

氏名	長 岐 滋 なが き しげる
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 685 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 9 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	内 部 変 数 を 用 いた 非 弾 性 体 の 構 成 式 と そ の 応 用 に 関 す る 研 究

(主 査)  
 論文調査委員 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

金属材料の示す非弾性変形挙動を的確に記述するためには、材料の微視的な構造変化を考慮することが必要不可欠である。本研究では、微視的構造変化を内部変数として導入することによって表現し、非弾性体の構成式を導出するとともに、これを種々の非弾性解析に適用する手法を明らかにしようとしたものである。

第1章は緒論であり、非弾性体の構成関係を定式化することの重要性とその研究の現状を説明している。

第2章では、内部変数を持つ物体の一般的な構成関係を提案している。すなわち変形勾配が弾性、塑性、組織変化の3部分に分解されるとして、スカラーおよび2階テンソルの内部変数を持つ物体の構成式について課される幾つかの条件についてまず論じられ、続いて微小変形における粘弾塑性体の構成式が導かれている。そして組織変化をあらわす内部変数が存在することによって、塑性変形も時間依存性を示すことが明らかにされた。

第3章では、内部変数を用いた構成式の具体的な応用として、鋼の熱処理過程を取りあげている。オーステナイト、パーライト、マルテンサイト、焼もどし組織の4種の組織を考え、これらの体積分率を前述のスカラー内部変数としてとらえることによって、組織変化に伴う変態ひずみ、潜熱の発生などを統一的に扱うことが可能になることを明らかにしている。さらに、熱処理過程に関する境界値問題を有限要素法を用いて定式化し、温度、組織、応力分布などの解析手法を示している。理論の妥当性を検証するために、2種類の鋼材について、熱処理の実験が行われ、測定された温度、組織、残留応力などの分布は計算結果と良く一致しており、提案した構成式、解析手法が有効であることが示されている。

第4章では、第2章の粘弾塑性体の構成式の応用例の別の形として、高温における金属材料の非弾性変形の議論が行われている。すなわち、まず塑性変形に関連した加工硬化パラメータと、粘性の効果をあらわす新たなパラメータの両者を内部変数として導入し、塑性—クリープ相互作用を考慮した構成式が導かれている。これによって、クリープ現象、応力—ひずみ関係の速度依存性など高温で金属材料が呈する特徴的な非弾性変形挙動を統一的に表現することが可能である。さらに、変動温度下における内圧円筒のラ

チェット変形現象の解析がなされ、具体的な実験によって理論の検証がなされている。

続いて非弾性変形による材料の硬化と、高温に保持されることによる回復の概念を内部変数の移行式に取り入れた移動硬化塑性体の構成式が導かれ、高温高応力下での非弾性変形をより統一的に記述する試みがなされ、簡単な構成式で複雑な現象をあらわし得ることを明らかにしている。

第5章は結論であって、非弾性変形現象の解析にあたっては、第2章で導かれた内部変数を用いた構成式が一般的に有効な手段となり得ることが、第3章、第4章の結果をもとに、結論づけられている。

### 論文審査の結果の要旨

工業材料の進歩や、その使用条件が過酷化するに伴い、従来から広く用いられている塑性、クリープなどの単純な構成関係では材料の変形挙動、特に非弾性変形挙動を十分に表現することが不可能な場合が多く生じている。本研究は、これらの非弾性挙動を取り扱う一つの試みとして、材料の微視的な構造変化を内部変数と呼ぶ新たな変数を導入することによって代表させ、非弾性変形の構成式を統一的に得ようとするものであり、またその具体的な応用手法を与えんとするものである。得られた結果は次のとおりである。

1. 内部変数を持つ物体に関して数理的な構成式論の立場から、一般的な構成関係が導出され、さらに微小変形における粘弾塑性体の構成式を得ている。この段階では内部変数について具体的な制約はつけていないが、一般的に材料内部に組織の変化が生じる場合には、この内部変数を用いた構成式によって材料の塑性応答に時間依存性が誘起される現象が説明され、解析されることを明らかにしている。

2. 具体的な適用例として、熱処理過程中の鋼の挙動ならびに高温におけるクリープと塑性との相互作用の2種類の問題がとりあげられ、両者の場合についてそれぞれ内部変数の意味付けがなされている。これらの問題は、いずれも従来からの熱弾塑性論あるいはクリープ理論では十分な解析結果が得られていないものである。

まず、熱処理過程を取り扱うにあたっては過程に生じる組織をオーステナイト、パーライト、マルテンサイトおよび焼もどし組織の4種類に分類し、各組織の体積分率を内部変数としてとらえている。これによって、温度、組織、応力(ひずみ)の場が複雑に連成しあう熱処理過程を統一的に把握することが可能となり、従来、現場技術者の経験に頼る所の多かった組織分布および残留応力などの予知を可能としたことは、工学的に価値あるものと認められる。

3. 高温での金属材料の非弾性変形については、塑性による硬化と粘性の効果をそれぞれ内部変数として取り入れることによって、塑性-クリープ相互作用を考慮した構成式を得、これをまず単純な応力状態についての挙動に適用して、その妥当性を検証した。

4. さらに、得られた構成関係の応用として内圧円筒のラチェット変形について解析と実験を試み、両者は良い一致をみていることから、繰返し負荷の加わる場合についても提案された構成式が妥当であることを明らかにしている。

5. 移動硬化塑性体の構成式について、硬化と回復を取り入れた中心移動則(内部変数の速度式)を提案し、高温高応力下の非弾性変形をより統一的にとらえようと試みており、これによって、時間に依存す

る塑性変形挙動を的確に表現できることを示している。

以上、非弾性変形挙動を取り扱う一般的な手法としての内部変数を用いた構成式は、従来の単純な構成関係では十分表現し得なかった現象をも説明することができ、また、これが実用的に応用が可能であることを明らかにした本論文は、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。