (KATSUTA JUNICHI)

長崎大学・工学部・准教授

研究者番号：20161078

研究成果の概要 (和文)：本研究における初年度は、予圧縮後の引張り塑性変形能への繰返し荷重の影響について明らかにするための、試験・計測システムを構築した。また、本システムを用いて予備的試験を行い、問題点を抽出・改善して試験方法を確立し、良好な試験結果を得ることが可能なことを確認した。第2年度は、試験・計測システムを改善し、荷重制御によって準静的に圧縮・引張り試験を自動で行うようなシステムに改造した。このシステムを用いて、載荷速度 0.002Hz で、1回、10回、100回繰返す圧縮・引張り載荷試験を行い、その後の破断伸び性能が載荷回数ごとに異なることを明らかにした。また、数値解析モデルを作成し、予備的な計算を行った。最終年度は、作成した「圧縮塑性変形と引張り塑性変形を繰返し与えた後の伸び性能の変化」を計測する試験システムを用いて、溶接構造用鋼と建築構造用鋼の繰返し圧縮・引張り塑性変形が繰返し回数ごとの破断伸びへの影響を明らかにし、圧縮塑性変形や応力集中が大きいほど、圧縮・引張り塑性変形の繰返し回数が多いほど、その後の破断伸びが低下することを明らかにした。さらに、溶接構造用鋼の繰返し圧縮・引張り試験による破断伸び性能の限界値を用いて、数値解析モデルによるき裂先端の圧縮ひずみとその後の引張りひずみを求めて、疲労き裂伝播シミュレーションを行い、疲労き裂伝播試験結果と比較した。その結果、一定荷重振幅の場合の疲労き裂伝播試験結果よりも低速側にあるものの、疲労き裂先端の力学的環境と材料の限界値を比較することによる疲労き裂伝播の評価法を開発するという、本研究の目的を達成することができた。さらに、一定振幅荷重で伝播中にスパイク荷重が作用して、疲労き裂伝播が遅延する現象もシミュレートすることができた。

研究成果の概要 (英文)：

Various fracture phenomena are evaluated according to a comparison of mechanical environment and the limit values of materials. However, fatigue strength is evaluated using the S-N relation and propagation of fatigue cracks is evaluated using the $da/dN-\Delta K$ relation, both being evaluated using only the mechanical environment. It is known that in propagation of fatigue cracks, not only stress range and crack length, but also loading history and load size etc., also significantly influence. It is also well known that when an spike loading acts on constant amplitude loading, even after constant amplitude loading returns, for a while the deceleration propagation of a fatigue crack occurs. It is also known that this phenomenon cannot be evaluated using the $da/dN-\Delta K$ relation that is currently used. In recent years, the phenomenon of a fatigue crack opening/closing repeatedly at the crack tip during propagation has been revealed. We have developed a system that measures the hysteresis loop of the crack tip that arises due to the opening/closing phenomenon of the fatigue crack tip. Using this system we have revealed good matching of the shapes of hysteresis loops and the propagation of fatigue cracks.

In this research, we have proposed a method whereby it is possible to also evaluate the deceleration in the propagation rate of a fatigue crack after spike loading, through a comparison of the mechanical environment and characteristics of a material. Also, in the characteristics of a material used in the limit of the propagation of a fatigue crack, we utilized the elongation that follows compressive plastic deformation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
21 年度	600,000	180,000	780,000
22 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：材料・構造力学，疲労寿命推定，疲労き裂発生，疲労き裂伝播，材料特性，鋼構造物

1. 研究開始当初の背景

2006年4月から国際船級協会連合（IACS）の共通船体構造規則（CSR）が施行された。疲労強度についても評価方法が示されている。その方法は、設計寿命25年とし、疲労設計線図（S-N線図）に基づく線形累積被害則によって評価することとされている。しかし、疲労設計線図が安全余裕を含んでいても、一定振幅荷重下での試験結果と、自然界の複雑に変動する荷重振幅下では、予測された設計寿命と大きく異なることは明らかである。当然のことながら、設計寿命予測と定期的な保守・点検との組み合わせにより、安全性は確保されているものと考えられる。

図1に、申請者が試験した疲労き裂伝播試験の結果を示す。一定振幅下でスパイク荷重が作用する場合にはその大きさによって寿命にバラツキが生じ、ランダム荷重の場合には荷重範囲の出現頻度によって寿命にバラツキが現れることになる。

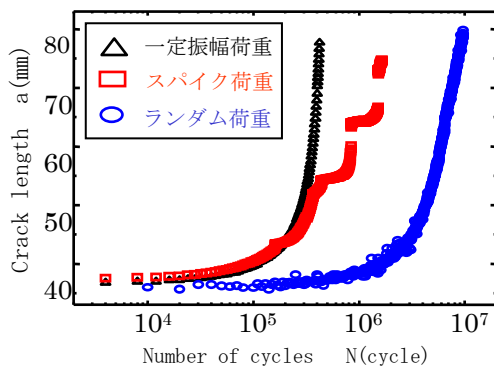


図1 各種載荷荷重による疲労き裂伝播曲線

CSRでの疲労強度評価において、S-N線図に基づく線形累積被害則で評価する場合、一定振幅荷重状態、もしくは荷重振幅が次第に

増加して疲労き裂が加速伝播状態にある場合には、ほぼ予測された設計寿命となるものと考えられる。しかし、図1に示したように、疲労き裂伝播が減速、停留することがある場合には、設計寿命は大きく異なるものと推察される。CSRでは、寿命が遅延する場合には安全側にあるとの考えがあるようであるが、実際に保守・点検の計画を立てる場合には、非常に難しい状況になり、最悪の場合には保守・点検の間隔に重大な損傷、事故を招く可能性がある。

2. 研究の目的

本研究を採択された者は、疲労き裂伝播における遅延現象の把握と評価方法について検討してきた。その結果、現在の疲労強度の評価パラメータとして応力範囲だけでは評価が不十分ではない場合、さらに、破壊靱性のように力学的環境だけでなく、材料の疲労強度に対する限界値が存在し、これを考慮する必要があるとの考えに至った。

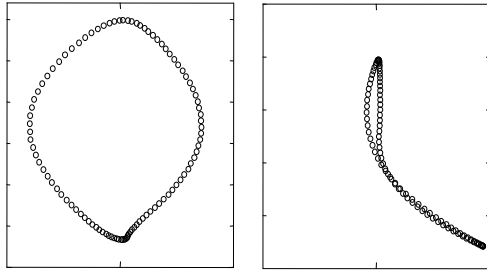
本研究までに、疲労き裂の伝播については次のことを確認している。伝播中の疲労き裂先端では弾塑性挙動が生じてき裂先端が開閉している。このことにより、き裂先端の極近傍では圧縮の塑性変形が生じる。このことは、各種荷重条件による疲労き裂伝播試験において、き裂先端のヒステリシスループを計測することによって確認している。

疲労き裂伝播中のき裂先端のヒステリシスループを詳細に確認すると、き裂が加速状態の場合には、ループが大きく開口し、減速・停留状態の場合にはループはほとんど閉口状態にあり、き裂先端のヒステリシスループの形状と疲労き裂伝播速度には密接な関係がある。(図2)

一定振幅荷重が作用して定常状態で疲労

き裂が伝播している場合に、スパイク荷重が作用後、一定振幅荷重に戻っても、しばらくは疲労き裂が減速状態になる。(図3)

以上のことは、疲労き裂が発生した後の伝播現象に関することであるが、S-N線図を求めるための疲労強度試験における圧縮塑性変形の疲労寿命に及ぼす影響の解明も十分ではない。



(a)加速時のループ (b)減速・停留時のループ
図2 加速時と減速時のヒステリシスループ

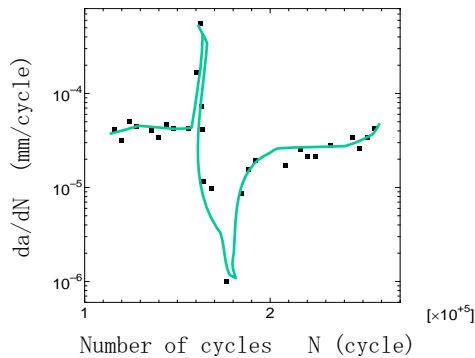


図3 スパイク荷重作用後の疲労き裂伝播速度の変化

そこで、本研究では、疲労き裂の発生から伝播までの現象を圧縮塑性変形の影響を考慮した材料の変形能を疲労破壊の限界値として捉え、この限界値を超えることで疲労き裂が発生し、伝播するという考え方の可能性を明らかにして、この限界値の定量的な把握、評価する方法について検討した。

3. 研究の方法

本研究は、疲労き裂伝播条件を材料の破壊限界を用いて評価するための研究である。疲労破壊限界としては、従来、疲労強度や疲労き裂伝播において限界値としては用いられていない、変形能を用いることとした。

変形能の低下と疲労き裂伝播の関連については、現在までの研究によって図4のことを確認している。

図4の試験結果は、静的荷重により圧縮塑性変形を付与し、その後、静的に引張り試験を行い、単位長さ当りの伸びを算出したもの

である。この試験では、試験片に応力集中部を付けても試験を行っている。

その結果、予圧縮塑性変形量が多いほどその後の引張り変形能が減少していること、応力集中が大きいほど、その減少の割合は大きくなることが、図4からわかる。

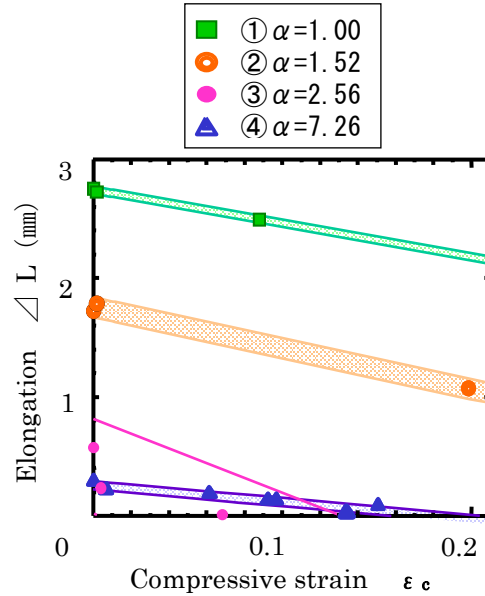


図4 圧縮後の引張り変形能の変化

応力集中がない場合は、疲労き裂発生状況に相当したものであり、応力集中が高い場合は、疲労き裂伝播状況に相当したものと考えている。しかし、この結果は、静的に圧縮塑性変形させた後に静的に引張り試験したものであり、試験片の全断面がほぼ同じ状況である場合の結果である。

そこで、本研究では、繰返し荷重下における圧縮変形を受けた後の伸び変形能の変化を調査して、この材料の変形能が疲労き裂伝播の限界値となることの確認、およびその定量的評価を行うものである。

この試験において用いた変形量計測は、丸棒試験片の直径をレーザーによるデジタル寸法計測器を用いて変形履歴を連続して計測した。試験片は圧縮、引張り载荷した場合、当然のことながら変形のために、計測する位置が変わる。この位置を一定にするための計測器の取り付け治具を作成した。また、計測した直径の変化から、体積一定と仮定して、図5に示すような伸びへの変換を行った。

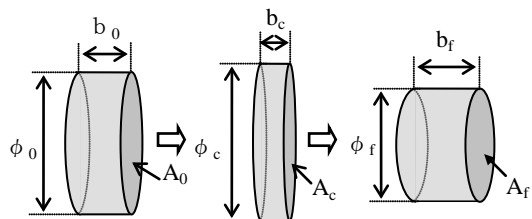
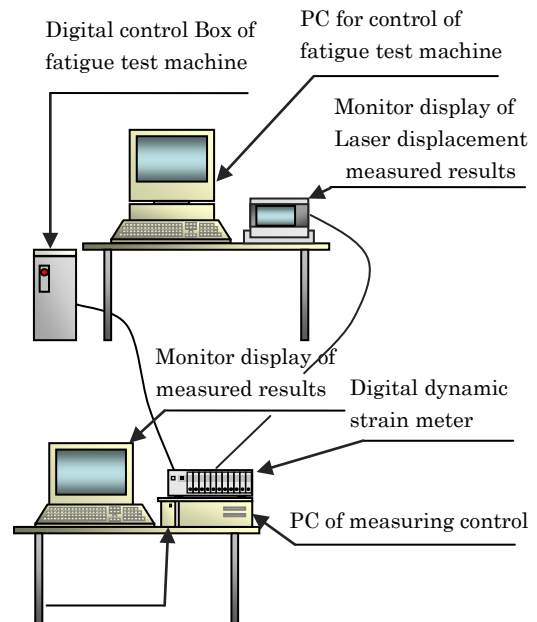
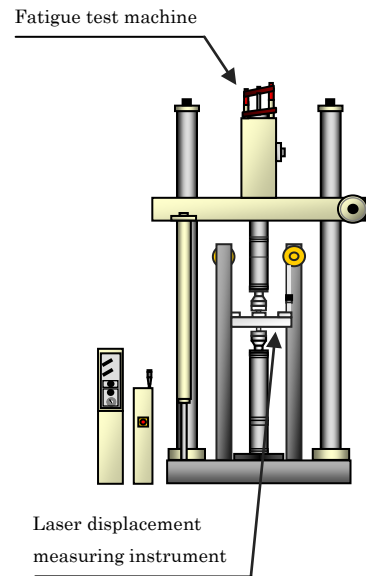


図5 丸棒直径変化から伸びの換算の概念

初年度の疲労試験では、繰返し予圧縮・引張り試験システムを構築して予備試験の実施，2，3年度に，圧縮量と伸びの関係における，予圧縮後の引張り塑性変形繰返しの影響，および予圧縮後の引張り弾性変形繰返しによる疲労き裂の発生確認と引張り弾性変形繰返しの影響について明らかにし，その結果を用いた数値シミュレーションを行った。

4. 研究成果



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 1 件)

・勝田順一，久保諭，誉田登，古賀脩平，牛島慎一，河野和芳：耐疲労鋼の疲労き裂伝播特性における遅延効果，日本船舶海洋工学会論文集，査読有，第 12 号，209-217

[学会発表] (計 5 件)

・勝田順一：疲労き裂伝播における遅延現象を評価するための新しい方法，日本船舶海洋工学会春季講演会，2008

・勝田順一：疲労き裂先端の開閉口挙動とき裂伝播，社団法人日本溶接協会 鉄鋼部会技術委員会 F T E 委員会 第 3 回本委員会，2010

・M. YAMAGUCHI, Y. SHIN and J. KATSUTA : A SIMULATION METHOD OF FATIGUE CRACK PROPAGATION INCLUDING ACCELERATION AND DECELERATION, The 11th Joint Symposium between Nagasaki University and Jeju National University on Science and Technology, 2010

・秦雄斗，山口正弘，勝田順一：遅延するき裂伝播を考慮した新しい疲労き裂伝播限界，日本実験力学学会講演論文集，2010

・山口正弘，勝田順一：繰返し圧縮・引張り塑性変形の影響を考慮した疲労き裂の伝播シミュレーション，日本船舶海洋工学会春季講演会，2011

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝田 順一 (KATSUTA JUNICHI)

長崎大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20161078

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし