

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	ZHANG YANBIN (ちょう えんびん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 773 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	Fatigue and Fracture Behaviors of Two Different Amorphous Alloys in High Cycle Regime (高サイクル域における 2 種類のアモルファス合金の疲労破壊挙動)
○審査委員	(主査) 上野 明 (立命館大学工学部教授) 飴山 恵 (立命館大学工学部教授) 酒井 達雄 (立命館大学総合理工学研究機構特別任用教授)

<論文の内容の要旨>

1960 年代後半にいくつかのアモルファス合金が開発され、優れた電磁気特性に着目した用途拡大が図られるとともに製造技術の改良が進み、薄帯や細線などの大量生産ができるようになった。アモルファスは結晶のようなすべりが発生しないので機械的強度も優れ、構造材料としての有効利用も期待されている。また、1990 年頃から大寸法のバルク・アモルファス合金も開発され、構造材料としての有効性が一段と高まっている。このような背景のもとに、本論文では、第 1 章でアモルファス合金開発の歴史的経緯や基本特性、応用例などの概要を解説した上で、第 2 章では、Fe 系アモルファス薄帯単体の軸荷重疲労特性を実験的に明らかにするとともに、構造材料として利用する観点から、多層複合材を作製し基本 S-N 特性だけでなく、確率疲労特性(P-S-N 特性)を解析して疲労設計の基礎データを与えている。第 3 章では、Zr 系アモルファス合金のバルク材 (直径 5mm の丸棒材) に対する回転曲げ疲労試験を行い基本 S-N 特性を調べるとともに、き裂進展メカニズムやき裂進展則を明らかにしている。また、最終破断の際に破断部で特異な発光現象が発生することが確認されている。第 4 章では、この発光現象の詳細を調べるため、バルク材の静的引張り試験および回転曲げ疲労試験の両負荷形式における破断時の発光現象を詳細に観察し、いずれも明瞭な発光現象が検証されている。さらに、破面観察結果との対応関係をもとにアモルファス合金の破壊メカニズムが考察されている。続いて、第 5 章では、静的引張りと同回転曲げの異なる負荷様式における破壊挙動について、破面形態の特徴と破面に作用す

る垂直応力・せん断応力の関係を定量的に解析し、アモルファス合金特有の破壊メカニズムを検討している。第6章は、第2章～第5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、アモルファス合金の機械構造用材料としての用途拡大の可能性を検証する観点から、2種類のアモルファス合金に対する疲労特性を実験的に調べるとともに、静的引張り試験も実施して非晶質金属の破壊現象を詳細に調べ、破壊力学およびフラクトグラフィを組み合わせた幅広い考察が加えられ、以下のとおり、多くの貴重な成果が得られている。第1の成果は、急速冷却法により製造されたFe系アモルファス薄帯($\text{Fe}_{78}\text{B}_{13}\text{Si}_9$)の単材および多層複合材を多数準備し、高サイクル域における軸荷重基本S-N特性を実験的に調べると同時にいくつかの応力レベルにおける疲労寿命分布を丹念に調べて確率疲労特性(P-S-N特性)を定量的に明らかにしたことである。アモルファス合金に対する確率疲労特性の解析は国内外を問わず本論文が最初であり、高いオリジナリティが認められる。第2の成果は、高圧反転モールド鑄造法で製造されたZr系アモルファス合金($\text{Zr}_{55}\text{Al}_{10}\text{Ni}_5\text{Cu}_{30}$)のバルク材(直径5mmの丸棒)について、回転曲げ荷重下の疲労特性を実験的に調べ、短寿命域と長寿命域における二重S-N特性が現れることを確認している。また、短寿命域における破壊は表面上で所定長さのき裂が発生するのに対し、長寿命域では表面上の点状起点からき裂が発生することを解明するとともに、き裂進展メカニズムと併せて本材料の定量的な疲労き裂進展則を明らかにしている。第3の成果は、通常の金属材料では見られない破壊時の発光現象を高速度カメラで詳細に観察し、静的引張りおよび回転曲げのいずれの荷重様式においても、アモルファス合金に特有の発光現象が確認されるとともに、破面上に残される特徴的なパターンとの関連を効果的に説明している。これら一連の研究成果は、材料強度学分野の学術的な面だけでなく、本材料を構造材料として安全に利用する工学的応用面でも極めて貢献度が高く、国際的にも高く評価される。

本論文の審査に関して、2011年10月27日(木)13時30分～15時00分 イーストウイング4階 機械システム系演習室において公聴会を開催し、申請者による発表の後、審査委員は学位申請者ZHANG YANBIN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、薄帯とバルク材の疲労破壊機構の違い、バルク材の二重S-N特性の発生メカニズム、き裂発生力の学的条件などに関する質問がなされたが、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、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、副査の一人(酒井)とともに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。

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。