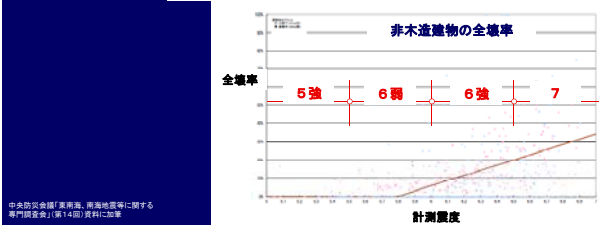
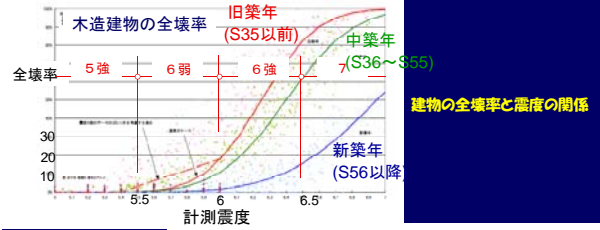


# 中国地方の地震と最近の建築耐震設計

H23. 04. 09

総合理工学部  
材料プロセス工学科  
丸田 誠



## 1995年～現在(2011/3)までの16年間 最大震度6弱以上の地震(本震のみ)

- (1) 1995.01.17 平成7年兵庫県南部地震(M7.3, 震度7)
- (2) 1997.05.13 鹿児島県薩摩地方を震源とする地震(M6.4, 6弱)
- (3) 1998.09.03 岩手県内陸北部を震源とする地震(M6.2, 6弱)
- (4) 2000.07.01 新島・神津島近海を震源とする地震(M6.5, 6弱)
- (5) 2000.10.06 平成12年鳥取県西部地震(M7.3, 6強)
- (6) 2001.03.24 平成13年茨予地震(M6.7, 6弱)
- (7) 2003.05.26 宮城県沖を震源とする地震(M7.1, 6弱)
- (8) 2003.07.26 宮城県北部を震源とする地震(M6.4, 6強)
- (9) 2003.09.26 平成15年十勝沖地震(M8.0, 6弱)
- (10) 2004.10.23 平成16年新潟県中越地震(M6.8, 7)
- (11) 2005.03.20 福岡県西方沖地震(M7.0, 6弱)
- (12) 2005.08.16 宮城県沖を震源とする地震(M7.2, 6弱)
- (13) 2007.03.25 平成19年能登半島地震(M6.9, 6強)
- (14) 2007.07.16 平成19年新潟県中越沖地震(M6.8, 6強)

- (15) 2008.06.14 平成20年岩手・宮城内陸地震
- (16) 2008.07.24 岩手沿岸
- (17) 2009.08.11 駿河湾地震
- (18) 2011.03.11 東北地方太平洋沖地震 (M9.7)

## 1982年～1994年の13年間 旧震度6以上の地震(本震のみ)

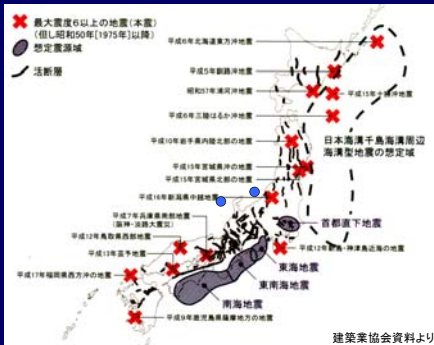
- (1) 1993.01.15 平成5年釧路沖地震(M7.8, 震度6)
- (2) 1994.10.04 平成6年北海道東方沖地震(M8.1, 震度6)
- (3) 1994.12.28 平成6年三陸はるか沖地震(M7.5, 震度6)

最大震度6弱(旧震度6)以上の地震(本震)発生回数

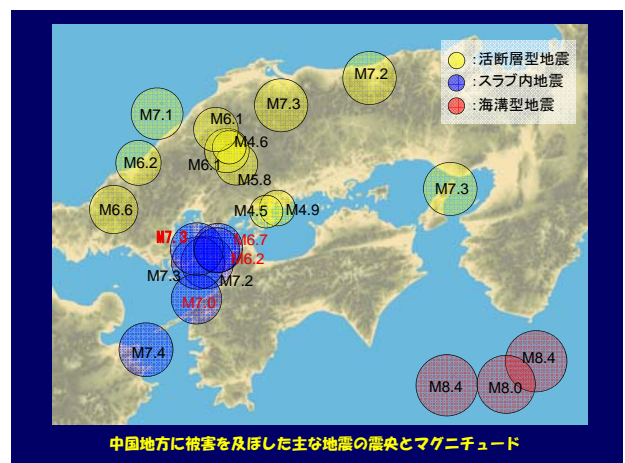
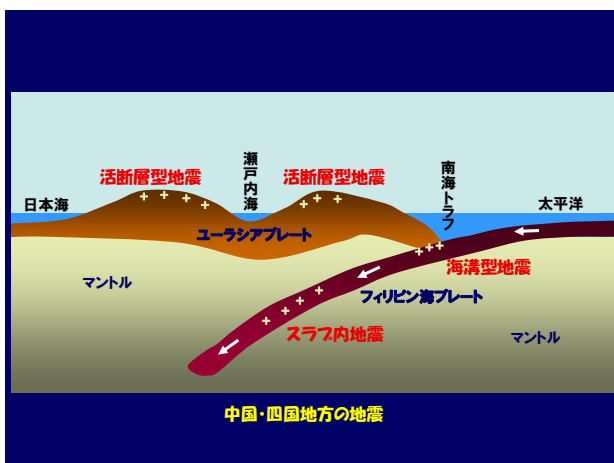
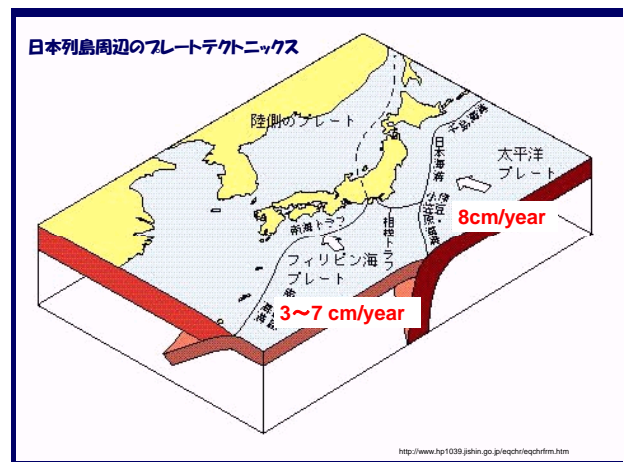
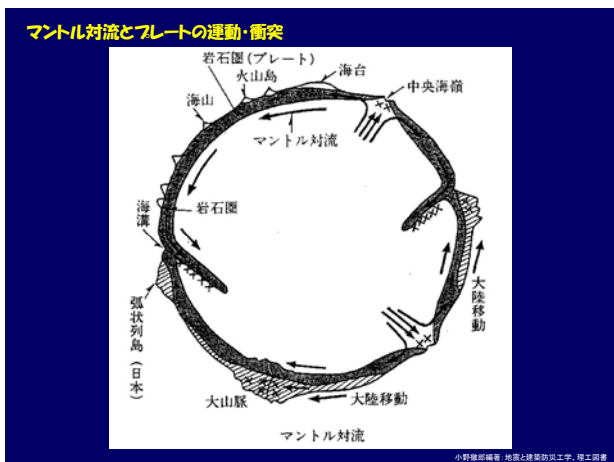
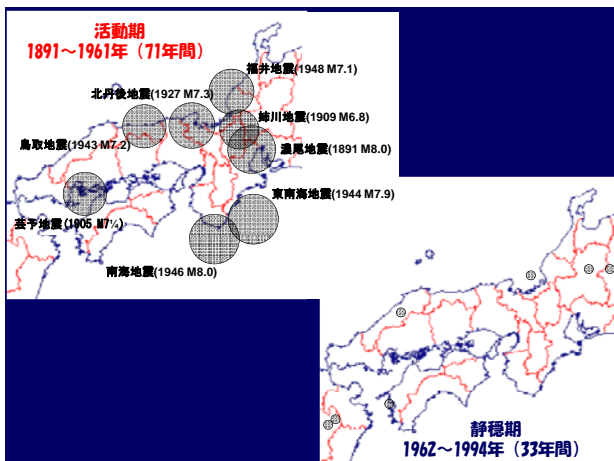
1982年～1994年 3回  
1995年～現在 18回

## 近年の多発する大地震 (活断層地震)

## 迫りくる巨大地震 (海溝型地震)



## 中国地方の地震



中国地方各県別  
被害を及ぼした主な地震

| 鳥取県        |         | M     | 被害      |       |       |       |
|------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|
| 発生日        | 地域(名称)  |       | 死者      | 負傷    | 全壊    | 半壊    |
| 1710/10/03 | 伯耆・美作   | 6.5   | 75      | —     | 1,092 | —     |
| 1711/03/19 | 伯耆      | 6.1/4 | 4       | —     | 380   | —     |
| 1854/12/24 | 安政南海地震  | 8.2/5 | 0       | 0     | 10    | —     |
| 1943/03/04 | 鳥取沖     | 6.2   | 0       | 軽11   | 68    | —     |
| 1943/09/10 | 鳥取地震    | 7.2   | 1,082   | 3,259 | 7,485 | —     |
| 1946/12/21 | 南海地震    | 8     | 2       | 3     | 16    | —     |
| 2000/10/06 | 鳥取県西部地震 | 7.3   | 0       | 141   | 389   | 2,470 |
| 2001/03/24 | 菟予地震    | 6.7   | 0       | 0     | 0     | 0     |
|            |         |       | Σ 1,163 |       | 9,440 |       |

| 鳥根県        |         | M     | 被害    |     |       |     |
|------------|---------|-------|-------|-----|-------|-----|
| 発生日        | 地域(名称)  |       | 死者    | 負傷  | 全壊    | 半壊  |
| 880/11/23  | 出雲      | 7     | —     | —   | —     | —   |
| 1676/07/12 | 石見      | 6.5   | 7     | 35  | 133   | —   |
| 1854/12/24 | 安政南海地震  | 8.4   | 0     | 0   | 150   | —   |
| 1859/01/05 | 石見      | 6.2   | —     | —   | 56    | —   |
| 1859/10/04 | 石見      | 6~6.5 | —     | —   | —     | —   |
| 1872/03/14 | 浜田地震    | 7.1   | 551   | 582 | 4,506 | —   |
| 1946/12/21 | 南海地震    | 8     | 9     | 16  | 71    | —   |
| 2000/10/06 | 鳥取県西部地震 | 7.3   | 0     | 11  | 34    | 567 |
| 2001/03/24 | 菟予地震    | 6.7   | 0     | 3   | 0     | 0   |
|            |         |       | Σ 567 |     | 4950  |     |

http://www.hp1039.johri.go.jp/eqchrtb-1.htm  
のデータより作成

| 山口県        |         | M   | 被害  |    |     |      |
|------------|---------|-----|-----|----|-----|------|
| 発生日        | 地域(名称)  |     | 死者  | 負傷 | 全壊  | 半壊   |
| 1707/11/21 | 防長      | 5.5 | 3   | 15 | 289 | —    |
| 1793/01/13 | 長門・周防   | 6   | —   | —  | —   | 損壊多数 |
| 2000/10/06 | 鳥取県西部地震 | 7.3 | 0   | 1  | 0   | 一部損壊 |
| 2001/03/24 | 菟予地震    | 6.7 | 0   | 12 | 7   | 26   |
|            |         |     | Σ 3 |    | 296 |      |

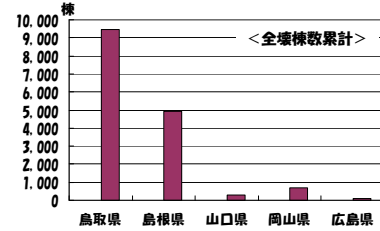
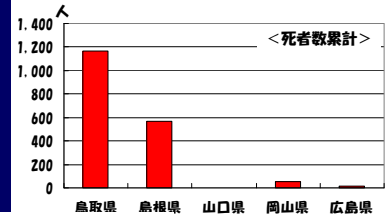
| 岡山県        |         | M   | 被害   |     |      |    |
|------------|---------|-----|------|-----|------|----|
| 発生日        | 地域(名称)  |     | 死者   | 負傷  | 全壊   | 半壊 |
| 868/08/03  | 播磨・山城   | ≥7  | —    | —   | —    | —  |
| 1707/10/28 | 宝永地震    | 8.4 | —    | —   | —    | —  |
| 1710/10/03 | 伯耆・美作   | 6.5 | 2    | —   | 200e | —  |
| 1854/12/24 | 安政南海地震  | 8.4 | —    | —   | —    | —  |
| 1946/12/21 | 南海地震    | 8   | 51   | 187 | 478  | —  |
| 2000/10/06 | 鳥取県西部地震 | 7.3 | 0    | 18  | 7    | 31 |
| 2001/03/24 | 菟予地震    | 6.7 | 0    | 1   | 0    | 0  |
|            |         |     | Σ 53 |     | 685  |    |

http://www.hp1039.johri.go.jp/eqchrtb-1.htm  
のデータより作成

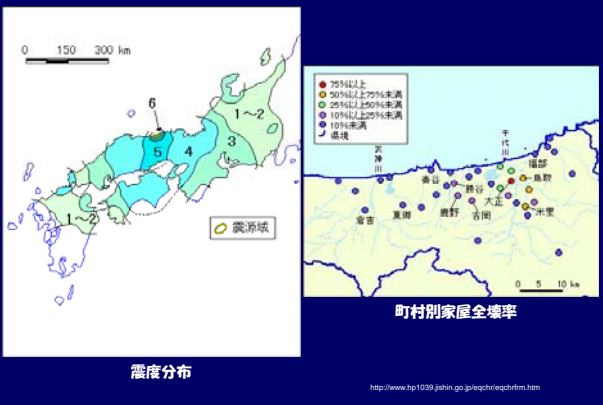
| 広島県        |          | M     | 被害   |     |    |      |
|------------|----------|-------|------|-----|----|------|
| 発生日        | 地域(名称)   |       | 死者   | 負傷  | 全壊 | 半壊   |
| 1649/03/17 | 安芸・伊予    | 7     | —    | —   | —  | —    |
| 1686/01/04 | 安芸・伊予    | 7~7.4 | 2    | —   | —  | —    |
| 1707/10/28 | (宝永地震)   | 8.4   | —    | —   | —  | —    |
| 1854/12/24 | (安政南海地震) | 8.4   | —    | —   | —  | —    |
| 1857/10/12 | 伊予・安芸    | 7.4   | —    | —   | —  | —    |
| 1872/03/14 | 浜田地震     | 7.1   | 0    | 3   | 20 | —    |
| 1905/06/02 | 菟予地震     | 7.4   | 11   | 160 | 56 | —    |
| 1946/12/21 | 南海地震     | 8     | 0    | 3   | 19 | —    |
| 1949/07/12 | 安芸灘      | 6.2   | 2    | —   | —  | —    |
| 2000/10/06 | 鳥取県西部地震  | 7.3   | 0    | 0   | 0  | 一部損壊 |
| 2001/03/24 | 菟予地震     | 6.7   | 1    | 194 | 60 | 497  |
|            |          |       | Σ 16 |     | 95 |      |

http://www.hp1039.johri.go.jp/eqchrtb-1.htm  
のデータより作成

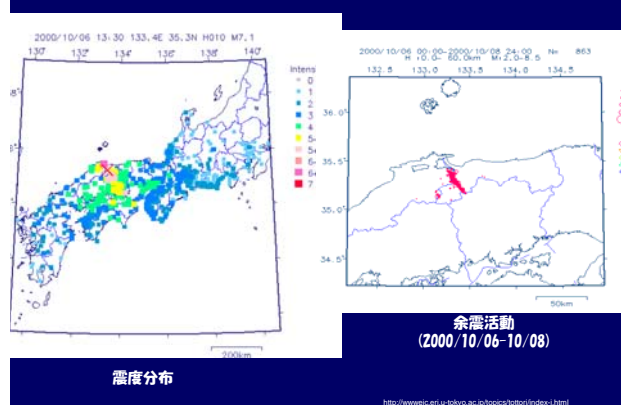
中国地方各県別  
地震被害数累計



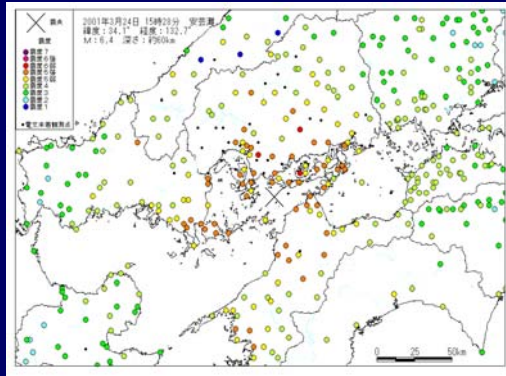
鳥取地震(1943, M7.2)



2000年鳥取県西部地震(2000, M7.3)



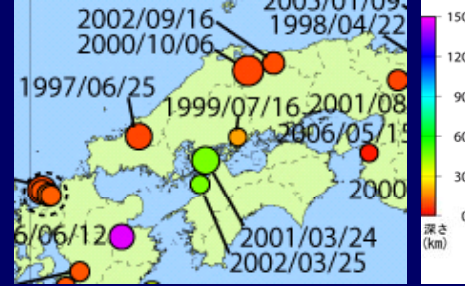
**2001年荻予地震 (M6.7)**



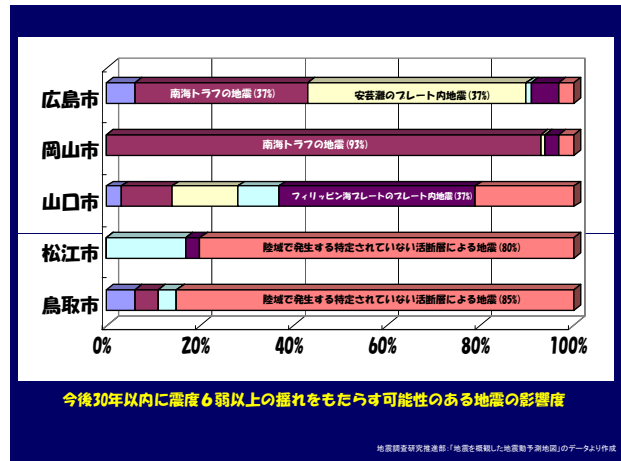
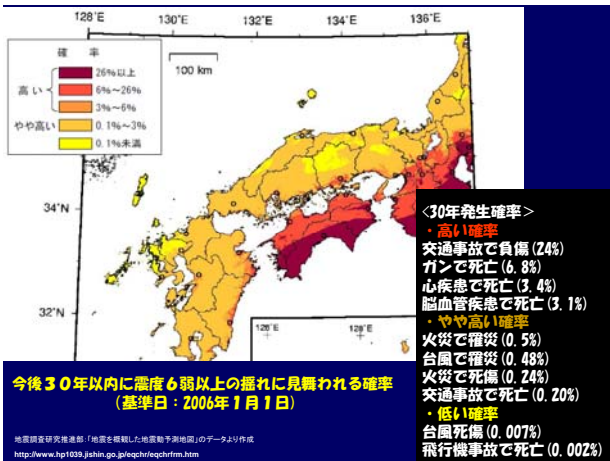
震度分布

[http://www.adp.or.jp/shindo/index\\_ahhnda.html](http://www.adp.or.jp/shindo/index_ahhnda.html)

**(1996年~2007年11月)に発生した被害地震**



| 発生   | 震央or地震名 | M / 震度    | 人的被害    | 建物被害         |
|------|---------|-----------|---------|--------------|
| 1997 | 山口県北部   | M6.6 / 5強 | 負2      | 全壊1、半壊2      |
| 1999 | 広島県南東部  | M4.5 / 4  | 負1      | なし           |
| 2000 | 鳥取県西部地震 | M7.3 / 6強 | 負182    | 全壊435、半壊3101 |
| 2001 | 荻予地震    | M6.7 / 6弱 | 死2 負774 | 全壊70、半壊774   |
| 2002 | 伊予灘     | M4.7 / 4  | 負1      | なし           |



**中国地方の地震・まとめ**

- 中国地方における被害地震の発生確率は、他の地域に比べて低い
- 中国地方での過去最大の被害地震は鳥取地震
- 各県での震度6弱以上の地震発生確率が最も高い地震:  
 鳥取県・島根県: 特定されていない断層による内陸直下型地震  
 岡山市: 南海トラフの海溝型地震  
 広島県: 安芸灘・伊予灘のスラブ内地震  
 山口県: フィリピン海プレート内の地震

**最近の建築耐震設計**



1923年関東大震災での銀座の被害

1948年福井地震での大和百貨店の崩壊

1964年新潟地震でのアパートの転倒被害



1968年十勝沖地震での函館高校の躯体崩壊



1978年宮城県沖地震でのアパートのピロティ破壊



1995年兵庫県南部地震での三宮アパートの中間階崩壊



H23年度 東北地方太平洋沖地震

日経アーキテクチャより

YOMURI ONLINE より

市街地建築法(1919) 日本最初の建築法規—構造なし  
 関東地震 (1923)

- 米国流鉄筋コンクリート(RC)建物は大被害
- 水平震度0.1 (自重の10%の水平力を想定) で設計したRC建物の被害は軽微 → 耐震構造の出発点

佐野利器 (としかた) 「家屋耐震構造論 (1914)」

- 東京ではRC造709棟中
  - 全壊: 15 (2.1%)
  - 半壊: 20 (2.8%)
  - 大破: 49 (6.9%)
- 他の構造に比べれば低い被害率

↓

- 「RCは耐震的」

日本興業銀行(1号館 1F廊下の写真)

- 改正市街地建築物法 (1924)
  - 世界初の耐震規定、水平震度0.1
- 建築学会RC構造計算規準 (1933)
- 建築基準法 (1950)
  - 水平震度0.2 許容応力度も2倍
- 新潟地震 (1964)
  - 液状化
  - 「上部構造は過剰設計」の声も

十勝沖地震 (1968)

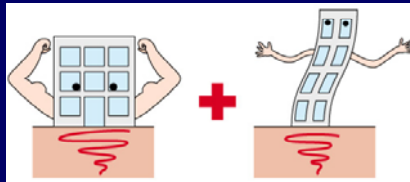
- RC短柱のせん断破壊 (挿出) が多発
- RCの研究者・技術者に衝撃

- 建築基準法改正 (1970)、RC規準改定 (1972)
  - せん断設計の強化
- 建築基準法大改正 (「新耐震設計法」、1980)
  - 一次設計 (中地震: 被害を生じさせない、許容応力度設計) と
  - 二次設計 (大地震: 倒壊させない、保有水平耐力)
- 兵庫県南部地震 (1995)
  - 新耐震施行棟の建物は被害小 (ピロティを除く)
- 建築基準法改正 (2000)
  - 性能設計法の導入

限界耐力計算法  
エネルギー法

## 建物の耐震性とは？

- 建物の耐震性能とは、地震のエネルギーを吸収できる能力のことで、建物の強さと粘りを組み合わせて判断



建物の強さ(耐力)

建物の粘り(変形能)

## 耐震設計法(主に水平力)

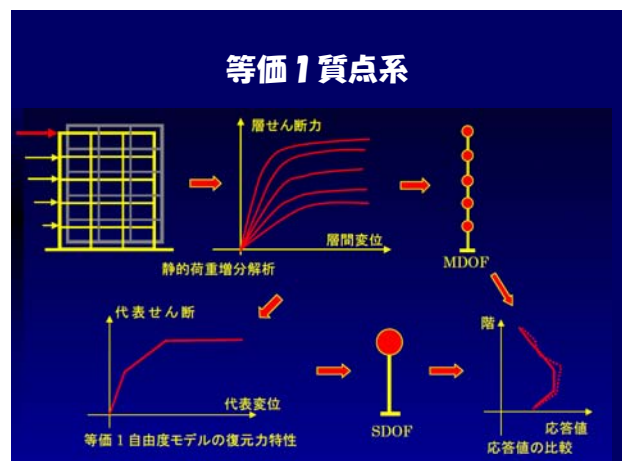
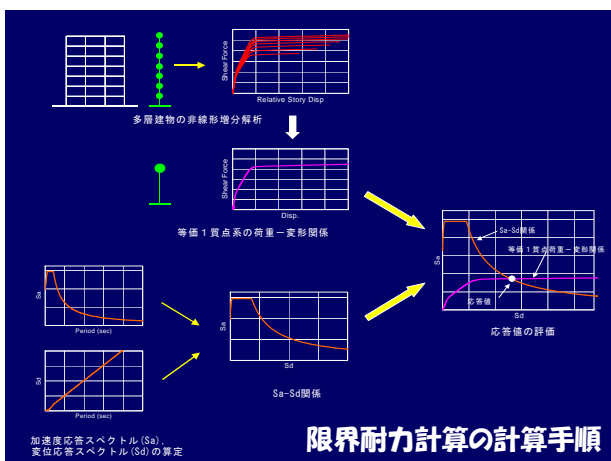
- 1)新耐震設計法  
一次設計:許容応力度設計  
二次設計:保有耐力計算
- 2)限界耐力設計法
- 3)エネルギー法
- 4)時刻歴応答解析(動的解析)

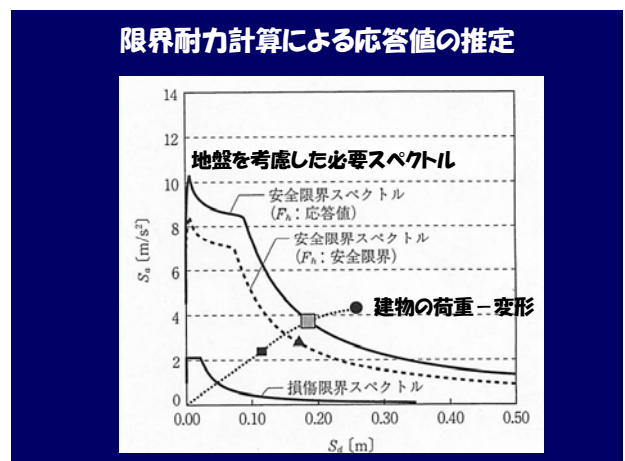
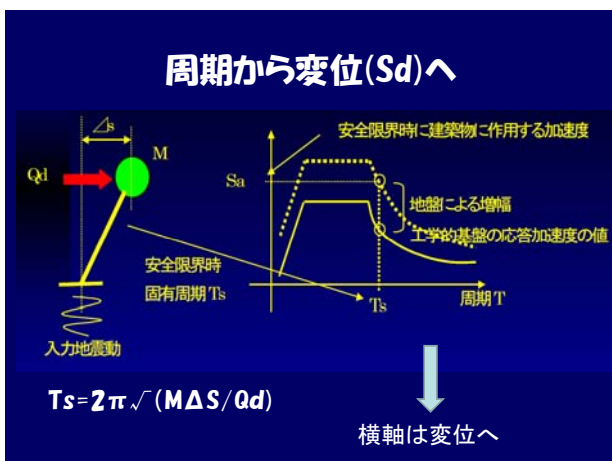
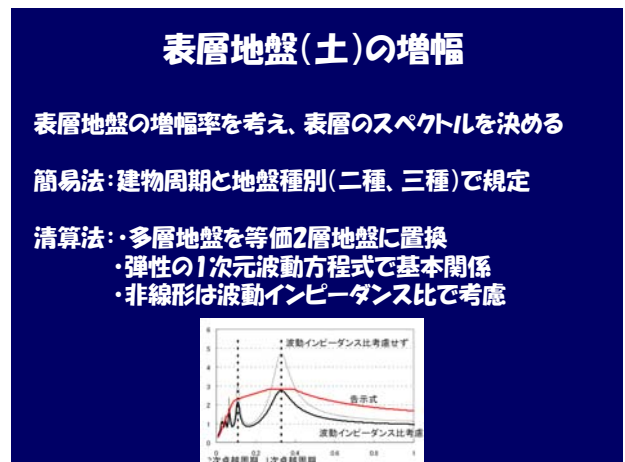
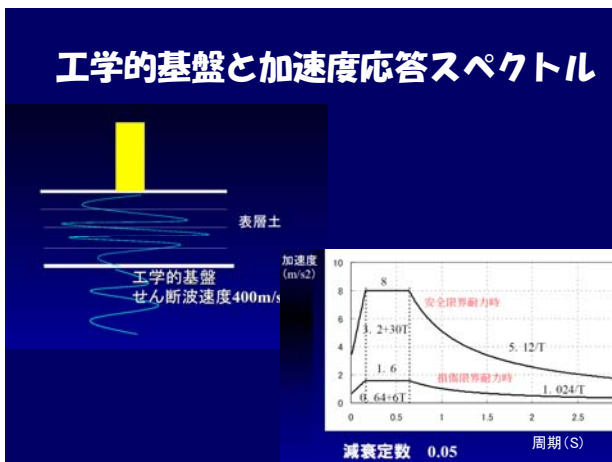
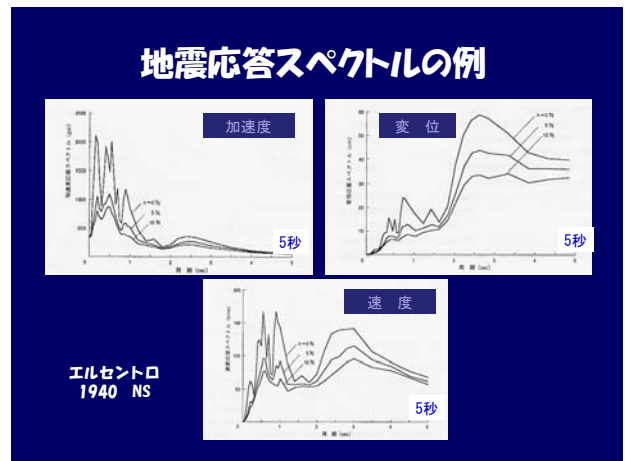
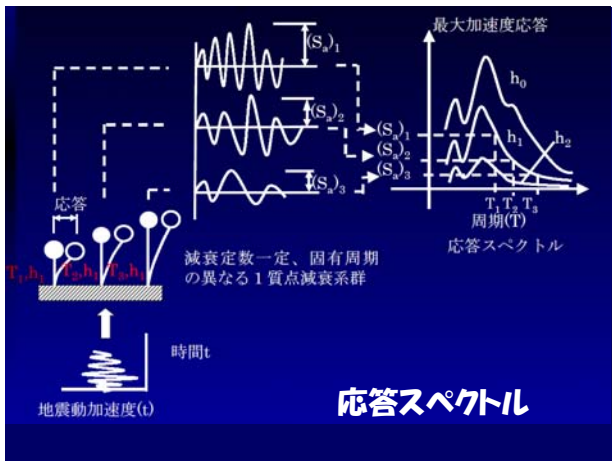
## 保有水平耐力計算の概要

- 大地震により建物が崩壊しないように、安全性の検討を行う。
  - 崩壊メカニズム(抵抗力の増大なし、変形のみ増大)時の柱や耐震壁が負担している水平力の合計→保有水平耐力  
計算した必要保有水平耐力 < 保有水平耐力
- ↓
- 力として「安全性」を担保する。  
→変形はあまり考慮されていない。  
全体変形が規定されていないので性能設計に向かない

## 限界耐力計算法の概要

- 損傷限界**は「建築物の耐用年数中に少なくとも1度は遭遇する程度(中程度)の荷重・外力(外乱)の作用後も建築物の安全性や使用性および耐久性が低下しない限界」であり、文字通り、地震後も損傷せず無修復で済む限界である。
- 安全限界**は「建築物の耐用年数中に極めて稀に発生する程度(大規模)の荷重・外力(外乱)に対して、建築物内外の人命に直接及ぼす危険が回避される限界」であり、倒壊しない限界である。つまり鉛直荷重支持能力が保持されることを保障する限界点





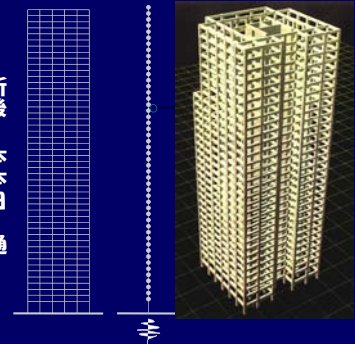
## 「超高層建物」とは

- 一般通念
  - 100m以上?
    - 住宅: 30階、事務所: 25階程度
- 建築基準法
  - 高さ60mを超える建物
    - 住宅: 20階弱、事務所: 15階程度

|       | 構造計算の方法 | 手続き                         |
|-------|---------|-----------------------------|
| 一般建物  | 静的設計    | 建築主事の認可                     |
| 超高層建物 | 地震応答解析  | 指定認定機関で評価<br>+<br>国土交通大臣の許可 |

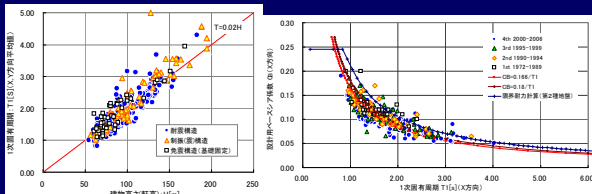
## 「超高層建物」の定義

- 高さ60mを超える
  - 基準法施行令36条で定義
  - 時刻歴地震応答解析で安全性を検証(後述)
  - 指定認定機関(日本建築センター、日本建築総合試験所、日本ERIなど)で評価を受ける→国土交通大臣の認可が必要



## 超高層建物の構造的長

- ✓ 長周期(ゆっくり揺れる)・・・地震の卓越周期をかわす大きな変形



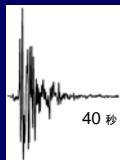
建物高さ一次周期

一次周期とベースシア係数

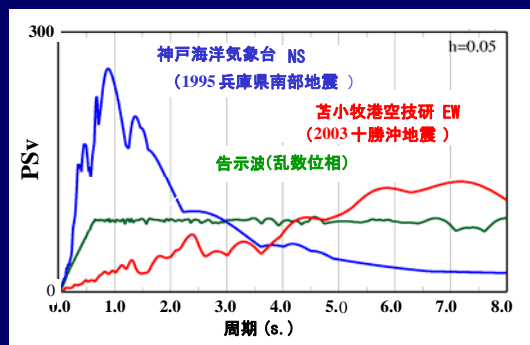
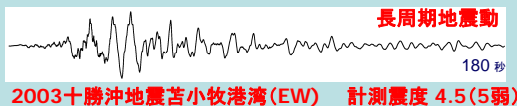
## 堆積平野の長周期地震動増幅特性



## 長周期地震動の波形(速度)



(参考)直下型地震  
1995兵庫県南部地震神戸海洋気象台(NS)  
計測震度 6.4(6強)



擬似速度応答スペクトルPSvの比較