

## ■強震応答実験装置利用実績報告

1. 研究者 神戸大学

2. 利用期間  
平成 22 年度 3 月 15 日～平成 22 年 3 月 26 日

3. 目的

変形性能の異なる耐力要素を併用した構造物の変形挙動の確認、設計法を誘導することを目標とする。具体的には、集成材フレーム（変形性能 2 種類）と壁式構造（筋かい・合板）を異なる耐力壁線上に併用した架構の動的実験を実施する。

4. 実験内容

4. 1 試験体概要

対象となる試験体は、ラーメンフレームと耐力壁を異なる耐力壁線上に併用した箱型試験体（3 種類）である。試験体名称および種類を表 4.1 に、部材断面、使用樹種を表 4.2 に示す。また箱型試験体の概要図を図 4.1 に、各階伏図および軸組図を図 4.2 に示す。以下に各部仕様について概説する。

（1）耐力壁部分

- 1) 耐力壁としては、構造用合板片面張り（ $t=9\text{mm}$ 、 $N50@150$ ）1P、2 ツ割筋かい（たすき掛け）を設けた。試験体幅は 4 P とした。
- 2) 柱および土台の断面は  $105\times 105\text{mm}$ 、桁の断面は  $105\times 300\text{mm}$  とした。
- 3) 柱頭柱脚接合部金物について、構造用合板、2 ツ割筋かいともに 20kN 用 HD 金物を用いた。

（2）ラーメンフレーム部分

- 1) 試験体幅は 4 P とした。柱断面は  $120\times 300\text{mm}$ 、梁断面は  $120\times 390\text{mm}$  とした。
- 2) ラーマンフレームは引きボルト形式とし、ボルトのサイズは M16 とした。
- 3) ボルトのせん断長さ、ボルトの材質を変えることにより「高靱性」タイプと「低靱性」タイプを設けた。
- 4) 「高靱性」タイプについて、ボルトの材質に SNR400 を使用した。またボルト長さを柱脚については 250mm、柱梁接合部については 550mm（梁小口から 250mm）とした。  
SNR400 については、事前に素材試験を行い  $\sigma_y=330\text{N/mm}^2$  程度であることを確認している。
- 5) 「低靱性」タイプについて、ボルトの材質に SS400 を使用した。またボルト長さを柱脚については 150mm、柱梁接合部については 450mm（梁小口から 150mm）とした。
- 6) 柱梁接合部にはせん断キーを設けた。
- 7) 梁座金として  $100\times 100\times 9\text{mm}$  の鋼板を用いた。
- 8) 定着金物について、「高靱性」タイプについては□タイプのもの、「低靱性」タイプについては○タイプのものを使用した。

(3) 水平構面

1) 水平構面には構造用合板 (t=24mm) を使用し、N75 釘を 150mm 間隔で釘打ちをした。

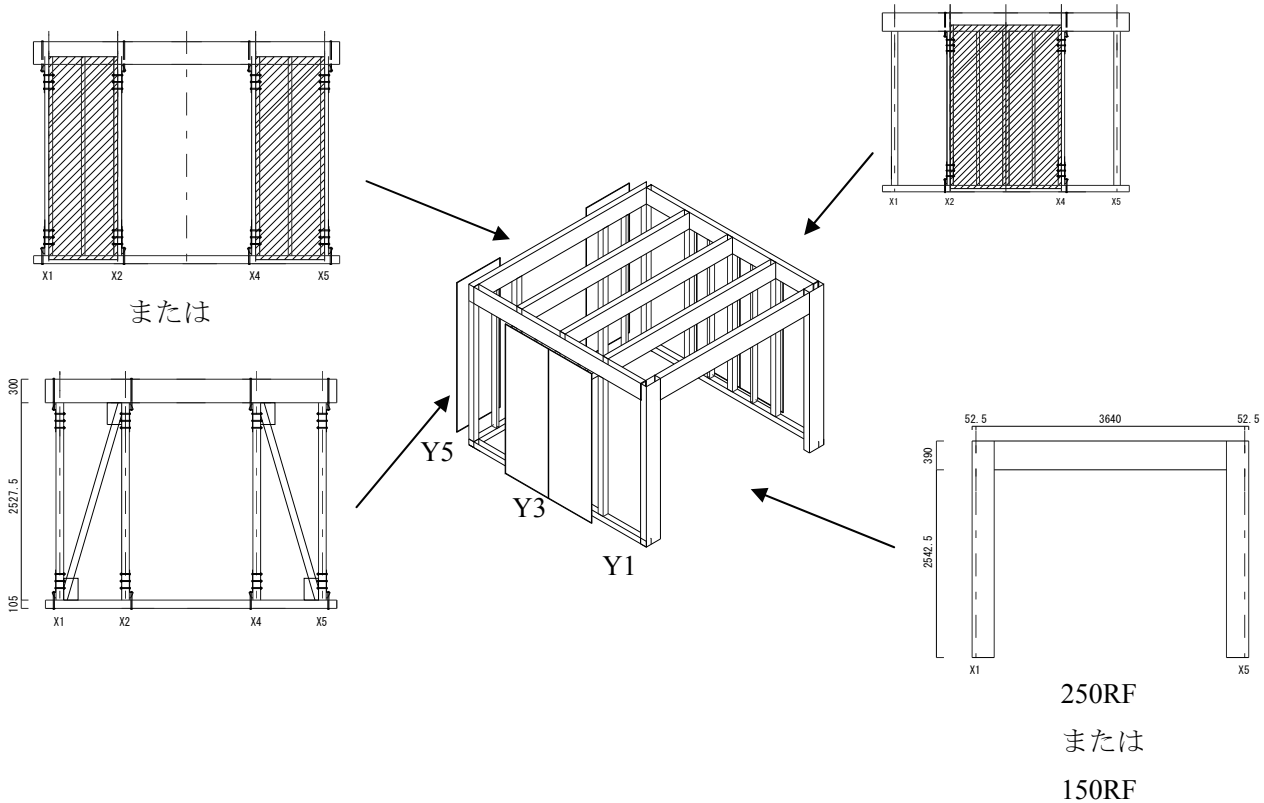


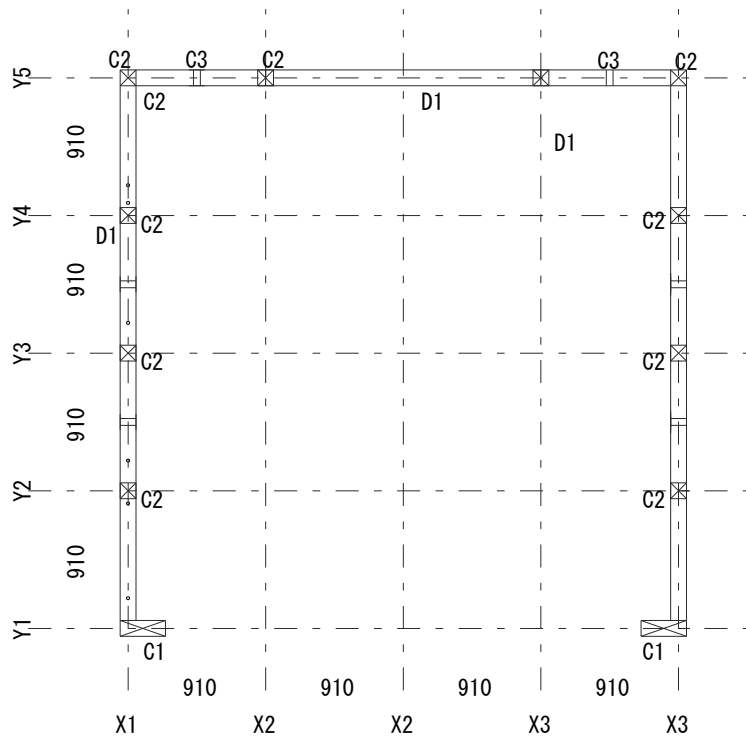
図 4.1 箱形試験体概要図

表 4.1 試験体種類

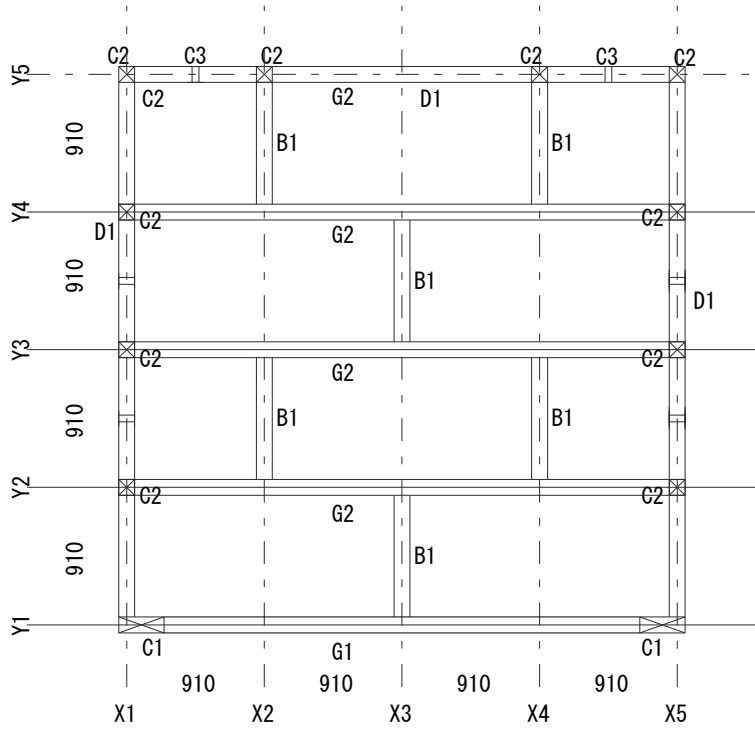
試験体名	試験体仕様
No.1	引きボルト式ラーメン (高靱性) + 構造合板
No.2	引きボルト式ラーメン (高靱性) + 構造合板
No.3	引きボルト式ラーメン (低靱性) + 2ツ割筋かい

表 4.2 部材断面、使用樹種

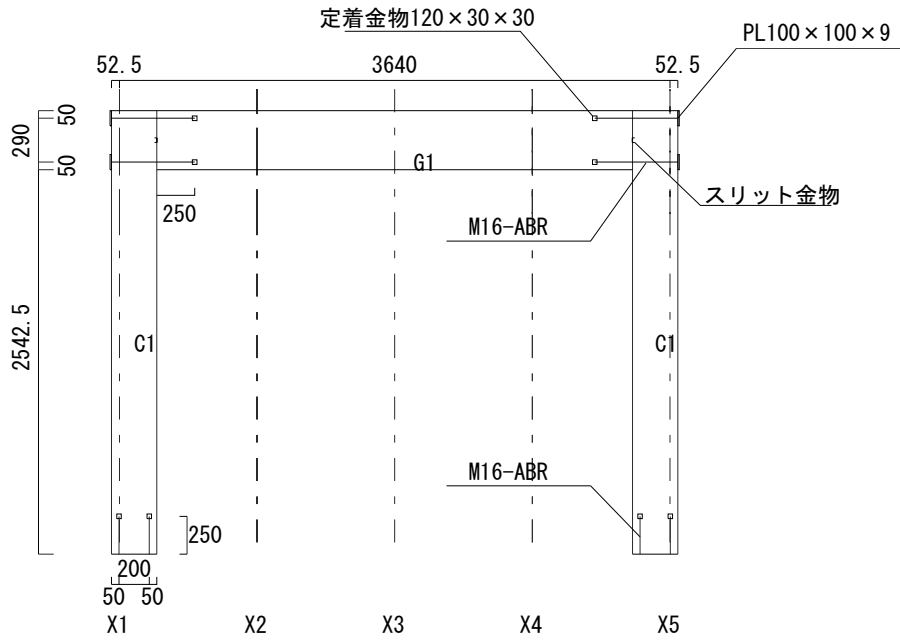
部位	部材断面(mm)	樹種
土台	105×105	ヒバ
耐力壁柱	105×105	スプルース E95-F315
耐力壁桁	105×300	オウシュウアカマツ異等級対称構成 E120-F330
ラーメン柱	105×300	オウシュウアカマツ異等級対称構成 E120-F330
ラーメン桁	105×390	オウシュウアカマツ異等級対称構成 E120-F330
構造用合板	910×2730×9	カラマツ
筋かい	90×45	L V L E90-F270



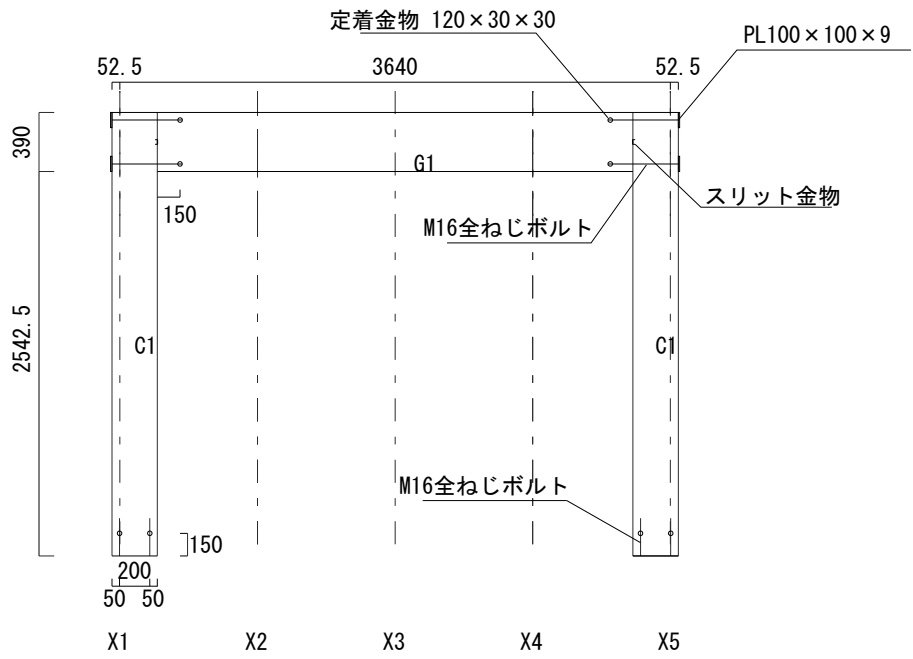
(1) 1階床伏図 (箱形1、箱形2、箱形3)



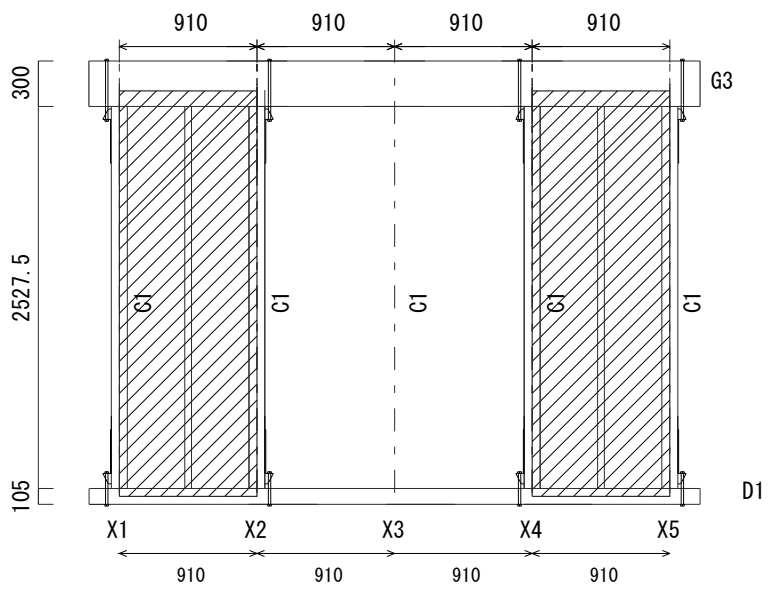
(2) 2階床伏図 (箱形1、箱形2、箱形3)



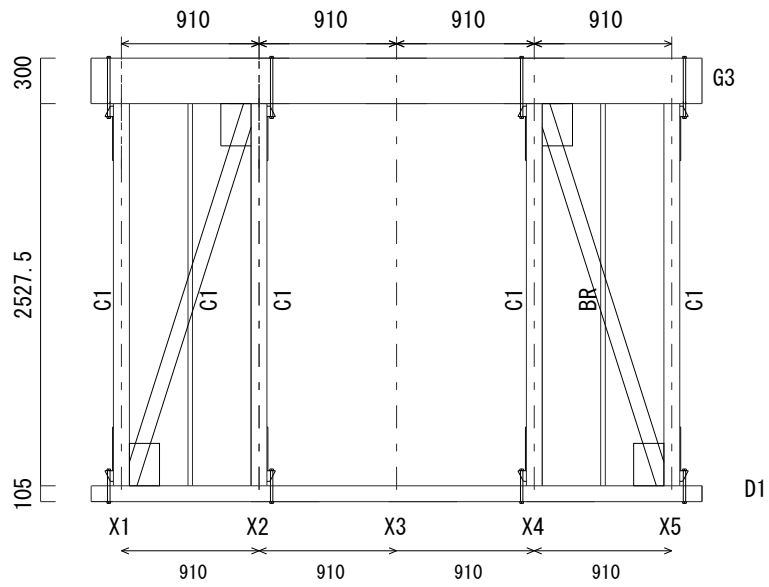
(3) Y1通軸組図 (箱形1、箱形3)



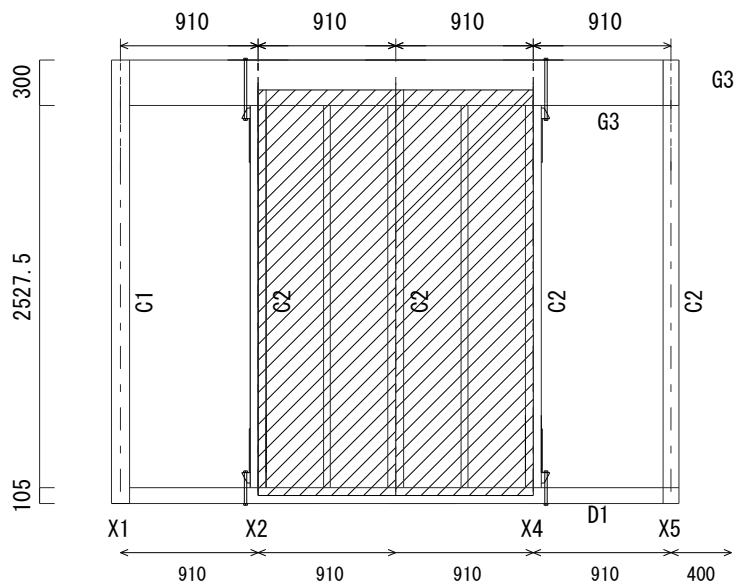
(4) Y1 通軸組図 (箱形 2)



(5) Y5 通軸組図 (箱形 1、箱形 2)



(6) Y5 通軸組図 (箱形 3)



(7) X1、X5 通軸組図 (箱形 1、箱形 2、箱形 3)

図 4.2 試験体伏図および軸組図

#### 4. 2 試験体重量

試験体の重量を表 4.3 に、錘の配置図を図 4.3 に示す。試験体の自重については木材の比重を 0.6 として算出した。積載重量は、立体試験体の各鉛直構面の静的加力実験より 1/120rad.時の試験体の荷重を想定し、その荷重に対し  $C_0=0.2$  となるような重量とした結果 10tf を積載荷重とした。錘は各階床に均等に配置している。

表 4.3 試験体重量(試験体 1~3)

(単位:t)

	固定荷重	積載荷重	合計
2 階床	0.97	10.00	10.97

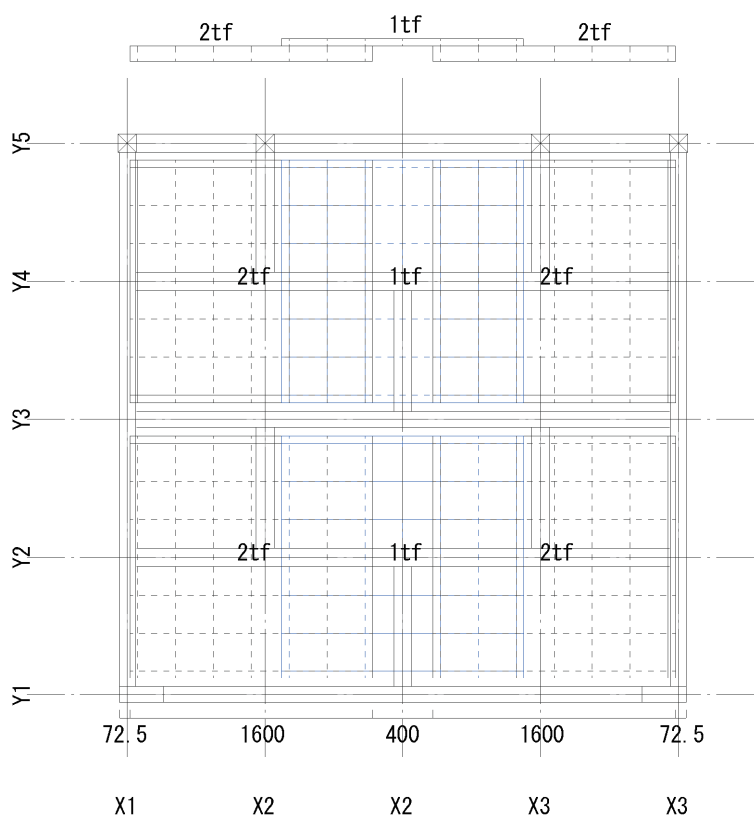


図 4.3 錘配置図

#### 4. 3 各鉛直構面の構造性能

図 4.4 に各鉛直構面の骨格曲線を示す。ラーメンフレームは、耐力壁（合板）と壁倍率評価で同程度の性能となるように設計した。

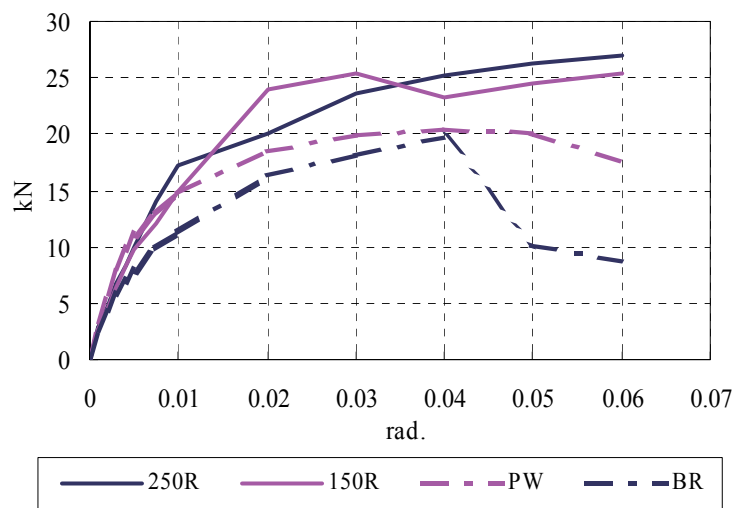


図 4.4 各鉛直構面の骨格曲線



#### 4. 4 入力地震動

H12年建設省告示第1461号に示された解放工学的基盤における加速度応答スペクトルと表層地盤の増幅率（簡略法：2種地盤相当）から求めた加速度応答スペクトルを目標とした模擬地震波を本実験の加振波に採用した。図4.5に加速度波形を、図4.6に入力地震動の加速度応答スペクトルを示す。また表4.4に入力地震動の最大加速度、最大速度、最大変位を示す。

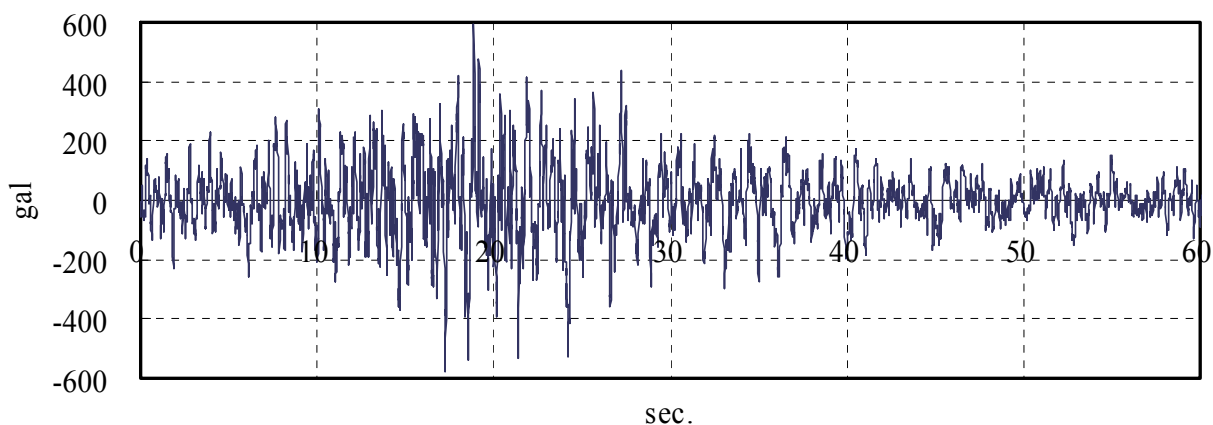


図 4.5 入力地震動（加速度）

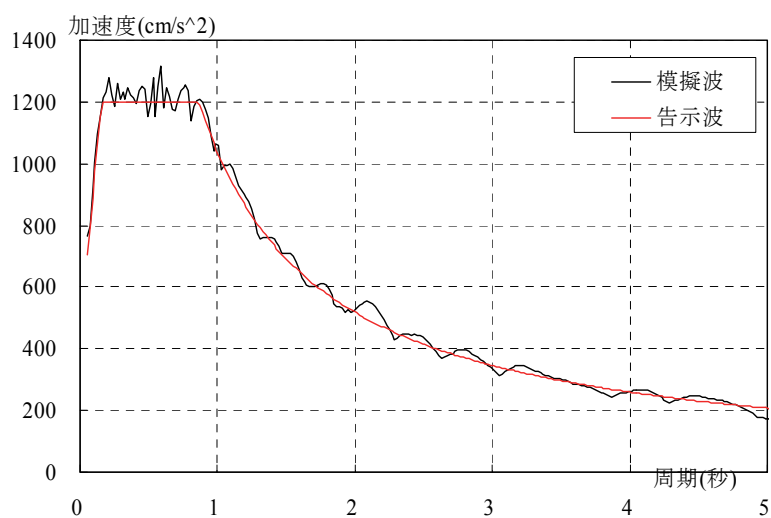


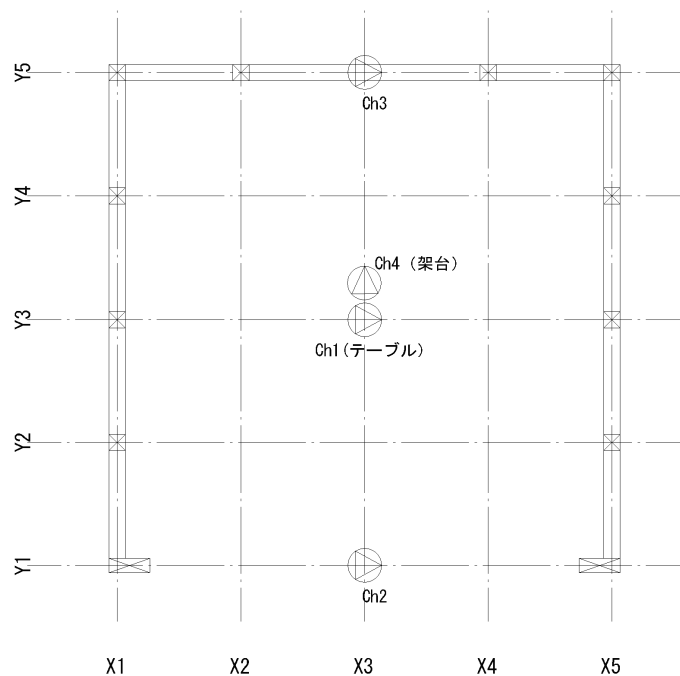
図 4.6 入力地震動の加速度応答スペクトル

表 4.4 振動台加速度・速度・変位

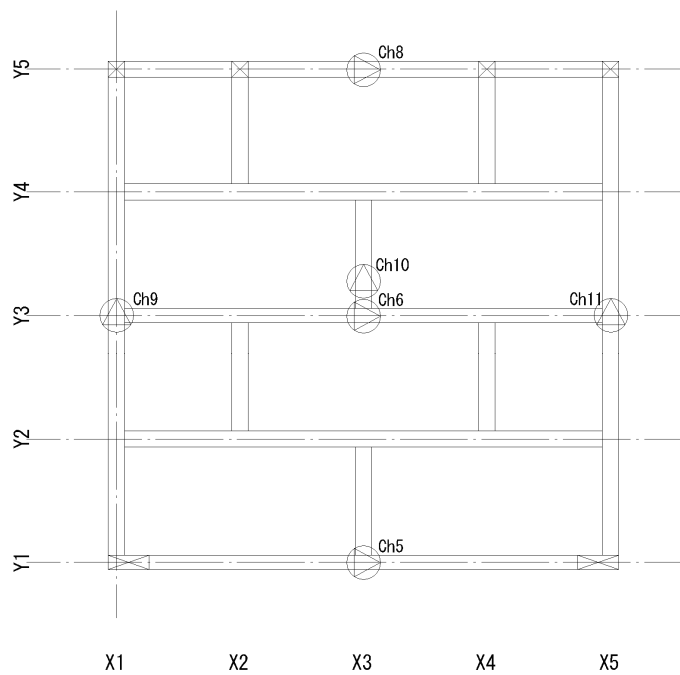
	正	負	最大
最大加速度(cm/s <sup>2</sup> )	596.6	577.2	596.6
最大速度(cm/s)	54.6	78.5	78.5
最大変位(cm)	18.7	21.7	21.7

#### 4. 5 計測計画

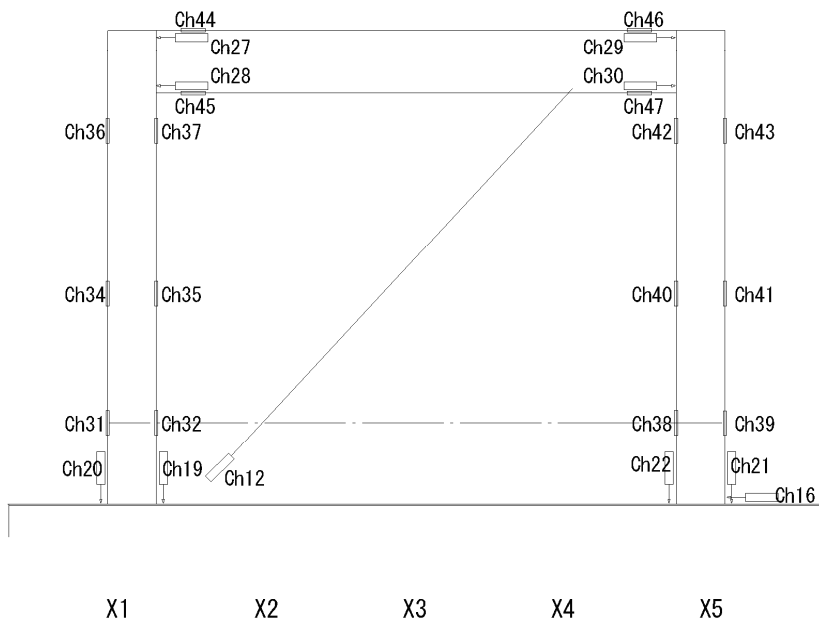
計測器の配置図を図 4.7 に、計測点一覧を表 4.5 に示す。



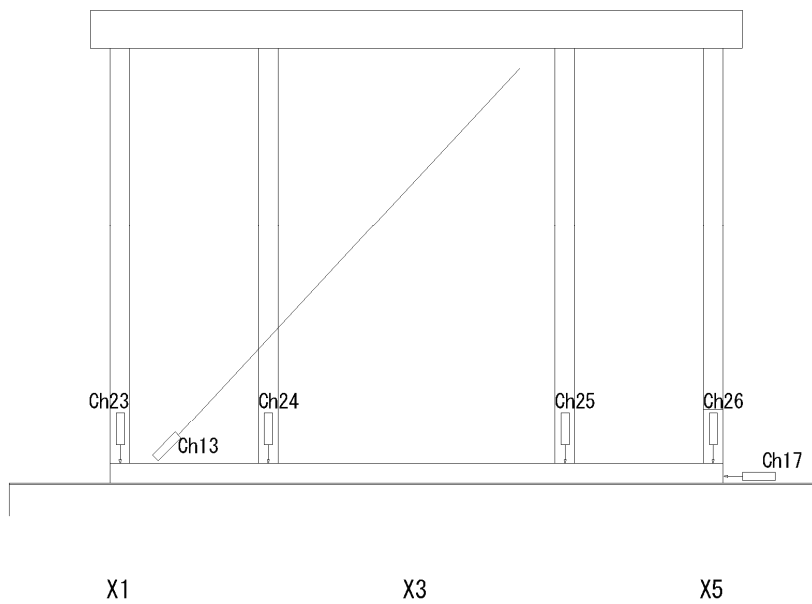
(1) 1階床加速度計配置 (箱形 1、箱形 2、箱形 3)



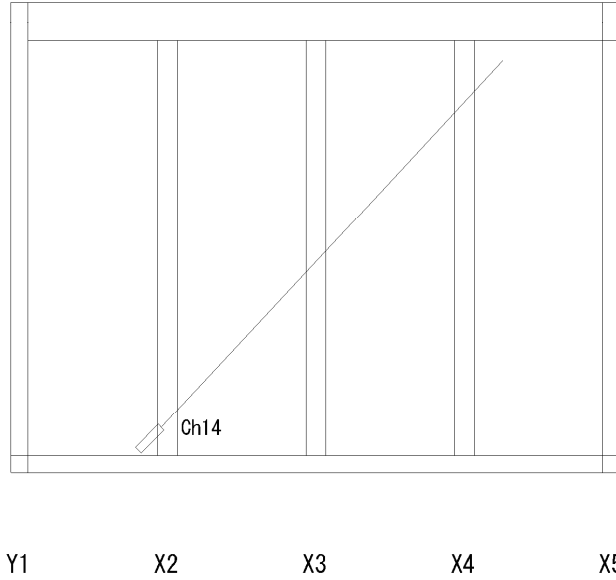
(2) 2階床加速度計配置 (箱形 1、箱形 2、箱形 3)



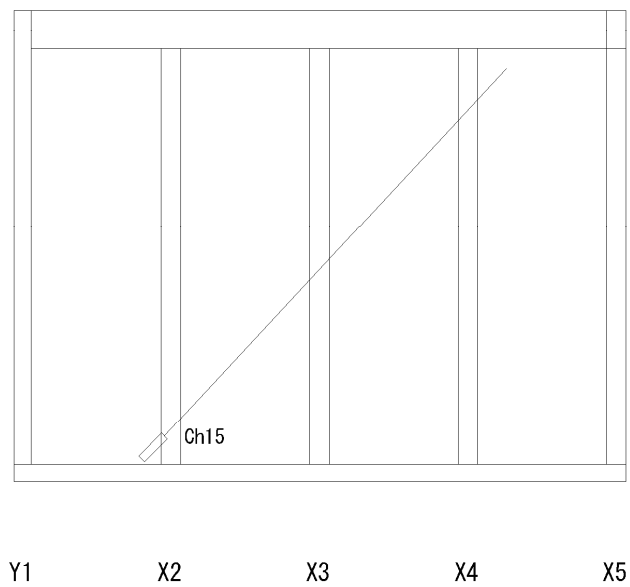
(3) Y1 通計測器配置図



(4) Y5 通計測器配置図



(5) X1 通計測器配置図



(6) X5 通計測器配置図

図 4.7 計測器配置図

表 4.5 計測計画一覧

ChNo	単位		センサ名称	
1	gal	A1C4X	テーブル中央	加速度計
2	gal	A1C1X	Y1 通り架台	加速度計
3	gal	A1C3X	Y5 通り架台	加速度計
4	gal	A1C5Y	Y3 通り架台	加速度計
5	gal	A2X3Y1-X	2F 床・X3Y1-X 方向加速度	加速度計
6	gal	A2X3Y3-X	2F 床・X3Y3-X 方向加速度	加速度計
8	gal	A2X3Y5-X	2F 床・X3Y5-X 方向加速度	加速度計
9	gal	A2X1Y3-Y	2F 床・X1Y3-Y 方向加速度	加速度計
10	gal	A2X3Y3-Y	2F 床・X3Y3-Y 方向加速度	加速度計
11	gal	A2X5Y3-Y	2F 床・X5Y3-Y 方向加速度	加速度計
12	mm	D1-Y1-X	1FY1-X 方向層間変位	DP-1000
13	mm	D1-Y5-X	1FY5-X 方向層間変位	DP-1000
14	mm	D1-X1-Y3	1F-X1-Y3 層間変位	SDP-200D
15	mm	D1-X5-Y3	1F-X5-Y3 層間変位	SDP-200D
16	mm	D1S-X1Y1-X	1F X1Y1-ラーメン柱すべり	SDP-50
17	mm	D1S-X5Y1-X	1F X5Y1-ラーメン柱すべり	SDP-50
18	mm	D1S-X1Y5-X	1F X1Y5-土台すべり	SDP-50
19	mm	D1-X1Y1-Z-R	1F X1Y1 柱浮き上がり右	SDP-100
20	mm	D1-X1Y1-Z-L	1F X1Y1 柱浮き上がり左	SDP-100
21	mm	D1-X5Y1-Z-R	1F X5Y1 柱浮き上がり右	SDP-100
22	mm	D1-X5Y1-Z-L	1F X5Y1 柱浮き上がり左	SDP-100
23	mm	D1-X1Y5-Z	1F X1Y5 柱抜け	SDP-100
24	mm	D1-X2Y5-Z	1F X2Y5 柱抜け	SDP-100
25	mm	D1-X4Y5-Z	1F X4Y5 柱抜け	SDP-100
26	mm	D1-X5Y5-Z	1F X5Y5 柱抜け	SDP-100
27	mm	D2-X1Y1-S	2F X1Y1 梁回転	SDP-100
28	mm	D2-X1Y1-S	2F X1Y1 梁回転	SDP-100
29	mm	D2-X5Y1-S	2F X5Y1 梁回転	SDP-100
30	mm	D2-X5Y1-S	2F X5Y1 梁回転	SDP-100
31	μ	GC1F-X1Y1-D1	1F X1Y1 柱ひずみ下 1	ひずみゲージ
32	μ	GC1F-X1Y1-D1	1F X1Y1 柱ひずみ下 2	ひずみゲージ
34	μ	GC1F-X1Y1-M	1F X1Y1 柱ひずみ中 1	ひずみゲージ
35	μ	GC1F-X1Y1-M	1F X1Y1 柱ひずみ中 2	ひずみゲージ
36	μ	GC1F-X1Y1-U	1F X1Y1 柱ひずみ上 1	ひずみゲージ
37	μ	GC1F-X1Y1-U	1F X1Y1 柱ひずみ上 2	ひずみゲージ
38	μ	GC1F-X5Y1-D	1F X5Y1 柱ひずみ下 1	ひずみゲージ
39	μ	GC1F-X5Y1-D	1F X5Y1 柱ひずみ下 2	ひずみゲージ
40	μ	GC1F-X5Y1-M	1F X5Y1 柱ひずみ中 1	ひずみゲージ
41	μ	GC1F-X5Y1-M	1F X5Y1 柱ひずみ中 2	ひずみゲージ
42	μ	GC1F-X5Y1-U	1F X5Y1 柱ひずみ上 1	ひずみゲージ
43	μ	GC1F-X5Y1-U	1F X5Y1 柱ひずみ上 2	ひずみゲージ
44	μ	GB2F-X1_5-X1U	2F X1-5 梁ひずみ-X1 側上	ひずみゲージ
45	μ	GB2F-X1_5-X1D	2F X1-5 梁ひずみ-X1 側下	ひずみゲージ
46	μ	GB2F-X5_5-X5U	2F X1-5 梁ひずみ-X5 側上	ひずみゲージ
47	μ	GB2F-X5_5-X5D	2F X1-5 梁ひずみ-X5 側下	ひずみゲージ

\*Ch7, Ch33 は欠番

#### 4. 6 実験結果

##### (1) 破壊性状

##### 1) No.1

20%加振時には損傷は見られなかった。100%加振後、Y5 通り構造用合板の耐力壁外周の釘が完全に抜け落ちていることと、ラーメンフレームのボルトの伸びが観察された。

##### 2) No.2

20%加振時には損傷は見られなかった。100%加振後、Y5 通り構造用合板の耐力壁外周の釘が完全に抜け落ちていることと、Y1 通りラーメンフレームのボルトの伸びが観察された。また柱脚定着金物から木材の割裂破壊が観察された。

##### 3) No.3

20%加振時には損傷は見られなかった。100%加振後、Y5 通り構造用合板の耐力壁外周の釘が完全に抜け落ちていることと、Y1 通りラーメンフレームのボルトの伸びが観察された。また柱脚定着金物から木材の割裂破壊が観察された。

(2) 応答加速度

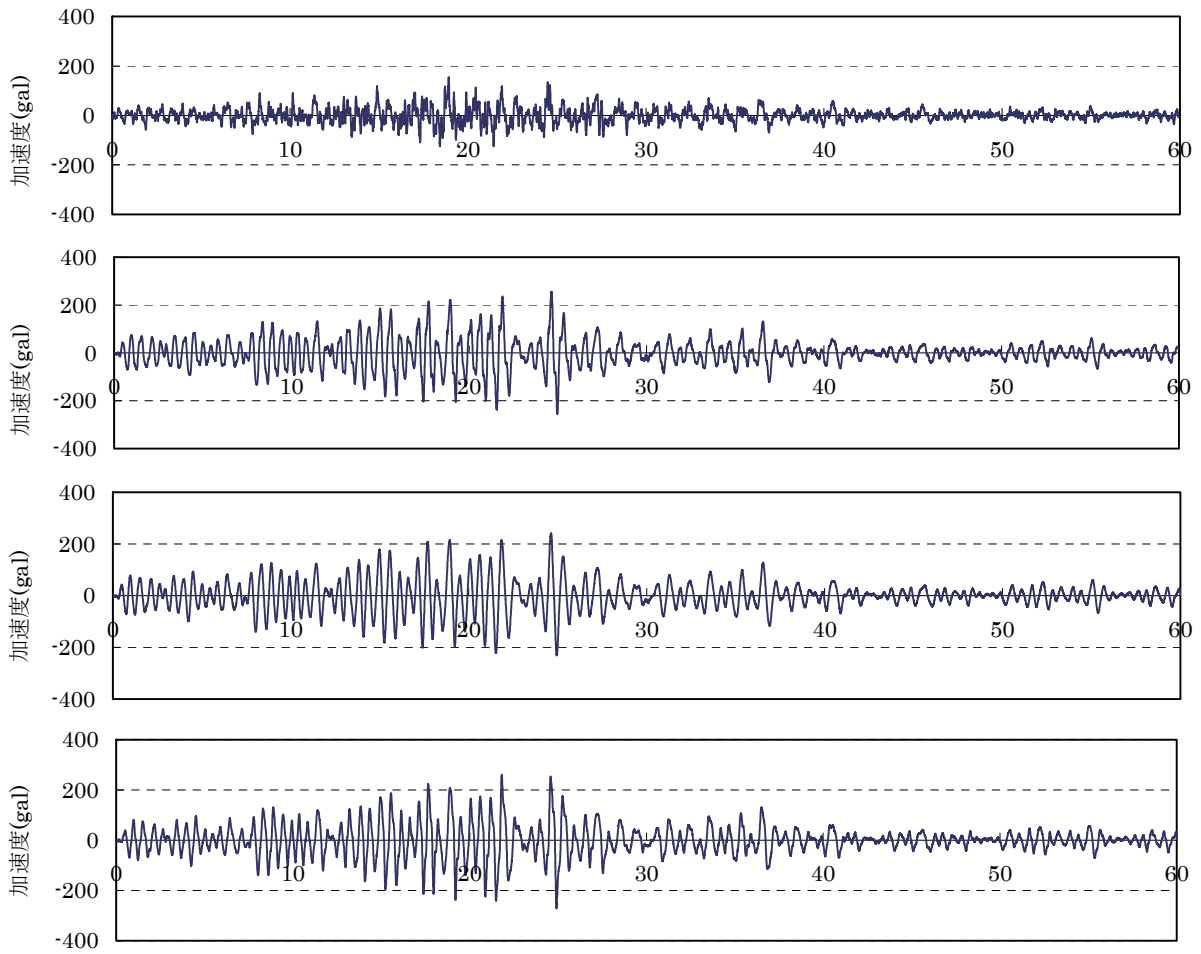
図 4.8 に 20%加振時および 100%加振時の 2 階床レベルにおける各試験体の応答加速度の時刻歴波形を示す。また表 4.6、4.7 に 20%加振時および 100%加振時の 2 階床レベルにおける最大応答加速度を示す。

表 4.6 20%加振時

		振動台 X3Y3		2 階 X3Y1		2 階 X3Y3		2 階 X3Y5	
		正	負	正	負	正	負	正	負
最大加速度 (gal)	No.1	153.97	-125.28	255.12	-256.75	241.52	-232.00	261.23	-271.67
	No.2	155.31	-130.08	260.29	-265.96	241.84	-238.23	267.36	-277.95
	No.3	158.54	-130.00	273.02	-279.72	279.65	-266.97	286.44	-269.96
応答倍率	No.1	-	-	-1.66	-2.05	-1.57	-1.85	-1.70	-2.17
	No.2	-	-	-1.68	-2.04	-1.56	-1.83	-1.72	-2.14
	No.3	-	-	-1.72	-2.15	-1.76	-2.05	-1.81	-2.08

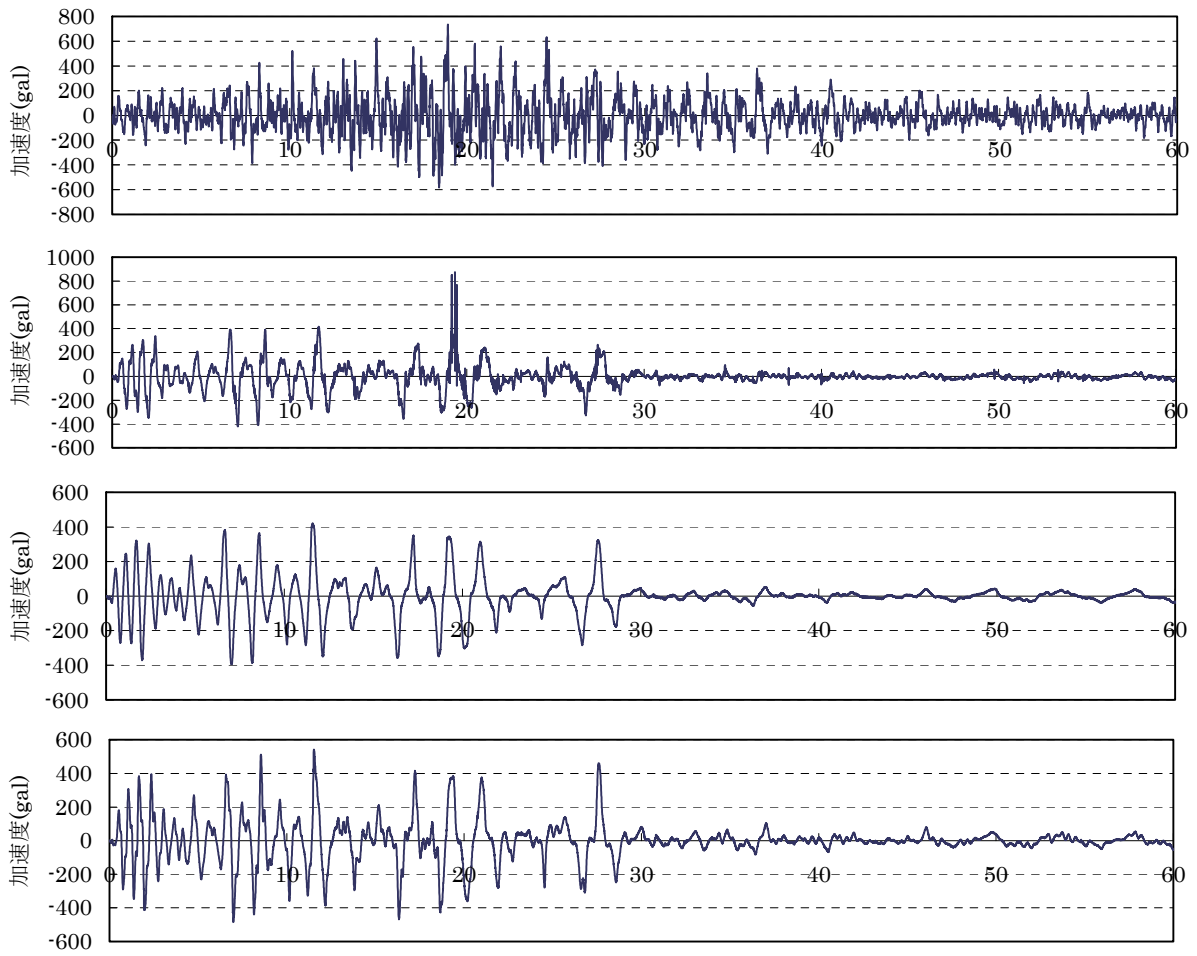
表 4.7 100%加振時

		振動台 X3Y3		2 階 X3Y1		2 階 X3Y3		2 階 X3Y5	
		正	負	正	負	正	負	正	負
最大加速度 (gal)	No.1	736.77	-582.44	875.08	-419.63	421.71	-394.45	541.70	-486.10
	No.2	745.29	-589.14	1262.50	-773.72	423.76	-403.33	536.50	-480.13
	No.3	752.80	-577.27	1212.10	-883.67	455.91	-436.57	852.14	-550.98
応答倍率	No.1	-	-	-1.19	-0.72	-0.57	-0.68	-0.74	-0.83
	No.2	-	-	-1.69	-1.31	-0.57	-0.68	-0.72	-0.81
	No.3	-	-	-1.61	-1.53	-0.61	-0.76	-1.13	-0.95

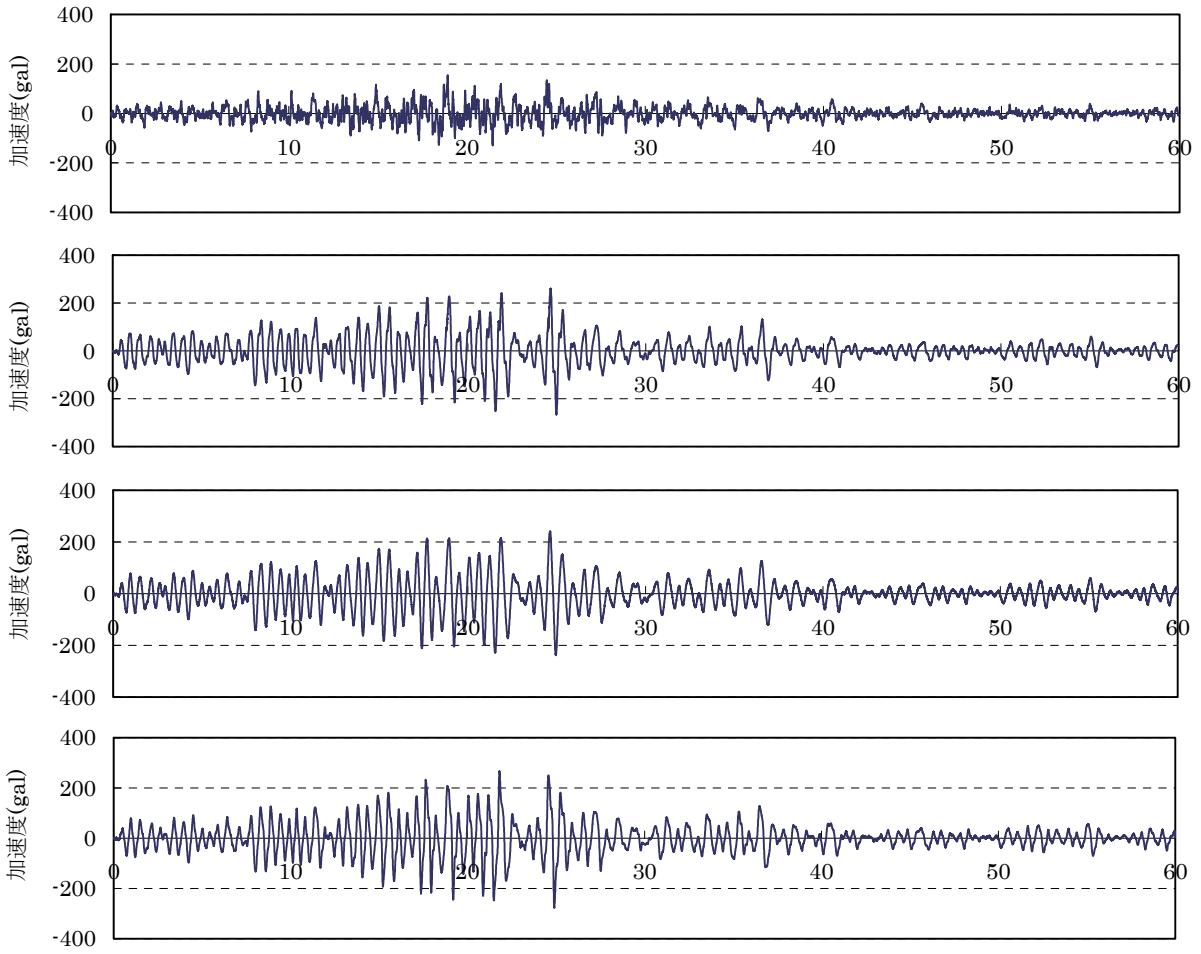


1) No.1 20%

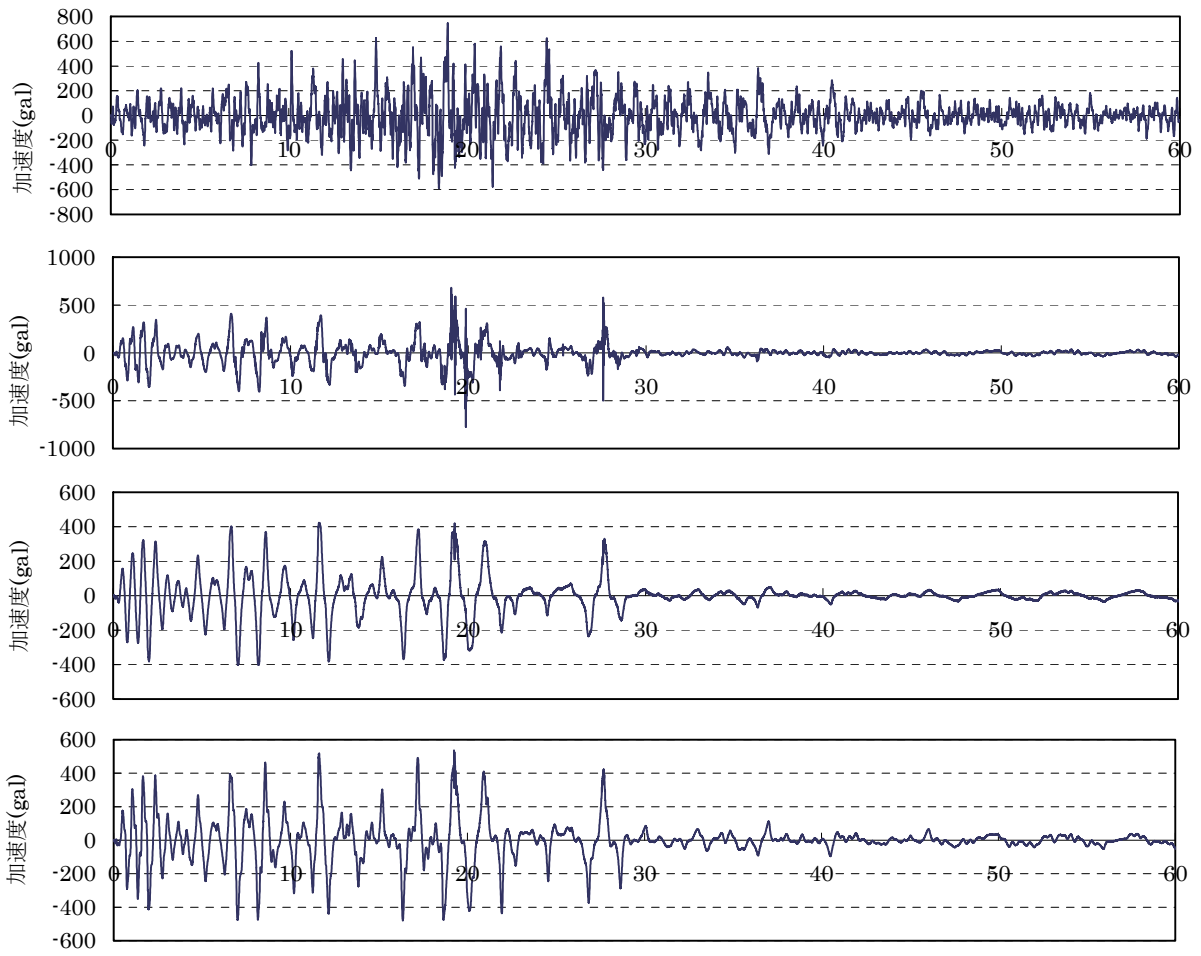




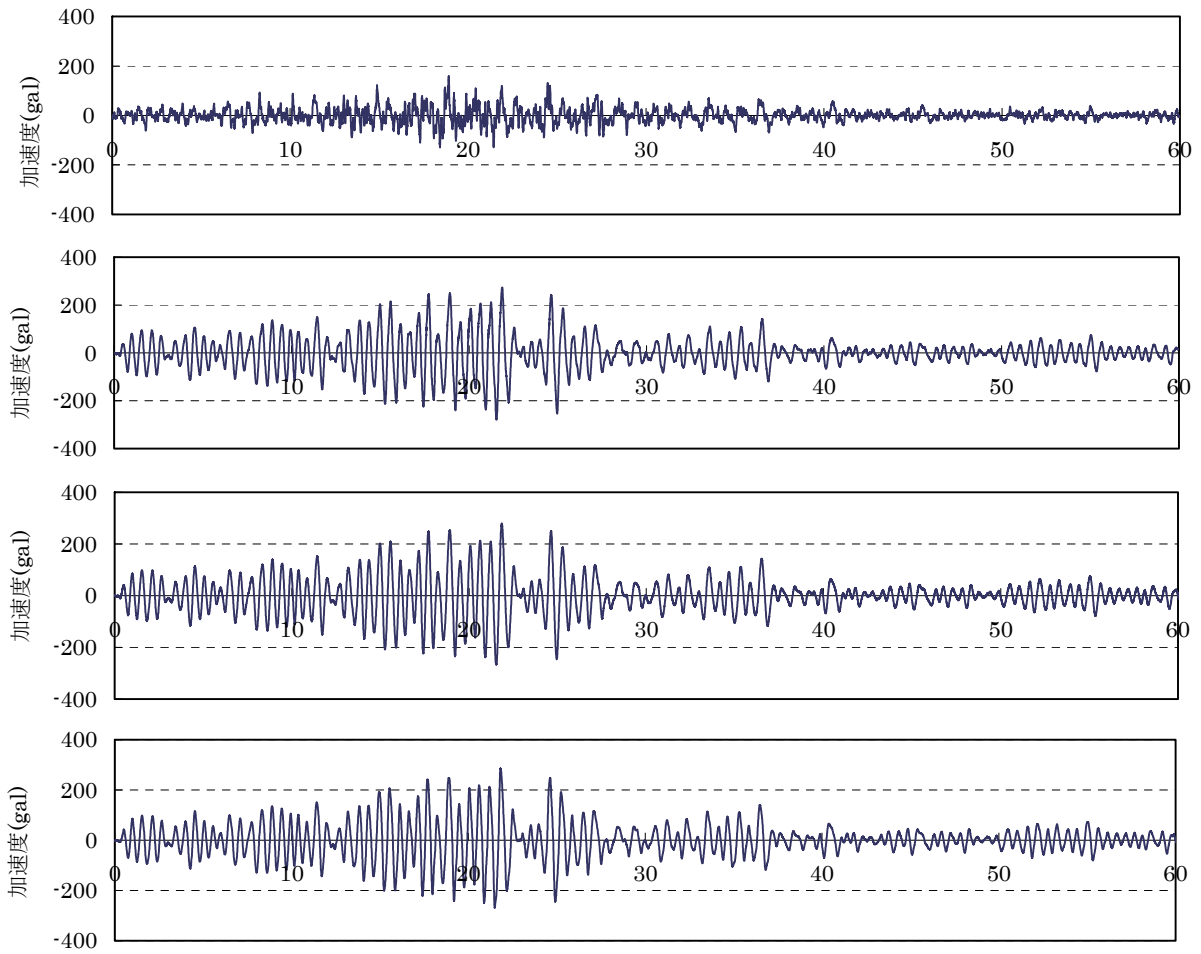
2) No.1 100%



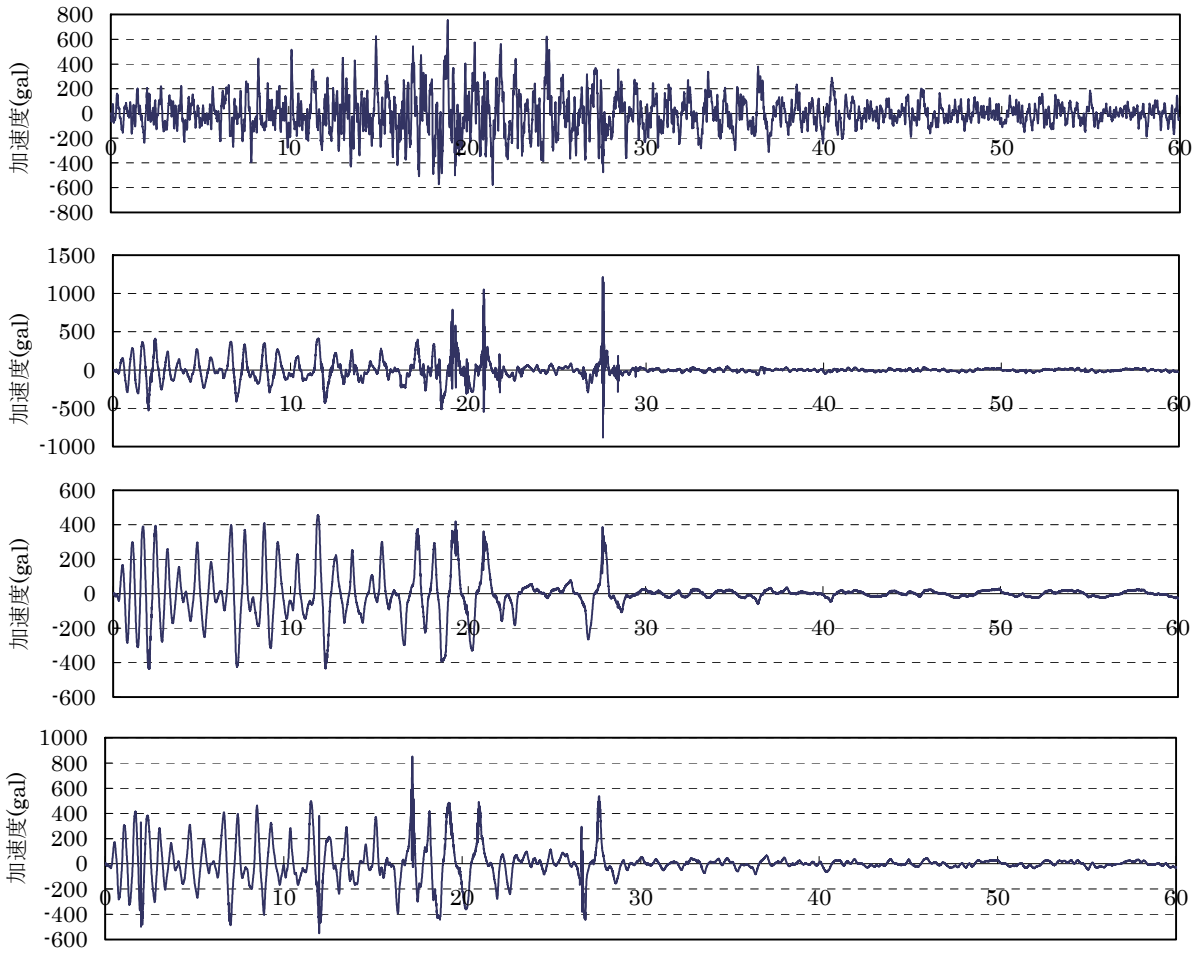
3) No.2 20%



4) No.2 100%



5) No.3 20%



6) No.3 100%

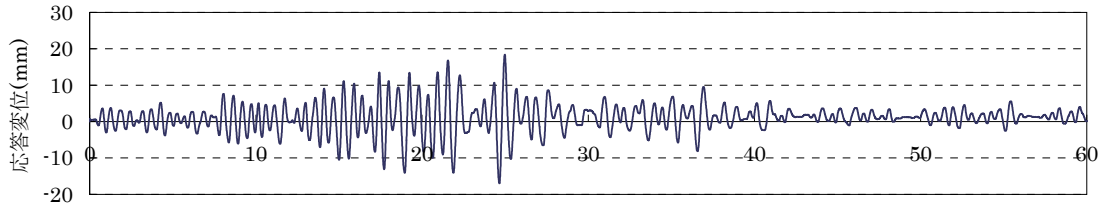
图 4.8 応答加速度

(3) 応答変位

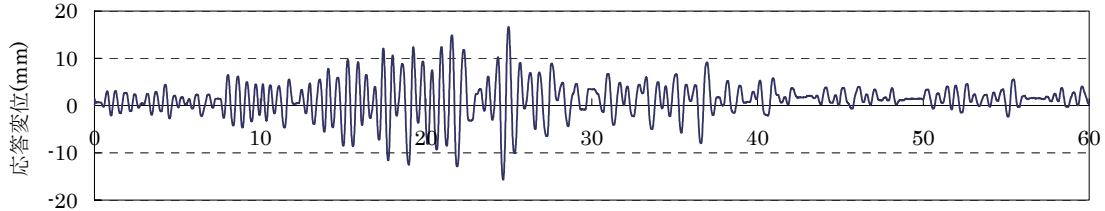
図 4.9 に 20%加振時、図 4.10 に 100%加振時の最大層間応答変位の時刻歴波形を示す。また表 4.8 に 20%加振時および 100%加振時の最大層間応答変位を示す。図 4.11~13 に、また各試験体の 20%加振時および 100%加振時の最大変形時の変形図を示す。表 4.8 および図 4.11~13 より、20%加振時はほぼ弾性範囲であり、変形モードも併進敵であること、100%加振時には弾塑性状態となり、変形も Y5 通り側が大きく変形し若干ねじれた振動モードとなっていることが確認できる。

表 4.8 最大応答変位 (mm)

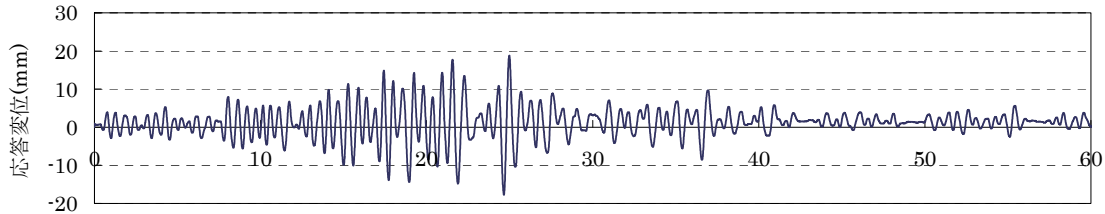
		Y1		Y5	
		正	負	正	負
20%	No.1	18.39	-17.01	16.64	-15.67
	No.2	18.81	-17.72	17.17	-15.72
	No.3	20.02	-19.32	19.25	-18.41
100%	No.1	191.40	-271.26	220.08	-344.78
	No.2	175.63	-271.73	218.18	-335.71
	No.3	185.46	-249.49	224.62	-340.84



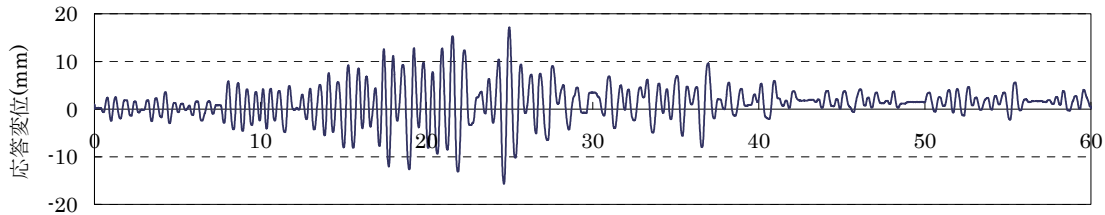
1) No.1 Y1通



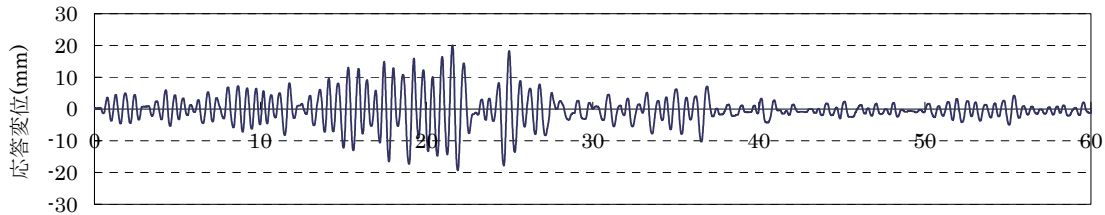
2) No.1 Y5通



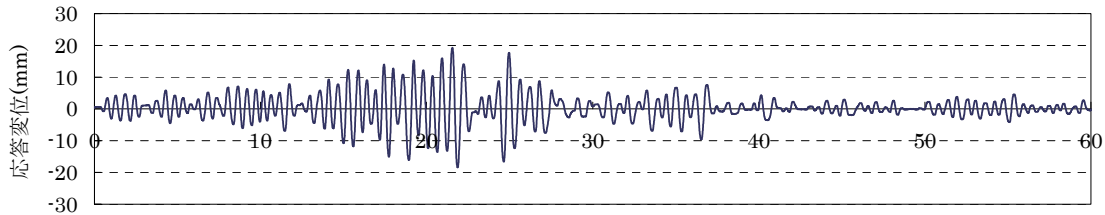
3) No.2 Y1通



4) No.2 Y5通

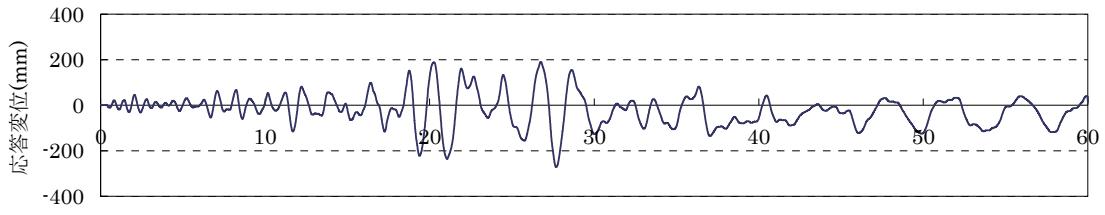


5) No.3 Y1通



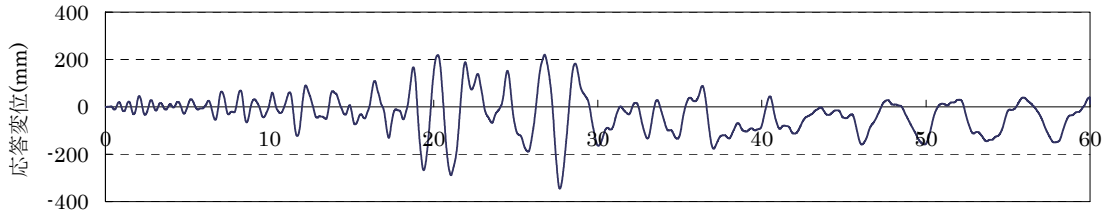
6) No.3 Y5通

図 4.9 20%加振時



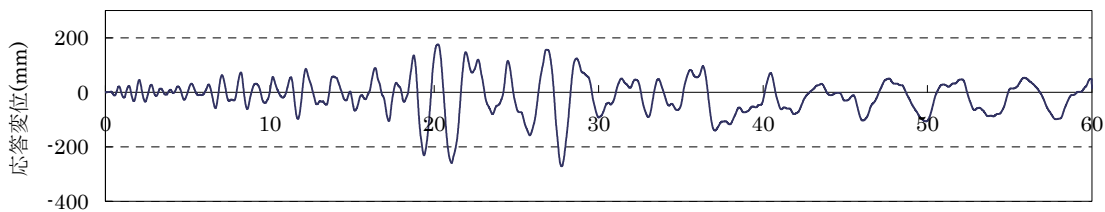
時間(sec.)

1) No.1 Y1通



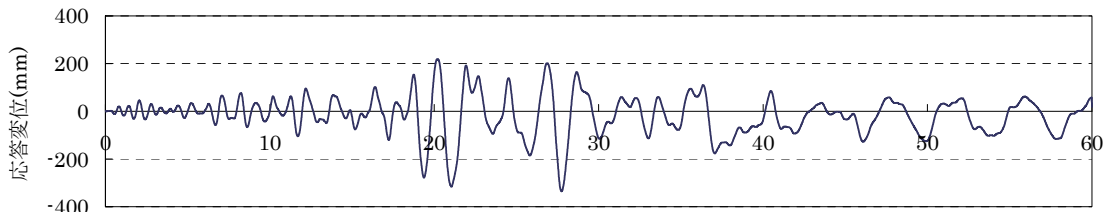
時間(sec.)

2) No.1 Y5通



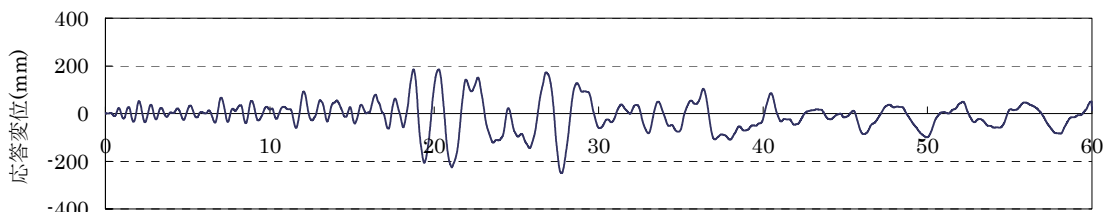
時間(sec.)

3) No.2 Y1通



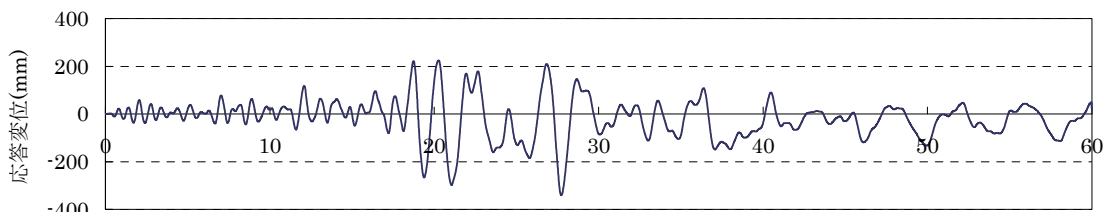
時間(sec.)

4) No.2 Y5通



時間(sec.)

5) No.3 Y1通



時間(sec.)

6) No.3 Y5通

図 4.10 100%加振時



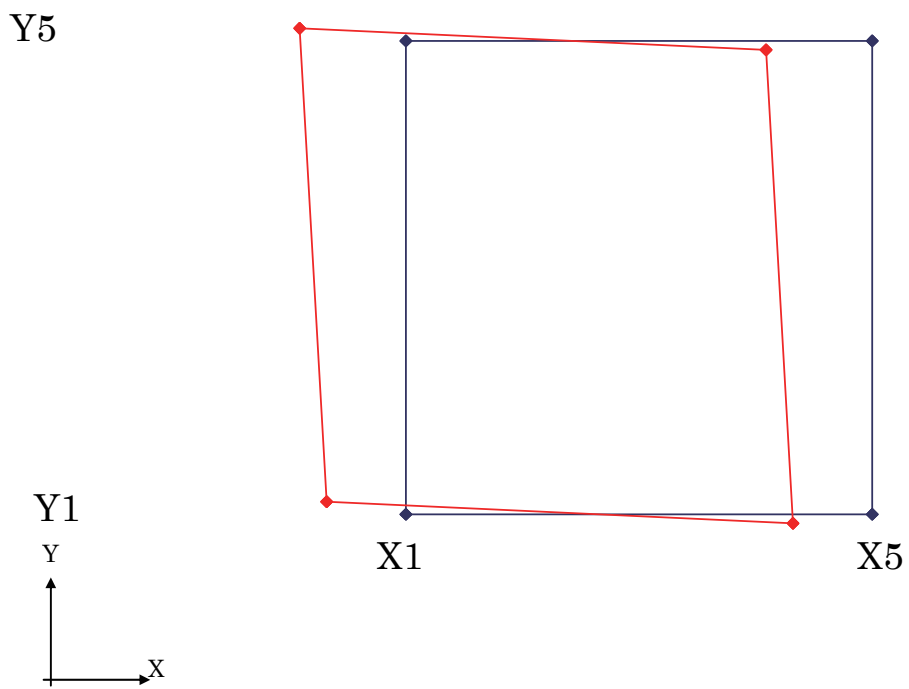
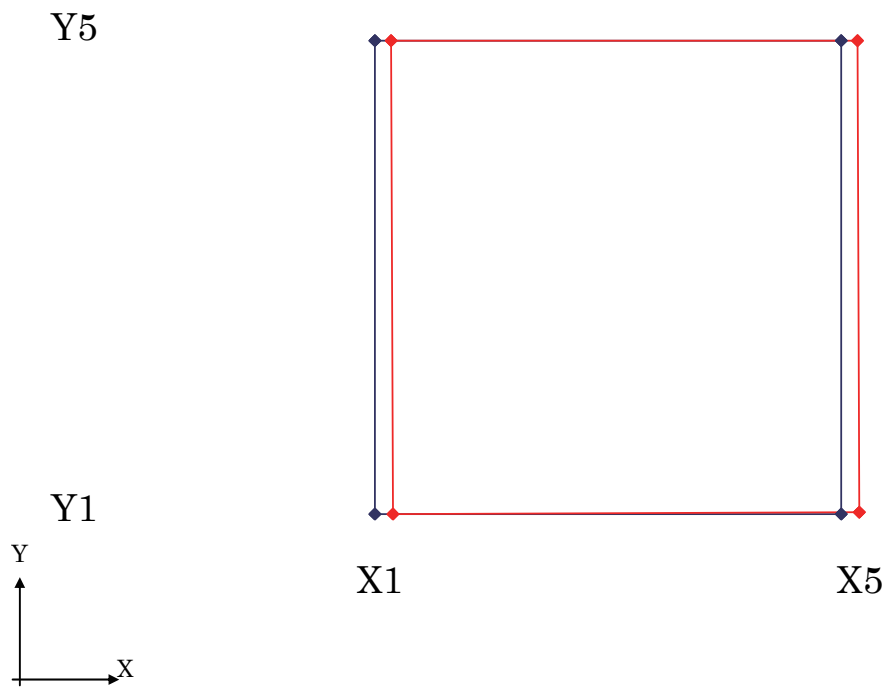


図 4.11 No.1 変形図 (上 : 20%[10 倍拡大]、下 : 100%[3 倍拡大])

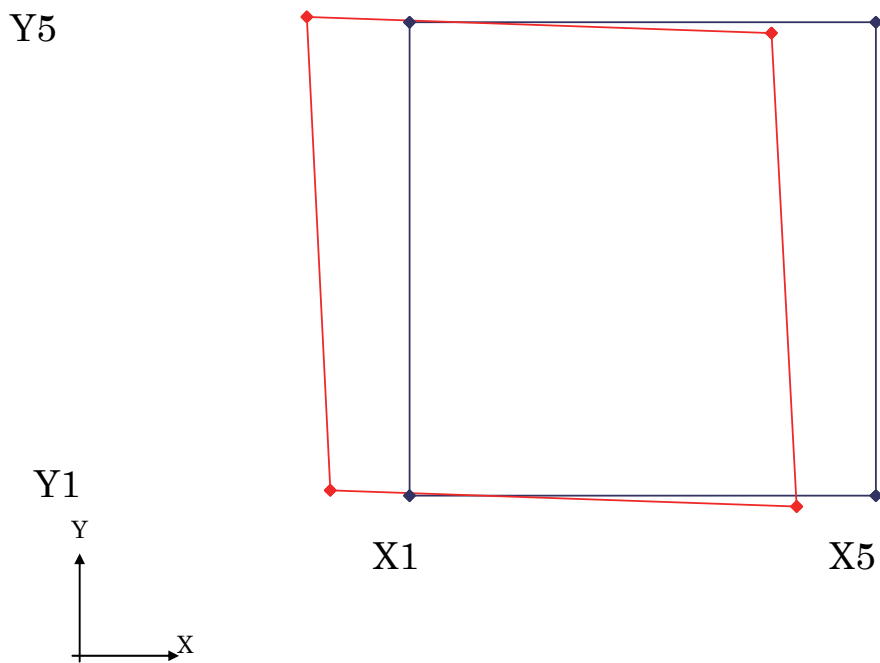
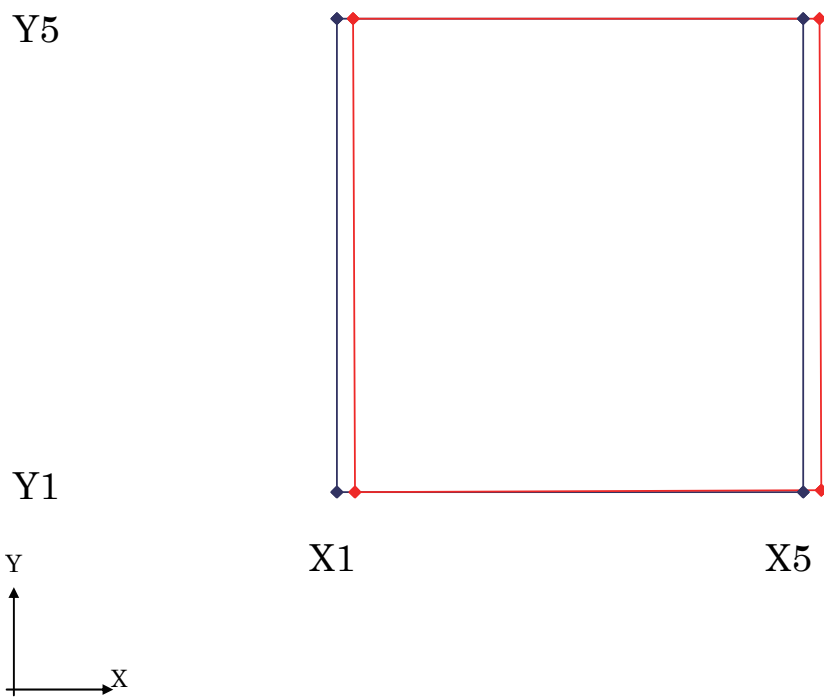


図 4.12 No.2 変形図 (上 : 20%[10 倍拡大]、下 : 100%[3 倍拡大])

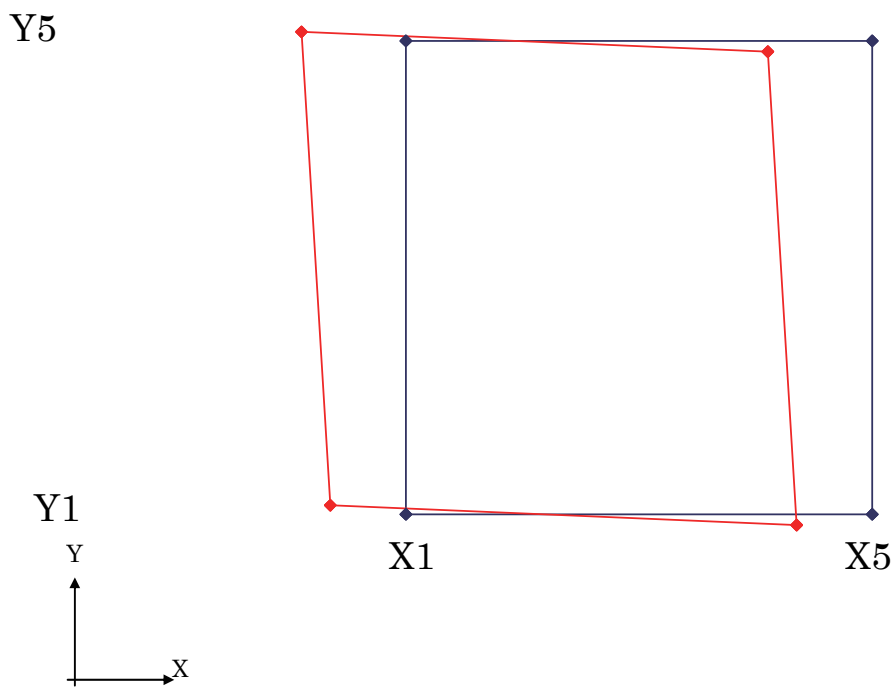
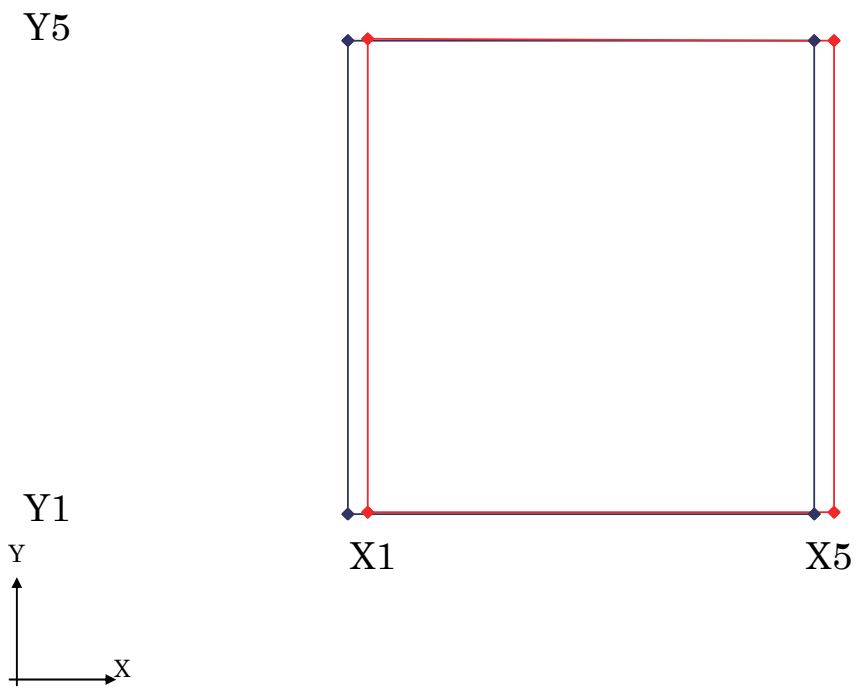


図 4.13 No.3 変形図 (上 : 20%[10 倍拡大]、下 : 100%[3 倍拡大])

#### (4) 荷重変形関係

図 4.14 に各試験体の 20%および 100%加振時の荷重変形関係を示す。変形は Y1 構面と Y5 構面の層間変形の平均から算出している。また荷重は Y3 通りの応答加速度(ch6)に 2 階床レベルでの地震用重量(=107.53kN)を乗じて算出している。

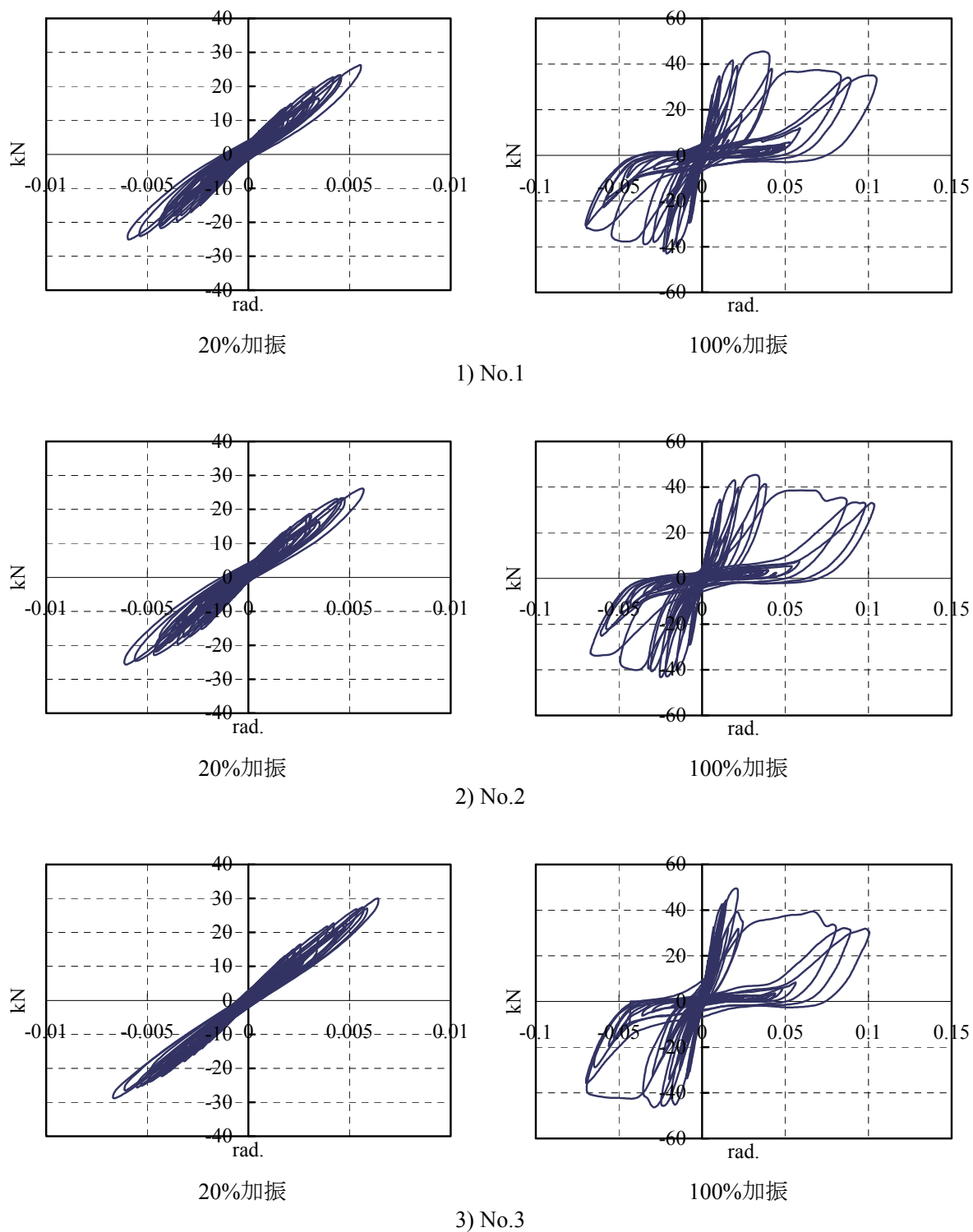


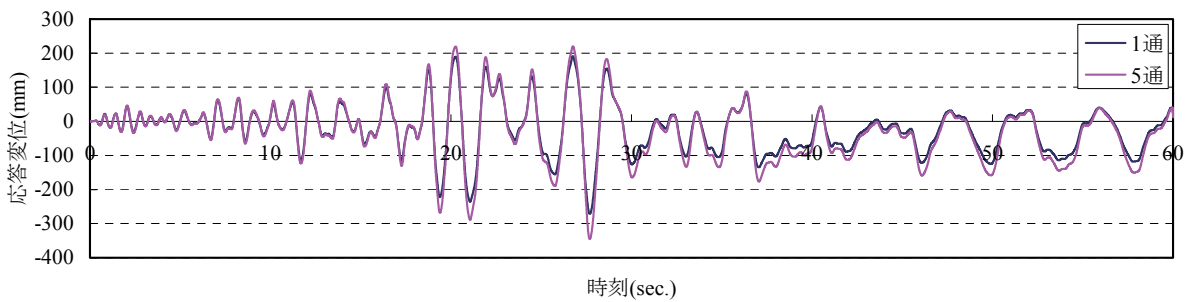
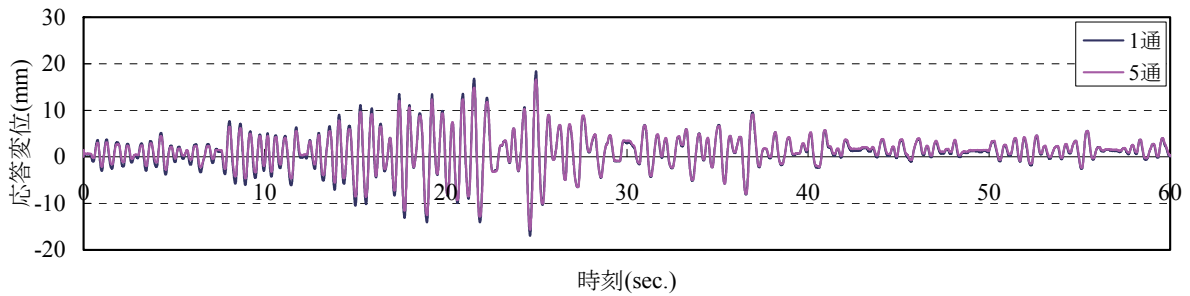
図 4.14 荷重変形関係

#### 4. 7 考察

(1) 20%加振時および100%加振時のラーメン架構および耐力壁架構の応答変位の比較

図 4.15 に 20%加振時および 100%加振時のラーメン架構 (Y1 通) および耐力壁架構 (Y5 通) の応答変位を比較した図を示す。

図より、いずれの試験体においても 20%加振ではラーメン架構側が若干変形が大きいこと、100%加振では耐力壁架構の応答変位が大きくなっていることが確認できる。



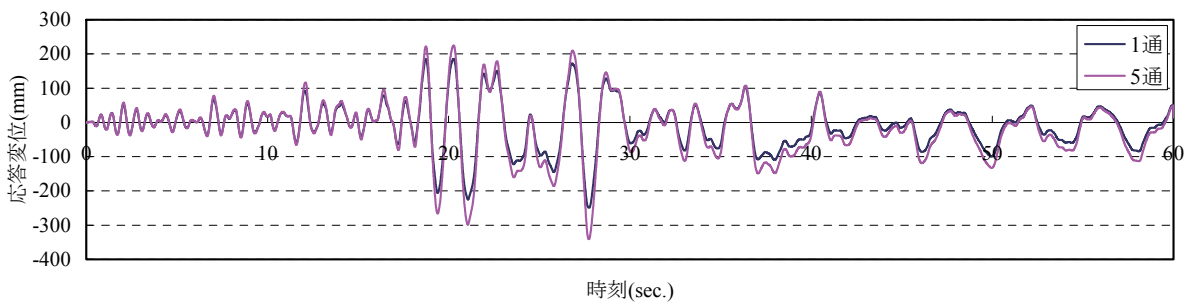
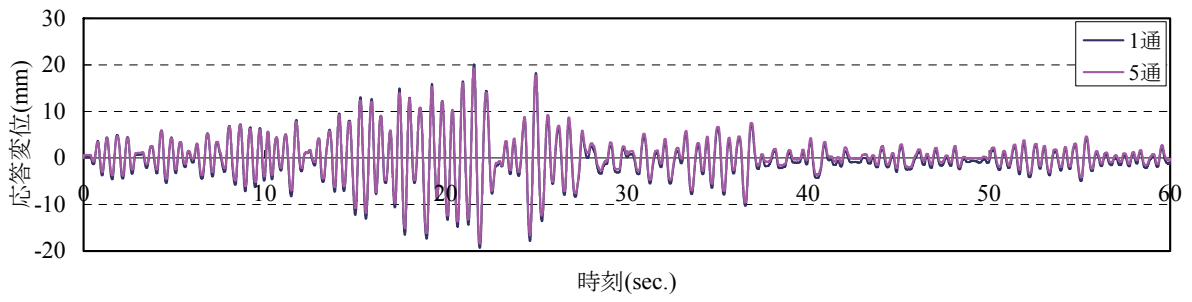
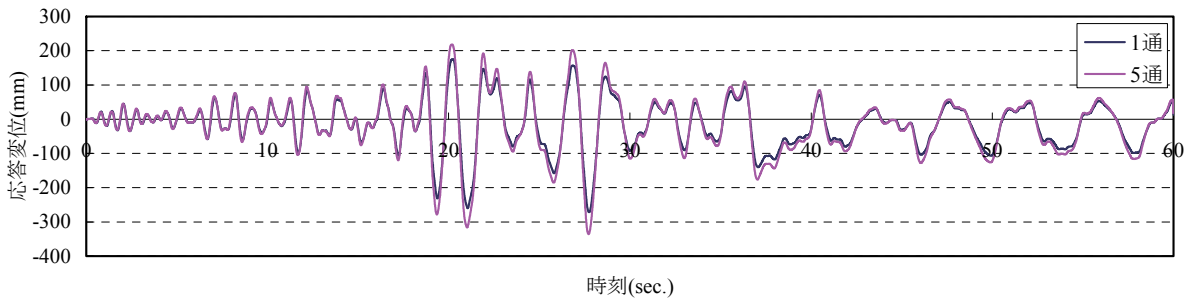
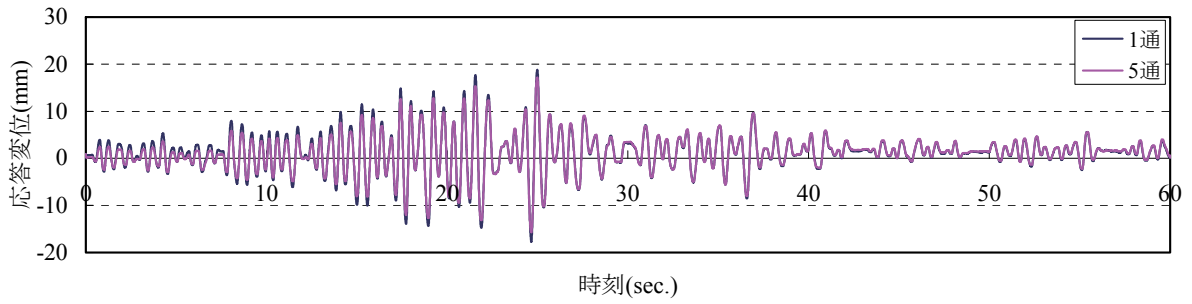


図 4.15 ラーメン架構 (Y1 通) および耐力壁架構 (Y5 通) の応答変位の比較

(2) 構面の荷重変形関係の加算と振動実験結果の比較

図 4.16 にラーメン架構および耐力壁架構の静的試験結果の骨格曲線の加算と振動実験の荷重変形関係を比較した結果を示す。全体的に静的試験の加算で実験結果を良く予測できている。しかし、大変形になるとねじれ振動のために静的試験の加算値よりも実験結果が小さくなっている。

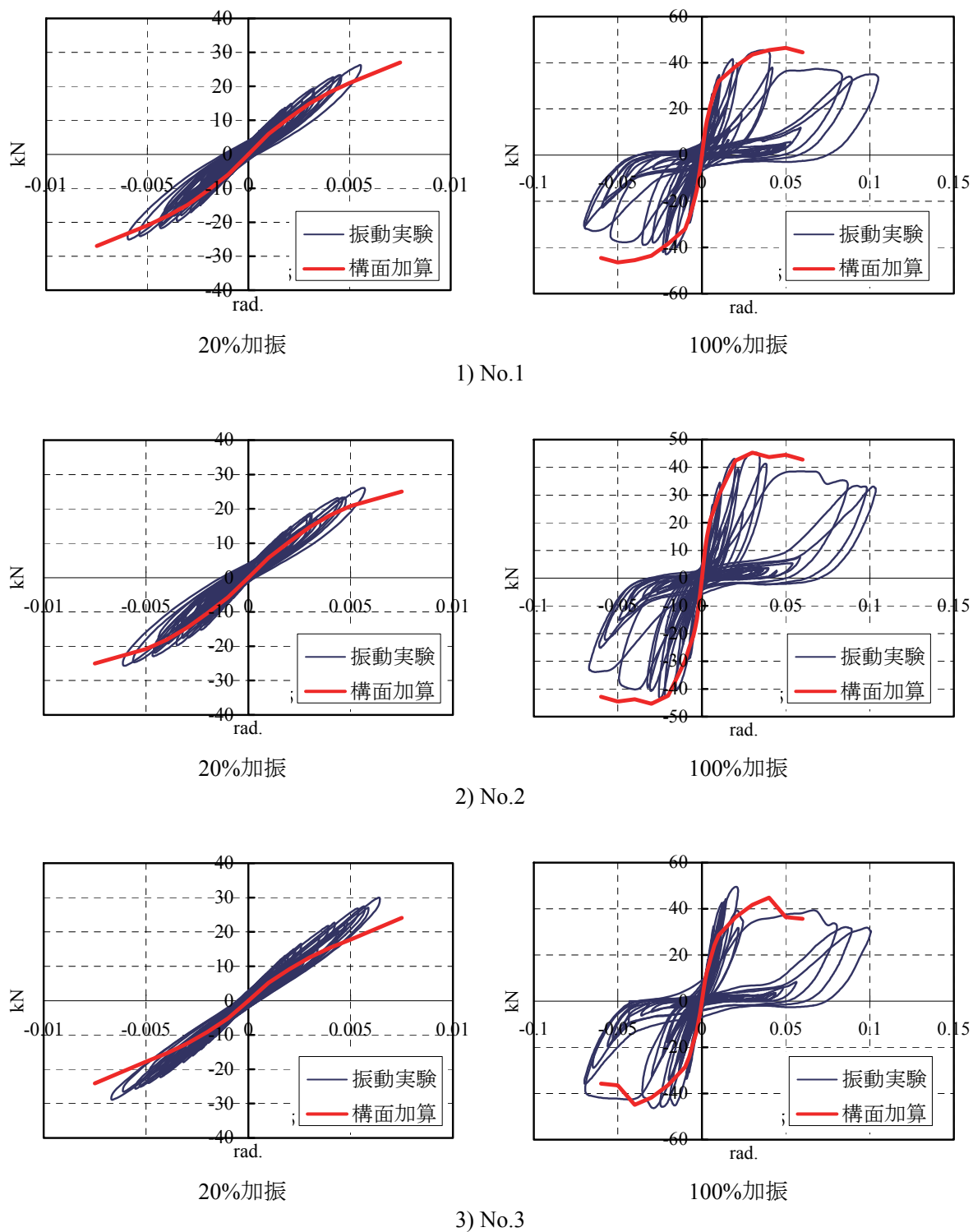


図 4.16 ラーメン架構および耐力壁架構の骨格曲線の加算と振動実験の荷重変形関係の比較

## 5. まとめ

変形性能の異なる耐力要素を併用した構造物の変形挙動の確認、設計法を誘導することを目標とし、集成材フレーム（変形性能2種類）と壁式構造（筋かい・合板）を異なる耐力壁線路上に併用した架構の動的実験を実施した。

実験の結果、弾性範囲ではほぼ併進的な振動モードであるのに対し、弾塑性状態では耐力差に起因する捩れ振動モードとなっていることが確認できた。また捩れ振動は耐力壁構面が捩れる振動モードであった。

今回の試験体では、ラーメン架構および耐力壁架構の弾性剛性がほぼ同程度であり、耐力差も大きくなかったため、弾性時および弾塑性時に大きな捩れ振動は生じなかった。今後は、弾性剛性が異なる架構または耐力差の大きい架構について、実験的に検討する必要がある。