

(様式 5)

指導教員 承認印	
-------------	--

平成 年 月 日

学位（博士）論文の和文要旨

論文提出者	工学府博士後期課程 機械システム工学専攻 平成 27 年度入学 学籍番号 15833001 氏名 飯塚 誠 印
主指導教員 氏 名	長岐 滋
論文題目	空孔配列による異方性とその発展を考慮した多孔質材料の弾塑性解析
論文要旨（2000 字程度） <p>本論文は、空孔を内在する延性材料の異方性とその発展を考慮した解析手法を提案するものである。延性破壊は、微視的な空孔の発生・成長・結合によって引き起こされる。このことから、微視的な空孔が巨視的な機械的性質に及ぼす影響は、興味深い問題といえる。このような挙動は、例えば空孔の成長は応力・ひずみによって引き起こされ、応力・ひずみの値は空孔の状態に依存する。すなわち練成効果を持ち、これを考慮するには構成式によってモデル化する必要がある。空孔をもつ材料の弾塑性構成式としては、GTN モデルがしばしば用いられている。しかしながら、GTN モデルは空孔配列の方向性に起因する異方性を表現することができない。異方性を考慮した構成式としては、Hill の異方性ポテンシャルを組み込んだものや、損傷テンソルを導入したモデルなどがある。しかしながら、Hill のポテンシャルを用いた場合では材料定数が非常に多くなり、損傷テンソルを用いた構成式は空孔の影響による圧縮性を表現することができない。このことから、空孔の影響による異方性を考慮した多孔質材料の変形解析技術を開発することを、本研究の目的とした。より具体的には、不規則に空孔が分布した領域を損傷テンソルの分布によって単純形状へ置き換えることと、弾塑性構成式の開発のそれぞれを行った。</p> <p>第 1 章では前述のような研究目的と関連研究の紹介を、第 2 章では提案する構成式についてまとめた。</p> <p>第 3 章では、円孔を不規則に配列させた多孔平板の変形挙動を、異方性 Gurson の降伏関数を用いて解析した。ここで用いた構成式は、長岐らによって提案されたものであり、Gurson の降伏関数に損傷テンソルを導入することで異方性を考慮している。一般に、このような複雑な形状のモデルを有限要素法で計算するには、膨大な量の節点数と要素数が必</p>	

要となる。一方で提案する解析手法では、複雑な形状を損傷テンソルの分布によって表すことによって、単純形状へと置き換えている。これにより、少ない節点数・要素数かつ単純な形状の要素で計算を行うことに成功している。その妥当性については、円孔を空けた平板の変形試験や、一般的な手法で計算した(膨大な要素数・節点数をもつ)モデルと比較することによって確認した。二軸応力状態についても検討している。

第4章では、この構成式を空孔の3次元的な成長を考慮できるように改良することを試みた。長岐らによる異方性 Gurson の降伏関数は、損傷テンソルの発展式の導出の際に空孔の等方的成長を仮定していたため、ひずみ履歴の依存性を考慮することができなかった。そこで、与えられたひずみやひずみ速度、およびこれらの履歴を考慮できるように、内部状態変数の発展式を改善している。モデルの導出には、熱力学第2法則である Clausius-Duhem の不等式に基づいた考察を行った。損傷テンソルを内部状態変数の一つとして考えて散逸不等式に組み込み、熱力学的流束の法線性から損傷発展式を導出した。提案したモデルの妥当性は、空孔の規則的配列を仮定したモデルの有限要素解析によって確認した。応力-ひずみ関係式と損傷テンソルの変化の双方について、提案したモデルは有限要素解析結果とよく一致した。

第5章では、散逸ポテンシャルについて再度考察を行い、構成式を導出し直した。第4章で提案したモデルは母材の加工硬化を考慮できないという問題点があった。そこで、散逸不等式について再度考察を行い、新たな損傷テンソルの熱力学的共役力を導いた。具体的には、Rousselier の用いた多孔質材料の散逸不等式から出発し、体積ひずみ速度の項へ損傷テンソルの影響の組み込むことで、熱力学的共役力を見直している。この共役力を用いて、降伏関数も提案し直している。ここでも単位セルの有限要素解析によって妥当性を確認しており、降伏曲面と応力-ひずみ関係、損傷テンソルの変化のそれぞれについて、一致を確認した。しかしながら、降伏曲面を一致させようとした場合と損傷テンソルの変化を一致させようとした場合とで、最適なパラメータが異なったものとなった。

第6章では、異方性 Gurson の降伏関数における損傷発展式に対し、直接的にひずみ速度の方向を組み込めるようなスカラー関数を導入することを試みた。比較的単純な仮定にもとづいているが、最終的に単一のパラメータで損傷テンソルの異方的発展を表すことに成功した。ここでは、加工硬化挙動の違いが空孔の成長に及ぼす影響を考慮するため、実験結果との比較によって損傷発展式の妥当性を検証した。具体的には、円孔を空けた金属平板の引張試験を行い、デジタルカメラによって変形中の円孔の挙動を観察した。A5052 と SUS304 の、加工硬化指数の異なる2つの材料を比較することで、母材の効果挙動の影響を検証している。結果として、少なくとも今回検討した範囲では、空孔の成長挙動は加工硬化挙動の影響を受けないことが確認でき、提案した理論ともよく一致した。

第7章では、本論文で提案した解析手法や、それぞれの妥当性を確認した結果についてまとめた。本研究においては、いくつかの構成式と多孔質材料の解析方法を提案した。その妥当性は応力やひずみ、損傷テンソルの比較によって確認されている。空孔を有する材料の変形や破壊の解析に応用可能であると考えられる。