

報告番号

※²伊第 1583号

主論文の要旨

題名

容器内回転円すい体の流体摩擦抵抗

氏名 伊藤基之

主論文の要旨

報告番号

※~~伊~~第1583号

氏名

伊藤基之

ターボ形流体機械の羽根車側板に働く流体摩擦トルクは、一般に円板摩擦と呼ばれており、動力損失の一因となる。半径流形の羽根車においては、側板の形状が円板に類似しているため、この種の羽根車の円板摩擦損失は、容器内で回転する円板の流体摩擦モーメントから推定できる。このため容器内回転円板の流体摩擦抵抗に関して、従来数多くの研究が行われており、同時にまた円板と容器のすきま内の流動状態が調べられている。しかし、このすきま内の流動状態は、円板回転数、すきま幅、円板や容器の表面あざ、漏れ流量などの多くの因子によって複雑に変化するため、従来の研究によりこれら諸因子の影響が十分に解明されているとはいえない。

他方、混流形や斜流形などの高比速度羽根車においては、側板の形状が円板とはかなり異なり、円すい形に近い形状になっているため、従来研究されてきた容器内回転円板の摩擦モーメントからこれら高比速度羽根車の円板摩擦損失を正しく推定することはできない。そこでこの問題に関連して、円すい形容器内で円すい体が回転する場合の流体摩擦抵抗と円すい頂角の関係を明らかにしておく必要がある。この場合、円すい頂角が 180° の場合は容器内回転円板、また頂角が 0° の場合は回転二重円筒（内円筒回転）に相当するので、円すい頂角が 180° から順次減少して 0° に近づくとき、円すい面間の流動様式は容器内回転円板におけるものか

主論文の要旨

報告番号

※^乙第 1583号

氏名

伊藤基之

ら、回転二重円筒におけるものへ変化してゆくものと考えられる。したがって、円すい面間の流動様式が頂角によってどのように変化するかという問題は、流体力学的な見地からも非常に興味深い。

近年、ターボ機械の高速化、大形化に伴い、諸種の動力損失をできる限り少なくすること、およびこれらを正確に見積ることが、経済的な面からも重要な問題となっている。この点からも、各種ターボ機械の円板摩擦損失を正しく評価するための詳細な資料が必要である。

以上の点を考慮して、本研究では各種頂角の円すい体（円板も含む）がそれと同じ頂角を有する円すい形容器（円板の場合は円筒容器）内で回転する場合の摩擦モーメントの測定を広範囲のレイノルズ数およびすま比（円すい面間すま幅と回転円すい体底面半径の比）に対して行い、円すい頂角、表面あらし、貫流などの影響を明らかにした。

以下本論文の各章において明らかとなった要点をここに総括する。

第1章では、本研究の意義と目的を明らかにするとともに、過去における研究を概観した。

第2章では、頂角 θ が 30° から 270° までの7種類の頂角の円すい体を円すい形容器内で回転させ、円すい面

主論文の要旨

報告番号

※ 第 1523 号

氏名

伊藤基之

が滑面の場合について摩擦モーメントの測定および流れの観察を行い、つぎの点を明らかにした。

(1) すきま比 s/R (s : 回転円すい面と静止円すい面のすきま幅, R : 回転円すい体の底面半径) が非常に小さい場合の層流域では、いずれの頂角 θ においても摩擦モーメント係数 C_M が層流の理論値とよく一致する。

(2) $\theta = 180^\circ$ (回転円板) および $\theta = 60^\circ$ における流れの観察から、いずれの θ においても s/R が大きいほど、低レイノルズ数 (レイノルズ数 $Re = R^2\omega/\nu$, ω : 回転円すい体の角速度, ν : 動粘性係数) でうずが発生し、 $\theta = 60^\circ$ ではテイラーうずに類似のうずが発生する。

(3) $\theta \geq 120^\circ$ の場合と $\theta \leq 90^\circ$ の場合とで C_M に大きな差異がみられたが、この原因は両場合における二次流れが本質的に異なるためである。すなわち、 $\theta \geq 120^\circ$ においては回転円板の場合にみられるような二次流れが生じ、 $\theta \leq 90^\circ$ ではこの種の二次流れに加えてテイラーうずに類似の二次流れが生じる。

(4) レイノルズ数 Re が一定のもとで C_M が最小となるすきま比 s/R の値は、 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ では θ にほとんど無関係に一定であるが、 $\theta \leq 90^\circ$ では θ が小さくなるほど増大する。

第3章では、円すい面が粗面の場合について、 θ が 30° から 180° までの6種類の円すい体に関して摩擦モー

主論文の要旨

報告番号

※ 第 1583 号

氏名

伊藤基之

メントの測定を行い、つぎの諸点を明らかにした。

回転および静止円すい面の一方が滑面の場合：

(1) 乱流域での C_M 値は回転側粗面の場合のほうが静止側粗面の場合よりも大きく、その差異は s'/R (s' : 有効すま) が大きいほど顕著となる。

(2) いずれの θ においても、 Re 数が一定のもとで C_M が最小となる s'/R の値は、回転側粗面の場合には両側とも滑面の場合とほぼ等しく、静止側粗面の場合にはこれよりやや大きい。

(3) 回転側が粗面であり、かつ s'/R が比較的小さい ($s'/R < 0.02$) 場合に θ による C_M の差異が顕著にみられ、 θ が小さいほど C_M は大きい。

回転および静止の両円すい面が同一粗面の場合：

(4) Re 数の十分大きい完全粗面流れ領域では、 C_M が Re 数に無関係な一定値となり、この領域では相対粗度 R/r (r : あらさ要素の平均粒径) が大きいほど C_M が θ および s'/R の影響を強く受ける。

(5) 完全粗面流れ領域では C_M が次式で表される。

$$C_M = \{A \log(R/r) + B\}^{-2}$$

ここで A, B はそれぞれ定数であり、 θ および s'/R によって異なる値をとる。

(6) 完全粗面流れ領域での C_M 値は、 s'/R が比較的小さいければ ($s'/R < 0.02$)、 $\theta \geq 150^\circ$ の場合と比べて $\theta \leq 120^\circ$ の場合のほうがかなり大きく、逆に s'/R が大きければ ($s'/R > 0.08$)、 $\theta \geq 90^\circ$ の場合より $\theta \leq 60^\circ$ の場合のほうが

主論文の要旨

報告番号

※ 第

号

氏名

伊藤基之

小さい。

第4章では、容器内で円板が回転する場合について、半径方向外向きあるいは内向きの貫流を加えて摩擦モーメントを測定し、以下の点を明らかにした。

(1) 回転円板に働く摩擦モーメントは、正貫流（半径方向外向き貫流）の場合には流量増加とともに増大するが、負貫流（半径方向内向き貫流）の場合には、貫流に円板回転方向の予旋回があれば、貫流量の増加とともに摩擦モーメントが著しく減少し、貫流の持ち込み角運動量が支配的となる。

(2) 負貫流に予旋回を与えないとき、ある貫流量のもとで摩擦モーメントが最小となる。

(3) すきま比 s/R が非常に小さく、かつ流れが層流の場合には、貫流の無次元体積流量 C_q が一定のもとで流れの相似性が保たれ、 C_M が Re^{-1} に比例して変化する。

(4) 貫流量が特に大きくなければ（ $Re=10^5$ では $|C_q| < 1500$ 、 $Re=10^6$ では $|C_q| < 5000$ 程度）、貫流がある場合の容器内回転円板による流動様式は貫流のない場合と同様な4種類の流れ領域に大別することができる。

第5章では、頂角 θ が 90° 、 60° 、 30° の3種類の円すい体を用いて、子午線方向外向きの貫流がある場合の摩擦モーメントを測定し、以下の諸点を明らかにした。

(1) 貫流のない場合にうずの影響で C_M 値が回転円板

主論文の要旨

報告番号 ※~~第~~ ⁷第 1582 号 氏名 伊藤基之

における値よりもかなり大きくなっている領域では、 Re 数を一定に保って貫流量を増せば、うずが消滅するために C_M は減少する。

(2) S/R および Re がともに小さい場合 ($S/R < 0.01$, $Re < 10^5$ 程度)、 C_g が一定のもとで $C_M \propto Re^{-1}$ の関係が成り立つ。

(3) うずの影響が小さい乱流域では、 C_M/C_{M0} (C_{M0} : 貫流がない場合の C_M 値) と $C_g \cdot \sin(\theta/2)$ の関係が θ および S/R にはほとんど無関係となり、 Re が一定のもとではほぼ一本の曲線で表される。

第6章では、容器内回転円板において、回転円板および容器側の静止円板のうちの少なくとも一方を粗面にした状態で貫流がある場合の摩擦モーメントを測定し、以下の諸点を明らかにした。

回転円板および静止円板のうちで、一方だけが粗面で他方は滑面の場合：

(1) 半径方向外向きの貫流がある場合 ($C_g > 0$)、 C_M にあらさの影響が現れ始める Re 数は、回転円板が粗面である場合に比べて静止円板が粗面である場合のほうが著しく大きい。

(2) Re および C_g が一定のもとで乱流域の C_M 値が最小となる S/R の値は、貫流量および円板の粗度にはほとんど関係せず、回転円板が粗面の場合には $S/R \approx 0.013$ であり、静止円板が粗面の場合には $S/R \approx 0.020$ である。

主論文の要旨

報告番号 ※~~第~~ ^乙第 1523号 氏名 伊藤基之

(3) 静止円板が粗面の場合には、乱流域での C_M に及ぼす貫流の影響が著しく小さい。

(4) 静止円板が粗面の場合、乱流域での C_M に及ぼすあらさの影響は、 C_f および S/R の値が大きいほど小さい。

回転円板および静止円板がともに粗面であり、かつ粗度が互いに等しい場合：

(5) C_f/Re を一定に保てば、 Re 数の十分大きい乱流域において C_M が Re に無関係な一定値をとる。

(6) C_f および Re が一定のもとで完全粗面流れ領域の C_M が最小となる S/R の値は、貫流量および円板面の粗度にはほとんど無関係であり、 $S/R \approx 0.020$ である。

(7) 円板面の粗度が大きいほど、乱流域での C_M に対する貫流の影響が小さい。

(8) 乱流域での C_M に及ぼすあらさの影響は、静止円板が粗面の場合と同様な傾向をもち、 C_f および S/R が大きいほど小さい。

第7章では、以上の章の内容をまとめて結論を述べてある。