

# 公務員試験

## 理工 I, 専門記述式

平成 18 年 5 月 21 日実施分

解答を近日作成予定ですが、それまで、パスワードなしで問題をご覧いただけます。

科目 20 水理学

科目 22 環境工学・衛生工学

水理学は東工大好みの出題(本当に学生が解答できたかどうかは別として), 環境工学・衛生工学は問題として何の工夫もなく無味乾燥で面白くないという印象です。

科目 20. 水理学 [No. 20]

本科目(科目 20(水理学))の選択者は、科目 15(流体力学[機械系])を同時に選択することはできません。

【No. 20】 乱流の流速分布に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 平面壁に沿って密度  $\rho$ 、動粘性係数  $\nu$  のニュートン流体が乱流状態で流れている。壁面に沿って  $x$  軸、壁面に垂直に  $y$  軸をとる。時間平均流は  $x$  方向を向いており、その大きさは  $y$  方向のみに変化しているものとする。

まず、瞬間的な流速の  $x, y$  方向成分をそれぞれ  $u, v$  とし、質量力(単位質量当たりの力)の  $x, y$  方向成分をそれぞれ  $f_x, f_y$ 、圧力を  $p$ 、時間を  $t$  とすれば、一般に 2次元の連続式及びナビエ・ストークス方程式は次のように書ける。

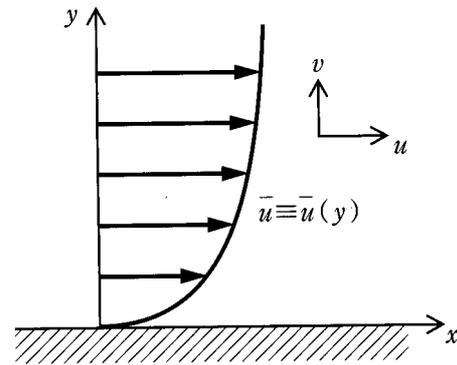


図 I

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots \textcircled{1} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{cases}$$

乱流状態では  $u, v, f_x, f_y, p$  は瞬間ごとに変化しているが、これを

$$\begin{cases} u \equiv u(x, y, t) = \bar{u}(x, y) + u'(x, y, t) \\ v \equiv v(x, y, t) = \bar{v}(x, y) + v'(x, y, t) \\ f_x \equiv f_x(x, y, t) = \bar{f}_x(x, y) + f_x'(x, y, t) \dots \textcircled{2} \\ f_y \equiv f_y(x, y, t) = \bar{f}_y(x, y) + f_y'(x, y, t) \\ p \equiv p(x, y, t) = \bar{p}(x, y) + p'(x, y, t) \end{cases}$$

のように、時間平均(「 $\bar{\quad}$ 」記号)と時間変動(「 $'$ 」記号)の和で表すことにする。

次に、式②を式①に代入してその時間平均をとり、この問題に即して単純化すると、 $x$  方向の運動方程式は、

$$0 = \bar{f}_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \dots \textcircled{3}$$

$$\text{ただし、} \tau = \rho \nu \frac{d\bar{u}}{dy} - \overline{\rho u' v'} \dots \textcircled{4}$$

となる。ここで、乱流混合にかかわる渦の長さスケール  $l$  を考えることにより、

$$-\overline{\rho u'v'} = \rho l^2 \left| \frac{d\bar{u}}{dy} \right| \frac{d\bar{u}}{dy} \quad \dots \textcircled{5}$$

と書くことができる(混合距離モデル)。この問題の場合、壁面が存在するので第1次近似として、 $l = \kappa y$ としてよい( $\kappa$ はカルマン定数と呼ばれる)。また、壁面近傍では $-\overline{\rho u'v'}$ は壁面せん断応力 $\tau_0$ にほぼ等しいと仮定できる。すると、式⑤より壁面近傍の流速分布は、

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y}{y_0} + C \quad \dots \textcircled{6}$$

の形となることが分かる。ここで、 $u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$ は摩擦速度、 $y_0$ は適当な長さの代表値、 $C$ は定数である。

(a) 式③を導け。

(b) 式④に現れる $-\overline{\rho u'v'}$ は一般に何と呼ばれているか。また、この問題の場合、 $-\overline{\rho u'v'}$ は正の値をとる。その物理的理由を説明せよ。

(c) 式⑥を導け。

(2) 水路勾配 $i_0$ の長方形断面水路において、密度 $\rho$ の水が水深 $h$ の等流状態で流れている。水路幅が十分広ければ、水路中央の鉛直縦断面内では時間平均流は2次元的で、流下方向に一様であると考えてよい。この平面内で、図Ⅱのように水路床に沿って流下方向に $x$ 軸、これに垂直に $y$ 軸をとる。

このとき、水路床に作用するせん断応力 $\tau_0$ は、

$$\tau_0 = \rho g h i_0 \quad \dots \textcircled{7}$$

となる。ただし、重力加速度を $g$ とする。

また時間平均流速 $\bar{u}$ は、摩擦速度 $u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}$ 、カルマン定数 $\kappa$ 、相当粗度 $k_s$ を用いれば、

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y}{k_s} + A_r \quad \dots \textcircled{8}$$

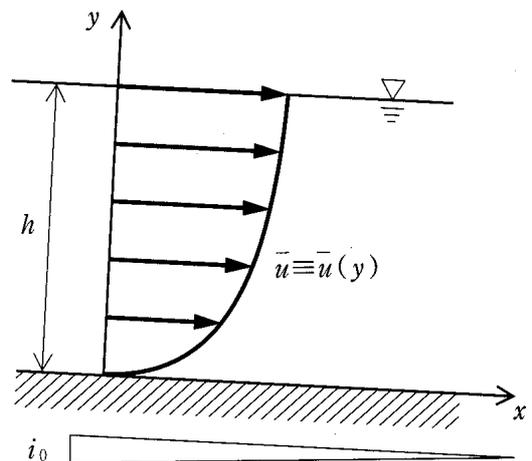
と表すことができる(式⑥参照、 $A_r$ は実験定数)ので、水深平均流速 $v$ が

$$\frac{v}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \left( \ln \frac{h}{k_s} - 1 \right) + A_r \quad \dots \textcircled{9}$$

のようになる。

ところでマンニングの公式

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I_f^{1/2} \quad \dots \textcircled{10}$$



図Ⅱ

(ここで  $n$  は粗度係数,  $R$  は径深,  $I_f$  はエネルギー勾配) は断面平均流速を求めるものであるが, この問題のように水路幅が十分に広ければ, それを水深平均流速と言い換えてもよい。そこで, 式⑨と⑩を比較すると, 粗度係数が

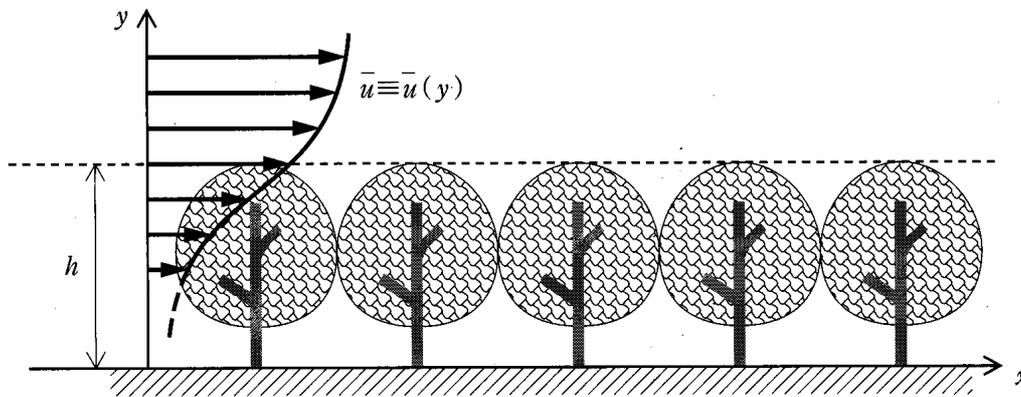
$$n = \frac{k_s^{1/6}}{\sqrt{g}} f(\eta) \quad \dots \text{⑪}$$

$$\text{ただし, } \eta = \frac{h}{k_s} \quad \dots \text{⑫}$$

の形に表されることが分かる。

- (a) 式⑦を導け。
- (b) 式⑨を導け。
- (c) 長方形断面の場合, 水深に比べて水路幅が十分に広ければ, 径深は水深で近似できることを示せ。
- (d) (c)で得られた結果と式⑦, ⑨, ⑩を用いて, 式⑪における  $f(\eta)$  の式を具体的に示せ。

- (3) 水平な陸面に高さ  $h$  の樹林帯が広がっている。陸面の単位面積当たりの樹木の本数は一様であり, それぞれの樹木の鉛直構造(幹の太さや枝や葉のつき方)も同じであるとする。樹林帯内の風の流れは, 樹木1本当たりの水平面積についての平均値で表すことにする。陸面上に  $x$  軸, 鉛直方向に  $y$  軸をとる。いま, 時間平均流は  $x$  方向を向いており, その大きさは  $y$  方向のみに変化しているものとする。



図Ⅲ

$y < h$  において,  $x$  方向の時間平均質量力  $\bar{f}_x$  (問題(1)参照) が

$$\bar{f}_x = -\lambda(\bar{u})^2 \quad \dots \text{⑬}$$

の形に表すことができると仮定する。ここで  $\bar{u}$  は時間平均風速,  $\lambda$  は樹木による抵抗の度合いを示す係数である。このとき, ほかに圧力の作用はないものとするれば,  $x$  方向の力の釣り合い式は,

$$0 = \frac{1}{\rho} \frac{d\tau}{dy} - \lambda(\bar{u})^2 \quad \dots \text{⑭}$$

となる。

ただし、 $\rho$ は空気の密度、 $\tau$ は水平面に作用する $x$ 方向の時間平均せん断応力である。

ここで簡単のため $\lambda$ の値は一定であるとする。さらに粘性応力を無視し、 $y < h$ における混合距離(問題(1)参照)を近似的に $\kappa h$ とすれば( $\kappa$ はカルマン定数)、式⑭より時間平均風速 $\bar{u}$ に関する方程式は

$$\boxed{\hspace{10em}} \dots \textcircled{15}$$

のようになる。これを解くと、 $y < h$ での時間平均風速分布は

$$\bar{u} = \bar{u}_h \exp[-b(h-y)] \dots \textcircled{16}$$

の形をとることが分かる。ここで、 $\bar{u}_h$ は $y = h$ での $\bar{u}$ の値である。また、 $b$ は風速の変化の度合いを示す係数で、樹林帯の高さや抵抗により決まる。

- (a) 式⑭を導け。
- (b) 式⑮を求めよ。
- (c) 式⑯中の係数 $b$ を $\lambda, \kappa, h$ を用いて表せ。

科目 22. 環境工学(土木)・衛生工学〔No. 22A, 22B〕

本科目(科目 22(環境工学(土木)・衛生工学))の選択者は、科目 21(土木計画)と科目 29(資源リサイクリング)のいずれも選択することはできません。

〔No. 22〕 次のA, B いずれか一つのみに答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

- (1) 湖沼の水環境に関する以下の問いに答えよ。
  - (a) 公共用水域の水質環境基準(BOD 又は COD)の達成状況は、河川、海域が約 8 割程度であるのに対して、湖沼は約 6 割程度と低い状況にある。湖沼が河川、海域と比較して環境基準達成率が低い理由について述べよ。
  - (b) 湖沼の汚染源対策について、汚染源の種類を具体的に三つ挙げ、それぞれの構ずるべき対策について述べよ。
- (2) ダイオキシン類に関する以下の問いに答えよ。
  - (a) ダイオキシン類がもつ特性、人への健康影響について述べよ。
  - (b) ダイオキシン類の発生抑制のため、廃棄物焼却炉において行われている対策について述べよ。
- (3) 廃棄物リサイクルに関する以下の問いに答えよ。
  - (a) 家電リサイクル法では、家電の製造メーカーがリサイクルを行う義務を負っている。製造メーカーがリサイクル義務を負うことによって期待される効果を述べよ。
  - (b) 自動車リサイクル法では新車購入時にリサイクル費用をユーザーが負担する仕組みになっている一方で、家電リサイクル法では廃棄時にリサイクル費用をユーザーが負担する仕組みになっている。リサイクル費用を製品購入時に負担する場合と製品廃棄時に負担する場合のそれぞれを比較してメリット・デメリットを述べよ。
- (4) 地球温暖化に関する以下の問いに答えよ。
  - (a) 大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の増加が地球温暖化を引き起こすメカニズムについて述べよ。また、地球温暖化により、地球規模でどのような影響が起こると考えられているかについて述べよ。
  - (b) 我が国の最近の CO<sub>2</sub> 排出量を、京都議定書に定められた基準年(1990 年)頃の排出量と比べると、運輸部門(自動車等)、業務部門(オフィスビル等)、家庭部門において大きく増加している。これら三つの部門それぞれについて、CO<sub>2</sub> の排出量が増加している要因について述べよ。また、それぞれの部門について、CO<sub>2</sub> の排出量削減のために講ずるべき対策について述べよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 我が国における現在の水循環系は、これまでの都市への急激な人口や産業の集中、都市域の拡大、土地利用の変化、近年の気象の変化等を背景として、様々な問題を引き起こしている。このうち、上水道及び下水道にかかわる水循環系の問題点を一つずつ挙げ、それぞれについて、問題点の要因と対策を述べよ。

(2) 我が国の上水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 湖沼水を水道水源とする場合に関する以下の問いに答えよ。

(ア) 湖沼では季節的な温度成層現象が生ずることがあるが、この現象に伴う取水上の問題点と対策について説明せよ。

(イ) 富栄養化した湖沼水を水道水源として利用する場合の水質や浄水処理に与える影響を三つ述べよ。

(b) 浄水処理のうち、急速ろ過方式の特徴を、緩速ろ過方式と比較しながら説明せよ。

(3) 我が国の下水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) ある下水処理場は、下水を標準活性汚泥法により処理し、発生汚泥(最初沈殿池汚泥と余剰汚泥の混合汚泥)を濃縮、脱水、焼却により処理している。下記の条件を用いて、この下水処理場の発生汚泥量( $\text{m}^3/\text{日}$ )及び濃縮汚泥量( $\text{m}^3/\text{日}$ )を求めよ。

流入汚水量：100,000  $\text{m}^3/\text{日}$ ，流入 SS 濃度：200  $\text{mg}/\text{l}$

水処理施設での総合 SS 除去率：90 %，除去 SS 量当たりの汚泥発生率：100 %

混合汚泥の含水率：99 %，濃縮汚泥の含水率：97 %，汚泥の比重量：1.0  $\text{t}/\text{m}^3$

(b) 高度処理の処理方式の一つである嫌気-無酸素-好気法に関する以下の問いに答えよ。

(ア) 最初沈殿池から最終沈殿池までのフロー図を書け。

(イ) りんの除去プロセスについて説明せよ。

(ウ) 窒素の除去プロセスについて説明せよ。

(4) 我が国の上水道、下水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 上水道、下水道ともに消毒処理が行われるが、その方法や基準について、両者の相違点分かるように説明せよ。

(b) 水道水源上流に位置する下水道施設が大規模地震により被災した場合に発生すると考えられる問題点を挙げ、その対策について述べよ。