

平成 22 年 4 月 12 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間： 2008～2009
 課題番号： 20760562
 研究課題名（和文） 巨視的弾性条件下の疲労き裂発生・伝播寿命推定システムの確立に関する研究
 研究課題名（英文） Development of a life assessment system of fatigue crack initiation and propagation under macroscopically elastic condition
 研究代表者
 堤 成一郎（TSUTSUMI SEIICHIRO）
 九州大学・大学院工学研究院・助教
 研究者番号： 70344702

研究成果の概要（和文）：本研究では、まず巨視的な降伏状態に至る以前の巨視的弾性応力状態で発生する塑性変形を各種条件下で計測した。次に、計測された応力 - ひずみ関係を予測可能なモデルを構築した。さらに、このモデルにおける塑性仕事の蓄積値に関するパラメータと疲労き裂発生時期の相関に注目して、疲労き裂発生規準のプロトタイプを完成した。

研究成果の概要（英文）：

The plastic deformation was measured during various cyclic loading conditions under macroscopically elastic stress state. The elasto-plastic constitutive model was proposed to reproduce the measured stress-strain relationships. The prototype model for the fatigue crack initiation criteria was proposed based on the accumulated plastic work predicted by the proposed cyclic plasticity model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：疲労，材料力学，構造力学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：塑性，疲労，破壊，弾塑性，変形解析

1. 研究開始当初の背景

船舶・海洋構造物の設計では、複雑かつ多岐にわたる外力が作用する過酷な環境においても、信頼性の高い性能を長期に発揮することが要求される。しかし、従来法に則って、一定荷重振幅下で得られる疲労設計曲線（S-N 曲線）を用いて設計する場合、個々の

構造物が受ける荷重履歴の影響を評価できない、また疲労設計の高度化を目指した理論的研究は、これまで国内外で盛んに行われてきたが、初期き裂（もしくは切欠き）の存在を前提として、き裂の進展だけを対象とする、破壊力学的手法を用いた研究が主流であり、巨視的弾性変動応力下の疲労き裂発生を対

象とする理論的研究は極めて限定的であった。

2. 研究の目的

疲労設計の高度化には、巨視的弾性の繰返し応力による疲労き裂の発生メカニズムを解明し、荷重履歴の影響も含めて、疲労き裂の発生から、伝播までの寿命を定量的に評価可能なシステムの確立が極めて重要である。そこで本研究では、巨視的弾性を含む任意の繰返し応力下での疲労き裂の発生と、その後の伝播挙動を高精度に予測可能な疲労寿命推定システムの確立に必要な研究を行なう。

3. 研究の方法

まず、(1)降伏応力以下(巨視的弾性)の応力振幅一定・準静的繰返し試験を行ない、その間に発生する塑性ひずみを計測する。また、その間のき裂発生状況を観測する。次に、(1)で計測された応力-ひずみ関係を予測可能な構成式を構築する。さらに(2)材料に蓄積される塑性仕事と疲労き裂発生時期の相関に注目して、疲労き裂発生規準を確立する。

4. 研究成果

(1)降伏応力の7割程度(巨視的弾性)の応力振幅一定・準静的繰返し試験を行なった。その結果、低回数の繰返しに対しては、弾性応答(直線)を示すが、その後、突如、塑性ひずみ(ヒステリシスループ)が発生する。また、応力を与え続けると、疲労き裂の発生を伴って破断(伝播)することを示した。つまり、巨視的弾性条件となるように設計された機械・構造物でも、巨視的弾性応答 塑性ひずみ急増 疲労き裂発生(伝播)の一連の疲労プロセスを経て、疲労破壊に至ることが示された。その他の応力下でも同様の傾向を得た。

(2)次に、巨視的弾性の繰返し応力による、巨視的弾性応答から 塑性ひずみ急増までの一連の挙動を予測可能な材料モデルを提案した。このモデルは、各種材料の一般の繰返し負荷および塑性不安定現象の解析に適用可能な数学的構造を有する、世界で唯一の構成式であり、巨視的弾性・繰返し応力下での疲労現象の解明という、歴史的難題解決の糸口が得られたと考えられる。

(3)さらに、材料に蓄積される塑性仕事と疲労き裂発生時期に相関があることが示された。(2)で開発したモデルを用いることにより、巨視的弾性条件下の疲労き裂発生と累積塑性仕事の関係に注目して、き裂発生規準のプロトタイプを完成した。しかし、本

モデルの適用性検証は極めて限定されており、応力振幅や平均応力を任意に変化させた場合への適用など、解決すべき課題が残されている。

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12件)

S. Tsutsumi and K. Kaneko, Constitutive response of idealized granular media under the principal stress axes rotation, International Journal of Plasticity, 査読有, 24(11), 1967-1989, 2008.11

堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏: 高サイクル疲労過程の繰返し応力-ひずみ関係 - 繰返し損傷を考慮した弾塑性モデル -, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, 7, 243-250, 2008.09

堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏: 巨視的弾性・高サイクル疲労過程の繰返し塑性挙動, 応用力学論文集, 土木学会, 査読有, 11, 253-261, 2008.08

S. Tsutsumi, N. Yamato, K. Gotoh and F. Dunne, Initiation of local plastic strain in a carbon steel exhibiting yield drop predicted by crystal plasticity FE analysis, Proc. Int. Symp. Plasticity (PLASTICITY 10), CD-Rom, 査読無, 2010.01

S. Tsutsumi, N. Yamato, K. Gotoh and F. Dunne, Crystal plasticity FE analysis on initiation of local-plastic strain in polycrystalline metals, Proc. the 23rd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2009), 1-7, 査読無, 2009.12

S. Tsutsumi, F. Dunne, K. Murakami and K. Gotoh, Cyclic plasticity extended to high-cycle fatigue under macroscopically elastic condition, Proc. Int. Symp. Plasticity (PLASTICITY 09), CD-Rom, 265-267, 査読無, 2009.01

S. Tsutsumi, F. Dunne, K. Gotoh and M. Toyosada, Constitutive equation for cyclic plasticity phenomena under macroscopically elastic fatigue condition, Proc. the 22nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine

Structures (TEAM2008), 97-103, 査読無, 2008.10

堤成一郎, 大和真征, 後藤浩二, Fionn Dunne, 結晶塑性 F E 解析による巨視的弾性条件下の塑性ひずみ発生に関する考察, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 9W, 83-84, 査読無, 2009.11

堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏, 高サイクル疲労過程の繰返し応力-ひずみ関係の予測, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 6, 369-372, 査読無, 2008.05

堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏, 高サイクル疲労過程の塑性ひずみ発生に関するロジスティック解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 6, 373-374, 査読無, 2008.05

渡邊育夢, 寺田賢二郎, 堤成一郎, マルチスケールモデリングによる多結晶金属のミクロ塑性ひずみの評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 63(2), Page. ROMBUNNO. CS08-07, 査読無, 2008.08

〔学会発表〕(計9件)

S. Tsutsumi, N. Yamato, K. Gotoh and F. Dunne, Initiation of local plastic strain in a carbon steel exhibiting yield drop predicted by crystal plasticity FE analysis, Proc. Int. Symp. Plasticity (PLASTICITY 10), CD-Rom, 2010.01

S. Tsutsumi, N. Yamato, K. Gotoh and F. Dunne, Crystal plasticity FE analysis on initiation of local-plastic strain in polycrystalline metals, Proc. the 23rd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM2009), 1-7, 2009.12

S. Tsutsumi, F. Dunne, K. Murakami and K. Gotoh, Cyclic plasticity extended to high-cycle fatigue under macroscopically elastic condition, Proc. Int. Symp. Plasticity (PLASTICITY 09), CD-Rom, 265-267, 2009.01

S. Tsutsumi, F. Dunne, K. Gotoh and M. Toyosada, Constitutive equation for cyclic plasticity phenomena under macroscopically elastic fatigue condition, Proc. the 22nd Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine

Structures (TEAM2008), 97-103, 2008.10

堤成一郎, 大和真征, 後藤浩二, Fionn Dunne, 結晶塑性 F E 解析による巨視的弾性条件下の塑性ひずみ発生に関する考察, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 9W, 83-84, 2009.11

堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏, 高サイクル疲労過程の繰返し応力-ひずみ関係の予測, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 6, 369-372, 2008.05

堤成一郎, 村上幸治, 後藤浩二, 豊貞雅宏, 高サイクル疲労過程の塑性ひずみ発生に関するロジスティック解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 6, 373-374, 2008.05

渡邊育夢, 寺田賢二郎, 堤成一郎, マルチスケールモデリングによる多結晶金属のミクロ塑性ひずみの評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 63(2), Page. ROMBUNNO. CS08-07, 2008.08

〔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
<http://www.nams.kyushu-u.ac.jp/common/production/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

堤 成一郎 (TSUTSUMI SEIICHIRO)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：7 0 3 4 4 7 0 2