

氏 名	北 川 茂 きた がわ しげる
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 438 号
学位授与の日付	昭 和 46 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	実働荷重下の金属の疲労に関する研究

(主 査)
論文調査委員 教授 山田敏郎 教授 河本 実 教授 平 修二

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は実働荷重下の金属材料の疲労強度について系統的に実験，研究を行なった結果をまとめたものであって，第1編9章第2編6章からなっている。

第1編においては，応力条件を系統的に分類し，種々の応力波形による基礎的疲労試験を行ない，実働荷重に対する金属材料の疲労強度の基礎的法則性を明らかにし，対応極値法と称する応力ひん度計数法を提案し，これと疲労度関数なる概念より求めた算定式と組合せて，広範囲の実験結果において妥当と認められる疲労強度算定方式を樹立した。また新しく電磁式の実働荷重疲労試験装置を開発し，実機に発生する複雑な応力波形を再現した疲労試験を行ない，上述の疲労強度算定方式の適用について考察を加えた。

第2編においては，疲労進行過程における試験片について，X線回折法および高周波電流法によりその物理的性質の変化を測定し，その結果の解析を行ない，疲労過程の解析を行なっている。また実働応力波形による疲労試験を行なった試験片の破面を電子顕微鏡により観察を行ない，実働荷重下の金属の疲労き裂の進展ならびにその疲労寿命との関係を論じている。

第1編第1章は序論で，実働荷重下の金属材料の疲労強度に関する研究の方法ならびにその背景について述べている。

第2章では，実働荷重下の金属材料の疲労強度すなわちその寿命ならびに耐久限度を，一定応力振幅における疲労試験結果を用いて算定する方式を導き提案している。応力の繰返しごとに発生する疲労度ならびにその変化を応力と繰返し数の関数で表わし，この関数の係数は一定応力振幅の疲労試験結果より算出する。さらに複雑な変動応力波形の解析，計数方法として対応極値法を案出し，これと疲労度関数との組合せにより疲労強度算定方式を導いている。

第3章では試作した4種類の実働荷重用疲労試験機についてその動作原理等を説明している。特に電磁式疲労試験機は動電形加振機と著者が新しく開発した駆動用直流増幅器とを組合せたもので，データレコーダとの併用により任意形状の応力波形ならびに実機の実働応力波形を忠実に再現して疲労試験を行なう

ことができるようにしたものである。

第4章では使用した炭素鋼、ばね鋼、アルミニウム合金、マンガン青銅の化学成分、機械的性質、試験片形状を説明している。

第5章では速度の異なる2つの正弦波応力が重量する場合の疲労試験結果を述べている。応力振幅比 K すなわち二次応力波と一次応力波と二次応力波の振幅の和に対する比、ならびに一次応力波1周期中の二次応力波の総繰返数 n_0 の値を種々に変えて実験を行なった結果を述べている。炭素鋼に対しては一次応力波の振幅が比較的小さい場合には、すなわち K の値が比較的大なる場合には対応極値法による算定寿命がよく実験結果と一致し、また相当広範囲の K 、 n_0 の値に対し算定寿命と実験値がほぼ一致している。 K の値がある値より小となる場合、および n_0 の値が大になる場合やアルミニウム合金、ばね鋼等に対しては上述の算定寿命と実験値との一致がみられなくなる場合があるが、この場合の補正計算式を導入している。

第6章では正弦波と方形波とが重量する場合の実験ならびに疲労強度の算定を行なっている。方形波の周期が比較的小さい場合は K の相当の広範囲に亘り算定寿命と実験値とが一致する。方形波の周期がきわめて長い場合は平均応力振幅法により応力解析ならびに応力ひん度計数を行なって算出した算定値が実験と一致する。方形波の周期がその中間の場合は算定寿命が主として安全側の値を示す。さらに方形波の周期が大になった場合は n_0 の値と破断寿命との間にある法則性が見出され、これを示す実験式を提案している。

第7章では2段多重振幅変動の場合の実験を行ない、過大応力の大きさにより過小応力が強化作用をする場合、また反対にき裂の進展を促進し弱化作用をする場合のあることを明らかにし、これを算出する算定方式を導いている。さらに正弦波、方形波、三角波の各々について、その種々なる繰返速度に対して疲労試験を行ない、各波形および速度の相異が疲労寿命におよぼす影響を明らかにしている。

第8章では実機の実働応力波形の例として、走行中の自動車の板ばねの応力状態を再現して実験を行ない、対応極値法で解析を行ない、その適用法を明らかにしている。

第9章では以上の算定方式、実験結果を総合し、対応極値法の適用範囲を明らかにし、その適用範囲外の場合の算定方式を説明し、種々の応力ひん度計数法の適用範囲を明確にして、疲労強度推定に関する算定方式を明らかにした。

第2編第1章は序論であって、金属の疲労過程に関する研究の方針とその背景を述べている。

第2章ではアルミニウム合金、軟鋼、ばね鋼、マンガン青銅について、その疲労破面を光学顕微鏡、電子顕微鏡あるいは走査形電子顕微鏡により観察を行ない、それぞれの繰返荷重に対応して特徴のある破面形態の生ずることを明らかにしている。特に変動荷重に対しては、その荷重変動と完全に対応する *striation* ならびにその幅の変化が生じていることを明らかにし、き裂の進展速度と変動荷重との関連を論じている。

第3章ではX線回析法により疲労の進行に伴う回析線の拡がりの変化と応力繰返数との関係を調べ、この変化過程を3つの成分過程に分離し、その1つが疲労寿命と強い相関性を有することを明らかにしている。これより疲労寿命算定に必要な疲労度関数の導入を試みている。

第4章では著者の考案した高周波電流法により、炭素鋼の疲労の進行に伴ない試験片に近接しておいたコイルのインピーダンスの変化を精密に測定し、X線回折線幅変化と全く同様の変化が生ずることを明らかにした。

第5章では以上の実験結果を基として、き裂の進展と疲労寿命ならびに耐久限度との関係を論じ、さらにき裂の進展速度より変動荷重の場合に対応して耐久限度以下の応力をも考慮に入れた合理的なS—N曲線を表示しうる式を導いた。

第6章では疲労過程に関する総合考察を行なっている。

なお最後に以上を総合して結論としている。

論文審査の結果の要旨

近年、航空機を始めとし、船舶、車両などが急速に大形化、高速化し、その安全性、耐久性、経済性が非常に重大な課題となってきた。したがって、これらに最も関係の深い、構成部材の実働荷重に対する疲労寿命の推定、予知、疲労損傷度の検出などがますます重要な度を加えてきた。

本論文は実働荷重下の金属材料の疲労強度すなわちその破壊までの寿命および耐久限度について系統的に実験、研究を行ない、疲労強度の算定方式を確立し、さらに電子顕微鏡にて疲労破面の観察を行ない、また疲労進行過程における試験片についてX線回折法および高周波電流法によりその物理的性質の変化を測定し、実働荷重下の金属材料のき裂ならびに疲労損傷の進展について総合的に研究した結果を述べたものである。

疲労寿命推定の基礎として新しい形の疲労度関数を導入した。これは応力の繰返しによりその応力と繰返数の関数で表示できる疲労度が蓄積されるという概念であり、その関数の諸係数は一定繰返応力疲労試験結果より求めるものである。さらにX線回折法、高周波電流法による疲労進行過程の研究により、疲労度関数の妥当性を明らかにし、またき裂の進展に関する考察より、過大応力の大小により、耐久限度近傍およびそれ以下の応力が疲労強度を増加させる場合と減少させる場合のあることを明らかにし、この影響を取り入れた疲労度関数の誘導に成功している。さらに変動応力波形の解析、計数方法として対応極値法を案出した。これは適当なる応力繰返区間において、平均応力を基準とし、正負の極値を計測し、その絶対値の等しいものを一対に組合せて1サイクルの応力波とするものである。この計数方法と疲労度関数とを組合せて、広範囲の実験結果によく一致する実働荷重に対する疲労強度の算定方式を確立し、さらにその適用範囲を明らかにし、適用できない応力範囲の疲労強度算定方式をも明らかにした。

4種類の疲労試験装置を開発し、基礎的な変動応力のパターンとして振幅、繰返速度の異なる2つの正弦波応力が重畳する場合、方形応力波に正弦波が重畳する場合、2段多重振幅変動の場合等の疲労試験を炭素鋼、ばね鋼、アルミニウム合金、マンガン青銅を用いて行ない、著者が提案した疲労強度算定方式による疲労強度と比較検討を行なって、その妥当性を明らかにしている。かかる平均応力が変動する場合に、寿命のみならず、その耐久限度が算定できる算定方式は今までにはなかったものである。

さらに正弦波、方形波、三角波の単独の応力波形、ならびにその繰返速度を種々に変えて実験を行ない、疲労寿命に与える応力波形効果、速度効果を明らかにしている。

さらに著者の開発した電磁式疲労試験機を用いて、走行中の自動車の板ばねの応力状態を試験片に再現して実働荷重疲労試験を行ない、対応極値法による算定方式により算出した寿命と比較検討を行ない、耐久限度の $\frac{1}{2}$ 程度までの低応力も計算に入れるべきである等の適用に関する知見を明らかにしている。かかる実機の実働荷重を再現した実験ならびに解析は我が国でははじめて著者によってなされたものである。

アルミニウム合金を主とし、その他軟鋼、ばね鋼、マンガン青銅についてその疲労破面を光学顕微鏡、電子顕微鏡、走査形電子顕微鏡により観察を行ない、それぞれの繰返荷重に対応して特徴のある破面形態の生ずることを明らかにし、特に各種の重畳波による変動荷重に対しては、その荷重変動と完全に対応する *striation* ならびにその幅の変化が生じていることを明らかにし、き裂の進展速度と変動荷重との関連を求め、対応極値法の妥当性を説明している。これも我が国でははじめてなされた実験研究である。

さらにX線回折法により繰返変動応力の場合等の疲労の進行に伴う回折線の広がりの変化と応力繰返数との関係を解析し、変化過程の一つが疲労寿命と強い相関性を有していることを明らかにした。また著者が考案した高周波電流法により疲労の進行に伴う試験片の物理的性質の変化を求め、X線回折線幅変化と全く同様の变化を得、これらの結果より疲労過程固有のしかも類似の種々な物理的变化傾向が存在することを明らかにした。

これを要するに、本論文は機械構造物の設計、保安上に必要な実働荷重に対する金属材料の疲労強度算定法を明らかにし、実働荷重に対する疲労寿命を実験的に究明し、また疲労過程について重要な知見を与え、学術上、工業上寄与するところが多い。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。