受験番号 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿ 氏名 ＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

令和５年度　九州大学大学院　工学府

土木工学専攻

修士課程入学試験　問題冊子

土木基礎

注意事項

１．「始め」の合図があるまでは，試験問題冊子，解答冊子の中身を見てはいけません。

２．試験問題は【問題1】から【問題11】の計11問です。試験問題冊子は24ページ目まであります。

３．問題は，A 群（問題1～問題6）およびB 群（問題7～問題11）から構成されます。A 群から少なくとも３問，A 群およびB 群あわせて計６問となるよう選択し，解答冊子表紙の表で選択した問題に〇を付けなさい。

A 群		B 群	
問題 1	構造力学	問題 7	コンクリート工学
問題 2	構造力学	問題 8	計画学
問題 3	水理学	問題 9	計画学
問題 4	水理学	問題 10	環境システム工学
問題 5	地盤力学	問題 11	環境システム工学
問題 6	地盤力学		

４．机の上に置ける物は，時計（携帯電話は不可），シャープペンシル（鉛筆でも可），消しゴム，受験票だけです。これら以外のものを机の上に置きたい場合は試験監督者の許可を得てください。許可無く机の上に置いた場合は，不正行為と見なし，退出を命じます。

５．試験時間中は携帯電話は教卓で預かり、保管しますので、必ず今の段階で提出して下さい。

６．試験問題冊子のホッチキスをはずしてはいけません。

７．「始め」の合図があったら，ただちにページの不足および印刷の不鮮明なところが無いことを確かめてください。もしあったら取り替えますから，手を挙げて申し出てください。

８．試験時間中に問題冊子表紙上方の指定の欄に受験番号と氏名を記入してください。

９．「解答止め」の合図があったら，ただちに解答の作成を止め，試験問題冊子および解答冊子を回収するまでそのまま待っていてください。

【問題 1】(構造力学)

(1)以下のはりの曲げに関する問いに答えよ。

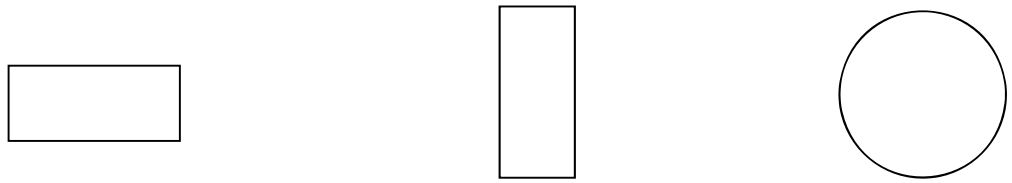
1) 図 1 に示す 3 種類の形状の図心に対する断面２次モーメントをそれぞれ求めよ。

2) 図 2 に示す荷重を受ける片持ちばりのせん断力図，曲げモーメント図を示せ。

3) 図 2 の片持ちばりの自由端に生じる鉛直変位（曲げ剛性はEIとする）を求めよ。

4) 図 3 に示す静定ばりのせん断力図，曲げモーメント図を示せ。

5) 図 3 の静定ばりに生じる曲げ応力の最大値（引張）・最小値（圧縮）を示せ。ただし，はり断面は図 1(b)と同じとする。



(a) 長方形断面（幅 2b，高さ b）　(b) 長方形断面（幅 b，高さ 2b）　(c) 円形断面（半径 b）

図 1　形状が異なるはり断面

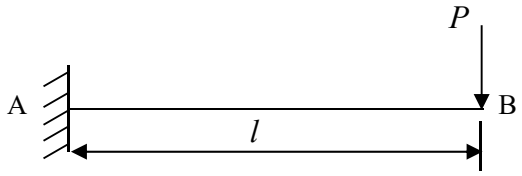


図 2　片持ちばり

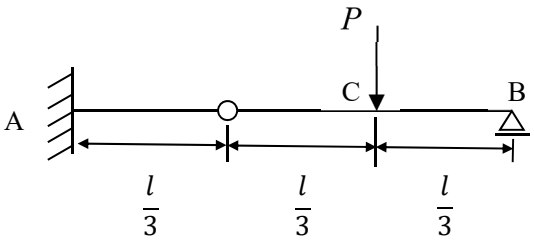


図 3　静定ばり

(2)図 4 に示すトラスについて以下の問いに答えよ。

1) 支点反力を示せ。

2) 各部材に作用する軸力を求めよ。

3) 全ての部材の軸剛性が EA と同じとき，各部材の伸縮量（引張を正値とする）を示せ。

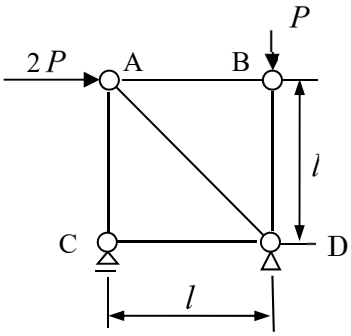
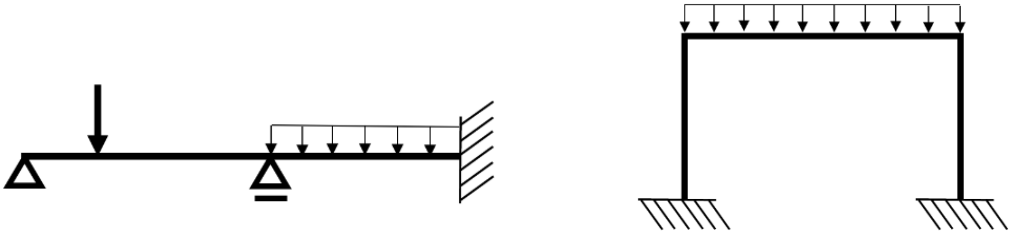


図 4 トラス

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題 2】(構造力学)

(1) 図 1 の(a)と(b)に示す不静定構造の曲げモーメント図(M 図)およびせん断力図(Q 図)の概略図をそれぞれ描け。



(a) (b)

図 1

(2) 図 2 に示す 2 本の部材で構成される構造について，以下の問に答えよ。なお，部材の軸剛性は，EA とする。

1) 部材 AB と部材 BC の軸力をそれぞれ求めよ。

2) 点 B の水平変位 δ_H と鉛直変位 δ_V を求めよ。

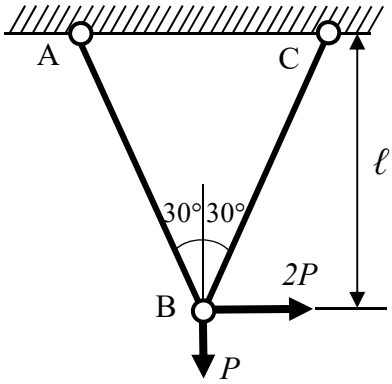


図 2

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

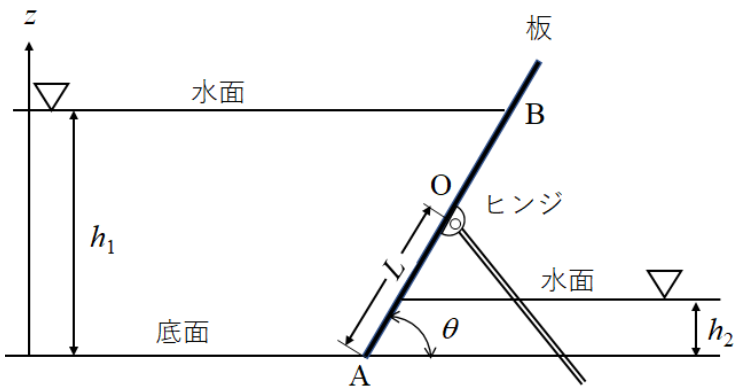
【問題 3】(水理学)

(1) 壁面乱流において，対数分布則は

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} ln \frac{y}{y_0}$$

と表される。ここで，y は壁面からの距離，u は y の位置での流速，u_*は摩擦速度，κはカルマン定数，y_0 は壁面近傍での代表長さスケールである。粗面であるとき，y_0 は粗度(粗さの大きさ)k，壁面せん断応力τ_0，流体の密度ρ，動粘性係数νの関数として示されるが，次元解析によりその関数形を求めよ。その際，5 つの変数の次元を LMT 系で示した後に，レイリーの方法で求めること。

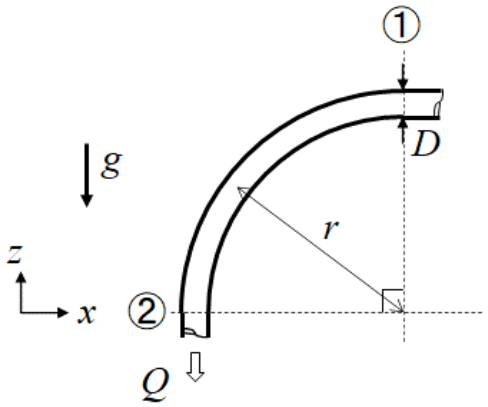
(2) 図に示す様な幅 b の板が水平面に対して角度θの傾きを持ち，板の底面と接触する A 点から距離 L を持つ O 点でヒンジにより支えられている。この板の左面(図の左側)が水深 h_1，右面(図の右側)が水深 h_2 の水中にある。このとき，この板の左面と右面に作用する全圧力 P_1，P_2，ならびにその作用点(左側の水面 B 点からの板に沿った距離)L_1，L_2をそれぞれ求めよ。ここで，水の密度をρ，重力加速度を g とおく。



(3) 上述(2)について，h_2 は固定されているとする。このとき，板がヒンジで回転しない最大の h_1 を取っている状態において，h_1とh_2の間に成り立つ関係式を求めよ。なお，関係式は左辺が以下の形式となるように求めること。

$$h_1{}^2 \left(\frac{1}{3} \frac{h_1}{sin\theta} - L \right) =$$

(4) 図のように，直径 D の円管が同一垂直面に管の中心軸があるように設置されている。管内を流量 Q の水が断面①から②の方向に流れている。このとき，水流が断面①～②までの管路部分(1/4 円を示す)に及ぼす x，z 方向の力 F_x，F_zを求めよ。なお，z 方向(負の方向)に重力が働き，断面①における圧力を p_1，水の密度をρ，重力加速度を g とおく。



計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

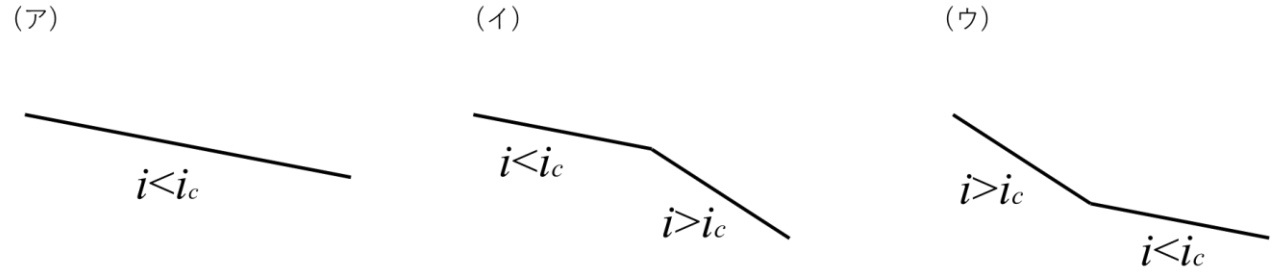
【問題 4】(水理学)

(1) 図のような3種類の上下流方向に十分に長い開水路(ア)(イ)(ウ)について考える. いずれも断面は幅の広い長方形断面で上下流方向に一様であり, 水路の材質も一様とする. 各区間の水路勾配 i と限界勾配 i_c との関係は図中に示したとおりである. この開水路に一定の流量の水が流れる時,

(a)等流水深 h_o および限界水深 h_c

(b)水面形の概略図

を解答用紙の図中に描け(作図はフリーハンドで良いが, 記号など適切に用いて分かりやすく描き, 水面形の名称や跳水や支配断面の位置も記入すること).



(2) 同一の断面積, 動水勾配, 材質の管路において, その断面形状が円と正方形である場合の流量比($Q_{円}/Q_{正方形}$)を以下の式形で求めよ. なお, この管路は満管状態で流れており, その流速は Manning の式により決定されるとする. 解答は, 小数は用いずに分数やべき乗の形で示すこと.

(3) 以下の文章の(ア)〜(コ)に入る適切な語句や数式を答えよ. t は時間, x, y, z は空間座標, u, v, w はそれぞれ x, y, z 方向の流速, g は重力加速度, ρ は流体の密度, p は圧力, ν は動粘性係数である.

(ア) $$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$$

(イ) $$\boxed{\frac{\partial u}{\partial t}}+\boxed{u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}}=-g\frac{\partial z_*}{\partial x}-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\boxed{\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)}$$

(ウ)　(エ)　重力項　圧力項　(オ)

流体運動の基礎式は上記に示す(ア)と(イ)である. (イ)式の各項の名称は(ウ)項, (エ)項, (オ)項である. しかし, 水理学の多くの問題では, 流体運動の基礎方程式である(ア)と(イ)より解析解を得ることは困難である. よって, 実際の現象と(カ)な模型実験により実際に起こっている現象や作用する力の見積もりが行なわれる. どのような模型実験を行なうのかを考えるために(イ)を無次元化することで得られる無次元数(キ)と(ク)について考える. (キ)は慣性項と重力項の比を表し, (ク)は慣性項と粘性項の比を表す. また, 代表流速を U, 代表長さを L とすると, (キ)は(ケ), (ク)は(コ)と表現される. 実際の現象と完全に(カ)な模型実験を行なうためには(キ)と(ク)を実際の現象と模型実験で一致させる必要があるがこれは極めて困難である. よって, (オ)が重要な現象は(ク), 重力が重要な現象は(キ)を一致させるように実験を行う.

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題 5】(地盤力学)

図(a)に示すような粘土からなる地盤があり，この粘土層の上部にはプレロード（載荷）荷重として厚さ D の砂層が幅広く一様に負荷され，砂層の完成後，時間の経過とともに粘土層には圧密沈下が生じるものとする。地下水位は，図(a)のように粘土層表面と一致している。この時，以下の問に答えよ。ただし，粘土層と砂層の基本的な物理的性質は，図中に示した通りである。なお，水の単位体積重量は γ_w であるとする。

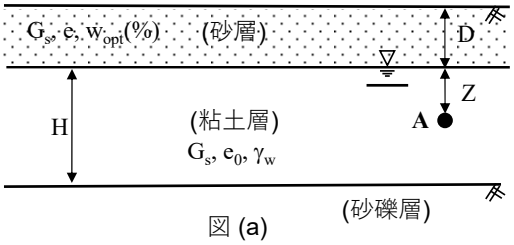


図 (a)

1）図（a）中の砂層は，最適含水比 w_{opt}(%)で間隙比 e となるように締固めて作製された。この時，γ_w と図中に示した記号を適切に用いて，砂層の湿潤単位体積重量γ_t と乾燥単位体積重量γ_d を表せ。また，最適含水比の時の砂層の飽和度 S_r(%)を図中の記号のみを適切に用いて表せ。

2）粘土層の圧密沈下を考えるために，図(b)に示す変水位透水試験を通して，粘土層の飽和状態での透水係数 k(cm/s)を求めることが必要となった。図中のスタンドパイプの水位は，断面積 A，長さ L の円柱状の飽和した粘土供試体中を透水するにつれて降下する。この実験では，時間 t_1 から t_2 の間にスタンドパイプの水位が h_1 から h_2 に下がったとする。この時，以下の問いに答えよ。

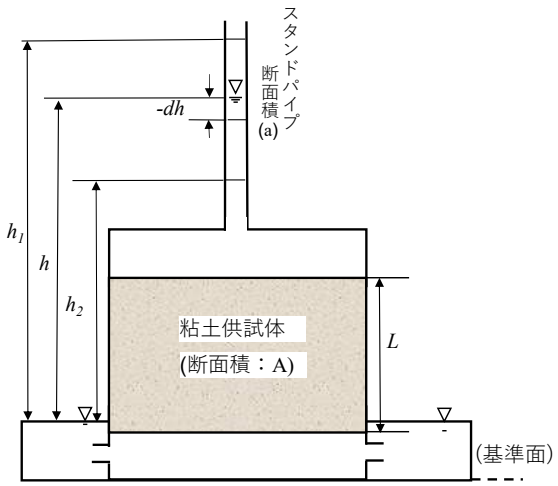


図 (b)

A) 任意の時刻 t でのスタンドパイプの水位が図に示すように h とするとき，粘土供試体にかかる動水勾配 i を L と h を用いて表せ。

B) dt 時間中に，断面積 a のスタンドパイプの水位が dh だけ降下したとする。この時，粘土供試体中の透水量 dQ を透水係数 k, h, L, A, dt を用いて表せ。また，スタンドパイプの水の降下体積 dV を a，dh を用いて表せ。

C）最後に，粘土供試体中の透水量 dQ とスタンドパイプの水の降下体積 dV は等しくなければならないことに留意し，透水係数 k を t_1, t_2, h_1, h_2, A, a, L を用いて示せ。なお，k を導く際の誘導過程も併せて示すこと。

3）図(a)のように湿潤単位体積重量γ_t の砂層が飽和状態にある粘土層上に載荷(盛土)されたことによる圧密沈下について考える。A)　砂層が載荷された直後の点 A での鉛直方向の全応力 $\sigma_{v,A}$ と有効応力 $\sigma'_{v,A}$（鉛直有効応力と呼ぶ）を砂層の湿潤単位体積重量γ_t と層厚 D，粘土層中の記号のみを適切に用いて表せ。 B）十分に時間が経過し圧密が完了した時点での点 A での鉛直方向の全応力 $\sigma_{v,A}$ と有効応力 $\sigma'_{v,A}$（鉛直有効応力と呼ぶ）をγ_t と粘土層中の記号を適切に用いて表せ。C）1 年経過後，ほぼ圧密が終了した。その時の時間係数 T_v は近似的に 1.0 であった。この時，圧密係数 c_v(m^2/年)を H の関数として求めよ。なお，上層と下層は排水層とせよ。

4）圧密終了後，砂層を取り除くことによって粘土層の過圧密比(OCR)が 2.0 となった。この時，砂層の D は如何ほどであったと推察されるか。層厚 D(m) を求めよ。なお，過圧密比(OCR)は，粘土層の中央の位置での除荷前と除荷後の鉛直有効応力の比として与えられるものとする。ここで，G_s=2.5，e_0=0.5, H=4m, γ_t=2γ_w である。

5）この H=4m の粘土層の体積圧縮係数 m_v を粘土層の透水係数 k とγ_w によって表せ。

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題6】(地盤力学)

ランキン土圧に関する以下の問いに答えよ。すべての問題を通して，地下水は山留め壁の設置位置から影響がない程度に十分に低い位置にあるものとする。

(1) 文章中の空欄を，専門用語，記号，数式を用いて埋めよ。ただし解答は，専門用語を除いて，文中に記されている記号だけを用いること。

均質な水平地盤に，図(a)に示す剛な山留め壁が地表面から深さ H まで垂直に打ち込まれている。山留め壁は，壁面摩擦を有していないものとする。

水平地盤の地表面から深さ z における鉛直応力を σ_v，水平応力を σ_h としたとき，両者はともに主応力であり，σ_v は，水平地盤の単位体積重量が γ_t とすると，σ_v=[①]と表される。山留め壁が水平方向に全く動かず安定な状態を，一般に[②]土圧状態と呼び，その時の土圧を[②]土圧という。山留め壁が図のように右方向に水平移動する場合を考える。このとき，山留め壁の左右の領域(領域Ⅰ，領域Ⅱ)全ての土要素が塑性平衡状態(破壊)に至ったとする。具体的にはクーロンの破壊規準式を満足する場合，破壊時におけるモールの応力円から，σ_hを決定できる。すなわち，水平地盤の強度定数を粘着力 c'，内部摩擦角 ϕ'とすると，σ_v と σ_h の間には，$\pm(\sigma_v-\sigma_h)$= [③]の関係が成立する。この式で正号は，$\sigma_v>\sigma_h$ の場合であり，この状態を[④]状態と呼び，この時の水平応力を[④]土圧という。このとき，領域Ⅰおよび領域Ⅱのうち，領域[⑤]が[④]状態になっている。この[④]土圧をσ_aとおくと，σ_aは，水平地盤のc', ϕ'とσ_vを用いて，σ_a =[⑥]と表現され，(共役な)破壊線(すべり線)の方向は，水平面に対して[⑦]度傾いた方向に生じることが破壊時のモール円の幾何学的性質からわかる。また，先の関係式で負号は，σ_v <σ_h の場合であり，この状態を[⑧]状態と呼び，この時の水平応力を[⑧]土圧という。この[⑧]土圧を σ_p とおくと，σ_p は，水平地盤の c', ϕ'と σ_v を用いて，σ_p =[⑨]と表現され，(共役な)破壊線(すべり線)の方向は，水平面に対して[⑩]度傾いた方向に生じる。最後に，$\tau-\sigma$ 軸上に描かれたクーロンの破壊規準線に対して，破壊時のモールの応力円を描き，解答欄中に，c', ϕ'と σ_v, σ_a, σ_pを明記した上で，主働，受働状態における破壊線(すべり線)の方向を記入せよ[⑪]。

(2) 図(b)に示すように，図(a)の領域Ⅰを，地表面から(2/3)H の深さまで水平に掘削し，十分に時間が経過した時の土圧について考える。掘削によって，壁面摩擦を有していない山留め壁は左方に移動し，壁背面および前面地盤の領域全ての土要素が塑性平衡状態に入り，結果として，壁背面の地盤が主働土圧，前面の地盤が受働土圧状態に至ったとする。また，この時の水平地盤の単位体積重量は γ_t，内部摩擦角はϕ'，粘着力は c'=0 であり，静止土圧係数が K_0=1-sin ϕ'であるとする。(2)の文章中および図(b)に記されている記号を用いて，以下の問いに答えよ。

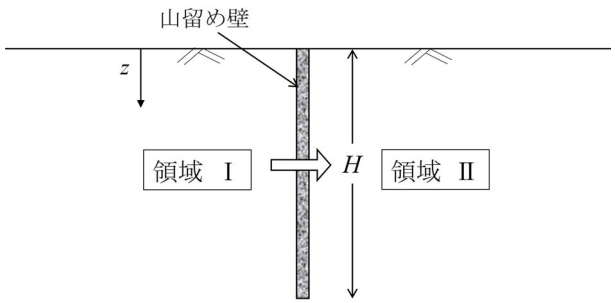
a) 山留め壁の下端に位置する点 A および点 B における土被り圧 σ_{vA} および σ_{vB} を求めよ。

b) 主働土圧係数 K_Aと受働土圧係数 K_Pを K_0 および ϕ'の関数として示せ。

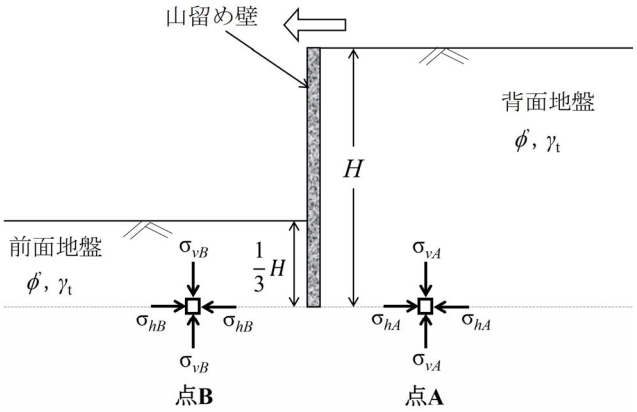
c) この状態で点 A および点 B における水平応力の比(σ_{hA}/σ_{hB})を K_0 および ϕ'を用いて表せ。

d) 主働土圧合力 P_Aと受働土圧合力 P_P が等しくなる時の sin ϕ'の値を求めよ。

e) d)の条件下において，壁背面の水平合力(主働土圧合力)P_A の値を求めよ。この計算では，γ_t=18kN/m^3, H=9.0m であるとする。



図(a)



図(b)

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題 7】(コンクリート工学)

以下の(1)～(5)について,それぞれ解答用紙に収まる字数,図で解答せよ。

(1) ポルトランドセメントにはいくつかの種類がある。通常の構造物の場合は普通ポルトランドセメントが使用されるが,特殊な構造物の場合は,中庸熱ポルトランドセメントもしくは低熱ポルトランドセメントが使用される。これらのセメントの鉱物組成や特性について説明せよ。また,これらのセメントが適している構造物について説明せよ。

(2) コンクリートの練混ぜ時に少量用いる混和剤として AE 剤および減水剤がある。これらの混和剤を用いることで得られる効果についてそれぞれ説明せよ。

(3) コンクリートに用いる骨材の性質の一つとして「実積率」がある。実積率の定義(意味)を,文章および図を用いて説明せよ。また,骨材の形状が悪い場合は,実積率がどのように変化するか示せ。

(4) フレッシュコンクリートの試験方法としてスランプ試験があるが,スランプ試験で評価を行うフレッシュコンクリートの性質は何か答えよ。また,この性質に関係して「単位水量一定の法則」というフレッシュコンクリートの特性がある。この法則を説明せよ。

(5) 近年,人間社会の環境が大きく変化(悪化)しつつあり,建設材料に対しても環境にやさしい材料が強く求められている。その方向を示す考え方として3R(スリーアール)がある。3R とは何か説明せよ。さらに,コンクリート分野で 3R を実現するための具体的方法を一つ挙げ,簡潔に説明せよ。

以上

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題8】(計画学)

(1) 道路の設計に際して使われる次の用語を説明せよ。
(a) 基本交通容量
(b) 計画交通量
(c) 設計時間交通量
(d) K 値

(2) 次の内容は正しいか間違いか（正・誤）を述べよ。
１）コードンライン調査とは,調査対象地域の境界線(コードンライン)を出入りする人や車の交通量を調査するもので、調査対象地域内の居住者のみを対象とする。
２）パーソントリップ調査による調査結果は，都市交通対策に関する分析だけではなく，環境対策に関する分析や防災対策に関する分析にも用いられる。
３）パーソントリップ調査は、1 年の中の平均的な交通特性を把握するために，一般的に春に実施される。

(3) 自動車交通流に関わる基本量として、速度v(km/h)、交通量 q(台/h)、交通密度k(台/km)がある。以下の問いに答えよ。。
1）一般に、速度が速いとき交通密度は小さく、速度が遅いとき交通密度は大きくなる。それはなぜか、説明せよ。
2）上記3つの基本量以外に車頭時間(headway)h(sec)、車頭距離(spacing)s (m)があるが、この2つを説明せよ。
3）車頭時間 h(sec:秒)を速度v(km/h)、交通量 q(台/h)、交通密度k(台/km)を使って表せ。(必ずしもすべて使う必要はない)

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題 9】（計画学）
以下の問いに答えよ。解答の量は、解答用紙のスペースを参考にして適切と考える量を記述せよ。

(1) コンパクトシティ政策について(15 点)
(a) 我が国におけるコンパクトシティ政策を推進するための法制度は主に都市再生特別措置法における立地適正化計画によっているが、都市計画法における区域区分制度・地域地区制度との違い（都市人口・都市域の拡大期と都市人口減少期の違いについて言及せよ）を説明したうえで、立地適正化計画を用いてどのようにコンパクトシティを実現してゆくか説明せよ。
(b) 我が国におけるコンパクトシティ政策を推進する必要性と利点を、住民の高齢化、地方財政悪化の観点から説明せよ。

(2)都市計画制度について(15 点)
(a) 我が国における都市計画の制度の歴史的変遷で第 2 次世界大戦以前の主なものは以下の 2 つである。其々について、制度の概要及び時代背景を説明せよ。
・東京市区条例(1888 年)（なぜ条例か？）
・旧都市計画法(1919 年)（なぜ全国展開の法律にする必要があったのか？）
(b) 土地区画整理事業について、（換地、減歩、保留地の用語は必ず用いて）制度の内容を説明せよ。また都市人口・都市域の拡大期における制度の役割と効果、都市人口減少下における制度運用の問題点を述べよ。
(c) 市街地再開発事業について、（権利変換、権利床、保留床の用語は必ず用いて）制度の内容を説明せよ。また今後の都市管理における事業の活用策と効果について防災の観点から考えを述べよ。

(3) 事業評価について（20 点）
(a) 環境影響評価について、2011 年に改正され導入された「計画段階配慮手続」の概要及び、その手続きによる、事業の円滑な進行への効果を説明せよ。
(b) 環境の価値（便益）を測定するにあたり、顕示選好法と表明選好法がある。トラベルコスト法、CVM 法それぞれの概要（便益算出方法、仮定、限界（問題点））を説明し、顕示選好、表明選好どちらに属するか理由も含め答えよ。
(c) 費用便益分析の概要を説明せよ。なぜ政策決定に際し費用便益分析を実施する必要があるのか、政策決定者や財政当局者の観点から説明せよ。
(d) 費用便益分析における割引率について説明せよ。特にインフラ投資のような長期に及ぶ事業では事業の効率性を評価するに当たり割引率が非常に大きな要因となるがその理由を述べよ。

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題 10】(環境システム工学)

(1) 多自然川づくりは、グリーンインフラの代表的な事例である。グリーンインフラストラクチャーについて述べよ。(150 文字程度)

(2) 残留性有機汚染物質(POPs)に関する記載である。下記の問いに答えよ。

1) 空欄[　ア　]～[　オ　]を埋めよ。

PCB(ポリ塩化ビフェニル)を製造したことも使用したこともないアラスカなどに住む[　　ア　　]の人たちの血液からも PCB が検出されている。このように、国境を越えて POPsが移動してしまうという問題が生じている。POPs とは、①[　　イ　　]、②[　　ウ　　]、③[　　エ　　]、④有害性(人の健康・生態系)を持つ物質のことを指す。POPs による地球規模の汚染が懸念され、「[　　オ　　]条約」(POPs 条約)が 2004 年 5 月に発効した。

2) 残留性有機汚染物質(POPs)を英語で記せ。

(3) 排出量取引に関する問いである。

1) 京都議定書について述べよ。(150 文字程度)

2) 京都メカニズムは、温室効果ガス削減数値目標の達成を容易にするためのメカニズムである。京都メカニズムの中の共同実施(JI)とクリーン開発メカニズム(CDM)について述べよ。(各 150 文字程度)

(4) 企業の環境対策は 1990 年頃を境に大きく変容した。企業の環境対策のパラダイムシフトと呼ばれている。1990 年以前は、公害を出さなければそれで良かった時代であり、環境対策は排水管や煙突の末端部で汚水、排煙、煤塵などの汚染物質の対策がなされていた。1990 年以降、企業の環境対策について述べよ。(150 文字程度)

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

【問題 11】(環境システム工学)

(1) 下記の語句 [1]、[2] について説明せよ。

[1] denitrifiers (denitrifying bacteria)　　[2] rapid sand filtration

(2) 上下水道工学に関する以下の設問 [3]～[8] に答えなさい。

[3] ある押出し流れ型沈殿池において、幅 B が 4 [m]、長さ L が 50 [m]、有効水深 h が 8 [m] である。処理水量 Q が 4320 [m^3/日] の時、この沈殿池の表面負荷率 (水面積負荷) V_o [m/日] を計算せよ。

[4] ある粒子の終末沈降速度 v が 17.28 [m/日] の時、設問[3] の普通沈殿池で期待できる除去率 E は何 [%] かを計算せよ。

[5] 押出し流れ型沈殿池において、表面負荷率 V_o が意味することを説明せよ。

[6] 上水道の浄水場において処理水量 Q を低下させること以外で、沈殿池の設計時あるいは運転時に沈殿除去率を上昇させる方法を二つ挙げて説明せよ。

[7] 下水処理場の最初沈殿池および最終沈殿池のそれぞれの役割を説明せよ。

[8] 最終沈殿池の表面負荷率 V_o は 20～30 [m/日] で設計される。1 つの細菌細胞の終末沈殿速度が 0.02～0.03 [m/日] 程度と仮定したとしても、最終沈殿池でこの細菌を沈殿除去できる理由を説明せよ。

(3) 環境工学に関して、下記の [　9　]～[　14　] に入る語句を解答欄に書きなさい。

・黒体放射についての Planck の法則は単色射出能を示すものであり、特定波長 λ の放射能の強さを示している。この単色射出能について、波長 λ を 0～∞で積分することで得られるのが [　9　] の式であり、全放射能の [　10　] が黒体面の温度のみの関数であり、絶対温度の 4 乗に比例することを示す。

・本来、[　11　] は、形成されたばかりの池や湖が、遷移によって湖沼型を変化させてゆく非人為的な過程を指す言葉であったが、しかし、近年では、人間活動の影響による水中の肥料分 (窒素化合物やリンなど) の濃度上昇を意味する場合が多い。そういった池や湖では、日光の当たる水面付近では、植物プランクトンが過剰に増殖する [　12　] などの現象を二次的に引き起こす。

・植物プランクトンの光合成による有機物の生産と呼吸による有機物の消費が釣り合った水深のことを [　13　] と呼ぶ。経験的に表層に入射した太陽光が 1%に減じる水深に近いことが知られている。また、セッキ―板による透明度の約 2 倍の水深に相当する。

・[　14　] とは、土壌中や水中においての好気的環境下で、アンモニアを酸化して亜硝酸や硝酸を生ずる微生物による作用である。下水や廃水の高度処理に応用され、環境工学分野では主に、水中からの生物学的窒素除去の前段階として捉えられている。

計算用紙（問題冊子からはずさないこと）

問 題 冊 子
裏 面