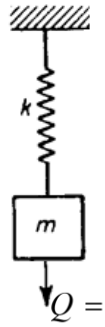
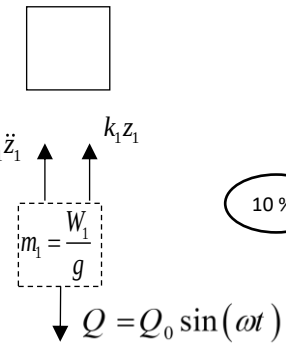
مدت زمان پاسخ‌گویی به سوالات ۱۲۰ دقیقه است. جزوه بسته و فقط ماشین حساب آزاد می‌باشد.



سوال ۱– الف) ابتدا معادله حرکت را با رسم شکل دیاگرام آزاد تعیین کنید؟ ب) جواب گذرا، پایا را برای معادله تعیین شده، بدست آورید؟ ج) همچنین جواب کلی را با شرایط اولیه سرعت و جابجایی صفر تعیین کنید؟ د) جواب معادله در حالت تشدید چیست و ماکزیمم مقدار جابجایی در حالت تشدید را تعیین کنید؟**۳ نمره**



10 %

$$m\ddot{z} + kz = Q_0 \sin(\omega t)$$ 10 %

$$z_h = A\sin(\omega_n t) + B\cos(\omega_n t), \qquad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$ 10 %

10 % $$\begin{cases} z_p = A_1 \sin(\omega t) \\ \ddot{z}_p = -\omega^2 A_1 \sin(\omega t) \end{cases} \qquad m\ddot{z} + kz = -m\omega^2 A_1 \sin(\omega t) + kA_1 \sin(\omega t) = Q_0 \sin(\omega t)$$ 10 %

$$A_1 = \frac{Q_0}{k - m\omega^2}$$ 10 %

$$z_g = z_h + z_p = A\sin(\omega_n t) + B\cos(\omega_n t) + \frac{Q_0}{k - m\omega^2}\sin(\omega t), \qquad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

اعمال شرلیط اولیه: $z(0) = z_0 = 0, \quad \frac{dz}{dt}\Big|_{t=0} = v_0 = 0$

$$z(0) = z_0 = 0 \;\Rightarrow\; z_g(0) = B = 0, \qquad B = 0$$ 10 %

$$\frac{dz}{dt}\Big|_{t=0} = v_0 = 0 \;\Rightarrow\; \frac{dz_g}{dt} = A\omega_n \cos\omega_n t + \frac{Q_0}{k - m\omega^2}\omega\cos(\omega t) \;\Rightarrow\; \frac{dz}{dt}\Big|_{t=0} = A\omega_n + \frac{Q_0}{k - m\omega^2}\omega = 0$$

$$A = -\frac{Q_0}{k - m\omega^2}\frac{\omega}{\omega_n}$$ 10 %

$$z_g = \frac{Q_0}{k - m\omega^2}\left[\sin(\omega t) - \frac{\omega}{\omega_n}\sin(\omega_n t)\right],$$ 10 %

$$z = z_s M\left(\sin\omega t - \frac{\omega}{\omega_n}\sin\omega_n t\right), \quad z_s = Q_0/k, \quad M = \frac{1}{1 - \left(\omega^2/\omega_n^2\right)}$$ 20 %

سوال ۲- اگر بدانیم نسبت سرعت موج رایلی به موج برشی برابر با ۰.۹۴ است. ضریب پواسون ماده چند است؟ **۲.۵ نمره**

پاسخ:

$$V = \frac{v_r}{v_s} = 0.94$$

$$V^6 - 8V^4 - \left(16\varpi^2 - 24\right)V^2 - 16\left(1-\varpi^2\right) = 0$$

$$-0.349721898944 + 1.8624\varpi^2 = 0$$ 25 %

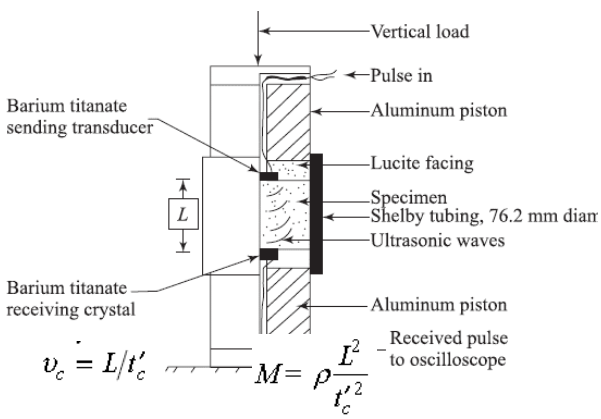
$$\varpi = \frac{v_s}{v_p} = \sqrt{\frac{1-2\mu}{2-2\mu}} = 0.4333 \Rightarrow \varpi^2 = \left(\frac{v_s}{v_p}\right)^2 = \frac{1-2\mu}{2-2\mu} = 0.1878$$ 15 %

25 %

$$\mu = 0.3844$$ 35 %

سوال ۳-الف) زمان پاسخ سیستم(Response Time) چیست و توضیحاتی در مورد چگونگی تعیین آن داده شود؟ ب) اثرات میرایی و جرم و سختی سیستم در یک ارتعاش اجباری بر روی پاسخ سیستم با توجه به نسبت فرکانس ماشین به طبیعی چگونه است؟ توضیح دهید؟**۲ نمره**

سوال ۴-آزمایش زمان طی شده مسیر موج Travel-Time Test برای تعیین چه پارامترهایی از خاک انجام میشود. روند آزمایش و چگونگی تعیین این پارامترها را شرح دهید؟**۲ نمره**



پاسخ: با تجهیزات الکتریکی زمان طی شده موج (tc) در نمونه ای به ارتفاع L قابل اندازه گیری است. بنابراین می توان سرعت موج طولی را از رابطه زیر تعیین کرد:

$$v_c = \frac{L}{t_c} \qquad v_c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$E = \rho v_c^2 = \rho \frac{L^2}{t_c^2}$$

مدول مقید شده و سرعت موج طولی برای نمونه محصور شده را می توان از رابطه زیر تعیین کرد:

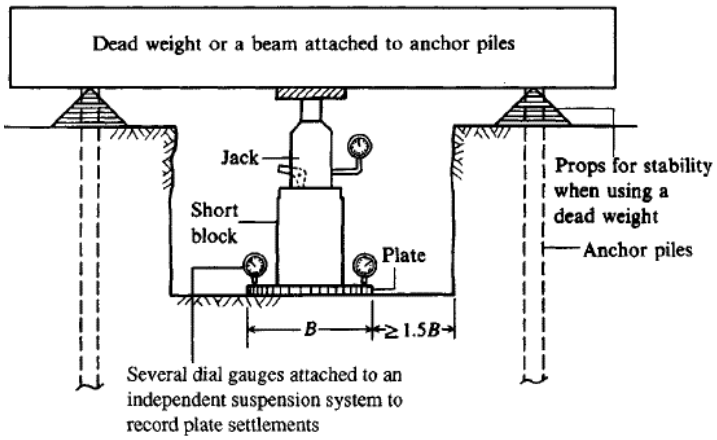
مدول برشی و سرعت موج عرضی برای نمونه را می توان از رابطه زیر تعیین کرد:

$$v_s = L/t_c, \qquad G = \rho v_s^2 = \rho \frac{L^2}{t_c^2}$$

دراین روش آزمایش امکان این وجود دارد که همراه با اندازه‌گیری‌های زمان و ... نیرویی را بر نمونه وارد نمود و به عبارتی فشار محوری را بر نمونه افزایش داد. نتایج آزمایش‌ها نشان داده‌اند که سرعت با افزایش فشار محوری افزایش می‌یابد.

این نکته قابل ذکر است که نمونه خاک در یک لوله شلبی به قطر ۳ اینچ پر شده است و نیروی عمودی به وسیله یک پیستون آلومینیومی اعمال می‌گردد. بنابراین نمونه در لوله شلبی از جوانب خود محدود شده است و اندازه‌گیری سرعت طولی محدود شده مبنا خواهد بود.

سوال۵- نحوه انجام آزمایش بارگذاری صفحه‌ای سیکلیCyclic Field Plate Load Test را شرح دهید؟**۲ نمره**



پاسخ:

ظرفیت باربری نهایی و یا مجاز بر مبنای نشست از این آزمایش قابل تعیین است. ورق این آزمایش معمولا از جنس فولاد است و ضخامت آن معمولا ۲۵ میلیمتر است. به دو صورت دایره ای به قطر ۱۵۰ تا ۷۶۲ میلی متر و مربعی در ابعادهای ۱۲ تا ۲۴ اینچی متغییر هستند. برای انجام این آزمایش گودالی حداقل به قطر چهار برابر قطر ورق و عمق آن به اندازه عمق مدفون شالوده اصلی حفر می کنیم. ورق را در وسط گودال قرار داده و مراحل ذیل انجام می‌شود:

۱- تنظیم دستگاه و قرار دادن صفحه

۲- قرائت اولیه گیج‌ها یا صفر نمودن آن‌ها

۳- تحمیل اولین بار استاتیکی به صفحه که حدودا یک پنجم یا یک چهارم بار نهایی است. تحمیل بار به صورت تقریبا تدریجی است زیرا جک توانایی بار سریع را ندارد.

۴- افزایش بار به صفحه تا مقدار ماکزیمم تعیین شده و سپس ثابت نگه داشتن آن تا زمانی که سرعت نشست ناچیز گردد.

۵- قرائت نهایی بار و تغییرشکل در قسمت ۴.

۶- باربرداری از صفحه به طور کامل و اجازه دادن به خاک برای ظهور تغییرشکل‌های برگشت‌پذیر و ادامه عمل تا رسیدن به وضعیت ثبات در گیج.

۷- قرائت گیج مجدا انجام می‌گیرد.

۸- بارگذاری مجدد با تحمیل بار ماکزیمم بیشتر نسبت به دفعه (سیکل) قبل.

۹- ادامه مراحل ۴ تا ۷ فوق برای سیکل جدید.

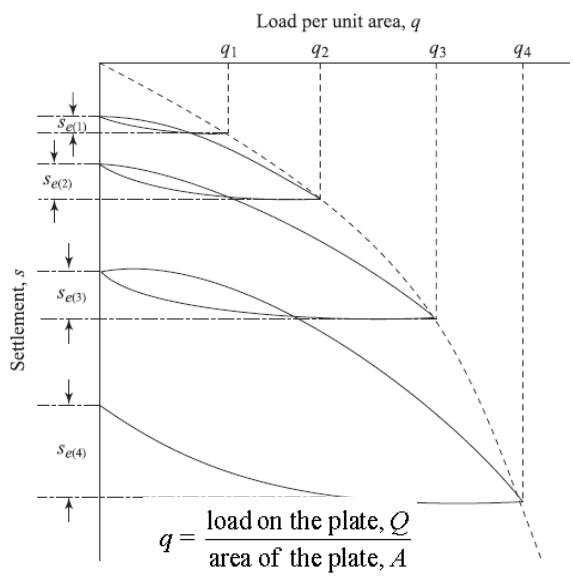
۱۰- سیکل‌های باربرداری و بارگذاری آن قدر تکرار می‌شوند تا به مقدار ماکزیمم یعنی مقاومت تخمینی خاک برسیم.

۱۱- تجربه نشان داده است مقدار افزایش بارها طوری باشد که بعداز ۵ تا ۶ سیکل به مقدار ماکزیمم نهایی بار برسیم.

۱۲- رسم نتایج تغییرشکل متناظر با شدت بارگذاری.

۱۳- تعیین ضریب فشار یکنواخت الاستیک خاک از رابطه روبرو.

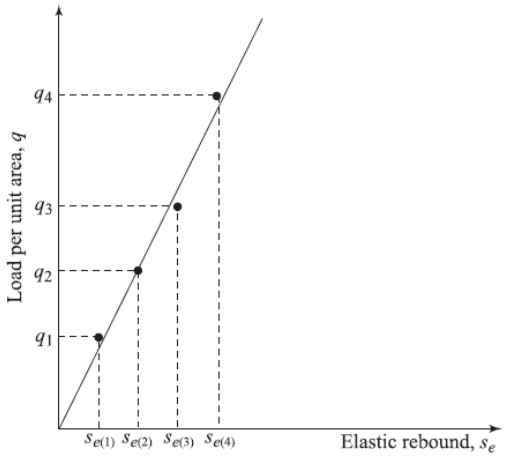
۱۴- رسم نتایج تغییرشکل الاستیک متناظر با شدت بارگذاری و تعیین ضریب سختی خاک:



$$k_{\text{plate}} = \frac{qA}{s_e}$$

۱۵- تعیین ضریب سختی خاک چسبنده و غیرچسبنده (به ترتیب از بالا به پایین) با توجه به شالوده واقعی

۱۶- تعیین ضریب فشار یکنواخت الاستیک و مدول الاستیسیته و برشی خاک



سوال ۶- اگرنمونه ای از خاک ماسه ای سیمانته شده با زاویه اصطکاک داخلی ۳۸ درجه در عمق ۱۰متری با وزن مخصوص اشباع $\gamma_{sat} = 20\,\mathrm{kN/m^3}$ و وزن مخصوص تر $\gamma_{wet} = 17.5\,\mathrm{kN/m^3}$ قرار دارد، اگر آب در عمق ۳ متری از سطح زمین قرار گیرد، مطلوبست تعیین مدول برشی و ضریب میرایی ماسه سیمانته شده را در صورتیکه ضریب تخلخل آن ۰.۷ و درصد سیمانته آن ۳ باشد؟ **۲.۵ نمره**

$$K_0 = 1-\sin\phi = 1-\sin 38^\circ = 0.384, \qquad \bar{\sigma}_v = 3\times 17.5 + 7\times(20-9.81) = 123.83\,\mathrm{kPa}$$ 10 %

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{1}{3}\left(\bar{\sigma}_v + 2K_0\bar{\sigma}_v\right) = \frac{1}{3}\left(123.83 + 2\times 0.384\times 123.83\right) = 73\mathrm{kPa}$$ 10 %

$$G_{\max(S)}\left(\mathrm{kPa}\right) = \frac{428.2}{0.3+0.7e^2}\left(P_a\right)^{0.426}\bar{\sigma}_0^{0.574}\left(\mathrm{kPa}\right) = \frac{428.2}{0.3+0.7^3}\left(100\right)^{0.426}\left(73\right)^{0.574} = 55588.25\ \mathrm{kPa},$$ 15 %

$$\Delta G_{\max(C)} = \frac{773}{e}P_a\left(CC\right)^{1.2}\left(\frac{\bar{\sigma}_0}{P_a}\right)^{0.698e-0.04CC-0.2} = \frac{773}{0.7}\times 100\times\left(3\right)^{1.2}\left(0.73\right)^{0.698\times 0.7-0.04\times 3-0.2} = 391366.09\,\mathrm{kPa}$$ 15 %

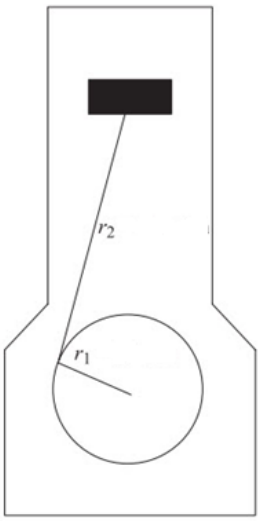
$$G_{\max(CS)} = G_{\max(S)} + \Delta G_{\max(C)} = 55588.25 + 391366.09 = 446954.34\,\mathrm{kPa}$$ 10 %

$$D_S = 0.94\left(\frac{\bar{\sigma}_0}{P_a}\right)^{-0.38} = 0.94\left(0.73\right)^{-0.38} = 1.059,$$ 15 %

$$\Delta D_C = 0.49\left(CC\right)^{1.07}\left(\frac{\bar{\sigma}_0}{P_a}\right)^{-0.36} = 0.49\left(3\right)^{1.07}\left(0.73\right)^{-0.36} = 1.778$$ 15 %

$$D_{CS} = \Delta D_C + D_S = 1.778 + 1.059 = 2.837$$ 10 %

سوال ۷- شکل a مربوط به پیستون یک موتور است. اطلاعات این دستگاه به شرح زیر می باشد:



(a)

فرکانس ماشین: $22cps$

طول میله اتصال: $r_2 = 0.3m$

شعاع میل لنگ: $r_1 = 70mm$

وزن کل پیستون: $W_{rec} = 60N$

وزن کل دستگاه: $15KN$

این موتور بر روی یک شالوده ی مکعبی به ابعاد عرض ۱.۶ و طول ۲.۸ و ضخامت ۱.۴ متر مکعب قرار دارد.

خصوصیات خاک به شرح زیر می باشد:

$$\gamma = 19\frac{kN}{m^3} \quad ،G = 17500kPa \ ، \ \mu = 0.5$$

مطلوب است:

الف) نیروهای نامتعادل اولیه و ثانویه(primary & secondary unbalanced forces) در فرکانس عملکردی.

ب) فرکانس تشدید

پ) دامنه ارتعاش قائم در حالت تشدید؟ **۴.۵ نمره**

حل الف)

$$F_{\max(1)} = m_{rec} r_1 \omega^2 = \frac{60}{(1000)(9.81)}\left(\frac{70}{1000}\right)\left(2\pi\times(22)\right)^2 = 7.947\ \mathbf{kN}$$ 10 %

$$F_{\max(2)} = m_{rec}\left(\frac{r_1^2}{r_2}\right)\omega^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)F_{\max(1)} = \left(\frac{0.07}{0.3}\right)F_{\max(1)} = 1.801\mathbf{kN}$$ 10 %

طبق مطالب گفته شده ابتدا شعاع معادل پی دایره‌ای را محاسبه می نماییم: $r_0 = \sqrt{BL/\pi} = \sqrt{1.6\times 2.8/\pi} = \mathbf{1.194}\,m$

5 %

محاسبه ضریب جرم با فرض وزن مخصوص $23.58\frac{kN}{m^3}$ برای بتن:

$$W = V_c\times\gamma_c + W_m = 1.6\times 2.8\times 1.4\times(23.58)+15 = \mathbf{162.89}\ \ k\mathbf{N},$$ 5 %

$$B_z = \left(\frac{1-\mu}{4}\right)\left(\frac{W}{\gamma r_0^3}\right) = \left(\frac{1-0.5}{4}\right)\left(\frac{128.533}{18.8\times(1.1326)^3}\right) = \mathbf{0.629}$$ 10 %

فرکانس تشدید برابر است با:

$$f_m \approx \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{G}{\rho}}\frac{1}{r_0}\sqrt{\frac{0.9}{B_z - 0.45}} = 28.38\,\mathbf{cps}$$ 20 %

$$A_{z(\text{resonance})} = \frac{U}{m}\left(\frac{1}{2D_z\sqrt{1-D_z^2}}\right) = \frac{m_1 e}{m}\frac{B_z}{0.85\sqrt{B_z-0.18}}$$

در $22\ cps$ ، نیروی نا متعادل کلی از مجموع دو نیروی اولیه و ثانویه به دست آمد. برای تعیین این نیرو در فرکانس تشدید(28.38cps) را نیز می توان تعیین کرد:

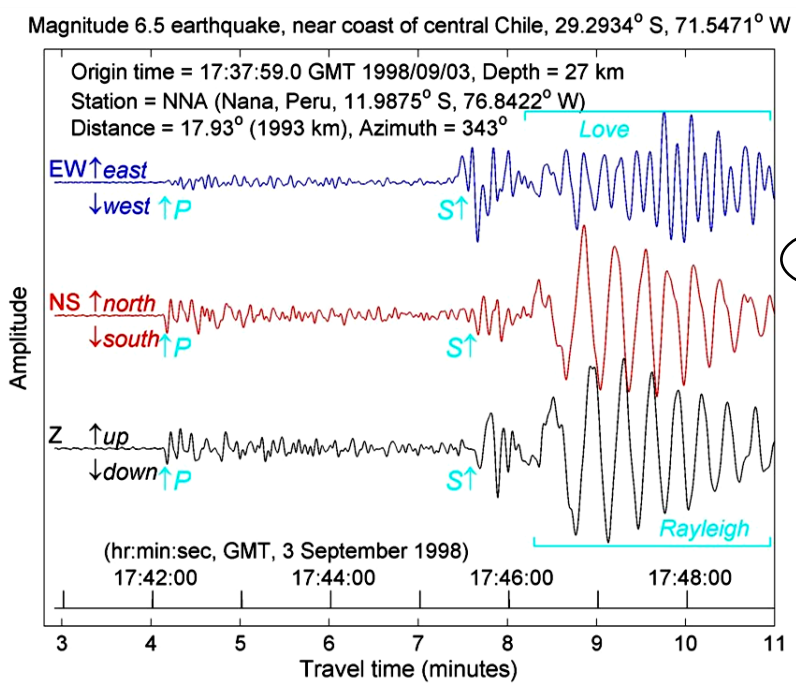
$$F_{(22\text{cpm})} = F_{\max(1)} + F_{\max(2)} = m_{\text{rec}} r_1 \omega^2 + m_{\text{rec}}\left(\frac{r_1^2}{r_2}\right)\omega^2 = 9.75$$ 10 %

$$F_{(28.38\text{cps})} = m_{\text{rec}} r_1 \omega_1^2 + m_{\text{rec}}\left(\frac{r_1^2}{r_2}\right)\omega_1^2 = 16.25$$ 10 %

$$\Rightarrow\ m_1 e = \frac{Q_0}{\omega_1^2} = 0.0005102$$ 10 %

$$A_{z(\text{resonance})} = \frac{U}{m}\left(\frac{1}{2D_z\sqrt{1-D_z^2}}\right) = \frac{m_1 e}{m}\frac{B_z}{0.85\sqrt{B_z-0.18}} = 0.0339$$ 10 %

سوال ۸- زلزله زیر را در نظر بگیرد. موج هر قسمت مربوط به علامت سوال را با ذکر دلیل نامگذاری کنید؟ **۱.۵ نمره**



65 %

اولین موجی که در شتاب نگاشت ثبت می‌شود، موج P است و بعد S چون سرعت موج اولیه از بقیه امواج بیشتر است. امواج سطحی لاو و رایلی از برهمنهی امواج حجمی نشات می‌گیرند که بعد از رسیدن امواج S رخ می‌دهد. از انجایی که امواج لاو مانند حرکت مار گونه در سطح است بنابراین امواج ها با دامنه بیشتر در جهت esst-west و north-south امواج لاو هستند و در جهت بالا به پایین امواج رایلی هستند.

35 %

فرمول های و جدول احتمالی مورد نیاز:

$$V^6 - 8V^4 - \left(16\alpha^2 - 24\right)V^2 - 16\left(1-\alpha^2\right) = 0$$

$$M = \frac{Z}{\left(\frac{Q_0}{K}\right)} = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\beta^2\right]^2 + \left[2D\beta\right]^2}}, \quad \beta = \frac{\omega}{\omega_n}$$

$$z = e^{-D\omega_n t}\left[A_9 \cos\left(\omega_n\sqrt{1-D^2}t\right) + A_{10}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-D^2}t\right)\right]$$

$$\alpha = \frac{v_s}{v_p} = \sqrt{\frac{1-2\mu}{2-2\mu}}, V = \frac{v_r}{v_s} \quad , \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

برای ماسه :

$$G_{\max}\left(\text{kPa}\right) = \frac{6908\left(2.17-e\right)^2 \bar{\sigma}_0^{\frac{1}{2}}\left(\text{kPa}\right)}{1+e}$$

برای رس پیش تحکیم :

$$G_{\max} = \frac{3230\left(2.97-e\right)^2\left(\text{OCR}\right)^K \bar{\sigma}_0^{\frac{1}{2}}}{1+e}$$

$$K_0 = 1 - \sin\phi,$$

$$\text{OCR} = \frac{\sigma_c}{\sigma_0} \qquad \bar{\sigma}_0 = \frac{1}{3}\left(\bar{\sigma}_v + 2K_0\bar{\sigma}_v\right)$$

$$\gamma_{\text{dry}} = \frac{G_s\gamma_w}{1+e}, \qquad \gamma_{\text{sat}} = \frac{\left(G_s+e\right)\gamma_w}{1+e}$$

$$B_z = \left(\frac{1-\mu}{4}\right)\left(\frac{W}{\gamma r_0^3}\right), \quad f_m \approx \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{G}{\rho}}\frac{1}{r_0}\sqrt{\frac{0.9}{B_z - 0.45}}$$

$$z = \left(\frac{1}{4}\frac{r_1^2}{r_2} + r_1\right) - \frac{1}{4}\frac{r_1^2}{r_2}\cos 2\omega t - r_1\cos\omega t$$

$$A_{z(\text{resonance})} = \frac{U}{m}\left(\frac{1}{2D_z\sqrt{1-D_z^2}}\right) = \frac{m_1 e}{m}\frac{B_z}{0.85\sqrt{B_z - 0.18}}$$

$$G_{\max(S)}\left(\text{kPa}\right)=\frac{428.2}{0.3+0.7e^{2}}\left(P_{a}\right)^{0.426}\bar{\sigma}_{0}^{0.574}\left(\text{kPa}\right)$$

$$\Delta G_{\max(C)}=\frac{773}{e}P_{a}\left(CC\right)^{1.2}\left(\frac{\bar{\sigma}_{0}}{P_{a}}\right)^{0.698e-0.04CC-0.2}$$

$$G_{\max(CS)}=G_{\max(S)}+\Delta G_{\max(C)}$$

$$D_{S}=0.94\left(\frac{\bar{\sigma}_{0}}{P_{a}}\right)^{-0.38}\quad,\quad \Delta D_{C}=0.49\left(CC\right)^{1.07}\left(\frac{\bar{\sigma}_{0}}{P_{a}}\right)^{-0.36}\quad,\quad D_{CS}=\Delta D_{C}+D_{S}$$