

図1 (a) 歯形修正を行っての歯形、意味がわかるか？ (同会友)
 ↳云々云々云々云々

304. クリンゲルベルグまがり歯傘歯車の非共役性について

On Non-conjugate Property of Klingenberg Spiral Bevel Gears

○学 入澤 明朗(新潟大院) 正 川崎 一正(新潟大) 正 田村 久司(新潟大)

Akirou IRISAWA, Niigata University, 8050, Ikarashi 2-nocho, Niigata
 Kazumasa KAWASAKI, Niigata University
 Hisashi TAMURA, Niigata University

Key Words: Gears, Bevel Gears, Klingenberg Spiral Bevel Gears, Conjugate Gears, Transmission Error, Tooth Bearing, Manufacturing Error, Assembling Error

1. 緒言

本研究で取り扱うクリンゲルベルグ・サイクロパロイド式まがり歯傘歯車⁽¹⁾は等高歯の歯車で、その歯形を直線あるいは円弧とし、歯すじをトロコイド曲線とする仮想冠歯車で創成歯切りされ、原理的には共役な歯車対が構成できる歯車である。しかし実際には製作誤差、組立誤差を考慮して歯面にクラウニングと歯形修整を施す。クラウニングは歯車の凹歯面の歯すじの曲率半径を凸歯面のそれよりわずかに大きくするように与える。すなわち仮想冠歯車の凸、凹歯面の歯すじであるトロコイド曲線をわずかに異ならせてクラウニング効果を与える。このように凸、凹歯面の歯すじをわずかに相違させたために今度は、サイクロイド系歯車における軸間距離変化が歯面干渉を生じさせるのと同じ理由で、わずかではあるが歯面干渉が生じている。表題の傘歯車は上述のような歯切り原理上の非共役性をもつ歯車であるが、この非共役性と歯切り誤差とが混じり合って歯当たり模様に影響を及ぼしていることから、現場技能に頼る歯当たり調整歯切りを必要とする。

本研究は表題の傘歯車の歯切り原理上の非共役性と歯形修整、組立誤差とが複合して接触点の軌跡(歯当たり)にどのような影響を与えるか、回転角伝達誤差はどのようなものかシミュレーションをおこなったものである。

2. 仮想冠歯車

クリンゲルベルグ式では仮想冠歯車の歯面は線織面であり、歯すじはトロコイド曲線である。図1(a)に仮想冠歯車のピッチ平面上の歯すじ曲線を示す。O-XYZは仮想冠歯車に設けた座標系でZ軸は仮想冠歯車軸である。O_cはころがり円Rおよびカッタの中心である。カッタはころがり円Rに固着してまわる。O_cOはMachine distanceであり、これをM_aで表す。半径qの固定円Q上を半径(M_a-q)のころがり円Rがころがる時、円Rに固着した点Pは固定円Qに対してトロコイド曲線を描く。いま、図1(b)に示すように、カッタ中心をO_c、カッタ軸をZ_cとするカッタで切れ刃直線A'B'上の点Pを考え、O_c、Z_cおよびPを図1(a)のそれに対応させると、カッタ切れ刃直線A'B'は仮想冠歯車空間にその軌跡として1枚の線織面を作る。この線織面はあくまでも直線A'B'の軌跡面ではないが、クリンゲルベルグ式ではこの軌跡面は被削歯車に対して仮想冠歯車歯面(刃面)として作用する。クリンゲルベルグ社ではこの線織面の他に、直線を円弧に変更した曲線織面を考えている。すなわち焼入れ硬化した歯車歯面のいわゆるハード・カット用切れ刃としてCBN切れ刃を用意している⁽¹⁾が、この切れ刃形状は曲率半径の大きい円弧a'b'であり(図1(c))、これによって歯形修整をする。歯

形修整をした歯車は歯当たりが得やすい。

さてかみあい歯面間にクラウニング効果を与えるため、仮想冠歯車凸歯面の歯すじの曲率半径を凹歯面のそれより大きくするが、具体的には図1(b)のカッタ切れ刃A'B'とA'B'のカッタ軸回りの旋回半径の差を利用している。すなわちO_cP > O_cP'を利用する。しかし図2に誇張して示すように、点P、P'を点Tで一致させると凸、凹両歯面は干渉する。この干渉を刃面間の距離(μm)で表し、等高線表示して図3に示す。例示の仮想冠歯車諸元および本研究でシミュレートする歯車諸元を表1、表2に示す⁽²⁾。図3より干渉は1μm程度で実用上無視できる量である。さらにクラウニングの効果も期待どおり現れている。

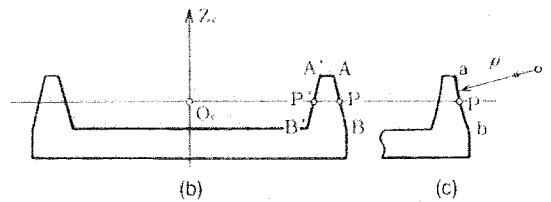
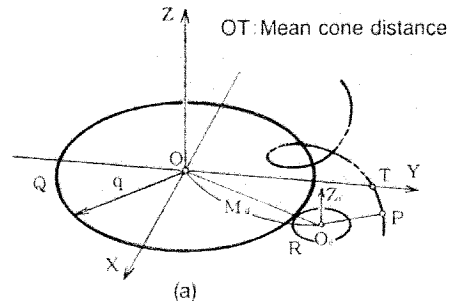


Fig.1 Tooth trace and profile of crown gear

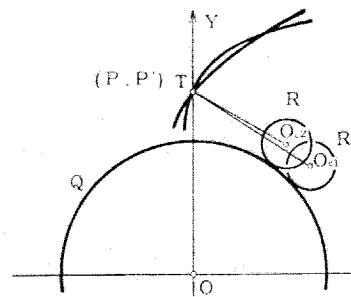


Fig.2 Interference between crown gear tooth surfaces

Table 1 Dimensions of spiral bevel gear

Gears	Miter
Number of teeth	31
Module	3.4031mm
Spiral angle	35° 0'
Hand of spiral	Left hand
Pitch cone angle	45° 0'
Mean cone distance	91.07mm

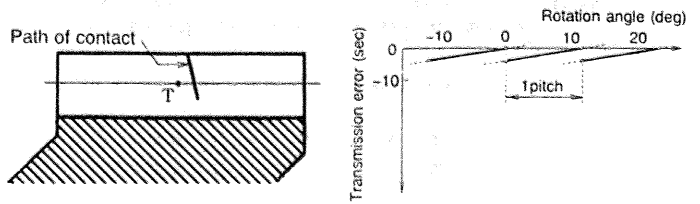


Fig.4 Transmission error and path of contact on pinion convex tooth surface

Table 2 Dimensions of cutter and machine settings

Cutter radius	55.00mm
Radius difference	1.26mm
Cutter blade module	3.60mm
Number of cutter groups	5
Pressure angle	20° 0'
Base circle radius	74.62mm
Machine distance	83.13mm

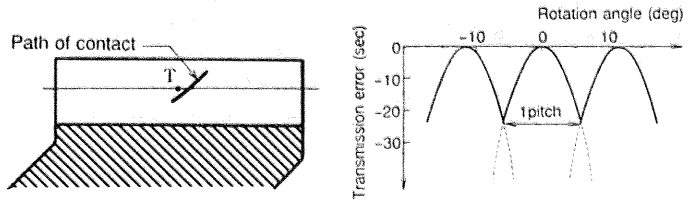


Fig.5 Effect of profile modification

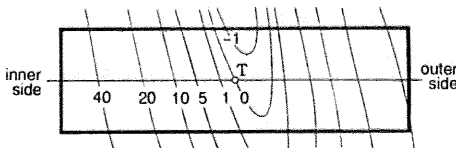


Fig.3 Amount of interference

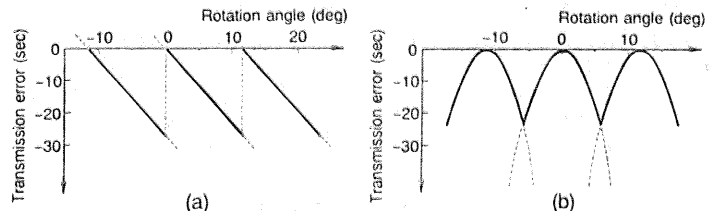


Fig.6 Effect of assembling errors

3. 回転角伝達誤差と接触点軌跡

表2に示した仮想冠歯車で歯数31枚のミタ歯車(表1)を創成歯切りした場合について、その歯車対の回転角伝達誤差と接触点軌跡を計算した。その結果を図4に示す。共役な歯車対では駆動歯車が一定角速度回転すると従動歯車も一定角速度回転するが、非共役歯車ではそうはならず、かみあい率は1になり、一对の歯のかみあい期間中に伝達する回転角度も変動する。この変動を回転角伝達誤差といい、非共役性の程度の評価に用いたり、騒音発生原因と関係づけたりする場合もある。図4の場合、最大回転角伝達誤差は角度で約4秒と非常に小さいが、先行する歯対のかみあい終了を待って後続の歯対がかみあいを開始する傾向にある。しかしその開始は従動歯車が負荷によって逆回転させられる形で衝撃的におこなわれる傾向にあり、好ましいことではない。

接触点軌跡は歯だけの中央部で平均円すい距離の位置(点T)近くを通っており、クラウニング効果が現れている。

さて、この歯車にクラウニングのほかに歯形修整を施した場合を考えた。すなわち仮想冠歯車刃面を形成する図1(b)の直線切れ刃の代わりに同図(c)のような円弧切れ刃を用いた場合の回転角伝達誤差と接触点軌跡を計算した。その結果を図5に示す。切れ刃円弧の曲率半径 $\rho = 900\text{mm}$ とした以外は図4の場合と同じ諸元である。 $\rho = 900\text{mm}$ は実用のカットブレードを実測して得た値である。図4と比べて接触点軌跡は歯すじに沿うような傾向になるとともに、歯先端までは達せず、結局、先行する歯対のかみあいの関係からかみあいの開始、終了がきまる。最大回転角伝達誤差は、歯形修整した影響が直接現れて、約24秒と大きくなっている。 $\rho = 900\text{mm}$ をモジュール4の歯車の歯形修整量に換算すると、歯先・歯元で約 $9\mu\text{m}$ となり、これを回転角伝達誤差に換算すると約28秒で、シミュレーション結果とよく符合している。

4. 組立誤差と非共役性

著者らは先に表題の傘歯車の検査法⁽²⁾について報告したが、ここでは歯切り時の工具設定誤差を検出し、それを歯切り作業にフィードバックすれば設計面に近い歯面を得ることができることを明らかにした。また、ハイボイドギヤに関してではあるが歯車の熱処理変形を見込んだ歯切りが可能であることも明らかにした⁽³⁾。残された問題として組立誤差と回転角伝達誤差、接触点軌跡の関係がある。本研究では組立誤差として各歯車軸方向および各歯車軸に直交する方向の3方向に従動歯車が $\pm 0.1\text{mm}$ 平行移動した場合を想定し、その場合について計算した。歯形修整のない場合は最大回転角伝達誤差はいずれも30秒前後に増大する。従動歯車を駆動歯車軸方向に移動した場合で両歯車が離れる向きに 0.1mm 動かししたような組立誤差が生じている場合についての計算結果を図6(a)に示す。この場合は従動歯車歯先のかみあい開始が先行歯対のかみあいを終了させるようになる。

歯形修整した場合の歯車対に同様な誤差を与えると最大回転角伝達誤差はいずれも25~26秒で、組立誤差の種類によらず伝達誤差の様子は殆ど同じである(図6(b))。これより歯形修整とクラウニングを施すことで組立誤差鈍感性の優れた歯車対を得ることができると思われる。

5. 結言

表題の傘歯車について、歯面修整と組立誤差が歯車対の非共役性にどのように影響するかを明らかにした。

文献

- (1) 日本クリンゲルベルグ社、かさ歯車の歯切の基本とその新技術開発。
- (2) 田村・ほか2名、機論、60-575、C(1994)、2450。
- (3) 川崎・田村、第72期全国大会講演論文集N(予定)。