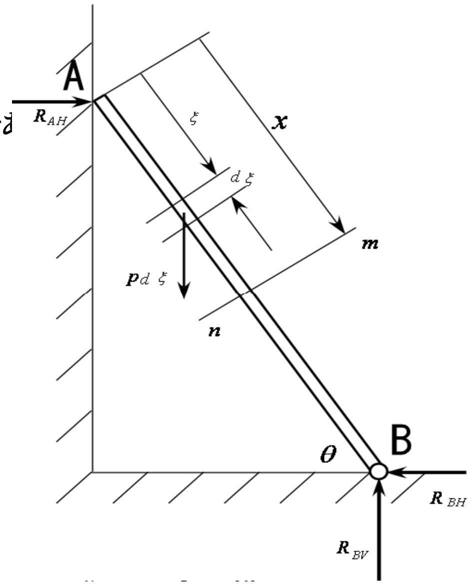
第７章　はりの種々の問題

問題７.１　この問題は棒の自重による圧縮応力と、曲げによる縁応力（圧縮）を計算させる問題である。荷重ははりに対して斜めに作用しているので多少複雑で

棒全体の全体のつり合いを考える。



・左右の力のつりあい：$R_{AH} = R_{BH}$　①

・　上下の力のつりあい（棒の単位長さあたりの重さを p とする）：$R_{BV} = pL$　②

①と②式は本問題の解答に、直接は必要ない。

AB 間の鉛直距離＝$L\sin\theta$ 、$x = x$ 点と B 点の水平距離＝$(L-x)\cos\theta$ から

・B 点まわりのモーメントのつりあい：

$$R_{AH}\cdot L\sin\theta = \int_0^L (L-x)\cos\theta\cdot p\,dx = 0$$

$$R_{AH}\cdot L\sin\theta = \int_0^L (L-x)\cos\theta\cdot p\,dx = \frac{1}{2}pL^2\cos\theta \rightarrow R_{AH} = \frac{pL\cos\theta}{2\sin\theta} \qquad ③$$

○断面 mn にかかる軸圧縮力（絶対値）P は R_{AH} の軸方向分力（$R_{AH}\cos\theta$ ）と上端から x までの棒の重さの軸方向分力（$px\sin\theta$ ）の和となるので

$$P = R_{AH}\cos\theta + px\sin\theta = \frac{pL\cos^2\theta}{2\sin\theta} + px\sin\theta \qquad ④$$

発生軸応力 σ_x は常に圧縮となるので、次式となる。

$$\sigma_x = -\frac{P}{A} = -\frac{4}{\pi d^2}\left(\frac{pL\cos^2\theta}{2\sin\theta} + px\sin\theta\right) \qquad ⑤$$

○断面 mn における曲げモーメント M_x は、時計回りを正とし、自重による荷重は棒の軸線に対して斜めに作用しているので、軸線に垂直な成分のみを考える。

$$M_x + R_{AH}x\sin\theta - \int_0^x (x-x)\cdot p\cos\theta dx = 0 \rightarrow \quad M_x = -\frac{1}{2}pLx\cos\theta + \frac{1}{2}px^2\cos\theta$$

この曲げモーメントは $L > x$ なので常にマイナスとなり、断面係数 Z を用いて棒の上面での曲げ応力（圧縮）σ_{xb} が次式で得られる。

$$\sigma_{xb} = \frac{M_x}{Z} = \frac{32}{\pi d^3}\left(-\frac{1}{2}pLx\cos\theta + \frac{1}{2}px^2\cos\theta\right) \qquad ⑥$$

○断面 mn（の上面）における圧縮応力の最大値 σ_{max} は⑤と⑥の和から

$$\sigma_{max} = -\frac{4}{\pi d^2}\left(\frac{pL\cos^2\theta}{2\sin\theta} + px\sin\theta\right) + \frac{32}{\pi d^3}\left(-\frac{1}{2}pLx\cos\theta + \frac{1}{2}px^2\cos\theta\right) \qquad ⑦$$

求まる。圧縮応力の最大値は式⑦を x で微分して、次式で与えられる。

$$\frac{ds_{\max}(x)}{dx} = -\frac{4}{pd^2}\,p\sin q + \frac{32}{pd^3}\left(-\frac{1}{2}pL\cos q + px\cos q\right) = 0 \rightarrow \quad x = \frac{L}{2} + \frac{d}{8}\tan q$$

問題７.2　水平からa の角度で傾いた状態で両端が支持されているはりに鉛直方向の等分布荷重 f_0 は、はりのｚ(水平)方向に $f_0 \sin a$ 、ｙ(垂直)方向に $f_0 \cos a$ と分解できる。ｙ方向の分布荷重はｚ軸周りの曲げモーメントM_z、z 方向の分布荷重はｙ時周りの曲げモーメントM_y をそれぞれ生じる。両曲げモーメントの式は、6.2 節を参照すると、

$$M_y = -(f_0 \ell x/2 - f_0 x^2/2)\sin a \qquad M_z = -(f_0 \ell x/2 - f_0 x^2/2)\cos a$$

両者ともに$x = \ell/2$ で最大となり、次式で与えられる。

$$M_{y,\max} = -f_0 \ell^2 \sin a\ /8 \qquad M_{z,\max} = -f_0 \ell^2 \cos a\ /8$$

ｚ軸周りの野断面二次モーメント$I_z = bh^3/12$、 $M_{z,\max}$ による曲げ応力の最大値は、式(5.17)に $y = -h/2$ を用いて

$$s^{x}_{z,\max} = M_{z,\max}\, y/I_z = \frac{-f_0\ell^2\cos a}{8}\left[\frac{-h}{2}\right] \Big/ \left(\frac{bh^3}{12}\right) = \frac{3}{4}\frac{f_0\ell^2}{bh^2}\cos a \qquad ①$$

次に、y 軸周りの断面二次モーメント$I_y = hb^3/12$、$M_{y,\max}$ による曲げ応力の最大値は、同じく式(5.17)と $z = -b/2$ で

$$s^{x}_{y,\max} = M_{y,\max}\, z/I_y = \frac{-f_0\ell^2\sin a}{8}\left[\frac{-b}{2}\right] \Big/ \left(\frac{hb^3}{12}\right) = \frac{3}{4}\frac{f_0\ell^2}{hb^2}\sin a \qquad ②$$

最大応力は、①と②を加えて、数値を代入すると、次の結果を得る。

$$s_{x,\max} = s^{y}_{x,\max} + s^{z}_{x,\max} = \frac{3f_0\ell^2}{4bh}\left(\frac{\sin a}{b} + \frac{\cos a}{h}\right)$$

$$= \frac{3\times100\times2^2}{4\times20\times10^{-3}\times30\times10^{-3}}\left(\frac{\sin 30^\circ}{20\times10^{-3}} + \frac{\cos 30^\circ}{30\times10^{-3}}\right) = 26.9\times10^6\left(N/m^2\right) = 26.9(MPa)$$

問題７.3　部材 BC に作用する外力P は水平方向荷重$P_{y1} = P\cos a$ と垂直荷重$P_y = P\sin a$ に分解すると、図に示すように、部材 AB には水平荷重P_{y1}、曲げモーメント$M = P_y a$ が作用する。C 点に作用する水平荷重 P_{y1} により部材 BC の横方向変位v_1 は、式(6.40)の片持ちはりが集中荷重を受ける場合の結果を用いると、次にように求められる。

$$v_1 = \frac{P_{y1}h^3}{3EI} = \frac{P\cos a\, h^3}{3EI} \qquad ①$$

片持ちはりの先端に曲げモーメントを受ける場合の横方向変位v_2 （たわみ）は、式(6.8)のたわみの微分方程式に代入すると、

$d^2v_2/dx^2=-M/EI$，　$EId^2v_2/dx^2=-M=-P_y a=-P\sin a\cdot a$

$EIdv_2/dx=-P\sin a\cdot a\cdot x+c_1$　②，$EIv=-P\sin a\cdot ax^2/2+c_1x+c_2$　③

境界条件$x=0$で$v_2=0$と$dv_2/dx=0$を②と③代入すると、$c_1=c_2=0$となり、その結果、先端$(x=h)$で横変位v_2を得る。

$v_2=-P\sin a\cdot ah^2/2EI$　④

B 点の横方向変位（たわみ）に関して①+④＝0の条件から、解を得る。

$$v_1+v_2=0 \qquad \frac{P\cos ah^3}{3EI}-\frac{P\sin a\cdot ah^2}{2EI}=0 \qquad \tan a=\frac{2h}{3a}$$

問題７.4　両端支持で中央に集中荷重が作用する場合は、図 6..7 に示したように、はりの長さが半分、半分の集中荷重を受ける片持ちはりが中央で左右につながった問題と考えられるので、幅が一定の等強度はりの高さは、図 7.8 に示したような放物線をはりの中央で連結した形（左右対称）になる。

次に等分布荷重f_0が作用する場合の曲げモーメントは 6.2 節の式

$M=-f_0\ell x/2+f_0x^2/2$　①

は$x=0,\ell$で$M=0$、$x=\ell/2$で対称となり、最大値は次のように求まる。

$M_{\max}=-f_0\ell^2/8$　②

x軸の原点をはりの左端からはりの中央に移す$\left(x+\ell/2=X\right)$と、曲げモーメントの式は

$$M=-f_0\ell(X-\ell/2)/2+f_0(X-\ell/2)^2/2=f_0\left(X^2-\ell^2/4\right)/2$$

となり、今度は、曲げモーメントが中央$X=0$で$M_{\max}=-f_0\ell^2/8$最大となる。

等強度はりを設計するために、はりの幅b一定とし、中央での高さをh_0、Xでの高さをhとおき、断面係数$Z=bh^2/6$を用い、中央断面$X=\ell/2$での曲げ応力

$$s_{x1}=\frac{M_{\max}}{Z}=\frac{-f_0\ell^2/8}{bh_0{}^2/6} \qquad ③$$

はりの中央点からXでの曲げ応力

$$s_{x2}=\frac{M}{Z}=\frac{f_0\left(X^2-\ell^2/4\right)/2}{bh^2/6} \qquad ④$$

③＝④から

$$\frac{-f_0\ell^2/8}{bh_0{}^2/6}=\frac{f_0\left(X^2-\ell^2/4\right)/2}{bh^2/6} \rightarrow \frac{4X^2}{\ell^2}+\frac{h^2}{h_0{}^2}=1 \qquad ⑤$$

を得る。はりの厚さは楕円形に変化する。

問題７.5　木材と鋼板の積層材の幅をbとし、中立軸を式(7.24)から求めると

$$\bar{h}=\frac{E_s b h_s(h_s/2)+E_w b h_w(h_s+h_w/2)}{E_s b h_s+E_w b h_w}=\frac{E_s h_s{}^2+E_w(2h_s h_w+h_w{}^2)}{2(E_s h_s+E_w h_w)}$$

$$=\frac{206\times10^9\times20^2\times10^{-6}+10\times10^9\times(2\times20\times10^{-3}\times200\times10^{-3}+200^2\times10^{-6})}{2(206\times10^9\times20\times10^{-3}+10\times10^9\times200\times10^{-3})}=0.046m=46mm$$

鋼板部分の中立軸に関する断面二次モーメントI_s、定義より

$$I_s=\int_{-\bar{h}}^{-(\bar{h}-h_s)}y^2dA=\int_{-\bar{h}}^{-(\bar{h}-h_s)}by^2dy=\frac{b\left[-(\bar{h}-h_s)^3-(-\bar{h})^3\right]}{3}$$

$$=50\left[-(46-20)^3-(-46)^3\right]/3=13.3\times10^5mm^4=13.3\times10^{-7}m^4$$

木材部分の中立軸に関する断面二次モーメントI_wも、定義より

$$I_w=\int_{(\bar{h}-h_s)}^{(h_{ws}+h_s-\bar{h})}y^2dA=\frac{b\left[(h_s+h_w-\bar{h})^3-(\bar{h}-h_s)^3\right]}{3},$$

$$=\frac{50\left[(20+200-46)^3-(46-20)^3\right]}{3}=87.5\times10^6mm^4=87.5\times10^{-6}m^4$$

となる。両端支持で中央に集中荷重Pを受ける場合の最大曲げモーメントは

$M_{\max}=-P\ell/4$ **を式(7.25)に代入した式**

$$s_{xi}=P\ell E_i h/4(E_w I_w+E_s I_s)$$

に、鋼板部分と木材部分でそれぞれ作用する応力の最大値を求めると

鋼板部分は$h=-46mm$を代入すると

$$s_{xs}=\frac{-7\times10^3\times2\times206\times10^9\times(-46)\times10^{-3}}{4(206\times10^9\times13.3\times10^{-7}+10\times10^9\times87.5\times10^{-6})}=28.9MPa$$

板材部分は$h=200+20-46=174mm$を代入すると

$$s_{xw}=\frac{-7\times10^3\times2\times10\times10^9\times174\times10^{-3}}{4(206\times10^9\times13.3\times10^{-7}+10\times10^9\times87.5\times10^{-6})}=-5.3MPa$$

たわみは、単一材の場合の式(6.28)のEIをに等価曲げ剛性に変えて

$$v_{\max}=-\frac{p\ell^3}{48(E_w I_w+E_s I_s)}$$

$$=\frac{-7\times10^3\times2^3}{48(206\times10^9\times13.3\times10^{-7}+10\times10^9\times87.5\times10^{-6})}=-1.02\times10^{-3}m=-1.02mm$$

問題 7.6　式(7.32のs_sと$s_{c\max}$の比から$h_0 b$を求める。

$$\frac{s_s}{s_{c\max}}=\frac{M_a/[A_s(d-h_0/3)]}{2M_a/[h_0 b(d-h_0/3)]}=\frac{h_0 b}{2A_s}\quad\rightarrow\quad h_0 b=2A_s(s_s/s_{c\max})\quad ①$$

①を式(7.30)$bh_0{}^2+2A_s nh_0-2A_s nd=0$の第１項に代入すると

$$2A_s(s_s/s_{c\max})h_0+2A_s nh_0-2A_s nd=0$$

$$(s_s / s_{c\max})h_0 + nh_0 - nd = 0 \qquad ②$$

を得る。①から$h_0 = (2A_s / b)(s_s / s_{c\max})$を②に代入すると

$$(2A_s / b)(s_s / s_{c\max})[(s_s / s_{c\max}) + n] - nd = 0$$

$$A_s = \frac{nbd}{2(s_s / s_{c\max})[(s_s / s_{c\max}) + n]} \qquad ③$$

を得る。ここで$d \approx h$とし、③に数値を代入して解を得る。

$$A_s = \frac{15 \times 220 \times 510}{2 \times (100/5)[(100/5) + 15]} = 1202\, mm^2$$

問題 7.7　コンクリートの自重によって生じる圧縮応力は AB 面で最大になる。コンクリートの密度を r_c とすると擁壁の自重は$P = r_c g\ell h_0 / 2$（紙面の垂直方向を単位幅とした）から圧縮応力、次式で与えられる。

$$s_c = -P/(h_0 \times 1) = -r_c g\ell / 2 \qquad ①$$

また、水圧により AB 面には曲げ応力が生じる。この曲げ応力は、水の密度をr_wとおくと、例題 6.1で $f_0 = r_w g\ell$ となり、$M_{\max} = r_w g\ell^3 / 6$が求まり、曲げ応力は

$$s_x = M / Z = (r_w g\ell^3 / 6)/(h_0{}^2 / 6) = r_w g\ell^3 / h_0{}^2 \qquad ②$$

となる。B点の応力ゼロの条件（①+②＝0）から、解が求まる。

$$-r_c g\ell / 2 + r_w g\ell^3 / h_0{}^2 = 0 \quad \rightarrow \quad h_0 = \sqrt{\frac{2r_w}{r_c}}\ell = \sqrt{\frac{2 \times 1000}{2300}} \times 20 = 18.7m$$

問題 7.8　両端支持のはりの場合の曲げモーメントの最大値は図 6.4 から$M_{\max} = -P\ell_1\ell_2/\ell$を用いて、まず垂直荷重$P$ の場合は、幅方向の軸周りに曲げモーメントを生じ、はりの下面が引張り状態となり、軸方向に引張り応力が作用し、次のようにが求まる。

$$s_{x1} = |M| / Z = \frac{P\ell_1\ell_2/\ell}{a^3/6} = \frac{1 \times 10^3 \times (2/3) \times (1/3)}{50^3 \times 10^{-9} / 6} = 10.7 \times 10^6\, N/m^2 = 10.7MPa$$

次に水平荷重点P により、厚さ方向の軸周りに曲げモーメントが生じ、はりの幅方向の手前の面が引張り状態で、やはり軸方向に引張り応力となる。この応力は垂直荷重の場合と同様に計算され、

$$s_{x2} = |M| / Z = \frac{P\ell_1\ell_2/\ell}{a^3/6} = \frac{1 \times 10^3 \times (1/3) \times (2/3)}{50^3 \times 10^{-9} / 6} = 10.7 \times 10^6\, N/m^2 = 10.7MPa$$

となる。両方の荷重による軸方向の引張り応力は両者の和から次の値となる。

$$s_x = s_{x1} + s_{x2} = 21.4MPa$$

問題 7.9　ラーメンを A 点で仮想的に切断してみると、部材 AB は両端支持はりに荷重P とモーメントM_0 が作用するはりと考えられ、部材 AC は両端に曲げモーメントM_0 だけが作用するはりと考えられる。ラーメンの条件から点 A での角度変化は生じないため、部材 AB の角度q_A と部材 AC の角度q'_A の和はゼロの条件からM_0 をまず求める。

部材 AB の角度q_A は、両端支持で中央に集中荷重が作用する場合の右端でのたわみ角の式(6.29)

から求めた値をq_{A1}と同じく両端に曲げモーメントが作用する場合の式(6.62)に $x=0, M_A=M_B=M_0$ を代入して求めた値q_{A2}の和となる。

$$q_A = q_{A1} + q_{A2} = -Pa^2/16EI + M_0 a/2EI \quad ①$$

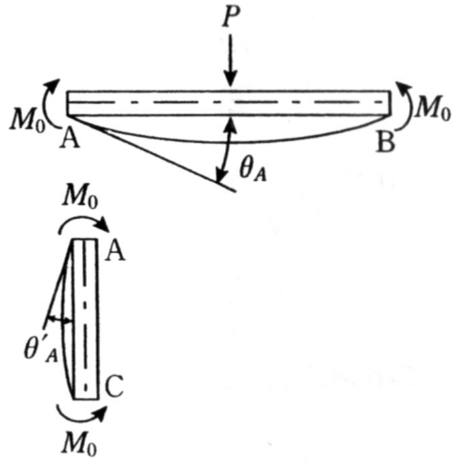
部材 AC の角度q'_Aは式(6.62)に$x=b, M_A=M_B=-M_0$を代入して

$$q'_A = M_0 b/2EI \qquad ②$$

①+②の条件から

$$-Pa^2/16EI + M_0 a/2EI + M_0 b/2EI = 0$$

$$\rightarrow \quad M_a = Pa^2/8(a+b)$$



部材 AB の最大曲げモーメントは両端支持で中央に手中荷重が作用した場合の結果にM_0を足し合わせて、断面係数で割れば最大曲げ応力を得る。

$$M_{\max} = -Pa/4 + M_0 = -Pa/4 + Pa^2/8(a+b)$$

$$s_x = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{-Pa/4 + Pa^2/8(a+b)}{Z} = \frac{-Pa(a+2b)}{8Z(a+b)}$$

問題 7.10　固定端からxでの曲げモーメントは、$M = f_0(\ell - x)^3/6\ell$、固定端では$M_0 = f_0\ell^2/6$（例題 6.1 参照）となるので、幅$b$を一定、固定端の厚さを$h_0$、$x$での厚さを$h$とおくと等強度はりの条件から、

$$\frac{f_0\ell^2/6}{bh_0^2/6} = \frac{f_0(\ell - x)^3/6\ell}{bh^2/6} \quad \rightarrow \quad h = h_0\left(\frac{\ell - x}{\ell}\right)^{3/2}$$

曲げの微分方程式$d^2v/dx^2 = -M/EI$に、上式で求めたhをIに代入して計算すると

$$d^2v/dx^2 = -\frac{f_0(\ell - x)^3/6\ell}{Ebh_0^3(\ell - x)^{9/2}/12\ell^{9/2}} = -\frac{2f_0\ell^{7/2}}{Ebh_0^3}\frac{1}{(\ell - x)^{3/2}}$$

$$dv/dx = -\frac{4f_0\ell^{7/2}}{Ebh_0^3}\frac{1}{(\ell - x)^{1/2}} + c_1, \quad v = \frac{8f_0\ell^{7/2}}{Ebh_0^3}(\ell - x)^{1/2} + c_1x + c_2$$

固定端$x=0$で$v=0$の条件から　$c_1 = \dfrac{4f_0\ell^3}{Ebh_0^3}$

$x=0$で$dv/dx=0$　$\dfrac{8f_0\ell^4}{Ebh_0^3} + c_2 = 0 \quad \rightarrow \quad c_2 = -\dfrac{8f_0\ell^4}{Ebh_0^3}$

したがって、はりの先端$x=\ell$でのたわみ$v = c_1\ell + c_2 = -\dfrac{4f_0\ell^4}{Ebh_0^3}$となる。

問題 7.11　木材と鋼板の積層材の幅をbとし、中立軸を式(7.24)から求めると

$$\bar{h} = \frac{E_1bh_1(h_1/2) + E_2bh_2(h_1 + h_2/2) + E_3bh_3(h_1 + h_2 + h_3/2)}{E_1bh_1 + E_2bh_2 + E_3bh_3}$$

$$=\frac{E_1h_1{}^2+E_2h_2(2h_1+h_2)+E_3h_3(2h_1+2h_2+h_3)}{2(E_1h_1+E_2h_2+E_3h_3)}$$

$$=\frac{10^9\times10^{-6}\times\left[103\times10^2+4.5\times100\times(2\times10+100)+103\times20\times(2\times10+2\times100+20)\right]}{2\times10^9\times10^{-3}\times(103\times10+4.5\times100+103\times20)}$$ 下のチタン

$$=78.9\times10^{-3}m=79mm$$

部分の中立軸に関する断面二ーメントI_1、定義より

$$I_s=\int_{-\bar{h}}^{-(\bar{h}-h_1)}y^2dA=\int_{-79}^{-69}by^2dy=\frac{100\left[(-69)^3-(-79)^3\right]}{3}=54.8\times10^5\,mm^4$$

バルサ部分の中立軸に関する断面二次モーメントI_2は

$$I_2=\int_{-(\bar{h}-h_1)}^{(h_1+h_2-\bar{h})}y^2dA=\int_{-69}^{10+100-79}by^2dy=\frac{100\left[31^3-(-69)^3\right]}{3}=11{,}9\times10^6\,mm^4$$

上のチタン部分の断面二次モーメントI_3は

$$I_3=\int_{(h_1+h_2-\bar{h})}^{(h_1+h_2+h_3-\bar{h})}y^2dA=\int_{10+100-79}^{10+100+20-79}by^2dy=\frac{100\left[51^3-(31)^3\right]}{3}=34.3\times10^5\,mm^4$$ とそれぞれ計算

できる。中央に集中荷重を受ける両端支持の曲げモーメントの最大値$(M_{\max}=-P\ell/4)$を式(7.25)に代入して

$$s_x=\frac{-P\ell E_ih}{4(E_1I_1+E_2I_2+E_3I_3)} \qquad ①$$

下のチタン部分の外側$h=-79mm$に作用する応力の最大値を①も用いると

$$s_x=\frac{-3\times10^3\times3\times103\times10^9\times(-79)\times10^{-3}}{4\times10^9\times10^{-12}(103\times54.8\times10^5+5.4\times11.9\times10^6+103\times34.3\times10^5)}=18.6MPa$$

上側のチタン部分の外側$h=130-79=51mm$に圧縮の応力の最大値

$$s_x=\frac{-3\times10^3\times3\times103\times10^9\times(51)\times10^{-3}}{4\times10^9\times10^{-12}(103\times54.8\times10^5+5.4\times11.9\times10^6+103\times34.3\times10^5)}=-12.0MPa$$

バルサ部分の引張り応力は$h=-69mm$として

$$s_x=\frac{-3\times10^3\times3\times5.4\times10^9\times(-69)\times10^{-3}}{4\times10^9\times10^{-12}(103\times54.8\times10^5+5.4\times11.9\times10^6+103\times34.3\times10^5)}=0.85MPa$$

バルサ部分の圧縮応力の最大値は$h=110-79=31mm$

$$s_x=\frac{-3\times10^3\times3\times5.4\times10^9\times(31)\times10^{-3}}{4\times10^9\times10^{-12}(103\times54.8\times10^5+5.4\times11.9\times10^6+103\times34.3\times10^5)}=-0.38MPa$$

となる。また、たわみの最大値は両端支持で中央に集中荷重をうけるたわみの式(6.28)のEIを等価剛性$(E_1I_1+E_2I_2+E_3I_3)$に変える。

$$v_{\max}=-\frac{p\ell^3}{48(E_1I_1+E_2I_2+E_3I_3)}$$

$$-\frac{3\times10^3\times3^3}{48\times10^9\times10^{-12}(103\times54.8\times10^5+5.4\times11.9\times10^6+103\times34.3\times10^5)}=-1.72\times10^{-3}m$$

問題 7.12　鉄筋コンクリートはりのコンクリートの全断面積 $A_s = 5 \times 3.14 \times 15^2 / 4 = 883 mm^2$ **を鉄筋コンクリートはりの中立軸の位置を求める式**(7.31)**に代入して**

$$h_0 = \left[-A_s n + \left(A_s{}^2 n^2 + 2 A_s nbd \right)^{1/.2} \right] / b$$

$$= \left[-883 \times 15 + \left(883^2 \times 15^2 + 2 \times 883 \times 15 \times 250 \times 500 \right)^{1/2} \right] / 250 = 183 mm$$

コンクリートに生じる圧縮応力の最大値は式(7.32)**に与えられた寸法を代入すると、**

$$(s_c)_{\max} = \frac{2M_a}{h_0 b (d - h_0 / 3)} \quad \rightarrow \quad 3 \times 10^6 = \frac{2M_a}{183 \times 250 (500 - 183 / 3) \times 10^{-9}}$$

$$M_a = 0.3 \times 10^5 (N \cdot m)$$

分布荷重を受ける両端支持のはりの最大曲げモーメント $M = f_0 \ell^2 / 8$ **と** $M_a = M$ **の条件から、**

$$0.3 \times 10^5 = f_0 \ell^2 / 8 \quad \rightarrow \quad f_0 = 8 \times 0.3 \times 10^5 / 5^2 = 9.65 \times 10^3 N / m = 9.65 N / mm$$

鉄筋に生じる最大引張り応力は式(7.32)**の最初の式から、次のような値を得る。**

$$s_s = \frac{M_a}{A_s (d - h_0 / 3)} = \frac{9.65 \times 10^3 \times 5^2 / 8}{883 \times 10^{-6} (0.5 - 0.183 / 3)} = 77.8 \times 10^6 N / m^2 = 77.8 MPa$$