

学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 尾崎 伸吾

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 博乙第390号

学位授与年月日 平成25年9月30日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第2項

学府・専攻名 工学府

学位論文題目 弾塑性論に基づく速度・状態依存性摩擦構成式の提案と境界値問題への適用
(Proposal of elastoplastic analogy constitutive equation for rate- and state-dependent friction and its application to boundary value problems)

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 眞田 一志
横浜国立大学 教授 秋庭 義明
横浜国立大学 教授 宇高 義郎
横浜国立大学 教授 高木 純一郎
横浜国立大学 教授 松本 裕昭
横浜国立大学 教授 山田 貴博
横浜国立大学 教授 藪田 哲郎

論文及び審査結果の要旨

現時、数値実験としての CAE が積極的に利用されているが、さらなる精緻化のためには有限自由度の物体の運動や変形現象と、接触・摩擦現象を同時に考慮する必要がある。その一つの手段として、有限要素法などを用いた連続体の枠組みでの解析が挙げられるが、前提として、すべり摩擦挙動を適切に表現し得る数理モデルが求められる。このような状況の下、本論文は、速度・状態依存性摩擦モデルの提案とその異方性モデルへの拡張に関する内容、並びに提案モデルを用いた境界値問題への新しいアプローチ手法について論じたものである。本論文は、以下の7章から構成されている。

第1章では、本論文の背景と目的について述べている。特に、スティックスリップ運動や異方性すべり摩擦現象の理解と制御の必要性を示すことで、本研究の工学的意義を示している。

第 2 章では、既往の摩擦モデルについて整理するとともに、提案摩擦モデルの特徴と位置付けを明確にしている。

第 3 章では、弾塑性論に基づく速度・状態依存性摩擦モデルを提案している。まず、一般化式の定式化について述べた後、すべり面の具体的な関数形ごとの接触応力速度-すべり速度関係式を導出している。さらに、提案モデルの基本的な応答特性について述べるとともに、摩擦試験結果との比較により、その有効性を示している。なお、提案モデルは、状態変数とその発展則が導入されているため、「静止摩擦-動摩擦遷移」、「静止摩擦の時間依存性回復」、「摩擦抵抗の速度負勾配」および「巨視的すべり以前の微小すべり」といった基本的な速度・状態依存性すべり摩擦現象を合理的に記述し得る。

第 4 章では、提案摩擦モデルを 1 自由度の運動方程式に実装し、スティックスリップ運動の検討に対する新しい数値解析的アプローチ手法を提案している。また、すべりモードの安定性に関する考察を行うとともに、スティックスリップ運動に付随した摩擦力振幅の制御方法に関する検討を実施している。さらに、種々の供試材料の組合せを対象としたスティックスリップ運動の試験結果との比較を行い、提案アプローチ手法の妥当性を検証している。

第 5 章では、提案した速度・状態依存性摩擦モデルを異方性すべり摩擦現象にも対応し得るように、直交異方性ならびに回転硬化の概念を導入することにより一般化している。ここでの異方性すべり摩擦とは、接触表面の微小テクスチャーの形状・勾配・間隔に起因した「見かけの摩擦抵抗の方向依存性」および「摩擦力ベクトルとすべり速度ベクトルの方向が異なる非共軸性」を意味する。また、摩擦試験結果との比較例を示し、異方性摩擦モデルの実問題への適用性を示している。

第 6 章では、接触・摩擦現象の有限要素法への制約条件としての導入方法について概説した後、提案摩擦モデルを有限要素法汎用ソフトに実装している。また、提案アプローチ手法により、連続体力学の枠組みにおいて、有限自由度の系の安定すべりとスティックスリップ運動を条件に応じて検討し得ることを示している。特に、スティックスリップ運動の解析において重要となる動的条件の影響に加え、接触物体の材料特性や幾何学的特性を容易に考慮できることを実証している。さらに、典型的な異方性すべり摩擦現象の境界値問題の数値解析例を通して、提案アプローチ手法により、摩擦抵抗の方向依存性や摩擦力ベクトルとすべり速度ベクトルの非共軸性を検討し得ることを示している。

第 7 章は結論であり、各章で得られた知見および結論がまとめられている。