

## 第3章 超高層建物の地震応答計算

### 3-1 はじめに

(社)日本建築構造技術者協会(以降、JSCAと略す)は、平成23年度国土交通省建築基準整備促進事業において、事業主体である(株)大崎総合研究所、および(独)建築研究所、(社)日本免震構造協会との共同研究で、JSCA内にワーキンググループ「JSCA長周期地震動WG-II」を設け、事業主体が作成した東海・東南海・南海3連動地震による東京、大阪、名古屋で想定される長周期地震動(2011地震動と略す)平均波と平均+ $\sigma$ (標準偏差)波に対してJSCA超高層建物モデルを用いた応答解析を行った。その成果は建築研究資料第144号で公表された。平成24年度同事業では、新たに内閣府(2012)が提示した南海トラフ沿いのMw9.0の巨大地震(4連動地震)モデルに基づき、東京、大阪、名古屋で想定される長周期地震動(2012地震動と略す)を計算した。その検討については第2章に示した。これらの4連動地震による2012地震動と3連動地震による2011地震動の平均波と平均+ $\sigma$ (標準偏差)波の地震動レベルを相互評価するには、応答スペクトルやエネルギースペクトルのみでは不十分であり、超高層建物の応答解析を行い、応答値を比較検討する必要があることから、平成23年度の検討と同様に平成21年度建築基準整備促進事業で用いたJSCA作成の超高層建物モデルに4連動地震の2012地震動を入力する地震動応答解析を実施した。これらの比較検討により、3連動地震による2011地震動の平均波とばらつきを考慮した平均+ $\sigma$ (標準偏差)波の関係と4連動地震の震源モデルから想定される長周期地震動の関係を明らかにすることを目的として検討を行った。これらの検討結果により地震動作成手法のばらつきと震源モデルのばらつき等を考慮した検討への道筋をつくることが期待される。

本章では、まず2節で、作成された4連動地震による長周期地震動9地点の応答スペクトルとエネルギースペクトルならびに加速度波形を示し、平成23年度に作成された2011地震動と比較する。さらに3節および4節でJSCA超高層建物モデルを用いた2012地震動および2011地震動による応答解析結果およびその比較を示す。

最後に、2011地震動の平均波と平均+ $\sigma$ (標準偏差)波による応答値の関係、2011地震動の平均波と2012地震動による応答値の関係を明らかにして、地震動作成手法のばらつきと断層モデルのばらつきを考慮した検討を試みる。

### 3-2 地震動概要

内閣府(2012)の南海トラフ沿いの巨大地震の断層モデル(Mw9.0)に基づき4連動6セグメント震源モデルにより試算された9地点での長周期地震動(2012年度)の概要を整理し、2011年度における東海-東南海-南海3連動地震(Mw8.7)を想定した2011地震動と比較する。地震動の概要を表に示す。ここで、2011年度の地震動については、観測データによる方法の平均値による地震波を(2011年度 平均)、平均値に標準偏差 $\sigma$ を考慮した地震波を(2011年度 平均+ $\sigma$ )で表す。地震波の時間刻みはいずれも0.02秒で、波形長さは、2012年度地震動では655.36秒、2011年度地震動では739.82秒となっている。表中のf値は、地震波がEl Centro NS波を基準1.0として何波分の入力エネルギーを持つかを示す係数で、減衰定数 $h=0.1$ のときの周期0~10秒間のエネルギースペクトルの平均値 $\bar{V}_{E,h=0.1}$ と速度応答スペクトルの平均値 $\bar{S}_{V,h=0.1}$ から求める。(秋山他, 2006) また、地震動の加速度波形のパワーの累積値 $\int_0^t a^2(t)dt$ を求め全体のパワーの5%となる点と95%となる点の時間を継続時間と定義し示している。

各地震動の平均と平均+ $\sigma$ の速度応答スペクトル( $h=5\%$ )とエネルギースペクトル( $h=10\%$ )および各地点の加速度時刻歴波形を次頁以降の図に示す。エネルギースペクトルは、総エネルギー入力 $V_E$ と建物周期Tの関係で示され(秋山, 1999)、 $V_E$ は次式により求められる。

$$V_E = \sqrt{2E/M}$$

ここに、 $E$  : 総入力エネルギー入力、 $M$  : 建物の総質量

次節に示す建物に対する応答検討は、平成23年度の検討に用いた2011地震動の此花波(OSKH02)、津島波(AIC003)、浜松波(SZ0024)、新宿波(KGIN)と同じ4地点の2012地震動により行った。応答結果は、比較のため2011地震動による結果とあわせて示す。なお、解析時間は残留変形を求めるため地震終了後の自由震動を十分な長さで行うように、地震波のデータ末尾に200秒程度0を追加した波形で時刻歴応答解析を行っている。

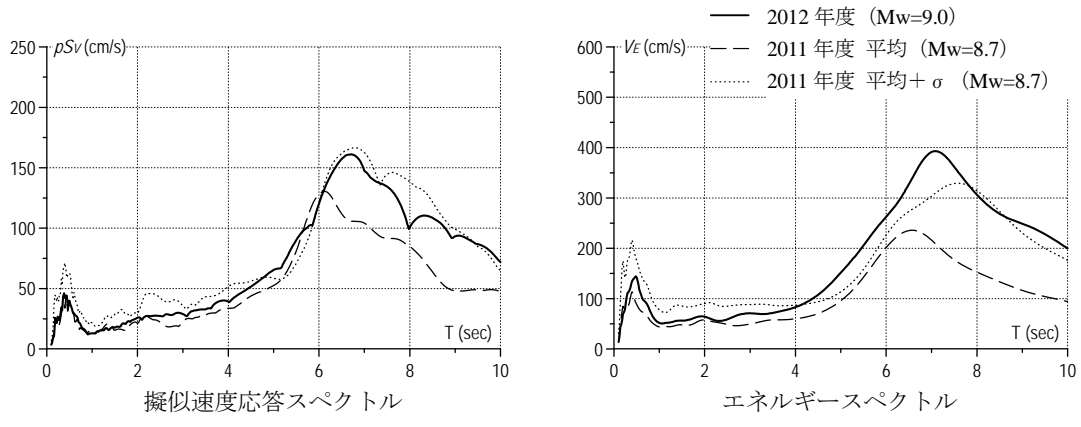
#### 参考文献

秋山宏, 北村春幸: エネルギースペクトルと速度応答スペクトルの対応, 日本建築学会構造系論文集, 第608号, pp. 37-43, 2006年10月

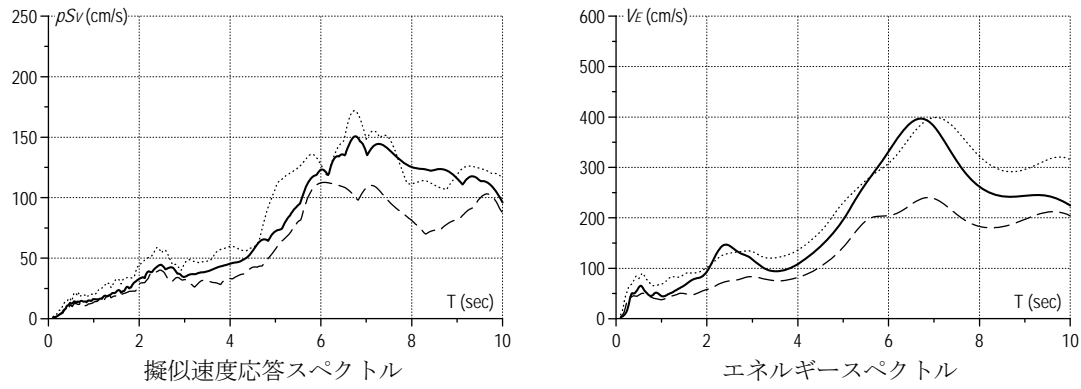
秋山宏: エネルギーの釣り合いに基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999. 1

表 3. 2-1 2012 年度（四連動 Mw9.0）と 2011 年度（三連動 Mw8.7）の地震動概要

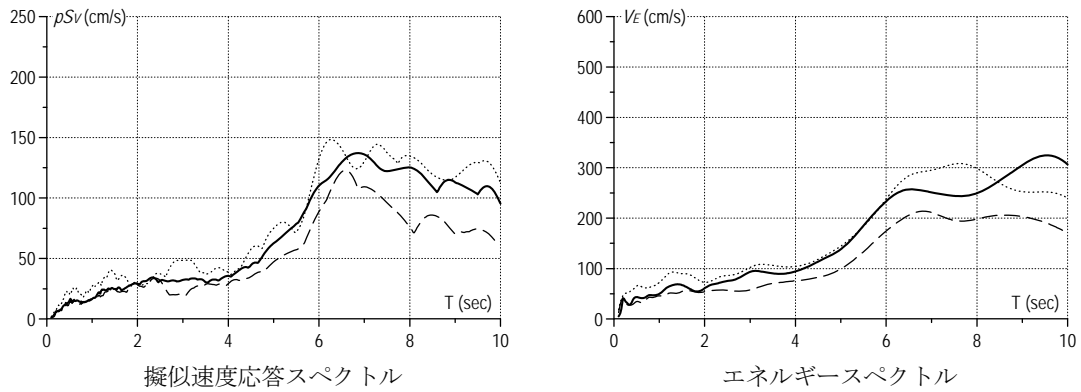
地点名	都市名	地震ケース	震源規模	最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	$\overline{S}_V$ (cm/s)	$\overline{V}_E$ (cm/s)	f 値	$\epsilon t_0$ (s)
E4E	大手町	2011 年度 平均	Mw=8.7	168.5	54.5	109.2	1.45	359.4
		2011 年度 平均+ $\sigma$		354.5	79.2	172.5	1.87	375.9
		2012 年度	Mw=9.0	185.3	72.1	179.5	2.73	410.2
KGIN	新宿	2011 年度 平均	Mw=8.7	42.1	59.9	136.7	2.23	417.9
		2011 年度 平均+ $\sigma$		77.2	86.9	220.9	2.77	429.2
		2012 年度	Mw=9.0	55.5	78.0	194.9	2.48	379.2
TKY016	東雲	2011 年度 平均	Mw=8.7	55.8	54.6	123.5	2.19	427.7
		2011 年度 平均+ $\sigma$		94.6	79.9	175.6	2.06	399.9
		2012 年度	Mw=9.0	66.7	71.1	167.2	2.18	431.1
E56	横浜	2011 年度 平均	Mw=8.7	232.1	47.3	97.6	1.79	338.9
		2011 年度 平均+ $\sigma$		402.2	70.3	158.5	2.05	344.4
		2012 年度	Mw=9.0	195.3	55.9	111.8	1.71	384.9
SZO024	浜松	2011 年度 平均	Mw=8.7	576.8	66.4	154.7	2.05	113.3
		2011 年度 平均+ $\sigma$		1069.4	101.2	263.0	2.58	247.2
		2012 年度	Mw=9.0	640.3	79.6	170.0	1.72	390.5
AIC004	名古屋	2011 年度 平均	Mw=8.7	494.9	45.2	109.1	2.20	254.7
		2011 年度 平均+ $\sigma$		1355.8	67.2	186.5	3.14	343.3
		2012 年度	Mw=9.0	784.2	80.8	221.8	2.82	417.4
AIC003	津島	2011 年度 平均	Mw=8.7	199.4	60.6	140.1	2.11	226.2
		2011 年度 平均+ $\sigma$		380.4	90.2	224.1	2.57	257.7
		2012 年度	Mw=9.0	545.4	134.5	359.3	2.98	401.5
OSK005	大阪	2011 年度 平均	Mw=8.7	127.8	29.9	74.5	2.23	244.4
		2011 年度 平均+ $\sigma$		246.6	45.0	118.9	2.60	323.1
		2012 年度	Mw=9.0	224.4	46.3	110.9	2.44	452.6
OSKH02	此花	2011 年度 平均	Mw=8.7	98.5	84.2	203.4	2.24	162.6
		2011 年度 平均+ $\sigma$		147.2	125.6	307.8	2.34	196.9
		2012 年度	Mw=9.0	133.0	125.8	286.5	2.07	380.4



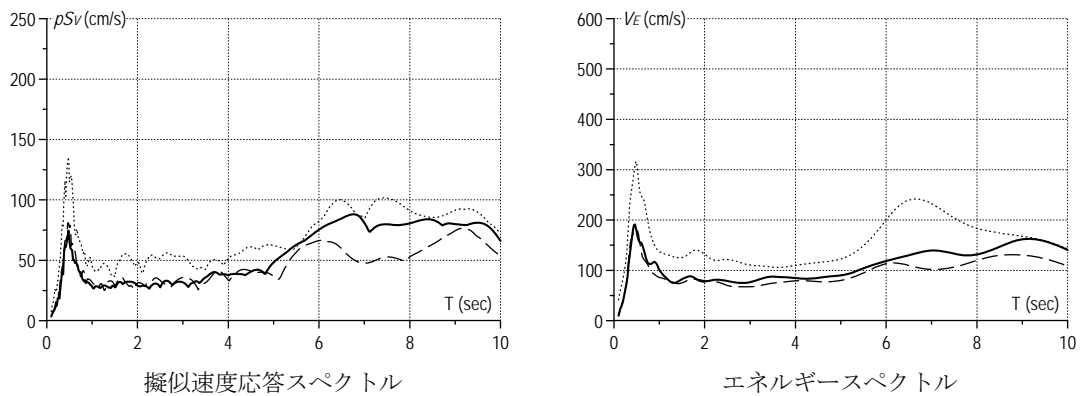
(a) E4E (大手町) 地点のスペクトル



(b) KGIN (新宿) 地点のスペクトル

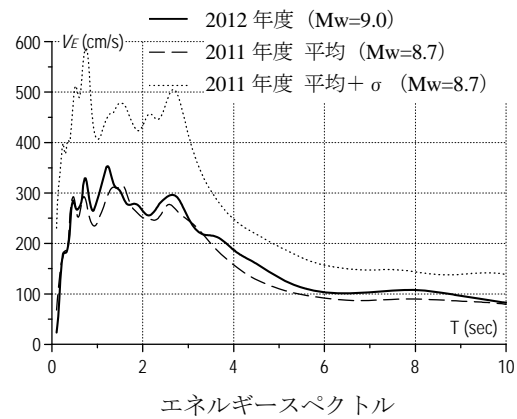
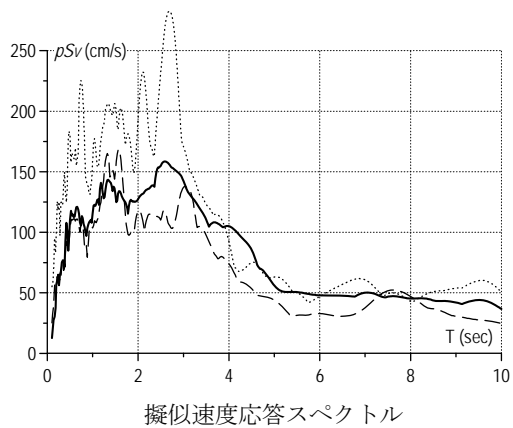


(c) TKY016 (東雲) 地点のスペクトル



(d) E56 (横浜) 地点のスペクトル

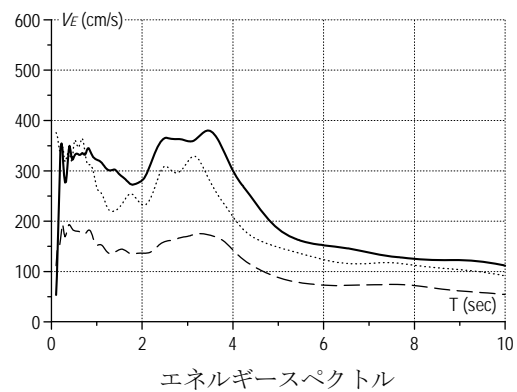
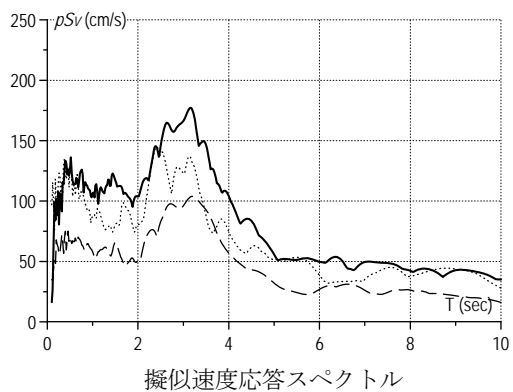
図 3.2-1 応答スペクトルとエネルギースペクトル (1)



擬似速度応答スペクトル

エネルギースペクトル

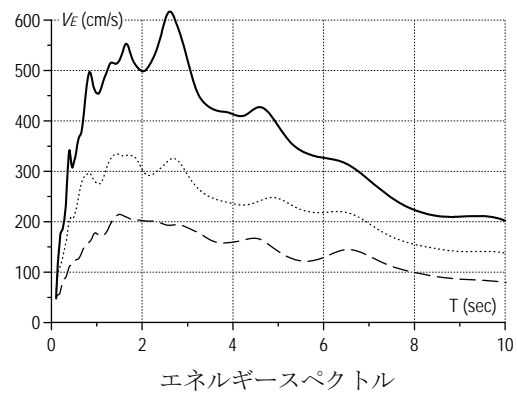
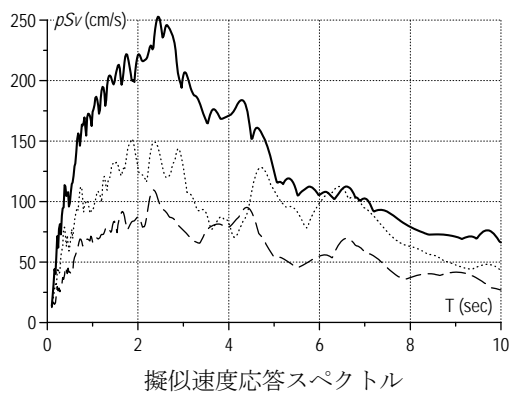
(e) SZO024 (浜松) 地点のスペクトル



擬似速度応答スペクトル

エネルギースペクトル

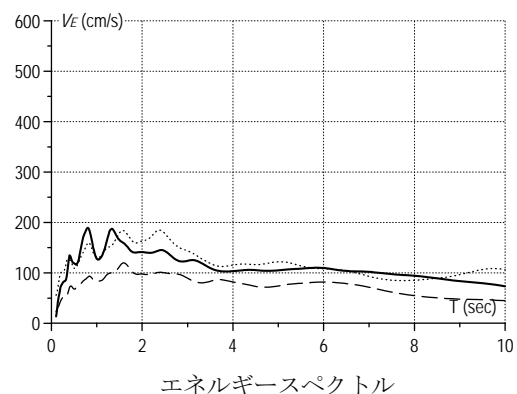
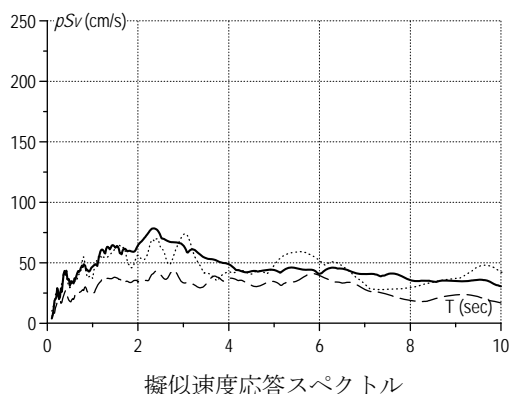
(f) AIC004 (名古屋) 地点のスペクトル



擬似速度応答スペクトル

エネルギースペクトル

(g) AIC003 (津島) 地点のスペクトル

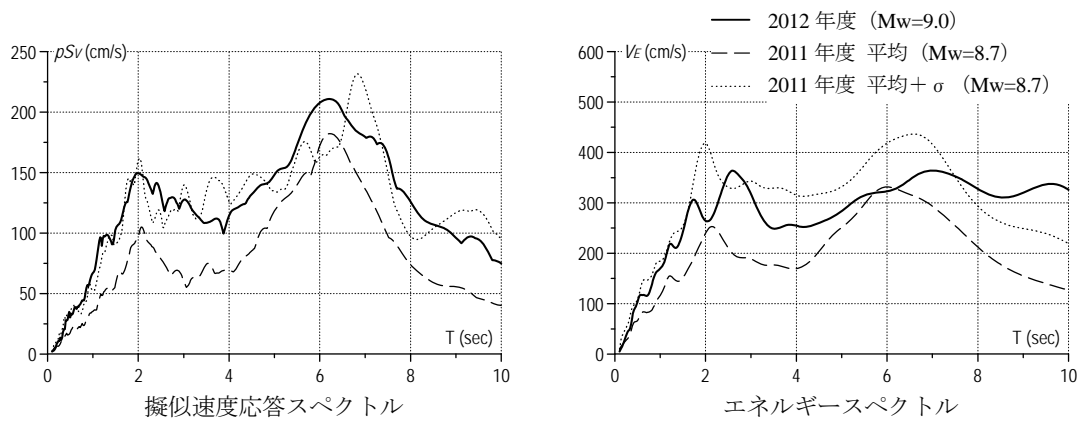


擬似速度応答スペクトル

エネルギースペクトル

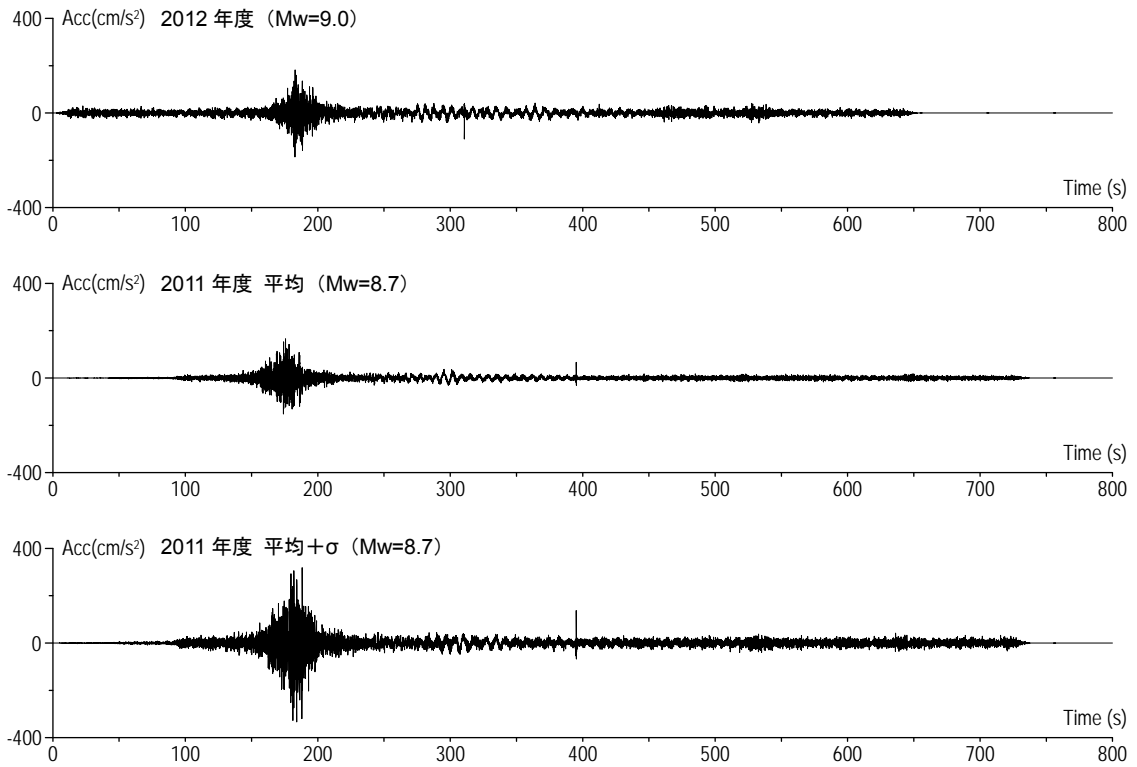
(h) OSK005 (大阪) 地点のスペクトル

図 3.2-1 応答スペクトルとエネルギースペクトル (2)

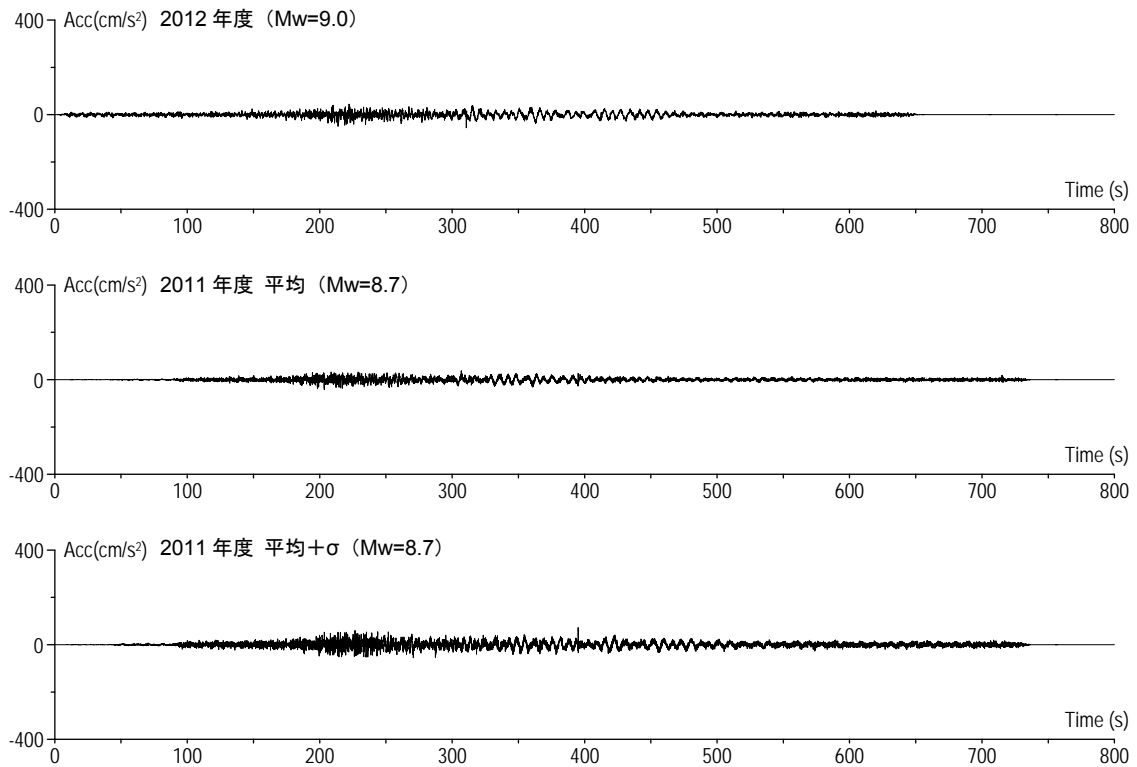


(i) OSKH02 (此花) 地点のスペクトル

図 3.2-1 応答スペクトルとエネルギースペクトル (3)

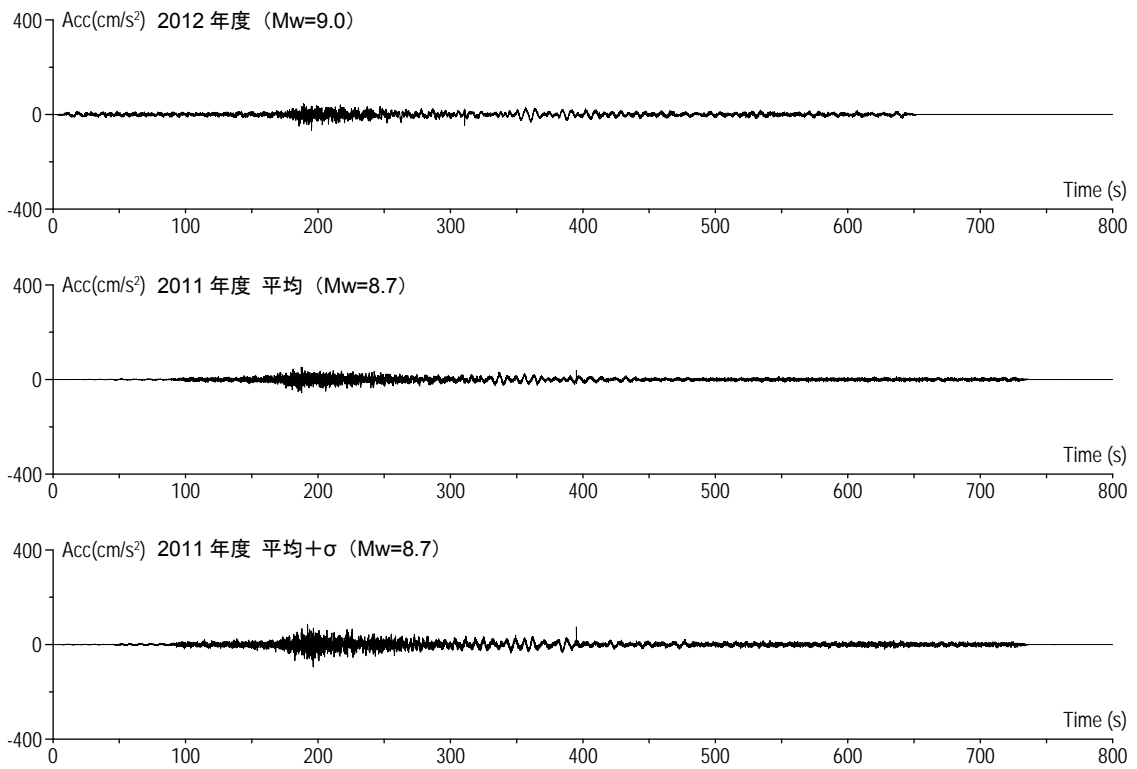


(a) E4E (大手町) 地点の加速度波形

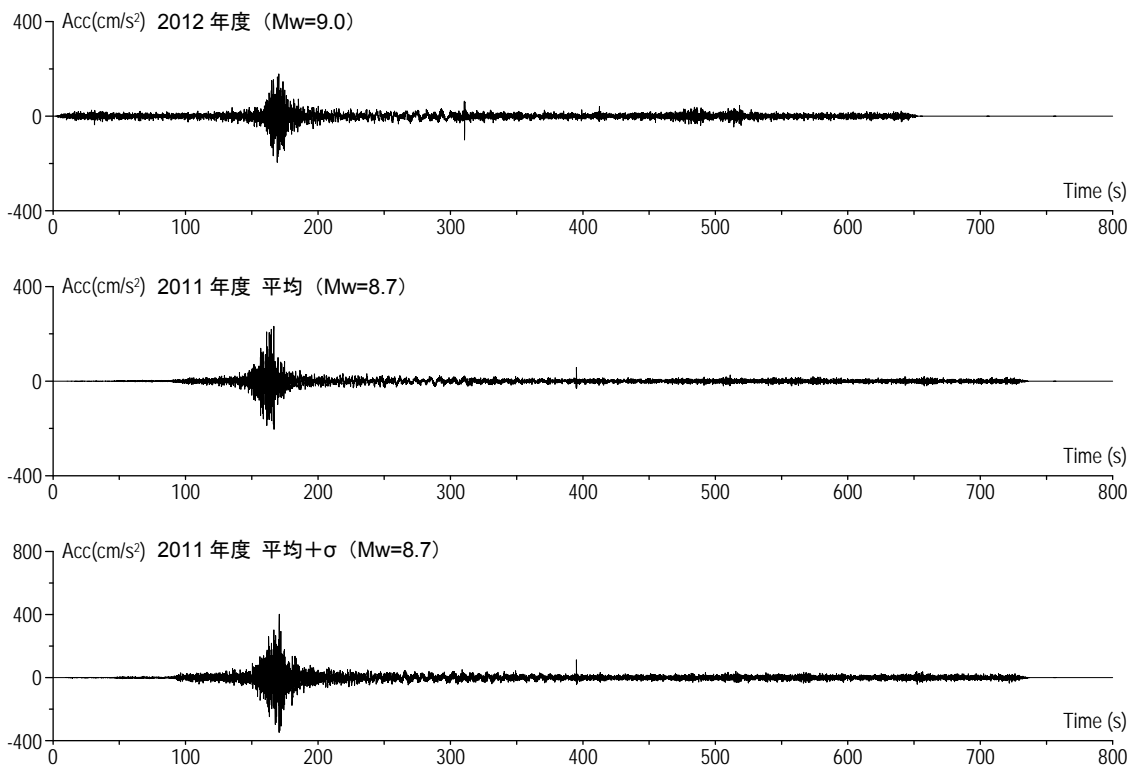


(b) KGIN (新宿) 地点の加速度波形

図 3.2-2 各地点の加速度波形 (1)



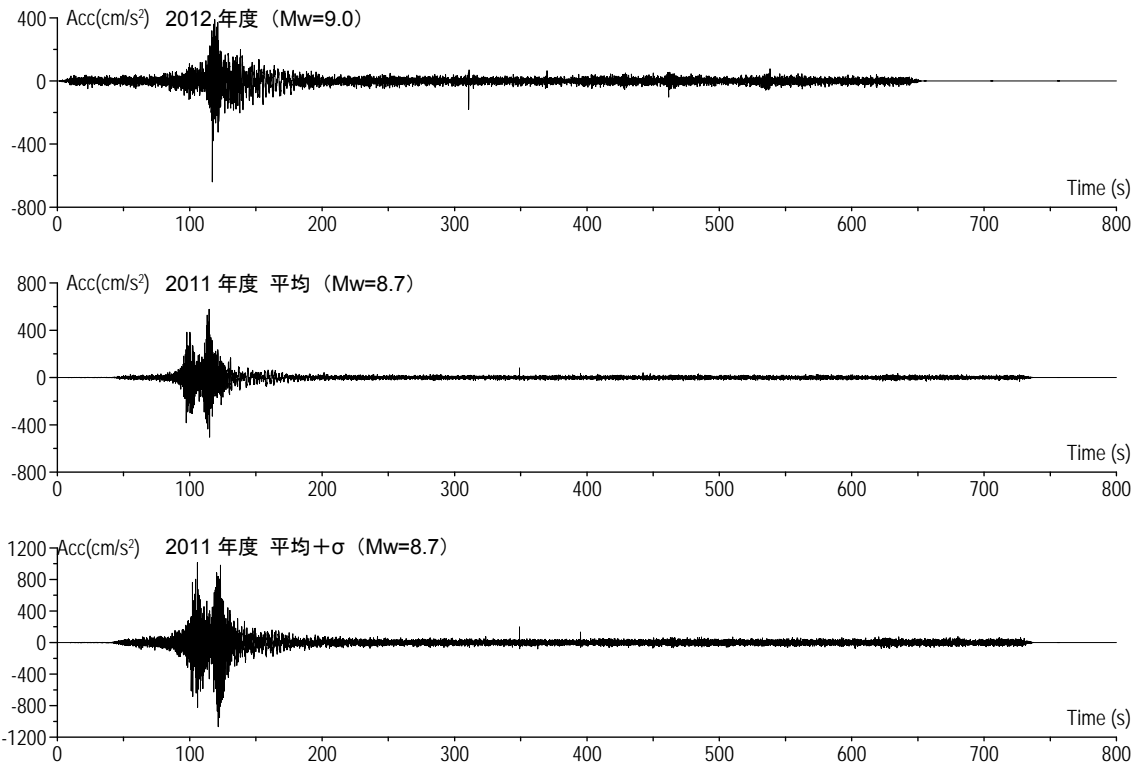
(c) TKY016 (東雲) 地点の加速度波形



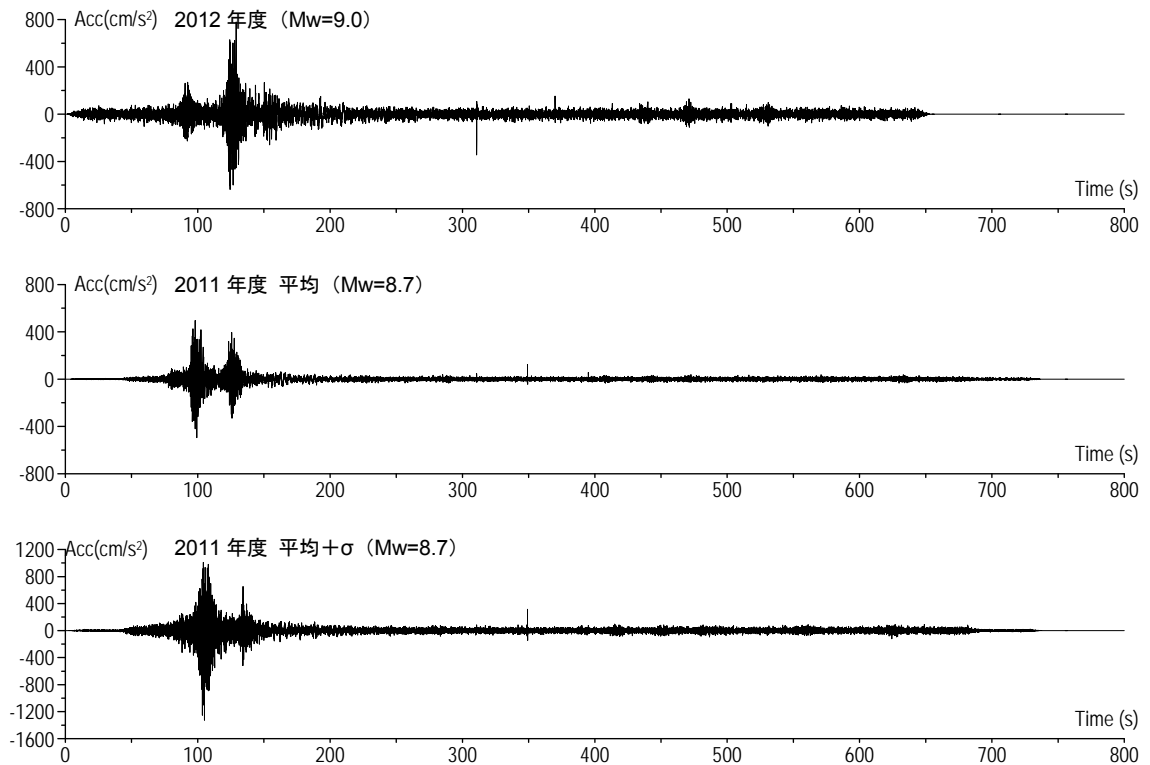
(d) E56 (横浜) 地点の加速度波形

図 3.2-2 各地点の加速度波形 (2)



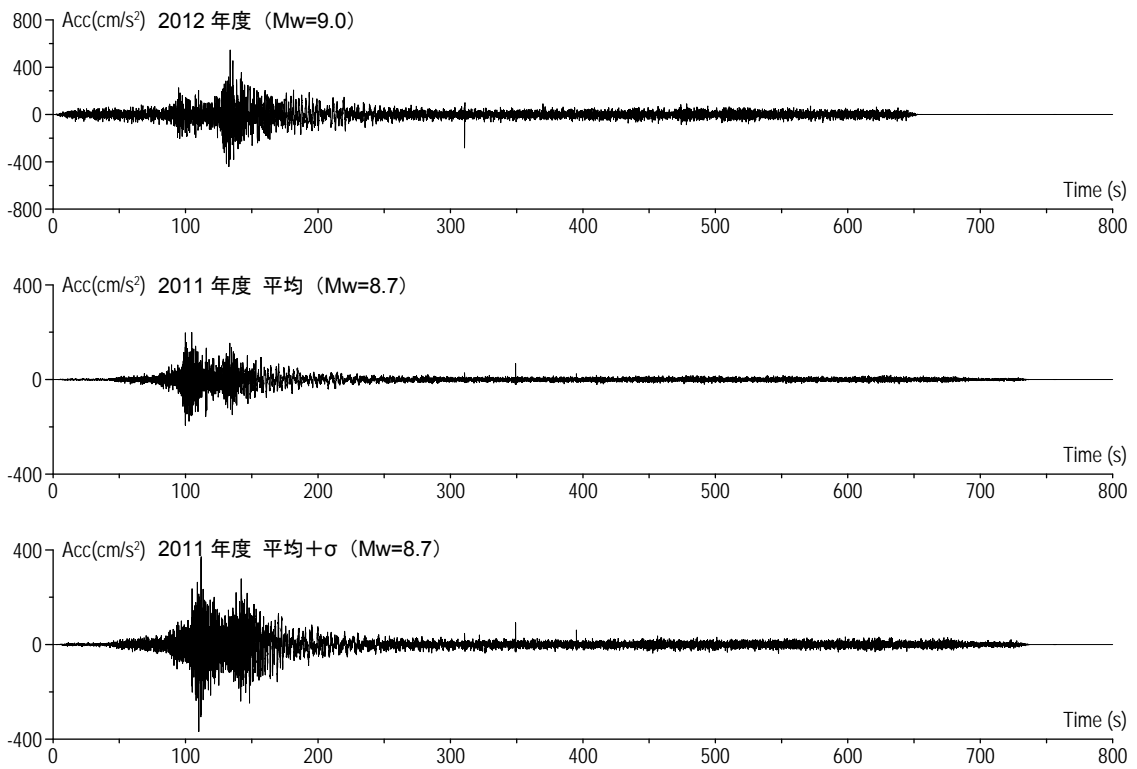


(e) SZO024 (浜松) 地点の加速度波形

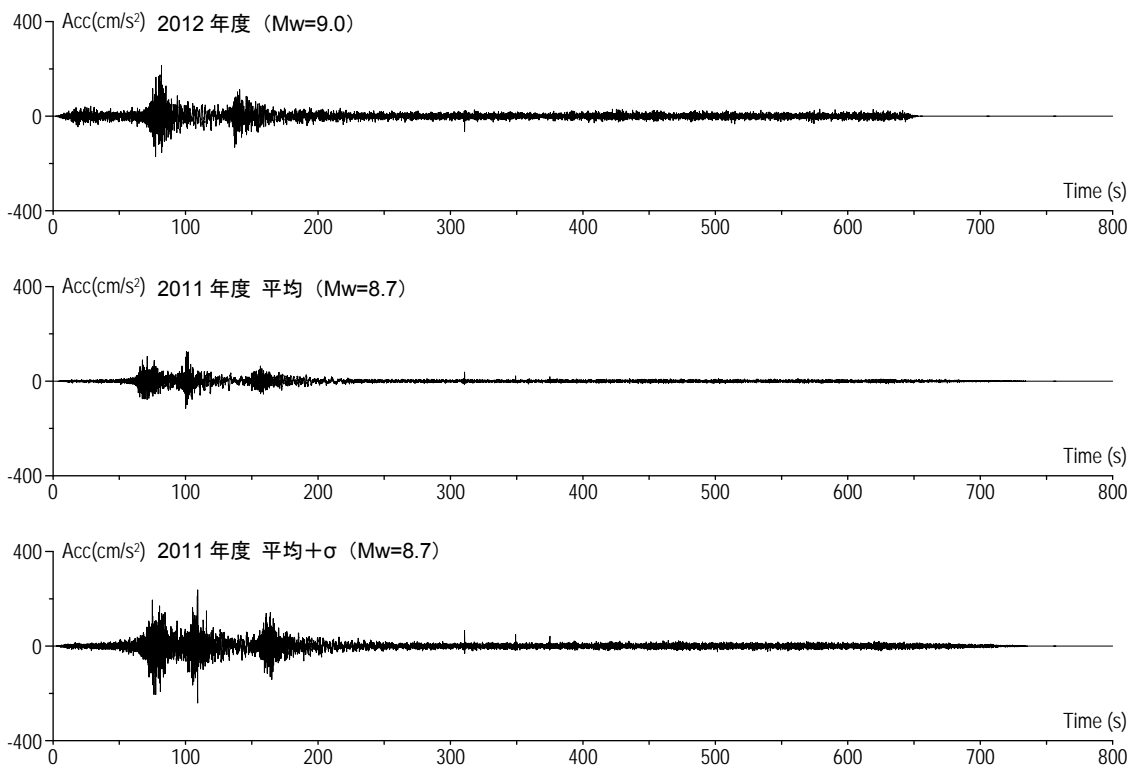


(f) AIC004 (名古屋) 地点の加速度波形

図 3.2-2 各地点の加速度波形 (3)

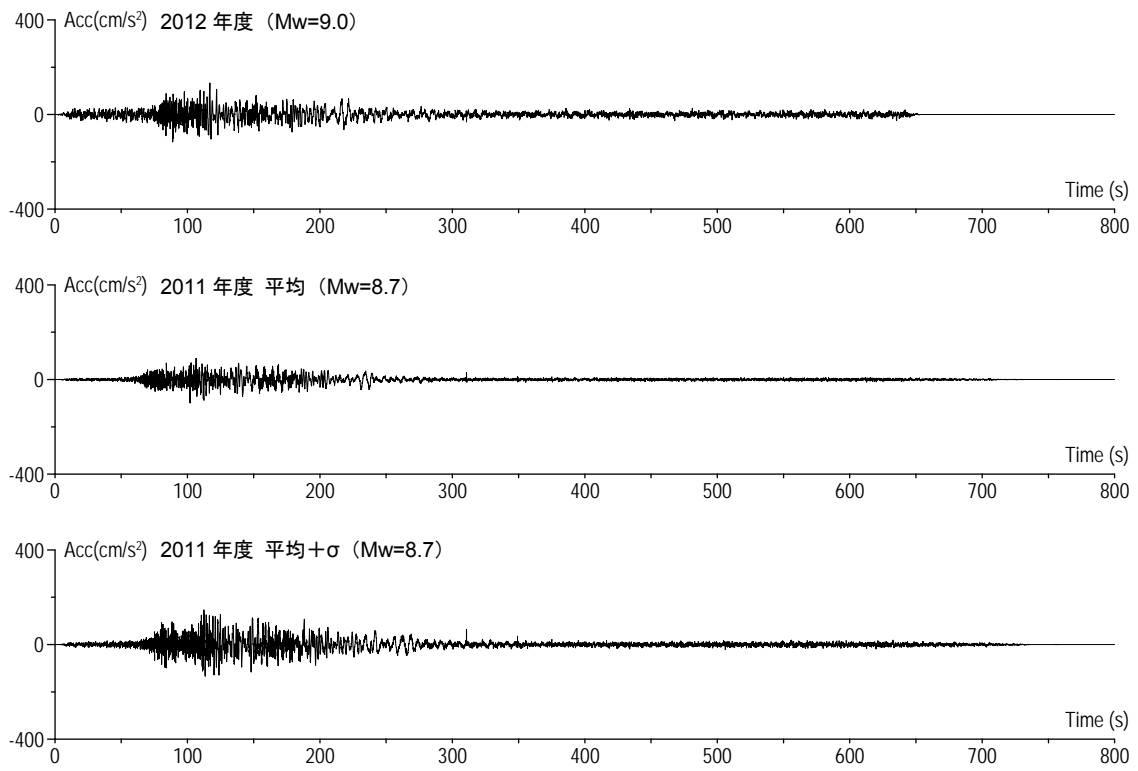


(g) AIC003 (津島) 地点の加速度波形



(h) OSK005 (大阪) 地点の加速度波形

図 3.2-2 各地点の加速度波形 (4)



(i) OSKH02 (此花) 地点の加速度波形

図 3.2-2 各地点の加速度波形 (5)

### 3-3 超高層建物の応答解析結果

2009 年度、2011 年度に検討を行った鉄骨造超高層建物 6 棟及び鉄筋コンクリート造超高層建物 7 棟による 2012 年度地震動に対する応答解析を実施した。

応答解析結果を表 3.3-1～表 3.3-17 に整理した。

まず、表 3.3-1 および表 3.3-2 には前記の作成地震動に対する鉄骨造超高層建物および RC 造超高層建物の最大層間変形角を、さらに表 3.3-3、表 3.3-4 には同建物の最大塑性率を方向毎に示した。

表 3.3-5～表 3.3-17 には 2011 年度作成した内閣府想定南海トラフ 3 連動地震および本検討での同 4 連動地震による想定地震動により、応答解析各ケースにおける頂部加速度、頂部変位、累積塑性変形倍率、および頂部残留変形について方向毎に示した。

これらの応答解析結果について次節で考察している。

#### 3-3-1 応答結果のまとめ

##### (1) 鉄骨造建物

鉄骨造超高層建物 6 棟の 2012 年度地震動に対する応答結果のまとめを示す。

- ・ 2012 年度地震動の最大応答値は、層間変形角は  $1/375 \sim 1/51$ 、層塑性率は  $0.5 \sim 3.8$  とレベル 2 地震動に対するクライテリアを大きく上回る結果も多く、応答値に大きなばらつきを有することが確認される。此花(2012)、津島(2012)では大部分の建物で大きな応答値を示すが、浜松(2012)では 140m 級以下の建物が、新宿(2012)では 230m 以上の建物が大きな応答値を呈する。
- ・ 100m～140m 級建物（固有周期 2.3 秒～3.8 秒）では津島(2012)が最も大きな応答値を示し、200m～250m 級建物（固有周期 5.1 秒～6.5 秒）では此花(2012)と津島(2012)のいずれかで最大の応答値が発生している。
- ・ 此花(2012)の応答値は、120m 級建物を除き層間変形角が  $1/100$  を上回っており、特に高さが高い建物ほど応答が大きくなる傾向にある。応答値は層間変形角  $1/164 \sim 1/51$ 、層塑性率  $1.3 \sim 3.4$  となっており、250m 級建物では層間変形角が  $1/51$  に達している。
- ・ 津島(2012)の応答値は、全ての建物でレベル 2 クライテリアを上回っており、層間変形角  $1/91 \sim 1/51$ 、層塑性率  $1.9 \sim 3.8$  の範囲にある。いずれの建物においても上層階の最大応答せん断力・せん断力係数、最大応答加速度の増幅が見られ、高次モードによる応答増幅が確認される。
- ・ 浜松(2012)の応答値は、100m～140m 級建物ではレベル 2 クライテリアを上回り、層間変形角  $1/128 \sim 1/80$ 、層塑性率  $1.5 \sim 2.2$  の範囲にあるが、200m～250m 級建物では、いずれもレベル 2 クライテリア以下の応答値となっている。また、津島(2012)と同様に、高次モードによる上層階の増幅が顕著な応答を呈している。
- ・ 新宿(2012)の応答では、100m～200m 級建物では、いずれもレベル 2 クライテリア以下の応答値となっているが、230m、250m 級建物ではレベル 2 クライテリアを上回る応答値を示し、層間変形角  $1/75 \sim 1/95$ 、層塑性率  $1.2 \sim 2.3$  となっている。応答値では上層階の応答増幅はほとんど確認されず、入力波の長周期成分による一次モードの応答寄与が顕著である。
- ・ 2011 年度地震動との比較では、2012 年度地震動各波の応答値は、2011 年度地震動平均波の応答を概ね上回っている。また、此花(2012)、新宿(2012)では 2011 年度地震動平均 +  $\sigma$  波と同程度の応答値を示し、津島(2012)では 2011 年度地震動平均 +  $\sigma$  波を  $1.3 \sim 2.0$  倍程度に上回る応答を、浜松(2012)では 2011 年度地震動平均 +  $\sigma$  波を  $0.6 \sim 0.9$  倍程度に下回る応答を呈している。

## (2) 鉄筋コンクリート造建物

鉄筋コンクリート造超高層建物7棟の2012年度地震動に対する応答結果のまとめを示す。

- ・ 2012年度地震動の最大応答値は、層間変形角は $1/467\sim 1/42$ 、層塑性率は $0.3\sim 3.3$ と多くの建物でレベル2地震動に対するクライテリアを大きく上回る結果となっており、応答値に大きなばらつきが確認される。此花(2012)では130m級以上の建物で、津島(2012)では全ての建物でレベル2地震動に対するクライテリアを上回る応答値を示す。浜松(2012)では115m級建物が、新宿(2012)では180m級・240m級建物がレベル2地震動に対するクライテリアを上回る応答値を呈する。
- ・ 90m～150m級(1)建物(固有周期 $1.9\sim 3.5$ 秒)では主に津島(2012)が最も大きな応答値を示し、150m(2)～240m級建物(固有周期 $2.9\sim 5.4$ 秒)では此花(2012)と津島(2012)のいずれかが最大の応答値を示している。
- ・ 此花(2012)の応答値は、90m級・115m級建物を除き層間変形角が $1/100$ を上回っており、応答値は層間変形角 $1/84\sim 1/46$ 、層塑性率 $1.7\sim 3.3$ の範囲にある。
- ・ 津島(2012)の応答値は、全ての建物でレベル2クライテリアを上回っており、層間変形角 $1/90\sim 1/42$ 、層塑性率 $2.1\sim 3.2$ の範囲にある。いずれの建物においても上層階の応答値の増幅が顕著で、高次モードによる応答増幅が確認されており、150m級以上の建物では上層階において最大応答層間変形角や最大応答層塑性率が発生している。
- ・ 浜松(2012)の応答値は、115m級建物を除きいずれの建物もレベル2クライテリア以下の応答値となっている。150m級以上の建物では、層塑性率・部材塑性率とも $1.10$ 以下の範囲にあり、建物がほぼ弾性的な挙動をしていることが推測される。
- ・ 新宿(2012)の応答では、90m～150m級建物では、いずれもレベル2クライテリア以下の応答値となっているが、180m、240m級建物ではレベル2クライテリアを上回る応答値を示し、層間変形角 $1/74\sim 1/61$ 、層塑性率 $2.1\sim 2.3$ となっている。150m級(1)建物を除き90m～150m級建物の最大応答層塑性率・部材塑性率は $1.0$ 以下で建物は弾性的な挙動をしており、部材の塑性化による固有周期の長周期化により入力波の周期5秒以上の長周期成分の影響を受ける180m、240m級建物のみが大きな応答を呈している。
- ・ 2011年度地震動との比較では、2012年度地震動各波の応答値は、2011年度地震動平均波の応答を概ね上回っている。また、此花(2012)、新宿(2012)では2011年度地震動平均 $+\sigma$ 波と同程度の応答値を示し、津島(2012)では2011年度地震動平均 $+\sigma$ 波を $1.0\sim 2.0$ 倍程度に上回る応答を、浜松(2012)では2011年度地震動平均 $+\sigma$ 波を $0.6\sim 1.0$ 倍程度に下回る応答を呈している。

表 3.3-1 S 造建物の応答最大層間変形角一覧

	方向	周期 (s)	2011 平均波				2011 平均+σ波				2012 波			
			此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿
S100m 級	X	2.3	1/137	1/125	1/120	1/276	1/121	1/96	1/82	1/249	1/93	1/88	1/104	1/238
	Y	2.8	1/159	1/115	1/106	1/333	1/87	1/87	1/69	1/186	1/94	1/68	1/80	1/222
S120m 級	X	2.6	1/247	1/220	1/153	1/475	1/147	1/138	1/93	1/318	1/164	1/64	1/114	1/375
	Y	2.9	1/264	1/220	1/147	1/414	1/132	1/147	1/114	1/311	1/134	1/91	1/128	1/368
S140m 級	X	3.7	1/135	1/125	1/119	1/341	1/73	1/118	1/75	1/171	1/95	1/66	1/104	1/274
	Y	3.8	1/136	1/113	1/104	1/291	1/68	1/101	1/75	1/176	1/88	1/63	1/93	1/262
S200m 級	X	5.7	1/81	1/155	1/156	1/115	1/78	1/111	1/100	1/97	1/70	1/85	1/156	1/107
	Y	5.1	1/92	1/155	1/148	1/170	1/56	1/88	1/104	1/122	1/88	1/68	1/129	1/153
S230m 級	X	6.5	1/69	1/185	1/144	1/135	1/69	1/104	1/122	1/72	1/62	1/83	1/163	1/95
	Y	5.5	1/66	1/123	1/141	1/97	1/62	1/101	1/83	1/74	1/62	1/68	1/149	1/75
S250m 級	X	5.8	1/65	1/148	1/180	1/84	1/52	1/100	1/104	1/69	1/51	1/51	1/173	1/80
	Y	5.3	1/70	1/127	1/127	1/122	1/64	1/79	1/81	1/83	1/75	1/58	1/119	1/88

※網掛け：1/100 をこえるもの

表 3.3-2 RC 造建物の応答最大層間変形角一覧

	方向	周期 (s)	2011 平均波				2011 平均+σ波				2012 波			
			此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿
RC90m 級	X	2.0	1/231	1/215	1/151	1/649	1/121	1/115	1/79	1/347	1/142	1/74	1/106	1/402
	Y	1.9	1/247	1/221	1/159	1/745	1/142	1/136	1/89	1/386	1/134	1/66	1/108	1/467
RC115m 級	X,Y	2.2	1/191	1/193	1/138	1/450	1/64	1/127	1/68	1/323	1/111	1/48	1/82	1/388
RC130m 級	X	3.1	1/101	1/101	1/141	1/244	1/48	1/53	1/99	1/161	1/49	1/53	1/116	1/182
RC150m 級 (1)	X	2.4	1/213	1/183	1/183	1/559	1/63	1/164	1/94	1/303	1/84	1/47	1/332	1/108
	Y	3.5	1/104	1/164	1/142	1/375	1/59	1/92	1/125	1/167	1/64	1/42	1/212	1/162
RC150m 級 (2)	X	2.9	1/93	1/158	1/140	1/444	1/51	1/77	1/97	1/208	1/52	1/78	1/159	1/261
	Y	3.3	1/99	1/125	1/128	1/455	1/62	1/99	1/96	1/192	1/61	1/63	1/132	1/288
RC180m 級	X	4.2	1/67	1/199	1/179	1/101	1/48	1/101	1/91	1/51	1/46	1/72	1/183	1/65
	Y	4.3	1/68	1/195	1/172	1/95	1/53	1/104	1/84	1/51	1/47	1/51	1/181	1/61
RC240m 級	X,Y	5.4	1/133	1/199	1/163	1/123	1/91	1/142	1/106	1/77	1/70	1/90	1/166	1/74

※網掛け：1/100 をこえるもの

表 3.3-3 S 造建物の最大塑性率一覧

	方向	周期 (s)	2011 平均波				2011 平均+ $\sigma$ 波				2012 波			
			此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿
S100m 級	X	2.3	1.1	1.3	1.4	0.6	1.4	1.7	2.1	0.7	1.8	1.9	1.6	0.7
	Y	2.8	1.0	1.3	1.4	0.5	1.8	1.8	2.3	0.8	1.6	2.4	1.9	0.7
S120m 級	X	2.6	0.9	1.0	1.5	0.5	1.6	1.6	2.6	0.7	1.4	3.8	2.0	0.6
	Y	2.9	0.7	0.8	1.3	0.4	1.4	1.5	1.8	0.6	1.4	2.3	1.5	0.5
S140m 級	X	3.7	1.6	1.7	1.8	0.6	3.0	1.8	3.0	1.2	2.3	3.4	2.1	0.8
	Y	3.8	1.4	1.7	1.9	0.6	3.1	2.0	2.8	1.0	2.3	3.6	2.2	0.7
S200m 級	X	5.7	2.2	1.1	1.1	1.7	2.4	1.6	1.8	2.0	1.3	2.3	1.1	1.8
	Y	5.1	2.5	1.1	1.2	1.2	4.1	2.0	1.6	1.8	2.6	2.6	1.4	1.4
S230m 級	X	6.5	3.1	1.1	1.5	1.5	3.0	2.1	1.8	2.8	3.4	2.6	1.3	2.1
	Y	5.5	2.7	1.3	1.3	1.7	2.9	1.7	2.4	2.4	2.8	2.7	1.2	2.3
S250m 級	X	5.8	2.5	0.9	0.7	1.9	3.2	1.6	1.2	2.4	3.3	3.3	0.6	2.1
	Y	5.3	1.6	0.9	1.0	0.8	1.8	1.5	1.4	1.3	1.5	2.0	1.0	1.2

※塑性率は層塑性率を示す。

網掛け：層塑性率 2.0 をこえるもの

表 3.3-4 RC 造建物の最大塑性率一覧

	方向	周期 (s)	2011 平均波				2011 平均+ $\sigma$ 波				2012 波			
			此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿
RC90m 級	X	2.0	0.8	0.8	1.2	0.2	1.7	1.7	2.9	0.5	1.3	3.2	1.9	0.4
	Y	1.9	0.9	1.0	1.7	0.3	2.2	2.4	5.1	0.6	2.4	7.1	3.4	0.5
RC115m 級	X,Y	2.2	0.6	0.6	0.8	0.2	2.0	0.9	1.9	0.3	1.0	2.4	1.4	0.3
RC130m 級	X	3.1	1.5	1.6	1.2	0.6	3.3	3.2	1.5	1.0	3.3	3.2	1.3	0.9
RC150m 級 (1)	X	2.4	0.7	0.8	0.9	0.3	2.4	0.9	1.6	0.5	1.9	3.2	0.5	1.4
	Y	3.5	1.0	0.6	0.9	0.3	2.1	1.2	1.1	0.6	1.7	2.1	0.5	0.7
RC150m 級 (2)	X	2.9	1.7	1.0	1.3	0.4	3.0	2.0	1.8	0.9	2.9	2.6	1.1	0.7
	Y	3.3	2.0	1.0	1.2	0.4	3.0	1.9	1.7	0.9	2.6	2.8	1.1	0.7
RC180m 級	X	4.2	2.0	0.7	0.9	1.3	2.8	1.2	1.8	2.8	3.1	2.3	0.8	2.1
	Y	4.3	1.9	0.7	0.9	1.4	2.5	1.2	2.0	2.7	2.9	2.7	0.8	2.3
RC240m 級	X,Y	5.4	1.1	0.8	0.9	1.2	1.9	1.0	1.9	2.3	2.6	2.2	1.0	2.3

※RC90m 級・RC240m 級は部材塑性率を、その他は層塑性率を示す。

網掛け：層塑性率 2.0、部材塑性率 4.0 をこえるもの

### 3-3-3 各棟の応答一覧

表 3.3-5 S100m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値 ( X 方向 )					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 100m級	此花(2011)平均	470.9	56.7	1/137	1.086	10.73	0.329
	津島(2011)平均	508.7	59.5	1/125	1.301	9.30	1.950
	浜松(2011)平均	457.7	61.5	1/120	1.376	7.61	3.190
	新宿(2011)平均	217.2	29.2	1/276	0.603	0.19	0.007
	此花(2011)平均+ $\sigma$	504.9	60.7	1/121	1.384	22.91	0.627
	津島(2011)平均+ $\sigma$	546.5	68.9	1/96	1.723	24.77	7.460
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	862.8	72.9	1/82	2.094	71.83	4.050
	新宿(2011)平均+ $\sigma$	267.7	33.4	1/249	0.659	0.38	0.003
	此花(2012)	556.0	73.0	1/93	1.779	21.79	4.54
	津島(2012)	734.4	78.0	1/88	1.933	96.96	9.29
	浜松(2012)	548.1	65.5	1/104	1.589	20.91	0.08
	新宿(2012)	248.1	34.1	1/238	0.689	2.35	0.00

モデル	入力地震波	最大応答値 ( Y 方向 )					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 100m級	此花 (2011) 平均	264.6	50.8	1/159	0.960	2.31	0.019
	津島 (2011) 平均	363.6	65.9	1/115	1.319	10.58	2.009
	浜松 (2011) 平均	339.8	71.1	1/106	1.430	16.14	0.798
	新宿 (2011) 平均	136.7	24.5	1/333	0.459	0.00	0.001
	此花 (2011) 平均+ $\sigma$	466.1	81.1	1/87	1.757	32.97	0.222
	津島 (2011) 平均+ $\sigma$	495.1	77.9	1/87	1.766	37.16	0.418
	浜松 (2011) 平均+ $\sigma$	656.6	93.3	1/67	2.287	87.88	0.877
	新宿 (2011) 平均+ $\sigma$	231.4	43.9	1/186	0.815	0.55	0.022
	此花 (2012)	412.0	76.5	1/94	1.607	24.43	4.18
	津島 (2012)	674.6	97.5	1/68	2.425	112.80	6.29
	浜松 (2012)	449.7	84.8	1/80	1.919	28.03	3.23
	新宿 (2012)	200.7	36.6	1/222	0.692	32.97	0.00

注 1) 累積塑性変形倍率の定義：各層の塑性歪エネルギーを第一折れ点の層せん断力と層間変形の積で除した値

注 2) 塑性率の定義：第一折れ点からの変形増大倍率 ( $\delta \max / \delta p$ ) なお、第一折れ点は静的弾塑性解析における層せん断力と層間変形関係において、当該層所属部材のいずれかが全塑性モーメントに達した時点とする。



表 3.3-6 S120m 級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

	入力地震波	最大応答値(X 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 120m 級	此花(2011)平均	252.2	40.1	1/247	0.92	187.3	0.27
	津島(2011)平均	380.0	46.0	1/220	1.03	209.4	0.30
	浜松(2011)平均	564.4	61.0	1/153	1.45	354.1	0.74
	新宿(2011) 平均	139.3	22.4	1/475	0.49	33.3	0.40
	此花(2011)平均+ $\sigma$	380.6	65.3	1/147	1.55	749.3	0.73
	津島(2011)平均+ $\sigma$	533.5	72.6	1/138	1.64	559.7	1.01
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	795.0	86.3	1/93	2.58	830.5	2.84
	新宿(2011) 平均+ $\sigma$	197.9	31.1	1/318	0.70	105.4	0.07
	此花(2012)	328.8	57.3	1/164	1.371	651.7	0.28
	津島(2012)	627.2	108.1	1/64	3.754	1299.0	16.38
	浜松(2012)	574.1	74.8	1/114	2.045	378.2	3.52
	新宿(2012)	219.6	27.1	1/375	0.590	75.2	0.16

モデル	入力地震波	最大応答値(Y 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 120m 級	此花(2011)平均	273.5	43.4	1/264	0.84	317.4	0.17
	津島(2011)平均	396.2	48.3	1/220	1.02	262.8	0.03
	浜松(2011)平均	648.5	71.6	1/147	1.52	293.5	1.26
	新宿(2011) 平均	170.7	28.3	1/414	0.56	117.8	0.24
	此花(2011)平均+ $\sigma$	401.7	76.1	1/132	1.75	789.2	1.97
	津島(2011)平均+ $\sigma$	552.2	78.7	1/147	1.62	526.5	0.98
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	872.9	97.1	1/114	2.03	647.8	0.77
	新宿(2011) 平均+ $\sigma$	200.1	33.4	1/311	0.75	263.0	0.12
	此花(2012)	314.5	76.9	1/134	1.37	708.1	0.22
	津島(2012)	669.0	114.8	1/91	2.34	1238.6	9.97
	浜松(2012)	692.8	80.7	1/128	1.46	335.2	1.54
	新宿(2012)	222.4	32.2	1/368	0.51	202.4	0.04

注 1) 累積塑性変形倍率の定義：各層の塑性歪エネルギーを等価降伏耐力と等価降伏変形の積で除した値

注 2) 塑性率の定義：制振部材を除く主体架構の塑性率とする。第一折れ点からの変形増大倍率 ( $\delta \max / \delta p$ ) とし、第一折れ点は静的弾塑性解析における層せん断力と層間変形関係において、当該層所属部材のいずれかが全塑性モーメントに達した時点とする。

表 3.3-7 S140m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 140m級	此花(2011)平均	247.8	67.4	1/135	1.62	0.63	0.47
	津島(2011)平均	220.0	75.2	1/125	1.74	0.45	0.39
	浜松(2011)平均	406.1	76.1	1/119	1.82	1.16	3.61
	新宿(2011)平均	89.5	31.0	1/341	0.62	0.00	0.01
	此花(2011)平均 + $\sigma$	381.4	114.6	1/73	3.04	8.63	1.16
	津島(2011)平均 + $\sigma$	359.2	78.2	1/118	1.83	1.79	1.54
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	652.7	108.9	1/75	2.98	2.51	2.23
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	175.2	60.1	1/171	1.24	0.10	0.17
	此花(2012)	326.5	88.8	1/95	2.30	2.31	2.36
	津島(2012)	569.6	130.0	1/66	3.36	9.18	7.56
	浜松(2012)	402.6	85.5	1/104	2.09	1.94	0.98
	新宿(2012)	107.8	37.8	1/274	0.78	0.00	0.00

モデル	入力地震波	最大応答値(Y 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 m	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 140m級	此花(2011)平均	267.8	78.0	1/136	1.38	0.11	0.57
	津島(2011)平均	266.6	88.7	1/113	1.72	0.40	1.04
	浜松(2011)平均	538.9	93.9	1/104	1.90	0.86	2.22
	新宿(2011)平均	102.9	38.7	1/291	0.63	0.00	0.01
	此花(2011)平均 + $\sigma$	437.5	134.0	1/68	3.06	5.09	0.65
	津島(2011)平均 + $\sigma$	415.3	97.2	1/101	1.97	1.77	1.12
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	846.5	119.8	1/75	2.76	1.19	1.88
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	184.2	63.5	1/176	1.03	0.00	0.04
	此花(2012)	462.6	106.4	1/88	2.30	2.64	3.32
	津島(2012)	676.5	149.4	1/63	3.57	6.78	2.05
	浜松(2012)	509.0	105.4	1/93	2.16	1.14	1.21
	新宿(2012)	114.7	42.6	1/262	0.70	0.00	0.00

注 1) 累積塑性変形倍率の定義：静的荷重増分解析から得られる各層の荷重-変形関係を、限界層間変形 (R=1/75 程度) 時までの履歴面積が等しくなるように設定した、完全弾塑性型の復元力特性をもとに下式により算出する。

$$\eta_{eqi} = W_{pi} / (\delta_{eqi} \cdot Q_{eqi})$$

$\eta_{eqi}$  : i 層の累積塑性変形倍率

$W_{pi}$  : 時刻歴解析による i 層の塑性履歴エネルギー

$\delta_{eqi}$  : i 層の置換完全弾塑性型復元力特性の降伏変位

$Q_{eqi}$  : i 層の置換完全弾塑性型復元力特性の降伏耐力

注 2) 塑性率の定義 : 曲げ変形成分とせん断変形成分を分離し、せん断変形成分を対象に、各層のいずれかの部材端が全塑性モーメントに達した時点の層間変位を基点として算出する。なお、曲げ変形成分 (曲げ剛性) は弾性とした。

表 3.3-8 S200m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値 (X 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 200m 級	此花(2011)平均	245.3	161.3	1/81	2.160	6.83	7.65
	津島(2011)平均	186.0	73.6	1/155	1.129	0.40	0.65
	浜松(2011)平均	215.3	49.5	1/156	1.134	0.43	0.56
	新宿(2011)平均	160.8	137.7	1/115	1.652	1.79	2.78
	此花(2011)平均+σ	262.6	183.1	1/78	2.423	8.24	2.35
	津島(2011)平均+σ	264.9	117.5	1/111	1.581	0.80	0.23
	浜松(2011)平均+σ	318.9	72.2	1/100	1.766	1.80	2.29
	新宿(2011)平均+σ	185.3	157.2	1/97	1.948	4.06	2.21
	此花(M9.0)	297.6	199.9	1/70	1.295	4.74	7.21
	津島(M9.0)	301.3	145.5	1/85	2.252	3.69	7.87
	浜松(M9.0)	238.0	70.4	1/156	1.135	0.48	0.30
	新宿(M9.0)	172.2	145.1	1/107	1.783	4.12	0.53

モデル	入力地震波	最大応答値 (Y 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 200m 級	此花(2011)平均	270.7	129.6	1/94	1.939	4.57	16.35
	津島(2011)平均	247.0	75.9	1/155	1.138	0.50	0.06
	浜松(2011)平均	253.2	58.3	1/148	1.196	0.56	0.12
	新宿(2011)平均	139.0	91.6	1/170	1.215	0.61	0.69
	此花(2011)平均+σ	333.1	145.1	1/56	3.085	12.46	9.32
	津島(2011)平均+σ	337.0	122.6	1/88	1.993	3.90	5.05
	浜松(2011)平均+σ	341.6	87.2	1/104	1.615	1.91	0.80
	新宿(2011)平均+σ	203.2	122.6	1/122	1.815	4.77	1.03
	此花(M9.0)	315.9	159.8	1/88	2.561	5.83	11.16
	津島(M9.0)	354.5	130.8	1/68	2.559	7.29	7.92
	浜松(M9.0)	289.7	68.3	1/129	1.363	0.73	0.69
	新宿(M9.0)	156.0	101.6	1/153	1.412	1.19	0.56

注 1) 塑性率、累積塑性変形倍率は以下の通り定義する。

$$\text{塑性率 } f_{\mu i} = \delta m_i / \delta e_i$$

$$\text{累積塑性変形倍率 } f_{\eta i} = W_{mi} / (Q_{ei} \cdot \delta e_i)$$

$\delta e_i, Q_{ei}$  : 静的増分解析から得られる  $i$  層の復元力特性をトリリニアにモデル化したときの第 1 折点

$\delta m_i$  : 時刻歴解析による  $i$  層の最大応答層間変位

$W_{mi}$  : 時刻歴解析による  $i$  層の累積塑性履歴エネルギー

表 3.3-9 S230m 級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 230m級	2011 此花平均	306.2	196.4	1/69	3.1	11.2	0.7
	2011 津島平均	274.8	85.2	1/185	1.1	0.0	0.0
	2011 浜松平均	364.6	82.6	1/144	1.5	0.0	0.4
	2011 新宿平均	175.0	125.0	1/135	1.5	2.9	0.4
	2011 此花平均+σ	344.7	195.2	1/69	3.0	13.5	10.7
	2011 津島平均+σ	363.8	158.9	1/104	2.1	1.8	3.8
	2011 浜松平均+σ	426.0	109.5	1/122	1.8	4.9	1.1
	2011 新宿平均+σ	206.4	163.9	1/72	2.8	8.5	6.8
	2012 此花	334.8	198.6	1/62	3.4	7.6	14.7
	2012 津島	418.2	204.5	1/83	2.6	7.6	5.3
	2012 浜松	343.5	90.7	1/163	1.3	0.0	0.0
	2012 新宿	188.9	139.0	1/95	2.1	8.1	1.7

モデル	入力地震波	最大応答値(Y 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 230m級	2011 此花平均	253.1	212.8	1/66	2.7	5.6	7.9
	2011 津島平均	221.5	143.2	1/123	1.3	0.4	1.1
	2011 浜松平均	330.9	89.0	1/141	1.3	0.0	0.0
	2011 新宿平均	166.0	161.8	1/97	1.7	2.5	1.5
	2011 此花平均+σ	323.4	241.1	1/62	2.9	10.8	17.8
	2011 津島平均+σ	287.6	172.2	1/101	1.7	2.4	2.9
	2011 浜松平均+σ	425.4	148.1	1/83	2.4	8.5	3.2
	2011 新宿平均+σ	183.5	188.3	1/74	2.4	8.9	0.4
	2012 此花	357.5	235.6	1/62	2.8	7.3	11.1
	2012 津島	395.5	220.0	1/68	2.7	8.7	4.6
	2012 浜松	279.1	97.0	1/149	1.2	0.0	0.0
	2012 新宿	179.6	189.4	1/75	2.3	12.5	5.1

注 1) 累積塑性変形倍率の定義：各層の荷重-変形関係を、最大層間変形  $\delta_{imax}$  時の履歴面積が等しくなるように完全弾塑性型復元力特性に置換する。この等価降伏耐力を  $f_{Qeqi}$ 、等価降伏変形を  $f_{\delta eqi}$ 、架構の塑性履歴エネルギーを  $f_{Wpi}$  として、累積塑性変形倍率  $f_{\eta i}$  を次式で定義する。

$$f_{\eta i} = f_{Wpi} / (f_{\delta eqi} \cdot f_{Qeqi})$$

なお  $\delta_{imax}$  は、層間変形角を 1/80 としたときの变形とする。

注 2) 塑性率の定義：第一折れ点からの変形増大倍率 ( $\delta_{max} / \delta_p$ ) なお、第一折れ点は静的弾塑性解析における層せん断力と層間変形関係において、当該層所属部材のいずれかが全塑性モーメントに達した時点とする。

表 3.3-10 S250m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 250m級	此花(2011)平均	314.	173.	1/65	2.54	12.3	9.72
	津島(2011)平均	271.	88.	1/148	0.85	0.00	0.06
	浜松(2011)平均	640.	54.	1/180	0.68	0.00	0.04
	新宿(2011)平均	212.	158.	1/84	1.94	2.49	0.03
	此花(2011)平均 + $\sigma$	341.	185.	1/52	3.17	14.2	5.32
	津島(2011)平均 + $\sigma$	409.	150.	1/100	1.63	1.81	0.68
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	1180.	78.	1/104	1.16	0.13	0.02
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	251.	163.	1/69	2.38	7.57	5.03
	此花(2012)	332.	189.	1/51	3.25	6.61	8.35
	津島(2012)	703.	159.	1/51	3.30	5.50	15.1
	浜松(2012)	666.	69.	1/173	0.62	0.00	0.00
	新宿(2012)	218.	160.	1/80	2.05	8.01	2.20

モデル	入力地震波	最大応答値(Y 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
S 250m級	此花(2011)平均	370.	211.	1/70	1.61	0.96	2.43
	津島(2011)平均	341.	77.	1/127	0.87	0.00	0.00
	浜松(2011)平均	642.	56.	1/127	0.95	0.00	0.00
	新宿(2011)平均	185.	137.	122.	0.83	0.00	0.04
	此花(2011)平均 + $\sigma$	494.	225.	1/64	1.84	1.73	2.29
	津島(2011)平均 + $\sigma$	466.	186.	1/79	1.47	0.05	1.77
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	1270.	95.	1/81	1.40	0.00	3.25
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	278.	202.	1/83	1.28	0.61	0.91
	此花(2012)	417.	221.	1/75	1.46	1.60	1.45
	津島(2012)	781.	201.	1/58	1.99	0.49	0.23
	浜松(2012)	652.	83.	1/119	0.99	0.00	0.02
	新宿(2012)	249.	189.	1/88	1.20	0.33	0.98

注 1) 累積塑性変形倍率の定義：静的荷重増分解析から得られる各層の荷重－変形関係を、限界層間変形 (R=1/75 程度) 時までの履歴面積が等しくなるように設定した、完全弾塑性型の復元力特性をもとに下式により算出する。

$$\eta_{eqi} = W_{pi} / (\delta_{eqi} \cdot Q_{eqi})$$

$\eta_{eqi}$  : i 層の累積塑性変形倍率

$W_{pi}$  : 時刻歴解析による i 層の塑性履歴エネルギー

$\delta_{eqi}$  : i 層の置換完全弾塑性型復元力特性の降伏変位

$Q_{eqi}$  : i 層の置換完全弾塑性型復元力特性の降伏耐力

注 2) 塑性率の定義：曲げ変形成分とせん断変形成分を分離し、せん断変形成分を対象に、各層のいずれかの部材端が全塑性モーメントに達した時点の層間変位を基点として算出する。なお、曲げ変形成分 (曲げ剛性) は弾性とした。

表 3.3-11 RC90m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	部材端塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
RC 90m級	此花(2011)平均	177.8	30.98	1/231	0.78	—	0.392
	津島(2011)平均	197.3	33.03	1/215	0.82	—	0.326
	浜松(2011)平均	302.9	47.32	1/151	1.19	—	0.602
	新宿(2011)平均	84.0	10.19	1/649	0.24	—	0.315
	此花(2011)平均 + $\sigma$	275.4	56.53	1/121	1.65	—	0.050
	津島(2011)平均 + $\sigma$	393.0	55.48	1/115	1.74	—	1.826
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	535.5	77.23	1/79	2.93	—	4.154
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	108.7	19.80	1/347	0.48	—	0.289
	此花(2012)	286.8	49.14	1/142	1.30	—	0.620
	津島(2012)	470.5	83.38	1/74	3.19	—	9.266
	浜松(2012)	315.5	63.13	1/106	1.87	—	1.844
	新宿(2012)	111.4	15.91	1/402	0.41	—	0.365

モデル	入力地震波	最大応答値(Y 方向)					
		頂部加速度 cm/s <sup>2</sup>	頂部変位 cm	変形角 rad	部材端塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形 cm
RC 90m級	此花(2011)平均	199.5	28.65	1/247	0.89	—	0.429
	津島(2011)平均	241.8	32.28	1/221	0.95	—	0.358
	浜松(2011)平均	317.1	43.76	1/159	1.69	—	0.465
	新宿(2011)平均	76.7	8.36	1/745	0.31	—	0.221
	此花(2011)平均 + $\sigma$	294.2	50.02	1/142	2.24	—	1.027
	津島(2011)平均 + $\sigma$	380.6	49.14	1/136	2.36	—	1.369
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	513.2	75.80	1/89	5.07	—	1.731
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	141.9	17.51	1/386	0.55	—	0.640
	此花(2012)	325.4	48.72	1/134	2.38	—	0.581
	津島(2012)	572.0	83.77	1/66	7.12	—	8.527
	浜松(2012)	326.0	63.26	1/108	3.42	—	1.603
	新宿(2012)	113.5	13.80	1/467	0.47	—	0.094

注) 塑性率の定義：部材レベルの材端曲げ塑性率を採用し、第二折れ点（曲げ降伏時材端回転角）からの変形増大倍率（ $\delta_{max}/\delta_y$ ）とする

表 3.3-12 RC115m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値 (X,Y 方向)					
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	層間 変形角 (rad)	層塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部 残留変形 (cm)
RC 115m 級	此花(2011)平均	150	44.9	1/191	0.57	—	8.4
	津島(2011)平均	206	45.9	1/193	0.58	—	3.7
	浜松(2011)平均	254	60.4	1/138	0.79	—	13.0
	新宿(2011)平均	94	19.0	1/450	0.24	—	0.6
	此花(2011)平均 + $\sigma$	306	108.3	1/ 64	2.00	—	22.8
	津島(2011)平均 + $\sigma$	302	60.1	1/127	0.94	—	6.3
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	409	90.6	1/ 68	1.90	—	5.5
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	105	25.6	1/323	0.33	—	4.0
	此花(2012)	259	80.3	1/111	0.98	—	8.7
	津島(2012)	389	125.2	1/ 48	2.44	—	0.1
	浜松(2012)	270	80.9	1/ 82	1.41	—	11.9
	新宿(2012)	99	21.9	1/388	0.30	—	6.1

注) 塑性率の定義 : Tri linear 第 2 折れ点

曲げ変形成分とせん断変形成分を分離し、せん断変形成分をトリリニア型に置換した第 2 折れ点の層間変位 (曲げ+せん断) を基点として算出。

表 3.3-13 RC130m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X,Y 方向共通)				
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	頂部残留変形 (cm)
RC 130m級	此花(2011)平均	192	90	1/101	1.52	1.1
	津島(2011)平均	242	95	1/101	1.56	1.0
	浜松(2011)平均	295	55	1/141	1.15	0.5
	新宿(2011)平均	61	30	1/244	0.56	0.1
	此花(2011)平均+ $\sigma$	284	148	1/48	3.34	0.2
	津島(2011)平均+ $\sigma$	287	124	1/53	3.16	0.5
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	367	80	1/99	1.51	0.9
	新宿(2011)平均+ $\sigma$	113	57	1/161	1.02	0.0
	此花(2012)	244	142	1/49	3.34	0.4
	津島(2012)	426	132	1/53	3.15	2.9
	浜松(2012)	272	81	1/116	1.34	0.1
	新宿(2012)	103	51	1/182	0.90	1.0



表 3.3-14 RC150m級(1) 2012地震動と2011地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X方向)				
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	頂部残留変形 (cm)
RC 150m級	此花(2011)平均	167.0	51.9	1/213	0.71	9.08
	津島(2011)平均	158.3	61.5	1/183	0.82	6.69
	浜松(2011)平均	73.3	16.8	1/559	0.25	1.32
	新宿(2011)平均	270.2	64.1	1/183	0.87	3.96
	此花(2011)平均+ $\sigma$	285.5	112.3	1/63	2.36	11.99
	津島(2011)平均+ $\sigma$	255.0	67.1	1/164	0.93	9.29
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	91.6	30.9	1/303	0.51	2.06
	新宿(2011)平均+ $\sigma$	386.7	91.6	1/94	1.57	7.11
	此花(2012)	248.3	92.1	1/84	1.88	14.60
	津島(2012)	385.6	146.2	1/47	3.23	14.20
	浜松(2012)	89.8	30.1	1/332	0.46	6.88
	新宿(2012)	251.8	90.8	1/108	1.36	10.10

モデル	入力地震波	最大応答値(Y方向)				
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	頂部残留変形 (cm)
RC 150m級	此花(2011)平均	198.5	121.9	1/104	0.99	8.20
	津島(2011)平均	163.0	69.5	1/164	0.60	5.50
	浜松(2011)平均	63.4	30.9	1/375	0.27	2.57
	新宿(2011)平均	274.6	54.9	1/142	0.87	5.54
	此花(2011)平均+ $\sigma$	305.0	158.1	1/59	2.10	9.59
	津島(2011)平均+ $\sigma$	264.3	121.2	1/92	1.19	3.45
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	118.0	72.5	1/167	0.62	4.78
	新宿(2011)平均+ $\sigma$	356.0	72.1	1/125	1.13	9.61
	此花(2012)	259.3	168.4	1/64	1.71	18.60
	津島(2012)	354.3	156.2	1/42	2.06	7.84
	浜松(2012)	89.7	54.7	1/212	0.49	4.36
	新宿(2012)	251.7	71.8	1/162	0.71	0.76

注) 層の塑性率は、第2折点を起点として算出している。

表 3. 3-15 RC150m級(2) 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値 (X 方向)					
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	層間 変形角 (rad)	層塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部 残留変形 (cm)
RC 150m 級 (2)	此花(2011)平均	132.	84.	1/ 93	1.7	—	0.8
	津島(2011)平均	167.	67.	1/ 158	1.0	—	0.4
	浜松(2011)平均	224.	21.	1/140	1.3	—	1.2
	新宿(2011)平均	79.	70.	1/ 444	0.4	—	0.03
	此花(2011)平均 + $\sigma$	208.	140.	1/51	3.0	—	1.0
	津島(2011)平均 + $\sigma$	200.	84.	1/ 77	2.0	—	1.0
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	255.	65.	1/ 97	1.8	—	1.5
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	95.	44.	1/ 208	0.9	—	0.8
	此花(2012)	208.	142.	1/52	2.9	—	2.9
	津島(2012)	260.	117.	1/ 78	2.6	—	0.9
	浜松(2012)	203.	66.	1/ 159	1.1	—	0.7
	新宿(2012)	100.	33.	1/ 261	0.7	—	0.8

モデル	入力地震波	最大応答値 (Y 方向)					
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	層間 変形角 (rad)	層塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部 残留変形 (cm)
RC 150m 級 (2)	此花(2011)平均	167.	112.	1/ 99	2.0	—	0.4
	津島(2011)平均	171.	71.	1/ 125	1.0	—	0.6
	浜松(2011)平均	224.	53.	1/128	1.2	—	2.4
	新宿(2011)平均	87.	24.	1/ 455	0.4	—	1.0
	此花(2011)平均 + $\sigma$	248.	173.	1/ 62	3.0	—	0.4
	津島(2011)平均 + $\sigma$	216.	97.	1/ 99	1.9	—	2.0
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	261.	65.	1/ 96	1.7	—	3.0
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	102.	59.	1/ 192	0.9	—	0.4
	此花(2012)	201.	169.	1/ 61	2.6	—	2.4
	津島(2012)	287.	129.	1/ 63	2.8	—	1.5
	浜松(2012)	225.	71.	1/ 132	1.1	—	1.9
	新宿(2012)	87.	39.	1/ 288	0.7	—	0.1

表 3.3-16 RC180m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X 方向)				
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	頂部残留変形 (cm)
RC 180m級	此花(2011)平均	213.1	197.6	1/67	2.00	11.99
	津島(2011)平均	139.5	59.2	1/199	0.69	1.94
	浜松(2011)平均	183.0	45.7	1/179	0.88	3.56
	新宿(2011)平均	145.6	138.7	1/101	1.34	2.98
	此花(2011)平均+ $\sigma$	215.4	209.2	1/48	2.80	12.21
	津島(2011)平均+ $\sigma$	207.6	139.6	1/101	1.21	5.62
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	251.9	67.2	1/91	1.83	12.00
	新宿(2011)平均+ $\sigma$	172.7	179.5	1/51	2.82	10.93
	此花(2012)	210.4	207.1	1/46	3.14	16.88
	津島(2012)	261.0	137.9	1/72	2.27	8.98
	浜松(2012)	187.2	68.7	1/183	0.80	6.08
	新宿(2012)	147.9	156.3	1/65	2.08	5.85

モデル	入力地震波	最大応答値(Y 方向)				
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	頂部残留変形 (cm)
RC 180m級	此花(2011)平均	215.1	202.6	1/68	1.92	5.88
	津島(2011)平均	142.3	62.1	1/195	0.70	2.00
	浜松(2011)平均	182.3	46.6	1/172	0.89	2.05
	新宿(2011)平均	153.9	149.2	1/95	1.42	2.37
	此花(2011)平均+ $\sigma$	214.3	214.7	1/53	2.52	13.57
	津島(2011)平均+ $\sigma$	206.0	139.5	1/104	1.23	1.79
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	247.2	70.8	1/84	1.98	12.26
	新宿(2011)平均+ $\sigma$	172.9	183.7	1/51	2.71	12.14
	此花(2012)	214.8	207.0	1/47	2.93	25.45
	津島(2012)	265.1	137.2	1/51	2.65	2.78
	浜松(2012)	186.8	70.1	1/181	0.83	4.14
	新宿(2012)	157.3	167.3	1/61	2.25	1.59

注) 塑性率の定義：せん断成分トリリニアカーブの第2折れ点を基点とする。

表 3.3-17 RC240m級 2012 地震動と 2011 地震動との応答値の比較

モデル	入力地震波	最大応答値(X,Y 方向共通)				
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	頂部残留 変形 (cm)
RC 240m級	此花(2011)平均	126.6	143.7	1/133	1.10	0.39
	津島(2011)平均	111.6	80.7	1/199	0.75	0.13
	浜松(2011)平均	129.9	93.2	1/163	0.93	0.24
	新宿(2011)平均	100.3	155.4	1/123	1.22	0.58
	此花(2011)平均 + $\sigma$	164.8	186.2	1/91	1.90	2.46
	津島(2011)平均 + $\sigma$	146.5	116.9	1/142	1.04	0.26
	浜松(2011)平均 + $\sigma$	206.4	79.1	1/106	1.86	1.07
	新宿(2011)平均 + $\sigma$	117.7	192.2	1/77	2.29	1.35
	此花(2012)平均	171.3	171.0	1/70	2.64	2.78
	津島(2012)平均	234.4	151.6	1/90	2.23	2.70
	浜松(2012)平均	152.7	87.8	1/166	1.00	0.21
	新宿(2012)平均	130.8	217.7	1/74	2.30	6.86

注) 塑性率の定義：部材レベルの材端曲げ塑性率を採用し、第二折れ点（曲げ降伏時材端回転角）からの変形増大倍率（ $\delta_{\max}/\delta_y$ ）とする

### 3-4 S80m 級モデル建物の部材損傷評価

ここでは、新たに作成された  $M_w=9.0$  の 6 セグメント 4 連動地震に対して、高さ約 80m の鋼構造超高層建物を対象に立体フレームモデルによる応答解析を行い、部材の損傷について検討する。応答結果は、前節と同様に 2011 年度の  $M_w=8.7$  の三連動地震と合わせて比較する。

#### 3-4-1 対象建物概要

表 3.4-1 検討建物概要

構造種別	設計年	階数	軒高	固有周期	解析方向	構造上の特徴
S 造	—	21 階	80.5m	2.41 秒	X 方向	純ラーメン構造
S 造	—	21 階	80.5m	1.75 秒	X 方向	制振部材付きラーメン構造

(下に概略伏図と軸組図を示す)

検討に用いた建物は、地上 21 階建、軒高約 80m の S 造超高層建物とする。検討は、純ラーメン架構による耐震モデルと、同じ架構にブレース型制振部材を付加した制振モデルを設定し、X 方向を対象に検討した。X 方向の架構は、5m×6 スパンの均等スパンで、4 構面で構成される架構形式となっている。基準階高は 3.8m で、1 階の階高のみ 4.5m である。

主架構の耐震性能は、弾性限界時のベースシヤ係数で  $C_y=0.195$ 、保有水平耐力時のベースシヤ係数は  $C_u=0.235$  となるものである。同架構による耐震モデルの一次固有周期は  $T_1=2.41s$  であった。制振モデルは、耐震モデルの各層に履歴型ダンパー(座屈拘束ブレース)を取付け、ダンパーの投入量は第 1 層でのダンパーの降伏層せん断力係数、 $d\alpha_{y1}$  を用いて、 $d\alpha_{y1}=0.064$  とし、Ai 分布を基本に高さ方向の投入量を設定した。制振モデルの一次固有周期は  $T_1=1.75s$  であった。耐震モデル、制振モデルの伏図、軸組図をそれぞれ示す。

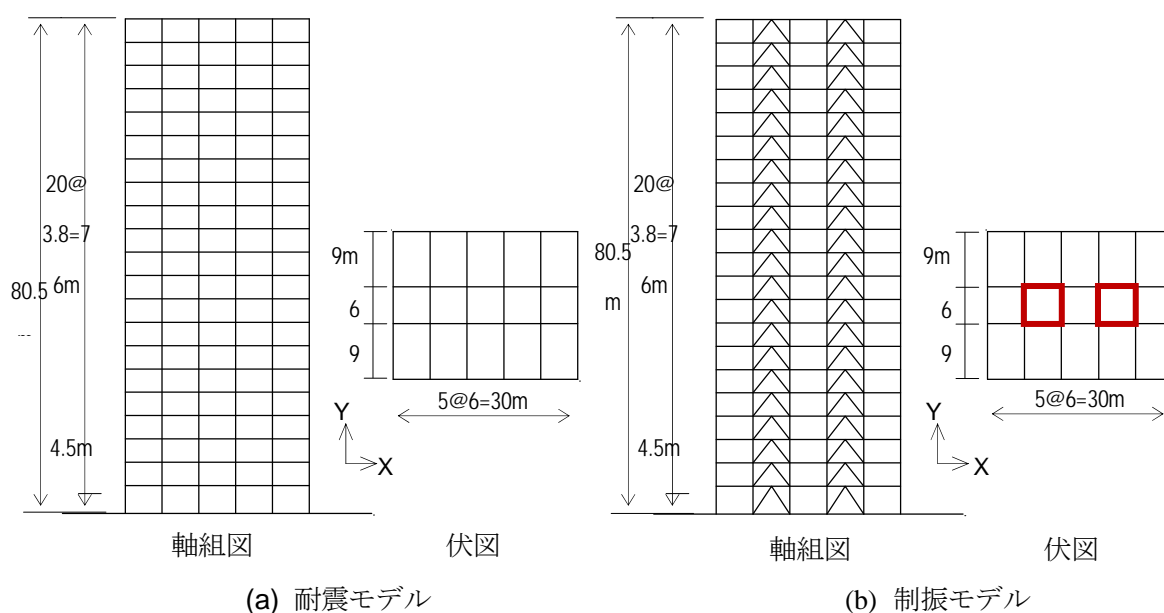


図 3.4-1 検討用建物の伏図、軸組図

### 3-4-2 モデル化の方針

解析モデルは、柱、梁、ダンパー部材を線材とした3次元立体骨組モデルで、減衰は主架構のみに与え、減衰定数  $h=2\%$  の初期剛性比例型とした。なお本解析では、 $P-\delta$  効果は考慮していない。

### 3-4-3 静的漸増解析結果

静的弾塑性解析の結果から制振モデルでは、層間変形角  $R=1/200$  より小さな層間変形角において、ブレース状に配置した履歴型制振ダンパーが降伏している。

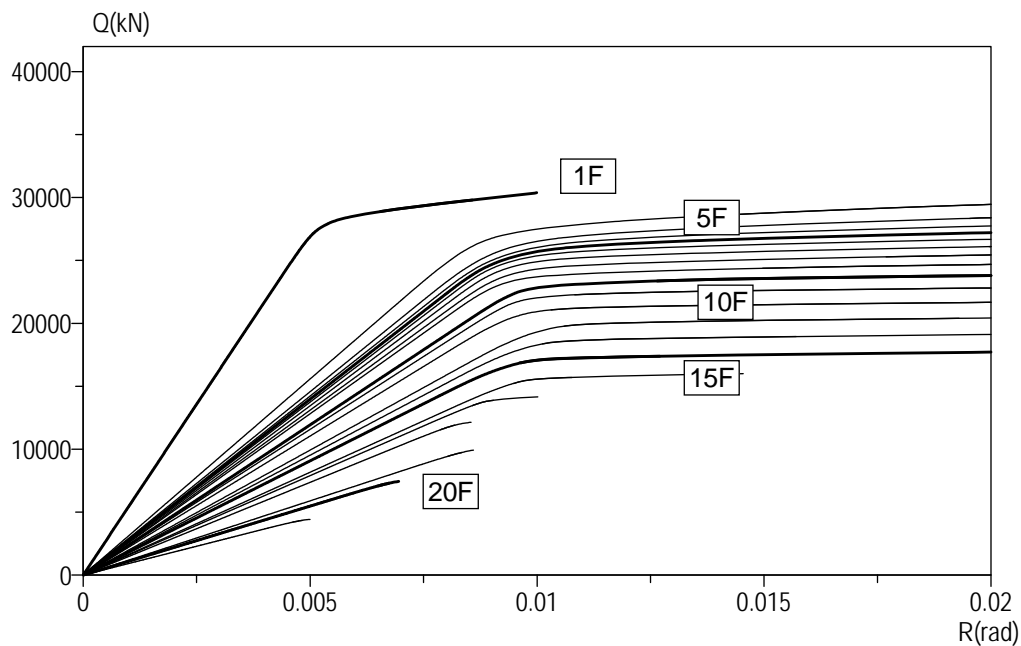


図 3.4-2 耐震モデル (X 方向) 荷重変形関係図

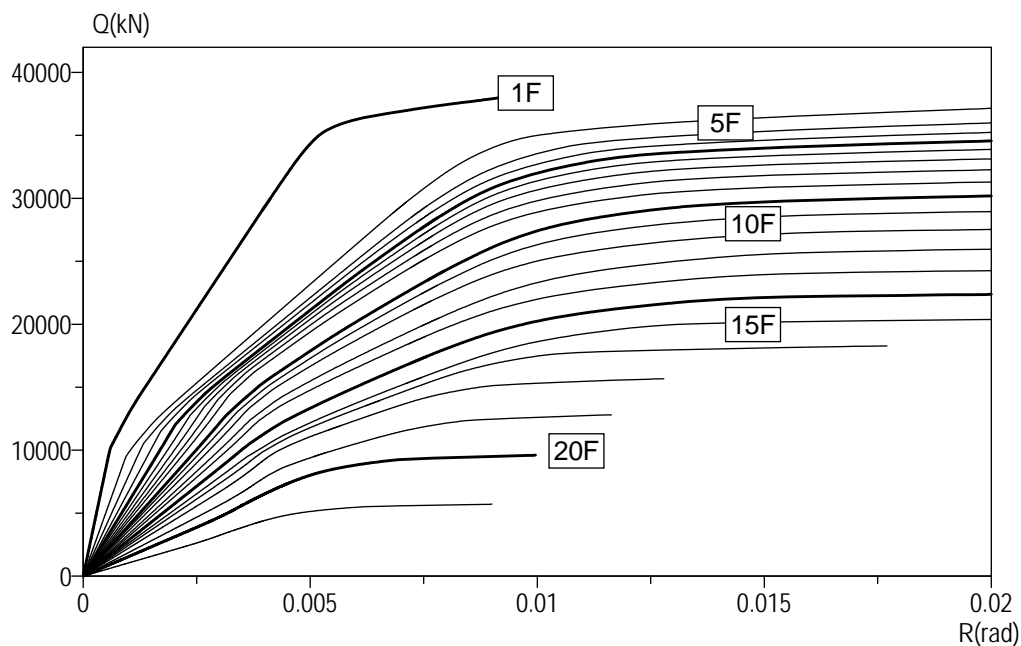


図 3.4-3 制振モデル (X 方向) 荷重変形関係図

### 3-4-4 3連動平均波, 3連動平均+σ波, 4連動地震波 地震応答解析結果

層および梁, ダンパー部材の最大応答値の一覧を以下に示す。

表 3.4-2 各地震動ケースの最大応答値(層レベル)

#### 2011年度 3連動平均波(層レベル)

モデル	入力地震波	層の最大応答値					
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形(cm)
S80m級 耐震モデル	津島(2011)平均	529.5	69.5	1/90	1.22	0.60	3.35
	浜松(2011)平均	569.8	70.0	1/78	1.39	2.06	2.29
S80m級 制振モデル	津島(2011)平均	513.8	29.1	1/203	0.66	0.00	0.21
	浜松(2011)平均	852.0	36.1	1/164	0.78	0.01	0.19

#### 2011年度 3連動平均+σ波(層レベル)

モデル	入力地震波	層の最大応答値					
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形(cm)
S80m級 耐震モデル	津島(2011)平均+σ	675.7	83.2	1/73	1.45	2.55	7.56
	浜松(2011)平均+σ	953.8	77.9	1/62	1.75	8.65	6.42
S80m級 制振モデル	津島(2011)平均+σ	700.4	38.5	1/137	1.00	0.03	0.32
	浜松(2011)平均+σ	1245.9	57.1	1/96	1.22	0.57	0.40

#### 2012年度 4連動地震波(層レベル)

モデル	入力地震波	層の最大応答値					
		頂部加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	頂部変位 (cm)	変形角 (rad)	塑性率	累積塑性 変形倍率	頂部残留 変形(cm)
S80m級 耐震モデル	津島(2012)	874.6	99.5	1/46	2.34	16.2	18.89
	浜松(2012)	676.1	79.9	1/69	1.56	4.44	2.27
S80m級 制振モデル	津島(2012)	845.4	58.0	1/87	1.30	0.95	1.38
	浜松(2012)	676.0	35.0	1/149	0.93	0.00	0.69

注1) 累積塑性変形倍率 $f\eta_i$ は, 次式で定義する。

$$f\eta_i = fW_{pi} / (fQ_{eqi} \cdot f\delta_{eqi})$$

ここに,  $fW_{pi}$  は各層の塑性歪みエネルギー,  $fQ_{eqi}$  は等価降伏耐力,  $f\delta_{eqi}$  は等価降伏変形である。

$fQ_{eqi}$  と  $f\delta_{eqi}$  は, それぞれ各層の荷重-変形関係を, 最大層間変形角  $\delta_{imax}$  (今回は  $R=1/80$  と定めた) に達するまでの履歴面積が等価になるように, 完全弾塑性型復元力に置換して得る。

注2) 塑性率 $f\mu_i$ は, 第1折れ点からの変形増大率であり, 次式で定義する。

$$f\mu_i = \delta_{imax} / \delta_p$$

ここに  $\delta_p$  は, 第1折れ点で, 静的弾塑性解析における層せん断力-層間変形関係において, 当該層所属部材のいずれかが全塑性モーメントに達した時点とする

表 3.4-3 各地震動ケースの最大応答値(部材レベル)

2011 年度 3 連動平均波 (部材レベル)

モデル	入力地震波	梁部材の最大応答値		履歴型ダンパーの最大応答値	
		塑性率	累積塑性 変形倍率	塑性率	累積塑性 変形倍率
S80m 級 耐震モデル	津島(2011)平均	1.96	2.48	—	—
	浜松(2011)平均	2.56	9.78	—	—
S80m 級 制振モデル	津島(2011)平均	弾性	0.00	7.59	156.4
	浜松(2011)平均	弾性	0.00	8.95	254.6

2011 年度 3 連動平均+ $\sigma$  波 (部材レベル)

モデル	入力地震波	梁部材の最大応答値		履歴型ダンパーの最大応答値	
		塑性率	累積塑性 変形倍率	塑性率	累積塑性 変形倍率
S80m 級 耐震モデル	津島(2011)平均+ $\sigma$	2.69	12.17	—	—
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	3.69	35.61	—	—
S80m 級 制振モデル	津島(2011)平均+ $\sigma$	弾性	0.00	11.40	379.6
	浜松(2011)平均+ $\sigma$	2.37	7.90	14.45	672.0

2012 年度 4 連動地震波 (部材レベル)

モデル	入力地震波	梁部材の最大応答値		履歴型ダンパーの最大応答値	
		塑性率	累積塑性 変形倍率	塑性率	累積塑性 変形倍率
S80m 級 耐震モデル	津島(2012)	5.47	66.57	—	—
	浜松(2012)	3.05	19.53	—	—
S80m 級 制振モデル	津島(2012)	2.53	12.43	17.41	747.4
	浜松(2012)	弾性	0.00	10.69	319.5



各層の最大応答値の高さ方向の分布を以下に示す。

- △— 浜松(2011)平均
- ▲— 浜松(2011)平均+ $\sigma$
- ▲— 浜松(2012)

- 津島(2011)平均
- 津島(2011)平均+ $\sigma$
- 津島(2012)

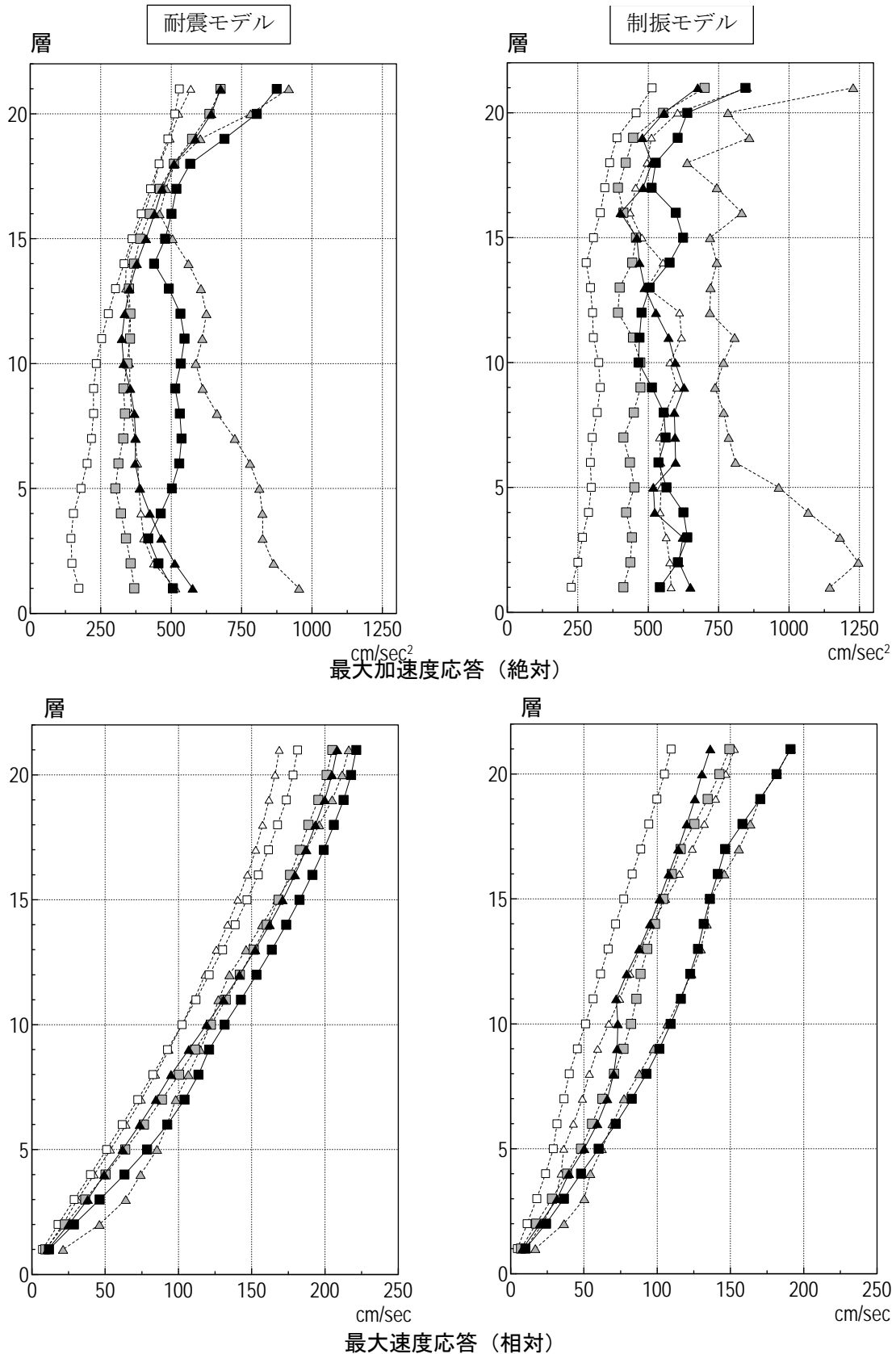
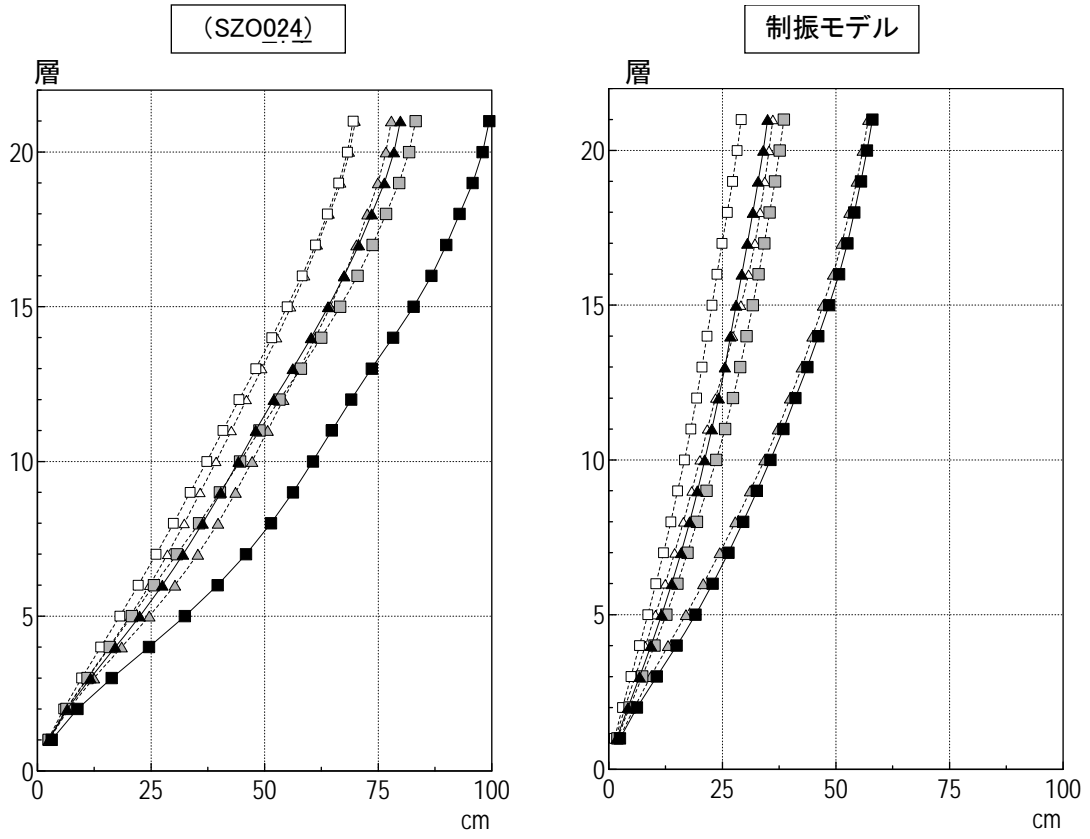


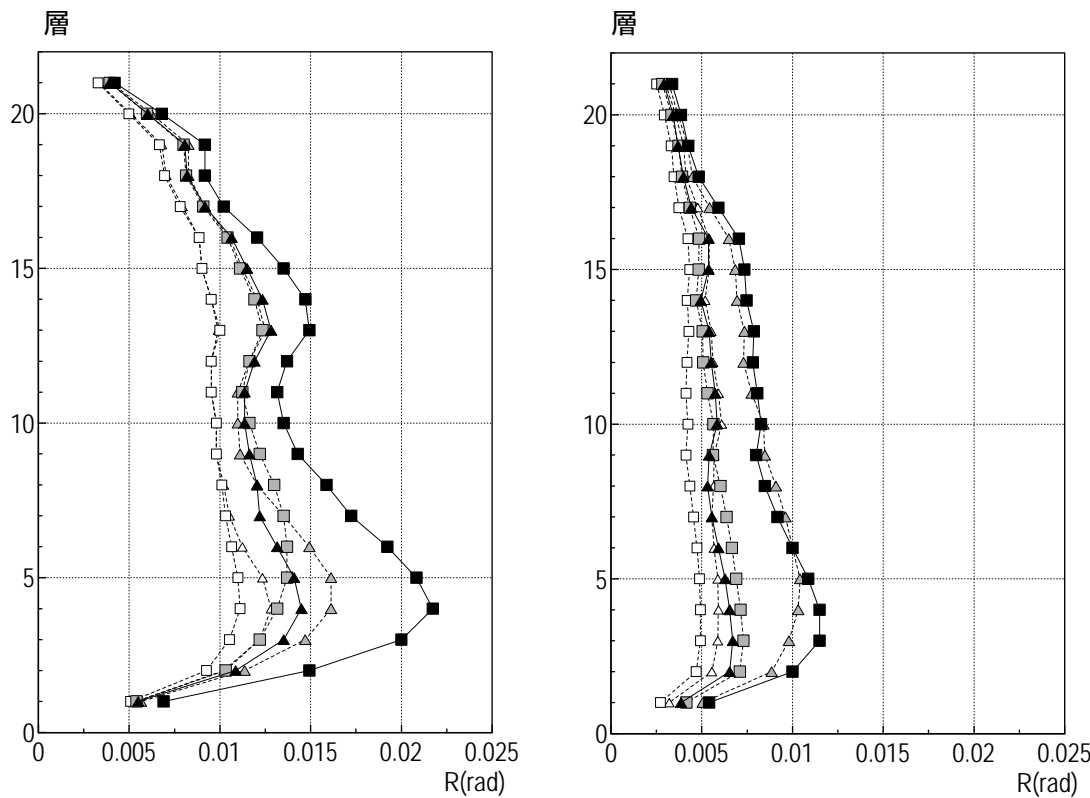
図 3. 4-4 S80m 級モデル建物の最大応答値(1)

△ 浜松(2011)平均  
 ▲ 浜松(2011)平均+ $\sigma$   
 ▲ 浜松(2012)

□ 津島(2011)平均  
 ■ 津島(2011)平均+ $\sigma$   
 ■ 津島(2012)



最大変形 (相対)



最大層間変形角

図 3. 4-5 S80m 級モデル建物の最大応答値 (2)

- △ 浜松(2011)平均
- ▲ 浜松(2011)平均+ $\sigma$
- ▲ 浜松(2012)

- 津島(2011)平均
- 津島(2011)平均+ $\sigma$
- 津島(2012)

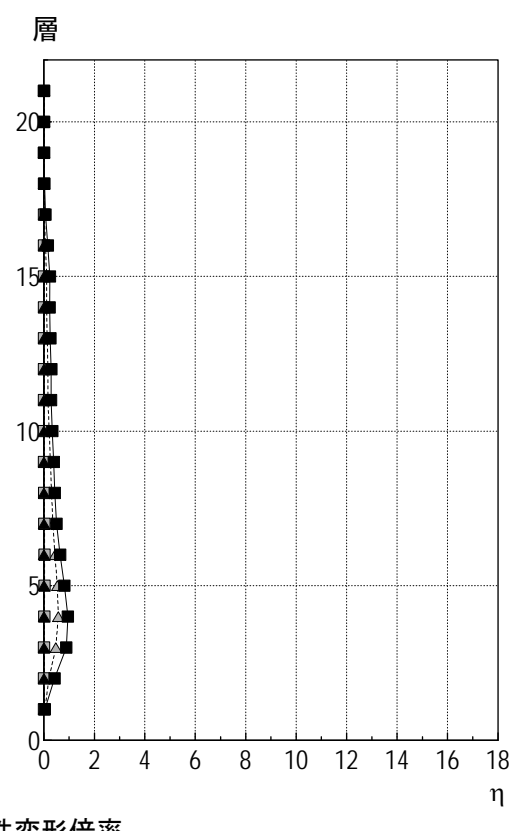
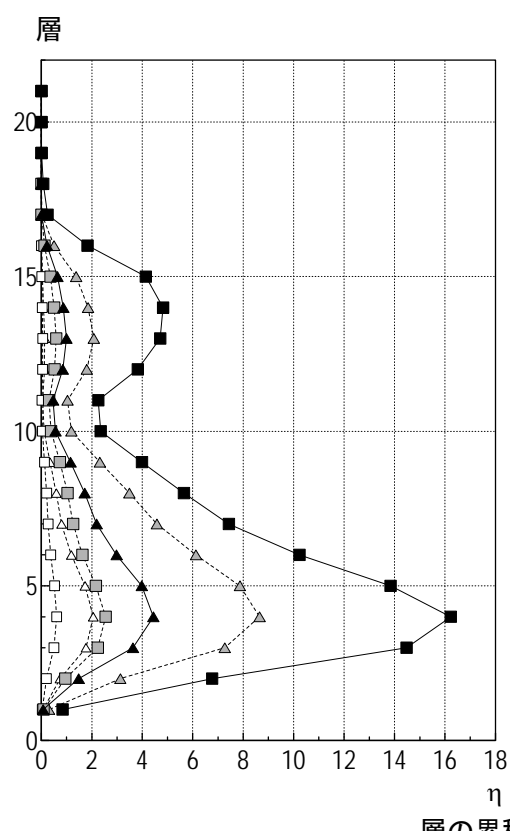
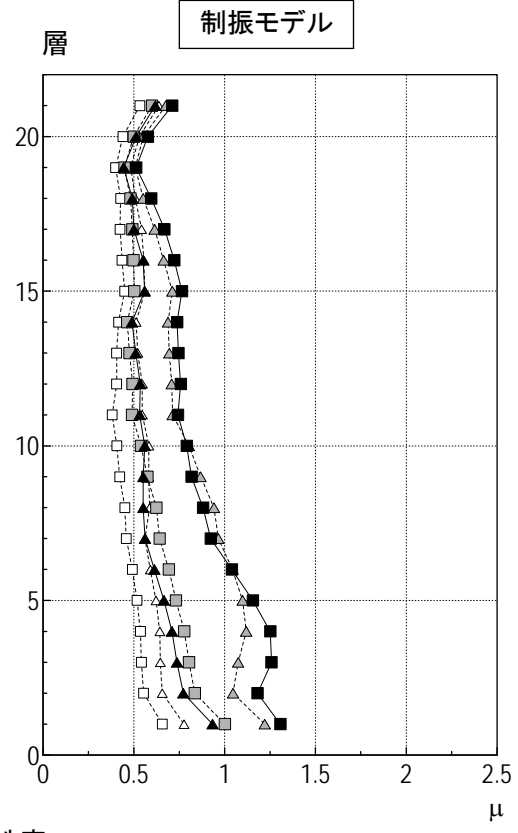
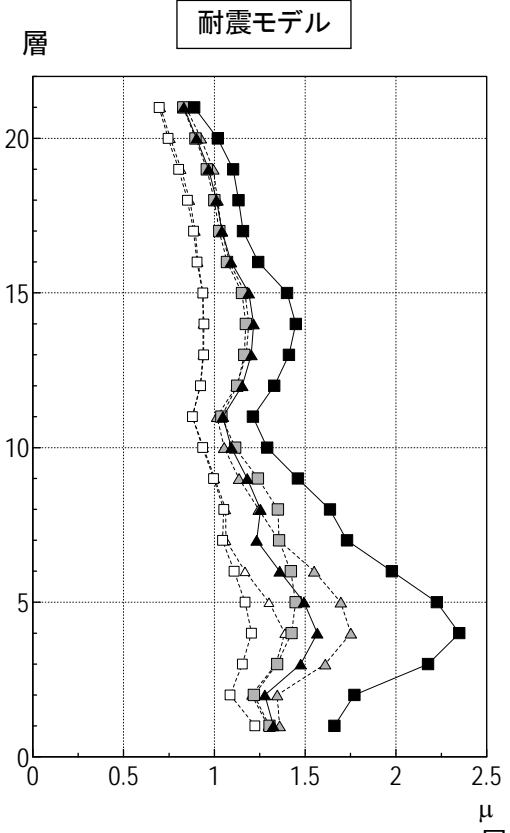


図 3.4-6 S80m 級モデル建物の最大応答値 (3)

各層に所属する梁部材の最大応答値を高さ方向分布で以下に示す。

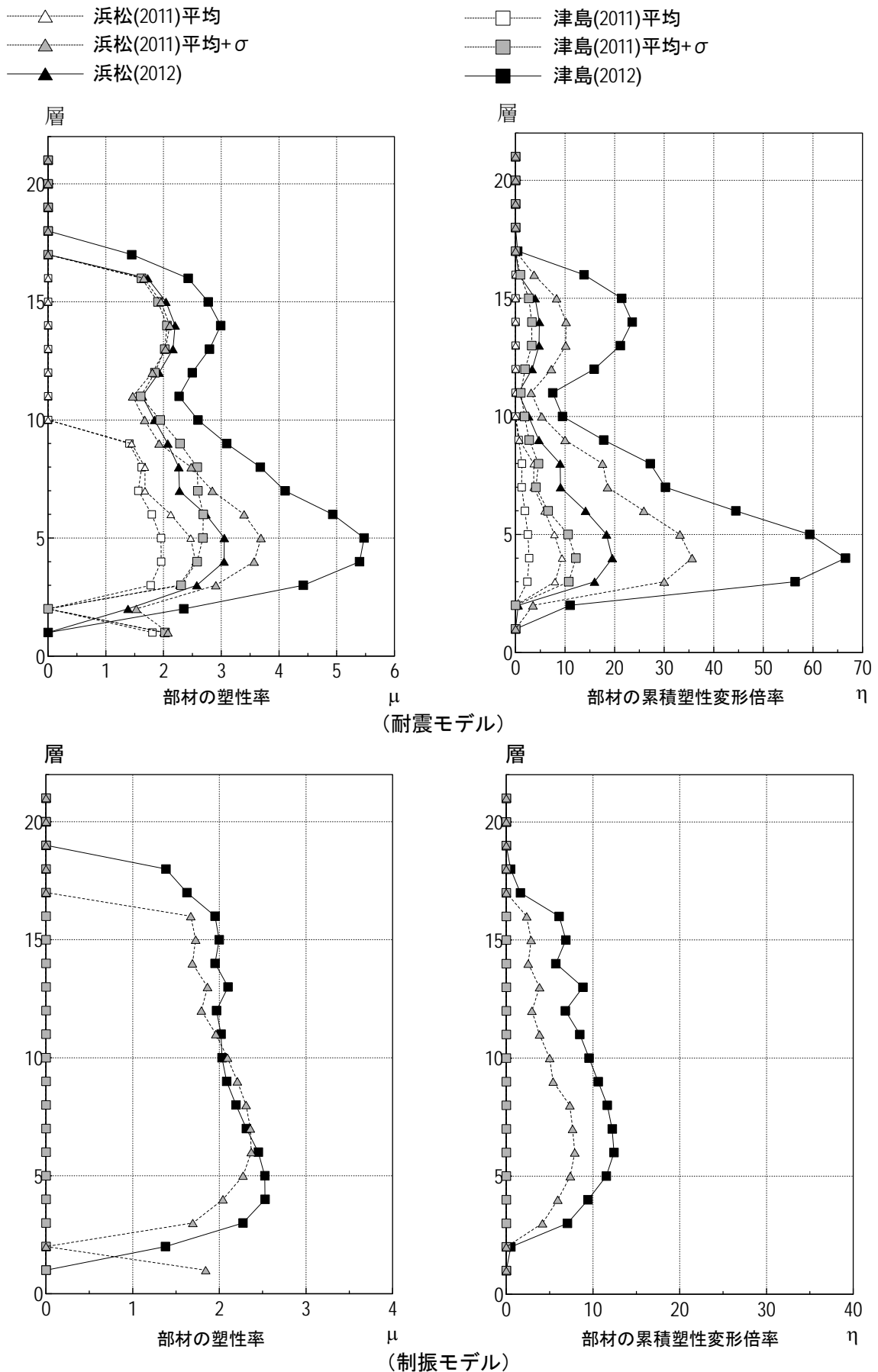
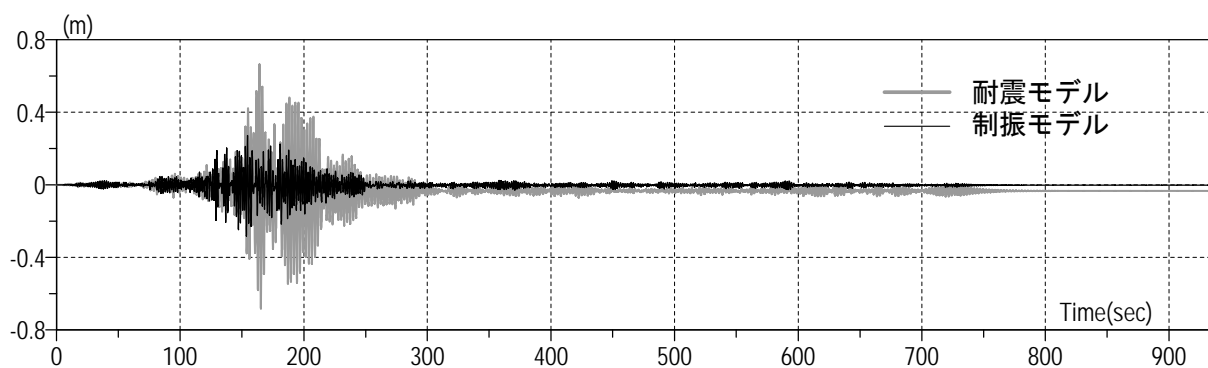
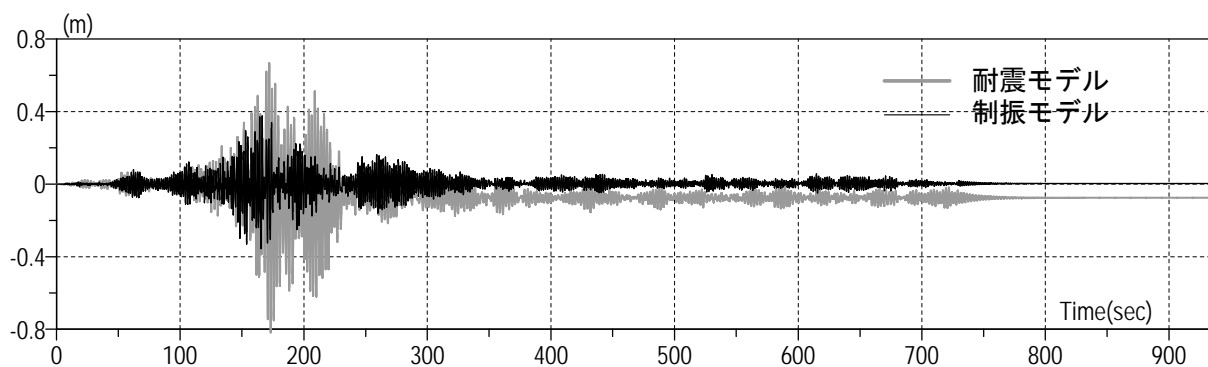


図 3. 4-7 S80m 級モデル建物の最大応答値(4)

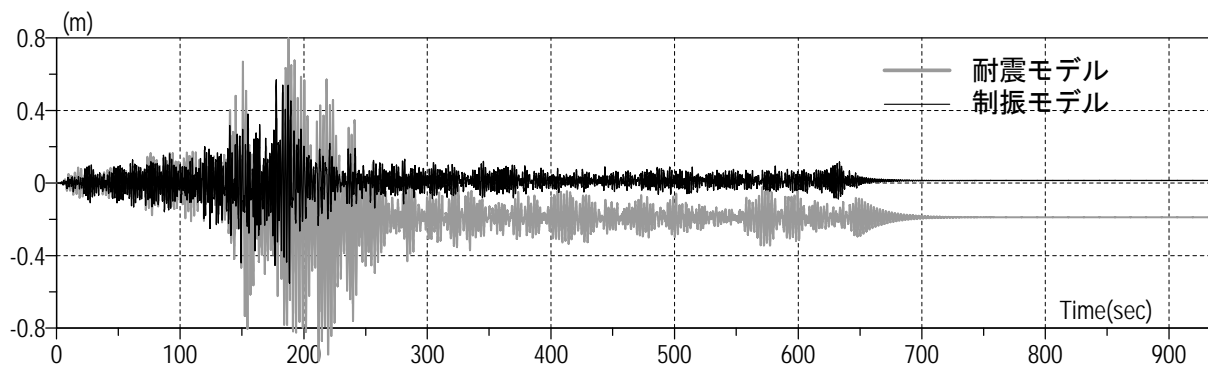
頂部変位の時刻歴を以下に示す。



津島(2011)平均波 入力時の頂部変位の時刻歴波形

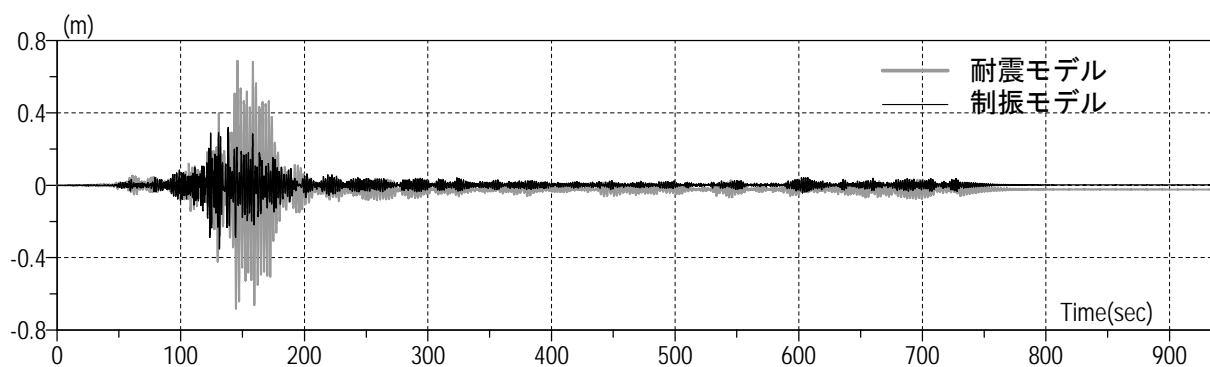


津島(2011)平均+σ波 入力時の頂部変位の時刻歴波形

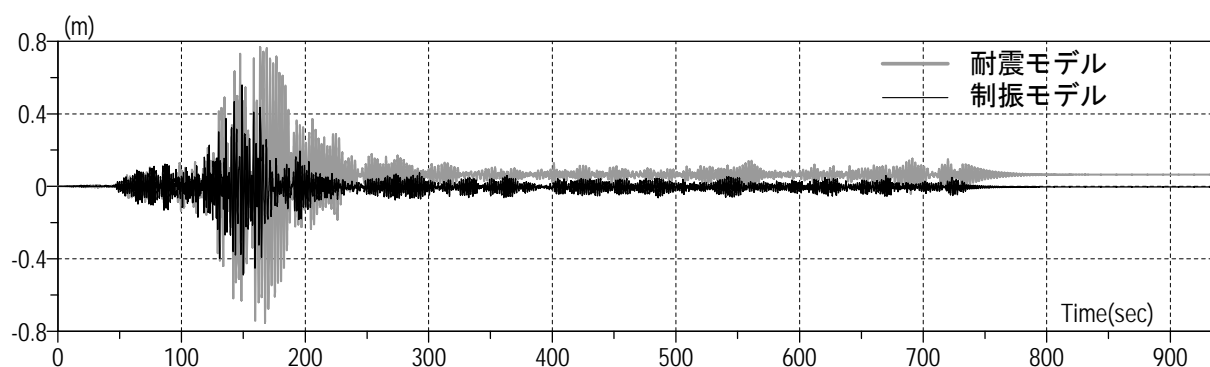


津島(2012) 入力時の頂部変位の時刻歴波形

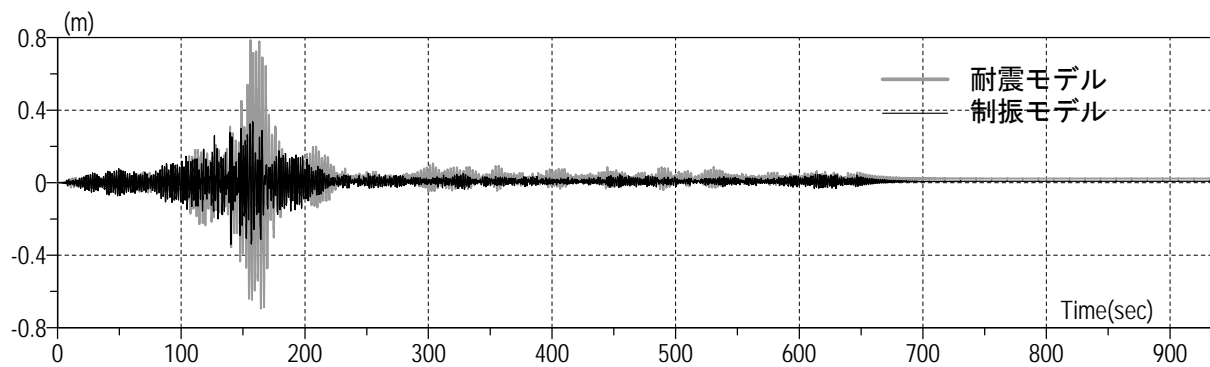
図 3. 4-8 S80m 級モデル建物の頂部応答変位波形値(1) (津島波形入力)



浜松(2011)平均波 入力時の頂部変位の時刻歴波形



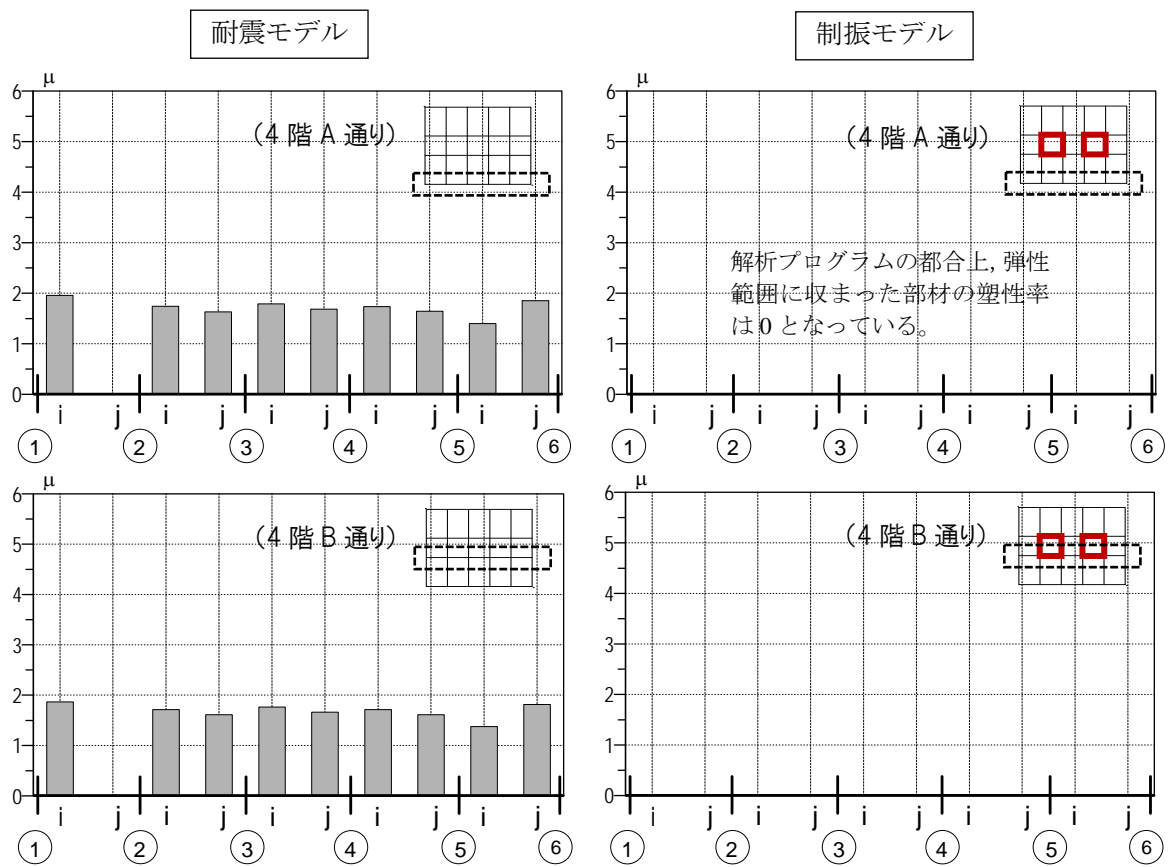
浜松(2011)平均+ $\sigma$ 波 入力時の頂部変位の時刻歴波形



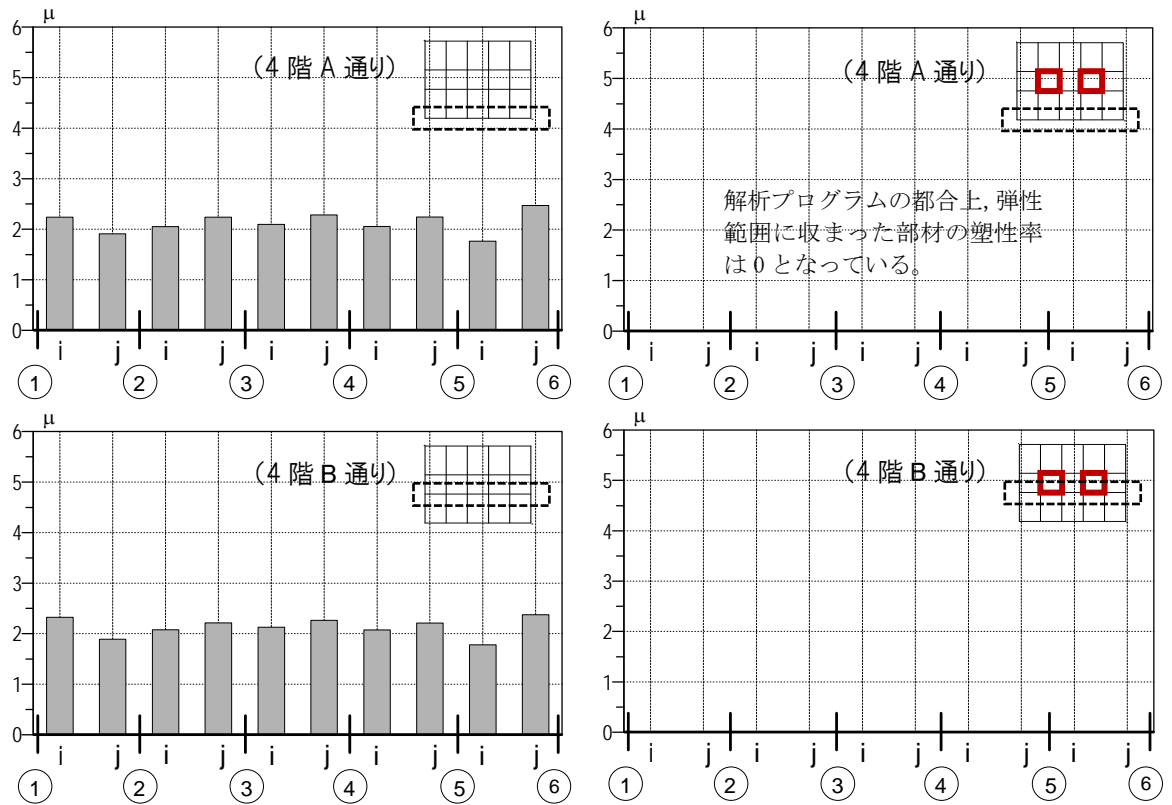
浜松(2012) 入力時の頂部変位の時刻歴波形

図 3. 4-9 S80m 級モデル建物の頂部応答変位波形値(2) (浜松波形入力)

梁部材の損傷評価（第4層）を以下に示す。なお、解析プログラムの都合上、弾性範囲に収まった部材の塑性率は0となっている。



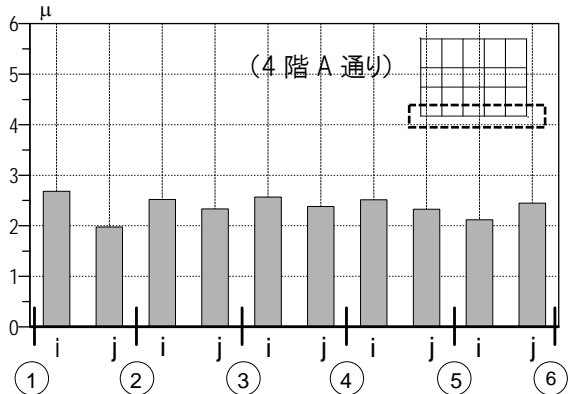
津島(2011)平均波 での梁端の塑性率



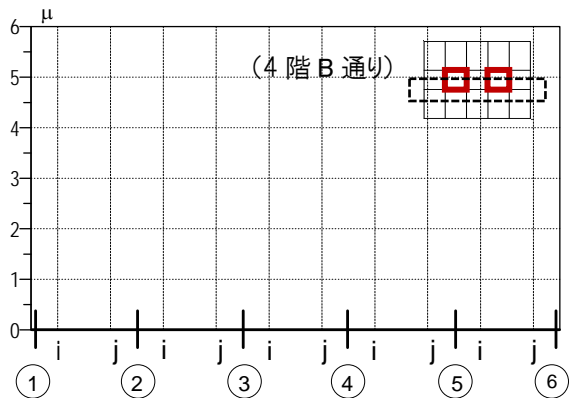
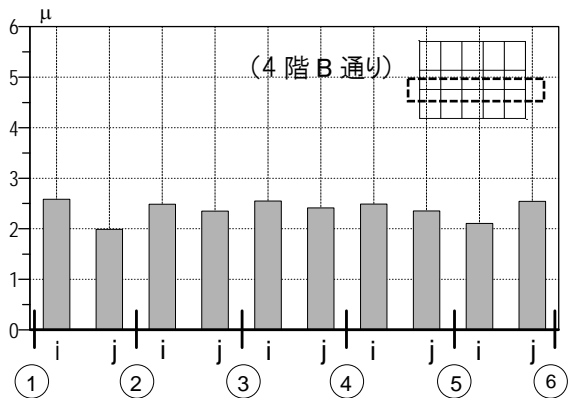
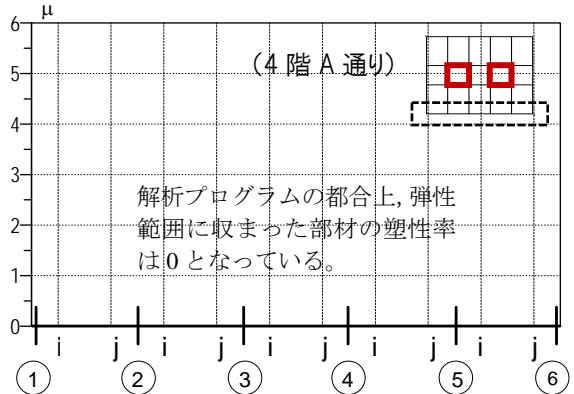
浜松(2011)平均波 での梁端の塑性率

図 3.4-10 梁端の塑性率(1) (3連動平均)

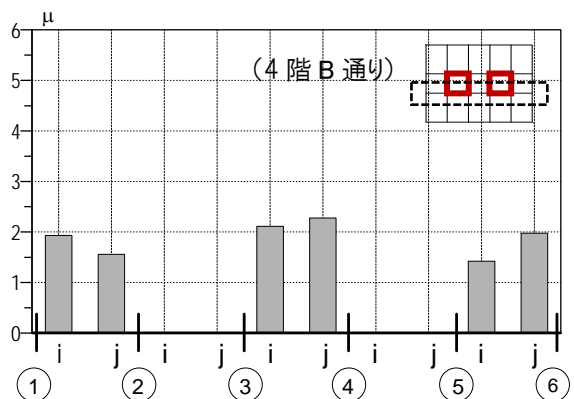
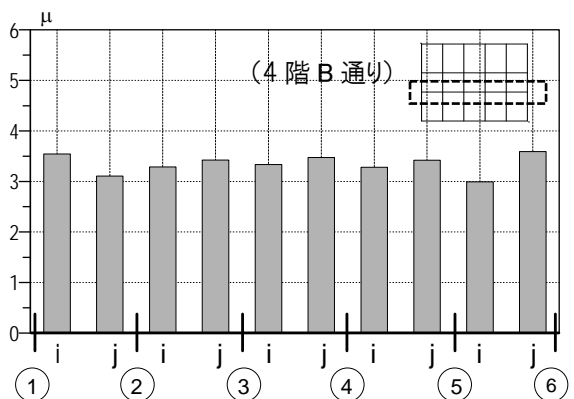
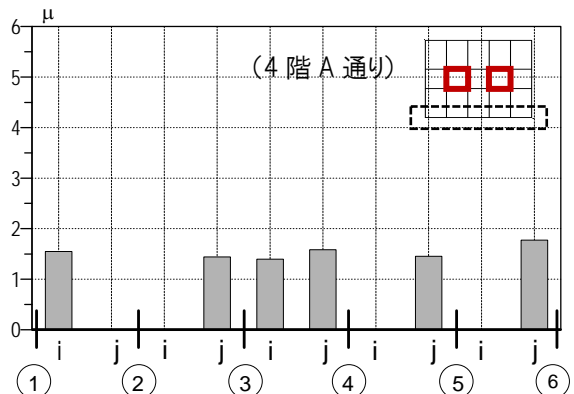
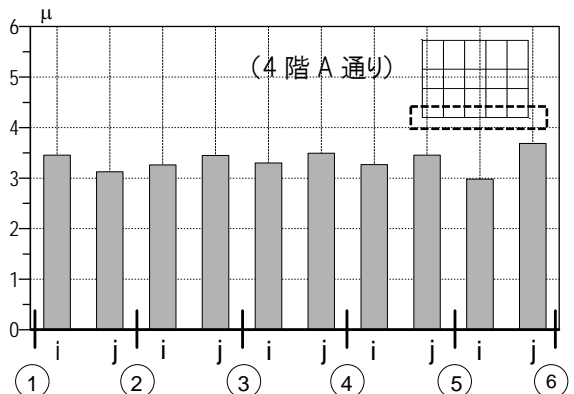
耐震モデル



制振モデル



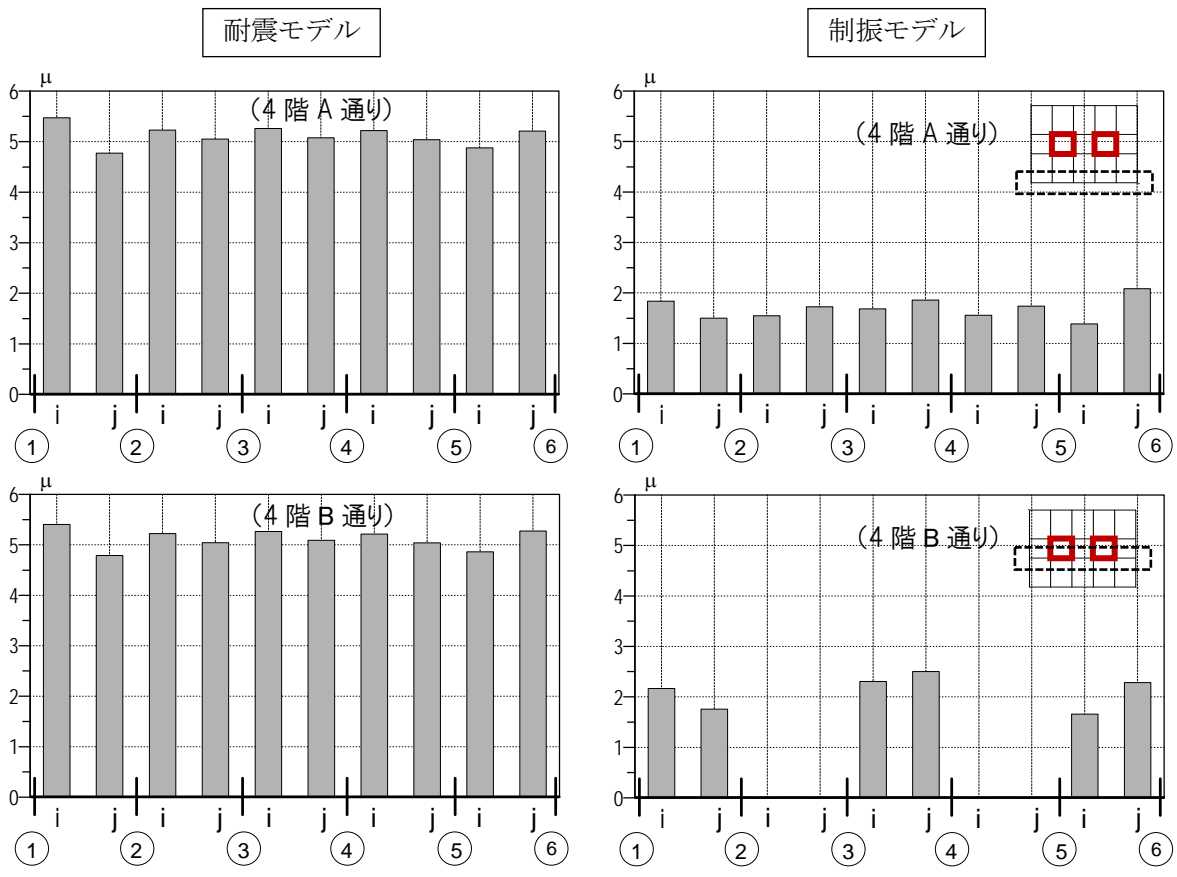
津島(2011)平均+σ波 での梁端の塑性率



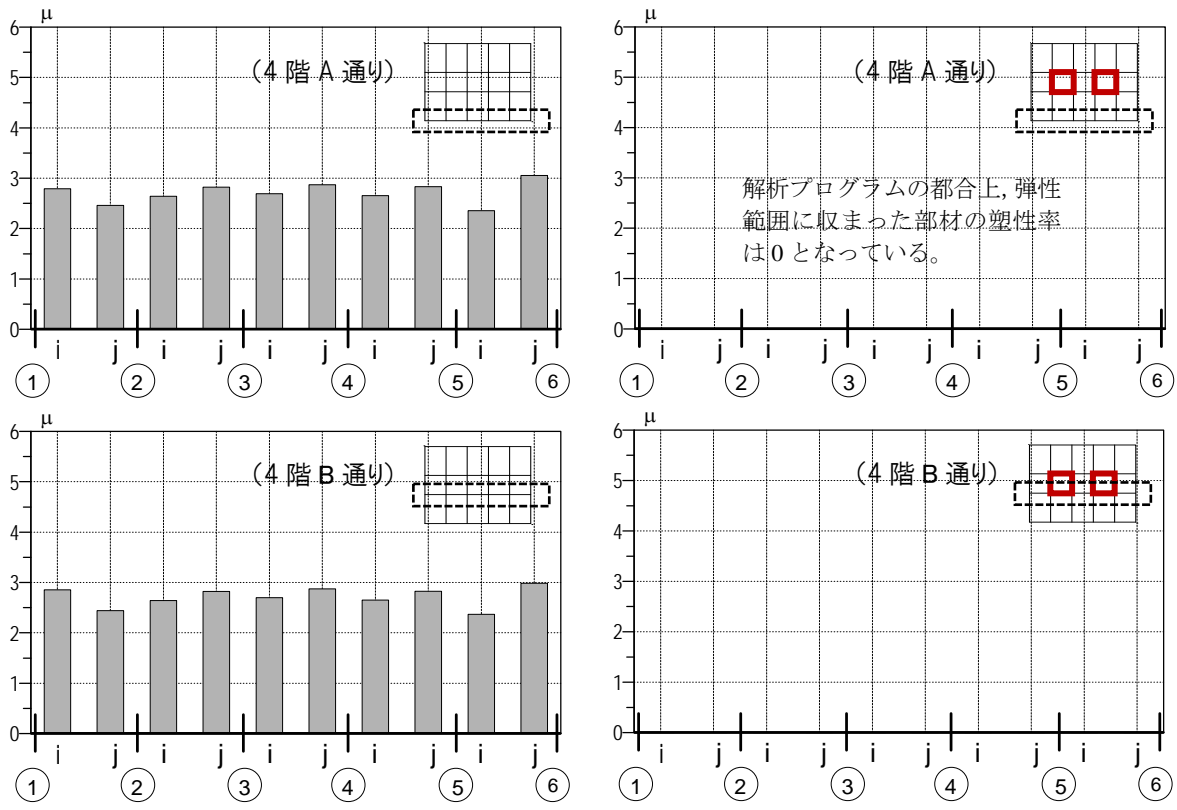
浜松(2011)平均+σ波 での梁端の塑性率

図 3.4-11 梁端の塑性率 (2)





津島(2012) での梁端の塑性率



浜松(2012) での梁端の塑性率

図 3.4-12 梁端の塑性率(3)

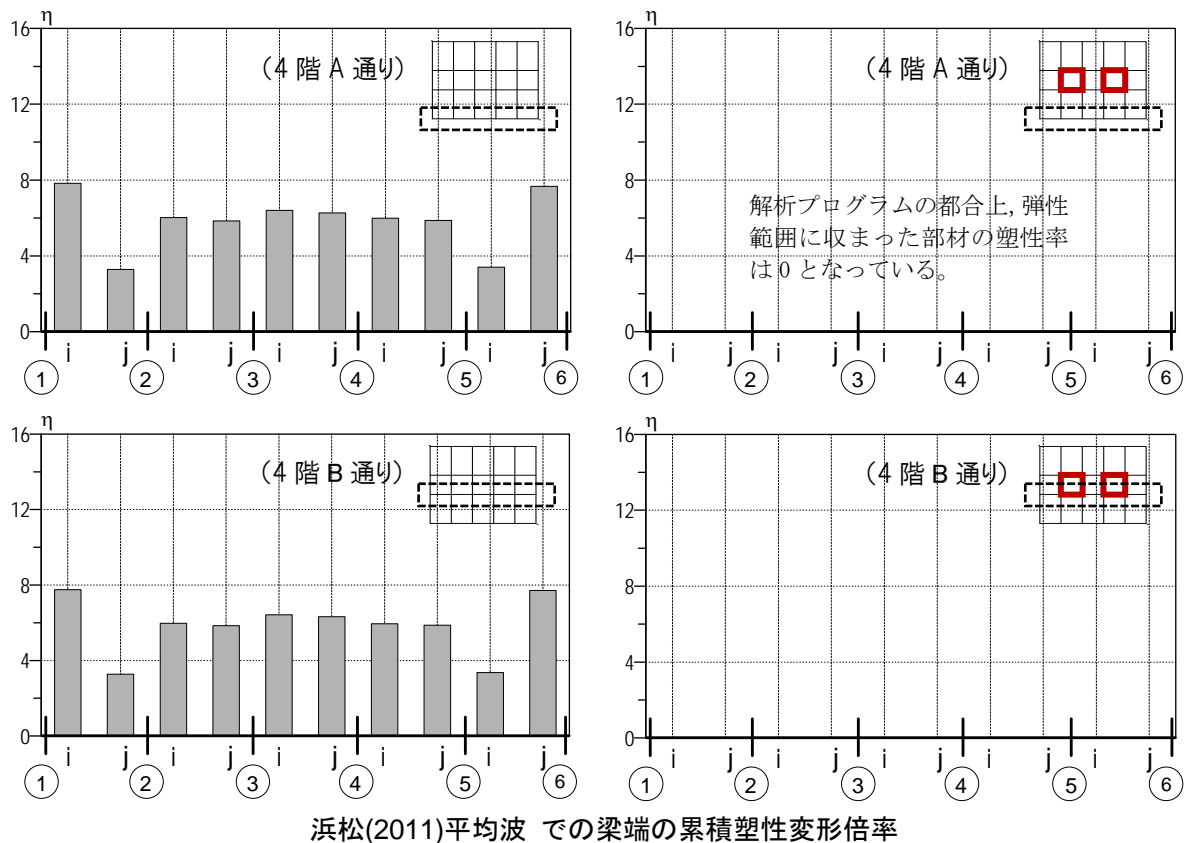
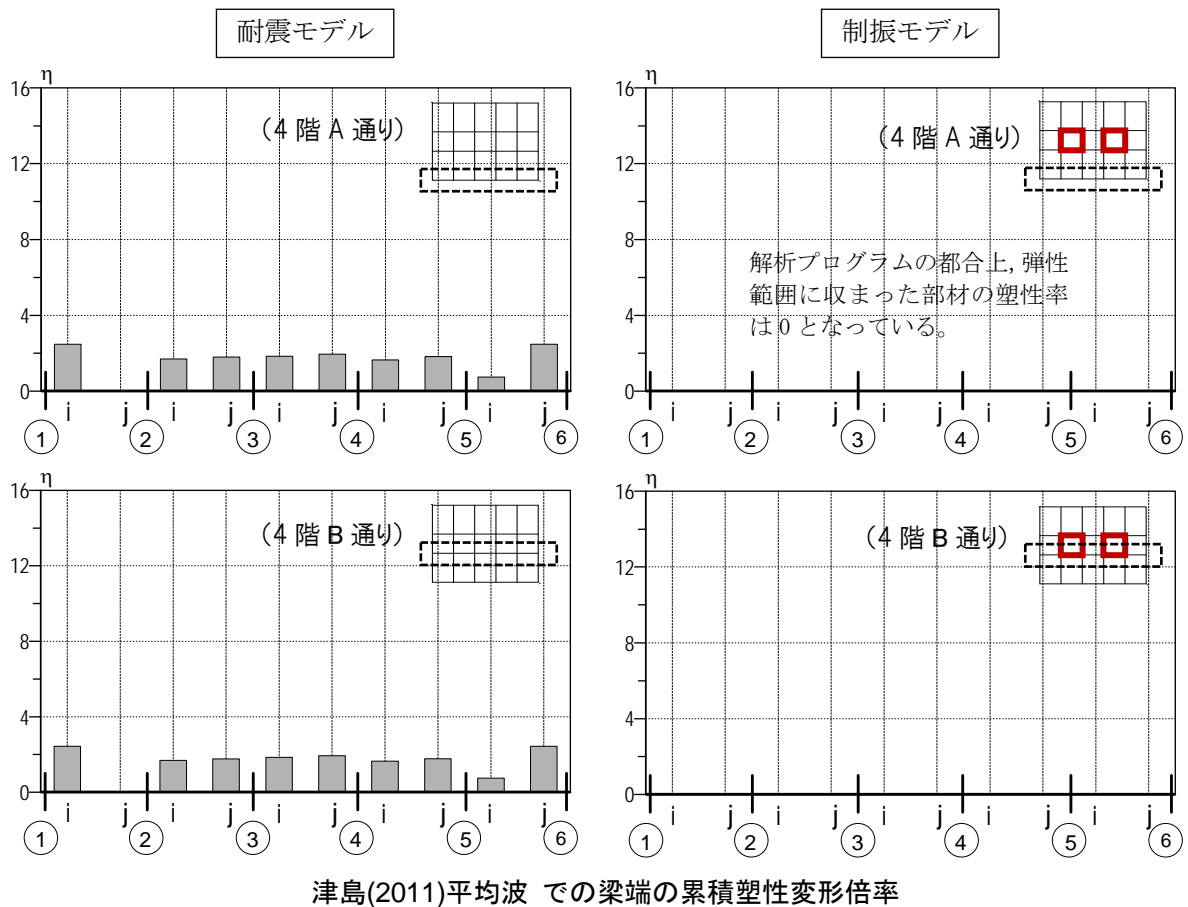


図 3.4-13 梁端の累積塑性変形倍率(1)

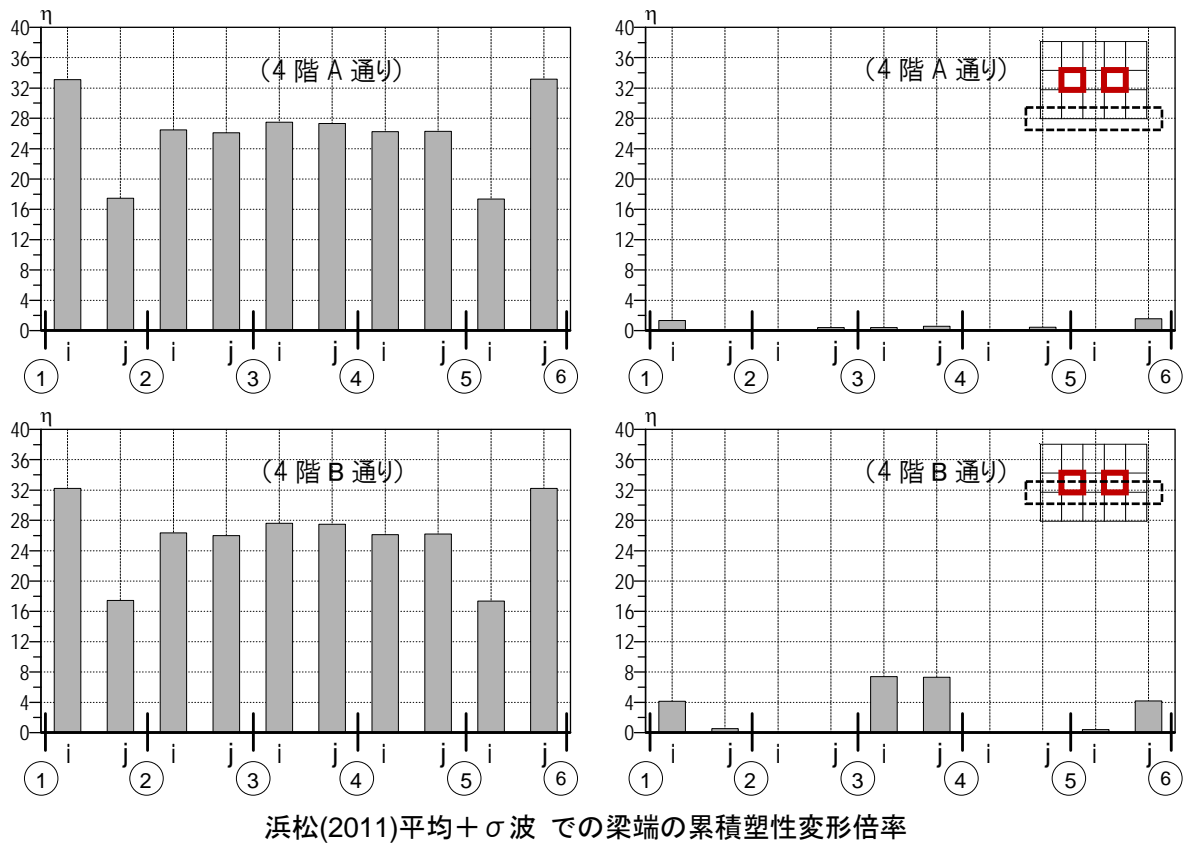
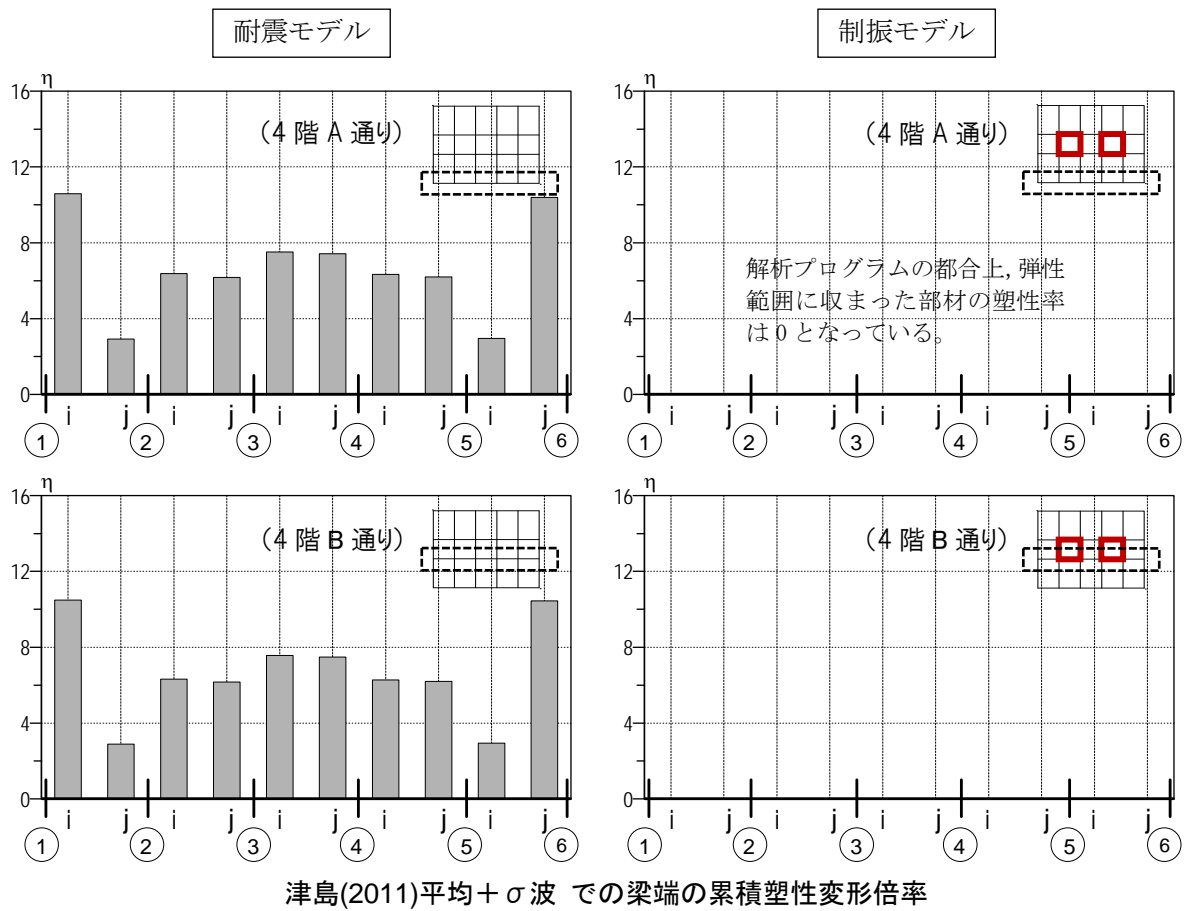


図 3. 4-14 梁端の累積塑性変形倍率 (2)

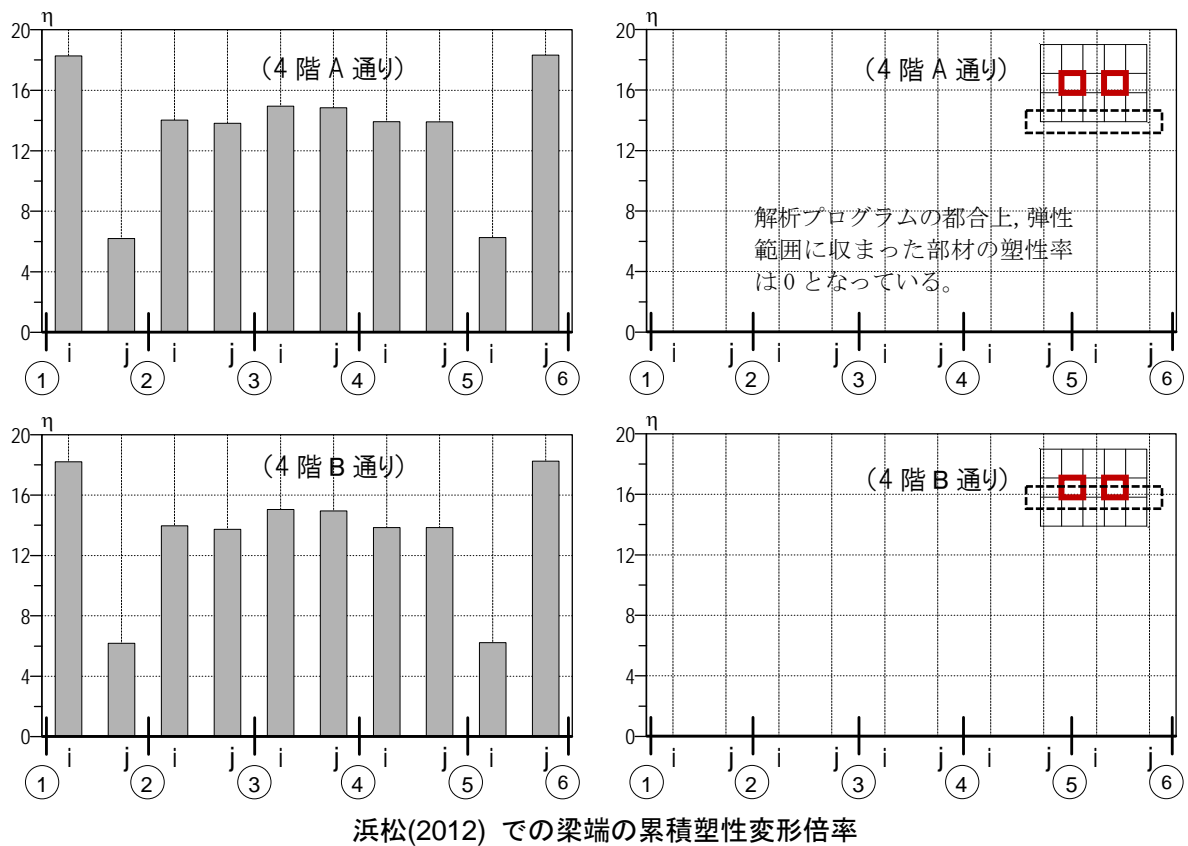
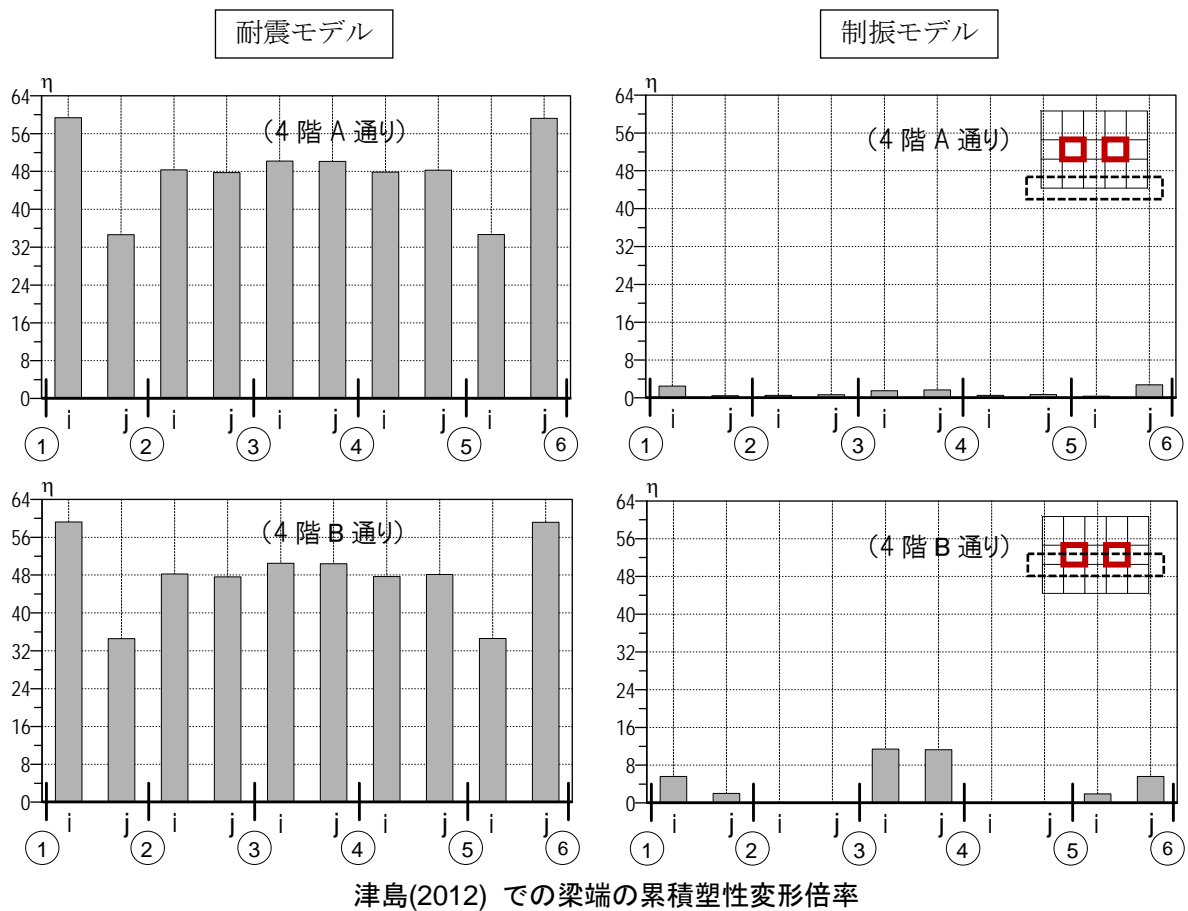


図 3. 4-15 梁端の累積塑性変形倍率 (3)

履歴型ダンパーの最大塑性率と最大累積塑性変形倍率を高さ方向分布で示す。

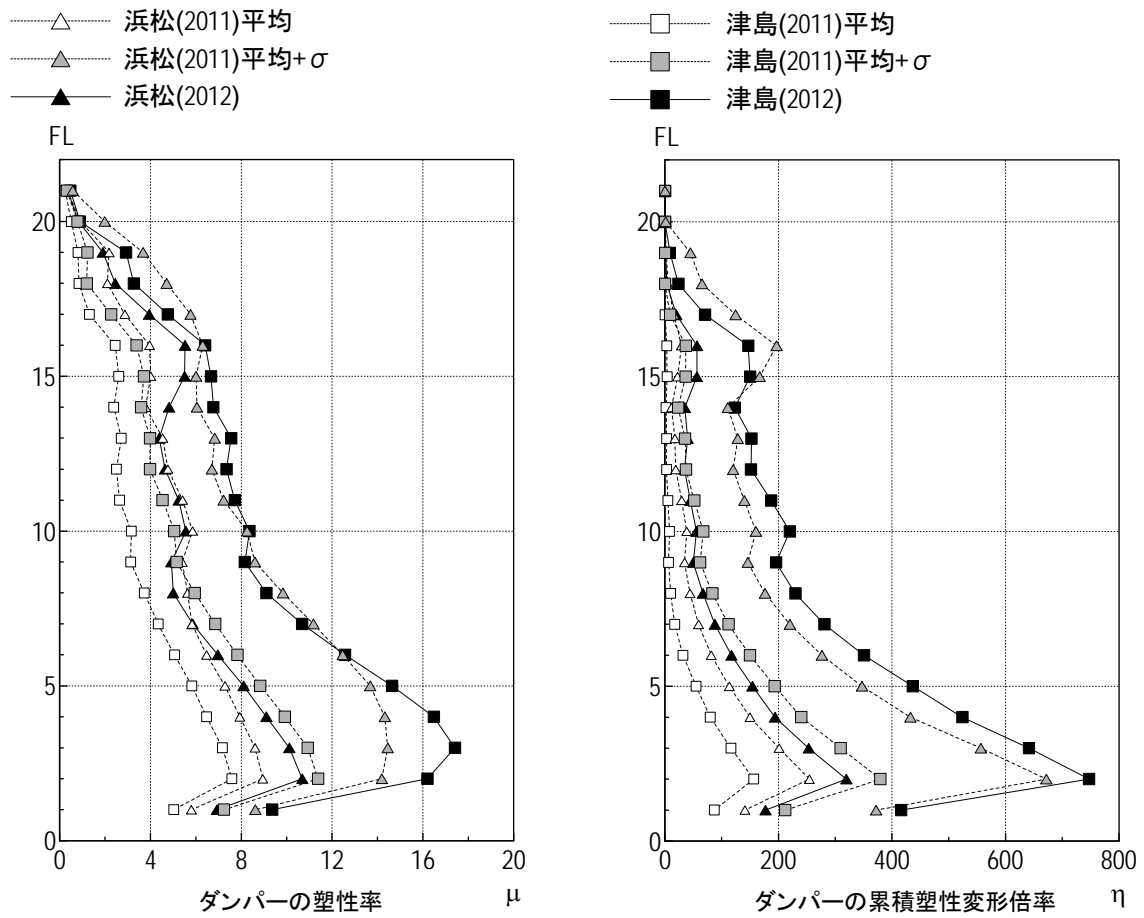


図 3.4-16 履歴型制振ダンパーの損傷評価

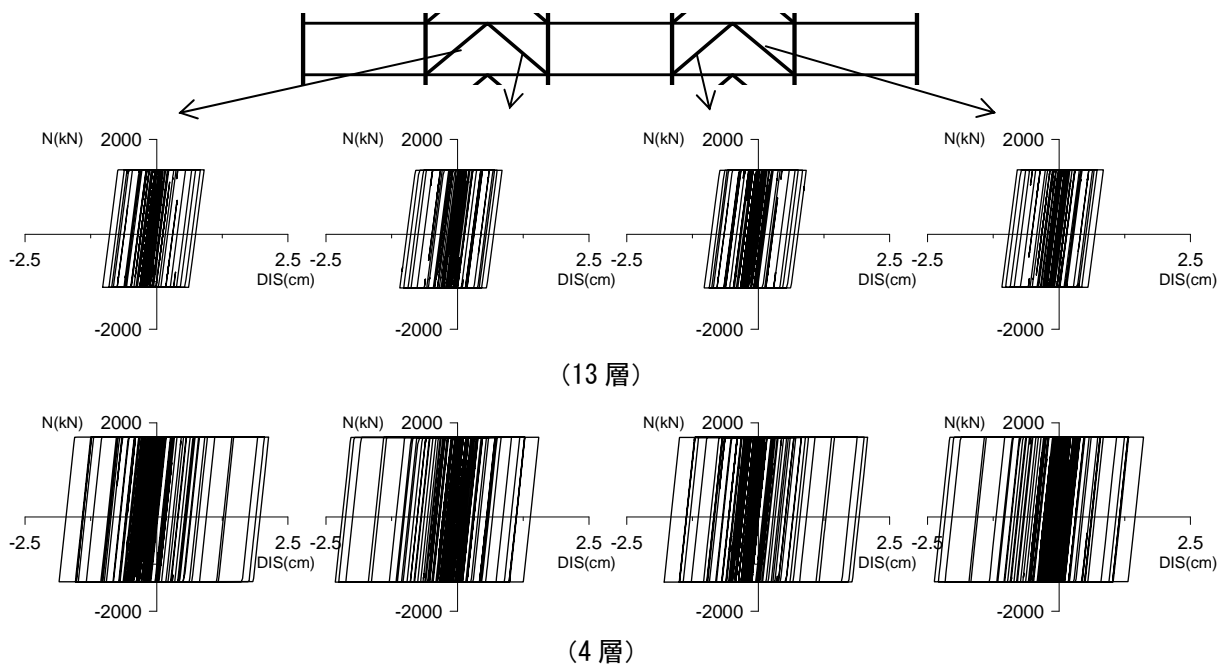


図 3.4-17 津島(2012) 入力時の履歴型ダンパーの履歴曲線

梁部材と履歴型ダンパーに対し、塑性率と累積塑性変形倍率の関係を示す。

図から、梁部材や履歴型制ダンパーの塑性率、累積塑性変形倍率に相関性がみられる。

- △— 浜松(2011)平均
- △— 浜松(2011)平均+ $\sigma$
- ▲— 浜松(2012)
- 津島(2011)平均
- 津島(2011)平均+ $\sigma$
- 津島(2012)

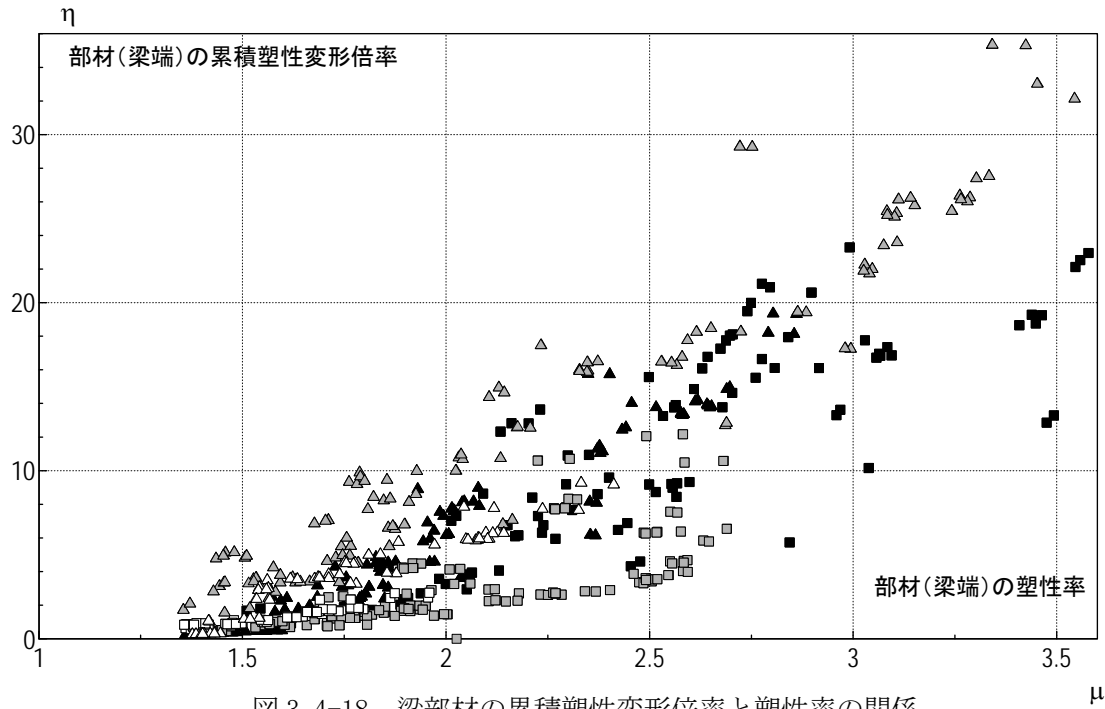


図 3. 4-18 梁部材の累積塑性変形倍率と塑性率の関係

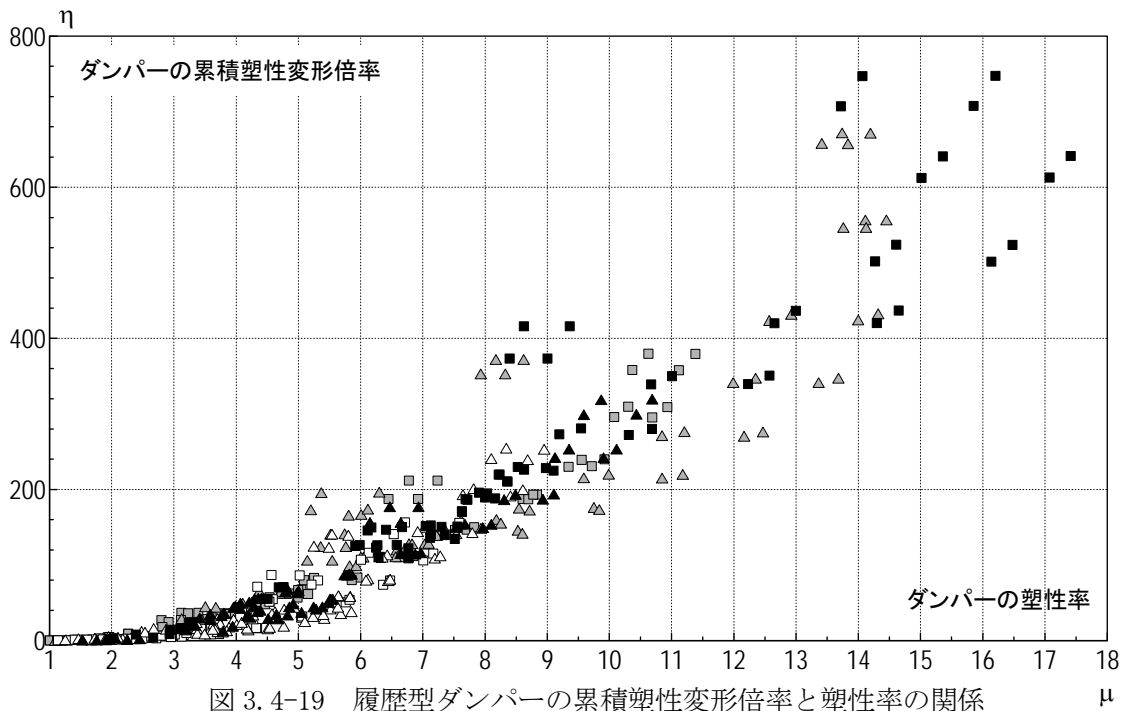


図 3. 4-19 履歴型ダンパーの累積塑性変形倍率と塑性率の関係

層塑性率と梁部材の最大塑性率の関係と、層と梁部材の累積塑性変形倍率の関係を示す。  
 図から、層塑性率と梁部材の塑性率に相関関係を見られ、層の累積塑性変形倍と梁部材の累積塑性変形倍率は、さらに高い相関関係を示していることが分かった。

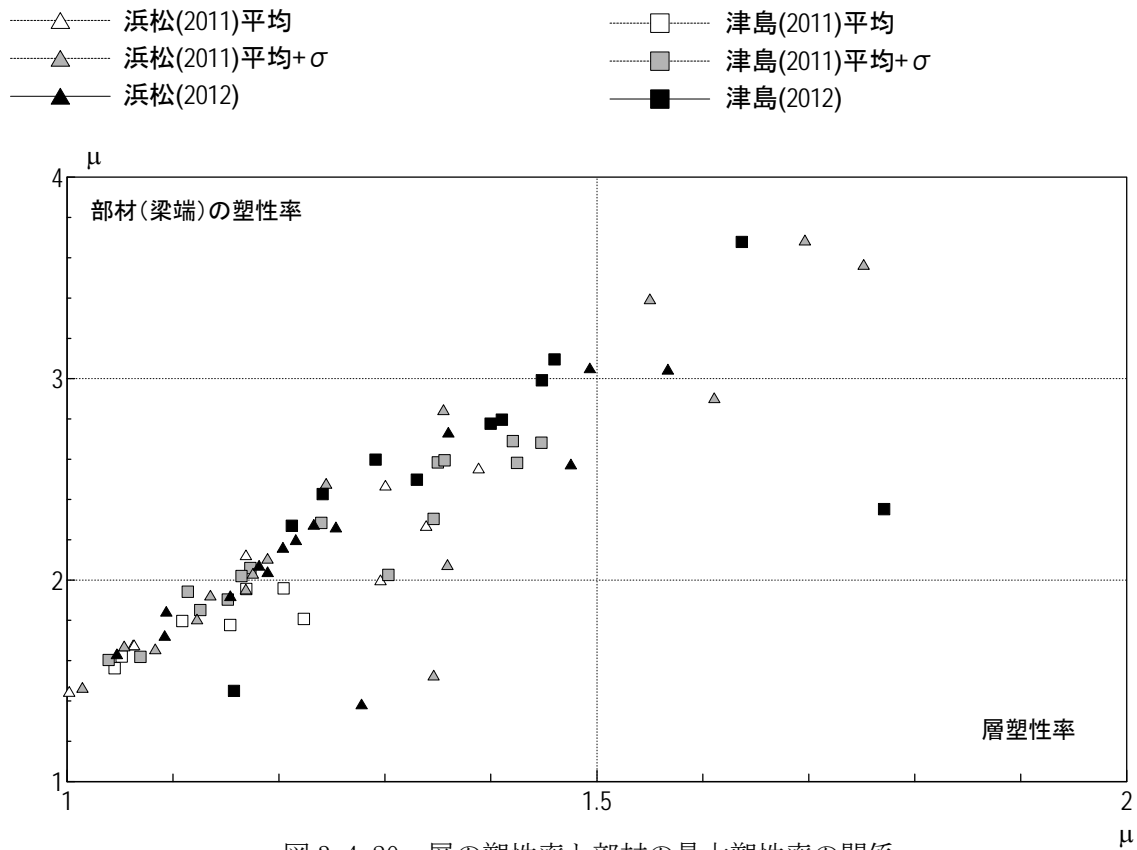


図 3. 4-20 層の塑性率と部材の最大塑性率の関係

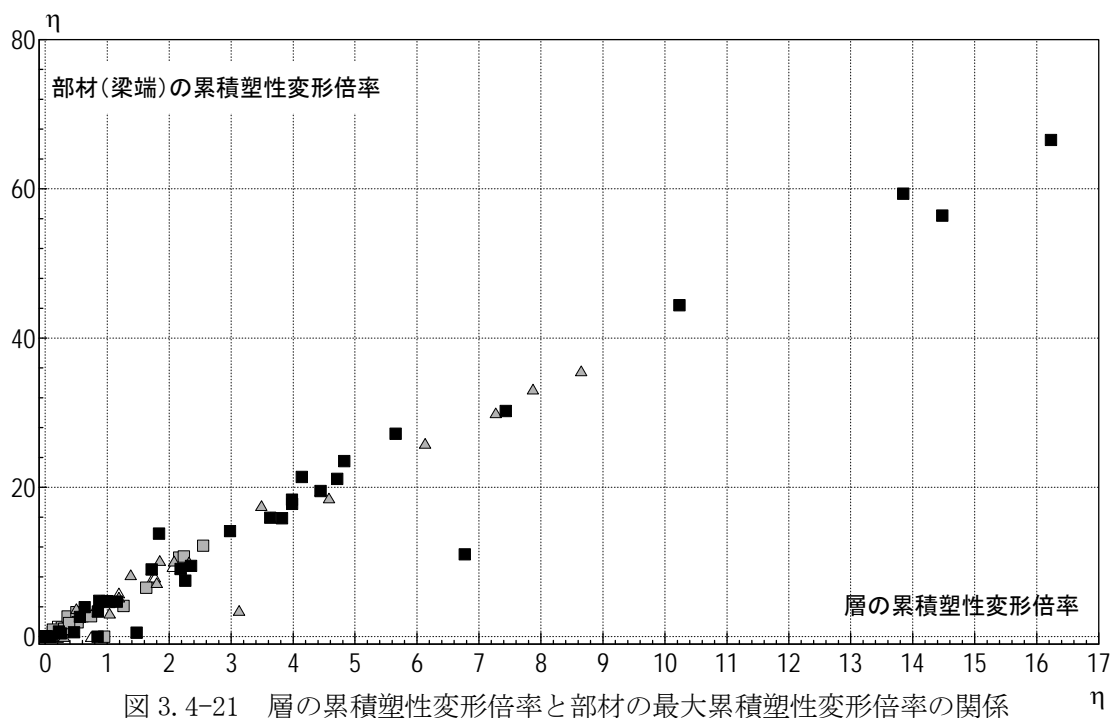


図 3. 4-21 層の累積塑性変形倍率と部材の最大累積塑性変形倍率の関係

### 3-4-5 まとめ

S造80m級の耐震・制振モデルを用いて、浜松、津島地点における三連動地震と四連動地震に対する予測波を用いた応答解析を行った。得られた結果を以下に要約する。

#### (1) 耐震モデルの応答結果を用いた、三連動地震 ( $M_w=8.7$ ) と四連動 ( $M_w=9.0$ ) の比較

##### ・津島地点

四連動地震の予測波に対する応答結果が三連動地震の平均+ $\sigma$ 波の応答結果を上回り、最も大きくなった。四連動地震での最大層間変形角は  $R=1/50$  を上回り、三連動地震の平均+ $\sigma$ 波に比べ、1.3倍程度大きくなっている。また、梁部材の最大累積塑性変形倍率は、四連動地震で  $\epsilon\eta=60$  を超え、三連動地震の平均+ $\sigma$ 波の約6倍程度に増大していた。したがって、津島地点においては、四連動地震が最も大きく、三連動地震の平均+ $\sigma$ 波と比べても累積値の評価が非常に厳しくなるといえる。

##### ・浜松地点

四連動地震の予測波に対する応答結果は、三連動地震の平均+ $\sigma$ 波と比べると小さい結果となった。四連動地震での最大層間変形角は  $R=1/70$  を上回ったが、三連動地震の平均+ $\sigma$ 波に比べると小さくなっている。また、梁部材の最大累積塑性変形倍率も、四連動地震で  $\epsilon\eta$ =約20に達したが、三連動地震の平均+ $\sigma$ 波に対して60%程度の大きさであった。ただし、三連動地震の平均波に対しては、層間変形で約10%大きく、部材の累積塑性変形倍率では約2倍大きくなっている。

#### (2) 層応答と部材応答の関係

層の塑性率と、該当層に所属する梁部材の最大塑性率の関係に相関がみられ、部材の最大塑性率は、層の塑性率の2倍程度の値となった。

層の累積塑性変形倍率と該当層に所属する梁部材の最大累積塑性変形倍率の関係は、明確な相関関係を示し、部材の最大累積塑性変形倍率が、層の累積塑性変形倍率の約4前後の値をとることが分かった。

#### (3) 制振モデルによる制振効果の評価

耐震モデルで最大層間変形角が  $R=1/46$  となった津島四連動波に対して、制振モデルは  $R=1/87$  となり、履歴型ダンパーによる応答低減効果が確認できた。

梁部材の累積塑性変形倍率に着目すると、制振モデルでは浜松の三連動平均+ $\sigma$ 波と、津島の四連動地震を除いて、全部材が弾性範囲に収まっていた。主架構が塑性化した上記の2ケースにおいても、耐震モデルと比較すれば、最大で80%程度の低減が見られ、大幅な損傷低減効果が確認できた。