

3.4.5 木造建物の耐震性に関する中規模振動台実験

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成16年度業務目的

(2) 平成16年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 再現構面試験体の振動台実験
- (c) 業務の成果
 - 1) 再現構面試験体の振動台実験
 - 2) 中規模振動台実験のまとめ
- (d) 結論ならびに今後の課題
 - 1) 再現構面試験体の振動台実験
 - 2) 中規模振動台実験のまとめ
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(3) 平成17年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

木造建物の耐震性に関する中規模震動台実験

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学	教授	坂本 功	sakamoto@buildcon.arch.t.u-tokyo.ac.jp
	助手	腰原幹雄	koshi@buildcon.arch.t.u-tokyo.ac.jp

(c) 業務の目的

木造建物の実大および要素試験体を用いた3次元振動台実験の計画・データ解析を行い、E-ディフェンスに於いて、将来、実施予定の木造建物の3次元震動破壊実験に役立てると共に、木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行い、耐震設計法および耐震補強法の開発と併せて木造建物の耐震性向上を図る。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成14年度：

木造建物の実大試験体4体を用いた3次元振動台実験の計画・実施。

- ① 入力地震動の方向の組み合わせ（1次元、2次元、3次元）の組み合わせによる影響
- ② 2層同時倒壊モードの追跡
- ③ 木造建物の倒壊までの計測方法の検討

2) 平成15年度：

木造建物の実大試験体3体を用いた3次元振動台実験の計画・実施。

- ① 1層倒壊モードの追跡
- ② 部材崩壊モードの追跡
- ③ 面材要素をもつ木造建物の倒壊モードの追跡
- ④ 木造建物の倒壊までの計測方法の精度向上

3) 平成16年度：

平成14年度実施の抽出構面試験体の新築再現試験体を用いた実大振動台実験の計画・実施。

- ① 再現構面試験体の倒壊実験の実施
- ② 再現構面試験体と抽出構面試験体の耐震性能比較
- ③ E-ディフェンスの実験の計画、試験体の選定

4) 平成17年度：

- ① E-ディフェンスに於いて木造建物等の実験を行い、木造建物耐震性向上の資料を得る

5) 平成18年度：

- ① E-ディフェンスに於いて木造建物等の実験を行い、木造建物耐震性向上の資料

を得る

② 全体のまとめを行う。

(e) 平成16年度業務目的

平成14～16年までに実施した中規模振動台実験結果より、E-ディフェンスにおける移築倒壊実験における試験体、実験方法の検討を行う。また、既存木造住宅の耐震性能において重要な影響を及ぼす経年変化の耐震性能へ及ぼす影響を把握する。

(2) 平成16年度の成果

(a) 業務の要約

中規模振動台を用いた実験により、倒壊実験の振動台への影響は、衝撃により計測波形に乱れは生じるものの振動台への悪影響はなかった。倒壊過程の計測は画像計測法を用いることにより大変形時の試験体の挙動を計測できた。入力地震動の組み合わせについては、上下動の影響は少ない。既存建物の移築については、分割することにより可能であり、E-ディフェンスでの移築倒壊実験は十分可能であることが検証された。

(b) 業務の実施方法

平成14、15、16年の振動台実験結果をもとに検討を加える方法を取った。

(c) 業務の成果

中規模振動台実験のまとめ

a) 倒壊実験法のまとめ

i) 倒壊実験の振動台への影響

図1は試験体No.1(H14年度実施：以下年度のみ表記)、No.3(H14)の振動台に取り付けた加速度計の計測データである。No.1で15.6秒付近、No.3で11.7秒付近に、倒壊による試験体の振動台への衝突の影響が波形の乱れとして現れているが、その後の計測、加振には悪影響を生じなかった。また、積載荷重の代用とした鉄板の落下安全装置も機能した。

また、試験体No.8(H15)では石膏ボード、試験体No.5(H14)、No.9(H16)では、モルタル仕上の試験体の倒壊実験を実施したが、仕上材の飛散、埃の舞い上がりなどが生じたが、鉄骨架台による安全装置、養生シートに使用により振動台運転に悪影響を及ぼすことは無かった。しかし、倒壊後の試験体と実験場床(RCまたは鉄骨)との衝突により、部材の折損、2階の損傷などが見られ、実験後の破壊性状は、純粹に振動による被害以外のものも含まれてしまった。損傷状況を観察するには、今後、倒壊実験における着床部分の検討が必要である。

ii) さまざまな倒壊モードの再現

2階建て木造住宅のさまざまな倒壊モードを振動台実験において再現することができた。表1に、各試験体の倒壊モードを示す。これまでの地震被害調査と比較すると、2階が大きく傾斜、破損する倒壊モードについては、今後の課題となっている。

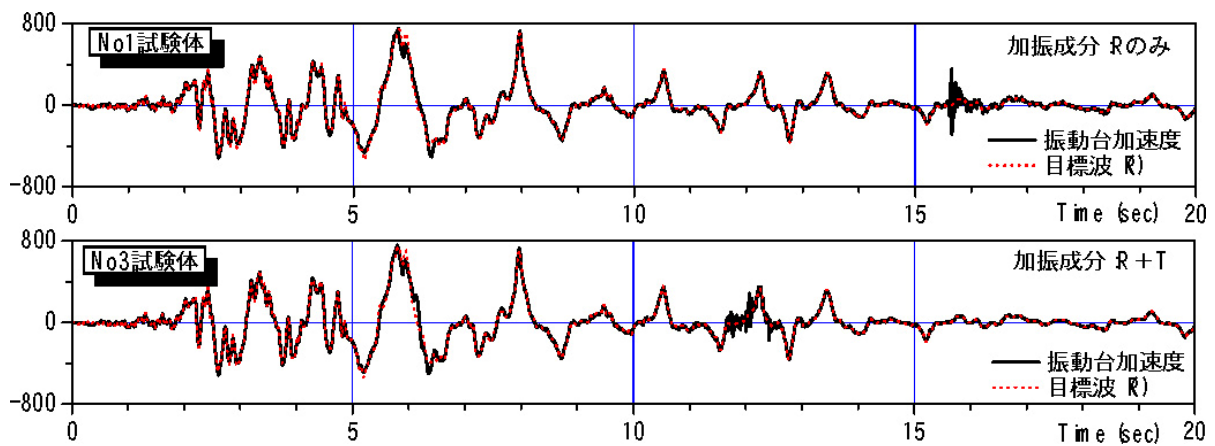


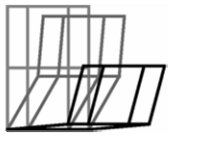

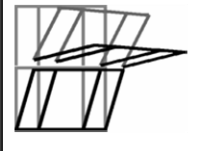






図1 倒壊実験における振動台に加速度波形

表1 木造住宅の倒壊モード

				
				未
1.2 階とも倒壊 旧構法の建物 (壁量、接合部)	崩壊・分解 接合金物の少ない 建物	1 階のみ倒壊 相対的に 2 階の 耐力が上昇してい る建物	柱脚の引き抜け 不完全な耐震補強 を行った建物	2 階が大きく傾斜
No.1,3,4(H14)	No.7(H15)	No.6(H15)	No.8(H15)	未

iii) 2次部材の影響

2次部材の耐震性能への影響については、No.5(H14)、No.9(H16)により、モルタル外壁の損傷過程、No.8(H15)により、石膏ボードの影響を検証できたが、すべての仕上げ材を取り付けた試験体での倒壊実験は今回の結果と既往の研究を併せてみても、中規模震動台では、性能的に困難であることが推測された。

iv) 倒壊限界変形角

図2に、No.6(H15)の1階の層せん断力係数-層間変形角の関係を示す。X軸と曲線が交差するのは、0.162rad. (1/6.2rad.)の層間変形角となっている。また、No.4(H14)では、1回目の加振で倒壊を免れたが、1階の残留変形角は、1/7rad.となっていた(写真1)。これらより、在来軸組木造住宅の倒壊限界変形角は1/10rad.以上と考えることができる。

v) 入力地震動の検討

JR 鷹取波フルスケール加振により 3.64m×5.46m の 2 階建ての躯体のみの試験体を倒

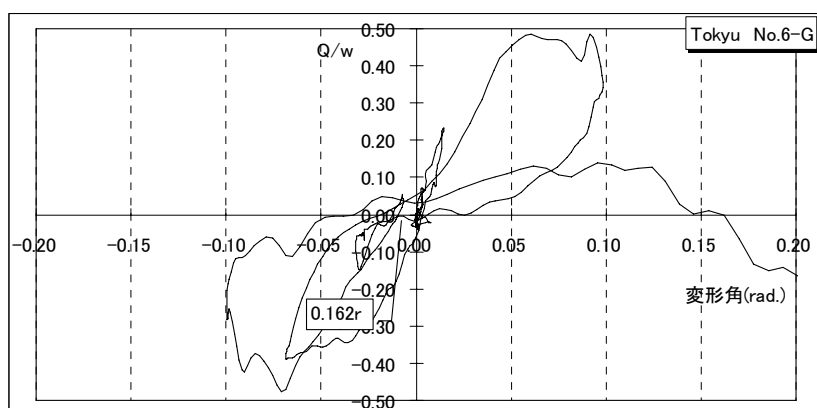


図2 層せん断力係数-層間変形角関係 (No. 6)



写真1 No. 4 の残留変位

壊させることができた。また、No. 5 (H14)、No. 9 (H16) の試験体により、積載重量を制御することにより、モルタルなどの高剛性の試験体も倒壊可能となった。

vi) 上下動の影響

同仕様の試験体で、入力地震動の組み合わせの異なる試験体 No. 1 (X 方向入力)、No. 3 (XY 方向入力)、No. 4 (XYZ 方向入力) で、No. 1、3 は倒壊、No. 4 は倒壊を免れたが、上下動 (Z 方向入力) の影響について考察する。

① 入力地震動、試験体のバラツキ

入力地震動は、「既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 (その 6)」¹⁾ に示すとおり、ほぼ同じ入力とすることができている。一方、試験体の常時微動による固有振動数は、表 2 のように、No. 4 の X 方向で、他に比べて小さな値となっている。また、実験結果の層せん断力-層間変形角曲線も No. 4 のみ剛性・耐力が小さい結果となっている。入力地震動と試験体の荷重-変形関係のバラツキの影響を考慮するため、各試験体の入力地震動と荷重-変形関係を組み合わせた解析 (「既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 (その 11)」¹⁾) を行った。その結果、表 3 のように、No. 1、3、4 のどの入力波に対しても、No. 1、3 は倒壊、No. 4 は倒壊しないという結果になった。ここでは、倒壊の有無は、試験体のバラツキによる影響が大きいことがわかる。

② 入力地震動の特性

上下動の影響としては、X 方向に振られた時に生じる柱脚の引き抜き力を上下動が増減させる可能性が考えられる。JR 鷹取波の X (R) 成分、Z (U) 成分の組み合わせを図 3 に示す。JR 鷹取波では、X 方向の最大変形付近では、上方向、下方向いずれの組み合わせもあり、組み合わせを見る限りは、上下動の影響が小さい波とはいえない。

③ 上下動の P δ 効果への影響

P- δ 効果は、上下方向の加速度の影響を受けると考えられる。No. 3、No. 4 の荷重-変形関係を用いて、上下動を +Z、-Z、0 とした入力地震動で倒壊解析を行った。結果を表 4 に示す。ここでも、上下動の有無、方向に関わらず、No. 4 は倒壊しなかった。

表 2 各試験体の固有振動数 (Hz)

試験体 No.		No. 1	No. 3	No. 4
固有振動数	X	2.25	2.15	1.76
	Y	2.05	2.64	2.15

表 3 入力地震動のバラツキと荷重-変形関係のバラツキ

入力波	P- δ	No. 1	No. 3	No. 4
		P- δ	P- δ	P- δ
No. 1 実験波		×	×	○
No. 3 実験波		×	×	○
No. 4 実験波		×	×	○

○：倒壊せず、×：倒壊
網掛けは、実験結果を示す。その他は解析結果

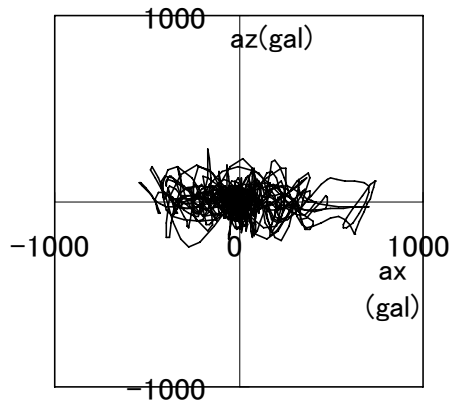


図 3 JR 鷹取波の加速度 X(R)成分、Z (U) 成分

表 4 P δ 効果への影響

入力波	No. 3	No. 4
	P- δ	P- δ
XY+0	×	○
XY+Z	×	○
XY-Z	×	○

○：倒壊せず、×：倒壊
網掛けは、実験結果を示す。その他は解析結果

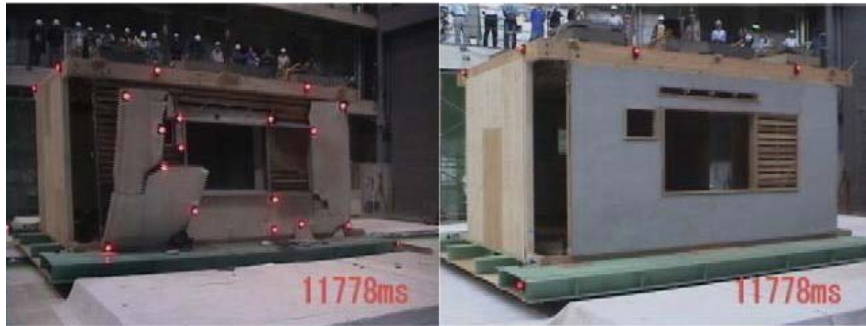


写真2 抽出試験体（左）と再現試験体（右）

④上下地震動入力荷重-変形関係への影響

このほか、上下動入力の影響としては、上下動の有無によって、押さえ込み効果、接合部の回転剛性など建物の構造性能が変化するかどうかの検証が必要である。

今回の実験では、上下動による P- δ 効果へ影響よりも試験体のバラツキが大きいため倒壊の有無を分けたと考えられる。

vii) 移築の可能性

No.5 (H14) の試験では、解体住宅の一部分を（構面）を移築し振動台実験（写真2）を実施することができた。今後、立体の移築について検討する必要がある。

b) 中規模振動台実験の限界

中規模振動台による倒壊実験により、軸組木造住宅の躯体の倒壊性状を検証することができた。しかし、中規模振動台では、試験体の規模、入力波の大きさに限界がある。今後、更に既存の木造住宅の耐震性能を把握するには、E ディフェンスでの内装・外装などの2次部材がすべてとりついた、実際に近い規模の試験体、想定外地震動の入力などでの倒壊実験が必要となる。

(d) 結論ならびに今後の課題

中規模振動台を用いた木造住宅の倒壊実験を通して、以下のことが明らかになった。

- ①倒壊実験の振動台への影響は、衝撃により計測波形に乱れは生じるものの振動台への悪影響はなかった。
- ②倒壊過程の計測は画像計測法を用いることにより大変形時の試験体の挙動を計測できた。
- ③入力地震動の組み合わせについては、上下動の影響は少ない。
- ④既存建物の移築については、分割することにより可能である。

これらの結果より、E-ディフェンスでの移築倒壊実験は十分可能であることが検証された。また、中規模振動台実験による既存木造住宅の耐震性能評価には、その性能により限界があり、今後、E ディフェンスでの内装・外装などの2次部材がすべてとりついた、実際に近い規模の試験体、想定外地震動の入力などでの倒壊実験が必要と考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 坂本 功、腰原幹雄 他：既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1，2003年、2004年

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
M. KOSHIHARA, H. ISODA, T. MIYAKE C. MINOWA, I. SAKAMOTO	THE EFFECTS OF THE COMBINATION OF THREE DIMENSIONAL INPUT MOTIONS ON THE COLLAPSING PROCESS OF WOODEN CONVENTIONAL HOUSES -SHAKING TABLE TESTS OF REAL-SIZE MODELS-	WCTE2004	2004.06
M. KOSHIHARA, H. ISODA C. MINOWA I. SAKAMOTO	An Experimental Study On Collapsing Process Of Wood Conventional Houses -Shaking Table Test Of Real-size Models-	13WCEE	2004.08
荒木康弘・腰原 幹雄・坂本功・ 槌本敬大・五十 田博・西山誕生	既存木造住宅耐震性向上に関する総合的研究 その26 第2次振動台実験の実験結果分析	日本建築 学会大会 学術講演 梗概集	2004.08

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成17年度業務計画案

防災科学技術研究所と共同で「3.4.4」に示す実験計画を実施する。