

### 3.1.3 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 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成18年度業務目的

##### (2) 平成18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
- (c) 業務の成果
  - 1) 荷重変形関係
  - 2) 破壊過程
  - 3) 荷重変形関係の震動台実験結果との比較
  - 4) 破壊過程の震動台実験との比較
- (d) 結論
- (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

## (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 (H18.8.1より)(財)日本住宅・ 木材技術センター	構造グループ長 試験研究所所長	岡田恒	okada@kenken.go.jp h-okada@howtec.or.jp
独立行政法人建築研究所	上席研究員	河合直人	kawai@kenken.go.jp
独立行政法人建築研究所	研究員	中川貴文	nakagawa@kenken.go.jp
国土交通省 国土技術政策総合研究所	主任研究官	槌本敬大	tsuchimoto-t92ta@nilim.go.jp
独立行政法人森林総合研究所	研究員	青木謙治	aoken@ffpri.affrc.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)の荷重変形関係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) 5 ヶ年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)

#### 1) 平成14年度:

地震観測によるデータ、測定方法などについて調査すると共に、対象の建物として東京都台東区谷中地区の木造住宅、静岡県で耐震補強をした木造住宅、ならびに宇都宮市近郊の比較的新しい木造住宅2棟の合計4棟を選定し、地震計を設置・観測を開始した。

#### 2) 平成15年度:

耐震補強を考えた木造構面の静的載荷試験を行い、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。

宇都宮市近郊の比較的新しい木造住宅について観測データが得られた。解析結果から、木造住宅における地盤建物相互作用による建物周期の伸びは2~8%程度であること、減衰効果はそれほど大きくないこと、また、地盤上の最大加速度に対する建物1階におけるその比、すなわち、入力損失は、種地盤上の住宅のほうが種地盤上の住宅におけるものより大きいこと、などがわかった。さらに、木造住宅に汎用化が図れる地震計の検討を行った。

#### 3) 平成16年度:

震動台実験を行った構面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行い、荷重変形関係を求めた。

いくつかの観測建物で観測データが得られた。木造住宅における地盤建物相互作用による建物周期の伸びは小さいこと、減衰効果もそれほど大きくないこと、また、これらの振動特性は、地盤種別の影響を受けることなどが判った。さらに、川崎市に強震計が設置できる新たな建物を捜し、建物の属性などを調査すると共に、強震計を無線式で同期できるように簡易化を図った。

4) 平成17年度：

E - ディフェンス震動台実験を行った補強・無補強試験体から抽出・再現した構面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。

新たな地震観測対象建物を選定し、地震計を設置すると共に、観測を継続した。

5) 平成18年度：

E - ディフェンスの木造建物実験で用いられる試験体と同一仕様の壁構面試験体に対する静的加力試験を行い、破壊に至るまでの荷重変形関係を求め、破壊過程を明らかにすることにより、E - ディフェンスでの振動実験結果を補う基礎資料を取得し、併せて木造建物の数値シミュレーションのための基礎データとする。

(e) 平成18年度業務目的

E - ディフェンスを用いて行われる木造建物の3次元震動破壊実験に関連して、試験体建物における壁体の静的加力時の構造特性に関するデータを取得、解析し、E - ディフェンスでの震動破壊実験における木造建物の地震時挙動把握と耐震性能評価の基礎資料とする。併せて、木造建物の耐震設計法および耐震診断・補強方法の開発の基礎資料とし、木造建物の耐震性向上を図る。

## (2) 平成18年度の成果

(a) 業務の要約

E - ディフェンスでの振動実験結果を補う基礎資料を取得し、併せて木造建物の数値シミュレーションのための基礎データとする目的で、E - ディフェンスの木造建物実験で用いられた無補強及び補強試験体から構面を抽出し、静的加力試験を行い、構造性能を把握した。試験体は木造建物実験の試験体(C、D棟)と仕様を極力同一とするため、C、D棟の隣地(E - ディフェンス敷地内)で作成し、建築研究所まで運搬して試験を実施した。その結果、モルタルのある試験体(外周壁試験体)は平成17年度よりも耐力が30~50%程度大きく、間仕切壁試験体は平成17年度とほぼ同等の耐力であったが、変形追従性は平成17年度試験体の方が優れていた。震動台実験との比較ではC、D棟ともに震動台実験結果のほうが、要素実験の足し合わせよりも層せん断力が大きく上回る結果となった。平成17年度要素実験の足し合わせとの比較では、平成18年度の方が最大層せん断力は大きく、D棟では耐震診断の荷重変位関係により近い結果となった。

(b) 業務の実施方法

1) 試験体

要素実験に用いた試験体（以下要素実験試験体）は平成 18 年度の E - ディフェンスの震動台実験で用いられた木造軸組構法の建物 2 棟（以下、無補強試験体を C 棟、基礎地盤付き補強試験体を D 棟と呼ぶ）のうち、平成 17 年度に実施した要素試験と同様の箇所から抽出して再現した。試験体は C、D 棟と仕様を極力同一とするため、C、D 棟の隣地（E - ディフェンス敷地内）で同じ施工業者が作成し、養生後、建築研究所まで運搬し試験を実施した。部材、接合部、土塗り壁、モルタル等の細部仕様は可能な限り再現した。図 1 に C 棟の概観と要素実験試験体の選定箇所を示す。

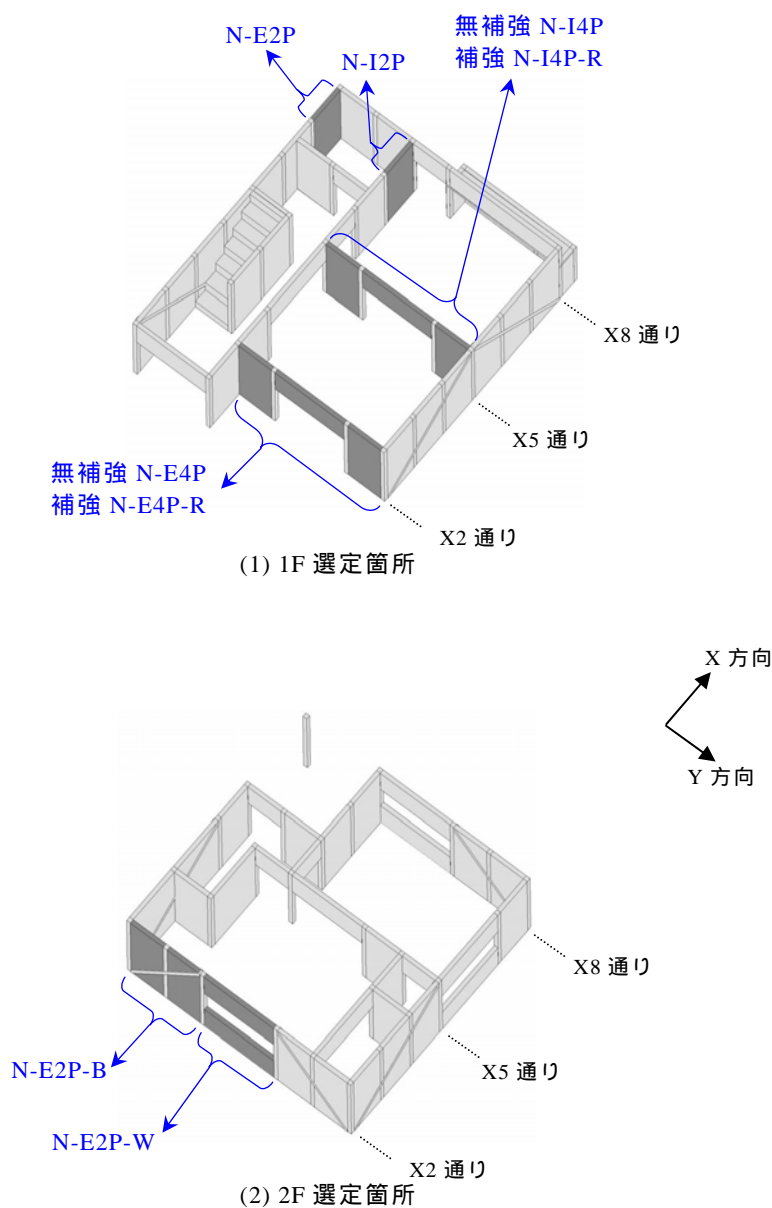


図 1 補強・無補強試験体からの要素実験試験体選定位置

試験体の概観を図3～図10に示した。試験体名は図2に示した規則により決定した。以下、モルタルの有無、補強・無補強の違いで外周壁、間仕切り壁、補強壁の3つのグループに分けて呼称する。試験体の柱長さは1Fを再現したものは2700mm、2Fを再現したものは2550mmとした。補強壁N-E4P-R、N-I4P-Rの寸法はN-E4P、N-I4Pと同じで、D棟に実際に施した補強法、金物を再現した。窓サッシ、軒は該当箇所に木枠をビス留めすることでモルタルの変形拘束として再現した。補強壁試験体に張った構造用合板は、D棟の仕様に従い、両脇の柱及び土台との接合部分を受け材仕様とし、D棟と同様の切り欠きを実施した。間仕切り壁に相当するE-I4P、E-I2P、E-I4P-Rの上部265mmの天井部分は、土を塗らず空間を設けた。表1に要素試験体一覧を示す。

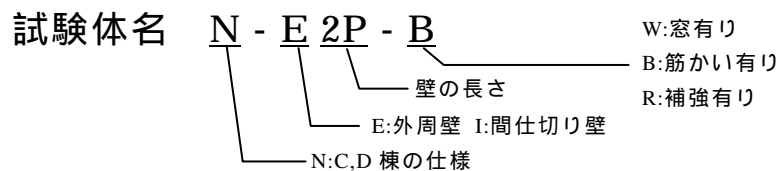
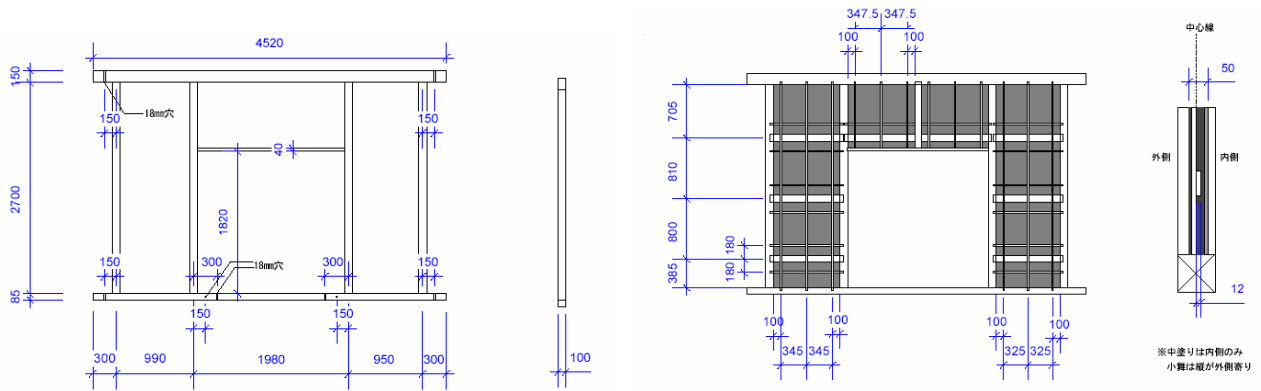


図2 試験体命名規則

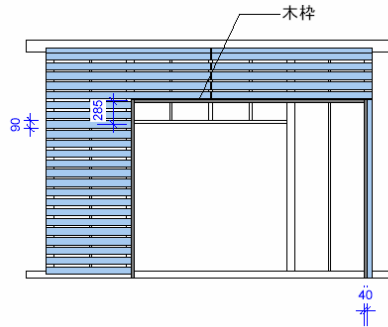
表1 試験体一覧

	外壁(表)	内壁(裏)	土壁	筋かい	長さ	試験体数	外観
N-E4P	モルタル	-	全面塗り	-	4P (990, 1980, 950)	1	
N-E2P	モルタル	-	全面塗り	-	2P (950, 950)	1	
N-E2P-W	モルタル	-	全面塗り	-	2P (1980)	1	
N-E2P-B	モルタル	-	全面塗り	有り 90×30 釘打ち	2P (950, 950)	1	
N-I4P	-	-	部分塗り 上265mm	-	4P (990, 1980, 950)	1	
N-I2P	-	-	部分塗り 上265mm	-	2P (950, 950)	1	
N-E4P-R	モルタル	両脇の壁 合板貼り	部分塗り 垂れ壁のみ	有り 90×45 箱型金物	4P (990, 1980, 950)	1	
N-I4P-R	両脇の壁 合板貼り	両脇の壁 合板貼り	部分塗り 垂れ壁のみ	有り 90×45 箱型金物	4P (990, 1980, 950)	1	

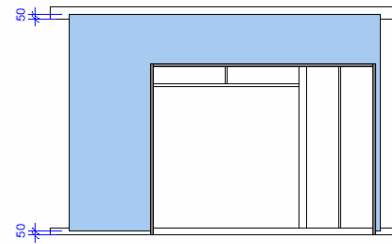


(1) 軸組

(2) 貫、小舞

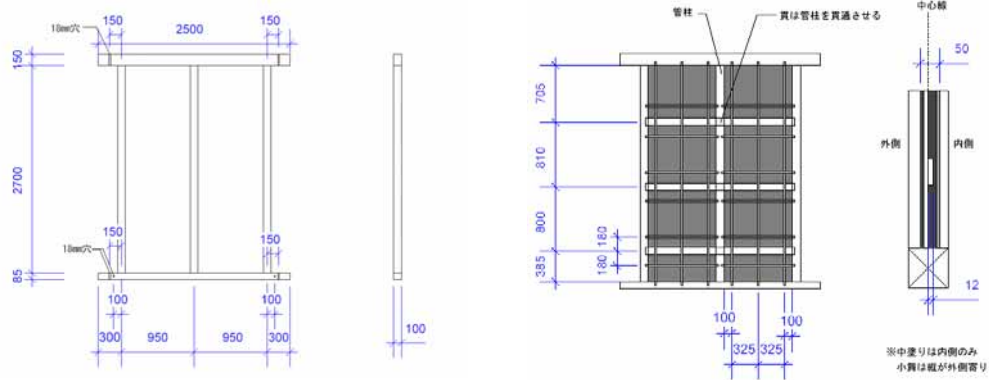


(3) ラス下地板



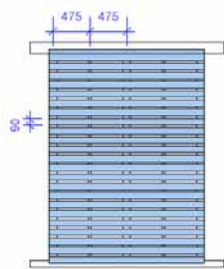
(4) モルタル

図 3 N-E4P 試験体の概要

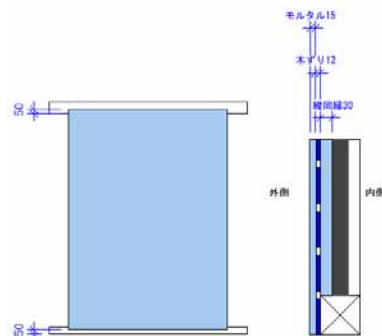


(1) 軸組

(2) 貫、小舞



(3) ラス下地板



(4) モルタル

図 4 N-E2P 試験体の概要

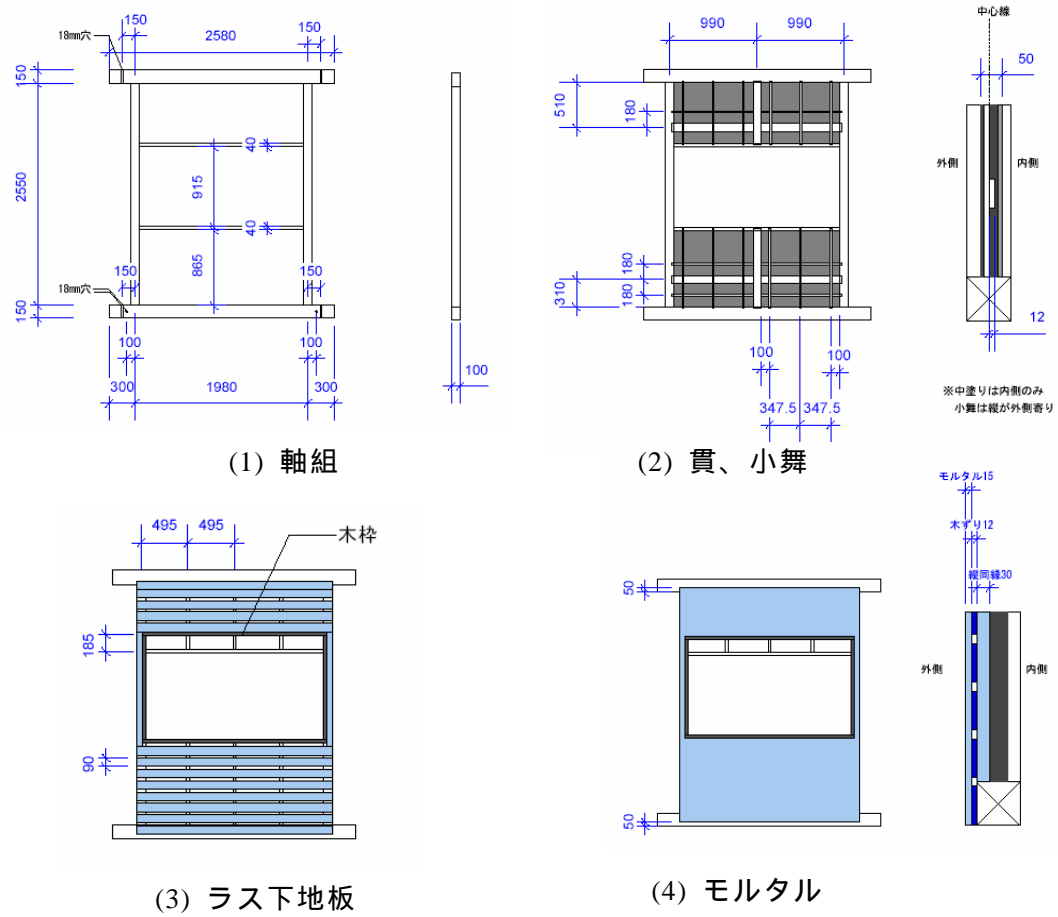


図 5 N-E2P-W 試験体の概要

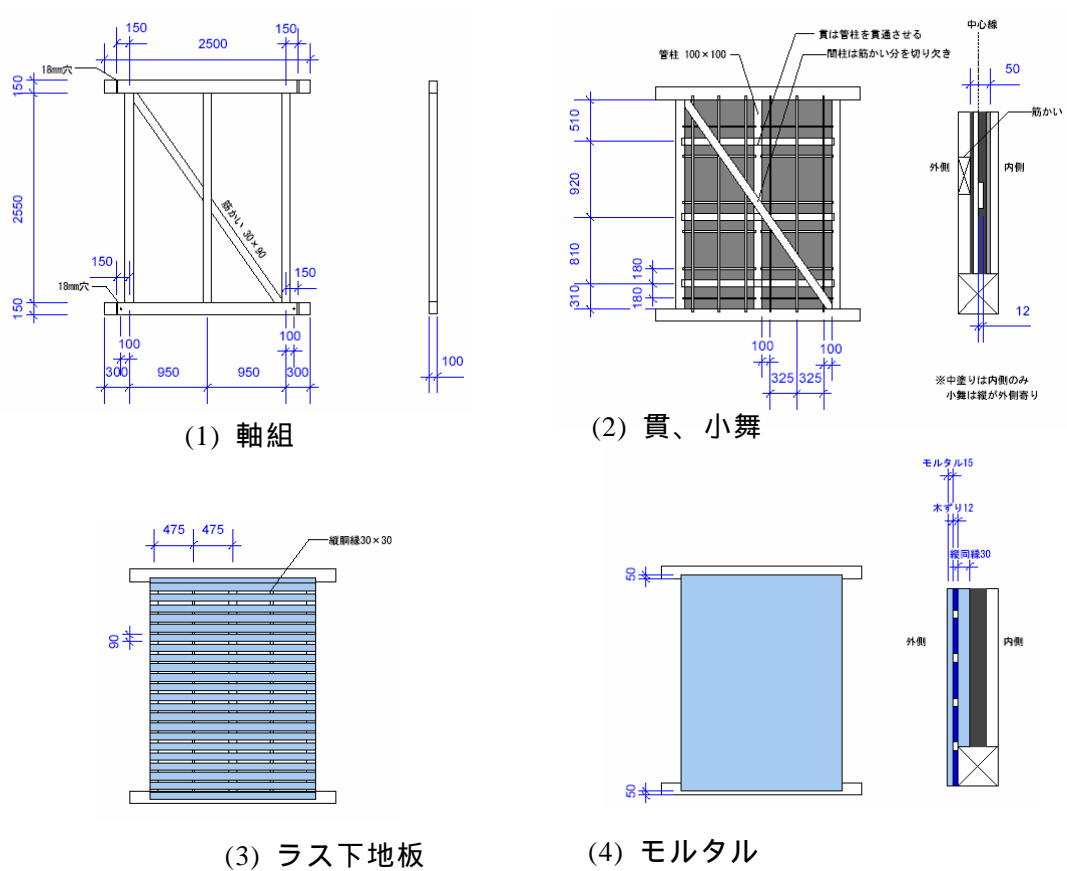


図 6 N-E2P-B 試験体の概要

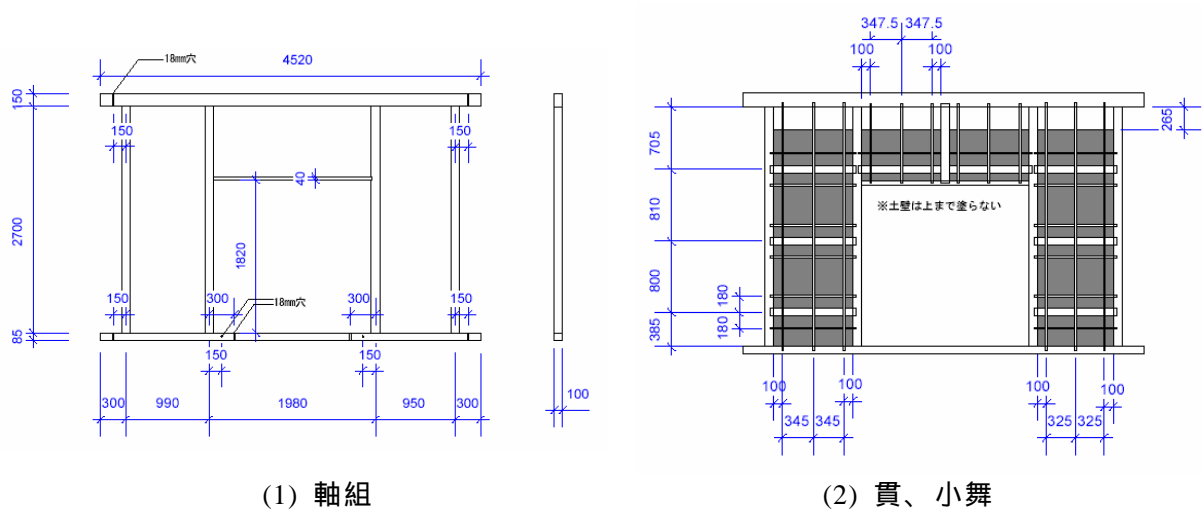


図 7 N-I4P 試験体の概要

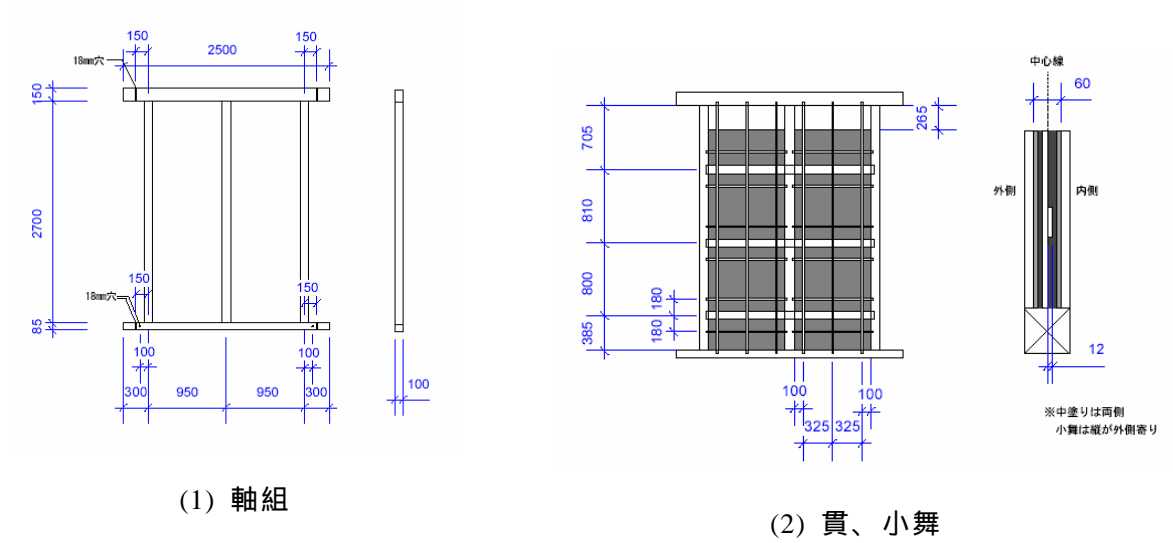
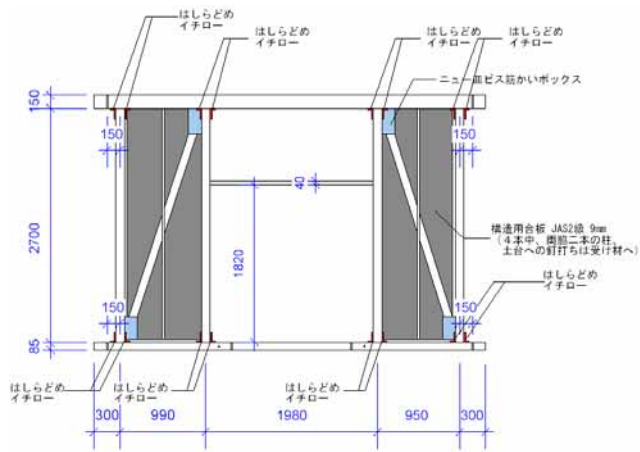
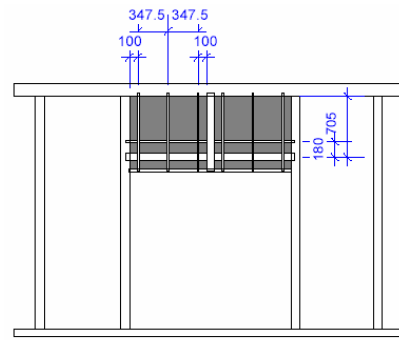


図 8 N-I2P 試験体の概要

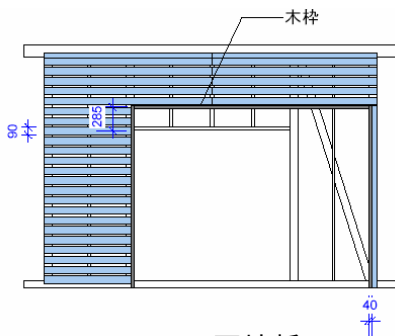




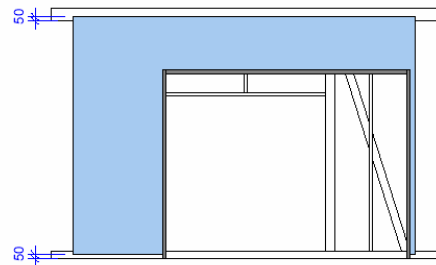
(1) 軸組



(2) 貫、小舞

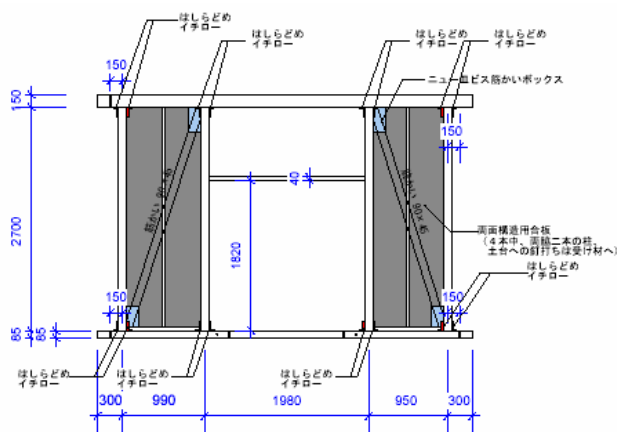


(3) ラス下地板

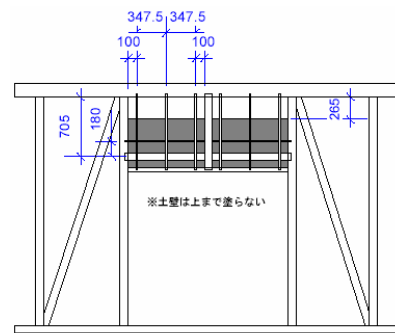


(4) モルタル

図 9 N-E4P-R 試験体の概要



(1) 軸組



(2) 貫、小舞

図 10 N-I4P-R 試験体の概要

## 2) 実験方法

実験は図 11 に示したように、試験体の土台を固定した後、梁にアクチュエータ、加力用鋼棒を介して水平力を与える試験装置を用いて実施した。加力サイクルは、性能評価機関業務方法書<sup>1)</sup>を元に大変形域での繰り返しを加え、見かけのせん断変形角が  $1/600, 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/40, 1/30, 1/20, 1/15$  rad. で 3 回ずつ (  $1/40 \sim 1/15$  は 1 回ずつ ) の正負交番繰り返し加力とした。その後は 100mm 変位が進むごとに 1 回ずつ正負に加力し、ジャッキストロークの限界まで変形させた。試験体は負側 ( 引張側 ) にシフトさせて設置して、正側 ( 圧縮側 ) により長く加力できるシステムとした。桁と土台の間には上下端がピンで連結される簡易タイロッド ( 写真 1~2 ) を試験体左右両側に設置し、柱脚、柱頭接合部の浮き上がりを拘束した。以降、アクチュエータに近い壁を左側、遠い壁を右側の壁と呼ぶこととする。

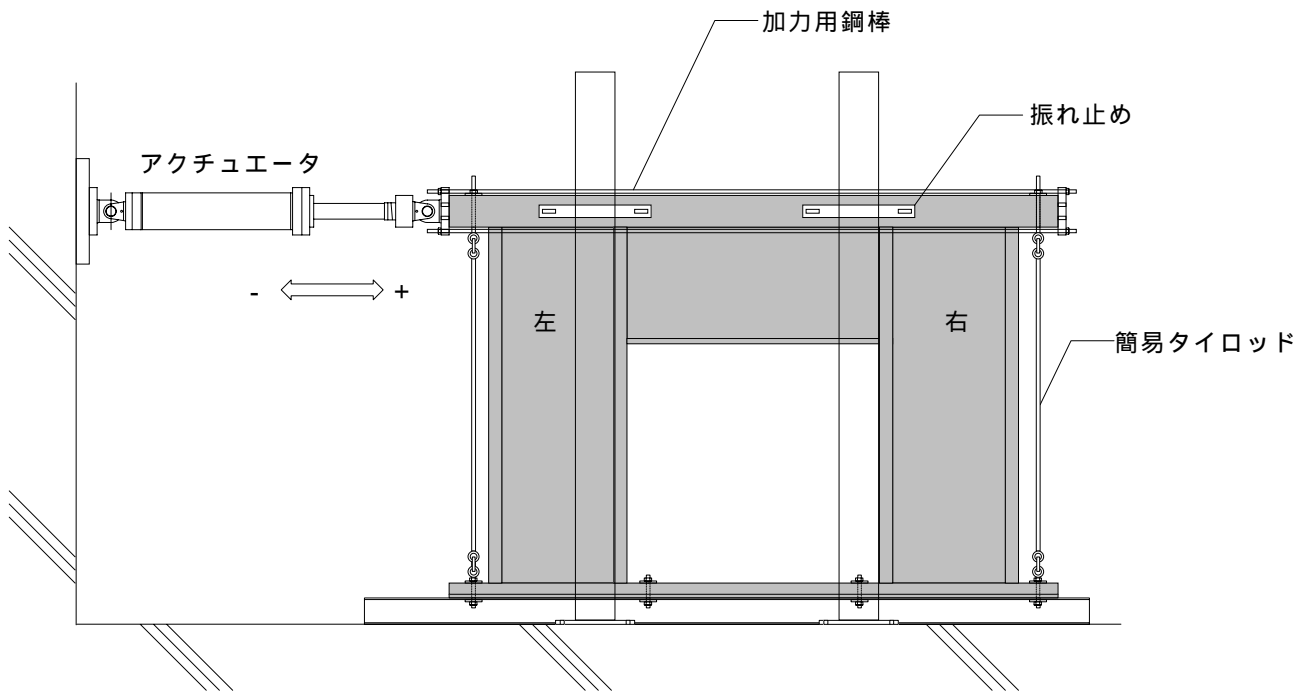


図 11 試験装置



写真 1 簡易タイロッド下端部



写真 2 簡易タイロッド上端部

(c) 業務の成果

1) 荷重変形関係

図 12～13 に各試験体の荷重変形関係を示した。また平成 17 年度に実施した構面試験結果と比較した荷重変位関係の包絡線を図 14～15 に示した。荷重変形関係から算出した試験体の特性値を表 2 にまとめた。

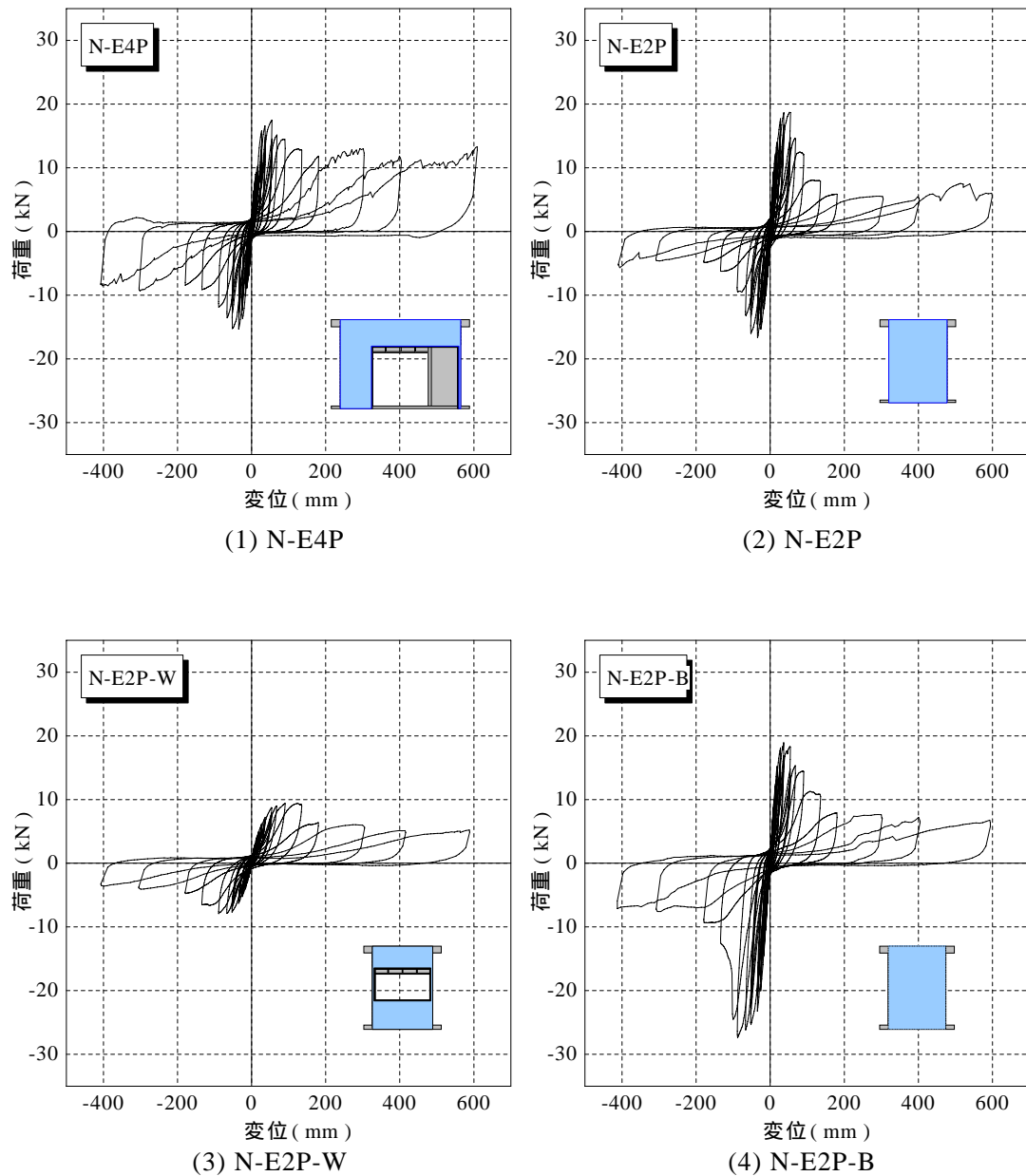
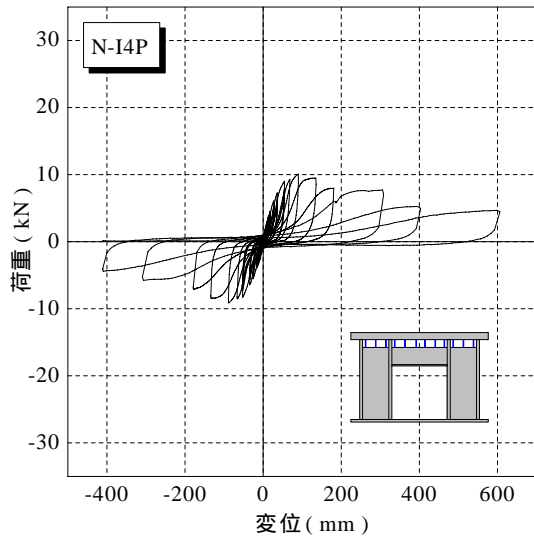
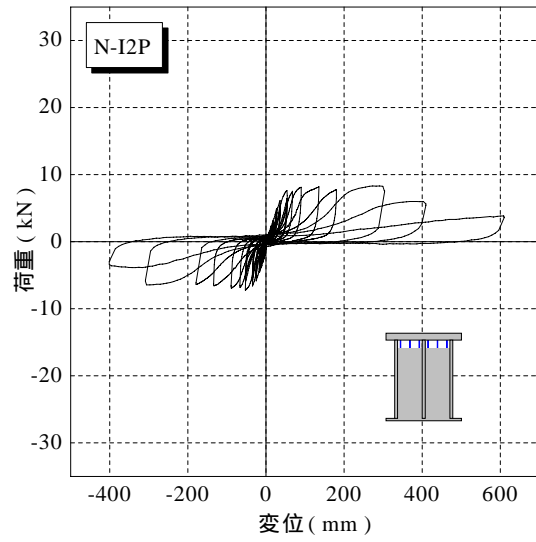


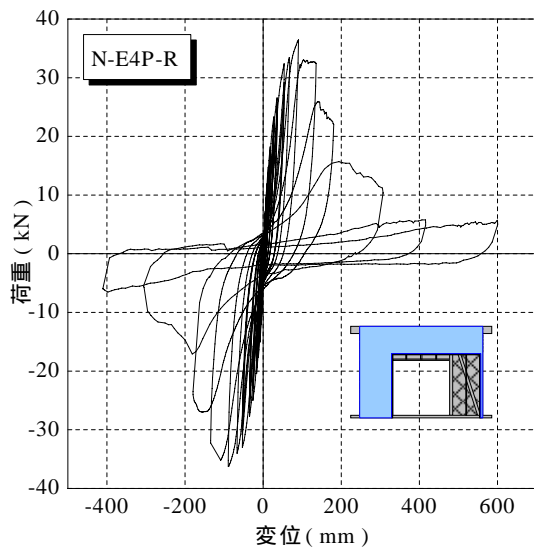
図 12 荷重変位履歴 1



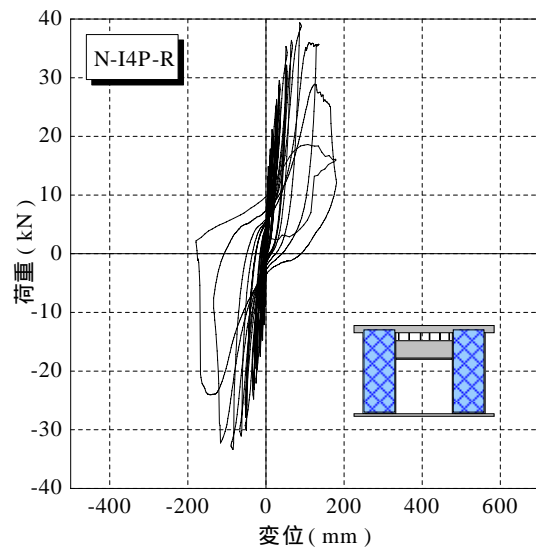
(1) N-I4P



(2) N-I2P



(3) N-E4P-R



(4) N-I4P-R

图 13 荷重变位履歴 2

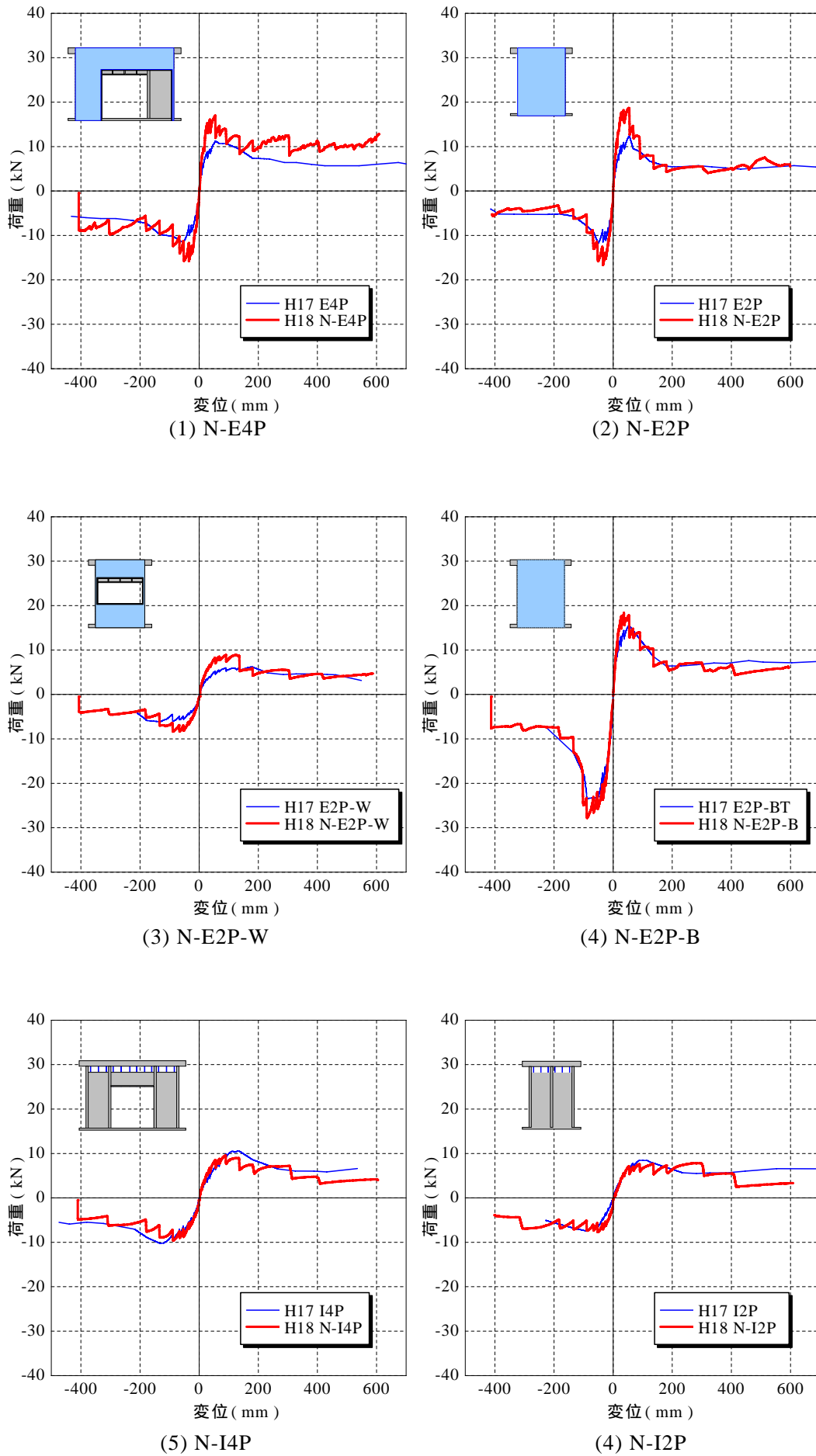
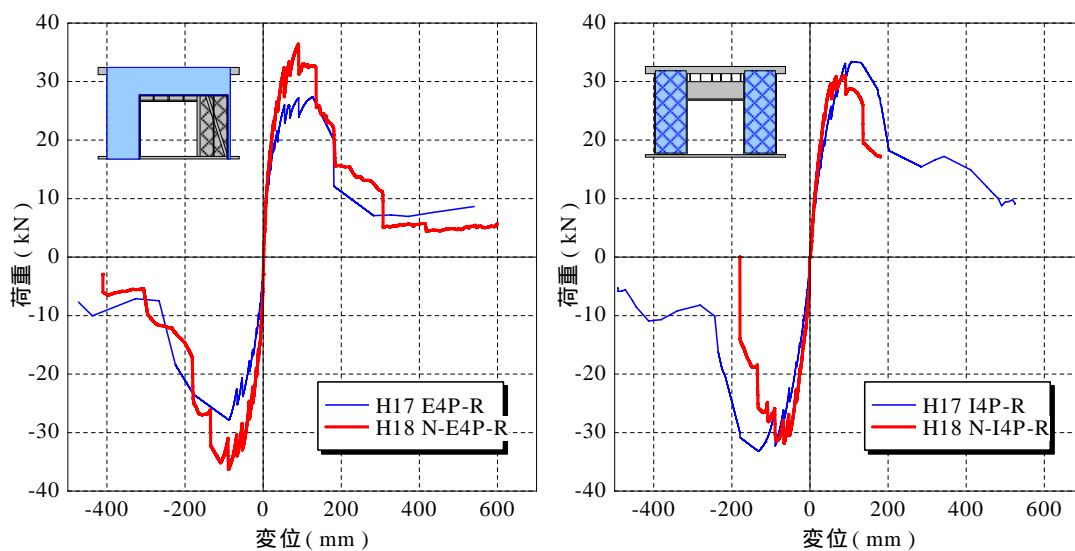


図 14 平成 17 年度要素実験との包絡線の比較 1



(1) N-E4P-R

(2) N-I4P-R

図 15 平成 17 年度要素実験との包絡線の比較 2

表 2 平成 17 年度要素実験との特性値の比較

試験体名	最大耐力 (kN)	剛性 (kN/mm)	降伏耐力 (kN)	降伏変位 (mm)	終局耐力 (kN)	終局変位 (mm)	塑性率	
H17年度	E4P	11.35	0.410	6.78	16.52	10.28	143.0	5.71
	E2P	12.20	0.737	7.15	12.12	10.53	65.1	4.60
	E2P-W	6.18	0.164	3.36	22.59	5.57	211.4	6.11
	E2P-BT	15.54	0.624	8.61	13.80	13.99	90.3	4.03
	I4P	10.41	0.161	5.22	32.68	9.26	198.1	3.45
	I2P	8.01	0.145	5.33	36.70	7.32	180.0	3.58
	E4P-R	27.78	0.723	16.03	23.26	25.12	176.0	5.03
	I4P-R	33.32	0.556	18.60	33.46	30.50	186.4	3.40
H18年度	N-E4P	16.39	0.714	8.67	12.70	14.89	100.3	4.91
	N-E2P	17.69	0.925	9.43	10.22	15.42	45.4	6.49
	N-E2P-W	8.66	0.241	4.74	19.83	7.77	149.7	4.64
	N-E2P-B	23.12	0.859	14.94	17.95	20.73	97.2	4.16
	N-I4P	9.60	0.212	5.55	26.31	8.67	174.2	4.28
	N-I2P	7.77	0.213	5.89	50.14	7.07	179.2	3.29
	N-E4P-R	36.33	1.107	19.32	18.10	32.03	135.2	4.67
	N-I4P-R	31.44	0.818	15.72	19.29	28.67	137.1	3.91

平成 18 年度の要素実験試験体は平成 17 年度と比較した構造特性において、次のことがわかった。

モルタルのある試験体（外周壁試験体）は平成 17 年度よりも耐力が 30～50%程度大きい。

間仕切壁試験体は平成 17 年度とほぼ同等の耐力であったが、変形追従性は平成 17 年度試験体の方が優れていた。

モルタルのある試験体で耐力に差が生じた原因として、メタルラスを留めつけるタッカー釘の仕様が平成 17 年度と平成 18 年度で異なることが考えられる。間仕切壁の荷重変形関係に差が生じた原因としては、土壁の原料採取場所の相違、施工・養生方法の相違等が考えられる。

## 2) 破壊過程

写真3に、モルタルの破壊状況を平成17年度要素実験（以下H17）と比較して示した。開口のある試験体（N-E4P、N-E4P-R）では開口の左上隅に亀裂が生じ、開口のない試験体（N-E2P、N-E2P-B）では亀裂が生じずにモルタルが一体のまま剥落するという破壊過程はH17と同様であった。モルタルが完全に剥落する変位はH17では $1/20$  rad.程度であったが、平成18年度要素実験（以下H18）では $1/3$  rad.を超えても剥落せず、試験装置や振れ止めに押されて剥落する破壊過程であった。H18 N-E4Pでは垂れ壁部上部に亀裂が観測された。タッカー釘の破壊過程ではH17はステーブルの引き抜けとラスの切れの両破壊形態が同程度観測されたが、H18ではステーブルは木ずりに保持されたままで、メタルラスの切れによる破壊がほとんどであった。

（平成17年度要素実験試験体）



(1) E4P 左



(2) E4P 左



(3) E2P

（平成18年度要素実験試験体）



(4) N-E4P 左



(5) N-E4P 垂れ壁



(6) N-E2P

写真3 モルタルの破壊状況の比較



写真 4 に、土壁の破壊状況を平成 17 年度要素実験と比較して示した。H17、H18 とともに貫付近から亀裂が発生し始めて、最大変形時では荒壁の一部以外はすべての土が落ちる破壊過程であった。亀裂の発生は H17 のほうが多く、H18 は中塗りの土が比較的大きな塊で剥離する破壊形態が観測された。

(平成 17 年度要素実験試験体)



(1) 貫付近の破壊状況



(2) E4P 右 1/20rad 変形時



(3) E4P 左 1/20rad 変形時

(平成 18 年度要素実験試験体)



(4) N-I4P 右



(5) N-I2P



(6) N-I2P 600mm 変形時

写真 4 土壁の破壊状況の比較

写真 5 に、補強壁の破壊状況を平成 17 年度要素実験と比較して示した。H17 では筋かいの座屈破壊が観測されたが、H18 では金物による柱脚接合部が破壊し、柱の引き抜けが生じ、筋かいの座屈破壊は観測されなかった。H17 と H18 で柱頭・柱脚の接合方法が異なることが原因と考えられる。最大変形時で梁・土台が折損するという破壊モードは同様であった。

(平成 17 年度要素実験試験体)



(1) E4P-R 右 筋かい座屈破壊



(2) I4P-R 左 受け材のはずれ



(3) I4P-R 右 土台の割裂

(平成 18 年度要素実験試験体)



(4) N-E4P-R 左 柱引き抜け



(5) N-I4P-R 右 柱引き抜け



(6) N-E4P-R 梁の折損

写真 5 補強壁の破壊状況の比較

### 3) 荷重変形関係の震動台実験結果との比較

構面の耐力加算則を用いて、要素実験の結果と振動台実験の結果の比較を行った。図 15 に示したように、偏心は考慮せず、同一変位時の耐力を足し合わせることで荷重変形関係を算出した。要素実験で抽出した箇所に含まれていない部分は、N-E2P、N-I2P の荷重変形関係（耐力を 1/2 したものを）を外周壁、間仕切壁の基準値として、残りの壁の耐震診断（精密診断）の基準耐力の比率を乗じることで算出した。また図 16 に示したように試験体重量によるめりこみを考慮した傾斜復元力、P- 効果を文献<sup>2)</sup>を参考にして考慮に入れた。D 棟の 1F 補強壁のうち本要素実験には含まれていない箇所は文献<sup>3)</sup>の値を参考にして足し合わせた。震動台実験の層せん断力 - 変位関係は 1F、2F の平均加速度に地震力算定用重量（1F：119.1kN、2F：91.4kN）をそれぞれ乗じ、加算することで算出した。

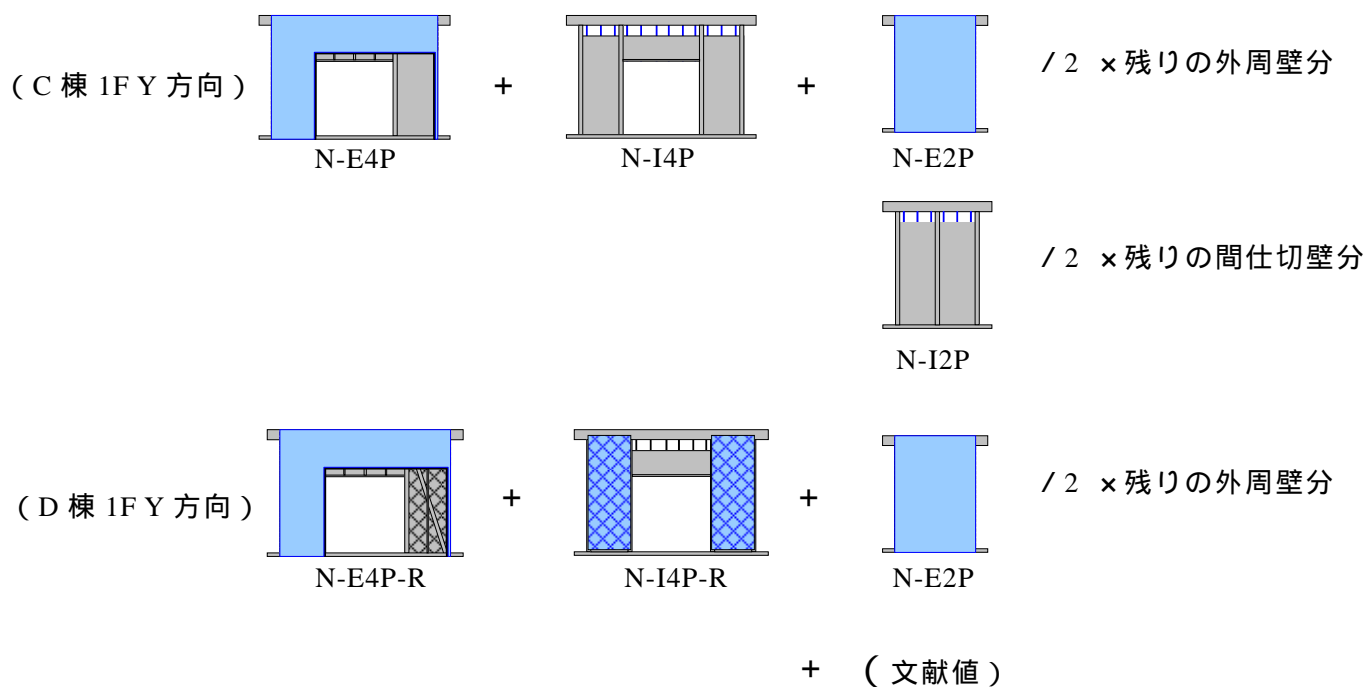


図 15 耐力の足し合わせ

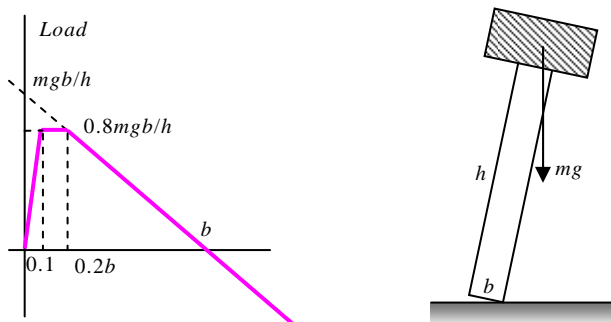


図 16 傾斜復元力と P - 効果

図 17 に C、D 棟の震動台実験の 1F Y 方向の層せん断力 - 変位関係と、要素実験の足し合わせ結果を示した。参考までに図 18 に H17 年度の A、B 棟の震動台実験結果、要素実験の足し合わせを示した。建防協の耐震診断<sup>3)</sup>の保有水平耐力計算法による加算結果も併せて示した。

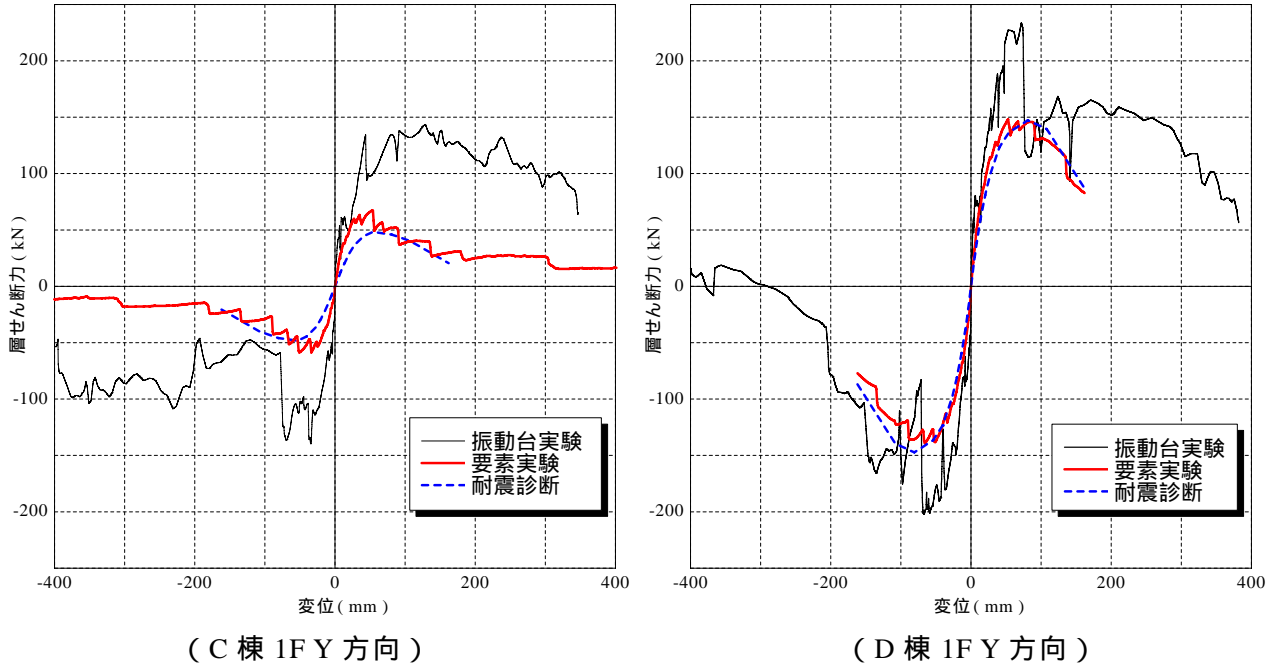


図 17 荷重変形関係の比較 (C、D 棟)

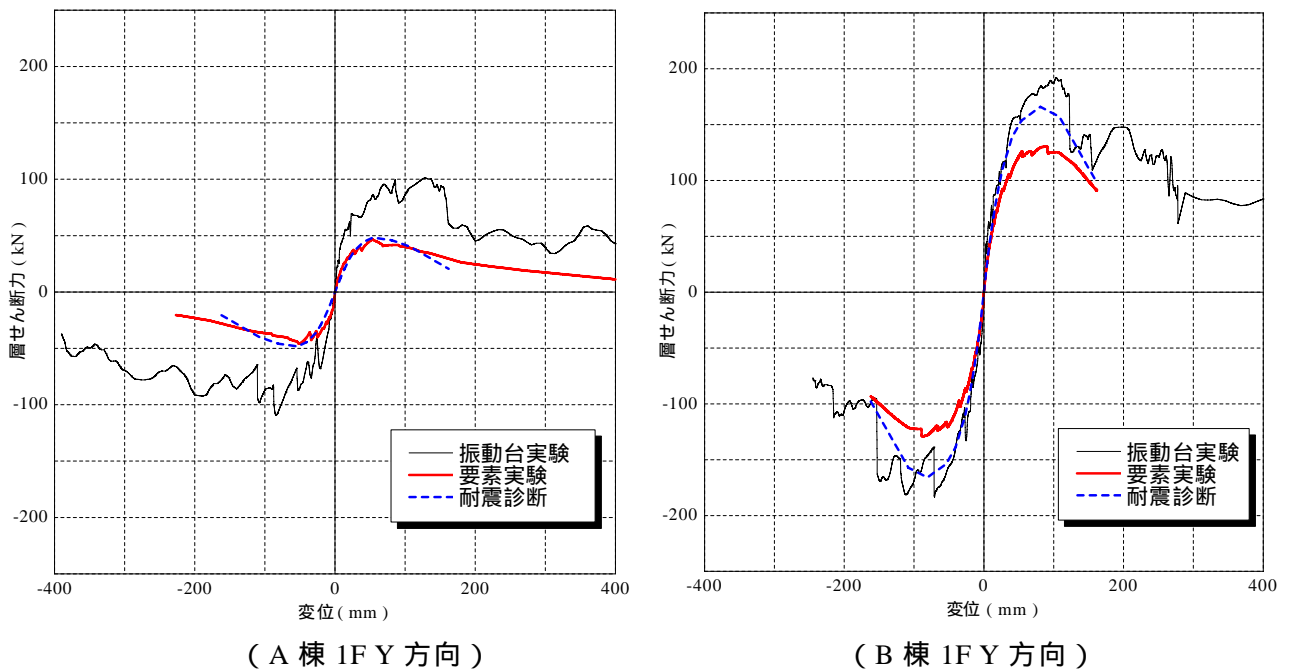


図 18 荷重変形関係の比較 (A、B 棟)

C、D 棟ともに震動台実験結果のほうが要素実験の足し合わせよりも層せん断力が大きく上回る結果となった。これはモルタルの寸法効果、粘性減衰の影響、構造物の3次元の変形による拘束の影響、壁体の再現の精度等が原因として考えられる。また H17 の足し合わせとの比較では、H18 の方が最大層せん断力は大きく、D 棟では耐震診断の荷重変形関係により近い結果となった。

(d) 結論

- 1) 補強・無補強試験体の各構面の構造性能を把握することが出来た。
- 2) モルタルのある試験体（外周壁試験体）は平成 17 年度よりも耐力が 30～50%程度大きかった。
- 3) 間仕切壁試験体は平成 17 年度とほぼ同等の耐力であったが、変形追従性は H17 年度試験体の方が優れていた。
- 4) C、D 棟ともに震動台実験結果のほうが、要素実験の足し合わせよりも層せん断力が大きく上回る結果となった。
- 5) 平成 17 年度要素実験の足し合わせとの比較では、平成 18 年度の方が最大層せん断力は大きく、D 棟では耐震診断の荷重変形関係により近い結果となった。

(e) 引用文献

- 1) (財)日本建築センター：ビルディングレター，2003 年 1 月号，pp. 27-32.
- 2) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル，pp38-39 (2004)
- 3) (財)日本建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強法，pp278-286 (2005)

(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
中川貴文 河合直人 槌本敬大 岡部実	震動台による既存木造住宅の耐震性能検証実験その 15 移築補強・無補強試験体実験の再現要素実験との比較	2006 年度日本建築学会大会 学術講演梗概集，C-1 分冊， p.395-396	平成 18 年 9 月

(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

