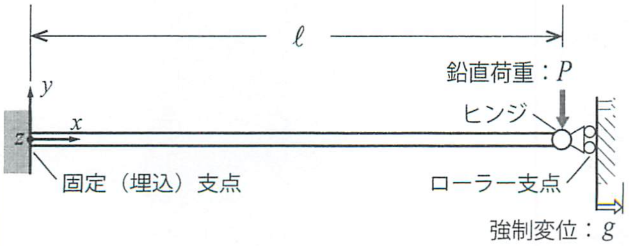
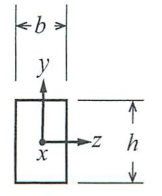
専門科目：社会基盤デザイン学

A1　構造工学

下に示すような，高さ h，幅 b の長方形断面で，Young 率 E，Poisson 比 ν の等方線形弾性材料からなる長さ ℓ の棒材に，x 軸の正の方向に強制変位 g，y 軸の負の方向（鉛直下向き）に荷重 P が作用している．以下の問に答えなさい．なお，荷重 P による x 軸回りのねじりや，強制変位 g による y 軸および z 軸回りの曲げモーメントは生じないものとする．また，長方形断面の断面二次モーメントは $bh^3/12$ である．



(a) xy 面内図



(b) yz 面内図

(1) 強制変位 g のみによる x 軸方向垂直応力を求めよ．ただし，$\sigma_x = E\varepsilon_x$ を用いてよい．ここで，σ_x と ε_x は，それぞれ x 軸方向垂直応力と垂直ひずみである．

(2) 荷重 P のみによる x 軸方向垂直応力の最大値および最小値と，それらが生じる点の (x, y) 座標をそれぞれ求めよ．

(3) 強制変位 g と荷重 P が同時に作用するときの x 軸方向垂直応力の最大値および最小値を求めよ．ただし，荷重 P の作用による曲げモーメントに強制変位 g による長さと断面の変化の影響は考えない．

(4) $g = 0.1$ mm，$h = 100$ mm，$b = 50$ mm，$\ell = 1000$ mm，$P = 10$ kN，$E = 200$ GPa，$\nu = 0.0$ のとき，問 (3) で求めた最大応力および最小応力の値をそれぞれ数値で答えなさい．

(5) 問 (4) の最大応力が生じた点の xy 面内の最大せん断応力を MPa で答えよ．

(6) 問 (4) の最大応力が生じた点に，何らかの作用により xy 面内せん断応力 $\tau_{xy} = 24$ MPa が生じるとき，最大および最小主応力をそれぞれ求めよ．

(7) 問 (6) の最大主応力の方向を xy 座標を参照したベクトル，もしくは 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．

(8) 問 (4) の強制変位 g に新たな変位 δ を加えて引張応力が生じないようにしたい．δ を求めよ．

2023. 秋

専門科目：社会基盤デザイン学

A2 コンクリート工学

1. コンクリートの劣化の一つであるアルカリシリカ反応について以下の問いにそれぞれ100字程度で答えよ.

   (1) アルカリシリカ反応による劣化メカニズムを答えよ.
   (2) アルカリシリカ反応を引き起こす骨材の特徴を答えよ.
   (3) アルカリシリカ反応を抑制する方法を一つ答えよ.

2. プレストレストコンクリート構造の力学機構について，曲げを受ける梁の断面の応力状態の変化を例にとって図を使って説明せよ.

3. コンクリートの力学的性質について以下の問いに答えよ.

   (1) コンクリートの一軸圧縮強度試験を行ったときの応力－ひずみ関係の概形を図示せよ.
   (2) コンクリートの 3 種類の静弾性係数の定義について，応力－ひずみ関係を用いて説明し，それぞれの静弾性係数を求める式を答えよ.
   (3) 「JIS A 1149：コンクリートの静弾性係数試験方法」で定められているコンクリートの静弾性係数を答えよ.
   (4) コンクリートの弾性係数は静弾性係数のほかに動弾性係数がある. 動弾性係数の測定方法を説明せよ.

専門科目：社会基盤デザイン学
A3 地盤工学

1. 土のコンシステンシー限界について，図と以下の用語を用いて説明せよ．
【液状，塑性状，半固体状，固体状，含水比】

2. 粘土の一次元圧縮特性について，図と以下の用語を用いて説明せよ．
【圧密降伏応力，$e-\log p$ 線，膨潤線，正規圧密土，過圧密土】

3. 図 1 はクイックサンドを再現するための実験装置である．試料上端を基準とする上流槽上端の高さを h とする．上流槽を $h=0$ から徐々に持ち上げてゆくと，試料は一斉に有効応力を失いクイックサンドを生じる．ただし，各瞬間において定常状態とみなせるほど上流槽をゆっくり動かすものとする．試料表面を原点として，下向きに z 軸を取る．試料の厚さを l，土粒子密度を ρ_s，間隙比を e，重力加速度の大きさを g とする．また，試料は一様で飽和状態にある．以下の問いに答えよ．
   (1) 試料の密度 ρ を求めよ．
   (2) 深さ z における鉛直全応力 σ を求めよ．
   (3) 深さ z における間隙水圧 u を求めよ．
   (4) 深さ z における鉛直有効応力 σ' を求めよ．
   (5) クイックサンドが生じるときの上流槽の高さ h_c を求めよ．
   (6) クイックサンドが生じるときの動水勾配である限界動水勾配 i_c を求めよ．

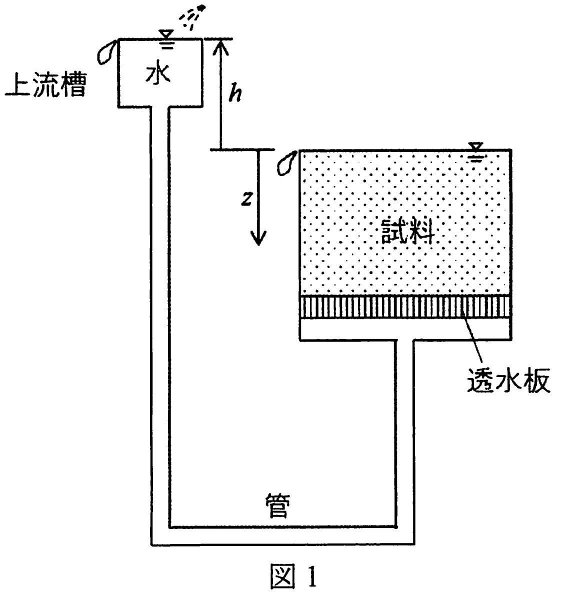


図 1

専門科目：水環境デザイン学

B1 水理学

図-1 のように，内径 r の球体の容器に密度 ρ の水を満たし，球の中心を通る y 軸周りに一定の角速度 ω で回転させている．以下の問いに答えよ．重力加速度は g とする．なお，静止時の圧力は $(x, y) = (0, r)$ で $p = 0$，$(x, y) = (0, -r)$ で $p = 2\rho g r$ である．

(1) $x - y$ 平面の圧力 p を求める式を導出せよ．

(2) 容器内壁の圧力 p_w を，y の 2 次関数として求めよ．

(3) p_w が最大となる場所の y 座標を求めよ．

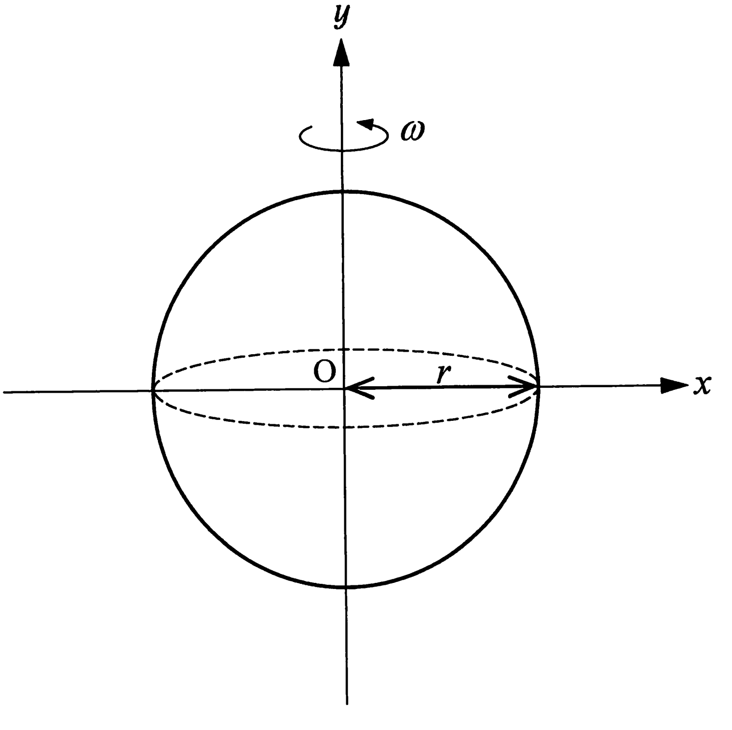


図-1 回転する球体容器

専門科目：水環境デザイン学
B2 河川工学

図に示すように水路幅 B_1 から $2B_1$ に広がる水平水路について考える．流量が Q，上流側の水深が h_1，下流側の水深が $2h_1$ になった場合，以下の問に答えよ．エネルギー損失は無視でき，水の密度は ρ，重力加速度は g とする．

1. 流量 Q を求めよ．

2. この場合の上流側の流れは射流，限界流，常流のいずれか答えよ．

3. この場合の下流側の流れは射流，限界流，常流のいずれか答えよ．

4. このように流れの状態が変化する現象名を述べよ．

5. この水路に作用する力を求めよ．その向きについても示せ．水の密度は ρ とする．

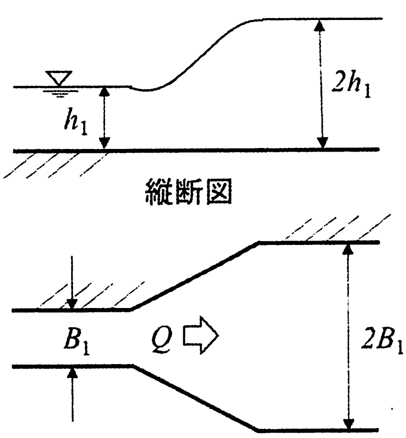


図　水路図

専門科目：水環境デザイン学

B3 水質工学

1. 水環境の面源汚染と点源汚染について，それぞれの特徴と代表的な汚染源を説明せよ．

2. 河川における有機物汚染の自然浄化を考える．ある河川の流量がほぼ一定で十分な溶存酸素飽和度を有すると仮定できる区間において，夏の期間（水温 20 ˚C），生物化学的酸素要求量（Biochemical Oxygen Demand：BOD）が 50%低下するのに要する流下時間は 1 時間であった．以下の問いに答えよ．

   (1) BOD の減少速度が BOD 濃度に関する 1 次反応で表現できる場合，反応速度定数を求めよ．

   (2) 冬の期間（水温 5 ˚C）において，BOD が 50%低下するのに要する流下時間を求めよ．ただし，BOD の減少速度は BOD 濃度に関する 1 次反応で表現できるものとし，反応速度定数の温度依存性は以下のアレニウス式で表現されるものとする．

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}}$$

   ここで，k は反応速度定数（1/時間），A は頻度因子（1/時間），E は活性化エネルギー（J/mol），R は気体定数（J/mol/K），T は絶対温度（K）であり，0 ˚C は 273（K）とする．ただし，秋の期間（水温 10 ˚C）に同じ区間で BOD を測定したところ，BOD が 50%低下するのに要する流下時間は 1.5 時間であったことから，以下の値が求まっている．

$$\frac{E}{R} = 3370,\ \ln(A) = 11.1$$

   計算に必要であれば以下を使用して良い．

$$\ln(2) = 0.69,\ e^{-1.0} = 0.37$$

専門科目：水環境デザイン学

B4 環境計画

1. 下水処理に用いられる A_2O 法（嫌気性—無酸素—好気法）について次の問いに答えよ．
   （1）この方法のフローを書いて各タンクの機能を示せ．
   （2）各タンクにおける主な反応は何か．
   （3）この方法に関わる主な微生物グループは何か．
   （4）なぜ A_2O 法において炭素源が重要なのか．

2. 湿重量 1000 kg（体積 1000L）の有機廃棄物の化学組成は $C_5H_7O_2N$ であり、濃度は 100g/L となっている．その性状と処理に関する次の問いに答えよ．
   （1）この有機廃棄物の C/N 比と全窒素の濃度を計算せよ．
   （2）この有機廃棄物を好気性条件で完全に酸化するのに必要な酸素要求量を計算せよ．
   （3）この有機廃棄物をメタン発酵法で処理する場合に発生するバイオガスの組成を計算せよ．
   （4）この廃棄物を生物学的処理法で安定化処理を行う場合，好気性酸化処理とメタン発酵処理のそれぞれの利点と欠点を説明せよ．

ただし，水素，炭素，酸素および窒素の原子量をそれぞれ 1，12，16 および 14 とする．

2023. 秋

専門科目：都市システム計画学

C1 計画数理

1. 非線形計画問題(NLP)について考える．α_1, α_2 は $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ を満たす非負の実数，c_1, c_2, C は $c_1 + c_2 < C$ を満たす正の実数である．

$$
\begin{aligned}
\text{(NLP)} \quad \max_{x_1, x_2} \quad & (x_1 - c_1)^{\alpha_1} (x_2 - c_2)^{\alpha_2} \\
s.t. \quad & x_1 + x_2 \le C \\
& x_1 \ge c_1 \\
& x_2 \ge c_2 \\
& x_1, x_2 \ge 0
\end{aligned}
$$

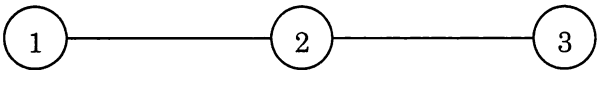
(1) (NLP) の実行可能領域を図示せよ．

(2) $\alpha_1 = 1,\ \alpha_2 = 0$ とする．最適解 (x_1^*, x_2^*) を求めよ．

(3) (NLP) の Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 条件を求めよ．

(4) 問題(NLP)の最適解 (x_1^{**}, x_2^{**}) を求めよ．

2. 下のグラフ上のランダムウォークについて考える．時点 t ($t = 0,1,\ldots$) にあるノードにいるウォーカーは隣接ノードの中から 1 つを等確率で選び，時点 $t+1$ にそこに移動する．



(1) ある時点にノード i にいるウォーカーが次の時点にノード j に移動する確率を p_{ij} で表す．行列 $\mathbf{P}\,(=[p_{ij}])$ を求めよ．

(2) ウォーカーが時点 t にノード i にいる確率を π_i^t で表し，同時点におけるウォーカーの位置に関する確率分布を $\boldsymbol{\pi}^t = (\pi_1^t, \pi_2^t, \pi_3^t)$ で表す．$\boldsymbol{\pi}^{t+1}$ を $\boldsymbol{\pi}^t$ と $\mathbf{P}$ を用いて表せ．

(3) $t \to \infty$ の時，確率分布 $\boldsymbol{\pi}^t$ は行列 $\mathbf{P}$ を遷移確率行列とするマルコフ連鎖の定常確率分布 $\boldsymbol{\pi}^* = (\pi_1^*, \pi_2^*, \pi_3^*)$ に収束する．$\boldsymbol{\pi}^*$ を求めよ．

専門科目：都市システム計画学

C2 交通計画

次の 6 つのノード，9 つのリンクによって構成される道路ネットワークを考える．全ての交通需要について，出発ノードはノード O のみであり，到着ノードはノード D のみである．交通状態が利用者均衡状態であるとき，各リンクの旅行時間は図 1 のリンクの横に示される値である．以下の問いに答えよ．

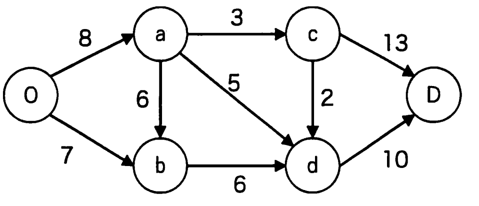


図 1 道路ネットワーク

(1) 利用者均衡状態と呼ばれる交通状態として，以下の(S1), (S2)の説明から正しいものを選べ．

(S1) どの同一起終点においても，利用される経路の旅行時間はみな等しく，利用されない経路の旅行時間よりも小さいかせいぜい等しい．

(S2) 混雑する道路ネットワーク上の総旅行時間が最小となる．

(2) ノード O からノード D に向かう経路を全て列挙し，各経路の経路旅行時間を答えよ．経路は O→a→b→D のようにノードを順に記述することで表現するものとする．

(3) 利用者均衡状態である図 1 において確実に利用されていないリンクを全て答えよ．リンクは a→b のように，起点ノード・終点ノードの順により表現するものとする．

(4) 旅行時間を小さくするために，新たなリンクを追加する．計画案 A ではノード O からノード d に向かうリンク，計画案 B ではノード a からノード D に向かうリンクを追加する．起終点交通量は変わらないと仮定する．各計画案において，利用者均衡配分により算出された新たなリンク旅行時間を図 2-(A), (B)に示す．このとき，起終点間の旅行時間が小さいのは計画案 A と計画案 B のどちらであるか，その理由とともに答えよ．

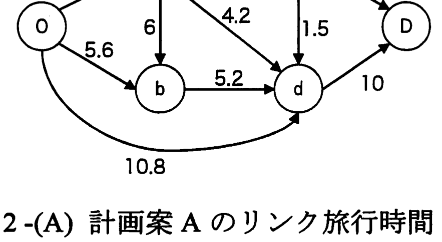


図 2 -(A) 計画案 A のリンク旅行時間

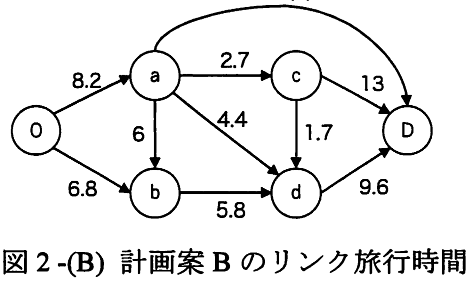


図 2 -(B) 計画案 B のリンク旅行時間

専門科目：都市システム計画学

C3 交通工学

1. 交通容量がどの地点でも 2000 台／時である単路のある地点（地点 A とする）において 4:00（以降，時刻はすべて午前とする）に交通事故が発生した．事故発生直後から 5:00 までのあいだ地点 A は通行止めとなった．5:00 には通行止めは解除されたものの，事故処理のため 5:00 から 6:00 までの地点 A の交通容量は 1000 台／時となった．事故処理は 6:00 に終わり，それ以降の地点 A の交通容量は 2000 台／時に復した．地点 A には上流側から常に交通流率が a 台／時の一様な交通流が流入していた．ただし a は 1500 以下の正の実数である．このとき以下の問いに答えよ．解の導出過程も示せ．計算の際は交通流を連続体とみなすこと．また，渋滞列の延伸の影響は考慮せずに，ポイントキューモデルを用いること．
   (1) 5:00 に地点 A を出発した車両の遅れ時間を答えよ．
   (2) $a = 1000$ のとき，6:00 に地点 A を出発した車両の遅れ時間を答えよ．
   (3) $a = 1000$ のとき，この交通事故により発生した総遅れ時間を答えよ．
   (4) この事故で発生した遅れ時間の最大値を a の関数として答えよ．

2. 基本ダイアグラムが図 1 で示される単路における交通流に関する以下の問いに答えよ．解の導出過程も示せ．計算の際は交通流を連続体とみなすこと．
   (1) 交通流率が 1000 台／時となる交通密度をすべて答えよ．
   (2) この単路のある地点で交通事故が発生し，その地点が一定の時間だけ通行止めとなった．この地点より十分遠方にある上流の地点からは，常に，交通流率が 1000 台／時の一様な交通流が流入していた．この通行止めにより発生した渋滞が上流方向に延伸する速度を求めよ．ただし，流入する交通流は自由流である．

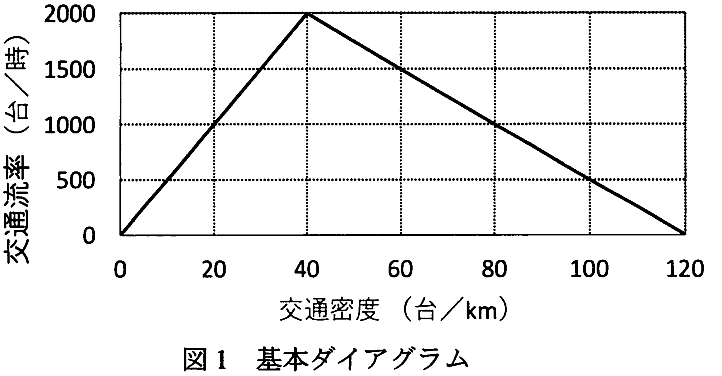


図 1　基本ダイアグラム