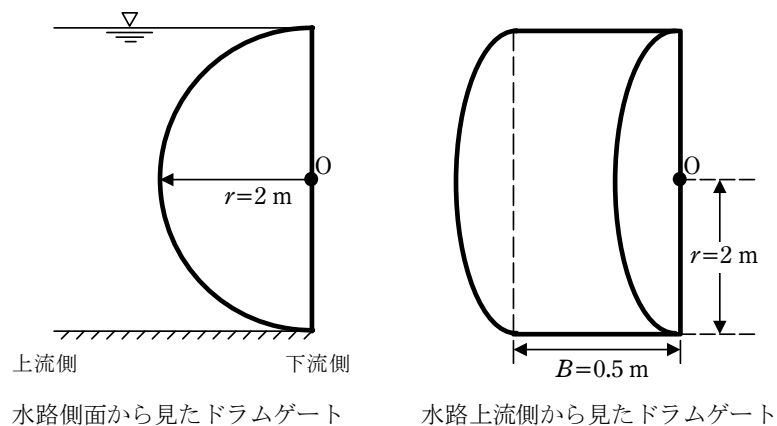


専門科目 [水環境学]

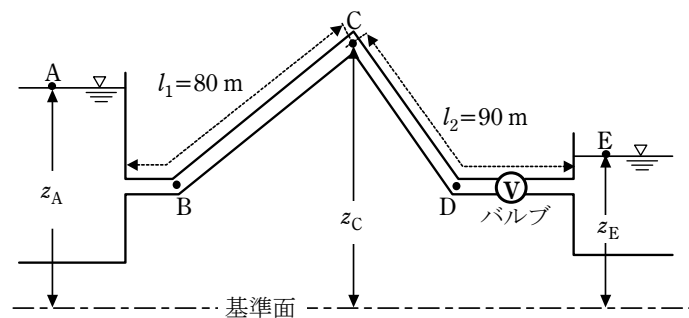
No. 1

下記の6問の中から4問選択して解答せよ。(25点×4問=100点)

1. 下図に示すような幅 $B=0.5\text{ m}$ ，半径 $r=2\text{ m}$ の半円弧形のドラムゲートを水路内に設置し，水を貯留している。このゲートに作用する全静水圧 P とその作用点の水深 h_c を求めよ。ただし，重力加速度を $g=10\text{ m/s}^2$ ，水の密度を $\rho=1000\text{ kg/m}^3$ ，円周率を $\pi=3$ とする。

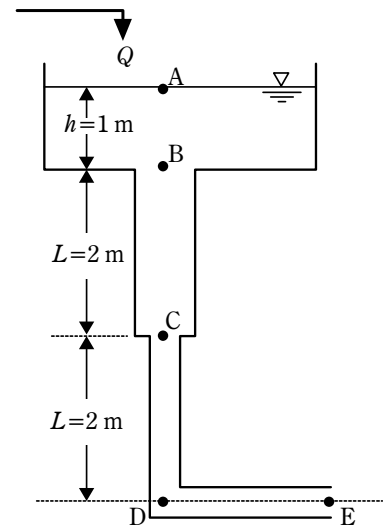


2. 下図のように、管径 $D=0.2$ m のサイフォンを有する円管水路がある。いま、上流側の水槽水位を $z_A=10$ m、管路の最高点の位置を $z_C=13.5$ m として、下流側の水槽水位 z_E だけを変化させるとき、サイフォンが機能しうる水槽水面の水位差 $H(=z_A-z_E)$ の最大値 $H_{\max}$ を求めよ。なお、摩擦損失係数を $f=0.02$ 、入口損失係数を $\zeta_e=0.5$ 、点 C の曲り損失係数を $\zeta_b=0.1$ 、点 B と点 D の屈折損失係数を $\zeta_{be}=0.4$ 、バルブ損失係数を $\zeta_v=0.6$ 、実際の限界圧力水頭を $h_r=-8.0$ m とする。



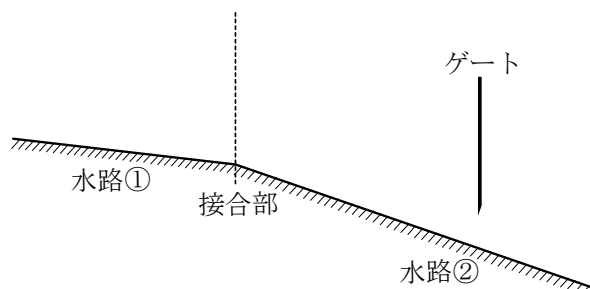
3. 右図のように、貯水槽の底面に取り付けた円管により水が点 E にて大気へ放出されている。ただし、点 B～C 間、点 C～D～E 間の円管の断面積はそれぞれ $A_1 = 0.04 \text{ m}^2$ 、 $A_2 = 0.02 \text{ m}^2$ である。貯水槽に連続的に流量 Q の水が供給され、水深が $h = 1 \text{ m}$ に保たれている場合について、以下の問いに答えよ。ただし、水の粘性と貯水槽内の接近速度水頭は無視できるものとし、重力加速度は $g = 10 \text{ m/s}^2$ とする。

- (1) 流量 Q を求めよ。
- (2) 点 B, C の各点の直前と直後での圧力水頭を求め、その連続性・不連続性を調べよ。



4. 下図のように、水路勾配が異なる二つの水路①、②が接続された長方形断面水路（ただし、水路幅 B と粗度係数 n は共通）を水が定常状態で流れており、水路②の途中にゲートが設置されている。水路①は緩勾配水路、水路②は急勾配水路であるとき、以下の設問に答えよ。ただし、水路勾配、等流水深、限界水深、限界勾配をそれぞれ i 、 h_0 、 h_c 、 i_c で表し、また、水路①と②に関するこれらの水理量をそれぞれ添え字 1, 2 で区別せよ。なお、水路②内のゲートの最下端は $h_{0,2}$ 、 $h_{c,2}$ のいずれよりも低い位置にある。

- (1) 緩勾配水路と急勾配水路の水理学上の定義と特徴を説明せよ。また、その判断方法について、長方形断面水路を例に挙げ、水理量を適宜、定義したうえで具体的な計算式を示しながら詳述せよ。
- (2) 解答用紙に問題図を写し、図中に等流水深と限界水深の位置を明記した上で、水面形の概略と曲線名を記せ。
- (3) 水路②のゲート上流側で、ある水理学的現象が生じる。その現象名と水理学的な特徴を詳しく説明せよ。



専門科目 [水環境学]

No. 3

5. 開発行為を実施する際、環境との調和に配慮する考え方としてのミティゲーション5原則について概説せよ。
6. 単独処理浄化槽と合併処理浄化槽について、処理能力の観点から概説せよ。

専門科目【水環境学】解答例

問題1 ゲートに作用する P の水平成分を P_H 、鉛直成分を P_V とする。まず、 P_H はゲートを水平方向に投影した平面に作用する全静水圧に等しく、この平面の図心の水深を y_G 、面積を A としたとき、 $P_H = \rho g y_G A$ より求められる。本問の投影面は高さ $2r$ 、幅 B の長方形であり、このとき $y_G = r$ 、 $A = 2rB$ である。したがって、 P_H は次式より求められる。

$$P_H = \rho g y_G A = \rho g \times r \times 2rB = 2\rho g r^2 B = 2 \times 1000 \times 10 \times 2^2 \times 0.5 = 4.0 \times 10^4 \text{ N}$$

また、 P_V は半円を底面とする高さ B の水柱の仮想重量に等しいので P_V は以下のように求められる。

$$P_V = \rho g \times \left(\pi r^2 \times \frac{1}{2} \right) \times B = \frac{\pi \rho g r^2 B}{2} = \frac{3 \times 1000 \times 10 \times 2^2 \times 0.5}{2} = 3.0 \times 10^4 \text{ N}$$

ゲートに作用する P は P_H と P_V の合力であるので、次のように求められる。

$$P = \sqrt{P_H^2 + P_V^2} = \sqrt{(4.0 \times 10^4)^2 + (3.0 \times 10^4)^2} = 5.0 \times 10^4 \text{ N} \quad (\text{解})$$

また、 P の作用線が水平面となす角を α とすると、 P の作用点の水深は $h_c = r + r \times \sin \alpha$ として求められる。ここで、 $\tan \alpha = (P_V / P_H) = 3/4$ より $\sin \alpha = 3/5 = 0.6$ であるので、

$$h_c = r + r \times \sin \alpha = 2.0 + 2.0 \times 0.6 = 3.2 \text{ m} \quad (\text{解})$$

問題2 サイフォンが機能するための条件は、曲り最高点 C_+ の圧力水頭が限界圧力水頭 h_r を上回ること、すなわち $p_{C_+} / \rho g \geq h_r (= -8)$ である。点Aと C_+ に対してエネルギー損失を考慮に入れたベルヌーイの定理を考える。

$$\frac{p_{C_+}}{\rho g} = z_A - z_C - \left(f \frac{l_1}{D} + \zeta_e + \zeta_b + \zeta_{be} + 1 \right) \frac{v^2}{2g} \quad \dots \textcircled{1}$$

つぎに、点A、Eの2点に対してエネルギー損失を考慮に入れたベルヌーイの定理を考えると、流速 v は

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{f \frac{l_1 + l_2}{D} + \zeta_e + \zeta_b + 2 \times \zeta_{be} + \zeta_v + \zeta_o}} \quad \dots \textcircled{2}$$

と表される。式②を式①に代入し、水位差 H を未知とする不等式 $p_{C_+} / \rho g \geq h_r (= -8)$ を考えると、

$$z_A - z_C - \frac{f \frac{l_1}{D} + \zeta_e + \zeta_b + \zeta_{be} + 1}{f \frac{l_1 + l_2}{D} + \zeta_e + \zeta_b + 2 \times \zeta_{be} + \zeta_v + \zeta_o} H \geq h_r \rightarrow H \leq (z_A - z_C - h_r) \frac{f \frac{l_1 + l_2}{D} + \zeta_e + \zeta_b + 2 \times \zeta_{be} + \zeta_v + \zeta_o}{f \frac{l_1}{D} + \zeta_e + \zeta_b + \zeta_{be} + 1}$$

$$\therefore H_{\max} = \left\{ 10 - 13.5 - (-8) \right\} \times \frac{0.02 \times \frac{80 + 90}{0.2} + 0.5 + 0.1 + 2 \times 0.4 + 0.6 + 1.0}{0.02 \times \frac{80}{0.2} + 0.5 + 0.1 + 0.4 + 1} = 4.5 \times \frac{20}{10} = 9.0 \text{ m} \quad (\text{解})$$

問題3

(1) まず、点Aと点Eでベルヌーイの定理を考える。ここで、 $z_A = h + 2L$ 、 $z_E = 0$ であり、また大気圧より $p_A = p_E = 0$ である。さらに、水槽水面の流速は $v_A = 0$ であるので、点Eでの流速は以下のように求められる。

$$\frac{v_A^2}{2g} + z_A + \frac{p_A}{\rho g} = \frac{v_E^2}{2g} + z_E + \frac{p_E}{\rho g} \rightarrow h + 2L = \frac{v_E^2}{2g} \rightarrow v_E = \sqrt{2g(h + 2L)} = \sqrt{2 \times 10 \times 5} = 10.0 \text{ m/s}$$

ここで、貯水槽内の水深が一定で保たれていることから、水槽への供給量は円管からの流出量と等しいことから

$$\therefore Q = A_2 \cdot v_E = 0.02 \times 10.0 = 0.20 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{解})$$

(2) 管路内の任意の点の流速、圧力、位置をそれぞれ v 、 p 、 z とする。ただし、 z は点D～Eの位置を基準とし

て定義する。この任意の点と点 E にベルヌーイの定理を適用すると、

$$\frac{v^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g} = \frac{v_E^2}{2g} + 0 + 0 \rightarrow \frac{p}{\rho g} = \frac{1}{2g}(v_E^2 - v^2) - z$$

BC 間, CD 間に応じた v と z を上式に代入することで、管路の各区間の圧力水頭が求められる。連続の式より同一管径の区間の流速は一定であり、次のように求められる。

$$\text{BC 間: } Q = A_1 \cdot v \rightarrow v_{BC} = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.2}{0.04} = 5 \text{ m/s} \quad \text{CD 間: 設問(1)より } v_{CD} = v_{DE} = v_E = 10.0 \text{ m/s}$$

ただし、点 B 直前の点の圧力は水槽内の静水圧分布に従うと考える。以上より、

$$\text{点 B}_- : \frac{p}{\rho g} = h = 1.00 \text{ m} \quad \text{点 B}_+ : \frac{p}{\rho g} = \frac{1}{2g}(v_E^2 - v_{BC}^2) - 2L = -0.25 \text{ m}$$

$$\text{点 C}_- : \frac{p}{\rho g} = \frac{1}{2g}(v_E^2 - v_{BC}^2) - L = 1.75 \text{ m} \quad \text{点 C}_+ : \frac{p}{\rho g} = \frac{1}{2g}(v_E^2 - v_{CD}^2) - L = -2.0 \text{ m}$$

したがって、点 B と点 C では不連続的である。

問題 4

(1) 水路勾配が限界勾配よりも小さい場合を緩勾配水路といい、等流では流れの状態は常流である。また、水路勾配が限界勾配よりも大きい場合を急勾配水路といい、等流では流れの状態は射流である。したがって、緩勾配水路と急勾配水路の区別は、限界勾配と実際の水路勾配の大小関係から判断される。ここで、限界勾配は限界水深と等流水深が等しい場合の水路勾配である。長方形断面水路では、限界水深と等流水深はそれぞれ式①、式②で定義される。

$$Q^2 = B^2 h_c^3 g \quad \dots \textcircled{1} \quad Q = Bh_0 \frac{1}{n} \left(\frac{Bh_0}{B+2h_0} \right)^{2/3} i^{1/2} \quad \dots \textcircled{2}$$

したがって、限界勾配の定義より、 $h = h_c = h_0$ 、 $i = i_c$ として、式②、①から Q を消すと、次式を得る。

$$i_c = n^2 gh \left(\frac{Bh}{B+2h} \right)^{-4/3} \quad \dots \textcircled{3}$$

ここで h_0 は解析的に求められないため、式①を用いて限界水深求める。これを式③に代入することで限界勾配が算定されるので、緩勾配水路と急勾配水路の区別ができる。

(2) 右図参照。なお、下記の点を踏まえて必要がある。

- ・限界水深は水路勾配に依存しないので、 $h_{c,1} = h_{c,2}$ である。
- ・水路①: $h_{0,1} > h_{c,1}$ 、水路②: $h_{0,2} < h_{c,2}$
- ・水路接続部では常流から射流への流れの遷移が生じるため、その地点の水深は限界水深に一致する。

(3) 水路②のゲート上流側では跳水が生じる。跳水は、一般的に射流から常流へ流れが遷移するときに生じる水理学的現象である。下流側の常流では流れの影響が上流側にも伝播されるのに対し、上流側の射流では下流の影響を受けない。そのため、射流から常流への遷移は、水表面に激しい渦を伴う不連続な形で行われる。流れの遷移部では激しい渦運動のために射流の持つ大きなエネルギーを大量に失う。

じる環境影響に対して代償が実施される。

問題 5 ミティゲーション 5 原則とは事業実施に伴う環境への影響を緩和するための措置で、「回避」、「最小化」、「修正」、「軽減」、「代償」からなる。

「回避」とは保存すべき環境要素を事業に伴う人為的影響からできる限り遠ざけること、

「最小化」とは工種の選定などによって事業に伴う人為的影響をできる限り小さくすること、

「修正」とは事業の実施により新たな生息・生育空間の創出やネットワーク化を推進すること、

「軽減」とは工事実施に先立つ準備や仮設計画での工夫で影響を緩和すること、

「代償」とは既存の生息・生育空間を補償する代替地を確保し、ビオトープ等を創設すること、

をそれぞれいう。事業実施に際しては、まず回避、最小化、修正、軽減が行われ、これらの措置をとった上でもなお生じる環境影響に対して代償が実施される。

問題6 戸別に設置される浄化槽のうち、し尿のみを処理する浄化槽を単独処理浄化槽、し尿も生活排水も併せて処理する浄化槽を合併処理浄化槽という。

農業農村地域では、昭和40年代以降、トイレを水洗化するために、単独処理浄化槽が急速に普及した。しかし、単独処理浄化槽は、汚濁負荷の大きい雑排水を未処理で放流するだけでなく、し尿の処理能力も低く、くみ取りを用いてし尿処理施設で処理される場合よりも逆に汚濁負荷を増大させるものであったため、公共用水域の保全に対して大きな弊害となっていた。このため、単独処理浄化槽の新設禁止のために浄化槽法が改正され、平成13年4月1日より施行された。

こうした時代の要請で開発されたのが、し尿も生活排水も併せて高度に処理する合併処理浄化槽である。合併処理浄化槽は、構造基準でBODの除去率90%以上、放流水のBODは20mg/L以下に定められている。これは公共下水道と同じレベルの性能で、一般家庭の庭先に手軽に設置できる小さな合併処理浄化槽で、下水道と同じレベルで生活排水を処理することができる。

平成13年に新設が禁止された単独処理浄化槽であるが、現在でも更新されずに継続使用されているものが相当数残っており、有機汚濁源対策の障害となっている。

専門科目〔水環境学〕出題意図

1. 水環境学分野で研究するために必要な基礎的な学問である水理学のうち、静水力学に関する知識を問う。
2. 水環境学分野で研究するために必要な基礎的な学問である水理学のうち、単線管水路の水理計算に関する知識を問う。
3. 水環境学分野で研究するために必要な基礎的な学問である水理学のうち、ベルヌーイの定理に関する知識を問う。
4. 水環境学分野で研究するために必要な基礎的な学問である水理学のうち、開水路定常流に関する知識を問う。
5. 水環境学分野で研究するために必要な応用的な学問である水環境工学のうち、環境保全に関する知識を問う。
6. 水環境学分野で研究するために必要な応用的な学問である水環境工学のうち、水処理に関する知識を問う。