自動車用駆動装置の歯車*

Gear Noise Reduction of Automotive Power Transmission / Nobuteru HITOMI

Key words helical gear, hypoid gear, transaxle, planetary gear, transmission, final drive, noise, shaving, gear grinding, gear box, tooth contact analysis

1. 緒 論

自動車用駆動装置の歯車に対しては省エネルギーや居住性向上のための軽量・小型化にともなう強度や信頼性向上のほかに、特に滑らかさや静かさなどの快適性に対する要求が非常に強い。本稿では振動・騒音に対する設計・製造上の低減技術について述へたい。

2. はすば歯車の低騒音技術

歯車のかみあいによって発生するキアノイズは周波数の比較的高い澄んだ音であるために、音圧レベルとしてはさほど高くはないにもかかわらず不快な音として指摘されることが多い。またこれは、ある特定の車速で発生しているために起振源である歯車だけの問題でなく、駆動系の曲げ、ねじり、車体への振動伝達、放射伝達など多くの問題が複雑に絡んだものである。

2.1 はすば歯車の低騒音設計

歯車の振動については起振力特性解析として多くの研究がなされてきているが、歯車の諸元に対してこの起振力特性がどう変化するかを見た例が図1である。これによると低い起振力を得るためには、正面かみあい率1.60の方か2.38の歯形よりも加工時の誤差に対して伝達誤差が鈍感なために、量産歯車としてはより適切であることがわかる。このようなことから近年、最適な歯車設計という立場から強度や音振性能を重視して圧力角やモジュールなど規格にとらわれない自由な値を選択するような傾向も見えてきた。

また歯当たりも低騒音化には重要な要素であり、歯

面上のかみあい進行方向に歯当たりをつけるハイスイン当たりや¹⁾、歯面のかみあい終わり側に当たりをつける²⁾などの工夫がされている。

円筒歯車は軸が互いに平行になるように設計されているわけであるが、歯車に負荷がかかると軸と歯車の位置が変化するためにあたかも歯車自体に誤差があったように挙動する。これに対処するために軸の曲げ剛性の向上、軸受すきまの管理、アライメント変化を見越した歯面の修正などが重要となる³⁾。

キアノイズは以上述へたように多くの要因の影響を受けるが、その寄与率を実験的に分析してみると⁴⁾、起振力に対する歯形精度の寄与率は70%であり、歯

実効歯面形状誤差 ϵ_{eff} (μm)
歯数 50×51, モジュール 2.1, 圧力角 14.5°,
ねじれ角 31.5°

図1 正面かみあい率の誤差感度

* 原稿受付 平成4年5月15日

** 日産自動車(株)総合研究所 (横須賀市夏島町1)

(a) 位相差を持たない遊星歯車

(b) 位相差を持つ遊星歯車

(a) は歯数 $33 \times 21 \times 75$, (b) は歯数 $42 \times 17 \times 75$ の組合せで運転手の耳位置のマイクロフォンでデータ取得

図2 位相差と遊星歯車のノイズ

車の精度向上は非常に重要であることがわかる。

2.2 遊星歯車の低騒音設計

自動変速機用の遊星歯車のギアノイズは複数ある遊星歯車要素の配置の仕方です。サンギアに対する位相差をつけることにより、かみあっている歯の総合剛性を均一化して起振力を低減することが可能である。

実際に自動変速機の遊星歯車で、この状況を実験的に確かめると図2のようになった。すなわち(a)の位相差のない配置の遊星歯車の場合、音圧レベルの高い並歯に対して高かみあい率の高歯は10 dB以上伝達誤差が低くなっている。また(b)の位相差をもった場合は並歯も高歯も同じような低い音圧であり、その差も少ない⁵⁾ので、位相差をつける設計法は低騒音遊星歯車装置として有効なことがわかる。

3. 歯車箱の形状

非常に狭いエンジンルームの中に組み込まれるトランスアクスルであるために、極力小型軽量でギアノイズが発生しにくく、またエンジンからのノイズも伝達しにくい構造であることが望まれる。

図3 箱形状と固有振動数

ギアノイズと歯車箱の基本形状との関係を求めるために、断面形状を矩形、楕円、蔴形それぞれの場合について計算と実験によって固有値を求めると図3のようになった。これは蔴形箱の場合その側面のうねり面が面振動を押さえた剛性の高い箱形状に寄与することがわかる。歯車箱としては単純面構成よりも複合された曲面を用いる方が良いという結果が得られ、またリブも適切な場所に付けることでギアノイズ低減に効果があることが確認されている⁶⁾。

エンジンブロックに変速機のクラッチハウジングを全周でボルト結合するためにアルミオイルパンを含めて一体に結合したトータルシェル構造とすることにより、エンジンの曲げ共振の振動モードとレベルを合わせて改善⁷⁾した例もある。

4. 歯車の高精度加工

設計的に低騒音目標歯形を設定してもこれを実際実現するためには生産技術的な改良工夫が必須である。

4.1 シェービングカッタの高精度研削

一般に自動車用の歯車は歯切り加工後にシェービング仕上げを行い、浸炭焼入れをして歯面として完成するという工程がとられているが、歯形の熱処理変形を事前に折り込んでシェービングしなければならない。Maagのトポロジカル研削盤と三次元測定機による歯面と切れ刃面データとをEWSで結んで適正修正量を迅速に決定するシステムが開発されている⁴⁾。

4.2 熱処理

図4 ハイポイドギアの回伝伝達誤差

シェービング加工の時に前もって修正を入れてはいるが、熱処理ひずみをできるだけ小さく押さえる工夫がされている。マルクエンチ法などにより、従来に比べて約半分の熱処理ひずみに押さえ低騒音化に大きく寄与した例も報告されている⁴⁾。

4.3 歯車研削加工

従来は歯研は時間がかかるのでマスプロにはのらないものであったが、近年になって高速歯車研削機が開発されてきたために、例えば Reishauer の RZP 型高速歯車研削機で研削し、Faesler のホーニング盤で仕上げをするという工程で、ほぼ真のインポリュートに近い歯形と良好なクラウニングを量産レベルで実現している。

5. ハイポイドギアの低騒音設計

ハイポイドギアの場合も低騒音化の設計の方向ははすばと基本的に変わることはなく、ファインピッチ化、低圧力角や高歯の採用が現実的な改良策となる⁹⁾。

歯切り盤の座標系を基準に計算機上で歯形を発生させ、さらに計算上のギアセットをかみ合わせて、かみ合い伝達誤差を計算すると図4のようになる¹⁰⁾。計算伝達誤差と実機での起振力とはかなりよい相関を示すので、設計段階でも歯切り段取りとの関連でデフノイズ低減手段を打つことができる。

6. ハイポイドギアの高精度加工

Gleason 社では6軸フルCNC式の PHOENIX 歯切り盤を開発し¹¹⁾、従来機械構造上の制約によってできなかったフェースホブなどの歯切りも自由できるようになり、ギアトレーンの影響による高次成分の問題も解消できるなどのメリットが大きい。さらに、カップ型の GC ビトリファイド砥石を用いて歯筋を創成研削する方式の研削盤も開発した¹²⁾。

一方、Oerlikon 社では中間歯形をもつ CBN 砥石による歯研方式¹³⁾を開発し、フェースホブ切り等高歯歯ハイポイドの良好な歯面を得ている。研削歯面によ

る低騒音化への寄与が今後大いに期待されるところである。

7. 結 言

歯車に対する高性能化の要求は周囲の技術の進歩とともに、さらに高度なものになっていくという過去の歴史が今後も継続されるに違いない。

自動車用駆動装置の歯車の設計・製造技術は工作機械の進歩などの外的要因と各社の地道な努力の積み重ねにより、さらに着実な進歩をすることを期待してやまない。

参 考 文 献

- 1) 川崎芳樹：自動車変速機用歯車の生産動向，自動車技術，45，5（1991）73。
- 2) 丸山 昇ほか：はすば歯車のリード誤差の向きと歯車特性，日産技報論文集，（1989）60。
- 3) 鈴木登志夫ほか：動力伝達用はすば歯車の平行度誤差と振動挙動，日本機械学会論文集（C），52，477（1986）1595。
- 4) 鈴木義友：自動車における変速装置用歯車製造の現状，応用機械工学，（1991.9）70。
- 5) T. Katoh et al.: Loaded Transmission Error in a Planetary Gear System, Proc. MPT '91, (Nov. 1992) 530。
- 6) 森川邦彦：自動車用歯車振動特性の基礎的検討，日本機械学会 67 期講演論文集（C），（1990.3）305。
- 7) 渋谷広彦：トータルシエル構造パワープラントによる加速時の音質向上，自動車技術会前刷集，No. 882119，63-10。
- 8) T. Nishino: CAD/CAM System for Grinding Shaving Cutter, Proc. MPT '91, (Nov. 1992) 333。
- 9) M. Sugimoto et al.: Effect of Tooth Contact and Gear Dimension on Transmission Errors of Loaded Hypoid Gears, Trans. ASME, 113, (June 1991) 182。
- 10) 杉本正毅ほか：ハイポイドギアのトポロジカル歯当たり解析，日本機械学会前刷集（vE），No. 900-59，（1990.9）19。
- 11) 近野通明：かさ歯車加工機械（2），歯車工業会創立 50 周年記念誌 五十年の歩み，歯車工業会，（1990.2）151。
- 12) T. Krenzer: CNC Bevel Gear Generators and Flared Cup Formate Gear Grinding, AGMA Tech. Paper, (Oct. 1991) 91 FTM 1。
- 13) 自動車用歯車製造プロセスの課題，日本機械学会研究協力部会 RC 81 歯車装置の性能の予測と把握に関する調査研究分科会，研究成果報告書（1989.6）160。

■ 著者紹介

1964 年東北大学精密工学専攻修士課程修了。同年日産自動車（株）に入社。現在，同社総合研究所動力機構研究所主管研究員として，主に新変速機などの駆動系の研究を担当し，研究試作技術部主管を兼務し加工技術研究を担当