

氏 名	佐 藤 正
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 61 年 10 月 8 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 34 年 3 月 岩手大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	低サイクル疲労における金属材料のき裂発生に関する実験的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 島田 平八 東北大学教授 高橋 裕男 東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 高橋 秀明

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

実際の疲労破壊の多くは低サイクル疲労が問題となって破壊する場合が非常に多く、低サイクル疲労における疲労現象を詳細に解明し把握することは機械や構造物等の安全性、信頼性を向上し、経済的な設計、保守および疲労寿命の評価のために極めて重要である。

近年、破壊力学の概念を用いた応力拡大係数によって、材料のき裂伝播特性や破壊靱性値が整理されるようになって来た。しかし、この連続体力学を基礎とした力学量はき裂の進展が認められない段階、すなわち、き裂発生過程での適用は適切ではない。しかし、この過程での適切な評価方法が未だ見当らず破壊力学の概念を適用しているのが現状である。

また、実際の疲労破壊の防止やより高精度の疲労寿命評価のために、切欠き部等の応力集中部における実時間的ひずみ挙動の詳細な解明と高い精度のき裂発生寿命の直接的評価法の確立が急がれている。

本論文では機械部材等の切欠き部からのき裂発生に関して、低サイクル疲労の条件下における、繰返しひずみ場の切欠き部局所領域における局所ひずみの挙動を微小格子法を用いて実時間的に実測し、この 1 サイクルのひずみ履歴曲線から定義する力学量とき裂発生の関係およびき裂発生の直接的評価法について、従来の破壊力学的手法と異なってき裂発生が予測されるひずみ場からの直接的な情報を基に究明を行なった。

本章では従来の低サイクル疲労研究の状況および本研究の目的と意義について記述している。

第2章 供試材および実験方法

本実験の供試材はオーステナイト系ステンレス鋼(SUS 304), 中炭素鋼(S 45 C), 六一四黄銅(Cu-Zn)およびアルミニウム合金(5052 Al)の結晶構造を異にする4種の材料で, その化学的成分, 静的機械特性, 形状寸法(板幅14 mm, 厚さ5 mm)および切欠き部($\rho=0.075$ mm, 深さ0.8 mm)の詳細について示した。

試料表面には切欠き部局所領域における局所ひずみ測定のために, 微小直交格子(1ピッチ25.4 μ m)を深さ3 μ mの凹凸状に刻んでいる。

実験はき裂の発生が予想される切欠き部局所領域の変形格子を各繰返し数で実時間的に直接撮影し, ゲージレングスを76.2 μ mとして局所ひずみを算出した。実験条件は荷重制御下で応力比が-1または0で, 試験波形は正弦波を用いた。

その他, き裂発生部近傍における局所ひずみの測定領域, 局所ひずみの算出法, ひずみ履歴曲線から定義される各力学量およびき裂発生繰返し数の決定法等について詳細に記述している。

第3章 局所ひずみとき裂発生

切欠き部局所領域における実時間のひずみ履歴曲線から定義した局所ひずみの変動幅 $\Delta\varepsilon=(\varepsilon_{\max}-\varepsilon_{\min})$ とき裂発生までの繰返し数(N_c)の関係について検討した。

各材料についてき裂発生までの1サイクル当りの平均局所ひずみ($\Delta\bar{\varepsilon}$)によって, き裂の発生が規定されるとともに, 線形損傷則がほぼ成立することが認められ, 実時間のひずみ挙動の詳細な説明の重要性を示唆した。

本章での研究結果を次に示す。

- (1) 切欠き部のき裂を含む領域の局所ひずみは繰返し数とともに増加し, き裂を含まない隣接領域では殆んど変化が認められず, き裂発生現象は応力場の強さに依存する動的, 局所的現象である。
- (2) き裂発生までの1サイクル当りの平均局所ひずみ($\Delta\bar{\varepsilon}$)は $N_c \leq 5000$ cycleの範囲では, 各材料でひずみ値のレベルは異なるが両対数グラフで傾きが $-\frac{1}{2}$ の直線に表示される。
- (3) 各材料の縦弾性係数(E)で除した($\Delta\bar{\varepsilon}/E$)なる力学量とき裂発生繰返し数の関係は両対数グラフで傾きが $-\frac{1}{2}$ なる一本の直線に表示される。
- (4) 切欠き長および切欠き半径が異なる場合や変動荷重の場合でも上記の(2), (3)の同一直線上に表示される。
- (5) ひずみ集中係数とき裂発生繰返し数および平均局所ひずみは片対数グラフで直線に表示される。

第4章 局所最大ひずみとき裂発生

一般に材料の切欠き部局所領域における疲労損傷は圧縮荷重時より引張荷重時の局所最大のひずみが大きく影響するものと考えて, 本章では切欠き部局所領域からのき裂発生に関して, 局所最大ひずみの実時間の挙動に着目して検討した。この場合, き裂発生に影響を及ぼす残留予ひずみ, 負

荷経路および変動負荷についても検討を加え次の結果を得た。

- (1) 切欠き部局所領域における局所最大ひずみは疲労実験開始とともに急激に減少し、その後増加に転じて実験開始初期時の局所最大ひずみと等しいひずみ値の近傍でき裂の発生が認められた。この関係は材料、負荷経路、残留予ひずみおよび変動負荷等の異なる場合にも成立する。
- (2) き裂発生までの局所最大ひずみの積算値とき裂発生繰返し数の関係は各材料でひずみのレベルは異なるが、両対数グラフで傾きが1の直線で表示され、き裂発生は局所最大ひずみによる損傷蓄積のメカニズムに依存する。
- (3) 残留予ひずみの存在はき裂の発生を早める。この場合、残留予ひずみの正負よりも絶対値が大きく影響する。
- (4) 負荷経路の相違、すなわち、圧縮行程からの疲労実験の開始は引張行程からの実験開始と比較して、き裂の発生は非常に早い。
- (5) 局所最大ひずみと繰返し数の曲線で1 cycle目の最大ひずみ点からの水平線とこの曲線で囲む面積はき裂発生繰返し数および平均局所ひずみに関して、両対数グラフで直線で表示される。

第5章 き裂発生繰返し数の推定

従来からのき裂発生寿命評価法は手法が煩雑であるため、簡便で高い精度のき裂発生寿命評価法の確立が要望されている。

本章では第4章の切欠き部局所領域の実時間的的最大ひずみと繰返し数の曲線に着目し、疲労試験の過程で同一の試料によって直接き裂発生寿命を評価する方法について検討した。

本研究における評価法は各荷重制御下における各材料の曲線形状が非常に異なるため、2つのパラメータ、 $(\epsilon_{\max}^N - \epsilon_{\max}^1) / \Delta \epsilon_{\max}$ および N/N_c を用いて各曲線を一本の曲線に規格化する。ここで、 ϵ_{\max}^1 と ϵ_{\max}^N は1 cycle, N cycleにおける局所最大ひずみ、 $\Delta \epsilon_{\max}$ は局所最大ひずみと繰返し数曲線の ϵ_{\max}^1 点からの曲線の最大降下量またNとN_cは繰返し数、き裂発生繰返し数である。この場合、5052Al以外の3種の材料、SUS 304, S 45 C および Cu-Zn は同一の近似曲線で規格化された。この近似曲線はN/N_cをパラメータとする4次または5次の近似曲線で表示された。

本評価法は疲労試験の過程で、切欠き部局所領域における任意の2または3繰返し数の局所最大ひずみと近似曲線から、き裂発生寿命(N_c)を評価するものである。

また、この評価法は切欠き長および半径が異なる場合でも、切欠き部局所領域を直接顕微鏡観察した結果と本評価法を用いた結果はほぼ一致することが確かめられて本評価法の有用性が確認された。

第6章 結 論

本章はこれまでの研究結果の総括したものである。

本研究は切欠き部局所領域における実時間的ひずみ挙動とき裂発生繰返し数との関係を解明し、従来の手法と異なりき裂発生が予測される領域からの直接的な情報を用いて、疲労試験の過程でき裂発生寿命を直接評価する方法を提案した。この評価法は機械や構造物等のき裂発生における余寿命の監視にも有効である。

審査結果の要旨

金属材料の疲労強度はき裂の発生と伝播の両過程によって決まるが、低サイクル疲労ではき裂の発生過程により主に支配される。疲労強度の研究はこれまでき裂の進展におけるエネルギーの平衡より導かれた破壊力学によって主として行われてきたが、き裂の発生に対しては従来の破壊力学では完全に評価することは出来なかった。そこで著者はき裂の発生を切欠き先端近傍の局所的ひずみと関連づける目的で、微小格子法を用いて切欠き先端近傍の局所ひずみを実時間的に測定した。その結果局所ひずみによってき裂発生を予測し得る方法を提案するに至った。本論文はその研究成果をまとめたもので全編6章よりなる。

第1章は緒論で本研究の目的と意義について述べている。

第2章では試験材料及び実験方法について、特に微小格子変形の自動測定機の試作、局所ひずみの算出法及びき裂発生繰り返し数の決定法について詳述してある。

第3章は局所ひずみの変動幅とき裂発生までの繰り返し数 N_c の関係について述べたもので、各材料についてき裂発生までの1回の繰り返し当たりの平均局所ひずみ変動幅と N_c との間には線形損傷則が $N_c \leq 5000$ の範囲で成立する結果が得られている。

第4章は局所最大ひずみと N_c との関係を検討したもので、切欠き部の局所領域での最大ひずみは疲労開始後急激に減少し、その後増加に転じて、開始時の局所最大ひずみと等しい値になると、き裂の発生が認められている。この関係は実験した材料、負荷経路、残留予ひずみ及び変動負荷の異なる場合にも成立している。これは新しい重要な知見である。

第5章では、 N_c に対する規格化した最大局所ひずみ量は1本の曲線にまとめられることを見出している。また第4章の結果をふまえて、この規格曲線を用いて、切欠き部の局所領域における2個または任意の3個の繰り返し数の局所最大ひずみよりき裂発生寿命が推定できることを提案し、その有効性を確認している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、切欠き先端近傍の局所ひずみ量を測定して、き裂発生繰り返し数との関係を見出し、き裂発生繰り返し数の推定法を提案し、材料強度評価上有用な知見を与えたもので、金属工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、工学博士の学位論文として合格と認める。