

Ⅲ 次の35問題のうち25問題を選択して解答せよ。（解答欄に1つだけマークすること。）

Ⅲ－1 下図に示すように、部材1と2を剛体壁に固定し、部材1と2の平行な隙間を λ （ $\lambda \ll l_1, l_2$ ）とする。A端に右方向の軸荷重を負荷してB端に密着させた後、A端とB端を接合した。その後、A端に負荷した軸方向荷重を除荷したとき、部材1と2に発生する応力 σ として、最も適切なものはどれか。ただし、部材1と2の縦弾性係数を E_1 、 E_2 、長さを l_1 、 l_2 、部材1と2の直径は共に d とし、剛体壁は剛体床に固定されているものとする。

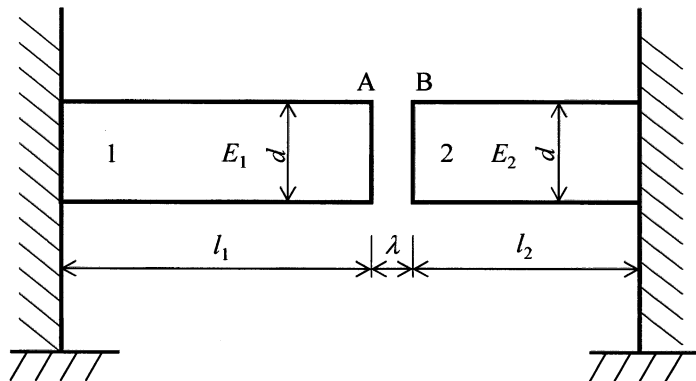
① $\sigma = \frac{E_1 E_2 \lambda}{2(l_1 E_2 + l_2 E_1)}$

② $\sigma = \frac{2E_1 E_2 \lambda}{l_1 E_2 + l_2 E_1}$

③ $\sigma = \frac{E_1 E_2 \lambda}{l_1 E_2 + l_2 E_1}$

④ $\sigma = \frac{2E_1 E_2 \lambda}{l_1 E_1 + l_2 E_2}$

⑤ $\sigma = \frac{E_1 E_2 \lambda}{l_1 E_1 + l_2 E_2}$



Ⅲ－２ 下図に示すように、直径 d の丸棒の上端を天井に固定して鉛直につり下げるとき、自重によって丸棒が破断しない長さ l の条件として、最も適切なものはどれか。ただし、丸棒の密度を ρ 、重力加速度を g とし、丸棒は引張応力が引張強さ σ_B に達したときに破断するものとする。

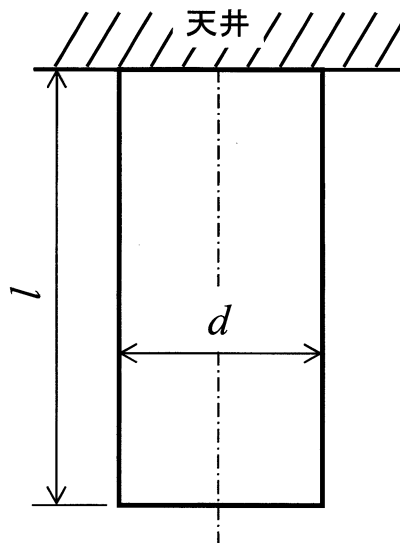
① $l < \frac{4\sigma_B}{\rho g}$

② $l < \frac{\sigma_B}{\rho g}$

③ $l < \frac{\sigma_B}{4\rho g}$

④ $l < \frac{4\sigma_B}{\pi d^2 \rho g}$

⑤ $l < \frac{\sigma_B}{\pi d^2 \rho g}$



Ⅲ－３ 下図に示すように、一様断面の長さ l の単純支持はりの支点 A、B に曲げモーメント M_A と M_B が作用している。支点 A から距離 x の位置におけるはりのせん断力として、最も適切なものはどれか。

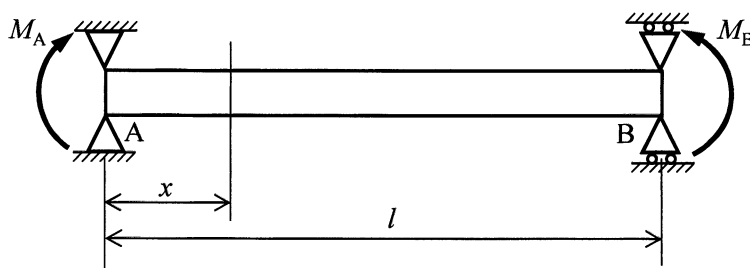
① $\frac{M_A}{l}$

② $\frac{M_B}{l}$

③ $-\frac{M_A + M_B}{l^2}x + \frac{M_A}{l}$

④ $-\frac{M_A - M_B}{l}$

⑤ $\frac{M_A + M_B}{l}$



Ⅲ－４ 下図に示すように、A端が単純支持、B端が固定された一様断面の長さ l のはりに等分布荷重 w が作用している。このとき、はり全体に蓄えられるひずみエネルギー U は、

$$U = \frac{1}{2EI} \left(\frac{1}{20} w^2 l^5 - \frac{1}{4} w R_A l^4 + \frac{1}{3} R_A^2 l^3 \right)$$

である。A端（支点A）における支持反力 R_A として、最も適切なものはどれか。ただし、はりの曲げ剛性を EI とする。

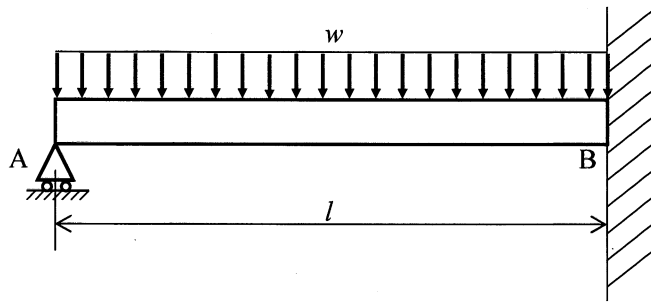
① $R_A = \frac{1}{8} wl$

② $R_A = \frac{1}{4} wl$

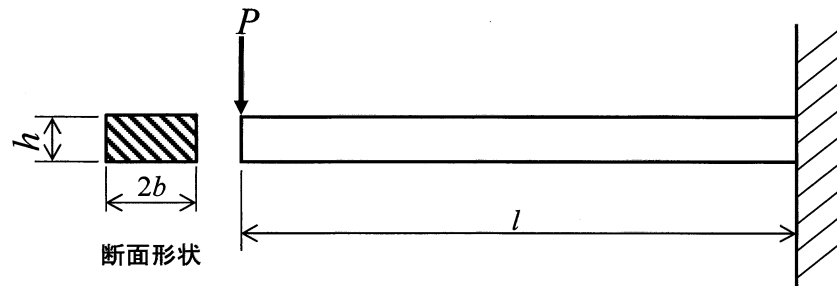
③ $R_A = \frac{3}{8} wl$

④ $R_A = \frac{1}{2} wl$

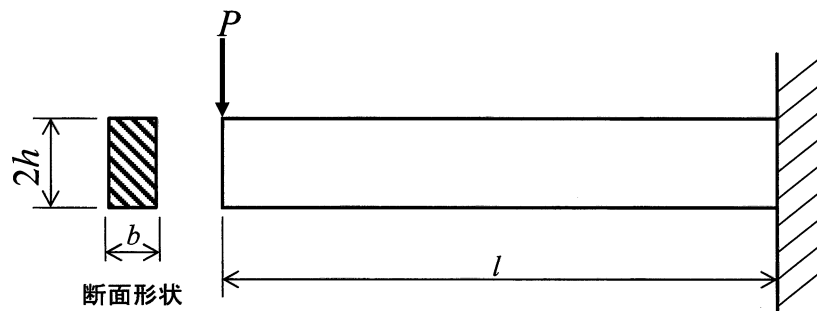
⑤ $R_A = \frac{3}{4} wl$



Ⅲ－５ 下図に示すように、材質と長さが同一である２本の長方形断面の片持ちはりＡ（断面：高さ h ，幅 $2b$ ，図（a））と片持ちはりＢ（断面：高さ $2h$ ，幅 b ，図（b））の先端に、同一の荷重 P が作用している。片持ちはりＡとＢのそれぞれに生じる最大曲げ応力 σ_A と σ_B の比 $\sigma_A : \sigma_B$ として、最も適切なものはどれか。ただし、高さ h ，幅 b の長方形断面のはりの断面二次モーメントは $bh^3/12$ である。



図（a）

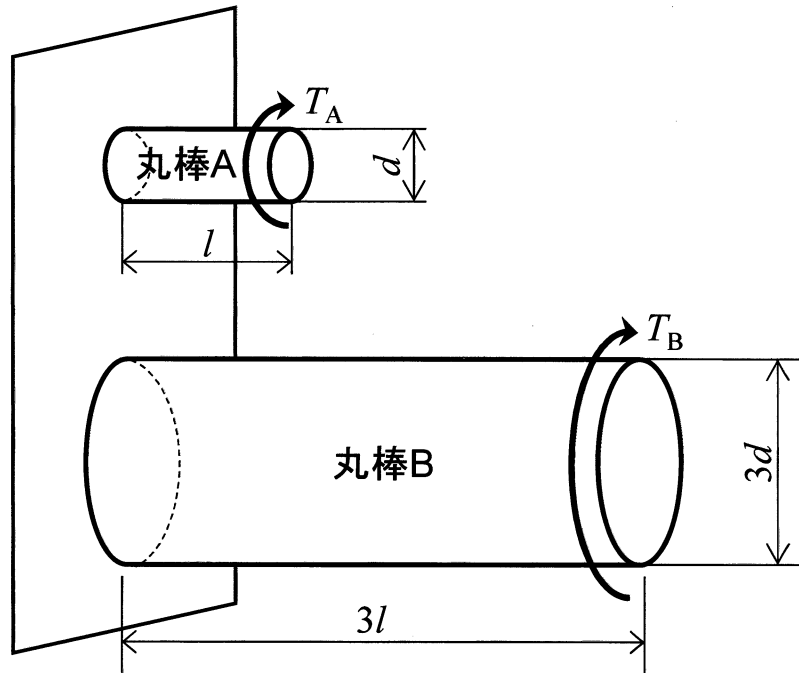


図（b）

- ① 2 : 1 ② 4 : 1 ③ 6 : 1 ④ 1 : 2 ⑤ 1 : 4

Ⅲ－6 下図に示すように、同一材質の丸棒A（直径 d ，長さ l ）と丸棒B（直径 $3d$ ，長さ $3l$ ）の一端が剛体壁に固定され、他端にねじりモーメント T_A と T_B がそれぞれ作用しているとき、丸棒Aと丸棒Bの両端間のねじれ角が等しくなった。このとき、ねじりモーメントの比 $T_A : T_B$ として、最も適切なものはどれか。

- ① 1 : 8 1
- ② 1 : 2 7
- ③ 1 : 1 8
- ④ 1 : 9
- ⑤ 1 : 3



Ⅲ－７ 下図に示すように，両端が固定された円柱（直径 d ，長さ L ，縦弾性係数 E ，断面二次モーメント I ，線膨張係数 α ）に，軸荷重が作用していない状態から温度を徐々に上昇させたところ，座屈が発生した。このときの温度上昇量 ΔT として，最も適切なものはどれか。ただし，この両端が固定された円柱の座屈荷重 P_{cr} は，オイラーの公式

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$$

が適用できるものとする。

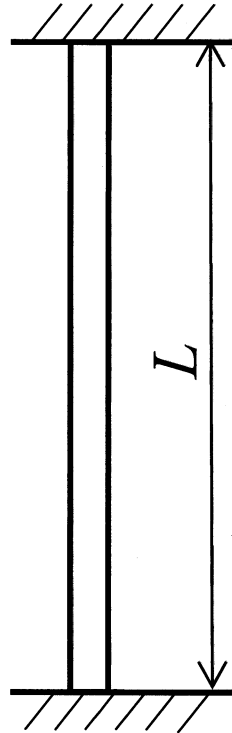
① $\Delta T = \frac{\pi I}{\alpha d^2 L^2}$

② $\Delta T = \frac{2\pi I}{\alpha d^2 L^2}$

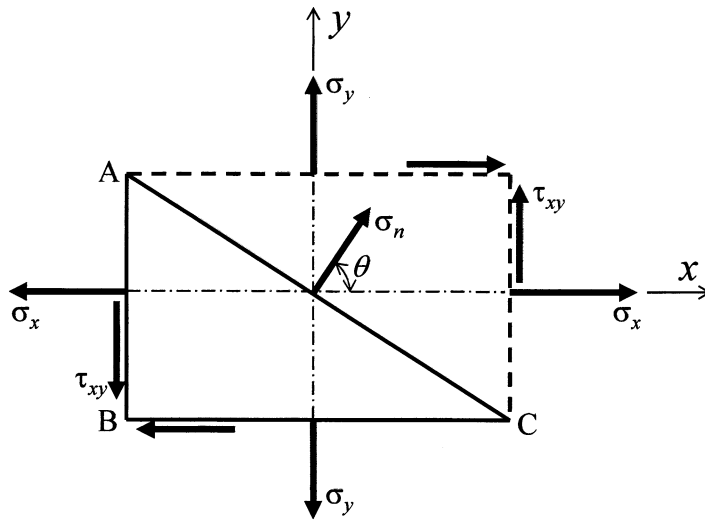
③ $\Delta T = \frac{4\pi I}{\alpha d^2 L^2}$

④ $\Delta T = \frac{8\pi I}{\alpha d^2 L^2}$

⑤ $\Delta T = \frac{16\pi I}{\alpha d^2 L^2}$



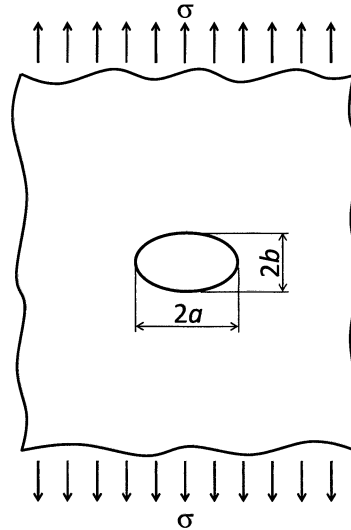
Ⅲ－８ 下図に示すように、平面応力状態となっている微小部分において、 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} が作用しているとき、AC面の垂直応力 σ_n として、最も適切なものはどれか。ただし、AC面の法線が x 軸となす角度を θ とする。



- ① $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta$
- ② $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta$
- ③ $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\theta + \tau_{xy}\cos 2\theta$
- ④ $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\theta + \tau_{xy}\cos 2\theta$
- ⑤ $\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta$

Ⅲ－９ 下図に示すように、楕円孔を有する無限に広い一様な厚さの板に一軸の引張応力 σ を負荷するとき、楕円孔の縁に応力集中によって生じる最大引張応力が最も低くなる時の $2a$ と $2b$ の組合せとして、最も適切なものはどれか。

- | | <u>$2a$</u> | <u>$2b$</u> |
|---|------------------------|------------------------|
| ① | 80 mm | 20 mm |
| ② | 40 mm | 20 mm |
| ③ | 80 mm | 80 mm |
| ④ | 20 mm | 40 mm |
| ⑤ | 20 mm | 80 mm |



Ⅲ－１０ 両端を閉じた薄肉円筒圧力容器（半径 r ，肉厚 t ， $r \gg t$ ）に内圧 p が作用している。両端から十分離れた円筒部分における円周方向ひずみ ε_θ と軸方向ひずみ ε_z の組合せとして、最も適切なものはどれか。ただし、縦弾性係数は E ，ポアソン比は ν とし，円筒の肉厚は薄いので平面応力状態を仮定する。

- ① $\varepsilon_\theta = \frac{(2-\nu)pr}{Et}$ ， $\varepsilon_z = \frac{(1-2\nu)pr}{Et}$
- ② $\varepsilon_\theta = \frac{(1-\nu)pr}{2Et}$ ， $\varepsilon_z = \frac{(2-\nu)pr}{2Et}$
- ③ $\varepsilon_\theta = \frac{(1-2\nu)pr}{2Et}$ ， $\varepsilon_z = \frac{(2-\nu)pr}{2Et}$
- ④ $\varepsilon_\theta = \frac{(2-\nu)pr}{2Et}$ ， $\varepsilon_z = \frac{(1-2\nu)pr}{2Et}$
- ⑤ $\varepsilon_\theta = \frac{(2-\nu)pr}{2Et}$ ， $\varepsilon_z = \frac{(1-\nu)pr}{2Et}$

Ⅲ－11 伝達関数

$$G = \frac{s-1}{s^2+3s+2}$$

をもつ系の安定性に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 2つの極が負の値（－1，－2）をもつから、この系は安定である。
- ② 2つの極が正の値（1， 2）をもつから、この系は不安定である。
- ③ 零点が1であるから、この系は不安定である。
- ④ 零点が1であるから、この系は安定である。
- ⑤ 2つの極が実数であるから、この系は安定である。

Ⅲ－12 伝達関数をグラフ表現する方法に関する次の記述の、 に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

周波数伝達関数 $G(j\omega)$ をグラフ表現する方法の1つにアがある。アは、角周波数 ω を0から $+\infty$ まで変化させたときの複素数 $G(j\omega)$ を複素平面上にプロットしたもので、伝達関数の周波数特性であるゲインや位相が一目でわかり、ナイキスト安定判別にも用いられる。もう1つの方法がイである。イは、ゲイン線図と位相線図から構成され、角周波数 ω とゲイン、角周波数 ω と位相の関係が陽に示されているので、周波数特性を定量的に評価するのに適している。一方、ウは、一巡伝達関数 $w=P(s)$ で表されるシステムに対して、複素平面上において s を規定の閉曲線上で動かしたときの複素数 w を複素平面上にプロットしたものである。

ア	イ	ウ
① ボード線図	ベクトル軌跡	ナイキスト線図
② 根軌跡	ボード線図	ベクトル軌跡
③ 根軌跡	ナイキスト線図	ボード線図
④ ベクトル軌跡	ボード線図	ナイキスト線図
⑤ ベクトル軌跡	ナイキスト線図	根軌跡

Ⅲ－13 像関数 $F(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ を逆ラプラス変換した原関数 $f(t) (t > 0)$ として、最も適切なものはどれか。ただし、 s はラプラス変換のパラメータとする。なお、初期値はすべて零とする。

参考：ラプラス変換表

原関数 $f(t)$	$\delta(t)$	$u(t)$	e^{at}	$\sin \omega t$	$\sinh \omega t$	$e^{at} f(t)$
像関数 $F(s)$	1	$\frac{1}{s}$	$\frac{1}{s-a}$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\frac{\omega}{s^2 - \omega^2}$	$F(s-a)$

ただし、 $\delta(t)$ はデルタ関数、 $u(t) = \begin{cases} 1 (t \geq 0) \\ 0 (t < 0) \end{cases}$ は単位ステップ関数である。

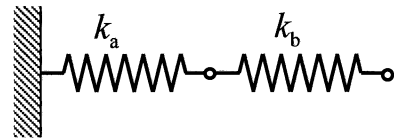
- ① $1 - e^t$
- ② $-1 + e^{-t}$
- ③ $1 - e^{-t}$
- ④ $e^t \sin t$
- ⑤ $e^{-t} \sin t$

Ⅲ－14 操作量を説明する記述として、最も適切なものはどれか。

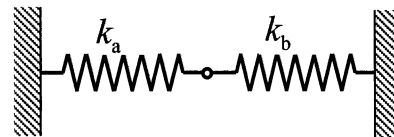
- ① 制御対象に属する量のうち、制御の目的となる量。
- ② 制御の目的を達成するために、制御対象に加える入力。
- ③ 基準量と制御量との差。
- ④ 制御を開始してから十分な時間が経過したときの系の出力。
- ⑤ 目標として外部から与えられる値。

Ⅲ－15 下図（a）と（b）に示す合成ばねの等価ばね定数の組合せとして、最も適切なものはどれか。

- | | <u>a</u> | <u>b</u> |
|---|------------------------------|------------------------------|
| ① | $k_a + k_b$ | $\frac{2k_a k_b}{k_a + k_b}$ |
| ② | $k_a + k_b$ | $\frac{k_a k_b}{k_a + k_b}$ |
| ③ | $\frac{k_a k_b}{k_a + k_b}$ | $k_a + k_b$ |
| ④ | $\frac{2k_a k_b}{k_a + k_b}$ | $k_a + k_b$ |
| ⑤ | $\frac{k_a k_b}{2k_a + k_b}$ | $\frac{k_a k_b}{k_a + k_b}$ |



図（a）



図（b）

Ⅲ－16 下図（a）に示すように質量 m の質点がばね定数 k のばねで天井からつるされている場合と、下図（b）に示すように長さ ℓ に対し直径が十分に小さく一様密度かつ一様断面の質量 m の剛体はりの左端が、回転自由支持され、その左端から距離 a の位置でばね定数 k のばねで天井からつるされている場合を考える。このとき、2つの1自由度振動系の固有振動数が一致するための a の条件として、最も適切なものはどれか。ただし、図（b）の1自由度振動系の運動方程式は、

$$\frac{1}{3}m\ell^2\ddot{\theta} + ka^2\theta = 0$$

である。ここで、 θ ははりと壁のなす回転角を表す。

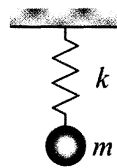
① $a = \frac{\ell}{2}$

② $a = \frac{\ell}{\sqrt{2}}$

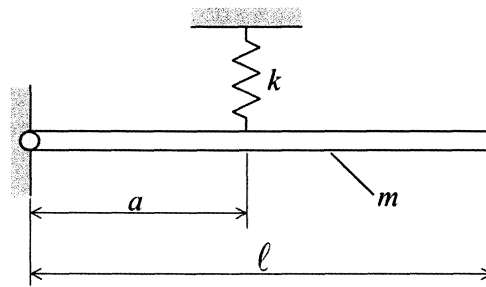
③ $a = \frac{\ell}{3}$

④ $a = \frac{\ell}{\sqrt{3}}$

⑤ $a = \frac{\ell}{4}$



図（a）



図（b）

Ⅲ－17 時刻 $t = 0$ において静止していた質量 m_0 の雨滴が、周囲の静止した水滴を取込みながら重力場（重力加速度 g ）の中を落下していく。ここで、雨滴の質量の単位時間当たりの増加率を定数 α とすると、時刻 t における速度として、最も適切なものはどれか。

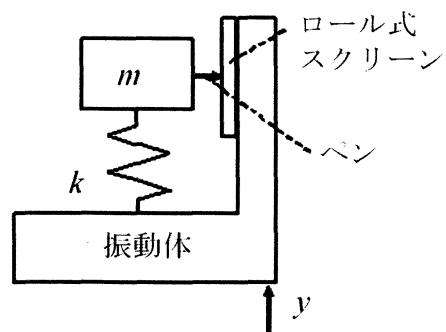
- ① $\frac{m_0 t + \alpha t}{m_0} g$
- ② $\frac{m_0 t + \alpha t^2}{m_0} g$
- ③ $\frac{m_0 t + \frac{3}{2} \alpha t^2}{m_0} g$
- ④ $\frac{m_0 t + \frac{3}{2} \alpha t^2}{m_0 + \alpha t} g$
- ⑤ $\frac{m_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2}{m_0 + \alpha t} g$

Ⅲ－18 下図に機械式振動記録計を示す。記録計は、ばね（ばね定数 k ）を介して振動体に取り付けられた質量 m のペンと一定速度でロールに巻かれていく振動体に取り付けられたスクリーンで構成されている。振動体の絶対変位 y は、 $A \sin(\omega t)$ （ t は時刻）であると、振動が与えられてから十分に時間が経過したものとする。角振動数 ω が、

$$\omega \gg \sqrt{\frac{k}{m}}$$

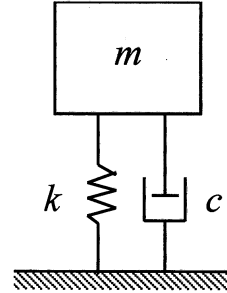
のとき、スクリーンに描かれた波形の振幅（絶対値）として、最も適切なものはどれか。

- ① 0（波形が描かれない）
- ② ∞ （波形の振幅が大きくなり続ける）
- ③ $\frac{A}{k}$
- ④ $\frac{A}{m}$
- ⑤ A



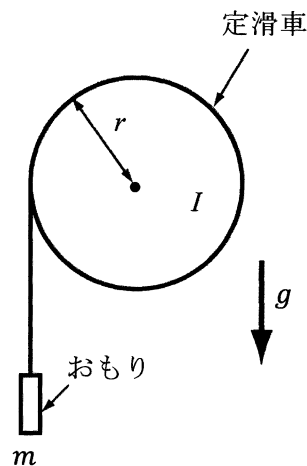
Ⅲ－19 下図に示すような粘性減衰要素を有する1自由度振動系において、質量 m が10 kg、ばね定数 k が1000 N/m、減衰比が0.01のとき、減衰係数 c として、最も近い値はどれか。

- ① $c = 0.01$ [Ns/m]
- ② $c = 0.2$ [Ns/m]
- ③ $c = 1$ [Ns/m]
- ④ $c = 2$ [Ns/m]
- ⑤ $c = 20$ [Ns/m]



Ⅲ－20 下図に示すように、慣性モーメント I 、半径 r の定滑車に質量の無視できる伸びないロープがまかれ、ロープの一端につけられたおもり（質量 m ）が重力によって落下する。このとき、おもりの加速度として、最も適切なものはどれか。ただし、定滑車は摩擦なく回転し、定滑車とロープとの間にすべりはないものとする。また、重力加速度を g とし、図のように下向きに作用するものとする。

- ① $\frac{mr^2g}{mr^2+I}$
- ② mg
- ③ $\frac{mr^2g}{mr^2-I}$
- ④ $\frac{2mr^2g}{mr^2+2I}$
- ⑤ $\frac{mg}{m+I}$

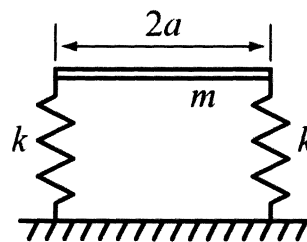


Ⅲ－21 弦の微小な横振動を表す運動方程式として、最も適切なものはどれか。ただし、時間を t 、弦の長手方向の位置を x 、横方向変位を y とし、弦の線密度を ρ 、張力を T とする。

- ① $\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - Ty = 0$
- ② $\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - T \frac{\partial y}{\partial x} = 0$
- ③ $\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$
- ④ $\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - T \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = 0$
- ⑤ $\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - T \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0$

Ⅲ－22 下図に示すように、質量 m 、長さ $2a$ で断面積及び密度の一樣な剛体棒が、両端をばね定数 k のばねで支えられているとき、この系が微小振動する場合の並進振動と回転振動の固有角振動数として、最も適切な組合せはどれか。

- | | 並進 | 回転 |
|---|-----------------------|------------------------|
| ① | $2\sqrt{\frac{k}{m}}$ | $\sqrt{\frac{6k}{m}}$ |
| ② | $\sqrt{\frac{2k}{m}}$ | $3\sqrt{\frac{k}{m}}$ |
| ③ | $\sqrt{\frac{2k}{m}}$ | $2\sqrt{\frac{6k}{m}}$ |
| ④ | $\sqrt{\frac{k}{3m}}$ | $\sqrt{\frac{k}{m}}$ |
| ⑤ | $\sqrt{\frac{2k}{m}}$ | $\sqrt{\frac{6k}{m}}$ |



Ⅲ－23 時速72 km，質量1500 kgの物体が摩擦により完全に停止した。このとき発生した熱は20 °Cの周囲環境に散逸し，物体及び周囲環境に温度変化は生じなかった。このときのエントロピーの変化量として，最も近い値はどれか。

- ① 15 kJ/K
- ② 13 kJ/K
- ③ 1.5 kJ/K
- ④ 1.3 kJ/K
- ⑤ 1.0 kJ/K

Ⅲ－24 温度270Kの熱源から吸熱し，温度300Kの熱源へ放熱する冷凍機がある。この冷凍機の成績係数（COP）の最大値として，最も近い値はどれか。

- ① 9.0 ② 10 ③ 20 ④ 0.10 ⑤ 0.11

Ⅲ－25 沸騰伝熱に関する次の（ア）～（オ）の記述のうち，不適切な記述の組合せはどれか。

- （ア）沸騰現象は系の過熱度の増加により，核沸騰から遷移沸騰を経て膜沸騰に至る。
- （イ）伝熱面上で発生した気泡は，伝熱面から離脱した後，消滅することがある。
- （ウ）熱流束制御型の加熱で生じる膜沸騰の蒸気膜内には大きな温度差がある。
- （エ）沸騰特性曲線において限界熱流束点を越えて熱流束の値が一旦下がった状態をサブクール沸騰という。
- （オ）沸騰伝熱に対し，重力加速度は影響しない。

- ① （ア）と（イ）
- ② （イ）と（ウ）
- ③ （ウ）と（エ）
- ④ （エ）と（オ）
- ⑤ （ア）と（オ）

Ⅲ－26 外径 r_i 、長さ L の金属円管を保温のため熱伝導率 k の断熱材で覆った。断熱材の内径は r_i 、外径は r_o とする。断熱材外表面から外気への熱伝達率を h とするとき、周囲への熱損失 Q を求める式として、最も適切なものはどれか。ただし、金属円管外表面温度と断熱材内表面温度はともに T_i であり、外気温度は T_∞ とする。また、選択肢中の対数は自然対数である。

$$\textcircled{1} \quad Q = \frac{2\pi L(T_i - T_\infty)}{\frac{1}{r_o h} \log\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{k}}$$

$$\textcircled{2} \quad Q = \frac{2\pi L(T_i - T_\infty)}{\frac{1}{k} \log\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{r_o h}}$$

$$\textcircled{3} \quad Q = \frac{2\pi r_o h L(T_i - T_\infty)}{\log\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{k}{r_o h}}$$

$$\textcircled{4} \quad Q = \frac{2\pi L(T_i - T_\infty)}{\frac{r_o}{k(r_o - r_i)} + \frac{1}{r_o h}}$$

$$\textcircled{5} \quad Q = \frac{2\pi L(T_i - T_\infty)}{\frac{1}{h(r_o - r_i)} + \frac{1}{k}}$$

Ⅲ－27 40 L ボンベの中に温度 20 °C、圧力 15 MPa の酸素が入っている。この酸素を使用して十分に時間が経った後、ボンベの中の温度は 15 °C、圧力は 3.0 MPa となった。酸素を理想気体と仮定した場合、使用した酸素の質量として、最も近い値はどれか。ただし、酸素の気体定数を 260 J/(kg·K) とする。

- ① 0.63 kg ② 85 kg ③ 6.3 kg ④ 8.5 kg ⑤ 63 kg

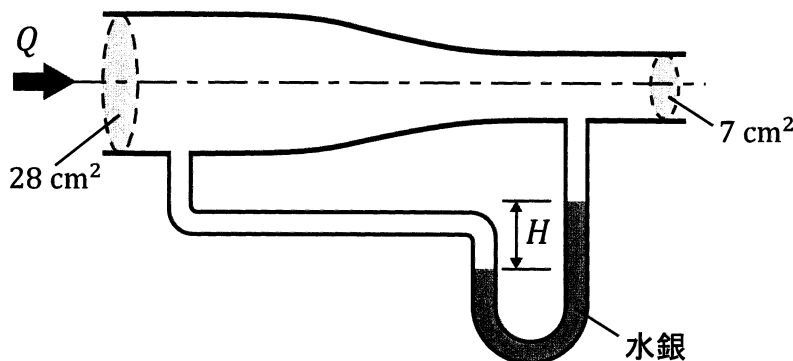
Ⅲ－28 床面と屋根が一辺 6 m の正方形で、四面の壁の高さが 3 m の家を考える。家の中には電気ヒーターが設置されており、外気温が 0°C のときでも室内の気温は 25°C に保たれている。このとき、電気ヒーターの消費電力として、最も近い値はどれか。ただし、壁と屋根は厚さ 10 cm、熱伝導率 $2.3 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ のコンクリートでできているとし、室外と室内の対流熱伝達率をそれぞれ $25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、 $10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ とする。また、床は断熱されているとする。

- ① 25 kW ② 15 kW ③ 7.4 kW ④ 4.7 kW ⑤ 0.50 kW

Ⅲ－29 静止した床に置かれた大きな容器に水が満たされ、水面から深さ h の側壁に小さな穴が空いている。このとき、側壁の穴から定常的に流れ出る水の流速として、最も適切なものはどれか。ただし、水の密度を ρ 、重力加速度を g とし、粘性の影響は無視する。

- ① $2\sqrt{gh}$ ② $\sqrt{2gh}$ ③ 0 ④ $\sqrt{gh}$ ⑤ $\sqrt{gh/2}$

Ⅲ－30 下図に示すように、断面積 28 cm^2 と 7.0 cm^2 の管がつながれた水平管の中を水が流れている。水銀を入れた U 字管マンオメータを取付けたところ、左右の水銀柱の高さの差 H が 3.0 cm となった。このとき、水平管を流れる水の体積流量 Q として、最も近い値はどれか。ただし、水と水銀の密度をそれぞれ $1.0 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $1.4 \times 10^4 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、重力加速度を $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ とし、損失は無視する。



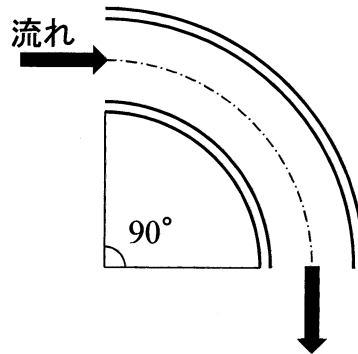
- ① 0.5 L/s ② 1.0 L/s ③ 1.4 L/s ④ 2.0 L/s ⑤ 5.0 L/s

Ⅲ－31 シャワーヘッドに内径11 mmのホースがつながっている。シャワーヘッドの出口には200個の穴があり、各々の穴の直径は0.50 mmである。シャワーから出る水の速度が2.5 m/sであるとき、ホース内の水の平均流速として、最も近い値はどれか。

- ① 0.10 m/s ② 0.25 m/s ③ 0.40 m/s ④ 0.50 m/s ⑤ 1.0 m/s

Ⅲ－32 下図に示すように、90°曲がった円管の中を密度 ρ の流体が流れている。円管の断面積を A 、流体の平均流速を V とするとき、円管が流体から受ける力の大きさとして、最も適切なものはどれか。ただし、流れは非圧縮性流体の定常流れであり、圧力損失、重力の影響は無視してよい。

- ① $\rho V^2 A$
 ② $\sqrt{2} \rho V^2 A$
 ③ $2\rho V^2 A$
 ④ 0
 ⑤ $\rho V^2 A / \sqrt{2}$



Ⅲ－33 xy 平面上の二次元非圧縮性流れにおいて、速度ベクトル $\mathbf{U}$ の x 方向成分 u 、 y 方向成分 v がそれぞれ、

$$u = ax + by, \quad v = cx + dy$$

と表されているとき、渦度がゼロとなるための条件として、最も適切なものはどれか。ただし、 a, b, c, d はすべて実数の定数とする。

- ① $b = c$ ② $b + c = 0$ ③ $ad - bc = 0$ ④ $a = d$ ⑤ $a + d = 0$

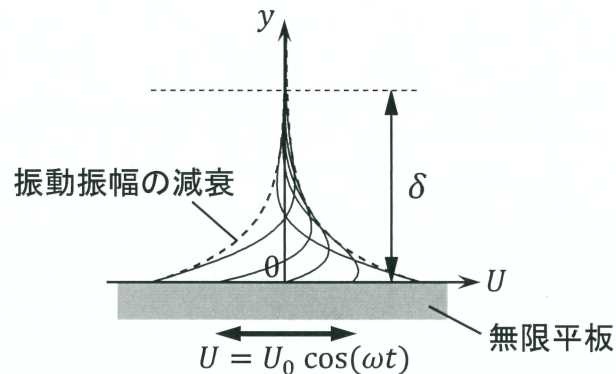
Ⅲ－34 無限に広い空間内で、平板がその面内方向に $U = U_0 \cos(\omega t)$ の速度で振動している。このとき、流体の運動は無限平板の振動方向に平行であり、速度分布 $U(t, y)$ は、以下のように表される。

$$U(t, y) = U_0 \exp\left(-y\sqrt{\frac{\omega}{2\nu}}\right) \cos\left(\omega t - y\sqrt{\frac{\omega}{2\nu}}\right)$$

ここで、 t 、 y 、 U_0 、 ω 、 ν は、それぞれ時間、流体と接する壁面を原点とする壁面垂直方向座標、振動の振幅、角振動数、流体の動粘性係数を表す。

下図は上式の概形を表しており、 y 方向に振動振幅が減衰していく様子を示している。ここで、流体の速度変動の振幅が U_0 の 1 % 以上となる領域を境界層と定義する。流体を空気 ($\nu = 1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)、振動数を 1.0 Hz ($\omega = 2\pi \text{ rad/s}$) とするとき、境界層厚さ δ の値として、最も近い値はどれか。ただし、必要に応じて、 $\log 10 = 2.30$ ($\log$ は自然対数を表す) を用いよ。

- ① 0.10 mm
- ② 0.40 mm
- ③ 2.0 mm
- ④ 10 mm
- ⑤ 100 mm



Ⅲ－35 長さ 1.0 m の平板が流速 3.0 m/s の一様流中に流れと平行に置かれている。臨界レイノルズ数を 1.0×10^6 と仮定するとき、境界層の遷移位置 (平板先端からの距離) として、最も近い値はどれか。ただし、流体の動粘性係数を $9.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ とする。

- ① 0.050 m ② 0.10 m ③ 0.30 m ④ 0.75 m ⑤ 1.0 m

【正解と解説】

●問題Ⅲ-1

正解は③

隙間を埋めるための引張力により、各部材の伸びの和が隙間量に等しくなる変形の適合条件が成り立つ。この関係式から応力を解くと、分母が $l_1 E_2 + l_2 E_1$ となる式が得られる。

●問題Ⅲ-2

正解は②

丸棒の自重によって生じる最大引張応力は固定端である上端に発生し、密度と重力加速度と長さの積で表される。この最大応力が引張強さ未満となる条件から長さの範囲が導出される。

●問題Ⅲ-3

正解は④

支点まわりのモーメントのつり合いから支点反力を求める。外力モーメントのみが作用する単純支持はりでは、せん断力は全区間にわたって一定値となり、 $-(MA-MB)/l$ となる。

●問題Ⅲ-4

正解は③

カスティリアノの定理により、ひずみエネルギーを支点反力 R_A で偏微分した値は支点Aの変位を表し、ゼロに等しくなる。この関係式を解くことで支持反力は $(3/8)wl$ となる。

●問題Ⅲ-5

正解は①

最大曲げモーメントは両者で等しく、最大曲げ応力は断面係数に反比例する。各断面の断面係数を計算して比較すると、はりBははりAの2倍となるため、応力の比は2対1となる。

●問題Ⅲ-6

正解は②

ねじれ角はトルクと長さに比例し、直径の4乗に反比例する。丸棒Bの長さが3倍で直径が3倍であることから剛性を計算し、ねじれ角が等しくなる条件を求めると比は1対27となる。

●問題Ⅲ-7

正解は⑤

温度上昇によって拘束された円柱に生じる圧縮熱応力による荷重が、オイラーの座屈荷重に達したときに座屈する。両者を等置して温度上昇量について解くと導出される式となる。

●問題Ⅲ-8

正解は①

任意の傾きを持つ断面に作用する垂直応力は、応力の座標変換式によって与えられる。微小要素の力のつり合いから導出される公式であり、選択肢1の式で正しく表される。

●問題Ⅲ-9

正解は⑤

引張荷重を受ける無限板中の楕円孔縁の最大応力は $1+2a/b$ に比例する。この値が最小となるのは荷重方向の寸法 $2b$ に対して直交方向の寸法 $2a$ が最も小さい縦長の楕円孔となる。

●問題Ⅲ-10

正解は④

薄肉円筒の円周方向応力と軸方向応力をそれぞれ求める。二軸応力状態におけるフックの法則にこれらを代入してひずみを整理すると、選択肢4のひずみの組み合わせが得られる。

●問題Ⅲ-11

正解は①

伝達関数をもつ系の安定性は極の実部の符号で判定される。分母をゼロとする2つの極はマイナス1とマイナス2であり、ともに負の値をもつため、この系は安定となる。

●問題Ⅲ-12

正解は④

周波数応答を複素平面に描いたものがベクトル軌跡、ゲインと位相を周波数軸上にプロットしたものがボード線図、閉曲線に対する写像を描いたものがナイキスト線図となる。

●問題Ⅲ-13

正解は③

与えられた像関数を部分分数分解するとs分の1引く(s+1)分の1に分解できる。ラプラス変換表を参照してそれぞれの項を時間関数に変換すると、 $1 - e^{-t}$ が得られる。

●問題Ⅲ-14

正解は②

自動制御において、操作量とは制御偏差を縮めて制御量を目標値に一致させるために制御器から制御対象へと入力される信号のことであり、選択肢2の記述が最も適切となる。

●問題Ⅲ-15

正解は③

図aは2本のばねが直列に連結されているため逆数和の合成ばね定数となり、図bは並列に配置されているため両者の和となる。これらが正しく合致する組み合わせとなる。

●問題Ⅲ-16

正解は④

質点系の固有角振動数は $\sqrt{k/m}$ となる。剛体はりの運動方程式から角振動数を求め、両者の固有角振動数が等しくなる方程式を解くと、 $a = 1/\sqrt{3}$ が得られる。

●問題Ⅲ-17

正解は⑤

運動量保存則に基づき運動方程式を立てる。雨滴の質量変化を考慮して重力による力積を積分し、時刻tでの総質量で割ることで、速度を表す式として選択肢5が導出される。

●問題Ⅲ-18

正解は⑤

加振角振動数が系の固有角振動数よりも十分に高い領域では、ペン質量は空間的に静止した状態を保つ。そのためスクリーンには振動体の変位がそのまま記録され、振幅はAとなる。

●問題Ⅲ-19

正解は④

臨界減衰係数は質量とばね定数の積の平方根の2倍として 200Ns/m と求まる。これに減衰比0.01を掛けることで、減衰係数として 2Ns/m が算出される結果となる。

●問題Ⅲ-20

正解は①

おもりの並進運動方程式と滑車の回転運動方程式を連立させる。すべりが無い条件から角加速度と加速度の関係をを用い、張力を消去して加速度について整理すると得られる式となる。

●問題Ⅲ-21

正解は③

弦の微小要素に作用する張力の復元力成分と慣性力とのつり合いから運動方程式を導く。変位の空間2階微分と時間2階微分を含む波動方程式の形として導出される式となる。

●問題Ⅲ-22

正解は⑤

並進振動は2本のばねが並列に作用するため $\sqrt{2k/m}$ となる。回転振動は重心まわり

の慣性モーメントと復元モーメントの方程式からルート(6k/m)が得られる。

●問題Ⅲ-23

正解は⑤

物体の運動エネルギーが摩擦熱にすべて変換された熱量を計算する。周囲温度を絶対温度に換算し、散逸熱量を絶対温度で割ることで、エントロピー変化量として約1.0kJ/Kとなる。

●問題Ⅲ-24

正解は①

可逆冷凍サイクルの最大成績係数は、低温熱源の絶対温度を高温熱源と低温熱源の温度差で割ることで求められる。与えられた数値を代入して計算すると9.0が得られる。

●問題Ⅲ-25

正解は④

限界熱流束を超えた領域は遷移沸騰であり、また気泡の浮上や離脱には浮力が作用するため重力加速度は伝熱特性に影響を与える。したがってエとオが不適切な記述となる。

●問題Ⅲ-26

正解は②

円筒壁の熱伝導抵抗と外表面の対流熱伝達抵抗の和から全体の熱抵抗を求める。内外の温度差をこの全熱抵抗で割ることで、周囲への熱損失を表す式として選択肢2が導出される。

●問題Ⅲ-27

正解は③

理想気体の状態方程式を用いて使用前後のボンベ内の酸素質量をそれぞれ計算する。両者の質量の差を求めることで、使用した酸素の質量として約6.3kgが算出される。

●問題Ⅲ-28

正解は②

壁面と屋根の熱通過率を内外の対流熱伝達率およびコンクリートの熱伝導率から算出する。全放熱面積と温度差を乗じて全体の熱損失を計算すると、消費電力は約15kWとなる。

●問題Ⅲ-29

正解は②

損失を無視できる理想流体の自由表面と流出孔の間でベルヌーイの定理を適用する。水頭差がすべて動圧に変換されるトリチェリの定理より、流速はルート(2gh)となる。

●問題Ⅲ-30

正解は④

連続の式とベルヌーイの定理から流速と圧力差の関係を導き、水銀マノメータの液面差による静圧差と等置する。流速を計算して断面積を乗じることで、体積流量は約2.0L/sとなる。

●問題Ⅲ-31

正解は⑤

非圧縮性流体の連続の式を適用し、ホース断面を通る流量と全ノズル穴から流出する流量を等置する。両者の断面積比から逆算することで、ホース内の平均流速は約1.0m/sとなる。

●問題Ⅲ-32

正解は②

流体の流入および流出における運動量変化から、管路が流体から受ける力を各方向成分について求める。直交する2成分の合力を二乗和の平方根で合成するとルート $2\rho V^2 A$ となる。

●問題Ⅲ-33

正解は①

二次元流れにおける渦度は、y方向速度のx偏微分からx方向速度のy偏微分を差し引いた値で定義される。これがゼロとなる条件を計算することで、 $b=c$ が得られる。

●問題Ⅲ-34

正解は④

速度変動の減衰項を表す指数関数が0.01となる条件式を立てる。与えられた動粘性係数と角振動数を代入して減衰係数を算出し、境界位置を求めると厚さは約10mmとなる。

●問題Ⅲ-35

正解は③

平板上の局所レイノルズ数の定義式に主流流速と動粘性係数を代入する。この値が臨界レイノルズ数に達する位置を逆算することで、遷移位置として0.30mが算出される。