

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	GUENNEC Benjamin Morgan Francois Paul (げねっく べんじゃみん もーがん ふらんそわ ぼーる)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 989 号
○授与年月日	2014 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	Study on the Loading Frequency Effect on the Fatigue Properties of Metallic Materials Mainly Focused on Low Carbon Steel (低炭素鋼に注目した金属材料の疲労特性に及ぼす周波数効果に関する研究)
○審査委員	(主査) 上野 明 (立命館大学工学部教授) 鮎山 恵 (立命館大学工学部教授) 伊藤 隆基 (立命館大学工学部教授) 酒井 達雄 (立命館大学工学部特別任用教授)

<論文の内容の要旨>

金属材料の疲労特性は、従来、応力繰返し回数が 10^7 回まで実験すればよいと判断されてきたが、最近では、機器を従来以上に長期間使用せざるを得ない社会的需要があるため、 10^7 回を超え 10^9 回程度まで実験する必要があることがわかっており、超高サイクル疲労として知られている。しかしながら、従来型の疲労試験機 (試験周波数 50Hz 程度) で実験を行った場合、 10^9 回までに 230 日程度要する。そのため、短時間で実験を行うために試験周波数が高い (20kHz) の超音波疲労試験機を用いることがあるが、超音波疲労試験機を用いて求めた疲労特性は、従来型疲労試験機を用いて求めた特性より高強度 (長寿命) を示すことがあり、超音波疲労試験結果の有効性については、現在でも議論が多い。本論文は、上記の点に注目し、高強度 (長寿命) になる要因について調べるために、以下の①～④に記すような系統的な研究を行っている。

<論文審査の結果の要旨>

①過去の著名な疲労研究者の論文 (鉄鋼材料 23 編、アルミニウム合金系 8 編) の疲労試

験データを用いて、統一的な方法（日本材料学会標準 $S-N$ 線図回帰方法）にて $S-N$ 線図を描き、疲労特性に及ぼす試験周波数の影響を統一的に調べ、低炭素量の鉄鋼材料ほど超音波疲労試験時に疲労特性に影響が現れやすいことを見出した。この結果を用いて、

②以下の実験で用いる材料として、炭素量 0.15% の JIS S15C を選定した。

②S15C を用いて、異なる引張速度の引張試験および、異なる試験周波数（0.2Hz, 2Hz, 20Hz, 140Hz）の疲労試験を行い、降伏応力に及ぼす引張速度の影響と、 $S-N$ 特性および繰返し応力-ひずみ特性に及ぼす試験周波数の影響を調べた。その結果、引張速度

が速いほど降伏応力が増加することと、疲労試験時には塑性変形が生じやすくなっていることを見出すとともに、試験片には局所的塑性変形が生じることを示した。

③S15C を用いて超音波疲労試験（試験周波数 20kHz）を実際に行い、②で明らかになった「局所的塑性変形」は超音波疲労試験を行った試験片では生じないことを明らかにした。また、通常の試験周波数での疲労き裂は、結晶粒内のすべりに沿って発生するのに対し、超音波疲労試験での疲労き裂は、結晶粒界で発生することを明らかにした。この現象は、EBSD を用いた Local misorientation 分布からも検証することができ、試験周波数の違いにより結晶内部の転位の挙動が異なっている可能性のあることを明らかにした。

④透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて、各試験周波数で実験を行った試験片の転位を観察した。その結果、通常の試験周波数では転位のセル構造やラダー構造が観察できたが、超音波疲労試験の試験片では転位の集積が多少は観察できるがセルやラダーは形成されないことを明らかにした。これらの転位観察結果に対し、体心立方格子(BCC)金属における特徴的な転位挙動を説明するための理論である「Seeger 理論」を適用し、本研究の超音波疲労試験で見られる転位の挙動は、BCC 金属を極低温にしたときに見られる転位の挙動と酷似していることを見出した。

以上、①～④における系統的な実験と、転位観察結果への転位理論の適用から、S15C においては、疲労特性に及ぼす試験周波数の影響は試験周波数の増加とともに連続的に変化するのではなく、140Hz と 20kHz の間に結晶内部の転位の挙動が大幅に変わる「Transition line」を想定できることを示した。

本論文の審査に関して、2014 年 5 月 10 日（土）11 時 30 分～13 時 00 分イーストウイング 4 階の機械システム系演習室において公聴会を開催し、学位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 GUENNEC Benjamin Morgan Francois Paul 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、結晶粒界で疲労き裂が発生する理由、炭素量の異なる鉄鋼材料の場合への適用可能性などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位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口頭試問結果を踏まえ、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、学位申請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。

学位申請者は、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、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。