

氏名	本田和男
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第25号
学位授与の日付	昭和39年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	X線による金属材料疲労破壊に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 平 修二 教授 河本 実 教授 遠藤吉郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は工業用金属材料の疲労現象を、主としてX線回折を用いて究明し、疲労の機構について考察を加えるとともに、実用的に重要な疲労破壊寿命の予知の方法を提案したものであって、緒言、5章および結論よりなっている。

緒論においては、金属の疲労に関する従来の金属物理学的研究および現象論的研究の結果を概説し、金属の疲労現象を究明するには上記両分野の研究を統一的に見る必要のあることを述べ、X線解折による疲労の研究がその目的に適したものであるとして、著者の立場を述べている。

第1章においては、本研究を実施するために必要な基礎的事項についての研究結果を述べている。すなわち、実験に用いる種々のX線回折装置、とくに工学的応用を考慮に入れて試作された平行ビーム自動記録式応力測定装置について述べ、次に工業用材料に繰返し曲げ、繰返し振り、あるいは平均応力の重畳された場合の振り疲労過程におけるX線回折像の変化の定性的傾向を明らかにしている。これによると、焼鈍材の疲労過程においては一般に鮮鋭なX線回折環が疲労の進行とともに次第に鮮鋭度を減じ、逆に初期に大きな微視的内部歪をもつ加工材あるいは熱処理材の疲労過程においては、きわめて不鮮明な回折環が次第に鮮鋭化して破断に至ることを明らかにし、この傾向は加えられる応力の種類に関係なく共通のものであると述べている。この現象を定量的に観察するために著者はX線回折環の半価幅を採用し、半価幅の測定方法について考察を加え、工学的な見地より簡易で信頼度の高い半価幅の測定方法を提案している。さらに半価幅に影響を与える諸因子を分析し、各因子について実験的に検討を加え、疲労過程を追求するのに最も適した実験方法を明らかにしている。

第2章においては、まず炭素鋼の焼鈍材、加工材および熱処理材の一定応力振幅回転曲げの疲労過程におけるX線回折線半価幅の変化を追求している。これによると、焼鈍材においては半価幅は応力の繰返しの初期に急増する第1期、続いて漸増する第2期、次に再び急増する第3期の変化過程を経て破断に至る。加工材、熱処理材においては、最初の大きい半価幅の値は応力の繰返しの初期において激減する第1

期、これに続いて漸減する第2期、さらに顕著に減少する第3期の変化を経て破断に至る。疲労限以下の応力の繰返される場合には、いずれの材料においても第3期は現われず、第2期における半価幅の値が応力の繰返しとともにある値に収束することを明らかにしている。さらに、いずれの場合も、半価幅変化の第2期より第3期に移る際の半価幅の値は負荷応力の大きさに関係なく一定値をとるという興味ある事実を指摘している。さらに工業用材料として多量に用いられる鋳鉄、鋳鋼、時効硬化型合金のジュラルミンについても同様な実験を行ない、これらの材料においても疲労過程における半価幅の変化は上記炭素鋼の場合と全く同じ傾向をもつことを確認している。

第3章においては、第2章において取扱った一定応力振幅の場合の疲労過程における半価幅の変化についての知見を基にして、実際の機械構造物に作動するような変動応力振幅のもとにおける疲労過程を対象として、同様な方法で半価幅変化を追求した結果を論じている。炭素鋼焼鈍材、加工材および充分時効した24S合金に各種の応力振幅の変化を与えて回転曲げ疲労試験を行ない、焼鈍材と時効材においては、応力振幅変動直後に僅かの異常現象が見られるが、概してX線回折環半価幅は繰返数とともに増加し、その変化過程は前章に述べた一定応力振幅の場合と本質的に差はなく、三段階の変化過程を経て破断に至る。加工材の場合は、応力振幅変動時の異常現象は認められず、応力繰返し数の増加とともに負荷応力振幅に対応した半価幅の減少を示し、これも三段階の減少過程を明瞭に示すことを明らかにしている。

第4章においては、前二章において述べた疲労過程における半価幅の変化の理由を解明するために、光学および電子顕微鏡による疲労に伴う組織変化（主として汙り帯や微視的亀裂）の観察、硬度の変化ならびにX線による応力測定の方法を用いて疲労過程に発生する試料表面の残留応力の変化を観察し、これらと半価幅変化との対応を見ることによって、疲労の機構を論じている。すなわち、焼鈍材における半価幅変化の第1期は結晶粒内の汙りの発生に基づくマイクロストレスの増加、すなわち加工硬化現象を表わし、第2期の変化過程は微視的亀裂の生成、成長に基づくマイクロストレスの漸増過程、第3期の変化はこれらの微視的亀裂が巨視的亀裂に発達して破断に至る過程であると述べている。また加工材における疲労に伴う半価幅の変化については、冷間加工によって材料内部に蓄積されたマイクロストレスが応力繰返しの初期に起こる汙りによって顕著に解放せられ、第一期の半価幅の激減となり、つづいて微視的亀裂の生成およびその成長によって漸次マイクロストレスの解放が行なわれることによって半価幅の第2期の漸減となり、続いて微視的亀裂の巨視的亀裂への進展に伴って顕著なマイクロストレスの解放が起こり第3期の半価幅の激減となって表れる。加工材においては、疲労の過程において焼鈍材におけると同様な半価幅の増加する現象と、初期に内蔵している大きいマイクロストレスの解放による半価幅の減少の二つの方向の変化が同時に起こっているが、本研究において観察せられたすべての場合においては後者の影響が前者のそれに比して格段に大きいため、半価幅の単調減少として観察されるとしている。

第5章においては上記の知見の実際上の応用として、X線による疲労破壊の予知法を論じたものである。すなわち、疲れ過程におけるX線回折環半価幅の変化は、半価幅比  $b/B$  ( $B$ は半価幅の初期値、 $b$ は任意の繰返数における半価幅) と応力繰返数比  $n/N$  ( $N$ は破断繰返数、 $n$ は任意の繰返数) の対数のグラフに示すと、焼鈍材、時効材においては、負荷応力の大きさに関係なく、第2期、第3期の変化は単調増加の交差する2本の直線となり、また加工材、熱処理材においては同様に単調減少の交差する2本の直

線として表わされ、またこの事は変動応力の場合にも成立することを明らかにしている。著者はこの事実に基づいて、X線回折線の半価幅を測定することにより、疲労の進行している工業用金属材料の残り寿命を非破壊的に推定する方法を提案している。これの実際上の適用として、航空機部材についての実施例を示し、その実用の可能性を論じている。

結論においては上記研究結果を取り纏め、著者の提唱するX線回折線半価幅測定による研究方法が、本論文において示したごとく、材料強度の研究に有用であると述べて結んでいる。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

金属の疲労は実際上きわめて重要な問題であるが、疲労の機構は複雑で、金属物理学の立場から、また現象論的見地から、あるいは材料試験の立場から等様々な角度から研究が行なわれている。機械構造部材の疲労現象は局所的かつ微視的組織変化であり、著者はこれの究明には構造物の局部について非破壊的に結晶組織の変化を観察しうるX線回折がその目的に適したものであることに着目し、工業用金属材料を対象としてその疲労過程をX線回折線半価幅を尺度として観察し、各種実用材料の疲労過程は半価幅の変化として観察するとき、きわめて規則正しい法則性のあることを見出している。

次に光学および電子顕微鏡による組織変化の観察、硬度変化の測定、さらにX線による応力測定の方法を併せて併用して、疲労に伴う半価幅の変化に物理的解釈を加え、疲労の機構を究明している。

さらに、疲労過程における半価幅の変化の規則性を利用して、実用金属材料の疲労寿命のX線回折による非破壊的予知の方法を提案し、これの実施例を示して、その実用の可能性に言及している。

以上のごとく、本論文は、X線回折を実用工業材料の疲労現象の究明に適用し、疲労の機構に関連して興味ある知見を得るとともに、これを応用して実用上重要な疲労寿命の非破壊的予知の方法を提唱したものである。この方法は現段階においては必ずしも確立されたものではないが、著者の研究は疲労問題の解明に有用な指針を与えるものである。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。