令和３年度技術士第一次試験問題〔専門科目〕

【01】機械部門　　　　　　　　　　　　10時30分～12時30分

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群の用語とＢ群を組み合わせたとき，Ａ群の用語の中で対応する適切な用語がＢ群にないものはどれか。

Ａ群

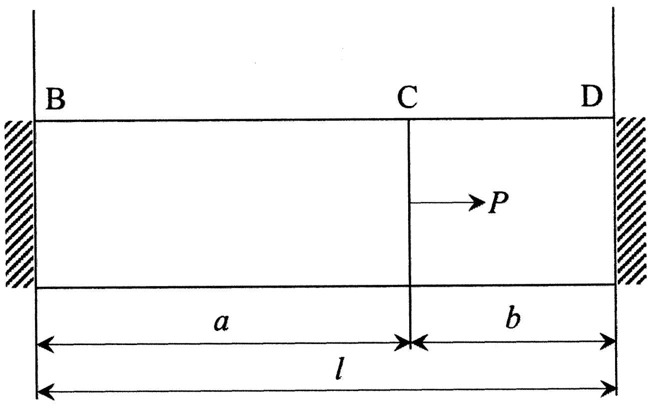
①　ミーゼスの条件　　②　断面係数　　③　応力拡大係数

④　フックの法則　　⑤　せん断応力

Ｂ群

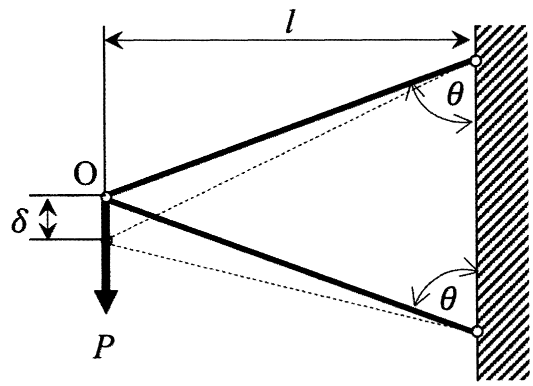
降伏，共役，ヤング率，不静定，相当応力，破壊じん性，真応力

Ⅲ－２　両端を剛体壁によって固定された，長さBD＝l，一様断面積A，縦弾性係数Eの円形断面棒が中間点Ｃ（BC＝a，CD＝b）に軸方向荷重Pを受ける。このとき，Ｃ点の移動量として，適切なものはどれか。



①　$\frac{Pb}{l}\left(\frac{1}{AE}\right)$　　②　$\frac{Pa}{l}\left(\frac{1}{AE}\right)$　　③　$\frac{Pl}{ab}\left(\frac{1}{AE}\right)$　　④　$\frac{l}{Pab}AE$　　⑤　$\frac{Pab}{l}\left(\frac{1}{AE}\right)$

Ⅲ－３　下図に示すように，角度θで剛体壁に取り付けられた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，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 $\dfrac{2Pl}{AE\sin\theta\cos\theta}$

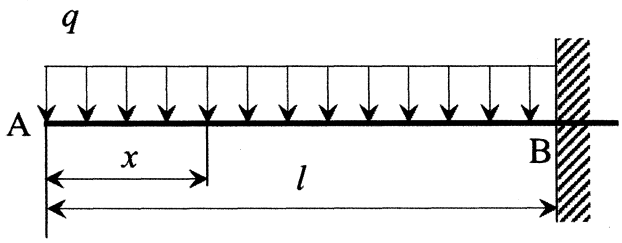
② $\dfrac{4Pl}{AE\sin\theta\cos^2\theta}$

③ $\dfrac{Pl}{2AE\sin\theta\cos^2\theta}$

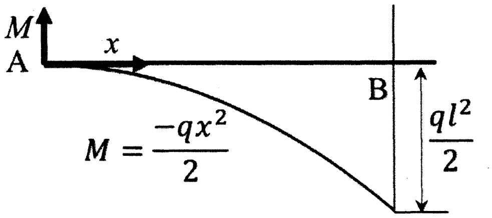
④ $\dfrac{Pl}{AE\sin\theta\cos^2\theta}$

⑤ $\dfrac{Pl}{2AE\sin\theta\cos\theta}$

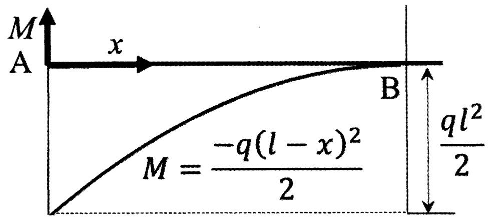
Ⅲ－4　片持ちはりの全長lにわたり一定の分布荷重qが作用する場合を考える。このとき，分布荷重qにより生じる曲げモーメント図として，適切なものはどれか。



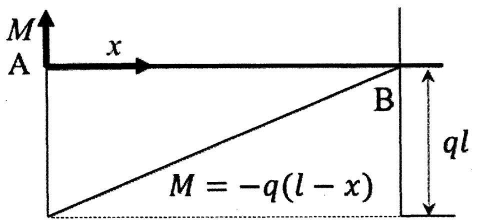
①



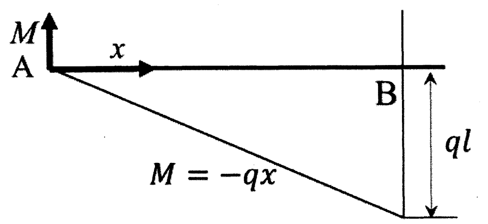
②



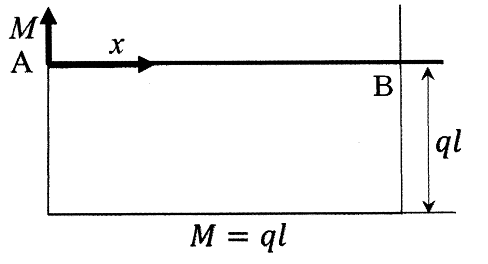
③



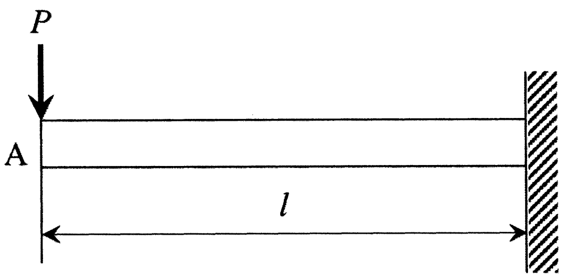
④



⑤

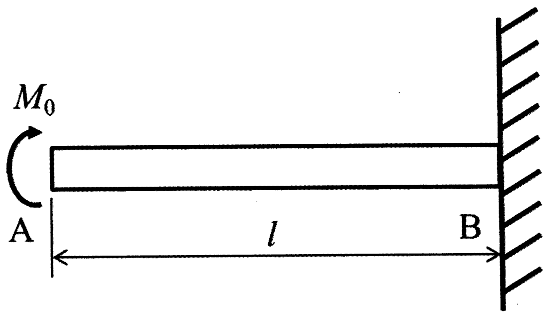


Ⅲ－5　下図に示すように，長さlの片持ちはりの先端（自由端，A点）に集中荷重Pが作用している。はりの最大たわみとして，適切なものはどれか。なお，はりの曲げ剛性をEIとする。



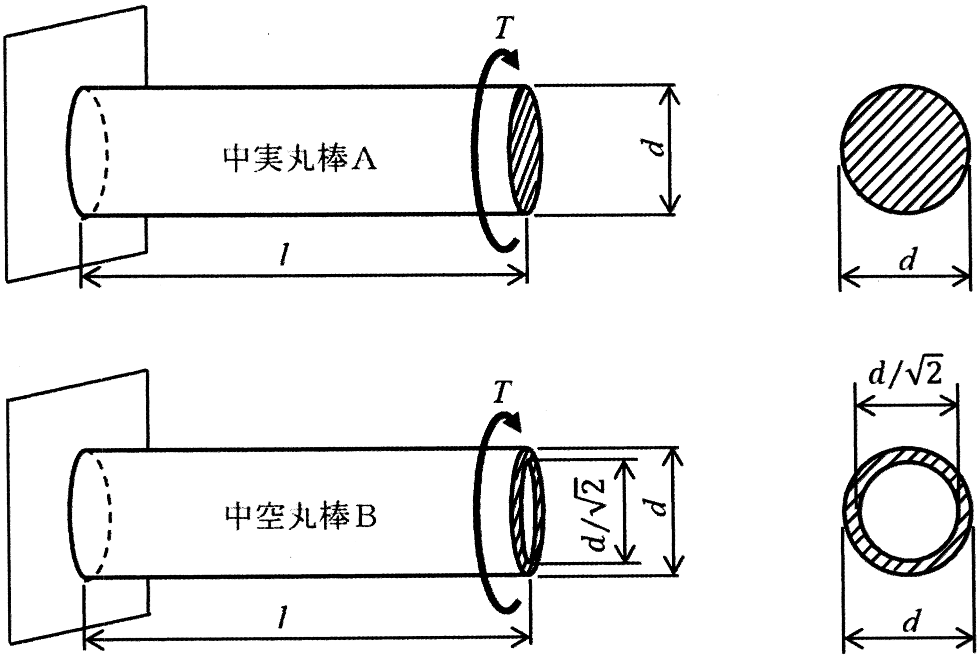
①　$\dfrac{5Pl^3}{48EI}$　②　$\dfrac{Pl^3}{EI}$　③　$\dfrac{2Pl^3}{3EI}$　④　$\dfrac{Pl^3}{3EI}$　⑤　$\dfrac{Pl^3}{6EI}$

Ⅲ－6　下図に示すように，一様断面を持つ長さlのはりが，B端で固定され，A端に集中モーメントM_0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として，適切なものはどれか。ただし，はりの曲げ剛性をEIとする。



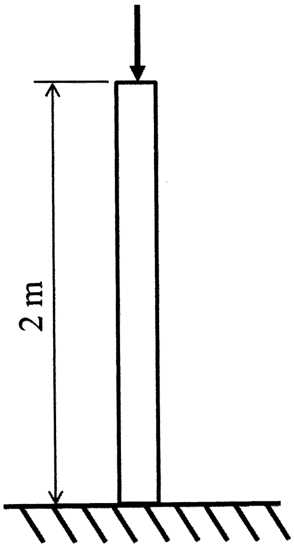
①　$\dfrac{M_0^2l}{12EI}$　②　$\dfrac{M_0^2l}{8EI}$　③　$\dfrac{M_0^2l}{4EI}$　④　$\dfrac{M_0^2l}{2EI}$　⑤　$\dfrac{M_0^2l}{EI}$

Ⅲ－７　下図に示すように，同一材質，同一長さで，外形寸法が等しく断面積比が２：１の中実丸棒Ａと中空丸棒Ｂの一端が剛体壁に固定され，他端に等しいねじりモーメント T が作用しているとき，中実丸棒Ａに生じる最大せん断応力 τ_A と中空丸棒Ｂに生じる最大せん断応力 τ_B の比 τ_B ／ τ_A の値はどれか。



①　1/2　　②　4/3　　③　$1/\sqrt{2}$　　④　3/4　　⑤　2

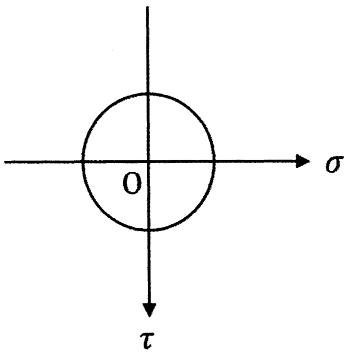
Ⅲ－８　下図に示すように，一辺が40mmの正方形断面を有する長さ2mの鋼製の柱が一端固定・他端自由の状態で軸方向に圧縮力が負荷されている。このときの座屈荷重として，最も近い値はどれか。ただし，鋼の縦弾性係数を200GPaとする。



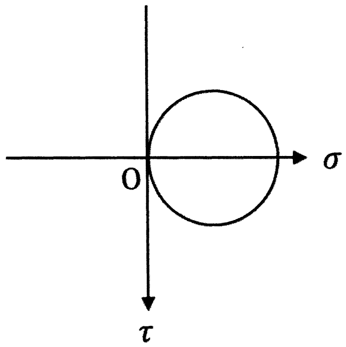
①　421kN　　②　211kN　　③　105kN　　④　53kN　　⑤　26kN

Ⅲ－9　ねじりモーメントのみ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。

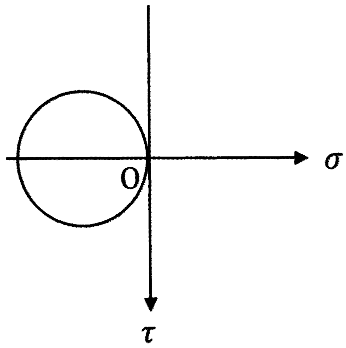
①



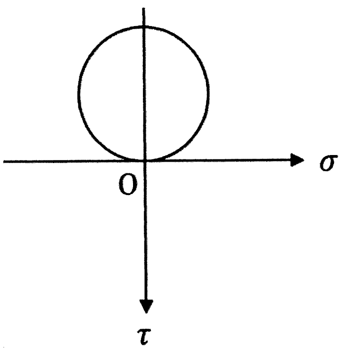
②



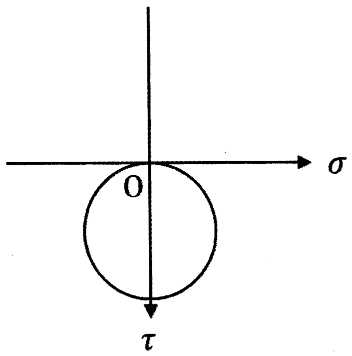
③



④



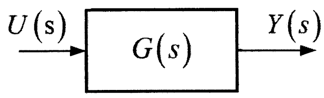
⑤



Ⅲ－10　内径 r，肉厚 t（$r \gg t$）の球形薄肉圧力容器に内圧 p が作用している。このとき，圧力容器に生じる円周方向応力として，適切なものはどれか。

①　$\dfrac{pt}{2r}$　　②　$\dfrac{pt}{r}$　　③　$\dfrac{pr}{2t}$　　④　$\dfrac{pr}{t}$　　⑤　$\dfrac{p}{2\pi rt}$

Ⅲ－11　下図のように伝達関数$G(s)$に入力$u(t)$を加えたときの定常出力$y(t)$として，適切なものはどれか。



$$G(s)=\frac{10}{s+2} \quad , \quad u(t)=\sin t$$

① $\sin t$

② $\sqrt{12}\,\sin(t+\alpha)$, $\alpha=\tan^{-1}(-1/2)$

③ $\sqrt{12}\,\sin(t+\alpha)$, $\alpha=\tan^{-1}(-2)$

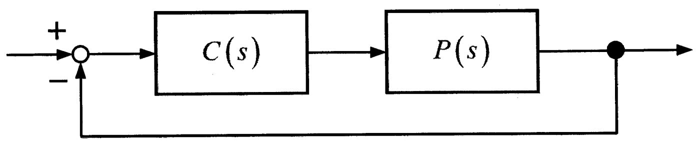
④ $\sqrt{20}\,\sin(t+\alpha)$, $\alpha=\tan^{-1}(-1/2)$

⑤ $\sqrt{20}\,\sin(t+\alpha)$, $\alpha=\tan^{-1}(-2)$

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$C(s)$の伝達関数が次式のように与えられている。

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

$a=-2$，$b=1$のとき，制御対象の極は$s=2$となり不安定である。そのとき，フィードバック制御系が安定になる定数K_pとして，最も適切なものはどれか。



①　－4　　②　－1　　③　0　　④　1　　⑤　4

Ⅲ－13　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。

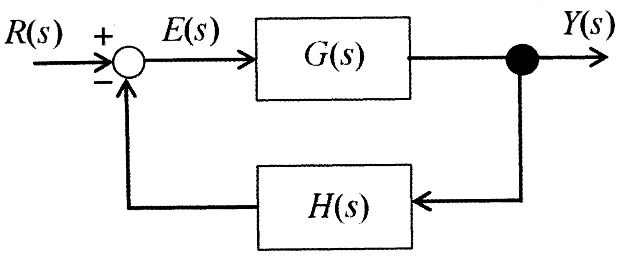
PID制御において，目標値と制御量の偏差に比例した操作を行うのがＰ制御であり，偏差の積分値に比例した操作を行うのがＩ制御である。PI制御は一般に[　ア　]に有効である。また，偏差の微分値に比例した操作を行うのがＤ制御で，PD制御は一般に[　イ　]に有効である。

	ア	イ
①	むだ時間の低減	応答性の向上
②	むだ時間の低減	定常偏差の除去
③	定常偏差の除去	応答性の向上
④	定常偏差の除去	むだ時間の低減
⑤	応答性の向上	むだ時間の低減

Ⅲ－14　下図に示すフィードバック制御系を考える。ここで，$R(s)$，$Y(s)$，$E(s)$は，それぞれ目標値$r(t)$，出力$y(t)$，偏差$e(t)$のラプラス変換であり，$E(s)=R(s)-H(s)Y(s)$で表される。定常偏差は$\lim_{t\to\infty} e(t)$であり，$G(s)H(s)$は次式のように定められている。

$$G(s)H(s)=\frac{s+2}{s^3+2s^2+2s+1}$$

目標値を単位ステップ入力とするとき，定常偏差として，適切なものはどれか。



①　0　　②　$\frac{1}{3}$　　③　$\frac{2}{3}$　　④　2　　⑤　∞（無限大）

Ⅲ－15　機械の振動に関する次の記述のうち，不適切なものはどれか。

①　１自由度系において質量を増加させると，固有振動数は小さくなる。

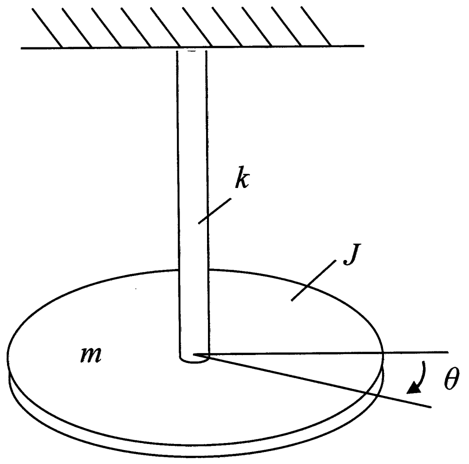
②　１自由度系に加振力が作用し共振しているとき，加振力と変位の位相は約180度ずれる。

③　２自由度系の固有振動数は一般に２個ある。

④　共振しているときの振幅の大きさは減衰係数に依存する。

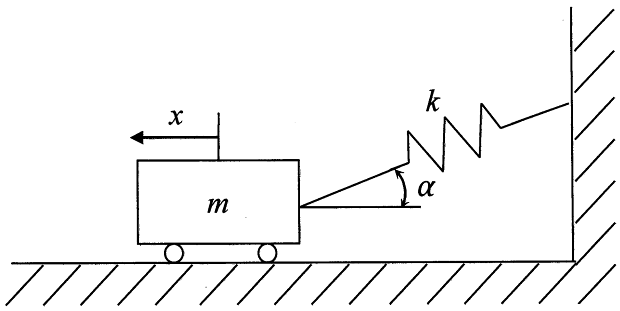
⑤　回転機械の危険速度は固有振動数と関係している。

Ⅲ－16　下図に示すように，ねじりばね定数kの軸の一端を固定し，他端に質量mの円板が取り付けられた振動系がある。この円板を角度θだけねじって振動させた場合の固有角振動数として，適切なものはどれか。ただし，軸の慣性モーメントは円板の軸心周りの慣性モーメントJと比べて無視できるほど小さいものとする。



①　$\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　②　$\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　③　$\sqrt{\dfrac{k}{J}}$　④　$\sqrt{\dfrac{J}{k}}$　⑤　$\sqrt{\dfrac{k\theta}{m}}$

Ⅲ－17　下図に示すように，滑らかな床上に質量mの物体があり，角度αでばねを介して壁に取り付けられている。ばね定数をkとし，物体が微小並進運動するときの固有角振動数として，適切なものはどれか。



①　$\sqrt{\frac{k}{m}}\cos\alpha$　②　$\sqrt{\frac{k}{m}}\sin\alpha$　③　$\sqrt{\frac{k}{m}}\tan\alpha$　④　$\sqrt{\frac{k}{m}}\cos^2\alpha$　⑤　$\sqrt{\frac{k}{m}}\sin^2\alpha$

Ⅲ－18　質量mの薄い板をばね定数kのばねで吊るして空気中で振動させたとき周期はTであった。下図のようにこの板全体を液体中に浸して振動させると，液体の抵抗により減衰し，周期はTの$n\,(>1)$倍となった。板に作用する抵抗力が板と液体の接触面積Sと速度に比例するとき，その比例係数として，適切なものはどれか。

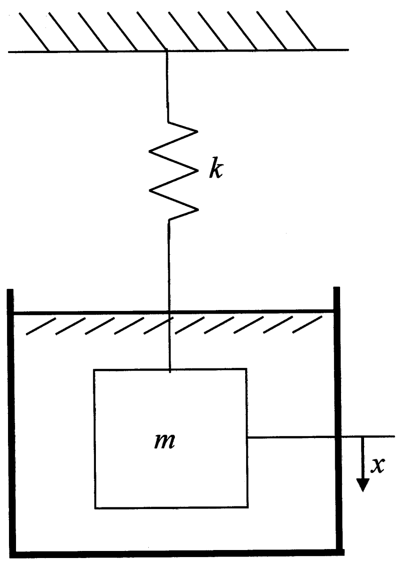
①　$\sqrt{mk\left(1-n^2\right)}\,/\,nS$

②　$2\sqrt{mk\left(1-n^2\right)}\,/\,nS$

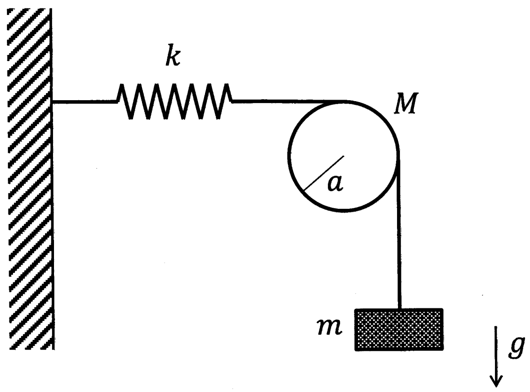
③　$2\sqrt{mk\left(n^2-1\right)}\,/\,nS$

④　$\sqrt{mk\left(n^2-1\right)}\,/\,nS$

⑤　$\sqrt{mk\left(n^2-1\right)}\,/\,2nS$



Ⅲ－19　下図のように，ばね定数kのばね，半径a，質量Mの中心で回転する均一な円板状の定滑車，質量mのおもり，及び質量が無視できるひもから成る系がある。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。このときの固有周期として，適切なものはどれか。ただし，滑車とひもの間にはすべりがないとし，定滑車は剛体とみなせるとする。



① $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

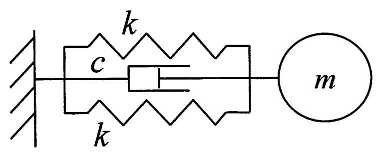
② $2\pi\sqrt{\dfrac{M+2m}{2k}}$

③ $2\pi\sqrt{\dfrac{M+m}{k}}$

④ $2\pi\sqrt{\dfrac{Ma^2+2m}{2k}}$

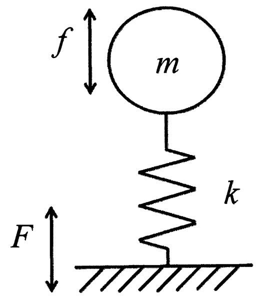
⑤ $2\pi\sqrt{\dfrac{Ma^2+m}{k}}$

Ⅲ－20　下図に示すように，質量mのおもり，ばね定数kの２つのばね，及び減衰係数cの１つのダンパからなる１自由度振動系を考える。この系が臨界減衰系となるとき，ダンパの減衰係数cとして，適切なものはどれか。



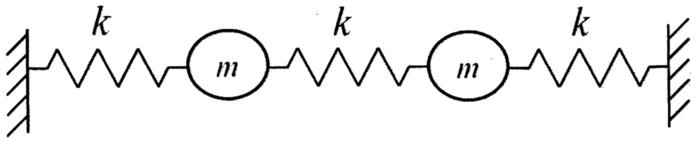
① $\sqrt{\dfrac{k}{2m}}$　② $\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　③ $\sqrt{\dfrac{2k}{m}}$　④ $2\sqrt{mk}$　⑤ $2\sqrt{2mk}$

Ⅲ－21　下図に示すように，質量mの機械がばね定数kのばねを介して床に固定されている。この機械に角周波数ω の正弦波状の力fが作用し，定常状態となったときに，床に伝達される周期的な力Fの振幅をfの振幅の50%未満にしたい。ばね定数の条件として，適切なものはどれか。



①　$k<\frac{1}{3}m\omega^2$　②　$k<m\omega^2$　③　$k<\frac{m\omega^2}{1+\sqrt{2}}$　④　$k>m\omega^2$　⑤　$k>\frac{1}{3}m\omega^2$

Ⅲ－22　下図に示す２自由度振動系には，２つの固有角振動数が存在する。その組合せとして，適切なものはどれか。なお，kはばね定数，mは質量を表す。



①　0，$\sqrt{\frac{2k}{m}}$

②　$\sqrt{\frac{k}{m}}$，$\sqrt{\frac{3k}{m}}$

③　$\frac{2-\sqrt{2}}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$，$\frac{2+\sqrt{2}}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$

④　$\frac{3-\sqrt{5}}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$，$\frac{3+\sqrt{5}}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$

⑤　$\frac{3-2\sqrt{2}}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$，$\frac{3+2\sqrt{2}}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$

Ⅲ－23　外気温2．0℃の周囲環境から室内に2．8kWの熱が供給され，室内温度が23．0℃に保たれている。このとき必要となる最小電力として，最も近い値はどれか。

①　20W　　②　100W　　③　200W　　④　2．5kW　　⑤　40kW

Ⅲ－24　一定の圧力0．20MPaのもと，質量1．0kgの飽和水に1600kJの熱を加えて，湿り水蒸気とした。このとき，湿り水蒸気の乾き度として，最も近い値はどれか。ただし，0．20MPaにおける飽和水，飽和水蒸気の比エンタルピーをそれぞれ505kJ／kg，2706kJ／kgとする。

①　0．93　　②　0．87　　③　0．81　　④　0．73　　⑤　0．50

Ⅲ－25　熱伝導率k，厚さdの平板の片面が温度T_1の流体と接し，もう一方の片面が温度$T_2(<T_1)$の流体と接している。平板の高温側の熱伝達率をh_1，低温側の熱伝達率をh_2とし，それぞれ一定とする。平板内の熱伝導と低温側の熱伝達が高温側の熱伝達に比べて十分大きいとき，熱通過率として，最も適切なものはどれか。

①　$1/h_2+d/k$　　②　h_2+k/d　　③　k/d　　④　$1/h_1$　　⑤　h_1

Ⅲ－26　エントロピーに関する次の（ア）～（オ）の記述のうち，正しいものの組合せとして，適切なものはどれか。

（ア）エントロピーは気体が保有するエネルギーのことである。

（イ）エントロピーは必ず増大する。

（ウ）断熱された容器内の液体をスクリューで攪拌したとき，液体のエントロピーは増大する。

（エ）断熱された流路を流体が流れて抵抗により圧力が減少した。このとき流路は断熱されているので流体のエントロピーは変化しない。

（オ）断熱された容器内に置かれた高温の物体から低温の物体へ熱が伝わるとき，容器内のエントロピーは増大する。

①　ア，イ　　②　ア，エ　　③　イ，ウ　　④　ウ，エ　　⑤　ウ，オ

Ⅲ－27　内部からの発熱量を調節できる直径1．5mmの金属線が温度15℃の水中に水平に設置されている。金属線の単位長さ当たりの発熱量を140W／mとすると，金属線の表面温度が40℃で一定となった。このとき，金属線と水の間の熱伝達率として，最も近い値はどれか。

① 7．4×10^2 W／（m^2・K）

② 1．2×10^3 W／（m^2・K）

③ 2．4×10^3 W／（m^2・K）

④ 3．7×10^3 W／（m^2・K）

⑤ 3．2×10^6 W／（m^2・K）

Ⅲ－28　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。

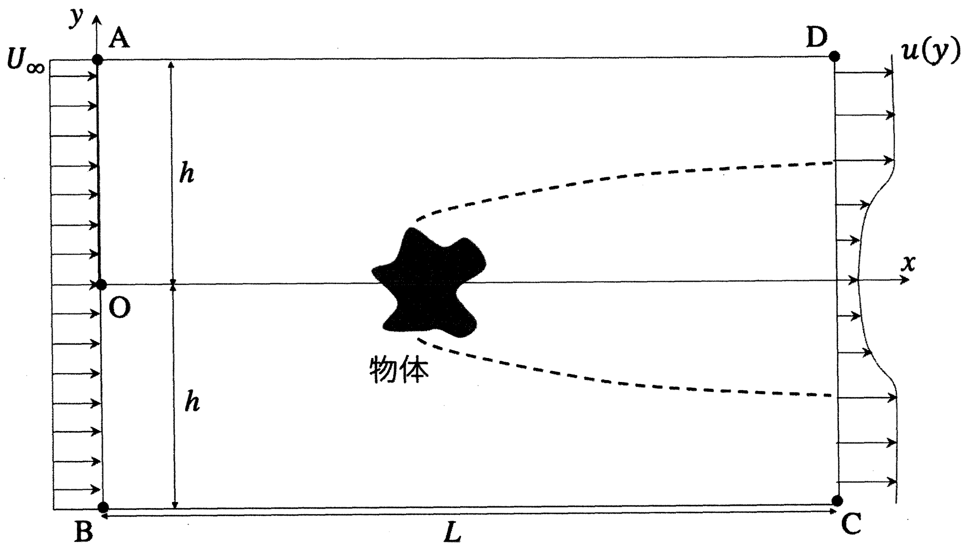
温度境界層厚さと速度境界層厚さの比は[ア]に依存する。

熱伝達率の無次元数は[イ]であり，強制対流の場合は一般に[ア]と[ウ]の関数で表される。

垂直に置かれた加熱板上の自然対流では局所[エ]が約10^9以上の値になると乱流に遷移する。

	ア	イ	ウ	エ
①	プラントル数	ヌセルト数	レイノルズ数	レイリー数
②	ヌセルト数	プラントル数	レイリー数	レイノルズ数
③	プラントル数	ペクレ数	レイノルズ数	ヌセルト数
④	プラントル数	ヌセルト数	レイリー数	レイノルズ数
⑤	ヌセルト数	ペクレ数	プラントル数	レイリー数

Ⅲ－29　下図に示すように，流速U_∞の一様流中に２次元物体が固定されている。それを取り囲む矩形の検査体積ABCDを考える。主流方向をx，垂直方向をyとし，原点は境界ABの中点とする。点Aと原点までの距離をh，点Aから点Dまでの距離をLとする。境界AB上における主流方向速度はU_∞で一定であり，境界CD上における主流方向速度のy方向の分布が$u(y)$で与えられるとき，２次元物体に働く奥行き方向単位長さ当たりの抗力を表す式として，適切なものはどれか。ただし，検査体積ABCDの境界は物体から十分に離れているものとし，境界ABCD上では圧力は一様とみなしてよい。また，流体は非圧縮性流体とし，その密度をρとする。



① $\rho\int_{-h}^{h}u(y)\{U_\infty-u(y)\}dy$

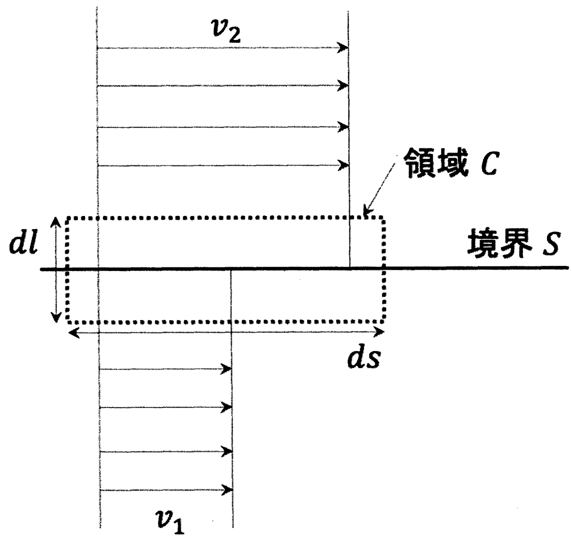
② $\rho\int_{-h}^{h}\{U_\infty^2-u^2(y)\}dy$

③ $\rho\int_{-h}^{h}U_\infty\{U_\infty-u(y)\}\,dy$

④ $\frac{\rho}{2}\int_{-h}^{h}U_\infty\{U_\infty-u(y)\}\,dy$

⑤ $\rho\int_{-h}^{h}\{U_\infty-u(y)\}dy$

Ⅲ－30　下図に示すように，境界Sに平行な２次元流れを考える。境界Sの下部では速度v_1，その上部では速度v_2でそれぞれ一様であり，境界Sにおいて速度が不連続に変化するものとする。このとき，図中の点線で囲まれた幅ds，高さdlの領域Cの循環として，適切なものはどれか。



①　$v_2 - v_1$　　②　$\frac{1}{2}(v_1 + v_2)$　　③　$(v_2 - v_1)ds$　　④　$(v_2 - v_1)dl$　　⑤　$(v_2 - v_1)dsdl$

Ⅲ－31　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，最も不適切なものはどれか。

①　流れが層流のとき，管摩擦係数は64／Reとなる。

②　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。

③　同じレイノルズ数において，流れが層流から乱流へ遷移すると管摩擦係数は大きくなる。

④　乱流域では，レイノルズ数の増加とともに管摩擦係数は大きくなる。

⑤　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。

Ⅲ－32　静止した非圧縮流体中を速さUで動く直径dの球に働く抗力Dは，次の式で表される。

$$D = C_D\left(\frac{\pi}{4}d^2\right)\left(\frac{1}{2}\rho U^2\right)$$

ただし，ρ，C_Dはそれぞれ流体の密度，抗力係数を，πは円周率を表す。同一の流体中で，レイノルズ数を合わせて直径d／４の球を動かしたときの抗力をD'とするとき，抗力比D'／Dの値として，最も適切なものはどれか。

① 1／256　② 1／16　③ 1／4　④ 1　⑤ 4

Ⅲ－33　流速10m／sの一様流中に直径2cmの円柱が流れに直交して置かれている。ストローハル数が0．2の場合，円柱の背後に生じるカルマン渦の放出周波数として，最も近い値はどれか。

① 0．2Hz　② 1Hz　③ 40Hz　④ 100Hz　⑤ 500Hz

Ⅲ－34　xy平面上の２次元非圧縮流を考える。速度ベクトル$\vec{u}$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実定数a，b，c，dの関係を表す式として，適切なものはどれか。

① $a + d = 0$

② $a - d = 0$

③ $b + c = 0$

④ $b - c = 0$

⑤ $a + b + c + d = 0$

Ⅲ－35　水平に設置された円管内に流体が流れており，流れ方向の位置ＡからＢの区間において，断面積がS_{A}からS_{B}へと緩やかに減少している。２点Ａ，Ｂ間の圧力差を水銀柱で測ったところ，水銀柱の高さの差はHであった。重力加速度をg，流体の密度をρ_F，水銀の密度をρ_Mとし，水銀の密度は流体の密度に対して十分に大きいと仮定してよい。位置Ａにおける円管内断面平均速度として，最も適切なものはどれか。ただし，粘性の影響は無視してよい。

① $\dfrac{S_{\mathrm{B}}}{\sqrt{S_{\mathrm{A}}^2 - S_{\mathrm{B}}^2}}\sqrt{\dfrac{2\rho_M g H}{\rho_F}}$

② $\dfrac{S_{\mathrm{B}}}{\sqrt{S_{\mathrm{A}}^2 - S_{\mathrm{B}}^2}}\sqrt{\dfrac{\rho_M g H}{\rho_F}}$

③ $\dfrac{S_{\mathrm{B}}}{\sqrt{S_{\mathrm{A}}^2 - S_{\mathrm{B}}^2}}\sqrt{2gH}$

④ $\dfrac{S_{\mathrm{B}}}{\sqrt{S_{\mathrm{B}}^2 - S_{\mathrm{A}}^2}}\sqrt{\dfrac{2\rho_M g H}{\rho_F}}$

⑤ $\dfrac{S_{\mathrm{B}}}{S_{\mathrm{A}} - S_{\mathrm{B}}}\dfrac{2\rho_M g H}{\rho_F}$