

### 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) 2 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成 15 年度業務目的

### (2) 平成 15 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
  - 1) 試験体
  - 2) 実験方法
  - 3) 減衰による耐力増加の考え方
  - 4) 層間変形角  $R$  と振動数  $f$  の考え方
- (c) 業務の成果
  - 1) 荷重 - 変位曲線
  - 2) 荷重、等価粘性減衰定数及び等価耐力
- (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 16 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
独立行政法人建築研究所	構造研究グループ長	岡田恒	okada@kenken.go.jp
	主任研究員	五十田博	hisodak@kenken.go.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カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

#### 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 - 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する。

#### 2) 平成16年度：

前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する。使用されている接合部の破壊に至るまでの実験をおこない、荷重 - 変形関係を求める。なお、前年度の振動台実験の壁は、木ずりが施工された筋かい耐力壁をもつ構面、柱 - 横架材接合部に釘接合用いた筋かい耐力壁を持つ構面である。

### (e) 平成15年度業務目的

耐震補強した木造構面の水平載荷試験をおこない、E - 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、解析の基礎データに資することを目的とする。具体には粘性ダンパーと粘弾性ダンパーといった制震装置付き壁と、既存の構造用合板壁、筋かい壁に対して、繰り返し載荷実験をおこない、ダンパー付き壁と既存の壁の構造性能の比較、検討を目的としている。なお、ここで、ダンパー付き壁の等価壁倍率を以下に式で求め、既存の壁と壁量が同じとなるよう設計をしたものである。

ダンパー付き壁の壁倍率 =  $Q_{da} / 1.96$

$$Q_{da} = Q_d \times (1 + 10(h_f + h_{ved})) / 1.5$$

$Q_{da}$  : ダンパーの等価せん断力（ダンパーを含めた架構の耐力（減衰の効果含む）から元の架構のみの耐力を引いた値）

$Q_d$  : ダンパーを含む架構の耐力 (減衰の効果を含まない)

$h_f$  : 架構のみの減衰定数 (内部粘性減衰 + 履歴減衰)

$h_{ved}$  : ダンパー単体の減衰定数

## (2) 平成 15 年度の成果

### (a) 業務の要約

粘性ダンパーと粘弾性ダンパーで耐震補強した木造構面の水平載荷試験をおこない、既存壁と比較検討した。なお、評価軸をダンパー付き壁と既存の壁で合わせるため、ダンパー壁では地震時の振動の減衰による加速度の低減を、等価な耐力の増加とみなし評価をおこなった。結果、既存の壁でも微小変形から減衰を伴うが、現在の評価法ではそれを無視しているため、初期から減衰を評価するダンパー付き壁と比べて、既存の壁の方が性能に優れていることがわかった。しかし、建物が倒壊に至るような大きな変形領域では、ダンパーつきは効率的に地震エネルギーを吸収できることが実験的に明らかとなった。なお、実験によって、粘性・粘弾性ダンパー付き壁の復元力と減衰性能を定量的に把握でき、これらのデータは今後、振動台実験や振動解析などの基礎データとして活かされ、さらに、粘性・粘弾性付き壁の性能評価法の検証に用いられる予定である。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 試験体

試験体は、図 1 に示すように 8 種類 9 体の耐力壁で幅 2730mm、高さ 2745mm である。耐力壁の種類は、在来壁 (筋かい、構造用合板及びそれらの併用)、制震壁 (仕口ダンパー及びオイルダンパー) 及び併用壁 (ダンパーと筋かいの併用) であり、軸組 (フレーム) だけでもその性状確認のために対象とした。ここで、フレームを除く 8 体の試験体では、壁倍率または「3) 減衰による耐力増加の考え方」に示す等価壁倍率がともに同じ値になるように構造用合板のくぎ間隔、仕口ダンパー数、オイルダンパー数を調整したものである。主要な部材の寸法は、柱及び土台が 105×105mm、梁が 105×210mm であり、樹種は柱及び土台はスプルースの集成材、梁はベイマツの集成材とし、柱と横架材の各仕口には 20kN 用のホールダウン金物を使用した。なお、ホールダウン金物のナットの締め付けのトルク値は 20N・m とした。

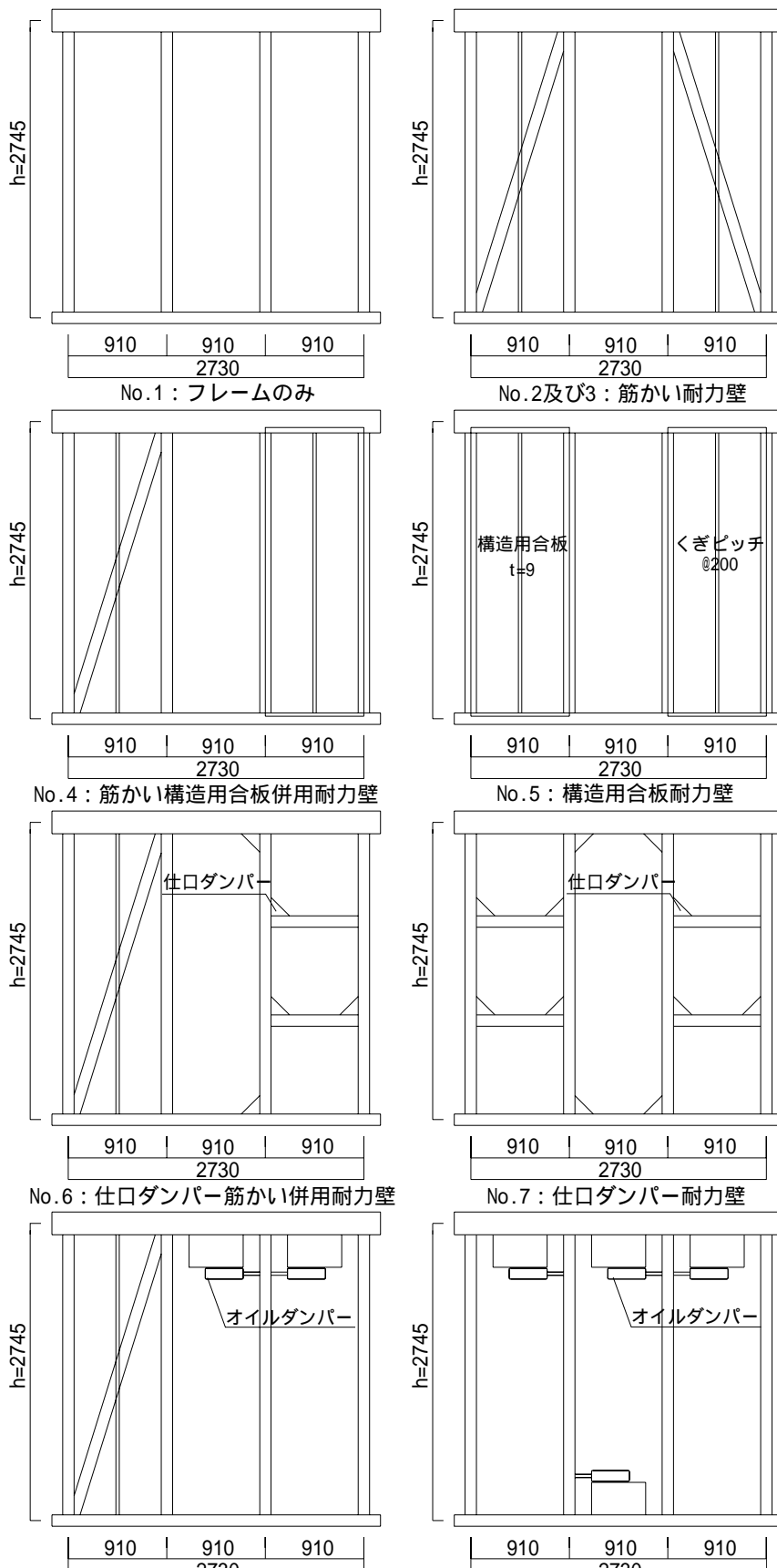


図1 試験体図

## 2) 実験方法

実験は、図2に示すように、試験体の土台を固定した後、梁にアクチュエーター、加力用鋼棒を介して動的な水平力を加えるものであり、加力サイクルは層間変形角  $R$  と振動数  $f$  の組み合わせを考慮して表1のように計画した。なお、層間変形角  $R$  と振動数  $f$  の考え方の詳細を「4) 層間変形角  $R$  と振動数  $f$  の考え方」に示した。ここで、層間変形角は  $1/240\text{rad}$  から大変形角の  $1/15\text{rad}$  までを対象としたものであり、 $1/15\text{rad}$  の加力では試験体とアクチュエーターの間に加力用柱を設け、加力用柱の中央の高さまでアクチュエーターを下げ、かつ梁端部にロードセル、スライド支承を取り付けて加力を行った。なお、加力には正弦波を使用し、3波で目標の層間変形に達するようにし、目標層間変形角を3波繰り返した（目標の層間変形角の2波目を安定化ループと呼ぶ）後、除荷するようにした。各加力サイクル後に仕口部のホールダウン金物のナットにゆるみが生じた場合、トルク値  $20\text{N}\cdot\text{m}$  で再度締め直し、加力を続行した。

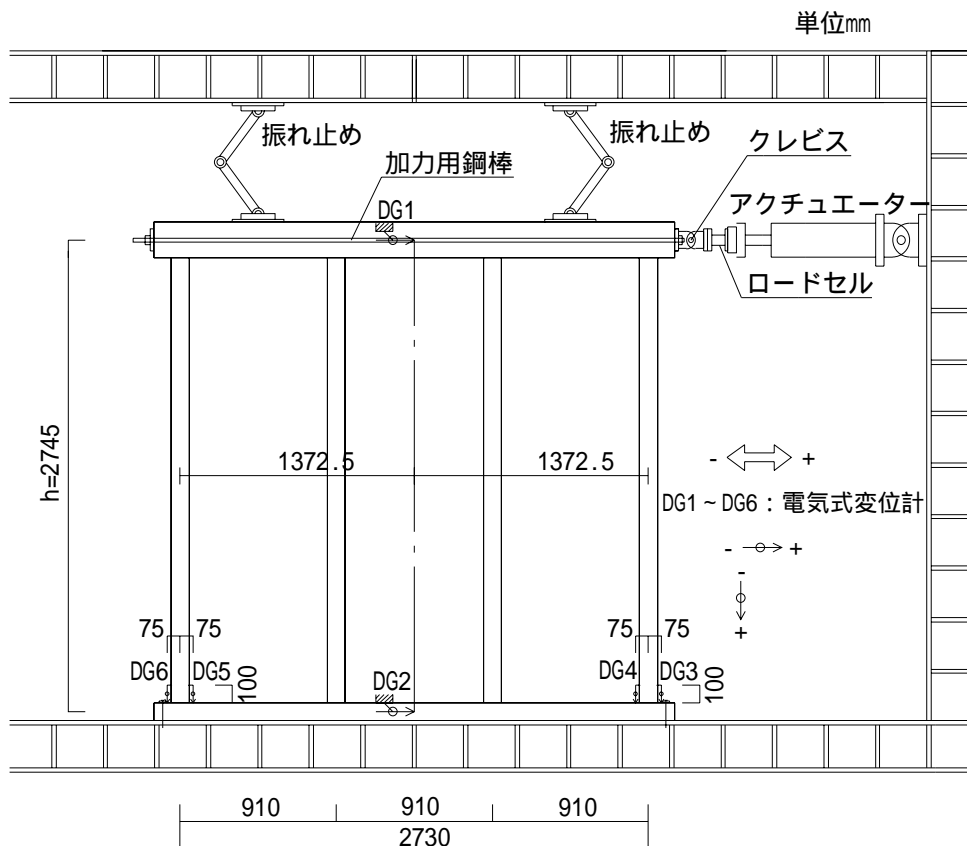


図2 試験装置

表 1 加力サイクル

サイクル	変形角 rad	振動数 Hz	速度 cm/s
1C	1/240	2.0	14.4
2C	1/120	1.5	21.5
3C	1/240	1.0	7.2
4C	1/120	0.75	10.8
5C	1/60	1.0	28.7
6C	1/30	0.75	43.1
7C	1/120	0.75	10.8
8C	1/120	2.0	28.7
9C	1/120	1.0	14.4
10C	1/15	0.5	57.5
11C	1/15	1.0	114.9

3) 減衰による耐力増加の考え方<sup>1)</sup>

地震時の振動の減衰による加速度の低減係数  $Fh$  は建物の減衰定数を  $h$  として以下の式で示される。

$$Fh = \frac{1.5}{1+10h} \quad 1)$$

建物の受ける地震力は(建物の質量)×(加速度)で表現でき、 $Fh$ は地震力の減衰による低減率ともいえる。つまり、地震力が同じであれば、 $h$ の減衰を有する建物は見かけ上、耐力が(1/ $Fh$ )倍に増加したと考えられる。

壁倍率は以下の数値の最小値に基づいて決まるものとする。

- A) 降伏耐力  $Q_y$
- B) 終局耐力  $Q_u$  に (0.2/ $D_s$ ) を乗じた値
- C) 最大耐力  $Q_{max}$  の 2/3
- D) 1/120rad.時の耐力

それぞれの耐力に(1/ $Fh$ )を乗じたものが減衰を考慮した壁の等価耐力であり、等価耐力を 1.96kN、ならびに単位長さで除した数値がダンパーを取り付けた壁の等価壁倍率である。なお、B)では  $D_s$ に減衰を評価する役割を与え、以下の式で算出する。

$$D_s = D_n / \sqrt{2\mu - 1} \quad 2)$$

$$D_n = 1.5 / (1 + 10h)$$

$h$  : ダンパーの減衰定数 + 内部粘性減衰  
 $\mu = \delta_u / \delta_0$ 、 $\delta_u$  : 終局変形、 $\delta_0$  : 降伏変形

ここで、ダンパー付き壁の耐力をフレームの耐力とダンパーの耐力に分けて考え、ダンパーのみの評価を試みる。

耐力壁の耐力  $Q$  はフレームの耐力  $Q_f$  とダンパーのみの耐力  $Q_{da}$  の単純な足し算と考え、以下の式で表されるとする。

$$Q = Q_f + Q_{da} \quad 3)$$

よって、ダンパーの等価せん断力（ダンパーを含めた架構の耐力（減衰の効果含む） $Q_{da}$  は次式で表される。

$$Q_{da} = Q_d / Fh \quad 4)$$

$$Fh = I / (1 + 10(h_f + h_{ved}))$$

$Q_d$  : ダンパーを含む架構の任意変形角時の耐力（減衰の効果を含まない）

$h_f$  : 架構のみの任意変形角時の減衰定数（内部粘性減衰 + 履歴減衰）

$h_{ved}$  : ダンパー単体の任意変形角時の減衰定数

#### 4) 層間変形角 $R$ と振動数 $f$ の考え方

復元力を完全弾塑性モデルと考えた場合、弾性固有振動数  $f_0$ 、降伏以後の固有振動数  $f$ 、塑性率  $\mu$  の関係は下式で表せる。

$$f = f_0 / \sqrt{\mu} \quad 5)$$

ここで、1/120rad、周期 3Hz の場合（軸組住宅）と周期 1.5Hz の場合（伝統的木造）を、1/480rad で降伏するものと仮定した場合、下記のような目標変形と振動数の組み合わせができる。

表 2 層間変形角と振動数の関係

層間変形角 (rad)	振動数 (Hz)	
1/480	6.00	3.00
1/240	4.20	2.12
1/120	3.00	1.50
1/60	2.12	1.06
1/30	1.50	0.75
1/15	1.06	0.53

ここで、制震材料の特性を考慮した場合、振動数の低い側が安全側の評価となる。そこで、低い方の値で目標変形と振動数を対応させることを基本とし、表 1 の組み合わせとした。

#### (c) 業務の成果

##### 1) 荷重 - 変位曲線

代表的な加力サイクルにおける安定化ループの荷重 - 変位曲線を図 3 に示す。在来壁の試験体では、層間変形角 1/60rad で荷重がピークに達し、1/30rad では筋かいの折れや構

造用合板のくぎ抜けが顕著になり、それ以後の挙動はフレームのみの試験体と同様であった。併用壁の試験体では、1/30rad で筋かいの折れが生じたが、ダンパーは併用壁、制震壁ともに 1/15rad まで損傷はなく、かつ急激な耐力低下を生じさせる様なこともなかった。履歴ループは筋かい壁や合板壁では初期には弾性的な挙動を示しているが、変形が進むにつれて逆 S 字的なスリップ挙動が含まれたものとなる。一方、ダンパー付き壁ではスリップ挙動があまり見られない。

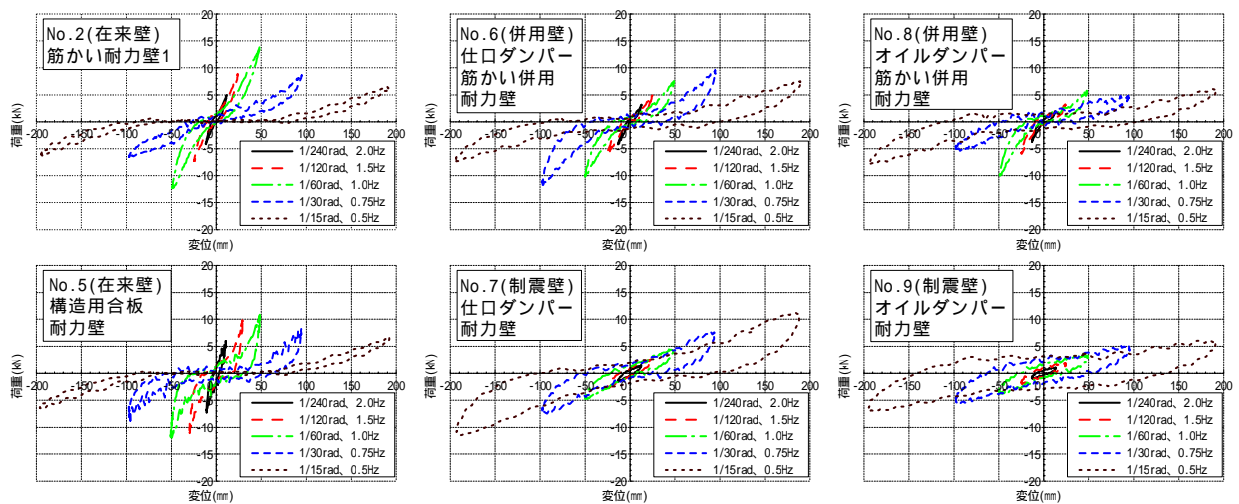


図3 代表的なサイクルの荷重 - 変形関係

## 2) 荷重、等価粘性減衰定数及び等価耐力

代表的な加力サイクルにおける安定化ループの荷重、等価粘性減衰定数、等価耐力を図4～図6に示す。荷重についてみると、在来壁は、1/60rad まで荷重が増大するが 1/60rad 以降、荷重が減少し、1/15rad ではほぼフレームの荷重と同等になった。これに対し制震壁及び併用壁は 1/15rad まで荷重が増加する傾向を示した。特に粘弾性ダンパーのすぐ値ダンパーで増加の傾向が強い。なお、1/60rad までは在来壁が制震壁に対しておよそ3倍、併用壁に対して2倍近い値を示している。

等価粘性減衰定数についてみると、既存の壁が変形角によらず 5%～10%程度であるのに対して、1/15rad まで仕口ダンパー付き耐力壁が 0.15 前後、オイルダンパー付き耐力壁が 0.20 以上となり、制震壁は安定して高い値を示した。

図6は耐力に ( $1/Fh$ ) を乗じて等価耐力としたものであり、図4の荷重に減衰による応答低減効果を考慮したともいえる。制震壁及び併用壁は等価耐力が 1/15rad までほぼ増大する傾向を示したが、在来壁では 1/60rad を境にして等価耐力が減少する傾向を示した。また、1/60rad までは在来壁が制震壁及び併用壁に対して2倍程度の値となり、逆に 1/30rad を超える大変形では制震壁が在来壁の値を大きく上回り、1/15rad であっても増加傾向にあることがわかった。



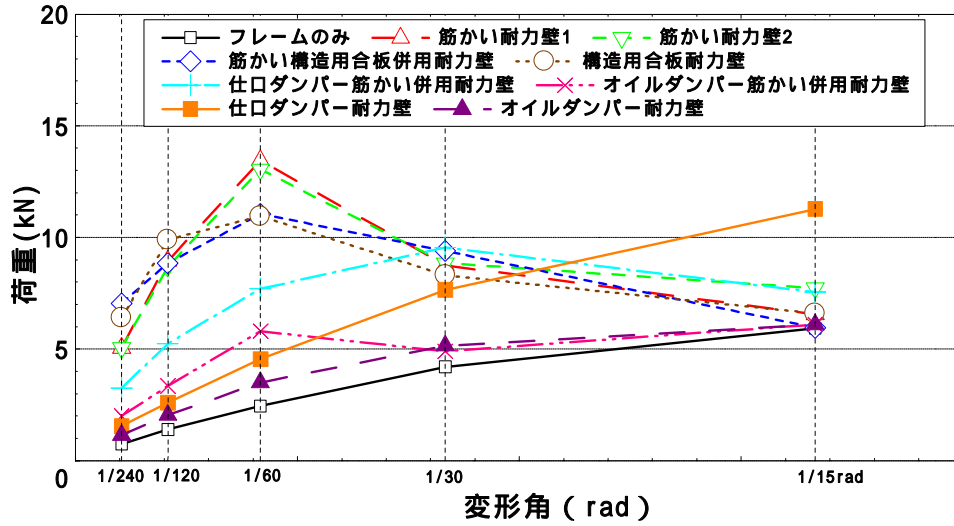


図4 安定化ループの荷重比較

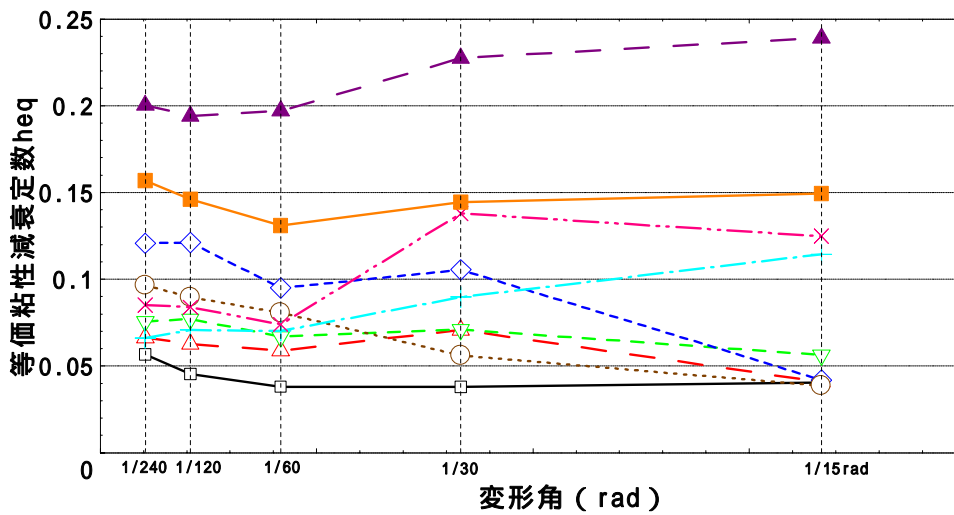


図5 等価粘性減衰定数の比較

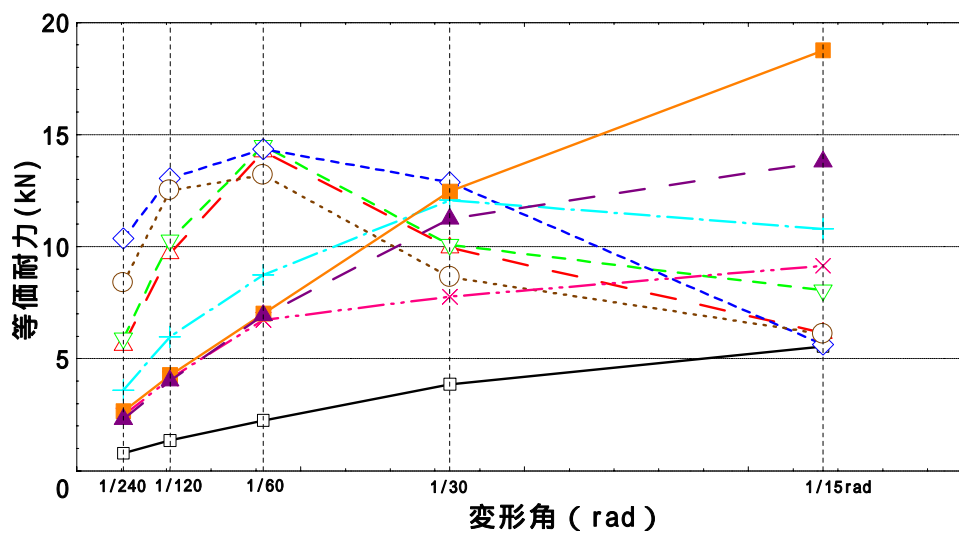


図6 等価耐力の比較

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度実施した研究の結論をまとめると以下の通りである。

- 1) 実験によって、粘性・粘弾性ダンパー付き壁の復元力と減衰性能を定量的に把握でき、これらのデータは今後、振動台実験や振動解析などの基礎データとして活かされ、さらに、粘性・粘弾性付き壁の性能評価法の検証に用いられる。
- 2) 実験を通じて現段階では、等価壁倍率を用いて粘性、粘弾性ダンパーを評価した場合、既存の壁と比べ中地震で損傷が生じる可能性があるが、大地震時には効率的に地震のエネルギーを吸収し応答変形も小さくなると予想される。

(e) 引用文献

- 1) 岩佐裕一、樫原健一 仕口タイプ粘弾性ダンパーの開発 その1 概要と性能確認試験  
日本建築学会学術講演梗概集 B-2 分冊、p.979、1999 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
岡田 恒 五十田 博	既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 その32 粘弾性・粘性ダンパーを用いた耐震補強壁の振動台実験	日本建築学会学術講演梗概集	平成 16 年 8 月 (予定)
上山 耕平 岡田 恒 河合 直人 五十田 博 ほか	既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 その33 粘弾性・粘性ダンパーを用いた耐震補強壁の動的繰り返し実験	日本建築学会学術講演梗概集	平成 16 年 8 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

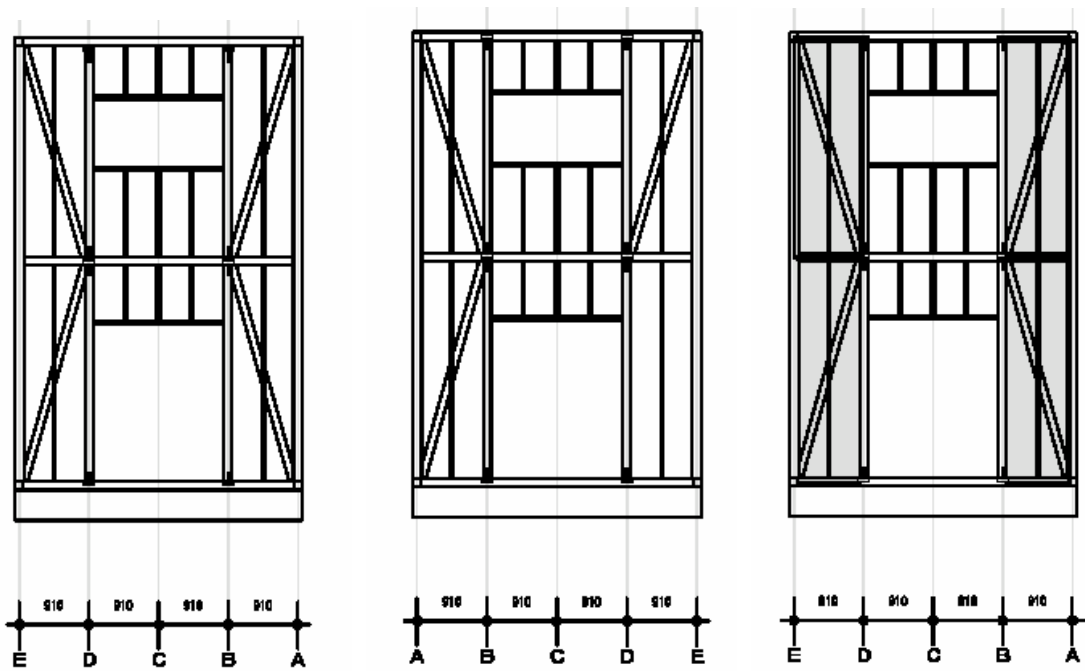
3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 16 年度業務計画案

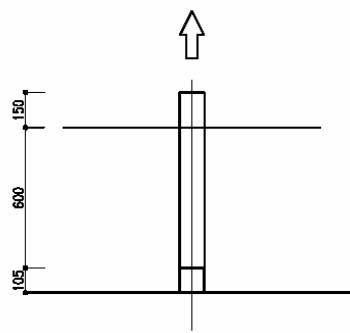
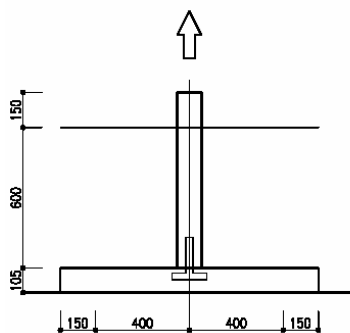
これまで振動台実験をおこなった構面の破壊に至るまでの荷重 - 変形曲線や各部の破壊に至るまでの荷重 - 変形関係を求め、木造建物の耐震補強方法の数値シミュレーションの基礎データとする。さらに、使用されている接合部の破壊に至るまでの実験をおこない、荷重 - 変形関係を求める。なお、平成 14 年度は筋かいを用いた耐力壁、平成 15 年度の振動台実験の壁は、木ずりが施工された筋かい耐力壁をもつ構面、柱 - 横架材接合部に釘接合用いた筋かい耐力壁をもつ構面である。構面の実験は実験で得られた変位履歴を与えることによりおこなう。接合部の実験は変位履歴をいくつか与え、様々な地震動に対応できるように考慮する。

図 7 には構面実験の試験体図の例を示した。図 8 には接合部実験の試験体と加力方向を示した。

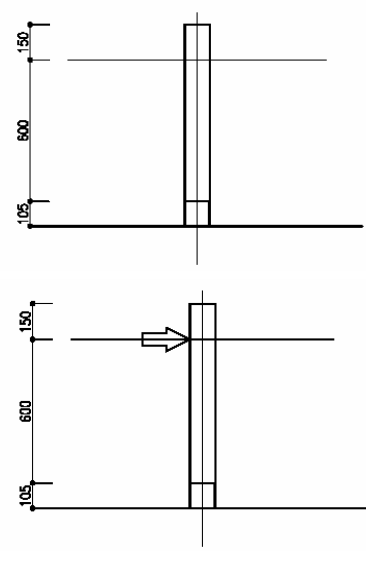
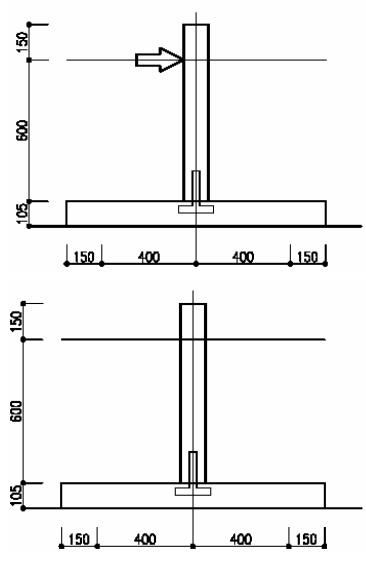


a) X 方向加振フレーム A    b) X 方向加振フレーム B    c) X 方向加振フレーム木ずり

図 7 静的加力試験 試験体図



軸方向加力



面内曲げ加力

面外曲げ加力

図 8 接合部試験体