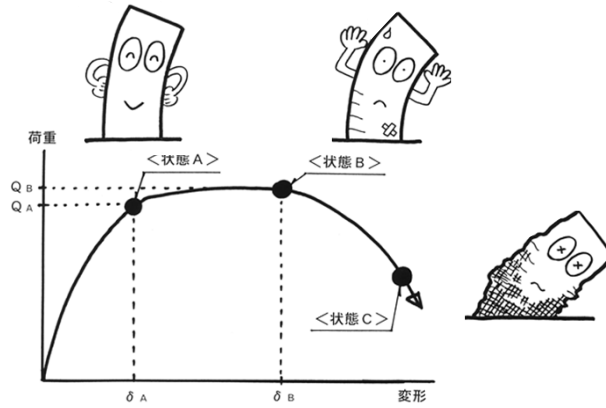


# 今後期待される構造設計の方向性



構造研究グループ  
福山 洋

## 今日の内容

- 1) 東日本大震災で見られた課題に対する建研の取り組み
- 2) 今後期待される構造設計の方向性

## I. 東日本大震災等で見られた課題に対する建研の取り組み

- 基  
整  
促
  - ・ 津波
  - ・ 天井 & エスカレーターの落下
  - ・ 液状化
  - ・ 長周期地震動
- 個  
別  
重  
点
  - ・ 庁舎・避難所の機能停止
  - ・ 今後の巨大地震対策
  - ・ 竜巻

3

### 1) 津波による建築物の被害



4

# 1) 津波による建築物の被害 これまでの対応

## 2011年 基整促40番

被災地の復興、各地の今後の津波防災に資するため、  
「津波避難ビルの構造設計法」に関する検討を実施

内閣府「津波避難ビル等に係るガイドライン(2005)」巻末資料の  
構造設計法を検証&見直し (東大生研との共研)



- **技術的助言** (2011年 国住指第2570号)  
別添「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた  
津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」
- **告示** (2011年 国土交通省告示第1318号)  
「津波防災地域づくりに関する法律」に基づく

5

# 津波による建築物の被害



倒壊



転倒



滑動



漂流物の衝突



洗屈

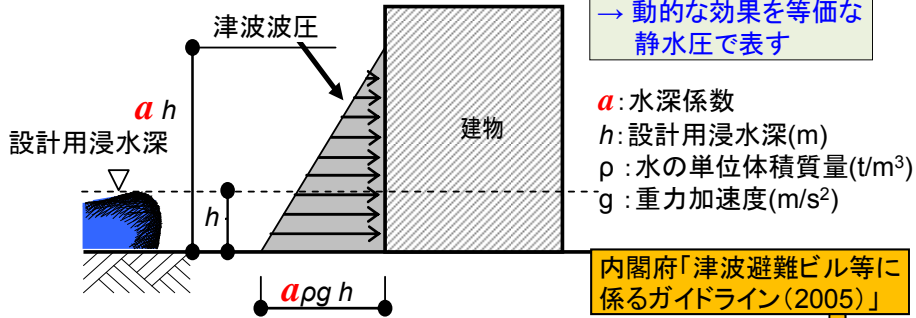


壁の破壊

6

## 津波波圧の算定

津波波圧を、設計用浸水深に水深係数 $a$ を掛けた高さの静水圧として算定



	遮蔽物あり		遮蔽物なし
	500m以遠	500m未満	距離によらず
水深係数 $a$ の設定	1.5	2	3

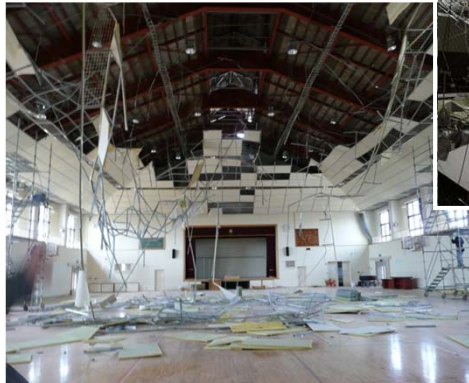
## 1) 津波による建築物の被害 これからの対応方針

- 2011年: 津波による被害の痕跡から事象を推定  
→ 実際の現象(メカニズム)は、まだ十分に把握されていない



- 2012-14年: 基整促49番 (東大生研、鹿島建設(株)、性能協との共研)  
→ 水理実験や解析によるメカニズムの検討
  - ・ 津波による力が建築物に作用するメカニズム  
開口、浸水深、流速、浮力、漂流物 等の影響
 → 評価法の合理化

## 2)天井の落下被害



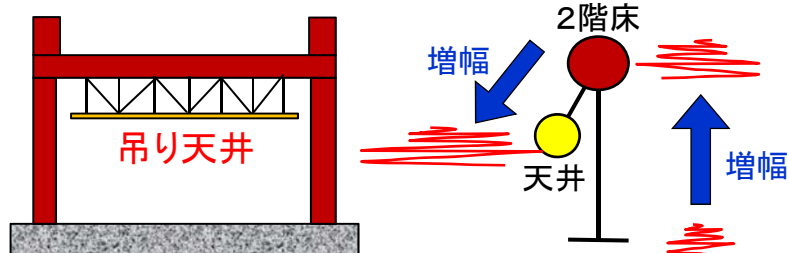
9

## 2)天井の落下 落下防止対策の難しさ

<天井の振動> 建築物に入力した地震動は各層で増幅され、その各層の床スラブから吊り下げられる天井においてさらに大きく増幅される



架構が塑性化した場合や、天井の各部分が弾性挙動から外れ、すべりやはずれ等が生じた場合は、その応答をある精度を持って予測することは極めて困難



10

## 2) 天井の落下 これからの対応方針

大地震に対する応答推定法の開発が望まれる  
→ 塑性化後の安定した挙動が期待出来る天井システム

<意見募集中の政令 & 告示案の考え方>

中地震時の損傷を防止することにより、天井が有する余力をもって、中地震を超える一定の範囲内の地震時においても、天井落下の低減を図る



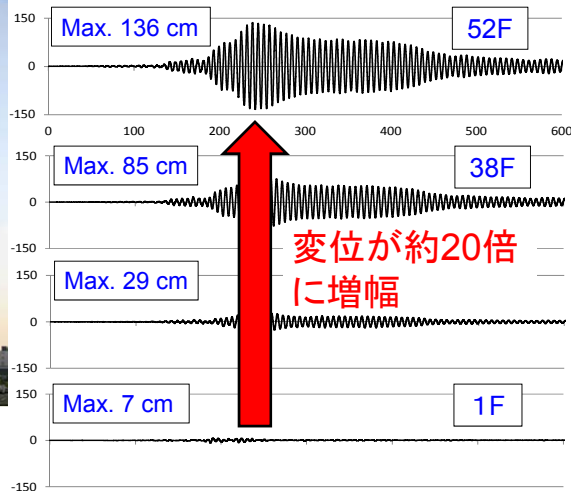
許容耐力に対して余裕を持った設計が推奨される

11

## 3) 長周期地震動による超高層 建築物や免震建築物の共振



55階建て鉄骨構造  
(大阪)



12



### 3) 長周期地震動による超高層建築物や免震建築物の共振 課題の概要とこれまでの対応

＜建築研究所のこれまでの対応＞

- 2008-10年度：長周期地震動を考慮した**設計用地震動作成手法**の検討  
基整促1番 ((株)大崎総合研究所、(財)日本建築防災協会と共研)



＜国土交通省のこれまでの対応＞

- 2010年12/21～2011年2/28：「超高層建築物等における長周期地震動への**対策試案**」の任意の意見募集(パブリックコメント)

東日本大震災(2011)：多数の地震記録を観測(建研)

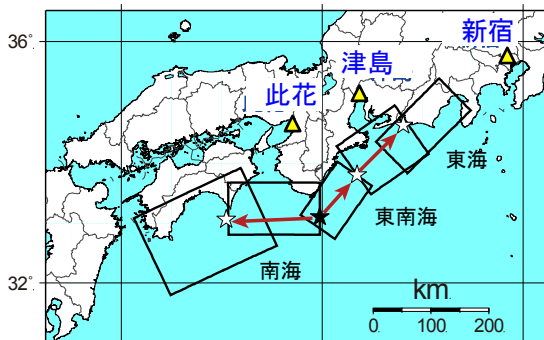


＜建築研究所の対応＞

- 2011-12年度：基整促42番で観測記録による**対策試案の検証と見直し**  
((株)大崎総合研究所と共研) → **設計用地震動作成手法(改良版)**

13

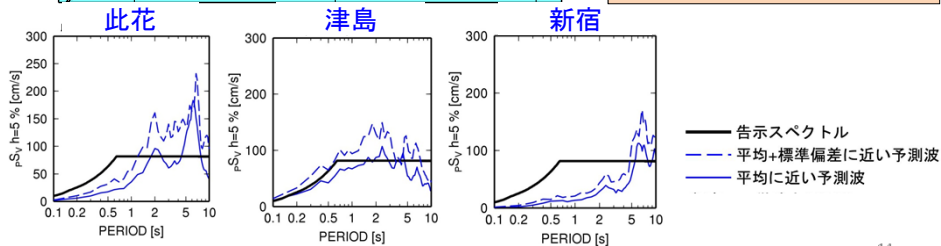
### 改良評価式による3連動地震のシミュレーション



改良手法を用いて、大阪、濃尾、関東平野における主要観測地点での地表における長周期地震動を試作



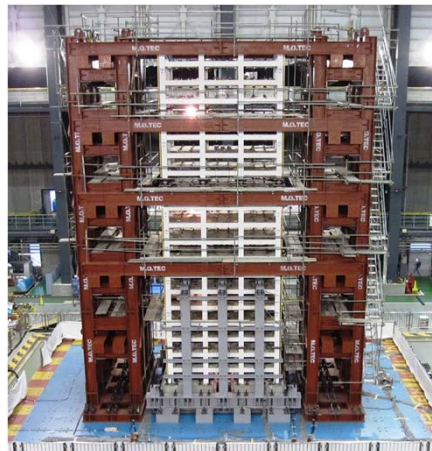
平均的な波と、観測データのばらつきを上乗せした波形を用いて応答解析を実施



## 改良評価式による3連動地震のシミュレーション

さまざまな種類や高さの超高層建築物について計算した結果、層間変形角の予想値は最も大きな場合で約1/50 rad. に達した

## 3) 長周期地震動による超高層建築物や免震建築物の共振 20層 RC造建築物(1/4スケール)の震動台実験



基整促27-1番

(株)大林組、  
鹿島建設(株)、  
(株)小堀鐸二研究所、  
清水建設(株)、  
大成建設(株)、  
(株)竹中工務店、  
との共研

(独)防災科学研究所、E-Defense



### 3) 長周期地震動による超高層建築物や免震建築物の共振 20層 RC造建築物(1/4スケール)の震動台実験

#### <結果概要>

1/100 rad. までは、シミュレーションと実験が良く対応  
それ以降の大変形では、両者の乖離が顕著  
(→ スラブ効果等により、保有水平耐力の実験値が解析値の約1.5倍)  
→ 大変形領域における応答推定には、大変形を考慮した  
解析モデルなど、解析手法の見直し・高度化が必要

17

### 4) 庁舎・避難所等の 地震被害による機能停止

#### 東日本大震災の被害例



庁舎の損傷

18

### 立ち入り禁止措置が採られた公共建築物

- |                   |      |              |
|-------------------|------|--------------|
| 1) I 県 T 市役所      | (大破) | 3 層, 1963 竣工 |
| 2) F 県 H 分庁舎      | (小破) | 6 層, 1967 竣工 |
| 3) F 県 K 合同庁舎北    | (大破) | 3 層, 1960 竣工 |
| 4) F 県 S 市役所本庁舎   | (大破) | 4 層, 1970 竣工 |
| 5) F 県 S 市役所分庁舎   | (小破) | 2 層, 1968 竣工 |
| 6) T 県 O 市役所本庁舎   | (小破) | 3 層, 1961 竣工 |
| 7) IB 県 H 市土木事務所  | (大破) | 3 層, 1969 竣工 |
| 8) IB 県 T 市役所本庁舎  | (中破) | 3 層, 1958 竣工 |
| 9) IB 県 T 市役所第2庁舎 | (中破) | 2 層, 1966 竣工 |
| 10) IB 県 K 市役所K支所 | (大破) | 3 層, 1964 竣工 |

→ 非構造部材等の損傷も使用禁止措置の判断に大きく影響

19

### 体育館の鉄骨屋根とRC造柱接合部の損傷



このほか、天井の落下、非構造部材の損傷・落下等により、使用不可となったものが見られた

20

## 杭の破壊



上部構造が傾斜したため建物は取り壊された

(写真提供: 東京都市大学北山和宏教授)

21

## 4) 庁舎・避難所等の地震被害による機能停止 これからの対応

<建研の対応>

2013-15年度: 個別重点研究「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性確保に資する耐震性能評価手法の構築」を実施



- 東日本大震災における庁舎の「立入り禁止」措置の原因を調べる  
→ 機能継続のための設計目標を取りまとめる
- 立入り禁止となった庁舎建築物の部分構面を再現し、載荷試験により損傷のプロセスを調べる
- 体育館の鉄骨屋根-RC柱接合部の挙動を構造実験により検討
- 杭の損傷による建築物の傾斜を防止するための、杭の設計法を検討

22

## 5) 今後発生が予想される 大地震による被害

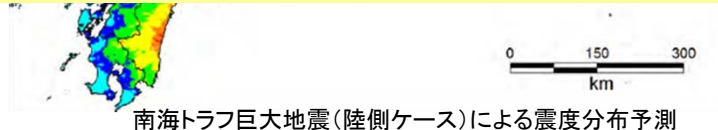


2012年8月：内閣府が「南海トラフの巨大地震による被害想定（第一次報告）」を発出

→ 東海地方が大きく被災するケース

- ・ 全壊および焼失棟数：約95万～238万棟
- ・ 死者：約8万～32万人

→ 極めて大きな被害の数値が示された



南海トラフ巨大地震（陸側ケース）による震度分布予測

23

## 5) 今後発生が予想される大地震による被害 背景

個々の建築物については、今後、地震応答に基づく検討が求められる  
→ 巨大地震では**基準法の想定地震動を上回る可能性**

近年の地震でも告示スペクトルを上回る地震動が数多く観測されたが、観測点近傍の、**新耐震建築物には倒壊等の大きな被害は見られていない** → (例) 阪神・淡路大震災(1995)



<その原因として考えられること>

- 1) **建築物への入力地震動は、動的相互作用効果等により地表面の地震動よりも短周期成分が低減される傾向があること**
- 2) **各層の保有水平耐力は、設計慣習による予測値よりもかなり向上する傾向があること** (スラブ効果、材料強度・強度評価式の余裕等による)

24

## 5) 今後発生が予想される大地震による被害 これからの対応方針

2013-15年度: 個別重点研究「巨大地震等に対する建築物の応答推定精度向上に資する入力および構造解析モデルの研究」

下記の効果などを評価

- 入力の低減（動的相互作用など）
- 保有水平耐力の向上（スラブ効果、梁軸力、など）



基準法の想定を上回る地震動に対する建築物の応答を、ある一定の精度で予測できる手法を検討する

25

## Ⅱ. 今後期待される構造設計の方向性

1) 性能設計の推進

2) 余裕のある設計の推奨

26



## 1) 性能設計の推進



I.B.T 市役所



I.B.K 市役所



I.T 市役所



F.S 市役所

27

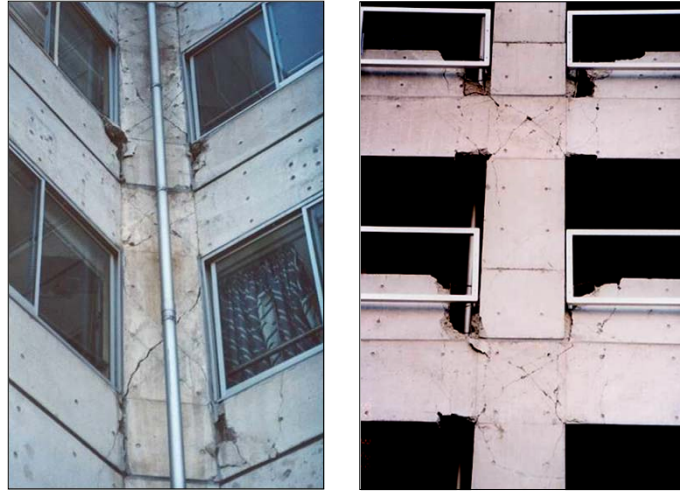
## 1995年兵庫県南部地震による新耐震建築物の損傷



28

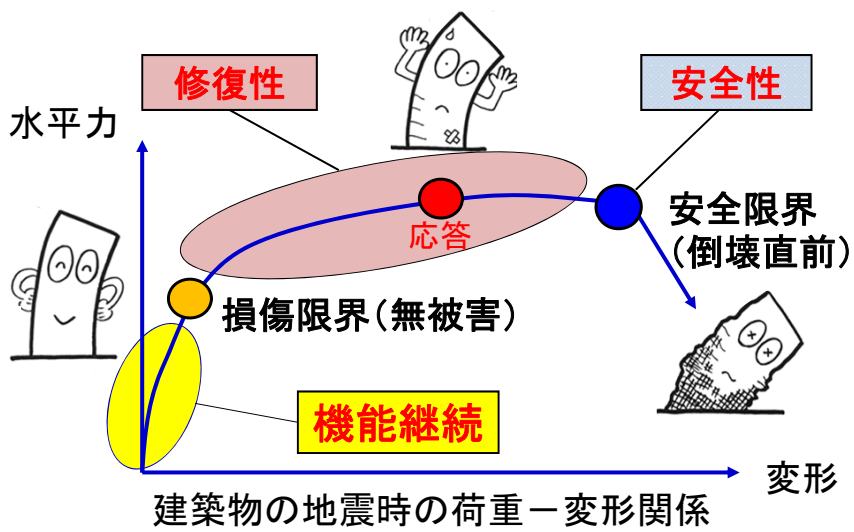


### 1995年兵庫県南部地震による新耐震建築物の損傷



29

### 安全性と修復性および損傷限界(無被害)の関係



## 性能設計の結果、伝えるべき情報

災害により建築物のどの部分にどのような  
損傷が生じ、建物機能のうちどの機能がどの  
程度の支障をきたすか？

その回復にどの程度の時間と費用がかかり、  
それらによる**生活の困窮度（業務困難度）は**  
**どの程度であるか？**

31

## 2) 余裕のある設計の推奨

### ① 東日本大震災でも明らかとなっていない今後の課題

#### 新耐震基準（1981年施行）

阪神・淡路大震災（1995）の被害調査からその挙動が概ね確認され、必要な告示改正等が行われてきた

→ 1981～1995の技術は検証された

2011年東北地方太平洋沖地震が必ずしも最大級の入力地震動ではなかった

● 阪神・淡路大震災（1995）以降に普及してきた、耐震、免震、制振、耐震改修等の構造技術や技術基準

● 一貫構造計算プログラムを利用した設計（解析モデルや解析上の仮定等について設計者の適切な判断など、技術と人の関係）

→ 1995年以降に開発された技術の検証はまだ

32

## 2) 余裕のある設計の推奨

### ② 想定外の事象への配慮

設計においては、十分には理解されていない事象や、現時点では考えが及ばないような事象が存在

→ 総合的な判断が求められる（構造設計は判断の積み重ね）

- まだ知らないこと、分からないこと、間違い等への対処
- 発生の可能性が極めて少ない事象（設計対象外）が発生した場合の崩壊に対する一定のredundancy（冗長性）を確保 →（爆発、衝突、テロ等）

Unknownな事象に対する工学的な対処方法、備え



「余裕」のある設計

33

## まとめ

下記に関する「建研の取り組み」と「考え方」を紹介

- ・ 津波
- ・ 天井
- ・ 長周期地震動
- ・ 庁舎等の機能継続
- ・ 今後発生が予想される大地震

「今後期待される構造設計の方向性」として下記を紹介

1) 性能設計、2) 余裕のある設計

何れの課題も、今後の構造設計に向け、東日本大震災（2011）等の経験を最大限に活かす必要がある

34

