Hob Cutting Profile Error of Gear Coupling - Pinion

*Yoshihide HAKOZAKI, Iwate University, Ueda4-3-5, Morioka, Iwate

Shigeyuki SHIMACHI, Iwate University, Akira HASHIMOTO, Iwate University

Key Words: Gear Coupling, Pinion, Tooth Profile, Helix Angle

1 はじめに

電車においてはその台車の車軸と一緒に組み込まれた歯車装置の軸と、台車に取り付けられた電動機の軸とを接続するためにギヤカップリングが用いられている。

ギヤカップリングの歯当たり解析に伴い歯形の形状を測定したところねじれ角誤差や圧力角誤差をもつ歯形があることがわかった。

その原因としてギヤカップリングにおけるピニオンは樽形という特別な形状をしているため、ホブ切りに伴う理論的な誤差ではないかと思われる。

本報告では、ホブ切りの厳密な理論解析を行い、理論形状と歯形の三次元測定結果とのフィッティングを行い理論歯面との誤差について考察する。

2 ホブ切りによる歯面

Fig. 1: Tooth trace design

今回用いたホブの諸元は、ピッチ円半径 38.5mm、ホブの条数 2、ホブのねじれ角 5.96° である。また、被削歯車のピニオンの諸元は、モジュール 4、歯数 40、ピッチ円半径 80mm である。

2.1 ピニオン歯すじ形状

ギヤカップリングに用いられる外歯歯車は歯先面と歯面が共に円弧状にクラウニングを施したものが用いられる。電車用ギヤカップリングは図 1 に示すような歯幅中央から $L/2$ の範囲においては $R0$ 、歯幅端では角当たりを逃がすようにするために $R1 (< R0)$ からなる二つの曲率半径により設計されたものである。

2.2 ホブ切りにおける理論歯面

理論歯面の求め方は次の通りである。図 2 に示すようにパラメータ s はピニオンの歯すじ方向、パラメータ l は歯丈方向に対応している。ピニオン軸をその軸とする円

筒とピニオン歯面の交線、すなわち歯すじ線はパラメータ l に関する逐次近似法により求めることができる。また、歯形は軸直角断面形状であり、軸方向の位置についてのパラメータ s に関する逐次近似法により求めることができる。よってパラメータ s, l より理論歯面を求めることができる。

Fig. 2: Tooth surface

3 三次元測定データ

歯形測定は三次元測定機を用い測定を行った。ある歯とその 180° 対向の歯において左右の歯面のデータを一組のデータとして、図 2 に示す点線部分、歯幅中央を $Z=0$ とし $Z=8, 4, 2, 0, -2, -4, -8$ の位置において歯丈方向に測定した。 $Z=8$ および -8 の部分は小さな曲率半径により設計された逃げの部分である。また三次元測定機による測定データは歯車に固定されるワーク座標の X, Y, Z 座標のデータが出力される。そのためそれぞれの歯面のデータは相関の関係として出力される。測定データよりパラメータ s および l を求め逐次近似することである測定点における理論歯面上の点を求めることができる。

4 最小二乗法による測定データのフィッティング

測定データを座標変換することで理論歯面とのフィッティングを行う。座標変換には測定データは歯車に固定されたワーク座標であるので Z 軸回りの回転 γ が必要である。また、測定において歯車を取り付けるときに生じる傾きの補正として X 軸回りの回転 α 、 Y 軸回りの回転 β が必要となる。そのほかにワーク座標の原点と理論の原点を合わせるための補正量として X, Y, Z 方向それぞれ

の補正量 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ が必要である。よって座標変換パラメータとして $\alpha, \beta, \gamma, \Delta x, \Delta y, \Delta z$ の計 6 つの未知数を用い、最小二乗法によりフィッティングを行うことで理論歯面との誤差を計算する。

Fig. 3: Error of tooth surface(hob-generated)

Fig. 4: Error of tooth surface(hob-generated)

図 3、4 にピニオンの 180° 対向の 2 枚の歯におけるホブ切りによる理論歯面と測定データとの誤差を示す。図 3 は右歯面、図 4 は左歯面である。図における破線は理論解析より求まる理論歯面を表し、誤差は破線より上方向が正、下方向が負を表している。つまり、測定歯面において理論歯面より切り込まれている場合は負を示す。

歯幅の中央部分 $z=4 \sim -4$ の位置では誤差が $10 \mu m$ 以内となっており測定歯面はホブ切りによる理論歯面とほぼ一致している。 $z=8$ および $z=-8$ の位置においては誤差が約 $50 \mu m$ と大きくなっている。この部分は逃げの部分として曲率半径が小さいもので設計された部分であり、歯すじの設計通り加工されていないことがわかる。

また、左右の歯面において圧力角は異なっていることがわかる。

5 ラックによる歯面

5.1 理論ラック歯面でのフィッティング

ホブの直径を無限大とすることで左右対称の歯面となる。これを理論ラック歯面とする。前章の方法により理論ラック歯面とのフィッティングを行う。その結果を図 5 および 6 に示す。

Fig. 5: Error of tooth surface(rack-generated)

Fig. 6: Error of tooth surface(rack-generated)

理論ラック歯面とのフィッティングにおいては、右歯面では歯幅の下方にいくに従い誤差は負の方へ変化している。逆に左歯面では上方にいくに従い負の方へ変化している。つまり、ねじれ角誤差が生じている。理論ラック歯面でのフィッティングにおいても圧力角は左右の歯面で異なっている。理論ラック歯面での比較より左歯面における圧力角誤差が大きいことがわかる。

5.2 ホブ切りによる歯面との差

Table 1: Average of error(hob-generated)

z	right	left
8	0.0503	0.0499
4	0.0151	0.0007
2	0.0061	-0.0030
0	-0.0045	-0.0033
-2	-0.0036	0.0043
-4	-0.0027	0.0092
-8	0.0361	0.0427

Table 2: Average of error(rack-generated)

z	right	left
8	0.0700	-0.0488
4	0.0126	-0.0143
2	0.0015	-0.0119
0	-0.0106	-0.0096
-2	-0.0125	-0.0019
-4	-0.0180	0.0071
-8	-0.0706	0.0620

表 1、2 にそれぞれの歯幅の位置における誤差の平均を示す。

ホブ切りによる理論歯面と測定歯面とのねじれ角誤差は右歯面では 0.127° 、左歯面では -0.061° となる。また、理論ラック歯面との誤差は右歯面では 0.219° 、左歯面では -0.153° である。

理論ラック歯面とホブによる理論歯面では左右それぞれの歯面においてねじれ角に 0.092° の差がある。ラックによる歯切りにおいてはねじれは生じない。つまりホブ切りによる理論歯面は理論ラック歯面より 0.092° ねじれていることがわかる。

よって、ギヤカップリングにおけるピニオンとホブ切りによる理論歯面はフィッティングの結果ほぼ一致していることからピニオンに生じるねじれ角誤差はホブ切りに伴う理論的な誤差であることがいえる。

6 おわりに

本報告では、ギヤカップリングにおけるピニオンの歯形状データと理論歯面とのフィッティングを行い、理論歯面との誤差について調査した。

その結果実際に歯切りされた歯車には、ねじれ角誤差があり、これはホブ切りに伴う理論的な誤差であることがわかった。

また、左右の歯面によって圧力角が異なっていること、逃げの部分が設計通りに加工されていないこともわかった。これらの誤差は歯切り加工時における工具の取り付けなどの精度の問題があるのではないと思われる。