

氏名	北村隆行 きたむら たかゆき
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1960号
学位授与の日付	昭和61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	高温疲労き裂伝ばに関する破壊力学的研究

論文調査委員 (主査) 教授 大谷隆一 教授 三浦 精 教授 駒井謙治郎

### 論文内容の要旨

本論文は、耐熱金属材料の高温における疲労き裂伝ばの力学法則について、非線形破壊力学を基に実験的検討を行った結果をまとめたもので、7章からなっている。

第1章は緒論であって、この分野の研究の現状について概説し、それらの研究において普遍的な力学法則が確立されていないことを指摘して、本研究の目的と意義を明らかにするとともに、本論文の構成について述べている。その中で、高温疲労は、①応力の繰返し数に比例してき裂が伝ばする純繰返し数依存性疲労、②応力の負荷時間に比例してき裂が伝ばする純時間依存性疲労、③①と②の中間的性質を示すクリープ・疲労相互作用下の疲労、に大別できることを示し、それぞれの伝ば挙動についての検討が必要であることを指摘している。

第2章では、繰返し数依存性疲労き裂伝ばの力学法則について述べている。この場合、き裂は粒内を伝ばし、室温疲労と類似の伝ば挙動を示すことを確認するとともに、き裂伝ば速度は、き裂先端近傍のひずみの変動幅を代表する疲労J積分範囲に支配されることを明らかにしている。さらに、試験温度、応力、応力波形、繰返し速度等の諸条件がき裂伝ば速度と疲労J積分範囲の關係に及ぼす影響、および低炭素鋼、低合金鋼、オーステナイト系ステンレス鋼、ニッケル基耐熱合金の間の同關係の相違についても実験によって明らかにしている。

第3章では、時間依存性疲労き裂伝ばについて考察する上で基礎となる、応力が変動しない場合の時間依存性き裂伝ば、すなわち静クリープき裂伝ばについて述べている。まず、大小2種類の相似形試験片を用いた実験により、き裂伝ば速度の支配力学量として定常クリープに関するクリープJ積分が適当であることを示している。また、き裂先端近傍の局所におけるひずみ速度を実測し、き裂伝ば速度は局所のひずみ速度に支配されること、およびクリープJ積分はそのひずみ速度を代表する破壊力学量であることを明らかにした。さらに、き裂伝ば速度とクリープJ積分の關係に及ぼす温度、応力、応力状態、酸化ふん囲気、予クリープ変形、破壊様式等、各種因子の影響についても系統的な検討を行っている。

第4章では、時間依存性疲労き裂伝ばについて述べている。まず、き裂先端近傍の局所におけるひずみ

速度を実測し、き裂伝ば速度と局所のひずみ速度に良い対応関係があること、かつ、その関係は第3章において明らかにされた静クリープのそれと一致することを示して、時間依存性疲労破壊の機構がクリープのそれと本質的に同一であることを確認している。つづいて、応力変動にもなってきたき裂先端近傍のひずみ速度場が過渡的な時間変化を示し、これがき裂伝ば速度に影響をもたらすことを指摘している。このひずみ速度過渡変化の原因として力学的要因と金属組織学的要因があげられ、前者は弾塑性応力分布からクリープ応力分布への応力再分布に、後者は動的回復による遷移クリープの出現に起因すると考えられた。この両要因について実験的並びに理論的検討を加え、過渡的な局所ひずみ速度場を代表するパラメータとして定常クリープJ積分に修正を加えた過渡クリープJ積分を考えて、き裂伝ばがこのJ積分または1サイクル当りの時間積分値であるクリープJ積分範囲に律速されることを明らかにしている。さらに、静クリープと時間依存性疲労とを詳細に比較し、両き裂伝ばの破壊力学則にはわずかながら相違があり、同一クリープJ積分値に対してクリープより疲労の方が低伝ば速度を示す傾向があることを見出すとともに、その原因が疲労におけるき裂伝ばの一時的休止にあることを示した。き裂伝ば則に及ぼす各種因子の影響についても、第2、3章と同様に系統的な検討を行っている。

第5章では、クリープ・疲労相互作用下のき裂伝ばについて述べている。まず、き裂伝ば速度はき裂材に与えられたき裂伝ば駆動力と材料のき裂伝ば抵抗によって決まることを考慮して、駆動力に関するクリープ・疲労相互作用とき裂伝ば抵抗に関するそれとに分けて考察している。その結果、き裂伝ばのクリープ・疲労相互作用は前者によるものであり、後者の相互作用はほとんどないことを明らかにしている。換言すれば、いかなる条件下においても2種類のき裂伝ば則、すなわち第2章で得られたき裂伝ば速度と疲労J積分範囲の関係と第4章で得られたき裂伝ば速度とクリープJ積分範囲の関係が成立する、という結論に達した。さらに、直流電位差法によって応力繰り返し1サイクル中のき裂長さの変化を測定し、き裂伝ば機構の点からも上述の結果が妥当であることを示している。

第6章では、平滑材の高温疲労寿命が微小なき裂の伝ば寿命に等しいと考え、第2章から第5章までの検討によって得られたき裂材の2種類のき裂伝ば則に基づいて、平滑材の2種類の高温疲労寿命則を導いている。この寿命則の特徴を従来の経験的寿命則との比較によって指摘するとともに、各種耐熱合金に関する実験結果を基に本寿命則の妥当性を示している。

第7章は、以上の結果のまとめを述べて結論としている。

付録では、J積分の定義、疲労J積分範囲およびクリープJ積分の評価法について説明している。

## 論文審査の結果の要旨

金属材料の高温における疲労は、材料の種類のみならず応力および温度のレベル並びに繰り返し条件によって、外観上全く異なる現象や強度特性を示すことがある。本論文は、高温疲労損傷の物理的内容、その経時変化挙動、定量的・力学的評価法等を明らかにすることを目的として、低炭素鋼、低合金鋼、オーステナイト系ステンレス鋼およびニッケル基超合金の高温における疲労き裂伝ばの破壊力学的法則を確立しようとしたものであって、得られた成果の主なものは以下のとおりである。

1. 高温においても疲労き裂伝ばは、応力の周波数が高い場合、あるいは各サイクルの引張方向のひず

み速度が大きい場合、逆方向ひずみ速度の大小に無関係に繰り返し数依存性を示す。これは室温ないしは低温におけるき裂先端鈍化機構による疲労き裂伝ばと同機構であって、このき裂が線形破壊力学の適用可能な小規模降伏状態を逸脱している場合でも、非線形破壊力学におけるJ積分を繰り返し応力条件に用いた疲労J積分範囲によって伝ば速度が規定されることを明らかにした。

2. 応力の周波数が低い場合、あるいは各サイクルの引張方向のひずみ速度が小さい場合、逆方向のひずみ速度に無関係に時間依存性の疲労き裂伝ば挙動を示すことを指摘した。き裂伝ば速度の温度依存性および破壊形態からして、この場合の疲労き裂伝ばは、クリープひずみ蓄積機構によるクリープき裂伝ばと同機構であって、J積分を修正してクリープに適用したクリープJ積分によって律速されることを明らかにした。

3. 疲労き裂伝ばが繰り返し数依存型か時間依存型かのいずれであるかは、周波数によって一義的に決まるのではなく、破壊力学パラメータである疲労J積分範囲とクリープJ積分範囲の大小関係によって決まる。この遷移あるいは境界条件を与える式を提示して、いかなる条件下においても上記2種類のき裂伝ば則のうちのどちらか一方によって支配されるという特性を見出した。

4. クリープ・疲労相互作用下の強度評価は、高温における最も複雑かつ難解な問題とされている。本研究の成果の1つはこの問題の解決の糸口を見出したことであって、その内容は、破壊の駆動力である疲労J積分範囲とクリープJ積分の間の相互作用（換言すれば弾塑性変形とクリープ変形の相互作用）は一般に極めて大きいのに対し、疲労とクリープのき裂伝ば抵抗の相互作用は極めて小さい、と要約される。

5. き裂材の破壊力学に基づく上記2種類の疲労き裂伝ば則によって、平滑材の高温疲労に関する2種類の破損寿命式を導出した。これらは、経験式として従来から有名なコフィン-マンソン式およびその修正式では充分説明し得なかった実験結果をも合理的に説明し、かなり良い精度の定量的推定を可能にした。

以上要するに本論文は、耐熱金属材料の高温における疲労き裂伝ばの破壊力学法則を明らかにし、それによって疲労破壊の一般的特徴、機構、クリープ・疲労相互作用等に関する多くの知見を与えるとともに、エネルギー関連高温構造材料をはじめ化学プラントやジェットエンジン用材料の寿命および余寿命評価に関する有力な手法を提供したものであって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

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。

また、昭和61年5月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。