歯付ベルトの動力伝達効率に関する研究

A study on Power Transmission Efficiency of Synchronous Belt Drives

正 小山 富夫 (阪工大), 正 張 維明 (阪工大), 正 籠谷 正則 (阪産大)
 ○ 田中 秀紀 (阪工大院), 伊藤 佳正 (阪工大 学)

Tomio KOYAMA, Osaka Institute of Technology, Omiya 5-16-1, Asahiku, Osaka
 Weiming ZHANG, Osaka Institute of Technology
 Masanori KAGOTANI, Osaka Sangyo University
 Hidenori TANAKA, Osaka Institute of Technology, Graduate school
 Yosimasa ITO, Osaka Institute of Technology, student

Key words: Synchronous belt drives, Efficiency, Flat belt, Experiment, FEM

1. 緒 言

歯付ベルトは動力伝達とともに正確な回転伝達や位置決め、搬送もできることから、自動車、各種自動化・省力化機器、産業機械をはじめ OA 機器などに幅広く用いられるようになってきた。しかし、歯付ベルト伝動装置の動力伝達効率に関する研究はほとんどなされていないといつてよい。本研究では、歯付ベルトの動力伝達効率に関する研究の第 1 段階として、ベルト歯とプーリ歯のかみ合いに基づく摩擦損失について、軽負荷用円弧歯形歯付ベルトを用いて実験的に検討した。

2. 実験装置と実験方法

図 1 に実験装置の概略図を示す。駆動軸は 1/100 歯車減速機付サーボモータでトルク計を介してして駆動される。駆動プーリ回転数はベルトや装置の振動を少なくするためごく低速とし、 3min^{-1} とした。駆動トルクは、微小であるため市販のスリッピング付トルク計は使用できないので、歪ゲージを使ったトルクピックアップを試作した。軸間力 F はロードセルにより測定した。

実験に使用した歯付ベルトはピッチ $t=3\text{mm}$ の円弧歯形ベルトで、ベルト幅は $B=6\text{mm}$ である。プーリは歯数が $z=32$ 歯の歯付プーリと直径 $d=30\text{mm}$ の平プーリを使用した。実験は歯付プーリ、平プーリ、歯付ベルトと平ベルトを各種組み合わせで行った。実験はすべて無負荷で行った。

表 1 にベルトとプーリの組み合わせを示す。原動、従動両軸に歯付プーリを使用した場合を A、原動軸側に歯付プーリと歯付ベルト、従動軸側に平プーリと平ベルトを使用した場合を B、原動、従動軸ともに歯付プーリで、平ベルトをかけた場合を C、原動、従動両軸が平プーリで、平ベルトをかけた場合を D、平プーリを原動、従動両軸に取り付け歯付ベルトをかけた場合を E とする。軸荷重はロードセルにより 20~100N の範囲で設定した。

駆動トルク、軸荷重、プーリ回転角は A/D 変換され、パーソナルコンピュータに取りこまれる。

3. 実験結果と考察

図 2 に駆動トルクと原動プーリ回転角の関係を示す。軸荷重は $F=40\text{N}$ である。歯付プーリに歯付ベルトをかけた A の場合は、プーリ 1 ピッチ間に 2 つのピークが見られるが、これは両プーリの歯の位相差による。このことは歯付ベルトと

平ベルトを半分ずつ切ってつなぎ合わせたベルトを使用し、原動軸には歯付プーリを、従動軸には平プーリを使った B の場合は、1 ピッチ間に 1 つのピークであることから分かる。

①Test belt, ②Motor, ③Torque pick up
 ④Load cell, ⑤Strain gauge amp

Fig.1 Schematic illustration of experimental apparatus

Table.1 Combination of belts and pulleys

Type	Driving side		Driven side	
	Pulley	Belt	Pulley	Belt
A	S	S	S	S
B	S	S	F	F
C	S	F	S	F
D	F	F	F	F
E	F	S	F	S

S : Synchronous, F : Flat

Fig.2 Relationship between revolution angle and driving torque

平ベルトと平プーリのくみ合わせであるDのばあいにはトルクの周期的な変動はない。これらのことからトルクの周期的な変動の発生要因は、ベルトとプーリの歯のかみ合いにもとづいていることが分かる。また、AとDの駆動トルクを比較すると、Aのほうが大きい。これはベルトの曲げ剛性の違いもあるが、ベルト歯とプーリ歯のかみ合いに基づくものも無視できないことを示している。

図3に、歯付ベルトを歯付プーリと平プーリにそれぞれかけた場合のトルクの比較を示す。Eの平プーリと歯付ベルトの組み合わせの場合、駆動トルクはAより、20～30%小さいが、これは歯のかみ合いに基づくものと思われる。

図4に、歯付プーリに平ベルトをかけ、軸荷重を変化させた場合の駆動トルクの変化を示す。駆動トルクは1ピッチごとに周期的に変化し、軸荷重が高いほど鮮明にあらわれる。これは、低荷重の場合はベルトの曲げ剛性のため、プーリに円弧に近い状態で巻きつくが、高荷重になると、ベルト歯先がプーリ円周に多角形状に巻きつくためいわゆる多角形効果が顕著にあらわれることによる。

図5に、歯付プーリに歯付ベルトをかけた場合(A)と歯付プーリに平ベルトをかけた場合(C)の駆動トルクの比較を示す。Aの場合、歯のかみ合い干渉に基づく摩擦損失により、駆動トルクの平均値はCのそれより大きい。平ベルトの場合はこのようかみ合い干渉がないことから、駆動トルクは小さいが、プーリの多角形作用によるトルク変動が大きい。Aのトルク変動が小さい原因は、ベルト歯先がプーリ歯底に接触し、プーリ歯溝部のベルト心線が押し上げられて比較的円弧に近い状態でプーリに巻きつくことによるものと思われる。

図6に、歯付プーリが1ピッチ回転する間のプーリに巻きついた歯付ベルトの各接点の摩擦仕事（垂直力×すべり量×摩擦係数）の累積値をFEM解析により求めた結果を示す。解析に使用したソフトはABAQUS/Standardである。解析に使用したモデルの歯付プーリと歯付ベルトは実験条件に合わせた。軸荷重は100Nで、無負荷とし、プーリとベルトの摩擦係数は0.3とした。解析結果は駆動トルクの変動状態を直接的に表したのではないが、実験結果と同様に、1ピッチ間において摩擦仕事の周期的な変動が見られた。このことは駆動トルクが周期的に変動する一因と考えられる。

4. 結 言

歯付ベルトと歯付プーリ、平ベルトと平プーリを各種組み合わせさせて無負荷時の歯付ベルトの駆動トルクについて実験的に検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 歯付ベルトの駆動トルクは1ピッチを周期として変動する。
- (2) 歯付ベルトの駆動トルクは平ベルトのそれより大きい。
- (3) 歯付ベルトの駆動トルクは歯付プーリに平ベルトをかけた場合のそれより大きい、1ピッチを周期とする変動成分は小さい。
- (4) FEM解析の結果、歯付ベルトのかみ合いに基づく摩擦仕事は1ピッチを周期として変動する。

Fig.3 Relationship between revolution angle and driving torque

Fig.4 Relationship between revolution angle and driving torque

Fig.5 Relationship between revolution angle and driving torque

Fig.6 Change of frictional work in one pulley pitch (FEM analysis)