

専攻	総合エネルギー	学籍番号	937050	指導教官氏名	竹園 茂男 教授
申請者氏名	钱 志雄				上村 正雄 教授
					埜 克己 助教授

論 文 要 旨

論文題目	<b>The Nonlocal Damage Constitutive Relations and Their Applications to High Temperature Fatigue</b> (非局所損傷を考慮した非弾性構成式とその高温疲労への応用)
------	---

(要旨 和文 1,200 字程度)

( 1 )

疲労損傷過程は、材料の性質と荷重による繰返し塑性変形により支配される。様々な繰返し荷重条件下での安定した応力-ひずみヒステリシス・ループが疲労解析によく使用される。

5 微視的な観察によれば、負荷による材料の破壊過程は漸進的である。材料内部に存在する微視的な欠陥の成長と発展は材料の力学的挙動に大きな影響を与える。例えば、き裂先端における材料の劣化あるいは損傷の累積は著しい。材料が破壊基準に達すると、き裂先端では周囲  
10 の微視的な欠陥と接続し、巨視的なき裂が進展することになる。さらに材料の劣化は材料の剛性を変化させ、その損傷した部分は負荷能力を失い、局所的な除荷が発生する。以上種々の原因によって、き裂先端の応力は再分布することになり、従って、明らかに、通常の破壊力学  
15 の適用には限界がある。

従来 of 疲労研究では、き裂の発生と進展を二つの独立した材料の破損過程として扱ってきた。しかしながら、物理的観点からすれば、き裂の発生と進展は同じ破損過程である。そして、損傷力学はこの二つの疲労破損現象  
20 を統一的物理モデルで表現することができる。この研究は、疲労と破壊の理論を大きく進歩させるだけでなく、  
22 き裂発生とき裂進展の実験データの相互の利用も可能と

なる。

損傷力学(CDM)は、材料の性質の劣化を損傷という内部変数で定義することによって、構造物の破壊問題をよく理解することができる固体力学理論の一つである。

5 構造物に生じるき裂の研究には、損傷力学によって局所的アプローチを使う。き裂の発生と進展の基準はき裂先端の材料の挙動により定義される。き裂先端で材料の性質は徐々に劣化し、最終原子間の結合の分離が破壊である。損傷力学では、構成式に含まれる損傷変数で微視的な欠陥の影響を記述するので、微視的な欠陥により材料剛性が変化するために応力の再分布を考慮することができる。

15 しかし、これまでの局所損傷力学理論では、微視的な現象を巨視的に説明できるように、構成式に含まれる損傷変数を用いて局所的な点で損傷を定義して、平均化処理している。この定義によれば、損傷が増えると局所的な軟化挙動を生じ、接線剛性が負になる。これらは物理的に受入れ難い。さらに有限要素法による解は、用いた有限要素ならびにその寸法に依存する。

20 以上から、材料内部の異なる点に存在する欠陥相互間の影響を説明することができる理論が少ないので、適切で簡単な数学理論を用いて、ある程度の非局所性を表現することのできる理論の提案が必要である。

26 本研究では、ひずみ速度依存性を有する工業用純チタンを用いて、応力繰返し速度などの実験条件を変えて、平滑材の高温疲労試験と板中央部に細孔を持つ試験片の

高温疲労き裂進展試験を行った。また、繰返し荷重下で材料の劣化と微小変形の局所化を記述するために、多結晶塑性理論に基づいて、非局所損傷を考慮した弾／粘塑性構成式を提案した。この定式化では、移動硬化法則を用いずにひずみ硬化を考慮することができる。また、材料の力学的挙動を材料の性質と荷重条件によって完全に決めることができる。さらに非局所損傷の計算方法を導入して、非局所損傷基準を用いてき裂進展を予測することができる。この非局所損傷を用いることによって、均一ひずみ場で損傷を定義した構成理論では、局所化破壊現象を説明することができないという不合理さが解消される。従って、本研究は従来の弾／粘塑性理論と損傷力学を発展させたものであるといえる。

最後に、提案された非局所損傷を考慮した弾／粘塑性構成式に基づいて、高温疲労下で材料の応力・ひずみ挙動をシミュレーションし、疲労寿命の荷重繰返し速度依存性と疲労損傷の発展を予測した。また、有限要素法による弾／粘塑性増分解析によって、き裂先端近傍の応力・ひずみ、損傷の蓄積の分布などの解析を行い、損傷発展式を用いて高温疲労き裂進展をシミュレーションした。高温疲労き裂進展の荷重繰返し速度依存性、有限要素法による解の mesh size 依存性などを考察した。