

軸受の熱抵抗

Thermal Resistance of Journal Bearing

橋 藤 雄・長 島 義 悟

軸受の伝熱機構が明らかになると、設計上便利であるし、軸受の実験は割合多いにもかかわらず、熱的解析はまだ不満足な状態なので、われわれはギャップの熱抵抗の問題として、これを取り上げてみた。

考察を簡略にするために、次のように仮定している。

1. 軸と軸受とは偏心していないものとする。
2. 軸に直角な断面の円周方向の温度は同じとする。
3. 流れは層流とし、物性値は不変とする。
4. 半径方向の流速はない。 $w=0$
5. 軸方向の速度分布は、矩形形状である。 $u=u_1$
6. 壁表面の温度は一定に保たれ、 $T_H > T_S$ とする。
 T_H は軸受壁表面温度。 T_S は軸壁表面温度。
7. 局所熱伝達率を次式にて定義する。

$$\alpha_H = \frac{-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial Z} \right)_H}{T_H - T_m} \quad \alpha_S = \frac{-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial Z} \right)_S}{T_m - T_S}$$

添字の H は軸受側を示し、 S は軸側を示す。

λ は熱伝導率 kcal/mh°C, T_m は軸方向 x のところの断面の混合平均温度。

8. ギャップの一方の壁は周速に相当する速度 v_1 で y 方向に動いており、速度分布は、 $v=v_1(z/h)$ とする。 h はクリアランス。

以上のように仮定して、エネルギー式に $u=u_1$, $v=v_1(z/h)$, $w=0$ を入れ、二三の簡略化を行なうと無次元式として、

$$\frac{\partial \theta}{\partial x'} = \frac{1}{Pe'} \cdot \frac{L}{h} \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial z'^2} - 2\phi \right) \quad (1)$$

を得る。式中 $\theta = \frac{T_H - T}{T_H - T_S}$, $Pe' = \text{ペクレ数} = Re_h \cdot Pr$, $Re_h = \frac{u_1 \cdot h}{\nu}$, $Pr = \frac{gC\mu}{\lambda}$, g は重力の加速度 m/s², C は潤滑油の比熱 kcal/kg°C, μ は静粘性係数 kg·s/m², $x' = x/L$, L はギャップの x 方向の長さ。 $Z' = Z/h$, Z 方向は半径方向に相当する。

$\phi = \frac{v_1^2}{2JgC} \cdot \frac{Pr}{(T_H - T_S)}$ 。 J は熱の仕事当量 427 kg·m/kcal。

(1) 式の境界条件は $Z'=0$ で $\theta=0$ 。 $Z'=1$ で $\theta=1$ 初期条件は $x'=0$ で $\theta=\theta_i = \frac{T_H - T_i}{T_H - T_S}$, T_i は潤滑油入口温度。いま $\theta = \theta + \phi(Z' - Z'^2) - Z'$ とおくと (1) 式は

$$\frac{\partial \theta}{\partial x'} = a \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z'^2}$$

となる。 $a = \frac{1}{Pe'} \cdot \frac{L}{h}$ 。この式を $Z'=0$ で $\theta=0$ 。

$Z'=1$ で $\theta=0$, $x'=0$ で $\theta = \theta_i = \theta_i + \phi(Z' - Z'^2) - Z'$ の条件で解くと、

$$\theta = Z' - \phi(Z' - Z'^2) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} D_n e^{-an^2\pi^2 x'} \cdot \sin n\pi Z' \quad (2)$$

$$D_n = \frac{\theta_i}{n\pi} \{1 - (-1)^n\} + \frac{2\phi}{n^2\pi^3} \{1 - (-1)^n\} + \frac{(-1)^n}{n\pi}$$

(2) 式より平均温度および温度勾配を求めて、熱伝達率を計算すると、

$$Nu_H = 6 \cdot \frac{1 - \phi + [B]}{3 - \phi + [A]} \quad Nu_S = 6 \cdot \frac{1 + \phi + [C]}{3 + \phi - [A]} \quad (3)$$

となる。 $[A]$, $[B]$, $[C]$ はおのおの $e^{-an^2\pi^2 x'}$ を含む無限級数の和である。

ここに

$$Nu_H = \frac{\alpha_H \cdot h}{\lambda}, \quad Nu_S = \frac{\alpha_S \cdot h}{\lambda} \quad \text{である。}$$

実験では、 $x'=0$ の付近を別にすれば、 $e^{-an^2\pi^2 x'} \approx 0$ になるので、ヌセルト数はおもに摩擦条件 ϕ により変わることになる。潤滑油温度の軸方向変化は (2) 式でも判るように、入口付近できわだった温度上昇があり、ある x' になるとほぼ一定値になって、あまり変化しない。

熱の流れる方向が x 軸の途中で逆になる位置が存在する場合もある。軸側は $x' \approx 0$ の近くで壁から流体に熱が流れるが、ある点以上では流体から軸に流れるようになる場合もでてくる。われわれの実験範囲ではこの点は $x'=0$ の近くになる。

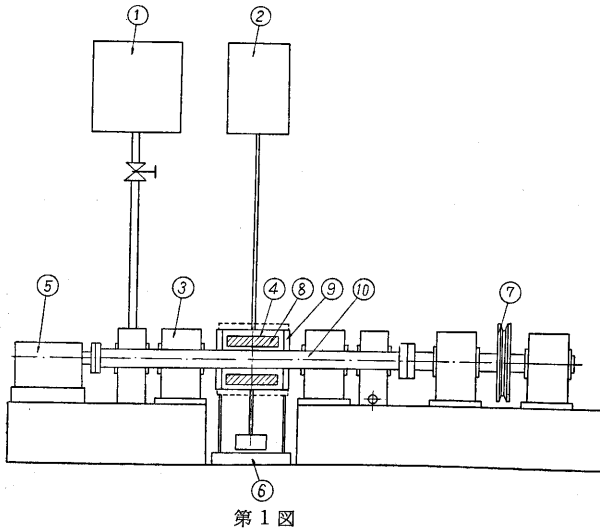
軸受側は $\phi > 1$ になると流体から壁に熱が流れる部分もでてくるが、 $\phi < 1$ ならば壁から流体に流れる。

実験では $\phi = 0 \sim 0.5$ であった。

実験した装置は第 1 図の通りである。

軸外径 40 m/m 内径 32 m/m の軸内に、ヘッドタンクより導いた絶縁油を流して冷却し、一方軸受金属(黄銅)の外周にニクロム線を巻きつけて、ギャップに熱量 Q_1 を供給する。

軸受側壁面から流体に伝わった熱量 Q_2 は上のように



ニクロム線の消費電力で決定し、流体から軸表面に伝わった熱量 Q_2 は管内の絶縁油の温度上昇より近似的に求める。摩擦発熱量 Q_r は潤滑油の持ち去る熱量 Q_3 と上の Q_1 および Q_2 とのバランスより $Q_r = Q_2 + Q_3 - Q_1$ として求める。一方 Q_r は偏心量がない場合の計算値でチェックしたが、実験値との間に大きい差はなかった。

回転体の温度は、予め水銀槽を接点にした回路でチェックした、銀グラファイト・カーボンのブラシおよび銅リングにより取り出したサーモカップル起電力を電位差計で測定した。

測定点は 3 点で平均値を T_s とした。

軸受メタル表面温度は 7 点測りその平均を T_H とした。

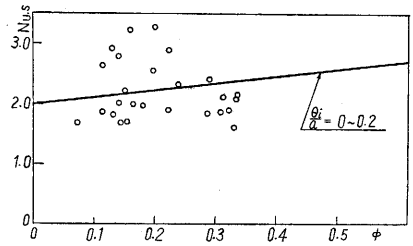
回転数は変速モーターにより最高 2300 RPM まで、自由に変えることができる。平均熱伝達率は

$$\alpha_{Hm} = \frac{Q_1}{A_H(T_H - T_m)} \quad \alpha_{sm} = \frac{Q_2}{A_S(T_m - T_s)}$$

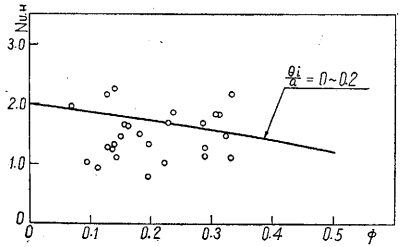
より計算するが、 T_m は (2) 式によれば出口温度とほとんど同じであるから、これにより算出することにした。

いままでに得られた結果を第 2 図に示す。

実験は (3) 式で $a = \frac{1}{Pe'} \frac{L}{h}$ がパラメータになるが、



実験データ 1



実験データ 2

実験した範囲ではほとんど 1 本になる。

$\phi = 0$ ($Nr.p.m = 0$) では $Nu_H = Nu_S = 2$ となり、熱伝導で伝わることを示す。 Nu_S は ϕ とともに増すが、これは実験の仮定で $T_H > T_s$ としたため、軸受側を冷却する場合は逆になる。実験値が大きければ理由として 1) 荷重がかかっているのに偏心量がないものとしたため、 2) 回転体の温度が正確に測り難い上に、温度差 $T_H - T_s$ を大きくとれなかったことと、 3) 軸表面と流体との間の伝達熱量 Q_2 が正確でない等の理由によるものと思われる。

いままでに判ったことは

- 1) 熱伝達率と摩擦条件との関係および熱伝達率のたいの数值がつかめた。
- 2) 熱伝達率は両壁面で異なっており、計算によると温度の低い方の壁の熱伝達率は入口付近をのぞけば ϕ とともに増す。温度の高い方の壁の熱伝達率は $\phi < 1$ では ϕ が増すと減少する。

今後はデータの精度を高めることと、 ϕ の大きい場合の測定を行なうことを予定している。(1960.9.6)

正 誤 表 (10 月 号)

頁	段	行	種別	正	誤
18	右	9	本文	Ash 16%	Ash 10%
42	左	10	"	+P ₂ O ₅	+P ₂ O ⁵
44	右	下11	"	<u>Mn</u> + <u>O</u> =MnO	<u>Mn</u> + <u>O</u> =MnO

表 紙 説 明

液圧式の高速度型深絞り試験機。最高試験速度 20 m/min、空気液圧式にクランクプレスの速度を再現している(本文1~4ページ)。