

氏 名	なかむら てるお 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 96 号
学位授与の日付	平成 7 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工学科学研究科情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	マイクロメカニックスによる多結晶材料の強度特性の解析に関する 研究
論文審査委員	(主査) 教 授 齋 藤 憲 司 教 授 自 念 榮 一 教 授 中 西 博 教 授 山 口 克 彦 教 授 岩 本 正 治

論 文 内 容 の 要 旨

近年、機械部品や構造物に対する高信頼性の要求は強く、これらの要求を満たすために設計段階でのより高精度な強度評価が求められている。中でも破壊力学的手法は、欠陥の存在に対する健全性評価を合理的に検討できることから、その適用範囲は広く、設計段階における強度評価としての重要性は益々高まっている。一方、最近、高強度金属材料や工業用セラミックスの使用頻度の増加に伴い、破壊力学的手法を従来の比較的長いき裂からより短いき裂ないしは微小き裂にまでその適用範囲を拡張する試みが種々なされるようになってきた。このような場合には、従来の線形破壊力学から予想される強度よりも低い強度で破損することが多く、工学上重要な問題となってきている。これは対象となる本質的欠陥としての主き裂の長さが短くなると、結果として他の微小欠陥（微小き裂、すべり帯、介在物など）との相互作用が顕著になるためであると考えられている。

本学位論文では、これらの主き裂と微小欠陥との相互作用や微小き裂の破壊機構を力学的に解明するために、材料の微細構造を考慮することのできるマイクロメカニックスの手法の一つである連続分布転位論を用いた解析を行い、き裂先端の構造に対して詳細な検討を加えると共に、転位による主き裂先端の応力場を緩和するき裂遮蔽効果や、き裂と転位あるいはき裂と微小欠陥との相互作用の問題について新たなモデル化の提案を行い、金属材料や工業用セラミックス材料などの多結晶材料の様々な強度特性に関して詳細な考察を加えている。

本学位論文は 7 章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章は、緒論であり、本研究の目的と意義および本研究で提案する無転位領域を有する主き裂-微小欠陥相互作用モデルに対する特徴を示している。

第 2 章は、最近、S. M. Ohr らによって詳細な実験観察の結果から報告されているき裂先端に転位が存在しない領域、すなわち無転位領域が存在することに対して、き裂と転位の相互作用を考慮したモデル化を行い、連続分布転位論を用いた解析を行うことによってその物理的意味を明らかにしている。また、この結果に基づいて結晶粒内に存在する微小欠陥、無転位領域、およびすべり帯からなる新たな転位堆積モデルを提案し、本モデルによって微細結晶粒における降伏応力および破壊強度の Hall-Petch 関係の破綻に関する現象に対して理論的説明を行っている。

第 3 章、第 4 章は、上述の結果に基づいて、新たに無転位領域を有する主き裂-微小欠陥相互作用モデルを提案し、連続分布転位論を用いて主き裂および微小欠陥を表す転位分布密度関数を閉じた形で定式化している。また、これらの転位分布密度関数を用いて主き裂先端および微小欠陥先端の応力拡大係数もま

た閉じた形で定式化している。さらに、これらの結果を用いて、工業用セラミックス材料の破壊強度や破壊靱性値のき裂長さ依存性に対する理論的な説明を行い、主き裂の微小欠陥による遮蔽効果について論じている。

第5章は、上述のモデルを用いて、炭素鋼およびセラミックス材料における破壊靱性値の結晶粒度依存性に対する理論的な説明を行い、見かけの破壊靱性値に及ぼす降伏応力等の影響について論じている。

第6章は、上述のモデルを用いて疲労き裂進展の下限界応力のき裂長さ依存性、および疲労限度応力に対する理論的な説明を行っている。また、従来十分な説明がなされていない微小き裂下のき裂進展特性に関して、上述のモデルを用いることにより微小き裂下と従来の比較的長いき裂下で得られたき裂進展特性を統一的に評価できることを論じている。

第7章は、結論として以上の結果をまとめ、微小き裂先端の構造およびその力学的モデル化と強度特性への応用に関する本研究の結果を総括している。

以上、本学位論文で提案、定式化が行われた無転位領域を有する主き裂-微小欠陥相互作用モデルは、従来の破壊力学では取り込むことができなかった結晶粒径やすべり帯長さなどの材料の微細構造を表すパラメータを導入できる点で、非常に有効性の高いモデルであり、各種の材料の破壊現象に対する評価を始め、今後その応用範囲はさらに発展して行くものと思われる。

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、高強度金属材料や工業用セラミックスなどの先進材料においてこれらの材料の強度評価の基礎となっている線形破壊力学の適用における問題点である(1)破壊強度や破壊靱性値の結晶粒度依存性に対する問題、(2)破壊強度や破壊靱性値のき裂長さ依存性における問題、(3)き裂進展下限界応力のき裂長さ依存性に対する問題、および(4)微小き裂の進展特性における問題等の材料強度学上の重要な問題を解明するために、無転位領域を含む主き裂-微小欠陥相互作用モデルを提案し、それに基づいて上記諸問題の解明を試みたものである。

提案されたモデルをマイクロメカニックスの手法の一つである連続分布転位論により定式化を行ない、靱性値測定のために設けた主き裂の長さに加えて結晶粒径やすべり帯長さなどの微小欠陥寸法を取り込んだ形で材料の破壊強度や破壊靱性値を表わす見通しの良い結果を得て、所期の目的を達している。

本学位論文で提案されたモデルの斬新性と適用性の広さは本研究の独創的な点であり、注目に値する。それにより材料強度学上の懸案に対し一つの知見を与えたことが本論文の特色であり、材料強度学に大いなる寄与をなすと共に実際材料の材料試験における技術上の諸問題に対して新しい知見を与えるものと評価できる。

本学位論文作成の基礎となった学術論文は、日本機械学会論文集4編（内1編は現在投稿中）、国際会議論文2編、合計6編であり、内4編は申請者が筆頭者である。