

平成30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29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 2018 Graduate School Written Examination
of
Special Subject II, Group No.4
for
Applicants in the field of Structures & Material

The Date and Time of the Written Examination
From 9:00am to 12:00am
on Wednesday, August 30, 2017

(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.)

【問題 1】

大気中に置かれた材料内部にある円柱状の細孔を移動する液水について、以下の問いに答えよ。

- (1) 図 1 の(a)および(b)は、固体材料内部にある円柱状の細孔内の液水の状態を示したものである。(a)の細孔内の液水の先端は右へ前進し、(b)の細孔内の液水は静止している。その理由を簡潔に答えよ。

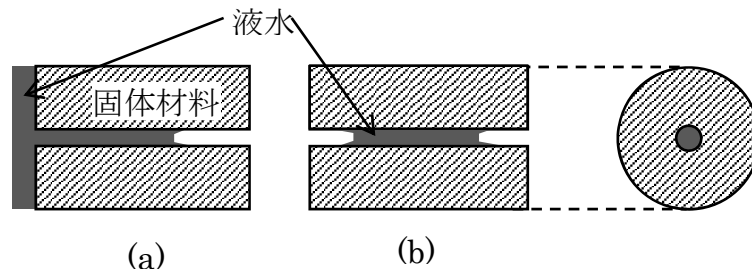
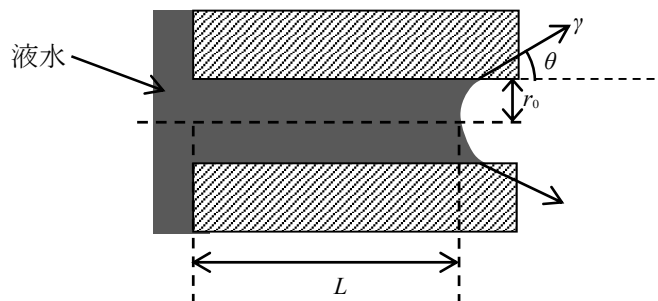


図 1

- (2) (1)の図 1(a)のように液水が細孔内を左から右へ進んでいくときの駆動力は、図 2 および以下の式で表される細孔内の液水の先端部(水頭)における応力 S であるとする。

$$S = \frac{\text{(細孔の垂直断面の周長)} \times \text{(液水の表面張力の進行方向成分)}}{\text{(細孔の垂直断面積)}}$$

ここで、図 2 中の文字を用いて S を表わせ。



r_0 : 細孔半径(m), γ : 液水の表面張力(N/m), θ : 接触角(rad)

図 2

(3) 細孔内を流れる液水の速度 $u(r)$ は、ポアズイユの式によって、

$$u(r) = \frac{S}{2\mu L} (r_0^2 - r^2)$$

r_0 : 細孔半径(m)

r : 細孔中心軸から垂直断面の放射方向の距離(m)

μ : 液水の粘度(Pa·s), S : 水頭の駆動力(Pa), L : 浸透深さ(m)

で表されたとする。ここで、細孔の中心軸における液水の速度を $u(0)$ とすると、 L を $r_0, \gamma, \theta, \mu, u(0)$ を用いて表わせ。

(4) (3)の L は時間に依存する関数である。

ここで、

$$\frac{dL}{dt} = u(0)$$

$$L = C\sqrt{t} \quad (C: \text{const})$$

であるとする、 L を r_0, γ, θ, μ , 時間 t (s)で表わせ。

(5) いま、材質の異なる固体材料 A と B があり、ともに材料内部に半径 r_0 の円柱状の細孔があるとする。ここで、

$$0 < \theta_A < \theta_B < \frac{\pi}{2} \quad (\text{rad})$$

但し、

θ_A : A に対する液水の接触角

θ_B : B に対する液水の接触角

とすると、どちらの材料内部の細孔の方が液水の侵入速度が速いか。

(4)で得られた L の一般解にもとづき、理由も含めて述べよ。

【問題 2】

図 1 に示すような平面剛節架構を考える。柱脚は固定で、2 階床、屋上階床にそれぞれ Pe および $2 \times Pe$ の水平力が作用している。建物の 2 階部分、および屋上階部分の重量はともに 90 kN であるとする。図中の k はそれぞれの部材の剛比を表している。柱の反曲点高さ比は 0.5 とし、部材の軸変形は無視できるものとする。

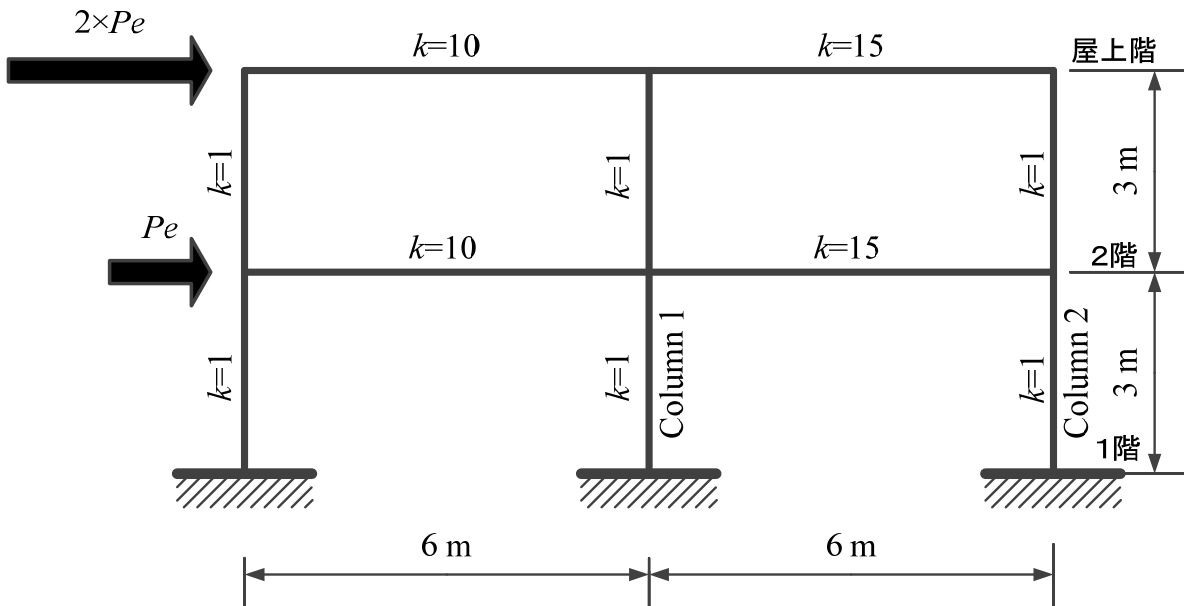


図 1

ベースシア係数 $C_B=0.20$ の水平力が作用している場合について、次の(1)~(3)の問いに答えよ。なお、この時建物は弾性状態であった。

- (1) Pe の大きさと 1 層に作用する層せん断力 Q_1 の大きさを求めよ。
- (2) この時のモーメント図を示せ。
- (3) 作用する水平力により「Column 1」および「Column 2」に発生する軸力の大きさを求め、その方向（圧縮／引張）と併せて答えよ。

P_e の大きさを大きくしていくと、 P_u に達した時に、図 2 に示すようにすべての梁端と 1 階柱脚に降伏ヒンジを生じる崩壊メカニズムを形成した。この時、次の(4)の問いに答えよ。

(4) P_u の大きさを求めよ。なお、全ての梁の終局モーメントは $27\text{kN}\cdot\text{m}$ 、1 階柱脚の終局モーメントは $45\text{kN}\cdot\text{m}$ とする。

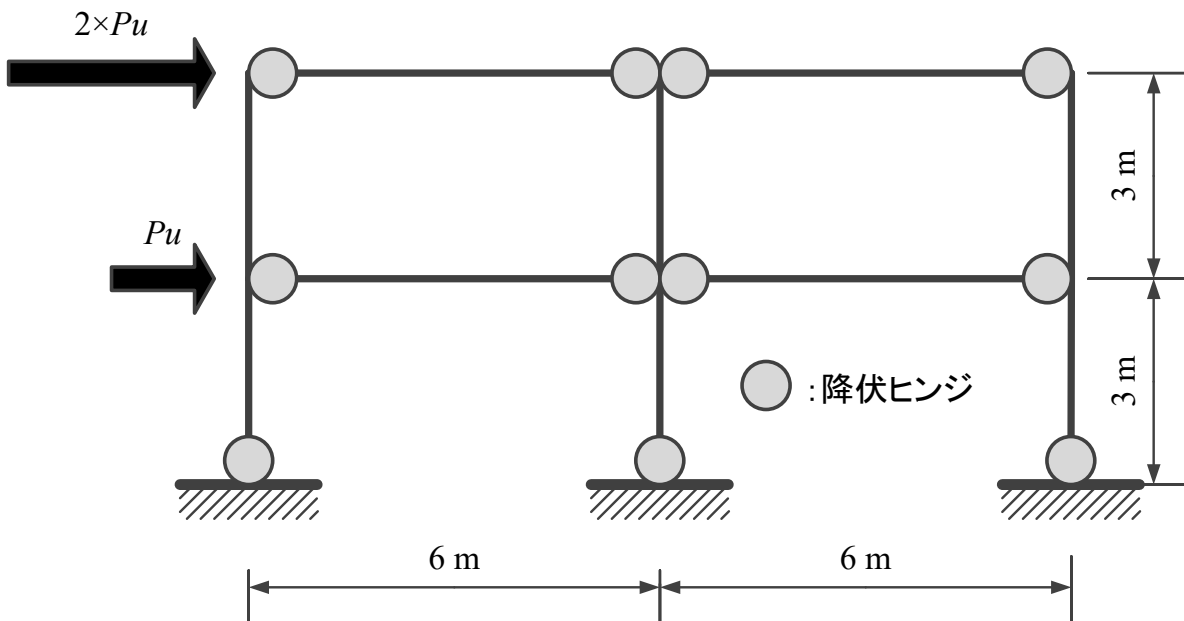


図 2

【問題 3】

1. 水平力を受ける RC 造柱において以下の因子が柱の強度と変形能に及ぼす影響についてその荷重－変形関係を図示しながら，それぞれ 50 字以内で簡潔に説明せよ．

- (1) 軸力，ただし釣り合い軸力以下とする
- (2) 引張鉄筋量
- (3) せん断補強筋量
- (4) 柱の可撓長さ (h) とせい (D) の比 (h/D)

2. 梁降伏先行型で設計された高層 RC 造建物において，地震時における建物の挙動に関する得失を安全性と損傷修復性の観点から 200 字以内で簡潔に論ぜよ．

【問題 4】

下図のように質点にバネとダッシュポットがつながっている一質点系モデルを考える。質量 m の質点は紙面の水平方向にのみ移動することができ、その変位は紙面右向きを正とする x で表される。力も紙面右向きを正とする。

質点の加速度が $\frac{d^2x}{dt^2}$ であるとき慣性力 $-m\frac{d^2x}{dt^2}$ が質点に働く。バネのバネ係数は k であり、質点が x だけ変位したとき復元力 $-kx$ が質点に働く。また、ダッシュポットの減衰係数は c であり、質点の速度が $\frac{dx}{dt}$ であるとき減衰力 $-c\frac{dx}{dt}$ が質点に働く。次の問いに答えなさい。

- (1) 慣性力と復元力と減衰力の総和はゼロにならないといけない。このことから質点の運動方程式は $m\frac{d^2x}{dt^2} + c\frac{dx}{dt} + kx = 0$ となることを示しなさい。
- (2) $c = 0$ で減衰力がゼロであるときの運動方程式に、 $x = Ae^{i\omega_0 t}$ を代入して得られる ω_0 の方程式を書き、 $\omega_0 > 0$ となる解を求めなさい。この解を固有角振動数と呼ぶ。
- (3) $c \neq 0$ で減衰力が存在するときの運動方程式に、 $x = Ae^{\lambda t}$ を代入して得られる λ の方程式を書き、 $c^2 < 4mk$ とした場合のこの方程式の解を求めなさい。
- (4) $h = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$ を減衰定数と呼ぶ。この減衰定数と(2)の固有角振動数を用いると、(3)の解は $\lambda = -h\omega_0 \pm i\omega_0\sqrt{1-h^2}$ となることを示しなさい。
- (5) $x = Ae^{\lambda t}$ としたときに λ がふたつの解 λ_1 と λ_2 を持つならば、 x の一般解は $A_1e^{\lambda_1 t} + A_2e^{\lambda_2 t}$ と与えられる。このことを利用して、(3)の運動方程式の一般解が $x = Ce^{-h\omega_0 t} \sin(\omega_0\sqrt{1-h^2}t + \phi)$ と書けることを示しなさい。

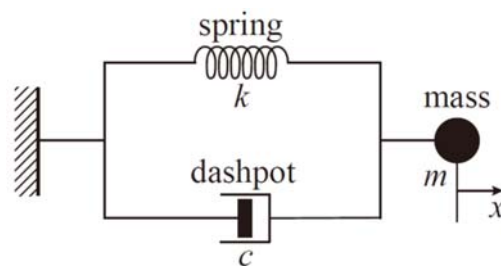


図 質点 (mass) にバネ (spring) とダッシュポット (dashpot) がつながったモデル

(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.)

【Problem 1】

Answer the following questions about liquid water transfer in a cylindrical capillary of a material in air.

(1) Hydraulic head in the cylindrical capillary of Figure 1(a) goes rightward, on the other hand, liquid water in the cylindrical capillary of Figure 1(b) stays still. Answer the reason for these phenomena briefly.

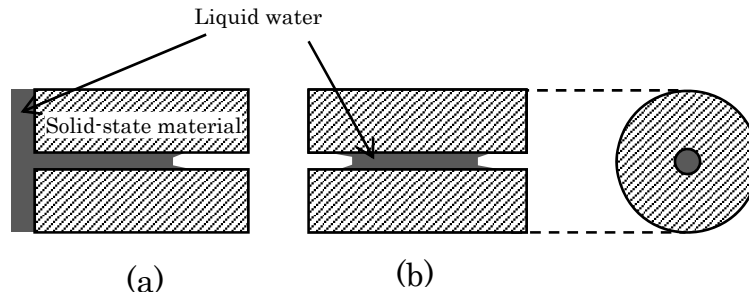
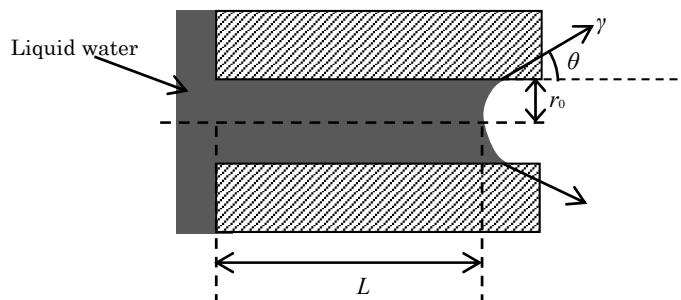


Figure 1

(2) Stress S for forwarding hydraulic head in the capillary of Figure 1(a) locates at hydraulic head of Figure 2, and it is described by the following equation.

$$S = \frac{\text{(circumferential length of hydraulic head in the capillary)} \times \text{(directional component of surface tension of liquid water)}}{\text{(cross sectional area of the capillary)}}$$

Express S with notations used in Figure 2.



r_0 : radius of capillary(m)

γ : surface tension of liquid water(N/m)

θ : contact angle(rad)

Figure 2

(3) According to Poiseuille's equation, the velocity $u(r)$ of liquid water forwarding in the capillary can be expressed as follows,

$$u(r) = \frac{S}{2\mu L} (r_0^2 - r^2)$$

where,

r_0 : radius of capillary(m)

r : radial distance from the central axis of the capillary(m)

μ : viscosity(Pa · s)

S : Stress for forwarding hydraulic head in the capillary(Pa)

L : infiltration distance of liquid water(m)

Express L with r_0 , γ , θ , μ , and $u(0)$, which is the velocity in the central axis of the capillary.

(4) L is time-dependent function.

Express L with r_0 , γ , θ , μ and time t (s).

where,

$$\frac{dL}{dt} = u(0)$$

$$\text{And } L = C\sqrt{t} \quad (C: \text{const})$$

(5) Solid-state material A and B have the same cylindrical capillary with radius of r_0 , and there is the difference of the contact angle between A and B as follows.

$$0 < \theta_A < \theta_B < \frac{\pi}{2} \quad (\text{rad})$$

where,

θ_A : contact angle of the cylindrical capillary in Material A

θ_B : contact angle of the cylindrical capillary in Material B

Answer which has faster velocity of liquid water in the capillary, and answer the reason based on general solution L obtained in (4) .

【Problem 2】

Here is a plane rigid frame as shown in Figure 1, which is fixed at the bottom of the 1st story columns. Lateral forces are applied at the 2nd floor and roof floor as shown in the figure, which is Pe and $2 \times Pe$, respectively. The weights of the 2nd floor and roof floor are both 90 kN. “ k ” in the figure shows the value of relative stiffness ratio. The inflection point of column is at its mid-height. Axial deformation of column and beam is negligible.

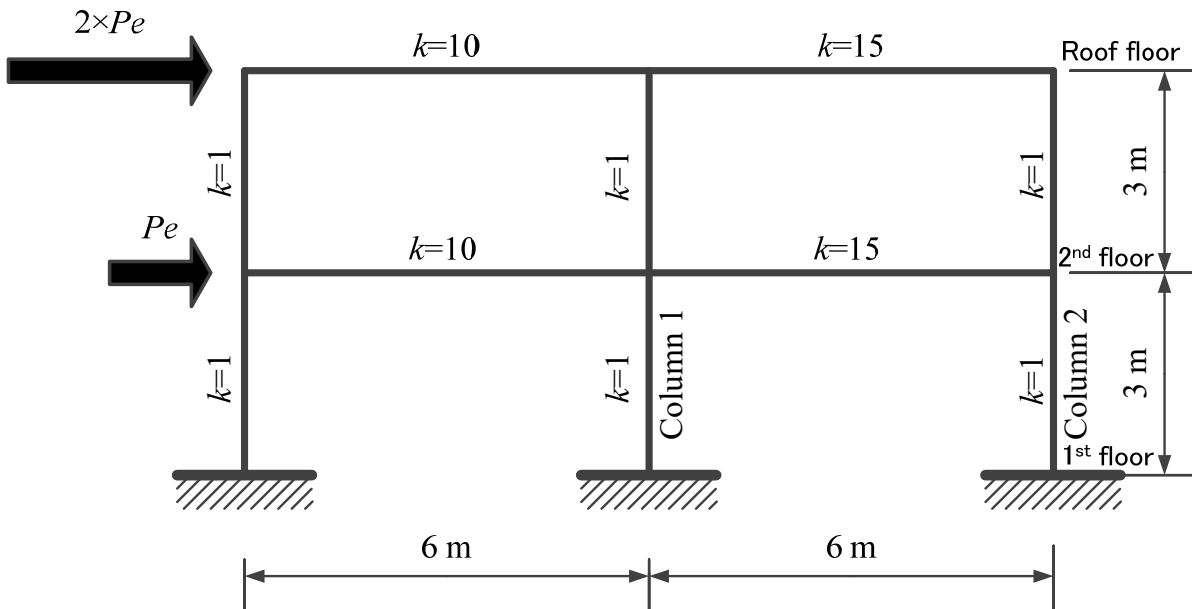


Figure 1

The frame remains elastic under the lateral forces of which base shear coefficient C_B is 0.2. Answer the following questions (1) to (3).

- (1) Calculate Pe and story shear for the first story, Q_1 .
- (2) Draw the moment diagram.
- (3) Calculate the axial forces in "Column 1" and "Column 2" due to the lateral forces, and show their directions (compression or tension) .

P_e is increased gradually. The both ends of all beams and bottom of the 1st floor column form yield hinges at P_u , and the frame forms the collapse mechanism as shown in Figure 2. Answer the following question (4).

(4) The ultimate bending strengths of all beam ends and the bottom of the 1st floor columns are $27\text{kN}\cdot\text{m}$ and $45\text{kN}\cdot\text{m}$, respectively. Calculate P_u .

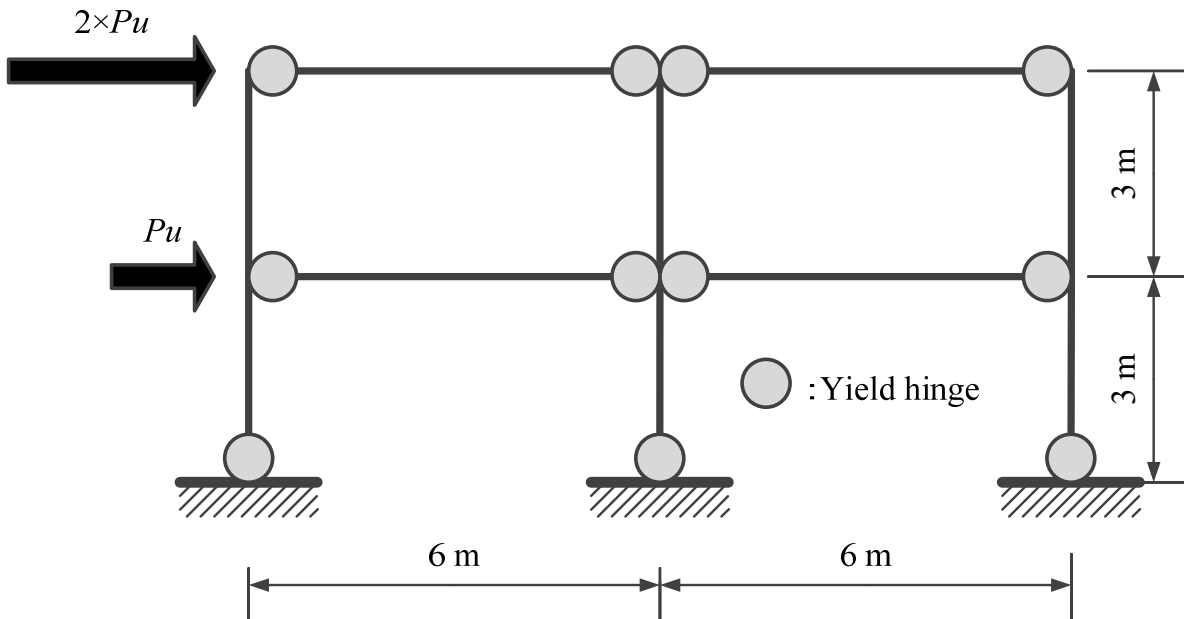


Figure 2

【Problem 3】

1. Discuss the effect of the following parameters on the strength and ductility of RC columns in less than 30 words, showing graphical diagrams on their load-deflection relationship.

(1) Axial load below the balanced load level

(2) Amount of tensile reinforcement

(3) Amount of lateral reinforcement

(4) Column height-to-depth ratio

2. Discuss the advantages and disadvantages of high rise weak-beam-to-strong-column RC buildings on their seismic performance, focusing on their reparability and safety in less than 150 words.

【Problem 4】

There is a single-mass system consisting of the mass, spring, and dashpot in the Figure below. The mass of m moves along horizontally on this sheet, and its displacement is represented by x , which is positive rightward. Forces are also positive rightward.

$\frac{d^2x}{dt^2}$ stands for the acceleration of the mass, so that an inertial force of $-m\frac{d^2x}{dt^2}$ is exerted on the mass. The constant of the spring is k , so that the spring exerts a restoring force of $-kx$ on the mass. The damping coefficient of the dashpot is c and $\frac{dx}{dt}$ stands for the velocity of the mass, so that the dashpot exerts a damping force of $-c\frac{dx}{dt}$ on the mass. Answer the following questions.

- (1) The sum of the inertial force, the restoring force, and the damping force should be zero.

Using this relation, show that the equation of motion for the mass is $m\frac{d^2x}{dt^2} + c\frac{dx}{dt} + kx = 0$.

- (2) Obtain an equation of ω_0 by substituting $Ae^{i\omega_0 t}$ for x in the above equation of motion in the case of $c = 0$, where there is no damping force. Determine ω_0 from this equation assuming $\omega_0 > 0$. ω_0 is called “natural angular frequency.”
- (3) Obtain an equation of λ by substituting $Ae^{\lambda t}$ for x in the above equation of motion in the case of $c \neq 0$, where damping force exists. Solve this equation assuming $c^2 < 4mk$.
- (4) $h = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$ is called “damping constant.” Show that the solution in (3) can be written as $\lambda = -h\omega_0 \pm i\omega_0\sqrt{1 - h^2}$, using the damping constant and the natural angular frequency in (2).
- (5) When λ in $x = Ae^{\lambda t}$ has two solutions λ_1 and λ_2 , the general solution of x can be written as $A_1e^{\lambda_1 t} + A_2e^{\lambda_2 t}$. Show that the general solution of the equation of motion in (3) can be written as $x = Ce^{-h\omega_0 t} \sin(\omega_0\sqrt{1 - h^2}t + \phi)$.

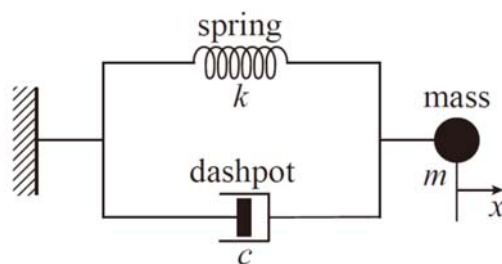


Figure: Single-mass system consisting of the mass, spring, and dashpot.

(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。すべての問題を解答しなさい。
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。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 four exam problems total. Answer all the problems.
3. The answers to each exam problem should be written on an answer sheet. You may use the both side 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, all the answers will not be scored.
4. Fill in the number # of each problem in a designated box on the all answer sheets.
5. Fill in your examinee's number in a designated box on the all answer sheets. Never write down your name or any indication which suggests your identity anywhere on your answer sheet. In the case of a violation of the instruction, all of your answers will not be scored.
6. Submit four answer sheets at the end of this examination. Even if they are write the problem number and your examinee's number and submit them. None of your answers will be scored if you do not submit all of 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.