平成２６年度機械工学専攻

大学院修士課程入学試験問題

「機械工学」（第２部）

試験日時：平成２５年８月２７日（火）　１３：００～１６：００

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開かないこと．
2. 問題は問題１から問題３までである．全問に解答すること．
3. 問題の落丁，乱丁，あるいは印刷不鮮明な箇所があれば申し出ること．
4. 答案用紙は６枚配付される．枚数を確認し，過不足があれば申し出ること．
5. １問ごとに２枚の答案用紙を用いて解答すること．設問Ｉ，IIに分かれている問題は，設問ごとに１枚の答案用紙を用いて解答すること．問題３については，設問Ｉで１枚，設問IIとIIIで１枚の答案用紙を用いてそれぞれ解答すること．解答を表面で書ききれない時は，裏面にわたってもよい．なお，それでも解答するスペースが不足する場合は答案用紙を与えるので申し出ること．
6. 答案用紙の指定された箇所に，自分の受験番号，その答案用紙で解答する問題番号を記入すること．記入もれの場合は採点されないことがある．なお，科目名欄には「機械工学（第２部）」と記入すること．答案用紙の右端にある「枚／枚中」については，答案用紙を追加しない場合は空欄のままでよい．但し答案用紙を追加した場合は，問題ごとの枚数を記載する．
7. 解答に関係のない記号や符号を記入した答案は無効となることがある．
8. 答案用紙は，解答ができなかった分も含め，全てを提出すること．
9. 下書き用紙は３枚配付される．左上に自分の受験番号を記入すること．
10. 下書き用紙は，使用しなかった分も含め，３枚全部を提出すること．
11. 問題冊子は持ち帰ってよい．

問題　1

下記の I，II の両方について解答せよ．

I.　図 1-1 のように，A 点で固定支持された長さ l の片持ちはり AB があり，AB に鉛直下向きの等分布荷重 w（はりの単位長さあたりの荷重が w）と，B 点に鉛直下向きの集中荷重 P がかかっている．曲げ剛性 EI は AB 間で一定とする．以下の設問に答えよ．なお，自重の影響は考えないものとする．

(1)　図のように支持端から右方向に座標 x をとるとき，x の位置における曲げモーメント M を求めよ．

(2)　はりに蓄えられる弾性ひずみエネルギー U が

$$U = \frac{1}{2}\int_0^l \frac{M^2}{EI}\mathrm{d}x$$

で与えられることを示せ．

(3)　荷重 w と P によって生じる B 点における鉛直下向きの変位を求め，EI, P, w, l を用いて表せ．

次に，図 1-2 のように，片端を地面に固定された半径 R，角度 90° の円弧状の曲りはりについて考える．はりの高さ d は R に比べて十分小さいとする．自由端に鉛直下向きの集中荷重 P がかかっているとき，以下の設問に答えよ．なお，曲げ剛性 EI は曲りはりのいたる所で一定であり，自重および軸力の影響は考えないものとする．

(4)　荷重 P によって曲りはりに蓄えられる弾性ひずみエネルギー U を求め，EI, P, R を用いて表せ．

(5)　荷重 P によって生じる自由端の鉛直方向変位 δ_v を求め，EI, P, R を用いて表せ．ただし，変位は鉛直下向きを正とせよ．

(6)　荷重 P によって生じる自由端の水平方向変位 δ_h を求め，EI, P, R を用いて表せ．ただし，変位は図の左向きを正とせよ．

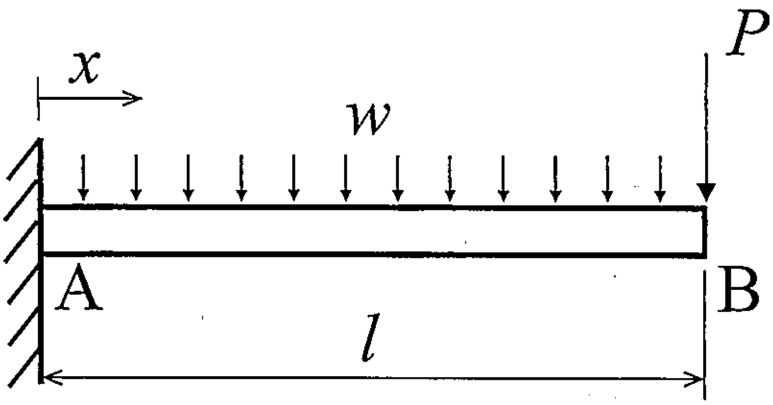


図 1-1

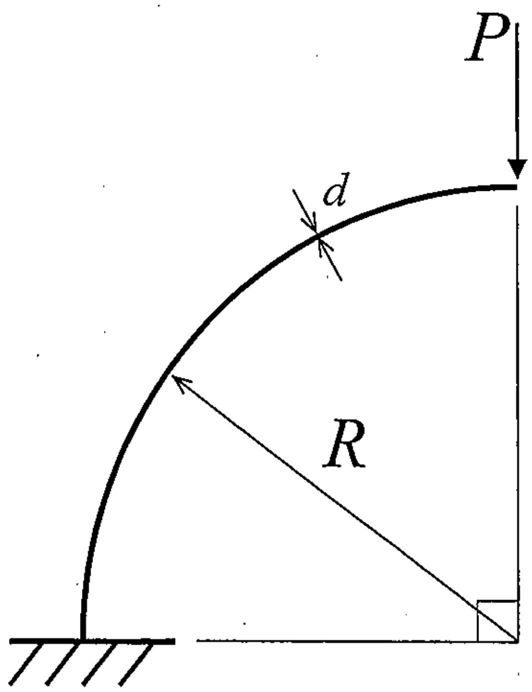


図 1-2

II. 図 1-3 のような，両端が閉じた薄肉円筒（外半径 r, 肉厚 t, 長さ L, ヤング率 E）が固定壁からつるされ，自重による影響を受けている．また，同時に円筒には内圧 p が作用している．円筒の材料の密度を ρ，重力加速度を g（鉛直下向き）として，以下の設問に答えよ．なお，円筒の下部のふたの質量は無視できるものとする．

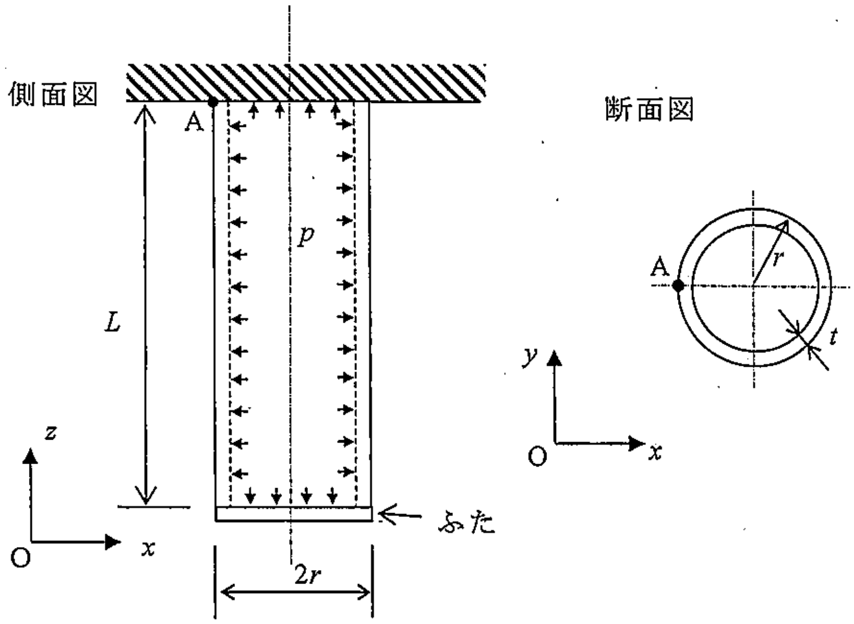


図 1-3

(1) 固定端の A 点におけるすべての応力成分を，図 1-3 の xyz 座標系で示せ．

(2) 固定端の A 点における，主応力および主せん断応力を求めよ．

(3) 以下の表 1-1 の二種類の材料を選択した場合，構造を破損しないで，L をどの程度まで長く設定できるかを考える．L の限界長さをそれぞれ求めよ．ただし，ここでは p=0 MPa とし，内圧は作用しないものとする．また，r=10 mm, g =9.8 m/s^2 とする．

表 1-1

材料	肉厚 t mm	密度 ρ g/cm^3	ヤング率 E GPa	引張強さ $\sigma_{tensile}$ GPa
石英	1.0	2.3	70	0.05
グラフェン	3.0×10^{-7}	2.3	1000	100

※1 kg=1 Ns^2/m

問題　2

質量を無視できる長さLの2つの剛体の棒を直角に組み合わせたクランクの一端に質量m_bが取り付けられた系を考える．他端には質量はないものとする．クランクは2つの剛体の棒が結合している箇所において，ピンによって固定されている．重力は図中の矢印方向に作用し，その加速度をgとする．紙面上において，重力の方向に平行な軸を鉛直軸，垂直な軸を水平軸とよぶ．質量m_bが取り付けられているクランクと鉛直軸との角度は，常に0から$\pi/2$までの間の値をとるものとする．

(1)　図2-1に示すように，クランクの質量が取り付けられていない端に鉛直軸と平行に力Rを下向きに作用させた時，質量m_bが取り付けられているクランクと鉛直軸との角度がθ_0となるところで静的につり合った．この時の力Rを求めよ．

(2)　力Rを作用させるかわりに，図2-2に示すような，鉛直軸方向のみに動くことができる質量m_s，ばね定数kのばね，減衰係数cの減衰器によって構成される1自由度系を取り付けた．質量m_sとクランクは鉛直軸方向には離れないが，水平軸方向には抵抗なく滑ることができるものとする．質量m_bが取り付けられているクランクと鉛直軸との角度がθ_0となるところで質量m_sは静止してつり合う時，ばねの自然長からの質量m_sの変位z_0を求めよ．なお，変位z_0は縮む方向を正とせよ．

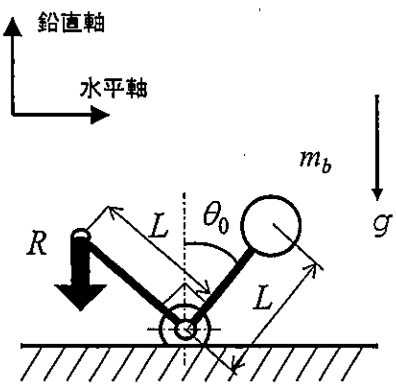


図 2-1

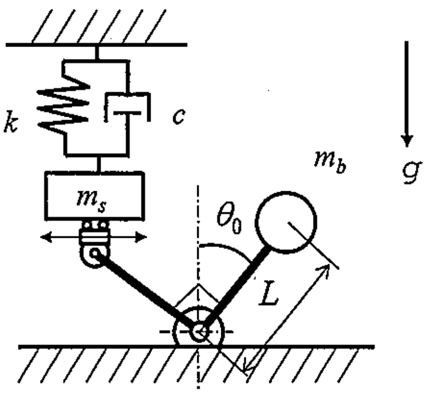


図 2-2

図 2-3 のように，質量 m_b に水平軸方向に周期的な外力 f を与えた．設問(2)のつり合い点を原点にした時の，質量 m_s の変位を z，クランクの角度を θ とする．ただし，周期的な外力 f，変位 z，角度 θ および，それらの時間微分は微小と考え，式(1)および式(2)の近似式が成立するものとする．

$$\cos(\theta_0 + \theta) \approx \cos\theta_0 - \theta\sin\theta_0 \tag{1}$$

$$\sin(\theta_0 + \theta) \approx \sin\theta_0 + \theta\cos\theta_0 \tag{2}$$

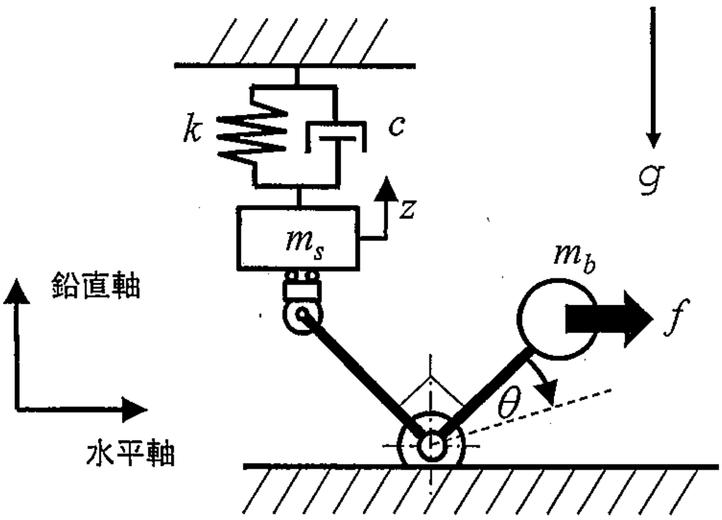


図 2-3

(3)　θ と z の関係式を求めよ．

(4)　周期的な外力 f を受ける時，質量 m_s の変位 z，速度 $\dot{z}$，加速度 $\ddot{z}$ を用いて，図 2-3 で示される系の運動方程式を導け．

次に，調速機とよばれる，原動機の出力と負荷のつり合いがくずれたとき，回転速度の増減を検出して回転速度をできる限り一定に保つ装置を考える．図 2-4 に示すように，機構の主な構成は，原動機軸より歯車を介して駆動される調速機軸，クランク端に取り付けられた質量（以下，遠心おもりとよぶ），ばね，減衰器，スライダ，燃料制御弁を調整する弁操作棒からなる．原動機が動き出し原動機軸が回転すると，調速機軸が回転する．クランクおよび遠心おもりが調速機軸と一緒に回転し，遠心おもりに遠心力が作用する．遠心

力の大きさに応じて，クランクが点 A，点 B まわりに回転し，スライダが鉛直軸方向に移動し，弁操作棒を上下させ，燃料制御弁を操作し，原動機の出力トルクの調整を行う．設問(1)から(4)をもとに，安定した調速機を設計する方法を考える．スライダは滑らかに鉛直軸方向のみに移動し，スライダとクランクは離れず，水平軸方向および紙面に対して垂直な方向には抵抗なく滑ることができるものとする．

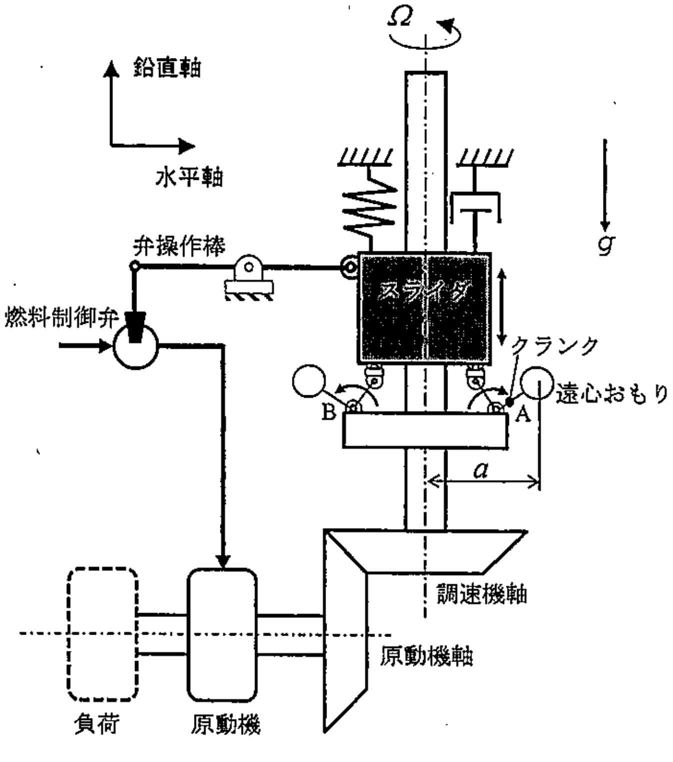


図 2-4

(5) 調速機軸を一定の角速度Ω（以下，定常回転速度とよぶ）で回転させると，定常状態において，質量 m_b の遠心おもりに遠心力 F が作用する．この遠心力 F を求めよ．なお，クランクと鉛直軸との角度によらず，調速機軸心から遠心おもりまでの距離は a と考えよ．

(6) 調速機軸の角速度が変動するとする．その角速度の変動分をωとする時，遠心力 F の変動分ΔF を求めよ．なお，角速度の変動分ωは，定常角速度Ω に対して微小として考えよ．

図 2-3 の周期的外力 f が，遠心力 F の変動分 ΔF に相当すると考えると，スライダの運動方程式は，式(3)のように表される．ここで，定常状態でのつり合い位置を基準としたスライダの鉛直軸方向の変位を z とし，M, C, K, H は定数とする．

$$M\ddot{z}+C\dot{z}+Kz=H\omega \tag{3}$$

(7) 式(3)で示す系の減衰比が 0.5 になるための等価減衰係数 C を求めよ．ただし，K および M をそれぞれ，1000N/m および 10kg とする．

燃料制御弁の開度により原動機の出力トルクが変化すると考える．スライダの鉛直軸方向の変位 z と燃料制御弁の開度が比例し，原動機軸と調速機軸間の歯車比を 1 とした場合，式(4)の関係式が導かれる．

$$I\dot{\omega}=-Gz \tag{4}$$

ただし，I は原動機軸，調速機軸および歯車を合わせた系の等価慣性モーメント，G はスライダ変位 z に対する原動機の出力トルクの比例定数とする．式(3)および式(4)より，機械的な機構によって閉ループ系が実現される．

以下の設問(8)および(9)について解答せよ．なお，M，K，C には，設問(7)で求められた値を代入せず，記号を用いて表すこと．

(8) 式(3)，式(4)による閉ループ系の特性方程式を求めよ．なお，ラプラス演算子を s とせよ．

(9) 調速機を動作させるためには，系が安定である必要がある．系が安定であるための等価減衰係数 C の条件を表せ．

問題　3

下記の I, II, III すべてについて解答せよ．

なお，I の解答に答案用紙 1 枚と下書き用紙 1 枚を，II と III の解答合わせて答案用紙 1 枚と下書き用紙 1 枚を，それぞれ用いること．

I. 設計したシステムが故障する可能性を検討する．

原因となる事象 E_2 と E_3 の両方が生じた場合のみ，結果として故障事象 E_1 が生じる場合を図 3-1 に示す AND ゲートで，事象 E_2 または E_3 のいずれか一方でも生じれば，故障事象 E_1 が生じる場合を図 3-1 の OR ゲートで，それぞれ表すものとする．

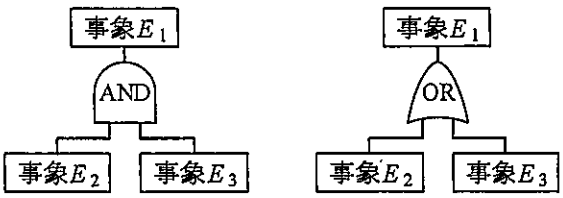
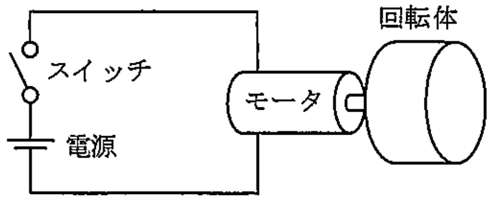


図 3-1　AND ゲートおよび OR ゲート

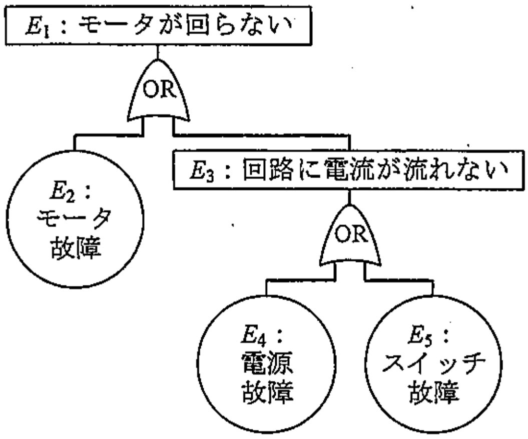
(1)　事象 E_h が発生する確率を $\mathrm{P}(E_h)$ で表すとき，図 3-1 の AND ゲートの場合は $\mathrm{P}(E_1)=\mathrm{P}(E_2)\times\mathrm{P}(E_3)$ となる．一方，図 3-1 の OR ゲートの場合は，$\mathrm{P}(E_2)$, $\mathrm{P}(E_3)<<1$ であるとき，$\mathrm{P}(E_1)=\mathrm{P}(E_2)+\mathrm{P}(E_3)$ と近似できることを示せ．

いま，回転体をモータで回転させるシステム（図 3-2(a)）において，「モータが回らない」故障が発生する原因は，図 3-1 に示すゲートを階層的に組み合わせた木構造（図 3-2(b)）で表現できるとする．ここで，下位（原因）の事象への分解を行う事象は四角で，下位の事象への分解を行わない基本事象は丸で，それぞれ表されている．また，木構造の頂上にあたる E_1 を頂上事象とよぶ．このように故障を解析した木構造を，故障木とよぶ．

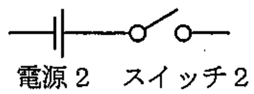
(2)　システムに，同様な機能要素を重複して持たせておくことによって，システム全体の故障の可能性を小さくすることができる．その考え方に基づき，図 3-2(a)のシステム A に，図 3-2(c)に示す電源－スイッチ系統を追加したシステム B を図示せよ．そのシステム B について「モータが回らない」故障の故障木 B を，図 3-2(b)にならって図示せよ．なお，新たに記述する事象については適宜新たな記号 E_i を割り当ててよい．



(a) 設計したシステム A



(b) システム A の故障木 A



(c) 追加する電源ースイッチ系統

図 3-2　設計したシステムとその故障木

(3)　例として示す故障木 C（図 3-3）は，丸で図示した基本事象を論理和∨と論理積∧で組み合せた論理式で次式のように表現できる．

$$E_{\mathrm{J}} = E_{\mathrm{K}} \wedge (E_{\mathrm{M}} \vee E_{\mathrm{N}}) \tag{1}$$

その論理式を，次式に示すブール代数の分配律

$$(X \vee Y) \wedge Z = (X \wedge Z) \vee (Y \wedge Z) \qquad (X \wedge Y) \vee Z = (X \vee Z) \wedge (Y \vee Z) \tag{2}$$

などを用いて，次式に示す積和標準形式（論理積の論理和の形）に変形することができる．

$$E_{\mathrm{J}} = (E_{\mathrm{K}} \wedge E_{\mathrm{M}}) \vee (E_{\mathrm{K}} \wedge E_{\mathrm{N}}) \tag{3}$$

これにならって，図 3-2(b)の故障木 A と，設問(2)で求めた故障木 B を，それぞれ基本事象の積和標準形式で表現せよ．基本事象が生じる確率は 1 より十分小さいとき、求めた故障木 A と故障木 B の積和標準形式表現から，システム A よりもシステム B のほうが「モータが回らない」故障の可能性が小さいと推定できる理由を述べよ．

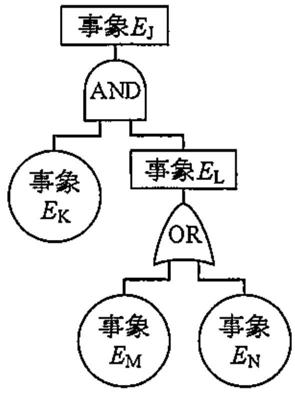


図 3-3　故障木 C

(4)　図 3-2(b)の故障木 A および設問(2)で求めた故障木 B に現れる丸で示した各基本事象 E_h の確率がすべて $\mathrm{P}(E_h)=1.0\times10^{-6}$ であると仮定したとき，設問(1)の結果を用いて故障木 A と故障木 B それぞれの頂上事象 E_1 の確率 $P(E_1)$ を計算せよ.

II. 回転体の製造を非切削加工で行うことを考える．初期高さが h_0，半径が r_0 なる円柱（円板）を平板工具で圧縮し，円柱は軸対称に変形する．塑性変形が弾性変形より十分大きい場合を考えると，変形中の応力ーひずみ関係は，図3-4(a)の弾完全塑性体から，弾性変形を無視した図 3-4(b)の剛完全塑性体で近似できる．以後，剛完全塑性体で近似する場合を考える．塑性変形中に円柱が高さ h，半径 a となった瞬間の，図 3-5(b)に示した円柱内部の微小扇形要素の半径 r 方向の力のつり合い式は，軸方向応力成分を σ_{zz} として，式(4)で与えられる．ただし，軸方向応力成分 σ_{zz} は z 方向に一様であり，円柱側面のたる状の変形は無視する．μ はまさつ係数（$0 \leq \mu \leq 1$）で，まさつ力は円柱中心を向いている．

$$\frac{\mathrm{d}\sigma_{zz}}{\mathrm{d}r} = -\frac{2\mu\sigma_{zz}}{h} \qquad (4)$$

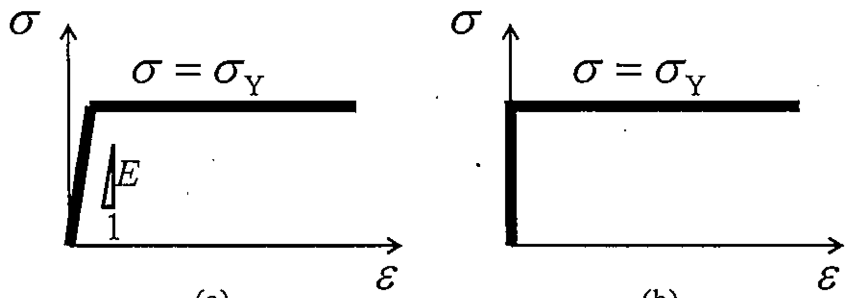


図 3-4

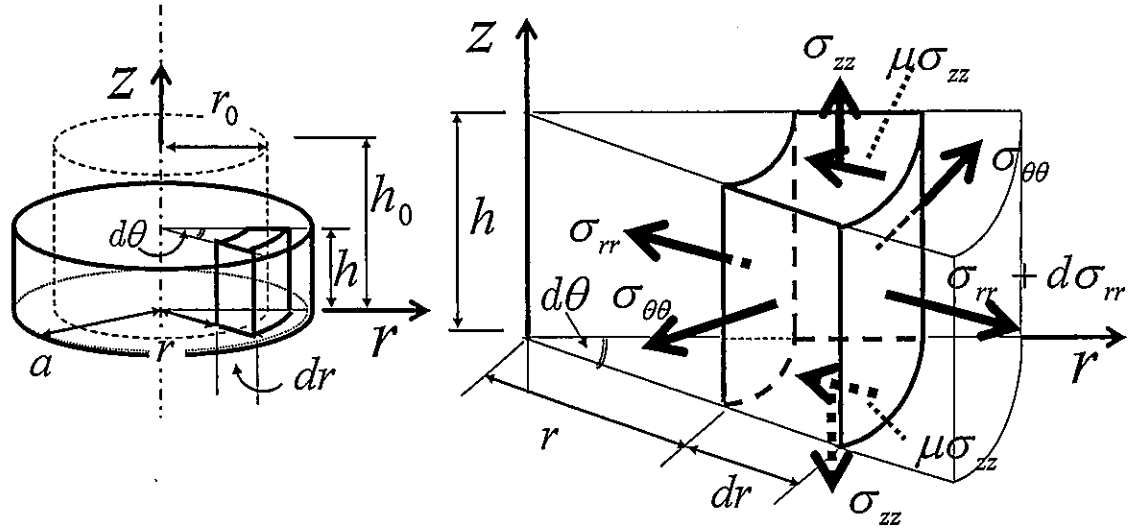


図 3-5

(1)　軸方向応力成分 σ_{zz} を求めるために，式(4)を積分し積分定数 C を含んだ形で表せ．

(2)　降伏応力を σ_{Y} とすれば降伏条件は $\sigma_{rr}-\sigma_{zz}=\sigma_{\mathrm{Y}}$ と表されるとする．降伏条件と自由表面での境界条件を利用して積分定数 C を求め，軸方向応力成分 σ_{zz} の半径 r 方向分布を求めよ．

(3)　軸方向応力成分 σ_{zz} の半径 r 方向分布を，r を横軸として図示せよ．

(4)　円柱の半径 a が同じである場合，円柱の高さ h の大小，まさつ係数 μ の大小が，平板工具に作用する圧力におよぼす影響を 50 字以内で説明せよ．

III. 図 3-6 は自動車のタイヤと車軸を連結するために利用されているホイールである．ホイールの設計と生産に関連した以下の問いに答えよ．

(1) ホイールは自動車の駆動力を伝達し，自動車の重量，運転時の動的な力などを支えている．このことを考えた場合，ホイールが備えるべき条件 3 項目以上を，箇条書きにて記せ．

(2) 自動車の燃費におよぼす影響を考えた場合，どのようなホイールが好ましいか，1 項目を挙げ，理由を含め 50 字以内にて記せ．

(3) 円柱状のアルミニウム素材から，(a)切削加工，(b)鋳造，(c)熱間鍛造加工で，アルミホイールを製造する場合を考える．(a)切削加工，(b)鋳造，(c)熱間鍛造加工で製造の利点と欠点を，(a)～(c)をあわせて 100 字程度で記せ．

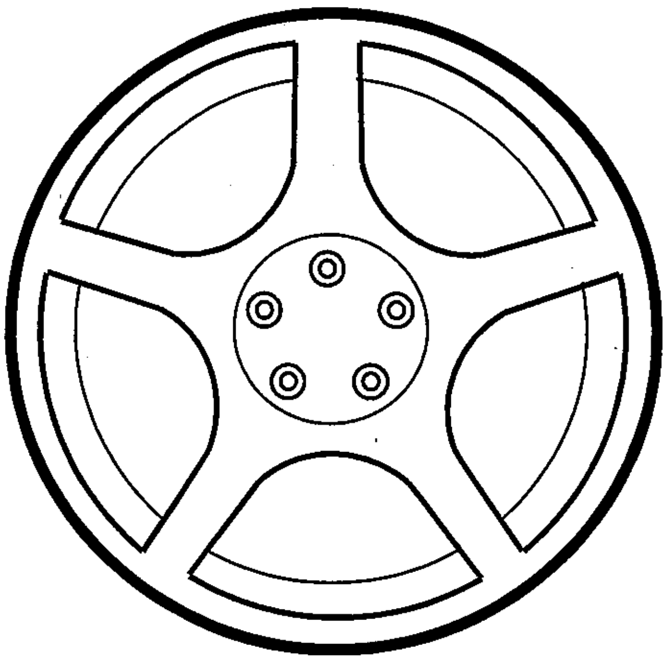


図 3-6