

【01】機械部門

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 A群に示す材料の力学的性質について、これらを評価するための適切な試験がB群にないものはどれか。

A群

- ① 硬さ ② 縦弾性係数 ③ 延性 - ぜい性遷移温度
④ 疲労限度 ⑤ 降伏点

B群

引張試験, ビッカース試験, 破壊靱性試験, シャルピー衝撃試験, クリープ試験

Ⅲ－2 強度設計に関する次の記述のうち、最も不適切なものはどれか。

- ① 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。
② 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。
③ 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。
④ 許容応力に安全率を乗じた値は、基準強さに等しい。
⑤ 使用応力は、基準強さより小さい。

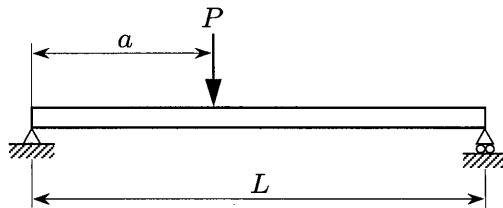
Ⅲ－3 直径 d の丸棒の上端を固定して鉛直に吊り下げるとき、自重によって丸棒が破断しない最大の長さとして最も適切なものはどれか。ただし、丸棒は引張応力が引張強さ σ_B に達したときに破断するとし、丸棒の密度を ρ 、重力加速度を g とする。

- ① $\frac{\rho g}{\sigma_B}$ ② $\frac{\sigma_B}{\rho g}$ ③ $\frac{\pi d^2 \rho g}{4 \sigma_B}$ ④ $\frac{\pi d^2 \rho g}{\sigma_B}$ ⑤ $\frac{4 \sigma_B}{\pi d^2 \rho g}$

Ⅲ－４ 中実丸軸の直径が n 倍になると、最大せん断応力は k 倍になる。 k として最も適切なものはどれか。

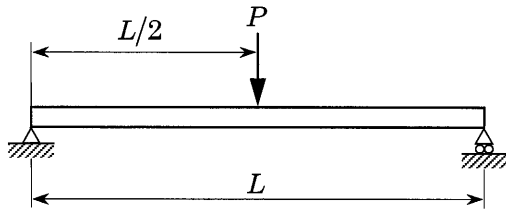
- ① n ② $1/n$ ③ $1/n^2$ ④ $1/n^3$ ⑤ $1/n^4$

Ⅲ－５ 下図に示すように、長さ L の两端単純支持はりに集中荷重 P が作用する。はりの左端から荷重点までの距離 a が 0 から $L/2$ まで変化するとき、 a の関数として表したはり中央（両端からの距離 $L/2$ の位置）の曲げモーメントとして最も適切なものはどれか。

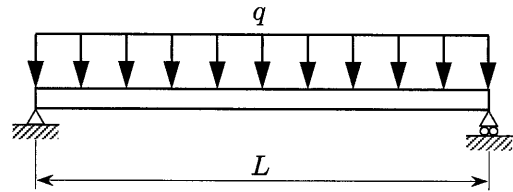


- ① $\frac{LP}{2} - Pa$ ② $\frac{LP}{2} - \frac{P}{2}a$ ③ $\frac{P}{2}a$
- ④ $-\frac{LP}{2} + Pa$ ⑤ $-\frac{LP}{2} - \frac{P}{2}a$

Ⅲ－６ 長さ L の両端単純支持はりに対して、集中荷重 P 又は一様分布荷重 q をそれぞれ下図のように作用させる。集中荷重を受けるときの最大曲げ応力と一様分布荷重を受けるときの最大曲げ応力が等しいとき、 P と q の関係として最も適切なものはどれか。



集中荷重が作用する場合



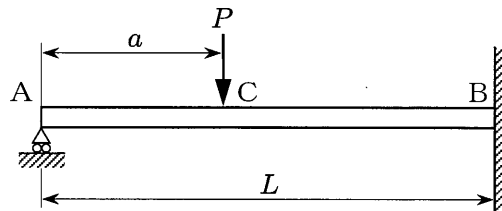
一様分布荷重が作用する場合

- ① $P = qL/2$ ② $P = 2qL/3$ ③ $P = qL$ ④ $P = 3qL/2$ ⑤ $P = 2qL$

Ⅲ－７ 下図に示すように、一端Aが単純支持され、もう一端Bが固定されたはり（長さ L ，曲げ剛性 EI ）の点C（点Aからの距離 a の位置）に集中荷重 P が作用するとき、点Aにおける支持反力を R （図中上向きを正）とおけば、はり全体に蓄えられるひずみエネルギー U は、

$$U = \frac{1}{6EI} [L^3 R^2 - (L-a)^2 (2L+a) PR + (L-a)^3 P^2]$$

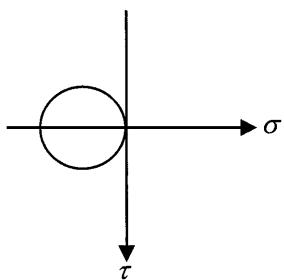
で表せる。点Aにおける支持反力 R として、最も適切なものはどれか。



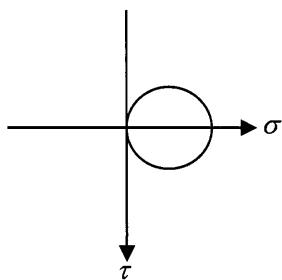
- ① $\frac{L^3}{(L-a)^2(2L+a)} P$ ② $\frac{(L-a)^3}{(L-a)^2(2L+a)} P$ ③ $\frac{2(L-a)^3}{(L-a)^2(2L+a)} P$
- ④ $\frac{(L-a)^2(2L+a)}{L^3} P$ ⑤ $\frac{(L-a)^2(2L+a)}{2L^3} P$

Ⅲ－８ ねじりモーメントを受ける丸軸の表面の応力状態を表すモールの応力円として最も適切なものはどれか。ただし、垂直応力 σ を横軸、せん断応力 τ を縦軸にとる。

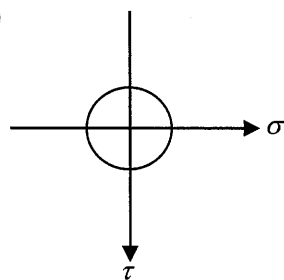
①



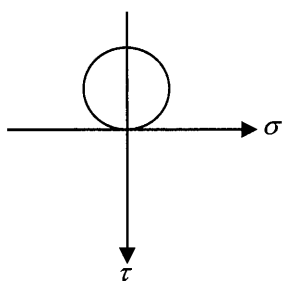
②



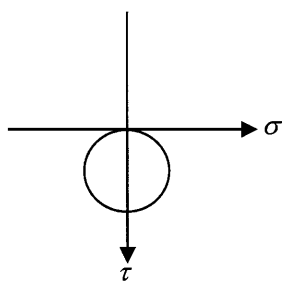
③



④



⑤



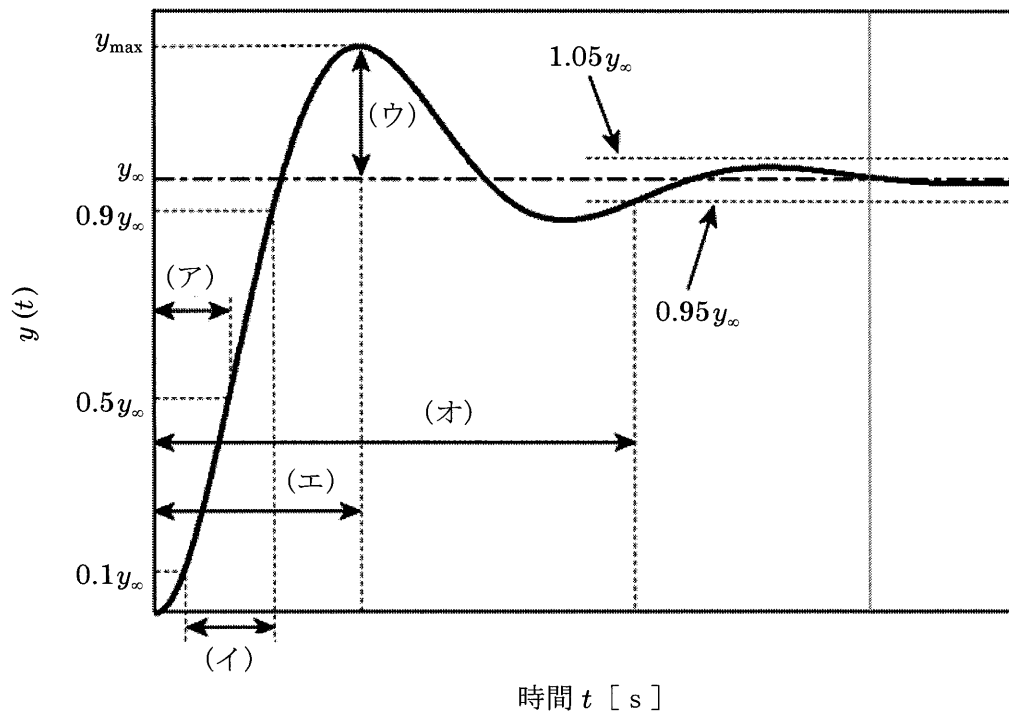
Ⅲ－９ LPガス容器は両端を閉じた薄肉円筒圧力容器とみなすことができ、ある容器の外径は約370 mm、肉厚は約2.5 mmである。この容器に3.0 MPaの内圧が作用するとき、容器の両端から十分離れた円筒部分に生じる円周方向応力 σ_θ と軸方向応力 σ_z の値の組合せとして最も適切なものはどれか。

	σ_θ	σ_z
①	111 MPa	55.5 MPa
②	222 MPa	111 MPa
③	444 MPa	222 MPa
④	111 MPa	111 MPa
⑤	222 MPa	222 MPa

Ⅲ－10 両端が固定された円柱（直径 d ，長さ L ，曲げ剛性 EI ，線膨張係数 α ）がある。この円柱の座屈荷重は、オイラーの公式により $4\pi^2 EI / L^2$ で表せる。この円柱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として最も適切なものはどれか。

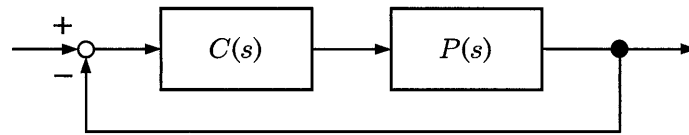
① $\frac{4\pi^2 d^2}{\alpha L^2}$ ② $\frac{2\pi^2 d^2}{\alpha L^2}$ ③ $\frac{\pi^2 d^2}{\alpha L^2}$ ④ $\frac{\pi^2 d^2}{2\alpha L^2}$ ⑤ $\frac{\pi^2 d^2}{4\alpha L^2}$

Ⅲ－１１ ある動的システムのステップ応答を下図に示す。図中の(ア)～(オ)に当てはまる語句の組合せとして最も適切なものはどれか。ここで、 y_{∞} は定常値である。



- | | | | |
|---|--------------|-------------|--------------|
| ① | (ア) 遅れ時間 | (イ) 立ち上がり時間 | (ウ) オーバーシュート |
| | (エ) 整定時間 | (オ) 行き過ぎ時間 | |
| ② | (ア) 立ち上がり時間 | (イ) 遅れ時間 | (ウ) オーバーシュート |
| | (エ) 整定時間 | (オ) 行き過ぎ時間 | |
| ③ | (ア) 整定時間 | (イ) 立ち上がり時間 | (ウ) オーバーシュート |
| | (エ) 遅れ時間 | (オ) 行き過ぎ時間 | |
| ④ | (ア) 遅れ時間 | (イ) 立ち上がり時間 | (ウ) オーバーシュート |
| | (エ) 行き過ぎ時間 | (オ) 整定時間 | |
| ⑤ | (ア) 遅れ時間 | (イ) 立ち上がり時間 | (ウ) 整定時間 |
| | (エ) オーバーシュート | (オ) 行き過ぎ時間 | |

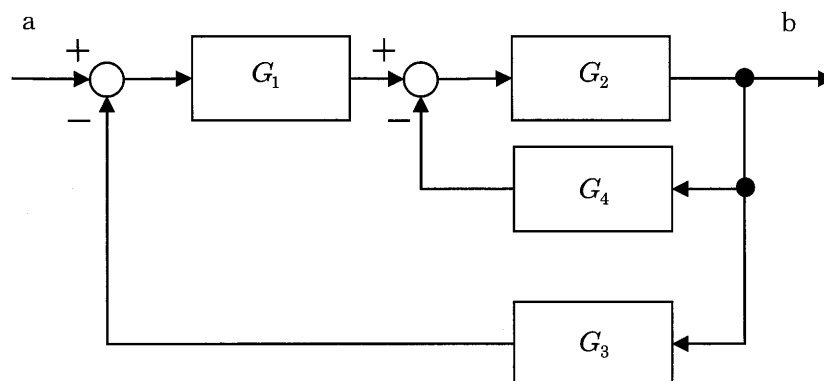
Ⅲ－12 下図に示すフィードバック制御系において、制御対象 $P(s)$ 及びコントローラ $C(s)$ の伝達関数が以下のように与えられている。 $a=-2$ 、 $b=1$ のとき、制御対象の極は $s=2$ となり不安定である。フィードバック制御系が安定になる K_p として最も適切なものはどれか。ここで、 a 、 b 、 K_p はそれぞれ定数とする。



$$P(s) = \frac{b}{s+a}, \quad C(s) = K_p$$

- ① 0 ② -1 ③ 1 ④ 4 ⑤ -5

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。

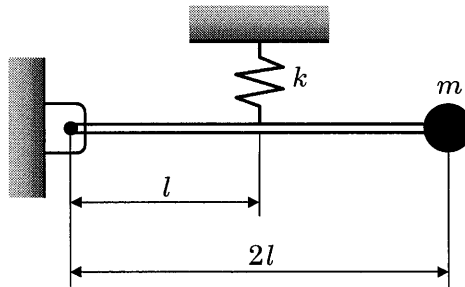


- ① $G_1 + G_2 + G_3 + G_4$ ② $\frac{G_3 + G_4}{G_1 + G_2}$ ③ $\frac{G_1 G_2}{1 + G_2 G_4 + G_1 G_2 G_3}$
- ④ $\frac{G_3}{1 + G_1 + G_2 + G_3}$ ⑤ $\frac{G_2 G_4}{1 + G_1 G_2 G_4 + G_1 G_2 G_3 G_4}$

Ⅲ－14 時間関数 $f(t)$ のラプラス変換が $F(s) = \frac{1}{(s+2)(s-3)}$ であるとき、 $f(t)$ として最も適切なものはどれか。

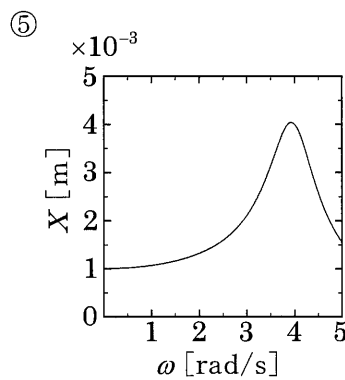
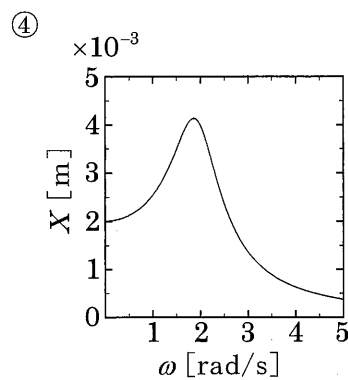
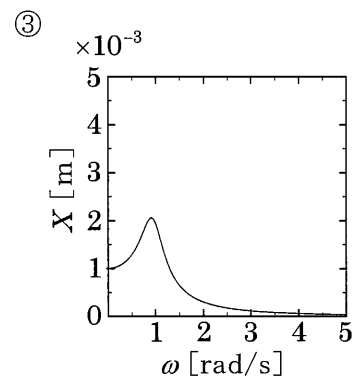
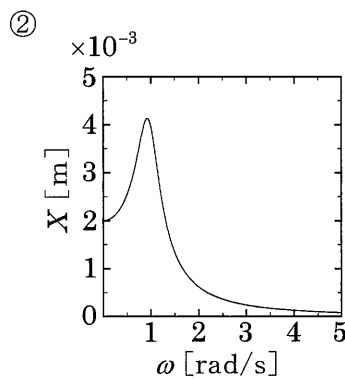
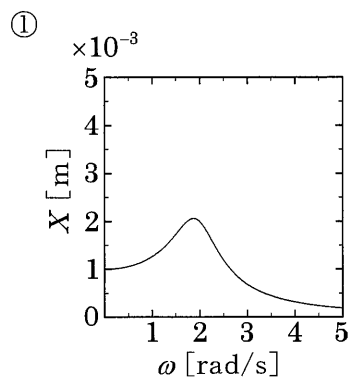
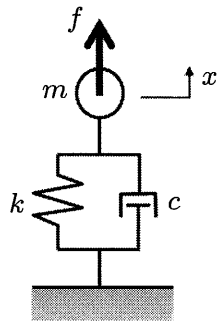
- ① $\frac{1}{5}(e^{3t} - e^{-2t})$ ② $e^{3t} - e^{-2t}$ ③ $\frac{1}{5}(e^{-3t} - e^{2t})$
- ④ $-\frac{1}{5}(e^{3t} + e^{-2t})$ ⑤ $\frac{1}{5}(e^{3t} + e^{-2t})$

Ⅲ－15 下図に示す、左端が回転自由支持され、右端に質量 m の質点に取り付けられた質量の無視できる長さ $2l$ の剛体棒が、左端から距離 l の点においてばね定数 k のばねで支持されている。この棒が微小振動するときの固有角振動数を表す式として、最も適切なものはどれか。



- ① $\sqrt{\frac{k}{2ml}}$ ② $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$ ③ $\sqrt{\frac{k}{m}}$ ④ $\sqrt{\frac{2kl}{m}}$ ⑤ $2\sqrt{\frac{k}{m}}$

Ⅲ－16 下図に示す，質量 m が 1 kg の物体，ばね定数 k が 4 N/m のばね，粘性減衰係数 c が 1 N/(m/s) のダンパからなる 1 自由度振動系において，振幅 F が 0.004 N，角振動数 ω の周期的な力 $f = F \sin \omega t$ が物体に作用するとき，物体の変位は $x = X \sin(\omega t + \phi)$ と表される。このとき，物体の変位 x の振幅 X と作用する力の角振動数 ω の関係を表す周波数応答線図として，最も適切なものはどれか。



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、境界条件の組合せにおいて、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 $w(x)$ とする。

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

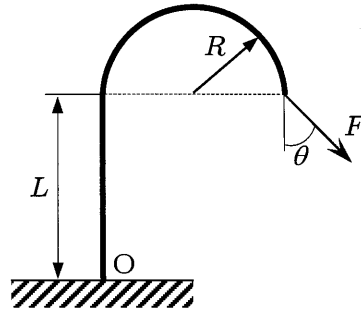
- | (A) | (B) | (C) |
|---------|-------|-------|
| ① 自由端 | 単純支持端 | 固定端 |
| ② 固定端 | 自由端 | 単純支持端 |
| ③ 単純支持端 | 固定端 | 自由端 |
| ④ 固定端 | 単純支持端 | 自由端 |
| ⑤ 自由端 | 固定端 | 単純支持端 |

Ⅲ－18 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。

系が外部から加振されて調和振動するとき、加振力の振幅が一定でもその振動数により、振動の振幅が変化し、ある振動数で振幅が ア になる。この現象を イ という。この現象が生じる振動数を ウ という。 イ では、加振の開始とともに発生した振動が時間とともに増大し、その振幅は、不減衰系では エ になる。

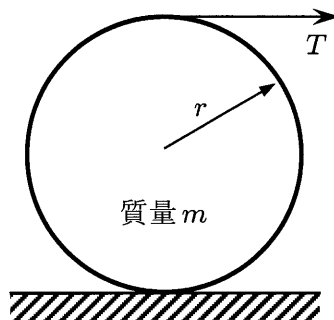
- | | ア | イ | ウ | エ |
|---|----|------|-------|------|
| ① | 極大 | 共振 | 共振振動数 | 有限な値 |
| ② | 零 | 共振 | 励振振動数 | 無限大 |
| ③ | 極小 | 強制振動 | 固有振動数 | 有限な値 |
| ④ | 極大 | 共振 | 共振振動数 | 無限大 |
| ⑤ | 零 | 強制振動 | 固有振動数 | 有限な値 |

Ⅲ－19 下図のように曲がった棒の先端に力 F が作用している。この力 F によって発生する点 O まわりのモーメントの大きさを最も適切なものはどれか。ただし、棒の変形は無視できるものとし、 $\theta = 45^\circ$ とする。



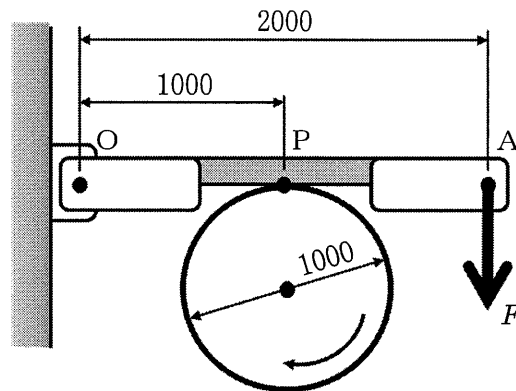
- ① $2RF$ ② $\frac{1}{\sqrt{2}}LF + \sqrt{2}RF$ ③ $LF + 2RF$
 ④ LF ⑤ $\frac{1}{\sqrt{2}}RF + \sqrt{2}LF$

Ⅲ－20 下図のように半径 r 、質量 m の円柱に質量の無視できるロープを巻き付け、ロープを張力 T で水平方向に引いて転がす。円柱と床の間には、滑りはなく摩擦力が作用する。円柱の並進の加速度として最も適切なものはどれか。なお、並進の加速度は張力 T の方向を正とし、円柱の慣性モーメントは $I = mr^2/2$ である。



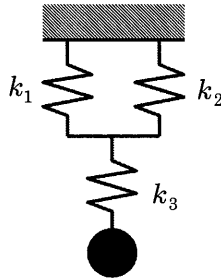
- ① $\frac{T}{m}$ ② $\frac{T}{2m}$ ③ $\frac{4T}{m}$ ④ $\frac{4T}{3m}$ ⑤ $\frac{T}{3m}$

Ⅲ－21 下図のように、摩擦ブレーキが回転している円筒に接触しており、摩擦ブレーキの支点Oと接触点Pと力 F の作用点Aは一直線上にある。円筒表面とブレーキの間の動摩擦係数を0.3、点Oからブレーキの接触点Pまでの距離を1000 mm、点Oから点Aまでの距離を2000 mm、円筒の直径を1000 mm、点Aに作用する力 F を50 Nとする。ブレーキをかけることにより円筒に作用するトルクとして、最も適切なものはどれか。



- ① 7.5 Nm ② 15 Nm ③ 30 Nm ④ 45 Nm ⑤ 60 Nm

Ⅲ－22 ばね定数 k_1 , k_2 , k_3 のばねが下図のように配置されている。 $k_1 = 20 \text{ N/m}$, $k_2 = 30 \text{ N/m}$, $k_3 = 50 \text{ N/m}$ としたとき, 3本のばねの合成ばね定数として, 最も適切なものはどれか。



- ① 15 N/m ② 25 N/m ③ 50 N/m ④ 62 N/m ⑤ 100 N/m

Ⅲ－23 メタンが空気比1.2で完全燃焼する場合, 生成される燃焼排出物のうち CO_2 の体積分率に最も近い値はどれか。ただし, 空気の組成は酸素 O_2 と窒素 N_2 とし, 酸素と窒素の体積比率は1:3.76とする。また, 燃焼生成物中の H_2O は水蒸気とし, 凝縮はしていないものとする。

- ① 0.04 ② 0.08 ③ 0.12 ④ 0.16 ⑤ 0.20

Ⅲ－24 熱伝導率 k の平板の両面が2つの異なる温度の流体と接しており, それぞれの温度を T_h , T_c とする場合について考える。平板の高温側の熱伝達率を h_h , 低温側の熱伝達率を h_c とし, 平板の厚さを L とする。低温側の熱伝達と平板内熱伝導が, 高温側の熱伝達に比べて十分に大きい場合, 熱通過率として最も適切なものはどれか。

- ① h_h ② $1/h_h$ ③ $1/h_c + L/k$ ④ $h_c + k/L$ ⑤ $\ln(1/h_c + L/k)$

Ⅲ－25 水1.5 Lを1.2 kWの電熱器で、20℃から80℃まで加熱するのに必要な時間に最も近い値はどれか。電熱器から水に有効に伝わる熱は50%であるとし、水の蒸発は無視する。

- ① 150 s ② 300 s ③ 630 s ④ 1000 s ⑤ 1260 s

Ⅲ－26 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 比熱比 κ とは、定容比熱 c_v を定圧比熱 c_p で割った値である。
② 2原子分子の比熱比 κ は、3原子分子の比熱比よりも大である。
③ 標準状態において、理想気体として扱う気体のモル数が同じであれば容積は等しい。
④ 温度一定の状態では、圧力と容積の積が一定である。
⑤ 一般ガス定数は、気体の種類によらず一定値である。

Ⅲ－27 重量が1000 kgの自動車を海拔0 mから富士山の高さまで、熱効率40%の熱機関で持ち上げるのに必要なエネルギーをガソリン量に換算すると最も近い値はどれか。ただし、富士山の標高は3776 m、ガソリンの発熱量は34.6 MJ/L、重力加速度は9.8 m/s²とし、持ち上げ時のエネルギー損失は無いものとする。

- ① 1 L ② 3 L ③ 5 L ④ 10 L ⑤ 15 L

Ⅲ－28 床面が一辺 6 m の正方形で高さ 3 m の壁と、床と同じ面積の屋根で覆われた家を考える。家には電気ヒーターが設置され外気温が 0°C のときも室内は 25°C に保たれている。電気ヒーターの消費電力に最も近い値はどれか。ただし、壁と屋根は熱伝導率 $2.3\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、厚さ 10 cm のコンクリートとし、室外と室内の対流熱伝達率はそれぞれ $25\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ と $10\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ とする。また、床は断熱されている。

- ① 1 kW ② 5 kW ③ 10 kW ④ 15 kW ⑤ 30 kW

Ⅲ－29 人は平均して 1 日に 2 L の水を飲み、半分は肺及び皮膚から蒸気として、残りの半分は尿となって体外に排出される。1 日に飲んだ水を体温まで昇温し、肺及び皮膚から蒸気として蒸発させるのに必要なエネルギーに最も近い値はどれか。ただし、飲むときの水の温度は 5°C とし、体温は 36°C 、蒸発潜熱を 2430 kJ/kg 、比熱を $4.18\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ とする。

- ① 2300 kJ ② 2400 kJ ③ 2500 kJ ④ 2600 kJ ⑤ 2700 kJ

Ⅲ－30 風速 20 m/s の風が平板に直角に当たるときに、平板が受ける力に最も近い値はどれか。平板は 1 辺が 1 m の正方形とする。空気の密度は 1.29 kg/m^3 、平板の抗力係数は 1.12 とする。

- ① 50 N ② 100 N ③ 150 N ④ 200 N ⑤ 300 N

Ⅲ－31 高度4000 mの上空を時速950 km/hで飛行する航空機の先端のノーズ部分（よどみ点）における圧力上昇に最も近い値はどれか。ここで、温度0℃、気圧1013 hPaでの空気の密度は 1.29 kg/m^3 とし、高度4000 m上空の空気の温度は4℃、気圧が632 hPaであることを考慮せよ。

- ① 10 hPa ② 20 hPa ③ 200 hPa ④ 300 hPa ⑤ 400 hPa

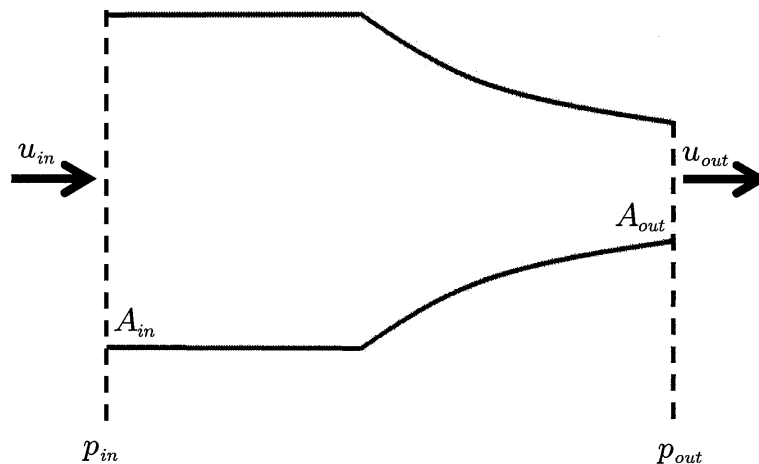
Ⅲ－32 入口と出口の圧力差が一定に保たれている内径 D の円管内部の流れを考える。流量 Q と円管内径 D 及び流体の粘性係数 μ の関係に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。ただし、円管内の流れは非圧縮性であり、また十分に発達しており、定常、かつ層流であるとする。

- ① Q は、 D の1乗に比例し、 μ に反比例する。
② Q は、 D の2乗に比例し、 μ に反比例する。
③ Q は、 D の4乗に比例し、 μ に反比例する。
④ Q は、 D の2乗に比例し、 μ の2乗に反比例する。
⑤ Q は、 D の2乗に比例し、 μ に依存しない。

Ⅲ－33 水槽に内径 D の円管が接続されており、水が流出している。円管の入口部では、断面内で流れは一様であり、その流速を U とする。入口部から助走距離 l_E の位置において、流れは発達し、それより下流では流れ方向に一様な層流となった。 U 、 D 、及び水の動粘性係数 ν に基づくレイノルズ数を用いて、無次元化された助走距離は、 $l_E / D = 0.065 \text{Re}$ で与えられる。助走距離に関する次の記述のうち、最も適切なものはどれか。

- ① 同一の流体、及び管内径において、助走距離は流速の2乗に比例する。
- ② 同一の流体、及び流速において、助走距離は管内径の2乗に比例する。
- ③ 同一の流体、及び流速において、助走距離は管内径に依存しない。
- ④ 同一の流速、及び管内径において、助走距離は動粘性係数の2乗に比例する。
- ⑤ 同一の流速、及び管内径において、助走距離は動粘性係数の2乗に反比例する。

Ⅲ－34 下図のように、水平に置かれた円管の、流入部の面積 A_{in} 、流出部の面積 A_{out} のノズルに水が流れている。流入部での速度が u_{in} 、圧力が p_{in} であり、流出部での速度が u_{out} 、圧力が p_{out} である。流出部の面積 A_{out} が流入部の面積 A_{in} の0.5倍とすると、流入部と流出部との圧力差 $p_{in} - p_{out}$ に最も近い値はどれか。なお、速度は各断面内で一様であり、管の摩擦損失は考慮しない。ここで、水の密度は 1000 kg/m^3 であり、流入部での速度 u_{in} は 10 m/s である。



- ① 1500 Pa ② 3000 Pa ③ 5000 Pa ④ 10000 Pa ⑤ 150000 Pa

Ⅲ－35 xy 平面上の二次元非圧縮流れを考える。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，

$$u = ax + by,$$

$$v = cx + dy,$$

と表されるとき，連続の式を満たすための a, b, c, d の関係を表す適切な式はどれか。

ただし， a, b, c, d は全て実数の定数である。

① $a + b + c + d = 0$ ② $a + d = 0$ ③ $a - d = 0$

④ $b + c = 0$ ⑤ $b - c = 0$

【正解と解説】

●問題Ⅲ-1

正解は④

B群には引張試験（縦弾性係数、降伏点）、ビッカース試験（硬さ）、シャルピー衝撃試験（延性ぜい性遷移温度）などがあるが、疲労限度を評価するための疲労試験（小野式回転曲げ疲労試験など）が含まれていない。

●問題Ⅲ-2

正解は①

許容応力とは、構造物や部材が安全に使用できるように定められる、部材内部に生じることを許される「最大（上限）」の応力である。最小の応力とする記述は誤りである。

●問題Ⅲ-3

正解は②

丸棒の長さを L 、断面積を A とすると、自重による最大引張応力は上端固定部に生じ、 $\sigma = (\rho ALg)/A = \rho gL$ となる。これが引張強さ σB に達するとき、 $\rho gL = \sigma B$ より、最大長さは $L = \sigma B / (\rho g)$ となる。

●問題Ⅲ-4

正解は④

中実丸軸に作用するトルクを T 、直径を d とすると、極断面係数は $Z_p = \pi d^3 / 16$ であり、最大せん断応力は $\tau = T / Z_p = 16T / (\pi d^3)$ である。直径が n 倍になると、最大せん断応力は $(1/n)^3$ 倍となるため、 $k = 1/n^3$ である。

●問題Ⅲ-5

正解は③

荷重点（左端から a ）が $0 \leq a \leq L/2$ にあるとき、はり中央（ $x = L/2$ ）は荷重点より右側にある。左支点の反力は $R_A = P(L-a)/L$ 、右支点の反力は $R_B = Pa/L$ である。はり中央より右側の外力（右支点反力 R_B ）を考慮すると、中央の曲げモーメントは $M = R_B \times (L/2) = (Pa/L) \times (L/2) = (P/2)a$ となる。

●問題Ⅲ-6

正解は①

両端単純支持はりの最大曲げモーメントは、中央集中荷重 P のとき $M_{\max 1} = PL/4$ 、等分布荷重 q のとき $M_{\max 2} = qL^2/8$ である。断面が同一であれば最大曲げ応力が等しいことは最大曲げモーメントが等しいことと同値であるため、 $PL/4 = qL^2/8$ より、 $P = qL/2$ となる。

●問題Ⅲ-7

正解は⑤

カスティリアノの定理（最小仕事の原理）より、不静定反力 R が生じる点A（単純支持端）の鉛直変位は0であるため、 $\partial U / \partial R = 0$ が成り立つ。 U の式を R で偏微分すると、 $\partial U / \partial R = (1/6EI) [2L^3R - (L-a)^2(2L+a)P] = 0$ となり、 $2L^3R = (L-a)^2(2L+a)P$ より、 $R = \{(L-a)^2(2L+a)/(2L^3)\}P$ と求まる。

●問題Ⅲ-8

正解は③

純粋なねじりモーメントを受ける丸軸の表面では、軸方向および周方向の垂直応力は0（ $\sigma_x = \sigma_y = 0$ ）であり、せん断応力 τ のみが作用する純粋せん断状態となる。主応力は $\sigma_1 = \tau$ 、 $\sigma_2 = -\tau$ であるため、モールの応力円の中心は原点（0, 0）にあり、半径は τ となる。

●問題Ⅲ-9

正解は②

内径 $d_i = 370 - 2 \times 2.5 = 365\text{mm}$ 、平均径 $d \doteq 370\text{mm}$ 、肉厚 $t = 2.5\text{mm}$ 、内圧 $p = 3.0\text{MPa}$ とする。薄肉円筒の円周方向応力は $\sigma_\theta = pd/(2t) = 3.0 \times 370 / (2 \times 2.5) = 222\text{MPa}$ 、軸方向応力は $\sigma_z = pd/(4t) = \sigma_\theta / 2 = 111\text{MPa}$ である。

●問題Ⅲ-10

正解は⑤

両端固定円柱の断面積を $A = \pi d^2/4$ 、断面二次モーメントを $I = \pi d^4/64$ とする。温度上昇 ΔT による熱膨張ひずみを拘束することで生じる圧縮軸力は $P = E \alpha \Delta T \cdot A$ である。これがオイラー座屈荷重 $P_{cr} = 4\pi^2 EI/L^2$ と等しくなるとき座屈が生じるため、 $E \alpha \Delta T (\pi d^2/4) = 4\pi^2 E (\pi d^4/64)/L^2$ となる。整理すると $\alpha \Delta T = \pi^2 d^2/(4L^2)$ より、 $\Delta T = \pi^2 d^2/(4\alpha L^2)$ となる。

●問題Ⅲ-11

正解は④

ステップ応答において、出力が目標定常値 y_∞ の50%に達するまでの時間(ア)は「遅れ時間」、10%から90%まで立ち上がるのに要する時間(イ)は「立ち上がり時間」、最大値と定常値の差(ウ)は「オーバーシュート」、最大値に達する時間(エ)は「行き過ぎ時間(ピーク時間)」、許容誤差範囲(±5%以内)に収まるまでの時間(オ)は「整定時間」である。

●問題Ⅲ-12

正解は④

一巡伝達関数は $L(s) = C(s)P(s) = K_p/(s-2)$ である。閉ループ伝達関数は $T(s) = L(s)/(1+L(s)) = K_p/(s-2+K_p)$ となり、閉ループ系の極は $s = 2-K_p$ である。系が安定となる条件は極の実部が負 ($2-K_p < 0$) であるため、 $K_p > 2$ を満たす必要がある。選択肢の中で $K_p > 2$ を満たすのは 4 である。

●問題Ⅲ-13

正解は③

内側のフィードバックループ (G_2 と G_4) の伝達関数は $G_2/(1+G_2G_4)$ である。これと G_1 が直列に接続され、さらに全体に G_3 の負帰還フィードバックがかかっているため、全体の伝達関数は $\{G_1G_2/(1+G_2G_4)\} / [1 + \{G_1G_2/(1+G_2G_4)\}G_3] = G_1G_2 / (1+G_2G_4+G_1G_2G_3)$ となる。

●問題Ⅲ-14

正解は①

部分分数分解を行うと、 $F(s) = 1/\{(s+2)(s-3)\} = (1/5)\{1/(s-3) - 1/(s+2)\}$ となる。逆ラプラス変換すると、 $L^{-1}[1/(s-3)] = e^{(3t)}$ 、 $L^{-1}[1/(s+2)] = e^{(-2t)}$ であるため、 $f(t) = (1/5)(e^{(3t)} - e^{(-2t)})$ となる。

●問題Ⅲ-15

正解は②

微小回転角を θ とすると、右端質点の変位は $2l\theta$ 、ばね支持点の変位は $l\theta$ である。回転軸まわりの慣性モーメントは $J = m(2l)^2 = 4ml^2$ 、ばねによる復元モーメントは $M = -(k \cdot l\theta) \cdot l = -kl^2\theta$ である。運動方程式 $J\theta'' + kl^2\theta = 0$ より、 $4ml^2\theta'' + kl^2\theta = 0$ 、すなわち $\theta'' + \{k/(4m)\}\theta = 0$ となる。したがって固有角振動数は $\omega_n = \sqrt{k/(4m)} = (1/2)\sqrt{k/m}$ である。

●問題Ⅲ-16

正解は①

系の固有角振動数は $\omega_n = \sqrt{k/m} = \sqrt{4/1} = 2 \text{ rad/s}$ である。静的変位は $X_0 = F/k = 0.004/4 = 0.001\text{m} = 1 \times 10^{-3}\text{m}$ である。減衰比は $\xi = c/(2\sqrt{mk}) = 1/(2\sqrt{1 \times 4}) = 1/4 = 0.25$ である。共振周波数は $\omega_r = \omega_n \sqrt{1-2\xi^2} = 2\sqrt{1-2 \times 0.0625} = 2\sqrt{0.875} \doteq 1.87 \text{ rad/s}$ であり、共振時の最大振幅は $X_{\max} = X_0 / \{2\xi \sqrt{1-\xi^2}\} = (1 \times 10^{-3}) / \{0.5\sqrt{1-0.0625}\} \doteq (1 \times 10^{-3}) / 0.484 \doteq 2.07 \times 10^{-3}\text{m}$ となる。これに合致するグラフは①である。

●問題Ⅲ-17

正解は④

(A)は変位が0かつたわみ角(傾き)が0であるため「固定端」である。(B)は変位が0かつ曲げモーメント(2階微分)が0であるため「単純支持端」である。(C)は曲げモーメント(2階微分)が0かつせん断力(3階微分)が0であるため「自由端」である。

●問題Ⅲ-18

正解は④

加振振動数が系の固有振動数付近に近づくと振幅が「極大」(ア)になる。この現象を「共振」(イ)といい、その振動数を「共振振動数」(ウ)と呼ぶ。減衰のない不減衰系において共振時の振幅は理論上「無限大」(エ)になる。

●問題Ⅲ-19

正解は②

力Fの作用線の点Oからの距離(腕の長さ)を求めるか、力を水平・鉛直成分に分解して点Oまわりのモーメントを計算する。Fの水平成分は $F \sin \theta$ 、鉛直下向き成分は $F \cos \theta$ である。先端の位置座標は点Oから水平右向きに $R+R=2R$ (半円の直径)、鉛直上向きに L である。点Oまわりのモーメントの大きさは $M = (F \sin \theta) \cdot L + (F \cos \theta) \cdot (2R)$ である。 $\theta = 45^\circ$ より $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2}$ なので、 $M = (1/\sqrt{2})LF + (2/\sqrt{2})RF = (1/\sqrt{2})LF + \sqrt{2} RF$ となる。

●問題Ⅲ-20

正解は④

並進加速度をa、床からの静止摩擦力をf(後向き)とする。並進の運動方程式は $ma = T - f$ である。重心まわりの回転の運動方程式は $I\alpha = T \cdot r + f \cdot r$ である(反時計回りを正)。滑りなく転がる条件 $a = r\alpha$ より、 $I(a/r) = (T+f)r$ 、 $(1/2)mr^2(a/r) = (T+f)r$ となり、 $(1/2)ma = T+f$ である。並進方程式と足し合わせると、 $(3/2)ma = 2T$ となり、 $a = 4T/(3m)$ と求まる。

●問題Ⅲ-21

正解は②

ブレーキレバーの支点Oまわりのモーメントのつり合いより、点Pにおける円筒への垂直抗力をNとすると、 $N \times 1000 = F \times 2000$ より、 $N = 2F = 2 \times 50 = 100\text{N}$ である。接触点Pにおける摩擦力は $f = \mu N = 0.3 \times 100 = 30\text{N}$ である。円筒の半径は $r = 1000/2 = 500\text{mm} = 0.5\text{m}$ であるため、ブレーキトルクは $T = f \cdot r = 30\text{N} \times 0.5\text{m} = 15\text{Nm}$ となる。

●問題Ⅲ-22

正解は②

並列接続されたばねk1とk2の合成ばね定数は $k_p = k_1 + k_2 = 20 + 30 = 50\text{ N/m}$ である。これと直列に接続されたばねk3 (50 N/m) との全体の合成ばね定数kは、 $1/k = 1/k_p + 1/k_3 = 1/50 + 1/50 = 2/50$ より、 $k = 25\text{ N/m}$ となる。

●問題Ⅲ-23

正解は②

メタンの完全燃焼反応式は $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ である。理論酸素量は2molであり、空気比1.2のとき供給酸素量は $2 \times 1.2 = 2.4\text{mol}$ 、同伴窒素量は $2.4 \times 3.76 = 9.024\text{mol}$ である。完全燃焼後の生成物は CO_2 が1mol、 H_2O が2mol、余剰 O_2 が $2.4 - 2 = 0.4\text{mol}$ 、 N_2 が 9.024mol である。全排ガスモル数は $1 + 2 + 0.4 + 9.024 = 12.424\text{mol}$ となり、 CO_2 の体積分率は $1/12.424 \approx 0.0805$ (約0.08) である。

●問題Ⅲ-24

正解は①

熱通過率Uは、熱抵抗の総和の逆数として $1/U = 1/hh + L/k + 1/hc$ で表される。低温側の熱伝達率hcおよび平板の熱伝導率kが非常に大きく、 $1/hc \approx 0$ 、 $L/k \approx 0$ とみなせる場合、熱抵抗は高温側の熱伝達抵抗のみとなり、 $1/U \approx 1/hh$ 、すなわち $U \approx hh$ となる。

●問題Ⅲ-25

正解は③

水1.5L (質量 $m = 1.5\text{kg}$) を 20°C から 80°C ($\Delta T = 60\text{K}$) まで加熱するのに必要な熱量は、水の比熱 $c = 4.18\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ を用いると $Q = mc\Delta T = 1.5 \times 4.184 \times 60 \approx 376.5\text{kJ}$ である。電熱器の有効加熱電力は $P = 1.2\text{kW} \times 0.50 = 0.60\text{kW} = 0.60\text{kJ/s}$ であるため、所要時間は $t = Q/P = 376.5/0.60 \approx 628\text{秒}$ (約630秒) となる。

●問題Ⅲ-26

正解は①

比熱比 γ (または κ) は、定圧比熱 c_p を定容比熱 c_v で割った値 ($\gamma = c_p/c_v$) として定義される。定容比熱を定圧比熱で割った値とする記述は逆であり誤りである。

●問題Ⅲ-27

正解は②

質量 $m=1000\text{kg}$ の自動車を標高 $h=3776\text{m}$ まで持ち上げるのに必要な位置エネルギーは $E=mgh=1000 \times 9.8 \times 3776 \div 3.70 \times 10^7 \text{J} = 37.0\text{MJ}$ である。熱機関の効率が40% (0.40) であるため、必要な入力エネルギーは $E_{in}=E/0.40=37.0/0.40=92.5\text{MJ}$ である。ガソリン 1Lの発熱量が34.6MJであるから、必要なガソリン量は $92.5/34.6 \div 2.67\text{L}$ となり、最も近い値は 3L である。

●問題Ⅲ-28

正解は④

壁の面積は $4 \times (6 \times 3) = 72\text{m}^2$ 、屋根の面積は $6 \times 6 = 36\text{m}^2$ であり、熱損失面積の合計は $A = 72 + 36 = 108\text{m}^2$ である。コンクリート (厚さ $L=0.1\text{m}$ 、 $k=2.3\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) の熱伝導抵抗は $L/k=0.1/2.3 \div 0.0435 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 、室内熱伝達抵抗は $1/h_i=1/10=0.10 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 、室外熱伝達抵抗は $1/h_o=1/25=0.04 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ である。全熱抵抗は $R=1/h_i+L/k+1/h_o=0.10+0.0435+0.04=0.1835 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ となり、熱通過率は $U=1/R \div 5.45 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ である。内外温度差 $\Delta T=25-0=25\text{K}$ に対する熱損失 (ヒーターの消費電力) は $Q=UA\Delta T=5.45 \times 108 \times 25 \div 14,700\text{W} \div 14.7\text{kW}$ となり、約15kWである。

●問題Ⅲ-29

正解は⑤

飲んだ水2L (2kg) 全体を 5°C から 36°C まで昇温させる顕熱は $Q_1=mc\Delta T=2\text{kg} \times 4.18\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \times (36-5)\text{K}=2 \times 4.18 \times 31 \div 259\text{kJ}$ である。そのうち半分 (1kg) を体温で蒸発させる潜熱は $Q_2=1\text{kg} \times 2430\text{kJ}/\text{kg}=2430\text{kJ}$ である。必要な全エネルギーは $Q=Q_1+Q_2=259+2430=2689\text{kJ}$ となり、最も近い値は 2700kJ である。

●問題Ⅲ-30

正解は⑤

平板の面積は $A=1\text{m} \times 1\text{m}=1\text{m}^2$ である。風速 $V=20\text{m}/\text{s}$ 、空気密度 $\rho=1.29\text{kg}/\text{m}^3$ 、抗力係数 $C_D=1.12$ のとき、平板が受ける抗力 (力) は $F=(1/2)\rho V^2 A C_D=0.5 \times 1.29 \times 20^2 \times 1 \times 1.12=0.5 \times 1.29 \times 400 \times 1.12=258 \times 1.12 \div 289\text{N}$ となり、最も近い値は 300N である。

●問題Ⅲ-31

正解は④

飛行速度は $V=950\text{km}/\text{h}=950/3.6 \div 263.9\text{m}/\text{s}$ である。高度4000m ($T=4^\circ\text{C}=277\text{K}$ 、 $p=632\text{hPa}$) での空気密度 ρ は、状態方程式 $\rho=p/(RT)$ より、 $\rho=(632/1013) \times (273/277) \times 1.29 \div 0.624 \times 0.986 \times 1.29 \div 0.793\text{kg}/\text{m}^3$ である。よどみ点における動圧による圧力上昇は $\Delta p=(1/2)\rho V^2=0.5 \times 0.793 \times (263.9)^2 \div 0.5 \times 0.793 \times 69643 \div 27,613\text{Pa} \div 276\text{hPa}$ となり、最も近い値は 300hPa である。

●問題Ⅲ-32

正解は③

ハーゲン・ポアズイユの流れにおいて、管路の圧力損失 Δp と流量 Q の関係は $\Delta p=(128\mu LQ)/(\pi D^4)$ で与えられる。したがって圧力差 Δp が一定のとき、流量 Q は $Q=(\pi D^4 \Delta p)/(128\mu L)$ となり、円管内径 D の4乗に比例し、粘性係数 μ に反比例する。

●問題Ⅲ-33

正解は②

助走距離の式 $IE/D=0.065 \text{Re}$ に、レイノルズ数の定義 $\text{Re}=UD/\nu$ を代入すると、 $IE/D=0.065(UD/\nu)$ となり、両辺に D を乗じると $IE=0.065(U/\nu)D^2$ となる。したがって、同一の流体 (動粘性係数 ν が一定) および流速 U において、助走距離 IE は管内径 D の2乗に比例する。

●問題Ⅲ-34

正解は⑤

連続の式 $A_{in} \cdot u_{in} = A_{out} \cdot u_{out}$ より、流出速度は $u_{out} = (A_{in}/A_{out})u_{in} = (1/0.5) \times 10 = 20 \text{ m/s}$ である。ベルヌーイの定理 $p_{in} + (1/2) \rho u_{in}^2 = p_{out} + (1/2) \rho u_{out}^2$ より、圧力差は $p_{in} - p_{out} = (1/2) \rho (u_{out}^2 - u_{in}^2) = 0.5 \times 1000 \times (20^2 - 10^2) = 500 \times (400 - 100) = 500 \times 300 = 150,000 \text{ Pa}$ である。

●問題Ⅲ-35

正解は②

非圧縮性二次元流れにおける連続の式は $\partial u / \partial x + \partial v / \partial y = 0$ である。 $u = ax + by$ より $\partial u / \partial x = a$ 、 $v = cx + dy$ より $\partial v / \partial y = d$ であるため、連続の式を満たす条件は $a + d = 0$ となる。