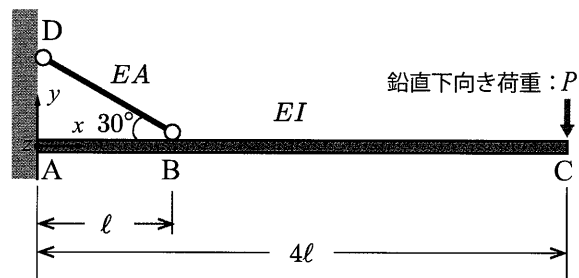


専門科目：社会基盤デザイン学

A1 構造工学

下に示す曲げ剛性 EI のはり部材と軸剛性 EA のトラス部材からなる構造物に y 軸の負の方向（鉛直下向き）に荷重 P が作用している。以下の問いに答えなさい。なお、荷重 P による x 軸回りのねじり変形は生じないものとする。

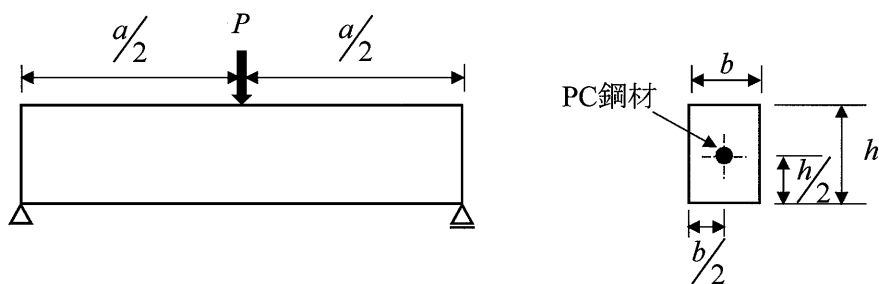
トラス部材とはり部材を組み合わせた構造物の xy 面内図

- (1) トラス部材の軸力を R と表すとき、はり部材の AB 間および BC 間の曲げモーメント M_{AB} , M_{BC} を、それぞれ EA , EI , P , R , l , x のなかから必要な記号すべてを用いて表しなさい。
- (2) トラス部材の軸力を R と表すとき、トラス部材に生じるひずみエネルギー U_t を EA , EI , P , R , l のなかから必要な記号すべてを用いて表しなさい。
- (3) トラス部材の軸力を R と表すとき、はり部材に生じるエネルギー U_b を EA , EI , P , R , l のなかから必要な記号すべてを用いて表しなさい。
- (4) トラス部材の軸力 R を、 EA , EI , P , l を用いて表しなさい。
- (5) AB 間のはり部材の曲げモーメント M_{AB} を EA , EI , P , l , x を用いて表しなさい。
- (6) $x = 0$ におけるはり部材の曲げモーメントがゼロとなるときのトラス部材の軸剛性 EA を EI , P , l のなかから必要な記号すべてを用いて表しなさい。
- (7) はり部材の断面を高さ h 、幅 $h/2$ の長方形とし、トラス部材の軸力の影響を考慮するとき、はり部材の x 方向の垂直応力の最大値と最小値を EA , EI , P , l , h のなかから必要な記号すべてを用いて表しなさい。なお、高さ h 、幅 b の長方形断面のはり部材の断面二次モーメントは $bh^3/12$ である。

専門科目：社会基盤デザイン学

A2 コンクリート工学

- セメントの性質について以下の問いに答えよ。
 - セメントが水和反応するときの発熱挙動の概略を図示せよ。また、その特徴を四つの期間に分類して説明せよ。なお、 C_3A に由来するごく初期の発熱挙動は除外する。
 - (1)の発熱挙動に最も影響を及ぼしているクリンカー鉱物の名称を述べよ。
 - 設問(1)、(2)を参考にして、セメントの水和発熱量を低減させるためにはどうしたらよいか説明せよ。
- コンクリートの中性化について 100 字程度で説明せよ。
- 図-1 に示すポストテンション方式のプレストレストコンクリートはりについて以下の問いに答えよ。なお、高さ h 、幅 b の長方形断面のはりの断面二次モーメントは $bh^3/12$ である。



単純支持されたプレストレストコンクリート (PC) はり PC はりの断面

図 - 1

- 図 - 1 に示す PC 鋼材の緊張力を導入する前のはりに荷重 P を加えた時の弾性域におけるはりの引張縁応力度 σ_b を図中の記号を使って答えよ。
- 設問(1)の荷重 P に加えて PC 鋼材の緊張力 P_e を導入した時の弾性域における下縁応力度 σ を答えよ。
- $P = 50 \text{ kN}$, $a = 2.0 \text{ m}$, $b = 150 \text{ mm}$, $h = 300 \text{ mm}$ のときの曲げ引張応力を発生させないための PC 鋼材の緊張力 P_e を答えよ。
- はりの寸法および荷重 P の値を変えずに設問(3)で答えた緊張力よりも少ない緊張力で曲げ引張応力を発生させないためにはどのようにすればよいか答えよ。また、その理由を説明せよ。

専門科目：社会基盤デザイン学

A3 地盤工学

- 図-1 に示す均質な地盤からなる斜面について、自重によって、水平面から角度 θ をなす直線すべり面 BC で崩壊する可能性を考える。土の粘着力を c 、土の内部摩擦角を ϕ 、土の単位体積重量を γ とし、紙面奥行き方向の長さを単位長さとして、以下の問いに答えよ。ただし、地下水位は十分深く無視できるとする。

 - すべり面 BC に沿ってすべりを生じさせる力 S を求めよ。
 - すべり面 BC 上で発揮されるせん断抵抗力 R を求めよ。
 - これら問い(1)と問い(2)の結果を用いて、この斜面のすべり安全率 F_s を求めよ。
- 図-2 に示すように、2つの飽和した砂層からなる水平成層地盤がある。各砂層の飽和単位体積重量は図中に示すとおりであり、水の単位体積重量 $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$ とし、以下の問いに答えよ。

 - 地表面から 6 m の深さの Z 点について、鉛直有効応力 σ'_v と水平有効応力 σ'_h を求めよ。ただし、いずれの砂層も静止土圧係数 $K_0 = 0.5$ とする。
 - この Z 点から試料を採取し、圧密非排水三軸圧縮試験 (CU 試験) を実施したところ、破壊時の主応力は全応力表示で $\sigma_3 = 150 \text{ kN/m}^2$ 、 $\sigma_1 = 350 \text{ kN/m}^2$ であり、そのときの過剰間隙水圧は $u = 50 \text{ kN/m}^2$ であった。破壊時のモールの応力円を全応力および有効応力で示せ。また、モール・クーロンの破壊規準に基づき、有効応力表示での内部摩擦角 ϕ' を求めよ。ただし、粘着力は無いものとする。
 - これら問い(1)と問い(2)の結果に基づき、地表面に鉛直下向きに荷重が作用する直接基礎を設置する場合を考える。荷重の作用による Z 点の鉛直および水平方向の増加応力は、有効応力表示で各々 $\Delta\sigma'_v = 144 \text{ kN/m}^2$ 、 $\Delta\sigma'_h = 72 \text{ kN/m}^2$ であるとする。これらが主応力であるとき、Z 点の土は破壊するかどうかを判定せよ。

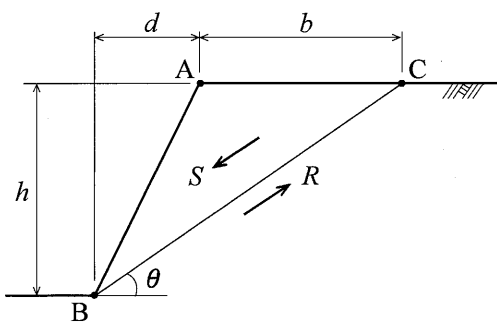


図-1

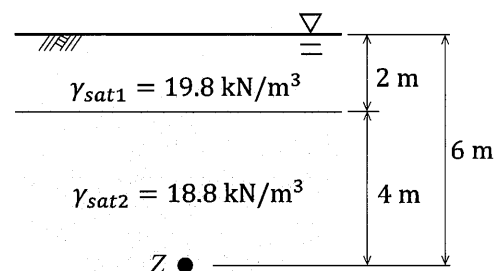


図-2

専門科目：水環境デザイン学

B1 水理学

図 1 は力 F によって閉じた半径 r の円形ゲートを示している。水の単位体積重量が γ 、水平方向とゲートの方向 (x-方向) がなす角度が α 、水面と蝶番の間の垂直距離が H のとき、以下の間に答えよ。

1. ゲートにかかる全水圧 F_p の大きさを求めよ。
2. 点 A から全水圧 F_p の作用点までのゲートに沿った x-方向の距離を求めよ。
3. 全水圧に抗ってゲートを閉じた状態に保つために必要な最小の力 F を求めよ。

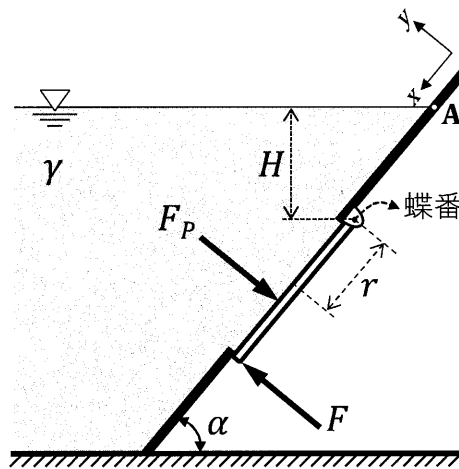


図 1

専門科目：水環境デザイン学

B2 河川工学

幅広矩形断面水路に波長の長い洪水波が発生している。この洪水波に関する以下の文の空欄を埋めよ。

降雨や流入が無い場合、下流方向に向かう距離を x 、時間を t 、単位幅流量を q 、水深を h としたときの連続式は

$$\frac{\partial h}{\partial \text{(1)}} + \frac{\partial \text{(2)}}{\partial \text{(3)}} = 0$$

となる。また、流量はマンニング式によって求められるが、粗度係数を n 、勾配を I とした場合、単位幅流量 q は

$$q = \text{(4)}$$

となる。この q を連続式第二項に代入すると、波速が求められる。波速は流速の (5) 倍となる。この波を (6) と呼び、数値シミュレーションではやや勾配が急な河川で用いられる。勾配が緩い場合は (6) でなく、 (7) と呼ばれる波が用いられる。

専門科目：水環境デザイン学

B3 水質工学

1. 湖沼等の半閉鎖性水域における重要な水質指標を2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。

2. 隣接する河川へ処理水を排出することを計画している事業所を想定する。排水先の河川が水質総量規制適用の半閉鎖性水域に流入するため、この事業所には総量規制値が課せられ、化学的酸素要求量（COD）規制値は15.0 kg/日である。
 - (1) この事業所からの排水量が1,500 m³/日、排水の平均CODが7.5 mg/Lである場合、COD規制値を遵守することができるか否かを判定せよ。

 - (2) 事業所内で排水の再利用を行うこととし、排水量を1,000 m³/日まで減少させることができた。COD規制値を十分に余裕を持って遵守するために、COD排出総量をCOD規制値の30%に抑えたとしたら、排水の平均CODはどの程度とすべきかを算出せよ。

 - (3) 日本において水質総量削減の対象となっている水域（指定水域）を1つ挙げよ。また、COD以外に総量規制の対象となっている項目を2つ挙げよ。

専門科目：水環境デザイン学

B4 環境計画

1. 二酸化炭素 (CO_2) , A および B は下水処理場から発生する温室効果ガスである.
 - (1) A は生物学的に生成され, 再生可能エネルギー資源として回収できる. A の名称とその化学式を示せ. さらに, その生物学的プロセスに関連する微生物と反応について説明せよ.
 - (2) B の名称とその化学式を示せ. さらに, 下水処理場における B の主な二つの発生源およびそれぞれの発生抑制対策について説明せよ.

2. ある有機性排水に 2000 mg /L のメチルアミン (分子式 CH_5N) が含まれる.
 - (1) この有機性排水の全有機炭素 (TOC) 濃度を計算せよ.
 - (2) メチルアミンを生物学的酸化で CO_2 , 水および NH_3 に酸化する反応式を書け. またその反応によって, この排水 1L を生物学的に酸化するのに必要な酸素量を計算せよ.
 - (3) この排水 1L を処理するための硝化反応式を書き, またその硝化反応に必要な酸素量を計算せよ.
 - (4) この排水の窒素除去のためのプロセスを一つ提示するとともに, 必要な化学物質について考察せよ.

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.

専門科目：都市システム計画学

C1 計画数理

1. 実数変数 x_1, x_2, x_3 に関する次の非線型計画問題(NP)を考える. 次の問いに答えよ.

$$\begin{aligned} \text{(NP)} \quad & \max_{x_1, x_2, x_3} (x_1 + 2)^2 + 3x_2^2 + x_3^3 + 4 \\ & \text{Subject to } x_1 + x_2 + x_3 = 7 \\ & 0 \leq x_1 \leq 4, 0 \leq x_2 \leq 4, 0 \leq x_3 \leq 4 \end{aligned}$$

- (1) 問題 (NP) に対する Karush-Kuhn-Tucker 条件を示せ.
 (2) 問題 (NP) の最適解 $(x_1, x_2, x_3) = (0, 3, 4)$ における全ての Lagrange 乗数の値を求め, Karush-Kuhn-Tucker 条件の成立を確認せよ. 値が一意に決まらないものは, 条件を成立させるような値を一つ示せ.
2. 上記の非線型計画問題(NP)を, 動的計画法を用いて解く.

ここで $f_1(x_1) \equiv (x_1 + 2)^2$, $f_2(x_2) \equiv 3x_2^2$, $f_3(x_3) \equiv x_3^3 + 4$ とおき, 関数 $F_i(s_i)$ を, $\sum_{j=1}^i x_j = s_i$ かつ $0 \leq x_i \leq 4, \forall i \in \{1, 2, 3\}$ という条件下における $\sum_{j=1}^i f_j(x_j)$ の最大値と定義する. 次の問いに答えよ.

- (1) 関数 $F_i(s_i)$ と $f_{i+1}(x_{i+1})$ を用いて, $F_{i+1}(s_{i+1})$ を求める最適化問題を定式化せよ.
 (2) $6 \leq s_3 \leq 8$ における関数 $F_3(s_3)$ を求めよ. 関数 $F_2(s_2)$ が以下の通りであることを使ってもよい.

$$F_2(s_2) = \begin{cases} (s_2 + 2)^2 & 0 \leq s_2 \leq 2 \\ 3s_2^2 + 4 & 2 \leq s_2 \leq 4 \\ (s_2 - 2)^2 + 48 & 4 \leq s_2 \leq 8 \end{cases}$$

- (3) (2)から $F_3(7)$ の値を求めよ. さらにその時の x_1, x_2, x_3 の値を求めよ.

専門科目：都市システム計画学

C2 交通計画

多項ロジットモデルを用いて交通手段選択モデルを定式化する。選択肢 i の効用 U_i を $U_i = V_i + \varepsilon_i \forall i$ とする。ここで、 V_i は確定効用項、 ε_i はスケールパラメータ μ の i.i.d. extreme value distribution に従うと仮定した誤差項である。選択肢 i の選択確率は

$$P_i = \frac{\exp(\mu V_i)}{\sum_{j=1}^n \exp(\mu V_j)} \quad \forall i$$

と記述できる。以下の問いに答えよ。

- (1) 選択肢が自家用車（選択肢 1）、公共交通（選択肢 2）の 2 つのみの場合を考える。各選択肢の確定効用 $V_1 = V_2$ のとき、選択肢 1 の選択確率 P_1 を求めよ。
- (2) 選択肢数が 2 つのとき、(a) $\mu = 0$, (b) $\mu = 1$, (c) $\mu = 100$ の 3 つの場合における確定効用の差分 $V_1 - V_2$ に対する選択肢 1 の選択確率 P_1 の概形を、1 つのグラフ上に図示せよ。ここで、横軸を確定効用の差分 $V_1 - V_2$ 、縦軸を選択肢 1 の選択確率 P_1 とする。

選択肢数 n の多項ロジットモデルの期待最大効用は、以下の式で表されることが知られている。

$$\frac{1}{\mu} \log \left(\sum_{i=1}^n \exp(\mu V_i) \right) + \frac{\gamma}{\mu}$$

ただし、 γ はオイラー定数である。ある地点における交通手段選択モデルの期待最大効用はその地点のアクセシビリティ指標として解釈できる。地点 A、地点 B にはそれぞれ 2 つの交通手段が存在する。地点 A の交通手段の確定効用が $V_1 = V_2 = V$ であり、地点 B の交通手段の確定効用が $V_1 = V_2 = kV$ である。ただし、 k は非負の実数、 $\mu = 1$ とする。

- (3) 地点 A、地点 B における期待最大効用の式をそれぞれ示せ。
- (4) 地点 A の交通手段の数を n 個に増加させることで、地点 A の期待最大効用の値を地点 B の期待最大効用の値より大きくしたい。地点 A に新たに追加する交通手段の確定効用はどれも V であるとする。このとき、 n が満たすべき条件を k, V を用いて示せ。

専門科目：都市システム計画学

C3 交通工学

1. 交通容量 μ (台/時) のボトルネックを1個だけ持つ単路が1本ある。このボトルネックに、午前6:00から午前7:00のあいだに交通流率 a (台/時) の交通流が、午前7:00から午前8:00のあいだに交通流率 b (台/時) の交通流が流入した。午前6:00より前、また、午前8:00より後に流入した交通流はなかった。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) $a=1500, b=1000, \mu=1250$ のとき、このボトルネックで発生した遅れ時間を、横軸をボトルネックからの流出時刻、縦軸を遅れ時間としたグラフとして描け。
 - (2) $a=1500, b=1000, 1250 \leq \mu \leq 1450$ のとき、(i) このボトルネックで発生した最大の遅れ時間と、(ii) その遅れ時間を経験した車両のボトルネックからの流出時刻を、それぞれ μ の関数として示せ。
 - (3) $100 \leq a \leq 1500, b=0, 100 \leq \mu \leq 1500$ のとき、このボトルネックで発生した総遅れ時間を a と μ の関数として示せ。

2. ある自動運転システムでは、ある単路区間内において、交通密度 k (台/km) と速度 v (km/時) のあいだに $v=v_0-ak$ の関係が成り立つ定常な交通流を実現するように複数の車両を同時に制御することができる。ただし v_0 と a は正の定数である。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、 k はそれ自身と v の双方が非負である限り自由に設定できるとせよ。
 - (1) 交通密度が k のときに、この自動運転システムによってこの単路上に生成される交通流の交通流率 q を、 k, v_0, a を用いて示せ。
 - (2) この自動運転システムが実現するこの単路区間での最大の交通流率 μ を v_0 と a の関数として示せ。
 - (3) この単路区間を管理する交通警察が、この自動運転システムの管理者に対し、 $v_0=120a$ 、および、 $v_0 \leq 100$ の条件を常に満たすようにこのシステムを運用することを要求してきた。この条件の下で、(2) で求めた交通流率 μ を最大とする v_0 と a の値を示せ。