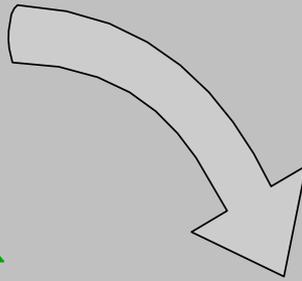


# 構造物の応答

令和元年度 教養教育科目(自然・科学)  
環境と生活－日本の地震防災－

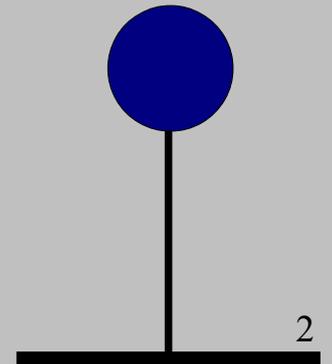
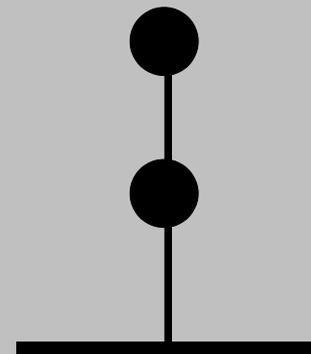
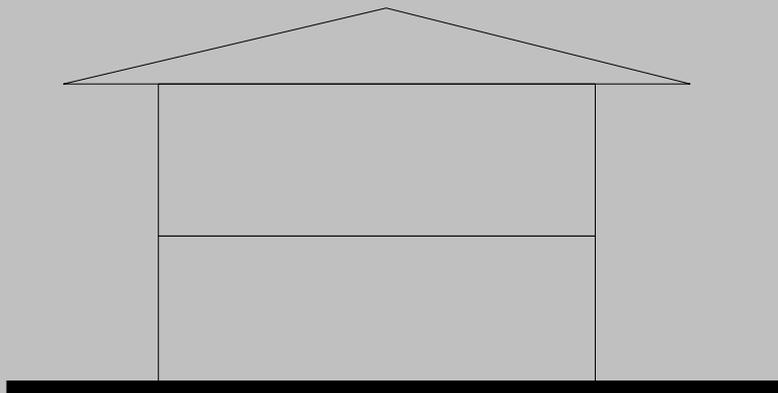
大学院理工学研究科  
(理工学部地球環境防災学科)  
片岡俊一

# 構造物の 振動モデルへの置き換え



構造物を質点とバネでモデル化する。

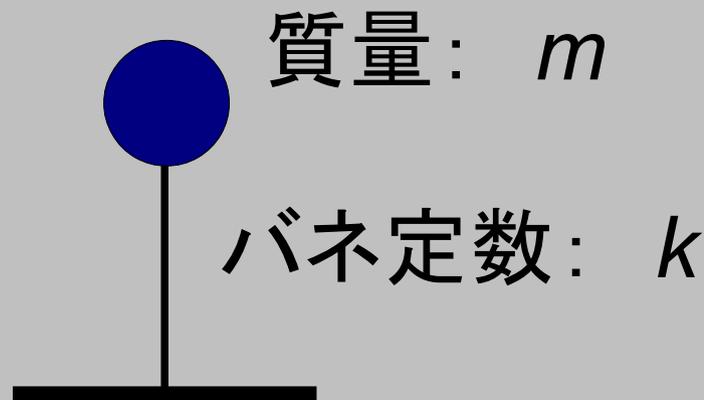
バネ: 水平方向の変位を戻す働き



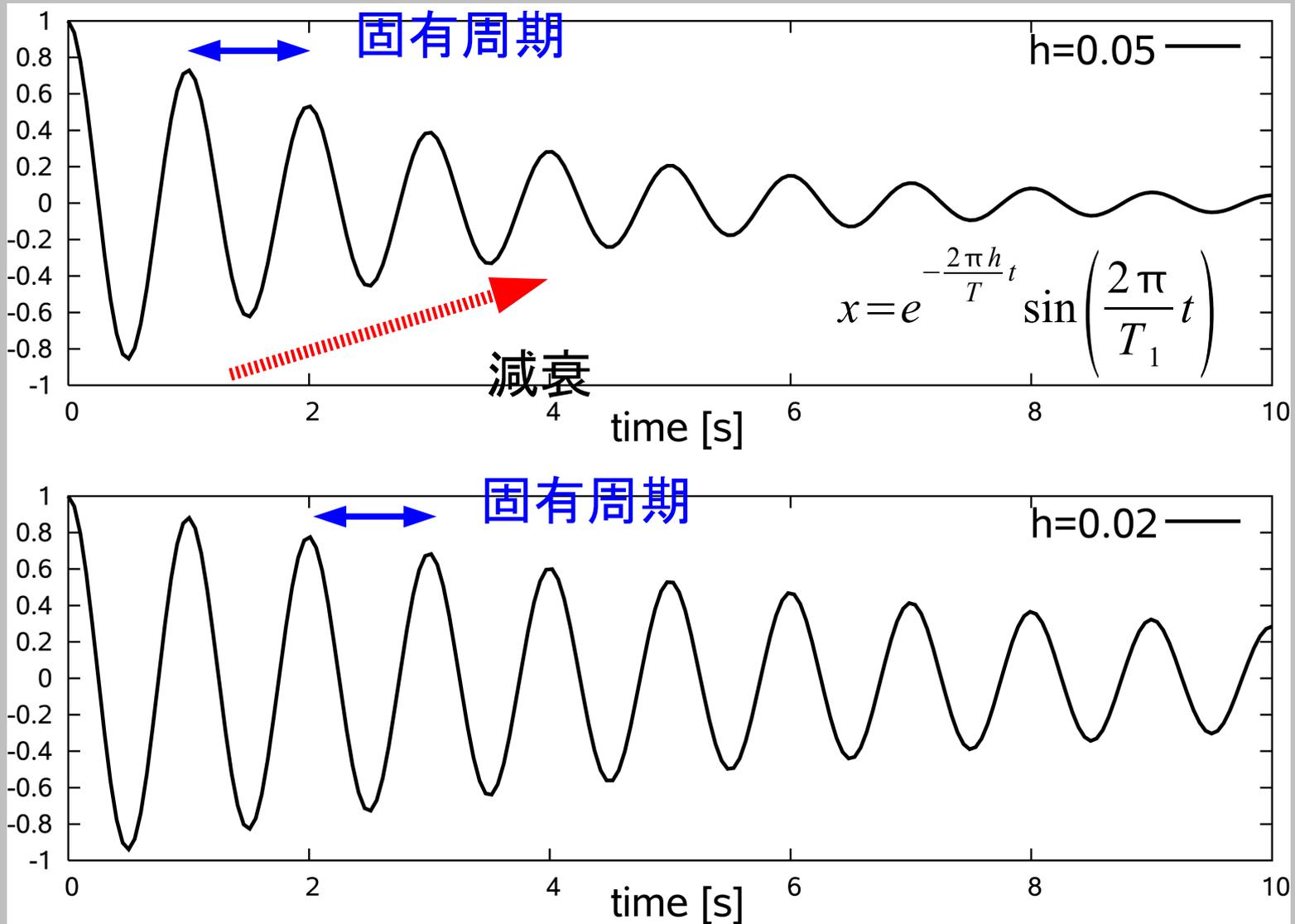
# 構造物の 振動モデルへの置き換え

構造物を質点とバネでモデル化する。

バネ: 水平方向の変位を戻す働き



# 自由振動波形



# 固有周期と減衰定数

- ◆ 固有周期  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ 
  - ◆ 固有周期が短い: 硬い, 軽い
  - ◆ 固有周期が長い: 軟らかい, 重たい
- ◆ 減衰定数:  $h$

# 強制振動

- ◆ 建物モデルの床を振動させる
- ◆ 地震のイメージ
  - ◆ 支持地盤がゆれる
- ◆ 特定の周期で建物モデルを揺らし続けると大きな応答になる！
  - ◆ 特定の周期：建物モデルの固有周期
  - ◆ 応答が大きくなることを共振（きょうしん）現象と呼ぶ。

# 共振現象

- ◆ 固有周期に近い(同じ)周期で強制振動を受けると, 受けた振動子(振り子, 構造物)が非常に大きく応答する(振動が発散する)現象.

# 構造物の地震応答

- ◆ 地震動は様々な正弦波から出来ていると考えられる.
- ◆ 一方, 構造物はその固有周期に近い地震動にのみ敏感に反応する.
  - ◆ 共振現象
- ◆ 以上のことより, どのような地震動に対しても構造物が常に大きく揺れるわけではない.
  - ◆ 構造物がどの程度揺れるか(応答予測)をするためには, 構造物の固有周期を知っていることが必要

# 様々な建築の 固有周期と減衰定数

- ◆ 理工学部1号館:
  - ◆ 固有周期:概ね0.25秒, 減衰定数:0.06~0.09
- ◆ 理工学部2号館:
  - ◆ 固有周期:概ね0.70秒, 減衰定数:0.018
- ◆ コラボ弘大(旧):
  - ◆ 固有周期:概ね0.46秒, 減衰定数:0.018

# 様々な建築の 固有周期と減衰定数

- ◆ 鉄筋コンクリート造あるいは鉄骨造の高い建物の固有周期は、高さに比例する.
- ◆ 一つの階の高さは大凡一定だから、建物の固有周期は階数(N)に比例するとも言える.
  - ◆ 鉄筋コンクリート造の場合：  $T=0.015H$  (s)
    - ◆  $T \sim 0.06N$  (s)
    - ◆ 鉄筋コンクリート造 = RC造, Reinforced Concrete Structure
  - ◆ 鉄骨造の場合：  $T=0.020H$  (s)
    - ◆  $T \sim 0.08N$  (s)
    - ◆ 鉄骨造 = S造, Steel Structure

# 木造家屋の固有周期

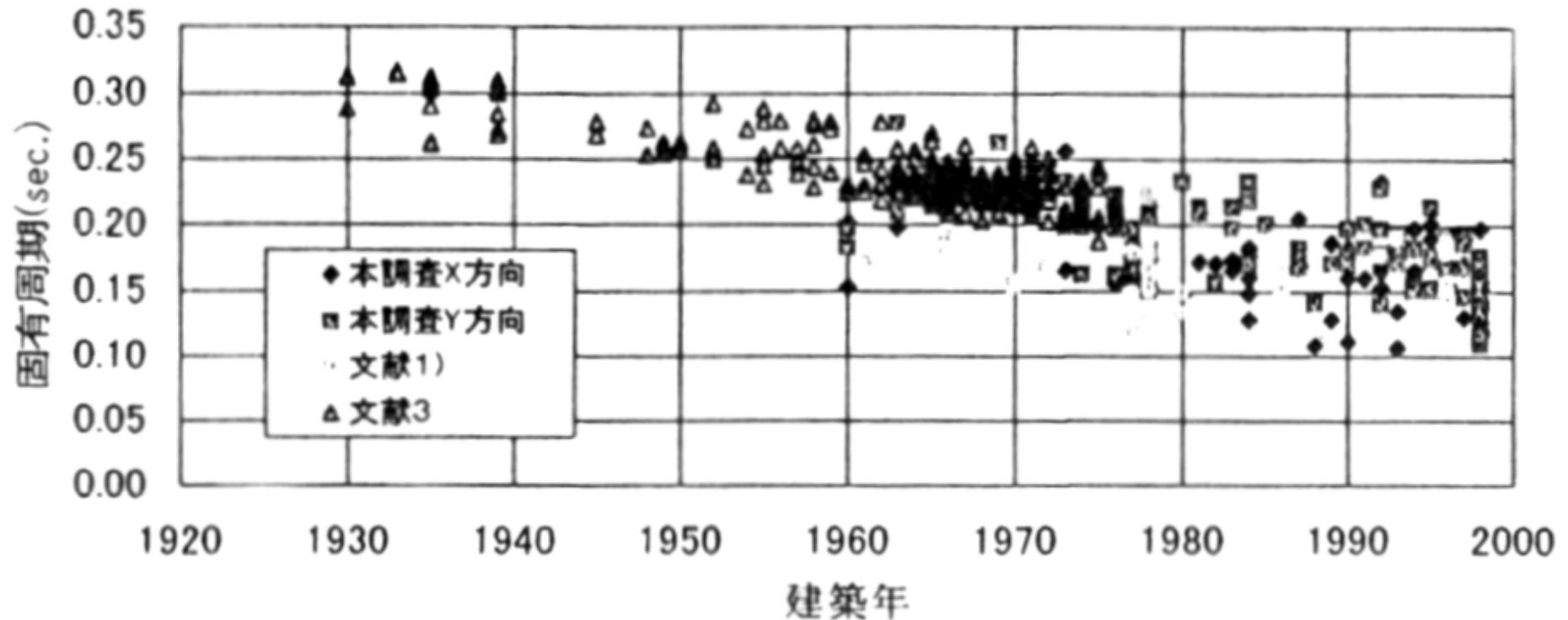
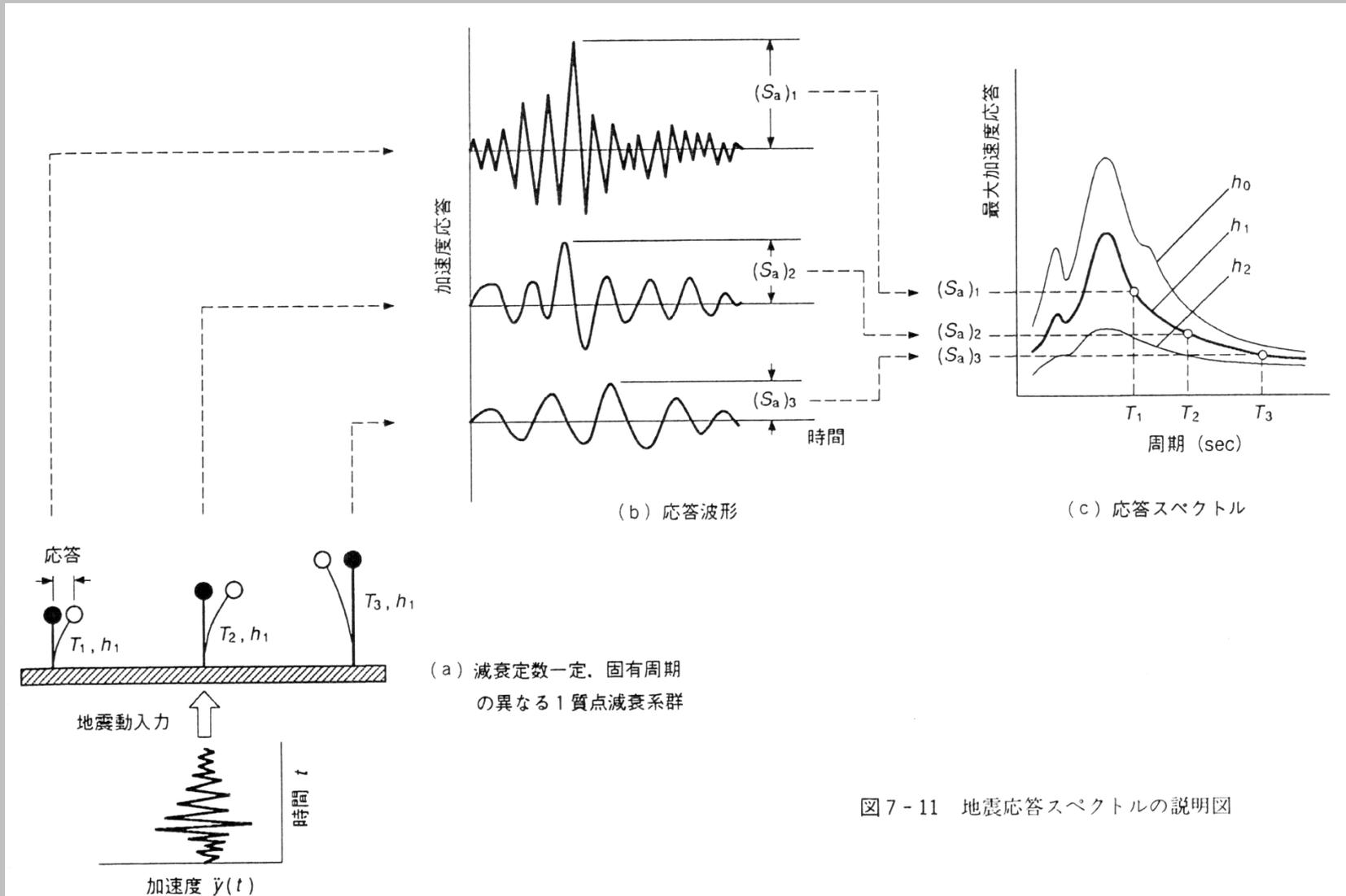


図3 固有周期と建築年の関係(軸組構法、2階建てのみ)

小野塚浩基・他:常時微動測定による軸組構法木造住宅の振動特性に関する研究(その2), 日本建築学会大会(中国), 129-130, 1999. より

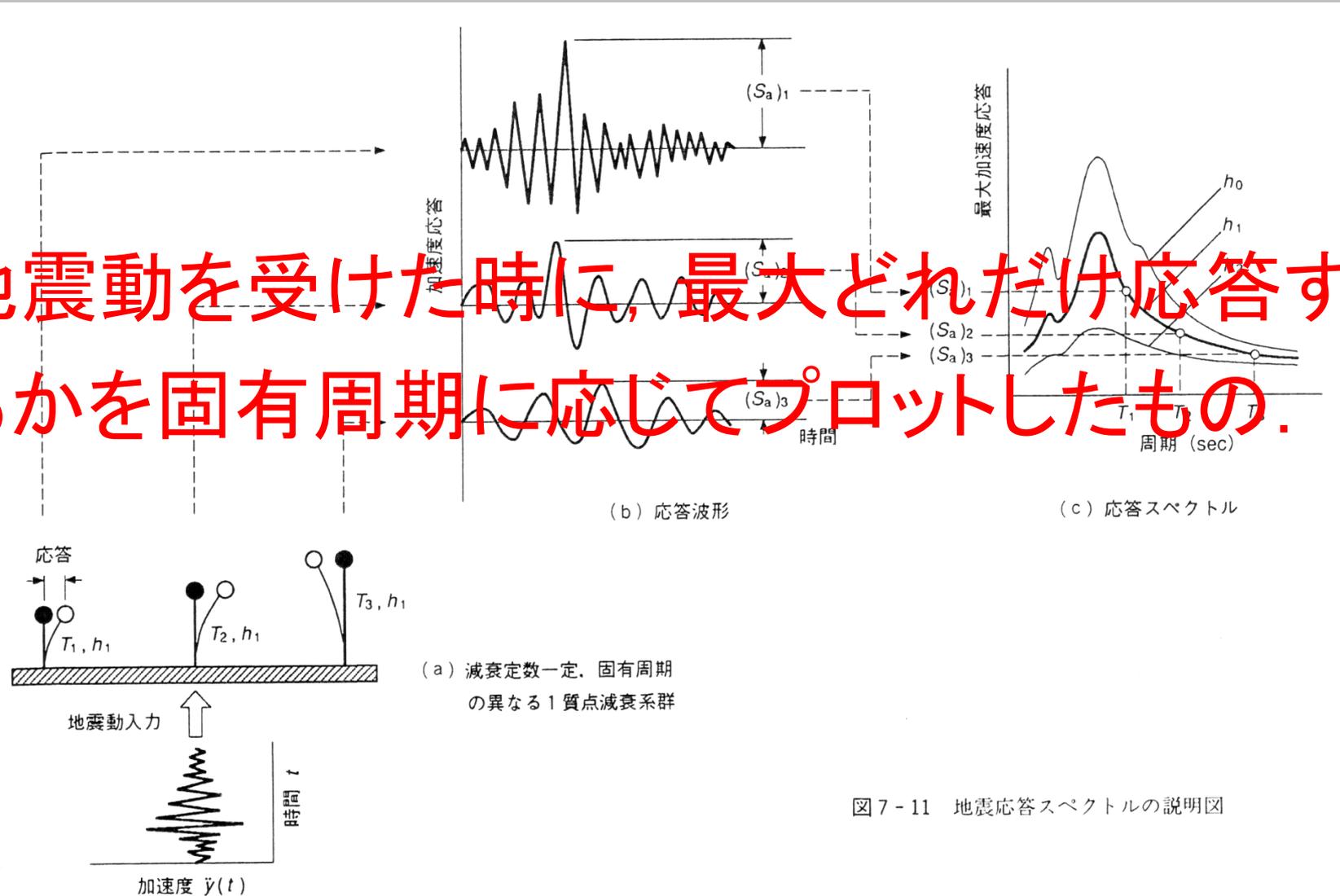
# 応答スペクトル



大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿嶋出版会，1994. よ16

# 応答スペクトル

地震動を受けた時に、最大どれだけ応答するかを固有周期に応じてプロットしたもの。



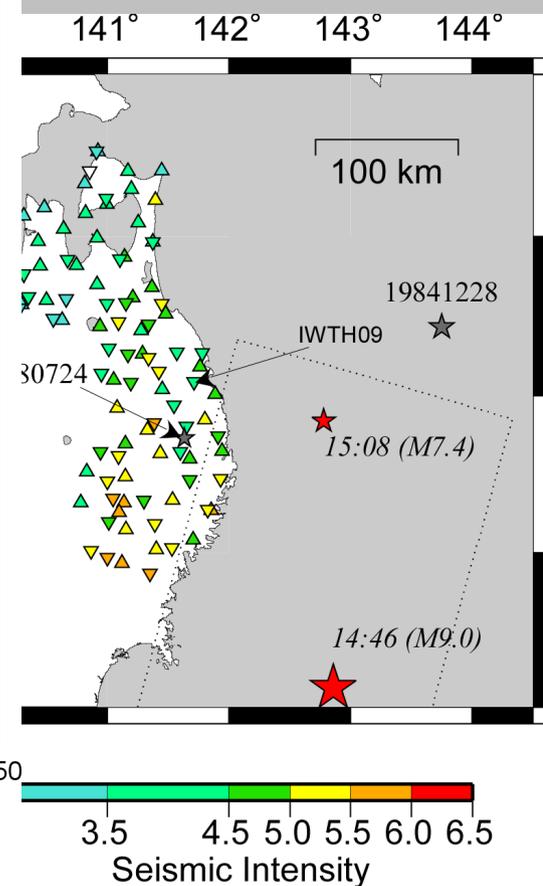
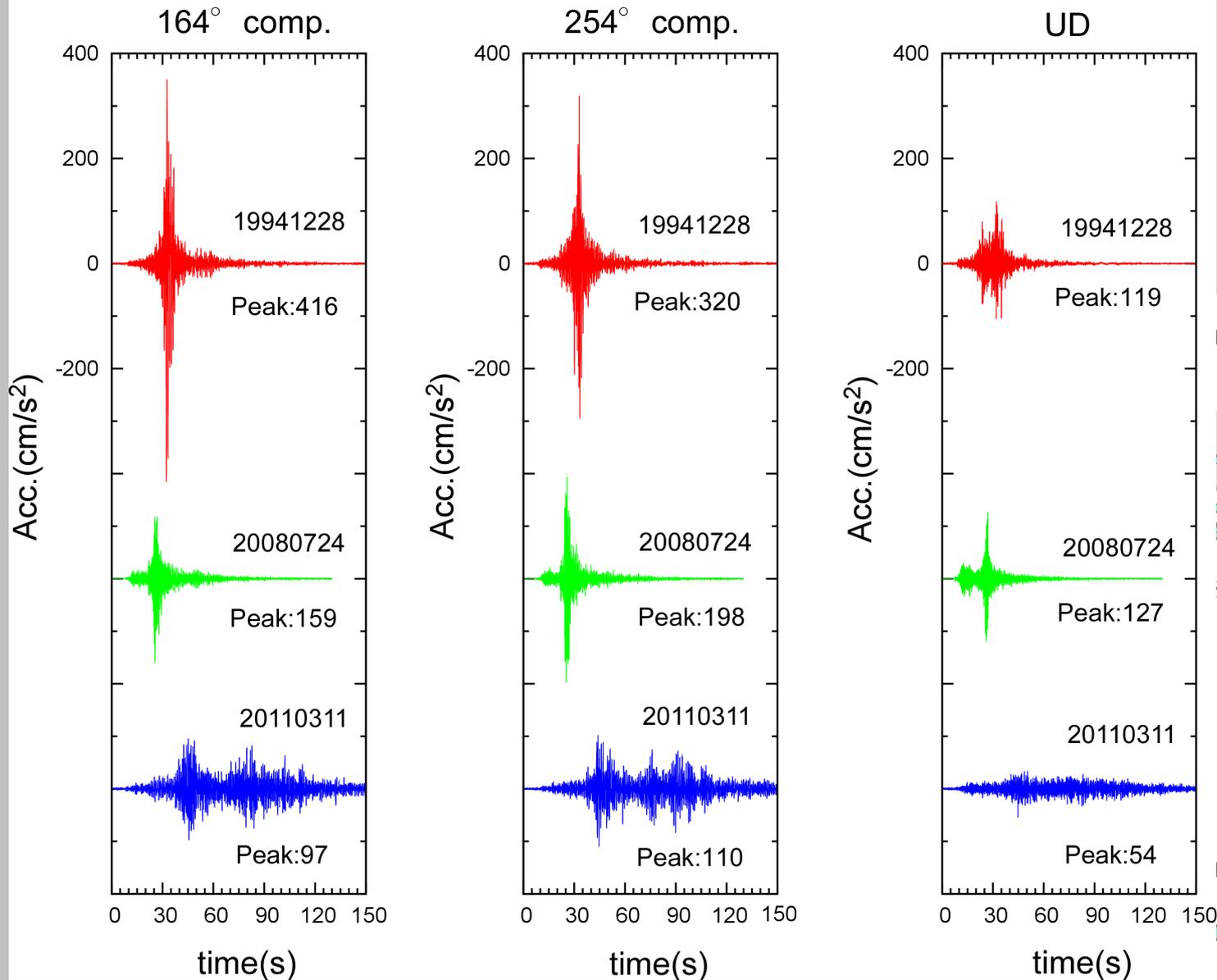
大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿嶋出版会，1994. よ16J

# 2011年東北地方太平洋沖地震の記録 と過去の記録との比較

- ◆ 八戸市役所には古くから地震計が設置されており、2011年東北地方太平洋沖地震の際の記録と過去の地震記録とを比較することができる。
- ◆ ここでは、次の3つの地震を応答スペクトルで比較してみる。
  - ◆ 1994年三陸はるか沖地震. 震度6
  - ◆ 2008年7月24日に岩手県沿岸北部で起きた地震. 震度6弱
  - ◆ 2011年東北地方太平洋沖地震. 震度5強

# 八戸市庁舎における記録での比較

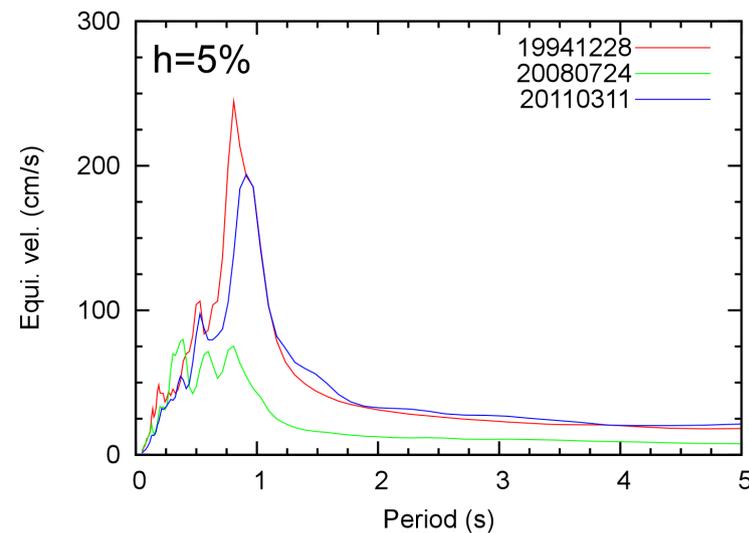
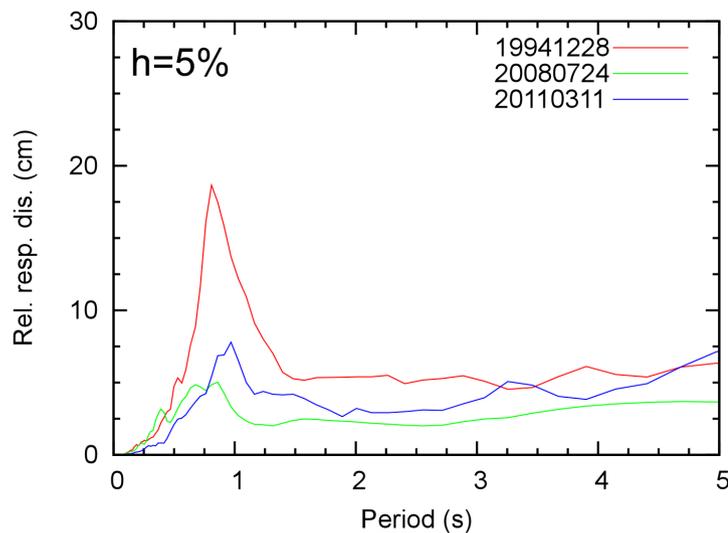
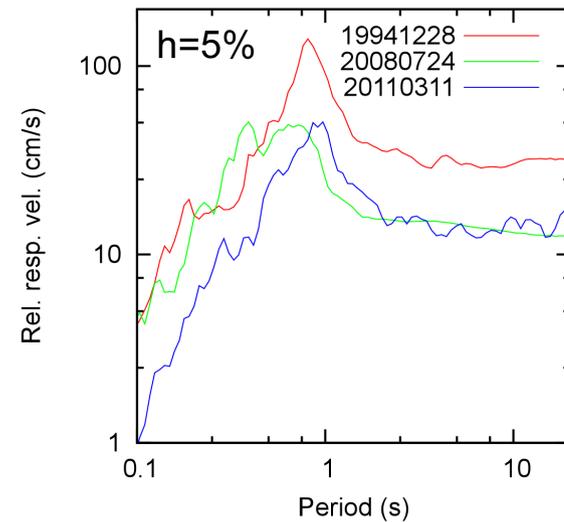
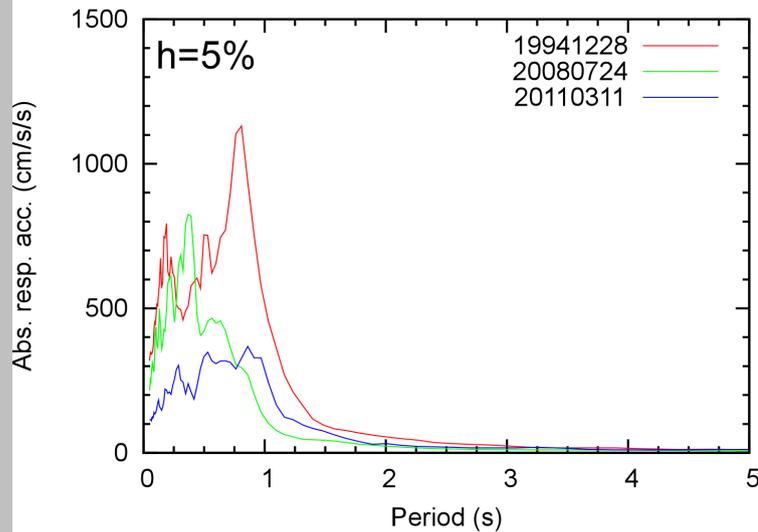
Hachinohe City Hall Main Building B2F



# 八戸市庁舎における記録での比較

## Hachinohe City Hall Main Building B1F

164° comp.



# 建築基準法

建築物の敷地，構造，設備および用途に関する最低の基準を定めて，国民の生命，健康及び財産の保護を図り，もって公共の福祉の増進に資することを目的とする。

(建築基準)法＞施行令＞施行規則＞条例

# 建物基準法の変遷

- ◆ 1924年：市街地建築物法施行規則改正
- ◆ 1950年：建築基準法公布
- ◆ 1981年：建築基準法施行令改正
- ◆ 1998年：建築基準法改正

# 建物基準法の特徴

- ◆ 遡及しない
  - ◆ 既存不適格
- ◆ 建築基準法を適用しても、地震により建築物は壊れることはある。
  - ◆ 稀に発生する地震(動)について、建築物の地上部分及び地下部分が損傷しないこと。
  - ◆ 極めて稀に発生する地震(動)について、建築物の地上部分が倒壊、崩壊しないこと。

# 建築年と被害 鉄筋コンクリートの場合

1995年兵庫県南部地震による震度VIIの地域における  
鉄筋コンクリート造の被害

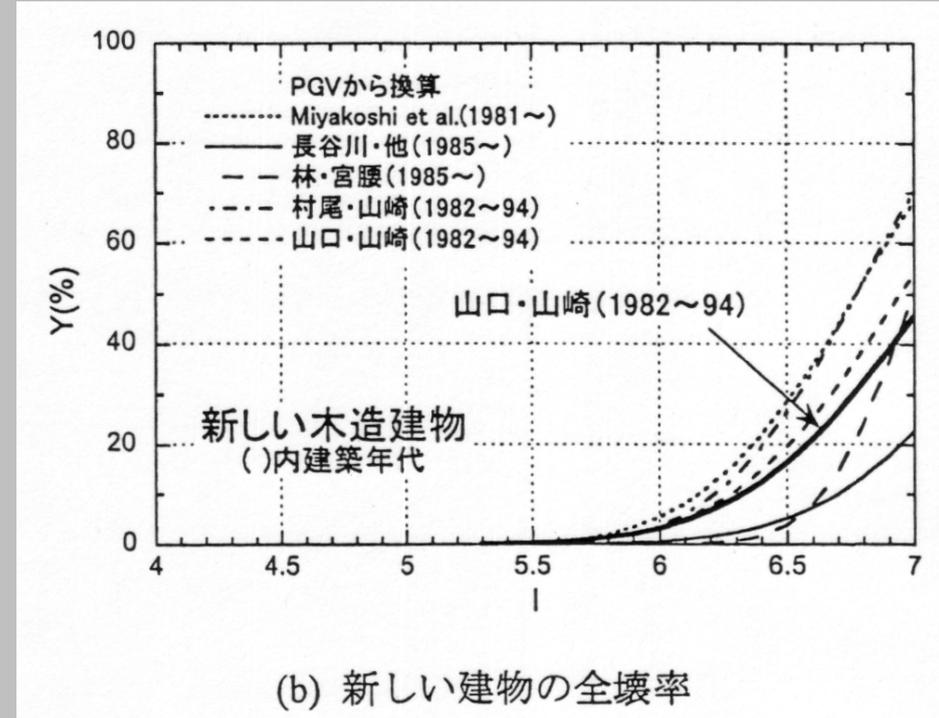
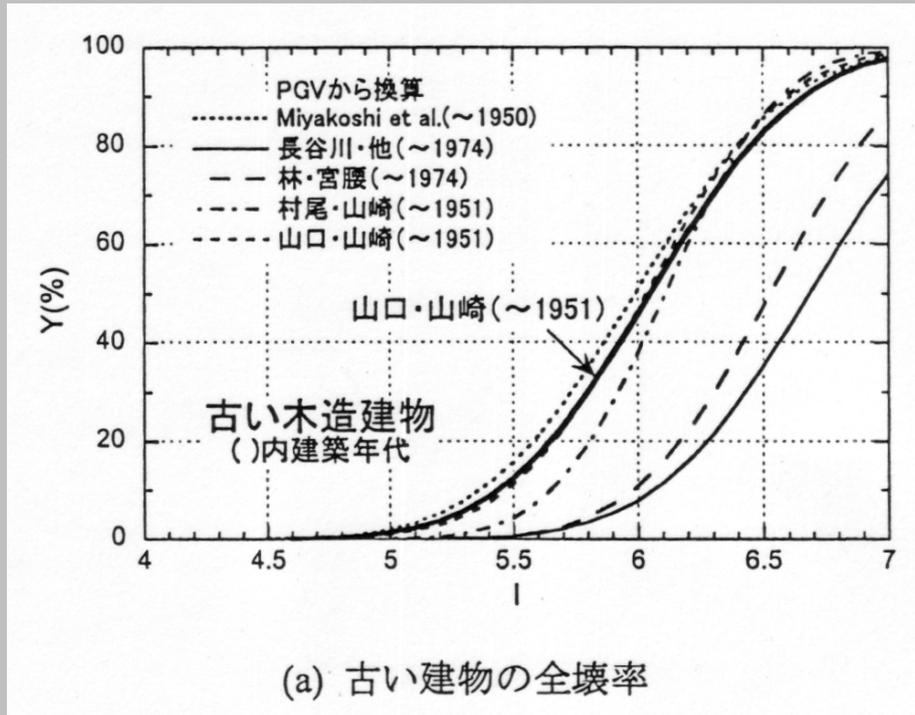
| 建設年代 | 1971年以前<br>(%) | 1971年～<br>1981年<br>(%) | 1981年以降<br>(%) |
|------|----------------|------------------------|----------------|
| 無被害  | 54             | 45                     | 66             |
| 軽微   | 25             | 26                     | 22             |
| 小破   | 11             | 12                     | 6              |
| 中破   | 3              | 4                      | 3              |
| 大破   | 2              | 4                      | 0              |
| 崩壊   | 2              | 5                      | 1              |
| 不明   | 3              | 4                      | 2              |

10%

17%

6%

# 建築年と被害 木造建築の場合



# 耐震診断

- ◆ 建築基準法は遡及しないので、「古い」建築物の現状の耐震レベルを確認する必要がある。
- ◆ 過去に設計・建設された「古い」建築物の耐震性能のレベルを現在の技術によって判定すること。
- ◆ 耐震診断の結果、「安全でない」と判定されることがある。

# 安全でないと判定される理由

- ◆ 建設当時に比べて現在の安全性要求性能水準が向上したため.
- ◆ 建設当時の設計(規定や技術)が未熟であったため.
- ◆ 耐震性能が劣化したため(老朽化)
- ◆ 実際に施工された構造物が設計で想定したものとは異なるため(施工不良)

# 耐震補強

耐震診断により、「安全でない」とされた場合には、耐震補強を行う

- 強度を増加させる
- ねばり強さ(変形能力)を向上させる
- 上記の組み合わせ
- 新しい工法
  - 免震レトロフィット工法
  - 制震装置の追加



三戸高校

# 耐震補強

現在では、1981年以前に設計された公共の建物は耐震補強をするようになっている。

- 共通教育棟
- 人文学部
- 理工学部
- 農学生命科学部
- 教育学部

# 壁の厚みの増加 強度増加



理工学部1号館2階

# 開口部(窓)の閉鎖 強度増加



理工学部1号館

# 共通教育棟



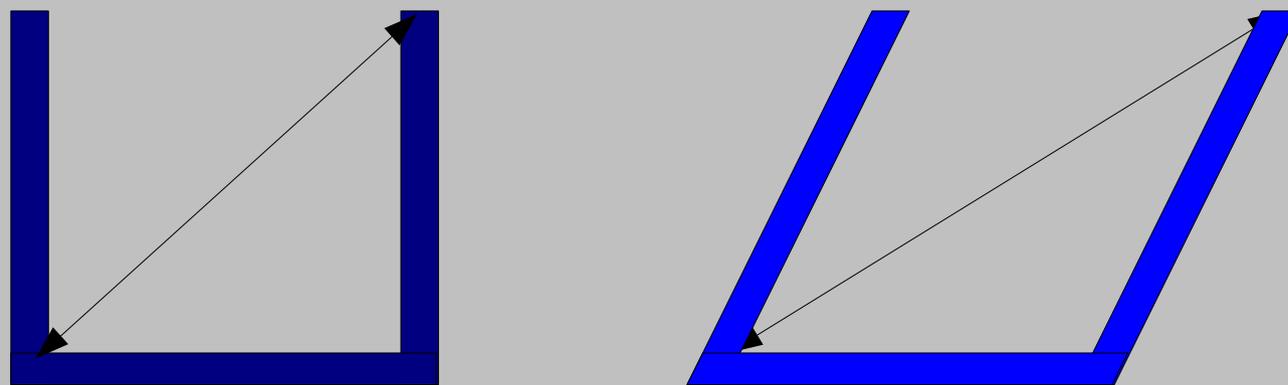
# 制振装置 新しい工法



# 制振装置のクローズアップ



# 設置されている制振装置の原理



- ◆ 制振装置：油が入ったピストン
- ◆ ユレにより，対角線の長さが伸びる。
- ◆ 制振装置も伸びる。
- ◆ 伸び縮みに対して，ピistonの中の油が抵抗する（粘性抵抗）。
- ◆ 減衰が増す。

# 本日のまとめ

- ◆ 構造物には固有周期がある.
- ◆ 固有周期で揺すられると, 構造物は大きくゆれる(共振).
- ◆ 応答スペクトルは, ある地震動に対して, 様々な構造物がどの程度ゆれるかを計算したものである.
- ◆ 建築物の最低基準を定める法律として, 建築基準法がある.

## 本日のまとめ#2

- ◆ 建築基準法の内容は、時代に応じて変化しているが、その規定は遡及しない。
- ◆ 古い構造物は一般に耐震性が低い
  - ◆ 設計基準の違い
  - ◆ 老朽化
- ◆ 古い構造物の耐震レベルを確認するものとして、耐震診断がある。
- ◆ 耐震診断により「安全でない」とされた場合には、耐震補強を行う。