

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19760070
 研究課題名（和文） メゾ・マクロスケールシミュレーションを駆使した非線形破壊クライテリオンの構築
 研究課題名（英文） Establishment of criterion for nonlinear fracture using mezzo-macro scale simulations
 研究代表者
 藤本 岳洋 (FUJIMOTO TAKEHIRO)
 神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
 研究者番号：60314514

研究成果の概要（和文）：構造物の破壊事故等では、き裂の進展は工業部材の変形とともに生じる。特に工業部材の顕著な永久変形を伴って生じる破壊を弾塑性破壊とよぶ。弾塑性破壊の様相は複雑なため、従来の破壊力学の知見を用いることができないケースも少なくない。本研究では、この弾塑性破壊の発生条件を評価するための力学的な指標（クライテリオン）の確立を目指し、実験や数値シミュレーションの結果を交えて、破壊発生時にき裂先端近傍に生じる材料の挙動の評価を行っている。

研究成果の概要（英文）：In fracture accidents of structure, crack propagation caused with deformation of industrial component materials. The nonlinear fracture is defined as the fracture with distinct permanent deformation. Because behavior of nonlinear fractures are very complex, conventional fracture mechanics cannot be applied to some of these nonlinear fractures. In this study, to establish the criterion for the nonlinear fracture, behaviors in crack-tip vicinity are measured by using the experimental observations and numerical simulations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	360,000	3,560,000

研究分野：材料力学、破壊力学、計算力学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：破壊力学、延性破壊挙動、三点曲げ破壊試験、き裂面観察、粗さ測定

1. 研究開始当初の背景

幾例かの構造物破壊事故は、構造部材に何

らかの欠陥（き裂）が生じ、そのき裂を端に生じた破壊によって生じている。このき裂が

進展・成長する過程においては、き裂先端近傍に生じる応力集中によって顕著な弾塑性変形が生じる状況が少なくない。き裂寸法と比して塑性変形域の寸法が微小とされない状況、つまり小規模降伏が成立しない状況は、一般に非線形破壊と称されているが、非線形破壊現象では付与された荷重形式、拘束条件や部材寸法効果等により、き裂先端周辺の塑性変形域の大きさやき裂面傾斜等の挙動が様々に変化し、破壊メカニズムが完全に解明されているとは言い難い。種々の研究からは、破壊進行時のき裂先端極近傍の微小領域では微小欠陥の成長・合体などが生じるプロセスゾーン（破壊進行域）が確認されている。非線形破壊問題の挙動に対しては、特にこのプロセスゾーンの影響が大きいと考えられている。これまでに非線形破壊のクライテリオンとして、 J 積分を発展させた J 積分や T^* 積分等の幾つかのパラメータが提唱されているが、それらの多くがプロセスゾーンの影響を加味したものとなっている。しかし、上記のような非線形破壊ではプロセスゾーンの寸法等が多様化し、その定量的な情報を得る術は明らかにされていない。そのため、現在のところ、これらのパラメータが破壊じん性評価に普遍的に利用されるまでには至っていない。 T^* 積分が今後、工学的実用性を持つに至るにはプロセスゾーン寸法やその効果を精査し、領域 V_c の定義と決定方法を明確化する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、試験環境下の破壊現象に対して、実験と数値シミュレーションを適用することにより、 T^* 積分の適用を実際的なものとするを目標とした。破壊実験では、3点曲げ試験片を用いた試験結果を得る。試験片材料はアルミニウム合金材とした。加えて、

準静的・衝撃破壊におけるき裂先端近傍観察やき裂断面粗さ観察を行った。数値シミュレーションを駆使した研究では、き裂先端微小領域のボイド成長を Gurson によって提唱されたボイド成長モデルを用いて評価した。またアルミ合金の3点曲げき裂試験片を用いた破壊実験を行い、準静的荷重、衝撃荷重下の破壊挙動やき裂断面粗さの違い、破壊挙動の相違を明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 2007年度は、き裂先端近傍に生じる前破壊挙動を評価するために Gurson によって提唱され Tvergaard によって再評価されたボイド成長モデルを移動有限要素法に導入した。この移動有限要素解析により、弾粘塑性高速き裂進展時にき裂先端近傍に生じるボイド成長挙動を評価した。

(2) 2008年度は準静的荷重・衝撃荷重下の非偏心・偏心三点曲げ破壊実験を行った。破壊現象を観察するために超高速カメラを用い、破壊経路やき裂進展速度の計測を行った。また、レーザーフォーカス変位計を用いて実験後のき裂面粗さの計測を行った。

(3) 2009年度は2008度に行った準静的荷重・衝撃荷重下の非偏心・偏心三点曲げ破壊実験データに基づく破壊現象の生成形シミュレーションを行った。これはき裂進展履歴を実験観察結果通りに忠実に再現する方法である。複雑なき裂進展挙動を再現するため、デローニ三角形自動要素分割に基礎をおく移動有限要素法を用いた。本来の現象はき裂面傾斜や塑性変形が生じた複雑な現象であるが、数値解析では基礎的な傾向を捉えるため、まず純弾性変形、平面応力状態を仮定している。

4. 研究成果

(1) 2007年度に実施した数値シミュレーション結果から、ボイドは塑性ひずみ速度に応じて成長するため、構造外部からの変形速度に応じて停留き裂先端に蓄積するボイド成長率に差が生じること、高速き裂進展の開始によってボイド成長が助長されること等が明らかとなった。しかし現時点では、シミュレーション結果は要素分割依存性を示し、定量的評価のためには材料の微視構造の影響を具現化した特徴長さの概念を導入する必要がある。

(2) 2008年度に実施した三点曲げ破壊実験結果から、破壊経路は荷重速度に依存して大きく変化することが明らかとなった。準静的荷重下では、き裂は荷重点方向向きに進展した。衝撃荷重三点曲げ試験では、ガス圧によってストライカーの衝突速度は25m/s程度になっている。このような高速衝突による破壊では、破壊経路は必ずしも衝突点方向へと向かわないという結果が得られた。両三点曲げ試験では破面傾斜の様相も異なり、前者は一方傾斜となったが、後者は凹凸上の破面が生じた。また破面測定データから算術平均粗さ相当の粗さ分布を評価したところ、試験片板厚中央部の粗さが表面近くの粗さより高いことがわかった。き裂が進展経路を大きく変える箇所においても粗さの値は増大しており、微視的な破面粗さにも巨視的な破壊挙動の影響を反映した分布が現われた。

(3) 2009年度は前年度に実施した破壊実験の生成形シミュレーションを行い、実験だけでは評価できない高次の力学量（応力分布や破壊力学パラメータ）を算定した。準静的三点曲げ試験より衝撃荷重三点曲げ試験の方が高い破壊力学パラメータ値が得られた。これは衝撃破壊では、過渡時間中であってもストライカーが進行し、試験片に高い変形エネルギー

をもたらしためである。有限要素解析結果と破壊力学パラメータに基づいて、外部からの入力エネルギー、試験片の内部エネルギー、破壊エネルギーの収支を調べたところ、エネルギー平衡は精度良く保たれており数値解析の妥当性が認められた。ストライカーと試験片の衝突位置の偏心では、このエネルギーの大小は大きく変化することはなかったが、衝突速度によっては大きく変化することが明らかとなった。またき裂進展開始直後は平面応力近似が妥当であり、き裂先端近傍で局所対称状態が成立していることが認められた。

今後、き裂面の塑性変形効果を反映したプロセスゾーンの評価方法をより詳細に検討していく必要がある。

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2件)

- ① T. Fujimoto and T. Nishioka, Experimental and numerical study for crack propagation in aluminum alloy A2024-T351, Materials Science and Engineering (Proceedings of WCCM/APCOM 2010). (掲載決定済)
- ② T. Fujimoto and T. Nishioka, Moving finite element analyses for fast crack propagation in sheet metal, International Journal of Mechanical Sciences (SPECIAL ISSUE: Advances in Modeling and Evaluation of Materials in Honor of Professor Tomita), vol. 52, 2009, pp. 277-286.

[学会発表] (計4件)

- ① 藤本岳洋、西岡俊久、アルミニウム合金破壊挙動の衝撃速度依存性に関する研究、日本機械学会M&M2009 材料力学カンファレンス、CD-ROM論文集、2009、pp. 179-181.
- ② 藤本岳洋、西岡俊久、延性破壊におけるき裂先端近傍挙動とプロセスゾーンの評価に関する研究、第52回日本学術会議材料工学連合講演会、2008.
- ③ T. Fujimoto and T. Nishioka, Numerical Simulation for Nonlinear Deformation near Crack Tip using Micro Scale Material Model, Third Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics and the Eleventh International Conference on the Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science, 2007 (国際会議).
- ④ 藤本岳洋、西岡俊久、直進・非直進大変形破壊のき裂先端近傍の変形破壊挙動解析、第51回日本学術会議材料工学連合講演会、2007.

[図書] (計0件)

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 岳洋 (FUJIMOTO TAKEHIRO)

神戸大学・海事科学研究科・准教授

研究者番号：60314514