

2024 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)

2023 年 8 月 30 日(水)

3 時間(9:00～12:00)

THE UNIVERSITY OF TOKYO
Graduate School of Engineering
Department of Architecture

QUESTION BOOKLET
on
The 2024 Master/Doctor Course Examination
of
Special Subject II, Group No.4 Structures & Materials

Date and Time of the Examination
From 9:00 to 12:00
On Wednesday, August 30, 2023

(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】

2017年6月に英国ロンドンで発生したグレンフェル・タワー火災は約70名の死者を出す大惨事となった。当該火災が大規模火災にいたった経緯は複数の要因が絡んでいるが、ここでは、当該建物の外壁で急激な火災拡大が発生したことを踏まえて、以下の問いに答えなさい。

- (1) 当該火災では、先ず5階の屋内で出火して、火炎が開口部から噴出した後、外壁で急速に最上階（24階）まで延焼した。場所にもよるが、グレンフェル・タワーの外壁の構成は単純化すると、鉄筋コンクリート躯体（厚さ約200mm）、ウレタン系断熱材（厚さ約100mm）、通気層（厚さ約50mm）、外装材（厚さ約4mm、内訳は厚さ約3mmのポリエチレン芯材の両側を厚さ約0.5mmのアルミ板で挟んだアルミ樹脂複合材）であった（注：外装材（アルミ樹脂複合材）が最も外側に位置する）。この外壁の断面図を描いて、火災が急激に上方向へ拡大したメカニズムについて、外壁の構成、材料の観点から踏まえて、説明しなさい。
- (2) 一般的に、遮熱性（火災時に非加熱面側に熱を通さない）、遮炎性（火災時に非加熱面側に炎を通さない）、非損傷性（火災時に必要な耐力を保持する）を有している外壁を耐火構造の外壁とみなす。この場合、（1）で示したグレンフェル・タワーの外壁は、耐火構造の外壁とみなせるか否かを述べた上で、その理由を説明しなさい。
- (3) 日本国内に存在している、（2）の定義に従った耐火構造の外壁において、グレンフェル・タワー火災と類似する急激な外壁火災が発生しうるか否かを述べた上で、その理由を説明しなさい。

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【問2】

図に示す架構について以下の問いに応えよ。断面は一様で、曲げ剛性は EI とし、曲げ変形のみを考慮するものとする。

(1) 図1の架構において、荷重 P がC点に作用した。この時、

- ① 架構のモーメント図を示せ。
- ② C点の鉛直変位 δ_V および水平変位 δ_H を求めよ。
- ③ 変形の概略を示せ。

(2) 図2の架構において、一方の柱脚Eが鉛直方向に δ だけ沈下した。この時、

- ④ 部材中央のC点の鉛直変位を δ を用いて表せ。
- ⑤ 架構のモーメント図を示せ。
- ⑥ 変形の概略を示せ。

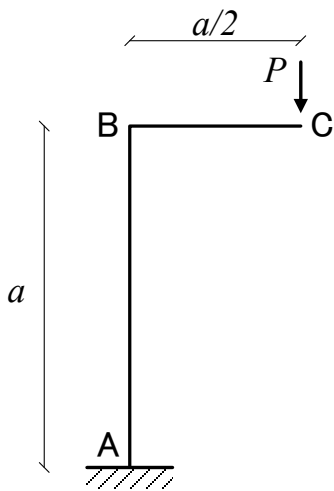


図1

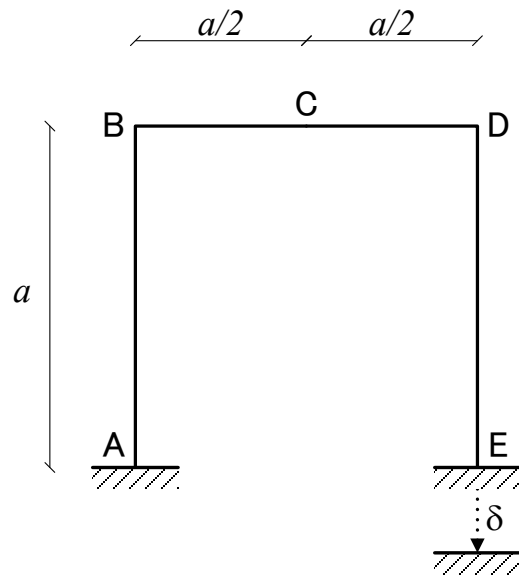


図2

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【問3】

コンクリートスラブとH形鋼が一体となった合成梁断面を考える。図3-1にはおよその形状と座標軸が示されている。 x_s 軸および x_c 軸はそれぞれH形鋼およびコンクリートスラブの図心を通る水平軸である。H形鋼およびコンクリートスラブのヤング率、せい（高さ）、断面積、および断面二次モーメントは表3-1に示してある。この梁の断面には曲げモーメントのみが加わり、外力による軸力は加わらないものとする。また、コンクリートスラブが硬化し鉄骨梁と一体となった後の合成梁断面においてはベルヌーイオイラーの仮定（平面保持の仮定）が成立しているものとする。なお、材料は弾性範囲にとどまるものとする。

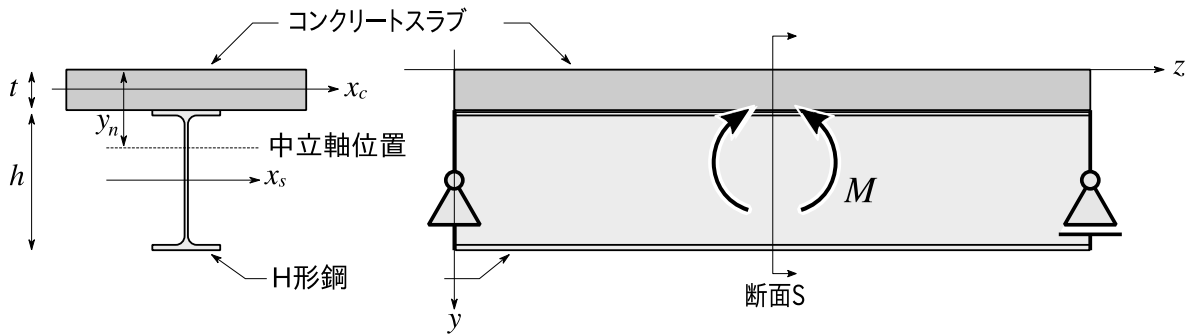


図3-1

表3-1

部材	ヤング率	せい (高さ)	断面積	断面二次モーメント
H形鋼	E_s	h	A_s	I_s (x_s 軸まわり)
コンクリートスラブ	E_c	t	A_c	I_c (x_c 軸まわり)

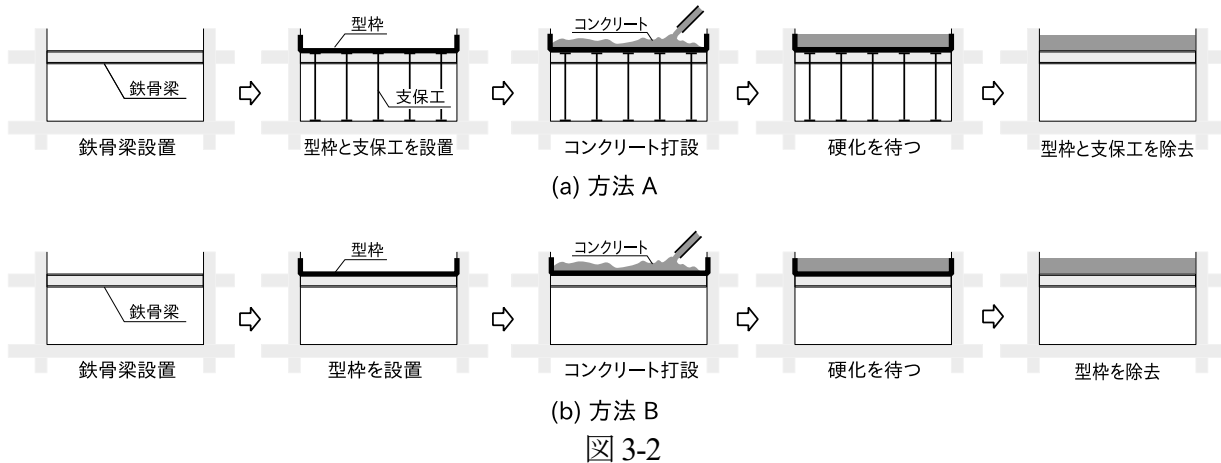
(1) コンクリートスラブが硬化し鉄骨梁と一体となった合成梁が下側引張の曲げモーメントを受けたとき、ある断面 S に曲率 ϕ の変形が生じた。また、スラブ上端から計測した中立軸の位置 y_n は鉄骨梁断面内（つまり $t < y_n < t+h$ の範囲）にあった。このときの断面 S の状態についての問に答えなさい。

(1-1) このとき、断面 S のうち鉄骨梁断面部分が負担する軸力および曲げモーメントをそれぞれ求めなさい。

(1-2) 断面 S における中立軸の位置 y_n を、 y_n 以外の値で表しなさい。

(1-3) コンクリートスラブ断面部分を含む断面 S が受けた曲げモーメントを求めなさい。なおこの解答には y_n を用いてもよい。

(2) 合成梁を施工するには図 3-2 に示す 2 つの方法がある。方法 A は床スラブの型枠を支えた状態でコンクリートを打つ方法である。方法 B は型枠を支えることなくコンクリートを打つ方法であり、この場合には施工完了時にはコンクリート内に応力は発生しない。型枠の重量は十分軽量であるため無視するものとする。またいずれの方法によっても、施工完了時の梁の自重は同じであり、したがって自重により梁に加わっている曲げモーメントも同じであるとする。この 2 つの方法による施工完了時の状態について次の問に答えなさい。解答には表 3-1 に示された値、および合成梁断面の中立軸位置 y_n ($t < y_n < t+h$) を必要に応じて用いなさい。



(2-1) 方法 A および方法 B での施工完了時に自重によってある断面 S の鉄骨梁断面部分に生じる曲率がそれぞれ ϕ_A および ϕ_B であるとき、方法 A および方法 B での施工完了時にその鉄骨梁断面部分に生じる最大ひずみをそれぞれ求めなさい。

(2-2) 施工完了時に自重によって断面 S に生じる曲げモーメントが M であるとき、方法 A および方法 B での施工完了時に断面 S の鉄骨梁断面部分に生じる最大ひずみをそれぞれ求めなさい。

【問4】

弾性設計用加速度応答スペクトルについて次の問いに答えなさい。

(1) 減衰5%の弾性設計用加速度応答スペクトルが図4-1で示される場合、横軸と縦軸は、それぞれどのような物理量を示しているか答えなさい。

(2) 重量 $5 \times 10^4 \text{ N}$ 、弾性バネ定数 $2 \times 10^5 \text{ N/m}$ の1自由度系の構造物の1次固有周期を求め、図4-1の弾性設計用加速度応答スペクトルを参照して応答加速度と地震力を求めなさい。以下の式を用いて良い。なお、小数点第一位まで記載すること。

地震力は、質量 \times 応答加速度

質量は、重量/重力加速度

重力加速度は 10 m/s^2 と仮定

(3) 図4-1は工学的基盤における弾性設計用加速度応答スペクトルである。工学的基盤よりも有意に柔らかい地盤を考えた場合、地表面における弾性設計用加速度応答はどのような点線の形状を示すか、図4-2から選びなさい。また、その根拠を記しなさい。

(4) 図4-1の弾性設計用加速度応答スペクトルに従う入力地震動波形を作成する場合、パルス的な波形や、長時間継続する波形を作成するには、それぞれどのような工夫が必要となるか答えなさい。

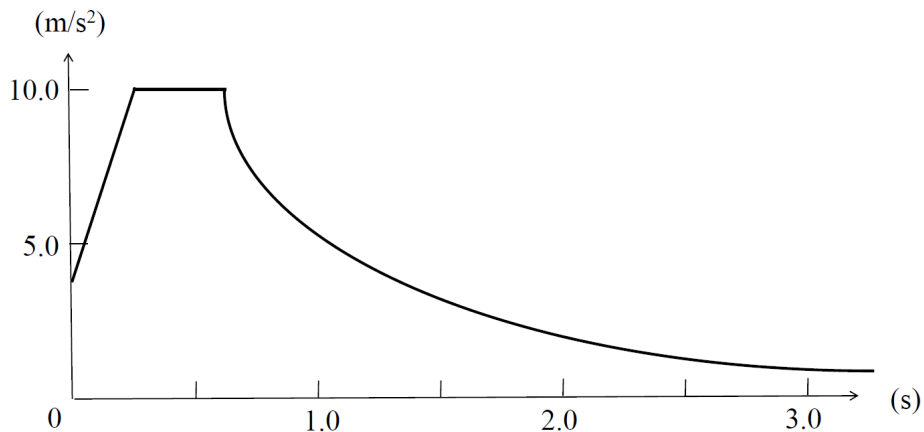


図 4-1

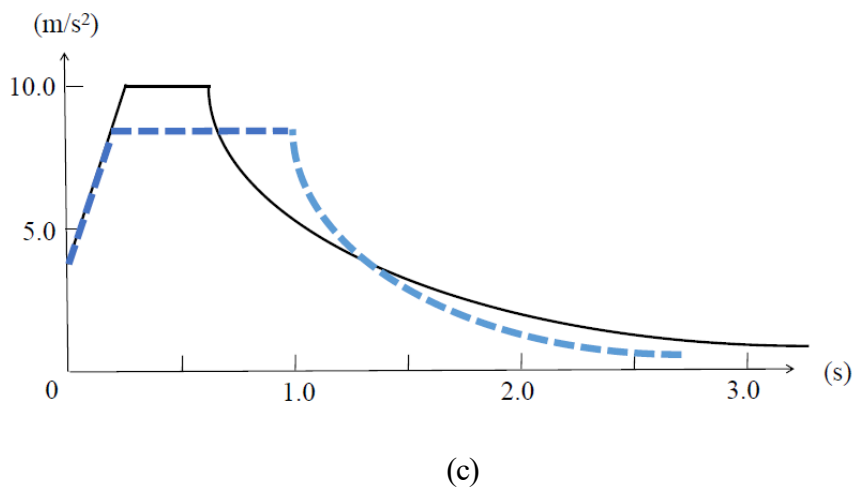
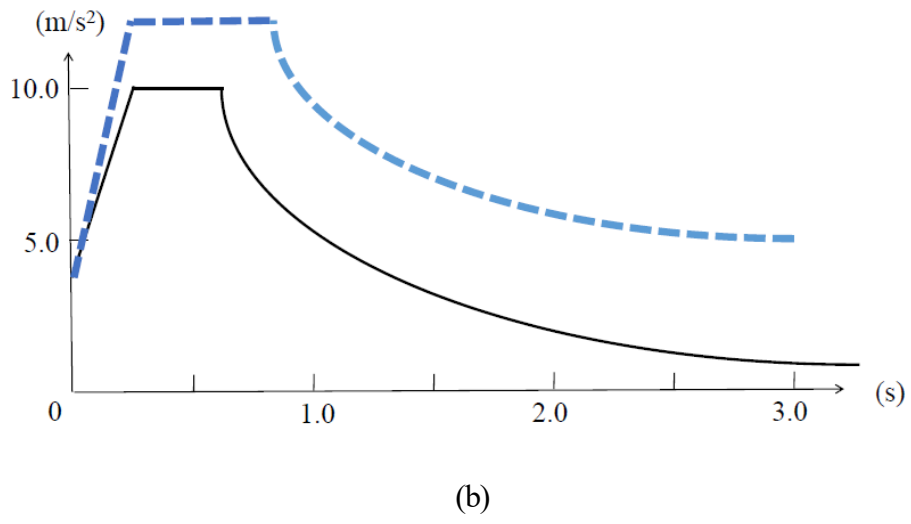
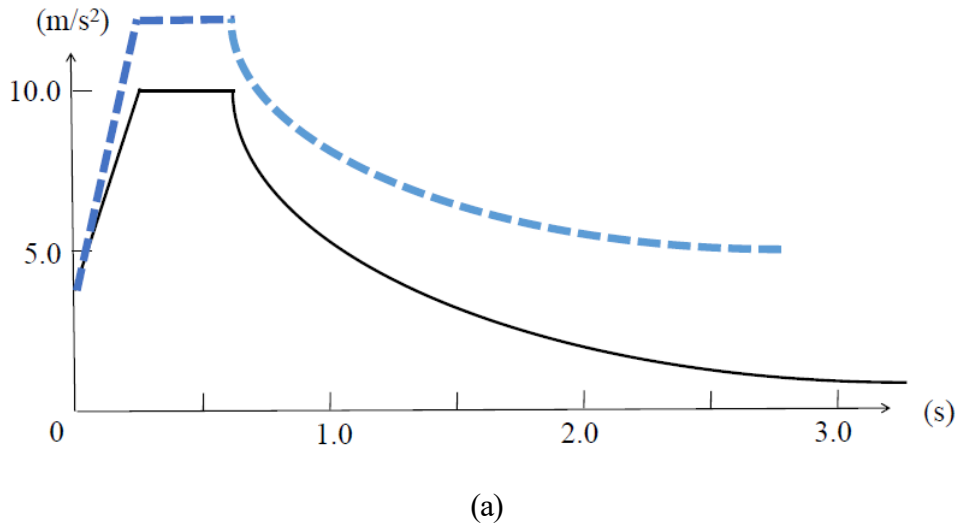


图 4-2

【Problem 1】

Grenfell tower fire in London UK in June 2017 was such a devastating fire that around 70 people were killed. There were multiple reasons for this Grenfell tower fire to be so accelerated, but here, focus on the rapid fire spread along the exterior walls of this building, and answer the following questions.

- (1) The fire started on the fourth floor and the flame was spouted out from the broken window opening. Then the fire rapidly spread along the exterior wall up to the top floor (23rd). Though the structure details of the exterior walls of Grenfell tower were varied location to location, they could be simplified from interior to exterior as follows: Reinforced-concrete (around 200 mm thick), Insulating Material (Polyurethane-based, around 100 mm thick), Air cavity (around 50 mm thick), and Cladding (Aluminum Composite Panel, around 4 mm thick in total, in which the Polyethylene core (around 3mm thick) is sandwiched by Aluminum sheets (each around 0.5 mm thick)). Note that Cladding (Aluminum Composite Panel) is located at the most exterior side. Firstly draw a cross-section of this exterior wall, and explain the mechanism of such a rapid vertical spread of fire at this exterior wall, with respect to the structure and the materials of this exterior wall.
- (2) Generally, an exterior wall having “Thermal Insulation” (when there is a fire on one side of a wall, heat is not transmitted from the fire side to the other side of a wall), “Fire Integrity” (when there is a fire on one side of a wall, flame is not transmitted from the fire side to the other side of a wall), and “Fire Stability” (when there is a fire, a wall maintains its necessary strength), is considered to be “Fire-resistant”. Specify whether the exterior walls of Grenfell tower explained in question (1) above are considered to be “Fire-resistant” or not, and explain the reason for that.
- (3) Regarding the exterior walls of buildings in Japan, which are “Fire-resistant” according to the definitions in question (2) above, specify whether there could be such a rapid fire spread along those exterior walls as occurred at Grenfell tower or not, and explain the reason for that.

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【Problem 2】

Answer the following questions regarding structures shown below. The flexural rigidity of each member is uniformly EI , and consider only flexural deformation.

(1) A structure subject to a force P at Point C is given in Fig. 1.

- ① Draw the bending moment diagram.
- ② Find the vertical deflection δ_V and horizontal deflection δ_H at Point C.
- ③ Draw the outline of the structure's deformation.

(2) A structure is given in Fig. 2, and its column bottom at Point E is vertically settled by δ .

- ④ Find the vertical deflection at Point C of the member's center using δ .
- ⑤ Draw the bending moment diagram.
- ⑥ Draw the outline of the structure's deformation.

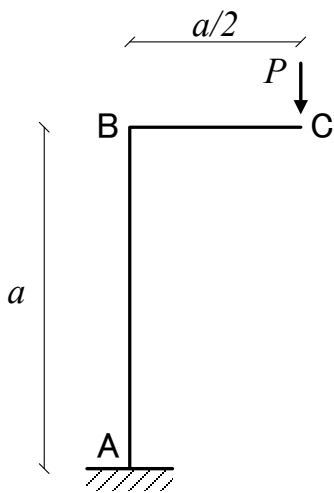


Fig. 1

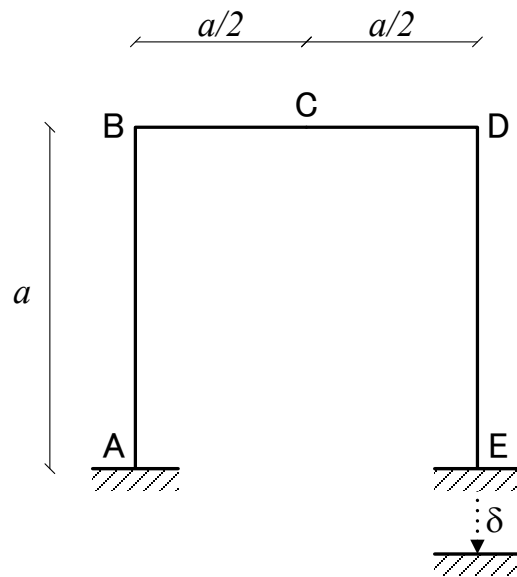


Fig. 2

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【Problem 3】

Consider a composite beam cross section in which a concrete slab and an H-shaped steel are integrated. Figure 3-1 shows the shape and coordinate axes. The x_s axis and x_c axis are the horizontal axes through the centroid of the H-shaped steel and the concrete slab, respectively. The Young's modulus, height, cross-sectional area, and geometric moment of inertia of the H-shaped steel and concrete slab are shown in Table 3-1. It is assumed that only the bending moment is applied to this beam, and no axial force due to external load is applied. In addition, it is assumed that the Euler-Bernoulli assumption holds, where the plane sections of the composite beam remain plane and perpendicular to the beam axis, after the concrete slab hardens and is integrated with the steel beam. The materials are always elastic.

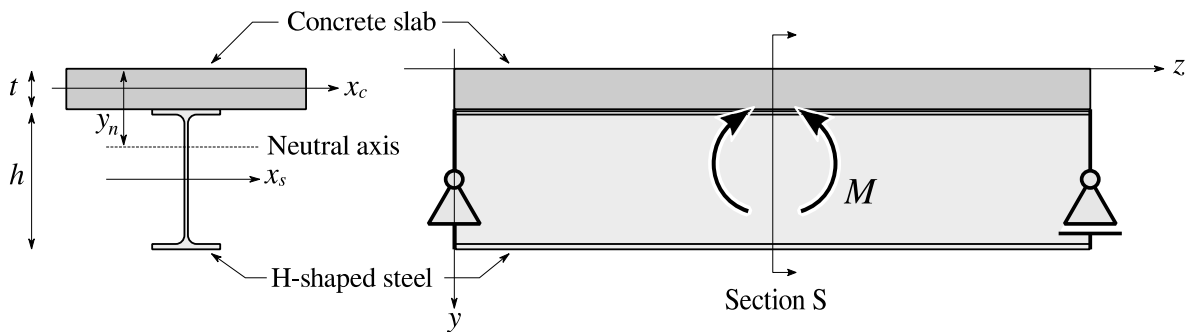


Figure 3-1

Table 3-1

Element	Young's modulus	Height	Section area	Inertia moment
H-shaped steel	E_s	h	A_s	I_s (around x_s axis)
Concrete slab	E_c	t	A_c	I_c (around x_c axis)

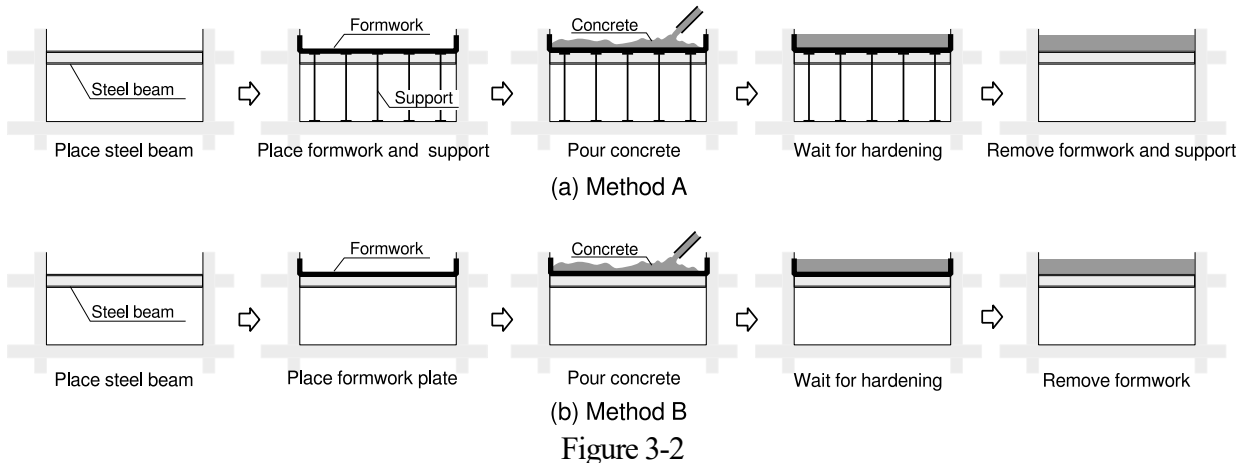
(1) When this composite beam, whose concrete slab hardened and was integrated with the steel beam, was subjected to a positive bending moment (where the bottom part of the section is in tension), a curvature ϕ occurred at Section S of the beam. The position y_n of the neutral axis of the composite beam measured from the top of the slab was within the cross section of the steel beam (i.e. $t < y_n < t+h$). Answer the following problems about the state of Section S.

(1-1) Find the axial force and bending moment supported by the steel part at Section S, respectively.

(1-2) Express the position of the neutral axis, y_n , at Section S, using the other variables.

(1-3) Find the bending moment supported by Section S of the composite beam, which includes the concrete slab section part. You can include y_n in your answer, if necessary.

(2) There are two methods shown in Figure 3-2 to construct a composite beam. In Method A, the concrete is poured while the formwork of the floor slab is supported. In Method B, no support is used when the concrete is poured, and therefore there is no stress in the concrete at the completion of the construction. The weight of the formwork is ignored as it is light enough. By either method, the dead weight of the beam is the same, and therefore the bending moment caused in the beam by the self-weight at the completion of the construction is also the same. Answer the following problems about the state after the construction by these two methods, using the variables presented in Table 3-1 and the neutral axis position of the composite beam, y_n ($t < y_n < t+h$), as needed.



(2-1) Let ϕ_A and ϕ_B be the curvature of the steel part of Section S at the completion of construction, completed by Method A and Method B, respectively. Find the maximum strain in the steel part at Section S by Method A and Method B, respectively.

(2-2) Assuming that the bending moment, M , was caused in Section S at the completion of construction due to the self-weight, find the maximum strain in the steel part of Section S by Method A and Method B, respectively.

【Problem 4】

Answer the following questions about the elastic design spectrum for acceleration response.

- (1) Answer the physical quantity of the horizontal and vertical axes respectively for the 5%-damped elastic design spectrum for acceleration response shown in Figure 4-1.
- (2) Answer the primary natural period for a structure with a single-degree of freedom system with a weight of 5×10^4 N and an elastic spring constant of 2×10^5 N/m. Also, answer the response acceleration and the seismic force for the elastic design spectrum for acceleration response in Figure 4-1. The following equations are referenced. Calculate to the first decimal place for the answers.

$$\text{seismic force} = \text{mass} \times \text{response acceleration}$$

$$\text{mass} = \text{weight} / \text{gravitational acceleration}$$

Gravitational acceleration is assumed to be 10 m/s^2 .

- (3) Figure 4-1 is the elastic design spectrum for acceleration response at the engineering bedrock. Select a figure with dashed lines for significantly soft soil at the ground surface from Figure 4-2. In addition, write reasons why you selected the figure.
- (4) When creating an input ground motion waveform that follows the elastic design spectrum for acceleration response in Figure 4-1, what kind of treatments are necessary to create a pulse-like ground motion and a long-lasting ground motion, respectively?

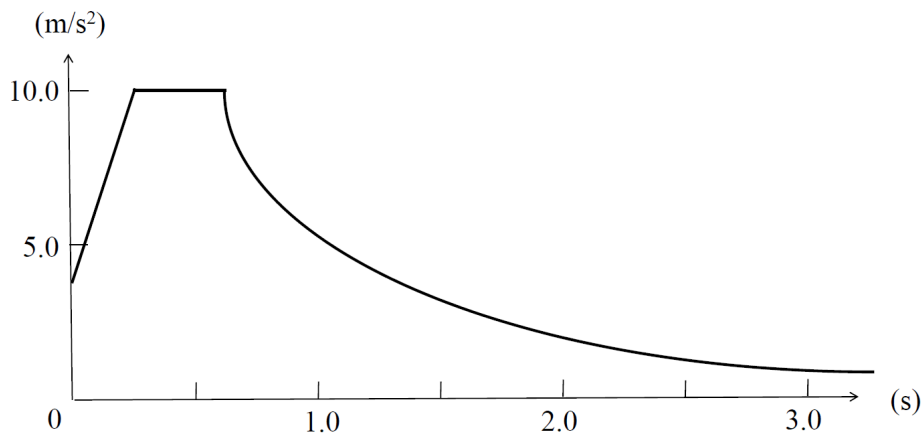


Figure 4-1

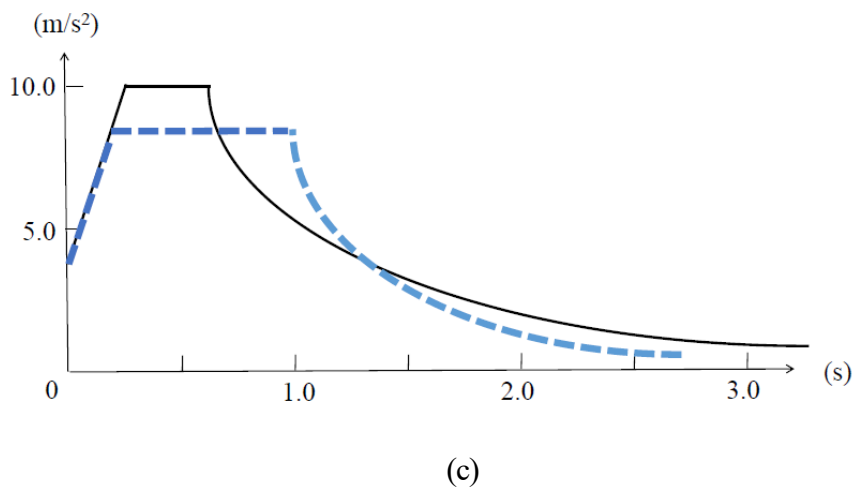
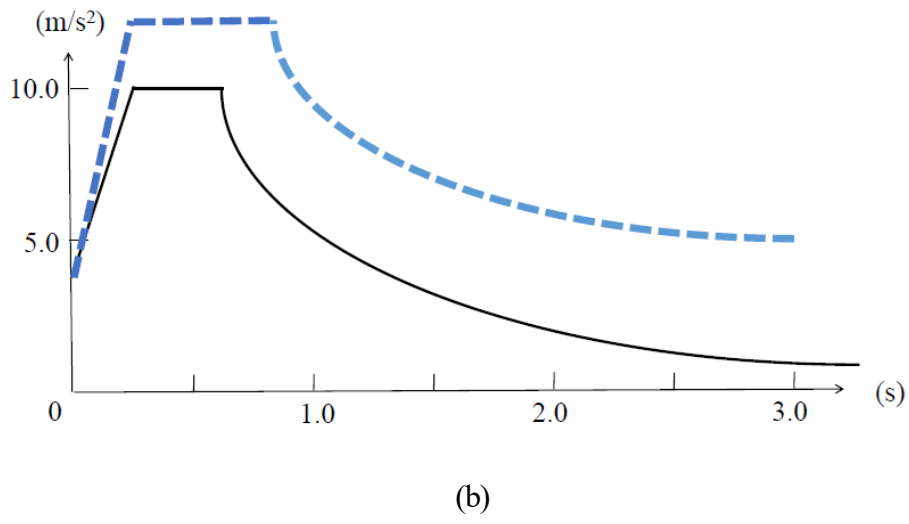
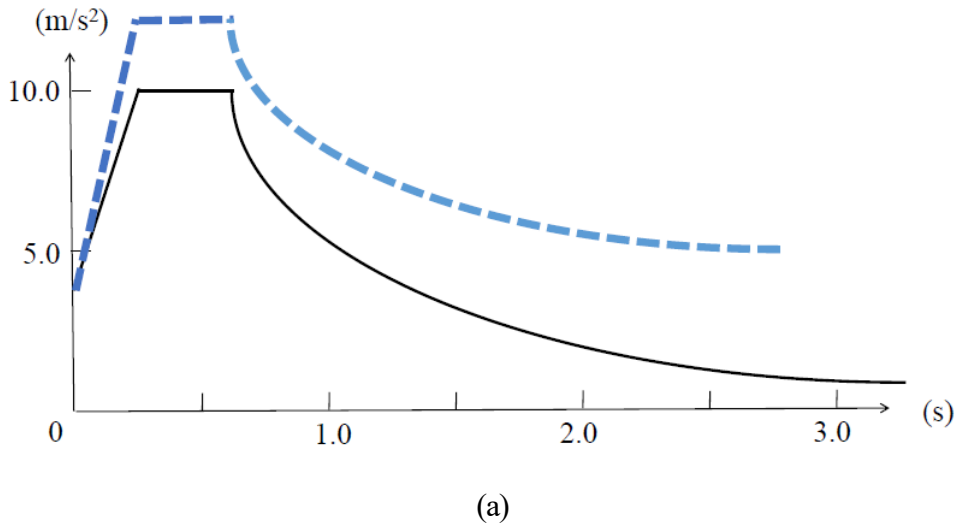


Figure 4-2

(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.)

(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. 答案用紙を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 open this question booklet 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 the 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.