

## 博士論文データ項目

### 論文題目：ディスクブレーキの鳴きに及ぼす 摩擦接触部の分布ばね特性の影響

著者：大浦 靖典

研究科、専攻名：工学研究科 機械システム工学専攻

学位記番号：工課第6号

博士号授与年月日：

---

#### 論文の要旨

回転する円板に摩擦材を押し付けて制動するディスクブレーキは、制動力が押付荷重に比例するため、ブレーキの効きを調整しやすく信頼性も高い。このため、自動車や鉄道車両、二輪車、工業製品などに幅広く使われている。しかし、制動時に甲高い騒音、鳴きを発生することがあり、静粛性の観点から問題となる。特に自動車用ディスクブレーキに発生する鳴きは、身近な生活騒音となるため苦情になりやすく、自動車の商品価値に大きく影響する。このため、ディスクブレーキの開発において鳴き対策は重要な課題となる。

鳴き発生の有無や鳴き音圧、鳴き周波数には、制動時の押付荷重の大きさが影響する。ディスクの寸法や構造、パッドの大きさやキャリパによる支持方法などの構造的な要因は押付荷重によって変化しない。これに対して、ディスクとパッドの摩擦接触部の状態は、押付荷重によって変化する可能性がある。

本研究では、ディスクとパッドの摩擦接触部のばね特性がもつ押付圧依存性が鳴きに及ぼす影響を明らかにした。実際のディスクブレーキは構造が複雑なため、摩擦接触部の特性が鳴きに及ぼす影響を明確にすることが難しい。そこで、両端を固定した板ばねの中央にパッドを取り付けることで、構造を簡単にした模擬的な鳴き試験機を作製した。パッドの支持剛性をリーディング側とトレーリング側で対称にし、パッドの運動の方向を並進と回転の2自由度に拘束することで、摩擦接触部の特性が鳴きに及ぼす影響の実験と解析による検討を容易とした。

まず、鳴き実験を行い、ディスクの固有振動数やパッドの支持剛性、押付荷重が鳴きに与える影響を調べた。発生する鳴きの周波数はディスクの固有振動数が支配的であり、パッドの支持剛性や押付荷重を大きくすると、鳴きの周波数が高くなった。また、摩擦接触部付近の振動を測定した結果、ディスクは並進運動を、パッド・キャリパは並進および回転運動を行っていた。このとき、ディスクとパッド・キャリパが同位相・同振幅に近い振動をする点（以下、接触点）が、接触面内のリーディング側に存在した。

次に、実験での鳴き振動を表せる最も簡単なモデルとして、ピン・ディスクモデルを作成した。ディスクを並進の1自由度、パッド・キャリパを並進と回転の2自由度でモデル化し、摩擦接触部を接触点の1点のみで表した。接触点がパッドのリーディング側に存在し、パッド・キャリパの回転の固有振動数とディスクの固有振動数が近くなると鳴きが発生することを示した。しかし、ディスクとパッドを点で結合したため、押付荷重の大きさ

や接触部の影響を考慮できず、解析モデルとして不十分であった。

そこで、摩擦接触部を分布ばねで表した面接触モデルを作成し、接触部が鳴きを与える影響を検討した。面接触モデルは、接触面内の分布ばねの剛性を一様として解析すると、ディスクとパッドの運動が連成せず鳴きが発生しない。接触部の剛性に押付圧依存性をもたせ、接触面内の圧力分布を考慮して解析すると、接触部の剛性分布の重心位置がパッドのリーディング側になる。このとき、ディスクとパッドの運動が連成して不安定となり、実験と同様の押付圧依存性をもつ鳴きが発生した。また、実験での接触点の位置は、接触部の剛性分布の重心位置にあたるという知見を得た。

面接触モデルの妥当性を検討するため、発生する鳴きの傾向が異なる 2 種類のパッドを用意し、摩擦接触部の剛性の押付圧依存性を調べた。一定の押付圧を与えたパッドを、鳴き周波数帯域で加振することで、鳴き発生時に近い状態の摩擦接触部の動剛性を測定した。鳴きが発生する周波数域では、動剛性には周波数依存性がなく剛性とみなせること、剛性の大きさと押付圧依存性はパッドごとに異なることを明らかにした。また、測定した剛性を用いた面接触モデルの解析では、各パッドの鳴きを再現できた。

摩擦接触部の剛性分布の重心位置が鳴きに影響を与えることを実証するため、パッドの片側端面を面取りして鳴き実験を行った。パッドのリーディング側を面取りすると、鳴きが発生する押付圧の範囲が狭くなり、鳴き音圧が低下した。これは、接触部の剛性分布の重心位置がパッドの中央に近づき、ディスクとパッドの運動が連成しにくくなるためである。これに対して、トレーリング側の面取りでは鳴きはほとんど変化しなかった。パッドを面取りしたときの実験と面接触モデルの解析の結果は良く一致し、理論の妥当性を示すことができた。

本研究では、摩擦接触部の剛性が押付圧依存性をもつことが鳴きの原因となることを示した。面接触モデルを用いることで、鳴きの周波数や音圧が押付荷重に依存する現象を合理的に説明できる。また、パッドの接触部の剛性の大きさと押付圧依存性を測定する装置を開発したことで、パッドの鳴きやすさを接触部ばね特性と関連づけて評価することが可能となった。