平歯車の設計及び接触強度の数値解析法

Design and Strength analysis of spur gears with errors and tooth modifications

Dr. Shuting Li

1. 概要

歯車の歯面接触強度と歯元曲げ強度に多くの影響を及ぼしている。例えば、同時にかみあう歯の枚数、 歯面修整、歯面加工誤差、組立誤差などの要因がある。これらの要因は歯車の歯の接触強度に具体的にど のように影響を及ぼしているかという問題を理論上で研究しようとしたら、コンピューターを用いた難 しい数値解析技術が必要となるので、この問題は殆ど研究されていなかった。この問題を研究するため に、1990 年ごろから筆者は三次元有限要素法(3D-FEM)を用いた一対の歯車の接触問題を解析するた めの数値解析法の構築とソフト開発に関する研究を始めた。長年の研究を重ねて、ついにこの問題を解 決することができた。ここで、この研究で得られた結果を紹介し、研究の詳細については参考文献⁽¹⁻³⁾ をご参照ください。

2. 一対の平歯車の設計計算ソフトの開発

歯車を簡単に設計できるようにするために、図1に示すように、筆者は一対の外平歯車の設計計算ソ フトを開発した。このソフトの「入力」部に歯車諸元を入力し、「計算」というコマンドを押せば、「出力」 部に示すようにソフトで計算した結果が出力される。また図2に示すように設計計算した歯車の様子が AutoCADの製図テンプレートに出図される。設計ソフトは内歯車のためのものも開発された。図3は設 計計算した内歯車の様子の一例である。

1ノホリユート曲線作成ソフト(外圏単-外圏単)						
計算終了		外歯車1	外歯車2	- 出力		
・歯車1	モジュール(m)	2			外歯車1	外歯車2
○歯車2	圧力角(度)	20		歯先円直径(mm)	45.650	45.650
○歯車1と2	歯数	20	20	ピッチ円直径(mm)	40.000	40.000
転位係数(×1 & ×2) 高歯係数 頂げき係数		0.25	0.25	かみあいピッチ円(mm)	40.925	40.925
		0.2		歯底円直径(mm)	38.140	38.140
				基礎円直径(mm)	37.588	37.588
		0.25		かみあい圧力角度(度)	23.2	99
ラックピッチ線上の歯厚係数		0.4		中心間距離(mm)	40.9	25
刃物歯先R係数		0.375		かみあい率	1.64	6
				マタギ歯数	3.0	3.0
「「「」」「「」」」(「」」)」(「」)」)」) 「「」」)」				マタギ歯厚(mm)	15.6629	15.6629
インボリュート曲線の分割点数		10		理論ピン径(mm)	3.7811	3.7811
歯元隅肉曲線の分割点数		5		OPM(偶数歯)	46.5939	46.5939
○推薦ピン使用	ピン径(mm)			OPM(奇数歯)	46.4620	46.4620

図1 一対の外平歯車の設計計算ソフト

文責:島根大学総合理工学部機械設計研究室教授 李 樹庭 2023 年 8 月 22 日 Email: shutingnpu@yahoo.co.jp



設計計算した一対の外平歯車のかみあい様子(AutoCAD ソフトで描かれた) 図 2



設計計算した内平歯車のかみあい様子(AutoCAD ソフトで描かれた) 図3

3. 一対の外平歯車の接触強度の数値解析

歯面修整、歯面加工誤差及び組立誤差を考慮した場合には、筆者が開発した専用三次元有限要素法ソ フトを用いて、一対の平歯車接触強度を解析した。ここで計算した歯面面圧を簡単に紹介し、歯元曲げ応 力や研究の詳細について、参考文献⁽¹⁻³⁾をご参照ください。

図 4(a)に一対の外平歯車の接触解析のための FEM モデルを、図 4(b)に歯のかみあい様子を示してい る。図5に歯面の接触領域を示している。図5に示すように赤い斜線でハッチングした部分は歯の接触 問題を解析するために用いたエリアであり、接触領域と呼ばれる。X 軸は歯すじ方向、Y 軸は歯形方向を 表している。

図6は理想歯車(加工誤差、組立誤差、歯形修整のない歯車)の歯面面圧分布の等高線図である。図7 は測定したホブ切りされた平歯車の実際の歯面形状 (歯面加工誤差)である。この歯面形状を用いて歯車 の接触強度を解析すると、図6に示す歯面面圧は図7に示す結果となる。従って、歯面加工誤差は歯面面 圧分布に大きな影響を与えていることが分かる。

 文責:島根大学総合理工学部機械設計研究室教授 李 樹庭

 2023 年 8 月 22 日 Email: shutingnpu@yahoo.co.jp



(a) 3 D-FEM モデル



図4 一対の平歯車の接触解析用3D-FEMモデル



図5 歯面における接触解析の領域(X軸=歯すじ; Y軸=歯形)



図6 理想歯車の接触領域における歯面面圧分布の等高線図



図7 ホブ切りした平歯車の歯面加工誤差の測定値



図8 歯面加工誤差を考慮した場合の歯面面圧分布の等高線図

図9に歯車にミスアライメント誤差がある時の歯の接触様子を示している。このミスアライメント誤差を考慮して歯の 接触強度を解析すると、歯面面圧は図6から図10に示すように変わった。



図9 ミスアライメント誤差がある時の歯の接触様子



図10 ミスアライメント誤差がある時の歯面接触面圧分布

図11に歯の歯すじをクラウニングする様子を示している。歯の歯すじをクラウニングした場合に は、歯車の歯面面圧は図6から図12に示すように変わった。



図11 歯すじクラウニング修整の様子



図12 歯すじがクラウニング修整された歯車の歯面接触面圧分布

文責:島根大学総合理工学部機械設計研究室教授 李 樹庭

2023年8月22日 Email: shutingnpu@yahoo.co.jp

図13に歯の歯形を修整する様子を示している。図13に示すように歯形を修整した場合には、歯面 面圧分布は図14から図15に示すように変わった。(図14以後の結果は別諸元の歯車で解析された ものである)



図13 歯形修整の様子







図15 歯形修整後の歯面接触面圧分布の等高線図

文責:島根大学総合理工学部機械設計研究室教授 李 樹庭

2023年8月22日 Email: shutingnpu@yahoo.co.jp

図16に歯すじをレリービングする様子を示している。面取りみたいで歯すじをレリービングする場 合には、レリービング直線と歯すじ直線との交点に丸みをつけていないため、歯面面圧は図14から図 17に示すように変わった。図17より、二つの交点部において、エッジロードが発生していることが 分かった。二つの交点で形状が尖らないようにするめたに、円弧でレリービング直線と歯すじ直線を滑 らかに連結すれば、歯面面圧は図17から図18に示すように変わった。



Quantity of relieving

図16 歯すじレリービング修整の様子



図17 歯すじレリービング後の歯面面圧分布(交点で尖る場合)



図18 歯すじレリービング後の歯面面圧分布(交点で尖らない場合)

参考文献:

- (1) Shuting Li, "Finite element analyses for contact strength and bending strength of a pair of spur gear with machining errors, assembly errors and tooth modifications", Mechanism and Machine Theory, Elsevier Press, Vol.42, Issue 1, pp.88-114, 2007
- (2) Shuting Li, "Effects of machining errors, assembly errors and tooth modifications on load-carrying capacity, load-sharing rate and transmission error of a pair of spur gear", Mechanism and Machine Theory, Elsevier Press, Vol.42, Issue 6, pp.698-726, 2007
- (3) Shuting Li, "Effects of misalignment error, tooth modifications and transmitted torque on tooth engagements of a pair of spur gears", Mechanism and Machine Theory, Elsevier Press, Vol. 83, 2015, pp.125-136