

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 強度設計に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 使用応力は、基準強さより小さい。
- ② 基準強さは、材料、荷重条件、使用環境などの因子を考慮して決定する。
- ③ 安全率は、材料、荷重条件、使用環境などの因子を考慮して決定する。
- ④ 許容応力に安全率を乗じた値は、基準強さに等しい。
- ⑤ 許容応力は、部材に作用することを許す最小の応力である。

Ⅲ－2 構造用鋼をJIS 4号試験片（直径 $d_0=14.0\text{mm}$ ，標点距離 $l_0=50.0\text{mm}$ ）によって引張試験を行った結果，降伏荷重 $P_s$ は $52.2\text{kN}$ ，最高荷重 $P_{\text{MAX}}$ は $72.4\text{kN}$ で最大荷重時での伸び量 $\lambda_b=10.1\text{mm}$ ，破断時での伸び量 $\lambda_f=21.3\text{mm}$ を記録した。引張強さを真応力（実応力） $(\sigma_B)_t$ で表したとき，最も適切なものはどれか。

- ① 339 MPa
- ② 408 MPa
- ③ 470 MPa
- ④ 565 MPa
- ⑤ 671 MPa

Ⅲ－３ 図に示す同一材料で同一断面積の３つの棒材が、左右対称に回転自由な節点で結合された骨組構造がある。節点Ｃに鉛直方向の引張荷重  $P$  が与えられたとき、Ｃ点の鉛直方向変位  $\delta$  として、適切なものはどれか。ただし、棒材の縦弾性係数を  $E$ 、断面積を  $A$ 、 $AC$  及び  $BC$  の長さを  $l$  とする。また変形量  $\delta$  及び  $AC$ 、 $BC$  の両部材の伸び  $\delta'$  はとても小さく、変形後の角度  $\angle AC'D$  及び  $\angle BC'D$  は、変形前の角度  $\alpha$  とほぼ等しいとする。

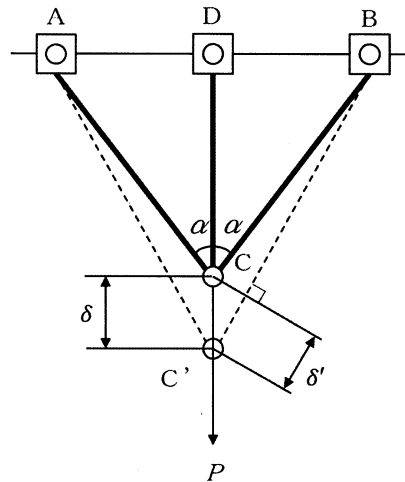
①  $\delta = \frac{Pl}{AE} \frac{\cos \alpha}{1 + 2\cos^3 \alpha}$

②  $\delta = \frac{Pl}{AE} \frac{\sin \alpha}{1 + 2\cos^3 \alpha}$

③  $\delta = \frac{Pl}{AE} \frac{\cos \alpha}{1 + \cos^3 \alpha}$

④  $\delta = \frac{Pl}{AE} \frac{2\cos \alpha}{1 + \sin^3 \alpha}$

⑤  $\delta = \frac{Pl}{AE} \frac{2\cos \alpha}{1 + \cos^3 \alpha}$



Ⅲ－４ 図に示すように、一様断面の長さ  $l$  の単純支持はりに等分布荷重  $w$  が作用している。はりの最大曲げモーメント  $M_{\text{MAX}}$  として、適切なものはどれか。

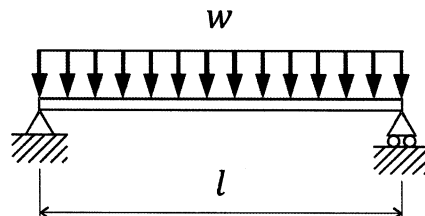
①  $M_{\text{MAX}} = \frac{wl^2}{16}$

②  $M_{\text{MAX}} = \frac{wl^2}{8}$

③  $M_{\text{MAX}} = \frac{wl^2}{4}$

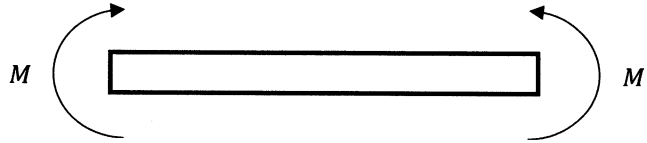
④  $M_{\text{MAX}} = \frac{wl^2}{2}$

⑤  $M_{\text{MAX}} = wl^2$



Ⅲ－５ 高さ60mm，幅20mmの長方形断面の鋼鉄製棒の両端に図に示すように大きさが等しく，向きが逆のモーメントが作用している。この棒が降伏するときの曲げモーメント  $M$  として，適切なものはどれか。ただし，降伏応力  $\sigma_s = 250\text{MPa}$  とする。

- ①  $M = 0.090 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$
- ②  $M = 1.5 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$
- ③  $M = 3.0 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$
- ④  $M = 6.0 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$
- ⑤  $M = 18 \text{ [kN} \cdot \text{m]}$

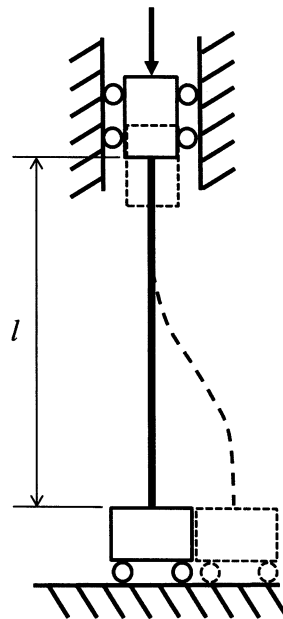


Ⅲ－６ 直径40 mm，伝達動力50 kWの伝動軸を200 rpmで回転させた場合，伝動軸に生じる最大せん断応力に最も近い値はどれか。

- ① 8 MPa      ② 15 MPa      ③ 95 MPa      ④ 190 MPa      ⑤ 380 MPa

Ⅲ－７ 下図に示すように長さ  $l$  の柱がある。柱の上端は水平方向の変位と回転が拘束されており，鉛直方向には自由に動くことができる。一方，柱の下端は鉛直方向の変位と回転が拘束されており，水平方向には自由に動くことができる。この柱の曲げ剛性を  $EI$  とすると座屈荷重として，適切なものはどれか。

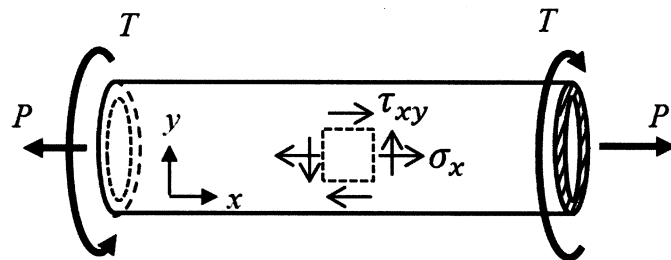
- ①  $\frac{4\pi^2 EI}{l^2}$
- ②  $\frac{2\pi^2 EI}{l^2}$
- ③  $\frac{\pi^2 EI}{l^2}$
- ④  $\frac{\pi^2 EI}{4l^2}$
- ⑤  $\frac{\pi^2 EI}{16l^2}$



Ⅲ－８ 内径100 mm，肉厚1 mmの薄肉の円筒状圧力容器がある。この容器に一定の内圧を加え，端部から離れた円筒部中央の外壁における円筒軸方向のひずみを測定したところ， $40 \times 10^{-6}$ であった。加えた内圧に最も近い値はどれか。ただし，材料の縦弾性係数は200 GPa，ポアソン比は0.3とする。

- ① 0.1 MPa
- ② 0.2 MPa
- ③ 0.4 MPa
- ④ 0.6 MPa
- ⑤ 0.8 MPa

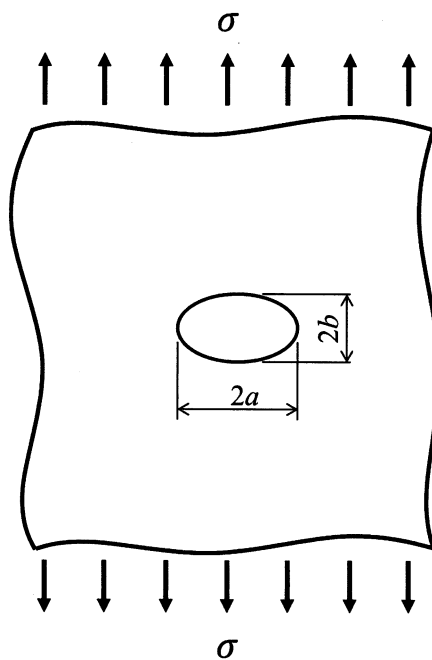
Ⅲ－９ 下図に示すような中空円筒に引張荷重 $P$ とねじりモーメント $T$ を同時に負荷したところ，円筒表面に $\sigma_x = 20 \text{ MPa}$ ， $\tau_{xy} = -15 \text{ MPa}$ の応力が生じた。このとき，円筒表面における最大主応力に最も近い値はどれか。



- ① 35 MPa    ② 28 MPa    ③ 25 MPa    ④ 20 MPa    ⑤ 15 MPa

Ⅲ－10 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  $\sigma$  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ときの  $2a$  と  $2b$  の組合せとして、適切なものはどれか。

- |   | $2a$  | $2b$  |
|---|-------|-------|
| ① | 10 mm | 40 mm |
| ② | 10 mm | 20 mm |
| ③ | 40 mm | 40 mm |
| ④ | 20 mm | 10 mm |
| ⑤ | 40 mm | 10 mm |



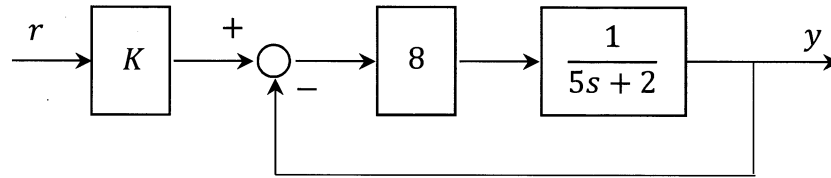
Ⅲ－11 次の状態方程式、出力方程式で表される系が不可観測となるとき、 $a$  の値として、適切なものはどれか。

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & a \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = [-1 \ 1 \ 0]x$$

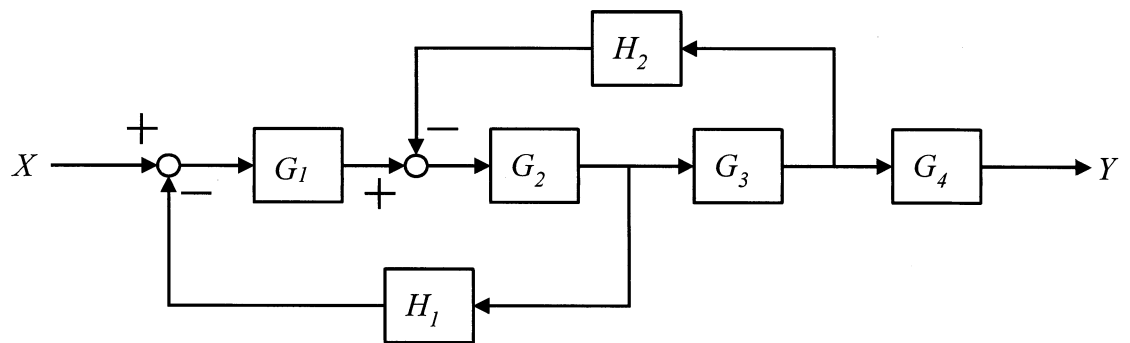
- ① -4      ② -2      ③ 0      ④ 2      ⑤ 4

Ⅲ－12 ステップ目標値に出力  $y(t)$  を追従させることを目的とした下図の制御系において、定常位置偏差が0となるゲイン  $K$  として、適切なものはどれか。



- ①  $-5$     ②  $-5/4$     ③  $0$     ④  $5/4$     ⑤  $5$

Ⅲ－13 次のブロック線図の入力  $X$  と出力  $Y$  の間の伝達関数として、適切なものはどれか。

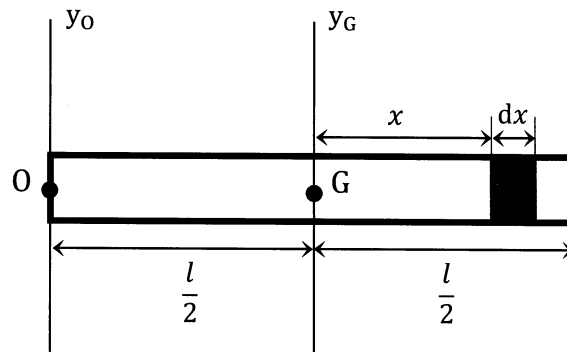


- ①  $G_1 G_2 G_3 G_4$
- ②  $\frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + G_1 G_2 G_3 G_4 H_1 H_2}$
- ③  $\frac{G_1 G_2}{1 + H_1 G_2 G_3} \cdot \frac{G_2 G_3}{1 + H_2 G_2 G_3} \cdot G_4$
- ④  $\frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + H_1 G_1 G_2 + H_2 G_3 G_4}$
- ⑤  $\frac{G_1 G_2 G_3 G_4}{1 + H_1 G_1 G_2 + H_2 G_2 G_3}$

Ⅲ－14 次の特性方程式を持つフィードバック制御系のうち、安定な系として、適切なものはどれか。ただし、 $s$ は複素数でラプラス変換のパラメータとする。

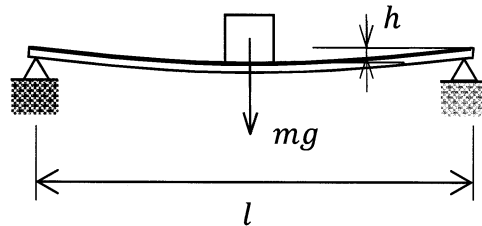
- ①  $s^3 + 20s^2 + 9s + 200 = 0$
- ②  $s^3 + 20s^2 - 9s + 200 = 0$
- ③  $s^3 + 20s^2 + 9s + 100 = 0$
- ④  $s^3 + 20s^2 - 9s + 100 = 0$
- ⑤  $s^3 + 20s^2 + 9s = 0$

Ⅲ－15 下図のように、質量 $m$ 、長さ $l$ の一樣な棒の重心 $G$ を通る $y_G$ 軸、及び端点 $O$ を通る $y_O$ 軸まわりの慣性モーメントの組合せとして、適切なものはどれか。



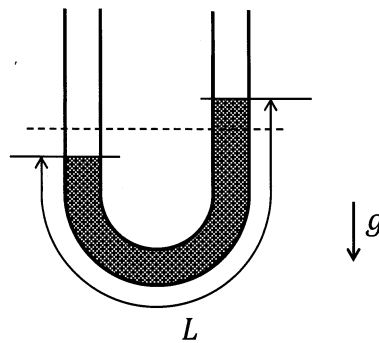
- ① 重心 $G$ を通る $y_G$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{12}$ ， 端点 $O$ を通る $y_O$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{3}$
- ② 重心 $G$ を通る $y_G$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{24}$ ， 端点 $O$ を通る $y_O$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{3}$
- ③ 重心 $G$ を通る $y_G$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{3}$ ， 端点 $O$ を通る $y_O$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{3}$
- ④ 重心 $G$ を通る $y_G$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{12}$ ， 端点 $O$ を通る $y_O$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{8}$
- ⑤ 重心 $G$ を通る $y_G$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{24}$ ， 端点 $O$ を通る $y_O$ 軸まわり： $\frac{ml^2}{8}$

Ⅲ－16 下図のように、長さ $l$ の両端支持はりの中央に質量 $m$ のおもりをのせたところ、はりの中央で $h$ だけたわむことが分かった。はりの質量はおもりの質量に比べて十分小さいとしたとき、この系の固有角振動数として、適切なものはどれか。ただし、重力加速度を $g$ とし、はりからおもりが離れることはないものとする。



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

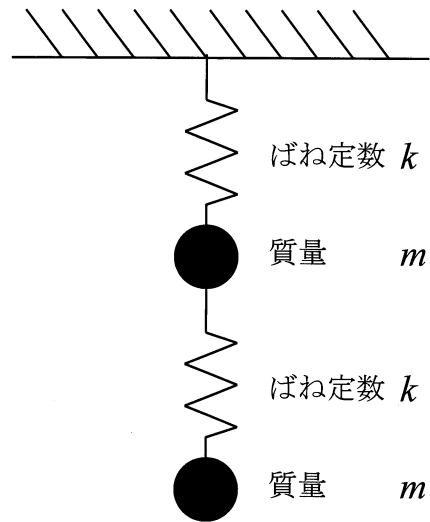
Ⅲ－17 下図のように、断面積 $A$ のU字管において密度 $\rho$ 、長さ $L$ の液体が破線で示す静的なつり合い位置を中心に自由振動している。この周期として、適切なものはどれか。ただし、重力加速度を $g$ とし、U字管と液体の摩擦は無視できるものとする。



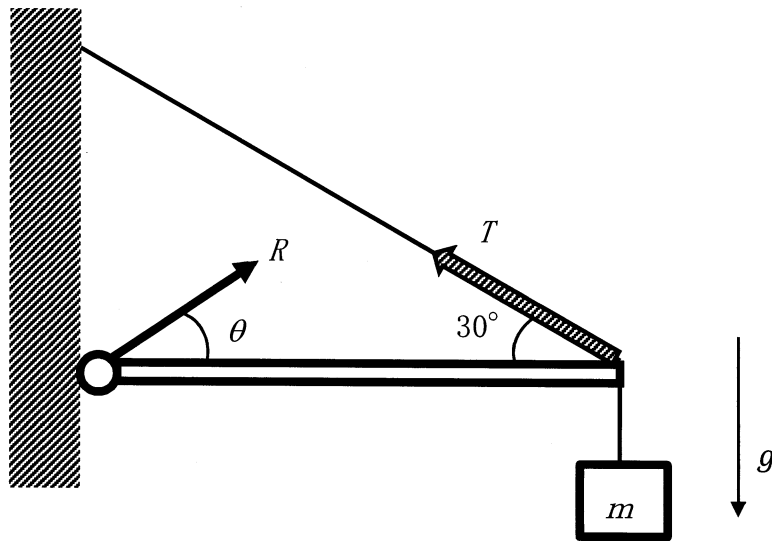
- ①  $2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$     ②  $2\pi\sqrt{\frac{g}{L}}$     ③  $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$     ④  $4\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$     ⑤  $2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}}$

Ⅲ－18 下図に示す2自由度振動系の固有角振動数 $\omega$ を求めるための振動数方程式として、適切なものはどれか。

- ①  $m^2\omega^4 - 2mk\omega^2 + k^2 = 0$
- ②  $m^2\omega^4 - 3mk\omega^2 + k^2 = 0$
- ③  $m^2\omega^4 - 2mk\omega^2 - k^2 = 0$
- ④  $m^2\omega^4 - 3mk\omega^2 + 2k^2 = 0$
- ⑤  $m^2\omega^4 - 4mk\omega^2 + 3k^2 = 0$



Ⅲ－19 下図のように、一端が回転支持されて、他端がロープで支えられた一様な棒の先端に、質量  $m$  のおもりを吊り下げる。ロープが水平と  $30^\circ$  の角をなすとき、棒と反力  $R$  のなす角を  $\theta$  とする。このとき、支点における反力  $R$  とロープの張力  $T$ 、反力  $R$  のなす角  $\theta$  の組合せとして、適切なものはどれか。ただし、重力加速度は  $g$  とし、棒の質量は無視できるものとする。



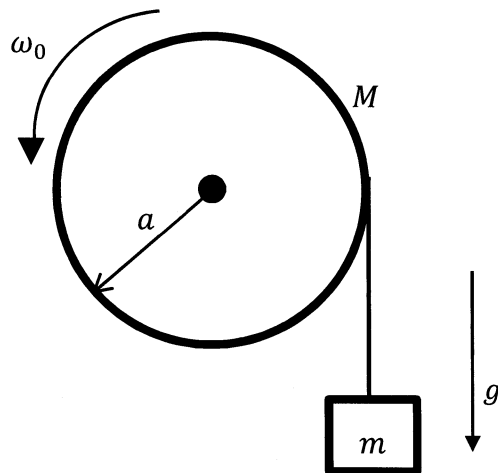
- ①  $R = 2mg, T = 2mg, \theta = 30^\circ$
- ②  $R = \sqrt{3}mg, T = 2mg, \theta = 0^\circ$
- ③  $R = 2mg, T = \sqrt{3}mg, \theta = 0^\circ$
- ④  $R = \frac{\sqrt{3}}{2}mg, T = 2mg, \theta = 0^\circ$
- ⑤  $R = \frac{1}{\sqrt{3}}mg, T = 2mg, \theta = 0^\circ$

Ⅲ－20 振動系における減衰振動に関する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

- ① 減衰比は1より大きくなることはない。
- ② 減衰が存在せず、系が振動するとき、共振時の応答は無限大の振幅になる。
- ③ 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。
- ④ 減衰が存在し、系が振動するとき、固有角振動数は減衰がないときに比べて小さくなる。
- ⑤ 系が外部からの励振により強制振動するとき、周波数応答における位相差の変化は、減衰があるときのほうが（減衰がないときに比べて）ゆるやかになる。

Ⅲ－21 下図のように、水平回転軸を持つ半径  $a$ 、質量  $M$  の円柱に糸を巻き付け、その自由端に質量  $m$  のおもりがつけてある。いま、この円柱に、糸が巻かれる向きに初期角速度  $\omega_0$  を与えたとき、止まるまでにおもりが上がる距離として、適切なものはどれか。ただし、重力加速度は  $g$  とし、糸の質量は無視できるものとする。また、摩擦や空気抵抗のような非保存力は一切作用しないものとする。

- ①  $\frac{a^2 \omega_0^2}{2mg} M$
- ②  $\frac{a^2 \omega_0^2}{4mg} M$
- ③  $\frac{a^2 \omega_0^2}{2g}$
- ④  $\frac{(M+m)a^2 \omega_0^2}{2mg}$
- ⑤  $\frac{(M+2m)a^2 \omega_0^2}{4mg}$



Ⅲ－22 「弦の横振動（波動）」を表す運動方程式（波動方程式）として、適切なものはどれか。ただし、 $u$ は弦の微小要素の変位または角変位、 $m$ は質量、 $k$ はばね定数、 $T$ は張力、 $\rho$ は密度または線密度、 $E$ は縦弾性係数、 $G$ は横弾性係数、 $I$ は断面2次モーメント、 $A$ は断面積、 $t$ は時間、 $x$ は弦の長手方向座標を表すものとする。

①  $\frac{d^2u}{dt^2} = -\frac{k}{m}u$

②  $\frac{\partial^2u}{\partial t^2} = \frac{T}{\rho} \frac{\partial^2u}{\partial x^2}$

③  $\frac{\partial^2u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2u}{\partial x^2}$

④  $\frac{\partial^2u}{\partial t^2} = \frac{G}{\rho} \frac{\partial^2u}{\partial x^2}$

⑤  $\frac{\partial^2u}{\partial t^2} = -\frac{EI}{\rho A} \frac{\partial^4u}{\partial x^4}$

Ⅲ－23 理想気体に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 温度一定の状態では、圧力と容積の積が一定である。
- ② 比熱比とは、定圧比熱を定積比熱で割った値である。
- ③ 一般気体定数は、気体の種類に依らず一定である。
- ④ 比エンタルピー変化は、定積比熱と温度差の積で表される。
- ⑤ 2原子気体の比熱比は、3原子気体の比熱比よりも大きい。

Ⅲ－24 質量1.00kgの理想気体を一定圧力の下で温度を200Kから600Kまで加熱した。

このとき、(ア) 内部エネルギー変化量、(イ) エンタルピー変化量、(ウ) エントロピー変化量、(エ) 加えられた熱量、の組合せとして、最も適切なものはどれか。ただし、理想気体の定積比熱は $1.71\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、定圧比熱は $2.23\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ とし、自然対数 $\ln 3 \div 1.10$ とする。

|   | ア     | イ     | ウ                        | エ     |
|---|-------|-------|--------------------------|-------|
| ① | 892kJ | 684kJ | $2.45\text{kJ}/\text{K}$ | 684kJ |
| ② | 684kJ | 892kJ | $2.45\text{kJ}/\text{K}$ | 892kJ |
| ③ | 892kJ | 684kJ | $1.88\text{kJ}/\text{K}$ | 684kJ |
| ④ | 684kJ | 892kJ | $1.88\text{kJ}/\text{K}$ | 892kJ |
| ⑤ | 892kJ | 684kJ | $1.88\text{kJ}/\text{K}$ | 892kJ |

Ⅲ－25 次の記述の、に入る数字の組合せとして、最も適切なものはどれか。

ある層流強制対流条件下で、ヌセルト数 $Nu$ はレイノルズ数 $Re$ の $1/2$ 乗とプラントル数 $Pr$ の $1/3$ 乗の積に比例する形で表されたとする( $Nu \propto Re^{1/2} \times Pr^{1/3}$ )。このとき、対流熱伝達率は流体の熱伝導率の乗、粘性率の乗に比例する。

|   | ア      | イ      |
|---|--------|--------|
| ① | $-1/3$ | $-1/6$ |
| ② | $1/3$  | $-5/6$ |
| ③ | $-1/3$ | $-5/6$ |
| ④ | $2/3$  | $-1/6$ |
| ⑤ | $4/3$  | $-5/6$ |

Ⅲ－26 熱機関に関する次の記述のうち、適切なものはどれか。

- ① オットーサイクルの理論サイクルは、断熱過程と等温過程で構成される。
- ② ディーゼルサイクルの理論サイクルは、断熱過程と等積過程、等圧過程で構成される。
- ③ 圧縮比が等しいとき、オットーサイクルの理論熱効率はやディーゼルサイクルより小さい。
- ④ ディーゼルサイクルにおいて、圧縮比を低くすると理論熱効率は向上する。
- ⑤ オットーサイクルの理論熱効率は、使用する作動流体の比熱比が小さいほど大きい。

Ⅲ－27 温度300℃における乾き度0.650の湿り蒸気の比エントロピーに最も近い値はどれか。ただし、この温度における飽和水、飽和蒸気の比エントロピーを、それぞれ3.255kJ/(kg・K)、5.706kJ/(kg・K)とする。

- ① 2.00 kJ/(kg・K)
- ② 3.70 kJ/(kg・K)
- ③ 4.11 kJ/(kg・K)
- ④ 4.48 kJ/(kg・K)
- ⑤ 4.85 kJ/(kg・K)

Ⅲ－28 直径1.5mmの金属線が温度300Kの水中に水平に設置されている。金属線を加熱すると、金属線の表面温度が350Kで一定となった。金属線の単位長さ当たりの発熱量を150W/mとすると、金属線表面と水の間熱伝達率として、最も近い値はどれか。

- ①  $3.0 \times 10^1$  W/(m<sup>2</sup>・K)
- ②  $3.2 \times 10^2$  W/(m<sup>2</sup>・K)
- ③  $6.4 \times 10^2$  W/(m<sup>2</sup>・K)
- ④  $1.3 \times 10^3$  W/(m<sup>2</sup>・K)
- ⑤  $2.0 \times 10^3$  W/(m<sup>2</sup>・K)

Ⅲ－29 厚さ60.0mmのコンクリート壁の表面に厚さ50.0mmの鉄板が貼り合わさっている。鉄板の表面は温度20.0℃の外気に接しており、コンクリート壁の表面は温度500℃に保たれている。このとき、コンクリート壁と鉄板の界面の温度として、最も近い値はどれか。ただし、コンクリートと鉄の熱伝導率はそれぞれ1.00W/(m・K)、40.0W/(m・K)とし、鉄とコンクリートの間における接触熱抵抗は無視できるとする。

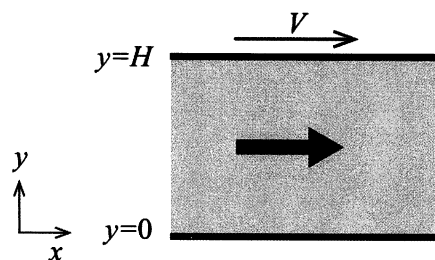
- ① 29.8℃    ② 31.7℃    ③ 34.0℃    ④ 260℃    ⑤ 490℃

Ⅲ－30 図に示す高さ  $H$  の二次元平行平板間流路に粘性係数  $\mu$  のニュートン流体が満たされている。上下壁ともに静止し、 $x$  方向に一定の圧力勾配  $K$  で流れを駆動し、層流のとき、 $x$  方向速度  $u$  は

$$u(y) = \frac{K}{2\mu}(-y^2 + Hy)$$

であった。圧力勾配  $K$  で駆動したまま、上側平板のみを速度  $V$  で  $x$  軸に平行に動かしたところ、流れは層流のまま、上側平板の壁面せん断応力は0となった。このとき、上側平板の速度  $V$  として、適切なものはどれか。

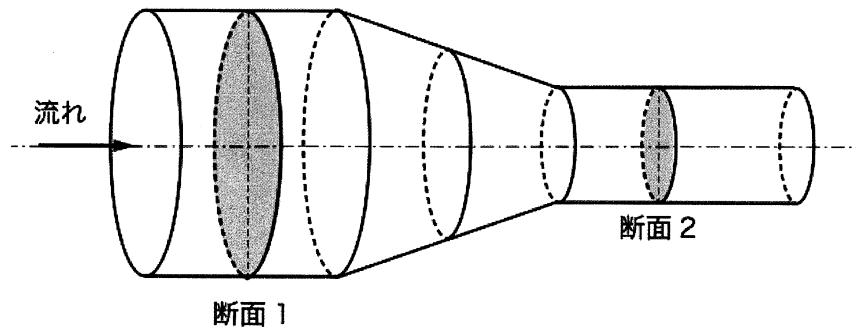
- ①  $V = \frac{K}{2\mu}H^2$   
 ②  $V = \frac{K}{\mu}H^2$   
 ③  $V = -\frac{K}{2\mu}H^2$   
 ④  $V = \frac{K}{12\mu}H^2$   
 ⑤  $V = \frac{K}{8\mu}H^2$



Ⅲ－31 流れが管入り口から発達した流れに達する区間を助走区間という。助走区間の長さである助走距離 $L_e$ は、内径 $d$ の直円管流れにおいてレイノルズ数を $Re$ とすれば、層流では $L_e/d = (0.06 \sim 0.065) Re$ 、乱流では $L_e/d = 20 \sim 40$ である。内径が0.20 mの直円管で、動粘性係数 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の水を、流量 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ で流すとき、この直円管の助走距離 $L_e$ として、最も適切なものはどれか。

- ① 0.2 m    ② 1.2 m    ③ 6.0 m    ④ 12 m    ⑤ 40 m

Ⅲ－32 図に示す円管に密度を  $\rho$  とする流体が流れている。管内はいかなる損失はなく、定常流れであり、流れの圧縮性も無視できる。断面1の半径を  $r_1$ 、断面2の半径を  $r_2$  とし、断面1と2の圧力差は  $\Delta p(>0)$  であった。このときの断面2の速度  $u$  として、適切なものはどれか。



① 
$$u = \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho \left( 1 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^4 \right)}}$$

② 
$$u = \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho \left( 1 - \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right)}}$$

③ 
$$u = \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho \left( 1 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^4 \right)}}$$

④ 
$$u = \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho \left( \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^4 - 1 \right)}}$$

⑤ 
$$u = \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho \left( 1 - \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right)}}$$

Ⅲ－33  $xy$  平面上の 2 次元非圧縮性流れにおいて、 $x$  方向の速度  $u$  が次式で与えられている。

$$u = x^2 + xy$$

このとき、 $y$  方向の速度  $v$  の必要条件を満たす式として、適切なものはどれか。

①  $v = y - 2xy - \frac{1}{2}y^2$

②  $v = -\frac{1}{2}y^2$

③  $v = -xy - \frac{1}{2}y^2$

④  $v = -2xy - \frac{1}{2}y^2$

⑤  $v = -2x - y$

Ⅲ－34 円管内の完全に発達した流れを考える。流体はニュートン流体とし、断面平均流速、管の直径により定義されるレイノルズ数を  $Re$  とする。また、管内の壁面は流体力学的に十分になめらかであるとする。この流れを説明する次の記述のうち、不適切なものはどれか。

① 流れが乱流のとき、放物線 of 速度分布になる。

② 乱流域では、流れに不規則な渦運動が励起され、流体の混合が促進される。

③ 乱流域では、レイノルズ数の増加とともに管摩擦係数は小さくなる。

④ 通常、レイノルズ数が 2300 程度を越えると、流れは層流から乱流に遷移する。

⑤ 流れが層流のとき、管摩擦係数は  $64/Re$  となる。

Ⅲ－35 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は  $v$  であった。水面から深さ  $h$  として、適切なものはどれか。ただし、水の密度を  $\rho$ 、重力加速度を  $g$  とし、粘性の影響は無視する。

- ①  $4v^2/g$     ②  $2v^2/g$     ③  $v^2/g$     ④  $v^2/(2g)$     ⑤  $v^2/(4g)$

## 【正解と解説】

### ●問題Ⅲ-1

正解は⑤

許容応力は、部材の安全を確保するために作用することを許容できる最大の応力である。したがって、部材に作用することを許す最小の応力とする記述は誤りとなる。

### ●問題Ⅲ-2

正解は④

公称応力は最高荷重を初期断面積で割って約470MPaと求まる。体積一定を仮定すると真応力は公称応力に1と公称ひずみの和を乗じることで計算され、約565MPaとなる。

### ●問題Ⅲ-3

正解は①

節点Cの鉛直変位から幾何学的に各棒材の伸びを求め、フックの法則より軸力を表す。鉛直方向の力のつり合い式に代入して変位について整理すると、選択肢1の式が導出される。

### ●問題Ⅲ-4

正解は②

等分布荷重を受ける単純支持はりの曲げモーメントは中央で最大となる。支点反力とおのおのの荷重によるモーメントのつり合いから計算すると、最大曲げモーメントは $wl^2/8$ となる。

### ●問題Ⅲ-5

正解は③

長方形断面の断面係数は幅と高さの2乗の積を6で割ることで12000立方ミリメートルと求まる。これに材料の降伏応力を乗じることで、降伏曲げモーメントとして3.0kN・mが得られる。

### ●問題Ⅲ-6

正解は④

伝達動力と回転数から軸に作用するトルクを計算する。このトルクを直径40mmの円形断面における極断面係数で割ることで、発生する最大せん断応力として約190MPaが算出される。

### ●問題Ⅲ-7

正解は③

両端ともに回転が拘束され、互いに横方向への平行移動のみが許容される支持条件である。この場合の有効座屈長さは柱の全長 $l$ と等しくなるため、座屈荷重は $\pi^2 EI/l^2$ となる。

### ●問題Ⅲ-8

正解は⑤

薄肉円筒容器の軸方向ひずみはフックの法則より $(1-2\nu)pr/(2Et)$ と表される。測定されたひずみ値と容器寸法および材料定数を代入して内圧 $p$ について解くと、0.8MPaとなる。

### ●問題Ⅲ-9

正解は②

二次元応力状態における主応力の計算公式を適用する。平均垂直応力10MPaにモールの応力円の半径である約18MPaを加算することで、最大主応力として約28MPaが算出される。

### ●問題Ⅲ-10

正解は①

一軸引張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。比 $a/b$ が最も小さくなるのは引張方向に長い縦長の楕円孔であるため、 $2a$ が10mmかつ $2b$ が40mmのときとなる。

●問題Ⅲ-11

正解は②

可観測性行列を作成し、系が不可観測となる条件として行列式をゼロとおく。行列式を展開して整理すると $a+2=0$ という一次方程式が得られるため、 $a$ の値はマイナス2となる。

●問題Ⅲ-12

正解は④

閉ループ伝達関数を求め、ステップ入力に対する定常出力を最終値の定理より導く。定常出力が目標値と一致して定常位置偏差がゼロとなる条件を解くことで、 $K=5/4$ が得られる。

●問題Ⅲ-13

正解は⑤

前向き経路の伝達関数と2つのフィードバックループを特定する。両ループは要素 $G_2$ を共有して接触しているため、メイソンの公式を適用して整理すると選択肢5の式が導出される。

●問題Ⅲ-14

正解は③

ラウス・フルビッツの安定判別法を適用する。すべての係数が正であり、かつ2次と1次の係数の積が0次の係数より大きくなる条件を満たすものを判定すると、選択肢3が安定な系となる。

●問題Ⅲ-15

正解は①

一様な細長い棒の重心を通る軸まわりの慣性モーメントは $(1/12)ml^2$ である。これに平行軸の定理を適用して重心からの距離 $l/2$ を考慮すると、端点まわりは $(1/3)ml^2$ となる。

●問題Ⅲ-16

正解は③

静的たわみ $h$ とおもりの質量 $m$ から、はりの等価ばね定数は $mg/h$ と表される。これを1自由度系の固有角振動数の公式に代入して質量を消去することで、ルート $(g/h)$ が導出される。

●問題Ⅲ-17

正解は⑤

液面の変位に伴う復元力と液柱全体の質量から単振動の運動方程式を立てる。固有角振動数がルート $(2g/L)$ となるため、その逆数に $2\pi$ を乗じることで周期は $2\pi$ ルート $(L/(2g))$ となる。

●問題Ⅲ-18

正解は②

各質点の運動方程式を立てて特性行列を導く。振動数方程式は係数行列の行列式をゼロとおくことで得られ、展開して整理すると $m^2\omega^4 - 3mk\omega^2 + k^2 = 0$ となる。

●問題Ⅲ-19

正解は②

棒先端の鉛直方向のつり合いからロープ張力は $2mg$ と求まる。支点における鉛直反力はゼロとなるため反力の角度 $\theta$ は0度となり、水平方向のつり合いから反力 $R$ はルート $3mg$ となる。

●問題Ⅲ-20

正解は①

減衰比が1より大きい状態は過減衰と呼ばれ、系が振動せずに指数関数的に平衡状態へと収束する現象として存在する。したがって、1より大きくなることはないとする記述は誤りとなる。

●問題Ⅲ-21

正解は⑤

円柱の回転運動エネルギーとおもりの並進運動エネルギーの和を計算する。力学的エネルギー保存則より、全運動エネルギーがおもりの位置エネルギーに変換されるとして解くと導出される。

●問題Ⅲ-22

正解は②

微小要素に作用する張力の復元力成分と慣性力のつり合いから運動方程式を導く。波の伝播速度の2乗が張力を線密度で割った値 $T/\rho$ となる波動方程式として選択肢2の式が得られる。

●問題Ⅲ-23

正解は④

理想気体の比エンタルピー変化は定圧比熱と温度変化の積で表される。定積比熱と温度差の積で表されるのは比内部エネルギー変化であるため、選択肢4の記述は不適切となる。

●問題Ⅲ-24

正解は②

内部エネルギー変化は定積比熱から684kJ、エンタルピー変化および等圧熱量は定圧比熱から892kJと求まる。エントロピー変化は定圧比熱に温度比の自然対数を乗じて計算される。

●問題Ⅲ-25

正解は④

ヌセルト数、レイノルズ数、プラントル数の各無次元数の定義式を熱伝達率の式に代入して整理する。熱伝導率の指数は $1-1/3$ で $2/3$ となり、粘性率の指数は $-1/2+1/3$ で $-1/6$ となる。

●問題Ⅲ-26

正解は②

ディーゼルサイクルは等エントロピー断熱圧縮、等圧受熱、等エントロピー断熱膨張、および等容放熱の各過程で構成される熱サイクルであるため、選択肢2の記述が適切となる。

●問題Ⅲ-27

正解は⑤

湿り蒸気の比エントロピーは、飽和水の値に乾き度と蒸発エントロピー変化の積を加算して求められる。与えられた数値を代入して計算すると、約 $4.85\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ となる。

●問題Ⅲ-28

正解は③

金属線の単位長さあたりの伝熱面積を円周長さから計算する。単位長さあたりの発熱量を伝熱面積と温度差50Kの積で割ることで、熱伝達率として約 $6.4 \times 10^2 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ が得られる。

●問題Ⅲ-29

正解は①

各層の厚さを熱伝導率で割って熱抵抗をそれぞれ求める。全体の温度差を熱抵抗比で按分して鉄板側の温度上昇分を計算し、外気温度 $20^\circ\text{C}$ に加算することで界面温度は約 $29.8^\circ\text{C}$ となる。

●問題Ⅲ-30

正解は①

圧力勾配による流速と上側平板のせん断運動による流速を重ね合わせる。上壁面 $y=H$ での速度勾配を計算してゼロとおき、上側平板の速度 $V$ について解くことで選択肢1の式が得られる。

●問題Ⅲ-31

正解は③

流量と管断面積から平均流速を求め、レイノルズ数を計算すると約 $3.2 \times 10^6$ の乱流となる。乱流における助走距離の比20～40に管内径0.20mを乗じることで、約6.0mと求まる。

●問題Ⅲ-32

正解は⑤

連続の式から両断面の流速比を半径比の2乗で表し、ベルヌーイの定理に代入する。圧力差と動圧差の関係から断面2の流速について整理すると、選択肢5の式が正しく導出される。

●問題Ⅲ-33

正解は④

二次元非圧縮性流れの連続の式より、y方向速度のy偏微分はx方向速度のx偏微分に負符号をつけた $-(2x+y)$ となる。これをyについて積分することで、選択肢4の式が導出される。

●問題Ⅲ-34

正解は①

円管内の発達した流れにおいて、断面内の流速分布が放物線状となるのは層流のときである。乱流では管中央部が平坦な流速分布となるため、選択肢1の記述は不適切となる。

●問題Ⅲ-35

正解は④

水面と側壁の穴との間でベルヌーイの定理を適用する。水頭差がすべて流出速度の動圧に変換されるトリチェリの定理より、深さhと流速Vの関係を解くと $V^2/(2g)$ が得られる。