

ديناميك المنشآت

Single Degree of Freedom (SDOF) (الاستجابة الزلزالية للجمل الخطية)

Lec.05

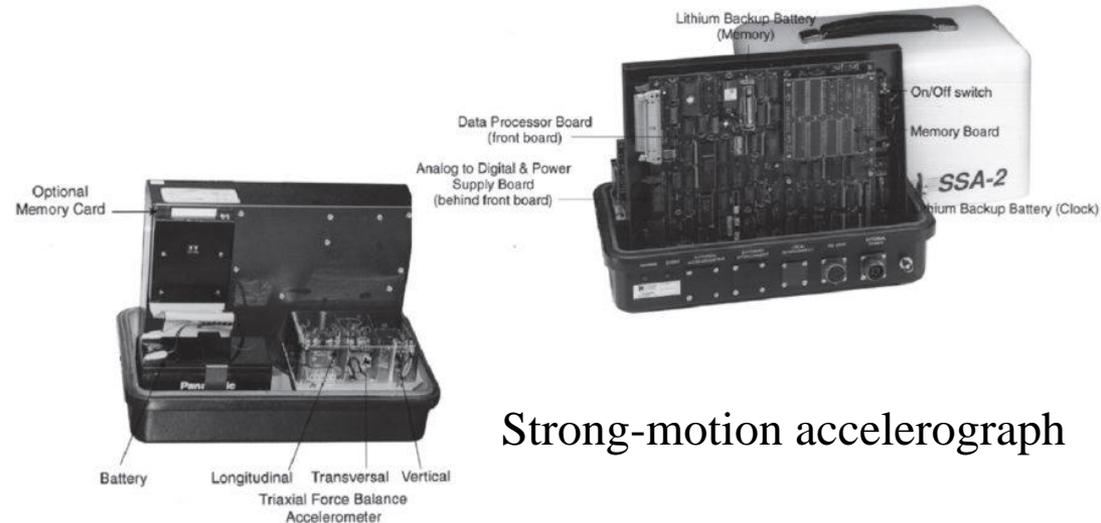
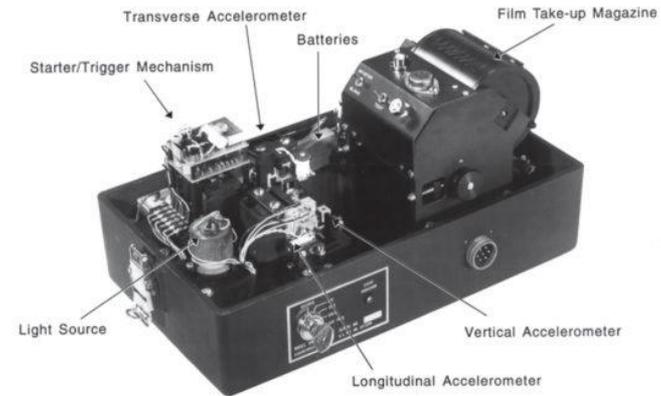
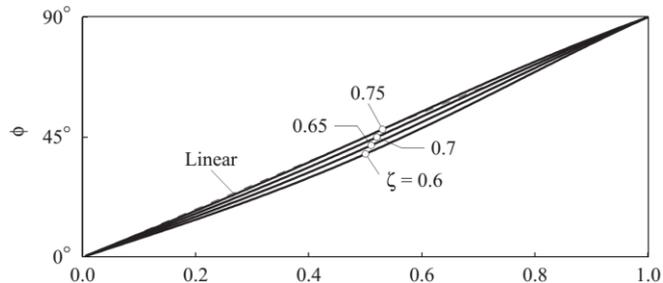
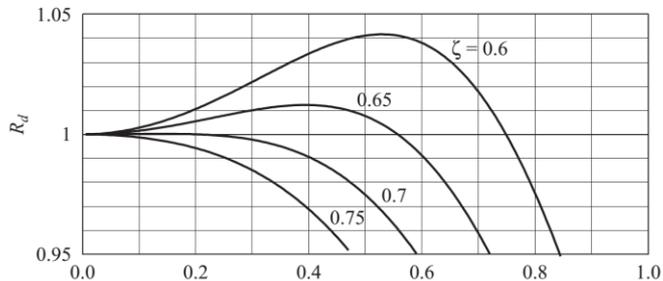
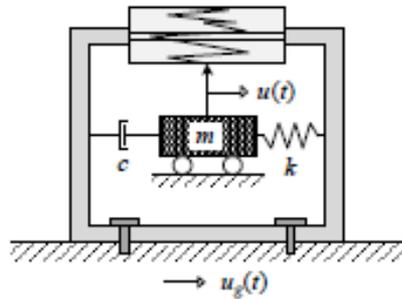
د.م. ريم الصحنوي

مقدمة:

- ✓ من أهم التطبيقات في ديناميك المنشآت هو تحليل استجابة المنشآت للهزة الأرضية الناتجة عن حدوث الزلازل.
- ✓ استجابة المنشآت تحدد من خلال التشوهات للمنشأة، القوى الداخلية في العناصر و الإجهادات.
- ✓ مفهوم طيف الإستجابة.
- ✓ الإجراءات المتبعة لتحديد ذروة الإستجابة للجمل من خلال استخدام طيف الإستجابة.
- ✓ دراسة خصائص طيف الإستجابة والتي يمكن من خلالها إيجاد الطيف التصميمي المعتمد في تصميم منشآت جديدة ومن أجل تقييم الأمان للمنشآت القائمة لمقاومة الزلازل المستقبلية.
- ✓ التمييز بين طيف الإستجابة والطيف التصميمي.

الإثارة الزلزالية:

يعتبر التابع الزمني للتسارع (تغيرات التسارع مع الزمن) من أهم المعلومات التي يمكن أن نستفيد منها لتعريف الهزة الأرضية. يتم تسجيل تابع التسارع الزمني بجهاز قياس التسارعات القوية من خلال قياس المركبات الثلاثة للحركة الأرضية.



Strong-motion accelerograph

تسجيلات لهزات أرضية قوية لزلازل مختلفة:

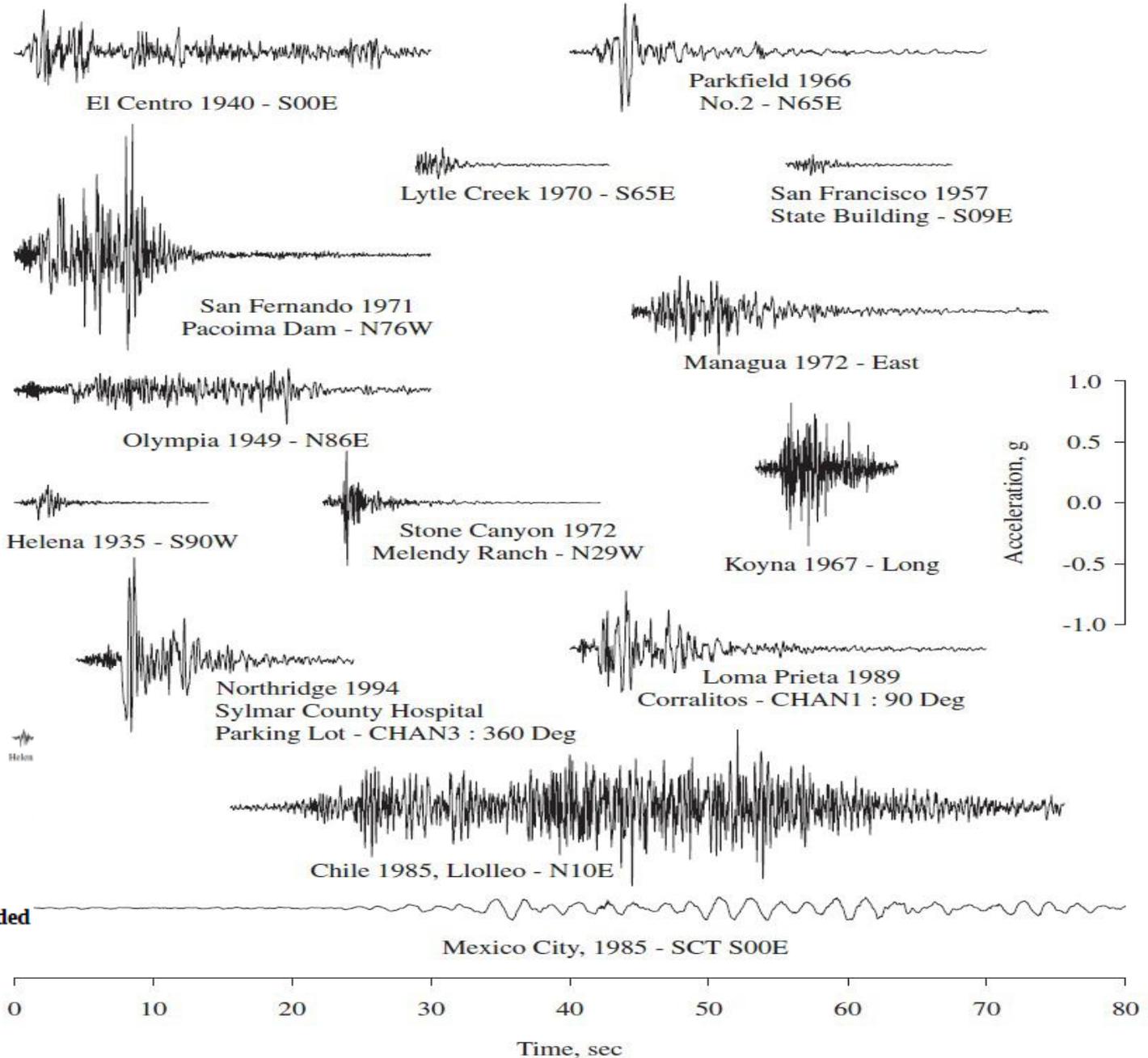
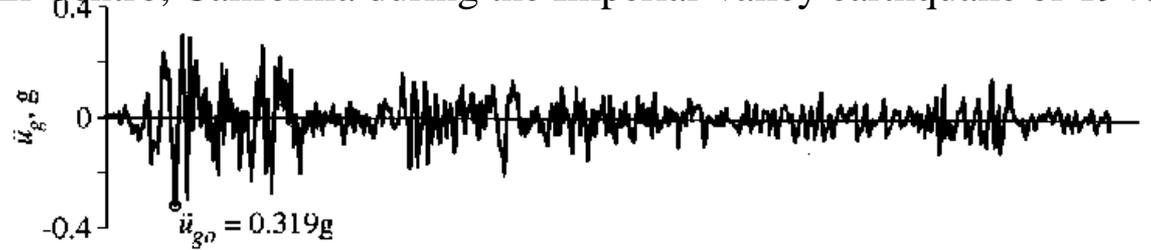


Figure : Ground motions recorded during several earthquakes.

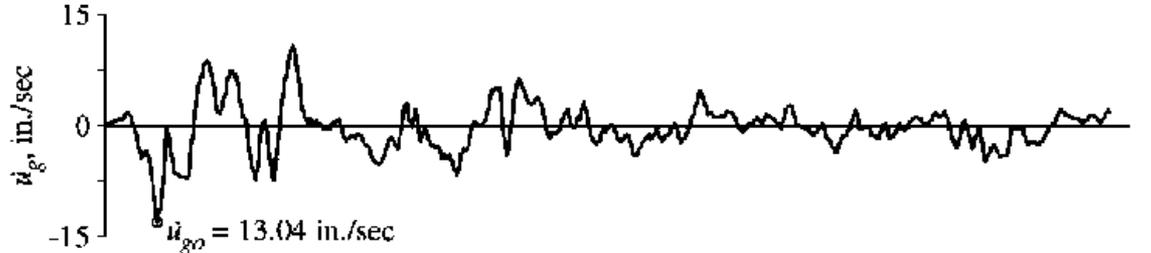
التابع الزمني المستخدم في دراستنا:

التابع الزمني للمركبة الشمالية-الجنوبية للتسارع الأفقي المسجل لزلزال السنترو عام 1940
El Centro, California during the Imperial Valley earthquake of 1940

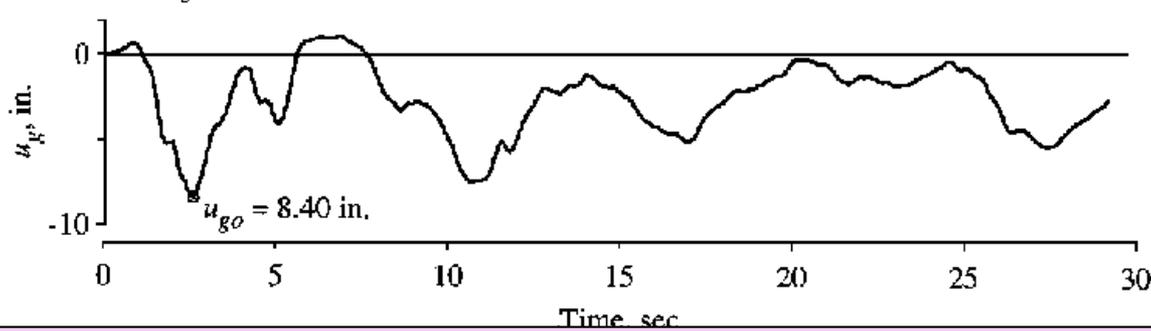
Ground acceleration, \ddot{u}_g



Ground velocity, \dot{u}_g



Ground displacement, u_g



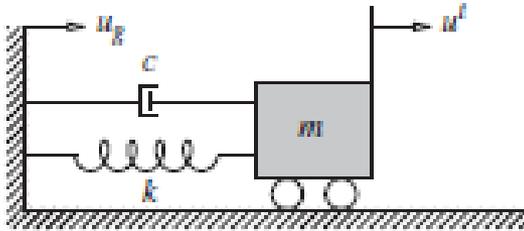
يعرف التسارع الأرضي عن طريق قيم رقمية عند لحظات زمنية منفصلة. وتكون متقاربة جداً من أجل إجراء وصف دقيق للتغير الزمني الغير منتظم للتسارع. عادة ما يتم اختيار الفاصل الزمني (Time interval) مساوياً ل $1/100$ حتى $1/50$ من الثانية. على سبيل المثال نحن بحاجة من 1500 إلى 3000 نقطة زمنية لوصف الحركة الأرضية الموضحة بالشكل أعلاه.

معادلة الحركة:

جملة خطية وحيدة درجة الحرية خاضعة لتسارع أرضي $\ddot{u}_g(t)$

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u = -\ddot{u}_g(t)$$

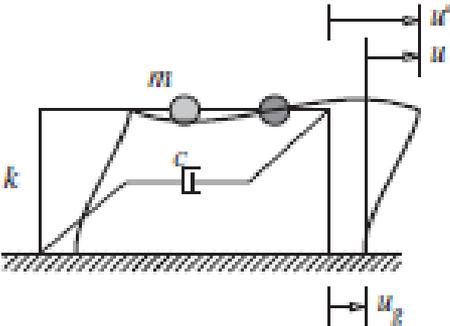
نحصل على نتائج الاستجابة عن طريق الحل الدقيق لمعادلة الحركة من أجل حركة أرضية متغيرة بشكل خطي عند كل خطوة زمنية $\Delta t=0.02\text{sec}$.



تعتمد استجابة التشوهات للجملة $u(t)$ فقط على:
التردد الطبيعي للجملة ω_n أو الدور الطبيعي T_n
نسبة التخماد ζ .

$$u \equiv u(t, T_n, \zeta).$$

ومنه يمكن القول أن أي جملتين لهما نفس القيم ل T_n و ζ سوف يكون لهما نفس استجابة التشوه $u(t)$ حتى ولو كانتا مختلفتين في الكتلة والقساوة.

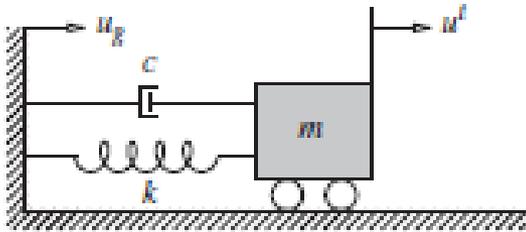


مقادير الإستجابة:

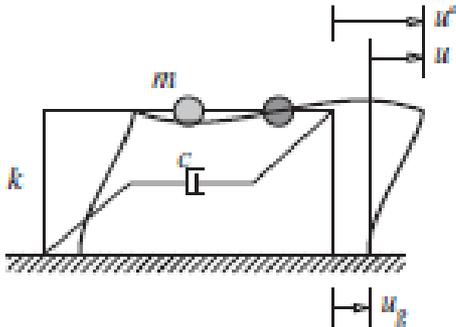
$u(t)$: تشوه الجملة أو انتقال الكتلة النسبي بالنسبة للأرض. وهي من أهم المفاهيم المهمة جداً في الهندسة الإنشائية لأن قيم القوى الداخلية مرتبطة بتشوه المنشأة بشكل خطي.

$u^t(t)$: الانتقال الكلي للكتلة. وهو مجموع انتقال الأرض والانتقال النسبي للكتلة. قيمة هذا الانتقال مهمة جداً من أجل تأمين فصل كافي بين الأبنية المتجاورة لمنع تصادمهم مع بعضهم البعض أثناء حدوث الزلازل. حيث التصادم هو السبب الرئيسي للضرر لعدة أبنية خلال جميع الزلازل على الأغلب.

$\ddot{u}^t(t)$: التسارع الكلي للكتلة. من المهم معرفة قيمة هذا التسارع في حال كانت المنشأة تحوي تجهيزات حساسة. حيث يجب تحديد الحركة المنقولة لهذه الأجهزة.



$$\ddot{u} + 2\zeta\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u = -\ddot{u}_g(t)$$



ومن خلال الحل العددي لمعادلة الحركة نستطيع إيجاد:

- المقادير النسبية $u(t)$, $\dot{u}(t)$, and $\ddot{u}(t)$
- المقادير الكلية $u^t(t)$, $\dot{u}^t(t)$ and $\ddot{u}^t(t)$.

استجابة التشوه للجملة $u(t)$ ناتجة عن تسارع أرضي $\ddot{u}_g(t)$

للهزة الأرضية الناتجة عن الزلازل.

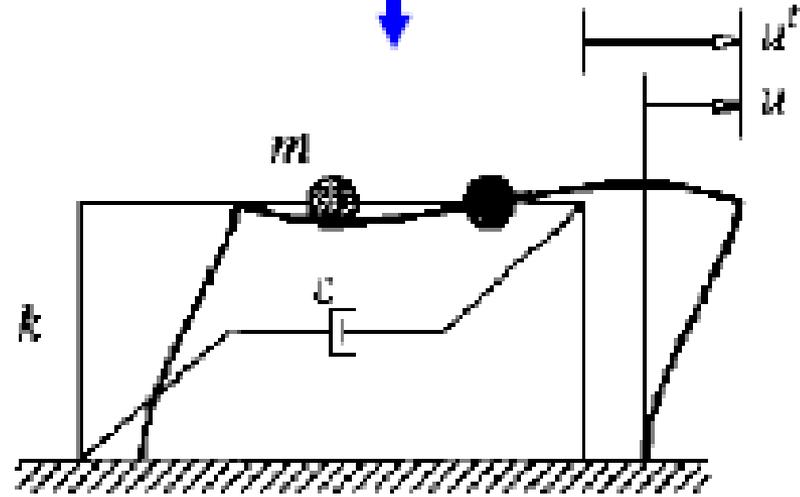
التسارع الأرضي لزلزال

El Centro, 1940,



جملة وحيدة درجة الحرية ذو

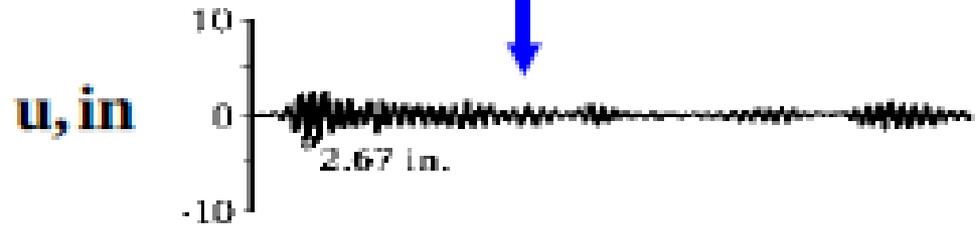
$T_n = 0.5\text{sec}, \zeta = 2\%$



$T_n = 0.5\text{sec}, \zeta = 2\%$

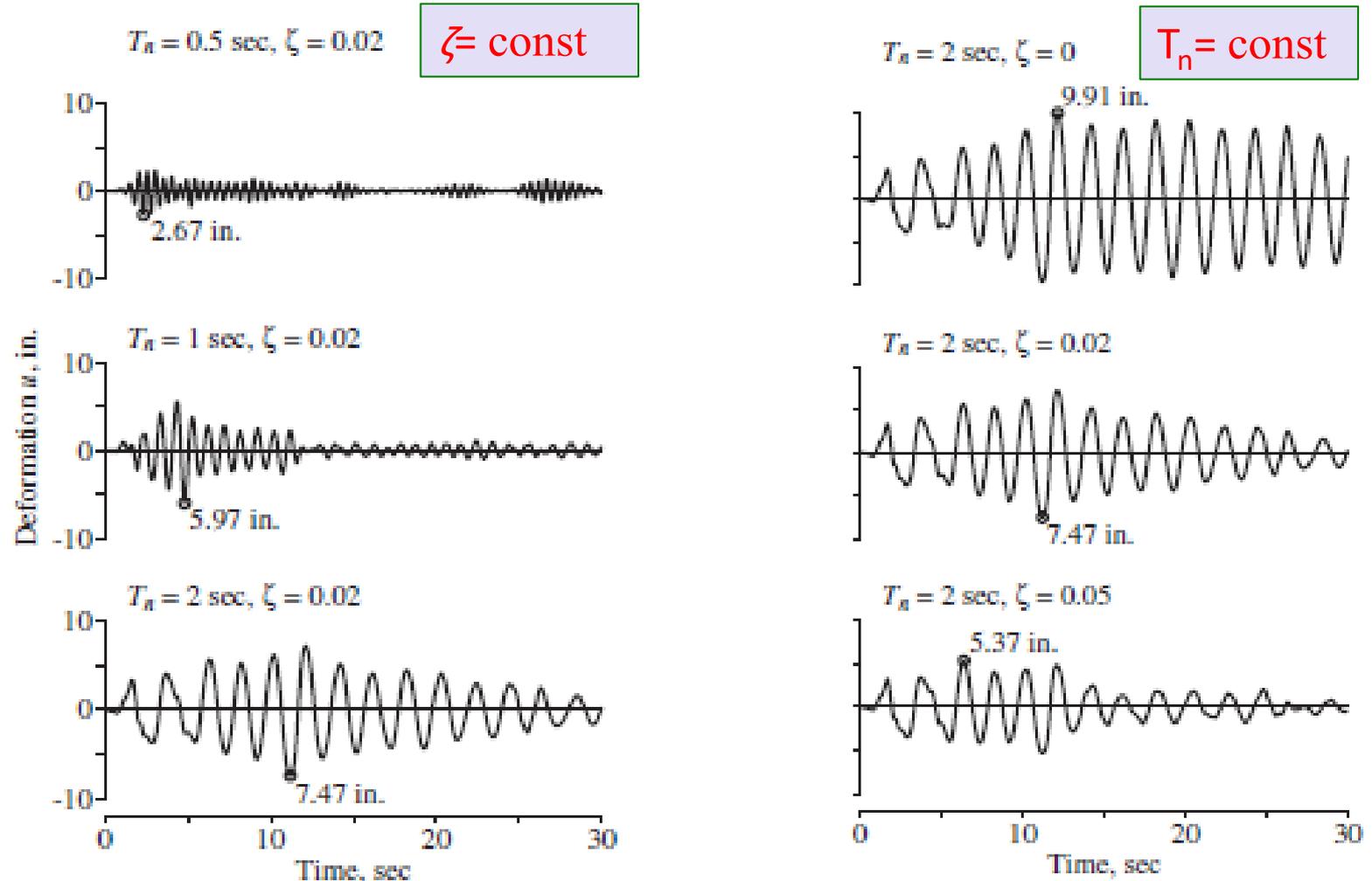
الانتقال النسبي الموافق في أعلى

جملة الاطار وحيد درجة الحرية



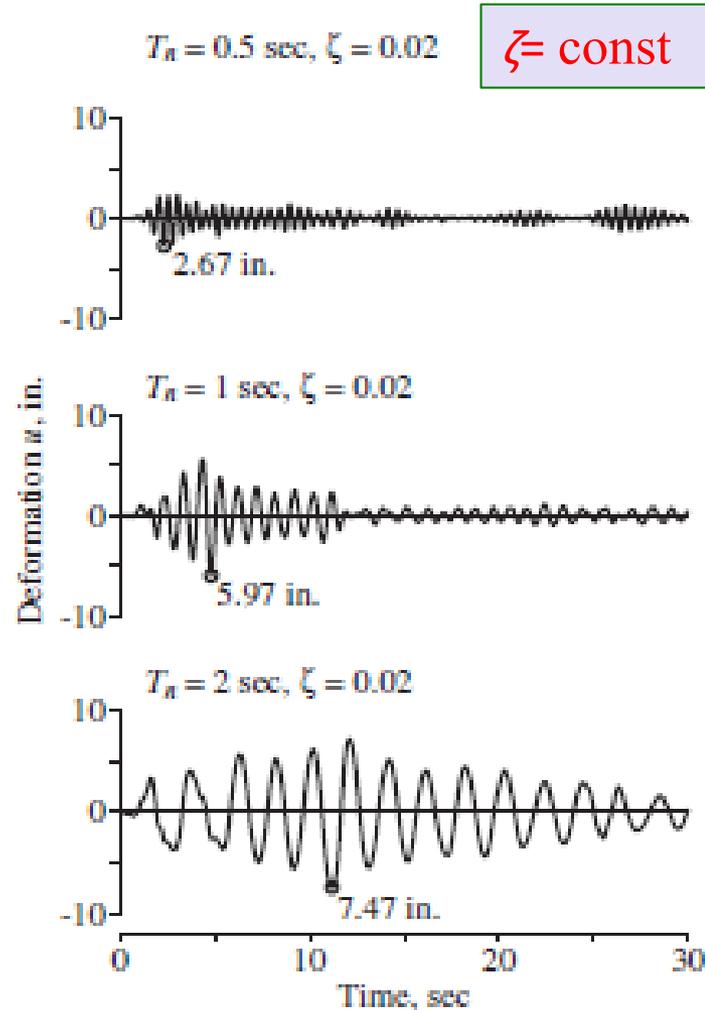
السجل الزمني للاستجابة:

مقارنة استجابة التشوه $u(t)$ لثلاث جمل مختلفة وحيدة درجة الحرية وخاضعة للتسارع الأرضي لزلزال السنترو:



السجل الزمني للاستجابة:

مقارنة استجابة التشوه $u(t)$ لثلاث جمل مختلفة وحيدة درجة الحرية وخاضعة للتسارع الأرضي لزلزال السنترو:



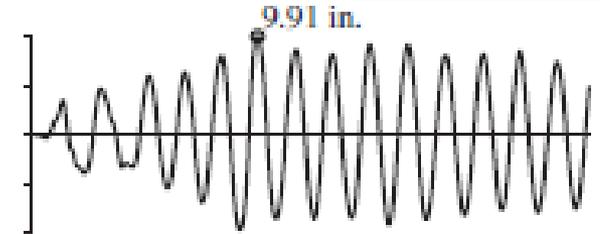
من أجل الجمل ذو نسبة التخميد الثابتة ومختلفة في الدور الطبيعي للاهتزاز: نلاحظ أنه كلما كانت قيمة تشوه الاستجابة أكبر.

السجل الزمني للاستجابة:

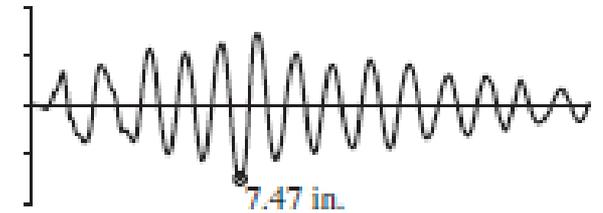
مقارنة استجابة التشوه $u(t)$ لثلاث جمل مختلفة وحيدة درجة الحرية وخاضعة للتسارع الأرضي لزلزال السنترو:

$$T_n = 2 \text{ sec}, \zeta = 0$$

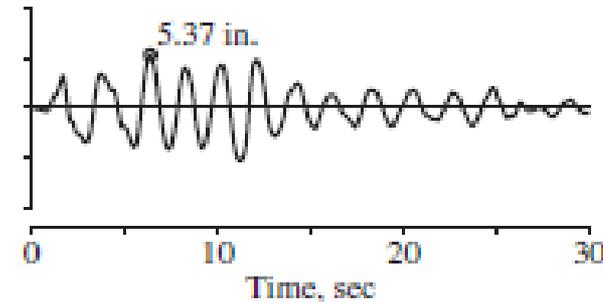
$$T_n = \text{const}$$



$$T_n = 2 \text{ sec}, \zeta = 0.02$$



$$T_n = 2 \text{ sec}, \zeta = 0.05$$



من أجل الجمل ذو الدور الطبيعي الثابت: كلما زادت نسبة التخميد كلما نقصت قيمة الاستجابة.

السجل الزمني للاستجابة:

يتم حساب التابع الزمني لاستجابة التشوه $u(t)$ بإجراء التحليل الديناميكي للمنشأ



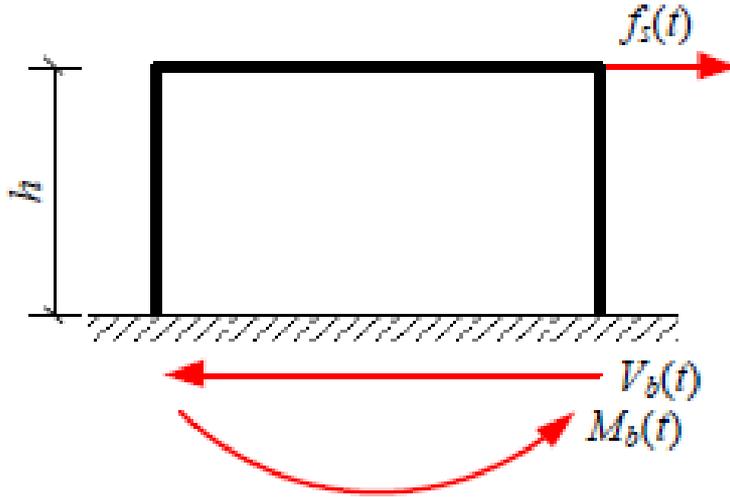
ومن ثم يمكن تحديد القوى الداخلية بإجراء تحليل ستاتيكي عند كل لحظة زمنية.

$$f_s(t) = k u(t) \quad \text{القوة الستاتيكية المكافئة:}$$

$$f_s(t) = m \omega_n^2 u(t) = mA(t)$$

$$\text{حيث: } A(t) = \omega_n^2 u(t)$$

$$A(t): \text{التسارع الكاذب.}$$



$$V_b(t) = fS(t)$$

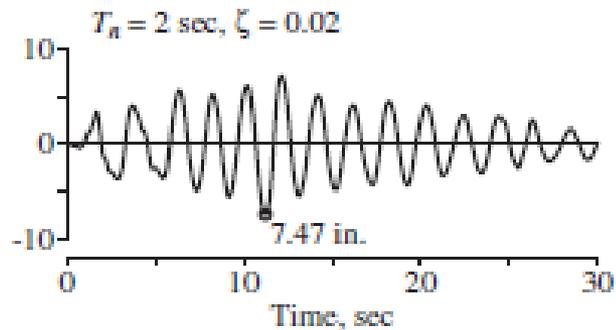
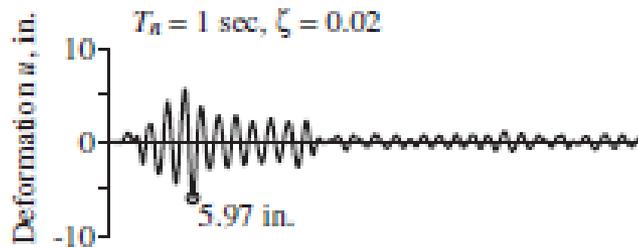
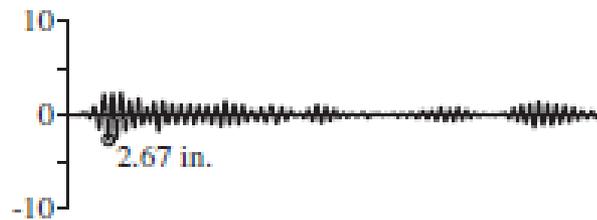
$$M_b(t) = h fS(t)$$

القوة الستاتيكية المكافئة هي الكتلة m مضروبة بالتسارع الكاذب $A(t)$ وليس الكتلة m مضروبة بالتسارع الكلي $\ddot{u}(t)$ للجملة.

$$A(t) = \omega_n^2 u(t)$$

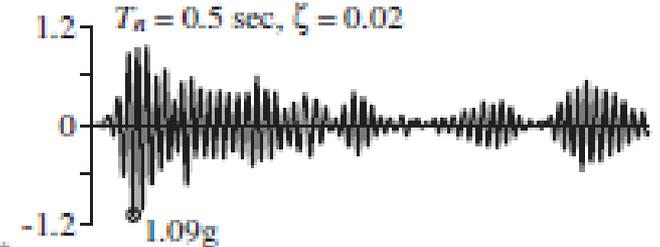
استجابة التشوه $u(t)$

$T_n = 0.5 \text{ sec}, \zeta = 0.02$

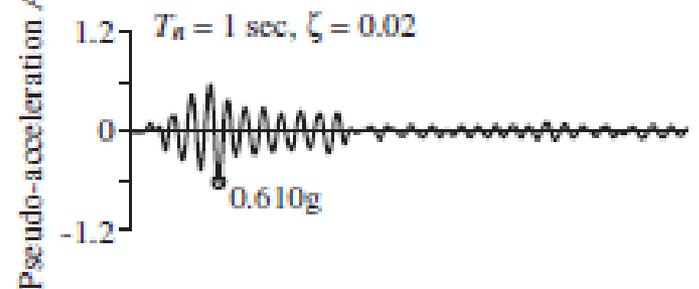


استجابة التسارع الكاذب $A(t)$

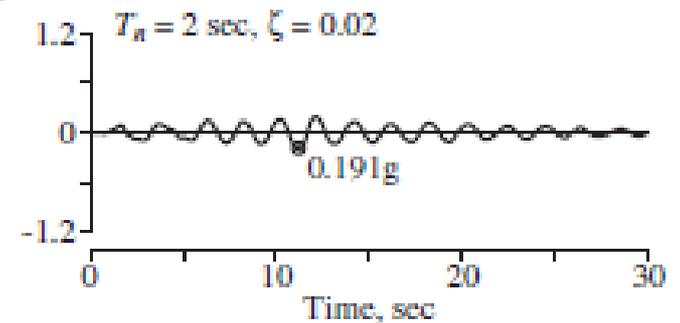
$T_n = 0.5 \text{ sec}, \zeta = 0.02$



$T_n = 1 \text{ sec}, \zeta = 0.02$



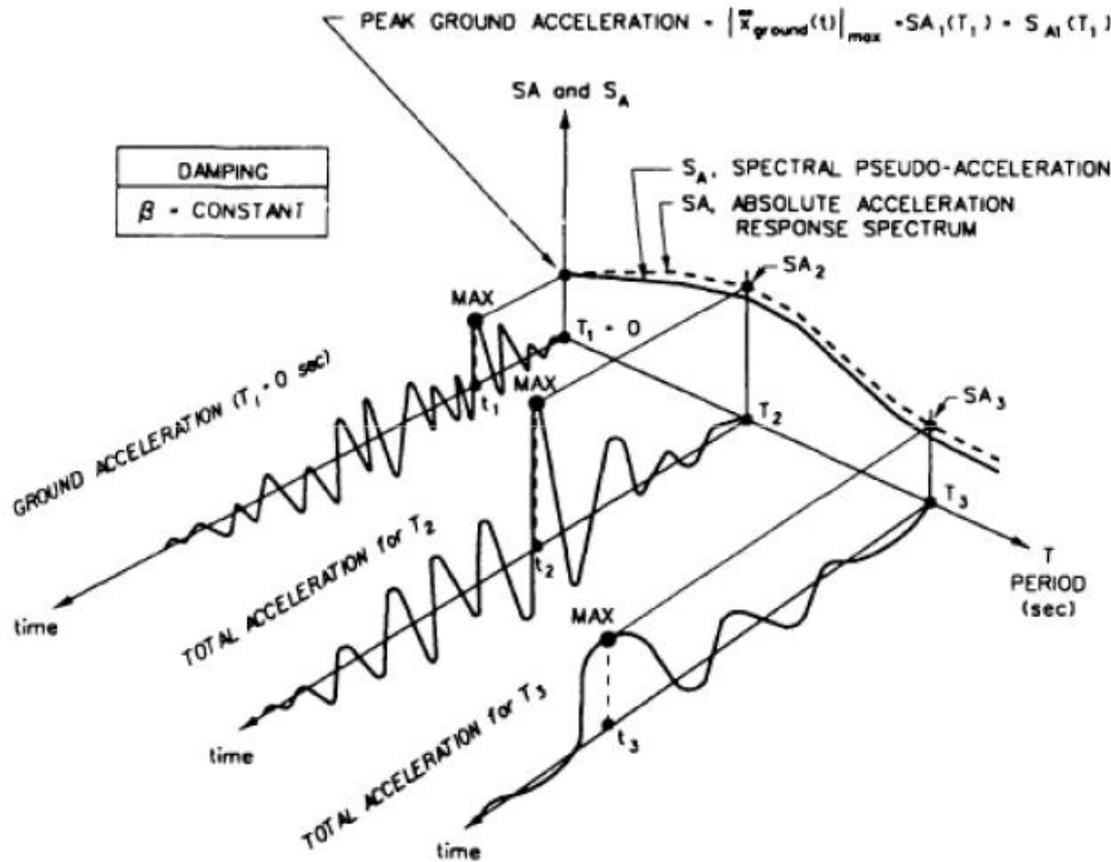
$T_n = 2 \text{ sec}, \zeta = 0.02$



مفهوم طيف الإستجابة:

يزودنا طيف الإستجابة بملخص مناسب لذرى الاستجابة لجميع الجمل وحيدة درجة الحرية الممكن أن توجد ومن أجل مركبة معينة للهزة الأرضية.

طيف الاستجابة هو مخطط يظهر علاقة بين قيم الذرى لمقادير الاستجابة كتابع للدور الطبيعي للاهتزاز T_n للجملة أو كتابع لأي معامل آخر مثل التردد الطبيعي أو التواتر الطبيعي.



كل مخطط طيف استجابة له نسبة تخامد ثابتة β .

يمكن تعريف تغيرات طيف الإستجابة بالاعتماد على كمية الاستجابة كما في المخطط. بالأخذ بعين الاعتبار استجابات الذرى التالية:

$$u_o(T_n, \xi) \equiv \max_t |u(t, T_n, \xi)|$$

$$\dot{u}_o(T_n, \xi) \equiv \max_t |\dot{u}(t, T_n, \xi)|$$

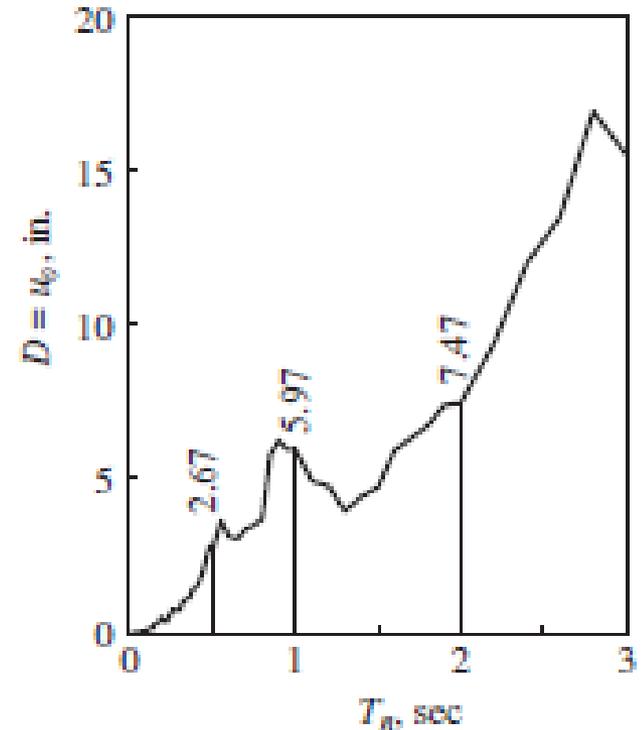
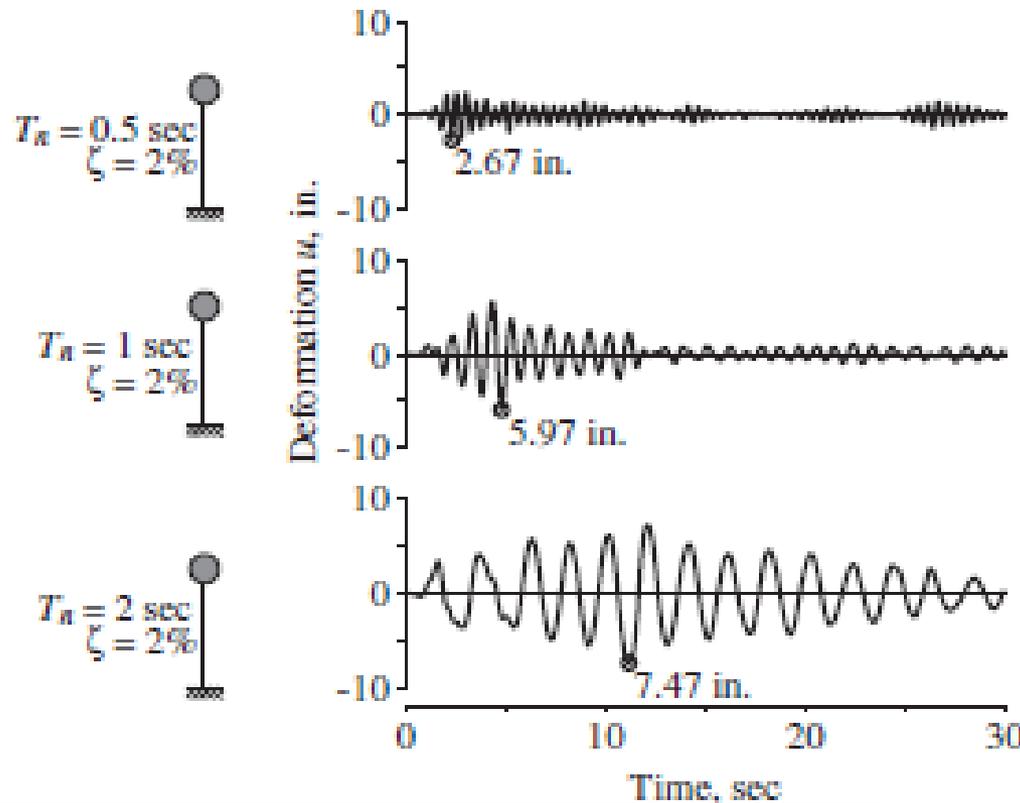
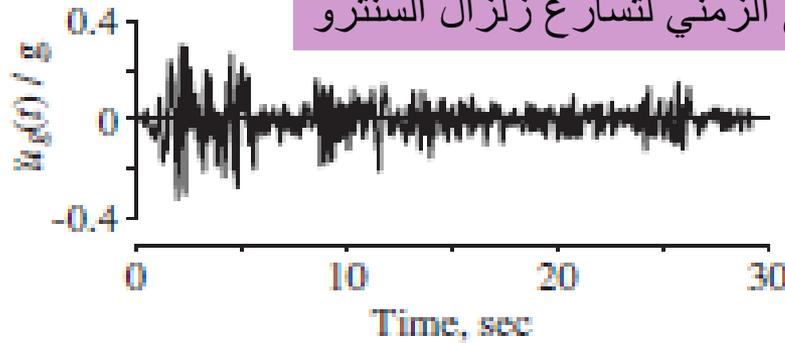
$$\ddot{u}_o^I(T_n, \xi) \equiv \max_t |\ddot{u}^I(t, T_n, \xi)|$$

طيف استجابة التشوه، السرعة الكاذبة والتسارع الكاذب

طيف استجابة التشوه:

يستخدم طيف استجابة التشوه لحساب القوى الداخلية.

التابع الزمني لتسارع زلزال السنثرو



استجابة التشوه لثلاث جمل وحيدة درجة الحرية من أجل:
 $\zeta = 2\%$ and $T_n = 0.5, 1, \text{ and } 2 \text{ sec}$;

طيف استجابة التشوه من أجل $\zeta = 2\%$

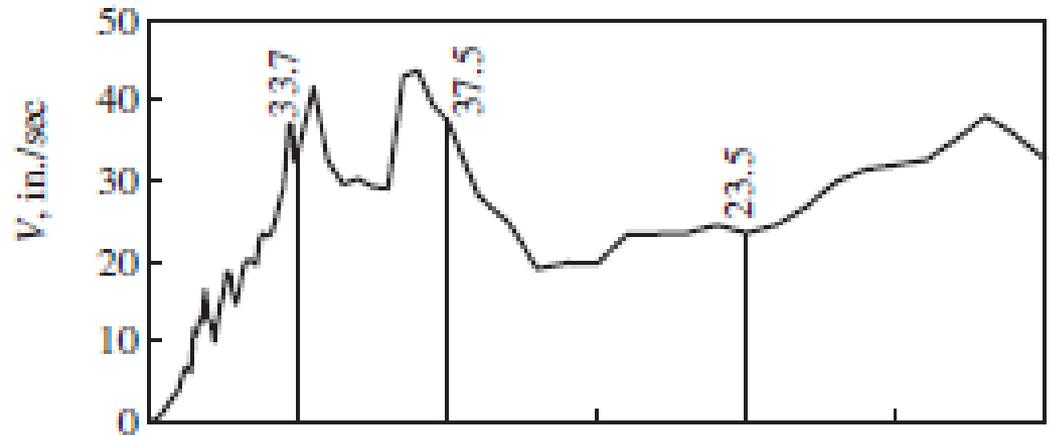
طيف استجابة التشوه، السرعة الكاذبة والتسارع الكاذب

طيف استجابة السرعة الكاذبة:

بفرض أن الكمية V لجملة وحيدة درجة الحرية ذات التردد الطبيعي ω_n تتعلق بذروة التشوه $D = u_0$ والنتج عن الحركة الأرضية.

$$V = \omega_n D = \frac{2\pi}{T_n} D$$

تدعى V بالسرعة الكاذبة ولها وحدة السرعة.



طيف استجابة التشوه، السرعة الكاذبة والتسارع الكاذب

طيف استجابة التسارع الكاذب:

بفرض أن الكمية A لجملة وحيدة درجة الحرية ذات التردد الطبيعي ω_n تتعلق بذروة التشوه $D = u_0$ والنتج عن الحركة الأرضية.

$$A = \omega_n^2 D = \left(\frac{2\pi}{T_n} \right)^2 D$$

تدعى A بالتسارع الكاذب ولها واحدة التسارع. يرتبط التسارع الكاذب بقيمة ذروة القص القاعدي V_{bo} (أو قيمة ذروة القوة الستاتيكية المكافئة f_{s0}).

$$V_{bo} = f_{s0} = mA$$

$$V_{bo} = \frac{A}{g} w$$

W : وزن المنشأة.

g : التسارع الأرضي.

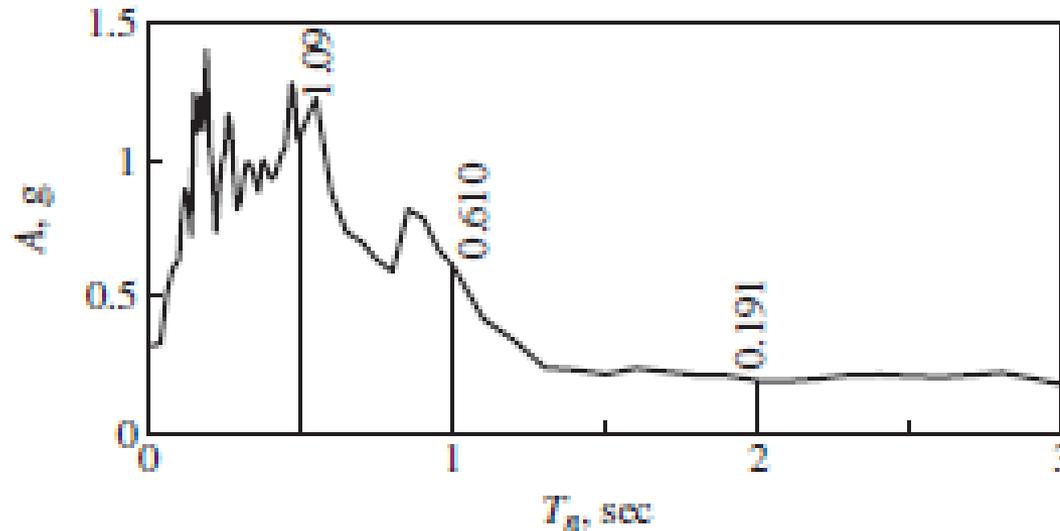
$\frac{A}{g}$: معامل القص القاعدي أو معامل القوة الجانبية

طيف استجابة التشوه، السرعة الكاذبة والتسارع الكاذب

طيف استجابة التسارع الكاذب:

A: ذروة التسارع الكاذب.

(تم استخدام كلمة الكاذب لتجنب الاختلاط بينه وبين التسارع الحقيقي u_{to}).



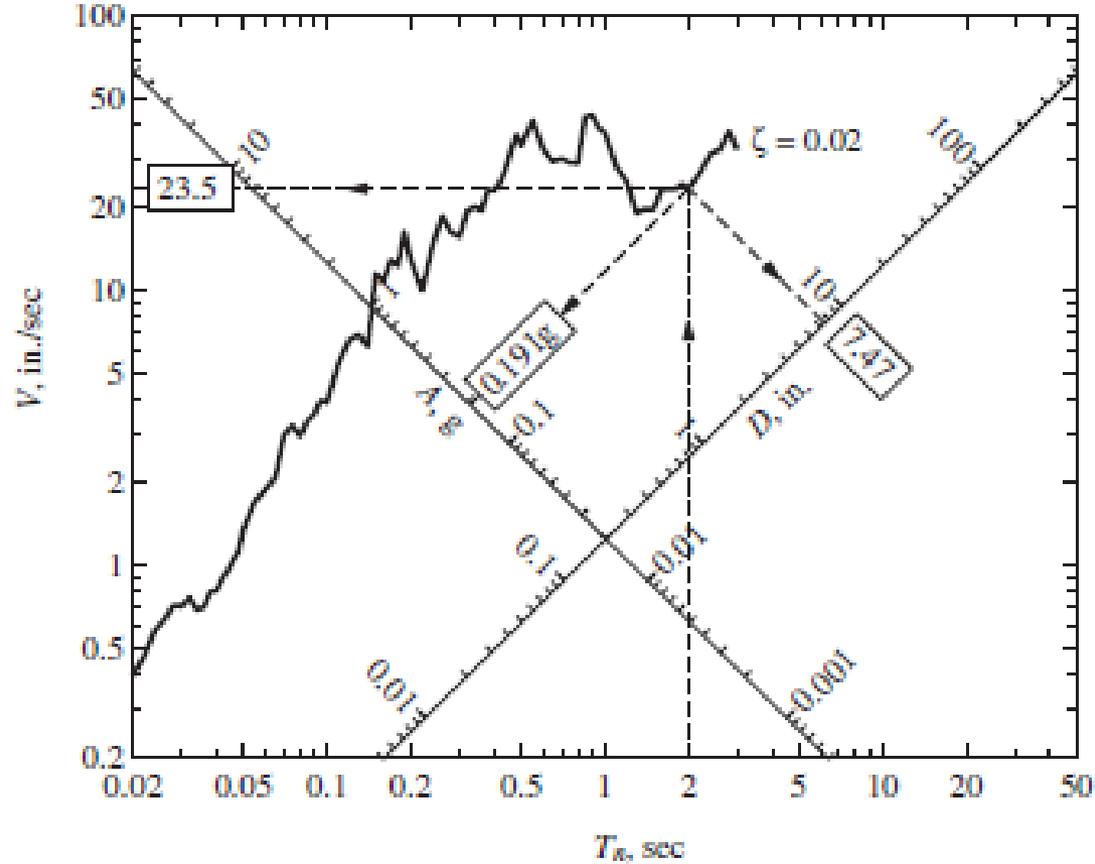
تركيب الطيف D-V-A:

$$\frac{\dot{A}}{\omega_n} = V = \omega_n D \quad \text{or} \quad \frac{T_n}{2\pi} A = V = \frac{2\pi}{T_n} D$$

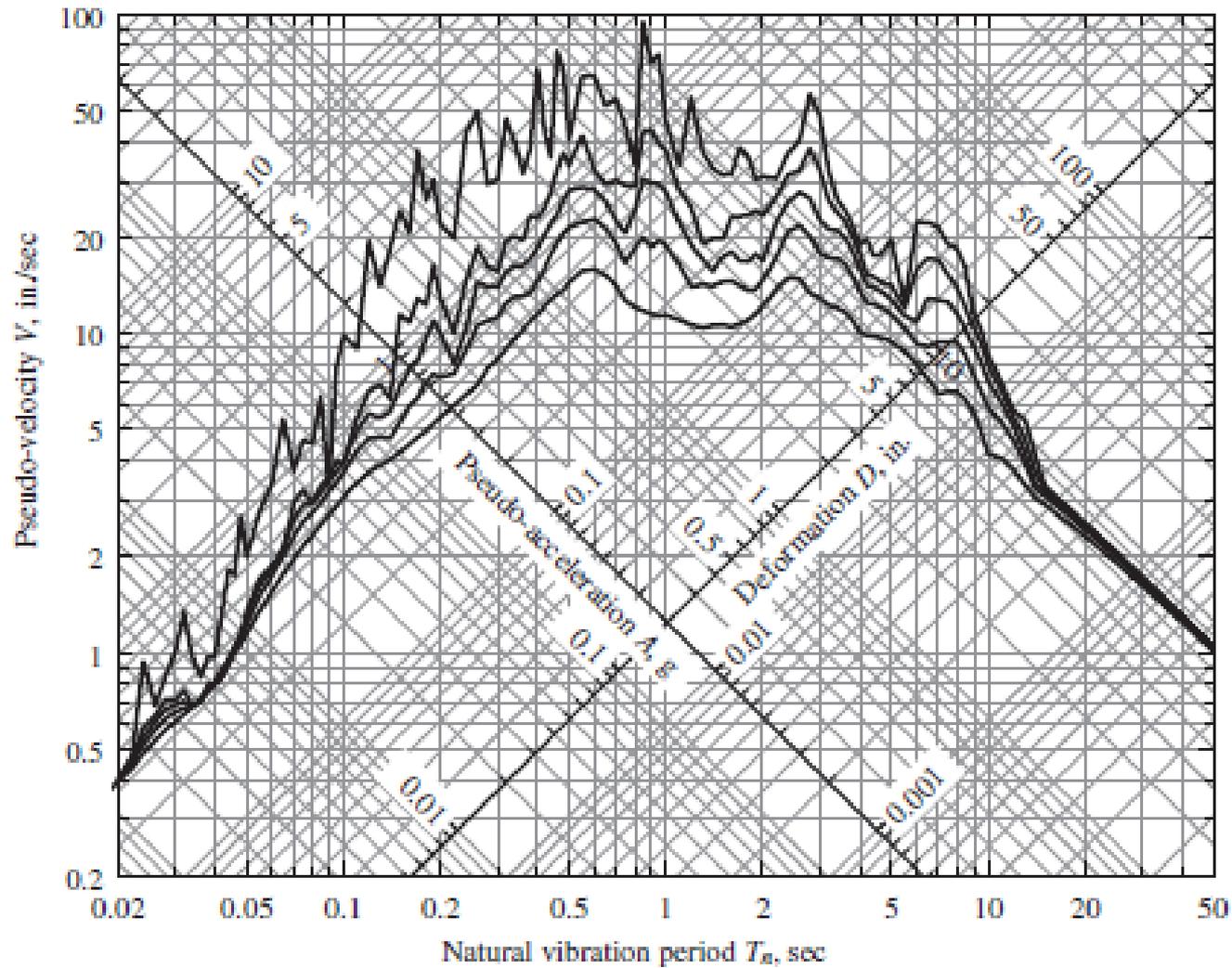
طيف التشوه: يزودنا بذروة التشوه للجملة.

طيف السرعة الكاذبة: ترتبط بشكل مباشر
بذروة طاقة التشوه المخزنة في الجملة خلال
الزلازل.

طيف التسارع الكاذب: ترتبط بشكل مباشر بقيمة
ذروة القوة الستاتيكية المكافئة والقص القاعدي.



Combined D - V - A response spectrum for El Centro ground motion; $\zeta = 2\%$.



Combined D - V - A response spectrum for El Centro ground motion; $\zeta = 0, 2, 5, 10, \text{ and } 20\%$.

ذروة الأستجابة من طيف الإستجابة:

يمكن قراءة قيم D, V or A من طيف الاستجابة بالاعتماد على قيمة الدور الطبيعي للاهتزاز ونسبة التخميد في الجملة.

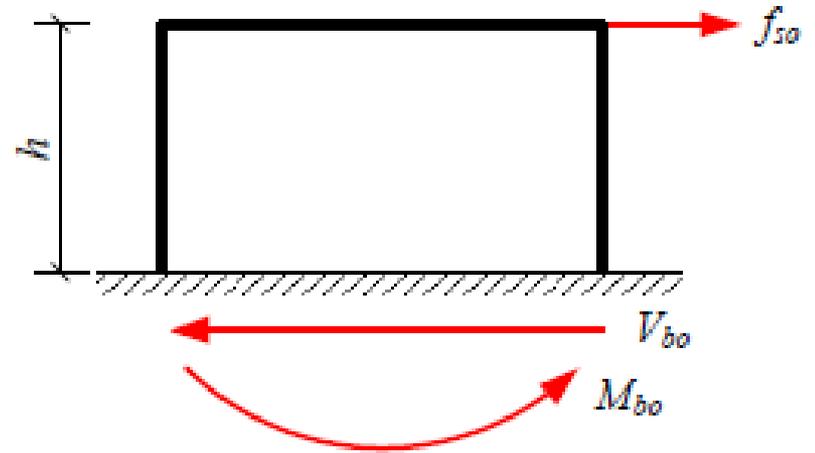
يمكن تمثيل جميع مقادير الإستجابة بدلالة $D, V, \text{ or } A$ والكتلة أو القساوة للجملة. بشكل خاص، ذروة التشوه للجملة:

$$u_o = D = \frac{T_n}{2\pi} V = \left(\frac{T_n}{2\pi} \right)^2 A$$

$$f_{so} = kD = mA$$

$$V_{bo} = kD = mA$$

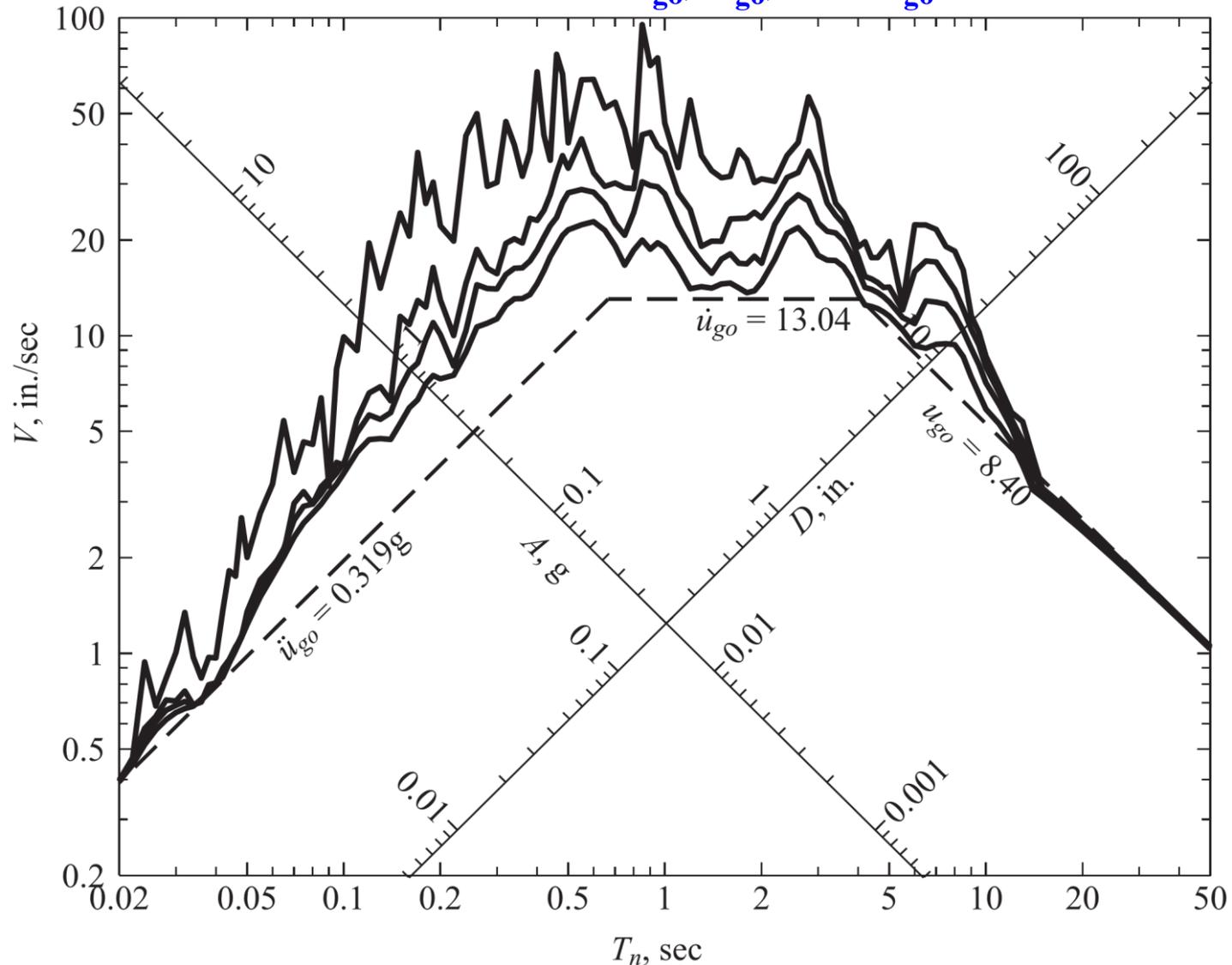
$$M_{bo} = hV_{bo}$$



نلاحظ أن أي طيف من أطيف الاستجابة (التشوه، السرعة الكاذبة، أو التسارع الكاذب) كافياً لحساب ذروة التشوهات والقوى المطلوبة في تصميم المنشأ.

خصائص طيف الإستجابة:

طيف الاستجابة لزلزال السنترو ل u_{go} , \dot{u}_{go} , and \ddot{u}_{go}

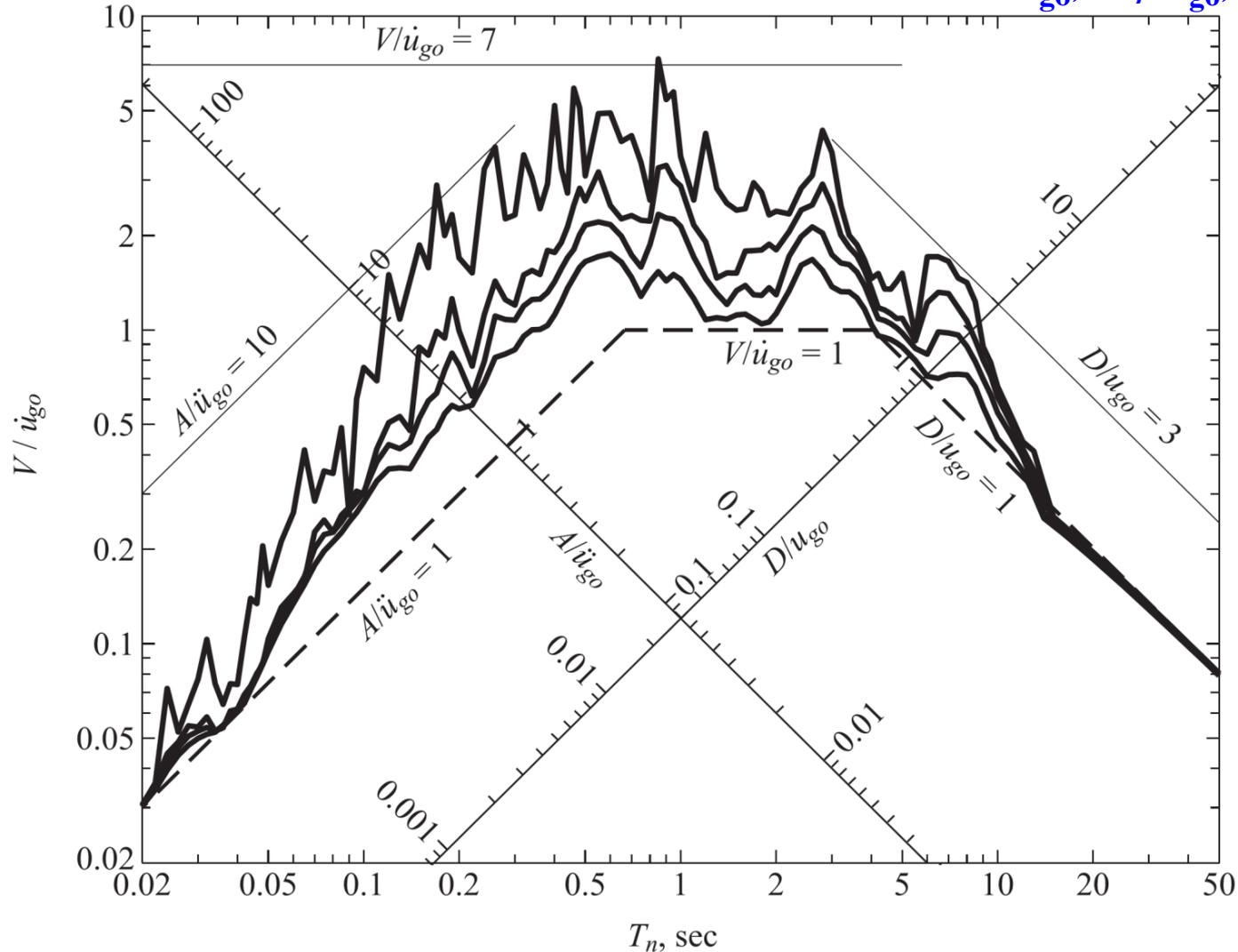


Response spectrum ($\zeta = 0, 2, 5, \text{ and } 10\%$) and peak values of ground acceleration, ground velocity, and ground displacement for El Centro ground motion

خصائص طيف الإستجابة:

العلاقة بين بارامترات طيف الاستجابة لزلزال السنترو مع بارامترات الهزة الأرضية، باستخدام التسوية:

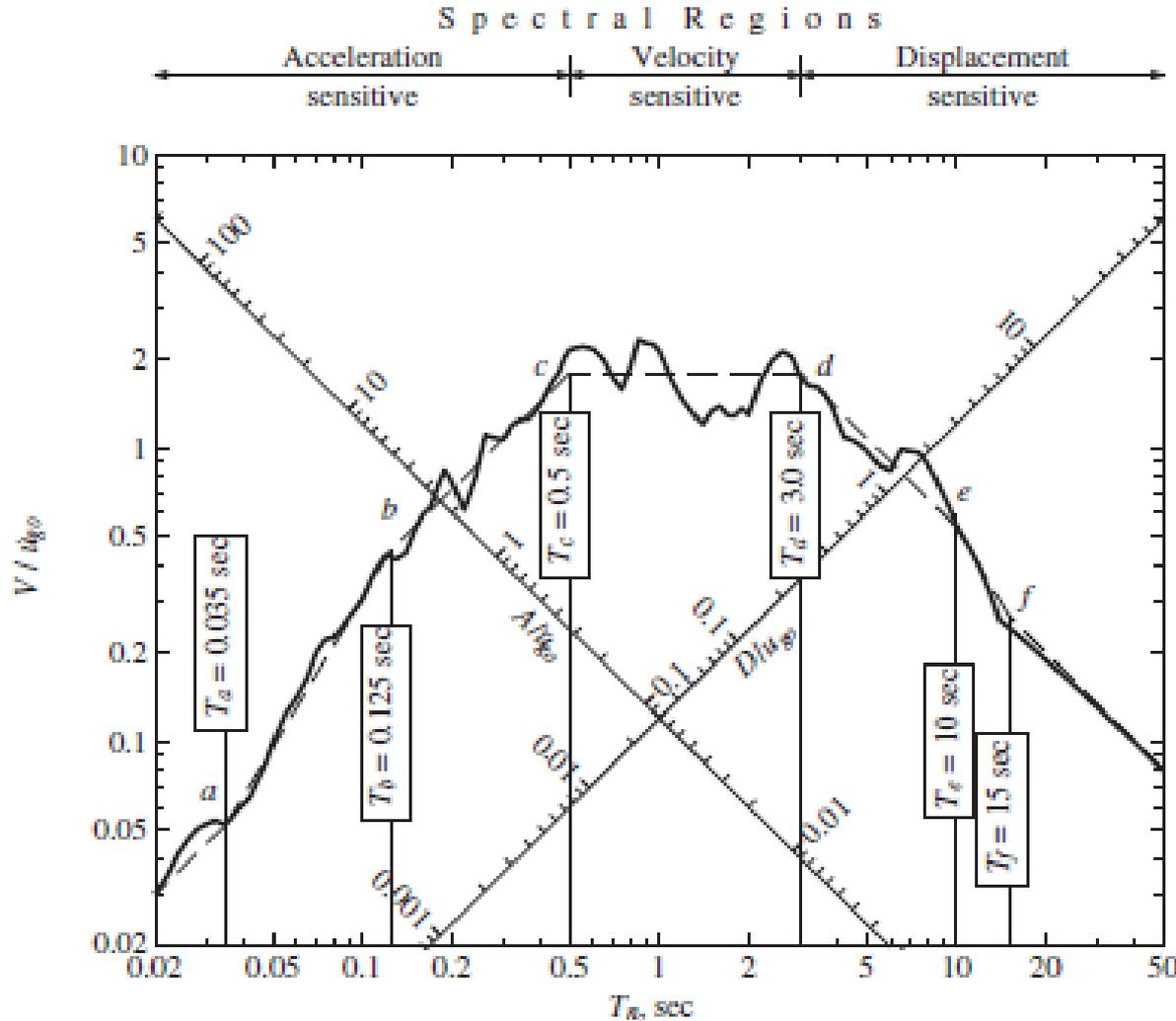
$$D/u_{go}, V/\dot{u}_{go}, \text{ and } A/\ddot{u}_{go}$$



Response spectrum for El Centro ground motion plotted with normalized scales D/u_{go} , V/\dot{u}_{go} , and A/\ddot{u}_{go} ; $\zeta = 0, 2, 5, \text{ and } 10\%$.

خصائص طيف الإستجابة:

بانشاء طيف تصميمي أملس مباشرة من بارامترات الذرى للحركة الأرضية:



يمكن تقسيم خصائص طيف الاستجابة على عدة مجالات وفق قيم الدور الطبيعي للجملة.

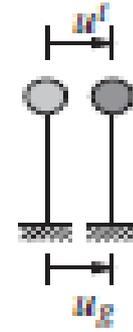
$T_a = 0.035 \text{ sec},$
 $T_b = 0.125 \text{ sec},$
 $T_c = 0.5 \text{ sec},$
 $T_d = 3.0 \text{ sec},$
 $T_e = 10 \text{ sec},$
 $T_f = 15 \text{ sec}.$

الخط المستمر هو طيف الاستجابة لزلزال السنثرو، والخط المنقط هو المخطط المثالي الأملس. من أجل $\zeta = 5\%$.

خصائص طيف الإستجابة:

من أجل الأدوار القصيرة جداً:

$$T_n < T_a = 0.035 \text{ sec}$$



• ذروة A و \ddot{u}_{go} متقاربتين.

• D صغيرة جداً.

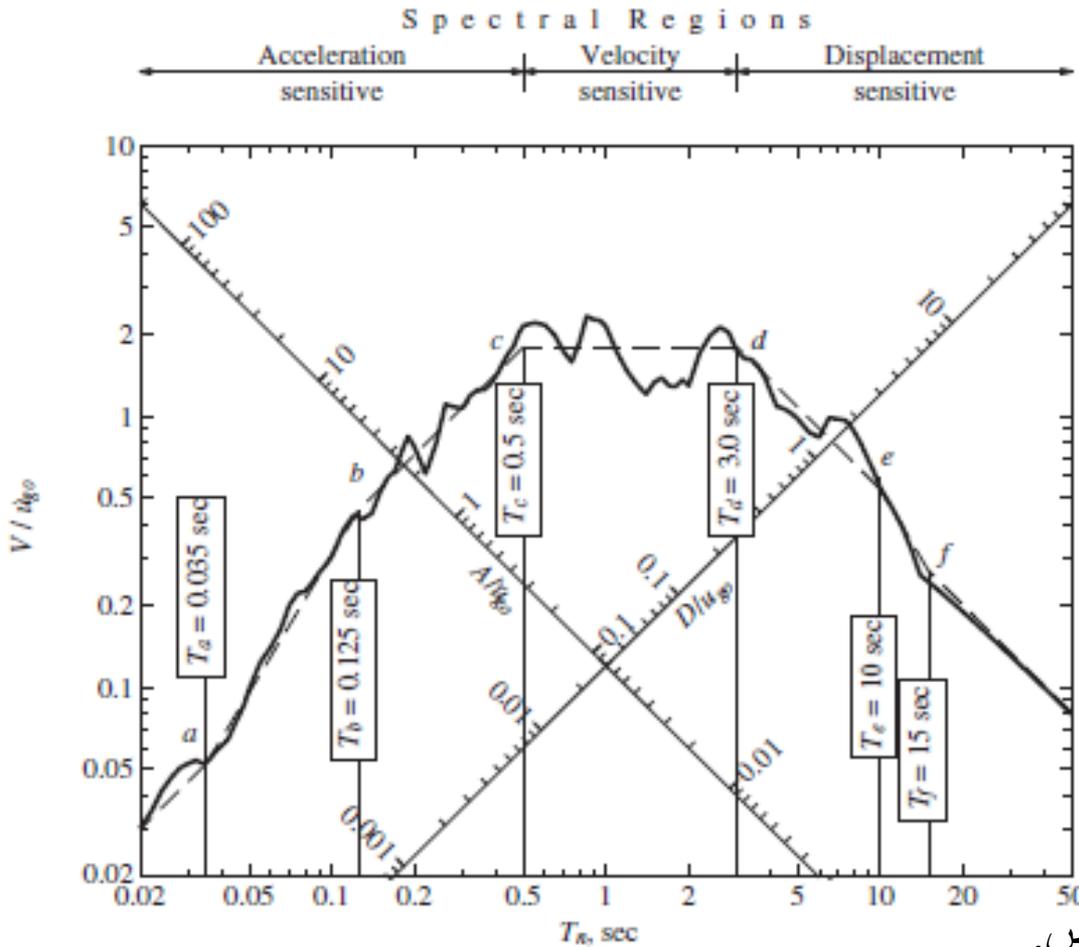
من أجل كتلة ثابتة، تكون الجمل ذات الدور القصير جداً صلبة جداً (صلدة).

من المتوقع في هذه الحالة أن تكون قيم الانتقالات

صغيرة وبالتالي الكتلة تنتقل بشكل صلد مع الأرض.

ذروة التسارع تكون مساوية تقريباً إلى التسارع

الأرضي \ddot{u}_{go} .



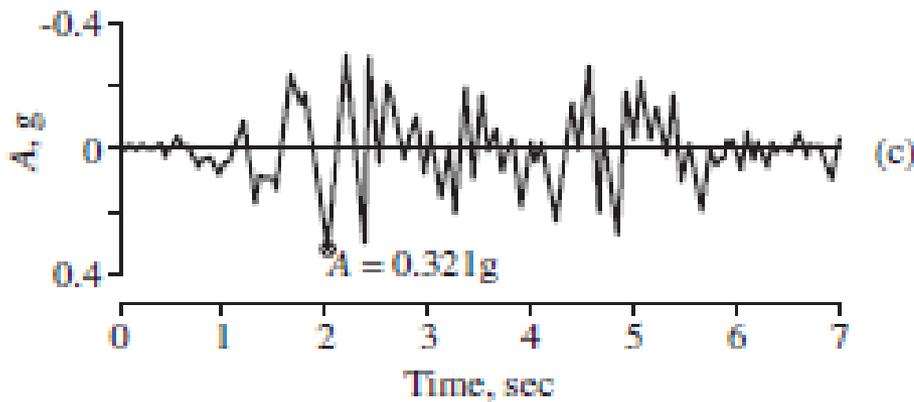
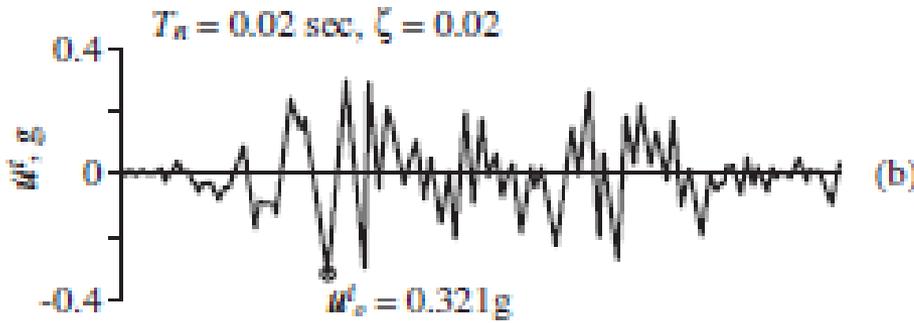
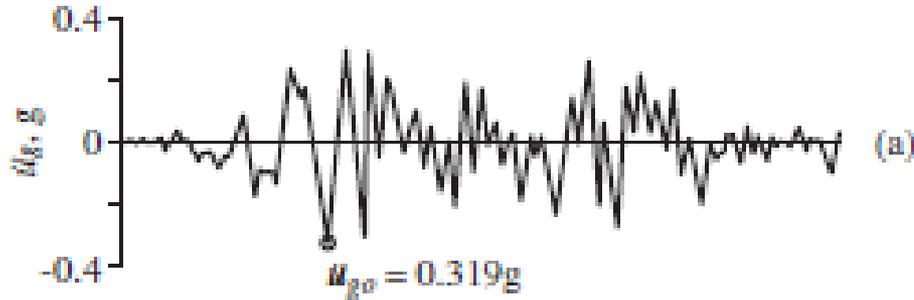
خصائص طيف الإستجابة:

من أجل الأدوار القصيرة جداً:

$$T_n < T_a = 0.035 \text{ sec}$$

ذروة التسارع تكون مساوية تقريباً إلى التسارع

الأرضي \ddot{u}_{go} .



a. التسارع الأرضي لزلزال السنترو.

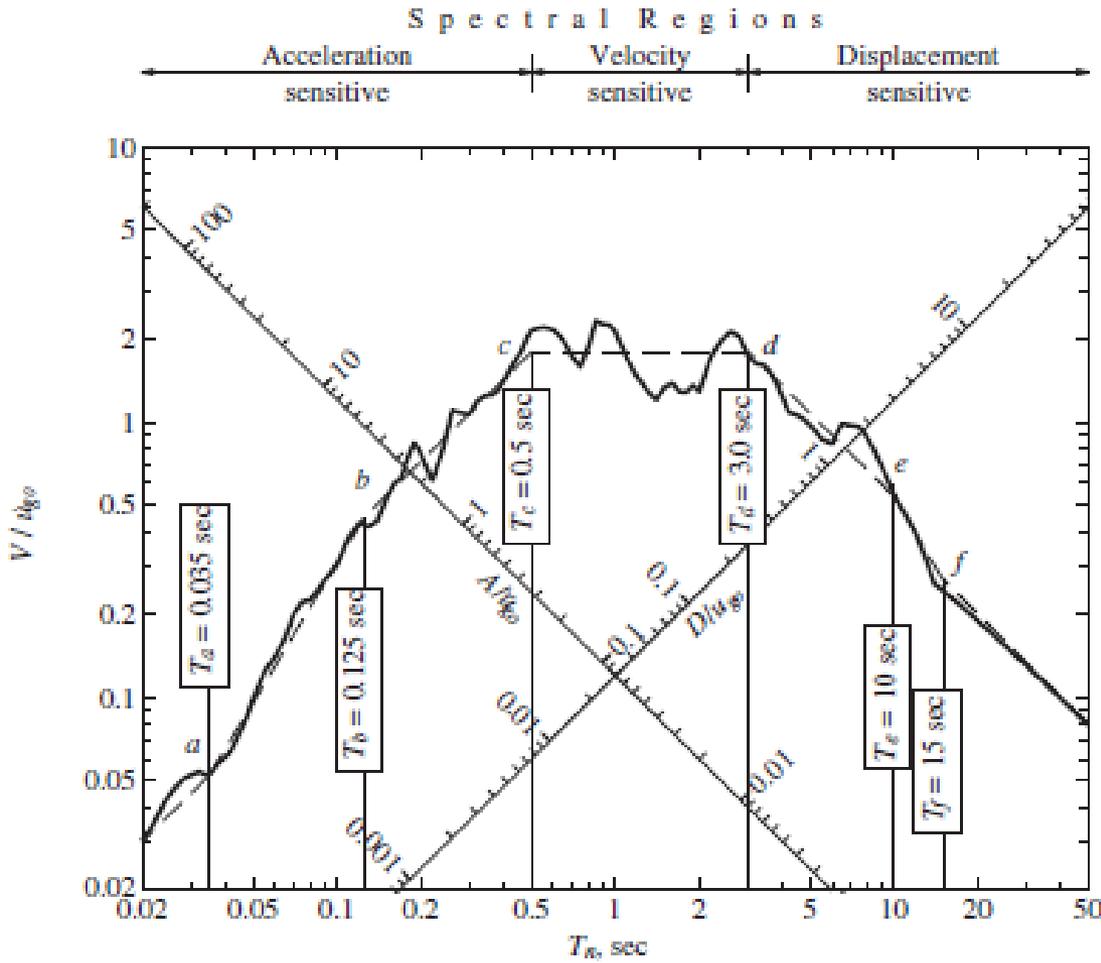
b. استجابة التسارع الكلي لجملة وحيدة درجة

الحرية ذات $T_n = 0.02 \text{ sec}$ and $\zeta = 2\%$.

c. استجابة التسارع الكاذب لنفس الجملة.

خصائص طيف الإستجابة:

من أجل الأدوار الطويلة جداً:
 $T_n > T_f = 15 \text{ sec}$



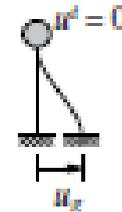
من أجل أي قيمة للتخامد، قيمة D و u_{go} متقاربتين.

A صغيرة جداً، وبالتالي القوى في المنشأ والتي ترتبط بالمقدار mA تكون صغيرة جداً.

مثلاً: من أجل كتلة ثابتة، تكون الجمل ذات الدور الطويل جداً مرنة جداً.

وبالتالي تبقى الكتلة ثابتة لا تتحرك

بينمت الأرض تحتها تهتز.



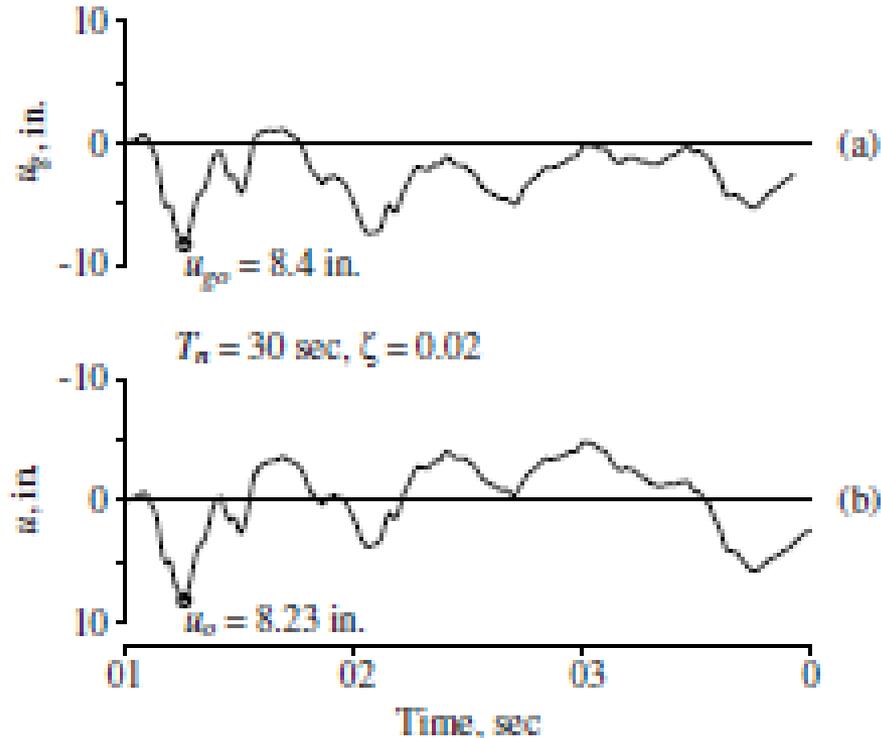
خصائص طيف الإستجابة:

من أجل الأدوار الطويلة جداً:

$$T_n > T_f = 15 \text{ sec}$$

$\ddot{u}_t(t) = 0$ ، يؤدي إلى أن $A(t)=0$; and $u(t) = -u_g(t)$ ، ومنه $D=u_{g0}$.

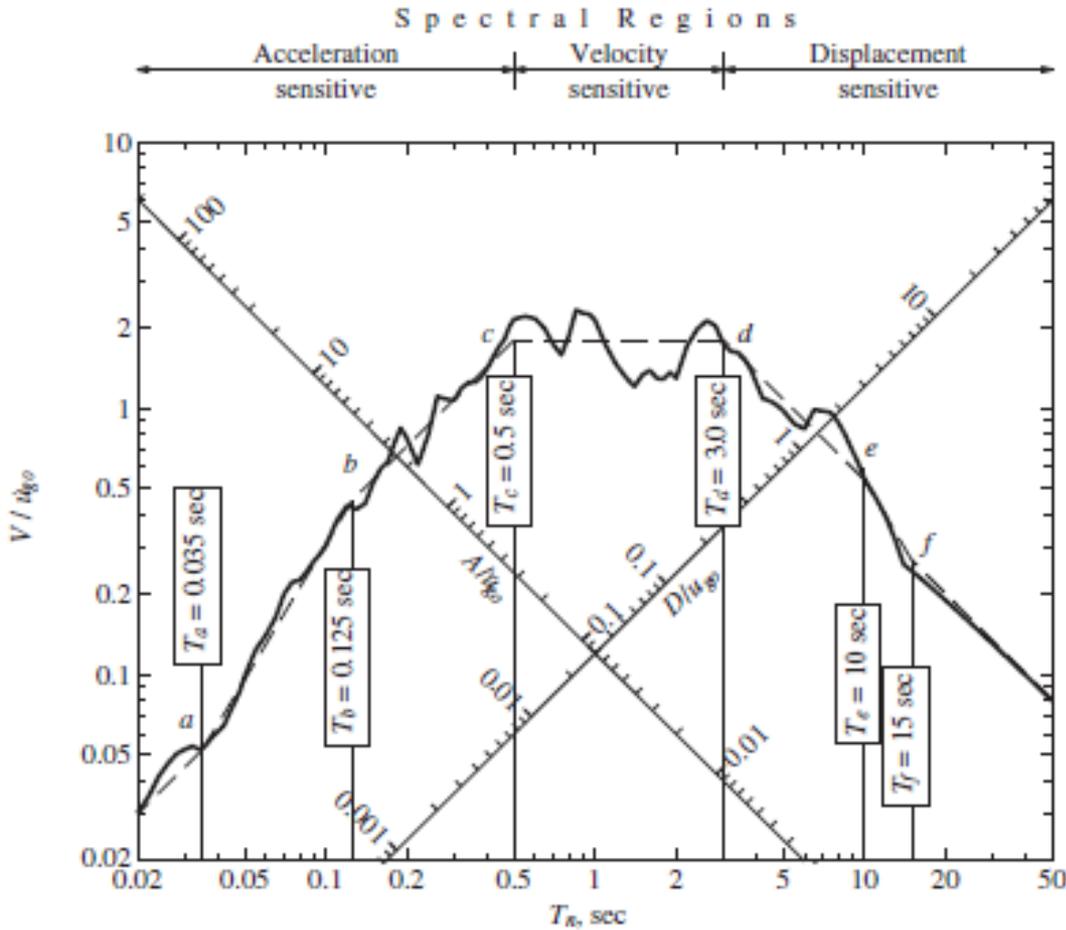
لاحظ أن قيم الذرى ل u_0 و u_{g0} قريبة من بعضها والتغير الزمني للتابعين $u(t)$ و $u_g(t)$ متطابقين ومختلفين بالإشارة.



خصائص طيف الإستجابة:

من أجل الأدوار القصيرة حيث $T_a = 0.035 \text{ sec} < T_n < T_c = 0.50 \text{ sec}$

A يتجاوز \ddot{u}_{go} مع تضخيم يعتمد على قيم T_n و ζ .



من أجل $T_c = 0.5 \text{ sec}$ إلى $T_b = 0.125 \text{ sec}$

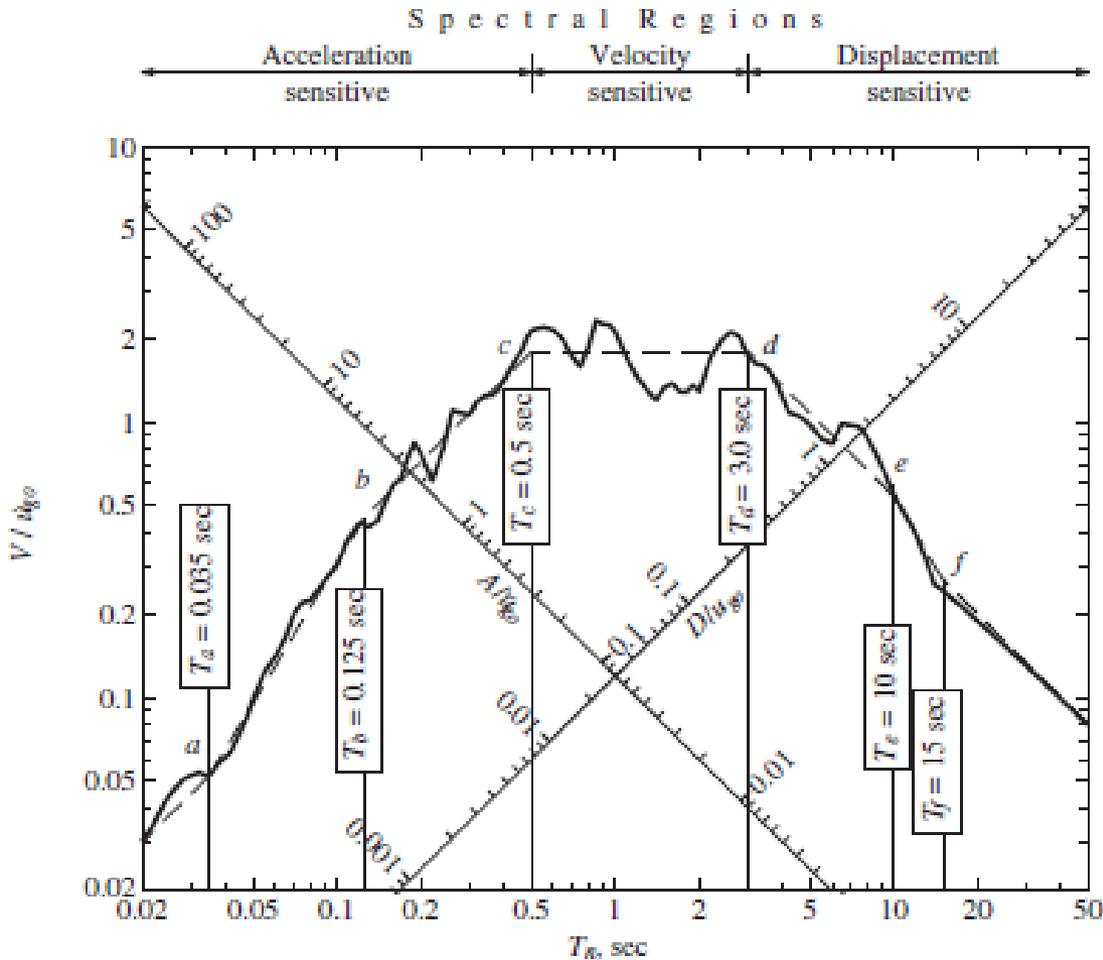
A لها قيم ثابتة موافقة لقيمة \ddot{u}_{go} مصعدة بمعامل

متعلق بنسبة التخميد ζ .

خصائص طيف الإستجابة:

من أجل الأدوار الطويلة حيث $T_d = 3 \text{ sec} < T_n < T_f = 15 \text{ sec}$

D يتجاوز u_{go} مع تضخيم يعتمد على قيم T_n و ζ .



من أجل $T_d = 3.0 \text{ sec}$ إلى $T_e = 10 \text{ sec}$

D لها قيم ثابتة موافقة لقيمة u_{go} مصعدة بمعامل متعلق بنسبة التخميد ζ .

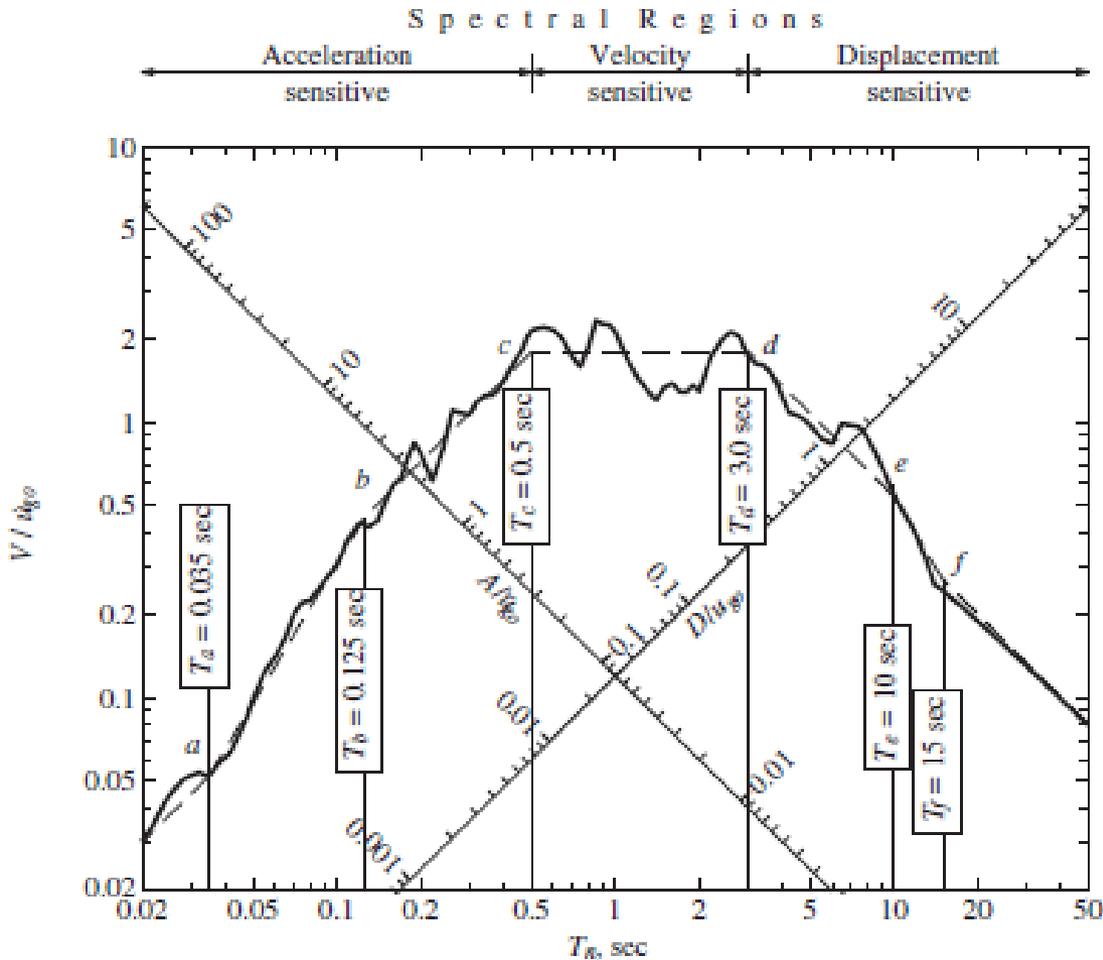
خصائص طيف الإستجابة:

من أجل الأدوار المتوسطة $T_c = 0.5 \text{ sec} < T_n < T_d = 3 \text{ sec}$

V يتجاوز \dot{u}_{go} .

خلال هذا المجال،

V لها قيم ثابتة موافقة لقيمة \dot{u}_{go} مصعدة بمعامل متعلق بنسبة التخميد ζ .



خصائص طيف الإستجابة:

بناءً على هذه الملاحظات، من المنطقي تقسيم طيف الاستجابة لثلاث مناطق حسب قيم الدور الطبيعي.
منطقة حساسة للانتقال:

منطقة الأدوار الطويلة على يمين النقطة d،

لأن $T_n > T_d$ استجابة المنشأ تتعلق بشكل

مباشر للانتقال الأرضي.

منطقة حساسة للتسارع:

منطقة الأدوار القصيرة على يسار النقطة c،

لأن $T_n < T_c$ استجابة المنشأ تتعلق بشكل

مباشر للتسارع الأرضي.

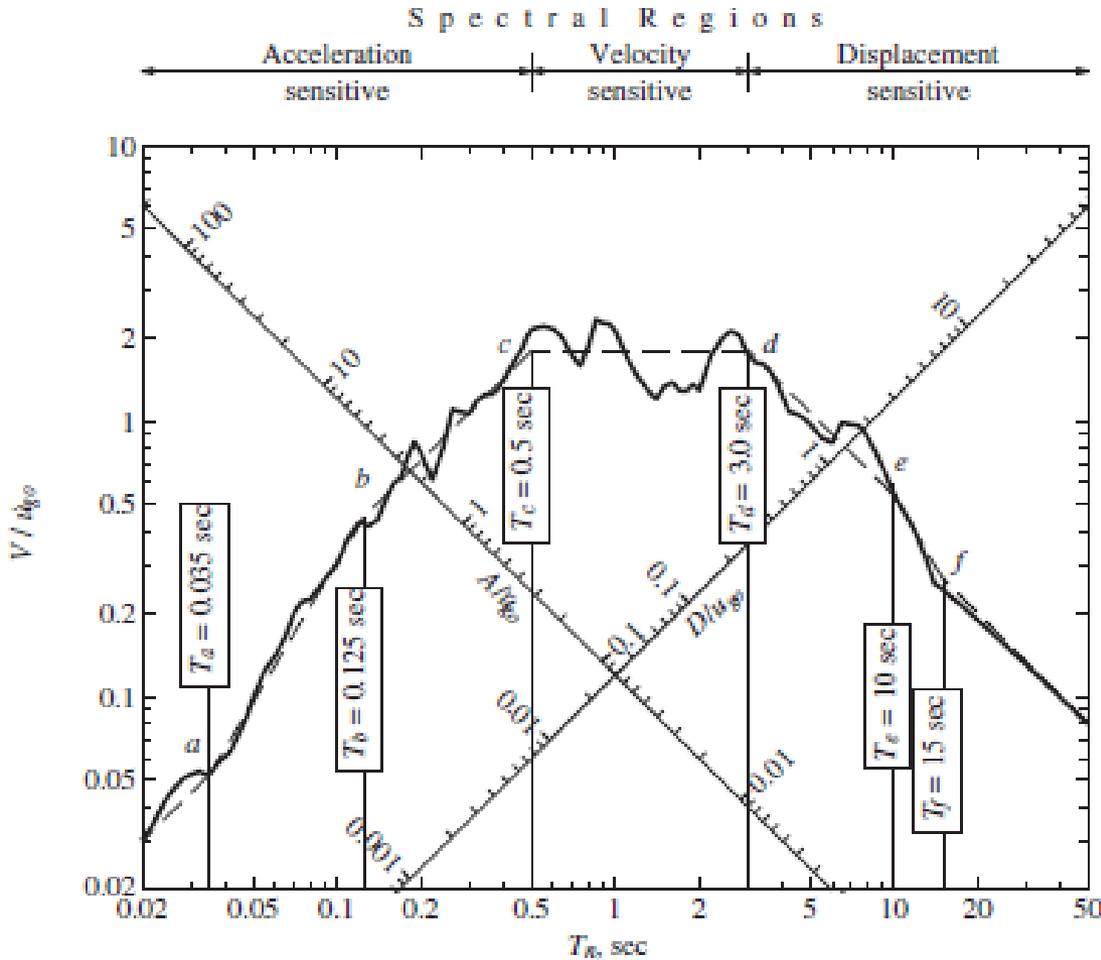
منطقة حساسة للسرعة:

منطقة الأدوار المتوسطة بين النقطتين c و

d، لأن $T_c < T_n < T_d$ استجابة المنشأ

تتعلق بشكل مباشر بالسرعة الأرضية أكثر

من غيرها من بارامترات الحركة الأرضية..



خصائص طيف الإستجابة:

T_a, T_b, T_e, T_f في الطيف المثالي مستقلة عن التخماد.

T_c, T_d تتغير بتغير التخماد.

تمثيل الطيف بمجموعة من الخطوط المستقيمة $a-b-c-d-e-f$ في مخطط لوغاريتمي رباعي هي ليست طريقة دقيقة.

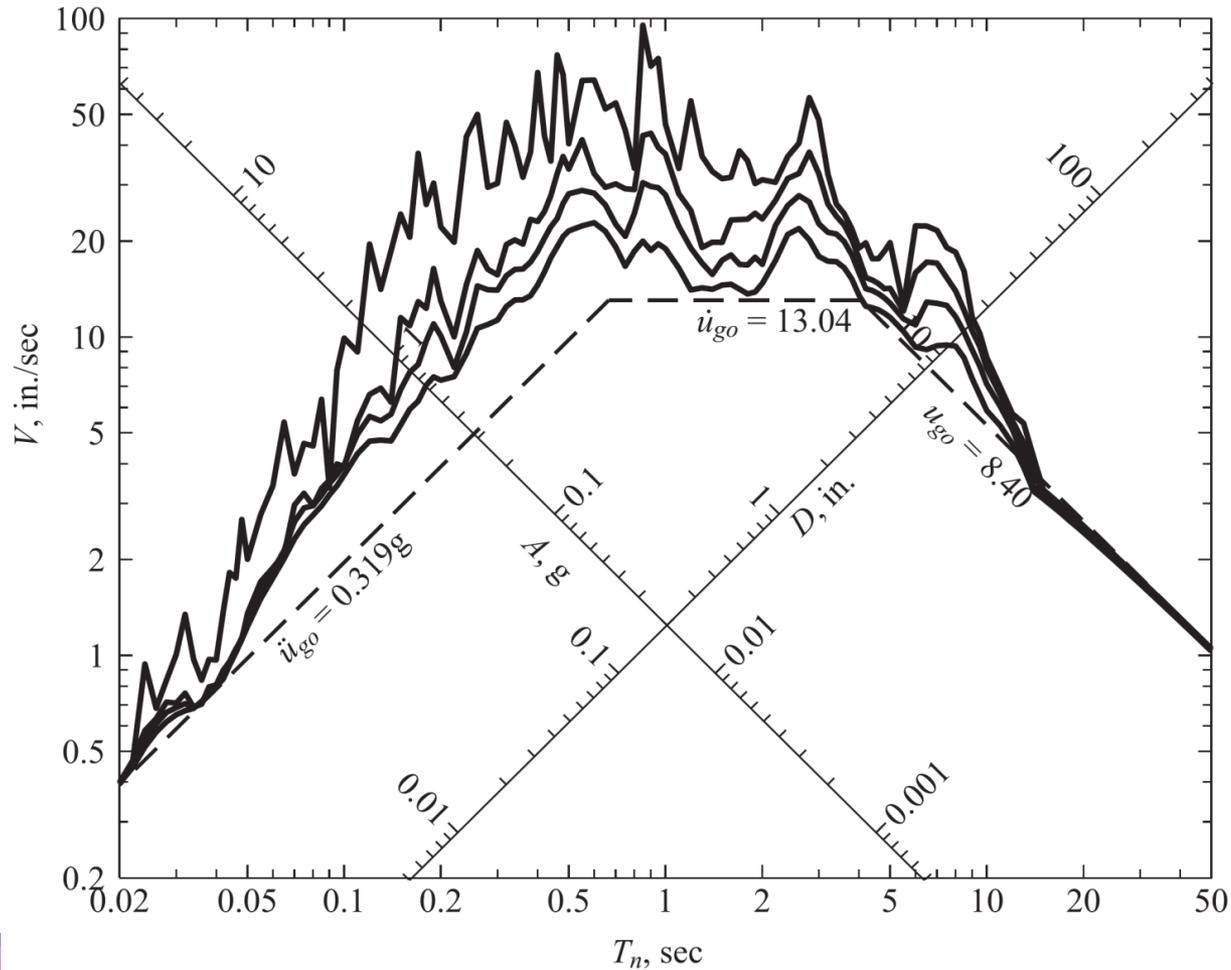
وبالتالي، يمكن استخدام تقنية المنحني الموافق (الأملس) لاستبدال الطيف الفعلي بطيف آخر للشكل المختار.

الفائدة الكبرى من هذا التمثيل للطيف هو بناء الطيف التصميمي الممثل لعدد كبير من الحركات الأرضية.

خصائص طيف الإستجابة:

يتميز المنحني غير المخمد بتتلم شديد، وهذا يدل على أن الاستجابة حساسة جداً للتغيرات الصغيرة في دور الاهتزاز الطبيعي.

إضافة التخميد للجملة يجعل من استجابتها أقل حساسية بكثير للتغيرات في دورها.



خصائص طيف الإستجابة:

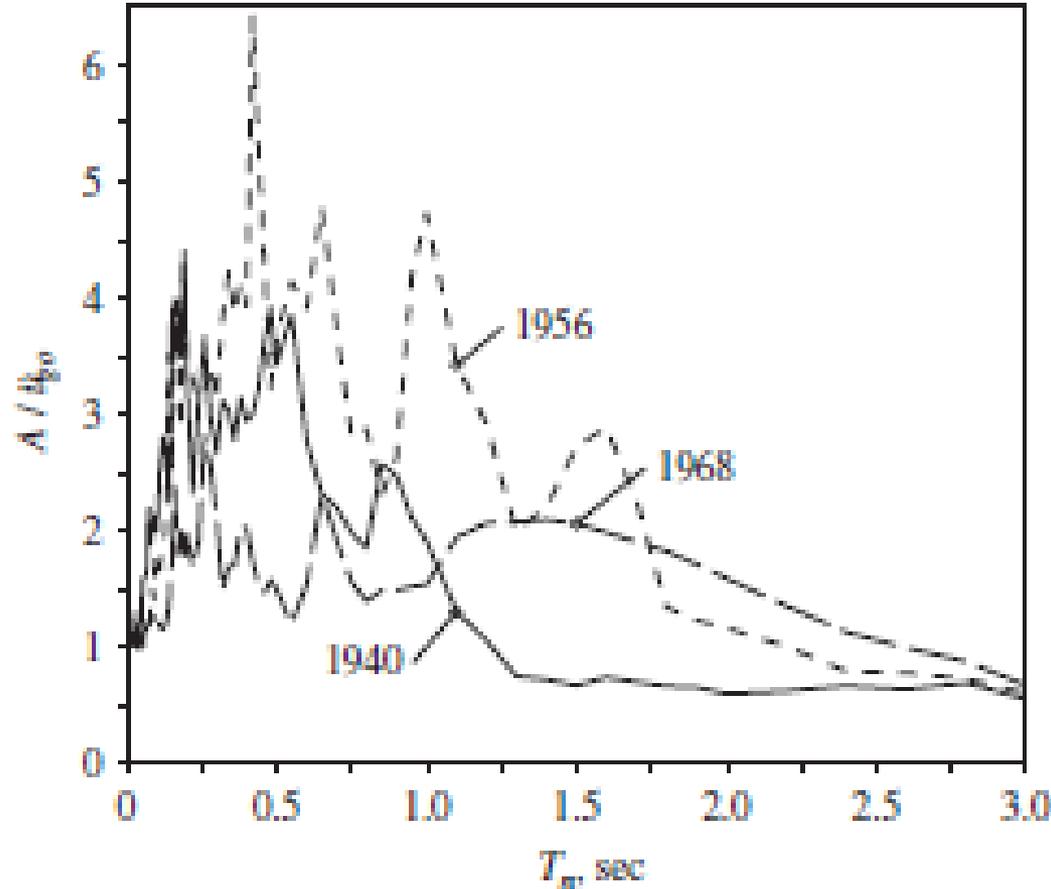
ينقص التخماد استجابة المنشأ، وهذا التناقص في الاستجابة يحصل بمقدار بإعطاء كمية تخامد مختلفة في المناطق الثلاثة لطيف الاستجابة.

$T_n \rightarrow 0$: لا يؤثر التخماد على الاستجابة لأن المنشأ ينتقل بشكل صلد مع الأرض.

$T_n \rightarrow \infty$: التخماد أيضاً لا يؤثر على الاستجابة لأن كتلة المنشأ لا تتحرك بينما الأرض تحتها تتحرك.

من بين مجالات الأدوار الثلاثة، يميل تأثير التخماد ليكون أعظمي ضمن مجال الطيف الحساس للسرعة. ويعتمد تأثير التخماد في هذه المنطقة الطيفية على خصائص الحركة الأرضية.

الطيف التصميمي المرن:

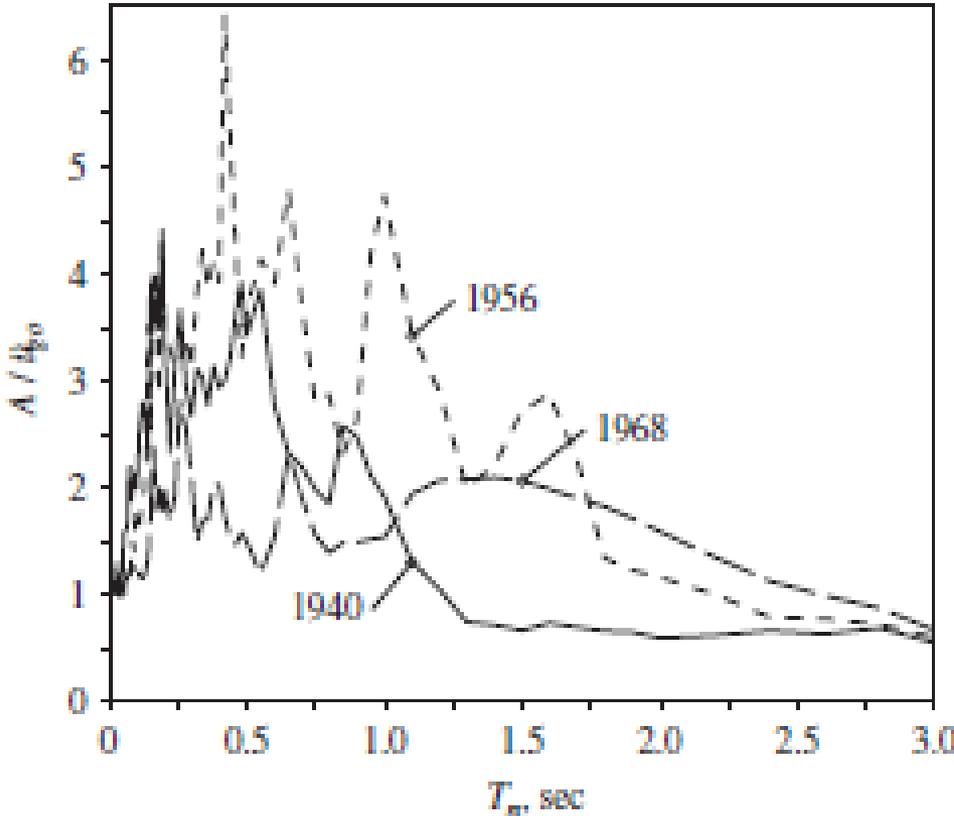


يبين الشكل أطياف الاستجابة للمركبة الجنوبية الشمالية للحركات الأرضية المسجلة في محطة السنترو في كاليفورنيا خلال هزات April 1968، February 1956، May, 1940. وبالتالي يجب على الطيف التصميمي أن يتألف من مجموعة من المنحنيات الملساء أو سلسلة من الخطوط المستقيمة، بحيث يكون لكل مستوى من مستويات التخامد منحنى واحد خاص به.

الطيف التصميمي المرن:

يجب أن يحقق الطيف التصميمي بعض المتطلبات لأنه يستخدم في تصميم المنشآت الجديدة أو في تقييم الأمان الزلزالي للمنشآت القائمة لمقاومة الزلازل المستقبلية.

طيف الاستجابة لهزات أرضية مختلفة مسجلة في نفس الموقع خلال حدوث عدة زلازل أيضاً متتامة، وليس من الضروري أن تكون الذرى لهذه الأطياف لها نفس الدور.



وبالتالي يجب إنشاء طيف تصميمي لإيجاد منحنيات ملساء أو مجموعة من الخطوط المستقيمة بمخطط واحد من أجل كل قيمة تخامد.

الطيف التصميمي المرن:

يعتمد الطيف التصميمي على التحليل الإحصائي لطيف الاستجابة من أجل عينة من الحركات أرضية.

على فرض أن I هي عدد الحركات الأرضية في العينة، الحركة الأرضية ذات الرقم I يرمز لها بـ $\ddot{u}_{ig}(t)$ و u_{igo} ، \dot{u}_{igo} و \ddot{u}_{igo} تم تسوية كل حركة أرضية بمقياس معين (تكبير أو تصغير) وبالتالي جميع الحركات الأرضية سوف يكون لها نفس ذروة التسارع الأرضي، \ddot{u}_{go} .

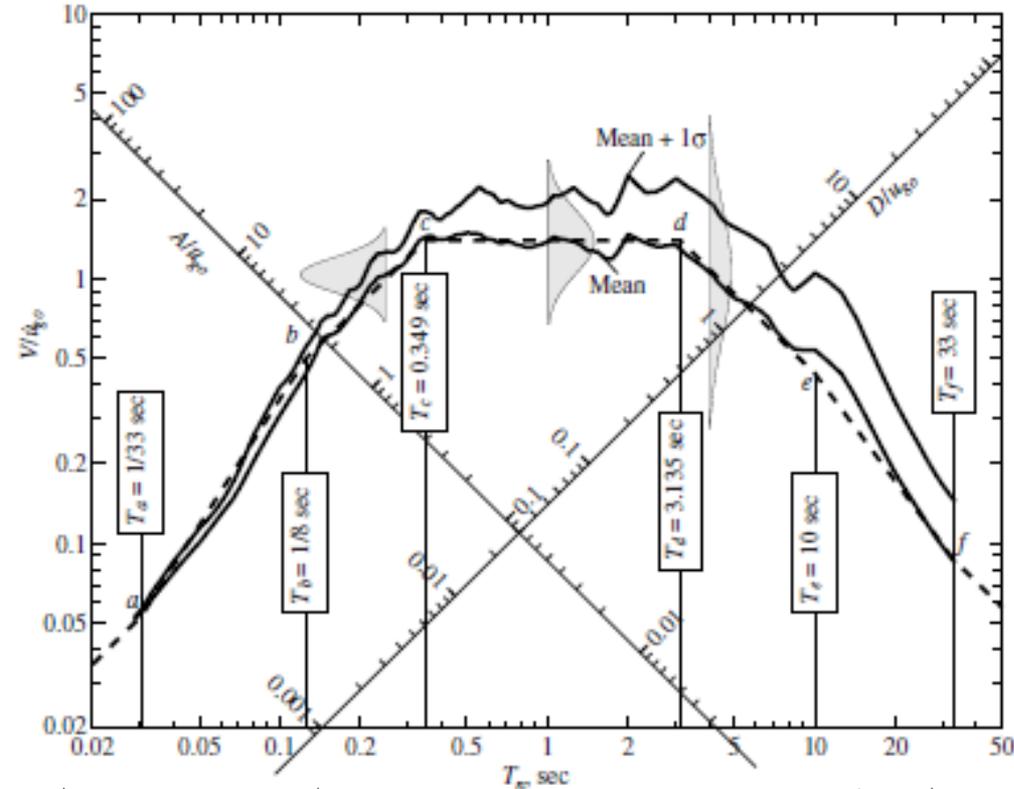
ثم يتم حساب طيف الاستجابة لكل حركة أرضية تمت تسويتها. عند كل دور اهتزاز طبيعي T_n ، هنالك عدة قيم طيفية مساوية للعدد I للهزات الأرضية المسجلة في العينة: D_i ، V_i ، and $A_i (i = 1, 2, \dots, I)$.

المقادير u_{go} ، \dot{u}_{go} ، and \ddot{u}_{go} في الحركات الأرضية التي تمت تسويتها هي متوسط القيم لذرى الانتقال والسرعة والتسارع الأرضي على الترتيب. (أخذ الوسطي بالنسبة ل I عدد الهزات الأرضية).

الطيف التصميمي المرن:

يزودنا التحليل الإحصائي لهذه المعطيات باحتمالية توزيع الإحداثي الطيفي، وقيمته الوسطية، و مقدار انحرافه المعياري عند كل قيمة لدور الاهتزاز T_n .
تم إظهار التوزعات الاحتمالية تخطيطياً عند ثلاث قيم مختارة للدور T_n ، مشيرة إلى أن معامل التغير متغير حسب قيمة T_n .

(معامل التغير = مقدار الانحراف مقسم على القيمة الوسطية).

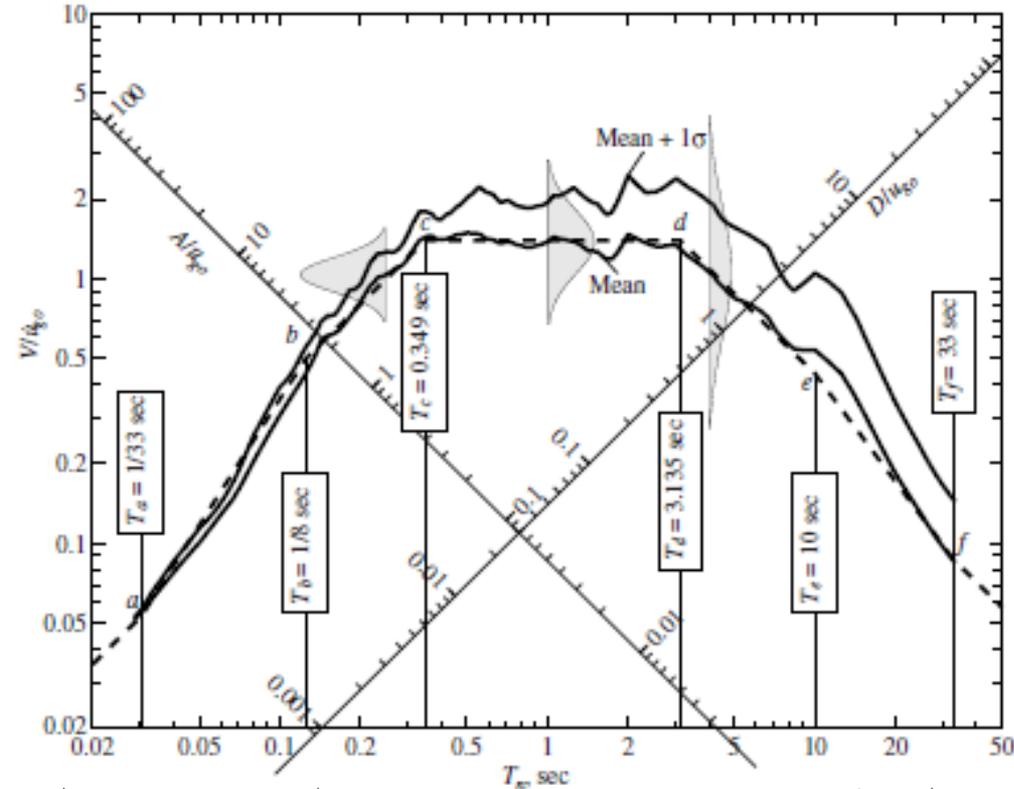


يبين الشكل أطياف الاستجابة الوسطي والوسطي زائد انحراف معياري واحد مع التوزعات الاحتمالية ل V عند $T_n = 0.25, 1, 4 \text{ sec}$ ، ومن أجل $\zeta = 5\%$. تظهر الخطوط المنقطعة طيف التصميم المثالي.

الطيف التصميمي المرن:

ينتج لدينا متوسط طيف الاستجابة بوصول جميع القيم الوسطية. وبشكل مشابه، ينتج طيف الاستجابة الوسطي + انحراف معياري واحد بوصول كل القيم الوسطية + انحراف معياري واحد. لاحظ أن هذين الطيفين للاستجابة أملسان أكثر من طيف الاستجابة لهزة أرضية مستقلة.

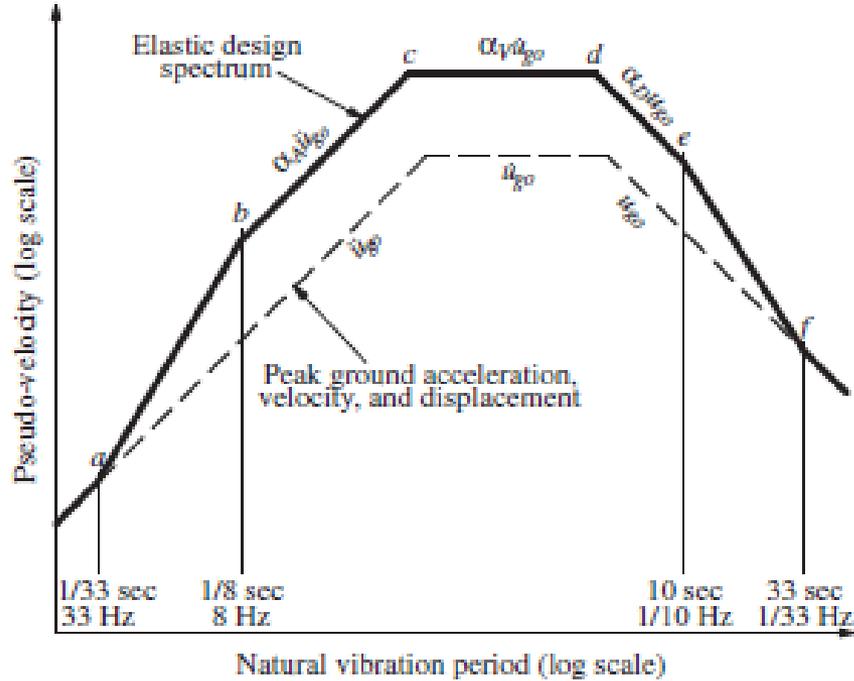
يمكن أن يكون هذا المنحني الطيفي الأملس أكثر مثالية برسم مجموعة من الخطوط المستقيمة ويكون أفضل من طيف الاستجابة لهزة أرضية مستقلة.



يبين الشكل أطيف الاستجابة الوسطي والوسطي زائد انحراف معياري واحد مع التوزيعات الإحتمالية ل V عند $T_n=0.25, 1, 4$ sec، ومن أجل $\zeta=5\%$. تظهر الخطوط المتقطعة طيف التصميم المثالي.

الطيف التصميمي المرن:

الإجراءات لإنشاء الطيف التصميمي من بارامترات الهزة الأرضية.



Construction of elastic design spectrum.

قيم دور الاهتزاز المقترحة:

$$T_a = 1/33 \text{ sec}, T_b = 1/8 \text{ sec}, T_e = 10 \text{ sec}, \text{ and } T_f = 33 \text{ sec}.$$

معاملات التضخيم من أجل المناطق الثلاث لطيف الاستجابة:

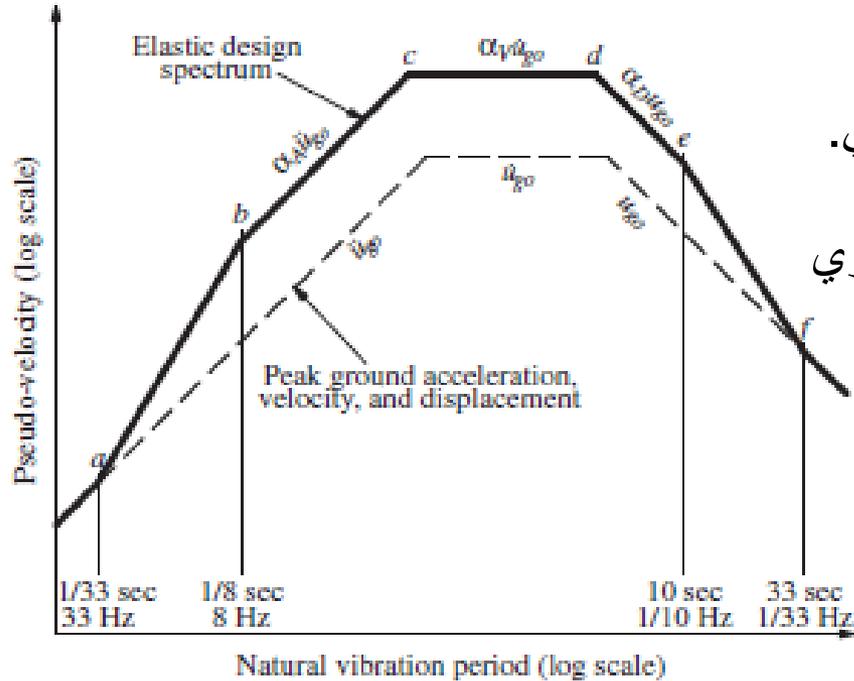
$$\alpha A, \alpha V, \text{ and } \alpha D$$

تم إيجاد هذه المعاملات من خلال التحليل لمجموعة كبيرة من الحركات الأرضية المسجلة على أرض صلبة (صخور، صخور لينة، ومركبات رسوبية).

تم إعطاء معاملات التضخيم لاحتمالين عدم تجاوز مختلفين 50% و 84.1% في الجدول أدناه كتابع لنسبة التخامد.

الطيف التصميمي المرن:

تم إعطاء معاملات التضخيم لاحتمالين عدم تجاوز مختلفين 50% و 84.1% في الجدول أدناه كتابع لنسبة التخميد.



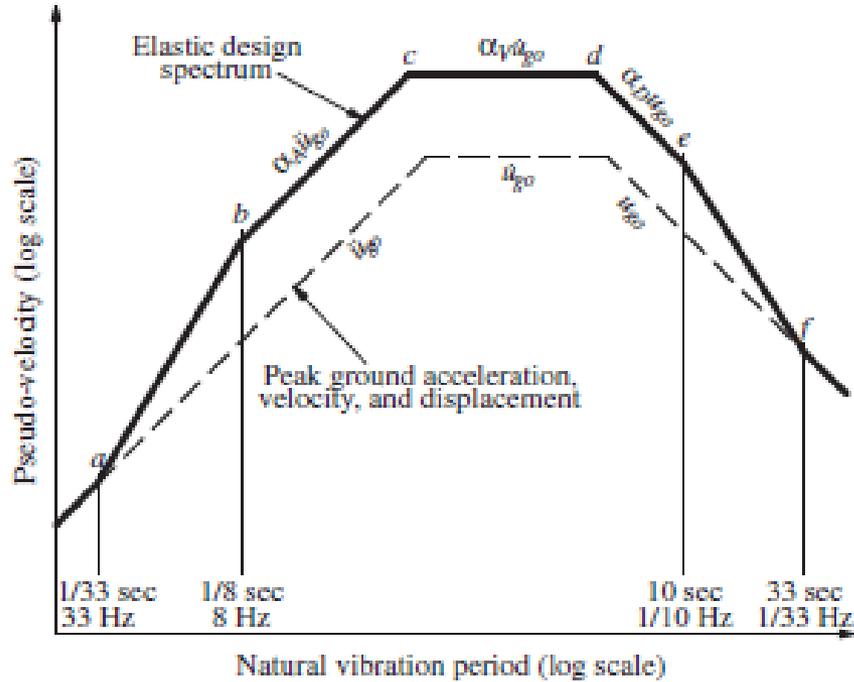
احتمال عدم تجاوز 50% يمثل قيمة الوسيط للإحداثي الطيفي.

احتمال عدم تجاوز 84.1% يقرب الوسطي + انحراف معياري واحد، بفرض التوزيع الاحتمالي اللوغاريتمي للإحداثيات الطيفية

Construction of elastic design spectrum.

| | Median (50th percentile) | One Sigma (84.1th percentile) |
|------------|--------------------------|-------------------------------|
| α_A | $3.21 - 0.68 \ln \zeta$ | $4.38 - 1.04 \ln \zeta$ |
| α_V | $2.31 - 0.41 \ln \zeta$ | $3.38 - 0.67 \ln \zeta$ |
| α_D | $1.82 - 0.27 \ln \zeta$ | $2.73 - 0.45 \ln \zeta$ |

الطيف التصميمي المرن:



إنشاء الطيف التصميمي المرن

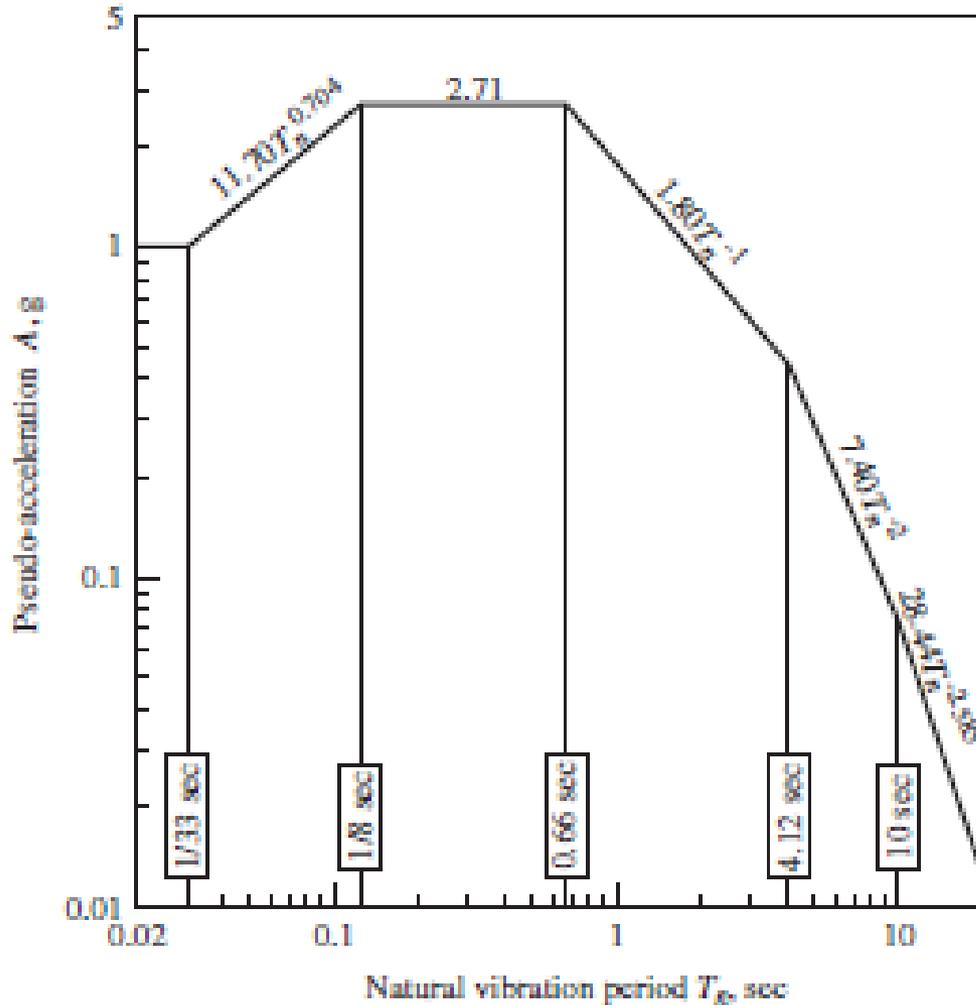
لاحظ أن قيم الدور T_a , T_b , T_e , and T_f ثابتة .

تحدد قيم الدور T_d و T_c من التقاطعات.

لأن αA , αV , and αD تابعة ل ζ ، فإن الدور T_d و T_c أيضاً تابعة لنسبة التخميد.

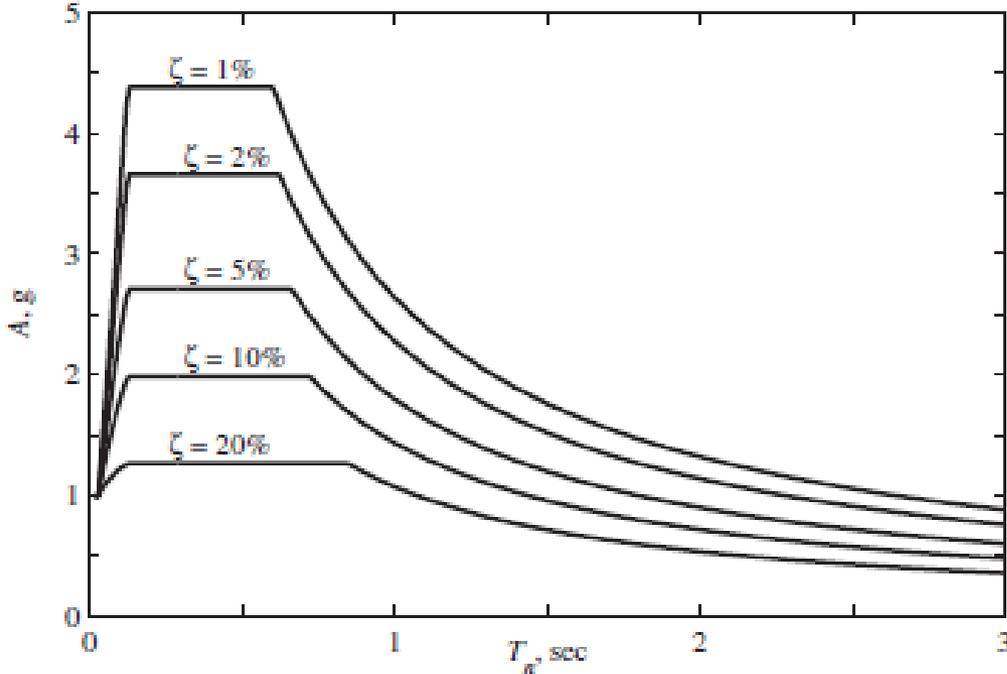
الطيف التصميمي المرن:

الطيف التصميمي للتسارع الكاذب:

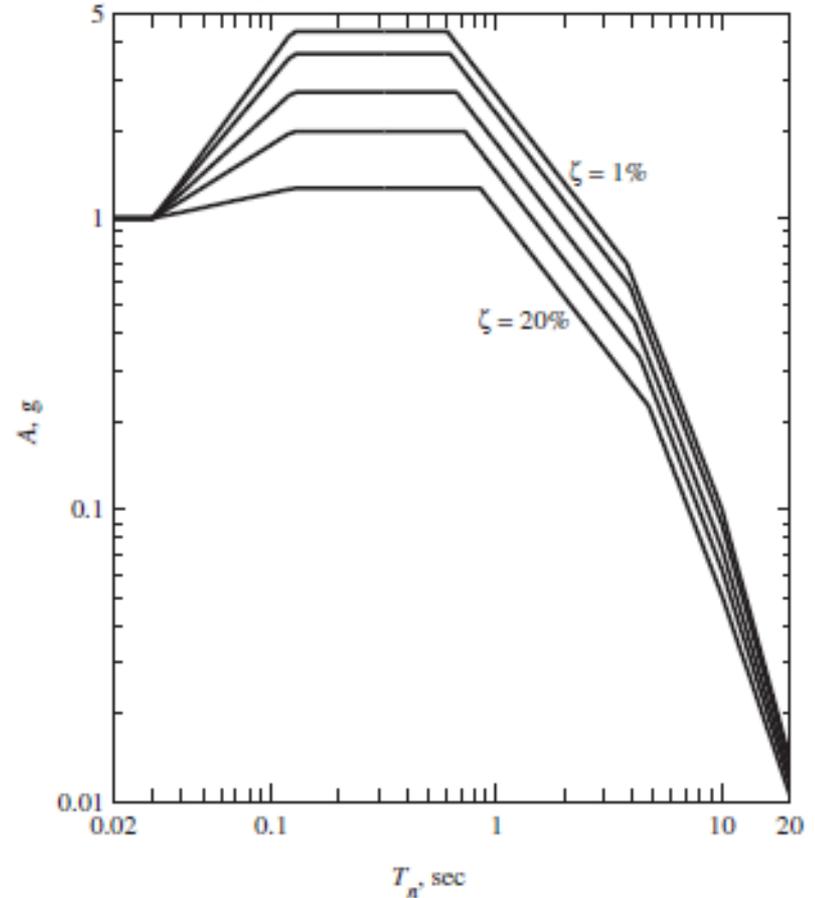


من أجل $T_n=0$ تكون قيمة A مساوية لقيمة $\dot{u}_{go} = 1g$
من أجل $T_n=50sec$ تكون قيمة D مساوية لقيمة $u_{go} = .36 in$

الطيف التصميمي المرن:
الطيف التصميمي للتسارع الكاذب:



المقياس المتري

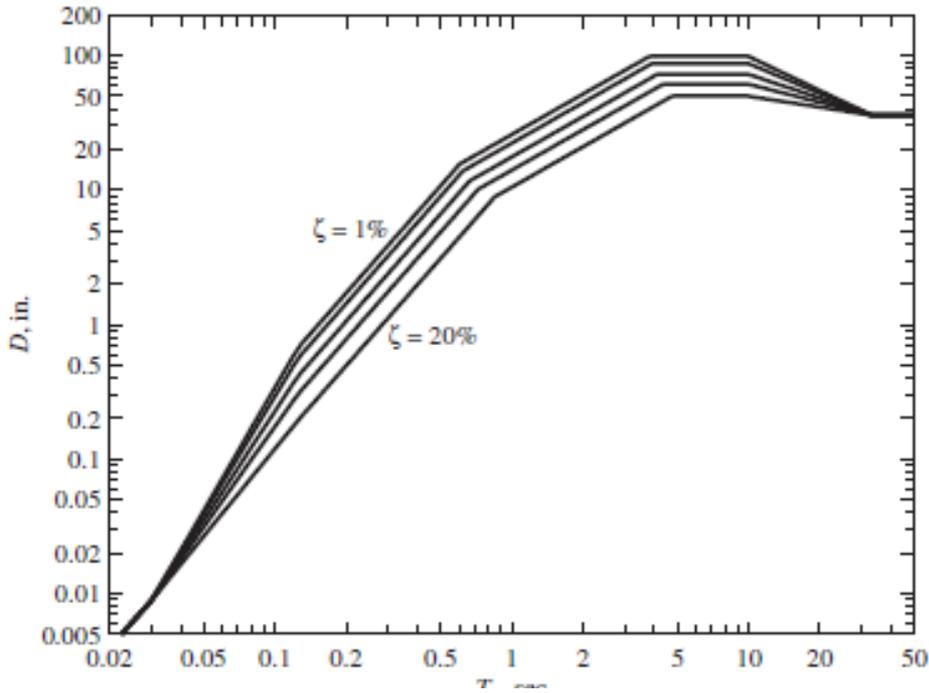


المقياس اللوغاريتمي

Pseudo-acceleration design spectrum (84.1th percentile) for ground motions with $\ddot{u}_{go} = 1g$, $\dot{u}_{go} = 48$ in./sec, and $u_{go} = 36$ in.; $\zeta = 1, 2, 5, 10, \text{ and } 20\%$.

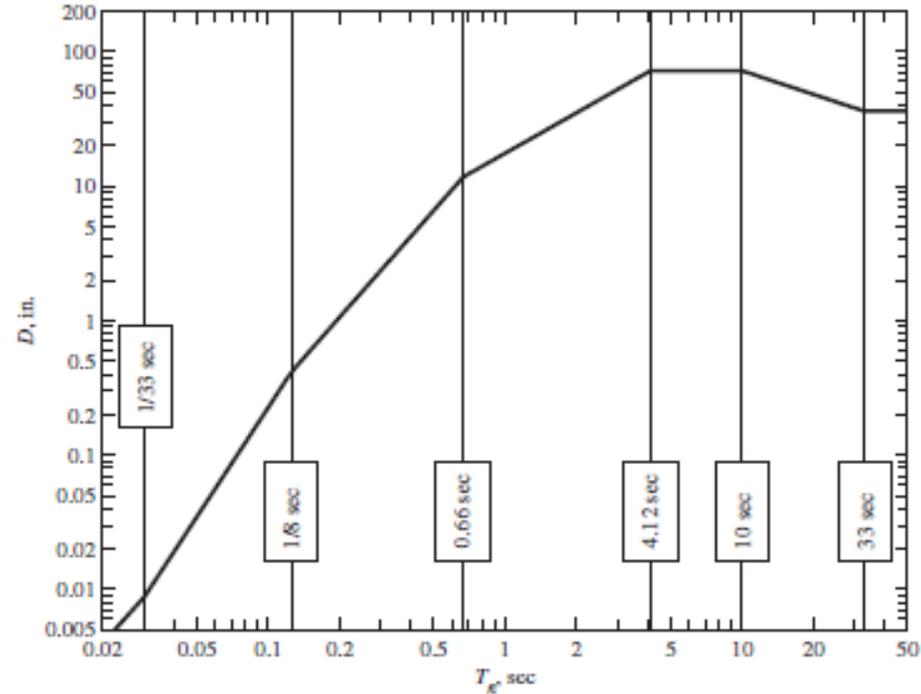
الطيف التصميمي المرن:

الطيف التصميمي للتشوه:



الطيف التصميمي للتشوه

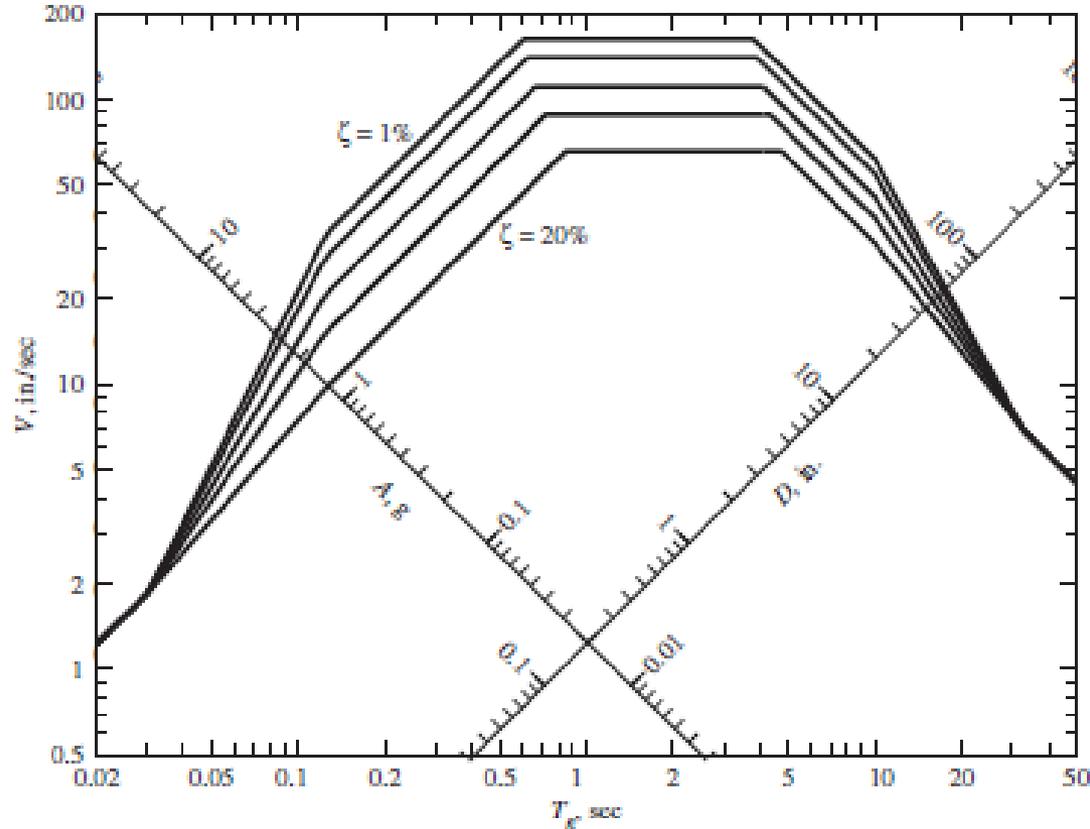
(84.1th percentile) for ground motions with $\ddot{u}_{go} = 1g$, $\dot{u}_{go} = 48$ in./sec, and $u_{go} = 36$ in.; $\zeta = 1, 2, 5, 10,$ and 20% .



الطيف التصميمي للتشوه

(84.1th percentile) for ground motions with $\ddot{u}_{go} = 1g$, $\dot{u}_{go} = 48$ in./sec, and $u_{go} = 36$ in.; $\zeta = 5\%$.

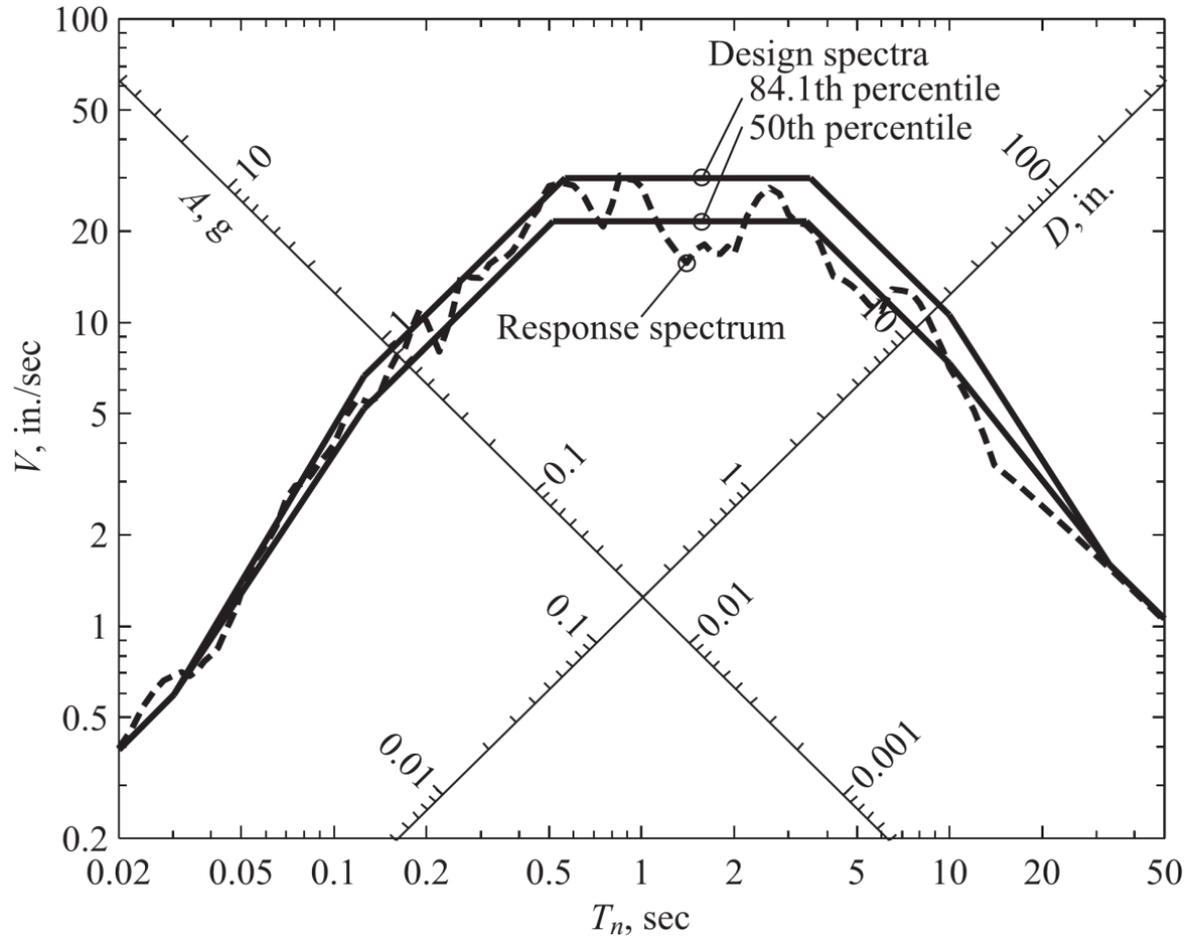
الطيف التصميمي المرن:
الطيف التصميمي للسرعة الكاذبة:



المقياس اللوغاريتمي

Pseudo-velocity design spectrum for ground motions with
 $\dot{u}_{go} = 1g$, $\dot{u}_{go} = 48$ in./sec, and $u_{go} = 36$ in.;
 $\zeta = 1, 2, 5, 10,$ and 20% .

مقارنة بين أطيف الاستجابة والتصميم:



- ليس الهدف من الطيف التصميمي أن يتطابق مع طيف الاستجابة من أجل حركة أرضية معينة، بل القصد من إنشائه هو تمثيل المواصفات الوسطية لمجموعة من الحركات الأرضية.
- الفروق بين أطيف الاستجابة والتصميم ناجمة عن قابلية التغير المتأصلة في الحركات الأرضية كما هي منعكسة في التوزيع الاحتمالي لعوامل التكبير والاستجابات.