

3.4.7 木造建物の構造要素試験

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（過去年度は、実施業務の要約）
- (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
- (c) 業務の成果
 - 1) 耐震補強壁の繰り返し実験
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (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

木造建物の構造要素試験

(b) 担当者

| 所属機関 | 役職 | 氏名 | メールアドレス |
|---------|-----------|-------|-------------------------------------|
| 独立行政法人 | 構造研究グループ長 | 岡田 恒 | okada@kenken.go.jp |
| 建築研究所 | 上席研究員 | 河合 直人 | kawai@kenken.go.jp |
| 信州大学 | 助教授 | 五十田 博 | hisoda@gipwc.shinshu-u.ac.jp |
| 東京大学大学院 | 助手 | 腰原 幹雄 | koshi@buildcon.arch.t.u-tokyo.ac.jp |

(c) 業務の目的

木造の構造要素（柱梁壁から構成される構面）の荷重変形曲線のデータを破壊に至るまで求める。さらにこの構面に補強を施した場合の効果も調べる。

(d) 2 ヶ年の年次実施計画

1) 平成15年度：

耐震補強を考えた木造構面の静的水平載荷試験を行い、Eーディフェンスの補強木造建物実験の準備データとするとともに、破壊に至るまでの荷重変形曲線を求め、木造建物の耐震補強方法の数値シミュレーションの基礎データとした。

2) 平成16年度：

振動台実験をおこなった構面の破壊に至るまでの荷重－変形曲線や各部の破壊に至るまでの荷重－変形関係を求め、木造建物の耐震補強方法の数値シミュレーションの基礎データとした。接合部の破壊に至るまでの実験をおこない、荷重－変形関係を求めた。

(e) 平成16年度業務目的

平成14年度、平成15年度に振動台実験をおこなった2階建て建物の構面を取り出し、破壊に至るまでの荷重変形曲線や各部の破壊に至るまでの荷重変形関係を求め、木造建物の耐震補強方法の数値シミュレーションの基礎データとすることを目的に業務を実施した。また、あわせて接合部の実験も実施した。

(2) 平成16年度の成果

(a) 業務の要約

平成14年度および平成15年度に実施した「振動台を用いた実大建物の倒壊実験」における、木造軸組構法2階建試験体の構面を抽出し静加力実験を行い、構面の構造性能を把握した。また、加算則によって算出した構面の構造性能と実大建物の構造性能との比較を行った結果、構面の加算則と実大建物とでは、最大耐力は概ね一致するが、破壊過程に違いが生じる可能性があること、そのために両者の荷重変形関係に違いが生じる可能性がある

ること、また柱頭・柱脚に金物を用いない場合、構面の加算則からの実大建物の構造性能の予測が難しいことが示唆された。今後は、実験結果に基づき実大建物の動的挙動を追跡する際の基礎資料としていく予定である。

また、接合部の実験を実施し、データを蓄積した。

(b) 業務の実施方法

1) 試験体

まず振動台実験試験体は、幅 3640mm×5460mm、階高 1 階 2940mm、2 階 2880mm、高さ 5820mm の 2 階建て木造軸組構法建物である。仕様は、1981 年の建築基準法改正以前を想定し、1979 年公庫木造住宅工事共通仕様書に準ずるものとした。部材断面および仕様を表 1 に示す。振動台実験試験体の No. 1 試験体とは、図 1 で X 方向に加振したものであり、No. 1 試験体の 1 通り、4 通り、7 通り（図 2 平面図の①、④、⑦）を抽出したものを、それぞれ No. 1-1、No. 1-4、No. 1-7 とし、静加力実験の試験体とした（図 3）。No. 1-1 は 1 階、2 階にそれぞれ 2 本の筋かいを有し、No. 1-7 は 1 階に 1 本、2 階に 2 本の筋かいを有する。No. 1-4 は、管柱と梁からなる 2 層のラーメンフレームであり No. 1 試験体に 3 フレーム存在する。同様に、振動台実験試験体の No. 1 試験体に筋かいの座屈防止のための木ずりをはった試験体（No. 6）、No. 1 試験体の柱頭・柱脚の接合金物を除去した試験体（No. 7）、No. 7 試験体に室内側から石膏ボードを張った試験体（No. 8）についても、1 通り、7 通りの構面を抽出した。

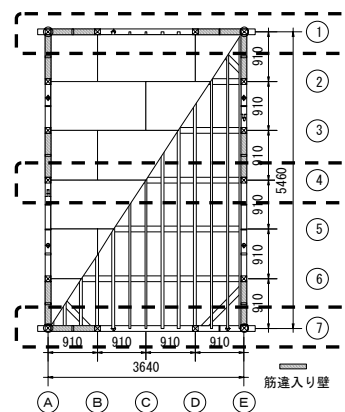
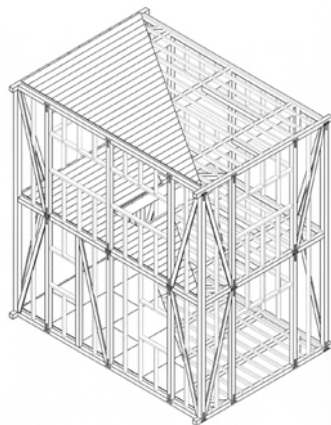


図 1 実大振動台実験試験体（例：No. 1）

図 2 No. 1 試験体-平面図（1F）

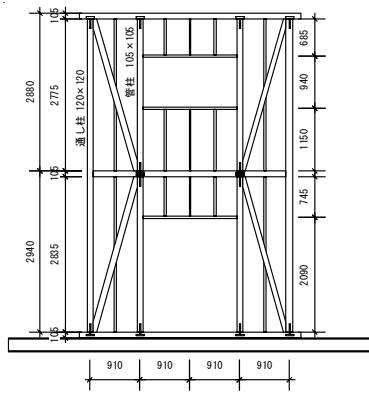
表 1 試験体の仕様

【木材】

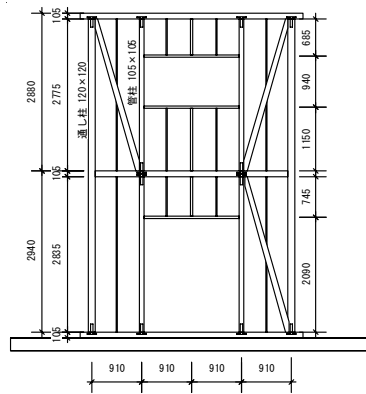
| 部材名 | 寸法 | 樹種・仕様等 |
|--------|-----------------|--------|
| 土台 | 105×105 | ベイツガ |
| 土台火打 | 105×105 | ベイツガ |
| 大引き | 90×90 | ベイツガ |
| 1階根太 | 45×60 | ツガ |
| 2階根太 | 45×90 | ツガ |
| 2階小屋根太 | 45×90 | ツガ |
| 小屋束 | 105×105 | スギ |
| 母屋・棟木 | 105×105 | スギ |
| 垂木 | 45×90 | ツガ |
| 野地板 | | |
| 管柱 | 105×105 | スギ |
| 通し柱 | 120×120 | ヒノキ |
| 間柱 | 27×105 | ツガ |
| 筋かい | 27×105[柱三つ割り以上] | ツガ |
| 梁 | 105×150~300 | ベイツガ |
| 胴差・桁 | 105×105 | ベイツガ |
| 火打梁 | 105×105 | ベイツガ |
| 窓台・まぐさ | 27×105 | ツガ |
| 荒板 | 厚 12 | スギ |
| 床構造用合板 | 厚 12 | |

【金物】

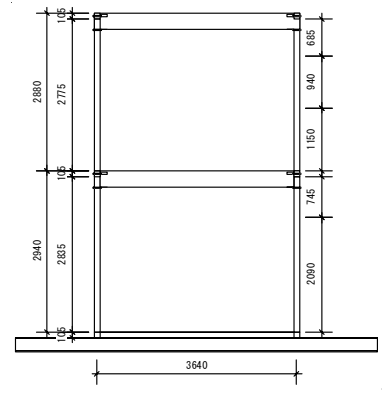
| 品名 | 接合個所 | 仕様等 |
|----------------|-------------|---|
| アンカーボルト | 基礎～土台 | M12@2700 |
| ボルト | 火打端 | M12@1800 渡りあごボルト締め |
| 座金 | アンカーボルト・火打端 | Zno. 7-1 |
| 羽子板ボルト | 梁端 | W1/2×150mm・引張破断荷重 3.5t・亜鉛めっき 大入れあり掛け羽子板ボルト締め |
| 座金 | 羽子板ボルト | 35mm角 孔径 15mm |
| サカメ釘 | 羽子板ボルト | YamakiSangyo 長 50×5φ |
| 釘 ZS-50 | 羽子板ボルト | Zno. 92-1 アマテイ株式会社 長 50×5φ |
| かど金物 CP・T | 柱頭、柱脚 | t2.3・200×150 ZNo. 41-1 (株)タナカ |
| かど金物 CP・T | 柱頭、柱脚 | 150×200 ZNo. 7-1 山鉄工(株) |
| 短冊金物 | 胴差～胴差 | 50×330×2.3 |
| 太め釘 ZN-65 | T型・短冊金物 | 長 65×3.5φ |
| 丸釘 FN65 | 間柱端部・根太・筋交 | 安田産業 KK 筋かい端釘 3本打ち |
| NC50V1 ミニバコ(釘) | 荒板・合板 | 50ミリ鉄普通釘 |



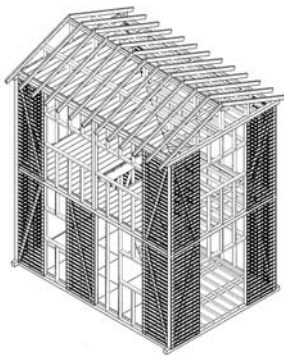
(1) No. 1-1 試験体



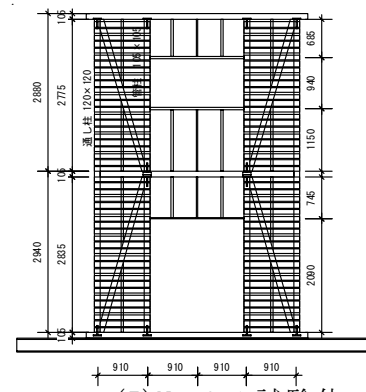
(2) No. 1-7 試験体



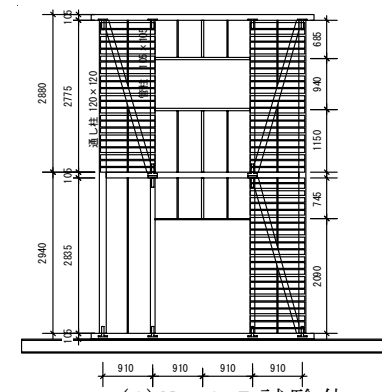
(3) No. 1-4 試験体



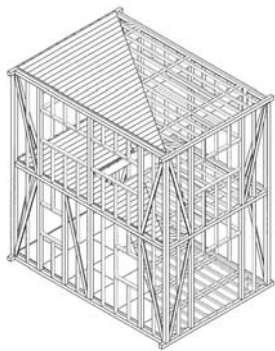
(4) No. 6 試験体



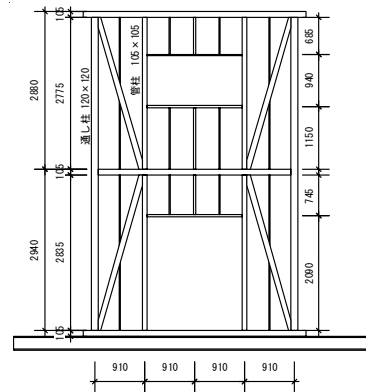
(5) No. 6-1 試験体



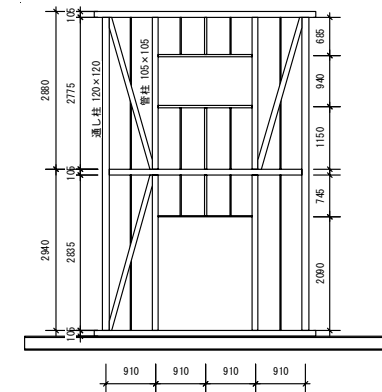
(6) No. 6-7 試験体



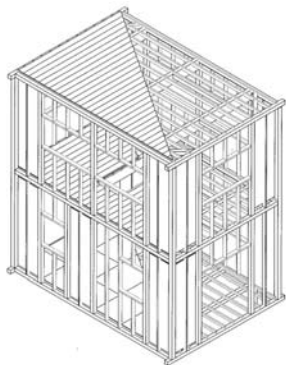
(7) No. 7 試験体



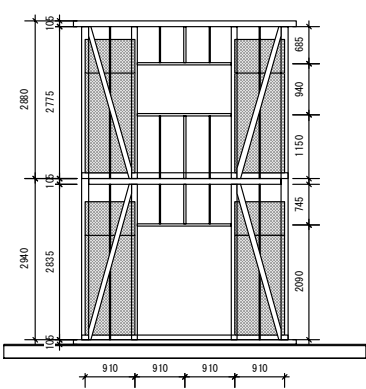
(8) No. 7-1 試験体



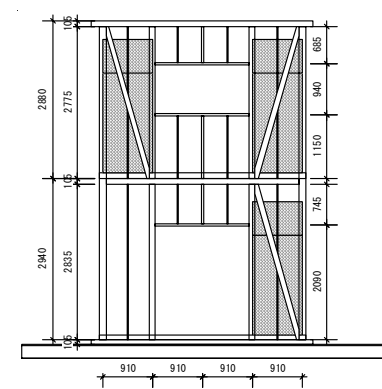
(9) No. 7-7 試験体



(10) No. 8 試験体



(11) No. 8-1 試験体



(12) No. 8-7 試験体

図3 振動台実験試験体および静加力実験試験体

合部実験の試験体を図4に示す。試験体は3種類で計7体である。柱の断面形状は通し柱 120×120、ほぞの形状は 50×60×30 である。

通し柱－土台：T型金物
防腐処理

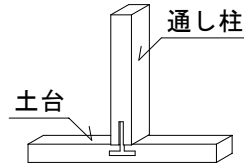


図4 試験体図

2) 積載計画

振動台実験における積載荷重による鉛直荷重の効果を考慮するため、振動台実験試験体の各構面の負担面積分の積載重量と同程度の積載重量を、静加力実験試験体に積載した。例えば、振動台実験試験体の2階床高さの積載重量は2000kgf、2階床高さの1通りの負担面積は全体の1/6である。従って1通りの積載荷重は約334kgfとする。同様に、4通りの負担面積は全体の1/4で500kgf、7通りの負担面積は全体の1/12で約167kgfとなる。積載計画を表2及び図5に示す。

表2 1通り、4通り、7通りの負担する積載重量

| | | |
|------|------------|-----------------------------|
| ・2F床 | ① 1通り | $2000 / 6 = 334\text{kgf}$ |
| | ② 4通り | $2000 / 4 = 500\text{kgf}$ |
| | ③ 7通り | $2000 / 12 = 167\text{kgf}$ |
| ・RF床 | ④ 1通り, 7通り | $1500 / 12 = 125\text{kgf}$ |
| | ⑤ 4通り | $1500 / 3 = 500\text{kgf}$ |

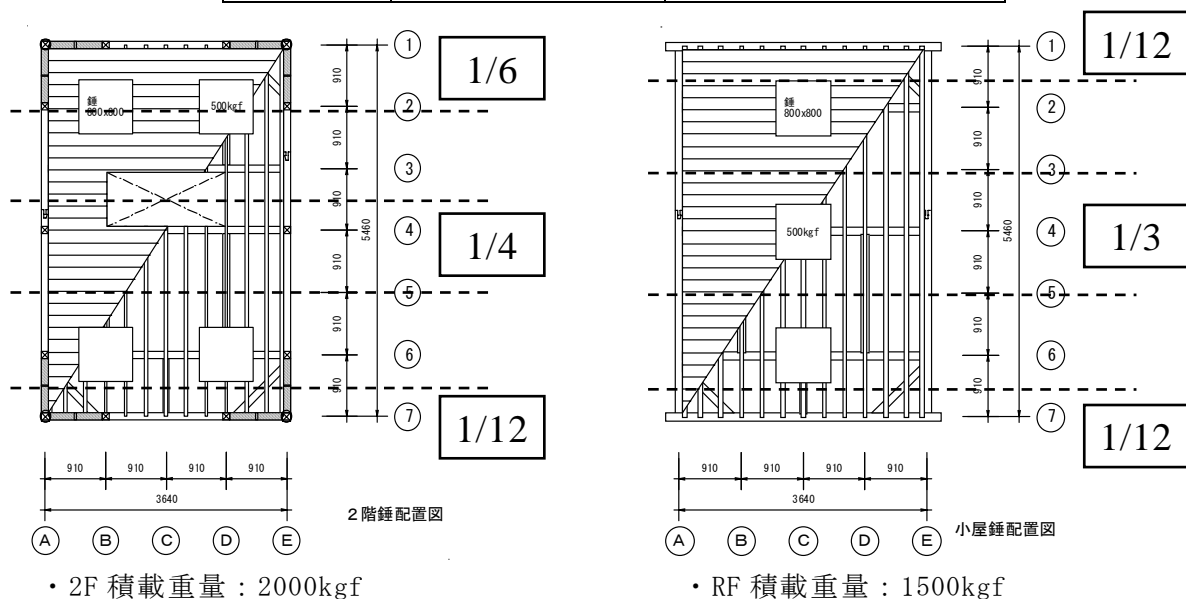


図5 静加力実験試験体の積載計画

3) 加力計画

振動台実験における各試験体の応答変位を、静加力実験の入力変位とした。この際、振動台実験での各試験体の応答変位は2階頂部で最大 2000mm 程度になる。そのような大変形を静加力実験で再現するに、本実験では、いわゆる“てこの原理”を利用した加力冶具を製作し、試験体に変形加力を行うことを可能とした。この装置により、ジャッキでの水平変位を2階床高さおよびR階床高さで約3倍に増幅した。

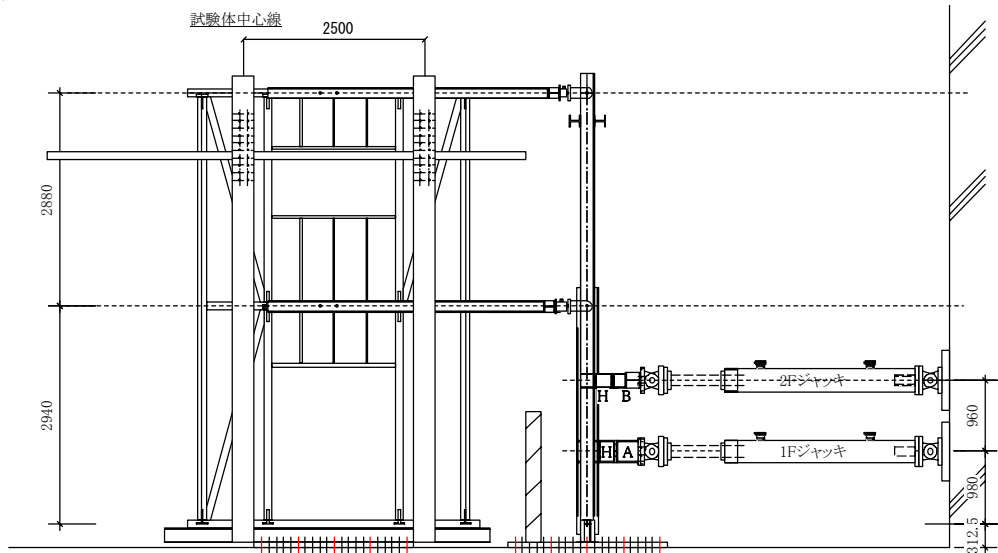


図6 静加力実験 加力装置

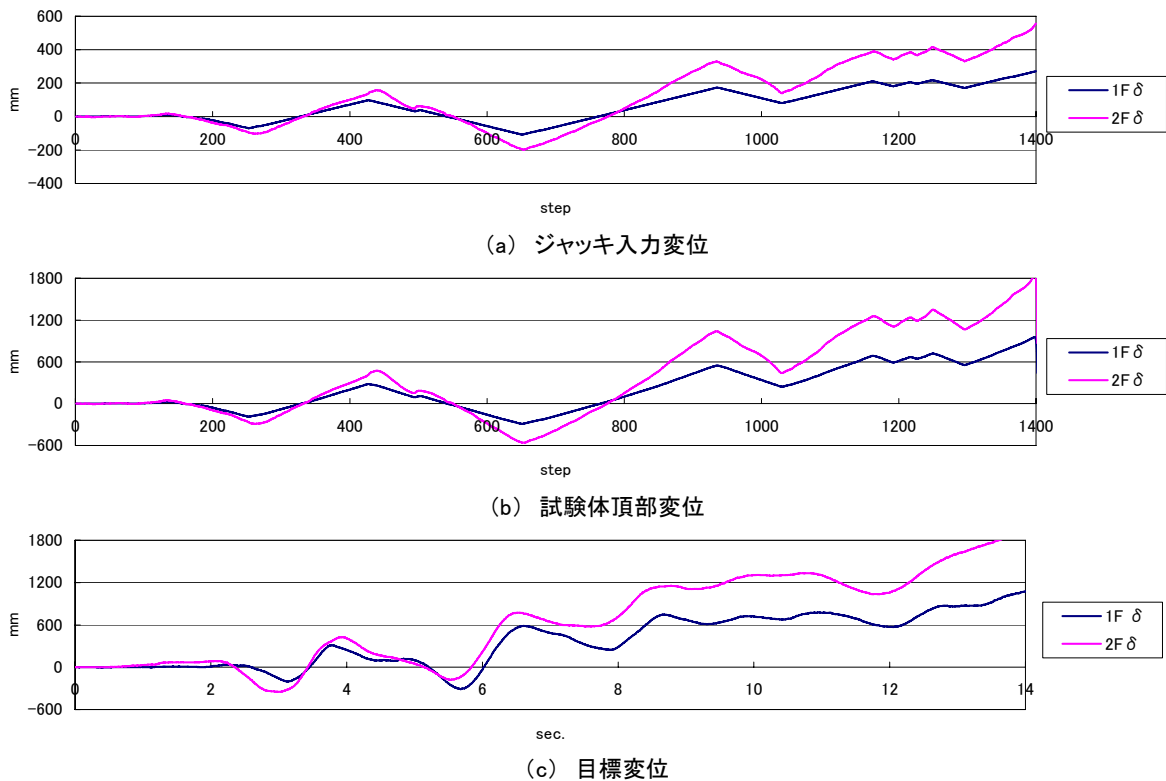


図7 入力変位 (例: No. 1-1 試験体)

(c) 業務の成果

1) 破壊過程

写真1に No. 1-1、No. 1-4、No. 1-7 の破壊過程を示す。No. 1-1、No. 1-7 試験体では筋かいの圧縮側で座屈・踏み外し、引張側ではずれが観察された。また通し柱の折損は観察されなかった。No. 1-4 試験体では、正負に変形が繰り返されるに従い、梁両端の羽子板ボルトの緩みが観察された。



(1) 筋かいはずれ



(2) 筋かい踏み外し



(3) 筋かい座屈



(4) 最大変形時 (No. 1-1)



(5) 羽子板ボルトの緩み (No. 1-4)

写真1 No. 1-1、No. 1-4、No. 1-7 破壊過程

写真2に、 No. 6-1、No. 6-7 の破壊過程を示す。No. 6-1 No. 6-7 試験体では、筋かいの圧縮側で座屈・踏み外し、引張側ではずれがみられた。特に筋かいの座屈は、間柱と柱脚の間で木ずりをはっている面の反対側で生じた。また、1階に変形集中するため、振動台実験と同様に通し柱の折損が観察された (510mm : 1/6rad.)。



(1) 筋かいはずれ



(2) 筋かい踏み外し



(3) 通し柱の折損



(4) 筋かいの座屈

写真 2 No. 6-1、No. 6-7 破壊過程

写真 3 に、No. 7-1、No. 7-7 の破壊過程を示す。No. 7-1、No. 7-7 試験体では、圧縮力の働く筋かいが横架材を突き上げ、通し柱および管柱が土台から浮き上がる現象が観察された。筋かい引張側で端部がはずれていた。



(1) 通し柱の抜け



(2) 管柱の抜け



(3) 筋かいはずれ



(4) 最大変形時 (No. 7-1)

写真 3 No. 7-1、No. 7-7 破壊過程

写真 4 に No. 8-1、No. 8-7 の破壊過程を示す。No. 8-1、No. 8-7 試験体では、No. 7 と同様に圧縮力の働く筋かいが横架材を突き上げ、通し柱、管柱が土台から浮き上がる現象が観察された。また、石膏ボードにより柱が拘束され、試験体が全体的に回転（転倒）様子も観察された。



(1) 通し柱の抜け、筋かいははずれ



(2) 最大変形時(No. 8-1)

写真4 No. 8-1、No. 8-7 破壊過程

2) 荷重変形関係

1 通り試験体 (No. 1-1、No. 6-1、No. 7-1、No. 8-1) と No. 1-4 試験体の荷重変形曲線を図 8 に、No. 1-1、7 通り試験体 (No. 1-7、No. 6-7、No. 7-7、No. 8-7) の荷重変形曲線を図 9 に示す。

1 通り試験体のうち、No. 7-1 は変形の早い段階(1 階層間変位 10~20mm 程度)で剛性が低下し、荷重が最大耐力に近づくが、残りの No. 1-1、No. 6-1、No. 8-1 は、1 階層間変位 50mm (約 1/50rad.) 程度までは同程度の剛性をとる。変形が 50mm をこえると、No. 1-1 は筋かいの座屈等により荷重が低下するが、No. 6-1 は、木ずりにより筋かいの座屈が防がれているため、140mm 程度(約 1/20rad.)まで荷重が増加する。No. 8-1 では、石膏ボードの効果により 75mm 程度(約 1/40rad.)までは荷重が増加し最大耐力に至り、その後荷重が低下していく。

7 通り試験体について、No. 6-7、No. 7-7 において加力スケジュールを誤ったため、No. 7-7 の+側(引き)、No. 6-7 の-側(押し)で本来の荷重変形が得られていないものの、No. 1-7、No. 6-7、No. 8-7 の+側(引き)で比較すると、No. 1-7 は 150mm 程度(約 1/19rad.)で最大耐力に至り、その後荷重は低下するが、No. 6-7 は 200mm 程度(約 1/15rad.)で最大耐力に至り、その後筋かいの座屈・踏みはずし等により荷重が低下する。No. 8-7 は 75mm 程度(約 1/40rad.)で最大耐力に至った後、300mm 付近まで最大耐力を保ち、その後荷重が低下している。

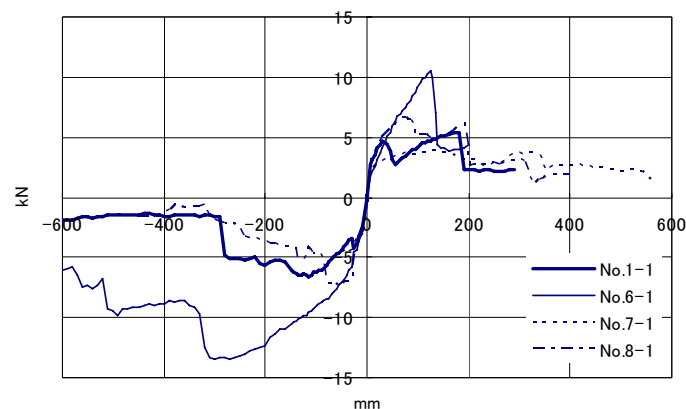


図8 1 通り試験体 荷重変形関係

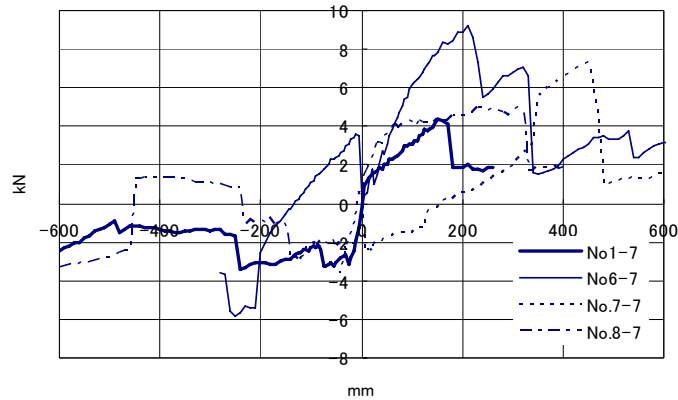


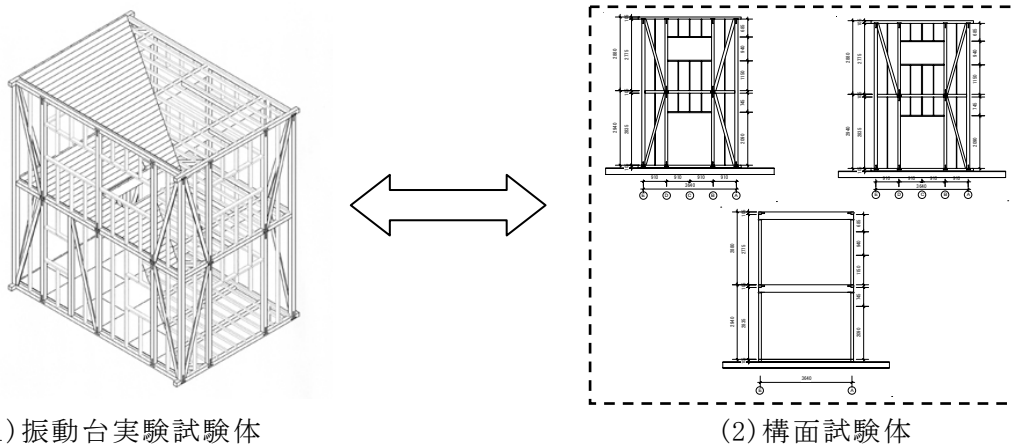
図9 7通り試験体 荷重変形関係

3) 構面の重ね合わせと振動台実験の比較

大変形領域における実大建物の動的な荷重変形関係を、構面の静的な荷重変形関係の加算則からどの程度予測可能であるかを検証するため、図10に示す静加力実験を行った構面試験体の加算則から求めた荷重変形関係と、振動台実験試験体の荷重変形関係の比較を行った。

加算則を用いるにあたっての仮定条件は以下の通りである。

- ①No. 6, No. 7, No. 8 試験体の4通りは、No. 1-4の結果を用いる。
- ②静加力実験の構面の重ね合わせは、同一変形時の荷重を加算する。すなわち、偏心を考慮しない。
- ③振動台実験試験体の荷重変形関係は、1, 4, 7通りの加速度、変形の平均値とする。



(1) 振動台実験試験体

(2) 構面試験体

図10 大変形領域における構面の加算則と実大振動台実験結果の比較

以下、代表例としてNo. 1試験体およびNo. 8試験体の検討結果を示す。

[No. 1試験体] (図11)

+側(引き)では、1階層間変位+300mm付近(約1/10rad.)までは振動台実験試験体と構面の加算則は、荷重変形関係、損傷のタイミングとも概ね一致する。一方、-側(押し)について、振動台試験体では、圧縮力の働く筋かいが引張側ではずれて機能を喪失し、耐力を発揮できないため-100mm付近の荷重が低くなっている。-300mm付近で振動台試験体の筋

かいが座屈破壊し、荷重が低下した後は両者の荷重変形関係は概ね一致している。

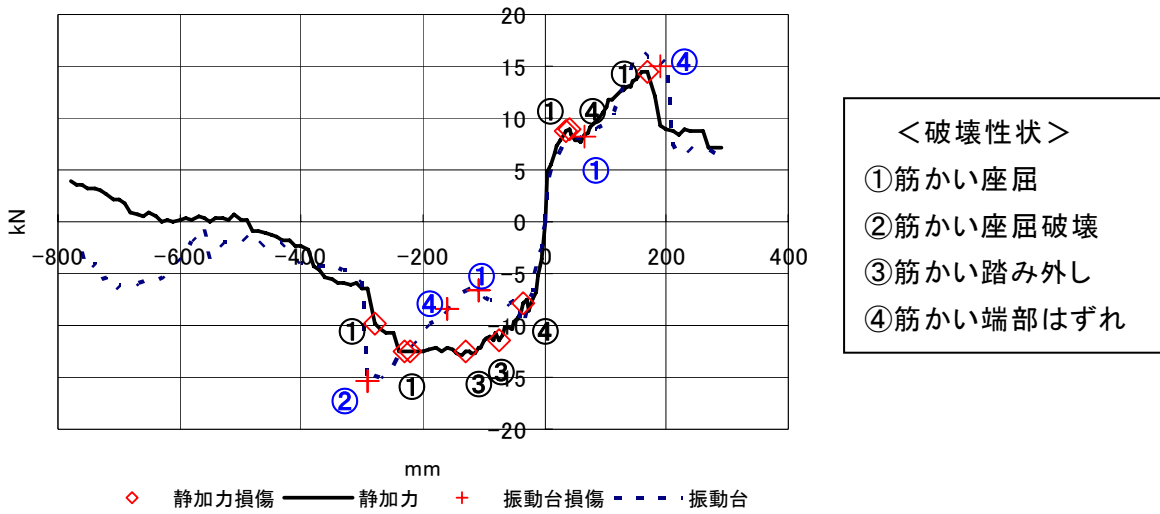


図 11 No.1 の荷重変形関係と損傷

[No. 8 試験体] (図 1 2)

+側（引き）、-側（押し）ともに、1階層間変位が 30~40mm（約 1/100~1/75rad.）までは構面の加算則と振動台試験体の荷重変形関係は概ね一致する。しかし±40mm 以降は加算が 50mm 付近で最大荷重になるのに対し振動台試験体は 150mm 付近（約 1/19rad.）で荷重が最大となる。150mm 付近での振動台試験体の荷重は、構面の加算の 2 倍近くある。

No. 8-1、No. 8-7 試験体では、柱の柱頭柱脚に金物を用いていないため、容易に柱の脚部が横架材から抜け出し、そのため荷重が頭打ちとなってしまふ。一方、実大試験体では構面の試験体とは異なり、直交構面や床構面による押さえ込み効果があるため、静加力実験ほど柱脚部の横架材からの抜け出しは顕著ではなかった。また、損傷過程を比較してみると、構面の加算則の方が振動台試験体に比べ損傷が生じるタイミングが早かった。これらの影響により、加算則と振動台試験体の荷重変形関係に差異が生じたと考えられる。

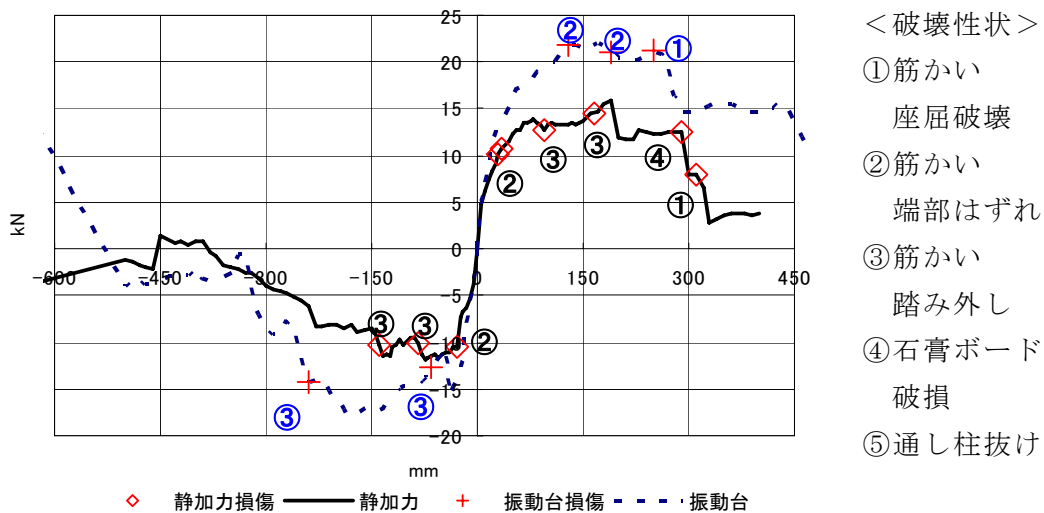


図 12 No. 8 の荷重変形関係と損傷

なお、No. 6 試験体は No. 1 試験体と同様の傾向が見られ、また No. 7 試験体は No. 8 試験

体と同様の傾向が見られた。振動台実験と振動台実験試験体の構面の加算則による荷重変形関係は、金物を用いた仕様(No. 1、No. 6)では、 $\pm 50\text{mm}$ 程度までは両者は概ね一致し、また最大耐力についても両者は概ね一致するが、 $\pm 50\text{mm}$ から最大耐力までの変形領域では、動的と静的で破壊の機構が異なるために、荷重変形関係が一致しない。金物を用いない仕様(No. 7、No. 8)では、 $30\sim 40\text{mm}$ 程度までの両者の荷重変形関係は概ね一致するが、 $\pm 40\text{mm}$ 以降の荷重変形関係は一致しない。また、最大耐力も構面の加算則の方が振動台実験結果にくらべ低い値となる。これらの要因としては、建物の立体的な効果(押さえ込み)が考えられる。

4) 接合部実験の結果

接合部実験の結果得られた破壊性状と荷重変位関係の一例を写真5、図13に示した。



写真5 破壊性状

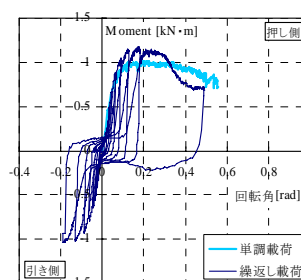


図13 荷重-変形関係

(d) 結論ならびに今後の課題

- 1) 振動台実験試験体の各構面の構造性能を把握することができた。
- 2) 振動台実験結果と振動台実験試験体の構面の加算則の荷重変形関係の比較の結果、構面の重ね合わせと実大建物とでは、最大耐力は概ね一致するが、破壊過程に違いが生じる可能性があること、そのために両者の荷重変形関係に違いが生じる可能性があることが示唆された。
- 3) 接合部の荷重変形関係のデータを蓄積した。
- 4) 今後は、実験結果に基づき実大建物の動的挙動を追跡する際の基礎資料としていく予定である。

(e) 引用文献

- 1) 箕輪親宏、腰原幹雄他：既存木造住宅耐震性向上に関する総合的研究 その5、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003年9月
- 2) 河合直人、腰原幹雄他：既存木造住宅耐震性向上に関する総合的研究 その10、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003年9月

(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 |
|-------------------------------------|--|---------------------------|-----------------|
| 荒木康弘 五十田博 腰原幹雄 河合直人 岡田恒 | 既存木造住宅の耐震性能の把握 と補強建物の評価 その3 振動 台実験試験体の構面の静加力実 験による構造性能の把握 | 2004年度日本地震工学会年 次大会梗概集 | 平成17年1 月15日 |
| 荒木康弘 五十田博 腰原幹雄 ほか | 既存木造住宅耐震性向上に関す る総合的研究 その37 振動台 実験試験体の構面の静加力実験 による構造性能の把握 | 2005年度日本建築学会大会 学術講演梗概集 | 平成17年9 月(予定) |
| 山福若菜 五十田博 腰原幹雄 ほか | 既存木造住宅耐震性向上に関す る総合的研究 その38 振動台 実験を実施した建物の接合部の 構造性能 | 2005年度日本建築学会大会 学術講演梗概集 | 平成17年9 月(予定) |

(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

木造建物実験では、平成17年度Eーディフェンスで移築による無補強・補強建物の振動台実験を予定している。本テーマでは、移築建物の構造要素、例えば、壁や接合部、さらには補強技術に関する実験を実施し、これまで蓄積されている実験データの適合度を確認するとともに、数値シミュレーションによる耐震診断をおこなうための基礎資料を得る。



図14 Eーディフェンスの実験