

# 超高層建築物等の長周期地震動対策

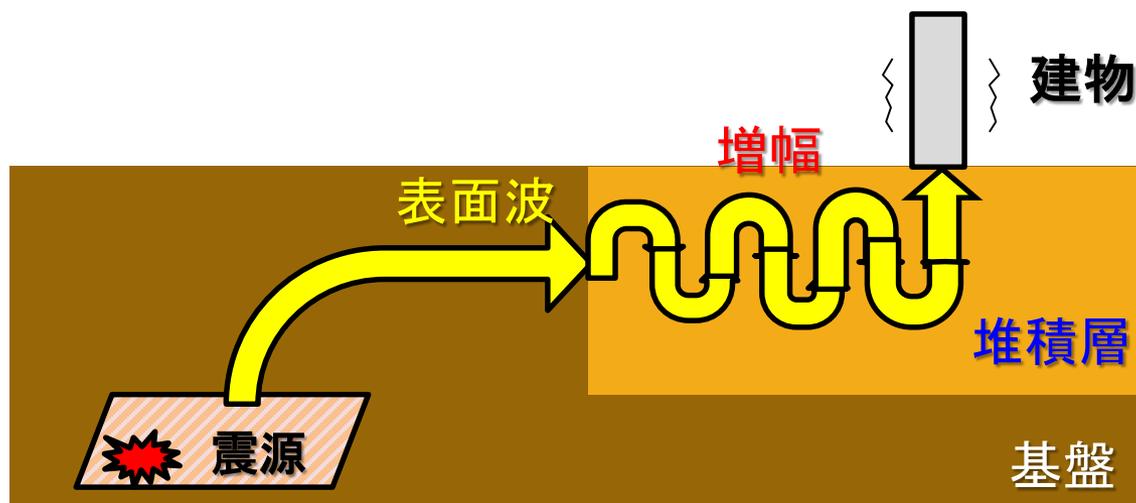
～ 設計クライテリアの考え方 ～

問題意識、検討・成果、考え方

建築研究部  
福山 洋

# 南海トラフ地震による「長周期地震動」の特徴と問題

- ✓ ゆったり何度も揺れる(長周期・多数回)
  - 「超高層建築物」や「免震建築物」が共振
  - 大きなエネルギーが入力
- ✓ 大都市(=厚い堆積層がある大規模平野)が揺れる
  - 「超高層建築物」や「免震建築物」が多い
- ✓ 震源から遠くても揺れる

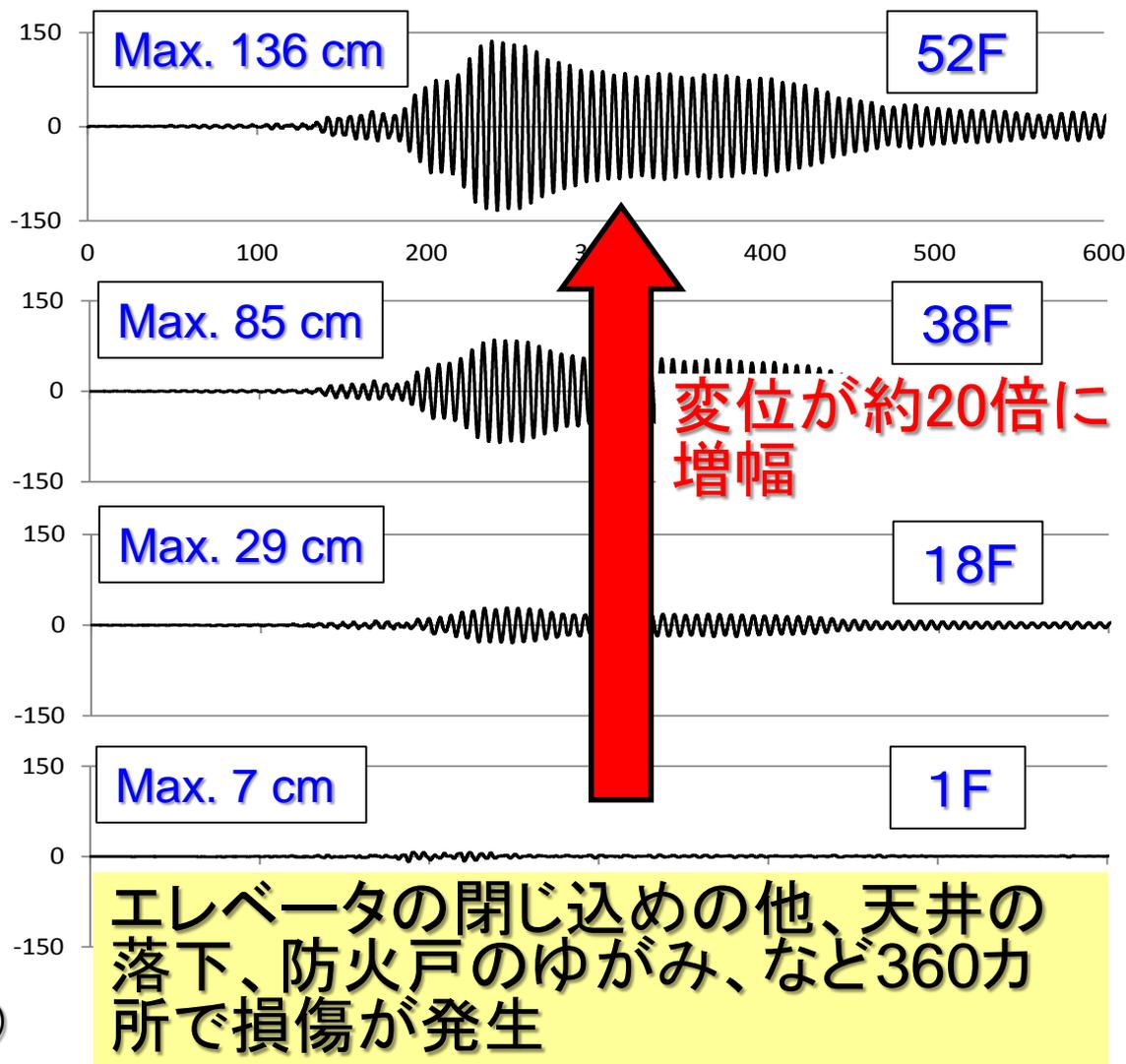


# 長周期地震動による超高層建築物の共振 (2011年東北地方太平洋沖地震)



大阪府咲洲庁舎  
(55階建て鉄骨構造)

(震源から約770キロ、震度3)



# 「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策」 のための検討

## 1) 入力地震動

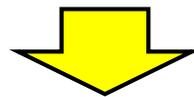
- ・ 地震動推定法開発→全国で計算→設計用入力地震動提案

## 2) 応答

- ・ 建物実験で性状把握→解析と比較検証→応答評価法提案

## 3) ばらつきへの対応

- ・ ばらつき等の不確定要因を考慮した設計の考え方の検討



✓ 2016年6月24日 国交省「技術的助言」

「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について」(平成28年国住指第1111号)

→ 2017年4月1日 施行

# 入力地震動の提案（1）

## 長周期地震動の算定方法

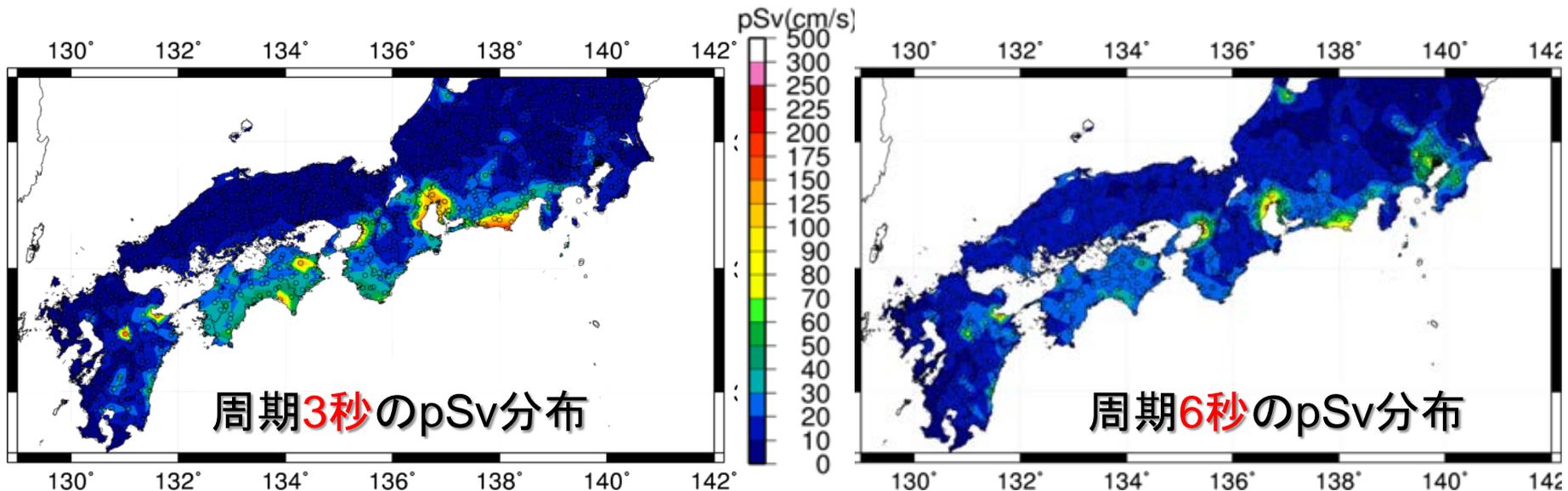
- ・ 過去の地震に基づく**経験的手法**（周期特性＋位相特性より算定）
- ・ **地震規模、断層距離、地盤増幅特性により定まる**  
→ 手法が**簡易**で、**大きな外れがない**
- ・ **任意地点での推定が可能、連動地震にも対応**  
→（短周期～長周期成分を含み）**設計に利用可能**



# 入力地震動の提案 (2)

## 長周期地震動の計算

- ・ 全国約1900地点で計算 → 長周期地震動の卓越地域選定



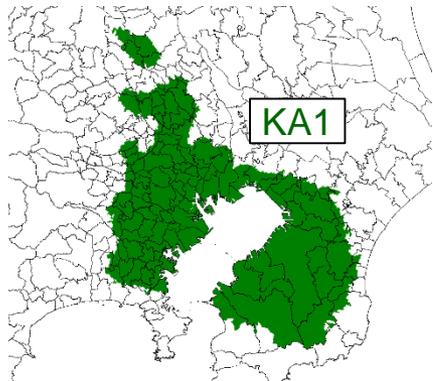
宝永地震 ( $M_w=8.87$ ) の再現計算

3大都市圏と静岡などで長周期地震動が卓越する

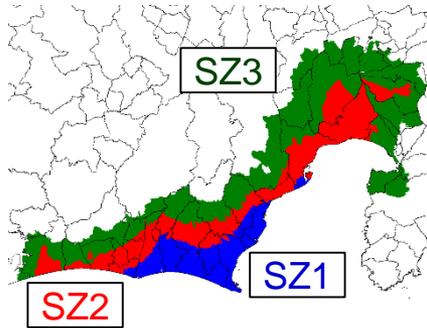
# 入力地震動の提案 (3)

## (3大都市圏と静岡県の) 区域分けと振幅レベルの提案

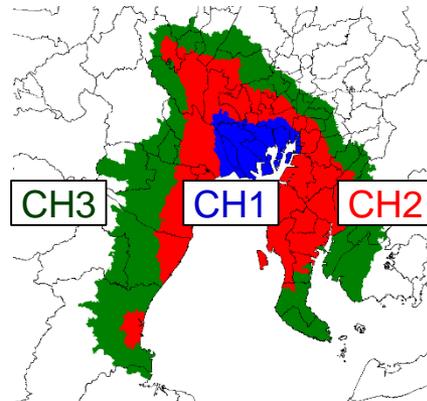
関東平野



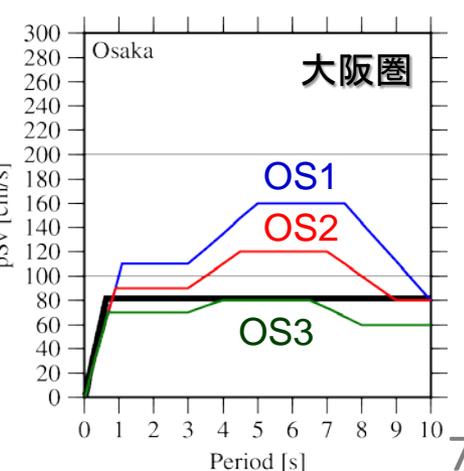
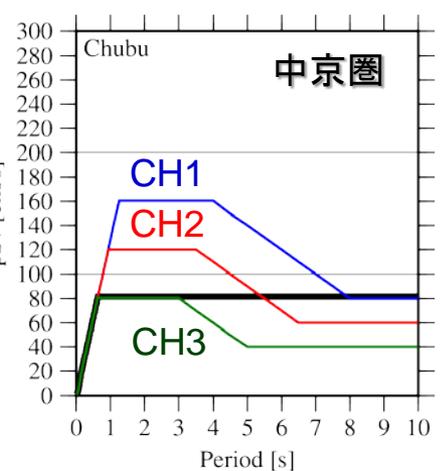
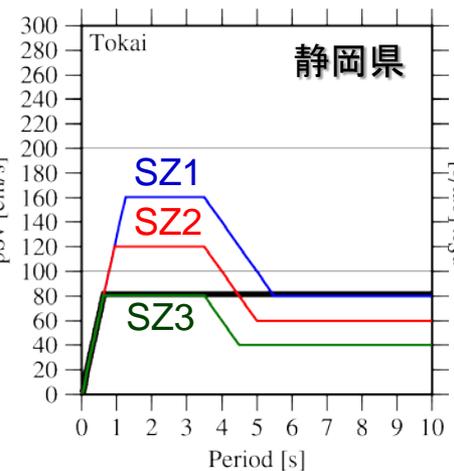
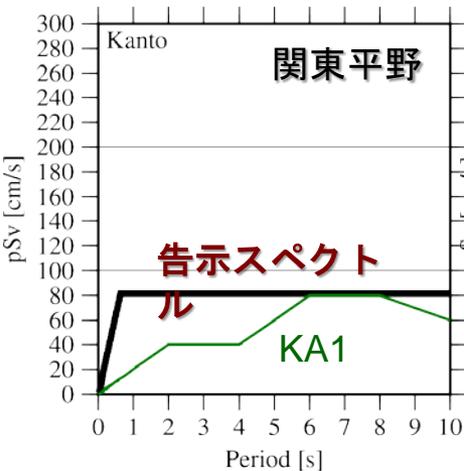
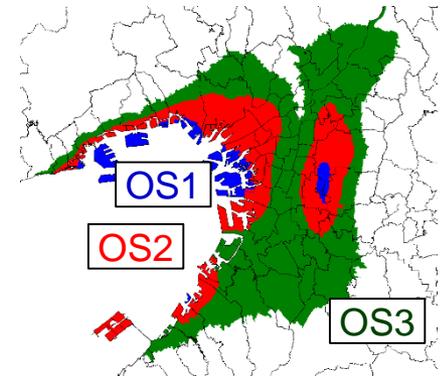
静岡県



中京圏



大阪圏



# 応答評価法の提案(1)

## 鉄骨造実大架構の繰り返し加力実験



梁端接合部の破断に至るまでの挙動を再現

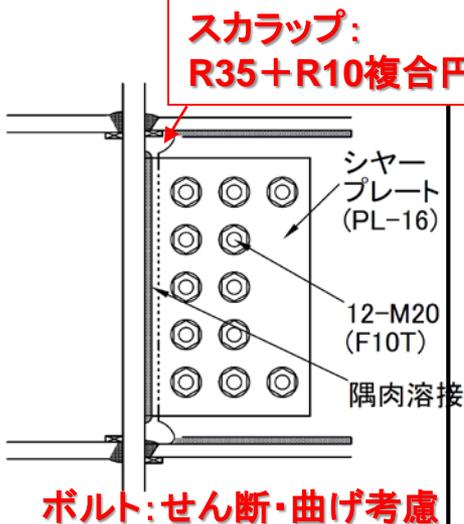
# 実大実験における梁端のディテール

## 現場溶接タイプ

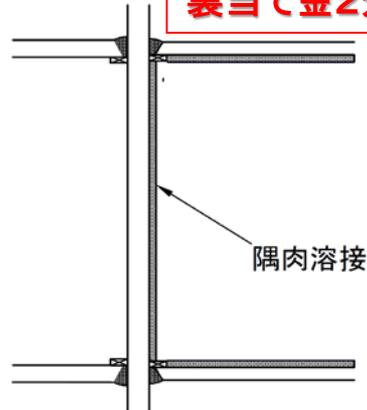
## 工場溶接タイプ

新型

JASS6推奨  
ディテール

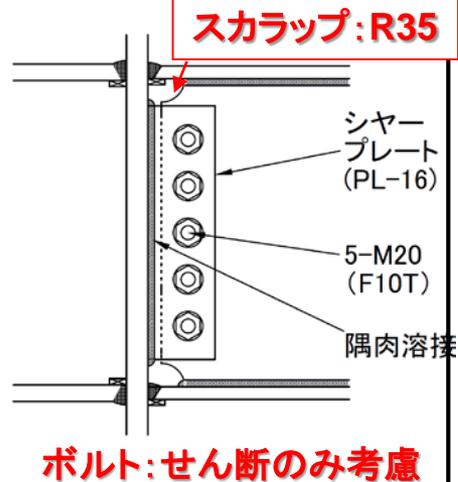


ハンスカラップ:  
裏当て金2分割

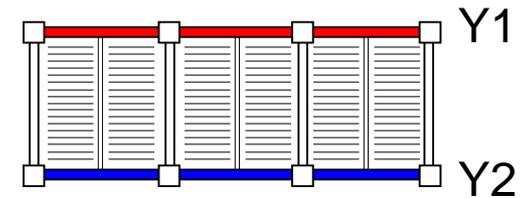
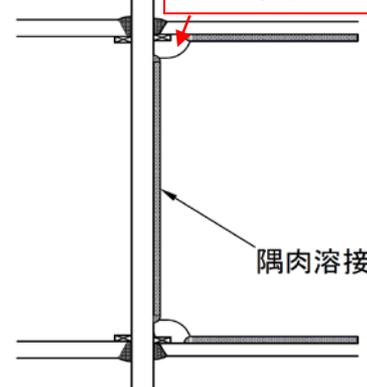


旧型

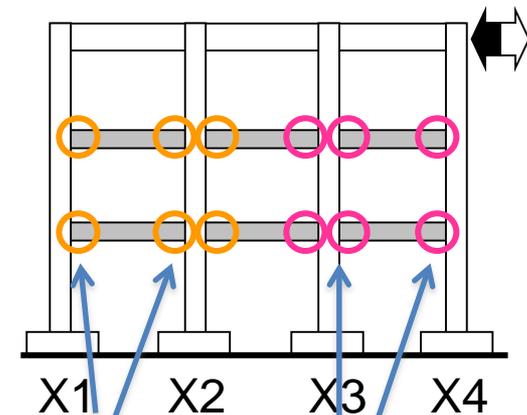
1995年以前  
のディテール



スカラップ: R35



Y1構面の梁端は新型タイプ  
Y2構面の梁端は旧型タイプ

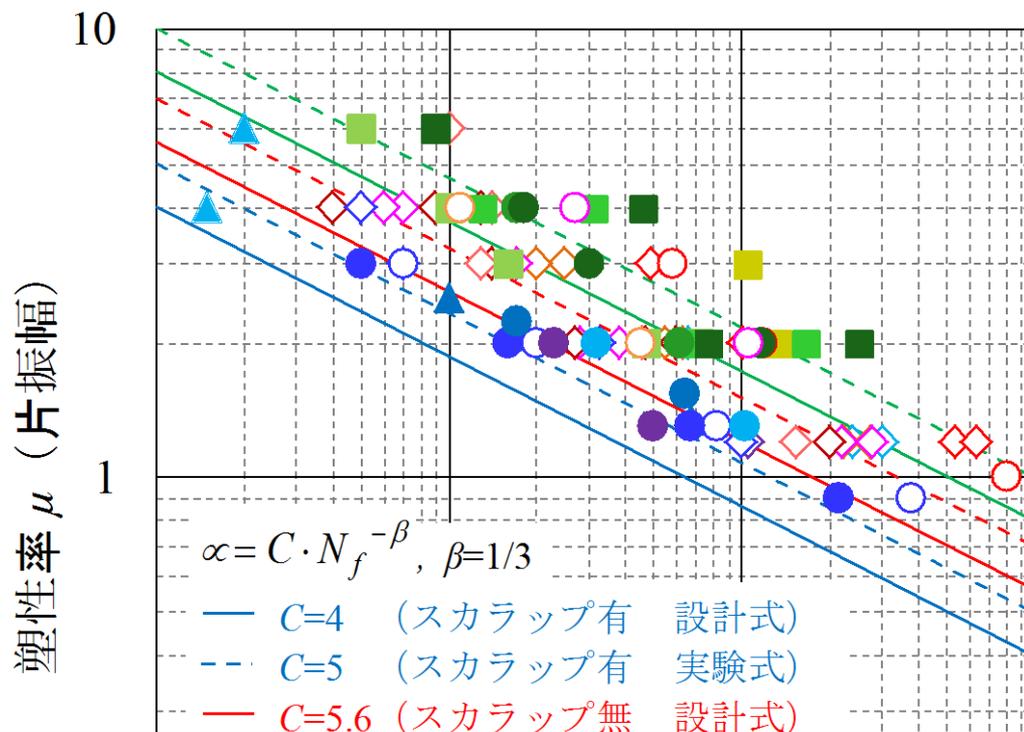


現場溶接  
タイプ

工場溶接  
タイプ

4種類の梁端を  
骨組試験体に配置

# 鉄骨梁部材の(設計)疲労曲線 (提案)



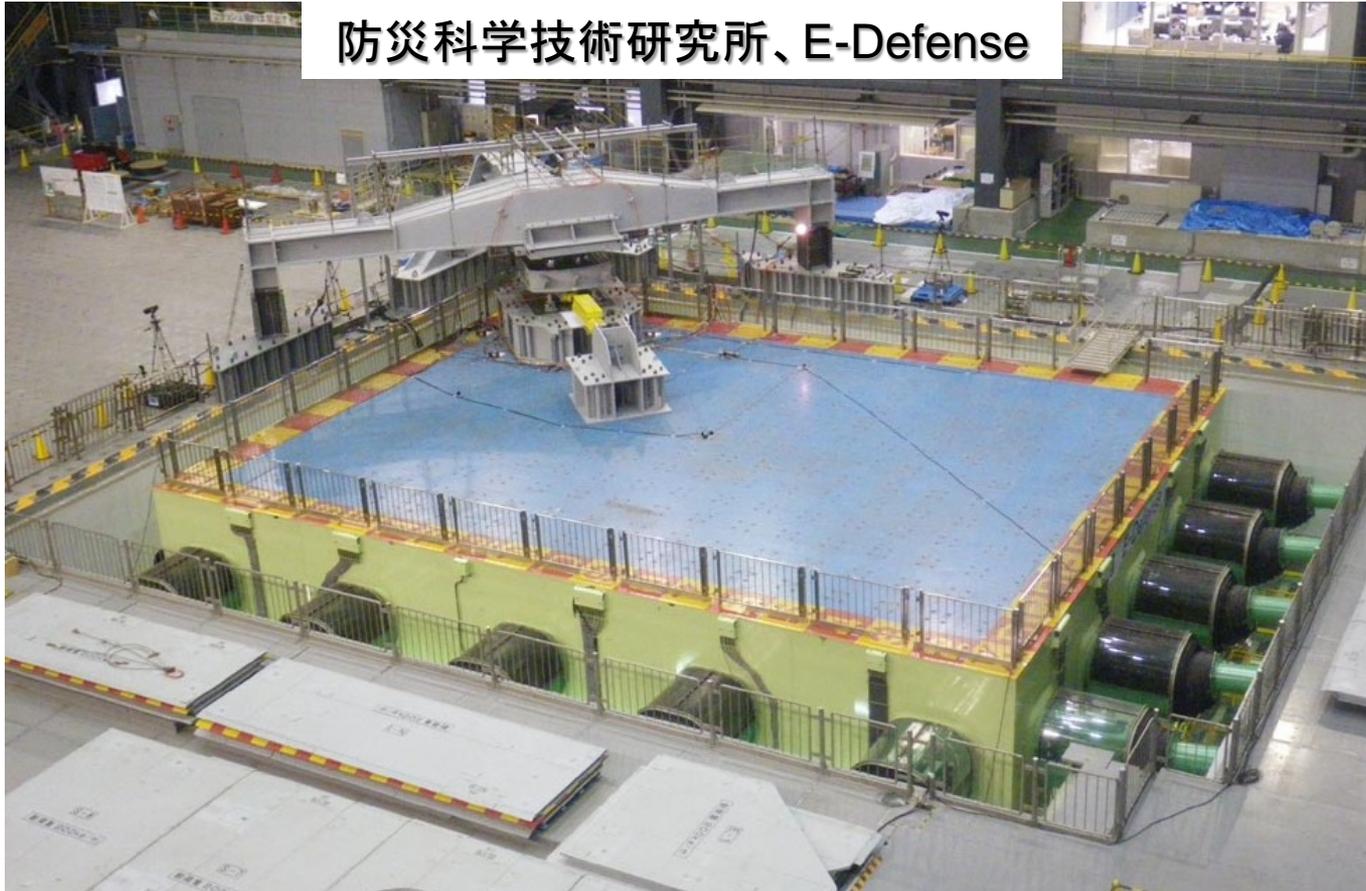
- | 凡例 | 備考         |
|----|------------|
| ○  | 工:35R      |
| ●  | 現:35R+耳形   |
| ●  | 現:35R,スラブ付 |
| ●  | 現:35R,H800 |
| ●  | 現:実部材切出    |
| ○  | 工:ノンスカ・CFT |
| ●  | 現:ハンチ・CFT  |
| ○  | 工:ノンスカラップ  |
| ●  | 現:水平ハンチ    |
| ○  | 工:ノンスカラップ  |
| ▲  | 現:耳形       |
| ■  | 現:サイトプレート  |
| ■  | 現:サイトプレート  |
| ■  | 現:サイトプレート  |
| ■  | 現:水平ハンチ    |

梁端接合部の仕様の違いにより、破断に至る繰返し回数異なる → それぞれの疲労曲線を提案

- ◇ 工:ノンスカラップ
- ◇ 工:35+10R
- ▲ 現:35+10R.385N

# 応答評価法の提案(2)

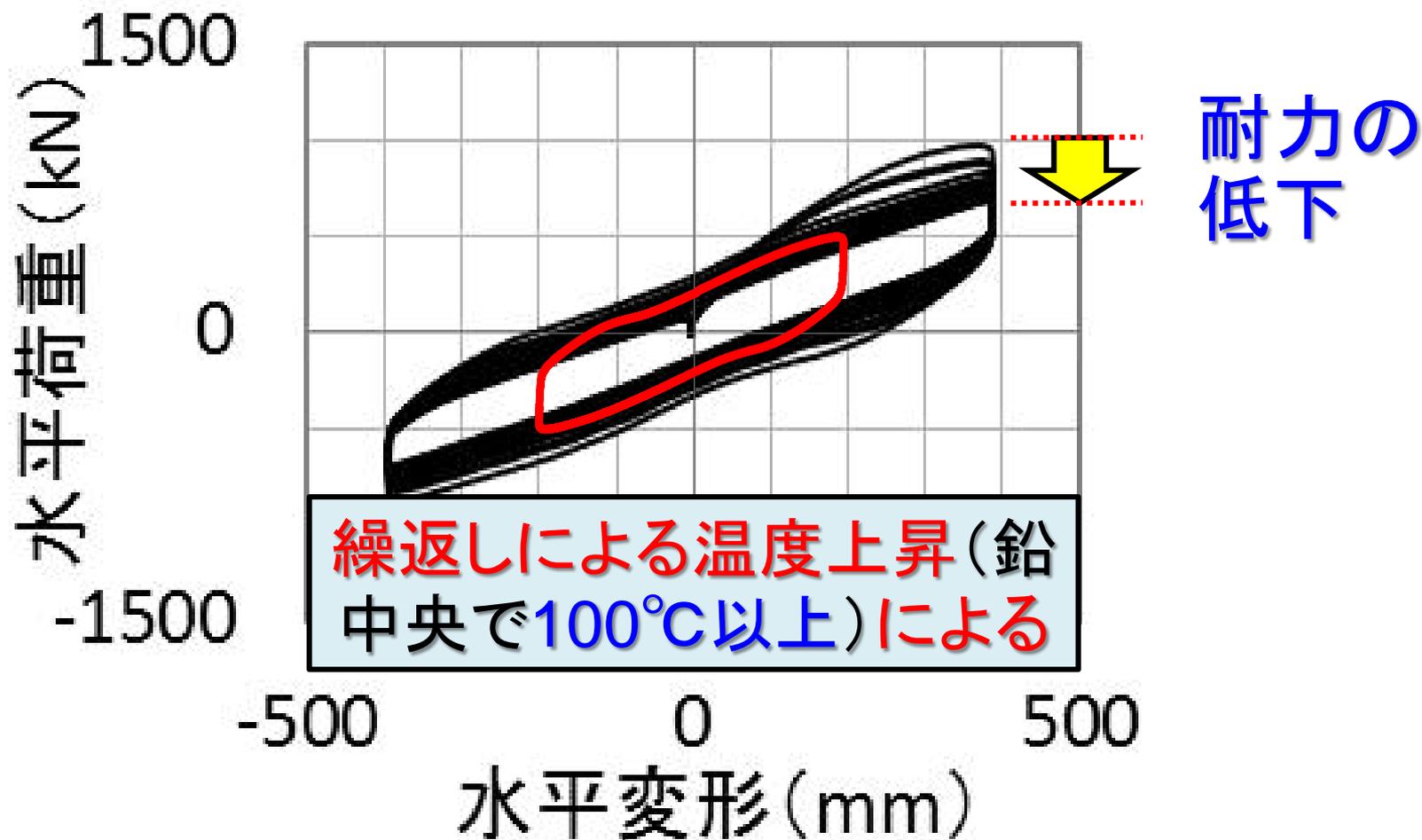
## 免震部材の繰り返し加力実験



**実大免震部材やダンパー等の多数回繰り返し加力実験**  
→ **温度上昇や疲労等による特性の変化と限界性能を調査**

11

# 実験結果の例（鉛プラグ入り積層ゴム）



温度上昇と降伏荷重の低下を实大レベルで把握

- ・ 各種免震装置、ダンパーについて、温度依存性などの特性を確認

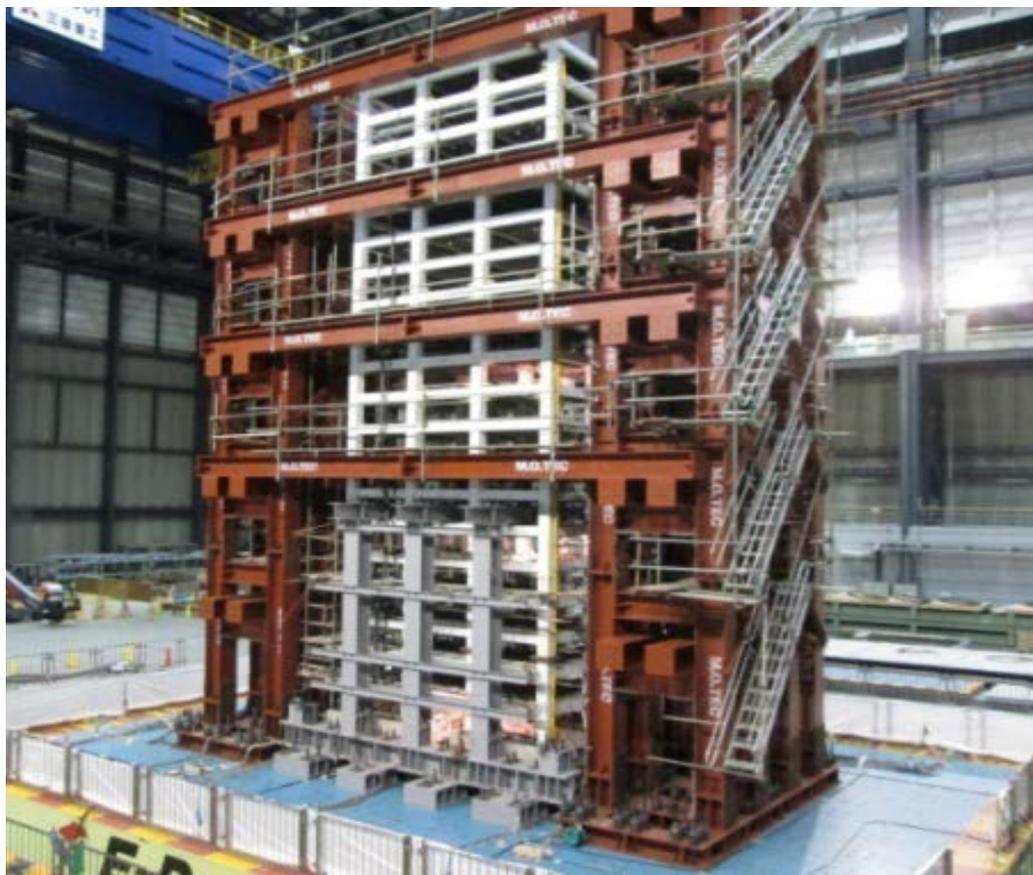
→ 設計におけるそれぞれの評価方法を提案



**Video**

# 応答評価法の提案(3)

## 20層RC造縮小建物試験体の震動実験



防災科学技術研究所 E-Defenseで実施

<目的>

- ・ 大変形時の挙動を見る
- ・ 応答解析と比較する

- ・ 1990年代後半の耐震構造
- ・ 高強度材料 ( $F_c60$ ,  $SD490$ )
- ・ 1/4スケール (高さ15m)

# 解析と実験と解析の比較 (最大応答層間変形角分布)

- 実験
- 解析 1 (スラブ協力幅=0.1L)
- 解析 2 (スラブ全幅考慮・TAKEDAモデル)
- 解析 3 (スラブ全幅考慮・繰返し劣化モデル)

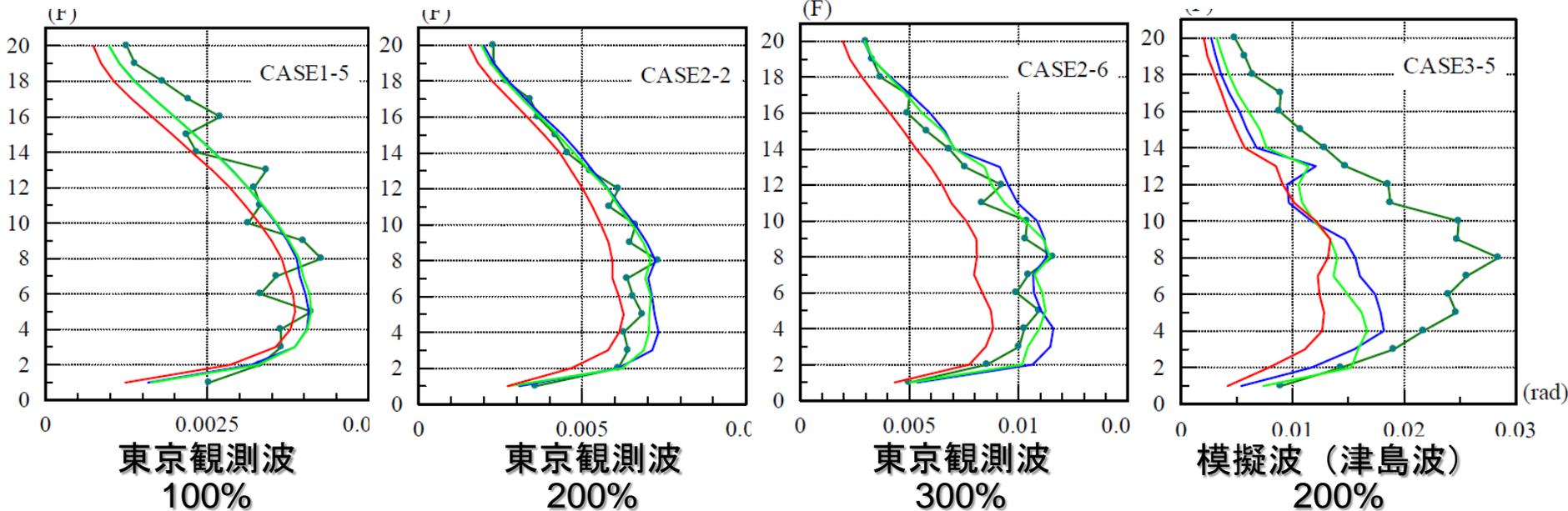
従来の(慣用)解析法  
工夫した解析法

最大層間変形角  
R=1/234

R=1/137

R=1/86

R=1/35



従来の(慣用)解析では、大変形時の再現が不十分

# 長周期地震動対策

従来の地震動 6波※<sup>1</sup>に加えて、技術的助言に示す区域内では「長周期地震動1波以上」を用いる

(※<sup>1</sup>「告示波 or サイト波 3波以上」 & 「観測地震波 3波以上」)

従来からの倒壊・崩壊の判定クライテリアは踏襲する

- イ. 各階の応答層間変形角  $\leq$  1/100
- ロ. 各階の層としての応答塑性率  $\leq$  2.0
- ハ. 各部材の応答塑性率  $\leq$  4.0
- ニ. 上記を超える場合は、別途検討を要する

鉄骨造・免震建築物・制震建築物では、多数回繰返し変形の影響により、梁端部の破断が生じる可能性や免震材料・制振部材の特性が変化する可能性を考慮し、安全性の検証を行う

RC造建築物では、特段の運用の変更はない

# 不確定要因を考慮した設計の考え方

## 「不確定な要因」への対処

- ・ 工学では、未知や未経験がある中で、ものづくりを行う必要  
→ 分からないことや不確定の要因への対処として  
適度な「余裕」を設定

## 「設計用入力地震動」の位置づけ

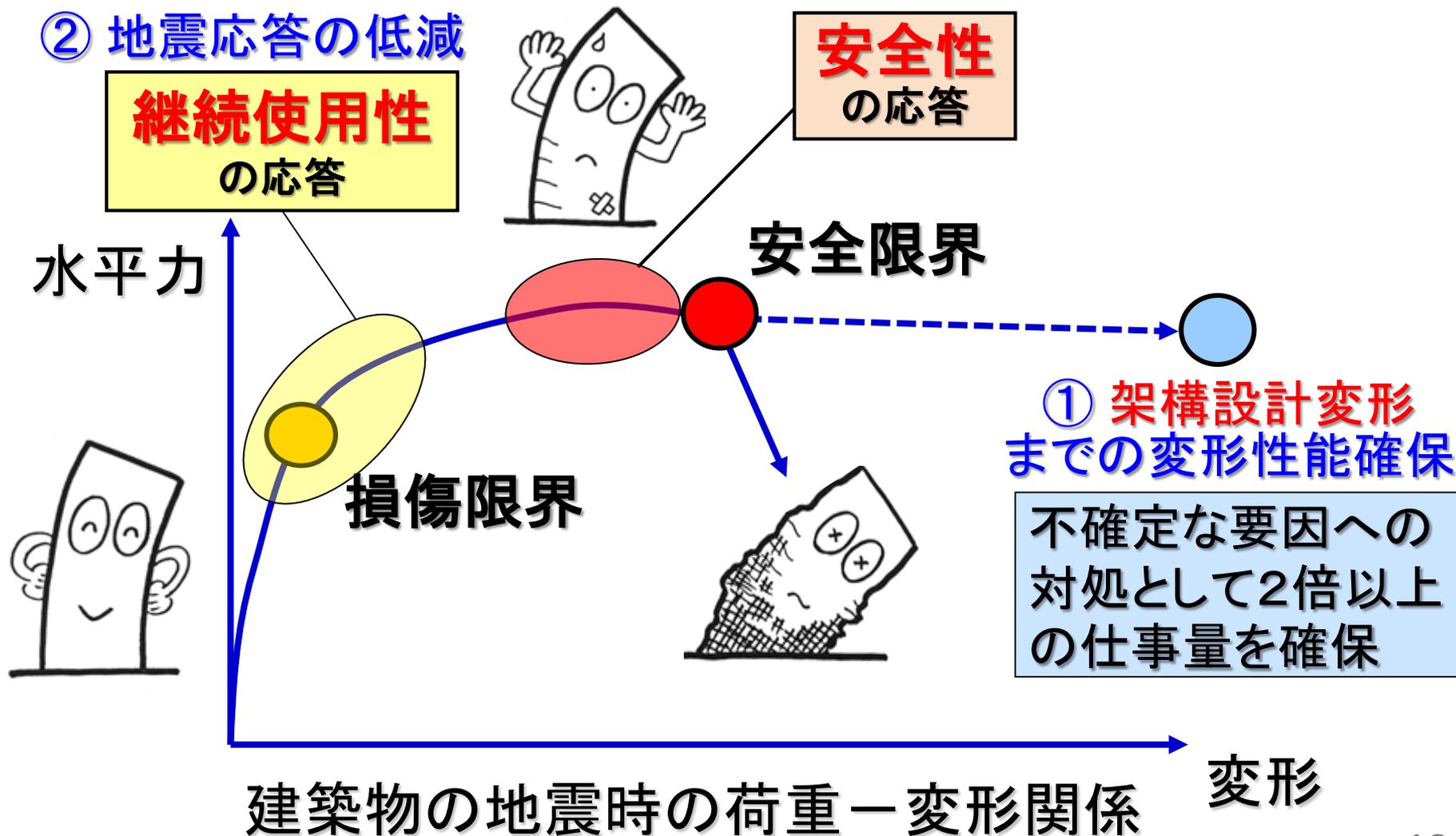
= 検討に用いる代表の地震動

- ・ これと性質やレベルが異なる地震動の作用も考えられるが、予測が困難（大きな地震動が数回来襲することもある）
- ・ 構造計算を複雑にしないために、代表の入力に対して検討  
→ 代表的な事象に一定の余裕を付与することで、他の事象に対しても、ある程度の安全性を確保

# 不確定な要因への対処の考え方

## 未知や未経験に「余裕」で対処

### ② 地震応答の低減



## 今後の課題（実施中のものも含む）

✓ **相模トラフ等の巨大地震による長周期地震動対策**  
→ 首都圏への影響

✓ **余裕度の把握**  
→ 超高層：崩壊・倒壊までの余裕度  
→ 免震：衝突性状  
(大変形領域の活用、不測の事態への対処)

✓ **先端応答低減技術に対する性能評価法開発**  
(性能可変ダンパー、制動設計法など)

さらなる安全・安心に向けて  
All Japan に対応！



ご清聴 有り難うございました

