

## 専門科目：社会基盤デザイン学

## A1 構造工学

1. 図-1 の一様断面で曲げ剛性  $EI$  のはり部材 PR と軸剛性  $EA$  のトラス部材 QS からなる骨組構造について、以下の問いに答えなさい。ただし、部材 QS の両端は摩擦のないヒンジとする。解答にあたっては、次の関係式を用いて断面積  $A$  を消去しなさい。

$$EA\ell^2 = EI$$

ここで、 $E$  は Young 率、 $I$  は断面二次モーメントである。

- (1) 点 R に、鉛直下向きの荷重  $P_0 > 0$  と時計回りのモーメント荷重  $M_0 > 0$  が作用するとき、トラス部材 QS の軸力を求めなさい。
- (2) (1) のとき、はり部材 PR の曲げモーメント図を描きなさい。ただし、P、Q、R の各点での値も明記しなさい。
- (3) (1) のとき、最大の引張応力が生じる  $x$  座標とその応力値を求めなさい。なお、はりの断面は高さ  $h$ 、幅  $b$  の長方形として  $I = bh^3/12$  を用いなさい。
- (4)  $P_0 = 0$ 、 $M_0 > 0$  のとき、点 R のたわみを求めなさい。
- (5) (3) で求めた最大の引張応力が作用する面が反時計回りに  $60^\circ$  回転した面に作用するせん断応力を求めなさい。

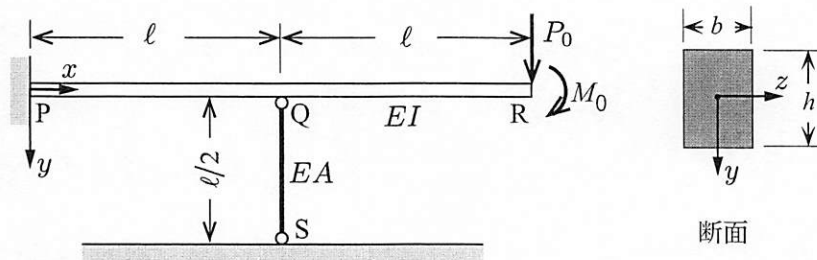


図-1 骨組構造

## 専門科目：社会基盤デザイン学

## A2 コンクリート工学

1. 表-1 はコンクリートの示方配合表である．表中の(a), (b), (c)にあてはまる数値を答えよ．水，セメント，細骨材および粗骨材の密度は，それぞれ  $d_w = 1.00 \text{ g/cm}^3$ ， $d_c = 3.10 \text{ g/cm}^3$ ， $d_s = 2.50 \text{ g/cm}^3$ ， $d_g = 2.50 \text{ g/cm}^3$  とする．

表-1

骨材の 最大寸法 (mm)	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
20	8.0	5.0	60.0	40.0	186	(a)	(b)	(c)

2. コンクリート用骨材の主要な特性を3つ示し，それぞれの特性がフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートに及ぼす影響を説明せよ．
3. 図-1 に示す断面が一様である鉄筋コンクリートはりについて以下の問いに答えよ．

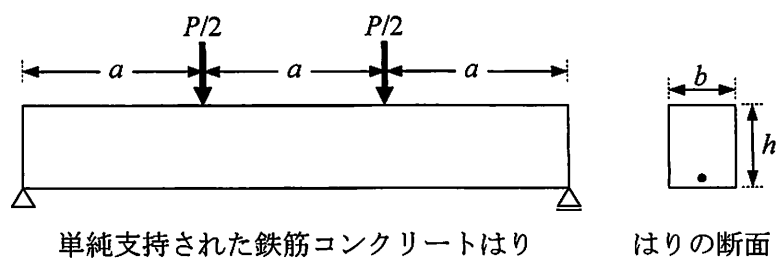


図-1

- (1) スパン中央部の最大曲げモーメント  $M_{\max}$  を答えよ．
- (2) 曲げひび割れが初めて生じるときの荷重  $P_{cr}$  を答えよ．コンクリートの曲げ強度は  $f_t$  とする．ただし，軸方向鉄筋の影響は無視してよい．

## 専門科目：社会基盤デザイン学

## A3 地盤工学

Terzaghi の一次元圧密方程式は次式で与えられる.

$$\frac{\partial u_e}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u_e}{\partial z^2}, \quad c_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (1)$$

ここで,  $u_e(z, t)$  は地表面からの深さ  $z$ , 時刻  $t$  における過剰間隙水圧,  $c_v$  は圧密係数,  $k$  は透水係数,  $m_v$  は土骨格の体積圧縮係数,  $\gamma_w$  は水の単位体積重量である. また, 地表面が排水条件, 底面が非排水条件にある層厚  $H$  の地盤に対し, 等分布荷重  $q$  を瞬間載荷した場合を対象に式(1)を解くと, 次式に示す級数解が得られる.

$$u_e(z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2q}{\lambda_n} \sin\left(\lambda_n \frac{z}{H}\right) e^{-\lambda_n^2 \frac{c_v}{H^2} t}, \quad \lambda_n = \frac{2n-1}{2} \pi \quad (2)$$

式(1)および式(2)に基づいて以下の問いに答えよ. なお, Terzaghi の圧密理論における仮定は全て受け入れるものとする.

- (1) 時刻  $t$  における沈下量  $\rho(t)$  は過剰間隙水圧  $u_e(z, t)$  を用いて式(3)に示すように表される.

$$\rho(t) = m_v \left( qH - \int_0^H u_e(z, t) dz \right) \quad (3)$$

載荷開始からの鉛直有効応力増分を  $\Delta\sigma'(z, t)$ , 鉛直ひずみを  $\varepsilon(z, t)$  としたとき,  $\varepsilon(z, t) = m_v \Delta\sigma'(z, t)$  なる関係があることを用いて式(3)を導出せよ.

- (2) 式(2)と式(3)より,  $\rho(t)$  を級数によって表せ.
- (3) 設問(2)で求めた式より, 最終沈下量  $\rho_f$  を求めよ.
- (4) 設問(2)で求めた  $\rho(t)$  の級数表現の2次以上の項を無視することによって, 沈下がある圧密度  $U (= \rho(t) / \rho_f)$  に達するまでの時間  $t$  を近似的に求める式を導け.
- (5) 設問(4)で求めた近似式に基づいて, 沈下が圧密度  $U$  に達するまでの時間  $t$  に与える  $H$ ,  $m_v$ ,  $k$  および  $q$  の影響についてそれぞれ述べよ.
- (6) 設問(4)で求めた近似式を用いて, 時間係数  $T_v (= c_v t / H^2)$  と  $U$  の関係を表す近似式を求めよ. また, この近似式を用いて,  $U$  が 0.9 に達するときの  $T_v$  の値を求めよ. ただし,  $\ln(80 / \pi^2) = 2.09$  を用いてよい.

## 専門科目：水環境デザイン学

## B1 水理学

図-1 (a) のように大きな水槽の深さ  $H$  の箇所に内径  $D$  の円管を取り付けて平板を当てて水を止めたあとに、図-1(b) のように平板を角度  $\theta$  で傾けて水を流出させる。以下の問いに答えよ。ただし水槽は円管に対して十分に大きく、平板と円管は十分近いものとする。重力加速度は  $g$ 、水の密度は  $\rho$  とし、エネルギー損失は無視してよい。

- (1) 図-1 (a) のときに、平板を押さえて水を止めるのに必要な水平力を求めよ。
- (2) 図-1 (b) のときに、平板に作用する力を求めよ。
- (3) 図-1 (b) では、平板に沿って水流が2方向に分かれているが、分かれた水流の流量の比を求めよ。

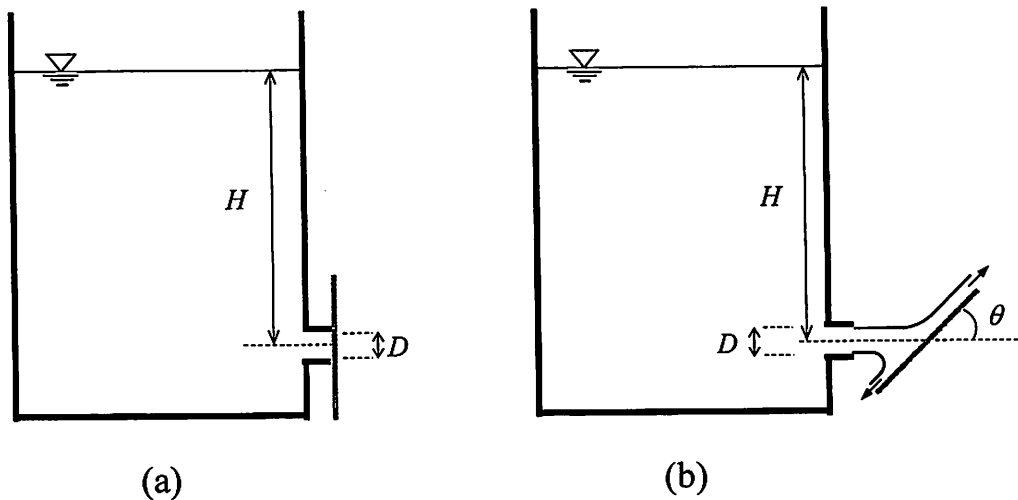


図-1 円管のついた大型水槽

## 専門科目：水環境デザイン学

## B2 河川工学

図-1 に示す単位幅水路に設置したスルースゲートの流れについて以下の問に答えよ。エネルギー損失は無視でき、勾配は 0，重力加速度は  $g$  とする。

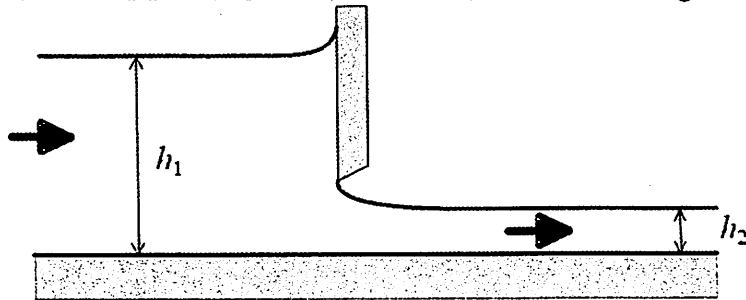


図-1 スルースゲートの流れ

- (1) 上下流の水深がそれぞれ  $h_1$ ,  $h_2$  のとき，単位幅流量  $q$  はいくらか？
- (2) 瞬間にゲートを開けた場合，図-2 のような段波が発生する。

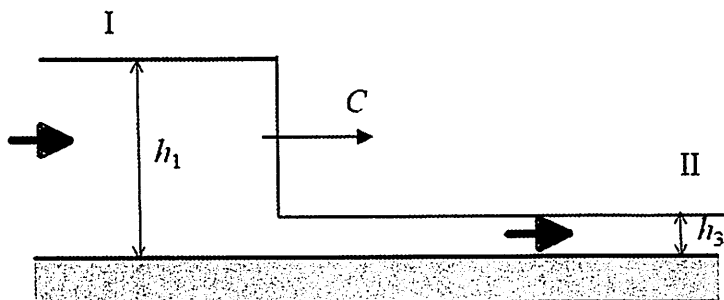


図-2 段波の流れ

このときの  $h_3$  は  $h_2$  に比べて水深は変化しないか？大きくなるか？小さくなるか？

- (3) このときの段波の波速  $C$  を  $h_1$ ,  $h_2$  と  $h_3$  を用いて求めよ。

## 専門科目：水環境デザイン学

## B3 水質工学

1. 河川への流入排水が BOD 点汚染源となっている場合、河川水における最大溶存酸素不足量は以下の式で表される。

$$C_s - C_{min} = \frac{k_1}{k_2} L_0 e^{-k_1 t_c} \quad (1)$$

ここで  $C_s$  は飽和溶存酸素量 (mg/L),  $C_{min}$  は最小溶存酸素量 (mg/L),  $k_1$  は脱酸素係数 (1/日),  $k_2$  は再曝気係数 (1/日),  $L_0$  は排水流入地点の BOD (mg/L),  $t_c$  は排水流入地点から最大溶存酸素不足地点に至るまでの河川流下時間 (日) である。以下の問いに答えよ。ただし,  $e^{-0.69} = 0.5$  とする。

(1) 脱酸素係数が 0.3 (1/日), 再曝気係数が 0.9 (1/日), 排水流入地点の BOD が 25 (mg/L), 飽和溶存酸素量が 8.1 (mg/L), 排水流入地点から最大溶存酸素不足地点に至るまでの河川流下時間が 2.3 (日) である場合, 最小溶存酸素量 (mg/L) を求めよ。

(2) 最大溶存酸素不足地点において溶存酸素量 5 mg/L 以上を維持するには, 排水流入地点の BOD は最大何 mg/L まで許容されるかを算出せよ。

2. 活性汚泥法の管理指標を 4 つ挙げ, その内容を説明せよ。

専門科目：水環境デザイン学

**B4** 環境計画

1. 代表的な温室効果ガスを3種類挙げてそれぞれの発生源と削減対策を説明せよ。
2. 浮遊粒子状物質 PM2.5 の発生メカニズムを説明せよ。また、その濃度低減対策を考察せよ。
3. 都市固形廃棄物処理システムの基本的構成を簡潔に説明せよ。
4. メタン発酵による生ごみの資源回収処理が最近注目されている。メタン発酵の主要な運転条件と生成物を説明せよ。また、生ごみメタン発酵システムフローを1例示せ。

## 専門科目：都市システム計画学

## C1 計画数理

図-1 に示す有向ネットワーク上の最大フロー問題を考える。次の問いに答えよ。

1. 最大フロー最小カット定理を用いて最大フローを求める。
  - (1) グラフ内の頂点を、起点  $s$  を含む集合  $S$  と終点  $t$  を含む集合  $T$  に分割する。このとき集合  $S$  内の頂点から集合  $T$  内の頂点に向かう辺の集合をカットセットという。図-1 における全てのカットセットを列挙せよ。
  - (2) (1) で示した各カットセットの容量を比較し、最小カットを求めよ。
  - (3) 起点  $s$  から終点  $t$  までの最大フローの一例を示せ。
2. 最小カット問題を、整数計画問題として定式化する。
  - (1)  $y_{uv}$  は、頂点  $u$  から頂点  $v$  に向かう有向辺  $uv$  が、カットセットに含まれる場合 1、含まれない場合に 0 をとる 0-1 変数として定義される。図-1 のネットワークのカットセット容量を、変数  $y_{uv}$  の一次関数として表せ。
  - (2)  $p_u$  は、頂点  $u$  が集合  $S$  に属する時 0、集合  $T$  に属する時 1 をとる変数として定義される。有向辺  $uv$  について、以下の関係が成り立つことを示せ。
 
$$p_u - p_v + y_{uv} \geq 0 \quad (1)$$
  - (3) 以下の関係が成り立つことを示せ。
 
$$-p_s + p_t = 1 \quad (2)$$
  - (4) 以上の(1)～(3)を用いて、図-1 のネットワークの最小カットを求める整数計画問題を定式化せよ。
  - (5) (4)の整数計画問題の変数を非負の実数に緩和した線形計画問題を考え、その双対問題を示せ。

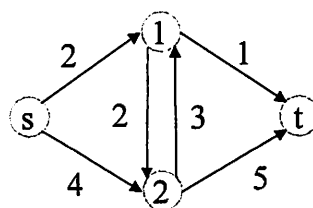


図-1 辺の容量が与えられた有向ネットワーク



## 専門科目：都市システム計画学

## C2 交通計画

2つの都市間の移動において、2つの交通機関の選択行動をランダム効用理論で分析する。ランダム効用理論では、 $V_i$ を選択肢 $i$ の確定効用項、 $\varepsilon_i$ を確率的な誤差項とすると、各個人が選択肢 $i$ から得られる効用は  $U_i = V_i + \varepsilon_i$  と表現され、選択肢1の選択確率は  $\Pr[U_1 \geq U_2] = \Pr[V_1 + \varepsilon_1 \geq V_2 + \varepsilon_2]$  で表される。以下の問いに答えよ。

- (1) 確率的な誤差項 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ が独立で同一なガンベル分布に従うとき、各選択確率はロジットモデルとして記述できることが知られている。選択肢1の選択確率を  $V_1, V_2$  を用いてロジットモデルの式として記述せよ。
- (2) 確率的な誤差項 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ が独立で同一なガンベル分布に従わない場合を考える。確率的な誤差項の差  $\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$  の確率密度関数  $f(\varepsilon)$  が式(1)で与えられるとき、選択肢1の選択確率を  $V_1, V_2, L$  の関数として表現せよ。

$$f(\varepsilon) = -\frac{3}{4L^3}\varepsilon^2 + \frac{3}{4L} \quad (-L \leq \varepsilon \leq L) \quad (1)$$

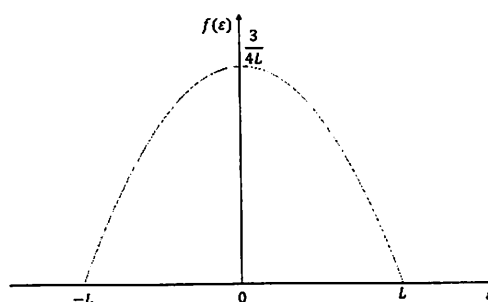


図-1 誤差項の確率密度関数

- (3) 選択肢1の確定効用項  $V_1 = 0.8L - p_1$ 、選択肢2の確定効用項  $V_2 = 0.3L - p_2$  で与えられるとする。ここで  $p_1, p_2$  はそれぞれの料金である。料金が  $p_1 = p_2$  のとき、(2)の結果を用いて、選択肢1の選択確率の値を求めよ。
- (4) 選択肢2の料金を安くし、料金が  $p_2 = p_1 - 0.3L$  と変更されたとき、選択肢1の選択確率の値を求めよ。

## 専門科目：都市システム計画学

## C3 交通工学

ある1本の道路上に歩行者専用の横断歩道が設置されている。横断歩道には信号機が設置されている。この信号機の現示が赤のときは、道路上の車両は停止し、歩行者が道路を安全に横断できるようになる。信号機の現示が青であれば、常に、この道路の容量までの交通流率の車両が通過できる。信号現示が切り替わる際に必要なロスタイムの合計は1サイクルあたり2秒である。ロスタイム中は道路上の車両も歩行者も停止している。なお、黄色現示、車両の加減速、ドライバーの反応遅れなどの現象によって発生する交通流率の低下の影響は、すべてロスタイムに含まれていると考えよ。この道路の容量は場所によらず常に1,800台/時である。道路の上流端からは、交通流率が常に900台/時に厳密に一致する一様な交通流が流入している。この道路は十分な長さがあり、赤信号により停止している車両がつくる待ち行列が道路の上流端に達することはないとする。このとき以下の間に答えよ。計算の際は交通流を連続体とみなすこと。

- (1) この信号機を「押しボタン式」で制御することを考える。歩行者が押しボタンを押すと、この信号機の現示はただちに青から赤に変わる。ロスタイム2秒を含めて20秒間経過後、この信号機の現示は青に戻る。押しボタンを1回押すことにより、この道路を走行する車両がこうむる遅れ時間の合計を示せ。解の導出過程も示すこと。なお、押しボタンが1回押されてから再び押されるまでの時間間隔は最低でも2分間はあると考えよ。
- (2) この信号機を、サイクル長が $C$ 秒、現示が青の時間が $T$ 秒の固定パターンで制御することを考える。ただし、 $120 \leq C \leq 240$ ,  $0.5C \leq T \leq C - 20$  とする。このとき、この道路を走行する車両がこうむる1台あたりの平均遅れ時間を示せ。解の導出過程も示すこと。
- (3) (2)の設定において、この道路を走行する車両の1台あたりの平均遅れ時間を最小化する $C$ と $T$ の値を示せ。また、この道路を走行する車両の1台あたりの平均遅れ時間を最大化する $C$ と $T$ の値を示せ。