平成 30 年度
神戸大学大学院工学研究科 博士課程前期課程
機械工学専攻　入学試験問題

科目名：流体力学　［1/2］

（問題[1], [2]は別々の答案用紙に解答すること）

[1] 複素速度ポテンシャル $F(z)=\Phi(x,y)+i\Psi(x,y)$ で与えられる定常な二次元非圧縮性渦無し流れについて考える．ここで，i は虚数単位，x, y は二次元デカルト座標，z は複素数 $z=x+iy$，Φは速度ポテンシャル，Ψは流れ関数である．複素数の極座標表示 $z=re^{i\theta}$ を用いて $F(z)$を表すとその実部は $\Phi(\theta)=\dfrac{K\theta}{2\pi}$ と与えられるものとする．ここで，r は原点から位置(x, y)までの距離 $r=\sqrt{x^2+y^2}$，θは原点と位置(x, y)を結ぶ線分と x 軸のなす角度 $\theta=\tan^{-1}(y/x)$，K はゼロでない定数である．以下では原点における流れは考えないものとする．以下の問いに答えよ．

(1) この流れのΦとΨは関係式 $\dfrac{\partial\Phi}{\partial r}=\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\Psi}{\partial\theta}$ 及び $\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\Phi}{\partial\theta}=-\dfrac{\partial\Psi}{\partial r}$ を満たす．これらの関係式を利用して(r, θ)座標系におけるΦのラプラス方程式 $\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial}{\partial r}\left(r\dfrac{\partial\Phi}{\partial r}\right)+\dfrac{1}{r^2}\dfrac{\partial^2\Phi}{\partial\theta^2}=0$ を導出せよ．

(2) この流れのΨを求めよ．ただし，(r, θ)座標を用いて表すこと．また，Ψが定数項を含む場合は定数項をゼロとおくこと．

(3) F を微分すると $\dfrac{dF}{dz}=u(x,y)-iv(x,y)$ を得る．デカルト座標系における速度成分 $u(x, y)$及び $v(x, y)$を求めよ．

(4) この流れの流線を表す方程式を求めよ．なお，(x, y),(r, θ)座標系のどちらで示してもよい．

(5) この流れの等Φ線と等Ψ線（流線）が互いに直交することを示せ．

2018（H30）年度【1】問題〈渦糸〉

【1】速度ポテンシャル

$$\phi(\theta)=\frac{K\theta}{2\pi}$$

（1）この流れの ϕ と ψ は関係式

$$\frac{\partial\phi}{\partial r}=\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\quad\text{及び}\quad\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}=-\frac{\partial\psi}{\partial r}\quad\text{を満たす。}$$

これらの関係式を利用して (r,θ) 座標系における ϕ のラプラス方程式

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial\theta^2}=0\quad\text{を導出せよ。}$$

$$①\quad\frac{\partial\phi}{\partial r}=\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\quad\rightarrow\quad r\frac{\partial\phi}{\partial r}=\frac{\partial\psi}{\partial\theta}$$

r で偏微分すると、

$$\therefore\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)=\frac{\partial^2\psi}{\partial r\partial\theta}$$

また、

$$②\quad\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}=-\frac{\partial\psi}{\partial r}\quad\rightarrow\quad-\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}=\frac{\partial\psi}{\partial r}$$

θ で偏微分すると、

$$\therefore\frac{\partial}{\partial\theta}\left(-\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}\right)=\frac{\partial^2\psi}{\partial\theta\partial r}$$

以上より、

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial r\partial\theta}=\frac{\partial^2\psi}{\partial\theta\partial r}$$

であるので、

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)-\frac{\partial}{\partial\theta}\left(-\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\theta}\right)=0$$

よって、$1/r$ を両辺に乗じて、

$$\therefore\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial\theta^2}=0\quad\blacksquare$$

（2）この流れの ψ を求めよ。ただし、(r,θ) 座標系を用いて表すこと。
　　また ψ が定数項を含む場合は定数項をゼロとおくこと。

$$① \quad \frac{\partial \phi}{\partial r}=\frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad \rightarrow \quad \frac{\partial \psi}{\partial \theta}=r\frac{\partial \phi}{\partial r}$$

$\phi(\theta)=\frac{K\theta}{2\pi}$　を代入すると、

$$\therefore \frac{\partial \psi}{\partial \theta}=r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{K\theta}{2\pi}\right)=0$$

θ で積分する。

$$\therefore \psi=C_1(r)$$

また、

$$② \quad \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial \theta}=-\frac{\partial \psi}{\partial r} \quad \rightarrow \quad \frac{\partial \psi}{\partial r}=-\frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial \theta}$$

$\phi(\theta)=\frac{K\theta}{2\pi}$　を代入すると、

$$\therefore \frac{\partial \psi}{\partial r}=-\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\frac{K\theta}{2\pi}\right)=-\frac{1}{r}\frac{K}{2\pi}$$

r で積分する。

$$\therefore \psi=-\frac{K}{2\pi}\ln r+C_2(\theta)$$

以上より、任意定数 C を用いて、ψ は次式で表せる。

$$\therefore \psi=-\frac{K}{2\pi}\ln r+C$$

定数項をゼロとおく。

$$\therefore \psi=-\frac{K}{2\pi}\ln r$$

（3）F を微分すると

$$\frac{dF}{dz} = u(x,y) - iv(x,y)$$

を得る。デカルト座標系における速度成分 $u(x,y)$ 及び $v(x,y)$ を求めよ。

複素速度ポテンシャル $F(z)$ は、

$$F(z) = \phi(x,y) + i\psi(x,y)$$

で表せる。

よって、問題で与えられた ϕ と（2）で求めた ψ を代入すると、

$$F(z) = \frac{K\theta}{2\pi} - i\frac{K}{2\pi}\ln r$$

$$= \frac{K}{2\pi}(\theta - i\ln r) = -i\frac{K}{2\pi}(i\theta + \ln r)$$

ここで、次の関係式を用いる。$z = re^{i\theta}$ → $\ln z = \ln r + i\theta$

$$\therefore F(z) = -i\frac{K}{2\pi}\ln z$$

$F'(z)$ を求める。

$$F'(z) = -i\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{1}{z} \quad F'\left(re^{i\theta}\right) = -i\frac{A}{2\pi}\cdot\frac{1}{re^{i\theta}}$$

オイラーの公式より、

$$e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$$

$$\therefore F'\left(re^{i\theta}\right) = -i\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{e^{-i\theta}}{r} = -i\frac{K}{2\pi r}(\cos\theta - i\sin\theta)$$

$$\therefore F'(z) = -\frac{K}{2\pi r}\sin\theta - i\left(\frac{K}{2\pi r}\cos\theta\right)$$

よって、

$$\begin{cases} Re\ F'(z) = v_x \\ Im\ F'(z) = -v_y \end{cases}$$

であるので、

x 方向の流速成分 u は、

$$\therefore u = -\frac{K}{2\pi r}\sin\theta$$

y 方向の流速成分 v は、

$$\therefore v = \frac{K}{2\pi r}\cos\theta$$

ここで、デカルト座標系に戻す。

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \begin{cases} x = r\cos\theta \\ y = r\sin\theta \end{cases}$$

$$\therefore u = -\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{y}{x^2 + y^2}$$

$$\therefore v = \frac{K}{2\pi}\cdot\frac{x}{x^2 + y^2}$$

【別解①】誘導に乗らず求めてみる。流れ関数の微分から。

$$\psi = -\frac{K}{2\pi}\ln r = -\frac{K}{2\pi}\ln\sqrt{x^2 + y^2} = -\frac{K}{4\pi}\ln(x^2 + y^2)$$

よって、

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\psi}{\partial y} = v_x \\ -\dfrac{\partial\psi}{\partial x} = v_y \end{cases}$$

であるので、

$$\therefore u = -\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{y}{x^2 + y^2}$$

$$\therefore v = \frac{K}{2\pi}\cdot\frac{x}{x^2 + y^2}$$

【別解②】誘導に乗らず求めてみる。速度の関係から。

$$\begin{cases} v_r = v_x\cos\theta + v_y\sin\theta \\ v_\theta = -v_x\sin\theta + v_y\cos\theta \end{cases} \qquad \begin{cases} \dfrac{\partial\psi}{\partial r} = v_r \\ \dfrac{\partial\psi}{\partial\theta} = v_\theta \end{cases}$$

$$\phi(\theta) = \frac{K\theta}{2\pi}$$

であるので、

$$v_r = \frac{\partial\phi}{\partial r} = 0, \quad v_\theta = \frac{\partial\phi}{\partial\theta} = \frac{K}{2\pi}$$

よって、

$$\begin{cases} u\cos\theta + v\sin\theta = 0 \\ -u\sin\theta + v\cos\theta = \dfrac{K}{2\pi} \end{cases}$$

したがって、

$$\therefore u = -\frac{K}{2\pi r}\sin\theta$$

$$\therefore v = \frac{K}{2\pi r}\cos\theta$$

ここで、デカルト座標系に戻す。

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad \begin{cases} x = r\cos\theta \\ y = r\sin\theta \end{cases}$$

以上より、

$$\therefore u = -\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{y}{x^2 + y^2}$$

$$\therefore v = \frac{K}{2\pi}\cdot\frac{x}{x^2 + y^2}$$

いずれも、デカルト座標系に戻すタイミングは非常に重要。

速度ポテンシャルの微分で、tan の逆関数の微分を行う解法もある。

基本的には微分の手順が煩雑にならない解法を選択すべきか。

（４）この流れの流線を表す方程式を求めよ。

なお、$(x,y),(r,\theta)$ 座標系のどちらで示してもよい。

$\psi = const.$ が流線を表す方程式である。

$$\psi = -\frac{K}{2\pi}\ln r = C_1$$

$$\ln r = -\frac{2\pi}{K}C_1$$

$$\therefore r = \exp\left(-\frac{2\pi}{K}C_1\right) = C$$

$$\therefore r = C \quad \text{（原点中心の円）}$$

【別解】デカルト座標系で導出してみる。

流線の方程式より、

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v}$$

（３）の結果を代入する。

$$\frac{dx}{-\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{y}{x^2+y^2}} = \frac{dy}{\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{x}{x^2+y^2}}$$

$$\therefore \frac{dx}{-y} = \frac{dy}{x}$$

$$\therefore x\,dx = -y\,dy$$

積分する。

$$\frac{1}{2}x^2 = -\frac{1}{2}y^2 + C_1$$

$$\therefore x^2 + y^2 = C \quad \text{（原点中心の円）}$$

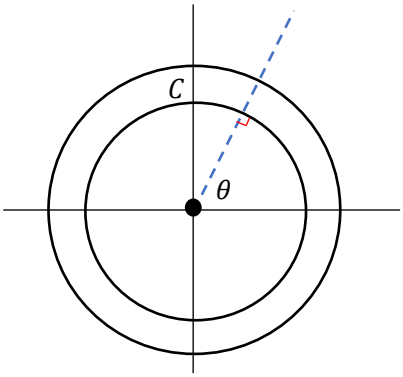
（５）この流れの等 ϕ 線と等 ψ 線（流線）が互いに直交することを示せ。

等ポテンシャル線を求める。

$\phi = const.$ を求める。

$$\phi = \frac{K\theta}{2\pi} = D_1$$

$\therefore \theta = D$　（$\tan D$ の直線）



（４）で求めた等 ψ 線（流線）は、

$\therefore r = C$　（原点中心の円）

図で分かるように、等ポテンシャル線と流線は互いに直交する。

【別解】デカルト座標系で導出してみる。

勾配の内積が 0 になればいいので、それぞれの勾配をまず求める。

ここで、流線 ψ の勾配は（３）別解①で求めたものを用いる。

$$\psi = -\frac{K}{2\pi}\ln r = -\frac{K}{4\pi}\ln(x^2+y^2) \qquad \begin{cases} \dfrac{\partial\psi}{\partial x} = -\dfrac{K}{2\pi}\cdot\dfrac{x}{x^2+y^2} \\ \dfrac{\partial\psi}{\partial y} = -\dfrac{K}{2\pi}\cdot\dfrac{y}{x^2+y^2} \end{cases}$$

速度ポテンシャル ϕ の勾配を求める。

デカルト座標系に戻す。

$$\theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} \qquad \begin{cases} x = r\cos\theta \\ y = r\sin\theta \end{cases}$$

$$\phi = \frac{K\theta}{2\pi} = \frac{K}{2\pi}\tan^{-1}\frac{y}{x} \qquad \begin{cases} \dfrac{\partial\phi}{\partial x} = \dfrac{K}{2\pi}\dfrac{1}{1+\left(\frac{y}{x}\right)^2}\cdot\left(-\dfrac{y}{x^2}\right) = -\dfrac{K}{2\pi}\cdot\dfrac{y}{x^2+y^2} \\ \dfrac{\partial\phi}{\partial y} = \dfrac{K}{2\pi}\dfrac{1}{1+\left(\frac{y}{x}\right)^2}\cdot\dfrac{1}{x} = \dfrac{K}{2\pi}\cdot\dfrac{x}{x^2+y^2} \end{cases}$$

以上より、

$$\nabla\phi\cdot\nabla\psi = \frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial\phi}{\partial x} + \frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{\partial\phi}{\partial y} = \left(\frac{K}{2\pi}\right)^2\frac{xy}{(x^2+y^2)^2} - \left(\frac{K}{2\pi}\right)^2\frac{xy}{(x^2+y^2)^2} = 0 \quad \blacksquare$$

※ tan の逆関数の微分に関しては、2018 年度数学でも出題されているので参照されたい。

2018（H30）年度【1】略解

（1）	略
（2）	$\psi = -\frac{K}{2\pi}\ln r$
（3）	$u = -\frac{K}{2\pi}\cdot\frac{y}{x^2+y^2}$ $v = \frac{K}{2\pi}\cdot\frac{x}{x^2+y^2}$
（4）	$r = C$ or $x^2+y^2 = C$
（5）	略

2018（H30）年度【1】講評

速度ポテンシャルが与えられ、複素速度ポテンシャル・流れ関数を求めるお馴染みの出題である。各項目について、定義をしっかりおさえておけば難なく完答できただろう。

流体力学の出題に関しては、非常にパターンが分かりやすく高得点勝負になるだろう。ゆえに、計算ミスは命取りになる。有名な流れに関しては、結果を覚えてしまうべきである。

渦糸は、渦なしを仮定しているにもかかわらず、原点に渦の特異点が生じているレアなポテンシャル流である。よく出題されるテーマで、速度ポテンシャルを見た瞬間に手練れな学生であれば、（2）（3）（4）は即答である。

また、座標系に惑わされるな。出題がややこしいだけで大した問題ではない。

平成 30 年度
神戸大学大学院工学研究科 博士課程前期課程
機械工学専攻　入学試験問題

科目名：流体力学　［2/2］

（問題[1], [2]は別々の答案用紙に解答すること.）

[2] 一定密度ρの非粘性流体中を垂直上昇するヘリコプタロータを考え，ロータ先端円を通過する流線が構成する流管を考える．以下の流速はロータに対する相対速度とする．流管の十分上流の流速を V，流管の十分下流の流速を V_d，ロータ断面での流速を V_r，ロータの面積を S_r とする．なお流管の十分上・下流は大気圧で一定とみなし，以下の問いに答えなさい．

(1) 図 1 のようにロータが垂直上昇しているとき，流体に作用する下向き推力 T を，単位時間あたりの運動量変化から求め，ρ，V，V_d，V_r，S_r を用いて表わしなさい．
(2) 流体に与えられるパワー P を，単位時間あたりの運動エネルギー変化から求め，ρ，V，V_d，V_r，S_r を用いて表わしなさい．
(3) 上式からパワーと推力の比 P/T を求め，その比が推力作用点であるロータ面での流速 V_r に等しいものとして V_r の速度関係式を求めなさい．
(4) この V_r を用いて，$P/\rho S_r V_d^3$ を $x=V/V_d$ のみの関数に表わし，$P/\rho S_r V_d^3$ のグラフを $0 \leqq x \leqq 1$ の範囲で描きなさい．
(5) 図 2 のように，ロータ推力 T が自重 W と釣り合って，かつ上流速つまりロータ上昇速度が $V=0$ となるとき，問(3)の結果を用いて推力 T を V_d の関数で表わし，かつ $T=W$ の条件下で V_d を W を用いて表わしなさい．
(6) 上流速が $V=0$ かつ $T=W$ となるときのパワー P を，$P=TV_r$ の関係を用いて表わしなさい．
(7) $T=W$ 一定の条件で，このパワーを小さくするにはロータ面積 S_r をどのようにすればよいか，文章で答えなさい．

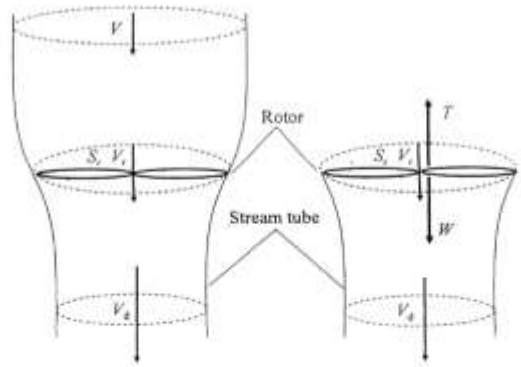


図 1

図 2

2018（H30）年度【２】問題〈推力〉

（１）図１のようにロータが垂直上昇しているとき、流体に作用する下向き推力 T を、単位時間当たりの運動量変化から求め、ρ, V, V_d, V_r, S_r を用いて表わしなさい。

流体における運動量保存則より、

$$-F = \dot{M}_{in} - \dot{M}_{out} = (Wu)_{in} - (Wu)_{out} = (\rho Qu)_{in} - (\rho Qu)_{out}$$

よって、流体に作用する下向き推力 T は、

$$-T = \rho Q(V - V_d)$$

ここで、流管における連続の式（質量保存）より、

$$Q = V_r S_r$$

したがって、

$$\therefore T = \rho V_r S_r (V_d - V)$$

問題の図２で描かれているロータに作用する上向き推力に惑わされるな！

（こんな紛らわしい図書くなよ…ほんま。言葉の取り扱いに注意してくれよ…。そもそも、一般的に「推力を生み出す」と表現するのに「推力の反作用の力」を「推力」と呼ぶなよ…。）

（２）流体に与えられるパワー P を、単位時間当たりの運動エネルギー変化から求め、ρ, V, V_d, V_t, S_r を用いて表わしなさい。

流体におけるエネルギー保存則より、

$$P = \dot{K}_{out} - \dot{K}_{in} = \left(\frac{1}{2}Wu^2\right)_{out} - \left(\frac{1}{2}Wu^2\right)_{in} = \left(\frac{1}{2}\rho Qu^2\right)_{out} - \left(\frac{1}{2}\rho Qu^2\right)_{in}$$

よって、流体に与えられるパワー P は、

$$P = \frac{1}{2}\rho Q\left({V_d}^2 - V^2\right)$$

ここで、流管における連続の式（質量保存）より、

$$Q = V_r S_r$$

したがって、

$$\therefore P = \frac{1}{2}\rho V_r S_r\left({V_d}^2 - V^2\right)$$

（３）上式からパワーと推力の比 P/T を求め、その比が推力作用点であるロータ面での流速 V_r に等しいものとして V_r の速度関係式を求めなさい。

（１）（２）の結果を代入して、

$$\frac{P}{T}=\frac{\frac{1}{2}\rho V_r S_r\left({V_d}^2-V^2\right)}{\rho V_r S_r(V_d-V)}=\frac{1}{2}(V_d+V)$$

これが、流速 V_r に等しいので、

$$V_r=\frac{1}{2}(V_d+V)$$

（４）この V_r を用いて、$P/\rho S_r {V_r}^3$ を $x=V/V_d$ のみの関数に表し、$P/\rho S_r {V_d}^3$ のグラフを $0\le x\le 1$ の範囲で描きなさい。

（２）の結果を代入して、

$$\frac{P}{\rho S_r {V_d}^3}=\frac{\frac{1}{2}\rho V_r S_r\left({V_d}^2-V^2\right)}{\rho S_r {V_d}^3}=\frac{1}{2}V_r\cdot\frac{{V_d}^2-V^2}{{V_d}^3}$$

（３）の結果を代入して、

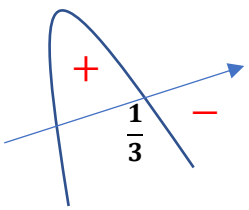
$$\frac{1}{2}V_r\cdot\frac{{V_d}^2-V^2}{{V_d}^3}=\frac{1}{4}(V_d+V)\cdot\frac{{V_d}^2-V^2}{{V_d}^3}=\frac{(V_d+V)^2(V_d-V)}{4{V_d}^3}=\frac{1}{4}\left(1+\frac{V}{V_d}\right)^2\left(1-\frac{V}{V_d}\right)$$

よって、$x=V/V_d$ ゆえ、$f(x)=P/\rho S_r {V_d}^3$ とおいて考える。

$$f(x)=\frac{1}{4}(1+x)^2(1-x)$$

$$f'(x)=\frac{2}{4}(1+x)^1(1-x)-\frac{1}{4}(1+x)^2$$

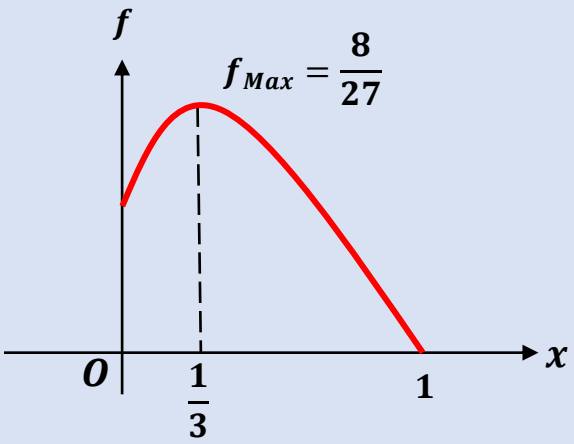
$$=\frac{1}{4}(1+x)\{2(1-x)-(1+x)\}=-\frac{1}{4}(1+x)(3x-1)$$



x	0	$\cdots$	$\frac{1}{3}$	$\cdots$	1
$f'(x)$		$+$	0	$-$	
$f(x)$	$\frac{1}{4}$	$\nearrow$	f_{Max}	$\searrow$	0

$$f_{Max} = \frac{1}{4}\left(\frac{4}{3}\right)^2\left(\frac{2}{3}\right) = 8\left(\frac{1}{3}\right)^2 = \frac{8}{27}$$

$$f(x) = \frac{1}{4}(1+x)^2(1-x)$$



（5）図2のように、ロータ推力Tが自重Wと釣り合って、かつ上流速つまりロータ上昇速度が$V=0$となるとき、問（3）の結果を用いて推力TをV_dの関数で表わし、かつ$T=W$の条件下でV_dをWを用いて表わしなさい。

（3）の結果より、ロータ上昇速度が$V=0$となるので、

$$V_r=\frac{1}{2}(V_d+V)=\frac{1}{2}V_d$$

（1）の結果より、ロータ上昇速度が$V=0$となるので、

$$T=\rho V_r S_r(V_d-V)=\rho V_r S_r V_d$$

$V_r=\frac{1}{2}V_d$　を代入して、

$$\therefore T=\rho\left(\frac{1}{2}V_d\right)S_r V_d=\frac{1}{2}\rho S_r {V_d}^2$$

これが、$T=W$となるので、

$$\frac{1}{2}\rho S_r {V_d}^2=W \quad \therefore {V_d}^2=\frac{2W}{\rho S_r}$$

$$\therefore V_d=\sqrt{\frac{2W}{\rho S_r}}$$

（6）上流速が$V=0$かつ$T=W$となるときのパワーPを、$P=TV_r$の関係を用いて表わしなさい。

（3）の結果より、ロータ上昇速度が$V=0$となるので、

$$V_r=\frac{1}{2}(V_d+V)=\frac{1}{2}V_d$$

$T=W$とV_rを代入して、

$$P=TV_r=\frac{1}{2}WV_d$$

（5）の結果を代入して、

$$\therefore P=\frac{1}{2}W\sqrt{\frac{2W}{\rho S_r}}$$

（7）$T = W$ 一定の条件で、このパワーを小さくするにはロータ面積 S_r をどのようにすればよいか。文章で答えなさい。
（6）の結果より、 $\therefore P \propto {S_r}^{-\frac{1}{2}}$ パワーを小さくするには、ロータ面積 S_r は大きくすればよい。

2018（H30）年度【2】略解

（1）	$T = \rho V_r S_r (V_d - V)$
（2）	$P = \frac{1}{2}\rho V_r S_r \left({V_d}^2 - V^2\right)$
（3）	$V_r = \frac{1}{2}(V_d + V)$
（4）	$f(x) = \frac{1}{4}(1+x)^2(1-x)$
（5）	$V_d = \sqrt{\frac{2W}{\rho S_r}}$
（6）	$P = \frac{1}{2}W\sqrt{\frac{2W}{\rho S_r}}$
（7）	ロータ面積 S_r は大きくすればよい。

2018（H30）年度【2】講評

推力に関する基本的な問いである。が、正負に注意する必要がある。 運動量変化から推力を求める問題は鉄板で、しっかり慣れておきたいところ。