

流れ学及演習 I・レポート課題

2006年6月26日

以下の問題をすべて解き，提出せよ。

提出期日 2006年7月14日(金)

提出先 8号館201号室ポスト

注意事項 レポートはA4のレポート用紙に書くこと。学籍番号と氏名を明記すること。

問題1 流体機械を10個列挙せよ。種類は問わないが，同じものや非常に近いもの(飛行機とグライダーなど)は1個と数える。

問題2 比体積とは何か，その意味を記せ。

問題3 比重量と密度の関係を式で表せ。

問題4 次の空欄(a)~(c)を埋めよ。

流体は多数の分子から構成されている。しかし巨視的に見れば個々の分子の振る舞いを統計的に扱い，(a)として取り扱うことができる。流体を(a)として取り扱えるかどうかを判断する指標として(b)がある。一般にこの指標が 10^{-2} 以下のときに，流体を(a)として扱うことができる。空気の場合には，(b)の値は(c)である。

問題5 力学において重要な4つの「保存則」(保存法則)を挙げよ。

問題6 SI単位系の基本単位は何か。物理量(日本語)，その単位(アルファベット)およびその読み方を記せ。

問題7 以下の物理量を示すSI単位の記号(アルファベット)，およびその読み方を記せ。

例: 力 N(ニュートン)

(1) モーメント(トルク)

(2) 圧力

(3) 仕事

問題8 5Nを工業単位で表せ。

問題 9 以下の倍数を表す SI 接頭語の記号 (アルファベットおよびギリシア文字), およびその読み方を記せ。例: $10^3 \rightarrow$ k (キロ)

- (1) 10^6 (2) 10^9 (3) 10^{-3} (4) 10^{-2} (5) 10^{-6}

問題 10 以下の物理量を示す SI 単位の記号 (アルファベット), およびその読み方を記せ。例: 力 N (ニュートン)

- (1) 角速度 (2) 密度

問題 11 圧力の単位は Pa (パスカル) である。これを基本単位のみを用いて表せ。

問題 12 東京ドームの天井は 400 トンあり, 内外の圧力差でその重さを支えている。東京ドームの天井の面積を, グラウンド部分と同じ $13,000 \text{ m}^2$ とするとき, 以下の問いに答えよ。

- (1) 圧力差を求めよ。
(2) 圧力差は大気圧のおよそ何 % に相当するか。大気圧を 100 kPa として計算せよ。

問題 13 密度 ρ の静止流体中の微小三角柱にはたらく力のつりあいからパスカルの原理を求めたい。以下の問いに答えよ。

- (1) 微小三角柱を図示せよ。
(2) 水平方向の力のつりあいを示せ。

問題 14 図 1 のように容器内の水の圧力 (ゲージ圧) を水銀を入れた U 字管マンオメータで測定したところ, $H = 12 \text{ cm}$, $H_1 = 6 \text{ cm}$ であった。容器内の圧力を求めよ。ただし, 水銀の比重を 13.6 とする。

問題 15 図 2 のように油を満たした 2 本のピストンがつりあって静止している。いまピストン P 上に質量 10 kg のおもりを載せたとき, ピストン Q に作用する力の増加分を求めよ。ただしピストン P の直径を 200 mm , ピストン Q の直径を 600 mm とする。

問題 16 図 3 のように水と油が入った容器がある。油層の厚さを $h_1 = 30 \text{ mm}$, 水層の厚さを $h_2 = 35 \text{ mm}$ とし, 油の比重を 0.89 とするとき, 容器の底面での圧力 (ゲージ圧力) を求めよ。

問題 17 図 4 のように井戸水をポンプでくみ上げたい。ポンプでくみ上げ管内をほぼ真空 (絶対圧力 = 0 Pa) にするとき, 水をくみ上げることができる最大の高さを求めよ。

問題 18 内径 100 mm の管に, 流量 $1200 \text{ cm}^3/\text{s}$ で水を流している。以下の問いに答

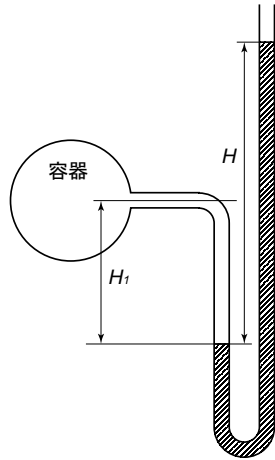


図1 U字管マンノメータ

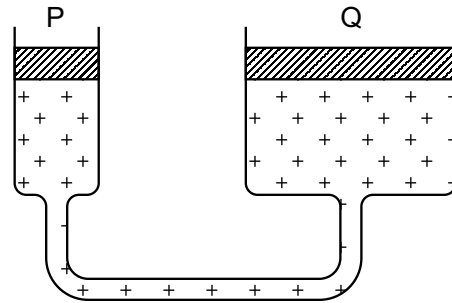


図2 接続された2本のピストン

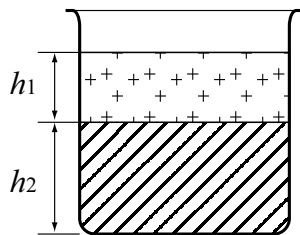


図3 水と油が入った容器

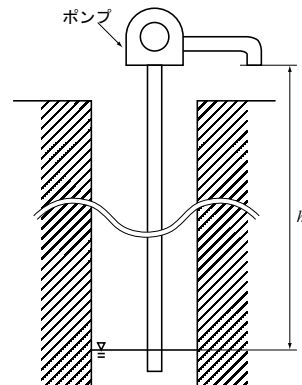


図4 井戸水をくみ上げるポンプ

えよ。

- (1) この管を流れる質量流量を求めよ。
- (2) 管内の断面平均流速を求めよ。
- (3) 管の長さを 100 m とするとき、出口での流量はいくらか。ただし管の直径は一定とする。
- (4) (3) のとき、管内の断面平均流速を求めよ。

問題 19 図5のようなノズルで流れを絞って、流速を増やしたい。以下の問いに答えよ。

- (1) 入口の断面平均流速 u_{in} と、出口の断面平均流速 u_{out} との関係性を求めよ。
- (2) $u_{in} = 2.0 \text{ m/s}$, $D_{in} = 500 \text{ mm}$, $D_{out} = 200 \text{ mm}$ のとき、 u_{out} を求めよ。

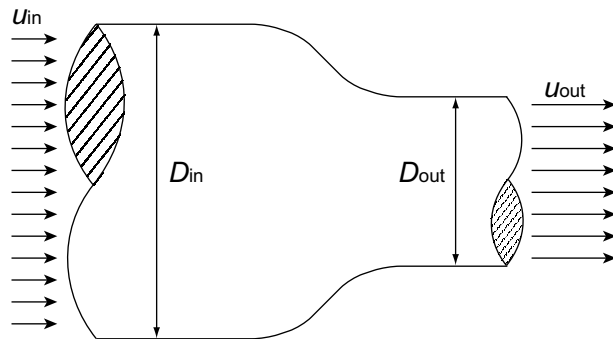


図5 縮流ノズル

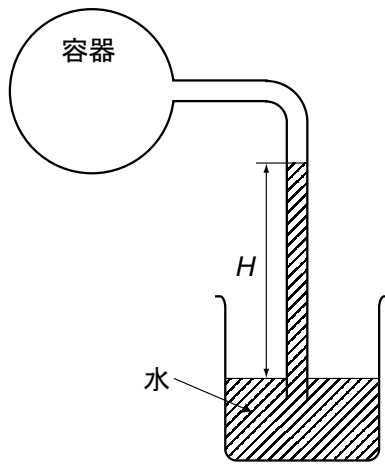


図6 水柱の高さで圧力を測る

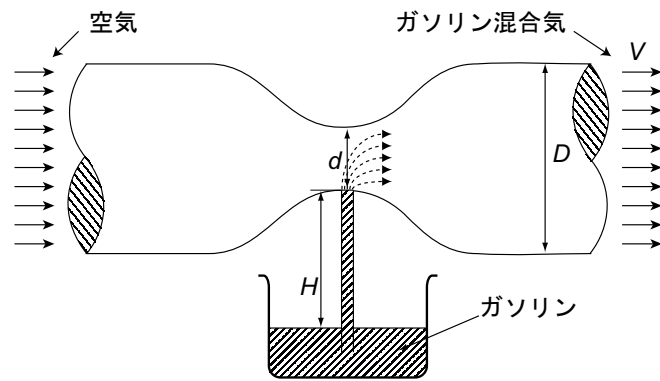


図7 ベンチュリ管

(3) このときの流量を求めよ。

(4) 入口の流量が $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$, $D_{\text{out}} = 200 \text{ mm}$ のとき , u_{out} を求めよ。

問題 20 図6のように , 鉛直な水柱の高さで容器内の圧力を測りたい。以下の問いに答えよ。

(1) 容器内の圧力 (ゲージ圧) p と水柱の高さ H との関係を示せ。水の密度を ρ とする。

(2) $H = 45 \text{ mm}$ のとき , 容器内の圧力を求めよ。

問題 21 図7のようなベンチュリ管でガソリンを吸い , ガソリン混合気を作る。以下の問いに答えよ。

(1) ベンチュリ管の喉部 (細くなっているところ , 直径 d) から出口 (直径 D) までの流

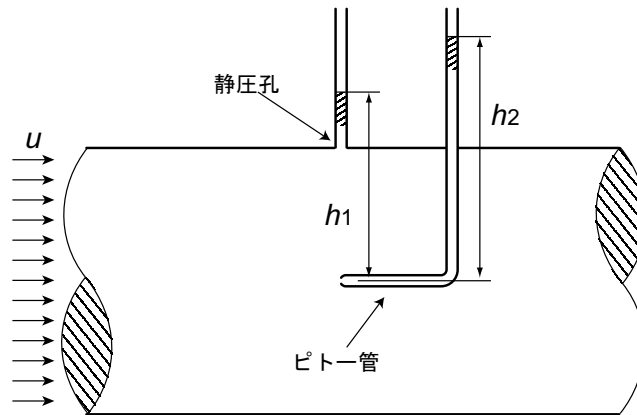


図8 直管内に設置されたピトー管

れに対して，ベルヌーイの式を示せ。空気の密度を ρ_a ，喉部の流速を v ，出口での流速を V とする。

- (2) 喉部の流速 v を求めよ。
- (3) 喉部の圧力と大気圧との圧力差を求めよ。
- (4) 喉部に鉛直に接続された細い管で，ガソリンを吸い上げる。ガソリンの密度を ρ_l とするとき，(3) で求めた喉部の圧力差と，管の長さ H とが満たすべき関係 (不等式) を示せ。
- (5) ガソリンの比重を 0.70， $V = 30 \text{ m/s}$ ， $H = 200 \text{ mm}$ とする。ガソリン混合気を作るために，管径比 D/d が満たすべき条件を示せ。
- (6) このような器械が使われている装置を示せ。

問題 22 水が流れている直管路の中心部にピトー管を設置し，これと管路の側壁に垂直に開けた静圧孔とにパイプをつないで，水柱の高さで圧力を計測し，管内の流速を求める。このとき以下の問いに答えよ。

- (1) ピトー管で計測される圧力 (全圧) を，式で表せ。水の密度を ρ とする。
- (2) 管内の流速 u と高さの差 $h_2 - h_1$ との関係式を導け。答えは $u = \dots$ の形で書くこと。(ヒント: 結果的に ρ が入らない式になる。)
- (3) $h_1 = 30 \text{ mm}$ ， $h_2 = 48 \text{ mm}$ のとき，管内の流速を求めよ。

問題 23 図9のように大きな水槽の底部付近にノズルがあり，そこから水が流れ出している。水面の面積がノズルの断面積よりも十分に大きいとすると，次の問いに答え

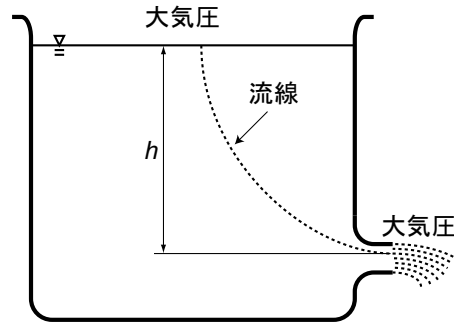


図9 大きな水槽から流れ出す水

よ。ただしエネルギーの損失を無視する。

- (1) 図中に示した流線に沿って、ベルヌーイの式を立てよ。必要な記号は適宜定義せよ。
- (2) ノズル出口の流速を求めよ。
- (3) 水かわりにガソリン(比重0.7)を用いた場合、ノズル出口の流速は水の場合と比較して、どうなるか。

問題24 斜めに傾いた平板に直径 d 、速度 v の噴流(水)が図10のようにあたっている。水の密度を ρ とするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 噴流が衝突前に持っていた単位時間当たりの運動量の、平板に直角な方向成分を示せ。(ヒント: 平板を水平に置いたときの図を描いて考える。)
- (2) 衝突後の噴流の、平板に直角な方向の運動量を示せ。
- (3) 噴流によって、平板に直角方向に作用する力を求めよ。
- (4) 噴流に平行な方向の力成分、および垂直な方向の力成分を求めよ。
- (5) $v = 10 \text{ m/s}$ 、噴流直径を 10 mm 、平板の角度を 40° とするとき、この平板に作用する力の大きさを求めよ。

問題25 図11のように垂直に立てた板に直径 d 、速度 v の噴流が衝突している。板は噴流によって、速度 u で移動している。このとき以下の問いに答えよ。

- (1) この平板に衝突する水の流量を求めよ。板も動いていることに気をつけよ。
- (2) 板に作用する力を求めよ。

問題26 図12に示す遠心ポンプの羽根車を流量 Q の流体が流れている。入口の半径を r_1 、流速を v_1 、 v_1 が円周となす角を α_1 、出口でのそれぞれの値を r_2 、 v_2 、 α_2 とする。

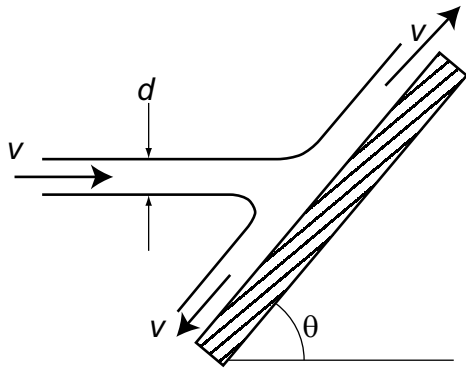


図 10 傾いた平板に衝突する噴流

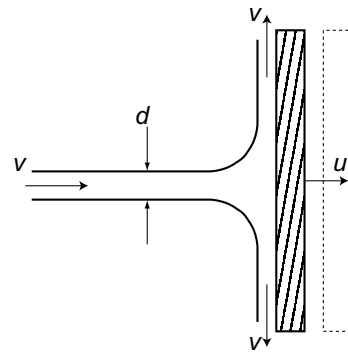


図 11 移動する平板に衝突する噴流

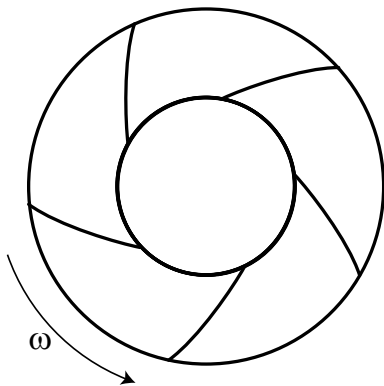


図 12 遠心ポンプの羽根車

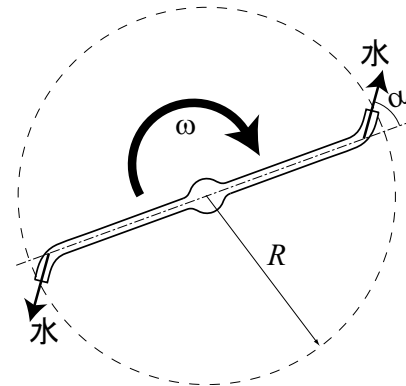


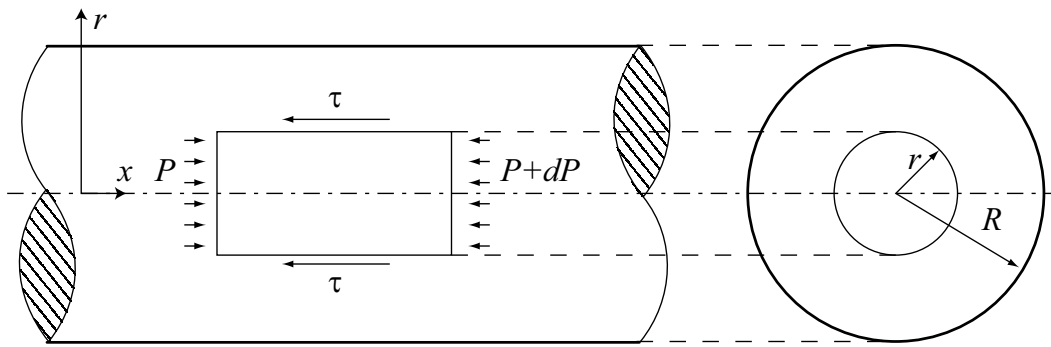
図 13 撒水器

羽根車の回転数を ω 、流体の密度を ρ とするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 角運動量保存則を考えるための検査面、および速度三角形を図示せよ。
- (2) ポンプが流体に与えるトルクを求めよ。
- (3) 単位時間あたりに流体になされる仕事を求めよ。

問題 27 図 13 のように、半径 $R = 0.20 \text{ m}$ の位置に、直径が 10 mm のノズルを円周方向に対して $\alpha = 60^\circ$ 傾けた方向に 2 個対称に取りつけた撒水器がある。これを用い、ノズルから速度 6.0 m/s で水を吹き出させて水を撒く。このとき以下の問いに答えよ。

- (1) この撒水器によって撒かれる水の流量を求めよ。
- (2) 腕の回転を止めるのに必要なトルクを求めよ。
- (3) トルクを加えずに自由に回転させるとき、回転数を求めよ。ただし、摩擦などによる損失を無視する。



$$P + dP = P + \frac{dP}{dx} dx$$

図 14 円管内の流れ

問題 28 ニュートン流体におけるせん断応力 τ と速度勾配との関係式を示せ。

問題 29 レイノルズ数の式を示し，分母と分子の物理的な意味を述べよ。

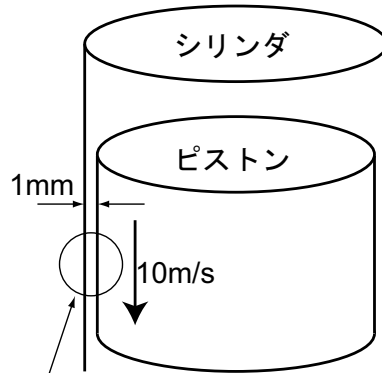
問題 30 直径 100 mm の管に，流量 $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ で空気を流す。このとき，流れは層流か，乱流か。空気の動粘度を $15.15 \text{ mm}^2/\text{s}$ として考えよ。

問題 31 半径 R の円管を流れる流体の速度分布を計算したい。流体の粘度を μ とするとき，以下の問いに答えよ。

- (1) 図 14 のように検査体積を円筒状にとるとき，流れ方向 (x 方向) のつりあいの式を示せ。
- (2) 境界条件を示せ。
- (3) 速度分布を，中心軸からの距離 r の関数として示せ。
- (4) 速度の最大値を求めよ。
- (5) 平均流速を求めよ。

問題 32 シリンダ内をピストンが 10 m/s の速度で動いている。シリンダとピストンとのすきまは 1 mm であり，そこに比重 0.85，動粘度 $0.7 \text{ mm}^2/\text{s}$ の機械油で潤滑する。以下の問いに答えよ。

- (1) この機械油の粘度を求めよ。
- (2) ピストンとシリンダのすきまの図を示せ。潤滑油の速度分布も示すこと。



ここをアップで書いてください。

図 15 シリンダ内を動くピストン

(3) せん断応力を求めよ。

問題 33 直径 300 mm，長さ 25 m の滑らかな管内を常温 (25°C) の水が流れている。損失ヘッドが 500 mm であるとき，管内の断面平均流速を求めよ。ただし損失係数として，ブラジウスの式を用いよ。水の動粘度を $0.89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ とする。

問題 34 原油 (比重 0.96，粘度 $0.49 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) を，内径 800 mm の円管で，10 km 離れた土地に輸送するときの圧力損失を求めよ。ただし，油の平均流速を 0.6 m/s とする。

問題 35 管径 40 mm，管路長さ 250 m の暖房配管に 80°C の温水を $60 \text{ l}/\text{min}$ 流す。この配管には，途中に損失係数 0.8 のエルボーが 10 個所ある。管の絶対粗さ 0.032 mm ，温水の密度は $972 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，動粘性係数を $0.37 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 管内平均流速を求めよ。
- (2) レイノルズ数を求めよ。
- (3) 流れは層流か，乱流か。
- (4) この管路の相対粗さを求めよ。
- (5) 管摩擦係数を求めよ。
- (6) 管摩擦による圧力損失を求めよ。
- (7) 配管中のエルボーによる圧力損失を求めよ。
- (8) 全損失を求めよ。

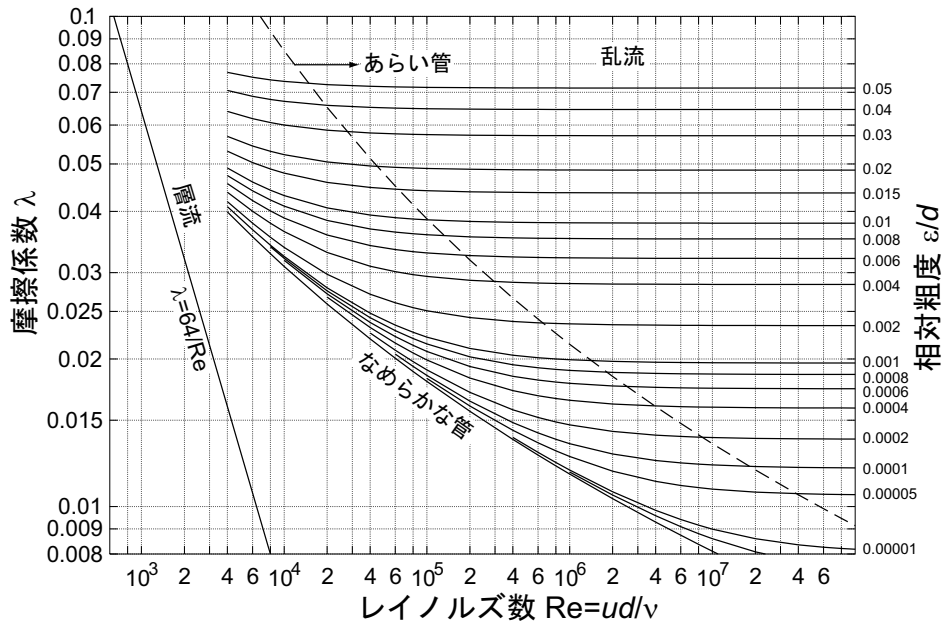


図 16 ムーディ線図

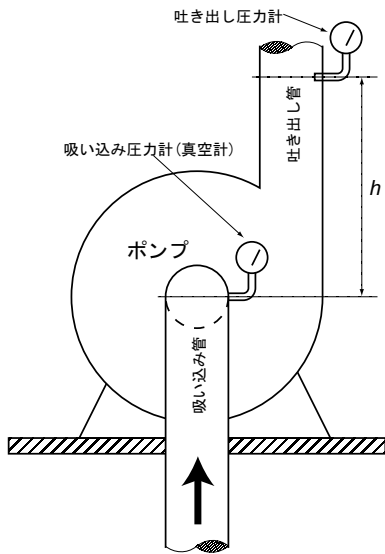


図 17 吸い上げポンプ

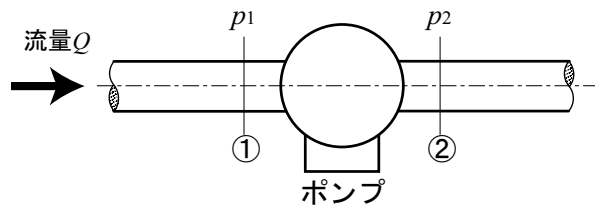


図 18 水平に水を運ぶポンプ

問題 36 運転中のポンプの圧力を測ったところ，吐出し側では 200 kPa，吸い込み側では真空計で， -21 kPa であった。このポンプの全揚程を求めよ。ただし，圧力計は図 17 のように取り付けられているものとし，取り付け高さの差 $h = 50$ cm とする。また，吸い込み管と吐出し管の径は同じものとする。

問題 37 図 18 のように水平な管路に設置されたポンプで、流量 Q の水が送水されている。①および②断面で圧力 p_1, p_2 を測定した。管径は吸い込み側、吐出し側ともに Φ とするとき、以下の問いに答えよ。ただし管の摩擦は無視できるものとする。

- (1) 断面①、②における単位質量あたりのエネルギー E_1, E_2 を示せ。ただし水の密度を ρ とせよ。
- (2) ポンプが単位質量あたりに水に与えるエネルギー w を式で示せ。
- (3) 水動力 P_w を式で表せ。
- (4) ポンプ効率を η とするとき、軸動力 P_s を式で表せ。
- (5) $Q = 20 \text{ m}^3/\text{min}$, $p_1 = -40 \text{ kPa}$, $p_2 = 300 \text{ kPa}$, $\Phi = 200 \text{ mm}$ のとき、水動力 P_w の値を求めよ。
- (6) $\eta = 80\%$ のとき、軸動力 P_s を求めよ。

問題 38 ある水力発電所では内径 500 mm の円管に $Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ の水を流して、水車を回している。水は水車通過後は大気中に放出される。この水車から取り出せる動力を求めたい。以下の問いに答えよ。ただし管の摩擦は無視できるものとする。

- (1) 水車前後の単位質量あたりのエネルギー E_1, E_2 を式で示せ。ただし水車入口での圧力を p_1 とする。
- (2) 水車が単位質量あたりの水から得るエネルギー w を式で示せ。
- (3) 実際に得られる軸動力 P_s を式で示せ。ただし水車の効率を η とする。
- (4) 入口圧力が $p_1 = 2 \text{ MPa}$ のとき、水車から得られる軸動力 P_s を求めよ。水車の効率 $\eta = 0.90$ とする。

問題 39 トラックが 80 km/h で走っている。トラックの進行方向への投影面積を 7.11 m^2 、抵抗係数を 1.80 とすると、空気抵抗はいくらか。ただし、空気の密度を $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ とする。

問題 40 抵抗係数 $C_D = 0.60$ 、投影面積 $A = 2.0 \text{ m}^2$ のレーシングカーを速度 300 km/h で走らせるのに必要なエンジン馬力を計算したい。以下の問いに答えよ。

- (1) 車体にはたらく空気抵抗を式で示せ。必要な記号は適宜定義せよ。
- (2) 空気抵抗の大きさを求めよ。空気の密度を $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ とする。
- (3) この車を 300 km/h で走らせるのに必要な動力を求めよ。

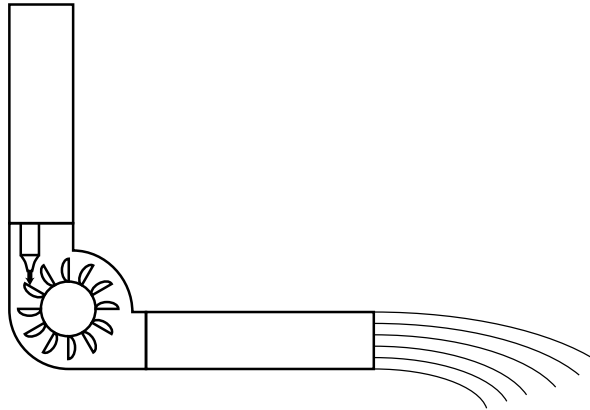


図 19 水力発電所の水車

- (4) エンジン馬力を求めよ。エンジンの軸出力が車体推進の動力に使われる効率を 0.80 とする。

問題 41 投影面積 30 m^2 のパラシュートがある。これについて以下の問いに答えよ。空気の密度を 1.1 kg/m^3 とする。

- (1) 装備重量 100 kg の人がこのパラシュートを用いて降下したとき，降下速度は 6.7 m/s であった。このパラシュートの抗力係数を求めよ。
- (2) 装備重量 70 kg の人がこのパラシュートを用いて降下するときの降下速度を求めよ。

問題 42 翼型を用いている流体機器を，航空機（飛行機やヘリコプターなど）以外で 2 つ 挙げよ。

問題 43 翼面積 16 m^2 ，機体質量 8.0 ton の軽飛行機がある。着陸時の揚力係数が 1.4 とするとき，必要な着陸速度を求めよ。ただし空気の密度を 1.30 kg/m^3 として計算せよ。

問題 44 管内を流れる空気の流速を求めるため，図 20 のようにピトー管を設置し，圧力差をアルコールを入れた U 字管マンオメータで測定したところ，高さの差は $h = 11 \text{ mm}$ であった。アルコールの比重を 0.79 とするとき，以下の問いに答えよ。

- (1) マノメータで計測される圧力差を求めよ。
- (2) マノメータの液面が図 21 のように振動しているとき，液面の高さとして (a) ~ (c) のどこを読むべきか。
- (3) 管内の流速を求めよ。空気の密度を 1.2 kg/m^3 とする。

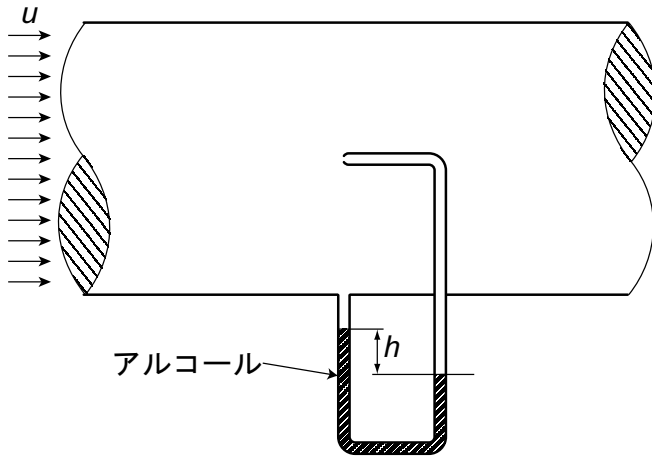


図 20 ピトー管に接続された U 字管マンノメータ

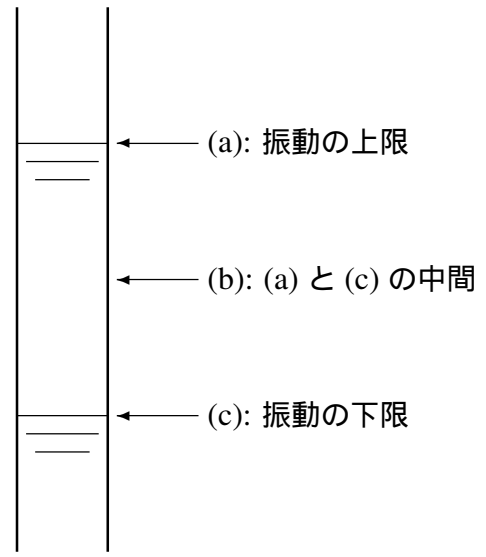


図 21 マノメータの指示値 (拡大図)

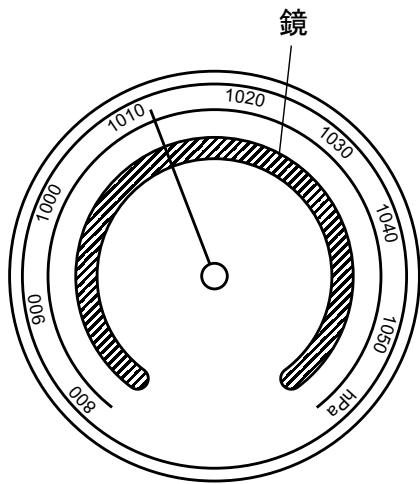


図 22 文字盤に鏡がついている気圧計

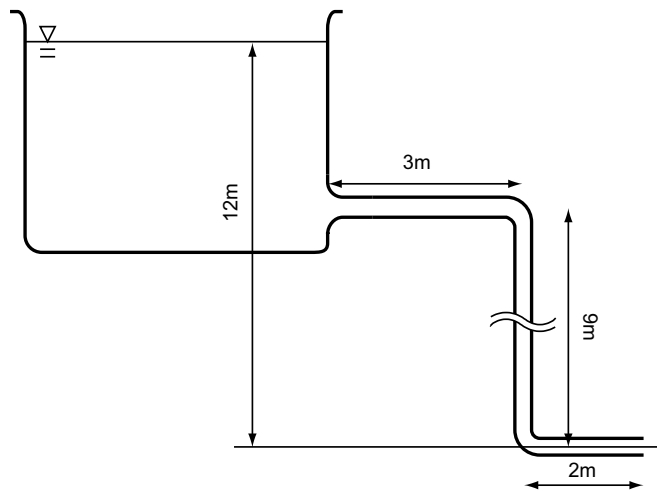


図 23 水タンクからの配管

問題 45 ブルドン管圧力計のように針が目盛を指す形式の計測装置では、針の指示を正確に読み取るために、図 22 のように文字盤に鏡が貼り付けてあることがある。この鏡をどのように使えば、針の指示を正確に読み取ることができるか、簡潔に述べよ。

問題 46 図 23 のように、大きな水タンクから配管を用いて水を送っている。配管は円管で、その内径を 10 mm とするとき、以下の問いに答えよ。

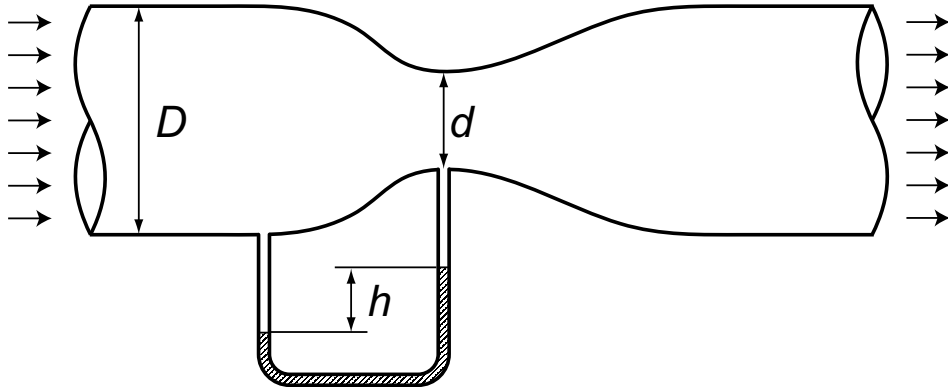


図 24 流量測定のためのベンチュリ管

- (1) 管路の損失を無視するとき，出口での流速を求めよ。
- (2) 円管の管摩擦係数を 0.025，タンクから円管への入口損失係数を 0.5，円管の出口損失係数を 5，曲がりによる損失係数を 0.3 とするとき，出口での流速を求めよ。
- (3) (2) のとき，流量を求めよ。

問題 47 関越トンネルには，車道の天井に自動車の排ガスを排出するための送風機（ジェットファン）が取り付けられている。この送風機の直径を 3150 mm とし，必要な風量を $180 \text{ m}^3/\text{s}$ ，風圧を $190 \text{ mmH}_2\text{O}$ （水柱の高さで 190 mm），送風機の効率を 84% とする。必要な軸動力を求めよ。

問題 48 図 24 のように，ベンチュリ管に水の入った U 字管マンメータをつないで空気の流量を測る。 $D = 200 \text{ mm}$ ， $d = 140 \text{ mm}$ のとき， $h = 25 \text{ mm}$ であった。この管を流れる空気の流量を求めよ。ただし空気の密度を 1.2 kg/m^3 とし，管路の損失や流体の粘性，圧縮性は無視できるものとする。

問題 49 毎分 10 ton の水が 3 m/s の速さで壁に垂直にあたるとき，壁面の受ける力はいくらか。

問題 50 図 25 のように垂直に立てた板に直径 $d = 10 \text{ mm}$ ，速度 $v = 15 \text{ m/s}$ の噴流が衝突している。板は噴流によって，速度 $u = 2.0 \text{ m/s}$ で移動している。このとき板に作用する力を求めよ。

問題 51 水力発電用の水車に用いられるペルトン水車は，図 26 のように噴流をバケツ（水受け）に当て，その反力で水車を回す。いま噴流の直径が $d = 40 \text{ mm}$ ，流速が

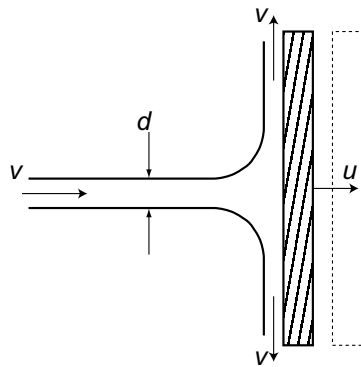


図 25 移動する平板に衝突する噴流

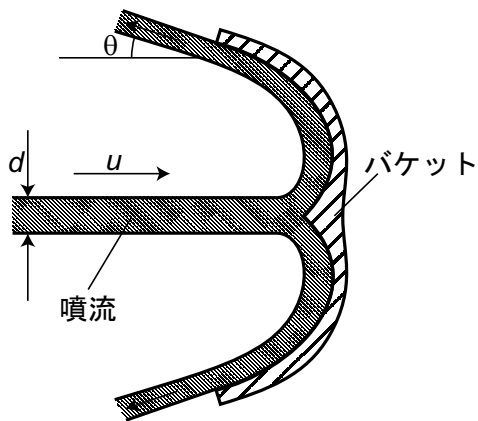


図 26 水車のバケツトに衝突する噴流

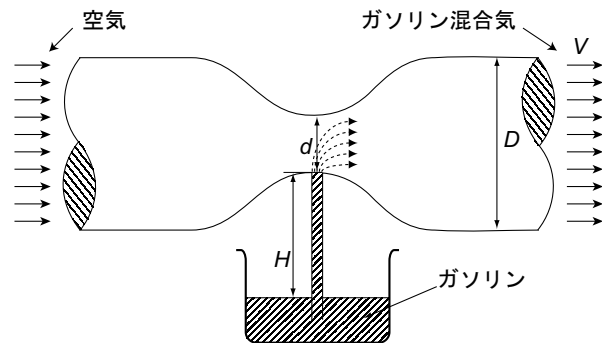


図 27 ベンチュリ管

$u = 50 \text{ m/s}$ とする。またバケツトによって反対方向に流される水の方向を水平方向から測ると $\theta = 15^\circ$ であり、その流速は噴流の流速と等しいとする。水とバケツトの間の摩擦や空気の抵抗を無視するとき、このバケツトに作用する力の大きさを求めよ。

問題 52 図 27 のようなベンチュリ管でガソリンを吸い、ガソリン混合気を作る。ガソリンの比重を 0.70 、 $V = 30 \text{ m/s}$ 、 $H = 200 \text{ mm}$ とする。ガソリン混合気を作るために、管径比 D/d が満たすべき条件を示せ。

問題 53 管径 30 mm 、管路長さ 250 m の暖房配管に 80°C の温水を $8.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 流す。この配管には、途中に損失係数 0.8 のエルボーが 6 箇所ある。管の絶対粗さ $24 \mu\text{m}$ 、温水の密度は 1000 kg/m^3 、動粘性係数を $0.37 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ とする。この管路での圧力損失を求めよ。

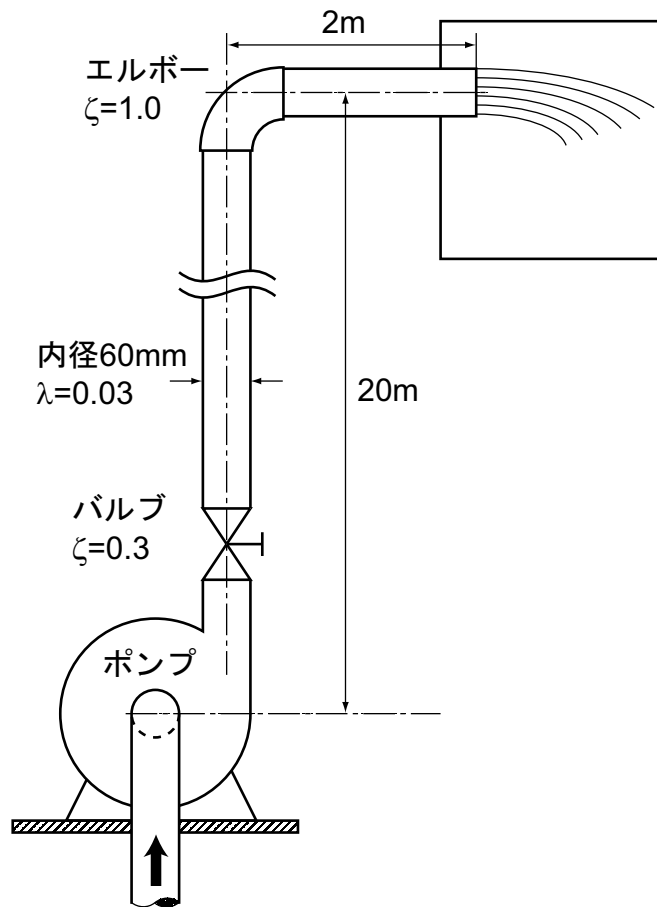


図 28 揚水ポンプ

問題 54 質量 35 kg の滑空飛行機に質量 60 kg のパイロットが乗り，速度 7.2 m/s で飛行する。翼の揚力係数を $C_L = 0.66$ とするとき，必要な翼面積を求めよ。空気の密度を 1.2 kg/m^3 とする。

問題 55 図 28 のように，高さ 20 m の貯水タンクに $0.60 \text{ m}^3/\text{min}$ の水を揚水する。次の問いに答えよ。

- (1) ポンプが水に与えなければならない全ヘッドを求めよ。
- (2) 水を汲み上げるのに必要な水動力を求めよ。
- (3) ポンプの効率を 0.70 とするとき，このポンプが水を汲み上げるのに必要な軸動力を求めよ。