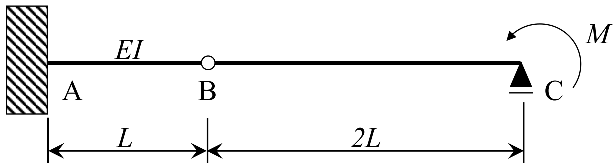
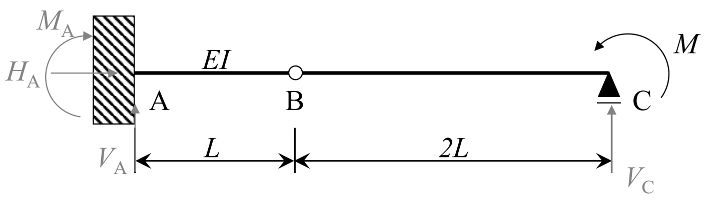
令和３年度（１０月期入学）及び令和４年度　金沢大学大学院自然科学研究科　博士前期課程入学試験 解　答　例	
専　攻　名	環境デザイン学専攻（一般選抜）
試験科目名	専門科目　①構造力学（１／１８）

I　図①-1 に示すゲルバー梁の点 C にモーメント荷重 M が反時計まわりに作用している。このとき，以下の問いに答えなさい。ただし，この梁は部材軸方向に一様であり，自重は無視する。また，梁部材の曲げ剛性はすべて EI とする。



図①-1

問１　すべての支点反力を求めなさい。



まず，上図のようにすべての支点反力を仮定する。

$$\sum H = H_{\mathrm{A}} = 0$$
$$\sum V = V_{\mathrm{A}} + V_{\mathrm{C}} = 0$$
$$\sum M_{\mathrm{A}} = M_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{C}} \cdot 3L - M = 0$$
$$\sum M_{\mathrm{B(右)}} = V_{\mathrm{C}} \cdot 2L + M = 0$$

以上の式から，

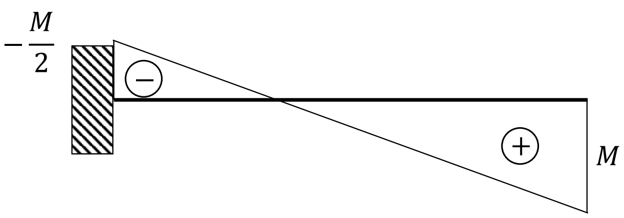
$H_{\mathrm{A}} = 0$

$V_{\mathrm{A}} = \dfrac{M}{2L}$

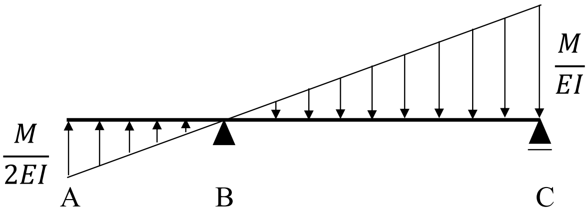
$V_{\mathrm{C}} = -\dfrac{M}{2L}$

$M_{\mathrm{A}} = -\dfrac{M}{2}$

問２　曲げモーメント図を描きなさい。なお, 曲げモーメントは梁の下縁側が引張となる状態を正とする。



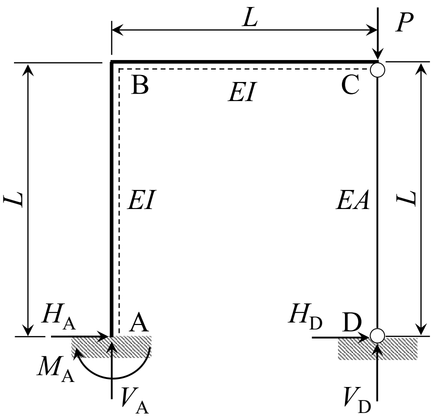
問３　点 B のたわみv_{B}を求めなさい。



弾性荷重法を用いて解く。点 B のたわみを求めるため，曲げモーメントを EI で除した弾性荷重を共役梁に載荷し，点 B での曲げモーメント$\widehat{M}_{\mathrm{B}}$を求めることでたわみを得ることができる。

$$v_{\mathrm{B}} = \widehat{M}_{\mathrm{B}} = \frac{M}{2EI} \cdot L \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2L}{3} = \frac{ML^2}{6EI}$$

II　図①-2 に示すように，逆Ｌ型ラーメン部材（A–B–C 部材）の点 C に両端ヒンジの柱部材（C–D 部材）が接合されている構造がある。いま，点 C に鉛直荷重 P が下向きに作用している。このとき，以下の問いに答えなさい。A–B–C 部材の曲げ剛性は EI であり，軸方向力およびせん断力の影響は無視してよい。また，C–D 部材の軸方向剛性は EA であり，曲げモーメントおよびせん断力の影響は無視してよい。各部材は軸方向に一様であり，自重は無視する。なお，必要に応じて以下の積分表を用いてもよい。



図①-2

問１　支点反力 V_D を X と仮定し，X を用いて他のすべての支点反力を求めなさい。

上図に示すようにすべての支点反力を仮定する。

$$\sum H = H_A + H_D = 0$$
$$\sum V = V_A + V_D - P = 0$$
$$\sum M_A = M_A + P \cdot L - V_D \cdot L = 0$$
$$\sum M_{C(下)} = -H_D \cdot L = 0$$

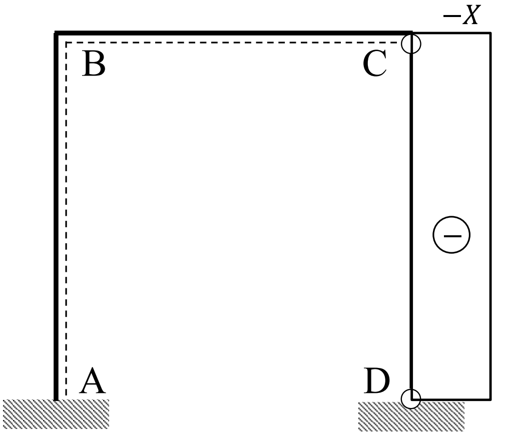
$H_A = H_D = 0$

問題から，$V_D = X$とすると，
$V_A = P - X$
$M_A = (X - P)L$

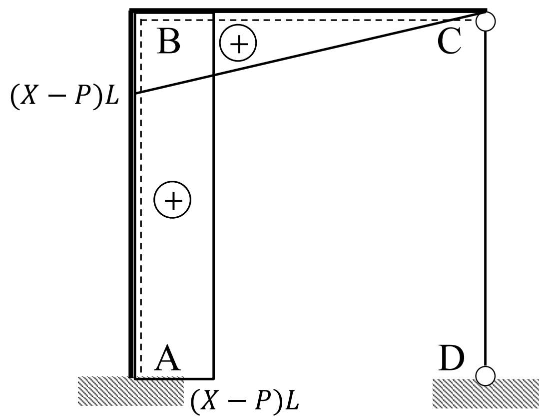
問２　ひずみエネルギーを用い，最小仕事の原理から支点反力 V_D を求めなさい。ただし，C–D 部材の断面積 A は I/L^2 として計算しなさい。

支点反力 V_D を X として，軸力図（N 図）と曲げモーメント図（M 図）を描く。

＜N 図＞



＜M 図＞



ひずみエネルギーをUとすると，

$$U=\frac{1}{2}\int\frac{N^2}{EA}dx+\frac{1}{2}\int\frac{M^2}{EI}dx$$

で表すことができる。

最小仕事の原理を適用するため，以下のように計算する。

$$\begin{aligned}\frac{\partial U}{\partial X}&=\frac{\partial U}{\partial N}\cdot\frac{\partial N}{\partial X}+\frac{\partial U}{\partial M}\cdot\frac{\partial M}{\partial X}\\&=\int\frac{N}{EA}\cdot\frac{\partial N}{\partial X}dx+\int\frac{M}{EI}\cdot\frac{\partial M}{\partial X}dx\\&=\frac{1}{EA}\int_0^L(-X)\cdot(-1)dx\\&\quad+\frac{1}{EI}\int_0^L(X-P)\cdot L\cdot Ldx\\&\quad+\frac{1}{EI}\int_0^L\{-(X-P)\cdot x'+(X-P)\cdot L\}(-x'+L)dx'\end{aligned}$$

問題から

$$A=\frac{I}{L^2}$$

を用いて，

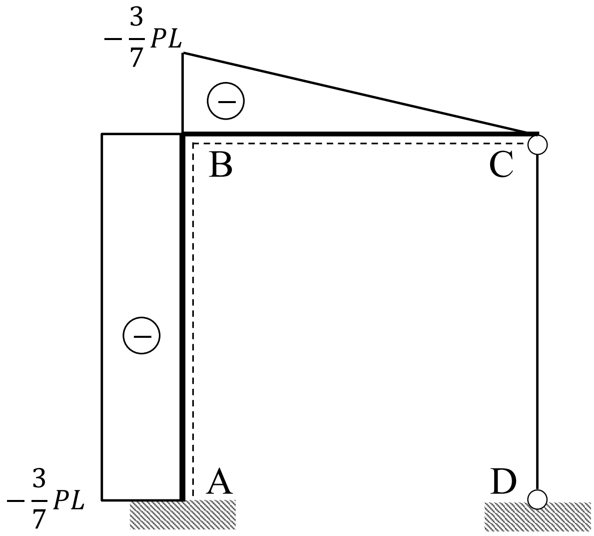
$$\frac{\partial U}{\partial X}=0$$

とすると，

$$V_D=X=\frac{4}{7}P$$

となる。

問３　曲げモーメント図を描きなさい。なお，曲げモーメントは，破線側が引張となる状態を正とする。



$-\frac{3}{7}PL$
⊖
B
C
⊖
$-\frac{3}{7}PL$
A
D

I

問 1　圧力の考え方には，絶対圧によるものとゲージ圧によるものが存在する。完全な真空を圧力 0 の基準として測った圧力を絶対圧と呼ぶ。この場合，負圧は存在しない。大気圧を圧力 0 の基準として測った圧力をゲージ圧と呼ぶ。大気圧より高いゲージ圧は正圧，低い圧は負圧と呼ばれる。

問 2　二次元非圧縮性流れには，流れ関数Ψが存在し，速度ベクトルの x,y 方向成分 u, v と以下のように関係づけられる。

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \qquad v = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}$$

同一流線上では流れ関数の値は一定となる。また，流体場の中の 2 つの流線上における流れ関数値の差は，それらの流線間を流れる流量を表す。

問 3　流れ場の代表流速を U，代表長さを D，流体の動粘性係数を ν で表す。この時，UD/ν で定義される無次元数をレイノルズ数と呼ぶ。保存力のもとでの非圧縮性粘性流体の運動において，幾何学的に相似な境界をもつ 2 つの流れを考えるとき，もし 2 つの流れのレイノルズ数が相等しければ，流れの場全体が相似になる。

問 4　管水路の摩擦損失水頭 h_f は，水路長さ L および速度水頭 $V^2/(2g)$に比例し，水路の径深 R（または直径 D）に反比例する。ここで，Vは流速，gは重力加速度を表す。これらの関係を表したものがダルシーワイズバッハの式である。

$$h_f = f'\frac{L}{R}\frac{V^2}{2g}$$

ただし，f'：摩擦損失係数である。

II

題意に従って，紙面奥行き方向に単位長さを取って考える。

問 1　流体は，構造物から反力-F を受ける。この際，構造物壁面に沿う方向には力は働かないので，力は構造物壁面に垂直な方向にのみ作用する。構造物壁面に垂直な方向の運動量保存を考えると，

$$-F = 0 - \rho Q_0 V_0 \sin\theta$$

これより，流体が構造物に及ぼす力 F は以下のように求められる。

$$F = \rho Q_0 V_0 \sin\theta$$

問 2　圧力を p で表す。検査面 0 と検査面 1 を結ぶ流線上でベルヌーイの定理を適用すると，

$$\frac{V_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\rho g} + z_0 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1$$

ここで下付き添え字は検査面の位置を表す。流れは水平面内であるので，位置水頭は等しく($z_0 = z_1$)，また，噴流は大気と接していることから圧力は大気圧に等しい（ゲージ圧では，$p_0 = p_1 = 0$)と設定できる。これより，

$$V_1 = V_0$$

同様に，検査面 0 と検査面 2 でベルヌーイの定理を適用することにより，

$$V_2 = V_0$$

問 3　構造物壁面に沿う方向の運動量方程式を考えると，

$$\rho Q_1 V_1 - \rho Q_2 V_2 - \rho Q_0 V_0 \cos\theta = 0$$

問 2 の結果を用いると，

$$Q_1 - Q_2 = Q_0 \cos\theta$$

一方，流入する流量と流出する流量は等しいので，

$$Q_1 + Q_2 = Q_0$$

この 2 式を解いて，

$$Q_1 = \frac{Q_0}{2}(1+\cos\theta), \qquad Q_2 = \frac{Q_0}{2}(1-\cos\theta)$$

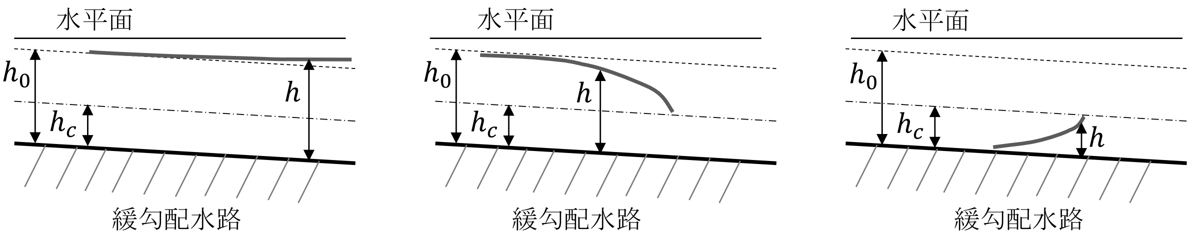
問 4　分流後の水流の厚さは以下のようになる。

$$h_1 = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_1}{V_0} = \frac{Q_1}{Q_0}h_0 = \frac{h_0}{2}(1+\cos\theta), \qquad h_2 = \frac{Q_2}{V_2} = \frac{Q_2}{V_0} = \frac{Q_2}{Q_0}h_0 = \frac{h_0}{2}(1-\cos\theta),$$

III

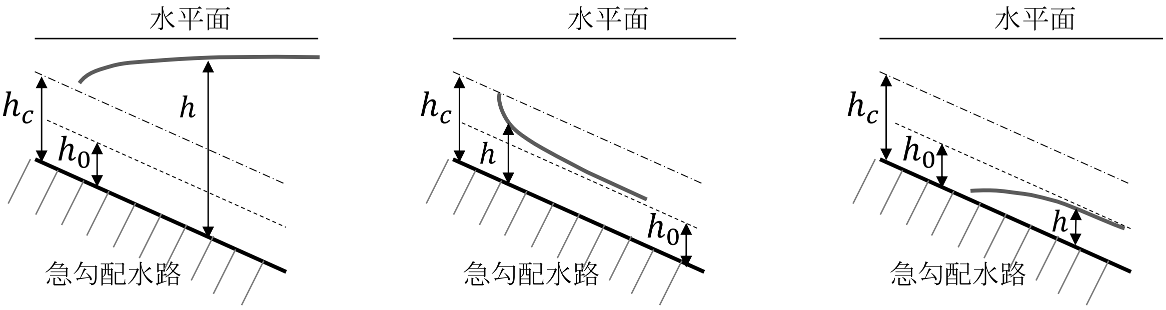
問 1　等流水深が限界水深よりも大きい場合を緩勾配水路，逆に，等流水深が限界水深よりも小さい場合を急勾配水路と呼ぶ。

問 2　緩勾配水路では $h_0 > h_c$ である。式①より，dh/dx の符号（正負）は (i) $h > h_0$, (ii) $h_0 > h > h_c$, (iii) $h < h_c$ の 3 つの領域で，それぞれ，正，負，正となる。水深 h が h_0 に近づくとき，dh/dx は 0 に漸近し，水面形は等流水深線と平行（すなわち底面と平行）に近づく，一方，水深 h が h_c に近づくと $|dh/dx|$ は増大し，水面と限界水深線のなす角度は大きくなる。水深 h が大きく（$h \to \infty$）なると，dh/dx は i_0 に漸近し水面形は水平に近づく。水深が限界水深より大きい場合には流れは常流，小さい場合には射流である。以上より，3 つの領域における水深変化，水面形，流れの概要は以下のようにまとめられる。



(i) $h > h_0$（常流）　(ii) $h_0 > h > h_c$（常流）　(iii) $h < h_c$（射流）

問 3　急勾配水路では $h_0 < h_c$ である。式①より，dh/dx の符号（正負）は，(i) $h > h_c$, (ii) $h_c > h > h_0$, (iii) $h < h_0$ の 3 つの領域で，それぞれ，正，負，正となる。水深 h が h_0, h_c, ∞ にそれぞれ近づくときの dh/dx の変化の様子，および，常流・射流の区分は問 2 と同様となる。以上より，3 つの領域における水深変化，水面形，流れの概要は以下のようにまとめられる。

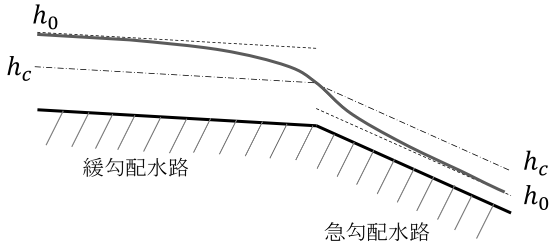


(i) $h > h_c$（常流）　(ii) $h_c > h > h_0$（射流）　(iii) $h < h_0$（射流）

（次ページへ続く）

令和３年度（１０月期入学）及び令和４年度　金沢大学大学院自然科学研究科　博士前期課程入学試験 解　答　例	
専　攻　名	環境デザイン学専攻（一般選抜）
試験科目名	専門科目　②水理学（９／１８）

問４　限界水深は流量のみによって決まり，水路勾配によらないから水路全体を通じて一定である。また，緩勾配水路では $h_0 > h_c$，急勾配水路では $h_0 < h_c$ であり，図に示すような位置関係になる。勾配変化点では水深は限界水深と一致する。各勾配水路の区間は十分長いので，緩勾配水路の上流側や急勾配水路の下流側ではほぼ等流状態が発生して水深は等流水深に漸近する。問２および問３の結果を合わせて考えると，水面形は図のようになる。



令和３年度（１０月期入学）及び令和４年度　金沢大学大学院自然科学研究科　博士前期課程入学試験 解　答　例	
専　攻　名	環境デザイン学専攻（一般選抜）
試験科目名	専門科目　③土質力学（１０／１８）

Ｉ　下記の問１～問７から 5 つを選択して解答しなさい。単に数値を答えるだけでなく，計算の考え方や単位を付けて解答すること。また解答用紙には選択した小問の問題番号を明示すること。
※6 つ以上の問を解答した者は，Ｉの全ての解答を無効とする。

問１　最小間隙比 0.50, 最大間隙比 1.00 の土がある。この土を使って埋立地を造成したところ層厚は $H_0 = 5.00$ m，相対密度は $Dr = 40$ %となった。このままでは液状化リスクが高いことから間隙比 0.60 になるよう締固めを行うことにした。締固め後のこの土の層厚 H_1を計算しなさい。

$H_1 = (1 + 0.60)H_s \approx 4.44$ m

問２　ある地点は地層表面から深さ 5.00 m の地点まで飽和単位体積重量 20 kN/m³の土で構成されている。この地点が水没し，水深が 5.00 m になった。このとき，地層表面から深さ 5.00 m の地点における全土被り圧と有効土被り圧を計算しなさい。ただし簡単のため, 水の単位体積重量を 10 kN/m³ としてよい。

全土被り圧は 150[kN/m²] 、有効土被り圧は 50[kN/m²]

問３　ある正規圧密粘土の圧密応力と間隙比の関係を調べたところ，圧密応力が 10 kPa のときに間隙比は 2.40 であり，圧密応力が 40 kPa のときに間隙比は 2.10 であった。では，間隙比が 1.80 となる圧密応力を求めなさい。ただしこれらの値は，いずれも載荷後十分に時間が経過したときの値であると考えなさい。

$x = 160$ kPa

問４　排水層と考えてよい砂地盤に挟まれた厚さ 4.00 m の均質な正規圧密粘土地盤がある。テルツァーギの圧密理論に基づいて計算すれば，この粘土地盤 50 %圧密するのに必要な時間は 1 年であるという。では，この粘土地盤が 90 %圧密するのに要する時間を求めなさい。ただし 50 %圧密，90 %圧密に対応する時間係数はそれぞれ 0.197，0.848 である。

$x = 4.30$ [year]

問５　矢板周りの 2 次元定常浸透流問題を解くためにフローネットを作図したところ，等ポテンシャル線で囲まれる領域の数は 8 個，流線で囲まれる領域の数は 12 個となった。この地盤の透水係数を 1.0 m/day，矢板の上流側と下流側の水位差を 1.2 m とするとき，20 日間に上流側から下流側に浸透する奥行き 1 m 当たりの浸透流量を計算しなさい。

20 日間に浸透する単位奥行き当たりの浸透流量は $Q = 36[\mathrm{m^3/m}]$

問６　強度定数が粘着力ゼロ，内部摩擦角 30° のモール・クーロンの破壊規準に従う土を考える。この土が最小圧縮主応力（全応力）$\sigma_{\min} = 100$ kPa，最大圧縮主応力（全応力）$\sigma_{\max} = 200$ kPa，また間隙水圧は $u = 20$ kPa で完全に飽和した状態であったとする。ここから非排水条件のもとで，全応力を一定に保ったまま間隙水圧だけを増加させていったところ，間隙水圧が y [kPa]に達したとき土が破壊した。yの値を求めなさい。

$y = 50$ kPa

問７　三軸圧縮試験機を用いてある粘土のせん断挙動を調べる。等方圧密で状態 A（間隙比$e_A = 2.20$，平均有効応力$p'_A = 120$ kPa）に調整した正規圧密粘土がある。状態 A から非排水条件でせん断試験（CU 試験）を行うと，状態 B（間隙比$e_B = 2.20$，平均有効応力$p'_B = 100$ kPa，軸差応力$q_B = 120$ kPa）で限界状態に達した。さて，同じ粘土を排水条件下で等方的な載荷と除荷の履歴を与え，状態 C（間隙比$e_C = 2.20$，平均有効応力 $p'_C = 60$ kPa）の過圧密状態となるように調整した。状態 C から非排水条件でせん断試験（CU 試験）を行うと，状態 D (間隙比$e_D = 2.20$，平均有効応力$p'_D = x$ [kPa]，軸差応力$q_D = y$ [kPa]) で限界状態に達した。x，y の値を求めなさい。ただし土の挙動は限界状態理論によって説明できるものとする。

$x = 100$ kPa, $y = 120$ kPa

II　軟弱地盤の対策工法について以下の問いに答えなさい。

問１　プレローディング工法について，その原理や見込まれる効果を 80 字～150 字で説明しなさい。

粘土は正規圧密状態よりも過圧密状態の方が剛性や強度が大きい。そこで先ず盛土などで本施工に先立って載荷を行い粘土層の圧密変形を生じさせ，その後除荷を行うことで，本施工の前に粘土層を過圧密状態に変えておく。これによって本施工開始以降に発生する粘土層の沈下量を抑制できる。(133 字)

問２　バーチカルドレーン工法について，その原理や見込まれる効果を 80 字～150 字で説明しなさい。

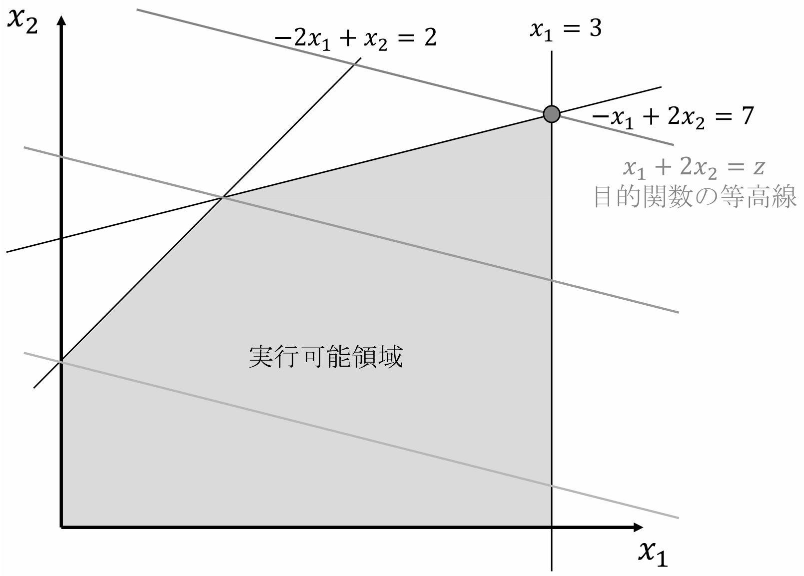
粘土層が圧密に要する時間は最大排水距離の 2 乗に比例する。そこで砂杭や不織布など透水性の高い排水材を鉛直方向に多数打設することによって，粘土層の排水距離の短縮を図る。これによって圧密に要する時間を短縮できる。(103 字)

令和３年度（１０月期入学）及び令和４年度　金沢大学大学院自然科学研究科　博士前期課程入学試験 解　答　例	
専　攻　名	環境デザイン学専攻（一般選抜）
試験科目名	専門科目　④計画数理学（１２／１８）

I

(1)

(a) 図解法による最適解の導出



図：実行可能領域と目的関数の等高線

図の実行可能領域・目的関数の等高線から明らかなように，最適解は$(x_1, x_2) = (3,5)$である．
なお，その時の目的関数値は，$x_1 + 2x_2 = 13$

(b) シンプレックス法による最適解の導出

線形計画問題を標準形に変換すると，次のように表される:

$$\begin{aligned} \underset{x_1, x_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3}{\text{maximize}} \quad & x_1 + 2x_2 \\ \text{subject to} \quad & -2x_1 + x_2 + \lambda_1 = 2 \\ & -x_1 + 2x_2 + \lambda_2 = 7, \\ & x_1 + \lambda_3 = 3, \\ & x_1, x_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \geq 0 \end{aligned}$$

したがって，最適解は次のシンプレックス・タブローを用いた計算により導出できる:

基底変数	x_1	x_2	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
λ_1	-2	1	1	0	0	2	2
λ_2	-1	2	0	1	0	7	3.5
λ_3	1	0	0	0	1	3	∞

目的関数	1	2	0	0	0	0	

基底変数	x_1	x_2	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
x_2	-2	1	1	0	0	2	∞
λ_2	3	0	-2	1	0	3	1
λ_3	1	0	0	0	1	3	3
目的関数	5	0	-2	0	0	-4	

基底変数	x_1	x_2	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
x_2	0	1	$-\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	4	∞
x_1	1	0	$-\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	1	∞
λ_3	0	0	$\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	1	2	3
目的関数	0	0	$\frac{4}{3}$	$-\frac{5}{3}$	0	-9	

基底変数	x_1	x_2	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
x_2	0	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	5	
x_1	1	0	0	0	1	3	
λ_1	0	0	1	$-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	3	
目的関数	0	0	0	-1	-2	-13	

具体的には，最適解は$(x_1, x_2) = (3,5)$，その時の目的関数値は13となる．

専　攻　名	環境デザイン学専攻（一般選抜）
試験科目名	専門科目　④計画数理学（１４／１８）

(2) シンプレックス法による最適解の導出

線形計画問題を標準形に変換すると，次のように表される:

$$
\begin{aligned}
\underset{x_1, x_2, x_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3}{\text{maximize}} \quad & x_1 + x_2 + 2x_3 \\
\text{subject to} \quad & x_2 + 2x_3 + \lambda_1 = 3 \\
& -x_1 + 3x_3 + \lambda_2 = 2, \\
& 2x_1 + x_2 + x_3 + \lambda_3 = 1, \\
& x_1, x_2, x_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 = 0
\end{aligned}
$$

したがって，最適解は次のシンプレックス・タブローを用いた計算により導出できる:

基底変数	x_1	x_2	x_3	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
λ_1	0	1	2	1	0	0	3	3/2
λ_2	-1	0	3	0	1	0	2	2/3
λ_3	2	1	1	0	0	1	1	1
目的関数	1	1	2	0	0	0	0	

基底変数	x_1	x_2	x_3	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
λ_1	$\frac{2}{3}$	1	0	1	$-\frac{2}{3}$	0	$\frac{5}{3}$	$\frac{5}{2}$
x_3	$-\frac{1}{3}$	0	1	0	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	∞
λ_3	$\frac{7}{3}$	1	0	0	$-\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$
目的関数	$\frac{5}{3}$	1	0	0	$-\frac{2}{3}$	0	$-\frac{4}{3}$	

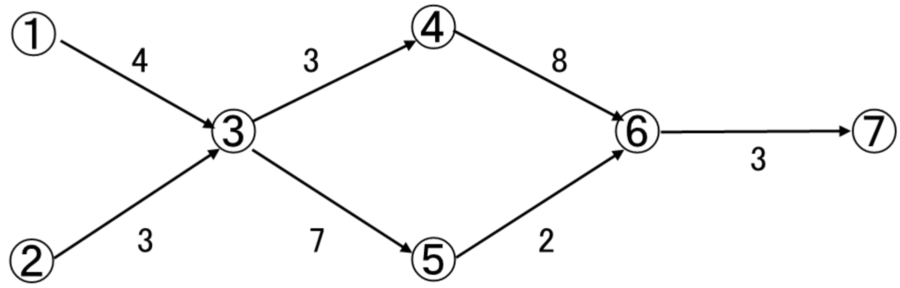
基底変数	x_1	x_2	x_3	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
λ_1	0	$\frac{5}{7}$	0	1	$-\frac{4}{7}$	$-\frac{2}{7}$	$\frac{11}{7}$	$\frac{11}{5}$
x_3	0	$\frac{1}{7}$	1	0	$\frac{2}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{5}{7}$	5
x_1	1	$\frac{3}{7}$	0	0	$-\frac{1}{7}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$
目的関数	0	$\frac{2}{7}$	0	0	$-\frac{3}{7}$	$-\frac{5}{7}$	$-\frac{11}{7}$	

基底変数	x_1	x_2	x_3	λ_1	λ_2	λ_3	右辺・定数項	最大値
λ_1	$-\frac{5}{3}$	0	0	1	$-\frac{1}{3}$	-1	$\frac{4}{3}$	
x_3	$-\frac{1}{3}$	0	1	0	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	
x_2	$\frac{7}{3}$	1	0	0	$-\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{3}$	
目的関数	$-\frac{2}{3}$	0	0	0	$-\frac{1}{3}$	-1	$-\frac{5}{3}$	

具体的には，最適解は$(x_1, x_2, x_3) = (0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3})$，その時の目的関数値は$\frac{5}{3}$となる.

II

問１　図に示した「流れ図」を「ネットワーク・グラフ」に示しなさい。図に添えられた数字は作業時間である。



図

（1，3）：設計 1，（2，3）：設計 2，（3，4）：製図，（3，5）：外注，
（4，6）：製造，（5，6）：検査 1，（6，7）：検査 2

問２　各ノードの最早結合点時刻・最遅結合点時刻 t_i^E, t_i^L $(i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$を求めなさい。

公式　$t_i^E = \max_{1 \le k \le 7} (t_k^E + y_{ki})$　　$t_i^L = \min_{1 \le k \le 7} (t_k^L - y_{ik})$　より

最早結合点時刻・最遅結合点時刻は以下の表の通りとなる。

表

	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$	$i = 7$
t_i^E	0	0	4	7	11	15	18
t_i^L	0	1	4	7	13	15	18

問３　クリティカルパスを求めなさい。

クリティカルパスは始点から出発して余裕時間が 0 となる一連の作業で終点にいたるものであるため

設計 1→製図→製造→検査 2

となる。

令和３年度（１０月期入学）及び令和４年度　金沢大学大学院自然科学研究科　博士前期課程入学試験 解　答　例	
専　攻　名	環境デザイン学専攻（一般選抜）
試験科目名	専門科目　④計画数理学（１６／１８）

Ⅲ

記述例

事後保全：

インフラ構造物の損傷が深刻化してから大規模な修繕を行う維持管理の手法。

予防保全：

個々のインフラ構造物の環境を踏まえて，インフラ構造物の管理者が定期的に点検・診断を行い，最小のライフサイクルコストで安全・安心やその他の必要なサービス水準を確保する維持管理の手法。

I

問１

(1) 水中の酸素濃度 ＝ 43.4×0.21

≒ 9.11 mg/L

(2) BOD＝ $(DO_0 - DO_5)$ × 希釈率

＝ $(8.0 – 5.6)$ × $1000/500$

＝ 4.8 mg/L

問２

(1) 最初沈殿池までに除去されなかった有機物を好気性微生物の異化代謝で分解するとともに，同化代謝で増殖した微生物のフロックを形成させる。

(2) 反応槽容積＝BOD 負荷/BOD 容積負荷

＝$(400 / 1000 \times 1200) / 0.5$

＝960 m^3

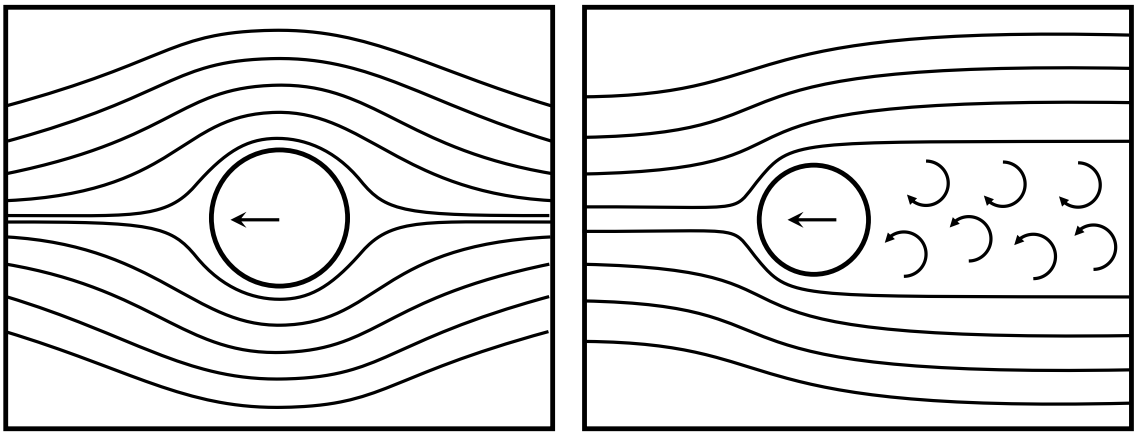
(3) BOD 除去率＝ $(400 – 8) / 400 \times 100$

＝98%

II

問１

(1)　(a)層流域（Stokes 域)と，(b)乱流域（Newton 域）の流線が描かれることを期待している。



(a) 左右上下対象の流れの特徴が描かれていること。(b) 境界層の剥離と渦が描かれていること。

(2)　レイノルズ数は流体に働く<u>慣性力</u>と<u>粘性力</u>の比で表される無次元量である。(a)と比較すると(b)の慣性力は粘性力に対して（相対的に）大きく，(a)には見られない境界層の剥離が現れた。

問２

(1)　層流（Laminar flow）と，乱流（Turbulent flow または Turbulence)。

(2)　円管内の流れのレイノルズ数を求め，層流と乱流を分けるしきい値を 2000 として判別する。

①水の場合：下記の例では円周率 3.14 で計算しているが，3.1 で計算していても減点しない。単位変換を含むレイノルズ数の計算過程を評価する。

$$v = \frac{\text{流量 Q}}{\text{断面積 S}} = \left(2[\mathrm{L/min}] \times \frac{1}{1000}[\mathrm{m^3/L}] \times \frac{1}{60}[\mathrm{min/s}]\right) \Big/ \left(\frac{\pi}{4} \times 1^2[\mathrm{cm^2}] \times \frac{1}{100^2}[\mathrm{m^2/cm^2}]\right)$$

$$= (3.3 \times 10^{-5}[\mathrm{m^3/s}])/(7.9 \times 10^{-5}[\mathrm{m^2}]) = 0.42[\mathrm{m/s}]$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1.0 \times 10^3 \times 0.42 \times 0.01}{1.0 \times 10^{-3}} = 4200 > 2000$$

乱流なので，(b)に近い。

②空気の場合：上と同様に円管内の流れのレイノルズ数を求める。

$$v = 0.42[\mathrm{m/s}]$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1.2 \times 0.42 \times 0.01}{1.8 \times 10^{-5}} = 280 < 2000$$

層流域なので，(a)に近い。