

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 20 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560097

研究課題名(和文)三次元表面き裂の疲労破壊・応力腐食割れシミュレーションシステムの構築

研究課題名(英文)Development of crack growth simulation system for three-dimensional fatigue and stress corrosion cracking.

研究代表者

菊池 正紀(KIKUCHI, Masanori)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：90107540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：重合メッシュ法を用いたき裂進展数値解析シミュレーションシステムの高度化を実現した。熱・残留応力場へ拡張し応力腐食割れシミュレーションを可能とし、異材接合材料中のき裂進展シミュレーションも可能となった。実験との比較によりき裂開閉口挙動の評価の重要性を指摘し、貫通き裂、表面き裂での開閉口比を求めた。モードIIIの影響を実験との比較により考察し、その影響を考慮した新たなき裂進展速度式を提案した。さらに数値解析の精度を向上させるためにグローバル要素を四面体二次要素に置き換えた。開発したソフトを10以上の国内外の研究機関に公開し共同研究を実施した。また研究成果を10編の論文と33件の学会発表で公表した。

研究成果の概要(英文)：Fully automatic crack growth simulation system based on S-FEM is extended for stress corrosion cracking and crack growth problem in heterogeneous material. Comparing with experimental results, it is noticed that the evaluation of crack closure effect is important for correct simulation of surface crack growing problem. For through crack and surface crack problems, crack closure ratios are evaluated. For the correct estimation of surface crack under mixed mode condition, the effect of KIII on crack growth rate is evaluated, and new crack growth rate criterion is proposed. Quadratic tetrahedral element is introduced in global meshing, and numerical accuracy is improved. Developed system is now used more than 10 Institutes and Universities including foreign Universities, and research cooperation between these Institutes are being conducted. 10 papers have been published in scientific journals, and 33 presentations are conducted in domestic and international conferences.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：き裂進展解析 重合メッシュ法 疲労き裂 応力腐食割れ 異材接合材 き裂開閉口挙動 モードIII 四面体二次要素

1. 研究開始当初の背景

き裂進展予測のために有限要素法が用いられているが、例えば表面き裂が三次元的に複雑な形状で進展するとき、それをモデル化することは事実上不可能であった。そのため機器の安全確保のための規格などには二次元亀裂解析結果が利用されており、過度に保守的である点が指摘されていた。三次元場で複雑なき裂進展を自答的にシミュレーションできるシステムの開発が望まれていた。

2. 研究の目的

- (a) 重合メッシュ法を用いたき裂進展数値シミュレーションソフトの高機能化
- (b) 応力腐食割れシミュレーションへの拡張(熱・残留応力場への拡張)
- (c) き裂開閉口挙動の簡便予測法の開発
- (d) 実験との比較によるき裂進展クライテリオンの検討、特にモード III の影響を考慮したき裂進展速度式の提案

3. 研究の方法

- (a) 重合メッシュ法によるき裂進展数値解析システムの高度化に取り組んだ。
- (b) 実験との比較によりき裂開閉口挙動、モード III の影響などの重要性を評価した。
- (c) それらを考慮したき裂進展シミュレーションを実施した。
- (d) 手法の普及に努めた。成果を国内外の学会、学術誌に発表した。

4. 研究成果

重合メッシュ法を用いたき裂進展数値解析シミュレーションシステムの高度化を実現した。熱・残留応力場へ拡張し応力腐食割れシミュレーションを可能とし、異材接合材料中のき裂進展シミュレーションも可能となった。実験との比較によりき裂開閉口挙動の評価の重要性を指摘し、貫通き裂、表面き裂での開閉口比を求めた。またモード III の影響を実験との比較により考察し、その影響を考慮した新たなき裂進展速度式を提案した。さらに数値解析の精度を向上させるためにグローバル要素を四面体二次要素に置き換えた。開発したソフトを 10 以上の国内外の研究機関に公開し共同研究を実施した。また研究成果を 10 編の論文と 33 件の学会発表で公表した。

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 10 件)

- 1 Masanori Kikuchi, Yoshitaka Wada, Yuichi Shintaku, Kazuhiro Suga, Yulong

Li, Fatigue crack growth simulation in heterogeneous material using

s-version FEM, INTERNATIONAL JOURNAL OF FATIGUE, 査読有, 58 巻, 2014, 47-55

- 2 釜谷昌幸、佐々貴洋、菊池正紀、複数き裂の相互作用を考慮した進展予測方法(長さの異なる多数き裂の評価法)日本機械学会論文集 A 編、査読有、79 巻 805 号、2013、1382-1395
- 3 菊池正紀、和田義孝、須賀一博、岩松史則、新宅勇一、重合メッシュ法を用いた ICM ハウジング溶接部におけるき裂進展解析、日本機械学会論文集 A 編、査読有、79 巻 798 号、2013、119-129
- 4 Masanori Kikuchi, Yoshitaka Wada, Chikako Ohdama, Effect of K on Fatigue Crack Growth Behavior, ASME Journal of Engineering Materials and Technology, 査読有, 134 巻, 2012
- 5 Kazuhiro Suga, Masanori Kikuchi, Shota Kawasaki, Simulation of Ductile Fracture of Multiple Flaws, JOURNAL OF PRESSURE VESSEL TECHNOLOGY -TRANSACTIONS OF THE ASME, 査読有, 134 巻 3 号, 2012, 031205-1-031205-8
- 6 Masanori Kikuchi, Yoshitaka Wada, Yuto Shimizu, Yulong Li, Crack growth analysis in a weld-heat-affected zone using S-version FEM, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRESSURE VESSELS AND PIPING, 査読有, 90-91 巻, 2012, 2-8
- 7 蓮沼将太、小川武史、菊池正紀、低サイクル疲労における微小き裂の進展および合体の破壊力学的検討、材料別冊、査読有、60 巻 12 号、2011、1060-1065
- 8 菊池正紀、和田義孝、須賀一博、大玉千香子、疲労き裂進展挙動における K の影響(第 2 報:き裂進展クライテリオンの検証)、日本機械学会論文集 A 編、査読有、77 巻 781 号、2011、1453-1462
- 9 Maigefireti Maitireyimu, Masanori Kikuchi, Hiroko Kitano, Study on Stress Intensity Factors of Fatigue Crack in Round Bar Under Rotary Bending, ASME 2011 Pressure Vessels and Piping Division Conference(PVP2011), 査読有, 2011 年 7 月
- 10 Masanori Kikuchi, Yoshitaka Wada, Kazuhiro Suga, Chikako Ohdama, Numerical Simulation of Coalescence Behavior of Multiple Surface Cracks, ASME 2011 Pressure Vessels and Piping Division Conference(PVP2011), 査読有, 2011 年 7 月

[学会発表](計 33 件)

- 1 N.Sakamoto, S.Sunaga, M.Kikuchi, K.Suga, Design of Notch introduction machine and fracture test of pipe, The 2nd Student Seminar on Mechanical

- Engineering, Kenting, Taiwan, 2013 年 11 月 11 日
- 2 M.Sato, K.Suga, M.Kikuchi, Stress corrosion cracking simulation using S-version FEM, The 2nd Student Seminar on Mechanical Engineering, Kenting, Taiwan, 2013 年 11 月 11 日
 - 3 Y.Miyokawa, M.Kikuchi, A.Takahashi, DUCTILE FRACTURE SIMULATION OF A PIPE OF STEAM GENERATOR IN PWR, 2013 ASME Pressure Vessels & Piping Conference, 2013 ASME Pressure Vessels & Piping Conference, Paris, France, 2013 年 7 月 14 日 ~ 7 月 18 日
 - 4 Masanori Kikuchi, Yoshitaka Wada, Shinji Kobayashi, Crack Propagation in Composite Materials using S-version FEM, The 9th International Conference on Fracture & Strength of Solids, Jeju, Korea, 2013 年 6 月 13 日
 - 5 Kazuhiro Suga, Shinya Yamada, Masanori Kikuchi, Internal Crack Growth Simulation Using S-Version FEM, Jeju, Korea, 2013 年 6 月 12 日
 - 6 Yuhei Yamahata, Kazuhiro Suga, Hayato Nakatani, Shinji Ogiwara, Masanori Kikuchi, An Efficient 3D Dynamic FEM of SHPB for Viscoelastic Materials, The 9th International Conference on Fracture & Strength of Solids, Jeju, Korea, 2013 年 6 月 12 日
 - 7 Masanori Kikuchi, Fatigue Fracture and SCC Simulation Using S-FEM, The 9th International Conference on Fracture & Strength of Solids, The 9th International Conference on Fracture & Strength of Solids, Jeju, Korea, 2013 年 6 月 10 日
 - 8 M.Kikuchi, Evaluation of growth of subsurface crack by fatigue. -Simulation of penetration of internal flow to surface of the structure-, 10th International Conference on Multiaxial Fatigue & Fracture, 立命館大学 朱雀キャンパス, 2013 年 6 月 5 日
 - 9 Masanori Kikuchi, Surface Crack Growth Simulation Using S-Version FEM, The 4th International Conference on Noise, Vibration and Comfort, Malaysia, 2012 年 11 月 27 日
 - 10 Masanori Kikuchi, SURFACE CRACK GROWTH SIMULATION USING S-VERSION FEM, International Computational Mechanics Symposium 2012, 神戸市、ポートアイランドコンベンションホール, 2012 年 10 月 10 日
 - 11 菊池正紀, 和田義孝, 須賀一博, 岩松史則, 新宅勇一, 重合メッシュ法を用いた中性子計測ハウジング射角取り付け部における応力腐食割れ評価、日本機械学会 第 25 回計算力学講演会 (CMD2012)、神戸市、甲南大学ポートアイランドキャンパス、2012 年 10 月 8 日
 - 12 皆川浩一、須賀一博、菊池正紀、観測精度を考慮した逆解析手法による複数鉄筋層を含むコンクリート内の鉄筋腐食検出、日本機械学会 第 25 回計算力学講演会 (CMD2012)、神戸市、甲南大学ポートアイランドキャンパス、2012 年 10 月 7 日
 - 13 和田義孝、菊池正紀、精密なモデルによるファクトリールーフをもつ表面き裂のき裂進展速度の評価、第 25 回計算力学講演会、神戸市ポートアイランド、2012 年 10 月 6 日 ~ 10 月 9 日
 - 14 M.Kikuchi, Y.Wada, K.Suga, Y.Li, Numerical simulation of fatigue crack growth in heterogeneous material, The 4th International Conference on CRACK PATHS (CP2012), Italy, Gaeta, 2012 年 9 月 19 日 ~ 9 月 21 日
 - 15 K.Suga, K.Miyazaki, Y.Arai, M.Kikuchi, INTERACTION EFFECT EVALUATION OF MULTIPLE THROUGH CRACKS IN DUCTILE FRACTURE PROCESS, ASME 2012 Pressure Vessels & Piping Conference, Toronto, Canada, Sheraton Centre Toronto Hotel, 2012 年 7 月 16 日
 - 16 K.Suga, K.Miyazaki, Y.Arai, M.Kikuchi, INTERACTION EFFECT EVALUATION OF MULTIPLE THROUGH CRACKS IN DUCTILE FRACTURE PROCESS, ASME 2012 Pressure Vessels & Piping Conference, Toronto, Canada, Sheraton Centre Toronto Hotel, 2012 年 7 月 16 日
 - 17 M.Kikuchi, Y.Wada, K.Suga, F.Iwamatsu, Y.Shintaku, SIMULATION OF STRESS CORROSION CRACKING IN ICM HOUSING OF NUCLEAR POWER PLANT, ASME 2012 Pressure Vessels & Piping Conference, Toronto, Canada, Sheraton Centre Toronto Hotel, 2012 年 7 月 16 日
 - 18 和田義孝、菊池正紀、詳細な測定に基づくファクトリールーフ形状メッシュ生成と応力拡大係数の評価、第 17 回計算工学講演会、京都教育文化センター、2012 年 5 月 29 日 ~ 5 月 31 日
 - 19 菊池正紀、須賀一博、毛利雅志、伯田守、重合メッシュ法による継手止端部き裂における板厚効果の検討、第 17 回計算工学講演会、京都教育文化センター、2012 年 5 月 29 日 ~ 5 月 31 日
 - 20 菊池正紀、須賀一博、佐々貴洋、重合メッシュ法を用いた複数疲労き裂進展解析、第 17 回計算工学講演会、京都教育文化センター、2012 年 5 月 29 日 ~ 5 月 31 日
 - 21 Masanori Kikuchi, Crack Growth Simulation using S-FEM for Fatigue and Stress Corrosion Cracks, International Conference on Computational & Experimental

- Engineering and Sciences, Crete, Greece, 2012年5月1日
- 22 Yoshitaka Wada, Masanori Kikuchi, Factory roof mesh generation and its S.I.F.distributions using measured crack configuration, International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences, Crete, Greece, 2012年5月1日
- 23 Kazuhiro Suga, Koichi Minagawa, Taro Moteki, Ryoma Arimura, Masanori Kikuchi, Experimental-Numerical Approach for Corrosion Prediction, International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences, Crete, Greece, 2012年5月1日
- 24 菊池正紀、須賀一博、新井洋平、千田遼太郎、複数き裂の延性破壊シミュレーション、高温強度・破壊力学合同シンポジウム - 第49回高温強度シンポジウム / 第15回破壊力学シンポジウム -、沖縄県石垣市・石垣市商工会館、石垣市民会館、2011年11月25日
- 25 菊池正紀、須賀一博、新宅勇一、熱応力下でのき裂進展シミュレーション(非均質材中のき裂進展) 高温強度・破壊力学合同シンポジウム - 第49回高温強度シンポジウム / 第15回破壊力学シンポジウム -、沖縄県石垣市・石垣市商工会館、石垣市民会館、2011年11月25日
- 26 M.Kikuchi, Y.Wada, K.Suga, C.Ohdama, NUMERICAL SIMULATION OF COALESCENCE BEHAVIOR OF MULTIPLE SURFACE CRACKS, ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Conference, Baltimore, Maryland, USA, 2011年7月21日
- 27 M.Maitireyimu, M.Kikuchi, H.Kitano, STUDY ON STRESS INTENSITY FACTORS OF FATIGUE CRACK IN ROUND BAR UNDER ROTARY BENDING, ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Conference, Baltimore, Maryland, USA, 2011年7月19日
- 28 K.Suga, M.Kikuchi, T.Moteki, R.Arimura, POLARIZATION CURVE MODELING WITH FLOW PROPERTIES, ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Conference, Baltimore, Maryland, USA, 2011年7月19日
- 29 K.Suga, K.Miyazaki, S.Kawasaki, Y.Arai, M.Kikuchi, EVALUATION OF INTERACTION OF MULTIPLE FLOWS IN DUCTILE FRACTURE PROCESS, ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Conference, Baltimore, Maryland, USA, 2011年7月19日
- 30 K.Suga, K.Miyazaki, R.Senda, M.Kikuchi, DUCTILE FRACTURE SIMULATION OF MULTIPLE SURFACE FLAWS, ASME 2011 Pressure Vessels & Piping Conference, Baltimore, Maryland, USA, 2011年7月19日
- 31 Masanori Kikuchi, kazuhiro Suga, Ductile Fracture Simulation of Multiple Flaws, The 7th International Conference on Numerical Analysis in Engineering, Manado, North Sulawesi INDONESIA, 2011年5月19日
- 32 Kazuhiro Suga, Kazuya Okamoto, Masanori Kikuchi, An Efficient Simulation for Split Hopkinson Pressure Bar, The 7th International Conference on Numerical Analysis in Engineering, Manado, North Sulawesi INDONESIA, 2011年5月19日
- 33 Yoshitaka Wada, Masanori Kikuchi, Masaki Sato, Kentaro Miya, Evaluation of Stress Intensity Factor for Factory Roof of Surface Crack, The 7th International Conference on Numerical Analysis in Engineering, Manado, North Sulawesi INDONESIA, 2011年5月19日
- 〔図書〕(計 1件)
- 1 菊池正紀、服部敏雄、田中正清、宮川進、中西保正、宇佐美三郎、宮下幸雄、中込忠雄、伊藤寛之、大塚尚武、伊藤義康、足立幸志、破壊力学大系 - 壊れない製品設計へ向けて - (株)エヌ・ティー・エス、2012年2月14日、330~339
- 〔その他〕
ホームページ等
<http://kikuanni.me.noda.sut.ac.jp/index.j.html>
6. 研究組織
(1)研究代表者
菊池 正紀 (KIKUCHI, Masanori)
東京理科大学・理工学部機械工学科・教授
研究者番号：90107540