

| | |
|--------------|---|
| Title | 構造用金属材料の繰返し変形挙動と疲労限の関係に関する基礎的研究 |
| Author(s) | 大沢, 直樹 |
| Citation | 大阪大学, 1997, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/40433 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。 |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

| | |
|------------|--|
| 氏名 | 大 沢 直 樹 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学) |
| 学位記番号 | 第 1 2 8 6 0 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 9 年 3 月 18 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当 |
| 学位論文名 | 構造用金属材料の繰返し変形挙動と疲労限に関する基礎的研究 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 富田 康光 (副査) 教授 城野 政弘 教授 北川 浩 教授 松井 繁之 教授 豊田 政男 教授 船木 俊彦 |

論文内容の要旨

本論文は、船舶、海洋構造物に関係した材料、荷重について理論的に変動荷重下の疲労限を推定する手法を開発するための基礎的研究を行った成果をまとめたもので、5章で構成されている。

第1章では、変動荷重下の疲労限を推定することの必要性を述べ、従来の疲労限推定法を総括して本論文の位置付けについて述べている。

第2章では疲労限の物理的意味を考察して、残存すべり帯 (PSB) を形成し自由表面に凹凸を作る非可逆すべりの累積量をパラメータとした新しい疲労限推定方法の構想を提示するとともに、低炭素鋼等に適用可能な、巨視的応力歪応答から疲労限を推定する簡易推定法を提案している。続いて、熱力学的考察により局所応力歪と巨視的応力歪を関係付ける構成式を導出し、簡易推定法で疲労限とみなす応力がヒステリシスエネルギーの応力振幅依存性が変化する応力であることを示している。そして、軟鋼 SS400B は簡易推定法が適用可能で、アルミニウム合金 A5083P-O は適用不可能であることを示している。

第3章では、A5083P-O 等、材料のごく一部のみ塑性変形すると疲労破壊する材料の理論的疲労限推定法を開発するため、繰返し負荷に伴う塑性変形の局在化と非可逆すべりの累積の解析を試みている。まず、格子回転を無視し、塑性変形を速度非依存と近似した微小変形結晶塑性有限要素解析により繰返し荷重下の面心立方多結晶体の平面歪、長方形モデルの局所変形を計算し、繰返し変形時のすべり系硬化特性の設定方法を検討し、局所応力、局所塑性歪の分布の性質を調べている。続いて、格子回転を考慮し、塑性変形の色度依存性を考慮した有限変形結晶弾塑性有限要素解析により単結晶直方体モデルの繰返し変形時の局所変形を計算し、荷重繰返しに伴う局所塑性変形の局在化と非可逆すべりの発生が解析可能であることを示している。

第4章では、軟鋼 SS400B の応力歪応答を単純重ね合わせ型粘弾塑性構成式で表し、プログラム荷重試験により特性係数に荷重履歴効果特性を設定して変動荷重下のヒステリシスエネルギー特性を予測することで、2章で示した簡易推定法により変動荷重下の疲労限を推定している。そして、指数分布ランダム荷重負荷試験で、構成式が変動荷重負荷後のヒステリシスエネルギー特性を精度良く推定できることを示すとともに、推定した疲労限が同一試験片、同一

荷重で $S_{a,min}-N$ 線図により八木らが求めた疲労限と良好な一致を見たことを述べている。

第5章は総括であり、本論文により得られた成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

変動荷重下の疲労強度解析の精度の向上のためには、疲労試験によらず変動荷重下の疲労限を推定することが望まれてきた。しかし、現在の疲労限推定法は、定振幅荷重下のみ対象とした一般性、理論的根拠に欠けるものしかなく、一部を除き、それらの変動荷重下への拡張は困難である。

本論文は、変動荷重下の疲労限について、疲労破壊の微視的過程の考察に基づく理論的推定法の構想を提示するとともに、低炭素鋼等に適用可能な、ヒステリシスエネルギー特性をもとにした簡易推定法を提案し、軟鋼 SS400B とアルミニウム合金 A5083P-O で簡易推定法を用いることの適否を論じている。そして、簡易推定法の適用できない A5083P-O 等で、残存すべり帯 (PSB) 形成と非可逆すべり発生を結晶弾塑性有限要素法で解析することを試みている。また、簡易推定法の適用可能な SS400B について、指数分布ランダム荷重下でその有効性を示している。本論文で得られた成果を要約すると次のとおりである。

- (1) 変動荷重下の疲労限推定方法として、疲労き裂の発生、伝播に深く関与する非可逆すべり累積量をパラメータとする合理的方法の構想を示すとともに、低炭素鋼等に適用可能なヒステリシスエネルギー特性を用いた簡易推定法を示している。
- (2) 変形の微視的過程の考察と、熱力学的考察により、多結晶金属材料の応力歪応答が粘性ユニット付サブレイヤーモデルで表せることを示し、低炭素鋼など簡易推定法が適用できる材料では、ヒステリシスエネルギーの応力振幅依存特性が変化する応力が疲労限とみなせることを示している。
- (3) 簡易推定法が適用できない繰返し荷重下の面心立方多結晶金属の繰返し塑性変形挙動を、結晶格子の回転を無視した微小変形速度非依存結晶弾塑性有限要素法で解析する際に、繰返し硬化終了後の実在材料の挙動を定性的に表現できるすべり系硬化特性の設定方法を案出している。また、解析の結果、局所塑性変形は不均一で、自由表面に接する結晶粒で歪が大きいことを示している。また、結晶格子の回転を無視した解析では、負荷の進行に伴う局所塑性変形の局在化、非可逆すべりの発生が解析できないことが示されている。
- (4) Peirce-Assaro-Needleman の結晶格子の回転を考慮した有限変形速度依存結晶弾塑性有限要素法を繰返し変形を取り扱えるよう拡張する方法を案出している。そして、繰返し荷重下の面心立方単結晶の繰返し塑性変形挙動を解析し、局部的に結晶格子が回転すると、負荷の進行に伴う局所塑性歪の局在化の進行、非可逆すべりの発生が起きることを示している。そして、このメカニズムが残存すべり帯 (PSB) の形成機構のひとつであると推定している。
- (5) 簡易推定法が適用可能な軟鋼 SS400B の応力歪応答を、単純重ね合わせ型粘弾塑性構成式で表現するならば、負荷履歴の進行による応力歪応答の変化から構成式係数の履歴依存性を決定して、履歴依存性を考慮した構成式により SS400B の指数分布ランダム荷重試験の任意の時点でのヒステリシスエネルギーの応力振幅依存性を推定することによって変動荷重下の疲労限が推定できることを示している。

以上のように、本論文は、従来不可能であった変動荷重下の疲労限の推定を、軟鋼 SS400B について可能としたほか、全く新しい視点に立脚した、非可逆すべり累積量をパラメータとする疲労限推定方法を提案し、その一環として微視き裂生成機構の解析に結晶弾塑性有限要素法を適用して新知見を与えている。

これらの成果は、船舶海洋工学、とりわけ船舶海洋材料学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。