

[付録 : J]

伝達誤差解析例

J.1 実験装置

黒河, 有浦の研究「歯車の負荷時高精度かみ合い誤差測定に関する研究」⁽¹⁾の成果と CT-FEM Opera の解析結果を比較した。

実験装置は, 図 J.1 に示す動力循環式歯車運転試験機であり, 伝達誤差計測用のエンコーダは分解能 1 秒を有している。

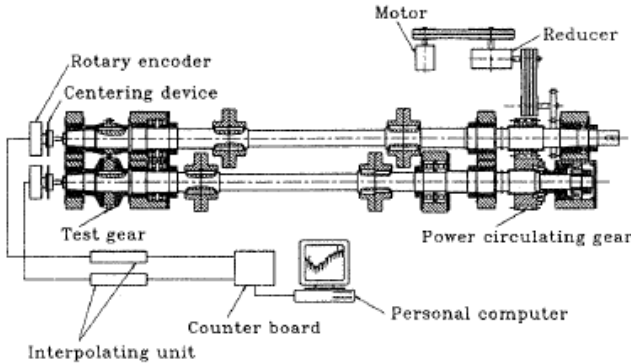


図 J.1 実験装置

J.2 実験結果と伝達誤差解析結果の比較

実験に供した歯車は図 J.2 の諸元を持つ歯車であり歯車精度は, JIS B 1702(1998)0 級の歯研削歯車である。伝達誤差は, 単位歯幅当たりの荷重を 8~784 (N/mm)として7種類の荷重を与え, そのときの伝達誤差を計測している。図 J.3 は 147(N/mm)の例を示している。

図 J.2 歯車諸元

図 J.3 トルク設定

CT-FEM Opera ソフトウェアで解析する際, 図 J.1 の試料歯車を支持する軸受間距離が 240mm あることから荷重が作用する際, 軸変位が発生することを想定し解析した。トルクと軸変位, そして伝達誤差の実験値と解析結果を表 J.1 および図 J.4 に示す。

図 J.4 の荷重 200(N/mm)より大きい領域では歯実験と解析は良く一致している。しかし, これより小さい領域では実験と解析結

表 J.1 伝達誤差解析結果

No.	単位荷重(N/mm)	トルク(Nm)	実験値(sec)	軸変位(sec)	解析結果(sec)
<1>	8	18.7	4.0	7.42	0.76
<2>	98	229.5	4.7	8.06	5.94
<3>	147	344	5.6	12.1	6.62
<4>	196	459	7.9	16.1	7.13
<5>	392	918	8.8	32.1	9.11
<6>	637	1492	11.2	52.2	11.7
<7>	784	1836	13.0	64.1	13.2

果は一致していない。この理由は, 実験の荷重が 8(N/mm)において TE=4(sec) である理由は, 歯形誤差や歯面粗さが表れていると考えられる。

図 J.5 に実験結果と解析結果の伝達誤差を重ね合わせた図を示すが, 両者は良く一致した結果となっている。図中に示す赤色の縦線は, 実験の目盛 20sec に合わせている。

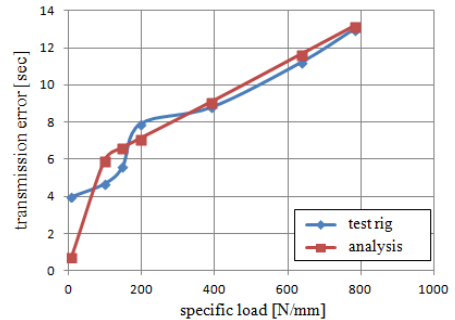


図 J.4 伝達誤差最大値 (実験と解析)

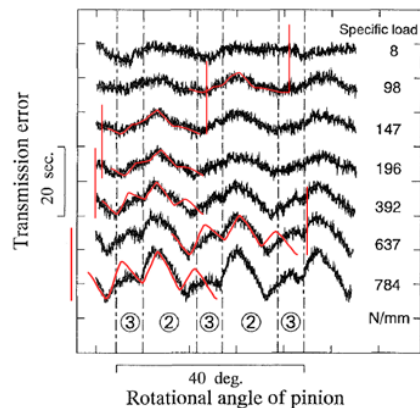


Fig.9 Transmission errors under several loads
図 J.5 伝達誤差 (実験と解析)

J.3 歯面形状と歯面粗さを考慮した伝達誤差

J.3.1 平歯車 (無修整)

実験に供した歯車諸元を図 J.6 に歯面形状を図 J.7 に示す。伝達誤差は, 単位歯幅当たりの荷重を 22~392 (N/mm)として7種類の荷重を与えている。伝達誤差解析をする際は, 歯面形状を図 J.8 のように与えた。実験と解析による伝達誤差結果を図 J.9 に示すが, 両者は良く一致している。

図 J.6 歯車諸元

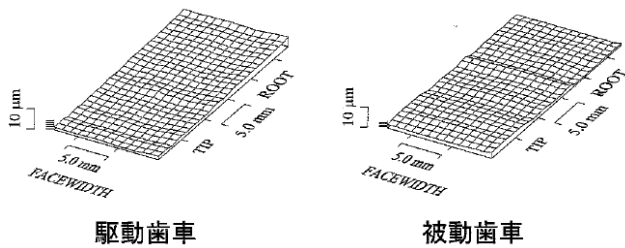
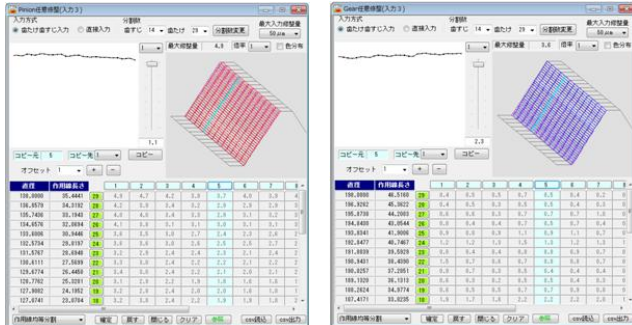


図 J.7 歯面形状



(a)ピニオン (b)ギヤ
図 J.8 歯形誤差 (Excel データ読み込み)

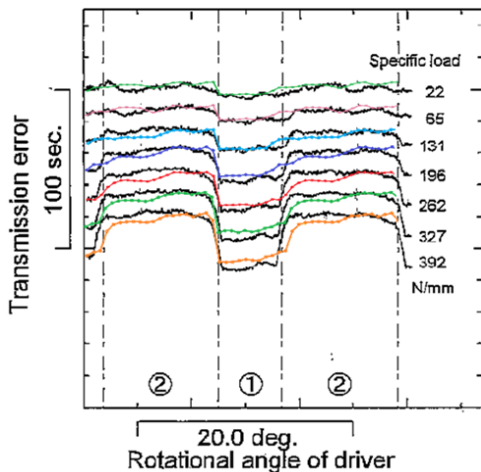


図 J.9 伝達誤差 (実験と解析)

J.3.2 平歯車 (歯先修整)

歯車諸元は、図 J.6 と同じであり、伝達誤差は、単位歯幅当たりの荷重を 22~654 (N/mm)として 11 種類の負荷を与えている。伝達誤差解析をする際は、歯面形状を図 J.10 のように与えた。実験と解析による伝達誤差結果を図 J.12 に示すが、両者は良く一致している。

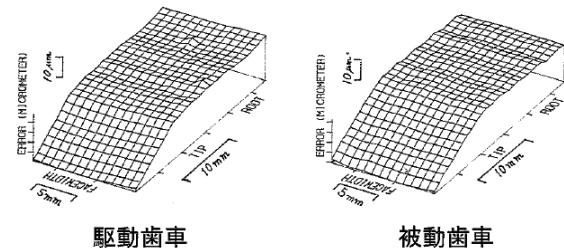
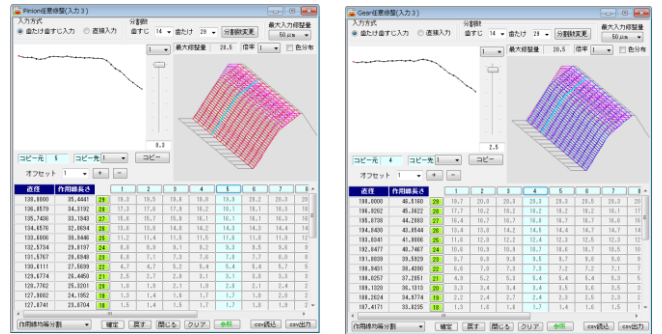


図 J.10 修整歯形



(a)ピニオン (b)ギヤ
図 J.11 歯形誤差 (Excel データ読み込み)

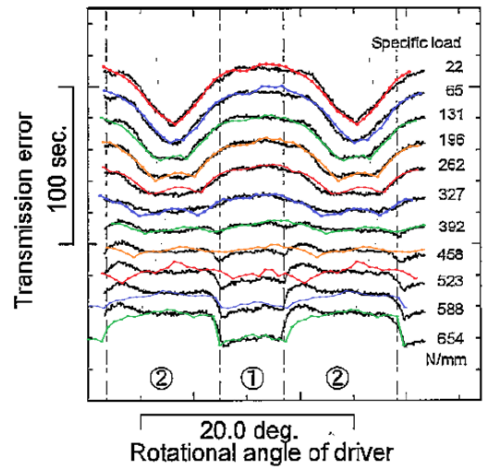


図 J.12 伝達誤差 (実験と解析)

J.3.3 はすば歯車 (無修整)

歯車諸元は、図 J.2 と同じであり、伝達誤差は、単位歯幅当たりの荷重を 8~650 (N/mm)として 16 種類の負荷を与えている。伝達誤差解析時の歯面形状を図 J.14 のように与えた。実験と解析による伝達誤差結果を図 J.15 に示すが、両者は良く一致している。また、図 J.16 に拡大波形を示すが、実験と解析結果は良く一致している。

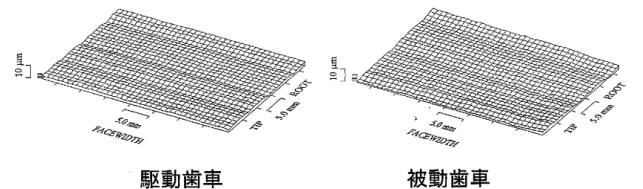
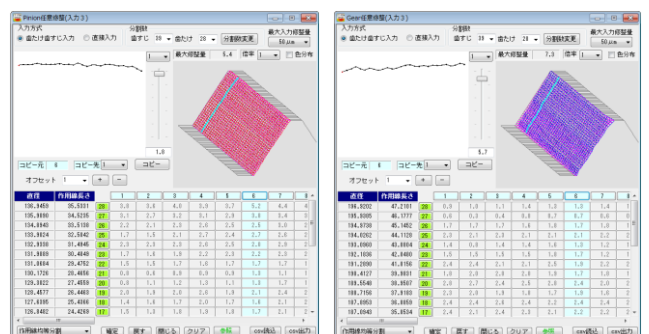


図 J.13 歯面形状



(a)ピニオン (b)ギヤ
図 J.14 歯形誤差 (Excel データ読み込み)

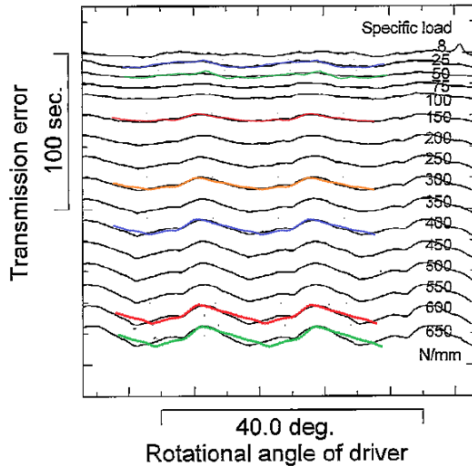


図 J.15 伝達誤差 (実験と解析)

ている。ただし、負荷による影響を考慮し表 J.2 のように食い違い誤差を与えている。

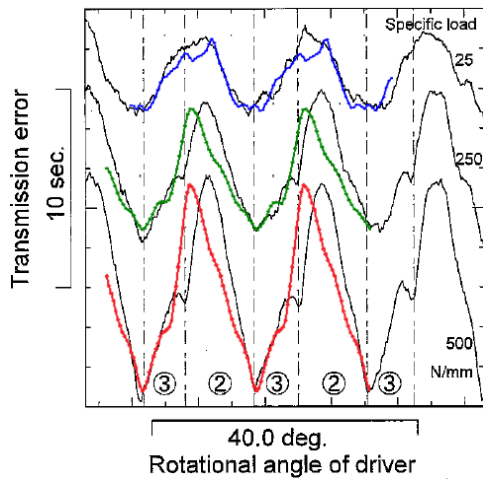


図 J.16 伝達誤差 (実験と解析)

表 J.2 伝達誤差解析結果

N/mm	TE _{max}		食い違い φ ₁ (deg)
	実験値(s)	解析(s)	
25	3.92	3.31	0.001
250	7.06	6.23	0.003
500	10.7	10.4	0.005

J.4 まとめ

- (1) 伝達誤差の実験と解析結果は、良く一致した。
- (2) ソフトウェア解析により、ほぼ確かな伝達誤差を予測することができた。

参考文献

- (1) 黒河, 有浦, 歯車の負荷時高精度かみ合い誤差測定に関する研究, 機論 C, 1998-7, pp.408-415
- (2) CT-FEM Opera, 歯車応力解析ソフトウェア, アムテック, (2014)

[付録: K] 動力損失解析例

K.1 概要

歯車の基礎と設計 (成瀬著)⁽¹⁾に掲載されている平歯車のかみ合い損失率と平均滑り速度との関係の実験を基に, CT-FEM Opera⁽²⁾で解析した。その結果を以下に示す。

項目	記号	単位	数値 (Pinion)	数値 (Gear)
モジュール	m	mm	2.7500	
歯数	z		33	33
圧力角	αn	deg	20.0000	
ねじれ角	β	deg	0	0
ねじれ方向			0	0.00
基礎円直径	d	mm	80.7500	80.7500
歯厚入力方式			転位係数	転位係数
歯厚内転係数	xn		0.14100	0.14100
またぎ歯数	Za		*****	*****
またぎ歯厚	F	mm	*****	*****
オーバーピン径	dp	mm	*****	*****
オーバーピン寸法	da	mm	*****	*****
転位量	xm		*****	*****
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
中心距離	a	mm	81.5026	
歯先円直径	da	mm	97.0255	97.0255
歯厚円直径	df	mm	84.6505	84.6505
歯元径(工具先径)	Rf	mm	1.0313	1.0313
歯幅	b	mm	20.0000	20.0000

図 K.1 歯車諸元

項目	記号	単位	Pinion	Gear
最大歯面力	σHmax	MPa	559,425	
トルク	T	Nm	300.00	300.00
動力	P	kW	65.245	
回転速度	n	1/min	2000.000	2000.000
滑速	v	m/s	9.365	
歯面粗さ(最大高さ)	Rz	μm	1.000	1.000
歯面粗さ(平均)	Ra	μm	0.200	0.200
材料名			Cr鋼(1Cr)	Cr鋼(1Cr)
比重	ρ	g/cm ³	7.870	7.870
比熱	CM	J/(g°C)	481.000	481.000
熱伝導率	λ	W/mK	60.000	60.000
歯面温度	σTc	°C	70.000	
油温度	OTc	°C	70.000	
油の種類			鉱物油(その他)	
ISOグレード			ISO VG 220	
粘度(40°C)		mm ² /s	220.000	
油の平均速度	Mfc	°C	240.000	
油の標準偏差温度	SD	°C	39.000	
絶対粘度	μ0	cP	37.30	
粘度係数	α	1/MPa	0.0246	

図 K.2 設定

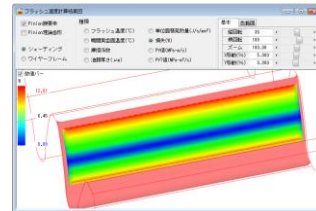


図 K.3 動力損失

図 K.4 損傷確率, 動力損失

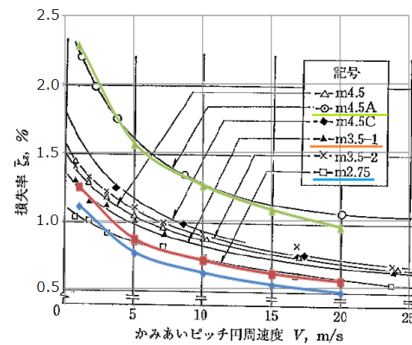


図 10.9 平歯車における平均摩擦係数とかみあいピッチ円周速度 V との関係 (試験歯車の諸元は表 10.3 参照)

図 K.6 実験と解析

m	mm	2.75	3.5	4.5
z1	---	33	26	16
z2	---	33	26	24
α	deg	20		
β	deg	0		
x1	---	0.141	0.0073	0.8635
x2	---	0.141	0.0073	-0.500
b	mm	20		
a	mm	91.5		

K.2 まとめ

- (1) 図 K.6 のように実験結果と解析結果は良く一致している。
- (2) ソフトウェア解析により、ほぼ確かな動力損失を予測することができた。

参考文献

- (1) 成瀬, 「歯車の基礎と設計」, 養賢堂, 2001. P.132-133
- (2) CT-FEM Opera, 歯車応力解析ソフトウェア, アムテック, (2014)

カタログ(vol.18), [45] CT-FEM Operaiii をご覧ください。