

2 プラスチック歯車歯のたわみの粘弾性 FEM 解析

Viscoelastic FEM Analysis of Deflection of Teeth of a Plastic Spur Gear

○学 藤川 正毅・青学大

Masaki FUJIKAWA, Aoyama University

正 隆 雅久・青学大

Masahisa TAKASHI, Aoyama University

村澤 剛・青学大

Go MURASAWA, Aoyama University

Key Words: Plastic Spur Gear, Strain, Nylon, Finite Element Method, Viscoelasticity

1. はじめに

プラスチック歯車は、OA 機器、AV 機器を始め様々なものに使用されている。しかし、金属歯車と比べ著しく弾性率が低いことから動力伝達時の歯のたわみの評価は非常に重要である。すでにいくつかの論文⁽¹⁾⁽²⁾では、プラスチック歯車の歯のたわみ挙動を実験的⁽²⁾に、または数値解析的⁽⁴⁾⁽⁵⁾に議論している。その多くで、プラスチック歯車を弾性体と仮定する、または3要素や5要素のマクスウェルモデルやフォークトモデルを用いて⁽²⁾歯のたわみや歯元のひずみについての検討をしている。しかし、それらのモデルの妥当性については検証がほとんどなされていない。

そこで本研究ではプラスチック歯車に用いられる材料の一つであるナイロンの動的粘弾性物性を実験より求め、これを一般化マクスウェルモデル表示して組み込んだ数種類の要素モデルについて有限要素解析(以後 FEM)することで、それらモデルの妥当性について検討をおこなう。

2. 解析方法

2-1 粘弾性物性の計測

ナイロンの粘弾性物性の計測をレオメトリック・サイエンティフィック・エフ・イー株式会社 の Rsa2 を用いて計測をおこなった。試験片寸法は、薄平板(10×35×1mm)を用い、チャック間距離を25mmとした。温度範囲は203~423Kの間で10K 間隔に温度を上昇させていき、各温度において周波数0.1,1,3.16,10,31.6,100[rad/s]で振動ひずみを入力することで貯蔵モジュラス、損失モジュラスの測定をおこなった。実験結果より常温(20℃)を基準とし作成したマスター曲線を Fig1 に示す。

2-2 解析条件

プラスチック歯車の非圧縮性を仮定し、動力伝達は厚さ方向への対称性を考慮して平均平面応力状態とした。Fig2, Table1 に境界条件と歯車の寸法を示す。解析対象の歯車の中心で、駆動側の歯車に強制角変位を与え、上側の歯車にトルクを与えることで歯車の動力伝達とした。また、粘弾性挙動の影響のみに注目をするために、歯車の慣性力を除外して解析をおこなった。

Fig1 の粘弾性挙動を歯車解析に組み込むために、コロケーション法を用いてプローニ級数近似をおこなった。その際、粘弾性挙動を全域にわたって再現できるように55要素マクスウェルモデルを用いた。

次に、歯車のたわみ、歯元ひずみ解析をおこなう際の粘弾性モデルの要素数への影響を調べるために、もう一つのマクスウェルモデルを作成する。モデルの違いによる影響がわかり易いようにここでは3要素のマクスウェルモデルを用いる。その際、瞬間的な応答を上限に取り、歯車の歯一枚がかみ合っている時間を下限とする範囲内でプローニ級数近似をおこなった。

その近似曲線を Fig3 に示す。

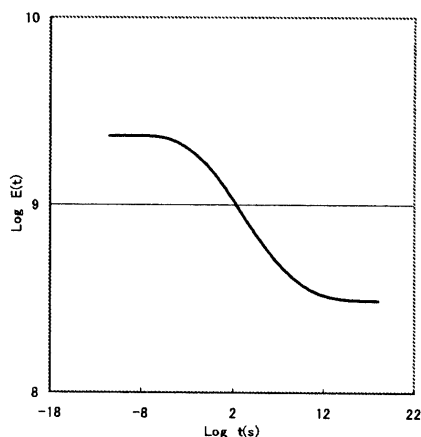


Fig 1. Master Curve of Nylon

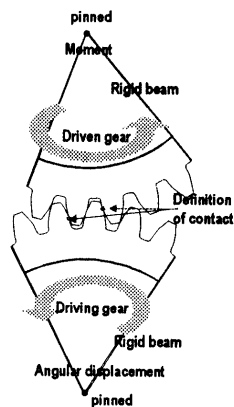


Fig2. Boundary Condition

Table1. Mechanical Property

module	5	mm
Pressure Angle	20	deg
Number of Teeth	30	
Face Width	5	mm
Pisson's Ratio	0.499	

3. 解析結果

3-1 常温温度下での歯車の歯元ひずみ解析

ここで 55 要素マクスウェルモデルを用いて、歯車の回転数の変化が歯車の歯元のひずみに及ぼす影響について解析をおこなった。同時に弾性体近似の妥当性の検証もおこなう。一様温度場(20°C)とし、回転速度 1500, 150, 15[rpm]の3種について解析をおこなった。また、トルクは 1500[Nmm]として解析をおこなった。解析結果を Fig5 に示す。

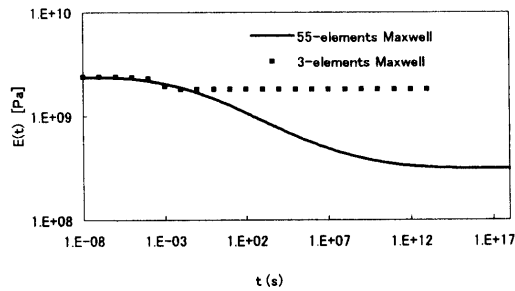


Fig3. Plony series approximation

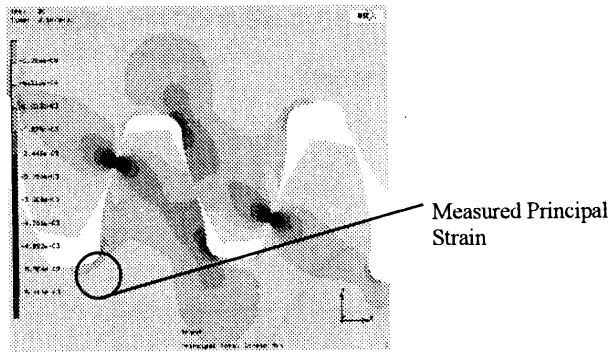


Fig4. Definition of strain and deflection

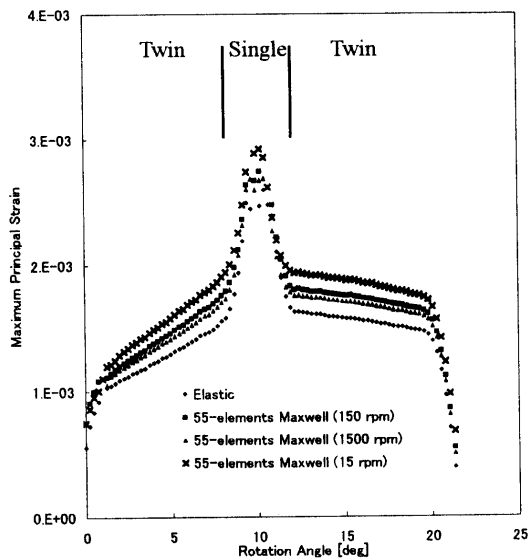


Fig5. Relationships between Maximum Principal Strain and Rotation angle

解析結果より、本研究のナイロンを用いた歯車は動力を伝達する際、常温温度下ですでに粘弾性挙動の影響が見て取れる。つまり、プラスチック歯車を弾性体と仮定した場合の主ひずみは粘弾性を考慮したものと比べ明らかに違う傾向を示し、回転速度が小さくなるにつれて誤差が大きくなる。このことから、プラスチック歯車を解析する場合にはプラスチック特有の粘弾性挙動を考慮した解析が必要であることが見て取れる。

次に、Fig6,7にプラスチック歯車を 55 要素マクスウェルモデル、3 要素マクスウェルモデルの 2 パターンについて Fig5 と同様に歯元主ひずみ解析をおこなった。それぞれ回転数を 150,1500rpm とする。解析結果から 3 要素、55 要素モデルではほぼ一致する結果が得られた。これは、常温で 150rpm, 1500rpm の回転数の範囲内ではまだ粘弾性の影響が小さく単純であるため、比較的小さい要素数を用いたマクスウェルモデルでも近似可能であることを示す。

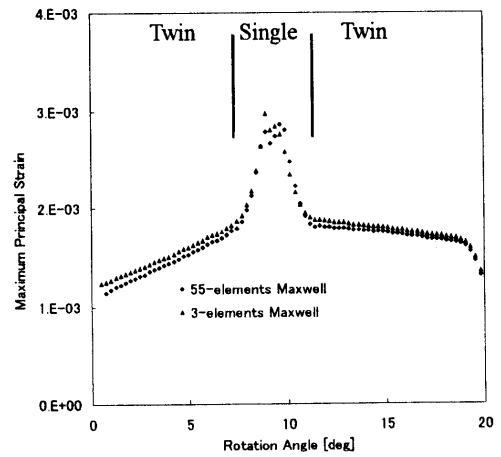


Fig6. Relationships between Maximum Principal Strain and Rotation angle on 150rpm

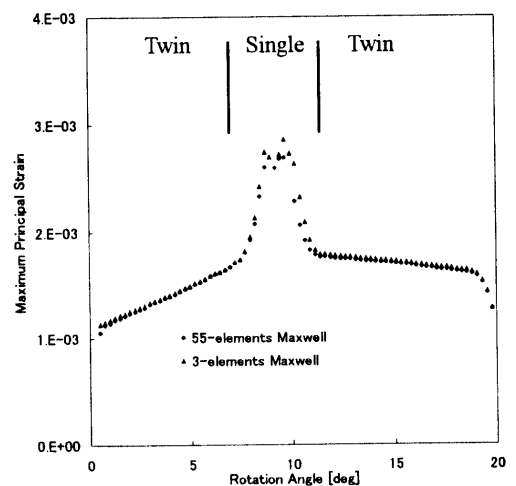


Fig7. Relationships between Maximum Principal Strain And Rotation angle on 1500rpm

3-2 高温温度下での歯車の歯元ひずみ解析

雰囲気温度を 80°C とし 3-1 と同様の手順で FEM 解析をおこなった。結果を Fig8~10 に示す。尚、高温領域であることから弾性率の低下が予想されたためトルクを 150[Nmm] に下げて解析をおこなった。

高温温度場では、全体的に常温と比べ 3 要素マクスウェルモデルと 55 要素モデルの解析結果にばらつきが大きい。特に接触はじめに誤差が大きく生じる。これは、粘弾性領域でクリープ現象を十分表現しきれていないことを意味する。

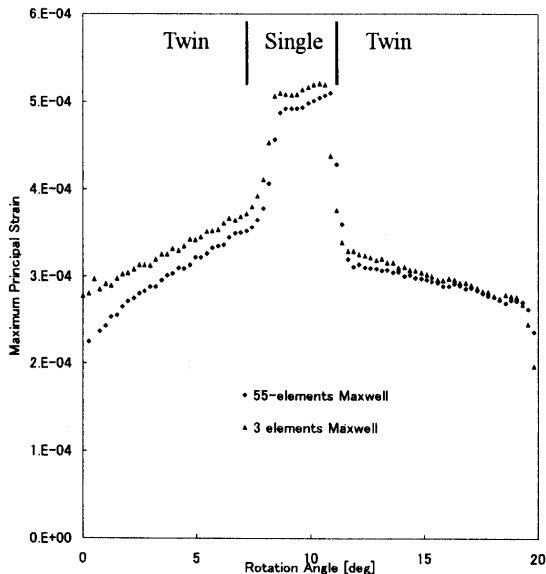


Fig8. Relationships between Maximum Principal Strain and Rotation angle on 150rpm

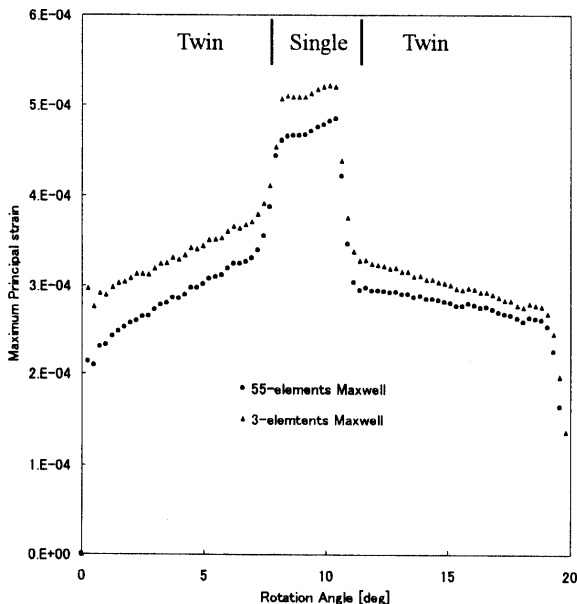


Fig9. Relationships between Maximum Principal Strain and Rotation angle on 1500rpm

以上の結果から、高温温度場、つまり粘弾性による影響が大きいときはプラスチック歯車を正確に解析するには 3 要素のような単純な要素マクスウェルモデルでは不十分である結果が見てとれた。また、3 要素モデルなどを用いた場合には回転数により誤差が大きく現れ汎用性にかけると思われる。

4. 結果

プラスチック歯車材料として一般的に用いられている材料の一つであるナイロンの動的粘弾性物性を実験的に求め、実験値を用いてプラスチック歯車の歯元のひずみを 55 要素マクスウェルモデル、3 要素マクスウェルモデル、弾性体モデルとし FEM 解析をおこなった。

I) 常温での歯車の動力伝達では粘弾性の影響がほとんど無いと考えられていた例もあるが、今回のナイロンの場合には粘弾性挙動を示し弾性体のモデル近似では不適合である結論にいたった。今回常温に限り 150~1500rpm のものであれば 3 要素モデルほどでの近似でも精度よく近似できた。

II) 雰囲気温度が高温になると、特に、歯車の歯の接触開始時に解析結果にばらつきが見られた。この事より、粘弾性領域が顕著な付近では単純な 3 要素マクスウェルモデルなどの単純なモデルでは解析不十分であることがわかった。

今回の解析は一様温度場を仮定して解析をおこなっている。しかし実際にはプラスチック材料は繰り返し負荷を受けることで発熱をすることが知られている。歯車の歯にも長時間動力伝達をする時にはプラスチック歯車の歯面や歯元から繰り返し負荷の影響で発熱し温度が上昇することで粘弾性領域に入ってしまうことは十分に考えられる。以上のことから、プラスチック歯車のような一枚の歯の接触時間が非常に短い場合でも、マスター曲線から広い領域に渡ってローニ級数近似することは必要不可欠ではないかと考えられる。

5. 参考文献

- (1)V.G.Sfakitokis, Numerical simulation of conjugate spur gear action ,computers and structures 79,1153-1160,2001
- (2)小林 公一 等, プラスチック歯車の歯のたわみシミュレーション, 日本機械学会論文集(C編)65巻, 634号, 2480-2485, 1999
- (3)D Walton, A note on tip relief and backlash allowances in non-metallic gears, Proc Instn Mech Engrs Vol209,383-388,1995
- (4) M H Arafa, Evaluation of spur gear mesh compliance using the finite element method, C08797, ImechE 569-579, 199
- (5)M.Celik, Comparison of three teeth and whole body models in spur gear analysis, mechanism and machine theory, 34,1227-1235,1999