

[Chapter0.pdf](#)

[chapter1.pdf](#)

[b-values.pdf](#)

[B-value.pdf](#)

[chapter2.pdf](#)

[chapter3.pdf](#)

[Ground motion prediction and intensity.pdf](#)

[chapter40.pdf](#)

[GroundMotion-SiteEffect.pdf](#)

[factor_impact_site_ar.pdf](#)

[DSHA.pdf](#)

[boore_granada_2008_5_ground_motions_from_simulations_shortened.pdf](#)



بسم الله الرحمن الرحيم

الزلزالية الهندسية وتخفيف المخاطر

**SEISMOLOGICAL ENGINEERING
AND RISK MITIGATION**

مباحث البحث:

1- مقدمة

2- الهندسة الزلزالية

3- المخاطر الزلزالية

4- التقسيم الزلزالي

5- المبادئ التصميمية لمقاومة الزلازل

6- التصميم المقاوم للزلازل

7- الخلاصة

مقدمة:

تعتبر الزلزالية الهندسية (**Engineering Seismology**) أو
لهندسة الزلزالية (**Earthquake Engineering**) من الفروع العلمية
التطبيقية وهي حلقة الوصل بين علم الزلازل (**Seismology**) الذي هو أحد فروع
علم الأرض (الجيوفيزياء) والهندسة المدنية

الهدف أن علم الهندسة الزلزالية لا يقتصر على معرفة المكان الذي تحدث فيه الزلازل
المدمرة (**Damaging Earthquakes**) بل تعيين طبيعة الحركات الأرضية
المتولدة نتيجة الزلازل ونوع التشويه الذي ستعانيه الطبقات العليا من القشرة الأرضية
وبالتالي وضع الأسس المحددة للتصاميم الملائمة وبأقل كلفة ممكنة .

الهندسة الزلزالية:

يمكن لعلم الهندسة الزلزالية تصميم المنشآت المقاومة للزلازل وتحديد أقصى درجات الاهتزاز الآمن الذي ستعرض له هذه المنشأ عند وقوع الزلزال وذلك بناء على توفير المعطيات الآتية :

1- معرفة الطبيعة الجيولوجية والزلزالية للموقع.

2- طبيعة التربة وخواصها الديناميكية .

3- طبيعة المنشأ المطلوب إقامته والعمر الاقتصادي للمنشأ .

مثلا فى التصميم المقاوم للزلازل الأمثل لا بد له وان يحقق الشروط الآتية :

- أن تقع الزلازل الضعيفة (ذات المقدار والشدة الواطئة) دون أية أضرار أو خسائر.
- أن يكون للزلازل المتوسطة الشدة والمقدار أضرار إنشائية طفيفة فحسب .
- أن يكون للزلازل القوية (والتي تفوق الزلازل التصميمي) أضرار إنشائية كبيرة ودون خسائر بشرية وان تكون كلفة إصلاح المنشأ المتأثر بهذه الهزة ممكن اقتصاديا(بان تكون كلفة الترميم اقل من كلفة إقامة المنشأ .

(Seismic Risk) :

المخاطر الزلزالية :

○ تعرف الخطورة الزلزالية (**Seismic Hazard**) بأنها توقع حدوث زلزال ذي مقدار زلزالي معين (الزلزال الحرج) خلال فترة التصميم المتوقعة للمنشأ الهندسي .

○ أما مخاطر الزلازل (**Seismic risk**) فتعرف بأنها احتمالية كون النتائج الاقتصادية أو الاجتماعية المترتبة نتيجة لحدوث زلزال معين سوف تساوي أو تتجاوز قيم محددة في مكان أو في منطقة معينة خلال فترة تعرض محددة .

○ وان من الاحتياجات الأساسية عند تحديد المخاطر الزلزالية هو معرفة المكان الذي تحدث فيه الزلازل والزمان الذي يحتمل حدوثها .

دراسات المخاطر الزلزالية لموقع معين :

لدراسة المخاطر الزلزالية لموقع معين تجري الدراسات الآتية :

أ) الدراسات الجيولوجية :

✓ التكتونية الإقليمية التشوهات .

✓ رسم خرائط الصدوع المهمة ضمن 100 كيلو متر .

✓ تعيين أنواع الصدوع (انزلاق المضرب ، انزلاق الميل) وغيرها .

✓ الأدلة التي تؤيد أو تخالف الإزاحات الحديثة على طول الصدوع .

✓ المواقع الحقلية لأي انزلاق أرضي أو استقرار أرضي أو أي مشكلة تتعلق بالمياه التي تغمر المنطقة .



ب) دراسات هندسة التربة :

✓ **تقرير حقلي حول تربة الأساس.**

✓ **معالجة عدم استقرار الميل او الخسف بشكل خاص اينما كان ذلك ضروريا .**

✓ **تطور معاملات الحركة العنيفة عند الضرورة .**

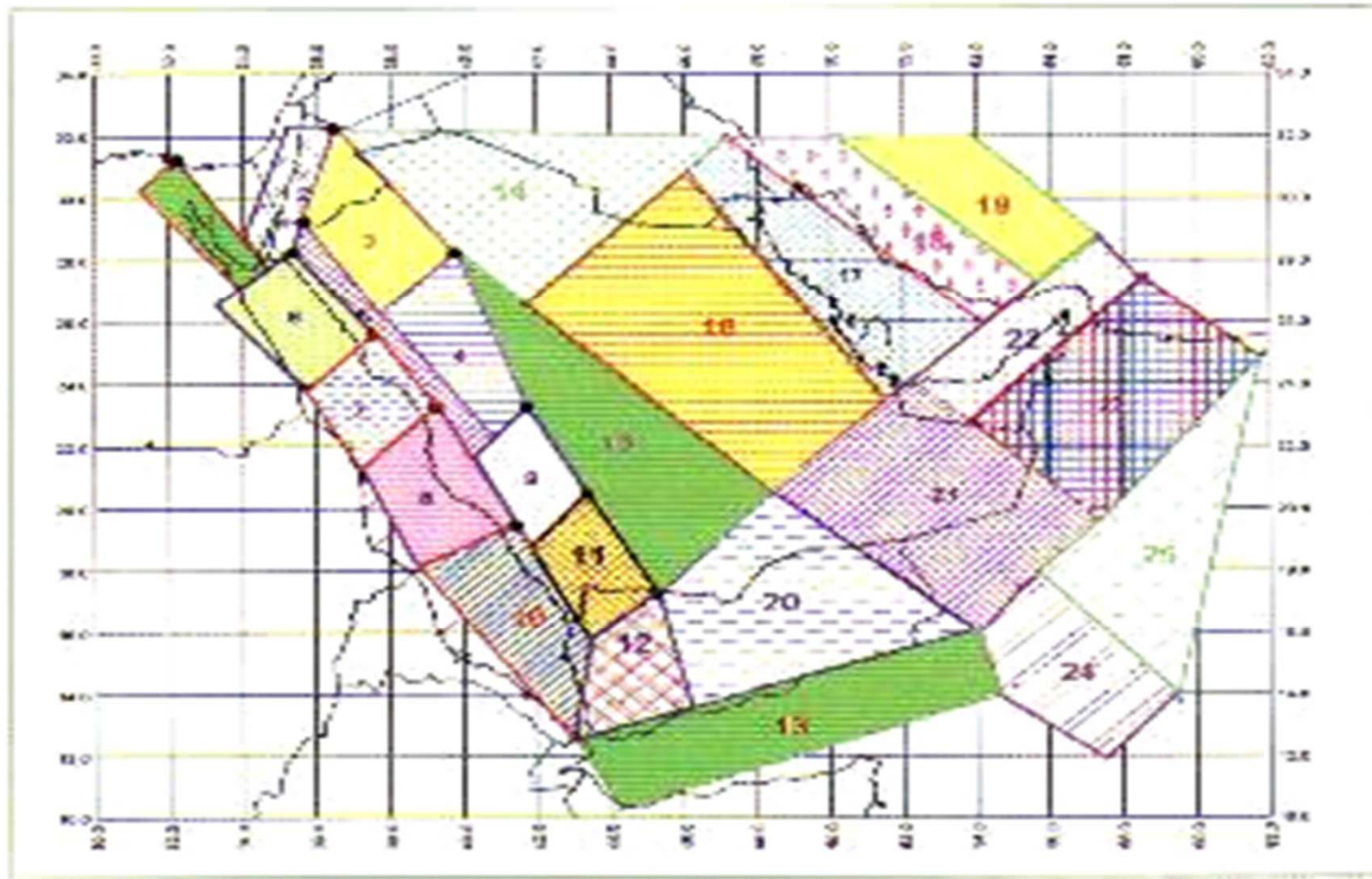
ج) الدراسات الزلزالية :

- ٠٧ رسم خرائط البؤر السطحية للزلازل .
- ٠٧ تحديد شدة ومقدار الزلزال والعلاقات المتكررة بينهما منذ زمن في المنطقة
- ٠٧ دراسة كل معلومات الشدة التاريخية قرب الموقع .
- ٠٧ الربط بين مواقع الزلازل مع الصدوع الموجودة على الخارطة .
- ٠٧ تخمين الشدات الزلزالية المستقبلية (التعجيل ، السرعة ، الفترة الزمنية) قرب الموقع مع ذكر الأرجحية في التكرار .

التقسيم الزلزالي : (Seismic Zoning) :

تستخدم الشدة الزلزالية (**Intensity**) في تقييم الأضرار والدمار الناجم عن حصول الزلازل تقييما وصفيا ، وتعتبر من أهم المقاييس في تحديد معاملات المخاطر الزلزالية حيث تستخدم في تقدير احتمالية النشاطات الزلزالية المستقبلية لهذا السبب تستخدم خرائط التقسيم الزلزالي التي تعبر عن توزيع أقصى قيمة للشدة الزلزالية (**Io**) كخرائط للمخاطر الزلزالية .

النطاقات الزلزالية لشبة الجزيرة العربية



الهدف

أن الهدف الأساسي في التقسيم الزلزالي (**Seismic zoning**) هو رسم خارطة (أو خرائط) تعبر عن التوزيع الجغرافي الحقيقي للنشاط الزلزالي بالاعتماد على عدة عوامل منها الشدة الزلزالية ، المخاطر والحركة الأرضية .

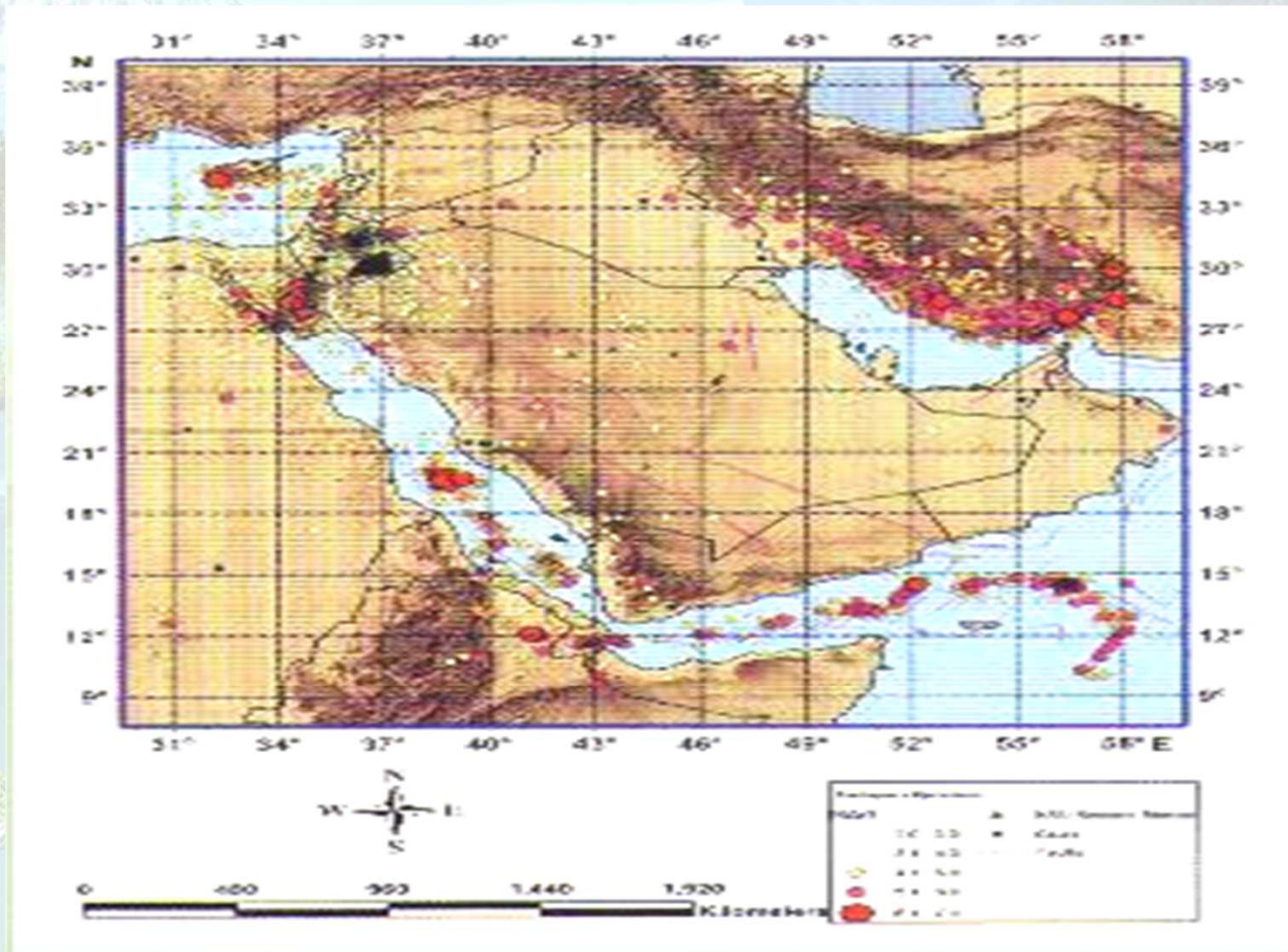
أنواع خرائط التقسيم الزلزالي

قسمت خرائط التقسيم الزلزالي الى نوعين من الخرائط :

أ (النوع الأول هو ذات عنصر تقسيم واحد) **Single Element Maps** وتمثل الخرائط التي تعتمد على المعلومات الزلزالية المسجلة فقط ، وتقسم المناطق التي تغطيها إلى منطقة ذات درجات مختلفة من الشدة المتوقعة للزلازل .

ب) النوع الثاني يمثل خرائط متعددة العناصر **Multiple Element Maps** والتي تعتمد على المعلومات التركيبية والزلزالية ولها عدة عناصر وتسمى بخرائط التقسيم الزلزالي متعددة العناصر .

خريطة ذات عنصر واحد



المبادئ التصميمية لمقاومة الزلازل :

عموما أن معايير التصميم المقاوم للزلازل ينبغي أن تتوفر فيها الشروط التالية :

❖ أن تقاوم الزلازل الطفيفة دون أضرار .

❖ أن تقاوم الزلازل المتوسطة دون أضرار إنشائية ، ولكن مع احتمال تعرضها لبعض الأضرار غير الإنشائية .

❖ أن تقاوم الزلازل الكبيرة التي تعادل في شدتها أقوى ما تعرضت له المنطقة من هزات أرضية دون انهيار مع حدوث أضرار إنشائية محددة .

(Aseismic Design) :

التصميم المقاوم للزلازل

إن الكوارث التي تسببها الزلازل دفعت المختصين خلال العقود الثلاثة الماضية للبحث والدراسة تطوير تصميم وإنشاء المباني التي تقاوم التأثيرات الزلزالية . يعطي التصميم الزلزالي للمباني أهمية خاصة حيث يعد متطلبات دليل البناء الزلزالي والذي يعتمد على احتماليه التردد وعلى شدة الاهتزازات الناجمة عن حدوث الهزات الارضية .

تحدد القيمة التصميمية للحدث الزلزالي بعد دراسة ما يلي :

أ/ الطبيعة الزلزالية للمنطقة المراد تشييد المنشأ عليها : وهذه تحديد الخرائط الزلزالية وذلك على أساس التاريخ الزلزالي والمعلومات الزلزالية التكتونية .

ب/ طبيعة التربة : إن خواص طبقات التربة يجب ان تؤخذ بعين الاعتبار ويجب الحذر من مشاكل التربة عند حدوث الزلازل مثل الهبوط غير المنتظم للتربة الرخوة وظاهرة تميع التربة .



ج/ الخواص الدينامية للمنشأ : ان زمن وطور الذبذبات اضافة لخواص التوهين ،
يجب ان تؤخذ ككل عند دراسة المنشأ والتربة . ان هذه الخواص تعتمد على الشكل
وتوزيع الكتلة و توزيع القص (**Rigidity**) وخواص التربة وطريقة الانشاء .

الخلاصة

إن تخفيف المخاطر الزلزالية يتطلب أولاً إقامة الشبكات الزلزالية المتعددة الأغراض وإجراء الدراسات الجيولوجية والتكتونية لتحديد المواقع الأشد تأثراً بالصدوع والحركات الجيولوجية البنائية ويصاحب ذلك تجميع المعلومات عن الزلازل التاريخية التي وقعت في كل منطقة وتقدير شدتها وموقعها البؤري التقريبي.



ويمكن تلخيص أساليب تخفيف مخاطر الكوارث الطبيعية بما يأتي:

■ أسلوب تجنب إقامة المنشآت السكنية والتنمية في المواقع الأكثر تأثراً بالكوارث الطبيعية.

■ إعداد خرائط تقسيم المواقع الأرضية حسب الاستخدام الملائم .

■ إعداد التصاميم الهندسية الملائمة لتحمل تأثير الكوارث الطبيعية

والله ولي التوفيق



• الفصل الأول

Seismology

علم الزلازل

مقدمة : Introduction

إن أسوأ الكوارث الطبيعية التي شهدتها الكرة الأرضية كان سببها في الغالب الهزات الأرضية, مما جعل العلوم الهندسية تركز اهتمامها بدراسة و تحليل تلك الزلازل وصولا الى ايجاد معايير و كودات بناء لتصميم و تنفيذ منشآت مقاومة لأفعال الزلازل.



فالزلازل أو الهزات الأرضية هي احدى الظواهر الطبيعية التي تؤثر على بقاع عديدة من الكرة الأرضية بصورة دورية و منتظمة تقريبا, و تؤثر على مواقع أخرى بصورة مفاجئة مسببة في كلا الحالتين الكوارث والدمار اذا كانت شدتها كبيرة, واذا صادف و كانت بؤرتها تحت أو قرب مناطق مأهولة بالسكان.

تعرف الهزات على أنها ظاهرة فيزيائية بالغة التعقيد, تظهر كحركات عشوائية للقشرة الأرضية على شكل ارتعاش و تحرك و تموج عنيف, و ذلك نتيجة لإطلاق كميات هائلة من الطاقة من باطن الأرض , و هذه الطاقة تتولد نتيجة لإزاحة عمودية أو أفقية بين صخور الأرض عبر الصدوع التي تحدث لتعرضها المستمر للتقلصات و الضغوط الكبيرة.



تتراوح الزلازل في شدتها من هزات خفيفة بسيطة الضرر الى هزات عنيفة تؤدي الى تشقق سطح الأرض و تكوين الانزلاقات الأرضية وتحطيم المباني و الطرق و خطوط الكهرباء و المياه ... و يتعاضد تأثير الهزات في الأراضي الضعيفة خصوصا في الرواسب الرملية والطينية حديثة التكوين.

و يعلل ذلك بأن هذه الرواسب تهتز بعنف بسبب انخفاض معامل مرونتها و صلابتها **Modulus of Elasticity and Rigidity** و عدم قدرتها على تخفيف التأثير التسارعي **Acceleration**.



Seismology

تعرف السيسمولوجيا على أنها علم الهزات الأرضية أو الزلازل و هي أحد فروع الجيوفيزياء , و يهتم علم الزلازل بشكل عام بـ:

دراسة هيكلية و طبقات الكرة الأرضية.



أصل و سبب و آلية الهزات.



Seismic Engineering

هندسة الزلازل

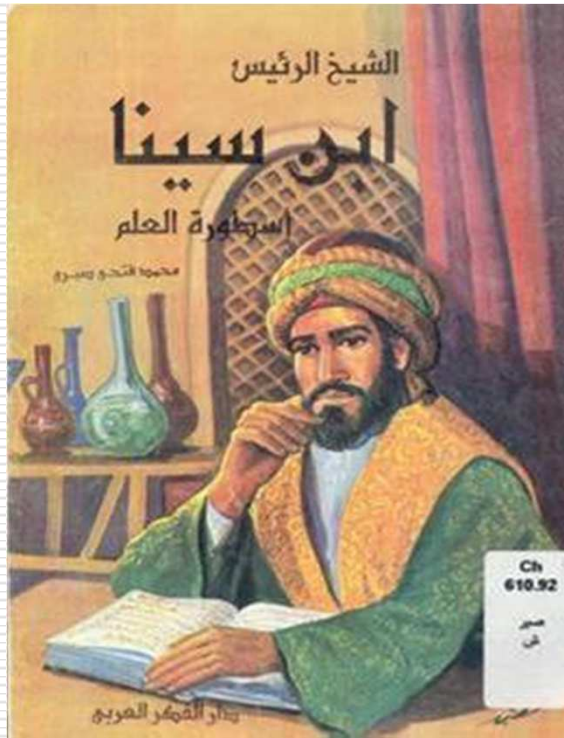
تعتمد هندسة الزلازل على معطيات علم الزلازل, و تهتم بتحليل أثر الاهتزازات على العناصر الانشائية , و ذلك من خلال دراسة تصرف المنشآت عند حدوث الزلازل و الاستقرار للمنشآت .

ومن الجدير بالذكر أنه خلال النصف الثاني من القرن العشرين تطورت هندسة الزلازل بشكل سريع , بحيث شملت جميع أنواع المنشآت (المدنية , الصناعية , الزراعية و غيرها) و أصبحت تعالج المشاكل الدقيقة للمنشآت .



Earthquake Causes

أسباب الهزات الأرضية



منذ القدم حاول الانسان معرفة أسباب حصول الهزات الأرضية , حيث أظهرت المراجع التاريخية القديمة أن الشعوب و الامم القديمة التي عاشت فوق الكرة الأرضية حاولت اعطاء تفسير لظاهرة الزلازل الا أن جميع هذه التفاسير لم تخرج عن اطار الأساطير و الخرافات, و قد أظهرت بعض المراجع العلمية العربية (أيلوش 1996 , والسنوي 1997)

أنه ربما يعود التفسير العلمي لأسباب الزلازل لأول مرة الى
العلامة ابن سيناء حيث أعطى تفسير لأسباب حصول
الزلازل فيه الكثير من الصحة.

أما في العصر الحديث فيعتبر العالم اولدهام **Oldham**
1990 والعالم ريد **Raid 1910** من أوائل من وضع
الأسس الفيزيائية لتفسير عملية حدوث الزلازل.

و بشكل عام يمكن تصنيف المصادر المسببة للهزات
الأرضية الى ما يلي:

أ- أسباب طبيعية لا دخل للإنسان بها.

ب- أسباب غير طبيعية.

Tectonic Earthquakes

الزلازل التكتونية

يصف المختصون الهزات الأرضية التكتونية بشكل عام الى صنفين :

• الزلازل الواقعة على حدود الصفائح التكتونية و تعرف ب : **Interplate Earthquakes**

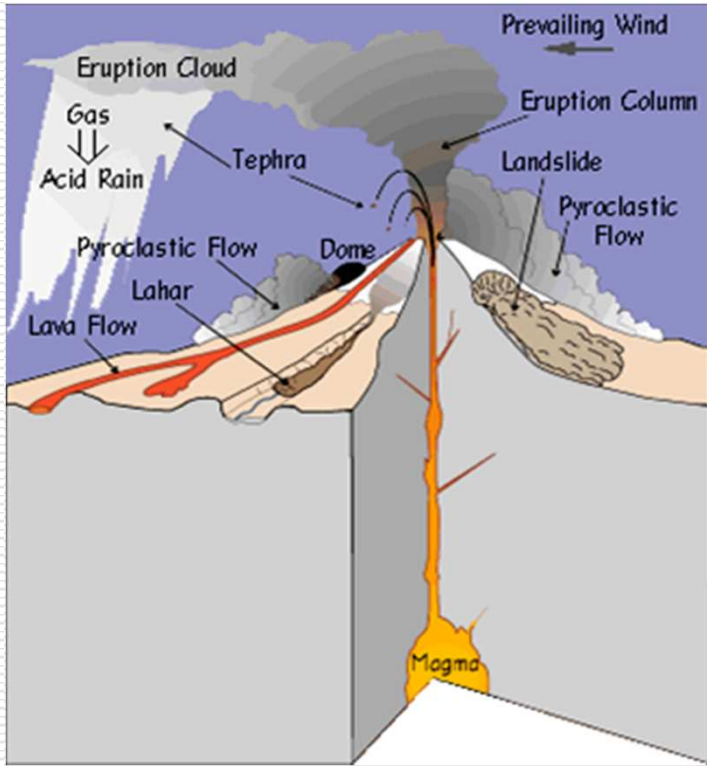
وتشكل 90% من مجموع الهزات الأرضية التي حصلت, ويتوفر لهذا الصنف العديد من الدراسات المختلفة.

وتعتبر الهزات التكتونية أهم أنواع الهزات الأرضية الطبيعية، فإضافة
لكون 90% من العدد الكلي للهزات المسجلة ذات طبيعة تكتونية،
يوصف هذا النوع من الهزات :

- بشدته الكبيرة
 - بتأثيره على مساحات كبيرة
 - دمار و خراب كبير
-

Volcanic Earthquakes

الزلازل البركانية



في المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية، تندفع الصخور المنصهرة والمنطقة من الأعماق الصهارية باتجاه الطبقات الخارجية، مما قد يؤدي إلى تراكم وتركيز الاجهادات على هذه الطبقات وبالتالي احتمال حدوث صدوع فجائية و حركات اهتزازية للقشرة، وقد يرافق أو يتبع ذلك انطلاق الصهاري بسرعة إلى الخارج.

Implosive and Collapse Earthquakes

الزلازل الارتطامية و الانهيارية



يحدث هذا النوع من الزلازل نتيجة حصول انهيارات في عمق الأرض مثل انهيارات الكهوف والمغر، و بشكل عام يكون تأثير الزلازل الارتطامية والانهيارية محلي ومحدودة بمناطق صغيرة، وذلك بسبب ضآلة الطاقة الزلزالية المتولدة.

Crustal Movements and Tectonic Faults

حركة القشرة الأرضية و الفوالق التكتونية
تتكون الكرة الأرضية من الأجزاء (الأنطقة) التالية:

• القشرة الأرضية Crust

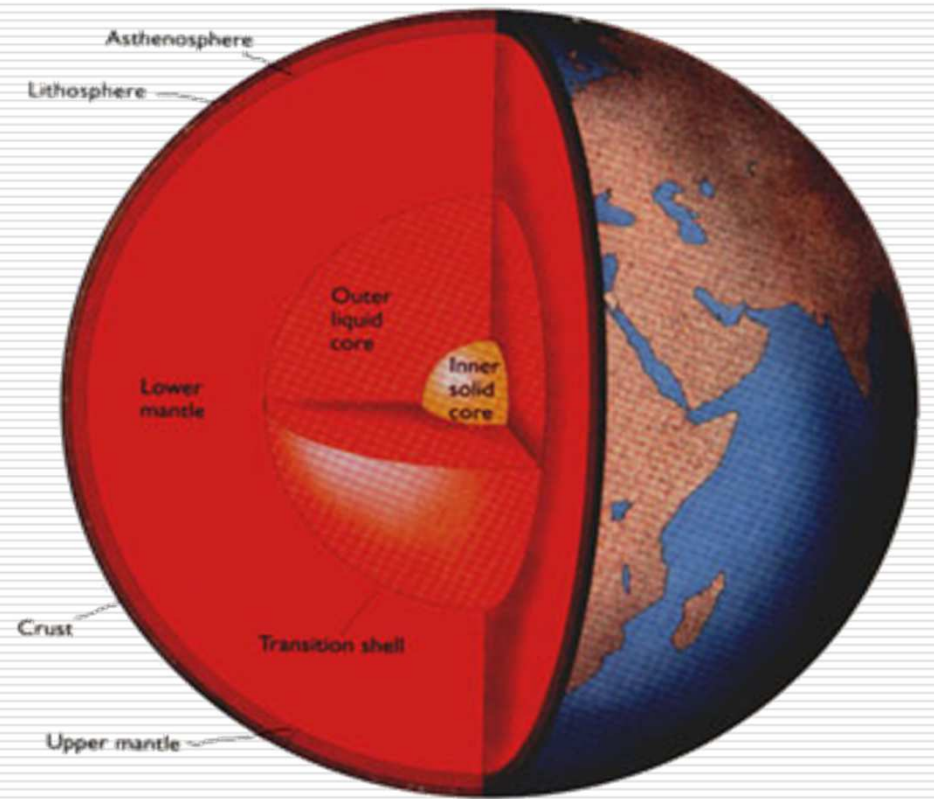
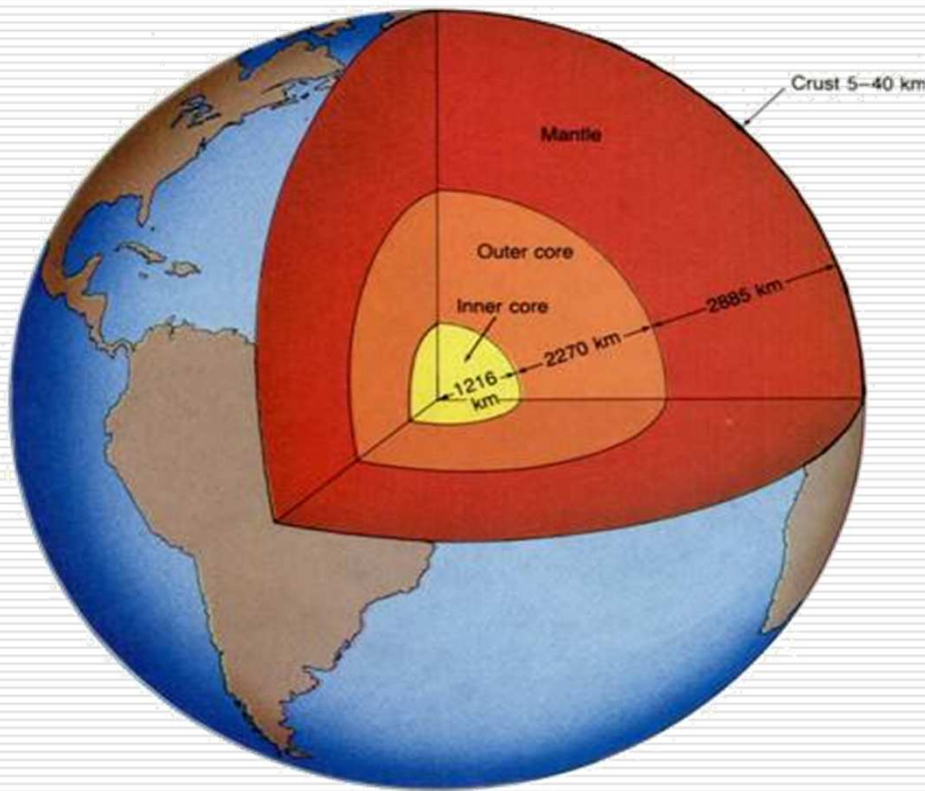
• غلاف الأرض الصخاري و المعروف باسم الليتوسفير Lithosphere

• غلاف الأرض الصهاري و المعروف باسم Asthenosphere

• غلاف النواه الخارجية Outer Core

• نواة الأرض Inner Core

تتكون الكرة الأرضية من الأجزاء (الأنطقة) التالية:



Cross Section Of The Earths Structure

تمثل القشرة الأرضية طبقة سطحية رقيقة نسبياً بالنسبة لقطر الكرة الأرضية، وتبلغ سماكتها بحدود 35 Km في معظم المناطق القارية وتنخفض إلى سماكة وسطية بحدود 10-15 Km في منطقة المحيطات.

Crustal Movement

حركة القشرة الأرضية

خلال العقود القليلة الماضية أمكن معرفة الكثير عن طبيعة الكرة الأرضية وفي الحقيقة يسمى الكثيرون هذه الفترة ثورة المعرفة المتعلقة بالأرض وذلك لأنه ليس لها مثيل في أي زمن، و قد بدأت هذه الثورة في الجزء الأول من القرن العشرين باقتراح يقول: ان القارات انجرفت أو ترحلت على سطح الأرض وقد قوبلت هذه الأفكار في حينه بكثير من التشكيك من قبل البعض وذلك لأن الرأي السائد في تلك الفترة كان يقول بأن القارات وأحواض المحيطات هي ملامح ثابتة و دائمة على سطح الأرض.

بما أن كل صفيحة تتحرك كوحدة مستقلة، فإن اللقاء وحركة الصفائح النسبية فيما بينها تقدر بحوالي 5-10 سم، ويُعتقد بأن هذه الحركة ناتجة عن انتقالات عميقة على مستوى غلاف الصهاري.

و بسبب حركة الصفائح القشرية استنتج العلماء بأن قارات الكرة الأرضية الحالية كانت قبل 200 مليون سنة متلاصقة على شكل قارة عملاقة واحدة أطلق عليها اسم البانجي **Panangea** .

و نتيجة للحركة المستمرة لغلاف الصهاري ومع مرور عشرات أو مئات الملايين من السنين انقسمت البانجي بشكل تدريجي الى عدة قطع وصولاً الى وضعها الحالي.

حركة الصفائح (القارات) في الكرة الأرضية



شكل الكرة الأرضية قبل 65 مليون سنة



شكل الكرة الأرضية قبل 200 مليون سنة



الوضع الحالي



شكل الكرة الأرضية قبل 65 مليون سنة



شكل الكرة الأرضية قبل 200 مليون سنة



الوضع الحالي



شكل الكرة الأرضية قبل 65 مليون سنة



شكل الكرة الأرضية قبل 200 مليون سنة

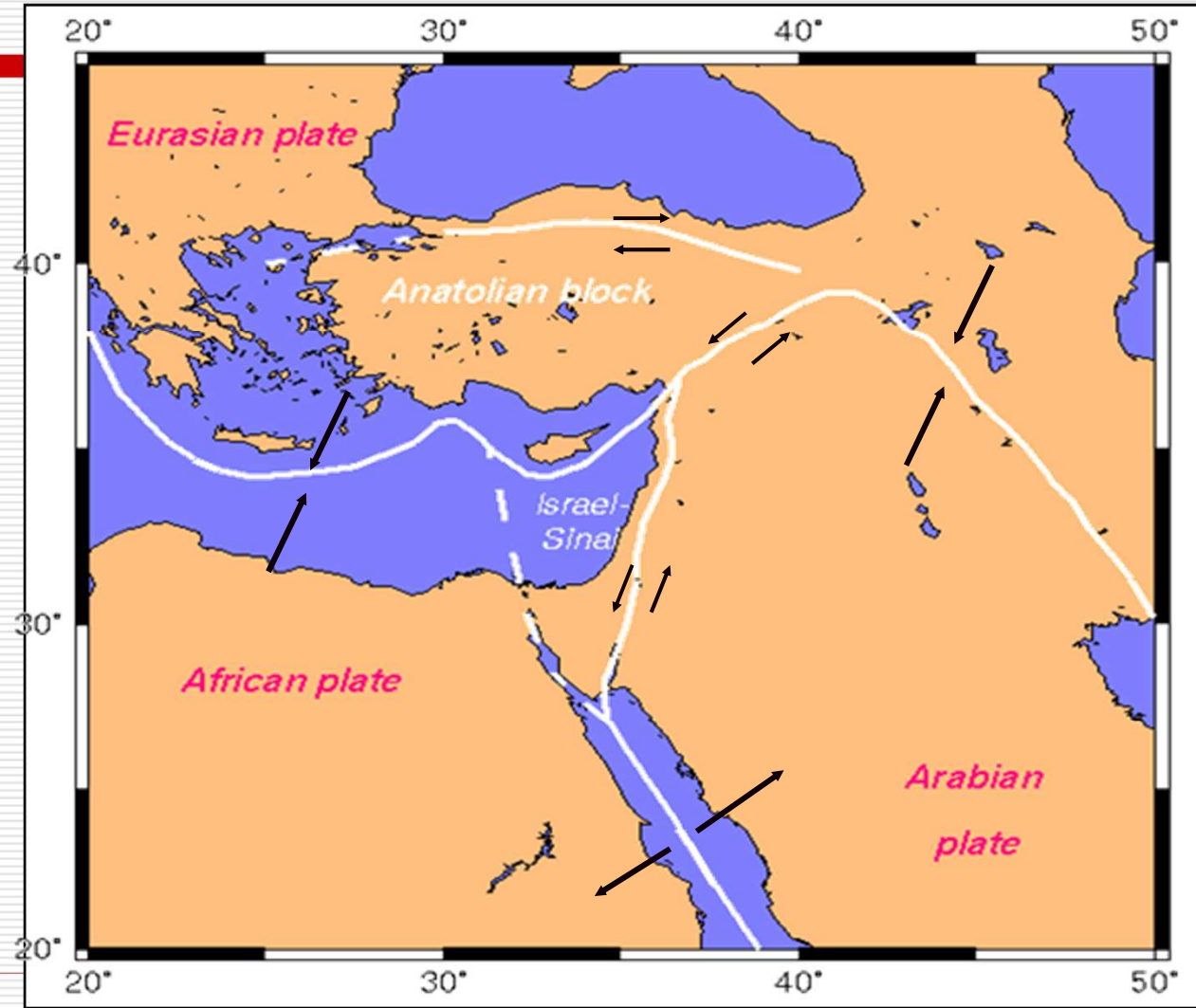


الوضع الحالي

اتجاه الحركة النسبية لصفائح القشرة الأرضية بالإضافة إلى مواقع الفوالق القارية الرئيسية



اتجاه حركة الصفائح العربية



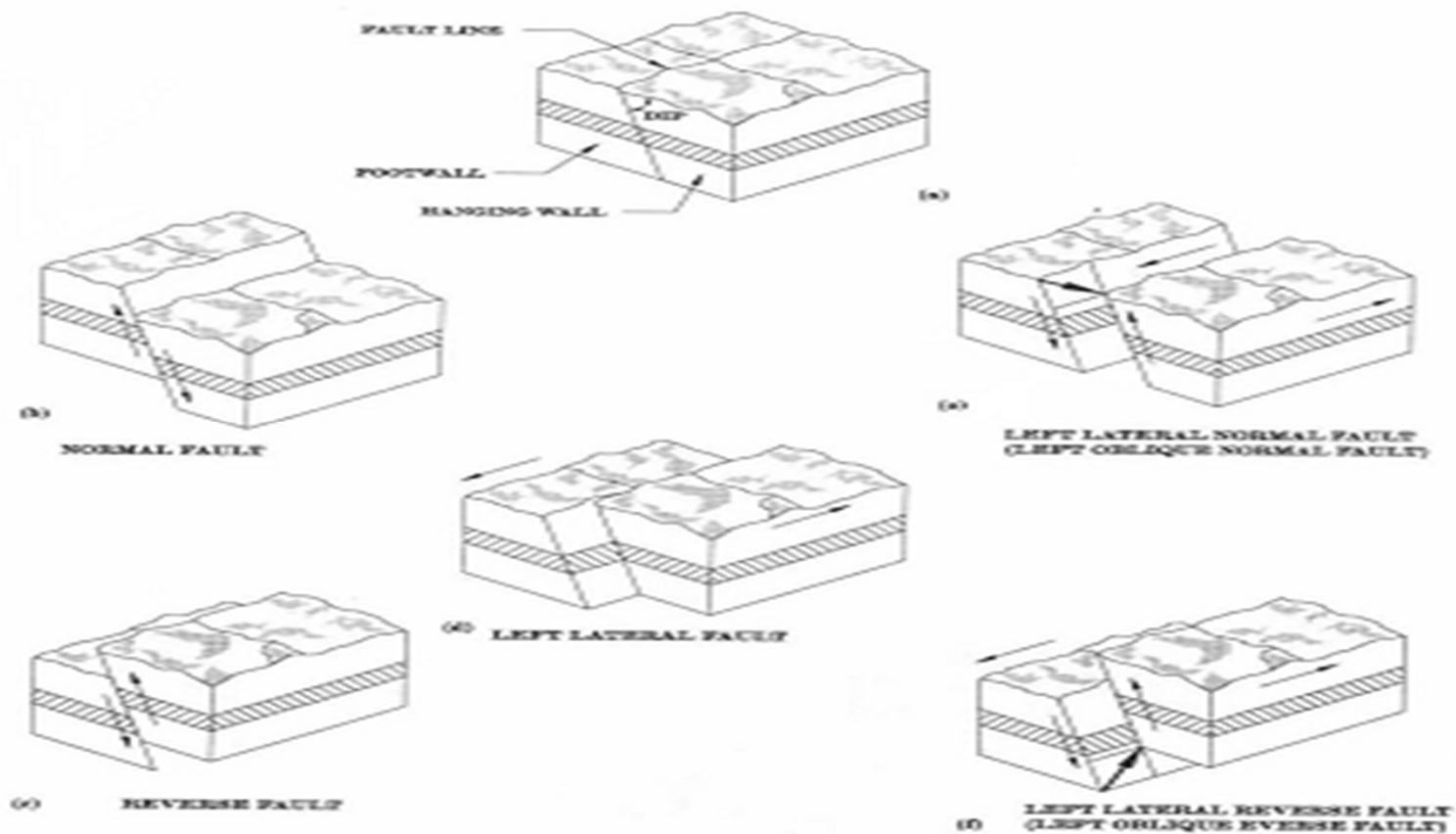
Tectonic Fault

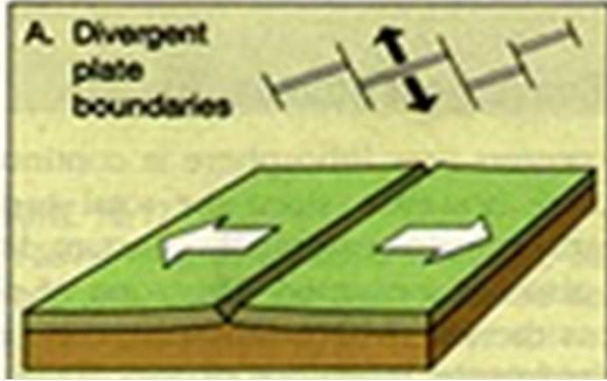
الفوالق التكتونية

بما أن كل صفيحة تتحرك كوحدة مستقلة، فإن اللقاء بين الصفائح يحدث على امتداد أطرافها، وقد تم تحديد أطرافها عن طريق رسم مراكز الزلازل و النشاط البركاني.

و أخيرا أمكن التعرف على ثلاثة أنواع مختلفة من أطراف الصفائح (السنوي 1997) والتي يمكن تمييزها عن طريق الحركة التي تحدثها.

أنواع الفوالق

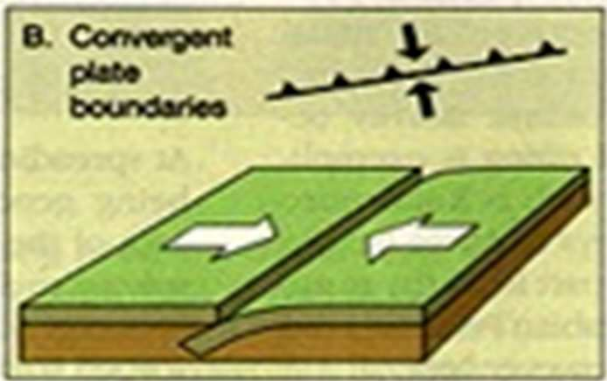




الأطراف المتباعدة Divergence



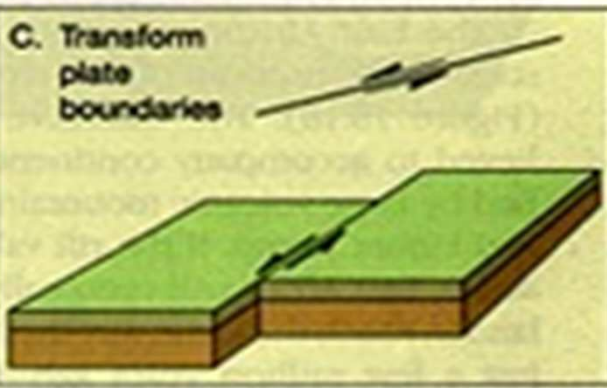
وهي مناطق تتباعد فيها الصفائح عن بعضها تاركة ثغرة بينها.



الأطراف المتقاربة Convergence وهي

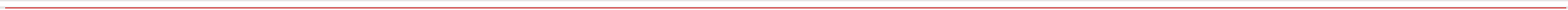


مناطق تتقارب فيها الصفائح من بعضها مسببة في انزلاق أحد اللوحين المتقاربين تحت الآخر، كما يحدث عندما يتعلق الأمر بالقشرة المحيطية أو عندما تصطدم صفيحتان من القشرة القارية.







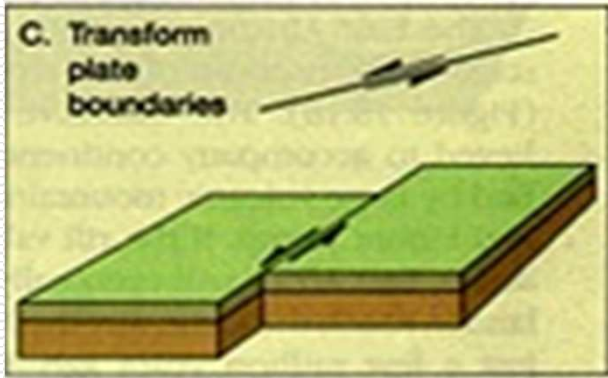




أطراف الصدع التحويلي Transform Fault



وهي مناطق تنزلق فيها صفيحتان جانبيًا بحيث يشكل كل منهما الآخر.



عندما تلتقي صفيحتان فان أطراف أحدهما المقترب ينصاع الى أسفل مسهلا بذلك عملية انزلاقه تحت الآخر.

و عندما تصطدم صفيحتان صخريتان أحدهما محيطية و الأخرى قارية , فان المادة المحيطية التي هي أكثر كثافة دائما تغوص في الغلاف الوهن الضعيف تحتها.



Seismic Waves

الموجات الزلزالية

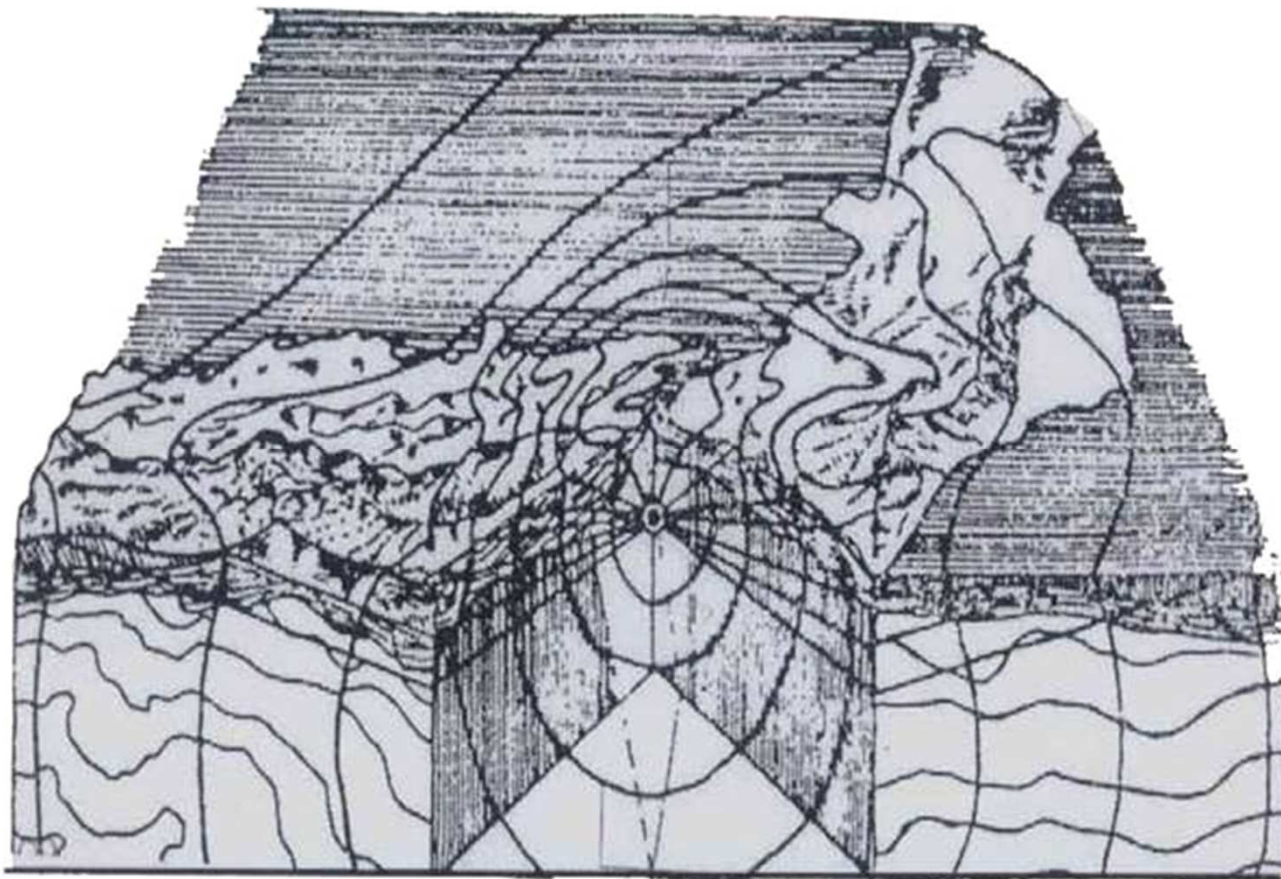
تنتشر الطاقة الزلزالية الناتجة عن اهتزاز طبقات الأرض في مركز الزلازل البؤري على شكل موجات زلزالية.

حيث تمر هذه الموجات من خلال طبقات الأرض المختلفة حتى تصل الى سطح الأرض مسببة اهتزازات لجميع الأجسام و المنشآت الموجودة في منطقة تأثيرها.

وبشكل عام تتأثر طاقة الموجات الزلزالية بالخواص الفيزيائية والتركيب الجيولوجي للطبقات الصخرية التي تمر من خلالها.

و تقسم الموجات المرنة المنبعثة من البؤرة أو مركز الزلازل الى نوعين رئيسيين هما:

الموجات الجسمية و الموجات السطحية



Body Waves

الموجات الجسمية

تنتشر هذه الموجات داخل الأرض في جميع الاتجاهات وتقسم بدورها الى نوعين:

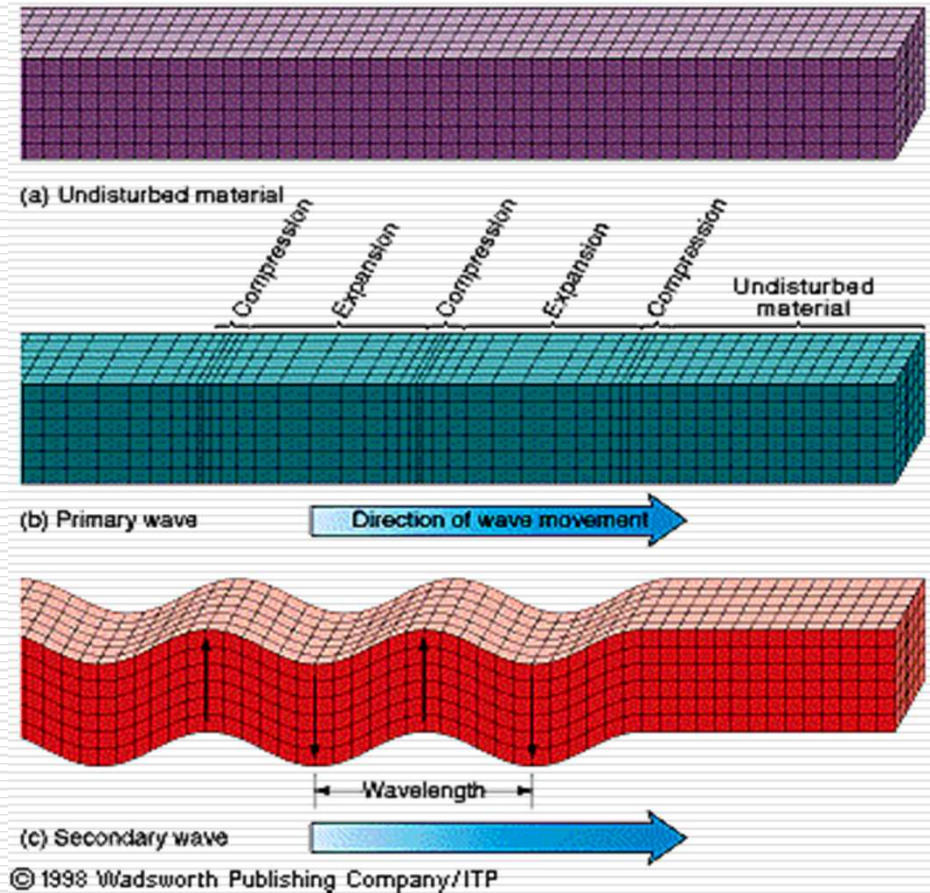
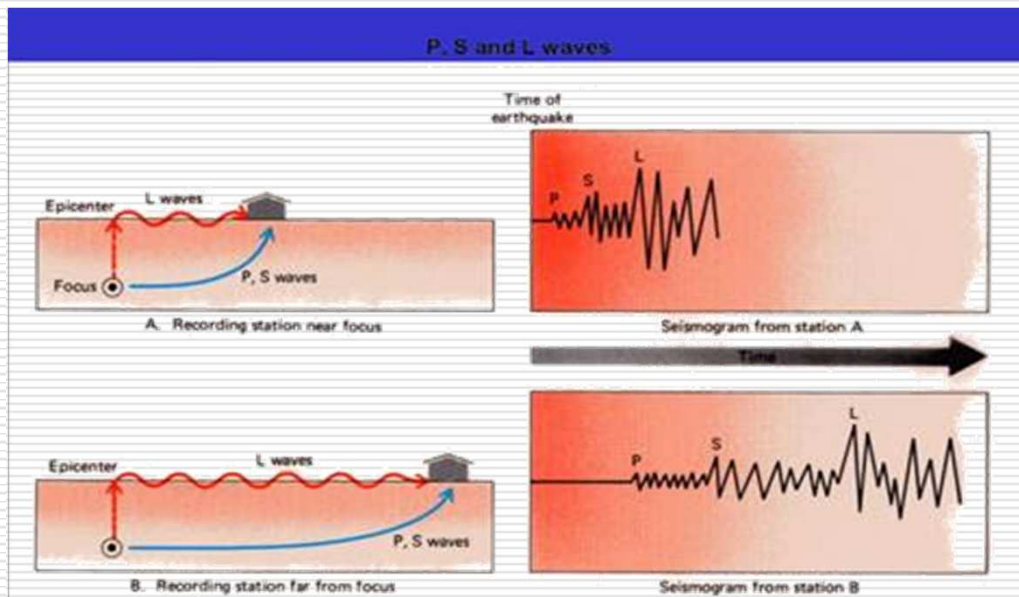
Primary or P- waves

• الموجات الطولية

S – waves

• الموجات العرضية

Seismic Waves



السرعة القصوى لانتشار الموجات الطولية لا يمكن أن تتجاوز 7-8 كم/ث، و بذلك تصل أولا الى سطح الأرض , أما الموجات العرضية فسرعتها أقل من سرعة الموجات الرئيسية، وأقصى سرعة محتملة لا تتجاوز 4-5 كم/ث .

سرعة الموجات الزلزالية الطولية و العرضية في الأوساط المرنة لا تعتمد على ترد هذه الموجات , أما العلاقة بين هذه السرعات و عمق المركز البؤري للزلازل (V_p/V_s) فهي طردية.

وبشكل عام أظهرت الدراسات الجيوفيزيائية ان النسبة بين سرعات
هذه الموجات هي :

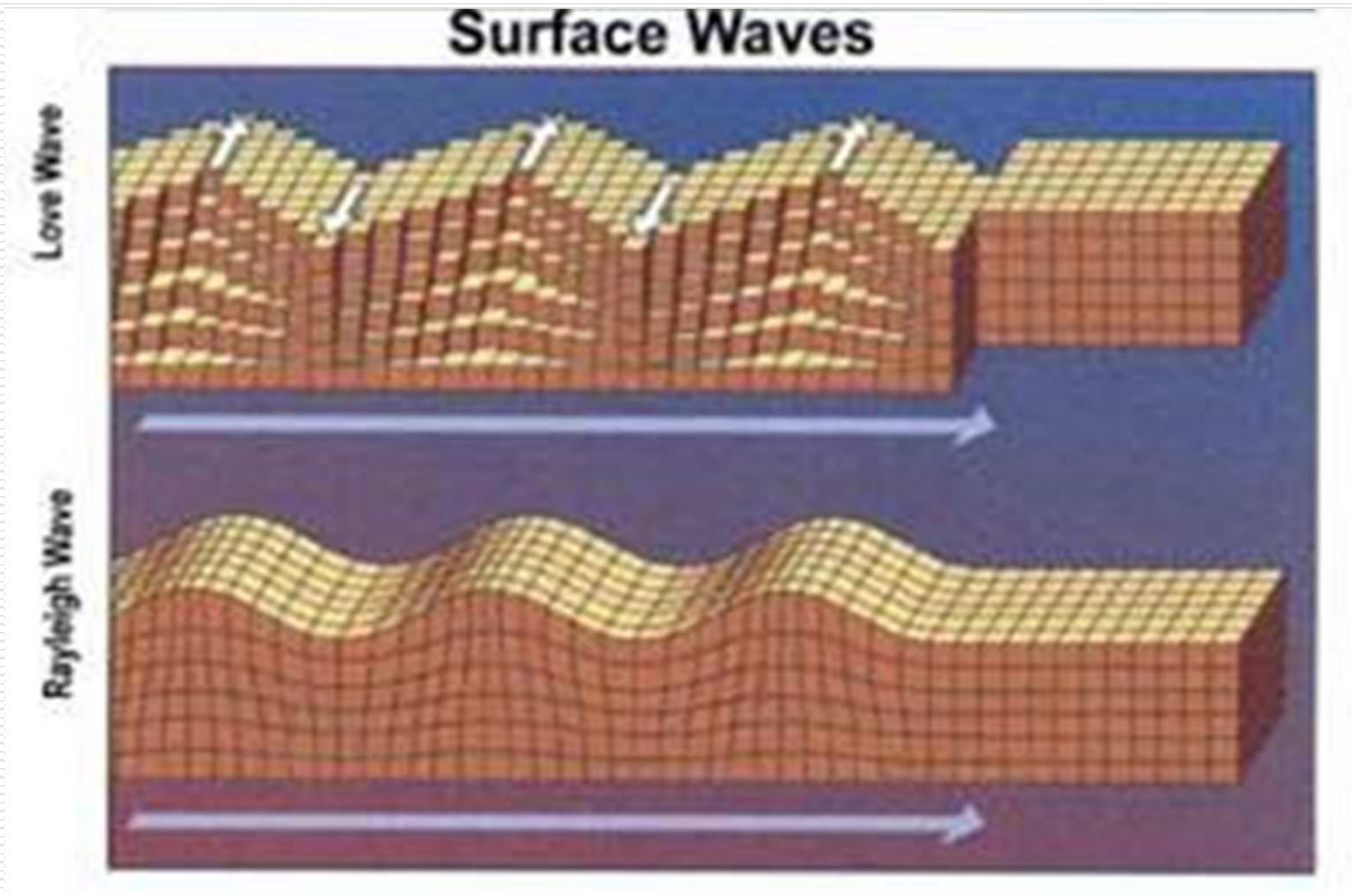
$$\frac{V_p}{V_s} = 1.67-1.78$$

يشار الى أن تحديد النسبة (Vp/Vs) هامة وضرورية للرصد الزلزالي،
فكل دولة بحاجة لتحديد قيمة هذه النسبة في مناطقها ولتحقيق ذلك تجري
دراسات من خلال تنفيذ زلازل صناعية باستخدام التفجيرات حيث يتم تحديد
سرعة الموجات المختلفة و بالتالي تحديد نموذج السرعة الملائم , أي
تحديد قيمة هذه النسبة و التي سيتم اعتمادها في ايجاد المراكز الزلزالية و
تحديد مقدار درجة الزلازل.

و لإيجاد سرعة الموجات الزلزالية في المنطقة تم اجراء عدد من الزلازل الصناعية باستخدام التفجيرات ومن أهم هذه التجارب التي تم اجراءها في شهر 11/1999 في البحر الميت والتي تم تنفيذها من قبل بعض دول المنطقة كمساهمة في نشاطات منظمة الخطر الشامل للتجارب النووية الخاصة بمعايرة محطات رصد الزلازل -أزمان انتقال الموجات الزلزالية و تحسين دقة تحديد مواقع الزلازل بشكل عام و التفجيرات النووية بشكل خاص (عمرات 2000 و الديك 2000) .

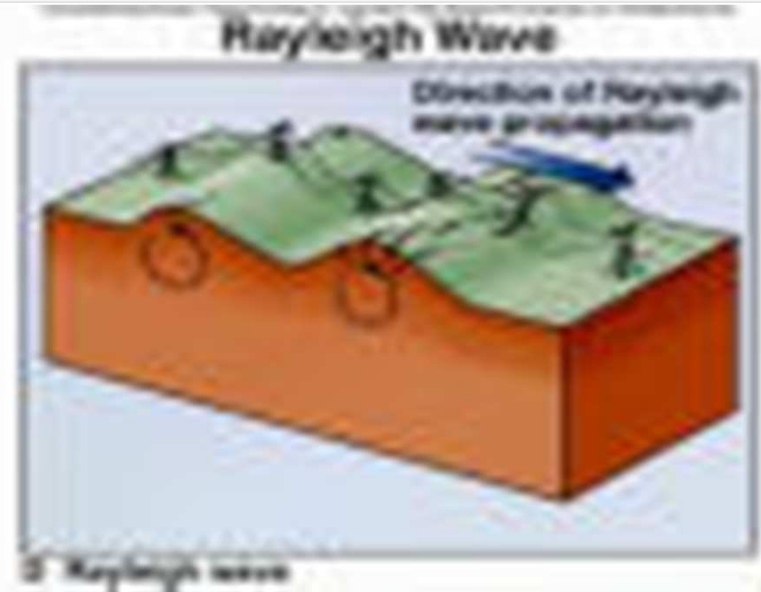
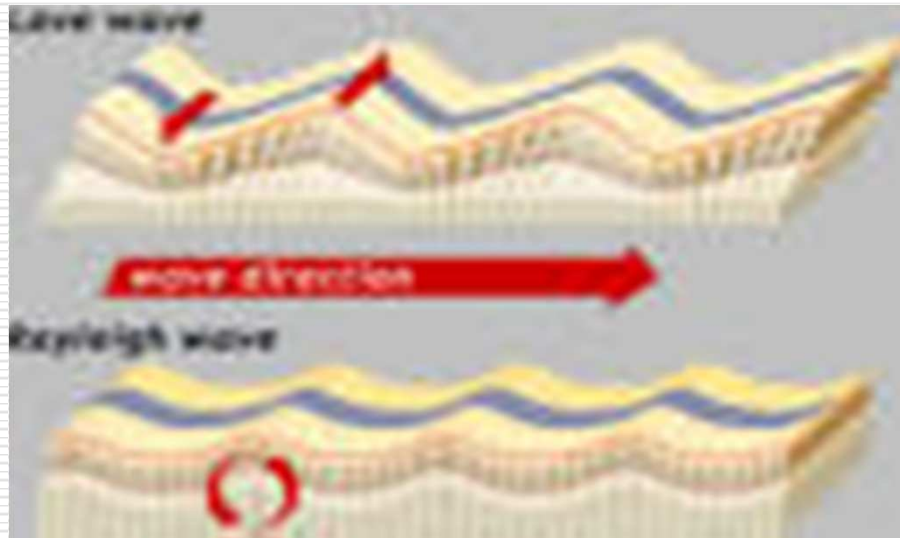
Surface Waves

الموجات السطحية



أ – موجات رايلي Rayleigh Wave

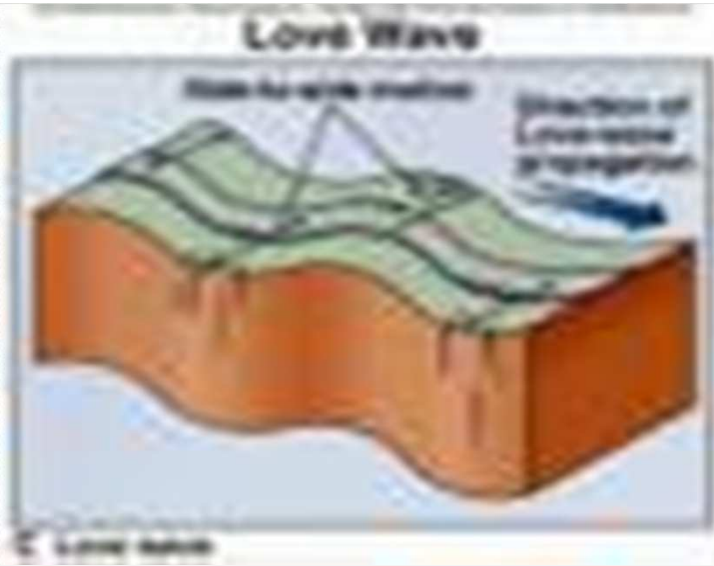
تتحرك هذه الموجات على شكل قطع ناقص أو إهليجي في المستوى العمودي لمسار انتشار الموجة.



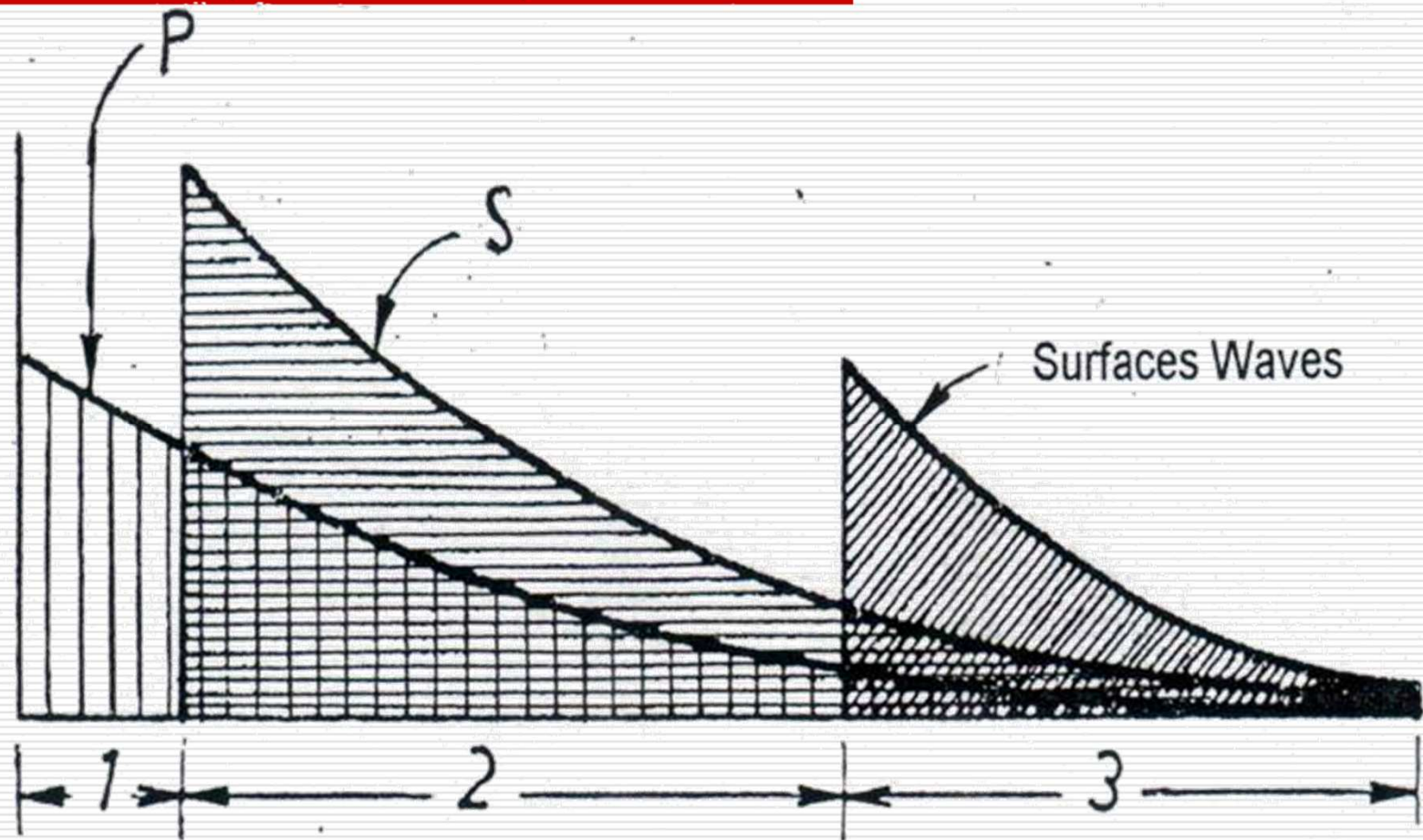
ب - موجات لوف Love Waves

يلاحظ هذا النوع من الموجات عندما تكون سرعة الطبقة العليا أقل من الطبقات التي تحتها، وتتذبذب بشكل عرضي على مسار اتجاه الانتشار و سرعتها مقاربة لسرعة الموجات العرضية.

□ أظهرت الدراسات أن سرعة موجات لوف تساوي **1.5-5** كم/ث في حالة التربة القوية و **0.50-1.5** كم/ث في حالة التربة الطينية.

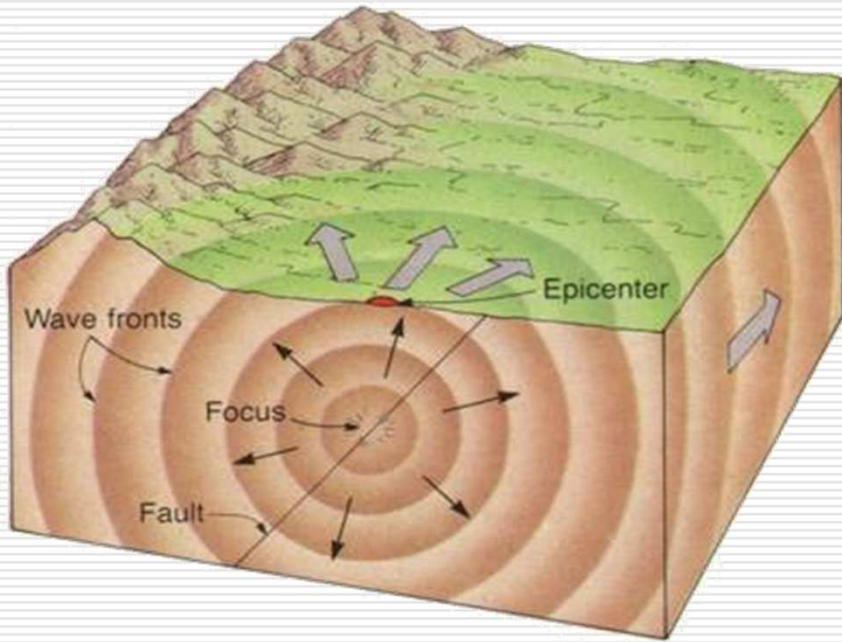


مراحل تسجيل الموجات



Earthquake Hypocenters and Epicenters

المراكز الجوفية و المراكز السطحية للزلازل



في الزلازل ذات الطبيعة التكتونية يقع المركز الجوفي أو بؤرة الزلازل في معظم الحالات على أعماق منخفضة نسبيا تتراوح بين 5-80 كم، علما أن أقصى عمق محتمل للبؤر الزلزالية قد يصل الى 700 كم.

هناك طرق عديدة لتحديد أعماق بؤر الزلازل و احدى هذه الطرق هي استخدام التسجيلات الجيوفيزيائية لزمان انتشار الموجات الزلزالية الطولية و العرضية و بناء على المعطيات يمكن استخدام العلاقة التالية لتحديد الموقع التقريبي للبؤرة.

$$d = \left[\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_p} \right]^{-1} T_1$$

Vs : سرعة انتشار الموجة العرضية.

Vp : سرعة انتشار الموجة الطولية .

T1 : الفترة الزمنية بين وصول الموجتين الطولية و العرضية.

يتطلب تحديد الموقع التقريبي للبؤرة استخدام تسجيلات 3 محطات زلزالية على الأقل , حيث يتم تحديد قيمة البعد البؤري لكل محطة.

بعد موقع المحطة عن البؤرة (البعد الزلزالي) و الذي يمكن ايجاده باستخدام العلاقة يمثل النقطة النظرية التي انطلق منها أول موجة زلزالية .
علما أنه ليس من الضروري أن يتطابق هذا المركز مع المنطقة التي انطلق منها أكبر كمية من الطاقة.

أنظر الشكل التالي



Epicenter Distance

موقع المحطة

Epicenter

العقّ البوّري

A diagram illustrating the hypocenter distance. It shows a curved line representing the Earth's surface. A point on this line is labeled 'Epicenter'. A point below the surface is labeled 'Hypocenter'. A red arrow points from the Epicenter to the Hypocenter. The text 'Hypocenter Distance' is written in red, following the path of the arrow.

Hypocenter

المراكز الجوفية والمراكز السطحية للزلازل

تقسم الهزات من حيث عمقها الى :

$D < 70 \text{ km}$

• زلازل سطحية (ضحلة)

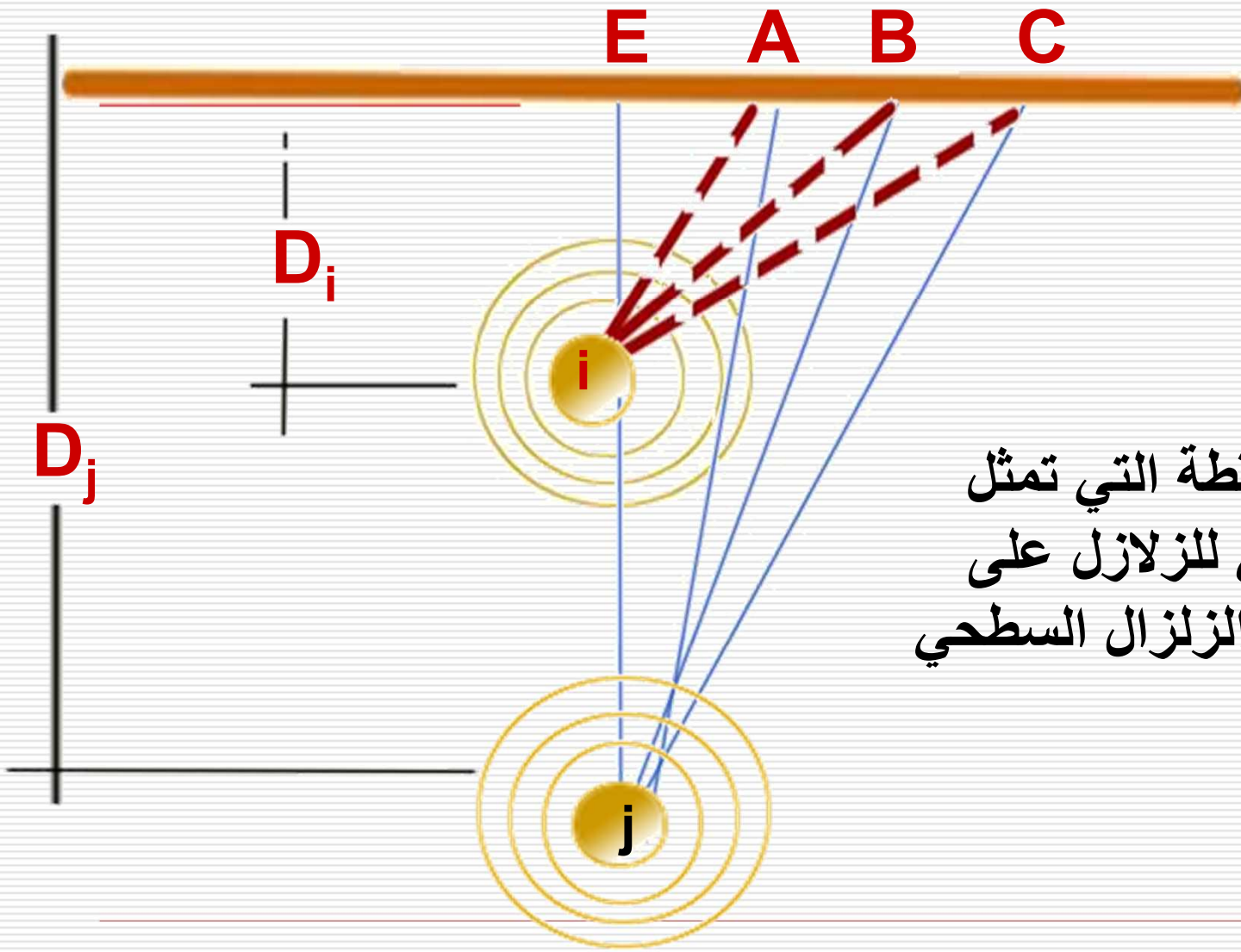
$70 \text{ km} < D < 300 \text{ km}$

• زلازل متوسطة العمق

$D > 300 \text{ km}$

• زلازل عميقة

تشير الأبحاث و الدراسات أنه في الأعماق و على مسافات أكبر من 700 Km لا يمكن أن تحدث هزات أرضية , أما عن علاقة الشدة الزلزالية بعمق المركز الجوفي للزلازل فإنه يمكن توضيح ذلك من خلال الشكل التالي فمثلا اذا صدر عن المركزين **A** و **B** نفس الطاقة الزلزالية فإن تأثير المركز **B** على المواقع **E, A, B, C** يكون أكبر من أثر الهزة الصادرة عن المركز **A** , وذلك لأن الشدة الزلزالية تتناسب طردياً مع كثافة الطاقة، في حين تتناسب الطاقة تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بين المركز والموقع المختار.

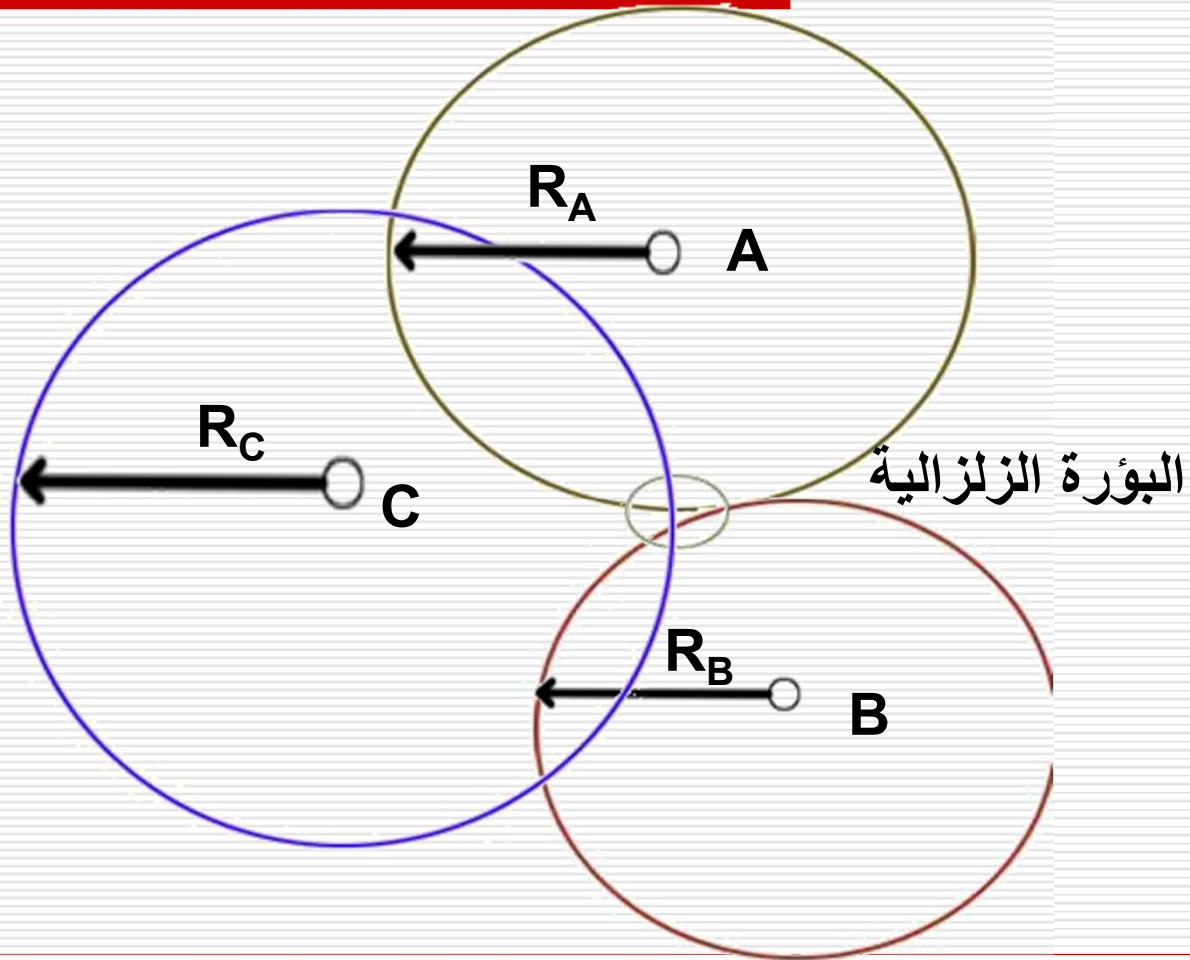


تسمى المنطقة أو النقطة التي تمثل
مسقط المركز الجوفي للزلازل على
سطح الأرض بمركز الزلازل السطحي
Epicenter.

قد تختلف الدول المجاورة فيما بينها في تحديد موقع المراكز (المركز الجوفي و المركز السطحي)، حتى و ان استخدام الطرق الحسابية المشار اليها أعلاه، و ذلك لعدة أسباب أهمها :

الاختلاف في دقة الأجهزة المستخدمة , خطأ التوقيت الذي قد تسببه ساعة الجهاز، الأخطاء في تحديد بداية ظهور الموجات الزلزالية المختلفة S و P و النقص في المعطيات الأخرى.

تحديد الموقع البؤري للزلازل عند توفر ثلاث محطات زلزالية



Ground Motion Records

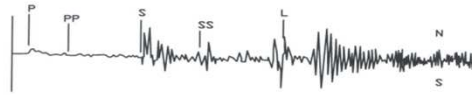
تسجيلات الحركات الأرضية

تنشأ الحركات الزلزالية بسبب الاهتزازات التي تحدثها الموجات الزلزالية، وعند وصول هذه الاهتزازات الى سطح الأرض يمكن تسجيلها بواسطة أجهزة خاصة لرصد الزلازل، لذلك ارتبط تطور علم الزلازل تاريخيا باكتشاف و تطور الأجهزة الزلزالية المختلفة وبتطور و استنباط العلاقات الرياضية – الفيزيائية للحركات الموجية.

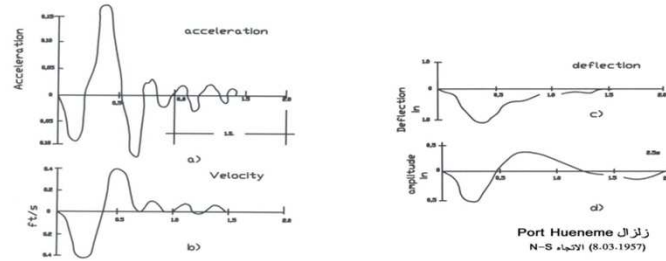
تتميز الحركات الأرضية الزلزالية بالعلاقة مع الزمن في أنها عشوائية وغير منتظمة حيث الاتجاه و السعة و التردد.

و استنادا الى خصائصها يمكن تصنيف الحركات الزلزالية الى:

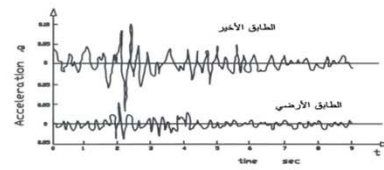
- أ – هزات أرضية سطحية ذات صدمة ميكانيكية واحدة **Single Shock**
 - ب. هزات ذات حزمة واحدة من الحركات الاهتزازية القويّة
 - ج. هزات تتكون من العديد من حزم الحركات الاهتزازية.
 - د. هزات مدة تأثيرها كبيرة بالإضافة الى أن زمنها الدوري كبير.
 - هـ. الهزات التي تسبب تشوهات دائمة و واضحة للتربة
-



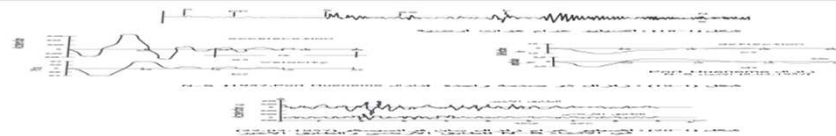
شكل (18-1): أكسيليو غرام هزات أرضية

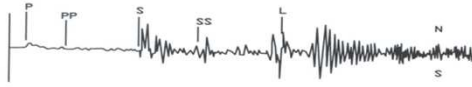


شكل (19-1): زلزال ذو صدمة واحدة (زلزال Port Hueneme, 1957) N-S

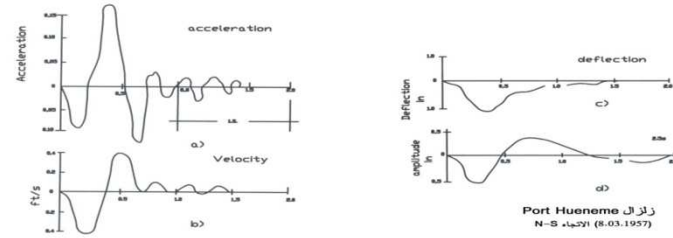


شكل (20-1): أكسيليو غرام زلزال سان فرانسيسكو (22.03.1957) في الاتجاه N-S للطابق الأرضي والطابق الأخير

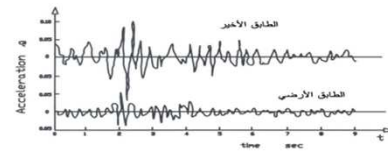




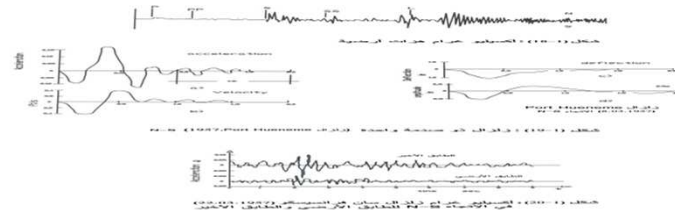
شكل (1-18): أكسيليو غرام هزات أرضية



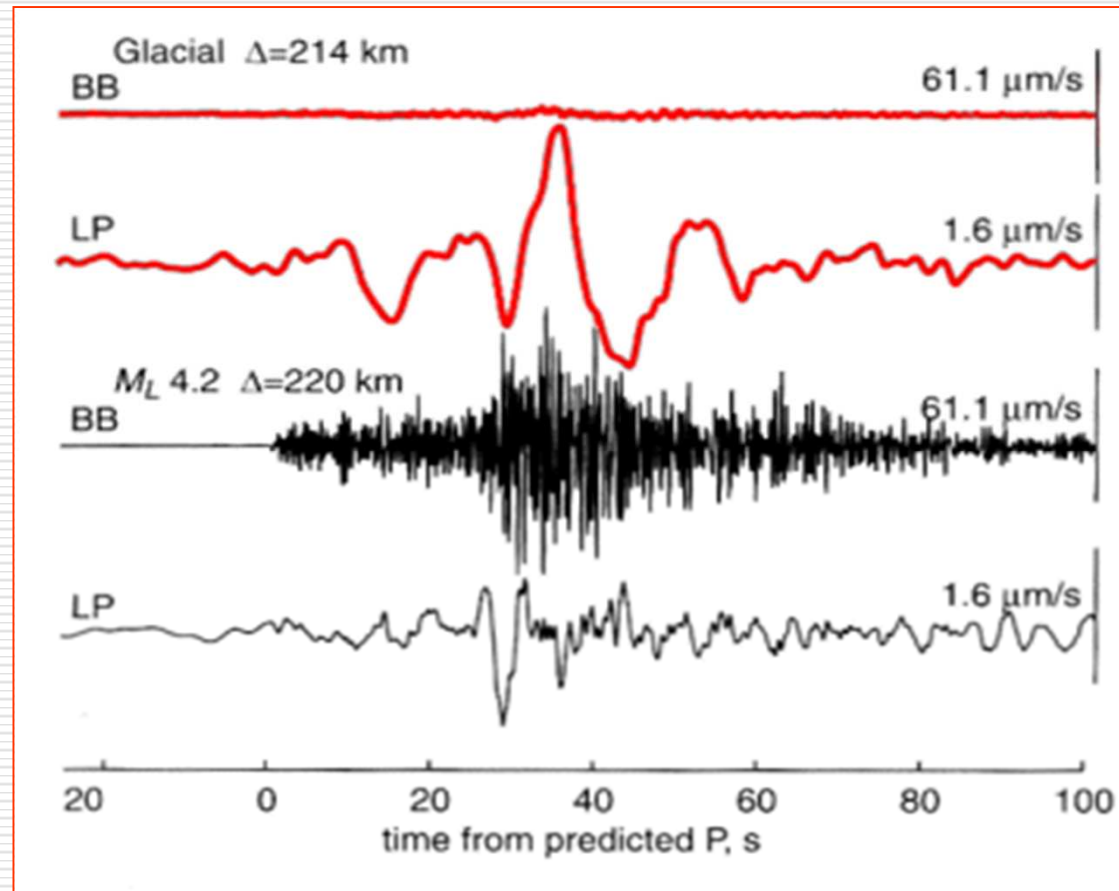
شكل (1-19): زلزال ذو صدمة واحدة (زلزال Port Hueneme, 1957) N-S

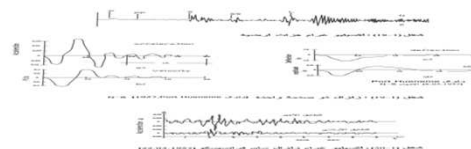
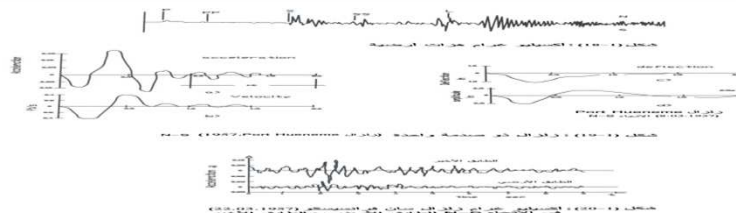
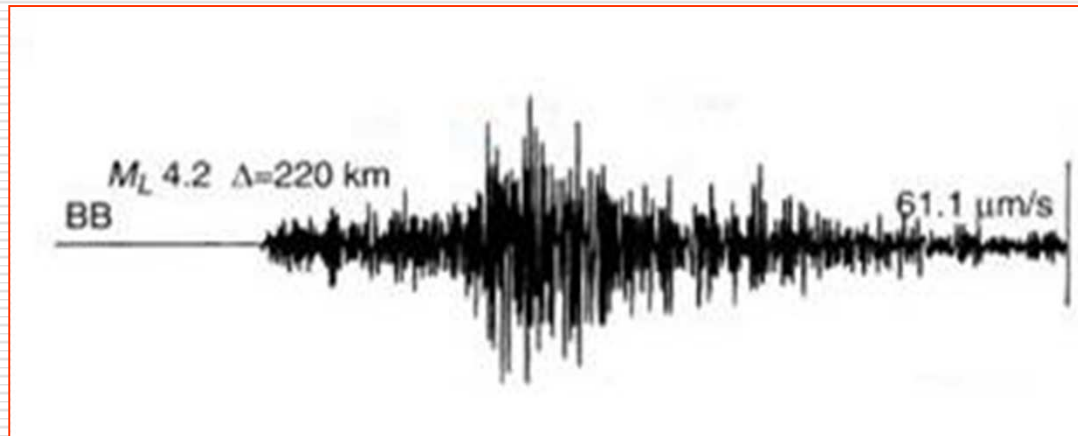


شكل (1-20): أكسيليو غرام زلزال سان فرانسيسكو (22.03.1957) في الاتجاه N-S للطابق الأرضي والطابق الأخير



Ground Motion Records





خصائص الحركات الأرضية

Characteristics of Earthquake Ground Motion





يمكن تلخيص أهم خصائص الحركات الأرضية التي تعتبر
ضرورية في تطبيقات هندسة الزلازل بما يلي :

- ذروة الحركات الأرضية **Peak Ground Motion**
 - أمد الحركات القوية **Duration of Strong Motion**
 - محتوى التردد **Frequency Content**
-

Ground Influencing Ground Motion

العوامل التي تؤثر على الحركات الأرضية

تتأثر الحركات الأرضية الزلزالية بعدد من العوامل أهمها:

* مقدار الزلازل

* البعد عن المركز السطحي

* طبيعة تربة الموقع

* الاختلاف في الجيولوجيا و في سرعة الانتشار على طول خط المسار

* حالة أو طبيعة و آلية مصدر الهزات الأرضية

The Scale of Earthquakes

مقاييس درجة الزلازل

للوصول الى تعبير كمي دقيق قدر الامكان لوصف الزلازل تستخدم الدراسات والمراجع الزلزالية عدد من المعايير الزلزالية، هي: المقدار الزلزالي والشدة الزلزالية والعزم الزلزالي، بالإضافة الى الطاقة الزلزالية ولا زالت الجهود العلمية مستمرة لتطوير أساليب قياس (درجة الزلازل).

ويمكن ايجاد الدرجة الزلزالية للهزات الأرضية من خلال:-

✋ أثرها على الاشخاص والمنشآت الموجودة في منطقة تأثيرها.

✋ استخدام العلاقات الرياضية وتسجيلات محطات الرصد.

وبشكل عام لايجاد الدرجة الزلزالية يستخدم بشكل واسع المقاييس التالية:

Intensity Scale

مقياس الشدة الزلزالية



تستند مقاييس الشدة الزلزالية في تحديدها لشدة الزلازل على مستوى درجة تأثيره على الأشخاص والمنشآت، فمبدأ هذا النوع من المقاييس يعتمد على الوصف، فكلما زاد تأثير الزلازل على الأشخاص والمنشآت تزداد درجة الشدة الزلزالية.

ومن أهم مقاييس الشدة الزلزالية و أكثرها شيوعا هو مقياس ميركالي المعدل (MM)

Modified Mercalli Intensity Scale

حيث يتم من خلال المقياس تصنيف درجات الشدة المحتملة من I و حتى XII

جدول رقم (1) مقياس ميركالي للشدة

جدول (1.1)

الوصف	درجة الشدة MMI
لا يشعر بها ، إلا نادراً ، وفي ظروف خاصة ومثالية .	I
يشعر بها عدد قليل من الأشخاص فقط في حالة السكون خاصة في الطوابق العلوية من الأبنية العالية .	II
يشعر بها من قبل العديد من الأشخاص وخاصة في الطوابق العلوية من الأبنية ويصعب معرفة أن سبب هذه الهزة هو زلزال . يمكن قياس أمد الزلزال عند هذه الدرجة .	III
في النهار ، يشعر بها العديد من الأشخاص داخل المباني ، والقليل منهم خارج المباني ، اضطراب في الأبواب ، والشبابيك ، والأطواق ، وطققة في الجدران ، والإحساس بها يشبه اصطدام شاحنة كبيرة بالمبنى . تتأرجح السيارات الواقفة بشكل ملحوظ .	IV
يشعر بها جميع الناس ، والعديد يستيقظ من نومه ، تنهشم بعض الأطباق والشبابيك الزجاجية ، قد تنشق طبقة القفازة على الجدران ، انقلاب الأشياء غير الثابتة ، اضطراب أعمدة الكهرياء والهاتف ، والأشجار ، وغيرها من الأجسام العالية في بعض الأحيان ، توقف الساعات البندولية عن الحركة .	V
يصاب الناس بالذعر ويركضون إلى خارج المبنى ، يتحرك الأثاث الثقيل من مكانه ، وفي بعض الأحيان تتساقط طبقة القفازة ، تنقلب المدائن وتحدث أضرار بسيطة في المنشآت .	VI
الجميع يركضون إلى الخارج المباني ، يكون حجم الأضرار مهماً في الأبنية المصممة والمنفذة جيداً ، وبسيط إلى متوسط في الأبنية العادية ، أضرار ملحوظة في الأبنية الرخيصة أو ذات التصميم السيء ، تنضرر المدائن ، ويشعر بها في السيارات التي تسير .	VII
يحدث أضرار بسيطة حتى في الأبنية المصممة والمنفذة جيدة ، أضرار ملحوظة في الأبنية العادية مع حدوث بعض الاهتزازات ، أضرار كبيرة في الأبنية الرخيصة أو ذات التنفيذ السيء ، تفقد قطع الجدران المحمولة والفاصلة خارج المنشآت الهيكلية ، يسقط العديد من المدائن ، تنضرر الأشجار وينتثر الطين والرمل بكميات قليلة نسبياً ، اختلاف في منسوب مياه الآبار ، إعاقاة في سواقة السيارات .	VIII
أضرار ملحوظة في الأبنية المصممة والمنفذة جيداً ، خروج المنشآت عن خطوط التماس مع الأساسات ، تشقق الأرض بشكل واضح تنضرر شبكات المياه الصحية أسفل منسوب الأرض .	IX
انهيار البيوت الخشبية ذات التصميم والتنفيذ الجيد ، تدمير معظم منشآت الطوب والمنشآت الهيكلية مع أساساتها ، تشقق الأرض بشكل يؤدي إلى حدوث أضرار عديدة ، إنشاء خطوط السكك الحديدية ، انزلاق المنحدرات والجوانب الترابية وارتفاع منسوب المياه السطحية .	X
انهيار جميع المنشآت الهيكلية ، وتدمير الجسور ، تصدعات وتشققات تغطي سطح الأرض كلية ، تدمير شبكات المياه الصحية أسفل منسوب الأرض وعدم صلاحيتها للخدمة هبوط في سطح الأرض وانسياب العديد من الأراضي المكشوفة إلى أسفل التربة الطرية ، إنشاء والتواء خطوط السكك الحديدية بشكل واضح .	XI
دمار شامل ، تغير تام في شكل سطح الأرض بحيث تظهر على شكل أمواج إنسيابية ، اختلاف طوبوغرافية الأرض تنثر الأجسام والكتل الترابية وقطع المنشآت في الهواء .	XII

يعتمد مقياس ميركالي على تقييم ووصف شدة الزلازل من خلال تأثيرها على الأشخاص والمنشآت والتربة .

وللشدة الزلزالية أهمية كبيرة حيث تستخدم في:

- رسم خرائط تساوي الشدة و التي من خلالها يتم الحصول على أقصى شدة للزلازل المحتملة .

- دراسة الأخطار الزلزالية حيث تكون الشدة الزلزالية في ذروتها عند منطقة المركز السطحي للزلازل وتقل كلما ابتعدنا عنه.

و من الجدير بالذكر أن الدراسات والمراجع العلمية الزلزالية ومن خلال استنادها الى الأحداث الزلزالية التي حصلت في كثير من الدول واستخرجت علاقات وصفية بين كل من درجة الشدة الزلزالية وقابلية اصابة المباني من جهة، ودرجات الانهيارات المحتملة لهذه المباني من جهة أخرى

Earthquake Magnitude

مقياس المقدار الزلزالي

المقدار الزلزالي هو عبارة عن مقياس نسبي للطاقة المتحررة من مركز الزلازل , و يرمز لهذا المقياس عادة بالحرف **M** و قد عرف ريختر المقدار الزلزالي للهزات القريبة بأنه اللوغاريتم للأساس عشرة لأقصى سعة موجبة مسجلة بواسطة سيزموغراف معياري.

درجاته بمقياس ريختر	السرعة الأفقية سم / ث	آثار الزلزال (الهزات الأرضية)
3	–	لا يحس بها أحد ، إلا بعض الناس في ظروف خاصة جداً .
3.5	2–3	يحس بها بعض الناس فقط وخاصة الذين في الأدوار العليا ، وتهتز الأشياء المعلقة تعليقاً حراً .
4	4–7	يحس بها بوضوح داخل البيوت، وخاصة في الأدوار العليا ، ولكن كثير من الناس لا يعتقد أنه زلزال حيث يسبب اهتزازات كالتي يسببها المترو أو الترام أو الشاحنات الضخمة .
4.5	7–15	أثناء النهار يحس بها الكثيرون في البيوت والكثير في الشوارع، ولا يحس بها في الليل إلا المستيقظون، وتهتز الأطباق والشبابيك والنجف، وتحدث الحوائط بعض أصوات التصدع، والإحساس به كما لو كان نتيجة اصطدام عربة نقل بالمبنى، وتهتز العربات الساكنة بوضوح .
5	15–30	يحس بها الجميع ويستيقظ بعض النائمين، وتسقط بعض صور الحائط وتتكسر بعض الأطباق، وتحدث شروخ بسيطة في الطبقات السطحية للجدران، وتقلب الأشياء غير المتزنة، وتهتز الأشجار وأعمدة النور بوضوح ، ويتوقف بندول الساعة .
5.5	30–70	يحس بها الجميع، ويفزع البعض ويفرون إلى الخارج المباني، وتتحرك قطع الأثاث الثقيلة، تحدث شروخ سطحية وتصدع المداخل، والمباني الضعيفة .
6	70–150	الجميع يهرعون خارج المباني، التصدع بسيط في المباني ذات التصميم الجيد، والتنفيذ السليم، والتصدع بسيط إلى متوسط في مباني الطوب الجديدة، والتصدع كبير في المباني الخرسانية السيئة أو مباني الطوب والحجر القديمة ، تنهار بعض المداخل، ويحس به قادة السيارات المتحركة .
6.5	150–300	التصدع بسيط في المنشآت المقاومة للزلازل، وتصدع واضح في المباني العادية مع انهيارات جزئية، وتصدع كبير في المنشآت سيئة التنفيذ، انهيارات كبيرة في معظم جدران الطوب الدراجة محلياً، تنفصل باكية المباني عن الأعمدة والكمبرات وتتحرك بعضها للخارج، تسقط التماثيل وبعض المآذن والمداخل والأسوار، تنقلب قطع الأثاث الثقيلة ، يتغير منسوب مياه الآبار ، يزعج السيارات المتحركة .
7	300 إلى 700	التشقق واضح في المنشآت المقاومة للزلازل، والمنشآت الخرسانية تميل بشدة أو تنحني خارج مستوى الإطارات، تصدع كبير في الحوائط الحاملة الغير مسلحة وانهيارات كثيرة في المنشآت سيئة التنفيذ، تنفصل بعض المباني عن أساساتها وتشقق التربة بوضوح وتقص بعض الخوازيق (الأوتاد الأرضية) .
7.5	700 إلى 1500	أغلب المباني من الحوائط الحاملة الغير مسلحة تدمر، وبعض المنشآت الخرسانية تدمر مع أساساتها، وتشقق الأرض شقوقاً كبيرة وخطيرة، وتنحني قضبان السكك الحديدية، وتنزلق جوانب الأنهار والترع تتحرك التربة الرملية، والطيني وتتكسر المواسير المدفونة تحت الأرض .
8	1500 إلى 3000	تنهار كثير من المباني الخرسانية وتسقط الكبارى، وتحدث فواصل في الأرض، تبتلع الناس والعربات، وتنهار شبكات المياه والمجاري كلية، وتحدث انزلاقات في جوانب الأنهار والتربة اللينة، وتنحني قضبان السكك الحديدية بحيث لا تعد صالحة.
8.5	3000 إلى 6000	التدمير شامل ، موجات الزلازل ترى بوضوح على سطح الأرض ، خطوط الرؤية والأسطح المستوية تدمر ، تطير الأشياء الثقيلة في الهواء .

تحديد درجة الزلزال وفق مقياس ريختر

وبشكل عام يعتمد المقدار الزلزالي على قيمة الطاقة المتحررة من مركزه والتي يمكن قياسها باستخدام معطيات السيزموغرام التالية:



- زمن سجل الموجات الزلزالية .
- المسافة (بعد المحطة عن مركز الزلازل).
- السعة الموجية A
- الزمن الدوري للموجة T



في نفس الوقت و استنادا لتعريف المقدار الزلزالي فان للزلزال الواحد مقدار أو قوة زلزالية واحدة لا تختلف من موقع لآخر، وبغض النظر عن بعد هذه المواقع عن المركز السطحي للزلزل.

في حين قد تختلف الشدة الزلزالية من منطقة الى أخرى مجاورة لها تحت تأثير نفس الزلزال, فقد يكون سبب هذا الاختلاف سوء نوعية البناء أو نوعية و طبيعة الموقع.

ان اعتماد الشدة الزلزالية على احساس الناس وتقييمهم لشدة الاهتزازات في أماكنهم، يؤدي في حالات كثيرة الى المبالغة وعدم الدقة، فشدة تأثير الزلزال تعتمد على عدد من العوامل، أهمها:

- مقدار قوة الزلزال و عمقه البؤري.
 - بعد المركز السطحي للزلزال عن المنطقة المتأثرة.
 - طبيعة المنطقة.
 - نوعية و جودة البناء في المناطق المتأثرة.
 - مكان وجود الانسان الشاعر بالزلازل لحظة احساسه بالأمواج الزلزالية
 - نوعية النظام الانشائي.
 - تصرف الانسان أثناء حدوث الزلزال
-

لماذا نسمع قيماً مختلفة لنفس الزلزال



Seismicity of the Arab Region

زلزالية المنطقة العربية

أدى الاستخدام الواسع في معظم دول العالم لأجهزة الرصد الزلزالي خلال القرن العشرين الى تطوير الدراسات و الأبحاث الزلزالية المتعلقة بالنشاط و الحركات الزلزالية في العالم , للتعرف على النطاقات الزلزالية العالمية .

بالرغم من عدم وقوع المنطقة العربية في النطاق الزلزالي العنيف الا أن المدن العربية لم تكن في تاريخها و حاضرها بعيدة عن ضربات الزلزالية العنيفة.

Seismicity of the Arab Region

زلازية المنطقة العربية

- ✓ اغادير في المغرب الاعوام 1731 و 1909
 - ✓ الجزائر الاعوام 1716 و 1790 و 1869
 - ✓ تونس عام 1757
 - ✓ ليبيا عام 1853
 - ✓ فلسطين والأردن الاعوام 1837 و 1903 و 1927 و 1954 و 1995
 - ✓ لبنان الاعوام 1759 و 1872 و 1954
 - ✓ العراق الاعوام 1865 و 1917 و 1946 و 1981
 - ✓ السعودية عام 1941 واقتصر تأثير زلزال 1995 على منطقة الشمال الغربي في السعودية
 - ✓ اليمن الاعوام 1965 و 1982 و 1991
 - ✓ مصر الاعوام 1847 و 1955 و 1969 و 1981 و 1992
-

يتأثر النشاط الزلزالي بشكل عام بموقع الدول و تاريخ الزلازل في المنطقة، وتصنف مناطق الدولة عادة الى مناطق شدة زلزالية محتملة، حيث يؤخذ بعين الاعتبار في هذا التصنيف أثر الصدوع الجيولوجية وأثر طول هذه الصدوع بالإضافة الى تاريخ الحوادث الزلزالية التي ضربت المنطقة عبر العصور.

و بخصوص احتمال تعرض كل من فلسطين والأردن لزلازل في المستقبل، أظهرت العديد من الدراسات الزلزالية وجود نشاط زلزالي في عدد من المواقع وذلك بالاستناد الى:

-
- طبيعة موقع المنطقة (حفرة الانهدام) والتصدعات الأرضية فيها.
 - التاريخ الزلزالي للمنطقة والفترات الزمنية التي يتكرر فيها حصول الزلازل ووجود الفوالق.
 - تسجيلات محطات الرصد، حيث أظهرت هذه التسجيلات
-

ويمكن تلخيص عدم الجاهزية والخلل الذي تعاني منه الأفراد والمؤسسات بما يلي:

- وجود أنماط معمارية و انشائية في المباني الدارجة لا تلبي المتطلبات العامة أو متطلبات الحد الأدنى للمباني المقاومة للزلازل.
 - عدم وجود ادارة للكوارث و اسناد الطوارئ.
 - عدم وجود تخطيط أو سياسة وطنية لاستخدام الأراضي تأخذ بعين الاعتبار العامل الزلزالي والجيولوجي في الاستخدام.
-

عدم وجود وعي لدى المواطنين بأسس و ضوابط السلامة العامة بشكل عام وبإجراءات الوقاية و التهيئة بشكل خاص.

عدم وجود هيئات و مؤسسات تعنى بمتابعة تصميم وتنفيذ المنشآت وفق متطلبات الكودات الزلزالية.

عدم وجود مخططات وخرائط للأخطار المحتملة لكل من المدن و التجمعات السكنية.

عدم الاهتمام بإجراء دراسات لمعرفة قابلية الإصابة للإنسان والمنشآت و البنى التحتية.

ان المشكلة الأساسية في مجتمعاتنا العربية هي: ان العمل يتم عادة بردة الفعل وليس بالفعل، فعندما تحدث حرائق في أحد المجتمعات الصناعية أو السكنية يتم تشكيل لجنة تقصي الحقائق وللإطلاع على حيثيات الحادث، وعندما ينهار مبنى بسبب أخطاء في التصميم أو التنفيذ تتشكل لجنة خاصة بالموضوع يصدر عنها لاحقا بعض النتائج والتوصيات والتي غالبا وبعد أن تهدأ الأمور لا يكثر بها أحد، ومن ثم ترجع الأمور الى ما كانت عليه.

نحن بحاجة الى قوانين و تشريعات واضحة في فلسطين تتعلق بضرورة تصميم المنشآت لمقاومة أفعال الزلازل، وكذلك وضع الأسس والقواعد اللازمة، ولكن يبقى كل شيء حبر على ورق اذا لم يتم ايجاد الآلية المناسبة لربط التخطيط والتصميم والتنفيذ والمتابعة ومن ثم اجراء التقييم الدوري المناسب بهدف أخذ العبر وتصحيح أماكن الخطأ.

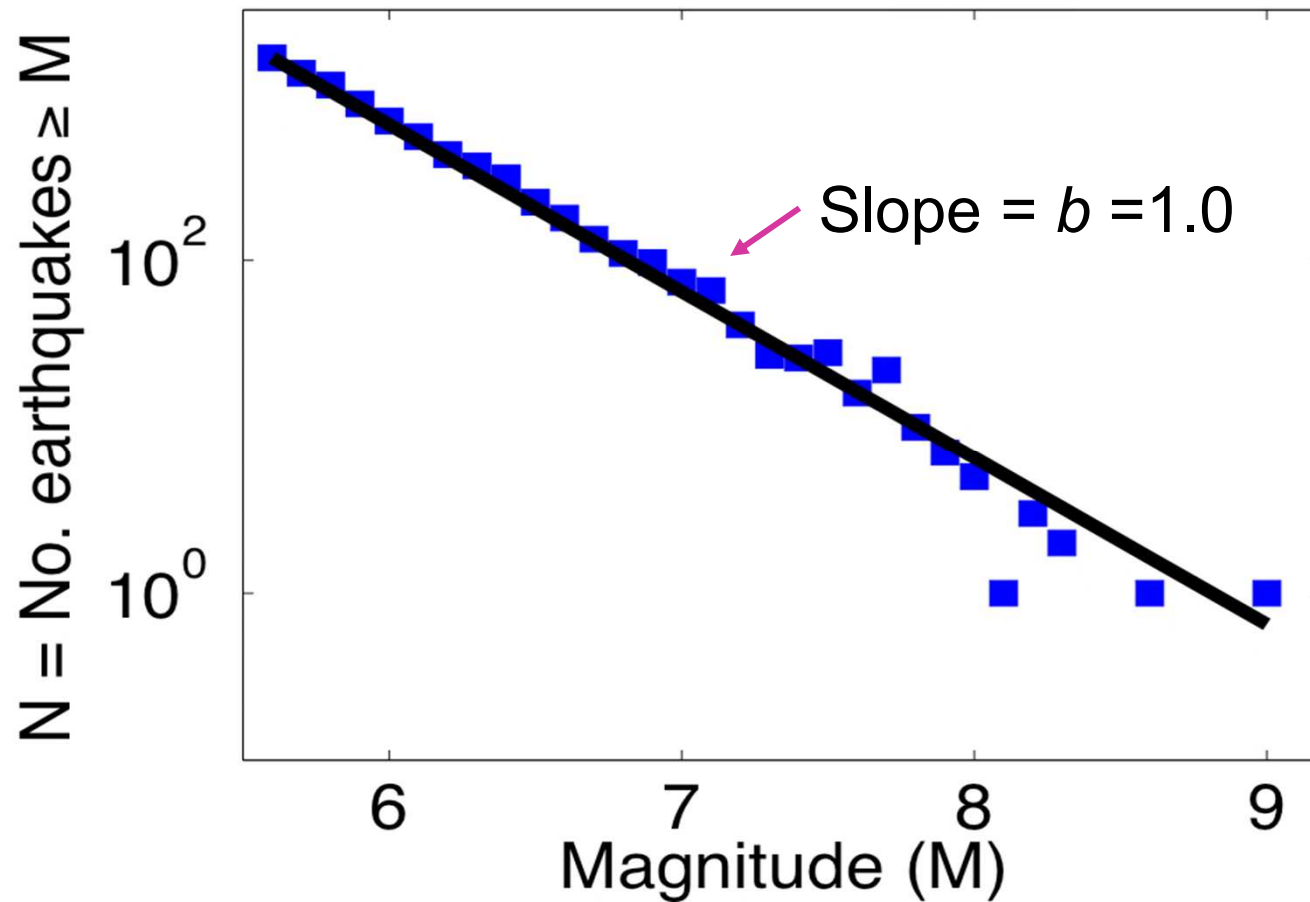
وهذا يتطلب ضرورة العمل بمبدأ الأخذ بالأسباب من خلال عمل مؤسسات متكامل يجمع بين التخصصات المختلفة ذات العلاقة وفق خطط شاملة.



The Gutenberg-Richter b value

The global magnitude-frequency relationship: Gutenberg-Richter with $b=1$

1976-2005 Global CMT catalog



$$\log(N) = a - bM$$

Hutton et al. (2010) obtained
 $b=1.0$ for Southern California

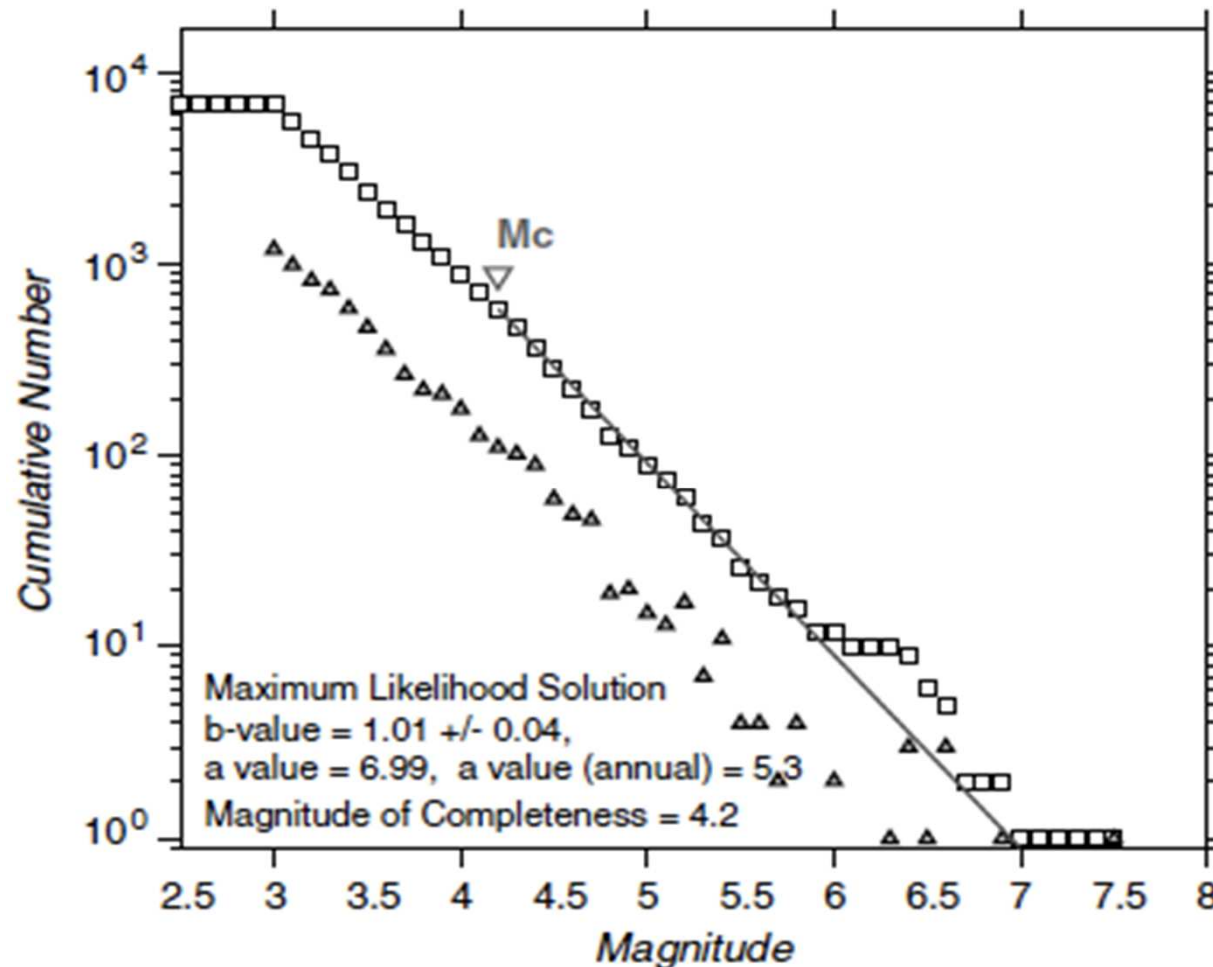
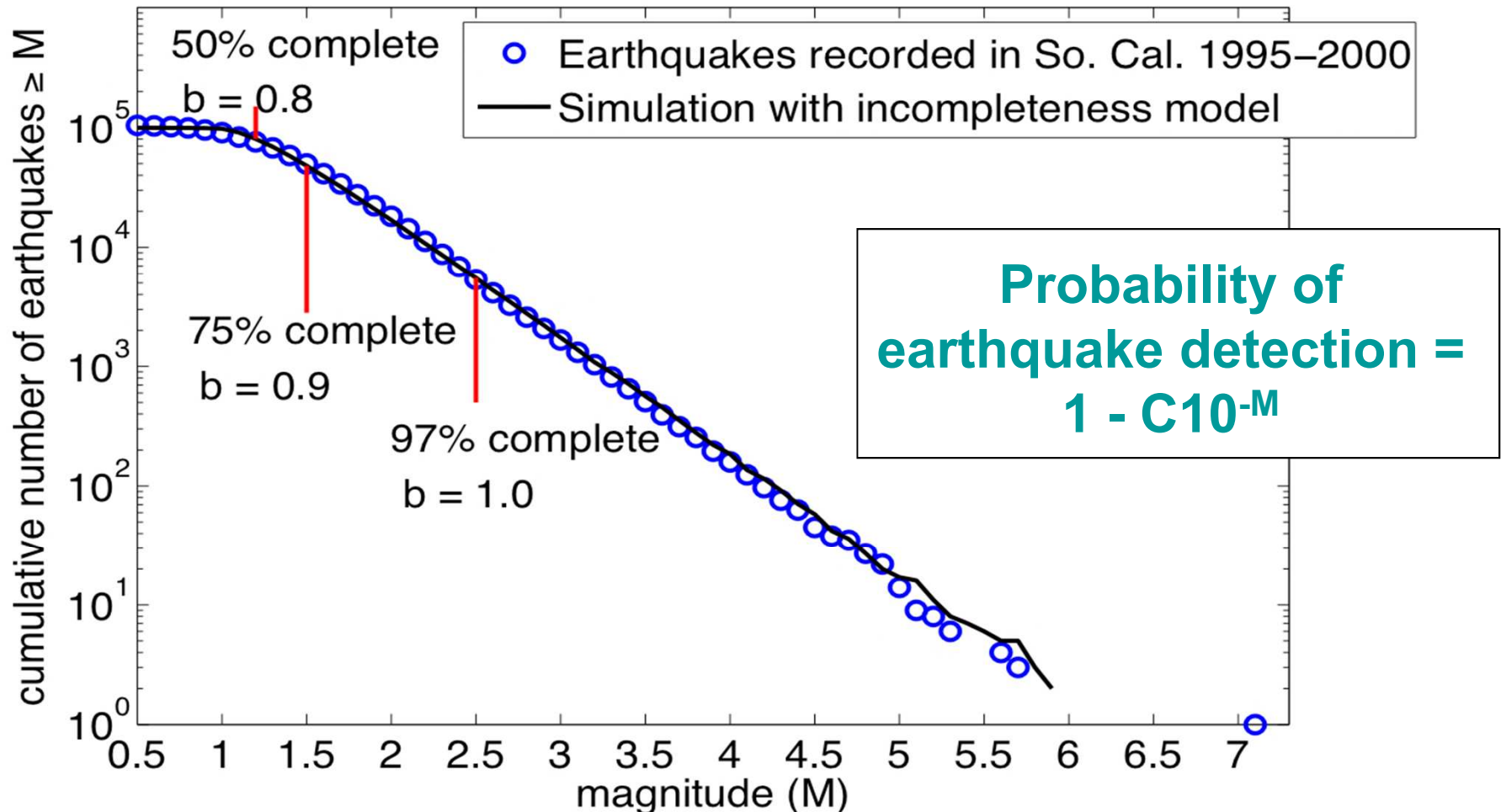


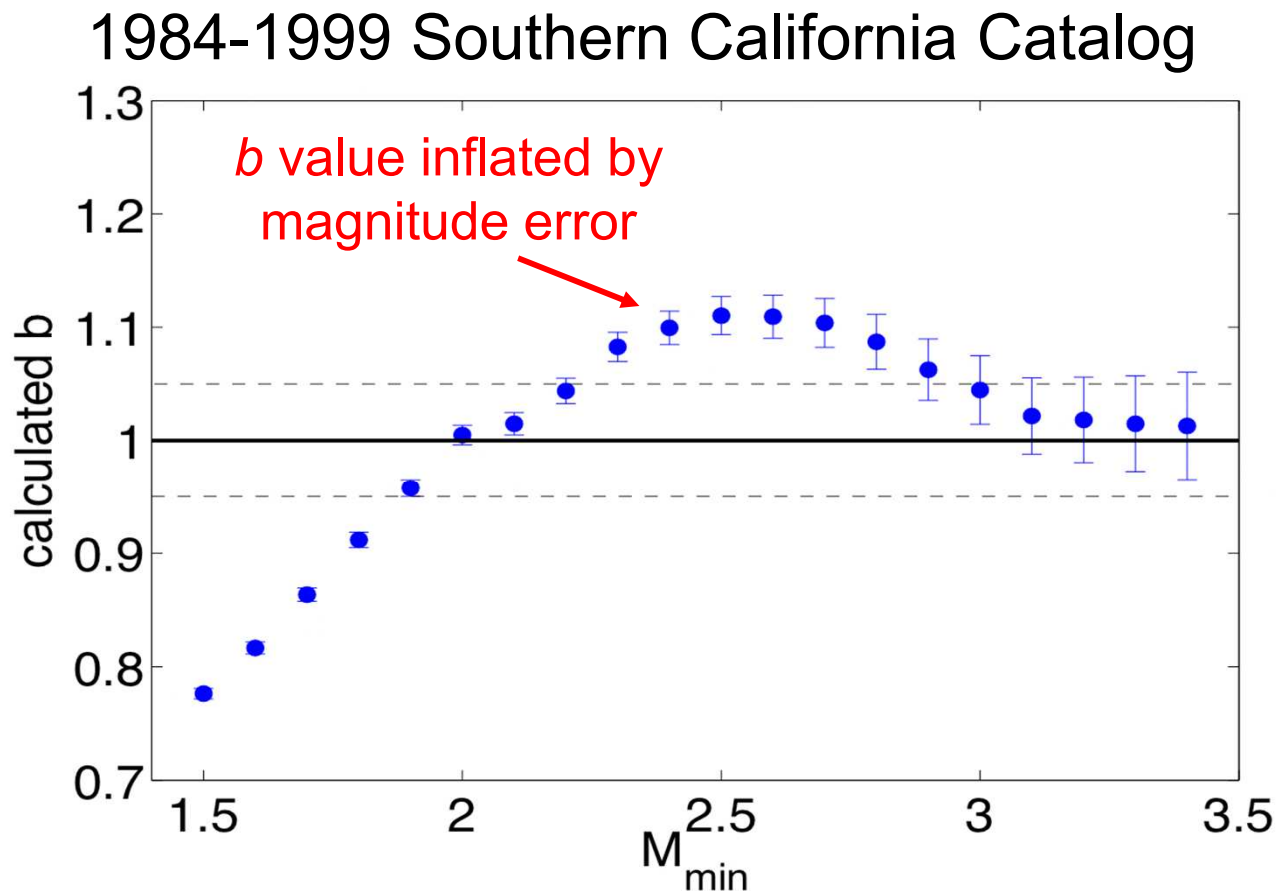
Figure 13,
Hutton et al.
(2010)

Lower b values are often reported because it is easy to use a value of M_c that is too small



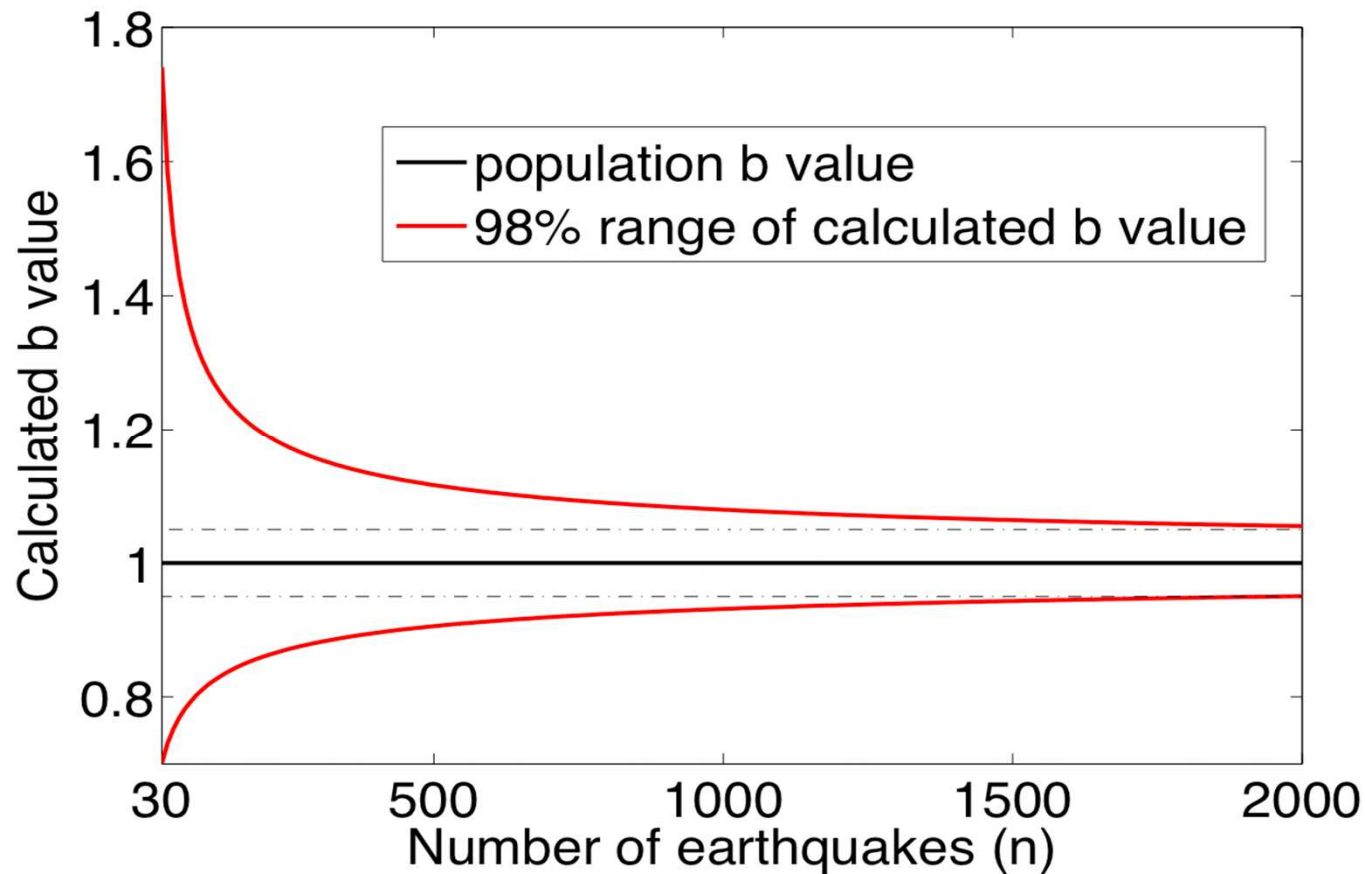
Setting the catalog completeness threshold by eye can lead to b value underestimation by 0.1 to 0.2.

Magnitude error can also cause miscalculation of b values



- Larger magnitude errors for smaller earthquakes inflate b
- b is best fit at the largest reasonable minimum magnitude

Erroneous b values also frequently result from data sets that are too small



n	b range
30	0.7 - 1.74
50	0.5 - 1.49
100	0.86 - 1.20
500	0.91 - 1.12

>2000 good quality earthquakes are required for 98% confidence errors < 0.05

Declustering reduces b value in routines where the smaller earthquakes in a cluster are preferentially removed

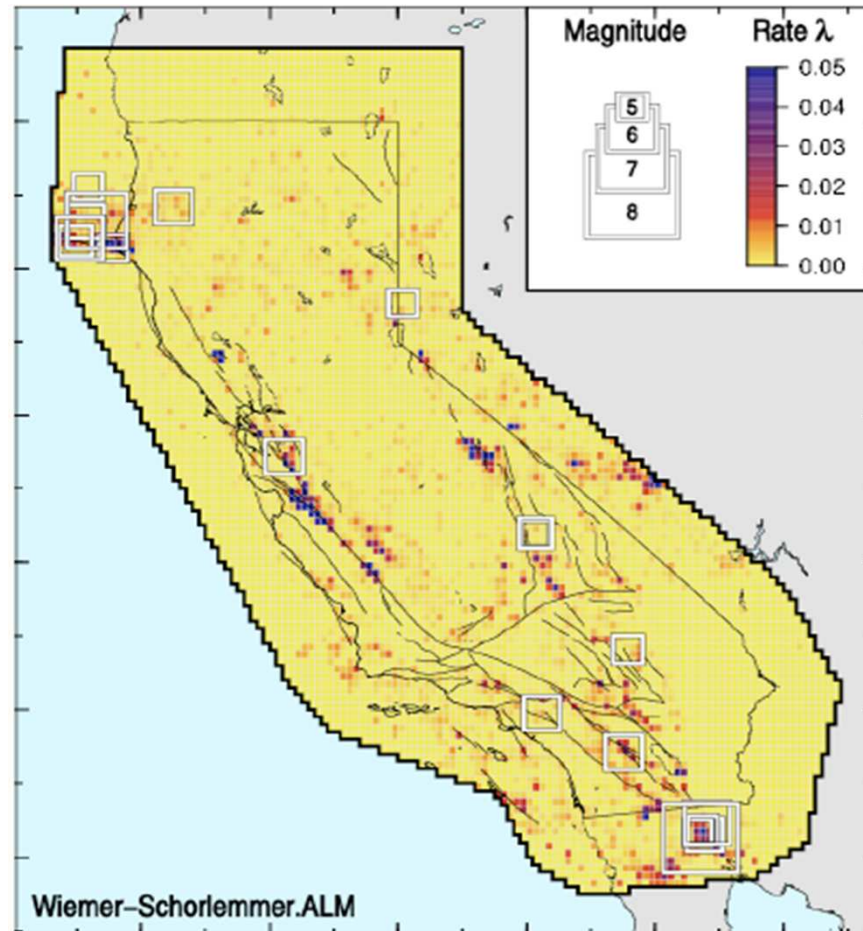


**Christchurch,
M 6.3**



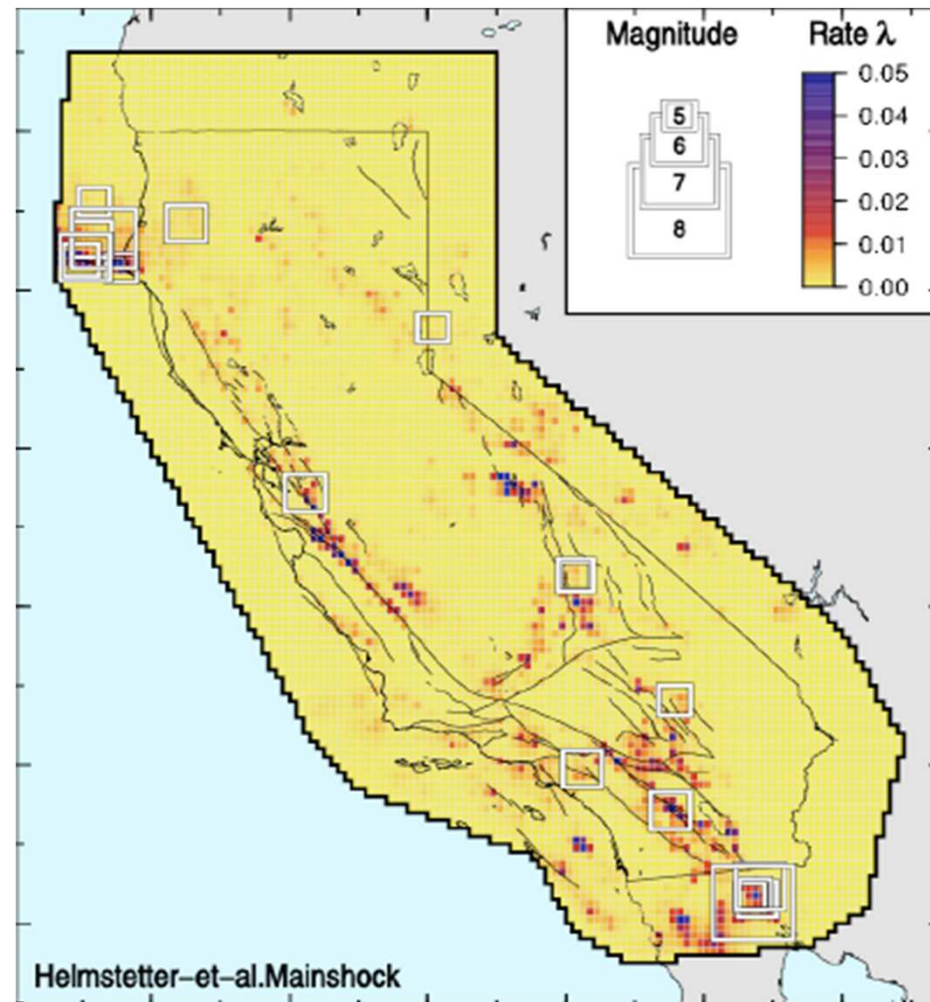
Does b value vary with location?

The *Wiemer and Schorlemmer* method uses b value asperities and is #2 in the RELM test



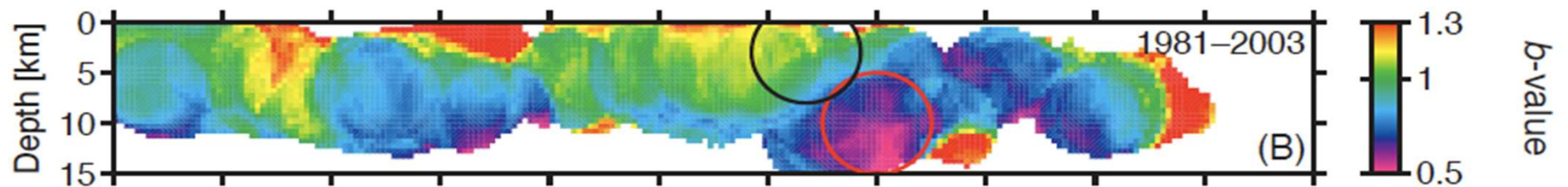
*Weimer and
Schorlemmer 5
year forecast*

The *Helmstetter et al.* forecast uses uniform b value and is #1 in the RELM test

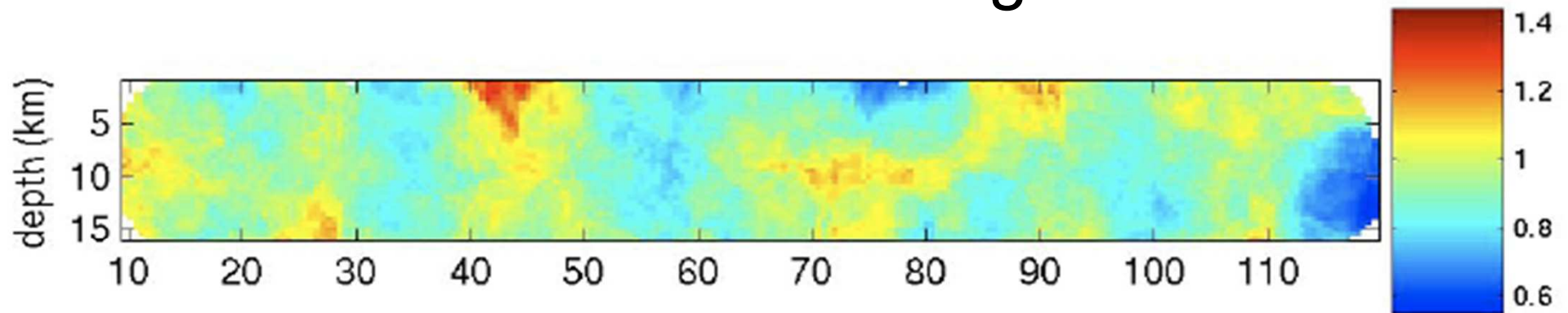


Helmstetter et al. 5 year forecast

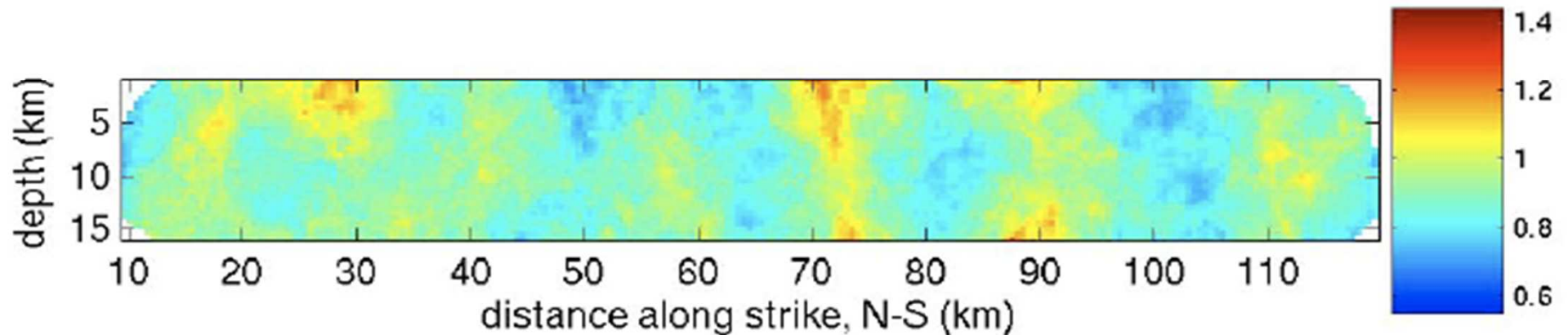
Case study: *Wiemer and Schorlemmer*
(2007) argue that they see a lot of b value
variability at Parkfield



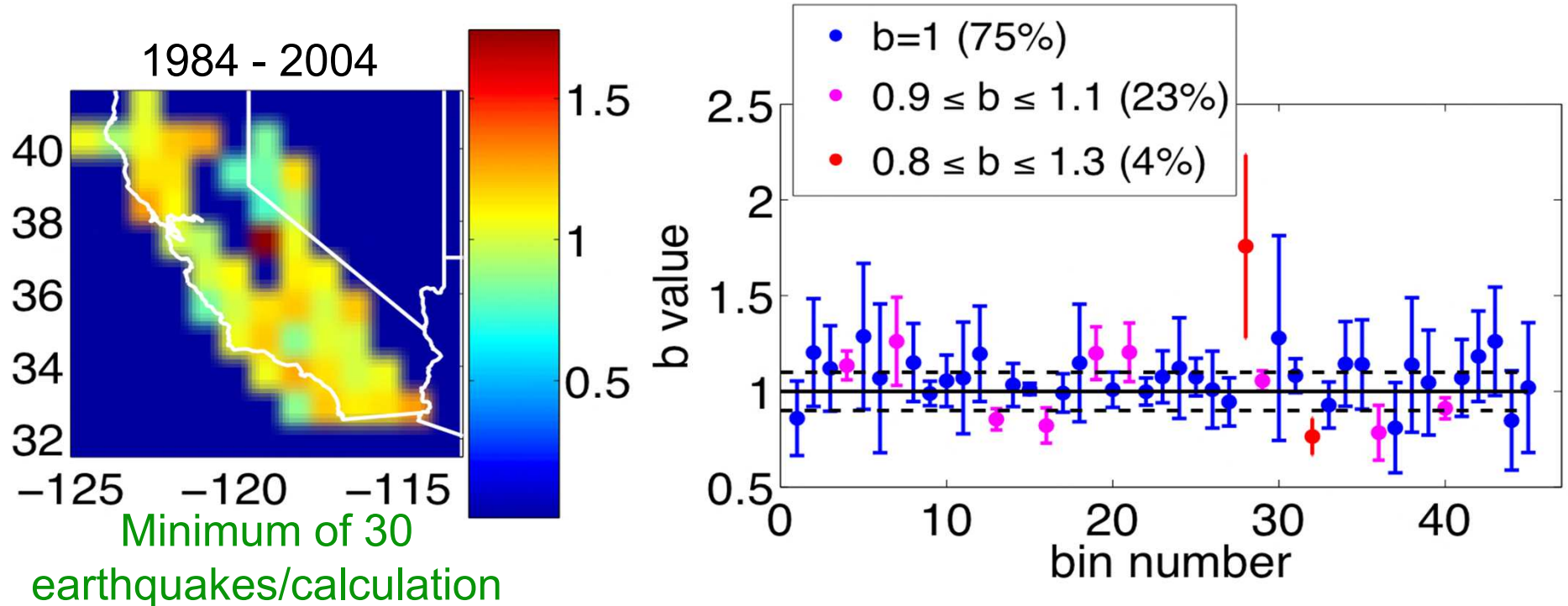
We can recover similar “variability” with a simulated catalog with a uniform b value, and the incompleteness and rounding found in the Parkfield catalog



Two random simulations



Taking a statewide survey, we find little b value variation in $1^\circ \times 1^\circ$ bins



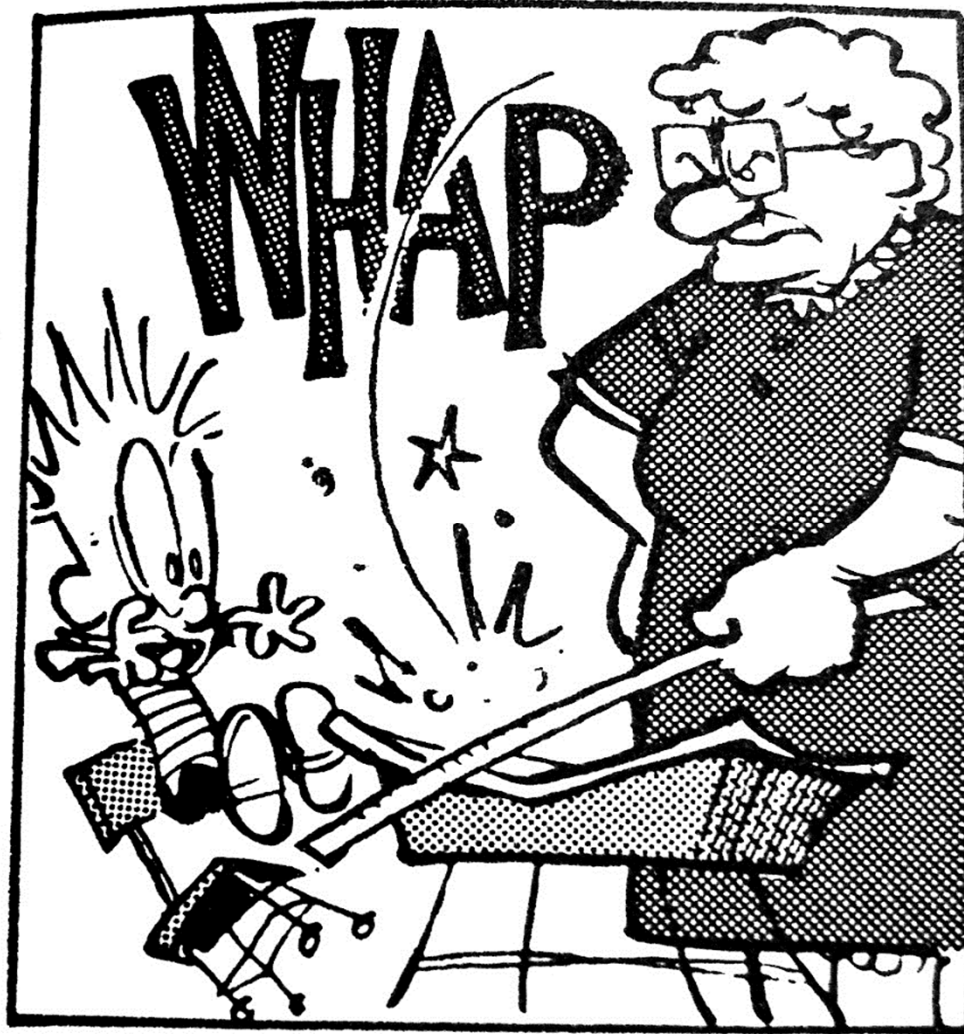
Assuming no magnitude error and uniform catalog completeness to M 2.6, **all values are $0.9 \leq b \leq 1.1$** . *Same for $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ bins*

Is the magnitude-frequency distribution different on and off of major faults?

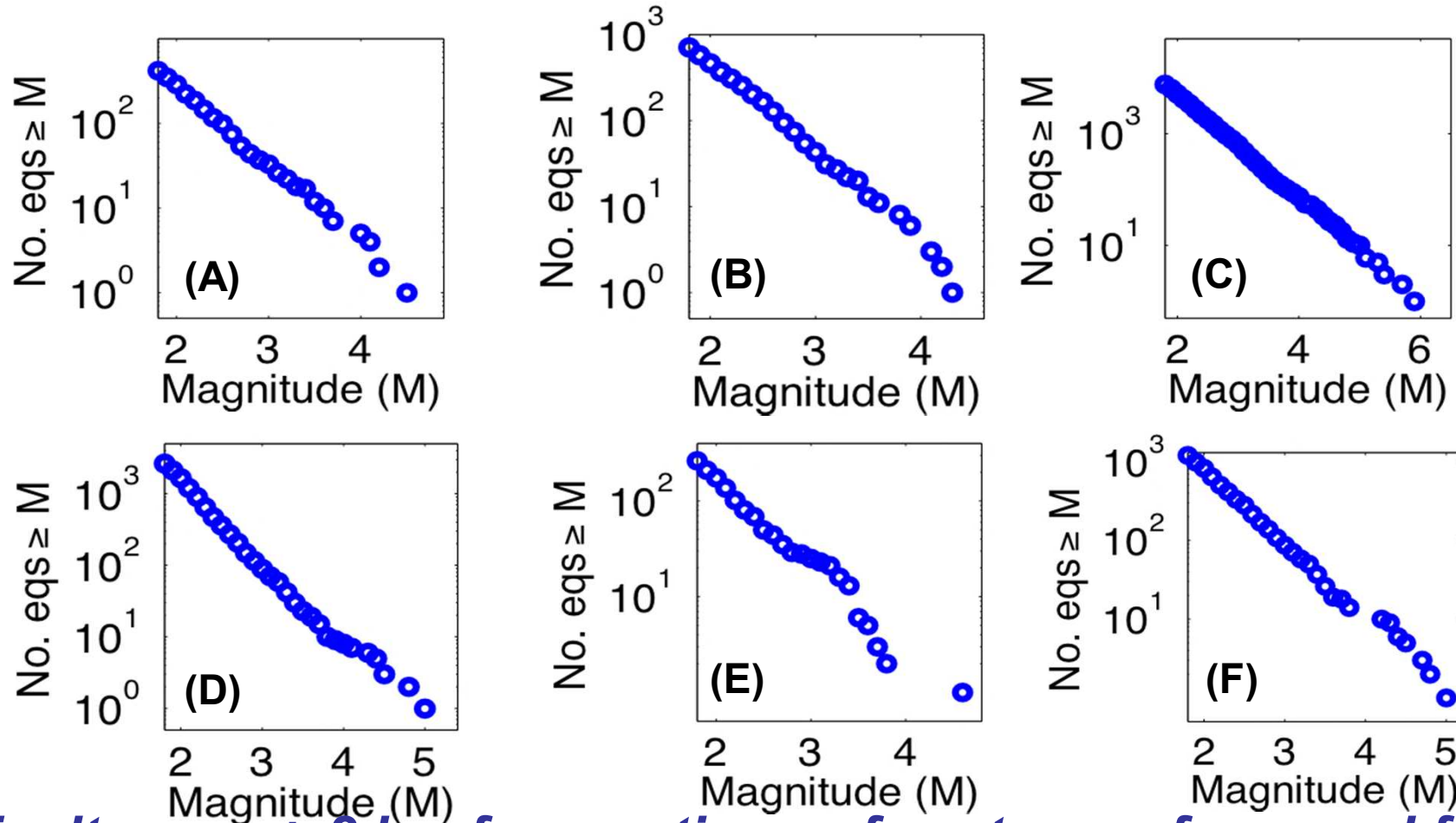


?

Quiz!

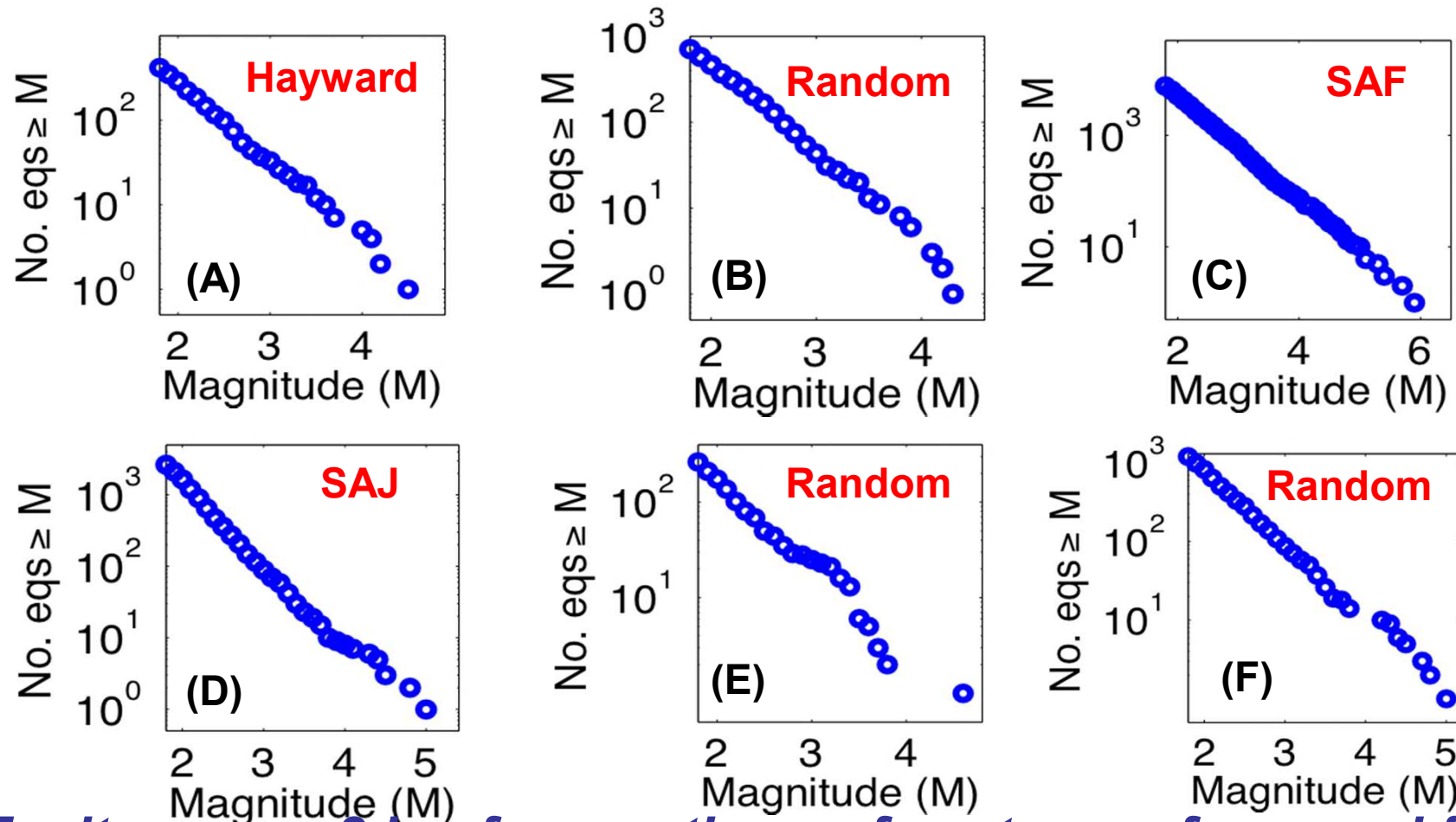


Identify the distributions taken from major fault zones*



****Fault zone: ± 2 km from entire surface trace of mapped fault.
All data from California, 1984-2004***

Identify the distributions taken from major fault zones*

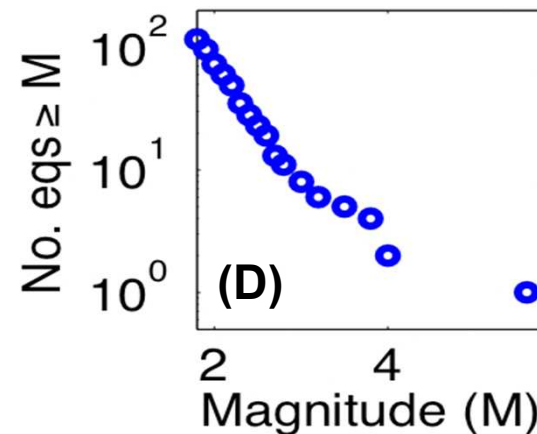
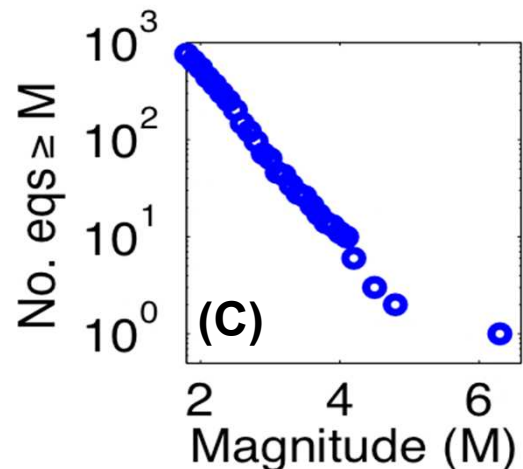
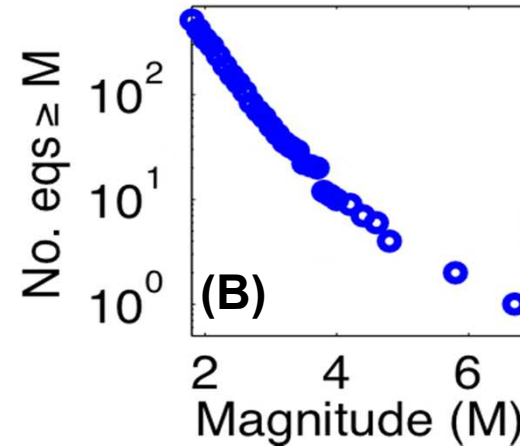
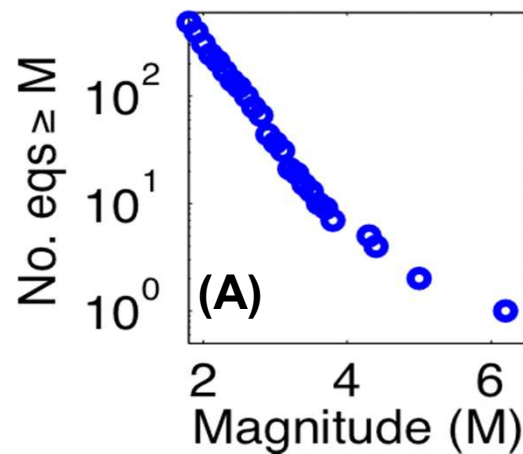


****Fault zone: ± 2 km from entire surface trace of mapped fault
All data from California, 1984-2004***

Quiz #2!

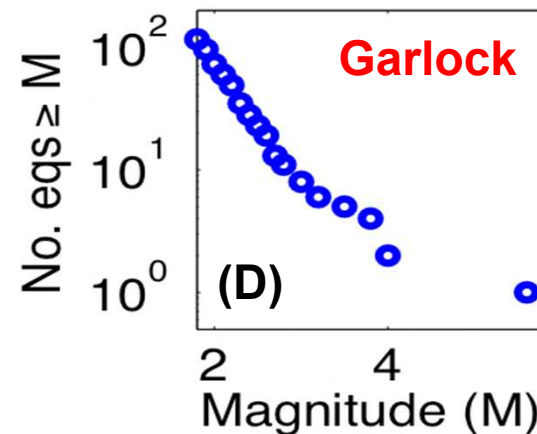
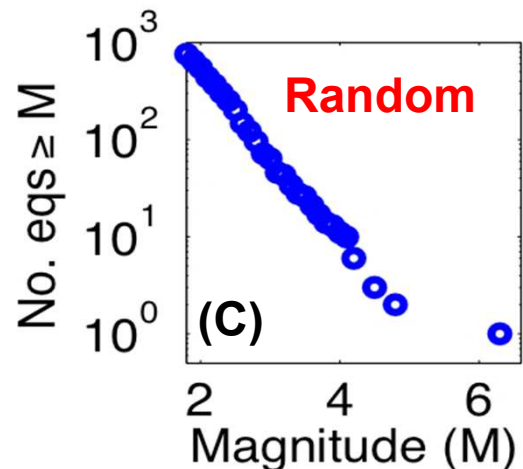
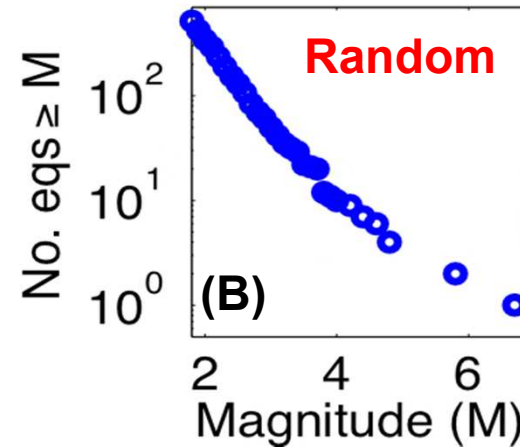
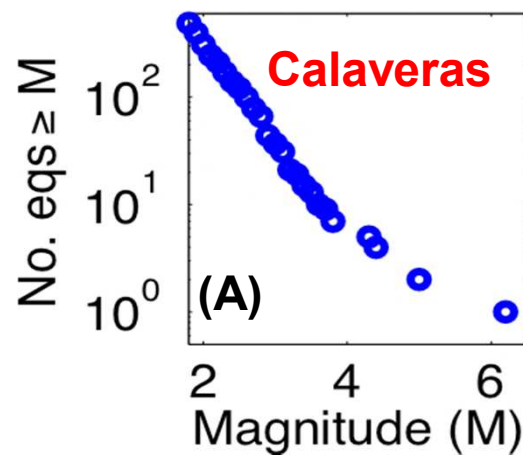


Identify the distributions taken from major fault zones



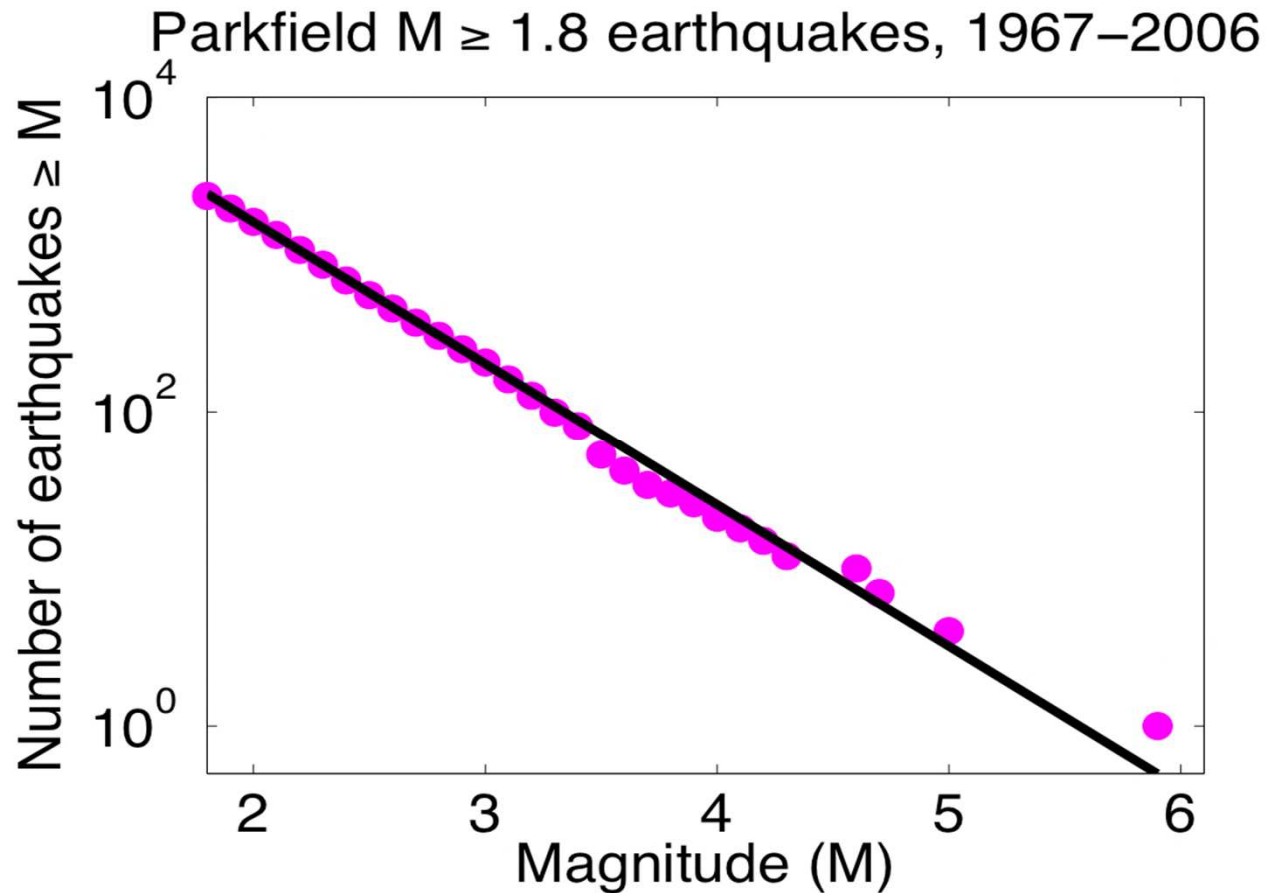
All distributions are purposely chosen around a large earthquake. All data from California, 1984-2004

Identify the distributions taken from major fault zones



All of these earthquake distributions are purposely centered around a large earthquake in the catalog

The San Andreas fault at Parkfield has $b=1$

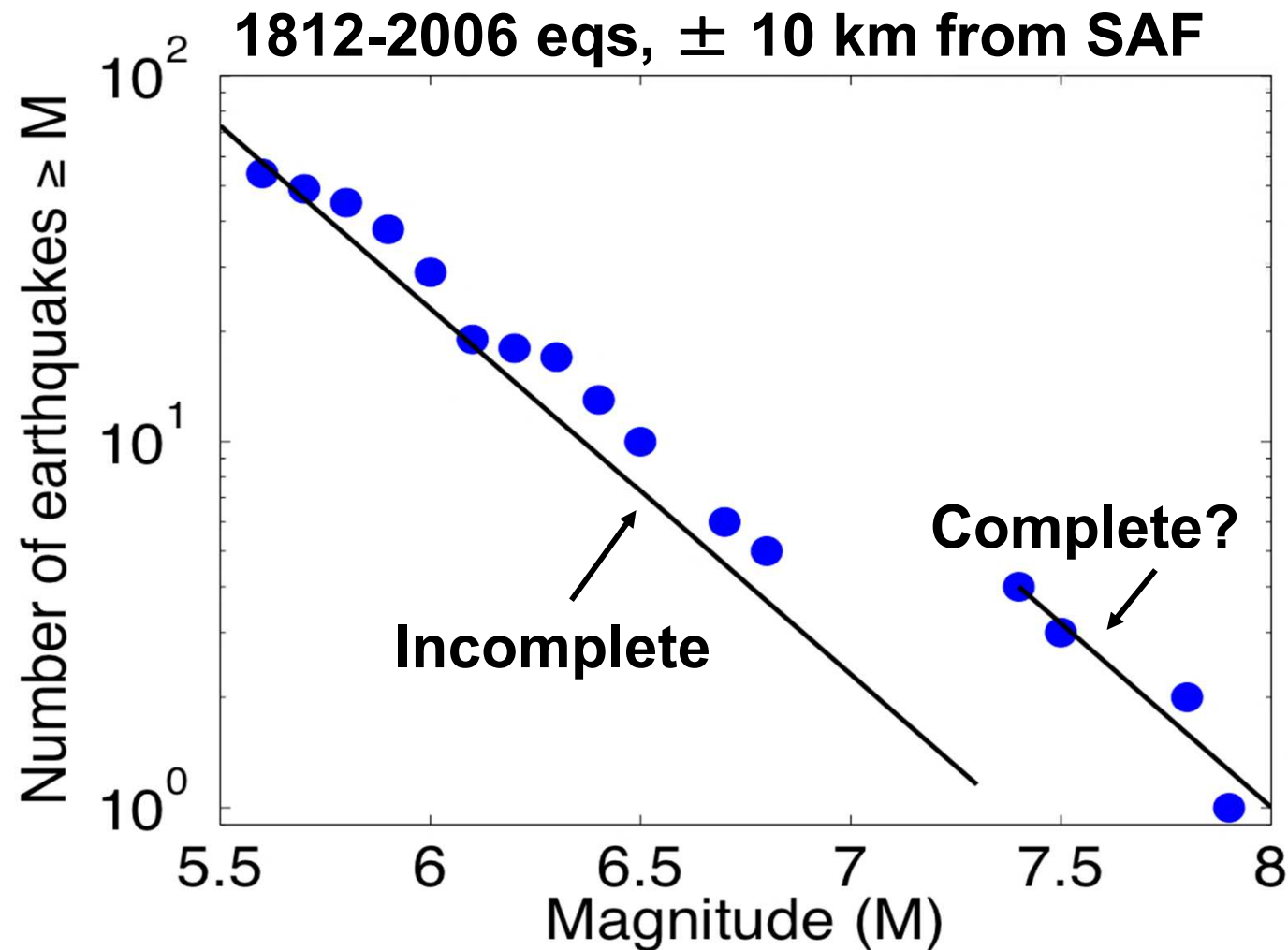


**M 6 Parkfield earthquakes are simply an expected part of the
G-R distribution (*Jackson and Kagan, 2006*)**

Conclusions

- Seismicity in most of California follows the Gutenberg-Richter magnitude frequency relationship with $b=1$.
- There is no evidence for significant b value variation with location or on/off of major faults.
- The b value should generally be solved for with >2000 earthquakes that are clearly above the completeness threshold and that have minimal magnitude errors or rounding.

The historic record along the full SAF



Catalog is too incomplete, short, and error-prone, but
Gutenberg-Richter is suggested

Common Errors in b value Calculation

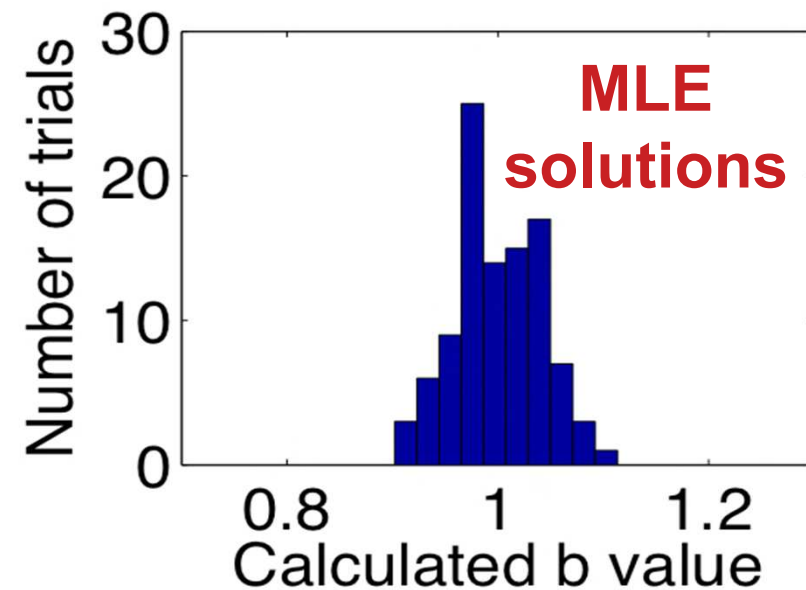
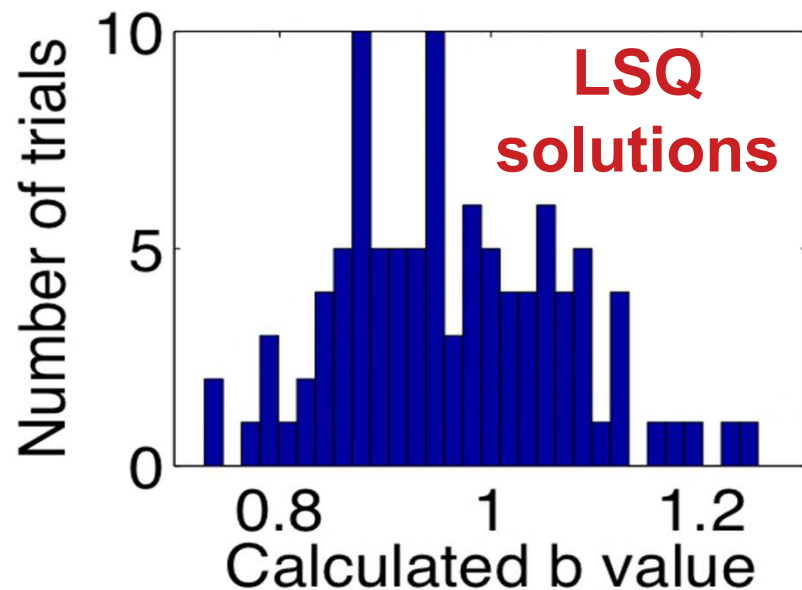
1. Fitting data with linear least squares (LSQ) rather than the simple maximum likelihood (MLE) method (**read Aki (1965)**)
2. Data set is too small
3. Using earthquakes smaller than the catalog completeness threshold
4. Using data with magnitude errors

Two Important Questions

- Does b value vary with location? (*Wiemer and Wyss, 1997; Schorlemmer and Wiemer, 2004...*)
- Does the magnitude-frequency distribution vary on and off of major faults? (*Wesnousky et al. 1983; Schwartz and Coppersmith, 1984...*)

Error #1: Fitting with least squares rather than MLE

b value solved from 100 trials with 500 simulated earthquakes each; true $b=1.0$.



- MLE solutions are closer to the true value of b

Why the value of b is important

Hazard Analysis: Small changes in $b \Rightarrow$ large changes in projected numbers of major earthquakes

Example

10,000 $M \geq 4$ earthquakes

$b = 1.0$

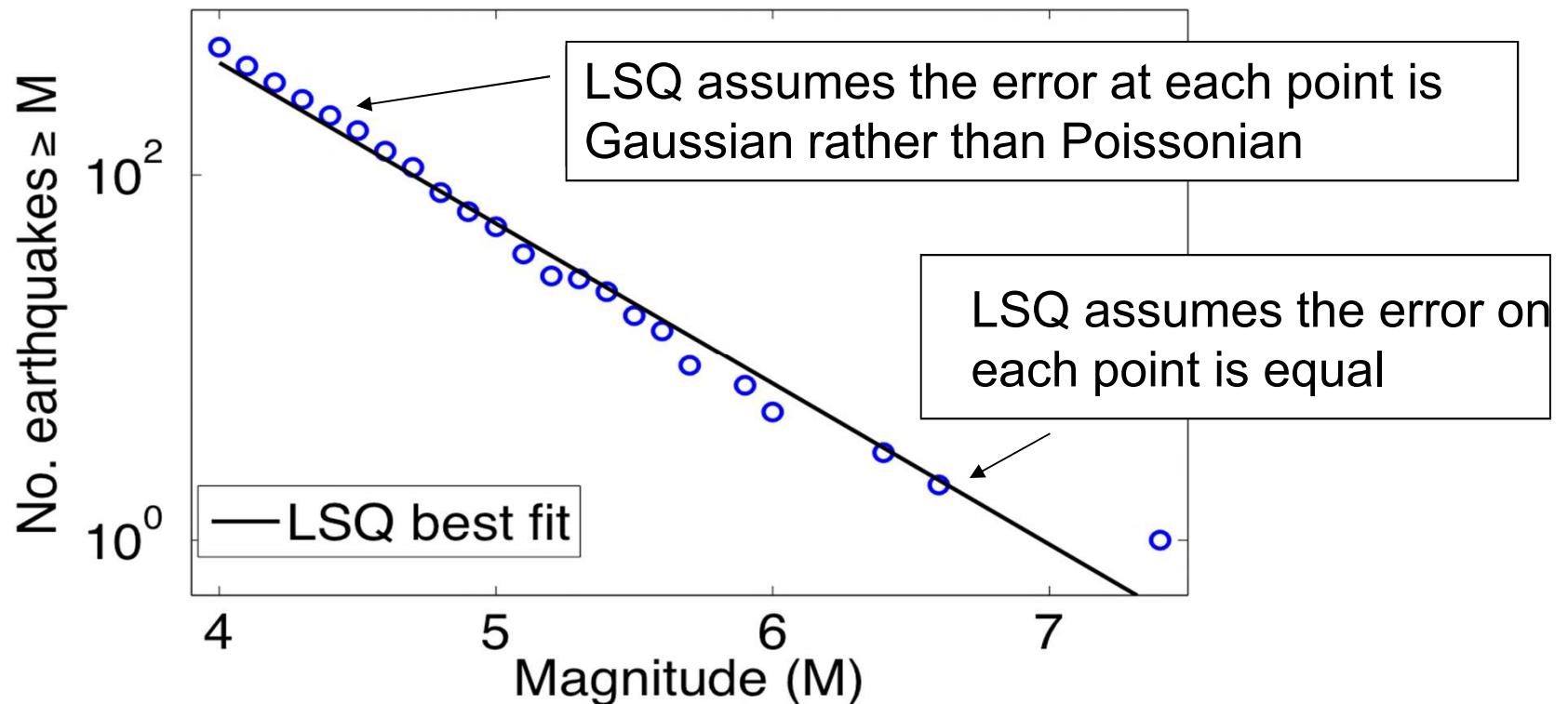
10 $M \geq 7$ eqs

$b = 0.9$

20 $M \geq 7$ eqs

Earthquake Physics: The magnitude distribution reflects fundamental properties of how earthquakes grow and stop.

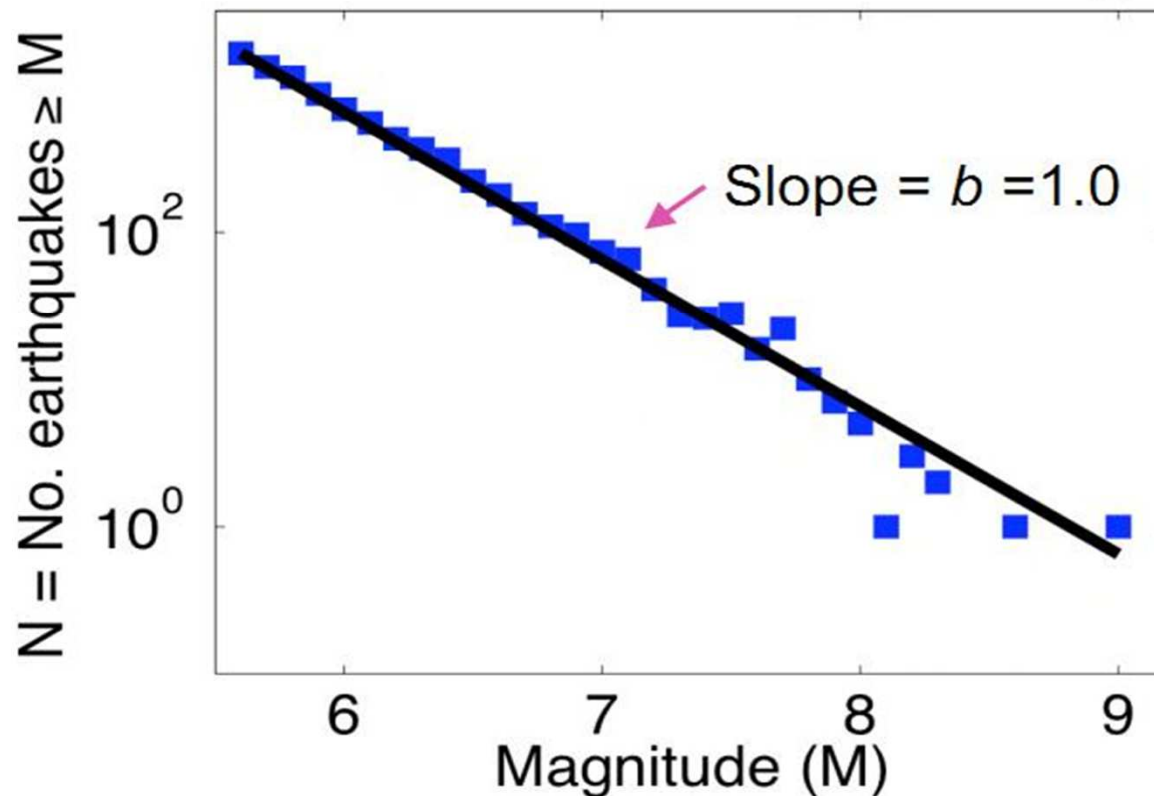
Error #1: Fitting with linear least squares (LSQ) rather than MLE



- LSQ is disproportionately influenced by the largest earthquakes
- MLE weighs each earthquake equally

The Gutenberg-Richter magnitude frequency relationship

1976-2005 Global CMT catalog

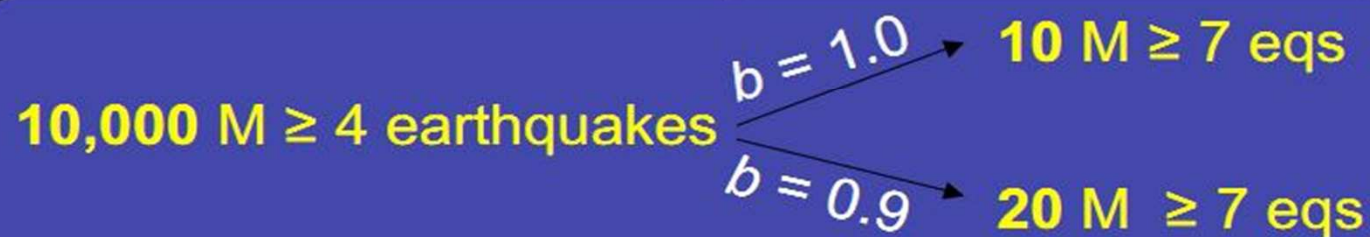


$$\log(N) = a - bM$$

Why the value of b is important

Hazard Analysis: Small changes in $b \Rightarrow$ large changes in projected numbers of major earthquakes

Example



Earthquake Physics: The magnitude distribution reflects fundamental properties of how earthquakes grow and stop.

$$\log N = a - bM$$

$$N = 10^{a - bM}$$

(G-R) magnitude-frequency relationship (MFR).

1. Assume $\log N = a - bM$ has been determined from observations over 1 year and as expected $b \sim 1$. Then a gives the maximum expected magnitude in 1 year interval.

The largest (i.e. 1 earthquake) will have the magnitude

$$\log 1 = a - M$$

$$0 = a - M$$

$a = M$ gives the max. expected earthquake magnitude in one year.

If b differs from 1, then

$$\log 1 = a - bM$$

$$0 = a - bM \quad \text{and} \quad M_{\max} = a/b$$

2. Assume the relation $\log N = a - bM$, with $b \sim 1$. From data of one year we obtain

$\log N = 3.5 - M$ and for earthquakes of magnitude 3.5 we have

$\log N = 3.5 - 3.5 = 0$ i.e. $N = 1$ or in words one event with $M=3.5$ per year.

If we now consider a magnitude 4.5 then

$\log N = 3.5 - 4.5 = -1$ and $N=0.1$, which means one event ($M=4.5$) in 10 years.

Gutenberg-Richter Law

- In 1930s, Gutenberg & Richter proposed a frequency-magnitude eq.

$$\log_{10} N(M) = a - bM$$

$N(M)$: number of EQs per year having magnitudes greater than M

a and **b** : regression constants

- Return Period with a magnitude $> M$

$$T_R = \frac{1}{N} = 10^{bM-a}$$

Thus the probability that during t , a_0 will be exceeded at least once is

$$1 - \exp(-\lambda t).$$

Designating t as D , the design life of any structure or the return period of earthquake or total time period considered for seismic hazard estimation, and R the seismic risk or seismic hazard defined as the probability that a_0 is exceeded at least once during D years can be written as:

$$R = 1 - \exp(-\lambda D).$$

(viii) To estimate PGA for a prescribed exceedance probability, a value of n is determined as follows:

The above equation can be written as

$$\exp(-\lambda D) = 1 - R$$

$$-\lambda D = \ln(1 - R)$$

$$\lambda = -\ln(1 - R)/D$$

$$n/T = -\ln(1 - R)/D$$

$$n = -(T/D)\ln(1 - R),$$

where D is the total time period for hazard estimation and T the period over which the earthquake data are known.

(ix) From the set of values of PGAs at each grid point, that PGA is determined which is exceeded n times.

التربة

ما هي التربة؟



التربة واثرها على المباني

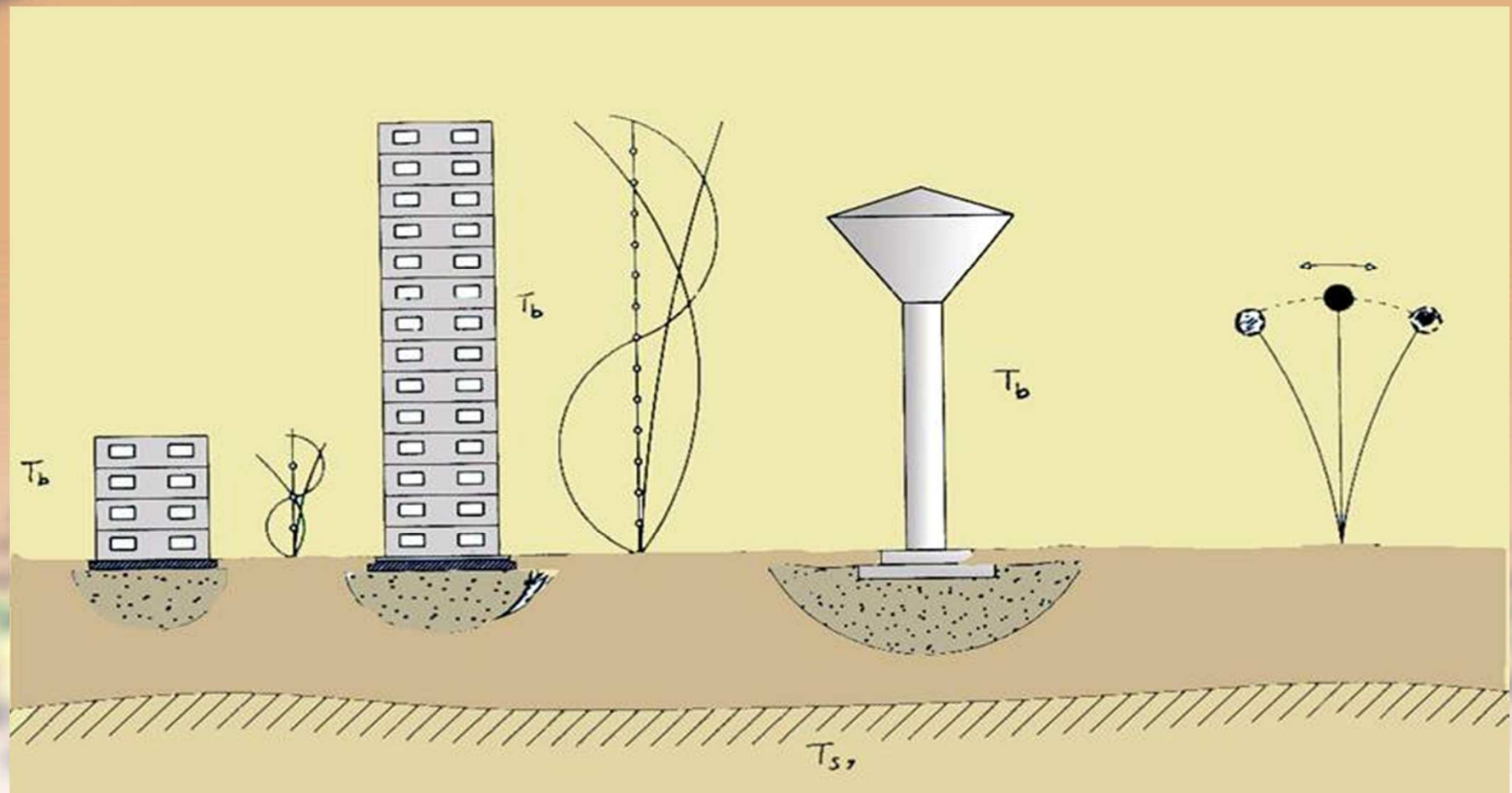
لماذا ندرس التربة وطبيعتها قبل البناء عليها؟

1. لتحقيق تصميم آمن للمبنى

2. لاختيار التصميم والنظام الانشائي المناسب

3. لتلافي حدوث عيوب مستقبلية للمبنى

تربية التأسيس



جيولوجية وزلزالية الموقع

تؤثر جيولوجية المنطقة وتربة الموقع على شدة الاهتزازات الارضية وبالتالي على حجم الاضرار والانهيارات.

وفي التصميم الزلزالي للمباني نراعي:

■ دراسة زلزالية وجيولوجية المنطقة وموقع البناء.

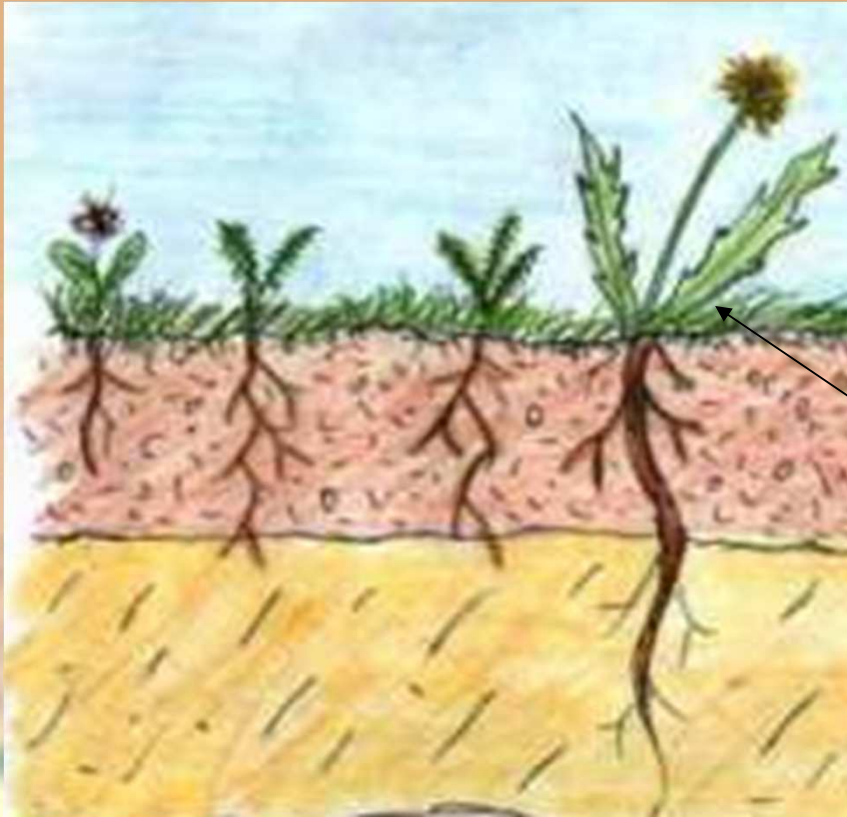
■ تصميم عناصر المبنى بما يتناسب مع تربة التأسيس والسلوك الزلزالي المتوقع لها.

استطلاع الموقع:

عملية تستدعي بعد النظر وسرعة
البديهة

فمثلا:

التفات انتباه الدارس الى مستوى
نمو النباتات في المنطقة،
ماذا قد يعني؟



قوة تحمل طبقات التأسيس

ما هي الاشياء التي تسبب
تدهوراً في قوة تحمل طبقات
التأسيس او حدوث انهيارات
بها؟

1. اعمال الحفر المجاورة:



2. الاهتزازات ومنها الناتجة عن حركة المركبات:

3. السيول والجداول المائية ومنها دراسة:

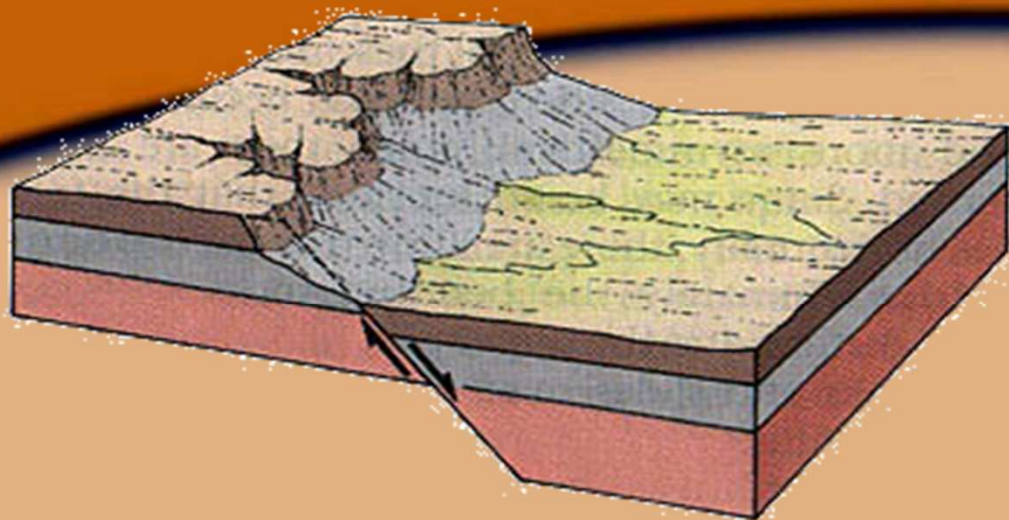
- تصريف مياه المطر
- تصميم الممرات الخارجية والساحات
- المرافق العامة حول المبنى كآبار تخزين المياه والحفر الامتصاصية.

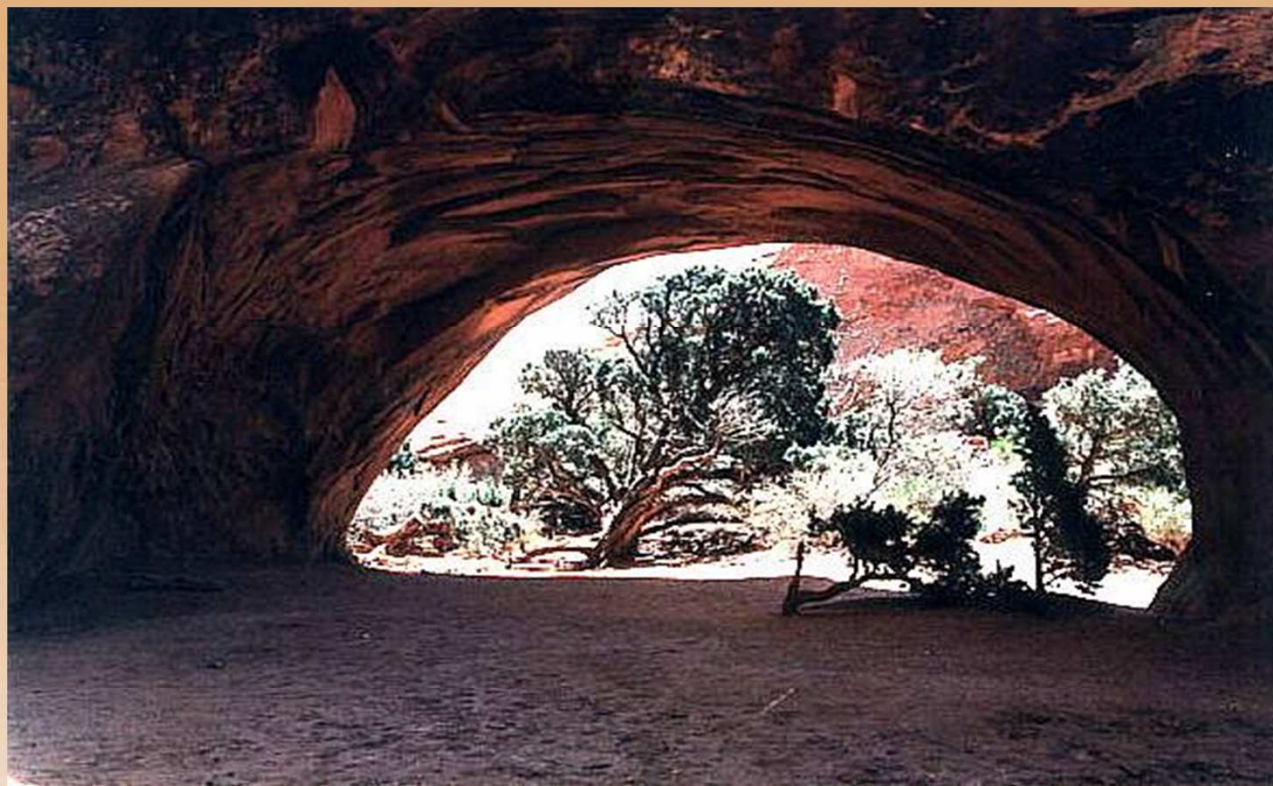
وسيأتي شرحها بتفصيل اكبر لاحقاً..

4. طبوغرافية التربة

عند ملاحظة عدم انتظام او حدوث تغيرات مفاجئة في مناسيب الموقع فان ذلك قد يشير الى:

- احتمال وجود صدوع جيولوجية في الطبقات الصخرية.
- = = انزلاقات في الطبقة السطحية الرخوة.
- كما ان وجود مغر وفجوات على السطح مؤشر لاحتمال وجود مثلها تحت سطح الارض.





قبل التعمق في دراسة المؤثرات السابقة
لا بد من التعرف على:
انواع التربة

1. التربة الصخرية.

2. التربة الرملية.

3. التربة الطينية.

ولكل نوع منها انواع اخرى بداخله.

أولاً: التربة الصخرية

تكثر الصخور البيضاء (الحجر الجيري)
وان كان شكلها الجلمودي مطمئناً من الخارج الا انها قد تحمل في طياتها



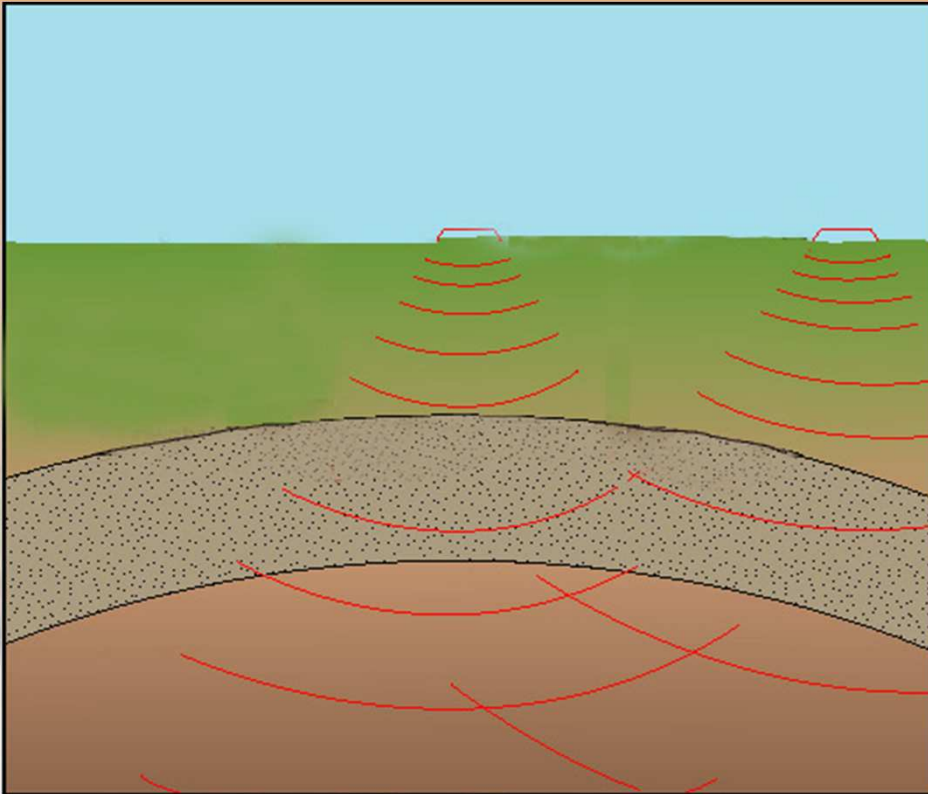
مفاجآت

فقد يصمم البعض مبناه على طبقة صخرية وهو
لا يدري ان طبقة رقيقة تحجب عنه فجوات خطيرة!



ولكن: طالما ان هذه الفجوات محجوبة
عن اعيننا، كيف يمكننا الكشف عن وجودها؟!

بواسطة اجهزة فحص التربة:
1. جهاز صدى الصوت:

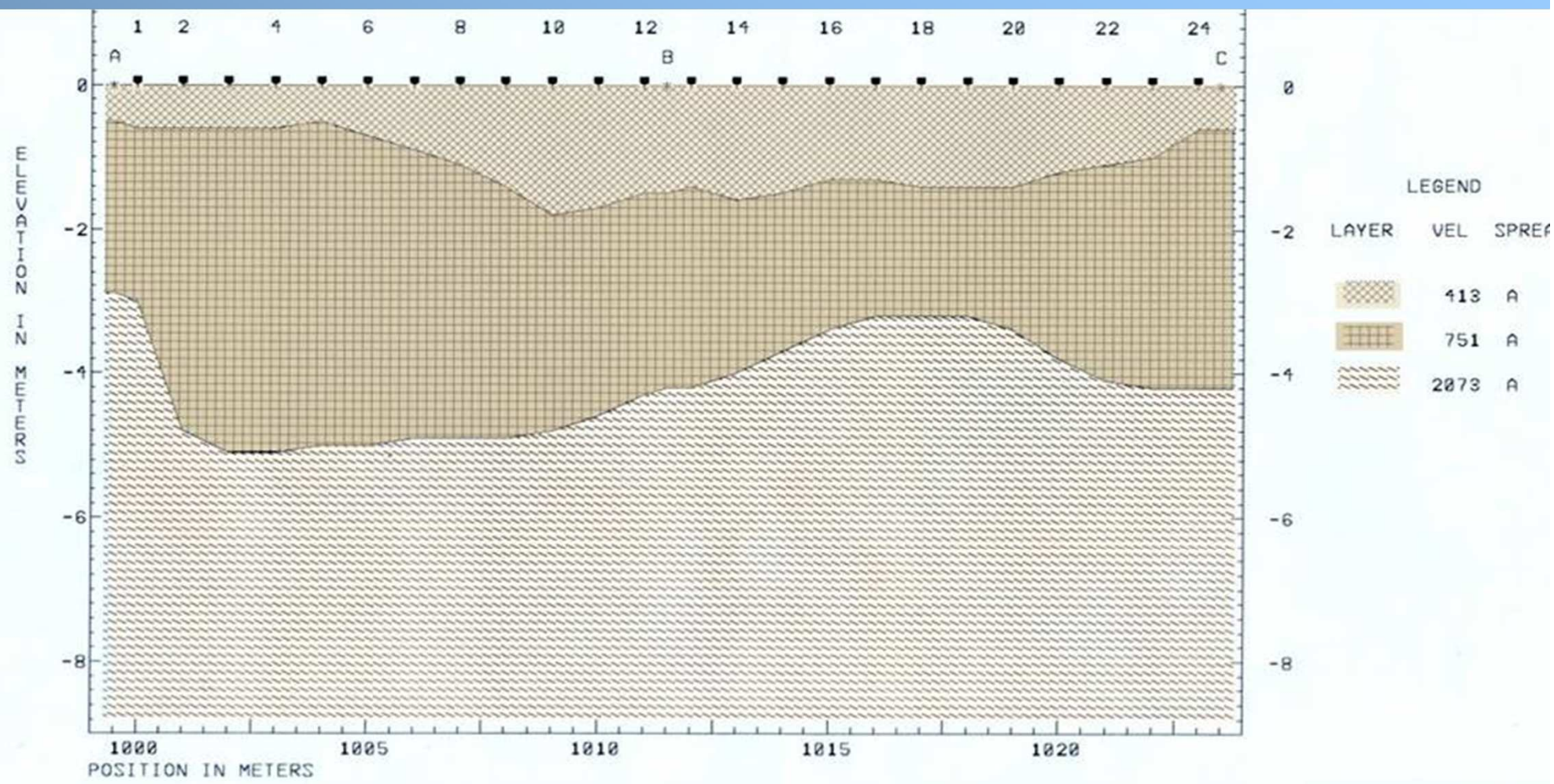


2. الكشف الجيوفيزيائي ومنه:

- الكشف الكهربائي
- الكشف الزلزالي او الاهتزازي



الكشف الزلزالي او الاهتزازي



3. الحفر الآلي:



اي من هذه الطرق موجود في برأيكم؟

1. صدی الصوت

2. الكشف الكهربائي

3. الكشف الزلزالي

4. الكشف الآلي

تسوية سطح التربة قبل البناء

تعتبر الصخور اساساً جيداً للمبنى؛ فهي قادرة على تلقي احمال كبيرة دون حصول هبوط او تشققات، وفي حالة البناء على تربة صخرية يجب

تسوية سطح الطبقات العلوية

على كامل الموقع او على اجزاء منه على هيئة تدرجات



الصخور ومقاومتها:

تصنف الصخور بشكل عام الى انواع
ثلاثة:



1. الصخور النارية مثل الجرانيت



1. الصخور المتحولة مثل الرخام



2. الصخور الرسوبية مثل الحجر
الجيري

لا!

هل قدرة تحمل هذه الانواع وخواصها متشابهة؟

فلكل صنف خواص فيزيائية وميكانيكية وقدرة تحمل لقوى الضغط مختلفة عن غيره، فمثلاً:



1. الحور هو احد اصناف
الصخور الرسوبية وهو:

- ضعيف المقاومة

- قابليته عالية لامتصاص
الماء

2. الحجر الجيري:

– مقاومته عالية – نفاذيته للماء قليلة



ثانياً: التربة الرملية

هل يعتبر الرمل مناسباً كتربة تأسيس اسفل المباني ؟



التربة الرملية الجافة قليلة الرطوبة تعتبر جيدة للتأسيس بشرط أن تكون المنطقة المراد البناء عليها "ضعيفة النشاط الزلزالي"

وماذا اذا كانت نشطة زلزالياً؟

اذا كانت التربة الرملية مشبعة بالرطوبة كتلك الموجودة قرب شواطئ البحار، فان تعرضها لاهتزازات ارضية يؤدي الى:



تميوها

او



انهيار المباني المقامة عليها

التميو

هو عملية تحول الرمل الى ماء وخروجه من موضعه
كما في الشكل:



دول العالم التي تعرضت لكوارث تنصح بعدم اقامة منشآت هامة على هذا النوع من التربة خصوصاً
في مناطق الشدة الزلزالية المعتدلة او العالية.

هذا وتوجد حلول علمية لمعالجة تميؤ التربة لكنها مكلفة بطبيعة الحال.

ثالثاً: التربة الطينية

يوجد في المنطقة الواحدة من التربة عادة اكثر من نوع تربة، وكذلك النوع الواحد من التربة يضم بداخله انواع فرعية.

من اصناف التربة الطينية:

1. التربة الطينية المتماسكة.

2. التربة الطينية الرخوة.

3. التربة الطينية التي يتخللها حصى و"دبش".

4. التربة الطينية القابلة للانتفاخ.

ولكن

فيم تهمنا دراسة كل هذه
الانواع من التربة ؟

ببساطة، تختلف هذه الانواع في:

1. مقدرتها على التحمل.

2. درجة امتصاصها للماء.

3. قابليتها للانتفاخ (التغير الحجمي)

التربة الطينية القابلة للانتفاخ

يوجد هذا النوع في عدد من
المناطق الية وخصوصاً الزراعية منها
أو القابلة للزراعة.



ماذا يفعل المهندسون تجاه هذه التربة ؟

يلجأ البعض الى زيادة مساحة قواعد الاساسات

ولكن:

1. هل ينهي هذا الحل مشاكل التربة الطينية القابلة للانتفاخ؟
2. وما تأثير الرطوبة وتسرب الماء الى هذه التربة؟
3. هل المشاكل التي تحدثها هذه التربة تستدعي كل هذا الانتباه؟



لنرى ذلك

قصة التربة الطينية:

خلال السبعينات والثمانينات من القرن العشرين بدأ الامتداد العمراني بالانتشار في المناطق الطينية الزراعية.



لوحظ حدوث تشققات وتصدعات

في عددٍ كبيرٍ من المباني المقامة على اراض طينية
(كالاراضي الزراعية الحمراء أو بنية اللون)



قال بعض المهندسين

ان سبب ذلك هو حدوث هبوط في اساسات المبنى بسبب ضعف في
قدرة التربة على التحمل؛
فقاموا بزيادة قوة ومساحة الاساسات.

المفاجأة



بعض المباني أصبحت تعاني من
تشققات أكثر مما سبق وذلك بعد
زيادة مساحات الاساسات.

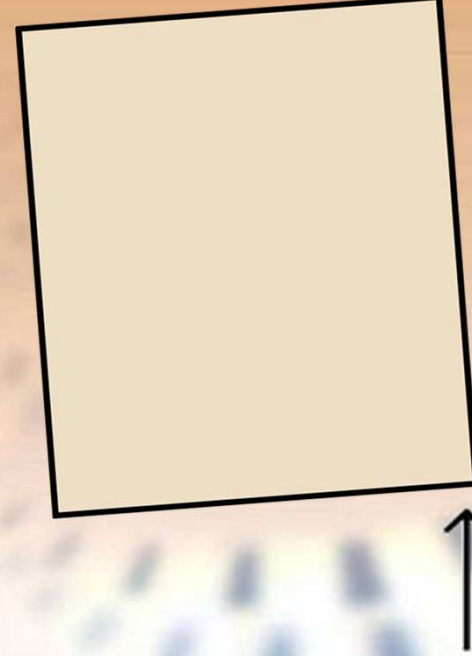
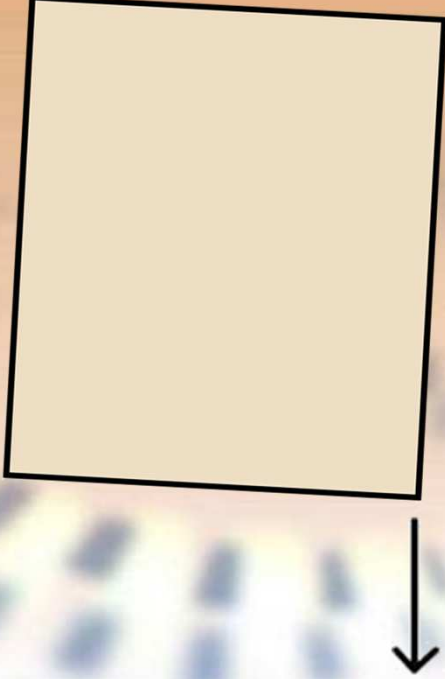
الدراسات على هذا الموضوع

اجريت دراسات علمية في الاردن في بداية الثمانينات على هذه الظاهرة، وظهرت ما يلي:

1. معظم المباني المكونة من طابق او طابقين والمقامة فوق اراض طينية تعرضت لحصول ارتفاع وهبوط متتاليين للقواعد.

السبب: قابلية هذه التربة للتغير الحجمي عالية جداً اي انها قابلة للانتفاخ!

الارتفاع والهبوط المتتالي للقواعد توضحه هذه
الصورة:



النتيجة:

ينجم عن هذه الحركة المستمرة لاعلى ولأسفل تشققات في الارضيات والجدران والقسمات والتشطيبات.



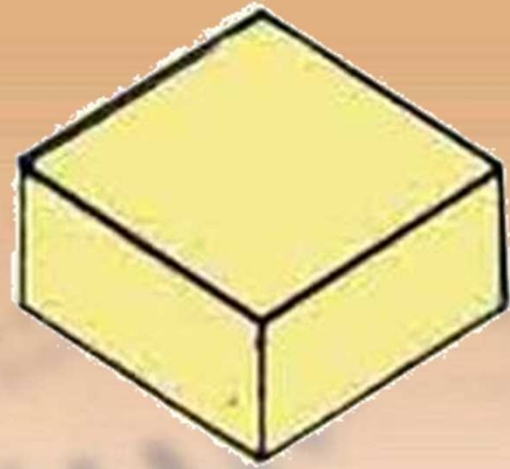
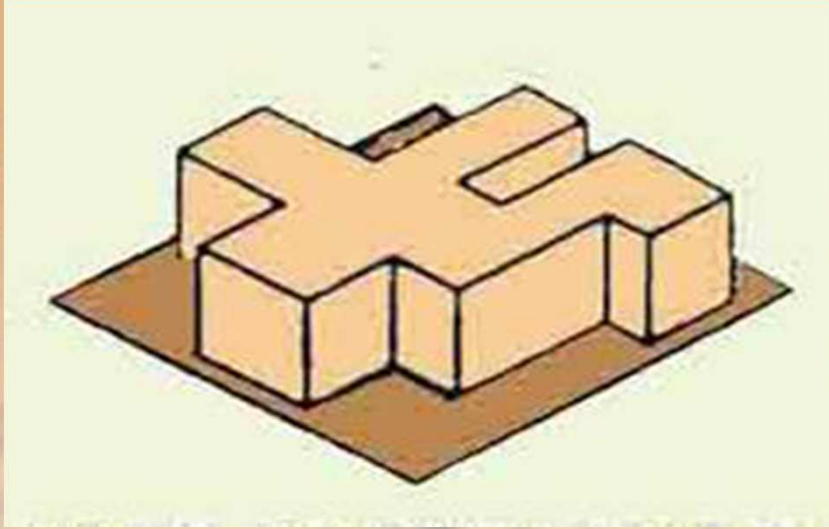
2. الابنية ذات الطوابق المتعددة اظهرت عيوباً اقل من تلك التي اصابت ذات الطابق الواحد او الطابقين.



لماذا ؟

السبب: وزنها أكبر؛ فلا تستطيع التربة المنتفخة رفع قواعدها.

3. الابنية ذات التشكيل المعماري المعقد اظهرت
عيوباً اكثر من تلك ذات التشكيل المعماري البسيط كالمربع او المستطيل



السبب: لعدم تحرك الاساس كوحدة واحدة

ما هو الحل مع هذه التربة؟؟

كما رأينا فان زيادة مساحة الاساسات قد فاقمت من المشكلة؛ ففي الفصل الذي تزداد الرطوبة فيه تزيد فرصة دفع القواعد لاعلى من التربة المنتفخة، ومن حلول معالجة ذلك:

معالجة مصادر المياه التي تؤثر على رطوبة التربة.

ما هي المصادر التي تؤثر على رطوبة التربة؟

1. اسباب طبيعية مثل:

- مياه الامطار
- الجداول المائية او السيول الموسمية

2. اسباب بشرية مثل:

- تسرب مياه التمديدات.
- الحفر الامتصاصية وخزانات المياه الارضية "الحوائز"

كيف نعالج عملية تسرب المياه ؟

1. اخذ الاحتياطات اللازمة للتمديدات الصحية.
2. ابعاد حنفيات ري الحديقة المنزلية عن اطراف المبنى وابقاء تمديداتها مكشوفة؛ لأنها عرضة للتلف بسبب ضغط الماء المتكرر.
3. توجيه مزاريب تصريف مياه المطر الى اماكن بعيدة.
4. تلافي حدوث البرك والاحواض المائية في البلاط او صبة الارضيات.

انظمة تصريف المياه والتخفيف من رطوبة التربة

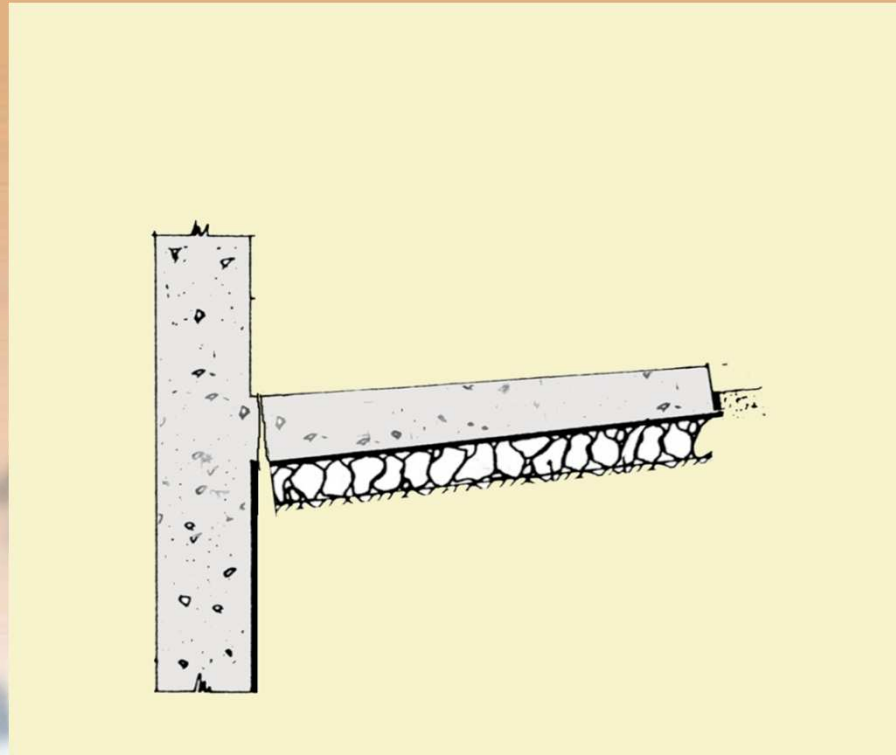
1. معالجة الممرات الخارجية حول المبنى.

2. اقامة خنادق وحواجز حول المبنى.

3. المزروعات والشجيرات حول المبنى.

اولاً: الممرات الخارجية حول المبنى

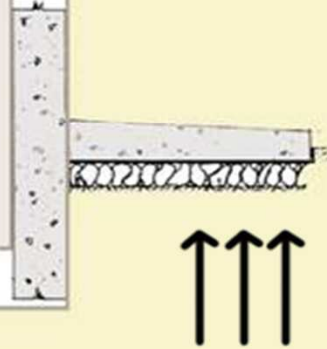
ما هو تفسيرك لوجود ممرات ذات ميل معاكس ؟

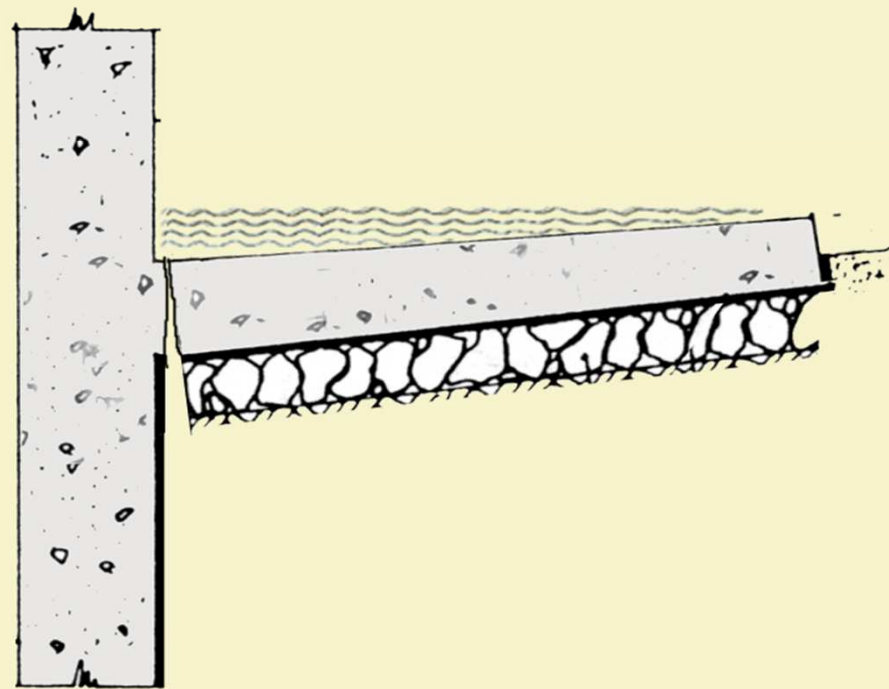




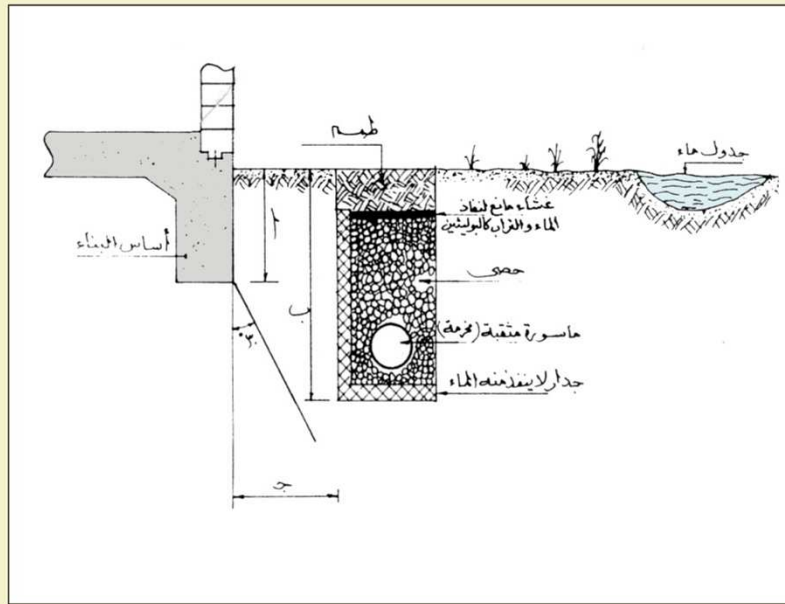
- اول ما تتعرض للانتفاخ والرطوبة

- تكون على مسافات قصيرة

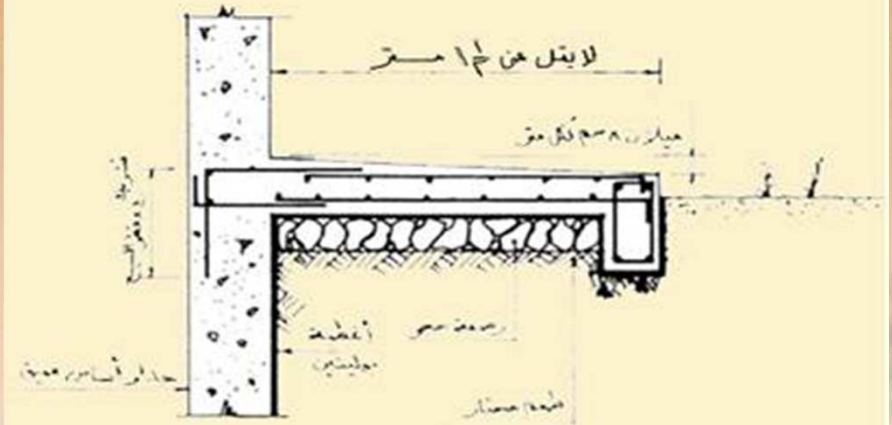




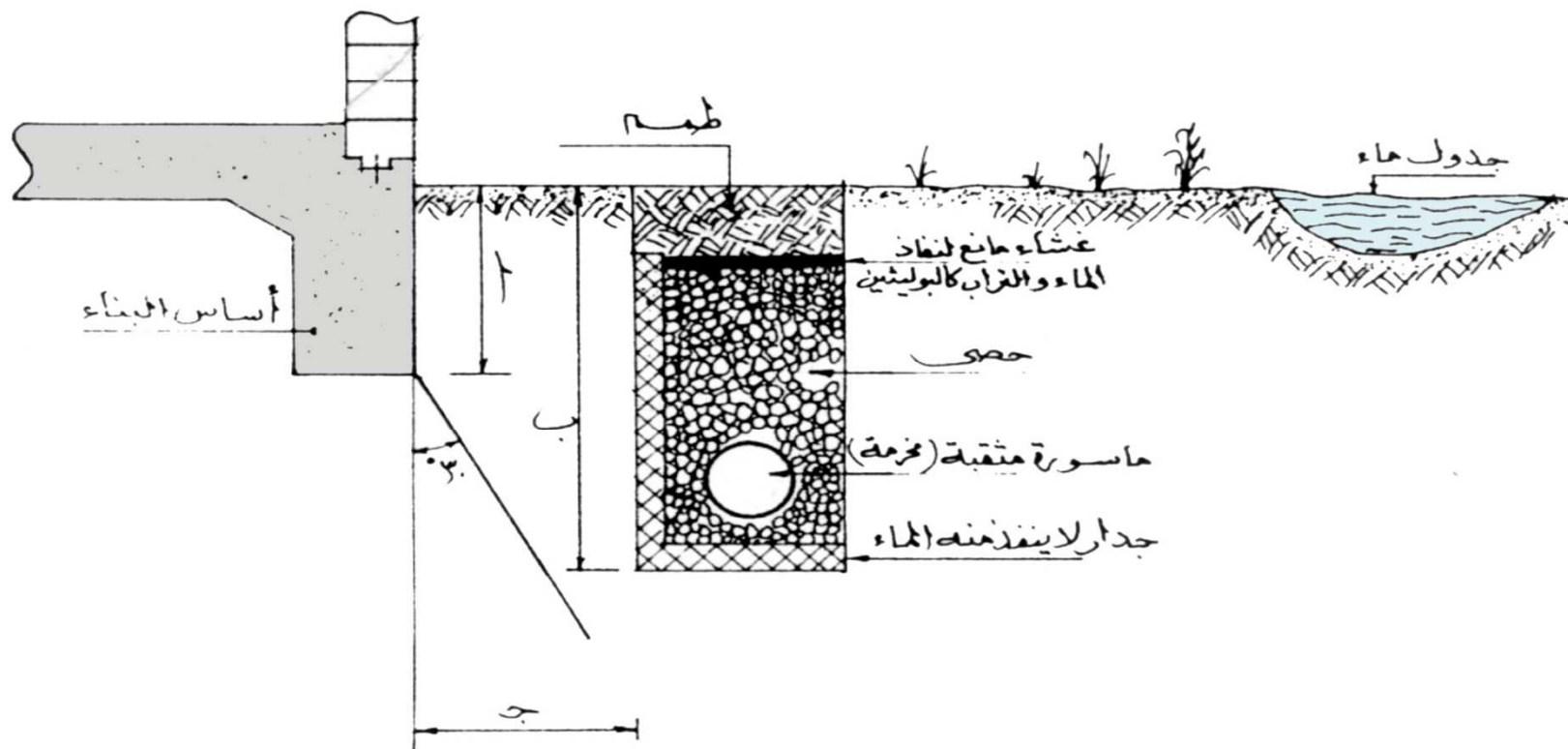
ثانياً: اقامة خنادق للحد من تسرب المياه الى الاساس:



حماية تربة الأساس من تسرب مياه الجداول والأنهار .



نموذج لمقطع في الممرات الخارجية



حماية تربة الأساس من تسرب مياه الجداول والأنهار .

ثالثاً: المزروعات الصغيرة حول المبنى

1. اعشاب صغيرة:

” نجيل، عشبيات، ورود مدادة، ... الخ ”
ويجب رشها بالماء باستمرار؛ فهي
تحافظ على الرطوبة وتمنع الجفاف
صيفاً.



2. هل تفي الاشجار بنفس الغرض؟

ام هل ترفع جذورها اساسات المبنى الى
الاعلى ؟





رحلة الصيف !

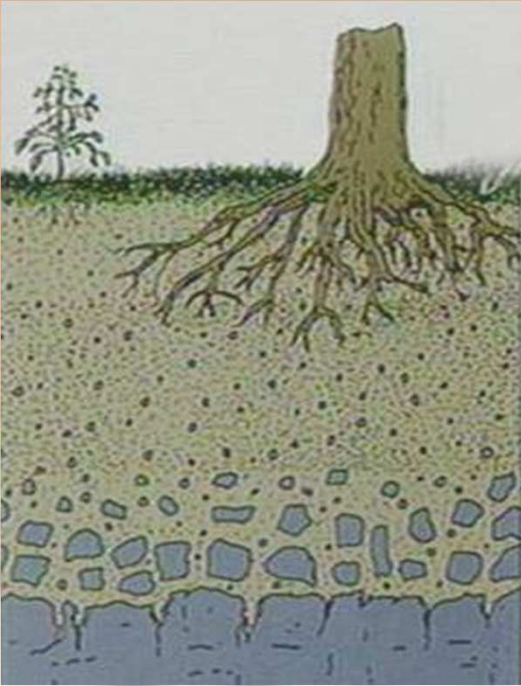
تلحق الاشجار ضرراً كبيراً في
الابنية المقامة على تربة طينية:

فجذورها تعمل على امتصاص الرطوبة.

فتحدث تجويفات هوائية مكان جزيئات الماء

فتتهار التجويفات تحت ضغط اساسات البناء محدثة هبوطاً

يؤدي الى تشققات في المبنى





رحلة الشتاء !

تزداد الرطوبة

تسقط اوراق الشجر
ويتوقف الامتصاص

تعود التربة لحجمها فتتفخ

دافعة الاساسات لاعلى؛

فتغلق الشقوق أو تضيق لتصبح شعرية



اشكال الشقوق المتوقعة

يحدث الهبوط او الترييح في اساسات المباني لجميع انواع التربة،
ولكن بمقادير مختلفة تشتد حدةً خلال عملية البناء.
وللتشققات الناجمة عن ذلك اشكال منها:



1. تشققات قطرية:

2. تشققات شبه مستقيمة تسير غالباً في الطول الافقية والعمودية للحجر:



النتيجة:

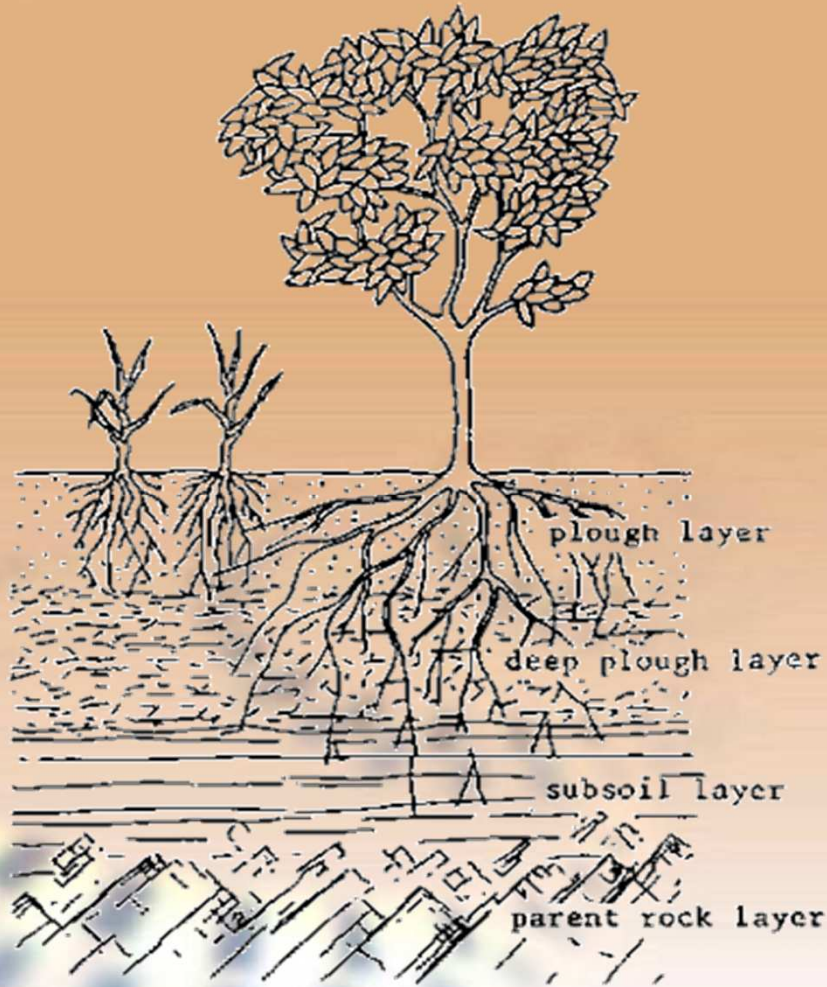
انفتال في النوافذ والابواب

المحاذية لمكان الهبوط.

قد تظهر التشققات في المباني بعد سنوات عديدة من اشغال المبنى،
كيف يحدث ذلك!؟

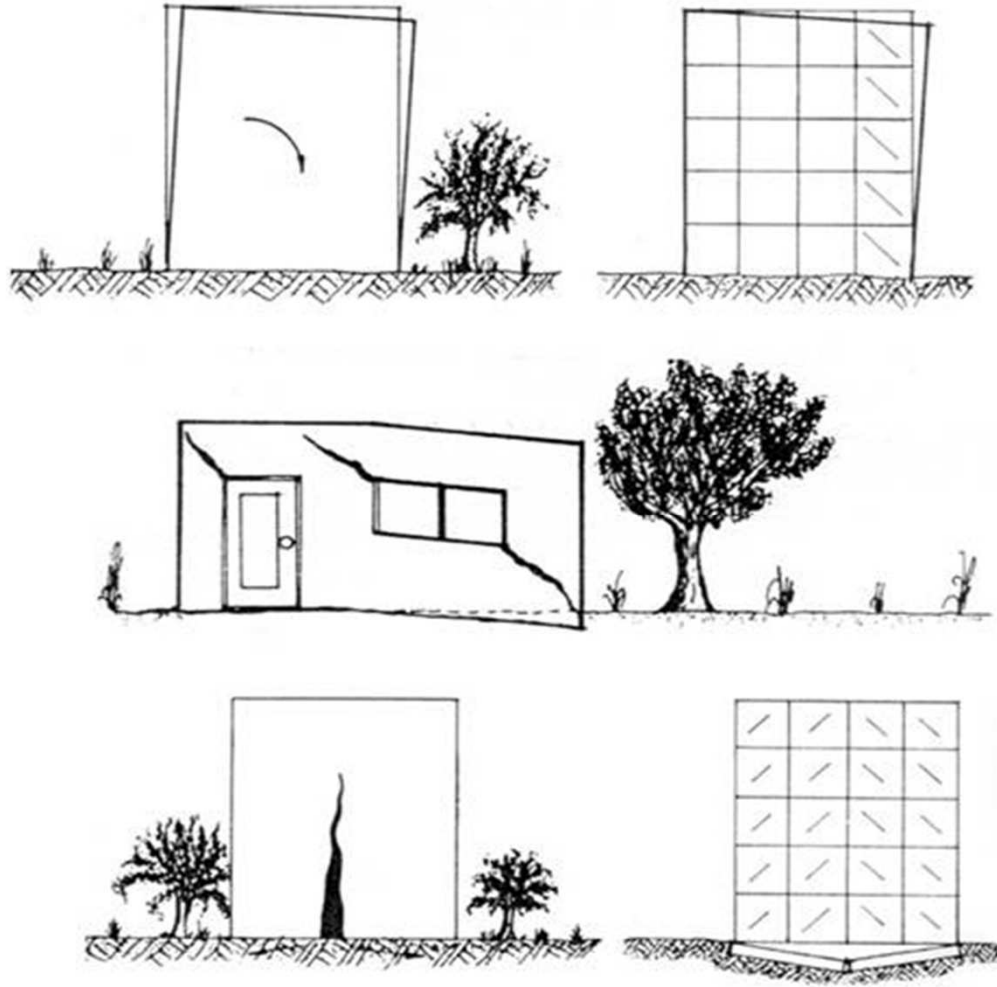


لان جذور الاشجار تستمد الماء المطلوب بداية حياتها من التربة المحاذية لسطح الارض،



ومن ثم تبدأ بالتوغل !

هل يمكن أن
يميل المبنى
بأكمله
جاء ذلك ؟



انماط الاضرار التي تحدثها الأشجار على الابنية

اساليب غير مباشرة تسهم فيها الاشجار بتغيير مستوى رطوبة التربة ؟

1. ظل الاشجار يحول دون
وصول اشعة الشمس



2. كثافة الأشجار حول منطقة ما من المبنى تبطئ من
سرعة الرياح وبالتالي ببطء تبخر الماء:

3. تراكم الاوراق المتساقطة يعيق انسياب مياه المطر
الامر الذي يؤدي الى تحويضها فنفاذها للتربة.

4. تعفن الجذور داخل التربة وتحللها يترك فراغات هوائية تسمح بتسرب الماء اليها.

اسئلة الفصل:

اولاً: تتلقى القاعدة التالية الاحمال من العمود وتقوم بنقلها الى التربة،
صمم القاعدة باستخدام الطرق السريعة والتقريبية حيث:

p : الاحمال والاوزان النازلة من العمود الى القاعدة = 60 طن

a : طول القاعدة

b : عرض القاعدة

f_b : ضغط القاعدة على التربة

f_s : مقدرة تحمل التربة ونفترض انها تساوي:

1kg/cm للتربة الطينية، 6kg/cm للتربة الصخرية

ثانياً: اذا قام شخص بالبناء على ارض طينية خلال فصل الشتاء، وكان مبناه يتألف من طابق او اثنين، فما الذي يمكن ان يجري في فصل الصيف؟

ثالثاً: أنشئ مبنى مكون من 7 طوابق اثناء فصل الصيف على تربة طينية قابلة للانتفاخ، ما المشاكل التي تتوقع حدوثها للمبنى، وما هي الحلول التي تقترحها لمعالجة ذلك؟

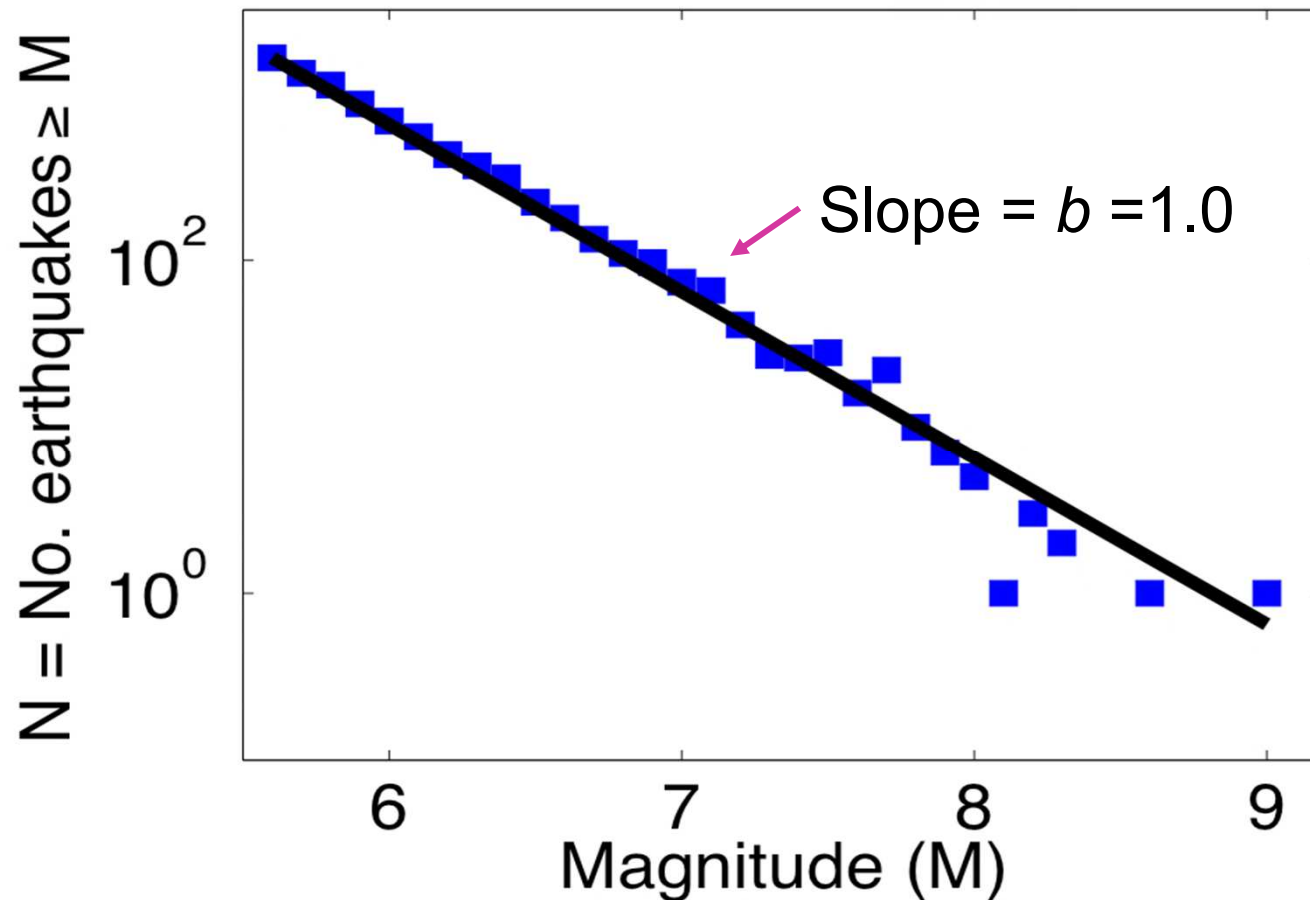
نهاية فصل التربة



The Gutenberg-Richter b value

The global magnitude-frequency relationship: Gutenberg-Richter with $b=1$

1976-2005 Global CMT catalog



$$\log(N) = a - bM$$

Hutton et al. (2010) obtained $b=1.0$ for Southern California

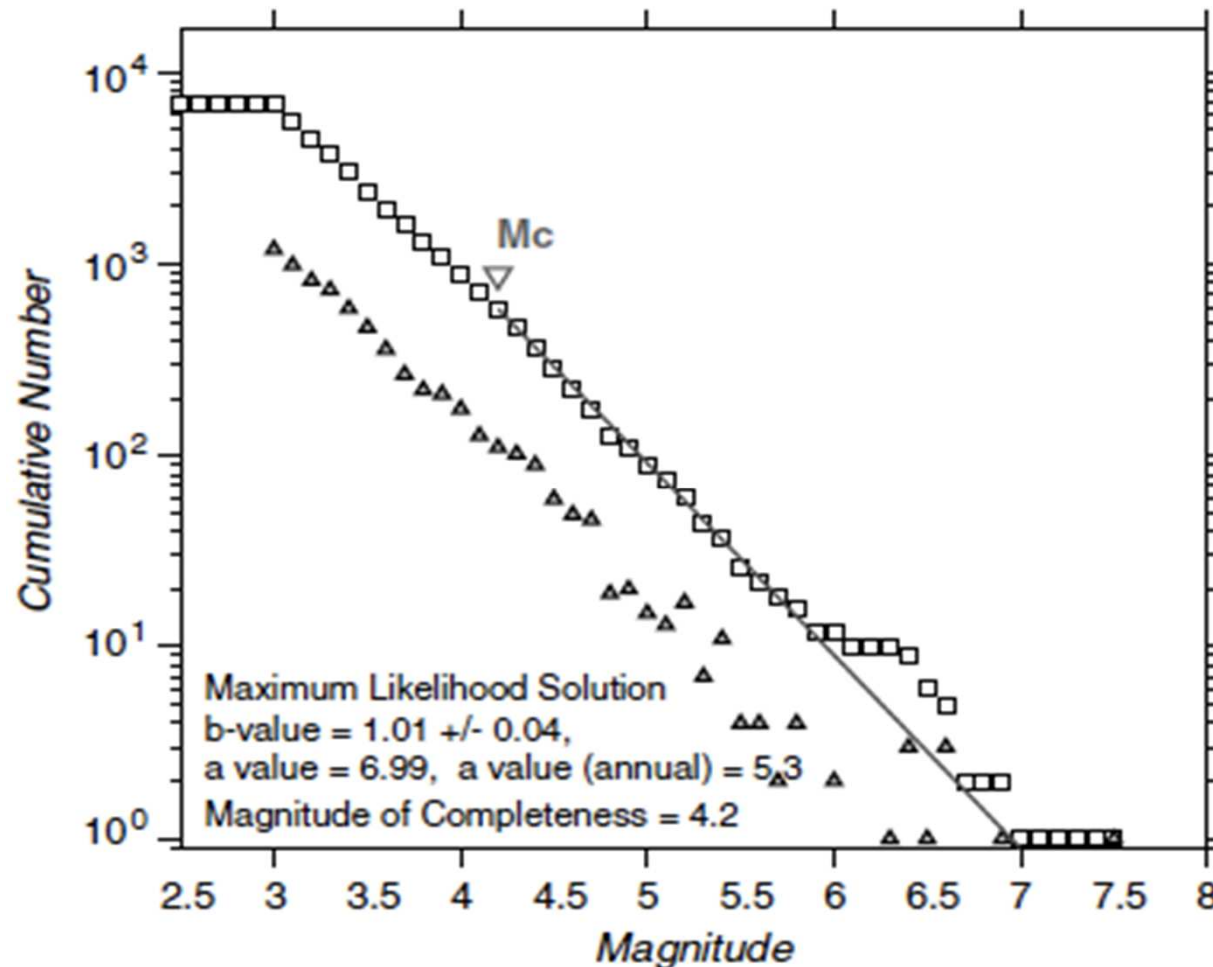
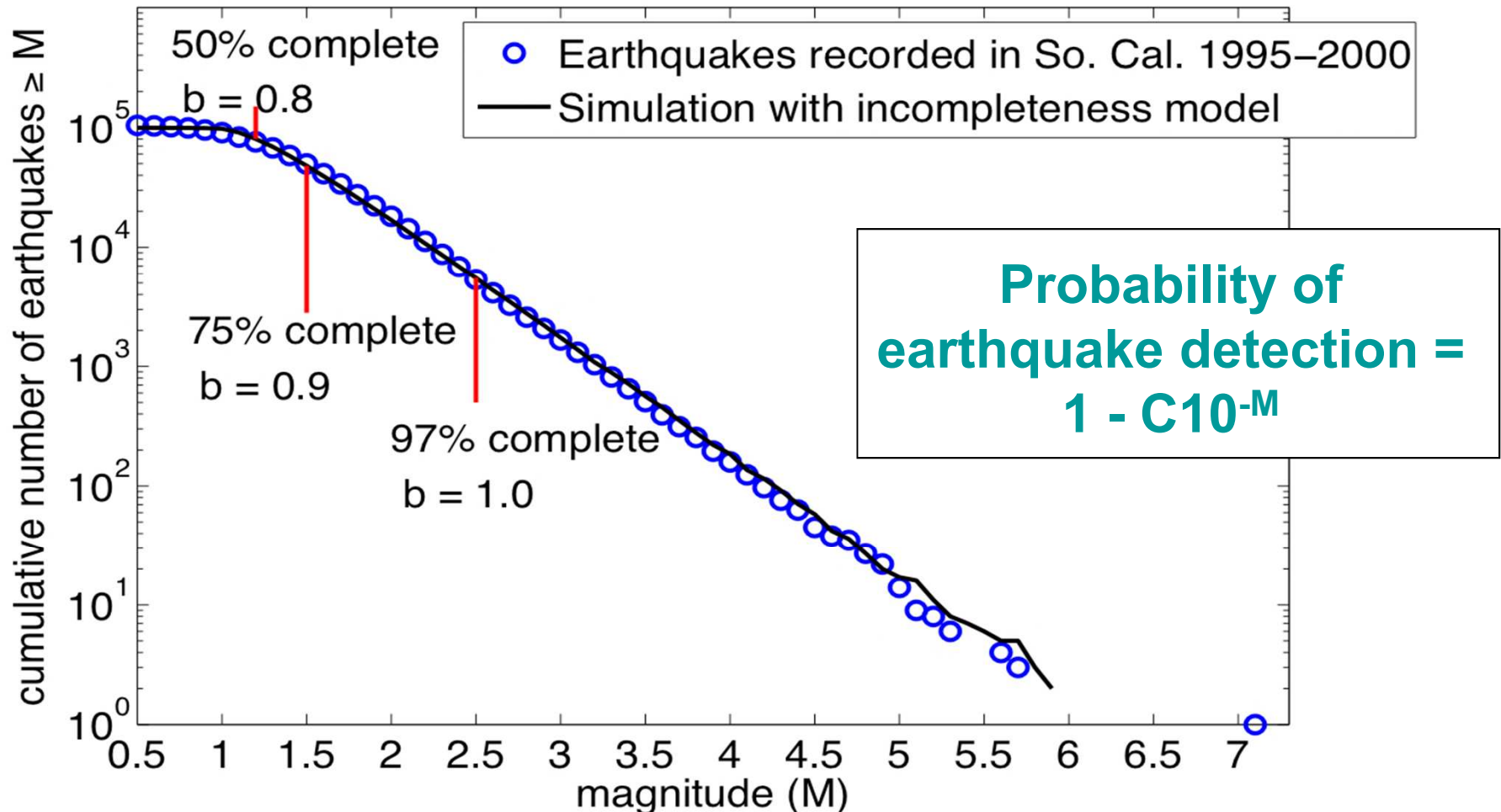


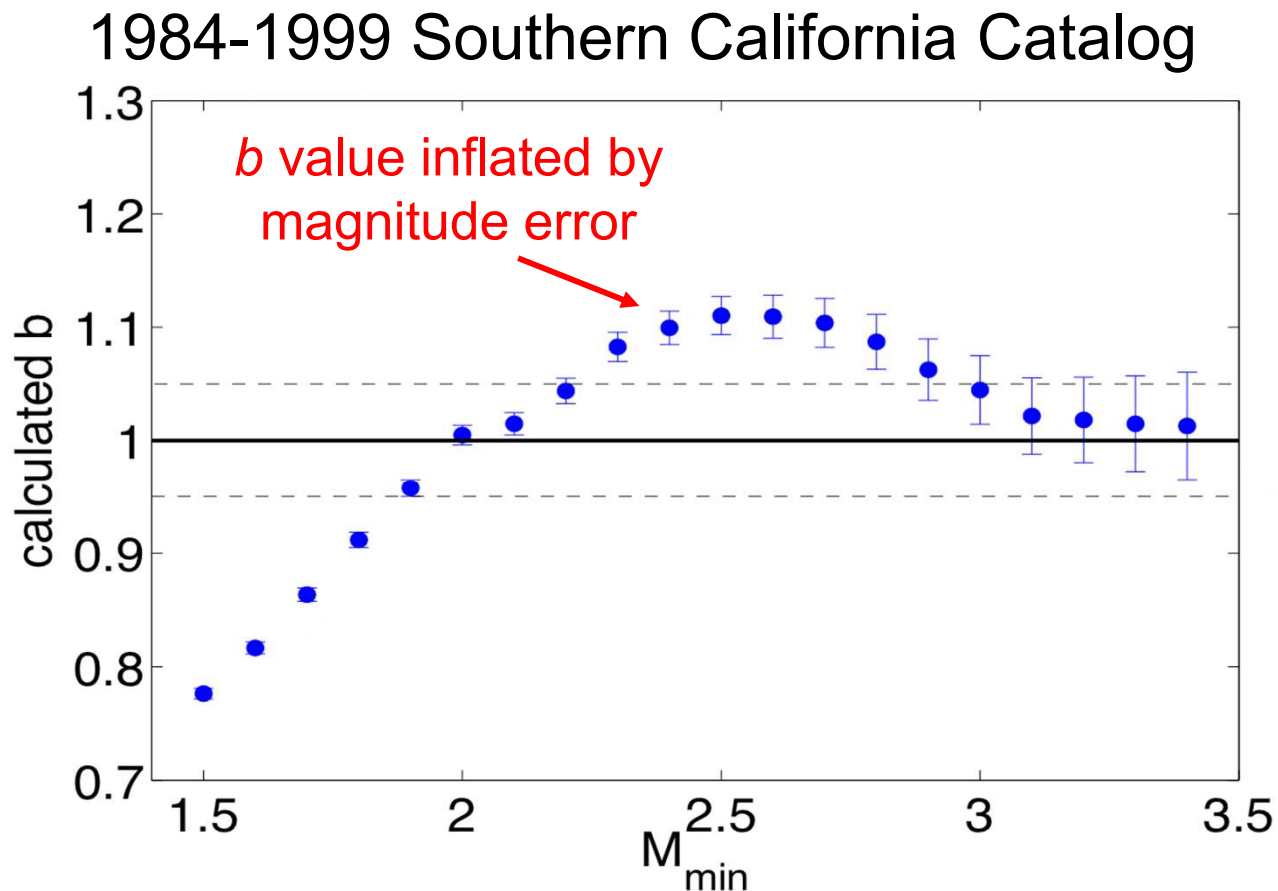
Figure 13,
Hutton et al.
(2010)

Lower b values are often reported because it is easy to use a value of M_c that is too small



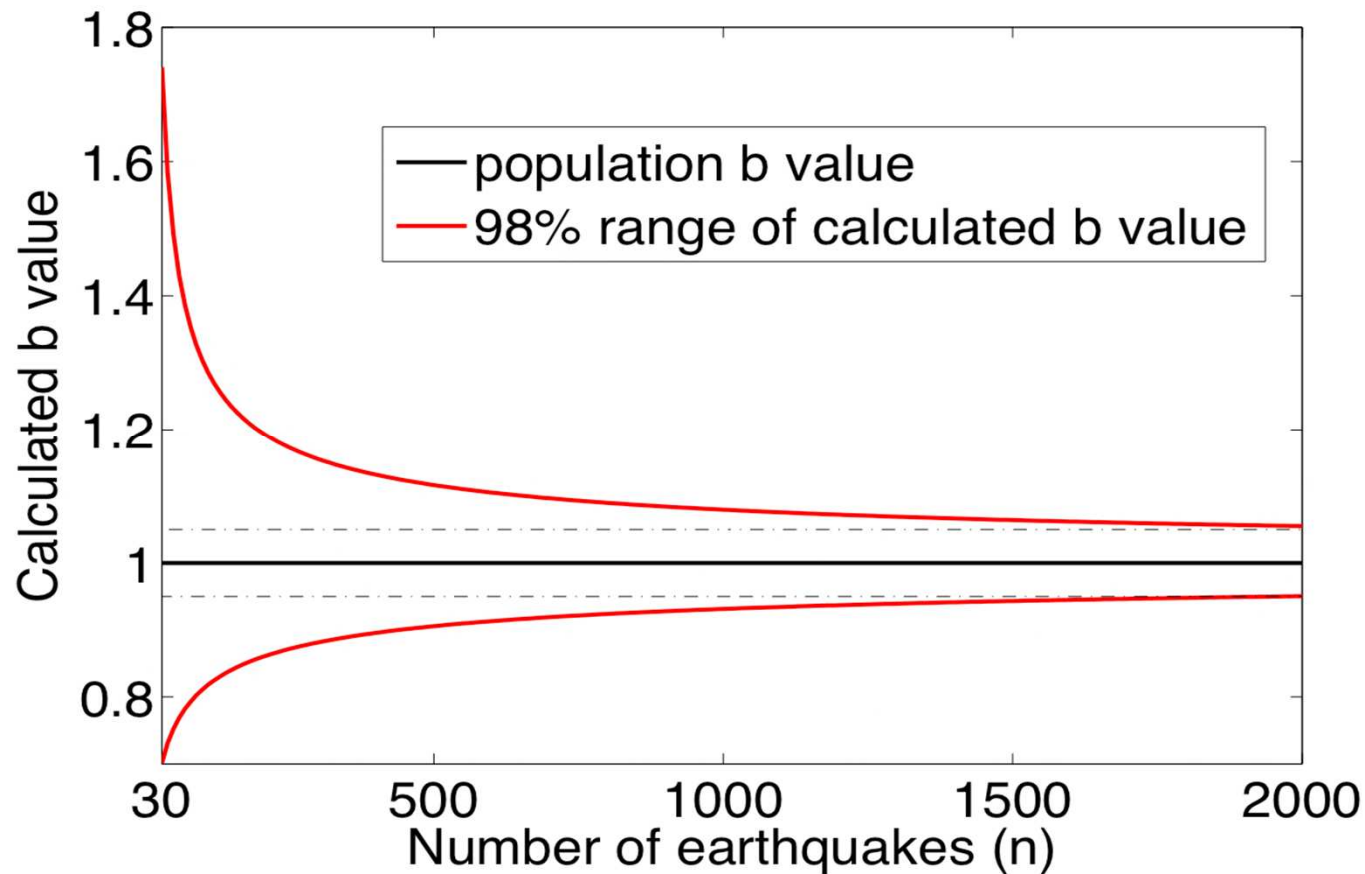
Setting the catalog completeness threshold by eye can lead to b value underestimation by 0.1 to 0.2.

Magnitude error can also cause miscalculation of b values



- Larger magnitude errors for smaller earthquakes inflate b
- b is best fit at the largest reasonable minimum magnitude

Erroneous b values also frequently result from data sets that are too small



n	b range
30	0.7 - 1.74
50	0.5 - 1.49
100	0.86 - 1.20
500	0.91 - 1.12

>2000 good quality earthquakes are required for 98% confidence errors < 0.05

Declustering reduces b value in routines where the smaller earthquakes in a cluster are preferentially removed

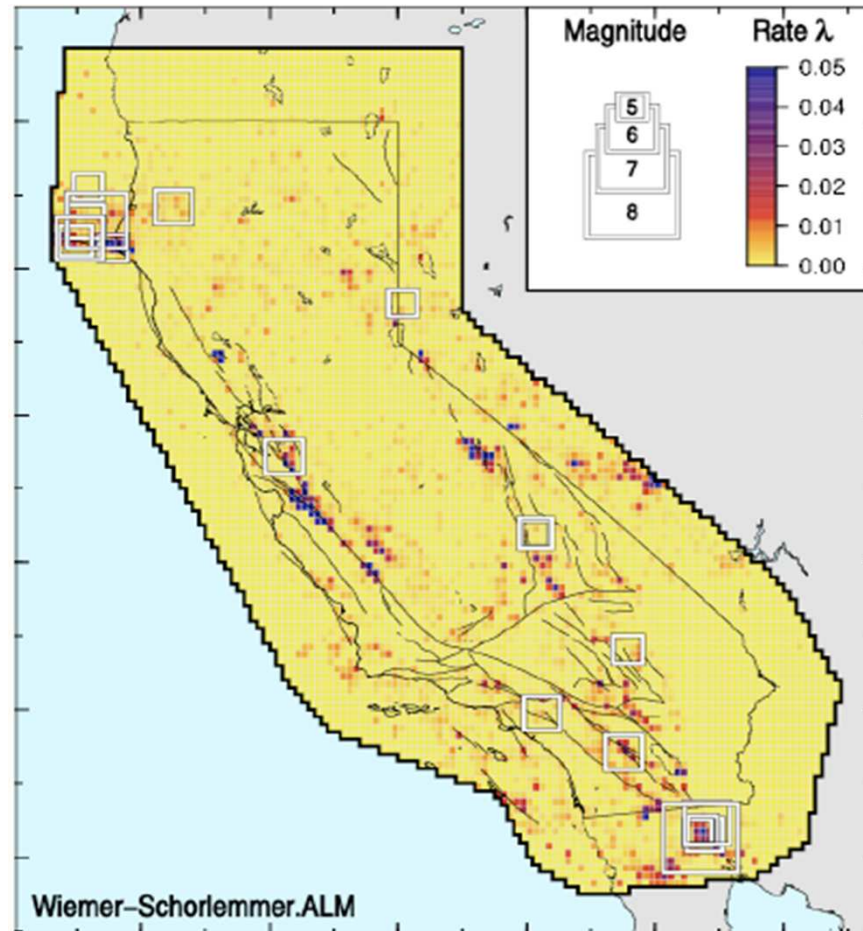


**Christchurch,
M 6.3**



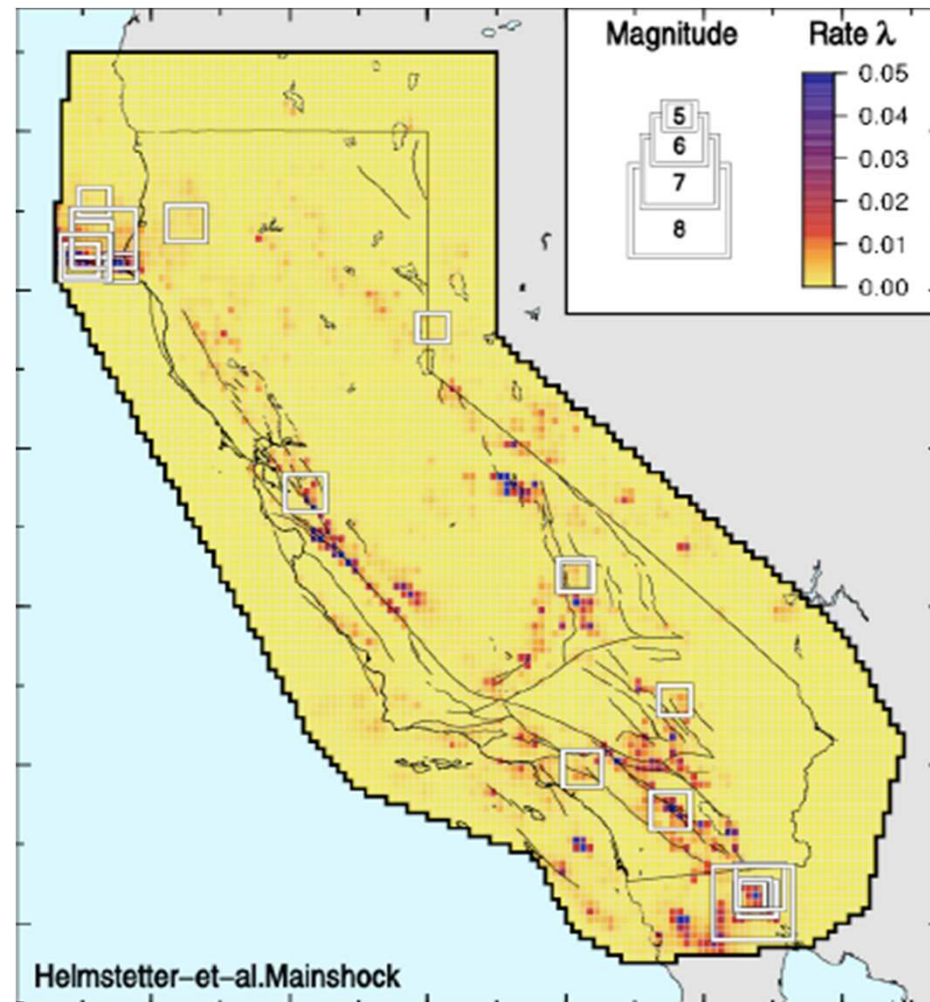
Does b value vary with location?

The *Wiemer and Schorlemmer* method uses b value asperities and is #2 in the RELM test



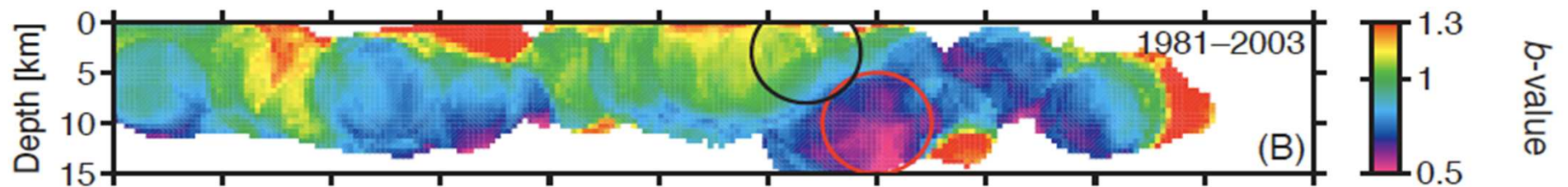
*Weimer and
Schorlemmer 5
year forecast*

The *Helmstetter* et al. forecast uses uniform b value and is #1 in the RELM test

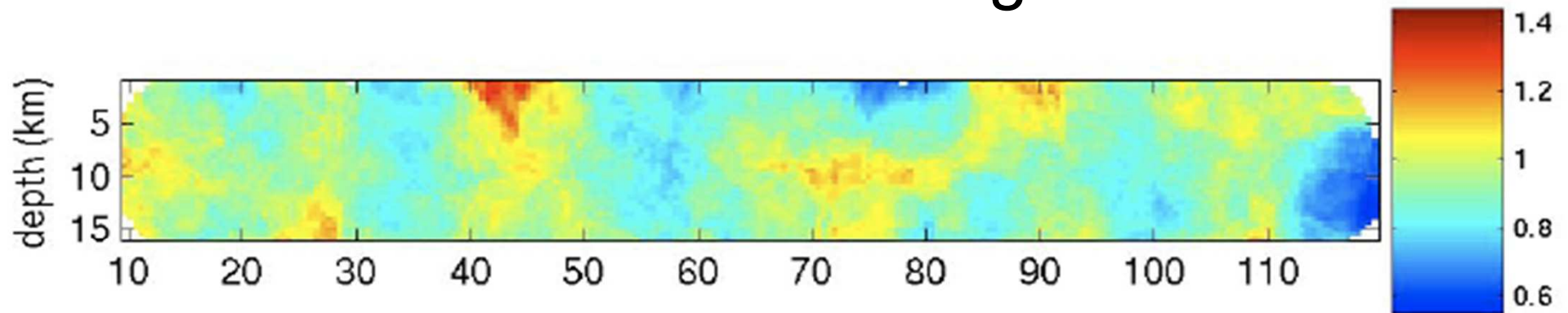


Helmstetter et al. 5 year forecast

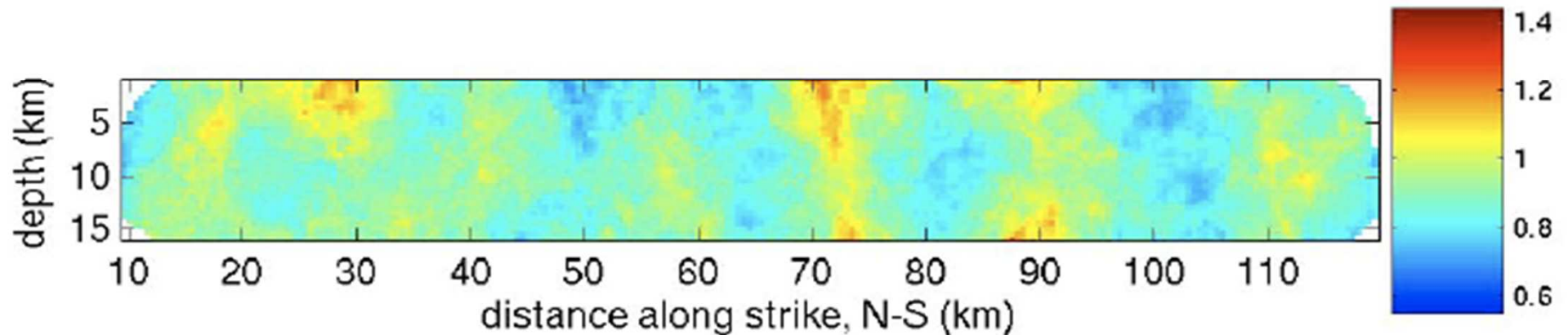
Case study: *Wiemer and Schorlemmer*
(2007) argue that they see a lot of b value
variability at Parkfield



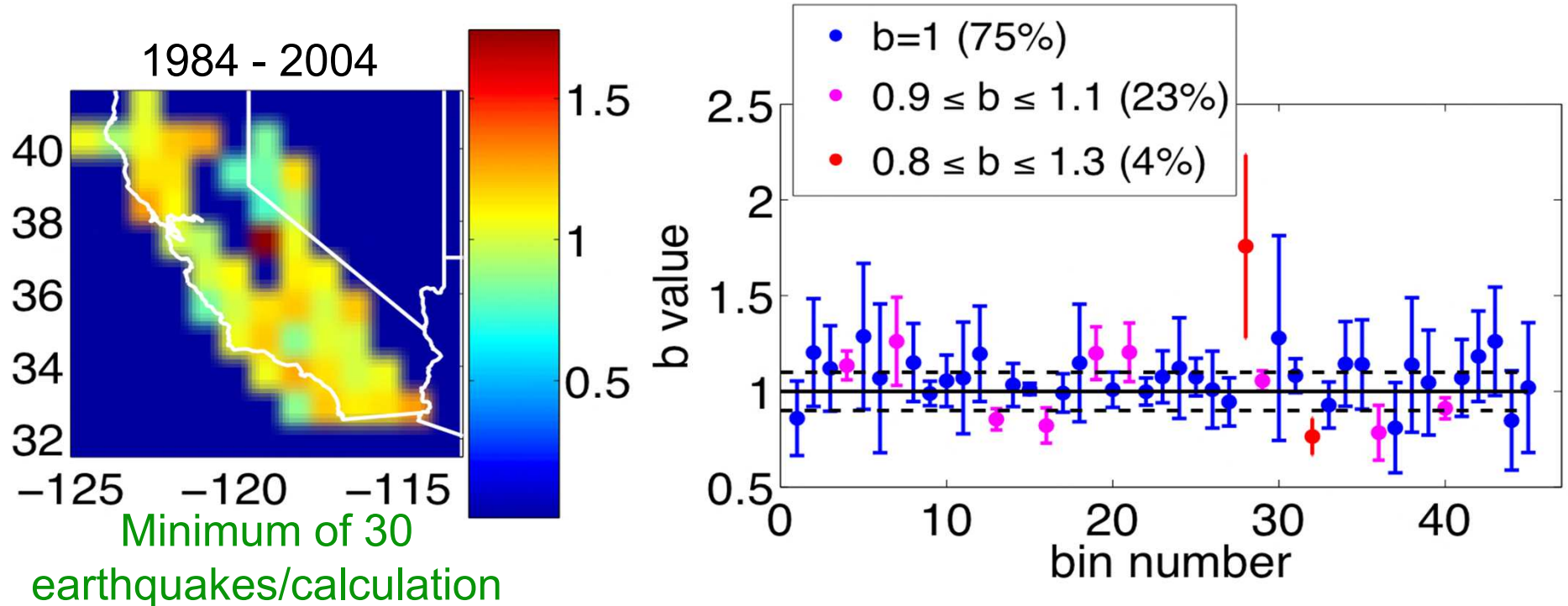
We can recover similar “variability” with a simulated catalog with a uniform b value, and the incompleteness and rounding found in the Parkfield catalog



Two random simulations



Taking a statewide survey, we find little b value variation in $1^\circ \times 1^\circ$ bins



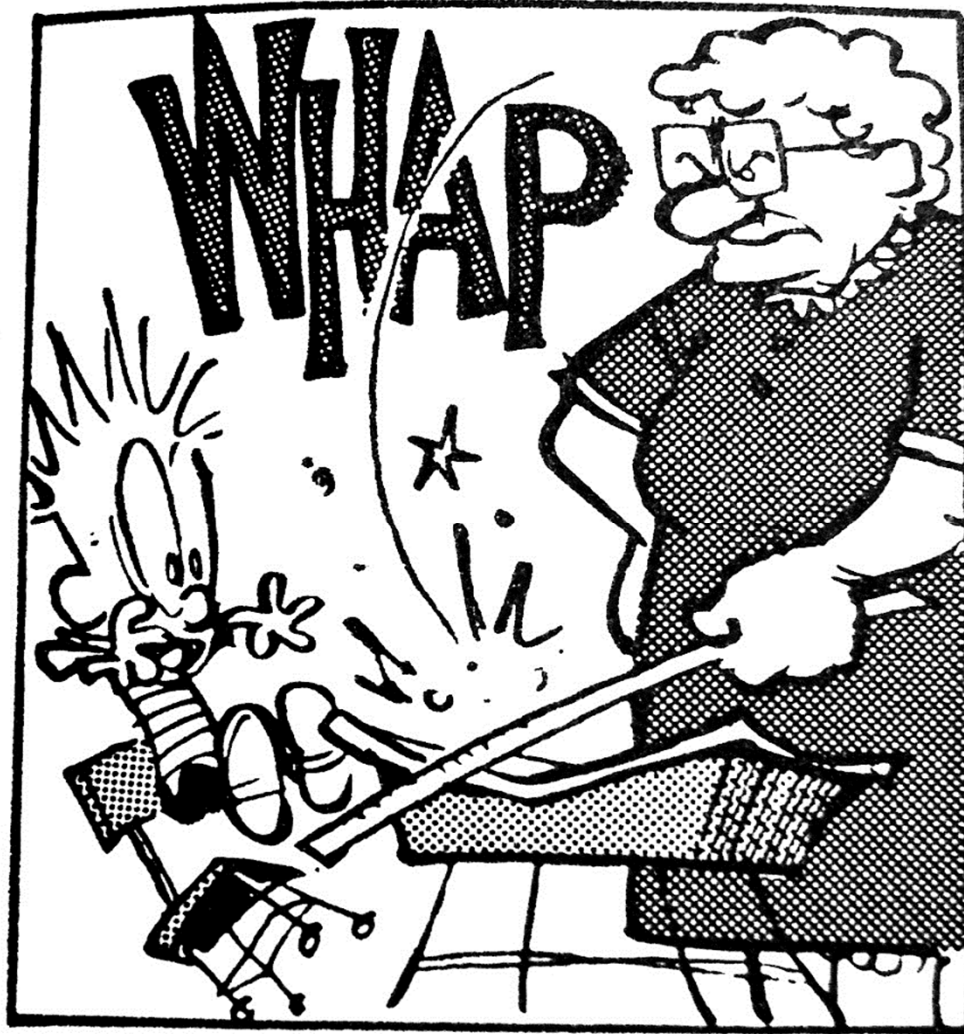
Assuming no magnitude error and uniform catalog completeness to M 2.6, **all values are $0.9 \leq b \leq 1.1$** . *Same for $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ bins*

Is the magnitude-frequency distribution different on and off of major faults?

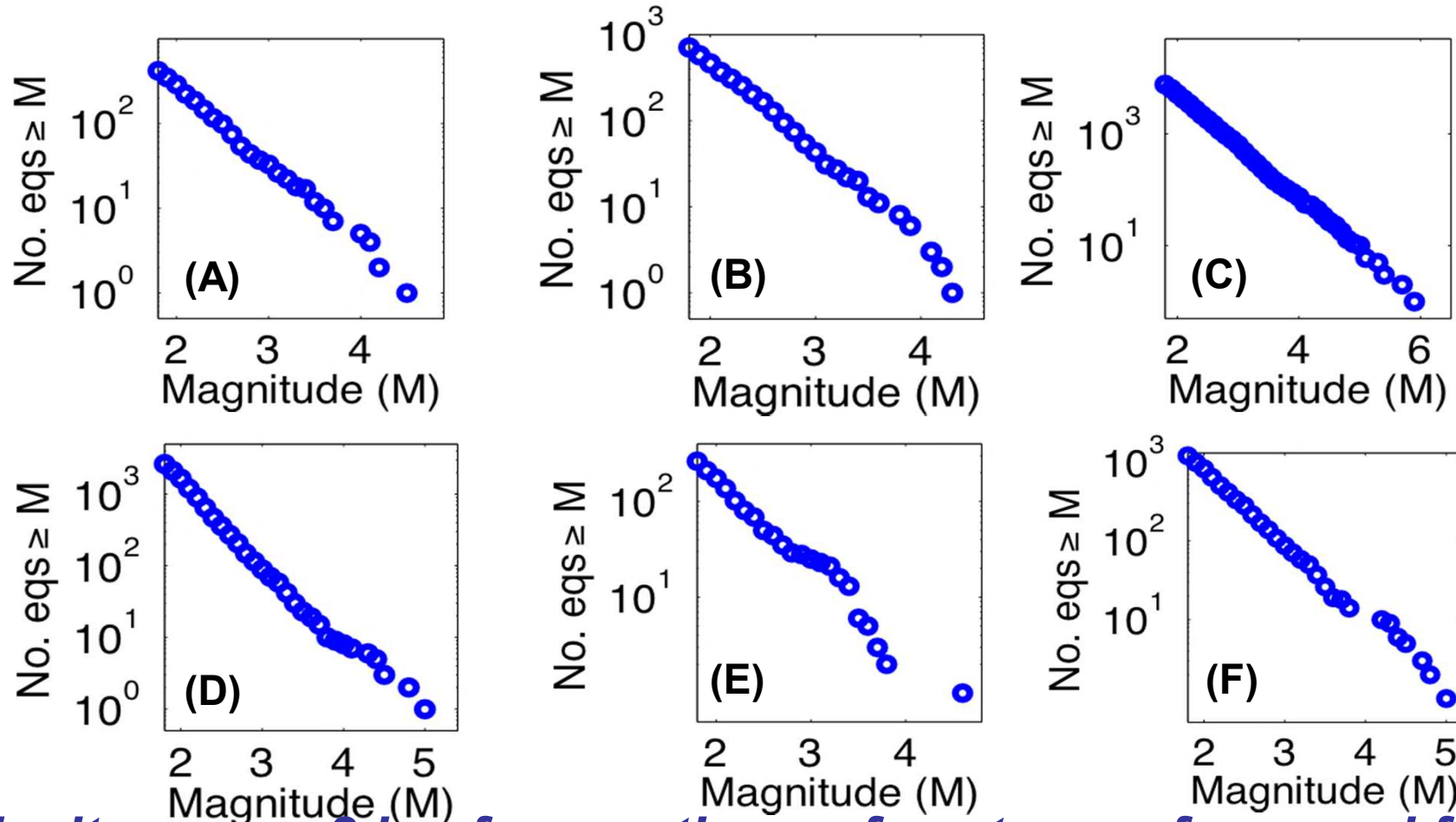


?

Quiz!

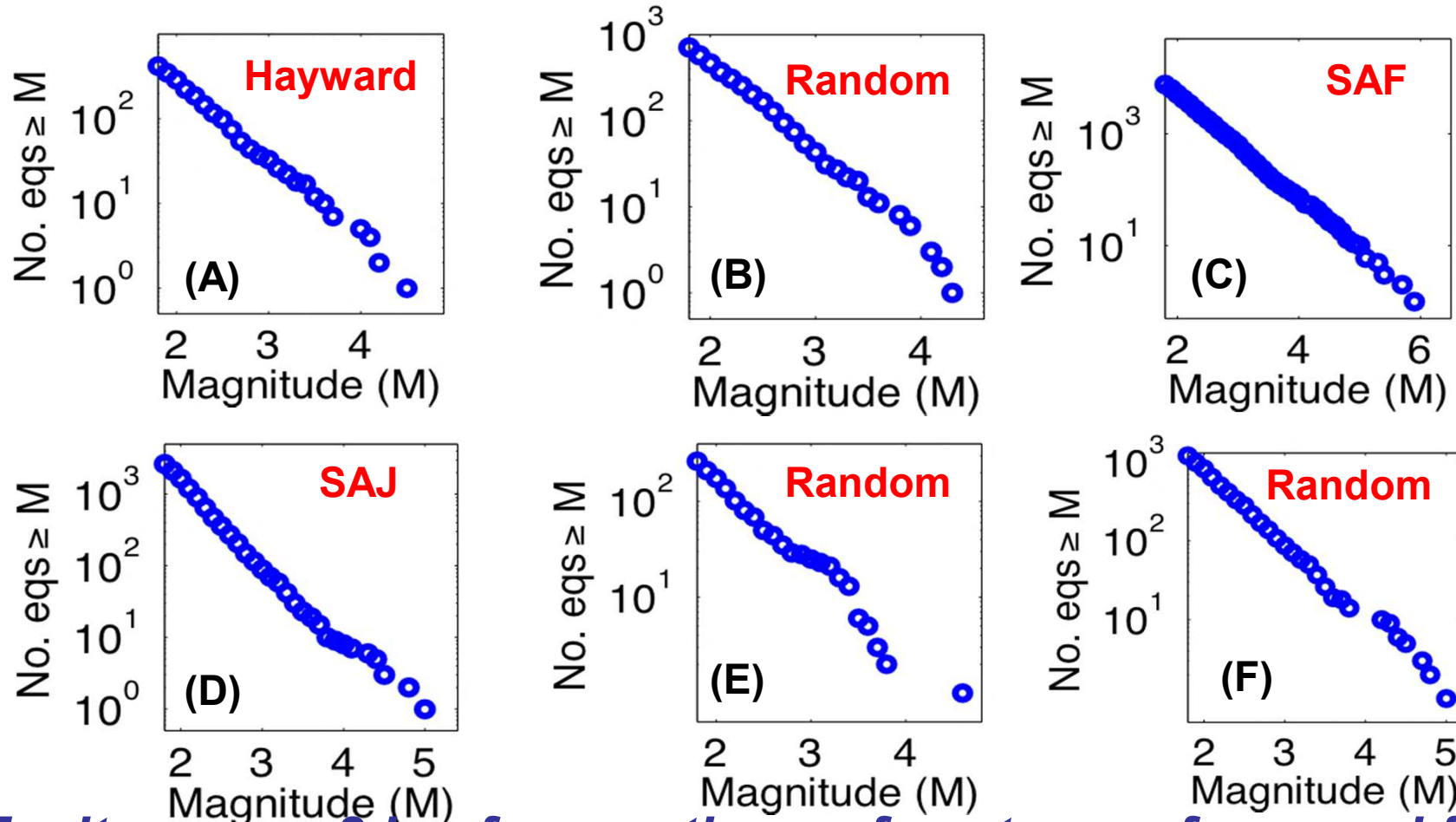


Identify the distributions taken from major fault zones*



****Fault zone: ± 2 km from entire surface trace of mapped fault.
All data from California, 1984-2004***

Identify the distributions taken from major fault zones*

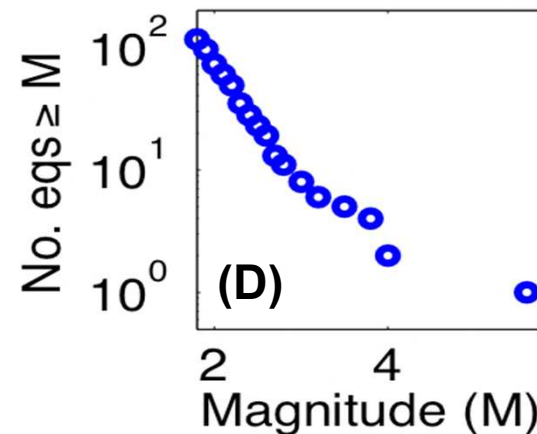
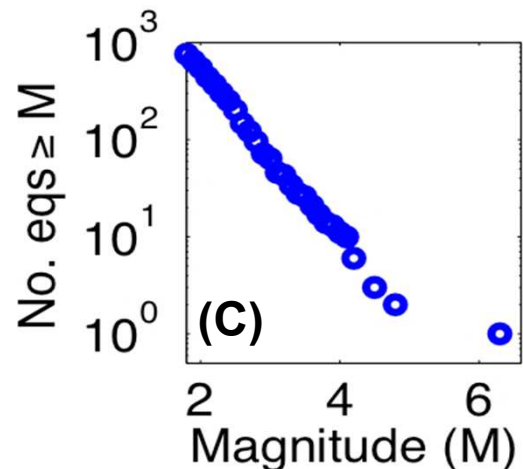
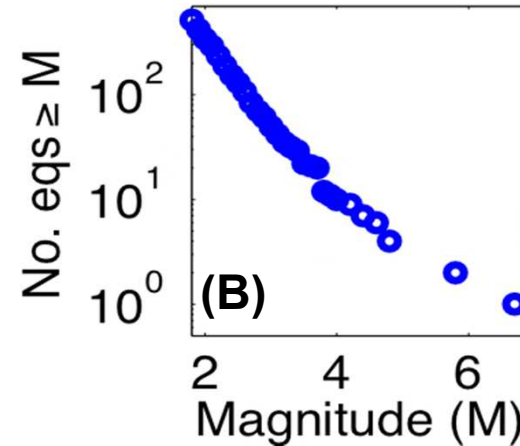
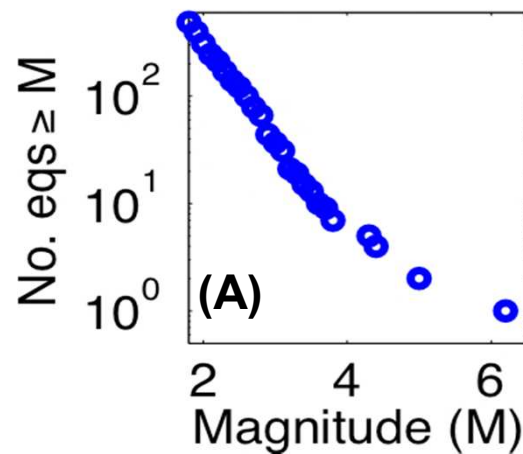


****Fault zone: ± 2 km from entire surface trace of mapped fault
All data from California, 1984-2004***

Quiz #2!

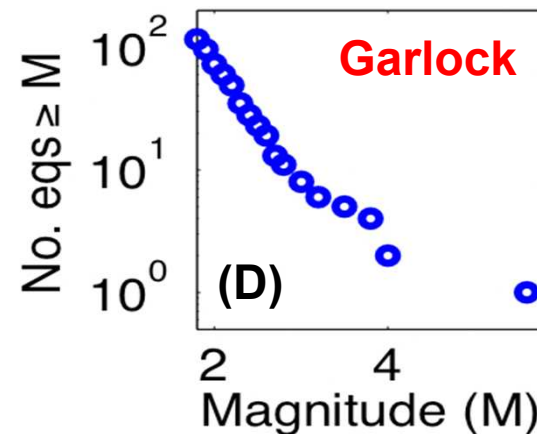
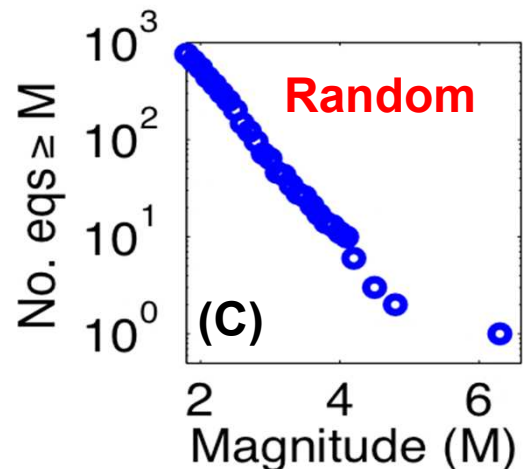
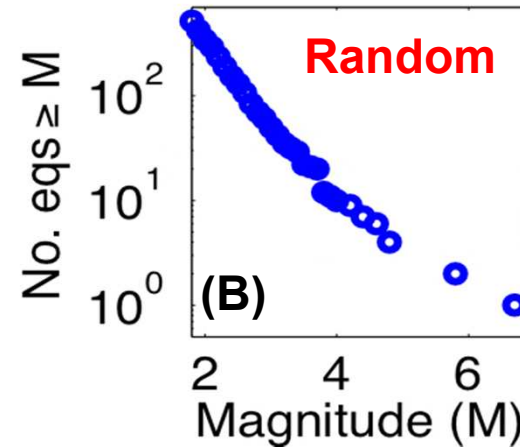
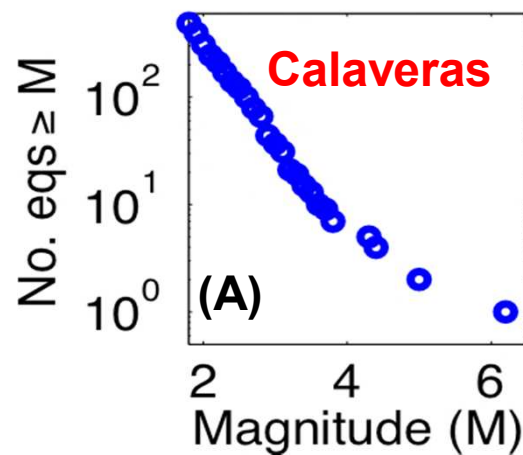


Identify the distributions taken from major fault zones



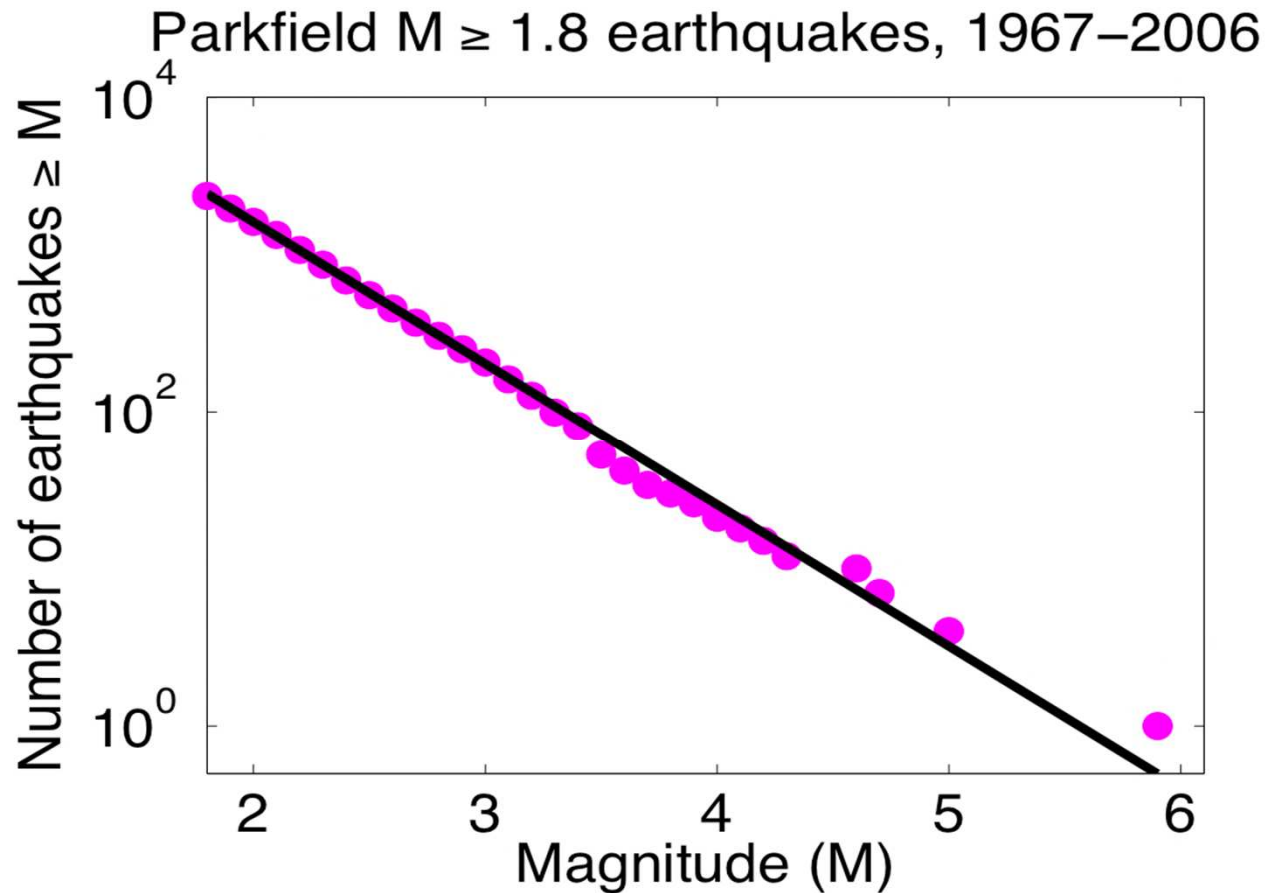
All distributions are purposely chosen around a large earthquake. All data from California, 1984-2004

Identify the distributions taken from major fault zones



All of these earthquake distributions are purposely centered around a large earthquake in the catalog

The San Andreas fault at Parkfield has $b=1$

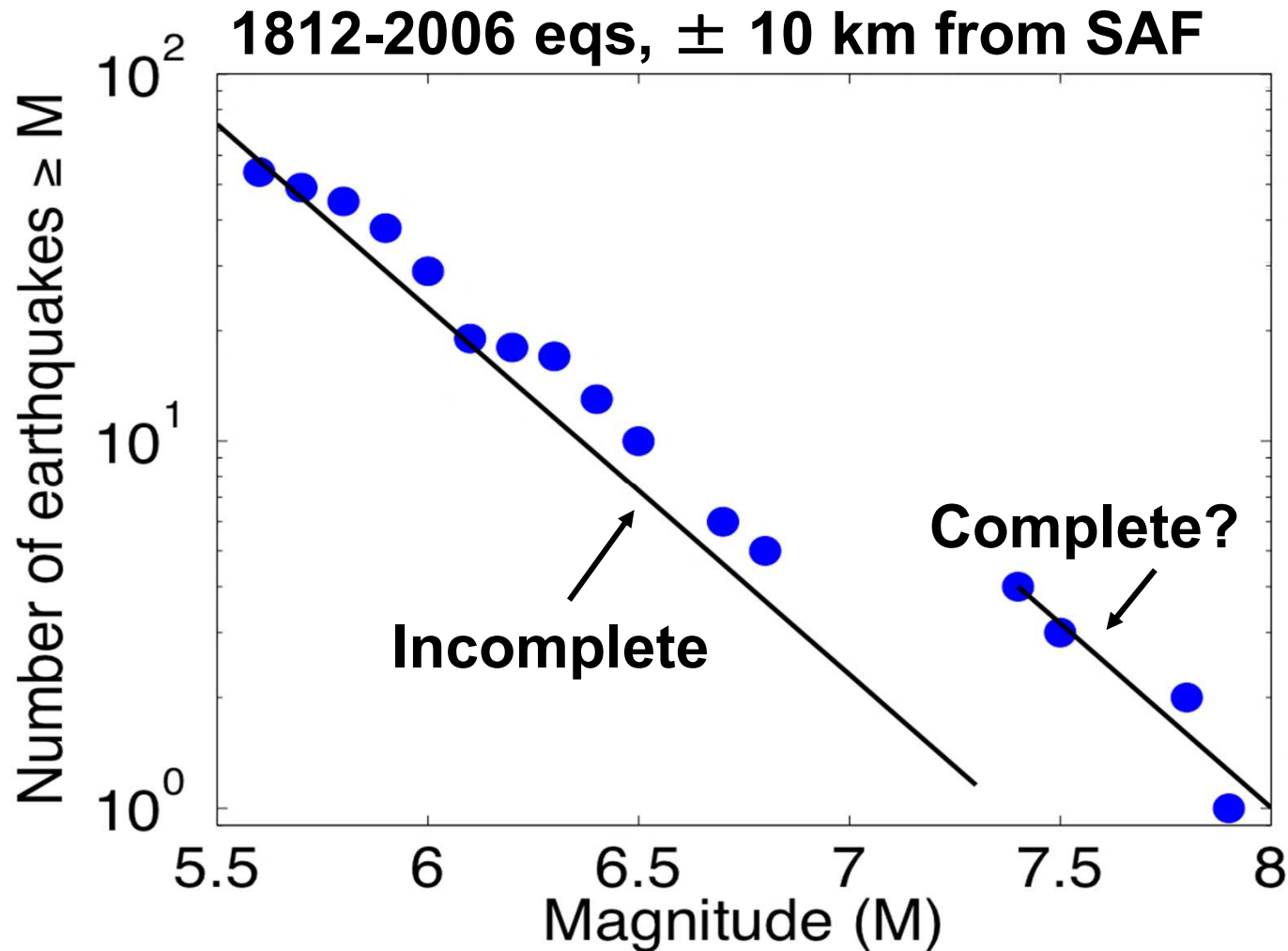


M 6 Parkfield earthquakes are simply an expected part of the G-R distribution (*Jackson and Kagan, 2006*)

Conclusions

- Seismicity in most of California follows the Gutenberg-Richter magnitude frequency relationship with $b=1$.
- There is no evidence for significant b value variation with location or on/off of major faults.
- The b value should generally be solved for with >2000 earthquakes that are clearly above the completeness threshold and that have minimal magnitude errors or rounding.

The historic record along the full SAF



Catalog is too incomplete, short, and error-prone, but
Gutenberg-Richter is suggested

Common Errors in b value Calculation

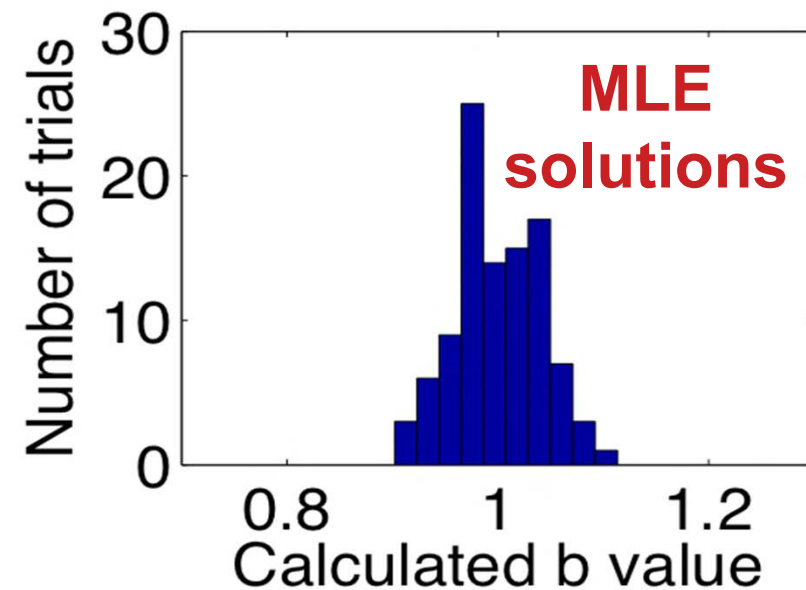
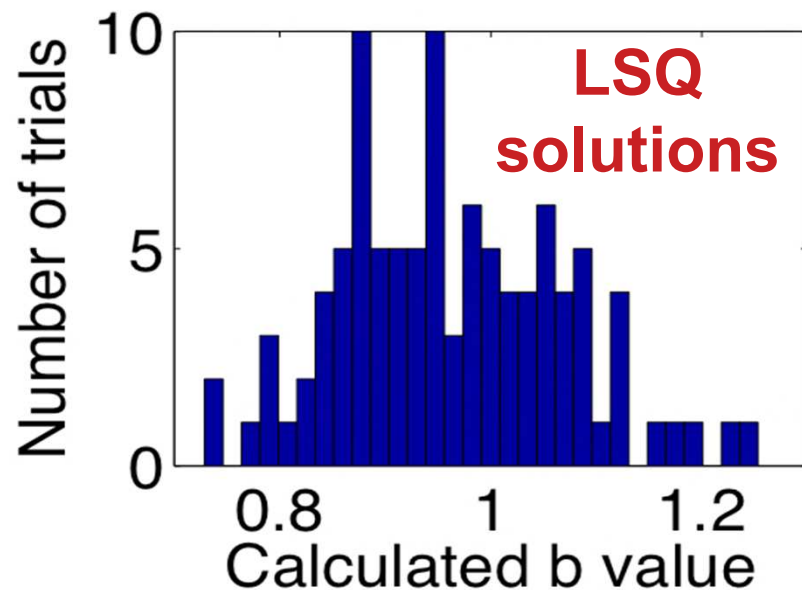
1. Fitting data with linear least squares (LSQ) rather than the simple maximum likelihood (MLE) method (**read Aki (1965)**)
2. Data set is too small
3. Using earthquakes smaller than the catalog completeness threshold
4. Using data with magnitude errors

Two Important Questions

- Does b value vary with location? (*Wiemer and Wyss, 1997; Schorlemmer and Wiemer, 2004...*)
- Does the magnitude-frequency distribution vary on and off of major faults? (*Wesnousky et al. 1983; Schwartz and Coppersmith, 1984...*)

Error #1: Fitting with least squares rather than MLE

b value solved from 100 trials with 500 simulated earthquakes each; true $b=1.0$.



- MLE solutions are closer to the true value of b

Why the value of b is important

Hazard Analysis: Small changes in b => large changes in projected numbers of major earthquakes

Example

10,000 $M \geq 4$ earthquakes

$b = 1.0$

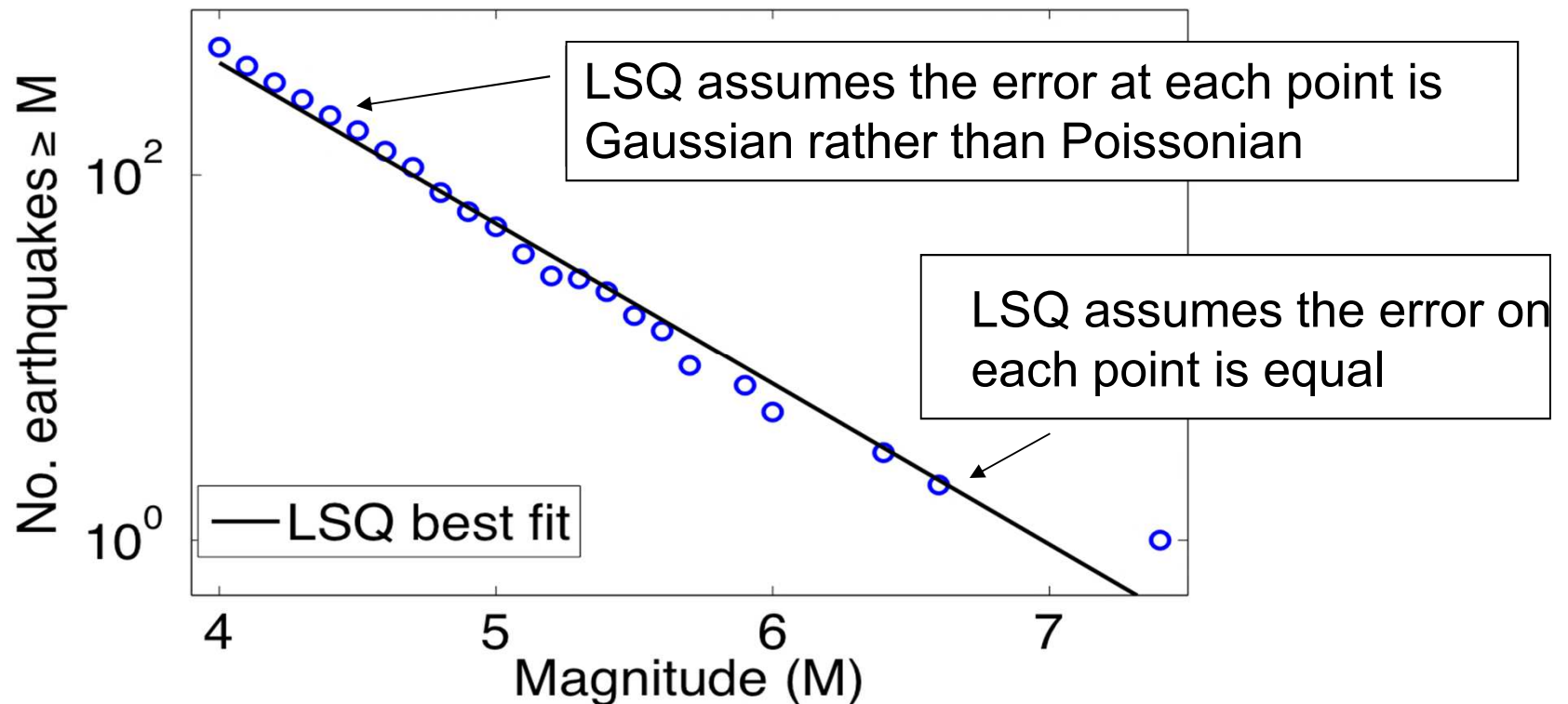
10 $M \geq 7$ eqs

$b = 0.9$

20 $M \geq 7$ eqs

Earthquake Physics: The magnitude distribution reflects fundamental properties of how earthquakes grow and stop.

Error #1: Fitting with linear least squares (LSQ) rather than MLE



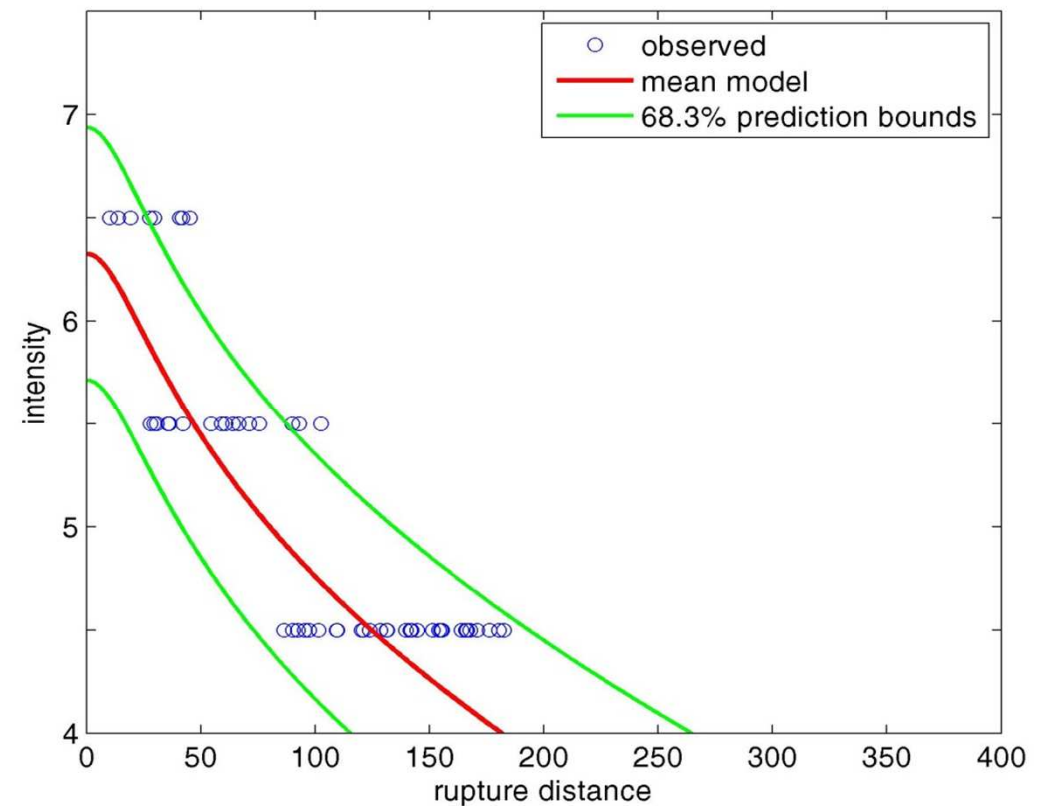
- LSQ is disproportionately influenced by the largest earthquakes
- MLE weighs each earthquake equally

Ground motion prediction and intensity

Cairo – Intensity prediction

$$I = 0.86 \cdot M_W - 3.01 \cdot \log(h) + 5.33 - 1.90 \cdot \log \sqrt{\frac{R^2 + h^2}{h^2}} - 0.0035 \cdot (\sqrt{R^2 + h^2} - h)$$

10	7.6	25.227	39.243	141050.7	19	12	1981
5	6.5	31.271	38.573	71128.41	3	2	2002



Great Circle Distances With Decimal Degrees Coordinates

To calculate the Great Circle Distance between Location 1 and Location 2, where the coordinates are in decimal degree format, use the following formula:

```
=RadiusEarth*((2*ASIN(SQRT((SIN((RADIANS(D71)-  
RADIANS(D72))/2)^2)+  
COS(RADIANS(D71))*COS(RADIANS(D72))*  
(SIN((RADIANS(E71)-RADIANS(E72))/2)^2))))))
```

Here, cells **D71** and **E71** contain the latitude and longitude of Location 1 and cells **D72** and **E72** contain the latitude and longitude of Location 2. For readability, the formula is split over several lines. In Excel, of course, the formula is in a single line in a single cell.

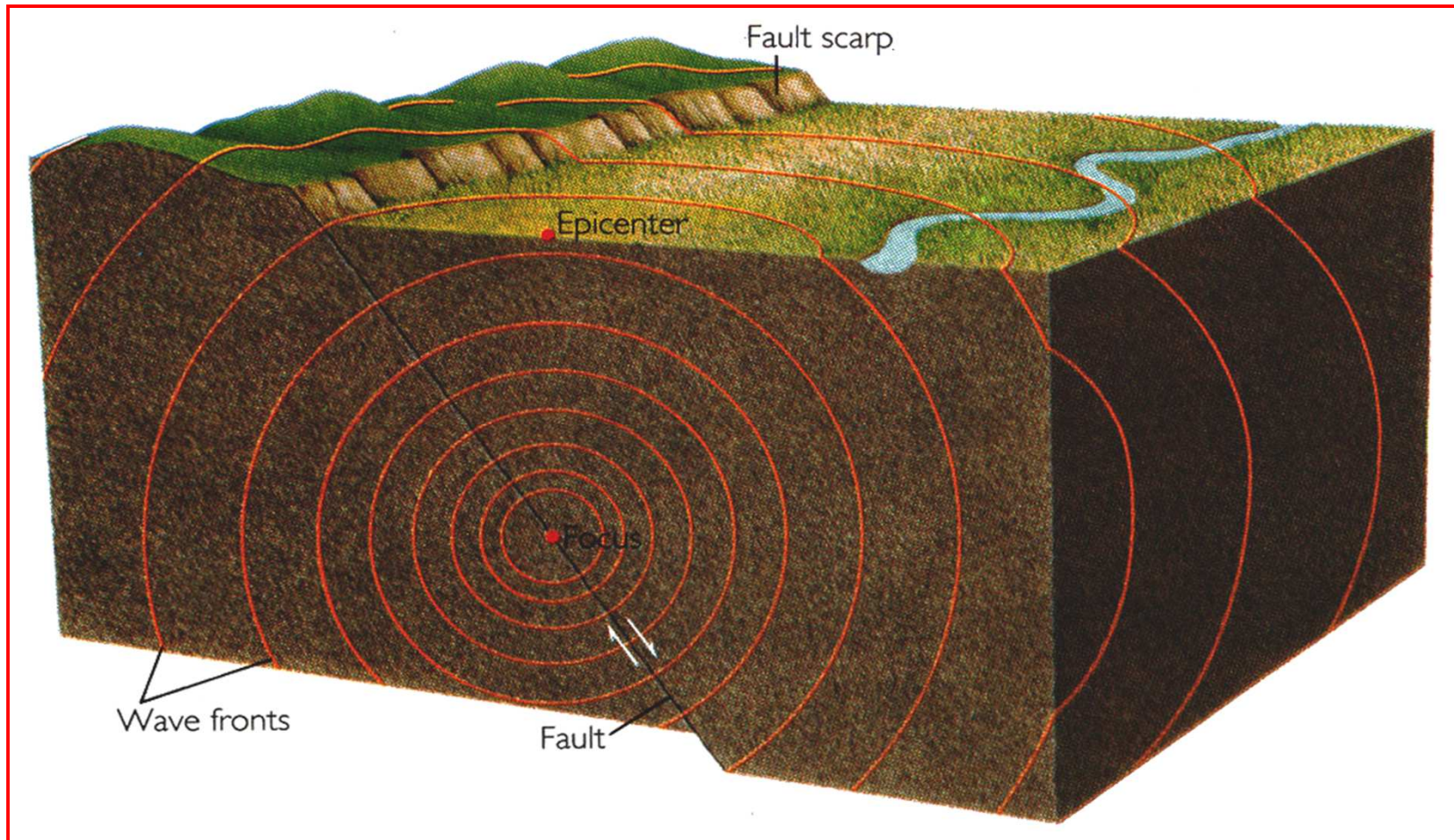
radians = (degrees/180) * PI

RadiusEarth = 6371

***Earthquake shaking capable of
causing damage to structures***

***Strong ground motion
(Engineering Seismology)***

The release of the accumulated elastic strain energy by the sudden rupture of the fault is the cause of the earthquake shaking



Horizontal motions are of most importance for earthquake engineering

- Shaking often strongest on horizontal component:
 - Earthquakes radiate larger S waves than P waves
 - Decreasing seismic velocities near Earth's surface produce refraction of the incoming waves toward the vertical, so that the ground motion for S waves is primarily in the horizontal direction
- Buildings generally are weakest for horizontal shaking

Questions

- What are the most useful measures of ground motion?
- What factors control the level of ground motion?

Measures of ground-motion for engineering purposes

- PGA (peak ground acceleration)
- PGV (peak ground velocity)
- Response spectral acceleration (elastic, inelastic) at periods of engineering interest
- Intensity (Can be related to PGA and PGV.)

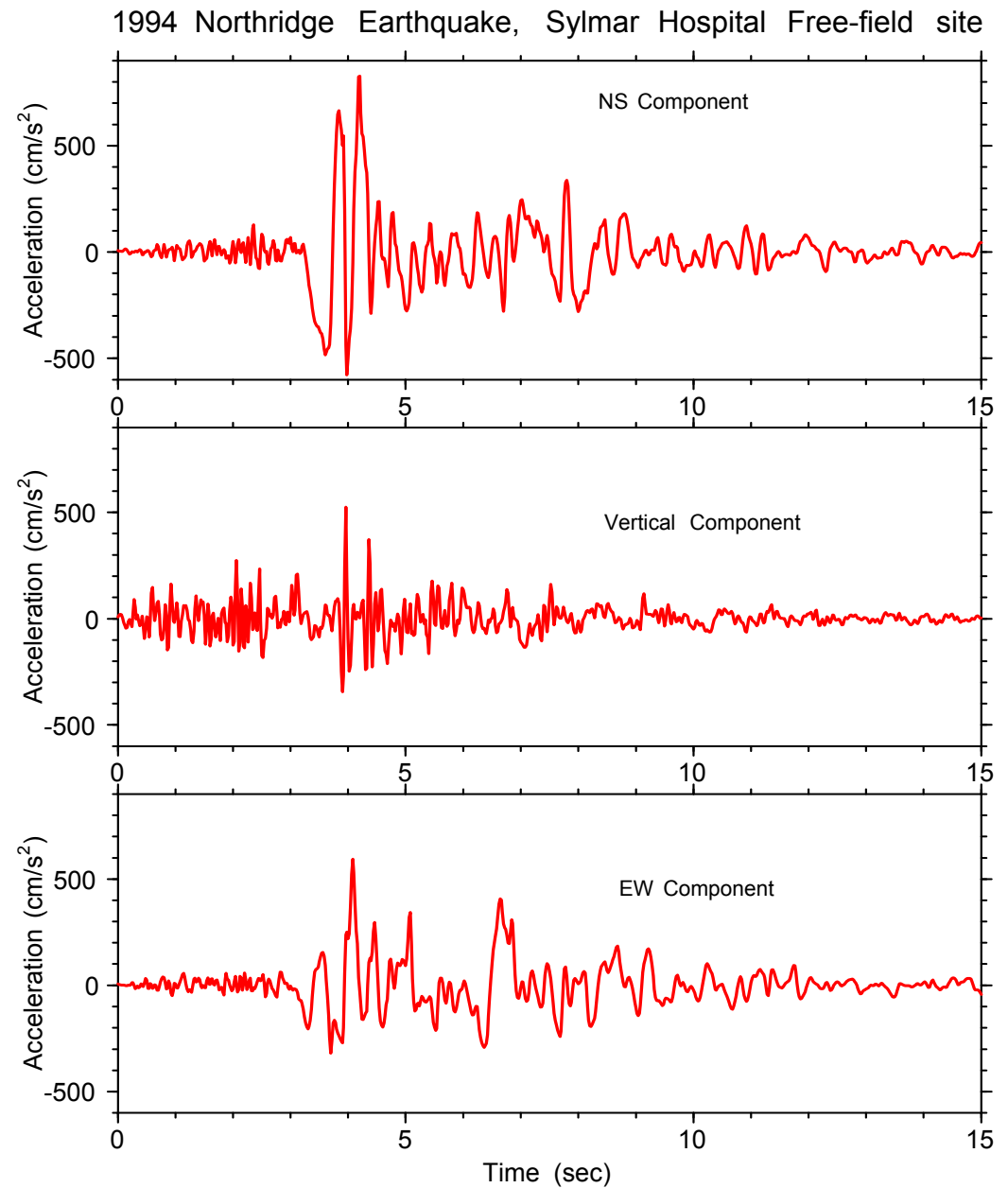
Peak ground acceleration (PGA)

- 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
- BUT it is not a measure of the force on most buildings
- and 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 significance

P wave arrives before S wave. S-Trigger time = 3.2 sec, hypocentral distance between approx. $5 \times 3.2 = 16$ km and $8 \times 3.2 = 26$ km

P-motion much higher frequency than S, and predominately on vertical component.

Is the horizontal S-wave motion polarized?



Peak ground velocity (PGV)

- Many think it is better correlated with damage than other measures
- It is sensitive to longer periods than PGA (making it potentially more predictable using deterministic models)
- BUT it requires digital processing (no longer an important issue)

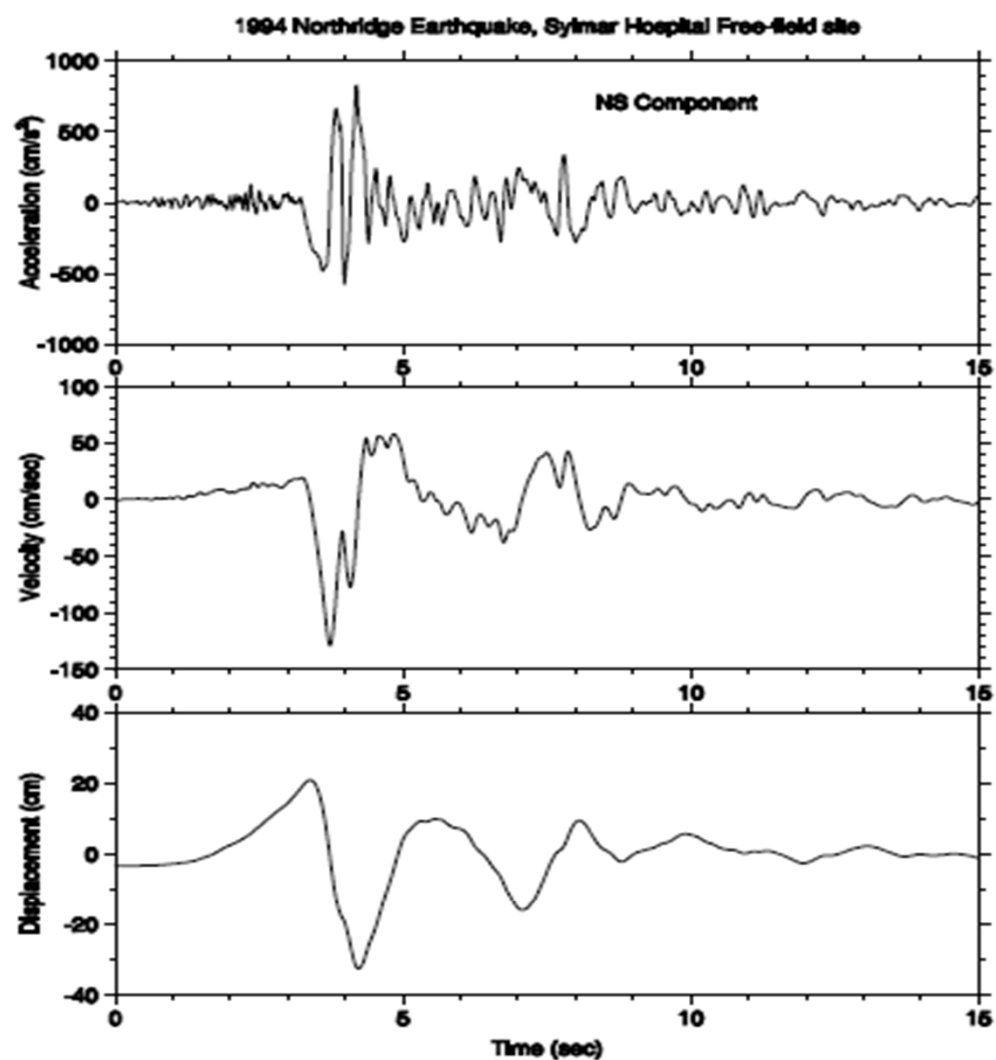
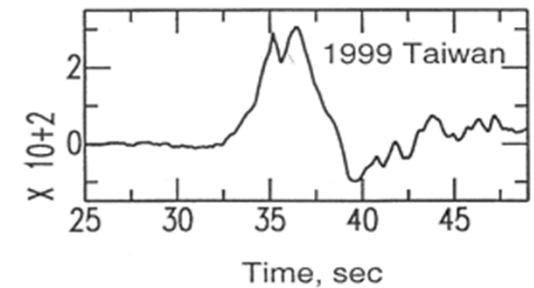
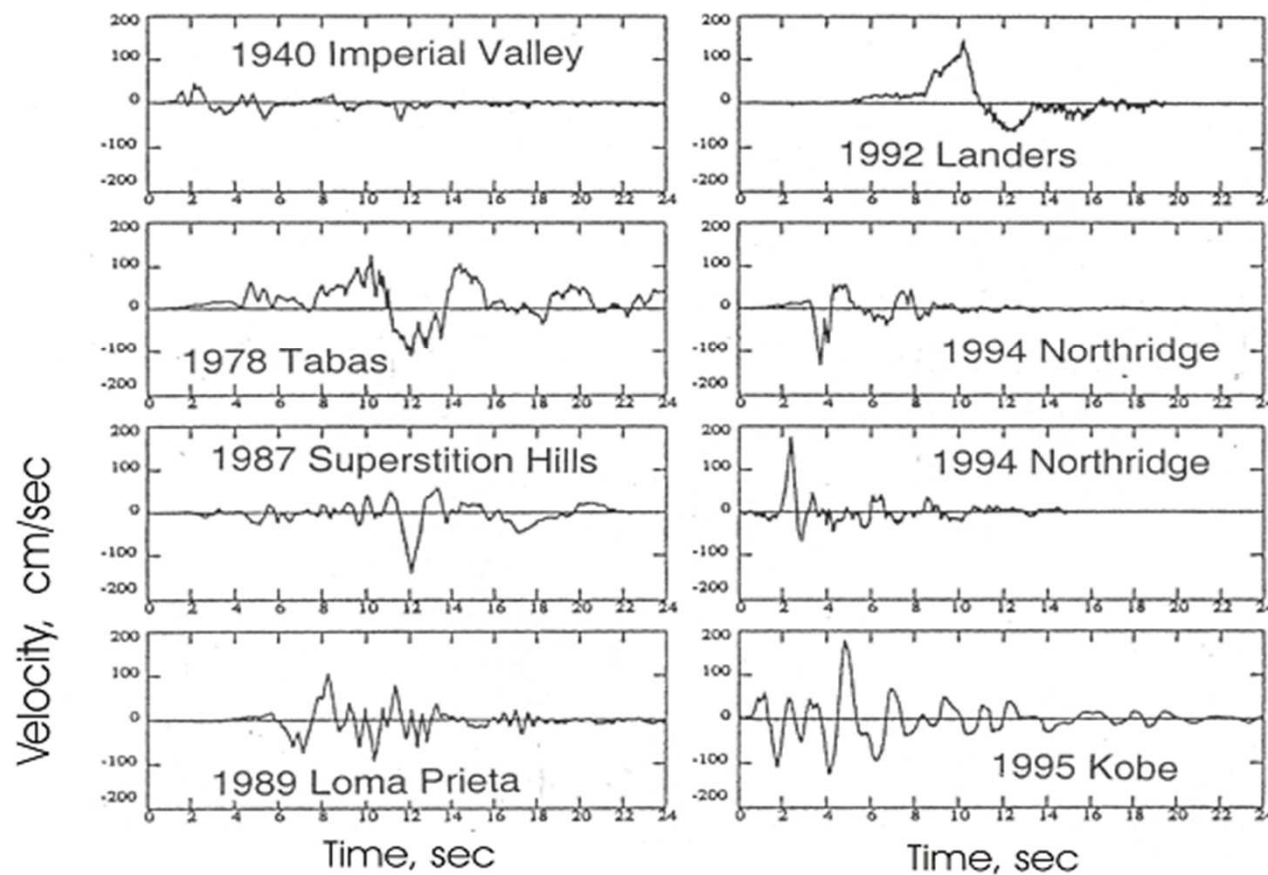


Figure 4. Acceleration, velocity and displacement time-series from the north-south horizontal component of the Sylmar record.

Large Recorded Ground Velocities

Ground-Motion Velocity from Large Earthquakes



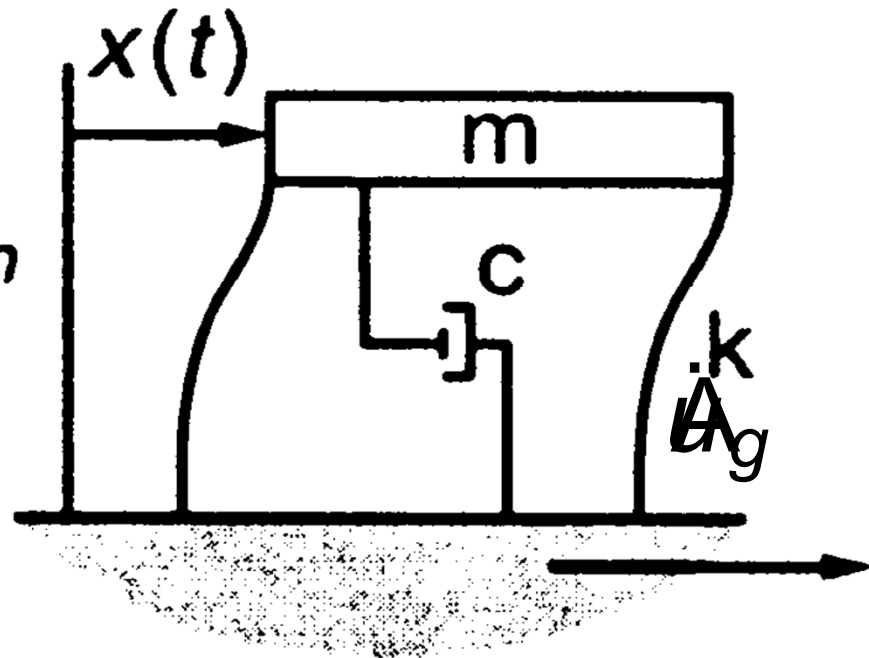
Peak ground displacement (PGD)

- The best parameter for displacement-based design?
- BUT highly sensitive to the low-cut (high-pass) filter that needs to be applied to most records (in which case the derived PGD might not represent the true PGD, unlike PGA, for which the Earth imposes a natural limit to the frequency content).

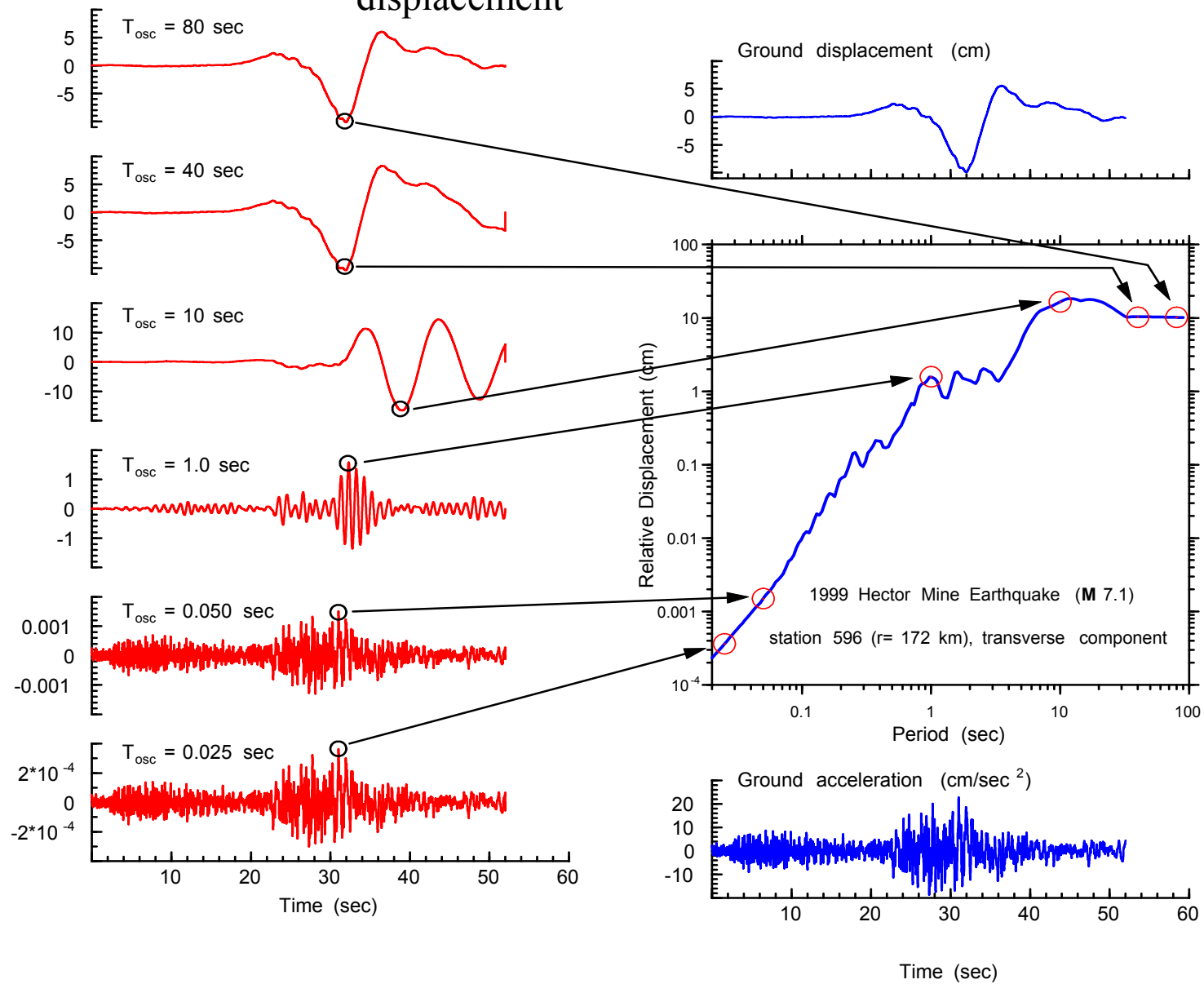
Acceleration Response Spectra at Periods (or frequencies) of Engineering Interest

Elastic response spectra (many structures can be idealized as SDOF oscillators)

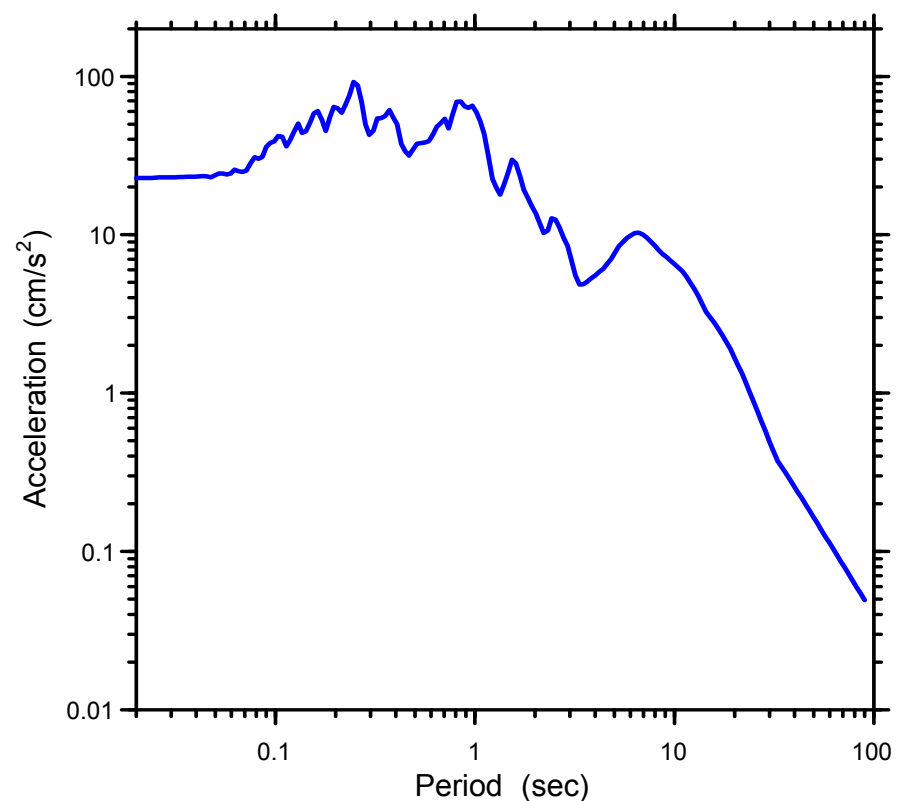
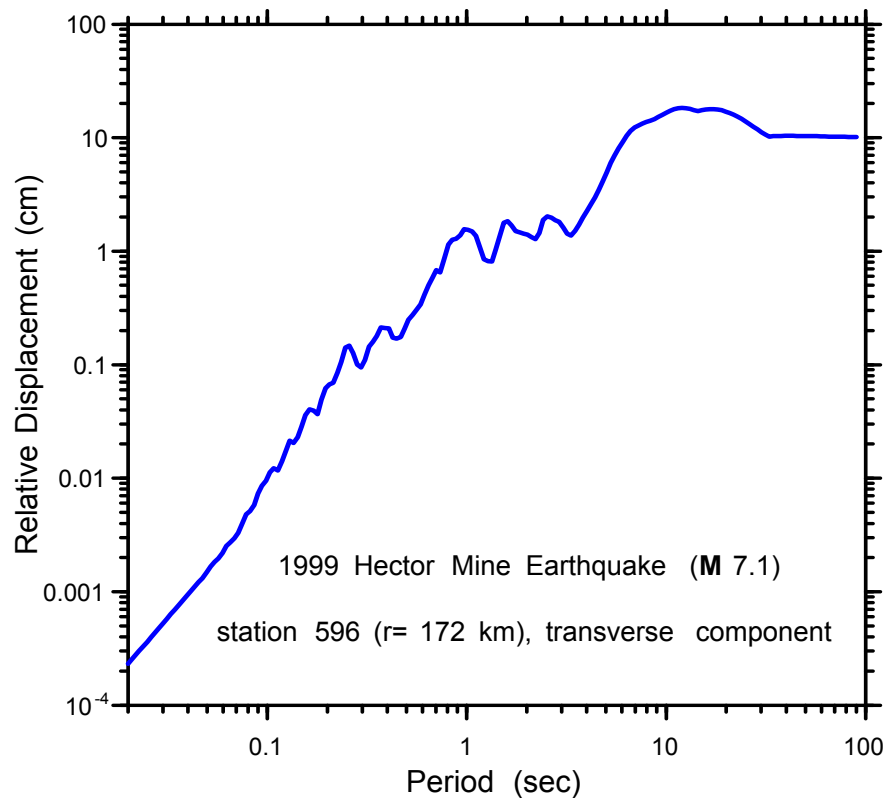
PERIOD = $2\pi/\omega_n$
DAMPING = ζ_n



At long periods, oscillator
response proportional to base
displacement



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

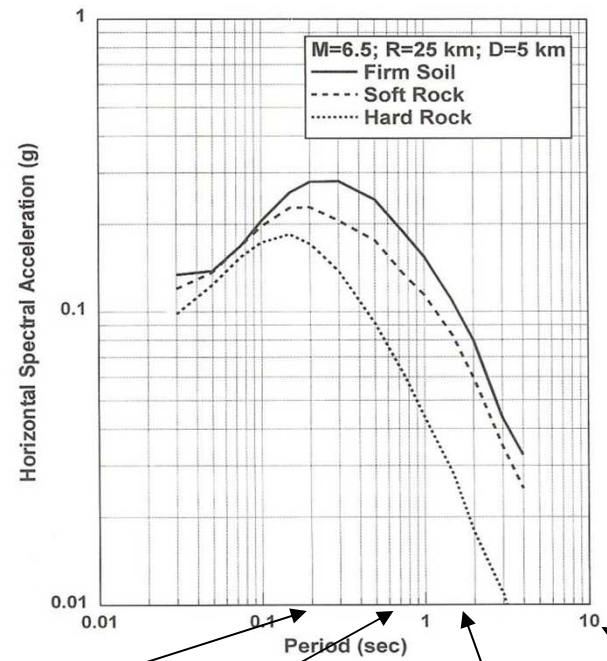


Acceleration or velocity spectra usually used in engineering

Frequencies of ground-motion for engineering purposes

- 10 Hz --- 10 sec (usually below about 3 sec)
- Resonant period of typical N story structure $\sim N/10$ sec
- Corner periods for M 5, 6, and 7 ~ 1 , 3, and 9 sec

Frequency Response of Structures



What Controls the Level of Shaking?

- Magnitude
- Directivity
 - Larger fault, more energy released and over a larger area
- Distance from fault
 - Shaking decays with distance
- Local site response (rock or soil)
 - amplify the shaking
 - Strongest shaking in rupture direction
 - Pockets of higher shaking (lens effect)

Earthquake Magnitude

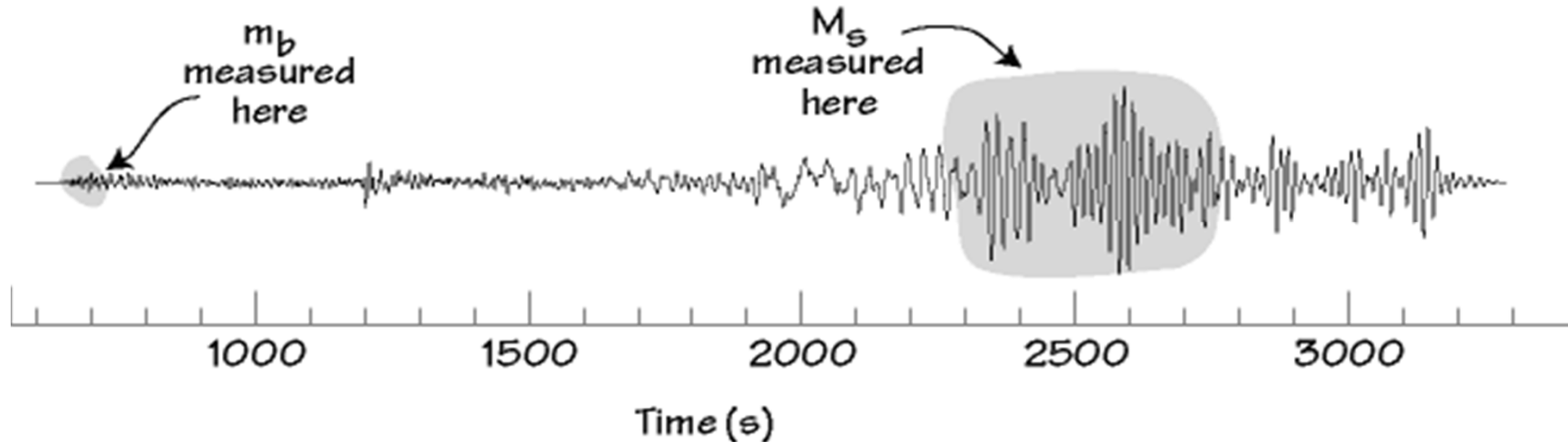
- Earthquake magnitude scales originated because of
 - the desire for an *objective* measure of earthquake size
 - Technological advances -> seismometers

Modern Seismic Magnitudes

- Today seismologists use different seismic waves to compute magnitudes
- These waves generally have lower frequencies than those used by Richter
- These waves are generally recorded at distances of 1000s of kilometers instead of the 100s of kilometers for the Richter scale

Teleseismic M_S and m_b

- Two commonly used modern magnitude scales are:
 - M_S , Surface-wave magnitude (Rayleigh Wave)
 - m_b , Body-wave magnitude (P-wave)



The Modern Standard: Moment Magnitude

Seismic Moment

$$M_0 \equiv \mu U A$$

μ = modulus of rigidity

U = slip over fault area

A = area of fault

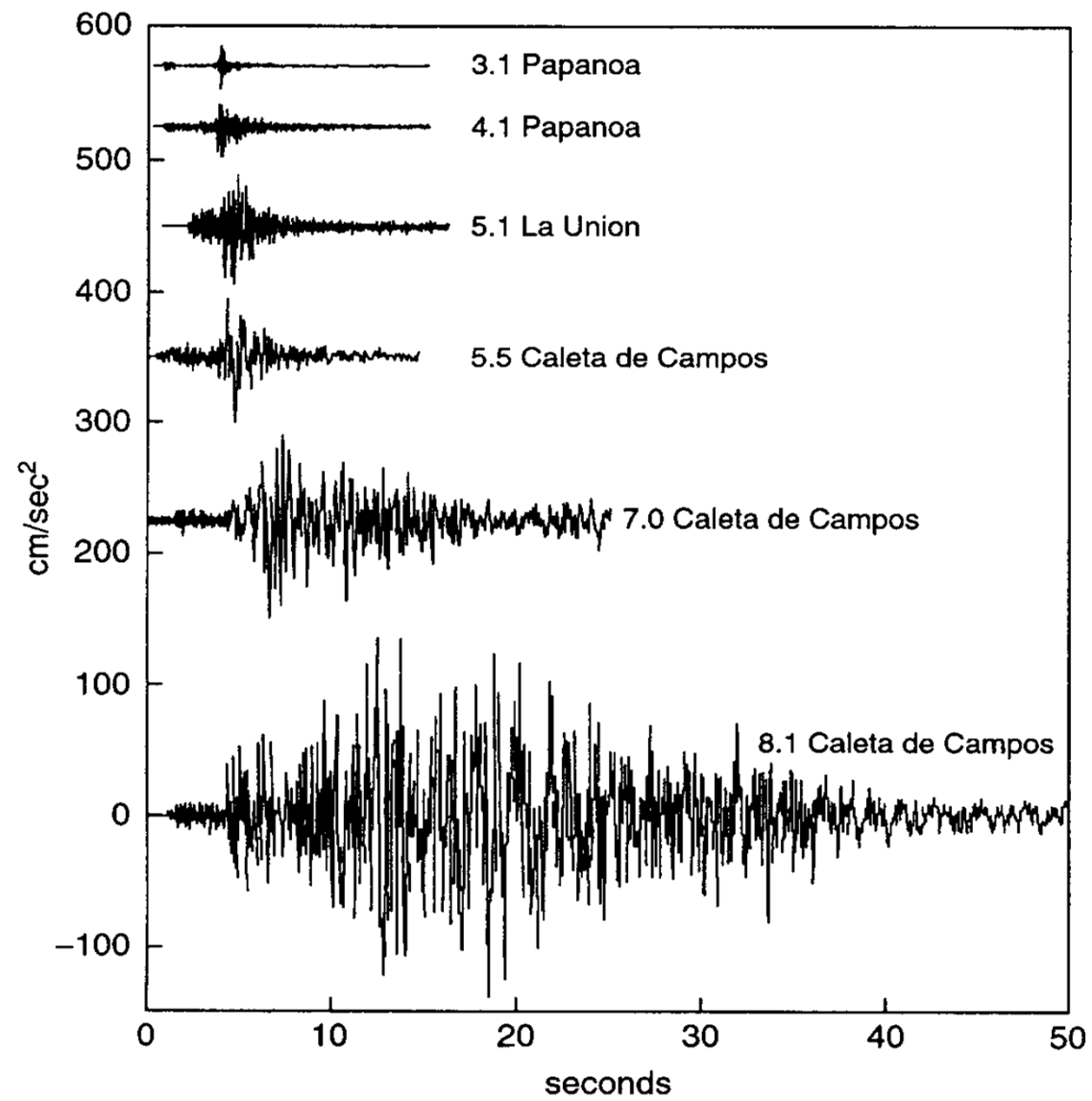
Moment Magnitude

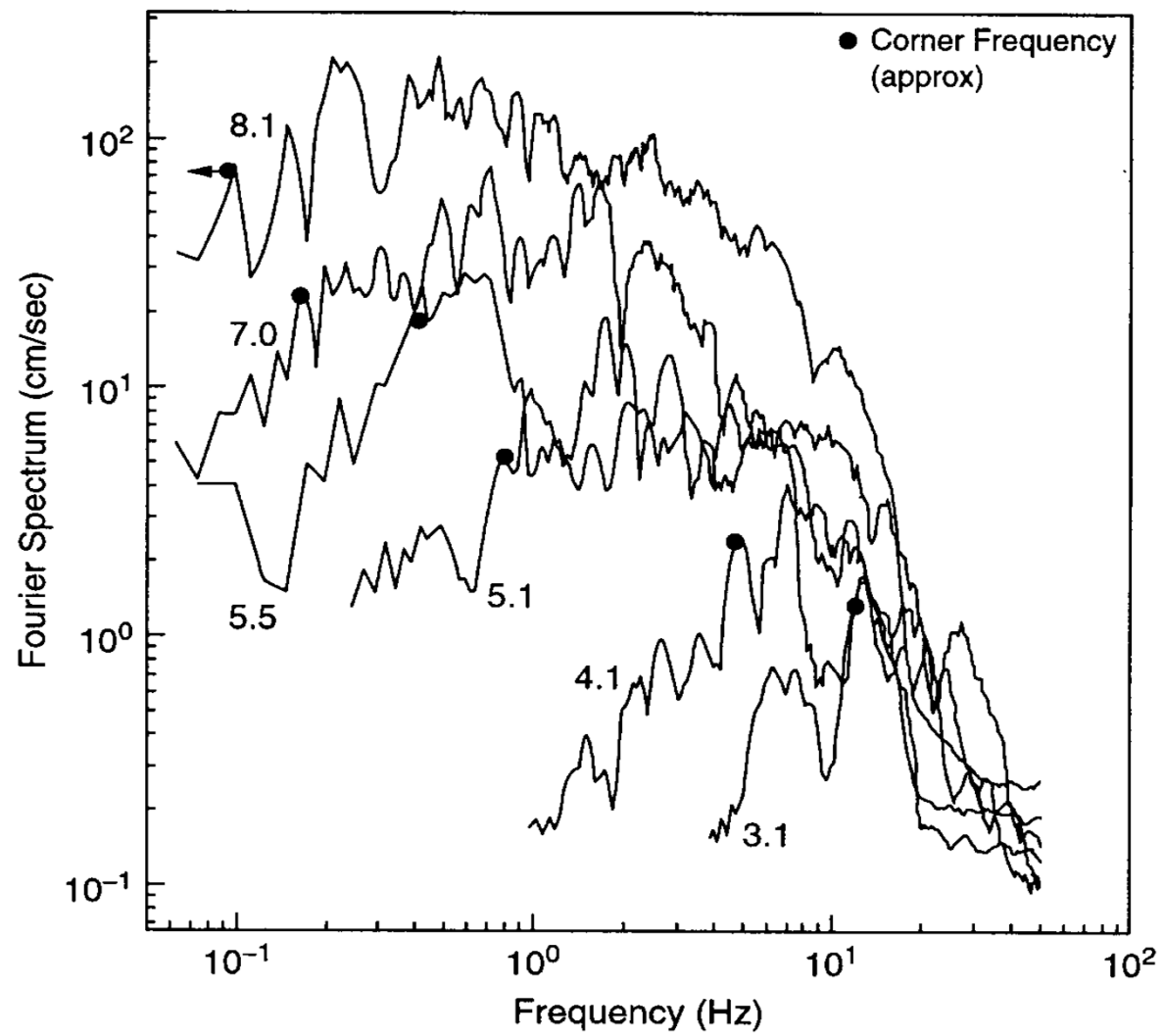
$$M \equiv \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$$

A simple mapping,
nothing more

Why use moment magnitude?

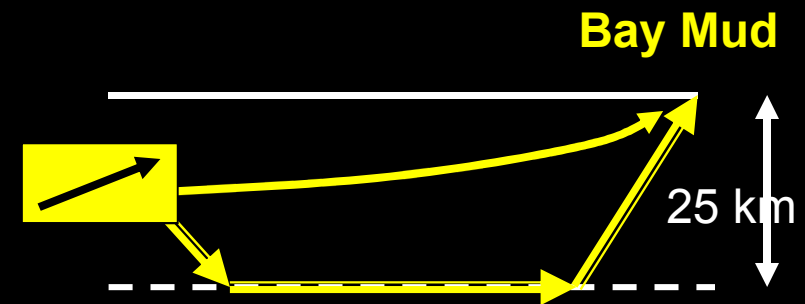
- It is the best single measure of overall earthquake size
- It does not saturate
- It can be estimated from geological observations
- It can be estimated from paleoseismology studies
- It can be tied to plate motions and recurrence relations





Ground Motion Important Factors

- **Source effects**
 - Magnitude or moment
 - Rupture directivity
- **Path effects**
 - Attenuation with distance: geometric, scattering, and anelastic
 - Critical reflections off Moho Discontinuity
- **Site effects**
 - Local amplification



Damage in Oceano 2003 San Simeon Earthquake

Cracking in river levee



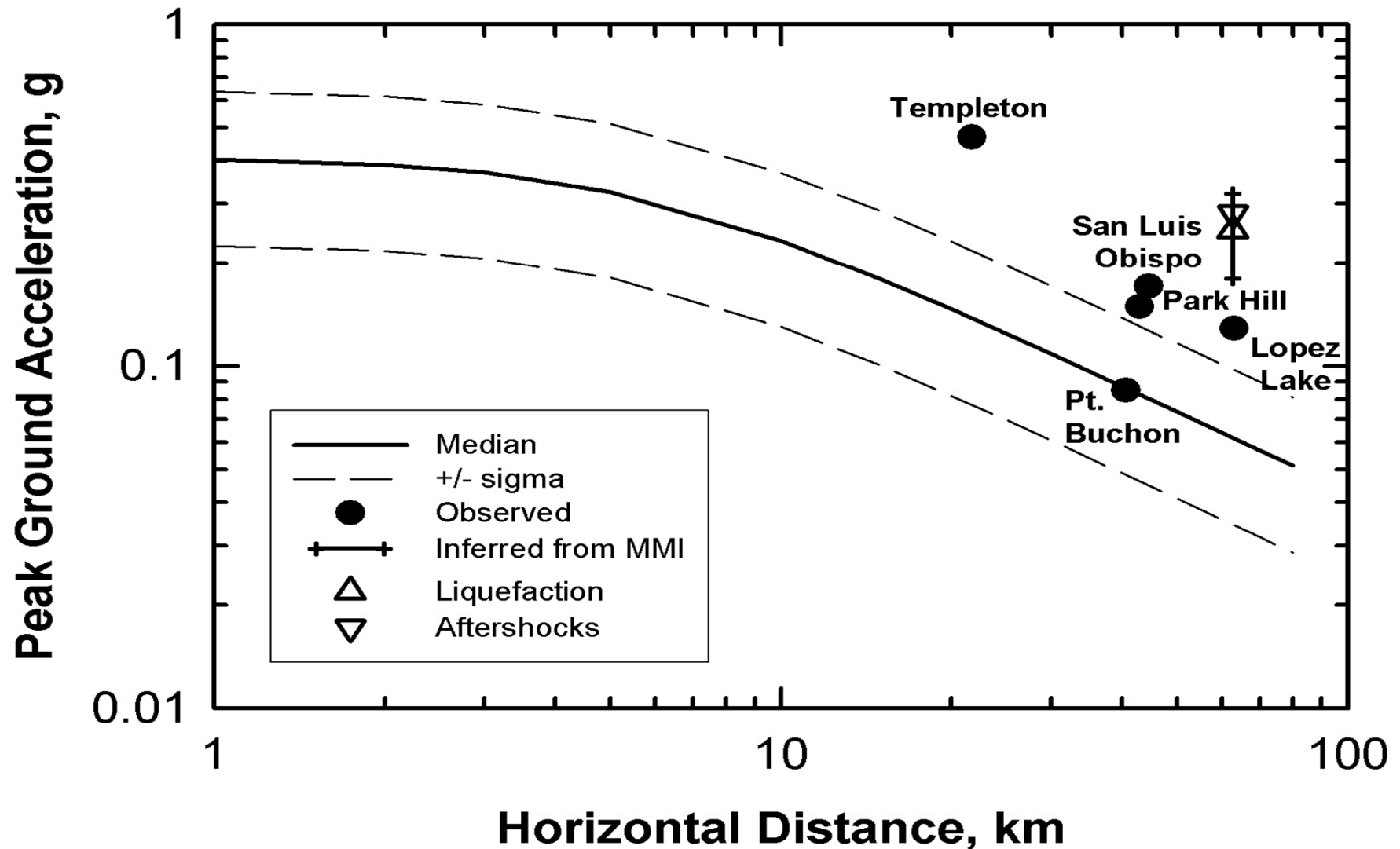
Failed foundation

Effect of Distance

Ground motion generally decreases
with increasing epicentral distance

2003 San Simeon Earthquake

Distance and directivity



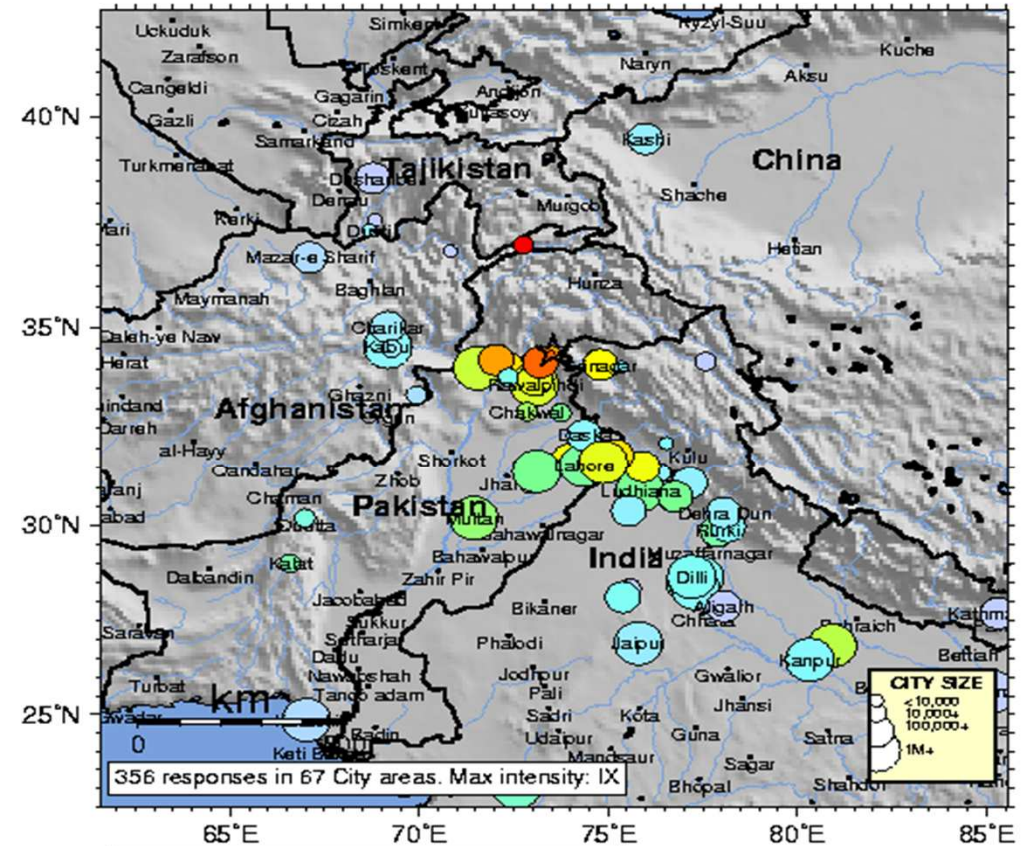
Amplitude and Intensity

M7.6 Pakistan earthquake 2005

Seismic waves lose amplitude with distance traveled - attenuation

So the amplitude of the waves depends on distance from the earthquake. Therefore unlike magnitude, intensity is not a single number.

USGS Community Internet Intensity Map (58 miles NNE of Rawalpindi, Pakistan)
ID:dyae_05 03:50:39 GMT OCT 08 2005 Mag=7.6 Latitude=N34.43 Longitude=E73.54



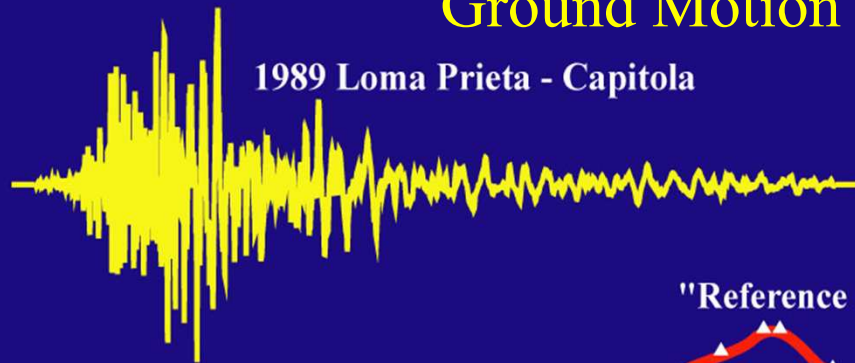
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy

Site Amplification

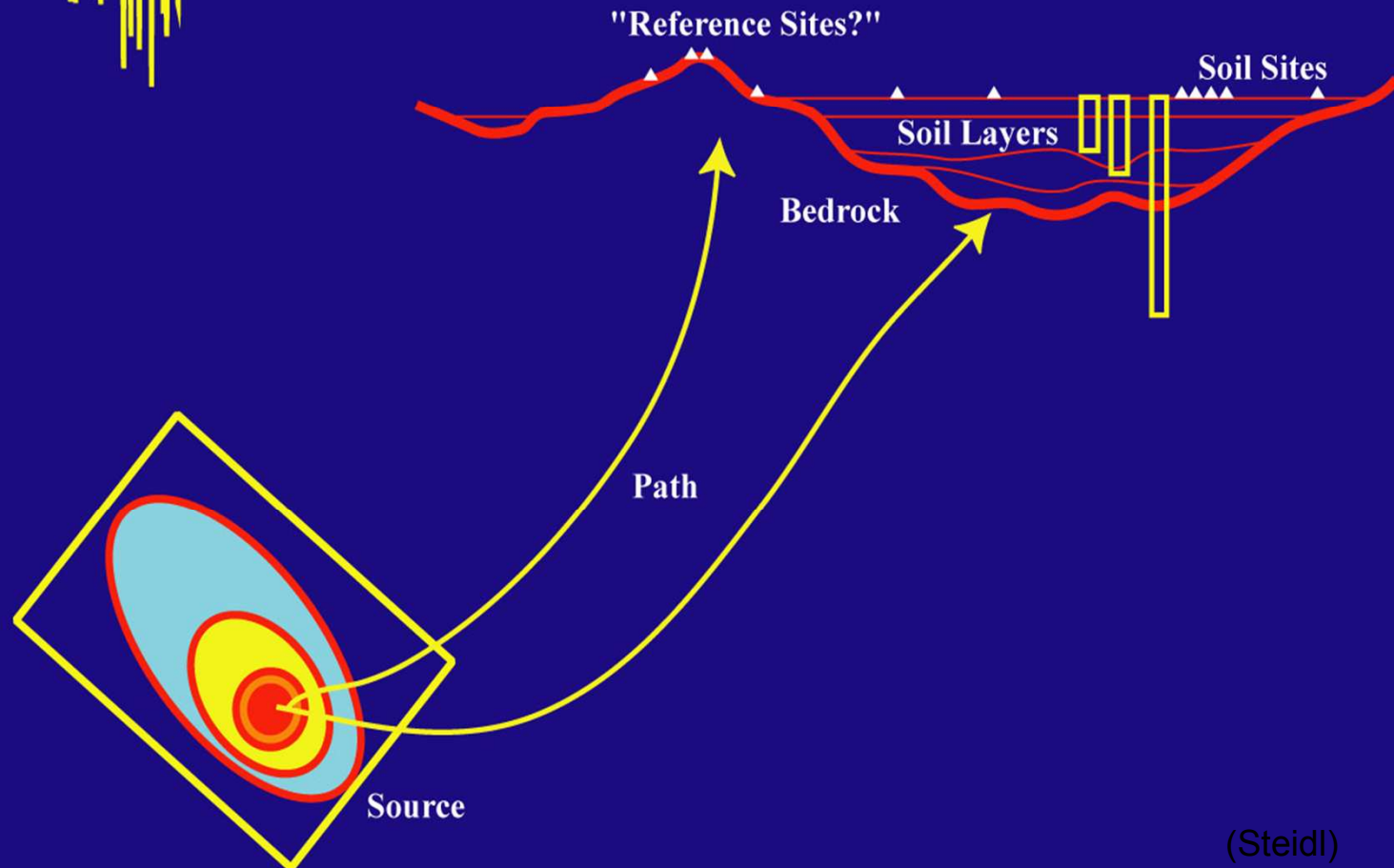
- **Ground shaking is amplified at “soft soil” (low velocity) sites**
- **Shear-wave velocity is commonly used to predict amplification**
 - **V_{s30} (time it takes for a shear wave to travel from a 30 m depth to the land surface, i.e., time-averaged 30-m velocity)**

Ground Motion Deconvolution

1989 Loma Prieta - Capitola

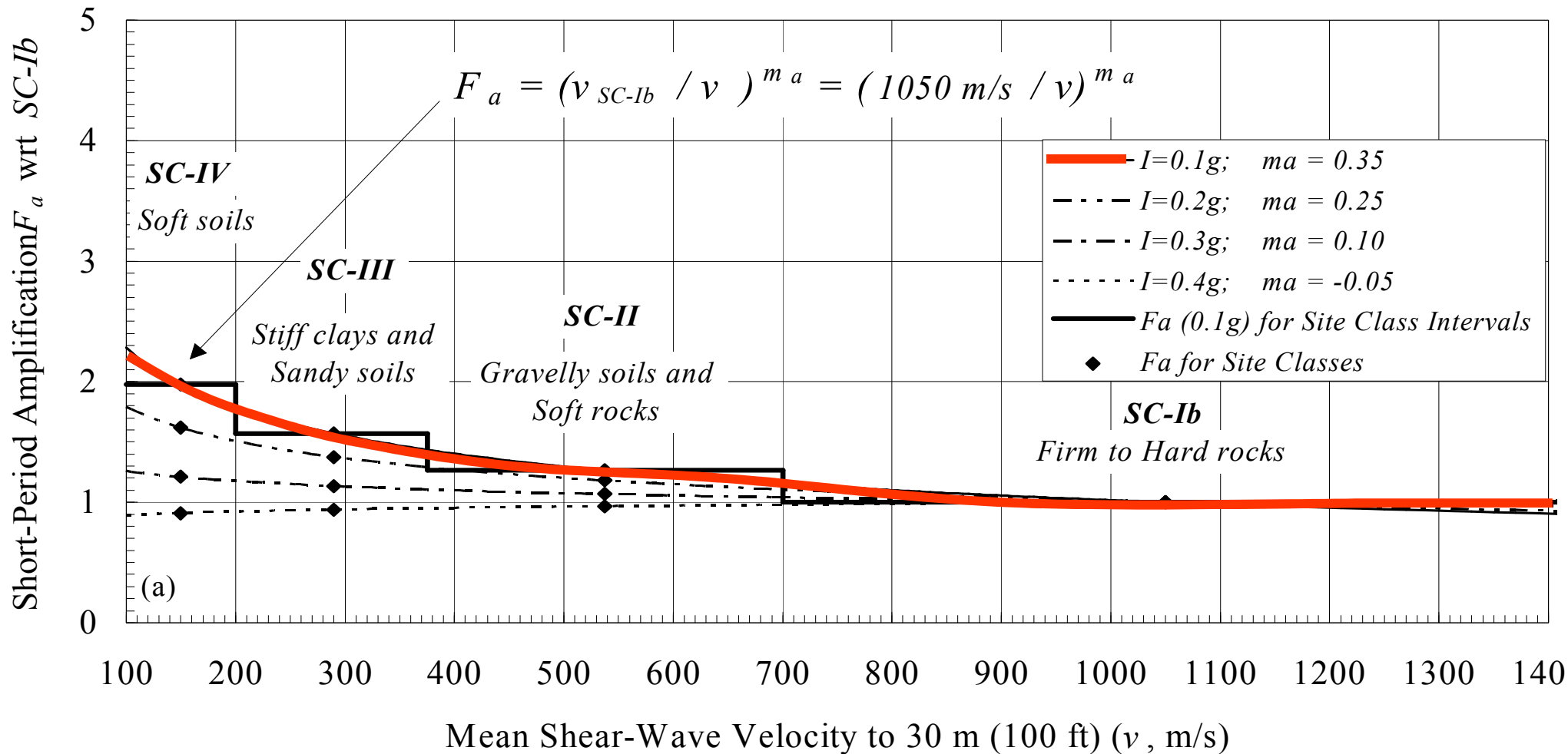


$$= \text{Source} * \text{Path} * \text{Site}$$

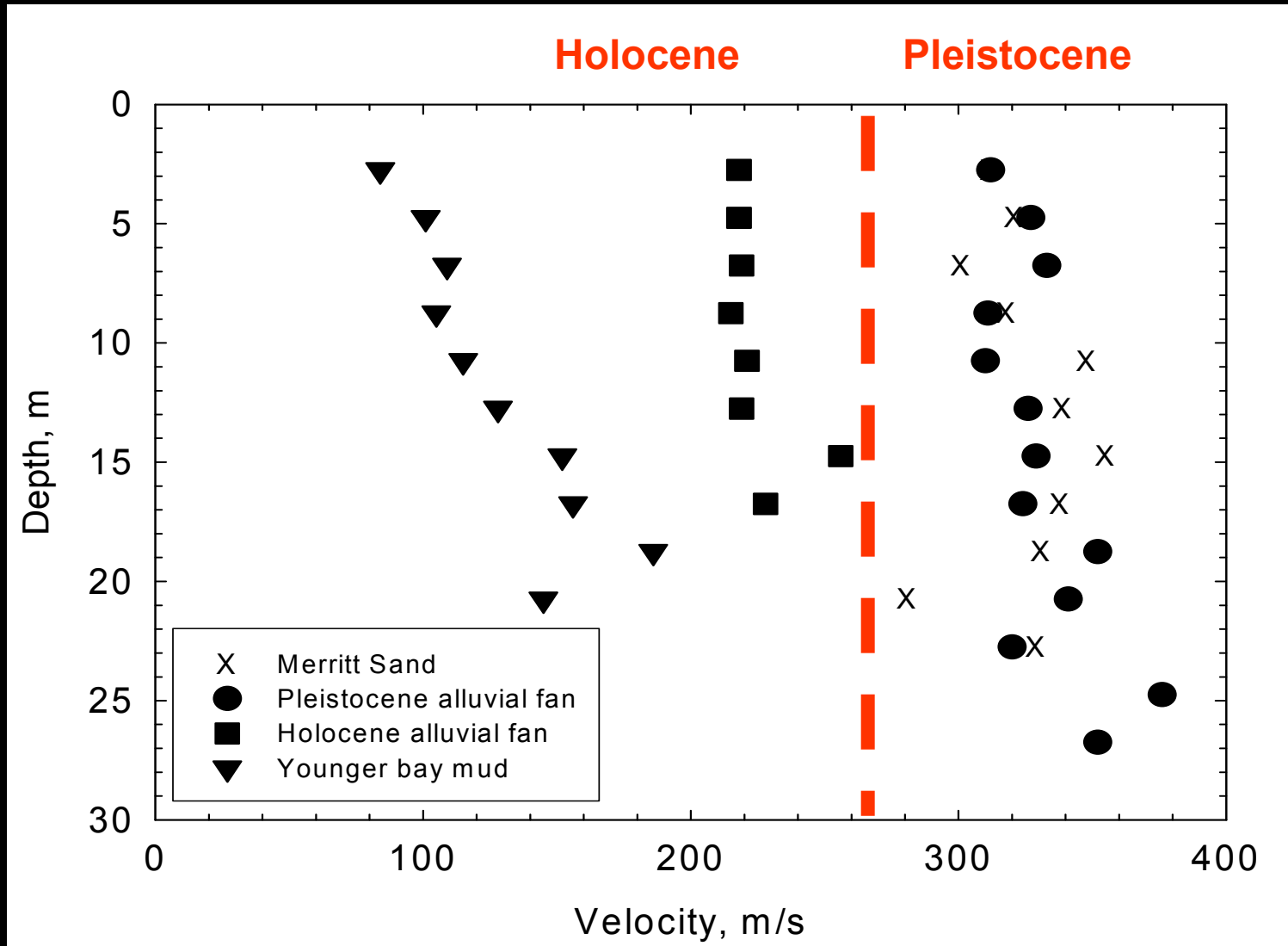


(Steidl)

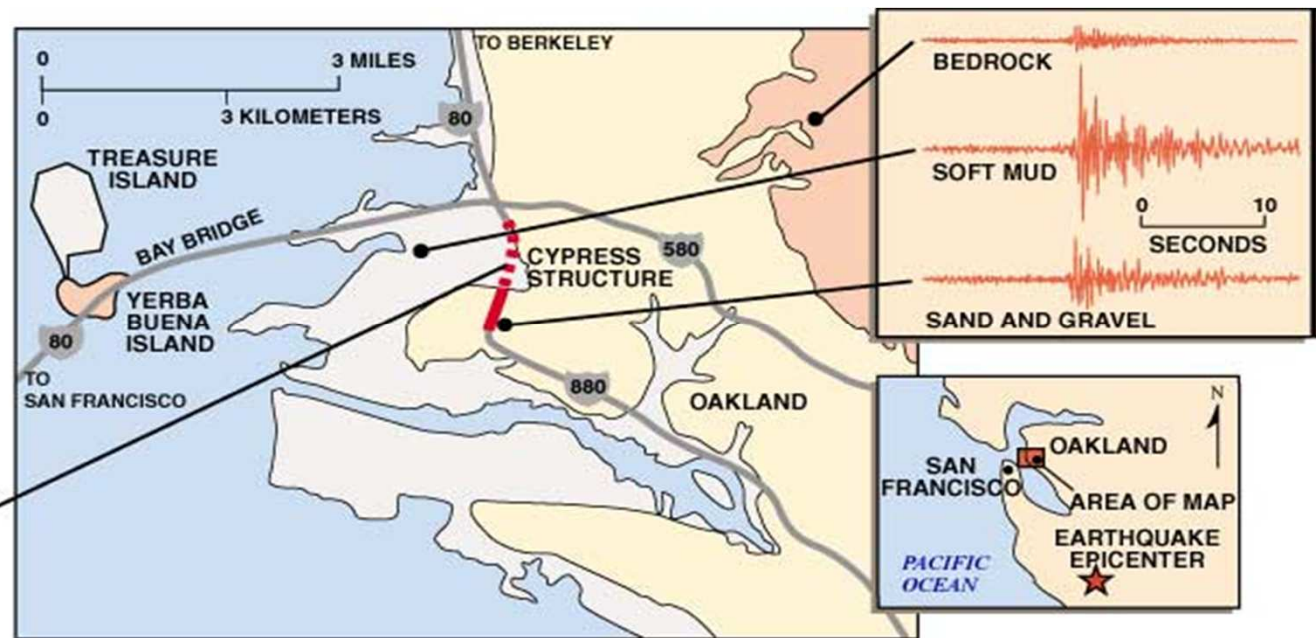
Amplification of PGA as a function of V_{S30}



Velocities of Holocene and Pleistocene Units – Oakland, CA



Damage distribution during the 1989 M6.9 Loma Prieta earthquake correlated quite well with Vs30.

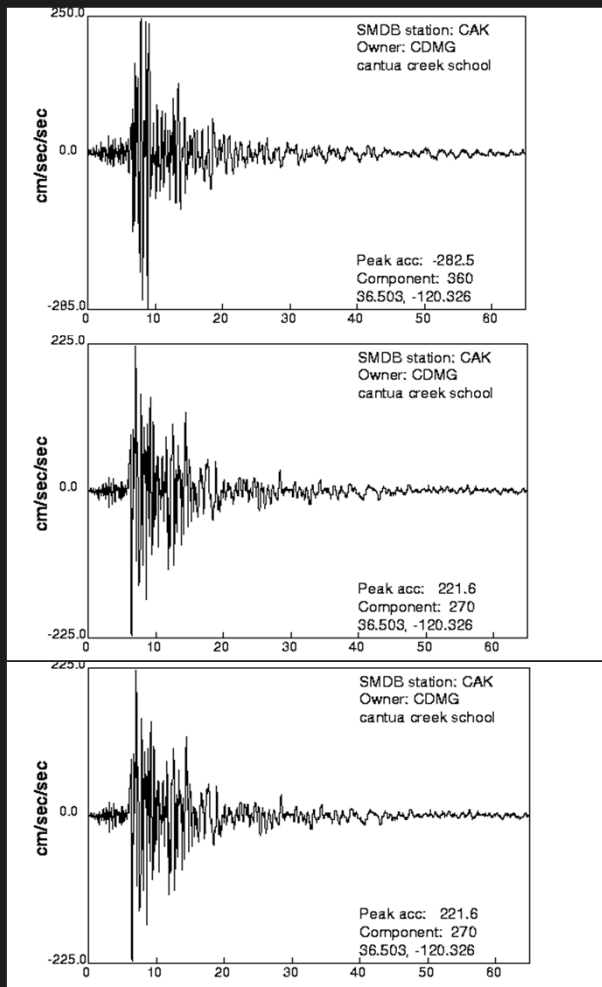


Summary of Strong Ground Motion from Earthquakes

- Measured using PGA, PGV, pseudo-spectral acceleration or velocity PSA or PSV, and intensity.
- Increases with magnitude.
- Enhanced in direction of rupture propagation (directivity).
- Generally decreases with epicentral distance.
- Low-velocity soil site gives much higher ground motion than rock site. V_{s30} is a good predictor of site response.

Ground-Motion Parameters

Ground Motion Parameters



Measured by triaxial accelerographs
2 orthogonal horizontal components
1 vertical component

Digitized to time step of 0.005 - 0.01 sec
For 60 sec record,
$$N = 3 \times 60 / 0.01 = 18,000 \text{ values}$$

Important Characteristics

Amplitude

Frequency content

Duration

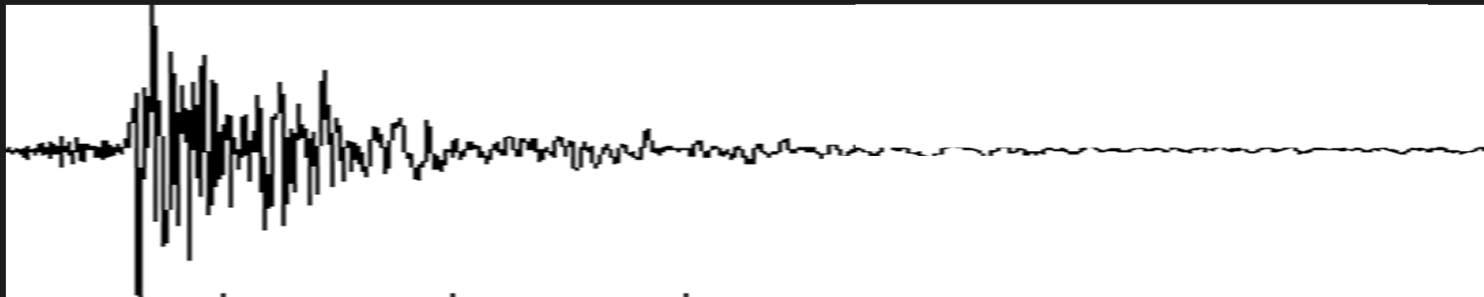
Ground Motion Parameters

Amplitude Parameters

Peak ground acceleration (PGA)

Peak ground velocity (PGV)

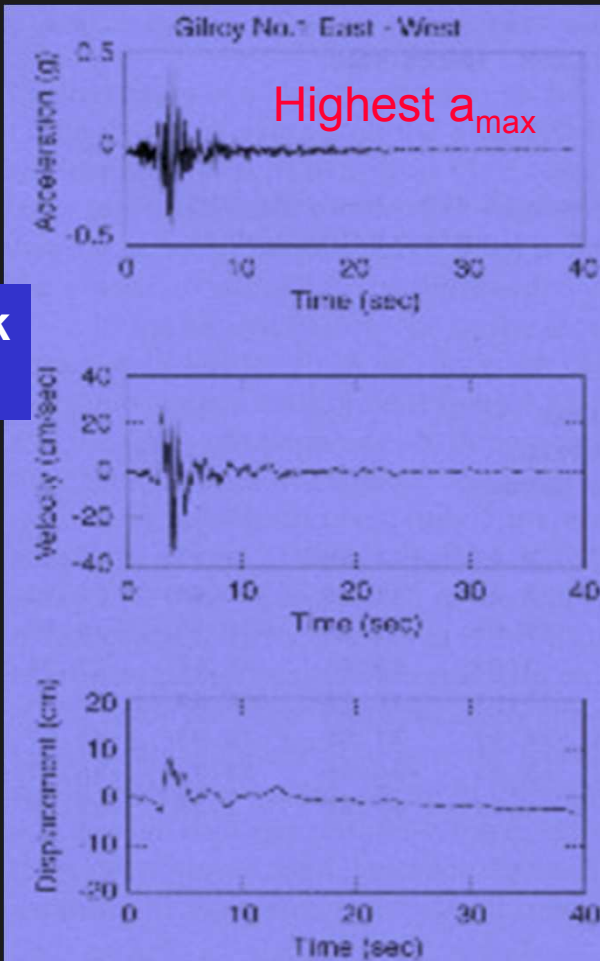
Peak ground displacement (PGD)



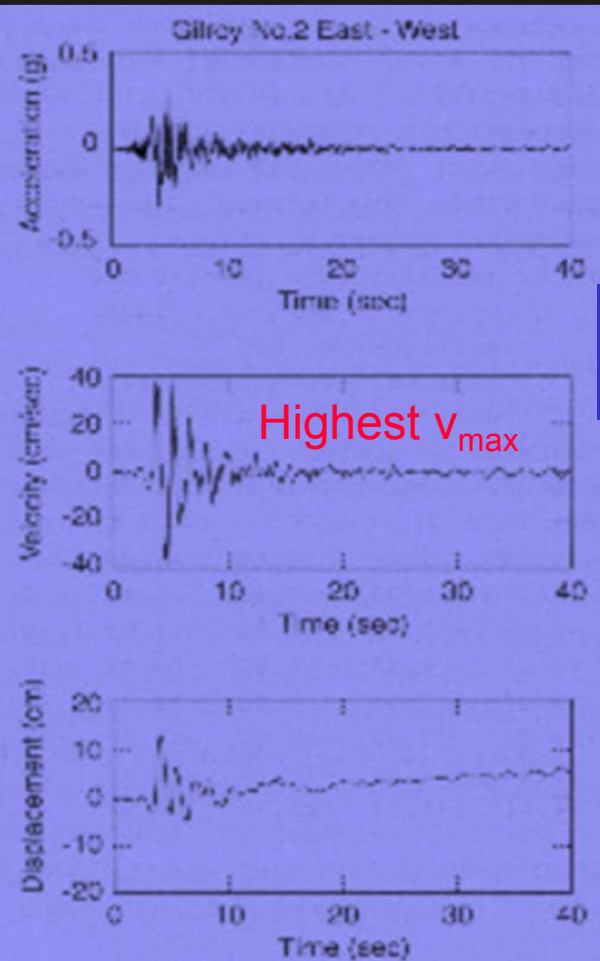
Ground Motion Parameters

Amplitude parameters

Rock
site



Soil
site



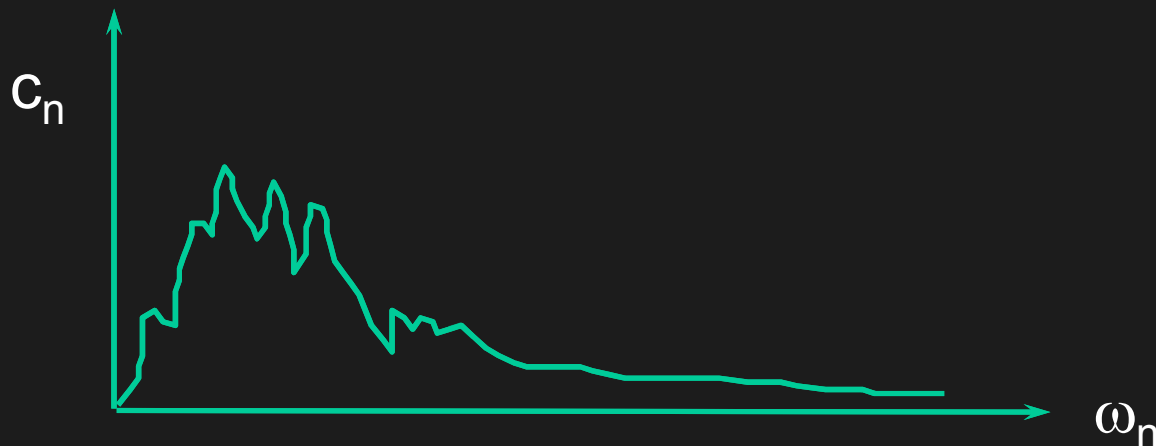
Ground Motion Parameters

Frequency content parameters

Fourier spectrum

$$x(t) = c_o + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(\omega_n t + \phi_n)$$

Plot of c_n vs ω_n gives Fourier spectrum

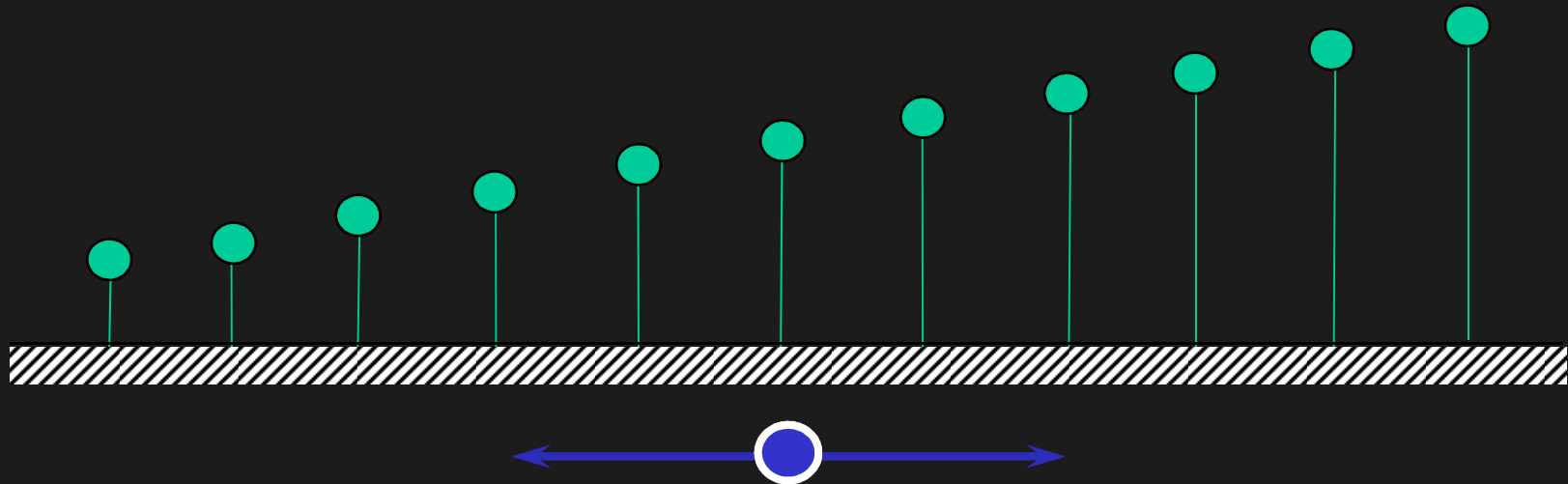


Example from
ProShake

Ground Motion Parameters

Frequency content parameters

Response spectrum



Examples from
ProShake

Ground Motion Parameters

Frequency content parameters

Spectral parameters

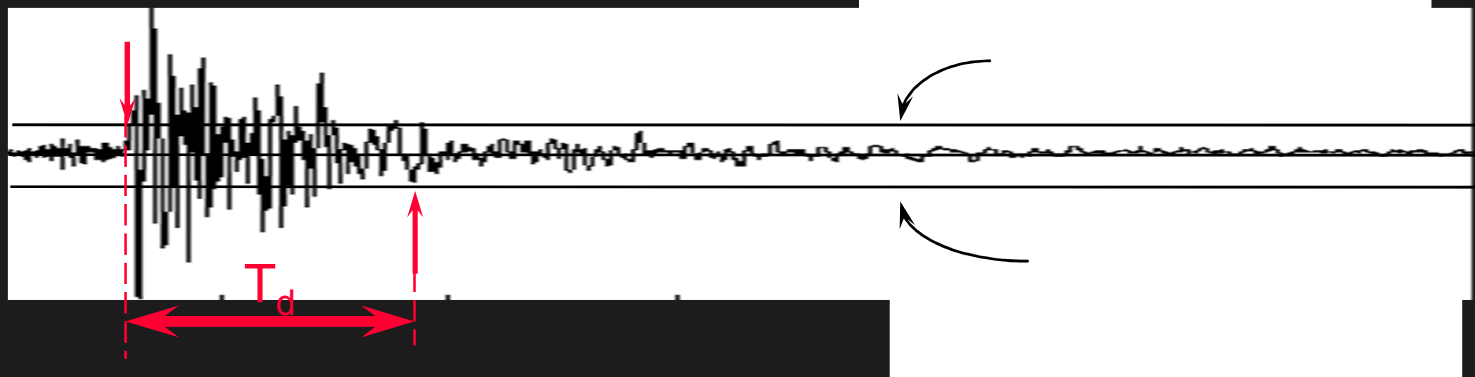
Predominant period

Bandwidth

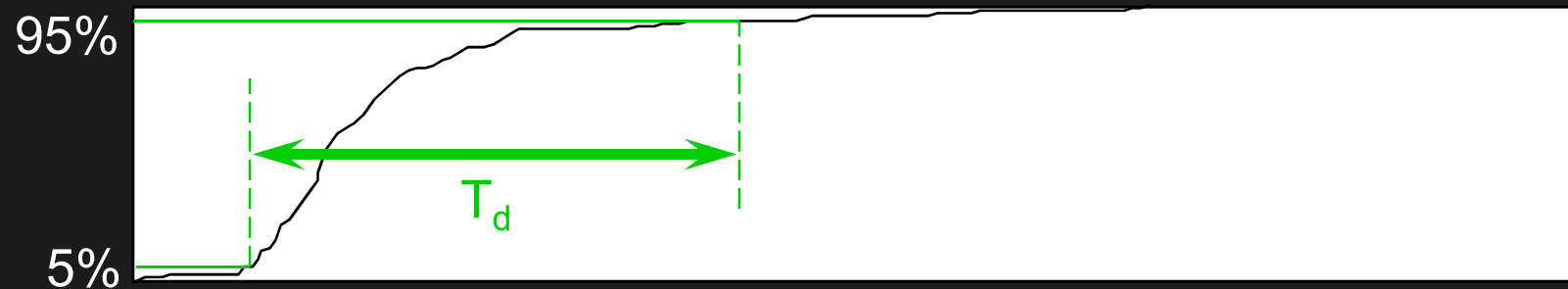
Ground Motion Parameters

Duration

Bracketed duration



Trifunac duration



Ground Motion Parameters

Other ground motion parameters

rms acceleration

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt}$$

Arias intensity

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt$$

Spectral intensity

$$SI(\xi) = \int_0^{2.5} PSV(\xi, T) dT$$

**All are influenced
by amplitude,
frequency content,
and duration**

Seismic Site Response Analysis

Local Site Effects

Local Site Effects

Ground surface motions are affected by local site conditions

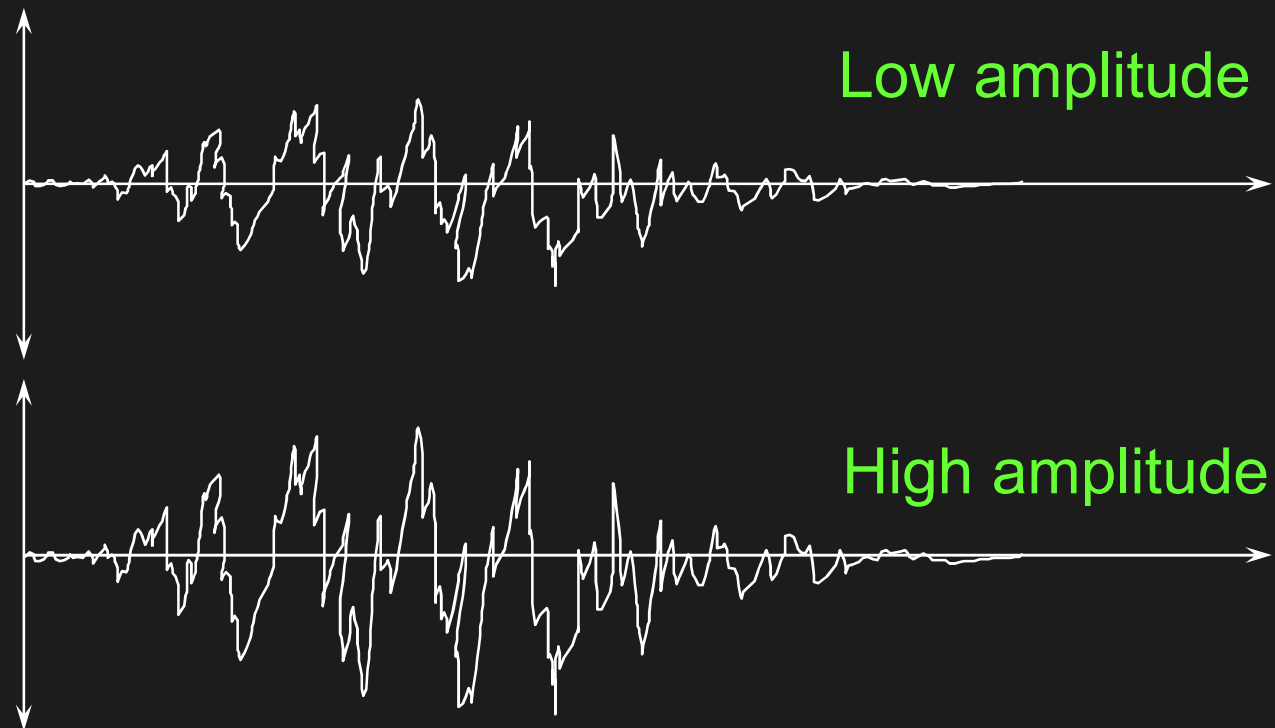
Site effects can influence:

- Amplitude - may amplify or de-amplify motion
- Frequency content - may shift to higher or lower ω
- Duration - may extend duration of strong shaking

Important Aspects of Earthquake Motion

Earthquake damage is influenced by ground motion:

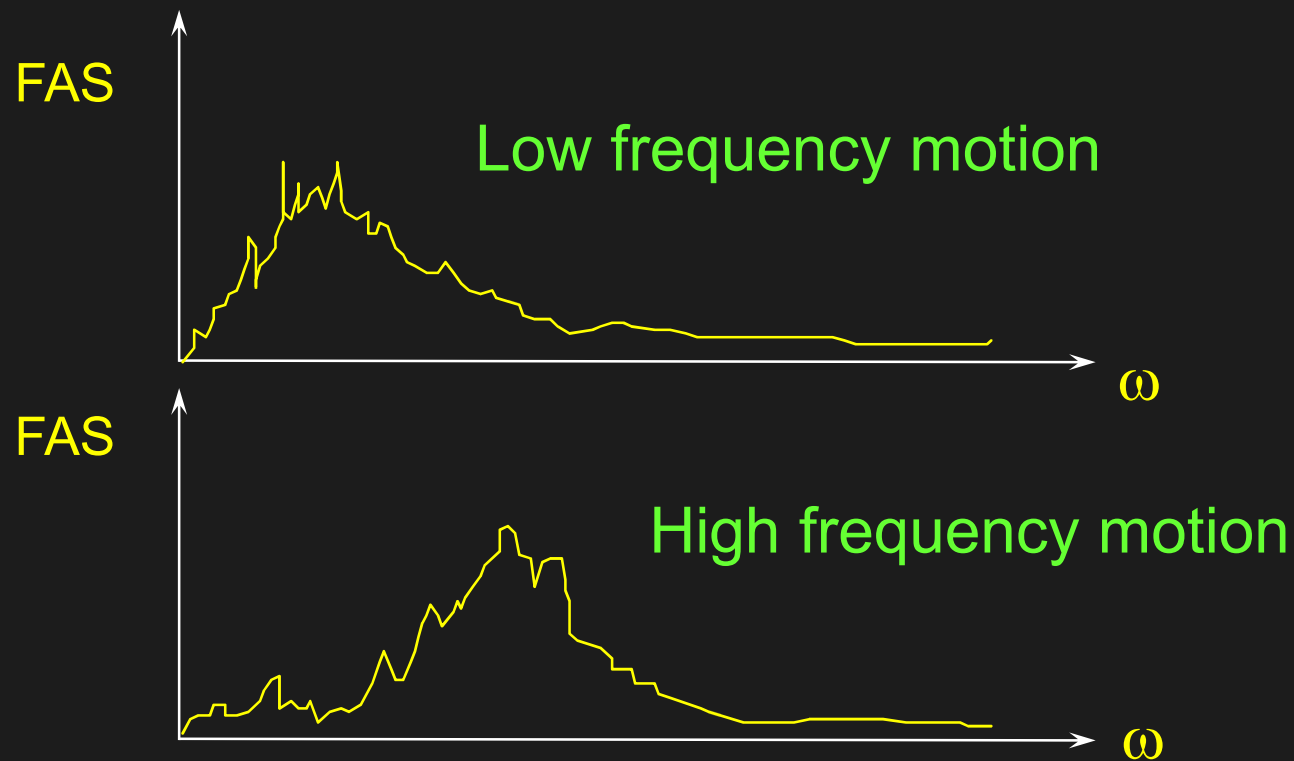
- Amplitude
- Frequency content
- Duration



Important Aspects of Earthquake Motion

Earthquake damage is influenced by ground motion:

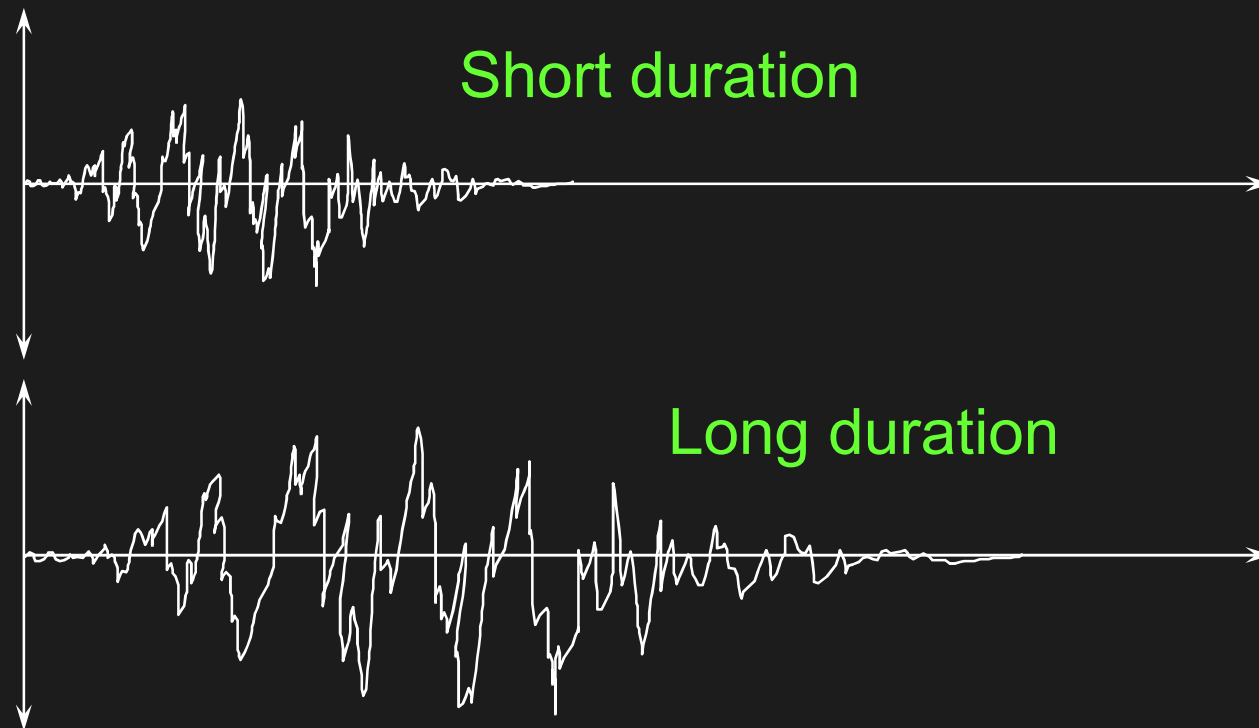
- Amplitude
- Frequency content
- Duration



Important Aspects of Earthquake Motion

Earthquake damage is influenced by ground motion:

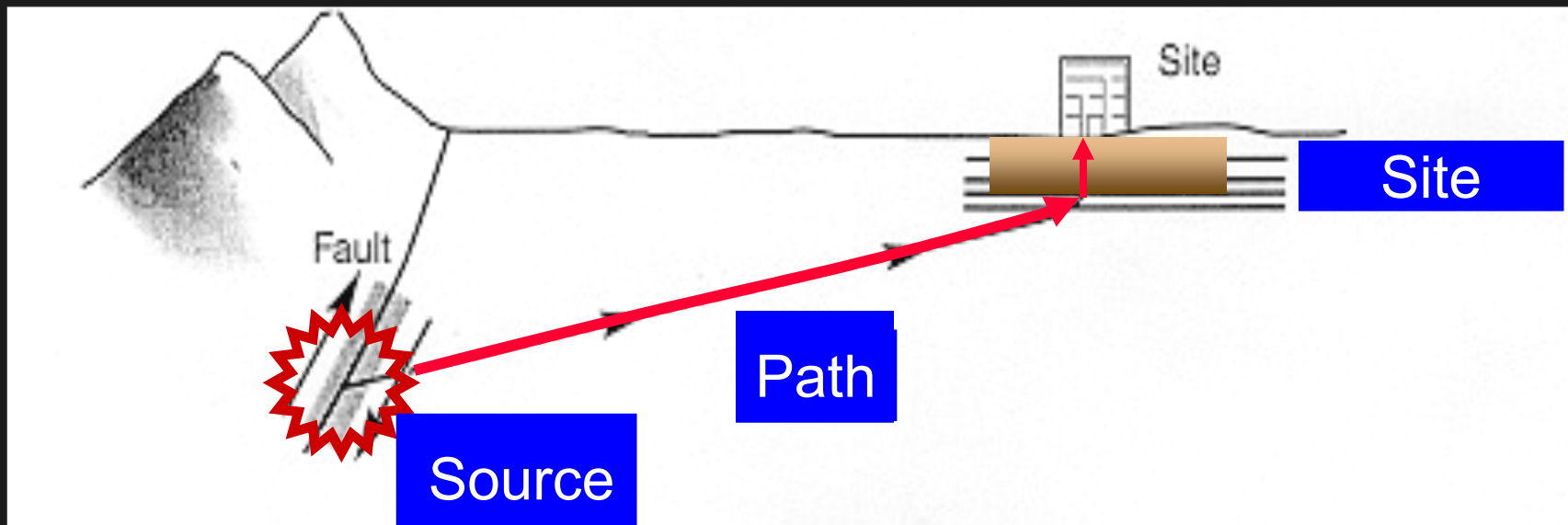
- Amplitude
- Frequency content
- Duration



Site Response

Problem:

Predict the response of a soil deposit due to earthquake excitation



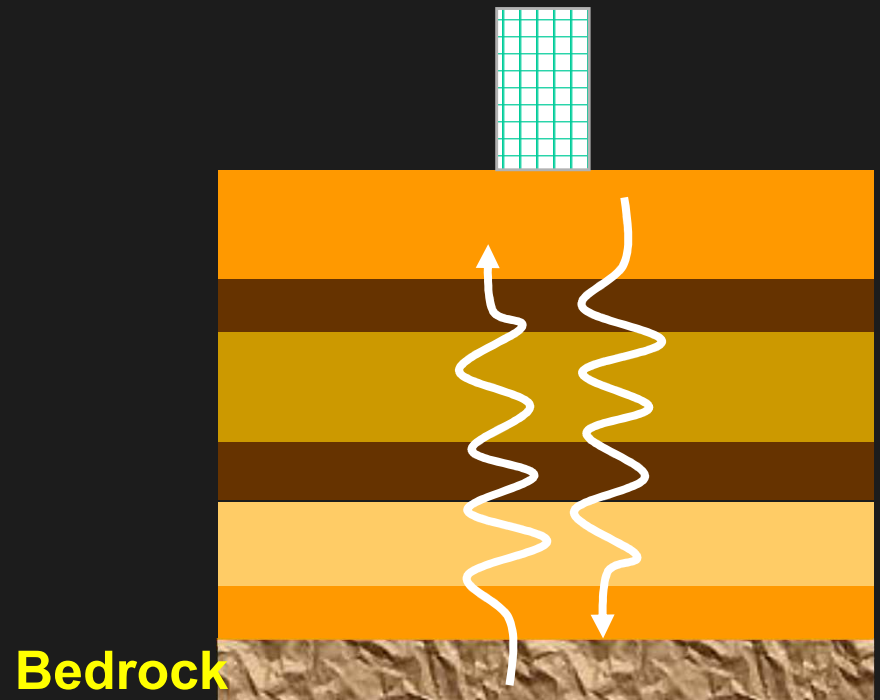
Site Response

Soil response depends on:

- Type of soil
- Thickness of soil
- Stiffness of soil

Results:

- Some soil deposits amplify bedrock motion
- Some soil deposits de-amplify bedrock motion
- Some soils do both

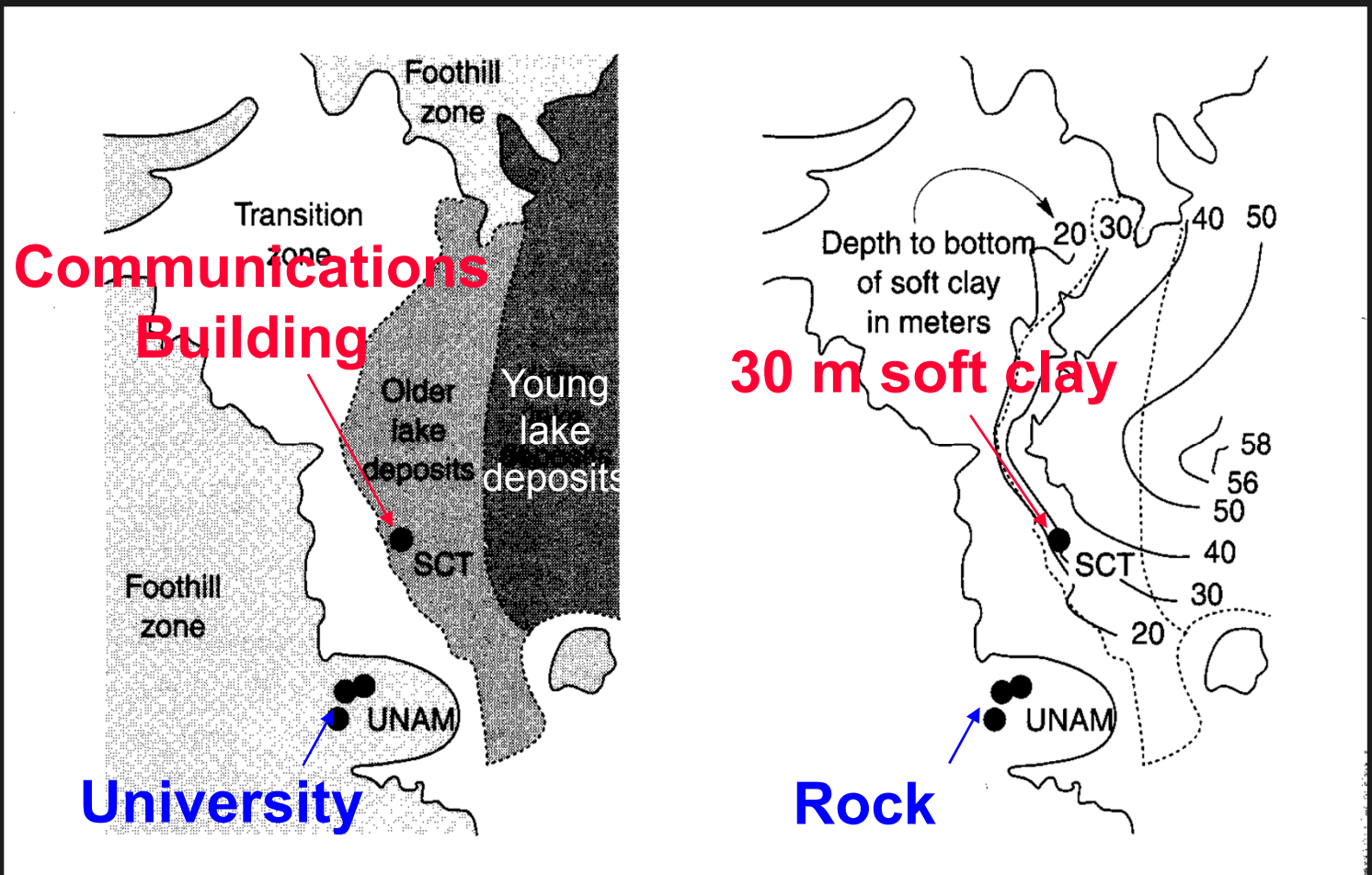


Site Response

1985 Mexico City Earthquake

M = 8.1

Over 200 miles away



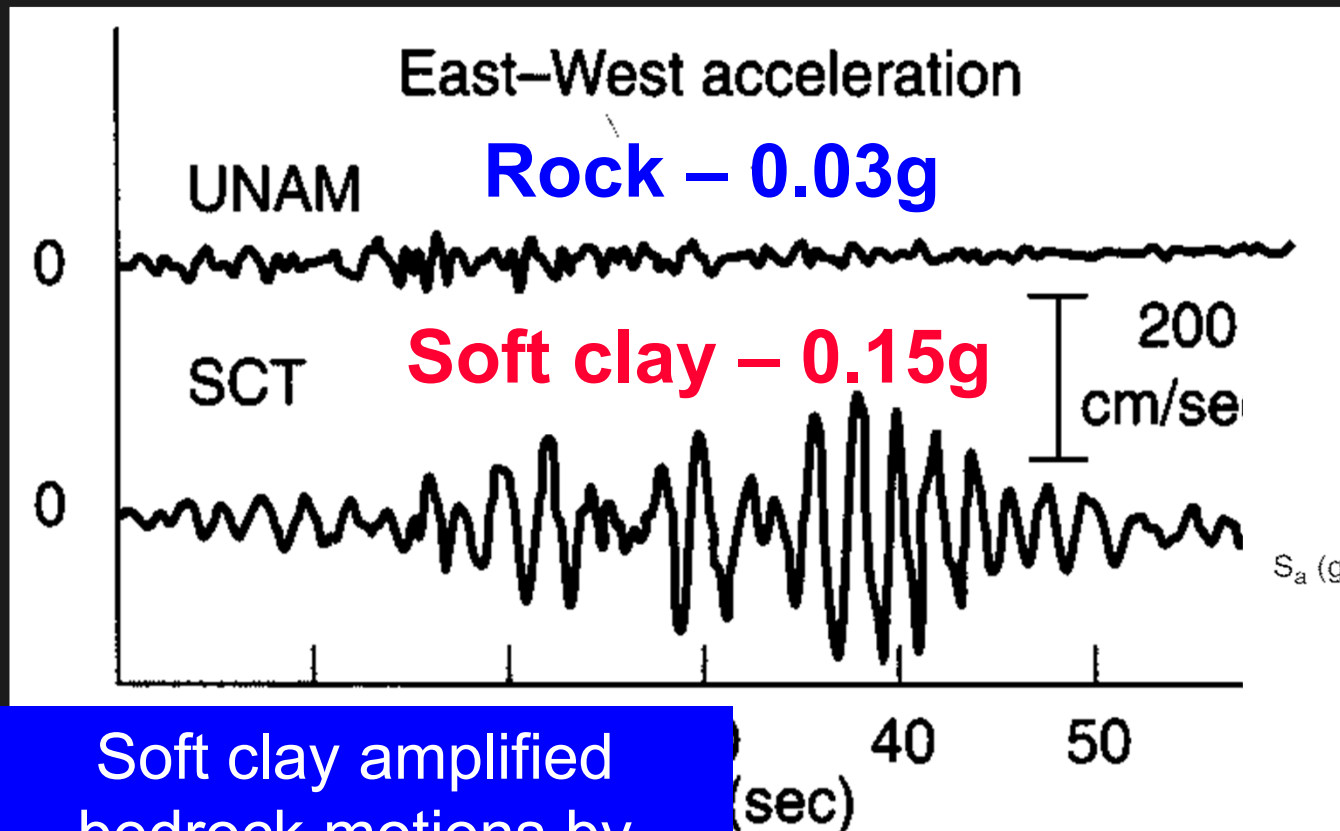
Site Response

1985 Mexico City Earthquake

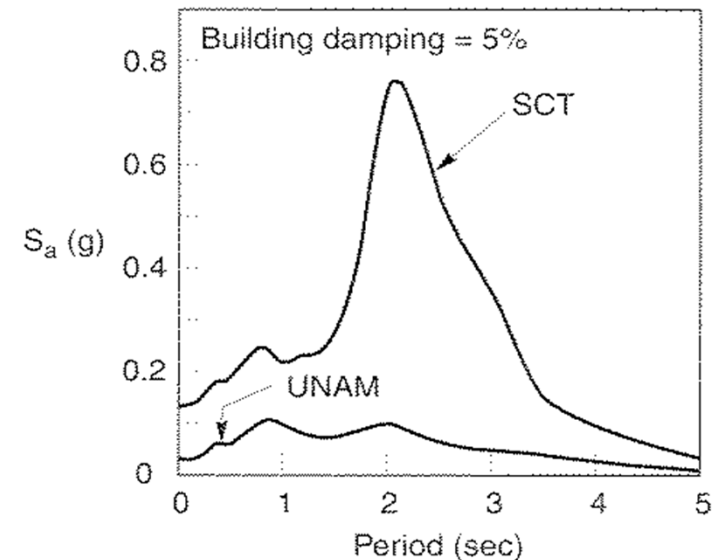
$M = 8.1$

Over 200 miles away

Soft clay amplified
motions at periods of ~2
sec. even more



Soft clay amplified
bedrock motions by
factor of 5



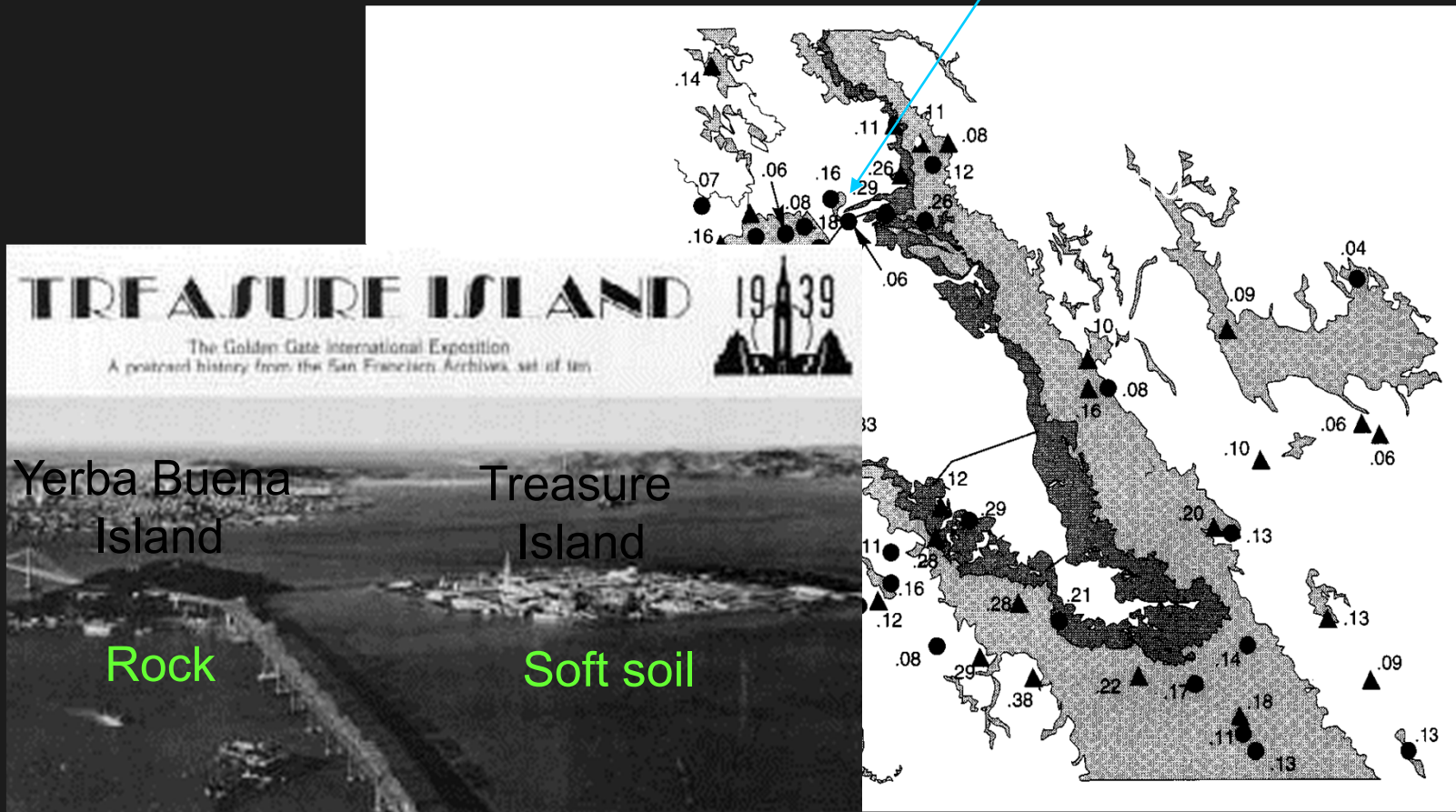
Site Response

1989 Loma Prieta Earthquake

M = 7.1

Over 60 miles away

Yerba Buena Island
Treasure Island



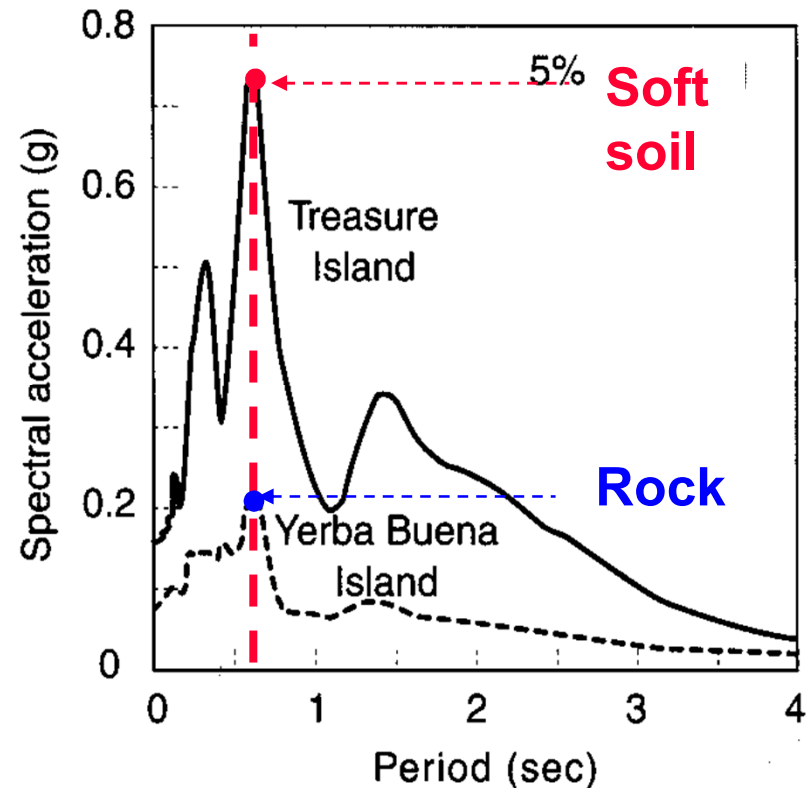
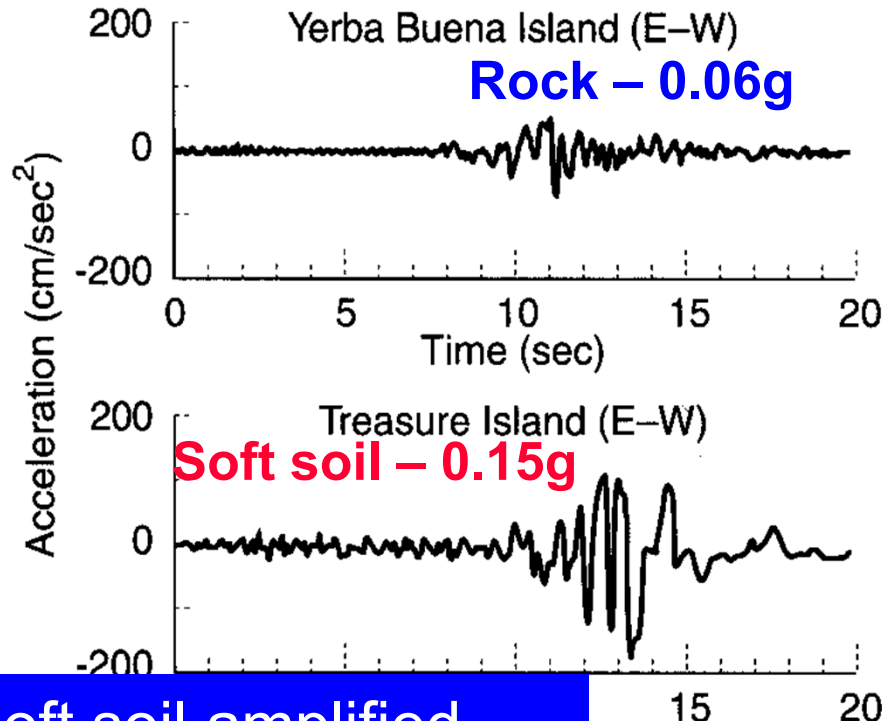
Site Response

1989 Loma Prieta Earthquake

M = 7.1

Over 60 miles away

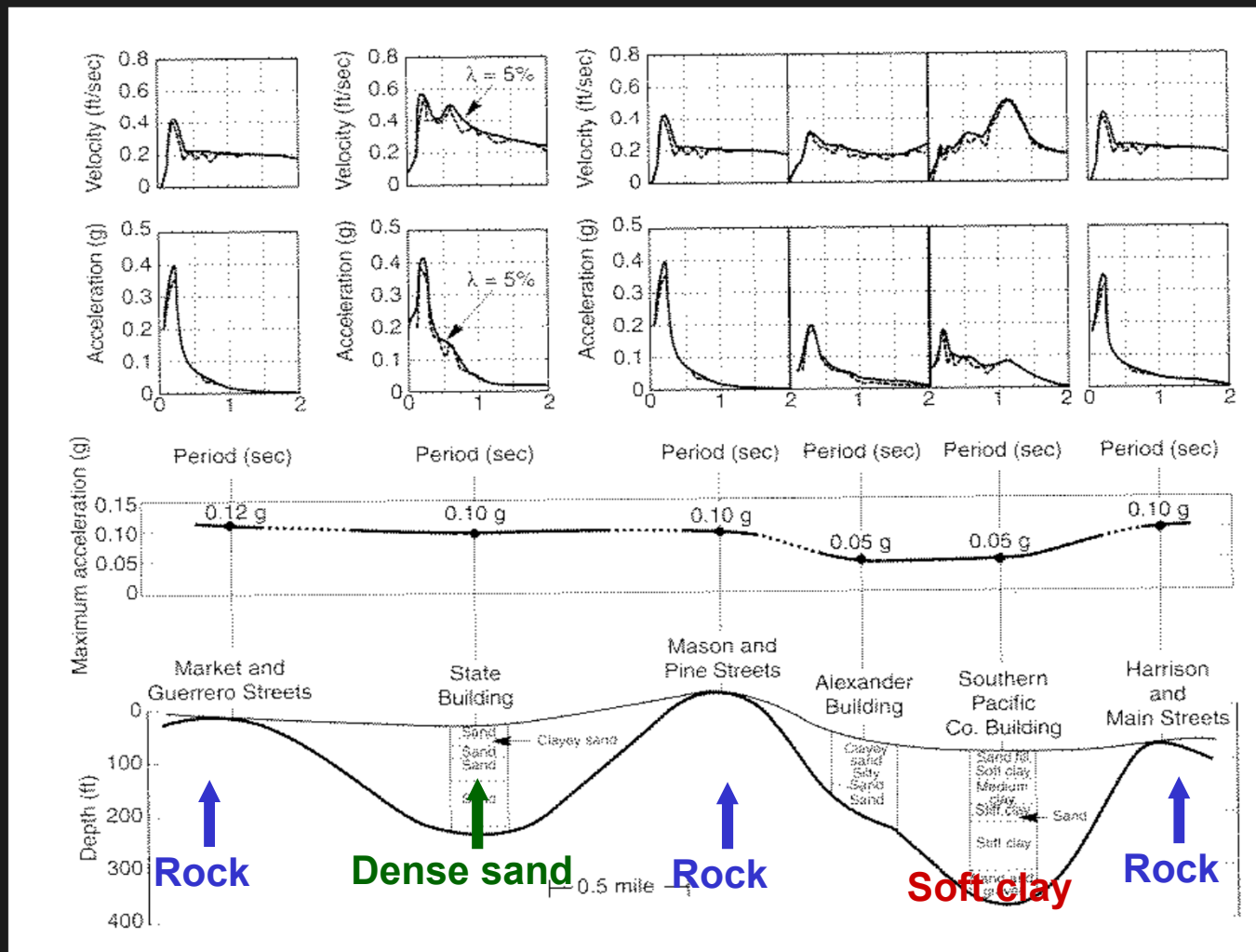
Amplification is even larger in response spectrum at some periods



Soft soil amplified
bedrock motions by
factor of 2-3

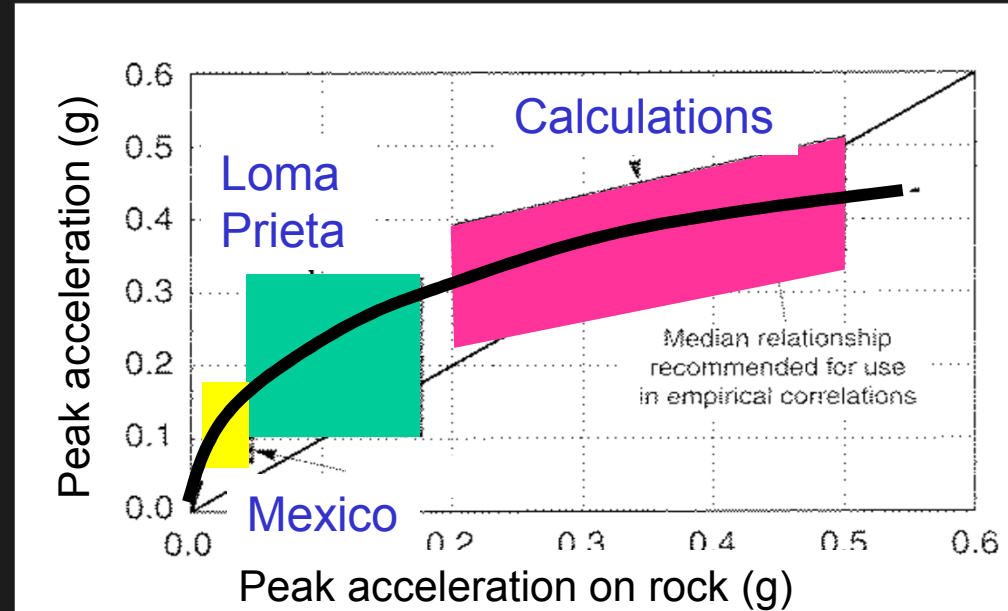
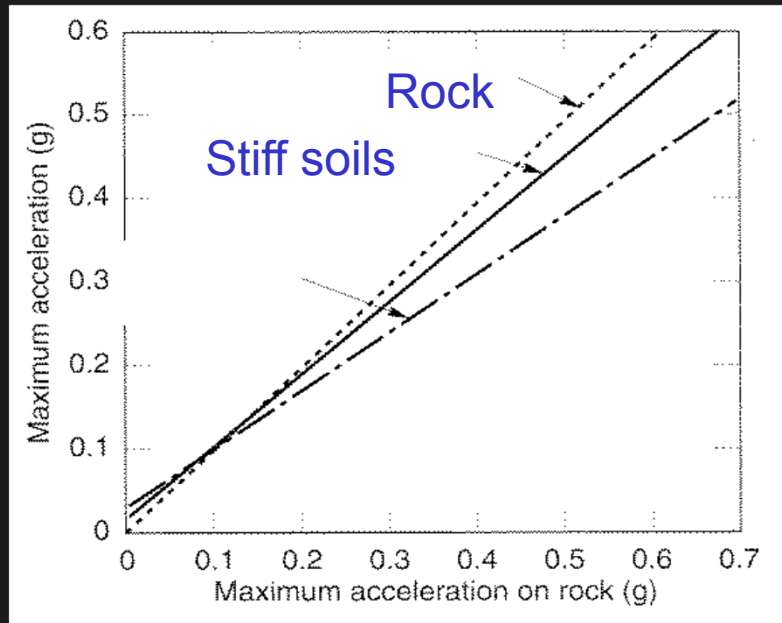
Evidence

1957 San Francisco Earthquake (M = 5.3)



Evidence

Compilation of data from multiple events



Peak acceleration

For low loading levels, strong amplification can occur

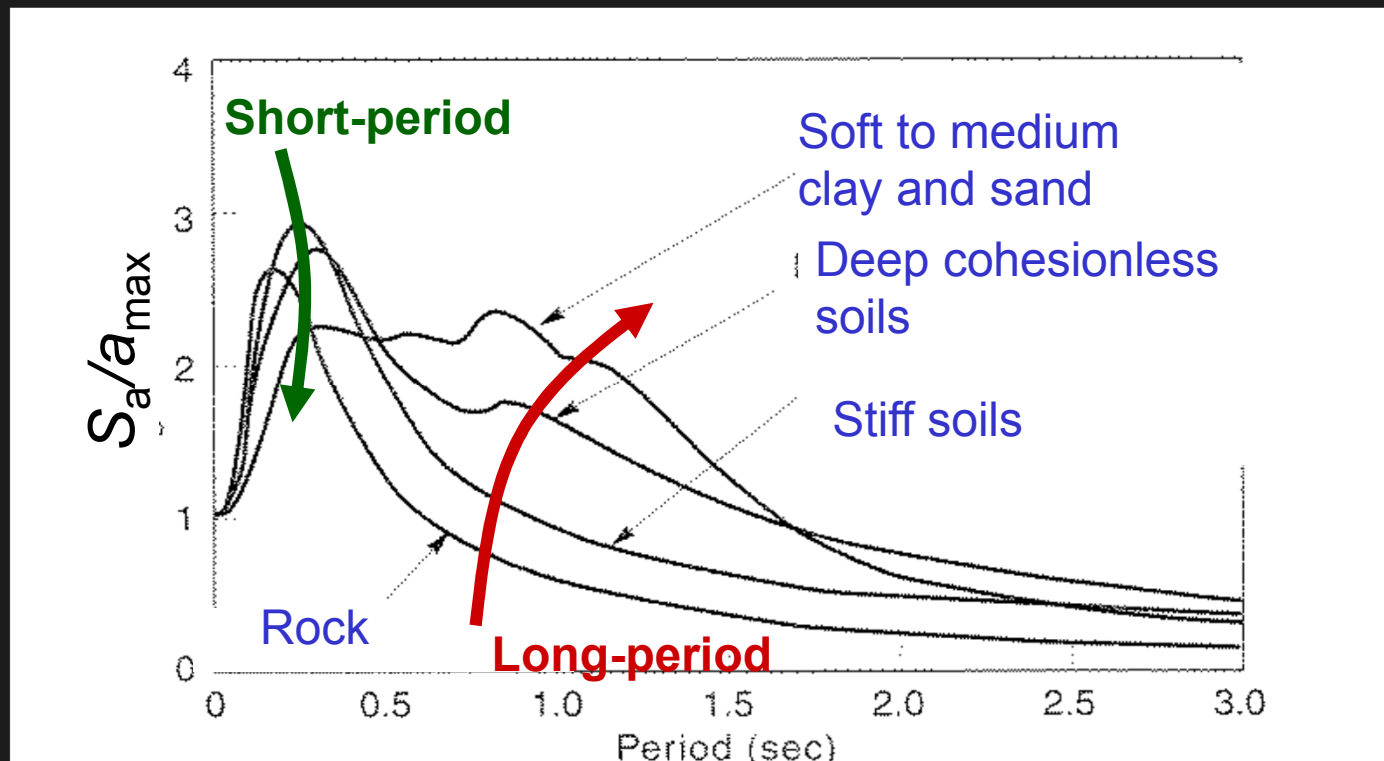
For high loading levels, deamplification can occur

When?

Why?

Evidence

Compilation of data from multiple events



Summary

Local site conditions can strongly influence:

- Amplitude
- Frequency content
- Duration

Shown by:

- Measured surface motions
- Compilations of data on local site effects
- Measured amplification functions
- Theoretical analyses

Vs30 Based Amplification Functions for Large Scale Ground Motion Simulations

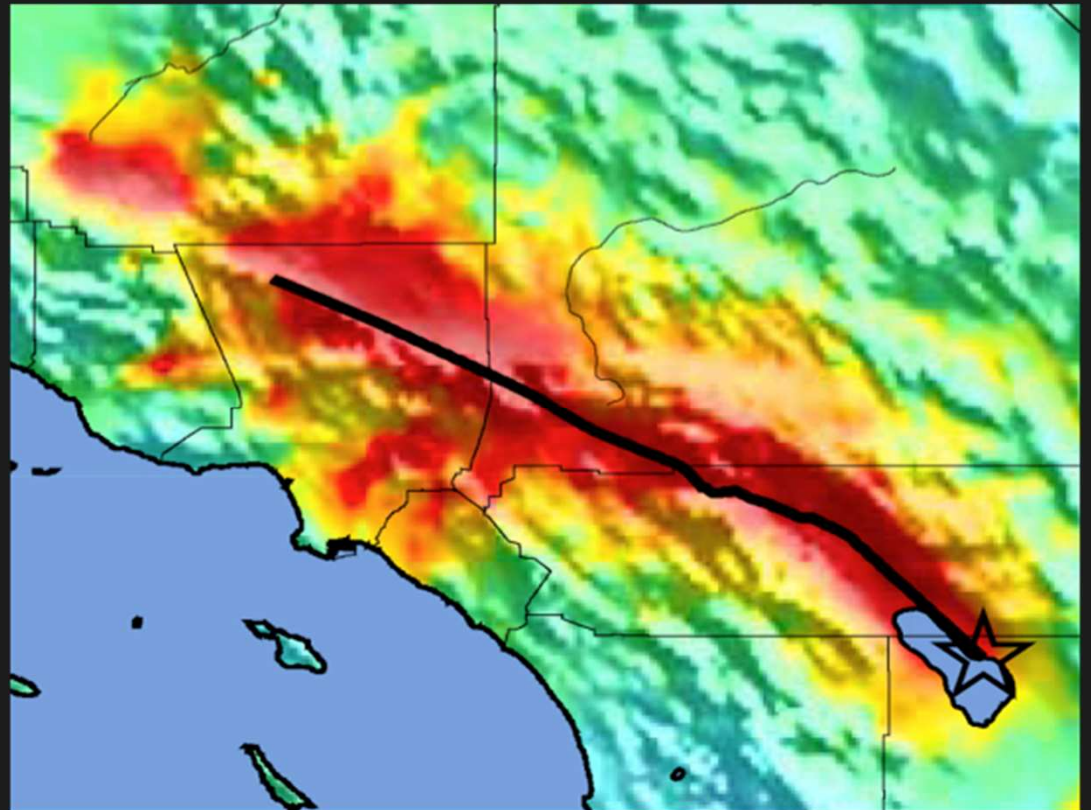
- Adopt V_{s30} site term from Campbell and Bozorgnia (2008) for use in large-scale earthquake waveform simulations.
- Functions are frequency dependent and account for non-linear soil response
- Use of Vs30 based approach is attractive
 - Readily available (or estimated)
 - Easy to compute and apply on large-scale

Motivation

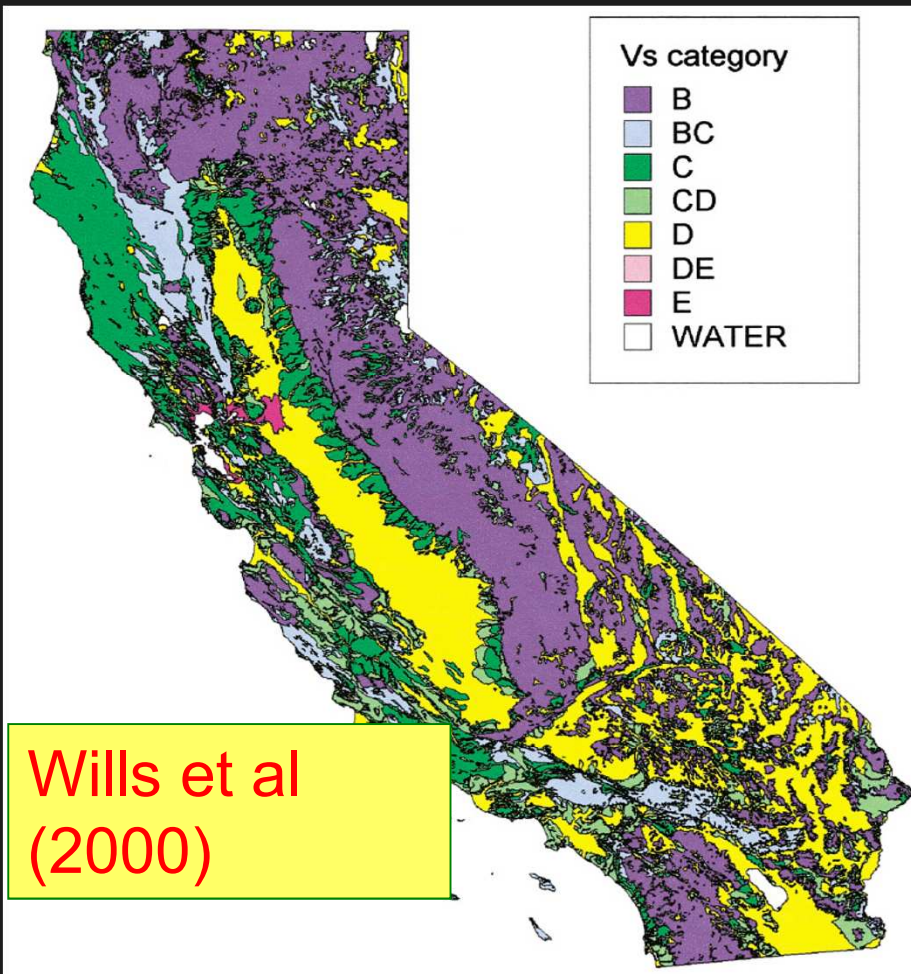
- Large-scale EQ simulations produce ground motion waveforms at >100,000 sites, e.g. **ShakeOut**
- Incorporation of low velocity near surface material within the FD/FE simulation model can be extremely costly (prohibitive?) and requires special handling to account for soil non-linearity
- Need efficient site correction implementation scheme
- Based on readily available parameters

ShakeOut: M_w 7.8 San Andreas Scenario

www.shakeout.org

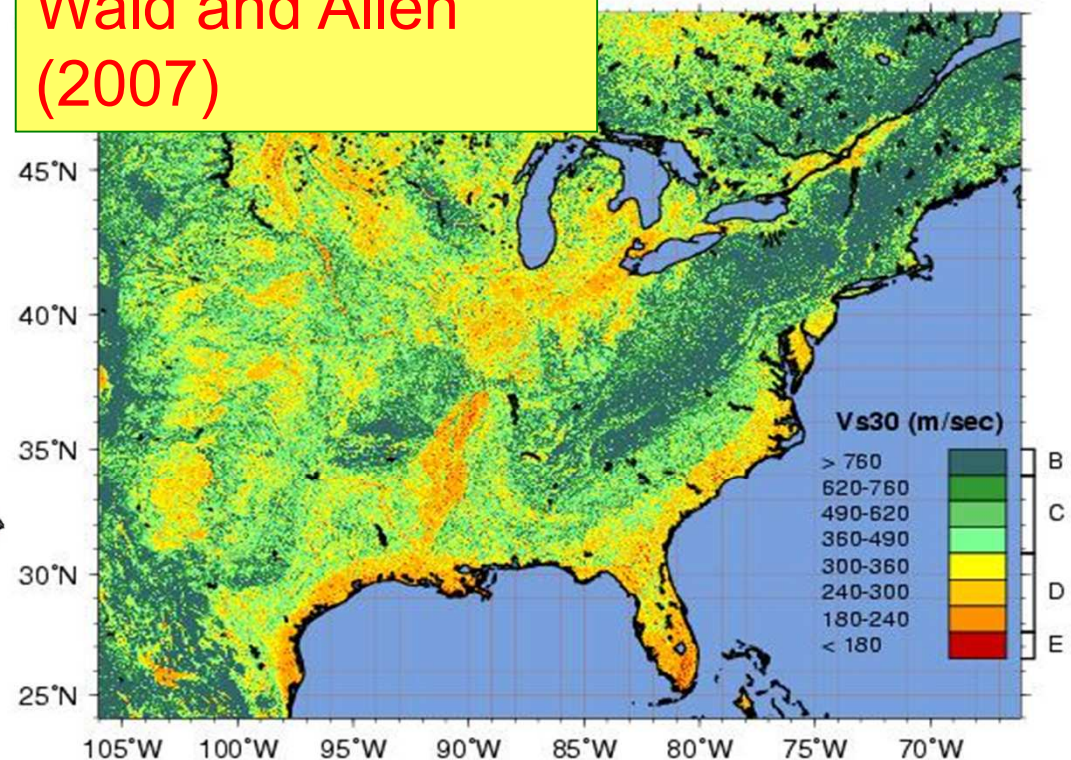


V_{s30} (measured or estimated) can easily be obtained for almost any region-



Yong et al. (2009):
Terrain-based
 V_{s30}

Wald and Allen
(2007)



Amplification Function

- Based on equivalent linear response analysis (Walling et al., 2008) as implemented in the GMPE of Campbell and Bozorgnia (2008)
- Functional form:

$$A(f) = F_s(f, PGA_r, V_{site}) / F_s(f, PGA_r, V_{ref})$$

where $F_s(f, PGA_r, V_{s30})$ = C&B2008 site term

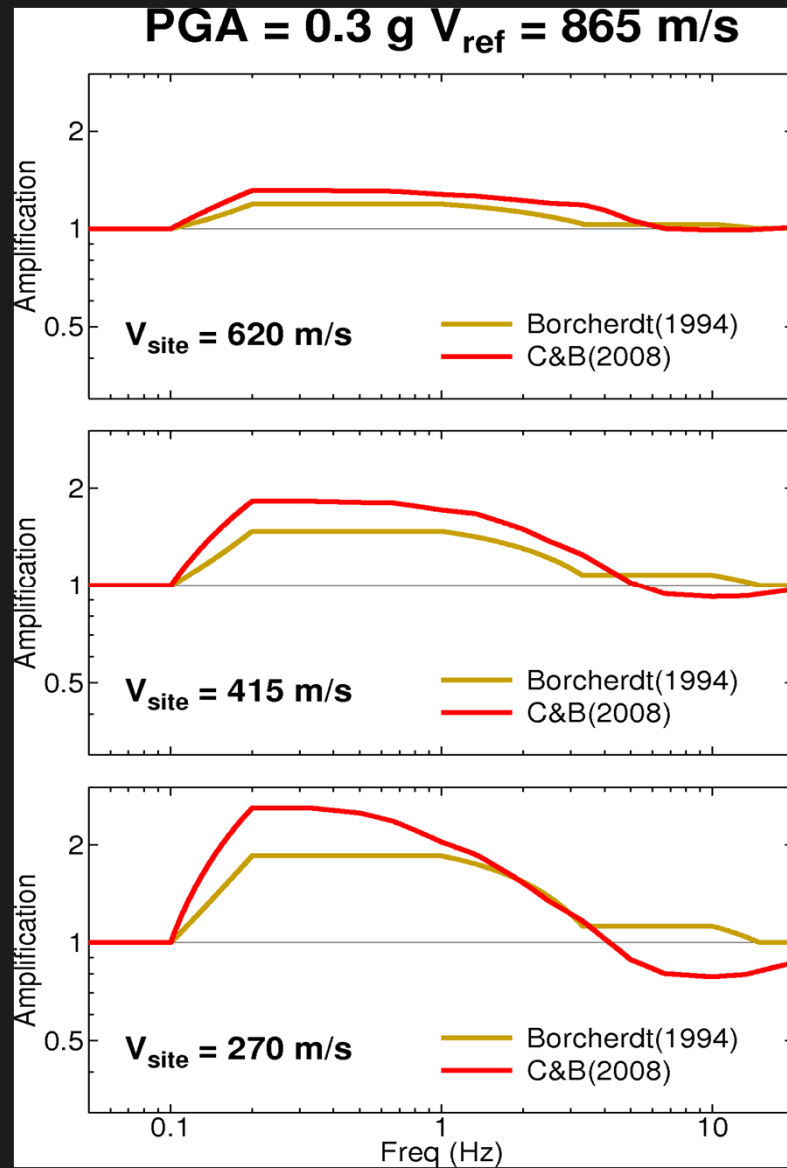
f = frequency (1/T)

PGA_r = input rock PGA ($V_{s30} = 1100$ m/s)

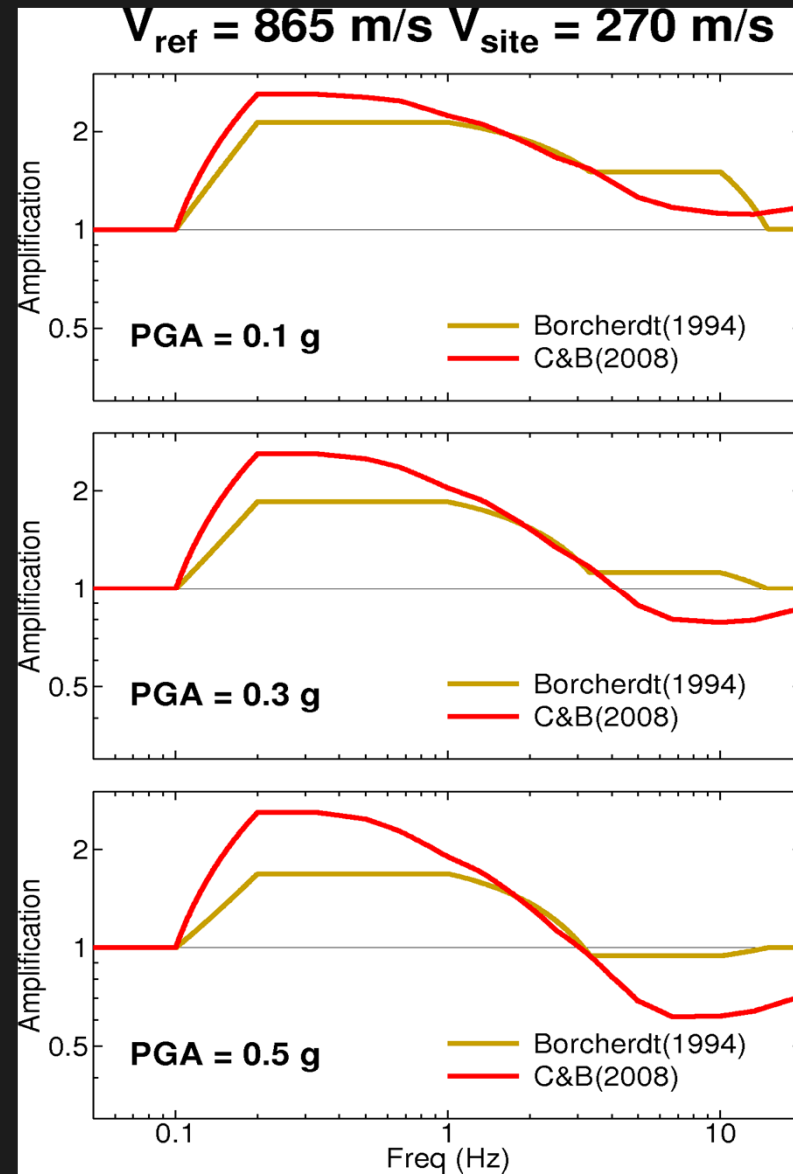
$V_{ref} = V_{s30}$ used in simulation model

$V_{site} = V_{s30}$ at site of interest

V_{site} Dependence



PGA_{rock} Dependence

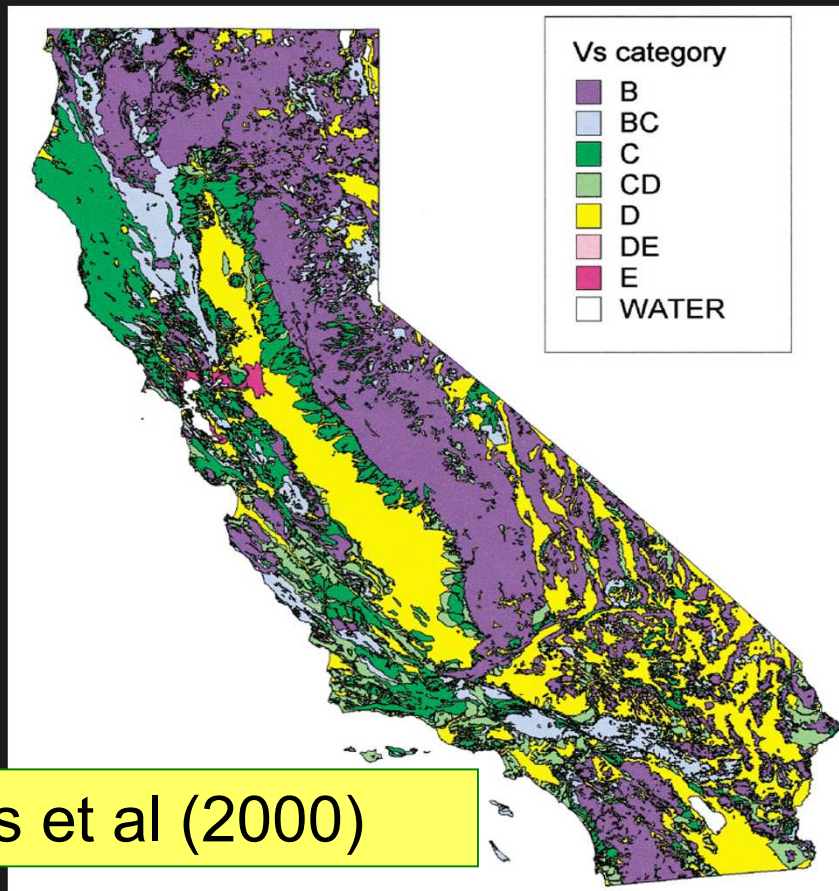


Summary: Use of Vs30 for Large Scale Ground Motion Simulations

- **Benefits**

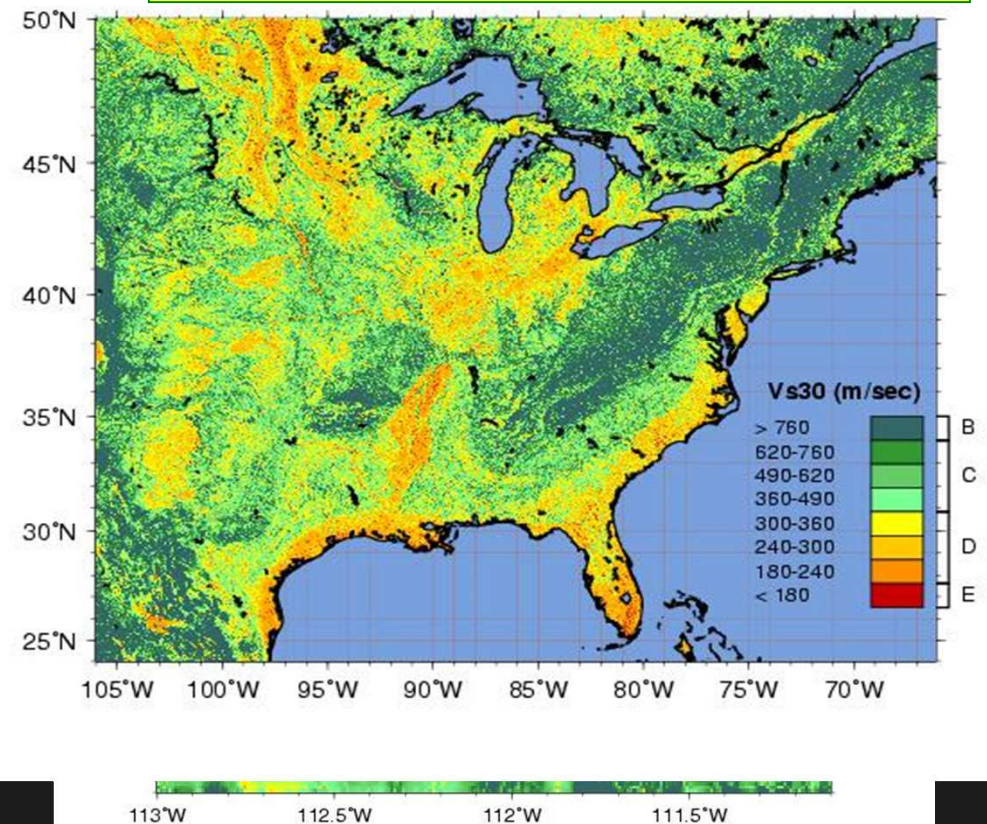
- Easy to obtain
- Easy to implement on large scale (>100,000 sites) via CB2008
- Adequately captures impedance amplification
- Accounts for frequency dependent non-linearity when coupled with PGA_{rock}
- Produces “realistic” ground motion waveforms

V_{s30} (measured or estimated) can easily be obtained for almost any region-



Wills et al (2000)

Wald and Allen (2007)





د.م. جلال نمر الديك

مدير مركز علوم الارض وهندسة الزلازل في جامعة النجاح الوطنية، ونائب رئيس الهيئة الوطنية للتخفيف من اخطار الكوارث.

« مقدمة Introduction

الذي طرأ خلال العقدين الماضيين على كودات التصميم الزلزالي للمباني، وخصوصاً التطور الذي طرأ على عامل تربة الموقع وما تحدثه من تضخيم (Amplification) للقوى الزلزالية. وعموماً لا يقتصر تأثير الموقع على التضخيم الذي تحدثه التربة، فهناك تأثيرات أخرى للموقع، هي:

* الانزلاقات الأرضية (Landslides)، والتي أحياناً تحصل في الأراضي الجبلية الطينية أو الحورية.
* تميؤ التربة (Liquefaction)، فتعرض التربة الرملية المشبعة بالرطوبة لحركات اهتزازية قد تؤدي لحصول ظاهرة التميؤ.

2. التضخيم الزلزالي لتربة الموقع Site Amplification

تأثير جيولوجية المنطقة (local geologic) وتربة الموقع (Local soil) على شدة الاهتزازات الأرضية وبالتالي على حجم الأضرار والانهيارات، عرف منذ عشرات السنوات، ففي سنة 1824 دون ماك مورديو (Mac Murdo) في أحد مذكراته: أن المباني المقامة على أرض صخرية عندما تعرضت للهزات الأرضية لم تتأثر بشكل كبير كمثيلاتها من المباني في نفس المنطقة والمقامة على تربة طينية، وكذلك أظهرت العديد من الوقائع والتقارير الزلزالية التاريخية خلال القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين عن تأثير جيولوجية المنطقة وتربة الموقع على السلوك الزلزالي للمباني، ففي سنة 1908 أظهر وود (Wood) وكذلك ريد (Ried) في سنة 1910 أن شدة الاهتزازات الأرضية الناتجة عن زلزال سان

بنظرة سريعة إلى واقع التصميم والتنفيذ الهندسي الدارج في فلسطين والكثير من الدول العربية، يلاحظ بشكل واضح أن العديد من المباني يتم تصميمها تحت تأثير الأحمال الميتة والحية فقط، وكذلك ينظر الكثير من المهندسين إلى فحص تربة الموقع على أنه فحص لمعرفة مقدار تحمل (Bearing capacity) تربة الموقع فقط، وهذا يعني أن أمان المبنى وعناصره الإنشائية (العناصر الإنشائية هي: الأسقف والجسور والأعمدة والجدران الحاملة والقواعد) يمكن أن يتحقق أن يظهر المبنى مقاومة واستقرار تحت تأثير القوى الرأسية الناتجة عن الأحمال الميتة والحية.

أن عدم أخذ تأثير القوى الزلزالية على المباني لدى العديد من المهندسين، حد بشكل كبير من إطلاعهم ومعرفتهم بالتطور الكبير

Next

فرانسيكو سنة 1906 تأثرت بشكل واضح بجيولوجية المنطقة وترتبة الموقع، وفي سنة 1927 سجل العالم المعروف جتنبيرغ (Gutenberg) أثر العديد من أنواع الترب السطحية على تضخيم الحركات الأرضية وحاول إيجاد علاقات ومعايير كمية لأثر هذه الأنواع من التربة.

وفي ظل توفر أجهزة رصد وتحليل الحركات الزلزالية القوية (Strong Motion Instruments) تمكن الخبراء من إجراء تسجيلات حقلية تجريبية، ساهمت بدورها بشكل كبير في إيجاد مقادير كمية يتم من خلالها التعبير عن التأثير الذي يحدثه الاختلاف في جيولوجية المنطقة وترتبة الموقع على خصائص الحركات الأرضية (Ground Motion Characteristics)

ففي الزلزال الذي تعرضت له مدينة كاراكاس في فنزويلا سنة 1960، تبين بشكل واضح تأثير عامل تربة الموقع على الحركات الأرضية، فقد لوحظ أن المباني متوسطة الارتفاع والمقامة على أرض طينية عميقة تعرضت لانهارات وأضرار أكبر بكثير من مثيلاتها من المباني الموجودة في نفس المنطقة والمقامة على أرض صخرية، وتتابع الأبحاث الزلزالية لتؤكد أثر تربة الموقع في تضخيم القوى الزلزالية، ومن الأمثلة على هذه الزلازل: زلزال سان فرانسيسكو 1957، وزلزال سان فرناندو سنة 1971، وزلزال فرانسا في رومانيا 1977، وزلزال المكسيك سنة 1985، وزلزال لوما بريتا 1989 (Loma Prieta)، وزلزال تركيا 1999 وغيرها، ومع ذلك لم يظهر الأثر الكمي لمعامل تربة الموقع بشكل واضح في كودات البناء الزلزالي إلا في منتصف السبعينات من القرن الماضي.

ابتداءً من منتصف السبعينات تقريباً ولغاية منتصف الثمانيات من القرن الماضي، كان عامل تأثير تربة الموقع (S) يتراوح في العديد من الكودات العالمية المستخدمة بين قيمة 1 و 1.5، فمثلاً لإيجاد قيمة قوى القص الزلزالي القاعدي (Seismic base shear) باستخدام كود البناء المتناسق Uniform Building Code (UBC-82 و UBC-79 و UBC-76)، ولغاية UBC-85 يلاحظ أن قيمة المعامل S تساوي 1 بالنسبة للتربة الصخرية القوية، و 1.2 في حالة التربة متوسطة القوة، و 1.5 في حالة التربة الضعيفة، وإضافة لأثر نوعية التربة في تحديد قيمة S يتضمن الكود عمق الطبقات السطحية للتربة وبالتالي أثرها في تصنيف نوعية التربة.

أي أن التربة الصخرية لا تؤدي إلى تضخيم القوى الزلزالية التي يتعرض لها المبنى، في حين تؤدي التربة من النوع S2 إلى أحداث تضخيم (زيادة) في قيمة القوى الزلزالية مقداره 20%، أما المباني المقامة على تربة من النوع S3 فإنها ستعرض إلى تضخيم زلزالي مقداره 50% بالمقارنة مع مثيلاتها من المباني المقامة في نفس المنطقة وعلى أرض صخرية من النوع S1.

وفي طبيعة الحال استندت كودات البناء في تحديدها لقيمة المعامل S أو بمعنى آخر لقيمة التضخيم الزلزالي الذي تحدثه تربة الموقع إلى قيمة المعامل T_s/T ، حيث: T تمثل الزمن الدوري الطبيعي للمبنى، و T_s تمثل الزمن الدوري الطبيعي لتربة الموقع. ومع تطور أجهزة الرصد والتحليل الزلزالي تمكن خبراء هندسة الزلازل من تطوير الدراسات التي تتعلق بتأثير عامل تربة الموقع، وذلك بالاستعانة بنتائج الأحداث الزلزالية، فالمناطق والدول التي تتعرض للزلازل تعتبر مختبرات أو معامل ضخمة توفر للباحث الآلاف بل عشرات آلاف من العينات والأمثلة الحقيقية، فنتيجة للزلازل التي حصلت في أواسط الثمانينات من القرن الماضي وخصوصاً زلزال المكسيك الذي حصل سنة 1985، أدرك الباحثون أن كثير من حالات الأضرار والانهيارات التي أحدثتها الزلازل لم يكن سببها بالضرورة سوء نوعية البناء بل كان السبب الرئيسي عامل تأثير تربة الموقع (شكل 1 و 2)، ففي زلزال المكسيك 1985 تجاوزت قيمة التضخيم الزلزالي الذي أحدثته تربة الموقع 8 أضعاف قيمة القوى الزلزالية أو أكثر، لمثيلاتها من المباني المقامة على أرض صخرية قوية (انظر الشكل 2)، لذلك في سنة 1988 حصل تعديل واضح في كود البناء المتناسق UBC، فقد تم إجراء تعديل على تصنيف أنواع التربة السطحية، فأصبحت أربع أنواع بدل من ثلاثة (انظر جدول نوعية التربة في كود البناء المتناسق UBC)، واستناداً إلى نوع التربة المشار إليها في الجدول تم تحديد أربع قيم للمعامل S، حيث:

$$S1 = 1, S2 = 1.2, S3 = 1.5, \text{ and } S4 = 2$$

وقد ساهمت الدراسات والأبحاث معتمدة على نتائج الأحداث والوقائع الزلزالية بالدرجة الأولى، حيث تأكد بشكل قاطع أن هناك حاجة لتعديل قيمة معامل التربة S وذلك وفقاً لتصنيف جديد، فادت الدراسات التي تم إجراؤها من قبل لجنة الزلازل في جمعية المهندسين الإنشائيين في كاليفورنيا Structural Engineers Association California، والمعروفة باسم SEAOC إلى إجراء تعديل كبير وجذري في الكود UBC-94 وتحديد في معامل تربة الموقع، فقد تم تصنيف التربة وفقاً للكود UBC-97 إلى 6 أنواع (انظر جدول نوعية التربة في كود البناء المتناسق UBC)،

تتحكم في الخواص الفيزيوميكانيكية للمواد وبالتالي بالتجاوب الزلزالي، ففي معظم المواقع تقريباً تكون الكثافة (γ) وسرعة الموجات القاصة (Vs) لمواد الطبقات السطحية القريبة من السطح أقل من تلك المواد الموجودة على أعماق تحت السطح، فإذا تم إهمال تأثير عامل البعثره والتخميد في المادة، فإنه واستناداً إلى مبدأ حفظ الطاقة (طاقة الموجات المرنة Elastic wave energy) يجب أن يكون تدفق الطاقة من الأعماق وحتى سطح الأرض ثابت، وحيث أن الكثافة وسرعة الموجات الزلزالية القاصة تقل كلما اقتربنا من سطح الأرض، فإن سرعة الجزيئات (Particle velocity) يجب أن تزداد.

وجود اختلاف في طبيعية ونوعية التربة في المنطقة الواحدة، يؤدي إلى اختلاف معامل التضخيم الزلزالي بين تربة وأخرى، فمثلاً أظهرت دراسات استطلاع الموقع أنه في أحد المناطق وعلى مسافة متقاربة جداً أن هناك اختلاف في سرعة الموجات القاصة بين الموقع A، والموقع B رغم أن هذه المواقع تتشابه بالعوامل الأخرى. وإذا اعتبرنا أن التربة في المواقع A، B عبارة عن مادة مرنة خطية (Linear elastic)، وطبقة الصخر (Bedrock) الموجودة أسفل التربة لسطحية هي عبارة عن مادة صلبة (Rigid)، فإنه واستناداً إلى العلاقة (2.1) والمعروفة بدالة التضخيم Amplification (Steven Kramer 1996 function)، يمكن إيجاد العلاقة بين التردد في المواقع A و B ومعامل التضخيم (انظر الشكل 3).

$$|F_2(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\cos^2(\omega H / Vs) + [\xi(\omega H / Vs)]^2}} \quad (2.1)$$

حيث:

ω: التردد الطبيعي الزاوي Angular natural frequency

H: عمق طبقة التربة

: معامل التخميد Damping Ratio

VS: سرعة الموجات الزلزالية القاصة Shear wave Velocity

التردد الطبيعي للطبقة n في تربة سطحية تتكون من n طبقات، يساوي:

$$\omega_n = \frac{Vs}{H} \left(\frac{\pi}{2} + n\pi \right) \quad n = 0, 1, 2, \dots, \infty \quad (2.2)$$

وحيث أن العلاقة عكسية بين معامل التضخيم والتردد الطبيعي، لذا فإن أكبر معامل تضخيم سيحدث تقريباً عند أقل تردد طبيعي، وهذا التردد يُعرف بالتردد الطبيعي الأساس ω₀.

واستناداً إلى نوع وعمق التربة قد تصل قيمة معامل التضخيم إلى 4 أو أكثر، ومن التطورات الجديدة التي أحدثها الكود UBC-97 لوصف نوعية التربة هو ربط قيمة سرعة الموجات الزلزالية القاصة (Vs) (Shear Wave Velocity) بنوعية التربة. وإضافة لاستخدام قيمة Vs في تحديد نوعية التربة، يمكن استخدامها كذلك في حساب قيمة الزمن الدوري الطبيعي Ts لتربة الموقع (انظر البند 1.3).

يُشار إلى أن تصنيف التربة وفقاً لكود البناء العالمي IBC2003 و IBC 2000 International Building Code (IBC2006)، متشابه بشكل كبير مع تصنيف التربة وفقاً للكود UBC-97.

3. تأثير طبيعية تربة الموقع على الحركات الأرضية Effect of Local Site Condition on Ground Motion

تؤثر طبيعية ونوعية تربة الموقع بشكل كبير على الخصائص الأساسية للحركات الأرضية القوية (Strong ground motion)، وهي: سعة الموجات (Amplitude) وترددها (Frequency content) بالإضافة إلى مدة تأثيرها (Duration)، أما مدى أو مقدار تأثير تربة الموقع فيعتمد على عدد من العوامل، أهمها:

- * خواص المواد التي تتشكل منها التربة وتشكيلاتها الهندسية.
- * طوبوغرافية الموقع.
- * خصائص الحركات المؤثرة.
- وبشكل عام تستخدم المراجع العلمية لتوضيح طبيعية أثر تربة الموقع، الطرق التالية:
- * إجراء تحليل نظري مبسط للتجاوب الأرضي (Ground response analysis).
- * إجراء قياسات حقيقية للأهزازات وذلك على السطح وتحت السطح في الموقع الواحد.
- * إجراء قياسات للأهزازات الأرضية السطحية في عدد من المواقع لها طبيعة تحت سطحية مختلفة.

3.1 التحليل النظري للتجاوب الأرضي

Theoretical Ground Response Analysis

يمكن تفسير التضخيم الزلزالي الذي تحدثه تربة الموقع، وذلك من خلال الاستعانة بطرق التحليل النظري لعدد من المعايير التي

وللمقارنة بين قيمة الزمن الدوري المسيطر للموقع SCT والناتج عن كل من مخطط الاستجابة الطيفية والقيمة الناتجة عن استخدام العلاقة (4.2) ؟

$$T_s = \frac{4H}{V_s} = 4(37.5)/75 = 2 \text{ sec.}$$

لذلك في المنطقة SCT كانت المباني التي ارتفاعاتها تتكون من 16-22 طابق تقريباً الأكثر تأثراً، وقد أكدت تقارير التقييم الميداني أن معظم المباني التي تتألف من 40-50 طابق والموجود في المنطقة SCT لم تتعرض للانهدام، واقتصرت الخسائر على الأضرار غير الإنشائية وبعض الأضرار الإنشائية الطفيفة.

إضافة للنتائج المذكورة أعلاه، أكدت نتائج معظم الأحداث الزلزالية: زلزال سان فرانسيسكو 1957، وزلزال سان فرناندو سنة 1971، وزلزال فرانسا في رومانيا 1977، وزلزال المكسيك سنة 1985، وزلزال لوما بريتا 1989 (Loma Prieta)، وزلزال نوترديج - كاليفورنيا 1994 (Nouthridge)، وزلزال تركيا 1999، وزلزال تايوان 1999، وزلزال الهند 2001، وزلزال الجزائر أيار/ 2003، وزلزال بام في إيران كانون أول/ 2003، وغيرها، أثر خواص تربة الموقع على تضخيم القوى الزلزالية، وانعكاسات ذلك على السلوك الزلزالي للمباني.

3.2 دراسات الاستكشاف الزلزالي

Seismic Exploration Studies

تمتلك الدول التي تتعرض لزلزلات قوية بشكل مستمر سجل زلزالي يمكن استخدامه بشكل فعال في الكثير من الدراسات ومنها دراسة عامل تأثير الموقع، ولكن في الدول التي تحدث الزلازل فيها على فترات متباعدة (مثلاً كل 50 أو 100 عام) فإنها وبلا شك تفتقر إلى تسجيلات لزلزلات حقيقية للزلزلات، لذلك بدأت الدراسات الزلزالية بتطوير وسائل حديثة مستنبطة من تراكم الخبرات في مجال التسجيل والتحليل الزلزالي ومن أهم الطرق المستخدمة حالياً في الدراسات الحقلية: استخدام التحليل الزلزالي لزلزلات مصغرة (Micro-seism) أو استخدام أثر ضوضاء المحيط (Ambient noise)، بالإضافة إلى استخدام سرعة الموجات الزلزالية في المقاطع تحت السطحية الناتجة عن نتائج التسجيل والتحليل الحقلية لجهاز الرسم الزلزالي والمعروف باسم السيسموغراف (Seismograph).

$$\omega_s = \frac{\pi V_s}{2H} \quad (2.3)$$

الزمن الدوري الطبيعي (T_s) الذي يتوافق مع التردد الطبيعي يُسمى خاصية الزمن الدوري للموقع (Characteristic site period)

$$T_s = \frac{2\pi}{\omega_s} = \frac{4H}{V_s} \quad (2.4)$$

ويمكن كذلك إيجاد قيمة سرعة الموجات القاصة VS باستخدام نتائج القياسات الحقلية والتي من خلالها يمكن إيجاد قيمة VS مباشرة، أو من خلال الاستعانة بقيمة سرعة الموجات الزلزالية الطولية V_p .

يعتبر زلزال المكسيك الذي حصل في 19/9/1985 وكانت درجته $M=8.1$ من الزلازل التي أظهرت بشكل واضح أثر تربة الموقع على السلوك الزلزالي للمباني، حيث أدى إلى حصول انهيارات وأضرار معتدلة في المناطق القريبة من المركز السطحي لكنه أحدث انهيارات وأضرار عنيفة في بعض المناطق التي تبعد 350 كم عن مدينة المكسيك، ويعتبر هذا الزلزال أهم الزلازل التي ساهمت في تطوير الكثير من كودات التصميم الزلزالي في العالم.

يُظهر الشكل (2-أ) تسجيل التسارع الأرضي (الأكسيلوغرام) لموقعين متقاربين UNAM و SCT، أما الشكل (2-ب) فيوضح الاستجابة الطيفية لتسجيل التسارع الأرضي المبين في الشكل (2-أ)، ويلاحظ من مخططات الاستجابة الطيفية أن التسارع الطيفي (Spectral Acceleration) في الموقع SCT كان أكبر بعشرة أضعاف من التسارع الطيفي في الموقع UNAM، وباستخدام مخطط الاستجابة الطيفية يتبين أن الزمن الدوري المسيطر / الدور السائد (Predominant period) للموقع SCT كان 2 ثانية. ولأخذ فكرة عن الفرق بين طبيعة الموقع SCT و UNAM يمكن استعراض خواص التربة في الموقعين:

الموقع UNAM: تتكون تربته من الصخر
الموقع SCT: تتكون تربته من طبقة من الطين الرخو (Soft clay) يتراوح عمقها بين 35-40 متر، ومعدل سرعة الموجات القاصة في هذه الطبقة 75m/sec تقريباً.

4. الانزلاقات الأرضية Landslides

تحدث الانزلاقات الأرضية عادة في المناطق الجبلية المنحدرة أو شديدة الانحدار والتي تتكون تربتها السطحية من الحور أو الطين، وعادة يمكن للانزلاقات الأرضية أن تحدث بسبب الاستخدام الخاطئ للأرض كأعمال البناء والقطع والحفر، وتعتبر الزلازل عامل محفز لحصول الانزلاقات في المناطق التي لها قابلية لحصول انزلاقات.

4.1 أسباب حصول الانزلاقات الأرضية

تعتبر طبيعية ونوعية التربة والتركيب الجيولوجي أهم العوامل التي قد تؤدي لحصول الانزلاقات الأرضية في المناطق المنحدرة أو شديدة الانحدار، أن الإشارة الأولية لحدوث الانزلاقات الأرضية، هي الشقوق السطحية في القسم العلوي للمناطق المنحدرة، وعادة ما تكون هذه الشقوق عمودية على اتجاه الحركة، وغالباً ما تمتلئ هذه الشقوق تدريجياً بالمياه حتى تضعف التربة وتزيد القوة الأفقية التي تحدث الانزلاقات. أن القوى الأساسية المسببة للانزلاقات بشكل عام هي الجاذبية الرضوية، ويمكن أن يكون لحدوث هزات أرضية أو أحداث تغير في شكل واتزان المنطقة، دوراً في هذه الانزلاقات، وتحدث الانزلاقات عادة عندما تتساوى أو تتجاوز قوة القص المؤثرة مع قوة تحمل التربة للقص (انظر الشكل 4، والى مجلة المهندس الفلسطيني الاعداد الصادرة عام 1998).

أن اعتماد سياسة وطنية لاستخدامات الأراضي، وفق الأسس والمعايير الخاصة بذلك يؤدي إلى تجنب حدوث الانزلاقات الأرضية، سواء تلك التي تنتج من جراء حدوث هزات أرضية أو غير ذلك، ومثال على ذلك ما حصل في أكثر من منطقة في فلسطين (انظر الشكل 5) وفي كثير من الدول العربية، ويمكن أخذ حالات الانزلاقات التي حصلت في مناطق في نابلس وجنين والخليل كحالة دراسية.

وبأخذ الانزلاقات التي حصلت في منطقة الجبل الأبيض في منطقة نابلس كمثال، يمكن تلخيص الأسباب التي أدت إلى حصول الانزلاقات في الجبل وفقاً لتقرير الدراسة التي تم إجراؤها (دبيك، جردانة وجوهري، مجلة المهندس الفلسطيني الاعداد الصادرة عام 1998) بما يلي:

* السبب الرئيسي هو طبيعية المنطقة، فهي تحتوي على

تربة طينية كلسية (تتكون من صخور كلسية متماسكة بملاط من المواد الطينية والكلسية) تفقد الكثير من قوتها عند تسرب الماء إليها، فتصبح القوى التي تسبب الانزلاق وخاصة الناتجة عن تأثير الجاذبية الأرضية أكبر من القوى المعاكسة لها بسبب فقدان هذا النوع من التربة لجزء كبير من قوته (شكل 4).

* تعرضت المنطقة إلى قطع كبير في المنطقة السفلية للانحدار قبل ثلاث سنوات من حصول انزلاقات، وفي نفس الفترة الزمنية تقريباً تم بناء منزل في المنطقة العلوية للانحدار، وقد لوحظ خلال هذه السنوات ظهور تشققات أرضية في المنطقة العلوية للمنحدر، وكذلك ظهور شقوق وتصدعات في المنزل الذي تعرض للانهيال لاحقاً، بالإضافة لحصول تشوهات طفيفة لشارع نابلس طولكرم في الجزء المحاذي لمنطقة الانزلاق.

* حركة المركبات على الشارع المحاذي للمنطقة، وحصول هزات أرضية خفيفة قبل أيام من حصول الانزلاقات، تعتبر عوامل اضافية ذات تأثير ثانوي جداً، إلا أن حصولها مع وجود الأسباب التي سبق ذكرها يؤدي إلى إضافة قوى فجائية، وبالتالي مساهمتها في تشكيل آلية سريعة للانزلاق.

انزلاقات وتدحرج القطع الصخرية:

إضافة للانزلاقات الكتلية بأنواعها المختلفة، قد تتعرض المناطق الجبلية لتدحرج القطع الصخرية المفككة التي تحدثها الزلازل القوية، وهذا فعلاً ما حصل في بعض دول العالم (انظر الشكل 6)، وينظره سريعة إلى المنحدرات الجبلية في كثير من المناطق في فلسطين وفي العالم العربي بشكل عام، نلاحظ أن هناك تجمعات سكنية ومنشآت موجودة بالقرب أو خط مسار تدحرج القطع الصخرية المفككة والموجودة على سطح الأرض.

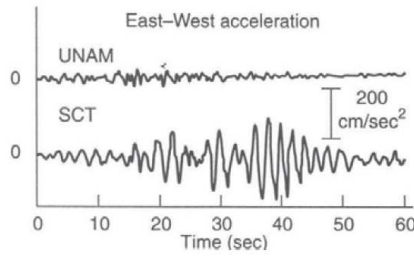
وللاطلاع على بعض الانزلاقات التي حصلت في العالم نتيجة لحصول الزلازل (انظر الشكل 7).

5. تميؤ التربة

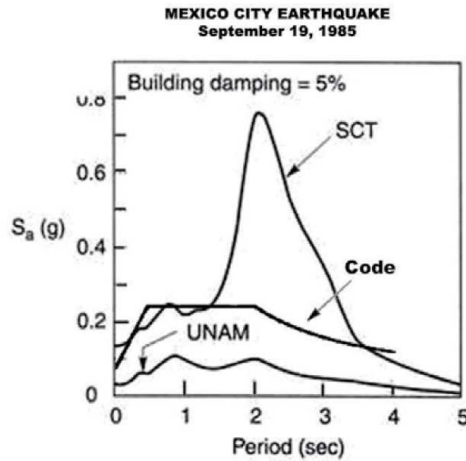
Soil Liquefaction

تعرض التربة الرملية المشبعة بالرطوبة (التربة الرملية الموجودة أسفل منسوب المياه الجوفية) إلى حركات أرضية زلزالية قد يؤدي

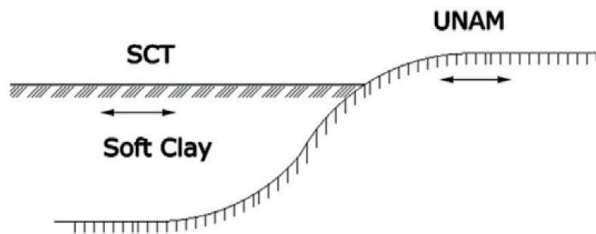




A) Time Histories.



B) Response Spectra



C) Soil Condition

إلى تميؤها، فمرور الموجات الزلزالية القاصة في حبيبات التربة الرملية المشبعة بالمياه يؤدي إلى خلخلة جزئيات التربة، وبالتالي زيادة الضغط المائي واندفاع جزئيات هذه التربة إلى الأعلى، وهذا يعني تميؤ التربة أي تحول تربة الموقع إلى سائل لزج. وأظهرت الأحداث الزلزالية (الشكل 8) أن حصول ظاهرة التميؤ قد أدى لحصول أضرار وخسائر كبيرة، وعادة ما تكون المناطق الساحلية هي الأكثر تأثراً من حصول هذه الظاهرة، وتميؤ التربة يمكن أن يحصل بعدة أشكال ويؤدي بدوره إلى أضرار وانهارات مختلفة. يتطلب معالجة تربة المناطق المعرضة للتميؤ إجراء دراسات جيوتقنية متقدمة وغالباً ما تكون تكلفة هذه المعالجة عالية جداً، لذلك يعطي الأولوية دائماً لتجنب استخدام المناطق المحتمل تعرضها للتميؤ، ويراعى ذلك في سياسة استخدام الأراضي التي تعتمدها الدولة.

6. تأثير تربة الموقع وسياسة استخدام الأراضي Site Effect and Land Use Policy

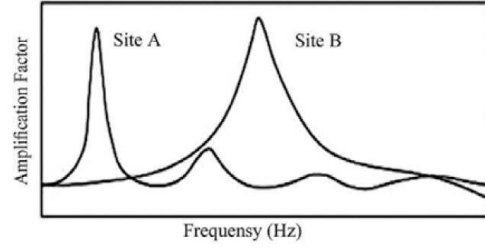
بناءً على نتائج الأحداث الزلزالية التي حصلت في العالم، أظهر عامل تأثير الموقع بما لا يدعو للشك أن الكثير من الأضرار والخسائر التي ترافق حصول الزلزال كان سببها التضخم الزلزالي الذي تحدثه تربة الموقع، والانزلاقات الأرضية التي ترافق حصول بعض الزلازل بالإضافة إلى ظاهرة التميؤ.

من وجهة النظر الهندسية يمكن معالجة أي موقع أو تصميم وتنفيذ أي مبنى وبغض النظر عن موقعه، لكن ذلك سيؤدي إلى حصول زيادة كبيرة جداً على سعر التكلفة، لذلك تعطى الأولوية دائماً لتجنب عامل تأثير الموقع ما أمكن، وهذا يتطلب وضع سياسة واضحة لاستخدامات الأراضي في الدول، بحيث يتم استخدام الأراضي وفقاً لطبيعتها ومراعاة جميع العوامل والمتطلبات التي تحكم الاستخدامات المختلفة، حيث يتم تصنيف الأراضي إلى ثلاث أنواع هي: مناطق حماية وتطوير محدود وتطوير مراقب.

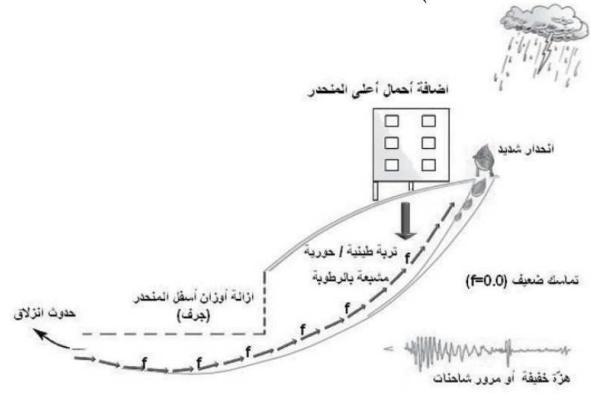


شكل (1): انهيار المباني بسبب ظهور ظاهرة الرنين - زلزال المكسيك 1985

شكل (2): الحركات الأرضية السطحية والتضخيم الزلزالي نتيجة تأثير الموقع - زلزال المكسيك



شكل (3): العلاقة بين تردد تربة الموقع ومعامل التضخيم (Steven Kramer)

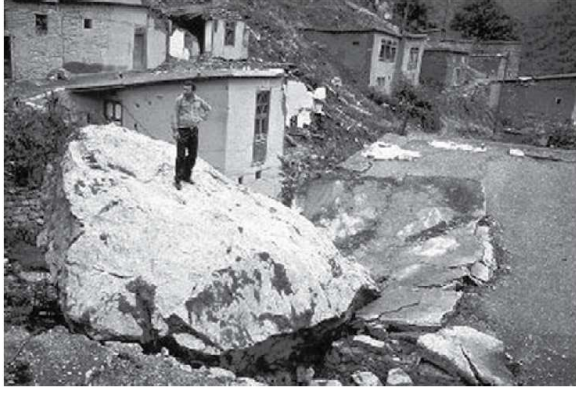


شكل (4): كيفية حصول الانزلاقات الأرضية



Next

شكل (5): مشاهدات لانزلاقات حصلت في فلسطين



شكل (6): تساقط وتدحرج القطع الصخرية في المناطق الجبلية المنحدرة بسبب تعرض هذه المناطق للهزات الأرضية



شكل (7): مشاهدات لانزلاقات حصلت في العالم
نتيجة حصول الزلزال

Deterministic Seismic Hazard Analysis

CEE 431/ESS465

Deterministic Seismic Hazard Analysis

- Earliest approach taken to seismic hazard analysis
- Originated in nuclear power industry applications
- Still used for some significant structures
 - Nuclear power plants
 - Large dams
 - Large bridges
 - Hazardous waste containment facilities
 - As “cap” for probabilistic analyses

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Corps of Engineers Regulation 1110-2-1804 (1995)

Sec. 5.h.2.a

Deterministic seismic hazard analysis (DSHA).

The DSHA approach uses the known seismic sources sufficiently near the site and available historical seismic and geological data to generate discrete, single-valued events or models of ground motion at the site. Typically one or more earthquakes are specified by magnitude and location with respect to the site. Usually the earthquakes are assumed to occur on the portion of the site closest to the site. The site ground motions are estimated deterministically, given the magnitude, source-to-site distance, and site condition.

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Consists of four primary steps:

1. Identification and characterization of all sources
2. Selection of source-site distance parameter
3. Selection of “controlling earthquake”
4. Definition of hazard using controlling earthquake

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Identification

All sources capable of producing significant ground motion at the site

Large sources at long distances

Small sources at short distances

Characterization

Definition of source geometry

Establishment of earthquake potential

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Which sources are capable of producing significant motion at the site of interest?

What is significant motion?

Parametric definition

Peak acceleration - usually $\sim 0.05g$

Spectral acceleration - at fundamental period,
if known

Other parameters

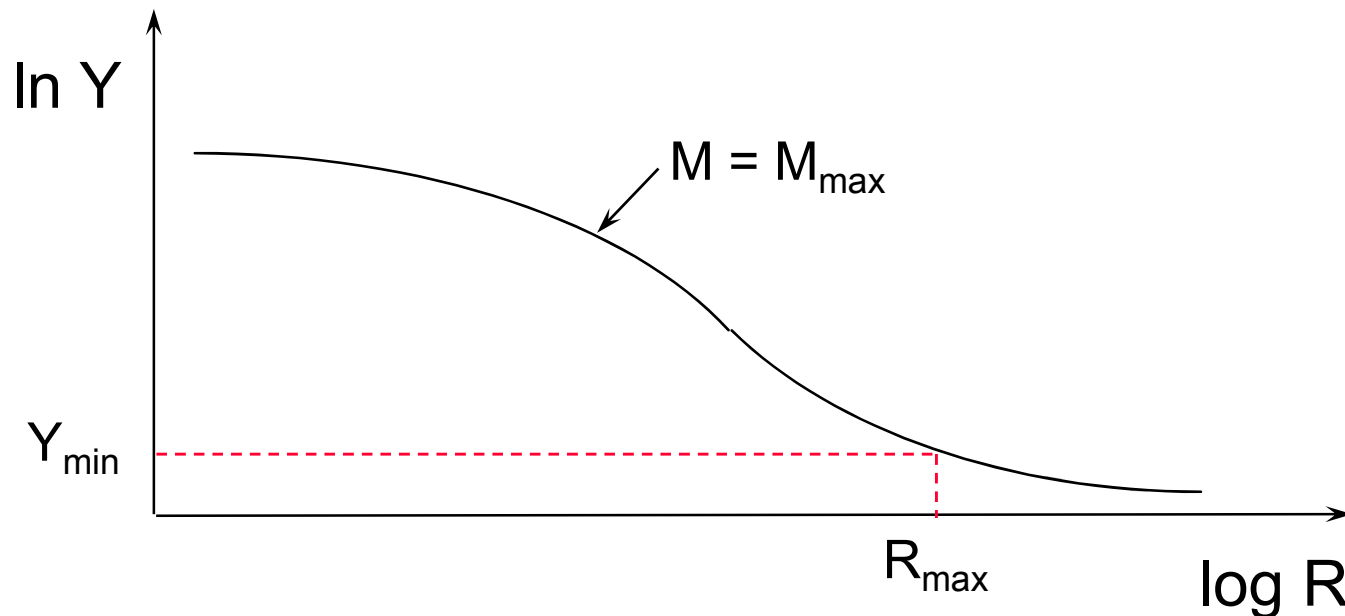
Use predictive (attenuation) relationship to determine
distance of interest

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Estimate maximum magnitude that could be produced by any source in vicinity of site

Find value of R_{\max} - corresponds to M_{\max} at threshold value of parameter of interest, Y_{\min} .



Deterministic Seismic Hazard Analysis

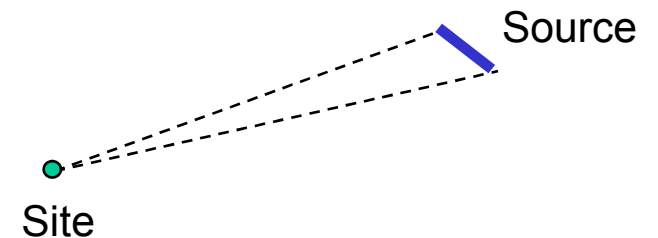
Identification and characterization of all sources

Characterize geometry

Point source

Constant source-site distance

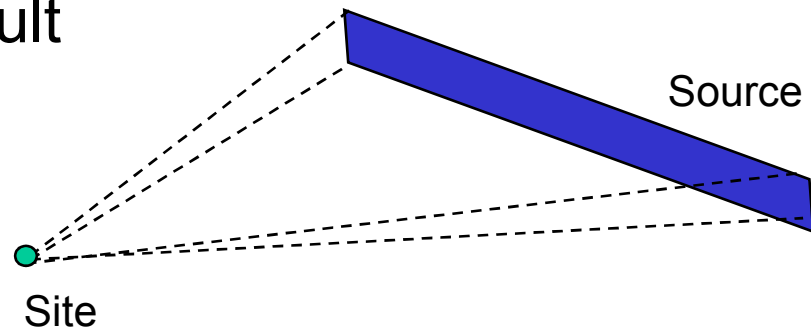
Volcanos, distant short faults



Linear source

One parameter controls distance

Shallow, distant fault



Deterministic Seismic Hazard Analysis

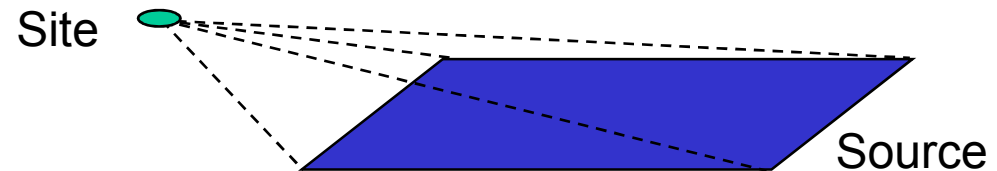
Identification and characterization of all sources

Characterize geometry

Areal source

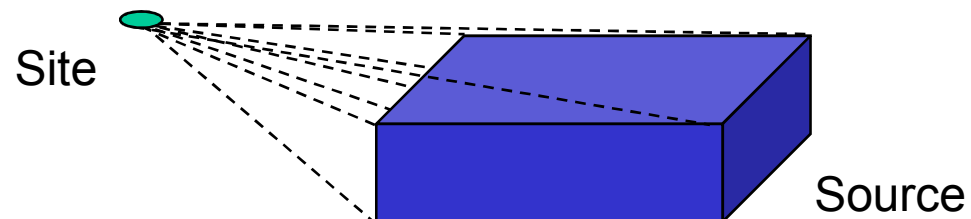
Two geometric parameters control distance

Constant depth crustal source



Volumetric source

Three parameters control distance



Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Establish earthquake potential - typically M_{\max}

Empirical correlations

Rupture length correlations

Rupture area correlations

Maximum surface displacement correlations

“Theoretical” determination

Slip rate correlations

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Slip rate approach

Recall seismic moment

$$M_o = \mu A D$$

where

μ = shear modulus of rock

A = rupture area

D = average displacement over rupture area

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Slip rate approach

If average displacement relieves stress/strain built up by movement of the plates over some period, T , then

$$D = S \times T$$

where S is the slip rate

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Slip rate approach

Then

$$M_o = \mu A S T$$

and the “moment rate” can be defined as

$$\dot{M}_o = M_o/T = \mu A S$$

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Identification and characterization of all sources

Slip rate approach

Knowing the slip rate and knowing (assuming) values of m , A , and T , the moment rate can be used to estimate the seismic moment as

$$M_o = \dot{M}_o T$$

Then

$$M_w = \log M_o / 1.5 - 10.7$$

Deterministic Seismic Hazard Analysis

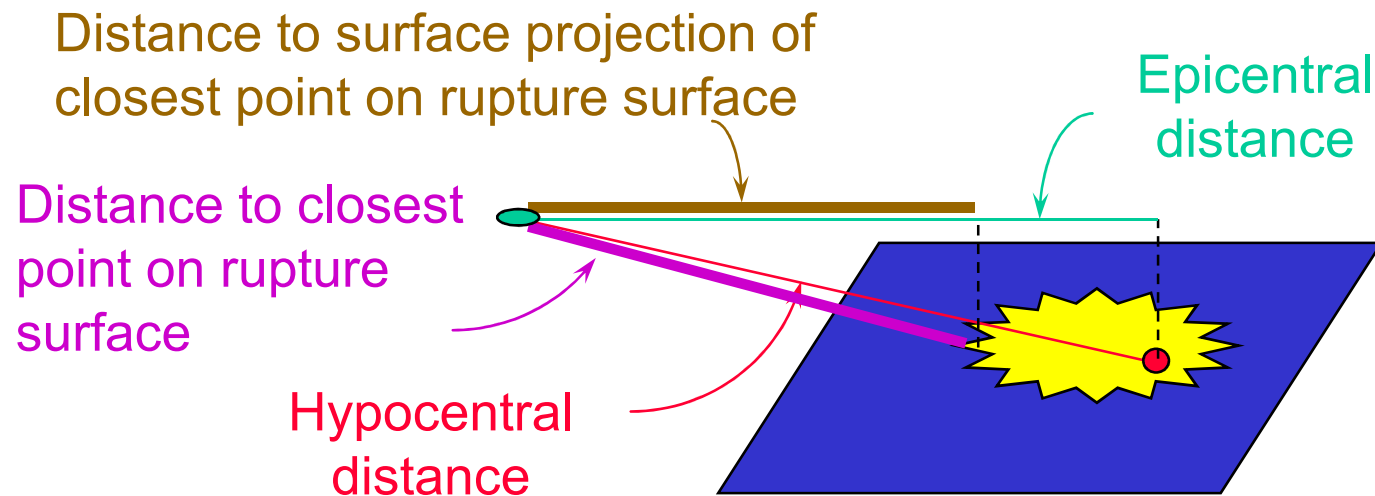
Select source-site distance parameter

Define source-site distance

Must be consistent with predictive relationship

Should include finite fault effect

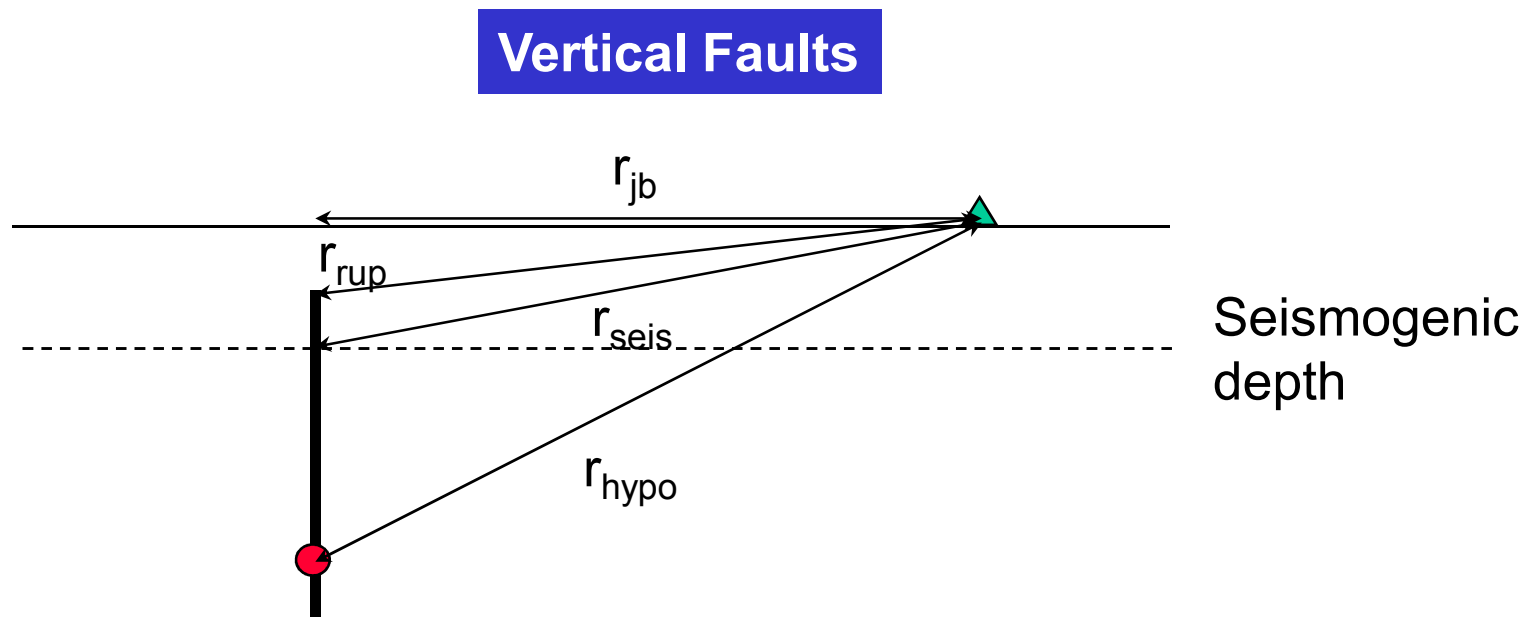
Select source-site distance



Deterministic Seismic Hazard Analysis

Select source-site distance parameter

Distance measures

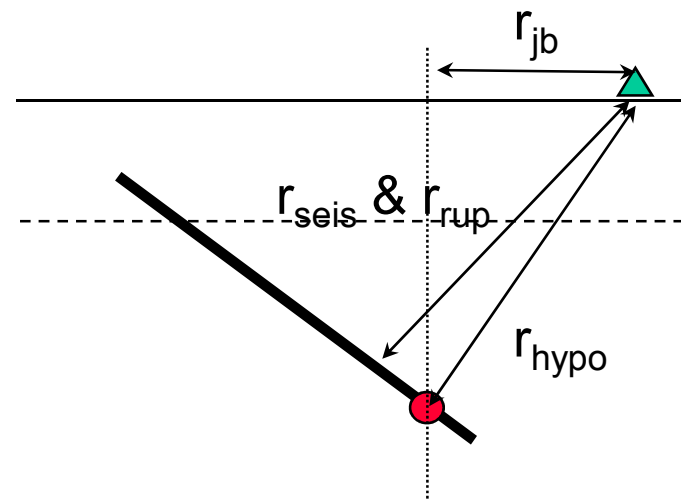
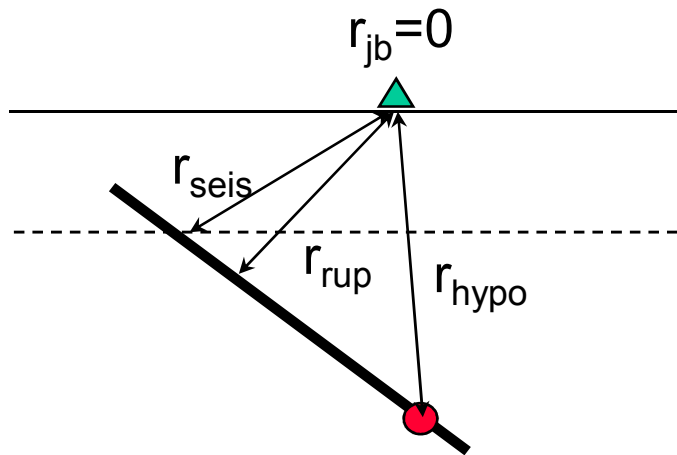


Deterministic Seismic Hazard Analysis

Select source-site distance parameter

Distance measures

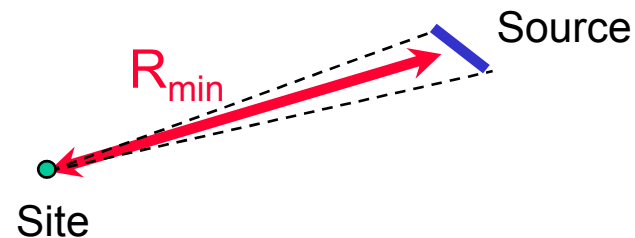
Dipping Faults



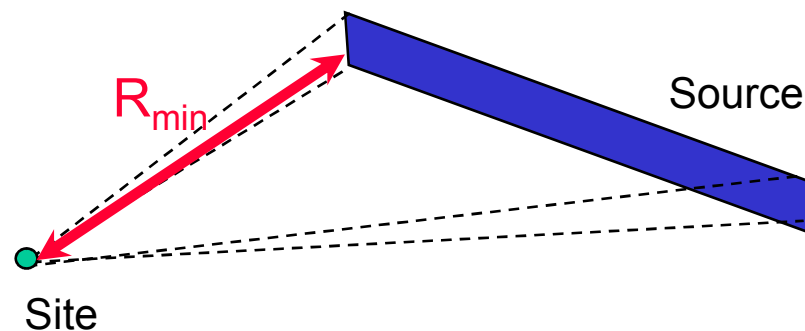
Deterministic Seismic Hazard Analysis

Select source-site distance parameter

Typically assume shortest source-site distance
("worst case" scenario)



Point source

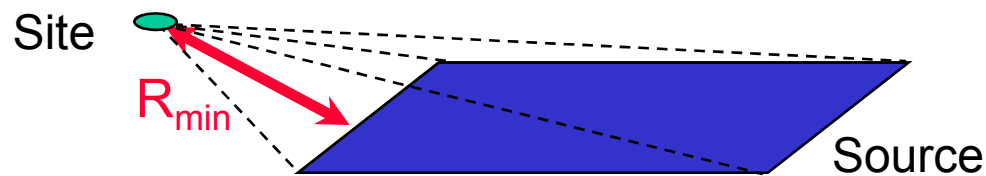


Linear source

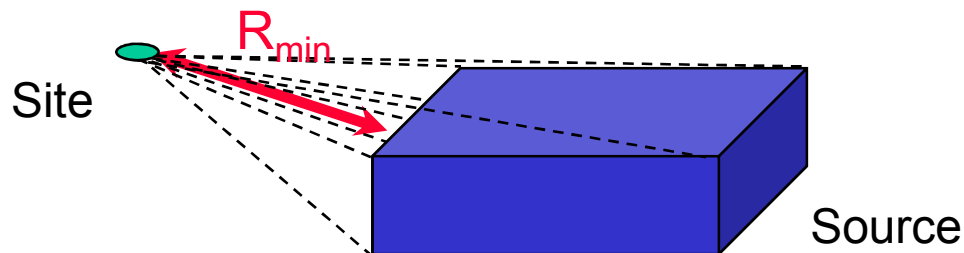
Deterministic Seismic Hazard Analysis

Select source-site distance parameter

Typically assume shortest source-site distance
("worst case" scenario)



Areal source



**Volumetric
source**

Deterministic Seismic Hazard Analysis

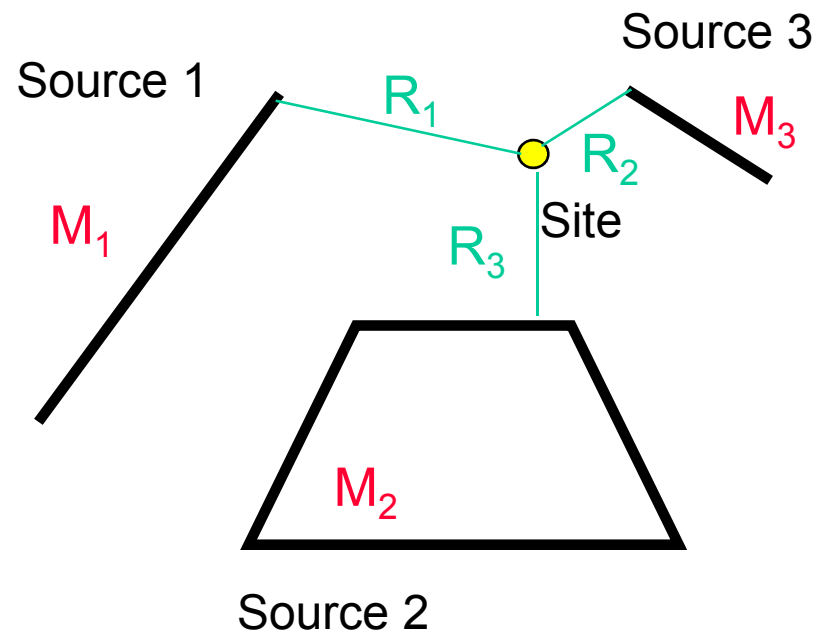
Select controlling earthquake

Decision based on ground motion parameter(s) of greatest interest

- Consider all sources
- Assume M_{\max} occurs at R_{\min} for each source
- Compute ground motion parameter(s) based on M_{\max} and R_{\min}
- Determine critical value(s) of ground motion parameter(s)

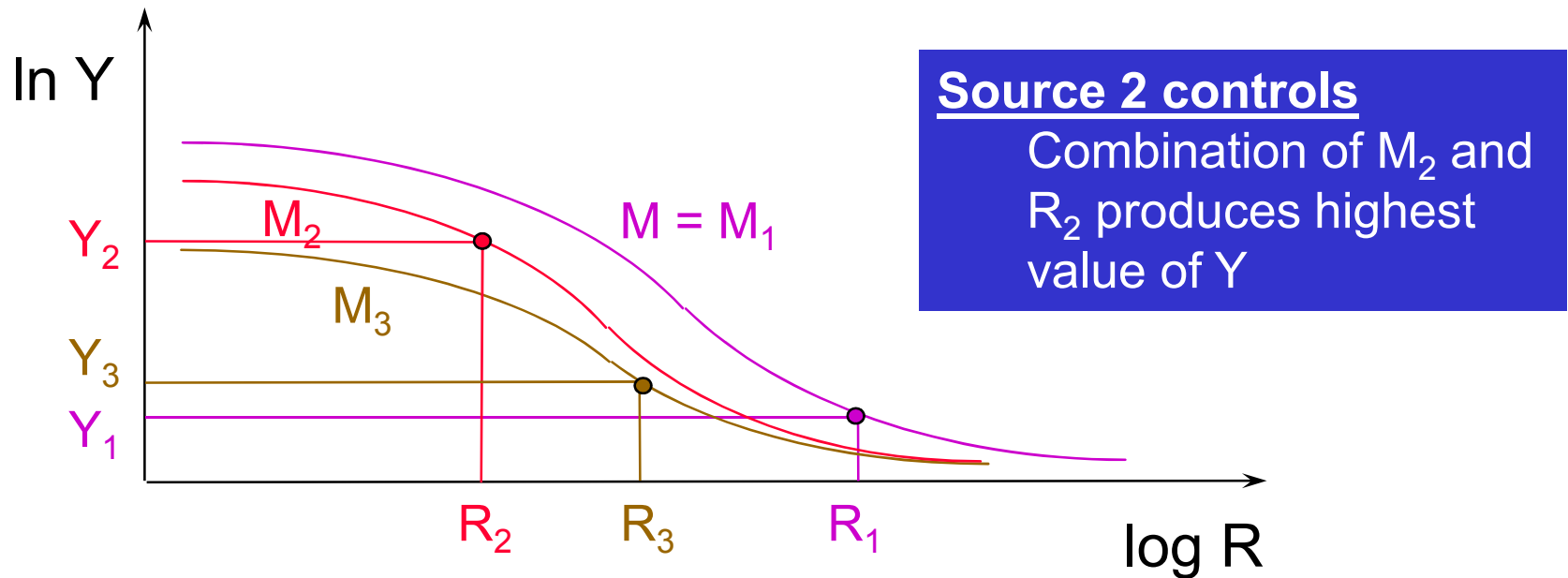
Deterministic Seismic Hazard Analysis

Select controlling earthquake



Deterministic Seismic Hazard Analysis

Select controlling earthquake



Deterministic Seismic Hazard Analysis

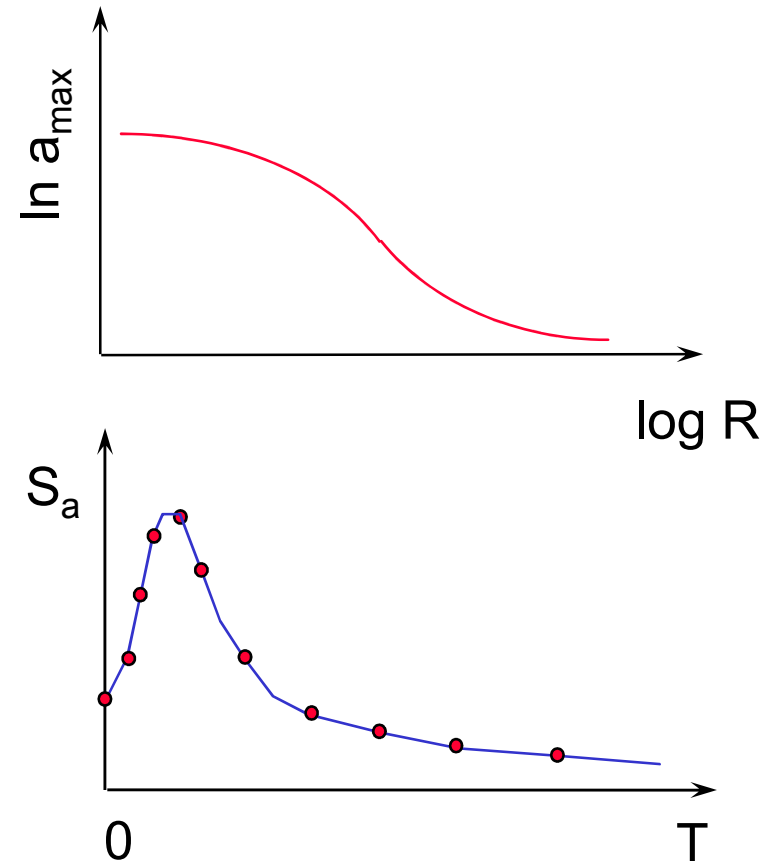
Define hazard using controlling earthquake

Use M and R to determine such parameters as:

Peak acceleration

Spectral accelerations

Duration



Deterministic Seismic Hazard Analysis

Comments

DSHA produces “scenario” earthquake for design
(design earthquake)

As commonly used, produces worst-case scenario

DSHA provides no indication of how likely design
earthquake is to occur during life of structure

Design earthquakes may occur every 200 yrs in
some places, every 10,000 yrs in others

DSHA can require subjective opinions on some
input parameters

Variability in effects not rationally accounted for

Deterministic Seismic Hazard Analysis

Corps of Engineers Regulation 1110-2-1804 (1995) Sec. 5.h.2.a

The DSHA approach uses the **known** seismic sources **sufficiently near** the site and **available** historical seismic and geological data to generate discrete, single-valued events or models of ground motion at the site.

Typically one or more earthquakes are specified by magnitude and location with respect to the site. **Usually** the earthquakes are **assumed** to occur on the portion of the site closest to the site. The site ground motions are estimated deterministically, given the magnitude, source-to-site distance, and site condition.

DSHA calculations are relatively simple, but implementation of procedure in practice involves numerous difficult judgements. The lack of explicit consideration of uncertainties should not be taken to imply that those uncertainties do not exist.

Ground-Motions for Regions Lacking Data from Earthquakes in M-D Region of Engineering Interest

Types of simulations

- Deterministic
 - Deterministic description of source
 - Wave propagation in layered media
 - Used for lower frequency motions
- Stochastic
 - Random source properties
 - Capture wave propagation by simple functional forms
 - Can use deterministic calculations for some parts
 - Primarily for higher frequencies (of most engineering concern)

Types of simulations

- Hybrid
 - Deterministic at low frequencies, stochastic at high frequencies
 - Combine empirical ground-motion prediction equations with stochastic simulations to account for differences in source and path properties (Campbell, ENA)
- Empirical Green's function

Stochastic simulations

- Point source
 - With appropriate choice of source scaling, duration, geometrical spreading, and distance can capture some effects of finite source
- Finite source
 - Many models, no consensus on the best (blind prediction experiments show large variability)
 - Often incorporate point source stochastic model

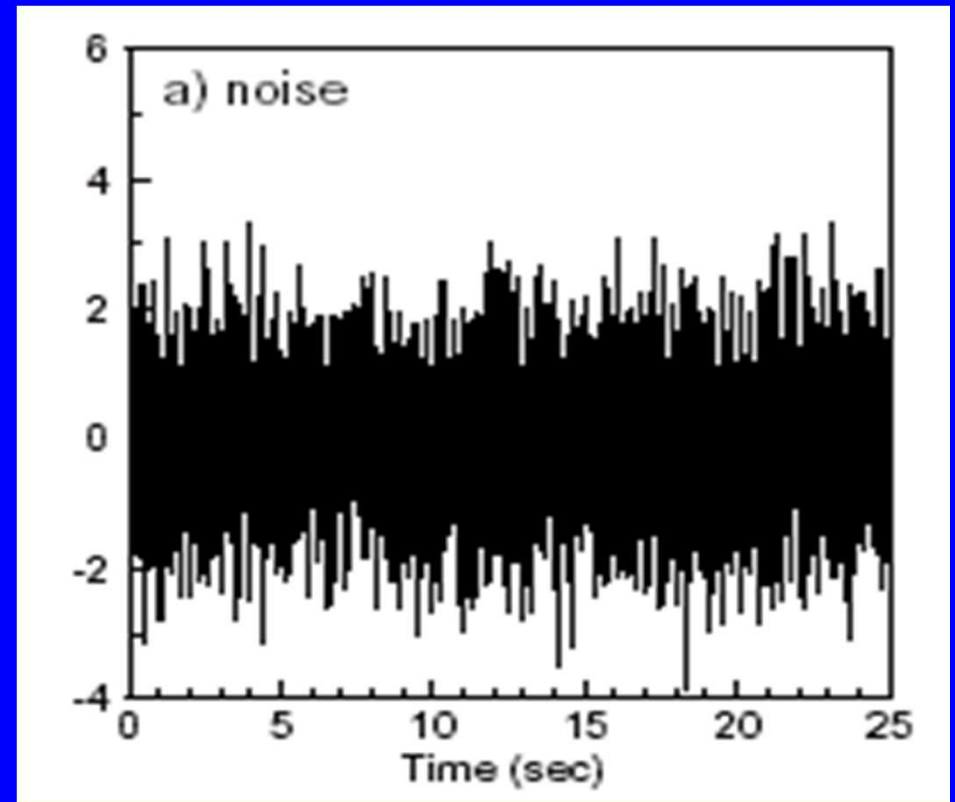
Time-domain simulation

Step 1: Generation of random white noise

- Aim: Signal with random phase characteristics
- Probability distribution for amplitude
 - Gaussian (usual choice)
 - Uniform
- Array size from
 - Target duration

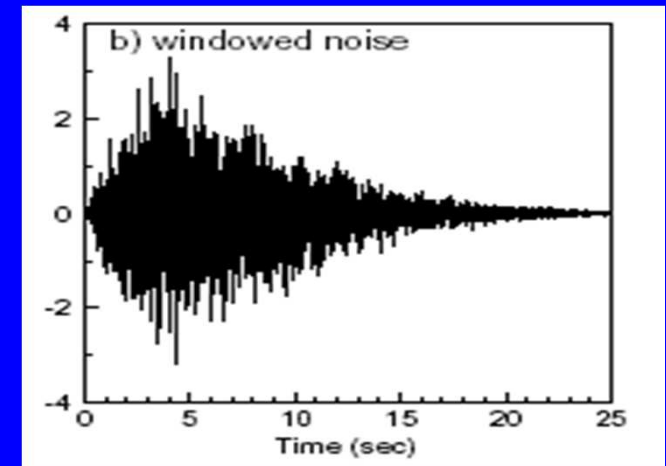
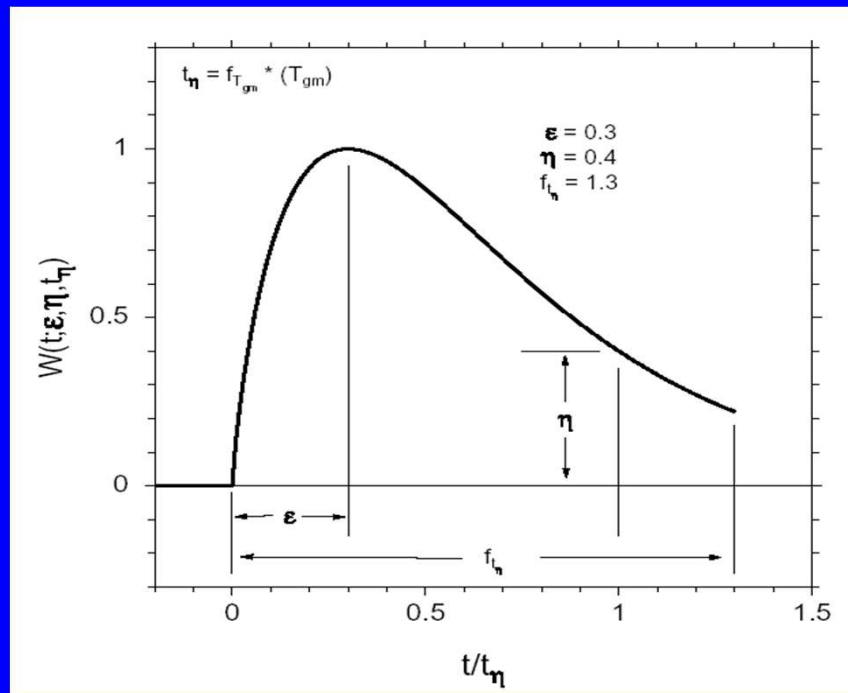
$$T_{gm} = T_{source} + T_{path}$$

- Time step (explicit input parameter)



Step 2: Windowing the noise

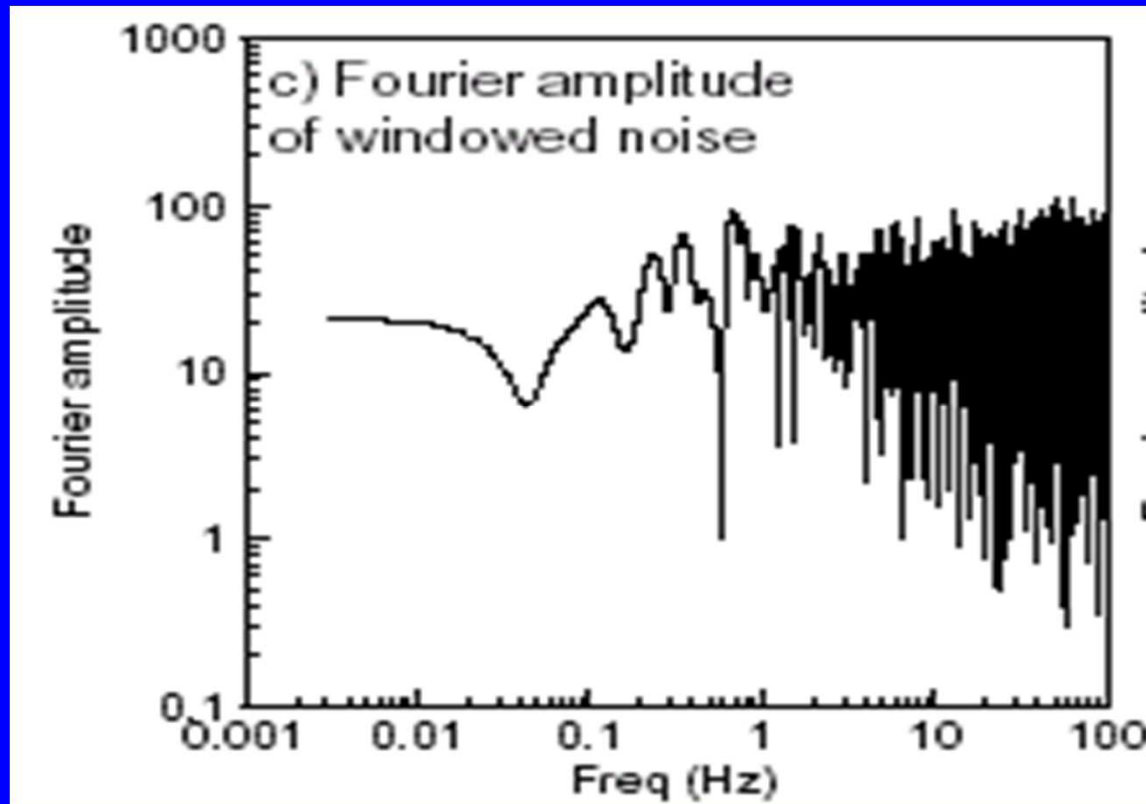
- Aim: produce time-series that look realistic



- Windowing function
 - Boxcar
 - Cosine-tapered boxcar
 - Saragoni & Hart (exponential)

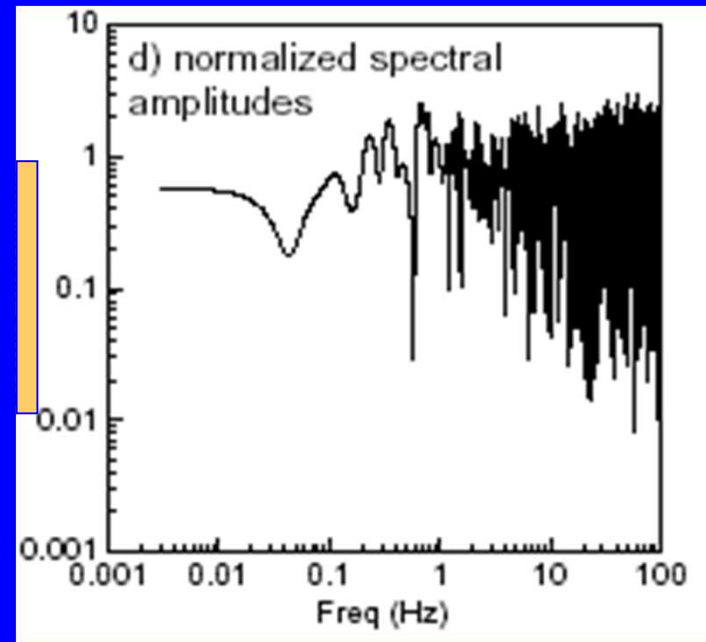
Step 3: Transformation to frequency-domain

- FFT algorithm



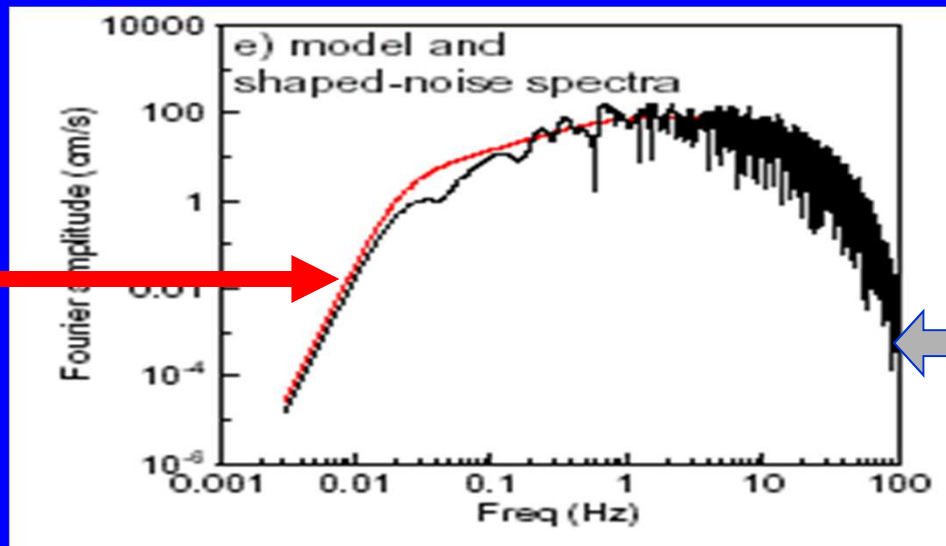
Step 4: Normalisation of noise spectrum

- Divide by rms integral
- Aim of random noise generation = simulate random PHASE only



Normalisation required to keep energy content dictated by deterministic amplitude spectrum

Step 5: Multiply random noise spectrum by deterministic target amplitude spectrum



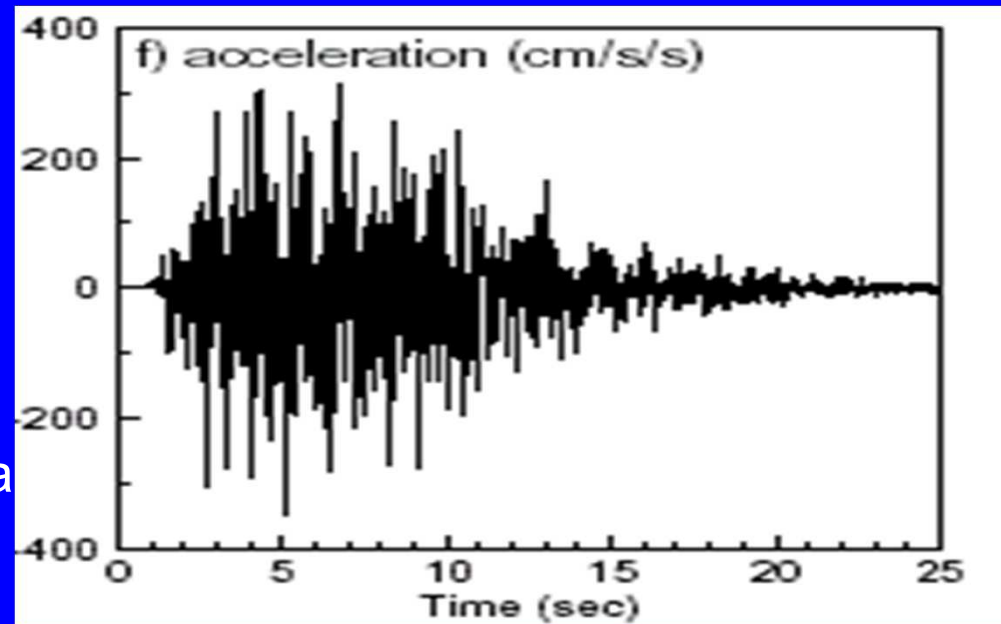
Normalised amplitude spectrum of noise with random phase characteristics

$$Y(M_0, R, f) = E(M_0, f) \otimes P(R, f) \otimes S(f) \otimes I(f)$$

TARGET FOURIER AMPLITUDE SPECTRUM = Earthquake source \otimes Propagation path \otimes Site response \otimes Instrument or ground motion

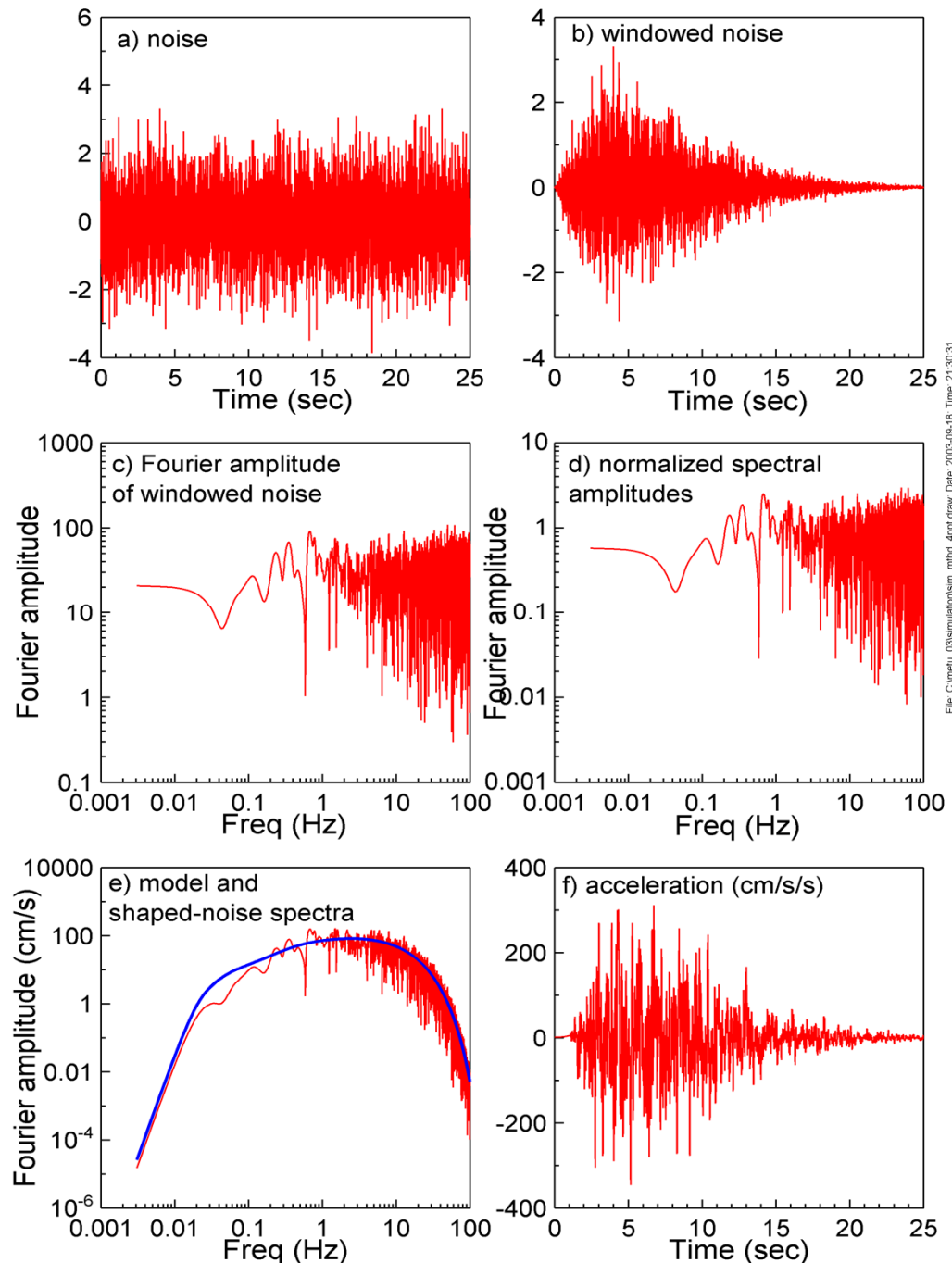
Step 6: Transformation back to time-domain

- Numerical IFFT yields acceleration time series
- Manipulation as with empirical record
- 1 run = 1 realisation of random process
 - Single time-history not necessarily realistic
 - Values calculated = average over N simulations ($50 < N < 200$)

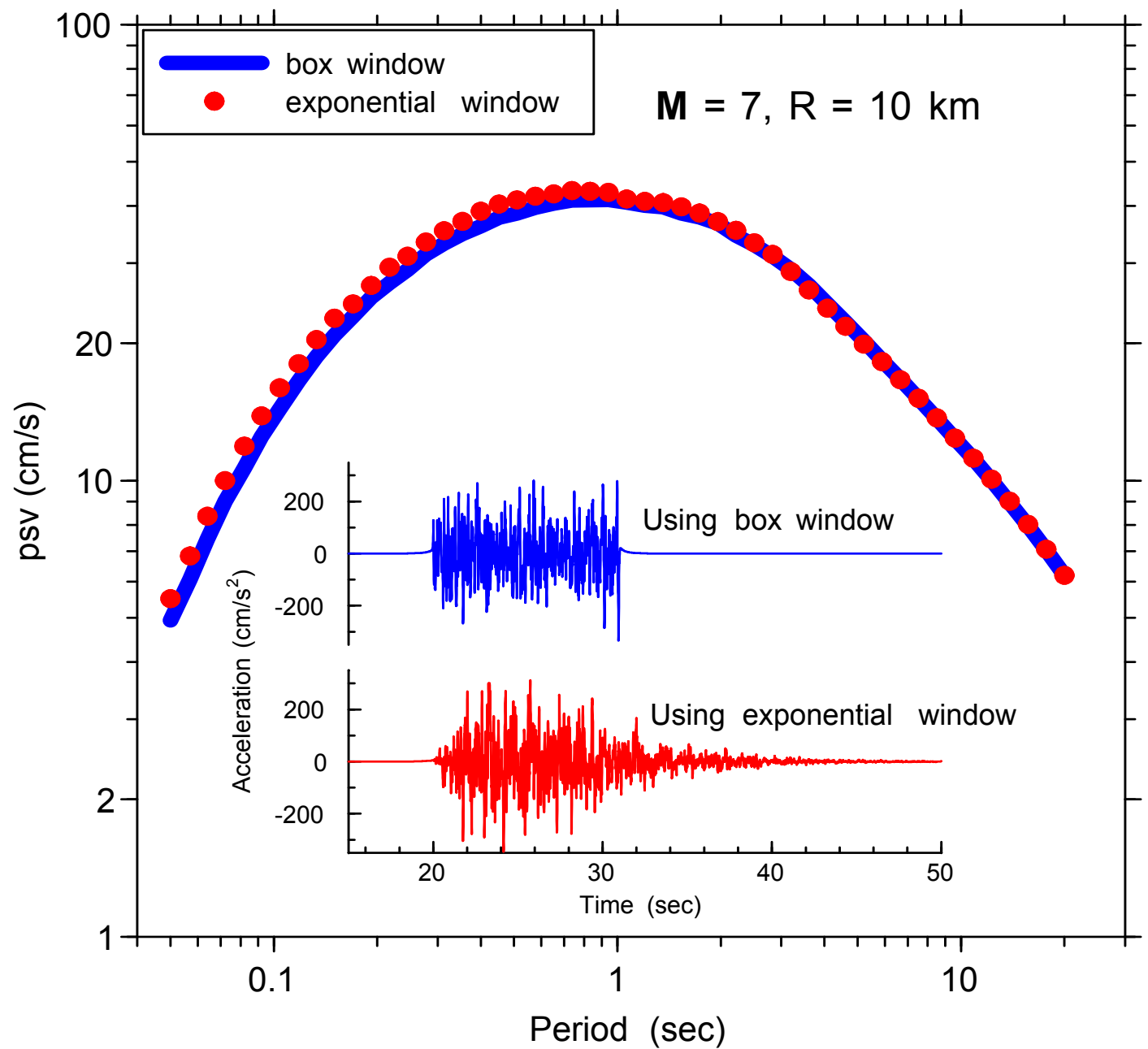


Steps in simulating time series

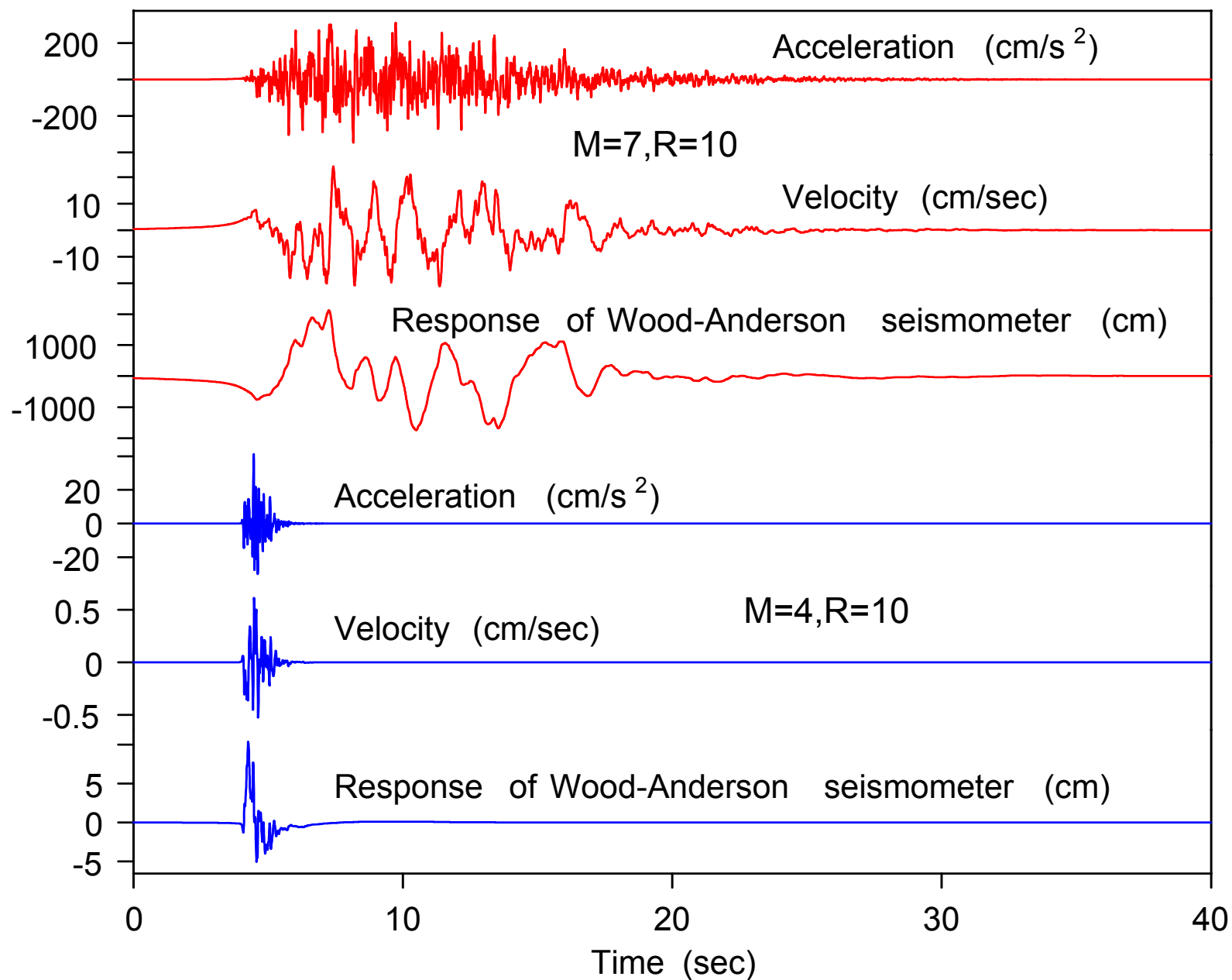
- Generate Gaussian or uniformly distributed random white noise
- Apply a shaping window in the time domain
- Compute Fourier transform of the windowed time series
- Normalize so that the average squared amplitude is unity
- Multiply by the spectral amplitude and shape of the ground motion
- Transform back to the time domain



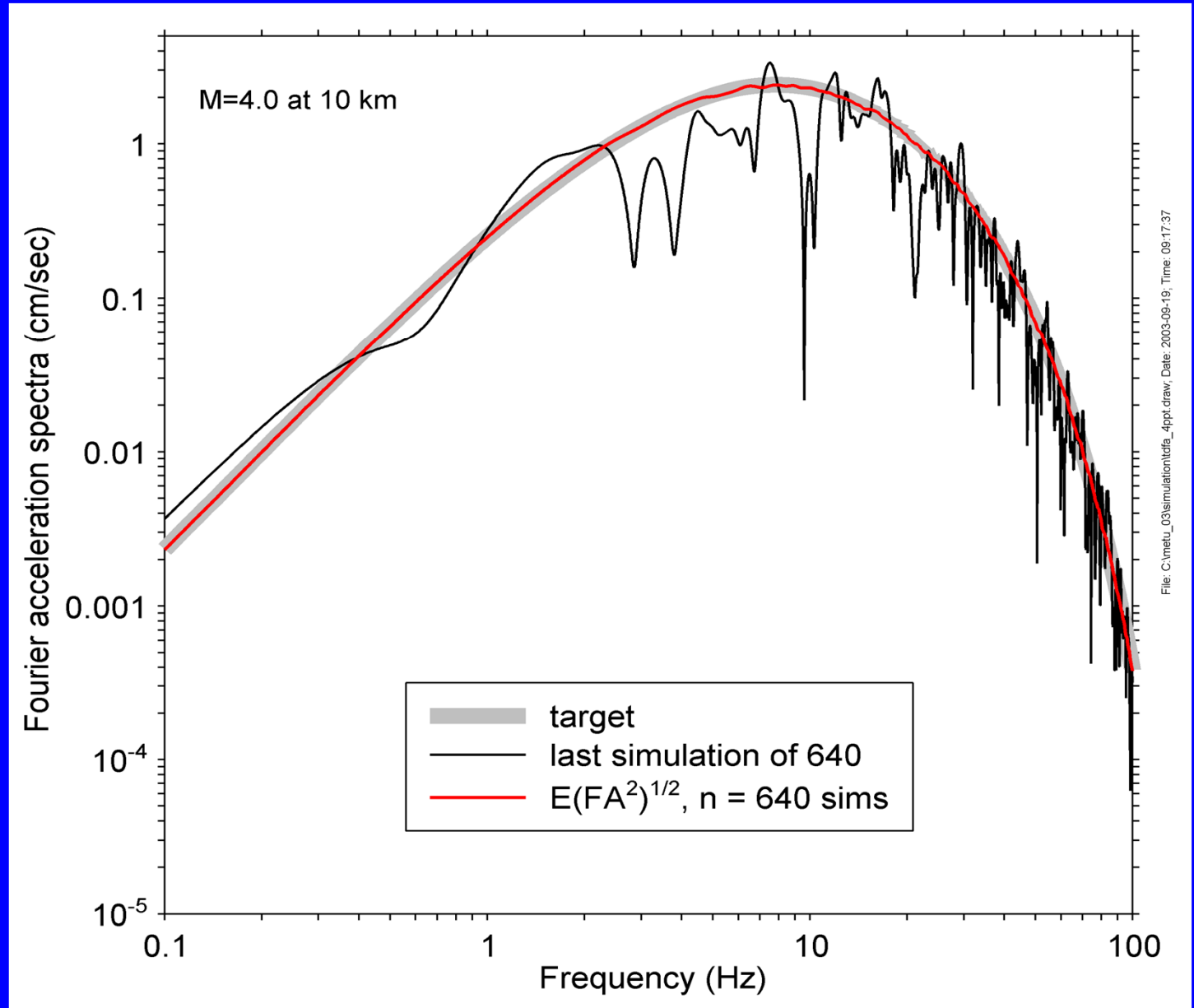
Effect of shaping
window on
response spectra



Acceleration,
velocity,
oscillator
response for
two very
different
magnitudes,
changing only
the magnitude
in the input
file



Warning: the spectrum of any one simulation may not closely match the specified spectrum. Only the average of many simulations is guaranteed to match the specified spectrum



Stochastic method

- To the extent possible the spectrum is given by seismological models
- Complex physics is encapsulated into simple functional forms
- Empirical findings can be easily incorporated

Target amplitude spectrum

Deterministic function of source, path and site characteristics represented by separate multiplicative filters

$$Y(M_0, R, f) = E(M_0, f) \otimes P(R, f) \otimes G(f) \otimes I(f)$$

Earthquake
source

Propagation
path

Site
response

Instrument
or ground
motion

Source Function

Source function $E(M_0, f)$

$$E(M_0, f) = C \times M_0 \times S(M_0, f)$$

Scaling constant

- near-source crustal properties
- assumptions about wave-type considered (e.g. SH)

Seismic moment

Measure of earthquake size

Source DISPLACEMENT Spectrum

Scaling of amplitude spectrum with earthquake size

Scaling constant C

$$C = \frac{\langle R_{\theta\phi} \rangle VF}{4\pi\rho_s \beta_s^3 R_0}$$

- β_s = near-source shear-wave velocity
- ρ_s = near-source crustal density
- V = partition factor
- $\langle R_{\theta\phi} \rangle$ = average radiation pattern
- F = free surface factor
- R_0 = reference distance (1 km).

Brune source model

- Brune's point-source model
 - Good description of small, simple ruptures
 - *"surprisingly good approximation for many large events"*. (Atkinson & Beresnev 1997)
- Single-corner frequency model

$$S(f) = \frac{1}{1 + \frac{f^2}{f_0^2}} = \frac{1}{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$$

- High-frequency amplitude of acceleration scales as:

$$a_{hf} \approx M_0^{1/3} \Delta \sigma^{2/3}$$

Semi-empirical two-corner-frequency models

- Aim: incorporate finite-source effects by refining the source scaling
- Example: AB95 & AS00 models

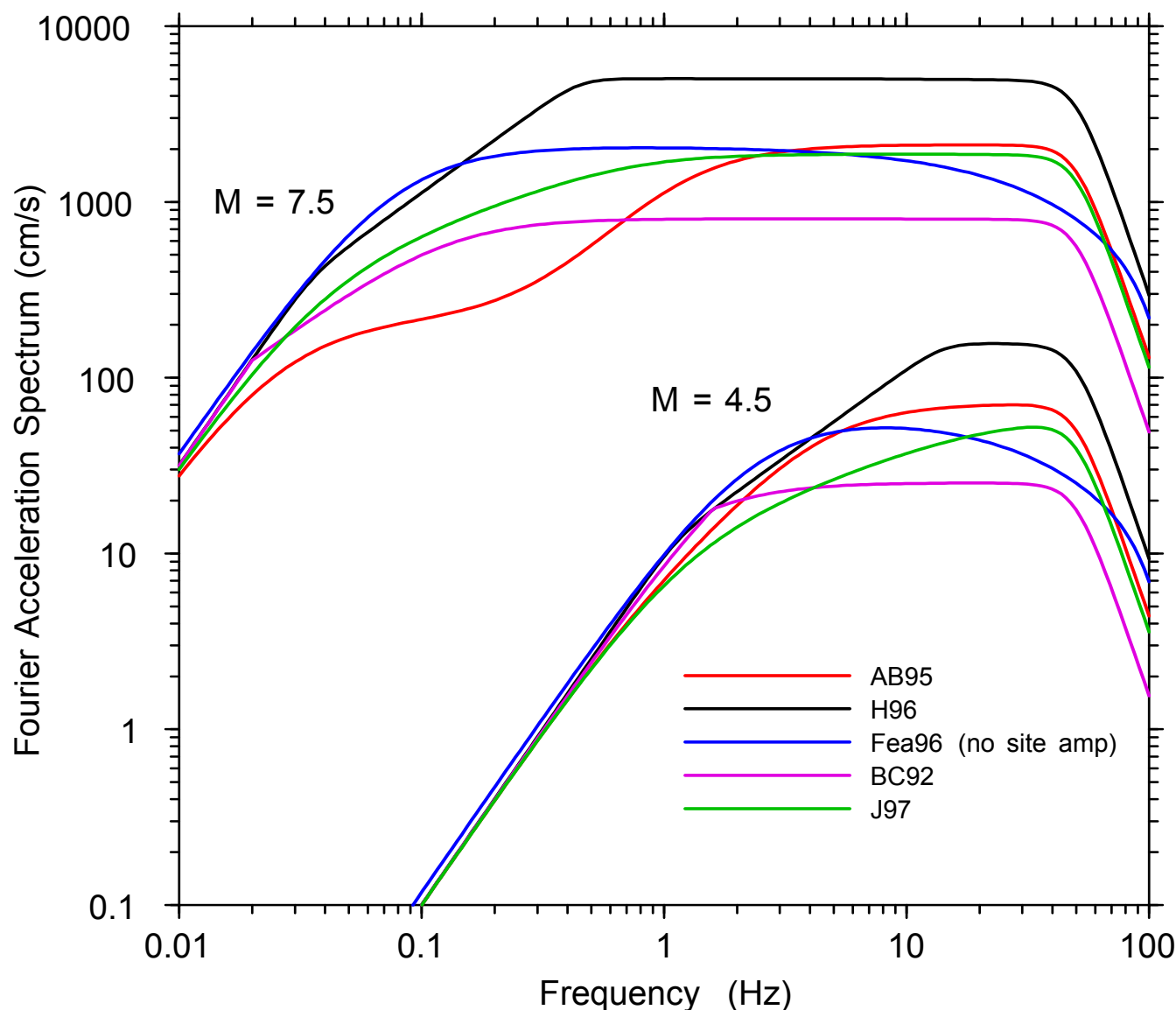
$$S(f) = \frac{1 - \varepsilon}{1 + \frac{f^2}{f_a^2}} + \frac{\varepsilon}{1 + \frac{f^2}{f_b^2}}$$

f_a , f_b and ε determined empirically (visual inspection & best-fit)

- Keep Brune's HF amplitude scaling

$$a_{hf} \approx M_0^{1/3} \Delta \sigma^{2/3}$$

The spectra can be more complex in shape and dependence on source size. These are some of the spectra proposed and used for simulating ground motions in eastern North America. The stochastic method does not care which spectral model is used. Providing the best model parameters is essential for reliable simulation results (garbage in, garbage out).



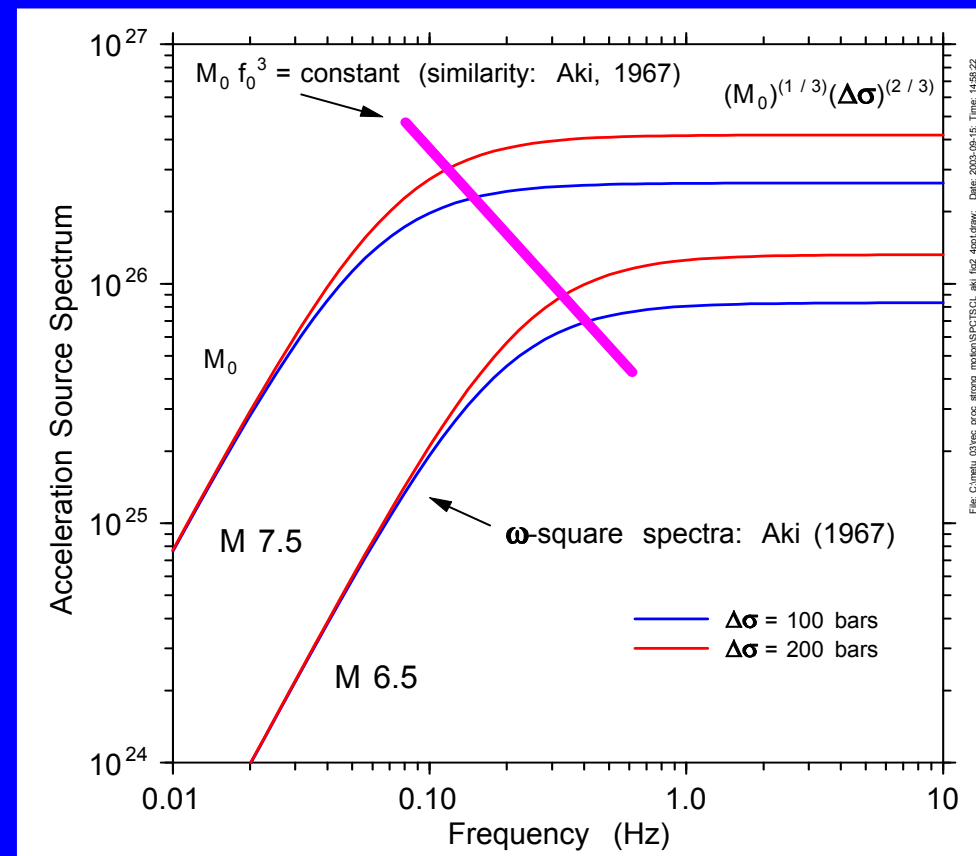
Scaling of the source spectrum

- Based on Aki's (1967) ω^2 -model
 - Single corner frequency
 - For acceleration:
 - LF: ω^2 increase proportional to M_0
 - HF: constant amplitude, depends on M_0 , $\Delta\sigma$ as shown
 - Self-similar scaling

$$M_0 f_0^3 = cst \approx \Delta \sigma$$

- The key is to describe how the corner frequencies vary with **M**.

Even for more complex sources, often try to relate the high-frequency spectral level to a single stress parameter



Source duration

- Required to define array size (both TD & RV)
- Determined from source scaling model via:

$$T_{source} = \frac{w_{f_a}}{f_a} + \frac{w_{f_b}}{f_b}$$

- For single-corner model, $f_a = f_b = f_0$
- Weights w_a and w_b should add up to the distance-independent coefficient in the expression giving total duration

Path Function

Path function $P(R, f)$

$$P(R, f) = \text{Geometrical Spreading (R)} \otimes \text{Anelastic Attenuation (R, f)}$$

Point-source => spherical wave

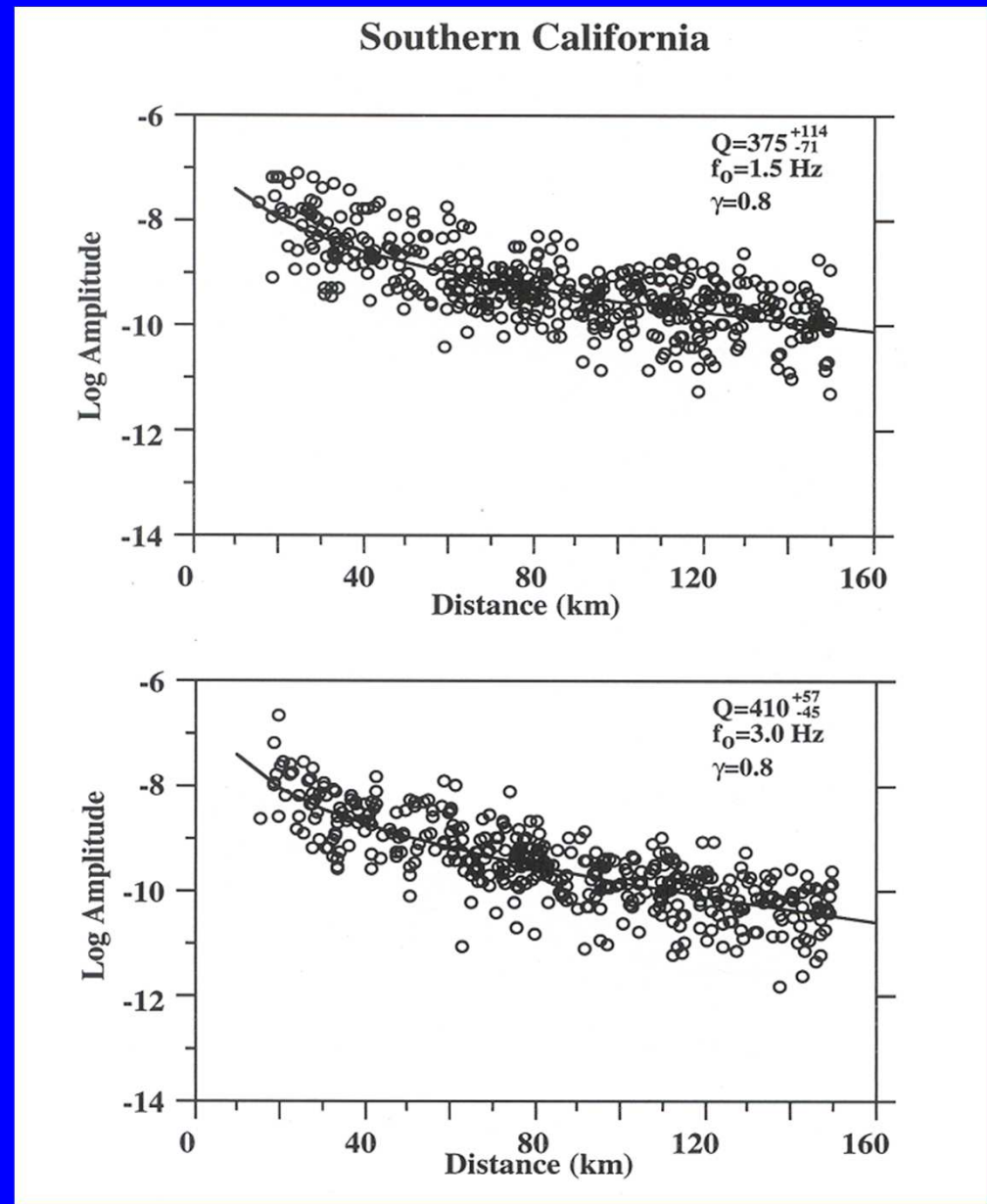


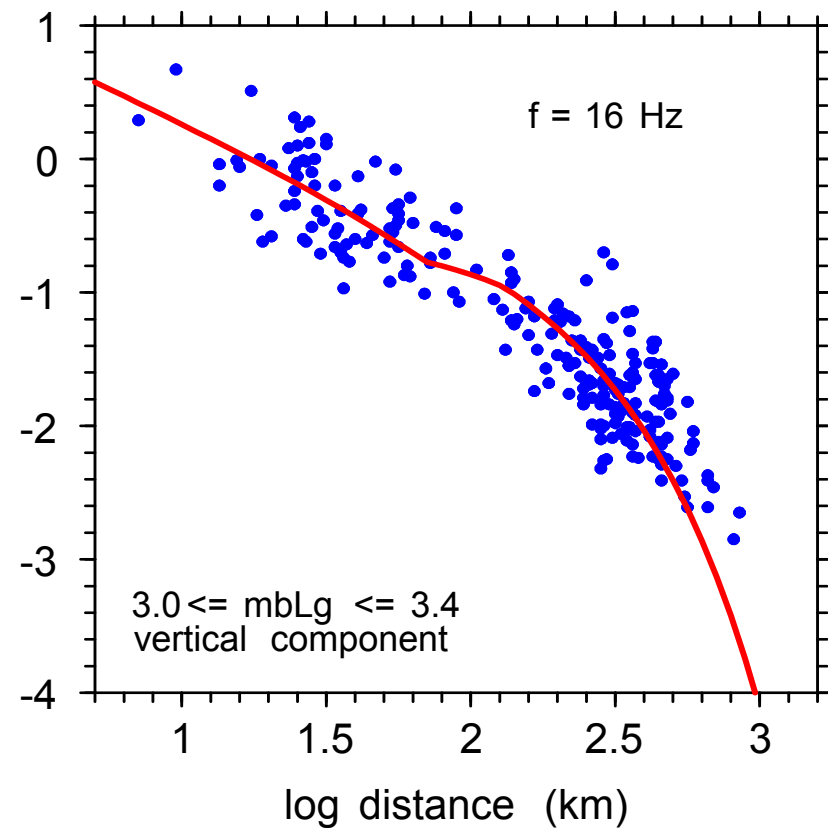
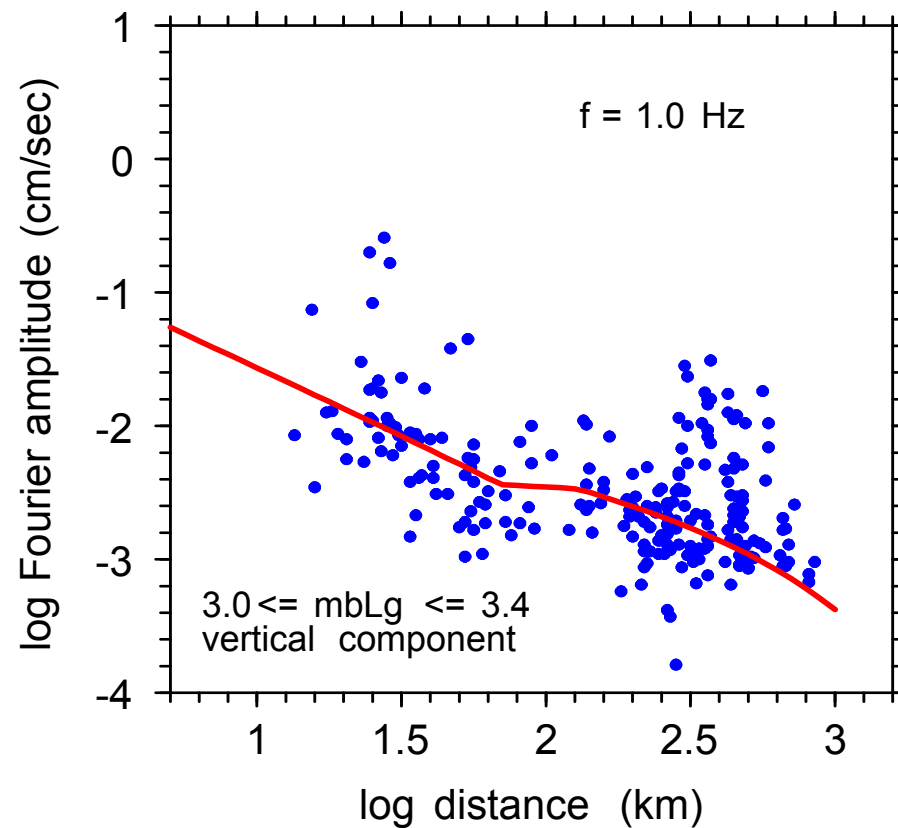
Loss of energy
through spreading of
the wavefront

Propagation medium is
neither perfectly elastic nor
perfectly homogeneous

Loss of energy through
material damping &
wave scattering by
heterogeneities

The overall behavior of complex path-related effects can be captured by simple functions, leaving aleatory scatter. In this case the observations can be fit with a simple geometrical spreading and a frequency-dependent Q operator



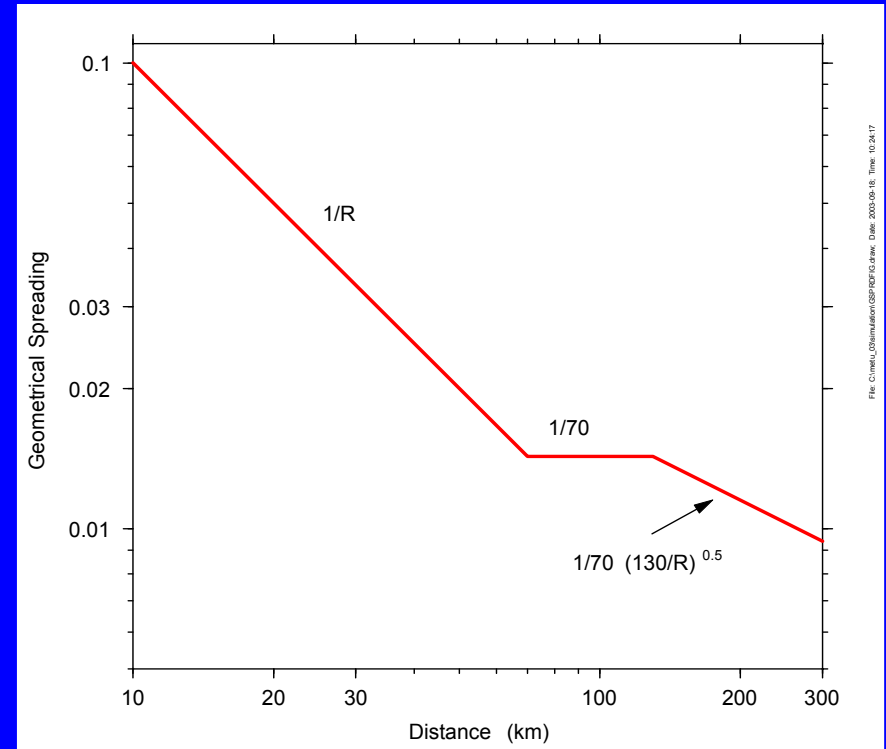


File: C:\netu_03\simulation\Fas01_16_4ppt.draw; Date: 2003-09-18; Time: 10:22:23

In eastern North America a more complicated geometrical spreading factor is needed (here combined with the Q operator)

Geometrical Spreading Function

- Often $1/R$ decay (spherical wave), at least within a few tens of km
- At greater distances, the decay is better characterised by $1/R^\alpha$ with $\alpha < 1$
- SMSIM allows n segment piecewise linear function in $\log(\text{amplitude}) - \log(R)$ space
- Magnitude-dependent slopes possible : allows to capture finite-source effect (Silva 2002)



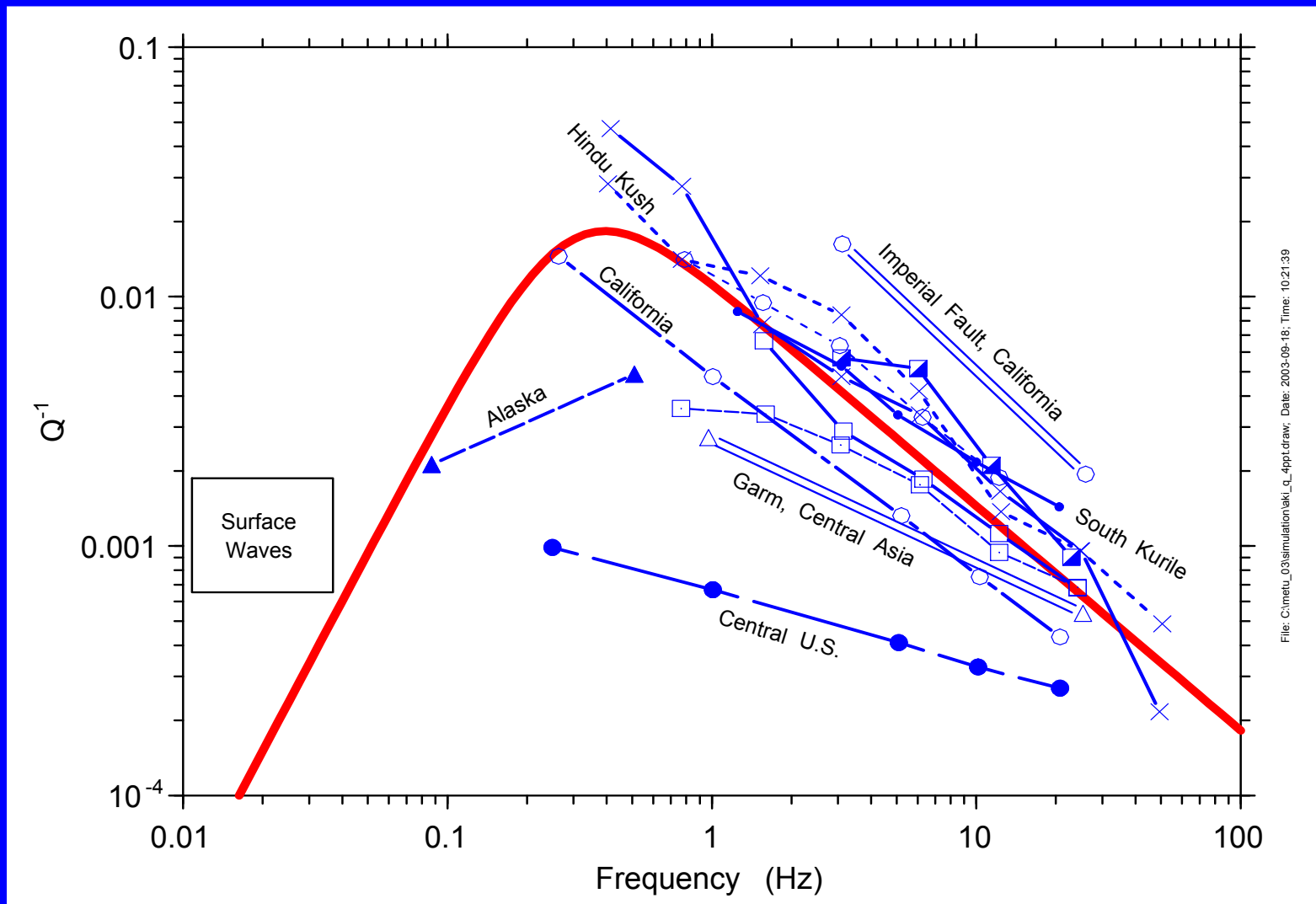
Example: Boore & Atkinson 1995
Eastern North America model

Path-dependent anelastic attenuation

Form of filter:

$$\exp\left(\frac{-\pi f R}{Q(f) c_q}\right)$$

- $Q(f)$ = « quality factor » of propagation medium in terms of (shear) wave transmission
- c_q = velocity used to derive Q ; often taken equal to β_s (not strictly true – depends on source depth)
- N.B. Distance-independent term (κ) removed since accounted for elsewhere



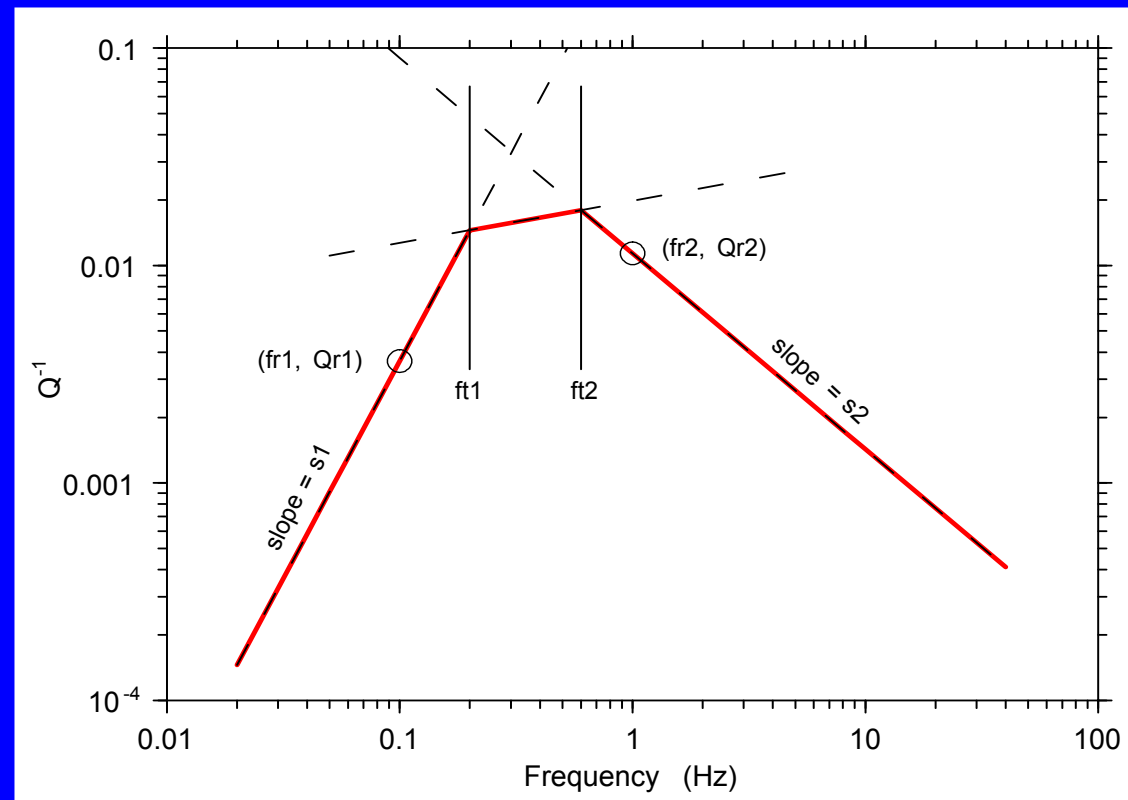
Observed Q from around the world, indicating general dependence on frequency

Wave-transmission quality factor $Q(f)$

- Form usually assumed:

$$Q(f) = Q_0 f^n$$

- Study of published relations led Boore to assign 3-segment piecewise linear form (in log-log space)

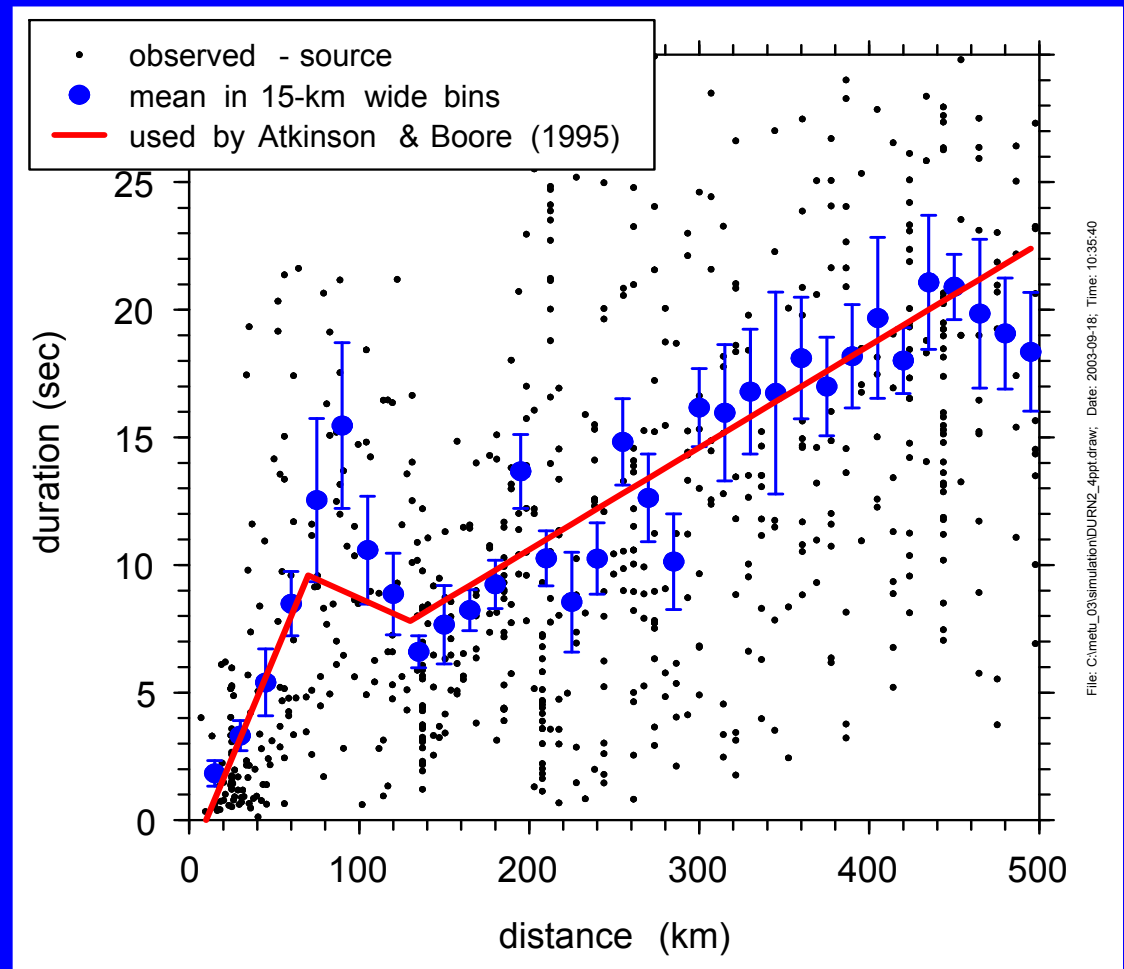


Empirical determination of $Q(f)$

- Assuming simple functional forms for source function and geometrical spreading function (e.g. Brune model & $1/R$ decay)
 - Source-cancelling (for constant Q)
 - Best fit for assumed functional form ($Q=Q_0f^n$)
- Simultaneous inversion of source, path and site effects
 - One unconstrained dimension \Rightarrow additional assumption required (e.g. site amplification)
- Trade-off problems

Path duration

- Required for array size
- Usually assumed linear with distance
- SMSIM allows representation by a piecewise linear function
- Regional characteristic, should be determined from empirical data
- Example: AB95 for ENA



Site Response Function

Site response

- Form of filter:

$$G(f) = A(f) \otimes D(f)$$

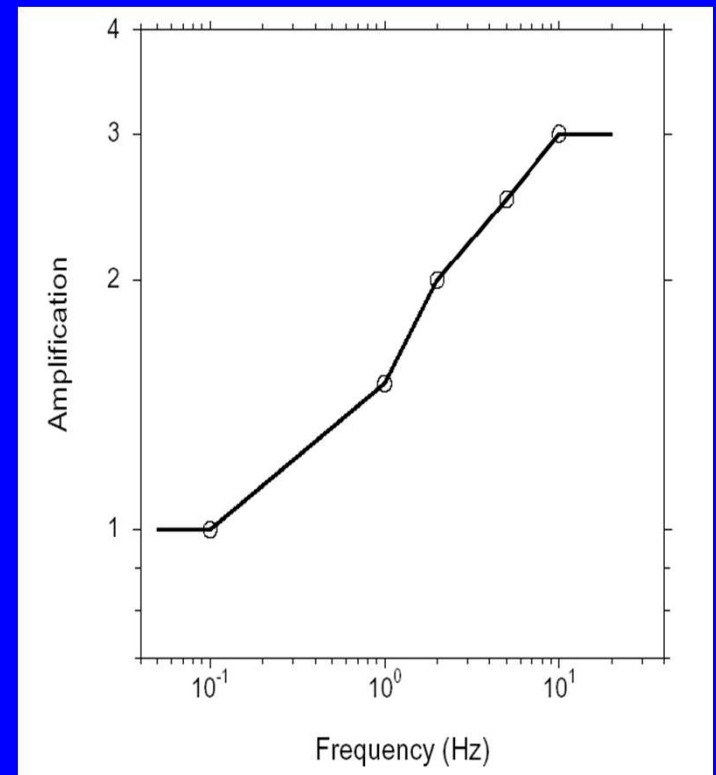
Linear
amplification for
GENERIC site

Regional distance-independent
attenuation (high frequency)

- Near-surface anelastic attenuation?
- Source effect?
- Combination?

Site amplification

- Attenuation function for GENERIC site
- Modelled as a piecewise linear function in log-log space
- Soil non-linearity effects not included
- Determined from crustal velocity & density profile via SITE_AMP
 - Square-root of impedance approximation
 - Quarter-wave-length approximation (f -dependent)



Site attenuation

- Form of filter:

$$D(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{\max}}\right)^8}} \exp(-\pi \kappa_0 f)$$

- Reflects lack of consensus about representation
 - f_{\max} (Hanks, 1982) : high-frequency cut-off
 - κ (Anderson & Hough, 1984) : high-frequency decay

Cut-off frequency f_{\max}

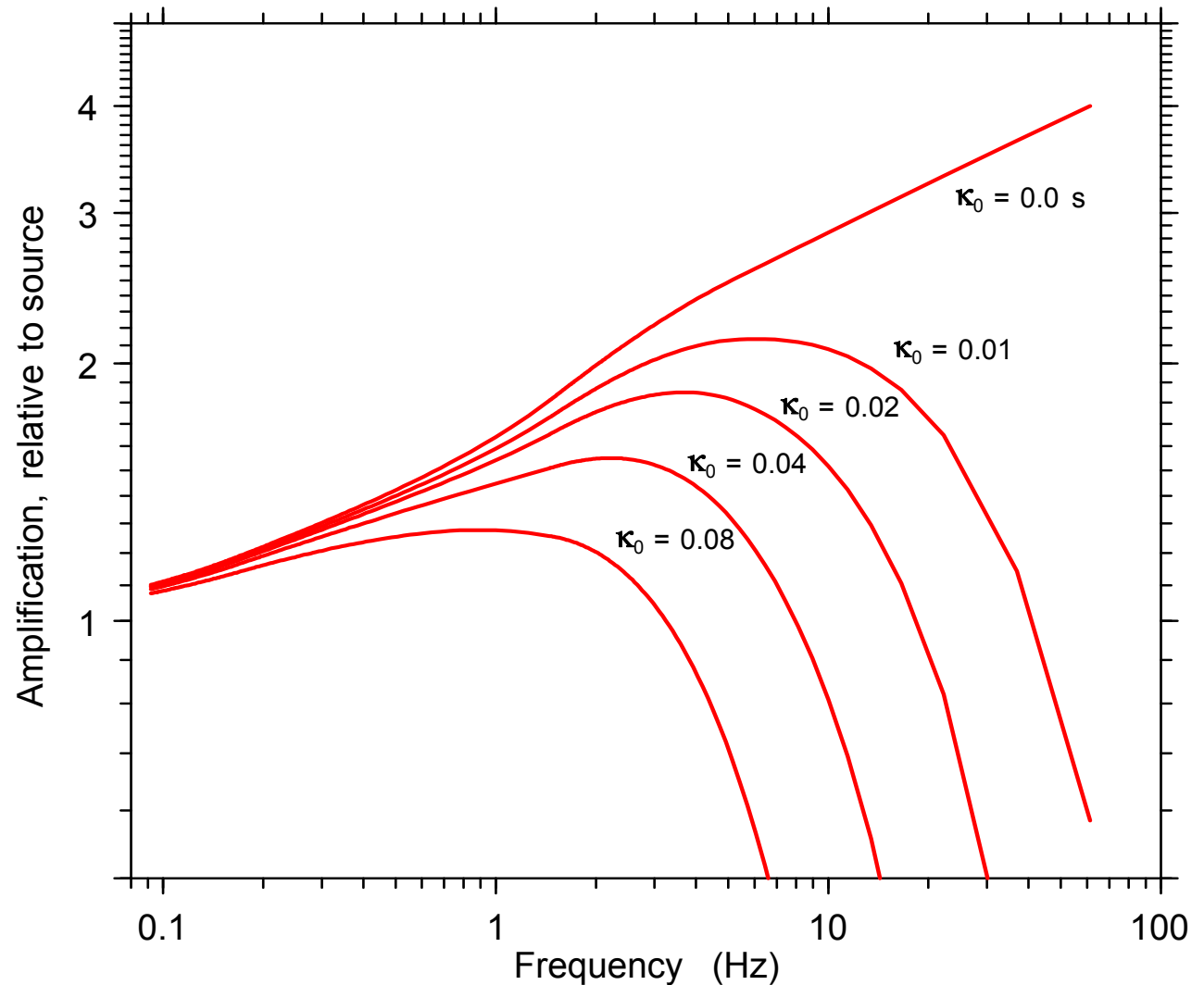
- Hanks (1982)
 - Observed empirical spectra exhibit cut-off in log-log space
 - Value of cut-off in narrow range of frequency
 - Attributed to site effect
- Other authors (e.g. Papageorgiou & Aki 1983) consider f_{\max} to be a source effect
- Boore's position:
 - Multiplicative nature of filter allows for both approaches
 - Classification as site effect = « book-keeping » matter
 - Often set to a high value (50 to 100 Hz) when preference is given to the kappa filter

Kappa factor κ_0

- Anderson & Hough (1984)
 - empirical spectra plotted in semi-log axes exhibit exponential HF decay
 - rate of this decay = κ (varies with distance)
- Treatment in SMSIM
 - similar determination, but with records corrected for path effects and site amplification
 - parameter used = κ_0 = zero-distance intercept
 - allowed to vary with magnitude
 - source effect (at least partly)
 - trade-off with source strength (characteristic of regional surface geology)

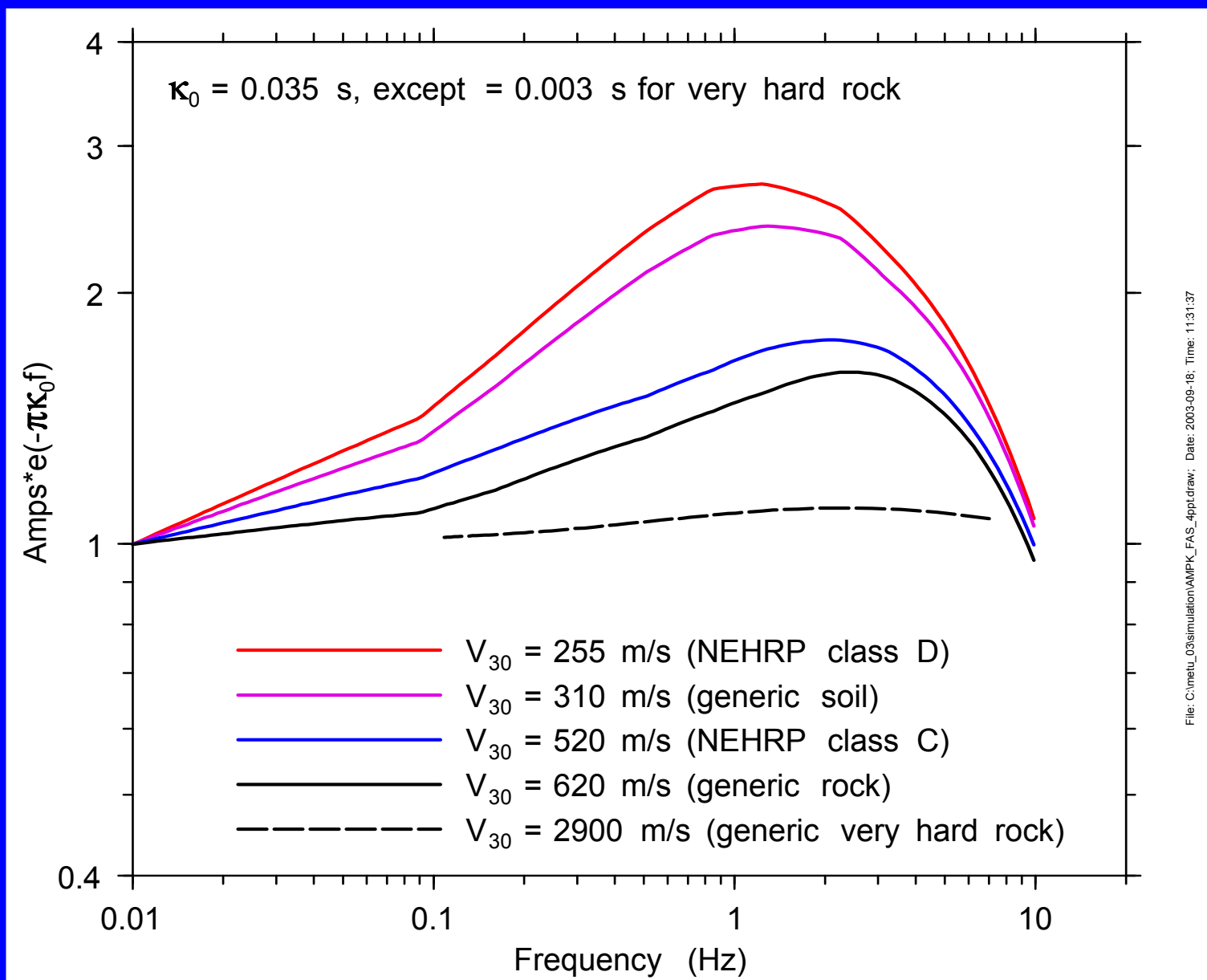
Site response is represented by a table of frequencies and amplifications. Shown here is the generic rock amplification for coastal California ($\kappa = 0.04$), combined with the κ diminution factor for various values of κ

Combined effect of generic rock amplification and diminution
(diminution = $e^{(-\pi \kappa_0 f)}$)



File: C:\metu_03simulation\A_k4PAPR_4ppt.draw; Date: 2003-09-18; Time: 10:45:55

Combined
amplification and
diminution filter
for various
average site
classes



Instrument/Ground motion filter

- For ground-motion simulations:

$$I(f) = (2\pi f i)^n \quad i^2 = -1$$

n=0 displacement

n=1 velocity

n=2 acceleration

- For oscillator response:

$$I(f) = \frac{-Vf^2}{(f^2 - f_r^2) - 2iff_r\xi}$$

f_r = undamped natural frequency

ξ = damping

V = gain

(for response spectra, $V=1$).

A few applications

- Scaling of ground motion with magnitude
- Simulating ground motions for a specific **M**, **R**
- Extrapolating observed ground motion to part of **M**, **R** space with no observations

Stochastic model shown to this point is based on a point source model of the earthquake source. But we know finite-fault effects are important for large earthquakes.....

Therefore need to extend stochastic model to account for main finite fault effects, such as geometric effects and directivity