



Title	連續体解析に基づくマクロな系での摩擦の理論
Author(s)	岩下, 航
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101731
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (岩下航)	
論文題名	連続体解析に基づくマクロな系での摩擦の理論

論文内容の要旨

タイヤと地面の接触面、地震が発生する大陸プレートなど、様々な場面で摩擦が発生するため、摩擦現象の予測や制御は重要な課題となっている。それらの実現のためには、摩擦力の従う法則を知る必要がある。固体間の摩擦に関しては、アモントン-クーロン則と呼ばれる経験則がよく知られている。この法則は、摩擦力と垂直荷重の比で定義される摩擦係数が、物体の形状、滑り速度に依らないことを意味している。

しかしながら、アモントン-クーロン則の成立機構の現象論的な説明は、暗に応力場の一様性を仮定しており、弾性変形をするマクロな物体のように応力場の非一様性が顕著な場合に、この法則が破れる可能性がある。ただし、アモントン-クーロン則の破れる条件や、その場合の摩擦の法則は未解明な点が多い。そこで、本研究では、それらを解明するために、連続体解析によってマクロな系の摩擦を調べた。

まず、3次元物体の静止摩擦係数が圧力や物体形状に依存することを示した。特に、局所的な前駆滑りの安定性の解析によって、摩擦係数のふるまいを理論的に予測できることを明らかにした。また、摩擦面に溝を持つ物体において、静止摩擦係数が溝の大きさの減少関数になることを示し、溝の形成による系の剛性の低下が前駆滑りの安定性と摩擦係数を低下させることを明らかにした。さらに、一様せん断系において、摩擦面のうねりと溝の設計によって、高摩擦と低摩擦の状態を自在に実現できることを明らかにした。これらは、物体形状の設計によって前駆滑りと静止摩擦を制御できるという、新しい摩擦制御の発想をもたらす画期的な成果である。

それらに加えて、粘弾性体の音速付近の滑り速度において、摩擦係数が急激に変化する現象を明らかにした。このような現象が関連する飛行機のタイヤなどの超音速の滑り速度での摩擦は、これまでほとんど研究されてこなかったため、本結果はそれらの摩擦現象の理解のための重要な知見となる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　(　岩　下　航　)		
論文審査担当者	(職)	氏　名
	主　查　　教　授	後藤　晋
	副　查　　教　授	垂水　竜一
	副　查　　教　授	杉山　和靖
	副　查　　教　授	波多野　恭弘 (理学研究科)
	副　查　　准教授	大槻　道夫

論文審査の結果の要旨

本論文は、マクロな粘弹性体の摩擦法則に関する研究成果をまとめたものである。摩擦の理解は工学的に重要な課題であるが、古典的なアモントン・クーロン則は経験則であり、その成立条件には未解明な点が多い。近年、この摩擦則について接触面のミクロな凝着に基づく説明がなされているが、その説明では一様な応力場を前提としており、マクロな粘弹性体ではこの前提が成り立たない可能性がある。しかし、このようなマクロな系での摩擦特性に関する理論研究はこれまで少なかった。本論文では、この問題に対して有限要素法による大規模数値シミュレーションと有効モデルの解析を組み合わせた研究により、マクロな粘弹性体における静止摩擦と動摩擦の新たな法則を理論的に明らかにした。主な成果は以下の通りである。(一) 3次元粘弹性体の静止摩擦を調べ、摩擦係数が圧力や物体形状に依存することを示した。さらに、局所的な前駆滑りの不安定化がその要因であることを突き止め、マクロな摩擦則を記述する理論式を導出した。(二) 溝を付加した粘弹性体の数値シミュレーションを行い、溝の大きさによって摩擦係数を制御できることを示した。さらに、溝の影響を考慮した1次元有効モデルを導出し、その解析から溝の影響を記述する新たな摩擦則を提案した。(三) 系に一様剪断を加えた場合についても解析を拡張し、摩擦面のうねりや溝の設計によって摩擦の制御が可能であることを示した。この成果は、局所的な圧力分布の調整を通じて摩擦特性を広範囲に制御できることを意味する。(四) 動摩擦についても研究を進め、粘性に起因するヒステリシス摩擦による動摩擦係数の速度依存性を発見した。特に、音速近傍で動摩擦係数が特異な振る舞いを示すことを、精緻な数値シミュレーションにより初めて明らかにした。以上の成果は、マクロな物体の摩擦の理解に新たな視点を与えるものであり、博士（理学）の学位論文として十分な価値を有する。