

(様式第3号)

論文要旨

論文題目

過大応力の負荷による塑性変形の形成が疲労き裂進展挙動に及ぼす影響とその機構について

(Effects of Plastic Deformation on Fatigue Crack Growth Behavior after Overloading
and Its Mechanism)

一定応力振幅の疲労き裂進展試験の途中において過大な応力を負荷させた場合、き裂進展速度が遅延する場合と加速する場合がある。本研究ではその機構を明らかにし、特に危険であるき裂が加速する場合の条件について詳細に検討した。また、き裂進展が加速する場合にき裂進展を抑制・改善する方法についてストップホール法を用いて検討した。

き裂進展の加速が生じる基本負荷サイクルの応力比が負の場合に着目して、き裂伝ばとき裂先端の塑性域の関係について定性的及び定量的な検討をした。応力比 $R=0$ では、過大応力を負荷した後、き裂伝ばが遅延し、応力比が負の場合では、負荷した過大応力の大きさにより、き裂伝ばが遅延及び加速する。この原因として、過大応力によるき裂先端部の鈍化と、その後の負荷条件によってき裂先端の残留応力が引張りになることが関係している。本研究では、そのき裂伝ばの加速機構を明らかにした。また、過大応力により形成される静的塑性域の大きさは、基本負荷サイクルの応力比 R の違いに依存せず、過大応力のレベルにより決まり、その直後の負荷によって生じる逆塑性域の大きさは応力比 R に依存する事も明らかにした。

応力比が負の場合、過大応力の負荷によりき裂伝ば挙動が遅延および加速するが、き裂進展の加速が生じる条件と残留応力の効果について次のように詳細に検討した。応力比が負の場合、同じ過大応力を負荷しても、その後の応力振幅の大きさによりき裂伝ば挙動が遅延や加速する結果となる。その原因には、過大応力により形成されるき裂先端部の静的塑性変形域内の応力分布に関係する。過大応力負荷後の繰返し応力によって残留応力の値は変化し、き裂先端が鈍化し、その後の圧縮の繰返し応力が大きい場合には、き裂進展が加速する。き裂先端が鈍化せず、圧縮の繰返し応力が小さい場合は遅延することがわかった。その機構については、本文で詳細に述べている。そして、特に主張した点は、過大応力負荷によりき裂先端が鈍化する場合、過大応力に加えてその後の一回目の圧縮応力が、き裂進展に大きく影響し、引張りの残留応力を形成することに関して考察を行っている。

また、過大応力負荷後にき裂進展の加速が生じる場合の対策について検討を行った。すなわち、過大応力負荷後のき裂進展挙動を改善する方法として、ストップホール法の効果について検討した。き裂先端部へのストップホール加工のみの場合、応力集中の影響のための効果があまりなく、ストップホールの加工がき裂進展を改善する効果があまりなかった。しかし、ストップホールにピンを挿入した場合は、ストップホールの周りは加工硬化し圧縮の残留応力場が形成され、寿命が長くなった。また、ストップホールにピンを挿入することによってストップホールからの新たなき裂の発生が抑制されていることが明らかになった。したがって、過大応力によってき裂進展が加速する場合でもストップホールを応用することによってき裂進展の加速を抑制できることがわかった。

氏名 山内 章広

2012年 2月 14日

琉球大学大学院
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏名 真壁 朝敏

副査 氏名 伊良波 繁雄

副査 氏名 宮崎 達二郎



学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 生産エネルギー工学	氏名 山内 章広	学籍番号 068604C
指導教員名	真壁 朝敏		
成績評価	学位論文 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	最終試験 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	
論文題目	過大応力の負荷による塑性変形の形成が疲労き裂進展挙動に及ぼす影響とその機構について (Effects of Plastic Deformation on Fatigue Crack Growth Behavior after Overloading and Its Mechanism)		
審査要旨（2000字以内） 過大応力が負荷された場合の疲労き裂の進展挙動はき裂先端の残留応力の形成に影響され、き裂の開閉挙動に着目すると物理的に現象が説明されることが示されてきた。しかしながら、それらの研究においては、過大応力を負荷した後にき裂進展が遅延する場合に着目したものが多く、逆に加速する場合に着目した検討は少ない。地震等の予期しない過大応力の作用によって、設備に生じたき裂が不安定的に成長すると危険である。そのようなことから、本研究では、過大応力が負荷された場合のき裂進展の加速現象について、き裂先端の塑性域と残留応力に注目して考察し、その進展の抑制手法についても検討している。			

(次頁へ続く)

審査要旨

本論文は6章で構成され、第1章の諸論で本論文の目的を述べており、第6章で結果をまとめている。第2章から第5章で検討した項目が述べられて考察がなされている。

第2章から第4章において、一定応力振幅の疲労き裂進展試験の途中で、単一の過大応力が作用した後のき裂進展特性を示し、き裂が加速する応力負荷条件と加速が生じる機構を明らかにしている。引張りの過大応力を負荷した後は、一定応力振幅試験における応力比 R （最小繰返し応力/最大繰返し応力）が正の値か0の場合には、き裂進展が遅延する。その際にはき裂先端には圧縮の残留応力が生じている。ところが、応力比 R が負の場合、すなわち、圧縮応力が繰返される場合、過大応力負荷後にき裂進展が加速する場合と遅延する場合がある。遅延する場合は応力比が正の値か0の場合と同じく、き裂先端に形成される圧縮残留応力がき裂進展挙動に影響を及ぼしている。そして、本研究で注目している、き裂進展の加速は、過大応力の値が限界値を超え、き裂先端が鈍化し、その後に限界値以上の圧縮応力が繰返された場合にもたらされる（特に第1回目の圧縮応力の作用が重要なポイントとなる）。その理由を本研究では詳細に検討しており、き裂進展が加速する場合には、過大応力負荷直後にき裂先端に分布する圧縮の残留応力が、ある限界値以上の圧縮応力の作用によって引張りの残留応力に変化する機構を見出している。その機構では、き裂先端付近での塑性流動が重要であることが示され、引張りの残留応力が形成される際には局所的に材料が内部から表面方向に流動し、その結果、き裂先端付近が周りの弾性場から引張応力の作用を受けることを突き止めている。そして、その現象をRiceの塑性流動解析を用いて説明している。

本研究では、数種類の炭素鋼を用いて、過大応力負荷後のき裂進展の加速が生じる条件について部材形状や負荷パターンを変化させ検討しているが、このような検討はこれまでになされていなかった。

き裂進展の加速は危険であり、設備が不安定破壊すると大きな損失が生じる。そこで、本研究ではき裂進展の加速を止める手法について、第5章で検討している。き裂の進展を抑制するために予備実験でき裂の加速後に、安全側に作用する条件での過大応力を負荷する等の検討を行っているが、一端、き裂が加速するとこのような応力操作は意味をなさないことを調べている。そこで、これまでの研究で行われている改良形ストップホール法を本研究にも適応している。本研究では板幅の狭い試験片を用いて実験的な検討を行っている。その制約のため、単にストップホールをき裂先端に加工しても、ホール先端に生じる応力集中のため、き裂進展の加速を止めることができなかった。しかしながら、加工したストップホールにピンを挿入して、穴周りを加工硬化させること、圧縮の残留応力場を発生させること、そしてき裂面の開口を抑えることによって、き裂進展の加速が停止することを示している。過大応力の作用後のき裂進展の抑制の問題は、これまでに検討されたことがなく、実用的なものである。

したがって、本研究成果は工学的に有用であり、提出された学位論文は博士の学位論文に相当するものと判断し学位論文の審査を合格とする。また、論文発表会における発表ならびに質疑応答において、申請者は専門分野および関連分野の十分な知識ならびに十分な研究能力を有していることが確認できたので最終試験を合格とする。