

## 専門(記述式)試験問題

### 注 意 事 項

1. 問題は 27 科目あり、この問題集の裏表紙に科目別構成の詳細、解答方法が記載されていますので、解答開始前によく読んでおいてください。
2. 解答時間は 3 時間 30 分です。
3. 答案用紙の記入について
  - (ア) 答案用紙は表面のみを使用してください。裏面は採点されません。
  - (イ) 答案は濃くはっきり書き、書き損じた場合は、解答の内容がはっきり分かるように訂正してください。
  - (ウ) 答案用紙の表紙の各欄にそれぞれ必要事項を記入してください。
  - (エ) 答案用紙の枚数は選択した問題により異なります。裏表紙で確認した上で、それぞれの指示どおりに答案用紙に記入してください。
  - (オ) 試験の公正を害するおそれがありますので、答案用紙の氏名欄以外に氏名その他解答と関係のない事項を記載しないでください。
4. 下書き用紙(白紙及び方眼紙)はこの問題集の中央部にとじ込んであります。試験官の指示に従って、試験開始後に問題集から下書き用紙だけを慎重に引きはがして使用してください。なお、誤って問題集を破損しても、問題集の交換はできませんので注意してください。
5. この問題集で単位の明示されていない量については、全て国際単位系(SI)を用いることとします。
6. この問題集は、本試験種目終了後に持ち帰りができます。
7. 本試験種目の途中で退室する場合は、退室時の問題集及び下書き用紙の持ち帰りはできませんが、希望する方には後ほど渡します。別途試験官の指示に従ってください。なお、試験時間中に、この問題集から下書き用紙以外を切り取ったり、問題を転記したりしないでください。
8. 下欄に受験番号等を記入してください。

第1次試験地	試験の区分	受験番号	氏 名
	工 学		

指示があるまで中を開いてはいけません。

**科目 1. 建築設計**[No. 1]、**科目 2. 都市設計**[No. 2]

次のうち、いずれか **1 題** を選び、解答してください。

No. 1 湖畔の博物館 (1 ~ 6 ページ)

No. 2 地方都市の移住促進のための田園居住と生活拠点整備計画 (7 ~ 12 ページ)

**【No. 1】 湖畔の博物館**

以下の内容を踏まえ、要求図書を答案用紙の所定の解答欄にまとめよ。

**[ I. 設計条件 ]**

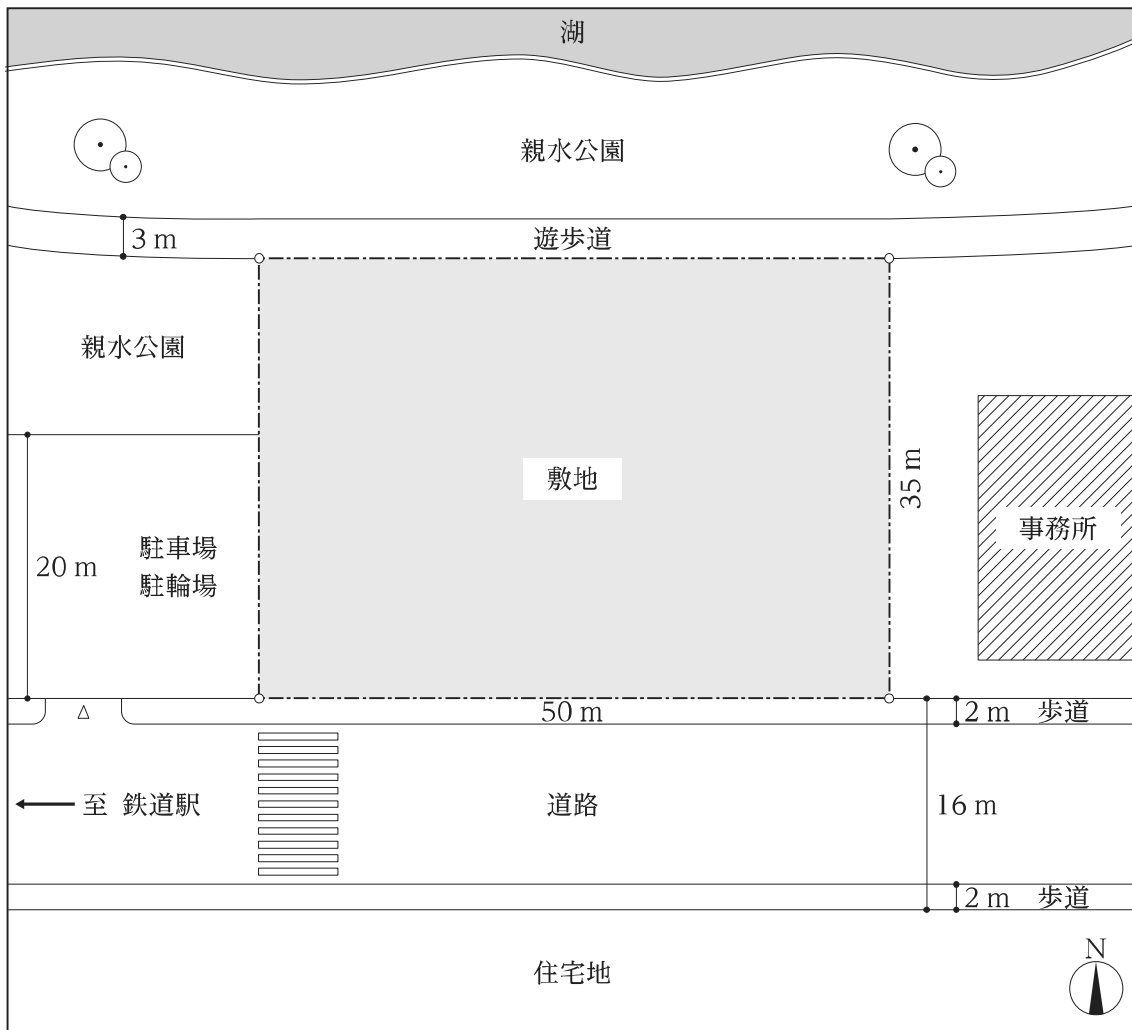
豊かな自然を擁するある地方都市には、市街地からほど近い湖のほとりに親水公園がある。この親水公園内に、郷土の歴史や文化を紹介することを目的として、博物館を建設することとなった。

この博物館は、市が管理・運営し、この地方の歴史、祭事及び伝統工芸などを紹介する常設展示と、四半期ごとに展示内容を変える企画展示を行うこととしている。

本課題では、以下の条件に基づき、博物館の企画及び基本設計を行う。企画及び基本設計に際しては、来館者の利便性、職員の業務効率、敷地周辺の環境、施設の安全性、経済性、バリアフリー、セキュリティ、フレキシビリティ、メンテナンス、環境負荷の低減等に十分配慮し、設計条件に記載のない条件等については各自で想定して解答すること。

1. 敷地及び周辺の条件

- (1) 敷地及び周辺の状況は、敷地周辺図のとおりである。なお、敷地東側にある事務所は、博物館とは関係のない施設である。
- (2) 敷地は平坦で、周辺との高低差はない。また、歩道の切り開きは、1か所当たり6mまでできる。
- (3) 敷地は、第二種住居地域及び防火地域に指定されており、建蔽率の限度は60%、容積率の限度は200%である。なお、高さの制限及び日影規制は考慮しなくてよい。
- (4) 車及び自転車で来訪する来館者及び職員は、敷地西側の駐車場及び駐輪場を使用する。なお、駐車場及び駐輪場は、来館者及び職員の人数に対し、十分な台数を止められるようになっている。
- (5) 鉄道駅は敷地から徒歩5分の場所にある。
- (6) 湖畔には、近隣住民が散策に利用する遊歩道があり、その一部が敷地と隣接している。
- (7) 電気、ガス及び上下水道は完備している。
- (8) 地盤は良好であり、基礎についての特別な配慮は必要ない。
- (9) 気候は温暖であり、積雪についての特別な配慮は必要ない。
- (10) 水害のリスクはない地域である。



敷地周辺図

## 2. 建築物

- (1) 地上2階建て、1棟とし、構造種別は鉄筋コンクリート造(一部を鉄骨造としてもよい。)とする。
- (2) 経済性に配慮し、床面積の合計が大きくなり過ぎないように計画する。
- (3) 建築物内は2方向避難経路を確保する。
- (4) 開館日時は、年末年始を除く午前10時00分から午後5時00分までである。
- (5) 要求室及びその条件は下表のとおりであり、全て設計に含めること。

区分	室名等	床面積	特記事項	
来館者及び職員利用エリア	有料公開エリア	・入場券を持っていることの確認を行う受付を1か所設ける。		
		常設展示室1	約200 m <sup>2</sup> ・伝統工芸品などを展示する。 ・大型の展示物があるため、内法で、幅8 m以上、奥行き8 m以上、高さ7 m以上の無柱空間を確保する。	
		常設展示室2	約70 m <sup>2</sup> ・ディスプレイを用いた展示を行う。	
		企画展示室	約100 m <sup>2</sup> ・四半期ごとに展示内容及び展示方法を変更する。	
	無料公開エリア	エントランスホール	適宜	・風除室を設ける。 ・有料公開エリアの入場券を販売するカウンターを設ける。
		カフェ	約35 m <sup>2</sup>	・湖への眺望を確保する。
		図書室	約30 m <sup>2</sup>	
		視聴覚室	約70 m <sup>2</sup>	
		授乳室	約15 m <sup>2</sup>	
		トイレ	適宜	・各階に男女別トイレ及び車椅子利用者用トイレを設ける。
エレベーター	適宜	・1基以上設ける。		
職員専用エリア	・展示品は、搬入・荷解室で荷解きした後、展示準備室を経て、各展示室に搬入する。 ・搬入経路上の廊下・扉の幅は内法2 m以上とし、必要に応じて搬入用エレベーターを設ける。			
	事務室	約30 m <sup>2</sup>	・エントランスホールに隣接する。	
	搬入・荷解室	約50 m <sup>2</sup>	・トラック(幅2 m × 奥行き5 m × 高さ2 m)が出入りする。	
	展示準備室	約50 m <sup>2</sup>		
	職員用トイレ	適宜	・男女別トイレを設ける。	
	職員通用口	適宜		
	設備機械室	約80 m <sup>2</sup>	・機器の搬出入に配慮する。	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・その他必要と思われる室、什器等<small>じゅう</small>があれば、適宜計画してもよい。</li> <li>・トイレ内の詳細な平面及び各種設備機器は、<u>記入しなくてよい</u>。</li> </ul>				

## 3. 屋外施設

- (1) 敷地内は歩車分離を確保する。
- (2) 敷地西側の駐車場及び駐輪場並びに敷地北側の遊歩道から敷地へのアプローチを考慮する。
- (3) 屋外施設及びその条件は下表のとおりであり、全て設計に含めること。

屋外施設名	特記事項
テラス席	・カフェに隣接してテラス席を50 m <sup>2</sup> 以上設ける。
搬入用駐車場	・3台分以上の駐車スペースを設ける。
・その他必要と思われる屋外施設、スペース等があれば、適宜計画してもよい。	



[Ⅱ. 要求図書]

1. 企画

本施設の企画にあたり、次の(1)、(2)について考慮した事項をその理由とともにそれぞれ記述せよ。

- (1) 要求室の特徴及び要求室どうしの関係から求められる本施設の役割やふさわしい在り方
- (2) 敷地周辺と本施設との関係から求められる本施設の役割やふさわしい在り方

2. 設計の考え方

(1) 設計を行う上で特に配慮した内容

1. で企画した内容を具体化するために、設計を行う上で特に配慮した内容を、次の①～④に掲げた全ての項目について、その理由とともにそれぞれ記述せよ。

- ① 屋内のゾーニング及び動線計画について工夫したこと
- ② 建築物の配置計画、屋外の動線計画及び外構計画について工夫したこと
- ③ 省エネルギーのために工夫したこと
- ④ その他に工夫したこと(例 構造計画で工夫したこと、設備計画で工夫したこと、各展示室の展示内容を踏まえ工夫したことなど)

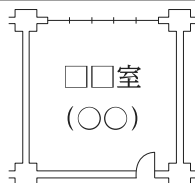
(2) 概念図

(1)を補足するための概念図(ゾーニング、動線計画、建築物の断面形状その他これに類するイメージを記したものを)を記入せよ。必要に応じて、概念図中及び余白部分に補足説明、スケッチ等を書き込んでもよい。なお、概念図の記入には、赤及び青鉛筆を用いてもよい。

3. 図面及び面積表

下表に従い、要求図面等をそれぞれ作成せよ(フリーハンドでもよい)。必要に応じて、図面中及び余白部分に補足説明、スケッチ等を書き込んでもよい。

要求図面等	特記事項
(1) 配置図兼1階平面図 (2) 2階平面図 (縮尺は共に1:200)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各平面図には、次の①、②、③を図示又は記入する。なお、③は、下記記載例を参考に記載すること。</li> <li>①柱、壁、窓、出入口等</li> <li>②建築物の主要寸法(スパン割り及び床面積等の算出に必要な程度)</li> <li>③全ての室の室名及び床面積</li> <li>・配置図兼1階平面図には、屋外施設、通路、囲障、植栽等を記入する。</li> <li>・2階平面図には、1階の屋根、<sup>ひさし</sup>庇等となる部分を記入する。</li> </ul>
(3) 面積表	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1階及び2階の床面積(算定式を含む。)並びにその合計を記入する。</li> <li>・床面積の算定においては、ピロティ、塔屋、バルコニー、屋外廊下(外気に有効に開放されているものに限る。)、屋外階段及び屋上設備スペースは、算入しない。ただし、ピロティ等を屋内的用途に供するもの(駐車場、設備スペース等)については、床面積に算入する。</li> </ul>



室名及び床面積の記載例(○○ m<sup>2</sup> の□□室の場合)

(答案用紙見本)

[C1]  
[C2]-2023

科目 1.  
建築設計  
[No. 1]  
答案用紙

湖畔の博物館

1. 企画

(1) 要求室の特徴及び要求室どうしの関係から求められる本施設の役割やふさわしい在り方

(2) 敷地周辺と本施設との関係から求められる本施設の役割やふさわしい在り方

2. 設計の考え方

(1) 設計を行う上で特に配慮した内容

① 屋内のゾーニング及び動線計画について工夫したこと

② 建築物の配置計画、屋外の動線計画及び外構計画について工夫したこと

③ 省エネルギーのために工夫したこと

④ その他に工夫したこと (例 構造計画で工夫したこと、設備計画で工夫したこと、各展示室の展示内容を踏まえ工夫したことなど)

(2) 概念図記入欄 (方眼は5.0mm目です。)

第1次試験地

試験の区分

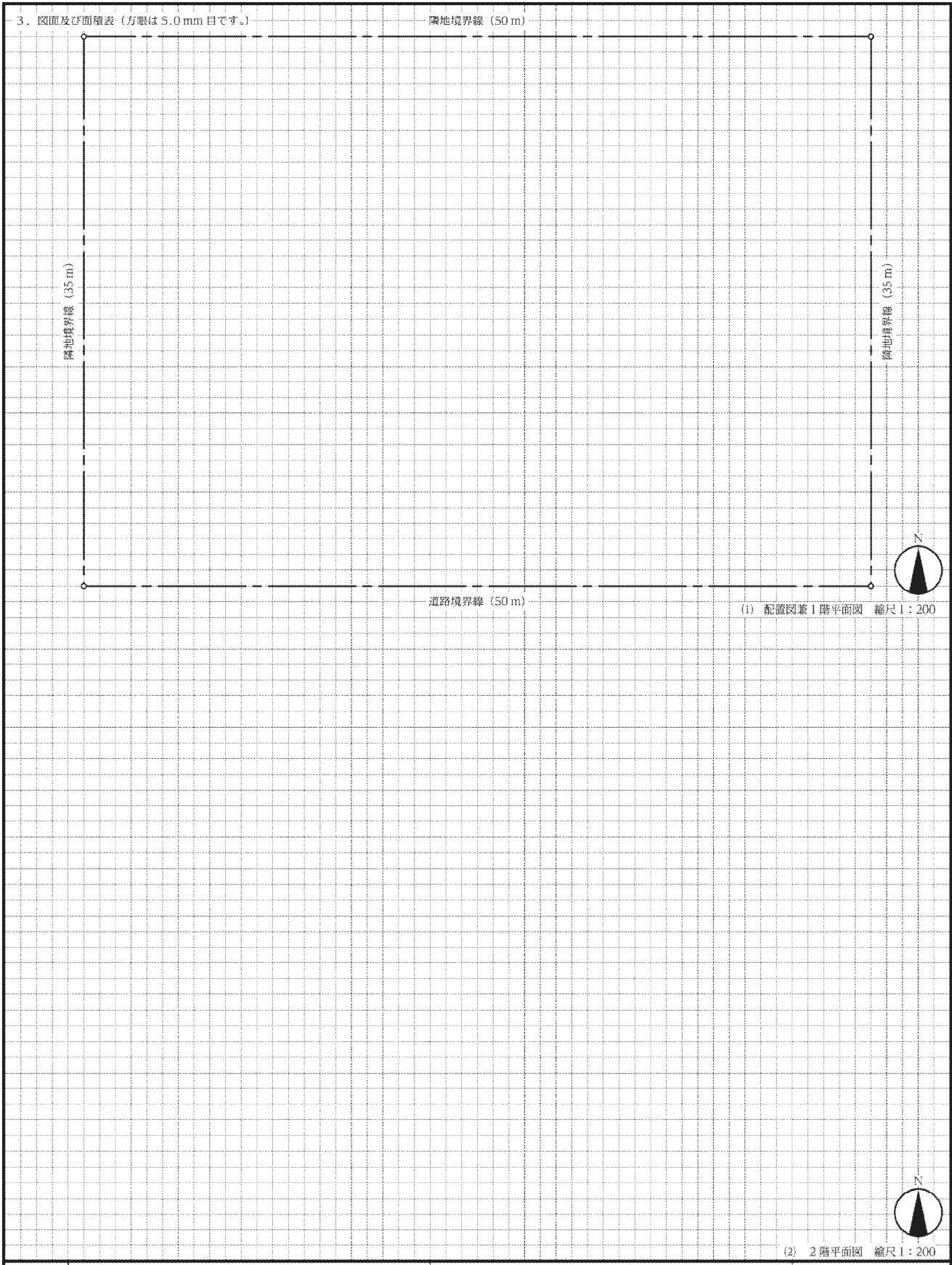
工学

受験番号

氏名

※

※印の欄は記入しないでください。



(3) 面積表	1階床面積：(算定式)	m <sup>2</sup>	2階床面積：(算定式)	m <sup>2</sup>	1階及び2階の床面積の合計	m <sup>2</sup>
---------	-------------	----------------	-------------	----------------	---------------	----------------

【No. 2】 地方都市の移住促進のための田園居住と生活拠点整備計画

以下の内容を踏まえ、要求図書を答案用紙の所定の解答欄にまとめよ。

〔I. 設計条件〕

近年、衰退した地方都市において、人口回復策として移住促進支援事業が展開され、魅力的な居住地整備と、教育や就業に特色のあるライフスタイルの提供に注目が集まっている。本課題は、地方都市の近郊の敷地を対象に、田園地域の集合住宅と生活交流拠点となる公共施設の整備を計画するものである。ゆとりある敷地に田園居住を実現し、地域コミュニティを育む住宅と交流施設を供給することで、地方都市の移住促進に資する計画とする。

1. 計画対象地区周辺の現況(図1)

- (1) 計画対象地区のある市は、県庁所在地の都市から 30 km 離れた地方都市で、人口は現在 8 万人を超えるが、5 年ほど前より減少局面に転じた。
- (2) 計画対象地区は、市の中心部から北西に 6 km 離れ、都市間をつなぐ国道バイパスからも 600 m 程離れた場所に立地している。計画対象地区から市の中心部までは、自家用車が主な交通手段であるが、公共交通機関を利用する場合はバスとなる。計画対象地区の周囲は、住宅が点在しており、住宅地の間には、田畑や樹林地が多く立地している。
- (3) 図1のとおり、計画対象地区の東側の河川の対岸は、既存集落を基礎に市街化が進行している。計画対象地区の北側には農業用水のため池があり、その周囲は散策のできる樹林地となっている。計画対象地区の西側は樹林地となっており、そのさらに北西部には小規模な工業団地があり、工場が立地している。計画対象地区の南側には補助幹線道路となる県道が通っており、中規模のロードサイドショップが点在している。なお、水害のリスクは低い地域である。

2. 計画対象地区の現況(図2)

- (1) 図2において破線で囲まれた部分を計画対象地区とする。
- (2) 計画対象地区の面積は約 30,000 m<sup>2</sup>、用途地域は第一種住居地域であり、建蔽率の限度は 60 %、容積率の限度は 200 % に指定されている。
- (3) 計画対象地区には、従前、樹林地で一部倉庫など施設があったが、現在、既存施設が全て撤去された更地となっている。
- (4) 計画対象地区は、南側道路よりも 2 m 高い平地となっている。また、南側道路は市中心部に接続するバスのルートとなっている。

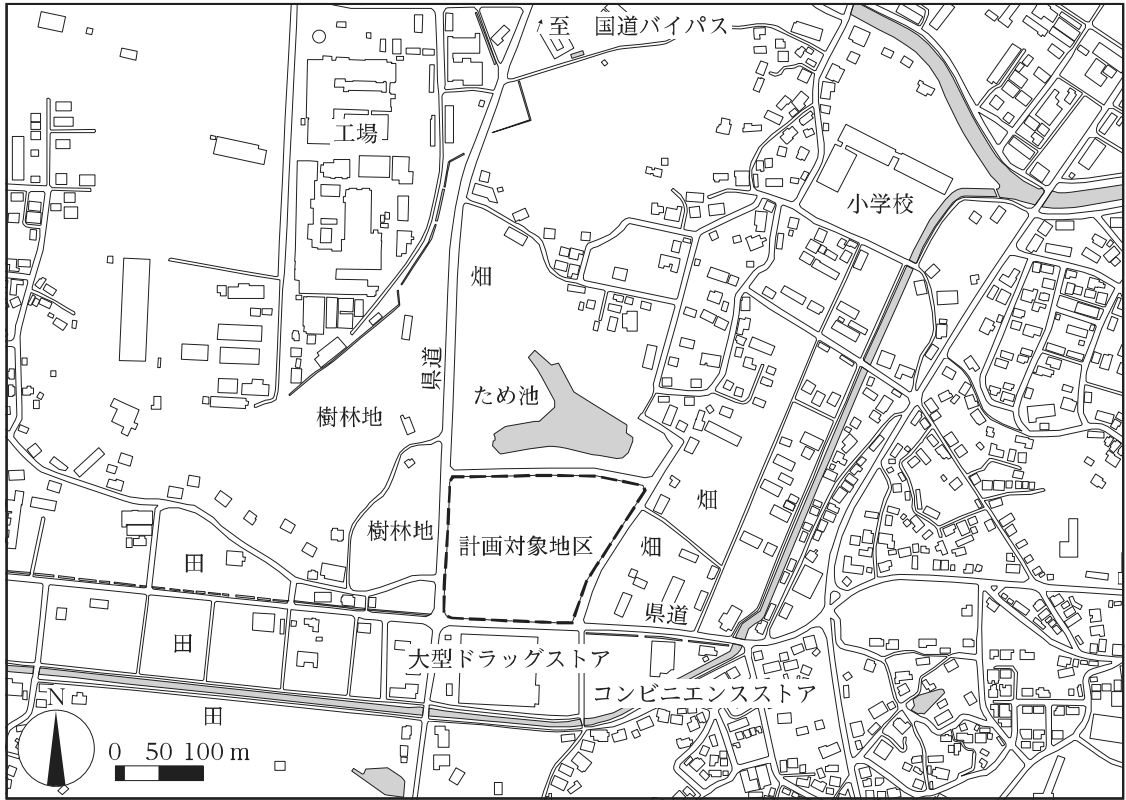


図1 計画対象地区周辺現況図 (注)「地理院地図/GSI Maps」(国土院)を基に作成



図2 計画対象地区平面図(図中の「・38」等は海拔[m]を示す。)

(注)「地理院地図/GSI Maps」(国土院)を基に作成

### 3. 各施設等の計画条件

計画対象地区内に、以下の(1)~(4)に示す条件を満たすよう、各施設等の計画を行うこと。

#### (1) 田園集合住宅

周囲の環境に調和した田園集合住宅を計画する。住戸は全て分譲形式で、2階建てを上限として、棟数は自由、建築形態は長屋も可とするが、戸建て住宅は不可とする。各住戸の面積は70~80 m<sup>2</sup>、住戸数の合計は45~55戸とする。また、田園集合住宅の敷地(複数の住棟に分ける場合は、各住棟の敷地)を設定した上で、その敷地内に、その居住者用の駐車場を住戸数の100%に当たる台数分、駐輪場を住戸数の200%に当たる台数分、それぞれ設ける。さらに、田園集合住宅の敷地(複数の住棟に分ける場合は、各住棟の敷地)内に、その居住者が利用する共同菜園を設ける。共同菜園の面積は、住戸面積の120%とする。住棟とは別棟にして、田園集合住宅の敷地(複数の住棟に分ける場合は、いずれか一つの敷地)内に、計画対象地区内の居住者の誰もが使用できる、床面積の合計が200 m<sup>2</sup>程度の集会所を1か所設ける。

#### (2) 交流拠点施設

床面積の合計が3,000 m<sup>2</sup>程度の交流拠点施設を、3階建てを上限として1か所設ける。利用者は計画対象地区内の居住者だけでなく、周辺住民も訪れる公共施設として、軽食が食べられるカフェ施設、図書室、地域物産マーケットなど、プログラムの提案を盛り込んだ施設とする。また、交流拠点施設の敷地を設定した上で、その敷地内に、交流拠点施設利用者用の駐車場を20台分以上、駐輪場を20台分以上設ける。

#### (3) オープンスペース

計画対象地区内のアメニティ向上のためのオープンスペース(近隣公園や緑道など)を計画する。面積基準を満たしていれば、これらは分割して設置することができる。以下の①及び②の合計面積が4,000 m<sup>2</sup>程度となるように計画する。

##### ① 近隣公園

計画対象地区内の居住者のほか、近隣通勤者や周辺住民、来訪者も日常的に訪れて憩うことができる周辺環境に調和した近隣公園を1か所以上設ける。また、近隣公園の敷地を設定した上で、その敷地内に、近隣公園利用者用の駐車場を10台分以上、駐輪場を20台分以上設ける。

##### ② 居住環境保全のための緑道

周辺環境と調和した緑地を伴った散策路を設ける。

#### (4) 地区内通路

計画対象地区内に誰もが利用できる通路を計画する。この通路は原則として歩行者優先とし、車両の通行は、計画対象地区内の居住者の所有する車両、交流拠点施設や近隣公園利用者の車両、緊急車両、搬出入車両のみ認めるものとする。

## 〔Ⅱ. 要求図書〕

下記 1., 2. の要求図書を作成せよ。ただし、「1. 整備計画の基本方針」で提案したものは、「2. 整備計画」において具体的に表現すること。なお、要求図書の作成には赤及び青鉛筆を用いてもよい。

### 1. 整備計画の基本方針(以下「マスタープラン」という。)

#### (1) 整備計画の基本的な考え方

計画対象地区の整備計画の基本的な考え方について、必要と思われる内容を設定し、分かりやすく説明せよ。ただし、以下の事項については、必ず盛り込むこと。

- ① 都市における位置付けと機能
- ② 土地利用計画(ゾーニング)
- ③ 交流拠点施設のプログラム
- ④ 歩行者と車両の動線計画及び周辺との接続
- ⑤ 造園計画
- ⑥ 施設ボリューム及び景観形成並びに周辺との調和
- ⑦ その他、整備計画において特に配慮すべき事項及びその内容

#### (2) 計画コンセプト図(縮尺 1 : 3,000)

(1)に基づき、計画コンセプト図を作成せよ(フリーハンドでもよい)。必要に応じて、図中及び余白部分に補足説明、概念図、スケッチ等を書き込んでもよい。

### 2. 整備計画

#### (1) 整備計画の具体的な考え方

マスタープランを踏まえ、I. 3. (1)~(4)に示した各施設等について、具体的な整備計画と利活用計画を説明せよ。

#### (2) 整備計画図(縮尺 1 : 1,000)

(1)に基づき、整備計画図を作成せよ(フリーハンドでもよい)。必要に応じて、図中及び余白部分に補足説明、断面図、スケッチ等を書き込んでもよい。ただし、以下の条件を満たすように表現又は記入すること。

- ・田園集合住宅(複数の住棟に分ける場合は各住棟)、集会所及び交流拠点施設は、配置、形態、主要な出入口の位置、基準階(田園集合住宅のみ住戸割りと共用部分(階段、廊下等)が分かる程度)、外構、敷地境界等を表現し、名称、主要寸法、敷地面積、建築面積、床面積の合計、建築物の高さ、階数、住戸数等を記入する(敷地面積、建築面積、床面積の合計等は、おおよそ整合していればよい)。また、駐車場は台数が分かる程度に区画線を表現し、駐車場及び駐輪場は形式(平面、機械式等)及び台数を記入する。図中及び余白部分に表等を書き込んでもよい。
- ・近隣公園及び居住環境保全のための緑道は、配置、形態、主要な出入口の位置、植栽、通路、広場、舗装、敷地境界等を表現し、名称、主要寸法、面積等を記入する。また、駐車場及び駐輪場は形式(平面、機械式等)及び台数を記入する。
- ・樹木などを適宜記入し、街路、外構、オープンスペースの様子を分かりやすく示すこと。
- ・地区内通路は、配置、形態等を表現し、名称、幅員等を記入する。
- ・I. 3. (1)~(4)に示した各施設等の面積等は、項目を整理して面積表に記入する。面積表は、表形式にするなど、分かりやすくまとめること。

(答案用紙見本)

C1  
C2

科目 2.  
都市設計  
[No. 2]  
答案用紙

地方都市の移住促進のための田園居住と生活拠点整備計画

1. 整備計画の基本方針(マスタープラン)

(1) 整備計画の基本的な考え方

2. 整備計画

(1) 整備計画の具体的な考え方

1. 整備計画の基本方針(マスタープラン) (2) 計画コンセプト図(縮尺1:3,000)



(注)「地理院地図/GSI Maps」(国土地理院)を基に作成

第1次試験地

試験の区分

工学

受験番号

氏名

※

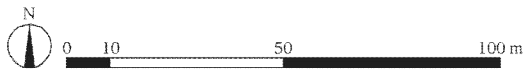
※の欄は記入しないでください



2. 整備計画 (2) 整備計画図(縮尺1:1,000)



(注)「地理院地図/GSI Maps」(国土地理院)を基に作成



(面積表)


科目 3 . 計測工学 [No. 3]

【No. 3】 以下の設問に答えよ。

- (1) 質量  $m$  の分銅が、ばね定数  $k$  のばねに吊り下げられている。このばねのばね定数  $k$  を求めるために、この系を自由振動させて周期  $T$  を測定する。このとき、ばねの質量は無視でき、 $m$ 、 $k$ 、 $T$  の間には  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  の関係が成り立つものとする。

この測定を行うために、質量の異なる  $n$  種類の分銅を用意し、各質量  $m_i (i = 1, 2, \dots, n)$  の分銅について、それぞれ周期  $T_i (i = 1, 2, \dots, n)$  を測定した。

次の表は、9 種類 ( $n = 9$ ) の分銅を用意した場合の  $m_i$  と  $T_i$  の測定結果及びそれらから求めたばね定数  $k_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の値をまとめたものである。

	$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
質量	$m_i/\text{kg}$	1.283	1.454	1.586	1.727	1.881	2.087	2.253	2.383	2.568
周期	$T_i/\text{s}$	0.712	0.757	0.792	0.827	0.861	0.907	0.942	0.971	1.005
ばね定数	$k_i/(\text{N/m})$	99.8	100.2	99.7	99.6	100.2	100.1	100.3	99.7	100.4

- (a) この測定結果から、ばね定数  $k_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の平均  $\bar{k}$  を求めよ。
- (b) (a) で求めたばね定数の平均  $\bar{k}$  を用いて、ばね定数  $k_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の測定における実験分散(不偏分散)を求めよ(計算過程も明記すること)。
- (c) (b) で求めた実験分散(不偏分散)から実験標準偏差を求めよ(計算過程も明記すること)。
- (d) この測定から求められるばね定数の平均  $\bar{k}$  の標準不確かさ、すなわち、偶然的効果(ばらつき)による標準不確かさ  $u_{\text{ran}}(\bar{k})$  を求めよ(計算過程も明記すること)。
- (e) ばね定数  $k$  の別の求め方として、質量  $m_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の平均  $\bar{m}$  と周期  $T_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の平均  $\bar{T}$  からばね定数を求める方法も考えられるが、今回の測定では、各分銅の質量  $m_i$  とそれに対応する周期  $T_i$  からばね定数  $k_i$  を求め、 $k_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の平均  $\bar{k}$  からばね定数を求めた方がよい理由を述べよ。
- (2) (1) では、偶然的効果(ばらつき)によるばね定数の平均  $\bar{k}$  の標準不確かさ  $u_{\text{ran}}(\bar{k})$  を求めたが、実際の測定では、ばらつきだけではなく、質量と周期の測定におけるかたより、すなわち、系統的効果も考慮して不確かさを求める必要がある。質量  $m$  と周期  $T$  の測定において、系統的効果(かたより)による標準不確かさをそれぞれ  $u_{\text{sys}}(m)$ 、 $u_{\text{sys}}(T)$  として、以下の問いに答えよ。

- (a) 一般に、ある量  $y$  が変数  $x_1, x_2, \dots, x_N$  の関数として  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$  で与えられ、変数  $x_1, x_2, \dots, x_N$  の間に相関がない場合、それらの標準不確かさをそれぞれ  $u(x_1), u(x_2), \dots, u(x_N)$  とすると、 $y$  の合成標準不確かさ  $u_c(y)$  は次式で与えられる。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 u^2(x_j)}$$

ここで、 $\frac{\partial f}{\partial x_j}$  を感度係数と呼ぶ。

ばね定数  $k$  の測定における感度係数  $\frac{\partial k}{\partial m}$  と  $\frac{\partial k}{\partial T}$  を与える式をそれぞれ求めよ。

- (b) (a)の結果を用いて、系統的効果(かたより)によるばね定数  $k$  の合成標準不確かさ  $u_{\text{sys}}(k)$  を与える式を求めよ。

ただし、 $m$  と  $T$  の測定は互いに独立したものであり、それらに相関はないものとする。

- (c) (b)の結果を用いて、ばね定数  $k$  の相対合成標準不確かさ  $\frac{u_{\text{sys}}(k)}{k}$  を与える式を求めよ。

- (d) 質量  $m$  と周期  $T$  の測定における系統的効果(かたより)の相対標準不確かさが、それぞれ  $\frac{u_{\text{sys}}(m)}{m} = 0.060\%$ 、 $\frac{u_{\text{sys}}(T)}{T} = 0.040\%$  だった。(c)の結果を用いて、ばね定数  $k$  の相対合成標準不確かさ  $\frac{u_{\text{sys}}(k)}{k}$  の値を求めよ(計算過程も明記すること)。

- (e) (1)で求めた偶然的効果(ばらつき)によるばね定数の平均  $\bar{k}$  の標準不確かさ  $u_{\text{ran}}(\bar{k})$  と、(d)で求めた系統的効果(かたより)によるばね定数  $k$  の相対合成標準不確かさ  $\frac{u_{\text{sys}}(k)}{k}$  を用いて、偶然的効果と系統的効果を合成したばね定数  $k$  の合成標準不確かさの値を求めよ(計算過程も明記すること)。

- (f) (1)において測定の数  $n$  を増やし、 $n$  を無限大にすると、どのようなことが起こるのかを推定し、このことから、計測における不確かさを評価する際に注意すべきことを述べよ。

科目 4. 制御工学[No. 4A, 4B]

【No. 4】 次のA, Bいずれか一つのみに答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 次の伝達関数を一巡伝達関数としてもつ閉ループ系を考える。

ただし、 $K > 0$ ,  $T > 0$ ,  $L > 0$ とする。また、 $j$ は虚数単位とする。

$$H(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ls}$$

(a)  $H(s)$ の周波数応答  $H(j\omega)$ のゲインと位相をそれぞれ  $K$ ,  $T$ ,  $L$ を用いて表せ。

(b)  $H(s)$ のボード線図のうちゲイン線図を折れ線近似で描け。

ただし、ここでは  $K > 1$ と仮定する。さらに、近似した折れ線の折れ点角周波数[rad/s]、その角周波数におけるゲイン[dB]、ゲインが0 dBになる角周波数、折れ線の傾きが存在する場合にはその傾きをそれぞれ  $K$ ,  $T$ ,  $L$ のうちで必要なものを用いて明記すること。

(c)  $H(j\omega)$ のベクトル軌跡の概形を描け。さらに、出発点の座標と角周波数の増大に伴い軌跡が進む方向も矢印で明記すること。

なお、位相は  $-360^\circ \sim +360^\circ$ の範囲でよい。

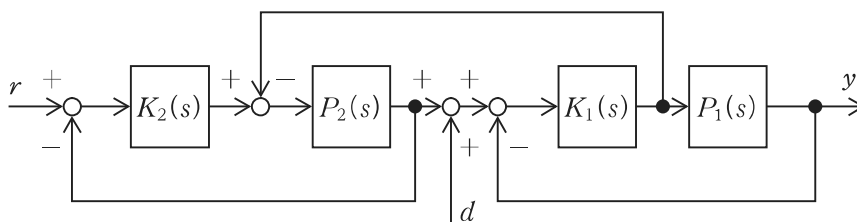
(d)  $K \leq 1$ では、いかなる  $T > 0$ ,  $L > 0$ においても閉ループ系は安定である。その理由を述べよ。

(e)  $K > 1$ とする。このとき、 $H(j\omega)$ のゲインが1となるときの角周波数(ゲイン交差角周波数)  $\omega_{gc}$ を  $K$ ,  $T$ ,  $L$ のうちで必要なものを用いて表せ。さらに、この閉ループ系が安定であるために  $K$ ,  $T$ ,  $L$ が満たすべき条件を表せ。

なお、(b)とは違い、ここでは周波数応答を近似しないものとする。

(f)  $K = 2$ とする。 $L < 2$ のとき閉ループ系は安定で、 $L \geq 2$ のとき閉ループ系は不安定であった。この場合における  $T$ を求めよ。

(2) 図に示すブロック線図で表される制御系に対し以下の設問に答えよ。



(a) 参照信号  $r$ から出力  $y$ までの伝達関数  $T_{ry}(s)$ を求めよ。

- (b) 外乱  $d$  から出力  $y$  までの伝達関数  $T_{dy}(s)$  を求めよ。
- (c) 図の制御系で  $K_2(s)$  が原点極をもつとし、伝達関数  $T_{ry}(s)$  と  $T_{dy}(s)$  が安定化されているとする。このとき、外乱  $d = 0$  として、参照信号  $r$  に単位ステップ信号を印加したときの出力の定常値を求めよ。さらに、参照信号  $r = 0$  として、外乱  $d$  に単位ステップ信号を印加したときの出力の定常値を求めよ。

ただし、 $P_1(0) = P_2(0) = K_1(0) = 1$  とする。

- (d) 図の制御系の四つの伝達関数を以下のとおりとする。

$$P_1(s) = \frac{1}{s}, \quad P_2(s) = \frac{1}{s-1}, \quad K_1(s) = 2, \quad K_2(s) = \frac{K}{s}$$

- (i) 伝達関数  $T_{ry}(s)$  と  $T_{dy}(s)$  が安定となる  $K$  の条件を求めよ。
- (ii) (i) の設定の下で、安定となる  $K$  を選んだとする。参照信号  $r$  と外乱  $d$  ともに単位ステップ信号を同時に印加したときの出力の定常値を求めよ。

B 以下の設問に答えよ。

$u, x, y$  をそれぞれ入力、状態、出力とする次の動的システムを考える。

$$\frac{d}{dt}x(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

(1)  $x, A, B, C$  に

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} -5 & -4 & -4 \\ 1 & 3 & 1 \\ 7 & 4 & 6 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -2 \end{pmatrix}, C = (3 \ 2 \ 2)$$

を適用して以下の問いに答えよ。

- (a) システムの極を求め、安定性を判定せよ。
- (b) 状態遷移行列  $e^{At}$  を求めよ。
- (c) システムの可制御性を判定せよ。
- (d) システムの可観測性を判定せよ。
- (e)  $u$  から  $y$  までの伝達関数  $G(s)$  を求めよ。
- (f) 状態  $x_1, x_2, x_3$  の現在値がセンサ等により直接測定可能な場合、システムは状態フィードバック制御によって安定化できるか述べて。さらに、安定化できる場合には具体的な安定化手順を、安定化できない場合にはその根拠を述べよ。
- (g) 状態  $x_1, x_2, x_3$  の現在値が直接入手できない場合に、オブザーバ(状態観測器)によって状態推定ができるか述べて。さらに、状態推定できる場合には具体的な推定手順を、状態推定できない場合にはその根拠を述べよ。

(2)  $x, A, B, C$  に

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, C = (1 \ 2)$$

を適用して以下の問いに答えよ。

(a) 評価関数

$$J = \int_0^{\infty} (x^T(t)Qx(t) + ru^2(t))dt$$

を最小化する状態フィードバック制御則  $u(t) = Fx(t)$  を求めよ。ただし、

$$Q = \begin{pmatrix} 8 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, r = 1$$

とする。また、 $[\ ]^T$  は転置を表す。

(b) (a)で求めた状態フィードバック制御則による閉ループ系の極を求めよ。

- (3) 古典制御理論と現代制御理論について、扱う対象、機能、手法などの観点からそれらの相違点と共通点をそれぞれ三つ挙げ、表にまとめよ。数式や図を用いてもよい。

表の作成例(参考)

相違点

観 点	古典制御理論	現代制御理論
数学モデル(例)	伝達関数(例)	状態空間モデル(例)

共通点

観 点	項 目
扱う対象(例)	動的システム(例)

科目 5. 電磁気学・電気回路 [No. 5]

【No. 5】 電磁気学・電気回路に関する以下の設問に答えよ。

(1) 電磁気学に関する以下の問いに答えよ。

ただし、導出過程も示すこと。

(a) 平行板コンデンサに関する以下の問いに答えよ。

(i) 図 I のように、電極長さ  $a$ 、電極幅  $b$ 、電極間隔  $d$ 、誘電率  $\epsilon$  の平行板コンデンサに、電荷  $Q$  が蓄えられているとき、電極間に働く引力の大きさを求めよ。

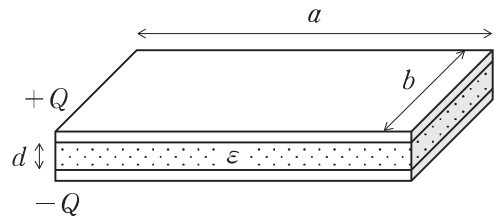


図 I

ただし、 $a$  及び  $b$  は  $d$  より十分大きいものとする。

(ii) 図 II のように、極板間隔  $d$  の平行板コンデンサの極板間に、誘電率が、一方の極板のところで  $\epsilon_1$ 、それから距離に比例して増加し、他方の極板のところで  $\epsilon_2$  ( $\epsilon_1 < \epsilon_2$ ) となるように誘電体が存在する。極板に

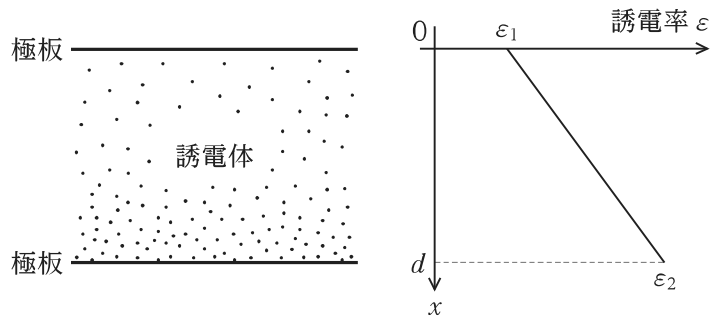


図 II

面密度  $\sigma$  の電荷が与えられたときの極板間の電位差  $V$  と、この平行板コンデンサの単位面積当たりの容量  $C$  を求めよ。

(iii) 真空中に、図 III のような電極長さ  $a$ 、電極幅  $b$ 、電極間隔  $d$  の平行板コンデンサがあり、電極間に電圧  $V$  が印加されている。電極の間に、電極と同じ形 (長さ  $a$ 、幅  $b$ ) で厚さ  $t$  の

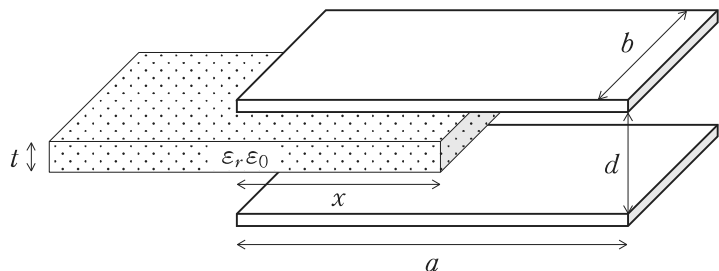


図 III

誘電体(比誘電率  $\epsilon_r$ ) を、電極に平行に  $x$  だけ挿入したとき、平行板コンデンサの静電容量を求めよ。また、誘電体が引き込まれる力の大きさを求めよ。

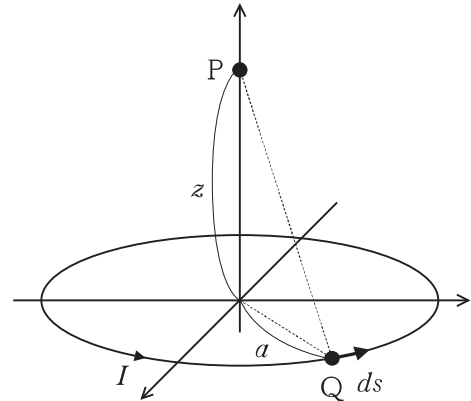
ただし、真空中の誘電率を  $\epsilon_0$  とし、 $a$  及び  $b$  は  $d$  より十分大きいものとする。



(b) 図IVのように、真空中に、半径  $a$  の円形の導線に電流  $I$  が流れている。

ただし、真空中の透磁率を  $\mu_0$  とし、導線の太さは無視する。

(i) 円周上の任意の点を点  $Q$ 、導線の中心軸上の、導線の中心から  $z$  の距離だけ離れた点を点  $P$  とする。円周上の点  $Q$  のところの線要素  $ds$  の部分を流れる電流  $I$  によって、中心軸上の点  $P$  に生じる磁界の大きさ  $dH$  をビオ・サバルの法則を用いて求めよ。さらに、 $dH$  の導線中心軸方向成分を求めよ。



図IV

(ii) 電流  $I$  によって、点  $P$  において生じる磁界と磁束密度の大きさを求めよ。

(c) 導電率が 0 とみなせる誘電率  $\epsilon$ 、透磁率  $\mu$  の一様な無損失媒質中を伝搬する電磁波に関する以下の問いに答えよ。

ただし、無損失媒質中に電荷は存在しないものとする。

(i) 電界  $E$  及び磁界  $H$  に関する波動方程式を、マクスウェルの方程式を用いて求めよ。

ただし、ラプラスの演算子に関する恒等式

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$$

又は

$$\text{rot rot } \mathbf{A} = \text{grad div } \mathbf{A} - \nabla^2 \mathbf{A}$$

が成り立つものとする。

(ii) 直交座標系において、平面電磁波が  $z$  軸方向に伝搬している。この平面電磁波の電界は  $x$  軸方向の成分  $E_x$  のみから成り、磁界は  $y$  方向の成分  $H_y$  のみから成るとすると、 $E_x$  及び  $H_y$  は、

$$E_x = E_0 \exp(j\omega t - jkz)$$

$$H_y = H_0 \exp(j\omega t - jkz)$$

で与えられる。ここで、 $\omega$  は角振動数、 $t$  は時間、 $k$  は波数、 $j$  は虚数単位である。このとき、 $E_0$ 、 $H_0$ 、 $\epsilon$ 、 $\mu$  の関係式を、マクスウェルの方程式を用いて求めよ。さらに、平面電磁波の伝搬速度を  $\epsilon$  と  $\mu$  を用いて表せ。

(2) 電気回路に関する以下の問いに答えよ。

(a) ノートンの定理(等価電流源の定理)について簡潔に説明するとともに、ノートンの定理を重ね合わせの理を使って証明せよ。

(b) 図Vのように、実効値 6 V、角周波数 100 rad/s の正弦波交流電源、抵抗値がそれぞれ  $3\ \Omega$  の 2 個の抵抗、インダクタンスが 10 mH のコイル、静電容量が 0.01 F のコンデンサから成る回路がある。この回路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、導出過程も示すこと。

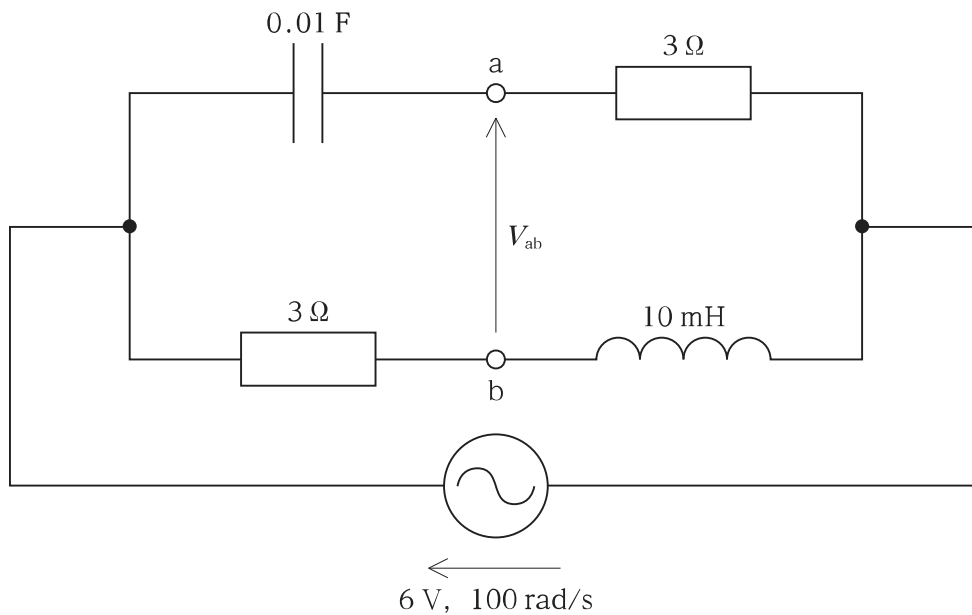
(i) 端子 ab 間の電圧  $V_{ab}$  の実効値を求めよ。

(ii) 正弦波交流電源を短絡したときに、端子 ab から見た回路の合成インピーダンス  $Z_0$  を求めよ。

(iii) 端子 ab を短絡したときに、a から b へ向かって流れる電流  $I_{ab}$  の実効値を求めよ。

(iv) 端子 ab を出力端子とした場合に、ノートンの等価電流源を図を用いて示せ。

(v) 端子 ab に抵抗値  $1\ \Omega$  の抵抗を接続したときに、この抵抗にかかる電圧の実効値  $V$  を求めよ。



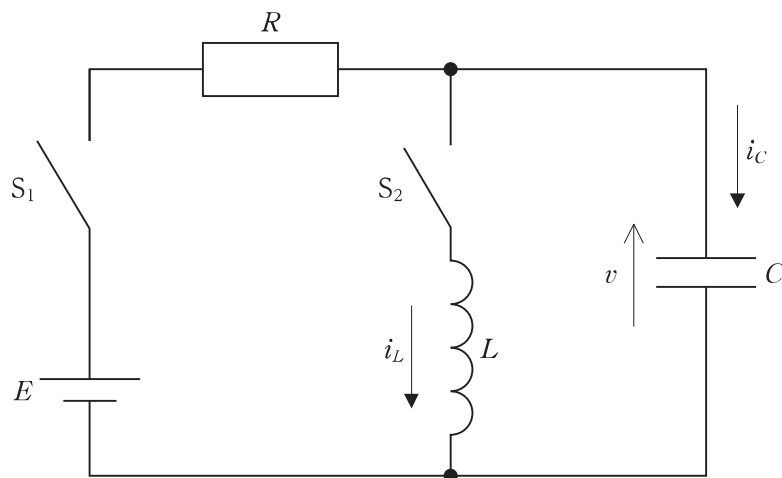
図V

(c) 図VIのように、起電力  $E$  の直流電源、抵抗値  $R$  の抵抗、インダクタンス  $L$  のコイル、静電容量  $C$  のコンデンサ、二つのスイッチ  $S_1$ ,  $S_2$  から成る回路がある。初期状態では  $S_1$ ,  $S_2$  は共に開放され、定常状態にあるものとする。この回路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、導出過程も示すこと。また、コンデンサに初期電荷はなく、 $S_1$ ,  $S_2$  は共に理想的なものとする。さらに、コンデンサにかかる電圧を  $v$ 、コイル、コンデンサに流れる電流をそれぞれ  $i_L$ ,  $i_C$  とし、図VIの矢印に示す方向を  $v$  及び  $i_L$ ,  $i_C$  の正方向とする。

- (i) 初期状態における、 $v$  及び  $i_L$ ,  $i_C$  をそれぞれ求めよ。
- (ii) 時刻  $t = 0$  で  $S_1$  のみを閉じた。時刻  $t$  における  $v$  を求めよ。
- (iii) (ii) で求めた式より、 $v$  の変化における時定数  $\tau$  を求めよ。
- (iv) 次に、 $S_1$  を閉じてから十分に時間が経った後、時刻  $t' = 0$  で更に  $S_2$  を閉じた。 $t' = 0$  における、 $v$  及び  $i_L$ ,  $i_C$  をそれぞれ求めよ。
- (v)  $t' > 0$  における異なる二つの閉回路方程式を  $E$ ,  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $v$ ,  $i_L$ ,  $i_C$  のうち、必要なものを用いて表せ。
- (vi) 時刻  $t'$  における  $i_L$  を求めよ。

ただし、 $E = 6 \text{ V}$ ,  $R = 2 \Omega$ ,  $L = 1.25 \text{ H}$ ,  $C = 50 \text{ mF}$  とする。



図VI

科目 6. 電気機器 [No. 6]

【No. 6】 電気機器に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I のように、円環状の磁性体をコアとし、巻数がそれぞれ  $N_1$  及び  $N_2$  である巻線 1 及び巻線 2 をもつ磁気デバイスがある。巻線に流れる電流は、磁性体の内部のみに円環の周方向の磁束を発生する。平均磁路長を  $l$ 、有効断面積を  $S$ 、透磁率を  $\mu$  とする。以下の問いに答えよ。

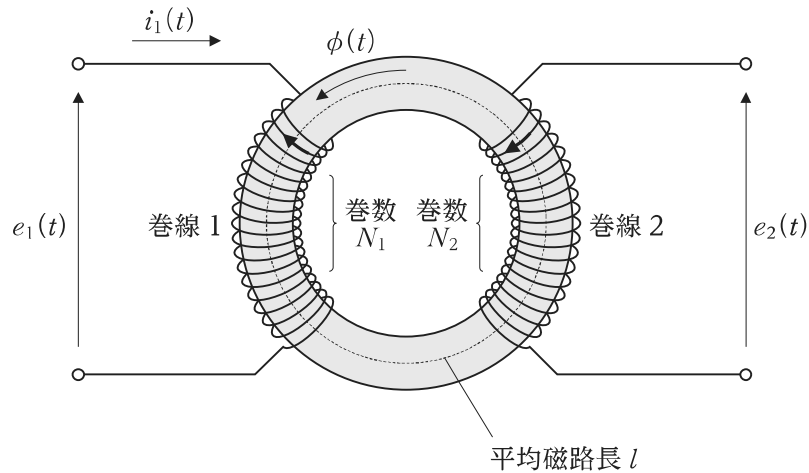


図 I

- (a) 巻線 2 を開放し、巻線 1 の両端電圧  $e_1(t)$  が次式で与えられるとき、定常状態における磁性体内部の磁束  $\phi(t)$  を求めよ。

$$e_1(t) = E \cos \omega t$$

ただし、 $E$  及び  $\omega$  は定数であり、また  $\phi(0) = 0$  であるとする。

- (b) (a) のとき、巻線 1 に流れる電流  $i_1(t)$  を求めよ。  
 (c) (a) のとき、巻線 2 の両端電圧  $e_2(t)$  を求めよ。  
 (d) 巻線 2 に抵抗値  $R$  の抵抗を接続し、巻線 1 の両端電圧  $e_1(t)$  が次式で与えられるとき、定常状態における巻線 1 に流れる電流  $i_1(t)$  及び磁性体内部の磁束  $\phi(t)$  を求めよ。

$$e_1(t) = E \cos \omega t$$

ただし、 $E$  及び  $\omega$  は定数であり、また  $\phi(0) = 0$  であるとする。

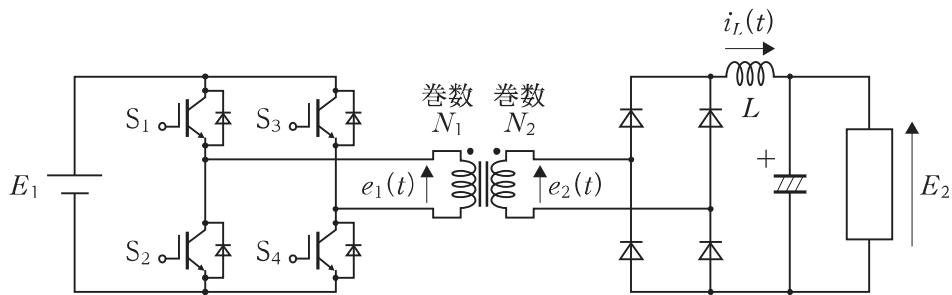
- (e) 磁性体を用いて変圧器を設計するとき、最大磁束密度が磁性体の材料がもつ飽和磁束密度を超えないように設計することが多い。このようなとき、変圧器の大きさは周波数とどのような関係があるか(a)の結果を基に説明せよ。

ただし、説明には次の語句を全て用い、用いた語句に下線を引くこと。

[語句：断面積、巻数]

(2) 図II(a)は、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)及びダイオードを用いた絶縁DC-DC変換回路である。図II(a)の回路において入力側には電圧  $E_1$  の直流電源が接続されており、出力側には平滑コンデンサと抵抗が並列で接続されており、その電圧は  $E_2$  である。

ただし、 $E_2$  に含まれる直流分は一定であり、スイッチングに起因する交流分は0であると仮定する。IGBT、ダイオードは導通時の電圧降下は0であるものとし、スイッチングは瞬時に行われるものとする。インダクタ、変圧器には抵抗成分はないものとする。インダクタ  $L$  に流れる電流を  $i_L(t)$  とする。変圧器の結合率は1で巻数は  $N_1$  及び  $N_2$  であるとする。以下の問いに答えよ。

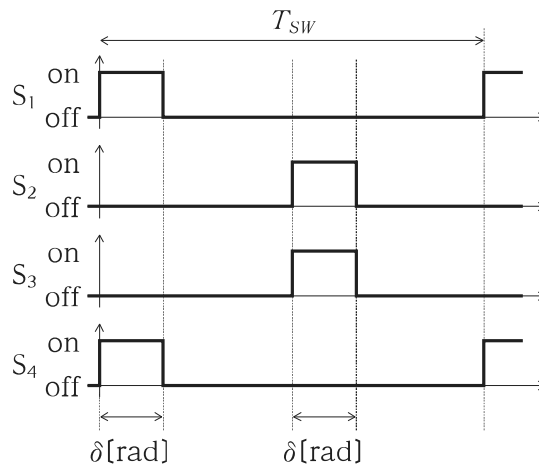


図II(a)

(a) IGBT( $S_1 \sim S_4$ )を一定の周期  $T_{SW}$  で図II(b)のようにオンオフしたとき、変圧器の1次電圧  $e_1(t)$ 、2次電圧  $e_2(t)$ 、定常状態における変圧器の磁性体コア内部の磁束  $\phi(t)$  の1周期分の波形をそれぞれ描け。

ただし、 $\phi(t)$  の1周期における平均値は0であるものとする。解答に当たっては、 $e_1(t)$ 、 $e_2(t)$  と  $\phi(t)$  の位相関係が分かるように示すこと。また、 $e_1(t)$ 、 $e_2(t)$  の波形には大きさも示すこと。

なお、 $\phi(t)$  の大きさを示す必要はない。



図II(b)

(b) (a)のとき、 $\phi(t)$ のピーク値を求めよ。

(c) (a)のとき、定常状態における $i_L(t)$ の1周期分( $T_{SW}$ )の波形を描け。

ただし、 $e_2(t)$ のピーク値は $E_2$ より大きいものとする。また、 $i_L(t)$ に含まれる変動分は直流成分に比べて小さく、 $i_L(t)$ は1周期中で0になることはないものとする。解答に当たっては、(a)で得た $e_2(t)$ の波形とともに描き、 $e_2(t)$ と $i_L(t)$ の位相関係が分かるように示すこと。

なお、 $i_L(t)$ の大きさは示す必要はない。

(d) (a)のとき、 $E_2$ を図II(b)に示す位相差 $\delta$ [rad]を用いて表せ。

ただし、定常状態における $i_L(t)$ に含まれる変動分は直流成分に比べて小さく、 $i_L(t)$ は1周期中で0になることはないものとする。また、 $0 \leq \delta \leq \pi$ とする。

(e) スイッチング周期を小さくすることで得られる変換器設計上の利点について、変圧器のコア内部の磁束 $\phi(t)$ のピークと、定常状態における $i_L(t)$ に含まれる変動分の大きさに着目して説明せよ。

科目 7. 電力工学 [No. 7]

【No. 7】 電力工学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 電力システムに関する以下の問いに答えよ。

(a) 次の記述の㉑～㉗に適切な語句を入れよ。

「交流による送電方式には、家庭内で主に使われている ㉑ 方式と大電力を送る場合に利用される ㉒ 方式がある。㉒ 方式は位相を ㉓ 度ずつずらして同じ大きさの電圧を配置した方式である。㉒ 方式において、電圧の瞬時値の和は ㉔ となり、電流の瞬時値の和は ㉕ となる。㉒ 回路において、線間電圧  $V$  と相電圧  $E$  の間には、㉖ の関係式が成り立つ。送電電力  $P$  を、相電圧  $E$ 、相電流  $I$ 、 $E$  と  $I$  の位相差  $\phi$  を用いて表すと ㉗ となり、さらに、送電電力  $P$  を、 $V$ 、 $I$ 、 $\phi$  を用いて表すと ㉘ となる。ここで、 $E$ 、 $V$ 、 $I$  は実効値とする。」

(b) 巨大な電力システムにおいて、電圧を高くして送電する理由を説明せよ。

(c) 電力システムの電圧制御に関する次の記述の㉙～㉛に当てはまる適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。

ただし、一度使用した語句は再度使用することはできないものとする。

「昼間の重負荷時は、進み無効電力を吸収する ㉙ が投入される。一方、深夜などの電圧が高くなるときは、遅れ無効電力を吸収する ㉚ が投入される。また、㉛ と ㉜ の組合せから構成される他励式の ㉝ は、変換器により無効電力を高速に変化させ電圧を制御することができる。」

[語句：アクティブフィルタ、パッシブフィルタ、分路リアクトル、電力用コンデンサ、STATCOM、SVC、SVR、PCS、LRT]

(d) 電源電圧が 200 V で 0.6 の遅れ力率を示し、3 kW を消費する負荷がある。これに並列にコンデンサを挿入して 0.8 の遅れ力率を示すようにしたい。このとき必要とされるコンデンサの容量 [VA] を求めよ。

(2) 図 I の短距離送電線路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、図 I において、 $\dot{V}_s$  は送電端電圧、 $\dot{V}_r$  は受電端電圧、 $\dot{i}$  は線路電流、 $R$  は線路抵抗、 $X$  は線路リアクトルである。また、虚数単位は  $j$  とする。

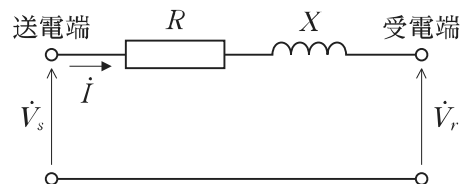


図 I

(a) 図 I の短距離送電線路における電圧や電流の関係を表すベクトル図を描け。

ただし、解答の図には、図 I にあるパラメータ ( $\dot{V}_s$ 、 $\dot{V}_r$ 、 $\dot{i}$ 、 $R$ 、 $X$ ) を全て用い、描いた各ベクトルが何を示しているかを示すこと。また、線路電流は受電端電圧よりも位相が遅れているものとする。

(b) 図 I の線路抵抗  $R$  を無視した場合の受電端における有効電力  $P_r$  を求めよ。

ただし、解答に電流  $I$  は用いないこと。ここで、 $\dot{V}_s = V_s e^{j\theta}$ 、 $\dot{V}_r = V_r e^{j0}$  とする。

(3) 図 II は無損失短距離送電系統を表す。有効電力と無効電力の送電特性に関する以下の問いに答えよ。

ただし、図 II において、 $V_s e^{j\theta}$  は送電端電圧、 $V_r e^{j0}$  は受電端電圧、 $X$  は線路リアクトルである。また、虚数単位は  $j$  とする。

(a) 図 II の無損失短距離送電系統における負荷の複素電力  $\dot{P}_r = P_r + jQ_r$  を、 $A + jB$  の形で求めよ。

(b)  $\dot{P}_r$  は複素平面上で円(受電円)を描くことを、(a)で求めた式を円の方程式に変形することで示せ。

ただし、式の変形の際に、基準電力を  $W_n = \frac{V_r^2}{X}$  として、有効電力及び無効電力を、 $\frac{P_r}{W_n}$  及び  $\frac{Q_r}{W_n}$  に規格化すること。

(c) 図 II の無損失短距離送電系統における発電機の複素電力  $\dot{P}_s = P_s + jQ_s$  を、 $A + jB$  の形で求めよ。

(d)  $\dot{P}_s$  は複素平面上で円(送電円)を描くことを、(c)で求めた式を円の方程式に変形することで示せ。

ただし、式の変形の際に、基準電力を  $W_n = \frac{V_r^2}{X}$  として、有効電力及び無効電力を、 $\frac{P_s}{W_n}$  及び  $\frac{Q_s}{W_n}$  に規格化すること。

(e) (b), (d)で求めた二つの円を、実部が  $\frac{P}{W_n}$ 、虚部が  $\frac{Q}{W_n}$  の複素平面上に描け。

ただし、 $\frac{V_s}{V_r} = 1$  とし、グラフにはそれぞれの円の中心座標と半径を示すこと。

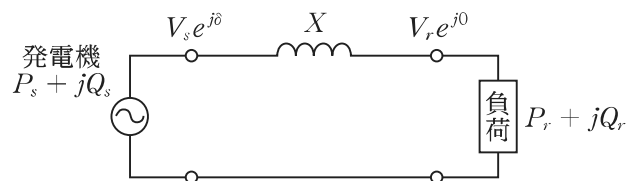


図 II

(4) 日本は地震や台風などの災害が多く、これまでの電力システムは災害に対して脆弱であった。近年、災害に強い電力システムとして様々な方法が提案され、実証実験がなされている。その一つであるマイクログリッドについて、①用語の説明と、②対災害の観点からその効果について、それぞれ 3 行程度で説明せよ。



科目 8 . 電子工学 [No. 8]

【No. 8】 電子工学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I は、金属、絶縁膜、p 型半導体によって構成された MOS (Metal Oxide Semiconductor) 構造である。金属をゲート電極と呼び、ゲート電極に印加する電圧を  $V_g$  とする。絶縁膜を流れる電流は十分に小さく、絶縁膜中には電荷はないものとする。この MOS 構造に関する以下の問いに答えよ。

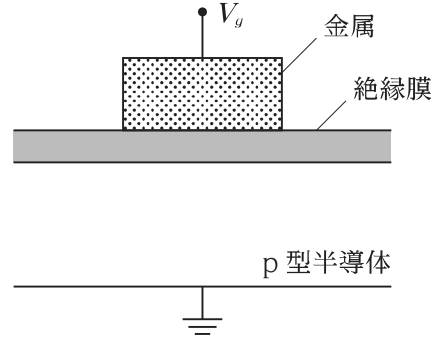


図 I

- (a)  $V_g = 0 \text{ V}$  における理想 MOS 構造のエネルギーバンド図を描け。

ただし、理想 MOS 構造とは、金属と半導体の仕事関数が一致している構造を指す。解答に当たっては、金属のフェルミ準位を  $E_{fm}$ 、半導体の価電子帯上端のエネルギー準位を  $E_v$ 、半導体の伝導帯下端のエネルギー準位を  $E_c$ 、半導体のフェルミ準位を  $E_{fs}$ 、半導体の真性フェルミ準位を  $E_i$  として図中に示すこと。

- (b) 理想 MOS 構造における半導体の真性フェルミ準位  $E_i$  とフェルミ準位  $E_{fs}$  のエネルギー差を計算せよ。

ただし、金属の仕事関数  $\phi_m$  は  $4.8 \text{ eV}$ 、半導体の電子親和力  $\chi$  は  $4.0 \text{ eV}$ 、半導体の禁制帯幅  $E_g$  は  $1.1 \text{ eV}$  とする。また、 $E_i$  は禁制帯の中心に位置するものとする。

- (c) 理想 MOS 構造について、半導体表面付近の状態とゲート電圧  $V_g$  の関係を説明せよ。

ただし、解答に当たっては、半導体表面付近の状態として、少なくとも蓄積、空乏、反転の三つを含めよ。

- (d) 理想 MOS 構造のゲート電極を、仕事関数  $\phi_m$  が  $4.2 \text{ eV}$  の金属に変更した。それ以外の条件は、(b) と同じである。 $V_g = 0 \text{ V}$  における MOS 構造のエネルギーバンド図を描け。

ただし、解答に当たっては、(a) と同様に、各エネルギー準位 ( $E_{fm}$ ,  $E_v$ ,  $E_c$ ,  $E_{fs}$ ,  $E_i$ ) を図中に示すこと。

なお、バンドの傾きや曲がりの精度は無視してよい。

- (e) 図 II は、n チャネル MOS (NMOS) トランジスタの模式図である。NMOS トランジスタのしきい値電圧  $V_T$  と金属の仕事関数  $\phi_m$  の関係を説明せよ。

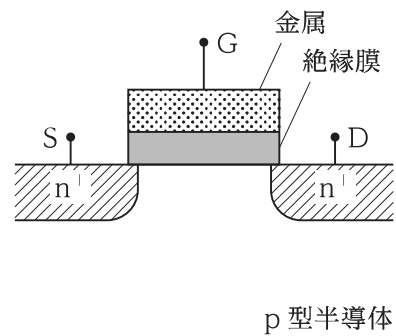


図 II

なお、解答に当たっては、(a) 及び (d) で解答した MOS 構造のエネルギーバンド図を参照してよい。

(2) 電子回路に関する以下の問いに答えよ。

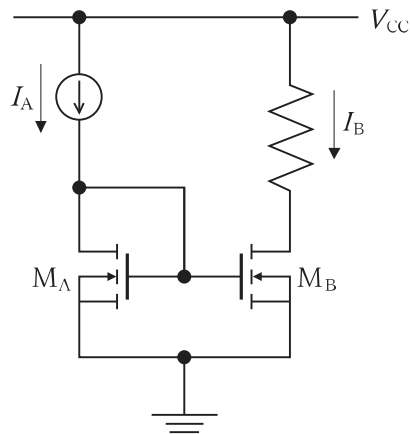
ただし、NMOSトランジスタのドレイン電流  $I_D$ 、ゲート・ソース間電圧  $V_{GS}$ 、ドレイン・ソース間電圧  $V_{DS}$ 、しきい値電圧  $V_T$  には、NMOSトランジスタの製造工程、チャンネル幅及びチャンネル長によって決まる定数であるトランスコンダクタンス係数  $K$  を用いて以下の関係が成り立つものとする。

$$V_{GS} \leq V_T (\text{遮断領域}) \text{ のとき、 } I_D = 0$$

$$V_{GS} - V_T > V_{DS} \text{ かつ } V_{GS} > V_T (\text{非飽和領域}) \text{ のとき、 } I_D = 2K \left( V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2} \right) V_{DS}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T \text{ かつ } V_{GS} > V_T (\text{飽和領域}) \text{ のとき、 } I_D = K (V_{GS} - V_T)^2$$

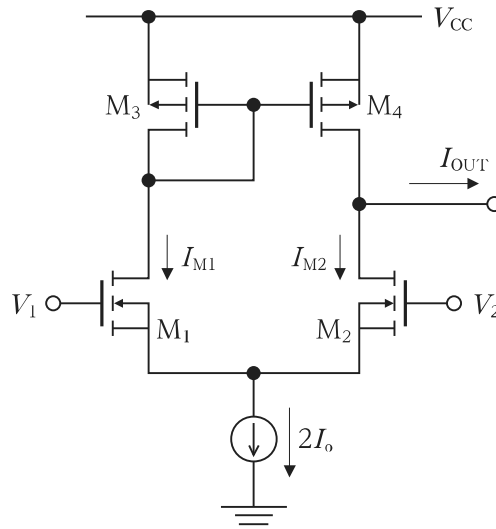
(a) 図Ⅲは、エンハンスメント型 NMOS トランジスタである  $M_A$  及び  $M_B$  を用いたカレントミラー回路である。 $M_A$ 、 $M_B$  の製造工程、チャンネル幅及びチャンネル長は等しいものとする。この回路において、電流源が出力する電流を  $I_A$ 、 $M_B$  のドレイン電流を  $I_B$  とし、 $M_B$  が飽和領域で動作するとき、 $M_A$  の動作領域に触れつつ  $I_A = I_B$  となることを示せ。



図Ⅲ

(b) 図IVは、エンハンスメント型PMOSトランジスタである $M_3$ 及び $M_4$ を含むカレントミラー回路と、エンハンスメント型NMOSトランジスタである $M_1$ 及び $M_2$ と、 $2I_0$ の電流を出力する電流源とにより構成された差動増幅回路である。この差動増幅回路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、 $M_1$ のドレイン電流を $I_{M1}$ 、 $M_2$ のドレイン電流を $I_{M2}$ 、 $M_1$ のゲート電圧を $V_1$ 、 $M_2$ のゲート電圧を $V_2$ 、差動増幅回路の出力電流を $I_{OUT}$ 、 $M_1$ 及び $M_2$ のトランスコンダクタンス係数を $K$ とし、 $\Delta V_{in} = V_1 - V_2$ と表すものとする。また、 $M_1$ と $M_2$ は飽和領域で動作し、 $M_1$ と $M_2$ の製造工程、チャンネル幅及びチャンネル長は等しいものとする。



図IV

- (i)  $\Delta V_{in}$  を、 $I_{M1}$ 、 $I_{M2}$ 、 $K$  を用いて表せ。  
(ii)  $I_{OUT}$  を、 $I_0$ 、 $\Delta V_{in}$ 、 $K$  を用いて表せ。

ただし、 $M_3$ と $M_4$ は飽和領域で動作し、 $M_3$ と $M_4$ の製造工程、チャンネル幅及びチャンネル長は等しいものとする。また、 $I_{M1}$ 、 $I_{M2}$ について、以下の式が成り立つことを用いてよい。

$$I_{M1} = I_0 + I_0 \Delta V_{in} \sqrt{\frac{K}{I_0} - \left(\frac{K}{2I_0}\right)^2 \Delta V_{in}^2}$$

$$I_{M2} = I_0 - I_0 \Delta V_{in} \sqrt{\frac{K}{I_0} - \left(\frac{K}{2I_0}\right)^2 \Delta V_{in}^2}$$

- (iii) 図IVの差動増幅回路の $\Delta V_{in} = 0$ 付近の伝達コンダクタンス $g_{m\text{diff}}$ を、(ii)の結果を基に求めよ。

ただし、 $g_{m\text{diff}}$ は、 $I_{OUT}$ と $\Delta V_{in}$ の比例係数であり、 $\Delta V_{in} = 0$ 付近では $\Delta V_{in} \ll 2\sqrt{\frac{I_0}{K}}$ であるとする。

科目 9. 通信工学 [No. 9]

【No. 9】 通信工学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 白色雑音過程に関する以下の問いに答えよ。

(a) 角周波数を  $\omega$  としたとき、白色雑音過程のパワースペクトル密度  $S_{xx}(\omega)$  の図を描け。

(b) 定常確率過程  $x(t)$  について、時刻  $t$  における確率密度関数を  $p(x, t)$  とする。  $\tau$  を任意の時間とすると、  $x(t)$  の自己相関関数  $R_{xx}(\tau) = E[x(t)x(t + \tau)]$  を式で表せ。

ただし、  $E[\cdot]$  は平均を表すとする。

(c) 確率密度関数  $p(x, t)$  は、平均  $E[x(t)] = m$ 、分散  $V[x(t)] = \sigma^2$  の正規分布に従うとする。このとき、  $p(x, t)$  を式で表せ。

(d) 抵抗体の抵抗を  $R$ 、温度を  $T$ 、ボルツマン定数を  $k$  とすれば、抵抗体の両端に発生する熱雑音の雑音電圧  $n(t)$  は、パワースペクトル密度  $S_{xx}(\omega) = 2kTR$  を有する正規過程として扱える。このとき、次式で示すように帯域制限された  $S_{xx}(\omega)$  の図を描け。

$$S_{xx}(\omega) = \begin{cases} 2kTR & (0 \leq \omega_0 - \pi B \leq |\omega| \leq \omega_0 + \pi B) \\ 0 & (\text{その他の } \omega) \end{cases}$$

ただし、中心角周波数を  $\omega_0$ 、帯域幅を  $2\pi B$  とする。

(e) (d) のように帯域制限された白色雑音の自己相関関数  $R_{xx}(\tau)$  を式で表せ。

(2) 誤り訂正符号に関する以下の問いに答えよ。

ただし、解答に当たって符号語は全て多項式表現とすること。

(a) 巡回符号とはどのようなものか簡潔に説明せよ。

ただし、説明には次の語句を全て用い、用いた語句に下線を引くこと。

[語句：線形符号、巡回置換]

(b) 生成多項式が  $g(x) = x^3 + x + 1$  で、長さが 7 の巡回符号の符号語を全て求めよ。

なお、符号語  $u(x)$  は  $q_i = 0, 1 (i = 0, 1, 2, 3)$  として、

$$u(x) = (q_0 + q_1x + q_2x^2 + q_3x^3)(x^3 + x + 1)$$

と表される。

(c) 多項式表現された情報系列  $p(x) = 1 + x^2 + x^3$  を生成多項式  $g(x) = x^3 + x + 1$  で符号化し、長さが 7 の巡回組織符号語を求めよ。

なお、巡回組織符号語とは情報記号部と検査記号部が分かれている巡回符号のことである。

(d) 生成多項式  $g(x) = x^3 + x + 1$  で生成される長さ 7 の巡回符号は 1 個の誤りを訂正できることをシンドロームを用いて説明せよ。

(e) 生成多項式  $g(x) = x^3 + x + 1$  の巡回符号語  $u(x)$  に誤り  $e(x)$  が生じて受信語

$v(x) = x^6 + x^2 + x$  が受信されたとする。このとき、シンドロームを用いて  $u(x)$  を求めよ。

科目 10. 信頼性工学 [No. 10]

【No. 10】 信頼性工学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 同一機能の 2 台の機器 A, B があり、A が故障するまでの時間(hour)を表す確率密度関数  $f_a(t)$  と B が故障するまでの時間(hour)を表す確率密度関数  $f_b(t)$  はそれぞれ次式で与えられている。

$$f_a(t) = \mu^{-k} t \exp\left(-\frac{t}{\mu}\right) \quad (t > 0), \quad f_b(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (t > 0)$$

ただし、 $\mu > 0$ ,  $k > 0$ ,  $\lambda > 0$  であり、 $t$  は時刻を表している。これらの機器の MTTF(平均故障寿命)は 10 時間である。このとき、以下の問いに答えよ。

- (a)  $\mu$  と  $k$  の値を求めよ。
- (b) (a)の結果を用いて、A の故障率を  $t$  の関数として表し、経時変化を表す故障曲線が IFR (Increasing Failure Rate), CFR(Constant Failure Rate), DFR(Decreasing Failure Rate)のどのパターンに該当するか示せ。
- (c) B の確率密度関数について、 $\lambda$  の値を求めよ。
- (d) B の  $B_{10}$  ライフ(機器が故障する確率が 10 % となる時間)を求めよ。  
ただし、 $\ln 0.9 = -0.11$  とする。
- (e) A, B を直列に接続したシステムの故障率を  $t$  の関数として表し、このシステムの故障率が 0.25 となる  $t$  の値を求めよ。

- (2) ある構造物の強度  $X_R$  [N] は確率密度関数  $f_R$  と累積分布関数  $F_R$  をもつ。この構造物に対し、確率密度関数と累積分布関数がそれぞれ  $f_S$ ,  $F_S$  である  $X_S$  [N] の負荷を与えて破損する確率を調べる試験を行う。強度と負荷の大きさは独立であるとして、以下の問いに答えよ。

- (a) 強度が平均 20 N、標準偏差 4 N の正規分布、負荷が平均 15 N、標準偏差 3 N の正規分布にそれぞれ従うとき、安全余裕  $X_R - X_S$  の平均と標準偏差を求めよ。
- (b)  $\Phi(x)$  を標準正規分布の累積分布関数とするとき、次のページの表を用いて、この構造物に負荷を与えて破損する確率を求めよ。
- (c) 構造物の製造方法と試験条件を変更したとき、強度と負荷の確率分布が指数分布に従い、それぞれの平均が(a)と同一となった。このとき、 $X_R - X_S$  の標準偏差を求めよ。
- (d) (c)の条件下で構造物に対し負荷を与えたとき、破損する確率を求めよ。

表 標準正規確率分布表

$x$	$\Phi(x)$
0.90	0.816
0.91	0.819
0.92	0.821
0.93	0.824
0.94	0.826
0.95	0.829
0.96	0.831
0.97	0.834
0.98	0.836
0.99	0.839
1.00	0.841
1.01	0.844

$$\left[ \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \right]$$

- (3) 図 I のように、地点 1 ～ 5 と通信設備 A ～ F がある。1 は、A と C が故障していても 2 と 4 を経由することで 3 と通信可能であるが、さらに D が故障していると通信不可能となる。このようなネットワークについて、1 と 5 の 2 地点間が通信可能であれば、このネットワークは運用可能、通信不可能であれば、ネットワークは運用不可能となる。このとき、以下の問いに答えよ。

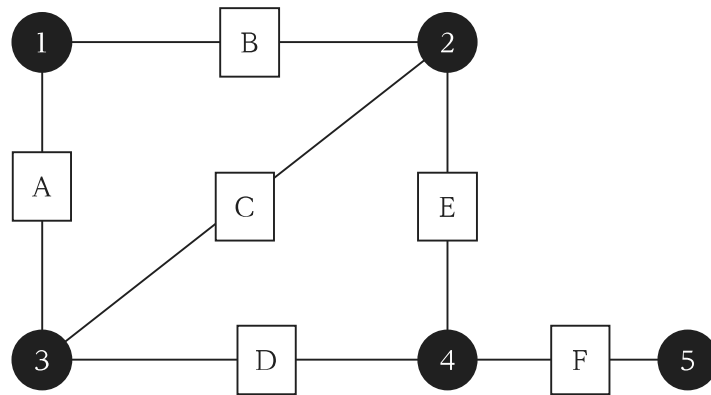
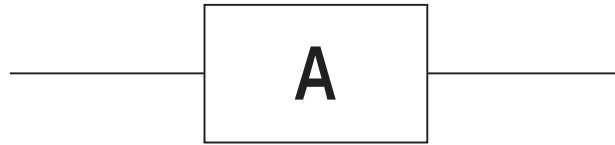


図 I

- (a) このネットワークが運用可能となるような最小パスセット(1 と 5 が通信可能となり、同じパスを重複せずに通信させることができ、かつ、その中の 1 個が故障したら通信不可能となる設備の集合)を全て挙げよ。

- (b) 通信設備 A, B, …, F を信頼性ブロック図の要素としたシステムを考えた場合、このシステムが正常ならばネットワークは運用可能、故障ならばネットワークは運用不可能であることを表すことができる。例えば、1 と 3 に着目したときの信頼性ブロック図は図Ⅱのようになる。



図Ⅱ

図Ⅱより、A が正常であれば 1 と 3 の 2 地点間が通信可能であることが分かる。(a)で得た最小パスセットを利用し、ネットワークの状態を表すことができ、かつ、直列系と並列系のみで構築された信頼性ブロック図を描け。

ただし、一つの最小パスセット及びその要素は直列で描くものとする。

- (c) A, B, …, F の正常又は故障という状態を表す変数を  $x_A, x_B, \dots, x_F$  とする。これらの変数について、例えば A の場合、 $x_A = 0$  なら故障、 $x_A = 1$  なら正常であることを示す。このとき、 $\varphi(x_A, x_B, \dots, x_F) = 0$  ならばシステムが故障(ネットワークは運用不可能)、 $\varphi(x_A, x_B, \dots, x_F) = 1$  ならばシステムが正常(ネットワークは運用可能)となるようなネットワークの状態を表す構造関数  $\varphi(x_A, x_B, \dots, x_F)$  を求めることができる。このネットワークの状態を表す構造関数を(b)で得られた直列系と並列系との対応関係が分かるような形で示せ。



科目 11. 材料力学[機械系][No. 11]

本科目の選択者は、科目 16(構造力学(土木))を選択することはできません。

【No. 11】 材料力学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I のような、各部分の長さ  $L_1, L_2, \dots, L_n$  である階段状の真直棒がある。真直棒の各部分の断面積を  $A_1, A_2, \dots, A_n$  とし、荷重  $P$  が作用しており、各部分に生ずる最大応力  $\sigma$  が等しくなっている。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、真直棒に生ずる応力は同一面内で均等にかかっているものとし、この棒の密度を  $\rho$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

- (a) 断面積  $A_1$  を、 $P, \sigma, \rho, g, L_1$  を用いて表せ。  
 (b) 下から 2 番目の断面積  $A_2$  を、 $A_1, \sigma, \rho, g, L_2$  を用いて表せ。  
 (c) 下から 2 番目の断面積  $A_2$  を、 $P, \sigma, \rho, g, L_1, L_2$  を用いて表せ。  
 (d) 下から  $x$  番目の断面積  $A_x$  を、 $P, \sigma, \rho, g, L_1, L_2, L_x, x$  を用いて表せ。

ただし、式中に、2 番目から  $x$  番目の間に記号の添え字のみが異なる因数があった場合には、例えば  $(1 - a_1)(1 - a_2) \dots (1 - a_x)$  のように、“…”を使って繰返しを表現してよい。

- (e) (d)において、 $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L$  の場合を考える。このとき、以下の問いに答えよ。  
 (i) 断面積  $A_x$  を、 $P, \sigma, \rho, g, x, L$  を用いて表せ。  
 (ii)  $L_1$  から  $L_x$  までの長さの総和  $\xi$  を、 $x, L$  を用いて表せ。  
 (iii) (ii)において、 $x$  を無限に大きくし、かつ、 $L$  を無限に小さくしたときの断面積  $A(\xi)$  を、 $P, \sigma, \rho, g, \xi$  を用いて表せ。

なお、計算には、次式を用いてよい。

$$\lim_{h \rightarrow \pm\infty} \left(1 + \frac{1}{h}\right)^h = e \quad (e \text{ は自然対数の底})$$

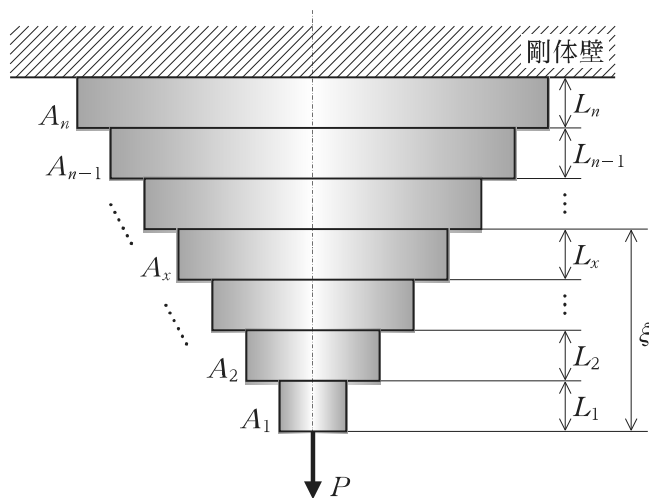


図 I 真直棒

(2) 図Ⅱのような、平均半径 10 cm、素線径 1 cm、巻き数 10 のコイルばねと、このコイルばねの素線と同じ太さ・長さ(有効巻き数部の長さ)の棒で作った図Ⅲのようなトーションバーがある。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、コイルばねのピッチ角は十分に小さく、コイルがほぼ軸線に垂直な平面内にあるものとし、コイルの素線に垂直な断面もコイルの軸線に平行であると仮定する。

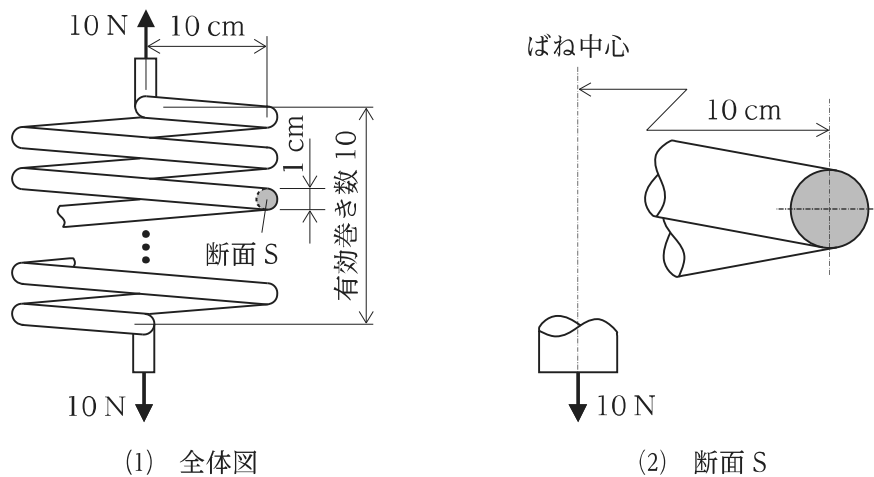
(a) 図Ⅱのように、ばねに 10 N の引張力が作用しているとき、断面 S にはどのような力やモーメントが作用するか、図Ⅱ(2)のように、断面 S をばねの内側と外側が分かるように答案用紙に記載し、断面 S に作用する力及びモーメントを全て矢印で描き、それらの大きさも示せ。

(b) 図Ⅱ(2)のばねの断面 S において、図Ⅱ(2)のように、断面 S をばねの内側と外側が分かるように答案用紙に記載し、せん断応力が最大となる点及びせん断応力分布を描け。

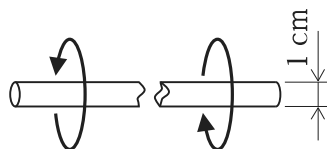
ただし、せん断応力の最大値及びせん断応力分布の大きさを示す必要はない。

(c) コイルばねとトーションバーのばね定数をそれぞれ求めよ。

ただし、棒(素線)の横弾性係数(せん断弾性係数)は 64 GPa、極断面二次モーメント  $I_p$  は直径を  $d$  とすると、 $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$  であるものとする。



図Ⅱ コイルばね



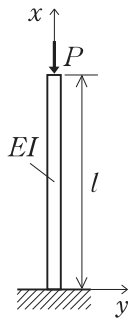
図Ⅲ トーションバー

(3) 座屈に関する以下の問いに答えよ。

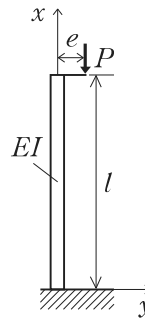
(a) 一端を固定し、他端に荷重  $P$  を受ける長さ  $l$ 、ヤング率  $E$ 、断面二次モーメント  $I$  の軽い長柱がある。図IVのように柱の中心に鉛直下方の荷重がかかる場合と、図Vのように柱の中心からわずかに距離  $e$  だけ離れた点で荷重がかかる場合とを比較すると、どちらの座屈荷重が大きいかを、それぞれの座屈荷重を求めて説明せよ。

ただし、たわみが十分に大きい場合を除くものとする。

なお、曲げモーメントを  $M$  とすると、微分方程式  $EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M$  を用いてもよい。



図IV

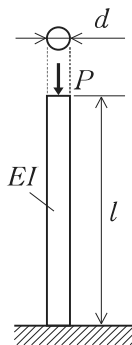


図V

(b) 図VIのような長さ  $l$  の円柱断面の長柱を構造材として使用する場合、十分に細長ければ座屈荷重を、十分に短ければ圧縮強度を検討すればよいが、その中間では両方検討する必要がある。座屈荷重と圧縮応力の両方を考慮した場合に許容される設計の範囲について、座屈限界の圧縮垂直応力を求め、細長比と圧縮応力との関係図を描き、設計の許容範囲を示せ。

ただし、細長比は  $\frac{l}{k}$  で表すことができ、 $k$  は断面二次半径(回転半径)である。また、構造材の自重は無視するものとする。

なお、円形断面の断面二次モーメント  $I$  は、直径を  $d$  とすると、 $I = \frac{\pi d^4}{64}$  であるものとする。



図VI

科目 12. 機械力学 [No. 12]

【No. 12】 機械力学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 図 I のような、剛体棒、質点、ばねで構成される振動系について考える。支点  $O$  から長さ  $r_1$  の位置に質量  $m_1$  の質点が、長さ  $r_2$  の位置に質量  $m_2$  の質点を取り付けられている。また、 $O$  から長さ  $r_3$  の位置にばね定数  $k_1$  と  $k_2$  の並列ばね、長さ  $r_4$  の位置にばね定数  $k_3$  と  $k_4$  の直列ばねが地面に接続されているとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $k_1$  と  $k_2$  の並列ばねの合成ばね定数を  $k_A$ 、 $k_3$  と  $k_4$  の直列ばねの合成ばね定数を  $k_B$  とする。また、剛体棒の自重は無視できるものとする。さらに、この振動系は  $O$  まわりに微小回転角  $\theta$  で振動しているものとし、 $\tan \theta \doteq \theta$  と近似できるものとする。

- (a)  $O$  まわりに各ばねの復元力がなすモーメント  $M_k$  を、 $r_3$ 、 $r_4$ 、 $k_A$ 、 $k_B$ 、 $\theta$  を用いて表せ。
- (b)  $O$  まわりに慣性力がなすモーメント  $M_i$  を、 $r_1$ 、 $m_1$ 、 $r_2$ 、 $m_2$ 、 $\ddot{\theta}$  を用いて表せ。
- (c) この振動系の運動方程式を、 $r_1$ 、 $m_1$ 、 $r_2$ 、 $m_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$ 、 $k_A$ 、 $k_B$ 、 $\theta$ 、 $\ddot{\theta}$  を用いて表せ。
- (d)  $k_A$ 、 $k_B$  を、 $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 、 $k_4$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (e) この振動系の固有角振動数  $\omega_n$  を、 $k_A$ 、 $k_B$  を用いずに求めよ。
- (f)  $m_1 = m_2 = m$ 、 $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$ 、 $r_1 = r_2 = r$ 、 $r_3 = r_4 = \frac{r}{2}$  としたとき、この 1 自由度振動系の一般解は次のように求められる。なお、式中の  $t$  は時刻を表している。

$$\theta(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

ここで、初期角度を  $\theta_0$ 、初期角速度を  $\dot{\theta}_0$  としたとき、固有角振動数  $\omega$ 、振幅  $A$ 、位相角  $\varphi$  を求めよ。

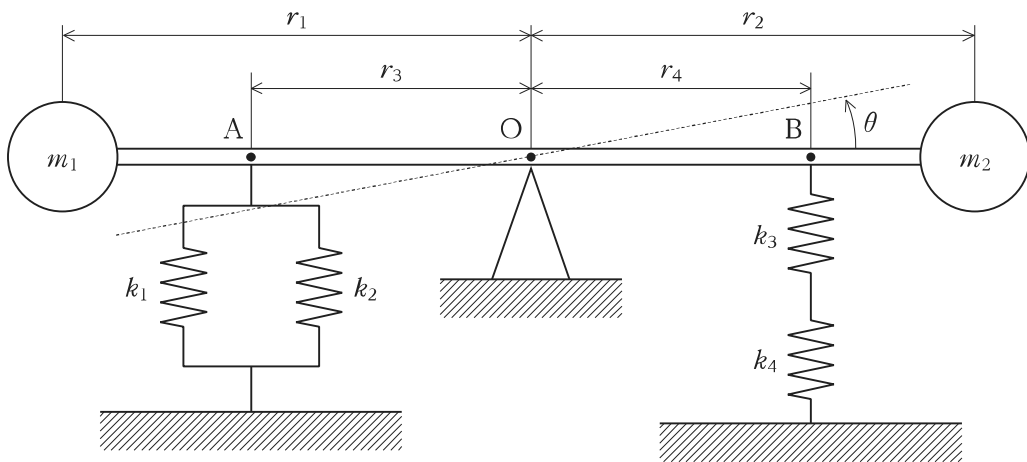
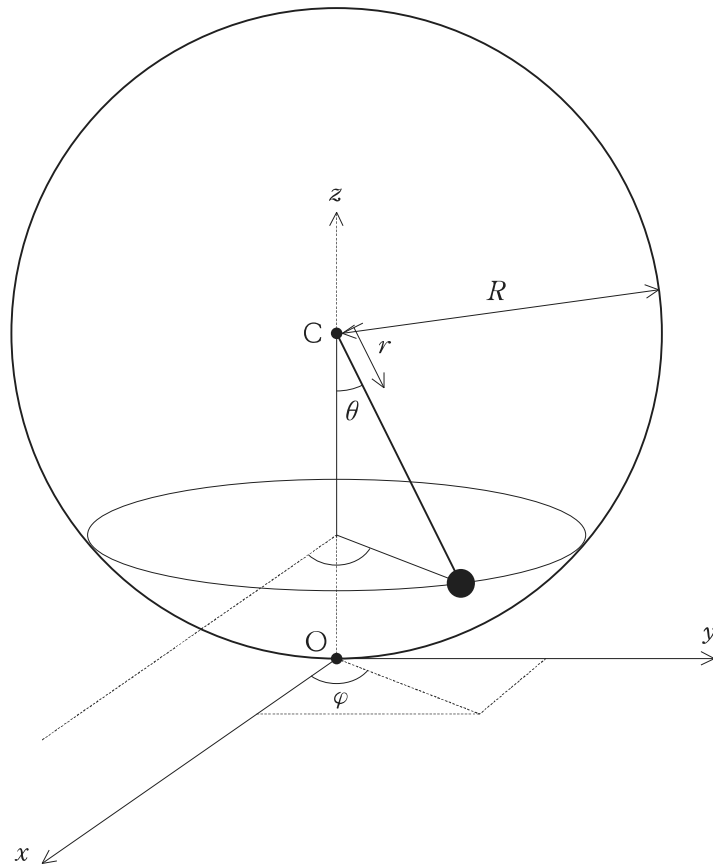


図 I

(2) 図Ⅱのような、球面振り子の運動について考える。長さ  $R$  の軽い棒の先端に質量  $m$  の質点を取り付けられ、滑らかに球面上を運動している。振り子の支点  $C$  に中心をおく球面座標系  $C-r\theta\varphi$  と、球面の最下点  $O$  に原点をとる直交座標系  $O-xyz$  を考える。このとき、以下の問いに答えよ。

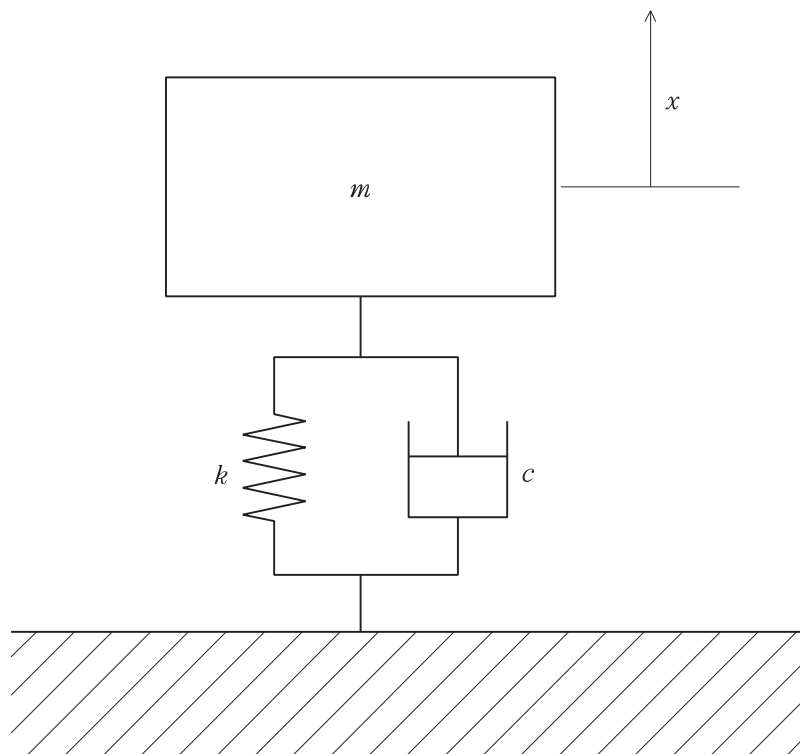
ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。また、角度が微小角  $d\theta$  だけ変化したとき、 $\sin d\theta \simeq d\theta$  と近似できるものとする。

- 質点の位置  $x, y, z$  を、 $R, \theta, \varphi$  のうち必要なものを用いて表せ。
- 質点のポテンシャルエネルギー  $V$  を、 $R, m, \theta, g$  を用いて表せ。
- 質点の運動エネルギー  $T$  を、 $R, m, \theta, \dot{\theta}, \dot{\varphi}$  を用いて表せ。
- ラグランジアン  $L$  を用いて、ラグランジュの方程式を全て示せ。
- (d) を解くことにより、球面振り子の運動方程式を全て示せ。



図Ⅱ

- (3) 図Ⅲのように、質量  $m$  の質点に、ばね定数  $k$  の軽いばねと減衰係数  $c$  ( $c > 0$ ) の軽い減衰器 (ダンパ) をつなぎ、床に置く。ばねの釣合いの位置からの質点の変位を  $x$ 、速度を  $\dot{x}$ 、加速度を  $\ddot{x}$  とする。このとき、以下の問いに答えよ。
- (a) 質点の運動方程式を示せ。
- (b) 減衰比の値で場合分けを行ったときの、それぞれの運動方程式の解を求めよ。  
ただし、積分定数を求める必要はない。
- (c) 不足減衰となるとき、時間変化のグラフの概形図を描け。



図Ⅲ

科目 13. 流体力学[機械系][No. 13]

本科目の選択者は、科目 18(水理学)を選択することはできません。

【No. 13】 流体力学に関する以下の設問に答えよ。

(1)  $xy$  平面における二次元のポテンシャル流れについて、以下の問いに答えよ。

ただし、虚数単位を  $i$ 、複素数  $z$  を  $z = x + iy$  とし、 $z$  を  $x = r\cos\theta$ ,  $y = r\sin\theta$  とした極座標で表すと  $z = re^{i\theta}$  となる。また、 $z$  の関数である複素速度ポテンシャル  $W(z)$  は、速度ポテンシャル  $\phi$ 、流れ関数  $\psi$  を用いて、 $W(z) = \phi + i\psi$  と表され、 $\frac{dW(z)}{dz}$  は、流れの  $x$  軸方向の速度成分  $u$ 、 $y$  軸方向の速度成分  $v$  を用いて、 $\frac{dW(z)}{dz} = u - iv$  で与えられるものとする。

さらに、極座標  $(r, \theta)$  における流れの半径方向速度  $v_r$  及び周方向速度  $v_\theta$  はそれぞれ次の関係式を満たすものとする。

$$v_r = \frac{\partial\phi}{\partial r} = \frac{\partial\psi}{r\partial\theta}, \quad v_\theta = \frac{\partial\phi}{r\partial\theta} = -\frac{\partial\psi}{\partial r}$$

(a) 流体の流れを表す線について、以下の問いに答えよ。

(i) 流線を簡潔に説明せよ。

(ii) 流脈線を簡潔に説明せよ。

(b) 正の実定数  $k$ ,  $m$  を用いて、 $W(z) = kz + \frac{m}{2\pi} \frac{1}{z}$  で表される複素速度ポテンシャルについて考える。このとき、以下の問いに答えよ。

(i) この流れの  $\phi$ ,  $\psi$  を、 $k$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(ii)  $\psi = 0$  となる流線の式を、 $k$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  のうち必要なものを用いて表し、この流線の式が  $xy$  平面でどのような流線となるかを簡潔に説明せよ。

(iii) よどみ点(流速が 0 (ゼロ)となる点)の座標を全て求めよ。

(c) 中心から放射状に外側に向かって流れ出るわき出しについて考える。このとき、以下の問いに答えよ。

(i) 図 I に表されるように、原点  $O$  から半径  $r$  における  $v_r$  を、 $q, r$  を用いて表せ。

ただし、 $q$  はわき出す単位深さ当たりの流量とする。

(ii) 複素速度ポテンシャルが  $W(z) = \frac{q}{2\pi} \ln z$  で表されることを示せ。

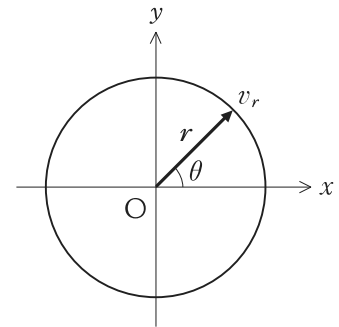


図 I

(d) 正の実定数  $a$  を用いて、 $W(z) = az^3$  で表される複素速度ポテンシャルについて考える。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$  とする。

(i) この流れの  $\phi, \psi$  を、 $a, r, \theta$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(ii) この流れの  $v_r, v_\theta$  を求めよ。

(iii)  $\psi = 0$  のときの流線を固定壁とみなす場合、図 II のように固定壁の間の角が  $\frac{\pi}{3}$  となることを示せ。

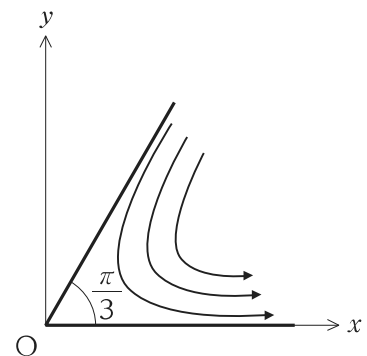


図 II

(e)  $W(z) = z^{\frac{2}{3}}$  で表される複素速度ポテンシャルについて考える。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $0 \leq \theta < 2\pi$  とする。

(i)  $\psi = 0$  となるとき、 $\theta$  の値を全て求めよ。

(ii) この流れの流線を描け。

ただし、流線は複数示すとともに、流線上に矢印をつけて流れの方向を示すこと。



(2) 互いに平行な無限に大きい 2 枚の平板間の二次元非圧縮性流れについて、以下の問いに答えよ。

(a) 図Ⅲのように、 $x$  軸を平板に平行な方向、 $y$  軸を平板に垂直な方向と定め、平板 1 と平板 2 の流れに接する表面の  $y$  座標をそれぞれ 0 (ゼロ)、 $h$  とする。2 枚の平板は固定されていて、その平板間の流れは、 $x$  軸方向に与えられた一定の圧力勾配により、定常な層流になっている。このとき、外力は無視できるものとし、流体の速度の  $x$  軸成分を  $u$ 、 $y$  軸成分を  $v$  とすると、 $v = 0$  なので、運動方程式は次式で表される。

$$-\frac{dp}{dx} + \mu \frac{d^2 u}{dy^2} = 0 \quad \dots\dots ①$$

ここで、 $p$  は圧力、 $\mu$  は粘度(粘性係数)である。また、平板表面の滑りはない( $y = 0$  のとき  $u = 0$ 、 $y = h$  のとき  $u = 0$ ) もとする。このとき、以下の問いに答えよ。

- (i) 式①より、 $u$  を、 $y$ 、 $h$ 、 $\mu$ 、 $\frac{dp}{dx}$  を用いて表せ。また、 $u$  が最大となる  $y$  と、 $u$  の最大値  $u_{\max}$  を求めよ。さらに、 $u$  を、 $y$ 、 $h$ 、 $u_{\max}$  を用いて表せ。
- (ii) 流れの  $x$  軸と  $y$  軸に垂直な方向(奥行き方向)の幅を単位長さとして、体積流量  $Q$  を、 $h$ 、 $\mu$ 、 $\frac{dp}{dx}$  を用いて表せ。
- (iii)  $u$  の平均値が  $u_{\max}$  の何倍になるか求めよ。

(b) (a) の流れにおいて、平板 1 と平板 2 の温度がそれぞれ  $T_1$ 、 $T_2$  ( $T_1 < T_2$ ) で一定である場合の流体内の温度分布について考える。このとき、エネルギーは次式で表される。

$$k \frac{d^2 T}{dy^2} + \mu \left( \frac{du}{dy} \right)^2 = 0 \quad \dots\dots ②$$

ここで、 $T$  は温度、 $k$  は熱伝導率である。また、 $\mu$  と  $k$  は定数で、 $T$  は  $x$  軸方向に一定であり、 $y$  の関数であるとする。このとき、以下の問いに答えよ。

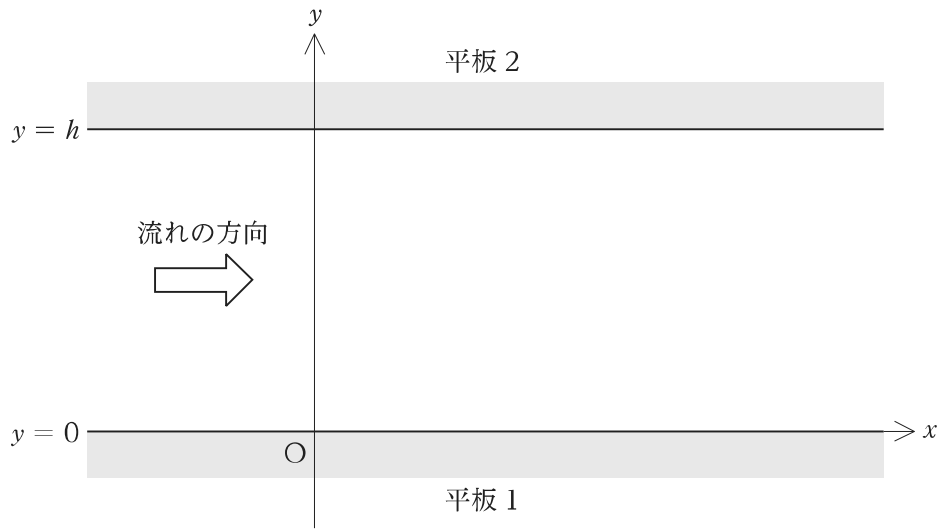
(i) 式②より、 $T$  は次式で表されることを示せ。

$$T = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{h} y + \frac{\mu u_{\max}^2}{3kh^4} \{h^4 - (h - 2y)^4\} \quad \dots\dots ③$$

- (ii)  $T$  が最大値  $T_{\max}$  となる  $y$  の値  $y^*$  を求め、 $y^*$  が平板間に存在するための  $T_2 - T_1$  の条件を示せ。
- (iii) (ii) の場合の  $T$  の分布を、横軸  $T$ 、縦軸  $y$  として概形図を描け。  
ただし、図中に  $y^*$  と  $T_{\max}$  を明記すること。
- (iv) 式③の右辺第三項は流体の温度にどのような影響を及ぼすのか、次の語句を全て用いて理由とともに簡潔に説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：変換、流体の粘性]



図Ⅲ

科目 14. 熱力学・熱機関[機械系][No. 14]

【No. 14】 熱力学・熱機関に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 温度  $T$  の理想気体に対し可逆的に微小な熱量  $dQ$  が授受されたとき、理想気体のエントロピーの微小な変化  $dS$  は、微小な可逆変化に対して次のように定義される。このとき、以下の問いに答えよ。

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

ただし、理想気体の気体定数を  $R$ 、定積比熱を  $c_v$  とする。また、理想気体の運動エネルギー及び位置エネルギーの変化は無視できるものとする。

- (a) 閉じた系において、質量  $m$ 、温度  $T$ 、体積  $V$  の理想気体が封入されている。このとき、以下の問いに答えよ。
- (i) この理想気体の圧力  $p$  を、 $m$ 、 $T$ 、 $V$ 、 $R$  を用いて表せ。
- (ii) この理想気体が可逆的に  $dQ$  を受けたときの理想気体の微小な温度変化を  $dT$ 、微小な体積変化を  $dV$  とする。このとき、 $dQ$  を、 $dT$ 、 $dV$ 、 $m$ 、 $T$ 、 $V$ 、 $R$ 、 $c_v$  を用いて表せ。
- (b) 閉じた系において、質量  $m$ 、温度  $T_1$ 、体積  $V_1$  の理想気体が冷却され、質量  $m$ 、温度  $T_2$ 、体積  $V_2$  に可逆的に変化したとする。このときの理想気体のエントロピーの変化量  $\Delta S$  を、 $m$ 、 $T_1$ 、 $V_1$ 、 $T_2$ 、 $V_2$ 、 $R$ 、 $c_v$  を用いて表せ。

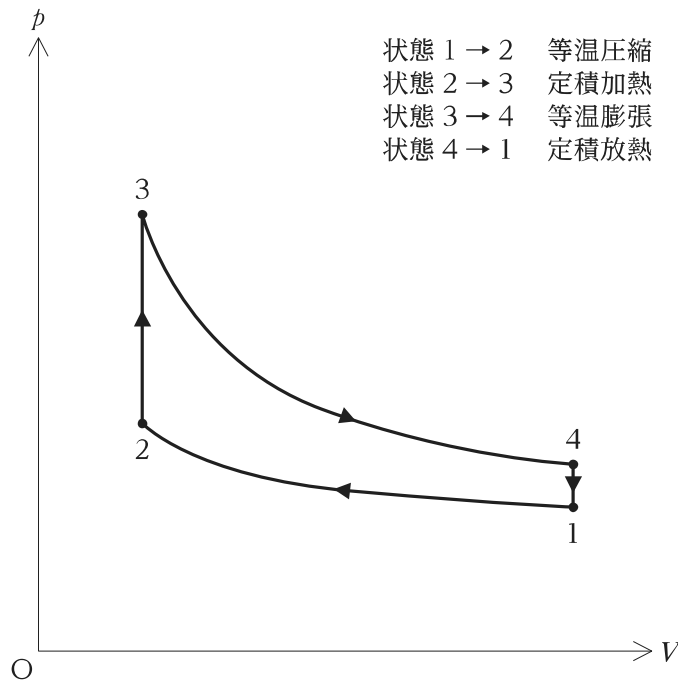
- (2) 質量  $m$ 、比熱  $c$  の同じ液体 A、B がある。A は温度  $T_A$ 、B は温度  $T_B$  であり、 $T_A > T_B$  とする。いま、A と B を混合し、温度  $T_E$  で熱平衡状態になったときを考える。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、A、B はともに相変化せず、A、B の体積の変化は無視し、比熱は一定とする。また、熱の授受は、A、B の間のみで行われるものとする。

- (a)  $T_E$  を、 $T_A$ 、 $T_B$  を用いて表せ。
- (b) A のエントロピー変化量  $|\Delta S_A|$  を、 $m$ 、 $c$ 、 $T_A$ 、 $T_E$  を用いて表せ。
- (c) B のエントロピー変化量  $|\Delta S_B|$  を、 $m$ 、 $c$ 、 $T_B$ 、 $T_E$  を用いて表せ。
- (d) (b)、(c)の結果を用いて、 $|\Delta S_A|$  と  $|\Delta S_B|$  の大小関係を表す不等式を導出過程も含めて示せ。

- (3) 図は、あるサイクルの  $p$ - $V$  線図であり、状態  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) における作動流体の圧力を  $p_i$ 、温度を  $T_i$ 、体積を  $V_i$  とし、等温圧縮過程(状態  $1 \rightarrow 2$ )における放熱量を  $|Q_{12}|$ 、定積加熱過程(状態  $2 \rightarrow 3$ )における加熱量を  $Q_{23}$ 、等温膨張過程(状態  $3 \rightarrow 4$ )における加熱量を  $Q_{34}$ 、定積放熱過程(状態  $4 \rightarrow 1$ )における放熱量を  $|Q_{41}|$  とし、圧縮比を  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$  とするとき、以下の問いに答えよ。

ただし、作動流体は、質量  $1 \text{ kg}$ 、気体定数  $R$ 、定積比熱  $c_v$  の理想気体であり、作動流体の状態変化は可逆的であるものとする。



- (a)  $Q_{23}$ ,  $Q_{34}$  を、 $T_2$ ,  $T_3$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $R$ ,  $c_v$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- (b)  $|Q_{41}|$  を  $Q_{23}$  を用いて表せ。
- (c) このサイクルの理論熱効率  $\eta$  を、 $T_1$ ,  $T_3$ ,  $\varepsilon$ ,  $R$ ,  $c_v$  を用いて表せ。
- (d) このサイクルの定積放熱過程(状態  $4 \rightarrow 1$ )において放熱された熱量  $|Q_{41}|$  を、熱交換器により可逆的に定積加熱過程(状態  $2 \rightarrow 3$ )における加熱に利用する場合を考える。このときのサイクルの理論熱効率  $\eta'$  を、 $T_1$ ,  $T_3$ ,  $\varepsilon$ ,  $R$ ,  $c_v$  のうち必要なものを用いて表せ。

(4) 定圧比熱  $c_p$ 、比熱比  $\kappa$ 、気体定数  $R$  の理想気体を作動流体とする圧縮機(開いた系)を考える。圧縮機の入口における圧力を  $p_0$ 、温度を  $T_0$ 、比エントロピーを  $s_0$  とし、圧縮機の出口における圧力を  $p_1$  とし、以下の問いに答えよ。

ただし、作動流体の運動エネルギー及び位置エネルギーの変化は無視できるものとする。また、 $c_p$  と  $\kappa$  は温度によらない定数であるとする。

(a) 圧縮機において作動流体が  $p_0$  から  $p_1$  まで等エントロピー圧縮(可逆断熱圧縮)された場合を考える。このとき、以下の問いに答えよ。

(i) 圧縮機の出口における温度  $T_1$  を、 $\kappa$ 、 $p_0$ 、 $p_1$ 、 $T_0$  を用いて表せ。

(ii) 圧縮機が質量 1 kg の作動流体に行う工業仕事  $w_{ts}$  を、 $c_p$ 、 $\kappa$ 、 $p_0$ 、 $p_1$ 、 $T_0$  を用いて表せ。

(b) 圧縮過程において作動流体に摩擦が生じ、圧縮機を通過する作動流体の比エントロピーが  $\Delta s$  だけ変化した場合を考える。このときの圧縮後の状態の添え字を  $1'$  とすると、圧力は  $p_{1'} = p_1$ 、温度は  $T_{1'} > T_1$  であった。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、作動流体は圧縮機との間で熱の授受を行っていないものとする。

(i) 比エントロピー変化量  $\Delta s$  を、 $c_p$ 、 $p_0$ 、 $p_1$ 、 $R$ 、 $T_0$ 、 $T_{1'}$  を用いて表せ。

(ii) 圧縮機の入口(状態 0 (ゼロ))から等エントロピー圧縮した出口(状態 1)までの状態変化を、 $T-s$  線図を描いて破線で示せ。

ただし、状態 1 の比エントロピーを  $s_1$  とする。また、各状態には状態の番号も付すこと。

(iii) 状態  $1'$  の比エントロピーを  $s_{1'}$  とするとき、 $T_{1'}$  を、 $c_p$ 、 $\kappa$ 、 $p_0$ 、 $p_1$ 、 $s_1$ 、 $s_{1'}$ 、 $T_1$  のうち必要なものを用いて表せ。また、状態 1 と状態  $1'$  を通る線を(ii)で描いた  $T-s$  線図上に一点鎖線で示せ。

(iv) 状態 0 から不可逆的に圧縮の行われた状態  $1'$  までの比エントロピー変化量  $\Delta s = s_{1'} - s_0$  を、 $c_p$ 、 $\kappa$ 、 $p_0$ 、 $p_1$ 、 $p_{1'}$ 、 $T_0$ 、 $T_1$ 、 $T_{1'}$  のうち必要なものを用いて表し、 $\Delta s$  の増減について説明せよ。

(v)  $T_{1'}$  を、 $c_p$ 、 $\kappa$ 、 $p_0$ 、 $p_1$ 、 $s_0$ 、 $s_{1'}$ 、 $T_0$  を用いて表し、状態 0 から状態  $1'$  までの状態変化を(ii)、(iii)で描いた  $T-s$  線図上に実線で示せ。

科目 15. 航空工学 [No. 15]

【No. 15】 航空工学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I のように、速さ  $V$ 、滑空角  $\gamma$  で無推力の固定翼航空機が滑空飛行しており、機体に作用する揚力  $L$  と抗力  $D$  と機体重量  $W$  が釣り合っているものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

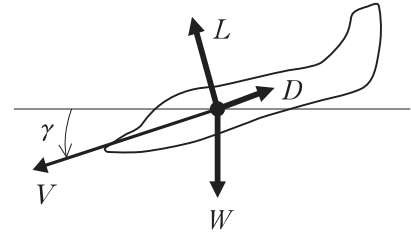


図 I

なお、 $L$  と  $D$  は、揚力係数  $C_L$ 、抗力係数  $C_D$ 、空気密度  $\rho$ 、代表面積  $S$  を用いて、 $L = \frac{1}{2}\rho V^2 S C_L$ 、 $D = \frac{1}{2}\rho V^2 S C_D$  で表されるものとし、 $\rho$ 、 $S$  は定数とする。

- (a) 機体の進行方向と、進行方向に対して垂直となる方向の力の釣り合い式をそれぞれ表せ。
- (b)  $\gamma$  を、揚抗比  $\frac{C_L}{C_D}$  を用いて表せ。
- (c)  $\omega = \frac{DV}{W}$  で表される滑空時の降下率  $\omega$  を、 $\rho$ 、 $S$ 、 $W$ 、 $C_L$ 、 $C_D$  を用いて表せ。  
ただし、 $C_D \ll C_L$  とする。
- (d)  $C_D$  と  $C_L$  は、正の定数  $C_{D0}$ 、 $K$  を用いて  $C_D = C_{D0} + KC_L^2$  の関係で表されるものとする、 $\gamma$  と  $\omega$  を最小化する  $C_L$  を、 $C_{D0}$ 、 $K$  を用いてそれぞれ表せ。

(2) 航空機の水平定常飛行からの鉛直平面内の微小擾乱運動について、以下の問いに答えよ。

なお、機体の縦運動の微分方程式は式①、②、③で表されるものとする。ここで、釣合い飛行速度を  $V_0$  として、機首方向の速度  $u$ 、迎角  $\alpha$ 、ピッチ角速度  $q$ 、ピッチ角  $\theta$  は、全て釣合い状態からの変化量を表しており、 $X_u$ 、 $X_\alpha$ 、 $Z_u$ 、 $Z_\alpha$ 、 $Z_{\delta_e}$  は空力微係数である。また、重力加速度の大きさを  $g$ 、エレベータ舵角の操作量を  $\delta_e$  とする。

$$\dot{u} = X_u u + X_\alpha \alpha - g\theta \quad \dots\dots①$$

$$V_0 \dot{\alpha} = Z_u u + Z_\alpha \alpha + V_0 q + Z_{\delta_e} \delta_e \quad \dots\dots②$$

$$\dot{\theta} = q \quad \dots\dots③$$

(a)  $\alpha$  が常に 0 (ゼロ) となる場合の式①、②を示せ。

ただし、式②については、式②、③の関係を用いて  $\dot{\theta} = \dots$  の形で表現するものとする。

(b) (a)の結果から、式①、②を用いて長周期モードの特性方程式を表せ。

(c) 揚力  $L$  と抗力  $D$  は、速度  $V (= V_0 + u)$ 、揚力係数  $C_L$ 、抗力係数  $C_D$ 、空気密度  $\rho$ 、代表面積  $S$  を用いて、 $L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L$ 、 $D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D$  で表されるものとし、 $X_u$ 、 $Z_u$  は、機体質量  $m$  を用いて、 $X_u = -\frac{1}{m} \left( \frac{\partial D}{\partial u} \right) \Big|_{u=0}$ 、 $Z_u = -\frac{1}{m} \left( \frac{\partial L}{\partial u} \right) \Big|_{u=0}$  と表されるものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $\rho$ 、 $S$  は定数とする。

(i)  $X_u$ 、 $Z_u$  を、 $\rho$ 、 $V_0$ 、 $S$ 、 $m$ 、 $C_L$ 、 $C_D$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(ii) 長周期モードの不減衰固有角振動数  $\omega_{ph}$ 、減衰比  $\zeta_{ph}$  を、 $g$ 、 $V_0$ 、 $C_L$ 、 $C_D$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(3) 航空機の水平定常飛行からの横・方向の微小擾乱運動について、以下の問いに答えよ。

なお、機体の横・方向の微分方程式は式④～⑦で表されるものとする。ここで、釣合い飛行速度を  $V_0$  として、ロール角  $\phi$ 、横滑り角  $\beta$ 、ロール角速度  $p$ 、ヨー角速度  $r$  は、全て釣合い状態からの変化量を表しており、 $Y_\beta, Y_{\delta_r}, L_\beta, L_p, L_r, L_{\delta_a}, N_\beta, N_p, N_r, N_{\delta_r}$  は空力微係数である。また、重力加速度の大きさを  $g$ 、エルロンとラダーの操作量をそれぞれ  $\delta_a, \delta_r$  とする。

$$\dot{\phi} = p \quad \dots\dots④$$

$$V_0\dot{\beta} = g\phi + Y_\beta\beta - V_0r + Y_{\delta_r}\delta_r \quad \dots\dots⑤$$

$$\dot{p} = L_\beta\beta + L_pp + L_rr + L_{\delta_a}\delta_a \quad \dots\dots⑥$$

$$\dot{r} = N_\beta\beta + N_pp + N_rr + N_{\delta_r}\delta_r \quad \dots\dots⑦$$

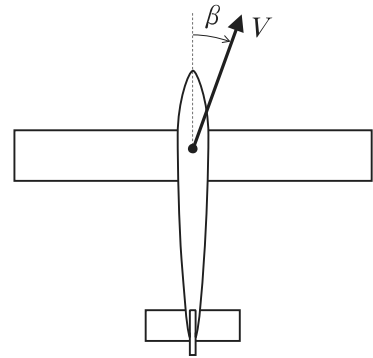
(a) 式④～⑦をラプラス変換し、特性方程式を求めると、次式のように表される。

$$(s + \lambda_1)(s + \lambda_2)(s^2 + a_1s + a_2) = 0 \quad \dots\dots⑧$$

ここで、 $\lambda_1, \lambda_2, a_1, a_2$  は実定数であり、 $|\lambda_1| < |\lambda_2|$  となる関係があるとき、 $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  に対応するそれぞれの運動モードは一般に何と呼ばれるか名称を示せ。

(b) 図Ⅱのように、横滑りしながら速度  $V$  で飛行する場合を考えると、以下の問いに答えよ。

ただし、図Ⅱは機体を上方から見たものとする。また、図Ⅱのように、横滑りする  $\beta$  の向きを正とする。



図Ⅱ

(i) 方向静安定を代表する空力微係数を挙げよ。また、機体が方向静安定を有しているとき、その空力微係数の正負についても説明せよ。

(ii) 機体が方向静安定を有しているとき、機体が横滑りを生じた場合に、どのような運動になるか簡単に説明せよ。

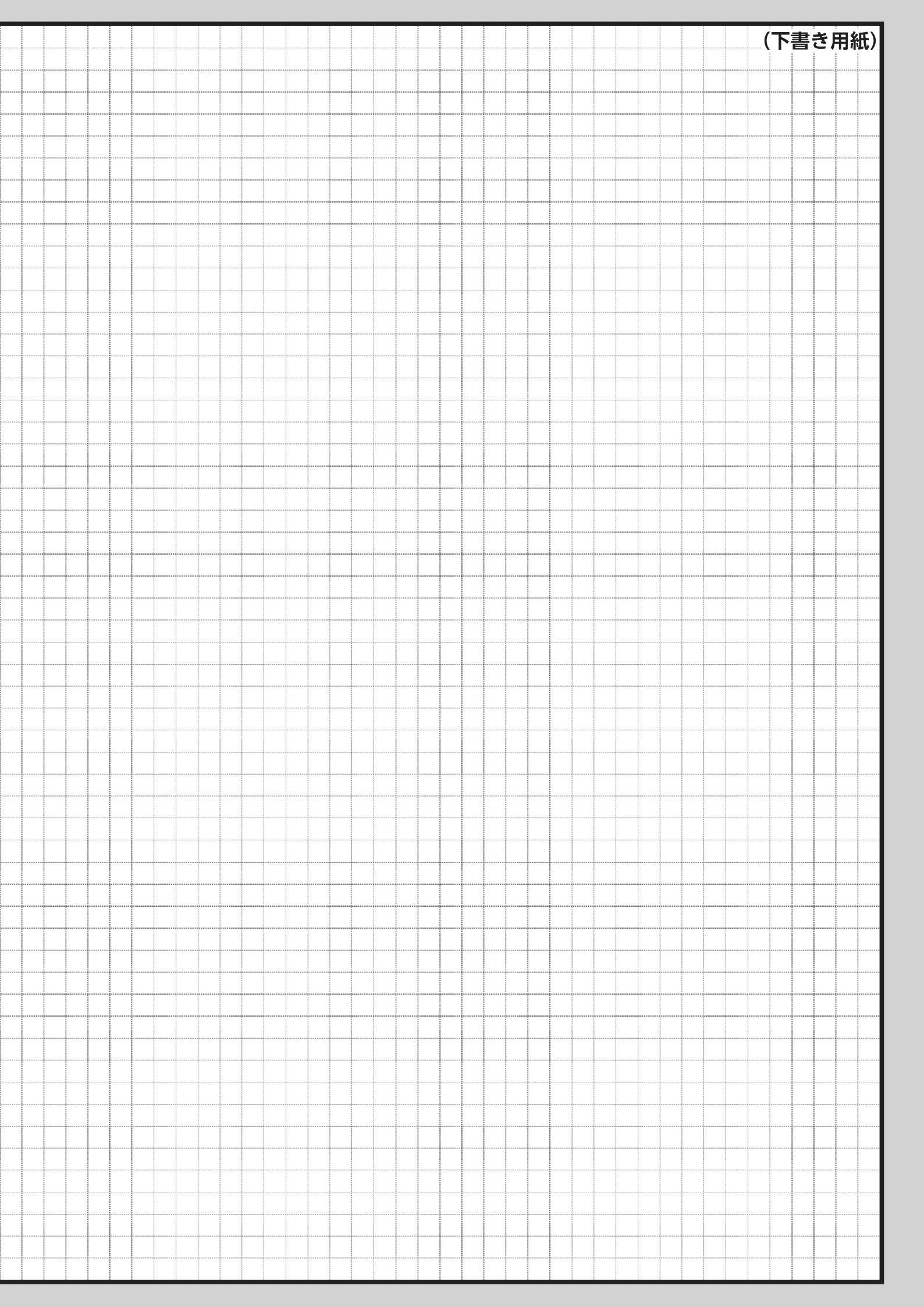
(iii) 図Ⅱのような正の横滑りをしている飛行での上反角効果を説明する次の記述の㉑～㉕に当てはまる適切なものを、次の語句の中から選び出して入れよ。

ただし、一度使用した語句を再度使用してもよい。

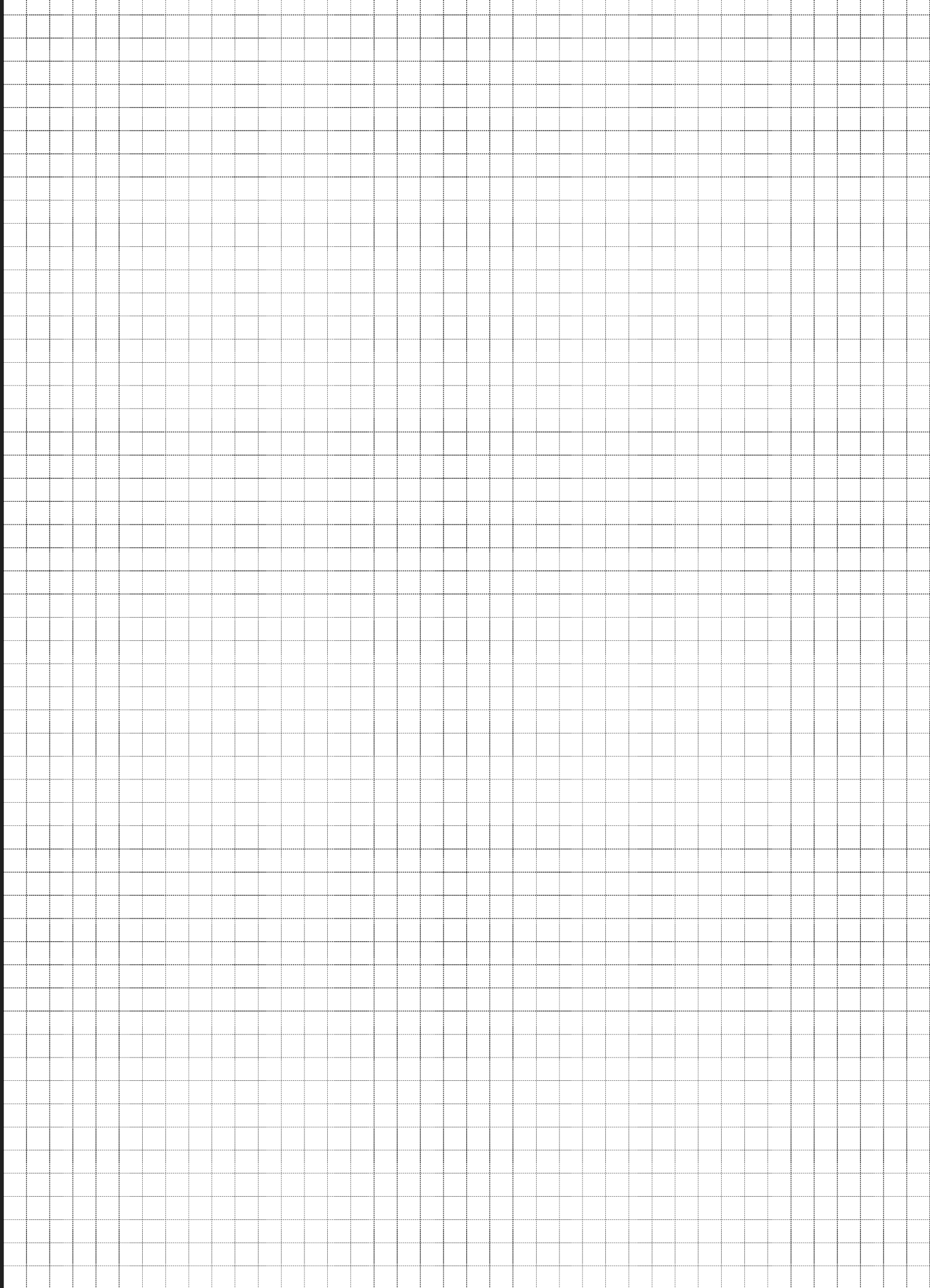
「横滑りをしている飛行での上反角効果を表す代表的な空力微係数は、式⑤～⑦の中の ㉑ である。図Ⅱのような正の横滑りに対して、主翼の翼幅方向に左向きに速度成分が生じる。主翼に上反角があると、この速度成分によって、右翼では翼面に垂直に ㉒ が、左翼では逆に同量の ㉓ が生じる。㉒ と ㉓ の影響で、右翼の迎角と揚力は ㉔ し、左翼の迎角と揚力は ㉕ する。この揚力の差によって、右翼を ㉖ 方向のローリング運動を行い、横滑りを ㉗ させる。」

[語句： $Y_\beta, L_\beta, N_\beta$ 、吹き下ろし、吹き上げ、増加、減少、上げる、下げる]





(下書き用紙)

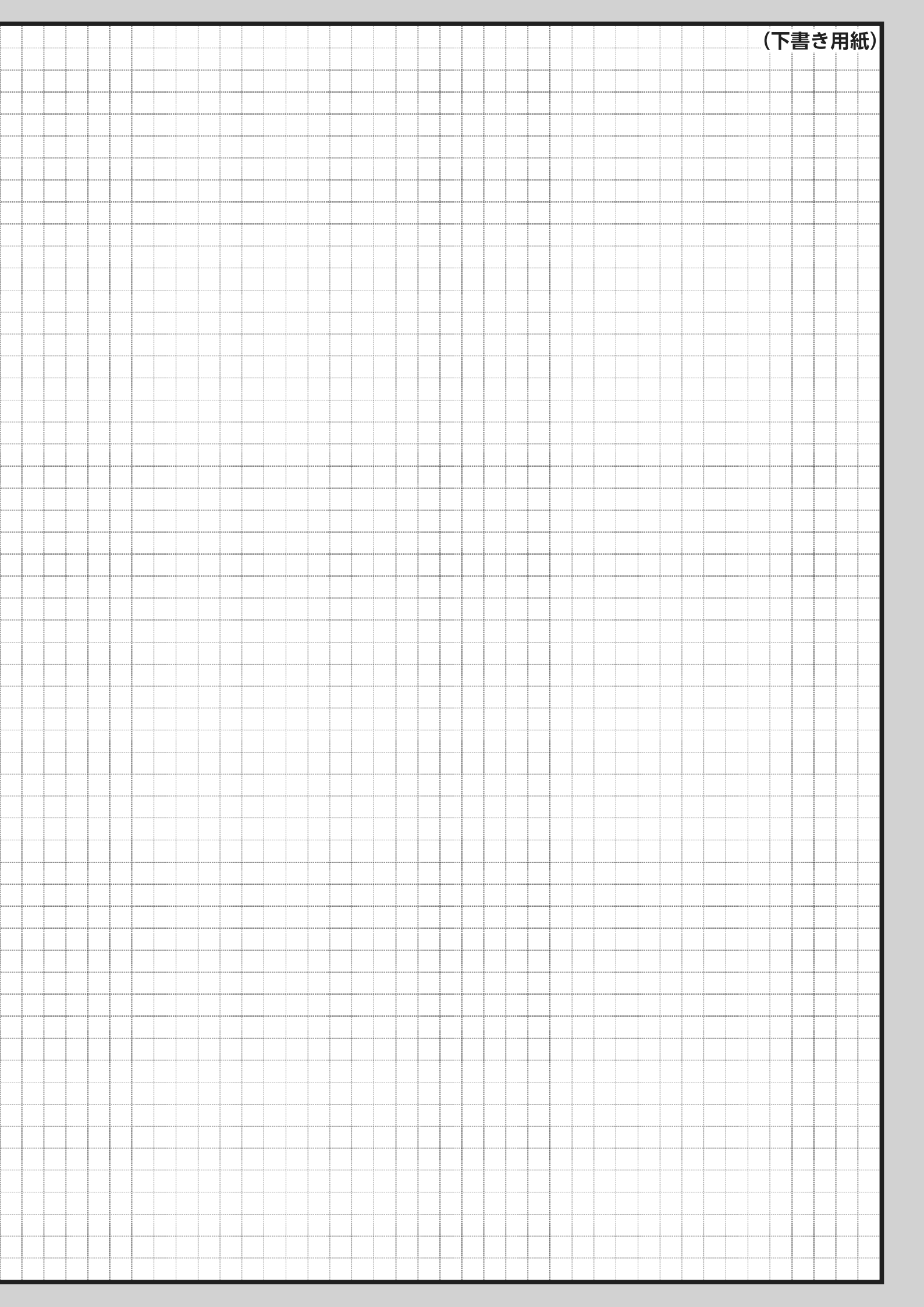




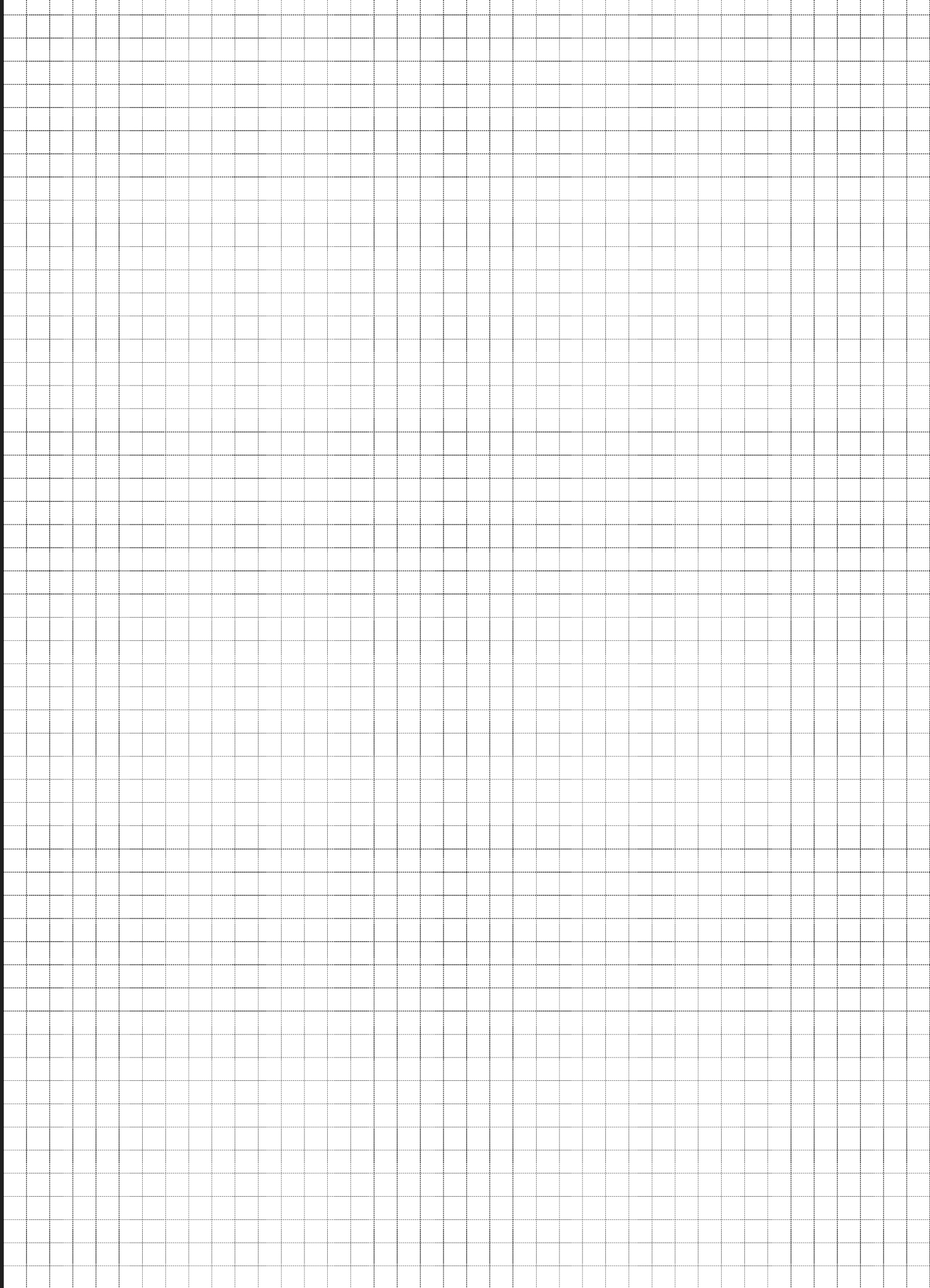
(下書き用紙)



(下書き用紙)



(下書き用紙)





(c) 式⑦の近似表現について以下の問いに答えよ。

(i) 式⑦で  $\beta = -\psi$ ,  $r = \dot{\psi} = -\dot{\beta}$ ,  $p = 0$  と近似して、 $\delta_r$  を入力、 $\beta$  を出力とする伝達関数を表せ。

(ii) 方向静安定に加えて、機体が方向動安定を有するための空力微係数の条件を示せ。

(d) 式④, ⑥の近似表現について以下の問いに答えよ。

(i)  $\beta = 0$ ,  $r = 0$  と近似した式④, ⑥から、 $\delta_a$  を入力、 $\phi$  を出力とする伝達関数を表せ。

(ii)  $\phi = 0$ ,  $p = 0$  の水平定常飛行状態から、時刻  $t = 0$  でエルロンをステップ状に操舵したとする。このとき、 $\phi$ ,  $p$  の時間応答の関係図を描け。

ただし、空力微係数の符号は、 $L_{\delta_a} > 0$ ,  $L_p < 0$  とする。

科目 16. 構造力学(土木) [No. 16]

本科目の選択者は、科目 11(材料力学[機械系])を選択することはできません。

【No. 16】 構造力学に関する以下の設問に答えよ。

ただし、解答は、その導出過程も記述すること。また、梁や部材の自重は無視できるものとし、たわみは鉛直下向き、回転角は反時計まわりを正とする。

(1) 折れ線状の棒部材から成る構造を図 I に示す。この構造に関する以下の問いに答えよ。

ただし、部材の曲げ剛性は一定で  $EI$  とし、軸力による伸び縮みは無視できるものとする。

(a) 点 A に鉛直下向きの集中荷重  $P$  が作用するときの曲げモーメント図を描け。

ただし、部材を図 II のように分解し、曲げモーメントによる引張応力が発生する側にモーメント分布の図を描け。

(b) 点 A に鉛直下向きの集中荷重  $P$  が作用するときの A の鉛直変位  $v_{A1}$  を求めよ。

(c) 以下の記述の㉞、㉟に適切な語句を入れよ。

ただし、㉞に「鉛直下」、㉟に「水平右」は入らないものとする。

「相反定理により、点 A に鉛直下向きの集中荷重  $P$  が作用するときの A の水平右向きの変位  $u_A$  は、A に  向きに集中荷重  $P$  が作用するときの  向きの変位と等しい。」

(d) (c)の  $u_A$  を求めよ。

なお、この構造の点 A に水平右向きに集中荷重  $P$  のみを作用させたとき、A の鉛直変位が  $\frac{10PL^3}{EI}$ 、右向きを正とした水平変位が  $\frac{23PL^3}{3EI}$  であることを用いてよい。

(e) 図 III のように点 A を鉛直壁に取り付けたローラー支点で支持した。A に鉛直下向きの集中荷重  $P$  が作用するときのローラー支点の水平反力  $H_A$  の向きと大きさを求めよ。

(f) (e)のときの点 A の鉛直変位を  $v_{A2}$  としたとき、 $v_{A1} - v_{A2}$  を求めよ。

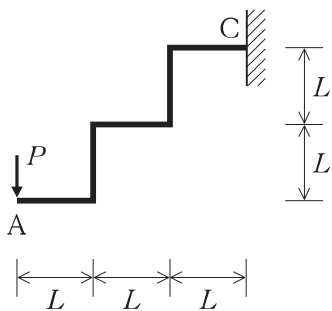


図 I

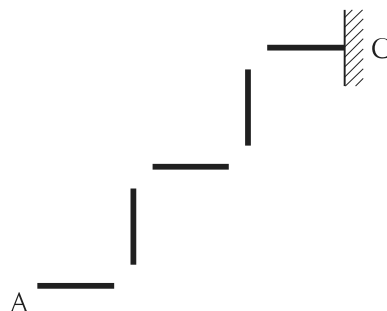


図 II

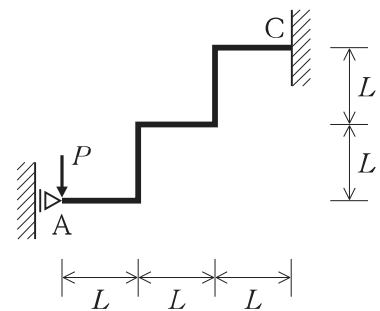


図 III

(2) 連続体力学にいくつかの仮定を導入することで、初等梁理論が定式化される。初等梁理論に関する以下の問いに答えよ。

ただし、断面の回転角  $\theta$  は十分に小さく、 $\sin\theta \doteq \tan\theta \doteq \theta$  としてよい。また、梁に曲げモーメントのみが作用しており、軸力は作用しておらず、垂直応力  $\sigma$  と垂直ひずみ  $\varepsilon$  の間には Hooke の法則が成り立つとしてよい。ここで、 $E$  は Young 率である。 $x$  軸は梁軸の右向きを正にとり、 $y$  軸は原点を中立軸位置とし鉛直下向きを正にとり、 $\theta$  は反時計まわりを正にとる。

(a) 初等梁理論では、 $x, y$  における軸方向変位  $u(x, y)$  は断面の回転角  $\theta(x)$  を用いて次式で表される。この関係が成り立つために必要な仮定について簡潔に説明せよ。

$$u(x, y) = \theta(x)y \quad \dots\dots\textcircled{1}$$

(b) 初等梁理論では、断面の回転角  $\theta(x)$  はたわみ  $v(x)$  により次式で表される。この関係が成り立つために必要な仮定について簡潔に説明せよ。

$$\theta = -\frac{dv}{dx} \quad \dots\dots\textcircled{2}$$

(c) (a)の式①を用いて、 $x, y$  における軸方向の垂直応力  $\sigma(x, y)$  を、 $\theta(x), y, E$  を用いて表せ。

(d) 断面に作用する曲げモーメント  $M(x)$  を、 $\theta(x), y, E$ 、断面の積分  $\int_A dA$  を用いて表せ。  
ただし、 $A$  は断面の領域である。

(e) (c), (d)の結果を用いて、 $x, y$  における軸方向の垂直応力  $\sigma(x, y)$  を、 $y, M(x)$ 、断面の積分  $\int_A dA$  を用いて表せ。

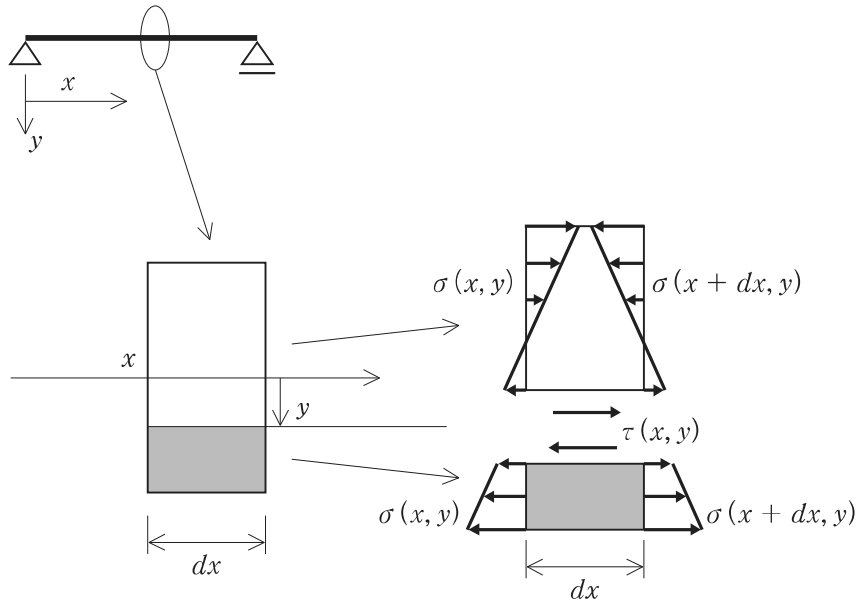
(f) (b)の式②により、断面内のせん断ひずみは0(ゼロ)となる。このため、せん断応力をせん断ひずみから求めることはできない。そこで、力の釣合いからせん断応力を求めることを考える。図IVは幅  $b$ 、高さ  $h$  の長方形断面の梁の  $x$  から  $x + dx$  の微小要素を、 $y$  で分割した自由体の図である。この網掛けした自由体の水平方向の釣合い式を、 $dx$ 、 $\tau(x, y)$ 、 $\sigma(x, y)$ 、 $\sigma(x + dx, y)$ 、 $b$ 、網掛けした自由体の断面の積分  $\int_{A_y} dA$  を用いて表せ。

ただし、 $A_y$  は網掛けした自由体の断面の領域である。

(g) (f)の結果を用いて、 $x$ 、 $y$ におけるせん断応力  $\tau(x, y)$  を、 $y$ 、 $Q$ 、 $I$ 、 $b$ 、断面の積分  $\int_{A_y} dA$  を用いて表せ。

ただし、 $Q$  はせん断力、 $I$  は断面二次モーメントである。

なお、 $Q = \frac{dM}{dx}$  を用いてよい。



図IV

(3) 図Vのように、曲げモーメント  $M$  を受け軸力が作用していない梁を考える。梁の断面は幅  $b$ 、高さ  $h$  の長方形である。材料は弾塑性体であり、その垂直応力  $\sigma$  と垂直ひずみ  $\varepsilon$  の関係は、図VIに示すように、弾性部分は Young 率  $E$  の線形弾性、初期降伏応力は  $\sigma_y$ 、硬化はせず降伏応力は一定であるとする。

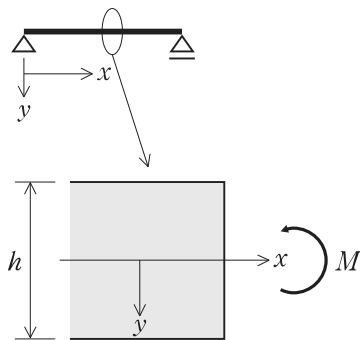
この梁のある断面に作用する  $M$  を 0 (ゼロ) から少しずつ増加させたところ、初めは断面内の全ての点が弾性状態であるが、 $M$  が  $M_y$  のときに初めて断面内に降伏する点が生じた。さらに  $M$  を増加させたところ、 $M$  は  $M_u$  に限りなく近づき、 $M_u$  を超えることはなかった。初等梁理論の仮定が成立するとして以下の問いに答えよ。

ただし、 $x$  軸は梁軸の右向きを正にとり、 $y$  軸は原点を中立軸位置とし鉛直下向きを正にとる。また、 $M$  は図Vに示すように、梁が下に凸となる向きを正とし、垂直ひずみ、垂直応力は引張りを正とする。

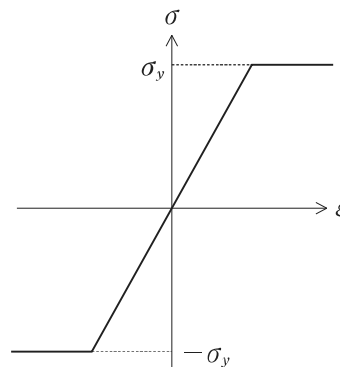
- 断面のどの点も降伏していないとき、軸方向の垂直ひずみの  $y$  方向分布の図を描け。
- $M_y$  を、 $b$ 、 $h$ 、 $\sigma_y$  を用いて表せ。
- $M_u$  が生じるときの軸方向の垂直応力の  $y$  方向分布の図を描け。
- この断面に作用する  $M$  が、 $M_y < M < M_u$  を満たすときの軸方向の垂直応力の  $y$  方向分布の図を描け。
- $\frac{M_u}{M_y}$  を求めよ。
- この断面の曲げモーメント—曲率関係の図を描け。

ただし、直線は破線で、曲線は実線で描き、図中には  $M_y$ 、 $M_u$  も示すこと。

なお、曲率は断面の回転角の  $x$  に関する導関数である。



図V



図VI

科目 17. 土質力学 [No. 17]

【No. 17】 土質力学に関する以下の設問に答えよ。

ただし、解答は、その導出過程も記述すること。

(1) 地山を掘削し、その土を使って盛土を構築したい。以下の問いに答えよ。

(a) 地山及び盛土の基本的な物理量に関する以下の問いに答えよ。

ただし、地山の土の湿潤単位体積重量は  $1 \text{ m}^3$  当たり  $19.80 \text{ kN}$ 、含水比  $w_1 = 10.0 \%$ 、土粒子の比重  $G_s = 2.70$ 、水の単位体積重量  $\gamma_w = 10.00 \text{ kN/m}^3$  とする。

(i) 地山の土の乾燥単位体積重量と間隙比を求めよ。

(ii) 掘削した土を含水比  $w_2 = 12.0 \%$  にして乾燥単位体積重量  $\gamma_d = 20.00 \text{ kN/m}^3$  となるように盛土を構築したい。盛土の湿潤単位体積重量を求めよ。

(iii) 含水比を  $w_1 = 10.0 \%$  から  $w_2 = 12.0 \%$  にして乾燥単位体積重量  $\gamma_d = 20.00 \text{ kN/m}^3$  となるように盛土を構築するのに、土  $1 \text{ m}^3$  当たりに加える水の重量を求めよ。

(iv) 土の水中単位体積重量  $\gamma' (\gamma_{sub})$  を、間隙比  $e$ 、 $G_s$ 、 $\gamma_w$  を用いて表せ。

なお、土の湿潤単位体積重量  $\gamma_t$  は、含水比  $w$ 、 $e$ 、 $G_s$ 、水の単位体積重量  $\gamma_w$  を用いて次式で表される。

$$\gamma_t = \frac{(1+w)G_s}{1+e} \gamma_w$$

(b) 構築した盛土の破壊状態について考える。盛土がせん断破壊したときの土中の要素の状態を図 I として、以下の問いに答えよ。

ただし、破壊面角度は水平面から  $\alpha$ 、破壊時での要素の鉛直方向直応力 (= 最大主応力) 及び水平方向直応力 (= 最小主応力) をそれぞれ  $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、土の強度パラメータは粘着力  $c$ 、内部摩擦角  $\phi$  とする。

(i) 図 I の応力状態を、応力の Mohr 円を描け。

ただし、図中には破壊規準式を示すこと。

(ii)  $\phi$  と  $\alpha$  の関係式を示せ。

(iii)  $c$  を、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $\phi$  を用いて表せ。

(iv) 破壊面上の応力 (直応力  $\sigma_f$ 、せん断応力  $\tau_f$ ) を、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 、 $\phi$  を用いて表せ。

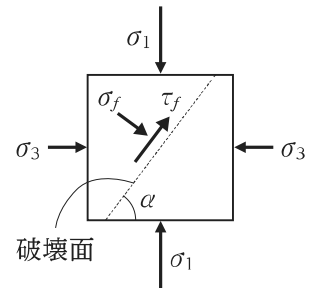
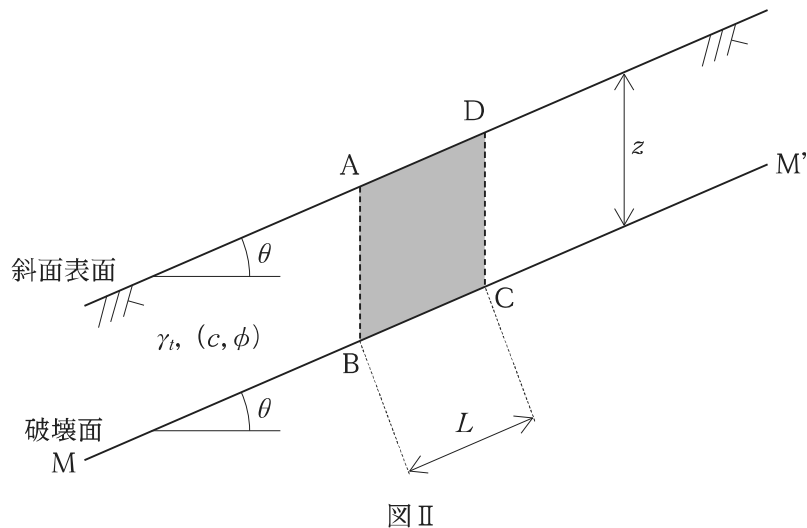


図 I

(2) 図Ⅱに示す無限斜面の安定問題について、領域 ABCD を考える。安全率を 1.0 として、以下の問いに答えよ。

ただし、M-M' 面(斜面勾配と想定する破壊面)は斜面表面と平行で水平面からの角度は  $\theta$ 、辺 BC の長さ  $L$ 、土層の深さ  $z$ 、土の湿潤単位体積重量  $\gamma_t$  とし、土の強度パラメータは粘着力  $c$ 、内部摩擦角  $\phi$  とする。

- (a) 単位奥行き(1.0 m)当たりのすべり破壊をもたらす作用力を、 $\gamma_t$ ,  $z$ ,  $\theta$ ,  $L$  を用いて表せ。
- (b) 単位奥行き(1.0 m)当たりのすべり破壊に対する抵抗力を、 $\gamma_t$ ,  $z$ ,  $\theta$ ,  $L$ ,  $c$ ,  $\phi$  を用いて表せ。
- (c) M-M' 面ですべり破壊しないための条件式を、 $\gamma_t$ ,  $z$ ,  $\theta$ ,  $c$ ,  $\phi$  を用いて表せ。
- (d) 土の物性が  $c = 0$ ,  $\phi \neq 0$  の場合、M-M' 面ですべり破壊する  $\theta$  の条件式を、 $\phi$  を用いて表せ。
- (e) 土の物性が  $c \neq 0$ ,  $\phi \neq 0$  の場合、M-M' 面ですべり破壊する  $z$  の条件式を、 $\gamma_t$ ,  $\theta$ ,  $c$ ,  $\phi$  を用いて表せ。



科目 18. 水理学[No. 18]

本科目の選択者は、科目 13(流体力学[機械系])を選択することはできません。

【No. 18】 管水路の流れに関する以下の設問に答えよ。

ただし、解答は、その導出過程も記述すること。

- (1) 図 I のように、水槽に接続された円管路から水を大気中に流出させる。円管路の摩擦損失係数は  $f$  であり、入口損失係数  $f_e$ 、急拡大損失係数  $f_{se}$  をそれぞれ、 $f_e = 0.25\alpha$ 、 $f_{se} = 0.5\alpha$  とする。また、AB、BC 間の円管路の長さはそれぞれ  $l_1$ 、 $l_2$  であり、 $l_2 = 20l_1$  とし、AB、BC 間の管径はそれぞれ  $d_1$ 、 $d_2$  であり、 $2d_1 = d_2$  とし、地点 C における流出流速は  $V$  である。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、重力加速度の大きさは  $g$ 、エネルギー補正係数は  $\alpha$  であり、流出管全域で一定とする。また、水槽には水の補給があり、水槽内の水位(円管路中心(図 I の一点鎖線)から水面までの高さ)  $H$  は常に一定に保たれているものとする。

- (a) AB 間の流速  $v_{AB}$  を、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $V$  のうち必要なものを用いて表せ。  
(b) 入口損失水頭  $h_e$  を、 $f_e$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $V$ 、 $g$  のうち必要なものを用いて表せ。  
(c) 急拡大損失水頭  $h_{se}$  を、 $f_{se}$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $V$ 、 $g$  のうち必要なものを用いて表せ。  
(d) AC 間の摩擦損失水頭  $h_f$  を、 $f$ 、 $d_1$ 、 $l_1$ 、 $V$ 、 $g$  を用いて表せ。  
(e)  $V$  を、 $g$ 、 $H$ 、 $\alpha$ 、 $f$ 、 $d_1$ 、 $l_1$  を用いて表せ。  
(f) 図 I の概形図を答案用紙に示し、その図中にエネルギー線(実線)、動水勾配線(点線)を描け。  
ただし、水圧はゲージ圧とし、作図に当たっては、各種損失の大小関係が分かるように描け。

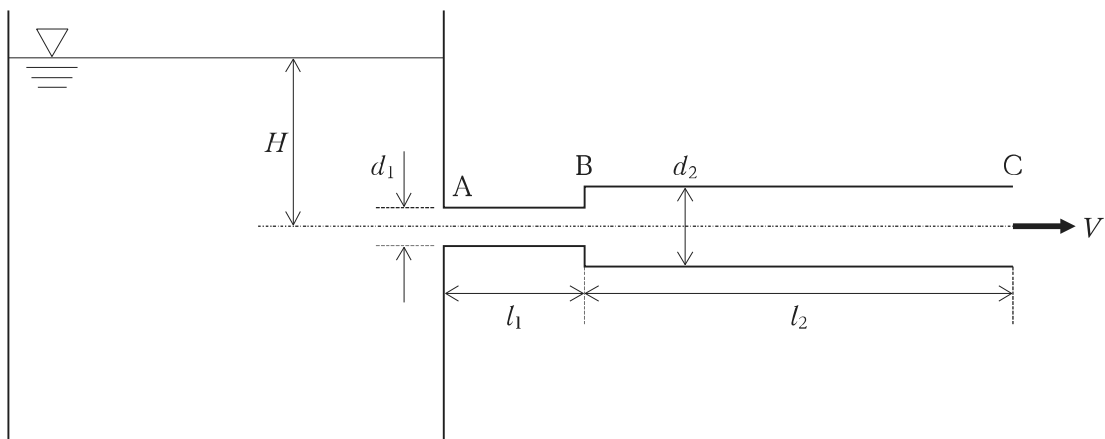


図 I



- (2) (1)で示した  $\alpha$  を、完全流体を仮定したある一つの流線上で成立する Bernoulli の式①から導出することを考える。

$$\frac{v^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g} = H = \text{const} \quad \dots\dots\textcircled{1}$$

ここで、 $v$  は流速、 $g$  は重力加速度の大きさ、 $z$  は基準面からの高さ、 $p$  は圧力、 $\rho$  は流体の密度、 $H$  は全水頭である。式①を円管路の粘性流体の流れに適用しようとする、円管内の流線ごとに全水頭が異なることが問題となる。そこで、全水頭の断面平均  $H_m$  を算定し、それをその断面の全水頭とすることを考える。いま、断面積  $A$  の円管断面内に微小面  $dA$  を考え、その中心の流速を  $u$ 、圧力を  $p'$ 、基準面からの高さを  $z'$ 、全水頭を  $H^*$  と定義する。以下の問いに答えよ。

- (a) 単位時間あたりに  $dA$  を通過する流れのエネルギー(エネルギー流束)  $e_f$  を  $\rho$ 、 $g$ 、 $u$ 、 $dA$ 、 $H^*$  を用いて表せ。
- (b) 断面内で平均した全水頭  $H_m$  を、 $U$ 、 $A$ 、 $u$ 、 $z'$ 、 $p'$ 、 $\rho$ 、 $g$ 、 $dA$  を用いて表せ。  
ただし、 $U$  は断面平均流速とする。
- (c) (b)で示した  $H_m$  には、微小面でのピエゾ水頭が含まれるが、流線の曲率が小さく、遠心力が無視できる場合は、ピエゾ水頭は断面内で一定となる。このことを踏まえ、以下の問いに答えよ。
- (i)  $\alpha$  を、 $U$ 、 $A$ 、 $u$ 、 $dA$  を用いて表せ。
- (ii) (i)で導出した式をもとに、 $\alpha$  の意味を2行以内で説明せよ。

(3) 図 I の BC 間の流れについて、図 II に示すように、円管の軸に沿って流れの方向に  $x$  軸、円管の軸に垂直な面内に水平に  $y$  軸、鉛直上向きに  $z$  軸をとり、 $x$  方向の流速を求めることを考える。以下の問いに答えよ。

ただし、円管の半径は  $R$  とし、流れは一定の圧力勾配のもと、定常流かつ層流で流れているものとする。また、この流れは完全に発達した流れであり、管軸に対して対称かつ一方向であるものとする。さらに、この流れに作用する外力は重力のみであり、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

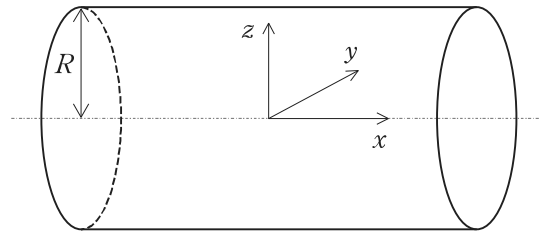


図 II

(a) この流れの連続式及び Navier-Stokes の運動方程式はそれぞれ式②、③で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots ②$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots ③$$

ここで、 $u$ 、 $v$ 、 $w$  はそれぞれ  $x$  方向、 $y$  方向、 $z$  方向の流速、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  はそれぞれ  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向の外力、 $p$  は圧力、 $\nu \left( = \frac{\mu}{\rho} \right)$  は水の動粘性係数で、 $\mu$ 、 $\rho$  はそれぞれ水の粘性係数、密度である。

式②、③において、与条件のうち適切なものを用いると、いくつかの項を省略することができる。以下の問いに答えよ。

- (i) 連続式を簡略化せよ。
  - (ii)  $x$  方向の運動方程式を簡略化せよ。
  - (iii)  $y$  方向の運動方程式を簡略化せよ。
  - (iv)  $z$  方向の運動方程式を簡略化せよ。
- (b) (a)で得られた  $z$  方向の運動方程式より、 $p$  の式を、 $\rho$ 、 $g$ 、 $z$ 、 $p^*$ を用いて表せ。

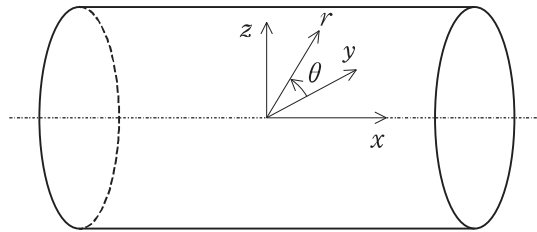
ただし、 $p^*$  は円管路中央 ( $z = 0$ ) での圧力である。

(c) (b)の結果をもとに、 $\frac{dp^*}{dx}$  を、 $\mu$ 、 $u$ 、 $y$ 、 $z$  を用いて表せ。

次に、(c)で得られた式を適切な境界条件を満足するように解くことで  $u$  が求められるが、解を求めることは容易ではない。そこで、円管内の流れは管軸に対して対称で、流速は軸から半径方向  $r$  のみの関数になることを考えて、円筒座標系を用いて解くことを考える。図Ⅲのように、直交座標系  $(x, y, z)$  から円筒座標系  $(x, r, \theta)$  へ変換すると、(c)で得られた式は、式④に変換される。以下の問いに答えよ。

ただし、円管の壁面での滑りはないものとする。

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{du}{dr} \right) = \frac{r}{\mu} \frac{dp^*}{dx} \quad \dots\dots ④$$



図Ⅲ

- (d) 式④をもとに  $u$  を、 $r, \mu, p^*, x, C_1, C_2$  を用いて表せ。  
ただし、 $C_1, C_2$  は積分定数とする。
- (e)  $u$  を、 $\mu, p^*, x, R, r$  を用いて表せ。  
ただし、導出する際に用いる二つの条件も明記すること。
- (f) (e)で示した流れの名称を示せ。
- (g) 円管内の流量  $Q$  を、 $\mu, p^*, x, R$  を用いて表せ。
- (h) 円管内の平均流速を  $u_m$ 、最大流速を  $U_{max}$  としたとき、 $U_{max} = 2u_m$  となることを示せ。

科目 19. 土木計画〔No. 19A, 19B, 19C〕

本科目の選択者は、科目 20(環境工学(土木)・衛生工学)を選択することはできません。

【No. 19】 次のA, B, Cいずれか一つのみ<sup>①</sup>に答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 都市計画法に関する以下の問いに答えよ。

「都市計画制度の体系は、基本となる都市計画法と多くの関連法規から構成され、運用されている。都市計画法では第1条で法の目的を定めており、「都市計画の内容及びその決定手続、都市計画制限、都市計画事業その他都市計画に関し必要な事項を定めることにより、都市の健全な発展と  ある整備を図り、もつて国土の  ある発展と公共の  の増進に寄与することを目的とする。」としている。

都市計画の立案においては、まず計画の対象とする都市の区域を確定する必要があり、都市計画法ではそれを  として定めている。都市計画の適用範囲は、原則として  内に限り、この外においては、都市計画の立案や都市計画による規制を行うことができない。例外的に  外において都市計画を適用するものとして  と、1 ha 以上の大規模開発に対する  及び  を定める場合がある。

都市計画法では、都市計画の定義を「都市の健全な発展と  ある整備を図るための  、  の整備及び <sup>①</sup>市街地開発事業に関する計画」としており、①土地の使い方を定める  に関する計画、②道路や公園などの  に関する計画、③面的に市街地を整備する市街地開発事業に関する計画の3種類を基本としている。

区域区分とは、 を <sup>②</sup>市街化区域と市街化調整区域に区分し、それぞれの区域の性格に即した開発規制を課す仕組みである。」

- (a) 上記の記述の㉗～㉙に適切な語句を入れよ。
- (b) 上記の記述の下線部①の種類について、代表的なものを二つ挙げ、それぞれの事業の目的を説明せよ。
- (c) 上記の記述の下線部②について、それぞれがどのような区域か違いが分かるように3行程度で説明せよ。

(2) 道路がもつ「交通機能」と「空間機能」に関する以下の問いに答えよ。

(a) 「交通機能」は「トラフィック機能」と「アクセス機能」に分類されるが、それぞれの機能について期待される効果を二つずつ挙げよ。

(b) 「空間機能」に関して述べた以下の記述の㉗～㉙に適切な語句を入れよ。

「道路の空間機能としては、都市の骨格や街区を形成する市街地形成機能、災害時の ㉗ の確保や ㉘ の防止などのための防災空間機能、緩衝空間、通風・ ㉙ の確保、人々が集い憩う場所の形成や修景といった環境空間としての機能、 ㉚ 施設や上下水道、電力などのライフラインの収容空間としての機能がある。道路上の電力線や電話線などの電線類や電柱をなくす無電柱化は、良好な ㉛ を形成するとともに、歩道の有効幅員を広げることで、通行空間の安全性・快適性を確保する。さらには、大規模災害が起きたときに、電柱が倒壊することによる道路の ㉜ を防止する観点から、共同溝の整備により進められている。」

(3) 我が国の都市の課題に関する以下の問いに答えよ。

・「平成 30 年度に地方自治体に対しアンケートを実施し、中心市街地における課題認識、取組実態、支援ニーズ等の把握を行った。中心市街地の現在の課題については、①「空き店舗・空き家・空き地等の遊休施設・遊休地の拡大」、「賑わいの空間としての魅力の低下」、「小売業等商業機能の低下」を挙げた回答が 6 割を超える。」

・「国土交通省が平成 29・30 年度に実施した全国の市区町村に対する住宅団地再生に関するアンケート結果によると、100 ha 以上の住宅団地(496 団地)に対して認識されている課題は、②「高齢者・独居高齢者が多い」、「住宅以外の用途導入が困難」、「生活利便機能低下」等が多くなっている。」

・「高齢者の免許非保有者、免許返納の数は、近年大幅に増加し、高齢者を中心に、公共交通がなくなると生活できなくなるのではないかと、という声が多い。一方、③路線バス事業の輸送人員は軒並み大幅な下落傾向であるが、特に地方部の減少は激しい。また、令和 2 年度では、路線バス事業者の全国の 99.6 % の事業者が赤字であり、また、平成 22 年度からの 10 年間で 12,302 km の路線が廃止されている。」

(a) 上記の記述の下線部①，②，③で述べられた課題の原因と考えられるものを、それぞれ二つずつ挙げよ。

(b) 上記の記述の下線部①，②，③で述べられた課題に対して、課題が発生している地域で実施可能な対応策を、課題ごとにそれぞれ 2 行程度で説明せよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 河道計画に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 「不等流」と「不定流(非定常流)」の違いについて、3行程度で説明せよ。
- (b) 「セグメント区分」について、3行程度で説明せよ。

(2) 治水対策に関する以下の問いに答えよ。

「①河川堤防は、歴史的な経緯の中で、②多くが土で造られてきており、大洪水に遭遇して危険な状態になることを経験すると、その後順次、嵩上げ及び拡幅などを実施することにより強化を図ってきた構造物である。」

- (a) 上記の記述の下線部①を整備する目的を簡潔に説明せよ。
- (b) 上記の記述の下線部②の理由を二つ挙げよ。
- (c) 近年、堤防決壊などの被害が相次ぐ中小河川に関する以下の問いに答えよ。
  - (i) 中小河川の特徴及び課題について簡潔に説明せよ。
  - (ii) 中小河川における具体的な治水対策について、ハード及びソフトの両面から簡潔に説明せよ。

(3) 流域治水に関する以下の問いに答えよ。

- ・「流域治水の本格的実践のため、特定都市河川流域において、法的枠組み・予算制度・税制などを最大限活用し、①遊水地・雨水貯留浸透施設などのハード対策と②浸水リスクの高い土地の利用規制などのソフト対策を強力に推進。」
- ・「水害リスク情報の充実のため、想定最大規模降雨の洪水で想定される浸水深を表示したハザードマップに加え、③浸水範囲と浸水頻度の関係をわかりやすく図示した水害リスクマップを新たに整備。」

- (a) 上記の記述の下線部①の整備効果について、それぞれ2行程度で説明せよ。
- (b) 上記の記述の下線部②の具体的な対策について、二つ挙げよ。
- (c) 上記の記述の下線部③について、従来のハザードマップとの違いに留意しつつ、現在の水害リスクと今後実施する河川整備の効果を反映した将来の水害リスクを提示することの効果を二つ挙げよ。

(4) ダムに関する以下の問いに答えよ。

- (a) 以下の用語について、それぞれ2行程度で説明せよ。
  - (i) 重力式コンクリートダム
  - (ii) アーチ式コンクリートダム
- (b) 雨量予測技術の開発によって、ダム運用の高度化を図る取組みについて具体的に説明せよ。

C 以下の設問に答えよ。

(1) 海岸工学に関する以下の問いに答えよ。

(a) 波の回折とはどのような現象か、波数が与える影響を含めて簡潔に説明せよ。

(b) 離岸流について、発生メカニズムを含め、次の語句を全て用いて説明せよ。

ただし、解答中に用いた語句に下線を引くこと。

なお、必要に応じて図を用いてもよい。

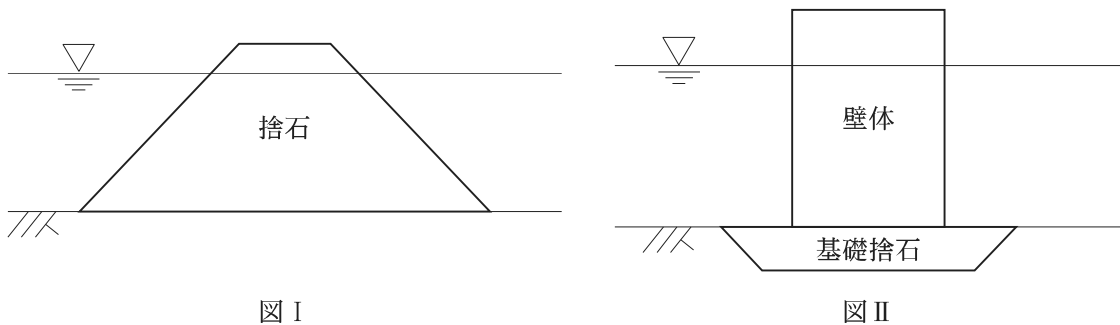
[語句：碎波帯、海水の質量輸送、沿岸流]

(c) 朔望平均満潮位(朔望平均満潮面)の定義を簡潔に説明せよ。

(d) 潮汐の調和分解について簡潔に説明せよ。

(2) 防波堤に関する以下の問いに答えよ。

港湾の外郭施設の一つに防波堤がある。図Ⅰ、Ⅱはその代表的な構造形式のうちの二つを示している。



(a) 図Ⅰの名称を示すとともに、長所及び短所を一つずつ挙げよ。

(b) 図Ⅱの名称を示すとともに、長所及び短所を一つずつ挙げよ。

(c) 防波堤の配置計画時に考慮すべき事項を一つ挙げよ。

(3) 海上コンテナ輸送に関する以下の問いに答えよ。

「我が国は、 港、 港、川崎港の3港から成る京浜港と、 港、 港の2港から成る阪神港を国際海上コンテナ輸送網におけるハブ港とすることを目指し、上記港湾への広域からの貨物集約などによる「集貨」、背後への産業集積による「創貨」、大水深コンテナターミナルの機能強化や港湾運営会社に対する国の出資制度の創設などによる「競争力強化」の3本柱から成る「国際コンテナ  港湾政策」を推進している。」

(a) 上記の記述㉗～㉛に当てはまる適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。

なお、㉗、㉘は順不同とし、㉙、㉚も順不同とする。

[語句：東京、横浜、千葉、名古屋、大阪、神戸、高松、広島、戦略、拠点、重要]

(b) 国際海上コンテナ輸送はハブ&スポーク方式の輸送形態と言われるが、それが具体的にどのような輸送形態か2行程度で説明せよ。

(c) 我が国がハブ港を持つことで得られる、海上コンテナ輸送上のメリットを一つ挙げ、簡潔に説明せよ。



科目 20. 環境工学(土木)・衛生工学[No. 20A, 20B]

本科目の選択者は、科目 19(土木計画)を選択することはできません。

【No. 20】 次のA, Bいずれか一つのみに答えよ。

A 環境問題に関する以下の設問に答えよ。

(1) 放射性物質に関する以下の問いに答えよ。

(a) 「放射性物質」、「放射能」、「放射線」に関する次の記述の㉠～㉣に適切な語句を入れよ。

ただし、単位についてはカタカナ表記で解答することとする。

「カリウム、セシウム、ヨウ素など、 を出す力を持った物質のことを  という。 を出す力(能力)のことを  という。ベクレルは  の単位で、 を出す側に着目したものである。土や食品、水道水などに含まれる  の量を表すときに使われ、ベクレルで表した数値が大きいほど、そこからたくさんの  が出ていることを意味する。一方、 は人が受ける被ばく線量の単位である。 で表した数値が大きいほど、人体が受ける放射線の影響が大きいことを意味する。」

(b) 「内部被ばく」と「外部被ばく」の違いについて、3行程度で説明せよ。

(c) 成人が、1 kg 当たり 10 Bq のセシウム 134 と 20 Bq のセシウム 137 がそれぞれ含まれている食品を 800 g 食べた場合、食品中の放射性物質から受ける追加線量を導出過程も含めて求めよ。

ただし、成人のセシウム 134 とセシウム 137 の実効線量係数は、それぞれ  $0.019 \mu\text{Sv/Bq}$ 、 $0.013 \mu\text{Sv/Bq}$  とする。

(d) 放射性物質の半減期に関する次の記述の㉠、㉡、㉢に適切な語句を入れよ。

「放射性物質は、放射線を放出して別の原子核に変化し、最終的には放射線を出さない安定した物質に変わっていく。したがって、放射性物質の放射能は時間が経つにつれて弱まり、この変化の時間は、核種ごとに決まっており、元の放射性物質が半分になるまでの時間を  と呼ぶ。一方、食品などと一緒に体内に取り込まれた放射性物質は、体内で一部吸収され血中に入り、呼気や汗、又は便や尿などの排せつ物により体外に排出される。こうした過程により体内の放射性物質が半分になるまでの時間を  と呼ぶ。 と  は並行して進み、この、体内の実際の放射性物質が半分になるまでの時間を  という。」

- (2) 我が国における環境問題に関する以下の問いに答えよ。
- (a) 環境基準の見直しについて、生活環境項目環境基準のうち、大腸菌群数が大腸菌数に見直された(令和4年4月施行)が、この理由を簡潔に説明せよ。
  - (b) 地盤沈下(ただし、鉱物の掘採のための土地の掘削によるものを除く。)の発生原因について、簡潔に説明せよ。
  - (c) 石綿(アスベスト)の特性と人体への影響について、3行程度で説明せよ。
  - (d) 残留性有機汚染物質(POPs)の四つの特徴を挙げよ。
  - (e) 産業廃棄物埋立処分場には、安定型最終処分場、管理型最終処分場、遮断型最終処分場の3種類があるが、管理型最終処分場と遮断型最終処分場の構造基準の違いについて、次の語句を全て用いて3行程度で説明せよ。

ただし、解答中に用いた語句に下線を引くこと。

[語句：コンクリート、遮水シート、遮断、水処理施設]

- (f) 水俣病に関する次の記述の㉞、㉟に適切な語句を入れよ。

「水俣病は、による中毒性の中樞神経系疾患であり、チッソ水俣工場の製造工程で副生されたが工場排水とともに排出され、環境を汚染し、魚介類にが濃縮蓄積され、これらの魚介類を地域住民が多食することにより生じたものである。」

B 上下水道に関する以下の設問に答えよ。

(1) 我が国の上水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 塩素消毒に関する以下の問いに答えよ。

(i) 塩素消毒の長所を三つ挙げよ。

(ii) クリプトスポリジウム対策における留意点と具体的な方法について、3行程度で説明せよ。

(b) 配水に関する以下の問いに答えよ。

(i) 配水池の役割と求められる機能について、3行程度で説明せよ。

(ii) 配水方式として、自然流下式とポンプ加圧式の概要について、その長所も含めてそれぞれ2行程度で説明せよ。

(c) 近年、水道事業者に対しても、エネルギー利用効率の向上、未利用エネルギーの活用など、低炭素社会構築への貢献が求められている。水道事業における省エネルギー対策と新エネルギー導入方策について、それぞれ一つずつ具体的に挙げよ。

(2) 我が国の下水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 公共用水域の水質保全の観点から、合流式下水道が抱える問題点を一つ挙げ、その問題点を改善する具体的な対策を二つ挙げよ。

(b) ポンプ場に関する以下の問いに答えよ。

(i) 中継ポンプ場と排水ポンプ場の役割について、それぞれ2行程度で説明せよ。

(ii) 近年、気候変動による豪雨の増加により、ポンプ場が浸水する被害も発生している。このような場合でもポンプ場の機能を確保するためのポンプ場における具体的な対策を二つ挙げよ。

(c) 生物学的なリン除去法である嫌気好気活性汚泥法に関する以下の問いに答えよ。

(i) 嫌気好気活性汚泥法の処理フローの図を描け。

(ii) 嫌気好気活性汚泥法におけるリン除去のプロセスを3行程度で説明せよ。

科目 21. 材料工学(材料科学)[No. 21 A, 21 B]

【No. 21】 次のA, Bいずれか一つのみ<sup>①</sup>に答えよ。

A X線を利用した分析に関する以下の設問に答えよ。

(1) X線の発生や利用に関する以下の問いに答えよ。

- (a) X線は、金属に高エネルギーの電子を衝突させることによって発生させることができる。陽極－陰極間に  $2 \times 10^4$  V の電位差を与え、電子を陰極から陽極に向けて加速させたときに陽極から放出される X 線の最短波長を有効数字 1 桁で求めよ。  
ただし、光速を  $3.0 \times 10^8$  m/s、プランク定数を  $6.6 \times 10^{-34}$  Js、電気素量を  $1.6 \times 10^{-19}$  C とする。
- (b) 電子を陰極から陽極に向けて加速させる電圧が十分大きいと、特性 X 線又は固有 X 線と呼ばれる X 線が発生する。この X 線の発生原理について 2 行程度で説明せよ。
- (c) 蛍光 X 線分析法は何を調べるための分析手法か簡単に説明せよ。
- (d) 軽元素から成る結晶の構造解析を行う場合には、X 線回折ではなく中性子線回折が利用されることがある。X 線回折を利用した場合にどのような点が問題になるのか 3 ~ 4 行で説明せよ。

(2) 単一波長の X 線を用いてデバイ・シェラー法で塩化ナトリウム (NaCl) 粉末の回折測定を行い、表のような結果を得た。以下の問いに答えよ。

ただし、 $\theta$  は回折角、 $d$  は面間隔、 $hkl$  はミラー指数を表す。

表

$2\theta [^\circ]$	相対強度	$d$ [nm]	$hkl$
25.01	8.75	0.326	⑦
28.96	100	0.282	200
41.41	63.2	0.199	220
48.99	2.09	0.170	311
51.32	19.4	0.163	222
60.00	8.03	0.141	400

- (a) この実験で用いた X 線の波長を有効数字 3 桁で求めよ。
- (b) NaCl の密度 [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] を有効数字 3 桁で求めよ。  
ただし、NaCl の式量を 58.44、アボガドロ定数を  $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  とする。また、 $0.141^3 = 2.80 \times 10^{-3}$  とする。
- (c) 表中の⑦に当てはまる適切なミラー指数を求めよ。
- (d) 単位格子内の Na 位置が以下の分率座標で表されるとき、単位格子内の Cl の分率座標を全て示せ。

$$\text{Na の分率座標} : (0, 0, 0), \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0\right), \left(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}\right), \left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$$

- (e) 結晶構造因子  $F$  は、ミラー指数  $hkl$ 、原子散乱因子  $f$ 、単位格子内の原子の分率座標  $(x, y, z)$  を用いて次の式で計算できる。添え字の  $j$  は単位格子内の  $j$  番目の原子であることを示す。また、 $i$  は虚数単位である。

$$F(hkl) = \sum_j f_j \exp \{2\pi i (hx_j + ky_j + lz_j)\}$$

Na と Cl の原子散乱因子をそれぞれ  $f_{\text{Na}}$ 、 $f_{\text{Cl}}$  とするとき、 $F(100)$  及び  $F(311)$  を求めよ。

- (f) NaCl と同じ構造を有する塩化カリウム (KCl) の粉末 X 線回折を行うと、311 回折線が観測できなかった。この理由を次の語句を全て用いて説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：電子、イオン、結晶構造因子、散乱因子]

B A-B 二元系置換型固溶体のギブズエネルギー及び状態図に関する以下の設問に答えよ。

ただし、 $x_A$ 、 $x_B$  は純元素 A 及び B のモル分率 ( $x_A + x_B = 1$ )、 $\Omega$  は相互作用パラメータ、 $R$  は気体定数、 $T$  は絶対温度である。

(1) 正則溶体近似によって記述されるギブズエネルギー

$$G = x_A G_A + x_B G_B + \Delta G$$

$$\text{ただし、} \Delta G = \Delta H - T\Delta S = \Omega x_A x_B + RT(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$$

に関する以下の問いに答えよ。

ここで、 $G_A$ 、 $G_B$  は A 及び B のギブズエネルギー、 $\Delta G$ 、 $\Delta H$ 、 $\Delta S$  は過剰ギブズエネルギー、過剰エンタルピー、配置エントロピーである。

(a)  $\Omega$  は、最近接原子間相互作用のみを考慮する Bragg-Williams 近似の下では

$$\Omega = Nz \left[ e_{AB} - \frac{e_{AA} + e_{BB}}{2} \right]$$

と表せ、その符号によって固溶体中の B 原子がどのように振る舞うかを予測することができる。下表の㉠~㉣に当てはまる適切な語句を、それぞれの行における選択肢の中から一つずつ選び出して入れよ。

ただし、 $N$  はアボガドロ数、 $z$  は配位数、 $e_{xx}$  は X 原子間の結合エネルギー ( $X = A$  or  $B$ ) である。

	$\Omega > 0$	$\Omega = 0$	$\Omega < 0$	選択肢
同種原子間の相互作用	㉠	㉡	㉢	引力、斥力、なし
相分解の傾向	㉣	㉤	㉥	クラスタリング、規則化、理想溶体
対応する状態図	㉦	㉧	㉨	全率固溶型、二相分離型、規則-不規則変態型

(b) 両原子の混合に伴う配置エントロピーが  $\Delta S = -R(x_A \ln x_A + x_B \ln x_B)$  で表せることを示し、この混合が自発的であることを説明せよ。

ただし、 $\Delta S = k \ln W$  であり ( $k$  はボルツマン定数、 $W$  は  $N_A$  個の A 原子と  $N_B$  個の B 原子を  $(N_A + N_B)$  個の格子点上に無秩序に配置する仕方の総数)、 $N = N_A + N_B$  のように  $N$  が非常に大きい場合に成り立つ Stirling の近似式  $\ln N! \approx N \ln N - N$  を用いることができる。

(2)  $T = T_1$  で一定かつ  $\Omega > 0$  の場合の過剰ギブズエネルギー

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Omega x_A x_B + RT_1 (x_A \ln x_A + x_B \ln x_B) \\ &= \Omega (1 - x_B) x_B + RT_1 [(1 - x_B) \ln (1 - x_B) + x_B \ln x_B] \end{aligned}$$

に関する以下の問いに答えよ。

ただし、この  $\Delta G - x_B$  曲線は図(i)のように描けることがわかっている。

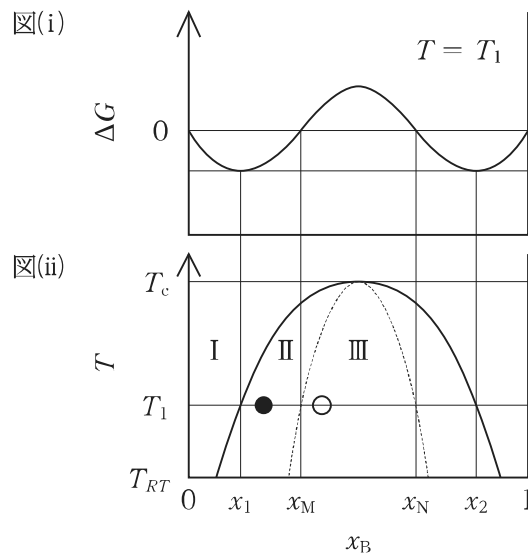
(a)  $\Delta G$  を  $x_B$  で偏微分し、 $\Delta G - x_B$  曲線の共通接線の接点  $x_1, x_2 (= 1 - x_1)$  の組が、

$$\ln\left(\frac{x_A}{x_B}\right) = \left(\frac{\Omega}{RT_1}\right)(x_A - x_B) \text{ の解として与えられることを示せ。}$$

ただし、 $x_1$  と  $x_2$  は  $T = T_1$  における溶解度限と呼ばれる。

(b)  $\Delta G$  を  $x_B$  で 2 階偏微分し、 $\Delta G - x_B$  曲線の変曲点  $x_M, x_N (= 1 - x_M)$  の組が、 $x_A x_B = \frac{RT_1}{2\Omega}$  の解として与えられることを示せ。

ただし、 $x_M$  と  $x_N$  は  $T = T_1$  におけるスピノーダル組成と呼ばれる。



(3) 様々な温度  $T$  に対して(2)で定義した  $x_1$  と  $x_2$ 、 $x_M$  と  $x_N$  の値をプロットすると、状態図上の溶解度ギャップ(図(ii)実線)及び化学スピノーダル線(図(ii)破線)が得られる。図(ii)に示した状態図に関する以下の問いに答えよ。

(a)  $x_1 < x_B < x_M$  の B 原子濃度をもつ試料を、一旦臨界温度  $T_c$  よりも高い温度で長時間保持してから室温 ( $T_{RT}$ ) まで急冷し、その後領域 II 内の温度  $T_1$  で保持した(図(ii)の●)際の微視的組織変化を、次の語句を全て用いて 4 ~ 5 行で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：過飽和固溶体、核生成、成長、ギブズエネルギー、正拡散]

(b)  $x_M < x_B < x_N$  の B 原子濃度をもつ試料を、一旦臨界温度  $T_c$  よりも高い温度で長時間保持してから室温 ( $T_{RT}$ ) まで急冷し、その後領域 III 内の温度  $T_1$  で保持した(図(ii)の○)際の微視的組織変化を、次の語句を全て用いて 4 ~ 5 行で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：過飽和固溶体、スピノーダル分解、濃度ゆらぎ、ギブズエネルギー、逆拡散]

科目 22. 材料工学(金属材料)[No. 22]

【No. 22】 金属材料の塑性加工及び回復・再結晶・粒成長に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 塑性変形が転位運動のみによる場合の加工硬化について、次の語句を全て用いて簡潔に説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

【語句：転位密度、フランク・リード源、ベイリー・ハーシュの関係】

- (2) 次の記述の㉞～㉠に当てはまる適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。  
ただし、一度使用した語句は再度使用することはできないものとする。

「回復は、加工により蓄積されたエネルギーを解放しようとして、再結晶の  に生じる現象である。回復により  の消滅が生じ、次いで  の消滅等が生じる。再結晶により  密度の  新しい結晶粒の形成と成長が生じる。」

【語句：点欠陥、転位、粒界、前、後、高い、低い】

- (3) 金属中に導入された転位がポリゴン化すると、転位セル壁を形成する。図 I に示すような、格子定数  $a$  を有する面心立方構造の刃状転位(完全転位)が間隔  $d$  で配列した小角境界での結晶方位差  $\theta$  を、 $a$  と  $d$  を用いて式で示せ。さらに、示した式に基づき、小角境界が有する単位面積当たりのエネルギーの  $\theta$  依存性について簡潔に説明せよ。

なお、必要に応じて、近似式  $\sin(x) \doteq x$  を用いてよい。

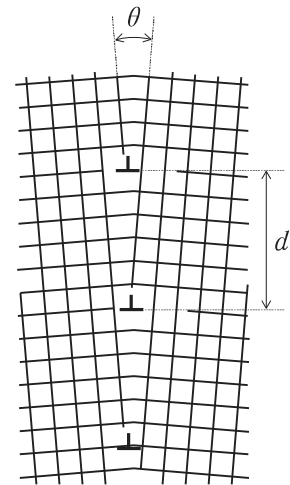
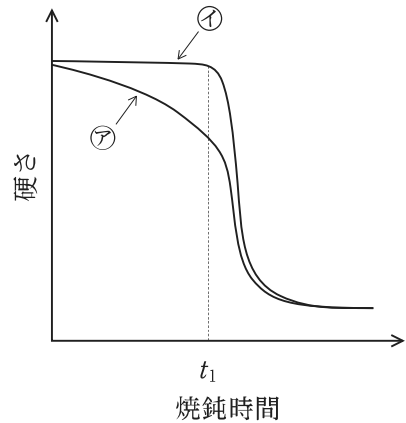


図 I



- (4) 図Ⅱは、塑性加工を受けた積層欠陥エネルギーの異なる2種類のFCC単相金属における、等温保持焼鈍に伴う軟化曲線(㉞、㉟)を表している。いずれの曲線も、焼鈍時間が $t_1$ より長くなると硬さが急激に低下している。軟化曲線㉞と㉟が示す回復の進行度の特徴について、次の語句を全て用いて4行程度で説明せよ。



図Ⅱ

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

【語句：積層欠陥エネルギー、転位、再結晶】

- (5) 再結晶(一次再結晶)の一般的な特徴として知られる次の記述㉞、㉟が成り立つ理由をそれぞれ3行程度で説明せよ。

㉞ 再結晶を生じさせるには、ある加工度以上の塑性変形が必要である。

㉟ 焼鈍温度が低いほど再結晶の完了に長時間を要する。

- (6) マトリクス(母相)中に第二相粒子が分散している合金における粒成長を考える。粒界移動のピン止め効果について以下の問いに答えよ。

- (a) マトリクスの粒成長の駆動力に関する次の記述の㉞、㉟に当てはまる適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。

「 が大きいほど、また  が小さいほど、粒成長の駆動力は大きくなる。」

【語句：マトリクスの結晶粒半径、マトリクスの粒界エネルギー、

マトリクスと第二相粒子間の異相界面エネルギー、第二相粒子の半径】

- (b) ピン止め力に関する次の記述の㉞、㉟に当てはまる適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。

「 が大きいほど、また  が小さいほど、ピン止め力は大きくなる。」

【語句：マトリクスの結晶粒半径、第二相粒子の半径、第二相粒子の体積率】

- (c) 熱処理中に粒成長の駆動力とピン止め力が等しくなると粒成長が完了する。粒成長完了時のマトリクスの結晶粒径をより小さくするために必要な第二相粒子の半径と体積率における熱処理前の条件について、粒成長の駆動力とピン止め力の比較に注目して4行程度で説明せよ。

ただし、マトリクスの粒界エネルギー、マトリクスと第二相粒子間の異相界面エネルギー、第二相粒子の半径及び体積率の熱処理中における変化は考えないものとする。

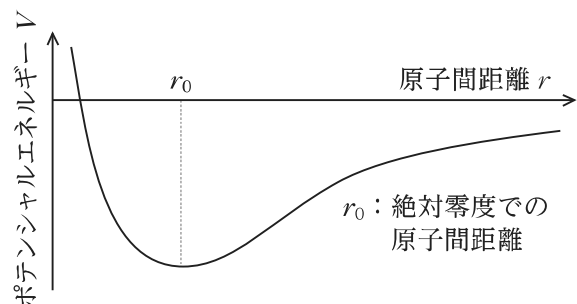
- (d) 熱処理条件によっては、限られた結晶方位を有する結晶粒のみが異常に成長することがある。この現象を利用して製造される鉄鋼材料を一つ挙げよ。

科目 23. 材料工学(無機材料)[No. 23]

【No. 23】 アルミナに関する以下の設問に答えよ。

- (1) 代表的なアルミナ原料の製造法としてバイヤー法が挙げられる。原料となる鉱石、使用する溶液、中間生成物として析出する物質を明示しながら、バイヤー法の概要を5行程度で説明せよ。
- (2) アルミナ粉末を常圧で焼結する際、焼結の前に成形体を作製することがよく行われる。代表的な成形体作製法であるプレス成形、射出成形、泥しょう鑄込み成形の三つについて、それぞれ2～3行ずつで説明せよ。
- (3) アルミナの焼結体を平行部の長さ25.0 mm、平行部の幅6.00 mm、厚さ3.00 mmの試験片に加工し、試験片の両面にひずみゲージを貼り、室温、大気中で試験片の長手方向に引張試験を行った。試験片は平行部で破断し、破断時の荷重は4536 Nであった。また、その時の両面の長手方向のひずみの平均値は $7.00 \times 10^{-4}$ であった。試験片が破断直前まで線形弾性変形をしていたと仮定し、引張強さとヤング率を求めよ。
- (4) (3)において平行部の長さのみを10倍に変えて同条件で試験を行ったところ、引張強さが低下した。この理由を最弱リンク説の立場から5～10行で説明せよ。
- (5) アルミナは様々な分野で利用されているが、その一つに回路用基板が挙げられる。アルミナが回路用基板として使用される理由を、絶縁性、熱伝導率、誘電率の観点から5行程度で説明せよ。
- (6) 1000℃に加熱した焼結アルミナ板の表面に送風し急激に冷却すると板が割れた。「熱応力」という語句を用いて、この現象を5～10行で説明せよ。また、熱膨張係数、ヤング率、熱伝導率の一つだけが大きくなったとしたら(他の特性や板の寸法は変わらないものとする。)、このような熱衝撃による破壊は生じやすくなるか、生じにくくなるか、それぞれについて示せ。

- (7) 図は固体の原子間ポテンシャルを模式的に表したものである。この図を用いて、アルミナが加熱中に膨張する理由を7～10行で説明せよ。  
ただし、加熱中に起こる相変態は無視する。



科目 24. 原子力工学(原子核・放射線) [No. 24]

【No. 24】 以下の設問に答えよ。

(1) 次の記述は、原子核・放射線に関する法律からの抜粋である。

「原子力基本法(昭和三十年法律第百八十六号)

(目的)

第一条 この法律は、原子力の研究、開発及び利用(以下「原子力利用」という。)を推進することによつて、将来における ① 資源を確保し、學術の進歩と産業の振興とを図り、もつて人類社会の ② と国民生活の水準向上とに寄与することを目的とする。

(基本方針)

第二条 原子力利用は、③ の目的に限り、安全の確保を旨として、(I) 的な運営の下に、(II) 的にこれを行うものとし、その成果を (III) し、進んで国際協力に資するものとする。

2 前項の安全の確保については、確立された国際的な基準を踏まえ、国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の ④ に資することを目的として、行うものとする。

(定義)

第三条 この法律において次に掲げる用語は、次の定義に従うものとする。

<中略>

五 「放射線」とは、電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に ⑤ を電離する能力をもつもので、政令で定めるものをいう。」

(a) 空欄①～⑤に適切な語句を入れよ。

(b) 空欄(I), (II), (III)に適切な語句を入れよ。なお、これら三つの語句は原子力(利用)三原則とも呼ばれる。

(c) 下線部「環境の保全」について、具体的な例を挙げ、3～5行程度で説明せよ。

(2) 床面をはじめとする物体表面の汚染密度を測定する方法には、測定箇所 directly GM 管サーベイメータを近接させて測定を行う直接法と、測定箇所をろ紙でふき取った後に放射線測定器で測定を行う間接法(ふき取り法やスミア法とも呼ばれる。)がある。以下の問いに答えよ。

(a) 直接法と間接法の長所及び短所並びにそれらに基づく使い分けについて、合わせて 3 ~ 5 行程度で説明せよ。

(b) 間接法によりある床面の表面汚染密度を測定したところ、GM 管サーベイメータをろ紙に密着させた場合の計数率は 3070 cpm(count per minute)であった。この測定環境のバックグラウンドの計数率は 70 cpm であった。このとき、床面の表面汚染密度は何 Bq/cm<sup>2</sup> か求めよ。導出過程も示せ。

ただし、機器効率は 0.40、線源効率は 0.25、ふき取り効率は 0.50、ふき取り面積は  $1.0 \times 10^2 \text{ cm}^2$  とする。

(c) (b)の測定で用いた GM 管サーベイメータの不感時間(次の放射線を検出できるようになるまでの時間)が 200  $\mu\text{s}$  であった。数え落としの割合はいくらか求めよ。導出過程も示せ。

(3) 以下の表は、原子核・放射線に関する告示からの抜粋である。

「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成十二年科学技術庁告示第五号)」

別表第 2 (第 7 条、第 14 条及び第 19 条関係)

放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等

第一欄		第三欄	第六欄
放射性同位元素の種類		経口摂取した場合の 実効線量係数	排液中又は排水中の 濃度限度
核種	化学形等	(mSv/Bq)	(Bq/cm <sup>3</sup> )
<sup>3</sup> H	水	$1.8 \times 10^{-8}$	$6 \times 10^1$

(a) 放射性同位元素としてトリチウム(<sup>3</sup>H)のみを含む水の放射能濃度が  $2.0 \times 10 \text{ Bq/L}$  であった。この水を 1 日当たり 2.0 L 経口摂取し続けた場合、<sup>3</sup>H から放出される放射線による実効線量(預託線量)は 1 年間でいくらか求めよ。3 行程度で導出過程も示せ。

(b) (a)の実効線量(預託線量)による放射線障害のリスクの高さ又は低さについて、定量的な根拠を示しつつ、3 ~ 5 行程度で説明せよ。

(4) 以下の事項のうち三つを選択し、それぞれ3～5行程度で説明せよ(四つ以上選択しないこと)。

- (a) 軌道電子捕獲と $\beta^+$ 壊変
- (b) 原子炉における水素注入による腐食抑制
- (c) 放射線の生物学的影響における直接作用と間接作用
- (d) 医療用放射性同位元素のミルキング
- (e) 放射性物質の環境動態
- (f) 放射線を利用した非破壊検査

科目 25. 原子力工学(原子炉・核燃料サイクル) [No. 25A, 25B]

【No. 25】 次のA, Bいずれか一つのみ<sup>①</sup>に答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 原子炉工学に関する以下の事項についてそれぞれ2行程度で説明せよ。

- (a) レサジー
- (b) 原子核の結合エネルギー
- (c) 無限増倍率
- (d) ボイド係数

(2) 裸の平板状原子炉が一群中性子拡散理論に従うものとする。中性子束の空間分布  $\phi(x, t)$  は次の式①を満たす。

$$\frac{1}{u} \frac{\partial \phi(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \phi(x, t)}{\partial x^2} - \Sigma_a \phi(x, t) + \nu \Sigma_f \phi(x, t) \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

$x$  方向の厚さを  $a$  とし、 $x = 0$  を原子炉の中心とする。 $y$  方向、 $z$  方向には無限に広いものとする。また、 $t$  は時間とする。ここで、 $u$ ,  $D$ ,  $\Sigma_a$ ,  $\nu$ ,  $\Sigma_f$  は、それぞれ中性子の速さ、中性子拡散係数、巨視的吸収断面積、核分裂当たりの発生中性子数、巨視的核分裂断面積である。

- (a) 式①の各項及び方程式の物理的意味について説明せよ。
- (b)  $\phi(x, t) = \Psi(x) T(t)$  と仮定すると、式①が式②, ③のように変数分離ができることを示せ。

ただし、 $\lambda$  は定数とする。

$$\frac{dT(t)}{dt} = -\lambda T(t) \quad \dots\dots \textcircled{2}$$

$$D \frac{d^2 \Psi(x)}{dx^2} + (\nu \Sigma_f - \Sigma_a) \Psi(x) = -\frac{\lambda}{u} \Psi(x) \quad \dots\dots \textcircled{3}$$

- (c)  $T(t)$  の初期値を  $T(0)$  として、式②の解を求めよ。
- (d)  $B^2 = \frac{1}{D} \left( \frac{\lambda}{u} + \nu \Sigma_f - \Sigma_a \right)$  とおき、式③の一般解を求めよ。
- (e)  $\Psi(x)$  が満たす境界条件を示せ。ただし、外挿距離は無視できるものとする。
- (f) (e)の境界条件のもとで式③を解いたとき、 $B^2$  は式④のようになることを示せ。

ただし、 $n$  は正の奇数である。

$$B^2 = \left( \frac{n\pi}{a} \right)^2 \quad \dots\dots \textcircled{4}$$

- (g) (f)の  $n$  に対する  $\lambda$  を求めよ。

(h)  $n = 1$  のときの解は基本モードと呼ばれ、長時間経過後の中性子束分布を考えると、最も重要である。その理由を説明せよ。

(i) 基本モードの  $B^2$  は幾何学的バックリングと呼ばれる。その理由を説明せよ。

(j) 中性子束分布が基本モードで与えられるとき、臨界条件は式⑤で与えられることを示せ。

$$B^2 = \frac{\nu\Sigma_f - \Sigma_a}{D} \quad \dots\dots⑤$$

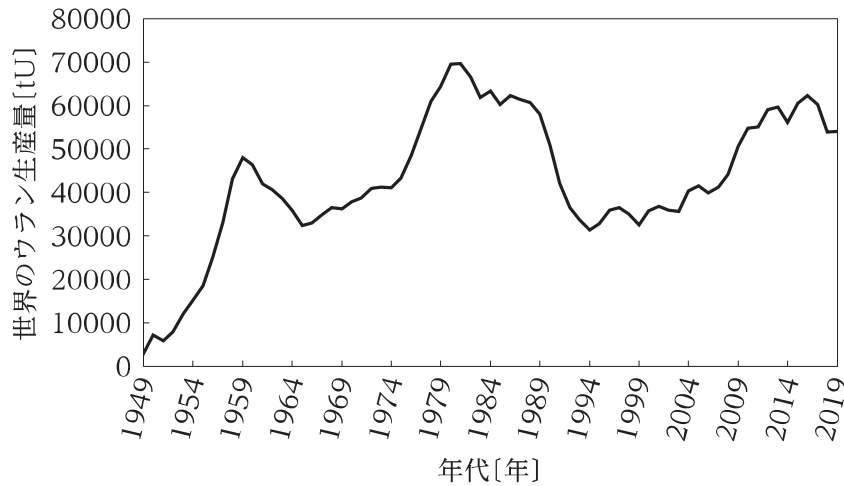
(k) 中性子束分布が基本モードで臨界状態にあり、 $\nu = 2.4$ ,  $\Sigma_f = 0.0047 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\Sigma_a = 0.011 \text{ cm}^{-1}$ ,  $D = 0.16 \text{ cm}$  であるとき、原子炉の厚さ  $a$  を求めよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 核燃料サイクルに関する以下の問いに答えよ。

(a) 核燃料サイクルは、ウラン燃料の生産から発電までの上流側プロセスと、使用済燃料の再利用や放射性廃棄物の適切な処分等からなる下流側プロセスに大別される。これら核燃料サイクルの上流側プロセスと下流側プロセスについて、それぞれどのような工程から成るか簡潔に説明せよ。

(b) 次の図は、世界のウラン生産量の変遷を表したものである。1989年ごろから世界のウラン生産量が低下しているが、この原因について「冷戦構造の崩壊」という語句を用いて簡潔に説明せよ。



世界のウラン生産量の変遷

(内閣府 原子力委員会、令和3年度版 原子力白書、2022)

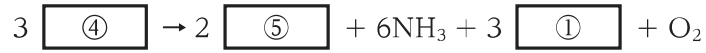
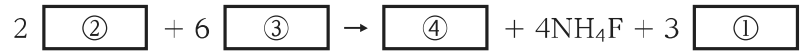
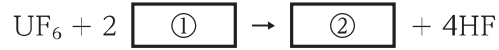
(2) ウラン燃料の製造に関する以下の問いに答えよ。

(a) ウラン濃縮ではウラン化合物  $UF_6$  が用いられている。この化合物の特性について、ウラン濃縮において使用されている利点を三つ挙げよ。

(b) ウラン濃縮で用いられるガス拡散法と遠心分離法の原理について、それぞれ簡潔に説明せよ。また、これら二つの方法のうち、ウラン濃縮工場において現在主に使用されている方法を挙げ、その理由を説明せよ。



(c) ウラン濃縮後に、 $\text{UF}_6$ を $\text{UO}_2$ に再転換する必要がある。再転換の方法の一つであるADU法に関する次の化学反応式の①～⑥に適切な化学式を入れよ。



(3) 使用済核燃料溶解液中のウラン、プルトニウムを個別に抽出する方法として、PUREX法が各国の再処理工場で採用されている。この手法について、以下の問いに答えよ。

- PUREXとは何の略称か、英語で示せ。
- PUREX法で用いられる抽出剤及び希釈剤を示せ。
- PUREX法の原理について簡潔に説明せよ。

科目 26. 船舶海洋工学(流体)[No. 26A, 26B]

【No. 26】 次のA, Bいずれか一つのみ<sup>に</sup>答えよ。

A 船の推進性能に関する以下の設問に答えよ。

(1) 大型貨物船の模型試験における力学的相似則について、以下の問いに答えよ。

縮尺  $\frac{1}{n}$  の幾何学的相似模型を用いて、水槽試験を実施する場合の力学的相似の条件について考える。

ただし、模型船は実船より小さく、水槽試験が実施できる大きさとする。また、模型船と実船の船長をそれぞれ  $L_m, L_s$ 、船速をそれぞれ  $U_m, U_s$ 、動粘性係数をそれぞれ  $\nu_m, \nu_s$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

(a) 模型船と実船のフルード数  $Fn_m, Fn_s$  とレイノルズ数  $Rn_m, Rn_s$  を示せ。

(b) 模型船と実船との間でフルード数とレイノルズ数を同時に一致させるための条件を考える。

このとき、以下の問いに答えよ。

(i) 模型船と実船の船速の比  $\left(\frac{U_m}{U_s}\right)$  が次式で表せることを示せ。

$$\frac{U_m}{U_s} = \sqrt{\frac{1}{n}} \quad \dots\dots\textcircled{1}$$

(ii) 次に式①の関係式を考慮して、動粘性係数の比  $\left(\frac{\nu_m}{\nu_s}\right)$  が次式で表せることを示せ。

$$\frac{\nu_m}{\nu_s} = \sqrt{\frac{1}{n^3}} \quad \dots\dots\textcircled{2}$$

(c) 模型船と実船でフルード数とレイノルズ数を同時に一致させることが現実的には困難である理由を説明せよ。

(2) 細長い大型船の抵抗を推定するために模型試験を行った。その際、使用した模型船は幅が狭く、喫水が深く、十分薄い船であり、船長 4.00 m、浸水面積  $4.00 \text{ m}^2$  であった。模型船に乱流促進を施し、水温  $20^\circ\text{C}$  の清水中を船速  $0.500 \text{ m/s}$  で曳航して抵抗値を求めたところ  $0.500 \text{ N}$  となった。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、薄い船であり、船速も遅いので、模型船の造波抵抗は無視できるものとする。また、船は十分に薄いため、抵抗値が平板の摩擦抵抗で近似できるものとする。さらに、水温  $20^\circ\text{C}$  における清水の密度は  $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、動粘性係数は  $1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  とする。

(a) 模型船の摩擦抵抗係数  $C_f$  を求めよ。

(b) 模型船のレイノルズ数  $Rn$  を求めよ。

(c) 層流、乱流について、次の語句のうち必要なものを用いてそれぞれ簡潔に説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：規則、速度、不規則、変動、レイノルズ数]

(d) 模型船の曳航試験では模型船のまわりの流れが乱流の状態であるため、乱流促進装置を模型船に取り付ける。乱流促進装置の具体例を一つ挙げ、その概要を説明せよ。

なお、必要に応じて図を用いてもよい。

(e) 本試験において、乱流促進装置が十分であったかを具体的な数字を示して判定せよ。

なお、判定に当たっては、模型船を船速と同じ流速の一様流に平行に置かれた平板と仮定し、図 I に示す平板の  $C_f$  とレイノルズ数  $Rn$  の関係を表すグラフを用いること。

ただし、図 I において、シェーンヘルの式は乱流域、シュリヒティングの式は遷移域、ブラジウスの式は層流域における平板の摩擦抵抗係数を示している。

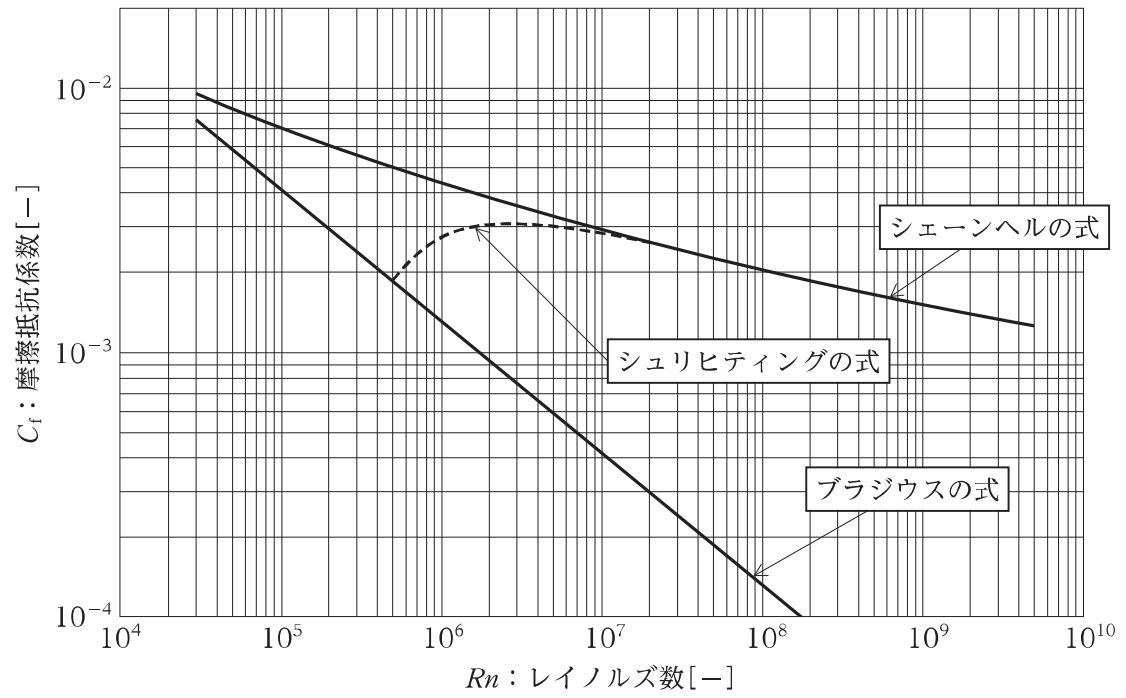


図 I  $C_f$  と  $Rn$  との関係を表すグラフ

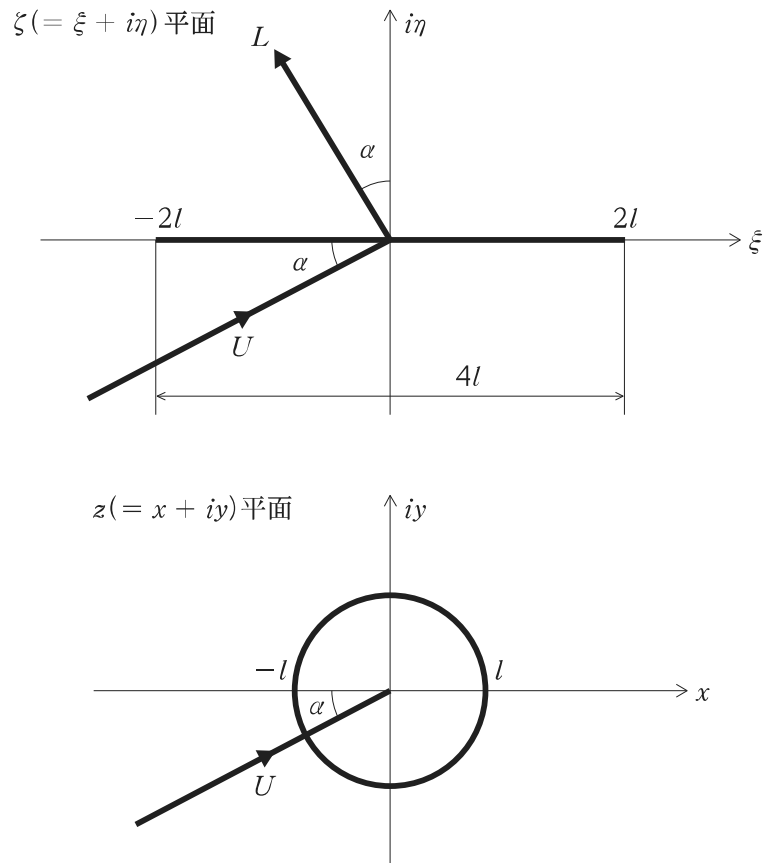
(3) 平板翼に作用する揚力について、以下の問いに答えよ。

図Ⅱのように、速さ  $U$  の一様な二次元流れの中に長さが  $4l$  の平板を、流れに対して  $\alpha$  の角をなすように置いて、揚力  $L$  を発生させる場合を考える。このまわりの循環を  $-\Gamma$  とすると、このような流れは一様な流れの中に置かれた循環  $-\Gamma$  をもつ半径  $l$  の円柱のまわりの流れに置き換えて考えることができる。このような流れの複素速度ポテンシャル  $w(z)$  は次式のように表される。

$$w(z) = U \left( ze^{-i\alpha} + \frac{l^2}{z} e^{i\alpha} \right) + \frac{i\Gamma}{2\pi} \log \frac{z}{l} \quad \dots\dots ①$$

ただし、 $i$  を虚数単位、複素数  $z$  を  $z = x + iy$  とする。また、 $z$  平面から  $\zeta$  平面へ写像するジュウコフスキー変換は次式のように表される。

$$\zeta = z + \frac{l^2}{z} \quad \dots\dots ②$$



図Ⅱ

- (a) 図Ⅱに示す  $z$  平面上における共役複素速度  $\frac{dw}{d\bar{z}}$  が次式となることを示せ。

$$\frac{dw}{d\bar{z}} = \frac{U \left( e^{-i\alpha} - \frac{l^2}{z^2} e^{i\alpha} \right) + \frac{i\Gamma}{2\pi} \cdot \frac{1}{z}}{1 - \frac{l^2}{z^2}} \quad \dots\dots ③$$

- (b) 定常状態において、平板の後縁において速度が有限となるというクッタ条件(ジュウコフスキーの仮説)を満たすことを利用して、循環  $\Gamma$  が次式で表すことができることを示せ。

$$\Gamma = 4\pi l U \sin \alpha \quad \dots\dots ④$$

- (c) クッタ・ジュウコフスキーの定理を用いて、平板翼に作用する揚力  $L$  を求めよ。

ただし、流体密度は  $\rho$  とする。

- (d) 流速  $10.0 \text{ m/s}$  の一様流の中に、翼弦長  $0.500 \text{ m}$ 、スパン長が十分に長い平板翼を迎え角  $6.00^\circ$  で置く場合、この平板翼に作用する単位長さ当たりの揚力を有効桁数 3 桁で求めよ。

ただし、流体の密度を  $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  とする。

また、必要に応じて  $\sin 6.00^\circ \approx 0.105$  を用いてよい。

- (4) プロペラに発生するキャビテーションについて、以下の問いに答えよ。

- (a) プロペラの翼表面にキャビテーションが発生した際にエロージョンが発生する場合がある。このエロージョンが発生するメカニズムについて、次の語句のうち必要なものを用いて簡潔に説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：気泡、崩壊、圧力、金属疲労]

- (b) エロージョンによるプロペラへの悪影響について簡潔に説明せよ。  
(c) エロージョンを防止するためにはキャビテーションを抑制する必要がある。キャビテーションを抑制する方法を一つ挙げて、そのメカニズムを簡潔に説明せよ。

B 船の復原性に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 船をある角度まで傾けて離すと、船は自由横揺れをする。そのとき、船の運動が、次のような非線形な 1 自由度の横揺れ運動方程式で表されるものとする。式中の、 $\phi$  は横揺れ角、 $t$  は時刻、 $\alpha$  は減衰項の線形成分に関する係数、 $\beta$  は減衰項の非線形成分に関する係数、 $\omega_0$  は減衰が存在しない場合の横揺れ固有周波数であり、ここで説明した係数は全て正の定数である。このとき、以下の問いに答えよ。

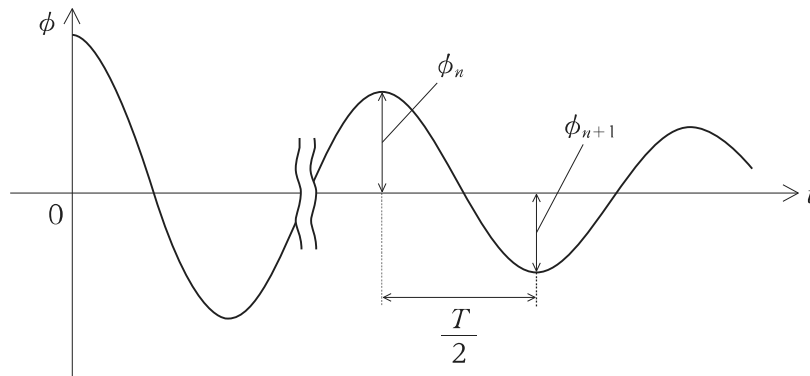
$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + 2\alpha\frac{d\phi}{dt} + \beta\left|\frac{d\phi}{dt}\right|\frac{d\phi}{dt} + \omega_0^2\phi = 0$$

- (a)  $\beta = 0$  の場合について考える。以下の初期条件

$$\begin{cases} \phi|_{t=0} = \phi_0 \\ \left.\frac{d\phi}{dt}\right|_{t=0} = 0 \end{cases}$$

の下で、横揺れ角  $\phi$  を  $t$  の関数として求めよ。

次に、自由横揺れの周期が近似的に  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$  であるものとする。ある時刻における  $n$  番目の横揺れ半振幅の大きさを  $\phi_n$  とし、半周期後の  $n+1$  番目の横揺れ半振幅の大きさを  $\phi_{n+1}$  としたとき、横揺れ角度の時系列は図のようになる。 $\beta \neq 0$  のとき、以下の問いに答えよ。



- (b)  $\Delta\phi$ ,  $\phi_m$  を以下のように定義する。

$$\begin{cases} \Delta\phi = \phi_n - \phi_{n+1} \\ \phi_m = \frac{1}{2}(\phi_n + \phi_{n+1}) \end{cases}$$

このとき、横軸を  $\phi_m$ 、縦軸を  $\Delta\phi$  としたグラフ、いわゆる減減曲線の概略図を描け。

- (c)  $\phi_n$ ,  $\phi_{n+1}$  を、 $\Delta\phi$ ,  $\phi_m$  を用いてそれぞれ表せ。

(d) 次に、運動方程式を  $\phi_n$  から  $\phi_{n+1}$  まで横揺れ角  $\phi$  で積分すると、以下のとおりとなる。

$$\underbrace{\int_{\phi_n}^{\phi_{n+1}} \frac{d^2\phi}{d\tau^2} d\phi}_{\text{①}} + 2\alpha \underbrace{\int_{\phi_n}^{\phi_{n+1}} \frac{d\phi}{d\tau} d\phi}_{\text{②}} + \beta \underbrace{\int_{\phi_n}^{\phi_{n+1}} \left| \frac{d\phi}{d\tau} \right| \frac{d\phi}{d\tau} d\phi}_{\text{③}} + \omega_0^2 \underbrace{\int_{\phi_n}^{\phi_{n+1}} \phi d\phi}_{\text{④}} = 0$$

このとき、積分①、④は、それぞれ以下のとおりとなる。

$$\int_{\phi_n}^{\phi_{n+1}} \frac{d^2\phi}{d\tau^2} d\phi = 0, \quad \int_{\phi_n}^{\phi_{n+1}} \phi d\phi = \frac{1}{2}(\phi_{n+1}^2 - \phi_n^2)$$

さらに、この半周期間の横揺れ角  $\phi$  を次のように近似したとき、積分②、③の結果を示せ。  
ただし、 $\tau$  は時間であり、横揺れ角が  $\phi_n$  となったときを時刻 0 (ゼロ) とおいたものである。

$$\phi = \begin{cases} \phi_n \cos \omega_0 \tau & \left( 0 \leq \tau \leq \frac{T}{4} \right) \\ \phi_{n+1} \cos \omega_0 \tau & \left( \frac{T}{4} \leq \tau \leq \frac{T}{2} \right) \end{cases}$$

(e) これまで得られた関係などを用いて、 $\Delta\phi$  を、 $\phi_m$  についての 2 次関数として、 $\phi_m$ ,  $T$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  を用いて表せ。



- (2) 船が横波中で横揺れをしているときのエネルギーバランスについて考える。ここでは、次のような非線形な 1 自由度の横揺れ運動方程式について考える。式中の、 $\phi$  は横揺れ角、 $t$  は時刻、 $\alpha$  は減衰項の線形成分に関する係数、 $\beta$  は減衰項の非線形成分に関する係数、 $\omega_0$  は減衰が存在しない場合の横揺れ固有周波数、 $\gamma$  は有効波傾斜係数、 $\Theta$  は最大波傾斜、 $\omega$  は入射波の周波数であり、ここで説明した係数は全て正の定数である。このとき、以下の問いに答えよ。

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + 2\alpha\frac{d\phi}{dt} + \beta\left|\frac{d\phi}{dt}\right|\frac{d\phi}{dt} + \omega_0^2\phi = \gamma\omega_0^2\Theta\sin\omega t$$

- (a)  $\beta = 0$  のとき、応答の定常振幅を求めよ。  
 (b)  $\beta \neq 0$  のとき、以下の問いに答えよ。  
 (i) 同調振幅を  $\phi_0$  として、運動方程式を  $-\phi_0$  から  $\phi_0$  まで横揺れ角  $\phi$  で積分すると、以下のとおりとなる。

$$\underbrace{\int_{-\phi_0}^{\phi_0} \frac{d^2\phi}{dt^2} d\phi}_{\text{①}} + 2\alpha \underbrace{\int_{-\phi_0}^{\phi_0} \frac{d\phi}{dt} d\phi}_{\text{②}} + \beta \underbrace{\int_{-\phi_0}^{\phi_0} \left|\frac{d\phi}{dt}\right| \frac{d\phi}{dt} d\phi}_{\text{③}} + \omega_0^2 \underbrace{\int_{-\phi_0}^{\phi_0} \phi d\phi}_{\text{④}} = \gamma\omega_0^2\Theta \underbrace{\int_{-\phi_0}^{\phi_0} \sin\omega t d\phi}_{\text{⑤}}$$

このとき、積分①、④はそれぞれ以下のとおりとなる。

$$\int_{-\phi_0}^{\phi_0} \frac{d^2\phi}{dt^2} d\phi = 0, \quad \int_{-\phi_0}^{\phi_0} \phi d\phi = 0$$

さらに、同調状態における解を  $\phi = -\phi_0 \cos\omega t$  と仮定するとき、積分②、③、⑤の結果を示せ。

- (ii) (i)の積分①～⑤までの結果を代入し、同調横揺れ角  $\phi_0$  についての関係式を示せ。  
 ただし、次式で定義されるベルタンの減減係数  $N(\phi_0)$  を用いること。

$$N(\phi_0) = \frac{\alpha T}{2\phi_0} + \frac{4}{3}\beta$$

- (3) 横揺れ減衰力の推定については池田の方法が有名である。池田の方法では、減衰力をいくつかの要素に分けて推定する点に特徴がある。次に示す、池田の方法で用いられる横揺れ減衰力のそれぞれの成分の特徴を説明せよ。
- (a) 摩擦成分  
 (b) 造波成分  
 (c) 揚力成分  
 (d) ビルジキール成分
- (4) 横揺れ角を抑えるために用いられている装置を二つ挙げ、それらにより横揺れ角が抑えられる理由を説明せよ。

科目 27. 船舶海洋工学(構造)[No. 27A, 27B]

【No. 27】 次のA, Bいずれか一つのみ<sup>に</sup>答えよ。

A 船舶構造に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 船舶の振動に関する以下の問いに答えよ。
- (a) 共振とはどのような現象か 1～2行で説明せよ。
- (b) 船体構造の防振対策について、その原理とともに一つ説明せよ。
- (c) 分布外力  $F(x, t)$  が作用する場合の梁の運動方程式は次式で表される。

$$\rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = F(x, t)$$

$A$ : 梁の断面積、 $\rho$ : 単位体積当たりの質量、 $E$ : ヤング率、 $I$ : 断面二次モーメント、  
 $w$ : 梁のたわみ、 $x$ : 座標、 $t$ : 時間

図 I のように、長さ  $L$  の両端単純支持梁の中央点を  $P \cos \omega t$  の力で加振している。梁の左端を原点  $O$  とし、梁の軸方向に  $x$  軸をとる。また、ディラックのデルタ関数を用いて、図 I 中で作用している点荷重は次式のように表される。このとき、以下の問いに答えよ。

$$F(x, t) = P \cos \omega t \cdot \delta\left(x - \frac{L}{2}\right)$$

ただし、 $P$  は定数とし、 $\omega$  は角周波数である。また、ディラックのデルタ関数  $\delta(x)$  は、 $x = 0$  のとき  $\delta(0) = \infty$ 、 $x \neq 0$  のとき  $\delta(x) = 0$  となり、かつ、 $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$  であるものとする。

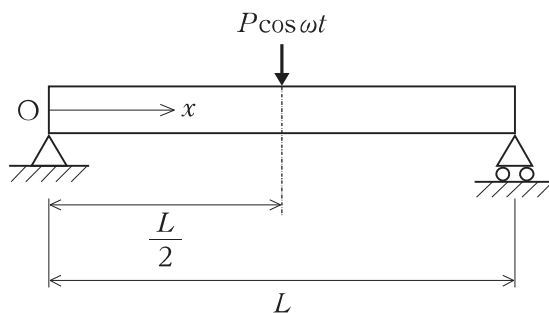


図 I

- (i)  $i$ モードに対するモード関数  $W_i(x)$  を用いて運動方程式の解を  $w(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} W_i(x)\xi_i(t)$  とすると、運動方程式から  $\frac{d^2\xi_i(t)}{dt^2} + \omega_i^2\xi_i(t) = \frac{PW_i\left(\frac{L}{2}\right)}{\rho A \int_0^L \{W_i(x)\}^2 dx} \cos \omega t$  と変形できる。この導出過程を示せ。

ただし、相異なる  $i, k$  モードに対する固有角振動数  $\omega_i, \omega_k$  に対応するモード関数を  $W_i(x), W_k(x)$  とする。また、以下の関係が成り立つとする。

$$\frac{d^4 W_i(x)}{dx^4} - \kappa_i^4 W_i(x) = 0$$

$$\kappa_i^4 = \left(\frac{\rho A}{EI}\right) \omega_i^2$$

なお、次の関係で表されるモード関数の直交性を利用すること。

$$\int_0^L W_i W_k dx = \begin{cases} 0 & (i \neq k) \\ \text{const.} & (i = k) \end{cases}$$

- (ii) (i)の微分方程式を解くことにより、曲げ振動応答  $w(x, t)$  を、 $W_i, W_k, L, x, P, \omega_i, \omega_k, \omega, \rho, A, t$  のうち必要なものを用いて表せ。

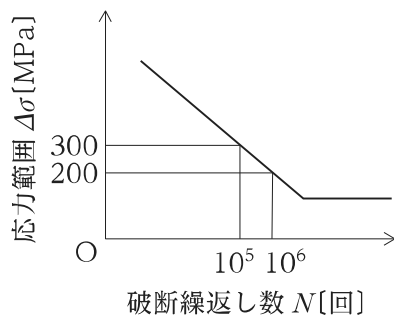
(2) 疲労強度に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 疲労寿命を推定する方法の一つである累積疲労損傷則では、応力範囲  $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2, \dots, \Delta\sigma_k$  に対応する破断に至る繰返し数が  $N_1, N_2, \dots, N_k$  であるとき、それぞれの応力範囲の応力が  $n_1, n_2, \dots, n_k$  回繰返されて次式を満たすと、材料は破断に至ると考える。

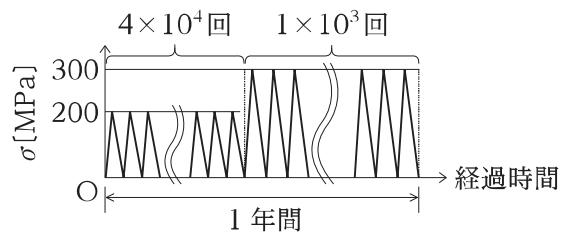
$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k} \geq 1$$

なお、 $D$  は疲労被害度を表す。

- (i) 図Ⅱはある平板試験片の疲労試験により取得した S-N 線図である。応力範囲 200 MPa の完全片振りの繰返し引張応力が  $1.0 \times 10^4$  回作用するとき、図Ⅱをもとに  $D$  を求めよ。
- (ii) 図Ⅲのような応力範囲 200 MPa と 300 MPa である完全片振りの繰返し応力が、1 年間でそれぞれ  $4.0 \times 10^4$  回、 $1.0 \times 10^3$  回ずつ生じ、複数年にわたって繰り返される。このとき、この平板が破断に至るまでに要する年数を求めよ。



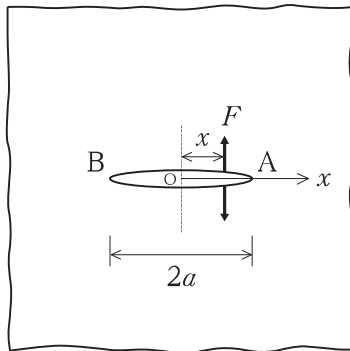
図Ⅱ



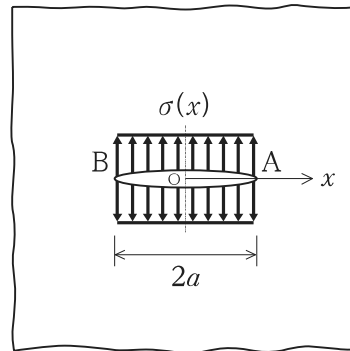
図Ⅲ

- (b) き裂先端の応力場を一義的に定義できるパラメータを応力拡大係数( $K$ 値)という。図IVのように単位厚さを有する無限板に長さ  $2a$  のき裂がある。き裂中央を原点  $O$  とし、横方向に  $x$  軸をとる。図IVのき裂先端 A の応力拡大係数とき裂先端 B の応力拡大係数をそれぞれ  $K_A$ ,  $K_B$  とする。図IVのようにき裂面の位置  $x$  に集中対向力  $F$  を負荷した場合に  $K_A = \frac{F}{\sqrt{\pi a}} \sqrt{\frac{a+x}{a-x}}$ ,  $K_B = \frac{F}{\sqrt{\pi a}} \sqrt{\frac{a-x}{a+x}}$  となった。このとき、図Vのようにき裂面に分布対向力  $\sigma(x) = p$  を付加した場合、き裂先端 A の  $K_A$  を求めよ。

なお、 $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = -\cos^{-1} \frac{x}{a}$  を用いてもよい。



図IV



図V

- (c) 疲労き裂の進展量とそれに要する負荷サイクル数は次式のパリズ則により推定される。疲労き裂長さが 10.0 mm から 10.1 mm に達するまでに要する負荷サイクル数を求めよ。

ただし、 $C = 6.00 \times 10^{-12}$ ,  $m = 3.00$ ,  $\Delta K = 200 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^{\frac{1}{2}}$  とする。

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

$C$ ,  $m$ : 材料定数、 $N$ : 負荷サイクル数、 $a$ : き裂長さ、 $\Delta K$ : 応力拡大係数範囲

- (3) 溶接部が疲労き裂の発生や疲労強度に及ぼす影響としてどのようなものがあるか、二つ挙げてそれぞれ簡潔に説明せよ。

B 船体構造に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I のように、船体構造において均等な間隔  $l$  で配置された横置隔壁及び主要支持部材を貫通する縦通肋骨を考える。縦通肋骨には単位長さ当たり等分布荷重  $w$  が作用しており、また、主要支持部材は横置隔壁に対して相対変位  $\delta$  だけ上方に変位しているものとする。

このとき、横置隔壁を貫通する部分における縦通肋骨の曲げモーメント及び支持反力について、等分布荷重  $w$  によって発生する成分をそれぞれ  $M_w$ ,  $R_w$  とし、前後に隣接する主要支持部材と横置隔壁との間の相対変位  $\delta$  によって発生する成分をそれぞれ  $M_\delta$ ,  $R_\delta$  とする。ある船体構造において、 $\frac{M_\delta}{M_w} = 0.3$  であったとき、 $\frac{R_\delta}{R_w}$  がいくらになるかを考察する。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、本問題では縦通肋骨のせん断変形は十分に小さく、無視するものとする。また、図中の点線は変形後の様子を示しているものとする。

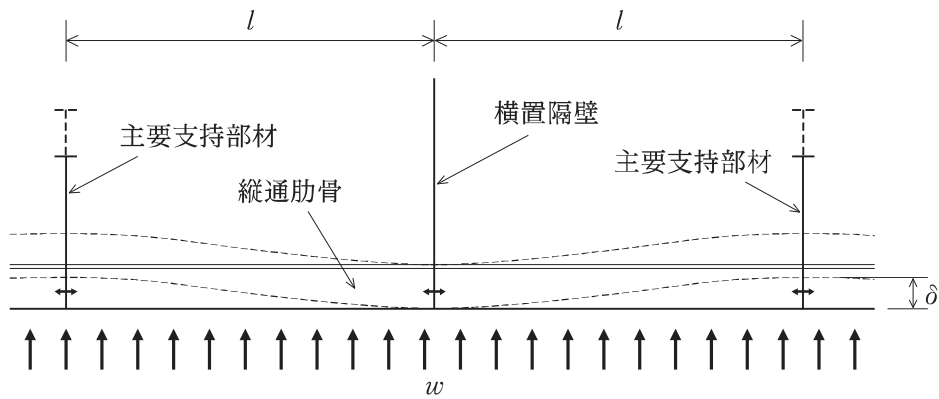


図 I

- (a)  $w$  による作用について、横置隔壁と主要支持部材の間を図 II のような両端固定梁でモデル化する。このとき、点 A、点 B における反力の大きさ  $R_0$  を、縦通肋骨のスパン  $l$ ,  $w$  を用いて表せ。

なお、このとき横置隔壁部の縦通肋骨貫通部における反力  $R_w$  は、横置隔壁の前後両側のスパンから反力を受けることに注意して、 $R_w = 2R_0$  となる。

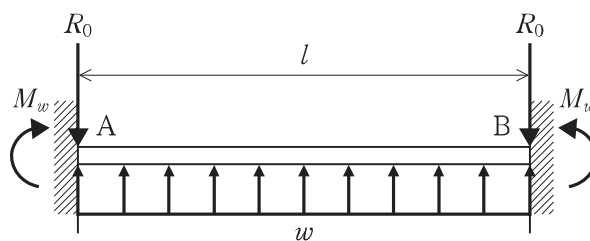
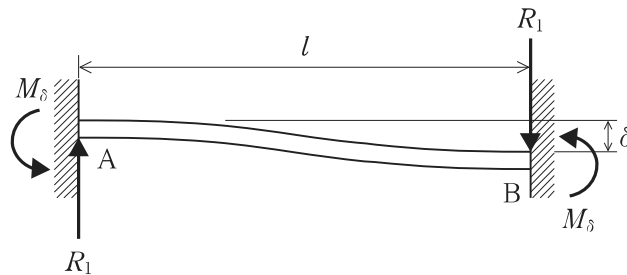


図 II

- (b)  $w$  によって縦通肋骨の横置隔壁貫通部に発生する  $M_w$  を、 $l$ ,  $w$  を用いて表せ。
- (c)  $\delta$  による作用については、図Ⅲのように横置隔壁と隣接主要支持部材間を、 $\delta$  だけ強制変位を受ける両端固定梁にモデル化して考えるものとする。このとき、A 及び B における反力の大きさ  $R_1$  を、梁のヤング率  $E$ 、断面二次モーメント  $I$ 、縦通肋骨のスパン  $l$ 、 $\delta$  を用いて表せ。

なお、このとき横置隔壁部の縦通肋骨貫通部における反力  $R_\delta$  は、横置隔壁の前後両側のスパンから反力を受けることに注意して、 $R_\delta = 2R_1$  となる。

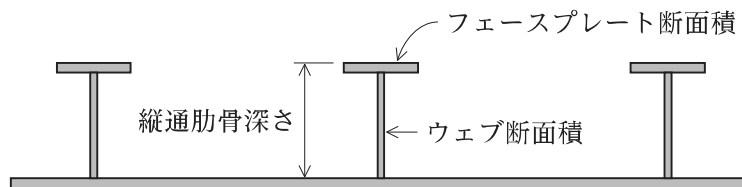


図Ⅲ

- (d)  $\delta$  によって縦通肋骨の横置隔壁貫通部に発生する  $M_\delta$  を、(c)と同様に  $E$ ,  $I$ ,  $l$ ,  $\delta$  を用いて表せ。
- (e) 以上の結果と  $\frac{M_\delta}{M_w} = 0.3$  であることを用いて、 $\frac{R_\delta}{R_w}$  の値を求めよ。

- (2) 一般に水圧による曲げだけを考えた縦通肋骨の断面寸法は、所定の断面係数を満足した上で最も重量が軽くなるように(すなわち最も断面積が小さくなるように)設定されている。

これに対し、(1)のように支点間の相対変位による曲げモーメントが相対的に大きい縦通肋骨の場合は、所定の曲げ応力許容値を満足した上で最も重量が軽くなる断面形状が異なる傾向を示す。この相対変位が大きい縦通肋骨の最小重量断面形状の特徴を、図Ⅳ中の用語を用いて説明せよ。



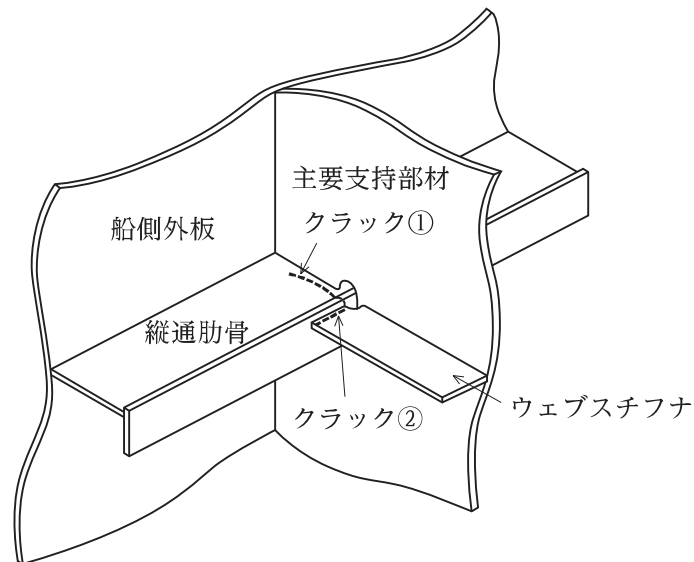
図Ⅳ

(3) 図Vは船側縦通肋骨と主要支持部材との交差部の構造におけるき裂損傷事例である。ウェブスチフナと縦通肋骨との接合部近傍に発生したき裂が「クラック①」のように縦通肋骨のウェブに向かって進展したケースと、「クラック②」のようにウェブスチフナと縦通肋骨との溶接線に沿って進展したケースがあった。このとき、以下の問いに答えよ。

(a) この2種類のクラックの発生要因の違いについて、作用している応力の方向の違いに基づいて説明せよ。

(b) (1)の結果を踏まえ、隣接主要支持部材間(縦通肋骨の両支持点間)の相対変位が大きいことは、「クラック①」と「クラック②」のどちらの損傷により大きく影響することになるか、理由とともに説明せよ。

(c) この損傷が起こらないようにするためにはどのような設計上の対策をすればよいか、「クラック①」と「クラック②」のそれぞれについて一つずつ、理由とともに説明せよ。



図V

## 科目別構成の詳細

科 目	出 題 数	問 題 番 号	ペ ー ジ
科目 1. 建築設計	1 題	No. 1	1~6
科目 2. 都市設計	1 題	No. 2	7~12
科目 3. 計測工学	1 題	No. 3	13, 14
科目 4. 制御工学	2 題	No. 4 A, B	15~18
科目 5. 電磁気学・電気回路	1 題	No. 5	19~22
科目 6. 電気機器	1 題	No. 6	23~25
科目 7. 電力工学	1 題	No. 7	26, 27
科目 8. 電子工学	1 題	No. 8	28~30
科目 9. 通信工学	1 題	No. 9	31, 32
科目10. 信頼性工学	1 題	No. 10	33~35
科目11. 材料力学[機械系]	1 題	No. 11	36~38
科目12. 機械力学	1 題	No. 12	39~41
科目13. 流体力学[機械系]	1 題	No. 13	42~45
科目14. 熱力学・熱機関[機械系]	1 題	No. 14	46~48
科目15. 航空工学	1 題	No. 15	49~52
科目16. 構造力学(土木)	1 題	No. 16	53~56
科目17. 土質力学	1 題	No. 17	57, 58
科目18. 水理学	1 題	No. 18	59~62
科目19. 土木計画	3 題	No. 19 A, B, C	63~67
科目20. 環境工学(土木)・衛生工学	2 題	No. 20 A, B	68~70
科目21. 材料工学(材料科学)	2 題	No. 21 A, B	71~74
科目22. 材料工学(金属材料)	1 題	No. 22	75, 76
科目23. 材料工学(無機材料)	1 題	No. 23	77
科目24. 原子力工学(原子核・放射線)	1 題	No. 24	78~80
科目25. 原子力工学(原子炉・核燃料サイクル)	2 題	No. 25 A, B	81~84
科目26. 船舶海洋工学(流体)	2 題	No. 26 A, B	85~92
科目27. 船舶海洋工学(構造)	2 題	No. 27 A, B	93~98

○ I か II のいずれか一つの方法により、解答してください。ただし、I、II 間の変更は試験開始後 1 時間以内で 1 回に限り認められます。

### I. 科目 3 以降を選択する場合

- ① 科目 3. 計測工学～科目 27. 船舶海洋工学(構造)のうちから任意の 2 科目を選び、各 1 題、合計 2 題を解答してください。ただし、同一科目で 2 題以上出題される科目(科目 4, 19, 20, 21, 25, 26, 27)にあっては、1 科目につき 1 題しか選択できません。また、選択に当たっては、次のような制約があります。

科目 11. 材料力学[機械系]と科目 16. 構造力学(土木)は同時に選択できません。

科目 13. 流体力学[機械系]と科目 18. 水理学は同時に選択できません。

科目 19. 土木計画と科目 20. 環境工学(土木)・衛生工学は同時に選択できません。

- ② 答案用紙の記入について

(ア) 答案用紙は 4 枚つづり 2 冊です。選択した問題 1 題につき答案用紙 1 冊を使用してください。問題番号欄には、選択した問題番号を記入してください。解答は、答案用紙の表面のみに記入し、それぞれ 1 冊に収まるように書いてください。

(イ) 答案用紙各枚の右上にある[No. ]の欄には選択した問題番号を、( 枚目)の欄には選択した問題ごとに使用していないページを含めて全てのページにページ番号を記入してください。例えば[No. 4]の B の解答の 4 枚目の答案用紙には、[No. 4B]の(4 枚目)と記入してください。

### II. 科目 1 又は 2 を選択する場合

- ① 科目 1. 建築設計又は科目 2. 都市設計のうちいずれか 1 科目(1 題)のみを選んで解答してください。

- ② 答案用紙の記入について

(ア) 答案用紙は 1 枚です。

(イ) 解答は、答案用紙の定められた枠内に、鉛筆又はシャープペンシルを用いて記入してください。赤及び青鉛筆は、指定された部分にのみ用いることができます。記入はフリーハンドでも構いません。

(ウ) 定規、赤及び青鉛筆は、各自携行のものを使用してください。なお、定規は以下のものが使用できます。

直定規 1 本、直角三角定規(45° - 45° - 90°) 1 枚

- ③ 製図の下書き用紙として、方眼紙が問題集の中央部にとじ込んであります。