109 円弧歯形歯車の開発

(第1報 円弧歯車の特徴・強度)

Development of the Symmetrical arc gear
(1st Report The characteristic and the strength of the arc gear)

日本工大 ○ 能上允男 有賀幸則 ハセックギア 山田昌三

Masao NOGAMI Nippon Institute of Technology, Miyashiro Saitama
Yukinori ARIGA Nippon Institute of Technology, Miyashiro Saitama
Syouzou YAMADA Hasegawa Gear Works, Sawara Chiba

As for the research of the arc tooth gear, formerly, a lot of research was done. However, it is several kinds that are only practicalized. For example, it is the Novkov gear of former USSR, Circarc gear in the United Kingdom and then Logix gear in Japan and so on. The arc tooth gear of the authors is a point symmetrical arc tooth gear to the pitch point, having the tooth end arc and a tooth origin arc to one tooth. In this report, it reports on the performance of this symmetrical arc tooth with gear.

Key Words : Gear, Arc Tooth, Strength, Characteristical

1. はじめに

円弧歯形歯車の開発研究から歯形の修整、そして実機歯車の追跡調査、トラブルの解明などを写真などを使用して説明報告する。この円弧歯形系歯車は、1960年旧西独のエッセンで開催された国際歯車会議でW/N歯車と呼ばれ、この名が国際的に一番通り易い¹⁾。この由来は、1926年、米国のE.ウィルードハーバ博士が初めて考えて特許を出したことと1955年、旧ソ連のM.L.ノービコフ博士が一般的産業機械に実用したこと、両者の偉業を讃えて、頭文字取ったことによる。

日本では、1956年、当時、日立製作所の保延誠博士が一つの歯に歯末円弧と歯元円弧を有する円弧歯形歯車を実用解析して日本、米国、独国、英国の特許を取得して²⁾、5000台以上の一般産業用減速機や製鉄所の圧延機に実用されている。この歯車は、一つの歯に歯末円弧と歯元円弧を有しピッチ点に対して点対称歯形であることからSymmetrical Arcからシンマーク歯車(日立製作所、商標)³⁾の商標で実用化されている。この歯車を便宜的にS-円弧歯車(S-Arc Gear)と呼ぶことにする。

英国の旧AEI社では、一つの歯に歯末か歯元円弧しかない非対称形の円弧歯車を浸炭焼入れ研削してヘリコプタの回転翼の最終減速歯車に実用開発を進めていて、採用を確定し、生産に入っている(推定されるK値15MPa)。

2. 円弧歯形の種類

円弧歯形の種類は、大別して図1に示す3種類である。

歯車	インボリュート	円弧歯形(W/N)	
	圧力角20° 並直	非対称形 (ノビコフ第1,2種, サーカーク)	対称形 (ノビコフ第3種, シンマーク)
基準ラック歯形			
同時接触線の形と移動方向			

Fig.1 Types of Arc Tooth Gear

旧ソ連では、第1種を小歯車が歯末円弧のみで、大歯車が歯元円弧のみである。第2種が第1種と反対で、小歯車が歯元円弧のみで大歯車が歯末円弧だけで構成されている。第3種は、一つの歯に歯末円弧と歯元円弧がある歯形である。S-円弧歯車は、ノービコフ第3種に属し、英国のサーカーク歯車は第1種に属する。旧ソ連では、主に第1種歯形が使われていた。

3. S-円弧歯車の歯形

S-円弧歯車の基準ラック歯形を図2に示す。歯末の円弧と歯元円弧があり、2つの円弧を結ぶ直線部から構成されている。円弧の中心はピッチ点にある。ピッチ線近傍の直線は、歯末円弧と歯元円弧を干渉させないためである。S-円弧歯車は、歯形の円弧中心がピッチ点に一致した瞬間にだけ円弧の接触線が生じ、つぎの瞬間離れる。したがって、円弧歯形歯車は、はすばで有る必要がある。歯のかみあい、接触線が歯すじ方向に転がり移動することによって行

Fig.2 Basic Rack of Symmetrical Arc Tooth Gear

われる。また、等速伝達を確保するためには、重なりかみあい率が対称形で0.5以上、非対称形で1以上であることが必要である。

4. S-円弧歯車の特徴

S-円弧歯車の一番の長所は、面圧に強いことである。歯たけに沿った円弧状の接触線が負荷されることによって歯すじ方向に大きく広がり大きな領域になり、面圧強度を高めるわけである。また、非対称円弧歯形に比べて、S-

円弧歯車は、0.5 軸方向ピッチ間隔で同時接触領域が存在するので強度的に上である。S-円弧歯車は、同時接触領域が歯すじに移動してかみあいが行われる。そのために、歯すじ方向の諸元（軸の平行度など含めた歯すじ方向誤差、重なりかみあい率、歯幅、ねじれ角など）を重視しなければならない^{4), 5)}。これは、インボリュート平歯車のかみあいに置き換えると正面歯形の諸元に相当する。

一方円弧歯車は、中心距離の誤差が負荷能力に敏感に影響するという問題がある。S-円弧歯車の中心距離と歯当たりの関係を図3に示す。中心距離が正規の状態 (Fig3-b)、時は、歯先から歯元に接触線が生じる。しかし、中心距離が正規の状態よりも短くなると歯先と歯元の2点当たりになり (Fig3-a)、長くなるとピッチ点近傍の1線当たりになる (Fig3-c)。このピッチ点近傍は、歯末円弧と歯元円弧を結び、干渉を避けるために短い直線（歯車としてはインボリュート曲線）部分になっており、表面疲れの弱い部分である。

Fig.3 Relation between Center Distance and Tooth Bearing

5. S-円弧歯形歯車の強度・性能

S-円弧歯車の強度をまとめると次の様になる。

5. 1 表面疲れ強さ⁶⁾

S-円弧歯車の特長は、表面疲労に強いことである。実験室では、インボリュート歯車の約3倍である。これは、歯末円弧（凸円弧）と歯元円弧（凹円弧）が相手歯車の歯元円弧と歯末円弧とかみあい、また、この接触領域が、負荷されることによって歯すじ方向に大きく広がるためである。また、油膜構成がし易い。これは、接触線（接触領域）の移動速度が速いためである（未検証）。

5. 2 曲げ強さ⁷⁾

曲げ強度は、インボリュート歯車の約1.3倍と余り強くない。これは、S-円弧歯車は歯文が約1.5モジュールと低歯であり、歯元の半径が大きく歯元の応力集中が緩和されるためである。その反面、歯車のかみあいが、インボリ

ュート歯車という片当たりに似ているからである。しかし、曲げ強さが問題になる高負荷では、接触領域が歯すじ方向に大きく広がり強くなる。また、S-円弧歯車は、最少歯数が7枚であるので、設計に当っては歯数を少なくしてモジュールを大きく取り、曲げ強さを上げることが出来る。

5. 3 騒音・振動

歯車の振動・騒音は、歯形とかみあいの特徴から、大きくする要因と小さくする要因があり、歯車諸元の取り方で決まる。特に重なりかみあい率の定め方が重要である。歯切りカッタの精度を高めて、適切な設計をすることによって、騒音レベルが以前より、実験室的には、6～10 dB(A)

Fig.4 Noise of S-Arc Gear

低下した。また、X-Yレコーダで回転速度と騒音レベルを同時記録した結果を図4に示すように、ピッチ円周速度が5～22 m/sの範囲で速度が上がっても騒音レベルの上昇が少ないことが確認されている。また、実機においても、騒音が高いという指摘と低いという指摘の、両方の話がある。ある形鋼の圧延メーカにS-円弧歯車減速機の調査に行った時に、顧客から、余りに静かなので、稼働しているのか、停止しているのか分からないので、怖いと言われたこともあった。周囲に設置されている他の減速機がうるさくて、S-円弧歯車減速機の直ぐ側に行かないと、運転されている音が聞こえないこともあった。

6. おわりに

以上、S-円弧歯車の強度・性能を定性的に述べたが、詳細は、参考文献を参照されれば幸いに思う。第2報では、これらの研究の裏付けにより、実機に採用したものの、追跡調査と予期しなかったトラブルに遭遇したことについて報告する。

参考文献

- 1) 保証：機械学会、第432回講習会（機械要素の最近の進歩）
- 2) 特許 No 254718 食い違い軸又は交差軸の円弧歯形捻れ歯車（1959）
- 3) 商標 No.929009 (R) シンマーク（1971）
- 4) 能上：機械学会、第8回シンポジウム（1975）
- 5) 能上、糟谷：機械設計（日刊工業新聞社）新しい歯車とその応用、第26巻第3号（1982）
- 6) 糟谷他3名：Journal of Mechanical Design Vol.1.103（1981）
- 7) 能上：機械学会、九州支部講演論文集（1974）