

جامعة دمشق  
المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية  
قسم علم الزلازل  
ماجستير تأهيل وتخصص  
العام الدراسي 2019-2020

# Ground Motion Parameters

## معاملات الحركات الأرضية

د. رامي ابراهيم

# Horizontal motions are of most important for earthquake engineering

تعتبر الحركات الأفقية الأكثر أهمية في مجالات الهندسة الزلزالية

- Shaking often strongest on horizontal components
- Earthquakes radiate larger S waves than P waves
- Buildings generally are weaker for horizontal shaking

ترصد الموجات الزلزالية بشكل أكبر على المركبات الأفقية  
ساعات الأمواج العرضية أعلى من ساعات الأمواج الطولية  
تعتبر الأبنية أقل مقاومة للاهتزازات الأفقية

# What are the most useful measures of ground motion?

## ما هو أنسب قياس للحركات الأرضية؟

- PGA (peak ground acceleration)
- PGV (peak ground velocity)
- PGD (peak ground displacement)
- Fourier spectrum
- Response spectral acceleration, velocity, displacement at periods of engineering interest
- Intensity can be related to PGA and PGV

- ذروة التسارع الأرضي
- ذروة السرعة الأرضية
- ذروة الانتقال الأرضي
- طيف فورييه

- طيف استجابة التسارع أو السرعة أو الانتقال لادوار ذات أهمية هندسية
- الشدة ويمكن أن تنسب إما إلى ذروة التسارع أو إلى السرعة الأرضية

# Peak Ground Acceleration (PGA)

## ذروة التسارع الأرضي

- Easy to measure because the response of most instruments is proportional to ground acceleration
- Liked by many engineers because it can be related to the force on a short-period building.
- Convenient single number to enable rough evaluation of importance of records and the strength of the ground shaking.
- PGA is a good measure of high-frequency ground motions (5 to 10 Hz).

- سهولة القياس لأن استجابة معظم الأجهزة تتناسب مع التسارع الأرضي.
- يفضلها المهندسون لأنها مرتبطة بالقوى المؤثرة على الأبنية قصيرة الدور.
- لأنها تعطي بقيمة رقمية فهي تساعد على إجراء تقييم سريع لأهمية التسجيل الزلزالي وقوة الحركة الأرضية.
- مقياس جيد للحركات الأرضية ذات الترددات العالية (5-10 هرتز).

# Peak Ground Acceleration (PGA)

## ذروة التسارع الأرضي

- It is controlled by the high frequency content in the ground motion (i.e., it is not associated with a narrow range of frequencies).
- Records can show isolated short-duration high amplitude spikes with little engineering significant.

ولكن يجب الأخذ بالحسبان المساوى التالية:

- تتأثر ذروة التسارع الأرضي بالمحتوى الترددي العالي للحركة الأرضية
- قد تحتوي تسجيلات الحركات الأرضية القوية على نبضات مفاجئة عالية السعة وقصيرة الدور وليس لها تأثير هندسي مهم.

# Peak Ground Velocity (PGV)

## ذروة السرعة الأرضية

- It is sensitive to longer periods than PGA (making it potentially more predictable using deterministic models).
- **PGV** is indicative of motions at intermediate frequencies (1 to 2 Hz).
- High-frequency structures tend to be sensitive to PGA and low-frequency structures tend to be **more** sensitive to **PGV**.

- أكثر حساسية للأدوار الطويلة من ذروة التسارع الأرضي (مما يجعلها سهلة التقدير باستخدام الطريقة التحديدية).
- تعتبر مؤشر جيد للحركات الأرضية عند الترددات المتوسطة (1-2 هرتز).
- تعتبر المنشآت ذات الترددات العالية حساسة لقيم ذروة التسارع بينما المنشآت ذات الترددات المنخفضة فهي حساسة لقيم ذروة السرعة.

# Peak Ground Displacement (PGD)

## ذروة الإنتقال الأرضي

- The best parameter for displacement-based design.
- It is associated with very-low frequency level of ground motion.
- It is sometimes difficult to determine the peak correctly because of filtering problems and twice waveform integrations. For that reason, it is less used comparing to PGA and PGV.

- أفضل معامل بالنسبة للمنشآت المصممة بناءً على قيم الإنتقال.
- تتوافق مع الحركات الأرضية ذات الترددات المنخفضة جداً.
- من الصعب أحياناً أن نحدد قيم ذروة الإنتقالات بدقة وذلك بسبب مشاكل فلترة الإشارة وعمليات التكامل التكراري. فلذلك فإن استخدام ذروة الإنتقال أقل مقارنة بذروة التسارع وذروة السرعة.

# How to obtain one parameter from another?

كيف نحصل على أحد المعاملات من المعاملات الأخرى؟

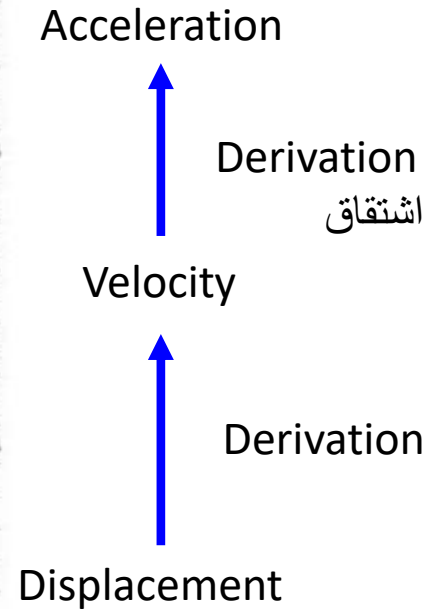
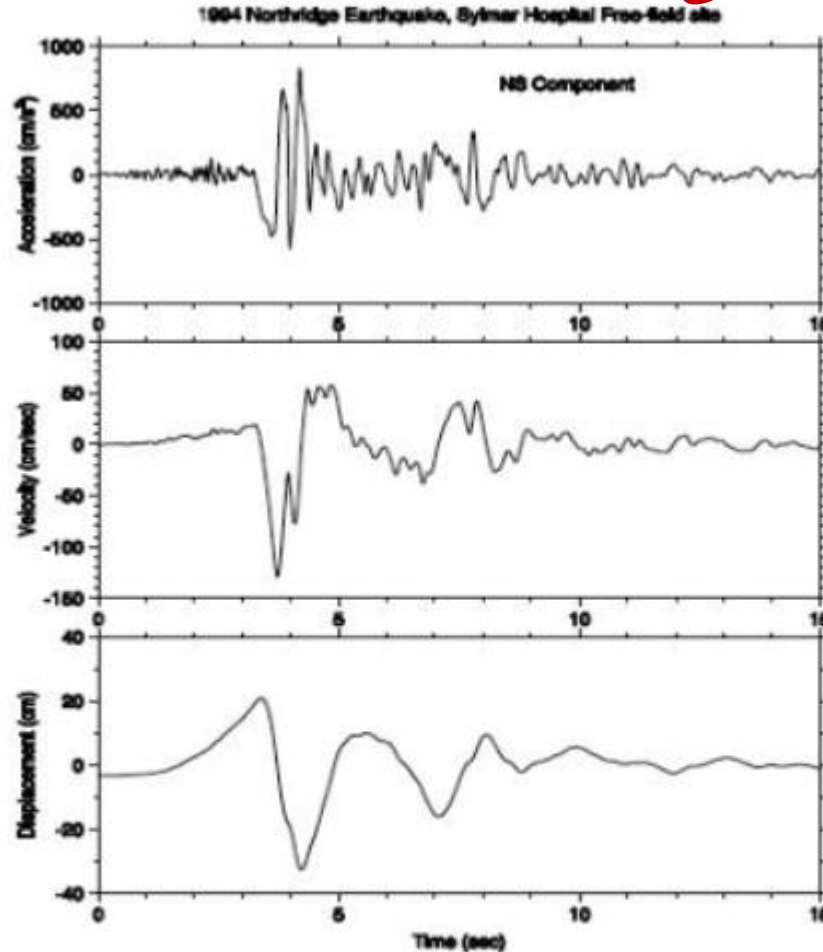
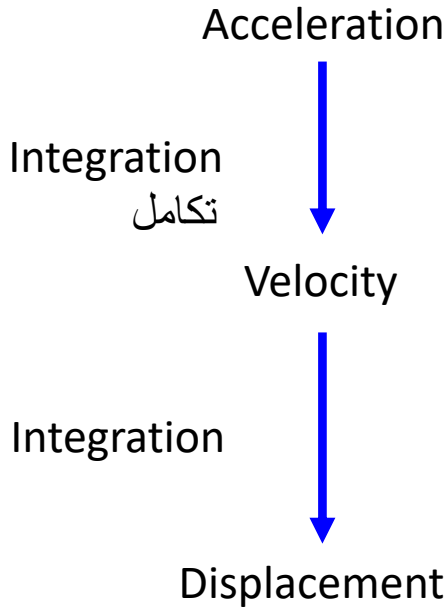


Figure 4. Acceleration, velocity and displacement time-series from the north-south horizontal component of the Sylmar record.



# Example of large ground motion

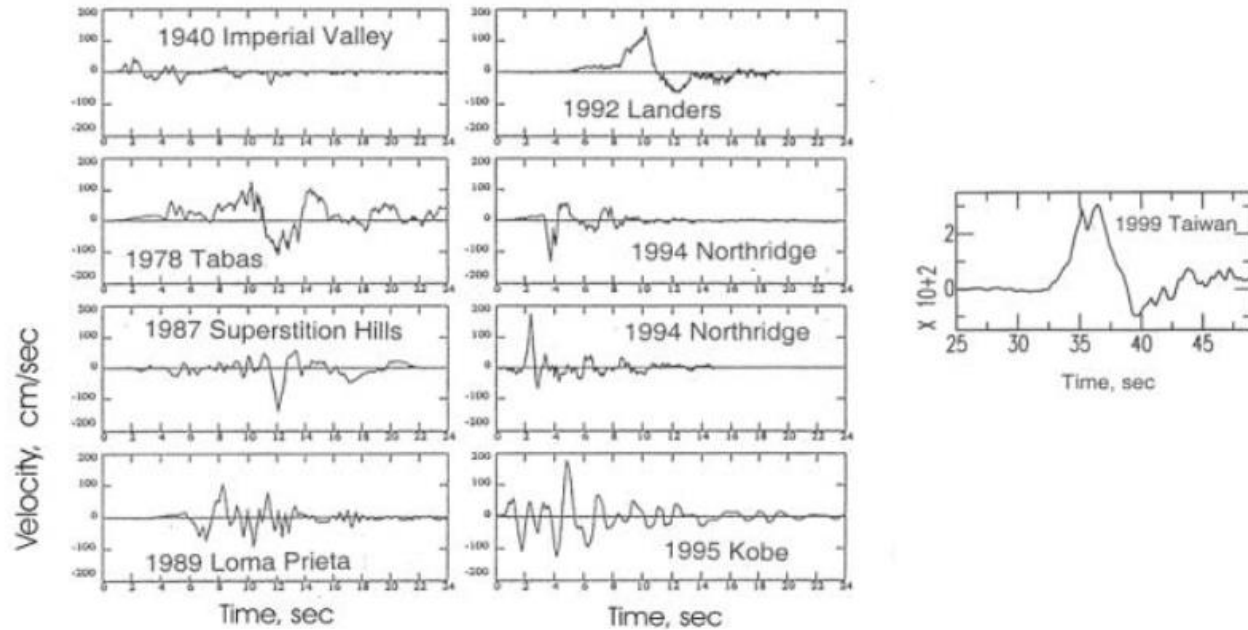
## أمثلة عن تسجيلات لحركات أرضية قوية

An example of large peak ground velocity (PGV) recorded during big destructive earthquakes. PGV reaches  $\sim 200$  cm/s

مثال عن ذروة السرعة الأرضية تم تسجيلها خلال زلازل كبيرة مدمرة. تصل قيمة ذروة السرعة في بعض التسجيلات إلى أكثر من 200 سم/ثانية.

### Large Recorded Ground Velocities

Ground-Motion Velocity from Large Earthquakes

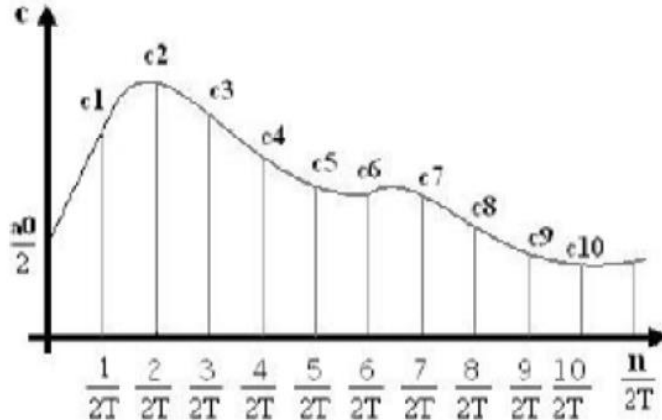


# Fourier Amplitude Spectra

## طيف فورييه السعوي

The Fourier amplitude spectrum of a strong ground motion shows how the amplitude of the motion is distributed with respect to frequency. It expresses the frequency content of a motion very clearly. It expresses as amplitude ( $c_n$  vs.  $n/2T$ ) and phase spectrum ( $\varphi_n$  vs.  $n/2T$ )

يظهر طيف فورييه السعوي للحركة الأرضية كيفية توزيع السعات الموجية مع التردد حيث يصف المحتوى الترددي للحركات الأرضية بشكل واضح. يتم تمثيله بطيف السعة وطيف الطور.

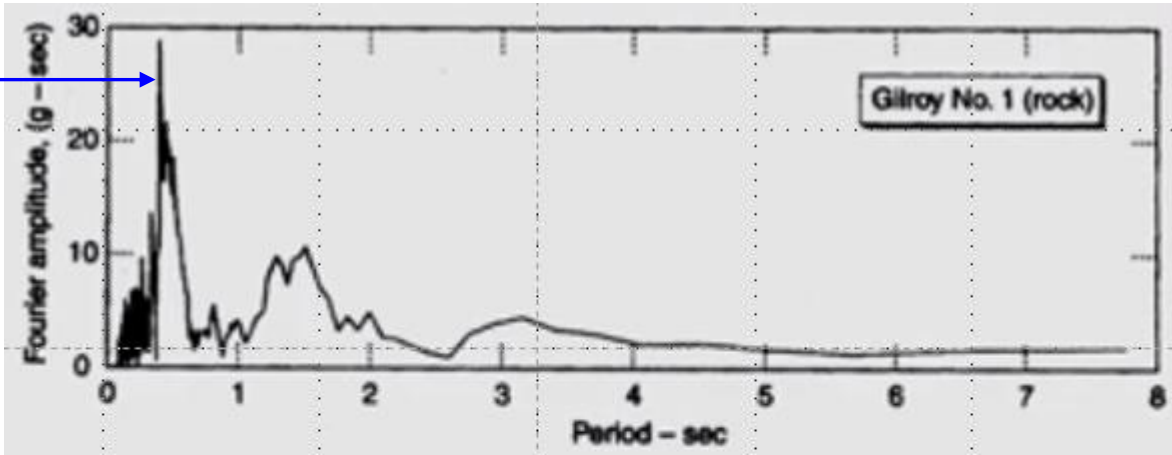


$$g(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( c_n \cos\left(\frac{n\pi t}{T} - \varphi_n\right) \right)$$

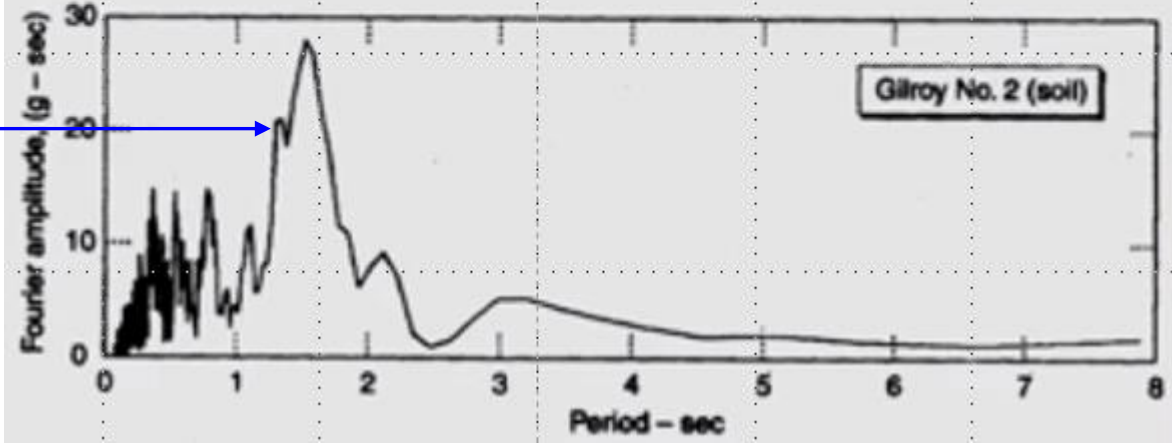
# Predominant Period Derived from Fourier Amplitude Spectra

## الاستدلال على الدور المسيطر من طيف فورييه السعوي

Predominant period on rock site at short period of ~ 0.5s  
الدور السائد لتسجيل فوق صخور صلبة على دور قريب من 0.5 ثانية.



Predominant period on soft soil site at longer period of ~ 1.5s  
الدور السائد لتسجيل فوق تربة على دور قريب من 1.5 ثانية.



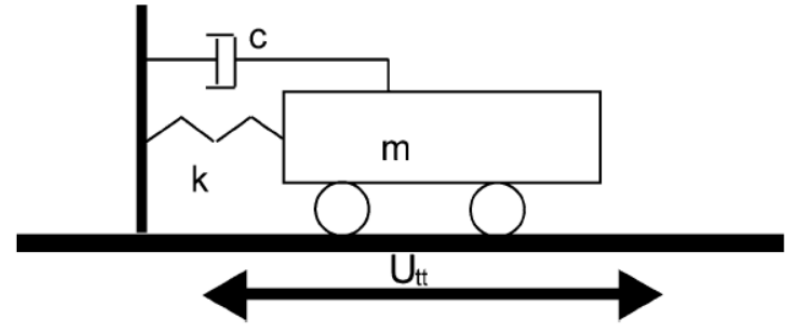
# Elastic Response Spectra

## طيف الإستجابة المرن

It describes the maximum response of a single-degree-of-freedom (SDOF) system to a particular input motion as a function of the natural period and damping ratio.

يصف الإستجابة العظمى لحركة أرضية محددة لنظام أحادي درجة الحرية كتابع للدور الطبيعي ونسبة التخماد.

This system consists of a mass  $m$ , moving on a frictionless surface, driven by a horizontal ground motion with acceleration  $U_{tt}$ , with a spring with stiffness  $k$  and a dashpot with a coefficient of viscous damping  $c$ .



يتألف النظام أحادي درجة الحرية من كتلة  $m$  تتحرك على سطح مهمل الاحتكاك بواسطة حركة تسارع أرضية أفقية  $U_{tt}$  متصلة بنابض ذات ثابت صلابة  $k$  ومخمّد ذو قيمة  $c$

# Response spectra equation


## معادلة طيف الإستجابة

Let  $u(t)$  be the horizontal displacement of the mass at time  $t$ . Then using Newton's second law and resolving forces horizontally gives:

$$mu_{tt} + cu_t + ku + mU_{tt} = 0$$

Dividing by  $m$  and letting  $\omega_0^2 = k/m$  and  $\xi_0 = c/2\omega_0 m$  yields the equation of motion:

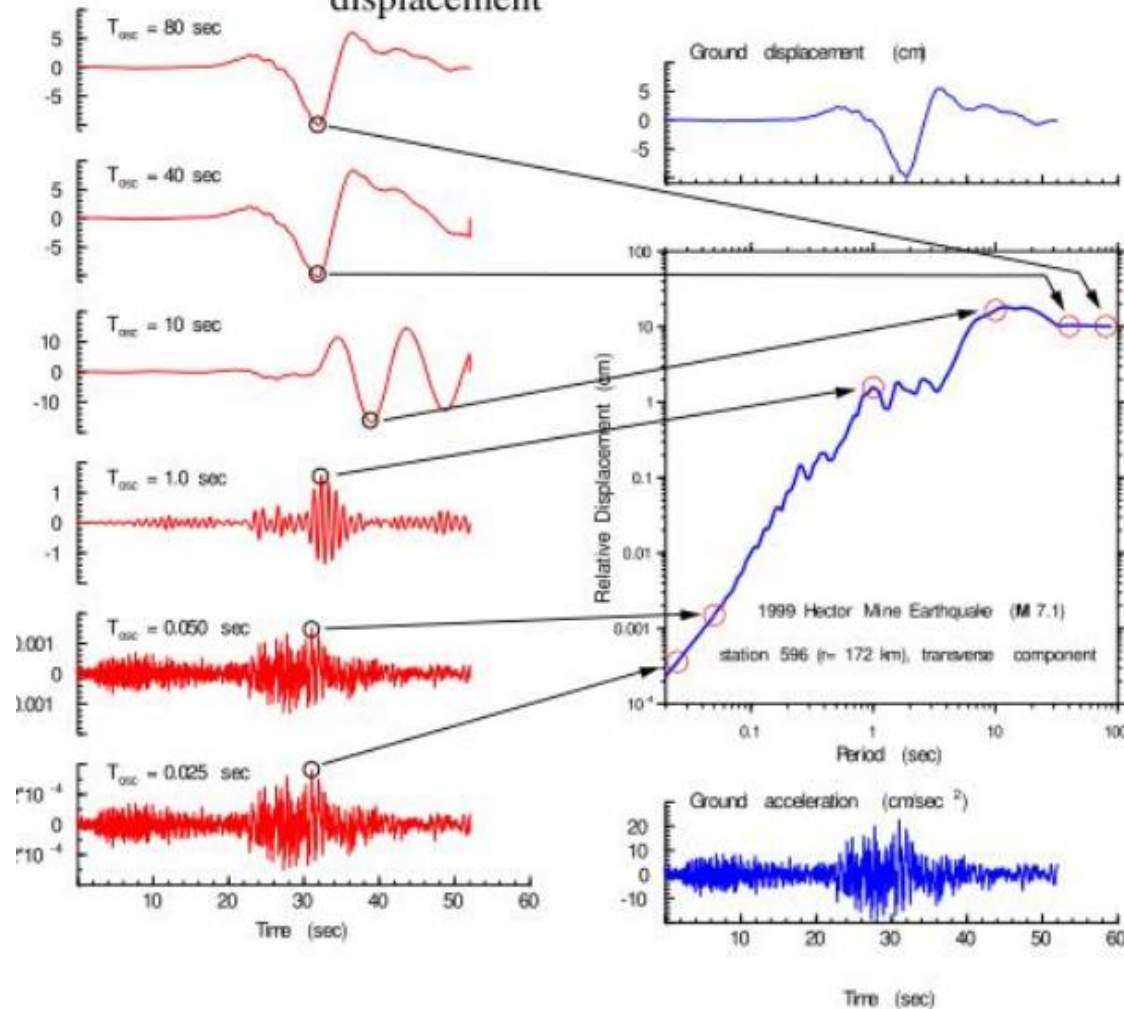
$$u_{tt} + 2\xi_0\omega_0u_t + \omega_0^2u = -U_{tt}$$


$$\omega_0 = 2\pi/T$$

# Elastic Response Spectra

## طيف الإستجابة المرن

At long periods, oscillator response proportional to base displacement

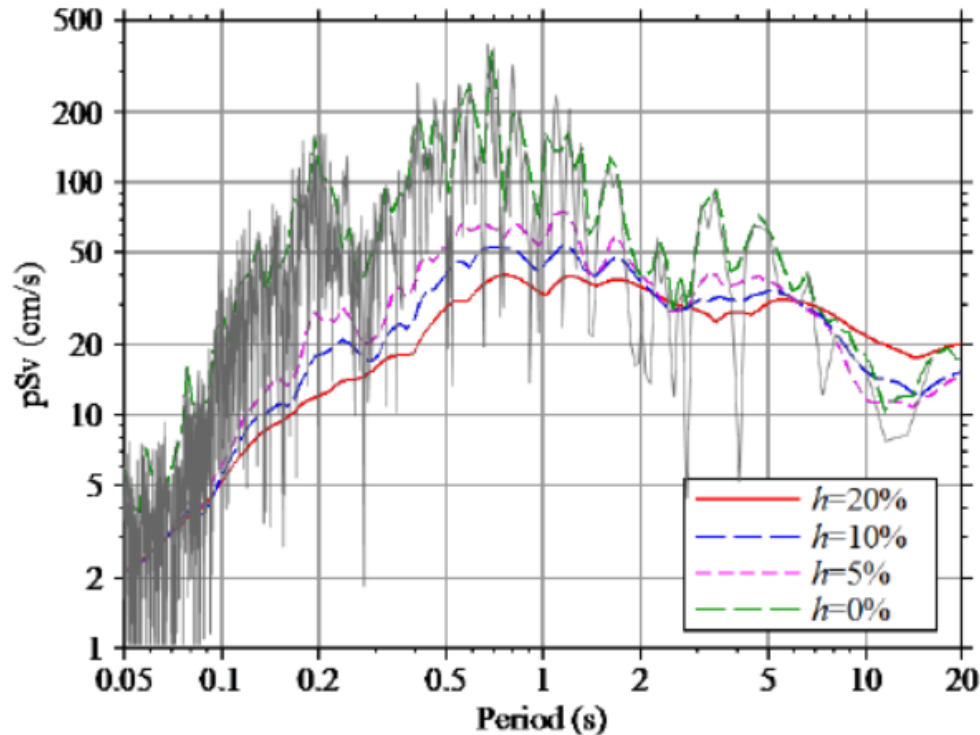


# Elastic Response Spectra

## طيف الإستجابة المرن

Damping of response spectra at different damping ratio ( $h = 0\%, 5\%, 10\%, 20\%$ ). It appears that the curves are smoothed after applying damping

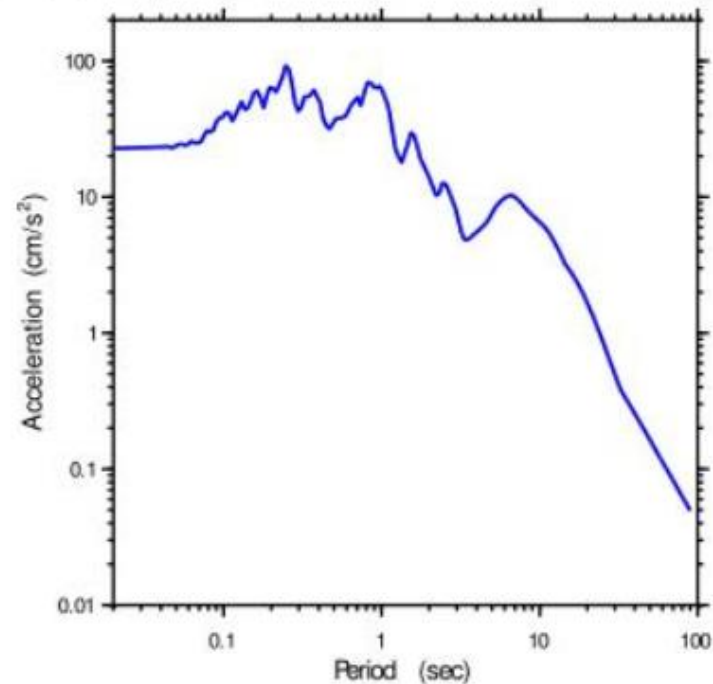
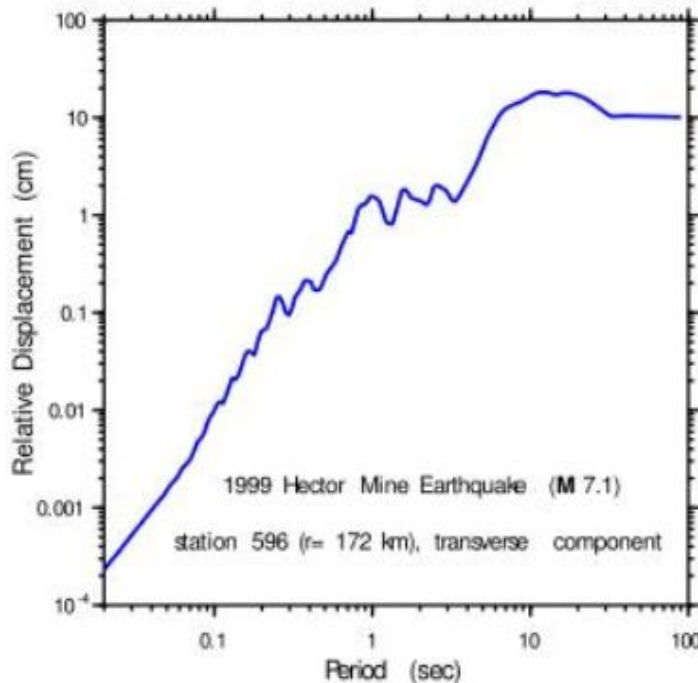
اختلاف طيف الاستجابة باختلاف نسبة التخماد ( $h = 0\%, 5\%, 10\%, 20\%$ ).  
يختلف شكل المنحنيات بعد تطبيق قيمة تخماد معينة حيث تظهر المنحنيات بشكل مصقول.



# Convert displacement into velocity and acceleration spectrum

## تحويل طيف الإزاحة إلى السرعة والتسارع

convert displacement spectrum into acceleration spectrum (multiply by  $(2\pi/T)^2$ ). For velocity spectrum, multiply by  $2\pi/T$ .



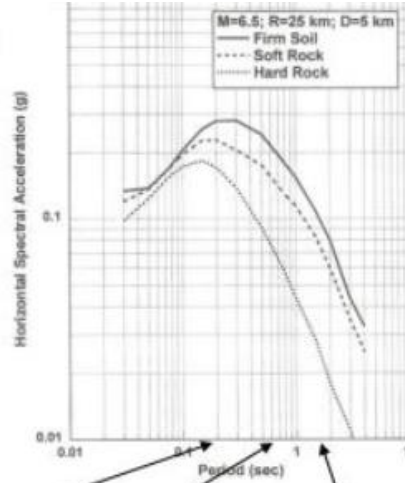
Acceleration or velocity spectra usually used in engineering



# Period Response of Structures

## استجابة دور المباني

### Frequency Response of Structures



The response of the building differs according to its stiffness of structural system, building mass.... Short buildings have response at short-periods, while tall buildings have response at long-periods.



تختلف استجابة المباني حسب الصلابة الجانبية للبناء الهندسي وكتلة المبنى..  
تمتاز الأبنية القصيرة بأدوار استجابة على أدوار قصيرة بينما تستجيب الأبنية الطويلة للأدوار الطويلة.

# Mercalli Seismic Intensity scale

## مقياس الشدة حسب ميركالي

Many attempts were done to calculate the seismic intensity based on the size of damage. In 1887, Mercalli introduced a descriptive scale consists of 8 grades. The intensity scale depends on the distance from epicenter, where regions close to epicenter recorded larger intensity comparing to far regions. Regions had same seismic intensity were connected using isoseismal lines.

In 1931, Mercalli updated the scale into 12 grades depending on the local effects, damage to the buildings, and people feelings, all these effects differ based on the distance from the epicenter.

قامت عدة محاولات لقياس شدة الزلازل اعتماداً على حجم التأثيرات ونوعيتها ومقدار الدمار الذي خلفته الزلازل. ومن تلك المحاولات ما قام به عالم البراكين الإيطالي ميركالي (Mercalli) عام 1887م في وضع مقياس وصفي مؤلف من ثمان درجات.

وحسب مقياس ميركالي (1887م) تعتمد الشدة الزلزالية على مدى القرب من البؤرة السطحية. فالمناطق الواقعة مباشرة فوق بؤرة الزلزال تكون الشدة فيها أعلى من المناطق البعيدة عن البؤرة. ثم قام ميركالي بربط المناطق التي حصلت فيها نفس الدرجة من التأثير الزلزالي وذلك برسم خطوط متساوية الشدة الزلزالية (كنتورية) على خارطة المنطقة المتأثرة.

وفي عام 1931 طور ميركالي هذا المقياس إلى 12 درجة بحيث تدل كل درجة منها على مدى التأثير المحلي أو مدى إصابة الأبنية أو شعور الناس بالزلزال وكل هذه التأثيرات تختلف باختلاف البعد عن الزلزال.

# مقياس الشدة حسب ميركالي المعدل

Intensity scale according to Mercalli is divided into 12 grades as follows

يقسم مقياس الشدة حسب ميركالي إلى 12 درجة كما يلي

## Modified Mercalli Intensity

- |      |   |
|------|---|
| I    | Barely felt   |
| II   | Felt by only few people   |
| III  | Felt noticeably, standing autos rock slightly   |
| IV   | Felt by many, windows and walls creak   |
| V    | Felt by nearly everyone, some dished and windows broken   |
| VI   | Felt by all, damaged plaster and chimneys   |
| VII  | Damage to poorly constructed buildings  |
| VIII | Collapse of poorly constructed buildings,<br>slight damage to well built structures                       |
| IX   | Considerable damage to well constructed buildings,<br>buildings shifted off foundations                   |
| X    | Damage to well built wooden structures, some masonry<br>buildings destroyed, train rails bent, landslides |
| XI   | Few masonry structure remain standing, bridges<br>destroyed, ground fissures                              |
| XII  | Damage total  |

# Japan Meteorological Agency Intensity scale

## مقياس الشدة حسب وكالة الأرصاد اليابانية

It consists of 10 grades, it does not consider a descriptive scale and it can be calculated from the strong motion records as follows,

يتألف مقياس الشدة حسب الوكالة اليابانية للأرصاد من 10 درجات ولا يعتبر مقياساً وصفاً حيث يحسب من تسجيلات الحركات القوية كما يلي

- Filtering 3-component acceleration
- Compute vectorial amplitude

$$v(t) = \sqrt{x'^2(t) + y'^2(t) + z'^2(t)}$$

- Find  $a_0$  satisfies;

$$\int_0^{T_d} w(t, a) dt \geq 0.3 \quad \begin{array}{l} w(t, a) = 0, v(t) < a_0 \\ w(t, a) = 1, v(t) \geq a_0 \end{array}$$

- Compute  $I_{JMA}$

$$I_{JMA} = 2 \log a_0 + 0.94$$

# Japan Meteorological Agency Intensity scale

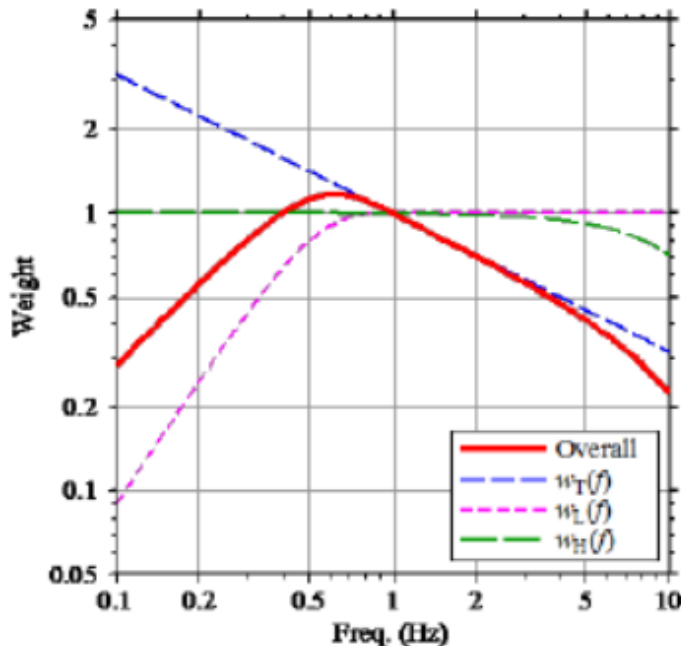
## مقياس الشدة حسب وكالة الأرصاد اليابانية

**Filters:** there are three filters are used to obtain the seismic intensity

$$w_T(f) = (1/f)^{1/2}$$

$$w_H(f) = (1 + 0.694y^2 + 0.241y^4 + 0.0557y^6 + 0.009664y^8 + 0.00134y^{10} + 0.000155y^{12})^{-1/2}$$

$$w_L(f) = (1 - \exp(-(f/0.5)^3))^{1/2}$$



تطبق ثلاث فلاتر لحساب الشدة الزلزالية

- فلتر الدور ( $w_T$ )
- فلتر يمرر الترددات العالية ( $w_H$ )
- فلتر يمرر الترددات المنخفضة ( $w_L$ )

# Japan Meteorological Agency Intensity scale

مقياس الشدة حسب وكالة الأرصاد اليابانية

Scale	Explanation
7	In most buildings, wall tiles and windowpanes are damaged and fall. In some cases, reinforced concrete-block walls collapse.
6+	In many buildings, wall tiles and windowpanes are damaged and fall. Most unreinforced concrete-block walls collapse.
6-	In some buildings, wall tiles and windowpanes are damaged and fall.
5+	In many cases, unreinforced concrete-block walls collapse and tombstones overturn. Many automobiles stop due to difficulty to drive.

# Japan Meteorological Agency Intensity scale

## مقياس الشدة حسب وكالة الأرصاد اليابانية

Scale	Explanation
5-	Most people try to escape from a danger. Some people find it difficult to move
4	Many people are frightened. Some people try to escape from a danger. Most sleeping people awake.
3	Felt by most people in the building. Some people are frightened.
2	Felt by many people in the building. Some sleeping people awake.
1	Felt by only some people in the building.
0	Imperceptible to people.

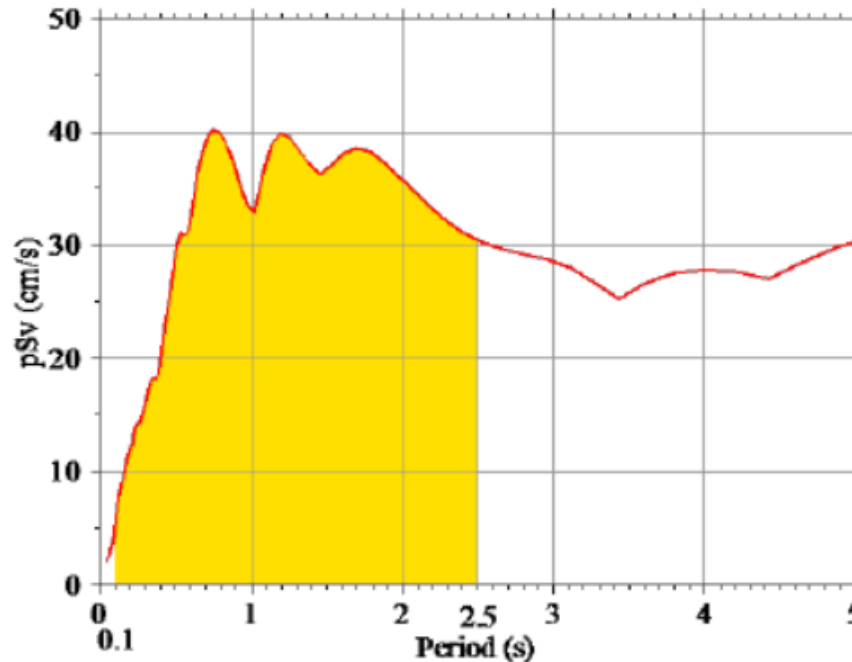
# Housner's Spectrum Intensity (SI)

## مقياس الشدة حسب هوسنير

It is calculated from pseudo spectral velocity between periods of  $T = 0.1 - 2.5$  sec, which correspond to natural period of most structures. The damping ratio is set to  $h = 5\%$ .

تحسب من طيف السرعة الشبيهة للادوار بين 0.1 و 2.5 ثانية حيث تتناسب معظم الادوار الطبيعية للابنية ضمن هذا المجال وتقدر نسبة التخماد بقيمة 5% كما في المعادلة التالية

$$SI(h) = \int_{0.1}^{2.5} pSv(T, h) dT$$





# Husid plot and Arias Intensity ( $I_A$ )

## مخطط هوسيد و مقياس الشدة حسب آرياس

A Husid plot is the time history of the Arias intensity normalized by its maximum value, which defined by the following equation,

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{T_d} a^2(t) dt \quad T_d \text{ is the duration time}$$

إن مخطط هوسيد هو التسجيل الزمني لمقياس الشدة حسب آرياس معدل بحسب قيمته العظمى.  
تحسب قيمة الشدة حسب آرياس بالعلاقة أعلاه

So the Husid plot is expressed by the following equation

يحسب مخطط هوسيد بالعلاقة التالية

$$H(t) = \frac{\int_0^t a^2(\tau) d\tau}{\int_0^{T_d} a^2(\tau) d\tau}$$

# References

## المراجع

- Steven L. Kramer. Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall.
- William HK Lee, Hiroo Kanamori, Paul C Jennings, and Carl Kisslinger. International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology.

- أساسيات علم الزلازل والهندسة الزلزالية، محاضرات الدكتور محمد خير عبد الواحد، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية.