

動力循環を用いて高回転・高出力を可能とした転がり摩擦試験機の開発

Development of rolling friction testing machine with power circulation for high rotational speed and high power

東海大・工（学）高橋 貴吾 東海大・工（正）山本 建

Kango Takahashi, Takeshi Yamamoto

Tokai University

1. はじめに

近年、電動車に使用されるモータは小型・軽量化を目的に高回転化が進んでいる。これに伴い減速機も高回転に対応する必要があるが、従来のものでは歯車を用いることから高回転での振動や音などが問題となる。そこでトラクションローラを用いた減速機を開発し性能調査を進めている。この減速機は最高回転数 50000rpm でスリーピニオンの遊星ユニットを想定しており、試験機ではそのうちの 1 対を抜き出した状態となっている。車の出力を 150kW とした場合、1 対のローラにかかる出力はその 3 分の 1 となることから今回の試験機において実車相当出力で試験する場合は 50kW をかける必要がある。しかし、50000rpm 以上回る 50kW のモータを用意しそれを駆動するとなると、モータや制御機器の用意、電源の確保など高コストになってしまう。そこで、モータの出力は抑えつつ 50kW で実験できる試験機を設計製作した。

2. 試験機の概要

2.1 負荷を増幅する機構

小出力モータで 50kW 条件での試験を行うべく考案したのが動力循環を用いた試験機である。この試験機では試験ローラ対と歯車対をつなぐことで閉回路を作り、ローラの減速比と歯車の減速比をずらして設計することで低速側のローラと高速側のローラとの間にすべりが生じさせている。トラクションローラではすべりが生じるとそれに応じたトラクション係数が発生し、この状態で押し付け力を与えることでトルクが生じる。ここに回転を与えれば、理論上はモータの出力にかかわらず大きな出力での実験が可能となる。押し付け力を F 、トラクション係数を μ 、ローラ半径を R とするとこの試験機で発生するトルク T は

$$T = F\mu R \quad (1)$$

と表され、ここに回転数をかけると出力を得られる。試験機の諸元に基づきすべりが 1% のときトラクション係数 0.1、与える押し付け力が約 6700N、ローラ半径 14.3mm、最大回転数 50000rpm として計算すると 50.2kW となり、50kW を超えることから条件を満たすことが分かる。しかし、実際にはローラと歯車の伝達効率が 94% ほどなので回路を一周すると 50kW あったものが 44kW になってしまう。つまりこれを補填することのできる 6kW 以上の出力を持つモータがあればこの試験機で 50kW 条件での実験が行えることになる。

2.2 具体的な試験機の構造

まず押し付け力を与えるローラを選択を行った。ローラへ押し付け力を与えた際、試験機は Fig.1 のような状態となり下へ動くローラと固定された歯車とで軸がずれる。低速側ローラを押し付けることで可動ローラの回転数を下げ、カップリングへの負担も減らすこととした。次にローラの配置方向については Fig.2 の横置き配置と Fig.4 の縦置き配置で検討したが、低出力での実験とローラへの給油方向と同じにでき振動の減衰機構を取り付けられることから縦置きとした。トラクション力の測定方法については、トルクメータを用いると軸長が長くなり弦振動を発生する不安があったことから 3 分力計を用いることとした。なお、使用する 3 分力計が 1 つでは試験機で発生するモーメントに耐えられないため 2 個並べて使うこととした。この場合、Fig.3 に示すように 3 分力計 1 つあたりに入力される力の大きさは異

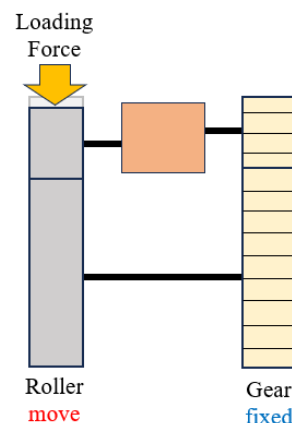


Fig. 1 State in which loading force is applied to the roller

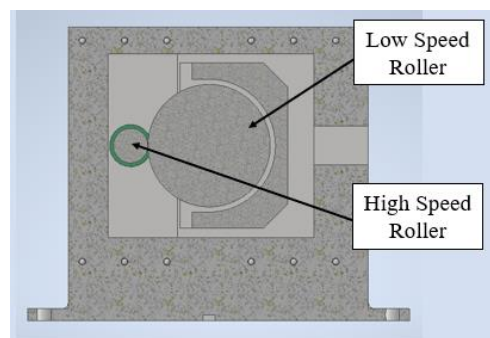


Fig. 2 Horizontal roller layout

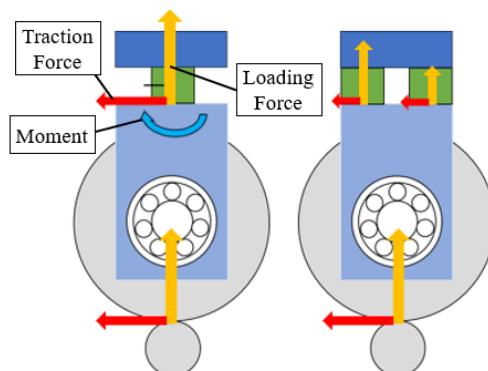


Fig. 3 Force input to the 3-axis force sensor

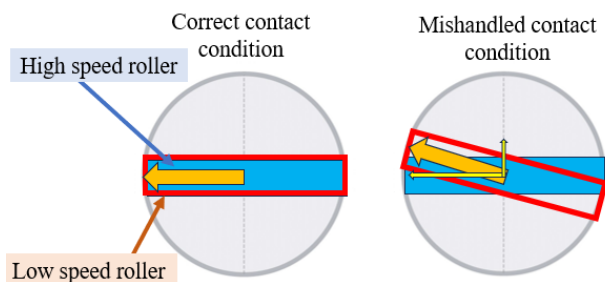


Fig. 4 Effect of roller alignment

なるが、2 つに入力される同じ方向の力を足し合わせることで1 つの時と同様に計測することができる。トラクション力を τ 、押し付け力を F 、添え字は左を l 、右を r とするとトラクション係数 μ は以下の式で求められる

$$\mu = \frac{\tau_l + \tau_r}{F_l + F_r} \quad (2)$$

設計を進めていくとローラのアライメントが測定結果に影響を与えることも問題となった。低速ローラが高速ローラに対し斜めに接触した場合、トラクション力の発生方向が3分力計の z 軸とずれ、Fig.4に示すように3分力計に入力される力がトラクション力の分力になるため計測される値は実際より小さくなる。また3分力計をただ設置するだけでは組立や押し付け力などにより上記のずれが変化することで実験の結果にばらつきが生じる原因となる。これにより芯ずれも起きるため、特に高回転での実験では危険性が高まる。これらを解消するため、まずFig.5左側のようにケースを貫通しガイドに到達するようリニアガイドを挿入し高速ローラに対して低速ローラがいつでも平行になるような構造とした。このリニアガイドは3分力計の取付部より上部を固定しているため、トラクション力と押し付け力がすべて3分力計にのみ入力される構造は変わらず測定値に影響はない。そしてガイドと低速ローラハウジングには3分力計の取付部にFig.5右側のような突起を追加し、3分力計の位置決めができるようにした。以上の設計により完成した試験機の3DCAD画像をFig.6として示す。

3. 結果

実験の結果をFig.7に示す。12500rpmまで実験を行い、5kWの従来試験機と大きな差のない結果が得られたため、16kWまでこの試験機は問題なく機能することが分かった。Fig.8に示すように押し付け力の計測データに周期的な上下が見られる。周波数を計算すると回転4次の変動であることから、これはオルダムカップリングの摺動面の摩擦による力がデータに乗っていると考えられる。これについては今後、入力される力を小さくすることに取り組む。

4. おわりに

今回、動力循環を用いた試験機を設計製作した。ローラのアライメントと位置決め精度に気を使って設計することで、12500rpmまで試験機が実際に機能しトラクションドライブの性能調査が行えることを確認した。本研究は、2024年度から2025年度の自動車用動力伝達技術組合(TRAMI)の委託研究により実施した。

文献

- 1) 山本建：高回転時におけるトラクションドライブと歯車の伝達性能測定(50000rpmでの性能比較)，日本機械学会論文集，87，903(2021)，p.21-00209，Fig.9

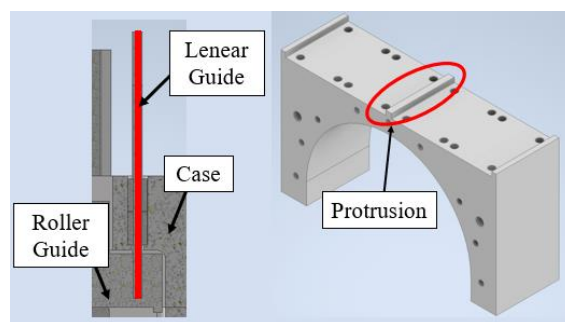


Fig. 5 Measures against unstable readings

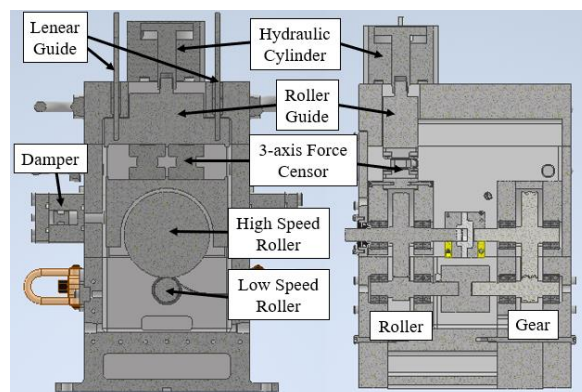


Fig. 6 Cross section view of new rolling friction test machine

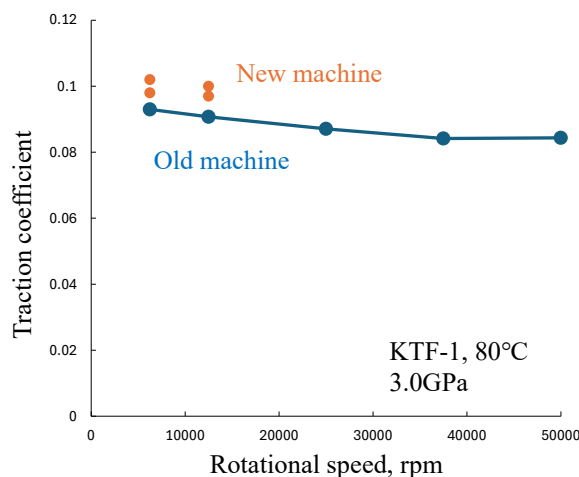


Fig. 7 Comparison of traction coefficient results between new and old test machine⁽¹⁾

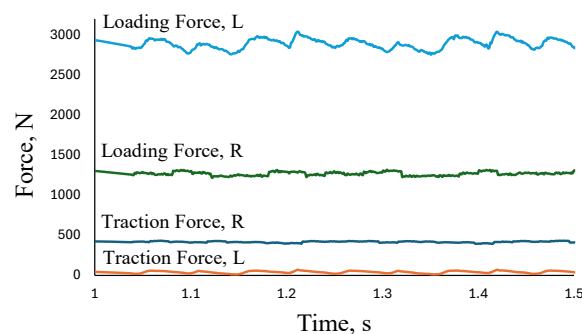


Fig. 8 Variation of traction force and loading force