

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 ²)		(Gal)	(cm/s)	(cm)
E-Defense	1200	20 × 15	3方向 (X,Y,Z)	900	200	100
原子力発電機構	1000	225	2方向 (Y,Z)	1900	75	20
土木研究所	300	8 × 8	3方向 (X,Y,Z)	1000	200	60
防災科研	500	14.5 × 15	1方向 (X)	2000 (無負荷)	100	22
京大防災研	15 (定格)	5 × 3	3方向 (X,Y,Z)	1000	150	30
富山県農林水産総合技術センター	8 (定格)	6 × 4	1方向 (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	加速度	速度	変位
	(トン)	(m ²)		(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 (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/m²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 ²)		(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 ²)		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(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 ²)		(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 (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

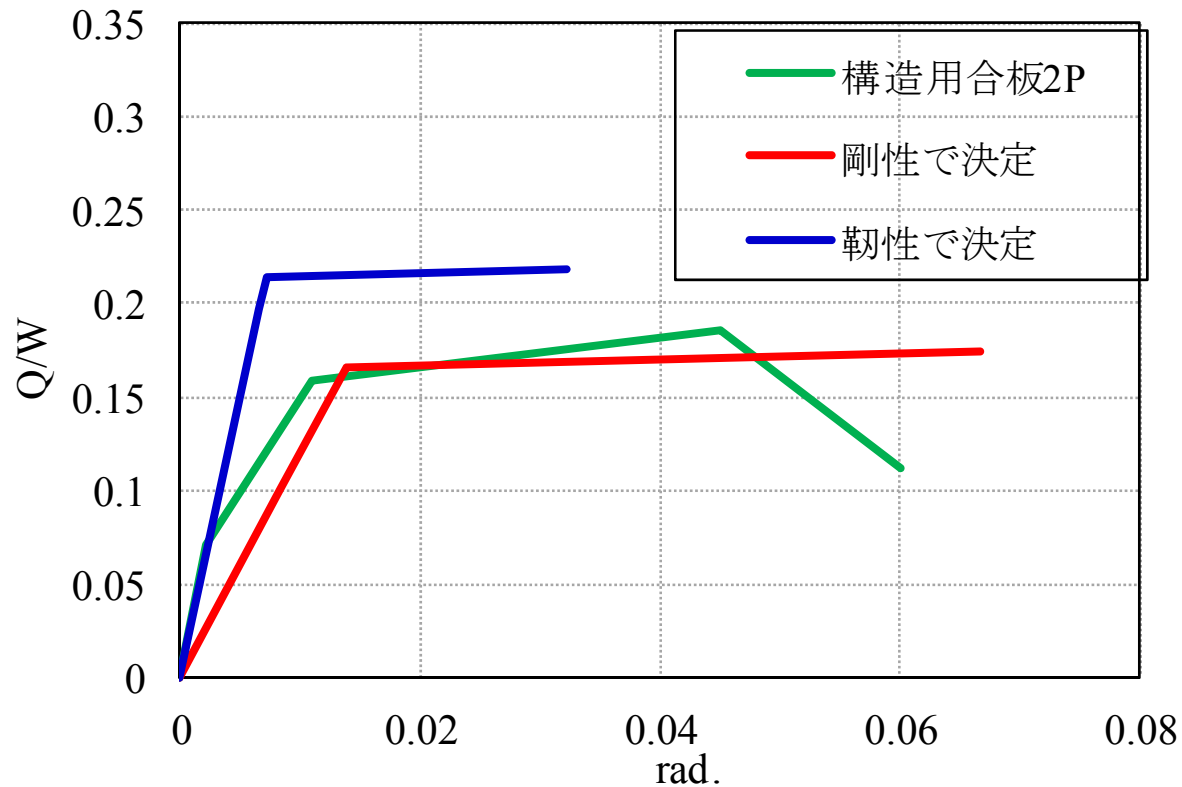
(a)降伏耐力 P_y

(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)

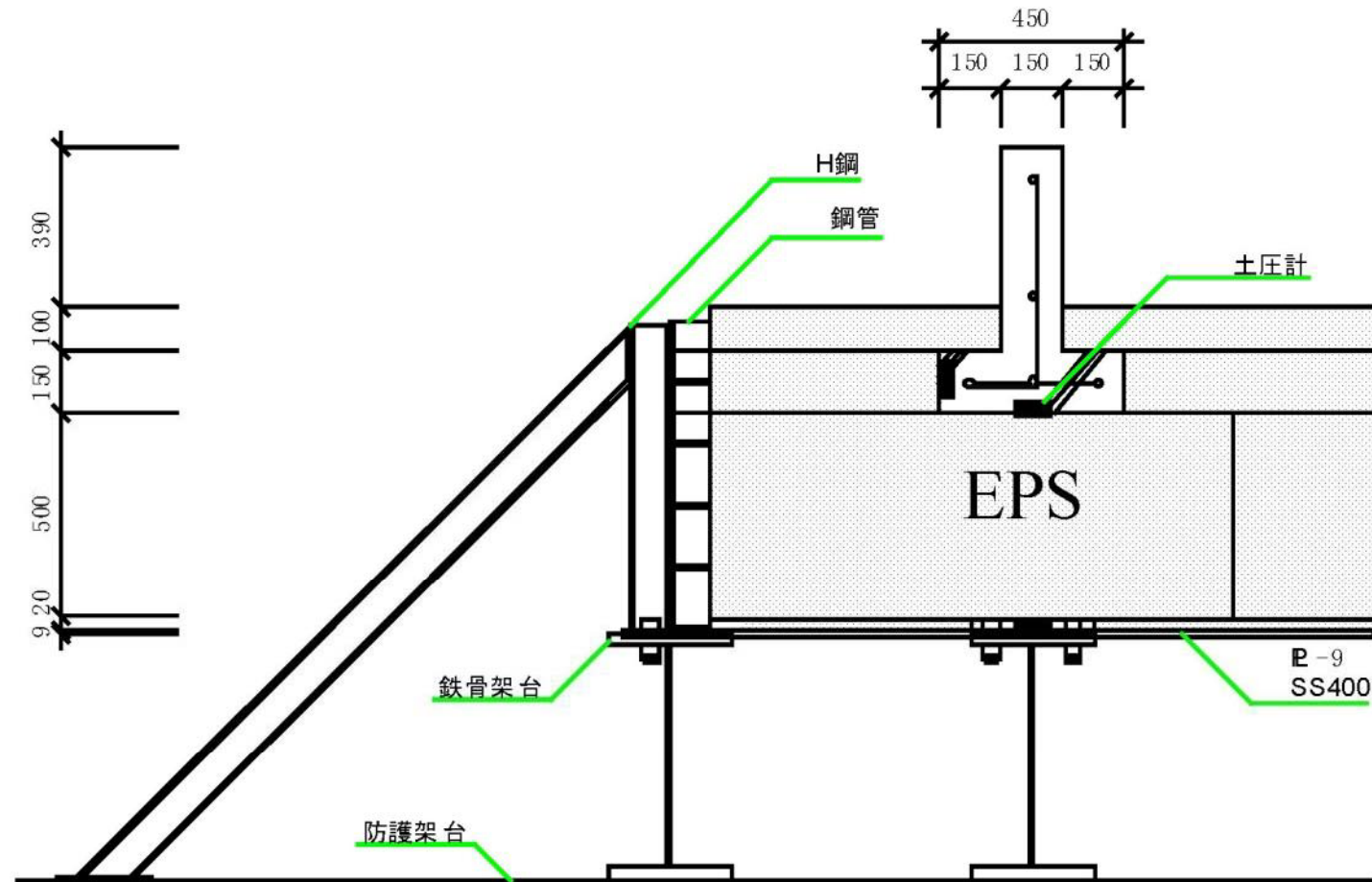
5. 入力地震動

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 ²)			(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 (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

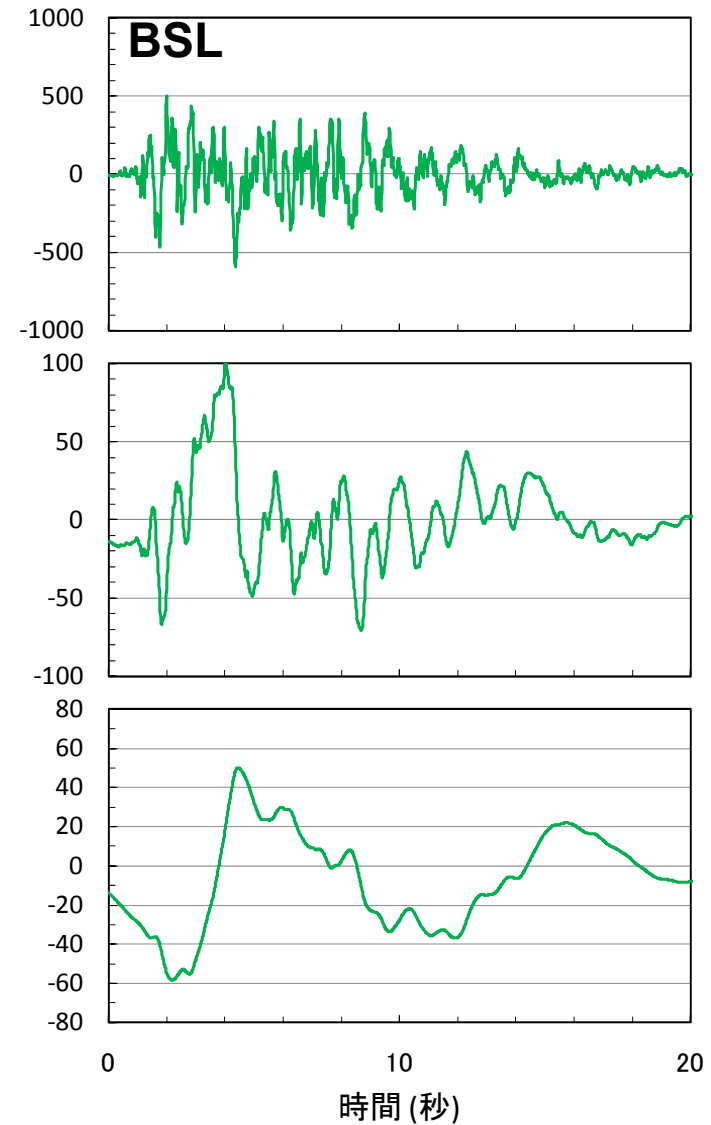
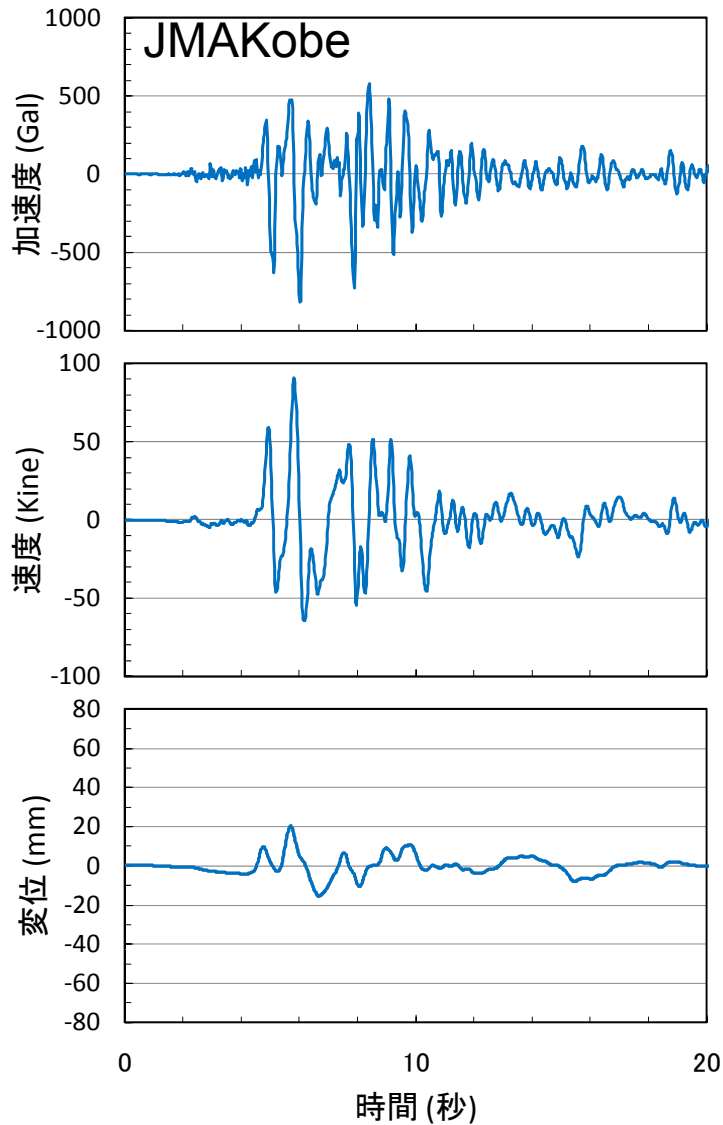
② 加振波の再現性

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

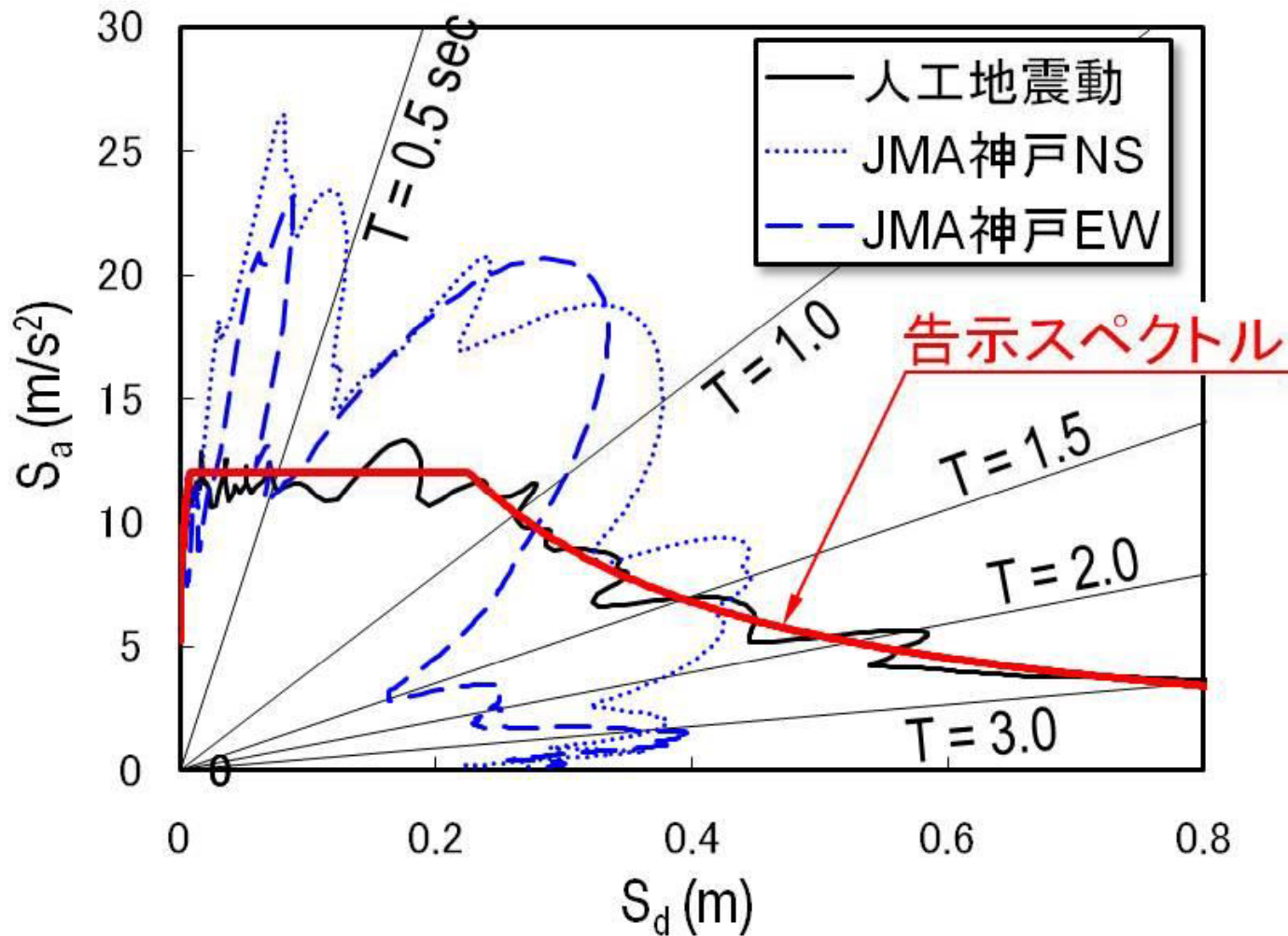
5. 入力地震動

(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

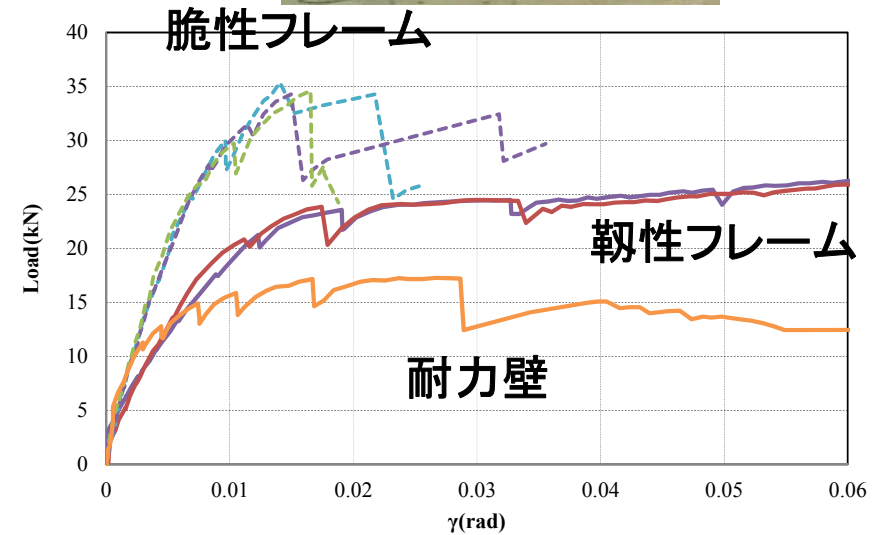
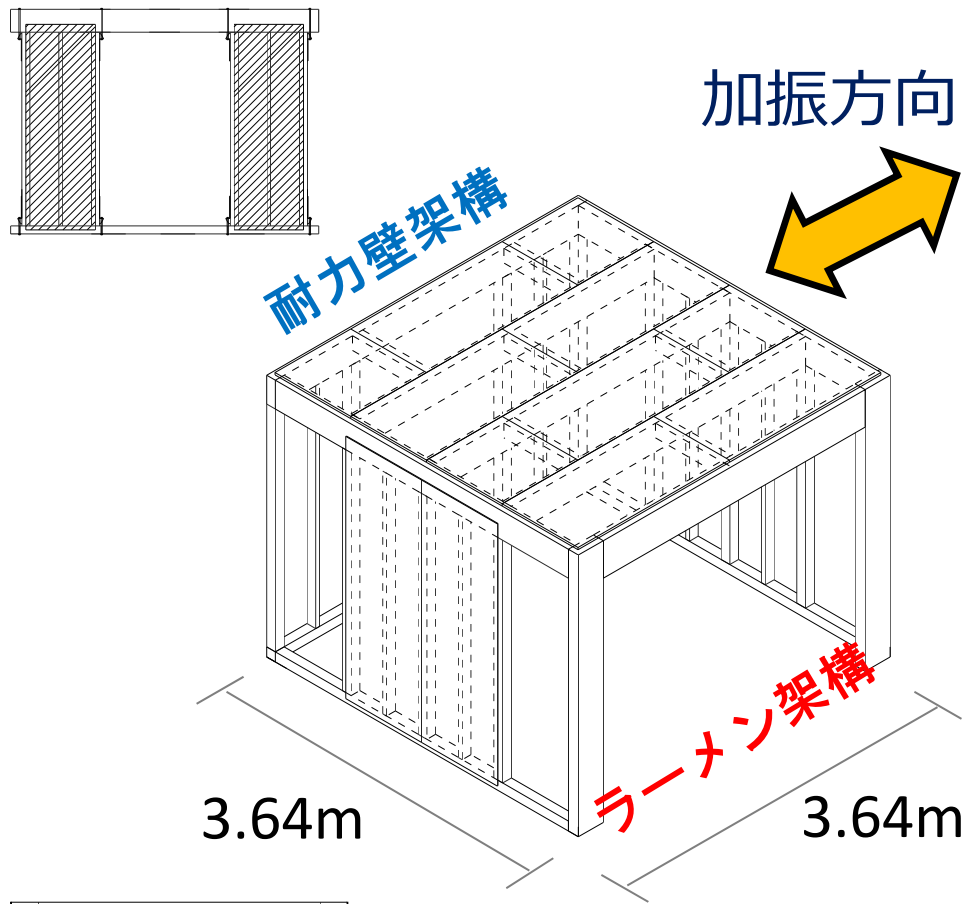
$$Q_i = \sum m_i a_i$$

Q_i : i階の層せん断力

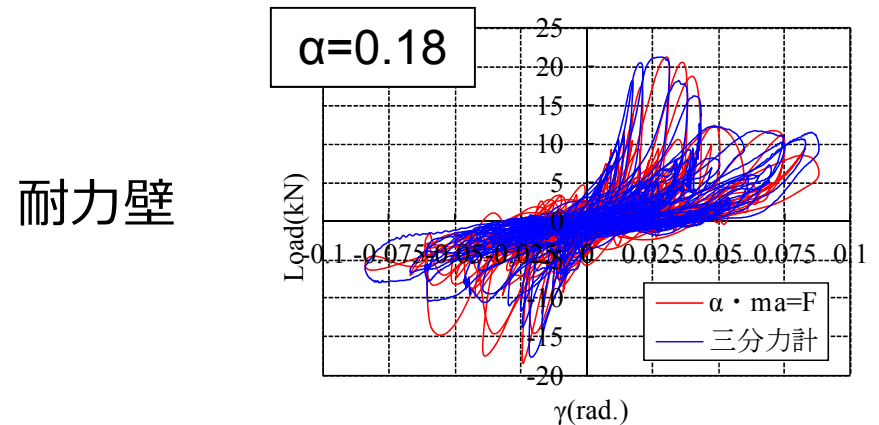
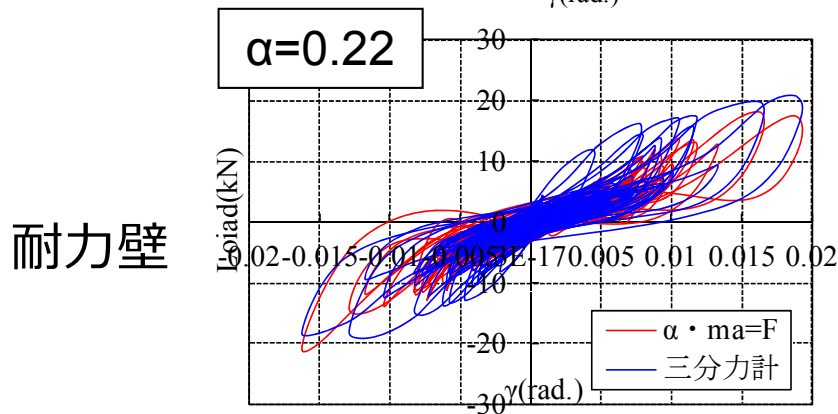
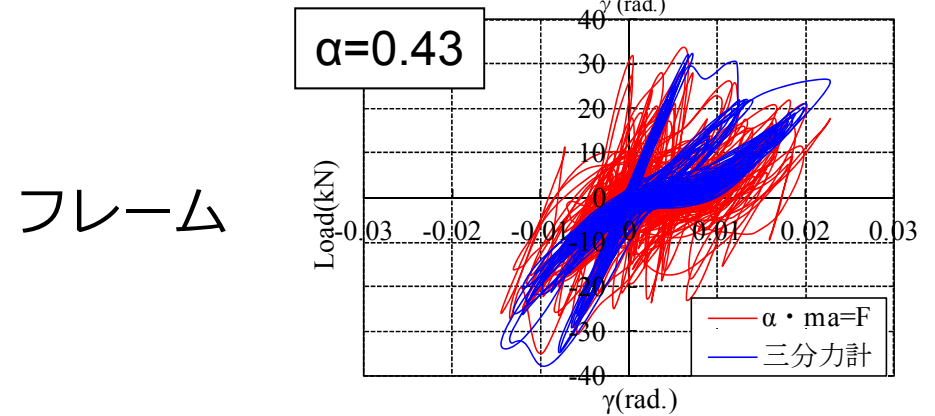
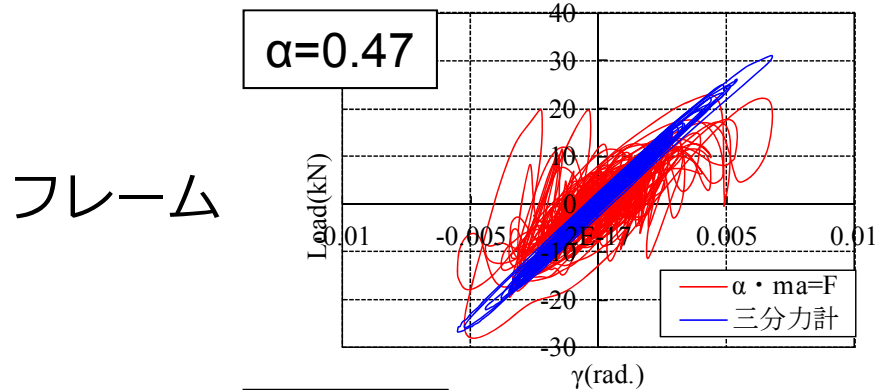
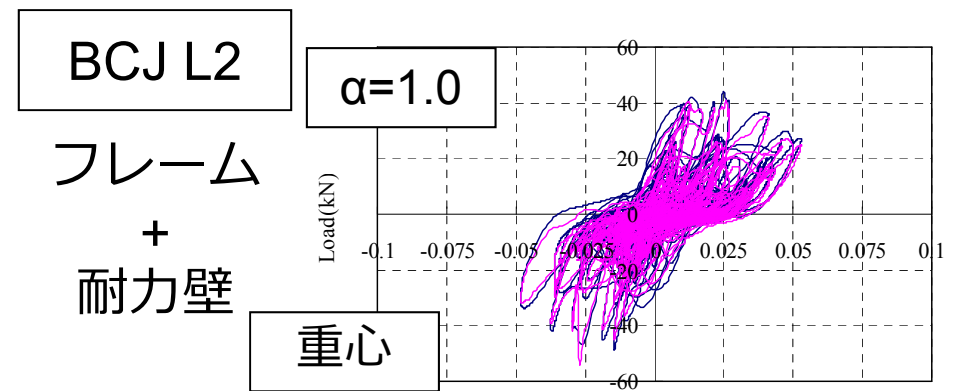
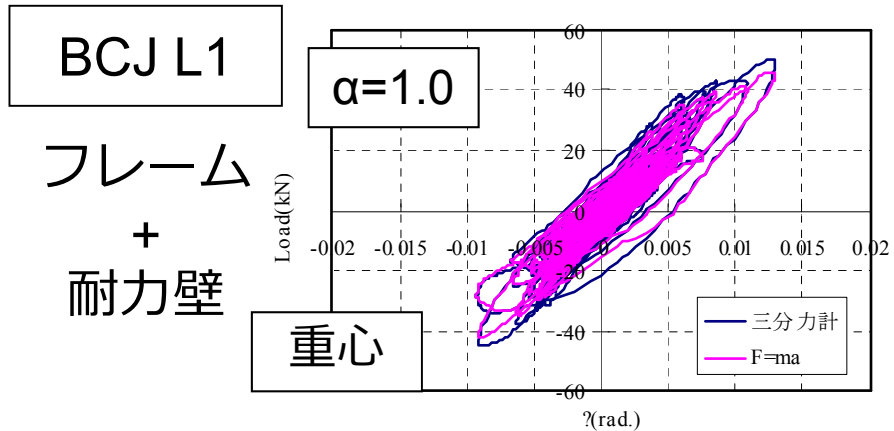
m_i : i階の質量

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