

伝統木造建物の耐震性評価方法の  
画一化に向けた研究集会

# 振動台実験による構造性能 調査方法の事例

独立行政法人建築研究所  
構造研究グループ

荒木 康弘

# (主催者の)研究集会の趣旨

「構造仕様が一律ではない伝統木造建物の  
構造性能調査方法をそろそろ考え直したい」

## 振動台実験による 構造性能調査方法の一般化

1. 振動台実験手法の一般化
2. 実験結果の分析・評価方法の一般化
3. 設計との位置づけ

# 1. 振動台実験手法の一般化

## ●振動台実験を構成する要素(計測以外)

1. 振動台

2. 基礎仕様

3. 上部構造

4. 錘(重量の再現)

5. 入力地震動

6. 安全対策

# 国内の主な振動台性能

| 機関              | 最大質量       | 面積                | 加振             | 加速度           | 速度     | 変位   |
|-----------------|------------|-------------------|----------------|---------------|--------|------|
|                 | (トン)       | (m <sup>2</sup> ) |                | (Gal)         | (cm/s) | (cm) |
| E-Defense       | 1200       | 20 × 15           | 3方向<br>(X,Y,Z) | 900           | 200    | 100  |
| 原子力発電機構         | 1000       | 225               | 2方向<br>(Y,Z)   | 1900          | 75     | 20   |
| 土木研究所           | 300        | 8 × 8             | 3方向<br>(X,Y,Z) | 1000          | 200    | 60   |
| 防災科研            | 500        | 14.5 × 15         | 1方向<br>(X)     | 2000<br>(無負荷) | 100    | 22   |
| 京大防災研           | 15<br>(定格) | 5 × 3             | 3方向<br>(X,Y,Z) | 1000          | 150    | 30   |
| 富山県農林水産総合技術センター | 8<br>(定格)  | 6 × 4             | 1方向<br>(X)     | 1000          | 100    | 20   |

# 建物サイズと振動台

建物サイズ 4間四方(7.28m × 7.28m)

3間四方(5.46m × 5.46m)

2間四方(3.64m × 3.64m)

| 機関        | 最大質量   | 面積                | 加振      | 加加速度          | 速度     | 変位   |
|-----------|--------|-------------------|---------|---------------|--------|------|
|           | (トン)   | (m <sup>2</sup> ) |         | (Gal)         | (cm/s) | (cm) |
| E-Defense | 1200   | 20 × 15           | (X,Y,Z) | 900           | 200    | 100  |
| 原子力発電機構   | 1000   | 225               | (Y,Z)   | 1900          | 75     | 20   |
| 土木研究所     | 300    | 8 × 8             | (X,Y,Z) | 1000          | 200    | 60   |
| 防災科研      | 500    | 14.5 × 15         | (X)     | 2000<br>(無負荷) | 100    | 22   |
| 京大防災研     | 15(定格) | 5 × 3             | (X,Y,Z) | 1000          | 150    | 300  |
| 富山        | 8(定格)  | 6 × 4             | (X)     | 1000          | 100    | 200  |

# 建物重量と振動台(1)

建物重量(4間四方)\*積載荷重600N/m<sup>2</sup>を含む

1階建: 約130kN(1階壁下半分含む。基礎含まず)

2階建: 約200kN(1階壁下半分含む。基礎含まず)

3階建: 約300kN(1階壁下半分含む。基礎含まず)

| 機関        | 最大質量   | 面積                | 加振      | 加速度   | 速度     | 変位   |
|-----------|--------|-------------------|---------|-------|--------|------|
|           | (トン)   | (m <sup>2</sup> ) |         | (Gal) | (cm/s) | (cm) |
| E-Defense | 1200   | (20×15)           | (X,Y,Z) | 900   | 200    | 100  |
| 原子力発電機構   | 1000   | 225               | (Y,Z)   | 1900  | 75     | 20   |
| 土木研究所     | 300    | 64                | (X,Y,Z) | 1000  | 200    | 60   |
| 防災科研      | 500    | 217               | (X)     | 500   | 75     | 22   |
| 京大防災研     | 15(定格) | (5×3)             | (X,Y,Z) | 1000  | 150    | 30   |
| 富山        | 8(定格)  | (6×4)             | (X)     | 1000  | 100    | 20   |

# 必要壁量から建物重量を決定(1)

|                         |       | 平屋   | 2階建の1階 | 3階建の1階 |
|-------------------------|-------|------|--------|--------|
| 必要壁量(m/m <sup>2</sup> ) |       | 0.15 | 0.33   | 0.5    |
| 壁量                      | 8P×8P | 7.9  | 17.5   | 26.5   |
|                         | 6P×6P | 4.5  | 9.8    | 14.9   |
|                         | 4P×4P | 2.0  | 4.4    | 6.6    |
| 重量<br>(t)               | 8P×8P | 7.9  | 17.5   | 26.5   |
|                         | 6P×6P | 4.5  | 9.8    | 14.9   |
|                         | 4P×4P | 2.0  | 4.4    | 6.6    |

| 機関        | 最大質量   | 面積                | 加振      | 加速度           | 速度     | 変位   |
|-----------|--------|-------------------|---------|---------------|--------|------|
|           | (トン)   | (m <sup>2</sup> ) |         | (Gal)         | (cm/s) | (cm) |
| E-Defense | 1200   | 20×15             | (X,Y,Z) | 900           | 200    | 100  |
| 原子力発電機構   | 1000   | 225               | (Y,Z)   | 1900          | 75     | 20   |
| 土木研究所     | 300    | 8×8               | (X,Y,Z) | 1000          | 200    | 60   |
| 防災科研      | 500    | 14.5×15           | (X)     | 2000<br>(無負荷) | 100    | 22   |
| 京大防災研     | 15(定格) | 5×3               | (X,Y,Z) | 1000          | 150    | 300  |
| 京大防災研     | 15(定格) | 5×3               | (X)     | 1000          | 150    | 300  |

# 建物性能から試験体重量を決定

壁倍率の元となる短期許容せん断耐力

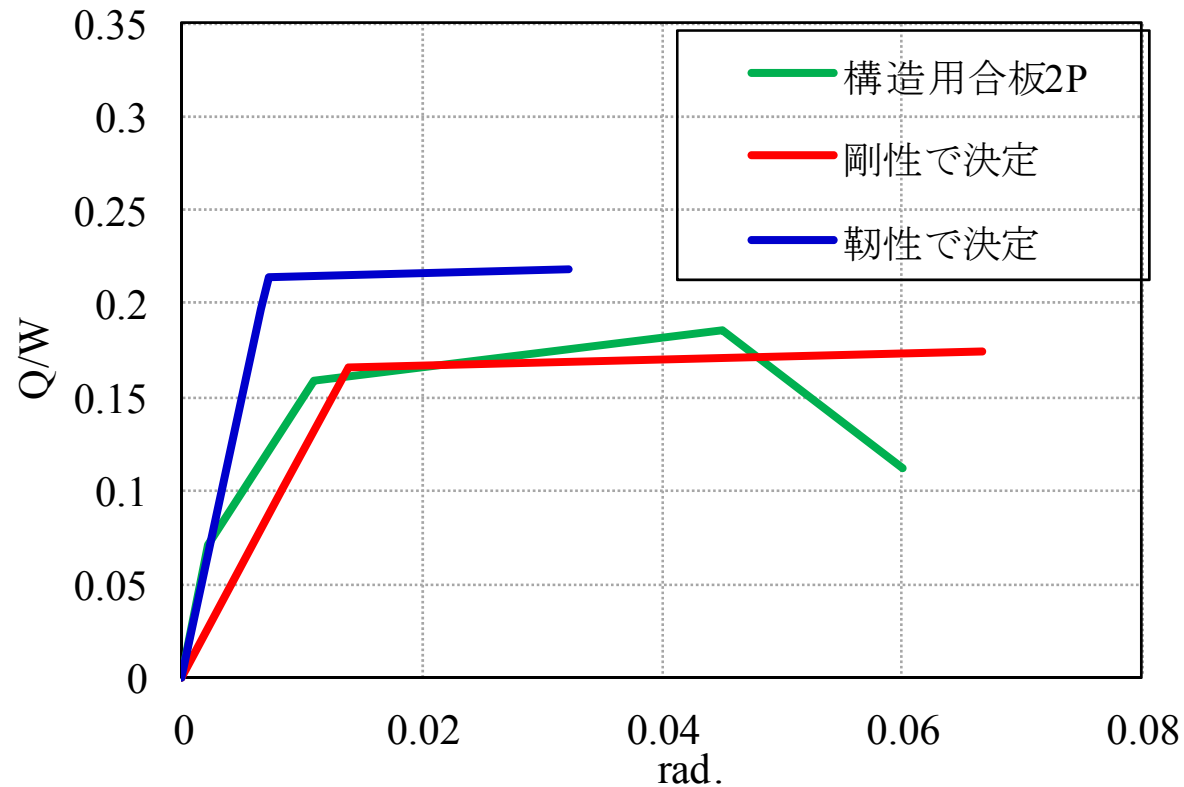
(a)降伏耐力 $P_y$

(b)終局耐力 $P_u$ に $0.2v(2\mu - 1)$ を乗じた値

(c)最大耐力 $P_{max}$ の $2/3$

(d)特定変形時の耐力

# 建物性能から試験体重量を決定



同じ壁倍率でも、異なる指標で決まる場合、  
実際の性能(挙動)は異なる

# 1. 振動台実験手法の一般化

## ●振動台実験を構成する要素(計測以外)

1. 振動台

2. 基礎仕様

3. 上部構造

4. 錘(重量の再現)

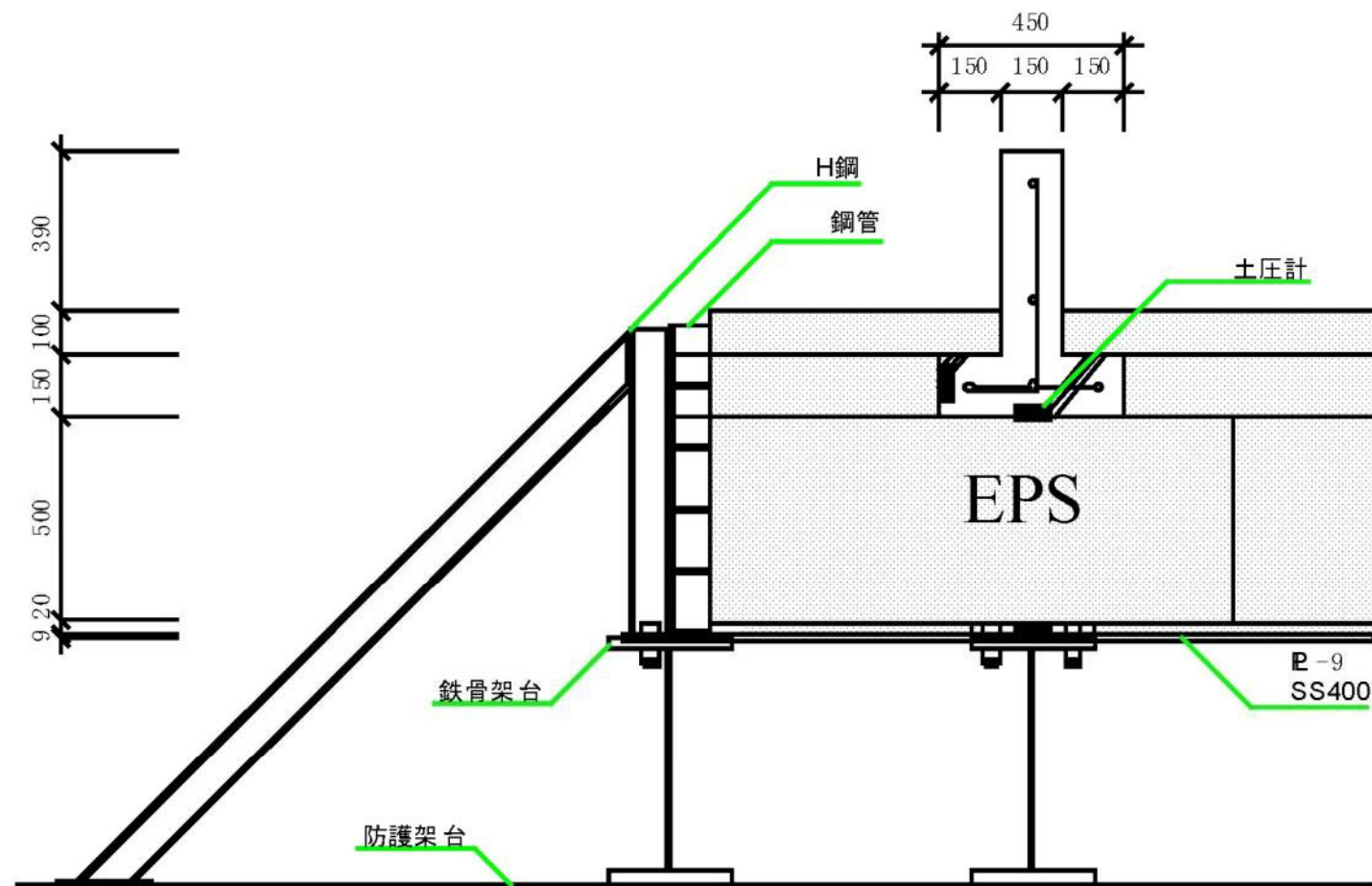
5. 入力地震動

6. 安全対策

# 模擬地盤と鉄骨基礎の例



# 基礎付試験体の例



箕輪他：震動台による既存木造住宅の耐震性能実証実験 その 24 2007年度AIJ大会梗概

# 石場建ての例



# 1. 振動台実験手法の一般化

## ●振動台実験を構成する要素(計測以外)

1. 振動台
2. 基礎仕様
3. 上部構造
4. 錘(重量の再現)
5. 入力地震動
6. 安全対策

### 3. 上部構造の構造方法

(1) 仕上げの有無：構造体のみか？

⇔ 構造性能・重量の変化

(2) 屋根を再現するか？

⇔ 構造性能・重量の変化

(3) 構面のみか？ 立体か？

⇔ 立体効果（直交壁効果）

(4) 実大か？ 模型か？

⇔ スケール効果

# 1. 振動台実験手法の一般化

## ●振動台実験を構成する要素(計測以外)

1. 振動台
2. 基礎仕様
3. 上部構造
4. 錘(重量の再現)
5. 入力地震動
6. 安全対策

## 4. 錘（重量の再現）

(1) 仕上げ材、屋根を施工しない

⇔ 錘で重量を再現

⇒ 実際の建物と質量分布が異なる。

⇒ 解析モデルに影響？

(2) 構面のみか？立体か？

⇒ 構面が実際に負担する重量の違い

(3) 錘の固定方法

1) 水平構面剛性に影響

2) 高さ方向の重心

# 1. 振動台実験手法の一般化

## ●振動台実験を構成する要素(計測以外)

1. 振動台
2. 基礎仕様
3. 上部構造
4. 錘(重量の再現)
5. 入力地震動
6. 安全対策

## 5. 入力地震動

### 1. 試験目的に応じた地震動の種類

#### (1) 振動特性・減衰特性把握

ステップ波/ホワイトノイズ波/スイープ加振

#### (2) 観測地震波に対する耐震性能確認

#### (3) 基準法で想定する地震に対する安全性

# 5. 入力地震動

## 良く用いられる強震記録

| 観測点名          |        | 最大加速度 [gal]       |      |         |               | 最大速度 [cm/s] |       |      |       |
|---------------|--------|-------------------|------|---------|---------------|-------------|-------|------|-------|
|               |        | 北南                | 東西   | 上下      | 3成分           | 北南          | 東西    | 上下   | 3成分   |
| 気象庁川口(JMA)    |        | 1142              | 1676 | 870     | 1722          | 50.3        | 146   | 82.9 | 148.3 |
| K-NET小千谷      |        | 1144              | 1308 | 820     | 1500          | 97.5        | 129   | 39.0 | 136   |
| 神戸海洋気象台 (JMA) |        | 818               | 617  | 332     | 891           | 96.5        | 80.3  | 42.9 | 112.1 |
| JR鷹取          |        | 608               | 645  | 280     | 759           | 129.7       | 135.8 | 12.6 | 169.1 |
| 機関            | 最大質量   | 面積                |      | 加振      | 加速度           | 速度          |       | 変位   |       |
|               | (トン)   | (m <sup>2</sup> ) |      |         | (Gal)         | (cm/s)      |       | (cm) |       |
| E-Defense     | 1200   | 20 × 15           |      | (X,Y,Z) | 900           | 200         |       | 100  |       |
| 原子力発電機構       | 1000   | 225               |      | (Y,Z)   | 1900          | 75          |       | 20   |       |
| 土木研究所         | 300    | 8 × 8             |      | (X,Y,Z) | 1000          | 200         |       | 60   |       |
| 防災科研          | 500    | 14.5 × 15         |      | (X)     | 2000<br>(無負荷) | 100         |       | 22   |       |
| 京大防災研         | 15(定格) | 5 × 3             |      | (X,Y,Z) | 1000          | 150         |       | 30   |       |
| 富山            | 8(定格)  | 6 × 4             |      | (X)     | 1000          | 100         |       | 20   |       |

## 5. 入力地震動

### (2) 観測地震波を用いる場合の問題点

#### ① 振動台の性能オーバーの地震波

⇒ 長周期成分をカットして使用

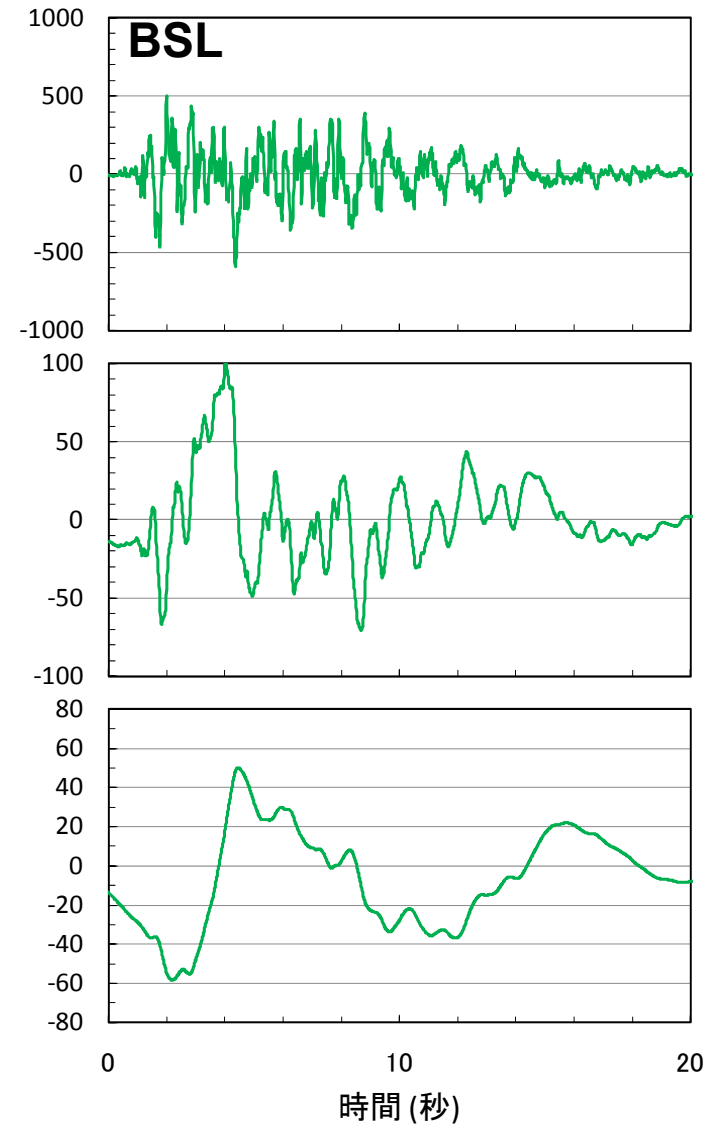
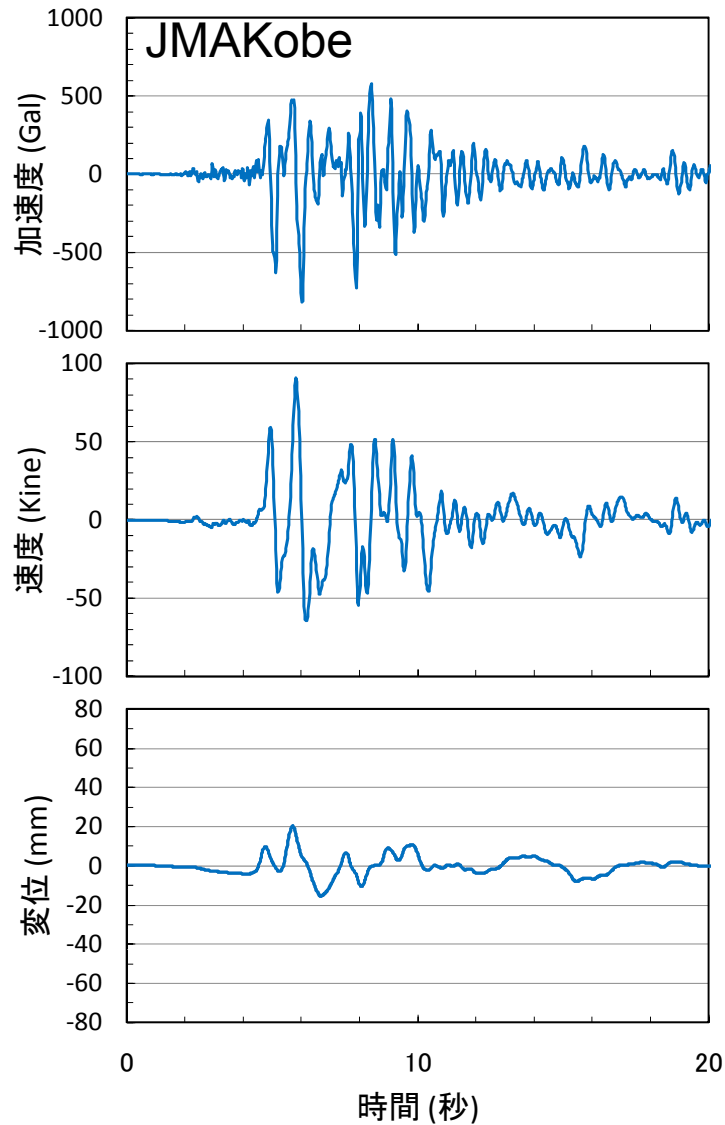
#### ② 加振波の再現性

同じ入力レベルの地震動に対する耐震

性能を比較するには、同時に加振する必要

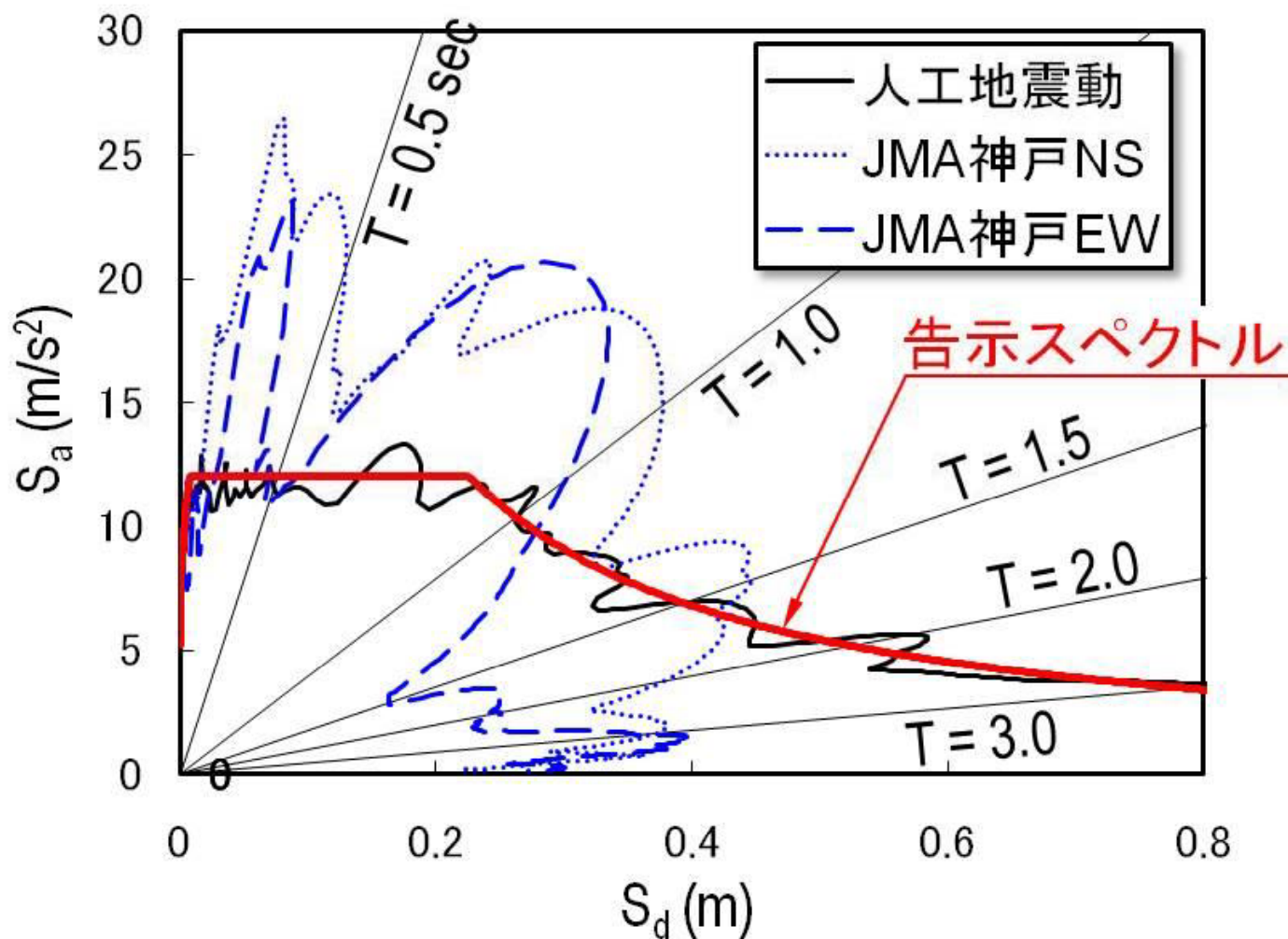
# 5. 入力地震動

## (3) 基準法レベルの地震波に対する耐震性能



## 5. 入力地震動

### (3) 基準法レベルの地震波に対する耐震性能



## 6.振動台実験と実際の建物の比較

|          |      | 実在建物 | 試験体              | 影響         |
|----------|------|------|------------------|------------|
| 地盤(広域)   |      | 地盤   | 振動台              | サイト特性      |
| 地盤(基礎近傍) |      | 地盤   | 無し/人工地盤          | 地盤と建物の相互作用 |
| 基礎       |      | RC基礎 | 鉄骨基礎/RC基礎/石場建    | 基礎損傷の考慮の有無 |
| 上部構造     | 外装材  | 有り   | 仕上材あり/無し         | 耐震性能への影響   |
|          | 内装材  | 有り   | 仕上材あり/無し         | 耐震性能への影響   |
|          | 構造躯体 | 有り   | 有り               |            |
|          | 鉛直構面 | 直交壁有 | 直交壁有/無、考慮/非考慮    | 耐震性能への影響   |
|          | 屋根   | 有    | 有り/無し            | 耐震性能への影響   |
| 積載荷重     |      | 実際   | 基準法積載/ $C_0$ 換算値 | 耐震性能への影響   |
| 積載荷重     |      | 非固定  | 固定               |            |

# 1. 振動台実験手法の一般化

## ●振動台実験を構成する要素(計測以外)

1. 振動台
2. 基礎仕様
3. 上部構造
4. 錘(重量の再現)
5. 入力地震動
6. 安全対策

## 6. 安全対策

- ・倒壊実験・大変形実験の場合  
安全対策は十分余裕を持つ



# 振動台実験による構造性能調査方法の一般化

1. 振動台実験手法の一般化

2. 実験結果の分析・評価方法の一般化

3. 設計値との位置づけ

## 2. 実験結果の分析・評価方法の一般化

### (1) 計測関係

加速度 : 加速度計

速度 : 加速度計から積分？

変位 : 変位計、画像計測(大変形向き)

荷重 : 次ページ

層間変位 : 巻き込み式変位計(斜め計測)

台形治具による計測

(レーザー変位計は位相が逆転？)

各部変位 : 変位計

軸力 : ロードセル/ひずみゲージ

## 2. 実験結果の分析・評価方法の一般化

### (2) 結果の分析

- ・各層の層せん断力

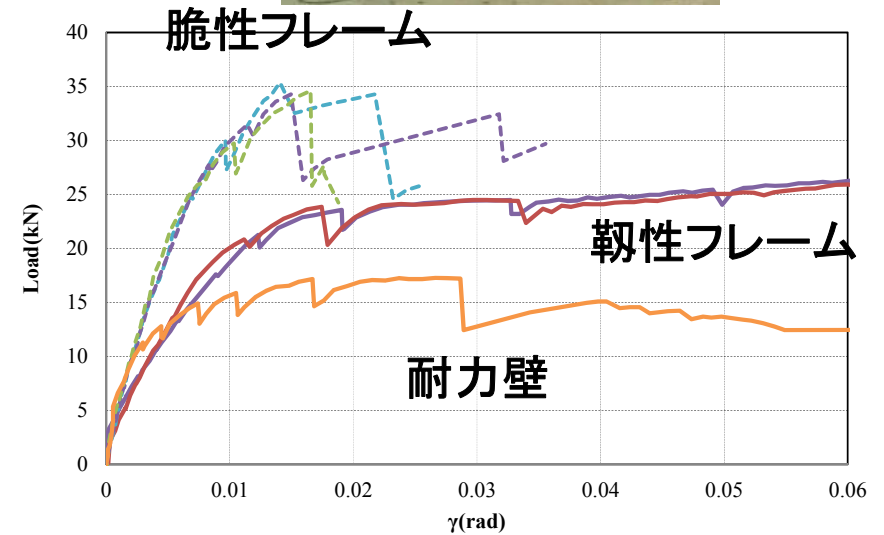
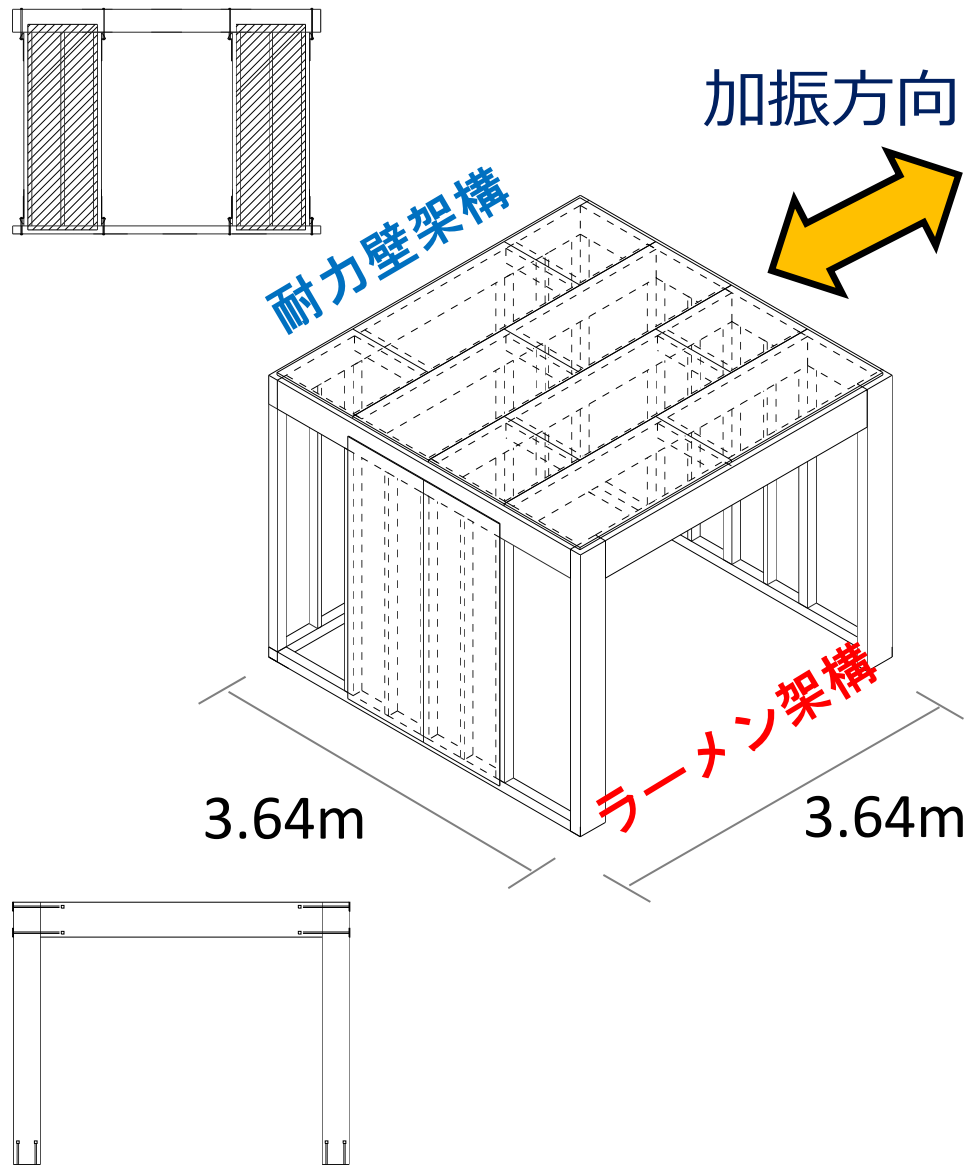
$$Q_i = \sum m_i a_i$$

$Q_i$  : i階の層せん断力

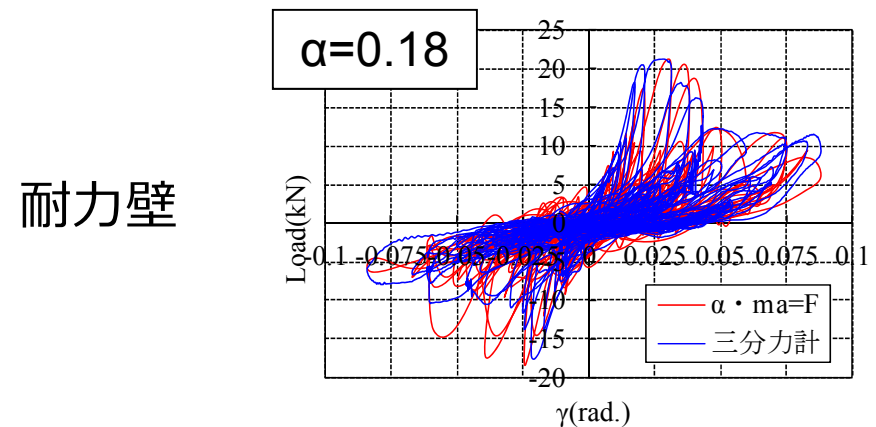
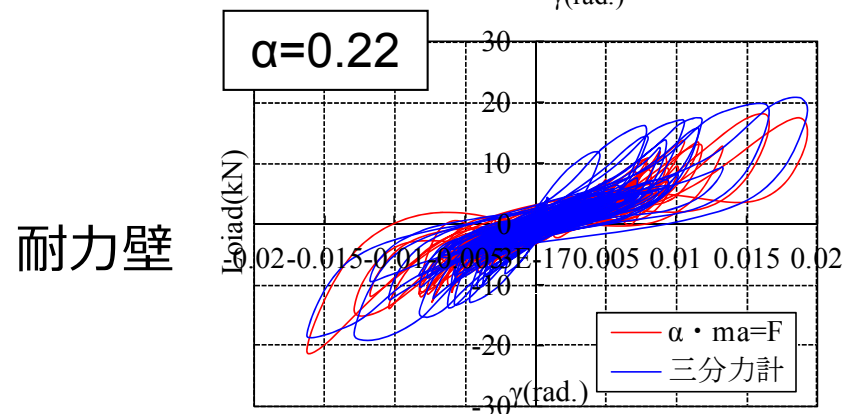
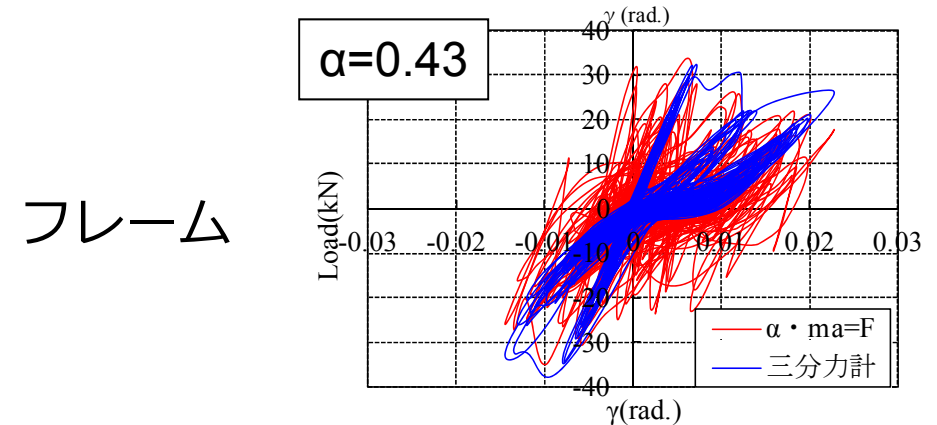
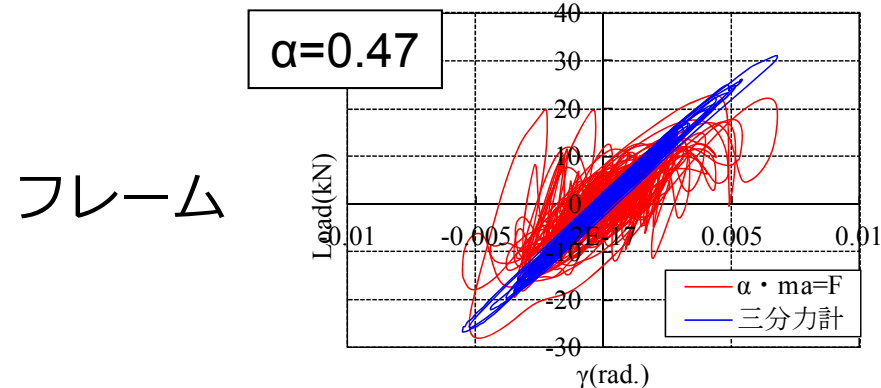
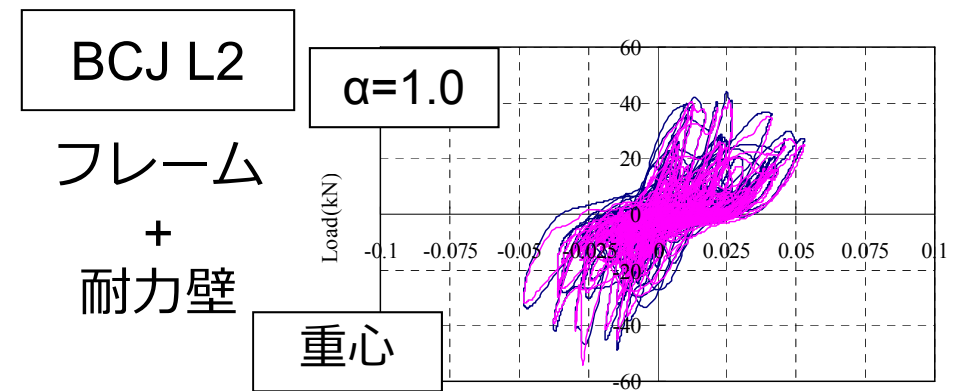
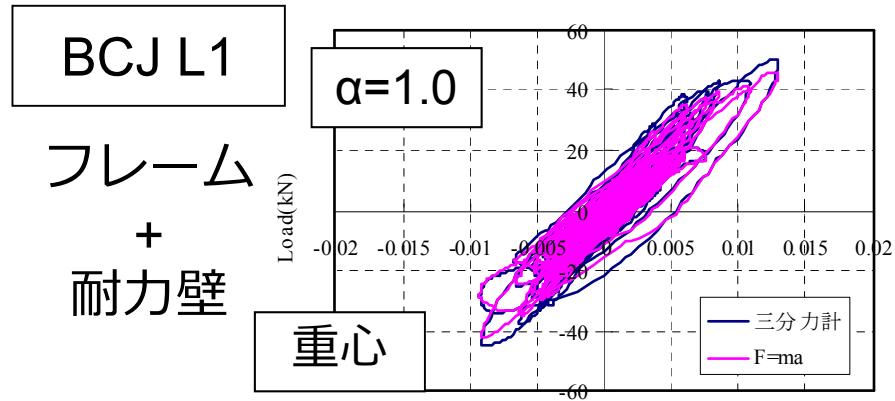
$m_i$  : i階の質量

$a_i$  : i階の加速度

### (3) 加速度から荷重の予測が難しい例



# (3) 加速度から荷重の予測が難しい例



# 振動台実験による構造性能調査方法の一般化

1. 振動台実験手法の一般化
2. 実験結果の分析・評価方法の一般化
3. 設計値との位置づけ

# 3. 設計値との位置づけ

## (1) 目標性能の設定方法

①「建築基準法レベルの大地震でも大丈夫」  
(倒壊しない/安全限界を超えない/損傷しない)

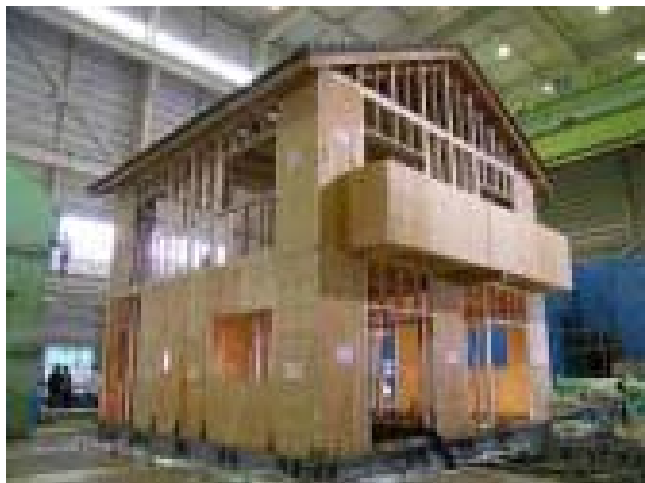
②「兵庫県南部地震でも大丈夫」  
(倒壊しない/安全限界を超えない/損傷しない)

⇔兵庫県南部地震(例えばJMAKobe)は  
基準法でいう大地震の何倍の地震動？

### 3. 設計値との位置づけ

(1) 兵庫県南部地震を目標値とした例

実大木造住宅の振動台実験手法に関する研究  
(建材試験センター)



等級1



等級2



等級3

# 3. 設計値との位置づけ

## (2) 建築基準法レベルの大地震を目標値とした例

木造3階建て軸組工法住宅の接合部の  
設計法と耐震性能(2010年度)



# まとめ

## 1. 振動台実験手法の一般化

- ・試験体サイズ・重量と振動台性能に注意
- ・大きな実験をしたい⇒それなりの予算が必要

## 2. 実験結果の分析・評価方法の一般化

- ・加速度から慣性力を計算：ねじれに注意

## 3. 設計との位置づけ

- ・ギリギリを狙った実験計画は極力避ける