

|         |                                 |        |     |          |
|---------|---------------------------------|--------|-----|----------|
| 氏名(国籍)  | かく                              | ち      | こう  | (中国)     |
| 学位の種類   | 博                               | 士      | (工  | 学)       |
| 学位記番号   | 博                               | 甲      | 第   | 1,541 号  |
| 学位授与年月日 | 平                               | 成      | 8 年 | 3 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当                |        |     |          |
| 審査研究科   | 工 学 研 究 科                       |        |     |          |
| 学位論文題目  | 弾塑性大変形有限要素シミュレーションにおける解析手法の基礎研究 |        |     |          |
| 主 査     | 筑波大学教授                          | 工学博士   | 郷   | 田 国 夫    |
| 副 査     | 筑波大学教授                          | 工学博士   | 齊   | 藤 正 克    |
| 副 査     | 筑波大学助教授                         | 工学博士   | 寺   | 本 徳 郎    |
| 副 査     | 筑波大学助教授                         | 工学博士   | 渡   | 部 修      |
| 副 査     | 筑波大学副学長                         | Ph. D. | 古   | 賀 達 蔵    |

## 論 文 の 要 旨

有限要素法は塑性加工の分野に広く適用され、塑性成形における材料の変形挙動の推定、材料内部の応力・ひずみ分布の予測、割れ、しわ等の不良状態の予測等に用いられてきた。塑性加工シミュレーションは大変形と弾塑性の非線形性のため、多くの検討事項があり、安定した精度の良い数値解を得るために、本研究では、変形力学モデルとしての材料構成式、また有限要素法における解析手法が数値解析に及ぼす影響について検討したものである。

本論文は、以下の 6 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、有限要素法を用いた弾塑性大変形数値シミュレーションについて、解析上の現状と問題点を概略した上、本研究を行う背景と目的を示している。

第 2 章「弾塑性構成式」では、典型的な非線形問題の弾塑性大変形解析において、有限要素法で用いる構成式を検討している。有限変形の構造解析に用いる構成式は、塑性などの材料非線形性だけでなく、有限変形による客観性の原理を満足する応力速度を用いる必要がある。現在、最も広く使用されている構成式は、Jaumann の応力速度を用いた亜弾性体に Prandtl-Reuss の式で知られる等方硬化則を組み込んだものであるが、単純せん断問題で振動の困難を回避する Green 応力速度についても検討する。また、材料非線形に対して、古典的な塑性硬化理論をその特別な場合として含む内部時間理論を用いて、swift の軟鋼の単軸実験結果を等方硬化、移動硬化と混合硬化で近似した。

第 3 章「亜弾性構成式と塑性硬化則の影響」では、Jaumann 速度と Green 速度の異なる応力スピンの用いた亜弾性構成式に等方、移動、混合硬化などの異なる硬化則を組み合わせた場合に、せん断変形を受ける変形ブロックのシミュレーションを例にして、構成式が大変形弾塑性数値シミュレーションに及ぼす影響を検討している。

第 4 章「計状関数・数値積分則の影響と混合法の適用」では、変位型有限要素法における形状関数と数値積分則の影響と混合型有限要素解の精度を検討している。変位型有限要素法が弾塑性変形の数値解析に広く用いられているが、本研究では、適切な形状関数と数値積分法を選ぶことにより、塑性域の非圧縮性内部拘束が改善され、数値解の精度が向上することを数値的に示している。また、変位のほかに圧力を未知数とする Hellinger-Reissner 混合変分原理に、亜弾性体の弾塑性構成式を代入した速度形混合法の定式化を示し、変位形

有限要素法との数値解析の相違を考察している。

第5章「双線形要素における改善手法」では、4節点双線形要素を用いた弾塑性大変形解析について論じたものである。この要素は完全積分法を適用するとロッキング現象を起し、低減積分法を用いるとアワグラス現象を起す。この欠点を克服するため、本研究では、3つの選択低減積分法、 $\bar{B}$ アプローチ法と剛性マトリックス安定法を取り上げ、これまでのHughesやBelytschkoらとの研究とは異なる仮定を用いて、一般せん断問題シミュレーションを通じてその精度や数値解析上の得失を検討している。

第6章「結論」では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題と将来の展望について言及している。

## 審 査 の 要 旨

本研究は、弾塑性大変形有限要素シミュレーションにおける解析手法の基礎研究を行ったもので、構成式の数値解析に及ぼす影響、変位法における形状関数や数値積分則の影響、混合法の定式化と数値解析、選択低減積分法・ $\bar{B}$ アプローチ法・剛性マトリックス安定法の改善手法の定式化と数値解析を系統だてて検討し、数値解析上の得失を明らかにした点で評価できる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。