دینامیک خاک

SOIL DYNAMICS

Hasan Ghasemzadeh

http://sahand.kntu.ac.ir/~ghasemzadeh/indexfa.html

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

فهرست عناوین و فصول

۱- معرفی دینامیک خاک ویاد آوری دینامیک سازه
۲- انتشار امواج در محیط
۳- رفتاردینامیکی خاک ها و ظرفیت باربری دینامیکی خاک
۴-دیوار حایل تحت بار دینامیکی
۵-پی های سطحی تحت بار دینامیکی
۶-شمع تحت بار دینامیکی

Dr. Hasan Ghasemzadeh

فهرست عناوین و فصول

معرفی دینامیک خاک

یاد آوری دینامیک سازه

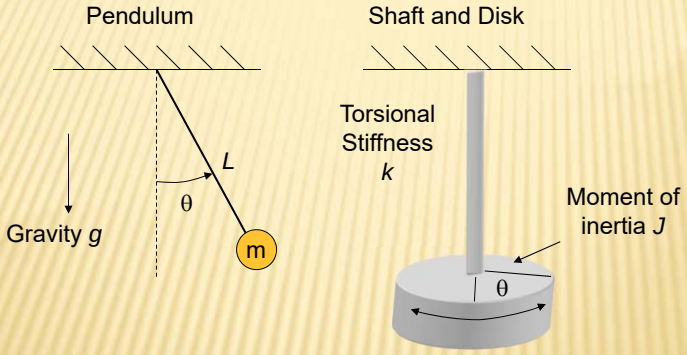
3

Dr. Hasan Ghasemzadeh

تئوری ارتعاشات

یادآوری

حرکت تناوبی



4

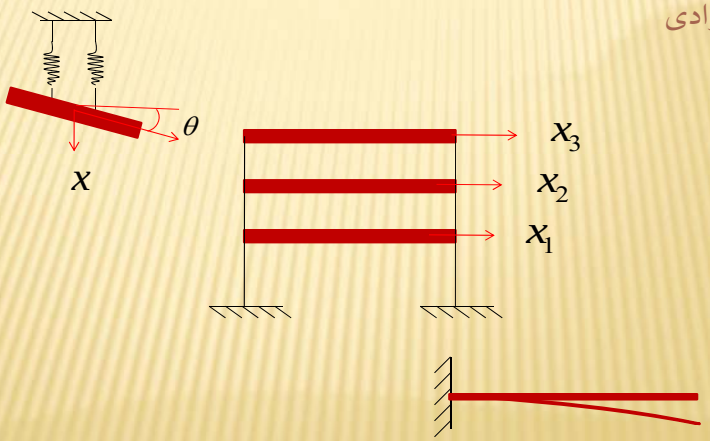
Dr. Hasan Ghasemzadeh

دینامیک سازه – ارتعاش

یادآوری

زمان تناوب

درجه آزادی



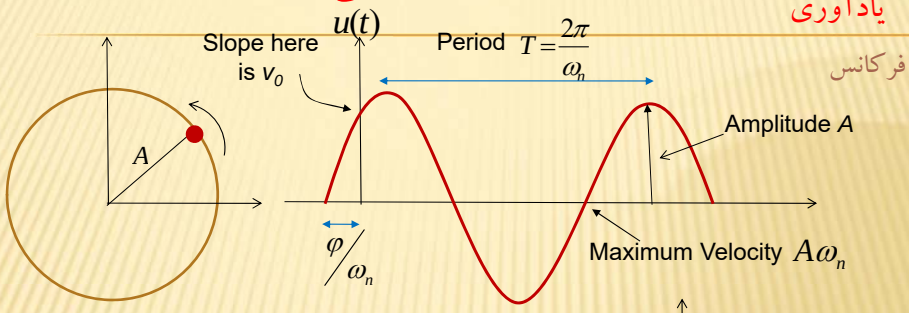
5

Dr. Hasan Ghasemzadeh

حرکت تناوبی

یادآوری

فرکانس



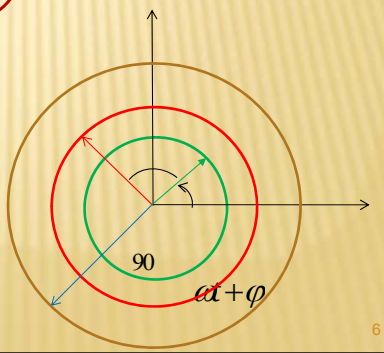
$$\omega_n T = 2\pi \qquad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega_n}{2\pi}\ \text{Hz}$$

$$u = A\sin(\omega_n t + \varphi)$$

$$\dot{u} = A\omega_n \cos(\omega_n t + \varphi) = A\omega_n \sin(\omega_n t + \varphi + \pi/2)$$

$$\ddot{u} = -A\omega_n^2 \sin(\omega_n t + \varphi) = +A\omega_n^2 \sin(\omega_n t + \varphi + \pi)$$

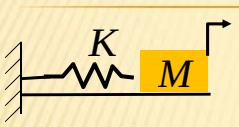
$$= -\omega_n^2 u$$



6

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش آزاد- جرم وفنر



$$F=-Ku \qquad F=-M\ddot{u} \Rightarrow M\ddot{u}+Ku=0$$

معادله حرکت

$$\Rightarrow u=A_1\sin\omega_n t+A_2\cos\omega_n t$$

فرم جواب

جایگذاری جواب در معادله حرکت

$$(-M\omega_n^{\,2}+K)u=0 \Rightarrow \omega_n^{\,2}=\frac{K}{M} \quad \text{Rad/s}$$

$$T=\frac{2\pi}{\omega_n}=2\pi\sqrt{M/K}$$

شرایط اولیه

$$\begin{cases} t=0 & u=0 \Rightarrow A_2=0 \\ t=0 & \dot{u}=v_0 \Rightarrow A_1\omega_n=v_0 \Rightarrow A_1=v_0/\omega_n \end{cases}$$

$$\Rightarrow u=(v_0/\omega_n)\sin\omega_n t$$

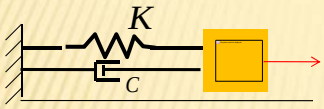
Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش آزاد با میرایی

میرایی ویسکوز : متناسب با سرعت

میرایی هیسترزیس : غیر خطی بودن ماده

میرایی انتشاری : بی نهایت بودن سیستم



$$F=-Ku$$

$$F_1=-M\ddot{u} \Rightarrow M\ddot{u}+C\dot{u}+Ku=0$$

معادله حرکت

$$F_2=-C\dot{u}$$

فرم جواب ضرایبی از e^{st}

$$(Ms^2+Cs+K)e^{st}=0 \Rightarrow (Ms^2+Cs+K)=0$$

$$\begin{cases} \Delta>0 & (s_1,s_2) & u=Ae^{s_1 t}+Be^{s_2 t} \\ \Delta=0 & (s) & u=(A+Bt)e^{st} \\ \Delta<0 & (a\pm bi) & u=Ae^{at}\cos(bt-\varphi) \end{cases}$$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش آزاد با میرایی

$$\Delta>0 \quad s=\frac{-C\pm\sqrt{C^2-4MK}}{2M}=\frac{-C}{2M}\pm\sqrt{\left(C/2M\right)^2-K/M}$$

C_c میرایی بحرانی : میرایی هنگامیکه داخل رادیکال صفراست

$$\left(C_c/2M\right)^2=K/M=\omega_n^2 \quad C_c=2M\omega_n=2\sqrt{KM}$$

ζ نسبت میرایی: میرایی به میرایی بحرانی

$$\zeta=\left(C/C_c\right)$$

$$C=2\zeta\sqrt{KM} \qquad \zeta=\left(C/C_c\right)=C/2\sqrt{KM}=C\omega_n/2K$$

9

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش آزاد با میرایی بحرانی

$$\zeta=1$$

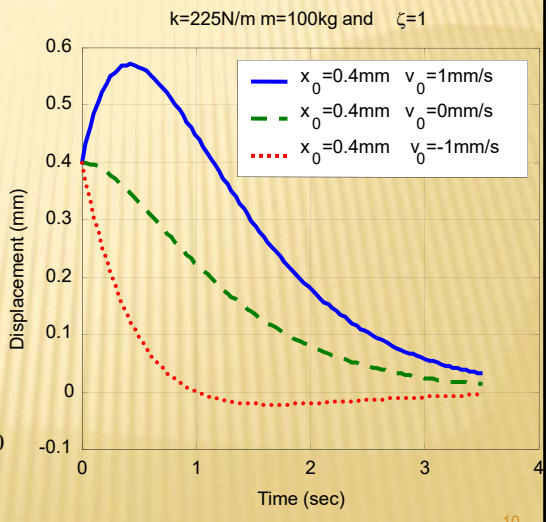
$$\Delta=0$$

$$u=(A+Bt)e^{st}$$

شرایط اولیه

$$\begin{cases} t=0 \quad u=u_0\Rightarrow A=u_0 \\ t=0 \quad \dot{u}=v_0\Rightarrow B=v_0+\omega_n u_0 \end{cases}$$

$$u=(u_0+(v_0+\omega_n u_0)t)e^{st}$$



10

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش آزاد با میرایی فوق بحرانی

$$\zeta > 1$$

$$\Delta > 0$$

$$u = Ae^{s_1 t} + Be^{s_2 t}$$

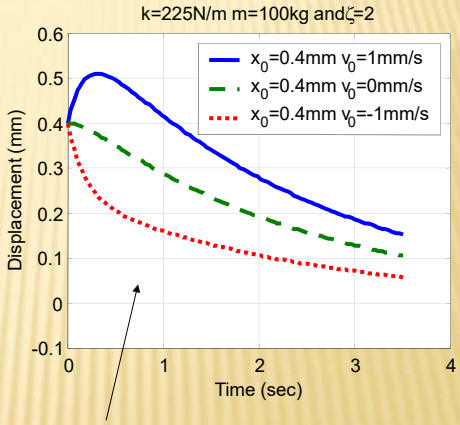
شرایط اولیه $\begin{cases} t=0 & u=u_0 \\ t=0 & \dot{u}=v_0 \end{cases}$

$$C = 2\zeta\sqrt{KM}$$

$$s = \left(-\zeta \pm \sqrt{\zeta^2 - 1}\right)\omega_n$$

$$A = \frac{-v_0 + (-\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n u_0}{2\omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}}$$

$$B = \frac{v_0 + (\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n u_0}{2\omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}}$$



Slower to respond than critically damped case

11

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش آزاد با میرایی زیر بحرانی

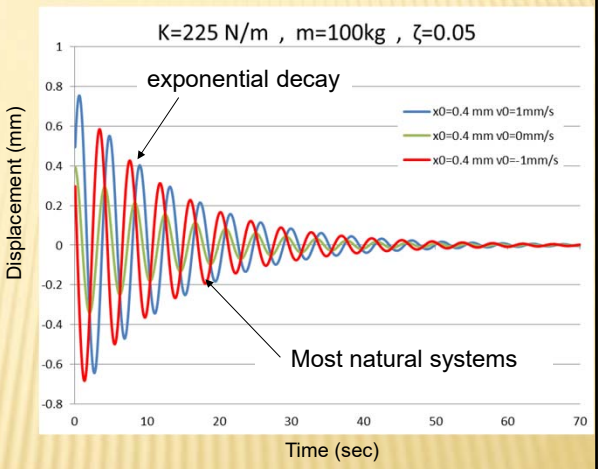
$$\zeta < 1$$

$$\Delta < 0$$

$$u = Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t - \varphi)$$

$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

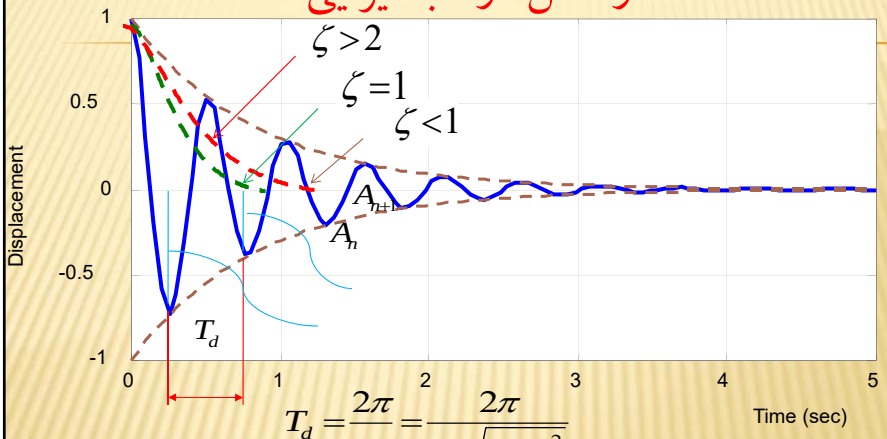
$$\zeta \ll 1 \Rightarrow \omega_d \approx \omega_n$$



12

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش آزاد با میرایی



$$T_d=\frac{2\pi}{\omega_d}=\frac{2\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$\frac{A_n}{A_{n+1}}=\frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{e^{-\zeta\omega_n(t+T_d)}}=e^{\zeta\omega_n T_d}\qquad \delta=\ln\left(\frac{A_n}{A_{n+1}}\right)=\zeta\omega_n T_d$$

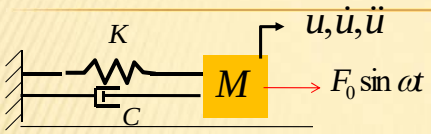
تنزل لگاریتمی

$$\Rightarrow\delta=\zeta\omega_n\frac{2\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}=\frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\qquad \zeta<<1\Rightarrow\delta=2\pi\zeta$$

13

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش اجباری با میرایی



$$M\ddot{u}+C\dot{u}+Ku=F_0\sin\omega t$$

جواب عمومی $\quad =Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t-\varphi)\qquad \omega_d=\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$

جواب خصوصی $\quad =C_1\sin\omega t+C_2\cos\omega t$

جواب $\quad u=Ae^{-\zeta\omega_n t}\cos(\omega_d t-\varphi)+C_1\sin\omega t+C_2\cos\omega t$

قسمت گذرا — قسمت پایا

$$u=u_0\sin(\omega t-\varphi)$$

معمولا ازقسمت گذرا صرفنظر می شود

$$u_0=\sqrt{C_1^2+C_2^2}\qquad \varphi=\tan^{-1}\left(-C_2/C_1\right)$$

بردار تغییر مکان باندازه زاویه φ از نیروی وارده عقب تر است

14

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش اجباری با میرایی

شکل دیگر جواب

$$u = u_{st}\left(M\sin\omega t + N\cos\omega t\right)$$

تغییر شکل استاتیکی

$$u_{st} = \frac{F_0}{K}$$

جایگذاری جواب در معادله حرکت

$$M = \frac{1-\beta^2}{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2}$$

$$N = \frac{-2\zeta\beta}{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2}$$

$$\beta = \frac{\omega}{\omega_n}$$

ضریب بزرگنمایی دینامیکی

$$F_{max} = \sqrt{M^2 + N^2}$$

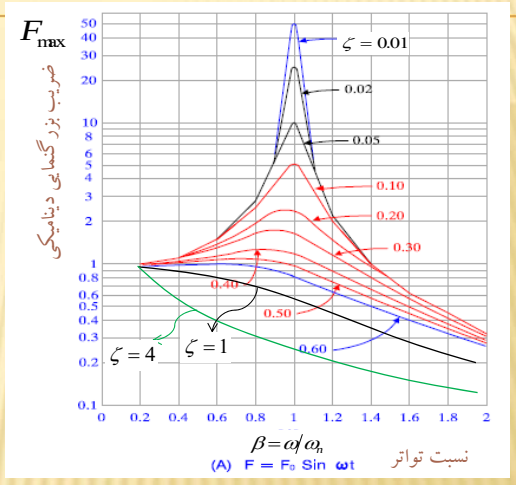
Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش اجباری با میرایی

ضریب بزرگنمایی دینامیکی

$$F_{max} = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2}}$$

$$\beta = 1 \Rightarrow \text{رزونانس} \quad F_{max} = \frac{1}{2\zeta}$$



میرایی ویسکوز . وابستگی به فرکانس بارگذاری $\omega \to \infty \Rightarrow \beta \to \infty \quad \Rightarrow F_{max} \to 0$

Dr. Hasan Ghasemzadeh

ارتعاش اجباری با میرایی

میرایی هیسترزیس : غیر خطی بودن ماده

تغییر شکلهای پلاستیک در اثر اصطکاک در خاک دانه ای مستقل از فرکانس بارگذاری هستند

میرایی ویسکوز $\zeta = C\omega_n / 2K$

میرایی هیسترزیس $\zeta_h = C\omega / 2K = cte$

جواب $u = u_{st}\cos(\omega t - \psi_h)$

$$\tan\psi_h = \frac{2\zeta_h}{1-\omega^2/\omega_n^2}$$

$$u_{st} = \frac{F_0/K}{\sqrt{(1-\omega^2/\omega_n^{\,2})^2 + 4\zeta_h^2}}$$

$$F_{max} = \frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2/\omega_n^{\,2})^2 + 4\zeta_h^2}}$$

$$M = 0 \Rightarrow F_{max} = \frac{1}{\sqrt{(1+4\zeta_h^2}}$$

ω مستقل از فرکانس بارگذاری

این میرایی برای مدلسازی خاک مناسیتر است

17