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.

مدرس: دکتر علیرضا امامی (هیئت علمی دانشگاه آزاد-واحد اصفهان)

مثال مقدماتی - هدف اصلی در این مثال بررسی اندرکنش خاک و سازه برای یک سازه مستقر بر سطح زمین است. با توجه به فرض انتشار قائم موج در زیر یک شالوده سطحی در اندرکنش سینماتیکی داریم $\{u_b^k\} = \{u_b^g\} = \{u_b^f\}$

بنابراین حرکت اصلی حل مسئله، اندرکنش اینرسی خواهد بود.

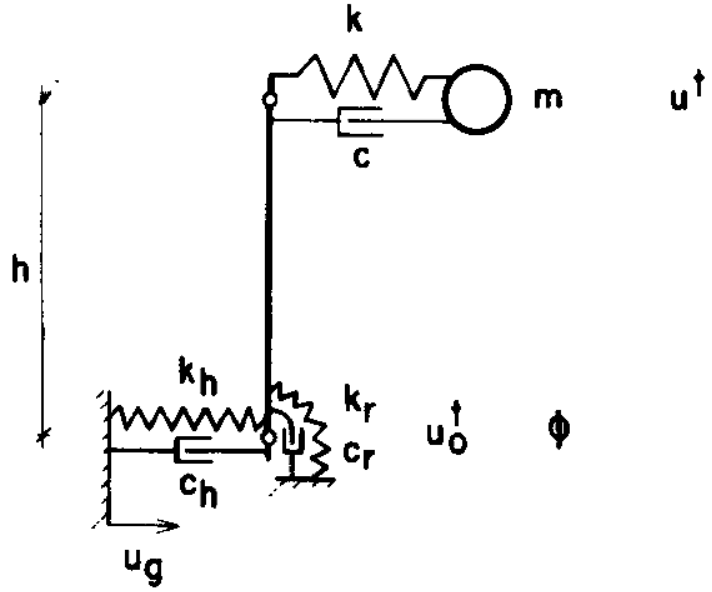
حل مسئله با فرض حرکت پایه با دامنه u_g و فرکانس ω صورت می‌گیرد.

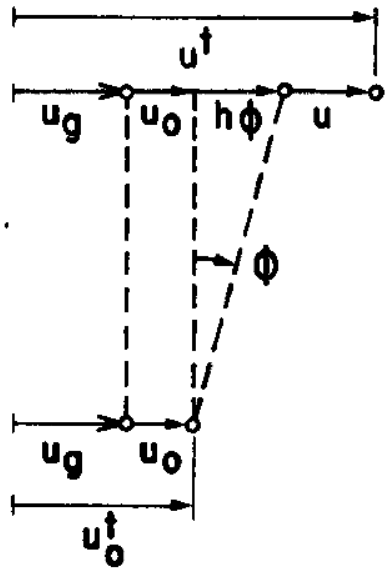
$$u_g(\omega) = u_g e^{i\omega t}$$

$$\ddot{u}_g(\omega) = -\omega^2 u_g(\omega)$$

معرفی سازه: جرم، سختی و میرایی سازه با ثابت های k ، c ، m نمایش داده شده و ارتفاع سازه h و a بعدی از شالوده (برای شالوده دایره ای)

$$\omega_s = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (3.33)$$





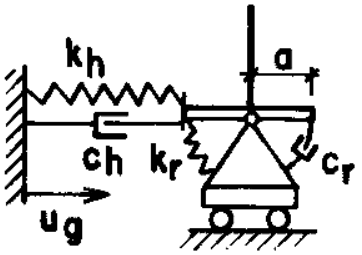
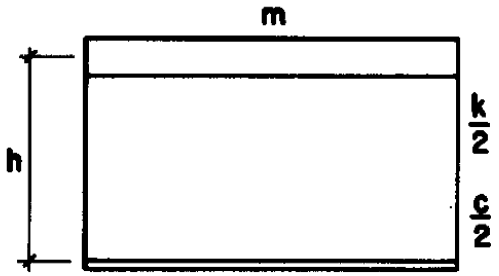


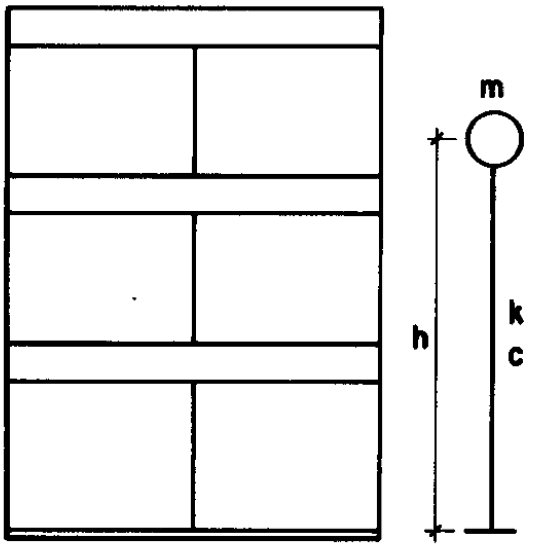
Figure 3-18 Model with one dynamic degree of freedom.

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.

تعریف سازه: جرم متمرکز و سیرایی سازه با ثابت های k, c, m نمایش داده شده و ارتفاع سازه با h و a بعدی از شالوده (در شالوده گسترده ای) و ζ: نسبت میرایی همپرزنس سازه و c تابع آن کاسن فرض می شود.

$$\zeta = \frac{c\omega}{2k} \Rightarrow c = \frac{2k\zeta}{\omega} \quad (3.34)$$





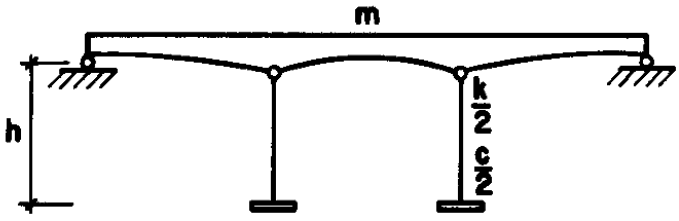


Figure 3-19 Structures that can be discretized as an equivalent model with one dynamic degree of freedom.

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.

معرفی مشخصات دینامیکی خاک و درجات آزادی

$u^t = u_g + u_0 + h\phi + u$

$u^t_0 = u_g + u_0$

u : جابجایی نسبی در شالوده و u جابجایی نسبی در سازه است.

u^t_0 : جابجایی کل شالوده و u^t جابجایی کل در محل جرم سازه است.

تعداد درجه آزادی دینامیکی u است که در محل جرم‌ها تعریف شده است.

نیروی افقی حاصل از مقاومت افقی خاک، ناشی از اثر میرایی هیسترزیس صرف نظر شود (ξ_x) این نیرو P_x نامیده می‌شود.

$P_x = k_x u_0 + c_x \dot{u}_0 \quad ; \quad \dot{u}_0 = i\omega u_0$

$P_x = (k_x + c_x i\omega) u_0 = k_x \left(1 + i \frac{c_x \omega}{k}\right) u_0$

$\xi_x = \frac{c_x \omega}{2 k_x}$ برای نسبت میرایی هیسترزیس برای جابجایی افقی خاک

با معرفی $\xi_x = \frac{c_x \omega}{2k_x}$

$c_x = 2\frac{k_x \xi_x}{\omega}$

$P_x = k_x (1 + 2\xi_x i) u_0$

برای افزودن تأثیر میرایی هیسترزیس خاک داریم

$P_h = P_x (1 + 2\xi_g i)$

با صرف نظر از حاصلضرب میرایی‌ها:

$P_h = k_x (1 + 2\xi_x i + 2\xi_g i) u_0$

$P_h = k_x u_0 + \frac{c_x \omega k_x u_0}{k_x} + \frac{2\xi_g k_x \omega}{\omega} u_0$

$P_h = k_x u_0 + c_x \dot{u}_0 + 2\xi_g \frac{k_x}{\omega} \dot{u}_0$

از طرفی

$P_h = k_h u_0 + c_h \dot{u}_0$

بنابراین $k_h = k_x$ ، $c_h = c_x + 2\xi_g \frac{k_x}{\omega}$

و برای تک‌درجه آزادی داشته

$\omega_h^2 = \frac{k_h}{m} \Rightarrow \omega_h = \sqrt{\frac{k_h}{m}}$

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.

$$M_r = k_r \phi_r + c_r \dot{\phi}_r = k_\phi (1 + 2\zeta_\phi i + 2\zeta_g i)$$

$$\zeta_\phi = \frac{c_\phi \omega}{2k_\phi} \quad , \quad c_r = c_\phi + \frac{2k_\phi \zeta_g}{\omega}$$

$$\omega_r^2 = \frac{k_r}{mh^2}$$

و برای فن کاس جداشده می‌توان نوشت.

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.

نوشتن معادلات تعادل

/

$\leftarrow \sum F_x - ma_x = 0$

$P_S + m\ddot{u}^t = 0$;

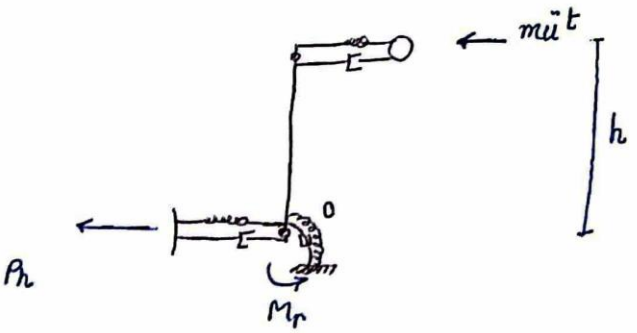
$P_S = k(1+2\xi_i i)u$; $m\ddot{u}^t = -m\omega^2 u^t = -m\omega^2(u_g + u_o + h\phi + u)$

$\Rightarrow k(1+2\xi_i i)u - m\omega^2(u_g + u_o + h\phi + u) = 0$

$k(1+2\xi_i i)u - m\omega^2(u_o + u + h\phi) = m\omega^2 u_g$

$\left[k(1+2\xi_i i) - m\omega^2\right]u + (-m\omega^2)u_o + (-m\omega^2)h\phi = m\omega^2 u_g$

$\left[\frac{\omega_S^2}{\omega^2}(1+2\xi_i i) - 1\right]u + (-1)u_o + (-1)h\phi = u_g$ (3.48a)



$\leftarrow \sum F_x - ma_x = 0$

$m\ddot{u}^t + P_h = 0$

$m\ddot{u}^t = -m\omega^2(u_g + u_o + h\phi + u)$

$P_h = k_x(1+2\xi_{ix} i + 2\xi_g i)u_o$

$m\ddot{u}^t + P_h = -m\omega^2(u_g + u_o + h\phi + u) + k_x(1+2\xi_x i + 2\xi_g i)u_o = 0$

$(-m\omega^2)u + \left[(-m\omega^2) + k_x(1+2\xi_x i + 2\xi_g i)\right]u_o + (-m\omega^2)h\phi = m\omega^2 u_g$

$(-1)u + \left[\frac{\omega_h}{\omega^2}(1+2\xi_{ix} i + 2\xi_g i) - 1\right]u_o + (-1)h\phi = u_g$ (3.48b)

$\circlearrowleft \sum M_o = 0$ $\quad M_r + M\ddot{u}^t \times h = 0$

$k_\phi(1+2\xi_\phi i + 2\xi_g i)\phi + (-1)(m)\omega^2(u_g + u_o + h\phi + u)h = 0$

$(-m\omega^2 h)u + (-m\omega^2 h)h\phi + k_\phi(1+2\xi_\phi i + 2\xi_g i)\phi \times \frac{h}{h} + (-m\omega^2)hu_o = m\omega^2 hu_g$

$(-1)u + (-1)u_o + \left[\frac{\omega_\phi^2}{\omega^2}(1+2\xi_\phi i + 2\xi_g i) - 1\right]h\phi = u_g$ (3.48c)

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.

4/

$$\begin{bmatrix} \frac{\omega_s^2}{\omega^2}(1+2\xi_s i)-1 & -1 & -1 \\ -1 & \frac{\omega_h^2}{\omega^2}(1+2\xi_x i+2\xi_g i)-1 & -1 \\ -1 & -1 & \frac{\omega_f^2}{\omega^2}(1+2\xi_f i+2\xi_g i)-1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ u_0 \\ h\phi \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} u_g$$

با حل دستگاه فوق u، u_0 و $h\phi$ بدست می‌آیند.

با جمع بستن (3.48a) - (3.48b)

$$\left[-1+\frac{\omega_s^2}{\omega^2}(1+2\xi_s i)\right]u + (-1)u_0 + (-1)h\phi = m\omega^2 u_g$$

$$-\left[-1\right]u + \left[\frac{\omega_h^2}{\omega^2}(1+2\xi_x i+2\xi_g i)-1\right]u_0 (-1)h\phi = m\omega^2 u_g$$

$$\frac{\omega_s^2}{\omega^2}(1+2\xi_s i)u - \left[\frac{\omega_h^2}{\omega^2}(1+2\xi_x i+2\xi_g i\right]u_0 = 0$$

$$u_0 = \frac{\omega_s^2}{\omega_h^2}\frac{1+2\xi_s i}{1+2\xi_x i+2\xi_g i}u \quad (3.50a)$$

(3.48a) - (3.48c)

$$\left[\frac{\omega_s^2}{\omega^2}(1+2\xi_s i)-1-(-1)\right]u + \left[(-1)-\left(\frac{\omega_f^2}{\omega^2}(1+2\xi_f i+2\xi_g i)-1\right)\right]h\phi = 0$$

$$\Rightarrow \quad h\phi = \frac{\omega_s^2}{\omega_f^2}\frac{1+2\xi_s i}{(1+2\xi_f i+2\xi_g i)}u \quad 3.50b$$

با قرار دادن در رابطه 3.48a داریم

$$\left[\frac{\omega_s^2}{\omega^2}(1+2\xi_s i)-1\right]u - \left(\frac{\omega_s^2}{\omega_h^2}\times\frac{1+2\xi_s i}{1+2\xi_x i+2\xi_g i}\right)u - \left(\frac{\omega_s^2}{\omega_f^2}\times\frac{1+2\xi_s i}{1+2\xi_x i+2\xi_g i}\right)u = u_g$$

ω^2/ω_s^2

$$\left[1+2\xi_s i - \frac{\omega^2}{\omega_s^2} - \frac{\omega^2}{\omega_h^2}\times\frac{1+2\xi_s i}{1+2\xi_x i+2\xi_g i} - \frac{\omega^2}{\omega_f^2}\times\frac{1+2\xi_s i}{1+2\xi_x i+2\xi_g i}\right]u = \frac{\omega^2}{\omega_s^2}u_g$$

(3.51)

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.

5/ $m\ddot{u} + \tilde{c}\dot{u} + \tilde{k}u = -m\ddot{u}_g$ سیستم تک درجه آزادی معادل

سیستم تک درجه آزادی معادل با تکیه‌گاه گیردار دارای جرم m، سختی $\tilde{k}$ و میرایی $\tilde{c}$ است و تحت تحریک $\ddot{u}_g$ قرار می‌گیرد. نسبت میرایی معادل آن $\tilde{\zeta}$ و فرکانس آن $\tilde{\omega}$ است. معادله حرکت آن به صورت زیر است.

$$-m\omega^2 u + i\omega\tilde{c}u + \tilde{k}u = m\omega^2\ddot{u}_g \quad (3.52); \qquad \tilde{\zeta} = \frac{\tilde{c}\omega}{2\tilde{k}}$$

$$\tilde{k}\left(1 + \frac{\tilde{c}\omega}{\tilde{k}}i - \frac{m\omega^2}{\tilde{k}}\right)u = \frac{m}{\tilde{k}}\omega^2\ddot{u}_g \qquad \tilde{c} = \frac{2\tilde{\zeta}\tilde{k}}{\omega} \quad (3.54); \qquad \tilde{\omega} = \sqrt{\frac{\tilde{k}}{m}} \quad (3.53)$$

$$\left(1 + 2\tilde{\zeta}i - \frac{\omega^2}{\tilde{\omega}^2}\right)u = \frac{\omega^2}{\tilde{\omega}^2}\ddot{u}_g \quad (3.55)$$

حرف دراینجا باشتر $\tilde{\omega}$، $\tilde{\zeta}$ و $\ddot{u}_g$ برای سیستم تک‌درجه آزادی معادل با تکیه‌گاه گیردار است.

با فرض اینکه همه نسبت‌های میرایی صفر باشند ($\zeta = \zeta_1 = \zeta_2 = \zeta_3 = 0$) در حالت $\omega = \tilde{\omega}$ تشدید رخ می‌دهد. پس از رابطه 3.51 داریم:

$$1 - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_s^2} - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_{h^2}} - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_r^2} = 0$$

$$\Rightarrow \tilde{\omega}^2\left(\frac{1}{\omega_s^2} + \frac{1}{\omega_{h^2}} + \frac{1}{\omega_r^2}\right) = 1$$

$$\frac{1}{\tilde{\omega}^2} = \frac{1}{\omega_s^2} + \frac{1}{\omega_{h^2}} + \frac{1}{\omega_r^2} \quad (3.56)$$

$$\frac{1}{\tilde{\omega}^2} = \frac{1}{\omega_s^2}\left(1 + \frac{\omega_s^2}{\omega_{h^2}} + \frac{\omega_s^2}{\omega_r^2}\right)$$

$$\frac{1}{\tilde{\omega}^2} = \frac{1}{\omega_s^2}\left(1 + \frac{k}{k_h} + \frac{kh^2}{k_r}\right)$$

$$\frac{1}{\tilde{\omega}^2} = \frac{1}{\omega_s^2}\left(1 + k/k_h + kh^2/k_r\right)$$

$$\tilde{\omega}^2 = \omega_s^2 \times \frac{1}{1 + k/k_h + kh^2/k_r}$$

نتیجه $\tilde{\omega} < \omega_s$ $\Rightarrow$ $\tilde{\omega} = \frac{1}{2}\omega_s^2$

برای تعیین نسبت میرایی معادل خروجی‌ها کافیست رابطه 3.51 را در رابطه 3.54 جاگذاری کنیم و از خاصیت میرایی که در سیستم و خروجی موجود است، استفاده کنیم. در این صورت

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.

$$\left[(1+2\xi i-\frac{\omega^2}{\omega_3^2}-\frac{\omega^2}{\omega_h^2}(1+2\xi i)(1-2\xi_x i-2\xi_g i)-\frac{\omega^2}{\omega_r^2}(1+2\xi i)(1-2\xi_\phi i-2\xi_g i)\right]u=\frac{\omega^2}{\omega_3^2}u_g$$

$$\left[1+2\xi i-\frac{\omega^2}{\omega_3^2}-\frac{\omega^2}{\omega_h^2}(1+2\xi i-2\xi_x i-2\xi_g i)-\frac{\omega^2}{\omega_r^2}(1+2\xi i-2\xi_\phi i-2\xi_g i)\right]u=\frac{\omega^2}{\omega_3^2}u_g$$

$$\left[1+\underbrace{2\xi i-\frac{2\omega^2}{\omega_h^2}\xi i+\frac{2\omega^2}{\omega_h^2}\xi_x i+\frac{2\omega^2}{\omega_h^2}\xi_g i-\frac{2\omega^2}{\omega_r^2}\xi i+\frac{2\omega^2}{\omega_r^2}\xi_\phi i+\frac{2\omega^2}{\omega_r^2}\xi_g i}_{2\tilde{\xi}i}-\frac{\omega^2}{\omega_3^2}-\frac{\omega^2}{\omega_h^2}-\frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right]u=\frac{\omega^2}{\omega_3^2}u_g$$

$$-\frac{\omega^2}{\tilde{\omega}^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\omega^2}{\tilde{\omega}^2}=\omega^2\left(\frac{1}{\omega_3^2}+\frac{1}{\omega_h^2}+\frac{1}{\omega_r^2}\right)\Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\tilde{\omega}^2}=\frac{1}{\omega_3^2}+\frac{1}{\omega_h^2}+\frac{1}{\omega_r^2}\quad\checkmark$$

اثبات (ب)

$$\tilde{\xi}=\xi\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_h^2}-\frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right)+\xi_x\frac{\omega^2}{\omega_h^2}+\xi_\phi\frac{\omega^2}{\omega_r^2}+\xi_g\left(\frac{\omega^2}{\omega_h^2}+\frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right)$$

$$\tilde{\xi}=\xi\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_h^2}-\frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right)+\xi_x\frac{\omega^2}{\omega_h^2}+\xi_\phi\frac{\omega^2}{\omega_r^2}+\xi_g\left(\frac{\omega^2}{\omega_h^2}+\frac{\omega^2}{\omega_r^2}\right)$$

$$\tilde{\xi}=\xi\left(\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega^2}-\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_h^2}-\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_r^2}-\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}+\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}\right)+\xi_x\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_h^2}+\xi_\phi\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_r^2}+\xi_g\left(\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_h^2}+\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_r^2}+\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}-\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}\right)$$

(ج-60)

با فرض $\omega=\tilde{\omega}$

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.

$$\tilde{\xi} = \xi\left(\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega^2} - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_1^2} - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_2^2} - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2} + \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}\right) + \xi_2 \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_1^2} + \xi_4 \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_2^2} + \xi_5\left(\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_1^2} + \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_2^2} + \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2} - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}\right)$$

$$\tilde{\xi} = \xi\left(\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}\right) + \xi_2 \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_1^2} + \xi_4 \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_2^2} + \xi_5\left(1 - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}\right) \qquad 3.61$$

با توجه به اینکه $\xi_5 > \xi$ اغلب برقرار است، حتی با فرض شیء مرای هندسی نزدیک با شکم ($\xi_2 = \xi_4 = 0$) باز هم $\tilde{\xi} > \xi$ نتیجه می‌شود.

با فرض $\tilde{\omega} = \omega$ (از رابطه 3.61) داریم: $\tilde{\omega}_g = \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_3^2}\omega_g$ 3.62

بنابراین با فرض $\tilde{\omega} = \omega$ سرعت اصلاح شده $\tilde{\omega}_g$ همواره کوچکتر از سرعت اصلی رسیدن ω_g خواهد بود.

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.

جمع بندی: پاسخ سیستم با درجات هم بسته و بی انحطاف پذیر همانند پاسخ یک سیستم یک درجه آزادی معادل با تکیه گاه گیردار است.

مزکاس ضبی سیستم معادل $\tilde{\omega}$، نسبت میرایی آن $\tilde{\xi}$ و حرکت موثر زمین $\tilde{u}_g$ خواهد بود که:

$$\tilde{\omega} = \frac{\omega_s^2}{1 + k/k_h + kh^2/k_r} \qquad (3.57)$$

$$\tilde{u}_g = \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_s^2} u_g$$

$$\frac{1}{\tilde{\omega}^2} = \frac{1}{\omega_h^2} + \frac{1}{\omega_s^2} + \frac{1}{\omega_r^2} \qquad (3.56)$$

$$\tilde{\xi} = \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_s^2}\xi + \left(1 - \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_s^2}\right)\xi_g + \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_h^2}\xi_2 + \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_r^2}\xi_\phi$$

پاسخ سیستم معادل بر حسب u است که جابجایی نسبی در سازه اصلی را نشان می دهد. پس نیروی برشی جانبی در سازه اصلی این رابطه $k|u|$ می باشد خواهد شد. به عنوان راه جایگزین می توان از طیف شبه شتاب متناسب با حرکت u_g می توان متناسب با $(\tilde{\omega}, \tilde{\xi})$ مقدار $\tilde{\omega}^2|u|\left(\frac{\omega_s^2}{\tilde{\omega}^2}\right)$ را می دهد. این مقدار با ضرب شکل در $\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_s^2}$ مقدار $\tilde{\omega}^2|u|$ را نتیجه می دهد که شبه شتاب طیف پاسخ u_g در $(\tilde{\omega}, \xi_s)$ است.

$$V = m S_a = m\,\tilde{\omega}^2 |u| \frac{|\omega_s^2|}{\tilde{\omega}^2} = m\omega_s^2 |u| = k|u|$$

و در نتیجه برای برش اینی داریم

پس $V = k|u|$

پس از ی دنه u ی توان u_0 و $h\phi$ ی نسبه خود

$$u_0 = \frac{\omega_s^2}{\omega_h^2}\left(\frac{1 + 2\xi_1 i}{1 + 2\xi_2 i + 2\xi_g i}\right) \qquad (3.63a)$$

$$h\phi = \frac{\omega_s^2}{\omega_r^2}\,\frac{1 + 2\xi_1 i}{1 + 2\xi_2 i + 2\xi_g i} \qquad (3.63b)$$

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.

3.4.4 Dimensionless Parameters

پارامترهای بدون بعد: برای یک تحریک مشخص، پاسخ دینامیکی سیستم به مشخصات سازه نسبت به خاک بستگی دارد. به همین دلیل پارامترها به صورت بدون بعد تعریف می‌شوند:

۱- نسبت سختی سازه به سختی خاک:

$$\bar{s} = \frac{\omega_s h}{c_s}$$

برای ساختمان‌های بلند مقدار ω_s با افزایش h به صورت معکوس کاهش می‌یابد.

پس مقدار $\omega_s h$ تقریباً ثابت خواهد بود. با کاهش سختی خاک $\bar{s}$ افزایش می‌یابد.

۲- نسبت لاغری:

$$\bar{h} = \frac{h}{a}$$

a طول مشخصه برای پایه صلب، به عنوان مثال شعاع شالوده گسترده مدور

۳- نسبت جرم:

$$\bar{m} = \frac{m}{\rho a^3}$$

ρ چگالی خاک $(G = \rho c_s^2)$

۴- ضریب پواسن خاک ν

۵- نسبت میرایی چرخه‌ای در سازه (ξ) و در خاک (ξ_g) ξ, ξ_g

ضرایب سختی و میرایی خاک: در واقع این ضرایب تابع فرکانس تحریک (ω) هستند. اما به صورت تقریبی این ضرایب مستقل از فرکانس ω در نظر گرفته می‌شوند:

$$k_x = \frac{8Ga}{2-\nu} \qquad C_x = \frac{4.6}{2-\nu}\rho c_s a^2 \qquad (3.65)$$

$$k_\phi = \frac{8Ga^3}{3(1-\nu)} \qquad C_\phi = \frac{0.4}{1-\nu}\rho c_s a^4$$

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.

اکنون با تعریف $\tilde{\omega}$ و $\tilde{\zeta}$ از روابط 3.37 و 3.61 برحسب پارامترهای بدون بعد داریم:

$$\frac{\tilde{\omega}}{\omega_s^2} = \frac{1}{1+\frac{\bar{m}\bar{s}^2}{8}\left[\frac{2-\upsilon}{\bar{h}^2}+3(1+\upsilon)\right]} \qquad (3.66a)$$

$$\tilde{\zeta} = \frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_\xi^2}\zeta + \left(1+\frac{\tilde{\omega}^2}{\omega_s^2}\right)\zeta_g + \frac{\tilde{\omega}^3}{\omega_s^3}\bar{s}^3\frac{\bar{m}}{\bar{h}}\left[0.036\frac{2-\upsilon}{\bar{h}^2}+0.028(1+\upsilon)\right] \qquad (3.66b)$$

3.4.5 Parametric Study

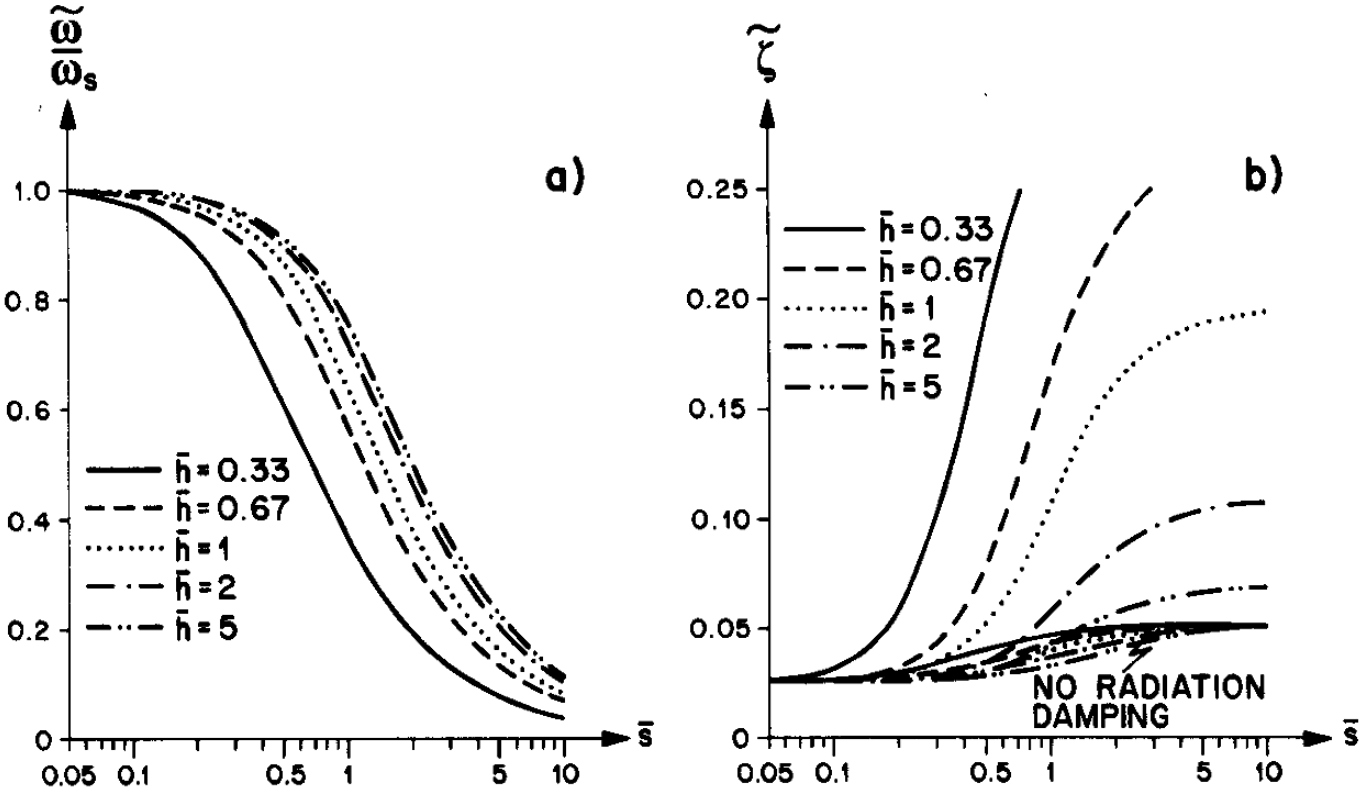


Figure 3-20 Properties of equivalent one-degree-of-freedom system ($\bar{m} = 3$, $\nu = 0.33$, $\zeta = 0.025$, $\zeta_g = 0.05$), varying slenderness ratio. (a) Natural frequency; (b) damping.

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.

- با کاهش سختی خاک مقدار $\bar{s}$ افزایش می یابد و در نتیجه نسبت $\frac{\tilde{\omega}}{\omega_s}$ کاهش می یابد. یعنی اختلاف بین فرکانس سازه با تکیه گاه گیردار با فرکانس سازه معادل با تکیه گاه اصلاح شده بیشتر می شود. افزایش جرم دوباره نیز باعث کاهش نسبت $\frac{\tilde{\omega}}{\omega_s}$ خواهد شد.

- برای سازه‌های کوتاه و صلب (با مقدار $\bar{h}$ اندک) که مودهای ارتعاشی آنها اغلب شامل یک حرکت جانبی است مقدار پیچ بزرگتر است از پیچ در سازه‌های بلند و انعطاف‌پذیر ($\bar{h}$ بزرگ) که در آنها حرکت گهواره ای سازه از اهمیت بالایی برخوردار است.

- اگر چه نسبت میرایی پیچ از پیچ اغلب بزرگتر است و نیز ω_θ کوچکتر از ω_y است، با این حال مقدار پارامتر u با صرف نظر از اندرکنش خاک و سازه می تواند خیلی بزرگتر یا کوچکتر باشد.

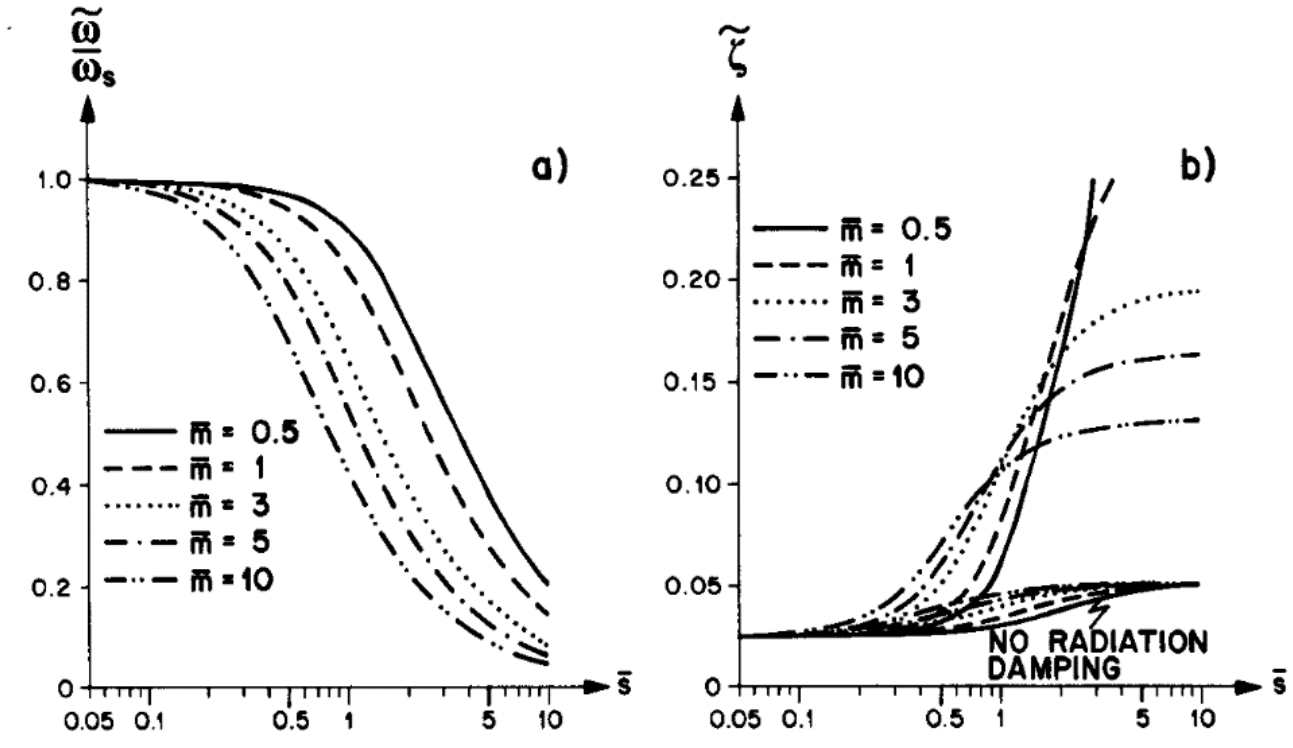


Figure 3-21 Properties of equivalent one-degree-of-freedom system ($\bar{h} = 1$, $\nu = 0.33$, $\zeta = 0.025$, $\zeta_g = 0.05$), varying mass ratio. (a) Natural frequency; (b) damping.

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.

- اگر چه نسبت میرایی یکی از پارامترهای مهم در اندرکنش خاک و سازه می تواند در بزرگتر یا کوچکتر باشد

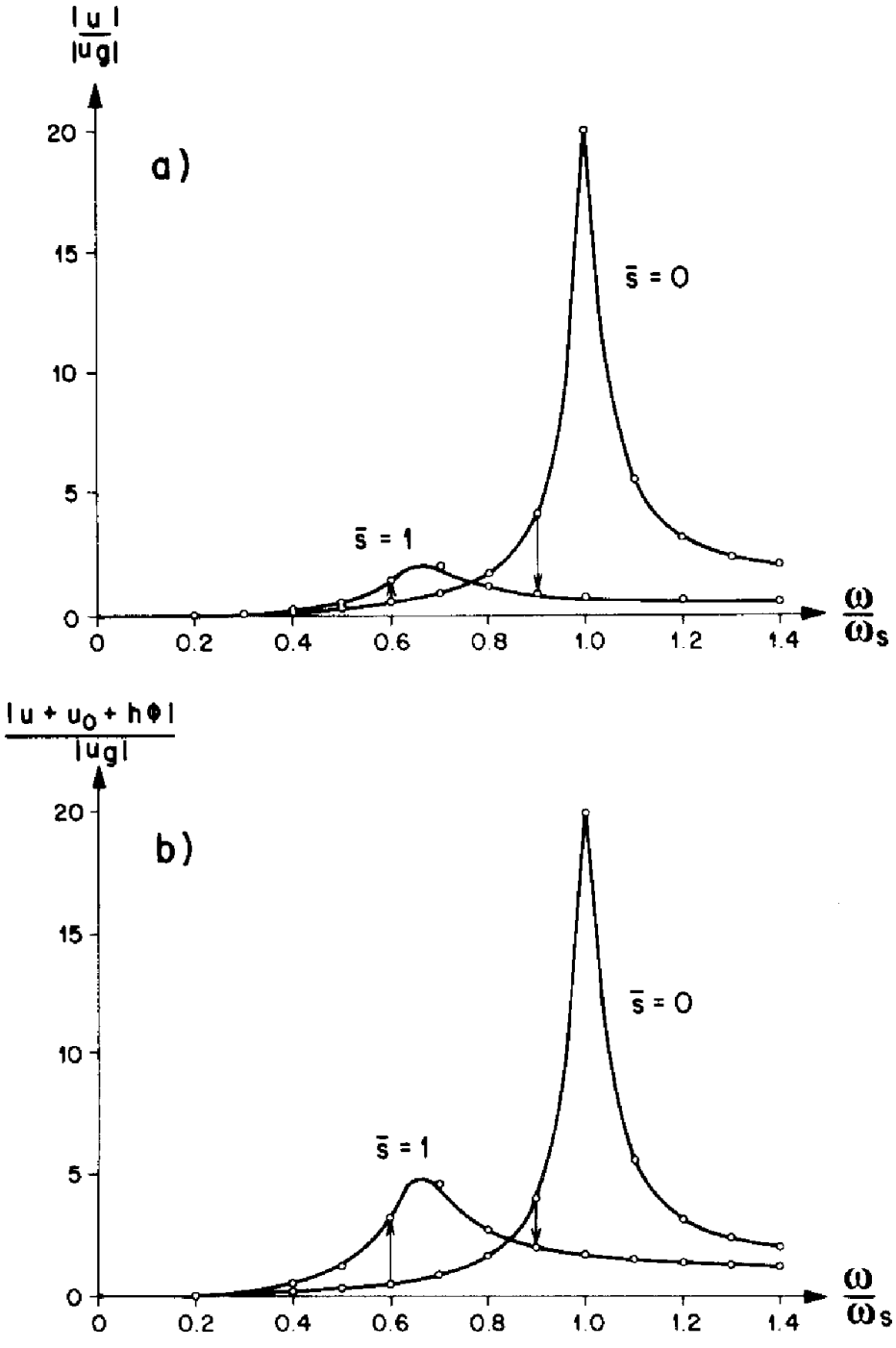


Figure 3-22 Influence of soil–structure interaction as a function of excitation frequency ($\bar{h} = 1$, $\bar{m} = 3$, $\nu = 0.33$, $\zeta = 0.025$, $\zeta_g = 0.05$). (a) Structural distortion; (b) displacement of mass relative to free field.

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.

- جایی که فقط تغییرمکان مطلق بیشترین پاسخ درنظر گرفته شود، درنظرگرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه باعث کاهش پاسخ می‌شود. دراین حالت ماکزیمم پاسخ زمانی رخ می‌دهد که فرکانس سازه به فرکانس تحریک نزدیک شود ($\omega_n = \omega$ یا $T_n = T$).

مصنع فوق هم در مورد جابجایی نسبی سازه صادق است (u) و هم در مورد تغییرمکان جابجایی کل ($u + u_0 + h\phi$)

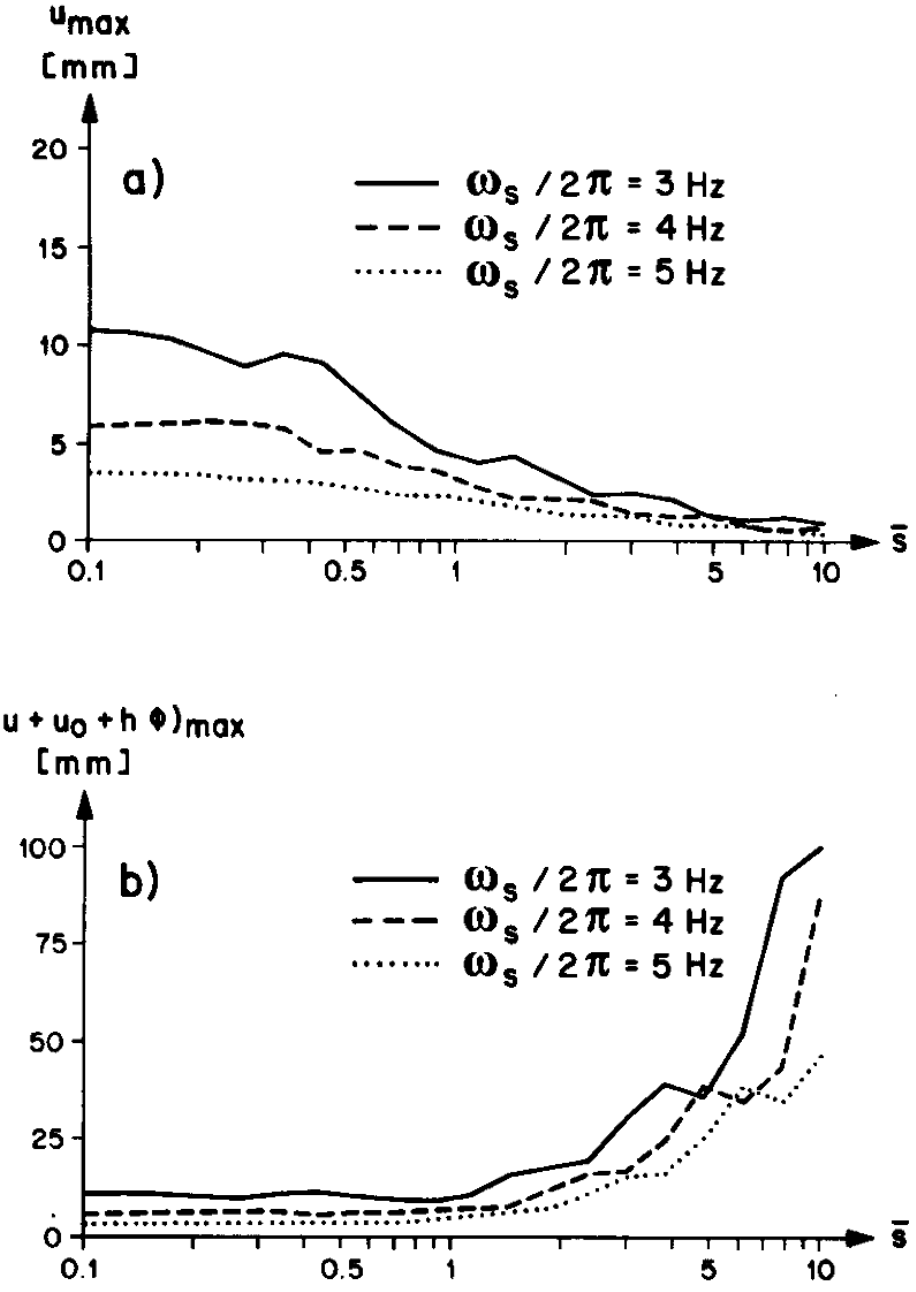


Figure 3-23 Maximum response, artificial time history ($\bar{h} = 1$, $\bar{m} = 3$, $\nu = 0.33$, $\zeta = 0.025$, $\zeta_g = 0.05$), varying fixed-base frequency. (a) Structural distortion; (b) displacement of mass relative to free field.