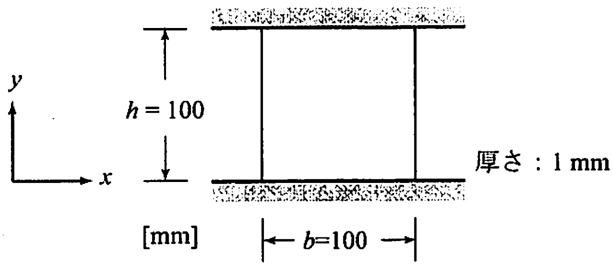
専門科目：社会基盤デザイン学

A1 構造工学

下に示すような，ヤング率 $E = 200$ [GPa]，ポアソン比 $\nu = 0.25$ の等方線形弾性材料からなる 100 [mm] × 100 [mm] の正方形平板が上下端を y 方向に固定されている（高さ h 一定）．平面応力状態を仮定して，以下の問いに答えなさい．なお，応力とひずみの間には以下の関係式があるものとする．

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu\frac{\sigma_y}{E}, \quad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu\frac{\sigma_x}{E}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

ここで，ε_x, ε_y は，それぞれ x と y 方向の垂直ひずみ，および γ_{xy} はせん断ひずみである．また，σ_x, σ_y は，それぞれ x と y 方向の垂直応力，および τ_{xy} はせん断応力である．なお，G はせん断弾性係数で $G = E/\{2(1+\nu)\}$ で与えられる．

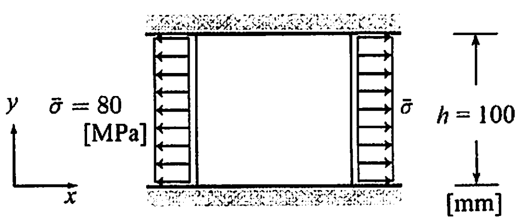


(1) 下図 (a) に示すように，高さ h を固定し，板の上下端と左右端を平行に保ったまま x 方向垂直応力が一様に $\sigma_x = \bar{\sigma} = 80$ [MPa] になるように載荷した．このときの y 方向垂直応力 σ_y と x 方向垂直ひずみ ε_x を求めよ．

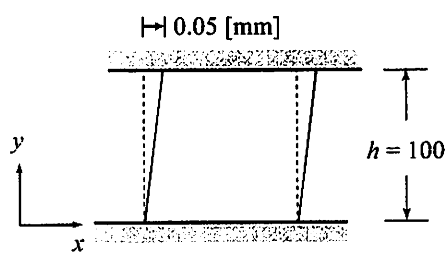
(2) 下図 (b) に示すように，高さ h を固定し，板の上下端を平行に保ったまま上端を x 方向に 0.05 [mm] だけ動かした．このときのせん断ひずみ γ_{xy} とせん断応力 τ_{xy} を求めよ．

(3) 上記 (1) の垂直応力成分と (2) のせん断応力成分が同時に生じるような載荷を行ったとき，最大主応力を求め，x 軸から反時計回りにとった最大主応力の方向角 θ を $\tan 2\theta$ で答えなさい．また，最大せん断応力を求めよ．

(4) 上記 (3) の応力状態のとき，最大および最小主ひずみを求めなさい．



(a)



(b)

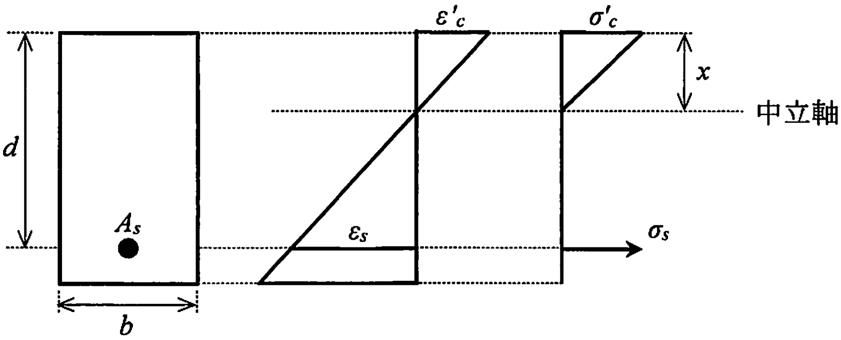
専門科目：社会基盤デザイン学

A2 コンクリート工学

1. ポルトランドセメントの製造に用いられるクリンカーの主要な化合物を 4 種類挙げ，それぞれの特性を説明せよ．

2. 空気量 5.0 %のコンクリートの単位粗骨材量を，単位水量 W [kg/m^3]，単位セメント量 C [kg/m^3]，細骨材率 s/a，水の密度 ρ_w [g/cm^3]，セメントの密度 ρ_c [g/cm^3]，粗骨材の表乾密度 ρ_g [g/cm^3]を用いて示せ．

3. 図-1(a)に示す鉄筋コンクリート製梁の断面に曲げモーメントが作用したときのひずみ分布および応力分布が図-1(b)および図-1 (c)であるとするとき，中立軸高さ x を b, d, A_s, n を用いて示せ．ここで，b：断面幅，d：断面の有効高さ，A_s：引張鉄筋の断面積，n：ヤング係数比（$= E_s/E_c$），E_s：鋼材のヤング係数，E_c：コンクリートのヤング係数，ε'_c：断面上縁のコンクリートの圧縮ひずみ，ε_s：鉄筋の引張ひずみ，σ'_c：断面上縁のコンクリートの圧縮応力，σ_s：鉄筋の引張応力である．



(a) 断 面　　(b) ひずみ分布　(c) 応力分布

図-1

4. 次のコンクリート工学に関する専門用語をそれぞれ 100 字程度で説明しなさい．
   (1) クリープ
   (2) 釣り合い鉄筋比

専門科目：社会基盤デザイン学

A3 地盤工学

1. 土取場より土を採取し，最適含水比 w_{opt} で締め固めて，乾燥密度 ρ_d，体積 V の盛土を構築する．土粒子密度は ρ_s で，土取場における土の含水比は w（$w < w_{opt}$）である．以下の問いに答えよ．ただし，水の密度を ρ_w，重力加速度を g とする．
   (1) 土取場で採取すべき土の重量 W を求めよ．
   (2) 締固め時に散水すべき水の重量 ΔW_w を求めよ．
   (3) 盛土の間隙比 e を求めよ．
   (4) 盛土の飽和度 S_r を求めよ．

2. 図 1 に示す水平成層地盤が単一の層からなると見做したときの巨視的な透水係数に関する以下の問いに答えよ．ただし，d_1 と d_2 は各層の層厚であり，k_1 と k_2 は各層の透水係数である．
   (1) 水平方向の巨視的な透水係数 k_H を導出せよ．
   (2) 鉛直方向の巨視的な透水係数 k_V を導出せよ．
   (3) $k_H \geq k_V$ が成り立つことを示せ．

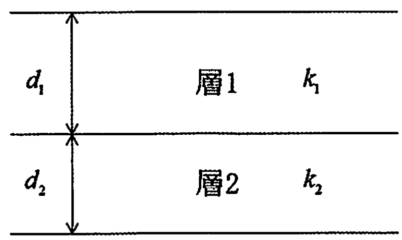


図 1

3. Terzaghi の圧密理論に基づいて水平成層地盤に一様な荷重を瞬間載荷した場合に生じる圧密沈下について考える．現場 A では，最終沈下量が 4 m，圧密度 50 %に至るまでの時間が 200 日であった．現場 B～E では，地盤条件や載荷条件が現場 A とは以下の通り異なる．各現場の (i) 最終沈下量と (ii) 圧密度 50 %に至るまでの時間を求めよ．ただし，各現場において，記載の条件以外は現場 A と同じであるとする．

現場 B： 地盤の層厚が現場 A の 2 倍．
現場 C： 地盤の透水係数が現場 A の 2 倍．
現場 D： 地盤の体積圧縮係数が現場 A の 2 倍．
現場 E： 鉛直荷重が現場 A の 2 倍．

専門科目：水環境デザイン学

B1 水理学

図-1 に示すサイフォンを用いて水を流す．以下の問いに答えよ．水槽 A と C の水位差は H，管長を ab 間 l_1，bc 間 l_2 とし，管径 D は一定で，水槽は管径に対して十分に大きいものとする．重力加速度は g，水の密度は ρ である．損失係数については，それぞれ f_e：入口損失，f_b：曲がり損失，f_o：流出損失，f：摩擦損失，とする．

(1) 管内の流速 v を求めよ．

(2) 管の頂部 b の管内圧力 p_b を求めよ．

(3) サイフォンに水が流れるための H の最大値を求めよ．ただしサイフォンに水が流れる条件は $\frac{p_b}{\rho g} > -8$ とすること．

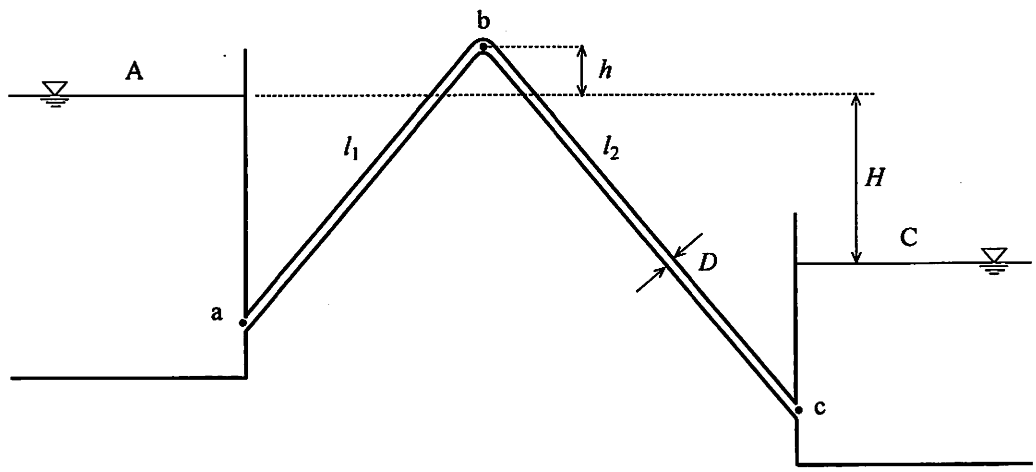


図-1 サイフォン

専門科目：水環境デザイン学

B2 河川工学

矩形水路の水面と河床が図-1 のような場合，以下の問に答えよ．なお，エネルギー損失は無いものとする．

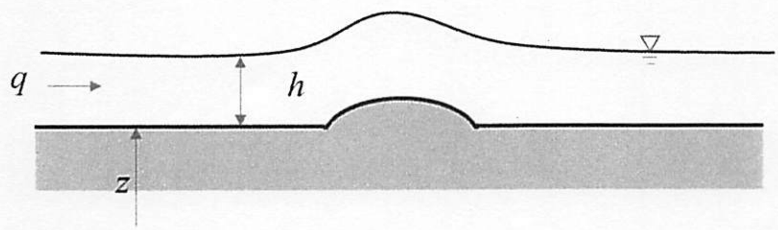


図-1 流れ縦断図

(1) この流れは射流，遷移流，常流のうちどれにあたるか？　理由も含めて答えよ．

(2) 比エネルギーEを表記せよ．必要なら単位幅流量q，水深h，河床高さz，重力加速度gを用いよ．

(3) 比エネルギーEと水深hの関係をグラフで示せ．

(4) この流れにおいて河床波が生じている場合，河床波はみかけ上，上流，下流のどちらに移動するように見えるか？　理由も含めて答えよ．

(5) この河床波のことを特に何と呼ぶか？

専門科目：水環境デザイン学

B3 水質工学

1. 活量とは，理想性からのずれを考慮するために導入された熱力学的濃度であり，濃度に対する活量の比を活量係数と呼ぶ．電解質溶液では，陽イオンと陰イオンが必ず対で存在するため，平均イオン活量係数 $\gamma_\pm$ を導入する．Debye と Hückel は電解質溶液の 25°C での平均イオン活量係数について以下の式を与えた．

$$\log \gamma_\pm = -0.509\,|z_+ z_-|\sqrt{I}$$

ここで，z_+ は陽イオンの価数，z_- は陰イオンの価数である．I はイオン強度であり，以下の式で表される．

$$I = \frac{1}{2}\sum_i m_i {z_i}^2$$

ここで，m_i はイオン i のモル濃度，z_i はイオン i の価数である．

(1) 実在電解質溶液におけるイオンの振る舞いに関し，理想性からのずれを生じさせる要因を２つ挙げ，その内容を説明せよ．

(2) １つ目の式は極限法則と呼ばれている．その理由を説明せよ．

(3) モル濃度が 0.002 mol/L の $MgCl_2$ 溶液のイオン強度 I, 及び 25°C における平均イオン活量係数の常用対数値 $\log \gamma_\pm$ を求めよ．必要であれば以下の値を用いよ．
$\sqrt{0.008} = 0.0894$,　$\sqrt{0.006} = 0.0775$,　$\sqrt{0.004} = 0.0632$,　$\sqrt{0.002} = 0.0447$

2. 河川水の重要な水質指標を３つ挙げ，その内容と水環境問題との関連をそれぞれ説明せよ．

専門科目：水環境デザイン学
B4 環境計画

1. 酸性雨関連の主な大気汚染物質および酸性雨の pH に及ぼす汚染物質濃度の影響を説明せよ.

2. ある工場排水に有機物として 3000mg/L の酢酸（$C_2H_4O_2$）が含まれている．次の問いに答えよ.
   （1）この排水の理論的酸素要求量(ThOD)と全有機炭素（TOC）の濃度を計算せよ.
   （2）この排水をメタン発酵法で処理するとして, そのメタン生成ポテンシャルを計算せよ.
   ただし, 水素, 炭素および酸素の原子量をそれぞれ 1, 12 および 16 とする.
   また, 標準状態における 1 モルガスの容積は 22.4L とする.

3. 下水処理システムの基本的フローを書け．また, 一次処理, 二次処理および高度処理の役割を説明せよ.

専門科目：都市システム計画学

C1 計画数理

2次元平面上の凸領域Sに1点 $\mathbf{x}=(x,y)$ をとり無線通信装置を設置して，同じ平面上にあるn個の地点 $\mathbf{z}_i=(x_i,y_i)$, $i=1,\cdots,n$ のそれぞれと w_i 時間ずつ通信を行う．各地点 $\mathbf{z}_i$ との通信に要するコスト c_i が，通信時間 w_i および地点 $\mathbf{x}$ からの Euclid 距離の 2 乗に比例し $c_i=w_i\{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2\}$ が成り立つとき，総通信コストが最小になるように点 $\mathbf{x}$ の位置を決める問題を考える．
なお，領域S は次の制約式で与えられる: $2x^2+y\leq 6$, $y\leq 4, x\geq 0, y\geq 0$.
以下の問いに答えよ．

(1) 上記の最小化問題は，n個の点 $\mathbf{z}_i$ の重み付き重心点 $\bar{\mathbf{Z}}$ と点 $\mathbf{x}$ の間の Euclid 距離の 2 乗の最小化と等価であることを示せ．

(2) n=4 とし，各点の重みw_iを$[2,1,3,2]$，各点の座標値$\mathbf{z}_i=(x_i,y_i)$ を $[(3,2),(4,5),(0,7),(3,9)]$ とする．(1)の結果を用いて，目的関数を簡単化した最小化問題を定式化せよ．

(3) (2)の問題の Karush-Kuhn-Tucker 条件を示せ．

(4) $\mathbf{x}^*=(1,4)$ における Lagrange 乗数の値を求め，(3)の条件の図形的な意味を説明せよ．

専門科目：都市システム計画学

C2 交通計画

1 つの起終点ペアを 2 本の代替経路で結ぶ道路を考える．道路の総利用者数Dは1000[台]とする．経路i ($i = 1,2$)の交通量をx_i[台]，所要時間をt_i[分]とする．このとき，所要時間t_i[分]はそれぞれ$t_1 = 20 + 0.1x_1$，$t_2 = 40 + 0.02x_2$である．以下の問いに答えよ．

(1) 道路利用者の総所要時間を最小化する状態（システム最適状態）における交通量x_1, x_2とその時の所要時間t_1, t_2をそれぞれ求めよ．

(2) どの利用者も自分だけが経路を変更しても自身のトリップの一般化費用を改善できない状態を利用者均衡状態と呼ぶ．その状態における交通量x_1, x_2と所要時間t_1, t_2をそれぞれ求めよ．ただし，問(2)における一般化費用は所要時間と定義する．

(3) 経路 1 を通過する際に課金額p[円]がかかる状況での利用者均衡状態を考えよう．利用者の時間価値は 50 [円/分]と仮定する．このとき，各トリップの一般化費用は$c_1 = 50 \cdot t_1 + p$, $c_2 = 50 \cdot t_2$ [円]である．経路 1 の交通量x_1を課金額pの関数として表し，さらに交通量x_1と課金額pの関係を図示せよ．
ただし，$0 \leq p \leq 2000$とする．

(4) (3)の設定において，全道路利用者の総所要時間を課金額pの関数として示せ．

(5) 全道路利用者の総所要時間を最小にする課金額pを求めよ．また，その時の交通量x_1, x_2をそれぞれ求めよ．

専門科目：都市システム計画学

C3 交通工学

ある単路上に容量が μ 台／時のボトルネックが 1 個存在する．いま，ボトルネックから 3 km だけ上流の地点から，1500 台／時の交通流率の交通流が 6 分間だけ連続して流入したとしよう．この 6 分間以外には流入する交通流は存在しない．このとき以下の問いに答えよ．解の導出過程も示せ．なお，計算の際は交通流を連続体とみなし，この単路の基本ダイアグラムは図 1 のとおりであるとせよ．

(1) $\mu = 1000$ のときに，このボトルネックを通過する全ての車両の総遅れ時間を計算せよ．

(2) μ が 1000 以上 1400 以下のときに，このボトルネックで発生する渋滞の延伸速度を μ の関数として計算せよ．

(3) 交通の安全上このボトルネックで発生する渋滞の延伸長を 1 km 以下に制限したい．μ が 1000 以上 1400 以下であるときに，この条件が常に成立するか否かを調べよ．

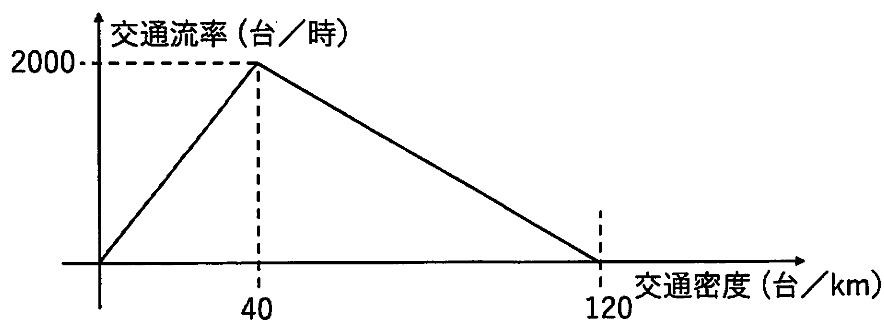


図 1　基本ダイアグラム