

# 慣性力を考慮したジャーナル軸受の流体潤滑理論

(続報, 速度分布およびはく離)

中 林 功 一

機 械 工 学 教 室

(1967年9月7日受理)

## An Analysis of Fluid Lubrication in Journal Bearings Considering the Effect of Lubricant Inertia

(2nd Report, Velocity Distribution and Separation in the Lubricant Flow)

Koichi NAKABAYASI

*Department of Mechanical Engineering*

(Received September 7, 1967)

In the former paper the pressure distribution, load-carrying capacity and frictional torque in the journal bearing were investigated considering the lubricant inertia in the journal bearing.

In this paper the effect of the lubricant inertia on the velocity distribution and the separation of the flow in the journal bearing are studied.

The results obtained are as follows.

- 1) When the lubricant inertia is negligibly small, velocity contour line in the journal bearing is always symmetrical about  $\varphi=180^\circ$  (or  $\varphi=0^\circ$ ).
- 2) Velocity contour line in the journal bearing does not become symmetrical about  $\varphi=180^\circ$  with increase of peripheral Reynolds number  $R\omega$ .
- 3) When the effect of the lubricant inertia increases, separation point approaches to the smallest clearance ( $\varphi=180^\circ$ ) between journal and bearing and reattachment point approaches to the largest clearance ( $\varphi=0^\circ$ ).
- 4) The effect of inertia increases, as the clearance ratio increases and the eccentricity decreases in the range of 0.5~0.9.

### 1. 諸 言

近年ジャーナル軸受は非常に高速化され、あるいは粘性の小さい流体（特に気体）を潤滑剤として使用するなど、レイノズル数の大きなところで使用される傾向がある。そのようなレイノズル数の大きなところでは O. Reynolds<sup>1)</sup> および A. Sommerfeld<sup>2)</sup> の行なったように慣性力を無視して軸受内の流れを考察するのは妥当ではない。また従来ジャーナル軸受に関する研究の中で負荷容量ならびに軸心軌道を解析的に求めた例は多いが、ジャーナル軸受内の潤滑剤の流れを速度分布の観点から考察した例は非常に少ない。G. H. Wannier<sup>3)</sup> は内管が回転する偏心二重管内の流れについて等速度線図を描いて

いるが、そこでは慣性力を無視している。また M. M. Kamal<sup>4)</sup> は二極座標を用いて慣性力を無視したときのはく離点および再付着点を求め、さらに慣性力を考慮した場合についても近似計算をしているが、その方法は非常に煩雑であり、またレイノズル数の広範囲にわたっては考察していない。

前報<sup>5)</sup> では慣性力を考慮して Sommerfeld<sup>2)</sup> の境界条件で無限巾のジャーナル軸受を解析し、慣性力が圧力分布、負荷容量、摩擦トルクに及ぼす影響を明らかにした。本報では前報<sup>5)</sup> に引き続き、ジャーナル軸受内の潤滑剤の流れを速度分布およびはく離点に関してすきま比、偏心率およびレイノズル数の広範囲にわたって慣性力の影響を考察した。

なお前報<sup>5)</sup>および本報では一般にジャーナルとベアリングのすきまがジャーナル半径に比して非常に小さいので曲率を無視している。しかし実際のジャーナル軸受ではわずかながらも曲率があるために潤滑剤の粒子に遠心力が作用し、この遠心力のため流れは曲率を無視して  $x-y$  平面に展開した場合の流れと比較して不安定になる。そのためジャーナル軸受において回転数がある程度以上に大きくなると流れが層流から乱流に遷移するレイノルズ数よりも小さいレイノルズ数でテララうずが発生する。同心ではテララ数は  $R_{oc}\sqrt{\beta}=41.2$  のときテララ

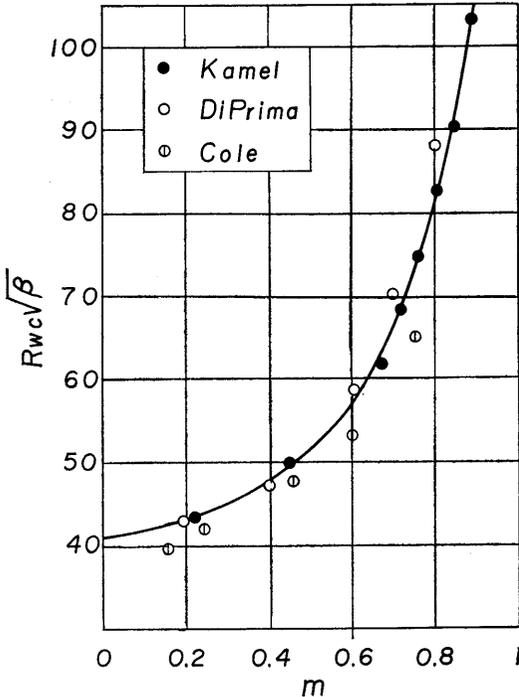
$m=0.5, 0.75, 0.9$  のすべてについて  $R_{oc}=250, 500, 1000$  の場合を数値計算してある。

2. 記号

$r_o$ ; ベアリング内半径  $r_i$ ; ジャーナル外半径  $\varphi$ ; 角度  $x$ ; ジャーナル外壁の周方向の座標  $y$ ; ジャーナル外壁に垂直な座標  $u$ ; 潤滑剤の  $x$  方向速度成分  $v$ ; 潤滑剤の  $y$  方向速度成分  $h$ ; ベアリングとジャーナル間のすきま  $\delta=r_o-r_i$ ; 平均すきま  $e$ ; 偏心率  $h_o=\delta+e$ ; 最大すきま  $m=e/\delta$ ; 偏心率  $\beta=\delta/r_i$ ; すきま比  $K=m\beta/v$ ; 定数  $Q$ ; 潤滑剤の周方向の流量  $\omega$ ; ジャーナルの回転角速度  $U=r_i\omega$ ; ジャーナル外壁の回転周速度  $\theta$ ; はく離点または再付着点の角度  $R_{oc}=U\delta/v$ ; 回転レイノルズ数

3. 速度分布

前報<sup>5)</sup>で述べたように、第2図に示すジャーナル中心  $O$  がベアリング中心  $O'$  から  $e$  だけ偏心しており、ジャーナルが周速度  $U$  で回転しているとする。ジャーナルとベアリングのすきま  $h$  がジャーナル半径  $r_i$  に比し

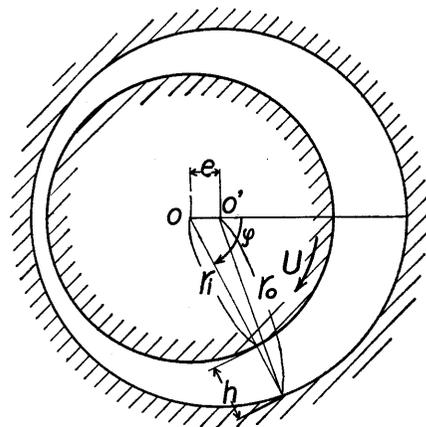


第1図 偏心率とテララ数の関係

第1表

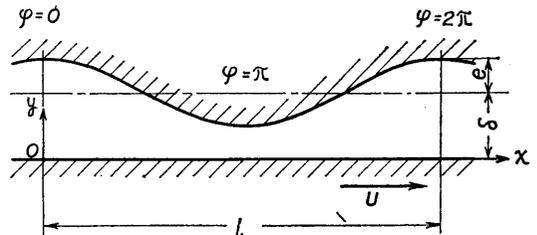
偏心率 $m$	臨界回転レイノルズ数 $R_{oc}$
0	362
0.5	452
0.75	643
0.9	1375

うずが発生するが、Cole<sup>5)</sup>, DiPrima<sup>7)</sup>, Kamal<sup>4)</sup>の実験によれば偏心率が大きくなるにつれて第1図に示すように  $R_{oc}\sqrt{\beta}$  は急激に増加する。ただし  $R_{oc}$  はテララうずが発生する臨界回転レイノルズ数である。すきま比が  $\beta=0.01296$  の場合について偏心率が  $m=0.5, 0.75, 0.9$  における  $R_{oc}$  を求めると第1表のようになる。偏心率が0.5では  $R_{oc}=452$  であるが、本報では慣性力の潤滑剤の流れに及ぼす影響を考察するという観点から



第2図

て非常に小さいので、曲率の影響を無視して、すきま  $h$  を  $(x, y)$  座標上に展開することができる。上述のように  $(x, y)$  座標上に展開して示せば第3図のようになる<sup>5)</sup>。図中の  $x$  方向の速度成分  $u$  は次式で与えられる<sup>5)</sup>。



第3図

$$u = \frac{K}{h} (f_0'(\eta) + f_1'(\eta)\xi + f_2'(\eta)\xi^2 + \dots) \dots\dots(1)$$

$$h = \delta(1 + m\cos\varphi) \dots\dots\dots(3)$$

上式中  $K, h, \eta, \xi$  はそれぞれ次式で与えられる<sup>5)</sup>。

$$\eta = \frac{y}{h}, \quad \xi = \frac{h}{h_0} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{I}{K} = m \frac{\delta}{r_i} \frac{1}{\nu} \dots\dots\dots(2)$$

また  $f_0'(\eta), f_1'(\eta), \dots$  は  $\eta$  のみの関数であり、  
 $f_0'(\eta), f_1'(\eta)$  は次式で与えられている<sup>5)</sup>。

$$f_0'(\eta) = \frac{6Q}{K} (\eta - \eta^2) - 3\eta^2 \sin\varphi \int_0^1 z(1-z)g_{j-1}(z)dz - \eta \sin\varphi \int_0^1 (1-z)(1-3z)g_{j-1}(z)dz + \sin\varphi \int_0^\eta (\eta-z)g_{j-1}(z)dz \dots\dots\dots(5)$$

ただし  $g_j = (f_{0j}')^2$

$$f_1'(\eta) = \frac{h_0 U}{K} (1 - 4\eta + 3\eta^2) + 3\eta^2 \sin\varphi \int_0^1 (1-2z)f_0'(z)f_1(z)dz - 2\eta \sin\varphi \int_0^1 (2-3z)f_0'(z)f_1(z)dz + \sin\varphi \left[ \frac{\partial}{\partial \eta} \int_0^\eta (\eta-z)f_0'(z)f_1(z)dz \right] \dots\dots\dots(6)$$

また (5) 式中の  $Q$  はジャーナルとベアリングのすきまを流れる単位巾あたりの周方向の潤滑剤の流量で次式で与えられる<sup>5)</sup>。

$$Q = U\delta \frac{1-m^2}{2+m^2} \dots\dots\dots(7)$$

(1) 式の右辺第 2 項まで取り、 $f_0'(\eta), f_1'(\eta)$  について  $(1/K)^2$  の order まで計算すればつぎのようになる。

$$f_0'(\eta) = 6 \frac{Q}{K} (\eta - \eta^2) + \frac{3}{35} \frac{Q^2}{K^2} \eta \sin\varphi (2 - 9\eta + 35\eta^3 - 42\eta^4 + 14\eta^5) \dots\dots\dots(8)$$

$$f_1'(\eta) = \frac{h_0 U}{K} (1 - 4\eta + 3\eta^2) + \frac{1}{70} \frac{Q}{K^2} h_0 U \sin\varphi (-10\eta + 3\eta^2 + 140\eta^3 - 315\eta^4 + 252\eta^5 - 70\eta^6) \dots\dots\dots(9)$$

(2), (7) 式を用いて (8), (9) 式を (1) 式に代入して両辺を  $U$  で割れば、無次元速度  $u/U$  は回転レイノズル数  $R_\omega$ 、すきま比  $\beta$ 、偏心率  $m$  をパラメータとして含み、 $\varphi$  および  $\eta$  の関数として次式で与えられる。

$$\frac{u}{U} = \frac{1}{1+m\cos\varphi} \left\{ 6 \left( \frac{1-m^2}{2+m^2} \right) (\eta - \eta^2) + (1+m\cos\varphi) (1 - 4\eta + 3\eta^2) + \frac{3}{35} R_\omega \beta m \left( \frac{1-m^2}{2+m^2} \right)^2 \sin\varphi (2 - 9\eta + 35\eta^3 - 42\eta^4 + 14\eta^5) + \frac{1}{70} R_\omega \beta m \left( \frac{1-m^2}{2+m^2} \right) (1+m\cos\varphi) \sin\varphi (3\eta^2 - 10\eta + 140\eta^3 - 315\eta^4 + 252\eta^5 - 70\eta^6) \right\} \dots\dots\dots(10)$$

なお  $f_0'(\eta), f_1'(\eta)$  について  $1/K$  の order まで計算して、(10) 式と同様に無次元速度  $u/U$  を求めるか、あるいは (10) 式で  $R_\omega = 0$  とおけば次式で与えられるように慣性力を無視して計算した無次元速度と一致する。

$$\frac{u}{U} = \frac{6}{1+m\cos\varphi} \left( \frac{1-m^2}{2+m^2} \right) (\eta - \eta^2) + (1 - 4\eta + 3\eta^2) \dots\dots\dots(11)$$

上述のことからわかるように慣性力が無視できる場合にはジャーナル周囲の任意の位置  $\varphi$  における潤滑剤の速度分布は偏心率にだけ影響される。しかしレイノズル数が大きくなって、もはや慣性力の影響が無視できなくなれば速度分布は偏心率だけでなく、すきま比とレイノズル数によっても影響されることがわかる。

#### 4. はく離および再付着

偏心率がある程度以上に大きくなると、最小すきまから最大すきまへすきまがジャーナルの回転方向へ増加する領域 ( $\varphi = 180^\circ \sim 360^\circ$ ) で流れが急激な圧力上昇に打ち勝つことができずにベアリングの内壁面からはく離す

る。しかしすきまが減少する領域 ( $\varphi = 0^\circ \sim 180^\circ$ ) では一たんはく離れた流れは、今度はベアリング内壁上へ再付着する。

はく離および再付着の条件は次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=h} = 0 \dots\dots\dots(12)$$

$\eta = y/h$  であるから上式は  $(\partial u / \partial \eta) |_{\eta=1} = 0$  となる。

したがって慣性力を無視した場合ははく離点の角度  $\theta$  は (11) 式からつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \cos\theta &= \frac{1-4m^2}{m(2+m^2)} \\ \text{または } \theta &= \cos^{-1} \left\{ \frac{1-4m^2}{m(2+m^2)} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

一方慣性力を考慮した場合には(10)式からつぎのようになる。

$$6\left(\frac{1-m^2}{2+m^2}\right) - 2(1+m\cos\theta) + \beta R_\omega m \left(\frac{1-m^2}{2+m^2}\right) \sin\theta \left[ \frac{2}{35} \cdot \frac{5-2m^2}{2+m^2} + \frac{2}{35} m \cos\theta \right] = 0 \dots\dots\dots(14)$$

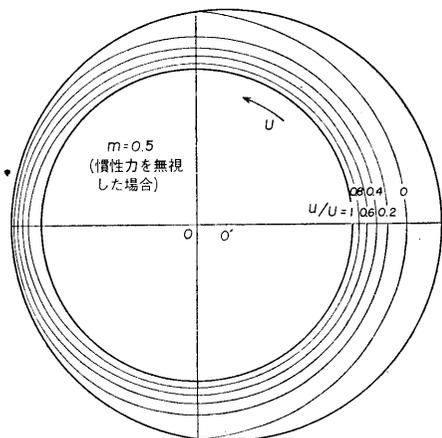
上式中の  $\theta$  ははく離点または再付着点の角度である。

(13)式および(14)式からわかるようにレイノズル数が非常に小さく、慣性力が無視できる場合には、はく離点および再付着点はすきま比に無関係で、偏心率だけに影響される。慣性力が無視できない程度に大きくなれば、はく離点および再付着点は偏心率のほかに、すきま比とレイノズル数によってかなり影響をうけることがわかる。

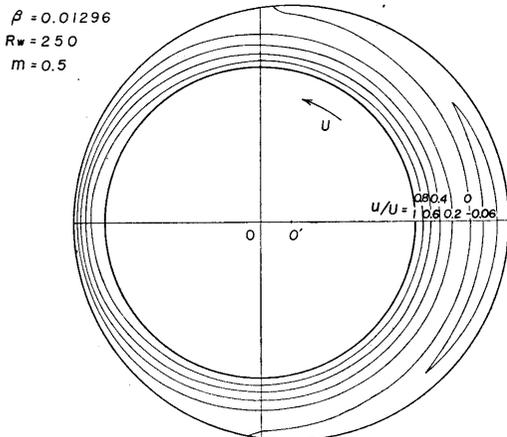
5. 計算結果および考察

5.1 等速度線図と速度分布

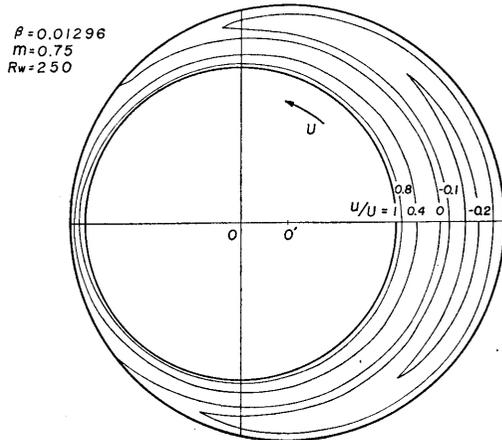
第4図は偏心率が  $m=0.5$  の場合について、慣性力を無視して計算した場合の等速度線図である。また第5~10図は慣性力を考慮して計算した場合で、 $\beta=0.01296$  で  $R_\omega=250$  と  $1000$  のおのおのについて  $m=0.5, 0.75, 0.9$  における等速度線図である。図中の  $O$  点はジャーナルの中心であり、 $O'$  点はベアリングの中心である。



第4図 慣性力を無視した場合の等速度線図 ( $m=0.5$ )

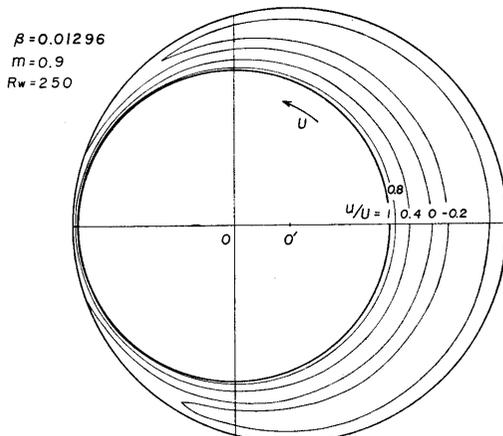


第5図 慣性力を考慮した場合の等速度線図 ( $\beta=0.01296, R_\omega=250, m=0.5$ )



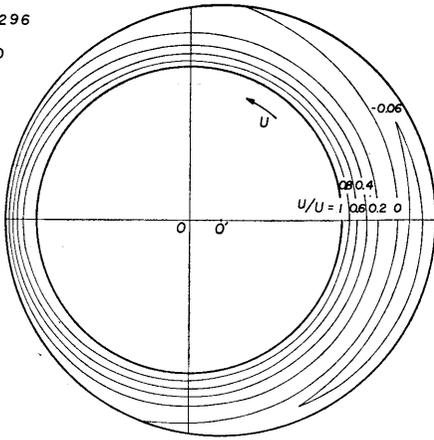
第6図 慣性力を考慮した場合の等速度線図 ( $\beta=0.01296, R_\omega=250, m=0.75$ )

また図中のすきまの寸法は半径に対して30倍に拡大して描かれている。等速度線図上の数値は潤滑剤の速度  $u$  をジャーナル外壁の回転周速度  $U$  で無次元化した無次元速度  $u/U$  であり、 $u/U > 0$  の部分はジャーナルの回転と同じ方向に流体が流れる領域で、 $u/U < 0$  の部分は逆流領域である。また  $u/U=0$  の曲線がベアリング内壁面と二点で交わっているが、 $180^\circ < \varphi < 360^\circ$  で交わる点ははく離点であり、 $0^\circ < \varphi < 180^\circ$  で交わる点は再付着点である。図からわかるように潤滑剤は偏心率がある程度以上大きくなればジャーナルとベアリングのすきまが大きくなる領域でベアリング内壁面から流れはく離しはく離した流れはすきまが狭くなる領域で再びベアリング内壁に付着する。このはく離点と再付着点に関しては



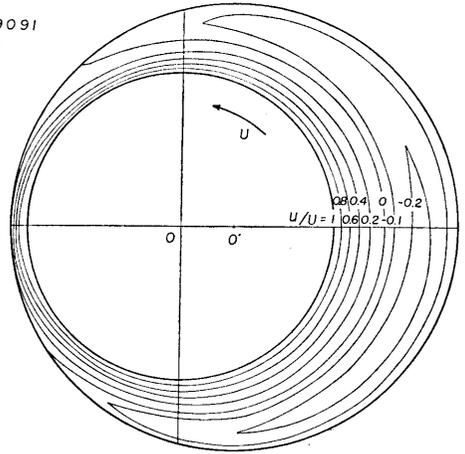
第7図 慣性力を考慮した場合の等速度線図 ( $\beta=0.01296, R_\omega=250, m=0.9$ )

$\beta = 0.01296$   
 $m = 0.5$   
 $R_w = 1000$



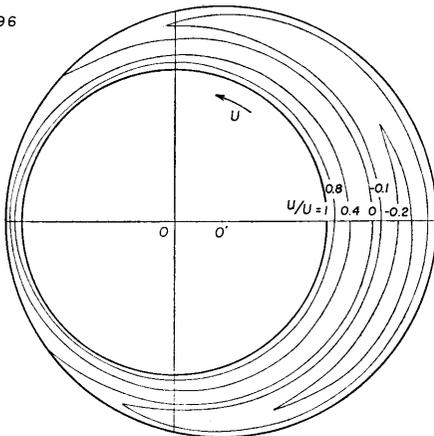
第8図 慣性を考慮した場合の等速度線図  
 ( $\beta = 0.01296, R_w = 1000, m = 0.5$ )

$\beta = 0.09091$   
 $m = 0.75$   
 $R_w = 250$



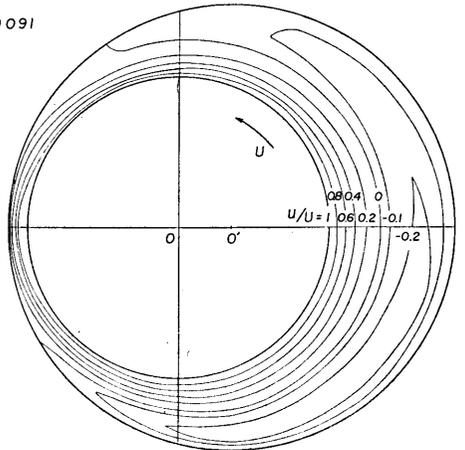
第11図 慣性を考慮した場合の等速度線図  
 ( $\beta = 0.09091, R_w = 250, m = 0.75$ )

$\beta = 0.01296$   
 $m = 0.75$   
 $R_w = 1000$



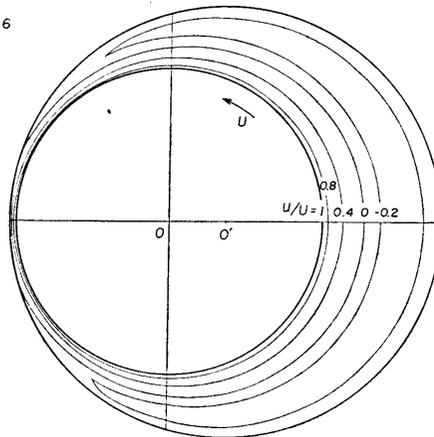
第9図 慣性を考慮した場合の等速度線図  
 ( $\beta = 0.01296, R_w = 1000, m = 0.75$ )

$\beta = 0.09091$   
 $m = 0.75$   
 $R_w = 500$



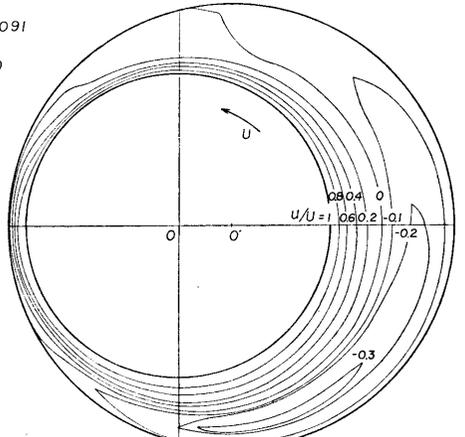
第12図 慣性を考慮した場合の等速度線図  
 ( $\beta = 0.09091, R_w = 500, m = 0.75$ )

$\beta = 0.01296$   
 $m = 0.9$   
 $R_w = 1000$



第10図 慣性を考慮した場合の等速度線図  
 ( $\beta = 0.01296, R_w = 1000, m = 0.9$ )

$\beta = 0.09091$   
 $m = 0.75$   
 $R_w = 1000$

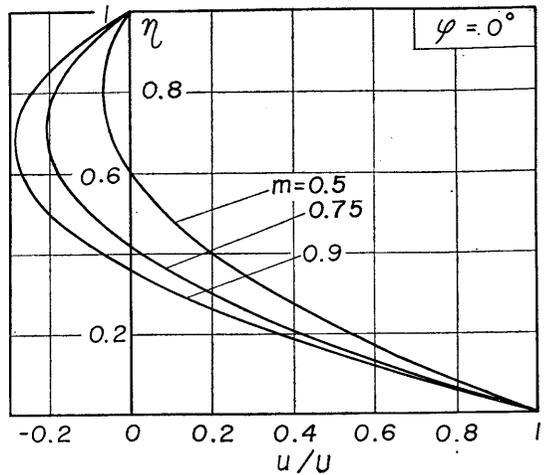


第13図 慣性を考慮した場合の等速度線図  
 ( $\beta = 0.09091, R_w = 1000, m = 0.75$ )

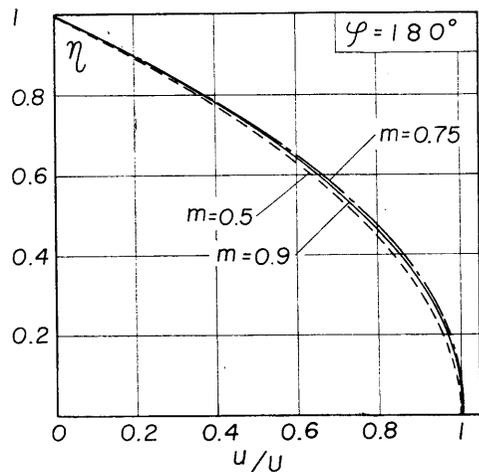
5.2節で述べる。 $R_o$  が小さくて慣性力が無視できる場合には等速度線図は偏心方向の直線( $\varphi=0^\circ$  と  $180^\circ$  を結ぶ直線)に対して対称である。このように慣性力の影響を無視できる場合には潤滑剤の流れ方は  $\varphi=180^\circ$  (最小すきまの位置)に対して対称であり, このことから前報<sup>5)</sup> で述べたように圧力分布も  $\varphi=180^\circ$  に対して対称になることがわかる。 $R_o=250, 1000$  と回転レイノズル数が大きくなるにつれて, 等速度線図は  $\varphi=180^\circ$  (または  $\varphi=0^\circ$ ) に対して対称でなくなり, 逆流領域が  $\varphi=180^\circ \sim 360^\circ$  (圧力が負圧の領域) の方へ寄ってくる。この傾向は偏心率が0.5から0.9の間では偏心率の小さい方が顕著である。また偏心率が大きくなればすきまのうちの逆流が生じる部分が大きくなる。

第11~13図は  $\beta=0.09091, m=0.75$  で  $R_o=250, 500, 1000$  の場合における慣性力を考慮した等速度線図である。ただしこれらの図ではすきまの寸法は半径の5倍の大ききで描かれている。 $R_o$  が大きくなるにつれて潤滑剤の流れ方が複雑になり, 逆流の速度も大きくなる。例えば  $R_o=250, 500$  では  $u/U=-0.3$  の等速度線が現われていないが,  $R_o=1000$  では  $u/U=-0.3$  の領域がある。上述の傾向は  $\beta=0.09091$  の方が  $\beta=0.01296$  に比較してさらに著しくなる。

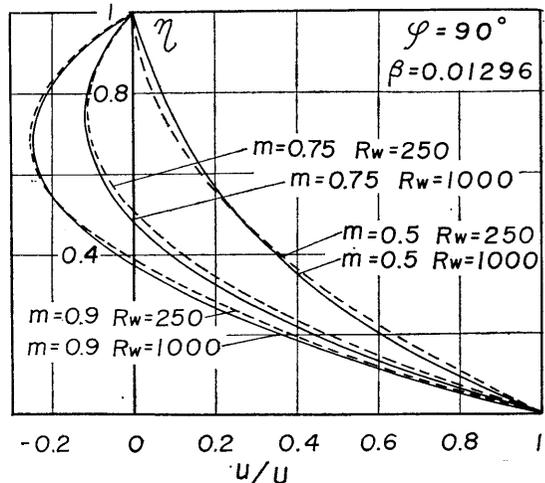
第14, 15図は  $m=0.5, 0.75, 0.9$  の場合の  $\varphi=0^\circ$  と  $\varphi=180^\circ$  の位置における速度分布である。 $\varphi=0^\circ$  と  $\varphi=180^\circ$  においては速度は慣性力を考慮した場合も, 無視した場合も同じになる。したがって速度分布は  $\varphi=0^\circ$  と  $180^\circ$  ではすきま比および回転レイノズル数に無関係で, 偏心率によってのみ定まる。(10式からわかるように  $\varphi=90^\circ$  と  $270^\circ$  の近くでは潤滑剤の速度は慣性力の影響を最も強く受けるので,  $\beta=0.01296$  について,  $m=0.5, 0.75, 0.9, R_o=250, 1000$  の場合を示せば,  $\varphi=90^\circ$  と  $100^\circ$  においては第16, 17図, また  $\varphi=270^\circ$  と  $280^\circ$  においては第18, 19図のようになる。これらの場合における  $R_o=250$  の速度分布は各偏心率とも慣性力を無視した値とほとんど同じである。偏心率が  $m=0.5$  の場合に  $R_o=250$  から  $1000$  と  $R_o$  が大きくなれば無次元速度  $u/U$  は  $\varphi=90^\circ$  のところではジャーナル外壁近くで少し小さくなるが, ベアリング内壁近くではむしろ大きくなる。 $\varphi=100^\circ$  についても同様である。 $\varphi=270^\circ$  のところではこの傾向が逆になり, ベアリング壁近くでは逆流が生じるようになる。 $m=0.75$  について言えば,  $\varphi=90^\circ$  における速度分布は  $R_o=250$  ではすきまの約半分までが逆流しており,  $R_o$  が大きくなって  $R_o=1000$  となると全すきまにわたって  $u/U$  が減少し, 逆流領域がさらに大きくなる。一方  $\varphi=270^\circ$  についてはジャーナル近くでは  $u/U$  が小さくなり, またベアリング近くの逆流速度は小さくなる。 $m=0.9$  についても同様のことが言えるが, この場合には  $m=0.5, 0.75$  よりも慣性力による影響が少なくなる。



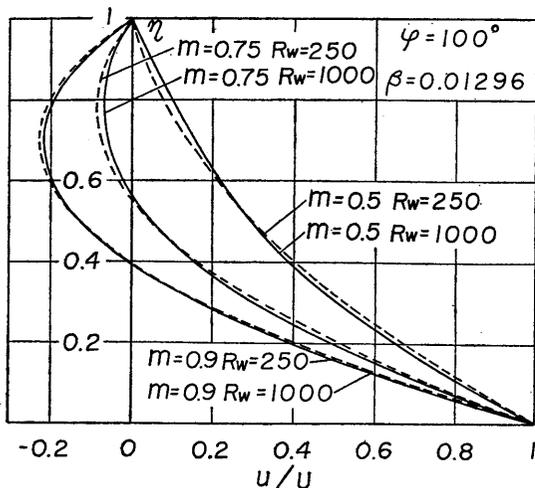
第14図 速度分布 ( $\varphi=0^\circ$ )



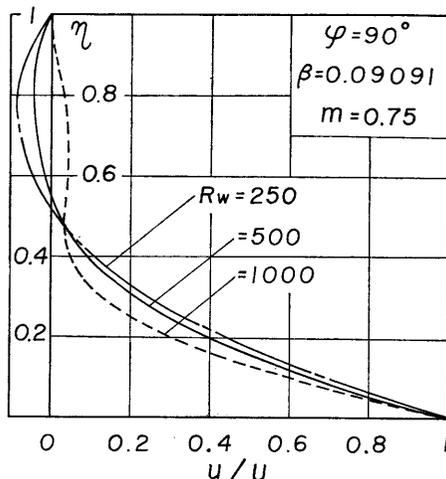
第15図 速度分布 ( $\varphi=180^\circ$ )



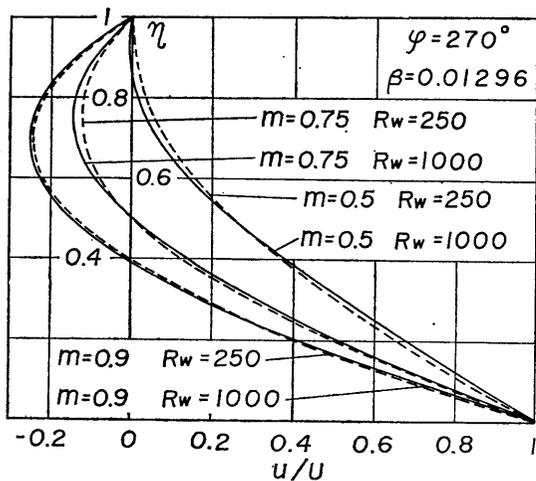
第16図 速度分布 ( $\beta=0.01296, \varphi=90^\circ$ )



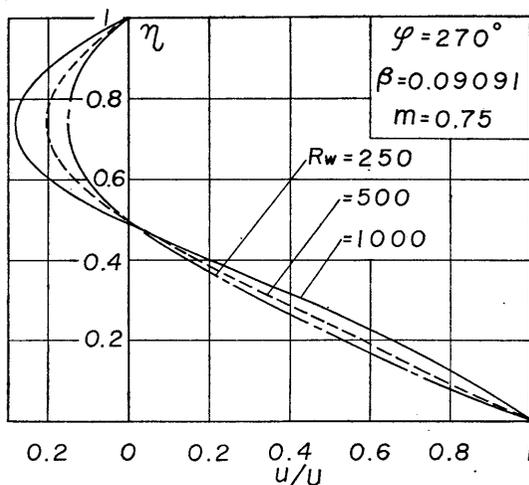
第17図 速度分布 ( $\beta=0.01296, \varphi=100^\circ$ )



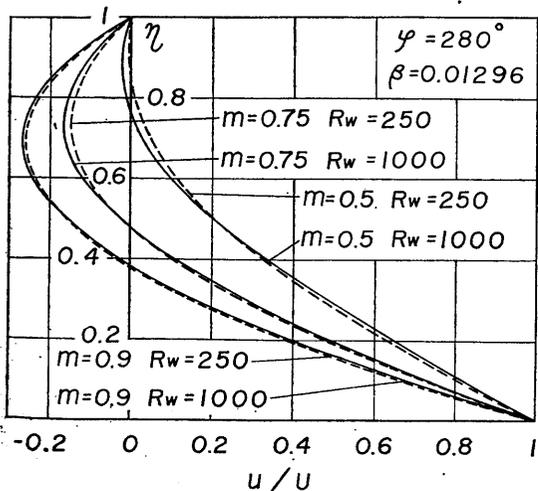
第20図 速度分布 ( $\beta=0.09091, m=0.75, \varphi=90^\circ$ )



第18図 速度分布 ( $\beta=0.01296, \varphi=270^\circ$ )



第21図 速度分布 ( $\beta=0.09091, m=0.75, \varphi=270^\circ$ )

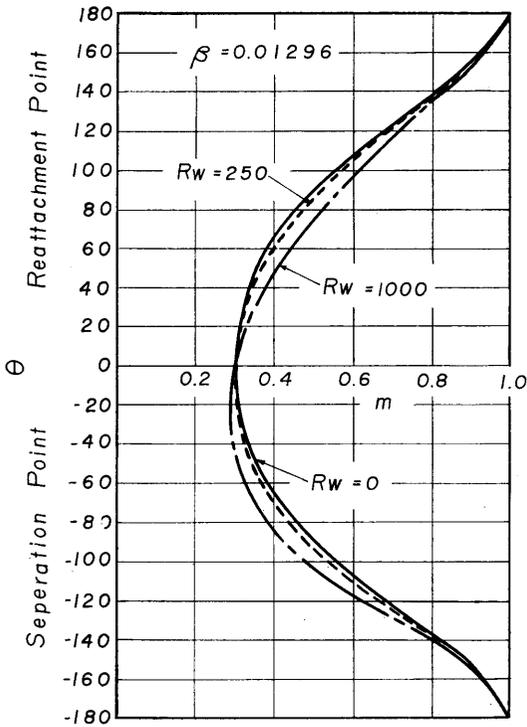


第19図 速度分布 ( $\beta=0.01296, \varphi=280^\circ$ )

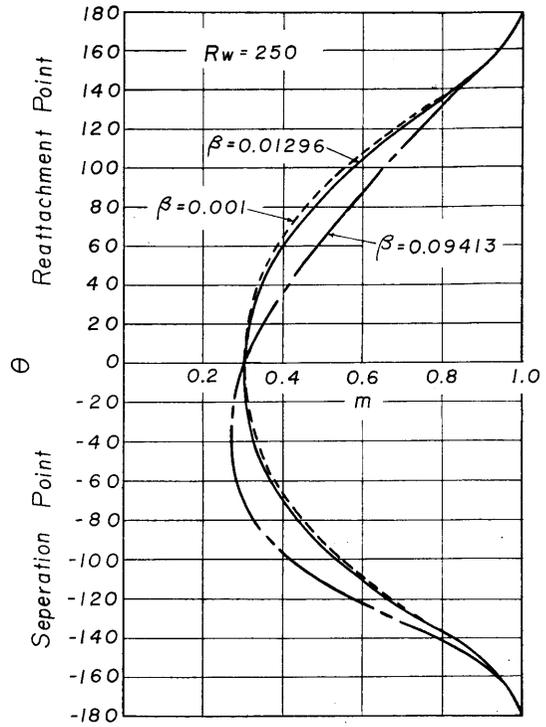
第20図は  $\beta=0.09091, m=0.75$  の場合の  $\varphi=90^\circ$  における速度分布である。 $\beta=0.01296$  では  $R_w$  が大きくなっても速度分布にあまり変化がなかったが、すぎまが大きくなって  $\beta=0.09091$  になると  $u/U$  は  $R_w$  が大きくなるにつれてジャーナル近くでは小さくなるが、ベアリング近くではむしろ逆に大きくなる。

第21図からわかるように  $\beta=0.09091$  における  $\varphi=270^\circ$  の速度分布は  $\varphi=90^\circ$  とは逆の傾向があり、 $R_w$  が大きくなればジャーナル近くでは  $u/U$  が大きくなり、ベアリング近くでは逆流の速度  $u/U$  がますます大きくなる。

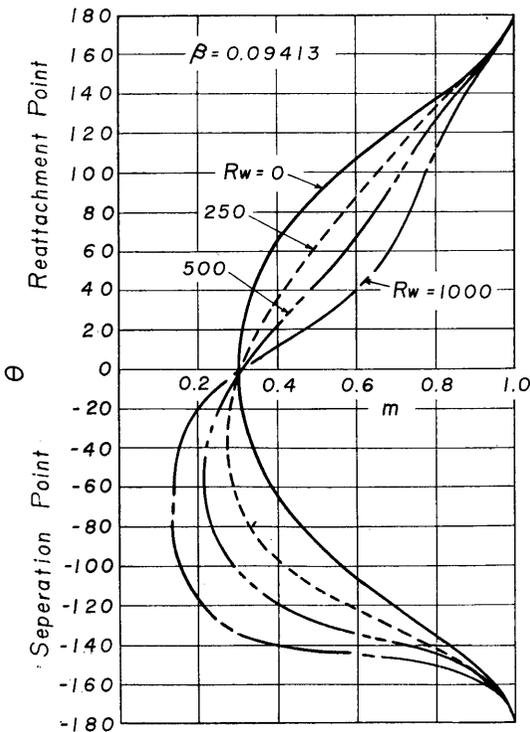
上述のように慣性力は  $\varphi=90^\circ$  ではベアリング壁近くの逆流の速度  $u/U$  およびジャーナル壁近くの速度  $u/U$  をともに小さくしようとする作用があり、 $\varphi=270^\circ$  ではベアリング壁近くの逆流の速度  $u/U$  およびジャーナル壁近くの速度  $u/U$  をともに大きくしようとする作用がある。



第22図 偏心率とはくり点および再付着点の関係 ( $R_w$ の影響,  $\beta=0.01296$ )



第24図 偏心率とはくり点および再付着点の関係 ( $\beta$ の影響,  $R_w=250$ )



第23図 偏心率とはくり点および再付着点の関係 ( $R_w$ の影響,  $\beta=0.09413$ )

5.2 はく離および再付着点

第22図は  $\beta=0.01296$  における  $R_w=250, 1000$  の場合のはく離点と再付着点を慣性力を無視して計算した場合 ( $R_w=0$ ) と比較したものである。 $R_w=0$  の場合には等速度線図からもわかるようにはく離点と再付着点は  $\varphi=0^\circ$  に対して対称であり、偏心率が約0.3以上でははく離が生じるが、それ以下でははく離が生じない。 $R_w$  が大きくなるにつれて、はく離が生じる偏心率の最小値が0.3より小さくなる。また同じ偏心率の場合  $R_w$  が大きくなればはく離点がジャーナルとベアリングの最小すきまの方へ移る。一方再付着点は最大すきまの方へ移行する。第23図は  $\beta=0.09413$  の場合であるが、上述の傾向がより顕著に現われている。第24図は  $R_w=250$  における場合を  $\beta=0.001, 0.01296, 0.09413$  の三種類のすきま比について比較した図である。 $\beta=0.001$  でははく離点と再付着点はほとんど  $\varphi=0^\circ$  に対して対称の位置にあるが、同じ偏心率ではすきまが大きくなるにつれてはく離点が最小すきまの方へ、また再付着点は最大すきまの方へ移行している。

6. 結論

速度分布とはく離および再付着点に関して潤滑剤の慣性力が及ぼす影響を考察したが、以上を要約するとつぎのようになる。

回転レイノズル数が非常に小さく、潤滑剤の慣性力を

無視できる場合にはジャーナル軸受内の潤滑剤の流れ方は  $\varphi=180^\circ$  に対して対称である。回転レイノズル数が大きくなると潤滑剤の流れ方はその慣性力のために  $\varphi=180^\circ$  に対して対称でなくなる。またジャーナル軸受のすきまのうち逆流域がしめる割合が慣性力の影響が大きいほど  $0^\circ < \varphi < 180^\circ$  では減少し、 $180^\circ < \varphi < 360^\circ$  では増加して、潤滑剤の圧力が負の値を示す領域の方へ片寄る。すなわちはく離および再付着点について言えばつぎのようになる。慣性力が無視できる場合には偏心率が約 0.3 以上でないと流れははく離せず、この場合  $m=0.3$  のはく離および再付着は  $\varphi=0^\circ$  のベアリング内壁面上で生じる。また慣性力の影響が大きくなるとはく離が生じる偏心率の最小値は 0.3 よりも小さくなる。すきまが非常に小さいとき ( $\beta=0.001$  以下) には回転レイノズル数が大きくなっても慣性力を無視して計算した値とほとんど同じである。しかしすきまが少し大きくなり  $\beta \approx 0.01$  になると回転レイノズル数が大きいほど同じ偏心率におけるはく離点は最小すきまの方へ近づき、再付着点は最大すきまの方へ近づく。以上の傾向ははく離が生じ

る偏心率の範囲内で偏心率が小さい方が、またすきま比が大きい方がより顕著である。

終りに臨み終始御懇切なる御指導を賜りました山田豊先生および計算と図の清書に熱心に御協力下さった竹内誠氏ならびに大学院学生の阿部忠夫氏に感謝致します。

- 1) O. Reynolds, Phil. Trans. Roy. Soc., I(1886)
- 2) A. Sommerfeld, Z. Math. Phys., 50(1904), 97
- 3) G. H. Wannier, Quart. appl. Math., 8, (1950), 1
- 4) M. M. Kamal, Trans. ASME, Ser. D, (1966-12), 717
- 5) 山田・中林・鈴木, 名工大学報, 16(昭41), 243
- 6) J. A. Cole, "Experiments on the Flow in Rotating Annular Clearances," paper presented at the Conference on Lubrication and Wear, Institution of Mechanical Engineers, London, England, October, 1957
- 7) R. C. DiPrima, ASLE Trans., 6, (1963), 249