

問題33 環境都市構造力学・材料学

出題の意図

(1)	トラスの軸力の求め方を理解しているか
(2)	トラスの変位の求め方を理解しているか
(3)	相反定理を理解しているか
(4)	オイラー座屈を理解しているか
(5)	不静定構造物の解法を理解しているか

$$(1) N_{2-3} = 0$$

$$(2) v_3 = 2 \frac{PL}{EA}$$

$$(3) v_4 = \frac{PL}{EA}$$

$$(4) P = \frac{\sqrt{3} \pi^2 EI}{L^2}$$

$$(5) R_4 = \frac{24}{31} P$$

II

出題意図

(1)	コンクリートのワーカビリティについて、コンクリートの構成材料が与える影響を問うことがねらいである。
(2)	コンクリートのアルカリシリカ反応の発生メカニズムと抑制対策を問うことがねらいである。
(3)	鉄筋コンクリートの構造設計に関して、応力算定方法を問うことがねらいである。

解答例

- (1) ワーカビリティへの影響因子に関する説明において、(a) ～ (m) に適切な用語・語句を記載せよ。

a: 大きく, b: 材料分離抵抗性, c: ブリーディング,
d, e: (d, e: 小さく) または (d, e: 大きく) ※d と e が揃って正解,
f: 大きく, g: スランプ, h: 粘性, i: 悪い/角張っている/偏平な, j: ワーカビリティ,
k: ボールベアリング, l: エントレインドエア, m: 大きく

- (2) アルカリシリカ反応のメカニズムと抑制対策について記載せよ。

メカニズム：

コンクリート中のアルカリ、水、骨材に含まれる反応性シリカの反応によって、ケイ酸塩の反応性生成物（アルカリシリカゲル）が生成される。アルカリシリカゲルが吸水膨潤することで、その膨張圧によりコンクリートにひび割れが発生する。

対策

- ・アルカリ量を小さくする。（同義：混合セメントなどを使用する。）
- ・反応性骨材を使用しない。
- ・硬化後のコンクリートに水分を供給しない。

- (3) ひび割れ発生前の RC 断面において応力度を求める。以下の i) ～ iii) に答えなさい。

- i) 図心までの距離 x を与えられた記号を用いて示しなさい。

$$x = \frac{\frac{bh^2}{2} + nA_s \cdot d}{bh + nA_s}$$

問題33 環境都市構造力学・材料学

- ii) 図心軸における断面二次モーメント I を与えられた記号を用いて示しなさい。

$$I = \frac{bh^3}{12} + bh\left(x - \frac{h}{2}\right)^2 + nA_s(d - x)^2$$

- iii) 外力モーメントを M とするとき、応力度 σ'_c を M , I , x を用いて示しなさい。

$$\sigma'_c = \frac{M}{I}x$$

I

出題意図

(1)

- ① 限界水深の定義を正しく理解できているか
- ② 水理学的有利断面の定義を正しく理解できているか
- ③ 任意断面における限界水深の式を正しく導出できるか
- ④ 具体的断面の限界水深を算出できるか
- ⑤ 水理学的有利断面を具体的に算出できるか

(2)

- ① 限界水深と等流水深，射流，常流との関係を理解できるか
- ② 開水路における水路幅の変化が，等流水深，限界水深およびフルード数に与える影響を理解できるか

解答例

(1)

- ① 限界水深の特徴としては以下が挙げられる。
 - ・ 同一の比エネルギーの流れに対して流量が最大となる水深である（ベランジェの定理）
 - ・ 同一流量に対して比エネルギーが最小となる水深である（ベスの定理）
 - ・ 同一流量に対して比力が最小となる水深である。
 - ・ 水深を h ，流下方向の軸を x としたときに，漸変流方程式において dh/dx が特異（分母が 0 となるときに水深である（ブレスの定理））。
 - ・ 長波の伝搬速度に等しい流速を流しうるときの水深である。
（フルード数が 1 となる流れである）

- ② 水理学的有利断面とは，同じ流水横断面積，同じ粗度係数，同じ河床勾配のもとで流量が最大となる断面である。流量を最大にするには径深 $R = A/S$ を最大にすればよい。

Manning 式を用いると，

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} i_b^{1/2}$$

であるので，同じ流水横断面積に対して潤辺 S が最小となる断面が水理学的有利断面である。

- ③ 比エネルギーは水深を h とすると， $E = h + \frac{Q^2}{2gA^2}$ であり，限界水深では比エネルギーは最小となることから $\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dh} = 0$ となる

問題34 環境都市水理学・地盤力学

④ 放物線の流水断面積 $A = ah^{3/2}$ から $\frac{dA}{dh} = \frac{3}{2}ah^{1/2}$
これを、以下の式に代入して、整理すると、

$$1 - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dh} = 0 \quad \text{から} \quad h_c = \left(\frac{3Q^2}{2ga^2} \right)^{1/4} \text{となる。}$$

また、この結果から $\frac{Q^2}{ga^2} = \frac{2}{3}h_c^4$

であり、これを以下の式に代入すると、 E_c は以下ようになる。

$$E_c = h_c + \frac{1}{2h_c^3} \frac{Q^2}{ga^2} = h_c + \frac{1}{3}h_c = \frac{4}{3}h_c$$

⑤ 三角形の流水断面積 A と潤辺 S は以下のとおりである

$$A = mh^2 \quad \text{より} \quad h = \sqrt{\frac{A}{m}}, \quad \text{また} \quad S = 2h\sqrt{1+m^2}$$

水理学的有利断面では、同じ流水断面積 A に対して潤辺 S を最小にすればよい。

$$S = 2\sqrt{\frac{A}{m}}\sqrt{1+m^2} = 2\sqrt{A}\sqrt{\frac{1+m^2}{m}} = 2\sqrt{A}\sqrt{m + \frac{1}{m}}$$

$$m + \frac{1}{m} \text{ を最小にすればいいので } \frac{d}{dm} \left(m + \frac{1}{m} \right) = 1 - \frac{1}{m^2} = 0$$

より $m = 1$ すなわち、水平：鉛直 = 1:1のとき、水理学的有利断面となる。

(2)

① 等流水深を取る場合の流量は幅広矩形断面の Manning 式から $Q = \frac{1}{n}Bh^{5/3}i_b^{1/2}$

流量 Q 、粗度係数 n 、河床勾配 i_b を一定とすると $Bh_0^{5/3} = \text{一定}$ から $h_0 \propto B^{-3/5}$

川幅を $2B$ にした場合 $h'_0 = 2^{-3/5}h_0$ となる。

一方、限界水深は $h_c = \left(\frac{Q^2}{gB^2} \right)^{1/3}$ より $h_c \propto B^{-2/3}$

川幅を $2B$ にした場合 $h'_c = 2^{-2/3}h_c$

拡幅前は $h_0 = h_c$ であることから $2^{-3/5}h_0 > 2^{-2/3}h_c$ から $h'_0 > h'_c$ 流れは常流となる。

問題34 環境都市水理学・地盤力学

② 等流水深は①より $h_0 \propto B^{-3/5}$ また、フルード数は $Fr = \frac{Q}{B\sqrt{gh_0^3}}$ $Fr \propto B^{-1} \left(B^{-3/5}\right)^{-3/2}$

すなわち、川幅の変化に対するフルード数は $Fr \propto B^{-1/10}$

したがって、川幅が増大するとフルード数は小さくなる。

(流れは常流側へ移行する。)

出題の意図と採点のポイント

(1)	● モール・クーロンの破壊規準（有効内部摩擦角ϕ'と有効粘着力c'）を理解しているか。 ● 三軸試験とその条件を理解しているか。
(2)	● 全応力、間隙水圧、有効応力を理解しているか。 ● 圧密における有効応力変化に伴う間隙比変化を計算することができるか。

Ⅱ 【解答例】

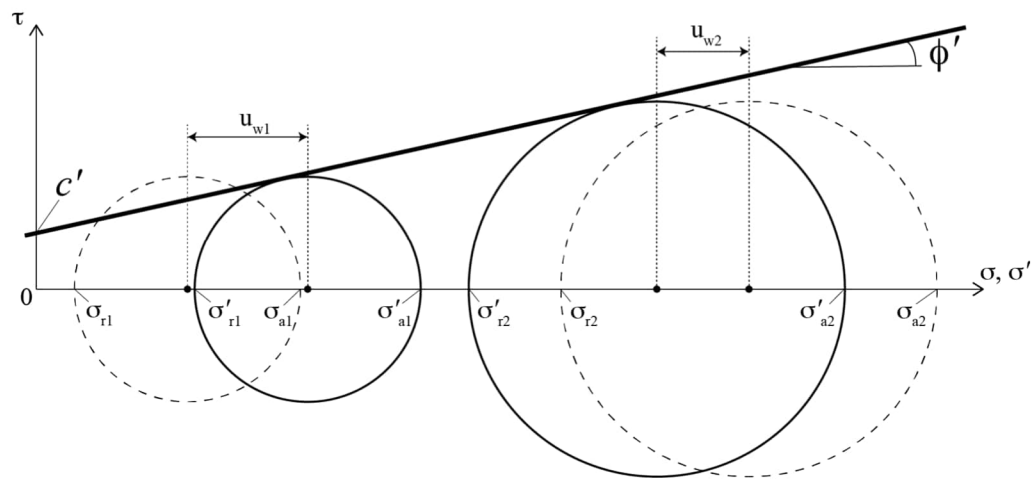
(1) 透水性の低い粘性土の有効内部摩擦角 ϕ' と有効粘着力 c' を求めるには、異なる拘束圧条件で圧密非排水三軸圧縮試験（CU 試験）を 2 ケース以上実施し、試験中に間隙水圧を測定する必要がある（ $\overline{\text{CU}}$ 試験）。

供試体を拘束圧下で十分に圧密させた後、非排水条件で三軸圧縮せん断を行い、その際の間隙水圧を測定することで有効応力を算定する。

異なる拘束圧に対する破壊時の有効主応力を求め、モール・クーロンの破壊基準より、有効内部摩擦角 ϕ' と有効粘着力 c' を決定する。

※なお、異なる拘束圧条件において、過剰間隙水圧が発生しないほどゆっくりとした変形速度での圧密排水三軸圧縮試験（CD 試験）を 2 ケース以上実施することも考えられる。

試験結果の一例（2 ケースの拘束圧での圧密非排水三軸試験， $u_{w1} > 0, u_{w2} < 0$ ）とそれから求められる有効内部摩擦角 ϕ' と有効粘着力 c' を以下に示す。

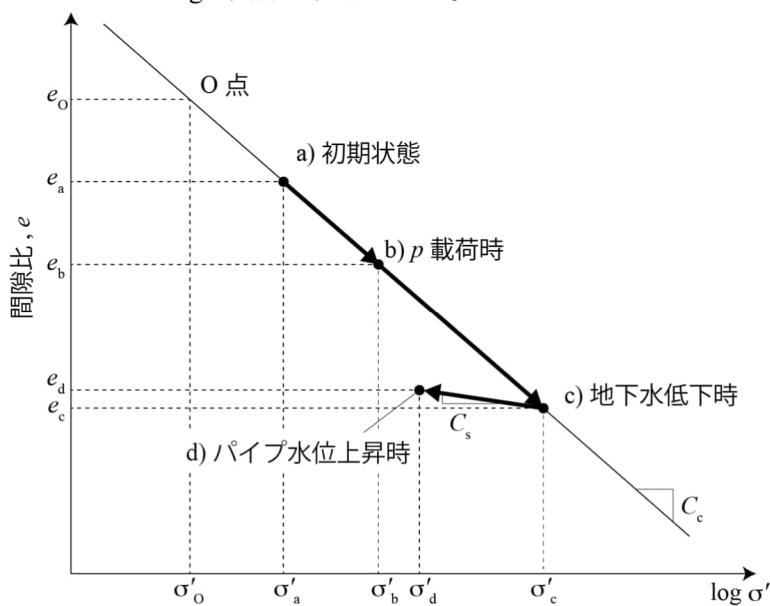


問題34 環境都市水理学・地盤力学

(2) 地下水位の変化およびパイプ水による被圧を考慮して、各状態の全応力、間隙水圧、有効応力および間隙比は以下となる。

状態	全応力 σ	間隙水圧 u_w	有効応力 σ'	間隙比 e
a)	$\sigma_a = \gamma_{\text{sat}}(D + h)$	$u_{wa} = \gamma_w(D + h)$	$\sigma'_a = \sigma_a - u_{wa} = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)(D + h)$	$e_a = e_0 - C_c \log \frac{\sigma'_a}{\sigma'_0}$ $= e_0 - C_c \log \frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)(D + h)}{\sigma'_0}$
b)	$\sigma_b = \gamma_{\text{sat}}(D + h) + p$	$u_{wb} = \gamma_w(D + h)$	$\sigma'_b = \sigma_b - u_{wb} = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)(D + h) + p$	$e_b = e_0 - C_c \log \frac{\sigma'_b}{\sigma'_0}$ $= e_0 - C_c \log \frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)(D + h) + p}{\sigma'_0}$
c)	$\sigma_c = \gamma_{\text{sat}}D + \gamma_t h + p$	$u_{wc} = \gamma_w D$	$\sigma'_c = \sigma_c - u_{wc} = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)D + \gamma_t h + p$	$e_c = e_0 - C_c \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}$ $= e_0 - C_c \log \frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)D + \gamma_t h + p}{\sigma'_0}$
d)	$\sigma_d = \gamma_{\text{sat}}D + \gamma_t h + p$	$u_{wd} = \frac{\gamma_w(2D + h)}{2}$	$\sigma'_d = \sigma_d - u_{wd} = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)D + \gamma_t h + p - \frac{\gamma_w h}{2}$	$e_d = e_0 - C_c \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} - C_s \log \frac{\sigma'_d}{\sigma'_c}$ $= e_0 - C_c \log \frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)D + \gamma_t h + p}{\sigma'_0}$ $- C_s \log \left\{ \frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)D + \gamma_t h + p - \frac{\gamma_w h}{2}}{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)D + \gamma_t h + p} \right\}$

また $e - \log \sigma'$ 関係は以下となる。



問題35 環境都市計画学

I 出題意図

- (1) 社会基盤整備を効率的に行うために最適化手法が用いられることがある。
その一手法である線形計画法についての理解を問う。
- (2) 工程管理を効果的に行うための技法についての理解を問う。
- (3) 社会基盤整備については効率性と透明性が求められる。
これを具現化するために費用便益分析が用いられる。本手法についての理解を問う。

解答例

- (1) 線形計画法について以下の問いに答えよ。

1) 決定変数を2つとして線形計画問題を定式化せよ。

一例として $z = 4x_1 + 5x_2 \rightarrow \max$

$$\text{subject to } 2x_1 + 5x_2 \leq 20$$

$$6x_1 + 4x_2 \leq 27$$

$$3x_1 + x_2 \leq 12$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

2) 上記の問題に対応する双対問題を定式化せよ。

一例として $w = 20u_1 + 27u_2 - 12u_3 \rightarrow \min$

$$\text{subject to } 2u_1 + 6u_2 + 3u_3 \geq 4$$

$$5u_1 + 4u_2 + u_3 \geq 5$$

$$u_1 \geq 0, u_2 \geq 0, u_3 \geq 0$$

3) 主問題と双対問題の関係について説明せよ。

問題 1) を $z = b^T x \rightarrow \max$

$$\text{s. t. } Ax \leq c, x \geq 0 \text{ と表現し,}$$

問題 2) を $w = c^T u \rightarrow \min$

$$\text{s. t. } A^T u \geq b, u \geq 0 \text{ と表現すると}$$

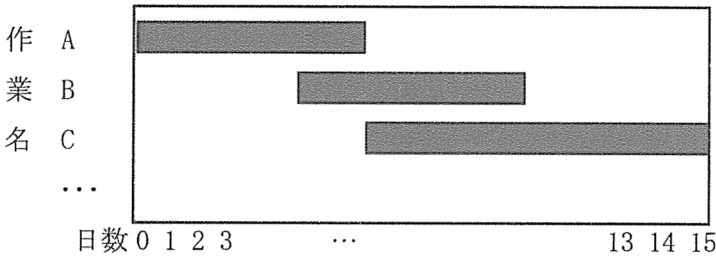
各問題の任意の実行可能解 x, u について $b^T x \leq c^T u$ が成り立つ。

ただし、 A は行列、 b, u, c, x はベクトル、 T は転置を表す。

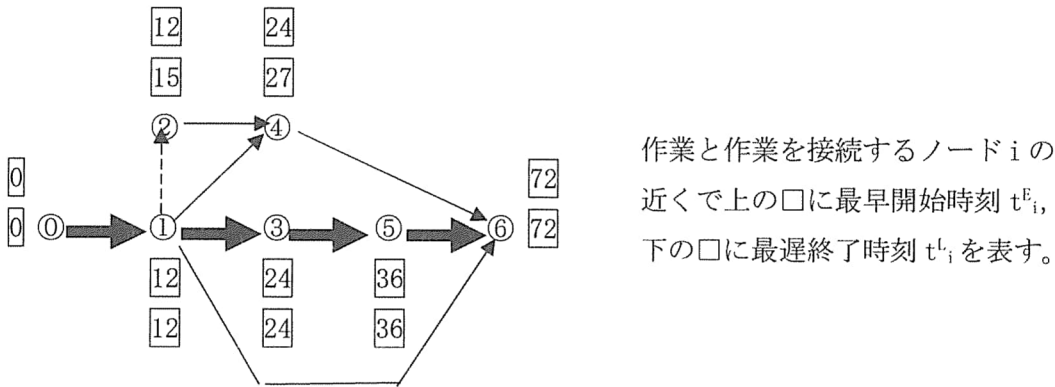
問題35 環境都市計画学

(2) 建設工事のスケジュールを管理するために用いられる方法について以下の問いに答えよ。

1) バーチャートの一例を示せ。ただし、文字で適宜説明を加えること。



2) PERT のアローダイアグラムの一例を示す。



3) ソースからシンクまでクリティカル ($TA_{ij}=t^L_j-t^E_i = D_{ij}$) なパスが繋がっているときクリティカルパスという。ただし TA は使用可能時間、 D は所要時間。

(3) 費用便益分析に関する以下の文章について (ア) ~ (オ) に適する用語、数式を示せ。

(ア) 評価期間 または プロジェクトライフ

(イ) 現在価値

(ウ) 社会的割引率

(エ) $C_n/(1+r)^n$

(オ) $\sum_{t=1}^N B_t/(1+r)^t - I - \sum_{t=1}^N M/(1+r)^t$ $t=0, 1, N$ の説明があることが望ましい

II

・出題意図

- (1) 技術者が考慮すべきリスクに関する通説的な理解について問うています。
- (2) 技術者倫理における費用便益分析の内容と問題点について問うています。
- (3) 技術者倫理においてしばしば問題となる発明に対する成果報酬の問題について、問題文において提示した事例の問題状況を適切に把握し、考慮すべき点を析出して建設的な提案ができるかどうかを問うています。

・解答

- (1) ① フールプルーフ
- ② フェイルセーフ
- ③ 深層（多重）防御
- ④ リスクアセスメント
- ⑤ リスク・コミュニケーション（リスクコミュニケーション）

(2) 費用便益分析とは、いくつかの計画に関する計算を実施した場合に、必要となる金銭的出費とそこから得られる見込みのある金銭的利益を算定し、相互に比較することで、最も少ない出費で最も多くの利益をあげる計画を割り出すことである。そこでは、効用が金銭に換算され、事業について便益と費用が数値化されたうえで、全ての便益の合計から費用を差し引いたときに最大になる事業が正しいとされる。費用便益分析の問題点としては、第一に、全ての効用つまり価値を金銭に換算して計算することはできないという点が挙げられる。フォード社のように人の命に値段をつける場合、家族の苦痛や喪失感を考慮していない。第二に、個人の権利もしくは少数派の権利が尊重されていないという点が挙げられる。

(3) (a)に関して、職務発明に関する特許法に基づき、企業が就業規則等で定めていれば、発明の権利を最初から企業に帰属させることが可能である。ただし、その場合、企業は発明者に対して「相当の利益」を提供しなければならない。典型事例の一つである青色発光ダイオード裁判においては、研究者本人が求めていたのは金銭だけではなく、「研究者としてのまっとうな評価」であったとされていたように、ここでのポイントは、この「利益」が単なる金銭的報奨に留まらず、昇進や処遇改善などの非金銭的な利益を含む点にある。また(b)に関しては、企業は発明者に対し、特許報奨を大幅に引き上げる、役員待遇として研究者を処遇するなど、多面的な評価制度を整えるべきである。加えて、評価制度の透明性の確保などの解答も可とする。