Numerical analysis of Flow in a Seal bearing using The Residual Cutting Method applicated by the MAC Method

○ 河合 剛 (神戸大・院) 阪本 量良 (神戸大・院) 正 森田喜保 (神戸大・工)

正 田村 敦宏 (VINAS) 正 神吉 博 (神戸大・工)

Tsuyoshi Kawai, Kobe University, 1-1 Rokkodai, nada, Kobe, Hyogo

Kazuyoshi Sakamoto, Kobe University, 1-1 Rokkodai, nada, Kobe, Hyogo

Yoshiyasu Morita, Kobe University, 1-1 Rokkodai, nada, Kobe, Hyogo

The hydraulic bearing is a very important element of rotating machines. Two Dimensional flow analysis of Reynolds equation has been generally applied to bearing designs. On the other hand, Residual Cutting Method, which useful and highly accurate numerical method was proposed. In this paper, Mac method that applies the Residual Cutting Method is developed and 3 D flow calculation on the above bearing is conducted. Analytical results are found to be similar to actual behavior.

Key words : Residual cutting Method, Rescut, Seal Bearing, Navier Equation

1 緒言

動圧軸受は中・大型機械における重要な要素の一つであり、古くから多くの研究が行われている。特に、潤滑機能に関する解析のアプローチには、2次元問題に対するレイノルズ方程式を適用したものが多い⁽¹⁾⁽²⁾。

一方、CFDに関する研究は著しい進歩を遂げてきており、近年開発された残差切除法 (RESCUT)⁽³⁾ は解を得るのに高速化・高精度化に優れた特徴を有していることが示された⁽⁴⁾。

そこで、本研究では、回転軸偏心量を考慮した今後の回転軸系の動的挙動を解析するに当たって不可欠な、リアルタイムでの軸受内流体の挙動変化を評価することを可能とする手法の開発を目的とした。残差切除法を Poisson 方程式を解くために用いた新たなMAC法を開発し、一例として軸を偏心させたモデルについての3次元解析を実施した。その結果、軸と軸受の隙間内流速分布及び圧力分布は実際と良く対応することが確認された。

2 解析方法

2.1 解析モデル

本研究では、最も基本的な軸受幅/軸受直径=1.0の真円軸受 (Fig 2.1) を対象とした⁽⁵⁾。計算には回転軸及び軸受表面に向けて格子間隔が密となる不等間隔格子を用いた (Fig 2.2)。(a)は全体図であり、(b)は断面での計算格子の様子である。

なお計算に用いた格子では格子点数が $36 \times 91 \times 25$ (軸受周方向×半径方向×幅方向) であるが図では表示のため点数を減らした。

2.2 基礎式と数値解法

流れの支配方程式は Poisson 方程式および Navier-stokes 方程式であり一般座標系において総和規約をもちいて表すと次のようになる。

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(J g^{in} \frac{\partial p}{\partial \xi_n} \right) = - \frac{\partial D}{\partial t} - \alpha_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial \xi_i} \alpha_{nj} \frac{\partial u_i}{\partial \xi_n} - U_i \frac{\partial D}{\partial \xi_i} + \frac{1}{Re J} \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(J g^{in} \frac{\partial D}{\partial \xi_n} \right)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + U_i \frac{\partial u_i}{\partial \xi_i} = - \alpha_{ij} \frac{\partial p}{\partial \xi_i} + \frac{1}{Re J} \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left(J g^{in} \frac{\partial u_i}{\partial \xi_n} \right)$$

ここで、 ξ :一般座標 D :連続の式

J :ヤコビアン Re :レイノルズ数

$$\alpha_{ij} = \frac{\partial \xi_i}{\partial x_j} \quad \beta_{ij} = \frac{\partial x_i}{\partial \xi_j}$$

である。

以上の式を離散化し、Poisson 方程式では内部ソルバとして残差切除法を適用したADI法、Navier-stokes 式ではADI法によりそれぞれ圧力 P 、速度 U を求める。

Fig 2.1 Bearing

(a) (b)
Fig 2.2 Computational Grid

2.3 計算条件

数値解析において設定した条件は以下の通りである。

気温：20℃	動作流体：水
粘度：1.310 (Pa・s)	密度：9.98 (kg/m ³)
軸受半径：100 (mm)	軸受幅：200 (mm)
偏心率：0.3	平均隙間：2 (mm)
回転数：1200rpm	時間刻み：0.0001

軸受内の水の流れは非圧縮・粘性流れとした。また、軸の表面における速度を代表速度とし、平均隙間を代表長さとして用いて無次元化した。

2.4 境界条件

境界条件としては、軸受表面で流速が零、回転する軸表面では速度 ωr (ω ：回転速度 r ：半径) が与えられる。さらに、軸受周囲圧力は高圧、軸受内にキャビテーション領域が存在しないと仮定し、全周軸受とした。圧力の Poisson 方程式の境界条件はすべての面でノイマン条件である。

3 計算結果及び考察

Fig3.1 に軸受幅方向の中央断面 (図参照) での速度分布を示す。軸表面の回転により与えられた速度が、連続的に変化し、速度が零となる軸受表面に向けて徐々に減少していく。

また、同じく中央断面での圧力分布を示すと Fig3.2 のようになる。回転の方向は Fig3.1 と同一である。隙間が最小の部分に向けて回転する流体の圧力が高くなり、隙間最小部を過ぎた部分では圧力が低くなる傾向が見られた。

Fig3.3 に同断面での周方向圧力分布を示した。図の横軸は軸の回転方向への角度であり、縦軸は無次元化した表面圧力である。角度が 1.0π ラジアンにおける数値が、軸受・軸間の隙間が最小になる点での圧力を示す。Fig3.2 でも現れている、最小隙間部に向っては圧力が高い部分が存在し、その部分を過ぎた部分では圧力が低くなるという傾向が見られ、全体としてサインカーブ状の曲線を描いている。速度・圧力分布における以上のような傾向は、実験結果にも見られ⁽⁴⁾ 実際の現象と類似した結果が得られていると考えられる。

4 結論

以上より 3 次元シール軸受解析ができることを検証し、実際の挙動と比較することにより、本研究で用いたモデルおよび計算手法の妥当性が確認できた。また、これらをより実用的かつ動的なモデルに対して適用していくことにより、さらに有用な結果が得られるものと考えられる。

参考文献

- (1) 橋本 巨, トライボロジスト, 43-1, 15-20 (1998)
- (2) 稲垣瑞穂, 堀之内 成明, 青山隆之 他, 日本機械学会論文集, 65-629, C 編, No98-0623 (1999, 1)
- (3) 田村敦宏, 菊地一雄, 高橋匡康, 日本機械学会論文集, 62-604, B 編, 4076-4079 (1996, 12)
- (4) Atsuhiko Tamur, Kazuo Kikuchi, Journal of Computational Physics 137, 247-264 (1997)
- (5) 神吉 博, 小沢 豊 他, 日本機械学会論文集, 51-470, C 編, 2650-2654 (1985, 10)

Fig 3.1

Fig 3.2

Fig 3.3