

平成31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）

平成30年8月29日(水)

3時間(9:00～12:00)

THE UNIVERSITY OF TOKYO
Graduate School of Engineering
Department of Architecture

QUESTION BOOKLET

on

The 2019 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 29, 2018

(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】

図 1 に示す擁壁構造体の地震時における安定性を検討する。ただし、擁壁構造体は紙面に直交する方向に無限に続くものとし、単位奥行幅で安定性の検討をするものとする。構造体は重量 W で、構造体背面の地盤からの主働土圧 p_A 、構造体に作用する地震による水平慣性力 Q が作用する。構造体背面の地盤からの主働土圧 p_A は次式で与えられるものとし、地震時においても変化しないものとする。図中の z は地表面から鉛直下方を正とする座標である。また、地盤は均質一様とする。

$$p_A = K_A \gamma z, \quad K_A = \frac{\cos^2 \phi}{(1 + \sin \phi)^2}$$

K_A : 主働土圧係数、 ϕ : 地盤の内部摩擦角、
 γ : 地盤の単位体積重量

構造体の安定性の検討は以下の 3 つの項目について実施する。

- a. 構造体全体の転倒安定性
- b. 構造体底部と支持地盤との接触面における滑動安定性
- c. 構造体底部直下の地盤の鉛直支持能力

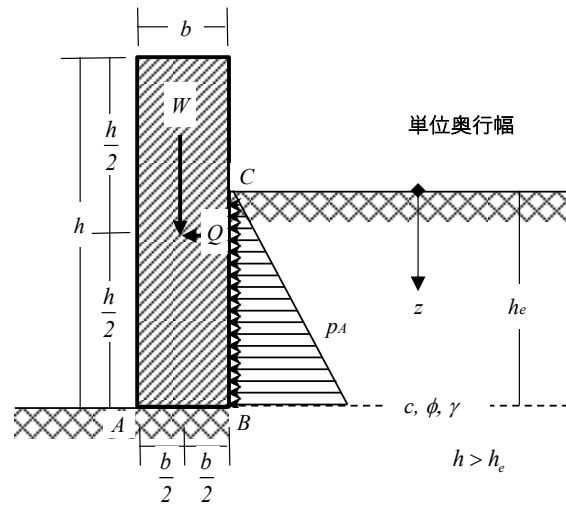


図 1 擁壁構造体

以下の問いに答えよ。

- 1) a. について、構造体全体に作用する主働土圧 p_A の合力 P の大きさと作用位置を示し、構造体全体の転倒に関する安定性が確保される条件を示せ。
- 2) b. について、構造体の底面において滑動しない条件を示せ。ただし、地盤のせん断抵抗はクーロン摩擦による抵抗とし、底面直下の地盤の内部摩擦角を ϕ 、粘着力を c とする。
- 3) c. において、構造体に作用する力 W 、 Q 、 P を用いて、構造体底面直下の地盤に作用する最小鉛直応力度が 0 となる条件を示せ。ただし、構造体底面では全面圧縮状態とする。
- 4) c. において、構造体に作用する力 W 、 Q 、 P を用いて、構造体底面直下の地盤の鉛直応力度が地盤の鉛直支持応力度 σ_{\max} 以下となる条件を示せ。ただし、構造体底面では全面圧縮状態とする。
- 5) 1) において、転倒に対する余裕を表す量（「転倒に対する抵抗力」－「転倒作用力」）

を G とし、 Q 、 P のみがバラツキを有し、その平均値と標準偏差が以下のように与えられている時、 G の平均値 μ_G と標準偏差 σ_G を求めよ。ただし、 Q と P は統計的に独立とする。

Q の平均値 = μ_Q 、 Q の標準偏差 = σ_Q

P の平均値 = μ_P 、 P の標準偏差 = σ_P

- 6) 5)において、 G の平均値 μ_G と標準偏差 σ_G を用いて、転倒に関する二次モーメント信頼性指標 β を示せ。

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【問2】

スポーツイベント等に用いられるスタジアム建築の屋根構造は、観客の視線を妨げないためにフィールド側に柱を設けない大屋根構造となる。そのため様々な構造的な工夫がなされている。

図1, 2に示すI, II二つのスタジアム建築の屋根構造について各々平面図と断面図からその構造の特徴を読み取り、用語リストから最も適切な言葉を選び、以下の文章の①～⑳を埋めて文章を完成させよ。但し、同じ用語は2回選ぶことはできない。

Iの屋根の主構造は、等間隔に配置された①方向の②であり、78基のうち40基が③により2基ずつ直接支持されている。②の全長は68mで、フィールド側は芝生の育成を考慮して④屋根になっている。②の最外周の三角形を形成する部分は⑤の外周リングとなっており、片持ち梁の⑥の役割を果たしている。これにより③にかかる常時の曲げモーメントを減らしている。③は計20基あり、観戦の邪魔にならないように細くするために⑦を採用している。屋根面はIIと同様に透光性のある⑧であり、⑨で突き上げ連続した⑩の張力面が形成されている。

IIの屋根構造は⑪が導入された⑫型⑬であり、最内周の楕円状の1段のリングは⑭であり、最外周の2段の楕円状リングは⑮である。この二種類のリングの間に放射方向に上下弦材をもつ40組の⑯が張り渡されている。⑯の張り出し長さは58mである。⑯の下弦材の上に7つの⑰が取り付けられ、⑧の面を連続した⑩に保つことで張力面が保たれている。

Iの構造は、片持ち梁で⑰の構造として設計されており、屋根部分の重量は大きくなるが屋根の高さや屋根構造の全体的厚みは比較的軽く抑えることが可能である。IIの屋根構造は⑱の構造として設計されており、非常に軽量である反面、⑫の状態を保つために内周と外周のリングが⑲が必要であり、また、2つのリングを支え、構造全体の鉛直方向の安定性を確保するために建物の外側に背の高い⑳が必要となっている。

用語リスト

鉛直, 放射, 単純梁, 壁式構造, 杭基礎, トラス梁, スタジアム, 樹状支柱, 木製, ガラス, RC製, 耐火被覆, カウンターウェイト, 角型鋼管, 中実断面, 耐風梁, ハイブリッド, 膜屋根, サブアーチ, シェル構造, 球形, 鞍形, シリンダー, 耐震性, プレストレス, 座屈, 自己つり合い, 吊り橋, 斜張橋, ケーブル構造, 折版, スタンド, 圧縮リング, 斜材, 張力系, せん断系, 曲げ系, 閉じている, 開いている, 開口部, 張力リング, 免震, 支柱, ケーブルガーダー, 仮想仕事の原理, 降伏応力

- 解答例： ① シリンダー
 ② 吊り橋
 ③ 曲げ系
 ④ 吊り橋 × 同じ用語は繰り返し選べない。
 ...

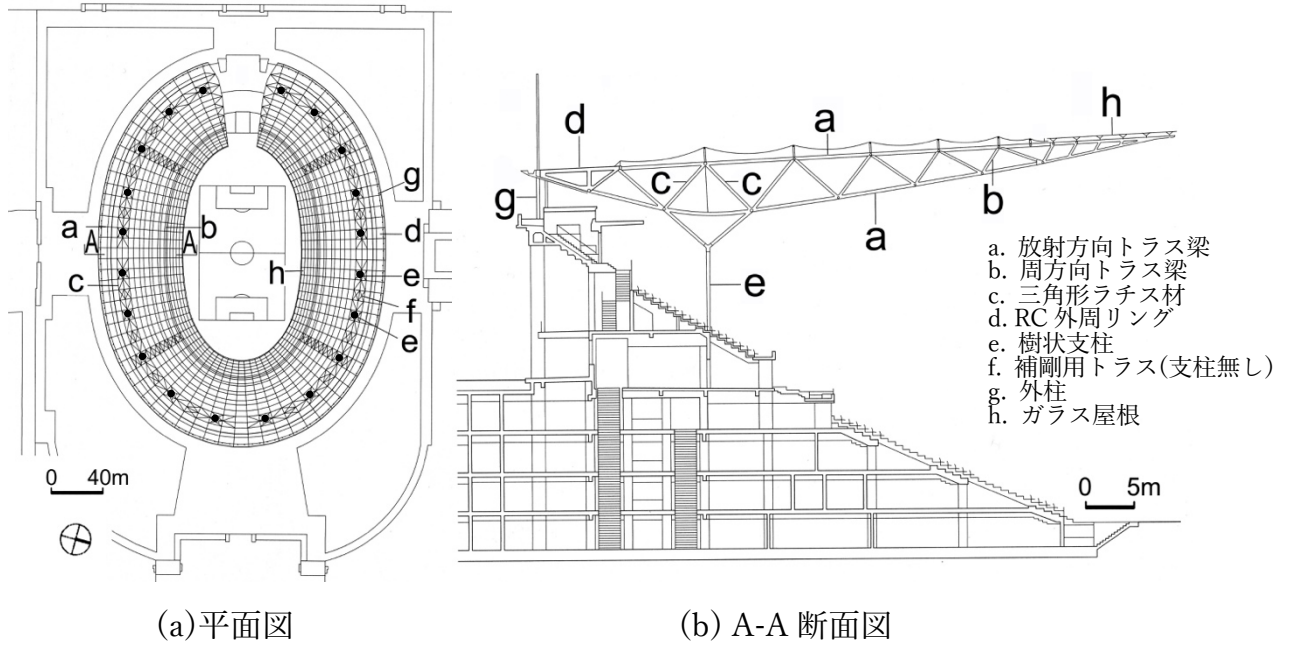


図 1 : スタジアム建築 I (出典 : 鉄鋼技術 2006 年 5 月号)

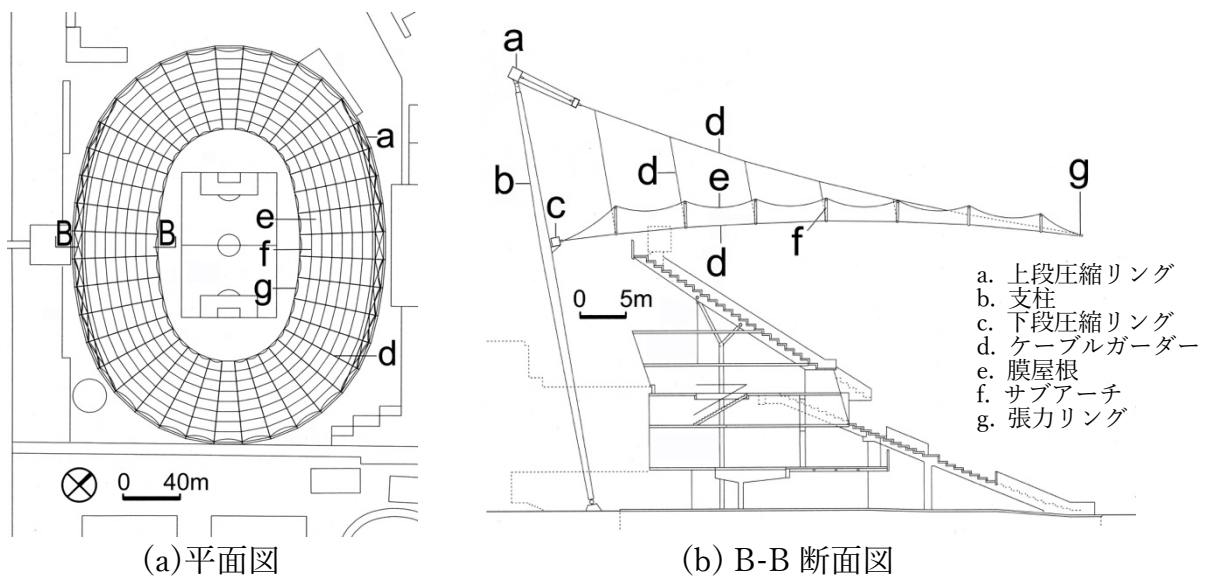


図 2 : スタジアム建築 II (出典 : 鉄鋼技術 2006 年 5 月号)

【問3】

図に示すような一片の長さが a の正方形断面を有する棒材 10 本を同一方向に揃え、十分に堅固に接着して合成断面とする。曲げを受ける合成断面は、平面保持の仮定が成立するものとする。以下の問いに答えなさい。

- I 「平面保持の仮定」とは何か、「中立軸」という語を必ず入れて解説しなさい。
- II 合成断面には、軸力 N もせん断力 V も働かず、図の x 軸周りの曲げモーメント M のみが働く時、(1) と (2) の問いに答えなさい。材料特性は等方一様線形弾性とする。
- (1) 棒材の材料がすべて同一の場合 (Case 1) に、断面下端から中立軸までの距離 y_n を a で表しなさい。
- (2) 記号 J の棒材を、ヤング率が残りの棒材よりおよそ 5 倍大きなものに置換した場合 (Case 2)、断面下端から中立軸までの距離 y_n' は、Case 1 の y_n と比べて大きいか小さいか。また、そのように考える理由を述べよ。
- III 一様はり断面を有するスパン L の単純支持ばりに、下向きに一様分布荷重 w (w は定数) が働くものとして (3) と (4) の問いに答えなさい。材料特性は等方一様線形弾性とする。
- (3) 断面が Case 1 の場合と Case 2 の場合の中央点の下向きたわみ値の大きさはどちらが何倍ほど大きいか。
- (4) 断面が Case 2 の場合について、接着面のせん断応力は、スパンのどの部分のどの接着面で最も大きいか、また、そのように考える理由を述べよ。
- IV 棒材の材料の力学特性が、引張り側・圧縮側とも完全弾塑性材料で、単位面積当たりの強度は、圧縮側・引張り側どちらも σ_y とする。断面応力が、軸力 $N=0$ 、せん断力 $V=0$ として、(5)の問いに答えなさい。
- (5) 断面が Case 1 の場合の全塑性モーメント M_u を a と σ_y で表しなさい。

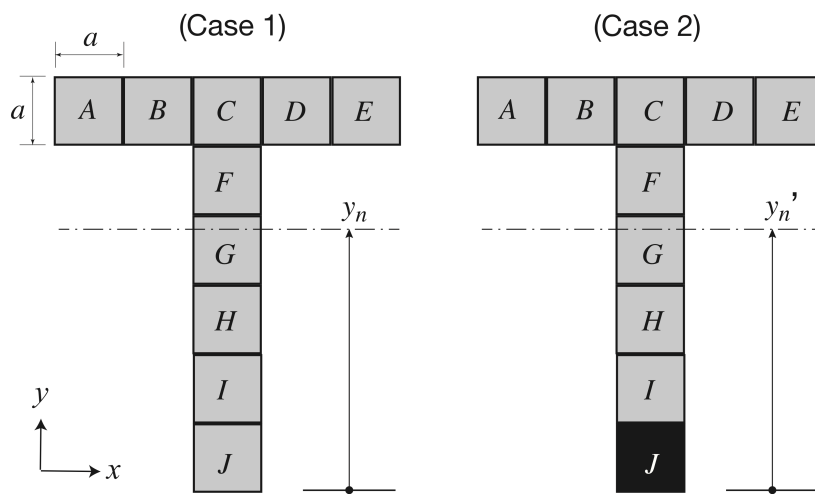


图 合成断面

【問 4】

水平な梁 AE 、鉛直な束 BF, CG, DH 、ケーブル AF, FG, GH, HE からなる図 1 の張弦梁について下記の問いに答えよ。図上の束 BF と DH の長さは設計変数であり、それぞれ h_1, h_2 とする。なお、形状と寸法はつり合い状態におけるものである。

- (1) この構造は静定構造か不静定構造か答え、不静定構造の場合はその不静定次数を答えよ。根拠も述べること。
- (2) 梁 AE に単位長さあたり w の均等鉛直荷重がかかり、束 BF, CG, DH の圧縮力がいずれも $\frac{1}{4}w\ell$ となったとする。
 - (a) 梁 AE の曲げモーメント図を描け。
 - (b) 梁 AE の最大曲げモーメントは、束とケーブルを省いた梁単体の構造において等しい荷重を受けたときの最大曲げモーメントに対して何倍であるか。
 - (c) h_1 を求めよ。ただし上記で仮定した内力の条件においては対称性から $h_1 = h_2$ となることを用いてよい。
 - (d) 図 2 のように A と E でのケーブル材と梁の取り付け位置を図心から鉛直下側に e だけ偏心させ（それぞれ A' および E' へ移動し）、それに応じて F, G, H も e だけ下方に移動した（それぞれ F', G', H' へ移動した）。最大曲げモーメントが最小となる e を求めよ。ただしこの場合においても束の圧縮力はいずれも $\frac{1}{4}w\ell$ を保持するものとする。
- (3) 図 1 の張弦梁において、束 BF, CG, DH のすべてに圧縮力がかかり、ケーブル AF, FG, GH, HE のすべてに張力がかかるときの、 h_1 および h_2 の取りうる範囲を、 h_1 と h_2 を軸にとった h_1 - h_2 平面上に図示せよ。

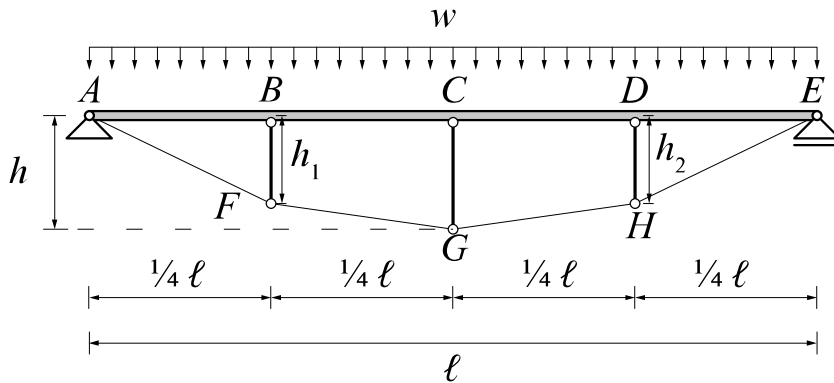


図 1

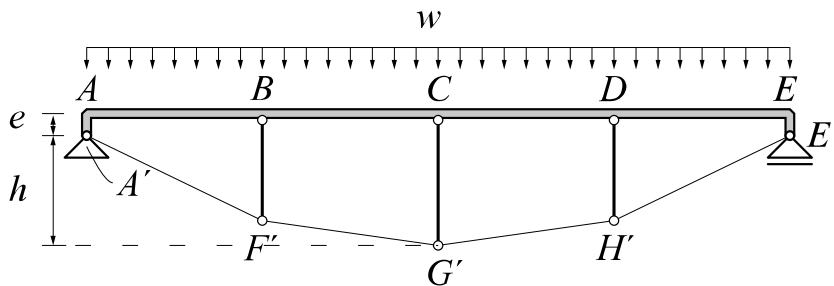


図 2

【問5】

木材の力学的性質に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 表1は、ある広葉樹材の力学的性質を示したものである。
- (a) 表1の x 方向、 y 方向および z 方向は、それぞれ図1に示す L 方向、 R 方向および T 方向のどれに該当するか。
- (b) この広葉樹を圧縮する場合、見かけ上体積が増加するのは、 x 、 y 、 z のいずれの方向に圧縮する場合か。

表1

静弾性係数 (ヤング係数) (kN/mm^2)			ポアソン比		
x 方向	y 方向	z 方向	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{zx}
12.5	1.35	0.60	0.40	0.65	0.50

ν_{ij} : i 方向に圧縮力を加えた場合の i 方向の圧縮ひずみに
対する j 方向の引張ひずみの比

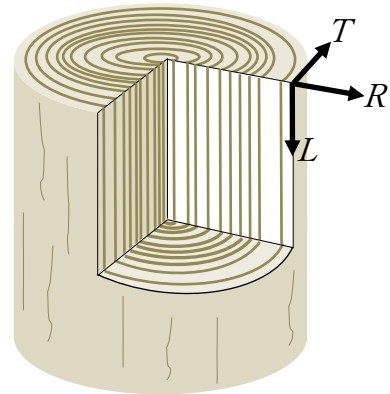


図1

- (2) 伐採したばかりの木材は多量の水分を含んでいるが、その木材を乾燥させていくと強度はどのように変化するか、横軸に含水率をとり縦軸に強度をとって、その概略を図示するとともに、変化の特徴および変化する理由を説明せよ。
- (3) 木材のクリープ変形は、図2に示すようなフック固体とニュートン流体が並列に接続したフォークトモデルによって表現することができる。ただし、フック固体の静弾性係数を E 、ニュートン流体の粘度を η とする。いま、時刻 $t=0$ においてこのモデルに応力 σ_0 を作用させた後、その応力を維持し続けたとき、次の問いに答えよ。
- (a) フォークトモデル全体に生じるひずみを ε 、時間を t としたとき、応力 σ_0 とひずみ ε との関係を与える微分方程式を導け。
- (b) この微分方程式を解き、ひずみ ε を時間 t の関数として表せ。

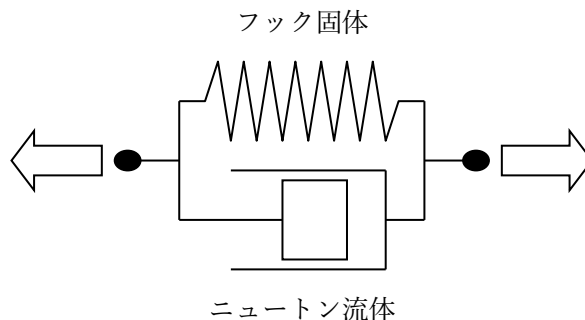


図2

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【Problem 1】

You examine the stability of the retaining wall during earthquakes as depicted in Fig. 1. Assume that the wall is infinite to the direction perpendicular to the paper plane, and therefore its stability will be discussed per unit length of the wall. It is subjected to the self-weight W , the active earth pressure applied to the back surface of the wall p_A and the horizontal seismic inertial force Q , where z is a vertical coordinate from the ground surface in the figure. The soil ground is homogeneous. Assume that p_A does not change during earthquakes and is given in the following equation.

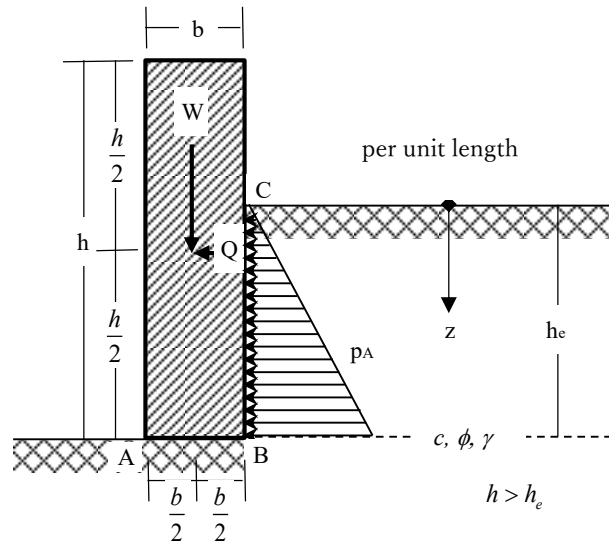


Fig. 1 Retaining wall

$$p_A = K_A \gamma z, \quad K_A = \frac{\cos^2 \phi}{(1 + \sin \phi)^2}$$

where, K_A is the active earth pressure coefficient with an internal friction angle of the ground ϕ and γ is the density of the ground.

Now, the stability of the wall is examined in terms of the following items;

- Overturning stability of the rigid body of the retaining wall,
- Sliding stability related to the friction between the bottom surface of the wall and the ground, and
- Vertical load bearing capacity of the ground just underneath the wall.

Answer the following questions.

- Regarding item a, show both the resultant force due to the active earth pressure p_A and the applied location of the force. Then, denoting the resultant force by P , show the condition that the overturning stability can be kept.
- Regarding item b, show the condition that the sliding does not occur according to the Coulomb's friction law based on internal friction angle ϕ and cohesion force c .
- Regarding item c, show the condition that the minimum vertical stress becomes zero using W ,

Q and P , where it is assumed that all vertical stresses acting underneath the wall are in the compressive state.

- 4) Regarding item c, show the condition that the maximum vertical stress acting underneath the wall is less than the vertical bearing capacity of ground σ_{\max} , where it is assumed that all vertical stresses acting underneath the wall are in a compressive state.
- 5) Let G be a safety margin with respect to the overturning stability, which represents the margin (“the resisting force” minus “the applying force”). Assume that only Q and P exhibit variability whose mean and standard deviation are respectively given as μ_Q, μ_P and σ_Q, σ_P , and there is no statistical dependence between Q and P . Compute the mean μ_G and the standard deviation σ_G of the safety margin G .
- 6) Using the results for μ_G and σ_G from 5), show the second-moment reliability index β for the overturning stability of the wall.

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【Problem 2】

Large roof structures covering stands (spectators' seating) of stadia for sports events should have, preferably, no columns on the field side in order to provide clear view to the spectators. Consequently large roofs for stadia require special structural design.

See the plan and section drawings of two stadium roofs, *I* and *II*, respectively indicated in Figs.1 and 2, and understand the structural system of each roof. Then complete the short sentences below by choosing the most appropriate term from the "Word List" for each blank space numbered ① to ⑳. Each term in the list can be selected only once.

The main structural element of the roof of *I* is the ① arranged ②, and twenty pairs of seventy eight ②s are directly supported by ③s. The ② is 68m in length, from outside to the inside of the stadium, having ④ roof at inner part considering the nurture of natural turf. The two triangular segments at outermost part of ②, which are continuous in peripheral direction consisting the outer ring, are made of ⑤ and functions as the ⑥ of the cantilever. This reduces the permanent bending moment induced to the ③. There are twenty ③s and the profile of them are ⑦ so that their overall thickness becomes thinner to reduce visual interruption for spectators. Roof cladding is translucent ⑧, as same as *II*, pushed up by ⑨s making continuous ⑩ configuration for tensioned surface.

The main structure of the roof of *II* is the ⑪ ⑫ structure. The structure can be ⑬ because of the existence of ⑭ in the structural system. The innermost elliptical single layer ring is the ⑮ and the two layers of outermost elliptical rings are ⑯s. Between these two sets of rings, forty sets of ⑰, having upper and lower layers, span the 58m wide roof structure. On the lower layer of ⑰, seven ⑱s are set to push up the ⑲ roof to perform the continuous ⑩ configuration for tensioned surface.

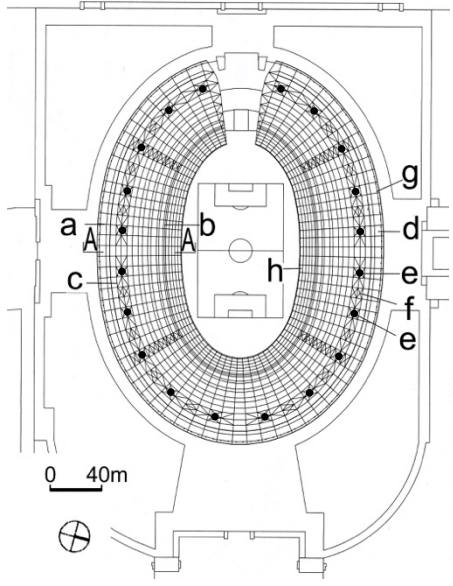
Main structure of *I* is designed as a cantilever by ⑰ approach. The structural weight becomes comparatively heavy but the height and overall thickness of the roof structure can be reduced. Main structure of *II* is designed by ⑱ approach. The roof structure can be very light. However the inner ring and outer rings must be ⑲ in order to keep the ⑬. It also requires high ⑳s just outside of the roof to support the two compression rings and to keep the vertical stability of the roof.

Word List

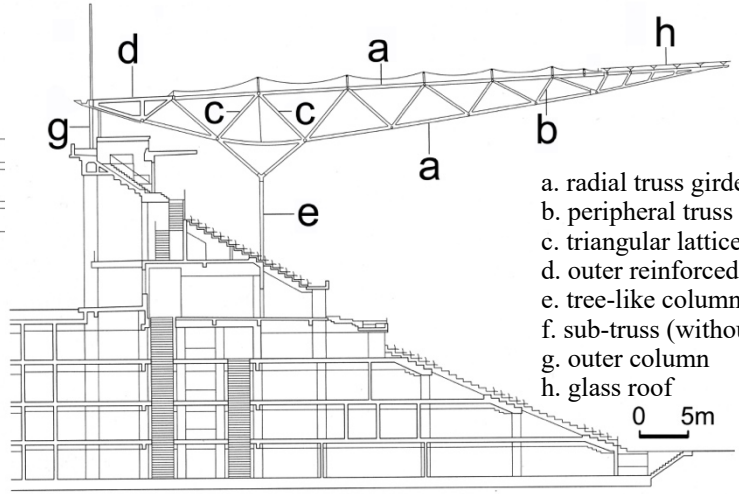
vertically, radially, simple beam, bearing wall, truss girder, tree-like column, pile foundation, stadium, timber, glass, reinforced concrete, fire proof, counter weight, square tube, solid, wind resisting beam, membrane, hybrid, sub-arch, shell structure, sphere, cylinder, saddle, pre-stressed, earthquake-resistant, buckling, cable, suspension bridge, cable-stayed bridge, self-equilibrium stress state, stand, yielding stress, compression ring, brace, base-isolation, tension-system, bending-system, shear system, tension ring, closed, open, openings, cable girder, folded plate, pylon, virtual work

- Example of answer : ① cylinder
 ② pylon
 ③ fire proof
 ④ pylon
 ...

← Same term cannot be used repetitively.



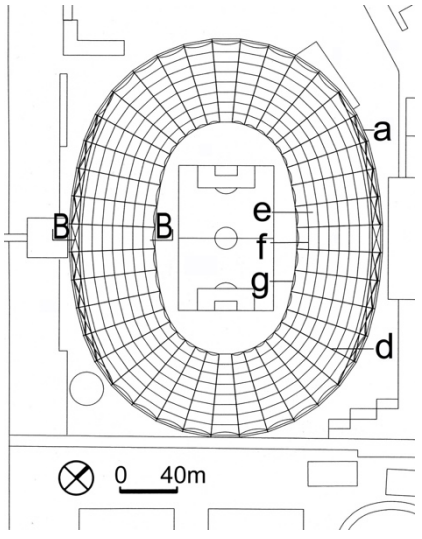
(a) plan



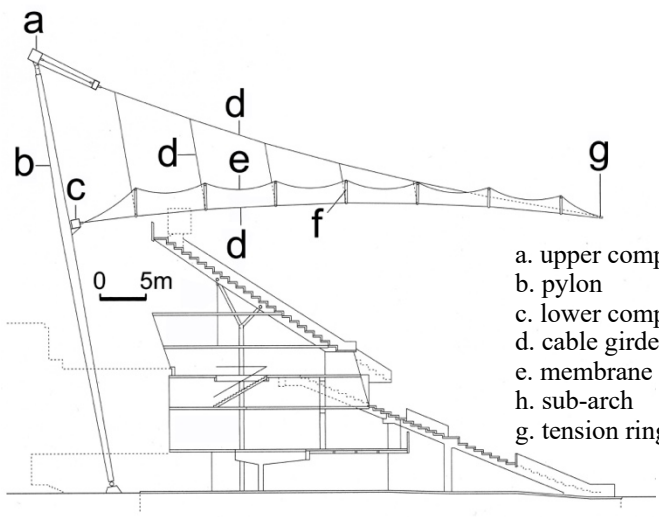
- a. radial truss girder
- b. peripheral truss
- c. triangular lattice
- d. outer reinforced concrete ring
- e. tree-like column
- f. sub-truss (without column)
- g. outer column
- h. glass roof

(b) A-A section

Fig. 1: Stadium I (from STRUTEC May, 2006)



(a) plan



- a. upper compression ring
- b. pylon
- c. lower compression ring
- d. cable girder
- e. membrane roof
- h. sub-arch
- g. tension ring

(b) B-B section

Fig. 2 : Stadium II (from STRUTEC May, 2006)

【Problem 3】

There are composite sections made of 10 square-section bars with a dimension of (a times a) as shown in Figure. They are jointed stiff and strong sufficiently with an adhesive. You may assume "plane sections remain plane" on the composite sections subjected to flexure.

- I. Explain the assumption of "plane sections remain plane" with words including "neutral axis."
- II. The composite sections are subjected to bending moment M around the x -axis. No axial force nor shear acts on the sections. Assume the material property is isotropic and remains linearly elastic and answer the questions (1) and (2).
 - (1) Find the expression of y_n , the distance of neutral axis from the bottom of the composite section made of a material (Case 1) using the notation a .
 - (2) Find and explain which is larger y_n or y_n' and how the findings are justified, where y_n' is the distance of neutral axis from the bottom of the composite section and the section J is replaced with one with elastic modulus of about five times larger than the others (Case 2).
- III. Simply supported composite beams are subjected to uniformly distributed vertical load with an intensity of w (w is constant) and the section is subjected to the bending moment around the x -axis. Assume the material property is isotropic and remains linearly elastic and answer the questions (3) and (4).
 - (3) Find and determine which beam with composite section (Case 1) or (Case 2) yields larger vertical deflection at the center of the span of the beam than the other and how many times larger than that of the other.
 - (4) Determine and explain where maximum shear stress occurs along the joint in a composite section (Case 2), i.e. which joint and where along the span the joint bears the maximum shear stress and how the findings are justified.
- IV. Hereafter, mechanical property of a composite section is assumed perfectly elasto-plastic and strength per unit area is σ_y for the both of compression and tension. The composite section is subjected to bending moment M around x -axis. No axial force nor shear acts on the section. Answer the question (5).
 - (5) Find the expression of full plastic moment M_u of the composite section (Case 1) with the notations of a and σ_y .

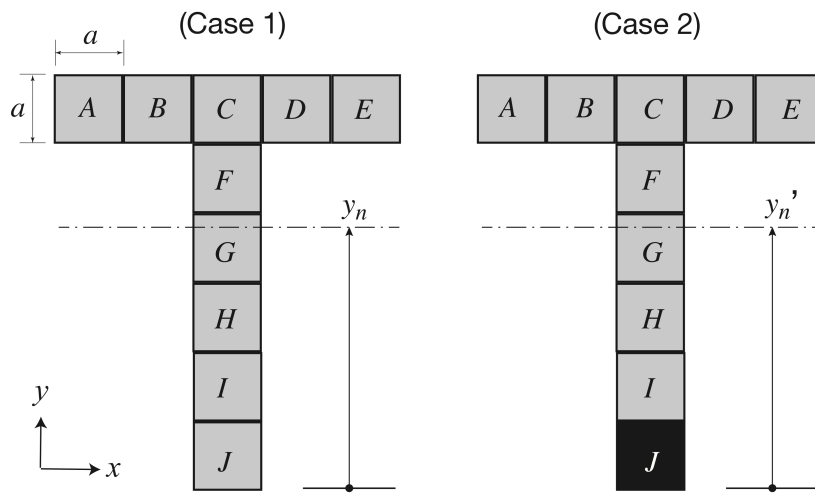


Figure: Composite sections

【Problem 4】

A beam string structure consists of a horizontal beam AE , vertical struts BF , CG , and DH , and cables AF , FG , GH , and HE , as shown in Fig. 1. The lengths of struts BF and DH are design parameters denoted by h_1 and h_2 , respectively. Consider the shape and dimension under equilibrium.

- (1) Answer if this structure is statically determinate or indeterminate and answer the degree of indeterminacy if it is statically indeterminate. Also, describe the reason.
- (2) Answer the following questions when a uniformly distributed vertical load of w per unit length is applied to beam AE , and the compression forces of struts BF , CG , and DH are all $\frac{1}{4}w\ell$.
 - (a) Construct the bending moment diagram of beam AE .
 - (b) How many times is the maximum bending moment of beam AE as that of the beam without struts and cables, under the same loading condition?
 - (c) Find h_1 . Here, you may use that $h_1 = h_2$ holds under the abovementioned assumption of internal forces by symmetry.
 - (d) Refer to Fig. 2. Consider repositioning the joints between the cables and the beam at A and E below the centroid of the beam section by e (to A' and E' respectively), and accordingly repositioning points F , G , and H downward by e (to F' , G' , and H' , respectively). Find e that minimizes the maximum bending moment. Assume the compression forces of struts are all kept $\frac{1}{4}w\ell$.
- (3) Consider the beam string structure in Fig. 1. Plot the possible range of h_1 and h_2 , in the h_1 - h_2 plane taking h_1 and h_2 as axes, such that struts BF , CG , and DH are all under compression and cables AF , FG , GH , and HE are all under tension.

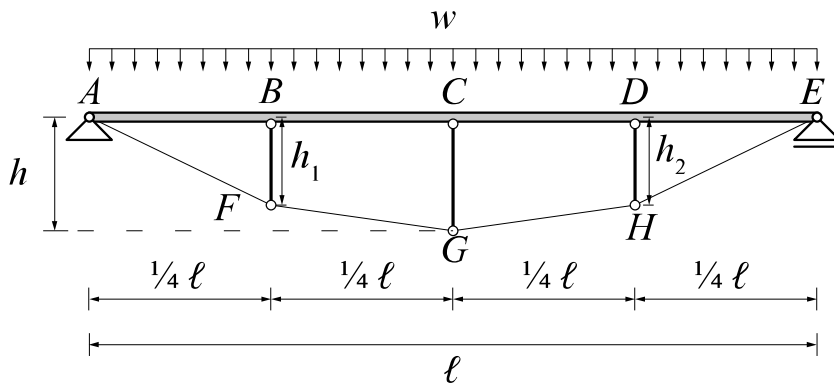


Fig. 1

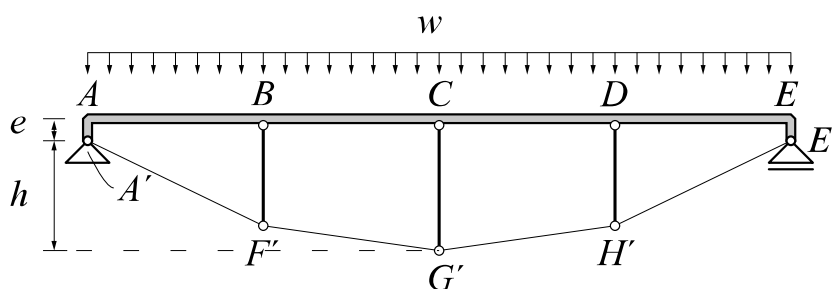


Fig. 2

【Problem 5】

Answer the following questions on mechanical properties of timber.

- (1) Table 1 shows mechanical properties of a certain hardwood timber.
- (a) Equate x , y and z in Table 1 with correspondent directions of L , R and T in Figure 1, respectively.
- (b) Find the axis among x , y and z in which direction a compressive force generates an apparent volume increase of the timber.

Table 1

Modulus of elasticity (Young's modulus) (kN/mm ²)			Poisson's ratio		
x - direction	y - direction	z - direction	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{zx}
12.5	1.35	0.60	0.40	0.65	0.50

ν_{ij} : ratio of j -directional tensile strain to i -directional compressive strain generated by i -directional compressive stress

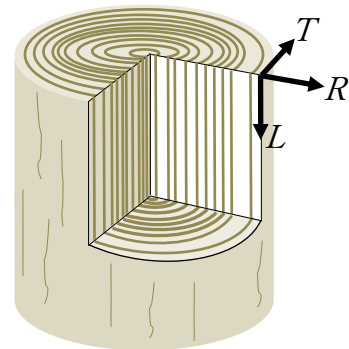


Figure 1

- (2) Timber contains a large amount of moisture soon after being logged. How does its strength change when it is seasoned? Draw its change schematically in a graph with its moisture content on the horizontal axis and its strength on the vertical axis. And explain the features and the reason of its change.
- (3) Creep deformation of timber is expressed by Voigt model as shown in Figure 2, in which Hookean body and Newtonian fluid are connected in parallel. The modulus of elasticity of the Hookean body and the shear coefficient of viscosity of the Newtonian fluid are E and η , respectively. Answer the following questions when the stress σ_0 is applied to the model at the time $t=0$ and is kept constant.
- (a) Introducing ε for the strain caused in the Voigt model and t for the elapsed time, derive the differential equation which governs the relationship between the stress σ_0 and the strain ε .
- (b) Solve the above differential equation and express the strain ε as a function of time t .

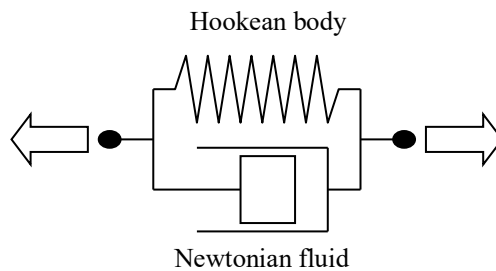


Figure 2

(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 5 問あります。その内の **4 問を選択し解答しなさい**。
3. 解答は答案用紙 1 枚に一間ずつ記述しなさい。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。一枚の答案用紙に二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 5 枚以上出した場合，あるいは 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 five exam problems in total. **Choose and answer four** out of five problems.
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.