トリポード、ツェッパ等速継手系の回転角誤差解析

Analyses of Rotational Angle Error of the Tripod, Rzeppa CVJ Drive Line

正 渡辺克巳 (山形大) 学 松浦尚志 (山形大院)

Katsumi Watanabe, Yamagata Univ. 4-3-16 Jyounan, Yonezawa-shi, Yamagata
Takashi Mitsuura, Yamagata Univ. graduate school

Key Words : Tripod Joint, Rzeppa Joint, Drive Line, Rotational angle Error,

1. 緒 言

前輪駆動乗用車においては、動力源から前車輪への回転運動とトルクの伝達は、一般には、入力軸と出力軸が 20° 程度まで屈曲可能で、かつ両軸の交点が移動できるトリポード等速継手またはダブルオフセット等速継手、入力軸と出力軸が 45° 程度まで屈曲可能であるツェッパ等速継手および前者の出力軸と後者の入力軸とを一直線上で一体化する駆動伝達軸からなる等速継手系を用いて行なわれる。

等速継手の構成部品は寸法公差、加工・組立の誤差をもち、動力伝達時には変形する。これらが原因して、入力軸の回転角に対して出力軸の回転角は微小の誤差（遊びと等速性の誤差、以下においては回転角誤差と呼ぶ）をもつ。他方、構成部品間には摩擦が存在するため伝達されるトルクは減少し、変動する。特にトリポード等速継手においてはハウジングラスト力が発生する。

入力軸と出力軸の間の角変位誤差および構成部品間の摩擦による力とモーメントは振動・騒音の原因であり、乗用車の静粛性、乗り心地の向上を妨げている。

このため、等速継手の構成部品の相対運動および構成部品間に作用する力とモーメント等の特性に関して研究が行われているが、両者を動力伝達軸と一緒に等速継手系として、実機で使用されている状態での特性を明らかにするまでには至っていないように思われる。

本研究では、トリポード等速継手およびツェッパ等速継手と動力伝達軸から成る前輪駆動用等速継手系の構成部品の相対運動および力学特性を解明する一環として、この等速

手系の入力軸の回転角と出力軸の回転角の差（回転角誤差）の特性を実験により明らかにする。

2. 実験装置の設計・製作

実験に使用した等速継手系のツェッパ等速継手は六つのボールをもち、ボールの直径が 17.5mm、ケージの内球、外球の直径がそれぞれ 50, 61mm である。トリポード等速継手はスパイダの球形先端が円柱ローラの内筒に球・円筒対偶している形式のものあり、球形先端の直径は 18mm、ハウジングのローラ溝のピッチ円半径は 27mm である。動力伝達軸に固定されているツェッパ等速継手のインナレースの中心とトリポード等速継手のスパイダ中心の間の距離（動力伝達軸の長さ）は 380mm である。

2.1 軸交差角可変フレーム 実験で使用する等速継手系は実際の乗用車のものであるので両端の等速継手の取り付け側の回転軸（等速継手系の入力軸および出力軸）はスプライン加工されている。このため、構成部品の形状を考慮して製作したブッシュとテーパ式締結要素を用いて等速継手系の入力軸および出力軸を延長し、それらを 2 枚の支持板に複列軸受を用いて取り付けした。

トリポード等速継手のハウジングの回転軸を入力軸とし、ツェッパ等速継手のアウトレースの回転軸を出力軸とする。動力伝達軸と入力軸および出力軸の交差角の組み合わせられた値で等速継手系の構成部品の相対運動を解析するために、実験装置のフレームは、ツェッパ等速継手のアウトレースの

Fig. 1 Experimental equipment

Fig. 2 Rotational angle error ($\alpha = 10^\circ$)

回転軸の支持台およびトリポード等速継手のハウジングの回転軸の支持台を独立に設計・製作し、水平鋼板にマグネット固定して構成した (図1)。

2.2 回転角誤差の測定 入力軸はウォーム歯車を用いて回転させ、延長された回転軸端に取り付けられたロータリーエンコーダでその回転角を測定した。出力軸には半径 97 mmのプーリを固定し、それに巻きつけたステンレスワイヤと滑車を用いて 2.9Nmの負荷モーメントを加えた。出力軸の回転角は延長された回転軸端にロータリーエンコーダを取り付けて測定した。このようにして測定された回転角の差を等速継手系の入力軸と出力軸間の回転角誤差すなわち等速性誤差とした。

3. 実験結果

トリポード等速継手の入力軸と出力軸の交差角 α を 0° から 20° まで 5° 刻みの値、ツェッパ等速継手の出力軸と入力軸の交差角 β を -40° から 40° まで 10° 刻みの値に設定して、等速継手系の入力角 ϕ の 5° 刻みの値に対する出力角 ψ を測定し、それらの値の差 $\psi - \phi$ を回転角誤差 ε として算出した。得られた結果を図2に示す。

図2に示す実験結果の回転角誤差は1回転中に $2\pi/6$ 周期の三角山状の変動成分および 2π 周期の変動成分をもっている。また、ツェッパ等速継手の入力軸と出力軸の交差角 β が大きくなるに従って回転角誤差の変動幅が大きくなる傾向が見られる。

3.1 回転角誤差の関数近似 回転角誤差の特性を定量的に検討するために、実験結果を三角関数で次のように近似する。

$$\varepsilon(\phi) = a_0 + a_1 \cos \phi + b_1 \sin \phi + a_6 \cos 6\phi + b_6 \sin 6\phi \quad (1)$$

式(1)の定数 a_0, a_1, b_1, a_6, b_6 は入力角 ϕ と回転角誤差 ε の n 組の値を (ϕ_i, ε_i) ($i=1 \sim n$) として最小二乗法で決定する。

3.2 考察 トリポード等速継手の軸の交差角 α が一定のとき、ツェッパ等速継手の軸交差角 β の変化に対する回転角誤差の定数項 a_0 および基本波成分の振幅 A_1 及び6次高調波成分の振幅 A_6 と位相の変化状況を図3に示す。

Fig. 3 Amplitudes of components of ε ($\alpha = 10^\circ$)

基本波成分の振幅は軸交差角 β が大きくなるに従って、すなわちボールとインナレースおよびアウトレースの案内溝の接点の変動幅が広くなるに従って大きくなる。これは、ボールが案内溝の端部に近づくに従って構成部品の寸法公差、加工・組立誤差などの影響が顕著になり、一対の案内溝とケージによるボール保持の特性が悪くなってボールが等速平面からずれることが原因であると考えられる。

六つのボールをもつツェッパ等速継手は空間機構としては過拘束機構であるので、各々のボールと一対の案内溝との接触状況、すなわちインナレースからアウトレースへの回転力の伝達特性は等速継手の1回転中に変化する。

回転角誤差が $2\pi/6$ 周期の三角山状の成分をもつのは、ツェッパ等速継手において、1つのボールの 2π 周期の回転力伝達特性が六つのボール各々に関しては $2\pi/6$ の位相差で生じるためであると考えられる。

入力軸の回転角 ϕ が 90° および 270° 付近で極値を取る基本波成分の回転角誤差は、トリポード等速継手の入力軸およびツェッパ等速継手の出力軸とそれらの延長軸の締結における偏心さらに供試等速継手系の回転軸の支持台および回転角測定器の設置誤差などによる実験装置全体のインアライメントためと思われる。

4. 結言

- (1) トリポード等速継手およびツェッパ等速継手と動力伝達軸から成る等速継手系は1回転中に基本波成分、6次高調波成分の回転角誤差をもつ。
- (2) この回転角誤差の振幅はツェッパ等速継手の軸交差角が大きくなるに従って大きくなるが、トリポード等速継手の軸交差角の変化にはあまり影響を受けない。