دینامیک خاک

SOIL DYNAMICS

دانلود جزوات تمامی رشته‌ها در

دانشگاه علم و صنعت ایران

دینامیک خاک :

۱- مقدمه (دینامیک خاک) ـ ۱ه
۲- مهندسی زلزله ـ ۱٫۵
۳- سیستم‌های یک درجه آزادی ـ ۴-۵
۴- دو (چند) درجه آزادی ۳-۴
۵- انتشار امواج یک بعدی ۳-۴
۶- انتشار امواج دو (چند) بعدی ۲-۳
۷- مدول و سرعت امواج در خاک کرنش های کوچک ۳-۴
۸- دیوار حائل ۲
۹- پی ماشین آلات ۲
۱۰- روانگرایی ۲

* نحوه بارم بندی :

۱- تمرین [illegible]
۲- ترجمه یا [illegible] مقالات [illegible] : ASCE . Soil dynamic and
- ASCE . Geotechnic
- Soil Dynamics and Earthquake Eng.
- Earthquake Spectra
- Canadian Geotechnics [illegible]
- Geotechnics ژاپنی
- Soil Mech. and Found. Eng.
- BSSA

2- پروژه Shake
[illegible] (Shake [illegible]) نتایج را تحریر کرده و تحلیل نمایید
4- امتحان پایان ترم

* مراجع :

- Vibration of Foundation : Richart, ... [illegible]
- Soil Dynamics : Prakash ترجمه دکتر [illegible] 1979 (قسمت عمده پیشرفت دینامیک خاک [illegible] است)
(در تحلیل پی ماشین آلات) اولین مرجع

Whitman , MIT

Soil Dynamics : Das — ترجمه نایینی — [illegible] از انتشارات [illegible]

2 ۳

۱۳۷۸/۲/ دینامیک خاک

فصل اول:

مقدمه:

بخشی از مکانیک خاک که در آن خاک در رابطه با بارهای دینامیکی است. مثل موتورخانه، زیر آن ابزارهایی که تکیه می‌کنند (قدرها)

اساسی ماشین آلات:

طراحی پی ساختمان با طراحی پی ماشین آلات کاملاً متفاوت است حتی بحث بارها (بارهای ... [illegible])

ماشین آلات با نیروی نامتعادل دینامیکی باعث نشست پی می‌شوند که از یک حدی بیشتر باشد، چند اشکال دارد:

- غیرممکن شدن یا سخت شدن کار آن ابزار آلات. مثلاً ... از سوی دستگاه‌های اندازه‌گیری

- باعث صدمه زدن به ماشین آلات و اتصالات می‌شود

ارتعاشات ... موجب پیدایش ترک در ساختمان‌ها شود

نشست در این موارد $\frac{5}{1000}$ ... غیرقابل قبول است. (نشست نامتقارن)

مهندس در مورد نیروهای دینامیکی باید آگاه باشد و نقطه اثر آن نیز مشخص باشد (۱)

(۲) علم کافی از روش‌های حرکت‌های دینامیکی و نشست‌ها را داشته باشد

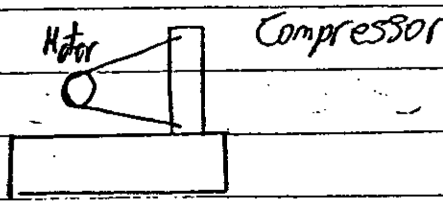
(۳) چه قدر نشست مجاز است.

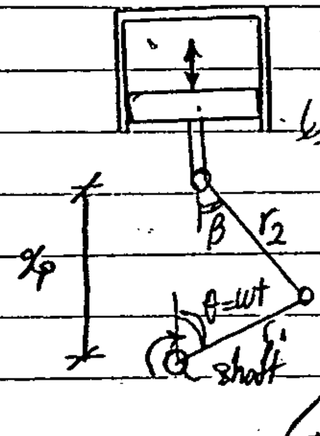
این سه اطلاعات را برای طراحی آنها باید بداند (۱) - ... مکانیک (۳) - مهندسی ... (۲) - بخش ... دینامیک خاک

- نیروهای دینامیکی که بوسیله ماشین به وجود می‌آید:

انواع ماشین با طبیعت متفاوت نیروها ... دینامیکی از ماشین‌ها:

- Reciprocating Machine





حرکت دورانی موتور را به حرکت خطی پیستون تبدیل کرده‌ایم (مانند ...)

نیروی دینامیکی به وجود آمده به این علت است که چون پیستون ... کلیه ... شتاب دارد، پس نیروهای دینامیکی وارد می‌کند که به وزن ماشین آلات و ... بستگی دارد.

نیروی دینامیکی $= M\ddot{x}_p$

ω سرعت زاویه‌ای شفت است. $x_p = r_1\cos\omega t + r_2\cos\theta$

معمولاً نشان می‌دهد که ارتعاش لازم از مرتبه بالاتر نیروی دینامیکی خاصیت بیرونی دارد و هرچه [illegible] افزایش می‌یابد ارتعاش بیشتری دارد و هرچه فرکانس سیستم بیشتر شود نیروی دینامیکی هم بیشتری دارد

معمولاً نسبت r_2/r_1 ۱/2 حرکتی [illegible] در محاسبات کار را راحت می‌کند

معمولاً باید بر سطح کارخانه ارتعاش

معمولاً سرعت ماشین‌ها فرکانس عمل بین $4 \sim 5^{Hz}$ است

ماشین‌های چرخشی:

مثل توربین و ژنراتور یا ماشین‌های [illegible] که حرکت دورانی حول محور اصلی ایجاد می‌کنند

در مورد آنها محاسبه نیروی دینامیکی خیلی مشکل است و معمولاً از آزمایش به دست می‌آید (توسط کارخانه سازنده [illegible] داده می‌شود)

فرکانسها بین 60 تا 200 هرتز است.

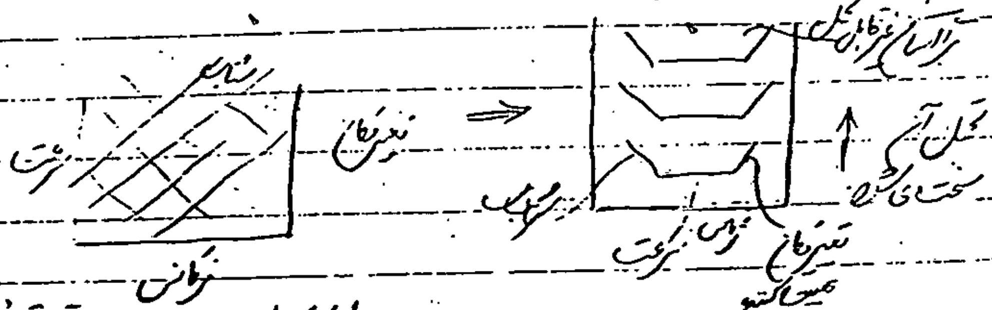
انواع دیگر ماشین‌ها:

مثل ماشین‌های سنگ‌شکن که نیرو تابع سختی مصالح [illegible] است. دیگر فرکانس مشخص بزرگتر از فرکانس

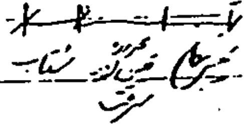
دیگر [illegible] آنها [illegible]

معیارهای طراحی برای ماشین‌آلات: معیار عمل کرد (که [illegible]) و این مورد مشکل [illegible] نیست بلکه [illegible] که موجب خستگی مصالح و شکست می‌شود.

رابطه مجاز ارتعاشات تابع فرکانس است. سه پارامتر شتاب، سرعت و تغییر مکان در ترسیم باید [illegible] مورد مطالعه قرار گیرد. (استاندارد DIN برای این منظور تدوین شده است)



ولی معیار استاندارد DIN بر اساس [illegible] قائم است.



ماشین‌ها اندازه‌گیری تحت شتاب $10^{-4}g$ علائم خرابی را از دست می‌دهد

بین فرکانس 5 تا 40 هرتز محدودیت‌ها بوسیله سرعت داده شده است. (قابل حس بودن آن تابع سرعت است)

اگر سرعت حدود $0.1\,mm/sec$ - سرعت در حرکات آن را می‌توان حس کرد و اگر سرعت بیشتر از $1\,mm/sec$ باشد

اگر مدت طولانی باشد غیر قابل تحمل می‌گردد

فرکانس کمتر از 5 هرتز ← شتاب

بیشتر از 40 هرتز ← تغییر مکان

در طراحی از بیانی که [illegible] به بدن انسان قابل درک نیست بهمین دلیل اکثر نمودارهای طراحی بر مبنای تئوری الاستیک و رفتار خطی است. (یعنی ارتعاش‌ها در حدی است که رفتار خاک هنوز خطی است.)

برای ماشین آلات دامنه ارتعاشی که [illegible] بسیار کوچک است.

حداکثر سرعت مجاز $0.2\,cm/sec$ می‌باشد و اگر سرعت اعمال شده به سازه اگر بیشتر از $0.1\,in/sec$ باشد ارتعاشات ایجاد ترک خواهد کرد.

گاهی این نیروهای ماشین آلات بجای ارتعاشات بلند مدت تغییر سرعت ایجاد شده می‌باشد.

تشدید - رزونانس Resonance

منظور یعنی فرکانس طبیعی سیستم با فرکانس ماشین نزدیک باشد. چقدر نزدیک باشد؟

سیستم (خاک + ماشین)

$$\frac{f}{f_r} < \frac{2}{3}$$

$$\frac{f}{f_r} > \frac{3}{2}$$

ترس بخاطر این است که در حالت تشدید تغییر مکان زیاد است

گاهی در هنگام تشدید تغییر مکان‌ها نمی‌توانند زیاد باشند در این صورت مهم نیست

شروع علم دینامیک خاک زمانی بود که در مورد پی ماشین آلات تحقیق کردند. بیشتر کارها عملی بود و شکل ریاضی نداشت

تغییرات فرکانس با تغییرات ابعاد و [illegible] در دهه 50 هم در سایر کشورها از نتایج آلمانی‌ها استفاده می‌کردند. در دهه سی در آلمان

دهه 30 کارهای عملی شروع شد و نتایج آنها تا دهه 60 منتشر شد

در دهه 55 تا 60 در آمریکا به آن توجه کردند. دلیل توسعه دینامیک خاک در آمریکا نیاز به طراحی [illegible]

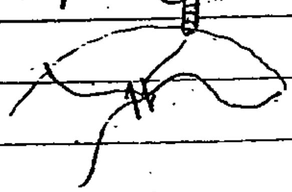
باکری 62 ـ سیجات 70

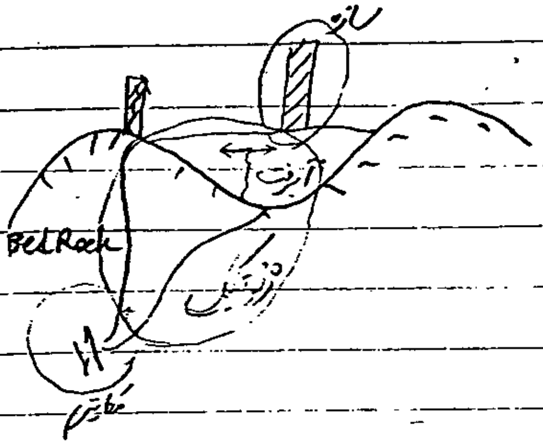
۲-۱- مهندسی زلزله:

تعریف زلزله: پدیده گسیختگی ناگهانی در پوسته زمین است

کامل‌ترین تئوری که درباره آن گفته شده Plate tectonic است.

انرژی کرنشی که در صفحات زمین ذخیره شده‌اند تغییر شکل [illegible] آن نقاط ضعیف [illegible] می‌کند





یک بحث مهندسی زلزله [illegible] آن
آیا احتمال این است که آثار زلزله [illegible]

این بخش زلزله‌شناسی ها با ساخت زمین‌شناسی با زلزله [illegible]

(اصل کار این گسل‌ها)

یک بحث دیگر [illegible] حالا زلزله ایجاد شد.

۱) در اثر انتشار این امواج چه تغییری در خصوصیات [illegible] خاک ایجاد می‌کند

۲) چه تغییری در خصوصیات خاک [illegible] می‌کند

امواج زلزله [illegible] 20 تا [illegible] دقیق [illegible] تغییری [illegible] ایجاد [illegible] خاک [illegible]؟

این بخش [illegible] ژئوتکنیک

[illegible] شتاب زلزله [illegible] ساختمان [illegible] مقاوم باشد

[illegible] تعیین شتاب طرح است. (و قسمت‌های [illegible]) (با تعیین طیف شتاب طرح)

اندرکنش خاک و سازه فصل مشترک ژئوتکنیک و سازه است یعنی حضور سازه [illegible] خصوصیات خاک تاثیر

می‌گذارد [illegible] تعیین شتاب طرح را تغییر می‌دهد

Soil Amplification

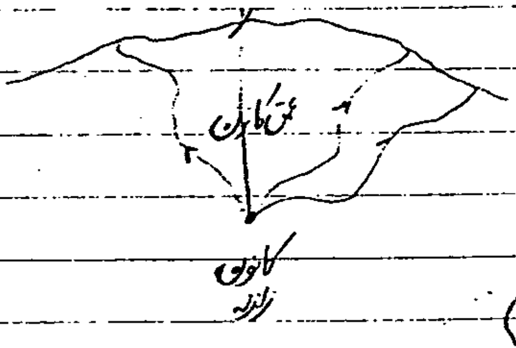
تغییر موج به خاطر عبور از آبرفت

(اثرات [illegible] [illegible])

صفحات با آزیاتیک و قطب شمال و جنوب آمریکا در حال گسترش و صفحه اقیانوس آرام در حال کوچک شدن است
زیرا به نظر می‌رسد در حال گسترش صفحات است.

۲-۳-۲- عمق زلزله‌ها:

امواج زلزله منشأ در داخل زمین است اگرچه ممکن است منبع موج در سطحی از گسل گسترده باشد ولی ما همواره برای هر زلزله یک نقطه شروع گسیختگی فرض می‌کنیم که به آن کانون زلزله گویند.
معمولاً کانون زلزله در عمق زیادی قرار ندارد اما در مورد زلزله‌های استثنایی می‌تواند در عمق نسبتاً زیادی باشد.



معمولاً بین ۷۰ تا ۳۰۰ کیلومتر است ← متوسط
و بیشتر آن را عمیق و کمتر از ۷۰ را کم‌عمق گوییم
هر چه عمق زلزله کمتر باشد، شدت زلزله بیشتر است.

(زلزله‌های قاره‌ای ← همیشه زلزله در بین صفحات رخ می‌دهد)
اتصال صفحه‌ها به یکدیگر اثر زیادی در زلزله دارد.
زلزله‌هایی که رخ می‌دهند دارای عمق کم است (که ممکن است در اقلیم و جهت مختلفی قرار داشته باشند)

زلزله‌ها معمولاً سری اتفاق می‌افتند که ممکن است شدت اصلی نباشد. پیش‌لرزه before shock
main shock لرزه اصلی
زلزله‌هایی که پس از زلزله اصلی به وجود می‌آیند پس‌لرزه after shock

۲-۴- لرزه‌خیزی ایران:

آمار نشان می‌دهد به طور متوسط هر سال زلزله‌ای بیش از ۶ ریشتر داریم و هر ۱۰ سال زلزله‌ای بیش از ۷ ریشتر داریم.
(آمار ۸ ساله) و تمرکز آن‌ها در غالب جاهای ایران می‌باشد.
این لرزه‌خیزی در اثر برخورد صفحه اوراسیا و صفحه عربستان و آفریقا به وجود آمده که در اثر فشار آن‌ها چین‌خوردگی‌ها به وجود آمده در ایران به وجود آمده است.
صفحه اوراسیا به طور ۳۵۰۰ ... از شمال به سمت جنوب حرکت می‌کند
و صفحه عربستان و آفریقا با حرکت از جنوب ایران به سمت بالا فشار می‌آورد.

این حرکات باعث منقبض شدن پوسته زمین و پیدایش البرز و زاگرس در ایران می‌شود. انرژی بسیار زیادی در مرز چینه‌های آن‌ها ذخیره شده و زلزله رخ می‌دهد. شکل‌گیری کوه‌های ایران تماماً بر این روند بوده است.

در البرز و زاگرس زلزله‌های شدیدی رخ داده که به دلیل عمق کم کانون آن‌ها، خسارات زیادی به وجود آورده.

۲-۵ انواع امواج لرزه‌ای ایجاد شده بر اثر زلزله

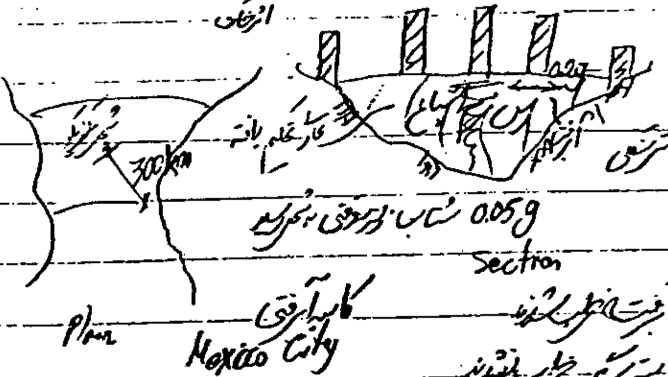
با تشبیه مصالح الاستیک (کش‌سان) [illegible] وقتی تنشی از درون آن عبور کند امواجی درون آن ایجاد می‌کند.
امواج زلزله‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

امواج درونی سنگ
- موج اولیه P (Primary wave) — سریع‌ترین‌ها هستند، امواج فشاری و کشیده می‌شوند) — در محیط‌های جامد و مایع قابل انتشار است
  T = 0.1–0.7 sec ایران [illegible] 3 sec
- موج ثانویه S (Secondary wave) — حرکات بالا و پایین یا چپ و راست
  معمولاً این موج‌ها صدمه زیادی به سازه‌ها می‌زنند

[illegible] موج برشی [illegible]
[illegible] امواج [illegible]
موج زمان تناوب آن بالاست، قابل احساس برای انسان نیست.

- امواج سطحی: همان امواج P و S که در نزدیکی سطح حرکت می‌کنند و [illegible]
  و حتی در جهت محور حرکت می‌کنند مثل موج سطح دریا است.
  یک نوع از آن‌ها رایلی Railey — که حرکت [illegible] در زیر سازه‌ها عبور می‌کنند
  و لاو Love — که از زیر سازه‌ها می‌توانند حرکت کنند

گاهی شتاب زلزله در سطح افزایش می‌یابد Soil Amplification (بزرگنمایی زلزله در خاک)



در زلزله 1985 مکزیکوسیتی
زلزله در فاصله 300 km از شهر رخ داد
که شتاب در بستر سنگی 0.05g بود.

و حتی ساختمان‌های مهندسی‌ساز در آن خراب شدند
ولی ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز روی بستر سنگی خراب نشدند

علت: [illegible] Amplification رخ داد و شتاب به 0.2g رسید [illegible]
[illegible] امواج [illegible] ساختمان‌های 6-5 طبقه است را باعث تشدید شده و [illegible] خرابی شد.

ریاضی عمران ۲۳/۲

پریود یا طول امواج زلزله بستگی به هر منطقه دارد

ایران $0.1 \sim 0.7^{sec}$

مکزیک تا 5^{sec}

آمریکا $0.1 \sim 2^{sec}$

۲-۶ حرکات زمین

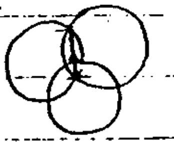
۲-۶-۱ ثبت psychnograph

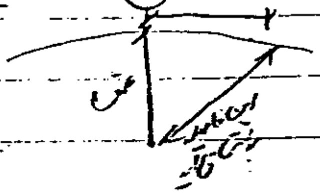
- امواج زلزله توسط لرزه‌نگار ثبت می‌شوند که از یک پاندول دارای برای ثبت می‌شود و در سه جهت عمود بر هم کار گذاشته می‌شوند.

که دستگاه‌های حساس هستند که اگر تشدید شوند از مقیاس خارج می‌شوند و نتایج غیر قابل استفاده است بنابراین می‌کوشند در مورد زلزله‌های ... مثلاً شوروی با ۲۰۰ ... توسط آمریکا ... استفاده کرد

(اسلایدها)

مرکز زلزله توسط سه ایستگاه بدست می‌آید. از روی فواصل زمانی موج P و موج S می‌توان آن را پیدا کرد (بارالیزم)

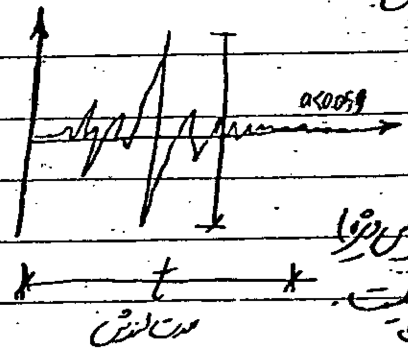




با محاسبات ریاضی عمق زلزله بدست می‌آید.

- (در طراحی مهندسی سازه به شتاب نگاشت نیاز داریم. از لرزه‌نگار علمی را استفاده ... زلزله‌نگار ... شتاب‌نگارهاست)

اگر شتاب نگاشت‌ها از روی بستر سنگی نباشد، چه بسا در اثر Soil Amplification شتاب غیر واقعی نشان دهد بنابراین ترجیح داده می‌شود local site بر روی بستر سنگی باشد.



اطلاعاتی که می‌خواهیم:
- حداکثر شتاب امواج
- طول مدت لرزش
- فرکانس یا پریود حاکم زلزله (فرکانس غالب)

در مورد زلزله شتاب افقی برای ما مهم است و شتاب قائم خیلی مهم نیست.

- حداکثر شتاب: 1.25g بوده در ... آن ... حدود 1g

فرکانس غالب = 0.5 ~ 15 پریود ثانیه یا $\frac{1}{15} \sim 2$ Hz

* از 0.15g به بالای ... خراب کننده هستند و 0.5g می‌تواند ویرانگر باشد.

ابتدا سرعت [illegible] ثبت می‌شد که [illegible] را داشت و در زیر [illegible] با [illegible] شتاب را [illegible] ممکن است [illegible] را کند

این چیزی که ما داریم پاسخ این سیستم (زمین) به [illegible] است حال باید از این Output به input یا شتاب واقعی را بدست آوریم

حداکثر شتاب قائم که در زلزله [illegible] بدست آمد حدود 1.5g بود که در زلزله‌ها [illegible] استثنائی است

۲-۷- اندازه زلزله‌ها

پارامترهای مختلفی اندازه زلزله‌ها و اثر آن‌ها را بیان می‌کنند

- بزرگی
- شدت
- عمق کانونی
- فاصله از مرکز زلزله
- شرایط محلی ساختگاه
- پریود غالب
- شتاب اوج

- بزرگی ... magnitude

- مبنای انرژی رها شده از زلزله است که مستقل از محل ثبت است. به صورت غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود که توسط حرکات سطح زمین توسط لرزه‌نگار اندازه‌گیری می‌شود. معروف‌ترین تعریف بزرگی توسط ریشتر انجام شده که با M_L یا M_S نشان داده می‌شود
local
surface

- ریشتر بزرگی را بر حسب لگاریتم شتاب اوج در فاصله 100km بیان می‌کند.
اگر لرزه‌نگار استاندارد wood anderson باشد

دامنه حرکت، لگاریتمی و در فاصله 100km

دستگاه پریود طبیعی 0.8sec دارد و امواج با پریود $T \approx 0.1^{sec}$ را ثبت می‌کند

بزرگی لرزه‌نگار در دورتر، امواج سطحی (2000km) دارای پریود حدود 20sec هستند که از M_S استفاده می‌شود بر اساس امواج سطحی

اگر دامنه حرکت موج P از فاصله 100km لگاریتم آن را بگیریم که M_b (body wave) گویند

۳ [illegible]

۱۱/۷/۱۳

M_D* : نیروی مدت: با توجه به مدت تداوم لرزه‌ها بدست می‌آید، ساده است و دقیق نیست

M_w* : مقیاس نیروی گشتاوری: از روی گشتاور لرزه‌ای (M_0) بدست می‌آید که خیلی دقیق است و از روی بزرگاهای بلند مدت M_w را تعیین می‌کند (علی‌الخصوص برای زلزله‌های بیش از ۷ ریشتر)

cyclic Moment

گشتاور: $l \times S \times G$ بدست می‌آید ← انرژی رها شده

l : مقدار طول گسیختگی

S : 〃 سطح 〃

G : صلبیت (مدول برشی) (مدل سنگی)

← پارامترها از زلزله بدست می‌آید

$$M_w = \frac{2}{3}\log M_0 - 10.7$$

dyne cm

M_L یا M_B برای زلزله‌ها کمتر از ۳

M_b, M_L 3-7

M_S 75-5

M_w >7.5

باید بدست آید

شدت زلزله: Intensity

۱- شدت بیانگر قدرت لرزش زمین در یک سطح است (در یک نقطه مشخص) با دور شدن از ناحیه اطراف گسل، کاهش می‌یابد. با ثبت حرکات شدید زمین در نقاط مختلف می‌توان شدت زلزله را تعیین کرد

۲- مقیاس مرکالی اصلاح شده Modified Mercaly Intensity (الزامی نیست) MMI که ۱۲ طبقه را شدت زلزله می‌کند (XII)

۳- از ۶ به بالا یعنی خرابی آن قابل توجه است و از ۸ به بالا تخریب ساختمان‌ها و در سطح وسیع و 10-12 خیلی خرابی بوجود آورده

انرژی رها شده از زلزله

$$Log E = 115 + 1.5M_s$$

زلزله‌ها در مراحل ضعیف یک‌دهم انرژی ارتعاشی کل را رها می‌کند.

با بررسی‌های انجام شده در سال 10^{25} – 10^{26} erg انرژی توسط زلزله رها می‌گردد. زلزله حدود 5.5 ریشتر حدود 10^{20} erg انرژی رها می‌کند. بمب اتمی 1946، 10^{19} erg انرژی رها کرد.

معرف لگاریتمی انرژی زلزله در مقایسه با انرژی هسته‌ای است که توسط روابط بالا بیان می‌شود.

هر قدر تغییری در M_s ایجاد شود حدود 30 برابر انرژی تغییر می‌کند (یعنی لگاریتمی است)

۱-۳- سازه‌های فراساحلی:

در دهه 70 ساخت سکوهای نفتی برای پالایش بار [illegible] توجه شد.

دارای انواع مختلفی هستند:

- Jatket ، تولید شمع‌ها با طول زیاد به دریا رانده می‌شوند. (برای عمق‌های بیشتر)
- وزنی : وزن سکو بالا ، روی پایه‌ها روی پی (برای عمق‌های کم تا 150 متر) - فشار آب [illegible] می‌باشد.
- با پایه‌های کششی ، پایه‌های آنها تحت کشش واقع می‌شوند برای عمق‌های بسیار زیاد 1000 تا 2000 متر

- بر حسب آرایش سکو انواع بارها و نیروهای دینامیکی را می‌توانند ایجاد کنند.
- نحوه اعمال بار موج (بار سیکلیک) ← سیکل بسیار زیاد با دامنه کم و پریود زیاد (برعکس زلزله که فرکانس و دامنه زیاد و [illegible])
- تصادم کشتی‌ها.

(برای اکثر سازه‌ها : سیکل‌ها کم با فرکانس زیاد، پریود کم ، دامنه زیاد)

- پریود موج 15 تا 20 ثانیه در شرایط بحرانی در طوفان‌ها کم تا 5 ثانیه
- گاهی سازه توسط لوله‌های انتقال به سازه زیر دریا وصل است. [illegible] آن لوله‌ها تغییر شکل ایجاد شده را می‌پذیرند.

۱-۴- اثرات انفجار:

مرتبط با انفجار در کارهای اتمی. انفجارهای اتمی در ساخت پناهگاه‌ها الزام [illegible] باعث پیشرفت دینامیک خاک شد. (از دهه 50 تا 70 برای این منظور [illegible] شد. [illegible] تا آن زمان [illegible])

۱- نیروی اتمی و ناشی انفجار چیست؟
۲- انرژی کشش خاک چیست؟
۳- مقاومت خاک ؟

دامنه آن بسیار زیاد، طول زمان بسیار کوتاه و به صورت یک پالس منظم نیست - دارای پریود حاکم بسیار پایین در حد 0.05 sec است.

در روش حفر علی الخصوص در پی حفاری که حجم زیادی از انفجارات (انفجاری) استفاده می‌کنند [illegible] جدید
در کانال‌ها یا ایجاد قسمتی از کار به روش انفجاری
نوع انفجار و حجم خرج انفجاری به نوع خاک بستگی دارد
(مثال)

۱-۵- شمع‌کوبی

گاهی جهت [illegible] شمع اجرا می‌کنند که گاهی لازم است شمع را بکوبیم و [illegible] آن به دینامیک خاک بستگی دارد می‌شود
گاهی در خاک‌ها [illegible] امکان [illegible] با [illegible] روانگرایی می‌شود
(در عملیات شمع‌کوبی به بررسی انتشار امواج [illegible] اثر ضربه شمع یا ساختمان‌های اطراف الزامی است)

۱-۶- تراکم دینامیکی و ارتعاشی:

- ارتعاشی
- چرخشی
- ضربه‌ای

- آیا این تراکم مورد نظر با این دستگاه‌ها می‌رسیم یا نه؟
- ضخامت لایه‌ها چند سانتی‌متر؟
- وزن ضربه چقدر؟
- یکی از روش‌های تثبیت زمین: تحکیم دینامیکی خاک‌ها — (عمق زیاد [illegible] تحکیم دینامیکی)

۱-۷- سایر مباحث دینامیک خاک

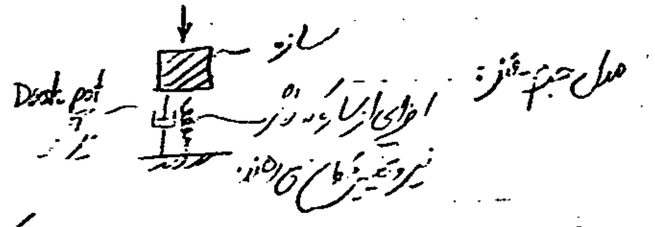
- اکثر اوقات برای شناخت خواص لایه‌های خاک [illegible] از آزمایش خاک [illegible] استفاده می‌کنیم (آزمون ژئوفیزیک)
- اثر ارتعاش و حرکت دوار برخی دستگاه‌های [illegible] است و چه تاثیری روی ظرفیت باربری پی یا خاک می‌گذارد (بارگذاری مداوم)
- محیط [illegible]
- طراحی سکوی پرتاب موشک‌ها — با [illegible]، [illegible]
- طراحی پی رادارها
- حفاظت از ساختمان یا تجهیزات در برابر [illegible] که ممکن است به آن وارد می‌شود (در [illegible])
باید آنها را [illegible] با علم دینامیک خاک بررسی کرد
[illegible] های [illegible] زیر [illegible] با [illegible] داریم

- دینامیک خاک چیست؟

الف) انرژی جنبشی — در رفتار دینامیکی انرژی جنبشی مهم است.

ب) تنش - کرنش - زمان:

در دینامیک خاک ممکن است یک بار [illegible]



طبیعت بار دینامیکی سریع بوده [illegible]
[illegible]

ج) جرم - وزن - نیرو

در سیستم SI، جرم را به عنوان کمیت بنیادی می‌شناسیم: $\overset{\text{علامت}}{M}$: $\overset{\text{واحد}}{kg}$

وزن معادل نیرویی که شتاب ثقل به جرم وارد می‌کند.

نیرو F

$$F = m.a$$

$$W = m.g$$ (g حدود 0.5% در سطح زمین ممکن است تغییر کند)

شتاب یک پارامتر کلیدی در دینامیک خاک می‌باشد:

$x =$ تغییر مکان

$\frac{dx}{dt} = \dot{x}$ سرعت

$\frac{d\dot{x}}{dt} = \ddot{x}$ شتاب

شتاب به صورت کسری از واحد g نشان می‌دهیم

مثلاً شتاب زمین $0.3g$

$g = 9.807\ m/s^2$
$= 32.17\ ft/s^2$
$=$ [illegible]

$1\ cm/s^2 = 1\ gal$

$m = 1000\ kg$

$W = 9810\ N$

$\gamma = \rho . g$

γ آب در شرایط استاندارد $= 9810\ N/m^3$

در سیستم قدیمی، اصل پارامتر وزن بود که به صورت کیلوگرم نیرو بیان می‌شد:

$m = 1000\ kg$

$W = 1000\ kgf$

$W = 1000\ lbf \Rightarrow m = \frac{1000}{3.2} = 3.11\ lb.s^2/ft \leftarrow slug$

- تنش: $\frac{F}{سطح}$ ، $Pa \leftarrow N/m^2$

فصل دوم - مهندسی زلزله:

علم شناخت پدیده زلزله و کاهش تلفات ناشی از آن است.

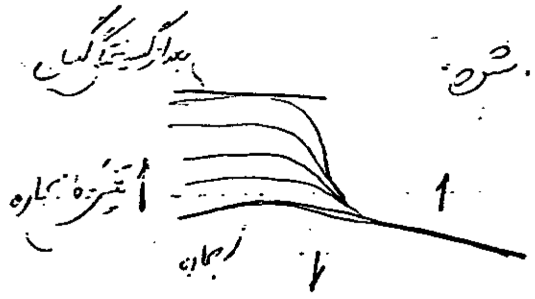
- لازم است موقعیت و شدت زلزله‌ها آینده را بتوانیم پیش بینی کنیم.

۲-۲ - زمین لرزه:

عبارتست از حرکات شدید زمین که می‌تواند موجب خرابی ساختمان‌ها، پل‌ها، سدها و لوله‌ها و ... همچنین لغزش روانگرایی و ... شود.

الف- لرزش زمین و نوسانات و حرکات شدید آن می‌تواند منجر به نشست غیر یکنواخت زمین و ... شود.

ب- تغییر شکل زمین از قبیل گسل:



ج- سونامی: سیل ناشی از خرابی سدها و بندها

د- آتش سوزی: (زلزله 1906 سانفرانسیسکو در اثر آتش‌سوزی آسیب دید که خسارت آن بیشتر از خود زلزله است.)

۲-۲- عوارض ناشی از زلزله.

بخشی از خرابی‌ها مستقیماً از زلزله است. عواملی چون زمین لغزش، سونامی، نشست، انفجار و ... از عوامل غیر مستقیم.

۲-۲-الف) زمین لغزه.

ایجاد ناپایداری در شیب‌ها مصنوعی یا طبیعی و نسبی انجام می‌گیرد. ضریب اطمینان آن کمتر است ولی خطرناک‌تر شیب‌هایی است که در حالت استاتیکی ضریب اطمینان نزدیک به ۱ دارند.

زلزله ۱۹۴۹ شوروی ← (رفتن [illegible] روستا در خاک)

- زمین لغزش
- [illegible] ← [illegible]
- [illegible]

۲-۲-ب) روانگرایی.

زلزله ← مقاومت خاک کاهش می‌یابد (تقریباً صفر) و حتی مقاومت برشی را تقریباً از دست می‌دهد.

روانگرایی کشور ژاپن را به شدت آسیب‌پذیر کرد.

۲-۲-ج) سونامی

ایجاد امواج بلند ناشی از زلزله می‌باشد در مناطق ساحلی ← [illegible]

- امواج تا ۴۰ متر هم ممکن است برسد
- زلزله 1896 ژاپن موج ۳۰ متری در اثر سونامی ایجاد شد.
- بطور متوسط در دنیا در هر سال یک سونامی مخرب اتفاق می‌افتد. بیشتر نقاط ساحلی ژاپن (اقیانوس آرام) ← [illegible] نشان داده.

البته در دریاچه‌ها هم ممکن است [illegible] موج بیاید.

۲-۳- عوامل ایجاد زلزله:

۱) متداول‌ترین زلزله‌ها، زلزله‌های تکتونیکی است (ناشی از شکستگی ناگهانی گسل) ← چون گسل نقش مهمی را در این مورد دارد، مطالعات زمین‌شناسی در این مورد اهمیت زیادی دارد.

۲) زلزله‌های ناشی از انفجارهای آتشفشانی ← کاری با آن نداریم.

۳) زلزله‌های فروریزشی ← اغلب کوچک بوده در اثر فروریزش معادن، غارها ... می‌باشد که از نظر مهندسی (زلزله‌های کاملاً متفاوت از زلزله عمیق)

زمین لرزه‌ها انرژی در ... خود که معادل یک بمب بزرگ هسته‌ای (درجه ۵ ریشتر) است تا فاصله 240 km ... امواج آن ... که
... ۱۰ میلیارد ... زمین.

(منابع خارجی) افزایش فشار
4) زمین لرزه‌های انفجاری: از انفجار آتشفشان‌ها است؛ درون زمین در یک زمان که انفجار باعث افزایش درجه حرارت زمین می‌شود که داخل زمین ذوب می‌شود و خالی می‌شود ← حفره ایجاد می‌شود در سطح زمین نشست زیادی دیده می‌شود

گازها از جاهای مختلف بیرون می‌آید ← حفره ایجاد می‌شود.

و همچنین انفجارات شیمیایی (درون زمین): انفجارات شیمیایی درون زمین ... باعث ... ایجاد می‌شود

خصوصیات زلزله‌های تکتونیکی:

۱) زلزله‌های مختلفی بروز می‌کنند

⊛ توزیع این زلزله‌ها (کمربند زلزله‌خیز) را می‌توان دید. (کمربند آلپ هیمالیا)

۲) از نظر میزان انرژی زلزله‌ها بسیار متفاوتند از کم تا بسیار زیاد

۳) زلزله‌ها میزان انرژی متفاوتی تا ... تولید می‌کنند در زیر ... و ... روی ...

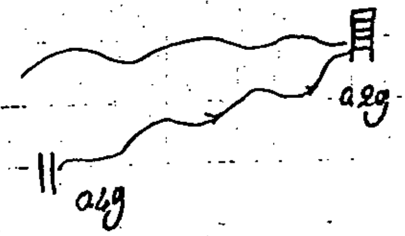
۴) بعضی از زلزله‌ها معمولاً در مراکز مختلف پشت سر هم تکرار می‌شوند (پس لرزه‌ها) after shock
(زلزله‌ها هم)

۵) عمق کانونی زلزله از سطح زمین تا عمق بسیار زیادی ممکن است باشد (2 km تا 700 km زمین)

۶) مشاهدات نشان داده‌اند زلزله‌ها با عمق کانونی کم و انرژی متوسط زیاد، سطح زمین تغییر شکل پیدا می‌کند و در سطح زمین شکستگی را به صورت گسل می‌بینیم

۱۷٫۲٫۱۷ [illegible]

۲۸- روابط کاهندگی شتاب (سرعت)



مقاله Boore Joyner 1987 ← BSSA معتبرترین مجله تحقیقاتی زلزله

۲-۸-۱- بور- جوینر 1982

این یکی از مطالعات کامل و سیستماتیک برای چند دهه از اطلاعات مطالعه شده زلزله‌های آمریکا می‌باشد

- در غرب آمریکا نسبت به شرق آمریکا زلزله بیشتر است و دستگاه‌های شرق آمریکا از نظر تجهیزاتی مناسب نیست [illegible]

- زلزله‌های با بیش از 20km از مرکز زلزله

- آزمایش جاهایی انجام شده است که ساختمان‌های کنار آن سبب [illegible] نشوند Free site

$$\log y = a + b(M-6) + c(M-6)^2 + d\log r + kr + S$$

شتاب یا سرعت

a، b، c، d، k، s پارامترهای ثابتی هستند

M: بزرگی زلزله $5.0 \leq M \leq 7.7$

r_0: فاصله تا رسیدن انرژی به سطح زمین

h

$$r = (r_0^2 + h^2)^{\frac{1}{2}}$$

فاصله افقی تا رسیدن انرژی تا سطح زمین

عمق کانونی

برای سرعت یا شتاب پارامترهای ثابت تغییر می‌کند

۲-۸-۲- رابطه برای فلات ایران 1995-1996

مرکز تحقیقات ساختمان این مطالعه را انجام داد از زلزله‌های با شتاب 0.01g بیشتر منظور کرده، شتاب‌نگارهای بستر سنگی و [illegible] آنها که از زمین نوع ۳ نیز

زلزله‌های روی زاگرس ← رابطه مستقل

البرز ← رابطه مستقل

رابطه کلی ایران: $\text{Log}\, a = -1.196 + 0.178M - 0.681 \text{Log}(R^2+9)^{\frac{1}{2}} + 0.334\rho$

زاگرس
بقیه ایران

[illegible]

این رابطه برای زلزله‌های کوچک بیشتر معتبر است (کوچکتر از 5 ریشتر)

R = ۲۰ : فاصله تصویر سطحی زمین تا ساختگاه مورد نظر

M_w , M

P : بحث احتمالات است. اگر اطلاعات نداریم از 50% اطلاعات صحیح باشد P = 0 و اگر بیش از 84% اطلاعات صحیح باشد P = 1 می‌گذاریم.

(باید ببینیم در اطلاعات مجموعه این رابطه، زلزله‌های ایرانی مورد نظر تا چه حد [illegible])

۳-۸-۲- امبرسیز و بومر — 1991 → مال اروپا — دلیل آن مورد نظر قرار گرفتن این است که بعضی از زلزله‌های ایران از [illegible] زلزله‌های مناطق دیگر (شامل ایران، [illegible]) مورد نظر قرار گرفته

$$\log(a_h) = -1.09 + 0.238 M_s - \log(r) - 0.0005\, r + 0.29\, P$$

$$r = (d^2 + 6^2)^{1/2}$$

این رابطه برای زمانی که عمق کانونی مشخص نیست

است: $r = (d^2 + h^2)^{1/2}$

که شکل اصلی آن را مشخص می‌کند

d فاصله بر کانون در سطح زمین تا ساختگاه مورد نظر

۴-۸-۲- فوکاشیما و تاناکا 1990 — رابطه زیر در محدوده ساحلی ژاپن بدست آمده و بر پایه [illegible] است.

$$\log a = 0.41M - \log(R + 0.032 \times 10^{0.41M}) - 0.0034R + 1.30$$

a : میانگین دو مؤلفه شتاب افقی

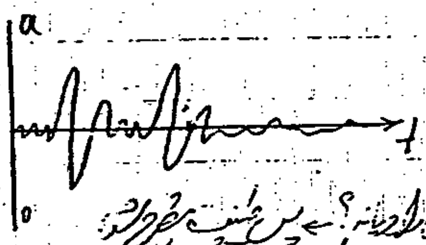
R : کمترین فاصله تا گسل

M : همان M_s است   اعتبار تا فاصله 200^{km}

(مورد در ایران: بور، جوزف اصلاً توصیه نمی‌شود. امبرسیز و بومر توصیه می‌شود (نسبتاً)، فوکاشیما تاناکا خیلی خوب نیست [illegible] و نتیجه‌گیری [illegible] فوکاشیما و تاناکا [illegible] است.

۱۷ / ۲ / ۲ [illegible]

طیف:



تا بخواهیم ببینیم فرکانس غالب این ~~طیف~~ شتاب نگاشت چیست و آیا امکان تشدید وجود دارد یا نه؟ ← پس طیف مطرح شد:

یک موج نامنظم را با آنالیز فوریه می‌توان به تعدادی موج منظم تبدیل کرد با زمان و فرکانس مشخص.

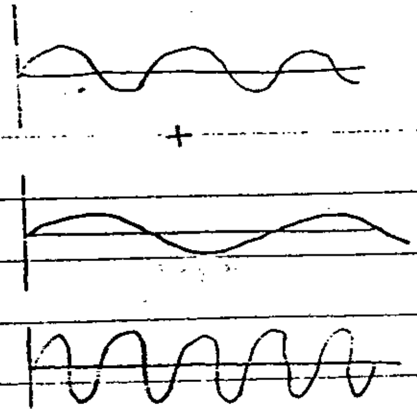
ــ دامنه موج با فرکانس ω $A(\omega) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty f(t)\sin\omega t\,dt$ ← ω را تغییر می‌دهیم و A پیدا می‌کنیم

$\omega = 2\pi f$

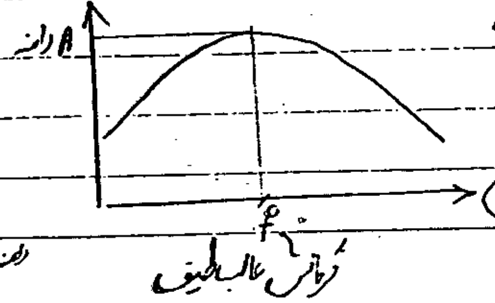
$$f(t) = \int_0^\infty A(\omega)\sin\omega t\,d\omega$$

اگر موجی داشته باشیم که تابع زمان باشد می‌توانیم به چند موج منظم تبدیل کنیم که اگر با هم جمع کنیم همان موج می‌شود. پس برای هر فرکانسی میزان دامنه مشخص می‌گردد.

⇓ آنالیز فوریه



⇓



اگر سازه دارای فرکانس طبیعی برابر فرکانس غالب طیف زلزله باشد تشدید روی خواهد داد و سازه را نمی‌توان ساخت.

دامنه شتاب

$\frac{A_a}{\omega} = A_{V_2}$

دامنه سرعت

همین اثرات [illegible]

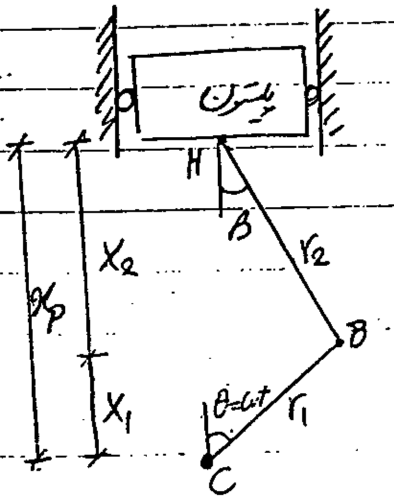
بدست آمده از شتاب — بدست آمده از سرعت

اگر سرعت از انتگرال شتاب بدست آید: $\frac{A_a}{\omega} = A_v$

مشکل ارتباط بین دو حد M_s نمایش است

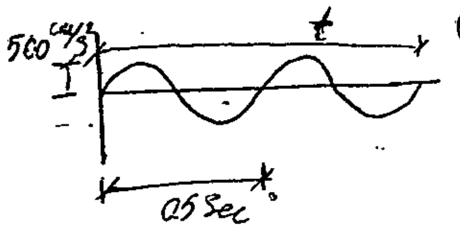
- تمرین سری اول:

۱) یک رابطه برای نیرو بدست آورید که بر حسب شتاب وارد به پیستون، نیروی نامتعادل وارد به سیستم را بیان کند.



اگر $\frac{r_1}{r_2} \ll 1$ رابطه را خلاصه کنید.

(2



- موج سینوسی ارتعاش با دامنه 500 $\frac{in}{sec}$ و پریود 0.5 sec فوریه Amplitude را برای سه حالت زیر پیدا کنید.

$t = 0.5$ Sec
$t = 2.5$ Sec
$t = 5$ Sec

برای سه حالت نمودار فوریه Amplitude آنرا روی یک نمودار رسم کنید.
(در واقع دامنه‌ها را تعیین می‌کنیم)
(تحویل جلسه هفته آینده)

مرجع: Dynamic of Structure 2 Clough & Penzien

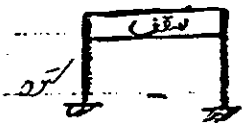
سیاوش خاکی ۳ / ۷ / ۱۲

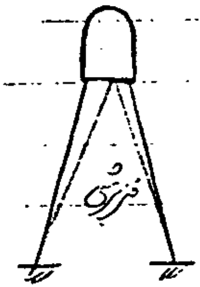
فصل سوم: سیستمهای با یک درجه آزادی:

Single Degree of freedom

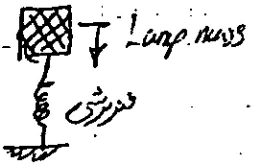
(اینجا سیستمها را متمرکز بررسی می کنیم یعنی تمام جرم در یک نقطه متمرکز شده است.

مثل ساختمان یک طبقه

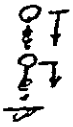


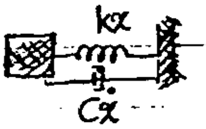


مثل منبع آب هوایی



سیستم یا جرم نقطه در یک جهت یا یک مسیر حرکت می کنند. جرم هم یکی باشد (یک جرم و حرکت فقط در یک جهت)

(سیستم اگر دو جرم داشته باشد حتی اگر در یک جهت حرکت کنند از دو درجه آزادی می شود )



$F = c\dot{x} + kx$

Viscous Damping

F: نیروی وارد به سیستم

x: تغییر مکان سیستم

$\dot{x}$: تغییرات نسبت به زمان

نیروی جریان آب

(این نیرو با روش تقریبی [illegible] چند از [illegible])

۲-۳- لرزش آزاد Free Vibration

(در اینجا نیرو دینامیکی به وجود نمی آید. البته فرض می کنیم میرایی وجود ندارد)

kx نیروی فنر

$M\ddot{x}$ اینرسی

$$M\ddot{x} + kx = 0 \quad 3\text{-}2$$

$$\Rightarrow x = A\sin\sqrt{\frac{k}{m}}\,t + B\cos\sqrt{\frac{k}{m}}\,t \quad 3\text{-}3$$

برحسب شرایط اولیه مقادیر A و B بدست می آید.

فرض: $t=0,\ x=x_0$ $A=0$

$\dot{x}=0 \Rightarrow B=x_0 \Rightarrow x = x_0\cos\sqrt{\frac{k}{m}}\,t$

K: سختی

M: جرم سیستم

$2\pi f$ یا $2\pi/T$

$$3\text{-}8 \Rightarrow \boxed{x = x_0\cos\omega t}$$

حرکت منظم پریودیک

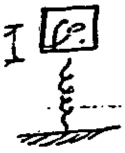
$$T_n = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \quad 3\text{-}6$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{M}} \quad , \omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad 3\text{-}7$$

دینامیک س ۱۹/۷/۸۰

ادامه بحث لرزش آزاد،

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}} \qquad W = k \cdot x_s \qquad x_s = \frac{W}{k}$$



ابتدا وزن سیستم تحت وزن خودش

تغییر مکان استاتیکی بعد از آنجا k

و سختی فنر بدست می‌آید

$$k = \frac{W}{x_s}$$

$$m = \frac{W}{g} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{\frac{W}{x_s}}{\frac{W}{g}}} = \sqrt{g/x_s}$$

یعنی بجای اینکه آنالیز دینامیکی کنیم کافی است بگذاریم تغییر مکان استاتیکی x_s تحت وزن سیستم صورت بگیرد از آنجا ω بدست می‌آید

لرزش آزاد با میرایی:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = 0$$

ضریب میرایی بحرانی $C_{cr} = 2\sqrt{k.m}$

نسبت میرایی $= \frac{c}{C_{cr}} = \beta = \xi$

حل می‌کنیم حل این معادله بستگی به میزان β دارد

لرزش: $\beta < 1 \Rightarrow x = x_0 e^{-\omega\beta t}\left(\cos\omega_1 t + \beta\frac{\omega}{\omega_1}\sin\omega_1 t\right)$ 3.15

تحریک اولیه این سیستم بصورت تغییر مکان اولیه است

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad , \quad \omega_1 = \omega\sqrt{1-\beta^2} \quad 3.16$$

$$x = e^{-\omega\beta t}\left[\frac{\dot{x}(0) + x(0)\overset{\xi}{\beta\omega}}{\omega_1}\sin\omega_1 t + x(0)\cos\omega_1 t\right] \quad 3.18$$

این رابطه تحریک اولیه اگر هم سرعت داشته باشد و هم تغییر مکان

از لحاظ فرم شکل مثلثاتی

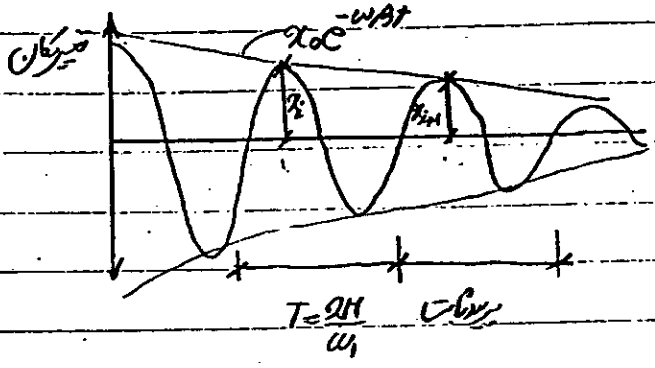
$$x = x_0\sqrt{1+\left(\frac{\beta\omega}{\omega_1}\right)^2}\, e^{-\omega\beta t}\cos(\omega_1 t + \theta) \quad 3.17 = 3.15$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(-\frac{\beta\omega}{\omega_1}\right)$$

$$x = \rho e^{-\omega\beta t}\cos(\omega_1 t - \theta) \quad 3.18$$

$\rho = \left\{\left[\dot{x}_0 + x_0\beta\omega\right]^2 + \left[x_0\right]^2\right\}^{1/2}$, $\theta = \tan^{-1}(\dot{x}_0 + x_0\beta\omega$ [illegible] $)$

یعنی حرکت پریودیک نیست، دامنه اش با گذشت زمان کاهش می یابد.



معمولاً β خیلی کوچک است ($\beta<10\%$) لذا در مسائل حتی اگر میرایی داشته باشیم از ω بجای ω_1 استفاده می کنیم.

توجه: میرایی بیشتر ← سرعت کاهش دامنه بیشتر

$$\frac{x_i}{x_{i+1}} = e^{\omega\beta T} = e^{2\pi\beta}$$ نسبت دامنه دو سیکل متوالی

یکی از روشهای تعیین میرایی در عمل همین رابطه است. (ساختمان را [illegible] موج را ثبت می کنیم)

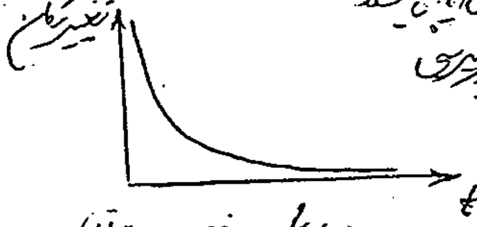
میرایی یعنی سیستم ... باعث جذب انرژی می شود.

نوع تحریک عامل و مقدار آن در مقدار نیرویی که سیستم تحمل می کند حرکت رفت و برگشت لذا پریود را تاثیری ندارد.

اگر $\beta>1$ ← حرکت های پریودیک نیست

سیستم کش نمی آید بایستد

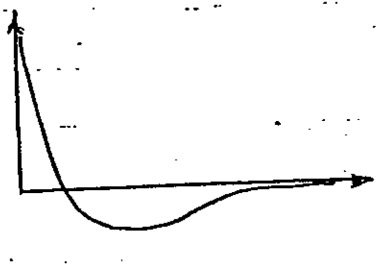
به عبارت دیگر حالت ویسکوزی (کش آیی) در برابر نیرو آنقدر زیاد است که نمی گذارد سیستم نوسان کند.



$$M\ddot{x}+c\dot{x}+kx=0$$

$$x=x_0e^{-\frac{k}{c}t}$$

اگر $\beta=1$ یا $c=c_r$



پنجشنبه ۷۱/۷/۱۸

۳-۴- لرزشی که به وسیله یک نیروی پریودی حاصل می‌شود

$$P = P_m \sin \Omega t$$
$$= P_m \sin 2\pi f t$$

P_m: دامنه بار

f: فرکانس بار

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = P_m \sin \omega t$$

جهت ساده‌گی فرض می‌کنیم در زمان شروع تحریک هیچ گونه تغییر مکان و سرعت اولیه وجود نداشته باشد

$$t=0 \Rightarrow \begin{cases} x=0 \\ \dot{x}=0 \end{cases}$$

حل معادله دیفرانسیل $\Rightarrow$

$$x = \frac{P_m}{k} \frac{\left[\left(1-\frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)\sin \Omega t - 2\beta\frac{\Omega}{\omega}\cos \Omega t\right] + e^{-\omega\beta t}\left[2\beta\frac{\Omega}{\omega}\cos \omega_1 t + \frac{\Omega}{\omega}\left(2\beta^2 + \frac{\Omega^2}{\omega^2} - 1\right) \times \sin \omega_1 t\right]}{\left[1-\frac{\Omega^2}{\omega^2}\right]^2 + 4\beta^2\frac{\Omega^2}{\omega^2}} \quad 5.22$$

حال اگر $\beta < 0.1$:

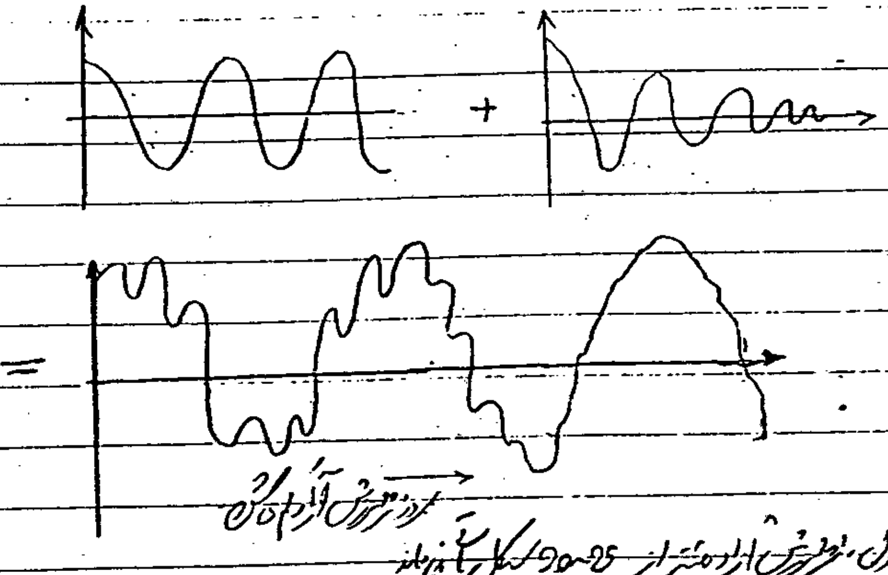
از $\beta^2 = 0.01$ در مقابل یک صرف نظر می‌کنیم.

$\omega = \omega_1$

[illegible]

$$x = \frac{P_m}{k} \frac{\sin \Omega t - e^{-\omega\beta t}\frac{\Omega}{\omega}\sin \omega t}{1-\frac{\Omega^2}{\omega^2}}.$$

اثر لرزش آزاد در اینجا کم می‌گردد



اثر ارتعاش آزاد کم می‌شود

* در حالت معمول، ارتعاش آزاد بیشتر از ۲۰–۲۵ سیکل باقی نمی‌ماند

با توجه به مطالب قبل تأثیر رابطه اصلی اثر لرزش آخر را بکار ببریم:

$$x=\frac{P_m}{K}\cdot\frac{\left(1-\frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)\sin\Omega t-2\beta\frac{\Omega}{\omega}\cos\Omega t}{\left[1-\left(\frac{\Omega}{\omega}\right)^2\right]^2+4\beta^2\left(\frac{\Omega}{\omega}\right)^2}$$

و یا

[illegible]

$$x=\frac{P_m}{K}\,\frac{\sin(\Omega t-\alpha)}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{\Omega}{\omega}\right)^2\right]^2+4\beta^2\left(\frac{\Omega}{\omega}\right)^2}}\;;\;\alpha=\tan^{-1}\frac{2\beta\omega\Omega}{\omega^2-\Omega^2}$$

حرکت ما یک حرکت هارمونیک ساده است.

نکته: بین تغییر مکان و نیروی اعمالی فاز بوده است یعنی الان نیرو وارد و جایی که نیرو به حداکثر رسیده تغییر مکان حداکثر نشود چه بسا در شرایط استاتیکی زمانی تغییر مکان حداکثر است که نیرو حداکثر باشد

۱ = اندازه سینوس

$$\Rightarrow x_m=\left(\frac{P_m}{K}\right)\frac{1}{\sqrt{\left[1-\frac{\Omega^2}{\omega^2}\right]^2+4\beta^2\frac{\Omega^2}{\omega^2}}}$$

$$x_m=\underbrace{\left(\frac{P_m}{K}\right)}_{\text{تغییر مکان استاتیکی}}\underbrace{(DLF)}_{\text{ضریب بار دینامیکی}}$$

Dynamic Load factor

تمرین: (سری دوم) دوشنبه

1) یک بلوک به جرم 1 تن تحت نیروی نامتعادل دینامیکی 50^{kN} می‌باشد. شتاب بلوک را در دستگاه SI و انگلیسی حساب کنید.

2) یک جرم 1 تن بر روی یک فنر ثابت $k=10^{kN/m}$ قرار گرفته است. فرکانس طبیعی را در دستگاه « «

3) یک خاک زیر سطح آب با نشانه تخلخل $e=0.8$ و چگالی $G_s=2.7$ داده شده است. فشار آب حفره‌ای و تنش کل در عمق 5 متری در دستگاه SI، متریک و انگلیسی حساب کنید.

4) یک نمونه خاک اشباع دارای جرم مخصوص $2.1\ ton/m^3$ می‌باشد. فشار آب حفره‌ای و تنش قائم در عمق 10 متری در دستگاه SI حساب کنید.

15) در دستگاه انگلیسی وزن یک جسم به وزن $10^{ton\ force}$ چقدر است.

آذر ۷۲

17 یک لایه خاک بعمق 0.1^m و جرم مخصوص $1.8 \frac{ton}{m^3}$ بر روی یک سانتریفیوژ با شتاب $100g$ می‌چرخد.
تنش قائم در قاعده لایه خاک چقدر است.

۷/۲۴

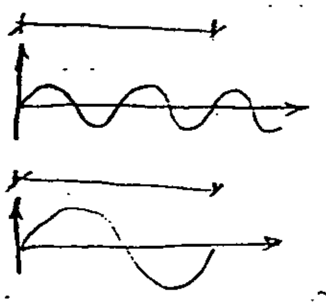
توضیح تمرین در جلسه قبل:

چون دامنه همیشه مثبت است در تمرین طیف قبل، رسم نمودار بخش منفی زیر منحنی را باید [illegible] به بالا منتقل شود.

علت تفاوت دامنه ناشی از اثر [illegible] $\frac{2}{\pi}$ [illegible] در رسانه‌ها [illegible] بجای $t = 30\,\text{sec}$. $t = 60\,\text{sec}$ منظور می‌کنیم [illegible] تا دامنه‌ها و ω های [illegible] بدست آیند.

$30 - 0$ موج از [illegible] 60 تا 50 [illegible] تا تاثیر [illegible]

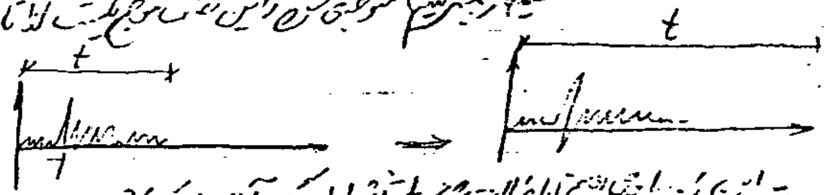
از همین واضح است که با t [illegible]



[illegible] این موج باشد ⇐

[illegible] در طول زمان [illegible]

[illegible] لذا تاثیر [illegible]



- این [illegible] با طول [illegible] t تاثیر [illegible]

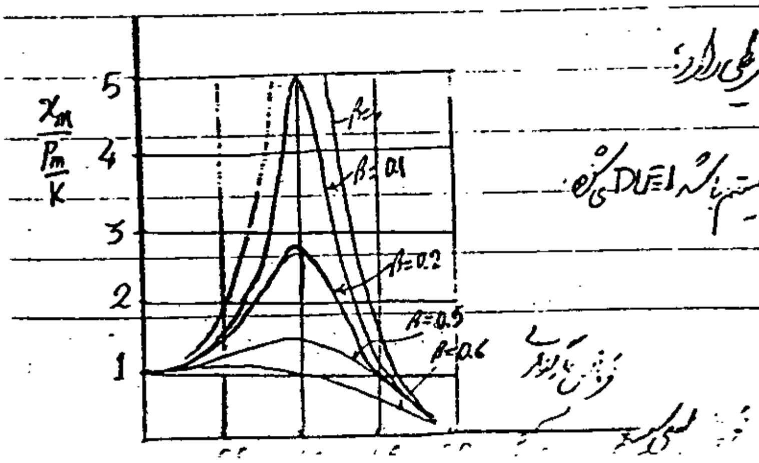
[illegible] ξ_2 [illegible]

گفتیم:

$$x_m = \frac{P_m}{k} \cdot DLF$$

$$DLF = \frac{1}{\sqrt{\left(1-\frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + 4\beta^2\left(\frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)}} \qquad \frac{1}{2\beta}$$

حال می‌خواهیم DLF را رسم کنیم و ببینیم چه شکلی دارد:



- اگر فرکانس بارگذاری بسیار کوچکتر از فرکانس طبیعی سیستم باشد DLF=1 می‌شود.

  پاسخ سیستم استاتیکی [illegible] $\frac{f}{f_n} \to 0 \Rightarrow DLF \to 1$

• هرچه $\frac{f}{f_n} \to \infty$ ، $DF \to 0$

اگر فرکانس بارگذاری بسیار زیادتر از فرکانس طبیعی سیستم باشد تغییرمکان‌های این سیستم با بارگذاری کم خواهد بود. یعنی اگر پریود سیستم تعیین‌کننده‌تر است ← خود بارگذاری ایجاد بلند و تغییرمکان‌ها به سیستم نمی‌رسد و سیستم اثر نمی‌پذیرد.

• هرچه نسبت فرکانس‌ها افزایش می‌یابد DLF تا حد افزایش می‌یابد تا نقطه Peak و دوباره کاهش می‌یابد.

آنجایی که بیشترین تغییرمکان را داریم تشدید گوییم ← در واقع چون β کوچک است فرکانس تشدید به فرکانس طبیعی سیستم نزدیک است و هرچه β بزرگتر شود از فرکانس طبیعی فاصله می‌گیرد.

$$\omega_1 = \omega\sqrt{1-\beta^2}$$

- حول و حوش تشدید DLF تابعی از β خواهد بود.

$$DLF = \frac{1}{2\beta\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{2\beta}$$ (β: میرایی)

* یعنی فرکانس تشدید یک مقدار قبل از ω_n رخ می‌دهد. – $\frac{f_r}{f_n} = \sqrt{1-2\beta^2}$ – فرکانس تشدید

- اگر $\beta > 0.7$ باشد یعنی تشدید (رزونانس) واقعی وجود ندارد (در عمل از نظر ... یعنی می‌شود ... استاتیکی می‌شود.)
- یعنی با هر فرکانسی بارگذاری کنیم تغییرمکان تابع β می‌شود.

* در نواحی دور از تشدید می‌بینیم DLF خیلی تابع β نیست، البته از نظر دور تا تشدید بحث است با ۱۵٪ خطا ممکن است بدهد. – $DLF = \frac{1}{\left|1-\left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right|}$ ، در نواحی خیلی دور از ناحیه تشدید

- حالت ناشی از خارج از مرکزیت جرم

$$P = M_e \cdot l \cdot \Omega^2 \sin \Omega t$$

(مثلاً ماشین دواری که جرم خارج از مرکزی در روی آن می‌چرخد)

$$x = r \sin \omega t$$
$$\ddot{x} = r\omega^2 \sin \omega t$$
$$F = m\ddot{x} = mr\omega^2 \sin \omega t$$

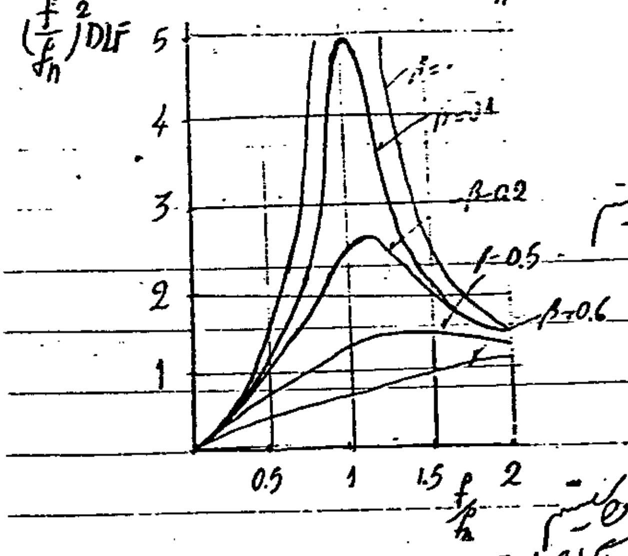
- در حالت قبل $P_m = cte$ در اینجا $P_m = f(M_e, l, \Omega^2)$ (اینجا دامنه نیرو با فرکانس [illegible]) دامنه نیرو با توان دوم Ω تغییر یافته. در حالت قبل تابع Ω نبود.

$$x_m = \frac{m_e \cdot l \cdot \Omega^2}{K} \cdot DLF \qquad 3\text{-}32$$

$$= \frac{m_e \cdot l}{m} \left(\frac{f}{f_n}\right)^2 DLF$$

M_e: جرم خارج از مرکزیت

m: جرم کل سیستم



① هرچه $\frac{f}{f_n} \to 0$، مقدار تغییر مکان صفر است

- هرچه فرکانس نیروی ناشی نسبت به فرکانس طبیعی سیستم خیلی کوچک باشد تغییر مکان ایجاد شده صفر می‌شود

② هرچه $\frac{f}{f_n} \to \infty$، $DLF \to 1$ می‌رود
یعنی بار دینامیکی P_m خیلی بزرگ می‌شود.

اگر f بسیار بزرگ‌تر از f_n باشد، یعنی علی‌رغم آنکه جرم خود سیستم بزرگ است، تغییر مکان سیستم عیناً مثل تغییر مکان بارگذاری است

[illegible] بودن بعد از فرکانس رزونانس مقدار Peak تقریباً مثل حالت قبل است ولی فرکانس تشدید یک مقدار از فرکانس طبیعی بزرگ‌تر است یعنی $\frac{f_r}{f_n} > 1$ است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{f_r}{f_n} = \frac{1}{\sqrt{1-2\beta^2}}$$

در فرکانس‌های خیلی دور از حالت تشدید داریم:

تغییر مکان در فرکانس‌های دور از تشدید به β حساس نیست و تابعی از $\frac{f}{f_n}$ است

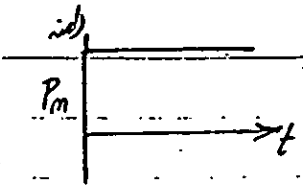
$$\left(\frac{f}{f_n}\right)^2 DLF = \frac{\left(\frac{f}{f_n}\right)^2}{\left|1-\left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right|}$$

۳-۴ لرزش ناشی از بارهای گذرا (transiate)

(یعنی بار خیلی کوتاه یا بلند شروع و پریود) انواع مختلف را در اینجا مورد بررسی می‌کنیم

Step. load :

- در حالتیکه سیستم قبلاً در حالت سکون بوده است

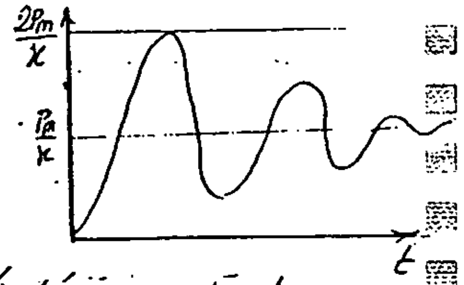


$$M\ddot{x}+C\dot{x}+kx=\begin{cases}0 & t<0\\ P_m & t\geq 0\end{cases}$$

$$x=\frac{P_m}{k}\left[1-e^{-\omega\beta t}\left(\cos\omega_1 t+\beta\frac{\omega}{\omega_1}\sin\omega_1 t\right)\right]$$

برای $\beta \ll 1 \Rightarrow \omega_1=\omega$:

$$x=\frac{P_m}{k}\left[1-e^{-\omega\beta t}\cos\omega t\right]$$



و بعد از مدتها به صورت تغییر مکان استاتیک باقی می‌ماند. (حداکثر 2 می‌رسد و با زمان به 1 می‌رسد)

۱۱

~~Structure Dynamics~~

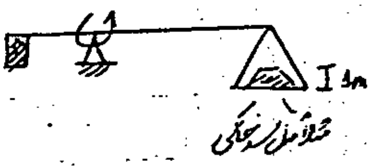
توضیح سانتریفوژ

Dynamic of Structure

Clough and Penzin

F [illegible] فصل آخر [illegible]

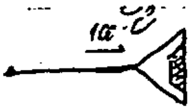
سانتریفوژ :



Mid Size 2-3m

برحسب سرعت دوران یک شتاب و g را به نمونه وارد می‌کند.

معتبرترین دستگاه سانتریفوژ در دانشگاه Cambridge است اطلاعات و مشخصات



داخل آ
- Un Colorado
- U.C. Davis
- Rensselaer Polytechnic Institute (RPI)
  - → 3m 100kg → 100g
  شتاب افقی

$\sigma = \gamma Z \times 1m$ در حالت عادی

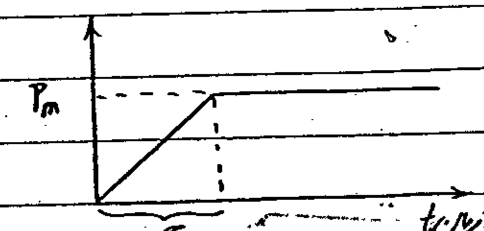
$\text{شتاب} = 100g \Longrightarrow \sigma = \gamma \times (Z \times 1) \times 100g = \gamma \times 100$

در ادامه بحث بارهای گذرا :

Ramp-load ([illegible]) :

$$M\ddot{x} + kx = \begin{cases} 0 & t<0 \\ P_m \frac{t}{\tau} & 0 \leq t \leq \tau \\ P_m & t \geq \tau \end{cases}$$

از شرایط سکون سیستم را در نظر می‌گیریم



$$t=0 \rightarrow \begin{cases} x=0 \\ \dot{x}=0 \end{cases}$$

$0 \leq t \leq \tau$

$$x = \frac{P_m}{K}\left(\frac{t}{\tau} - \frac{T}{2\pi\tau}\sin\omega t\right) \quad 3.38a$$

$t \geq \tau$

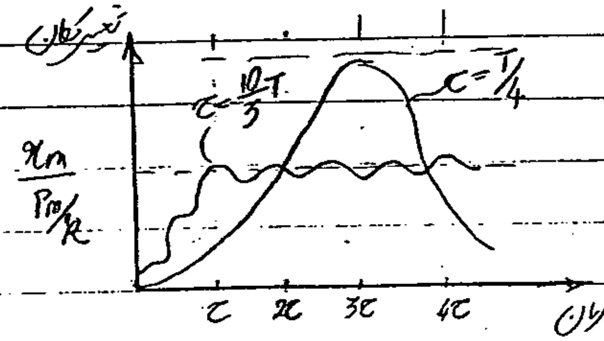
$$x = A\sin\omega t + B\cos\omega t + \frac{P_m}{k}$$

~~$t=\tau$~~

$$t=\tau \qquad x=\frac{P_m}{k}\left(1-\frac{T}{2\pi\tau}\sin\omega\tau\right)=A\sin\omega\tau+B\cos\omega\tau+\frac{P_m}{k}$$

$$\dot{x}=\frac{P_m}{k\tau}(1-\cos\omega\tau)=\omega(A\cos\omega\tau+B\sin\omega\tau)$$

$$\xrightarrow[\text{تعیین می‌شوند}]{\text{از این دو رابطه } A \text{ و } B} x=\frac{P_m}{k}\left\{1+\frac{T}{2\pi\tau}\left[\sin\omega(t-\tau)-\sin\omega t\right]\right\} \quad 3.38.b$$



T: پریود طبیعی سیستم

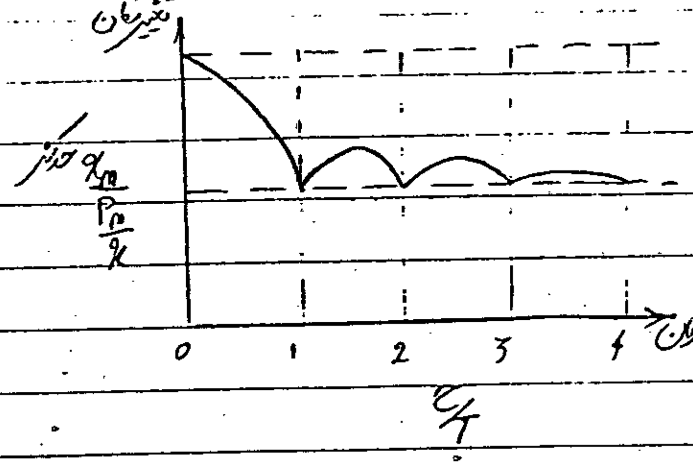
تغییر مکان ایجاد شده بمقدار زیادی بستگی $\frac{T}{\tau}$ دارد

نمودار $\frac{T}{4}=\tau$ مربوط به بارگذاری است که τ بسیار کوچکتر از T است. ← در این حالت تغییر مکان ماکزیمم کمی بعد از اعمال بار روی می‌دهد. (3τ)

$\tau=\frac{10}{3}T$ ← τ بسیار بزرگتر از T است.

در این حالت تغییر مکان مشخص است که تقریباً حول و حوش تغییر مکان استاتیکی است (منتها ارتعاشاتی خواهیم داشت.)

با نسبت زمان اعمال بار به پریود طبیعی سیستم زیاد باشد تا بارگذاری استاتیکی باشد.

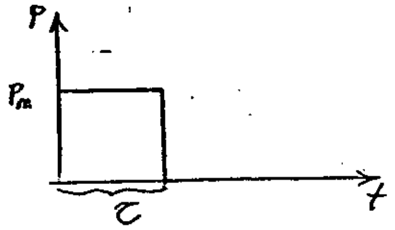


هرچه τ بزرگتر تغییر مکان به
مقدار استاتیکی نزدیکتر می‌شود

وقتی τ مضرب صحیحی از T باشد
حرکت سیستم در انتها با بارگذاری حرکت
ثابت x_{st} می‌کند

Square Load

$$M\ddot{x}+kx=\begin{cases}0 & t<0\\ P_m & 0<t<\tau\\ 0 & t>\tau\end{cases}$$



$0\leq t\leq\tau$

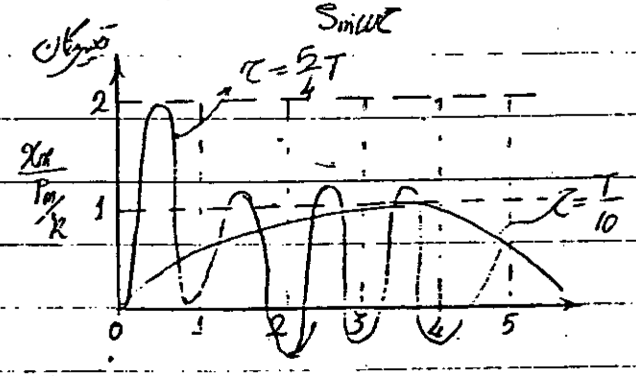
$$x=\frac{P_m}{k}(1-\cos\omega t) \quad 3.40a$$

~~$x=\frac{P_m}{k}(1-\cos\omega t)$~~

$t>\tau$

$$x=\frac{2P_m}{k}\sin\frac{\omega\tau}{T}\sin(\omega t+\alpha) \quad 3.40b$$

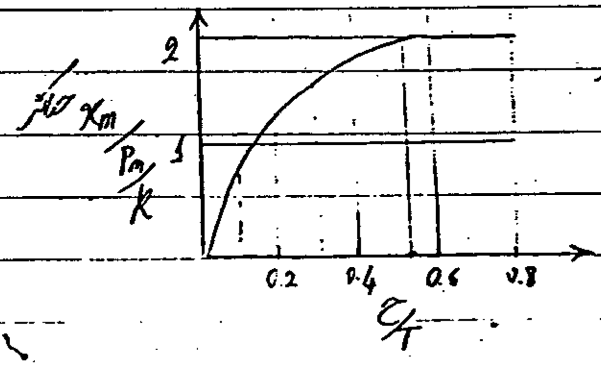
$$\tan\alpha=\frac{\cos\omega\tau-1}{\sin\omega\tau}$$



حداکثر پاسخ مقدار زیادی تابع T و τ (زمان اعمال بار) است

- چنانچه τ نسبت به T بزرگ باشد تغییر مکان حداکثر نزدیک به 2 برابر است و در زمان τ رخ می‌دهد
- چنانچه τ کوچک باشد حداکثر از x_{st} کمتر است (سیستم صورت بار را احساس نمی‌کند) تاخیر

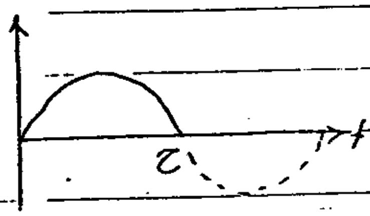
مدتها بعد از این زمان رخ می‌دهد



زمان اعمال بار چنانچه از $\frac{T}{2}$ بیشتر باشد
تغییر مکان حداکثر به $2x_{st}$ می‌رسد

موج سینوسی با مدت محدود (انرژی ضربه)

$$\ddot{x}+c\dot{x}+kx=\begin{cases}0 & k\\ P_m\sin\Omega t & 0\leq t\leq\tau\\ 0 & t>\tau\end{cases}$$



● فرض: اعمال بارهای تمام شده بصورت موج سینوسی تمام شده، بعبارتی

$\tau\Omega=n\pi$

$0\leq t\leq\tau$

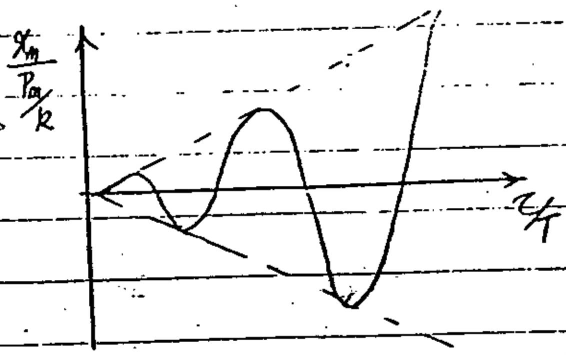
$$x=\frac{P_m}{k}\,\frac{\sin\Omega t-(\Omega/\omega)\sin\omega t}{1-(\frac{\Omega}{\omega})^2}\qquad 3.42a$$

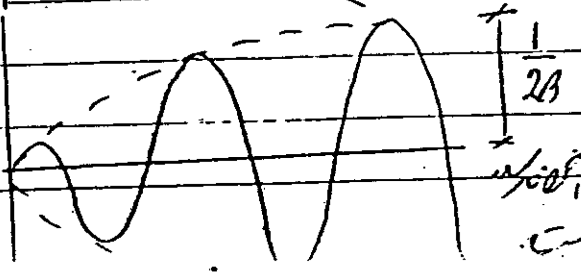
$t\geq\tau$

$$x=\frac{P_m}{k}\,\frac{2(\frac{\Omega}{\omega})}{1-(\frac{\Omega}{\omega})^2}\times\sqrt{\frac{1+\cos n\pi\cos\omega\tau}{2}}\,\sin(\omega t+\alpha)\qquad 3.42b$$

$$\tan\alpha=\frac{\cos n\pi\sin\omega\tau}{1-\cos n\pi\cos\omega\tau}\qquad 3.42c$$

اگر تحریک ما طوری باشد که $\frac{\tau}{T}$ کوچک باشد، حداکثر تغییر مکان بعد از اعمال نیرو اتفاق می‌افتد
$\frac{\tau}{T}$ بزرگ باشد، در حین اعمال نیرو اتفاق می‌افتد





ازدیاد دامنه
بعد از آن تغییر مکان ثابت می‌ماند
و این مقدار ثابت برابر $\frac{1}{2\beta}$ است.

آنچه مهم است اینست که بعد از چند زمانی این تغییر مکان ماکزیمم روی می‌دهد تا باز هم اگر بار دائم ادامه داشت ماکزیمم تغییر مکان بیشتر از آن نخواهد شد.

$$\text{ماکزیمم تغییر مکان} = \frac{1}{2\beta}$$

$$\text{تعداد سیکل لازم برای رسیدن به تغییر مکان ماکزیمم} = \frac{1}{2\pi\beta} \qquad \beta=0.05$$

$$= \frac{1}{0.1\times3.14} = 3$$ یعنی بعد از ۳ سیکل تغییر مکان ماکزیمم حاصل می‌رسد

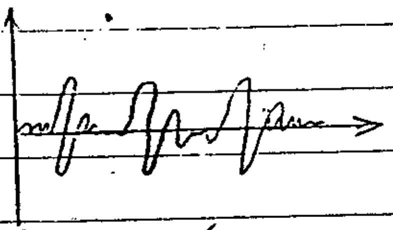
- اگر $\frac{\Omega}{\Omega_n}=1$ شود از رفع ابهام رابطه از قانون هوپیتال داریم:

$$\Omega=\Omega_n=\omega)$$

$$\begin{cases} 0\le t\le \tau \rightarrow x=\frac{P_m}{2k}(\sin\omega t-\omega t\cos\omega t) \\ t\ge\tau \Rightarrow x=\frac{P_m}{2k}n\pi.\cos\omega t \end{cases}$$

- اگر ω و Ω نزدیک باشند، تغییر مکان از تفاضل (آنالیز [illegible]) $\frac{\Omega+\omega}{2}$ و $\frac{\Omega-\omega}{2}$ بدست می‌آید و مثل حالت ضربانی می‌شود

beating

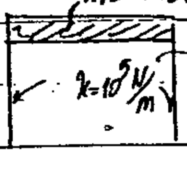


سری سوم:

۱- یک بلوک بتنی به وزن 1000 lb بر روی یک سطح افقی قرار گرفته است ولی بلوک باعث می‌گردد که فنر به مقدار 1 cm فشرده گردد. ضریب ثابت S فنر را بدست آورید، پریود طبیعی، فرکانس طبیعی، فرکانس زاویه‌ای طبیعی

۲- مسئله 1 با وزن 2200 lb و فشردگی فنر 0.0328 ft

۳- یک ساختمان مطابق شکل زیر داده شده است.



ساختمان 1 درجه آزادی [illegible] حداکثر شتاب [illegible]، حداکثر نیروی ایجاد شده در ستون را بدست آورید

4- چنانچه نوسان‌ساز را که در مسئله 3 (الف) با B=2 [illegible] تعداد سیکل‌ها را قبل از اینکه حرکت حداکثر به نصف مقدار حالت اولیه برسد محاسبه کنید. درصد کاهش انرژی را در هر سیکل را تعیین کنید.

5- یک سیستم جرم و فنر با جرم $100\,kg$ و $k = 10^6\,N/m$ تحت یک نیروی سینوسی با دامنه 1000 نیوتن قرار گرفته (دامنه $1000\,N$) با فرکانس [illegible] ω دامنه حرکت را برای [illegible] نیروی اعمال شده.

الف) [illegible] فرکانس [illegible]

ب) [illegible] فرکانس [illegible]

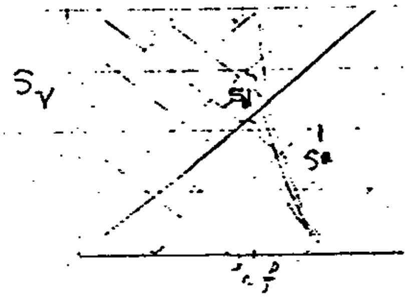
ج) [illegible] 3 [illegible]

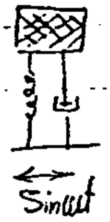
۷۸٫۸٫۳۰

Response Spectra — طیف بازتاب :

پاسخ یک سیستم یک درجه آزادی به حرکت زمین است.

یک سیستم یک درجه آزادی تحت یک نیروی Sin قرار میدهیم (تحت فرکانسهای مختلف) پاسخ سیستم را بدست می آوریم.





$$M\ddot{x}+C\dot{x}+kx=0$$

زمانیکه تغییر مکان حداکثر باشد سرعت صفر است

$$M|\ddot{x}|_m=k|Y|_m$$

$$|\ddot{x}|_m=\omega^2|Y|_m$$

بجای این می توان گفت اگر میرایی کوچک باشد هم رابطه فوق برقرار است.

$\omega^2|Y|_m=S_a$ اسپکترم شتاب

(توجه شود این شتاب حداکثر نیرو در فنر را میدهد)

$\omega|Y|_m=S_v$

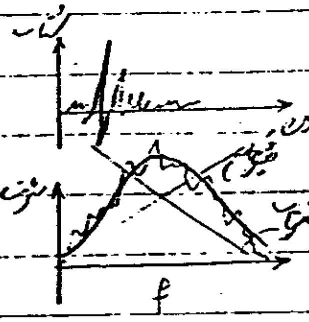
$E=\frac{1}{2}MS_v^2$

در مورد شتاب تغییر مکان نمی توان گفت هر وقت شتاب ماکزیمم است تغییر مکان ماکزیمم است و رابطه بین ماکزیمم آنها مطابق رابطه فوق است

$|Y|_m=S_d$

می گوییم $c \ll 1$ باشد (استهلاک خیلی کوچک باشد)

در آنالیز سازه‌ها، طیف بازتاب کاربرد بسیار دارد



Fourier Spectrum

Response

Power density (توزیع آماری انرژی)

۳-۷- میرایی و انرژی از دست رفته: Damping & Energy Losses

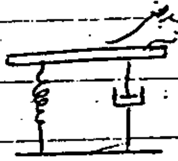
(بحث سیالیم)

اگر سیستم جرم نداشته باشد، انرژی آن در مقابل سختی فنر ناچیز باشد.

(برای مثال خاک روی تیر برای بالشتک آلات سنگین)

$F = c\dot{x} + kx$

Kelvin-Voigt
Massless system on Solid

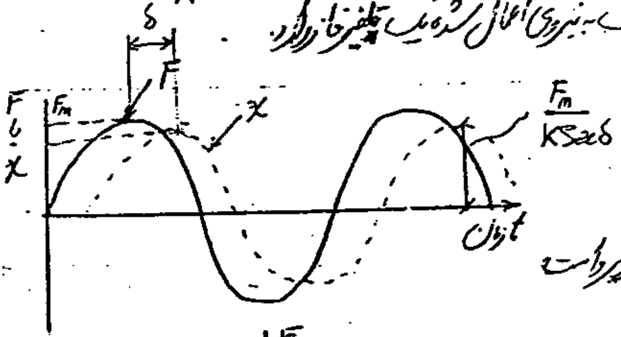


اگر $F = F_m \sin \Omega t$

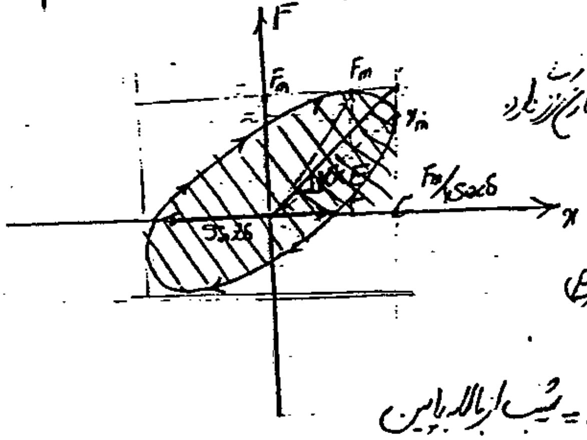
$$x = \frac{F_m}{k\sec\delta}\sin(\Omega t - \delta)$$

$$\delta = \tan^{-1}\frac{\Omega c}{k}$$

این نشان می‌دهد، تغییر مکان نسبت به نیروی اعمال شده یک (اختلاف) فاز دارد.



- تغییر مکان حداکثر تابعی از میرایی، سختی و مقدار نیرو است و فرکانس بار



شکل تقارن نیز دارد

همینطور اگر تغییر مکان و نیرو را اندازه بگیریم تشکیل یک لوپ بسته را می‌دهند

مساحت داخل منحنی برابر انرژی ذخیره شده در فنر بوده. (E)
شیب خط k (سختی فنر) است.
متناسب

شیب از بالا به پایین = $k\sec^2\delta$

عرض لوپ = $\sin 2\delta$ یا $2\sin\delta$ $(\delta \ll 1)$

هرچه عرض لوپ بزرگتر باشد، تاخیر زمانی بین تغییر مکان حداکثر و نیروی حداکثر بیشتر خواهد بود. δ تابعی از فرکانس است پس عرض لوپ تابعی از فرکانس بار است.

کدامیک از مقادیر زیاد شود تا این عرض بیشتر شود؟

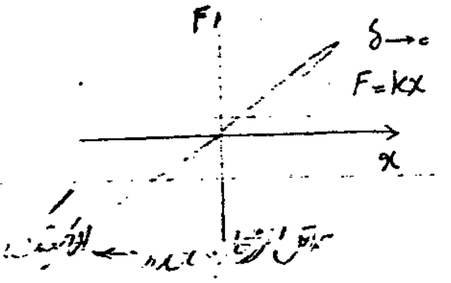
تا عدتاً باید وقتی C، ω و K ثابت است، عرض لوپ ثابت است وقتی ω تغییر کند، باید عرض لوپ تغییر کند.

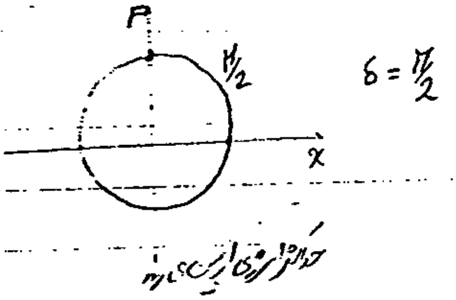
و آزمایش نشان داده در مصالح Viscous عرض لوپ تابع فرکانس است و با ω تغییر می‌کند.

سنگ non-Viscous است یعنی وقتی C و K ثابت است، با تغییر ω عرض تغییر نمی‌کند

می‌توان گفت $\frac{\eta}{\omega} = C$ است بنابراین با تغییر ω، C تغییر نمی‌کند. (مصالح هیسترتیس)

وقتی لوپ تبدیل به خط می‌شود یعنی جسم ما الاستیک است یعنی هیچگونه انرژی مستهلک نشده


F
δ→0
F=kx
x
انرژی مستهلک نمی‌شود → الاستیک


P
π/2
δ = π/2
x
حداکثر انرژی را مستهلک می‌کند

سطح هاشورخورده (سطح داخل لوپ) را ظرفیت میرایی Damping Capacity گویند:

$$\psi = \frac{\Delta E}{\frac{1}{2}k x_m^2}$$ سطح زیر منحنی (حقیقت نسبت سطح داخل لوپ به سطح هاشورخورده) تقسیم بر انرژی ذخیره شده

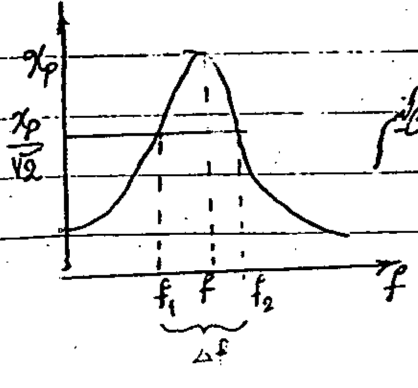
$$= 2\pi \frac{\omega C}{K} = 2\pi \tan\delta$$

عبارات مختلف برای بیان میرایی:

- لرزش آزاد:

$$\Delta = \ln\frac{x_i}{x_{i+1}} = 2\pi\beta$$

- منحنی رزنانس:


x_p
$\frac{x_p}{\sqrt{2}}$
f_1
f
f_2
Δf
f

x_p را پیدا می‌کنیم، $\frac{x_p}{\sqrt{2}}$ را پیدا می‌کنیم، از روی محور افقی‌ها f را پیدا می‌کنیم

رابطه ریاضی هم بدست می‌آید

$$\frac{\Delta f}{f_n} = 2\beta$$

تجزیه فرکانسی

در یک سیستم تغییر مکانی لازم (مثلاً 100 in) و معیارهای کنترل سری نیم حداکثر تغییر مکان مجاز را چقدر است که درصد میرایی باید بیشتر شود، میزان م% کمتری کنیم. (در حد برحسب DOF ها)

با یک سه بارگذاری می‌کنیم که بر اساس آن ها خواهیم داشت، در حالت تشدید بدست آمده است:

$$\tan\delta_r = \frac{\Omega c}{k} \text{ یا } \frac{\omega c}{k} = \frac{c}{\sqrt{km}} = 2\beta \qquad 3.60$$

یعنی با زیری δ_r (اختلاف فاز بین نیرو و تغییر مکان) در حالت تشدید می‌توان مقدار میرایی را پیدا کنیم.

رابطه 3.60 برای یک سیستم یک درجه آزادی با یک فرکانس طبیعی است.
اگر سیستم چند درجه آزادی باشد رابطه بصورت زیر است:

$$\tan\delta_r = 2(2n-1)\beta$$ [illegible] بطور کلی: $\tan\delta_r = \delta_r$

$$\psi_r = 4n\beta$$ [illegible]

$$\Delta = 2n\beta = n\tan\delta_r = \frac{1}{2}\psi_r$$

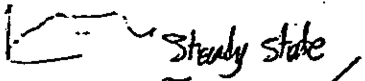
اگر دمپر از نوع non-viscous باشد بیشترین مقدار $\frac{c}{\Omega}$ = ثابت است. (زیرا K را هم فرض می‌شناسیم و مشخص است و درصد میرایی را تعیین می‌کنیم)

بنابراین معادله را برای حالت تشدید می‌نویسیم در نهایت بجای c، tanδ را پیدا کنیم، آنگاه بجای آنها نیروی تشدید تسری می‌دهیم

اگر از مصالح non-viscous باشد با جنس مصالح viscous در حالت تشدید فرق می‌کند

تمرین:

آ- یک سیستم یک درجه آزادی بدون میرایی، تحت ½ سیکل بارگذاری سینوسی با $\frac{t_1}{T} = 1.5$ و $\frac{t_1}{T} = 2.5$ قرار گرفته است. حداکثر پاسخ آن را محاسبه کنید.



ب- یک سیستم یک درجه آزادی تحت تشدید قرار می‌گیرد، در صورتی که پاسخ ماندگار آن 5 برابر پاسخ استاتیکی است. DLF را در فرکانس‌های 0.5، 1.5 و 3 برابر فرکانس تشدید پیدا کنید با فرض اینکه:

a) میرایی Viscouse باشد.
b) non-Viscouse باشد.

3) ظرفیت میرایی یک تیر برابر است $\zeta = 0.2$. نسبت میرایی را با استفاده از این فرکانس طبیعی 10 Hz در حالت تشدید پیدا کنید. (یک درجه آزادی)

4) ~~[illegible]~~ یک تیر کنسولی یک جرم 10 kg را از انتهای خود نگه داشته. اگر یک جرم 8 kg اضافه شود، انتهای تیر به اندازه 12 mm نشست می‌کند. حالا این جرم اضافه را به طور آنی برمی‌داریم (حرکت کننده [illegible] تیر) [illegible] را پیدا کنید.

1- T ، ω ، f

2- حداکثر سرعت، حداکثر شتاب و حداکثر تغییر مکان انتهای تیر

۷۲/۸/۱۸

~~تمرین: [illegible]~~

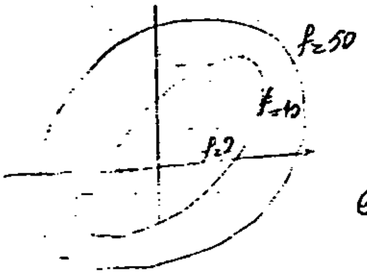
$F=1$

با $f=1,10,50$ فرض $\frac{C}{K}$ و F_m لوپ را رسم کنید

$F=F_m\sin\Omega t$

$x=\frac{F_m}{k\sec\delta}\sin(\Omega t+\delta)$

$\delta=\tan^{-1}\frac{\Omega c}{k}$



F را پیدا کنید و این لوپ را رسم کنید

فصل چهارم: سیستمهای چند درجه آزادی

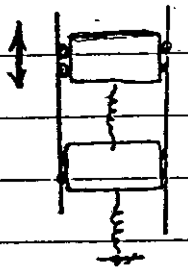
Multiple Degrees of Freedom

[illegible] درجه آزادی

[illegible]

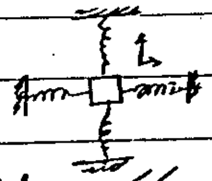
در این فصل ابتدا حل سیستمهای چند درجه آزادی آغاز کرده چند سیستم یک درجه آزادی می‌کنیم و جواب‌ها را با هم جمع می‌کنیم. با توجه به طرز سیستم‌های چند درجه آزادی ارتعاشات روی سیستم 2 درجه آزادی متمرکز می‌شویم که تعمیم آن [illegible] از روش ماتریسی یا تعمیم صورت گیرد با همان اصول

۴-۲ ارتعاش آزاد سیستمهای دو درجه آزادی:



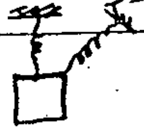
۱- با دو جرم:

۲- یک جرم با دو حرکت



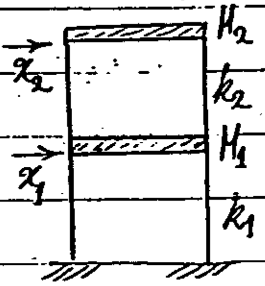
I حرکات مستقل از یکدیگر uncoupled (حرکت ارتعاشات x روی y اثر نداشته باشد [illegible] و برعکس)

II . تابع یکدیگر Coupled



اگر سیستم [illegible] Coupled [illegible] آنها یکی باشند باز [illegible]

لرزش آزاد سیستم دو درجه:



جرم M_1:

$M_1\ddot{x}_1$ ← مثبت

$k_1 x_1$ ← "

$k_2(x_1-x_2)$ ← "

جرم M_2:

$M_2\ddot{x}_2$ ← "

$k_2(x_2=x_1$ ← "

از معادلات تعادل داریم: (دو معادله تعادل)

$$\begin{cases} M_1\ddot{x}_1+(k_1+k_2)x_1-k_2x_2=0 \quad 4\text{-}1 \\ M_2\ddot{x}_2+k_2x_2-k_2x_1=0 \end{cases}$$

فرض:

$x_1=A_1\sin\omega t$

$x_2=A_2\sin\omega t$

$$\Rightarrow\begin{cases} -M_1A_1\omega^2+(k_1+k_2)A_1-k_2A_2=0 \quad 4\text{-}3 \\ -M_2A_2\omega^2+k_2A_2-k_2A_1=0 \end{cases}$$

دو معادله را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$\frac{A_2}{A_1}=\frac{k_1+k_2-M_1\omega^2}{k_2}=\frac{k_2}{k_2-M_2\omega^2} \quad 4\text{-}4$$

$$\Rightarrow \omega^4-\left(\frac{k_1+k_2}{M_1}+\frac{k_2}{M_2}\right)\omega^2+\frac{k_1k_2}{M_1M_2}=0$$

پس از حل ω^2 دو جواب برای ω دو جواب بدست می‌آوریم که دو عدد جواب واقعی و حقیقی است و دو جواب آن [illegible] است

$$\Rightarrow \omega^I,\ \omega^{II} < \begin{matrix} A_1^I, A_2^{II} \\ A_1^I, A_2^I \end{matrix}$$

با داشتن این دو ω داریم

$x_1=A_1^I\sin\omega^I t+A_1^{II}\sin\omega^{II} t$

$x_2=A_1^I\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^I\sin\omega^I t+A_1^{II}\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{II}\sin\omega^{II} t$

علت اینکه [illegible] $A^I\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$ نیست [illegible] اضافه می‌آوریم.

این معادله با فرض $x_1 = A_1\cos\omega t$, $x_2 = A_2\cos\omega t$ قابل حل است در حسب شرایط اولیه و الزاماً A_1, B_1, A_2, B_2 بدست می‌آید:

(مثلاً معادله برای x نوشتیم) $\Rightarrow x_1 = A_1^{I}\sin\omega^{I}t + A_1^{II}\sin\omega^{II}t + B_1^{I}\cos\omega^{I}t + B_2^{II}\cos\omega^{II}t$

در حل معادلات مثلاً A_1 را فرض می‌کنیم و A_2 را پیدا می‌کنیم (زیرا نسبت آنها از معادله بدست می‌آید)

آنچه مهم است نسبت $\frac{A_1}{A_2}$ از نظر جبری است:

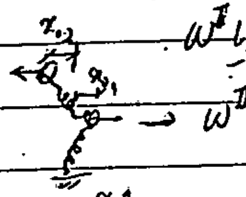
$\frac{A_1}{A_2} > 0 \Rightarrow$ x_1 و x_2 در یک جهت

$\frac{A_1}{A_2} < 0 \Rightarrow$ x_1 و x_2 در خلاف جهت هم

یعنی برای سیستم دو درجه آزادی دو نسبت برای $\frac{A_1}{A_2}$ پیدا می‌کنیم یکی مثبت است و دیگری منفی

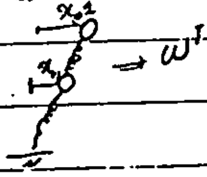
$\omega^{I} \leftarrow$ Foundmental Natural frecuency فرکانس طبیعی اصلی (مثبت) فرکانس طبیعی کوچکتر

$\omega^{II} \leftarrow$

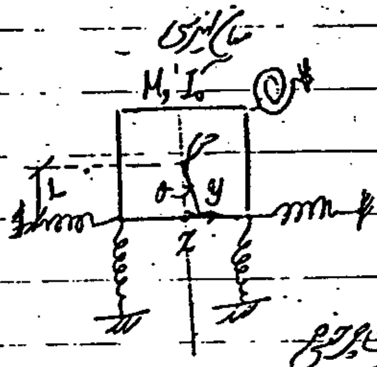


بر حسب شرایط اولیه در ارتعاش آزاد می‌توان سیستم را واداشت که با ω^{I} نوسان کند یا با ω^{II} حرکت با ω^{II}

معمولاً در یک سیستم چند درجه آزادی فقط ۲ تای اول فرکانس‌ها مهم است



لرزش آزاد یک سیستم یک جرمه با دو درجه آزادی وابسته Coupled



جابجایی افقی
جابجایی قائم } کوپل
Rocking چرخش

چون فنرها از مرکز ثقل نگذشته اند، در حرکت افقی منجر به حرکت چرخشی هم می شوند. (این سیستم سه درجه آزادی است که نشان می دهد اگر دو فنر قائم کاملاً مشابه باشند جابجایی قائم مستقل از جابجایی افقی و Rocking می باشد. ایجاد چرخش حول مرکز جرم باعث جابجایی افقی می شود و برعکس)

از تغییر مکان قائم می شود [illegible] — $y+\theta L$ = جابجایی نقطه z در جهت افقی

$M(\ddot{y}+\ddot{\theta}L)$ $\overset{+}{\leftarrow}$

$k_y y$ $\overset{+}{\leftarrow}$

$ML(\ddot{y}+\ddot{\theta}L)$ ↺ اینرسی جرم

$I_0\ddot{\theta}$ ↺ اینرسی چرخشی

$k_\theta \theta$ ↺ انرژی فنر چرخشی

$$\rightarrow\begin{cases} M\ddot{y}+k_y y=-ML\ddot{\theta} \\ I\ddot{\theta}+k_\theta\theta=-ML\ddot{y}\end{cases}$$

معنی Coupled در واقع همین است — در هر دو معادله هم y و هم θ را داریم. (اگر سیستم non Coupled بود [illegible] مستقل است.)

ممان اینرسی از نقطه z می گذرد $I_0=ML^2+I_0$

$$\text{mod}\begin{cases} y=B_1\cos\omega t \\ \theta=B_2\cos\omega t\end{cases}$$

$$\begin{cases} -\omega^2 MB_1+k_yB_1=MLB_2\omega^2 \\ -\omega^2 IB_2+k_\theta B_2=MLB_1\omega^2\end{cases} \qquad 49$$

$$\frac{B_2}{B_1}=\frac{ML\omega^2}{-I\omega^2+k_\theta}=\frac{-M\omega^2+k_y}{ML\omega^2} \qquad 4.10$$

$$\frac{I_0}{I}\omega^4-\left(\frac{k_\theta}{I}+\frac{k_y}{M}\right)\omega^2+\frac{k_\theta k_y}{\omega I}=0$$

$$\omega^2=\omega_\theta^2\frac{I}{2I_0}\left[1+\left(\frac{\omega_y}{\omega_\theta}\right)^2\pm\sqrt{\left\{1+\left(\frac{\omega_y}{\omega_\theta}\right)^2\right\}^2-4\frac{I_0}{I}\left(\frac{\omega_y}{\omega_\theta}\right)^2}\right]$$

$$\omega_\theta=\sqrt{\frac{k_\theta}{I}} \qquad \omega_{y\theta}^{I}<\omega_\theta<\omega_y<\omega_{y\theta}^{II}$$

$$\omega_y=\sqrt{\frac{k_y}{M}} \qquad \omega_{y\theta}^{I}<\omega_y<\omega_\theta<\omega_{y\theta}^{II}$$

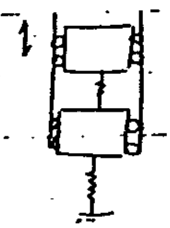
ω_θ ، ω_y بازای فقط یک درجه آزادی در نظر گرفتن اند تعریف شده

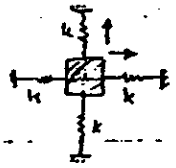
$\omega_{y\theta}$ در حالت Coupled میباشد و در واقع فرق کرده است (با $\omega_\theta<\omega_y$ یا $\omega_y<\omega_\theta$ باشد)

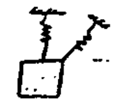
این روش برای یافتن دقت معمول است

I : حرکت مستقل از یکدیگر uncoupled

II : حرکت تابع یکدیگر Coupled

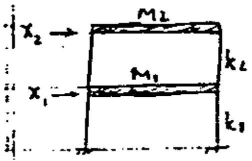

(1)


uncoupled
(2)


coupled
(3)

در شکل (2) اگر فنرها حتی میان دو شته نشسته و فنرها از یک نقطه بگذرند ، uncoupled می باشد در غیر این صورت (Coupled) می شود.

لرزش
مثال از سیستم آزاد دو درجه :



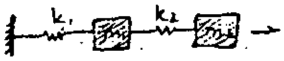
نیروهای وارده بر جرم‌ها :

$m_1\ddot{x}_1 \overset{+}{\leftarrow} \quad k_1x_1 \overset{+}{\leftarrow} \quad k_2(x_1-x_2)\overset{+}{\leftarrow}$

$m_2\ddot{x}_2 \overset{+}{\leftarrow} \quad k_2(x_2-x_1)\overset{+}{\leftarrow}$

معادلات تعادل

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1+(k_1+k_2)x_1-k_2x_2=0 \\ m_2\ddot{x}_2+k_2x_2-k_2x_1=0 \end{cases}$$



$x_1=A_1\sin\omega t \qquad x_2=A_2\sin\omega t$

$$\begin{cases} -m_1A_1\omega^2+(k_1+k_2)A_1-k_2A_2=0 \\ -m_2A_2\omega^2+k_2A_2-k_2A_1=0 \end{cases} \longrightarrow \frac{A_2}{A_1}=\frac{k_2}{k_2-m_2\omega^2}$$

(معادله 4.4)

$$\omega^4-\left(\frac{k_1+k_2}{m_1}+\frac{k_2}{m_2}\right)\omega^2+\frac{k_1k_2}{m_1m_2}=0 \longrightarrow \omega^{I,II}$$

دو جواب برای معادله موجود میشه .

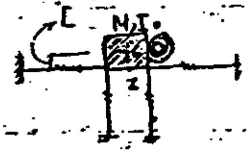
$$\begin{cases} x_1=A_1^I\sin\omega_1^I t+A_1^{II}\sin\omega_2^{II}t \\ x_2=A_1^I\sin\omega_1^I t\cdot\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^I+A_1^{II}\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{II}\sin\omega^{II}t \end{cases}$$

ازای هر ω نسبت $\frac{A_2}{A_1}$ را بدست می‌آوریم بنابراین نوشتن معادله به صورت بالا منطقی بدست می‌آید .

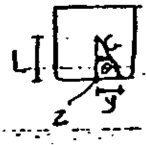
اگر کلیه معادلات را با $x_1=B_1\cos\omega t$ ، $x_2=B_2\cos\omega t$ حل کنیم عبارات cos به جواب x_1, x_2 اضافه می‌شود .

ω^I را فرکانس طبیعی اولیه می‌گوییم ، Foundamental Frq. sys. ، فرکانس‌های اولیه تأثیر زیادی دارند ولی بعد از یک فرکانس نقش چندانی در تغییرشان ندارند .

نوسان آزاد یک سیستم دو درجه آزادی (Coupled.)



در سیستم جابجایی افقی و جابجایی قائم و عمل چرخش Rocking داریم. اگر سختی فنرهای قائم یکسان باشد جابجایی قائم مستقل از جابجایی افقی و حرکت Rocking است. ولی حرکت افقی و چرخش Couple و یا وابسته‌اند.



$x = y + \theta L \qquad I = mL^2 + I_0$ (حول z)

$m(\ddot{y}+\ddot{\theta}L)\leftarrow \quad k_y y\leftarrow \quad mL(\ddot{y}+\ddot{\theta}L)\circlearrowleft \quad J_0\ddot{\theta}\circlearrowleft \quad k_\theta\theta\circlearrowleft$

$$\begin{cases} m\ddot{y} + k_y y = -mL\ddot{\theta} \\ I\ddot{\theta} + k_\theta\theta = -mL\ddot{y} \end{cases}$$ حرکات وابسته :

به علت وجود $\ddot{y}$ و $\ddot{\theta}$ در هر دو معادله می‌شود بنابراین معادلات مستقل نیستند و وابسته‌اند.

$y = B_1\cos\omega t \quad , \quad \theta = B_2\cos\omega t$

$$\begin{cases} -\omega^2 m B_1 + k_y B_1 = mLB_2\omega^2 \\ -\omega^2 I B_2 + k_\theta B_2 = mLB_1\omega^2 \end{cases} \longrightarrow \frac{B_2}{B_1} = \frac{mL\omega^2}{k_\theta + (-I\omega^2)} = \frac{-m\omega^2 + k_y}{mL\omega^2} \qquad \text{(معادله 4.10)}$$

$$\frac{I_0}{I}\omega^4 - \left(\frac{k_\theta}{I} + \frac{k_y}{M}\right)\omega^2 + \frac{k_\theta k_y}{MI} = 0 \qquad \text{(eq. 4.12)}$$

$$\omega^2 = \omega_\theta^2\cdot\frac{I}{2I_0}\left[1+\left(\frac{\omega_y}{\omega_\theta}\right)^2 \pm \sqrt{\left\{1+\left(\frac{\omega_y}{\omega_\theta}\right)^2\right\}^2 - 4\frac{I_0}{I}\left(\frac{\omega_y}{\omega_\theta}\right)^2}\,\right] \qquad \omega_\theta = \sqrt{\frac{k_\theta}{I}} , \omega_y = \sqrt{\frac{k_y}{M}}$$

$\omega_{y\theta}^{I} < \omega_\theta < \omega_y < \omega_{y\theta}^{II} \qquad \omega_{y\theta}^{I} < \omega_y < \omega_\theta < \omega_{y\theta}^{II} \qquad *$

با داشتن رابطه * می‌توان با بدست آوردن ω_θ و ω_y مقدار $\omega_{y\theta}$ را حدس زد و تشخیص داد که آیا سازه به $\omega_{y\theta}$ سیستم نزدیک است یا خیر؟

در حالت غیروابسته می‌توانیم بنویسیم : $T_f^2 < T_1^2 + T_2^2$

T_1 و T_2 فرکانس طبیعی سیستم غیروابسته می‌شود.

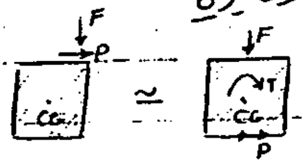
در نتیجه

$$\frac{1}{(\omega_{y\theta}^{2})^2} < \frac{1}{\omega_y^2} + \frac{1}{\omega_\theta^2}$$

$\alpha = \frac{B_2}{B_1}$ $\alpha < 0$ تغییر شکل مخالف الجهت

$Y_1 = B_1 \sin \omega T$ $Y_2 = B_2 \sin \omega T$

لرزش ناشی از نیرو سیستم دو درجه آزادی در جهت ستون مرکزی



$T = T_m \sin \Omega T$

$P = P_m \sin \Omega T$

$$\begin{cases} m\ddot{y} + k_y y + mL\ddot{\theta} = P_m \sin \Omega t \\ I\ddot{\theta} + k_\theta \theta + mL\ddot{y} = T_m \sin \Omega t \end{cases}$$

$y = y_m \sin \Omega t \quad , \quad \theta = \theta_m \sin \Omega t$

$$\begin{cases} (-mL\omega^2 + k_y)y_m - mL\Omega^2\theta_m = P_m \\ -mL\Omega^2 y_m + (-I\Omega^2 + k_\theta)\theta_m = T_m \end{cases} \rightarrow y_m = \frac{(k_\theta - I\Omega^2)P_m + mL\Omega^2 T_m}{(k_\theta - I\Omega^2)(k_y - m\Omega^2) - (mL\Omega^2)^2}$$

$$\theta_m = \frac{mL\Omega^2 P_m + (k_y - m\Omega^2)T_m}{(k_\theta - I\Omega^2)(k_y - m\Omega^2) - (mL\Omega^2)^2}$$

$$y_m = \frac{(\omega_\theta^2 - \Omega^2)\frac{P_m I}{mI_0} + \frac{L}{I_0}\Omega^2 T_m}{[(\omega_{y\theta}^{I})^2 - \Omega^2][(\omega_{y\theta}^{II})^2 - \Omega^2]} \quad , \quad \theta_m = \frac{\frac{L}{I_0}\Omega^2 P_m + (\omega_y^2 - \Omega^2)\frac{T_m}{I_0}}{[(\omega_{y\theta}^{I})^2 - \Omega^2][(\omega_{y\theta}^{II})^2 - \Omega^2]}$$

فرض کنیم $P_m = 0$ یعنی فقط حالت دوران (حرکت Rocking

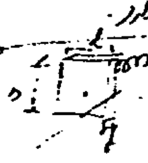
$$y_m = \frac{T_m}{k_\theta} \cdot \frac{LI}{I_0} \left\{ \frac{\omega_\theta^2 \Omega^2}{((\omega_{y\theta}^{I})^2 - \Omega^2)((\omega_{y\theta}^{II})^2 - \Omega^2)} \right\} , \quad \theta_m = \frac{T_m}{k_\theta} \cdot \frac{I}{I_0} \underbrace{\left\{ \frac{\omega_\theta^2(\omega_y^2 - \Omega^2)}{((\omega_{y\theta}^{I})^2 - \Omega^2)((\omega_{y\theta}^{II})^2 - \Omega^2)} \right\}}_{\text{DLF مانند}}$$

$\omega_{y\theta}^{I} < \underbrace{\omega_\theta < \omega_y}_{\text{جابجا شود؟}} < \omega_{y\theta}^{II}$

ω_y را باید فرض کنیم

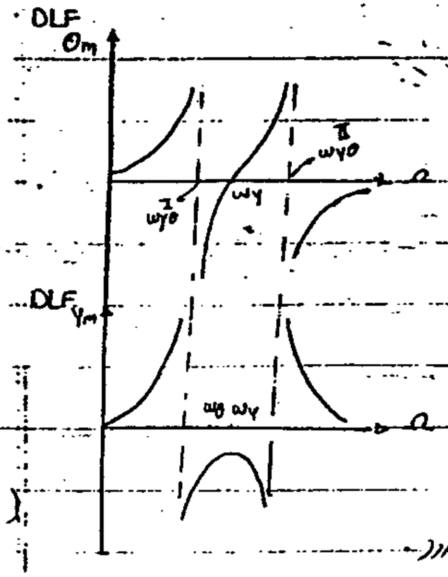
ناحیه حرکت	تأخیر فاز Y	θ
$\Omega < \omega_{y\theta}^{I}$	0	0
$\omega_{y\theta}^{I} < \Omega < \omega_y \,(\omega_\theta)$	180	180
$\omega_y < \Omega < \omega_{y\theta}^{II}$	180	0
$\omega_{y\theta}^{II} < \Omega$	0	180

میزان تأخیر فاز بستگی به ... نیرو و رابطه آن با ... سیستم دارد.



$\frac{\omega_\theta}{\omega_y} = \text{معلوم} \Rightarrow \frac{\omega_{y\theta}^{I}}{\omega_y}, \frac{\omega_{y\theta}^{II}}{\omega_y} = ?$

[illegible]



در حالتی که میرایی نداشته باشیم می‌توانیم DLF را حسب Ω رسم کنیم.

ولی ما می‌توانیم نقطه‌ای تعریف کنیم که جسم حول آن می‌چرخد در آن نقطه تغییر مکان کلی صفر است بنابراین می‌توان نوشت :

$$Y_m + h\theta_m = 0$$

$$h = L\frac{\Omega^2}{\Omega^2-\omega_y^2}$$

با افزایش Ω مرکز چرخش عقب می‌رود. اما اگر $\Omega = \omega_y$ باشد. $h=\infty$ یعنی جسم نمی‌چرخد. اما اگر $\Omega > \omega_y$ مرکز چرخش بالا می‌رود.

میرایی فقط در نزدیکی تشدید اهمیت دارد.

روش‌های کلی برای آنالیز سیستم‌های چند درجه آزادی

روش مودال : $y_i(\theta) = \sum_{n=1}^{n=r} D_n(t)\Gamma_n\phi_n(i)$ جرم i‌ام ، مود n‌ام

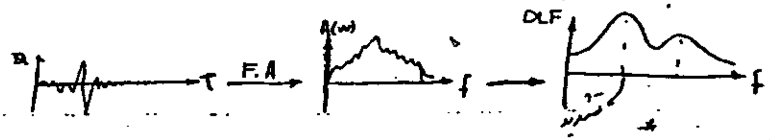
$\phi_n(i)$ = characteristic shape of nth mode

Γ_n = participation factor نشان‌دهنده درجه اهمیت هر مود

$D_n(t)$ = $DLF_{\text{مود n‌ام}}$

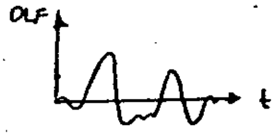
میرایی ممکن است برای هر مود و هر جرم متفاوت باشد.

آنالیز فوریه :



شکل (+) با فرض دامنه مکان بهم‌شده ما می‌توانیم DLF حسب را با دامنه‌های هر فرکانس ضرب کنیم.

می‌توانیم DLF-F را دوباره به صورت تغییر مکان زمان تبدیل کنیم.

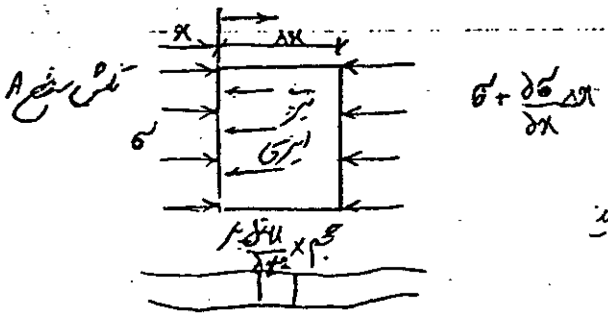


فصل پنجم،

انتشار امواج یک بعدی.

در مقابل سیستمهای Lumped-Mass که جرم در یک نقطه متمرکز بود سیستمها Continuous داریم که جرم در طول سیستم گسترده شده است.

5-1 . معادله موج و سرعت امواج


x
Δx
تنش سطح A
σ
نیروی اینرسی
$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \times$ حجم
$\sigma + \frac{\partial \sigma}{\partial x} \Delta x$

از روی تغییرات تنش، اینرسی بوجود می‌آید

نیروی اینرسی : $\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} . A . \Delta x$

معادله تعادل نیرو ⟸ $\frac{\partial \sigma}{\partial x} + \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$ 5.1a (معادله کلی حرکت امواج در کلیه محیطها (الاستیک و غیرالاستیک))

فرض کنید : $\sigma = M . \varepsilon$ (محیط الاستیک است) ε: کرنش
$\varepsilon = -\frac{\partial u}{\partial x}$ M: مدول کرنش

$$\boxed{M \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0}$$ 5.1b معادله کلی موج در یک محیط الاستیک (معادله انتشار کرنش)

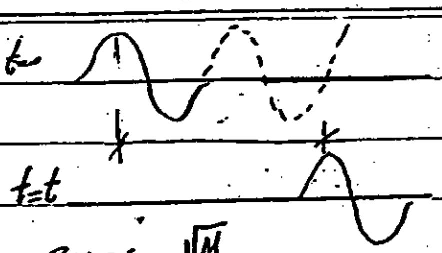
حل این معادله تابعی است بصورت:

$$u = F(x \pm \sqrt{\frac{M}{\rho}} t)$$

در اینجا چون تابع دارای دو متغیر x و t میباشد، یعنی می‌توان به ازای x و t های مختلف مقدار u یکسان بدست آورد.

$$X = \ldots \longrightarrow \left\{ \begin{matrix} x \\ t \end{matrix} \right.$$

این نوع حرکت را الگوی حرکت موج گویند که یک مقدار u در جاها و زمانها مختلف می‌تواند تکرار شود.



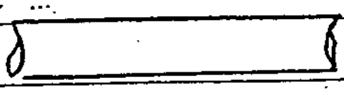
و این موج با سرعتی برابر $\sqrt{\frac{M}{\rho}}$ حرکت می‌کند.

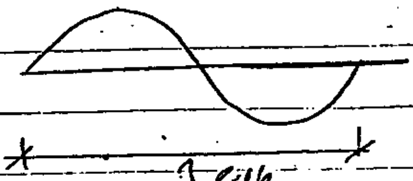
$\sqrt{\frac{M}{\rho}}$ = سرعت موج

- بر حسب نوع موج M فرق می‌کند

$\sqrt{\frac{M}{\rho}}$ موج فشاری

$\sqrt{\frac{G}{\rho}}$ موج برشی



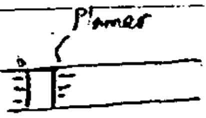


wave lenght

C: سرعت انتشار موج

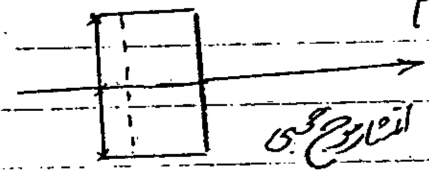
$\frac{\lambda}{T} = C$ یا $\lambda f = C$ 5.4

امواج حجمی: Dilational Waves



موجی که حرکت ذرات موج صفحه‌ای است ([illegible])
بعبارتی کرنش جانبی نداریم:

المان در جهت انتشار موج منقبض می‌گردد
(مثل آزمایش تحکیم)



در حقیقت برای ما مهم است که تغییر شکل ما فقط بصورت تغییر حجم باشد
در اینحالت مدول را D تعریف می‌شود.

D = Constraint Modul

$$D = \frac{E(1-\nu)}{(1-2\nu)(1+\nu)}$$

یعنی در این حالت M=D است.

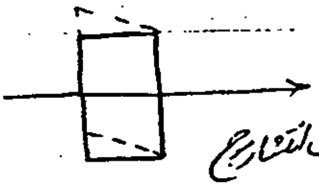
$$C_D = \sqrt{\frac{D}{\rho}} \quad \text{یا} \quad C_D = \sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{1-\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)}}$$

۲ [illegible]

۱۲/۷

امواج برشی , Shear Waves

تغییر شکل ایجاد شده عمود بر جهت انتشار موج باشد.



مثل میله فولادی - بپیچانیم و [illegible] المان پیچیده از بالا به پایین موج انتشار می‌یابد

G : مدول برشی

$$C_s=\sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad 5.7$$

$$C_s=\sqrt{\frac{E}{\rho}\frac{1}{2(1+\nu)}}$$

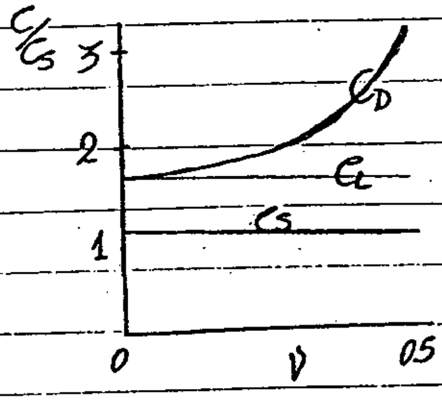
موج میله , Rod Waves

امواج حجمی و برشی که در محیط بی‌نهایت وجود دارند در مرز محیط‌ها امواج سطحی هم در کنار آنها بوجود می‌آیند از جمله موج میله

$$C_L=\sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad 5.9$$

معمولاً C_D کمی بیشتر از C_S است که بر حسب اختلاف بین آنها

معمولاً C_D بیش از ۲۰-۳۰٪ بیشتر از C_S نیست



C_D وقتی $\nu \to 0.5$ به سمت بی‌نهایت می‌رود

چون تغییر حجمی محیط نمی‌تواند بدهد

(در مورد موج میله:)

در رابطه‌ای که درست آمد باید ضخامت میله نسبت به طول آن کم باشد در غیر این صورت باید صورت زیر را بکار بریم

$$C_L=\left(1-\frac{\pi^2\nu^2R^2}{\lambda^2}\right)\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

R: شعاع میله

λ: طول موج

R/λ	$\nu = 1/4$	$\nu = 1/2$
0.1	0.9958	0.9753
0.2	0.9753	0.901
0.5	0.845	0.38

با V = ثابت هرچه $\frac{R}{\lambda}$ بیشتر شود
اختلاف نسبت به رابطه 5.9 بیشتر می‌شود

حال اگر V مقدارش بیشتر باشد عامل تاثیرش
بیشتر خواهد بود

موج میله به نسبت یا اثر میرا نبینیم

نکته: توجه کنید ما بررسی روی سرعت را به نسبت طول موج باید بررسی کنیم

• حال میرایی را منظور کنیم

$\dot{u} = \varepsilon V_r$

$\Rightarrow \varepsilon = \frac{\dot{u}}{V_r}$

$\dot{\varepsilon} = \frac{\ddot{u}}{V_r}$

$$\sigma = M_1\varepsilon + M_2\dot{\varepsilon}$$

$$M_1\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + M_2\frac{\partial^3 u}{\partial t\,\partial x^2} = \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

برای Viscose باشد →
$$\tan\delta = \frac{\Omega C}{K} = \frac{\Omega M_2}{M_1} \qquad 5.13$$

$\dot{u} = \varepsilon V_r$

$$\xRightarrow{\text{سرعت}} \boxed{c = \sqrt{\frac{M}{\rho}}\,\sec\frac{\delta}{2}\sqrt{\sec\delta}}$$

حال اگر viscose باشد C با δ تغییر می‌کند.
اگر [illegible] ثابت و رابطه [illegible] بیشتر

اگر میرایی کوچک باشد:

$$c = 1.015\sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

در حالت موج میرایی روی سرعت موج زیاد تاثیری ندارد و سرعت ثابت می‌ماند ولی روی دامنه موج تاثیر دارد.

$$\text{Amplitude} \propto e^{-\frac{\Omega}{c}x\tan\frac{\delta}{2}}$$

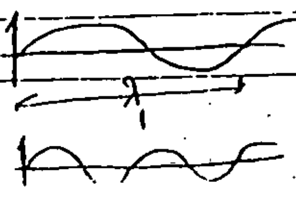
α: ضریب جذب موج

$$= e^{-\frac{2\pi}{\lambda}x\tan\frac{\delta}{2}}$$

با ازدیاد λ که طول موج است توان e دامنه کاهش می‌یابد

$$= e^{-\alpha x}$$

یعنی میزان جذب دامنه را با α نشان می‌دهد
یعنی با افزایش x دامنه موج کوچکتر می‌شود
هرچه λ کوچکتر باشد ضریب جذب موج بیشتر باشد



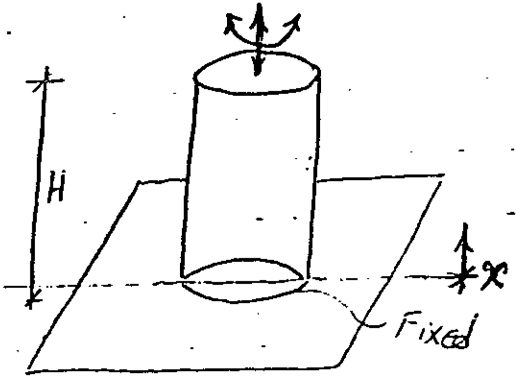
$\lambda f = c$

یعنی λ↓ ، f↑ می‌یابد و ضریب جذب بیشتر می‌شود، موج زودتر میرا می‌شود

انتشار امواج یک بعدی

5.2. میله ای که تحت بار نیروی سینوسی باشد.

میله ای طول H در پایین به صورت گیردار



$P = P_m \sin \Omega t$

$M = M_m \sin \Omega t$

$$\begin{cases} x = 0 \\ \theta = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = H \\ M_m \sin \Omega t = JG \dfrac{\partial \theta}{\partial x} \end{cases} \quad 5.17$$

سیلندر $J = \frac{Mr^2}{2}$

~~در اینجا حالت دائم steady state را در نظر می‌گیریم (ابتدا چند سیکل اول) حرکت ناخالص~~

$\sin \frac{2\pi}{\lambda}(x + C_s t)$ پیچش ــــ موج برشی ایجاد می‌کند

از حل معادله زیر ←

$\cos \frac{2\pi}{\lambda}(x + C_s t)$ ترکیبی از این دو رابطه

از حل معادله داریم:

$$\theta = A \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \Omega t \quad 5.18$$

$$\lambda = \frac{2\pi C_s}{\Omega} = \frac{C_s}{f} \quad 5.19$$

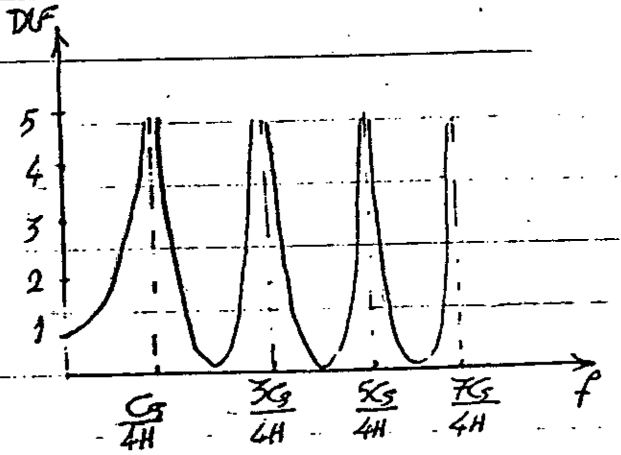
با توجه به شرط مرزی 5.17:

$$M_m \sin \Omega t = A J G \frac{2\pi}{\lambda} \cos \frac{2\pi H}{\lambda} \sin \Omega t \quad 5.20$$

$$\rightarrow \theta = \frac{M_m \sin\frac{\Omega x}{C_s}}{\frac{GJ\Omega}{C_s}\cos\frac{\Omega H}{C_s}} \sin\Omega t \qquad 5.21$$

دوران ناشی از بار استاتیکی $\theta_s = \frac{M_m H}{GJ}$

$$\Rightarrow DLF = \left|\frac{\theta_{max}\,@\,H}{\theta_s}\right| = \left|\frac{\tan\frac{\Omega H}{C_s}}{\frac{\Omega H}{C_s}}\right| = \left|\frac{\tan\frac{\pi}{2}\frac{4Hf}{C_s}}{\frac{\pi}{2}\cdot\frac{4Hf}{C_s}}\right| \qquad 5.22$$



یعنی سیستم ما چون پیوسته است بینهایت فرکانس تشدید دارد

$$\Omega = \omega_n = (2n-1)\frac{\pi}{2}\frac{C_s}{4H}$$

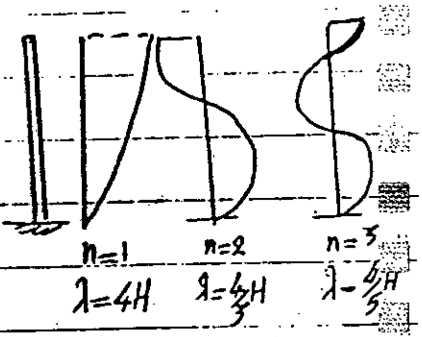
(در حالت تیر با طول H، سرعت موج برشی C_s)

$$f = f_n = (2n-1)\frac{C_s}{4H} \qquad 5.23$$

(تعیین فرکانس های تشدید است.

(از تحلیل دینامیکی ارتعاش تیر با H [illegible] G [illegible].)

$$\frac{\lambda}{H} = \frac{4}{2n-1}$$



بجای پیچش ← نیروی سینوسی

همه روابط قبل صادق است تنها بجای Cs ، CL را جایگذاری کنیم هر G داریم بجای آن E قرار می‌گیرد که در فرمول زیر باشد:

$$C_L = \underbrace{\left[1-\left(\frac{\pi}{4}\nu(2n-1)\frac{r}{H}\right)^2\right]}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$\nu = \frac{1}{2}$

H/r	$n=1$	$n=2$	$n=3$
4	0.9904	0.913	0.759
8	0.9976	0.978	0.940
12	0.9989	0.99	0.973

یعنی اگر با فرکانس طبیعی اول کار کنیم، تاثیر ν کمتر است (کمتر از ۱٪) در حالیکه n بیشتر شود، تاثیر ν بیشتر می‌شود

در حالت پیچش با نیروی

$$DLF = \sqrt{\frac{\sinh^2\left(\frac{\Omega H}{C}\tan\frac{\delta}{\pi}\right)+\sin^2\left(\frac{\Omega H}{C_s}\right)}{\left(\frac{\Omega H}{C_s}\right)^2\left(1+\tan^2\frac{\delta}{2}\right)\left[\sinh^2\left(\frac{\Omega H}{C_s}\tan\frac{\delta}{2}\right)+\cos^2\left(\frac{\Omega H}{C_s}\right)\right]}}$$

$\delta =$ از قبل داریم

در مورد سایر امواج هم روابط قبلی صادق است تنها C سرعت آنها را از رابطه زیر قرار می‌دهیم

$$\beta = \frac{\pi}{4}\times\frac{M_2}{H\sqrt{\rho M_1}}$$

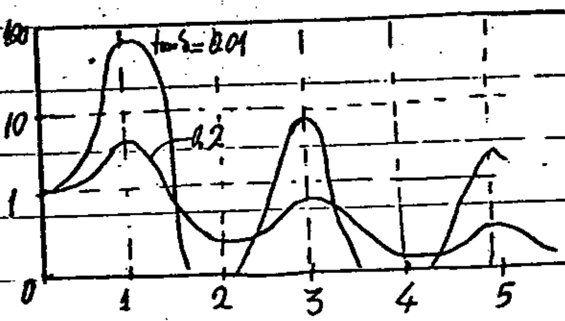
(M_1 و M_2 از ترم جلسه قبل)

$\beta < 1$ ← لرزش آزاد داریم

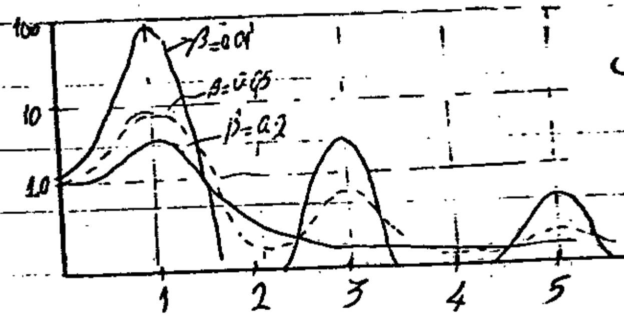
در حالت پیچش ← $\beta = \frac{1}{2}\tan\delta_r = \frac{\delta_r}{2}$ ← این رابطه فقط برای فرکانس طبیعی اول صادق است

$\tan\delta = 2(2n-1)\beta$

DLF را مطابق قبل ترسیم می‌کنیم:



وقتی جسم کاملاً non Viscous باشد



وقتی جسم کاملاً Viscouse است

(در حالت تشدید برابر)

[illegible] | $\tan\delta = 0.1$
$\beta = 0.05$

در مقایسه، اگرچه در فرکانس اول یکسان [illegible] سیستم Viscouse روی فرکانس‌های طبیعی [illegible] میرایی بیشتری دارد

(در حالت تشدید) $DLF = \frac{8}{\pi^2}\frac{1}{(2n-1)^2\tan\delta} = \frac{4}{\pi^2}\frac{1}{(2n-1)^3\beta}$ ← [illegible] حالت تشدید

[illegible]

$e^{-2\pi\beta} = e^{-\pi\tan\delta}$

در روش آزاد:
نسبت دو دامنه در یک سیکل متوالی
[illegible]
رابطه فوق برای [illegible] است.

$\Delta_1 = 2\pi\beta = \pi\tan\delta_1$

انتشار امواج یک بعدی،

5-3- یک لایه یکنواخت تحت تاثیر حرکت پریودی قاعده آن،

حرکت امواج برشی

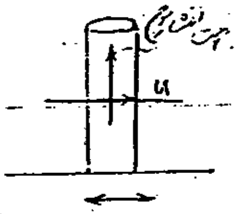
$$C_s^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \qquad 5.3a$$

u : تغییر شکل لایه‌ها در جهت یا عمود بر جهت انتشار

جهت برشی

x : فاصله از مبدا تعریف

t : زمان از زمان تحریک



$$\begin{cases} x=0 & u=U_m \sin \Omega t \\ x=H & \frac{\partial u}{\partial x}=0 \end{cases} \qquad 5.32$$

در حالت stady state این حل از شکل کلی زیر بدست می‌آید:

$$u=\left(A \sin \frac{2\pi x}{\lambda}+B \cos \frac{2\pi x}{\lambda}\right) \sin \Omega t$$

$$\lambda=\frac{2\pi C_s}{\Omega}$$

با اعمال شرایط مرزی:

$$B=U_m$$

$$A=B \tan H/\lambda$$

$$\Rightarrow u=U_m\left(\cos \frac{\Omega x}{C_s}+\tan \frac{\Omega H}{C_s} \sin \frac{\Omega x}{C_s}\right) \sin \Omega t \qquad 5.33$$

$$\text{نسبت بزرگنمایی } A=\frac{\text{حرکت در قسمت آزاد}}{\text{حرکت در قسمت تحریک شده}}$$

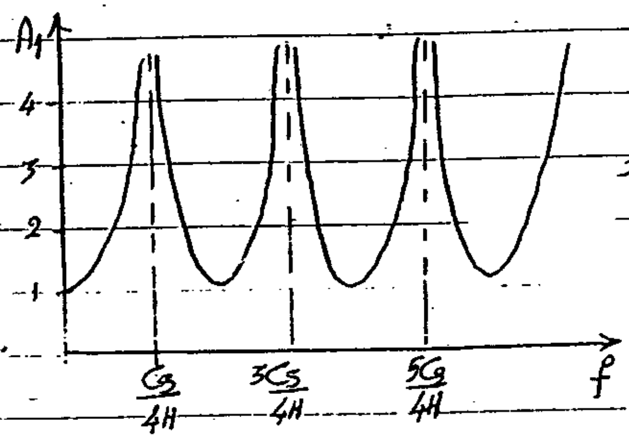
[illegible]

$$A_1 = \left|\frac{1}{\cos\frac{\omega H}{C_s}}\right| = \left|\frac{1}{\cos\left(\frac{\pi}{2}\frac{4fH}{C_s}\right)}\right| \quad 5.34$$

نسبت دامنه‌ها

f: فرکانس زلزله

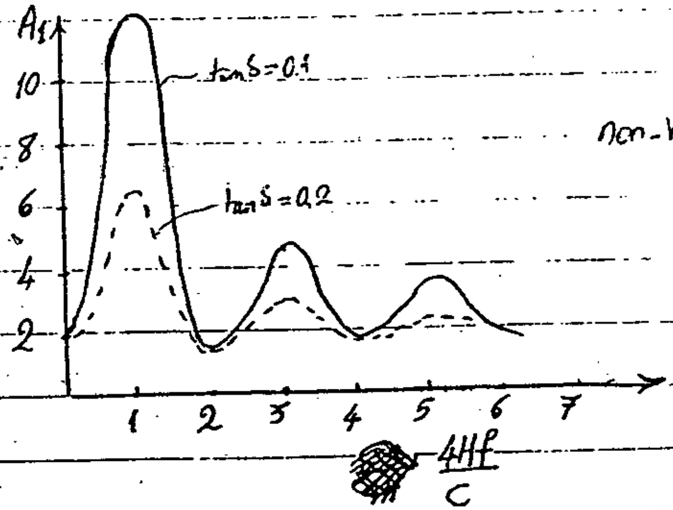
(میرایی نداریم)



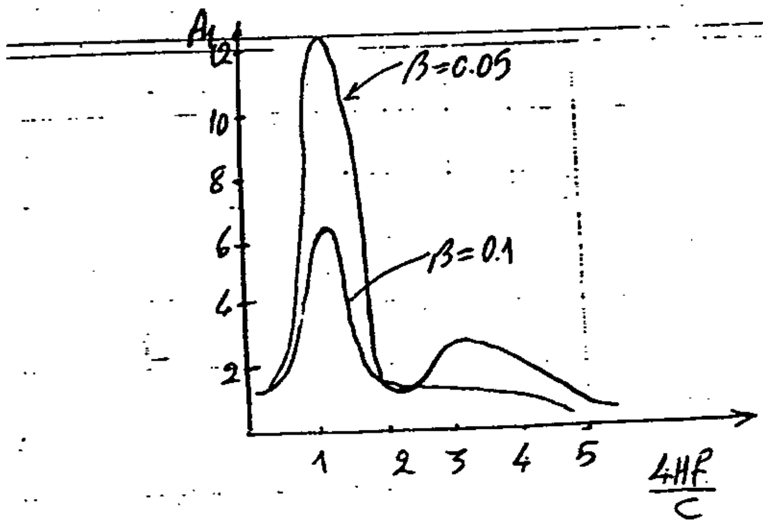
در جاها f = مضرب فرد $\frac{C_s}{4H}$ شود تشدید رخ می‌دهد

اگر میرایی را منظور کنیم:

$$A_1 = \sqrt{\frac{1}{\sinh^2\left(\frac{\omega H}{C_s}\tan\frac{\delta}{2}\right) + \cos^2\left(\frac{\omega H}{C_s}\right)}} \quad 5.55$$



برای non-Viscous



Viscause

(برای Viscous و non-Viscous در حالت تشدید فرکانس اول:

$\tan\delta = 2\beta$

بنابراین در فرکانس اول در حالت تشدید چه در نظر بگیریم چه β، مقدار A_1 هیچ فرقی نمی‌کند و در فرکانس تشدید دوم اگر برای non Viscouse [illegible] Peak ها دائم کاهش [illegible] مشخص است. اما اگر برای Viscouse اگر $\beta = 0.05$ باشد معادل $\tan\delta = 0.1$ است، خواهیم دید Peak ها محدود شده و دیگر فرکانس‌ها سوم و ... دیده نمی‌شود.

اگر محاسبات زیر اساس برای non-Viscouse انجام دهیم در جهت اطمینان تر است چون تغییر مکان‌ها یا همان جزئیات در این حالت بیشتر است.

برای فرکانس‌هایی که A حداکثر را دارد:

حالت تشدید

$$\begin{cases} f = \dfrac{(2n-1)C}{4H}\,\dfrac{1}{1+\tan^2\frac{\delta}{2}} & 5.56 \\ A_1 = \dfrac{4}{\pi}\,\dfrac{1}{(2n-1)\tan\delta} & 5.57 \leftarrow \text{non Viscause} \end{cases}$$

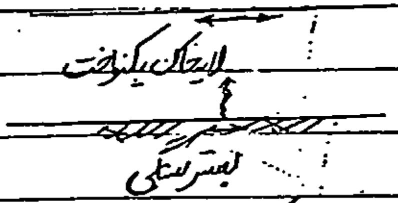
روابط تقریبی.

$$A_1 = \frac{2}{\pi}\,\frac{1}{(2n-1)^2\beta} \leftarrow \text{Viscause}$$

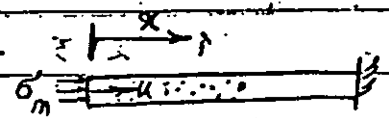
اگر برای پارامترهای گفته شده شرایطی پیش آید که $A<1$ باشد.

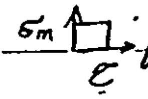
H در مسایل واقعی ضخامت لایه خاکی است. (در حالت کلی باید به شکل یک لایه در نظر گرفت.)

بهترین مثال این مسئله مانند شکل است، که در این Soil Amplification قابل تعیین است.


لایه خاک یکنواخت
بستر سنگی

5.4 حرکت گذرا در یک میله الاستیک :





منحنی تنش وارده برحسب زمان

فرض کنیم ، $t<\tau$

$l = C_L \cdot t$ مسافتی که موج در زمان t می‌رود (ناحیه‌ای که تحت تأثیر تنش قرار گرفته)

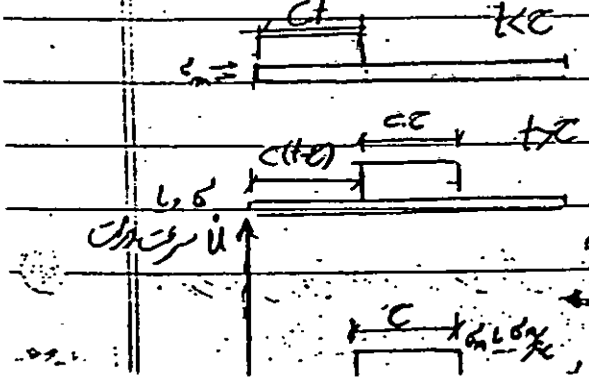
$$\varepsilon \cdot l = \frac{\sigma_m}{E} \times C_L \cdot t = \frac{\sigma_m \cdot t}{\sqrt{E\rho}} = \frac{\sigma_m \cdot t}{\rho C_L}$$

سرعت حرکت ذرات در ناحیه تنش $\dot{u}_m = \frac{\sigma_m}{E} \cdot C_L$ = $\frac{\text{تغییر مکان}}{\text{زمان}}$

$t>\tau$

تغییر مکان نهایی $\dot{u}_m t = \sigma_m \cdot \tau / \rho C_L$

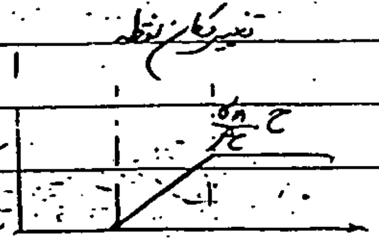
برای یک تنش Particle ها سرعت دارند [illegible] متوقف شده


Ct
$t<\tau$
σ_m
$C\tau$
$C(t-\tau)$
$t>\tau$
$\dot{u}$ سرعت ذرات
τ
$\sigma_m/\rho C$

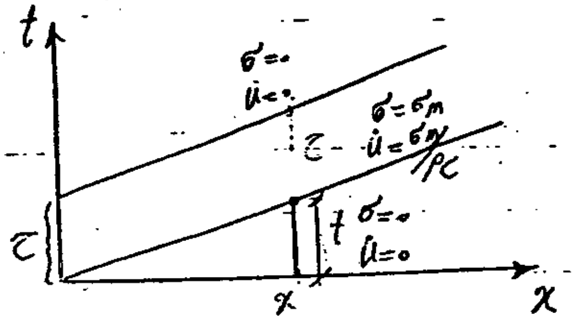
در یک نقطه مشخص از میله

تغییرات تنش در زمان

تغییر مکان نقطه



تغییر مکان داخل نقاط تا وقتی کل موج از کل میله خارج شود باقی می ماند

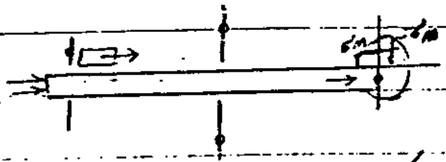


وقتی کل میله را بررسی کنیم به طول زمان

نقطه مانند x در زمان t خبردار شد [illegible]
[illegible]
[illegible] t [illegible] موج [illegible]

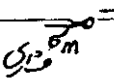
علت [illegible] موج [illegible] تغییر [illegible]
[illegible] باشد

انعکاس امواج :

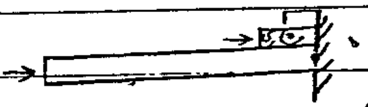


می خواهیم ببینیم بر حسب طبیعت انتهای میله چه شرایطی پیش می آید

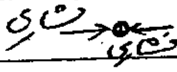
انتهای آزاد ← تنش تحمل نمی کند



یعنی موج فشاری به انتهای آزاد وقتی برمی گردد باید موج کششی باشد (تا برآیندش صفر شود) یعنی σ_m برود σ_m برگردد
و تغییر مکان ایجاد شده دو برابر خواهد بود. در حقیقت تنش صفر است.



انتهای گیردار ← تغییر مکان ایجاد شده انتها صفر است



پس اگر انتها گیردار باشد، تنش فشاری بیاید برآیند تغییر مکان صفر باشد،
موج برگشت نیز موج فشاری می باشد و پس آن نقطه انتها
دو برابر تنش احساس می کند

انتشار امواج یک بعدی میله با دو نوع مصالح:

$\rho_1 C_1$
$\rho_2 C_2$

با فرض مصالح سمت راست محکم‌تر

$\rho_2 C_2 > \rho_1 C_1$

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = \frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2}$$

انتهای گیردار $C_2 \to \infty$

$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1 \Rightarrow \Delta\sigma = \sigma \Rightarrow$ یعنی همان مطالب که گفتیم
تغییر تنش یعنی خود تنش است

انتهای آزاد $C_1 \to \infty$

$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = -1 \Rightarrow \Delta\sigma = -\sigma$

فرض کنیم جسمی با سرعت V به انتهای میله ضربه بزند

سرعت ضربه زننده

تنش وارده

$$\sigma = \rho \cdot C_L \cdot V = \frac{V}{C_L} \cdot E$$

V: سرعت Particle است یعنی
را در ضربه بکار گرفتیم

داشتیم: $\dot{u} = \frac{\sigma_m}{\rho C} \Rightarrow \sigma_m = \rho C \cdot \dot{u}$

که هر چه [illegible]
[illegible] بار وارد شده زیاد است.

مسائل سری ششم

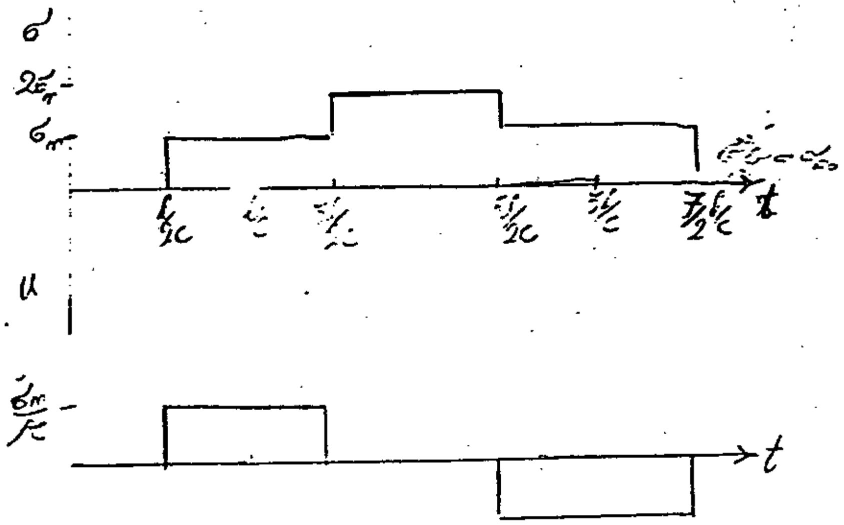
۱) با فرض $\gamma = 17.5\ kN/m^3$, $\nu = 0.35$, $E = 172\ MPa$ ، C_D ، C_L و C_S را پیدا کنید.

۲) $C_S = 230\ m/sec$ و میله با طول $l = 25cm$ مدت زمانی که [illegible] انتهای میله [illegible] پیدا کنید.

۳) میله به طول l و سرعت انتشار موج C که دو انتهای آن گیردار است تحت بار ضربه‌ای σ_m در مدت $t = \frac{2l}{C}$ قرار دارد (فرض کنید بار [illegible] نیست) توزیع تنش در طول میله را در زمان‌های $t = \frac{l}{4C}$ و $\frac{5l}{4C}$ و تنش، سرعت و جابجایی را در طول میله برای زمان‌های مختلف رسم کنید.

(۵ [illegible])

خوب قسمت دوم مسئله اول سری پنجم:



این محاسبات روی تغییرات ناشی از انتشار موج است و تغییرات انعکاسی را در نظر نمی‌گیرد

فصل ششم - انتشار موج دو بعدی :

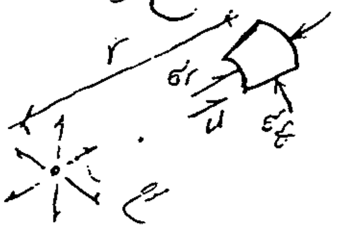
انتشار امواج سه بعدی به دلیل پیچیدگی محاسبات زیاد خارج از حوصله این درس می‌باشد. در این بخش به شرح خواهیم پرداخت

6-1- امواج کروی:

$$C_D \frac{\partial^2(r\Delta)}{\partial r^2} = \frac{\partial^2(r\Delta)}{\partial t^2}$$

Δ: کرنش حجمی

$\Delta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$



$$r\Delta = F(t^*) = F(t - \frac{r - r_0}{C_D}) \quad 6\text{-}1$$

r₀: شعاع حفره‌ای که موج از آن شروع می‌شود (r₀ اول شعاع حفره انفجار)

σm: تنشی که در جلوی موج است.

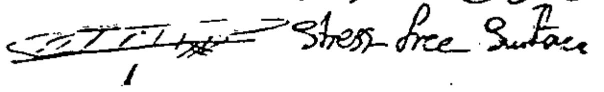
برای رفتار الاستیک ⇐ $\sigma_r = \sigma_m\left(\frac{r_0}{r}\right)$

$$\sigma_\theta = \sigma_m\left(\frac{r_0}{r}\right)\frac{\nu}{1-\nu} \quad 6\text{-}3$$

r₀: از شروع امواج تنش الاستیک از آنجا در محیط منتشر می‌شود.

6-2- امواج ریلی: Raliegh

فقط وقتی یکی از امواج حجمی یا برشی به مرز در محیط برخورد می‌کند، امواج دیگری هم داریم که یکی از آنها امواج ریلی است. موج حجمی در انتشار نیاز به محیطی دارد که بتواند آن تنش را تحمل کند (مثل آب که موج برشی را عبور نمی‌دهد) حالا وقتی به سطح زمین می‌رسیم. سطح زمین stress - free - Surface است یعنی تنش تحمل نمی‌کند پس موجی که در اطراف باید ایجاد شود تنش را انتقال دهد



حرکت $\sim A \sin(\Omega t - kx) + B \cos(\Omega t - kx)$

$k = \frac{\Omega}{C}$ عدد موج

- پس حرکت امواج سطحی هم پریودیک است با Ω فرکانس زاویه‌ای.

$\Rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda}$

برای حرکت موج دو تغییر مکان u , w که بر هم عمودند در نظر می‌گیریم:

$$\begin{cases} U = U_0 F_1(kz) \sin(\Omega t - kx) \\ W = W_0 F_2(kz) \cos(\Omega t - kx) \end{cases} \qquad 6.9$$

x: فاصله از مرکز انتشار موج

u در جهت x →

w در جهت z ↓

(برای آنکه k عدد موج ریلی باشد باید تنش روی سطح صفر باشد)

شرایط مرزی $\Rightarrow R(k) = 0$

$$(2k^2 - k_S^2)^2 - 4k^2\sqrt{k^2 - k_S^2}\sqrt{k^2 - k_D^2} = 0$$

R(k) رابطه‌ای است که از تعریف موج ریلی در سطح زمین بدست می‌آوریم، تنش در سطح زمین باید صفر شود.

$k_S = \frac{\Omega}{C_S} \quad ; \quad k_D = \frac{\Omega}{C_D}$

$$\left(\frac{C_R}{C_S}\right)^6 - 8\left(\frac{C_R}{C_S}\right)^4 + \left[24 - 16\left(\frac{C_S}{C_D}\right)^2\right] \times \left(\frac{C_R}{C_S}\right)^2 + 16\left[\left(\frac{C_S}{C_D}\right)^2 + 1\right] = 0$$

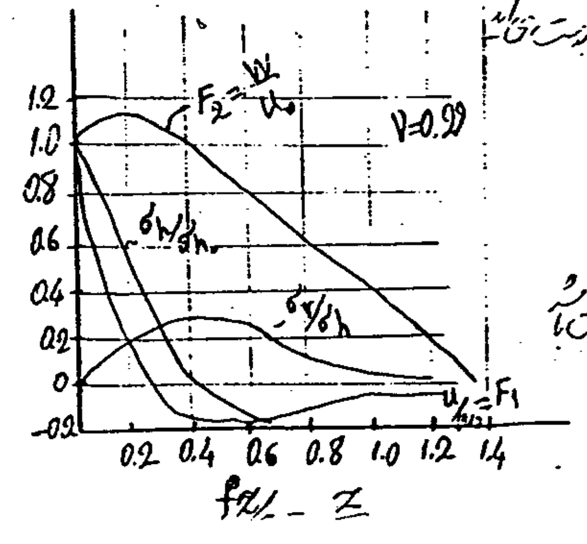
از اینجا $\frac{C_R}{C_S}$ را می‌توان پیدا کرد و تابعی از ν خواهد بود.

$\frac{1}{4} < \nu < \frac{1}{2} \Rightarrow C_R \simeq C_S$ (با خطای ۱۰٪)

مقدار $\frac{F_1}{F_2}$ تغییرات حرکت را نسبت به عمق نشان می‌دهند.

مقدار F_1 ، F_2 بعلت پیچیدگی زیاد روابط حاصل از شرایط مرزی از روشهای عددی بدست می‌آید.

- برای مثال مطابق شکل زیر که $\nu = 0.25$:



Z: عمق از سطح

λ: طول موج ریلی

مشاهده می‌کنیم که با افزایش z ، F_1 , F_2 کاهش می‌یابد یا اگر z ثابت باشد با افزایش f یا کاهش λ دامنه موج کاهش می‌یابد.

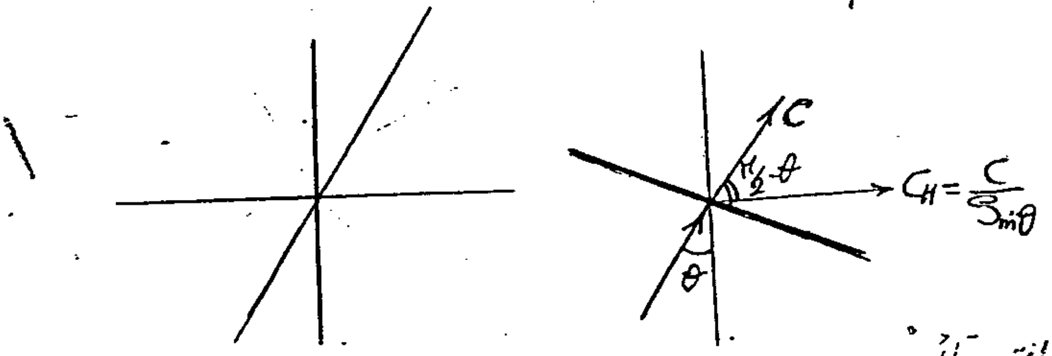
σ_{h_0} : تنش افقی اولیه

هرچه از سطح پایین‌تر برویم میزان تاثیر موج ریلی کمتر می‌شود. [illegible] تجربیات [illegible] است که حرکت ذرات بیضوی است.
که این بیضی هرچه عمق پایین‌تر برود انقطاعش کوچکتر می‌شود. (عمق تاثیر موج تا نصف طول موج است.)

چون یک موج حجمی با زاویه غیرعمودی نمی‌تواند در طول یک سطح عاری از تنش انتشار یابد موج ریلی ایجاد می‌شود.
یعنی امواج ریلی تنها امواج انتقال دهنده انرژی در طول یک سطح عاری از تنش می‌باشند.
برش [illegible] ← موج [illegible] آن [illegible] ریلی است.

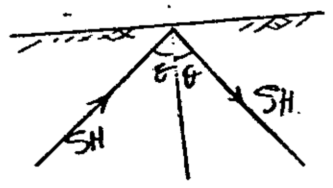
6.3 - انعکاس و انکسار در سطح تماس: Reflection & Refraction

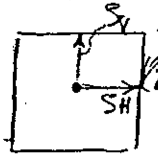
در این حالت معمولاً موج را عمودی می‌بینیم تا حل معادلات آسان‌تر شود.



$$C_H = \frac{C}{\sin\theta}$$

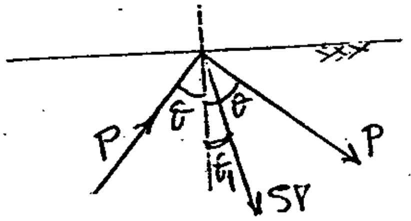
موج برشی را دو نوع داریم: افقی و قائم
SV SH





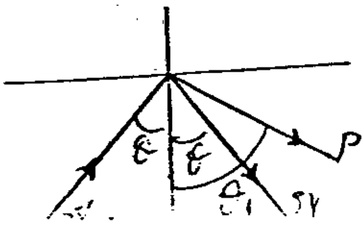
جهت انتشار موج برشی
— جهت تغییر مکان ذرات

انعکاس موج فشاری در سطح آزاد: موج فشاری با زاویه θ و یک موج برشی قائم با زاویه θ_1



$$\frac{C_D}{\sin\theta} = \frac{C_S}{\sin\theta_1}$$

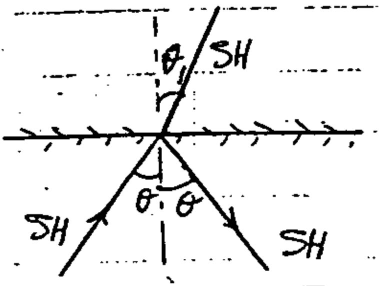
θ که باعث می‌شود $\theta_1 = 90$ شود θ_{cr} گویند.



$$\sin\theta_{cr} = \frac{C_S}{C_D}$$

ν	θ_{cr}
0.25	35.3

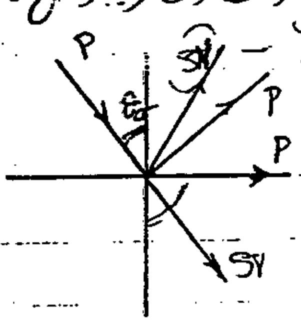
سطح مشترک بین دو جامد:

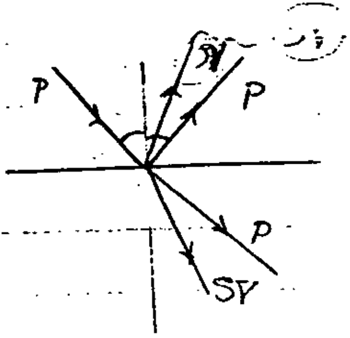


θ₁ مانند قبل تعیین می‌شود $s_1 = \frac{C_{S_2}}{C_{S_1}}$

دست خوردگی الاستیک [illegible] تبدیل می‌شود

SV ؟





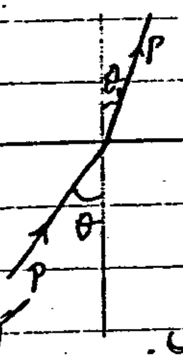
$$\frac{\sin\theta_{cr}}{(C_D)_U} = \frac{\sin\frac{\pi}{2}}{(C_D)_L}$$

$$\sin\theta_{cr} = \frac{(C_D)_U}{(C_D)_L}$$

$$\sin\theta_{cr} = \frac{(C_D)_U}{(C_D)_L}$$

● دست خوردگی از سطح پایین انجام شود:

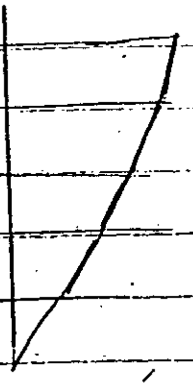
از روی روابط حاصل شده سطح پایین محکم‌تر باشد.



$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta} = \frac{(C_D)_U}{(C_D)_L}$$

اگر $\frac{(C_D)_U}{(C_D)_L}$ [illegible]

زاویهٔ خروج P روی سطح زمین تقریباً قائم است.



$\frac{(C_S)_U}{(C_S)_L}$	θ	θ_1
$1/5$	15° 30°	3 $5\frac{1}{2}$
$1/10$	15 30	$1\frac{1}{2}$ 2

خاک‌های [illegible] روی سنگ متوسط $\frac{C_{SU}}{C_{SL}} = \frac{1}{5}$

بستر سنگی [illegible] نرم $\frac{C_{SU}}{C_{SL}} = \frac{1}{10}$

Exploration Geophysic telford & Sheriff

اکتشافات کاربردی

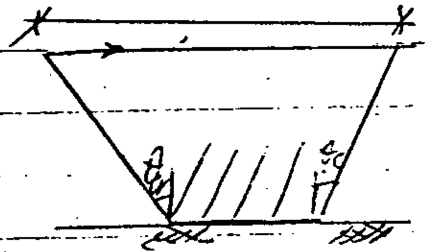
اگر هست حفاری از بالا انجام شود چون [illegible] بالا کمتر [illegible] پایین بیشتر است [illegible] پایین زودتر به [illegible] می رسد.

حال ببینیم تحت چه زاویه $\theta=\theta_{cr}$ امواج افقی شود.

$\frac{(C_D)_u}{(C_D)_L}$	θ_{cr}
$\frac{1}{2}$	30°
$\frac{1}{5}$	$11\frac{1}{2}$°
$\boxed{\frac{1}{10}}$	$5\frac{1}{2}$°

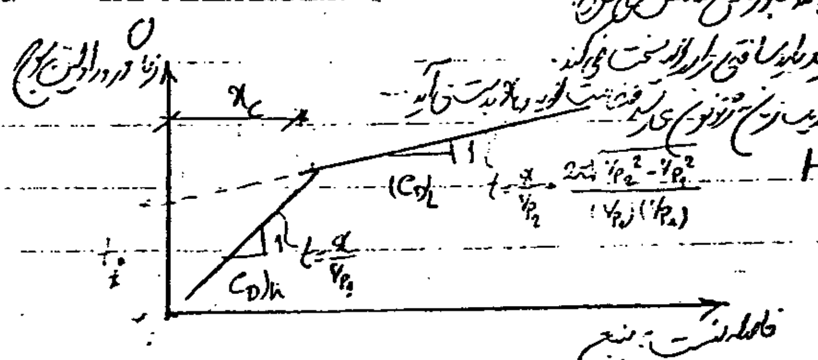
اگر $\theta=\theta_{cr}$ زاویه افقی

اگر $\theta>\theta_{cr}$ فقط انعکاس داریم و امواج وارد لایه زیری نمی شود



با همین روش جنس لایه ها خاک و ضخامت لایه ها خاک را تشخیص می دهند (از همین [illegible])

(سطح افقی روی [illegible]) [illegible]
[illegible] سطح افقی [illegible] [illegible] افقی [illegible] می کند
(در نقطه ای [illegible] افقی و سطح [illegible] [illegible] می آید

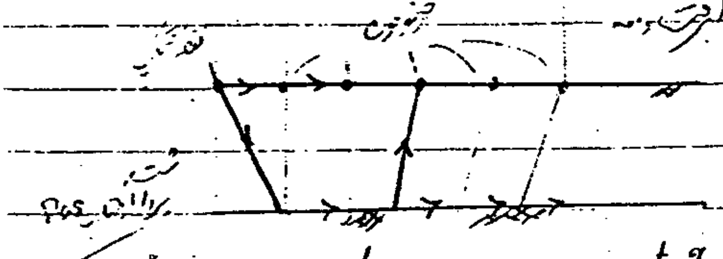


$t=\frac{x}{V_{P_1}}$

$t=\frac{x}{V_{P_2}}+\frac{2z_1\sqrt{V_{P_2}^2-V_{P_1}^2}}{(V_{P_1})(V_{P_2})}$

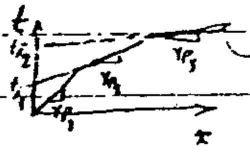
$$H=\frac{x_c}{2}\sqrt{\frac{(C_D)_L-(C_D)_u}{(C_D)_L+(C_D)_u}}$$

برای یافتن عمق سنگ بستر در نقطه [illegible] انفجار
[illegible] رسم می کنند با آن عمق سنگ بستر در [illegible] آورد



(حالت کلی همان است اما در لایه بیشتر)

[illegible] لایه [illegible] →



$$t=\frac{x}{V_{P_3}}+\frac{2z_1\sqrt{V_{P_3}^2-V_{P_1}^2}}{(V_{P_3})(V_{P_1})}+\frac{2z_2\sqrt{V_{P_3}^2-V_{P_2}^2}}{(V_{P_3})(V_{P_2})}$$

$$z_1=\frac{(t_{i1})(V_{P_1})(V_{P_2})}{\text{[illegible]}},\quad Z_2=\frac{1}{2}\left[t_{i2}-\frac{2z_1\sqrt{V_{P_3}^2-V_{P_1}^2}}{\text{[illegible]}}\right]\frac{V_{P_3}V_{P_2}}{\text{[illegible]}}$$

امواج Stonely - Waves :

این موج هم موج سطحی و مانند موج رایلی با اضافات محدودی وجود دارد و سرعت آن بین C_s و C_L بنابراین :
$\bar{C} \approx C_s$

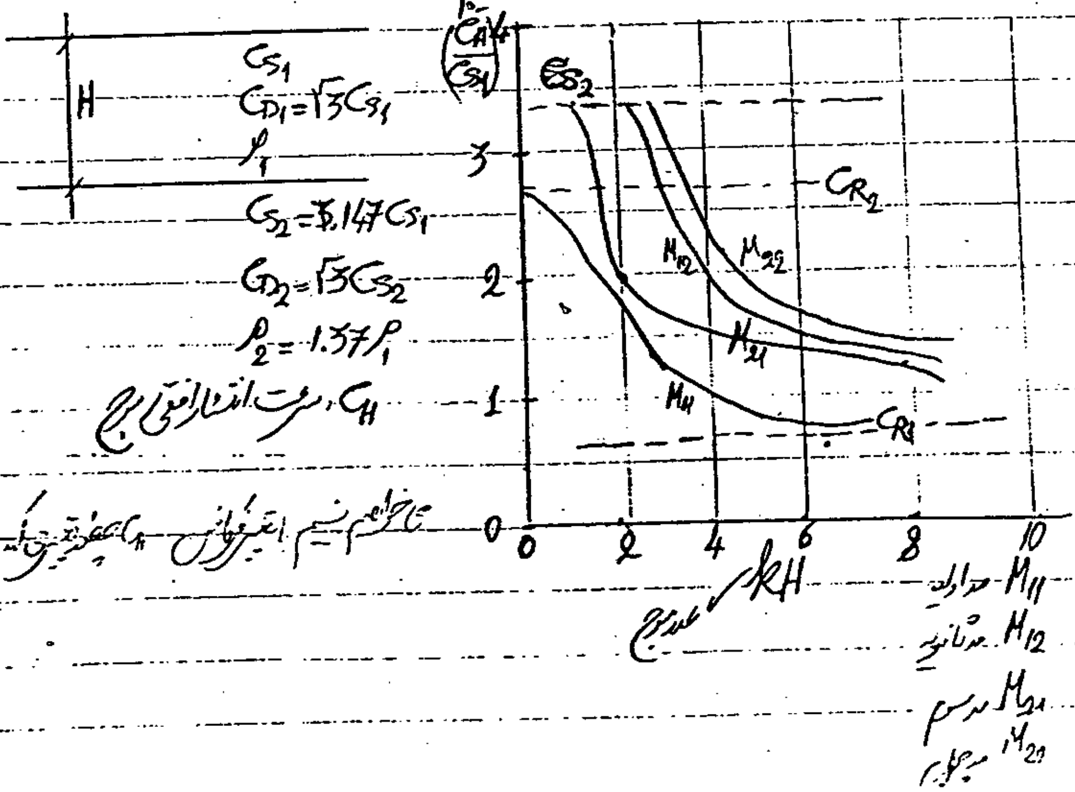
سرعت موج برشی در دو لایه دقیقاً برابر هم نباشه ولی نزدیک هم باشه ⇐ این موج بوجود می‌آید.
(شبیه موج رایلی است)

4-6- امواج سطحی در محیط لایه‌ای :

- امواج کلی رایلی : Generalized Raliegh Wave

تا حالا [illegible] فرض [illegible] است ← [illegible].
یک مثال حل شده [illegible].

یک لایه خاک با ضخامت محدود روی لایه‌ای با ضخامت نامحدود داریم :



EWING شخص [illegible]

در حساب ابتدائی ما H را بررسی می‌کنیم:

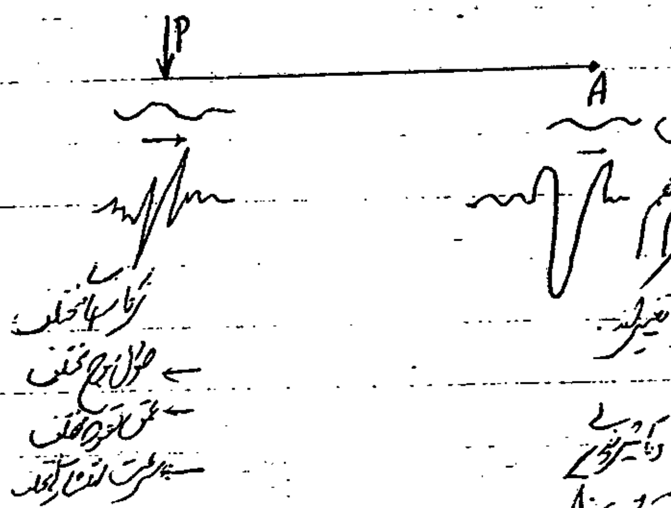
وقتی H→∞ ، سرعت انتشار موج در آن حالت با سرعت موج ریلی در حالت اول برابر است

(اگر حالت کلی این مسأله موج ریلی را بررسی کنیم مثال بارز آن که فاصله‌های مختلف آن را می‌خواهیم ببینیم با چه سرعتی به صورت افقی منتشر می‌شوند)

اگر H خیلی کوچک باشد (H→0) ، سرعت انتشار موج برابر سرعت موج ریلی در لایه پایین می‌شود

و بین این دو حد سرعت موج مقداری بین سرعت موج ریلی در لایه بالا و پایین می‌شود

بر حسب طول موج‌ها با فاصله‌های مختلف عمق نفوذ (λ) تغییر می‌کند اگر عمق نفوذ موج بیشتر شود تأثیر پذیری از لایه پایین بیشتر می‌شود



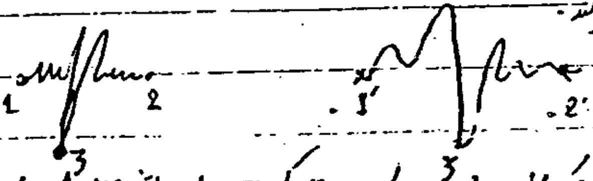
اگر از نقطه P موج سینوسی با دامنه و زمان تناوب ثابت ایجاد کنیم. اگر موجی که در A برداشت می‌کنیم هم موج سینوسی خواهد بود. اگر موج داشته باشیم که دامنه و زمان تناوب آن متغیر باشد (شکل موج‌ها) چون سرعت انتشار (حالت عمق نفوذ مختلف و تأثیر پذیری مختلف از لایه پایین) فرق می‌کند در این حالت تغییر شکل موج در نقطه A مانند موج اولیه نیست.

به این موضوع «پاشندگی» یا Dispersion گوییم

phase velocity

$$U = \frac{d}{dk}(kC_A) = C_A + k\frac{dC_A}{dk}$$

U: سرعت انتشار موجی که این الگو را تغییر می‌کند



یک سرعت انتشار کل مجموعه موج داریم 2,1

یک سرعت برای نقطه Peak (3) در حین موج [illegible] (تأخیر دارد)

امواج لاو Love Wave

وقتی لایه ای روی لایه دیگر قرار می گیرد رابطه بصورت :

G: مدول برشی لایه

H: ضخامت لایه

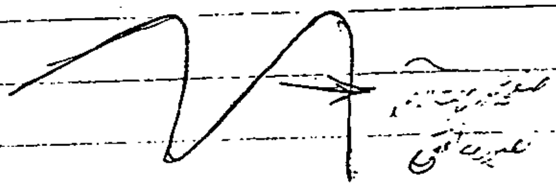
$\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{\omega}{C}$

$$\tan\left(kH\sqrt{\frac{C_H^2}{C_{S_1}^2}-1}\right)=\frac{G_2}{G_1}\sqrt{\frac{1-C_H^2/C_{S_2}^2}{\frac{C_H^2}{C_{S_1}^2}-1}}\Rightarrow$$

سرعت انتشار موج در این لایه بدست می آید $C_H=?$

حرکت عمود بر جهت انتشار است. (امواج لاو در زلزله ها با حرکت عمود بر جهت انتشار همراه است و این امواج برای ساختمانها خطرناک هستند)

شکل لایه ها در سطح پایین تر [illegible]



فصل ۱۲ Das [illegible] مسائل [illegible]

Richart

$k=\frac{2\pi}{L}$; L: طول موج ارتعاشی

1: لایه بالایی

2: لایه پایینی

محدوده انتشار موج Love در لایه : $0<\frac{2\pi H}{L}\left(\frac{V^2}{V_{S_1}^2}-1\right)^{\frac{1}{2}}<\frac{\pi}{2}$

تا زمانیکه طول موج خیلی بزرگتر از ضخامت لایه است ؟! برای زمانهای کوتاه (امواج کوتاه) $\Rightarrow C_H\simeq C_{S_1}$

باید بیشتر شود. برای زمانهای طولانی (امواج طولانی) $\Rightarrow C_H\simeq C_{S_2}$

$\frac{G_2}{G_1}\gg 3\Rightarrow$ اگر G_2 خیلی بزرگتر از G_1 باشد $\Rightarrow \frac{2\pi H}{L}\left(\frac{V^2}{V_{S_1}^2}-1\right)^{\frac{1}{2}}=\frac{\pi}{2}$

$$\Rightarrow \frac{1}{V^2}=\frac{1}{16H^2f^2}+\frac{1}{V_{S_1}^2}$$

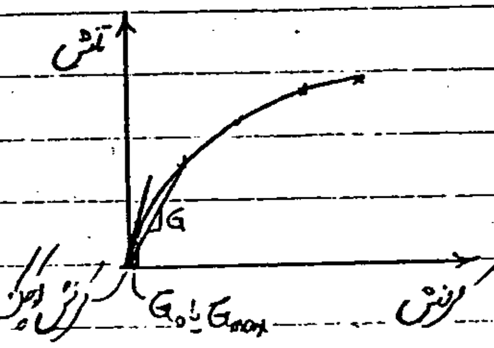
با رسم $\frac{1}{V^2}$ در برابر $\frac{1}{f^2}$ از شیب خط می توان ضخامت لایه را بدست آورد.

۱ دینامیک خاک
۷۸/۹/۱۴

4.4
4.5
4.6
فصل ۴ ص ۱۴۰

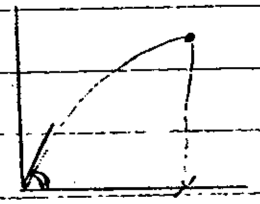
فصل نهم - سختی برشی و مدول آن در کرنش‌های کوچک :
([illegible])

در مدلهای رفتاری خاک مدول خاک را معمولاً از منحنی می‌گیرند که اگر نقطه ابتدایی منحنی را در نظر گرفته باشیم، مدول به صورت کامل [illegible] ثابت به دست آورد. (معمولاً از پارامترها پیش‌بینی می‌کنند)



- Back-Bone Curve
- Ramberg-Osgood

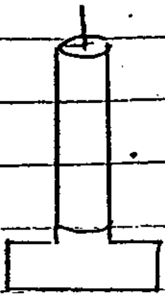
پس اگر Gmax دقیق گرفته نشود [illegible] مشکل [illegible]
(البته) [illegible]



پس اصل قضیه در شناخت رفتار خاک پیدا کردن G یا Gmax است.
کرنشهای دینامیکی در مقابل کرنشهای استاتیکی بسیار کم است. (حدود 10^{-5}) یعنی G به دست آمده از کرنش دینامیکی همان G ماکزیمم خواهد بود. (کرنش حجمی 10%)
این مقدار کرنش در خاک اصلاً هیچ تغییری در ساختمان خاک نمی‌دهد.
وجه تمایز بین کرنش دینامیکی با کرنش استاتیکی همین کرنش است که می‌توان رفتار خاک را الاستیک در نظر گرفت.
(توجه کنید در روشهای اندازه‌گیری مدول خاک مثل روش ژئوفیزیک، کرنش ما بسیار کوچک است چون نیروی دینامیکی اعمالی است نه اینکه چون رفتار خاک کوچک است.)
پارامترهای زیادی روی G مؤثر است که می‌خواهیم این عوامل را بررسی کنیم.

2-9- روشهای اندازه‌گیری :
معمولاً روشهای غیرمستقیم مدول را اندازه‌گیری می‌کنیم. مثل روش ژئوفیزیک (اخیراً روش [illegible] است) روش مستقیم اندازه‌گیری که کلاً روشها عبارتند از روشهای آزمایشگاهی و روشهای درجا تفکیک می‌کنیم.

آزمایشات آزمایشگاهی: ستون تشدید Resenant Column



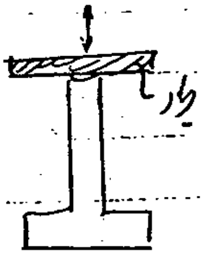
بارهای مختلف و با فرکانس های مختلف نمونه آزمایش می شود
در حالتی که فرکانس برابر فرکانس طبیعی ستون شود تشدید بوجود می آید که
در هنگام تشدید هم فرکانس طبیعی نمونه مشخص می شود و هم میرایی (با استفاده
از نسبت دامنه ها)

در این آزمایش نمونه در غشاء قرار داده می شود و سلول آزمایش سه محوره تحت تنش Confinement قرار می گیرد
بار ایجاد پیچشی در نمونه ← مدول برشی (امواج برشی)
تحت بار محوری رفت و برگشت ← مدول یانگ (امواج طولی)

در 1938 برای اولین بار در ژاپن و بعد 1950 در آمریکا توسط Wilson و در 1960 معروف شد بعلت کارهای Hall و Richart
در آزمایشگاه این دستگاه بصورت زیر است. تحریک ها طوری تعبیه شده که هم از بالا بصورت پیچشی یا محوری تحریک شود.
این روش برای ماسه ای، رس [illegible] و در همه اعتبار است [illegible] باید ایجاد نمونه ها بزرگتر شود.
(در دستگاه سازمان تحقیقات علمی بزرگترین نوع دستگاه که نمونه قطر 20cm هم می توان آزمایش کرد)

با نمونه دست نخورده از خاک را آزمایش و [illegible] بهترین روش استفاده از روش [illegible] است بعلت افزایش حجم نمونه
نمی توان نمونه دست نخورده تهیه کرد با [illegible] نمونه تحت تنش [illegible] جانبی [illegible]

در آزمایش ابتدا وزنه ای روی نمونه قرار داده و بعد آزمایش می کنند و از نتایج [illegible] استفاده می گردد.



۲ دینامیک خاک
۸۲/۲/۲۴

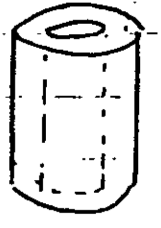
روش Pulse Technique

موج را با ایجاد یک پالس الکتریکی در خاک ایجاد کنیم و سرعت انتشار موج را در خاک بدست می آورند
ابتدا در MIT در دهه 60 استفاده شد و بعد توسط Shell توسعه داده شد و از آن برای تعیین سرعت موج برشی استفاده کردند

روشهای دیگری هم وجود دارند که مبنا تئوری آنها مثل سایر روشها و با اختلافهایی
روشهای استاتیکی هم برای این منظور ارائه شده اند

Cyclic Torsional [illegible] Cyclic [illegible]

دستگاه محوری پیچشی CyT - CAV



که در کرنشهای کوچک، مدول G نمونه اندازه گرفته می شود
علت توخالی بودن لوله، بخاطر اینکه بتوان توزیع تنش پیچشی را یکنواخت گرفت
با پیچش مجدد ایجاد در [illegible] تنش، کرنش برشی را بررسی می کنند

[illegible] Hollow Cylinder [illegible]

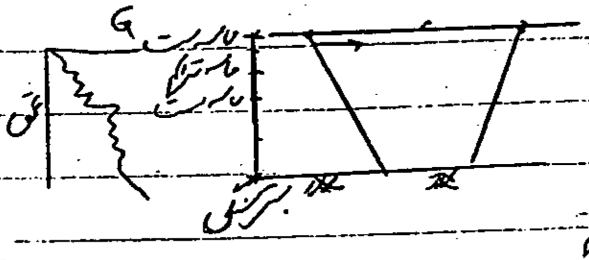
Solid Cylender هم وجود دارد اگر استوانه توپر باشد [illegible] تنش برشی اعمالی [illegible]
فرض می کنند تنش در ۲/۳ شعاع استوانه از مرکز خارجی باشد.
(قطر نمونه‌ها مختلف مثل قطر متداول 2")

آزمایشات درمحل In Situ Experiment

- ضربه انفجاری

یکی از روشها آزمون [illegible] ضربه ای وارد می کنیم و اثر آن در فواصل مختلف توسط ژئوفون دریافت می شود سرعت موج بدست می آید و
با داشتن وزن مخصوص خاک معلوم ← مدول خاک بدست می آید.
از ضربه انفجاری برای تعیین عمق [illegible] استفاده می کنند
از عمق [illegible] انفجار

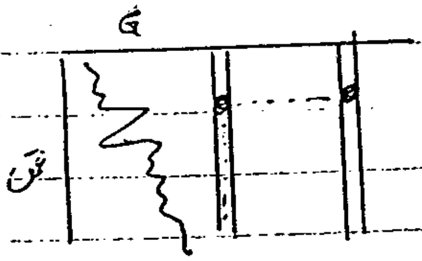
آزمایش‌های ژئوفیزیک ← لرزه‌ای ← سرعت موج ← عمق بستر سنگی
مقاومت الکتریکی ← تعیین سطح آب زیرزمینی
ثقلی
رادار
[illegible]



روش‌ها انکساری بیشتر از لرزه‌ای استفاده می‌کنند. نقطه ضعف روش انکساری این است که باید خاک فوقانی سرعت کمتری داشته باشد و در واقع این شرط سرعت موج در لایه‌ها مخالف است.

ترجیح می‌دهیم در عمق (تا اعماق ۱۰ تا ۱۵) سرعت موج را داشته باشیم که از روش زیر استفاده می‌شود.

روش بین چاهی Cross-Hole



یک گمانه تحریک و یک گمانه برداشت و در هر عمق میزان سرعت موج اندازه گرفته می‌شود. (گیرنده و برداشت در یک عمق می‌باشند)

- ضعف روش‌های ژئوفیزیک:

(عملیات ژئوفیزیک [illegible] داشته باشیم. [illegible] (الاستیک و [illegible])
[illegible] رفتار خاک نسبت به عمق است.

تشدید لرزش سطح Resonance of Surface Vibration

دستگاه را روی [illegible] ماشین آلات لرزش با ارتعاش سطحی لرزه ژئوفون را در سطح آنقدر جابجا می‌کنیم تا حرکت ایجاد شده در این نقطه هم فاز باشد پس این فاصله ژئوفون‌ها به صورت تنظیم شود. [illegible] این فاصله، طول موج را می‌دهد پس اگر فرکانس تحریک ماشین را داشته باشیم و فاصله ژئوفون‌ها از یکدیگر تا λ به دست آید.

$C_R = \lambda . f$ ۹۱ (این سرعت تا عمق $\lambda/2$)

پس حالا در سطح موج ریلی حرکت می‌کند این سرعت، سرعت موج ریلی است. با داشتن ضریب پواسون [illegible] C_s، C_p ... [illegible] ۲ [illegible] ایجاد نمی‌کند.

V9

دیدیم که موج ریلی بستگی به عمق نفوذ دارد. پس طول موج هر اندازه بیشتر گردد باید با کاهش f ، C_R ثابت و λ افزایش یابد.

تجربه نشان داده موج f کاهش یابد، λ بیشتر افزایش پیدا می‌کند و C_R بیشتر می‌گردد. این دلیل این است که عمق نفوذ بیشتر می‌شود و لایه‌های زیری که معمولاً متراکم‌ترند تأثیر بیشتری می‌گذارند و C_R آن بیشتر می‌شود.

- با این روش توانسته‌اند سرعت موج ریلی را تا عمق 100 متر هم اندازه بگیرند !!؟

پس رابطه ۱-۹ توزیع سرعت موج ریلی تا عمق $\frac{\lambda}{2}$ را ارائه می‌دهد.

مقاومت نفوذ استاندارد: SPT

[illegible] $G = 1200 N^{0.8}$ (SI)

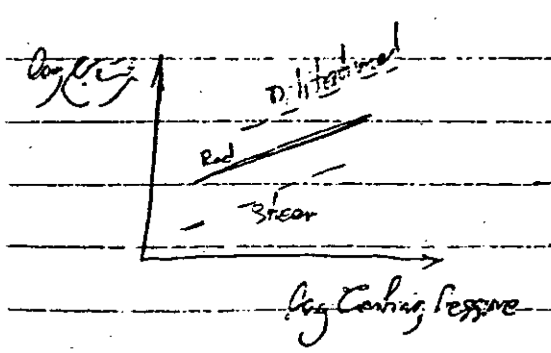
[illegible] $\frac{m}{s}$ $V_s = 139 N^{0.2} D^{0.5}$?

- این روابط به عنوان تقریب اولیه باشند برای طراحی مثلاً یک بیمارستان یا پل

9.3- سرعت موج درون خاکهای دانه‌ای خشک

موج حجمی، برشی و ریلی درون خاک خشک وجود دارد. $C_D > C_L > C_S$

که این طبق تئوری الاستیسیته بدست آمده. حال می‌خواهیم با آزمایش‌های دیگر آنها را بررسی کنیم.



- تنش همه‌جانبی Confining Pressure

یک سری آزمایش صورت گرفته و نتایج تعریف شده است

پس با فرض ثابت بودن سایر عوامل حتی e (تخلخل) در رابطه log فشار همه‌جانبه و log سرعت موج خطی است

σ_0^{m}

$0.2 < m < 0.5$

$V \propto \sigma^m$

برای اکثر ارتباطات m=0.25 تا 1 است.

یعنی یک نمونه خاک با [illegible] بزرگتر [illegible] بیشتر انتقال را با سرعت [illegible] نرخ آن [illegible]

ارائه بحث مدول خاک در کرنش های کوچک.

روشهای آزمایشگاهی ✓

عوامل موثر – خصوصیات [illegible]

تنش همه جانبه: $C \propto \sigma_0^{m}$ ، $0<m<0.5$ ، $m=0.25$

- هر چه σ_0 بیشتر باشد e کاهش پیدا می‌کند و سطح تماس دانه‌ها بیشتر می‌شود. در نتیجه انتشار موج راحت‌تر صورت می‌گیرد.

σ_0: تنش همه جانبه

برای خاک تاثیر تنش همه جانبه را می‌توان با σ_0 بیان کرد و تغییرات σ_2 زیاد است.

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3}{3}$$

$$\sigma_2 = \frac{3}{2}\sigma_0 - \frac{\sigma_1}{2}$$

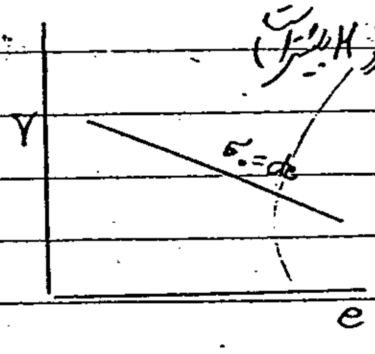
– تحقیقات نشان می‌دهد که آن تنشی که موثر است، σ_0 همان تنش متوسط است که می‌توانیم در روابط مربوطه قرار دهیم.

– تاثیر نشانه خلاء – اندازه دانه – شکل و دانه‌بندی.

افزایش $e\uparrow$ ← $\rho\downarrow$ باعث افزایش C می‌شود. $C=\sqrt{\frac{M}{\rho}}$

← $M\downarrow$ باعث کاهش C می‌شود

دیده شده که با افزایش e، سرعت موج کاهش می‌یابد. (تاثیر M بیشتر است)

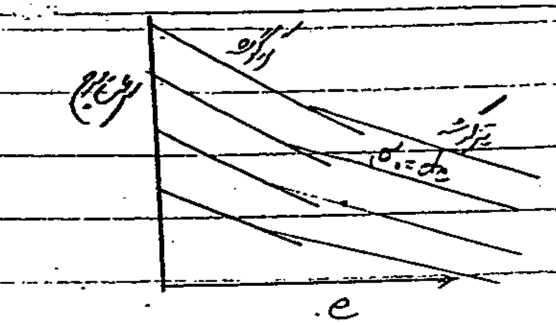


خاک

متراکم‌ترین	سست‌ترین
+25%	-25%
بیشتر از سرعت متوسط	کمتر از سرعت متوسط

* $\bar{\sigma}_0$ یا σ_0 ـ تنش موثر

تاثیر شکل ذرات:



تیزگوشه‌ها می‌توانند [illegible] بهتر [illegible] تیزگوشه [illegible]

در یک e = cte و σ_0 = cte تیزگوشه نسبت به گردگوشه سرعت موج بیشتری می‌دهد زیرا سطح تماس بین ذرات بیشتر است.

رابطه زیر را ارائه کرده‌اند: (Richart & Hardin) 9-5

برای خاکهای دانه‌ای: (اشباع یا خشک)

$$C_s = (159-53e)\bar{\sigma}_0^{0.25}$$

ft/sec lb/ft²

روابط برای خاکهای [illegible] (اگر [illegible] کلی نباشد.) این روابط برای خاکهای تیزگوشه ارائه شده ولی برای خاکهای گردگوشه هم استفاده می‌گردد

for angular-grained materials

(U.S) $$G = \frac{1230(2.97-e)^2}{1+e}\bar{\sigma}_0^{0.5}$$ lb/in²

(SI) $$G = 3200\frac{(3-e)^2}{1+e}\sqrt{\bar{\sigma}_0}$$ kPa

این روابط [illegible]

از این روابط [illegible] اگر G خاک را نداشته باشیم، استفاده می‌کنیم. روابط برای حالتی است که:

$25\ kPa < \bar{\sigma}_0 < 100\ kPa$ [illegible]

$0.35 < e < 1.5$ [illegible]

● سرعت انتشار موج در سنگهای متخلخل:

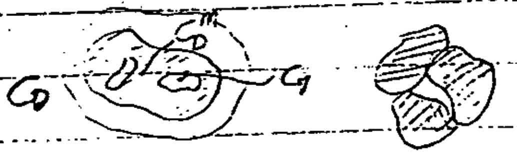
$$\frac{1}{C_D} = \frac{n}{C^V} + \frac{1-n}{C_D^m}$$

n: تخلخل (پوکی) [illegible]

C^V: سرعت حجمی داخل سیال درون منفذ (اگر خشک باشد سیال هوا می‌گردد)

C_D^m: سرعت حجمی داخل دانه‌ها

e ← تخلخل
n = [illegible]
e = [illegible] تخلخل



[illegible]

۱۴ آ ۱۳۹۷ زنادینیک

- سرعت موج برشی تابعی سرعت موج در قلوه سنگ است. در رابطه قبلی Seed و Edris رابطه زیر را برای G ارائه داده‌اند. (رابطه برای خاکهای دانه‌ای)

$$G = 1000 K_1 \sqrt{\sigma_0'} \qquad 9.7$$

G بر حسب psf

خاک	K_1
ماسه سست	35
نیمه متراکم	70
خیلی متراکم	90
خیلی متراکم و قلوه سنگ	130-190

● با انجام SPT می‌توان چگالی نسبی را بدست آورد یا تخمین زد ...

جاهایی آنها سعی کرده‌اند اثر درجه تراکم خاک منظور کنند.

- تأثیر فرکانس:

Hardin و دیگران تحقیق کردند و دیدند: (1965-66)

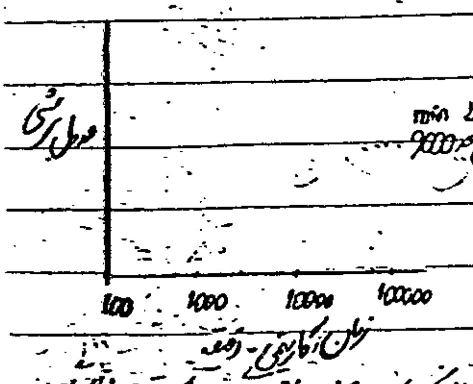
$25 < f < 800\ Hz \Longrightarrow$ تأثیری روی سرعت موج ندارد

و بعداً مشخص شد اساساً فرکانس پارامتری روی سرعت موج نیست و اثر جزئی دارند.

0.1 — 1000 Hz $\Longrightarrow$ تأثیری در سرعت انتشار موج ندارد

- اثر سایر پارامترها:

- زمان اعمال تنش:



مدول برشی بعد از هر سیکل بارگذاری (لگاریتمی)

● سیکل اول بعد از 1000 min برای ماسه حدود 5% مدول برشی افزایش [illegible] سیکل بعد 9000 min ...

● برای رس‌ها 10% ״ ״ ״ ״

زمان طولانی ← کاهش خلاء ← C↑

و از طرفی کاهش e تا حدی [illegible] افزایش [illegible] در زمان طولانی‌تر

Q افزایش می‌یابد (پدیده تیکسوتروپی) (Tixotrophy)

وقتی که آزمایش خاک رس [illegible] باشد بر [illegible] است. ([illegible]

[illegible]

تاریخچه تنش:

تغییرات گذشته تنش جانبی در تعیین نشانه خلاء کنونی مؤثر است.

تنش ارتجاعی:

اگر ... بصورت دینامیکی باشد (10^{-5}) و اگر بیشتر باشد ممکن است اثر داشته باشد. اگر در مدل برشی است تأثیرش بصورت ایجاد کم است.

حتی اگر کرنش های کوچک را نیز اعمال کنیم روی G تأثیر گذار است و این تنش که با افزایش خلاء است

$\varepsilon = 6\times10^{-4} \xrightarrow{100\text{ بار}} G \quad 20\sim40$ را افزایش یا تغییر کرد

$\varepsilon = 6\times10^{-4}$ و 10^{8} سیکل $\longrightarrow G \quad 100\%$

- تأثیر ν (ضریب پواسون) روی پارامترهای دینامیکی زیاد نیست و اگر از نتایج مطالعات ژئوفیزیک ν را بدست آوریم کمی خطا ... تغییرات زیاد ν می‌شود.

$\mu = \nu = 0.3, 0.4$

$1.65 \sim 2.1 = C_L$ سرعت موج تغییر کند.

9.4- سرعت موج برشی در خاکهای دانه‌ای در طبیعت:

وجود آب در خاک تغییری در ... نمی‌دهد.

امواج برشی از آب عبور نمی‌کنند و امواج حجمی می‌گذرند [illegible]

● در کلیه روابط قبل هر جا تنش داریم باید تنش مؤثر قرار دهیم.

- جرم مؤثر سیال

(در رابطه) $C_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ جرم چه جرمی باید قرار دهیم

در نمونه اشباع سرعت موج برشی کوچکتر از نمونه خاک خشک است (زیرا ρ در مخرج کسر است)

یک نمونه تحقیق:

$e = 0.7$

$G_s = 2.7$

$\gamma_{sat} = 1.27\gamma_d$

(۱۱٪ تغییر دارد) ... C_s

۱۲/۹/۱۰

رابطه‌ای که برای این قضیه وجود دارد:

[illegible] [illegible]

$$\rho = \rho^s + \beta n \rho^w$$

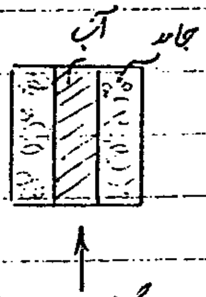
$$= \rho^w\left[(1-n)G_s + \beta n\right]$$

ρ^w: چگالی آب

n: پوکی (تخلخل)

$0<\beta<1$ ← بسته به درگیر شدن آب درون خاک.

G_s: چگالی ذرات خاک



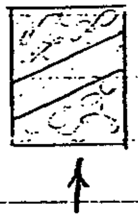
آب هیچ نقشی در چگالی ذرات جامد ندارد

$\beta=0$

وضعیت حالتی بینابین دو حالت نشان داده شده وجود دارد.

● تجربه نشان داده:

برای توده‌های خاک $\beta=\frac{1}{2}$ می‌گیرند.



آب دقیقاً نقش دارد

$\beta=1$

(آرام حرکت آب مؤثر است)

شروع اشباع

سرعت اولیه نمونه خاک ($\beta=\frac{1}{2}$)

0.96 سرعت موج برشی اولیه نمونه خشک خواهد بود

(در مورد موج حجمی چون هم آب جمع می‌شود و هم آب مؤثر است سرعت تغییر شدیدی نشان می‌دهد)

۷/۹/۲۰

1

بزرگنمایی زلزله در اثر عبور از خاک : Soil Amplification

برش پایه $= C.W$

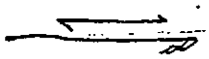
$C = \frac{ABI}{R}$

$B = 2.5\left(\frac{T_0}{T}\right)^{2/3} \leq 2.5$

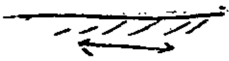
T : پریود طبیعی ساختمان

$T_0 = ?$ ضریب خاک

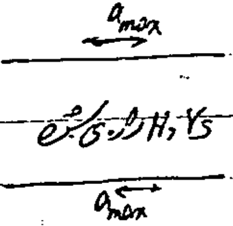
0.4	I	خاک سنگی
0.5	II	
0.7	III	
1.0	IV	سست نرم



ضریب تقویت $=$ شتاب در سطح زمین / شتاب زیر لایه خاک



تمرین:



p, 8 با توجه به خاک حرکت زده می‌شود یک a_{max} از زلزله طبیعی را اب بر می‌دهیم a_{max} را در سطح زمین بدست می‌آوریم و از نسبت این ضریب تقویت بدست می‌آید

سرعت موج فشاری در داخل خاکهای مرطوب :

امواج فشاری برخلاف امواج برشی می‌توانند از آب عبور کنند و با توجه به اینکه تراکم ناپذیری آب بالا است، سرعت زیادی دارند.

$V^w = \sqrt{\frac{B^w}{\rho^w}} = 1450 \ m/sec$

بطور کلی برای خاکهای اشباع [illegible] می‌تواند باشد.

ΔC_s : میزان تغییر سرعت موج برشی متناظر با سرعت موج برابر 1000 دقیقه اول [illegible] تشکیل [illegible] عمدتا

S_u : kgf/cm^2 مقاومت زهکشی نشده

e_0 : نشانه خلاء اولیه

e : نشانه خلاء ثانویه

معمولاً تغییر در شکل لگاریتمی بین 5-10%

• اثر پیش کرنشی:

اگر کرنش از 10^{-4} کمتر باشد هیچ تغییری در سرعت موج برشی ایجاد نمی‌شود ولی اگر زیاد کنیم می‌تواند باعث تغییر گردد

$\tau = G\gamma$

کرنش رفت و برگشت و [illegible] بارت [illegible] [illegible] پس از اعمال [illegible] کرنش [illegible] زیادی [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]

پیش کرنشی بسیار [illegible] پیش تنشی است.

رابطه مدول برشی با مقاومت برشی زهکشی نشده

نشانه خلاء تابع تنش موثر جانبی است.

خاکها با PI بیشتر کم تأثیرپذیری بیشتر دارند

$G = 1600 S_u$ 9.21

S_u = مقاومت برشی زهکشی نشده (باید بدانیم با سرعت نه چندان زیاد بر آن نمونه را بشکنیم)

$\left(\frac{E}{S_u} = 400 \sim 1000 \right.$ [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible]
[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] زیاد [illegible] است)

2

95- سرعت موج فشاری در داخل خاکهای مرطوب :

bulk modulus of elasticity of water

سرعت موج در آب ؟ $C^w = \sqrt{\frac{B^w}{\rho^w}} = 1450\ m/sec$ $B_w = 4.47\times10^7\ lb/ft^2$

$= 310{,}400\ lb/in^2$

معمولاً $C_p > 5C_s$

96- سرعت موج برشی در خاکهای چسبنده.

Hardin و Black به معادلات مشابه معادلات سرعت موج در خاکها برای رس‌ها رسیدند با اثر پیش تحکیمی هم علاوه بر عوامل قبلی در سرعت موج برشی خاکهای چسبنده مؤثر هستند

● اثر پیش تحکیمی : این اثر بر سرعت موج ناشی از کاهش e نیست بلکه برخی پارامترها را نیز تغییر سرعت بیشتری است بخاطر کاهش e صرفنظر است

$$G_{lb/in^2} = \frac{1250(2.97-e)^2}{1+e}(OCR)^k \sigma_0^{0.5}{}_{lb/in^2} \qquad -9.20$$

PL	K
0	0
20	0.18
40	0.3
60	0.41
80	0.48
>100	0.5

کاپا (K) از روابط تجربی بدست می آید

هرچه شاخص خمیری خاک بیشتر شود K افزایش می یابد.

این رابطه یک رابطه متوسط است در کرنش‌های بسیار زیاد دقت کمی دارد.

● اثر زمان اعمال تنش :

از زمان 1000 دقیقه بعد از بارگذاری اعمال شده بیشترین اثر را دارد (ممکن است بخاطر فشار آب حفره‌ای زیاد ابتدا باشد) و بعد از خروج آب، شروع به تغییر e می کند و لذا سرعت تغییر می کند

بررسی زیاد از این اثر توسط Wood و Richart ... با ارائه رابطه‌ای به صورت :

$$\frac{\Delta G_s}{G_{s,1000}} = e^{1.7} - 0.25 S_v + 0.37 e_0$$

7.7- سرعت امواج فشاری داخل خاکهای چسبنده:

همان روابط ۶ و ۹ هم اینجا صادق است. اگر خاک اشباع باشد چون $\nu = \frac{1}{2}$ است با داشتن سرعت موج فشاری
سایر سرعتها را هم خواهیم داشت.

9.8- سرعت موج و مدول خاک در محل:

$$\text{سرعت} \sim (\text{عمق})^{0.25}$$

تغییرات سرعت با عمق به این نسبت است.

روابط [illegible] حتی [illegible] باشد صادق می‌کند [illegible]

Factor	خاک دانه‌ای	چسبنده
e	Very Important	
Duration of σ_0	Somehow	Very
OCR	unimportant	Important
Dynamic Prestraining	Important	UnImportant
Degree of Saturation	Small of effect	
Particle Size & Shape gradation	〃	〃
[illegible] level of Stress	No Imp effect	
frequency	No Imp effect	

[illegible]

نوع خاک	σ'_0 (kPa)	Cs (m/s)	G (MPa)
Soft silt or clay Cinder (رس‌های نرم)	50	90- کمتر	15
Soil of Medium density	95	150	40
Dense or firm Soil	190	250	120
Very Compact Sand or Gravel	350	330	200
Cemented Sand or Gravel	600	450	400
Soft rock	950	600	700
Medium rock	~~[illegible]~~	~~1000~~ 900	1600
Hard rock		1500	4500

حداقل Cs ایجاد کند

آزمایش دانهول [illegible] ضریب تقویت موج بالا [illegible]

اتفاق در [illegible] اگر [illegible] Cs را [illegible] بودن [illegible]

زمین در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۳ [illegible] ۳۷ تا [illegible] سرعت Cs [illegible] باید بیشتر باشد.

زمین‌های خاک با Cs<۱۷۵ ضعیف است.

زمین نوع I و II

بیشتر

اطلاعات زیر از یک آزمایش بدست آمده:

f	Wave length
50 Hz	4.5 m
25	10 m
10	30 m
5	70 m

نمودار کلشید عمق را براساس سرعت موج برشی بیان کند. (سرعت موج برشی برحسب عمق)

اطلاعات ورودی Shake:

[illegible] II [illegible] ۱۲۶<Cs<۳۶۳ [illegible]

۱۹۱
Publish Your Mind

۱
۷۸/۹/۲۲

فشارهای جانبی خاک در مسایل دیوارهای حائل ـ از فصل پنجم کتاب (Prakash

در اکثر موارد در حالت استاتیکی فشار جانبی خاک نامعین است که با فرضیاتی معین می‌کنیم و بدست می‌آوریم. اگر دیوار حائل تحت تغییر مکانی قرار [illegible] فشار خاک را حساب کنیم. با فرض اینکه حرکت کند در چه حدی می‌توانیم بدست آوریم.

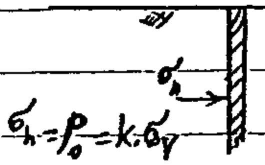
زمانی که دیوار حائل بی‌حرکت [illegible] نگه داریم آن فشار خاک را حالت سکون تعیین کرد. اگر ضریب k خاک [illegible] باشد یعنی تشکیل [illegible] نقطه بیرون در خاک [illegible] تعادل [illegible] این [illegible] در زمان تشکیل آن [illegible] میل [illegible] ندارد و هیچ [illegible] تغییر شکلی رخ نداده.

$$\sigma_h ; \sigma_v$$

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

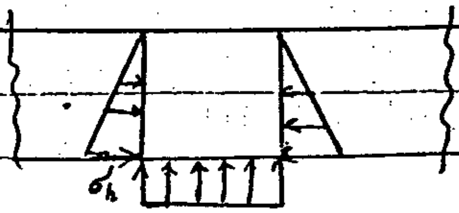
$k_0 \Rightarrow 0.4 \sim 0.5$ ← اگر خاک در حالت رسوبی جوان بود

$k_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$ ← اگر خاک الاستیک باشد



خاک	k_0
ماسه سست	0.4
″ متراکم	0.6
″ کوبیده شده	0.8
رس نرم	0.6
رس سخت	0.5

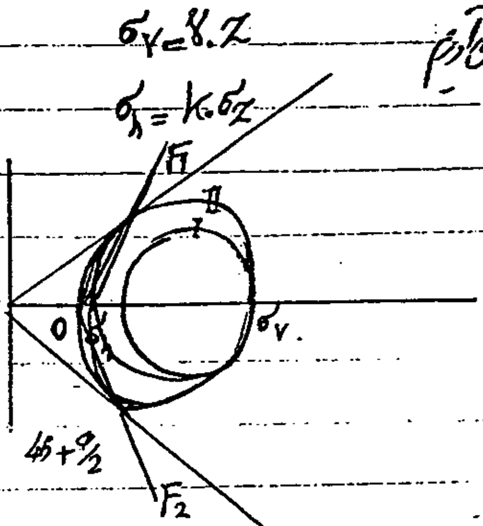
تئوری رانکین :



اگر هیچگونه کرنش جانبی این دیوار تشکیل نداده باشد، مقدار k خواهد بود در غیر اینصورت مقادیر دیگری برای σ_h که بدست می‌آوریم متفاوت خواهد بود

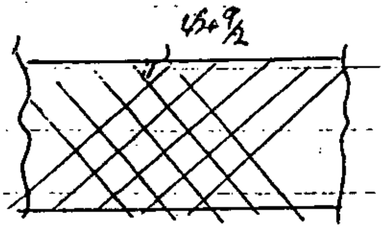
$$\sigma_v = \gamma . z$$

$$\sigma_h = k . \sigma_z$$



(در حالت k این دیوار از برش گسیختگی فاصله دارد)

فرض کنید این خاک را از محل مقطع زیر کشیده بکشیم σ_v = ثابت و σ_h را آنقدر کم می‌کنیم تا این دوایر به پوش گسیختگی مماس گردد از نقطه $\sigma_{h\min}$ که از به نقاط تماس وصل کنیم سطوح گسیختگی ایجاد کرد زاویه $45-\varphi/2$ ، $45+\varphi/2$ است



$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$$

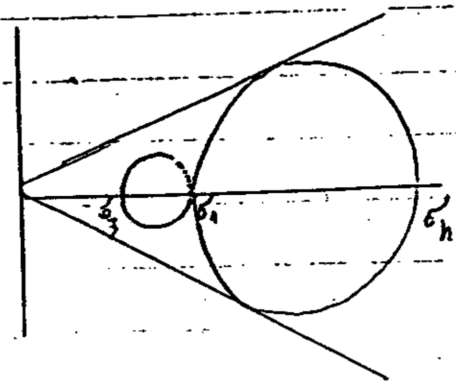
$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \tan^2(45+\varphi/2)$$

بنابراین :

$$k_a = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$$

۲ [illegible]
۲۵ بهمن

حال اگر دیوار را به طرف خاک فشرده کنیم. σ_h افزایش پیدا کرده است
تئوری رانکین می‌گوید σ_h آن‌قدر زیاد می‌شود تا در حد گسیختگی بیاید
و دایره موهر بر پوش گسیختگی مماس می‌گردد.



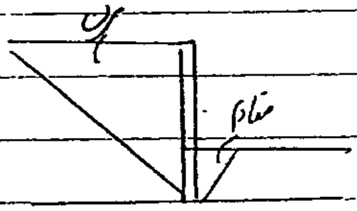
$$K_p=\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$$

شرایط Kp را در مورد خاک‌های پیش تحکیمی که $\frac{\sigma_h}{\sigma_v}$ ↑ پیدا کرده پیش می‌آید

$\varphi=30 \Rightarrow k_a=\frac{1}{3}\ ,\ k_p=3$

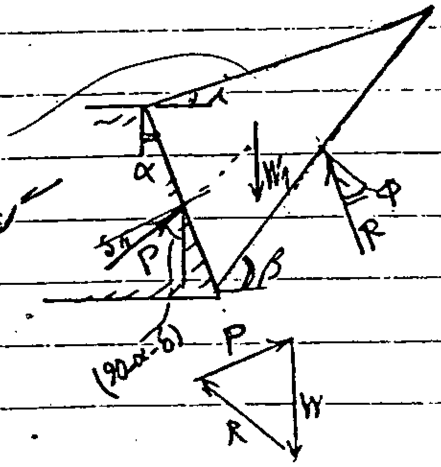
اصطلاحاً می‌گویند بخشی از σ_h ایجاد شده در آن‌ها قفل شده است و با باربرداری از بین نمی‌رود.

تئوری رانکین سطح دیوار را صاف و قائم فرض کرده است و تئوری کلمب این فرضیات را ندارد. دیوار قائم نیست در رانکین در حالی که شیب زمین خطی باشد و در جایی که باید توجه کرد تا شرایط k_a یا k_p مهیا شده باشد.



تئوری کولمب:

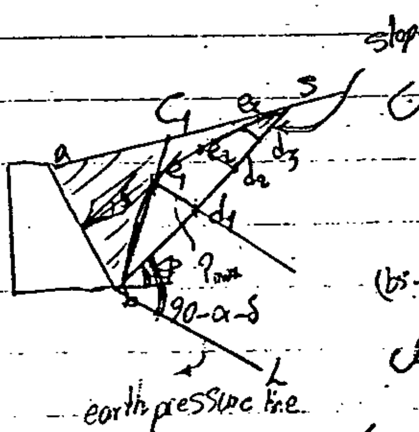
کولمب فرض می‌کند فقط نقاط روی سطح لغزش به حالت تعادل حد رسیده است و سایر نقاط حالت الاستیک است.
نکته: آن‌قدر این سطح گسیختگی را تغییر می‌دهیم تا چندضلعی نیروها بسته شود آن سطح گسیختگی حقیقی است.



روابطی برای این موضوع پیشنهاد کرد:

$$P_a=\frac{1}{2}\gamma H^2\frac{\cos^2(\varphi-\alpha)}{\cos^2\alpha\cos(\delta+\alpha)}\times\frac{1}{\left\{1+\left[\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-i)}{\cos(\alpha-i)\cos(\delta+\alpha)}\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^2}$$

مراحل ترسیمی کولمان:



1) ابتدا دیوار را با توجه به ابعاد در نظر رسم می‌کنیم با خاک پشت آن

2) خط bS را رسم می‌کنیم با افق زاویه φ رسم. به عنوان خط شیب.

3) خط bL را تحت زاویه 90-α-δ رسم می‌کنیم (الست [illegible])

4) خط یک گوه فرض می‌کنیم (abc₁) وزن آن را پیدا کنیم معادل آن روی خط bS جدا می‌کنیم (bd₁) [illegible]

5) از خط d₁e₁ موازی خط bL رسم تا خط گسیختگی را در e قطع کند.

همین عمل را برای سطوح دیگر چندین بار تکرار و نقاط e₂، e₃ و ... را بدست می‌آوریم. بیشترین فاصله خطی را این نقاط از هم می‌کند با خط شیب برابر نیروی فشار خاک است. ([illegible]) ([illegible])

این نیرو در نقطه اثرش در حالت استاتیکی $\frac{1}{3}H$ خواهد بود که با زاویه δ نسبت به خط قائم بر سطح دیوار به آن اعمال می‌شود

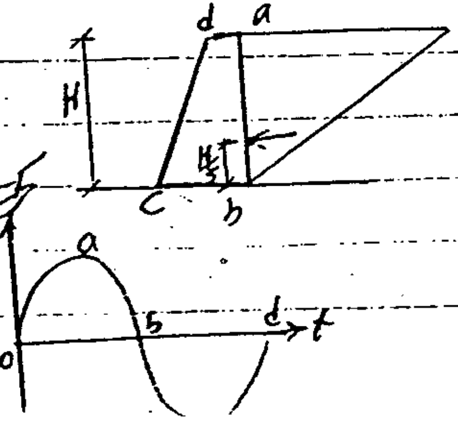
$$(\delta=0\sim\tfrac{2}{3}\varphi)$$

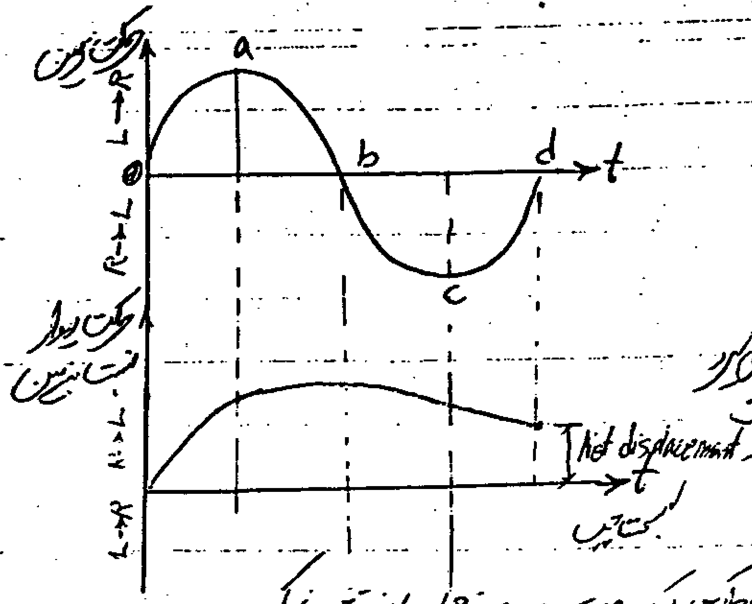
5-2- رفتار دیوار حائل در حین زلزله:

فرض کنید در حالت استاتیکی گوه شکست شکل روبرو است.

فرض کنید در این حالت یک حرکت زمین هارمونیک به صورت شکل زیر داشته باشد

حرکت زمین — فرض کنید حرکت oa از چپ به راست حرکت کند. (زمین به راست حرکت می‌کند.)





حرکت زمین راست + چپ −

دیوار چپ + راست −

حرکت خاک بسمت چپ را صورت می گیرد
بنابراین جابجایی دیوار بسمت چپ بیشتر است
در نهایت بسمت چپ جابجا می شود

۱) اگر گوه گسیختگی با سرعت یکسان با دیوار حرکت کند یک جهت، ← فشار جانبی تغییر نمی کند.

۲) دیوار با سرعتی بیش از سرعت گوه گسیختگی بسمت بیرون حرکت کند ← فشار جانبی کاهش

۳) اگر خاک زودتر از دیوار حرکت کند ← فشار جانبی افزایش پیدا می کند.

چون از نظر طراحی تغییر مکان جانبی قابل شناختی نداریم، عملاً فرض می کنیم دیوار در جا خود ساکن است و خاک در پشت آن حرکت می کند بنابراین فشار خاک را در این حالت پیدا می کنیم

پس دو بحث داریم: ۱) نیروی جانبی؟
۲) تغییر مکان جانبی؟

در مورد مقدار نیرو کار شده است و در مورد آن بحث می کنیم

حال تئوری کلمب را در حالت زلزله تصحیح می کنیم

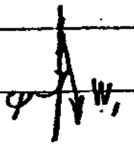
در " " گفته شده مطالب مثل سابق (حالت استاتیکی) ها با یک نیروی اینرسی وارد کنیم از جنس شتاب (ضریبی) داخلی تعریف می کنیم

$$\frac{a_h}{g}=\alpha_h$$

$$\frac{a_v}{g}=\alpha_v$$

لیکن وزن تغییر می‌کند: $\overline{W}_1 = W_1\sqrt{(1\mp\alpha_v)^2+\alpha_h^2}$

$\psi = \tan^{-1}\frac{\alpha_h}{1\pm\alpha_v}$ زاویه W_1 از قائم



و بعد مثلث نیروها را تشکیل می‌دهیم و آنچه بدست می‌آوریم P_{total} است که:

$$P_{total} = P_a + \Delta P_{dyn}$$

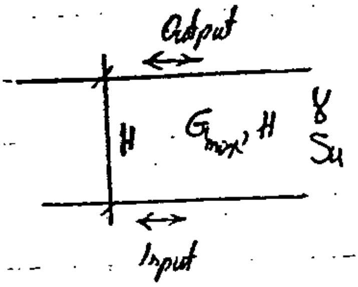
نقطه اثر کنش استاتیکی را در ثلث می‌گیریم و نقطه اثر دینامیکی را در وسط می‌گیریم $\frac{H}{2}$ است.

$$P_{total} = \frac{1}{2}\gamma H^2 \frac{\cos^2(\varphi-\psi-\alpha)(1\pm\alpha_v)}{\cos\psi\cos^2\alpha\cos(\delta+\alpha+\psi)} \times \frac{1}{\left\{1+\left[\frac{\sin(\varphi+\delta)\sin(\varphi-i-\psi)}{\cos(\alpha-i)\cos(\delta+\alpha+\psi)}\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^2}$$

Input = Cost

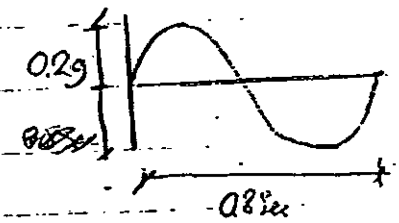
به مشخصات G ، γ و پارامترهای دیگر مثل S ، γ و ... را می‌دهیم

هدف گرفتن Output در سطح بالای خاک است.



ضریب B ترکیب اصلی ستون را خاتمه می‌کند.

$$\text{ضریب تقویت} = \frac{a_{max})\ \text{Surface}}{a_{max})\ \text{bedrock}}$$



زلزله واقعی:

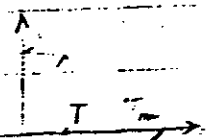
طبس - منجیل - آب‌بر

اگر خروجی زلزله G ثابت است حال با تغییر H

ضریب زلزله‌ای که ما می‌خواهیم حداکثر شود به عبارتی

یعنی به خاطر فرکانس بحرانی است (تشدید) رخ می‌دهد

ضریب تشدید در نتیجه آن را بدست آورید.



$$f_s = \frac{C_s}{4H}$$

برای بدست آوردن H ، T آنقدر H را تغییر می‌دهیم تا تشدید رخ دهد لذا [illegible] ثابت است و تغییر می‌کند [illegible] Detail!

را می‌خواهیم

برنامه Shake برای یک بعدی است تغییرات اساسی [illegible] مدل الاستیک خطی است

برنامه Quad-4 دو بعدی است.

5.3 تصحیح تئوری کلمب:

و دیدیم که به تعریف جدیدی از وزن رسیدیم

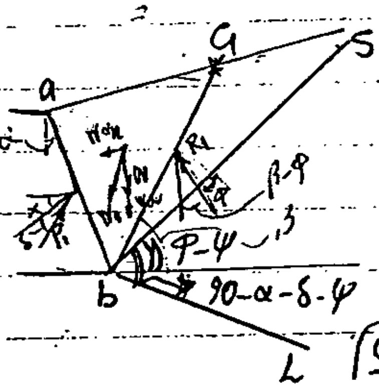
$$\overline{W}_1 = W_1\sqrt{(1\pm\alpha_v)^2+\alpha_h^2}$$

(زاویه $\overline{W}_1$ با قائم) $\psi = \tan^{-1}\frac{\alpha_h}{1\pm\alpha_v}$

$P_{total} = P_a + \Delta P_{dyn}$ چون نقطه اثر P استاتیکی کاملاً مشخص است ($\frac{1}{3}H$) و ΔP دینامیکی اینطور نیست، لذا آنها را باید از هم جدا کنیم.

5.4 تصحیح روش کولمان:

قدمهای حل مانند روش ترسیمی مثل همان روش استاتیکی و تفاوتهای زیر اعمال


a
G
S
W_{dyn}
$\overline{W}_1$
R_1
$\beta-\varphi$
$\varphi-\psi$
δ
P_1
b
$90-\alpha-\delta-\psi$
L

1) یک مقطع را با مقیاس رسم
2) bL با زاویه $90-\alpha-\delta-\psi$ رسم (زاویه نسبت به bs)
3) bS با زاویه $\varphi-\psi$ رسم (زاویه نسبت به افق)
4) روی خطی که قبلاً W_1 را مشخص می‌کردیم حال باید $\overline{W}_1$ را باید مشخص کنیم
مثل کولمان استاتیکی است.
و از آن P_{total} بدست می‌آید.

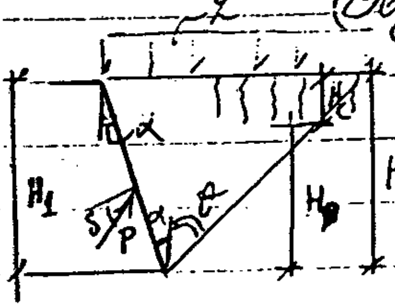
$P_{total} = P_a + \Delta P_{dyn}$ $\frac{H}{3}$ در P_a

($\frac{H}{2} \leftarrow$ IS 1893-1975، $\frac{2H}{3}$ در $\leftarrow$ Jacobsen 1951) ΔP_{dyn}

5.5 راه حل تئوری برای خاکهای دارای C, φ:

روش تصحیح شده کولمب برای خاکهای غیرچسبنده بود همین آنالیز مقدار فشار Passive را هم مشخص می‌کند لذا تحلیلهای زیری صورت گرفت:

(راه حل ترک کششی در خاک چسبنده ایجاد شده است) (با فرض افقی بودن سطح خاک)


α
H_c
H_1
δ
P
θ
H_φ
H_1

$$H_c = n(H_1 - H_c) = nH$$

53

۱۹۹

۲ دینامیک خاک

برآیند نیروها در جهت قائم /

$$\overbrace{\underbrace{\frac{1}{2}\gamma H^2(\tan\alpha+\tan\theta)}_{\text{وزن قطعه}}+\underbrace{\gamma\, n\, H^2(\tan\alpha+\tan\theta)+\frac{1}{2}\gamma n^2H^2\tan\alpha}_{\text{وزن تکه خاک}}}^{۱۷}$$

Cohesion adhesion — Surcharge Area — Earth pressure — Soil reaction

$$-CH-C'H+qH(\tan\alpha+\tan\varphi+n\tan\alpha)=P\sin(\alpha+\delta)+F\sin(\theta+\varphi) \quad (I)$$

c': چسبندگی بین خاک و دیوار

C: « « خاک

q: سربار روی خاکریز پشت

برآیند نیروها در جهت افقی /

$$CH\tan\theta+C'H\tan\alpha+(W+Q)\alpha_h=P\cos(\overset{\alpha+\delta}{\cancel{\theta+\varphi}})-F\cos(\theta+\varphi) \quad (II)$$

با ضرب طرفین (I) در $\cos(\theta+\varphi)$ و (II) در $\sin(\theta+\varphi)$ و جمع کردن I و II و حذف F و فرض $c=c'$:

حال با حل روابط فوق ضرایب سازنده زیر را تعریف می‌کنیم:

$$N_{ac})_{dyn}=\frac{\cos\beta\sec\alpha+\cos\varphi\csc\theta}{\sin(\beta+\delta)}$$

$$N_{aq})_{dyn}=\frac{[(n+1)\tan\alpha+\tan\theta][\cos(\theta+\varphi)+\alpha_h\sin(\theta+\varphi)]}{\sin(\beta+\delta)}$$

$$N_{a\gamma})_{dyn}=\frac{[(n+\frac{1}{2})(\tan\alpha+\tan\theta)+n^2\tan\alpha][\cos(\theta+\varphi)+\alpha_h\sin(\theta+\varphi)]}{\sin(\beta+\delta)}$$

$$\beta=\alpha+\theta+\varphi$$

با این تعاریف خواهیم داشت:

$$P_{dyn}=\gamma H^2(N_{a\gamma})_{dyn}+qH(N_{aq})_{dyn}-CH(N_{ac})_{dyn}$$

(F: نیروی عکس العمل گوه بخاک مجاور)

این بار اگر [illegible] به حالتی باید که [illegible] تغییر دهیم تا P_{dyn} حداکثر شود. از روابط $\alpha_h = \ldots$ [illegible] ترسیم با [illegible] روابط استاتیکی برسیم که در این حالت:

$$N_{ac})_{st} = \frac{\cos\beta \sec\alpha + \cos\phi \sec\theta}{\sin(\beta+\delta)}$$

$$N_{aq})_{st} = \frac{[(n+1)\tan\alpha + \tan\theta]\cos(\theta+\varphi)}{\sin(\beta+\delta)}$$

$$N_{a\gamma})_{st} = \frac{[(n+\frac{1}{2})(\tan\alpha + \tan\theta) + n^2\tan\alpha]\cos(\theta+\varphi)}{\sin(\beta+\delta)}$$

$$P_a = \gamma H^2 (N_{a\gamma})_{st} + qH(N_{aq})_{st} - CH(N_{ac})_{st}$$

برای حالتیکه هر دو P_a استاتیکی و دینامیکی حداکثر باشد ضرایب را بر هم تقسیم می‌کنیم، (سطح [illegible])

$$\lambda_1 = \frac{(N_{aq\,m})_{dyn}}{(N_{aq\,m})_{st}}$$

$$\lambda_2 = \frac{(N_{a\gamma\,m})_{dyn}}{(N_{a\gamma\,m})_{stat}}$$

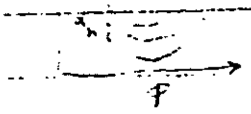
توجه کنید که $(N_{ac})_{st} = (N_{ac})_{dyn}$

اگر λ_1 و λ_2 را برای n، φ، δ های مختلف رسم کنیم خواهیم دید که آنها بسیار شبیه هم است، لذا [illegible] که فقط یک ضریب $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$ تعریف کنیم

$$\varphi, \alpha_h, \alpha \xrightarrow[\text{Fardosi}]{} \lambda$$

با داشتن λ و N_{st}، $(N)_{dyn}$ را بدست آورید.

این نمودار [illegible] نقطه اثر آنها است



α_h [illegible]

[illegible] $\frac{H}{3}$ [illegible]

[illegible] N_{ac} [illegible]

5.6 - نقطه اثر فشار خاک:

برای داشتن نقطه اثر باید توزیع فشار خاک در حالت دینامیکی را داشت که چون [illegible] با تکیه بر فرضیات [illegible]. [illegible] کلیه‌ی کارهای آزمایشگاهی صورت گرفته است. (مسائل با این [illegible] close form Solution ندارند و [illegible] با روش اجزا محدود حل می‌شوند.)

5.7 - مطالعات آزمایشگاهی:

Mononobe-Okabe و Matsuo - جعبه‌های ماسه خشک [illegible] تحت شتاب [illegible] و [illegible] شتاب روی دیوار توسط [illegible] اندازه‌گیری کردند و دیدند که ماسه [illegible] فشار خاک [illegible] می‌خواند.

- Matso - نقطه اثر فشار [illegible] و توصیه کرد که برآیند دینامیکی فشار در [illegible] ارتفاع دیوار اثر کند.
- مشخص شد [illegible] انجام [illegible] فشار [illegible] برآیند دینامیکی آن [illegible] ارتفاع بالاتری اثر کند. (Jakobsen) (احتمالاً [illegible] تحت لرزش [illegible])
- Matsuo و Ohara - دیوار [illegible] به وسیله لرزش [illegible] 0.5 [illegible] که تغییر فشار در مرکز دیوار بیشتر است. ($\frac{H}{2}$)
- Ishi ، 1960 - آزمایش با ماسه [illegible] مختلف [illegible] 0.5 sec [illegible] مساوی یا کمتر از فشار Mono [illegible] است و توزیع به صورت پارابولیک (سهمی) است.
- Murphy - مطالعه [illegible] سطح لغزش [illegible] شیب کمتری نسبت به استاتیکی دارد.

- مهم‌ترین آزمایش [illegible] قابل انعطاف 1m ، 2m ، [illegible] با [illegible] و با فواصل مختلف [illegible] شتاب [illegible] دیوار اندازه گرفتند. فشار stake [illegible] حتی [illegible] حرکت دیوار [illegible] باشد.

- خلاصه آن‌ها که بخشی که برای ما مهم است:

- دیوار انعطاف‌پذیر ، نقطه اثر فشار خاک دینامیکی: $\overbrace{(0.483-0.5465)H}^{0.55}$
- دیوار صلب " " " " " " " : $\overbrace{(0.443-0.364)H}^{0.65}$

$$\alpha = \frac{V_{max}\cdot 2\pi f\cdot 1}{g}$$

V_{max} : سرعت ماکزیمم زمین
f : [illegible]
g : شتاب ثقل

Case History :

آپارتمان‌های ... : در زلزله 1967 کاراکاس : $a_{max}=0.06g$ ساختمان‌های روی ... 70 ft ارتفاع داشت

که خاک 40 ft (12m) بود. ... به علت تنش اضافی روی دیوارها تخریب شدند

یک ساختمان آپارتمانی که در ... Mona ... نیروی زلزله‌ای ... در ارتفاع

پایه ... ضریب لرزه‌ای 0.32g ... طراحی شده بود

نیروی زلزله‌ای را ... 0.53g ...

اگر $\alpha_h=0.42g$ باشد ... تنش اضافی 90% ...

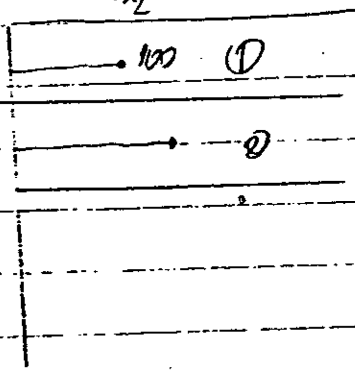
با ... نیروی زلزله‌ای در 0.45h ... تنش اضافی ... باید حدود 0.50g باشد

(execcive stress)

و نتیجه گرفتند ... نیروی زلزله‌ای ... 0.45h ... (یعنی ...)

$\lambda/2=5m$ $V_s=100$

$\lambda/2=10m$ $V_s=200$



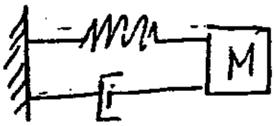
پس ما :

$$\frac{\text{ضخامت}_1 \times V_{s_1} + \text{ضخامت}_2 \times V_{s_2}}{\text{ضخامت کل}} = 200$$

بحث خاک را دو قسمت کردیم: - فشار خاک - تغییر مکان (بخش فشار را توسط [illegible] نیرو دیدیم) حالا اثر اعمال نیرو چه کار کنیم

دیدیم که اگر شتاب افقی زمین از حد [illegible] بیشتر شود، دیوار همراه زمین حرکت نمی‌کند و تغییر مکان نسبی بین دیوار و زمین بوجود می‌آید
در این حال نیومارک روش [illegible] کردند

روش جرم - فنر
دیوار را بصورت سیستم زیر مدل می‌کند: (جزئیات روش در کتاب Paraloth مطالعه شود)



M = جرم دیوار و توده خاک زیری که همراه دیوار حرکت می‌کند
میرایی = ۱۰٪ تا ۲۰٪
ضریب سختی ← جنس خاک و دیوار

yield displacement

اگر فرض کنیم حداکثر حرکت دیوار نسبت به زمین در حین حرکت $Z_y = 0.5\,cm$ باشد، نمودار Paraloth را پیدا کرده و حداکثر تغییر مکان دیوار را پیدا کرد.

- همه محاسبات در حالت دور شدن دیوار از خاک پشت است (حالت محرک)

- برای پیدا کردن تغییر مکان دیوار باید یکسری اطلاعات را داشته باشیم: (تغییر مکان نسبی دیوار نسبت به حالت اولیه)

۱- مشخصات هندسی دیوار نگهبان (ارتفاع، عرض و ... مشخص شود)
۲- پروفیل و مشخصات خاک
۳- حرکت احتمالی زمین ← تاریخچه شتاب زمین

- اطلاعاتی هم باید فرض کنیم:

۱) رابطه نیرو و تغییر مکان دیوار در حالت فعال و مقاوم (دیوار مشکل قاعده هم می‌کشد، هم خاک پشت هم قاعده دیوار)
۲) تغییر مکان گسیختگی Z_y

مراحل کار:
۱)

پریود طبیعی سیستم خاک و دیوار:

Natural period $T_n = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$

K: سختی خاک در حالت فشاری
m: جرم دیوار + ۸۰٪ جرم توده گوه پشت دیوار

2) تعداد سیکل شتاب زمین ← معمولاً بر حسب بزرگی زلزله ← تعداد سیکل
یک حرکت نامنظم را لازم را با یک تبدیل به تعداد سیکل منظم کنیم

۳) الگوی هر سیکل (منظور همان تغییر شکل پلاستیک است) که بر حسب مقدار رجوع کرد کتاب تعیین می‌شود.

(معمولاً داریم: $Z_v = 0.5$ و $Z_h = 1$ بر حسب مقصد برای 10% در برای پارامترهای مختلف حداکثر شتاب.

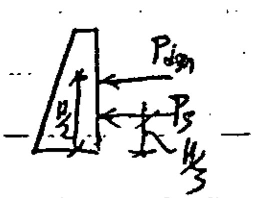
محور افقی: زمان تناوب سیال (T_n)
محور عمودی: تغییر مکان نسبت به حداکثر که سیکل ایجاد می‌کند در تعداد سیکل ضرب و تغییر مکان کل را بدست می‌آوریم

(البته این موضوع در روشها تحقیقی ارائه شده است.)

5-9- کد مهندسی و استاندارد:

در اینجا به آیین نامه بندر رجوع می‌کنیم. (تنها آیین نامه‌ای در این مورد بحث کرده)
گفته:

- ابتدا فشار خاک تحت زلزله در نقطه اثر نیروی زلزله و تغییر مکان ناشی از زلزله را پیدا کنیم. برای این منظور از همان معادله Mononobe-Okabe استفاده کنید.
در برای تعیین نقطه اثر معادله $\theta = \psi$ قرار دهد $\alpha_h = \alpha_v = \theta$ (نیروی استاتیکی) این نیروی استاتیکی از نیروی کل کم کند. نیروی استاتیکی را در یک سوم ارتفاع از پایین فرض کن و نیروی دینامیکی را در وسط ارتفاع فرض کنند.



- اگر خاک اشباع بود به خصوص اشباع در معادله 5.16 اگر دیوار خاک‌ریز غوطه‌ور در آب باشد باید تصحیحات زیر را در معادله 5.16 انجام دهیم:

$$\delta_{sub} = \delta_d/2 \qquad (1$$

$$\psi = \tan^{-1}\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat}-1}\cdot\frac{\alpha_h}{1\pm\alpha_v} \qquad (2$$

۳. هر جا وزن داریم، وزن مخصوص غوطه‌ور باید بکار رود!

4) بقیه روش تحلیل استاتیکی

* فشار نیروی دینامیکی را اگر در نظر نمی‌گیریم (چون غیرمستقیم بوده.

(آیین نامه لنسو چیزی در مورد تعیین آن نگفته)

* در طراحی دیوار نگهبان ضریب اطمینان را 1.2 می‌گیرند.

رابطه سید و ویتمان

$$K_{AE} = K_A + \frac{3}{4}\alpha_h$$

K_{AE}: ضریب فشار خاک در هنگام زلزله
K_A: « « استاتیک
α_h: شتاب افقی زلزله (نسبت به g) (ضریب زلزله)

* سری تمرین:

- مثال 5-1 کتاب Parakash با تغییرات زیر:

ارتفاع دیوار ← 8 m
$\alpha_h = 0.2$
$\alpha_v = 0.1$

- مثال 5-4، مثال 1-5-3 را با مشخصات:

$Z_y = 0.6$ cm
شتاب متوسط = 320 gal (بجای 300)

۷۸.۱.۴

پی ماشین آلات:

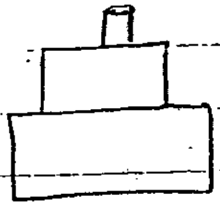
معمولاً ابعاد پی ... نسبت به وزن ماشین آلات بسیار بزرگتر است، لذا حجم نیروی وارد از جانب ماشین در مقابل نیروی استاتیکی بسیار کوچک است، نمی‌توان فشار دینامیک در نظر گرفت.
هر چند کوچک است ولی مشکل تکراری بودن بار است.
تعیین فرکانس ماشین با سیستم پی بسیار مهم است (تا فرکانس تکراری از آن دور باشد و تشدید ایجاد نشود.)

1- Reciprocating
نیروی غیرمتعادل دینامیکی، سرعت کمتر از 600 r/min و جهت طراحی پی علاوه بر آن نیروی اعمال، نیروی منظم سینوسی

2- Punching (ضربه‌ای)
سرعت معمولاً بین 60 تا 150 r/min، نیروی دینامیکی در یک فاصله زمانی کوتاه به Peak می‌رسد و بعد از بین می‌رود.

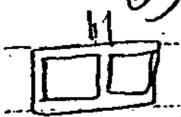
3- rotary (چرخشی)
3000 تا 10000 r/min سرعت دورانی باشد.

معمولاً در ماشین‌ها کمپرسور پی به صورت بلوک تعبیه می‌شود و ممکن است شامل پایه یا Pedestal هم باشد:

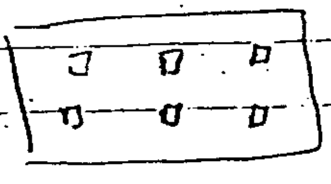


گاهی ممکن است در ماشین‌ها سطح زیرین پی کم باشد لذا لرزش در جهت افقی که در ماشین کار گذاشته‌اند طوری باشد که در جهت عکس نیروی همدیگر را خنثی کنند تا اینکه تشدید نکند.
در این حالت پی به صورت Mat

گاهی حجم پی بلوکی خیلی زیاد ... فرکانس طبیعی سیستم کم است $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{M}}$
برای اینکه سختی بالا رود و فرکانس افزایش یابد، آنها به صورت بلوک توخالی اجرا کرده تا حجم آنها کم شود.



توربین‌های بخاری طراحی پی‌ها مشکل‌تر است ... در صورتیکه پی بلوک توخالی پی انعطاف‌پذیر است. (پی متشکل از تعدادی تیر، ستون و دال)



9-2- معیار مناسب بودن کف پی ماشین آلات ،

در حالت کلی باید بررسی گردد:

1) از نظر پایداری استاتیکی: 1) باید ظرفیت باربری پی بالاتر از گسیختگی برشی با ضریب اطمینان بالا
2) نشست ایجاد شده از نشست مجاز کمتر باشد.

2) از نظر پایداری دینامیکی: 1) قطعاً [illegible] سیستم فرکانس تشدید ایجاد نشود (فرکانس کاری ماشین از فرکانس طبیعی ماشین دور باشد) (فرکانس تشدید یعنی فرکانسی است که بی‌نهایت با قسمت ارتعاشات و ...)
2) دامنه حرکت ایجاد شده کل نباید از یک حد بیشتر شود، یعنی :
دامنه حرکت ایجاد شده در سیستم فرکانس از حد دامنه مجاز نباید بیشتر شود و این محدوده مجاز بر حسب نوع ماشین توسط خود کارخانه سازنده تعیین می‌کند.
3) ارتعاش نباید برای افرادی که در محل کار می‌کنند و در ساختمان‌های اطراف مزاحمت و مشکل ایجاد کند.

- Richart در 1962 یک نمودار محدوده فرکانس بدست آورد.

9-3- روشهای آنالیز ،

کل آنالیز به دو روش تفکیک می‌شود:
1) روش براساس فنر بدون وزن الاستیک خطی
2) تئوری نیم فضای الاستیک

روش اول خاک بوسیله فنر مدل شده که برای امکان رفتار آن اعمال شده باشد. (برای اینکه [illegible] و دقتی از فرکانس تشدید داشته باشیم میرایی زیاد تاثیری ندارد)

منظور از الاستیک یعنی میرایی نداریم و تغییر شکل حاصل قابل بازگشت است. (این عدم درنظرگیری میرایی برای جهت ضریب اطمینان است)

تئوری نیم فضای الاستیک خیلی کاربردی‌تر است و مشکلش این است که روابط و معادلات خیلی پیچیده برای محاسبات دارد. لذا در چند دهه اخیر نتایج نشان داده‌اند که مدل فنر کاربرش زیاد متداول شد.

البته بعداً در دهه 60، پارامترهای این روش به روش ساده‌ای بدست آوردند. لذا از سال 60 به بعد علاوه بر این روش بیشتر شروع به استفاده کردند.

نمره: ۲ [illegible]

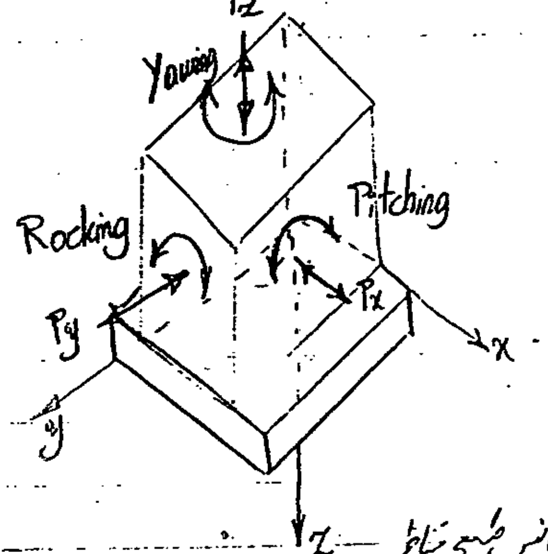
[illegible]
[illegible] پایان نامه
[illegible]

(در کتاب Boulez هم از روش [illegible] بعد [illegible] ارتعاشی [illegible] بر اساس روش نیم فضای الاستیک [illegible])

درس ما در این درس بر اساس روش [illegible] است:

9.4 - درجات آزادی یک پی بلوکی:

(پی بلوکی [illegible] زیر [illegible] است.)



1) جابجایی در محور Z
2) جابجایی در محور X
3) " " Y
4) چرخش حول محور Z
5) " " X
6) " " Y

بنابراین یک بلوک صلب ۶ درجه آزادی دارد و بالطبع ۶ فرکانس طبیعی متناظر با هر کدام دارد.

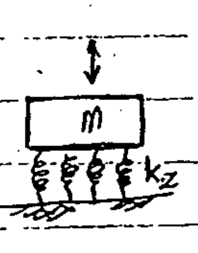
جابجایی حول محور z و چرخش حول محور z مستقل از سایر جابجایی‌ها

و جابجایی محور x و چرخش حول محور y وابسته Coupled هستند.

x " " y

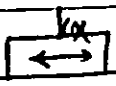
پس دو درجه آزادی مستقل و بقیه دو به دو با هم Coupled هستند.

9.5 - تعریف سختی خاک - فنر



$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_z}{m}}$$ (خاک را بدون جرم فرض کردیم پس جرم فقط جرم پی است)

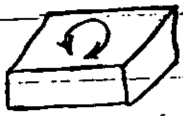
حرکت پاندولی قائم.



جابجایی افقی: $\omega_{nx} = \sqrt{\frac{k_x}{m}}$

k_φ: سختی دورانی چرخشی Rocking

$\omega_{n\varphi} = \sqrt{\frac{k_\varphi}{M_{mo}}}$ (ممان اینرسی جرم نسبت به محور گذرنده از مرکز ثقل جرم)



$\omega_{n\psi} = \sqrt{\frac{k_\psi}{M_{mz}}}$

(در این حالات فرض کردیم تنش فشاری در سطح یکنواخت و در دو حالت اخیر تنش فشاری غیریکنواخت می‌باشد.

۱) ضریب الاستیک فشار یکنواخت خاک،

$$C_u = \frac{\text{فشار یکنواخت}}{\text{نشست الاستیک}} \frac{P}{S_e}$$

$$K_z = \frac{\text{بار}}{\text{تغییر شکل الاستیک}} = \frac{P.A}{S_e}$$

C_u: ضریب الاستیک فشار یکنواخت

A: سطح بارگذاری

$$K_z = C_u . A$$

۲) ضریب الاستیک برش یکنواخت،

$$C_\tau = \frac{\text{برش یکنواخت}}{\text{تغییر مکان الاستیک}} = \frac{\tau}{S_e}$$

$$K_x = C_\tau . A$$

3 و 4) در حالات چرخشی هم می‌توان همچنین تحلیلی را ارائه داد و تعداد زیادی مسائل قابل تعریف نیست زیرا تنش غیریکنواخت است

$$C_\varphi = C_\psi$$

(عبارتی — مانند C_τ متناظر با E و G.) — (توجه کنید K_φ و K_ψ وابسته به تنش نیستند بلکه وابسته به هندسه و جرم [illegible])

برای طراحی پی ماشین آلات بر پایه Parkash توصیه شده :

$$C_u = 2C_\tau$$
$$C_\varphi = 2C_u$$
$$C_\tau = 1.5C_\psi$$

در آیین نامه هند :

$$C_u = 1.73C_\tau$$
$$C_\varphi = 2C_u = 3.46C_\tau$$

البته اخیراً در آیین نامه اروپا و آمریکا در تحلیل بار دینامیکی [illegible] شده است.

با مشخصات خاک و جدول موجود در کتاب Parkash می‌توان مقادیر C برای خاکهای مختلف مشخص کرد. و بعد با ضرب در A، k ها را بدست آورد.

6.9 - نوسان قائم یک بلوک .

بارگذاری : $P_z = P_0 \sin \Omega t$

(فرض: عمق جاگذاری پی صفر است (پی در سطح زمین است.)
چون اگر پی در داخل عمق قرار گیرد سختی خاک بیشتر است.

$$m\ddot{z} + K_z z = P_0 \sin \Omega t$$

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{C_u . A}{m}} \xrightarrow{\text{حداکثر جابجایی ایجاد شده}} A_z = \frac{P_0 \cancel{\sin \Omega t}^{\,1}}{C_u . A - m\Omega^2}$$

بعد از حل خواهیم داشت

amplification

$$A_z = \frac{P_0 \cancel{\sin \Omega t}^{\,1}}{m(\omega_{nz}^2 - \Omega^2)}$$

A_z: دامنه حداکثر جابجایی ناشی از بار دینامیکی در جهت قائم
(باید $\sin \Omega t = 1$)
Ω: فرکانس بارگذاری

چون برای تاثیر [illegible] از فرکانس طبیعی سیستم فاصله (حداقل ±20%) باید وزن [illegible] در نظر بگیریم

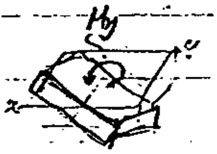
9.7 - جابجایی نوسانی:

$$m\ddot{x} + k_x \cdot x = P_0 \operatorname{Sin} \Omega t$$

$$\omega_{nx} = \sqrt{\frac{k_x}{m}} = \sqrt{\frac{C_\tau A}{m}}$$

$$A_x = \frac{P_x}{m(\omega_{nx}^2 - \Omega^2)}$$

9.8. نوسانات چرخشی (Rocking)



(درصفحه xz) $M_y = M_0 \operatorname{Sin} \Omega t$

$$M_0 \operatorname{Sin} \Omega t - C_\varphi I \varphi + WL\varphi = M_{m_0} \ddot{\varphi}$$

$$M_{m_0} \ddot{\varphi} + (C_\varphi I - WL)\varphi = M_0 \operatorname{Sin} \Omega t$$

فرض کرده معادله حرکت مستقل است و uncoupled درنظر گرفتیم.

$$\omega_{n\varphi} = \sqrt{\frac{C_\varphi I - WL}{M_{m_0}}}$$

L: طول تیر

I: ممان اینرسی حول مرکز ثقل

M_m: ، ، نقطه دوران)

W: وزن؟

(حرکت تغییر زاویه‌ای ایجاد شده) $A_\varphi = \dfrac{M_0}{M_{m_0}(\omega_{n\varphi}^2 - \Omega^2)}$

9.9. پیچش Yawing

$$M_{mz} \ddot{\psi} + C_\psi J_z \psi = M_z \operatorname{Sin} \Omega t$$

(سیستم یک درجه آزادی uncoupled است برای:)

$$\omega_{n\psi} = \sqrt{\frac{C_\psi J_z}{M_{mz}}}$$

$$\psi_{max} = \frac{M_z}{M_{mz}(\omega_{n\psi}^2 - \Omega^2)}$$

(در فصل 4 سیستم دو درجه آزادی را بطور Coupled آنالیز کرده است)

۴ [illegible]

۱) اطلاعات زیر از طرف کارخانه سازنده:

الف- دیاگرام ضربات [illegible]:

- [illegible]

- ارتفاع ماشین

- بخش لرزه — [illegible] ارتعاشات و همچنین تناوبی که این نیروها روی پی اعمال می‌کند و مقدارشان را باید کارخانه سازنده بدهد.

ب)- فاصله بین محور شفت‌های اصلی ماشین و بالای پی را بدهند.

ج) ظرفیت [illegible] ماشین

د) سرعت ماشین (اگر ماشین در حالت [illegible] شروع به کار بکند نیروی [illegible] آن را اعلام کنیم) Start [illegible] [illegible] (اصلاح [illegible])

۲) اطلاعات مربوط به خاک:

الف) پروفیل خاک تا عمق [illegible] (از عمق آن زیاد است تا آنجایی که به لایه سخت برسیم)

ب) آزمایشات آزمایشگاهی خاک برای تعیین مشخصات دینامیکی خاک (G و [illegible] —)

ج) موقعیت سطح آب زیرزمینی در مواقع مختلف سال

د) حداقل فاصله تا پی‌های [illegible] (مشخص، اطراف پی ماشین)

معیار طراحی

- سطح بالای پی [illegible] باید [illegible] بالاتر [illegible]

از [illegible] حداقل 150 [illegible] [illegible] از طرف ماشین

- عمق: [illegible] می‌باید [illegible] تا [illegible] [illegible] قرار گیرد [illegible]

[illegible] تا [illegible] [illegible]

(اصل دوم) — مرکز ثقل ترکیب مرکز ثقل ماشین و پی [illegible] باید [illegible] [illegible] باشد

خارج از مرکزیت — نباید از ۵٪ [illegible] در جهت افقی [illegible] باشد

نیروی [illegible] = خارج از مرکزیت

معیار زرین:

هرجا ممکن است تحکیم [illegible] عمل باید کمتر از [illegible] باشد.

<0.6 ~ 2>

نشست مجاز:

[illegible] 0.2mm [illegible]

[illegible]

اگر [illegible] تغییر مکان‌های مجاز را باید از 1/3 [illegible] (در تغییر مکان‌ها [illegible] ضمن تکمیل.)

تنش‌های مجاز:

اگر فقط با حالت الاستیکی

[illegible] 40٪ [illegible] 50٪ تنش‌های مجاز [illegible] کاهش داد.

اگر [illegible] (الاستیکی + پلاستیکی)

می‌توان تنش‌های [illegible] مجاز را 1/3 افزایش داد.

(در حرارت، [illegible]، Shrinkage، بار الاستیکی [illegible])

در حالت [illegible] خاک نباید از 80٪ تنش‌های مجاز زیر بار الاستیکی به تنهای تجاوز کند.

(سایر نکات در Lambert [illegible])

([illegible])

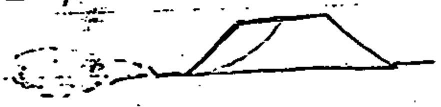
[illegible]

[illegible]

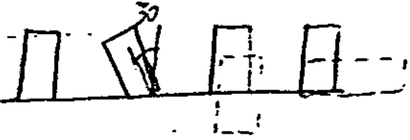
دینامیک خاک
۷۸/۱۰/۱۹

روانگرایی خاک ها : liquefaction

اولین بار این لغت بعد از حادثه سد Calveros Dam کالیفرنیا در تاریخ Apr ۱۰ 1918 استفاده شد. (Hazen 1920)
یک سد خاکی [illegible] ساخته شد بعد از آن بدون لرزه بخشی از سد در قسمت پایین دست منتقل شد. شخصی بنام Hazen آن را مطالعه کرد و برای اولین بار آن لغت روانگرایی را بکار برد. در اینجا روانگرایی در اثر بار استاتیکی رخ داده است و به دلیل اینکه پس از آن بیشتر در هنگام زلزله رخ داد از آن به بعد تصور شد این پدیده همیشه در اثر زلزله رخ می دهد.

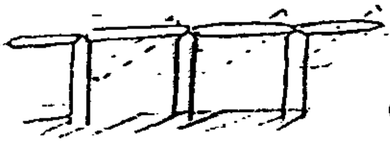


* زلزله 1964 نیگاتای ژاپن :
ساختمانها ۸-۶ طبقه بتنی [illegible]



نکته قابل توجه اینکه هیچ مشکل سازه‌ای برای ساختمانها پیش نیامده بود فقط مشکل ظرفیت باربری خاک زیر آنها بوده است.

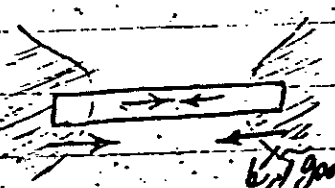
* پل Shawa Bridge :



در همان زلزله فوق، این پل در هنگام زلزله شمع‌هایش جابجا شدند و عرشه‌ها شروع به افتادن کردند و هیچ مشکل سازه‌ای وجود نداشت.

- نشانه‌های روانگرایی :
- در خیلی مواقع در هنگام روانگرایی در سطح زمین برآمدگی‌هایی با ضخامت گوناگون ۱ تا ۱.۵m می‌بینیم Sand Boil که آب به بیرون می‌رود ماسه مثل یک دهانه آتشفشانی در می‌آید (شبیه جوشش ماسه)

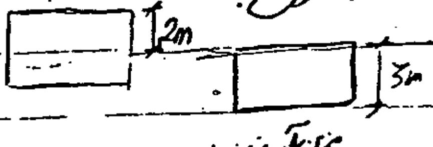
- در اثر روانگرایی، دیوارهای جانبی پلها به طرف داخل حرکت می‌کنند و چون عرشه فشار وارده را نمی‌تواند تحمل کند عرشه به سمت بالا کمانش می‌کند



15000000 $
خسارت روانگرایی در پلها در زلزله Good Friday آمریکا

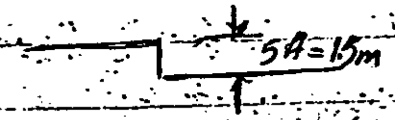
- بالا آمدن مخازن از سطح آب.

مخزن خالی بوده و در اثر روانگرایی [illegible] بوده و بالا آمده
یا بالا آمدن Manhole ها



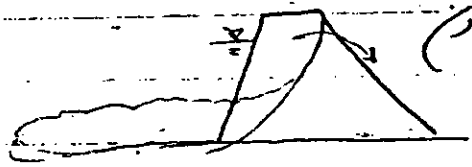
- نشست :

سطح زمین در یک محوطه 1.5m (5ft) نشست کرد



دو اتفاق به پیشرفت روانگرایی کمک کرد ← { 1- 1964 نیگاتای ژاپن ✓
2- 1971 سن فرناندو آمریکا

در سال 1969 صاحبان سد سن فرناندو آمدند سراغ متخصصین ژئوتکنیک و از [illegible] بررسی کردند گفتند اگر زلزله بیاید سد پایدار خواهد بود (Seed) ولی دو سال بعد زلزله آمد سد به صورت شکل درآمد. و خوش‌شانسی که موجب شد خسارات زیاد نشود لبه سطح آب در سد از مقدار ماکزیمم پایین بود (4 تا [illegible])



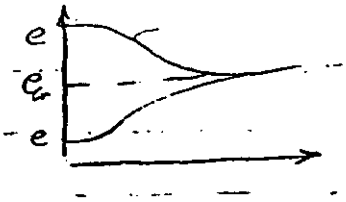
این اتفاق سرعت خوبی به تحقیقات روی روانگرایی داد و هم اکنون از پایه پتانسیل روانگرایی را به خوبی می‌توانیم تشخیص دهیم

شیوه‌های مورد استفاده دو روش کلی:

- آزمایشات درجا ← { SPT
CPT

- آزمایشات آزمایشگاهی { SSL (Steady State Line)

این پدیده به شاخص خلاء برمی‌گردد که کاسترو از اندازه آن بهره برد اگر در آزمایش برشی، نمونه سست e کاهش می‌یابد و نمونه متراکم e افزایش می‌یابد تا مقدار ثابت e_{cr})
(این شاخص خوبی است برای سست بودن خاک)



$e > e_{cr} \Rightarrow$ خاک سست

$e < e_{cr} \Rightarrow$ خاک متراکم

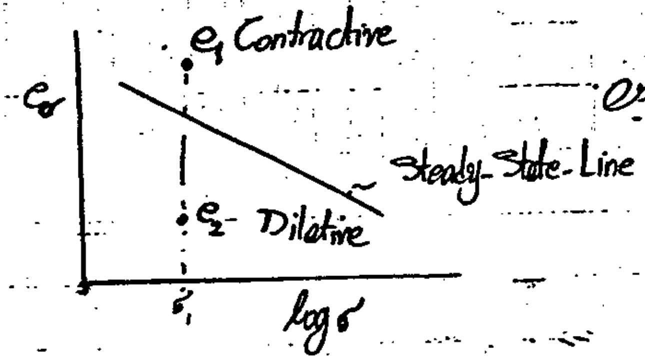
e_{cr} خودش تابع تنش همه‌جانبه است. $e_{cr} = f(\sigma)$ [illegible]

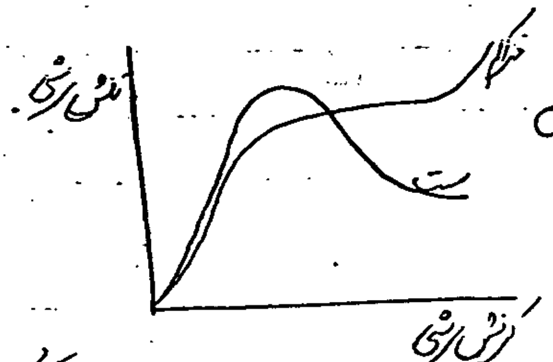
یعنی اگر یک خاک در تنش همه‌جانبه σ_1، $e < e_{cr}$ باشد متراکم باشد با تغییر تنش همه‌جانبه دیگر شاید متراکم محسوب نشود.
در یک تنش همه‌جانبه بالا مثلاً $\gamma = 1.6$ سست است در تنش همه‌جانبه پایین همان $\gamma = 1.6$ متراکم است.
بنابراین خود e یا γ به تنهایی معرف متراکم بودن خاک نیست.

۱۲/۱/۱۲

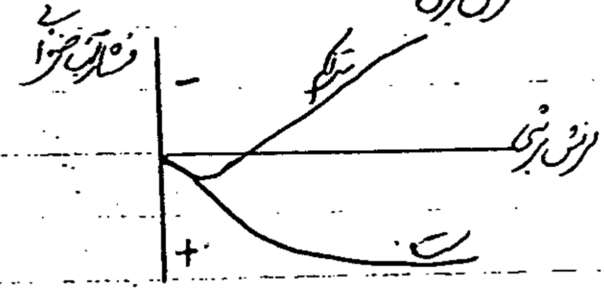
خواهیم دید که در خاکی منحنی (e-log σ) خطی خواهد بود:

اگر e_1 باشد به آن خاک سست خواهند بود.





توجه کنید چون آزمایش زهکشی نشده است، فشار آب منفذی بوجود می آید و تنش برشی بصورت روبرو تغییر می کند (نمونه ها ماسه است.)



$$\begin{cases} \tau = \bar{\sigma} \tan \phi \\ \bar{\sigma} = \sigma - u \end{cases}$$

اگر افزایش فشار آب حفره ای معادل تنش همه جانبه باشد تنش موثر = ۰ می شود، خاک مقاومت برشی اش صفر می شود (بعبارتی مثل آب بخاک عمل می کند)

همین پدیده روانگرایی بوجود می آید و تنشهای برشی در هنگام زلزله باعث افزایش u می شود و مقاومت برشی که عامل ظرفیت باربری است از بین می رود و ساختمانها (مثل [illegible]) وا می روند

شرایط ایجاد روانگرایی:

1) خاک ماسه سست اشباع
2) زلزله با شدت معین روی دهد

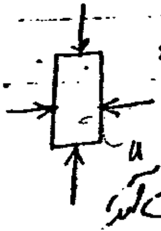
Sand Boil هم بهمین خاطر که خاک در اثر زلزله تکان می خورد و حفره ها با فشار آب فوران می کنند و ماسه ها از داخل خاک بیرون پرت می شوند
(زلزله منجیل Sand Boil p. ۱۳۶ و هم اینکه چاه‌ها خاکی خشک شد از ماسه پر شده)

— در مورد خاک متراکم اینطور است که روزنه‌ها u و مقاومت برشی بالایی دارد.

$e > e_{cr} \Rightarrow$ Contractive رفتارش منقبض شونده

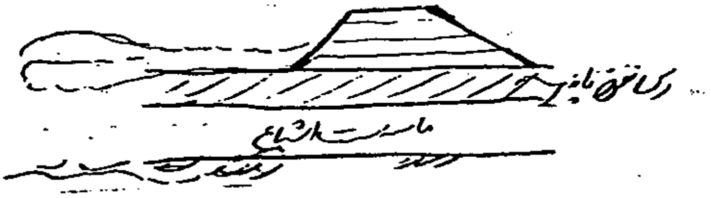
$e < e_{cr} \Rightarrow$ Dilative رفتارش منبسط شونده

— از این به بعد بجای سست و متراکم از اصطلاحات فوق استفاده می‌کنیم.
— پس همین خط مرز مستعد بودن خاک برای روانگرایی است.
— که این خط را Steady State Line گویند.
— مسئله تعیین این خط مشکل است زیرا آزمایشات سرعت بالا نشان داد که اگر ما با بارگذاری سریع نمونه اشباع را در آزمایش سه محوری گسیخته می‌کنیم و در هنگام گسیختگی u را تعیین می‌کنیم. و با این روش دو نقطه را بدست می‌آوریم.



— و این خط حاصل از نمونه دست‌خورده با خط حاصل از نمونه دست‌نخورده فرق دارد البته شیب هر دو یکسان است
— و محل آنها فرق دارد. لذا باید یک نمونه دست‌نخورده بگیریم باید آزمایش کنیم و نقطه را بدست آوریم
از آن به موازات خط حاصل از نمونه دست‌خورده رسم می‌کنیم. (که تهیه نمونه دست‌نخورده مشکل است.)
— الان در دهه 90 به بعد می‌گویند چه شرایطی باید رخ دهد تا این مقدار u ایجاد شود و آنگاه روانگرایی رخ دهد یا نه؟

در مورد سد Calaveras . مطابق شکل به علت بالا آمدن سرباره u بالا رفته و لایه ماسه روانگرا شده (مثال)
و دامنه سد ریزش کرده



آزمایشات محل:

Seed برای لایه خاک ماسه‌ای مورد بررسی، گفت رابطه زیر را در نظر می‌گیریم:

$$\frac{\tau_{ave}}{\sigma_{ave}} = 0.65\, a_{max} \cdot \gamma_d \cdot \frac{\sigma_0}{\sigma'_0}$$

یعنی با لایه مورد نظر طرف راست رابطه را پیدا می‌کنیم:

a_{max}: حداکثر شتاب سطح
σ_0: تنش کل وسط لایه
σ'_0: تنش موثر وسط لایه
γ_d: اثر عمق را در نظر می‌گیرد.

بر لایه مورد نظر N (عدد SPT) را تعیین می‌کنیم که باید آن را تصحیح کنیم:

۱) N_1 تصحیح برای عمق ثابت — $N_1=C_N \cdot N$

تنش همه‌جانبه $= 1\ ton/m^2 \Rightarrow$ ضریب $C_N=1$

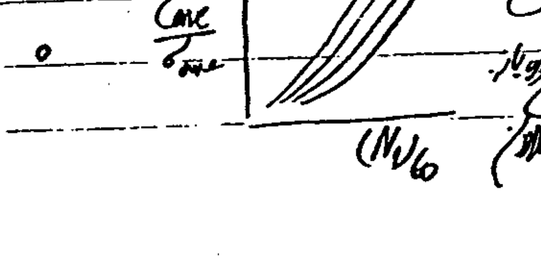
اگر تنش همه‌جانبه کمتر یا بیشتر از این مقدار باشد این N را تصحیح کنیم.

۲) برحسب نوع انرژی‌ای که وزنه اعمال می‌کند ممکن است قسمتی از انرژی صرف اصطکاک شود. Seed بررسی‌هایی کرد روی دستگاهی که ۶۰٪ انرژی آن به دستگاه ضربه‌زننده منتقل می‌شود.

$(N_1)_{60}$

اگر انرژی ۸۰٪ باشد 80 تقسیم بر 60 در N_1 ضرب می‌کنیم.

در نهایت منحنی‌هایی برحسب بزرگی زلزله داده که با آن a_{max}، $\frac{\tau_{ave}}{\sigma_{ave}}$ پیدا کرده با استفاده از نمودار روانگرایی را می‌دهد
نمودار پایین زیر.



منحنی‌های Seed براساس زلزله‌های مختلف
و ساختگاه‌های مختلف در کشورهای مختلف و
با جمع‌آوری اطلاعات زیاد در کشورهای زلزله‌خیز
جهان بدست آمده است.

نتیج:

اگر کارشناسان در جابجا شدن و [illegible] [illegible] شوند از این روش استفاده می‌کنند [illegible] را دوست کنند

بحثی که پیش می‌آید اگر حالا نمونه نیامد ولی لازم باشد، چطور؟ اگر الان اشتباه کنیم و در محاسبات منظور بکنیم ضریب اطمینان خواهد بود لذا از اطراف آن رد شده‌اند.

و SPT را که کارها دقیق نیست و تنها حسن استفاده‌اش این است که خیلی ارزان است و در دور دست‌ها و به علت سادگی در ایران همچنان استفاده می‌شود. در حال حاضر از ۱۰ الی ۱۵ سال اخیر آزمایش CPT خیلی متداول و معروف شده است، که برای اساس [illegible] قبلاً به جای N، q_c جایگزین شده است.

این بحث کلی که عرض شد مباحث تخصصی‌تر را در مرجع مربوط مطالعه کنید (در کتاب‌های اخیر [illegible] آن، تغییر شکل و فشار آب [illegible])

راه حل‌ها:

- [illegible] را [illegible] Hand، شمع [illegible] آن را باید محکم در زمین [illegible]
- یا اطراف [illegible] شمع‌های [illegible] نگذاریم.
- یا [illegible] مقاومت Peak، مقاومت Residual بگذاریم.

[illegible] در خاک‌ها و آن‌ها [illegible]