کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

موتورهای سیلندری- ماشین آلاتی که در آنها از مکانیزم میل‌لنگ برای ایجاد حرکت پیستون داخل سیلندر استفاده می‌شود، ایجاد نیروهای رفت و برگشتی می‌کنند. مطابق شکل (Figure A1) از پیوست A درکتاب دینامیک خاک داس، اثبات می‌شود که نیروی اولیه (Q_p) و نیروی ثانویه (Q_s) به هنگام حرکت پیستون طبق روابط زیر معرفی می‌شوند:

$$Q(t) = m\ddot{z}(t) = \underbrace{mr_1\omega^2 \cos\omega t}_{Q_p(t)} + \underbrace{m\frac{r_1^2}{r_2}\omega^2 \cos 2\omega t}_{Q_s(t)}$$

$Q_p(t)$: نیروی $Q_p(t)$ نیروی اولیه نامیده می‌شود که با ω تغییر می‌کند.

$Q_s(t)$: نیروی $Q_s(t)$ نیروی ثانویه نام دارد که با 2ω تغییر می‌کند.

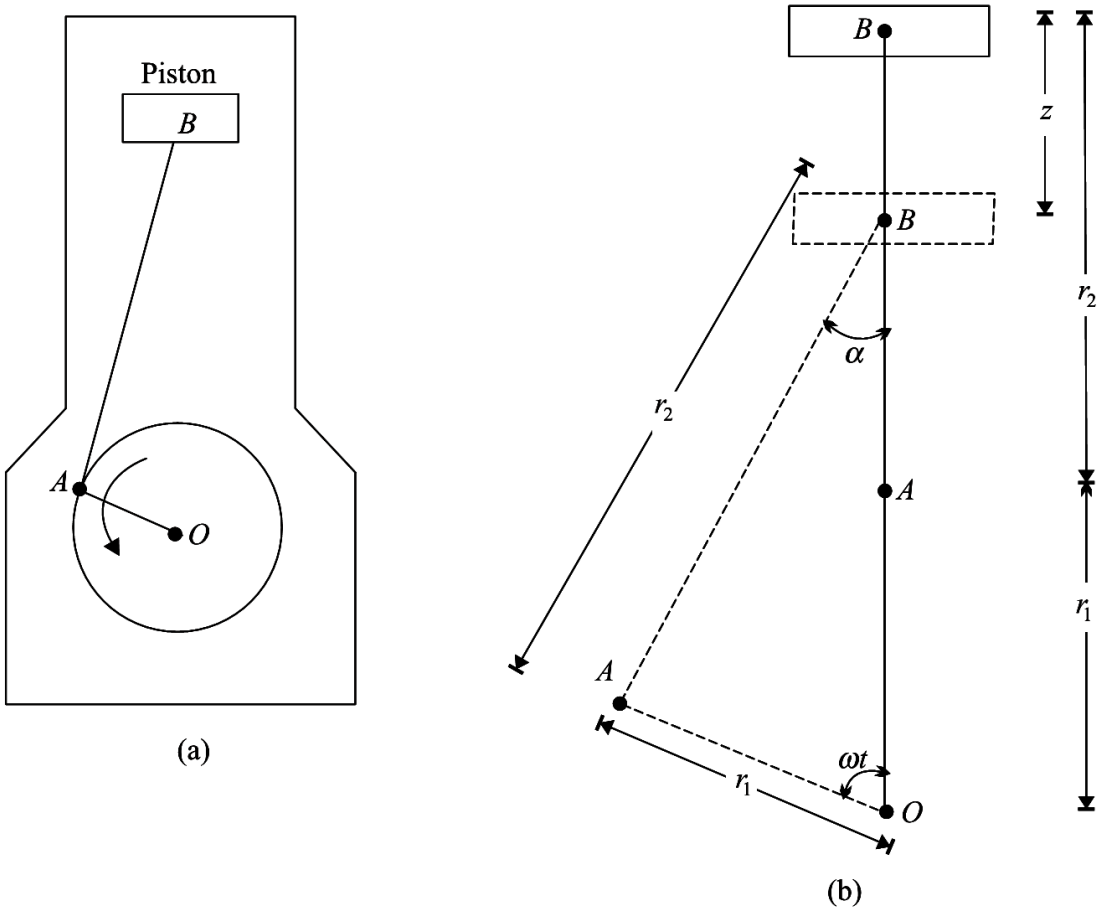


Figure A.1

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

نیروی اولیه $Q_p(t) = m r_1 \omega^2 \cos \omega t = Q_p \cos \omega t$

نیروی ثانویه $Q_s(t) = m \frac{r_1^2}{r_2} \omega^2 \cos 2\omega t = Q_s \cos 2\omega t$

در این صورت Q_p و Q_s دامنه نیروهای اولیه و ثانویه نامیده می شوند که داریم:

مشاهده می شود که دامنه نیروهای اولیه و ثانویه هر حسب توان دوم فرکانس حرکت (ω^2) تغییر می کند.

$$Q_p = m r_1 \omega^2$$

$$Q_s = \frac{m r_1^2}{r_2} \omega^2$$

هم چنین می توان نوشت

$$\frac{Q_p}{Q_s} = \frac{m r_1 \omega^2}{\frac{m r_1^2}{r_2} \omega^2} \Rightarrow \frac{Q_p}{Q_s} = \frac{r_2}{r_1}$$

در روابط فوق m جرم بیضتون و متعلقات آن است که حرکت دورانی را انجام می دهند.
r_1 شعاع میل لنگ است و r_2 طول میله اتصال (شاتون) می باشد که متصل به پیستون است.

بنابراین مجموع نیروی اولیه و ثانویه به صورت کاربردی دارای دامنه زیر است:

$$Q_0 = Q_p + Q_s = m r_1 \omega^2 + m \frac{r_1^2}{r_2} \omega^2$$

$$Q_0 = m \frac{r_1}{r_2} \omega^2 (r_2 + r_1)$$

$$Q_0 = m \frac{r_1}{r_2} (r_1 + r_2) \omega^2$$

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

مثال ۵.۲، شکل (5.15a) یک موتور تک سیلندر با حرکت دستگاهی پیستون را نشان می‌دهد. اطلاعات موتور عبارتند از: فرکانس حرکت 1500 cpm ؛ طول میله رابط ($r_2 = 0.300$ m) ، شعاع میل لنگ (r_1) برابر با $r_1 = 75$ mm ؛ وزن پیستون و ملحقات آن 54 N و وزن کل موتور 14kN .

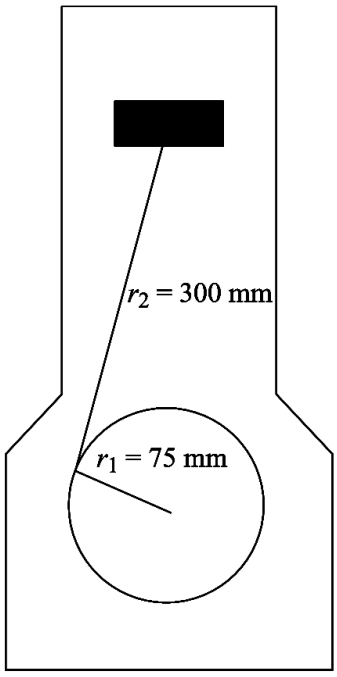
شکل 5.15b ابعاد شالوده بتنی را نشان می‌دهد. خواص مکانیکی خاک عبارتند از $\nu = 0.5$ ، $G = 13000$ kPa ، $\gamma = 18.5$ مطلوب است محاسبه:

a) نیروهای نامتعادل کننده اولیه و ثانویه در فرکانس عملکرد دستگاه

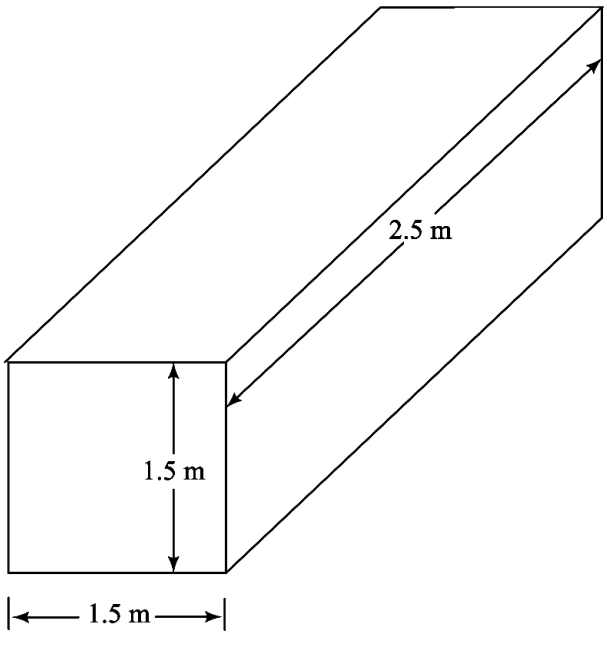
b) فرکانس تشدید

c) دامنه ارتعاش دینامیکی در حالت تشدید.

d) دامنه ارتعاش در فرکانس عملکرد دستگاه



(a)



(b)

Figure 5.15

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

a) محاسبه دامنه نیروهای اولیه و ثانویه.

برای این‌که وزن پیستون، وزن موتور و وزن فونداسیون با یکدیگر اشتباه گرفته نشوند از نمادهای زیر استفاده می‌کنیم:

W_r: وزن پیستون و متعلقات آن که حرکت رفت و برگشت دارند.

W_m: وزن کل موتور و یا ماشین آلات روی سکو (که شامل وزن پیستون هم می‌شود)

W_f: وزن بلوک سکو بتنی.

به همین ترتیب از m_r، m_m و m_f برای جرم پیستون، موتور و سکو استفاده می‌گردد.

بنابراین در فرمول‌های ارائه شده برای محاسبه Q_p، Q_s، Q_0 از m_r استفاده می‌شود.

$$W_m = m_r\, g \Rightarrow 54\,(N) = m_r\,(9.81) \Rightarrow m_r = 5.50\ kgr$$

$$f = 1500\ cpm = 1500\ \frac{cycles}{min} = 1500\ \frac{cycles}{60\ sec} = 25\ \frac{cycles}{sec} = 25\ Hz$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 25 = 50\pi = 157\ (rad/sec)$$

$$r_1 = 75\ mm = 0.075\ m\ ;\ r_2 = 300\ mm = 0.300\ m$$

$$Q_p = m_r\, r_1\, \omega^2 \rightarrow Q_p = 5.50 \times 0.075 \times 157^2 = 10.17 \times 10^3\ N$$

$$\frac{Q_p}{Q_s} = \frac{r_2}{r_1} \Rightarrow \frac{10.17 \times 10^3}{Q_s} = \frac{0.300}{0.075} \Rightarrow Q_s = 2.54 \times 10^3\ N$$

$$Q_0 = Q_p + Q_s = 12.71 \times 10^3\ N$$

یا $$Q_0 = m_r \frac{r_1}{r_2}(r_1 + r_2)\omega^2 = 5.50 \times \frac{0.075}{0.300}(0.075 + 0.300) \times 157^2$$

$$\Rightarrow Q_0 = 12.71 \times 10^3\ N$$

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

b) محاسبه ورکاس تشدید (ω_m و f_m).

برای محاسبه ورکاس تشدید ابتدا جرم و سختی ویرایی فونداسیون را محاسبه کرده و سپس یک درجه آزادی معادل را بدست می آوریم:

$$W_f = \gamma_c \times B \times L \times h$$

با توجه به شکل 5.15 داریم $B = 1.5\ m$, $L = 2.5\ m$ و $H = 1.5\ m$. وزن مخصوص بتن γ_c با فرض $\rho_c = 2400\ \frac{kg}{m^3}$ برای بتن محاسبه می گردد.

$$\gamma_c = \rho_c \times g = 2400 \times 9.81$$

$$\gamma_c = 23540\ \frac{N}{m^3} = 23.54 \times 10^3\ \frac{N}{m^3}$$

$$W_f = 23.54 \times 10^3 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.5 = 132.44 \times 10^3\ N$$

$$W = W_f + W_m = 132.44 \times 10^3 + 14 = 146.44 \times 10^3\ N$$

$$m = \frac{W}{g} = \frac{146.44 \times 10^3}{9.81} \Rightarrow m = 14.93 \times 10^3\ kgr$$

توجه کنید که W وزن کل پی شامل شالوده و ماشین آلات روی آن است و m جرم متناظر آن می باشد.

$$\pi r_o^2 = B \times L \Rightarrow r_o = \sqrt{BL/\pi} = \sqrt{1.5 \times 2.5/\pi}$$

$$r_o = 1.093\ m$$

r_o شعاع معادل شالوده است که در محاسبه سختی ویرایی پی استفاده می گردد.

روابط (5.23) و (5.24) کتاب

$$k_z = \frac{4 G r_o}{1-\nu} \quad ; \quad C_z = \frac{3.40 r_o^2}{1-\nu}\sqrt{G\rho}$$

$$G = 18000\ kPa \Rightarrow G = 18 \times 10^6\ Pa$$

$$\gamma = 18.5\ \frac{kN}{m^3} = 18500\ \frac{N}{m^3} \quad ; \quad \gamma = \rho g \Rightarrow 18500 = \rho \times 9.81$$

$$\Rightarrow \rho = 1886\ kgr/m3 \quad ; \quad \nu = 0.50$$ نسبت پواسون

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

محاسبه سختی در برای فونداسیون:

$$k_z = \frac{4Gr_0}{1-\nu} = \frac{4\times 18\times10^6\times 1.093}{1-0.5} = 157.4\times10^6 \frac{N}{m}$$

$$C_z = \frac{3.40 r_0^2}{1-\nu}\sqrt{G\rho} = \frac{3.4\times 1.093^2}{1-0.5}\sqrt{18\times10^6\times 1886} = 1.497\times10^6 \frac{N}{m/sec}$$

محاسبه برای عرانی و نسبت میرائی (C_{cz} و D_z)

$$C_{cz} = 2\sqrt{m k_z} = 2\sqrt{14.93\times10^3\times 157.4\times10^6} = 3.066\times10^6 \frac{N}{m/sec}$$

$$D_z = \frac{C_z}{C_{cz}} = \frac{1.497\times10^6}{3.066\times10^6} \Rightarrow D_z = 0.488$$

محاسبه فرکانس طبیعی سازه (f_n یا ω_n) و فرکانس تشدید (f_m یا ω_m)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_z}{m}} = \sqrt{\frac{157.4\times10^6}{14.93\times10^3}} = 102.7 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_n = 2\pi f_n \Rightarrow 102.7 = 2\pi f_n \Rightarrow f_n = 16.34 \frac{\text{cycles}}{\text{sec}} = Hz$$

$$\Rightarrow f_n = 16.34 \frac{\text{cycles}}{\frac{1}{60}\text{ min}} = 980 \frac{\text{cycles}}{\text{min}} = 980 \text{ cpm}$$

برای سیستم هایی که نیرو متناسب با توان دوم فرکانس است داریم:

$$f_m = \frac{f_n}{\sqrt{1-2D_z^2}} \quad \text{یا} \quad \omega_m = \frac{\omega_n}{\sqrt{1-2D_z^2}}$$

$$f_m = \frac{16.34}{\sqrt{1-2\times0.488^2}} = 22.58 \text{ Hz} = 1354 \text{ cpm}$$

$$\omega_m = 2\pi f_m = 2\pi\times 22.58 = 142 \text{ rad/sec}$$

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

c) محاسبه دامنه ارتعاش در وضعیت تشدید.

$$(A_z)_{res} = \frac{U}{m}\frac{1}{2D_z\sqrt{1-2D_z^2}}$$

$Q_0 = U\omega^2$ $\quad U = m_1 e = 2m_e e$ (از فصل دوم)

(شعاع بردار جرم دوار)

$m = 14.93 \times 10^3$ kgr ; $D_z = 0.488$ $\quad U = ?$

$Q_0 = 12.71 \times 10^3$ N $\quad \omega_m = 142$ rad/sec ; $\omega = 157$ rad/sec

چون Q_0 با استفاده از ω محاسبه گردید در اینجا هم داریم $Q_0 = U\omega^2$

$12.71 \times 10^3 = U \times 157^2 \Rightarrow U = 0.516$ kgr.m

$$(A_z)_{res} = \frac{U}{m}\frac{1}{2D_z\sqrt{1-2D_z^2}} = \frac{0.516}{14.93\times10^3} \times \frac{1}{2\times0.488\sqrt{1-0.488^2}}$$

$(A_z)_{res} = 4.057 \times 10^{-5}$ m $= 4.057 \times 10^{-2}$ mm

d) محاسبه دامنه ارتعاش در حین کار عادی موتور

$$A_z = \frac{U}{m}\frac{\beta^2}{\sqrt{(1-\beta^2)^2+(2D_z\beta)^2}} \quad ; \quad \beta = \frac{\omega}{\omega_n}$$

$$\beta = \frac{157}{102.7} = 1.529$$

$$A_z = \frac{0.516}{14.93\times10^3}\frac{1.529^2}{\sqrt{(1-1.529^2)^2+(2\times0.488\times1.529)^2}}$$

$A_z = 4.03 \times 10^{-5}$ m $= 0.0403$ mm

مشاهده می شود که مقدار $A_z < (A_z)_{res}$ است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

تمرین تکمیلی- مثال شماره (5-2) را در نظر بگیرید. همان طور که گفته شد، یک موتور تک سلندر با حرکت رفت و برگشت پیستون روی شالوده ای به ابعاد $L=2.5\,m$ ، $B=1.5\,m$ ، $H=1.5\,m$ ارتعاش می‌کند. مطلوب است محاسبه با راه‌حل‌های زیر با در نظر گرفتن جرم، سختی و میرایی موتر سیستم:

a) نیروهای نامتعادل کننده اولیه و ثانویه

b) فرکانس تشدید و طبیعی فونداسیون

c) دامنه ارتعاش در وضعیت تشدید

d) دامنه ارتعاش در فرکانس عملکردی دستگاه

داده‌های مسئله.

1. داده‌های موتور

$r_1 = 0.075\,m$ $\quad f = 1500\ cpm$ $\quad w_r = 54\,N$

$r_2 = 0.300\,m$ $\quad w_m = 14\,kN$

2. داده‌های خاک

$G = 18000 \times 10^3\,Pa = 18 \times 10^6\,Pa$ $\quad \nu = 0.5$

$\gamma = 18.5\,\frac{kN}{m^3} = 18500\,\frac{N}{m^3}$

a) دامنه نیروهای نامتعادل کننده اولیه و ثانویه.

این قسمت از حل مسئله کاملاً مشابه با مثال (5-2) است. چون ویژگی‌های موتور تغییری نکرده‌اند یعنی r_1 و r_2 و f و w_r مانند مثال قبل انتخاب شده‌اند. پس مطابق مثال (5-2) داریم:

$m_r = 5.5\,kgr$ $\quad f = 1500\ cpm = 25\,Hz$; $\omega = 157\ rad/sec$

$Q_p = 10.17 \times 10^3\,N$ $\quad Q_s = 2.54 \times 10^3\,N$

$Q_0 = Q_p + Q_s = 12.71 \times 10^3\,N$

b) محاسبه فرکانس طبیعی (ω_n) و فرکانس تشدید (ω_m)

با توجه به این که جرم موتور خاک (m_s) باید به محاسبات اضافه شود، فرکانس طبیعی سیستم (ω_n و f_n) تغییر پیدا خواهد کرد. ابتدا جرم موتور در ارتعاش را بدست می‌آوریم.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

$$m = m_f + m_m + m_s$$

$$m_f = \frac{W_f}{g} \quad ; \quad W_f = \gamma(V) = \gamma(BLH) = 23540\ (1.5 \times 2.5 \times 1.5)$$

$$\Rightarrow W_f = 132.44 \times 10^3\ N \Rightarrow m_f = 13.50 \times 10^3\ kgr$$ جرم فونداسیون

$$m_m = \frac{W_m}{g} = \frac{14. \times 10^3 (N)}{9.81} = 1.427 \times 10^3\ kgr$$ جرم ماشین آلات

$$\pi r_o^2 = BL \Rightarrow r_o = \sqrt{BL/\pi} = \sqrt{1.5 \times 2.5/\pi} = 1.093$$ شعاع معادل

$$\mu = 0.5 \qquad m_s = 2.0\, \rho\, r_o^3 \quad (page\ 240)$$ جرم موثر خاک در ارتعاش

$$\gamma = 18500\ N/m3 \qquad \gamma = \rho g \Rightarrow \rho = \frac{18500}{9.81} = 1886\ kg/m3$$

$$m_s = 2.0 \times 1886 \times 1.093^3 \Rightarrow m_s = 493 \times 10^3\ kgr$$

$$m = m_f + m_m + m_s = 19.86 \times 10^3\ kgr$$

در مثال (۲-۵) جرم کل $14.93 \times 10^3\ kg$ بدست آمده بود. اضافه کردن جرم موثر خاک جرم کل را $\frac{19.86 \times 10^3}{14.93 \times 10^3} = 1.33$ ٪ 33 افزایش داده است.

محاسبه ضرایب سختی و میرایی مطابق مثال قبل صورت می‌گیرد

$$k_z = \frac{4Gr_o}{1-\mu} = 157.4 \times 10^6\ N/m$$

$$c_z = \frac{3.4 r_o^2 \sqrt{G\rho}}{1-\mu} = 1.497 \times 10^6\ \frac{N.}{m/sec}$$

مشاهده می‌شود که ضرایب سختی و میرایی تغییر نکرده اند.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

محاسبه نسبت میرایی و میرایی بحرانی

$$C_{cz} = 2\sqrt{k_z m}$$

$$C_{cz} = 2\sqrt{157.4 \times 10^6 \times 19.86 \times 10^3} = 3.536 \times 10^6 \ \frac{N}{m/sec}$$

$$\xi \perp D_z = \frac{C_z}{C_{cz}} = \frac{1.497 \times 10^6}{3.536 \times 10^6} = 0.423 = 42.3\%$$

اکنون برای در نظر گرفتن میرایی مادی یا هیسترزیس ٪5 به مقدار D_z اضافه می‌کنیم:

$$D_z = 0.423 + 0.05 = 0.473$$

در مثال قبل (۲-۵) بدست آمده بود که $D_z = 0.488$ نیز چنین فرض شده است.

اکنون فرکانس طبیعی و فرکانس تشدید را محاسبه می‌کنیم

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_z}{m}} = \sqrt{\frac{157.4 \times 10^6}{19.86 \times 10^3}} = 89.03 \ rad/se$$

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = 14.17 \ Hz = 850 \ cpm$$

مشاهده می‌شود که به علت افزایش جرم فرکانس طبیعی ω_n و f_n کاهش یافته اند.
در مثال ۲-۵ جرات ها $f_n = 16.34 \ Hz$ و $\omega_n = 102.7$ بودند که ٪13.3 کاهش یافته اند.

برای محاسبه فرکانس تشدید هم داریم:

$$f_m = \frac{f_n}{\sqrt{1-2D_z^2}}$$

$$f_m = \frac{14.17}{\sqrt{1-2 \times 0.473^2}} = 19.06 \ Hz = 1144 \ cpm$$

$$\omega_m = 2\pi f_m = 120 \ \frac{rad}{sec}$$

فرکانس تشدید هم ٪15.5 کاهش دارد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

c) محاسبه دامنه ارتعاش در حالت تشدید.

$$(A_z)_{reg} = \frac{U}{m}\ \frac{1}{2D_z\sqrt{1-D_z^2}} \quad ; \quad U\omega^2 = Q_0$$

$$Q_0 = U \times 157^2 \Rightarrow U = 0.516 \ kgr.m$$

مقدار U نسبت به قبل بدون تغییر است.

$$(A_z)_{res} = \frac{0.516}{19.86\times10^3} \times \frac{1}{2\times0.473\sqrt{1-0.473^2}}$$

$$(A_z)_{res} = 3.117\times10^{-5} m = 3.117\times10^{-2} mm$$

پاسخ مثال (۵-۲) $(A_z)_{res} = 4.057\times10^{-2}_{mm}$ مشاهده کاهش 23٪ در پاسخ هستیم

محاسبه دامنه ارتعاش در فرکانس عملکردی

$$A_z = \frac{U}{m}\ \frac{\beta^2}{\sqrt{(1-\beta^2)^2+(2D_z\beta)^2}} \qquad (5.37)$$

$$\beta = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{157}{89.03} = 1.763 \quad ; \quad D_z = 0.473$$

$$A_z = \frac{0.516}{19.86\times10^3} \times \frac{(1.763)^2}{\sqrt{(1-1.763^2)^2+(2\times0.473\times1.763)^2}}$$

$$A_z = 3.00\times10^{-5} m = 3.00\times10^{-2} mm = 0.0300 mm$$

مقدار $A_z = 0.0403_{mm}$ در مثال (۵-۲) محاسبه شده که در اینجا A_z حاصل کاهش 25.5٪ مشاهده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

ارتعاش فونداسیون‌های مدفون در خاک

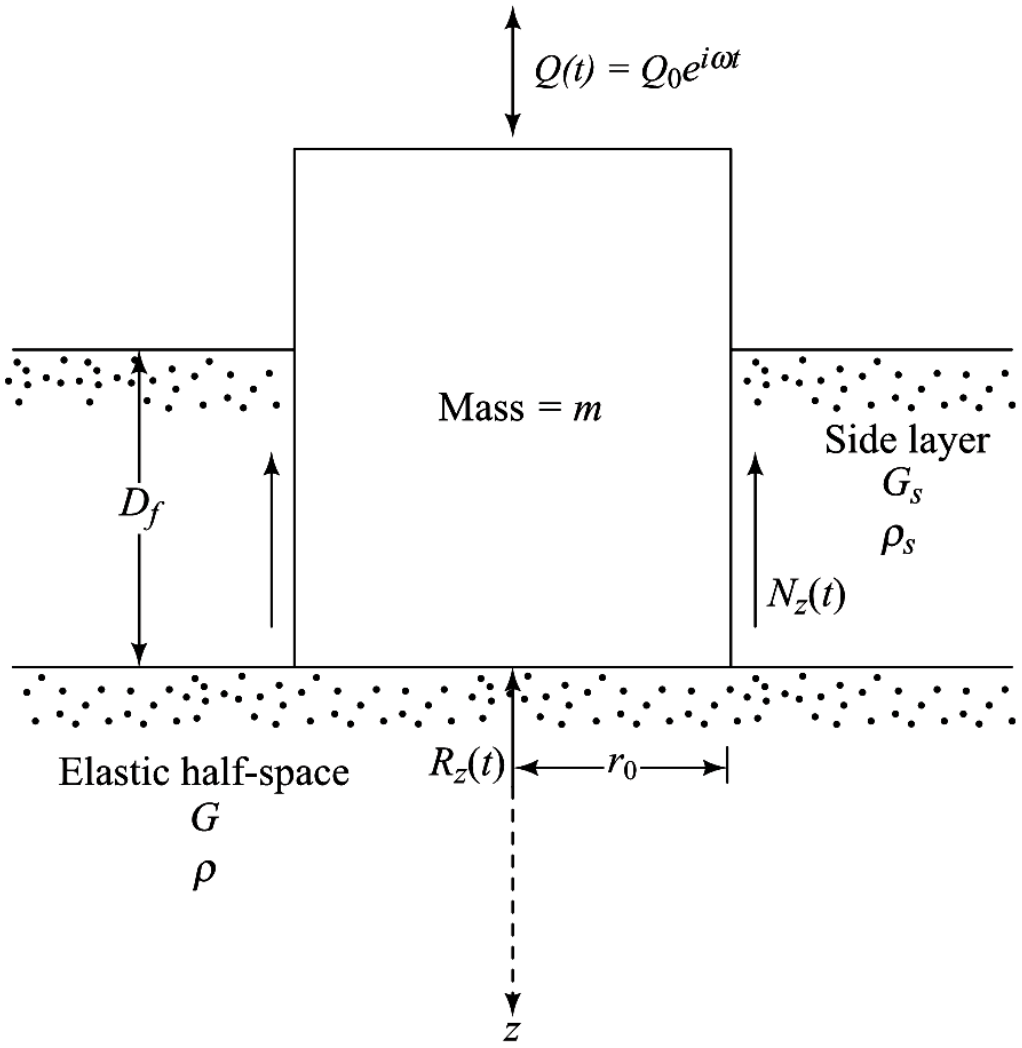


Figure 5.34 Embedded rigid cylindrical foundation – vertical vibration

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

ارتعاش فونداسیون های مدفون در خاک

در این حالت سختی دینامیکی خاک به صورت های زیر در معادله دیفرانسیل ظاهر می شود:

۱) سختی دینامیکی خاک زیر فونداسیون ۲- سختی دینامیکی سیلندر خاک اطراف شالوده

بررسی ارتعاش قائم فونداسیون های مدفون

با توجه به شکل (5.34) مشاهده می کنیم که تأثیر نیروهای حاصل از استوانه (سیلندر) خاک اطراف به صورت نیروی قائم $N_z(t)$ ظاهر می شود در حالیکه تأثیر نیروهای حاصل از خاک زیر فونداسیون با $R_z(t)$ ظاهر شده است. با نوشتن تعادل قائم خواهیم داشت:

$N_z(t)$: برآیند نیروهای قائم در اثر نیروهای سختی و میرایی حاصل از استوانه خاک اطراف شالوده

$R_z(t)$ | برآیند نیروهای قائم در اثر نیروهای سختی و میرایی حاصل از خاک زیر شالوده

$$z\downarrow \quad \sum F_z = 0 \qquad Q(t) - (m\ddot{z} + N_z(t) + R_z(t)) = 0$$

$$\Rightarrow \quad m\ddot{z} + R_z(t) + N_z(t) = Q(t) \qquad (5.108)$$

ابتدا اثر سختی و میرایی خاک زیر شالوده را در نظر می گیریم:

$$R_z(t) = k\, z + c\, \dot{z} \qquad z = A_z e^{i\omega t}$$

$$\dot{z} = i\omega A_z e^{i\omega t} \Rightarrow \dot{z} = i\omega z$$

$$R_z(t) = k\, z + c\, i\omega z$$

اکنون ضرایب سختی و میرایی خاک زیر شالوده را به صورت مقابل فرض می کنیم

$$k = G r_0 C_1 \quad ; \quad c = \frac{G r_0}{\omega} C_2$$

در این صورت داریم

$$R_z(t) = G r_0 C_1 z(t) + \frac{G r_0}{\omega} C_2 \times i\omega z(t)$$

$$R_z(t) = \left[G r_0 C_1 + i\, G r_0 C_2 \right] z(t)$$

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

$$R_{z(t)} = G r_0 (C_1 + iC_2) Z(t) = G r_0 C_1 z(t) + \frac{G r_0}{\omega} C_2 \dot{z}(t)$$

تأثیر میرایی و تأثیر سختی خاک زیر =

$$N_{z(t)} = G_S D_f (S_1 + iS_2) z(t) = G_S D_f S_1 z(t) + \frac{G_S D_f}{\omega} S_2 \dot{z}(t)$$

تأثیر میرایی و سختی خاک اطراف

اکنون ضرایب سختی خاک زیر و اطراف را با هم و ضرایب میرایی خاک زیر و اطراف را با هم جمع می زنیم تا سختی و میرایی کل حاصل شود.

$$k_z = G r_0 C_1 + G_S D_f S_1 \quad ; \quad C_z = \frac{G r_0}{\omega} C_2 + \frac{G_S D_f}{\omega} S_2$$

و یا

$$k_z = G r_0 \left[C_1 + \frac{G_S D_f}{G r_0} S_1 \right] \qquad (5.118)$$

$$C_z = \frac{G r_0}{\omega} \left[C_2 + \frac{G_S D_f}{G r_0} S_2 \right] \qquad (5.119)$$

$$C_1 = \bar{C}_1 \qquad S_1 = \bar{S}_1 \qquad a_0 = \frac{r_0 \omega}{v_S} \quad ; \quad v_S^2 = \frac{G}{\rho}$$

$$C_2 = a_0 \bar{C}_2 \qquad S_2 = a_0 \bar{S}_2$$

ابتدا مقادیر $\bar{C}_1$ و $\bar{C}_2$ و نیز $\bar{S}_1$ و $\bar{S}_2$ از جداول مربوطه استخراج شده و سپس در جدول (5.2)

از روابط بالا C_1 و C_2 و هم چنین S_1 و S_2 محاسبه می شوند و با قرار دادن در روابط k_z و C_z

ضرایب سختی و میرایی با اثرات مدفون شدگی محاسبه می شوند. به عنوان راه حل دیگر داریم:

$$k_z = G r_0 \left[\bar{C}_1 + \frac{G_S D_f}{G r_0} \bar{S}_1 \right] \qquad (5.120)$$

$$C_z = r_0^2 \sqrt{G\rho} \left[\bar{C}_2 + \bar{S}_2 \frac{D_f}{r_0} \sqrt{\frac{G_S \rho_S}{G\rho}} \right] \qquad (5.121)$$

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

تمرین تکمیلی: مثال شماره (۲-۵) را در نظر بگیرید. همان طور که گفته شد، یک موتور تک سیلندری با حرکت رفت و برگشتی پیستون روی شالوده ای به ابعاد $L = 2.5\,m$ ، $B = H = 1.5\,m$ ارتعاش می کند. محل دقیق شالوده با $D_f = 1.00\,m$ در نظر بگیرید. با در نظر گرفتن جرم، سختی و میرایی موثر فونداسیون مطلوب است:

a) دامنه نیروی نامتعادل اولیه و ثانویه

b) جرم، سختی و میرایی موثر سیستم

c) میرایی بحرانی و نسبت میرایی موثر

d) آیا فاکتور ضلبی دقیق کافی نیست؟

e) دامنه ارتعاش در فرکانس تشدید

f) دامنه ارتعاش در فرکانس عملکرد موتور

داده های مربوط به ماشین آلات:

$r_1 = 0.075\,m$ $\quad W_m = 14\,kN$

$r_2 = 0.300\,m$ $\quad W_r = 54\,N$ $\quad f = 1500\,cpm$

داده های ژئوتکنیک:

$\gamma = 18{,}500\,N/m^3$ $\quad \mu = 0.50$

$G_t = 18000\,kPa = 18\times10^6\,Pa$ $\quad G_s = 12\times10^6\,Pa$

a) دامنه نیروهای نامتعادل کننده.

مطابق با مثال (۲-۵) داریم:

$m_r = 5.5\,kgr$

$f = 1500\,cpm = 25\,Hz$ $\quad \omega = 157\,rad/sec$

$Q_p = 10.17\times10^3\,N$ $\quad Q_s = 2.54\times10^3\,N$

$Q_0 = Q_p + Q_s = 12.71\times10^3\,N$

b) محاسبه جرم، سختی و میرایی موثر کل.

قابلیت جرم موتور را بر اساس مثال تکمیلی در نظر می گیریم

$m = m_f + m_m + m_s$

$m = 13.50\times10^3 + 1.923\times10^3 + 4.93\times10^3$

$m = 1986\times10^3\,kgr$

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

برای ی سه ضرایب سختی و میرایی اثر متقابل شدگی اسپایدر خاک اطراف با بولها ظاهر گردد.

$\nu = 0.50$ Table (5.2) $\rightarrow \bar{c}_1 = 7.5$, $\bar{c}_2 = 6.8$, $\bar{s}_1 = 2.7$, $\bar{s}_2 = 6.7$

$G = 18 \times 10^6$ Pa $\rho = 1886$ kg/m^3 $r_0 = 1.093$ m

$G_s = 12 \times 10^6$ Pa $\rho_s = 1886$ kg/m^3 $D_f = 1.00$ m

(5.120)

$$k_z = G r_0 \left[\bar{c}_1 + \frac{G_s D_f}{G r_0} \bar{s}_1 \right]$$

$$k_z = 18 \times 10^6 \times 1.093 \left[7.5 + \frac{12 \times 10^6 \times 1.00}{18 \times 10^6 \times 1.093} \times 2.7 \right]$$

$$k_z = 180 \times 10^6 \ \frac{N}{m}$$

بدون اثرات متقابل شدگی، سختی خاک $k_z = 157.4 \times 10^6$ بوده که اکنون 10.3 ٪ افزایش یافته است.

$$c_z = r_0^2 \sqrt{G\rho} \left[\bar{c}_2 + \bar{s}_2 \frac{D_f}{r_0} \sqrt{\frac{G_s \rho_s}{G \rho}} \right]$$

$$c_z = 1.093^2 \sqrt{18 \times 10^6 \times 1886} \left[6.80 + 6.7 \times \frac{1.00}{1.093} \sqrt{\frac{12 \times 10^6 \times 1886}{18 \times 10^6 \times 1886}} \right]$$

$$c_z = 2.60 \times 10^6 \ \frac{N}{m/sec}$$

در مثال قبلی (۲۵) $c_z = 1.497 \times 10^6$ بوده که اکنون 73.6 ٪ افزایش یافته است.

c_{cz} میرای بحرانی و نسبت میرایی موثر

$$c_{cz} = 2\sqrt{k_z m} = 2\sqrt{180 \times 10^6 \times 19.86 \times 10^3}$$

$$c_{cz} = 3.78 \times 10^6 \ \frac{N}{m/sec}$$

$$D_z = \xi = \frac{c_z}{c_{cz}} = \frac{2.60 \times 10^6}{3.78 \times 10^6} = 0.688$$

که نسبت به مثال قبل، میرایی بیش از (50 ٪) افزایش یافته است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر مربوط به مولف می باشد و زیراکس و یا استفاده از آن با اجازه کتبی از صاحب اثر و با ذکر منبع بلامانع است. در غیر اینصورت شرعا حرام و پیگرد قانونی خواهد داشت.

d) محاسبه فرکانس طبیعی (f_n, ω_n) و فرکانس تشدید (f_m, ω_m)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_z}{m}} = \sqrt{\frac{180\times10^6}{19.86\times10^3}} = 95.2 \ rad/sec \qquad f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = 15.15\ Hz$$

در مثال قبلی نیز $\omega_n = 89.0 \frac{rad}{sec}$ بود که حاصل از سلیندر ۷٪ اختلاف را به خاطر اختلاف بعضی (حاصل از سلیندر) پیدا کرده است.

$$f_m = \frac{f_n}{\sqrt{1-2D_z^2}} = \frac{15.15}{\sqrt{1-2\times0.688^2}} \Rightarrow f_m = 65.61\ Hz = 3937\ cpm$$

$$\omega_m = 2\pi f_m = 2\pi\times65.61 = 412\ \frac{rad}{sec}$$

به خاطر اختلاف جزئی D_z فرکانس تشدید اختلاف بارزی است. جواب قبلی $\omega_m = 120 \frac{rad}{sec}$ بود.

e) دامنه جابجایی در حالت تشدید.

$$(A_z)_{res} = \frac{U}{m}\ \frac{1}{2D_z\sqrt{1-D_z^2}} \qquad Q_0 = U\omega^2$$

$$12.71\times10^3 = U\times157^2 \Rightarrow U = 0.516\ kgr.m$$

$$(A_z)_{res} = \frac{0.516}{19.86\times10^3} \times \frac{1}{2\times0.688\sqrt{1-0.688^2}}$$

$$(A_z)_{res} = 2.60\times10^{-5}\ m = 2.60\times10^{-2}\ mm$$

نسبت به مقدار $(A_z)_{res} = \frac{3\times10^{-2}}{17}\ mm$ در مثال قبلی ۱۷٪ کاهش یافته.

f) دامنه ارتعاش در فرکانس عملکردی

$$A_z = \frac{U}{m}\ \frac{\beta^2}{\sqrt{(1-\beta^2)^2+(2D_z\beta)^2}} \qquad U = 0.516\ kgr.m$$

$$\beta = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{157}{95.2} = 1.65 \qquad D_z = 0.688\ ;\ m = 19.86\times10^3\ kgr$$

$$A_z = 2.48\times10^{-5}\ m = 2.48\times10^{-2}\ mm$$

نسبت به مقدار $A_z = 3\times10^{-2}\ mm$ در مثال قبلی ۱۷٪ کاهش نشان می‌دهد.