令和５年度九州大学大学院工学府機械系専攻修士課程入学試験問題・解答紙

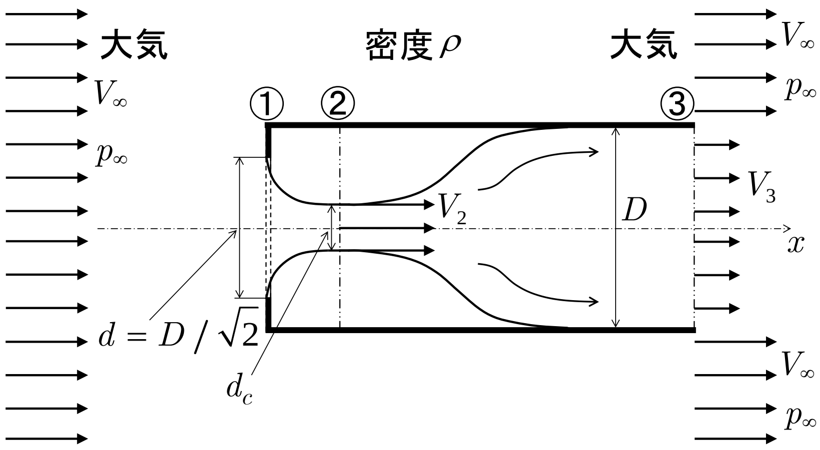
試験科目　流体工学　［8月22日　15時10分～16時40分］

受験番号　　　　　　　　　　　　　　採点

## 問(Ⅰ)

図のように，速度$V_\infty$および圧力$p_\infty$で水平方向に一様に流れている大気中に，軸対称なダクトが流れに平行に設置されている．図中に示すとおり，ダクトは内径$D$の円筒状で，その上流壁面①にはダクト中心軸（$x$軸）と同心に内径$d$（$=D/\sqrt{2}$）の円形孔が開いている．一方，ダクト出口③では，流れに垂直な壁面はなく，内径$D$の円形断面となっている．上流壁面①の穴の直後は急拡大部となっており，この穴からダクトに流入した流れは縮流を起こし，断面②でその流入流れは最小外径$d_c$を示している．また，断面②において，流入流れの速度$V_2$は一様であり，その周囲のはく離領域の流速は無視できるほど小さいとともに，圧力$p_2$は断面全体にわたって一様である．ダクトに流入した流れは，断面②の下流部で側壁内面に付着し，ダクト出口断面③において再び一様となって大気中に速度$V_3$で流出している．ダクト出口の周囲は再び速度$V_\infty$および圧力$p_\infty$の一様流れとなっている．さらに，ダクトを固定するために，次式で表される力$F_x$が$x$方向の負の向きに作用している．

$$F_x = \beta \frac{\rho}{2} V_\infty^2 \frac{\pi}{4} D^2 \qquad \text{ただし，}\beta\text{は定数}$$




このとき，空気の密度$\rho$は一定であること，ダクトに流入する流れについて断面②までは流動損失を無視できること，ダクト内外の壁面摩擦力は無視できること，ならびにダクト壁面の厚さは流路断面積に比べて十分に薄いことを仮定して，次の問いに答えよ．(50点)

（1） 断面②と断面③の速度比$V_2/V_3$を，$D$および$d_c$を用いて表せ．

（2） 断面②とダクト上流との圧力差$p_2 - p_\infty$を，$V_\infty$，$V_2$および$\rho$を用いて表せ．

（3） ダクト内の断面②から断面③における流動損失のために，ダクト出口での速度$V_3$はダクト周囲の一様流速$V_\infty$よりも小さくなっている．すなわち，ダクトを設置したことによって，ダクト上流からの流れがダクト周囲に排除されているが，その排除された空気の体積流量$\Delta Q$を，$V_\infty$，$V_3$および$D$を用いて表せ．

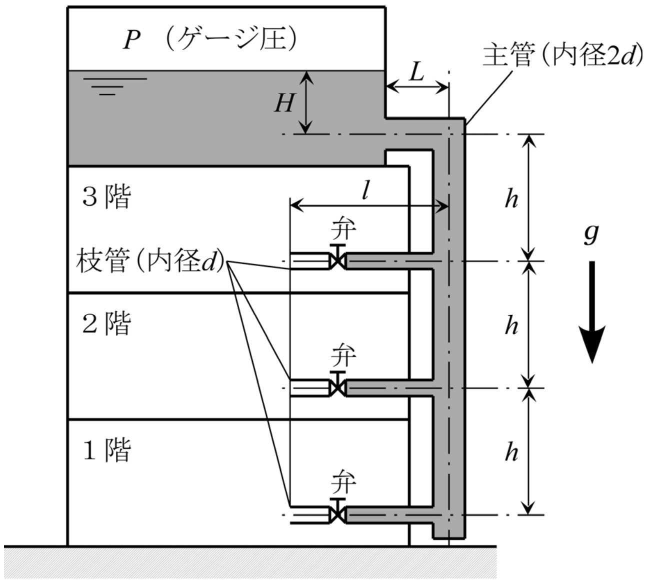
（4） 断面②とダクト出口断面③との圧力差$p_2 - p_3$を，$V_3$，$\rho$，$D$および$d_c$を用いて表せ．

（5） ダクト出口断面③では圧力$p_3$がダクト周囲の一様圧力$p_\infty$に等しくなることを考慮して，$\beta=1/2$の場合の出口断面③での速度$V_3$とダクト周囲の一様速度$V_\infty$との比$V_3/V_\infty$の値を求めよ．

（6） 上記（5）のとき，上流壁面①の穴における縮流係数$C_a$（$=d_c^2/d^2$）の値を求めよ．

令和５年度九州大学大学院工学府機械系専攻修士課程入学試験問題・解答紙
試験科目　流体工学　［8月22日　15時10分～16時40分］
受験番号　　　　　　　　　　　　　　採点

## 問（Ⅱ）




図に示すように，３階建ての家屋の屋上に設置された十分大きな密閉水槽から，その側壁に接続された水平部と鉛直部で構成される主管（内径$2d$）および主管の鉛直部から各階の部屋へ向かう水平な枝管（内径$d$）からなる管路系を介して，密度$\rho$の水が各部屋へ供給されるようになっている．主管の水平部と各枝管の鉛直方向の間隔は全て等しく$h$であり，主管の水平部の長さおよび枝管の長さはそれぞれ$L$，$l$である．全ての枝管の先端は室内（圧力は大気圧に等しいとする）にあり，各枝管の途中に取り付けられた長さの無視できる弁（全開時の損失係数を$\zeta_0$とする）の開度を調整することで，使用する水の体積流量を調整できるようになっている．主管の水平部を基準とした水面高さは$H$であり，気相部の圧力はゲージ圧で$P$である．主管および枝管の内径は各管の長さに対して十分に小さいものとし，管摩擦係数，主管の入口損失，エルボ損失はいずれも一定でそれぞれ$\lambda$，$\zeta_{in}$，$\zeta_e$であるのに対し，分岐部および枝管入口部の損失は簡単のため無視できるものとする．また，水が枝管出口から流出する際には縮流は起こらないものとする．重力加速度を$g$として，以下の問いに答えよ．(50点)

（１）　２階および３階の弁を全閉とし，１階にのみ水を供給するとき，供給できる水の最大体積流量を求めよ．

（２）　各階に供給する水の体積流量を等しくした状態で，水槽から流出する水の体積流量$Q$を最大にしたい．そのためには，各階の弁のうち３階の弁を全開（損失係数$\zeta_3$を最小，すなわち$\zeta_3 = \zeta_0$）とする必要があることを示せ．ただし，$\lambda \frac{1}{2d} \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{\pi d^2}\right)^2 \leq 1$とする．

（３）（２）のとき，各階に供給される水の体積流量$q$を求めよ．また，１階および２階の弁の損失係数$\zeta_1$および$\zeta_2$を求めよ．

令和5年度九州大学大学院工学府機械系専攻修士課程入学試験問題・解答紙
試験科目　流体工学　［8月22日　15時10分～16時40分］
受験番号　　　　　　　　　　　　　　採点

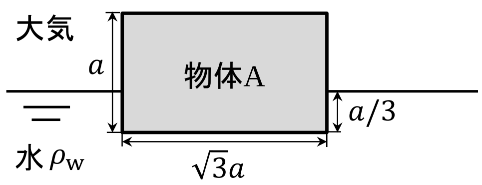
## 問(Ⅲ)

図(a)のように，長方形（長辺が$\sqrt{3}a$，短辺が$a$）の断面を有する二次元の物体Aがあり，その密度は一様である．物体Aが大気圧下において水面に浮かんで静止している場合，水面下に沈んでいる物体Aの深さは $a/3$ となる．また，図(b)のように，断面積が十分小さい二次元の物体Bを物体Aの上面のある位置に固定し，物体Aをその重心まわりに 30° だけ反時計方向に回転させて静置すると，物体Aの下半分が水面下にある状態で静止する．このとき，以下の問いに答えよ．ただし，大気および水に流れや乱れはなく水面は常に平面を保つこと，表面張力の影響は無視できることを仮定せよ．座標系は図(b)に示す通り（原点Oは物体Aの重心）とし，水の密度は $\rho_{\mathrm{w}}$，重力加速度の大きさは $g$ とせよ．(50点)

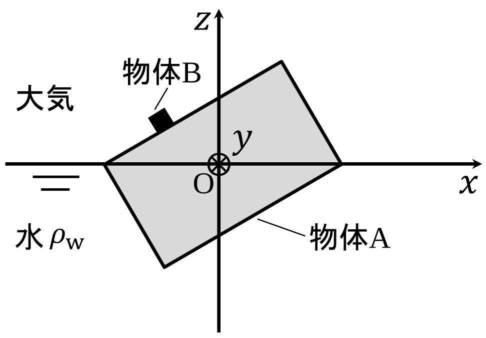
(1) 物体Aの密度 $\rho_{\mathrm{A}}$ を求めよ．

(2) 図(b)の状態において, 水圧が物体Aに及ぼす $y$ 軸まわりの単位奥行きあたりの力のモーメント $M_y$ を求めよ.

(3) 物体Bの単位奥行きあたりの質量 $m_{\mathrm{B}}$，および，物体Bの座標（$x, z$）を求めよ.



図(a)



図(b)