

種々の表面性状を有する粗面を対象とした固体接触 解析に関する研究

友田, 達規

<https://hdl.handle.net/2324/4784618>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 友田 達規

論 文 名 : 種々の表面性状を有する粗面を対象とした固体接触解析に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年の機械の駆動部品の設計では、高い性能および信頼性を確保した製品を効率的に開発するため、CAE (Computer Aided Engineering) を用いたモデルベース設計が推進されている。その中でも混合潤滑下のしゅう動部で発生する摩擦・摩耗は機械製品のシステム全体の効率・信頼性に大きな影響を与えるため、その主要因である表面間の固体接触現象を詳細に計算モデル化し、それを用いた固体接触解析によって摩擦・摩耗を高精度に予測することは極めて重要であるといえる。

混合潤滑解析に適用する固体接触モデルとしては、表面粗さ形状に無数に含まれる突起を球などでモデル化し、見かけの接触面全体の真実接触面積および固体接触力を粗さ突起高さの確率分布(突起分布)に基づいて統計的に算出する粗さ突起接触モデルを用いることが多い。これらのモデルでは比較的簡易な計算で隙間と真実接触面積および固体接触力の関係を算出でき、さらに二乗平均平方根粗さなどの表面性状パラメータを考慮することができる。一方、これらのモデルはいくつかの仮定の下で適用することができるが、実際の表面ではそれらの仮定から大きく逸脱している場合もしばしばみられ、そのような場合はモデルによる真実接触面積および固体接触力の予測精度が著しく悪化する。また、モデルに用いる表面性状パラメータの適切な決定方法が存在しないこと、計算結果の妥当性を実験で検証することが困難であることも問題である。そこで本研究では、新たな粗さ突起接触モデルの構築、その妥当性を評価するための実験手法の構築、および表面性状パラメータの決定手法の確立を目的とした。

第1章では、混合潤滑解析の理論的背景および構成要素を説明した。その中でも解析精度の向上に重要な固体接触解析について、粗さ突起接触モデルを中心にこれまでの研究例と現状の課題をまとめ、本研究の目的と概要を述べた。

第2章では、非正規分布モデルである Johnson 分布を粗さ高さの確率密度分布に適用し、正規分布との単調写像の関係を用い、様々な歪度、尖度を有する粗面についての突起分布モデルを構築した。本モデルを基本的な粗さ突起接触モデルである Greenwood-Williamson モデルに適用し、粗面と平滑面の接触における真実接触面積および固体接触力についての予測式を構築した。また、強い非正規性を有する粗面を対象に、本モデルによって算出した突起分布と、表面形状から直接測定した突起分布とを比較し、両者がよく一致することを確認した。

第3章では、粗面同士の接触を想定し、それぞれの粗面の有する突起分布関数および表面性状パラメータを用いて真実接触面積および固体接触力を計算することができる粗さ突起接触モデルを構築した。本モデルに第2章で構築した突起分布モデルを適用し、様々な歪度、尖度を有する粗面の組合せについて計算を行い、これらのパラメータによって固体接触力に対する真実接触面積の変化傾向が大きく異なることを示した。また、モデル計算におけるこれらの傾向が半無限弾性体解析による直接計算の結果と良好に一致することを確認した。

第4章では、粗面の接触状態を精度よく測定する手段として光干渉法に着目し、3つの単波長光源による干渉光強度を用いて光学膜厚と色相についての関係式を算出し、それが粗面乱反射の影響を除外できていることを理論的に示した。この測定手法を用いて様々な二乗平均平方根粗さを付与した球状試験片とサファイアの静的接触面について測定し、試験片の弾性変形によって形成される広範囲の膜厚分布が得られることを確認した。さらに、見かけの接触面積および平均膜厚値を定義して、それらが二乗平均平方根粗さおよび押付荷重によって変化することを確認した。特に、同荷重下の平均膜厚値と二乗平均平方根粗さには比例関係が成り立つこと、見かけの接触面積と二乗平均平方根粗さの相関は固体接触理論による予測と良好に一致することがそれぞれ示された。

第5章では、測定した粗面の表面形状データを対象に半無限弾性体解析を用いた直接計算を行い、粗面の二乗平均平方根粗さと接触面の平均隙間の関係について算出し、第4章の結果に基づき決定した実験式との比較を行った。その結果、計算では実験式よりも平均隙間が過大見積もりされたが、このことは直接計算では弾塑性変形を考慮できないことが要因であると推定した。そこで、塑性変形の影響を除外できる分解能を決定するための指標として、表面性状パラメータから得られる塑性指数に着目した。表面形状データの分解能を任意の塑性指数になるように調整し直接計算を行ったところ、計算と実験式が良好に一致する塑性指数の値が存在することがわかった。そして、塑性指数を用いて、粗さ突起接触モデルの主要な表面性状パラメータである粗さ突起の平均曲率半径を決定する式を提案した。

最後に第6章では本研究によって得られた知見を総括した。

以上、本論文では粗面の表面性状パラメータを詳細に考慮することで粗さ突起接触モデルの精度向上を実現した。また、これまで決定方法が無かった粗さ突起の平均曲率半径の値について、塑性指数に基づき決定する普遍的な式を提示することができた。さらに、光干渉法によって静的接触面における広範囲な固体接触現象を詳細に観察する手法を構築した。この測定手法は動的接触面およびしゅう動面にも適用することができ、摩耗現象の解明など、さらなる応用が見込まれる。また、半無限弾性体による直接計算では、測定分解能を調整することによって、これまで計算精度が悪かった粗面接触の計算精度を大きく向上できることを示した。