

## 論文要旨

### 論文題目

疲労強度に及ぼす塑性変形の影響および局所変形によるき裂進展抑制について  
(Effects of Plastic Deformation on Fatigue Strength  
and Arresting Crack Growth by Applying Local Deformation)

本研究ではき裂進展の抑制や疲労破壊の防止を目的に、加えた塑性変形が材料の機械的性質や疲労強度に及ぼす影響について、基礎実験的な観点から検討した。

き裂進展に伴う疲労破壊の改善方法としては、塑性変形をキーワードに、(1)き裂発生を抑える方法と(2)き裂進展を抑制・停止する方法がある。

(1)き裂発生を抑える方法として、はじめの研究では面心立方格子の純アルミニウム10φにねじり予ひずみを与えた場合の機械的性質と疲労特性について検討した。ねじり予ひずみを与えると表面層から内部に硬さが変化する異方性材となる。純アルミニウムはひずみを付加することで引張強度と疲労寿命は改善され、それは表面層の硬さに関係していることを明らかにした。また、材料の異方性と疲労強度の向上が疲労破面の形態に関係することが考えられたので、き裂進展挙動と疲労寿命の状況をフラクトグラフィ的に検討した結果、ねじり予ひずみが無い場合の破面は、表面層からせん断縁のき裂が発生し中心に向かって進展し、ある程度進展後、方向を変えてき裂速度を高めてモードIでき裂は成長する。ねじり予ひずみを与えた場合はラチェット状模様の多数のき裂が表面から発生し、き裂はモードIとせん断形の混合モードで進展することを明らかにした。ストライエーション模様から、破壊の最終段階では内部からも外方向にき裂が進展し、表面から進展したき裂と連結した部分もあることが確認された。

次の研究では、アルミニウム同じ面心立方格子の純銅10φにねじり予ひずみを与えた場合の引張強さと疲労強度を検討した。一般的にねじり予ひずみを与えると硬さは表面層が硬化し、内部は軟化する傾向を示すが、純銅の場合はあるひずみ量から逆に、表面層が軟化し内部に硬い部分が形成されることがわかった。これは過度のねじり予ひずみを付加することで表面層の組織が微細化し、軟化したと考えられることから、純銅は過度のひずみを与えても疲労強度は改善されないことを明らかにした。

また、(2)き裂進展を抑制・停止する方法として三つ目の研究では、き裂先端か先端付近に空けたストップホールがき裂進展に及ぼす効果について検討した。両側にスリットを加工したアルミニウム平板試験片を使い疲労試験を行った。ストップホールのない試験片をBaseとし、2個と4個、8個のストップホールの最適配置を意識して加工し、ストップホールにピンを挿入した場合のき裂進展を比較した結果、き裂進展抑制に最も効果的な方法は、き裂先端付近にストップホールをあけて、ピンを挿入した場合か抜き取った場合であることがわかった。その場合、疲労寿命はBase試験片の $6.9 \times 10^5$ 回に比べて $2 \times 10^6$ 回以上に延び、応力集中の緩和よりもピン挿入による塑性変形の効果がき裂進展に影響する事を明らかにした。しかし、ストップホールから新たなき裂が発生する場合、き裂の急速進展には注意が必要であることなど明らかにした。

2011年 2月10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  
 副査 氏名 屋良 秀夫

学位(博士) 論文審査及び学力確認終了報告書



学位(博士)の申請に対し、学位論文の審査及び学力確認を終了したので、下記のとおり報告します。

申請者	氏名 國吉 和男	
現住所	ニシ	
成績評価	学位論文 (合格) 不合格	学力確認 (合格) 不合格
論文題目	疲労強度に及ぼす塑性変形の影響および局所塑性変形によるき裂進展抑制について (Effects of Plastic Deformation on Fatigue Strength and Arresting Crack Growth by Applying Local Deformation)	
審査要旨(2000字以内)	部材を軽量化し機器の重量を減ずることによって、燃費を節約しCO <sub>2</sub> 削減と地球温暖化の抑制に貢献できる。そのため、部材の軽量化に関する種々の研究が行われてきている。その一つにアルミニウム合金を鉄鋼材料の代わりに用いることが検討されている。しかしながら、強度面で使用応力にアルミニウム合金が耐えることができない場合には安全面からの問題が生じる。そのため、切欠部材等の軽量化に関連した強度低下の抑制手法が検討されている。しかしながら、アルミニウム合金の基材である純アルミニウムの特性等に基づいて強化手法を検討した基礎的な研究は少ない。	

## 審査要旨

そこで、本研究では、純アルミニウムの塑性加工による強化に関する検討を行い、アルミニウムの強度面や安全性の面からの疲労とき裂進展の問題を検討している。なお、基礎的な観点からアルミニウムと同じ面心立方格子金属である純銅の塑性変形による材料の強化についても検討を行っている。それらの材料は、最新のE-CAP法という材料加工手法にも用いられて特性が比較されており、強せん断変形が材料強化に及ぼす影響が検討されている。本研究でも、そのような学術的な比較検討という観点から、それらの材料を用いたねじり加工による強せん断変形の強度に及ぼす影響を検討している。

純アルミニウムにおいて、ねじり予ひずみを与えた場合、表面層が硬く内部が軟らかい材料が形成される。そして、予ひずみ量に比例して表面層が硬化するため、静的引張強さと疲労強度が向上する。純アルミニウムは延性に富む材料であるため、表面層が硬化しても内部から破壊が進行する引張破壊の場合には破壊機構に加工の影響が表れない。しかしながら、疲労の場合には表面き裂発生とその成長によって表面から破壊が進展する。そのため、表面硬さの向上は疲労き裂の進展挙動にも影響を及ぼし、せん断形が主であった混合モードの破壊機構が加工によって引裂きモードに変化し、破壊抵抗が増加することがわかった。

比較材である純銅においては、ねじり予ひずみの値が小さい場合は表面層が硬化するが、過度にねじり予ひずみを与えると逆に表面層が内部よりも軟らかくなることが分かった。結晶粒の微細化によるペッチの法則とは逆の効果や局所的な結晶の融合によって軟化が生じたと予想されるが、純アルミニウムの場合とは異なる現象が生じた。純銅では、加工によって内部が硬くなるため引張強さは向上したが、過度の加工では疲労強度は改善されなかった。このように、純銅では純アルミニウムの場合とは異なる疲労現象が観察されている。しかしながら、表面硬さと疲労強度の関係は両材料ともに比較的良好な相関性があり、表面硬さによって疲労強度が評価できる結果になっている。純銅の軟化現象については、さらなる検討が必要と思われる、学術的に興味深いものである。

強度改善の面から検討すると塑性加工を施すことによってアルミニウム系の軽量素材は強度が改善されることが上述の結果からわかる。そこで、申請者は同時に安全性の面からアルミニウム合金板材において、疲労き裂が発生した場合、そのき裂の進展を局所塑性加工によって抑制する手法について検討している。航空機や船舶において疲労き裂が発生した場合にストップホールを加工してき裂先端の応力集中を軽減して、応急的にき裂進展を抑制する手法が用いられている。本研究手法においては、そのようなストップホールにピンやリベット等を挿入し、そのホールを塑性加工によって若干膨らませることによって、き裂の周囲に圧縮の残留応力を形成させることを提案している。その手法によれば、単に応力集中を軽減するだけでなく、圧縮の残留応力がき裂先端に作用するので、より効果的にき裂進展が抑制できることが示されている。このような背景は基材としての純アルミニウムの破壊特性とも関係しており、残留応力を発生させることによって、き裂進展方向の変化やき裂進展モードの変化が生じることも確かめられている。

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。そして、学力確認のための外国語の試験では優秀な成績を収めており、学力試験を合格とする。