

プロジェクト共同研究総括研究報告書 (平成3～5年度)

総合研究課題：自動車各部の機械力学的特性に関する研究

総括研究員：酒井秀男（短大）

分担研究員：横井雅之（短大）、高萩敏男（短大）、荒木一雄（工学部）

自動車は複数の部品からなり、それらの技術は広い専門分野にまたがることが多い。そこで自動車の部品や各部に関連する研究をまとめ、“自動車各部の機械力学的特性に関する研究”と題して、分担あるいは協力して実施しようとするものである。本プロジェクトチームは自動車の各部分について、例えば、タイヤ、ブレーキ、シャーシ、ボディパネル、ワイパーブレード、排気管マフラなどについて、機械力学的な見地より高度の専門的解析を行い、実験と対比検討するとともに、その実用性を検討しようとするものである。

機械力学は範囲が広く専門的には運動力学、振動工学、音響工学などに分かれる。更に工学的解析方法も数学的方法、物理学的方法、コンピュータによる（有限要素的）方法などがあり、各担当者はそれぞれ得意とする情報や手法を有している。そこで、自分の分野だけにこだわらずに得意とするノウハウや情報を交換する事によって、新しい研究や効率のよい研究成果が得られたものと考えている。

このプロジェクトは次の3つの分担研究課題に分かれて実施した。

分担研究課題

タイヤのモデリングに関する研究

酒井秀男、荒木一雄

その1、タイヤの制動駆動特性

[概要]

タイヤの制動駆動特性については古くから実験的研究が行われ、制動駆動力がほぼスリップ比の関数で表されることが分かっていたが、1966年に制動駆動力がスリップ比の関数で表されることを理論的に証明し、制動力と駆動力はスリップ比の変化に対して対称であることを示した。しかし、最近になって詳細に行われた実験結果から、タイヤトレッドが厚い場合には、スリップ比と制動駆動力の関係において、制動力と駆動力が対称とはならず、非対称になるのではないかなどの指摘がなされている。

また、最近、アンチスキッドブレーキシステムやトラクションコントロールシステムの開発と関連して、動的な問題としてスリップ比を早く変化させた場合の特性や、車の加減速時に発生するドライブトレイン系の振動の解析に必要なとなるタイヤの動的前後剛性の解明が望まれている。

そこで、ここでは先ず、トレッドが厚い場合に制動駆動特性が働いたときの接地圧分布の変化を考慮した理論解析を行った。その結果、制動力駆動力の非対称性を明らかにすることができた。

次に、スリップ比が周期的に変化する場合の動的制動駆動特性として、ドライビングステイフネスの周波数変化と、転動中のタイヤの前後剛性の変化について理論的検討を加えた。その結果、実験的にはまだ得られていないこれらの動的特性を予測することができた。

発表論文 1. 荒木, 坂井: タイヤの制動駆動特性の理論的考察, 自動車技術会論文集 Vol. 23 No. 4, Oct. 1992

その 2. 車両運動解析のためのタイヤモデル

[概要]

車両運動解析の進展にともなって、それに用いる数式タイヤモデルが必要になってきており、比較的容易に求められ、簡単に使用できる車両運動解析用タイヤモデルが各所で検討されている。

本研究は、比較的簡単な理論式を用い、その係数を実験によって求め、更に補正を加えることによって、タイヤの実験的特性を表す半理論実験式モデルを得る方法について検討したものである。理論式から出発したモデルは物理的な現象と対応が取り易いこと、制動駆動力と横力との関係が明確であること、更に発展しうる余地があるなどの特徴がある。しかし、タイヤの特性は、実験中の温度変化、ゴムブロックの摩耗、ウォーミングアップの条件、タイヤ間のバラツキなどによって変化しやすく、測定誤差が非常に大きい。そこで、できるだけ誤差の少ない最少の測定値を用いて、物理的に合理性のあるモデルを作成することを目指したものである。その結果、速度が一定の場合について、ほぼ実験誤差の範囲内でタイヤの特性全般にわたって表わしうる半理論実験式モデルを得ることができた。

しかし、速度による変化を表わしていないこと、セルフライニングトルクの誤差がスリップ角の大きなところで増加するなどの改良すべき点があることから、引きつづきその改良方法について検討を加えた。その結果、速度変化を表し得るより実用性の高い半理論実験式モデルを得ることができた。

発表論文 1. 荒木, 酒井: 車両運動解析のための半理論実験式タイヤモデル。

第 1 報 走行速度が一定の場合。自動車技術会論文集 研究論文 23, Vol. 24 No. 2, Apr. 1993

発表論文 2. K. Araki, H. Sakai: Study of Tire Model Consisting of Theoretical and Experimental Equations for Vehicle Dynamics Analysis-Part I: Under the Condition of Constant Velocity. SAE Paper No. 932884, Oct. 1993

発表論文 3. 荒木, 酒井: 車両運動解析のための半理論実験式タイヤモデル

第 2 報 走行速度が変化する場合。自動車技術会 学術講演会前刷集 931, 1993-5 No. 9301953

摩擦音発生機構に関する研究

横井雅之

【概要】摩擦音の発生機構に関する研究の一つとして、ブレーキ鳴き（スキール）の発生機構の解明を行った。ここでは、単純なモデルとして、バンドをドラムに巻き付けてブレーキを行うバンドブレーキ装置を用いて、その発生機構を実験および理論解析によって解明した。

スキールは低速時に発生するので、実験も低速（ドラムの回転数は0.7-7rpm）で行った。音のほかにバンドの振動変位をバンドの半径方向および円周方向の2方向について測定した。実験結果からは、以下のようなことが解明された。(1)スキールの波形はブレーキドラムの回転数が低い時には stick-slip 波形によく似ている。(2)スキール周波数は、ドラムが高回転になるにつれて高くなるが、ある一定値に収束する。この周波数はドラムとバンドの連成による固有振動数であり、そのバンドの振動モードは3つの節を持つ。(3)スキール周波数は荷重が11.8-118Nの範囲では変化しなかった。加振試験によるバンドの固有振動数および振動モードは実験結果とは一致しないために、こすれ音からスキール発生時のバンドの振動変位の変化を求めた。その結果、スキール周波数近傍の2つの周波数の連成により、3つの節をもつバンドの自励振動が発生することがわかった。これらの実験結果より、スキールの発生原因はバンドとドラムの摩擦によるバンド自身の2つのモードの連成による自励振動であることがわかった。

理論解析では、バンドを円環として、その円周および半径方向の振動について、連成の運動方程式をたてた。バンドとドラムとの接触剛性はドラム上では場所により変化するが、ここでは、バンドのライニングをばねで置換したモデルを用いた。ばね定数の接触角による変化を考慮して、数種類の非線形ばねを用い、摩擦係数は相対速度に対して一定とした。これらの計算結果により、バンドの2つのモードの連成により、スキールが発生することが解明され、周波数およびモードについても実験結果とよく一致した。

これらの結果については、一部はすでに学会で発表済みであり、さらに詳しい解析および実験結果については、現在投稿中である。

投稿中の論文

M. Yokoi: Band brake Squeal. Journal of Vibration and Acoustics. ASME, 投稿日1993. Dec.

板状構造物より発生する衝撃騒音の発生機構とその防止法に関する研究 高萩敏男

〔概要〕自動車の機械力学的特性に関する研究のうち、自動車の衝撃騒音の発生機構についての究明を行っている。そのためには、機械構造物において発生した振動が音に変換する過程を明らかにしなければならない。機械において音を放射する最も基本的な要素は板状のものであると考えられる。そこで、まず機械的加振にともなう板からの音響放射について理論的に明らかにすることにした。

板の音響放射モデルとしては、バッフル上に、ある境界条件でおかれた板を考え、板面は板の振動に応じた強さを持った点音源の集合体であると仮定した。それぞれの点音源から放射される音を重ね合わせることで、音場が形成される。音場を構築している一つ一つの点音源は同位相であらゆる方向に振動して音を放射するので無指向性である。しかし、これらが集合すると、それぞれの音源が干渉することにより、着目方向によって形成される音場が変化し、非常に複雑なものとなる。このことから、板がよく振動するからといって、それがよく音を放射するとは限らないことに注意する必要がある。ここでは、機械加振された板の音響放射特性を評価する量としては Gosselle の音響放射係数を用いることにした。この放射係数の数値計算を行うにあたっての問題点をまとめると以下ようになる。(1)理論的には振動モードの数は無限大まで考えられるわけだが、これでは現実的な計算はできない。そこで、有意義な結果を得るためには、どの程度の範囲までの振動モードを考慮する必要があるか。(2)放射音圧による反作用をどの程度考慮するか。考慮する場合は、連立の微分方程式を解くことになるため、上記の(1)の問題が関連してくる。(3)上述のように、複数のモードが同時に存在する場合、そのモード間のカップリングをどの程度考慮するか。モード間のカップリングの影響を考えた場合、考慮するモード数の範囲によっては、計算時間が爆発的に増加することになる。(4)放射インピーダンスの解析的表現は重積分となる。その数値計算において、精度を維持しつつ、演算時間を許容できる範囲内に収めるためには、どのような方法を用いればよいか。

数々の試行計算の結果、まず(1)については、ある固有振動数については、その前後10%程度の範囲のモードについて考慮すれば十分であること。次に(2)については、放射音圧の作用を無視すれば、特に低周波において音響パワーを高めに評価することになるが、放射係数にはほとんど影響を与えないこと。(3)については、共振点の放射係数のみを問題とするときは、カップリングの影響については、ほとんど無視しうること。(4)については、変数変換を用いた式の変形により、重積分の次数を減らすことにより対応できること、などが明らかとなった。

以上のことを踏まえて、板の音響放射への、その形状・境界条件による影響についての研究をまとめ、現在投稿中である。

投稿中の論文

T. Takahagi: Near field sound radiation from simply supported rectangular plates. Journal of Sound and Vibration, Academic Press. 投稿日1993. Sep.