第７章　実験結果

第７章 実験結果

７．１ 入力波精度検証

建築基準法施工令第 82 条の 5 第五号、および平 12 建告第 1457 号第 10 第 1 項に基づく第二種地盤の加速度応答スペクトルに適合するように作成した模擬地震動を人工地震動 ART とする。

実験の初めに、ART を 10%に縮小した加振を行い、振動台加速度の加速度応答スペクトルが、入力した ART（目標波）に最も良く適合する方法を判断し、以降の加振は当該方法によって行う。振動台への入力方法としては次の 2 種類を設定した。

・加速度制御：振動台システムへの入力は加速度データとし、同システム内で制御用変位データを生成する方法。制御システムに設定する HPF 振動数は 0.1、0.2、0.5(Hz)の 3 種類とする。（ART_ACC）

・変位制御；振動台制御システムへ変位データを直接入力する方法。（ART_DIS）

目標波と振動台の入力波の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを**図 7.1-1** から**図 7.1-6** にそれぞれ示す。なお、振動台の時刻歴波形は、目標波の加速度最大値の時刻と合うように前のデータを除去している。

同様に、JMA 神戸 1 回目、2 回目及び正弦波は**図 7.1-7** から**図 7.1-9** に示す。

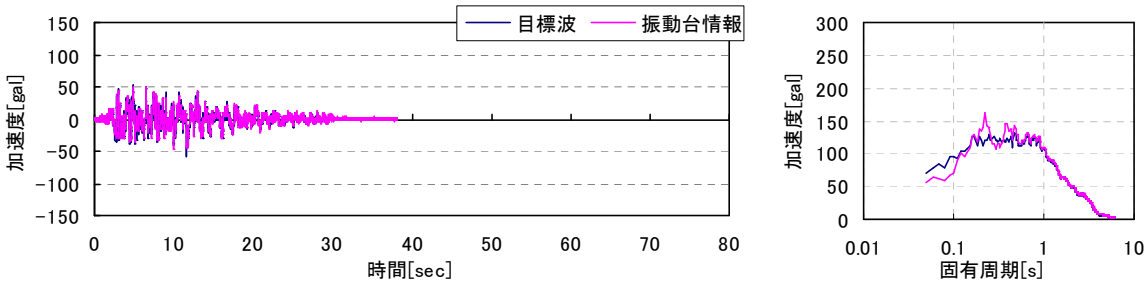


図 7.1-1　2 月 3 日　ART_DIS10%

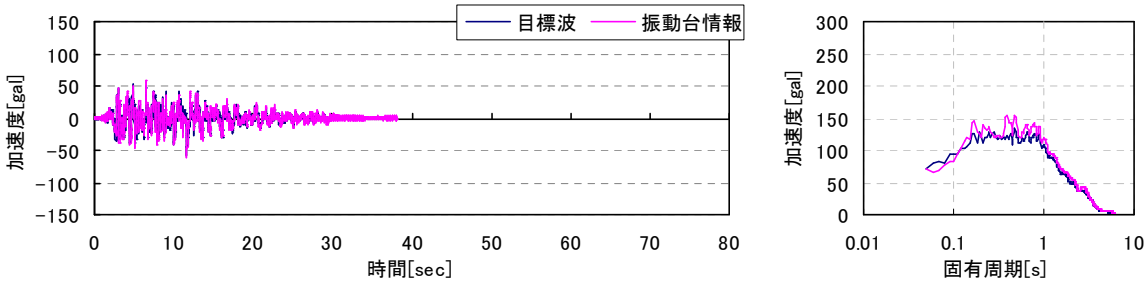


図 7.1-2　2 月 3 日　ART_ACC10%_0.2Hz

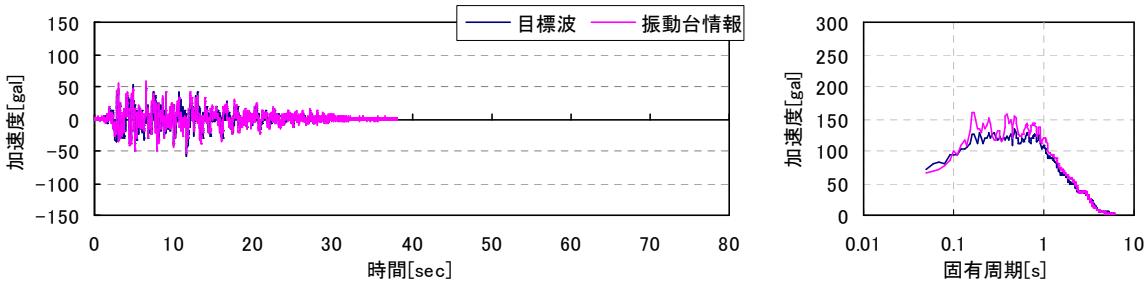


図 7.1-3　2 月 3 日　ART_ACC10%_0.3Hz

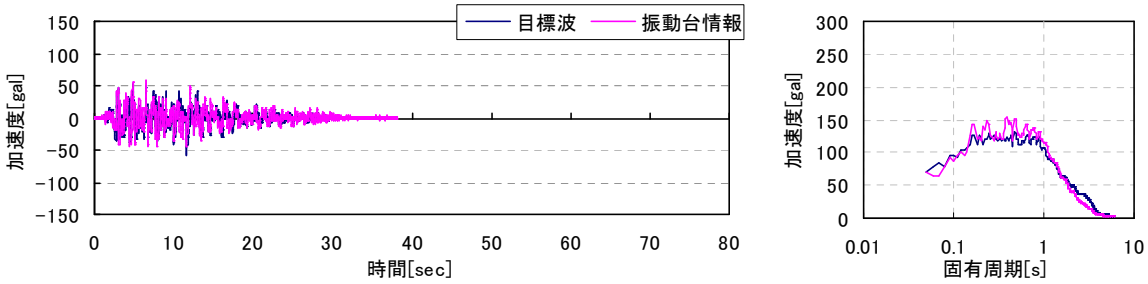


図 7.1-4　2 月 3 日　ART_ACC10%_0.5H

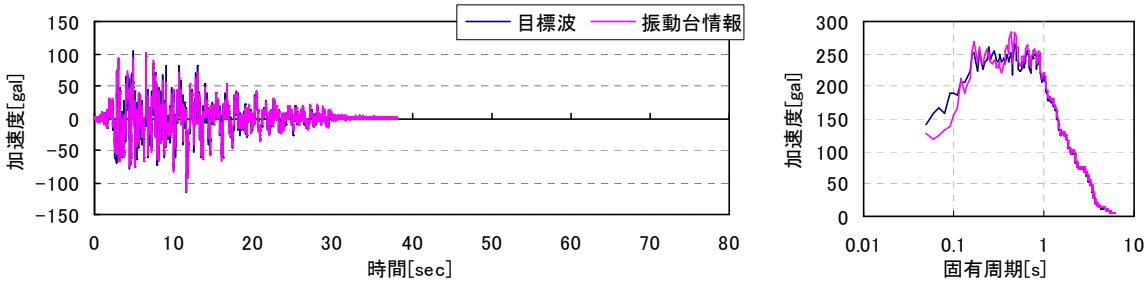


図 7.1-5　2 月 3 日　ART_DIS20%

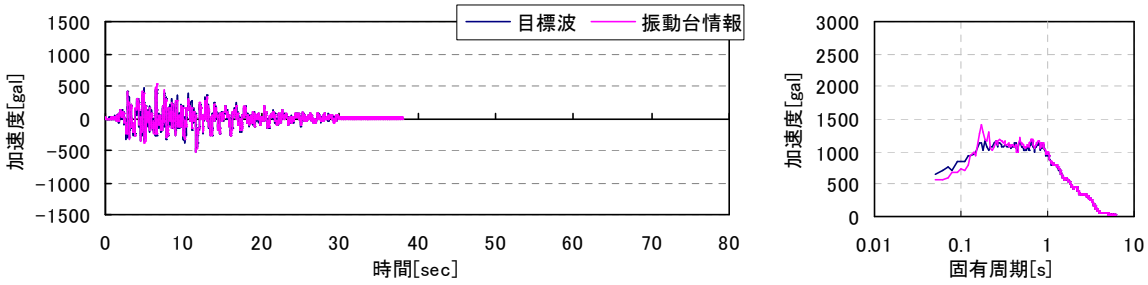


図 7.1-6　2 月 6 日　ART_DIS90%

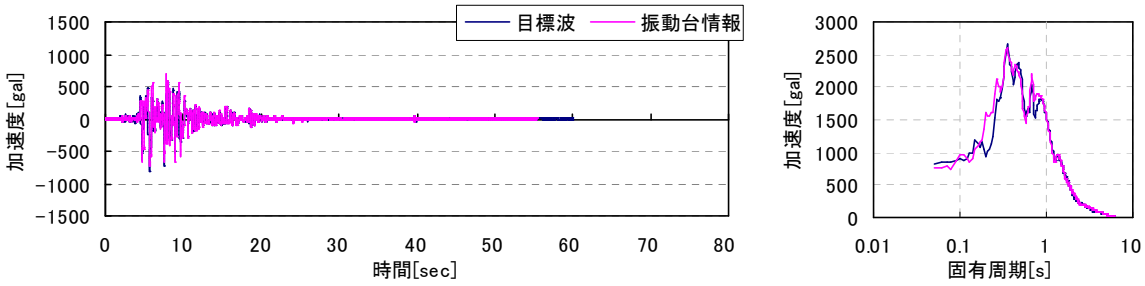


図 7.1-7　2 月 7 日　JMA 神戸 100%_0.5Hz

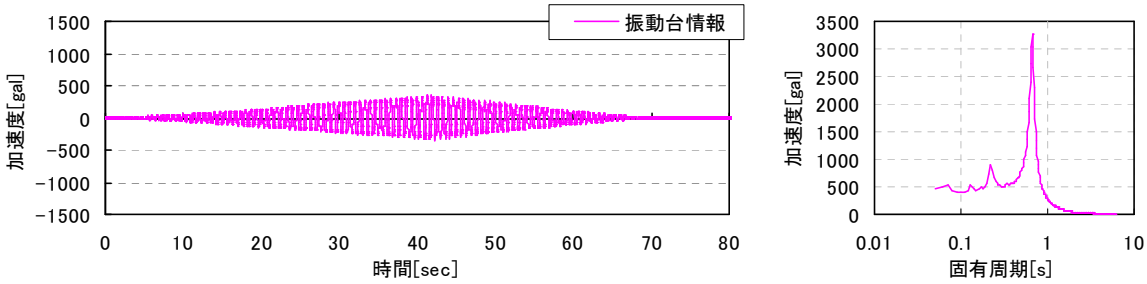


図 7.1-8　2 月 7 日　正弦波 400gal 1.5Hz

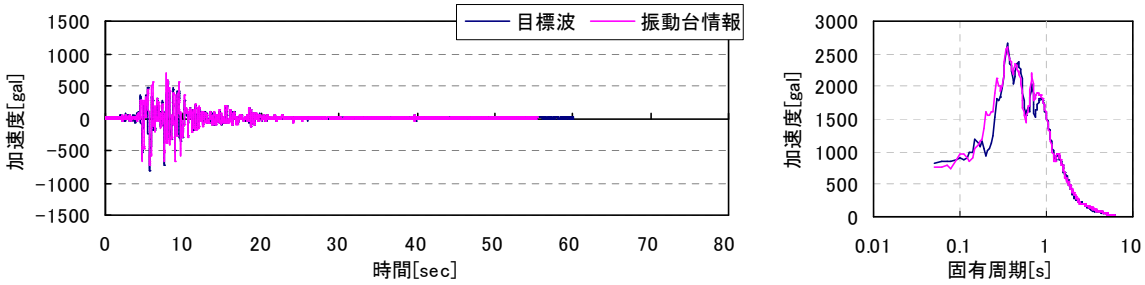


図 7.1-9　2 月 7 日　JMA 神戸 100%_0.1Hz

７．２ 固有振動数と減衰定数

試験体の 1 次の固有振動数と減衰定数は、ホワイトノイズとステップ波加振で試験体中央部に設置したサーボ型加速度計により計測された応答加速度波形より算出した。固有振動数と減衰定数の推移を**表 7.2-1**、**表 7.2-2**、**図 7.2-1～7.2-3** にそれぞれ示す。

試験前の振動数は、長辺方向で 2.95Hz、短辺方向で 1.55Hz であった。ART_DIS20%及び 90%入力後も振動数の低下は小さく、剛性の劣化が少ない。JMA 神戸 100%①加振後、長辺方向の振動数が約 1Hz 低下したが、ボルトを増し締めすることで振動数が 0.7Hz 程度上昇した。短辺方向の固有振動数に関しては目立った低下が見られなかった。

減衰定数は試験前が 5.2%であったが、最終的に 10.4%と高い値を示した。要因としては 2 次モードの影響であると考えられる。

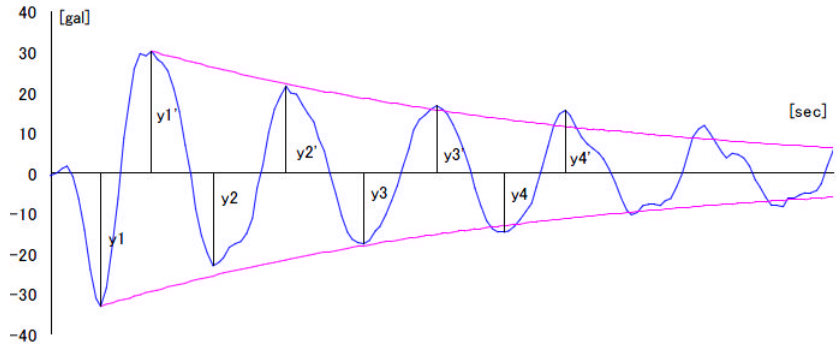
なお、固有振動数及び減衰定数の算出方法は次項に示す通りである。

固有振動数

ホワイトノイズ及びステップ波入力時の振動台上のサーボ型加速度計におけるX方向(Y方向)の加速度時刻歴と、R階床サーボ型加速度計におけるX方向(Y方向)の加速度時刻歴をフーリエ変換し、それらの振幅比から卓越振動数を算出した。なお、ここでは 1 次の固有振動数を算出した。

減衰定数

ステップ波加振で計測された R 階における、試験体中央のサーボ型加速度計 X 方向の応答加速度を用いて隣り合う振幅の比から算出。



振幅 d と減衰定数は以下のように算出する。

$$d = \frac{y1}{y2} = \frac{y2}{y3} = \frac{y3}{y4} = \cdots$$ 片振幅

$$= \frac{y1 + y1'}{y2 + y2'} = \frac{y2 + y2'}{y3 + y3'} = \frac{y3 + y3'}{y4 + y4'} = \cdots$$ 両振幅

$$= e^{2\pi h / \sqrt{1-h^2}}$$

今回は両振幅 d を用いている。よって減衰定数 h は $h = \left(\frac{\ln d}{2\pi}\right) \Big/ \sqrt{1 + \left(\frac{\ln d}{2\pi}\right)^2}$

表 7.2-1　ホワイトノイズ加振から得られた振動特性

加振日	加振内容	X方向固有振動数 [Hz]	Y方向固有振動数 [Hz]
2月3日	ホワイトノイズ①	2.95	1.55
	ART_DIS10%	—	—
	ART_ACC10%	—	—
	ART_ACC10%	—	—
	ART_ACC10%	—	—
	ART_DIS20%	—	—
2月6日	ボルト増し締め	—	—
	ホワイトノイズ②	2.89	1.54
	ART_DIS90%	—	—
	ホワイトノイズ③	2.73	1.53
2月7日	ボルト増し締め	—	—
	ホワイトノイズ④	2.76	1.54
	JMA神戸NS①	—	—
	ホワイトノイズ⑤	1.72	1.32
	ボルト増し締め	—	—
	ホワイトノイズ⑥	2.44	1.49
	正弦波	—	—
	ホワイトノイズ⑦	2.04	1.40
	ボルト増し締め	—	—
	ホワイトノイズ⑧	2.28	1.49
	JMA神戸NS②	—	—
	ホワイトノイズ⑨	2.26	1.48

表 7.2-2　ステップ波加振から得られた振動特性

加振日	加振内容	X方向固有振動数 [Hz]	Y方向固有振動数 [Hz]	減衰定数 [%]
2月3日	ステップ波①	3.05	1.54	5.20
	ART_DIS10%	—	—	—
	ART_ACC10%	—	—	—
	ART_ACC10%	—	—	—
	ART_ACC10%	—	—	—
	ART_DIS20%	—	—	—
2月6日	ボルト増し締め	—	—	—
	ステップ波②	3.02	1.55	5.50
	ART_DIS90%	—	—	—
	ステップ波③	2.83	1.54	7.10
2月7日	ボルト増し締め	—	—	—
	ステップ波④	2.92	1.54	6.30
	JMA神戸NS①	—	—	—
	ボルト増し締め	—	—	—
	正弦波	—	—	—
	ボルト増し締め	—	—	—
	JMA神戸NS②	—	—	—
	ステップ波⑤	2.48	1.51	10.40

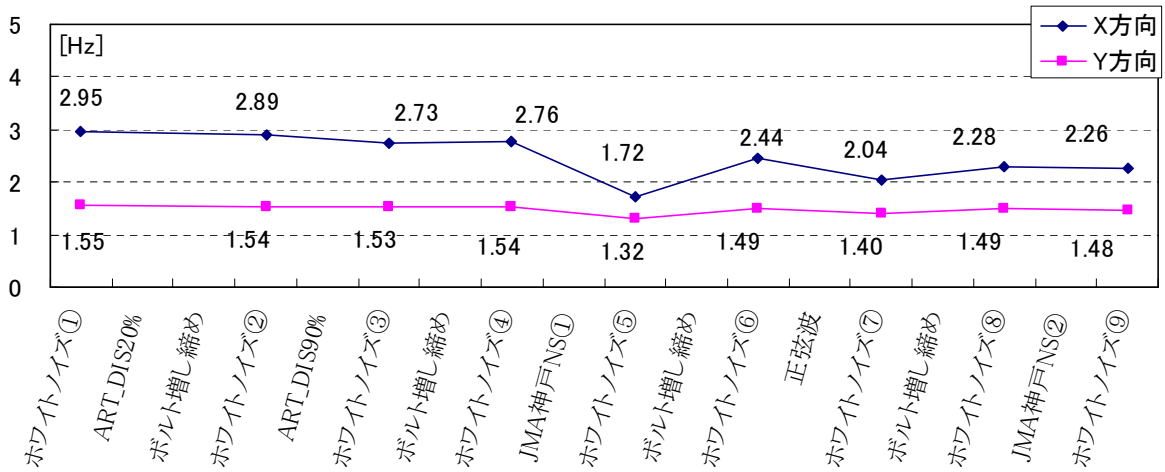


図 7.2-1　ホワイトノイズから算出した固有振動数の推移

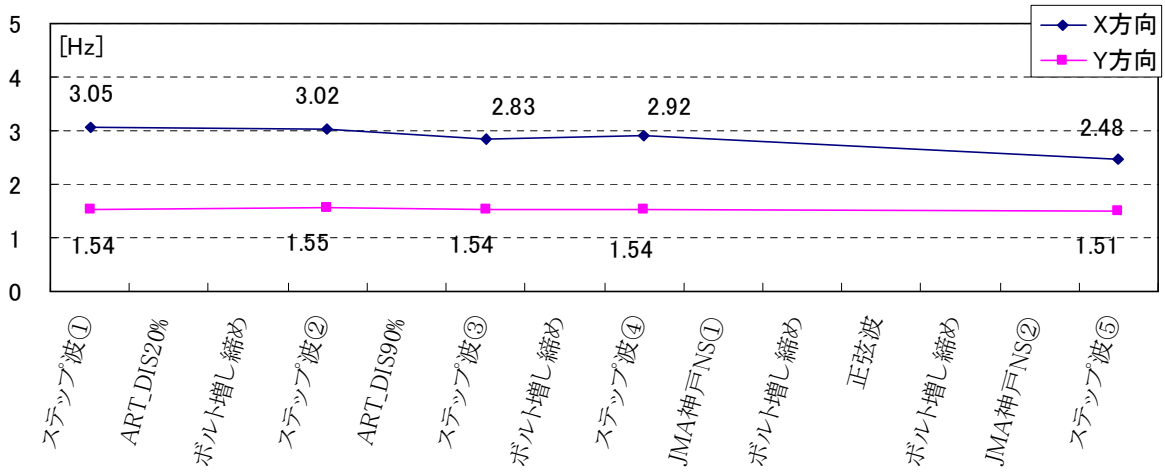


図 7.2-2　ステップ波から算出した固有振動数の推移

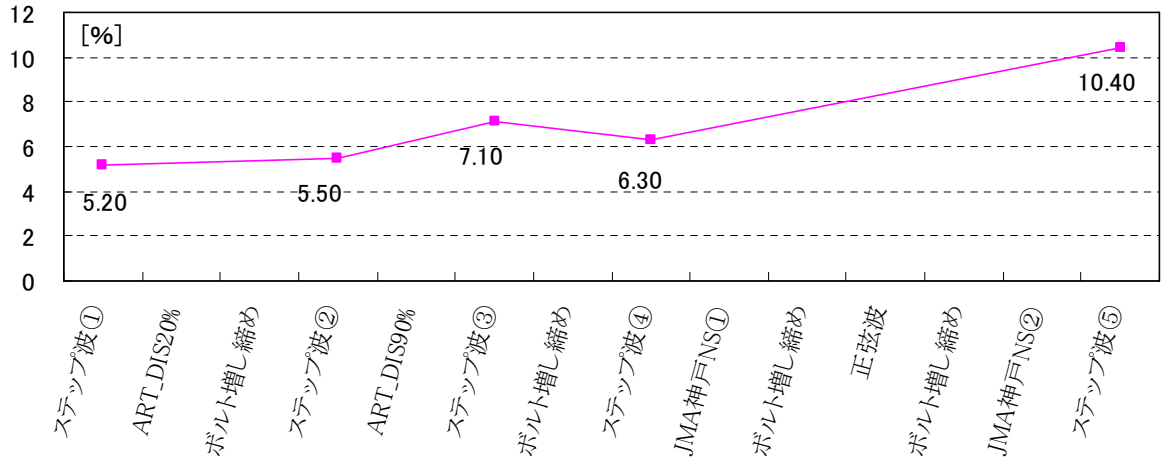


図 7.2-3　ステップ波から算出した減衰定数の推移

７．３　最大応答値

７．３．１ 最大加速度応答

地震波ごとの各階の加速度の一覧を**表 7.3.1-1** から**表 7.3.1-5** に、各階の加速度の立面分布を**図 7.3.1-1** から**図 7.3.1-5** にそれぞれ示す。

なお、X 方向の 1 軸加速度計については、中央に配置した 3 個の値を、Y 方向の 1 軸加速度計は東西方向に配置した 2 個の値をそれぞれ平均した。

X 方向について、ART_DIS90%を除き、応答倍率は高さ方向に対して概ね直線的に大きくなっていることがわかる。また、1 軸加速度計とサーボ型加速度計の値で多少誤差が見られた。

表 7.3.1-1　ART_DIS20%　応答加速度一覧

地震波	計測方向		振動台	2階床中央		3階床中央		小屋床中央	
			加速度[gal]	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率
ART_DIS 20%	X方向 サーボ型	正	108.6	145.4	1.34	211.7	1.95	283.0	2.61
		負	-118.7	-135.7	1.14	-215.6	1.82	-281.7	2.37
	X方向 1軸	正	100.4	97.3	0.97	192.3	1.92	254.8	2.54
		負	-113.6	-87.2	0.77	-202.9	1.79	-267.5	2.35
	Y方向 サーボ型	正	8.7	17.2	1.97	16.2	1.86	20.9	2.40
		負	-7.8	-11.5	1.47	-14.7	1.88	-11.8	1.51
	Y方向 1軸	正	—	8.8	—	72.4	—	8.1	—
		負	—	-9.9	—	-70.6	—	-12.4	—
	Z方向 サーボ型	正	3.4	13.6	3.96	14.0	4.07	17.5	5.08
		負	-3.6	-14.6	4.10	-15.8	4.42	-19.9	5.58

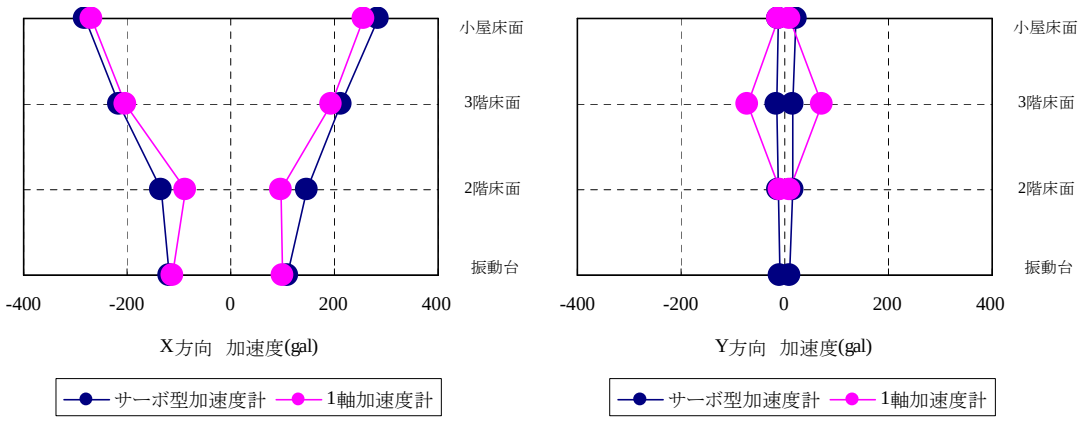


図 7.3.1-1　ART_DIS20%　応答加速度立面分布

表 7.3.1-2　ART_DIS90%　応答加速度一覧

地震波	計測方向		振動台	2階床中央		3階床中央		小屋床中央	
			加速度[gal]	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率
ART_DIS 90%	X方向 サーボ型	正	571.9	1484.5	2.60	1764.4	3.09	1056.1	1.85
		負	-551.5	-1466.7	2.66	-1406.1	2.55	-1160.0	2.10
	X方向 1軸	正	541.9	1023.4	1.89	1610.1	2.97	992.2	1.83
		負	-518.4	-883.5	1.70	-1331.5	2.57	-1093.1	2.11
	Y方向 サーボ型	正	45.7	166.3	3.64	120.2	2.63	121.3	2.65
		負	-44.3	-120.0	2.71	-123.8	2.80	-169.4	3.83
	Y方向 1軸	正	—	50.5	—	677.7	—	78.8	—
		負	—	-80.1	—	-876.8	—	-69.3	—
	Z方向 サーボ型	正	20.7	365.3	17.67	281.4	13.61	205.1	9.92
		負	-15.3	-397.4	25.94	-292.3	19.08	-227.7	14.86

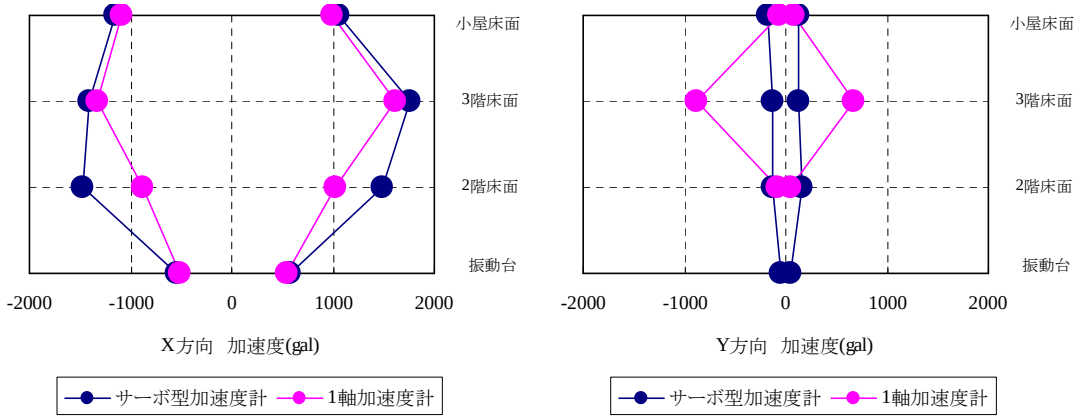


図 7.3.1-2　ART_DIS90%　応答加速度立面分布

表 7.3.1-3　JMA 神戸 100%_0.5Hz　応答加速度一覧

地震波	計測方向		振動台	2階床中央		3階床中央		小屋床中央	
			加速度[gal]	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率
JMA神戸 100% 0.5Hz	X方向 サーボ型	正	1099.0	1829.8	1.66	1740.7	1.58	2198.0	2.00
		負	-775.0	-1737.1	2.24	-1812.1	2.34	-1879.9	2.43
	X方向 1軸	正	1021.7	1135.9	1.11	1608.6	1.57	2003.7	1.96
		負	-731.6	-1161.3	1.59	-1675.6	2.29	-1780.9	2.43
	Y方向 サーボ型	正	151.2	190.2	1.26	169.4	1.12	228.9	1.51
		負	-140.9	-180.5	1.28	-125.0	0.89	-176.5	1.25
	Y方向 1軸	正	—	103.4	—	990.2	—	86.4	—
		負	—	-142.5	—	-893.6	—	-117.0	—
	Z方向 サーボ型	正	651.8	981.0	1.51	1068.0	1.64	1081.8	1.66
		負	-292.0	-1175.4	4.03	-769.1	2.63	-1024.9	3.51

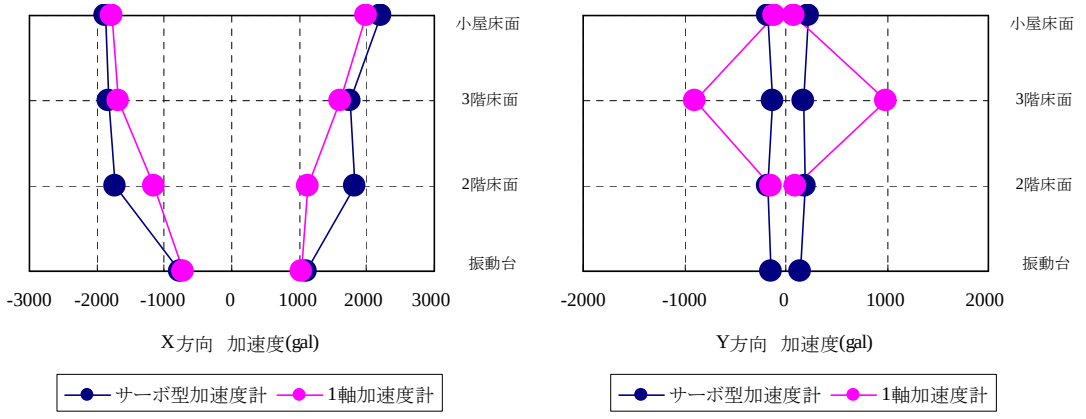


図 7.3.1-3　JMA 神戸 100%_0.5Hz　応答加速度立面分布

表 7.3.1-4　正弦波 400gal 1.5Hz　応答加速度一覧

地震波	計測方向		振動台	2階床中央		3階床中央		小屋床中央	
			加速度[gal]	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率
正弦波 400gal 1.5Hz	X方向 サーボ型	正	364.1	1747.1	4.80	2024.2	5.56	2159.8	5.93
		負	-374.4	-1466.5	3.92	-1607.8	4.29	-2000.6	5.34
	X方向 1軸	正	361.0	1094.2	3.03	1837.7	5.09	1907.8	5.28
		負	-343.8	-969.8	2.82	-1466.5	4.27	-1848.0	5.38
	Y方向 サーボ型	正	50.4	227.3	4.51	145.9	2.89	230.5	4.57
		負	-45.1	-187.3	4.15	-164.4	3.65	-209.3	4.64
	Y方向 1軸	正	—	100.6	—	769.7	—	103.3	—
		負	—	-90.2	—	-908.2	—	-93.3	—
	Z方向 サーボ型	正	333.2	807.9	2.42	543.2	1.63	453.2	1.36
		負	-111.3	-632.6	5.69	-463.8	4.17	-317.8	2.86

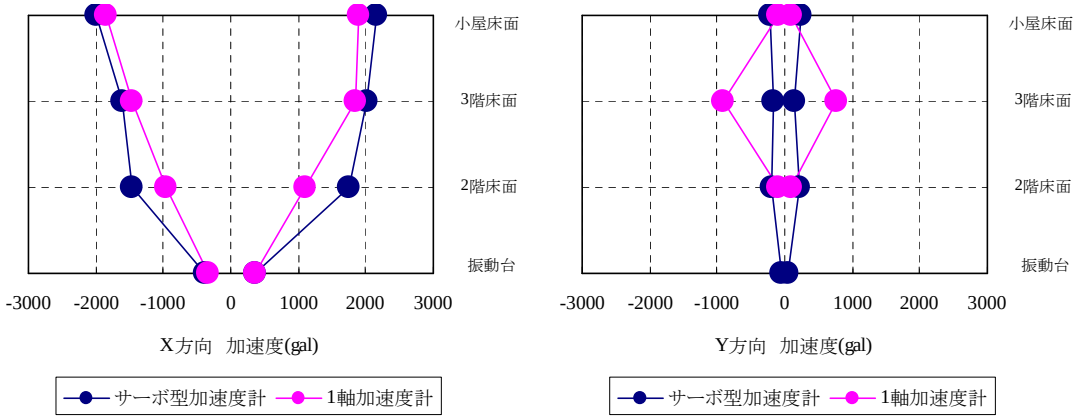


図 7.3.1-4　正弦波 400gal 1.5Hz　応答加速度立面分布

表 7.3.1-5　JMA 神戸 100%_0.1Hz　応答加速度一覧

地震波	計測方向		振動台	2階床中央		3階床中央		小屋床中央	
			加速度[gal]	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率	加速度[gal]	倍率
JMA神戸 100% 0.1Hz	X方向 サーボ型	正	787.0	1721.3	2.19	1716.6	2.18	2206.2	2.80
		負	-787.3	-1188.3	1.51	-1508.7	1.92	-2153.7	2.74
	X方向 1軸	正	707.4	1118.1	1.58	1435.6	2.03	1910.0	2.70
		負	-731.1	-840.0	1.15	-1321.2	1.81	-1904.1	2.60
	Y方向 サーボ型	正	88.7	228.9	2.58	115.5	1.30	172.3	1.94
		負	-75.5	-169.3	2.24	-194.5	2.58	-230.7	3.06
	Y方向 1軸	正	—	117.8	—	710.1	—	111.7	—
		負	—	-221.5	—	-959.8	—	-69.7	—
	Z方向 サーボ型	正	830.8	1159.8	1.40	1118.0	1.35	1103.2	1.33
		負	-191.8	-606.0	3.16	-778.7	4.06	-981.1	5.12

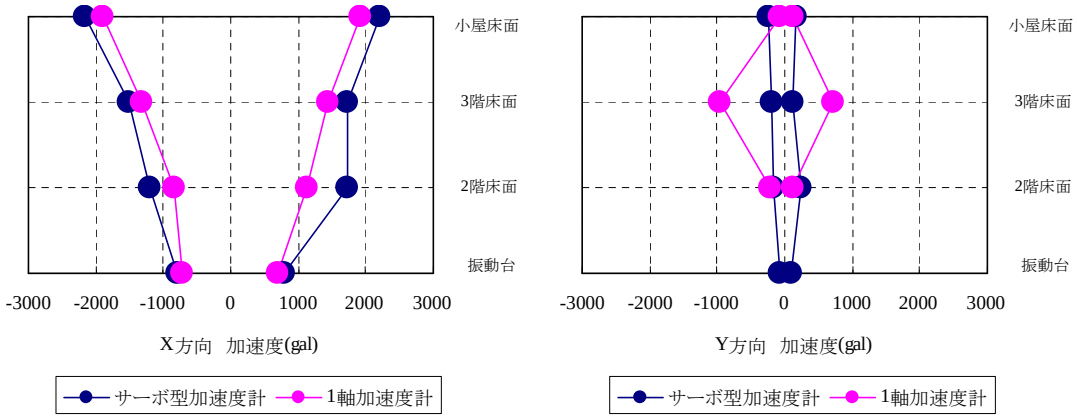


図 7.3.1-5　JMA 神戸 100%_0.1Hz　応答加速度立面分布

７．３．２ 最大層間変位

地震波ごとの各階の層間変位の一覧を**表 7.3.2-1** から**図 7.3.2-5** に、各階の層間変位の立面分布を**図 7.3.2-1** から**図 7.3.2-5** にそれぞれ示す。
なお、応答変位は全地震波で 2 層が最大を示すことから、2 層最大時の各層の変位もあわせて記載した。

全地震波において 2 層の層間変位が最も大きいことが分かる。これは鉄骨架台と 1 階壁パネル間のめり込みに比べて、2 階床パネルと 2 階壁パネル間のめりこみが大きいことが 1 つの要因として考えられる。

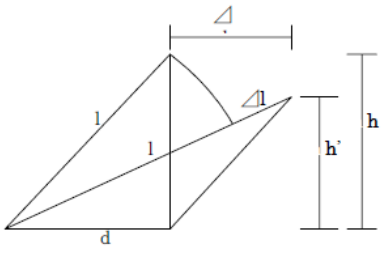
図 7.3.2-3 のように不動点タワーに設置した巻取り式変位計の値で異常値がみられたものを除けば、斜めのワイヤー式変位計と不動点タワーに設置した巻取り式変位計の値は概ね一致していることがわかる。

以下に層間変位の算出方法を示す。

・斜めのワイヤー式変位計の値を水平変位に置き換える方法

$$\triangle d = \frac{(l+\triangle l)^2 - d^2 - h^2}{2d}$$

h=3000mm、d=3000mm、l=3000$\sqrt{2}$ mm
△l=計測データ



北壁と南壁については 2 つの変位計の平均値を用いている。

・不動点タワーに設置した巻取り式変位計
各床に設置した 2 つの変位計の値を平均した。

表 7.3.2-1　ART_DIS20%　層間変位一覧

地震波	計測方向		1層(mm/rad)		2層(mm/rad)		3層(mm/rad)	
ART_DIS 20%	X方向 南壁斜め	正	1.86	0.0006	3.21	0.0010	2.78	0.0009
			1.77	0.0006	6.75 秒		2.78	0.0009
		負	-2.59	-0.0008	-3.73	-0.0012	-3.22	-0.0010
			-2.55	-0.0008	5.45 秒		-3.19	-0.0010
	X方向 北壁斜め	正	1.97	0.0006	3.16	0.0010	2.63	0.0009
			1.96	0.0006	6.77 秒		2.63	0.0009
		負	-2.35	-0.0008	-3.09	-0.0010	-2.40	-0.0008
			-2.34	-0.0008	5.46 秒		-2.40	-0.0008
	X方向 北壁巻取り	正	2.38	0.0008	3.45	0.0011	2.92	0.0009
			2.37	0.0008	6.75 秒		2.85	0.0009
		負	-2.19	-0.0007	-3.14	-0.0010	-2.89	-0.0009
			-2.09	-0.0007	7.00 秒		-2.71	-0.0009
	Y方向 東壁斜め	正	0.03	0.0000	0.17	0.0001	0.32	0.0001
			-0.02	0.0000	9.91 秒		0.24	0.0001
		負	-0.05	0.0000	-0.01	0.0000	-0.01	0.0000
			-0.03	0.0000	4.96 秒		0.01	0.0000
	Y方向 西壁斜め	正	0.11	0.0000	0.03	0.0000	0.11	0.0000
			0.10	0.0000	7.20 秒		0.10	0.0000
		負	-0.34	-0.0001	-0.32	-0.0001	-0.39	-0.0001
			-0.33	-0.0001	7.04 秒		-0.39	-0.0001
	X方向 北壁巻取り絶対変位	正	2.38	0.0008	5.83	0.0009	8.73	0.0009
			2.38	0.0008	6.76 秒		8.73	0.0009
		負	-2.23	-0.0007	-5.34	-0.0009	-8.13	-0.0009
			-2.22	-0.0007	5.45 秒		-7.98	-0.0008

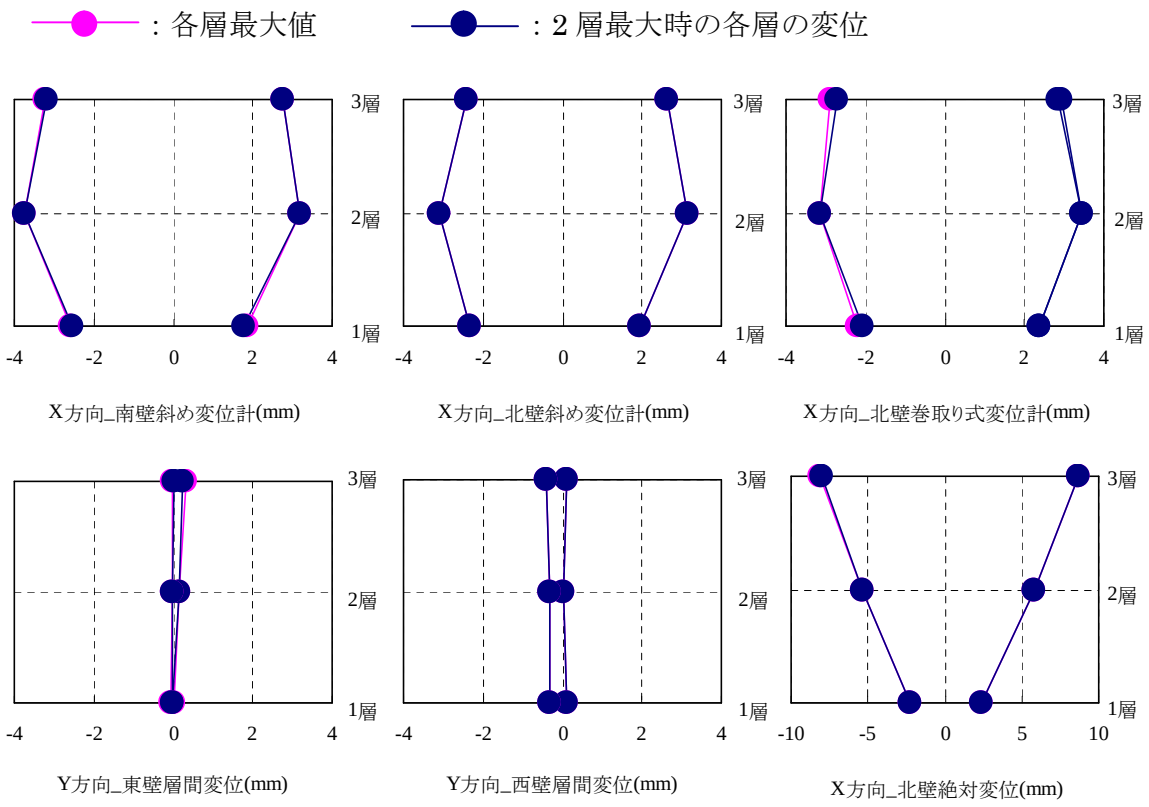


図 7.3.2-1　ART_DIS20%　層間変位立面分布

表 7.3.2-2　ART_DIS90%　層間変位一覧

地震波	計測方向		1層(mm/rad)		2層(mm/rad)		3層(mm/rad)	
ART_DIS 90%	X方向 南壁斜め	正	13.95	0.0045	17.24	0.0056	14.60	0.0047
			13.26	0.0043	9.45 秒		11.95	0.0039
		負	-11.54	-0.0037	-19.42	-0.0063	-16.57	-0.0054
			-11.23	-0.0036	7.05 秒		-16.48	-0.0053
	X方向 北壁斜め	正	12.11	0.0039	15.06	0.0049	12.42	0.0040
			11.95	0.0039	9.45 秒		9.80	0.0032
		負	-12.14	-0.0039	-17.74	-0.0057	-15.27	-0.0049
			-11.98	-0.0039	7.06 秒		-15.27	-0.0049
	X方向 北壁巻取り	正	18.76	0.0061	14.71	0.0048	13.64	0.0044
			18.07	0.0058	9.45 秒		11.43	0.0037
		負	-13.60	-0.0044	-18.43	-0.0060	-16.89	-0.0055
			-13.60	-0.0044	7.05 秒		-16.89	-0.0055
	Y方向 東壁斜め	正	1.92	0.0006	2.00	0.0006	2.85	0.0009
			1.90	0.0006	5.44 秒		2.58	0.0008
		負	-2.07	-0.0007	-1.97	-0.0006	-1.77	-0.0006
			-1.14	-0.0004	15.59 秒		-1.02	-0.0003
	Y方向 西壁斜め	正	2.88	0.0009	2.13	0.0007	2.59	0.0008
			1.99	0.0006	15.95 秒		2.55	0.0008
		負	-2.96	-0.0010	-2.76	-0.0009	-2.88	-0.0009
			-2.05	-0.0007	7.07 秒		-2.87	-0.0009
	X方向 北壁巻取り絶対変位	正	18.76	0.0061	33.39	0.0053	44.36	0.0047
			18.76	0.0061	9.44 秒		44.36	0.0047
		負	-17.01	-0.0055	-31.48	-0.0050	-47.67	-0.0050
			-17.01	-0.0055	7.09 秒		-45.20	-0.0048

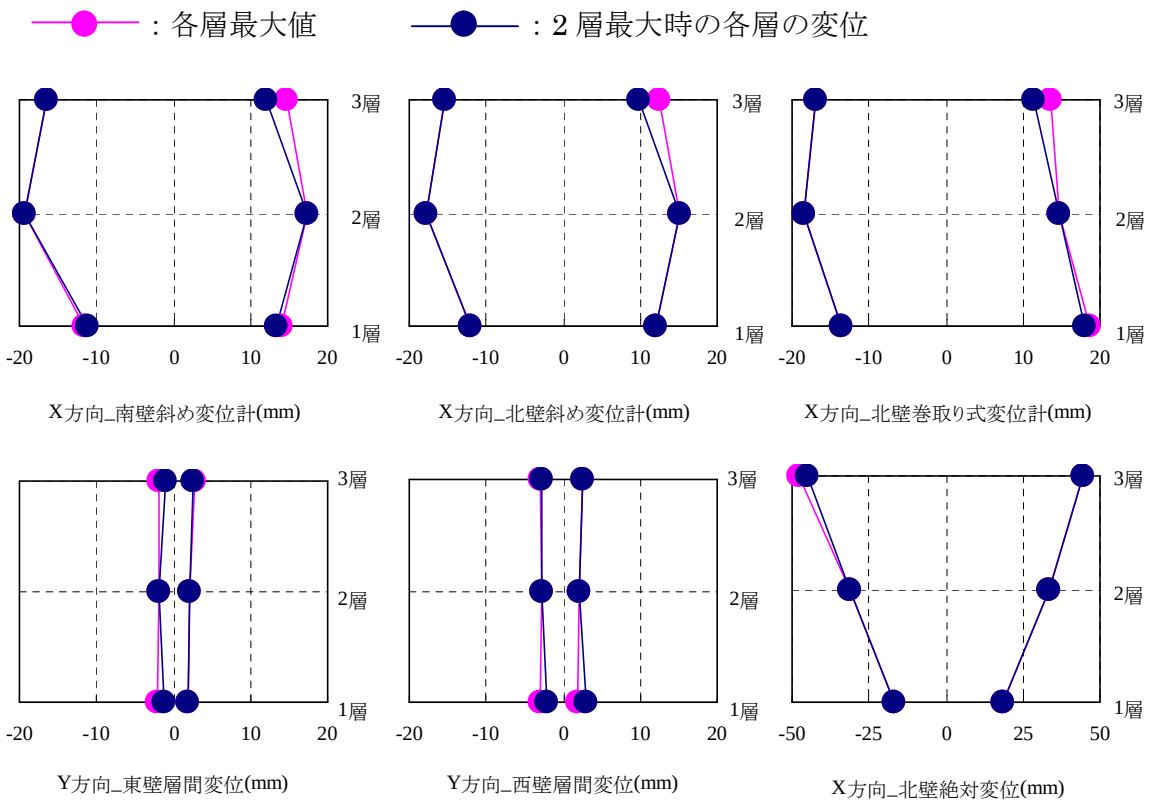


図 7.3.2-2　ART_DIS90%　層間変位立面分布

表 7.3.2-3　JMA 神戸 100%_0.5Hz　層間変位一覧

地震波	計測方向		1層(mm/rad)		2層(mm/rad)		3層(mm/rad)	
JMA神戸 100% 0.5Hz	X方向 南壁斜め	正	33.76	0.0109	52.36	0.0169	45.66	0.0148
			33.76	0.0109	10.26 秒		45.25	0.0146
		負	-28.07	-0.0091	-41.15	-0.0133	-33.95	-0.0110
			-28.07	-0.0091	13.89 秒		-33.95	-0.0110
	X方向 北壁斜め	正	32.43	0.0105	49.43	0.0160	42.70	0.0138
			32.05	0.0104	10.26 秒		41.62	0.0135
		負	-26.29	-0.0085	-38.10	-0.0123	-31.04	-0.0100
			-26.15	-0.0085	13.88 秒		-30.66	-0.0099
	X方向 北壁巻取り	正	38.83	0.0126	80.33	0.0260	72.85	0.0236
			4.61	0.0015	12.31 秒		-53.13	-0.0172
		負	-29.56	-0.0096	-39.90	-0.0129	-53.13	-0.0172
			-29.47	-0.0095	13.89 秒		-3.90	-0.0013
	Y方向 東壁斜め	正	2.34	0.0008	2.46	0.0008	4.26	0.0014
			2.12	0.0007	9.85 秒		2.51	0.0008
		負	-5.58	-0.0018	-8.58	-0.0028	-2.98	-0.0010
			-5.29	-0.0017	10.27 秒		-2.80	-0.0009
	Y方向 西壁斜め	正	3.81	0.0012	4.34	0.0014	4.16	0.0013
			3.74	0.0012	12.10 秒		3.86	0.0012
		負	-7.79	-0.0025	-6.04	-0.0020	-5.58	-0.0018
			-7.79	-0.0025	13.92 秒		-5.16	-0.0017
	X方向 北壁巻取り絶対変位	正	38.83	0.0126	88.15	0.0141	153.05	0.0162
			38.83	0.0126	10.27 秒		137.82	0.0146
		負	-35.51	-0.0115	-75.36	-0.0120	-88.93	-0.0094
			-35.51	-0.0115	13.88 秒		-79.53	-0.0084

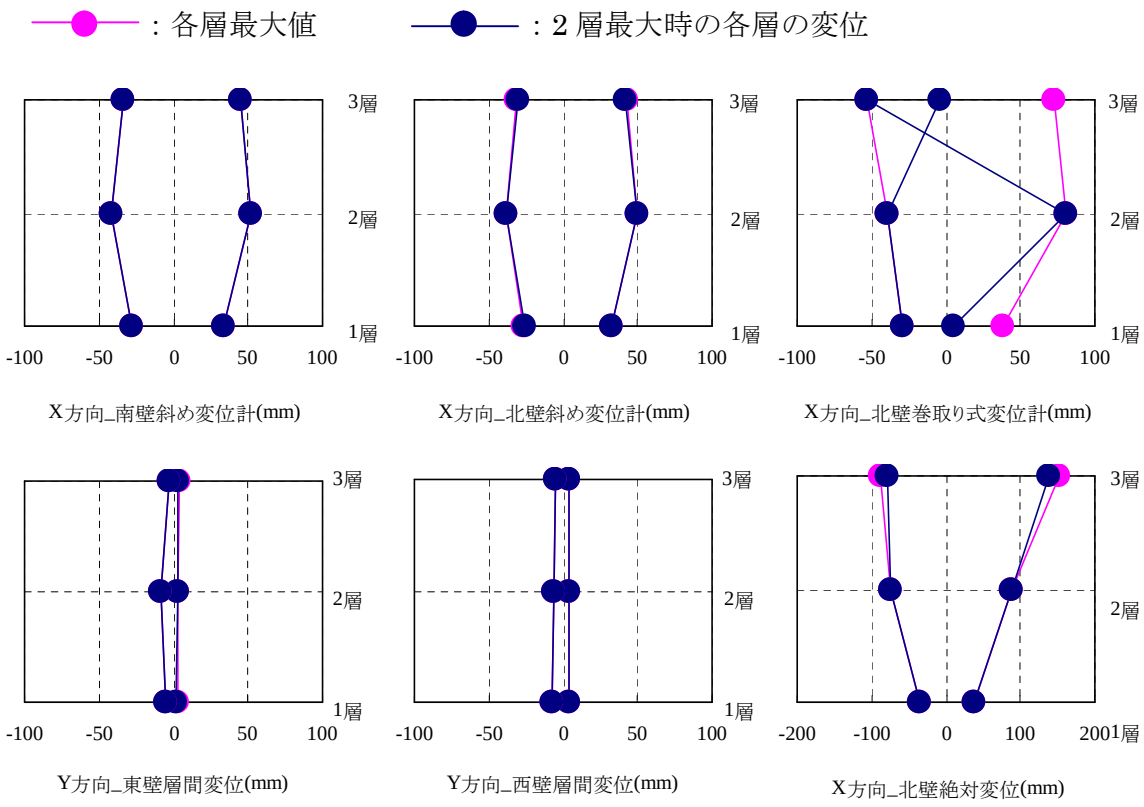


図 7.3.2-3　JMA 神戸 100%_0.5Hz　層間変位立面分布

表 7.3.2-4　正弦波_400gal 1.5Hz　層間変位一覧

地震波	計測方向		1層(mm/rad)		2層(mm/rad)		3層(mm/rad)	
正弦波 400gal 1.5Hz	X方向 南壁斜め	正	28.97	0.0094	45.85	0.0148	42.88	0.0139
			28.70	0.0093	45.35 秒		42.88	0.0139
		負	-28.60	-0.0093	-43.38	-0.0140	-37.88	-0.0123
			-28.49	-0.0092	45.01 秒		-37.88	-0.0123
	X方向 北壁斜め	正	24.40	0.0079	42.98	0.0139	38.39	0.0124
			-1.21	-0.0004	45.34 秒		38.16	0.0124
		負	-25.99	-0.0084	-42.35	-0.0137	-36.96	-0.0120
			-4.35	-0.0014	45.01 秒		-36.79	-0.0119
	X方向 北壁巻取り	正	31.33	0.0101	43.27	0.0140	48.11	0.0156
			30.94	0.0100	42.65 秒		46.07	0.0149
		負	-32.72	-0.0106	-43.09	-0.0139	-39.49	-0.0128
			-32.62	-0.0106	45.00 秒		-36.73	-0.0119
	Y方向 東壁斜め	正	1.07	0.0003	2.74	0.0009	135.45	0.0438
			0.97	0.0003	41.71 秒		135.29	0.0438
		負	-5.05	-0.0016	-4.78	-0.0015	-1.01	-0.0003
			-5.03	-0.0016	42.04 秒		135.33	0.0438
	Y方向 西壁斜め	正	4.49	0.0015	4.76	0.0015	4.38	0.0014
			4.09	0.0013	45.33 秒		4.26	0.0014
		負	-8.22	-0.0027	-6.82	-0.0022	-6.72	-0.0022
			-8.09	-0.0026	45.02 秒		-6.50	-0.0021
	X方向 北壁巻取り絶対変位	正	31.33	0.0101	74.34	0.0119	121.52	0.0129
			31.30	0.0101	45.32 秒		120.03	0.0127
		負	-38.52	-0.0125	-81.35	-0.0130	-118.31	-0.0125
			-38.26	-0.0124	45.00 秒		-118.08	-0.0125

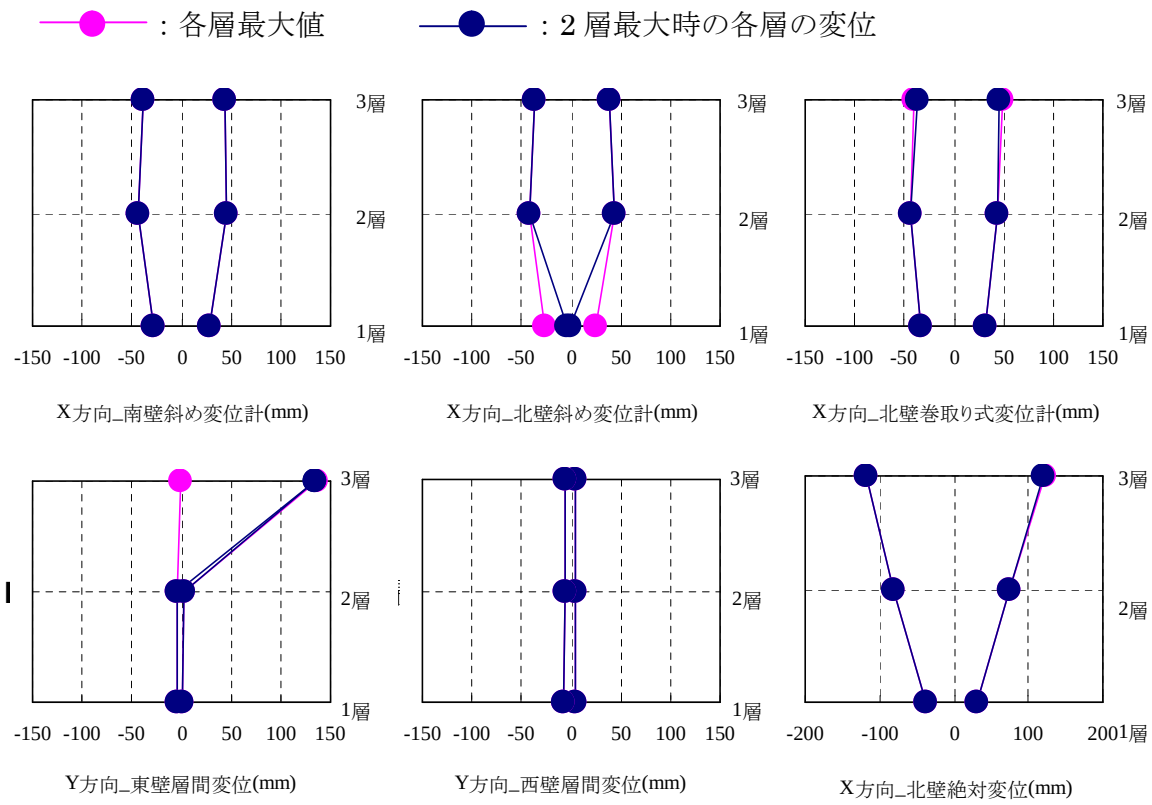


図 7.3.2-4　正弦波_400gal 1.5Hz　層間変位立面分布

表 7.3.2-5　JMA 神戸 100%_0.1Hz　層間変位一覧

地震波	計測方向		1層(mm/rad)		2層(mm/rad)		3層(mm/rad)	
JMA神戸 100% 0.1Hz	X方向 南壁斜め	正	30.93	0.0100	47.27	0.0153	42.23	0.0137
			29.93	0.0097	10.80 秒		42.20	0.0137
		負	-31.92	-0.0103	-46.46	-0.0150	-38.75	-0.0125
			-29.03	-0.0094	14.41 秒		-38.75	-0.0125
	X方向 北壁斜め	正	27.19	0.0088	47.18	0.0153	41.28	0.0134
			25.45	0.0082	10.80 秒		41.18	0.0133
		負	-26.93	-0.0087	-44.98	-0.0146	-37.73	-0.0122
			-26.92	-0.0087	12.36 秒		-36.67	-0.0119
	X方向 北壁巻取り	正	35.29	0.0114	47.52	0.0154	53.59	0.0173
			34.43	0.0111	10.79 秒		49.37	0.0160
		負	-34.41	-0.0111	-46.16	-0.0149	-42.68	-0.0138
			-33.98	-0.0110	14.41 秒		-40.54	-0.0131
	Y方向 東壁斜め	正	2.78	0.0009	4.39	0.0014	2.39	0.0008
			2.52	0.0008	12.37 秒		-5.14	-0.0017
		負	-7.41	-0.0024	-7.90	-0.0026	-12.01	-0.0039
			-6.84	-0.0022	14.17 秒		-11.89	-0.0038
	Y方向 西壁斜め	正	4.58	0.0015	5.08	0.0016	4.34	0.0014
			4.56	0.0015	14.14 秒		4.27	0.0014
		負	-11.06	-0.0036	-8.62	-0.0028	-8.09	-0.0026
			-10.62	-0.0034	14.43 秒		-8.01	-0.0026
	X方向 北壁巻取り絶対変位	正	35.29	0.0114	82.21	0.0131	131.45	0.0139
			35.05	0.0113	10.80 秒		131.45	0.0139
		負	-36.51	-0.0118	-82.50	-0.0132	-124.22	-0.0131
			-36.51	-0.0118	12.34 秒		-122.80	-0.0130

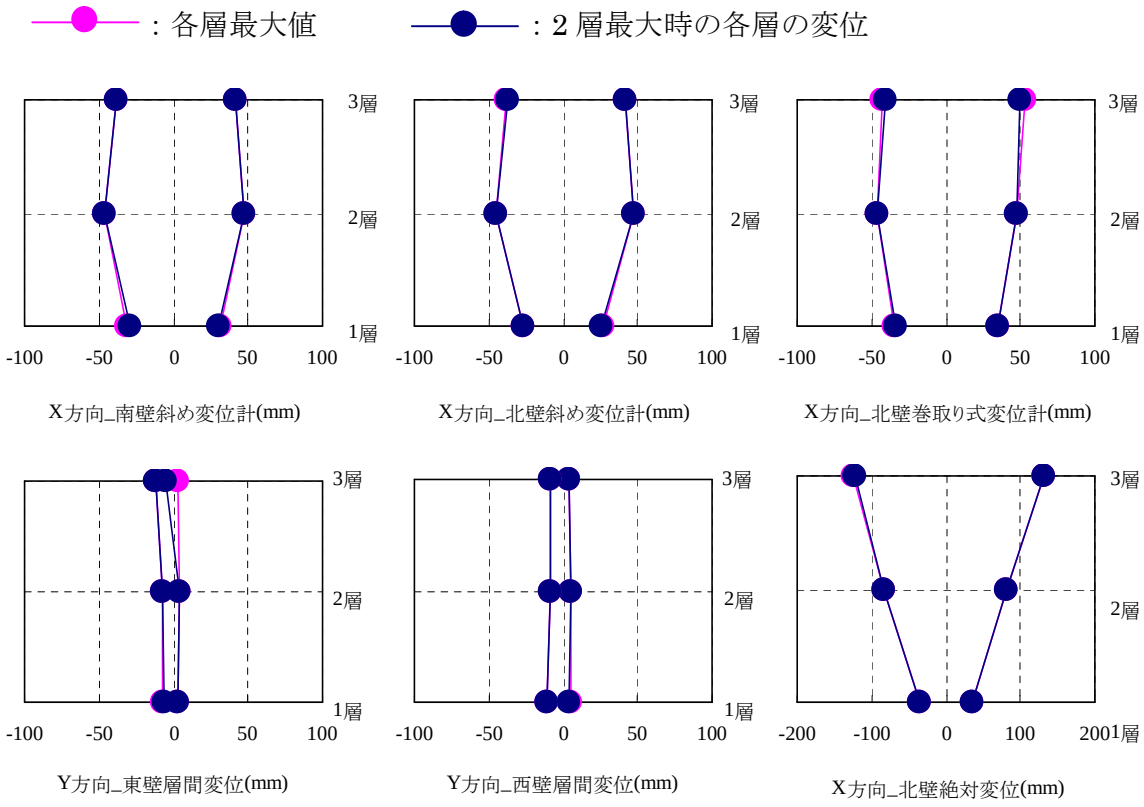


図 7.3.2-5　JMA 神戸 100%_0.1Hz　層間変位立面分布

７．３．３ 脚部の軸力と浮き上がり

地震波ごとの各階の脚部軸力と浮き上がりの一覧を**表 7.3.2-1** から**表 7.3.2-5** に示す。なお、全地震波で 2 層の層間変位が最大を示すことから、2 層最大変位時の脚部軸力と浮きもあわせて記載した。

全加振で脚部ボルト（SCM435、M24）の軸力が降伏耐力：277.1kN に達していないことがわかる。また、JMA 神戸①と②を比較すると、1 層に生じたせん断力は JMA 神戸①の方が大きいにも関わらず、軸力は JMA 神戸②の方が大きな値を示した。

1 階脚部の浮きの最大値は、JMA 神戸①入力時に 8mm 程度であった。

以下脚部の軸力と浮きの算出方法を示す。

・脚部軸力

脚部のボルトはすべて M24（ヤング係数：205000N/mm^2、断面積 353mm^2）

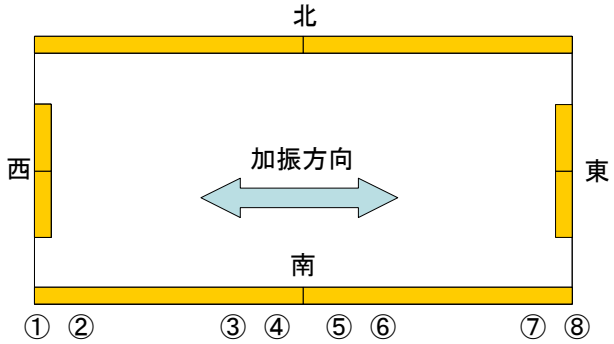
2、3 層の脚部ボルト軸力[kN]=生データ×205000[N/mm^2]×353[mm^2]÷1000000÷1000

※ひずみの計測はワンゲージである。

・脚部浮き

脚部の鉛直方向の変位計の値をそのまま用いているので回転などは考慮していない。

表 7.3.3-1　ART_DIS20% 軸力-脚部浮き上がり



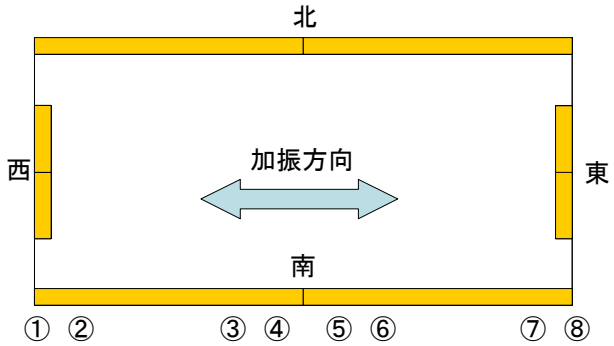
・各層の最大軸力、最大脚部浮き

1層	1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力[kN]	11.9	5.6	0.6	6.9	2.0	4.8	2.6	4.7
脚部浮き[mm]	0.5	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.3	0.6
2層	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力[kN]	10.1	0.4	3.2	3.9	0.9	0.5	114.5	5.8
脚部浮き[mm]	0.3	0.0	0.2	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1
3層	3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力[kN]	0.4	0.9	1.5	1.1	0.9	0.0	1.7	0.8
脚部浮き[mm]	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2

・2 層正負最大変形時の軸力、脚部浮き

1層		1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力 [kN]	正	-3.0	5.5	0.0	6.9	-0.5	4.8	-1.2	4.7
	負	11.9	-2.1	0.6	-3.8	2.0	-1.4	2.6	-0.9
脚部浮き [mm]	正	-0.3	0.2	-0.1	0.1	-0.2	0.0	-0.1	0.6
	負	0.5	-0.2	0.1	0.0	0.3	0.1	0.3	-0.1
2層		2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力 [kN]	正	3.3	0.4	-1.3	2.6	0.9	-1.8	53.5	5.8
	負	1.2	-0.2	3.1	1.3	-0.2	0.5	41.7	-3.5
脚部浮き [mm]	正	-0.1	0.0	-0.1	0.2	-0.1	0.3	0.0	0.1
	負	0.3	0.0	0.2	-0.1	0.1	-0.1	0.0	-0.1
3層		3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力 [kN]	正	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	負	-1.0	0.9	1.0	1.1	-0.5	-0.3	-1.4	0.8
脚部浮き [mm]	正	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
	負	0.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	-0.1

表 7.3.3-2　ART_DIS90% 軸力-脚部浮き上がり



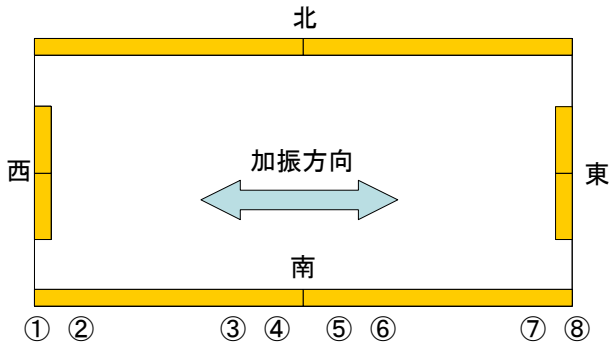
・各層の最大軸力、最大脚部浮き

1層	1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力[kN]	95.0	62.7	48.1	67.8	33.9	69.1	30.7	83.0
脚部浮き[mm]	2.5	1.7	2.4	1.9	1.9	2.4	1.6	3.1
2層	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力[kN]	68.9	5.6	47.5	17.0	19.3	11.5	327.9	26.2
脚部浮き[mm]	1.8	0.3	1.2	1.1	1.4	1.4	0.3	1.2
3層	3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力[kN]	5.2	26.5	12.9	5.5	16.1	19.0	3.6	2.1
脚部浮き[mm]	1.4	0.4	0.5	0.8	0.8	0.2	0.3	1.1

・2 層正負最大変形時の軸力、脚部浮き

1層		1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力[kN]	正	-1.3	49.3	-0.5	57.1	-1.7	55.8	-1.8	69.5
	負	91.9	-1.4	47.0	-3.5	26.5	-0.3	22.3	-0.4
脚部浮き[mm]	正	-0.8	1.5	-0.3	1.6	-0.2	2.0	0.1	2.8
	負	2.4	0.0	2.3	0.3	1.9	0.3	1.3	-0.2
2層		2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力[kN]	正	4.1	4.7	-10.6	14.8	4.9	7.3	20.9	16.8
	負	64.5	2.0	47.5	-9.2	19.3	-6.3	66.0	-4.6
脚部浮き[mm]	正	-0.3	0.1	-0.1	1.1	-0.2	1.4	0.1	0.9
	負	1.8	0.3	1.2	-0.5	1.4	-0.4	0.0	-0.8
3層		3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力[kN]	正	2.6	5.6	-8.3	2.2	8.0	12.1	2.4	-2.9
	負	3.8	26.1	12.8	3.6	7.0	1.0	2.9	-1.2
脚部浮き[mm]	正	-0.5	0.0	-0.1	0.5	-0.2	0.1	0.2	1.0
	負	1.3	0.1	0.5	-0.5	0.8	-0.4	0.0	-0.4

表 7.3.3-3　JMA 神戸 100% 軸力-脚部浮き上がり



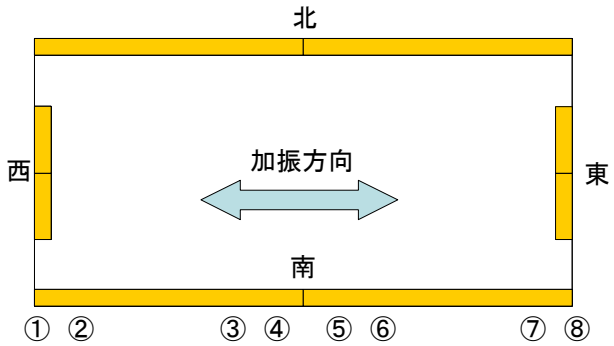
・各層の最大軸力、最大脚部浮き

1層	1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力[kN]	196.4	159.6	175.0	157.0	133.7	188.2	114.7	220.4
脚部浮き[mm]	5.8	4.9	5.6	4.3	5.1	5.4	3.3	8.0
2層	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力[kN]	145.9	24.3	95.0	69.3	42.5	43.7	292.5	107.0
脚部浮き[mm]	3.4	0.9	2.6	3.2	2.8	3.2	1.4	5.1
3層	3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力[kN]	16.8	30.6	30.8	30.6	7.9	63.3	23.0	3.9
脚部浮き[mm]	2.0	0.6	1.1	1.8	1.4	2.5	1.7	3.3

・2 層正負最大変形時の軸力、脚部浮き

1層		1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力	正	-6.4	156.6	-2.3	154.8	-5.4	186.2	12.6	214.5
[kN]	負	191.4	0.1	172.3	-6.1	132.4	-6.5	114.2	-8.6
脚部浮き	正	-0.6	4.9	-0.5	4.1	-0.1	5.4	0.8	7.8
[mm]	負	5.5	-0.2	5.5	0.8	5.1	0.4	3.3	-0.1
2層		2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力	正	1.3	24.2	-15.7	65.2	36.4	43.7	-112.4	106.3
[kN]	負	141.8	4.0	93.7	-4.2	40.6	-4.4	18.3	3.8
脚部浮き	正	-1.7	0.7	-1.3	2.9	-2.3	3.2	0.5	4.2
[mm]	負	3.2	0.2	2.6	-1.6	2.6	-0.9	0.2	-1.3
3層		3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力	正	5.8	0.8	-29.2	28.6	-50.5	63.3	21.5	-3.9
[kN]	負	5.6	27.6	24.2	21.6	-21.7	-6.0	-1.9	2.4
脚部浮き	正	-1.0	0.2	-0.1	1.7	-1.0	2.2	0.5	3.0
[mm]	負	0.9	0.0	1.0	-1.1	1.3	0.6	0.1	-0.3

表 7.3.3-4　正弦波_400gal 1.5Hz 軸力-脚部浮き上がり



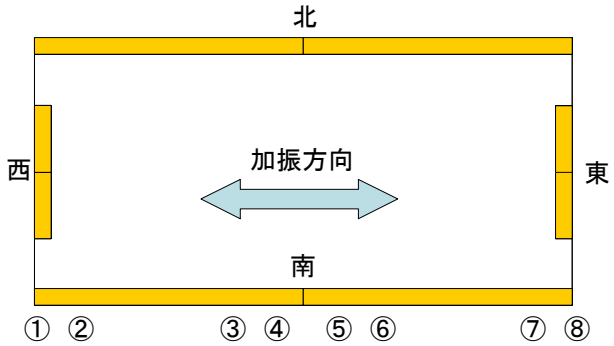
・各層の最大軸力、最大脚部浮き

1層	1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力[kN]	198.7	151.2	186.1	152.6	141.6	183.5	118.1	217.2
脚部浮き[mm]	5.4	3.9	5.6	3.7	4.5	4.4	2.9	6.4
2層	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力[kN]	142.8	18.7	96.8	60.7	47.9	50.1	161.9	82.7
脚部浮き[mm]	3.3	1.0	2.5	3.3	3.1	2.6	0.6	4.6
3層	3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力[kN]	17.8	27.9	42.5	44.5	542.9	41.1	22.6	8.4
脚部浮き[mm]	2.3	0.7	1.9	2.9	1.6	2.0	0.9	3.1

・2 層正負最大変形時の軸力、脚部浮き

1層		1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力	正	-7.4	142.5	-7.8	145.1	-6.1	171.2	0.8	198.0
[kN]	負	190.4	-12.5	174.9	-8.8	138.4	-2.6	112.4	-6.4
脚部浮き	正	-0.6	3.6	-0.1	3.5	-0.3	4.3	0.5	6.2
[mm]	負	5.3	-0.2	5.2	0.4	4.3	0.1	2.8	-0.6
2層		2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力	正	-10.2	18.1	-19.4	54.8	22.6	46.9	-165.5	76.2
[kN]	負	139.6	1.6	95.2	4.1	47.7	-3.5	-70.6	-5.8
脚部浮き	正	-1.3	0.6	-1.0	3.2	-1.7	2.3	0.1	4.4
[mm]	負	3.0	0.3	2.3	-2.1	2.9	-1.0	0.2	-1.6
3層		3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力	正	6.3	-1.1	-19.2	24.7	542.5	37.1	20.4	0.0
[kN]	負	17.7	27.5	42.2	18.8	-20.5	-29.0	0.2	7.4
脚部浮き	正	-1.0	-0.1	0.3	2.1	-0.8	1.5	0.4	2.8
[mm]	負	1.7	0.0	1.0	-0.9	1.1	-0.1	-0.1	-0.4

表 7.3.3-5　JMA 神戸 100%_0.1Hz 軸力-脚部浮き上がり



・各層の最大軸力、最大脚部浮き

1層	1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力[kN]	226.9	170.4	215.0	170.0	171.6	205.2	138.1	243.7
脚部浮き[mm]	5.5	3.6	5.3	3.7	4.9	4.4	2.8	5.6
2層	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力[kN]	161.8	28.4	121.7	74.9	57.3	66.0	88.6	119.2
脚部浮き[mm]	3.4	1.6	2.9	3.3	3.5	2.9	0.8	4.7
3層	3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力[kN]	22.5	21.8	46.0	39.1	0.1	55.4	24.3	10.9
脚部浮き[mm]	2.6	1.6	1.8	3.7	1.3	2.1	1.1	2.8

・2 層正負最大変形時の軸力、脚部浮き

1層		1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	1-⑥	1-⑦	1-⑧
軸力[kN]	正	-8.1	165.3	-8.0	165.3	-5.7	200.5	15.3	233.5
	負	204.2	-6.7	194.4	-5.4	154.1	-8.5	123.1	-8.5
脚部浮き[mm]	正	-0.7	3.4	-0.5	3.6	-0.1	4.3	0.2	5.3
	負	5.1	-0.3	5.1	0.2	4.5	-0.1	2.5	-1.0
2層		2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤	2-⑥	2-⑦	2-⑧
軸力[kN]	正	-9.7	24.8	-9.7	70.7	35.4	63.0	-180.2	114.3
	負	158.8	0.1	118.8	22.2	57.3	6.3	-42.5	3.6
脚部浮き[mm]	正	-1.2	0.7	-1.0	3.1	-1.3	2.5	0.4	4.7
	負	3.4	0.7	2.9	-2.1	3.5	-1.0	0.4	-1.5
3層		3-①	3-②	3-③	3-④	3-⑤	3-⑥	3-⑦	3-⑧
軸力[kN]	正	9.8	-7.4	-18.3	22.0	0.0	55.2	23.2	2.2
	負	22.5	21.2	46.0	16.4	-0.1	-22.3	1.5	9.2
脚部浮き[mm]	正	-0.7	0.6	0.1	3.1	-1.6	1.9	0.5	2.3
	負	2.6	0.8	1.5	-1.3	1.1	0.2	0.3	-0.6

７．４　層 P-δ

地震波ごとに各層の層せん断力―層間変位の関係を**図 7.4-1** から**図 7.4-5** に、各層の層せん断力及び 1 層のせん断力係数を**表 7.4-1** から**表 7.4-5** にそれぞれ示す。
なお、全地震波で 2 層が最大応答変位を示すことから、2 層最大変位時の各層の層せん断力もあわせて記載した。

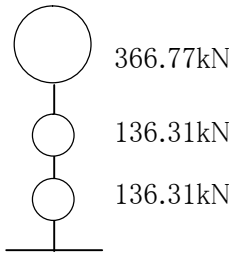
ART_DIS20%では、1 層で C_0=0.24（サーボ型）相当のせん断力が生じたのに対し、層間変形角が最大でも 1/800rad 程度であり、建築基準法上の中地震動に対して木造建築物の損傷限界変位 1/120rad 以下を実現可能であることが確認できた。

ART_DIS90%について、1 層で C_0=0.93（サーボ型）相当のせん断力が生じたのに対し、層間変位の最大値が 20mm 程度に収まり、建築基準法上の大地震動に対して必要性能を十分に満足する設計が可能であることがわかった。

JMA 神戸 100%①についても、1 層で C_0=1.79（サーボ型）相当のせん断力が生じたのに対し、層間変位が最大で 50mm 程度であり、建築基準法上の極大地震動に対しても十分な性能を有していると確認された。その後、試験体の破壊を目的として入力した正弦波と JMA 神戸②に対しても大変形には至らず、最大荷重に達しなかった

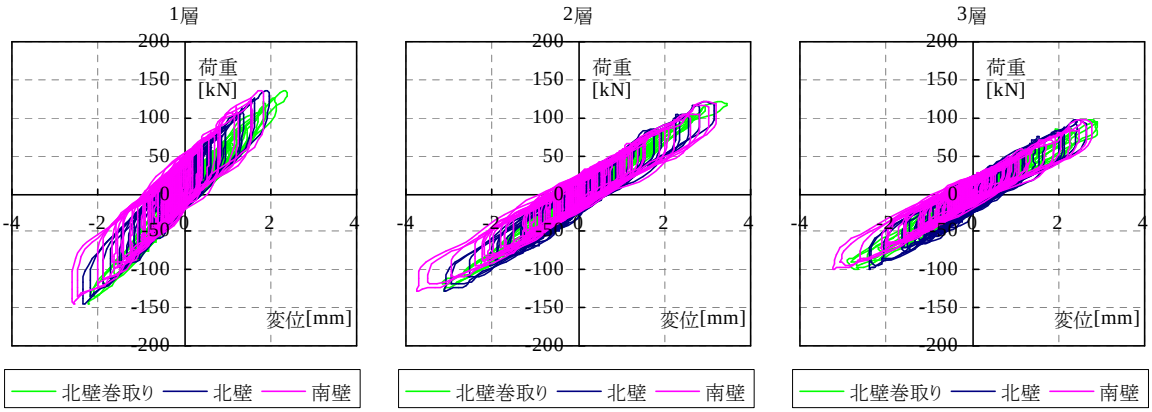
以下に層間変位の算出方法を示す。

3 層せん断力=366.77kN÷980×小屋床の加速度
2 層せん断力=136.31kN÷980×3 階床の加速度+3 層のせん断力
1 層せん断力=136.31kN÷980×2 階床の加速度+2 層のせん断力
C_0=1 層のせん断力÷建物総重量



X 方向の 1 軸加速度計の値は中央に設置した 3 つの加速度計の値を平均としている。

・1 軸加速度計



・サーボ型加速度計

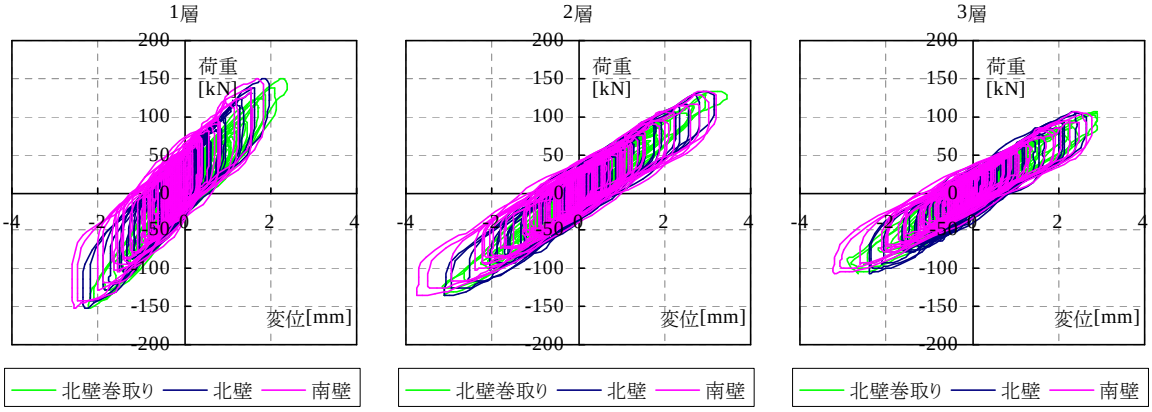


図 7.4-1　ART_DIS20% 層せん断力-層間変形

表 7.4-1　ART_DIS20% 層せん断力と C_0

・各層最大層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	135.2	120.2	96.4	0.21	149.2	132.0	105.9	0.23
最小値	-144.3	-127.8	-100.0	0.23	-153.2	-135.4	-105.4	0.24

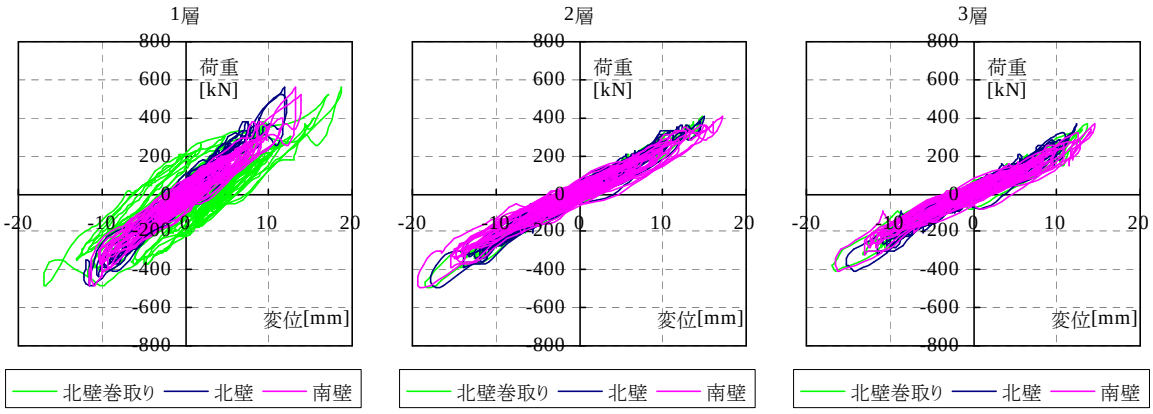
・2 層最大変位時（北壁斜ワイヤー式変位計）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	127.4	109.9	83.7	0.20	136.0	116.4	89.1	0.21
最小値	-144.3	-127.7	-99.3	0.23	-148.0	-130.1	-101.3	0.23

・2 層最大変位時（北壁巻取り式）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	135.2	117.8	92.4	0.21	146.8	128.2	99.0	0.23
最小値	-127.7	-115.5	-90.6	0.20	-133.5	-122.3	-97.2	0.21

・1 軸加速度計



・サーボ型加速度計

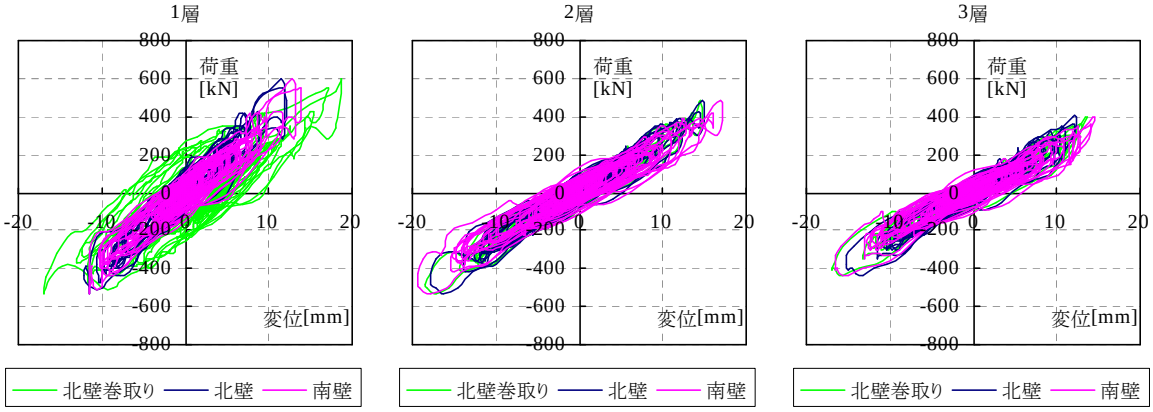


図 7.4-2　ART_DIS90% 層せん断力-層間変形

表 7.4-2　ART_DIS90% 層せん断力と C_0

・各層最大層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	556.5	409.2	370.1	0.87	595.9	479.1	395.3	0.93
最小値	-483.7	-495.8	-408.6	0.76	-529.3	-531.3	-434.1	0.83

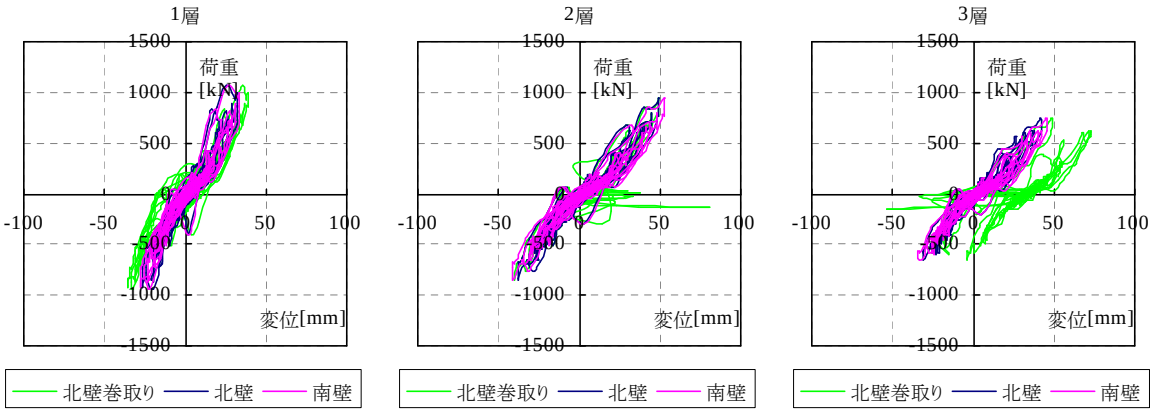
・2 層最大変位時（北壁斜め変位計）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	475.1	409.2	237.0	0.74	336.5	374.3	272.1	0.53
最小値	-399.3	-438.4	-371.8	0.62	-386.5	-425.2	-379.6	0.60

・2 層最大変位時（北壁巻取り式）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	475.1	409.2	237.0	0.74	336.5	374.3	272.1	0.53
最小値	-438.9	-469.1	-380.1	0.69	-437.5	-481.0	-403.8	0.68

・1 軸加速度計



・サーボ型加速度計

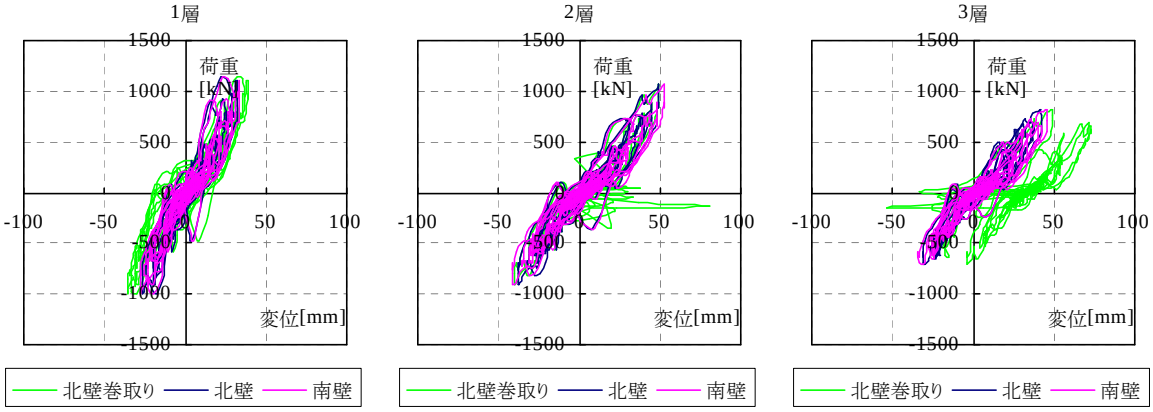


図 7.4-3　JMA 神戸 100%_0.5Hz 層せん断力-層間変形

表 7.4-3　JMA 神戸 100%_0.5Hz 層せん断力と C_0

・各層最大層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	1062.0	942.0	752.4	1.66	1147.5	1060.7	822.6	1.79
最小値	-949.6	-856.4	-664.3	1.49	-1001.4	-909.7	-703.5	1.57

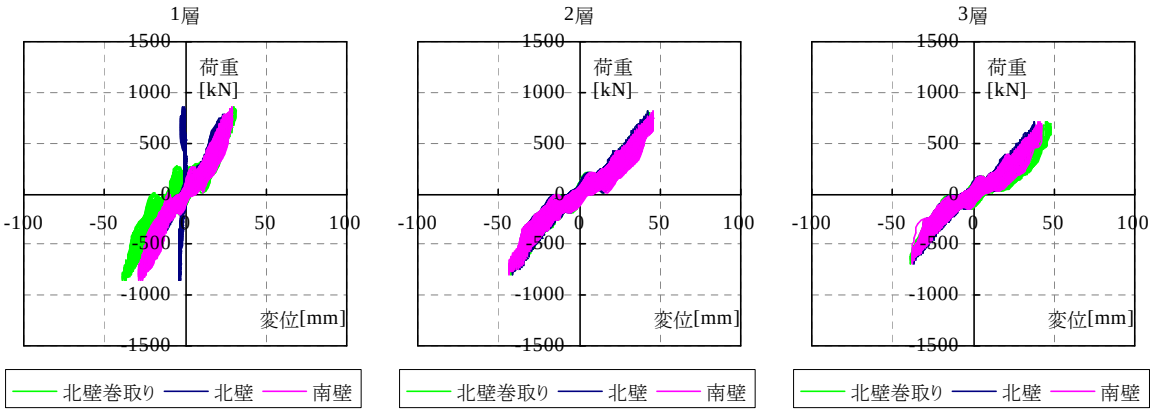
・2 層最大変位時（北壁斜め変位計）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	984.3	942.0	752.4	1.54	995.3	948.3	822.6	1.56
最小値	-916.6	-856.4	-664.3	1.43	-996.4	-909.0	-698.4	1.56

・2 層最大変位時（北壁巻取り式）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	-105.9	-139.8	-143.8	-0.17	-105.6	-140.2	-149.1	-0.17
最小値	-912.0	-832.9	-638.7	1.43	-859.4	-792.9	-607.0	1.34

・1 軸加速度計



・サーボ型加速度計

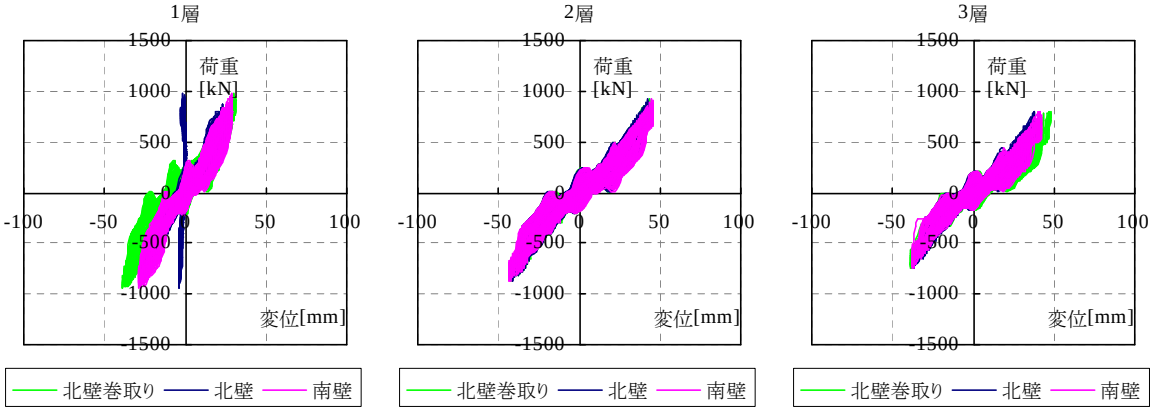


図 7.4-4　正弦波_400gal 1.5Hz 層せん断力-層間変形

表 7.4-4　正弦波_400gal 1.5Hz 層せん断力と C_0

・各層最大層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	852.7	810.2	715.9	1.33	985.2	928.3	808.3	1.54
最小値	-847.4	-799.2	-691.1	1.33	-939.7	-874.0	-748.8	1.47

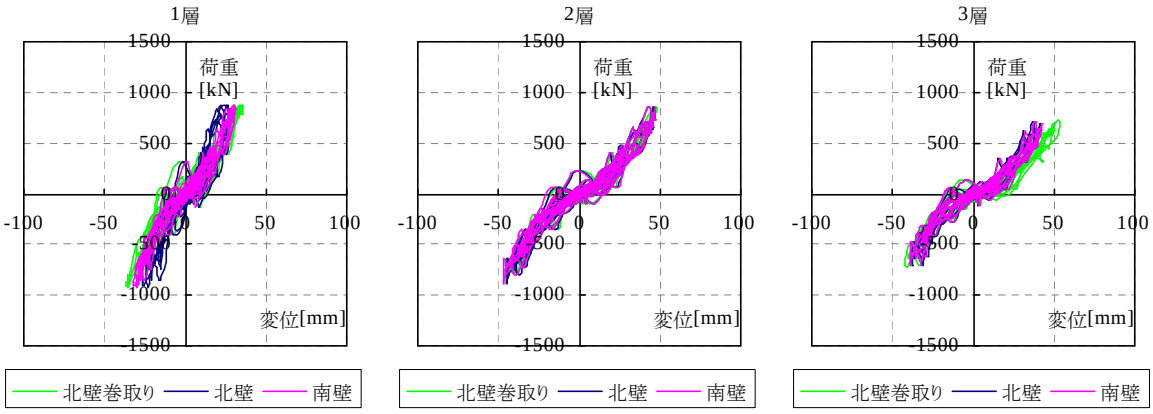
・2 層最大変位時（北壁斜め変位計）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	771.4	750.5	679.9	1.21	911.9	864.7	771.0	1.43
最小値	-785.5	-767.4	-660.9	1.23	-903.2	-834.8	-725.9	1.41

・2 層最大変位時（北壁巻取り式）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	755.6	689.3	556.8	1.18	786.6	743.2	654.0	1.23
最小値	-773.3	-723.9	-589.4	1.21	-810.3	-807.7	-684.3	1.27

・1 軸加速度計



・サーボ型加速度計

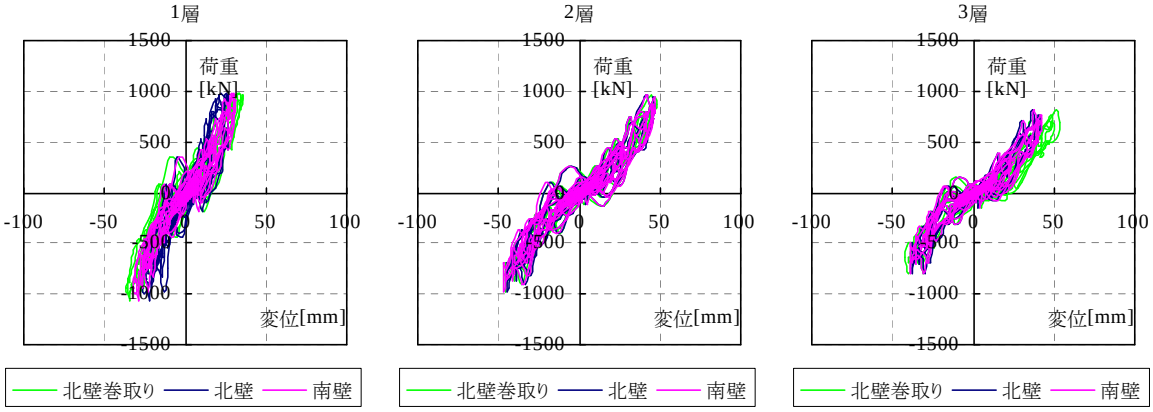


図 7.4-5　JMA 神戸 100%_0.1Hz 層せん断力-層間変形

表 7.4-5　JMA 神戸 100%_0.1Hz 層せん断力と C_0

・各層最大層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	876.4	860.5	718.3	1.37	976.3	958.3	825.7	1.53
最小値	-926.1	-889.2	-708.6	1.45	-1063.1	-975.7	-806.0	1.66

・2 層最大変位時（北壁斜め変位計）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	854.4	788.3	668.7	1.34	966.8	816.8	699.6	1.51
最小値	-867.9	-763.2	-593.0	1.36	-890.5	-825.3	-638.9	1.39

・2 層最大変位時（北壁巻取り式）の各層層せん断力

	層せん断力(kN)_1軸			C_0	層せん断力(kN)_サーボ型			C_0
	1層	2層	3層		1層	2層	3層	
最大値	875.0	842.9	691.5	1.37	918.6	874.7	729.7	1.44
最小値	-881.4	-889.2	-705.7	1.38	-1063.1	-975.7	-806.0	1.66

７．５　接合部Ｐ－δ

７．５．１　はじめに

各接合部の P(kN)-δ(mm)曲線を求めた。

以下、軸力の算出方法を示す。

・脚部と頭部軸力

ボルト径は M24(ヤング係数：20,500N/mm^2、断面積：353mm^2)

軸力(kN)=生データ×20500[N/mm^2]×353[mm^2]÷1,000,000÷1,000

※1 層脚部に関してはロードセルの値を用いた。

※頭部の軸力は次の層の脚部の軸力と同じ値を用いた。

・まぐさ軸力

ボルト径は M16(ヤング係数：20,500N/mm^2、断面積：157mm^2)

壁-まぐさ接合部のボルト本数は 2 本

軸力(kN)=2×生データ×20500[N/mm^2]×157[mm^2]÷1,000,000÷1,000

※ひずみの計測はワンゲージである。

また、計測ができなくなったチャンネル表を表 7.5.1-1 示す。

表 7.5.1-1

	柱脚				まぐさ							
	2F-②	2F-⑦	3F-④	3F-⑤	1F-b	1F-f	1F-g	2F-a	2F-c	2F-g	3F-a	3F-h
ART_DIS20%	×	×	×	×	○	×	○	○	○	○	○	○
ART_DIS90%	×	×	×	×	○	×	○	○	○	○	×	×
JMA神戸波100%0.5Hz	×	×	×	×	○	×	×	○	○	○	×	×
正弦波	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○	×	×
JMA神戸波100%0.1Hz	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×

７．５．２　結果

地震波ごとの各層の①柱脚接合部、②まぐさの接合部の P(kN)-δ(mm)曲線を示す。計測できなかったチャンネルは×で表現した。

7.5.2.1「2012 年 2 月 6 日　ART_DIS 波 20%」

①柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

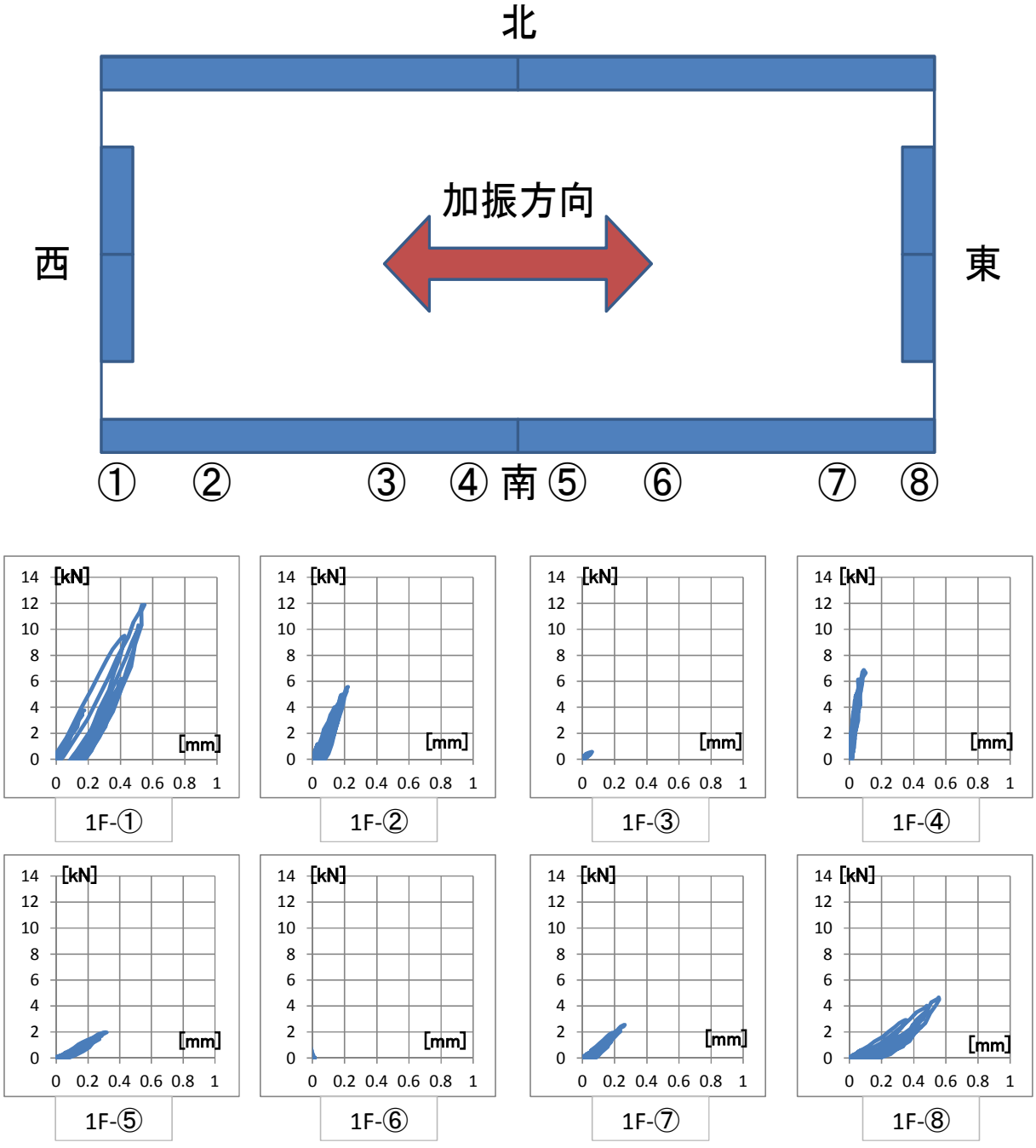


図 7.5.2.1-1　1 層の柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

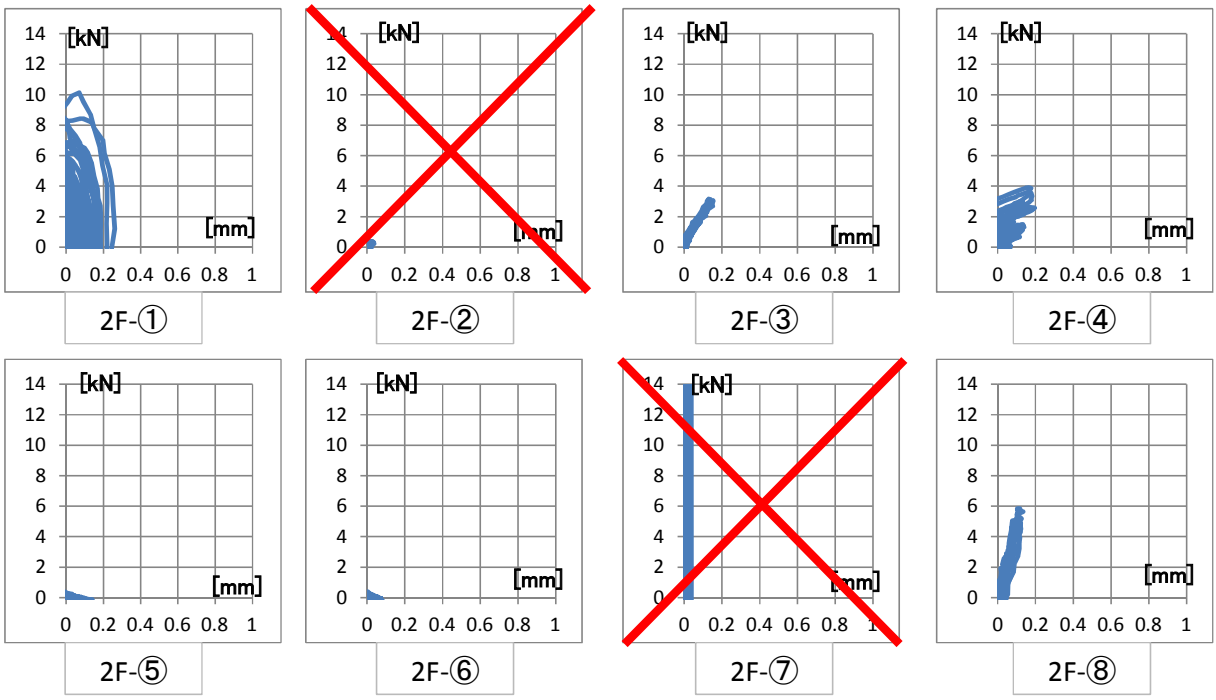


図 7.5.2.1-2　2 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (mm) 曲線

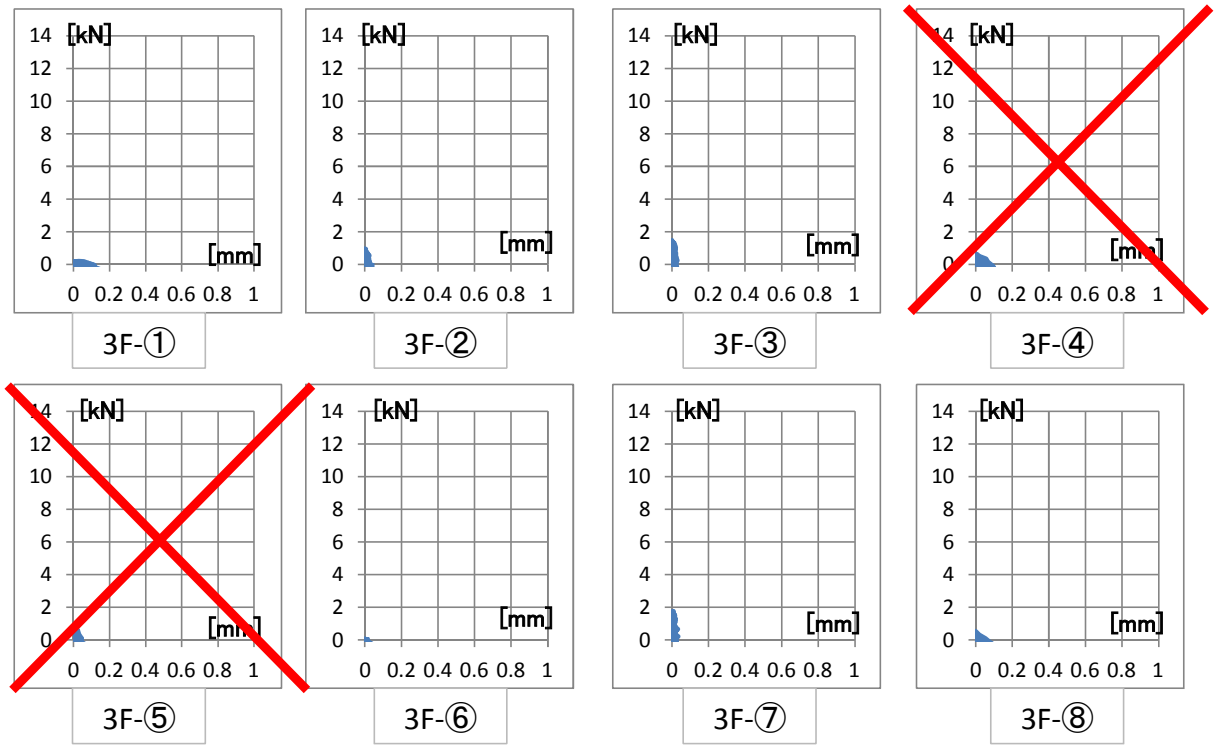
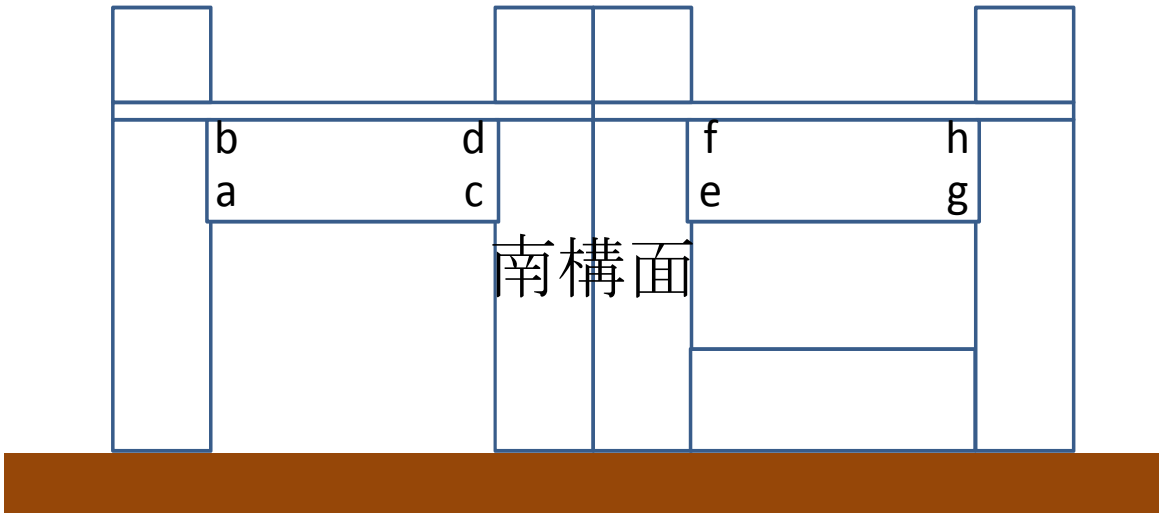


図 7.5.2.1-3　3 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (mm) 曲線

②まぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線



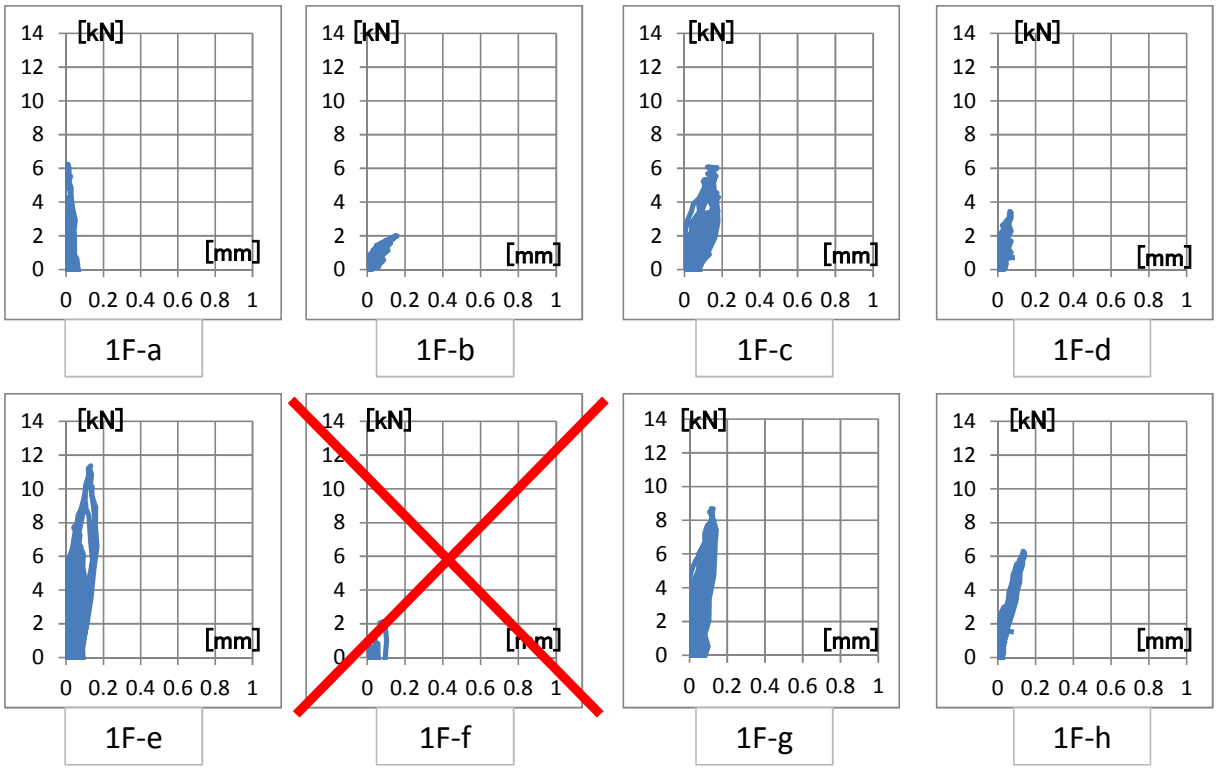


図 7.5.2.1-4　1 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

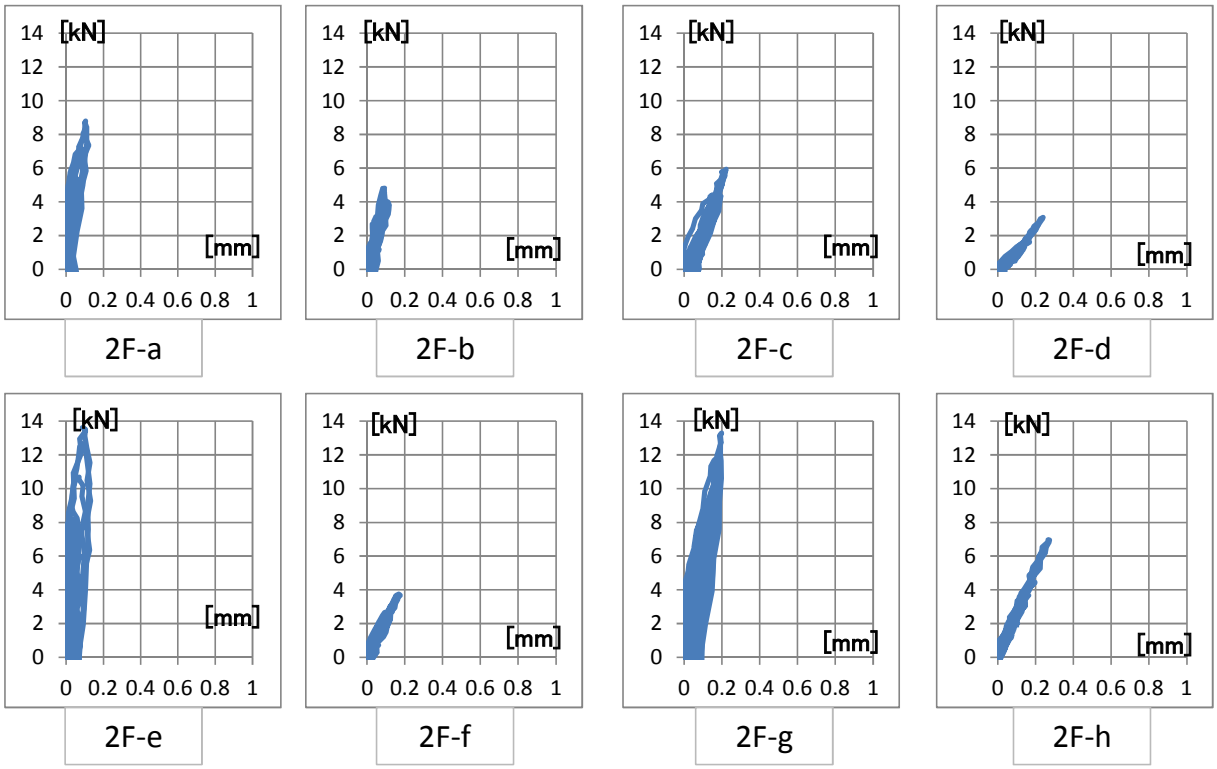


図 7.5.2.1-5　2 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(㎜)曲線

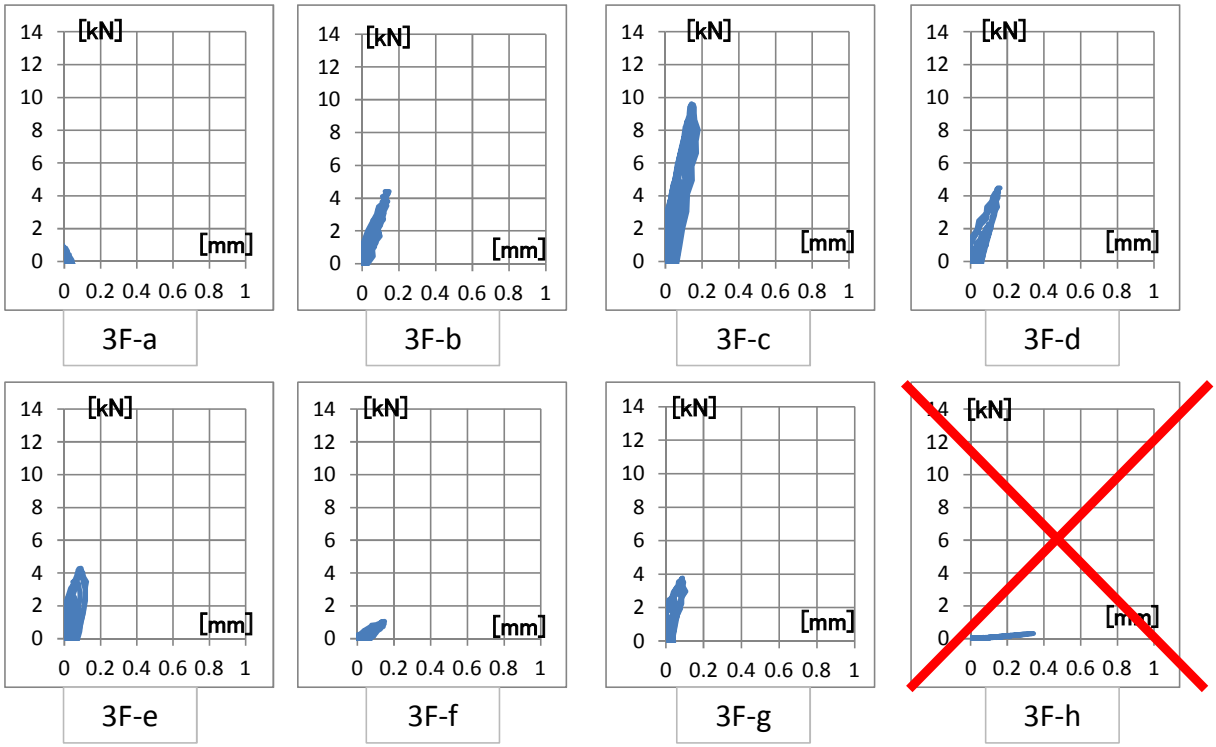


図 7.5.2.1-6　3 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(㎜)曲線

7.5.2.2「2012 年 2 月 6 日　ART_DIS 波 90%」

①柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

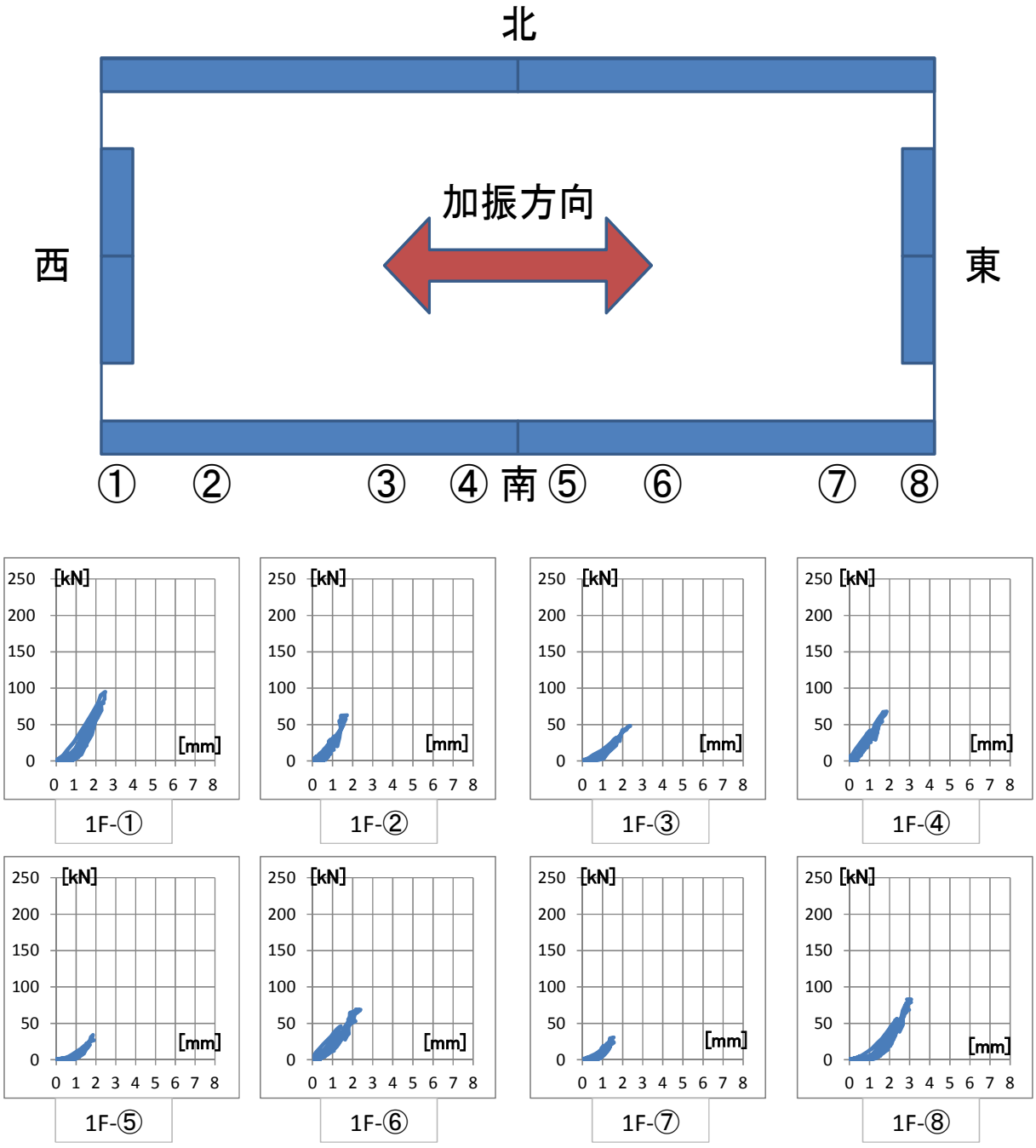


図 7.5.2.2-1　1 層の柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

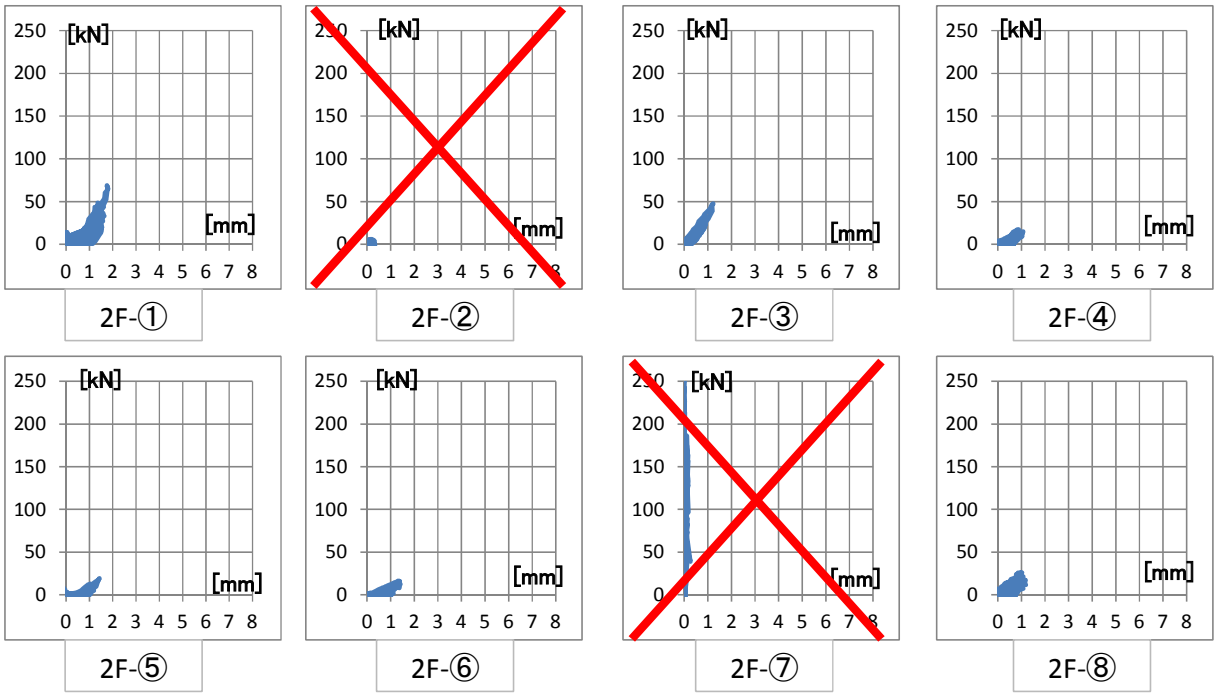


図 7.5.2.2-2　2 層の柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

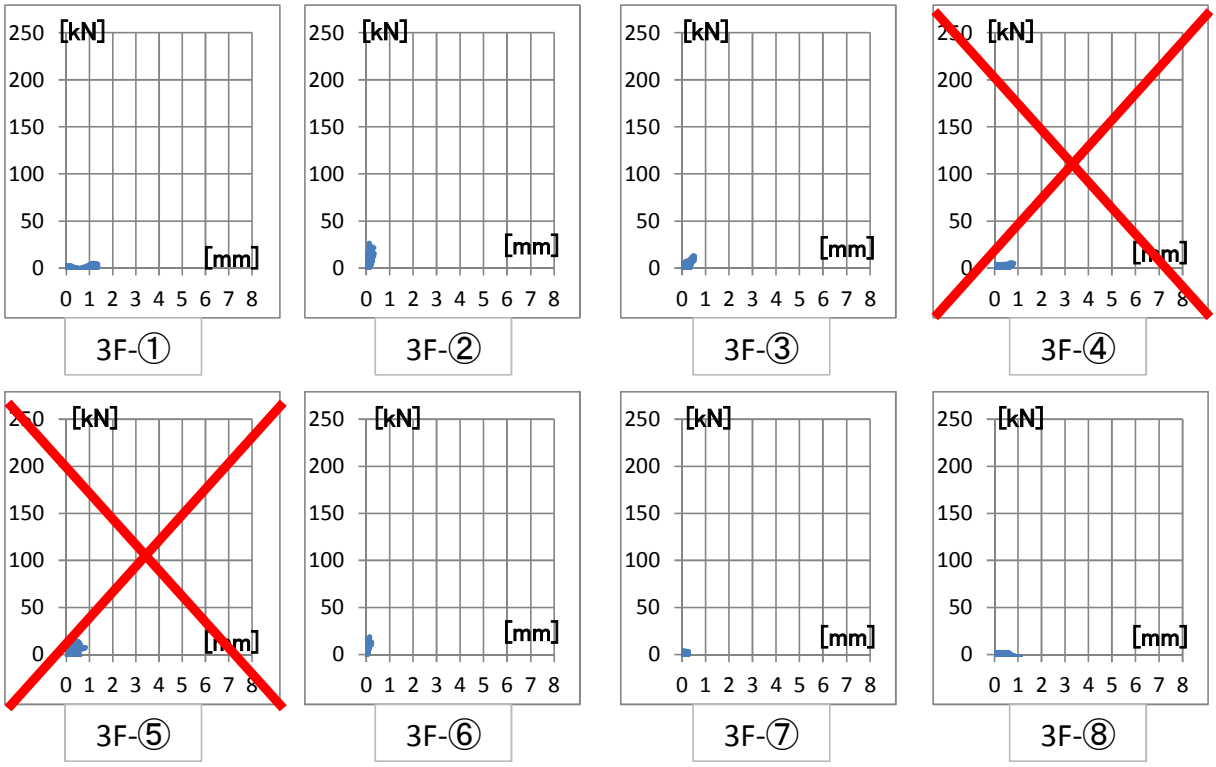
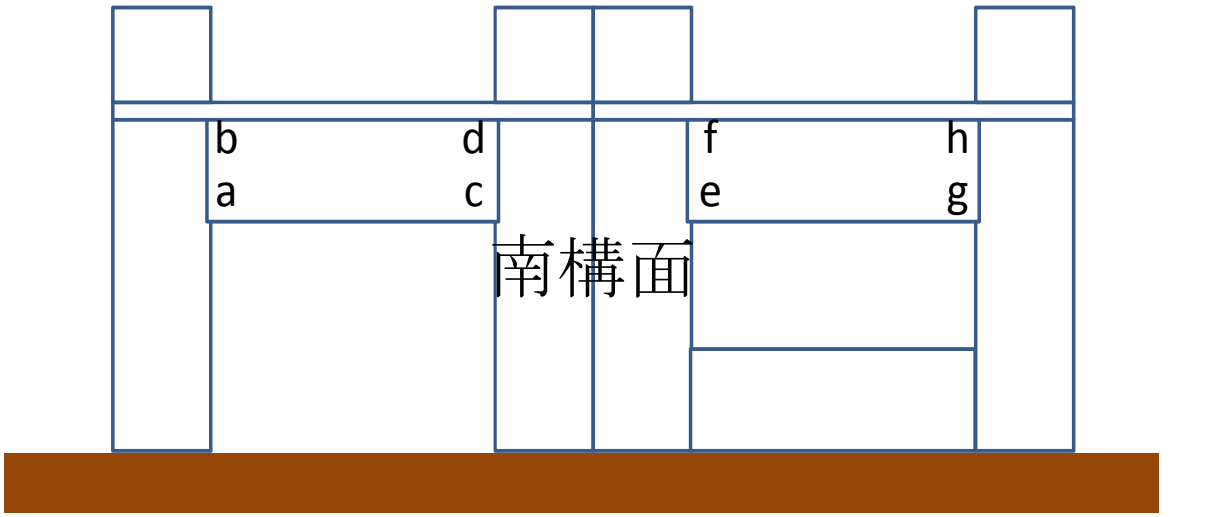


図 7.5.2.2-3　3 層の柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

②まぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線



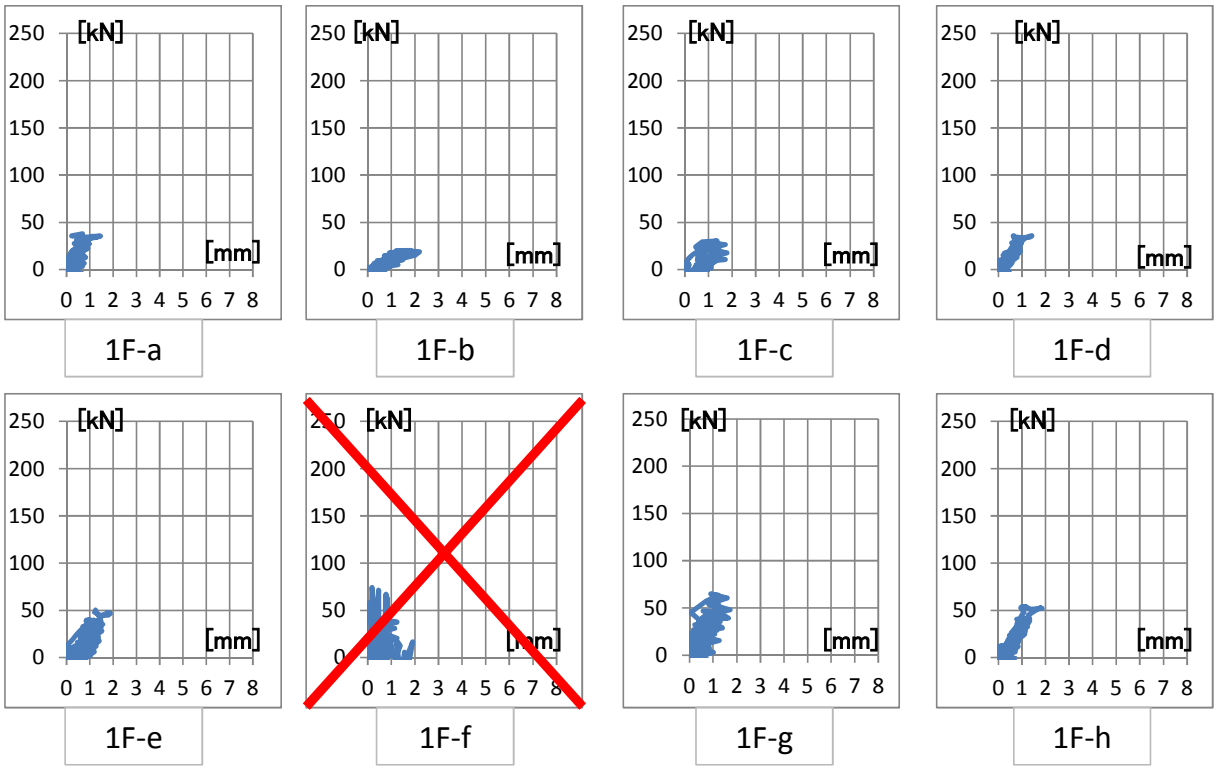


図 7.5.2.2-4　1 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

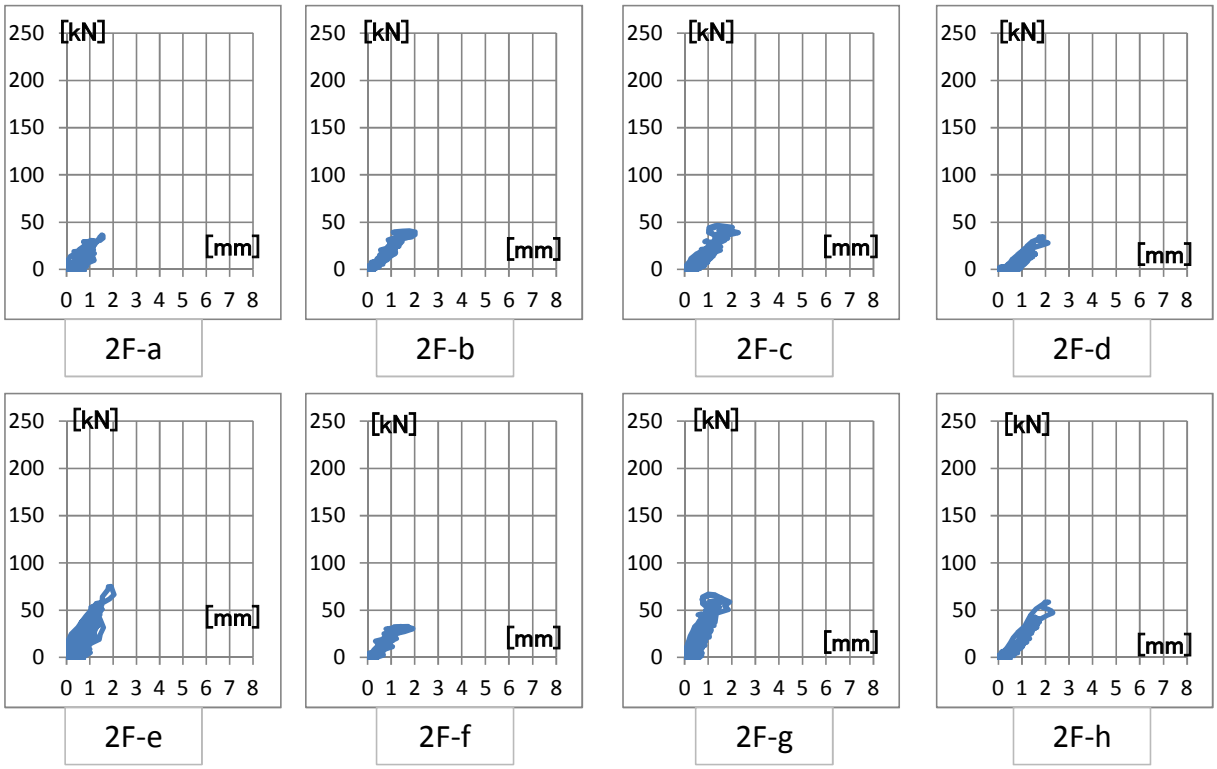


図 7.5.2.2-5　2 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

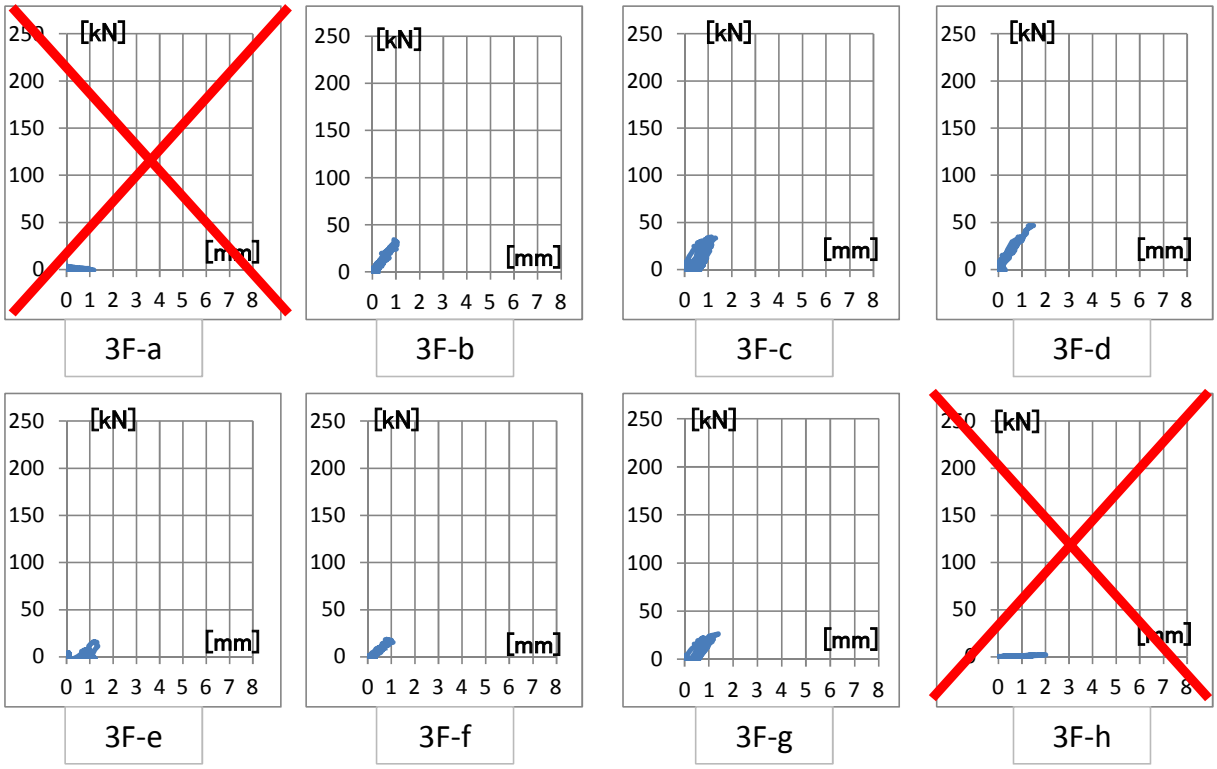
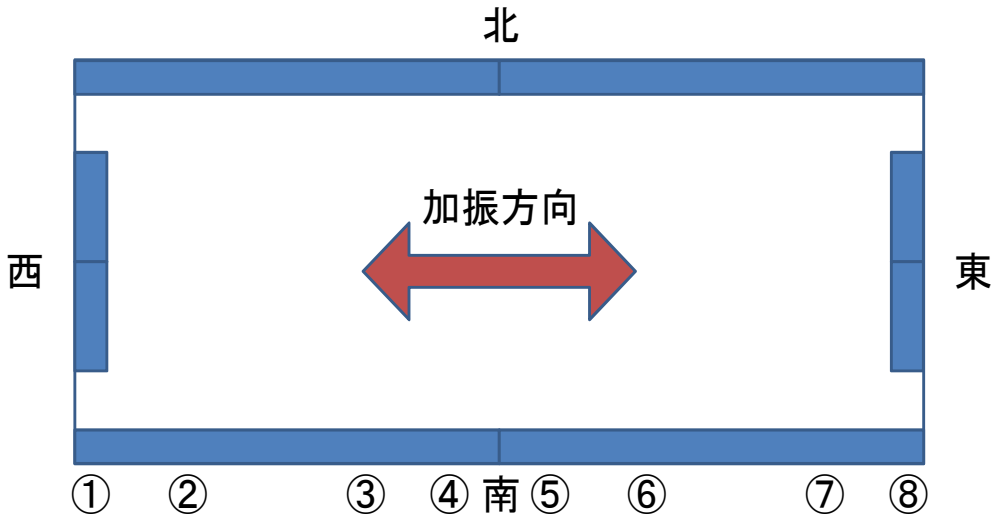


図 7.5.2.2-6　3 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

7.5.2.3　「2012 年 2 月 7 日　JMA 神戸波 100%、0.5Hz」

①柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線



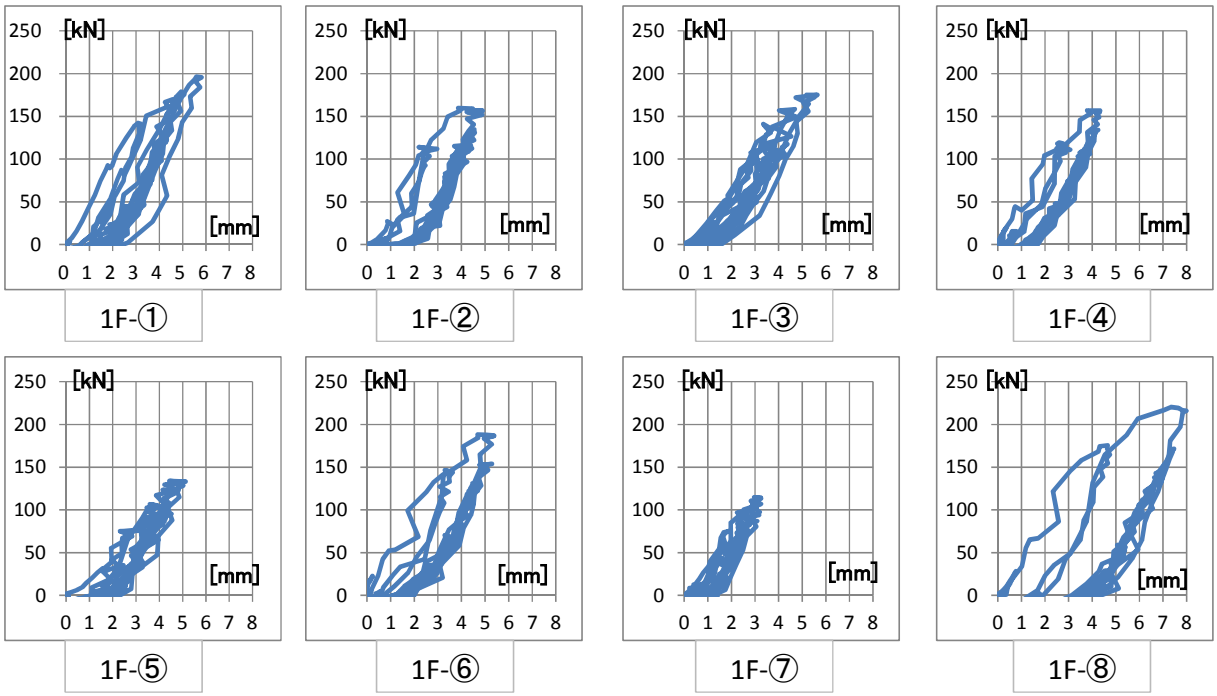


図 7.5.2.3-1 1 層の柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

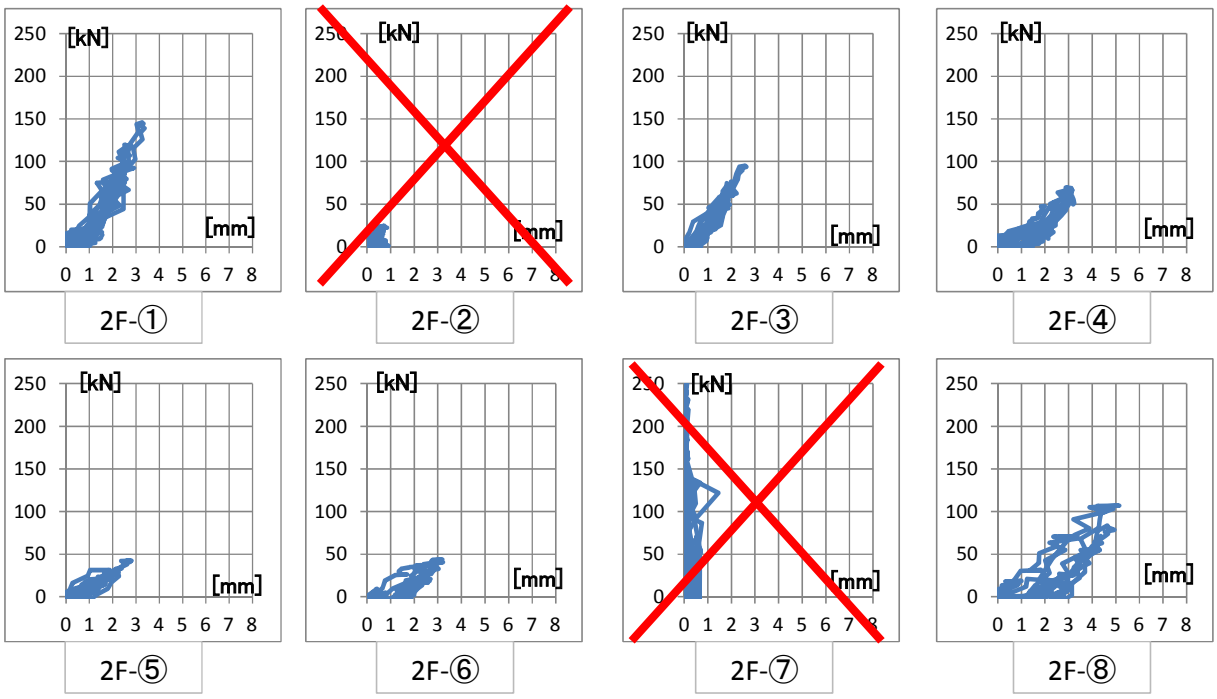


図 7.5.2.3-2 2 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (mm) 曲線

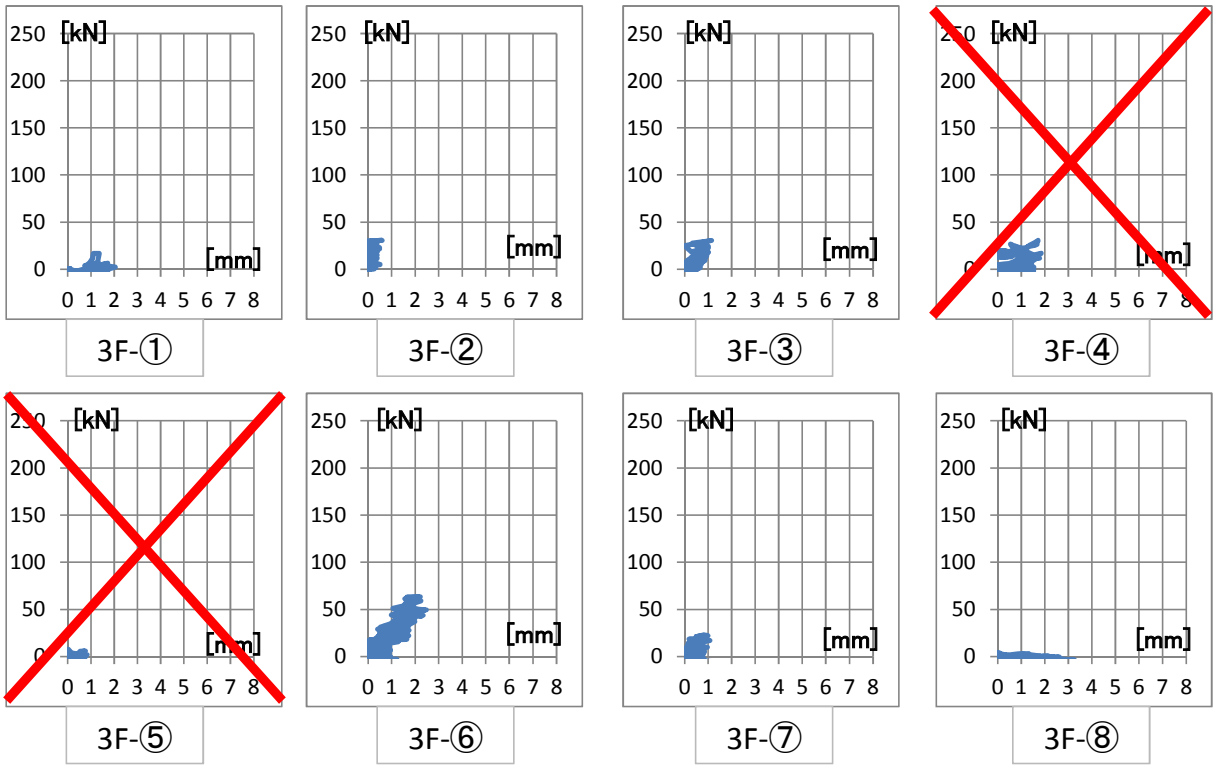
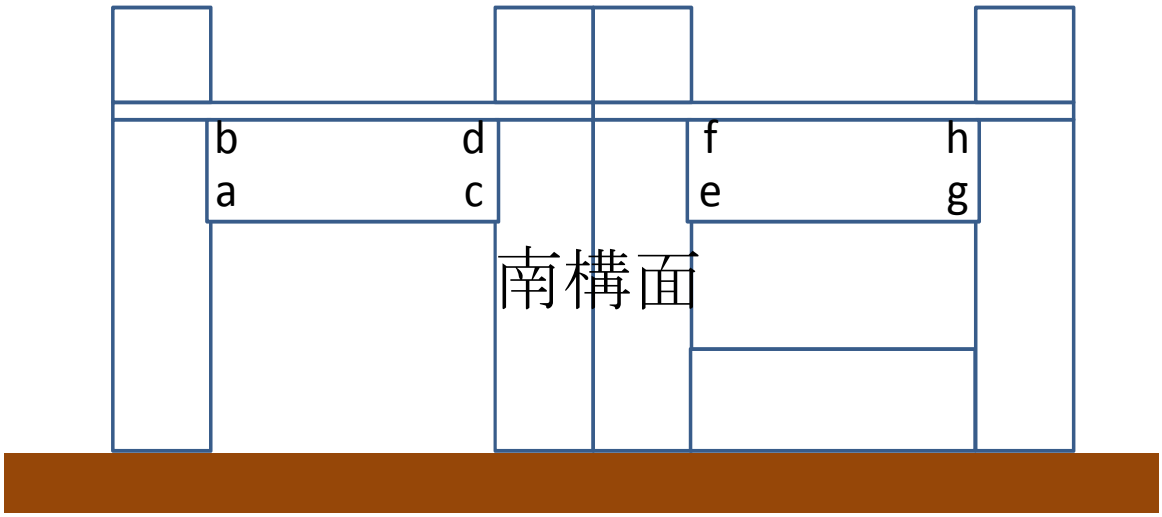


図 7.5.2.3-3 3 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (mm) 曲線

②まぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線



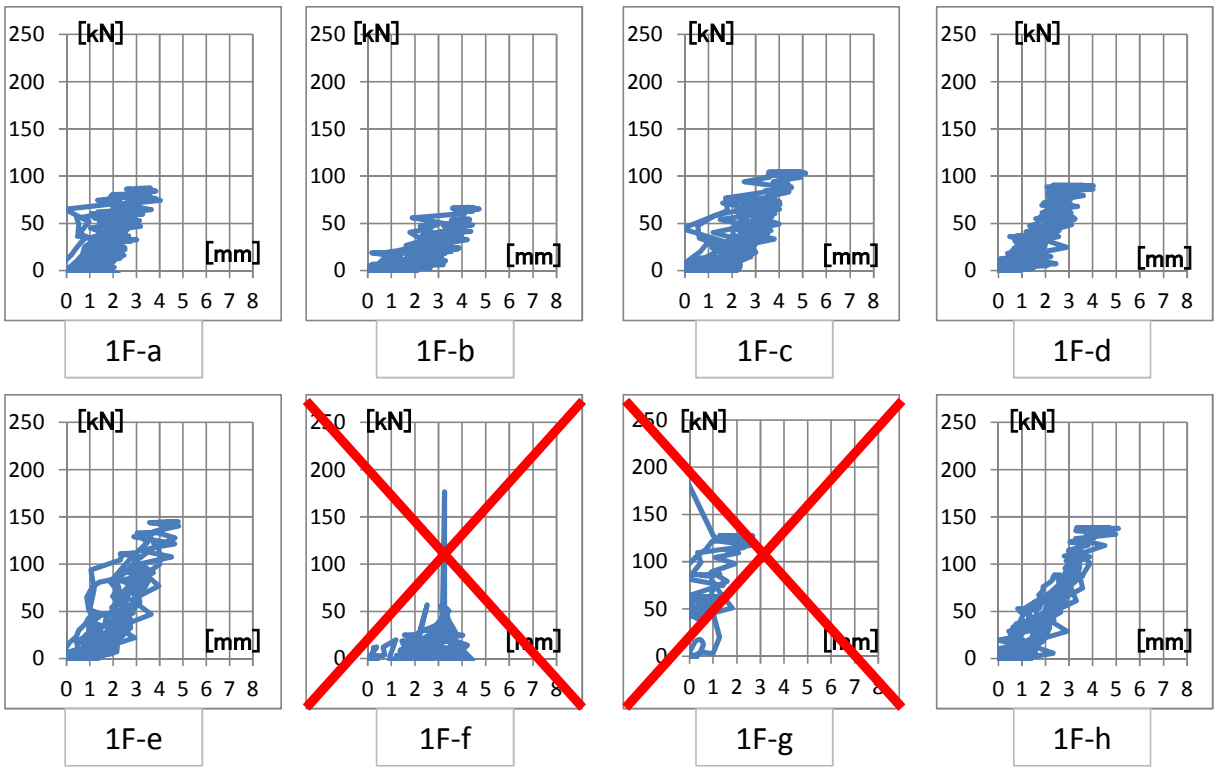


図 7.5.2.3-4 1 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

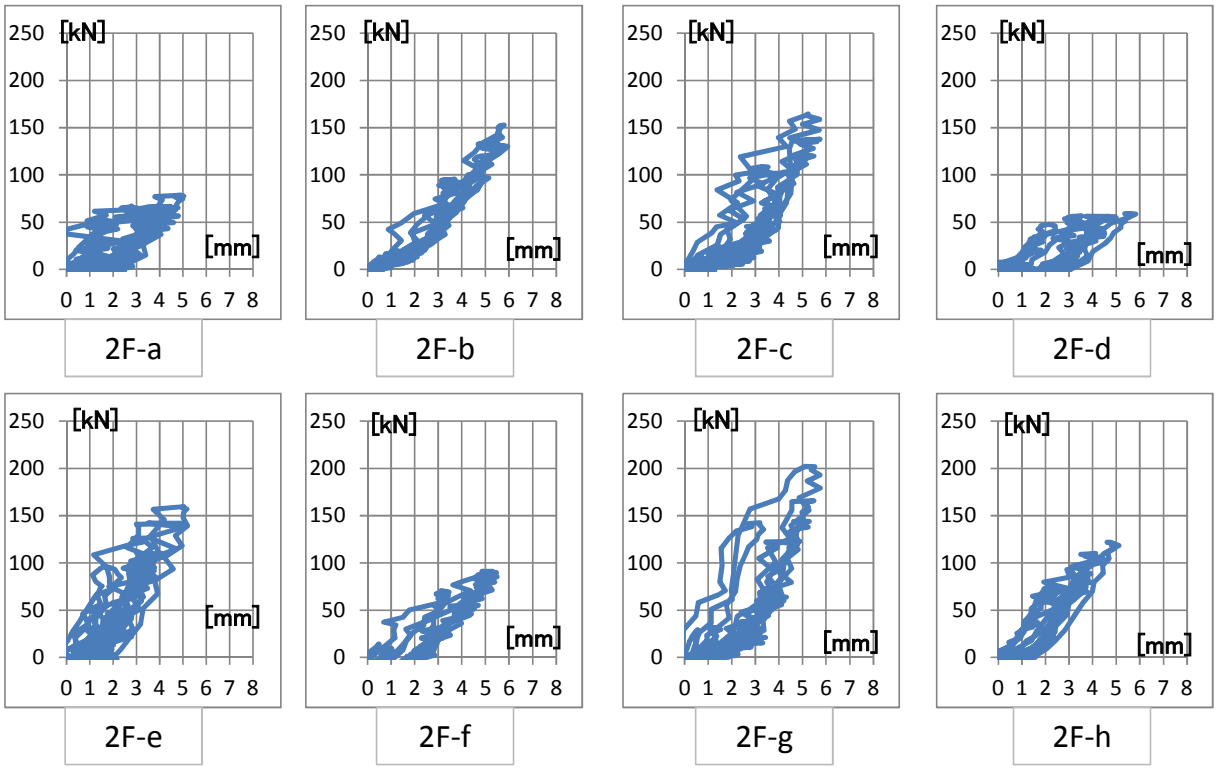


図 7.5.2.3-5 2 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

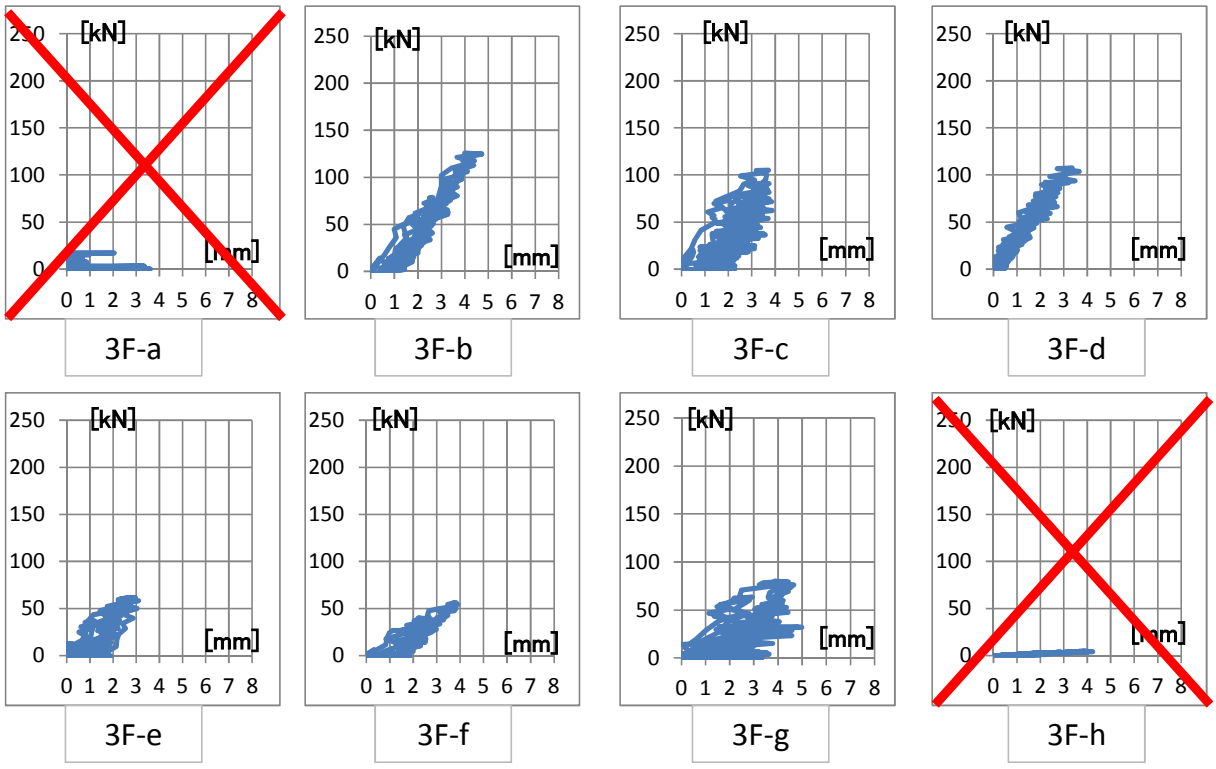


図 7.5.2.3-6 3 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

7.5.2.4「2012 年 2 月 7 日　正弦波 400gal、0.1Hz」

①柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

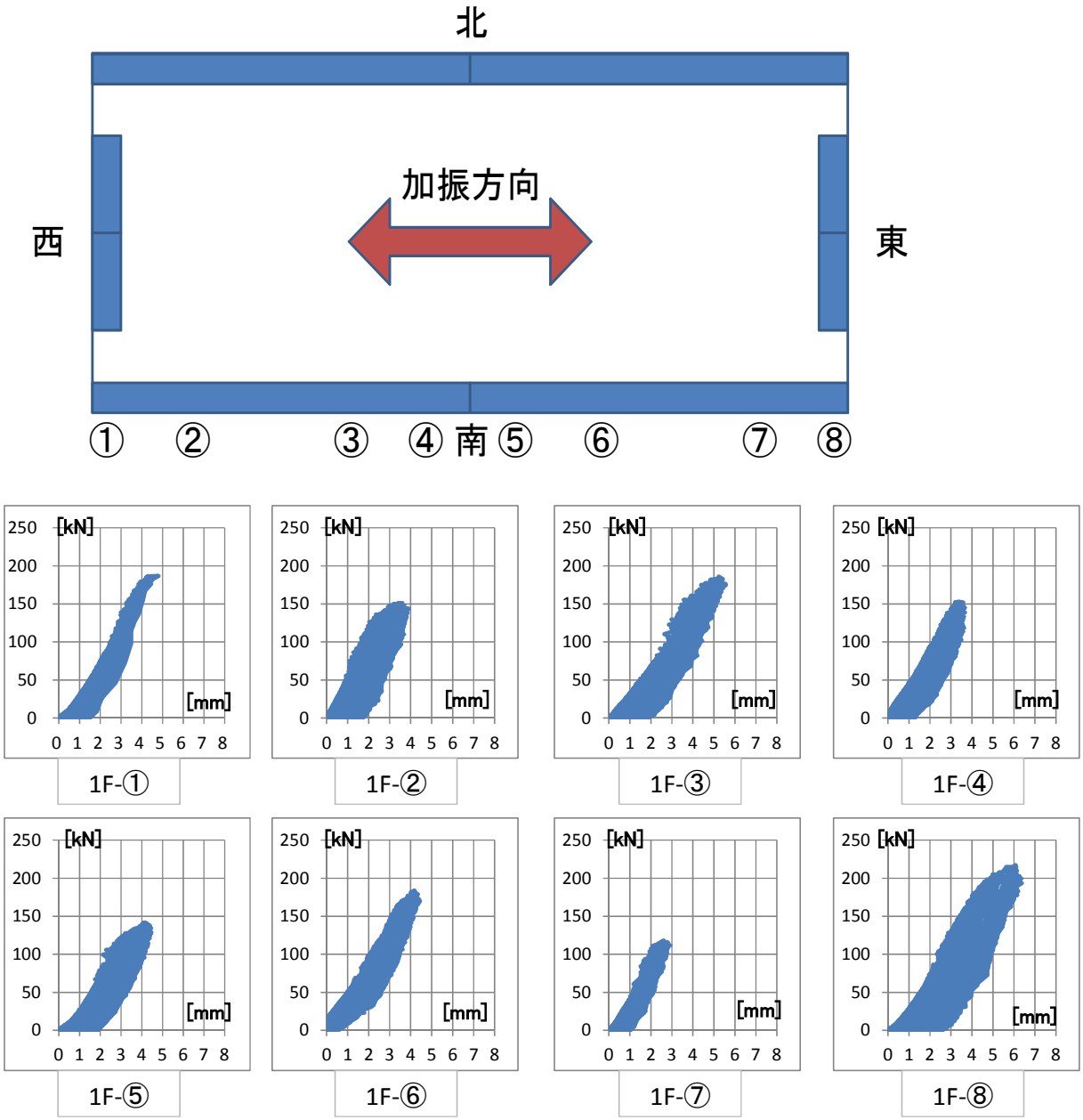


図 7.5.2.4-1 1 層の柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

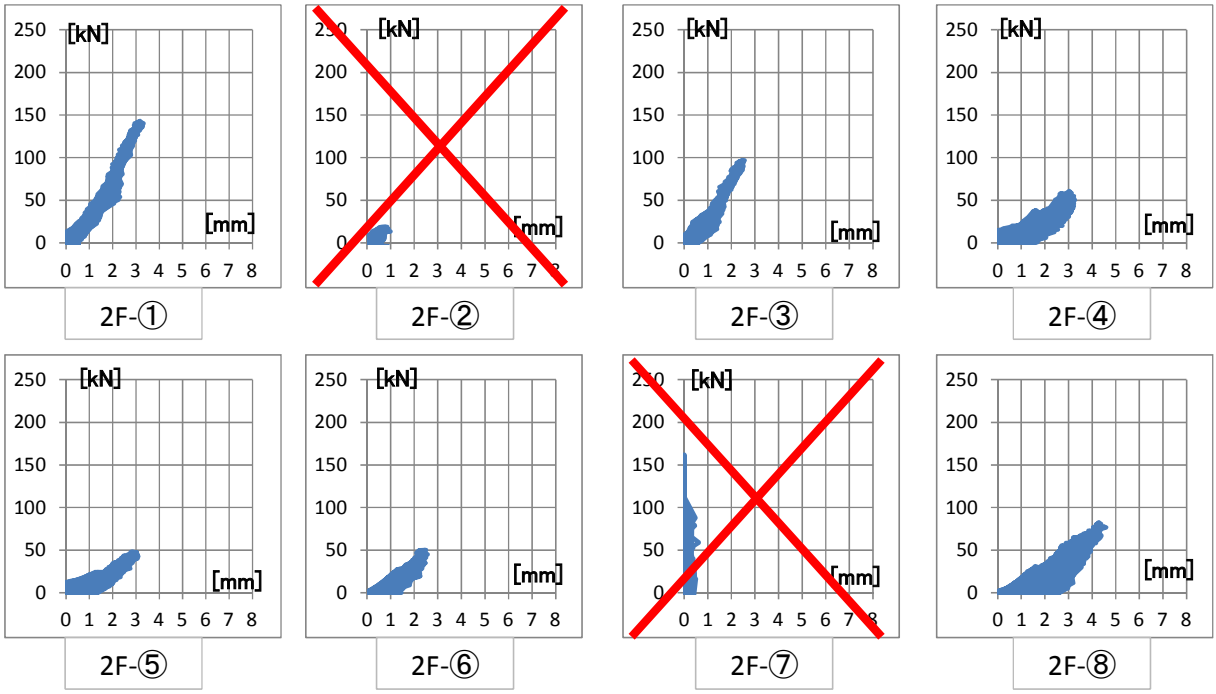


図 7.5.2.4-2 2 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (㎜)曲線

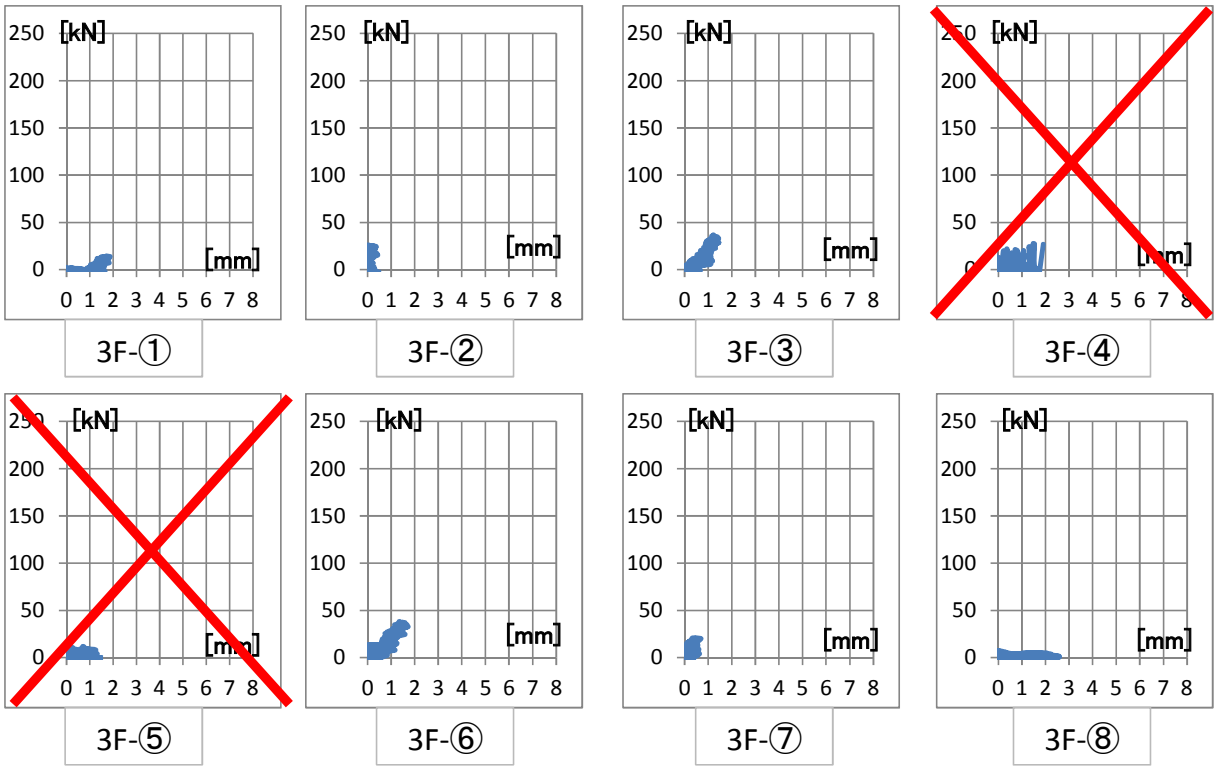


図 7.5.2.4-3 3 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (㎜)曲線

②まぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

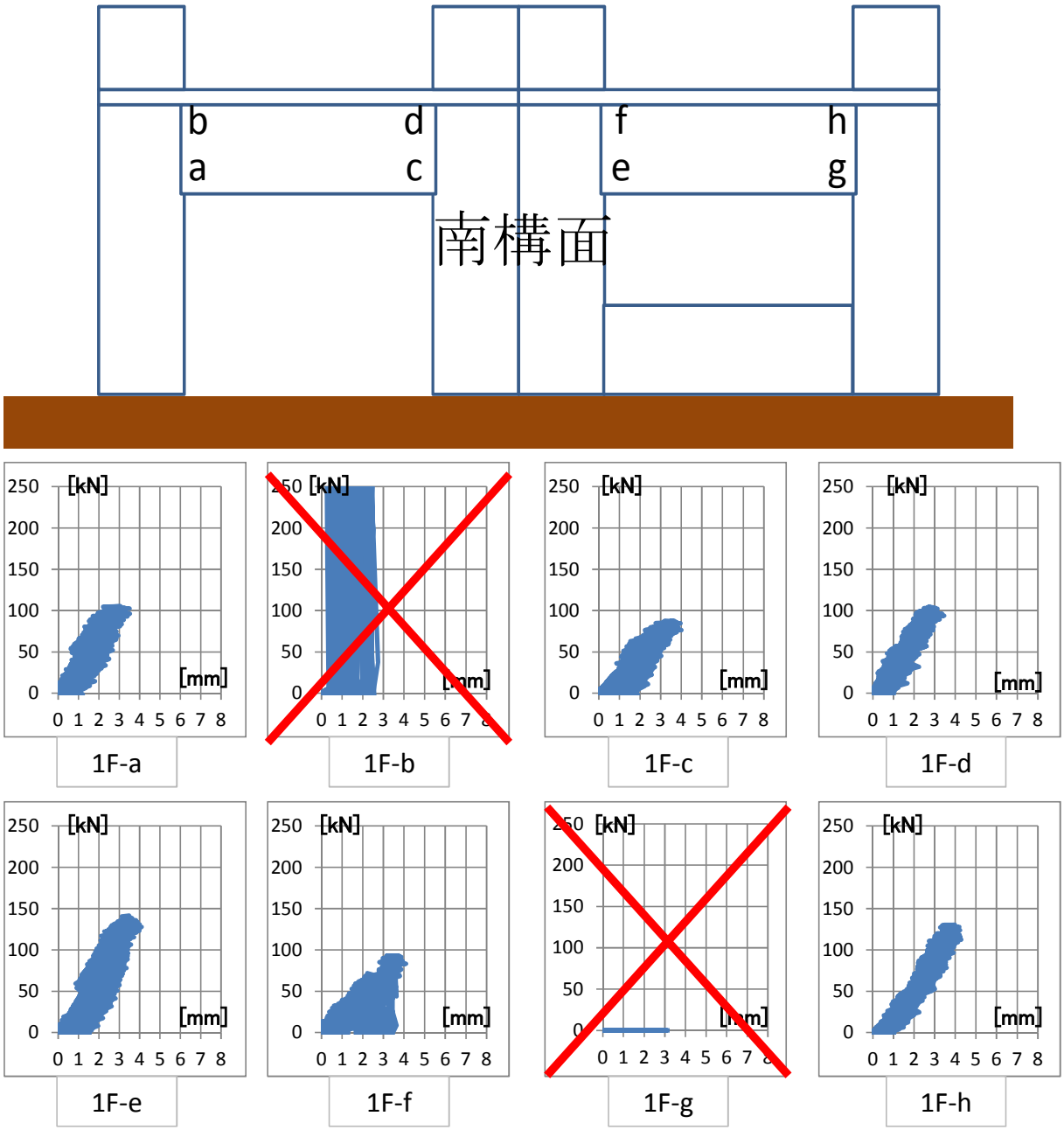


図 7.5.2.4-4 1 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

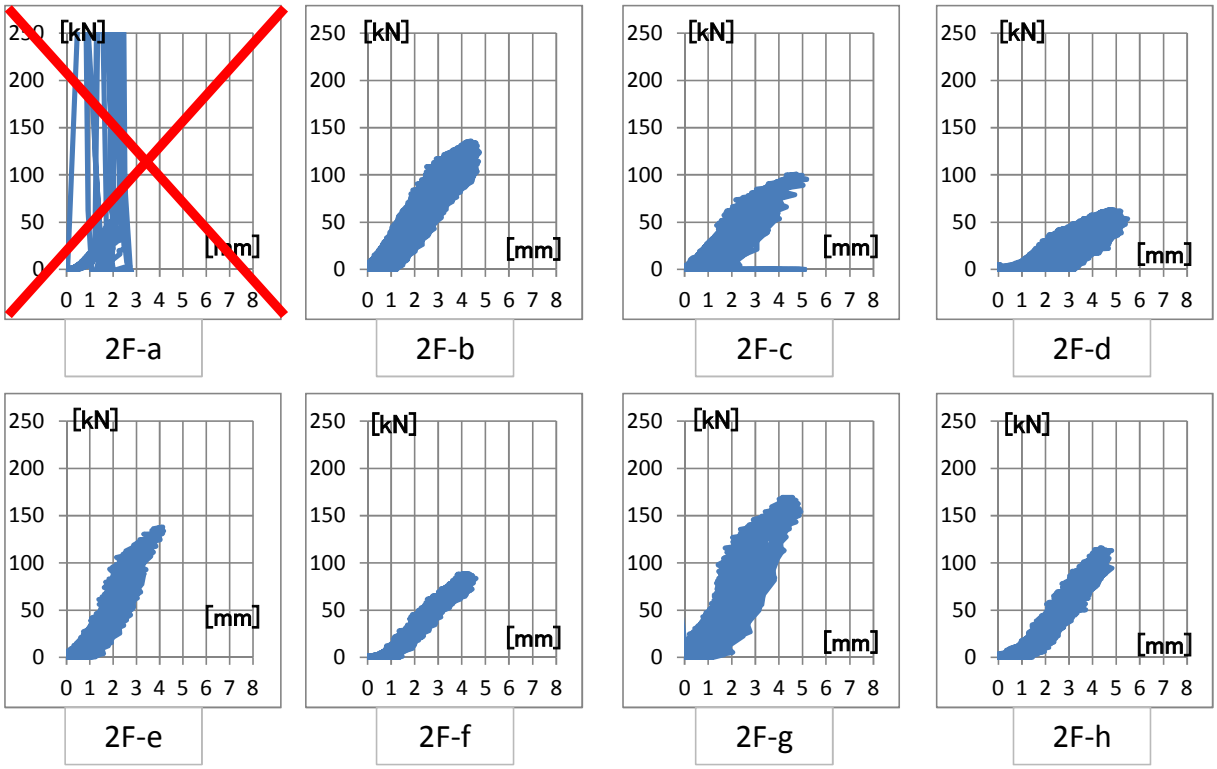


図 7.5.2.4-5 2 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(㎜)曲線

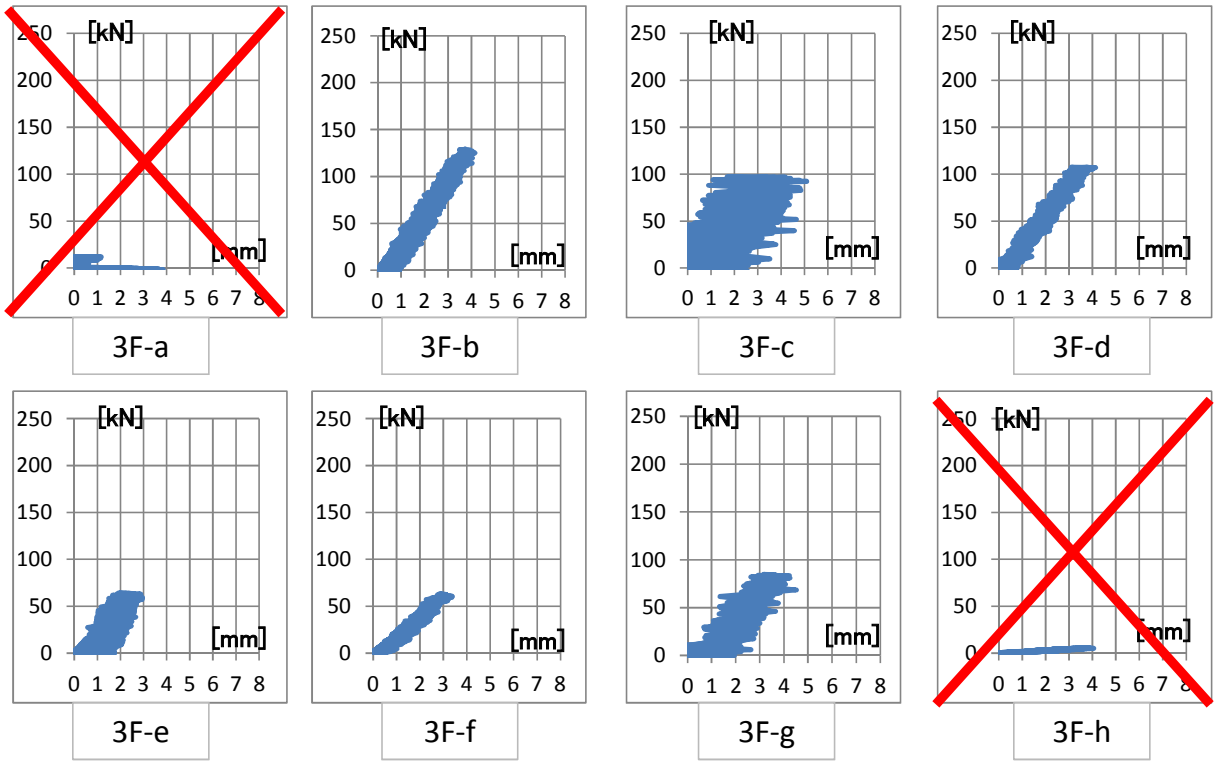


図 7.5.2.4-6 3 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(㎜)曲線

7.5.2.5「2012 年 2 月 7 日　JMA 神戸波 100%、0.1Hz」

①柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

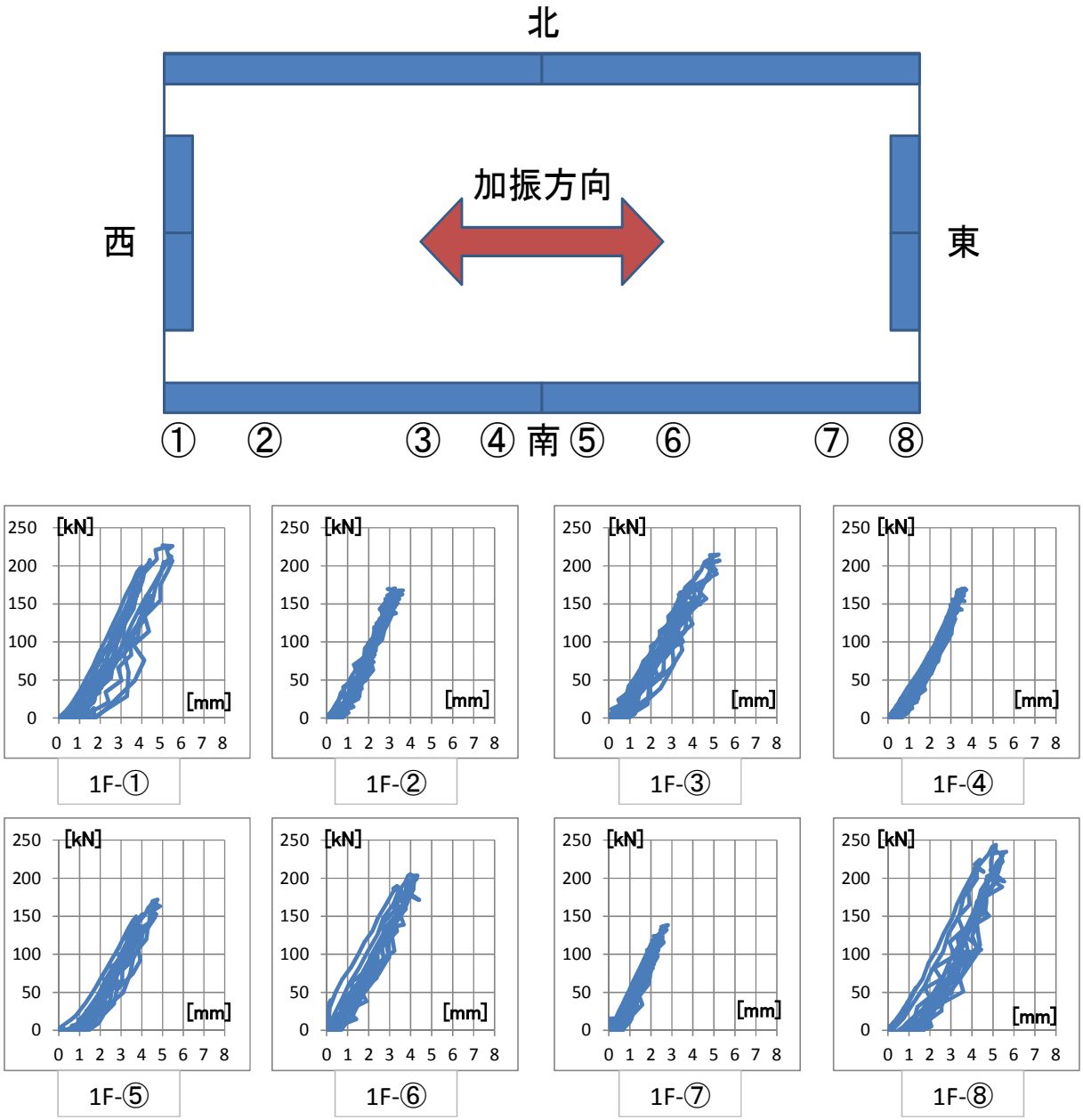


図 7.5.2.5-1 1 層の柱脚接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

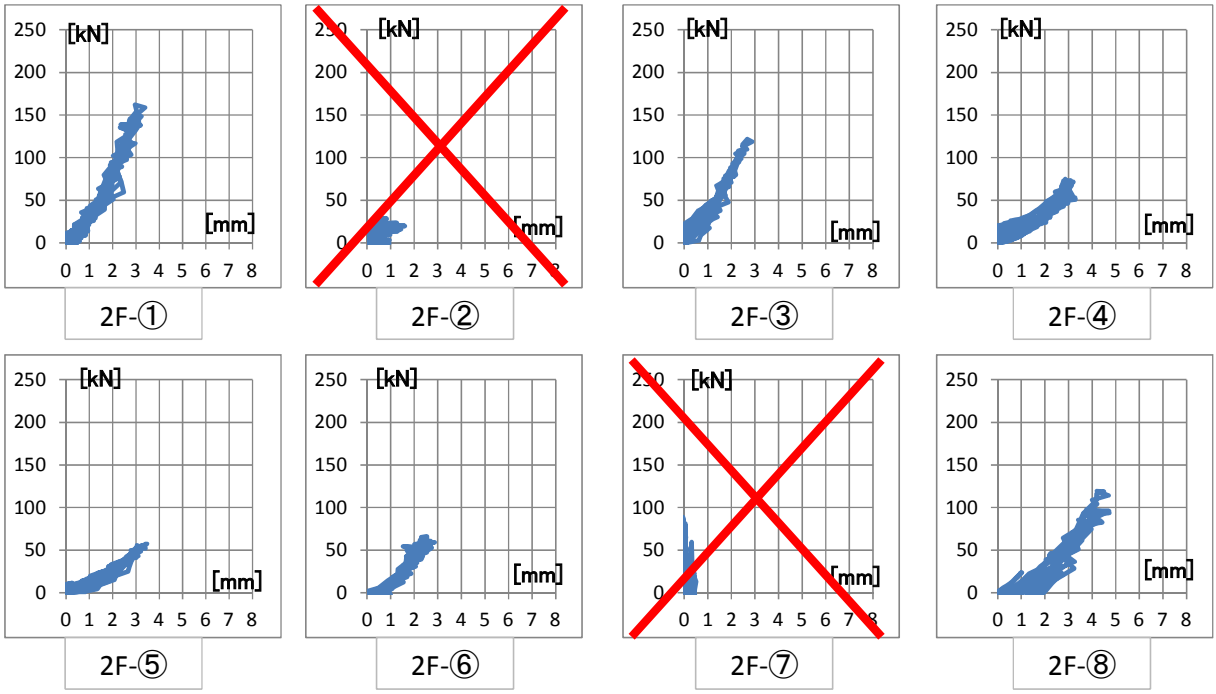


図 7.5.2.5-2 2 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (㎜) 曲線

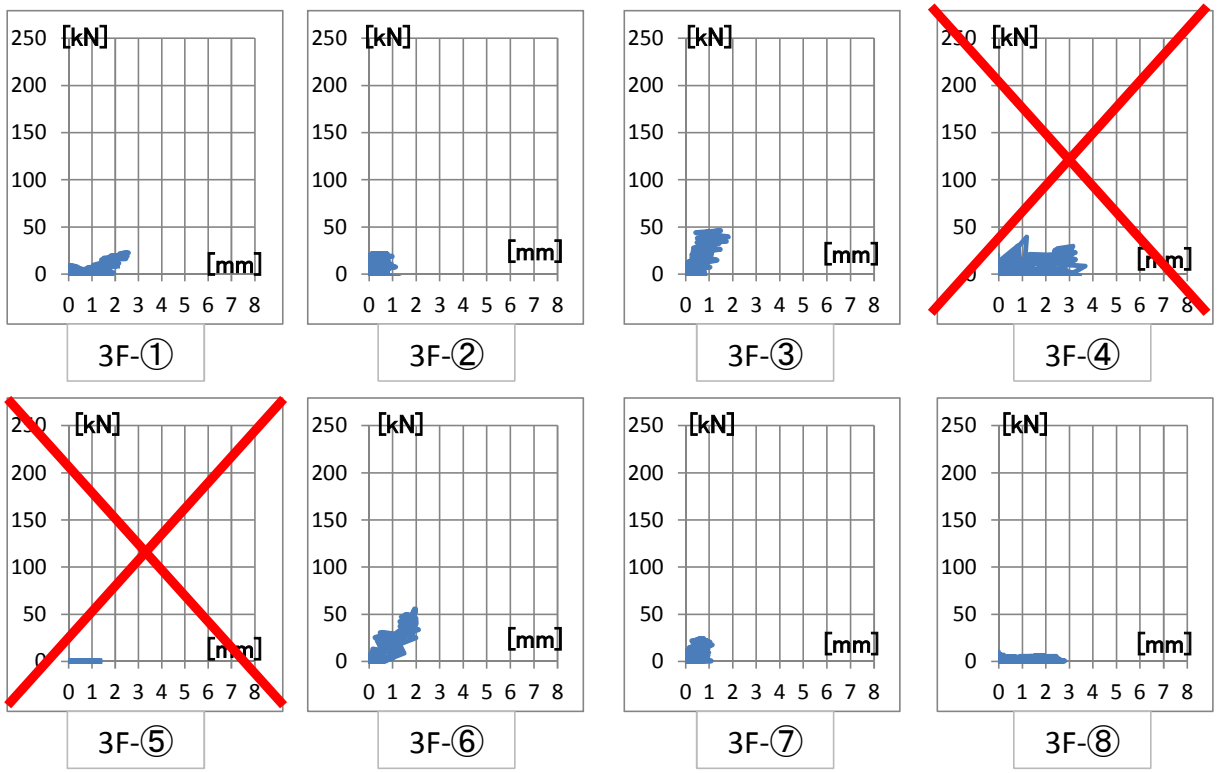
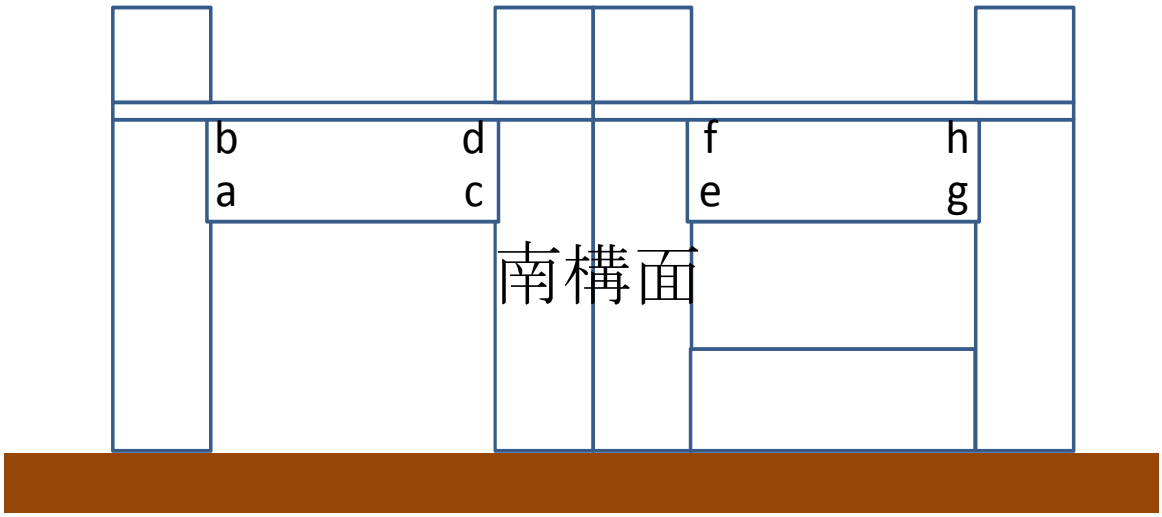


図 7.5.2.5-3 3 層の柱脚接合部 P(kN)－δ (㎜) 曲線

②まぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線



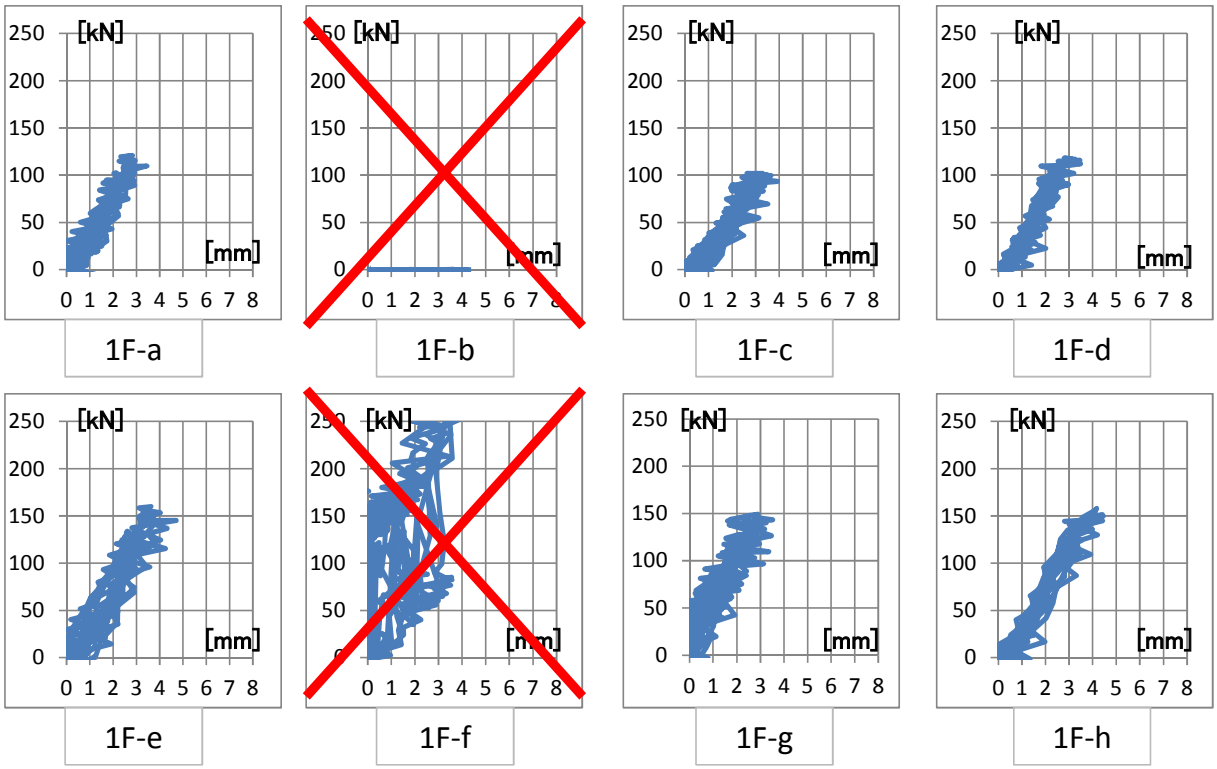


図 7.5.2.5-4 1 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(mm)曲線

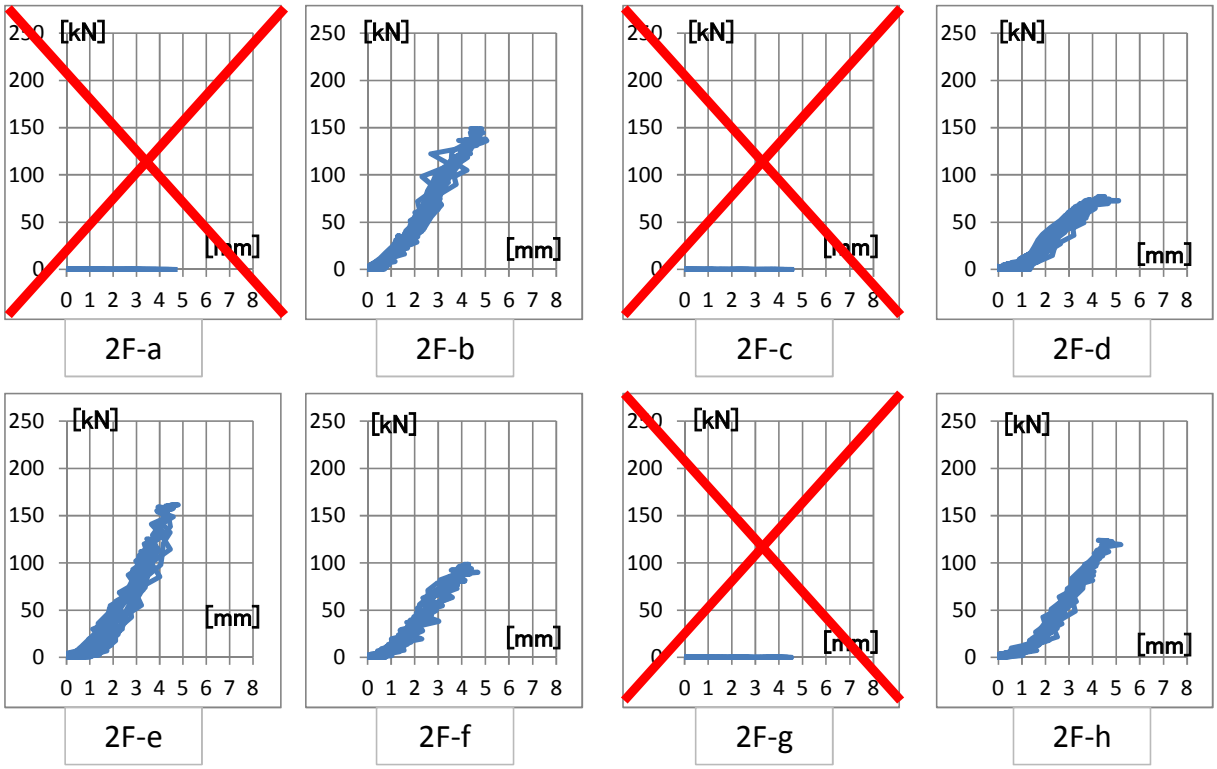


図 7.5.2.5-5 2 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(㎜)曲線

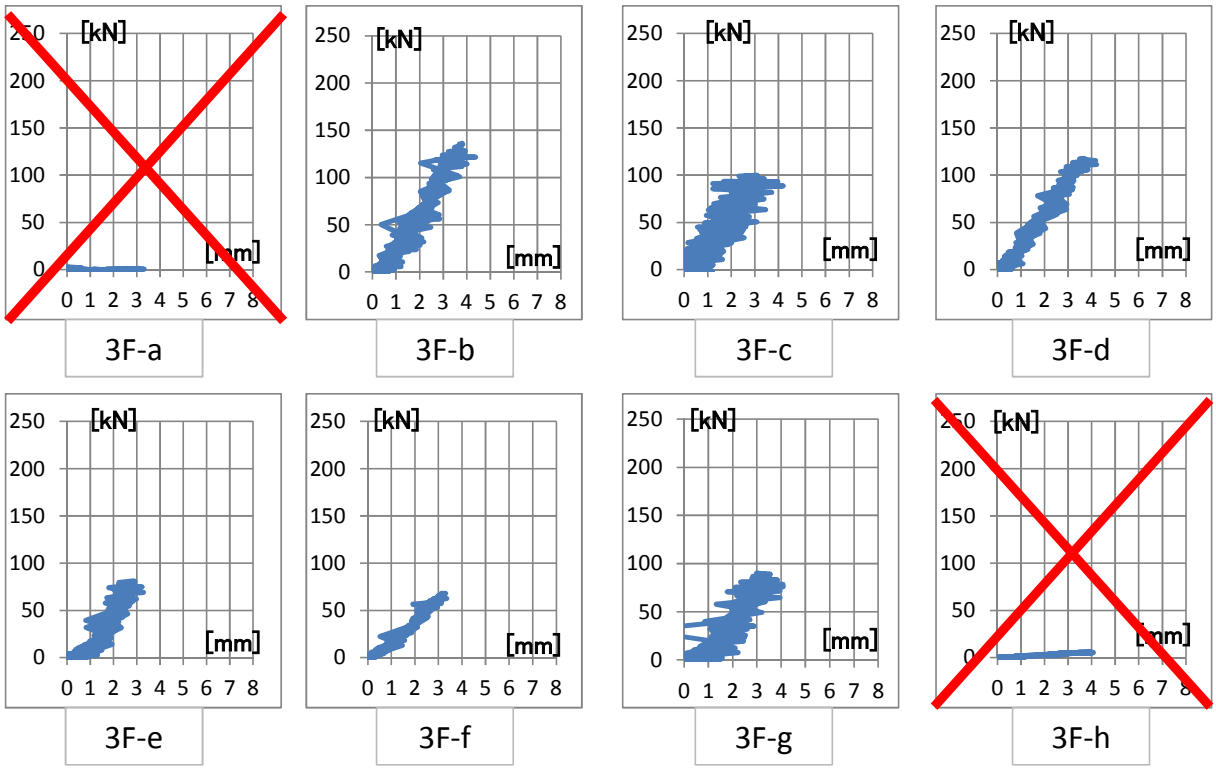


図 7.5.2.5-6 3 層のまぐさ接合部 P(kN)－δ(㎜)曲線

７．６　変形図

７．６．１　　マーカーの位置

試験体とマーカー位置を**図 7.6.1-1** に示す。設置したマーカーの位置からの 3 次元の変位より南構面の変形図を算出した。今回は奥行方向を無視したマーカー1 の最大応答変位（正負）時の変形図を求めた。なお、計測方法等の詳細は「**第８章　画像計測**」に示す。

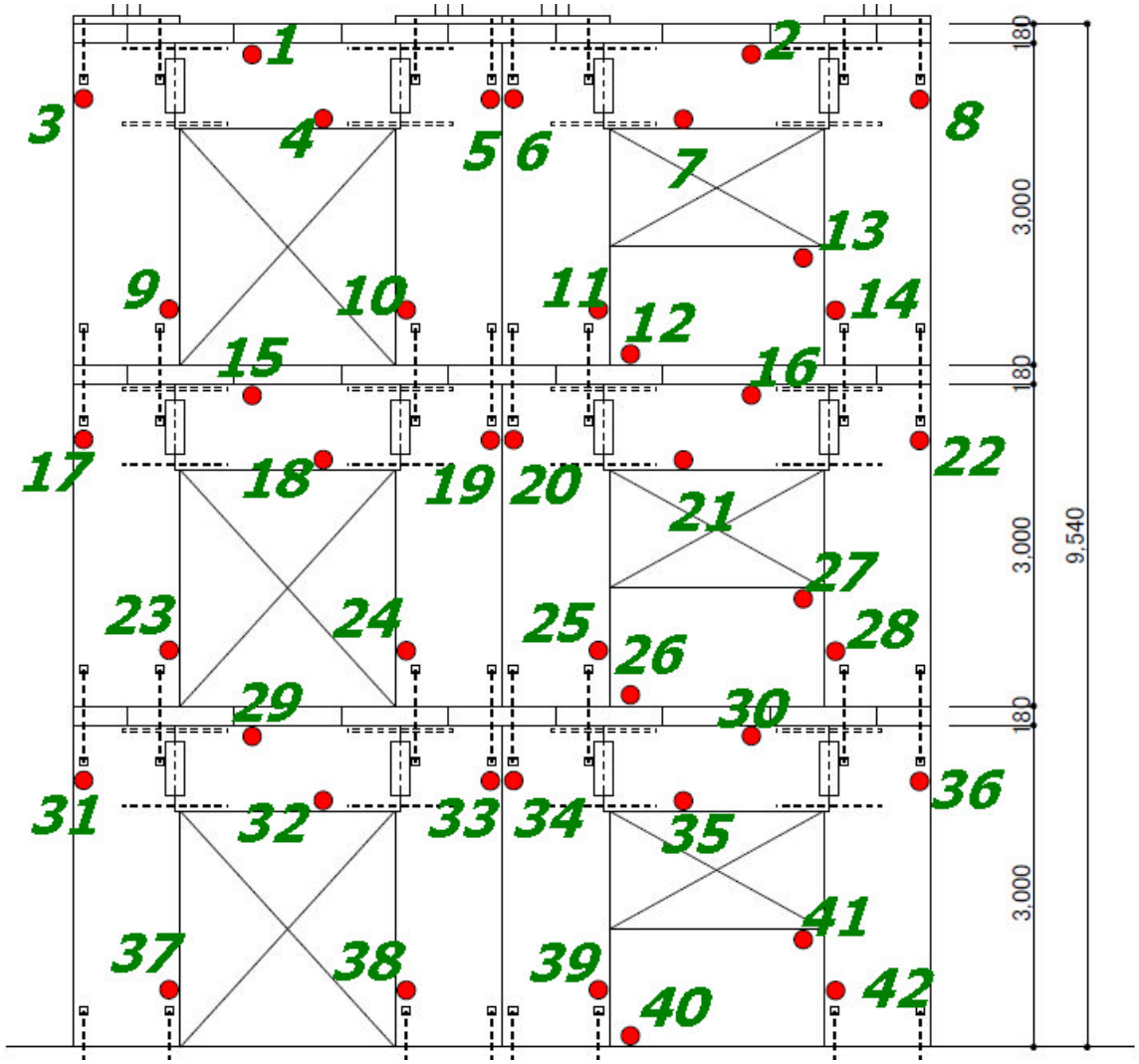
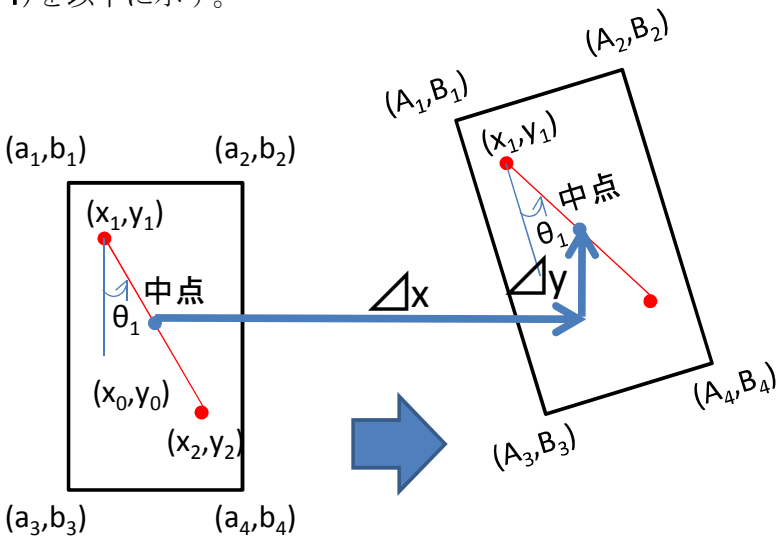


図 7.6.1-1 試験体とマーカー位置

７．６．２　算出方法

算出方法(**図 7.6.2-1**)を以下に示す。



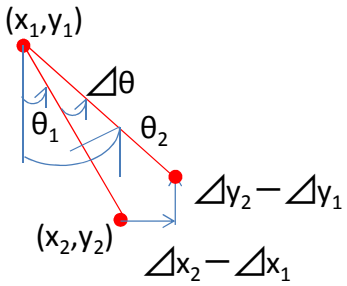


図 7.6.2-1 算出方法

$(x_1, y_1) \rightarrow (x_1 + \triangle x_1, y_1 + \triangle y_1)$

$(x_2, y_2) \rightarrow (x_2 + \triangle x_2, y_2 + \triangle y_2)$

平行移動の成分は

$$(\triangle x, \triangle y) \rightarrow (\frac{\triangle x_1 + \triangle x_2}{2}, \frac{\triangle y_1 + \triangle y_2}{2})$$

回転角(**図 7.6.2-1** の場合)

$\theta_2 \rightarrow \theta_1 + \Delta\theta$ より

$$\Delta\theta = acr\tan\frac{x_2 + \triangle x_2 - (x_1 + \triangle x_1)}{y_1 + \triangle y_1 - (y_2 + \triangle y_2)} - arctan\frac{x_2 - x_1}{y_1 - y_2}$$

よって、

$$\begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\Delta\theta & -\sin\Delta\theta \\ \sin\Delta\theta & \cos\Delta\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 - x_0 \\ b_1 - y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \triangle x \\ \triangle y \end{pmatrix}$$

より、変形図を算出する。

７．６．３　結果

①画像計測により得られたマーカー1 の最大応答変位(正負)と対角線変位計（DB）による RF の最大応答変位(正負)の比較（**図～-1**)、②マーカー1 の最大応答変位(正負)時の拡大倍率 10 倍の変形図(**図～-2, 3**)を示す。

7.6.3.1　2012 年 2 月 6 日　「ART_DIS90%, 最大振幅 192.9mm」

①マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の応答変位の比較

	マーカー1X		対角線変位計測(DB)	
最大応答変位(正)	53.4 mm	707 step	58.4 mm	706 step
最大応答変位(負)	-46.5 mm	946 step	-56.4 mm	684 step

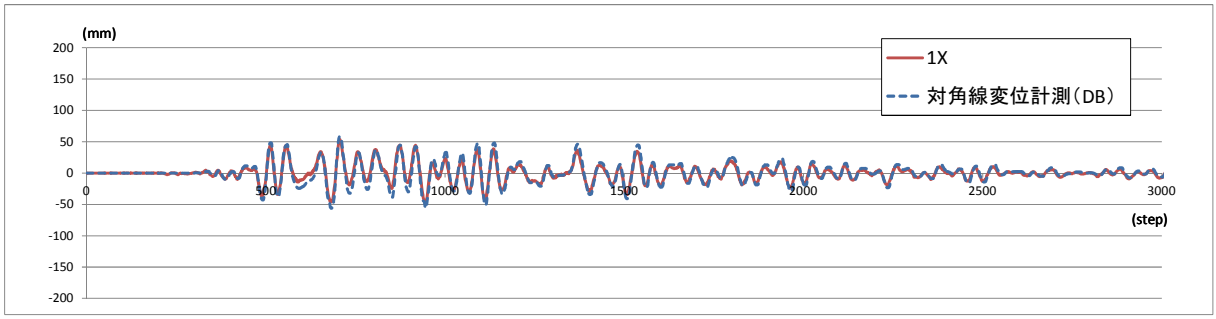


図 7.6.3.1-1　マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の step に対する応答変位

②マーカー1 の最大応答変位(正負)時の拡大倍率 10 倍の変形図

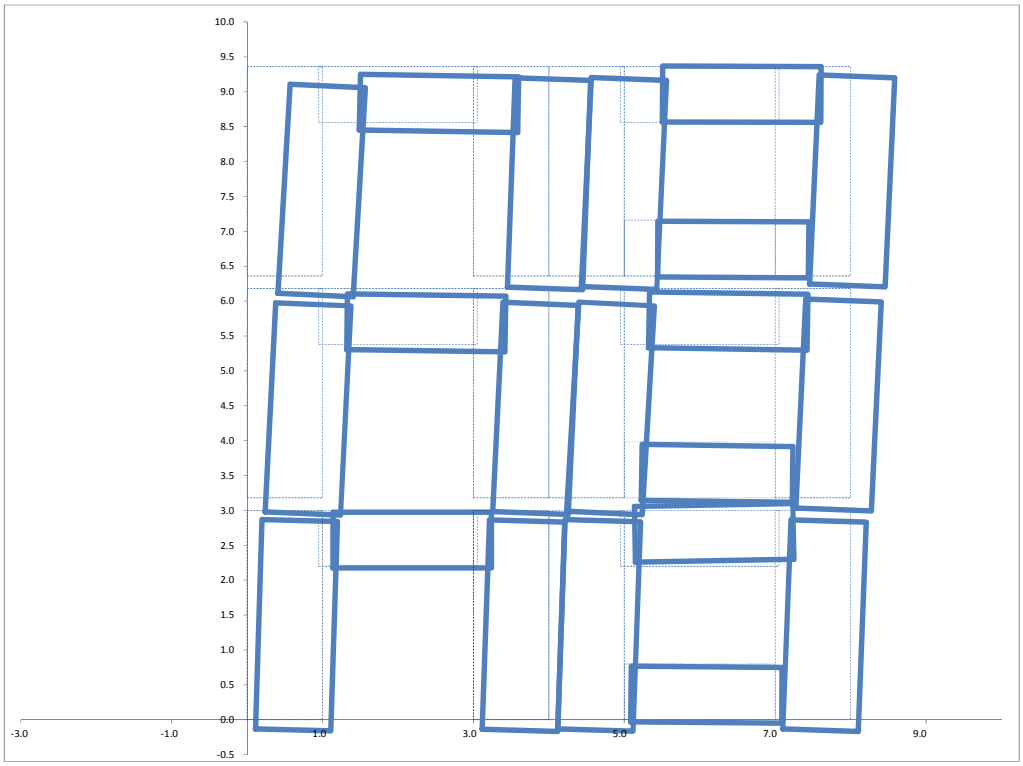


図 7.6.3.1-2　マーカー1 の最大応答変位(正)時の南構面の変形図

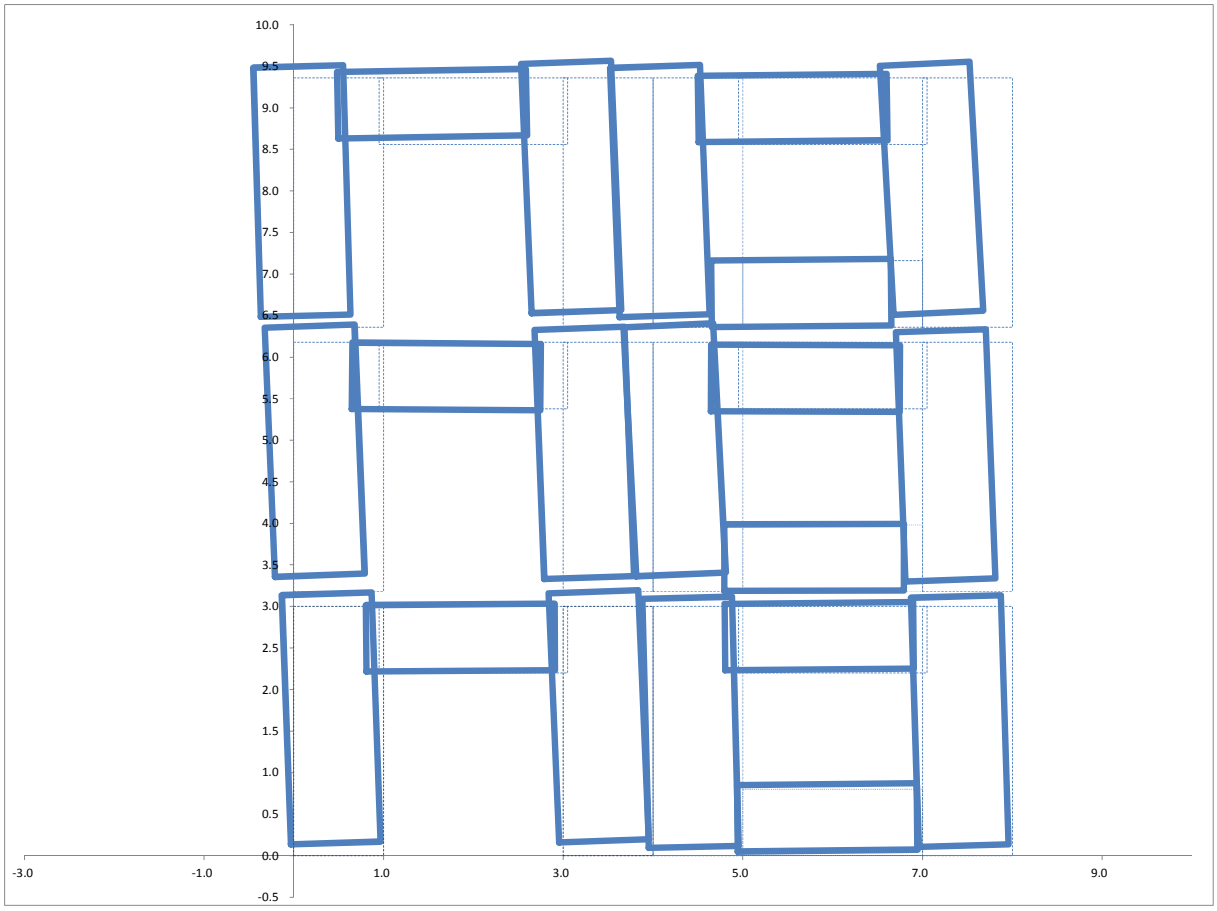


図 7.6.3.1-3　マーカー1 の最大応答変位(負)時の南構面の変形図

7.6.3.2　2012 年 2 月 7 日　「JMA 神戸波 100%, 0.5Hz」

①マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の応答変位の比較

	マーカー1X		対角線変位計測(DB)	
最大応答変位(正)	118.8 mm	1391 step	131.2 mm	1389 step
最大応答変位(負)	−143.3 mm	1028 step	−165.2 mm	1028 step

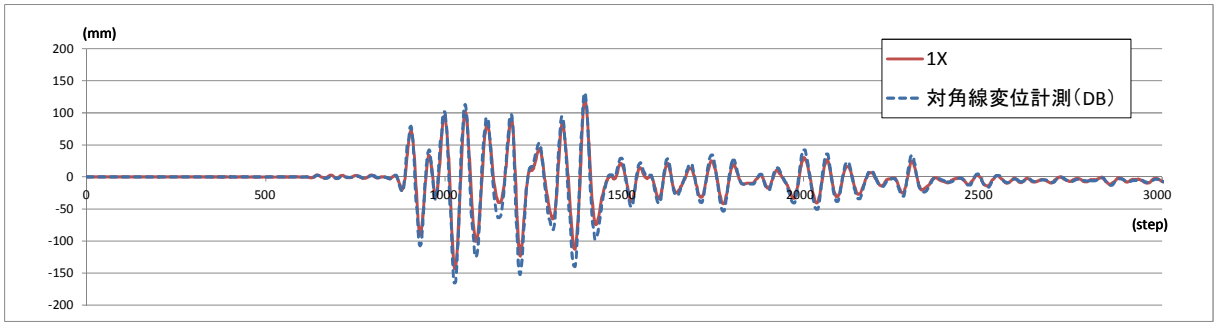


図 7.6.3.2-1　マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の step に対する応答変位

②マーカー1 の最大応答変位(正負)時の拡大倍率 10 倍の変形図

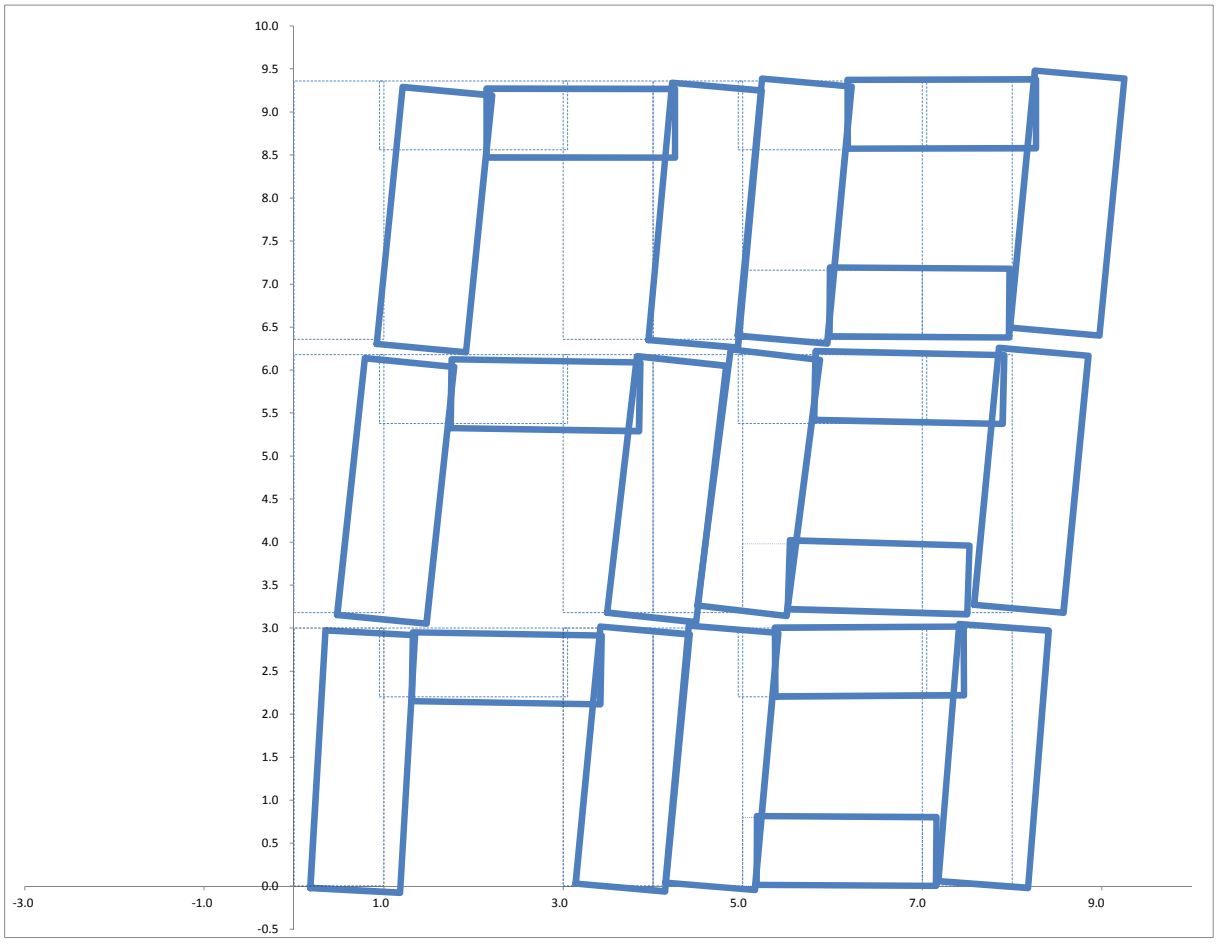


図 7.6.3.2-2　マーカー1 の最大応答変位(正)時の南構面の変形図

図 7.6.3.2-3　マーカー1 の最大応答変位(負)時の南構面の変形図

7.6.3.3　2012 年 2 月 7 日　「正弦波 400gal, 1.5Hz」

①マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の応答変位の比較

	マーカー1X		対角線変位計測(DB)	
最大応答変位(正)	124.3 mm	4569 step	138.2 mm	4501 step
最大応答変位(負)	−119.8 mm	4268 step	−146.1 mm	4535 step

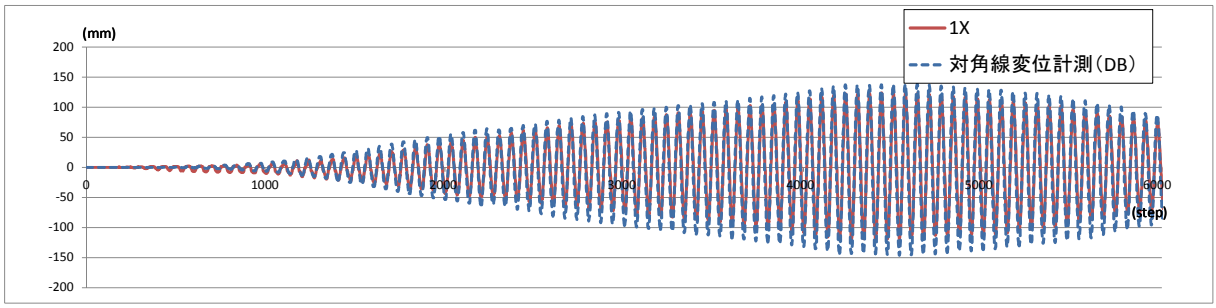


図 7.6.3.3-1　マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の step に対する応答変位

②マーカー1 の最大応答変位(正負)時の拡大倍率 10 倍の変形図

図 7.6.3.3-2　マーカー1 の最大応答変位(正)時の南構面の変形図

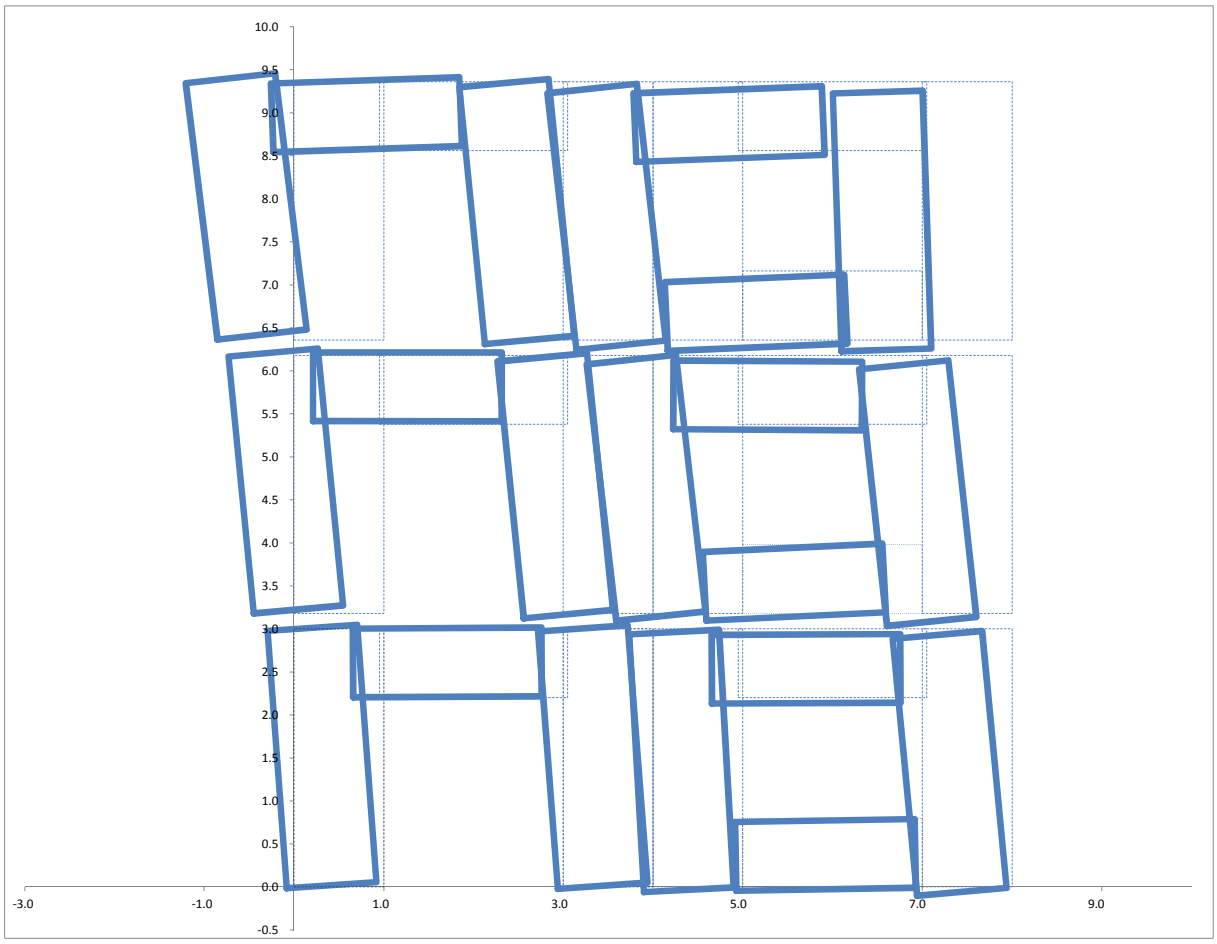


図 7.6.3.3-3　マーカー1 の最大応答変位(負)時の南構面の変形図

7.6.3.4　2012 年 2 月 7 日　「JMA 神戸波 100%, 0.1Hz」

①マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の応答変位の比較

	マーカー1X		対角線変位計測(DB)	
最大応答変位(正)	120.8 mm	1231 step	147.4 mm	1236 step
最大応答変位(負)	−123.4 mm	1074 step	−149.3 mm	1081 step

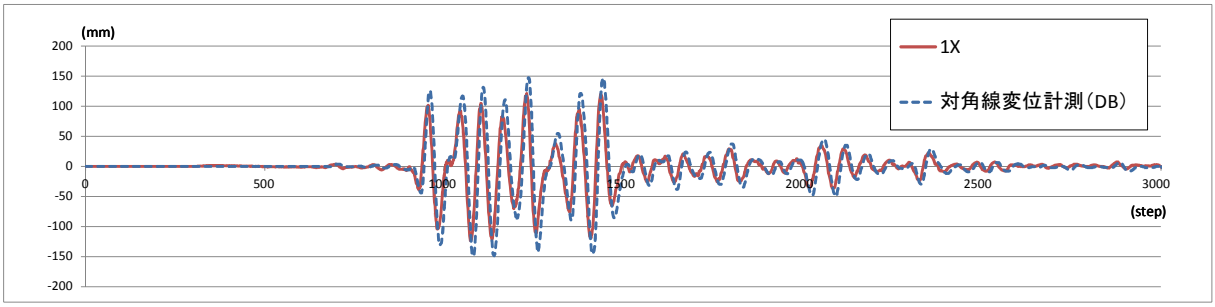


図 7.6.3.4-1　マーカー1 と対角線変位計測（DB）による RF の step に対する応答変位

②マーカー1 の最大応答変位(正負)時の拡大倍率 10 倍の変形図

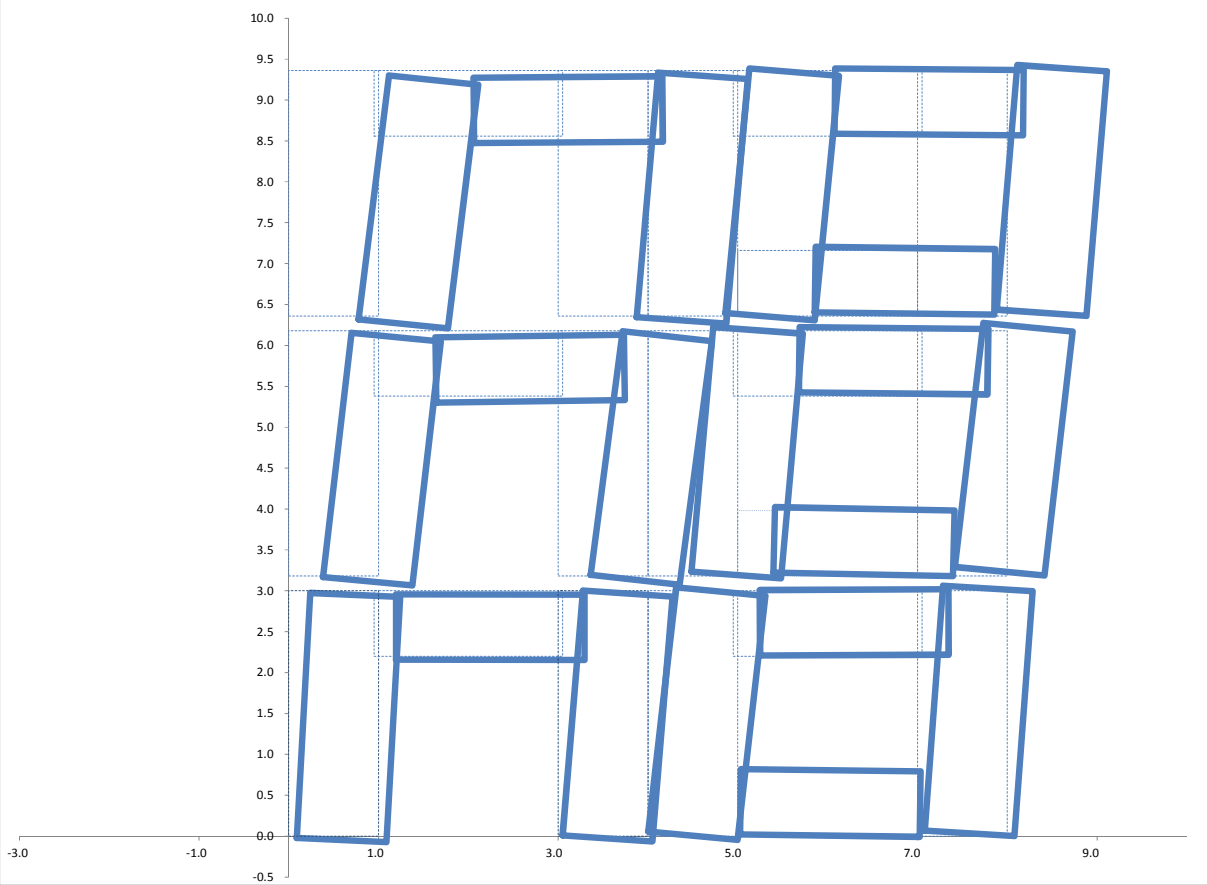


図 7.6.3.4-2　マーカー1 の最大応答変位(正)時の南構面の変形図

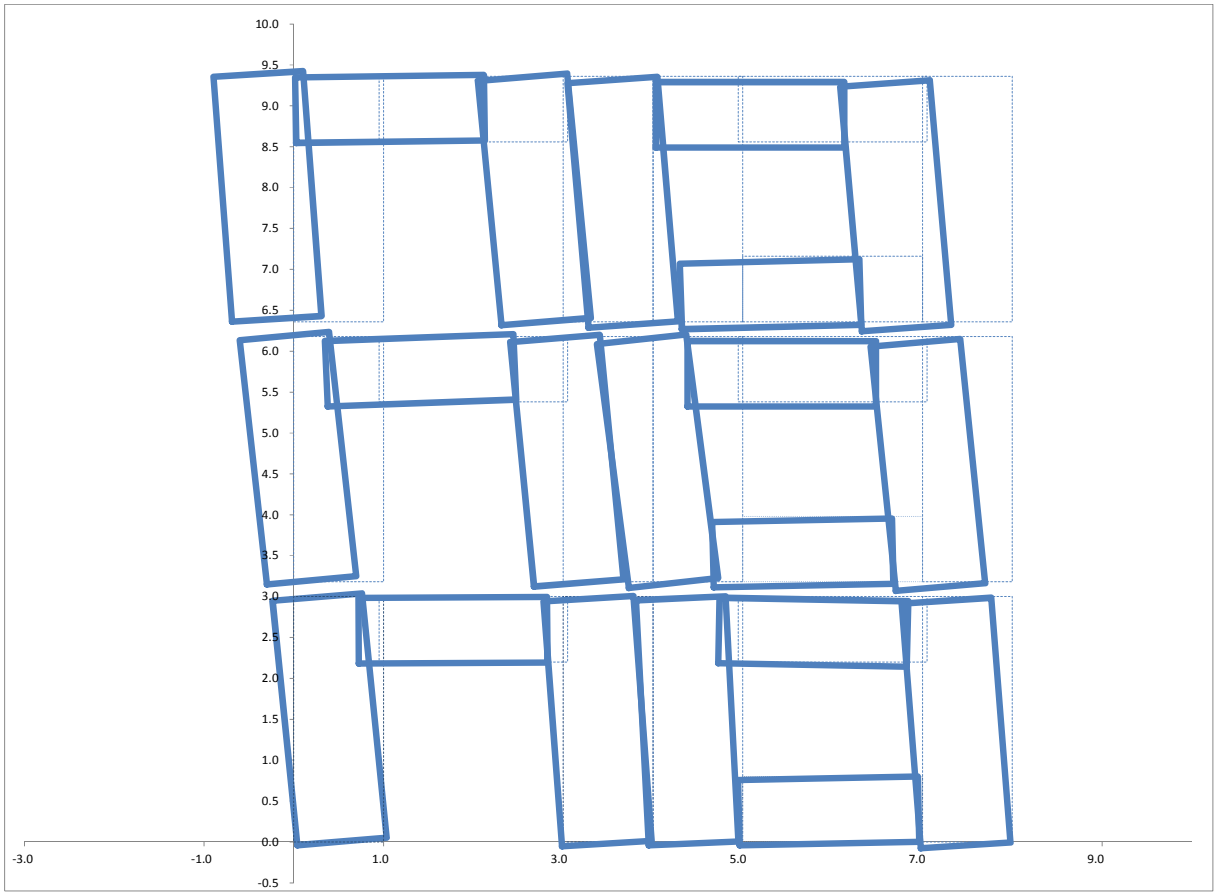


図 7.6.3.4-3　マーカー1 の最大応答変位(負)時の南構面の変形図

７．６．４　まとめ

全地震波において正の最大応答変位が最も大きく計測された地震波は画像計測により得られたマーカー1 の場合は「正弦波 400gal,1.5Hz」であり、斜対角線変位計（DB）による RF の場合は「JMA 神戸波 100%,0.1Hz」だと分かった。しかし、1 層の①の脚部の浮き上がりでは「JMA 神戸波 100%,0.5Hz」、「正弦波 400gal,1.5Hz」、「JMA 神戸波 100%,0.1Hz」で比較すると 5.5～5.8mm の範囲なので斜対角線変位計（DB）による RF の正の最大応答変位のような大きいなバラツキは各地震波では考えにくので、画像計測による応答変位が信頼できると考えられる。

負の最大応答変位は画像計測により得られたマーカー1 と斜対角線変位計（DB）による RF ともに「JMA 神戸波 100%,0.5Hz」が最も大きい応答変位だと分かった。また、1 層の⑧の脚部の浮き上がりが全地震波において「JMA 神戸波 100%,0.5Hz」が最も大きいので信頼できると考えられる。

７．７ その他

床の拘束効果を検証するために、振動台実験（JMA 神戸 100%1回目）における各層の最大層間変位を基準とし、振動台実験と鉛直構面試験（H-H_No1、H-H_No2、H-H 腰壁あり）の壁パネル-まぐさパネル間の鉛直変位を比較した。

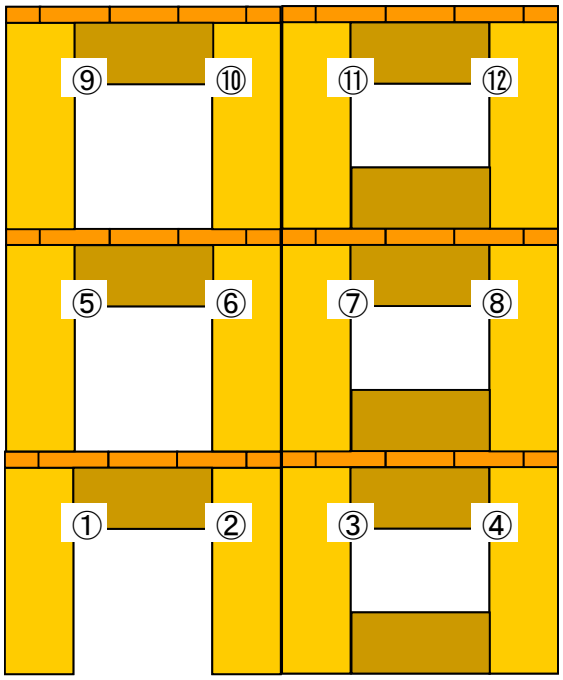


表 7.7-1　各層最大変位時の鉛直変位

	各層正負最大変位時の鉛直変位[mm]	
対応番号	正	負
①	-2.68	2.51
②	2.58	-2.33
③	-1.94	2.57
④	2.84	-2.48
⑤	-4.17	3.46
⑥	4.24	-3.43
⑦	-2.89	3.75
⑧	4.40	-3.89
⑨	-3.15	3.50
⑩	4.01	-2.28
⑪	-2.73	3.53
⑫	4.94	-2.64

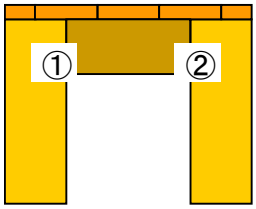
※層間変位は南壁の斜め変位計の値を用いている。

表 7.7-2 各層の最大層間変位

	各層の最大変位					
計測方向	1層（mm/rad）		2層（mm/rad）		3層（mm/rad）	
正	33.76	0.0109	52.36	0.0169	45.66	0.0148
負	-28.07	-0.0091	-41.15	-0.0133	-33.95	-0.0110

表 7.7-3 構面実験における特定変形時の壁-まぐさパネル間鉛直変位

	特定変形時の壁-まぐさ鉛直変位[mm]					
層間変位[mm]	H-H_No1		H-H_No2		H-H_腰壁あり	
	①	②	①	②	①	②
-28.07	-2.22	1.92	-2.26	1.38	-1.48	1.86
33.76	2.14	-2.9	2.16	-3.4	2.68	-3.02
-33.95	-2.4	2.24	-2.4	1.58	-3.12	2.8
45.66	3.2	-3.82	3.36	-4.22	3.8	-3.84
-41.15	-3.42	2.42	-3.04	1.76	-3	3.06
52.36	3.6	-3.78	3.98	-5.08	3.88	-4.08



両者に大きな差は見られず、振動台実験で高い性能を示した要因が床の拘束効果である可能性は低いことが確認できた。