

卒業論文要旨

渦流法によるハブベアリングの荷重測定の可能性

システム工学群

医工先進検査システム研究室 1230058 黒川 颯太

1. 諸言

自動車のタイヤにかかる力やモーメントを支持するハブベアリングには、足回り部品の軽量化により設計時の想定を上回る複雑な力が作用している可能性があり、運転条件によっては軸受の異常昇温や焼き付きに至る危険性がある。

軸受の安全な運転のためには、潤滑油の供給状態、潤滑油や軸受面の劣化状態の把握に加え、潤滑膜の形成具合を左右する力（軸受荷重等）のその場観測を含めた定量的な診断技術の確立が必要になる。本研究では、実働状態のハブベアリング（タイヤ）に加わる力（垂直・水平・軸力等）の測定法として、軸受外輪の軌道面への漏れ磁束を利用した渦電流法の利用を試みており、深溝玉軸受を用いてその可能性を明らかにしてきた。

ここでは、前記のハブベアリング（複列玉軸受）外輪に取り付け可能な渦流探触子を開発し、その基礎特性を把握すると共に、タイヤ（軸受）に作用する荷重（力）推定の可能性について検討した結果について述べる。

2. 測定原理と渦流探触子ならびに実験装置

図1に、渦流探傷法による荷重測定の原理を示す。本測定法では軸受外輪外周に設置した探触子がつくる磁束が、外輪内周に漏れる、いわゆる漏れ磁束を利用する。軸受中の玉が漏れ磁束場に近づくとき、玉側に渦電流が発生し、それに伴って誘導される磁束により、コイル部のインダクタンス L_2 が変化してブリッジ回路の a, b 端子間に電圧 V (電位差 ΔV) が現れる。 L_2 は、漏れ磁束の影響範囲(面積)中での玉と外輪との接触面積 A や、平均膜厚(隙間) S に依存するため、電圧 V (または ΔV) により軸受荷重の測定が可能になる。

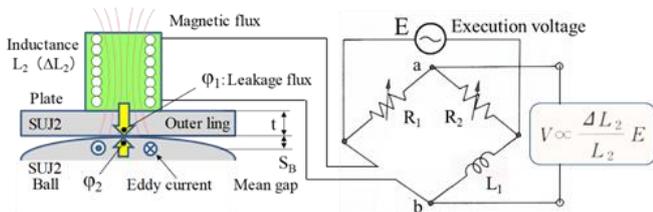


Fig.1 Eddy current evaluation principle for bearing load

渦流 (EC) 探触子は図2に示すようにハブベアリング外輪に取り付ける。各素子 (CH1, CH2) は複列の軌道面にある各玉に対向して配置され、その中央の空洞 ($\phi 3\text{mm}$) にはフェライトが挿入してある。実験では、図3に示す路面移動型のタイヤ試験機のハブベアリングに渦流探触子を取り付けた状態で探触子の励起周波数を変化し、玉の接近に対する電圧変動や荷重を負荷させた場合の変動の大きさを調べ、荷重測定に対して高感度な周波数を検討した。なお、タイヤへの荷重の負荷はエアシリンダにより移動路面を上昇させること

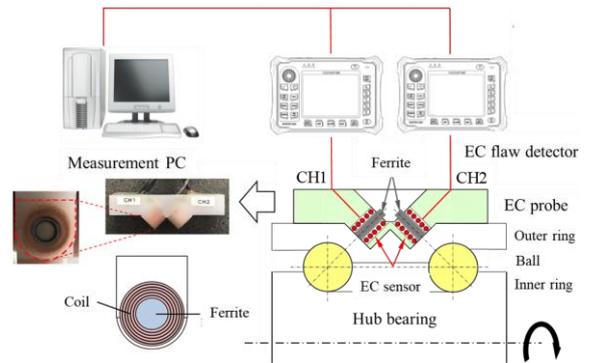


Fig.2 Experimental equipment

により行い、舵角はナックルをキングピン軸回りに回転させることにより与えた。

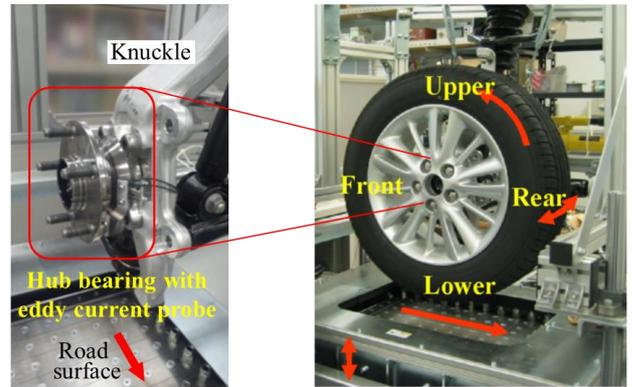


Fig.3 Tire testing machine

3. 負荷時の電圧変動に及ぼす励起周波数の影響

軸受（タイヤ）に作用する力の推定のためには、負荷荷重と電圧変動の関係をj得る必要がある。図4下段に示すように、電圧 V は探触子への玉の接近により低下し、周期的変動を繰り返す。回転状態 (時速 $\approx 2\text{Km/h}$) において励起周波数 f を変化していった場合の電圧振幅 ΔV_m と感度 $\gamma = \Delta V_m / \Delta W$ の変化を図4上段に示してある。なお紙面の都合上、本報ではCH1のみ掲載する。

上段図中の●印は無負荷状態 ($W=0\text{N}$) での励磁周波数 f に対する電圧振幅 ΔV_m の大きさであり、▲印は荷重 W に対する感度 γ と励起周波数 f の関係を表している。なお感度 γ は回転状態において、無負荷 ($W=0\text{N}$) から 3000N まで荷重 W を増加させて求めた。 ΔV_m と γ どちらも 10KHz から 100KHz でピークを迎えているが、ここでは荷重 W に対する感度 γ が高い $f=20\text{KHz}$ を採用した。なおこれらの関係は、速度 S が $1\sim 2\text{Km/h}$ の範囲ではほぼ同じであった。

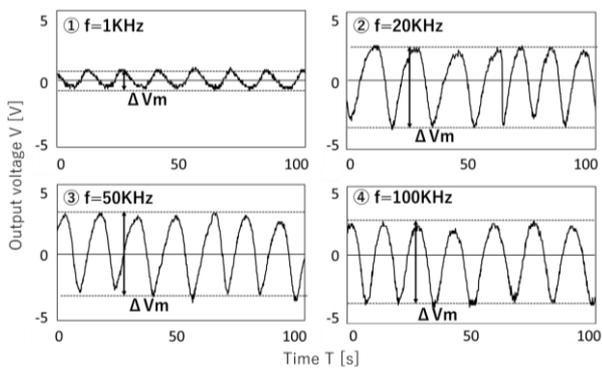
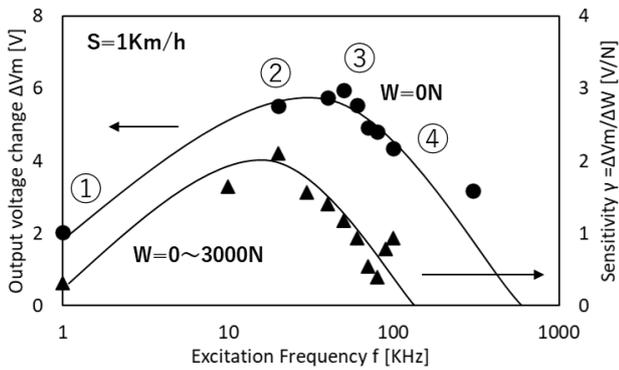


Fig.4 Optimal excitation frequency

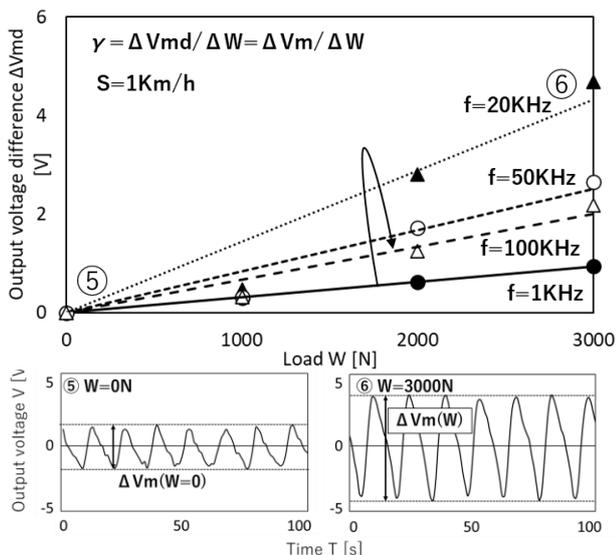


Fig.5 Sensitivity to load

以上は0.2Hzで零点復帰を行い、電圧振幅の大きさ ΔV_m に現れる荷重の影響を調べた結果であるが、この零点復帰を行わない場合には、例えば図6下段に示すように、波形全体が荷重に応じてシフトする。上段には、無負荷時の電圧振幅 ΔV_m の平均値からの平均電圧のシフト量 ΔV_c を示すが、図5と同様、 ΔV_c は荷重 W にほぼ比例して増加する。

4. 操舵時の電圧変動の観測例

図7には、タイヤの進行方向が路面の移動方向に対して θ の角度をとるように操舵した場合、CH1の $\theta=0^\circ$ の電圧振幅 ΔV_m からの電圧振幅差 ΔV_{md} を、CH2の結果と併せて示してある。舵角 θ を与えるとタイヤには軸力(ハブベアリングの軸方向への力)が作用するので、直進状態($\theta=0^\circ$)に対して、例えば $\theta=-2^\circ$ の ΔV_{md} は、CH1では減少し、CH2では増加する。軸力が作用すると、一方の玉と外輪との接触が密になる(隙間

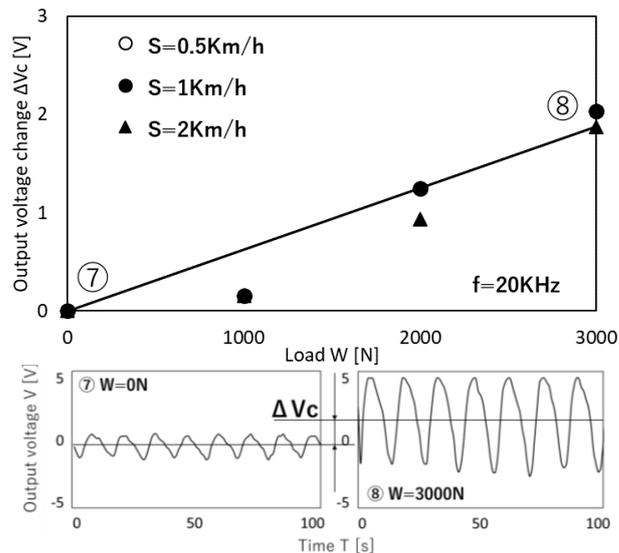


Fig.6 Shift of average voltage with respect to load

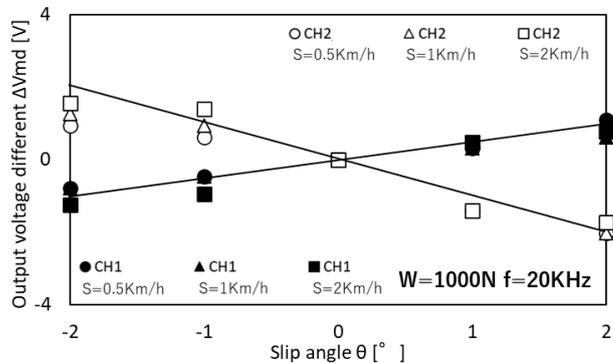


Fig.7 Effect of steering angle on voltage amplitude (1000N)

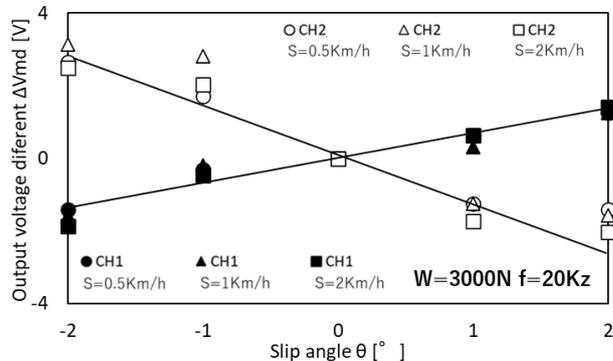


Fig.8 Effect of steering angle on voltage amplitude (3000N)

の減少)のに対して、他方の玉での接触は疎になる(隙間の増加)になるためである。 $W=3000N$ の場合、CH1とCH2での電圧振幅差 ΔV_{md} の差は大きくなる。また、極低速でのこれらの結果には速度 S の影響はほとんど現れない。

5. 結言

ハブベアリング(タイヤ)に作用する力を渦電流法で測定するための基礎実験を行った。その結果、荷重に対する感度が高い励起周波数(ここでは約20KHz)の存在、荷重と電圧振幅の比例関係、そして複列玉軸受に軸力が作用する場合の各探子の対称的な電圧振幅変化等の基礎特性を明らかにできた。

参考文献

竹内彰敏：渦電流法による深溝玉軸受の支持荷重測定に関する実験的試み、日本機械学会論文集 Vol. 85, No. 878 (2019), pp. 1-17