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.

令和４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）

令和 3 年 9 月 1 日(水)

3 時間(9:00～12:00)

THE UNIVERSITY OF TOKYO
Graduate School of Engineering
Department of Architecture

QUESTION BOOKLET
on
The 2022 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, September 1, 2021

（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】

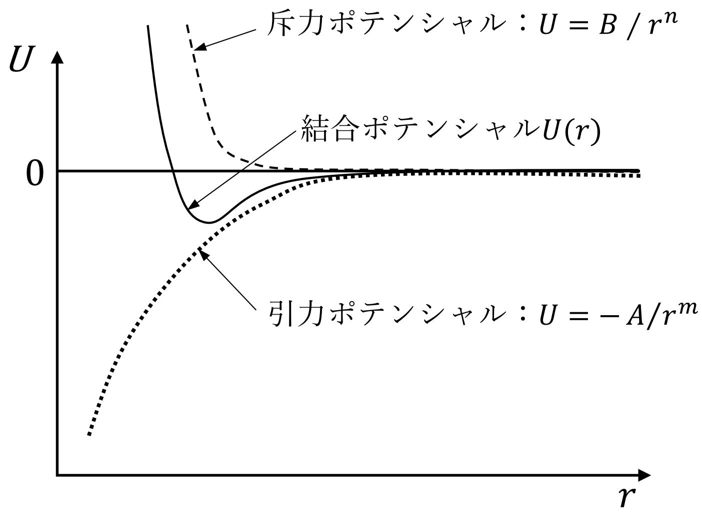
（１） コンクリートの圧縮強度を変化させる要因を以下に示す。基準となるコンクリートの調合に対して、カッコ内の調合条件のもとで、要因の値のみを大きくした場合に圧縮強度が大きくなるか、小さくなるかを示せ。なお、目標とするコンクリートの圧縮強度の範囲は24～40 (MPa)とする。

１） 水セメント比（水とセメントの体積の和を一定とする）
２） 最大骨材寸法（粗骨材の粒度分布を変更する）
３） 空気量（骨材体積を変更する）
４） 粗骨材量（水セメント比が一定のまま、水とセメントの体積の和を変更する）

（２） 2 つの原子間の結合ポテンシャル$U(r)$は、以下の式で表されるとする。

$$U(r) = -\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n} \qquad (m < n)$$

ここで、A、Bは未知の定数であり、m および n は、それぞれ 5 および 10 であるとする。rは、原子間の距離である。$U(r)$ とrの関係は、引力ポテンシャルである右辺第 1 項と斥力ポテンシャルである右辺第 2 項を考慮すると、図に示す形になる。



図

今、原子間の距離rがr_0 =0.25 (nm)を満たすとき、結合ポテンシャル$U(r_0)$が−0.8 (eV)において安定な分子を形成した。この時、次の問いに答えよ。なお、$0.25^{10} \fallingdotseq 9.54\times10^{-7}$ とする。

1） AおよびBの値を単位とともに有効数字 3 桁で示せ。

2） 原子間に働く引力が最大となるときの原子間の距離r_{max}を m、n、r_0を用いた式で表せ。

3） 原子間の距離がr_{max}のときに生ずる力 F を m、n、r_0、Aを用いた式で表せ。

【問２】

長さが l の 4 本の直線の棒材がある。これらを同一平面上に配置し、端部を剛接合して一辺の長さが l の正方形とする。正方形の角は、時計回りにそれぞれ **A** 点 **B** 点 **C** 点および **D** 点とする。辺 **AB** の中点を **E** 点、辺 **CD** の中点を **F** 点とする。**E** 点を平面上に固定し **F** 点に直線 **EF** の方向に **E** 点から遠ざかる向きの力を加えるものとする。

棒材は完全弾塑性材料で作られ、断面の形状寸法はすべて同じで、長さに沿って一様とする。断面の曲げ降伏モーメントを M_y、全塑性モーメントを M_u とする。

この構造について、（1）から（4）の問いに答えよ。

（1） **F** 点に大きさ P の力を加える。線形弾性範囲内にあると仮定した場合の曲げモーメント図を描き、そこに、外力 P と反力を記入し、**A** 点での曲げモーメントの値を P と l を使って記入しなさい。

（2） **F** 点に加える外力 P を漸増させたところ、その大きさが P_y に達した時に、**E** 点と **F** 点で初めて曲げ降伏したという。この時の力 P_y を M_y と l で表す式を示しなさい。

（3） **F** 点に加える外力 P をさらに漸増させたところ、その大きさが P_u に達した時に、機構として十分な数の塑性ヒンジが形成されたという。この時の曲げモーメント図を描き、そこに、**A** 点と **E** 点での曲げモーメントの値を M_u を使って記入しなさい。

（4） （3）の時の力の大きさ P_u を M_u と l で表す式を示しなさい。

解答にあたって微小変形の仮定を用いてよい。変形は、曲げ変形を考慮するものとして、軸力やせん断力の影響は無視してよい。また、長さ l のはりの左端から a、右端から b の点に大きさ P の力を与えた時の固定端モーメントは図のようになる。

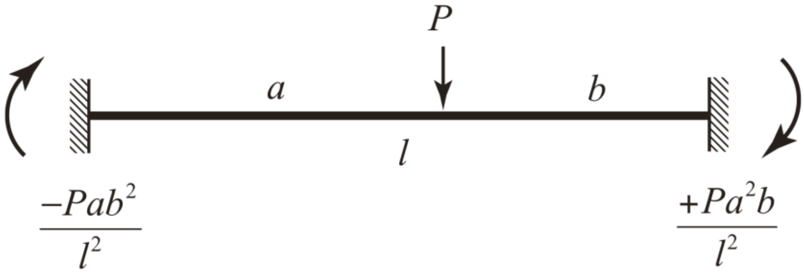


図　梁の固定端モーメントの値

（このページは空白ページです。）

(This page is intentionally blank.)

【問３】

自然の外力は設計時の仮定とは異なる状況になることが多い。図 1 は、設計時の想定以上の積雪によって倒壊した 2 つの体育館の写真である。

さて、あなたは、数年前に図 2 に示すような鉄骨造の体育館の構造設計を行ったとする。この体育館は、周りに十分な落雪帯が取れないため、降った雪を屋根の上にのせたままにする堆雪型である。ある冬の日、その体育館のある地域に、1 週間後に設計時の想定をはるかに超える大雪が降るという予報が出された。このとき、以下の問いに答えなさい。

（1） 大雪が均等に積った場合、この体育館はどのように倒壊すると思われるか。フレーム図（図 2(b)）を用いて説明しなさい。

（2） 図 1 のような倒壊を防ぎ、被害を最小限にするために、あと 1 週間の間に、あなたならどのような対策をとるか。その対策案を提案し、図などを用いて分かり易く説明しなさい。また、その方法が設計時の想定をはるかに超える大雪に対してどのように有効かについても説明しなさい。

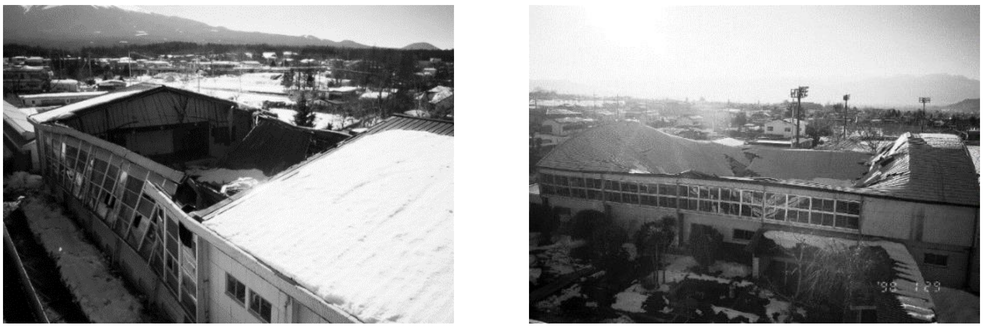
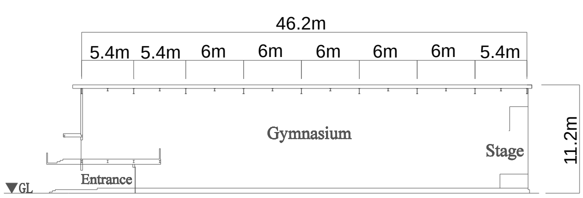
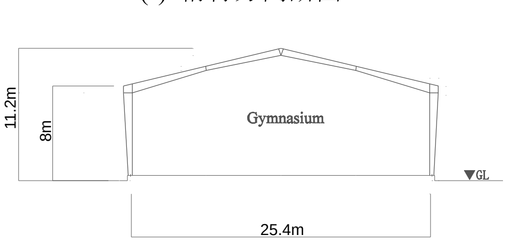


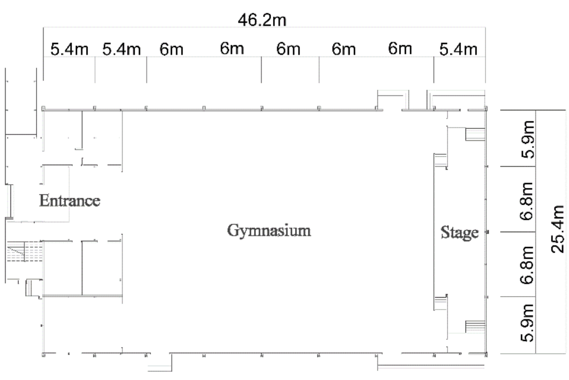
図 1　想定以上の大雪で倒壊した体育館の例



(a) 桁行方向断面



(b) スパン方向断面図（フレーム図）



(c) 平面図

図 2　あなたが数年前に設計した体育館の概要図

（このページは空白ページです。）

(This page is intentionally blank.)

【問４】

（１） 図 1 に示すように滑らかな台の上で質量 M (ton)の車にバネ定数 K (kN/m)のバネが取り付けられている。この車は単振動しており、その周期 T(sec)は、M と K を用いて、式(1)により計算できる。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \qquad \text{式(1)}$$

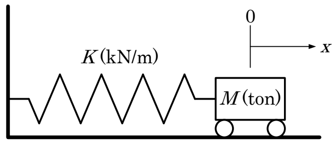


図 1

この車は、時刻 t(sec)の時、変位$x_{(t)}$ (m)が$x_{(t)} = \sin\omega t$となる振動をしていた。ここで、ω (rad/sec)は角振動数である。このとき、次の問いに答えよ。

１）加速度$\ddot{x}_{(t)}$ (m/sec^2)をωを用いて表せ。

２）この車の運動の周期 T をωを用いて表せ。

３）ωを M と K を用いて表せ。

（２） 図 2 に示すような 1 スパン 1 層の平面の剛接架構がある。この梁は剛強で変形も降伏もしない。また、その質量は 64 (ton)（重量は 640 (kN)）である。柱 A および柱 B は、図 3 に示すように一辺の長さが 400 (mm)の正方形の中実断面で、その材料のヤング係数Eは$E = 2 \times 10^3$ (N/mm^2)である。梁のせいの影響および柱の重量は無視する。また、曲げ変形のみを考慮する。

図 2 に示すように、この梁の位置に水平力 P(kN)が作用している。このとき、次の問いに答えよ

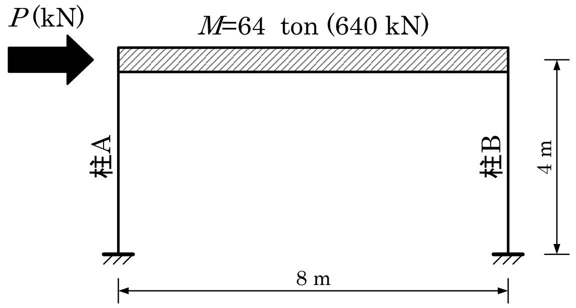


図 2

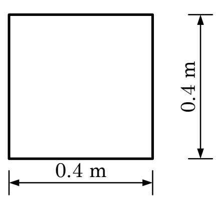


図 3

1）柱 A および柱 B の一本の剛性K_1は、柱が弾性の範囲内では式(2)で計算できる。

$$K_1 = \frac{12EI}{H^3} \qquad \text{式(2)}$$

ここで、I は断面二次モーメント(m^4)、H は階高(m)である。

この架構の弾性の水平剛性 K (kN/m)および振動周期 T (sec)を求めよ。ここで、πは 3.14 とする。

2）柱の降伏モーメント M_y (kN･m)と柱に作用する軸力 N (kN)の間には、図 4 に示すような関係がある。また、柱の断面に作用する曲げモーメントと曲率の間には、図 5 に示すような関係がある。2 本の柱の柱頭および柱脚の曲げモーメントが M_y に達して降伏ヒンジが形成され、架構が崩壊メカニズムを形成したとき、水平力 P の大きさは P_y であった。この時、①〜③の問いに答えよ。

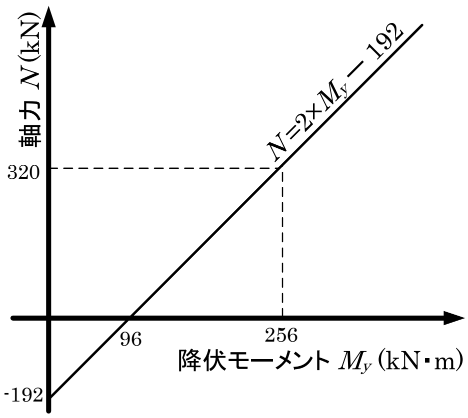


図 4

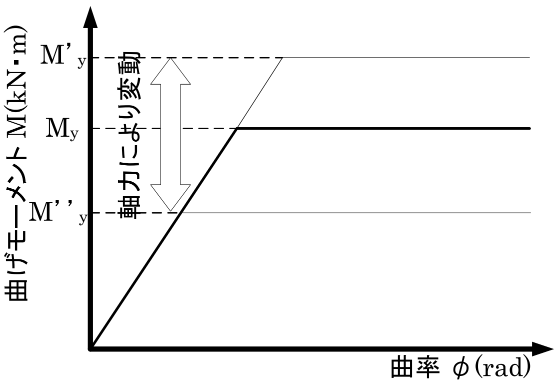


図 5

①水平力 P_y の大きさを求めよ。

②柱 A および柱 B が負担する水平力の大きさQ_AおよびQ_Bを求めよ。

③この時の梁の位置での水平変形量δ_y (m)の大きさを求めよ。

【Problem 1】

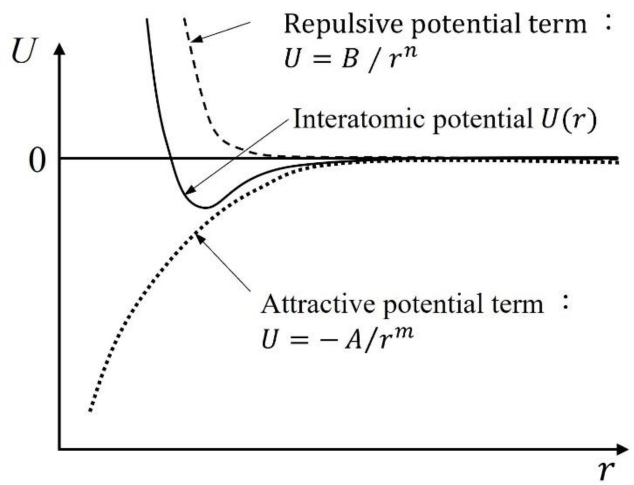
(1) The factors that change the compressive strength of concrete are listed below. Indicate whether the compressive strength increases or decreases when the value of each factor is increased under the condition shown in parentheses. The range of compressive strength of the target concrete is assumed to be ranging from 24 to 40 (MPa).

1) Water to cement ratio	(Volume of sum of water and cement is constant.)
2) Maximum aggregate size	(Particle size distribution of the coarse aggregate is changed.)
3) Air content	(Volumes of aggregate is changed.)
4) Volume of coarse aggregate	(Volume of sum of water and cement is constant with the same water to cement ratio.)

(2) Let the interatomic potential $U(r)$ between two atoms be expressed by the following equation.

$$U(r) = -\frac{A}{r^m} + \frac{B}{r^n} \qquad (m < n)$$

where, A and B are constant parameters, and m and n are 5 and 10, respectively. The r is the distance between two atoms. The schematic figure of this equation, with the repulsive potential term and the attractive potential term, is shown in the figure.



Figure

When the distance between two atoms r reaches r_0 =0.25 (nm), the interatomic potential energy shows $U(r_0) = -0.8$ (eV) and forms the stable condition. Answer the following questions. You should use $0.25^{10} \fallingdotseq 9.54\times10^{-7}$.

1) Determine the values of A and B, with their units. The values should be round to three significant figures.
2) Determine the distance between two atoms, r_{max}, when the maximum attractive force is acting, by using m, n, and r_0.
3) Determine the force F at r_{max}, by using m, n, r_0, and A.

【Problem 2】

Four straight bars with length of l are placed on a plane and each of them is rigidly connected at both ends to have a square with a side length of l. Let the four corners of the square be points **A**, **B**, **C** and **D** respectively in clockwise direction. Let point **E** be the midpoint of the side **AB** and point **F** be the midpoint of the side **CD** respectively. Point **E** is fixed on the plane and a load is applied to point **F** in the direction of **EF** such that the force moves point **F** from point **E** away. Mechanical properties of the material of the bars are perfectly elasto-plastic and the shape and the dimension of the sections are common for all the bars and uniform along their length. Let notations M_y and M_u be the yielding moment and the full plastic moment of the section respectively.

Answer the questions from (1) to (4).

(1) Construct a bending moment diagram at which a load P is applied to point **F**, assuming all the sections are in linearly elastic range. Then fill out the location of the applied load P and the reaction as well as the value of bending moment at point **A** expressed with notations P and l.

(2) Determine the expression of the initial yielding load P_y at which the first flexural yielding occurs at points **E** and **F** with notations M_y and l.

(3) Construct a bending moment diagram at which a collapse load P_u is applied to point **F**, where sufficient number of plastic hinges have formed to transform the structure into a mechanism. Then fill out the value of bending moment at the points **A** and **E** expressed with notation M_u.

(4) Determine the expression of the collapse load P_u with notations M_u and l, under the condition of (3).

To analyze the problem, you may assume infinitesimal deformation. You need consider flexural deformation, while axial or shear deformation may be neglected. You may use the expression for fixed end moments of a beam of length l on which a load P is acting at the distance a from the left end and at the distance b from the right end, shown in the figure below.

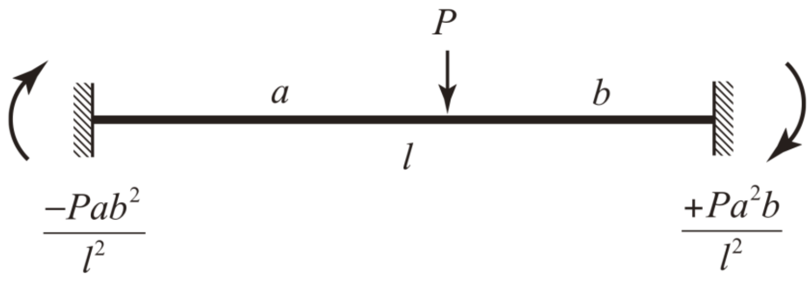


Figure　Fixed end moments in a beam

（このページは空白ページです。）

(This page is intentionally blank.)

【Problem 3】

There is no guarantee that natural disturbance always occurs as expected at design stage. Figure 1 shows two gymnasiums which were collapsed by snow fall which much exceeded the depth required in the design code.

Let's assume that you designed the structure of a gymnasium indicated in Figure 2, several years ago. Since there was not enough space for snow accumulation around the site, the gymnasium was designed to retain snowfall on the roof. One day in a winter, the weather forecast reports that extremely heavy snow is expected to fall in the region after one week. The predicted depth of the snow is far beyond the depth expected at design stage. Answer the following questions.

(1) If the extremely deep snow falls on the gymnasium roof uniformly, how do you think the gymnasium collapses? Use the frame drawing indicated in Figure 2(b) to explain your answer.

(2) In order to prevent the collapse like shown in Figure 1, and to minimize the damage, what kind of countermeasure do you think should be applied to the gymnasium in the next week? Propose and explain your scheme clearly by using drawings or diagrams. Explain how your scheme is effective even if the snow depth exceeds far beyond the design depth.

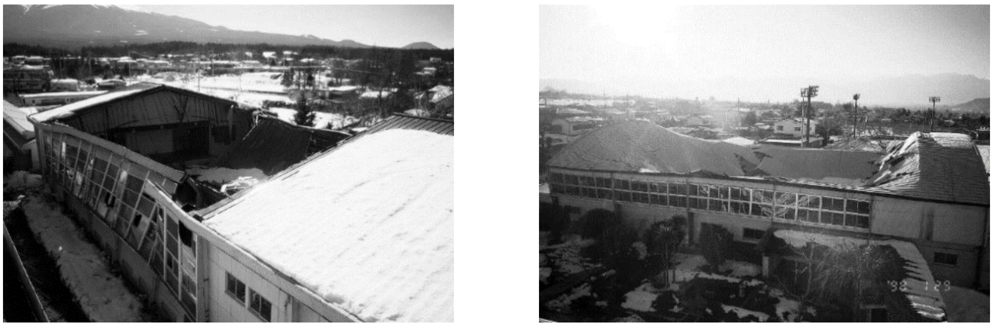
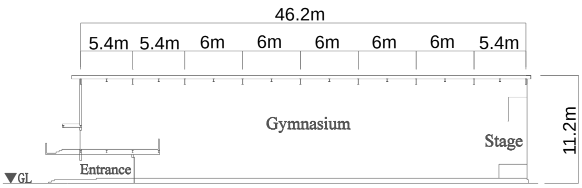
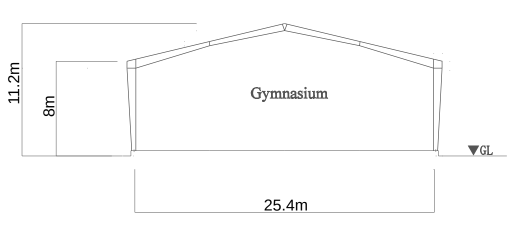


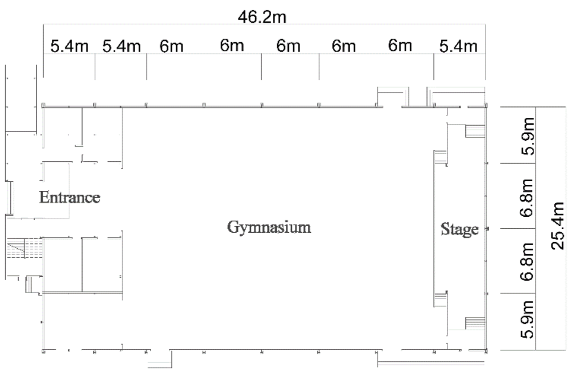
Figure 1 Gymnasiums collapsed under the unexpected heavy snow



(a) Section in longitudinal direction



(b) Section in main frame direction (frame drawing)



(c) Plan view

Figure 2 General drawings of the gymnasium that you have designed several years ago

（このページは空白ページです。）

(This page is intentionally blank.)

【Problem 4】

(1) The car with mass of M (ton) is placed on a smooth table and fixed with the spring of which spring constant is K (kN/m), as shown in Figure 1. The car is in simple harmonic motion and its period is calculated as Equation (1) with M and K.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \qquad \text{Equation (1)}$$

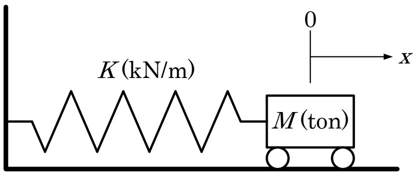


Figure 1

The displacement of the motion, $x_{(t)}$ (m) at time t (sec), is $x_{(t)} = \sin \omega t$, where ω (rad/sec) is the angular frequency.
Answer the following questions.

1) Express the acceleration $\ddot{x}_{(t)}$ (m/sec^2) by an equation using ω.
2) Express the period of the system T by an equation with ω.
3) Express the angular frequency ω by an equation with M and K.

(2) Here is a one-span one-story plane rigid joint frame, as shown in Figure 2. The beam is stiff and strong enough not to deform nor yield. The mass of the beam is 64 (ton) (weight: 640 (kN)). Column A and Column B are of solid section with the dimension of 400 (mm) by 400 (mm), as shown in Figure 3. Their Young's modulus E is $E = 2 \times 10^3$ $(\mathrm{N/mm^2})$. The depth of the beam and the weight of the columns may be ignored. Only the flexural deformation is considered.
The lateral force of P (kN) acts at the center of the beam, as shown in Figure 2.
Answer the following questions.

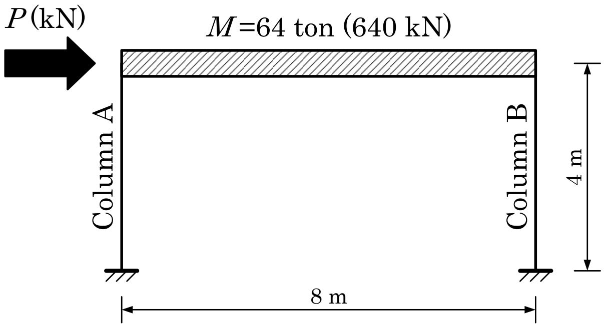


Figure 2

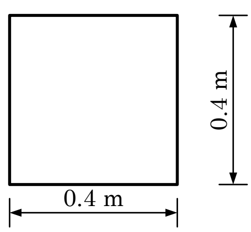


Figure 3

1) Each elastic lateral stiffness of Column A and Column B, K_1, can be calculated as Equation (2).

$$K_1 = \frac{12EI}{H^3} \qquad \text{Equation (2)}$$

where I (m^4) is the geometrical moment of inertia and H (m)is the height of the frame. Calculate the elastic lateral stiffness of the frame, K (kN/m), and vibration period of the frame, T (sec), where π is 3.14.

2) The yield moment of the column, M_y (kN・m), and the axial force of the column, N (kN), have a relationship, as shown in Figure 4. The bending moment at both ends of the column and their curvatures have a relationship, as shown in Figure 5. The amount of the lateral force, P, reaches P_y when both ends of the columns form yield hinges at the bending moment of M_y to achieve the total collapse mechanism.

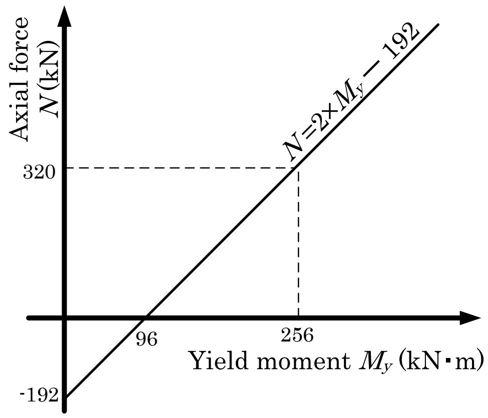


Figure 4

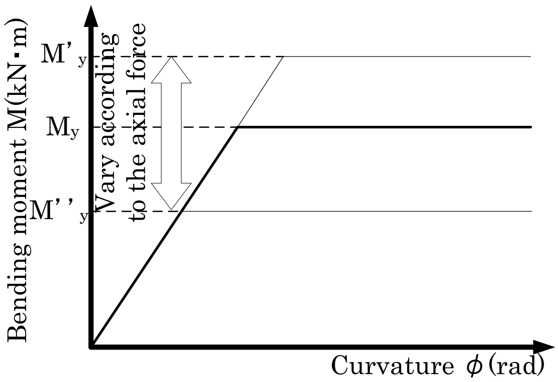


Figure 5

① Calculate the intensity of the lateral force, P_y.

② Calculate the shear forces carried by Column A and Column B, Q_A and Q_B, respectively.

③ Calculate the amount of the lateral drift of the beam, δ_y (m)

（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.)