

氏 名(本籍) 井藤賀久 岳(大阪府)  
学位の種類 博士(工学)  
学位授与番号 甲第 247 号  
学位授与日付 平成 17 年 3 月 25 日  
専 攻 生産開発システム工学専攻  
学位論文題目 高強度鋼における内部起点型疲労破壊の影響因子に関する実験的研究  
(Experimental Studies on Variables Influencing Internal Fatigue  
Fracture in High Strength Steels)  
学位論文審査委員 (主査) 教授 戸 梶 恵 郎  
(副査) 教授 丸 井 悦 男 教授 長谷川 典 彦

## 論文内容の要旨

従来、機械・構造物の耐疲労設計には繰返し数  $10^7$  回における疲労強度、すなわち疲労限度を用いていた。しかし、高強度鋼や表面処理材では繰返し数  $10^7$  回を超える領域まで試験を続けると、通常の疲労限度以下の応力でも疲労破壊が生じることが確認された。このことは疲労限度を基礎とする従来の耐疲労設計が不適切であることを意味しており、機械・構造物の長期信頼性の保証においてきわめて重大な問題を提起した。

疲労限度以下の応力域における破壊は、従来の破壊とは異なって試験片内部の非金属介在物を起点とする内部起点型破壊である。その破壊機構の解明が最優先課題であるが、現時点ではその基礎となる実験データの蓄積が未だ不十分である。

こうした背景に基づいて、本研究では、内部起点型破壊機構の理解と耐疲労長期信頼性設計に資するために、内部起点型破壊の現象的把握と外部環境、表面性状、表面処理、介在物性状および負荷形式の影響について実験的検討を行っている。

第1章は緒論であり、本研究の背景、動機、目的などを記述している。

第2章では、実験室環境、乾燥空气中、湿度を制御した環境中、および純水中において疲労試験を行い、 $S-N$  曲線の形態および破壊機構に及ぼす湿度の影響について検討している。乾燥空气中を含む湿度 55%以下では  $S-N$  曲線は2段折れ曲がりを示し、湿度の増加に伴って破壊起点が表面から内部へ遷移する応力(遷移応力)は低下すること、一方純水を含む湿度 85%以上では  $S-N$  曲線の折れ曲がり消失を確認している。また、表面起点型破壊の領域では疲労寿命は湿度の増加に伴って減少するが、内部起点型破壊の領域では疲労寿命に及ぼす湿度の影響は見られないことを明らかにしている。

第3章では、電解研磨、3種類の表面粗さ、および3種類の切欠きを付与した試験片を用いて室温大気中で疲労試験を行い、バフ研磨材の結果と比較することにより表面性状の影響について検討している。電解研磨材の遷移応力は、加工硬化層の除去により表面からのき裂発生が容易になるためバフ研磨材に比べて低応力となること、表面粗さ材では表面粗さの増加に伴って遷移応力は低下すること、表面起点型破壊の領域における疲労寿命は

表面粗さの増加に伴って減少することなどを見出している。また、切欠き材においては、応力集中係数が増加すると低応力域においても内部起点型破壊が生じなくなることや内部起点型破壊の領域においては疲労寿命に及ぼす表面性状や切欠きの影響は認められないことなどを明らかにしている。

第4章では、2種類のショットピーニング処理を施した試験片を用いて室温大気中で疲労試験を行い、表面処理の影響について検討している。未処理材および表面処理材ともに2段折れ曲がりS-N曲線を示すことを認め、微粒子衝突処理材の遷移応力が最も高応力であること、fish-eyeの様相は処理の違いにより差異が見られたが、疲労寿命に及ぼす表面処理の影響は見られないことなどを明らかにしている。

第5章では、JISで規定されている清浄度の異なる2種類の高強度鋼を用いて室温大気中において疲労試験を行い、S-N曲線の形態に及ぼす清浄度の影響について検討している。表面起点型破壊の領域では介在物性状の影響は認められなかったが、内部起点型破壊の領域では清浄度の高い材料よりも低い材料の疲労強度特性が優れることを確認し、それは前者よりも後者において寸法の大きい介在物が含まれているためであることを明らかにしている。そのうえで、JISによる清浄度による判断は不適切であることを指摘している。

第6章では、室温大気中において平面曲げ疲労試験を行い、回転曲げ荷重下の結果と比較、検討している。回転曲げ荷重下の結果と異なり、平面曲げ荷重下では全応力域において内部起点型破壊が生じ、高応力域においても表面起点型破壊が生じないこと、また応力勾配を考慮した介在物の位置での応力を用いると両荷重下の疲労寿命はほぼ一致することなどを見出している。

第7章は結論であり、第2章から第6章までの結果を総括している。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、高強度鋼の内部起点型破壊機構の理解と耐疲労長期信頼性設計に資するために、内部起点型破壊の現象的把握と外部環境、表面性状、表面処理、介在物性状および負荷形式などの影響について実験的検討を行ったものである。これまで各種影響因子に関する系統的研究は皆無であり、データの蓄積が強く望まれていた。

本論文では工学的かつ実用的に貴重な多くの新しい知見が得られている。とりわけ、高強度鋼の疲労特性が固有のものではなく、各種因子の影響を受けて容易に変化するものであること、および内部起点型破壊が生じる場合、その領域の疲労強度は各種因子の影響を受けないことの2点が重要である。前者は設計に採用される基礎データが実働状況を反映したものであることの必要性を、また後者は内部起点型破壊のS-N曲線が $10^9$ 回までの有限寿命設計の資料として有用であることを示している。

審査委員会は論文内容を精査した結果、上記のように、本論文が内部起点型破壊機構の理解に対する貢献といった学問的価値はもとより、実用的にも貴重な内容を含み、高強度鋼を用いた機械・構造物の長期疲労信頼性設計、保守管理および安全性の維持に対して多大な寄与をなすものであると認めた。

以上により、本論文は学位論文に値するものであると判定した。

## 最終試験結果の要旨

審査委員会は、論文内容に対する口頭試問と語学試験によって申請者が専門の分野で学位授与にふさわしい専門知識と語学力を有することを確認し、最終試験に合格と判定した。