

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第8条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	李 偉 (り うえい)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第756号
○授与年月日	2011年9月25日
○学位授与の要件	本学学位規程第18条第1項 学位規則第4条第1項
○学位論文の題名	Reliability Evaluation of Gigacycle Fatigue Properties for High Strength Steels Based on Crack Initiation and Propagation Behaviors (き裂発生および進展挙動に基づく高強度鋼のギガサイクル疲労特性の信頼性評価)
○審査委員	(主査) 酒井 達雄 (立命館大学総合理工学研究機構特別任用教授) 飴山 恵 (立命館大学理工学部教授) 上野 明 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

本論文は、第1章において超高サイクル疲労に関する研究の背景と本研究の趣旨を要約した上で、第2章では、このような長寿命域での表面起点型疲労破壊について、表面仕上げ、金属組織欠陥、表面の微視すべり等に対する破壊力学的な考察が加えられている。第3章では、軸受鋼のギガサイクル回転曲げ疲労特性を実験的に調べるとともに、破面観察結果より破壊力学的手法で内部き裂の発生・進展挙動を解析し、内部起点型破壊の疲労限度を明らかにし、第4章では同鋼種に対し、回転曲げ、通常の軸荷重、超音波疲労の3種類の負荷様式でギガサイクル疲労特性を調べ、 $\sqrt{area}$ 法を準用して介在物寸法や細粒状領域(FGA)のサイズと疲労特性の関係を定量的に解析している。

次に、第5章では、超清浄度ばね鋼(SUP7-T450)に対する回転曲げおよび軸荷重下のギガサイクル疲労特性を調べるとともに、超清浄度鋼においても超高サイクル域では内部起点型破壊が一般に発生すること、また、介在物でなく金属組織的欠陥がき裂発生点になることを明らかにし、この場合のき裂発生メカニズムを解明している。第6章では、超清浄度ばね鋼(SUP7-T386)の切削材および電解研磨材の2種類の試験片を準備し、ギガサイクル疲労特性を比較している。その結果、機械加工による表面残留応力の影響を明らかにするとともに、表面欠陥および内部欠陥に対する $\Delta K$ 値で表面起点型疲労限度および内部起点型疲労限度が説明できることを明らかにしている。また、第7章では、 $\Delta K_{th}$ 以上の負荷レベルにおけるき裂進展挙動について、応力比  $R$ 、 $\Delta K_{th}$ 、 $K_{fc}$ 、および  $C$ 、 $m$ なる5つのパラ

メータを導入したパリス則により、き裂進展挙動が定量的に解析できることを示している。最後に、第8章は第2章～第7章で得られた研究成果を本論文の結論として集約したものである。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文では、近年、金属疲労の分野で国際的に大きな課題になっている超長寿命域における金属材料の疲労特性について、丹念な実験結果をもとに種々の角度から詳細な考察が加えられており、以下のとおり多くの成果が得られている。第一の成果は、軸受鋼のギガサイクル回転曲げ疲労特性を実験的に調べるとともに、破面観察結果より破壊力学的手法で内部き裂の発生・進展挙動を解析し、内部起点型破壊の疲労特性を明らかにした点である。介在物位置における局部応力をもとに内部起点型破壊に対する疲労特性を明らかにしたことは、高強度鋼の疲労特性をさらに改善するための材料科学的な指針を与えるものである。第二の成果は、同種の軸受鋼(GCr15)を用いて、回転曲げ、通常の軸荷重、超音波疲労の3種類の負荷様式でギガサイクル疲労特性を調べ、 $\sqrt{area}$ 法を準用して介在物寸法や細粒状領域(FGA)のサイズと疲労特性の関係を定量的に解析した。その結果、介在物の寸法分布および材料の体積効果をもとに異なる負荷様式間の疲労強度の対応関係を明らかにした点である。第三の成果は超清浄度ばね鋼(SUP7-T450)に対する回転曲げおよび軸荷重下のギガサイクル疲労特性を調べるとともに、超清浄度鋼においても超高サイクル域では内部起点型破壊が一般に発生すること、また、介在物でなく金属組織的欠陥がき裂発生点になることを明らかにし、この場合のき裂発生メカニズムを解明した点である。最後に、第四の成果は、これまでギガサイクル疲労の分野で内部起点型破壊だけが注目されていたが、しばしば観察される長寿命域における表面起点型疲労破壊について、広範な調査を行って表面仕上げ、金属組織欠陥、表面の微視すべり等に対する破壊力学的な考察を加え、ギガサイクル域における表面起点型破壊の重要性を明らかにした点である。これらの成果は学術および工学的応用の両面で国際的に高く評価される。

本論文の審査に関して、2011年5月13日(金)15時00分～16時15分 イーストウイング1階メディアラボ1において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者李偉氏に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、内部き裂発生メカニズムや最適き裂進展モデルなどの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での質疑を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、課程博士学位に相応しい学力を有していると確認した。また、本論文提出者は当該分野で国際的に評価が高い欧文誌に 3 編の原著論文が掲載されるとともに、2011 年 4 月開催の国際会議(ICCES'11)で研究発表・質疑応答も行っており、質・量ともに優れた研究業績により後期課程 3 年在学での修了が適当と判断した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することを適当と判断する。