

氏名	田中喜久昭 たなかきくあき
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第411号
学位授与の日付	昭和50年3月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科機械工学専攻
学位論文題目	A Study on Elastoplastic Analyses in Terms of Yield Function (降伏関数を用いた弾塑性解析に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 山田敏郎 教授 大矢根守哉 教授 徳岡辰雄

論文内容の要旨

複雑なひずみ履歴や温度変化をうける場合の弾塑性解析を行なうには、ひずみや温度の効果を考慮した材料の構成式を具体的な形で規定する必要がある。このために本研究では、降伏関数にこれらの効果を導入し、これを種々の弾塑性解析に適用したものである。

第1章は緒論であり、弾塑性解析における降伏関数の重要性とその役割を説明している。また、温度変化をうける場合の弾塑性解析における熱力学的考察の必要性を述べ、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、まず、降伏関数の具体的な形に対する理論的実験的研究を展開している。すなわち、降伏関数を、応力のみでなく、塑性ひずみや温度の関数とし、ひずみ履歴塑性理論の拡張によって関数形を与え、これが簡単な実験によって具体的に決定できることを示した。この考え方の妥当性を検証するために、Al-Mg合金および炭素鋼の薄肉円管を用いた組合せ引張・振り応力下の実験を種々の温度で行なった結果、回転、移動および拡大をともなう降伏曲面の変化が、数個のパラメータによって規定され、このパラメータが引張および振りなどの簡単な実験結果から決定できることが明らかになった。

第3章では、このような降伏関数を用いた弾塑性解析の一般論を、熱力学的な立場から考察している。すなわち、変位と温度の場が互いに連成する場合の弾塑性問題のつり合い方程式と熱伝導方程式の増分形を有限要素法によって与えている。連成問題の一例として、円周切欠をもつ円柱の引張変形を解析し、変形によって温度変化が誘起されることを示し、理論の妥当性を確認した。

第4章では、非連成の弾塑性問題に、第3章の結果を適用し、ひずみ履歴や温度変化を考慮に入れた応力とひずみの関係が、降伏関数を用いて具体的な形で与えられ、有限要素法における $[D^p]$ マトリックスの一般形を呈示した。これを用いた有限要素法の解析を、厚肉円筒の非定常熱応力問題について行ない、解析によって得られた残留応力分布は、実験結果と良好な一致を示すことを明らかにしている。

第5章では、前章の拡張として鋼の焼入れの解析を取扱っている。焼入れにおけるマルテンサイト変態に起因する変態応力を解析に導入するため、線膨張係数が温度と冷却速度に依存するとみなすことによ

て、焼入れ時の応力解析を行なった。残留応力の解析結果は実験結果をよく説明しうることから、ここで提案した方法を用いると任意の形状の物体の焼入れ時の応力分布を予測することができることを示した。

近年、工学的に極めて重要な弾塑性問題として、繰返し負荷をうける場合の変形の累積（ラチエットひずみ）が重要な課題となってきたが、第6章および第7章では、それぞれ、一定温度下の機械的ラチエットおよび温度変動下の熱応力ラチエットをとりあげ、これらの変形が、ひずみ履歴や温度の影響を含めた降伏関数を導入した解析によって推定できることを示している。

まず第6章では、第2章で規定した降伏関数を、異方性とパウシンガー効果が繰返し負荷によって累積されるとみなして拡張した。このような降伏関数を用いると、繰返しの各段階での塑性ひずみが得られるが、これが累積してラチエット変形が発生するとしている。

第7章では、この降伏関数にさらに移動硬化の影響を導入し、第6章と同様な手法で熱応力ラチエットによる変形を解析している。いずれの場合も、引張と振りの組合せ応力をうける円管に対する実験によって、理論の妥当性を検証している。

第8章は本研究の総括であって、弾塑性解析においては、降伏関数を解析に可能な形で規定しなければならないことを述べ、これがひずみ履歴や温度の関数として与えられると、従来理論解析が不可能であった種々の弾塑性問題の解析が可能になることを結論的に述べている。

論文審査の結果の要旨

各種の機械構造要素に対する弾塑性解析は、これらを設計製作するに際して必須の課題であることはいうまでもないが、この問題については、ひずみ履歴や温度などの因子が複雑に影響するため、従来十分な解析が行なわれていなかった。本論文は、これに対する一つの試みとして、ひずみ履歴や温度の影響を考慮した降伏関数を確立し、これを用いて繰返し塑性変形を含む弾塑性問題を厳密に取扱う手法を呈示したものである。

まず、弾塑性解析の基本となる降伏関数を、応力の他にひずみ履歴および温度によって規定し、従来広く用いられている単純な条件下のひずみ履歴塑性理論の拡張を行なった。これによって、任意のひずみ履歴や温度が与えられたときの降伏関数は、簡単な実験データを用いて決定できることを示し、Al-Mg合金および炭素鋼を用いて、組合せ引張・振りを与えた実験によって確認している。このことは、得られた降伏関数が実際の弾塑性解析に容易に適用できることを意味し、工学的に非常に価値あるものと考えられる。

つぎに、このような降伏関数を導入して熱力学的立場から、温度場と変位場が連成する場合の弾塑性問題の定式化を、有限要素法を用いて行なっている。この方法は、適用例として取扱った切欠材の単純引張の解析の他に、疲労や塑性加工のように、変形によって温度変化が生ずるような場合の解析にも有用な知見を与えうるものであって、高く評価できるものである。

このような一般的解析法を、つぎに非連成の弾塑性問題に適用し、この問題の解析の基礎となるひずみ履歴および温度を含めた応力とひずみの関係を導き、いわゆる $[D^p]$ マトリックスの一般形を呈示した。これを用いることによって、複雑な負荷の条件の下での弾塑性問題の解析を可能にしている。さらに、繰

膨張係数の温度および冷却速度依存性を考慮することによって、鋼の熱処理とくに焼入れにともなう変態応力を含めた力学的解析を試みている。この手法を用いると、鋼の焼入れ時の応力および残留応力の予知が可能となり、焼割れ防止など多くの技術的問題への応用も広いと考えられる。

つぎに、繰返し負荷をうけて塑性変形が累積するいわゆる機械的ラチエットひずみの問題が、降伏関数を導入して詳細に論じられている。すなわち、静的荷重下で得られた降伏関数を基にして、繰返し荷重下での降伏関数の挙動を論じ、ラチエットひずみの大きさとその生ずる方向が推定できることを明らかにしている。この結果は、炭素鋼を用いた平均引張応力と繰返し振りをうける場合の実験によって検証している。

さらに、近年重要な課題となってきた温度が変動する際にみられる熱応力ラチエットひずみに対する解析が、同様に降伏関数を用いて行なわれており、一定振り応力のもとで、軸方向に繰返し熱応力が作用する場合の実験を行ない、この解析方法の妥当性を検証している。これは、この解析方法によって、かかる場合の塑性変形の累積に関する貴重な情報を得ることができることを示すものであって、高く評価しうるものである。

以上、実用上強い要請があるにもかかわらず、厳密な解析が困難であった複雑なひずみ履歴と温度の影響をうける際の種々の弾塑性問題に対して、一般的な降伏関数を導入して数理塑性学的見地から解析の方法を呈示した本論文は、学術上ならびに工学上寄与するところが少くない。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。