

ARMD におけるすべり軸受解析精度について

日本機械学会発行「すべり軸受静特性・動特性資料集」との比較

平成 25 年 1 月 22 日 (有)杉村プランニング 杉村回転機械研究所 杉村章二郎

1. まえがき

ARMD における軸受解析の結果は、軸受特性単独の解析精度だけではなく、振動解析にも利用されているのでその解析精度は非常に重要です。その精度を検証するため比較できる信頼のできる Data として日本機械学会編の「すべり軸受の静特性および動特性資料集」(日本工業出版)があります。この Data と比較検証してみました。解析精度、Data の読み取り誤差等を考慮しても ARMD の解析結果と日本機械学会編「すべり軸受の静特性および動特性資料集」の Data とは非常によく一致していることが確認されましたので報告いたします。ティルティングパッド軸受、円筒軸受で確認済です。本報告ではティルティングパッド軸受の例で紹介します。ほかの形式の軸受で本書で紹介する手法で検証を試みられることがありましたら情報をお寄せいただくと幸いです。

2. 考え方

軸受理論における Reynolds の方程式の解法において、現状で最も信頼できる境界条件として、Reynolds の境界条件が利用されていますが、ARMD の解法も日本機械学会編「すべり軸受の静特性および動特性資料集」の解法も同じ条件を採用していますので、比較精度は高いと考えてよいと思います。

比較検証の仕方として、日本機械学会編「すべり軸受の静特性および動特性資料集」に Data のあるものを選定します。

((注) 以下日本機械学会編「すべり軸受の静特性および動特性資料集」は「資料集」と略記します。)

ARMD で軸受特性を解析して、バネ定数・減衰係数などの軸受定数を求めます。

その時の Sommerfeld 数を計算して、その Sommerfeld 数に対応する軸受定数を「資料集」から求めます。「資料集」からは、まず無次元特性を求めて、軸受形状・運転条件が選定されているので有次元に直して、さらに最後に「資料集」と ARMD では解析に使用している座標系が異なっていますので、座標変換をします。

その結果得られた軸受定数を ARMD で解析された軸受定数と比較します。

判定しやすいようにグラフ表示で見ます。両者が一致していることを確認検証します。

3. 検証例サンプル

実例として、5Pad-LOP-No Preload-No Offset (「資料集」計算番号 48 を利用) で説明します。



3-1. 比較検証する軸受の具体的な形状を決定する。

軸受形状は、120φmm直径で L/D=0.5 で加工半径間隙 0.09 mmを選定します。表 1 参照。

表 1 検証する軸受の具体的な形状

適用軸受	1 L/D=0.5	5Pad LOP	No preload、No offset						
直径	D mm	120	120	120	120	120	120	120	120
半径	R mm	60	60	60	60	60	60	60	60
幅	L mm	60	60	60	60	60	60	60	60
L/D	—	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
加工半径間隙	Cp mm	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
潤滑油種	—	VG32	VG32	VG32	VG32	VG32	VG32	VG32	VG32
潤滑油温度	°C	45	45	45	45	45	45	45	45
軸受荷重	W N	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
回転速度	N rpm	500	2000	5000	7500	10000	12500	15000	15000
—	n cps	8.3	33.3	83.3	125.0	166.7	208.3	250.0	250.0
—	ω 1/s	52.4	209.4	523.6	785.4	1047.2	1309.0	1570.8	1570.8
Cp/W	— m/N	1.80E-08	1.80E-08	1.80E-08	1.80E-08	1.80E-08	1.80E-08	1.80E-08	1.80E-08
Cpω/W	— m/Ns	9.42E-07	3.77E-06	9.42E-06	1.414E-05	1.885E-05	2.36E-05	2.83E-05	2.83E-05
油膜温度	°C	46.6	49.9	56.5	62.2	67.7	73	78.1	78.1
油膜粘度	μ Pascal-s=N/m ² *s	0.0207	0.0182	0.0143	0.0118	0.0099	0.0085	0.0074	0.0074
ゾンマーフェルト数	S=μ nLD/W*(R/Cp) ²	0.111	0.389	0.762	0.946	1.061	1.135	1.183	1.183

3-2. 適用軸受の軸受特性を ARMD で求めます。

この軸受条件を使って ARMD で軸受特性を解析しておき、検証しようとする回転速度を 500rpm~15000rpm まで 7 点を決めて、解析出力から油膜温度、油膜粘度を求めます。

表 1 の Data を利用して解析した結果は、以下の通りです。必要部分のみ Post Processor から抜粋して示します。(巻末に ARMD の Post Processor 全出力を参考に示します。)

出力の抜粋

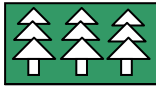
①入力条件部分

Bearing Data Comparison Analysis between ARMD and JSME Data book
SPC TP Cbd=1.5D/1000 PL=0 L/D=0.5 120mmDia
12/April/16

CALCULATIONS PERFORMED UTILIZING THE FOLLOWING BEARING
FIXED PARAMETERS and Single-Pad Data from SINGLE.EXE..

Number of DATA POINTS = 50
" of ITERATIONS = 50
" of LOAD CASES = 7
CONDENSED output (T.or.F) = T

Bearing Diameter = 1.20000E+02 (mm)
Bearing Length = 6.00000E+01 (mm)
Pad angle = 6.00000E+01 (Degrees)
Pad PIVOT location from L.E. = 3.00000E+01 (Degrees)
Machined in Radial Clearance C = 9.00000E-02 (mm)
Pad thickness at pivot point = 2.00000E+01 (mm)
Rotational Speed = 1.00000E+04 (RPM)
Lubricant Viscosity = 6.89476E-03 (Pascal-Second)
Lubricant Density = 0.00000E+00 (Kg/m³)
Cavitation Pressure = 0.00000E+00 (Pascal)
Groove Pressure = 0.00000E+00 (Pascal)



②潤滑油条件

>>> Lubricant Properties and Conditions considered ARE:

```

=====
API60 - Lubricant API60 Gravity at [ 15.556* ]-----= 3.1000E+01
VIS1 - First Viscosity Point ( Centi-Stoke )-----= 3.2000E+01
TEMP1 - Temp. of First Viscosity Point VIS1 (deg. C)--= 4.0000E+01
VIS2 - Second Viscosity Point ( Centi-Stoke )-----= 5.3600E+00
TEMP2 - Temp. of Second Viscosity Point VIS2 (deg. C)--= 1.0000E+02
  
```

③荷重条件

Case No.	of Orientation	Groove	Load Angle	Applied	Clearance
No.	Pads	Angle (Deg)	(Degrees)	Load (N)	Radial(mm)
		input	input	input	input
1	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03 9.0000E-02
2	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03 9.0000E-02
3	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03 9.0000E-02
4	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03 9.0000E-02
5	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03 9.0000E-02
6	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03 9.0000E-02
7	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03 9.0000E-02

④回転数

Case	Preload	Rotational	Viscosity	Heat Content	Temperature
Number	Ratio	Speed (Rpm)	Pascal-Sec.	(J/m ³ /K)	Film (Deg.C)
		input	input	input	input
1	0.000	5.0000E+02	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
2	0.000	2.0000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
3	0.000	5.0000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
4	0.000	7.5000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
5	0.000	1.0000E+04	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
6	0.000	1.2500E+04	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
7	0.000	1.5000E+04	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01

⑤油膜温度、油膜粘度

Case	Supply-Oil	Lub. Film	Film-Viscos.		
Groove	Maximum				
Number	Temp.(Deg.C)	Temp.(Deg.C)	Pascal-Sec.	Temp.(Deg.C)	Temp.(Deg.C)
1	4.5005E+01	4.6645E+01	2.0718E-02	4.5130E+01	4.8161E+01
2	4.5005E+01	4.9906E+01	1.8245E-02	4.6360E+01	5.3452E+01
3	4.4997E+01	5.6593E+01	1.4294E-02	5.0944E+01	6.2242E+01
4	4.4998E+01	6.2229E+01	1.1820E-02	5.5686E+01	6.8773E+01
5	4.4998E+01	6.7715E+01	9.9452E-03	6.0656E+01	7.4775E+01
6	4.5003E+01	7.3000E+01	8.5096E-03	6.5636E+01	8.0364E+01
7	4.5004E+01	7.8074E+01	7.3911E-03	7.0531E+01	8.5617E+01

⑥軸受バネ定数・減衰係数

Dimensional SPRING Coefficients (Newton/m)

Case	Film-Temp	KXX	KXY	KYX	KYY
1	46.645	7.713E+06	-1.108E-01	2.526E+00	4.730E+08
2	49.906	1.838E+07	-6.406E+00	-3.357E+00	2.691E+08
3	56.593	2.637E+07	-1.458E+01	3.095E+01	1.960E+08
4	62.229	2.905E+07	3.601E+00	-1.689E+01	1.759E+08
5	67.715	3.041E+07	4.595E+00	-2.257E+01	1.661E+08



6	73.000	3.118E+07	1.051E+01	9.331E+00	1.606E+08
7	78.074	3.164E+07	3.179E+00	2.954E+01	1.574E+08

Dimensional DAMPING Coefficients (Newton*Sec/m)

Case	Film-Temp	DXX	DXY	DYX	DYY
1	46.645	4.063E+05	3.101E-01	-6.710E-03	4.972E+06
2	49.906	3.058E+05	-1.709E-02	-1.564E-02	1.172E+06
3	56.593	2.156E+05	-3.510E-03	-2.189E-02	4.714E+05
4	62.229	1.717E+05	2.158E-03	-2.732E-03	3.186E+05
5	67.715	1.416E+05	5.011E-03	3.962E-03	2.413E+05
6	73.000	1.197E+05	4.224E-03	7.137E-04	1.945E+05
7	78.074	1.032E+05	1.309E-03	-1.175E-02	1.630E+05

上記出力からの解析結果の油膜温度と油膜粘度を利用します。

Sommerfeld 数は「資料集」で使用している定義で計算します。

3-3. 検証しようとする点の Sommerfeld 数を求めます。

ARMD の解析結果から、Sommerfeld 数を計算します。

表 1 の最下行の様に求まります。

次に比較しようとする「資料集」の Data でのバネ定数、減衰係数の無次元定数を求めます。以下の手順で求めます。

3-4. 「資料集」から対応する軸受形式から計算番号 48 になるので、その軸受定数を利用します。

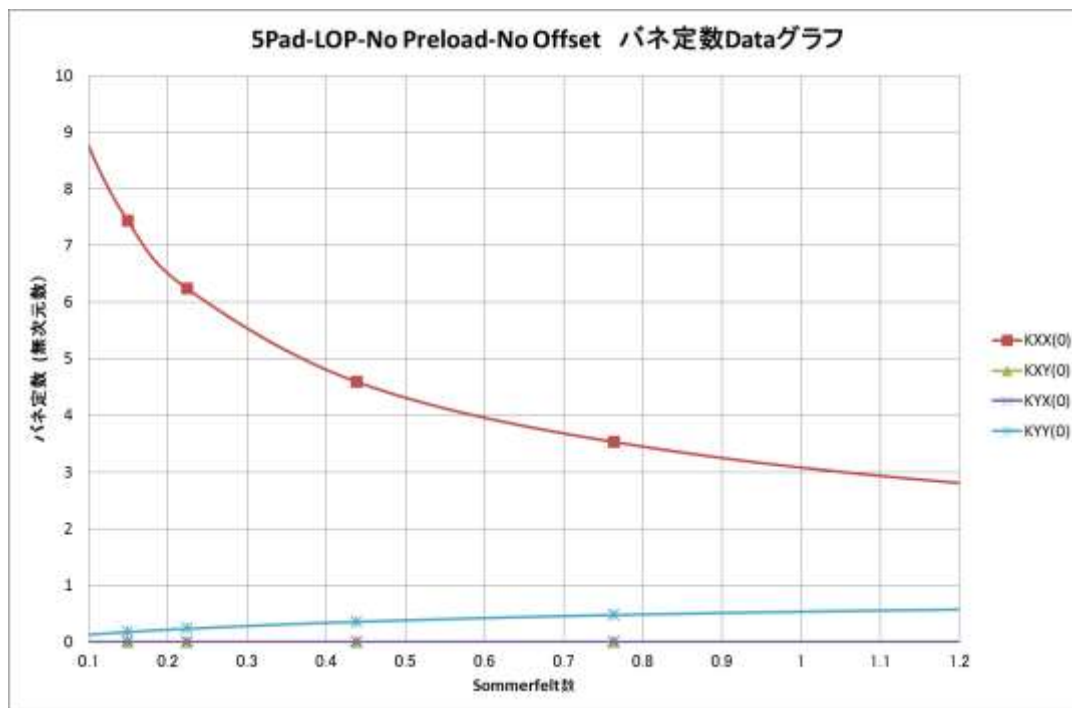
表 2 日本機械学会編「すべり軸受の静特性および動特性資料集」からの Data
計算番号 48

1 L/D=0.5、5Pad-LOP-No preload-No offset 「資料集」からのData 計算番号48									
ゾンマーフェルト数	偏心率	KXX(0)	KXY(0)	KYX(0)	KYY(0)	CXX(0)	CXY(0)	CYX(0)	CYY(0)
8.69	0.05	0.943	0	0	0.678	11.6	0	0	16.6
5.58	0.1	1.19	0	0	0.7	8.27	0	0	11
3.15	0.2	1.67	0	0	0.694	5.99	0	0	6.63
1.97	0.3	2.16	0	0	0.651	5.08	0	0	4.45
1.24	0.4	2.76	0	0	0.577	4.64	0	0	3.04
0.764	0.5	3.53	0	0	0.475	4.44	0	0	2.03
0.439	0.6	4.59	0	0	0.355	4.41	0	0	1.28
0.224	0.7	6.24	0	0	0.233	4.51	0	0	0.717
0.149	0.75	7.44	0	0	0.174	4.57	0	0	0.501
0.0923	0.8	9.02	0	0	0.121	4.57	0	0	0.326
0.0513	0.85	11	0	0	0.0755	4.52	0	0	0.191
0.0241	0.9	14.6	0	0	0.0396	4.75	0	0	0.0943
0.00771	0.95	25.7	0	0	0.0142	5.91	0	0	0.0349
0.00204	0.96	65.3	0	0	0.004	9.33	0	0	0.00871



3-5. 「資料集」の軸受定数をグラフ化しておきます。グラフを書くと図1のようになります。Sommerfeld 数—無次元軸受バネ定数のグラフができます。

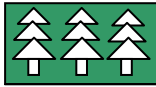
図1 Sommerfeld 数—無次元バネ定数



3-6. 3-3で求めた Sommerfeld 数に対応する軸受バネ定数を図1のグラフから求めます。結果は表3のようになります。

表3 無次元軸受定数

回転数に対応するゾンマーフェルト数	無次元軸受定数								
表2	ゾンマーフェルト数	KXX(0)	KXY(0)	KYX(0)	KYY(0)	CXX(0)	CXY(0)	CYX(0)	CYY(0)
500	0.111	8.4	0	0	0.1	4.55	0	0	0.38
2000	0.389	4.8	0	0	0.4	4.4	0	0	1.2
5000	0.762	3.5	0	0	0.5	4.45	0	0	2.05
7500	0.946	3.15	0	0	0.55	4.5	0	0	2.4
10000	1.061	2.95	0	0	0.6	4.55	0	0	2.7
12500	1.135	2.8	0	0	0.63	4.63	0	0	2.8
15000	1.183	2.7	0	0	0.65	4.65	0	0	2.4



3-7. 無次元定数を有次元化します。

表 4 有次元軸受定数

有次元化									
回転速度 rpm	ソノマーフェルト数	KXX(0)	KXY(0)	KYX(0)	KYY(0)	CXX(0)	CXY(0)	CYX(0)	CYY(0)
500	0.029	2.93E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.56E+08	2.39E+06	0.00E+00	0.00E+00	1.35E+06
2000	0.106	1.86E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.08E+08	5.77E+05	0.00E+00	0.00E+00	3.78E+05
5000	0.217	1.68E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+08	2.73E+05	0.00E+00	0.00E+00	2.12E+05
7500	0.272	1.69E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.25E+08	2.03E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.66E+05
10000	0.306	1.72E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.33E+08	1.60E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.34E+05
12500	0.327	1.75E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.36E+08	1.34E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+05
15000	0.341	1.78E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.40E+08	1.14E+05	0.00E+00	0.00E+00	9.73E+04

有次元化は次の関係を利用します。

日本機械学会「すべり軸受静特性・動特性資料集」の定義によります。

$$k=K \times (W/C_p)$$

$$c=C \times (W/C_p \omega)$$

ここで、 k 、 c ：有次元バネ定数・減衰係数、単位は N/m 、と Ns/m

K 、 C ：無次元バネ定数・減衰係数

W ：軸受荷重 N

C_p ：加工半径間隙 m

ω ：運転角速度 $1/s$

ただしこのバネ定数は、ARMD の座標とは異なる座標系で表されていますので座標変換が必要です。

3-8. 座標変換で「資料集」のバネ定数を ARMD の座標系に直します。

表 5 座標変換後の軸受定数

座標変換									
回転速度 rpm	ソノマーフェルト数	Kxx(0)	Kxy(0)	Kyx(0)	Kyy(0)	Cxx(0)	Cxy(0)	Cyx(0)	Cyy(0)
500	0.111	5.56E+06	0.00E+00	0.00E+00	4.67E+08	4.03E+05	0.00E+00	0.00E+00	4.83E+06
2000	0.389	2.22E+07	0.00E+00	0.00E+00	2.67E+08	3.18E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.17E+06
5000	0.762	2.78E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.94E+08	2.18E+05	0.00E+00	0.00E+00	4.72E+05
7500	0.946	3.06E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.75E+08	1.70E+05	0.00E+00	0.00E+00	3.18E+05
10000	1.061	3.33E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.64E+08	1.43E+05	0.00E+00	0.00E+00	2.41E+05
12500	1.135	3.50E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.56E+08	1.19E+05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E+05
15000	1.183	3.61E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.50E+08	8.49E+04	0.00E+00	0.00E+00	1.64E+05

ARMD の座標系は、通常の数学座標系です。日本機械学会編「すべり軸受の静特性および動特性資料集」は、よく軸受学者が使う座標系で垂直下方に X 軸をとるものです。

この両者では次の座標変換を行う必要があります。

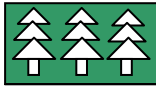
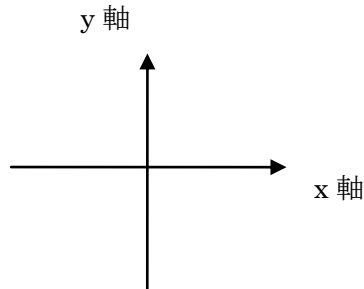
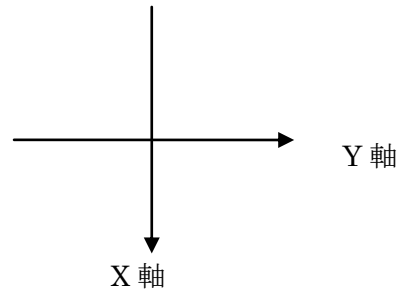


図2 ARMD と「資料集」の座標系



ARMD の座標系



日本機械学会「すべり軸受静
特性・動特性資料集」の
座標系

$$\left. \begin{array}{l} \text{「資料集」座標系} \\ \left\{ \begin{array}{l} X = -y \\ Y = x \end{array} \right\} \end{array} \right\} \text{ARMD 座標系}$$

の座標変換が必要です。

3-9. バネ定数のグラフでの比較検証

3-2 で求めた ARMD のバネ定数と 3-8 でもとまった同じ Sommerfeld 数に対応する「資料集」のバネ定数をグラフに描いて比較します。

グラフは次項の図 8 の計算番号 48 のバネ定数の図を見てください。

このグラフから両者は非常によく一致していることが分かります。

以上の手法を使って、ティルティングパッド軸受について

L/D=0.5 の軸受で

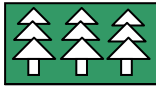
5 Pad-LOP-No Preload-No Offset

5 Pad-LOP-Preload=0.5-No Offset

5 Pad-LBP-No Preload-No Offset

5 Pad-LBP-Preload=0.5-No Offset

の 4 種について比較検証しましたので結果を以下に紹介します。



4. ティルティングパッド軸受の検証 Data

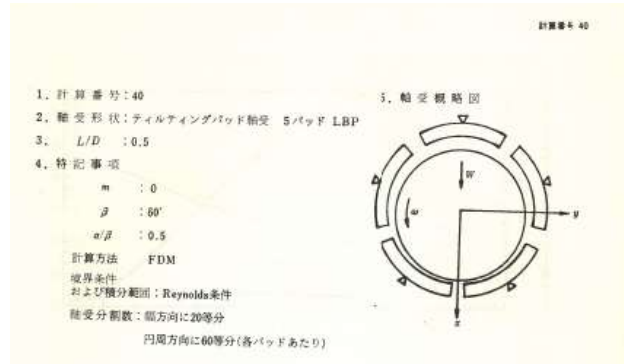
ティルティングパッド軸受の4種類の形状について検証結果を示します。

4-1. 比較対象軸受

図3 比較軸受「資料集」から抜粋

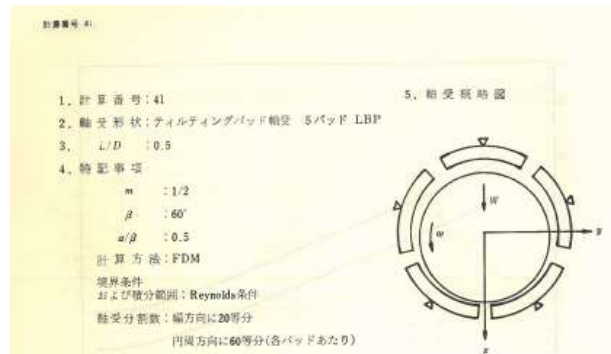
計算番号40

Pad	5
Load	LBP
L/D	0.5
Pad angle	60
Preload	0
Offset	0
Center Pivot	



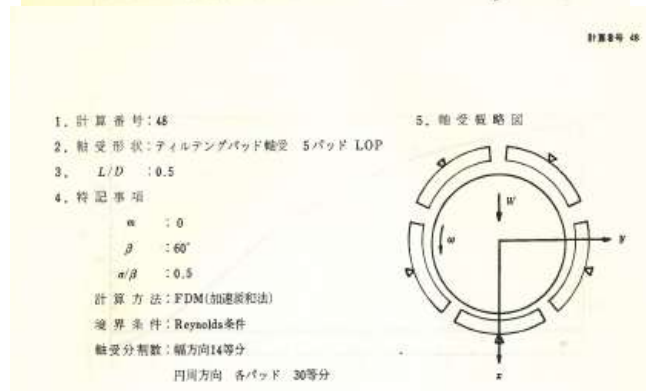
計算番号41

Pad	5
Load	LBP
L/D	0.5
Pad angle	60
Preload	0.5
Offset	0
Center Pivot	



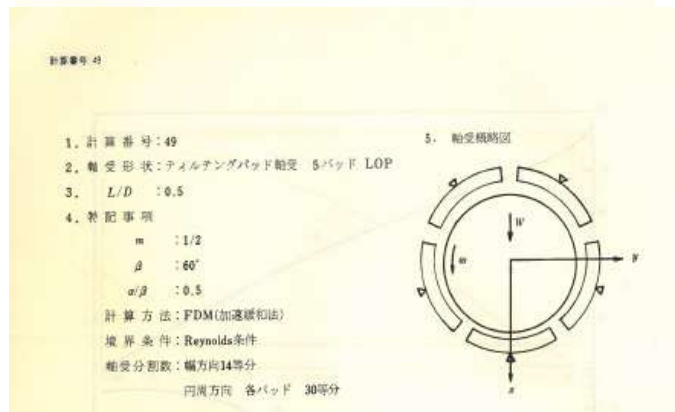
計算番号48

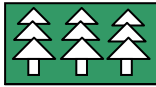
Pad	5
Load	LOP
L/D	0.5
Pad angle	60
Preload	0
Offset	0
Center Pivot	



計算番号49

Pad	5
Load	LOP
L/D	0.5
Pad angle	60
Preload	0.5
Offset	0
Center Pivot	





4-2. 比較結果

グラフで表示する。

図4 計算番号 41 バネ定数

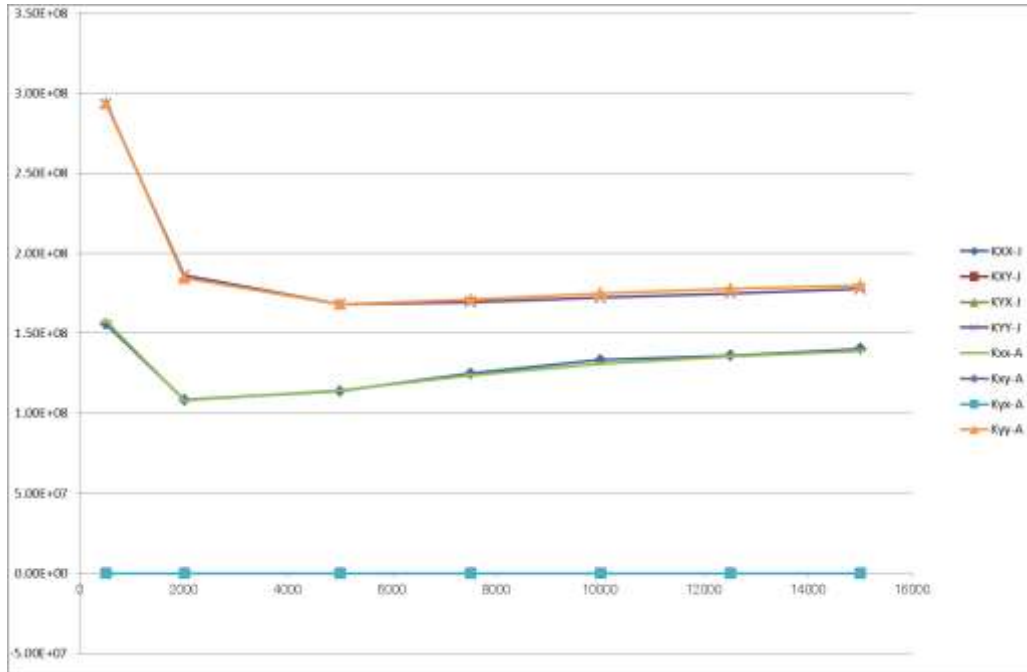


図5 計算番号 41 減衰係数

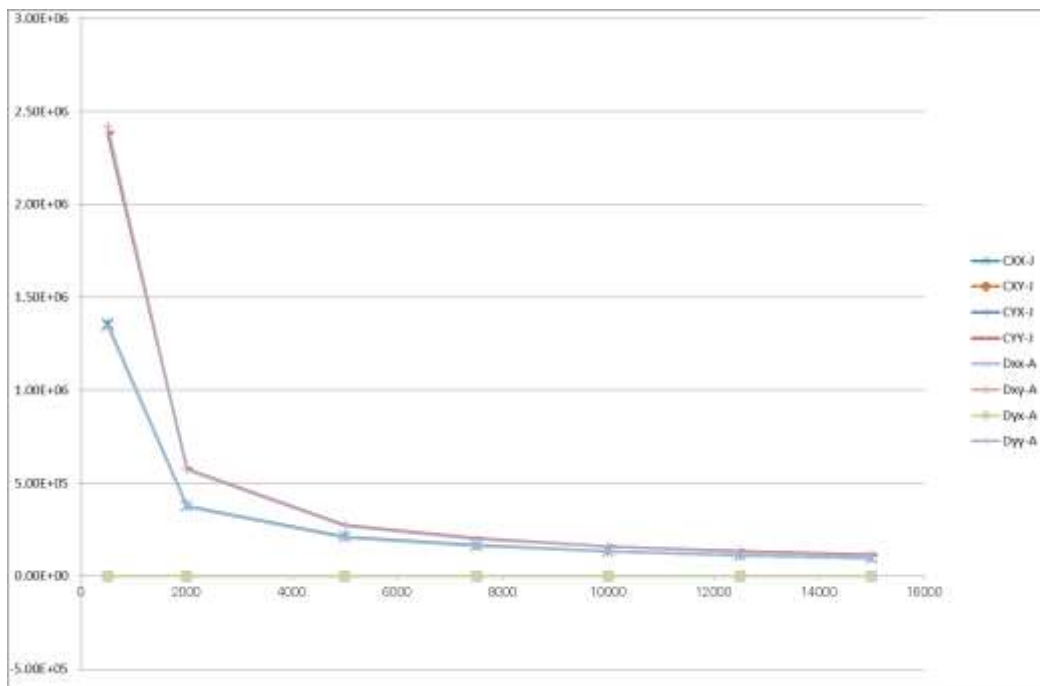




図6 計算番号 40 バネ定数

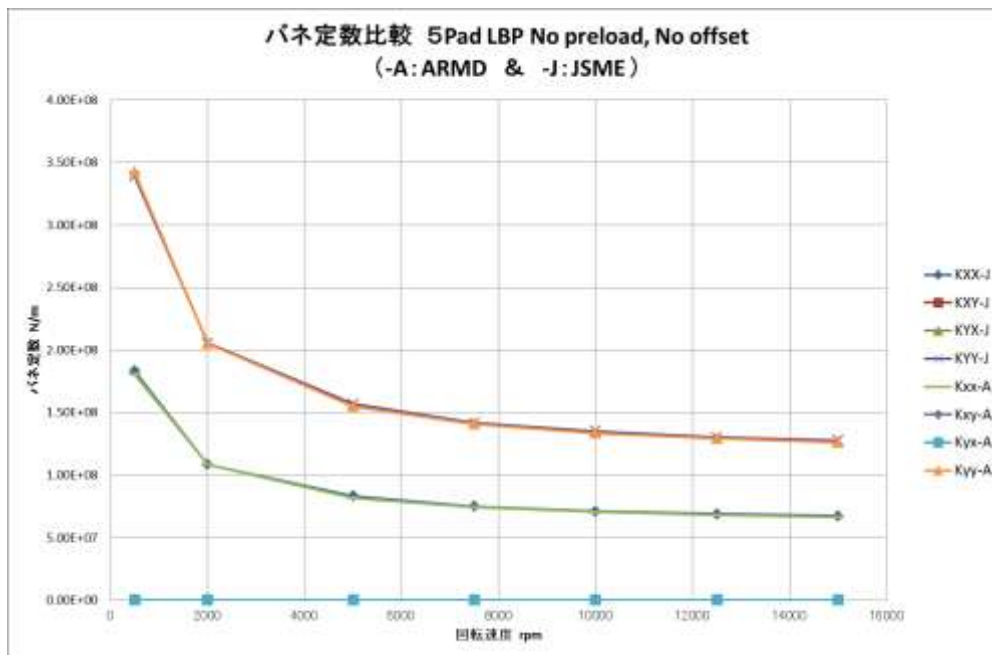


図7 計算番号 40 減衰係数

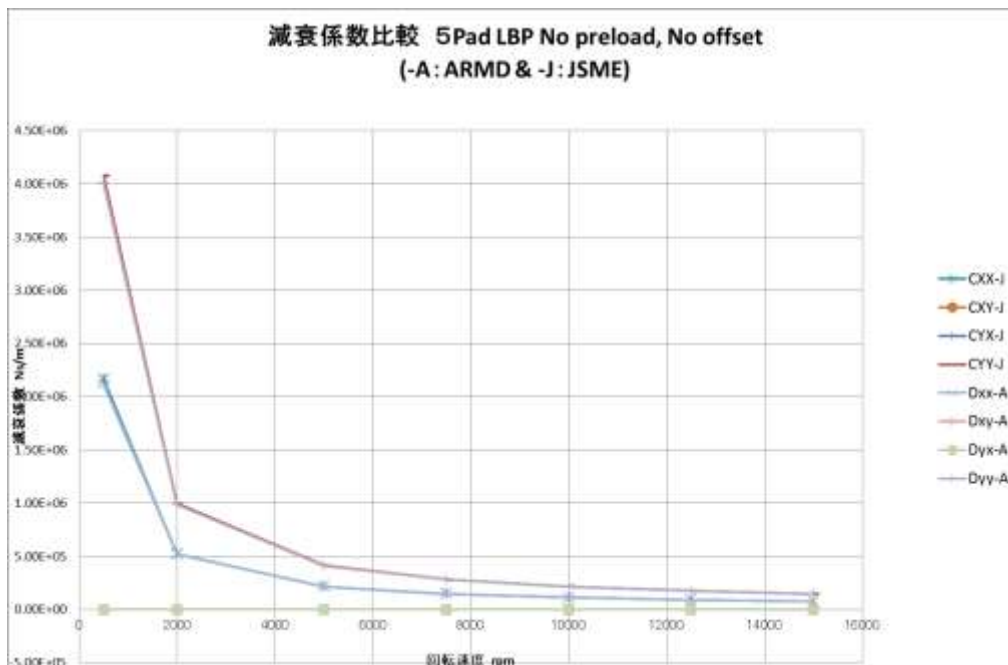




図8 計算番号 48 バネ定数

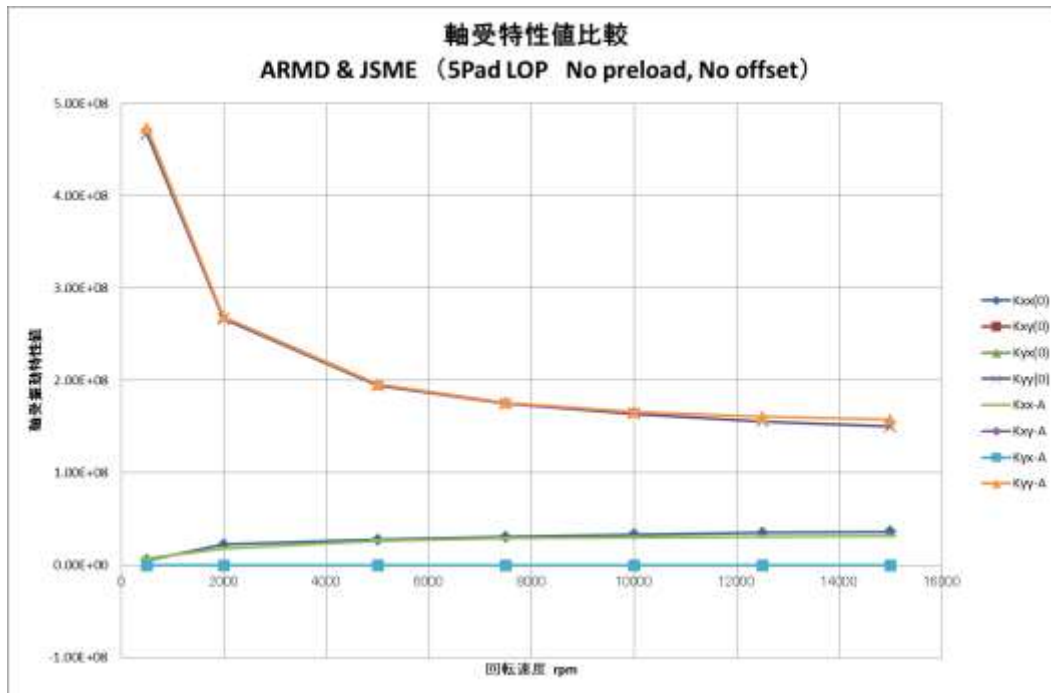
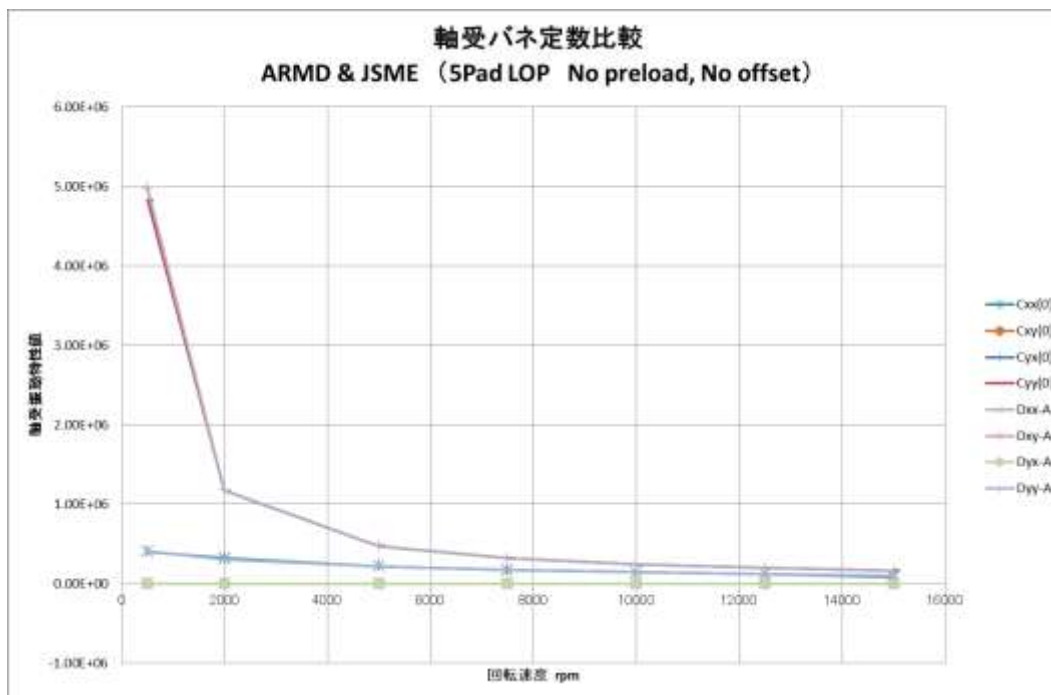


図9 計算番号 48 減衰係数



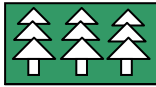


図 1 0 計算番号 49 バネ定数

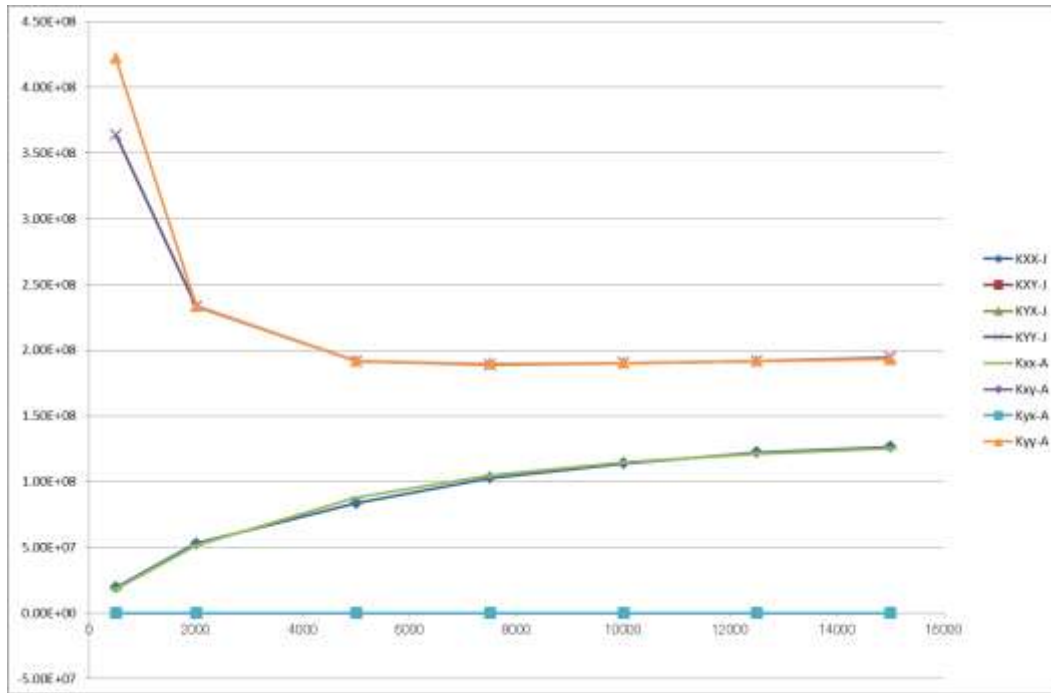
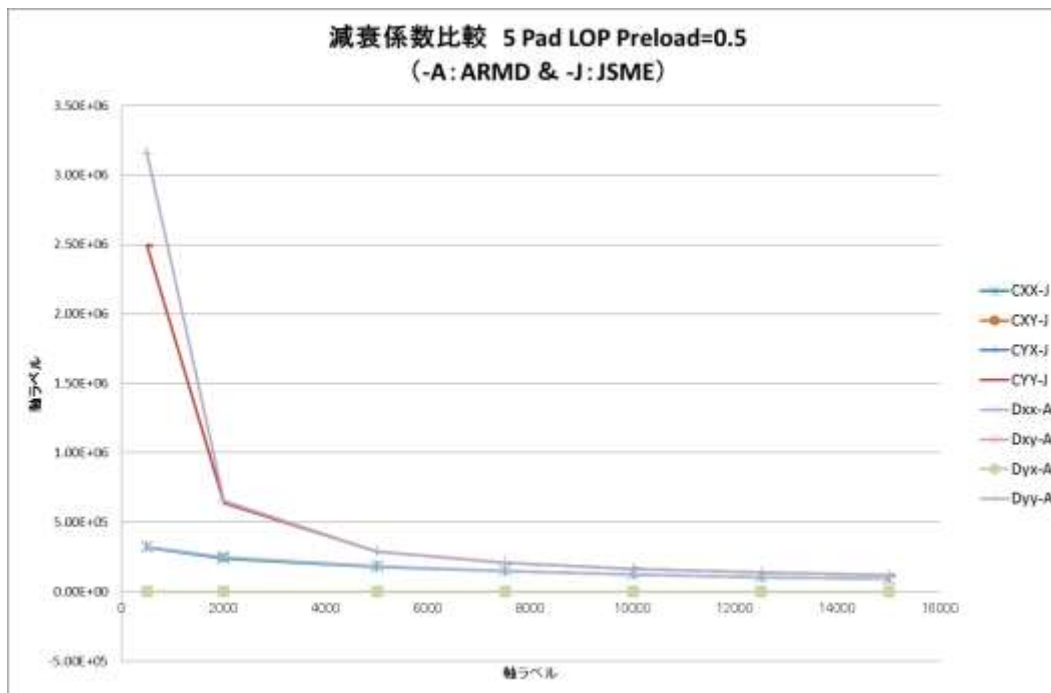
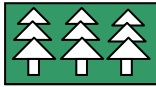


図 1 1 計算番号 49 減衰係数





5. 参考：

5-1 Reynolds の方程式の解における境界条件の考え方

ARMD 軸受解析における油膜圧力分布解析における Reynolds の方程式の解における境界条件について

軸受理論において、Reynolds の潤滑基礎方程式を解く際には、3つの境界条件があるとされています。

(1) Sommerfeld の境界条件

(2) Gumbel の境界条件 (Half Sommerfeld の境界条件とも言われています。)

(3) Reynolds の境界条件

円筒軸受 (真円軸受) を例にとって説明すれば以下の図1～3のようになります。

座標は

X をすべり方向の沿った距離とすると

$\theta = x/r$ で表示されるラジアン表示の角度を用いて、

最大油膜厚さ位置： $x=0$ $\theta=0$

最少油膜厚さ位置： $x=\pi r$ $\theta=\pi$

とする。

軸受油膜圧力： p として軸受け油膜境界上では $p=p_a$ (p_a は境界圧力)

軸受軸方向幅： L として、軸受両側で $z=0$ 、 $z=L$

を用いて表示する。

ARMD での解析は、図3の Reynolds の境界条件を用いています。

図1～3は日本機械学会「すべり軸受静特性・動特性資料集」から引用しました。

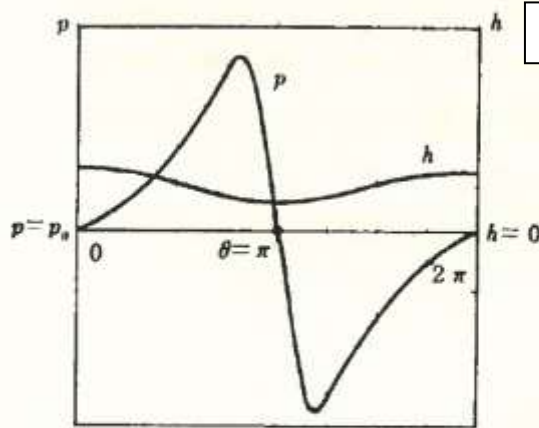


図 1

(a) ソンマーフェルト境界条件
 $\left. \begin{array}{l} z=0, L \text{ で } p=p_0 \\ \theta=0, 2\pi \text{ で } p=p_0 \end{array} \right\}$

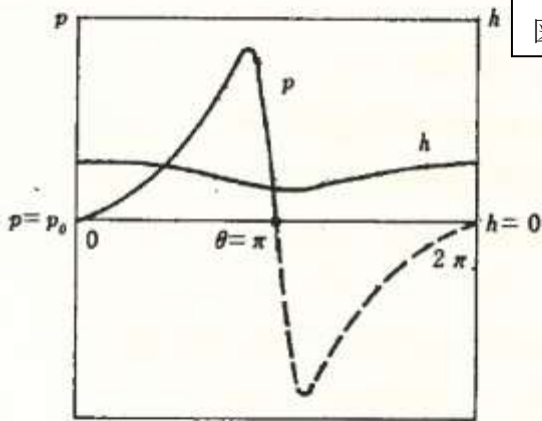


図 2

(b) ギュンベル境界条件
 $\left. \begin{array}{l} z=0, L \text{ で } p=p_0 \\ \theta=0, \pi \text{ で } p=p_0 \\ \pi < \theta \leq 2\pi \text{ で } p=p_0 \end{array} \right\}$

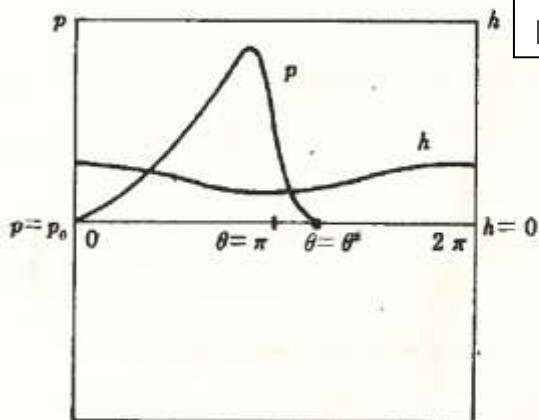
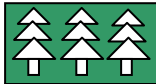


図 3

(c) レイノルズ境界条件
 $\left. \begin{array}{l} z=0, L \text{ で } p=p_0 \\ \theta=0 \text{ で } p=p_0 \\ \theta=\theta^* \text{ で } p=p_0 \\ \text{かつ } \frac{\partial p}{\partial \theta} = 0 \end{array} \right\}$

図4・1・3 全周真円軸受における圧力境界条件
 (Pressure Boundary Condition for Full Circular Bearing)



5 - 2 ARMD 解析の Post Processor の全出力

```
*** ROTOR BEARING TECHNOLOGY & SOFTWARE, INC. ***
Incompressible hydrodynamic JOURNAL BEARING program for
TILTING PAD BEARINGS *** TIL-POST *** [V5.7G2]
=====
```

Bearing Data Comparison Analysis between ARMD and JSME Data book
SPC TP Cbd=1.5D/1000 PL=0 L/D=0.5 120mmDia
12/April/16

Units of Measure for this Run are --> SI (Metric)

CALCULATIONS PERFORMED UTILIZING THE FOLLOWING BEARING
FIXED PARAMETERS and Single-Pad Data from SINGLE.EXE..

```
-----
Number of DATA POINTS = 50
" of ITERATIONS = 50
" of LOAD CASES = 7
CONDENSED output (T.or.F) = T
```

```
Bearing Diameter = 1.20000E+02 ( mm )
Bearing Length = 6.00000E+01 ( mm )
Pad angle = 6.00000E+01 ( Degrees )
Pad PIVOT location from L.E. = 3.00000E+01 ( Degrees )
Machined in Radial Clearance C = 9.00000E-02 ( mm )
Pad thickness at pivot point = 2.00000E+01 ( mm )
Rotational Speed = 1.00000E+04 ( RPM )
Lubricant Viscosity = 6.89476E-03 ( Pascal-Second )
Lubricant Density = 0.00000E+00 ( Kg/m^3 )
Cavitation Pressure = 0.00000E+00 ( Pascal )
Groove Pressure = 0.00000E+00 ( Pascal )
```

>>> Lubricant Properties and Conditions considered ARE:

```
=====
API60 - Lubricant API60 Gravity at [ 15.556 ]-----= 3.1000E+01
VIS1 - First Viscosity Point ( Centi-Stoke )-----= 3.2000E+01
TEMP1 - Temp. of First Viscosity Point VIS1 (deg. C)--= 4.0000E+01
VIS2 - Second Viscosity Point ( Centi-Stoke )-----= 5.3600E+00
TEMP2 - Temp. of Second Viscosity Point VIS2 (deg. C)--= 1.0000E+02
```

```
*** ROTOR BEARING TECHNOLOGY & SOFTWARE, INC. *** Page # 2
Incompressible hydrodynamic JOURNAL BEARING program for
TILTING PAD BEARINGS *** TIL-POST *** [V5.7G2]
=====
```

Bearing Data Comparison Analysis between ARMD and JSME Data book
SPC TP Cbd=1.5D/1000 PL=0 L/D=0.5 120mmDia
12/April/16

Case No.	-of Orientation	Groove	Load Angle	Applied	Clearance	
No.	Pads	Angle (Deg)	Angle(Deg)	(Degrees)	Load (N)	Radial(mm)
		input	input	input	input	input
1	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03	9.0000E-02
2	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03	9.0000E-02
3	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03	9.0000E-02
4	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03	9.0000E-02



SPC
SUGIMURA PLANNING CORPORATION

5	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03	9.0000E-02
6	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03	9.0000E-02
7	5	5.4000E+01	12.000	2.7000E+02	5.0000E+03	9.0000E-02

Case Number	Preload Ratio	Rotational Speed (Rpm)	Viscosity Pascal-Sec.	Heat Content (J/m ³ /K)	Temperature Film (Deg.C)
-----input-----					
1	0.000	5.0000E+02	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
2	0.000	2.0000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
3	0.000	5.0000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
4	0.000	7.5000E+03	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
5	0.000	1.0000E+04	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
6	0.000	1.2500E+04	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01
7	0.000	1.5000E+04	0.0000E+00	0.0000E+00	5.4000E+01

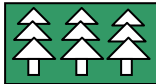
*** ROTOR BEARING TECHNOLOGY & SOFTWARE, INC. *** Page # 3
 Incompressible hydrodynamic JOURNAL BEARING program for
 TILTING PAD BEARINGS *** TIL-POST *** [V5.7G2]

Bearing Data Comparison Analysis between ARMD and JSME Data book
 SPC TP Cbd=1.5D/1000 PL=0 L/D=0.5 120mmDia
 12/April/16

Case Number	ECC Ratio	Minimum-Film Thick. (mm)	Load (N) Capacity	Angle-to Eccentricity	Power-Loss (Watt)
1	0.782	1.5670E-02	4.9987E+03	2.7000E+02	7.9943E+01
2	0.620	2.9037E-02	4.9970E+03	2.7000E+02	8.5941E+02
3	0.500	3.8858E-02	4.9980E+03	2.7000E+02	3.7672E+03
4	0.457	4.2420E-02	4.9989E+03	2.7000E+02	6.7924E+03
5	0.434	4.4411E-02	4.9974E+03	2.7000E+02	9.9990E+03
6	0.420	4.5595E-02	4.9988E+03	2.7000E+02	1.3248E+04
7	0.411	4.6323E-02	5.0033E+03	2.7000E+02	1.6480E+04

Case Number	Surface Velocity (m/sec)	Projected Pressure (Pascal)	Sommerfeld Number (Max)	Reynolds Number (Max)
1	3.1416E+00	6.9427E+05	1.4643E+01	1.8935E+01
2	1.2566E+01	6.9403E+05	1.6905E+01	7.8867E+01
3	3.1416E+01	6.9417E+05	1.9197E+01	2.3428E+02
4	4.7124E+01	6.9429E+05	2.0186E+01	4.1264E+02
5	6.2832E+01	6.9408E+05	2.0787E+01	6.4190E+02
6	7.8540E+01	6.9428E+05	2.1163E+01	9.2598E+02
7	9.4248E+01	6.9490E+05	2.1399E+01	1.2676E+03

Case Number	Supply Flow Rate(L/min)	Side-Leakage (L/min)	Inlet-Flow Rate(L/min)	Heat Content (J/m ³ /K)
1	2.0000E+01	1.7148E-01	-9.9506E-01	1.7400E+06
2	2.0000E+01	6.7899E-01	-4.4984E+00	1.7478E+06
3	2.0000E+01	1.6267E+00	-1.2156E+01	1.7636E+06
4	2.0000E+01	2.3824E+00	-1.8715E+01	1.7767E+06
5	2.0000E+01	3.1273E+00	-2.5306E+01	1.7894E+06
6	2.0000E+01	3.8699E+00	-3.1890E+01	1.8014E+06



SPC
SUGIMURA PLANNING CORPORATION

7 2.0000E+01 4.6138E+00 -3.8457E+01 1.8129E+06

Case Number	Supply-Oil Temp.(Deg.C)	Lub. Film Temp.(Deg.C)	Film-Viscos. Pascal-Sec.	Groove Temp.(Deg.C)	Maximum Temp.(Deg.C)
1	4.5005E+01	4.6645E+01	2.0718E-02	4.5130E+01	4.8161E+01
2	4.5005E+01	4.9906E+01	1.8245E-02	4.6360E+01	5.3452E+01
3	4.4997E+01	5.6593E+01	1.4294E-02	5.0944E+01	6.2242E+01
4	4.4998E+01	6.2229E+01	1.1820E-02	5.5686E+01	6.8773E+01
5	4.4998E+01	6.7715E+01	9.9452E-03	6.0656E+01	7.4775E+01
6	4.5003E+01	7.3000E+01	8.5096E-03	6.5636E+01	8.0364E+01
7	4.5004E+01	7.8074E+01	7.3911E-03	7.0531E+01	8.5617E+01

*** ROTOR BEARING TECHNOLOGY & SOFTWARE, INC. *** Page # 4
 Incompressible hydrodynamic JOURNAL BEARING program for
 TILTING PAD BEARINGS *** TIL-POST *** [V5.7G2]

Bearing Data Comparison Analysis between ARMD and JSME Data book
 SPC TP Cbd=1.5D/1000 PL=0 L/D=0.5 120mmDia
 12/April/16

Dimensional SPRING Coefficients (Newton/m)

Case	Film-Temp	KXX	KXY	KYX	KYY
1	46.645	7.713E+06	-1.108E-01	2.526E+00	4.730E+08
2	49.906	1.838E+07	-6.406E+00	-3.357E+00	2.691E+08
3	56.593	2.637E+07	-1.458E+01	3.095E+01	1.960E+08
4	62.229	2.905E+07	3.601E+00	-1.689E+01	1.759E+08
5	67.715	3.041E+07	4.595E+00	-2.257E+01	1.661E+08
6	73.000	3.118E+07	1.051E+01	9.331E+00	1.606E+08
7	78.074	3.164E+07	3.179E+00	2.954E+01	1.574E+08

Dimensional DAMPING Coefficients (Newton*Sec/m)

Case	Film-Temp	DXX	DXY	DYX	DYY
1	46.645	4.063E+05	3.101E-01	-6.710E-03	4.972E+06
2	49.906	3.058E+05	-1.709E-02	-1.564E-02	1.172E+06
3	56.593	2.156E+05	-3.510E-03	-2.189E-02	4.714E+05
4	62.229	1.717E+05	2.158E-03	-2.732E-03	3.186E+05
5	67.715	1.416E+05	5.011E-03	3.962E-03	2.413E+05
6	73.000	1.197E+05	4.224E-03	7.137E-04	1.945E+05
7	78.074	1.032E+05	1.309E-03	-1.175E-02	1.630E+05



Incompressible hydrodynamic JOURNAL BEARING program for
TILTING PAD BEARINGS *** TIL-POST *** [V5.7G2]

=====

Bearing Data Comparison Analysis between ARMD and JSME Data book
SPC TP Cbd=1.5D/1000 PL=0 L/D=0.5 120mmDia
12/April/16

Non dimensional PIVOT FILM THICKNESSES, PC (=h/C)

ECC	PAD 1	PAD 2	PAD 3	PAD 4	PAD 5
7.8223E-01	1.6328E+00	1.6328E+00	7.5828E-01	2.1777E-01	7.5828E-01
6.1953E-01	1.5012E+00	1.5012E+00	8.0855E-01	3.8047E-01	8.0855E-01
5.0039E-01	1.4048E+00	1.4048E+00	8.4537E-01	4.9961E-01	8.4537E-01
4.5742E-01	1.3701E+00	1.3701E+00	8.5865E-01	5.4258E-01	8.5865E-01
4.3359E-01	1.3508E+00	1.3508E+00	8.6601E-01	5.6641E-01	8.6601E-01
4.1953E-01	1.3394E+00	1.3394E+00	8.7036E-01	5.8047E-01	8.7036E-01
4.1094E-01	1.3325E+00	1.3325E+00	8.7301E-01	5.8906E-01	8.7301E-01

以上