

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、段付き丸棒の上端を天井に固定して鉛直につり下げた状態で、下端に軸荷重 P が作用するときに、段付き丸棒に蓄えられる弾性ひずみエネルギー U として、最も適切なものはどれか。ただし、太い丸棒の直径を $2d$ 、長さを l 、縦弾性係数を E 、細い丸棒の直径を d 、長さを l 、縦弾性係数を E とする。なお、段付き丸棒の自重は考慮しないものとする。

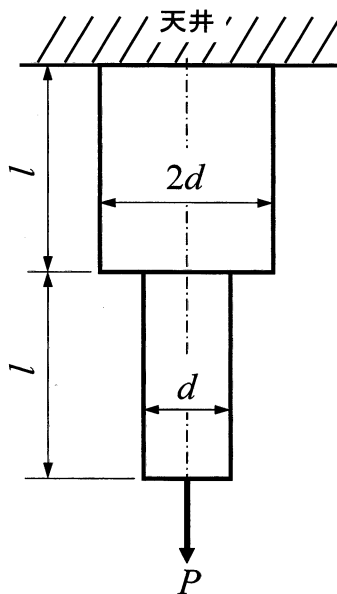
①
$$U = \frac{5P^2l}{2\pi d^2 E}$$

②
$$U = \frac{5P^2l}{\pi d^2 E}$$

③
$$U = \frac{P^2l}{2\pi d^2 E}$$

④
$$U = \frac{2P^2l}{\pi d^2 E}$$

⑤
$$U = \frac{2P^2l}{5\pi d^2 E}$$



Ⅲ-2 下図に示すように、2本の棒からなるトラス構造において、節点Oに下向きの荷重 P が作用し、破線のように変形した場合を考える。各節点は滑節で、棒の自重は無視できるものとするとき、節点Oの下向きの微小変位 δ として、最も適切なものはどれか。ただし、棒の断面積を A 、縦弾性係数を E とする。

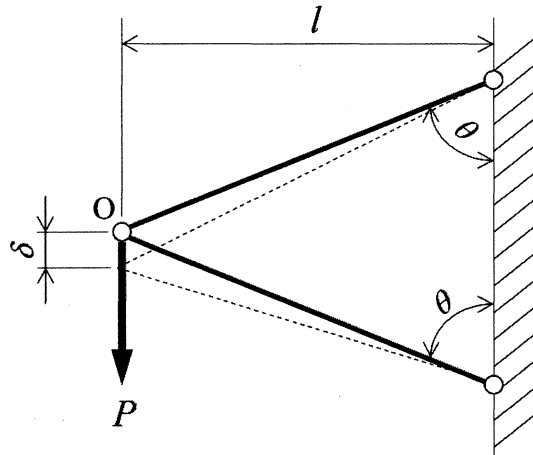
① $\delta = \frac{Pl}{AE \sin \theta \cos^2 \theta}$

② $\delta = \frac{2Pl}{AE \sin \theta \cos \theta}$

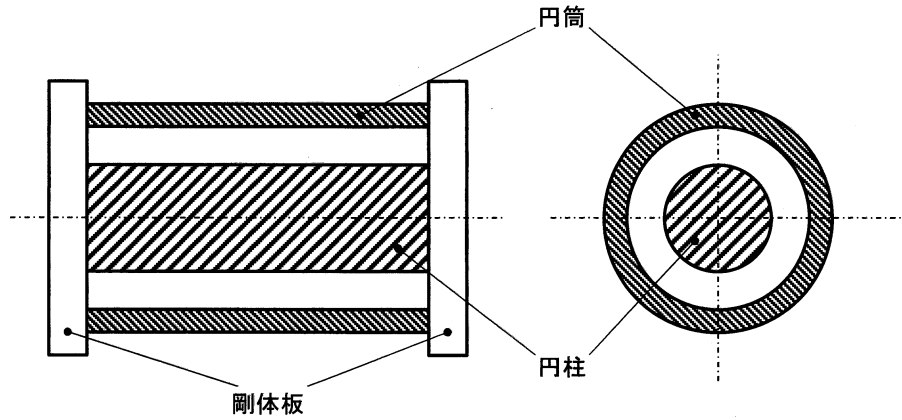
③ $\delta = \frac{2Pl}{AE \sin \theta \cos^2 \theta}$

④ $\delta = \frac{Pl}{2AE \sin \theta \cos \theta}$

⑤ $\delta = \frac{Pl}{2AE \sin \theta \cos^2 \theta}$



Ⅲ－３ 下図に示すように、円柱（長さ l ，断面積 A_1 ，縦弾性係数 E_1 ，線膨張係数 α_1 ）と円筒（長さ l ，断面積 A_2 ，縦弾性係数 E_2 ，線膨張係数 α_2 ）を同軸で組合せて，両端を剛体板で接合している。円柱と円筒の両方に応力が生じていない状態から，温度が ΔT だけ上昇したとき，円柱と円筒の伸び量 Δl として，最も適切なものはどれか。ただし， $\alpha_1 < \alpha_2$ とし，円柱と円筒の半径方向の変形は無視できるものとする。



$$\textcircled{1} \quad \Delta l = \frac{E_1 A_1 \alpha_1 + 2E_2 A_2 \alpha_2}{E_1 A_1 + 2E_2 A_2} l \Delta T$$

$$\textcircled{2} \quad \Delta l = \frac{E_1 A_1 + E_2 A_2}{E_1 A_1 \alpha_1 + E_2 A_2 \alpha_2} \alpha_1 \alpha_2 l \Delta T$$

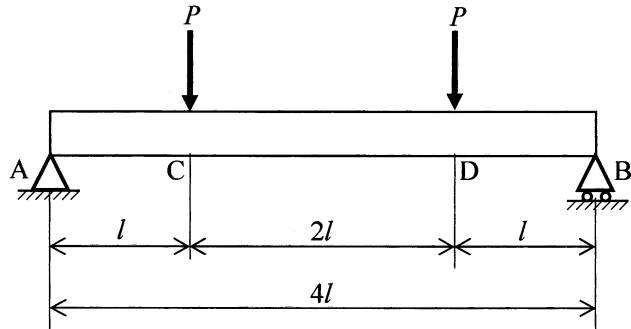
$$\textcircled{3} \quad \Delta l = \frac{E_1 A_1 - E_2 A_2}{E_1 A_1 \alpha_1 - E_2 A_2 \alpha_2} \alpha_1 \alpha_2 l \Delta T$$

$$\textcircled{4} \quad \Delta l = \frac{E_1 A_1 \alpha_1 + E_2 A_2 \alpha_2}{E_1 A_1 + E_2 A_2} l \Delta T$$

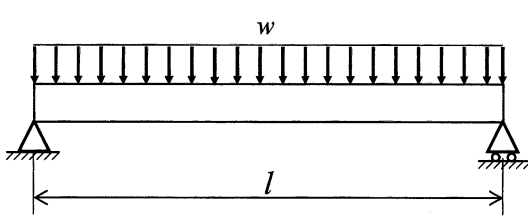
$$\textcircled{5} \quad \Delta l = \frac{E_1 A_1 \alpha_1 - E_2 A_2 \alpha_2}{E_1 A_1 - E_2 A_2} l \Delta T$$

Ⅲ-4 下図に示すように、長さ $4l$ の単純支持はりにA点から l 、B点から l の2か所の位置（C点、D点）に集中荷重 P が作用している。はりの中央（端から $2l$ の位置）に発生するせん断力 F と曲げモーメント M の組合せとして、最も適切なものはどれか。

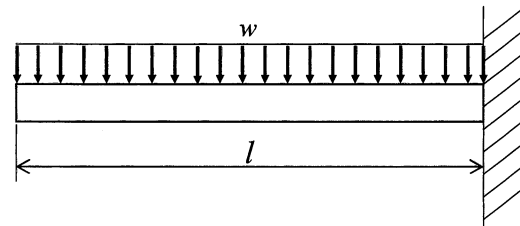
- ① $F = 0, M = Pl$
- ② $F = 0, M = 2Pl$
- ③ $F = P, M = Pl$
- ④ $F = P, M = 2Pl$
- ⑤ $F = 2P, M = Pl$



Ⅲ-5 下図に示すように、長さ l の同じ一様断面を持つ単純支持はり（図(a)）と片持ちはり（図(b)）に、等分布荷重 w を作用させる場合を考える。単純支持はりに発生する最大曲げ応力 σ_A と片持ちはりに発生する最大曲げ応力 σ_B の比 $\sigma_A : \sigma_B$ として、最も適切なものはどれか。



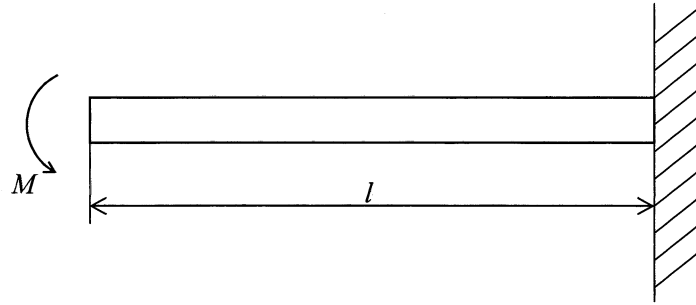
図(a)



図(b)

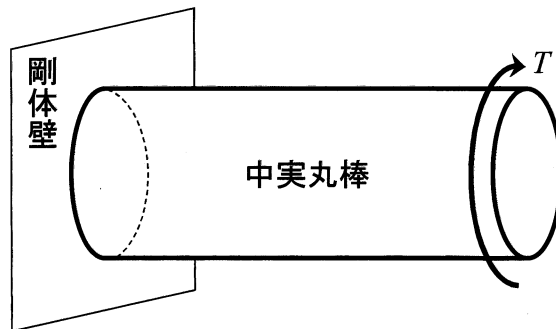
- ① 1 : 1
- ② 1 : 2
- ③ 1 : 3
- ④ 1 : 4
- ⑤ 1 : 8

Ⅲ－６ 下図に示すように、長さ l の片持ちはりの先端（自由端）に曲げモーメント M が作用している。次のうち、はりの最大たわみとして、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 $\frac{Ml^2}{EI}$ ② $\frac{Ml^2}{2EI}$ ③ $\frac{Ml^2}{4EI}$ ④ $\frac{Ml^2}{8EI}$ ⑤ $\frac{Ml^2}{12EI}$

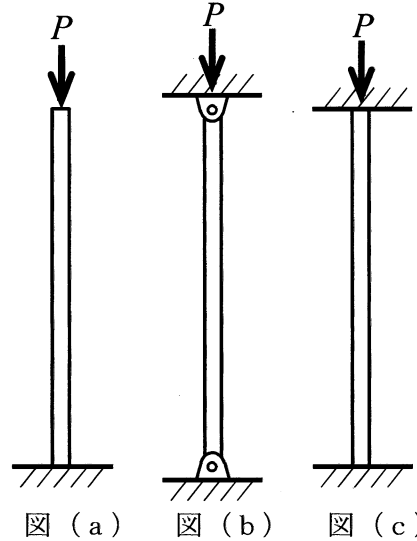
Ⅲ－７ 下図に示すように、中実丸棒の一端が剛体壁に固定され、他端にねじりモーメント T が作用している場合を考える。中実丸棒の直径が n 倍になると、中実丸棒に発生する最大せん断応力は k 倍になる。次のうち、 k として最も適切なものはどれか。



- ① $\frac{1}{n^4}$ ② $\frac{1}{n^3}$ ③ $\frac{1}{n^2}$ ④ $\frac{1}{n}$ ⑤ n

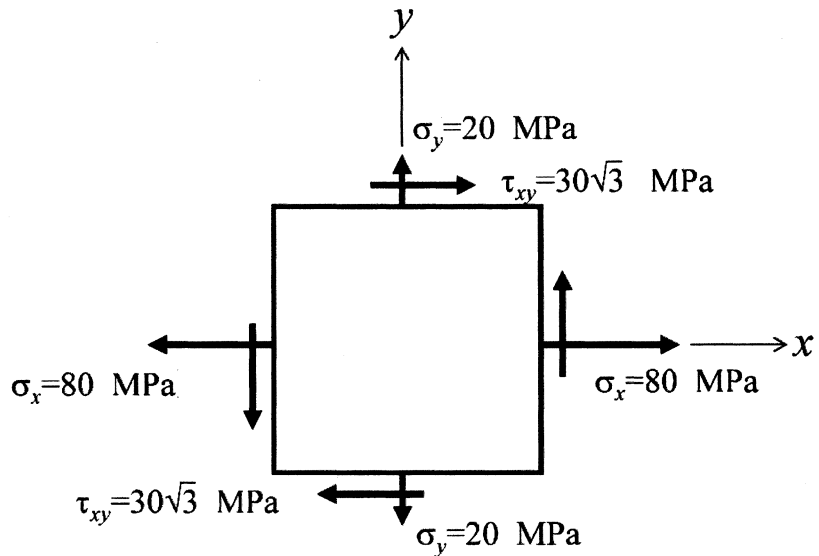
Ⅲ－８ 下図に示すように、曲げ剛性 EI 、長さ L の長柱に荷重 P を加える場合について、端部の固定条件を変えて座屈荷重を求めた。図 (a) の場合、座屈荷重は $P_a = 10\text{kN}$ であった。図 (b) の場合の座屈荷重 P_b と図 (c) の場合の座屈荷重 P_c の組合せとして、最も適切なものはどれか。

- ① $P_b = 160\text{kN}$, $P_c = 640\text{kN}$
- ② $P_b = 20\text{kN}$, $P_c = 40\text{kN}$
- ③ $P_b = 40\text{kN}$, $P_c = 20\text{kN}$
- ④ $P_b = 80\text{kN}$, $P_c = 320\text{kN}$
- ⑤ $P_b = 40\text{kN}$, $P_c = 160\text{kN}$



Ⅲ－９ 下図に示すように、平面応力状態となっている構造物の表面において、ある地点の応力状態が、 $\sigma_x = 80\text{MPa}$ 、 $\sigma_y = 20\text{MPa}$ 、 $\tau_{xy} = 30\sqrt{3}\text{MPa}$ であるとき、主せん断応力の絶対値に最も近い値はどれか。

- ① 10MPa
- ② 30MPa
- ③ 60MPa
- ④ 100MPa
- ⑤ 150MPa



Ⅲ-10 平均内径 $d = 370 \text{ mm}$, 肉厚 $t = 2.5 \text{ mm}$ の薄肉円筒圧力容器に内圧 $p = 3.0 \text{ MPa}$ が作用するとき, 容器の両端から十分離れた円筒部分に生じる円周方向応力 σ_θ と軸方向応力 σ_z の値の組合せとして, 最も適切なものはどれか。

- ① $\sigma_\theta = 111 \text{ MPa}, \sigma_z = 55.5 \text{ MPa}$
- ② $\sigma_\theta = 444 \text{ MPa}, \sigma_z = 222 \text{ MPa}$
- ③ $\sigma_\theta = 222 \text{ MPa}, \sigma_z = 111 \text{ MPa}$
- ④ $\sigma_\theta = 111 \text{ MPa}, \sigma_z = 222 \text{ MPa}$
- ⑤ $\sigma_\theta = 55.5 \text{ MPa}, \sigma_z = 111 \text{ MPa}$

Ⅲ-11 伝達関数 $G(s) = \frac{(s^2 - 2s + 1)(s - 2)}{s(s + 2)(s^2 + 2s + 1)}$ の零点 (又はゼロ点) と極 (又は根) の組

合せとして, 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。
また, 重解 (又は重根) は 1 個とみなす。

	<u>零点</u>	<u>極</u>
①	0, -1, -2	1, 2
②	0, -1, -2	0, 1, 2
③	1, 2	0, -1, -2
④	1, 2	0, 1, 2
⑤	0, 1, 2	0, -1, -2

Ⅲ-12 像関数 $F(s) = \frac{2}{s(s+2)}$ を逆ラプラス変換した原関数 $f(t) (t > 0)$ として、最も適切

なものはいずれか。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 0 とする。

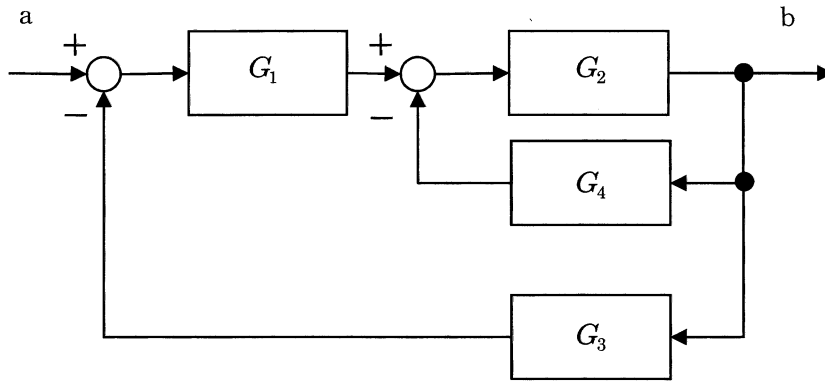
参考：ラプラス変換表

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。

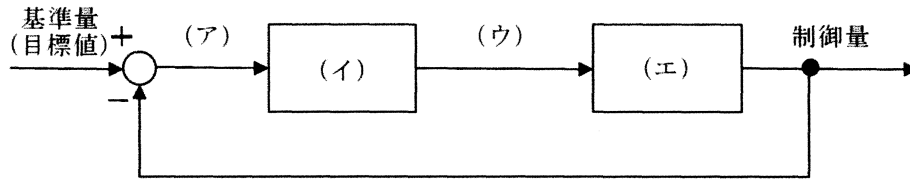
- ① $e^{-2t} - 1$ ② $e^{-t} - e^{-2t}$ ③ $2e^{-t} - 2e^{-2t}$ ④ $1 - 2e^{-t}$ ⑤ $1 - e^{-2t}$

Ⅲ-13 次のブロック線図で表される制御系において、a から b までの伝達関数として、最も適切なものはどれか。



- ① $G_1 + G_2 + G_3 + G_4$
- ② $\frac{G_3 + G_4}{G_1 + G_2}$
- ③ $\frac{G_3}{1 + G_1 + G_2 + G_3}$
- ④ $\frac{G_1 G_2}{1 + G_2 G_4 + G_1 G_2 G_3}$
- ⑤ $\frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2 G_4 + G_1 G_2 G_3 G_4}$

Ⅲ-14 次のブロック線図で表されるフィードバック系の基本構造において、図の（ア）～（エ）に入る語句の組合せとして、最も適切なものはどれか。

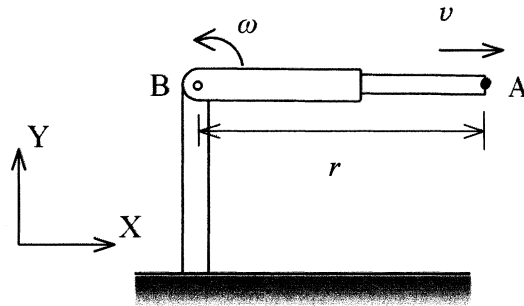


	ア	イ	ウ	エ
①	操作量	制御器	誤差	制御対象
②	操作量	制御対象	誤差	制御器
③	制御器	誤差	制御対象	操作量
④	誤差	制御対象	制御量	制御器
⑤	誤差	制御器	操作量	制御対象

Ⅲ-15 振動系における減衰振動に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 減衰比は0より小さくなることはない。
- ② 減衰比は1より大きくなることはない。
- ③ 減衰が存在し、系が振動するとき、共振時の応答は有限の振幅になる。
- ④ 減衰が存在し、系が振動するとき、自由振動は時間とともにゼロに収束する。
- ⑤ 減衰が存在し、系が振動するとき、固有振動数は減衰が無いときに比べて小さくなる。

Ⅲ-16 下図のように、アームABが鉛直面（XY平面）内を角速度 ω で回転しながら、同時にアームの先端部が、アームが長くなる方向に速度 v で動いている。アームが水平位置にある下図の瞬間において、先端の点Aの持つ速度ベクトル $\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \end{Bmatrix}$ として、最も適切なものはどれか。



- ① $\begin{Bmatrix} v \\ r\omega \end{Bmatrix}$ ② $\begin{Bmatrix} v+r\omega \\ r\omega \end{Bmatrix}$ ③ $\begin{Bmatrix} v \\ 2r\omega \end{Bmatrix}$ ④ $\begin{Bmatrix} v+r\omega \\ 2r\omega \end{Bmatrix}$ ⑤ $\begin{Bmatrix} v-r\omega \\ r\omega \end{Bmatrix}$

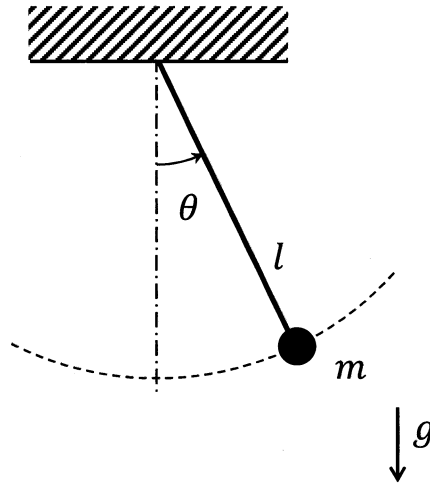
Ⅲ-17 横振動するはりの境界条件には、自由端、固定端、単純支持端などがある。以下はそれぞれの境界条件に適合する式を示したものである。条件式 (A), (B), (C) と、境界条件の組合せとして、最も適切なものはどれか。ただし、はりの長手方向の座標を x 、横方向の変位を $w(x,t)$ とし、 t は時間を表す。

$$(A) \begin{cases} w(x,t) = 0 \\ \frac{\partial w(x,t)}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (B) \begin{cases} w(x,t) = 0 \\ \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} = 0 \end{cases} \quad (C) \begin{cases} \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial x^2} = 0 \\ \frac{\partial^3 w(x,t)}{\partial x^3} = 0 \end{cases}$$

- | | <u>A</u> | <u>B</u> | <u>C</u> |
|---|----------|----------|----------|
| ① | 自由端 | 単純支持端 | 固定端 |
| ② | 自由端 | 固定端 | 単純支持端 |
| ③ | 単純支持端 | 固定端 | 自由端 |
| ④ | 固定端 | 自由端 | 単純支持端 |
| ⑤ | 固定端 | 単純支持端 | 自由端 |

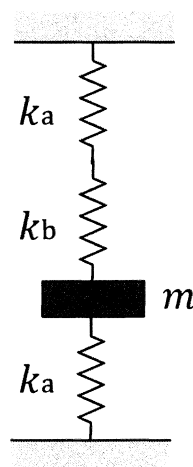
Ⅲ-18 下図のように、長さ l の軽い糸の先に質量 m のおもりをつけた単振り子に、最下点で水平に v_0 の初速を与える。 v_0 が小さいとき、おもりの運動は鉛直面内の最下点付近に限られ、 $\theta = A \sin(\omega t)$ で表される単振動となる。この振幅 A として最も適切なものはどれか。ただし、 ω は角振動数、 t は時間であり、 g は重力加速度とする。

- ① $\frac{2v_0}{\sqrt{lg}}$
- ② $\frac{v_0}{\sqrt{lg}}$
- ③ $\frac{\sqrt{lg}}{2v_0}$
- ④ $\frac{\sqrt{lg}}{v_0}$
- ⑤ $\sqrt{\frac{g}{l}}$



Ⅲ-19 下図のように、質量が無視できる3つのばね（ばね定数 k_a, k_b ）、及び質量 m のおもりからなる系がある。このおもりは、つりあいの位置を中心に上下に振動することができる。このときの固有角振動数として、最も適切なものはどれか。

- ① $\sqrt{\frac{k_a(k_a+2k_b)}{m(k_a+k_b)}}$
- ② $\sqrt{\frac{k_a(2k_a+k_b)}{m(k_a+2k_b)}}$
- ③ $\sqrt{\frac{k_a k_b}{m(k_a+2k_b)}}$
- ④ $\sqrt{\frac{2k_a+k_b}{m}}$
- ⑤ $\sqrt{\frac{k_a+2k_b}{m}}$

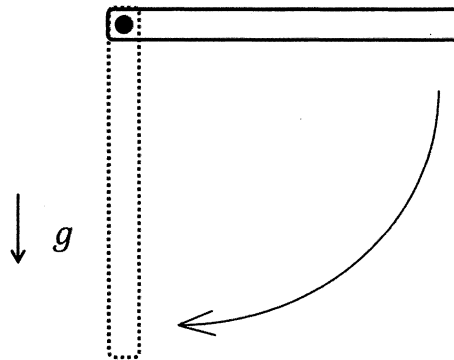


Ⅲ-20 質量 m 、半径 R の円板の直径を軸とする慣性モーメントとして、最も適切なものはどれか。なお、円板の密度及び厚さは一定で、厚さは、半径に比べて十分に薄いものとする。

- ① $\frac{mR^2}{12}$ ② $\frac{mR^2}{2}$ ③ $\frac{mR^2}{6}$ ④ $\frac{mR^2}{3}$ ⑤ $\frac{mR^2}{4}$

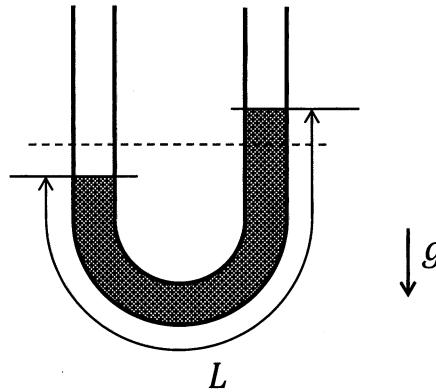
Ⅲ-21 下図のように、長さ l の一様な細い棒が、一端を軸として摩擦なしに回転できるようになっている。この棒を水平にして静止させ、次に静かに手を放して回転させる。このとき、鉛直になった瞬間における棒の角速度として、最も適切なものはどれか。ただし、 g は重力加速度とする。

- ① $\sqrt{\frac{6g}{l}}$
 ② $\sqrt{\frac{2g}{l}}$
 ③ $\sqrt{\frac{3g}{l}}$
 ④ $\sqrt{\frac{g}{2l}}$
 ⑤ $\sqrt{\frac{g}{l}}$



Ⅲ-22 下図のように、U字管において密度 ρ ，断面積 A ，長さ L の液柱が破線で示す静的なつり合い位置を中心に微小振動している。次のうち、この液柱の固有角振動数として、最も適切なものはどれか。ただし、 g は重力加速度とし、管壁と液柱との間の摩擦は無視できるものとする。

- ① $\sqrt{\frac{4g}{\rho AL}}$
- ② $\sqrt{\frac{2g}{L}}$
- ③ $\sqrt{\frac{g}{\rho AL}}$
- ④ $\sqrt{\frac{g}{L}}$
- ⑤ $\sqrt{\frac{4g}{L}}$



Ⅲ-23 魔法瓶の中に氷水が入っており、氷2.0kgがゆっくりと時間をかけて融解した。この間、氷水の温度は0℃であったとして、魔法瓶内部のエントロピー変化に最も近い値はどれか。ただし、氷の融解潜熱を334kJ/kgとする。

- ① 0.8kJ/K ② 1.2kJ/K ③ 1.6kJ/K ④ 2.0kJ/K ⑤ 2.4kJ/K

Ⅲ-24 下図は、ディーゼルサイクルの p - V (圧力-体積) 線図である。図中の 1, 2, 3, 4 は各行程の始点と終点を意味する。ディーゼルサイクルの理論熱効率として最も適切なものはどれか。ただし, 1, 2, 3, 4 に対応する温度を T_1, T_2, T_3, T_4 とし, 定圧比熱, 定積比熱をそれぞれ c_p, c_v とする。

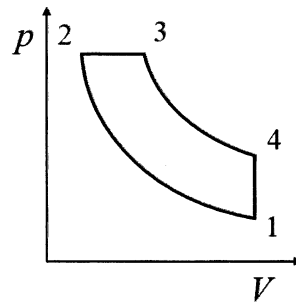
①
$$\frac{c_p(T_3 - T_2) - c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_4 - T_1)}$$

②
$$\frac{c_p(T_2 - T_3) - c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_4 - T_1)}$$

③
$$\frac{c_p(T_3 - T_2) - c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)}$$

④
$$\frac{c_p(T_2 - T_3) - c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_2 - T_3)}$$

⑤
$$\frac{c_p(T_2 - T_3) - c_v(T_1 - T_4)}{c_v(T_4 - T_1)}$$

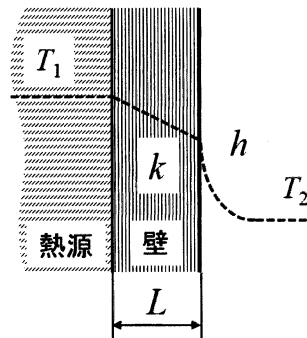


Ⅲ-25 比熱，温度伝導率（又は熱拡散率），比エンタルピーのSI単位の正しい組合せとして，最も適切なものはどれか。

	比熱	温度伝導率 (又は熱拡散率)	比エンタルピー
①	J / (kg·K)	W / (m·K)	J / kg
②	J / (kg·K)	m ² / s	J / kg
③	W / (kg·K)	m ² / s	W / kg
④	J / (m ³ ·K)	J / (m·K)	J / (kg·K)
⑤	J / (m ³ ·K)	W / (m ² ·K)	J / (kg·K)

Ⅲ-26 下図に示すように，一定温度 T_1 の熱源の表面に壁が設置されており，その壁の表面が温度 T_2 の外気にさらされている。壁の厚さを L ，熱伝導率を k ，壁表面での熱伝達率を h とするとき，定常状態において熱源から外気に伝わる熱流束として，最も適切なものはどれか。

- ① $\frac{kh}{hL+k}(T_1-T_2)$
- ② $\frac{kh}{hL+2k}(T_1-T_2)$
- ③ $\frac{hL+k}{L}(T_1-T_2)$
- ④ $\frac{2hL+k}{L}(T_1-T_2)$
- ⑤ $\frac{hL+2k}{L}(T_1-T_2)$



Ⅲ-27 大きさが $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ で成績係数 (COP : Coefficient of Performance) が 2 の冷凍庫を考える。この冷凍庫が厚さ 5 cm 、熱伝導率 $0.05\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の断熱材で覆われている。冷凍庫の内壁面と断熱材の外表面の温度をそれぞれ -20°C 、 20°C で一定とするとき、年間の電力使用量に最も近い値はどれか。ただし、冷凍庫からの冷熱の散逸は 6 面すべてから均一に生じるものとする。

- ① 2.9 kWh ② 175 kWh ③ 526 kWh ④ 1050 kWh ⑤ 2100 kWh

Ⅲ-28 理想気体の断熱変化 (等エントロピー変化) では、圧力、体積、温度、比熱比をそれぞれ p 、 V 、 T 、 γ とすると、 pV^γ が一定となる関係が成立する。これより導かれる関係として、最も適切なものはどれか。

- ① $p^\gamma T^{\gamma-1}$ が一定
② $p^\gamma T^{1-\gamma}$ が一定
③ $p^\gamma T$ が一定
④ $p^{1-\gamma} T^\gamma$ が一定
⑤ $p^{\gamma-1} T^\gamma$ が一定

Ⅲ-29 無風の大気中を、新幹線が 300 km/h の速さで走行している。先頭車両のノーズ部分 (よどみ点) における大気圧からの圧力上昇として最も近い値はどれか。ただし、空気の密度を $1.2\text{ kg}/\text{m}^3$ とする。

- ① 0.10 kPa ② 0.20 kPa ③ 4.2 kPa ④ 8.3 kPa ⑤ 54 kPa

Ⅲ-30 室内の空気を軸流ファンにより室外に排出している。室内の空気は静止しており、排出口では空気の流速は 15 m/s である。排出口の面積は 0.070 m^2 であり、室内と排出口での圧力は同じとみなしてよい。このファンの動力が 0.20 kW のとき、ファンのエネルギー効率として最も近い値はどれか。ただし、空気の密度は $1.2\text{ kg}/\text{m}^3$ とし、管路での摩擦抵抗や流れの旋回は無視する。

- ① 0.04 ② 0.05 ③ 0.56 ④ 0.59 ⑤ 0.71

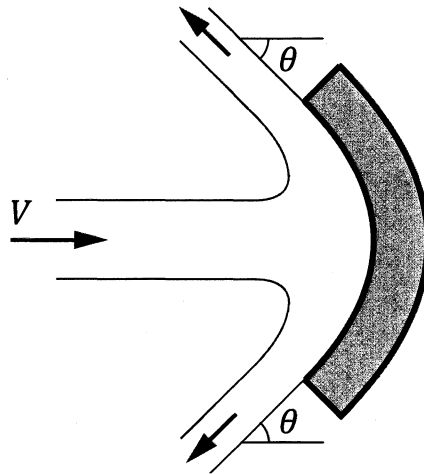
Ⅲ-31 流体力学に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 粘性のない流れをポテンシャル流れと呼ぶ。
- ② 強制渦は渦度の存在しない渦である。
- ③ ひずみと応力が比例関係にある流体をニュートン流体と呼ぶ。
- ④ 非圧縮性流体の連続の式は、流体の密度に依存しない形で与えられる。
- ⑤ 流線・流脈線・流跡線のすべてが一致することはない。

Ⅲ-32 あるジェットエンジンが稼働している。断面積 0.9m^2 のエンジン入口部から平均流速 50m/s で空気が流入し、断面積 0.4m^2 のエンジン出口部から燃焼ガスが流出している。エンジンに供給される燃料の質量流量は流入空気量の2%である。エンジン出口部における燃焼ガスの平均流速として最も近い値はどれか。ただし、空気と燃焼ガスの密度を、それぞれ 1.2kg/m^3 、 0.6kg/m^3 とする。

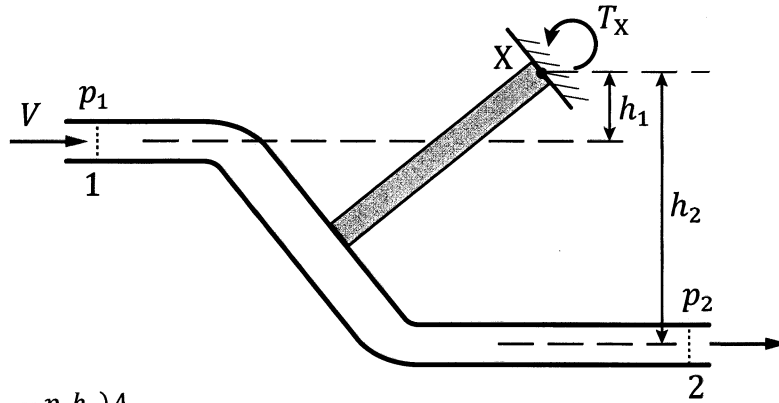
- ① 115m/s ② 138m/s ③ 230m/s ④ 270m/s ⑤ 340m/s

Ⅲ-33 下図に示すように、密度 ρ の流体が流速 V 、断面積 A の噴流となって、曲面状の壁に衝突して2方向に均等に分かれている。噴流の流出方向は曲面に沿っている。重力と粘性の影響を無視するとき、噴流が壁に及ぼす力の大きさを表す式として、最も適切なものはどれか。



- ① $\rho V^2 A (1 + \cos \theta)$
- ② $\rho V^2 A \left(1 + \frac{\cos \theta}{2}\right)$
- ③ $\rho V^2 A (1 - \cos \theta)$
- ④ $\rho V^2 A \left(1 + \frac{\sin \theta}{2}\right)$
- ⑤ $\rho V^2 A (1 + \sin \theta)$

Ⅲ-34 下図に示すように、断面積 A の曲り管が一体化した剛体棒を介して点 X で固定支持されている。曲り管の中には密度 ρ 、平均流速 V の液体が流れ、定常状態となっている。このとき、点 X に作用するトルク T_X を表す式として最も適切なものはどれか。ただし、断面 1 と断面 2 におけるゲージ圧をそれぞれ p_1 、 p_2 ($p_1 > p_2$) とし、断面 1 と断面 2 における中心軸と点 X の距離をそれぞれ h_1 、 h_2 とする。また、断面 1 と断面 2 にトルクは作用しないものとし、重力の影響は無視してよい。



- ① $(p_2 h_2 - p_1 h_1) A$
- ② $(p_2 h_2 - p_1 h_1) A + \rho V^2 A (h_2 - h_1)$
- ③ $\rho V^2 A (h_2 - h_1)$
- ④ $(p_2 h_2 - p_1 h_1) A - \rho V^2 A (h_2 - h_1)$
- ⑤ $(p_2 h_2 + p_1 h_1) A - \rho V^2 A (h_2 + h_1)$

Ⅲ-35 圧力こう配のない空気の一様流中で、流れに平行に置かれた半無限平板上に発達する境界層に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 境界層の特性を表現するために、粘性作用による流量の欠損を表す排除厚さや運動量の欠損を表す運動量厚さが用いられる。
- ② 平板の前縁から発達する層流境界層では、その厚さ δ が近似的に $\delta \approx 5.0\sqrt{\nu x/U}$ と表される。ただし、 x は平板先端からの距離であり、空気は x の正方向に流れている。また、流れ方向速度を U 、動粘性係数を ν とする。
- ③ 層流境界層は、平板に沿った流れ方向に次第に厚くなり、臨界レイノルズ数を超えると、乱流境界層となる。
- ④ 境界層の厚さは、速度が一様流の90%に達する位置で定義される。
- ⑤ 乱流境界層内には壁面の影響が著しい壁領域（内層）があり、内層はさらに3つの領域から成り、壁面側から粘性底層、緩和層（バッファ層）、対数層（対数領域）と呼ばれる。