

2023 年度
東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻

大学院 専門課題 II 試験問題

第 4 群 (構造・材料)

2022 年 8 月 31 日(水)

3 時間(9:00～12:00)

THE UNIVERSITY OF TOKYO
Graduate School of Engineering
Department of Architecture

QUESTION BOOKLET
on
The 2023 Master/Doctor Course Examination
of
Special Subject II, Group No.4 Structures & Materials

The Date and Time of the Examination
From 9:00 to 12:00
On Wednesday, August 31, 2022

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【問1】

次に示す表の中から (A) ~ (W) に当てはまる最も適切な用語、数字または記号を選び、(1) から (3) の文章を完成させよ。ただし、各用語・数字・記号は1回のみ用いること。

表

アルカリ骨材、アルカリ性、カーボンフットプリント、コンクリートスラッジ、フライアッシュ、ポゾラン、ポルトランドセメント、ミンチ解体、リサイクル、リデュース、リノベーション、リユース、レトロフィッティング、かぶり厚さ、一般廃棄物、化学混和剤、珪藻土、結晶質、原子力発電所、建設混合廃棄物、高強度コンクリート、高流動コンクリート、高炉スラグ微粉末、骨材、混和材、酸化、酸性、重合、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、砂、石英、石炭火力発電所、全有機炭素、炭酸化、炭酸水素カルシウム、中性、低収縮コンクリート、鉄筋径、特別管理産業廃棄物、粘土、爆破解体、非晶質、不法投棄、腐食、分別解体、膨張材、水セメント比、輸出、5、10、20、40、60、80、 CaCO_3 、 CaO 、 MgCO_3 、 MgO 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 Na_2O 、 NaOH

- (1) 産業廃棄物全体の排出量に占める建設廃棄物の割合は約 (A) %、産業廃棄物全体の最終処分量に占める建設廃棄物の割合は約20%、産業廃棄物全体の不法投棄量に占める建設廃棄物の割合は約70%である。天然資源の枯渇、および最終処分場の残余容量の逼迫が問題となる中、資源循環型社会の構築に向けて、建設業の果たす役割は大きく、3Rを推進することが重要である。3Rの優先順位は、1位が (B)、2位が (C)、3位が (D) である。それらが困難な場合には、熱回収、または廃棄物の適正処分を行わなければならない。建築物の解体工事においては、2000年に制定された建設リサイクル法の施行後、(E) から (F) に移行し、資源循環が困難な (G) の排出量が減少した。
- (2) 西暦126年にローマに建設されたパンテオンのドームは、石灰と火山噴出物からなるセメントを用いたコンクリートで造られている。(H) の水溶液中では、火山噴出物に含まれる (I) の SiO_2 や Al_2O_3 が (J) 反応を生じ、結合能力をもつ化合物を生成する。(J) 反応を生じる天然の物質としては、もみ殻灰や (K) があり、(J) 反応を生じる産業副産物としては (L) があり、それは (M) で生じる。現在、(L) は、コンクリート用 (N) として、マスコンクリートの温度ひび割れの抑制や (O) 反応の抑制に用いられている。
- (3) 製品のライフサイクル全体において排出される二酸化炭素量を (P) と呼ぶ。鉄筋コンクリート造建築物の場合、排出される二酸化炭素量は、建築物の使用時における設備機器の使用に伴うものが最も多いが、(Q) の生産時に排出される二酸化炭素量も少なくはなく、そのうちの約 (R) %は、石灰石の焼成、すなわち、(S) \rightarrow (T) + CO_2 という化学反応によって発生するものである。鉄筋コンクリート造建築物の (P) を小さ

くするためには、(U)を混合したセメントを使用すること、(V)を使用して部材の断面積を小さくすること、(W)を大きくして建築物の耐用年数を長くすることが有効である。

【問2】

図1(a), (b)のような2種類の荷重が作用する骨組について、次の(1)~(6)に答えよ。ただし、各部材の曲げ剛性は EI とする。また、各部材の変形は、曲げ変形のみを考慮し、せん断変形及び軸方向変形は無視する。

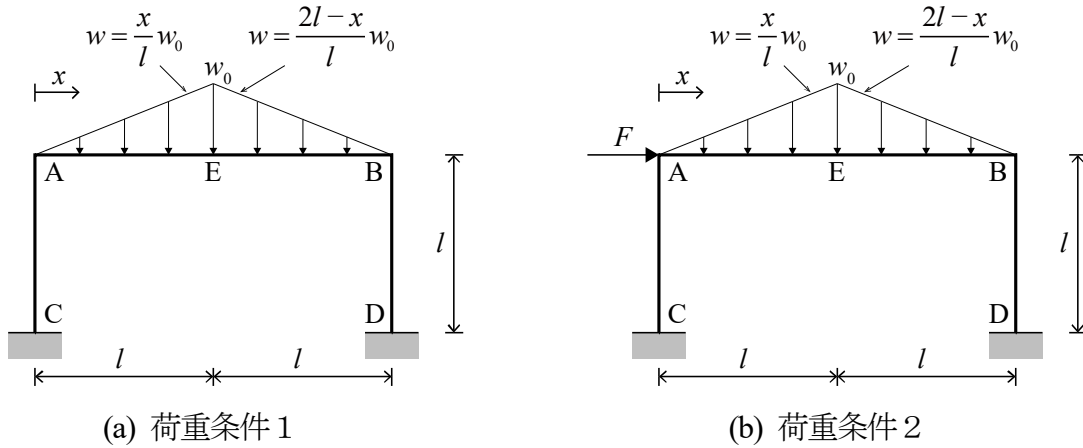


図1

- (1) 図1の梁ABについて、図2のような支持条件、荷重条件を考える。A点から距離 x ($0 \leq x \leq l$)の点における曲げモーメントを求めよ。また、A点でのたわみ角を求めよ。

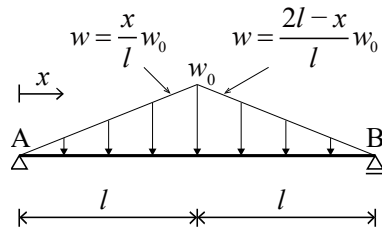


図2

- (2) 図1の梁ABについて、図3のような支持条件、荷重条件を考える。A点における曲げモーメントを求めよ。

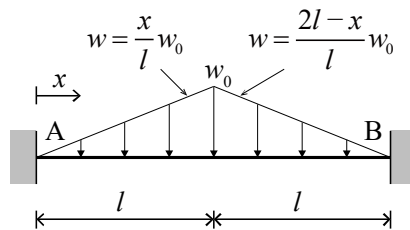


図3

- (3) 図1の柱ACについて、図4のような支持条件、荷重条件を考える。C点における曲げモーメントを求めよ。

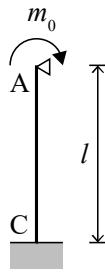


図4

- (4) 図1(a)の梁ABについて、A点及びE点における曲げモーメントをそれぞれ求めよ。

- (5) 図1の骨組について、図5のような荷重条件を考える。梁ABのA点における曲げモーメントを求めよ。

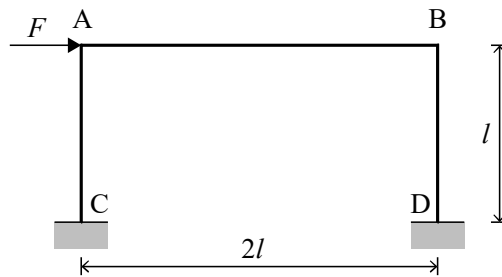


図5

- (6) 図1の骨組を鉄筋コンクリート造とし、図1(a), (b)に示す2種類の荷重条件のいずれについても、曲げモーメントが許容曲げモーメントを超えないように引張鉄筋を配筋する。梁ABのB点及びE点において必要な引張鉄筋断面積 a_t を、以下の条件を用いて、有効数字3桁で求めよ。

- 許容曲げモーメント $M_a = a_t f_t j$
- 鉄筋の許容引張応力度 f_t

$$f_t = \begin{cases} 200 \text{ (N/mm}^2\text{)} & \text{荷重条件1の場合} \\ 300 \text{ (N/mm}^2\text{)} & \text{荷重条件2の場合} \end{cases}$$

- 応力中心距離 $j = 7d/8$
- 有効せい (コンクリート圧縮縁から引張鉄筋重心位置までの距離) $d = 600 \text{ (mm)}$
- $w_0 = 70.0 \text{ (N/mm)}$
- $l = 3.00 \times 10^3 \text{ (mm)}$
- $F = w_0 l$

【問3】

(1) 建築構造の安定性と静定性について下記の問いに答えよ。

- A) 静定構造とは何か。1~2文で説明せよ。
- B) 図1に示す平面トラス構造のうち、安定なものをすべて挙げよ。
- C) 図1に示す平面トラス構造のうち、不静定なものをすべて挙げよ。

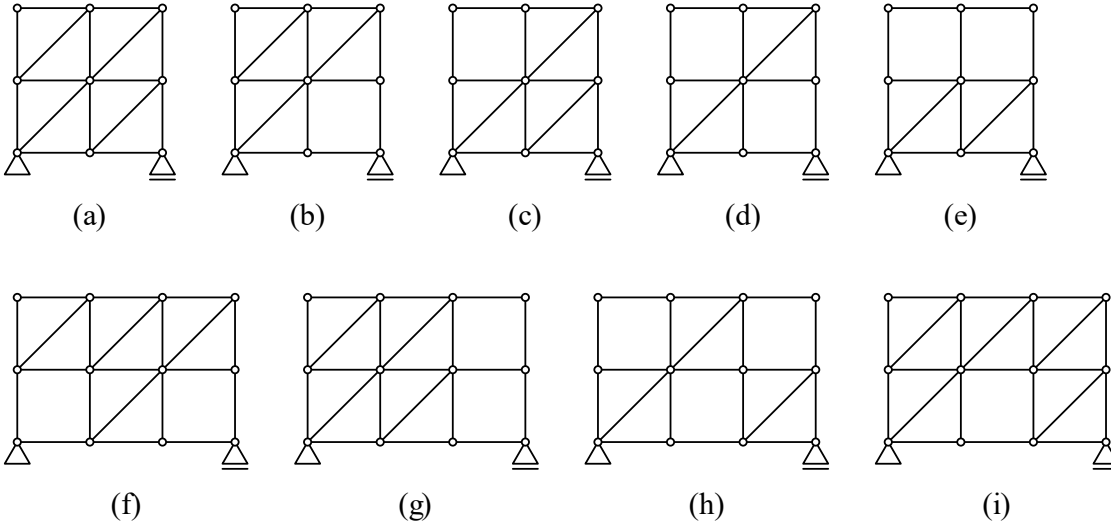
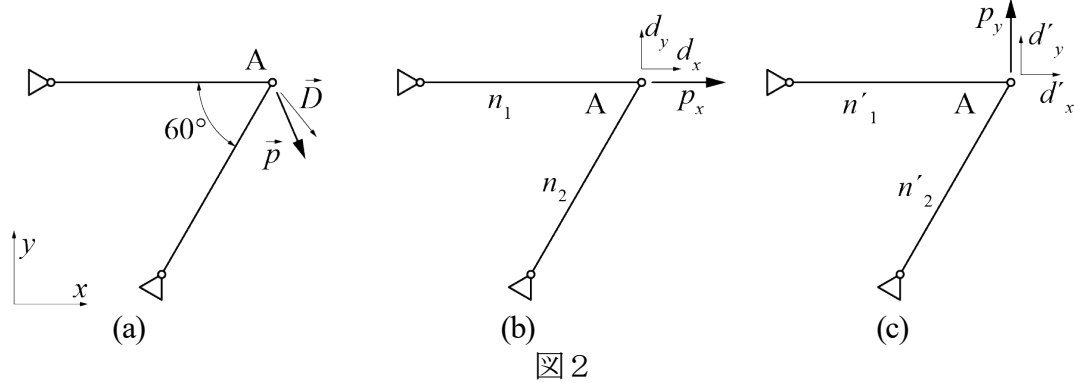


図1

(2) 図2(a)に示す2本の部材からなるトラス構造における荷重方向と変位方向の関係について下記の問いに答えよ。両部材ともに、長さ L 、部材の断面積を A 、ヤング率を E とせよ。



- A) 図2(b)に示すように点Aに水平荷重 p_x を与えたとき、それぞれの部材の軸力 n_1, n_2 を求め、その時の点Aの水平変位 d_x 、鉛直変位 d_y を求めよ。
- B) 図2(c)に示すように点Aに鉛直荷重 p_y を与えたとき、それぞれの部材の軸力 n'_1, n'_2 を求め、その時の点Aの水平変位 d'_x 、鉛直変位 d'_y を求めよ。
- C) 図2(a)に示すように点Aに荷重 $\vec{p} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$ を与えたとき、 \vec{p} とそれによって生じる点Aの変位 $\vec{D} = \begin{Bmatrix} D_x \\ D_y \end{Bmatrix}$ の関係は一次式で表せる。 D_x と D_y を p_x と p_y を用いて表せ。
- D) 図2(a)の \vec{p} と \vec{D} が平行となる場合がある。このとき $\vec{D} = \frac{L}{EA} \lambda \vec{p}$ を満たすスカラー値 λ が存在する。このような λ とそれに対応する荷重 \vec{p} の方向の組をすべて挙げよ。

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【問4】

(1) 地盤の液状化について次の問いに答えなさい。

(1-1) 次の文章を読み、(a)から(e)についてそれぞれ最も適した語を括弧内の選択肢から選びなさい。

一般に、緩い (a) [砂、粘土、礫] 地盤が (b) [非飽和、飽和] 状態にあり、その地盤に地震やその他の動的な力によって急にせん断応力が作用すると、地盤の体積は (c) [増加、減少] の傾向になる。その結果、地下水が急激に過剰間隙水圧を受け、上部の地盤の自重の受け持ちの一部が (d) [粒子間応力から間隙水圧、間隙水圧から粒子間応力] に変化する。その結果、(e) [全応力、過剰間隙水圧、有効応力] が減少する。この応力の分担の変化によりせん断強度が急に低下する。作用するせん断応力よりせん断強度が小さくなると、地盤が破壊することになる。このような現象を液状化と呼ぶ。

(1-2) 液状化によって生じる建築物の被害とその被害の原因となる地盤の変状を3つ答えなさい。

(2) ある土の供試体の一軸圧縮強度が 60 kN/m^2 であった。同一の土の供試体について、拘束圧 σ_3 が 40 kN/m^2 の条件で三軸圧縮試験を行ったところ、軸差応力が 140 kN/m^2 で図2に示すように破壊した。土の強度は破壊時の垂直応力 σ とせん断応力 τ が直線の関係 ($\tau = c + \sigma \tan \phi$) になるとするモール・クーロンの破壊基準に従うと仮定する。ここで、 c は粘着力、 ϕ はせん断抵抗角である。

(2-1) 図1はこの三軸圧縮試験で土の供試体が破壊したときのモールの応力円である。最大主応力 σ_1 の値 (図1の (a)) を求めなさい。

(2-2) 破壊面と主応力面がなす角度 α_f (図2参照) を求めなさい。ただし、角度 α_f の単位はラジアン(rad)とする。

(2-3) 粘着力 c を求めなさい。ただし、粘着力 c の単位は kN/m^2 とする。

(2-4) せん断抵抗角 ϕ を求めなさい。ただし、せん断抵抗角 ϕ の単位はラジアン(rad)とする。

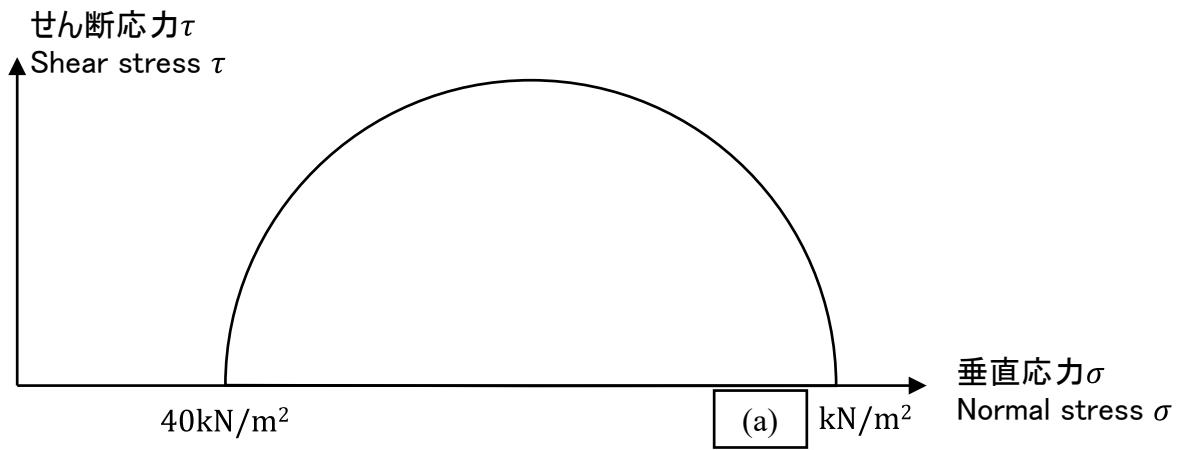


図 1

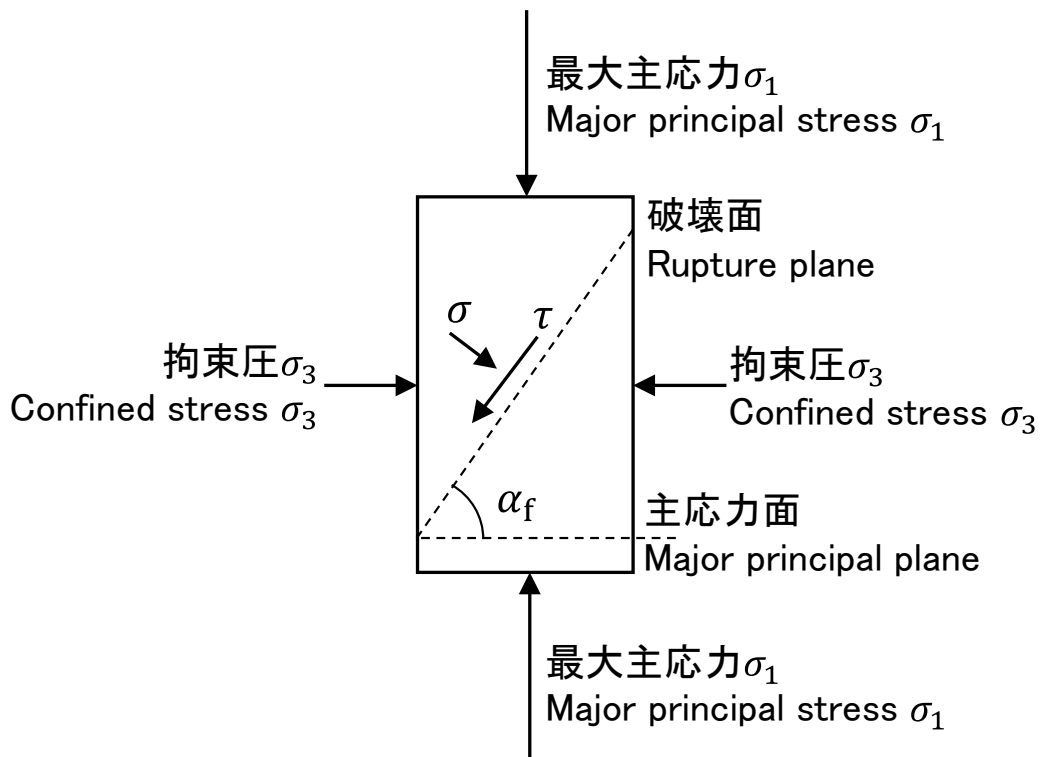


図 2

【Problem 1】

Select the most appropriate term, number, or symbol for (A) to (W) from the table below, and complete the sentences (1) to (3). Each term, number, and symbol shall be used only once.

Table

acidic, aggregate, alkali-aggregate, alkaline, amorphous, blasting demolition, calcium hydrogen carbonate, calcium hydroxide, carbon footprint, carbonation, chemical admixture, clay, coal-fired power plant, concrete sludge, corrosion, cover thickness, crystalline, diatomite, expansive agent, export, fly ash, ground granulated blast furnace slag, high-fluidity concrete, high-strength concrete, illegal dumping, low-shrinkage concrete, magnesium hydroxide, mince demolition, mineral addition, mixed construction waste, municipal solid waste, neutral, nuclear power plant, oxidation, polymerization, Portland cement, pozzolanic, quartz, rebar diameter, recycle, reduce, renovation, retrofitting, reuse, sand, selective demolition, specially controlled industrial waste, total organic carbon, water-to-cement ratio, 5, 10, 20, 40, 60, 80, CaCO ₃ , CaO, MgCO ₃ , MgO, Na ₂ CO ₃ , NaHCO ₃ , Na ₂ O, NaOH
--

- (1) The ratio of construction waste to the total amount of industrial waste for emission is about (A) %, that for final disposal is about 20%, and that for illegal dumping is about 70%. Given the problems of natural resource depletion and the tightness of residual capacity at the final disposal site, the construction industry plays a major role in establishing a resource recycling society, and it is important to promote the 3Rs. The priority of the 3Rs is (B) for the first place, (C) for the second place, and (D) for the third place. When they are difficult, heat recovery or appropriate disposal of waste must be performed. In the demolition of buildings, the (E) was shifted to (F) after the enforcement of the Construction Recycling Act established in 2000, and the amount of (G), which was difficult for resource circulation, decreased.
- (2) The dome of Pantheon, built in Rome in 126 AD, is made of concrete using cement consisting of lime and volcanic products. In (H) aqueous solution, SiO₂ and Al₂O₃, which are (I) and contained in the volcanic products, cause (J) reaction to form a compound with binding ability. The natural substances that cause the (J) reaction include rice husk ash and (K), and the industrial byproduct that causes the (J) reaction is (L) generated in (M). At present, (L) is used as a (N) for concrete, for suppressing thermal cracking of mass concrete, and for suppressing (O) reaction.
- (3) The amount of carbon dioxide emitted throughout the product life cycle is called the (P). In the case of reinforced concrete buildings, the amount of carbon dioxide emitted is mostly due to the use of equipment during the operation of the building, but the amount of carbon dioxide emitted during the production of (Q) is not small, about (R)% of which is generated by calcination of limestone, that is, the chemical reaction of (S)→(T)+CO₂. In order to reduce the (P) of reinforced concrete buildings, it is effective to use cement mixed with (U), to use (V) so as to reduce the cross-sectional area of members, and to increase (W) so as to prolong the service life of the buildings.

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【Problem 2】

Answer the questions from (1) to (6) for the frame, which is subjected to two types of load combinations, as shown in Figures 1 (a) and (b). The flexural rigidity of each member is EI . Consider only flexural deformation and neglect shear and axial deformation for each member.

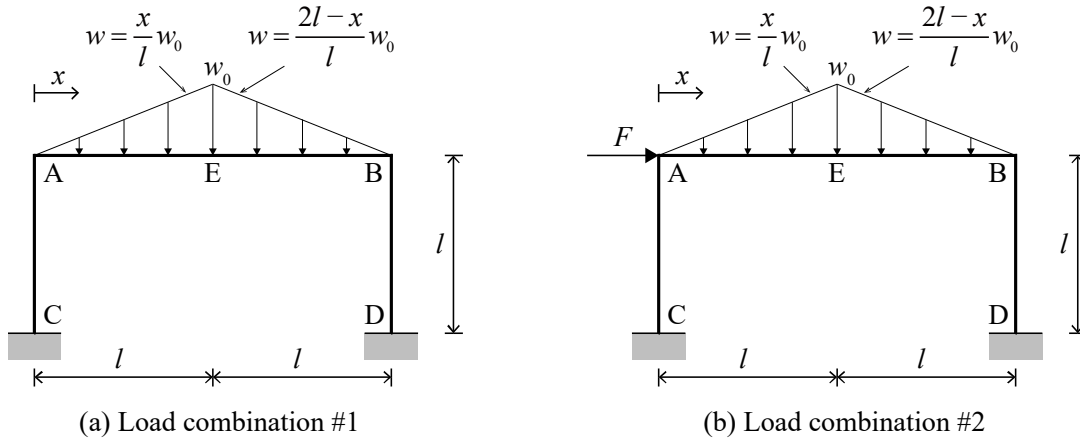


Figure 1

- (1) The beam AB in Figure 1 is supported and loaded, as shown in Figure 2. Calculate the bending moment as the function of x ($0 \leq x \leq l$), which is the distance of from point A. Also, calculate the slope at point A.

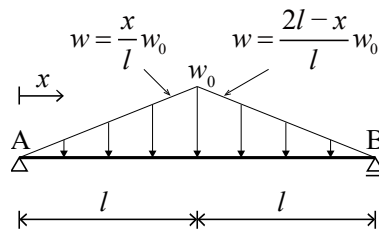


Figure 2

- (2) The beam AB in Figure 1 is supported and loaded, as shown in Figure 3. Calculate the bending moment at point A.

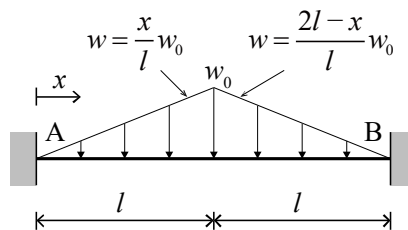


Figure 3

- (3) The column AC in Figure 1 is supported and loaded as shown in Figure 4. Calculate the bending moment at point C.

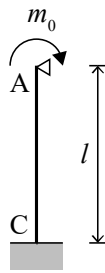


Figure 4

- (4) Calculate the bending moments at points A and E for the beam AB in Figure 1(a).

- (5) The frame in Figure 1 is loaded as shown in Figure 5. Calculate the bending moment at point A for beam AB.

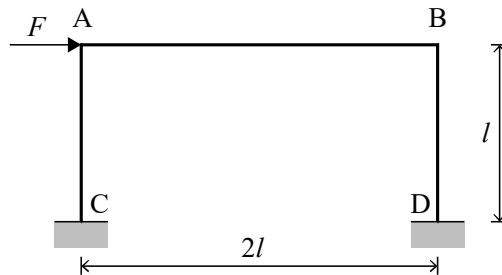


Figure 5

- (6) Suppose that the frame in Figure 1 is a reinforced concrete structure and its tensile longitudinal reinforcements are arranged such that the bending moment does not exceed the allowable moment strength under both load combinations #1 and #2 shown in Figures 1 (a) and (b). Calculate required sectional areas of tensile longitudinal reinforcements a_t at points B and E for the beam AB with 3 significant figures using the conditions below.

- Allowable moment strength $M_a = a_t f_t j$
- Allowable tensile stresses of the longitudinal reinforcement f_t

$$f_t = \begin{cases} 200 \text{ (N/mm}^2\text{)} & \text{for load combination \#1} \\ 300 \text{ (N/mm}^2\text{)} & \text{for load combination \#2} \end{cases}$$

- Distance between compressive and tensile force resultants $j = 7d/8$
- Effective height (the distance from the extreme compression fiber to the centroid of tension reinforcement) $d = 600 \text{ (mm)}$
- $w_0 = 70.0 \text{ (N/mm)}$
- $l = 3.00 \times 10^3 \text{ (mm)}$
- $F = w_0 l$

【Problem 3】

- (1) Answer the following questions on the stability and static determinacy of structures.
- State in one or two sentences the definition of statically determinate structures.
 - Identify all stable structures within the planar trusses shown in Figure 1.
 - Identify all statically indeterminate structures within the planar trusses shown in Figure 1.

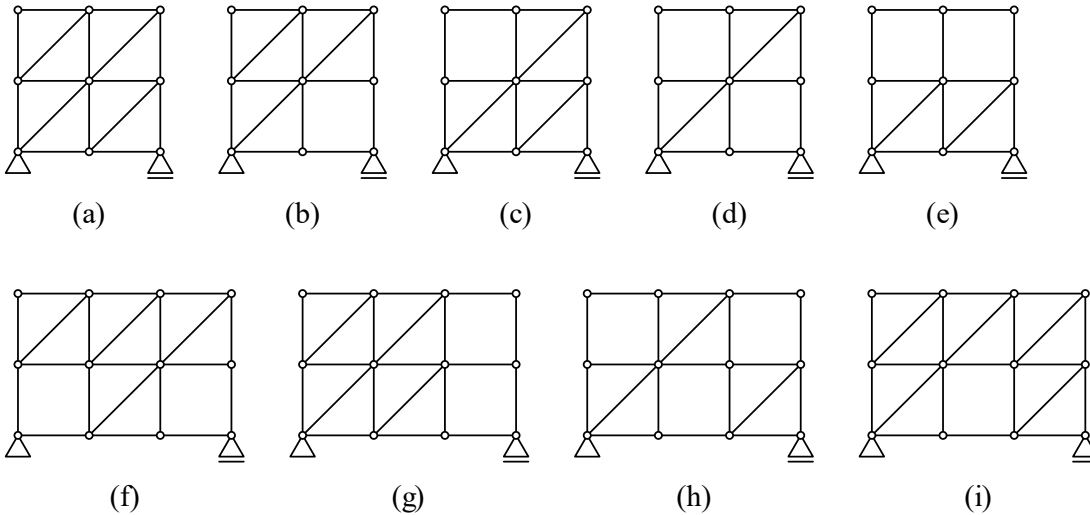


Figure 1

- (2) Answer the following questions regarding the relationship between the load and displacement directions for the truss structure with two members, as shown in Figure 2(a). Let the length be L , the cross-section area be A , and Young's modulus be E for both members.

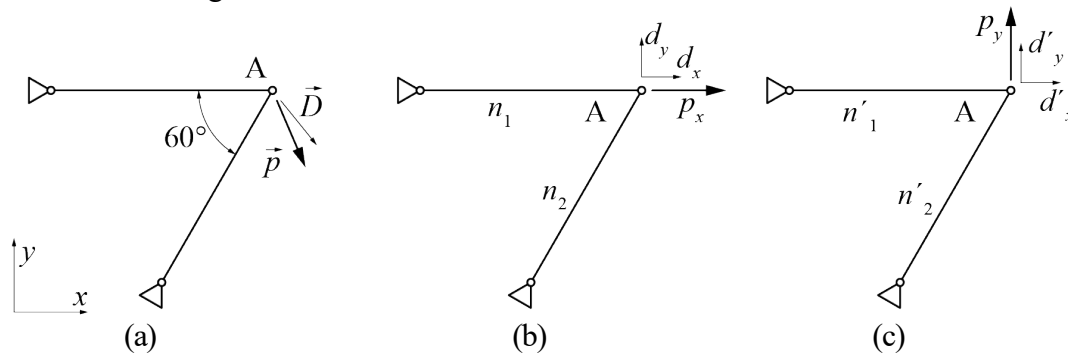


Figure 2

- When horizontal load p_x is applied to point A, as shown in Figure 2(b), find axial forces n_1 and n_2 of two members and find horizontal and vertical displacements d_x and d_y of point A.
- When vertical load p_y is applied to point A, as shown in Figure 2(c), find axial forces n'_1 and n'_2 of two members and find horizontal and vertical displacements d'_x and d'_y of point A.
- The relationship between load $\vec{p} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}$ applied to point A and the corresponding displacement $\vec{D} = \begin{Bmatrix} D_x \\ D_y \end{Bmatrix}$ of point A, as shown in Figure 2 (a), can be expressed by a linear equation. Express D_x and D_y using p_x and p_y .
- There are cases when \vec{p} and \vec{D} in Figure 2(a) are parallel. In such a case, there exists a scalar value λ such that $\vec{D} = \frac{L}{EA} \lambda \vec{p}$. Identify all sets of such λ and the corresponding direction of \vec{p} .

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【Problem 4】

(1) Answer the following questions about soil liquefaction.

(1-1) Read the following text and choose the most appropriate word(s) for (a) to (e) from the options in the bracket.

In general, if a mass of loose (a) [sand, clay, gravel] in a (b) [unsaturated, saturated] condition is subjected to a suddenly applied shear stress from an earthquake or any other dynamic force, the soil tends to (c) [increase, decrease] in volume. As a result, the pore water is subject to a suddenly applied excess pore water pressure, and a portion of the weight of overlying material is transferred from (d) [intergranular pressure to pore water pressure, pore water pressure to intergranular pressure]. Thus, the (e) [total stress, excess pore water pressure, effective stress] in the soil is reduced. This transfer of pressure causes a sudden decrease in the shear strength. If it is reduced to a value below the applied shear stress, the mass will fail. This type of phenomenon is referred to as liquefaction.

(1-2) Describe three examples of building's damage and the change of the ground condition causing such damage due to liquefaction.

(2) A soil has an unconfined compression strength of 60 kN/m^2 . In a triaxial compression test, subjected to confined stress σ_3 of 40 kN/m^2 , a specimen of the same soil failed at a deviator stress of 140 kN/m^2 , as shown in Figure 2. The soil strength is assumed to be described by the Mohr-Coulomb failure envelope that describes a linear relationship between the normal stress σ and the shear stress τ at failure as $\tau = c + \sigma \tan \phi$, where c is the cohesion and ϕ is the angle of shear resistance.

(2-1) Figure 1 shows a Mohr's circle when the specimen failed at this triaxial compression test. Find the major principal stress value σ_1 (in Figure 1).

(2-2) Determine the angle α_f between the rupture plane and the major principal plane in radian (see Figure 2).

(2-3) Determine the cohesion c in kN/m^2 .

(2-4) Determine the angle of shear resistance ϕ in radian.

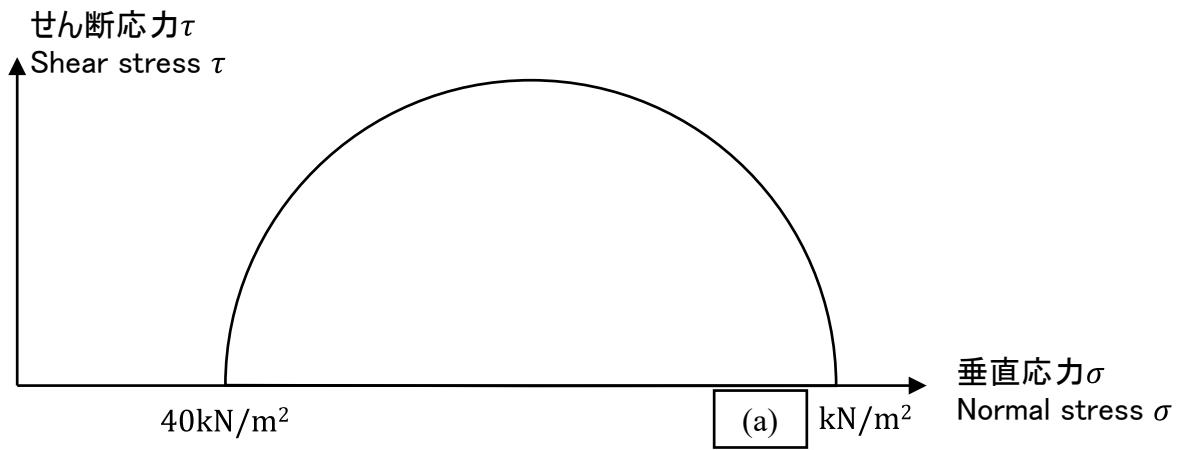


Figure 1

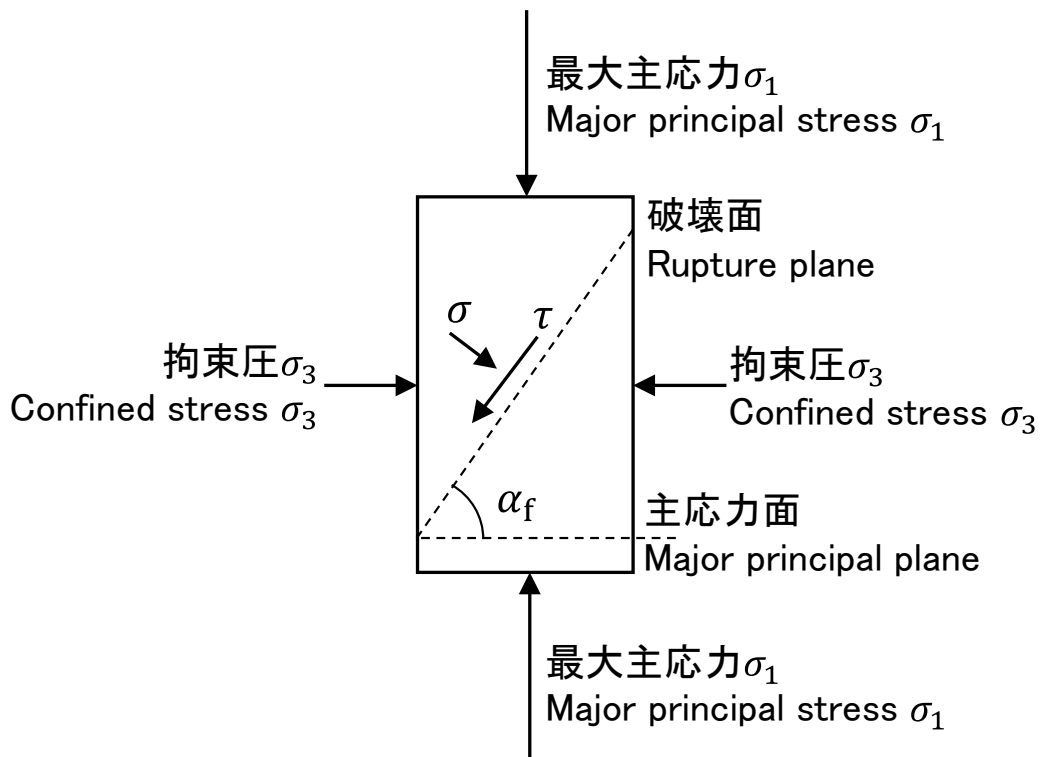


Figure 2

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

注意事項

試験開始の合図があるまでは、問題を開いて見てはいけません。

1. 答案用紙を 4 枚，草稿用紙を 4 枚配ります。
2. 問題は全部で 4 問あります。
3. 解答は答案用紙 1 枚に一問ずつ記述しなさい。表面で足りないときは裏面を使ってよいが，そのときは表面の右下のチェック欄をマークすること。1 枚の答案用紙に 2 問以上を解答すると無効になります。
4. 選択した問題番号を答案用紙の所定欄に記入しなさい。
5. 受験番号を答案用紙の所定欄に記入しなさい。これ以外に氏名，記号などを記入した場合は，答案全体が無効となります。
6. 答案を 3 枚以下しか提出しない場合は，答案全体が無効となります。もし解答できない場合でも，問題番号，受験番号を所定の欄に記入し，白紙で提出しなさい。
7. 問題冊子および草稿用紙は試験終了後，回収します。ただし，これは採点の対象とはしません。

ATTENTIONS

Do NOT proceed to the following pages until you are told to start the examination.

1. Four answer sheets and four draft answer sheets will be distributed.
2. There are four exam problems in total.
3. The answers to each exam problem should be written on one answer sheet. You may use both sides of the sheet if necessary, with checking a mark at the right bottom corner of the front side. If more than two exam problems are answered on one sheet, they will not be scored.
4. Write the number of problem which you answer in a designated box on all answer sheets.
5. Write your examinee's number in a designated box on all answer sheets. Never write down your name or any indication which suggests your identity anywhere on your answer sheet. In the case of violating this instruction, none of your answers will be scored.
6. Submit four answer sheets at the end of this examination. Even if you do not answer, write the problem number and your examinee's number on the sheet, and submit it with blank answer. None of your answers will be scored if you do not submit all the four answer sheets.
7. The question booklet and draft sheets will be collected at the end of this examination. They are not counted in scoring your answers.