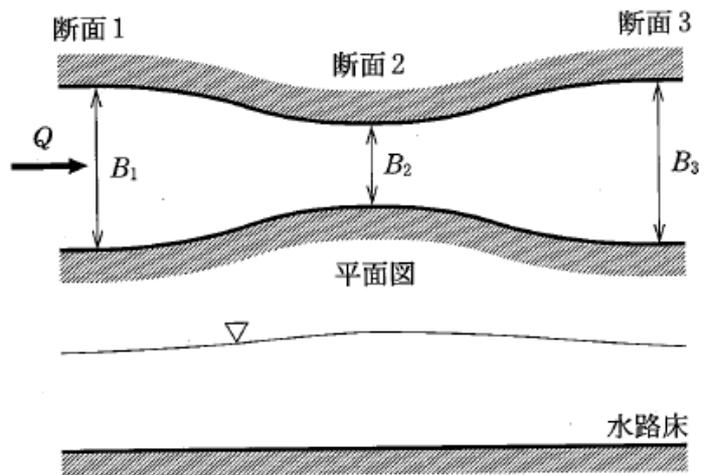


科目 20. 水理学 [No. 20]

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] 滑らかな開水路狭さく部における水面形と河床形状に関する以下の設問に答えよ。
ただし、解答に当たっては、導出過程も記述すること。

(1) 図 I のように、水路床が水平で、長方形断面水路の幅が、断面 1, 2, 3 においてそれぞれ $B_1, B_2, B_3 (B_1 = B_3 > B_2)$ と滑らかに変化している。このときの水面形に関する以下の問いに答えよ。



縦断図

図 I

ただし、流れは定常でその流量を Q とし、断面 1~3 においてエネルギー損失は無視できるものとする。

(a) 比エネルギー E は全水頭 H から水路床高さ z を引いたもので、次式で表される。

$$E = H - z = \frac{v^2}{2g} + h \dots \textcircled{1}$$

ここで、 v は断面平均流速、 h は水深、 g は重力加速度である。流量が同じでも水路幅が異なれば、 E と h の関係も違ったものになることが分かる。

図 II は $E-h$ 関係の概形を描いたものであるが、図中の曲線 a, b はそれぞれ断面 1, 3 と断面 2 のどちらの $E-h$ 関係に対応したものといえるか、その理由とともに述べよ。

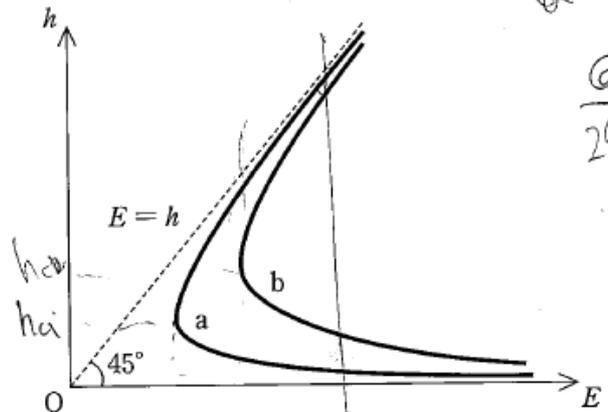


図 II

(b) 断面 1 から 3 に至るまで全水頭 H は保存されるものとする。このとき、水深はどのように変化するか、特に常流と射流で変化の仕方が異なることを説明せよ。

ただし、図 II を答案用紙に写し、それに適宜加筆して説明すること。

(c) 狭さく部(断面 2)があるために、断面 1 と 3 ではとり得る水深の範囲が決まってくることを説明せよ。

(d) 断面 2 で限界水深をとるときの比エネルギーを g, Q, B_2 を用いて表せ。

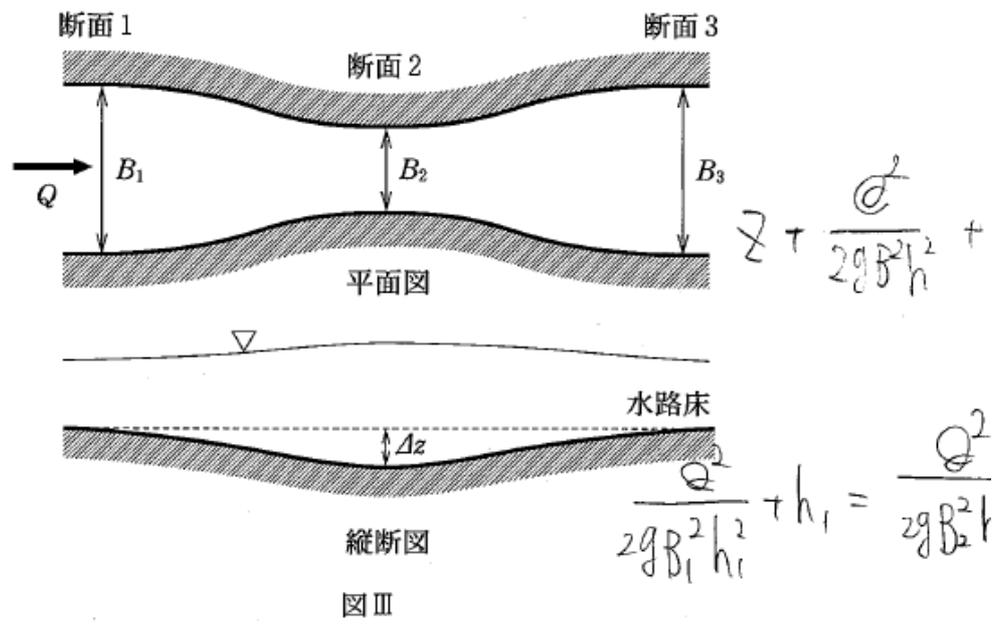
(e) 断面1より上流側は、水路幅が同じで勾配 i_0 、粗度係数 n の長方形断面水路になっており、十分上流では等流状態かつ常流であるとする。断面3より下流側で特に条件を設けていないとき、断面1から3に至るまで流れが常流であるためには(つまりこの区間で限界水深とならないためには)、流量 Q はどのような範囲にあるべきか、 g, B_1, B_2, i_0, n を用いて表せ。

ただし、計算を簡単にするために断面1での速度水頭は無視してよい。また、水路幅は十分広いものとし、その際のマンニングの式は次式のようにになる。

$$v = \frac{1}{n} h^{2/3} i_0^{1/2} \dots \textcircled{2}$$

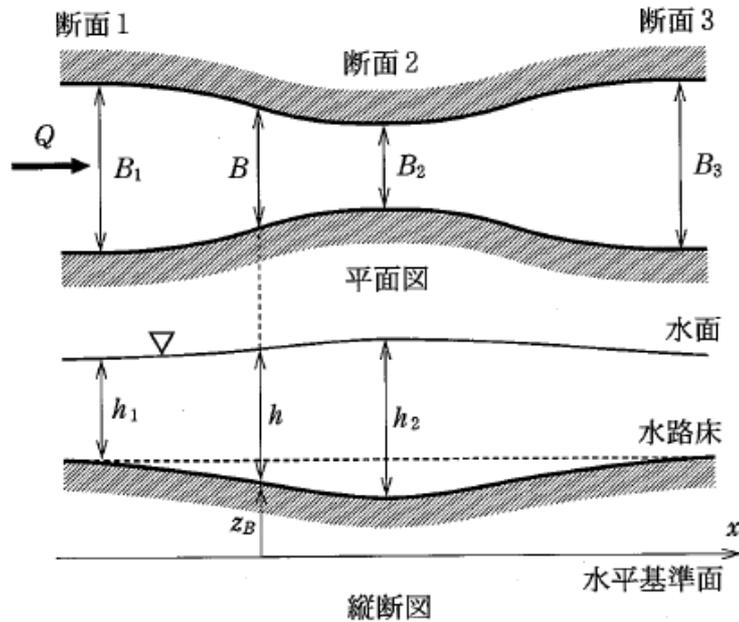
(2) 図Ⅲのように、長方形断面水路の幅が、断面1, 2, 3においてそれぞれ $B_1, B_2, B_3 (B_1 = B_3 > B_2)$ と滑らかに変化している。また、水路床高さも滑らかに変化し、断面1と3では同じ高さであるが、断面2で最低となり、断面1と3より Δz だけ低い。このときの水面形に関する以下の問いに答えよ。

ただし、流れは定常でその流量を Q とし、断面1~3においてエネルギー損失は無視できるものとする。また、重力加速度を g とする。



- (a) 断面1から3に至るまでに水深はどのように変化するか、特に、常流と射流及び Δz の大きさにより変化の傾向が異なることを説明せよ。
- (b) 狭さく部(断面2)があるために、流量に応じて、断面1と3ではとり得る水深の範囲が決まってくるが((1)の(c)参照)、 Δz が大きくなるに従って、この水深の範囲はどのように変化するか、その理由も含めて説明せよ。
- (c) 断面1と3において、どんな水深もとり得るようになるには、 Δz はどのような範囲にあればよいか述べよ。

- (3) 図Ⅳのように、長方形断面水路の幅が、断面1, 2, 3においてそれぞれ B_1, B_2, B_3 ($B_1 = B_3 > B_2$) と滑らかに変化している。また、水路床は粘着性のない砂で構成されていて、図Ⅳのように縦断方向に滑らかに変化している。



図Ⅳ

この水路を流れる流量は一定でこれを Q とし、水路床の縦断形状 z_B の時間変化は、近似的に以下の式で表されるものとする。

$$(1 - \lambda)B \frac{\partial z_B}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Bq_B) = 0 \dots \textcircled{3}$$

ここで、 t は時間、 x は縦断方向座標、 λ は砂の間隙率、 B は水路幅、 q_B は水路床上の砂の移動量であり、摩擦速度 u_* を用いて近似的に、

$$q_B = Ku_*^m \dots \textcircled{4}$$

と表されるものとする (K, m は定数で、 $K > 0, m > 1$)。また、摩擦速度は、水路幅が十分広い場合に、マンシングの粗度係数 n を用いて次式で与えられるものとする。

$$u_*^2 = \frac{gn^2 v^2}{h^{1/3}} \dots \textcircled{5}$$

ここで、 v は断面平均流速、 h は水深、 g は重力加速度である。このとき、以下の問いに答えよ。

- (a) 任意の地点での砂の移動量 q_B を K, m, g, n, Q, B, h を用いて表せ。
 (b) 水路床縦断形状が時間変化しない平衡状態、つまり式③の左辺第1項が0の場合を考える。

このとき水深 h が最大となるのは水路幅 B が最小となる断面2であることを示せ。

なお、(a)で求めた q_B が B 及び h の関数であり、 B 及び h が x により変化することに注意せよ。

- (c) 平衡状態における断面2での水深 h_2 を、断面1での水深 h_1 と B_1, B_2, m を用いて表せ。

2007 水理学 解答

一応、答えをつけてみましたが、何か考え違いがあるかも知れず、間違いに気付かれた方は、ご連絡ください。出題者の方からのご意見も歓迎します。

(a) 比エネルギーの定義式 $E = \frac{v^2}{2g} + h$ に対して単位幅流量 q を用いて書き直すと、 $h^3 - Eh^2 + \frac{q}{2g} = 0$

となる。この方程式は $h < 0$ の範囲で 1 つの解と $h > 0$ の範囲で 2 つの解を持つが、その 2 つの解は、 E が一定の条件でグラフ解法により、 q が大きいほど、すなわち B が小さいほど互いに近接する。すなわち、 b の状態になる。よって、断面 II で b 、断面 I, III で a と考えられる。

(b) 射流の場合は、狭窄部で水面が盛り上がる。上流の場合には、狭窄部で水面が低下する。図示は省略します。

(c) 図 II において、 b で示される断面 II のカーブのうち、断面 II での限界水深以下の E は、とり得ない。

(d) $E = \frac{v^2}{2g} + h = \frac{q^2}{2gh^2} + h = \frac{Q^2}{2gh^2B_2^2} + h$ であるから、この式を h で微分して、 $\frac{dE}{dh} = -\frac{Q^2}{gB_2^2h^3} + 1$ こ

れが、0 となるためには、 $h = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_2^2}}$ の場合であるから、これを代入し、 $E = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_2^2}}$

(e) 流量 Q が、勾配 i 、幅 B_1 の水路を流れるときの水深は、問題文の形でマンニングの式を与えた場合に

$v = \frac{Q}{B_1 h} = \frac{1}{n} h^{2/3} i^{1/2}$ を h について解いて、 $h = (Q \cdot n \cdot i^{-1/2} \cdot B^{-1})^{3/5}$ 。これが、前問の $E = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_2^2}}$ より

大きくなればよいので、 $(Q \cdot n \cdot i^{-1/2} \cdot B^{-1})^{3/5} > \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_2^2}}$ 。これを Q について解くのは、なかなか腕力が

必要ですね。公務員試験に合格するくらいの人ならできるでしょう。

(2)

(a) Δz が小さい場合のことを考えよう。前問での考察により、射流であれば、単位幅流量の増加により狭窄部で水面が盛り上がり、常流であれば、単位幅流量の増加により狭窄部で水面が下がる。次に、 Δz が大きい場合のことを考えると、射流であれば、水路床の低下により得たエネルギーを速度の増加に用いることから、ますます、狭窄部で流れが薄くなる。常流の場合には、狭窄部での水面低下を抑制でき、速度水頭分だけ水面を上昇させることもできる。図 II において、 E を Δz だけ増加させたときに h がどのようになるかを考えれば良い。

(b) 図 II 上で Δz が 0 であれば a カーブ上の点から下へ降ろした点が b カーブに引っかかる範囲でしか、 a カーブ上の点を取りえないが、 Δz がある値をとれば、 a カーブ上から Δz だけ右側へ動かした b カーブ上に状態が遷移できるので、 a カーブ上での取り得る範囲が拡大される。(このことを図を使ってうまく答案で表現する。)

(c) これが、必要十分かどうかはわからないのですが、 a カーブ上での限界比エネルギー $E_{I,III} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_1^2}}$ と、

a カーブ上での限界比エネルギー $E_{II} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_2^2}}$ の差を Δz で補填できれば良いと考えられる。つまり、

$\frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_1^2}} + \Delta z > \frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_2^2}}$ となれば、任意の水深を取り得る気はします。

(3)

(a) $q_B = Ku_*^m = K\left(\frac{g^{1/2}nV}{h^{1/6}}\right)^m$ さらに $v = \frac{Q}{Bh}$ を代入し、 $q_B = K\left(\frac{g^{1/2}nQ}{Bh^{7/6}}\right)^m$

(b) 注書きの使い方がよくわからないのであるが、 $q_B \cdot B = C$ (定数)とおくと、 $\frac{C}{B} = K\left(\frac{g^{1/2}nQ}{Bh^{7/6}}\right)^m$ であ

るから、

$\frac{C}{B} = K\left(\frac{g^{m/2}n^mQ^m}{B^m h^{7m/6}}\right)$ 、さらに変形して、 $B^{m-1} = C^{-1}Kg^{m/2}n^mQ^m h^{-7m/6}$ 。がさっと定数を D と置き直

すと、 $B^{m-1} = Dh^{-7m/6}$ 。よって、 $m > 1$ では、 B が小さくなるほど h は大きくなる。

(c) $\frac{B_1^{m-1}}{h_1^{-7m/6}} = D = \frac{B_2^{m-1}}{h_2^{-7m/6}}$ で、これを h_2 に対して解く。と、これだけで良いのでしょうか？ 何か不安ですね。

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(資源リサイクル)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) 大気中に存在する光化学オキシダントに関する以下の問いに答えよ。

- (a) 光化学オキシダントを構成する主な物質を挙げ、光化学オキシダントがどのような仕組みで生ずるかを述べよ。
- (b) 光化学オキシダントが高濃度になりやすい条件を述べよ。また、光化学オキシダントの濃度が高くなったときに生ずる大気の様子、健康への影響について述べよ。
- (c) 光化学オキシダントを低減するためにとられている主な対策を二つ述べよ。

(2) 水域の富栄養化に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 湖沼や内湾の富栄養化はさまざまな問題を引き起こすが、水道及び水産を例に挙げ、富栄養化に伴う問題がどのような仕組みで生ずるかを述べよ。
- (b) 湖沼や内湾の富栄養化の原因となる物質の主な発生源を挙げた上で、富栄養化による問題を改善させるために考えられる対策を二つ挙げよ。

(3) 残留性有機汚染物質(Persistent Organic Pollutants; POPs)は、製造・使用が法律によって原則として禁止されているとともに、国際的にもその削減や廃絶などに向けた「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」が採択され、2004年に条約が発効した。これに関する以下の問いに答えよ。

- (a) 残留性有機汚染物質対策が必要となる理由を述べよ。
- (b) 残留性有機汚染物質には、製品として使用する目的で製造される意図的生成物以外に、非意図的に生成する物質がある。このような物質を一つ挙げ、その生成の主な要因を述べよ。

(4) 我が国では膨大な量の廃棄物が発生し、さまざまな局面で深刻な状況が生じていることなどから、循環型社会形成推進基本法に基づき、循環型社会の形成に向けてさまざまな取組が進められている。これに関する以下の問いに答えよ。

(a) ここでいう「循環型社会」とはどのようなものと考えられるかを、以下の用語をすべて用いて述べよ。

〔循環資源、天然資源、環境への負荷〕

(b) 以下の㉗～㉚の用語を、廃棄物対策の基本的な優先順位に並べ替えよ。

〔㉗適正処分、㉘再使用、㉙熱回収、㉚発生抑制、㉛再生利用〕

(c) (b)の基本的な優先順位によらないことが環境への負荷の低減にとって有効である場合としてどのような例が考えられるかを述べよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 地球は「水の惑星」といわれ、また、21世紀は「環境の世紀」、「水の世紀」といわれている。

人の生存のためには、水は必要不可欠なものであり、その水を量的及び質的に十分確保することは、人の定住のための大きな条件となっている。これに関する以下の問いに答えよ。

- (a) 都市において水が果たす役割について、人とのかかわりの視点から三つ挙げ、それぞれ具体的に説明せよ。
- (b) 水が都市にもたらすリスクについて二つ挙げ、それぞれ具体的に説明せよ。

(2) 水道の目的は、我が国の水道法で述べられているように、「清浄にして豊富低廉な水の供給を図り、もって公衆衛生の向上と生活環境の改善に寄与する」ことである。これに関する以下の問いに答えよ。

- (a) 水の疫学的な水質指標として用いられる大腸菌群数又は大腸菌について、これらの指標としての意義を述べよ。
- (b) 水道は、取水施設、浄水施設や配水施設などの施設により構成される。配水施設の配水方式については、自然流下方式、ポンプ圧送方式及び両者の併用方式の三つがあるが、これらの方式の採用条件と特性について、それぞれ述べよ。

(3) 我が国の一般的な下水処理場の処理方式として採用されている標準活性汚泥法により、 BOD_5 濃度が 200 mg/l の下水 $10000 \text{ m}^3/\text{日}$ を処理する場合における以下の問いに答えよ。

- (a) 標準活性汚泥法の処理フローを図示せよ。
- (b) 最初沈殿池の水表面積及び有効容積を求めた上で、最初沈殿池として必要な有効水深を算出せよ。

ただし、沈殿時間は1.5時間、水面積負荷率は $40 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ とする。

- (c) 曝気槽流入水の BOD_5 濃度を求めた上で、曝気槽の有効容積及び BOD 容積負荷率を算出せよ。

ただし、最初沈殿池での BOD 除去率を40%、 $MLSS$ 濃度を 2000 mg/l 、 $BOD-SS$ 負荷を $0.2 \text{ kgBOD}/(\text{kgSS} \cdot \text{日})$ とする。

(4) 近年、我が国の水道及び下水道においても地球温暖化対策に積極的に取り組むことが必要とされている。これに関する以下の問いに答えよ。

- (a) 水道又は下水道に関連して発生する温室効果ガスの種類を三つ挙げ、その発生原因を具体的に説明せよ。
- (b) 水道又は下水道において適用可能と考えられる地球温暖化対策を三つ挙げ、それぞれ具体的に説明せよ。