

## 令和6年度弁理士試験論文式筆記試験問題

[流体力学]

- 1 図1のように、半径  $R$  の円管が水平に置かれており、その中の流体が管軸方向の圧力勾配のもと層流として定常的に流れている。管中心軸に沿って  $z$  軸を定義し、 $z$  軸からの距離を  $r$  とする。この流れは完全発達状態にあり、 $z$  方向にのみ速度成分  $V_z(r)$  をもつ。なお、運動量保存を表すナビエ・ストークス方程式の  $z$  成分は、次式で与えられる。

$$\rho \left( \frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

$\rho$  は密度、 $t$  は時間、 $V_r$  は  $r$  方向の速度、 $p$  は圧力、 $\mu$  は粘度を表している。以下の各設問に答えなさい。

【70点】

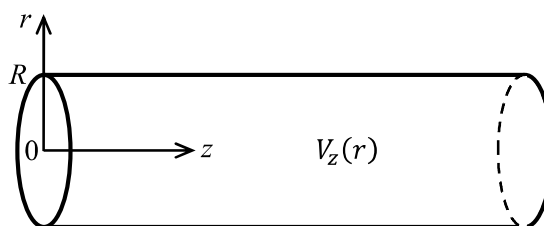


図1

- (1) 粘度  $\mu$  の SI 単位を答えなさい。
- (2) ナビエ・ストークス方程式 (式(1)) を、上記の問題設定のもと簡略化しなさい。
- (3) 上記(2)で簡略化したナビエ・ストークス方程式に対し境界条件を適切に課すことで、円管内の流体の速度分布  $V_z(r)$  を導出しなさい。
- (4) 円管内の流体の流れにおける最大速度  $V_{\max}$  を、圧力勾配  $\partial p / \partial z$ 、円管の半径  $R$ 、および粘度  $\mu$  を用いて表しなさい。
- (5) 円管断面に対する平均速度  $V_{\text{ave}}$  を、最大速度  $V_{\max}$  との比として表しなさい。
- (6) 円管内の流体の流れに対するレイノルズ数  $Re$  を、平均速度  $V_{\text{ave}}$  に基づき表しなさい。
- (7) 円管内の流体の流れが層流となるための条件を、レイノルズ数  $Re$  の物理的解釈に基づき説明しなさい。

## 2 流体力学に関する以下の各小問に答えなさい。

【30点】

- (1) 海水面は大気に触れており、その圧力は大気圧  $p_a$  (1 atm) に等しい。海水の密度は  $\rho$  で一定とし、重力加速度は  $g$  である。水深  $H$  (海水面から鉛直下向きの距離) における静水圧を絶対圧として、 $p_a$ 、 $\rho$ 、 $g$ 、 $H$  を用いて表しなさい。その静水圧が絶対圧として 2 atm になるときの水深  $H$  を有効数字 1 桁で概算しなさい。
- (2) 野球選手が投げるボールの軌道を解析することについて考える。ボールが初速 120 km/h で放たれる場合、ボール軌道の解析において空気の圧縮性を考慮する必要があるか、標準状態下の空気の音速およびマッハ数の数値を用いて議論しなさい。
- (3) 密度が  $\rho$  で一様な流体の定常流れに対し、ベルヌーイの式

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

を適用することを考える。 $p$ は圧力、 $V$ は流線に沿う方向の速度、 $g$ は重力加速度、 $z$ は鉛直上向きに定義した座標であり、添え字 1 および 2 は流線上の異なる 2 つの位置を表している。円管内の完全発達流れに対し、ベルヌーイの式を適用できるか否かについて、以下のキーワードを用いて説明しなさい。

キーワード：力学的エネルギー、粘性、すべりなし条件、摩擦