

# 1 超高層建築物等の安全対策に関する検討

## (1)長周期地震動に関する検討

株式会社 大崎総合研究所

社団法人 日本建築構造技術者協会

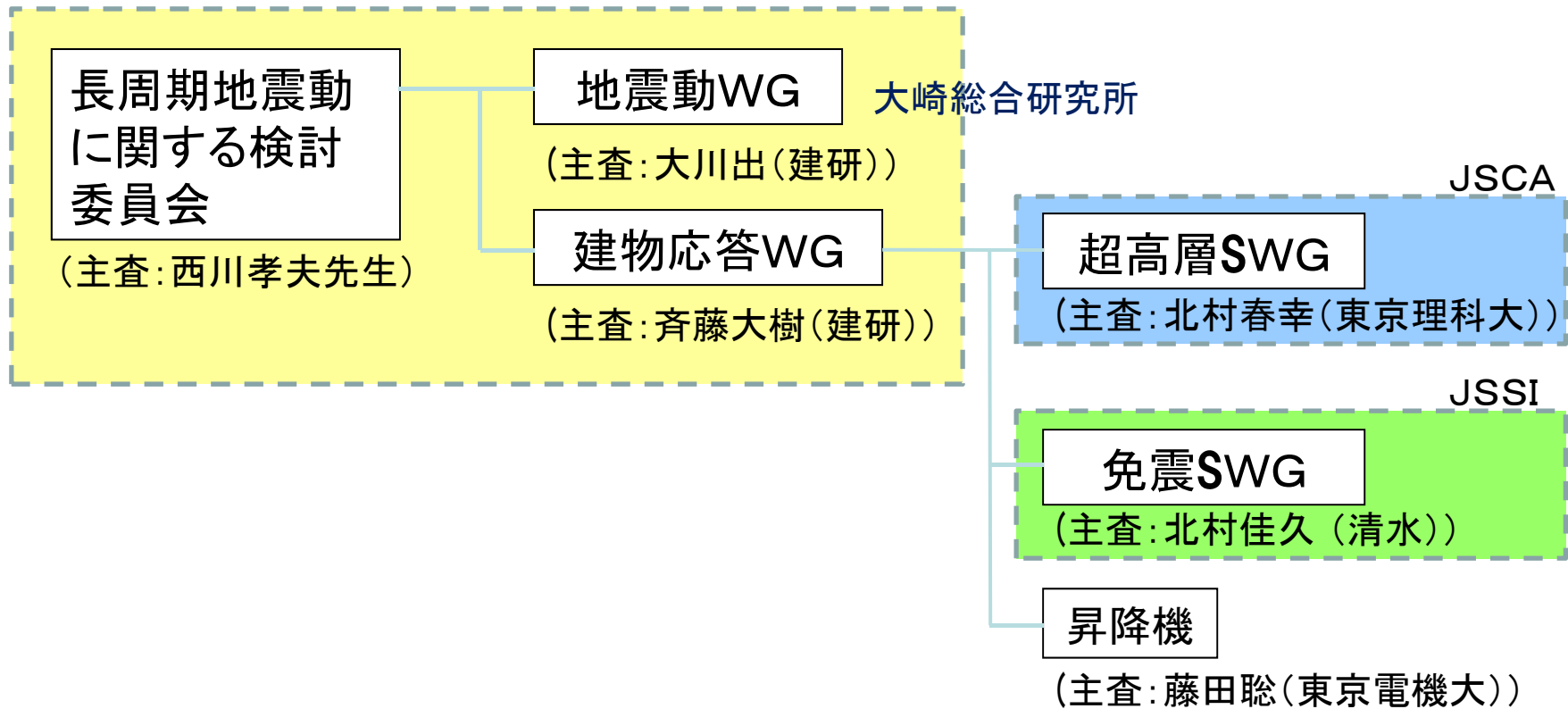
社団法人 日本免震構造協会

財団法人 日本建築防災協会

# 検討体制

(独立行政法人建築研究所と共同研究)

日本建築防災協会



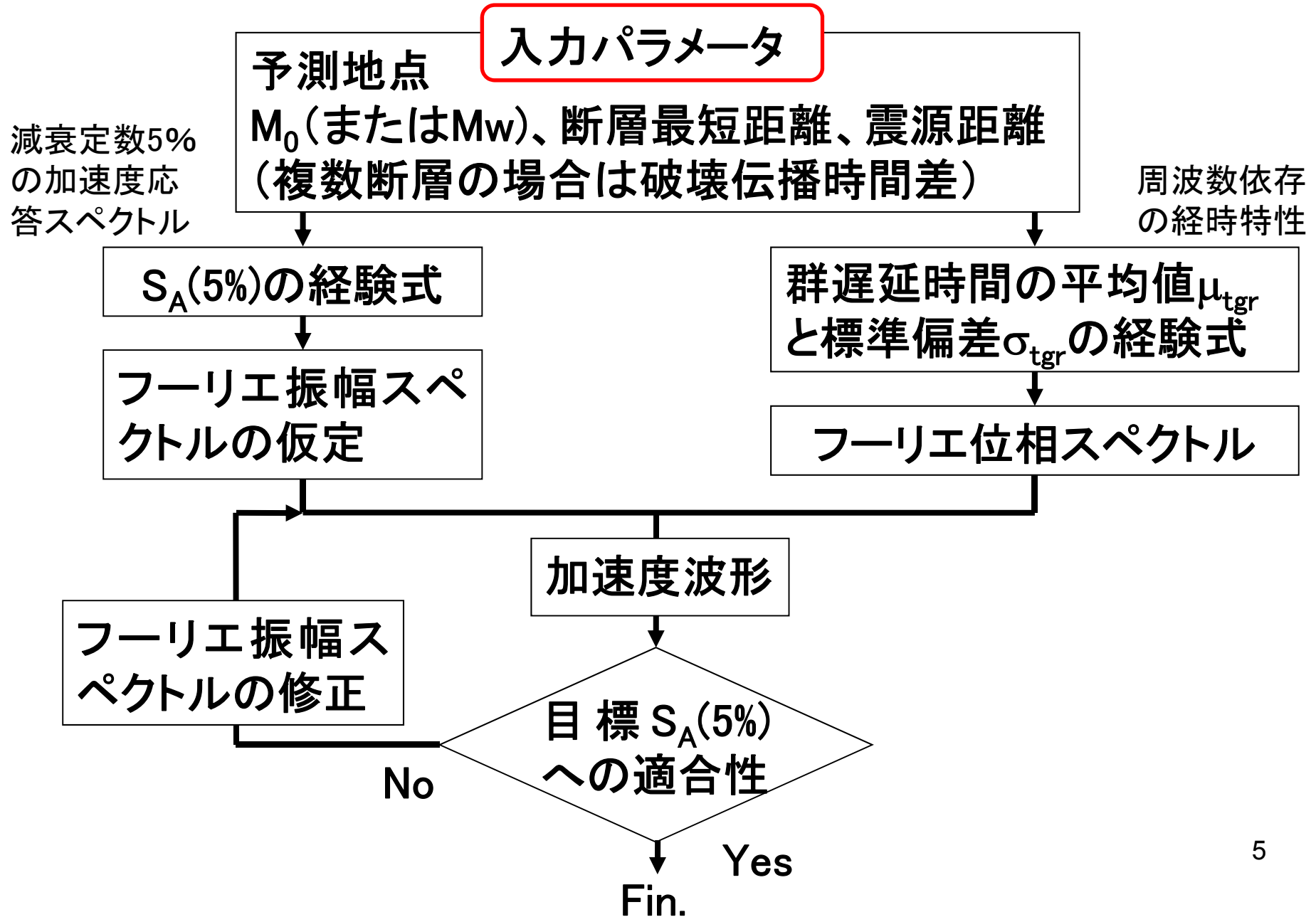
# 平成21年度検討項目 (平成21年度 募集要領より)

- (イ) 長周期地震動を考慮した設計用地震動の作成手法の提案
- (ロ) 超高層建築物等の応答特性の検討
- (ハ) 建築設備に与える影響に関する検討

# H21年度の長周期地震動に関する検討概要

- 1) H20年度に作成した経験式の地盤増幅率、サイト係数の改良(関東平野での観測継続時間の長い記録の追加、短い記録の除去。2009年駿河湾の地震の記録の追加)
- 2) 複数の南海トラフ沿いの海溝型地震、及び、関東地震、宮城県沖地震に対する大阪平野、濃尾平野、関東平野等での長周期時刻歴波形の作成と既往の予測波との比較
- 3) 工学的基盤への補正の検討(周期1秒以下)
- 4) 観測点以外の任意地点で地盤増幅率の検討(大阪平野)

# 経験式に基づく時刻歴波形作成方法



# 想定海溝型地震と予測地点

地震	Mw	大阪平野	濃尾平野	関東平野	その他
南海地震	8.5	○	○		
南海・東南海地震	8.6	○	○		
東南海地震	8.2及び8.1	○	○	○	○
東南海・東海地震	8.3	○	○	○	
宮城県沖地震	7.6				○
関東地震	7.9			○	

★各平野での主な予測地点は以下の通り

大阪平野: 此花(OSKH02)、大阪(OSK005)

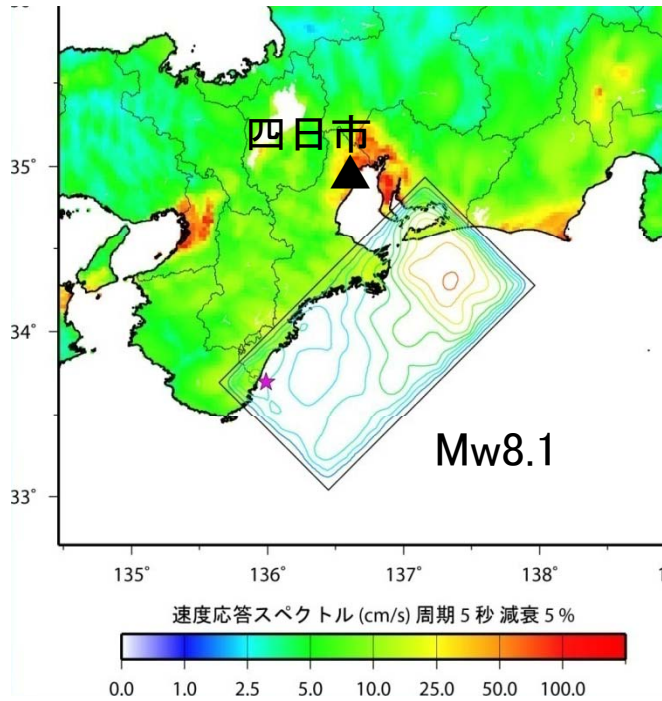
濃尾平野: 津島(AIC003)、名古屋(AIC004)

関東平野: 新宿・工学院大、JMA大手町、東雲(TKY016)、JMA横浜

★関東地震は参考波(震源距離が経験式の適用範囲外のため)<sub>6</sub>

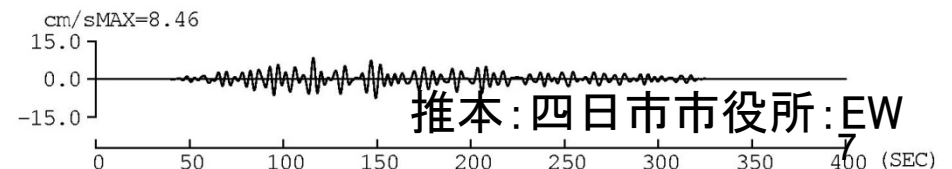
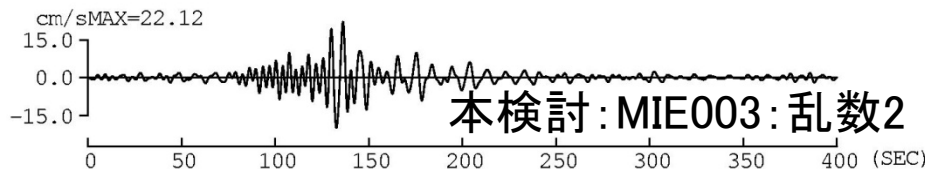
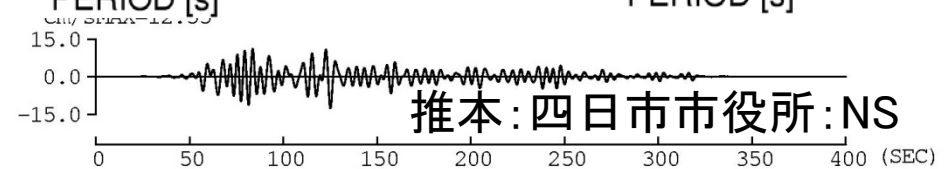
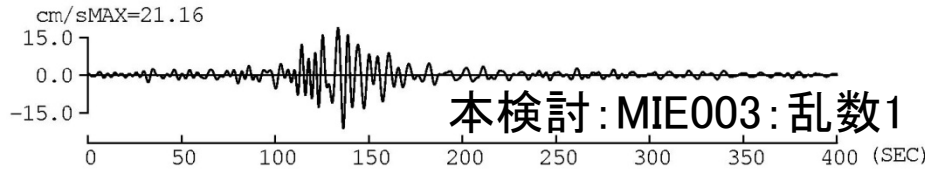
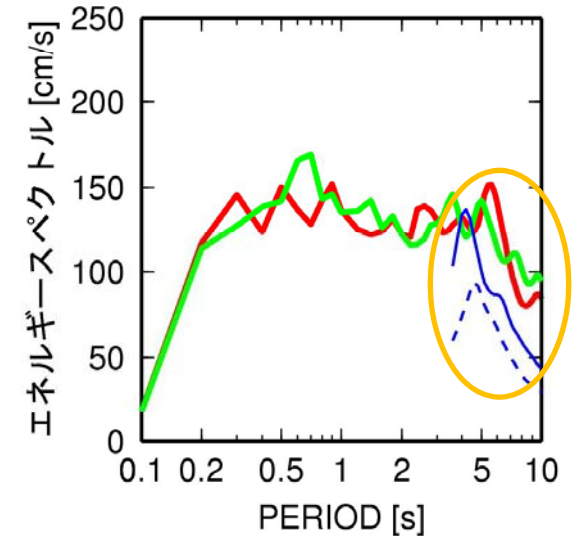
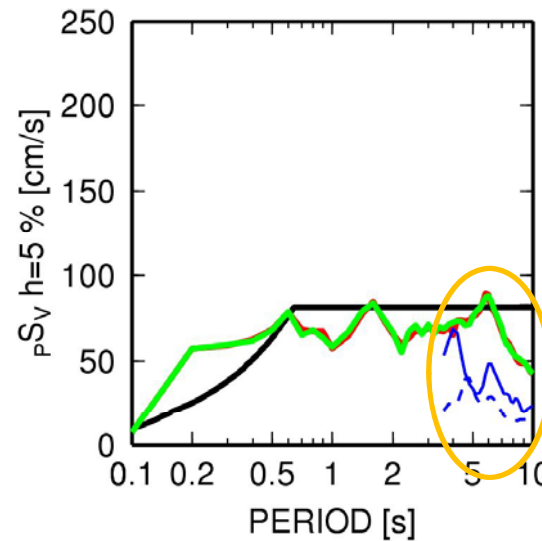
# 本検討と地震調査研究推進本部(推本)の 東南海地震の四日市での予測波の比較

推本の長周期地震動予測地図に加筆



- 推本:四日市市 EW
- 推本:四日市市 NS
- 告示スペクトル
- 乱数2:平均
- 乱数1:平均

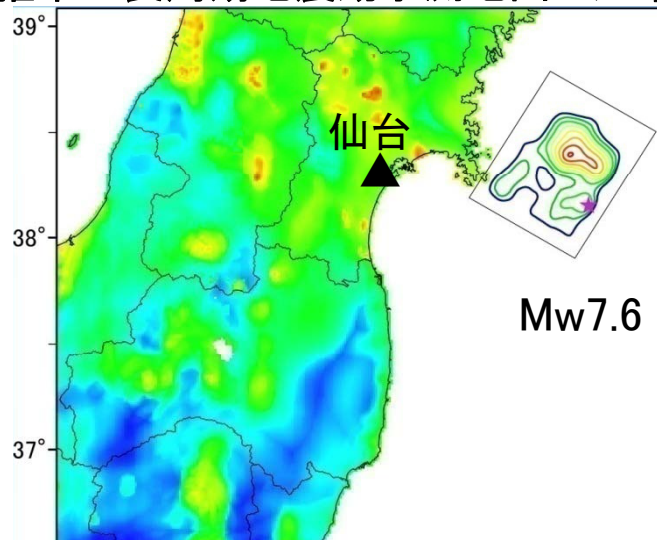
- 推本:四日市市 EW
- 推本:四日市市 NS
- 乱数2:平均
- 乱数1:平均



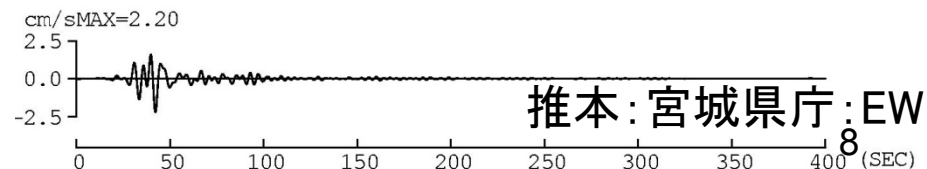
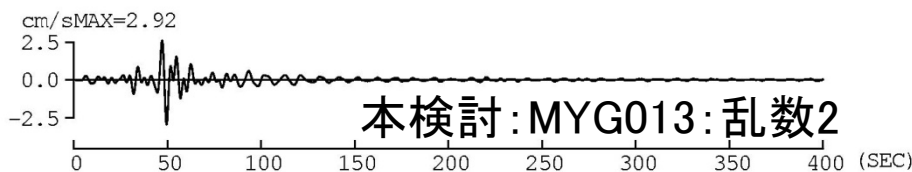
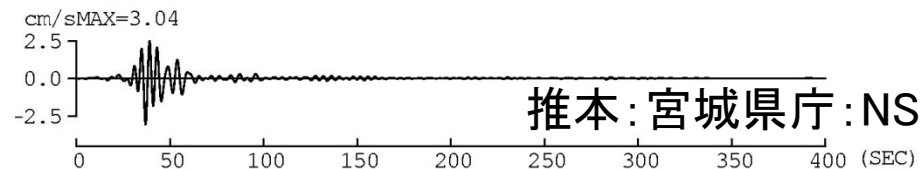
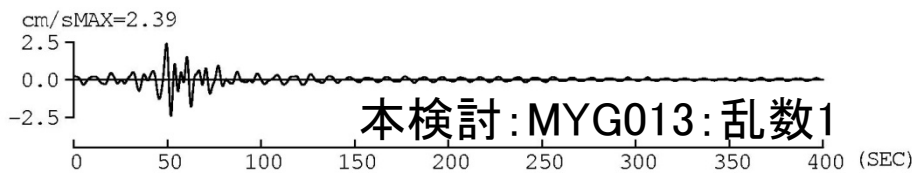
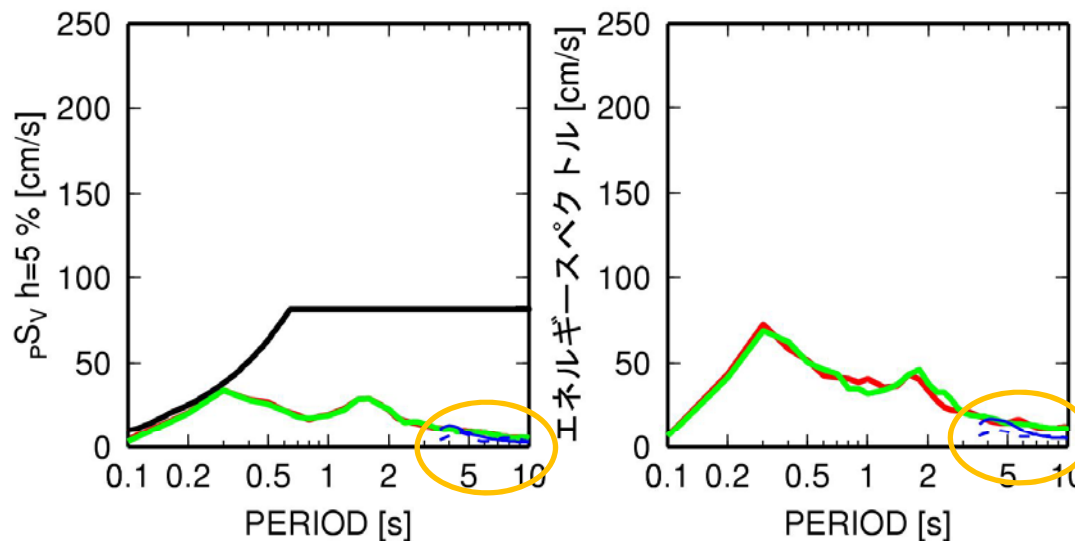
速度波形(周期3.5~10秒のフィルター波)

# 本検討と地震調査研究推進本部(推本)の 宮城県沖地震の仙台での予測波の比較

推本の長周期地震動予測地図に加筆



- 推本:宮城県庁 EW
- 推本:宮城県庁 NS
- 告示スペクトル
- 乱数2:平均
- 乱数1:平均

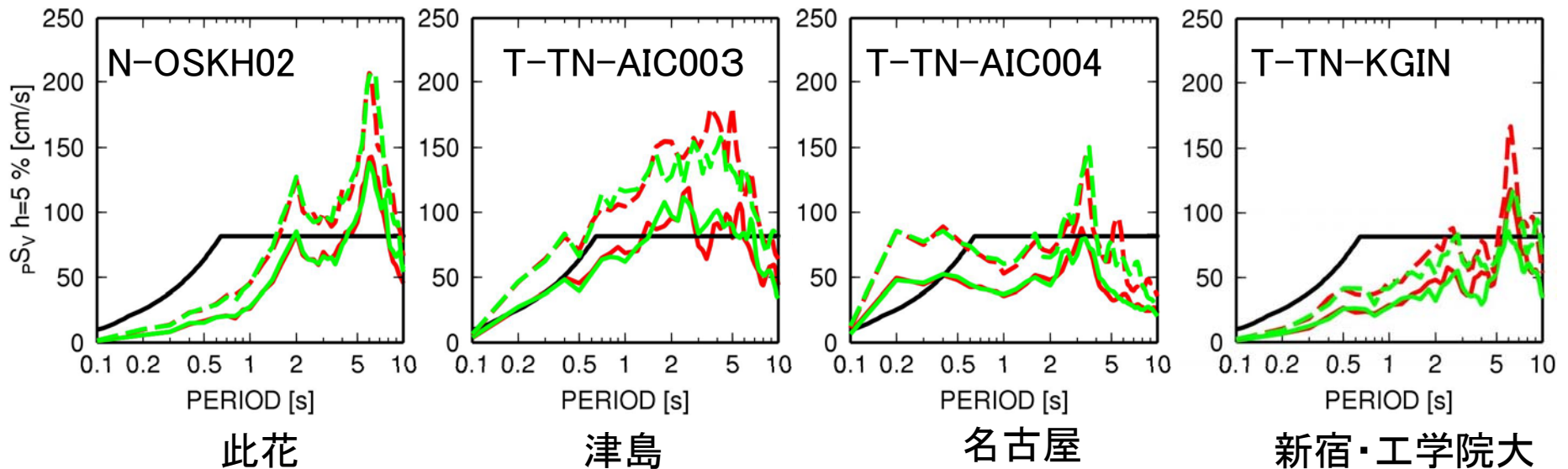


速度波形(周期3.5~10秒のフィルター波)



# 建物応答の入力波とした波形(周期0.1~10秒)の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

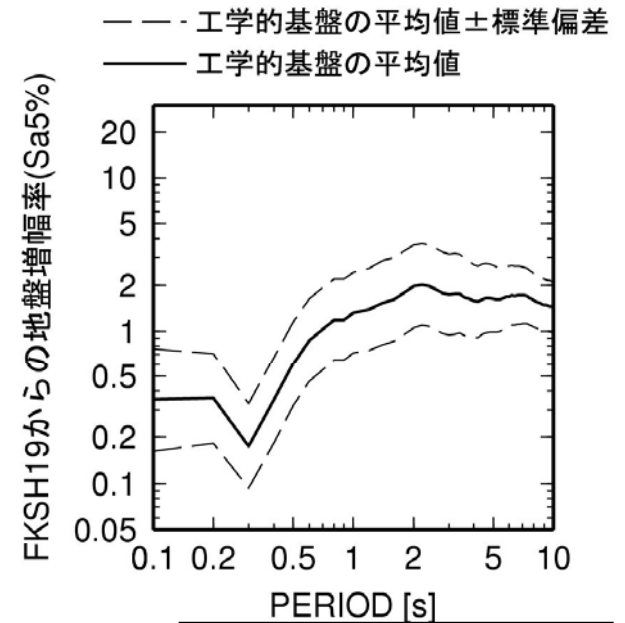
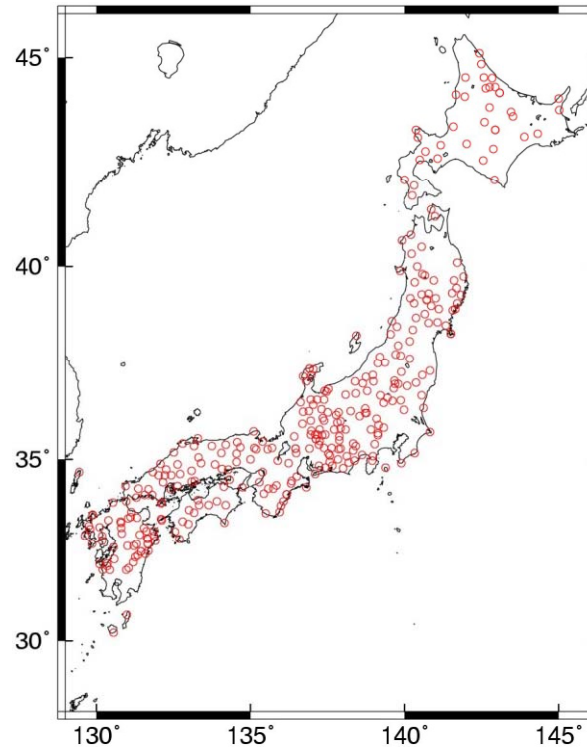
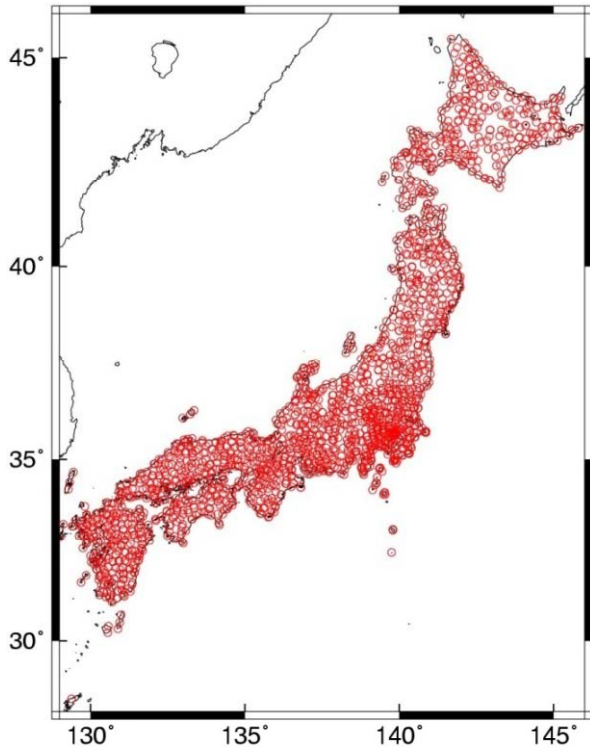
- 告示スペクトル
- - 乱数2: 平均+標準偏差  $\sigma$
- - 乱数1: 平均+標準偏差  $\sigma$
- 乱数2: 平均
- 乱数1: 平均



南海地震(Mw.8.5)

東南海・東海地震(Mw.8.3)

# 工学的基盤での $S_A(5\%)$ の地盤増幅率の検討



地盤増幅率を求めた全観測点(防災科研, 気象庁, 工学院大学)

$V_s > 400 \text{ m/s}$ 以上の基盤からの卓越周波数が15Hz以上の観測点を選択

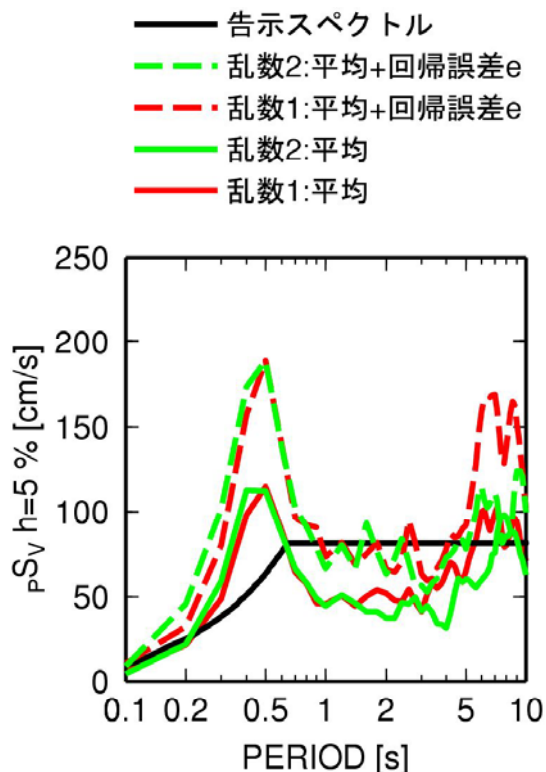
工学的基盤での地盤増幅率

地盤増幅率の平均値を算出

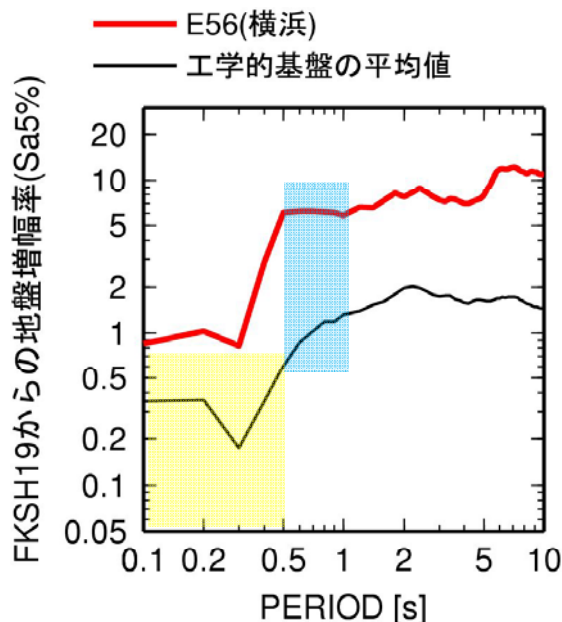
95%程度で、深さ20m以上までPS検層あり

★対象とする0.1~10Hzでは、工学的基盤とみなせる

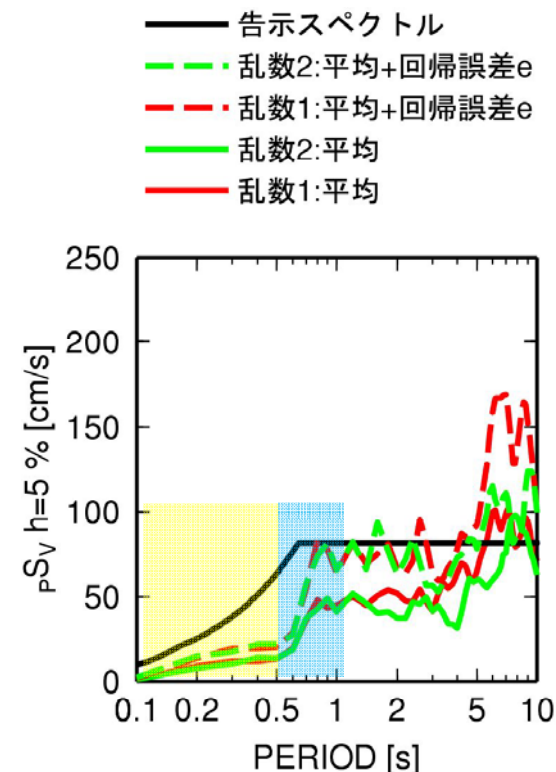
# 工学的基盤への補正(周期1秒以下)の例



東南海・東海地震  
による横浜の地表  
での予測波

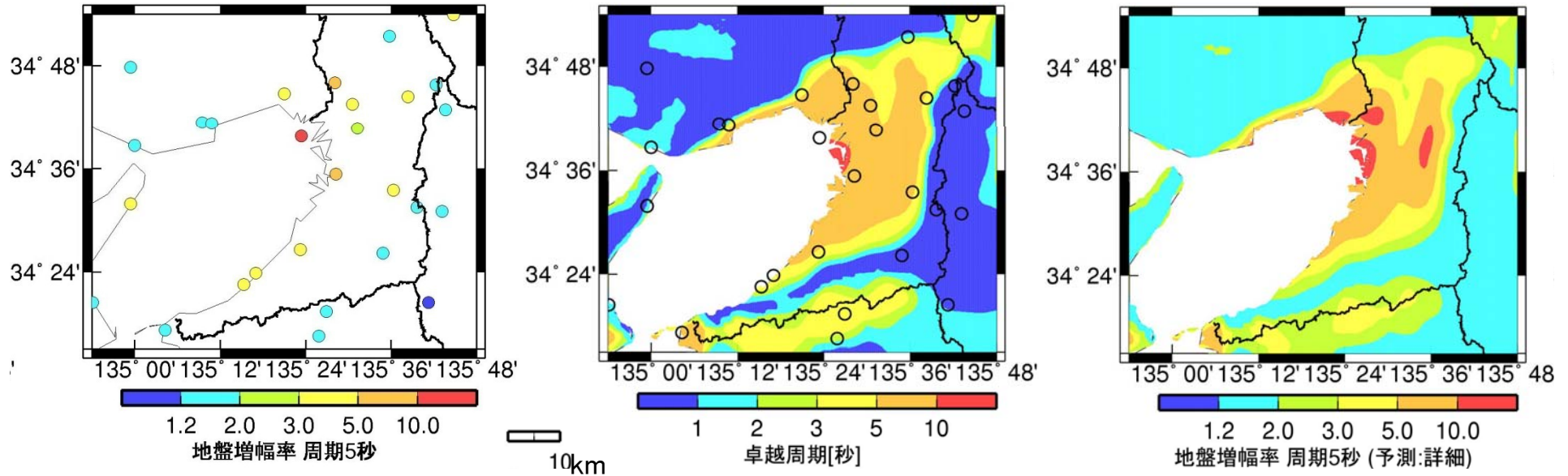


・周期0.5秒以下:工学  
的基盤の地盤増幅率  
・周期0.5~1秒:遷移域



東南海・東海地震  
による横浜の工学  
的基盤での予測波

# 任意地点の $S_A(5\%)$ の地盤増幅率



本経験式で地盤増幅率  
率が得られている観  
測点(10~20km間隔)

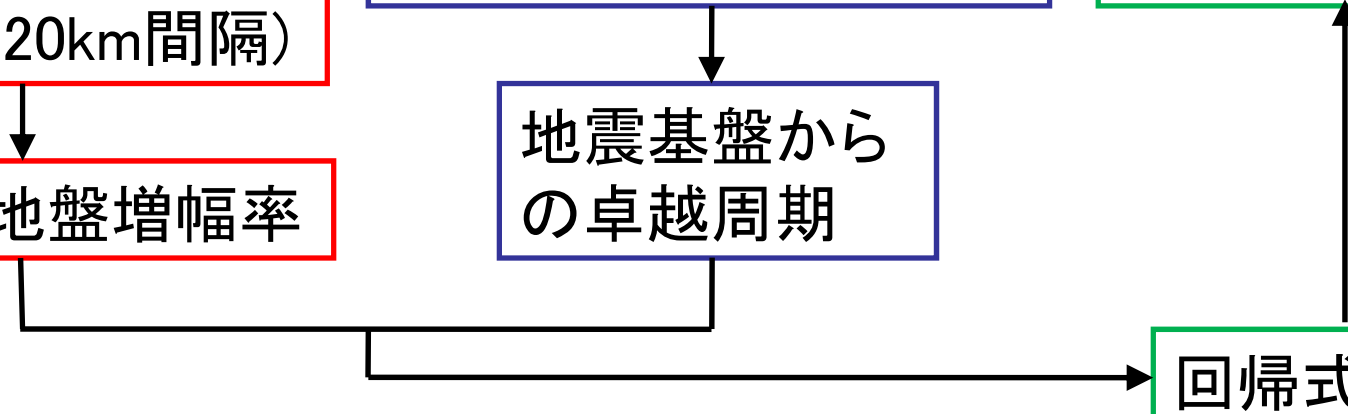
経験式の地盤増幅率

推本の三次元地下構造  
データ(約1km間隔)

地震基盤から  
の卓越周期

任意地点での  
地盤増幅率

回帰式作成



# 長周期地震動に関するまとめと今後の課題

- 1) 経験式の地盤増幅率、サイト係数の改良を行った。
- 2) 複数の海溝型地震に対する大阪平野、濃尾平野、関東平野等での長周期時刻歴波形を作成し、既往の予測波との比較から作成手法の検証を行った。
- 3) 工学的基盤への補正係数を作成した。
- 4) 大阪平野で、任意地点における $S_A(5\%)$ の地盤増幅率の検討を行った。

今後、濃尾平野、関東平野も含め、任意地点での長周期時刻歴波形作成を可能にする必要がある。

## **(ロ)超高层建築物等の応答特性の検討**

- S造建物6棟、RC建物7棟に本検討で作成した長周期地震動を入力して結果をまとめた。
- モデル化や対策について今後検討すべき課題を明らかにした。
  - 耐震モデルと制振モデル
  - 質点系モデルとフレームモデル
  - P- $\delta$  効果や繰り返し耐力劣化の影響
- 免震建物40棟に本検討で作成した長周期地震動を入力して結果をまとめた。

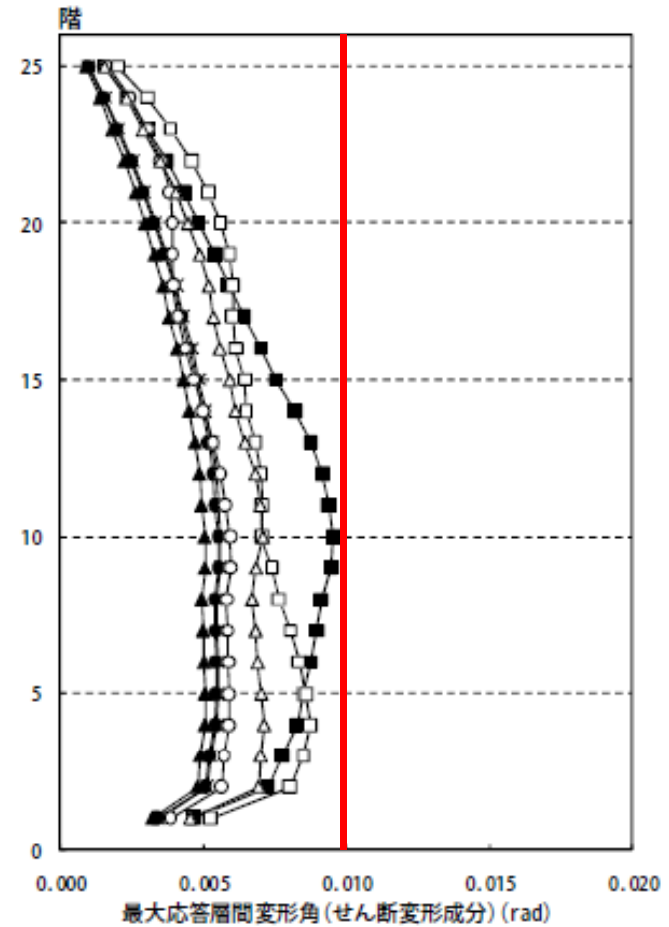
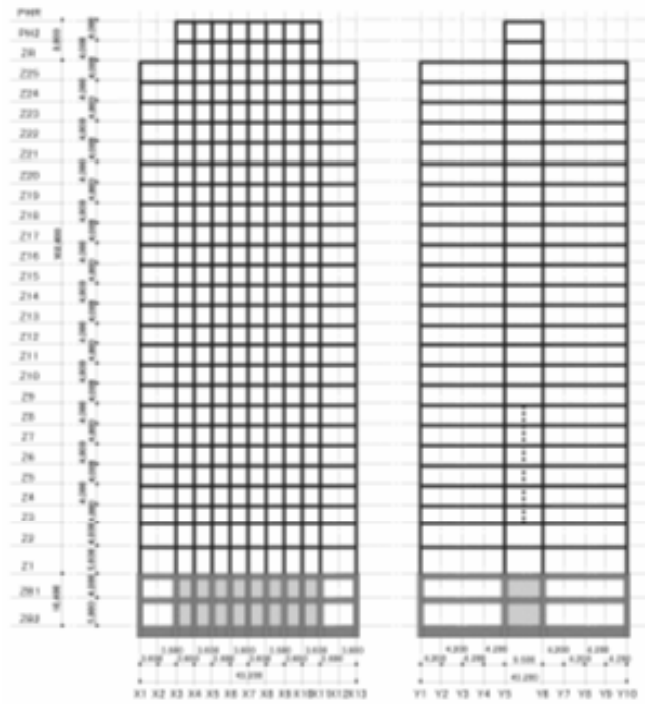
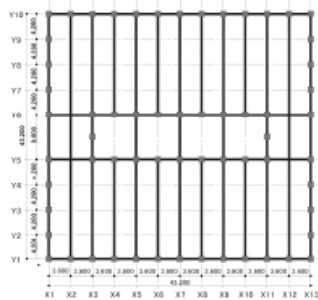
## **(ハ)建築設備に与える影響に関する検討**

- 昇降機についての現況と課題をまとめた。

# S造建物6棟の最大応答値(1)

S100m級

Y方向 T1=2.3秒

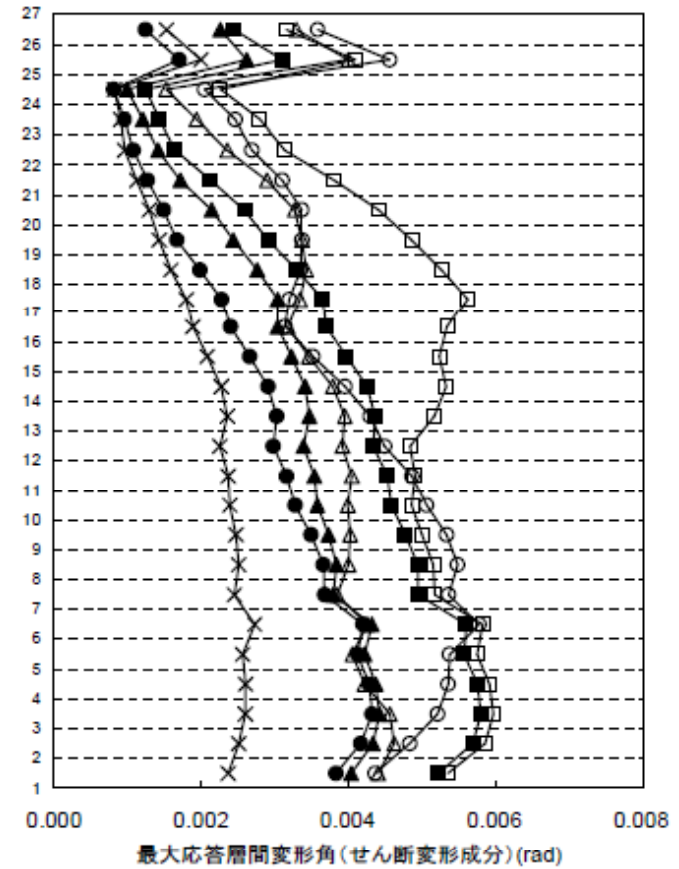
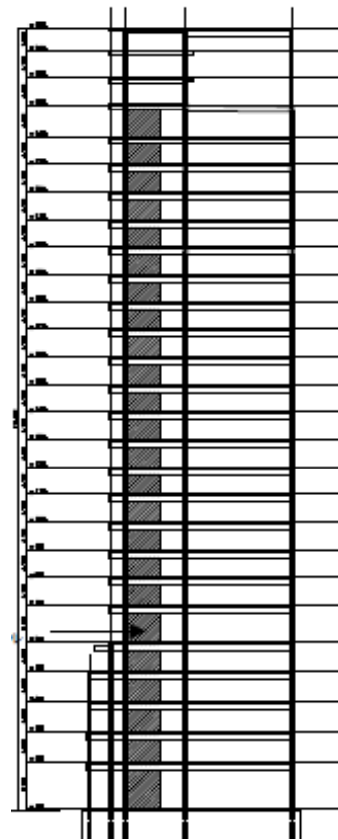
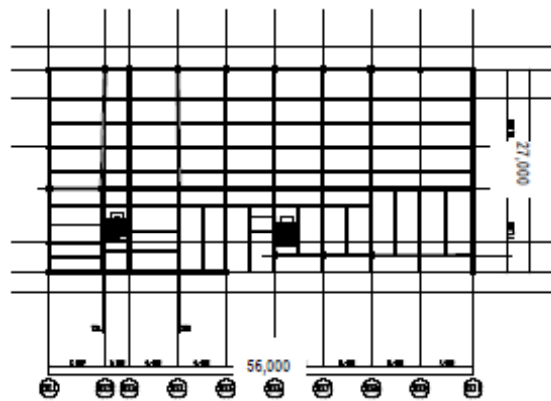


- 此花(OSKH02)平均
- 津島(AIC003)平均
- ▲ 名古屋(AIC004)平均
- × 新宿(KGIN)平均
- JSCA(神戸)
- JSCA(東北)
- △ JSCA(八戸)

# S造建物6棟の最大応答値 (2)

S120m級

Y方向 T1=3.6秒



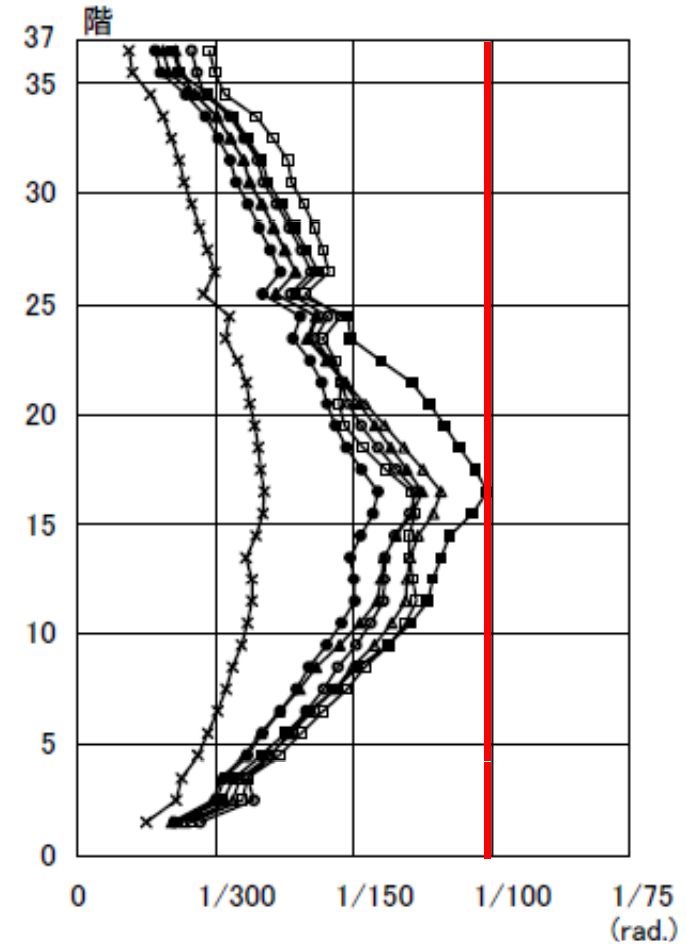
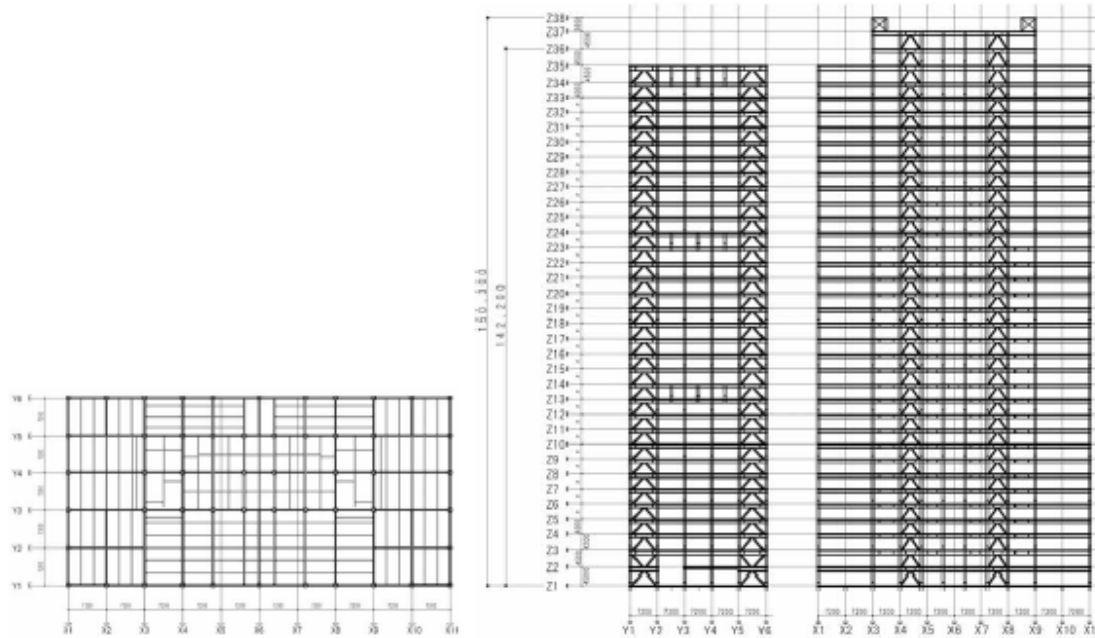
- 此花(OSKH02)平均
- 津島(AIC003)平均
- ▲ 名古屋(AIC004)平均
- × 新宿(KGIN)平均
- JSCA(神戸)
- JSCA(東北)
- △ JSCA(八戸)



# S造建物6棟の最大応答値 (3)

S140m級

Y方向 T1=3.8秒



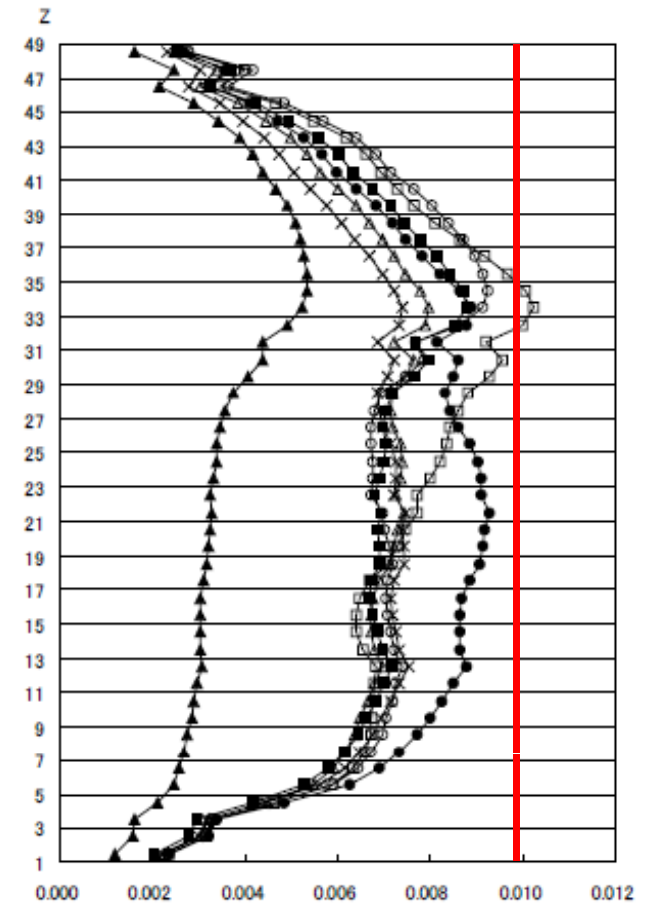
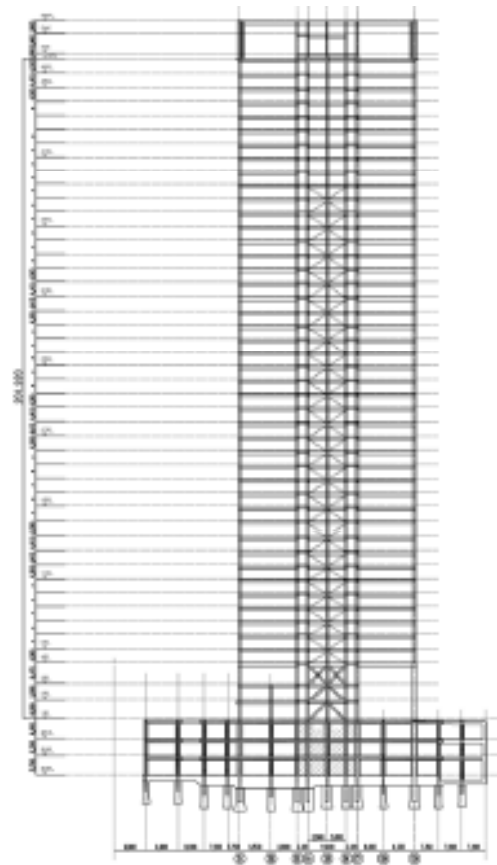
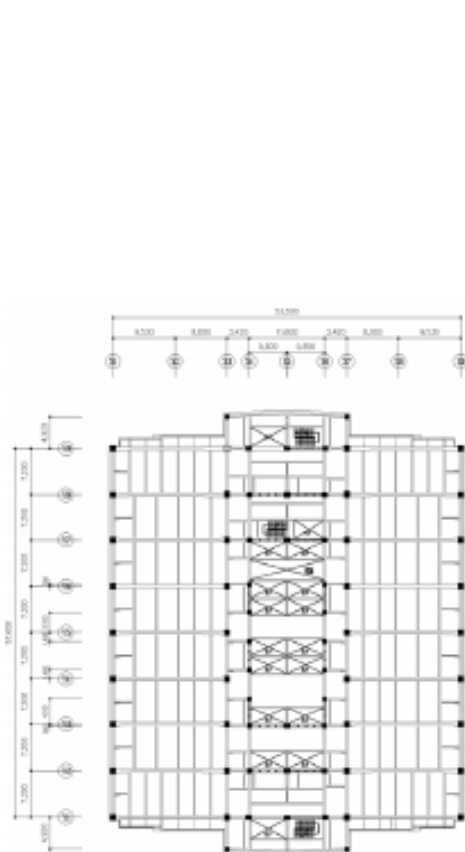
(c) 最大応答層間変形角(平均断面変形)



# S造建物6棟の最大応答値 (4)

S200m級

X方向 T1=5.4秒



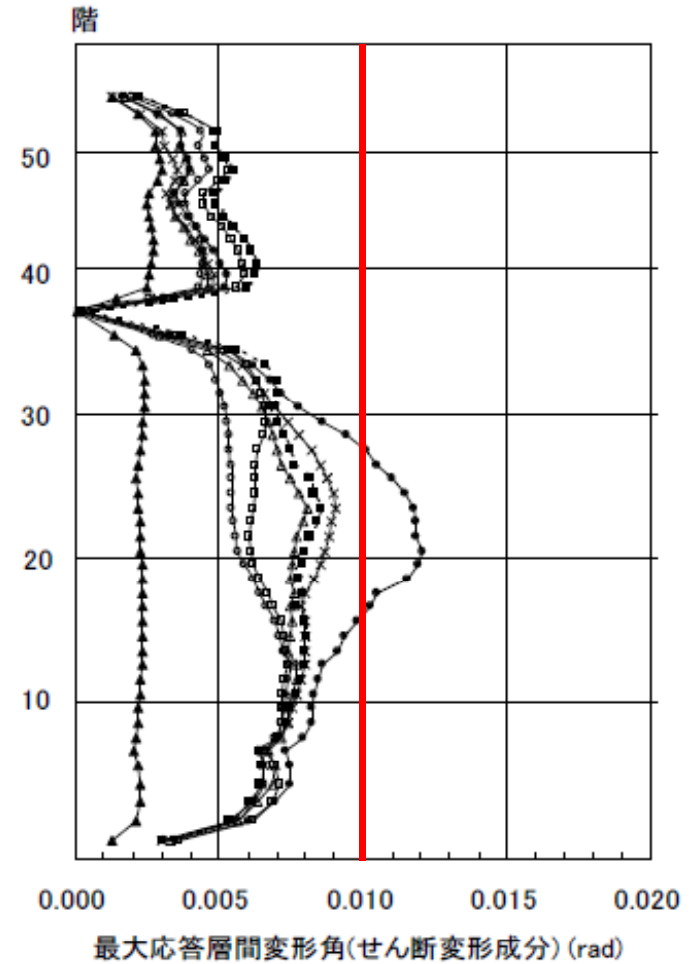
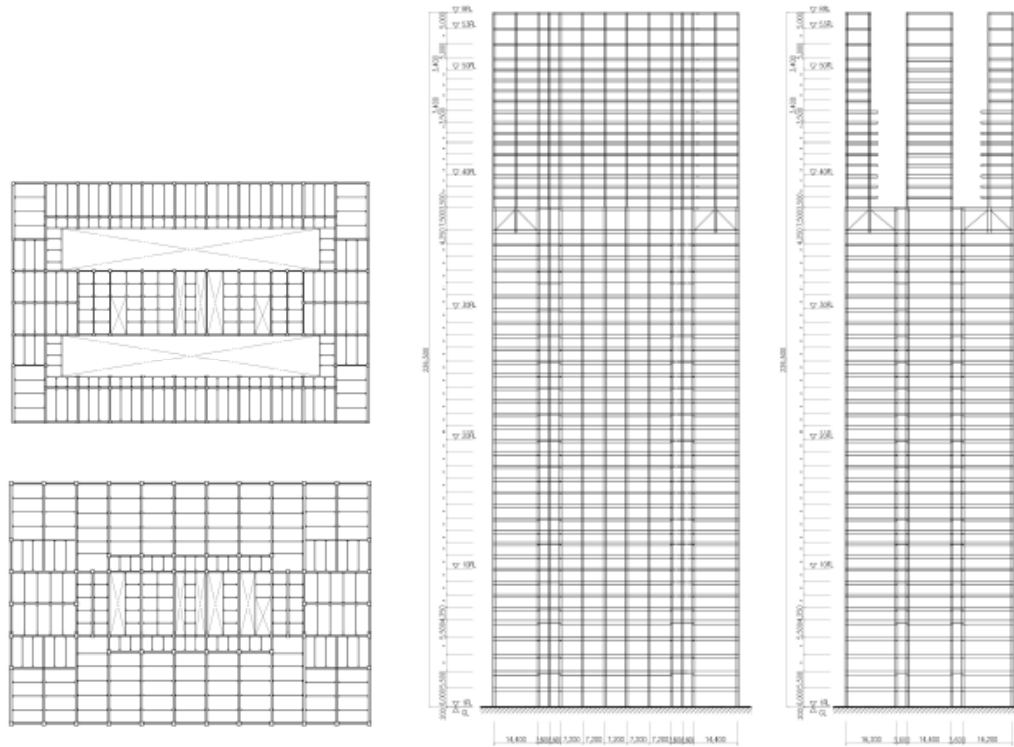
最大応答層間変形角(せん断変形成分)

- |                |                |                 |              |
|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| ● 此花(OSKH02)平均 | ■ 津島(AIC003)平均 | ▲ 名古屋(AIC004)平均 | × 新宿(KGIN)平均 |
| ○ JSCA(神戸)     | □ JSCA(東北)     | △ JSCA(八戸)      |              |

# S造建物6棟の最大応答値 (5)

S230m級

Y方向 T1=7.0秒

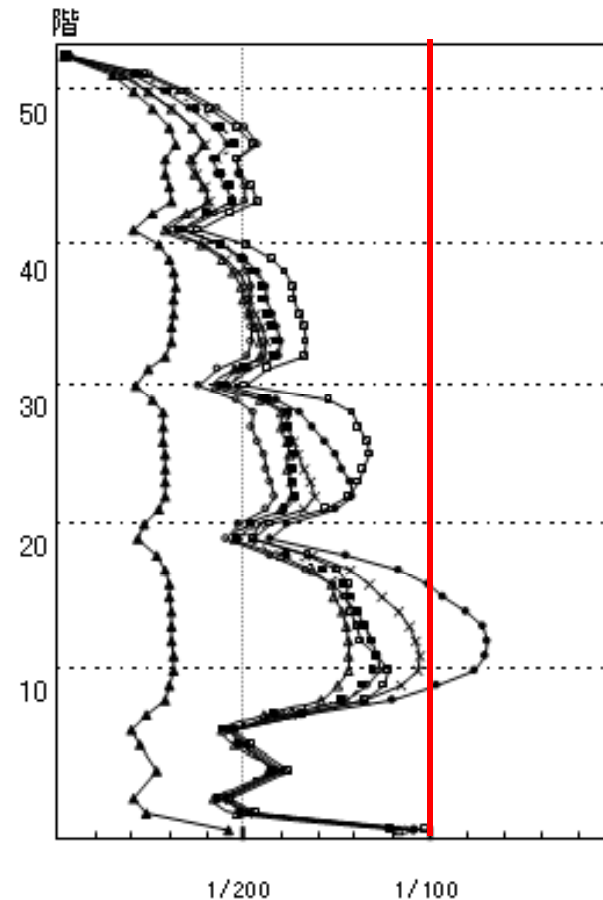
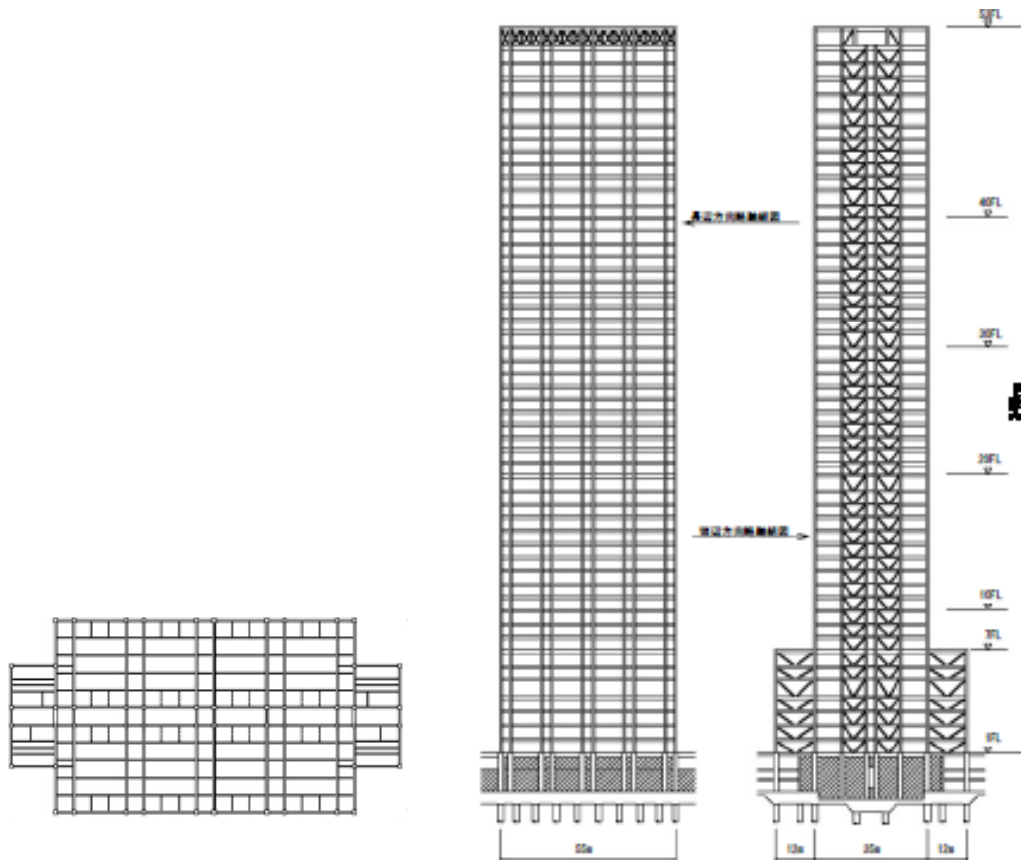


- 此花(OSKH02)平均
- 津島(AIC003)平均
- 名古屋(AIC004)平均
- 新宿(KGIN)平均
- JSCA(神戸)
- JSCA(東北)
- JSCA(八戸)

# S造建物6棟の最大応答値 (6)

S250m級

X方向 T1=5.8秒



最大応答層間変形角(せん断変形成分)

● 此花(OSKH02)平均	■ 津島(AIC003)平均	▲ 名古屋(AIC004)平均	× 新宿(KGIN)平均
○ JSCA(神戸)	□ JSCA(東北)	△ JSCA(八戸)	

# S造建物6棟の最大応答値(まとめ)

S造	高さ 階数	応答最大値	
		方向	平均波
			層間変形角
100m級	102m	X方向	1/123 (5F:津島 (AIC003))
	25	Y方向	1/97 (10F:津島 (AIC003))
120m級	120m	X方向	1/176 (6F:津島 (AIC003))
	26	Y方向	1/172 (3F:津島 (AIC003))
140m級	140m	X方向	1/108 (14F:津島 (AIC003))
	35	Y方向	1/101 (16F:津島 (AIC003))
200m級	200m	X方向	1/102 (21F:此花 (OSKH02))
	46	Y方向	1/111 (32F:津島 (AIC003))
230m級	230m	X方向	1/138 (16F:此花 (OSKH02))
	53	Y方向	1/66 (4F:此花 (OSKH02))
250m級	256m	X方向	1/83 (11F:此花 (OSKH02))
	55	Y方向	1/170 (32F:此花 (OSKH02))

津島  
AIC003

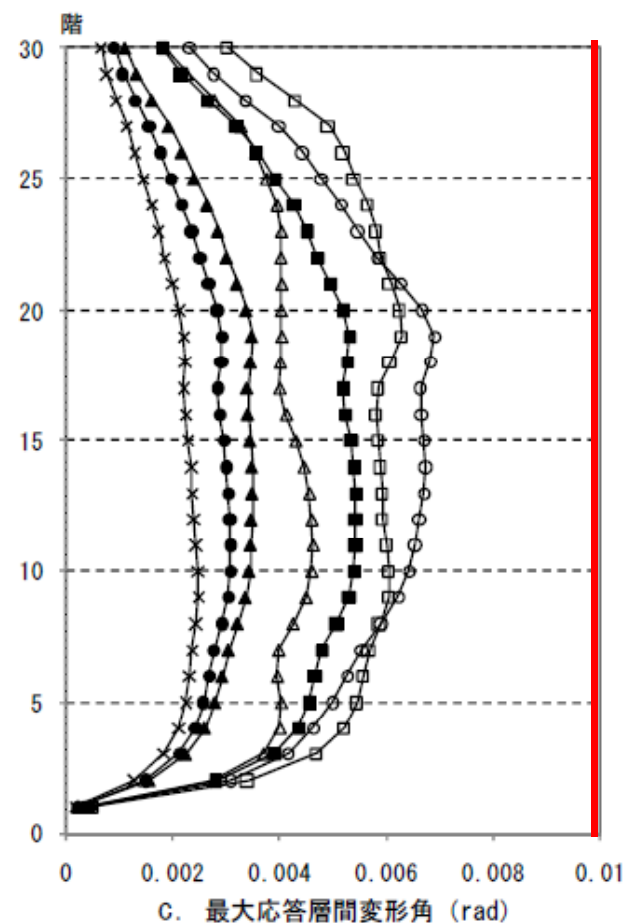
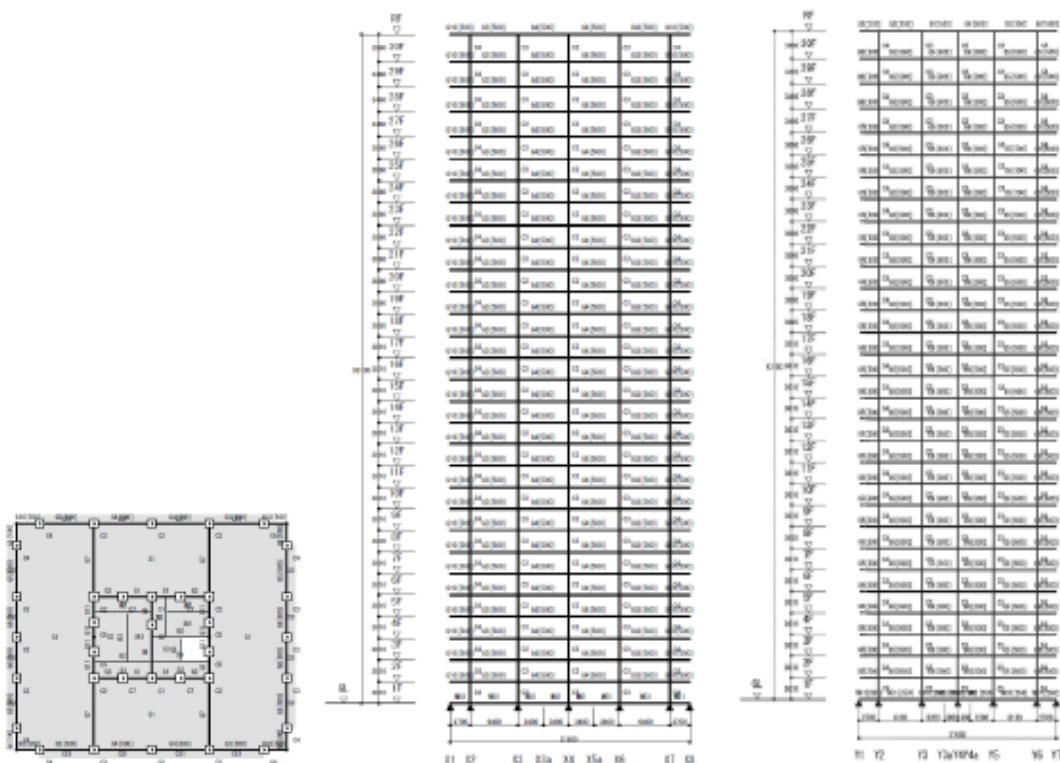
此花  
OSKH02

平均波に対する最大応答値はおおむね設計クライテリア  
(1/100) 内に収まっている。

# RC造建物7棟の最大応答値(1)

RC90m級

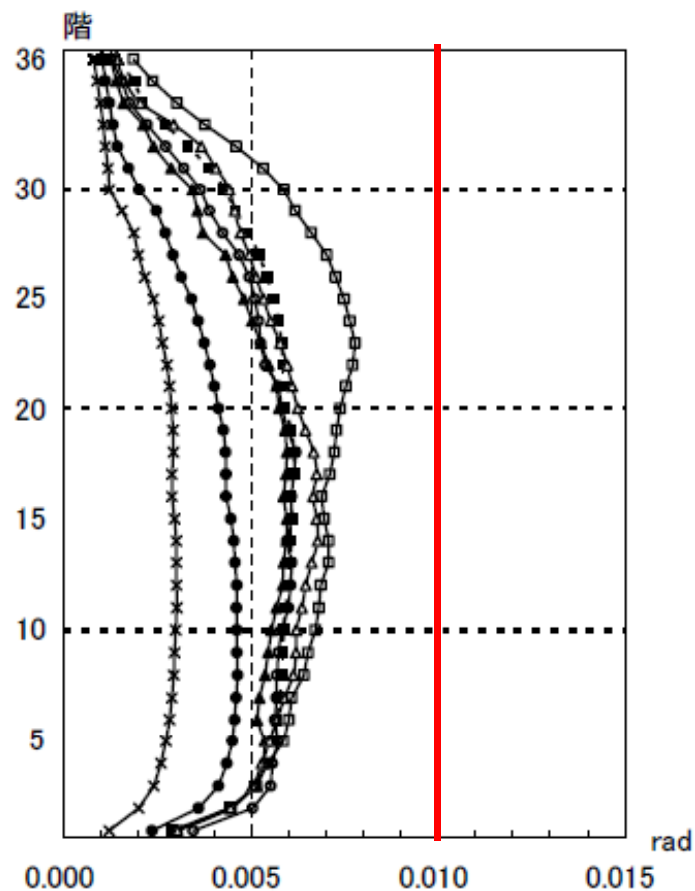
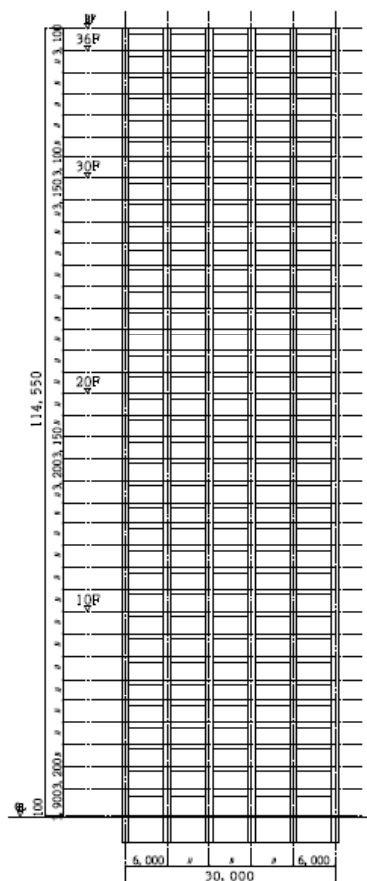
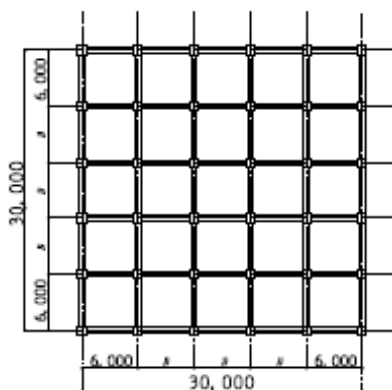
X方向 T1=2.0秒



# RC造建物7棟の最大応答値 (2)

RC115m級

T1=2.2秒



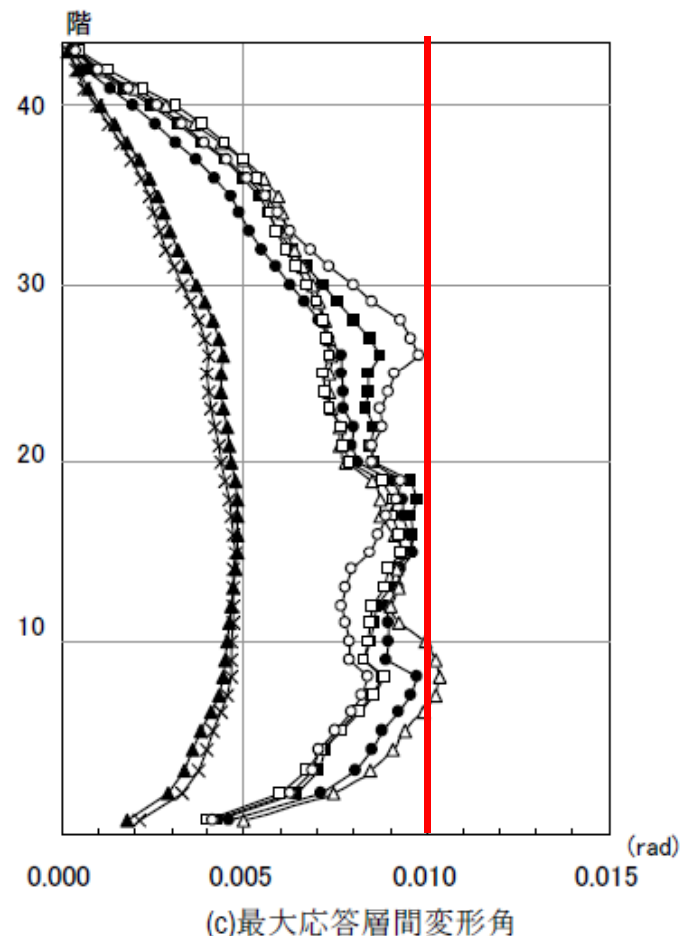
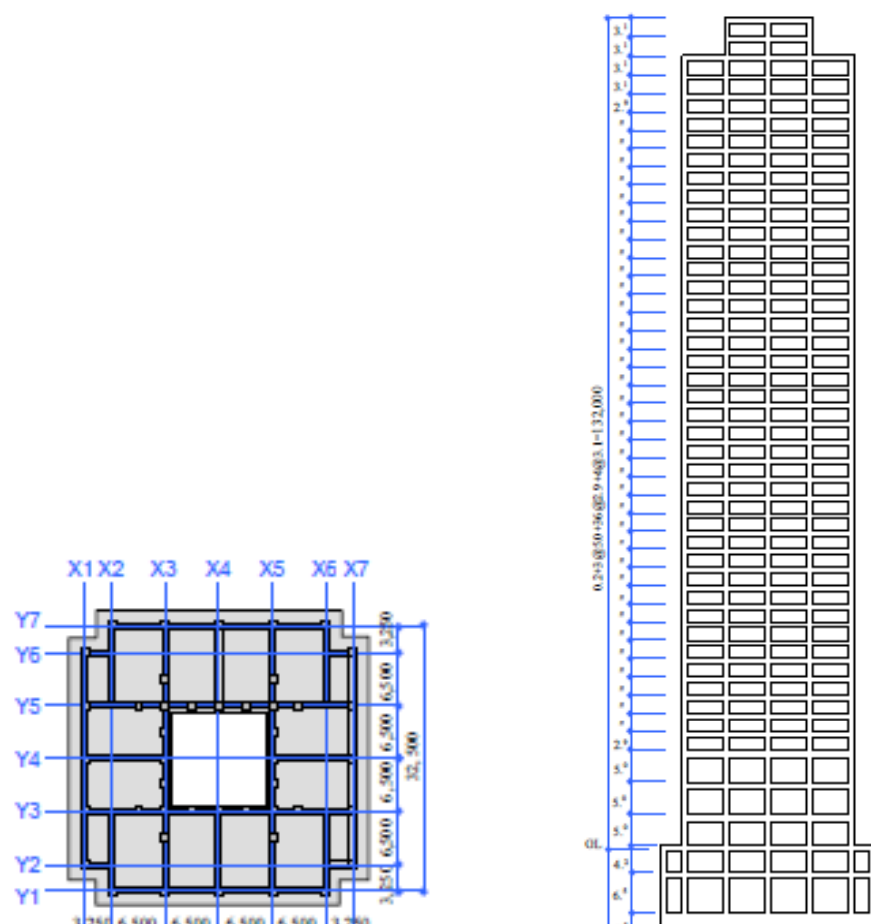
(c) 最大応答層間変形角

- |                |                |                 |              |
|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| ● 此花(OSKH02)平均 | ■ 津島(AIC003)平均 | ▲ 名古屋(AIC004)平均 | × 新宿(KGIN)平均 |
| ○ JSCA(神戸)     | □ JSCA(東北)     | △ JSCA(八戸)      |              |

# RC造建物7棟の最大応答値 (3)

RC130m級

T1=3.1秒



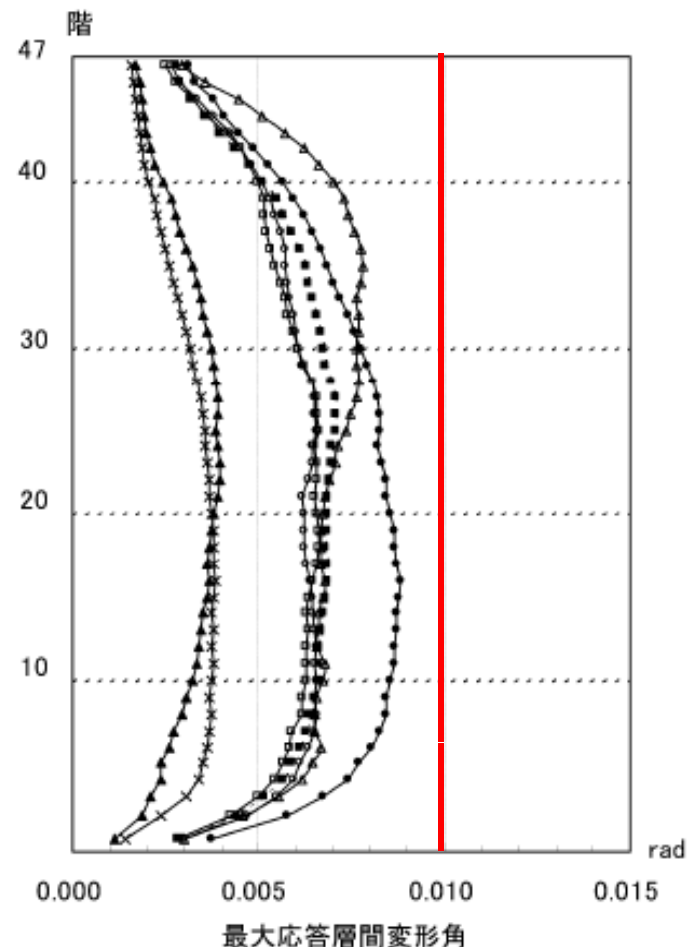
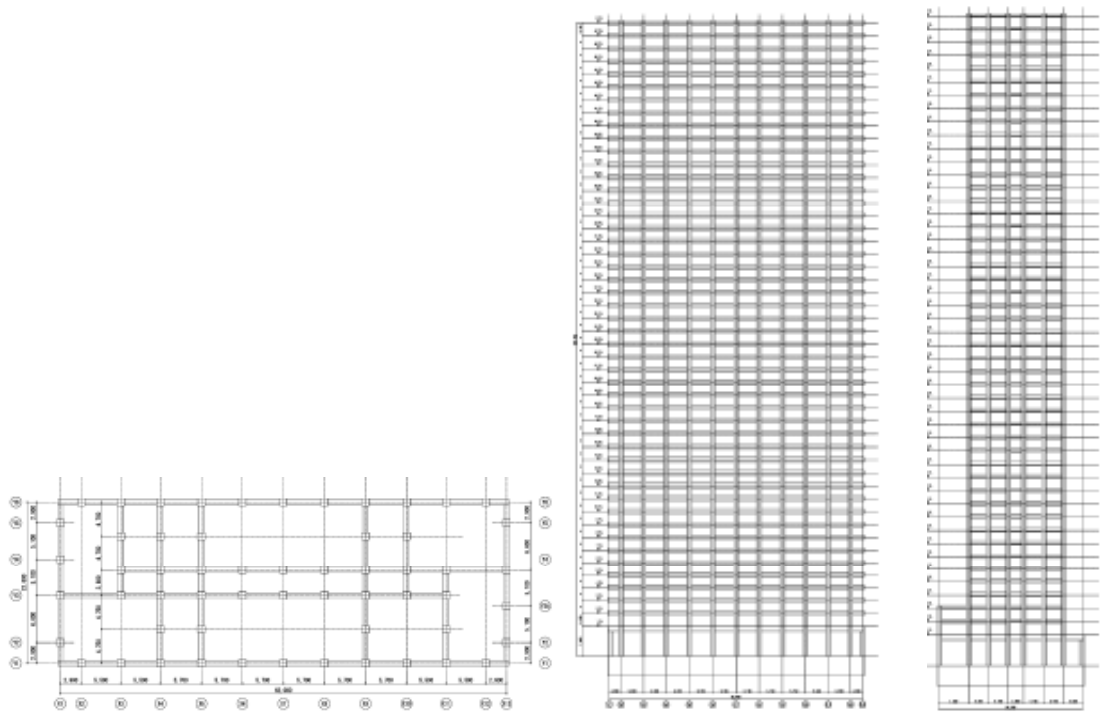
- |                |                |                 |              |
|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| ● 此花(OSKH02)平均 | ■ 津島(AIC003)平均 | ▲ 名古屋(AIC004)平均 | × 新宿(KGIN)平均 |
| ○ JSCA(神戸)     | □ JSCA(東北)     | △ JSCA(八戸)      |              |



# RC造建物7棟の最大応答値 (4)

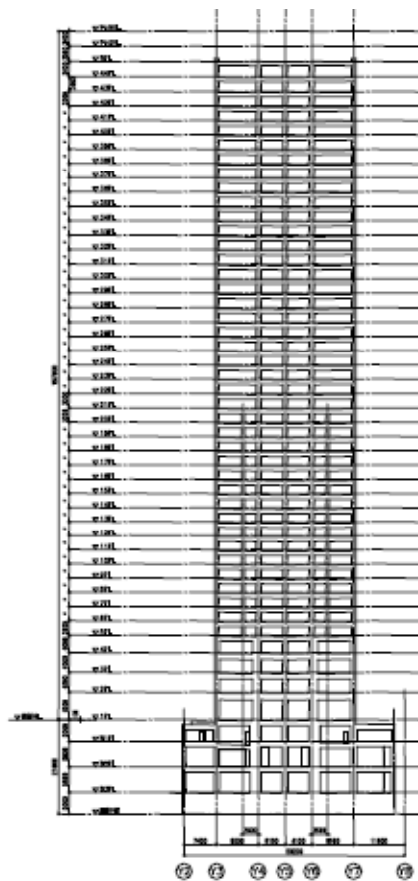
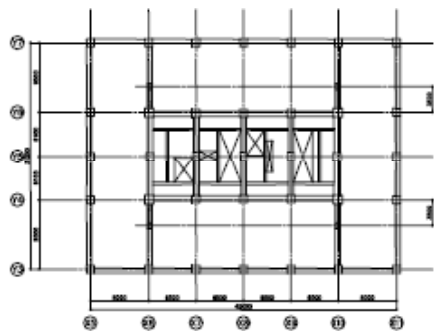
RC150m級

Y方向 T1=3.5秒

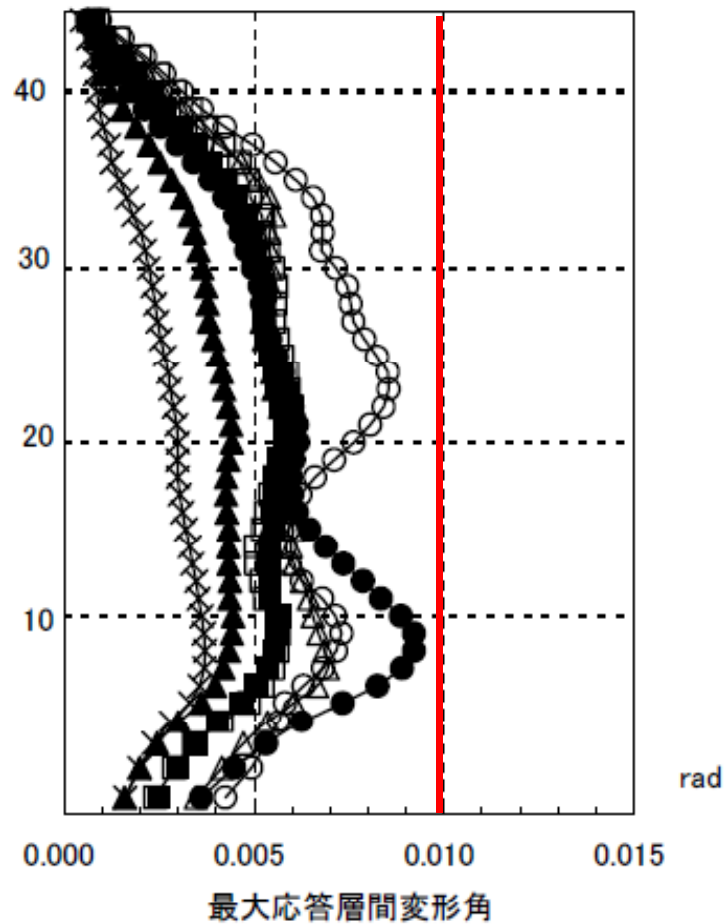


# RC造建物7棟の最大応答値 (5)

RC150m級



X方向 T1=2.9秒



● 此花(OSKH02)平均

■ 津島(AIC003)平均

▲ 名古屋(AIC004)平均

× 新宿(KGIN)平均

○ JSCA(神戸)

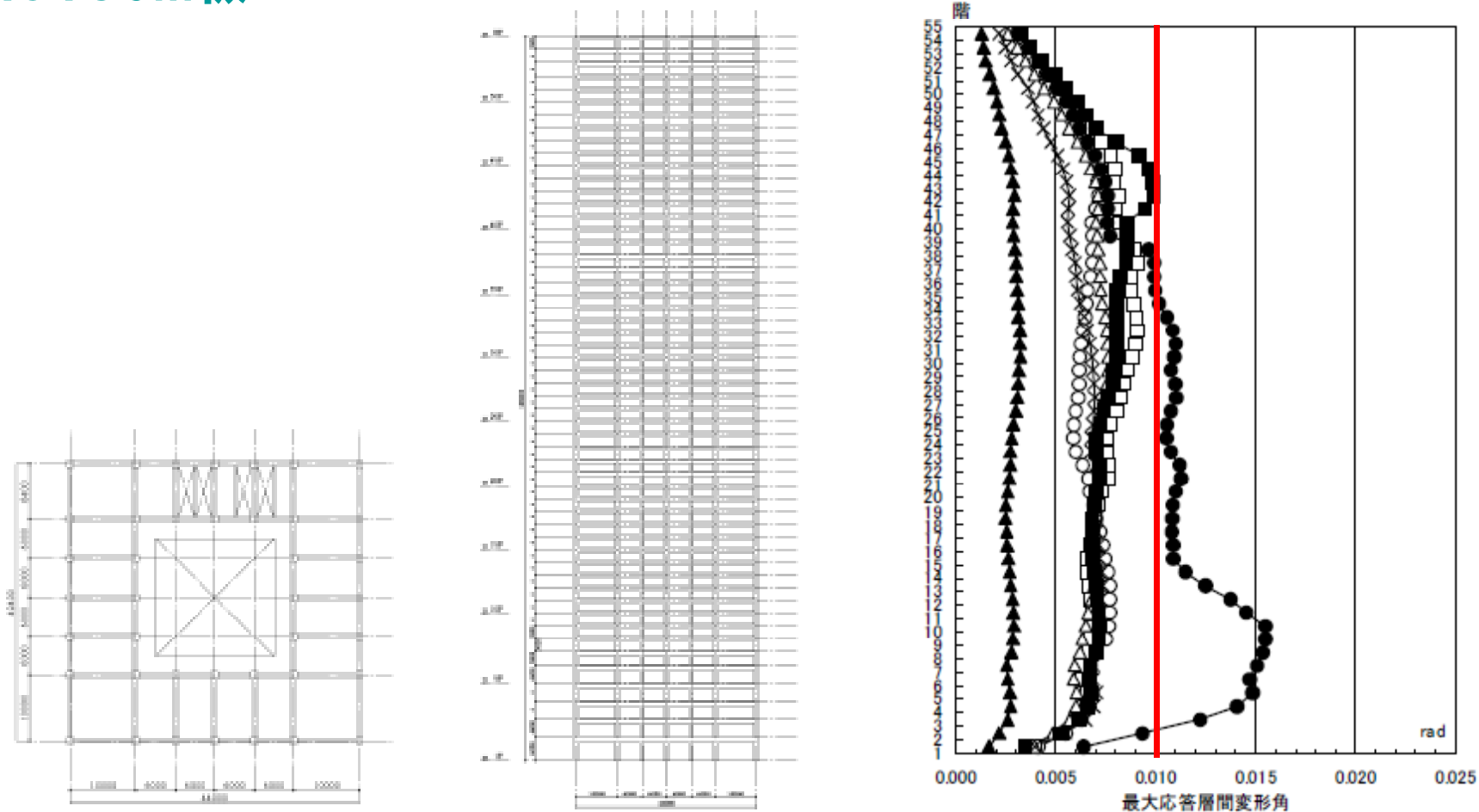
□ JSCA(東北)

△ JSCA(八戸)

# RC造建物7棟の最大応答値 (6)

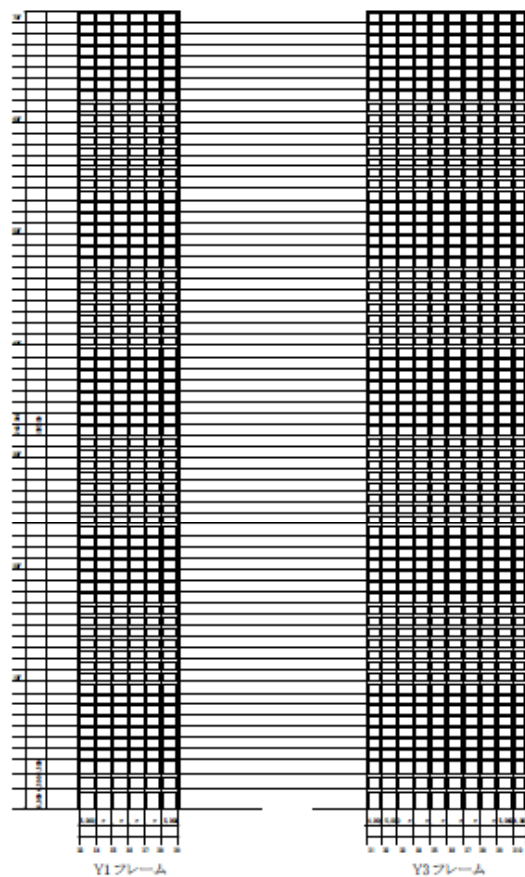
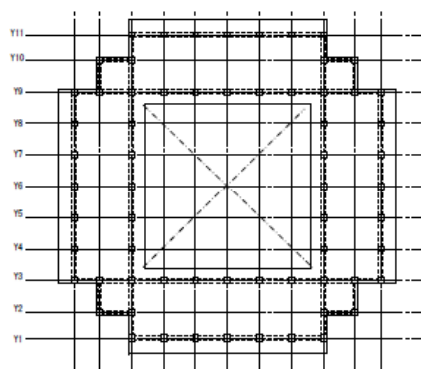
RC180m級

X方向 T1=4.2秒

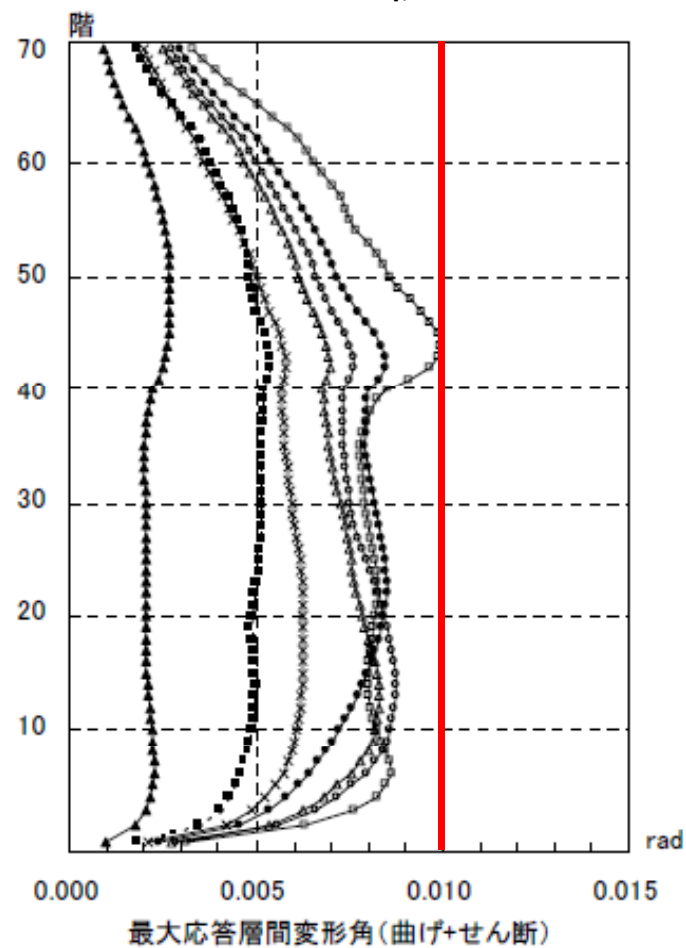


# RC造建物7棟の最大応答値 (7)

## RC240m級



T1=5.4秒



● 此花(OSKH02)平均

■ 津島(AIC003)平均

▲ 名古屋(AIC004)平均

× 新宿(KGIN)平均

○ JSCA(神戸)

□ JSCA(東北)

△ JSCA(八戸)

# RC造建物7棟の最大応答値

RC造	高さ 階数	応答最大値	
		方向	平均波
			層間変形角
90m級	93.1m 30	X方向	1/185 (13F:津島 (AIC003))
		Y方向	1/209 (10F:津島 (AIC003))
115m級	114.5m 36	X方向	1/162 (18F:津島 (AIC003))
		Y方向	同上
130m級	132.0m 43	X方向	1/103 (8F:此花 (OSKH02))
		Y方向	同上
150m級 (その1)	150.5m 47	X方向	1/143 (15F:津島 (AIC003))
		Y方向	1/114 (16F:此花 (OSKH02))
150m級 (その2)	151.5m 44	X方向	1/108 (21F:此花 (OSKH02))
		Y方向	1/123 (23F:此花 (OSKH02))
180m級	180.8m 54	X方向	1/ 65 ( 9F:此花 (OSKH02))
		Y方向	1/ 66 (10F:此花 (OSKH02))
240m級	242.2m 70	X方向	1/118 (22F:此花 (OSKH02))
		Y方向	同上

津島  
AIC003

此花  
OSKH02

平均波に対する最大応答値はおおむね設計クライテリア  
(1/100) 内に収まっている。

# 超高層建物の耐震性評価に関わる技術的検討

- **耐震と制震モデルの違い**
  - 制震ダンパーの設置により応答値を小さくできるとともに柱・梁などの架構の損傷を大幅に減らすことができる。
- **質点系モデルとフレームモデルの違い**
  - 適切なモデル化を行えば解析結果の差異は大きく無い。
- **P- $\Delta$ 効果の影響**
  - 架構の層間変形角が設計クライテリア1/100程度であればP- $\Delta$ 効果の影響はほとんど無い。
- **繰り返し加力による部材耐力劣化の影響**
  - 層塑性率が2.0以下であればその影響は小さい。

# 免震建築物等の応答特性の検討

## • 実存する免震建物をもとに40棟を選択

第一期(～1994年)

第二期(1995～1999年)

第三期(2000年～)

低層(～20m)

中高層(20～60m)

超高層(60m～)

天然ゴム+ダンパー

鉛プラグ入り積層ゴム

高減衰積層ゴム

## • 長周期地震動に対する応答特性

- 平均波に対する最大応答値は従来の地震動とほぼ同程度になる。ただし、多数回繰り返しによる免震部材の温度上昇等による剛性や減衰力の低減に考慮が必要がある。

# 昇降機に与える影響に関する検討

- ・ **昇降機耐震設計・施工指針(2009)における長周期地震動対策**
  - 主索の溝はずれ防止
  - 長尺物引掛り防止
  - 長尺物振れ管制運転を高さ120 m超えの建築物に設置されるエレベーターを対象に導入。長尺物振れ感知器を設け、S波感知器と同様の管制運転を行う。
- ・ **建物層間変形角1/100を上回る場合に想定される影響**
  - エレベーター昇降路壁の脱落
  - 建物層間変位・残留変形によるガイドレール変形
  - 層間変位によるエスカレーターのフレーム脱落



## 建物応答のまとめ

- ・ 平均的な長周期地震動に対しては、超高層建築物も免震建築物も応答値は従来のレベル2地震動の設計クライテリアにほぼ収まる。
- ・ 建築物のグレードに応じて各種地震動の性状（**応答スペクトル、エネルギースペクトル**）に配慮しながら性能設計や補強対策の詳細を検討、開発していく必要がある。
- ・ 長周期地震動対策の一例として、**制振部材**の設置により応答値を低減し柱・梁などの架構の損傷を大幅に減らすことが可能である。
- ・ 昇降機設備に関しては、すでに長周期地震動対策が進められているものの、構造躯体の応答値が従来の想定より大きくなる場合の検討が更に必要である。