

第 5 章 免震建築物の地震応答計算

5-1 検討用入力地震動

検討に用いた地震動はすべて、東海・東南海・南海地震の 3 連動地震による地震動である。今回作成された長周期地震動のうち、大阪平野の地震動として大阪市此花の地震動を、濃尾平野の地震動として愛知県津島市の地震動を、関東平野の地震動として東京都新宿の地震動を用いた。また、断層近傍の地震動として静岡県浜松市の地震動も用いた。平成 21 年度の検討では此花、名古屋、津島、新宿の 4 地点で行ったが、名古屋は津島と地震動の特性は近く、レベル的には津島の方が大きかったことから名古屋は対象から外し、代わって非常に地震動のレベルの大きい浜松を採用した。また、各地点において平成 21 年度と同様に、平均 (AV) と平均+標準偏差 (SD) の地震動の検討を行った。

表 5.1-1 に地震動の一覧表を示す。図 5.1-1~4 にこれらの地震動の擬似速度応答スペクトル $pSv(h=0.05)$ 及びエネルギースペクトル $Ve(h=0.10)$ を示す。ここにおいて、此花、津島、新宿に関しては、破線で平成 21 年度に検討した地震動によるスペクトルも示している。この地震動は、此花が南海地震による地震動であり、津島と新宿は東海・東南海連動地震の地震動である。

なお、今回作成された地震動は、回帰式の作成にあたり改良が加えられている。また、東海・東南海の断層モデルは前回の検討のモデルと異なっている。このため、平成 21 年度の地震動と今回の地震動の差は、3 連動と単独または 2 連動との違いだけでなく、回帰式や断層モデルの違いも含まれている。

表 5.1-1 検討用入力地震動一覧

略称	対象地震・評価地点など	加速度 cm/s ²	速度 cm/s	継続時間 s
OSKH02-AV	東海・東南海地震・南海地震 此花 平均	98.5	38.1	740.0
OSKH02-SD	東海・東南海地震・南海地震 此花 平均+標準偏差	147.2	45.0	740.0
AIC003-AV	東海・東南海地震・南海地震 津島 平均	199.4	26.8	740.0
AIC003-SD	東海・東南海地震・南海地震 津島 平均+標準偏差	380.4	42.6	740.0
KGIN-AV	東海・東南海地震・南海地震 新宿 平均	42.1	21.6	740.0
KGIN-SD	東海・東南海地震・南海地震 新宿 平均+標準偏差	77.2	31.0	740.0
SZO024-AV	東海・東南海地震・南海地震 浜松 平均	576.8	40.1	740.0
SZO024-SD	東海・東南海地震・南海地震 浜松 平均+標準偏差	1069.4	37.8	740.0

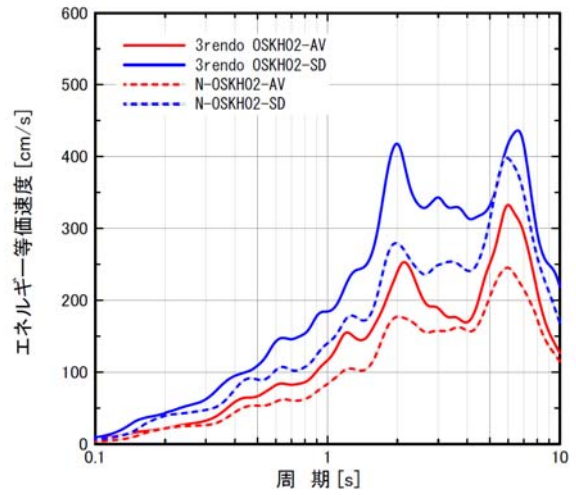
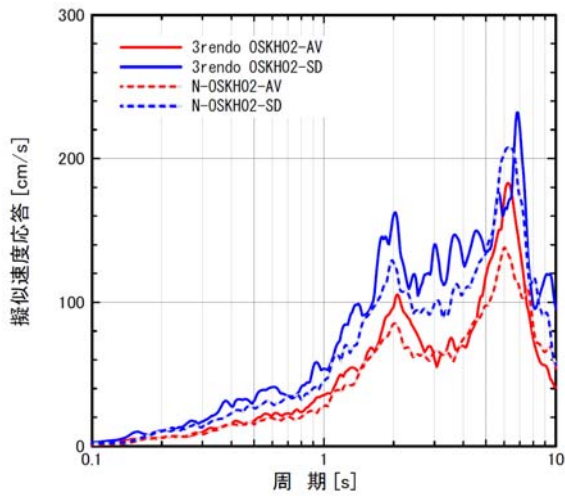


図 5.1-1 此花の擬似速度応答スペクトル(h=0.05)及びエネルギースペクトル(h=0.1)

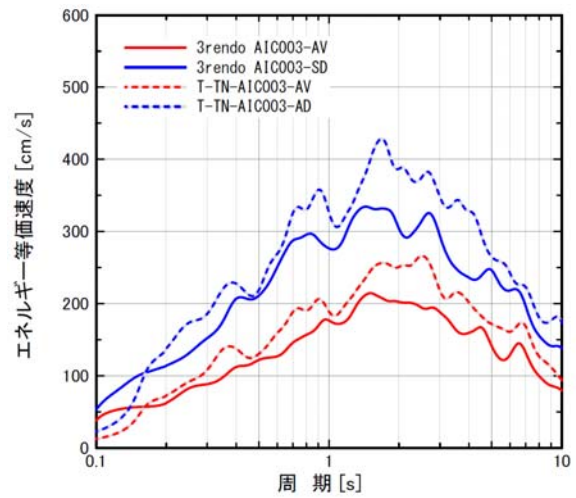
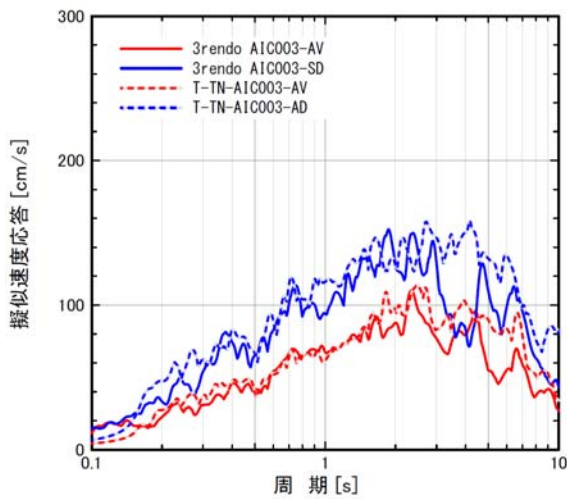


図 5.1.2 津島の擬似速度応答スペクトル(h=0.05)及びエネルギースペクトル(h=0.1)

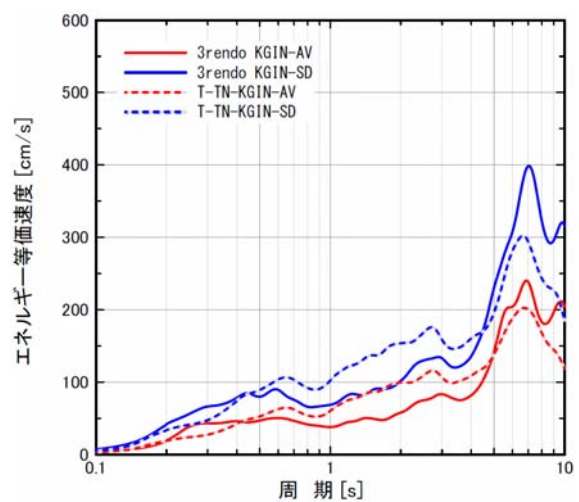
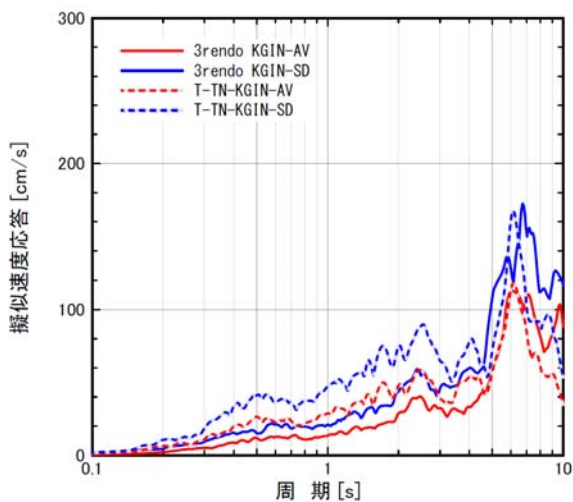


図 5.1-3 新宿の擬似速度応答スペクトル(h=0.05)及びエネルギースペクトル(h=0.1)

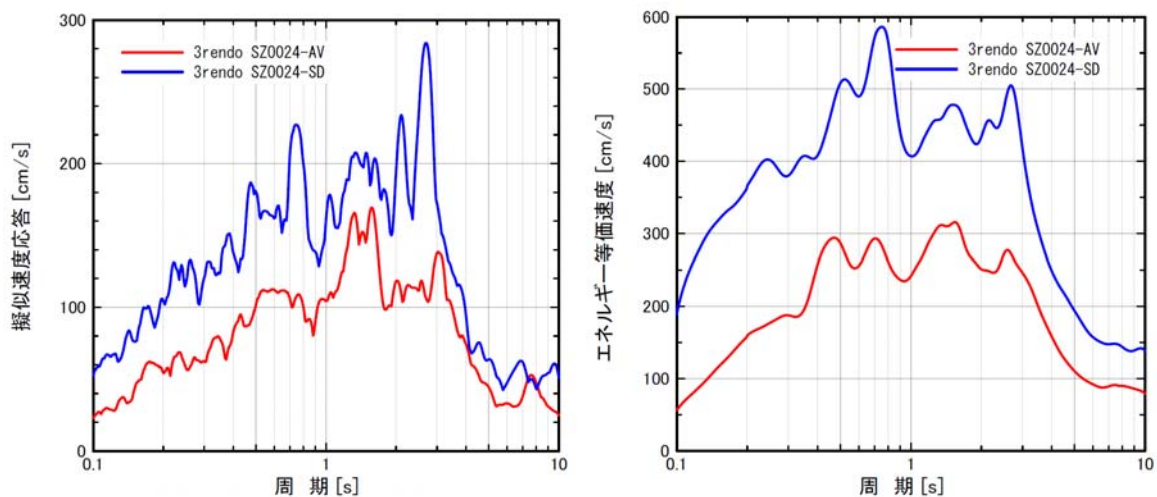


図 5.1-4 浜松の擬似速度応答スペクトル(h=0.05)及びエネルギースペクトル(h=0.1)

此花は2秒と6,7秒付近に大きなピークがあり、SDの波ではpSvが最大240cm/s程度、Veが最大450cm/s程度と非常に大きい。前回(平成21年度)に検討した地震動と比較すると、ほぼすべての周期で大きくなっている。特に、Veは40%程度大きくなっている。

津島では1~5秒が大きく、SDの波ではpSvが最大160cm/s程度、Veが最大320cm/s程度であり、此花と比べるとやや小さいが非常に高いレベルとなっている。前回検討した地震動と比較するとpSvはほとんど同じであるが、4秒付近は前回よりもかなり小さくなっている。Veは前回よりもかなり小さくなっており、20%程度小さくなっている。これは断層モデルや回帰式の違いや、地震動作成上のばらつきの問題であると考えられる。

新宿は6,7秒付近に大きなピークがあり、SDの波ではpSvが最大180cm/s程度、Veが最大400cm/s程度とかなり大きい。5秒以下では非常に小さい。前回検討した地震動と比較するとピーク付近の値はpSvはほとんど同じでVeはやや大きい。5秒以下では全体的にかなり小さくなっている。これも、断層モデルや回帰式の違いや、地震動作成上のばらつきの問題であると考えられる。

浜松は0.5~3秒にピークがあり、SDの波ではpSvが最大380cm/s程度、Veが最大600cm/s程度と非常に大きい。しかしながら、3秒を超えると急速に小さくなっている。

5-2 検討用建物

平成 21 年度の検討では、設計時期・建物高さ・免震システムなどがバランスよく網羅されるように選定した 40 棟のモデル建物で行った。ここにおいて、設計時期は第一期（1994 年以前）、第二期（1995 年～1999 年）、第三期（2000 年以降）の 3 期に分類し、建物高さは低層（20 m未満）、中高層（20m～60m未満）、超高層（60m以上）の 3 つに分類している。

今回の検討においては、この 40 棟のなかから 22 棟を選定し解析を行った。表 5.2-1 にモデル建物リストを示す。ここにおいて、着色されている建物は免震部材のエネルギー吸収の検討も行っている。図 5.2-1 に採用したモデル建物の固有周期（200%ひずみ時）と建物高さの関係図を示す。高さが高いほど固有周期は長くなっているが、選定した建物は周期 2～7 秒の範囲で幅広く分布している。

表 5.2-1 モデル建物リスト

記号	分類	軒高(m)	設計年	構造種別	免震システム	固有周期(s)	
						基礎固定	200%ひずみ時
A-1	低層第 1 世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	0.41	1.77
A-3	中高層第 3 世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	0.73	3.25
B-3	低層第 3 世代	13.1	2000	RC	NR+SL+OD	0.217	3.36
B-4	超高層第 3 世代	120.9	2006	RC	NR+SL+OD	3.16	6.19
C-2	中高層第 1 世代	36.1	1994	SRC,S	LRB	0.82	2.99
C-4	超高層第 3 世代	88.5	2008	R C	LRB+NR	2.27	4.93
D-2	中高層第 3 世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	0.863	3.45
D-4	超高層第 3 世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	3.45	6.43
E-1	中高層第 2 世代	30.6	1996	RC	LRB+NR	0.79	3.4
E-2	中高層第 2 世代	26.1	1996	RC	NR+鉛 D+鋼棒 D	0.68	2.56
E-3	超高層第 3 世代	67.4	2004	RC	LRB+CLB	1.78	5.24
E-4	中高層第 3 世代	34.0	2004	RC	LRB	0.87	3.87
F-3	中高層第 3 世代	31.0	2006	S	NR+SL	1.81	4.3
F-4	超高層第 3 世代	140.0	2006	RC	NR+SL	3.49	5.55
G-3	中高層第 2 世代	28.7	1997	CFT+S	NR+OD	1.32	4.027
G-4	中高層第 3 世代	24.2	2001	S	NR+OD	1.039	3.573
H-1	低層第 1 世代	11.9	1990	RC	NR+鉛 D	0.27	2.23
H-4	超高層第 3 世代	60.4	2002	S	NR+鉛 D+鋼 D	1.82	4.02
I-1	中高層第 2 世代	31.3	1996	RC	HDR	1.1	4.27
I-2	中高層第 3 世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛 D+鋼 D	1.57	5.09
J-1	中高層第 2 世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+鋼 D+OD	0.5	3.04
J-3	中高層第 2 世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	0.095	2.75

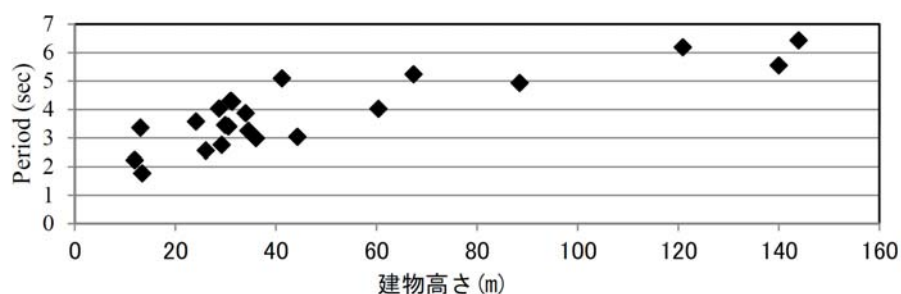


図 5.2-1 モデル建物の高さと固有周期

5-3 応答解析

5-3-1 応答解析結果

応答結果は上部構造については最大加速度、最大層間変形角、ベースシア係数、建物の状態を、免震層については最大変位、最大速度、せん断力係数、免震層の状態を整理した。

ここにおいて、

建物の状態とは、上部建物の応力状態で、下記の4つに分類している。

- ・ 短期許容応以下 主要構造体がすべて短期許容応力度以下となっている状態
- ・ 弾性限以下 主要構造体が短期許容応力度を超えているが、降伏していない状態
- ・ 保有耐力以下 主要構造体が一部降伏しているが、建物の保有水平耐力以下の状態
- ・ 保有耐力以上 建物の保有水平耐力を超えている状態

免震層の状態とは、最大変位時における免震部材の状態を、下記の3つに分類している。

- ・ 許容変形以下 応答変形が免震部材の許容変形以内となっている状態
- ・ 限界変形以下 応答変形が免震部材の許容変形は超えているが、限界変形（またはピットクリアランス）以内となっている状態
- ・ 限界変形以上 応答変形が免震部材の限界変形（またはピットクリアランス）を超えていると状態

解析結果の一部を一覧表にしたものを、表 5.3-1 (1)~(4)に示す。図 5.3-1 にエネルギーの速度換算値 V_e をエネルギースペクトル($h=0.1$)とともに示す。図 5.3-2 に応答ベースシア係数を加速度応答スペクトル($h=0.2$)/g とともに示す。図 5.3-3 に免震層の応答変位を変位応答スペクトル($h=0.2$)とともに示す。図 5.3-4~6 に V_e 、応答ベースシア係数、免震層の応答変位の前回検討波との比較を示す。図 5.3-7 に上部建物および免震層の状態を、図 5.3-8 に固有周期別上部建物の状態を、図 5.3-9 に固有周期別免震層の状態を示す。図 5.3-10 に上部建物の状態の前回との比較を、図 5.3-11 に上部建物層間変形角の前回との比較を、図 5.3-12 に免震層の状態の前回との比較を示す。

表 5.3-1 (1) 解析結果の集計表 (OSKH02)

記号	分類	軒高 (m)	設計年	構造種別	免震システム	解桁方向	固有周期(S)		αy	Ve (m/s)	最大加速度 (m/s ²)	上部構造		免震層		
							基礎固定	200%凸上凸時				最大変位 (m)	ベーンシニア係数	最大変位 (m)	状態	最大変位 (m)
AV																
A-1	低層 第1世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	1.14	1.27	1/659	0.11	0.03	0.18	許容変形以下
A-3	中高層 第3世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	1.96	1.16	1/913	0.09	0.26	0.42	許容変形以下
B-3	低層 第3世代	13.0	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	1.91	0.76	1/8044	0.08	0.19	0.31	許容変形以下
B-4	超高層 第3世代	121.0	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	2.58	1.35	1/221	0.06	0.55	0.71	許容変形以下
C-2	中高層 第2世代	36.1	1994	SRC/S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	2.02	2.02	1/863	0.13	0.16	0.40	許容変形以下
C-4	超高層 第3世代	88.5	2008	RC	LRB+NR	X	2.27	4.93	0.028	2.66	1.35	1/261	0.06	0.22	0.37	許容変形以下
D-2	中高層 第3世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	Y	0.86	3.45	0.032	2.37	1.53	1/775	0.08	0.24	0.40	許容変形以下
D-4	中高層 第3世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	3.45	6.43	0.016	1.36	1.04	1/237	0.06	0.43	0.58	許容変形以下
E-1	中高層 第2世代	30.6	1996	RC	LRB+NR	X	0.79	3.40	0.035	1.88	1.25	1/684	0.09	0.20	0.37	許容変形以下
E-2	中高層 第2世代	26.1	1996	RC	NR+鉛D+鋼棒	X	0.68	2.56	0.068	1.85	1.13	1/598	0.10	0.11	0.33	許容変形以下
E-3	超高層 第3世代	67.4	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.024	2.86	1.39	1/167	0.11	0.87	0.92	限界変形以上
E-4	中高層 第3世代	34.0	2004	RC	LRB	X	0.87	3.87	0.039	1.89	1.14	1/712	0.08	0.23	0.36	許容変形以下
F-3	中高層 第3世代	31.1	2006	S+CFT	NR+SL	X	1.34	4.17	0.040	2.07	1.66	1/555	0.08	0.25	0.43	許容変形以下
F-4	超高層 第3世代	139.6	2006	RC+Pca	NR+SL	X	3.49	5.55	0.032	2.32	1.26	1/232	0.06	0.33	0.55	許容変形以下
G-3	中高層 第3世代	28.7	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	1.85	0.83	1/602	0.08	0.26	0.38	許容変形以下
G-4	中高層 第3世代	24.2	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	1.97	0.84	1/657	0.08	0.18	0.31	許容変形以下
H-1	低層 第1世代	11.9	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	1.74	0.98	1/399	0.10	0.12	0.32	許容変形以下
H-4	超高層 第3世代	60.4	2002	S	NR+鉛D+鋼D	X	1.82	4.02	0.035	1.99	1.93	1/437	0.08	0.21	0.44	許容変形以下
I-1	中高層 第2世代	31.3	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	2.10	1.28	1/2235	0.12	0.24	0.51	許容変形以下
I-2	中高層 第3世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	1.87	1.22	1/1586	0.10	0.23	0.39	許容変形以下
J-1	中高層 第2世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	2.05	0.96	1/1078	0.08	0.29	0.44	許容変形以下
J-3	中高層 第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	1.79	1.18	1/2356	0.07	0.17	0.17	許容変形以下
SD																
A-1	低層 第1世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	3.25	3.39	1/60	0.26	0.18	0.65	許容変形以下
A-3	中高層 第3世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	3.39	1.57	1/547	0.13	0.48	0.69	限界変形以下
B-3	低層 第3世代	13.0	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	3.15	1.15	1/5273	0.12	0.31	0.57	許容変形以下
B-4	超高層 第3世代	121.0	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	3.39	1.90	1/106	0.08	0.83	0.91	限界変形以上
C-2	中高層 第2世代	36.1	1994	SRC/S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	3.39	2.46	1/659	0.17	0.33	0.76	許容変形以下
C-4	超高層 第3世代	88.5	2008	RC	LRB+NR	X	2.27	4.93	0.028	4.45	1.59	1/152	0.09	0.38	0.63	許容変形以下
D-2	中高層 第3世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	Y	0.86	3.45	0.032	3.99	1.91	1/557	0.12	0.45	0.71	許容変形以下
D-4	中高層 第3世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	3.45	6.43	0.016	2.13	1.55	1/160	0.09	0.69	0.85	限界変形以下
E-1	中高層 第2世代	30.6	1996	RC	LRB+NR	X	0.79	3.40	0.035	3.17	1.43	1/333	0.13	0.40	0.68	許容変形以下
E-2	中高層 第2世代	26.1	1996	RC	NR+鉛D+鋼棒	X	0.68	2.56	0.068	3.06	1.76	1/218	0.15	0.26	0.61	許容変形以下
E-3	超高層 第3世代	67.4	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.024	4.04	1.87	1/38	0.14	1.16	1.22	限界変形以上
E-4	中高層 第3世代	34.0	2004	RC	LRB	X	0.87	3.87	0.039	3.18	1.31	1/444	0.11	0.42	0.66	許容変形以下
F-3	中高層 第3世代	31.1	2006	S+CFT	NR+SL	X	1.34	4.17	0.040	3.31	2.12	1/296	0.10	0.40	0.70	限界変形以下
F-4	超高層 第3世代	139.6	2006	RC+Pca	NR+SL	Y	3.21	5.45	0.032	3.22	1.61	1/159	0.08	0.52	0.73	許容変形以下
G-3	中高層 第3世代	28.7	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	3.21	1.54	1/325	0.14	0.48	0.75	限界変形以上
G-4	中高層 第3世代	24.2	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	3.31	1.40	1/412	0.13	0.28	0.55	許容変形以下
H-1	低層 第1世代	11.9	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	3.05	1.96	1/1696	0.20	0.33	0.82	限界変形以下
H-4	超高層 第3世代	60.4	2002	S	NR+鉛D+鋼D	X	1.82	4.02	0.035	3.23	2.25	1/318	0.12	0.34	0.70	許容変形以下
I-1	中高層 第2世代	31.3	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	3.26	1.60	1/2149	0.15	0.35	0.50	許容変形以下
I-2	中高層 第3世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	2.97	1.49	1/1356	0.12	0.33	0.63	許容変形以下
J-1	中高層 第2世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	3.36	1.94	1/279	0.13	0.58	0.85	許容変形以下
J-3	中高層 第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	2.88	1.54	1/908	0.10	0.28	0.56	許容変形以下

表 5.3-1 (2) 解析結果の集計表 (AIC003)

記号	分類	軒高 (m)	設計年	構造種別	免震システム	解析方向	固有周期(S)		αy	Ve (m/s)	上部構造			免震層		
							基礎 固定	200% ひずみ時			最大加速度 (m/s ²)	最大瞬間 変形角	ベースシ 係数	状態	最大変位 (m)	最大速度 (m/s)
AV	A-1	低層 第1世代	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	1.70	1.83	1/323	0.13	0.05	0.27	許容変形以下
	A-3	中高層 第3世代	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	1.70	2.28	1/1016	0.07	0.18	0.46	許容変形以下
	B-3	低層 第3世代	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	1.76	0.61	1/11012	0.06	0.12	0.30	許容変形以下
	B-4	超高層 第3世代	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	1.45	1.29	1/350	0.04	0.25	0.34	許容変形以下
	C-2	中高層 第2世代	1994	SRC,S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	2.20	2.07	1/903	0.12	0.12	0.38	許容変形以下
	D-2	中高層 第3世代	2007	RC	LRB+NR	X	0.27	4.93	0.028	1.99	1.66	1/360	0.05	0.16	0.28	許容変形以下
	D-4	中高層 第3世代	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	0.86	3.45	0.032	2.25	2.23	1/556	0.07	0.15	0.32	許容変形以下
	E-1	中高層 第2世代	1996	RC	NR+NR	X	0.79	3.40	0.035	1.82	1.47	1/841	0.07	0.14	0.35	許容変形以下
	E-2	中高層 第2世代	1996	RC	NR+鉛D+鋼棒	X	0.68	2.56	0.068	1.91	1.54	1/538	0.09	0.10	0.29	許容変形以下
	E-3	超高層 第3世代	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.024	1.51	1.02	1/473	0.05	0.22	0.34	許容変形以下
	E-4	中高層 第3世代	2004	RC	LRB	X	0.87	3.87	0.039	1.81	1.39	1/935	0.06	0.13	0.34	許容変形以下
	F-3	中高層 第3世代	2006	S+CFT	NR+SL	Y	1.81	4.30	0.040	1.69	1.96	1/233	0.07	0.16	0.33	許容変形以下
	F-4	超高層 第3世代	2006	RC+Pca	NR+SL	X	3.49	5.55	0.032	1.61	1.53	1/238	0.04	0.13	0.24	許容変形以下
G-3	中高層 第3世代	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	1.63	0.90	1/554	0.08	0.29	0.50	許容変形以下	
G-4	中高層 第3世代	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	1.78	0.95	1/832	0.06	0.15	0.34	許容変形以下	
H-1	低層 第1世代	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	1.87	0.83	1/4025	0.08	0.09	0.26	許容変形以下	
H-4	超高層 第3世代	2002	S	NR+鉛D+鋼D	Y	1.82	4.02	0.035	1.62	2.57	1/448	0.06	0.10	0.38	許容変形以下	
I-1	中高層 第2世代	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	1.91	1.14	1/2022	0.11	0.23	0.49	許容変形以下	
I-2	中高層 第3世代	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	1.73	1.44	1/1848	0.08	0.16	0.33	許容変形以下	
J-1	中高層 第2世代	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	1.61	1.35	1/754	0.05	0.14	0.31	許容変形以下	
J-3	中高層 第2世代	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	1.80	1.49	1/1771	0.07	0.14	0.31	許容変形以下	
SD	A-1	低層 第1世代	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	3.19	2.95	1/82	0.24	0.14	0.54	保耐力以上
	A-3	中高層 第3世代	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	2.56	2.27	1/691	0.10	0.32	0.66	許容変形以下
	B-3	低層 第3世代	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	2.71	0.96	1/6429	0.10	0.22	0.53	許容変形以下
	B-4	超高層 第3世代	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	2.23	2.08	1/229	0.05	0.37	0.55	許容変形以下
	C-2	中高層 第2世代	1994	SRC,S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	3.13	2.51	1/715	0.15	0.21	0.62	弾性限以下
	C-4	超高層 第3世代	2008	RC	LRB+NR	X	2.27	4.93	0.028	3.04	3.01	1/207	0.06	0.25	0.40	許容変形以下
	D-2	中高層 第3世代	2007	RC	LRB+NR	Y	0.86	3.45	0.032	3.19	2.90	1/401	0.09	0.30	0.63	許容変形以下
	D-4	中高層 第3世代	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	3.45	6.43	0.016	1.86	1.67	1/275	0.04	0.27	0.47	許容変形以下
	E-1	中高層 第2世代	1996	RC	LRB+NR	X	0.79	3.40	0.035	2.66	1.95	1/446	0.10	0.27	0.61	許容変形以下
	E-2	中高層 第2世代	1996	RC	NR+鉛D+鋼棒	X	0.68	2.56	0.068	2.84	2.17	1/286	0.12	0.20	0.51	許容変形以下
	E-3	超高層 第3世代	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.029	2.29	1.65	1/293	0.07	0.48	0.61	弾性限以下
	E-4	中高層 第3世代	2004	RC	LRB	X	0.87	3.87	0.039	2.59	1.67	1/599	0.09	0.27	0.61	許容変形以下
	F-3	中高層 第3世代	2006	S+CFT	NR+SL	Y	1.81	4.30	0.040	2.51	2.50	1/233	0.08	0.25	0.59	許容変形以下
F-4	超高層 第3世代	2006	RC+Pca	NR+SL	X	3.49	5.55	0.032	2.44	2.07	1/183	0.05	0.26	0.51	弾性限以下	
G-3	中高層 第3世代	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	2.45	0.98	1/538	0.08	0.26	0.62	許容変形以下	
G-4	低層 第3世代	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	2.78	1.61	1/446	0.12	0.22	0.51	許容変形以下	
H-1	中高層 第1世代	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	3.04	1.42	1/2352	0.14	0.22	0.58	許容変形以下	
H-4	超高層 第3世代	2002	S	NR+鉛D+鋼D	Y	1.82	4.02	0.035	2.48	2.76	1/400	0.09	0.24	0.53	許容変形以下	
I-1	中高層 第2世代	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	2.83	1.46	1/1921	0.14	0.31	0.66	許容変形以下	
I-2	中高層 第3世代	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	2.49	2.10	1/1373	0.10	0.26	0.60	許容変形以下	
J-1	中高層 第2世代	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	2.37	1.65	1/541	0.08	0.29	0.66	許容変形以下	
J-3	中高層 第2世代	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	2.53	1.62	1/993	0.08	0.23	0.56	許容変形以下	

表 5.3-1 (3) 解析結果の集計表 (KGIN)

記号	分類	軒高 (m)	設計年	構造種別	免震システム	解析方向	固有周期(S)		αy	Ve (m/s)	最大加速度 (m/s ²)	最大層間変形角	ベースシア係数	状態	免震層	
							基礎固定	200% 凸平み時							最大変位 (m)	最大速度 (m/s)
A-1	低層 第1世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	0.48	0.92	0.06	短期許容以下	0.01	0.07	許容変形以下
A-3	中高層 第3世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	0.55	1.2897	0.03	短期許容以下	0.03	0.10	許容変形以下
B-3	低層 第3世代	13.0	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	0.54	1.23834	0.03	短期許容以下	0.03	0.08	許容変形以下
B-4	超高層 第3世代	121.0	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	1.27	1.497	0.04	短期許容以下	0.22	0.27	許容変形以下
C-2	中高層 第2世代	36.1	1994	SRC,S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	0.42	1.1946	0.06	短期許容以下	0.02	0.06	許容変形以下
C-4	超高層 第3世代	88.5	2008	RC	LRB+NR	X	2.27	4.93	0.028	0.93	1.564	0.03	短期許容以下	0.05	0.10	許容変形以下
D-2	中高層 第3世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	Y	0.86	3.45	0.032	0.57	1.1527	0.04	短期許容以下	0.03	0.07	許容変形以下
D-4	中高層 第3世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	3.45	6.43	0.016	1.38	1.7440	0.03	短期許容以下	0.19	0.23	許容変形以下
E-2	中高層 第2世代	26.1	1996	RC	LRB+NR	X	0.79	3.40	0.035	0.38	1.2287	0.03	短期許容以下	0.02	0.06	許容変形以下
E-3	超高層 第3世代	67.4	2004	RC	NR+鉛D+鋼棒	X	0.68	2.56	0.068	0.44	1.2272	0.05	短期許容以下	0.02	0.09	許容変形以下
E-4	中高層 第3世代	34.0	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.024	0.85	1.1091	0.03	短期許容以下	0.09	0.15	許容変形以下
F-3	中高層 第3世代	31.1	2006	S+CFT	NR+SL	Y	0.87	3.87	0.039	0.43	1.2260	0.04	短期許容以下	0.02	0.06	許容変形以下
F-4	超高層 第3世代	139.6	2006	RC+Psa	NR+SL	Y	1.81	4.30	0.040	0.76	1.317	0.06	短期許容以下	0.08	0.15	許容変形以下
G-3	中高層 第3世代	28.7	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	0.91	1.443	0.04	短期許容以下	0.06	0.10	許容変形以下
G-4	中高層 第2世代	24.2	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	0.89	1.1217	0.04	短期許容以下	0.14	0.17	許容変形以下
H-1	低層 第1世代	11.9	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	0.37	1.1758	0.03	短期許容以下	0.08	0.13	許容変形以下
H-4	超高層 第3世代	60.4	2002	S	NR+鉛D+鋼D	Y	1.82	4.02	0.035	0.58	1.6570	0.05	短期許容以下	0.01	0.10	許容変形以下
I-1	中高層 第2世代	31.3	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	0.50	1.773	0.05	短期許容以下	0.03	0.11	許容変形以下
I-2	中高層 第3世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	0.49	1.2835	0.04	短期許容以下	0.02	0.10	許容変形以下
J-1	中高層 第2世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	0.64	1.2804	0.03	短期許容以下	0.04	0.14	許容変形以下
J-3	中高層 第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	0.39	1.2212	0.05	短期許容以下	0.06	0.12	許容変形以下
J-3	中高層 第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	0.82	1.3489	0.05	短期許容以下	0.03	0.11	許容変形以下
A-1	低層 第1世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	0.85	1.23	0.09	短期許容以下	0.02	0.11	許容変形以下
A-3	中高層 第3世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	1.10	1.1713	0.06	短期許容以下	0.13	0.28	許容変形以下
B-3	低層 第3世代	13.0	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	1.14	1.15707	0.04	短期許容以下	0.07	0.17	許容変形以下
B-4	超高層 第3世代	121.0	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	2.45	1.290	0.05	弾性限以下	0.41	0.53	許容変形以下
C-2	中高層 第2世代	36.1	1994	SRC,S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	0.88	1.43	0.08	短期許容以下	0.03	0.12	許容変形以下
C-4	超高層 第3世代	88.5	2008	RC	LRB+NR	X	2.27	4.93	0.028	1.70	1.13	0.04	短期許容以下	0.08	0.16	許容変形以下
D-2	中高層 第3世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	Y	0.86	3.45	0.032	1.11	1.34	0.05	短期許容以下	0.07	0.16	許容変形以下
D-4	中高層 第3世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	3.45	6.43	0.016	2.19	1.147	0.05	短期許容以下	0.30	0.38	許容変形以下
E-1	中高層 第2世代	30.6	1996	RC	LRB+NR	X	0.79	3.40	0.035	0.89	1.13	0.05	短期許容以下	0.05	0.12	許容変形以下
E-2	中高層 第2世代	26.1	1996	RC	NR+鉛D+鋼棒	X	0.68	2.56	0.068	0.81	1.07	0.06	短期許容以下	0.03	0.16	許容変形以下
E-3	超高層 第3世代	67.4	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.024	2.25	1.314	0.07	短期許容以下	0.46	0.51	限界変形以下
E-4	中高層 第3世代	34.0	2004	RC	LRB	X	0.87	3.87	0.039	0.88	1.00	0.05	短期許容以下	0.06	0.15	許容変形以下
F-3	中高層 第3世代	31.1	2006	S+CFT	NR+SL	Y	1.81	4.30	0.040	1.31	1.36	0.06	短期許容以下	0.11	0.22	許容変形以下
F-4	超高層 第3世代	139.6	2006	RC+Psa	NR+SL	X	3.49	5.55	0.032	1.69	1.362	0.05	短期許容以下	0.18	0.30	許容変形以下
G-3	中高層 第3世代	28.7	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	1.44	1.765	0.06	短期許容以下	0.22	0.33	許容変形以下
G-4	中高層 第3世代	24.2	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	0.96	1.1207	0.04	短期許容以下	0.11	0.18	許容変形以下
H-1	低層 第1世代	11.9	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	0.73	1.5689	0.06	短期許容以下	0.04	0.12	許容変形以下
H-4	超高層 第3世代	60.4	2002	S	NR+鉛D+鋼D	Y	1.82	4.02	0.035	1.04	1.725	0.06	短期許容以下	0.07	0.25	許容変形以下
I-1	中高層 第2世代	31.3	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	0.96	1.2362	0.08	短期許容以下	0.08	0.19	許容変形以下
I-2	中高層 第3世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	0.93	1.2438	0.06	短期許容以下	0.08	0.19	許容変形以下
J-1	中高層 第2世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	1.23	1.587	0.04	短期許容以下	0.10	0.21	許容変形以下
J-3	中高層 第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	0.82	1.2829	0.05	短期許容以下	0.04	0.13	許容変形以下

表 5.3-1 (4) 解析結果の集計表 (SZ0024)

記号	分類	軒高 (m)	設計年	構造種別	免震システム	解析方向	固有周期(S)		αy	Ve (m/s)	上部構造		免震層		
							基礎固定	200%ひずみ時			最大加速度 (m/s ²)	最大層間変形角	最大変位 (m)	最大変位 (m/s)	状態
A-1	低層 第1世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	2.61	1/74	0.24	0.17	0.66	許容変形以下
A-3	中高層 第3世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	2.18	1/634	0.09	0.26	0.54	許容変形以下
B-3	低層 第3世代	13.0	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	2.32	1/8043	0.08	0.18	0.46	許容変形以下
B-4	超高層 第3世代	121.0	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	1.29	1/261	0.03	0.17	0.44	許容変形以下
C-2	中高層 第2世代	36.1	1994	SRC,S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	2.79	1/586	0.16	0.20	0.60	許容変形以下
C-4	超高層 第3世代	88.5	2008	RC	LRB+NR	X	2.27	4.93	0.028	2.19	1/226	0.05	0.15	0.38	許容変形以下
D-2	中高層 第3世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	Y	0.86	3.45	0.032	2.83	1/513	0.09	0.23	0.54	許容変形以下
D-4	中高層 第3世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	3.45	6.43	0.016	2.13	1/265	0.03	0.14	0.35	許容変形以下
E-1	中高層 第2世代	30.6	1996	RC	LRB+NR	X	0.79	3.40	0.055	2.38	1/517	0.09	0.22	0.49	許容変形以下
E-2	中高層 第2世代	26.1	1996	RC	NR+鉛D+鋼D	X	0.68	2.56	0.068	2.43	1/279	0.12	0.16	0.43	許容変形以下
E-3	超高層 第3世代	67.4	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.024	1.57	1/306	0.05	0.26	0.39	許容変形以下
E-4	中高層 第3世代	34.0	2004	RC	LRB	X	0.87	3.87	0.039	2.31	1/602	0.07	0.21	0.49	許容変形以下
F-3	中高層 第3世代	31.1	2006	S+CFT	NR+SL	X	1.34	4.17	0.040	2.20	1/305	0.09	0.24	0.38	許容変形以下
F-4	超高層 第3世代	139.6	2006	RC+Pea	NR+SL	Y	3.21	5.45	0.032	1.71	1/250	0.04	0.10	0.32	許容変形以下
G-3	中高層 第3世代	28.7	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	1.74	1/200	0.07	0.25	0.52	許容変形以下
G-4	中高層 第3世代	24.2	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	2.26	1/601	0.09	0.17	0.42	許容変形以下
H-1	低層 第1世代	11.9	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	2.40	1/2722	0.18	0.18	0.55	許容変形以下
H-4	超高層 第3世代	60.4	2002	S	NR+鉛D+鋼D	Y	1.82	4.02	0.035	2.20	1/347	0.08	0.21	0.44	許容変形以下
I-1	中高層 第2世代	31.3	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	2.60	1/2291	0.13	0.27	0.58	許容変形以下
I-2	中高層 第3世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	2.23	1/1147	0.10	0.22	0.46	許容変形以下
J-1	中高層 第2世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	1.95	1/594	0.07	0.27	0.49	許容変形以下
J-3	中高層 第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	2.18	1/708	0.08	0.21	0.49	許容変形以下
記号	分類	軒高 (m)	設計年	構造種別	免震システム	解析方向	基礎固定	200%ひずみ時	αy <td>Ve (m/s) <td>最大加速度 (m/s²)</td> <td>最大層間変形角</td> <td>最大変位 (m)</td> <td>最大変位 (m/s) <td>状態</td> </td></td>	Ve (m/s) <td>最大加速度 (m/s²)</td> <td>最大層間変形角</td> <td>最大変位 (m)</td> <td>最大変位 (m/s) <td>状態</td> </td>	最大加速度 (m/s ²)	最大層間変形角	最大変位 (m)	最大変位 (m/s) <td>状態</td>	状態
A-1	低層 第1世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	Y	0.41	1.77	0.053	4.44	4.32	1/44	0.22	0.82	許容変形以下
A-3	中高層 第3世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	X	0.73	3.25	0.028	3.03	3.68	1/534	0.38	0.89	許容変形以下
B-3	低層 第3世代	13.0	2000	RC	NR+SL+オイルD	X	0.22	3.36	0.017	3.71	1.66	1/4859	0.33	0.77	許容変形以下
B-4	超高層 第3世代	121.0	2006	RC	NR+SL+オイルD	X	3.16	6.19	0.024	2.01	2.45	1/172	0.25	0.62	許容変形以下
C-2	中高層 第2世代	36.1	1994	SRC,S	LRB	X	0.82	2.99	0.053	4.40	4.49	1/396	0.49	1.05	許容変形以下
C-4	超高層 第3世代	88.5	2008	RC	LRB+NR	X	2.27	4.93	0.028	3.30	4.15	1/188	0.27	0.70	許容変形以下
D-2	中高層 第3世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	Y	0.86	3.45	0.032	4.00	4.14	1/298	0.38	0.89	許容変形以下
D-4	中高層 第3世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	Y	3.45	6.43	0.016	2.13	2.97	1/197	0.16	0.56	許容変形以下
E-1	中高層 第2世代	30.6	1996	RC	LRB+NR	X	0.79	3.40	0.035	3.39	2.51	1/311	0.38	0.92	許容変形以下
E-2	中高層 第2世代	26.1	1996	RC	NR+鉛D+鋼D	X	0.68	2.56	0.068	4.03	3.48	1/142	0.30	0.80	許容変形以下
E-3	超高層 第3世代	67.4	2004	RC	LRB+CLB	X	1.78	5.24	0.024	2.30	2.30	1/263	0.33	0.67	許容変形以下
E-4	中高層 第3世代	34.0	2004	RC	LRB	X	0.87	3.87	0.039	3.26	3.39	1/456	0.35	0.84	許容変形以下
F-3	中高層 第3世代	31.1	2006	S+CFT	NR+SL	Y	1.81	4.30	0.040	3.19	3.58	1/151	0.28	0.70	許容変形以下
F-4	超高層 第3世代	139.6	2006	RC+Pea	NR+SL	Y	3.21	5.45	0.032	2.53	4.10	1/165	0.20	0.56	許容変形以下
G-3	中高層 第3世代	28.7	1997	CFT+S	NR+オイルD	Y	1.32	4.03	0.041	2.83	2.43	1/376	0.37	0.85	許容変形以下
G-4	中高層 第3世代	24.2	2001	S	NR+オイルD	Y	1.04	3.57	0.094	3.79	4.06	1/338	0.30	0.74	許容変形以下
H-1	低層 第1世代	11.9	1990	RC	NR+鉛D	Y	0.27	2.23	0.042	4.87	4.88	1/681	0.95	2.08	許容変形以上
H-4	超高層 第3世代	60.4	2002	S	NR+鉛D+鋼D	Y	1.82	4.02	0.035	3.19	4.34	1/259	0.28	0.79	許容変形以下
I-1	中高層 第2世代	31.3	1996	RC	HDR	X	0.50	3.04	0.030	3.86	5.70	1/1709	0.50	1.15	許容変形以下
I-2	中高層 第3世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	Y	0.98	3.53	0.036	3.29	3.30	1/862	0.40	0.77	許容変形以下
J-1	中高層 第2世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+オイルD+鋼D	X	1.10	4.27	0.017	2.76	1.90	1/477	0.38	0.84	許容変形以下
J-3	中高層 第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	X	0.59	3.90	0.043	3.21	3.29	1/408	0.32	0.72	許容変形以下

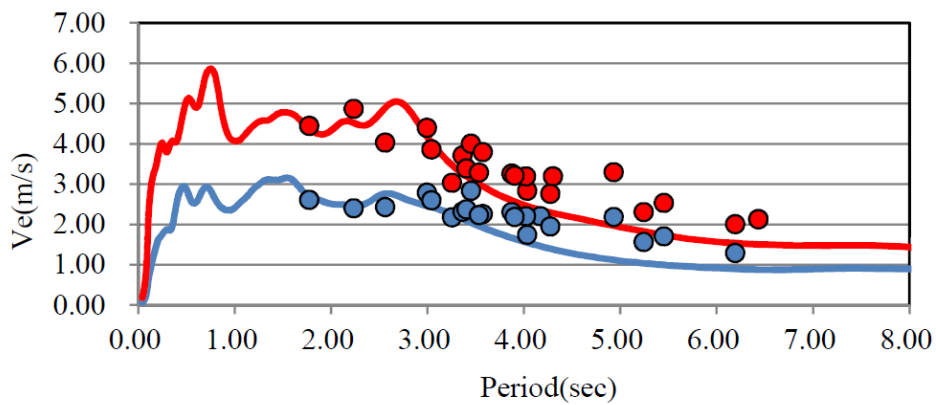
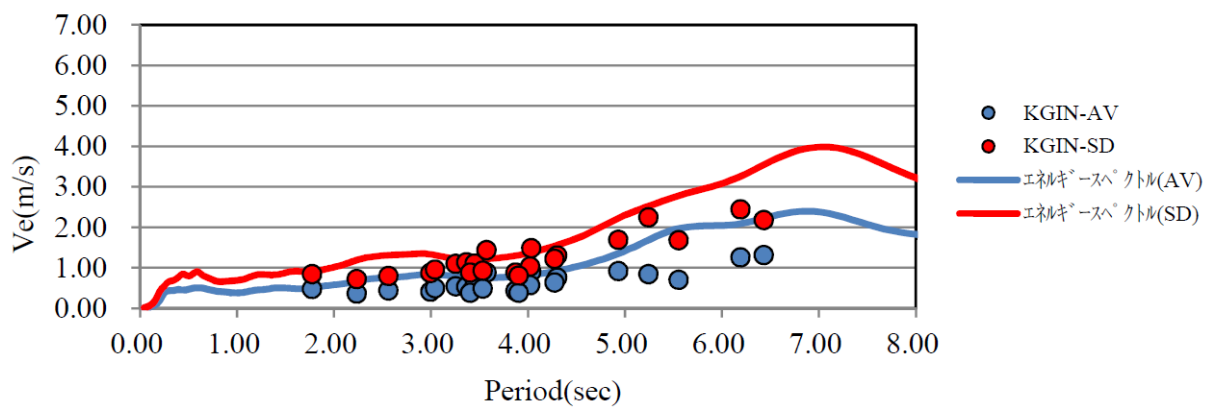
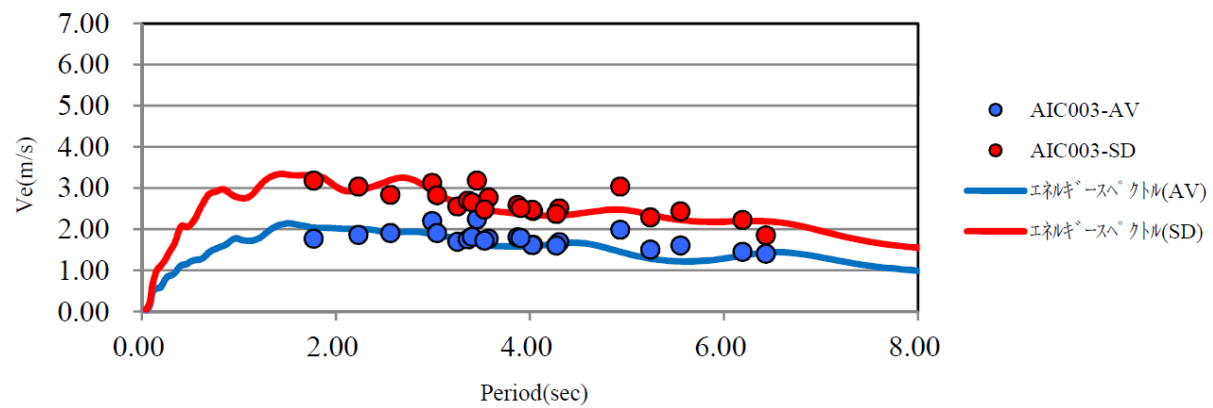
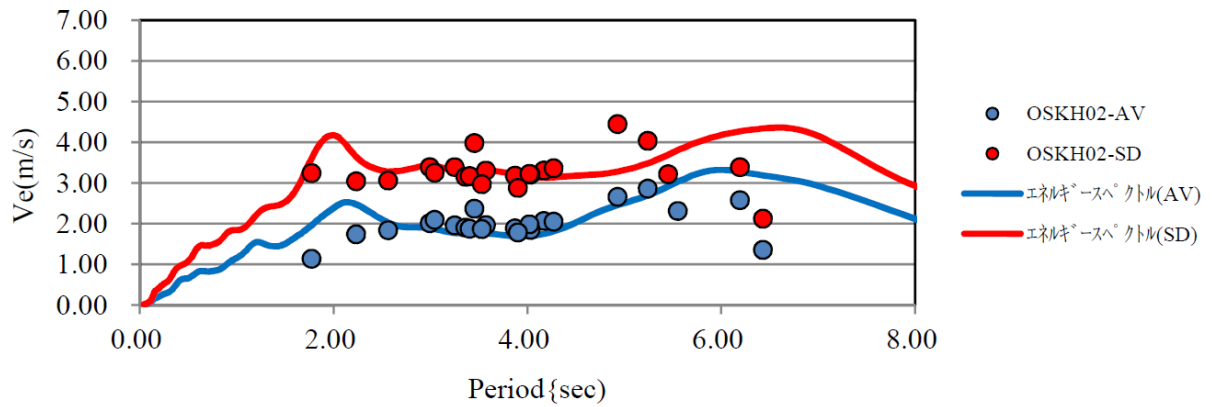


図 5.3-1 エネルギーの速度換算値

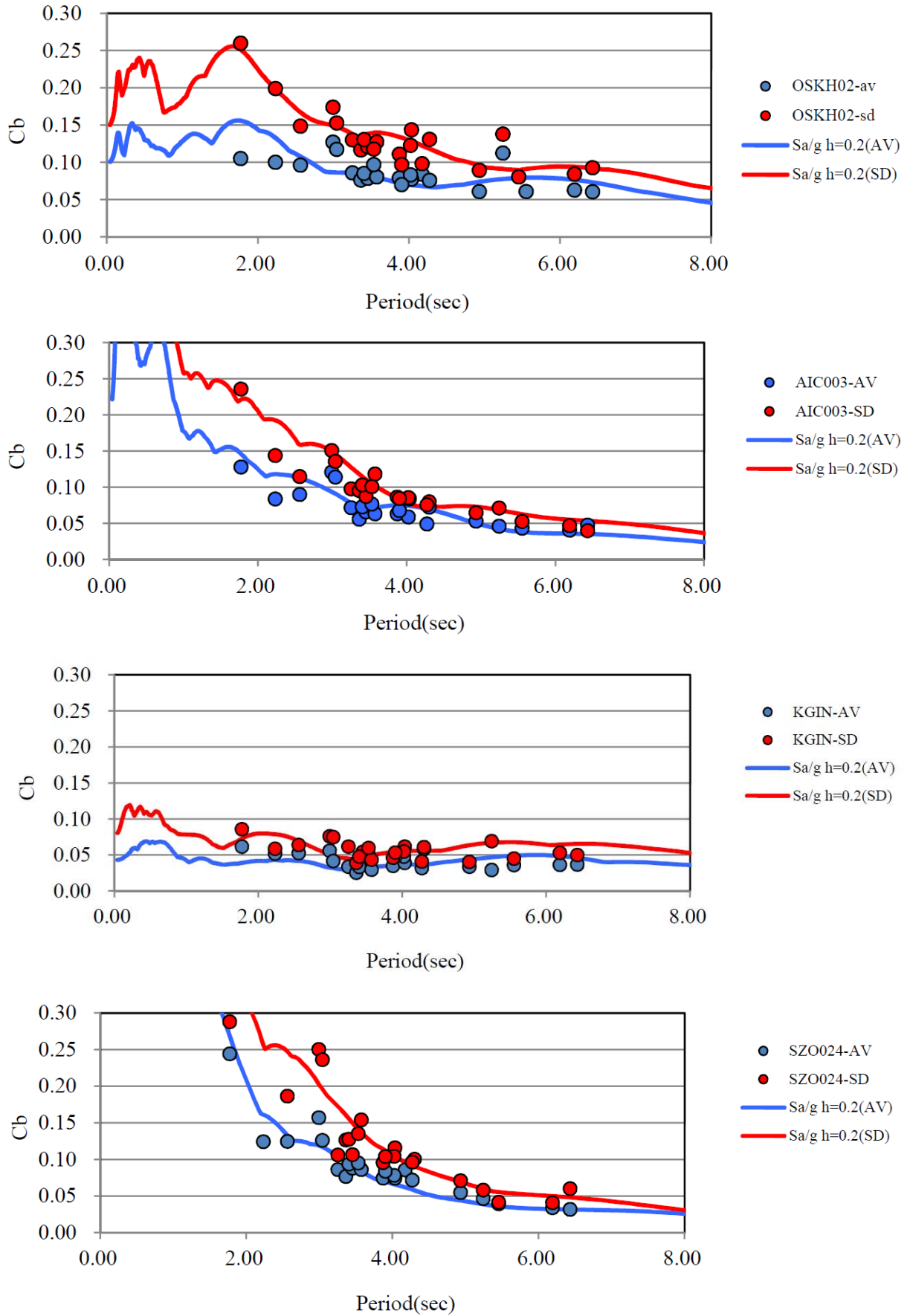


図 5.3-2 上部建物の応答ベースシア係数

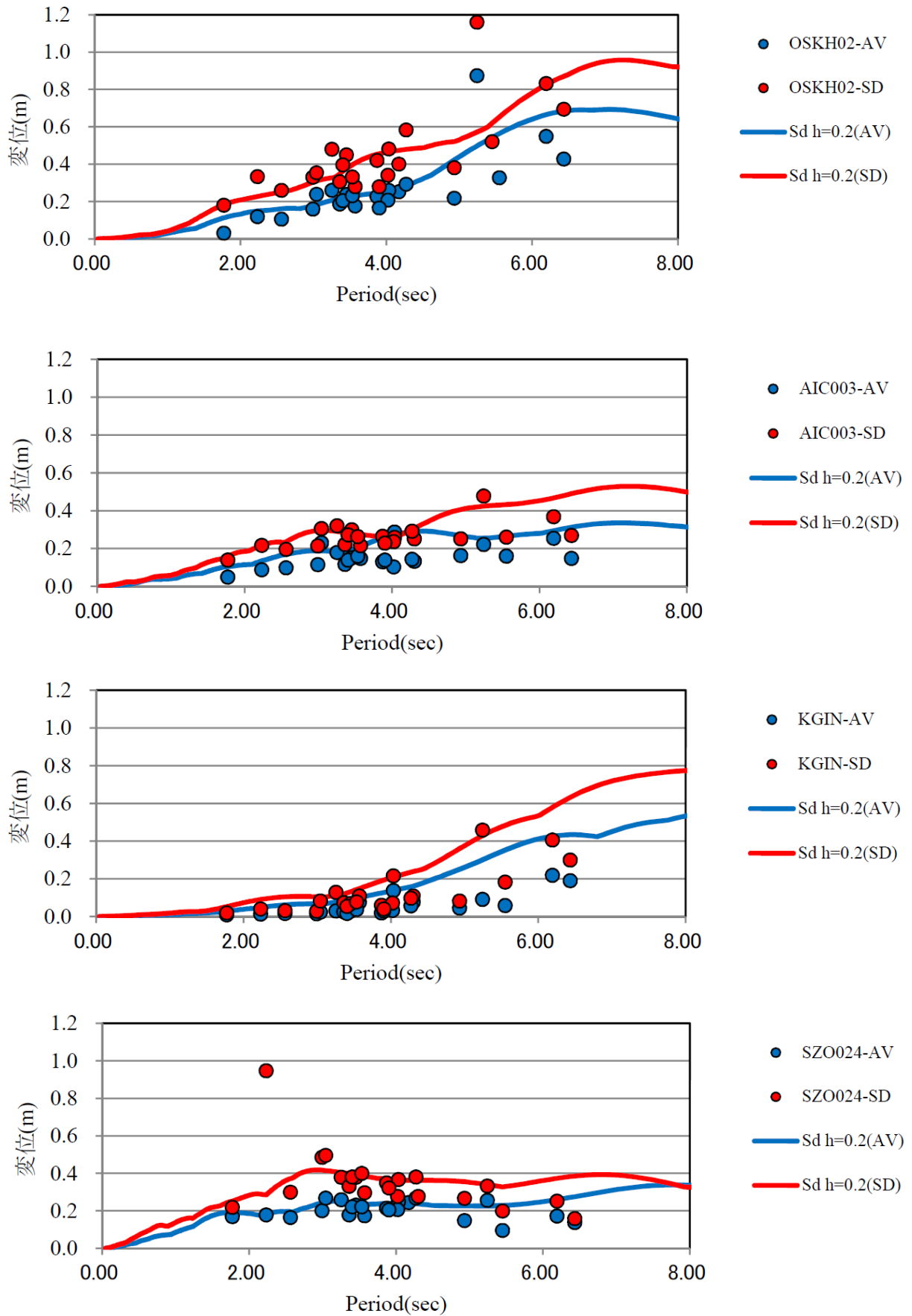


図 5.3-3 免震層の応答変位

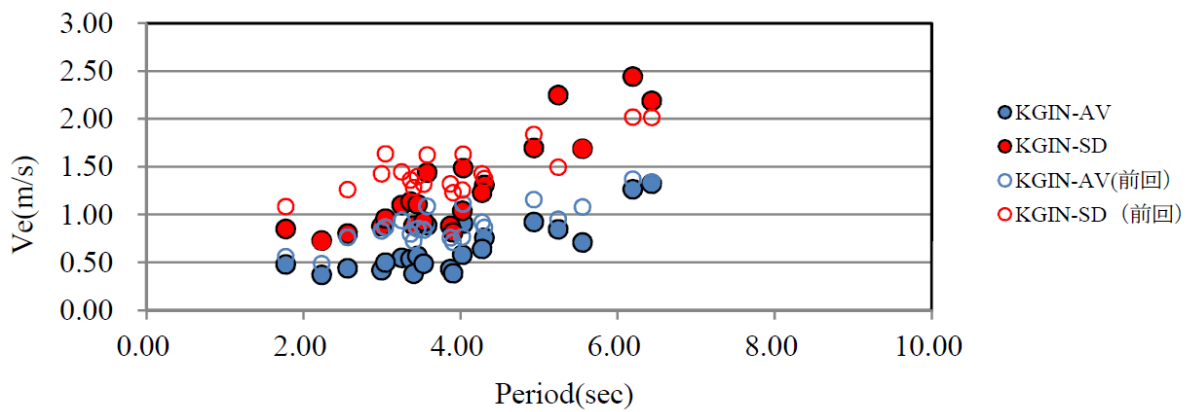
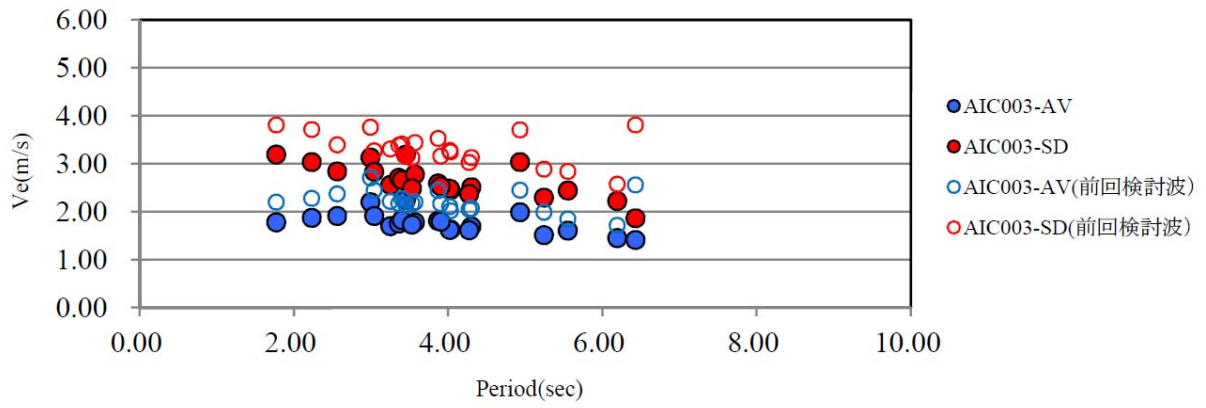
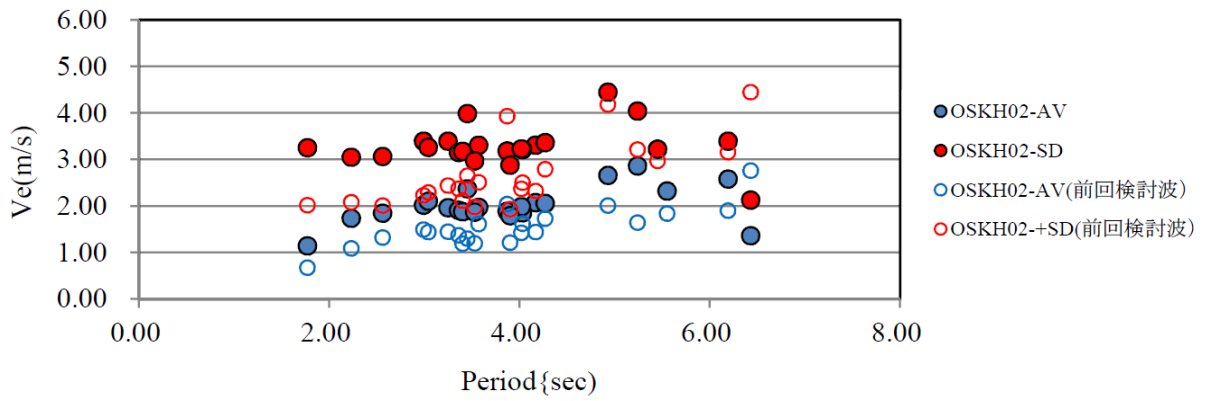


図 5.3-4 エネルギーの速度換算値の前回との比較

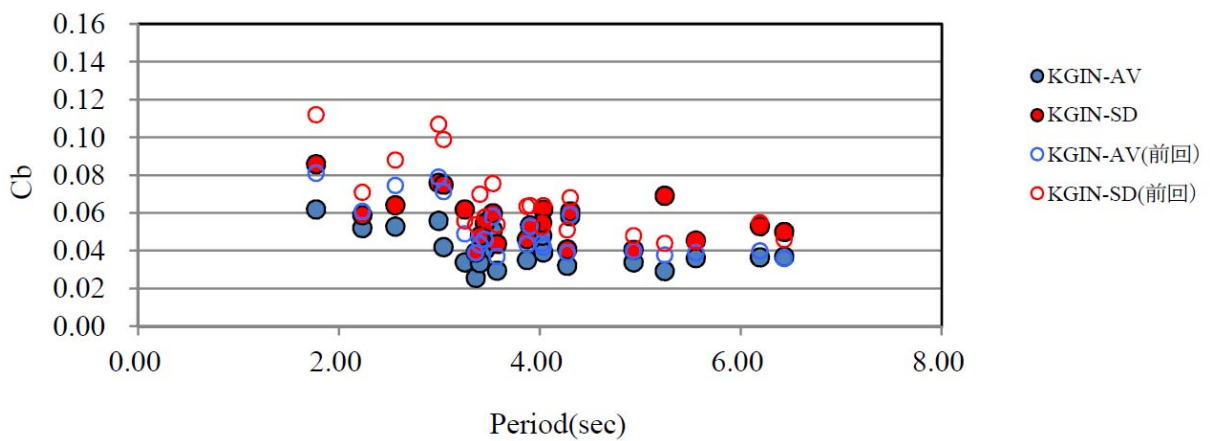
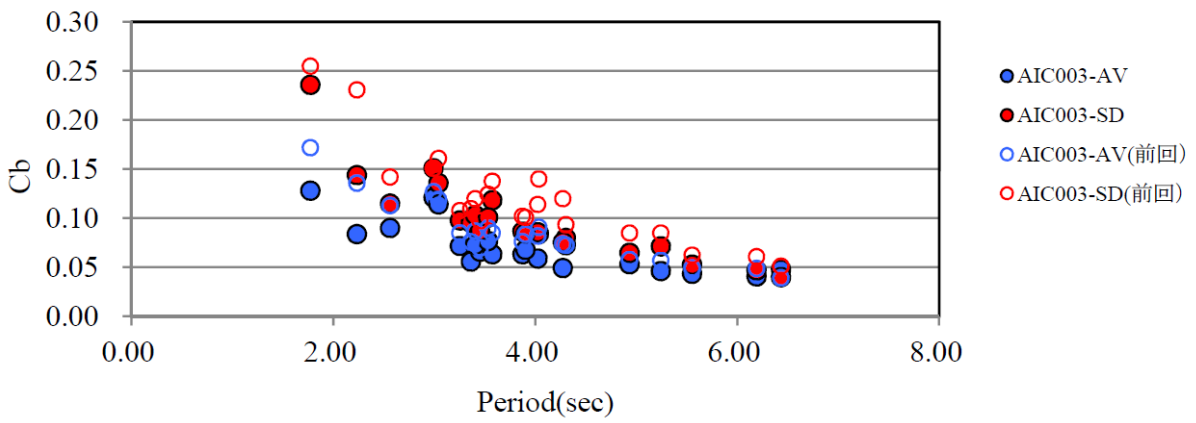
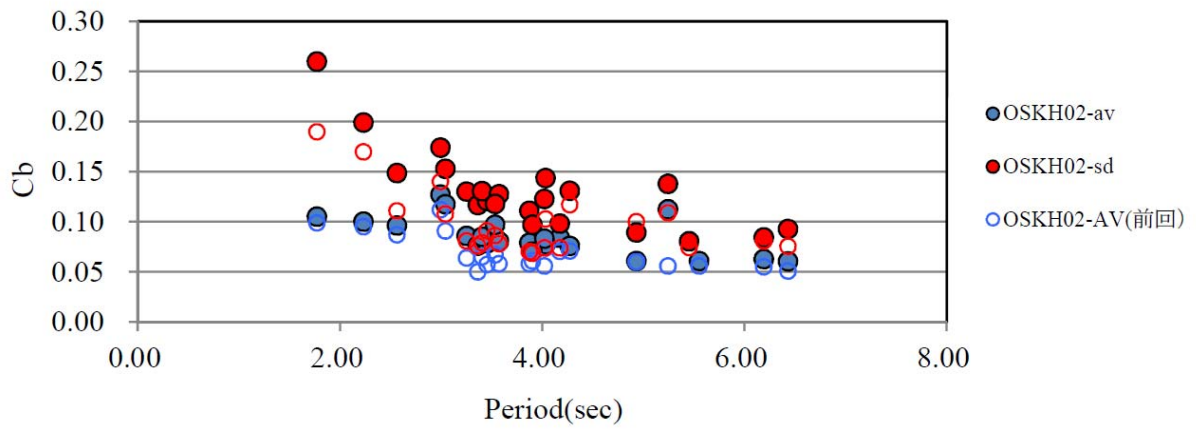


図 5.3-5 上部建物の応答ベースシア係数の前回との比較

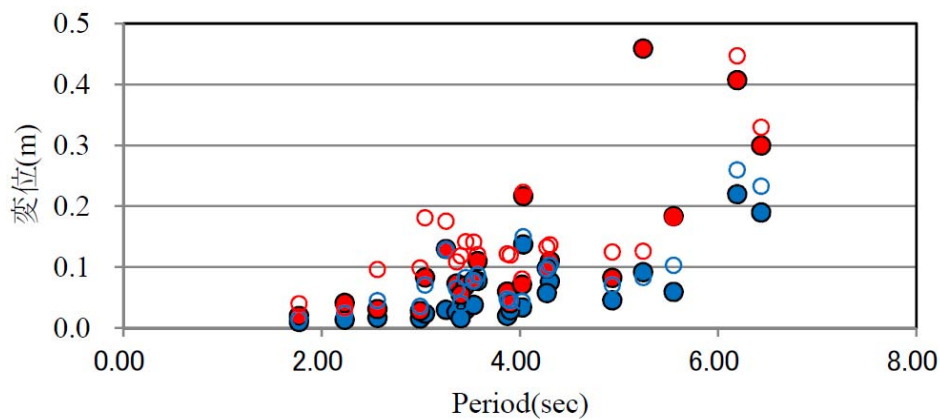
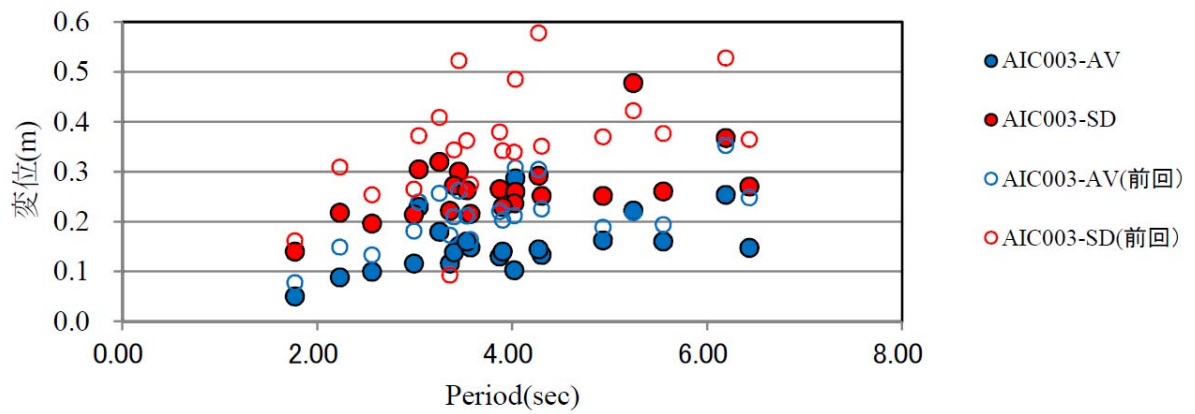
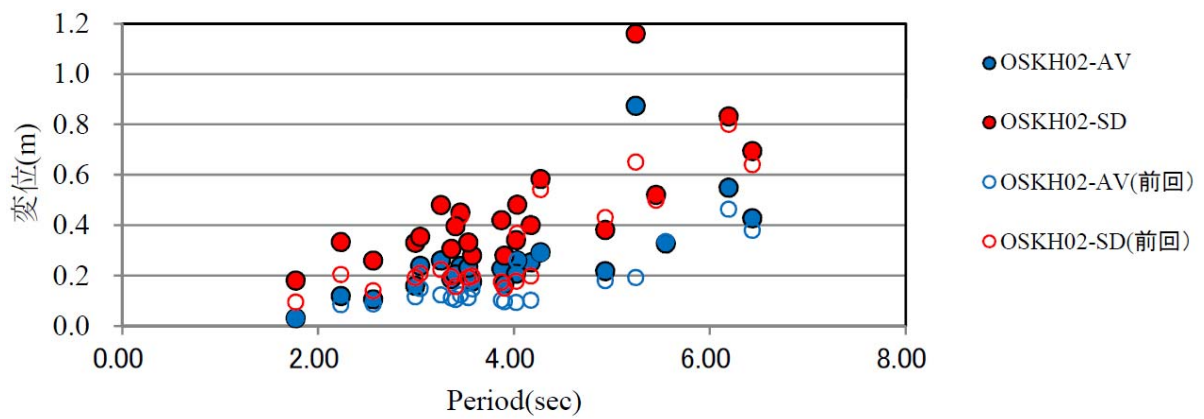


図 5.3-6 免震層の応答変位の前回との比較

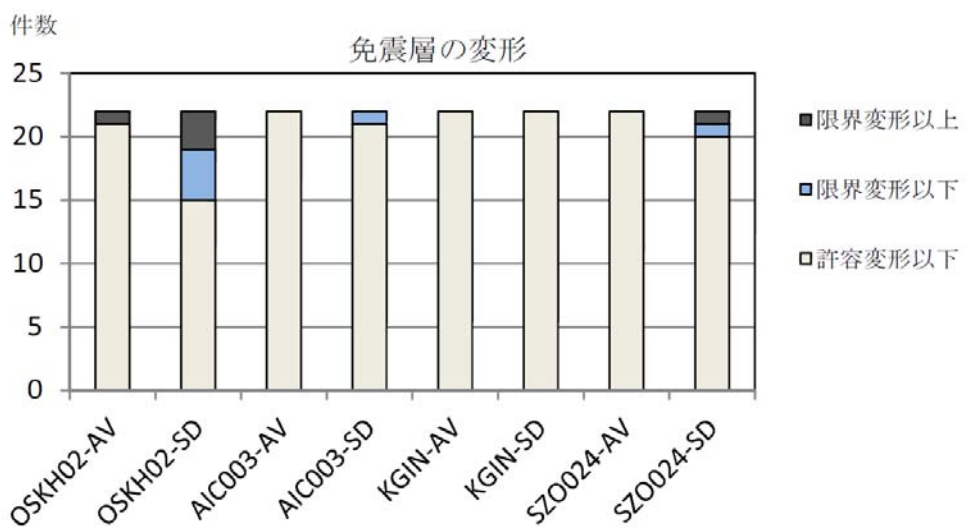
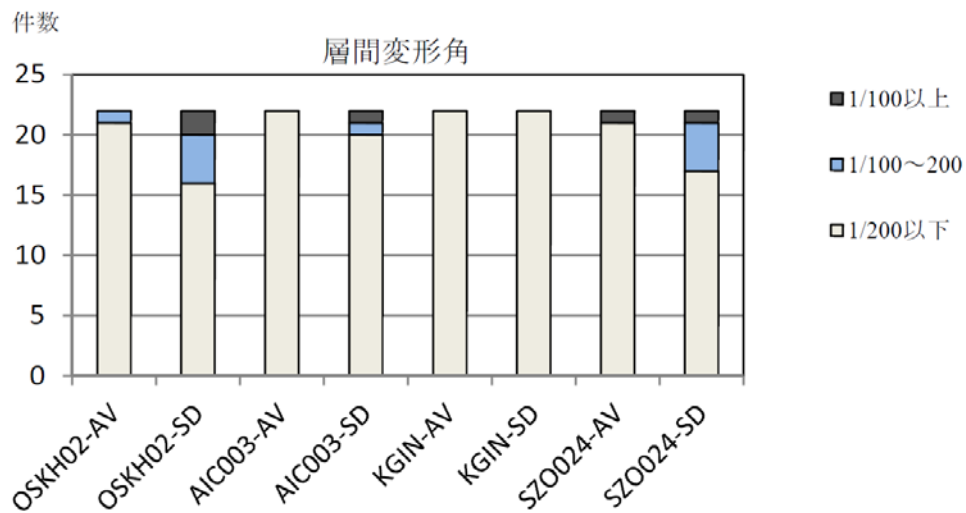
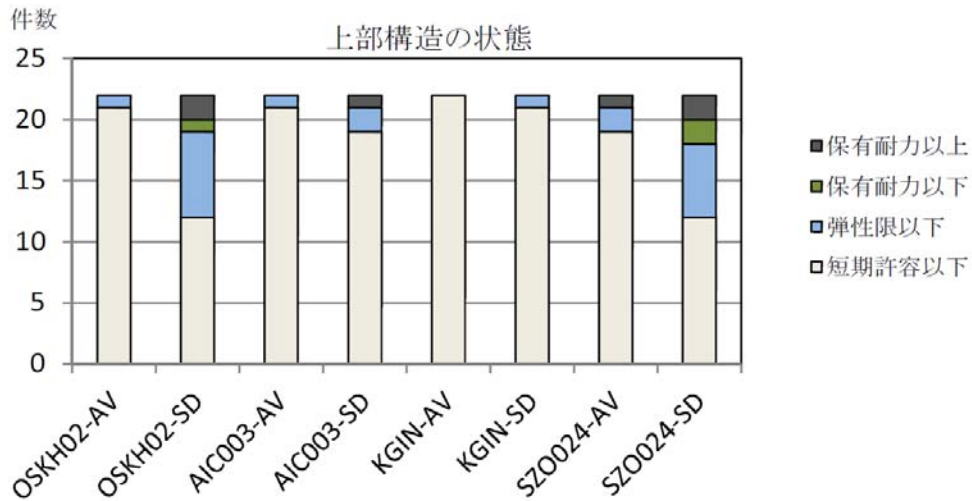


図 5.3-7 上部建物の状態と層間変形角および免震層の状態

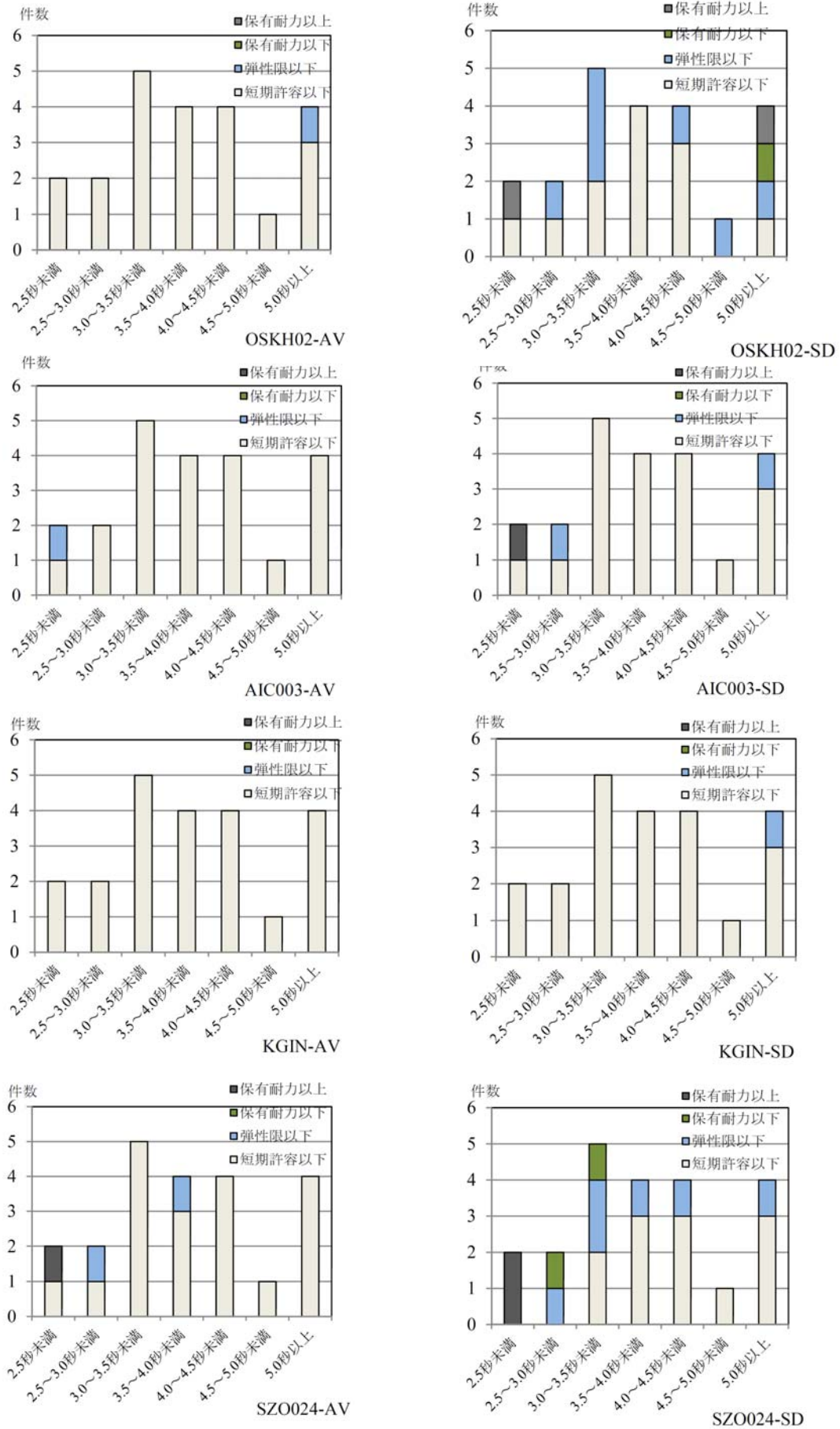


図 5.3-8 固有周期で分類した上部建物の状態

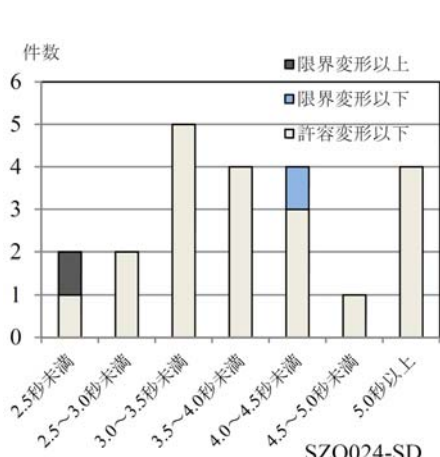
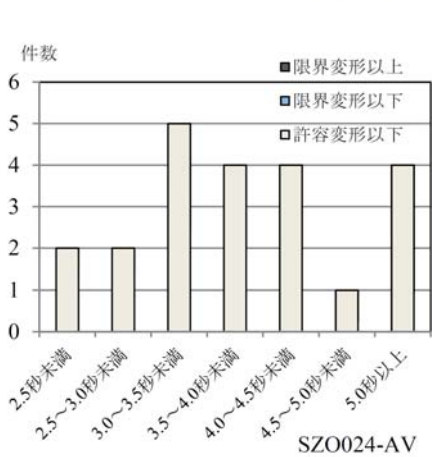
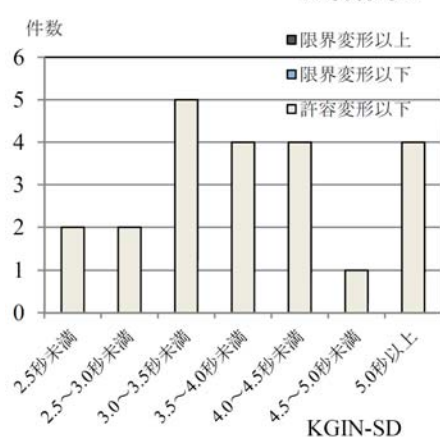
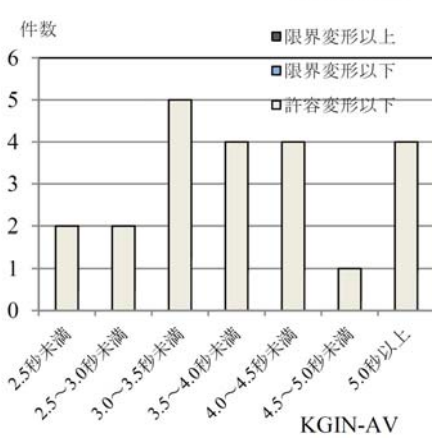
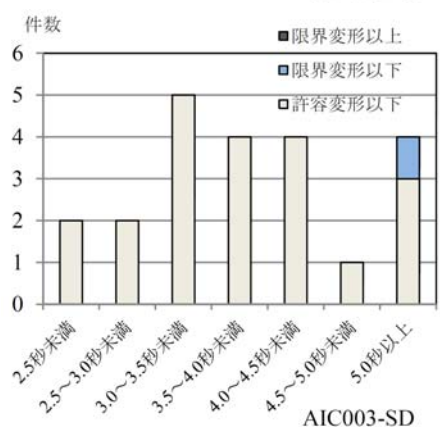
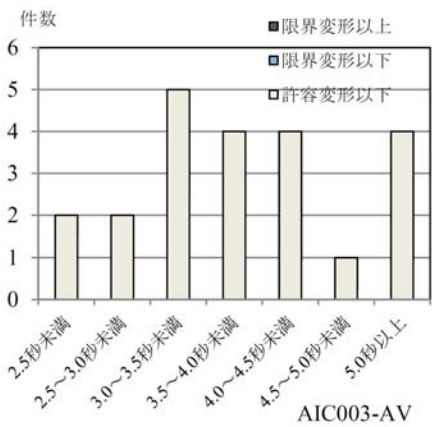
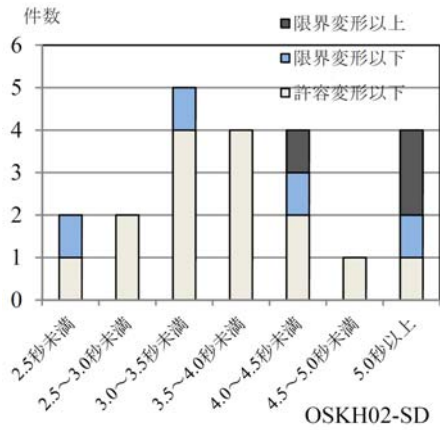
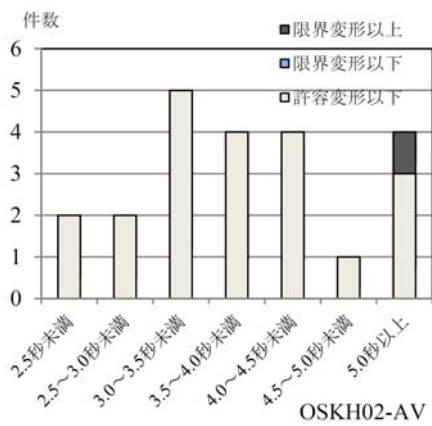


図 5.3-9 固有周期で分類した免震層の状態

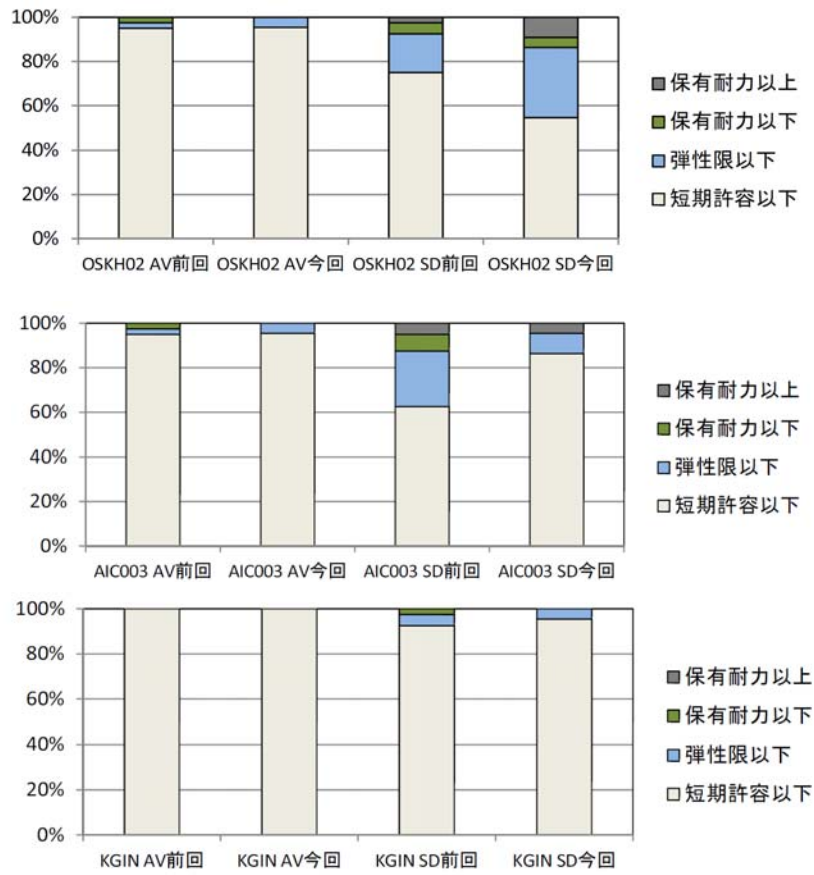


図 5.3-10 上部建物の状態の前回との比較

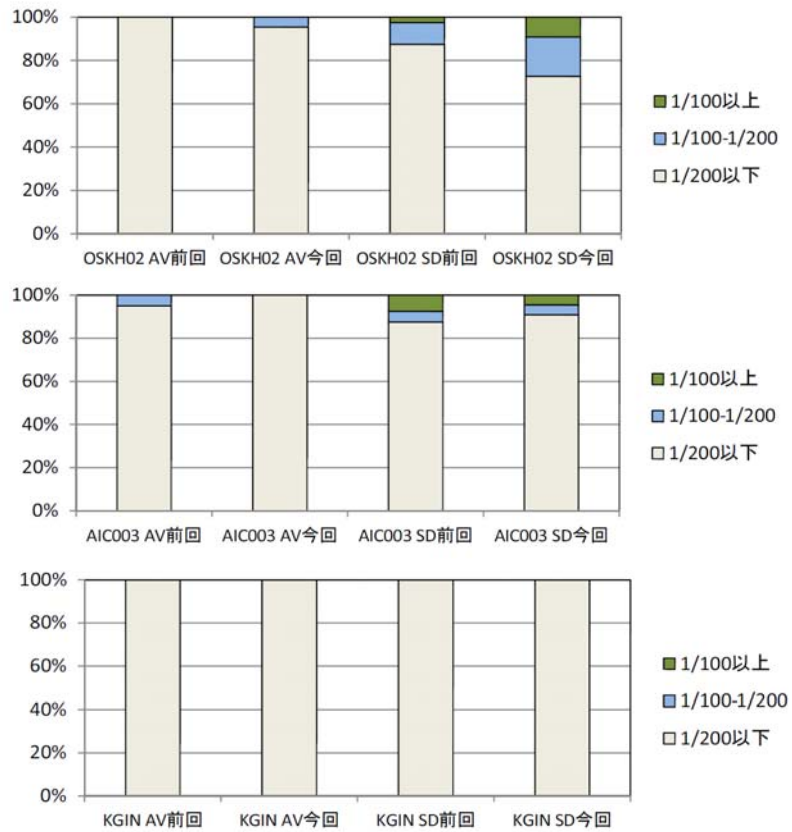


図 5.3-11 上部建物層間変形角の前回との比較

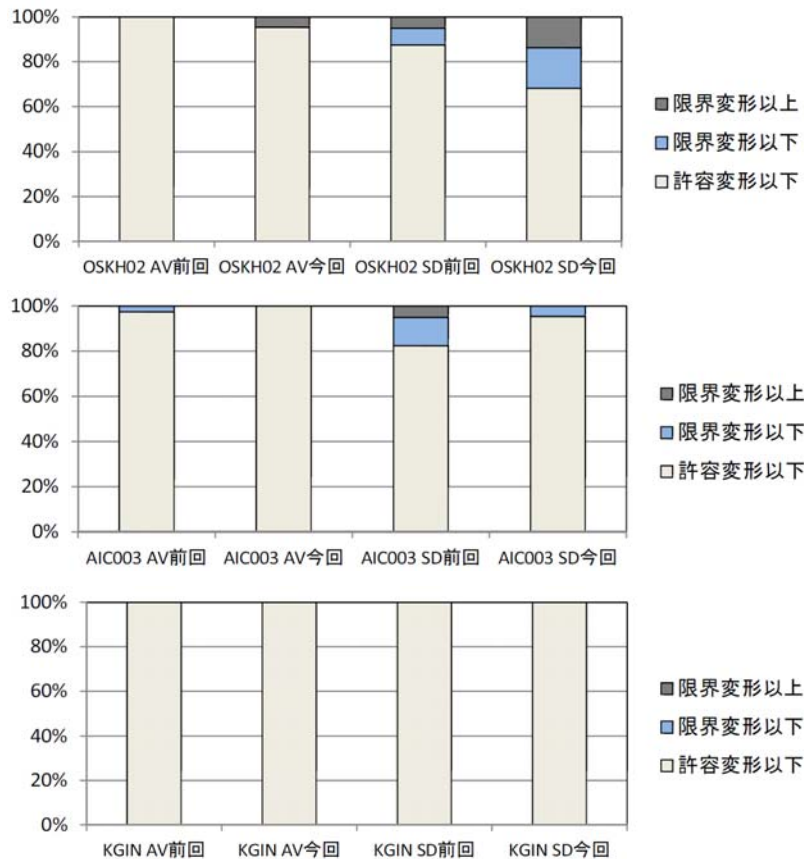


図 5.3-12 免震層の状態の前回との比較

5-3-2 応答解析結果に対する考察

(1) 入力エネルギーの速度換算値 V_e

入力エネルギーの速度換算値は概ねエネルギースペクトルの値と一致している。OSKH02 波は AV で 2~3m/s 程度、SD で 3~5 程度である。スペクトルでは 2 秒と 6.7 秒にピークがあるが、応答結果では 4 秒付近も大きくなっている。AIC003 波では AV で 1~2m/s 程度、SD で 2~3m/s 程度であり、2-5 秒の周期帯では概ね一定である。KGIN 波では AV で 0.5~1m/s 程度、SD で 1~2m/s 程度であり、5 秒以上で大きくなっているが、OSKH02 や AIC003 に比べるとやや小さい。SZO02 波では AV で 2m/s 程度、SD で 4m/s 程度であり OSKH02 と同様に非常に大きいが周期 4 秒以上ではやや小さくなっている。

前回の検討波と比較してみると、OSKH02 では前回よりも全体的に 1.2~1.5 倍程度大きくなっているが、建物によっては 2 倍程度になっているものもある。AIC003 ではほとんどが前回よりもやや小さくなっている。KGIN は 4 秒以下では前回よりも小ささが、4 秒以上では前回よりも大きくなっているものが多く、特に SD ではその傾向が強い。

(2) 上部建物の応答ベースシア係数

応答ベースシア係数は概ね減衰 20% の加速度応答スペクトルを重力加速度 g で除した値に近い。OSKH02 波は AV で 0.05~0.10 程度、SD で 0.10~0.15 程度であるが、スペクトルのピークである 2 秒付近では SD 波の応答値が 0.2~0.25 程度と非常に大きくなっている。また、5 秒

付近の応答も大きい。AIC003 波では AV で 0.05~0.10 程度、SD で 0.05~0.15 程度であり、2 秒付近では AV で 0.1~0.15 程度、SD で 0.15~0.25 程度と非常に大きくなっている。SD 波は 4 秒付近のスペクトルが落ち込んでおり、建物の解析結果もそのようになっている。KGIN 波では AV で 0.05 程度、SD で 0.05~0.08 程度と小さい。スペクトルのピークが 6~7 秒付近にあるが、建物の応答値ではさほど大きくなっていない。SZO02 波では AV では周期 4 秒以上では 0.05~0.08 程度だが周期が短くなるにつれ急激に大きくなり、0.10~0.25 となっている。SD も傾向的には同様に、周期 4 秒以上では 0.05~0.10 程度だが周期が短くなるにつれ急激に大きくなり、0.10~0.30 となっている。

前回の検討波と比較してみると、OSKH02 では AV では 3~4 秒付近で前回よりもやや大きくなっているがそれ以外では大きな差はない。SD は 5 秒付近を除いてほとんどの周期で 1.1~1.2 倍程度に大きくなっている。AIC003 ではほとんどが前回よりもやや小さくなっている。KGIN は 4 秒以下では前回よりも小さき、4 秒以上では前回とほぼ同じで、SD の 5 秒付近は前回よりもかなり大きくなっている。これは SD のスペクトルのピークが前回よりもやや短周期側にシフトしたことによると考えられる。

(3) 免震層の応答変位

免震層の応答変位は概ね減衰 20%の変位応答スペクトルに近い。OSKH02 波は AV で 0.2~0.3m 程度だが 5 秒以上では大きくなり 0.4~0.6m 程度となっており、周期 5 秒付近では 0.8m 程度の非常に大きいものもある。SD で 0.4~0.6m 程度であるが、5 秒以上では大きくなり 0.6~0.8m 程度となっており、周期 5 秒付近では 1.2m 程度の非常に大きいものもある。AIC003 波では AV で 0.1~0.24m 程度、SD で 0.2~0.4m 程度でありあまり大きくない。KGIN 波では AV で 0.05~0.1m 程度と小さく、SD で 0.1~0.2m 程度がほとんどであるが、周期 5 秒以上では 0.4m 程度とやや大きくなっている。SZO02 波では AV では 0.2m 程度、SD は 0.4m 程度であるが、3 秒付近ではやや大きく 0.5m 程度となっている。

前回の検討波と比較してみると、OSKH02 では AV では 3~4 秒付近で前回よりもやや大きくなっているがそれ以外では大きな差はないが、周期 5 秒付近で非常に大きくなっているものがある。SD は 6 秒以上ではほとんど変わらないがそれ以外では 1.5~2 倍程度に大きくなっており、AV と同様に周期 5 秒付近で非常に大きくなっているものがある。AIC003 ではほとんどが前回よりも 0.5~0.7 倍程度小さくなっている。KGIN はほとんどが前回よりも小さき、SD の 5 秒付近は前回の 4 倍程度とかなり大きくなっている。これは SD のスペクトルのピークが前回よりもやや短周期側にシフトしたことによると考えられる。

(4) 上部建物の状態

AV では、ほとんどが短期許容応力度以下であり、短期許容を超え弾性限耐力以下となっているものが OSKH02 で 1 棟、AIC003 で 1 棟、SZO024 で 2 棟ある。SZO024 では保有耐力以上となっているものも 1 棟ある。周期別にみると、OSKH02 では周期 5 秒以上の 1 棟が弾性限以下となっており、AIC003 では 2.5 秒未満の 1 棟が弾性限以下となっている。4 秒以下で弾性限以下のものが 2 棟あり、2.5 秒未満の 1 棟は保有耐力以上となっている。この 1 棟は第一期でもかなり初期の建物であり、耐力がやや小さいものと思われる。

SD では、OSKH02 は弾性限以下 7 棟、保有耐力以下 1 棟、保有耐力以上が 2 棟とやや損傷

が出ているものがある。周期別にみると 2.5 秒未満と 5 秒以上で保有耐力以上のものがあり、5 秒以上の建物で弾性限を超えて保有耐力以下のものがある。3.5～4 秒はすべて短期許容以下となっている。AIC003 は弾性限以下 2 棟で 1 棟は保有耐力以上となっている。周期別にみると 2.5 秒未満に保有耐力以上のものがあり、2.5～3.0 秒、5 秒以上の建物で弾性限を超えて保有耐力以下のものがある。KGIN では 1 棟が弾性限以下となっているが周期 5 秒以上の建物である。SZO024 では弾性限以下のものが 5 棟、保有耐力以下が 2 棟、保有耐力以上は 2 棟となっている。周期別にみると 2.5 秒未満の建物は 2 棟とも保有耐力以上となっており、保有耐力以下の 2 棟は 2.5～3.5 秒の建物である。

前回の検討波と比較してみると、OSKH02 の SD では前回よりも損傷の生じている建物が増えており、短期許容以下を超えているものの比率は、前回の 25%程度から 45%程度に上昇している。AIC003 は前回よりもかなり損傷が生じているものが少なくなっており、SD では短期許容以下を超えているものの比率は、前回の約 40%から約 15%に低下している。KGIN では前回も AV ではすべて短期許容以下で SD でも損傷は小さいが、今回は SD でも弾性限を超えるものはなかった。

(5) 上部建物の層間変形角

AV では、ほとんどが 1/200 以下であるが、OSKH02 で 1/100～1/200 のものが 1 棟、SZO024 で 1/100 以上のものが 1 棟ある。SD では OSKH02 で 1/100～1/200 のものが 4 棟、1/100 以上のものが 2 棟ある。AIC003 では 1/100～1/200 のものが 1 棟、1/100 以上ものが 1 棟ある。KGIN ではすべて 1/200 以下となっている。SZO024 では 1/100～1/200 のものが 4 棟、1/100 以上ものが 1 棟ある。

前回の検討波と比較してみると、OSKH02 の AV は前回すべて 1/200 以下であったが、今回は 1/100～1/200 があり、SD では 1/100～1/200 の建物も 1/100 以上の建物も比率が倍になっている。AIC003 は前回よりも小さくなっており、AV では前回あった 1/100～1/200 が 1/200 以下となり、1/100 以上のものが前回の比率の半分になっている。KIGN に関しては前回も今回もすべて 1/200 以下となっている。

(6) 免震層の状態

AV では、OSKH02 で 1 棟が限界変形を超えている以外はすべて許容変形以下となっている。限界変形を超えているものは周期 5 秒以上のものである。SD では OSKH02 で許容変形を超えて限界変形以下のものが 4 棟、限界変形を超えるものは 3 棟ある。限界変形を超えているものは 4.0～4.5 秒の建物で 1 棟、5.0 秒以上の建物で 2 棟となっている。AIC003 は周期 5 秒以上で 1 棟が限界変形以下となっている以外は、すべて許容変形以下であり、KGIN はすべて許容変形以下である。SZO024 は周期 2.5 秒未満で 1 棟が限界変形を超えており、4.0～4.5 秒で 1 棟が限界変形以下となっている。

前回の検討波と比較してみると、OSKH02 の AV は前回すべて許容変形以下であったが、今回は限界変形以上があり、SD では限界変形以下も限界変形以上も 3 倍程度増えている。AIC003 は前回よりも小さくなっており、AV では前回あった限界変形以下がなくなり、SD では限界変形以上がなくなり、限界変形以下というのも前回の 1/3 程度に下がっている。KIGN に関しては前回も今回もすべて許容変形以下となっている。

5-3-3 免震部材のエネルギー吸収に対する検討

長周期地震動は非常に継続時間が長く、免震部材で吸収するエネルギーは非常に大きくなる。これまでの、知見では免震部材に長時間の繰返し変形が作用すると温度上昇を生じ、剛性や減衰性能が変動することが明らかになっている。また、履歴系のダンパーでは金属疲労によるクラックや破壊が生じる可能性もある。ここでは、モデル建物の免震部材が吸収したエネルギーを把握し、免震部材の状態に関して考察する。

(1) モデル建物の免震部材の吸収エネルギー量

検討にあたっては、建物モデル 22 棟の中から、すべての種類の免震部材を網羅できるように 10 棟を選択し、検討を行った。

これらの建物について、免震層の最大変位、最大速度、総変位距離、総吸収エネルギーを求めたほか、各免震部材ごとに吸収エネルギーや累積塑性変形などのエネルギー吸収に係わると思われる値を求めた。エネルギー吸収に係わる指標として、鉛プラグ入り積層ゴムでは、吸収エネルギー E を鉛プラグの体積 V_p で除した E/V_p とした。高減衰積層ゴムは E をゴム体積 V_r で除した E/V_r とした。また、すべり支承では総滑動距離、鋼材ダンパーや鉛ダンパーでは 1 台あたりの吸収エネルギー E の他に、累積塑性変形を求めた。オイルダンパーに関しては吸収エネルギー E とダンパーの鉄部の重量を示した。免震層の総変位距離に関しては、解析終了時（地震動継続時間 720 秒）のものと、免震層の吸収エネルギーが最終値の 95% になる時点のものを示した。これは、主要動の後の小さい揺れが継続する際に、履歴系のダンパーは弾性範囲となり減衰がなくなるために、弾性変形が長時間継続することにより総変位距離が大きくなってしまい、解析終了時の総変位距離は値としてあまり意味をなさないと思われることによる。

表 5.3-2 (1) ~ (2) にエネルギー吸収量を一覧表にまとめたものを示す。表 5.3-3 には吸収エネルギーの 95% 時における免震層の総変位距離を、図 5.3-13 は免震層の総変位距離と固有周期の関係を示す。図 5.3-14 ~ 5.3-19 に各免震部材ごとの単位体積あたりや 1 台あたりの吸収エネルギーを示す。また、図 5.3-20 ~ 5.3-25 にその前回解析との比較を示す。なお、前回は KGIN 及び SZ0024 の検討は行っていない。

表 5.3-2 (1) エネルギー検討結果の一覧

記号	分類	軒高 (m)	免震 システム	固有周期(s)		α	地震動	免震層の総 吸収E (kNm)	Vc(m/s)	最大変位 (m)	総変位距離 (m)	LRB E/Vp (N/mm ²)	HDR E/Vr (N/mm ²)	滑り支承 総すべり 距離(m)	鋼材D E/台 (kNm)	鉛D E/台 (kNm)	オールド E/台 (kNm)	
				基礎 固定	200% ひずみ													
A-3	中高層 第3世代	34.6	HDR+NR	0.73	3.25	0.028	OSKH02-av	9.38.E+04	1.96	0.26	16.8(12.4)		8.9					
							OSKH02-sd	2.82.E+05	3.39	0.48	37.2(26.2)		26.7					
							AIC003-av	6.89.E+04	1.70	0.18	16.7(10.4)		6.5					
							AIC003-sd	1.58.E+05	2.56	0.32	27.1(18.3)		14.9					
							KGIN-av	7.20.E+03	0.55	0.03	4.7(3.6)		0.7					
							KGIN-sd	2.91.E+04	1.10	0.13	9.9(7.8)		2.8					
B-3	低層 第3世代	13.0	NR+SL +オールド D	0.22	3.36	0.017	SZ0024-av	1.14.E+05	2.18	0.26	21.1(13.3)		10.8					
							SZ0024-sd	2.18.E+05	3.03	0.38	33.3(21.2)		20.6					
							OSKH02-av	3.54.E+03	1.91	0.19	7.5 (7.2)		7.5				695	
							OSKH02-sd	9.65.E+03	3.15	0.31	17.0(16.0)		17.0				2,381	
							AIC003-av	2.99.E+03	1.76	0.12	5.9(5.8)		5.9				638	
							AIC003-sd	7.09.E+03	2.71	0.22	12.5(11.9)		12.5				1,746	
C-4	超高層 第3世代	88.5	HDR+NR	0.73	3.25	0.028	KGIN-av	2.79.E+02	0.54	0.03	0.6(0.6)							
							KGIN-sd	1.25.E+03	1.14	0.07	3.1(3.0)		3.1				182	
							SZ0024-av	5.18.E+03	2.32	0.18	8.6(8.3)		8.6				1,351	
							SZ0024-sd	1.33.E+04	3.71	0.33	17.8(16.7)		17.8				4,073	
							OSKH02-av	5.01.E+04	1.96	0.22	11(8.5)		90.10					
							OSKH02-sd	1.42.E+05	3.39	0.38	22.6(18.5)		255.90					
D-2	中高層 第3世代	29.9	LRB+NR	0.36	3.45	0.032	AIC003-av	2.24.E+04	1.70	0.16	9.0(5.9)		40.30					
							AIC003-sd	5.49.E+04	2.56	0.25	15.9(11.5)		98.60					
							KGIN-av	3.85.E+03	0.55	0.05	4.4(3.2)		6.91					
							KGIN-sd	1.74.E+04	1.10	0.08	8.4(6.3)		31.21					
							SZ0024-av	2.36.E+04	2.18	0.15	10.6(6.8)		42.48					
							SZ0024-sd	6.01.E+04	3.03	0.15	19.8(12.5)		107.99					
E-2	中高層 第2世代	26.1	NR+鋼棒 D +鉛D	0.68	2.56	0.068	OSKH02-av	5.65.E+04	2.37	0.24	16.5(9.1)		164.0					
							OSKH02-sd	1.63.E+05	3.99	0.45	28.3(19.0)		471.8					
							AIC003-av	4.89.E+04	2.25	0.15	21.2(8.9)		141.9					
							AIC003-sd	9.83.E+04	3.19	0.30	26.1(15.0)		285.4					
							KGIN-av	2.85.E+03	0.57	0.03	4.4(2.1)		8.3					
							KGIN-sd	1.15.E+04	1.11	0.07	9.07(4.8)		33.5					
E-2	中高層 第2世代	26.1	NR+鋼棒 D +鉛D	0.68	2.56	0.068	SZ0024-av	7.73.E+04	2.83	0.23	25.2(11.5)		224.4					
							SZ0024-sd	1.52.E+05	4.00	0.38	36.0(21.7)		441.7					
							OSKH02-av	4.64.E+03	1.85	0.11	10.9(7.5)		299				406	
							OSKH02-sd	1.32.E+04	3.06	0.26	17.4(13.1)		1,136				913	
							AIC003-av	4.59.E+03	1.91	0.10	11.3(7.3)		292				406	
							AIC003-sd	9.85.E+03	2.84	0.20	17.8(12.5)		758				758	
E-2	中高層 第2世代	26.1	NR+鋼棒 D +鉛D	0.68	2.56	0.068	KGIN-av	3.19.E+02	0.38	0.02	4.1(2.7)							
							KGIN-sd	1.07.E+03	0.89	0.03	6.7(4.6)		6				147	
							SZ0024-av	7.14.E+03	2.43	0.17	13.5(8.6)		556				543	
							SZ0024-sd	2.04.E+04	3.39	0.30	26.7(18.5)		1,873				1,308	

表 5.3-2 (2) エネルギー検討結果の一覧

記号	分類	軒高 (m)	免震 システム	固有周期(s)		α	地震動	免震層の総 吸収E (kNm)	Vc(m/s)	最大変位 (m)	総変位距離 (m)	LRB E/Vp (N/mm ²)	HDR E/Vr (N/mm ²)	滑り支承 総すべり 距離(m)	鋼材D E/台 (kNm)	鉛D E/台 (kNm)	オイルD E/台 (kNm)
				基礎 固定	200% ひずみ												
F-3	中高層 第3世代	31.1	NR+SL	1.81	4.30	0.040	OSKH02-av	2.04.E+04	2.07	0.25	25.5			5.0			
							OSKH02-sd	4.90.E+04	3.31	0.40	31.6			12.1			
							AIC003-av	1.15.E+04	1.69	0.13	27.3			2.8			
							AIC003-sd	2.69.E+04	2.51	0.25	27.3			6.6			
							KGIN-av	1.94.E+03	0.76	0.08	9.4			0.5			
							KGIN-sd	6.81.E+03	1.31	0.11	16.0			1.7			
							SZ0024-av	2.18.E+04	2.20	0.24	28.3			5.4			
							SZ0024-sd	4.31.E+04	3.19	0.28	27.6			10.6			
							OSKH02-av	5.91.E+04	1.97	0.18	16.1(12.3)					1.846	
							OSKH02-sd	1.66.E+05	3.31	0.28	28.2(21.7)					5.201	
G-4	中高層 第3世代	24.2	NR +オイル D	1.04	3.57	0.094	AIC003-av	4.82.E+04	1.78	0.15	14.0(10.1)						
							AIC003-sd	1.16.E+05	2.78	0.22	23.3(17.0)					3.638	
							KGIN-av	1.20.E+04	0.89	0.08	9.0(7.5)					375	
							KGIN-sd	3.17.E+04	1.44	0.11	15.3(13.0)					991	
							SZ0024-av	7.67.E+04	2.26	0.17	15.8(10.9)					2.396	
							SZ0024-sd	2.15.E+05	3.79	0.30	27.8(17.7)					6.708	
							OSKH02-av	2.54.E+04	1.99	0.21	11.6(8.2)					1.179	1.293
							OSKH02-sd	6.99.E+04	3.23	0.34	22.6(17.5)					4.188	3.325
							AIC003-av	1.52.E+04	1.62	0.10	9.4(6.1)					675	780
							AIC003-sd	3.74.E+04	2.48	0.24	16.7(11.9)					1.996	1.838
H-4	超高層 第3世代	60.4	NR+鉛D +鋼D	1.82	4.02	0.035	KGIN-av	1.58.E+03	0.58	0.03	3.6(2.3)						
							KGIN-sd	5.86.E+03	1.04	0.07	6.7(4.8)					163	325
							SZ0024-av	2.77.E+04	2.20	0.28	14.6(9.1)					1.338	1.411
							SZ0024-sd	6.12.E+04	3.19	0.21	24.3(16.7)					3.463	2.975
							OSKH02-av	1.89.E+04	2.10	0.24	40.5(14.6)				8.2		
							OSKH02-sd	4.59.E+04	3.26	0.35	48.0(23.5)				19.9		
							AIC003-av	1.57.E+04	1.91	0.23	43.6(12.6)				6.8		
							AIC003-sd	3.45.E+04	2.93	0.31	50.9(21.8)				15.0		
							KGIN-av	1.03.E+03	0.50	0.02	9.4(4.6)				0.4		
							KGIN-sd	3.95.E+03	0.96	0.08	17.9(7.4)				1.7		
I-1	中低層 第2世代	31.3	HDR	0.50	3.04	0.030	SZ0024-av	2.91.E+04	2.60	0.27	55.3(21.1)						
							SZ0024-sd	6.03.E+04	3.86	0.50	26.8(25.6)						
							OSKH02-av	2.24.E+05	2.05	0.29	18.5(13.5)					1.512	22.337
							OSKH02-sd	6.01.E+05	3.36	0.58	35.8(28.4)					4.365	53.175
							AIC003-av	1.38.E+05	1.61	0.15	14.7(9.9)					843	15.852
							AIC003-sd	2.99.E+05	2.37	0.29	24.7(17.4)					1.959	31.157
							KGIN-av	2.18.E+04	0.64	0.06	6.9(5.0)					82	3.631
							KGIN-sd	8.04.E+04	1.23	0.10	12.3(9.4)					463	9.792
							SZ0024-av	2.03.E+05	1.95	0.27	19.7(13.0)					1.238	23.129
							SZ0024-sd	4.04.E+05	2.76	0.38	31.6(22.1)					2.616	42.885
J-1	中高層 第2世代	44.3	NR+CLB +オイルD +鋼D	1.10	4.27	0.020											

表 5.3-3 吸収エネルギーの95%時における免震層の総変位距離(m)

棟	周期	OSKH02-av	OSKH02-sd	AIC003-av	AIC003-sd	KGIN-av	KGIN-sd	SZ0024-av	SZ0024-sd
A-3	3.25	12.4	26.2	10.4	18.3	3.6	7.8	13.3	21.2
B-3	3.36	7.2	16.0	5.8	11.9	0.6	3.0	8.3	16.7
C-4	3.25	8.5	18.5	5.9	11.5	3.2	6.3	6.8	12.5
D-2	3.45	9.1	18.9	8.9	15.0	2.1	4.8	11.5	21.7
E-2	2.56	7.5	13.1	7.3	12.5	2.7	4.6	8.6	18.5
F-3	4.30								
G-4	3.57	12.3	21.7	10.1	17.0	7.5	13.0	10.9	17.7
H-4	4.02	8.2	17.5	6.1	11.9	2.3	4.8	9.1	16.7
I-1	3.04	14.6	23.5	12.6	21.8	4.6	7.4	21.1	25.6
J-1	4.27	13.5	28.4	9.9	17.4	5.0	9.4	13.0	22.1
平均		10.4	20.4	8.6	15.3	3.5	6.8	11.4	19.2

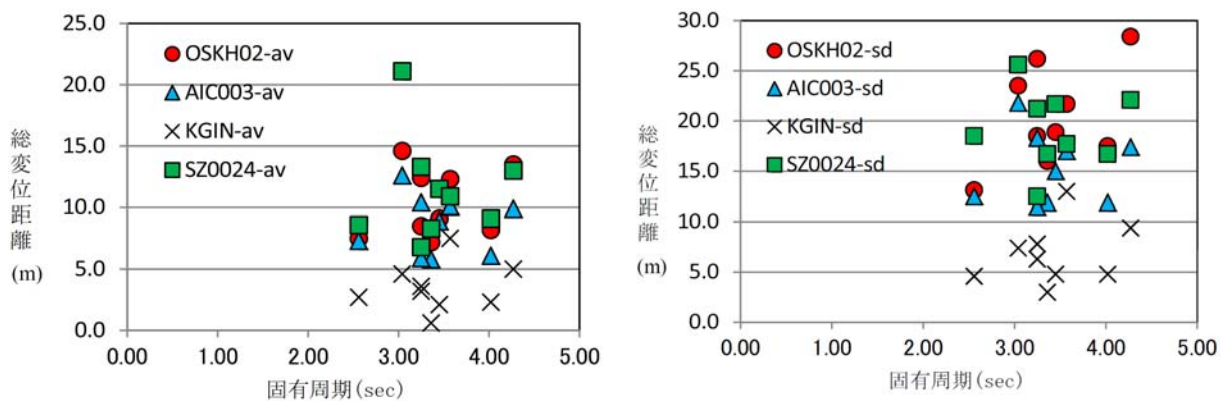


図 5.3-13 吸収エネルギーの95%時における免震層の総変位距離(m)と固有周期

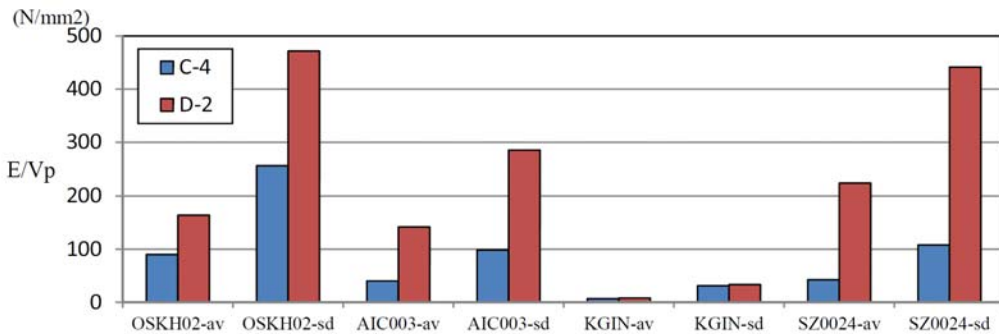


図 5.3-14 LRB の鉛単位体積あたりの吸収エネルギー

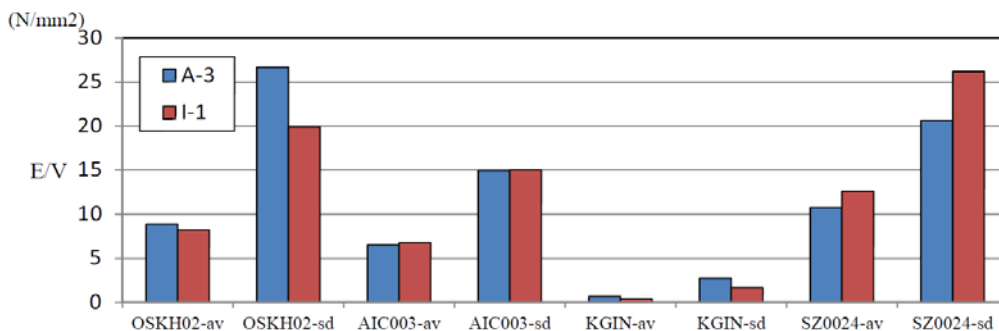


図 5.3-15 高減衰積層ゴムのゴム単位体積あたりの吸収エネルギー

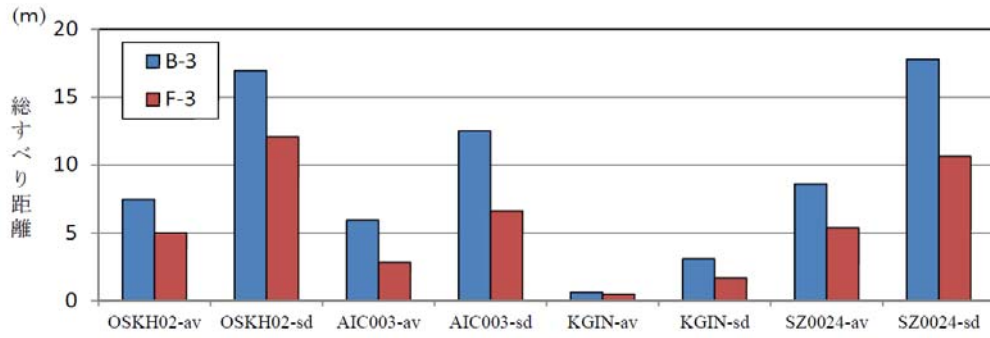


図 5.3-16 弾性すべり支承の総すべり距離

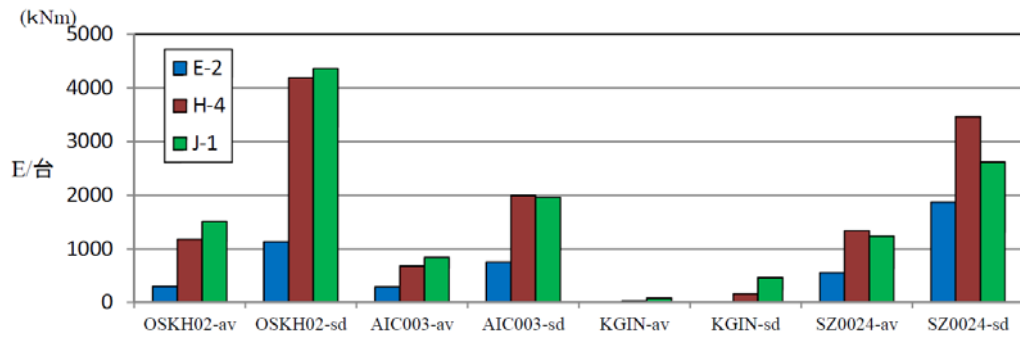


図 5.3-17 鋼材ダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギー

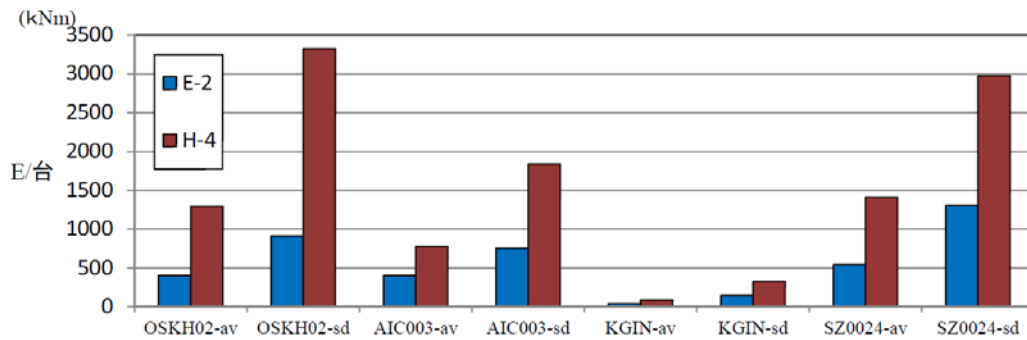


図 5.3-18 鉛ダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギー

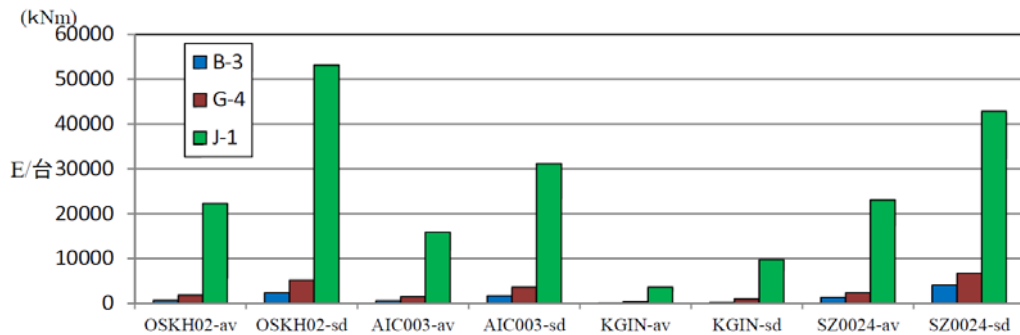


図 5.3-19 オイルダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギー

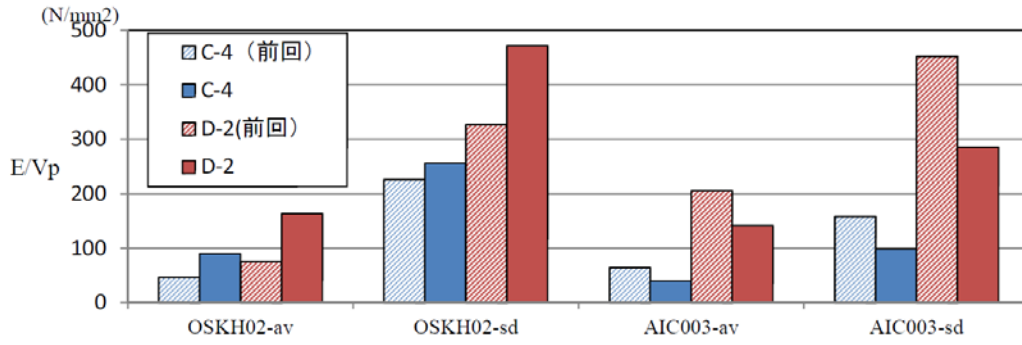


図 5.3-20 LRB の鉛単位体積あたりの吸収エネルギーの前回との比較

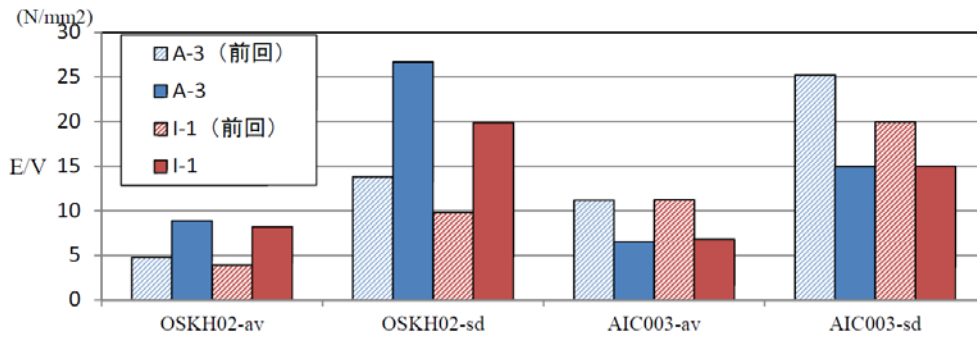


図 5.3-21 高減衰積層ゴムのゴム単位体積あたりの吸収エネルギーの前回との比較

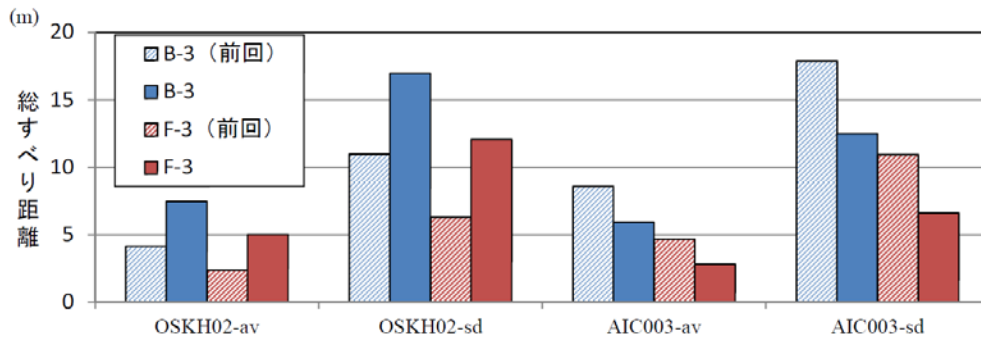


図 5.3-22 弾性すべり支承の総すべり距離の前回との比較

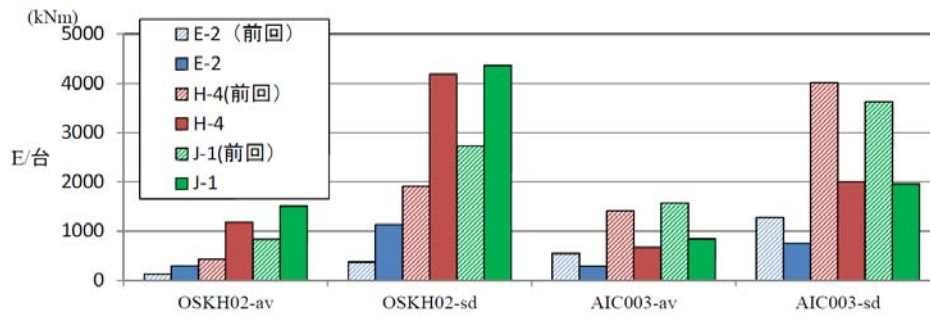


図 5.3-23 鋼材ダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギーの前回との比較

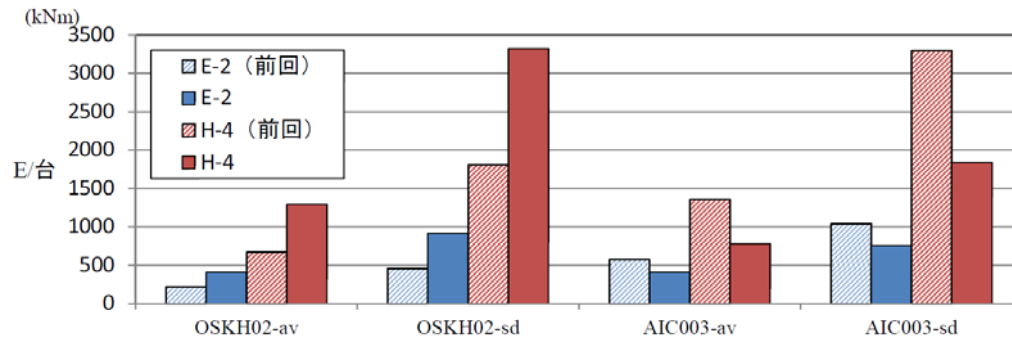


図 5.3-24 鉛ダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギーの前回との比較

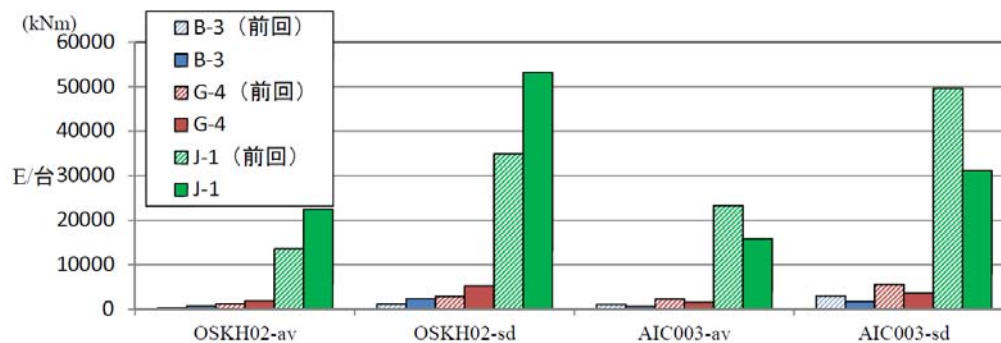


図 5.3-25 オイルダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギーの前回との比較

免震層の総変位距離は同じ固有周期でもややばらつきが大きい。解析した建物の平均値は AV では、KGIN を除き概ね 10m 程度である。SD は KGIN を除き概ね 20m 程度であるが AIC003 は 15m 程度とやや小さい。KGIN は SD でも約 7m とかなり小さい。

LRB の鉛単位体積あたりの吸収エネルギーは AV で最大 98.6N/mm^2 、SD で最大 255.9N/mm^2 となっている。前回の解析と比較すると OSKH02 の AV で 2 倍程度、SD で 1.5 倍程度に大きくなっている。

高減衰積層ゴムのゴム単位体積あたりの吸収エネルギーは AV で最大 12.6N/mm^2 、SD で最大 26.7N/mm^2 となっている。前回の解析と比較すると OSKH02 の AV、SD とともに 2 倍程度に大きくなっている。

弾性すべり支承の総すべり距離は AV で最大 8.6m、SD で最大 17.8m となっている。前回の解析と比較すると OSKH02 の AV、SD とともに 1.5~2 倍程度に大きくなっている。

鋼材ダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギーは AV で最大 1,512kNm、SD で最大 4,365kNm となっている。前回の解析と比較すると OSKH02 の AV、SD とともに 2 倍程度に大きくなっている。

鉛ダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギーは AV で最大 1,411kNm、SD で最大 3,325kNm となっている。前回の解析と比較すると OSKH02 の AV、SD とともに 2 倍程度に大きくなっている。

オイルダンパーの 1 台あたりの吸収エネルギーは AV で最大 23,129kNm、SD で最大 53,175kNm となっている。前回の解析と比較すると OSKH02 の AV、SD とともに 1.5 倍程度に大きくなっている。

(2) 免震部材の吸収エネルギー量に対する考察

1) 鉛プラグ入り積層ゴム

既往の実験によると鉛プラグ入り積層ゴム(LRB)は長周期地震動により、破損等の損傷が生じることはないと考えられるが繰り返し加力による温度上昇に伴い、降伏荷重が低下する。これまでの研究によると、降伏荷重の低下率 ${}_{LRB}k_{\min}$ は LRB が吸収するエネルギー ${}_{LRB}W_p$ を鉛プラグの体積 V_p で除した ${}_{LRB}W_p/V_p$ の関数として式 5.3-1 で評価できるとされている^{5.1)}。

$${}_{LRB}k_{\min} = -0.06 + 1.25 \times \exp\left(-\frac{{}_{LRB}W_p}{V_p} \times \frac{1}{360}\right) \quad (5.3-1)$$

図 5.3-26 に実験結果と式 5.3-1 の比較を示す。なお、図中の(1)式は式 5.3-1 を意味する。

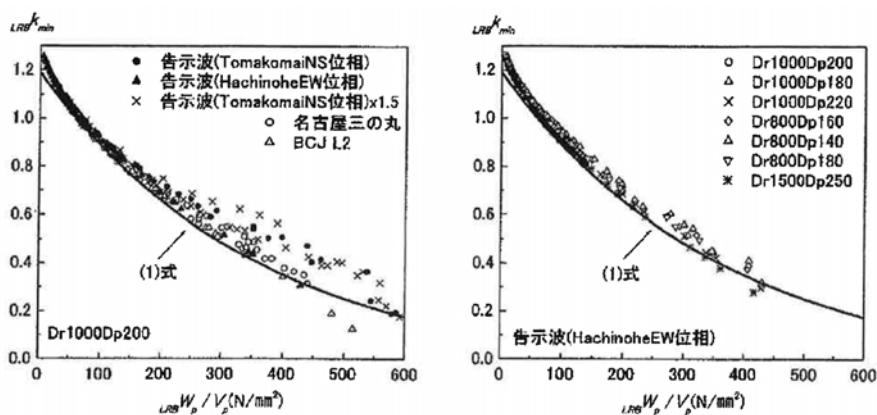


図 5.3-26 ${}_{LRB}k_{\min}$ と ${}_{LRB}W_p$ の関係

今回の解析において、鉛単位体積当たりの吸収エネルギーは AV で最大 98.6N/mm^2 、SD で最大 255.9N/mm^2 となっており、式 5.3-1 によると、降伏荷重の低下率 ${}_{LRB}k_{\min}$ は AV で 0.89、SD で 0.55 となっている。このことから、SD では降伏荷重の低下を考慮すると変位はかなり大きくなると思われる。

2) 高減衰積層ゴム

既往の実験によると高減衰積層ゴムも LRB と同様に長周期地震動により、破損等の損傷が生じることはないと考えられるが繰り返し加力による温度上昇に伴い、等価剛性が低下する。これまでの研究によると、等価剛性の低下率 $K_{eq}/{}_0K_{eq}$ は高減衰積層ゴムが吸収するエネルギー E を高減衰積層ゴムの体積 V_r で除した E/V_r の関数として式 5.3-2 で評価できるとされている^{5.2)}。

$$\frac{K_{eq}}{{}_0K_{eq}} = -2.56 + 0.18 \times \exp\left(-\frac{E}{2V_r}\right) + 3.36 \exp\left(-\frac{E}{3000V_r}\right) \quad (5.3-2)$$

図 5.3-27 に $K_{eq}/{}_0K_{eq}$ と E/V_r の関係を示す。 E/V_r が 5N/mm^2 程度までに急激に $K_{eq}/{}_0K_{eq}$ は低下するが、 5N/mm^2 以上では大きな変化はなく、概ね 0.8 程度である。

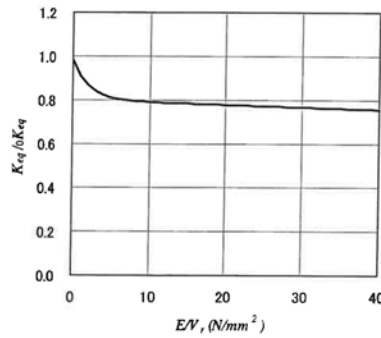


図 5.3-27 $K_{eq}/_0K_{eq}$ と E/V_r の関係

今回の解析において、ゴム単位体積当たりの吸収エネルギーは AV で最大 12.6N/mm^2 、 SD で最大 26.7N/mm^2 となっており、式 5.3-2 によると等価剛性の低下率 $LRBk_{min}$ は AV で 0.79 、 SD で 0.77 となっている。このことから、 SD では等価剛性の低下を考慮すると変位はもう少し大きくなると思われる。

3) 弾性すべり支承

弾性すべり支承には、高摩擦タイプ（摩擦係数 $\mu=0.13$ 程度）、中摩擦タイプ（ $\mu=0.075$ 程度）、低摩擦タイプ（ $\mu=0.015$ 程度）の 3 タイプある。これまでに、それぞれのタイプの弾性すべり支承の繰り返し実験が行われているが、いずれも繰り返しによりすべり材の温度が上昇し、それともない摩擦係数が変動している。本検討では、モデル B-3 は低摩擦、モデル F-3 は中摩擦を使用している。

図 5.3-28 に低摩擦タイプの累積すべり変位と摩擦係数の関係を示す^{5.3)}。繰り返しにより摩擦係数は低下するが、40 サイクル（累積すべり変位 24m ）程度からは安定している。低下した摩擦係数は設計値の約 70% 程度である。図 5.3-29 に中摩擦タイプの累積すべり変位と摩擦係数の関係を示す。累積変位が 10m 程度まで、急激に摩擦係数が低下し約 70% 程度となるが、 10m を越えると低下は著しく減少する。また、時間をおいて再度加振すると特性はほぼ、元に戻っている。

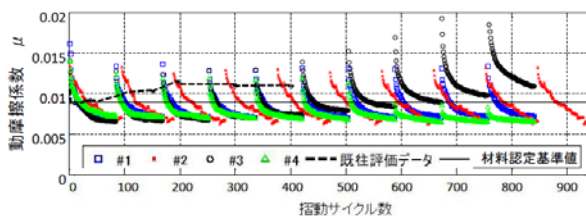


図 5.3-28 累積すべり変位と摩擦係数
(低摩擦)

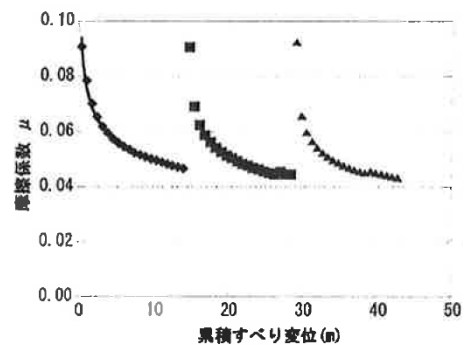


図 5.3-29 累積すべり変位と摩擦係数
(中摩擦)

今回の解析において、累積すべり距離は低摩擦タイプの B-3 モデルで AV で最大 8.6m 、 SD で最大 17.8m となっている。図 5.3-27 より摩擦係数の低下はややあるが、低摩擦タイプは摩擦

係数が非常に小さく、すべり支承が建物の減衰性能に占める割合は非常に小さいため応答には大きな影響はないものと思われる。中摩擦タイプの F-3 モデルでは AV で最大 5.4m、SD で最大 12.1m となっており、図 5.3-29 より SD では摩擦係数は 70% 程度まで小さくなっており、これを考慮すると応答変位はやや大きくなると思われる。

4) 鋼材ダンパー

鋼材ダンパーは鋼材の塑性変形によりエネルギーを吸収するものであり、長時間の繰り返し载荷をうけると疲労破壊する。疲労特性については、定振幅繰り返し载荷試験をもとに疲労曲線が求められており、ダンパーの時刻歴応答変位をもとにマイナー則により疲労予測を行うことが出来る。ここでは、近年よく用いられている U 型ダンパーについて疲労曲線を示す。

U 型ダンパーには 5 種類サイズがあるが、ここでは真ん中のシリーズである NSUD50 シリーズの疲労曲線を示す。図 5.3-30 に小～大振幅の疲労特性を示す。図中の (4) 式を式 5.3-3 に示す^{5.4)}。

$$\gamma_t = 35 \times N_f^{0.15} + 3620 \times N_f^{0.80} \quad (5.3-3)$$

N_f : 破断までの繰り返し回数 γ_t : 全振幅 / ダンパーロッド高さ

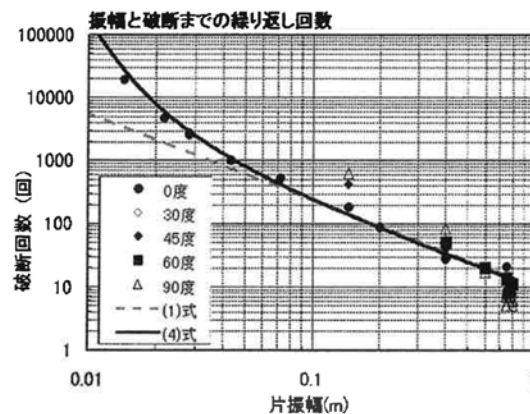


図 5.3-30 U 型ダンパーの疲労特性

前回の検討時に、式 5.3-3 を用いてマイナー則による検討を行った。その結果は 1 台あたりの吸収エネルギーが最大であった J-1 モデルで疲労損傷度 D 値 = 0.40 であった。今回の検討では吸収エネルギーが 1.6 倍になっており、単純にその倍率で D 値を割り増すと D = 0.64 となり 1.0 以下となる。

5) 鉛ダンパー

鉛ダンパーは鉛の塑性変形によりエネルギーを吸収するものであり、長時間の繰り返し载荷をうけると破断する。破断と繰り返し回数の関係については、定振幅繰り返し载荷試験をもとに式が求められており、ダンパーの時刻歴応答変位をもとにマイナー則により疲労予測を行うことが出来る。

図 5.3-31 に鉛ダンパーの振幅と破断時繰り返し回数の関係を示す。鉛ダンパーには U180 タイプと U2426 タイプがあるが、ダンパー種類にかかわらず破断時繰り返し回数は以下の式で表現できる。

$$Nd=8.84 \times 10^5 \times \delta^{-1.74} = 8.84 \times 10^5 \times (\Delta/2)^{-1.74} \quad (5.3-4)$$

Nd : 破断までの繰返し回数 δ : 片振幅(mm) Δ : 全振幅(mm)

近年の研究では、鉛ダンパーは破断の前に亀裂が発生することが明らかになった。図 5.3-31 には亀裂の発生する繰返し回数の回帰式も示している^{5.5)}。

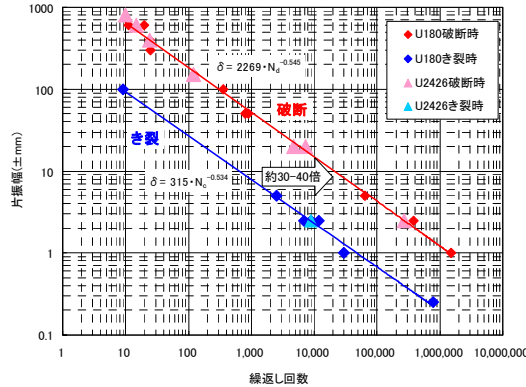


図 5.3-31 鉛ダンパーの振幅と破断時繰返し回数の関係

前回の検討時に、式 5.3-4 を用いてマイナー則による検討を行った。その結果は 1 台あたりの吸収エネルギーが最大であった H-4 モデルの AIC003-SD (E=3, 297kNm) で疲労損傷度 D 値 = 0.18 であった。今回の検討では吸収エネルギーの最大は H-4 モデルの OSKH02-SD (E=3, 325kNm) であり、吸収エネルギーは前回の 1.01 倍程度であり、単純に考えると、今回の疲労損傷度 D 値も限界値 1.0 に対し余裕があると考えられる。しかしながら、図 5.3.31 に示したように、破断回数の 1/30~1/40 程度の回数で亀裂が生じることが近年明らかになっており、今回の検討結果では亀裂は生じていると考えられる。

6) オイルダンパー

オイルダンパーは、温度上昇や繰返し回数によって、エネルギー吸収性能は変化しないことは知られている。しかし、単位時間当たりの入力熱量がオイルダンパーの熱容量を超え、外壁温度が上昇していくと作動油の滲み出しが生じるという知見がある。

設計限界温度は、タンク室の油量は余裕があるので直ちに減衰低下は生じないので、現状は余裕を見て外壁温度 80°C を許容値としている。また、パッキンについては熱劣化試験を行い温度と寿命の関係データから安全を確認している。

オイルダンパーの温度上昇については、地震動は瞬間的であり、放熱量が小さいため、入力エネルギーのほとんどが温度上昇に反映されると考えると、下式により推定することができる。

$$T_m = \frac{Q_m}{V_s \rho_s C_s + V_o \rho_o C_o} + t_a \quad \dots \dots \dots (5.3.5)$$

ここで、Q_m : オイルダンパへの総入力熱量、T_m : 表面温度

V_s : 鉄鋼部品の体積、V_o : オイル体積、ρ_s : 鉄鋼部品の密度、

C_s : 鉄鋼部品の比熱比、ρ_o : オイル密度、C_o : オイルの比熱比

前回の検討では、J-1 モデルの温度上昇が最も大きく、AIC003-SD で 42.9°C であった。今回の検討では J-1 モデルの OSKH02-SD が最もダンパー 1 台あたりのエネルギー吸収量は多く、式

5.3.5 により温度を算定すると 44.5°Cであった。これはダンパーの許容値 80°Cよりかなり低く、問題はないと考えられる。

参考文献

- 5.1) 本間友規他：大振幅繰返し変形を受ける積層ゴム支承の熱・力学的連成挙動に関する研究（その 13 エネルギーの釣合いに基づく応答予測式の導出）、日本建築学会大会梗概集、2009.8
- 5.2) 早川修平他：大振幅繰返し変形を受ける積層ゴム支承の熱・力学的連成挙動に関する研究（その 14 高減衰積層ゴムの各種依存性を考慮した K_{eq} と履歴エネルギーの関係式の提案）、日本建築学会大会梗概集、2009.8
- 5.3) 嶺脇 重雄他：長周期地震動に対する免震部材の多数回繰返し実験（その 5 弾性すべり支承（低摩擦））、日本建築学会大会梗概集、2011.8
- 5.4) 吉敷 他：免震構造用 U 字形鋼材ダンパーの繰返し変形性能に関する研究、日本建築学会構造系論文集 第 73 巻 第 624 号、2008.2
- 5.5) 安永 亮他：鉛ダンパーの風応答に関する研究、（その 2 微小変位での高サイクル疲労特性）、日本建築学会大会梗概集、2010.9

5-4 戸建住宅に対する検討

戸建て免震住宅は2,3階建てで、建物重量もある範囲内であるため、同一の免震装置構成（以下、免震システム）で設計されることが多い。本検討では実用化されている戸建て用免震システムとして代表的な、転がり系とすべり系の免震システムについて解析を行う。表5.4-1に解析に用いた特性を示す。

表 5.4-1 免震層の代表モデルの特性

免震システム	摩擦係数	接線剛性	粘性減衰定数
転がり系	$\mu=0.005$	$T_t=3s$	$h_v=20\%, 25\%$ ($T_t=3s$ 時の剛性 k_t 比例型)
すべり系	$\mu=0.05$	$T_t=3s, 4s$	$h_v=0\%$

上部架構をバイリニア+スリップ型の復元力モデル（図5.4-1）に、時刻歴解析に用いる質点モデルを図5.4-2に示す。尚、戸建て免震住宅の場合、免震層上部の床組みは通常鉄骨土台（S）を用いることが多いが、厚さ200mmの鉄筋コンクリート床版（RC）を用いた場合の質量分布でも検討を行う。解析の用いた地震動は、OSKH02, AIC003, KGIN, SZ0024 地点でそれぞれ平均（AV）と平均+標準偏差（SD）の2波を採用する。

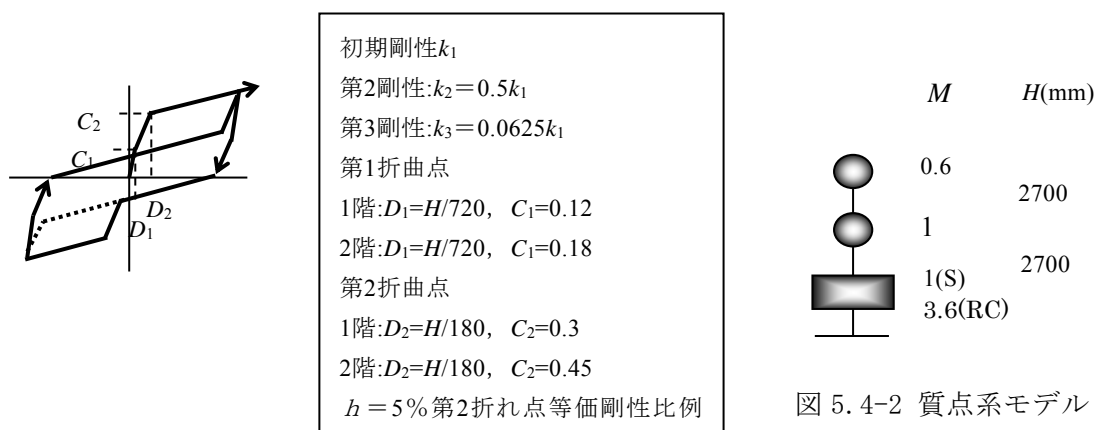


図 5.4-1 上部架構復元力モデル

図5.4-3に転がり系 $h_v=20\%$ の応答結果を、図5.4-4に転がり系 $h_v=25\%$ の応答結果を示す。また、図5.4-5にすべり系 $T_t=3s$ の応答結果を、図5.4-6にすべり系 $T_t=4s$ の応答結果を示す。

転がり支承では $h_v=20\%$ では、SZ0024-SD 以外は免震層変位は一般的な戸建て用免震装置の限界変位（約35cm）、上部架構は降伏せん断力係数（ $C=0.3$ ）に対して十分余裕がある結果となっているが、SZ0024-SD では変位が40cm程度と非常に大きくなっている。 $h_v=25\%$ ではSZ0024-SD の変位は限界変位35cmをやや下回る程度となっている。

すべり系では $T_t=3s$ ではSZ0024-SDにおいて免震層の変位が50cm程度と非常に大きくなっており、一般的な限界変位を超えている。 $T_t=4s$ ではすべての場合に免震層の変位が30cm以下となっている。

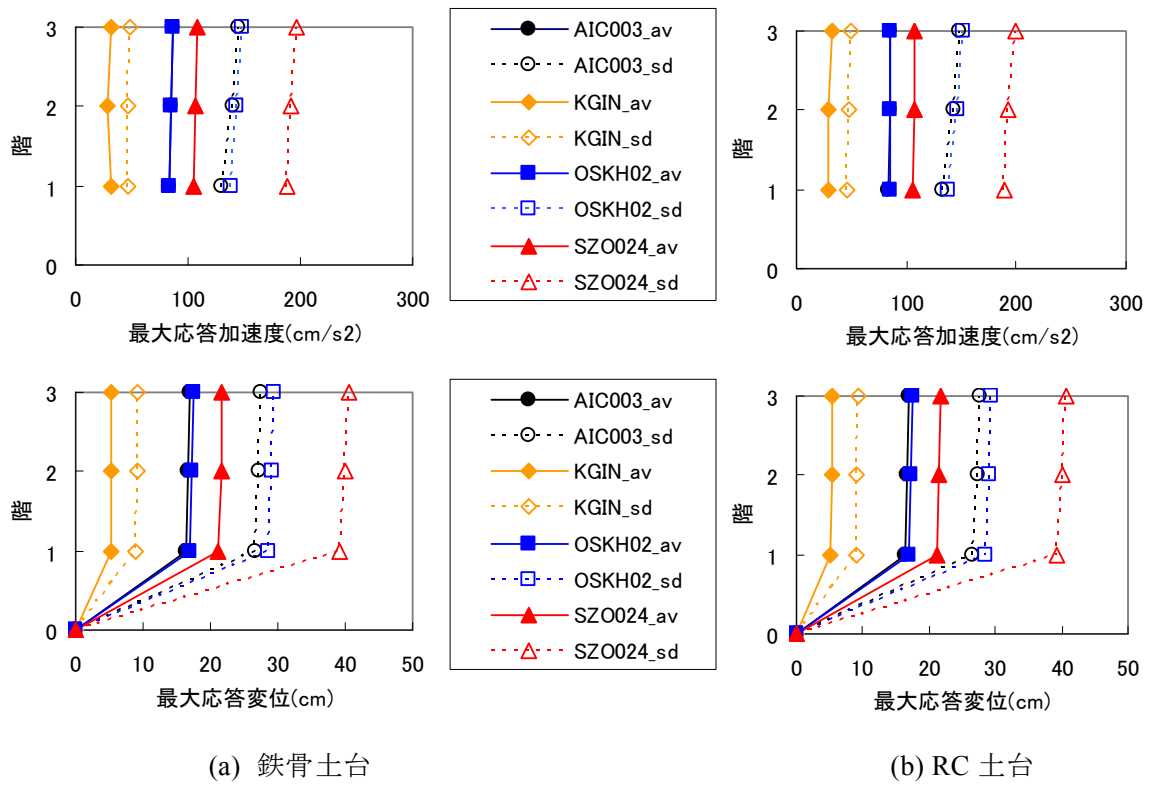


図 5.4-3 転がり系 $h_v=20\%$ 応答解析結果

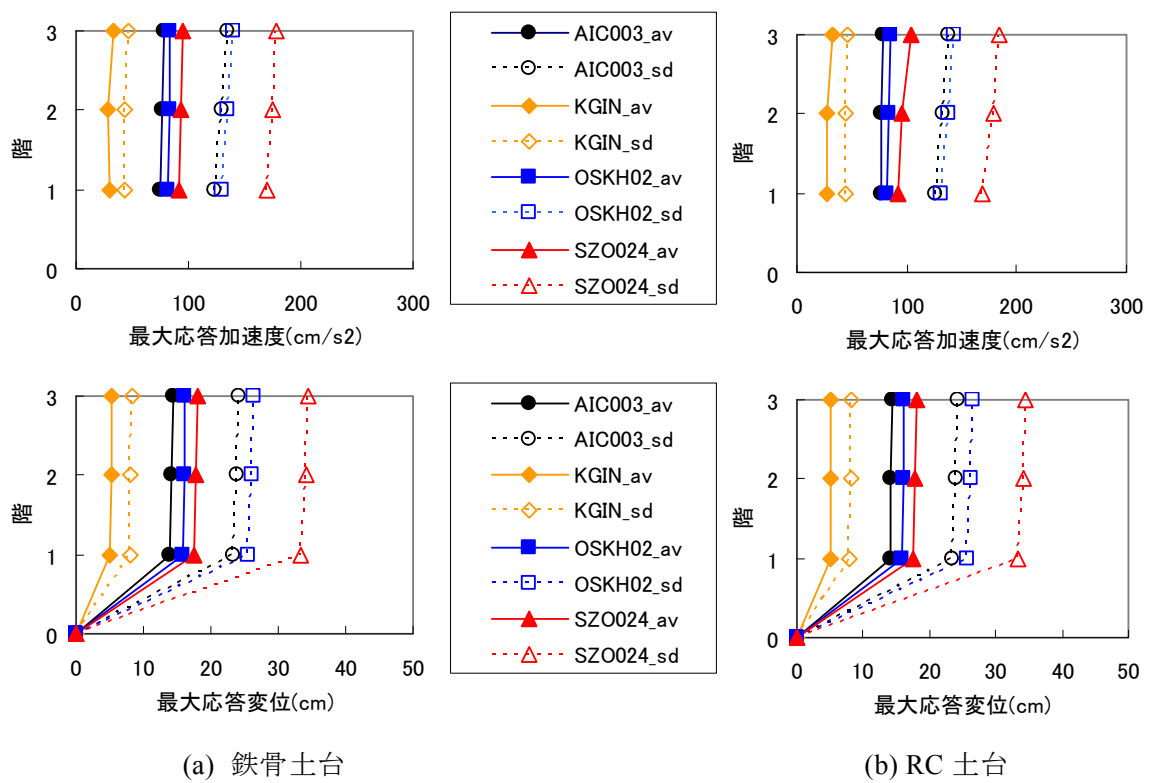


図 5.4-4 転がり系 $h_v=25\%$ 応答解析結果

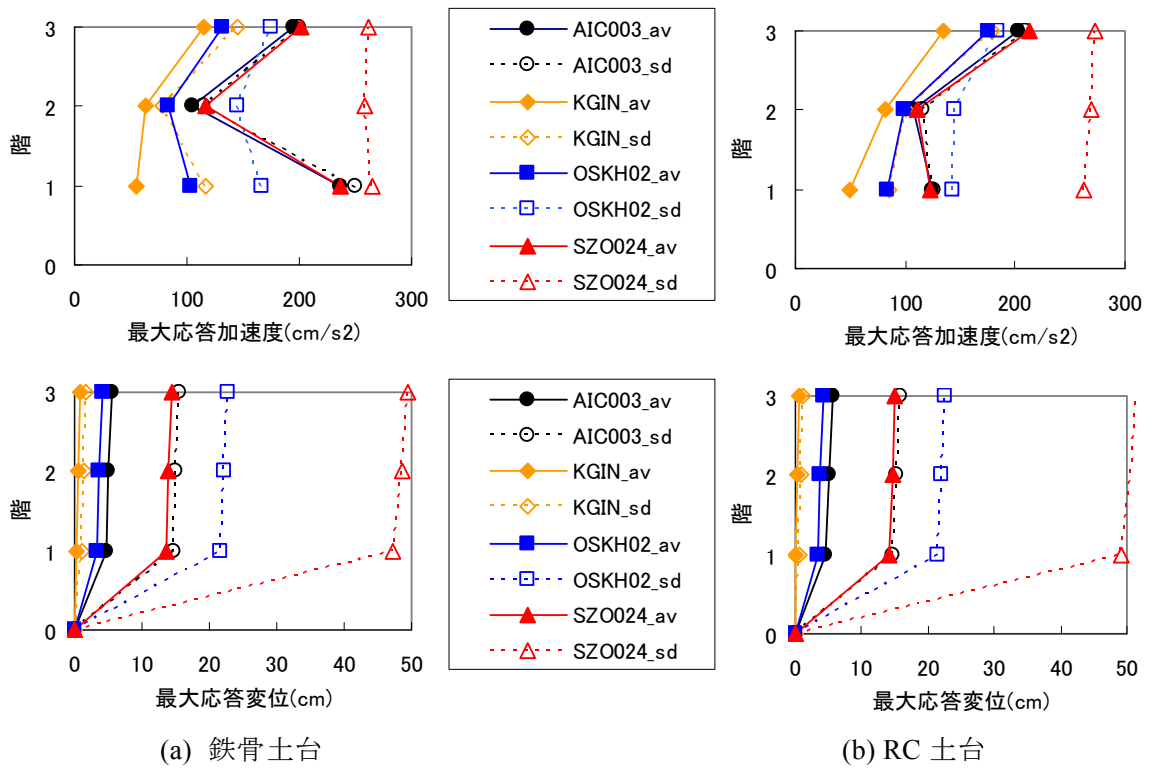


図 5.4-5 すべり系 $T_t=3s$ 応答解析結果

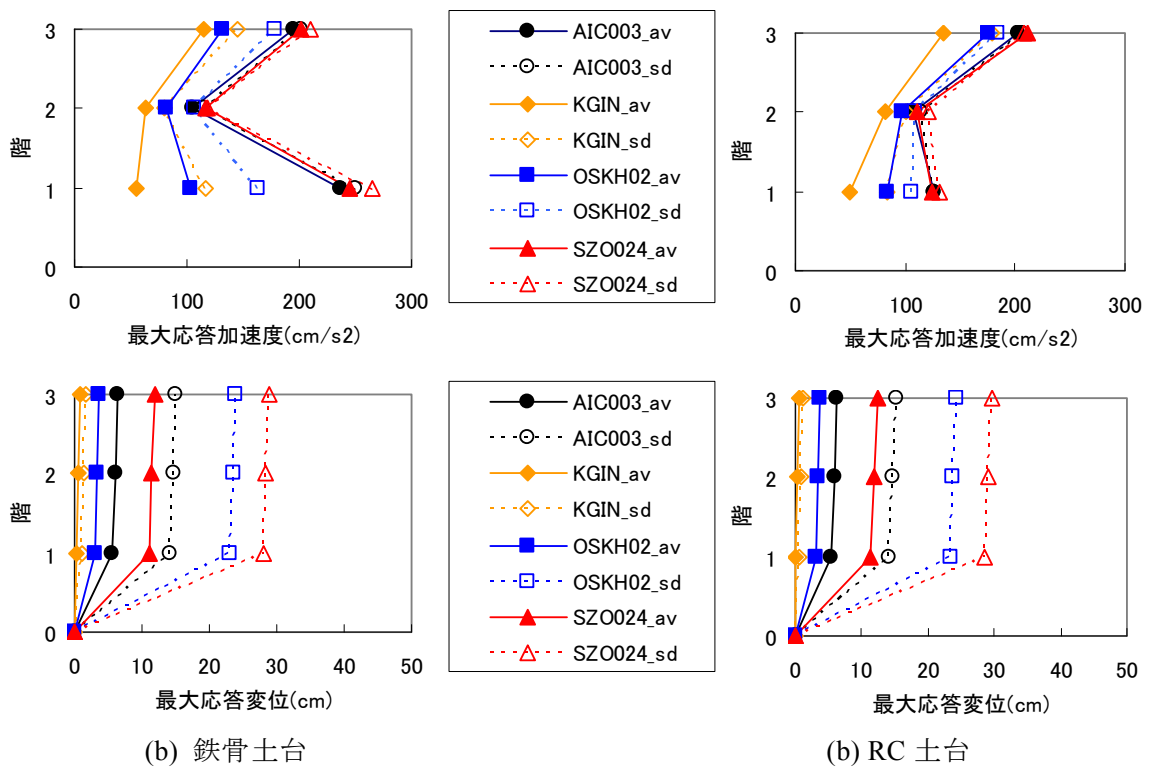


図 5.4-6 すべり系 $T_t=4s$ 応答解析結果

5-5 地震動のばらつきに関する検討

本検討に用いている地震動の作成方法では、作成時に用いた乱数の値によって異なった波が無数に作成される。連動地震の場合には、複数の波を足し合わせるため、地震動のばらつきは大きくなると思われる、本検討用の地震動の作成にあたっては、乱数を変えた 21 波を作成し、下記のルールのもとで検討波として 1 波を選定している。

- ・ 5%減衰の擬似応答スペクトルの平均値に対し周期1～10秒の残差の和が最少
- ・ エネルギースペクトルの平均に対する残差の和が正で、かつ残差の絶対値が最小

本章では、選定する前の21波を用いて、1質点系の非線形モデルを用いたパラメトリックスタディを行い、地震動のばらつきの大きさ、及び今回採用波の選定方法の妥当性を検討する。

(1) 解析モデル

解析には図 5.5-1 に示すように 1 質点系モデルを用いた。

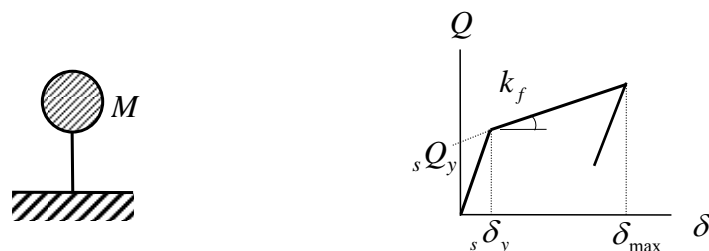


図 5.5-1 解析モデル

免震層はノーマルバイリニア型で降伏変位 ${}_s\delta_y$ は 1cm で固定している。降伏後剛性 K_f は、免震周期から逆算した。免震周期は約 1 秒から 10 秒まで変化させた。降伏せん断力（切片荷重） ${}_sQ_y$ は、ダンパーの降伏せん断力係数 α_s が 0.02、0.03、0.04 となるように設定した。

(2) 入力地震動

解析に使用する地震動は、下記の 4 地点で計算されたものを使用する。

津島 (AIC003) ・ 新宿 (KGIN) ・ 此花 (OSKH02) ・ 浜松 (SZO024)

それぞれの計算地点において、21 個の異なる乱数から作成された地震動とその平均（あるいは平均+標準偏差）の計 21 波を用いて最大応答変位を求めた。

表 5.5-1 と表 5.5-2 に地震動の最大加速度を示す。ここにおいて、採用波とは上記の選定基準により選定され、今回の検討書において採用している地震動である。

表 5.5-1 入力地震動（平均）の最大加速度（gal）

地震波	AIC003	KGIN	OSKH02	SZO024
採用波	199.40	42.11	98.49	576.78
#1	172.76	40.64	87.75	514.20
#2	181.65	40.66	88.15	515.75
#3	182.90	40.92	88.59	533.51
#4	183.30	40.94	89.84	533.59
#5	189.57	41.21	89.88	540.07
#6	189.81	41.42	90.27	543.80
#7	190.61	41.47	90.38	544.50
#8	194.60	41.64	91.75	548.00
#9	199.40	41.93	92.00	560.81
#10	200.45	42.11	92.03	563.30
#11	202.61	42.51	92.47	563.53
#12	203.83	43.03	93.05	565.88
#13	205.21	43.67	93.27	576.78
#14	207.53	43.75	93.27	582.12
#15	210.82	43.76	94.08	583.81
#16	211.46	44.20	94.14	597.66
#17	212.52	44.76	97.30	600.06
#18	213.37	44.88	97.35	624.64
#19	214.09	45.23	97.87	626.35
#20	217.63	45.35	98.49	629.92
#21	217.86	45.46	99.08	642.81

表 5.5-2 入力地震動（平均+標準偏差）の最大加速度（gal）

地震波	AIC003	KGIN	OSKH02	SZO024
採用波	380.37	77.24	147.15	1069.40
#1	378.84	69.45	145.89	975.73
#2	380.37	69.66	146.77	975.87
#3	389.78	69.97	147.15	976.67
#4	396.04	69.97	147.21	977.24
#5	398.79	70.27	148.91	977.48
#6	401.29	70.34	148.98	979.46
#7	418.01	70.98	149.41	984.48
#8	418.52	71.14	149.85	1015.19
#9	419.90	71.61	149.98	1069.40
#10	421.84	72.37	151.23	1072.61
#11	427.27	72.38	151.56	1099.57
#12	434.81	73.85	153.69	1102.64
#13	442.09	74.00	153.93	1106.61
#14	445.18	76.30	154.42	1114.51
#15	463.33	76.88	160.34	1115.44
#16	466.52	76.90	162.69	1162.57
#17	475.47	77.21	162.78	1163.22
#18	481.01	77.24	162.98	1170.11
#19	486.40	78.50	163.31	1180.59
#20	486.72	79.75	166.32	1198.94
#21	488.83	80.89	168.89	1207.91

(3) 解析結果

最大応答変位と免震周期の関係を図 5.5-2～図 5.5-4 に示す。降伏せん断力係数が大きくなることで、最大変位は減少しているものの、最大変位のばらつきはそれほど変わっていない。AIC003 と SZ0024 の応答変位は免震周期 2～3 秒付近でピークを示し、免震周期が長くなると応答変位は小さくなる傾向を示す。一方、新宿と此花は周期が長くなるとともに最大変位も大きくなる傾向を示す。特に新宿では降伏せん断力係数が 0.02 の場合、周期が 4 秒を超えたあたりからの変位の増加が激しい。

表 5.5-3 に免震周期 4 秒付近での最大応答変位のばらつきを示す。AIC003、KGIN、OSKH02 では応答変位の最小値と最大値では 2 倍程度の差が見られる。SZ0024 では最小と最大の差は 3 倍程度となっている。また、降伏せん断力係数が小さくなるとばらつきの幅も若干拡大する傾向にある。平均の地震動（図中の赤線）は、OSKH02 のケースでは中央値から高めの応答を示すものの、それ以外の地点では中央よりも小さめの応答を示している。

地震エネルギー入力等の等価速度と免震周期の関係を図 5.5-5～図 5.5-7 に示す。エネルギー入力の等価速度のばらつきは、最大応答変位に比べて小さい。表 5.5-4 に免震周期 4 秒での等価速度のばらつき（最小値と最大値の差分）を示す。表中の V_e 値は周期 4 秒でのエネルギー入力の等価速度の値である。エネルギー入力の値とばらつきは、降伏せん断力係数の違いによってもそれほど大きな影響は受けず、安定した値を示している。

表 5.5-3 免震周期 4 秒での最大応答変位のばらつき

入力レベル	α_s	AIC003	KGIN	OSKH02	SZO024
平均	0.02	18～30cm	3～10cm	20～35cm	20～50cm
	0.03	13～25cm	2～3.5cm	11～28cm	15～45cm
	0.04	10～20cm	2～3cm	10～23cm	13～40cm
平均+標準偏差	0.02	30～60cm	7～20cm	40～70cm	40～120cm
	0.03	22～46cm	4～10cm	20～50cm	30～90cm
	0.04	20～40cm	2～6cm	17～40cm	30～80cm

表 5.5-4 免震周期 4 秒でのエネルギー入力の等価速度のばらつき

入力レベル	α_s	AIC003	KGIN	OSKH02	SZO024
平均	0.02	25cm/s	25cm/s	50cm/s	40cm/s
	0.03	25cm/s	20cm/s	30cm/s	45cm/s
	0.04	30cm/s	20cm/s	30cm/s	50cm/s
	V_e 値	150～ 200cm/s	50cm/s 以下	150～ 200cm/s	200～ 250cm/s
平均+標準偏差	0.02	50cm/s	30cm/s	70cm/s	70cm/s
	0.03	60cm/s	30cm/s	40cm/s	70cm/s
	0.04	50cm/s	30cm/s	45cm/s	75cm/s
	V_e 値	250～ 300cm/s	100cm/s 以 下	300cm/s	300～ 400cm/s

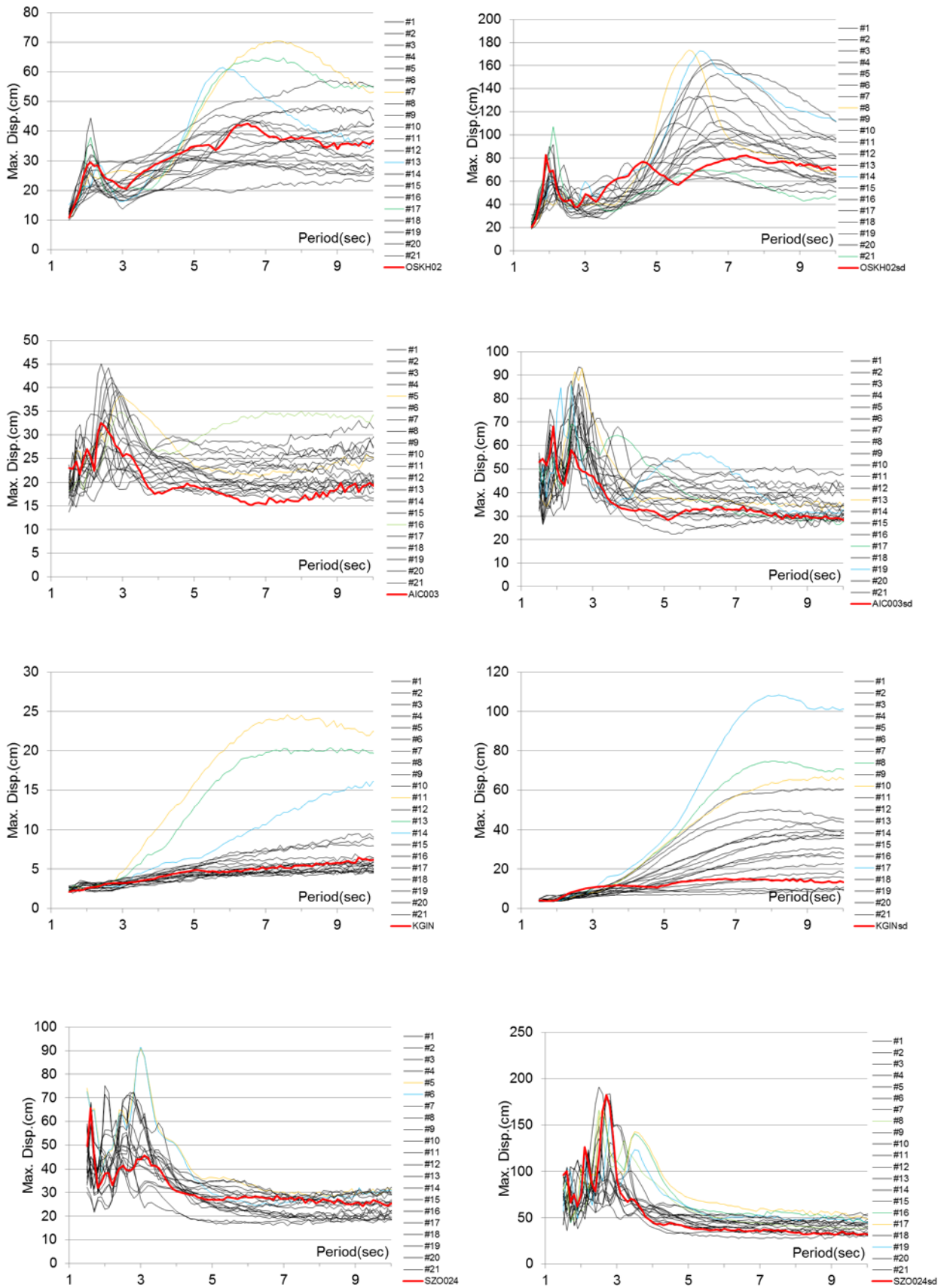


图 5.5-2 最大応答変位 ($\alpha = 0.02$) [左図：平均 右図：平均+標準偏差]

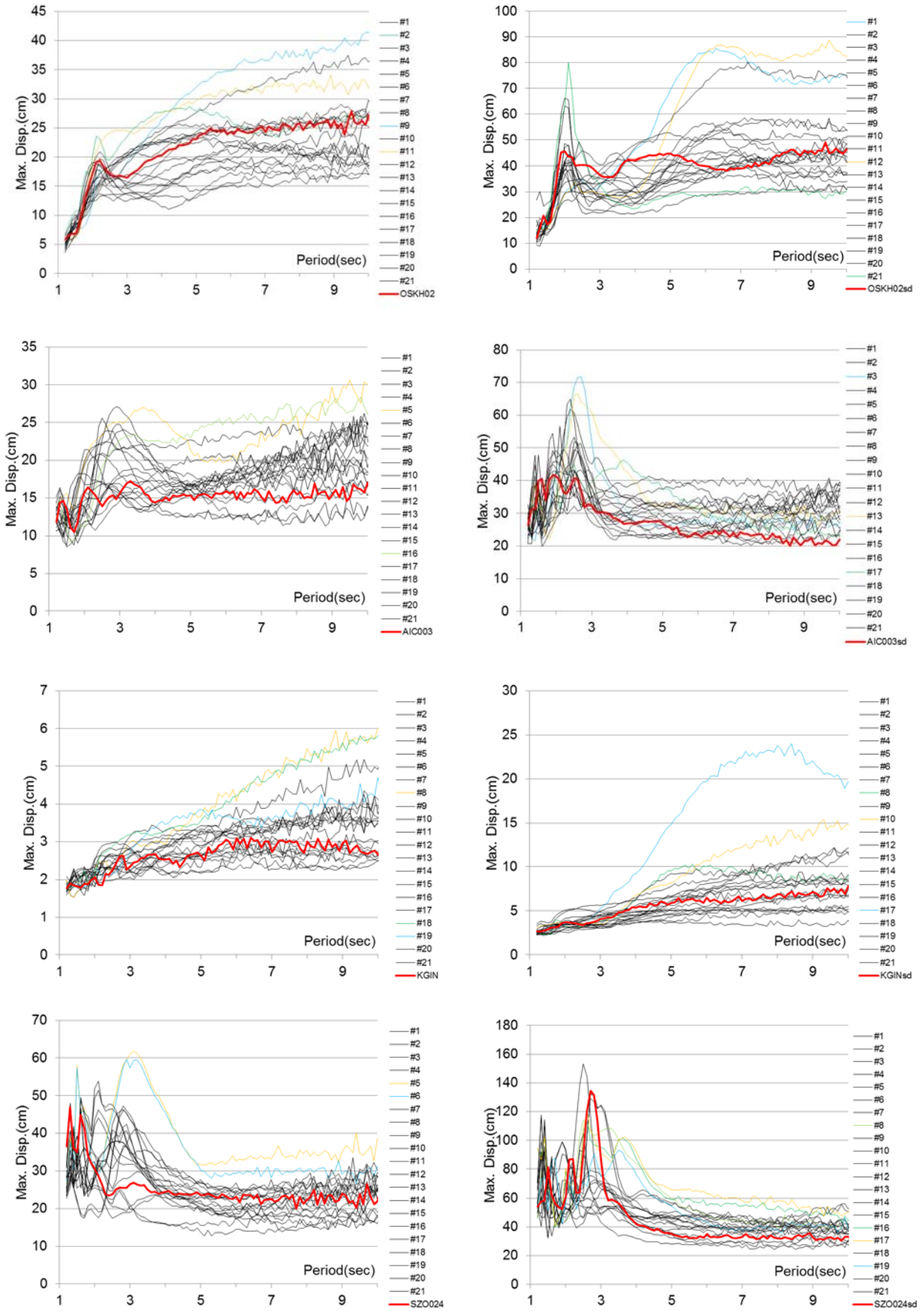


图 5.5-3 最大応答変位 ($\alpha = 0.03$) [左図：平均 右図：平均+標準偏差]

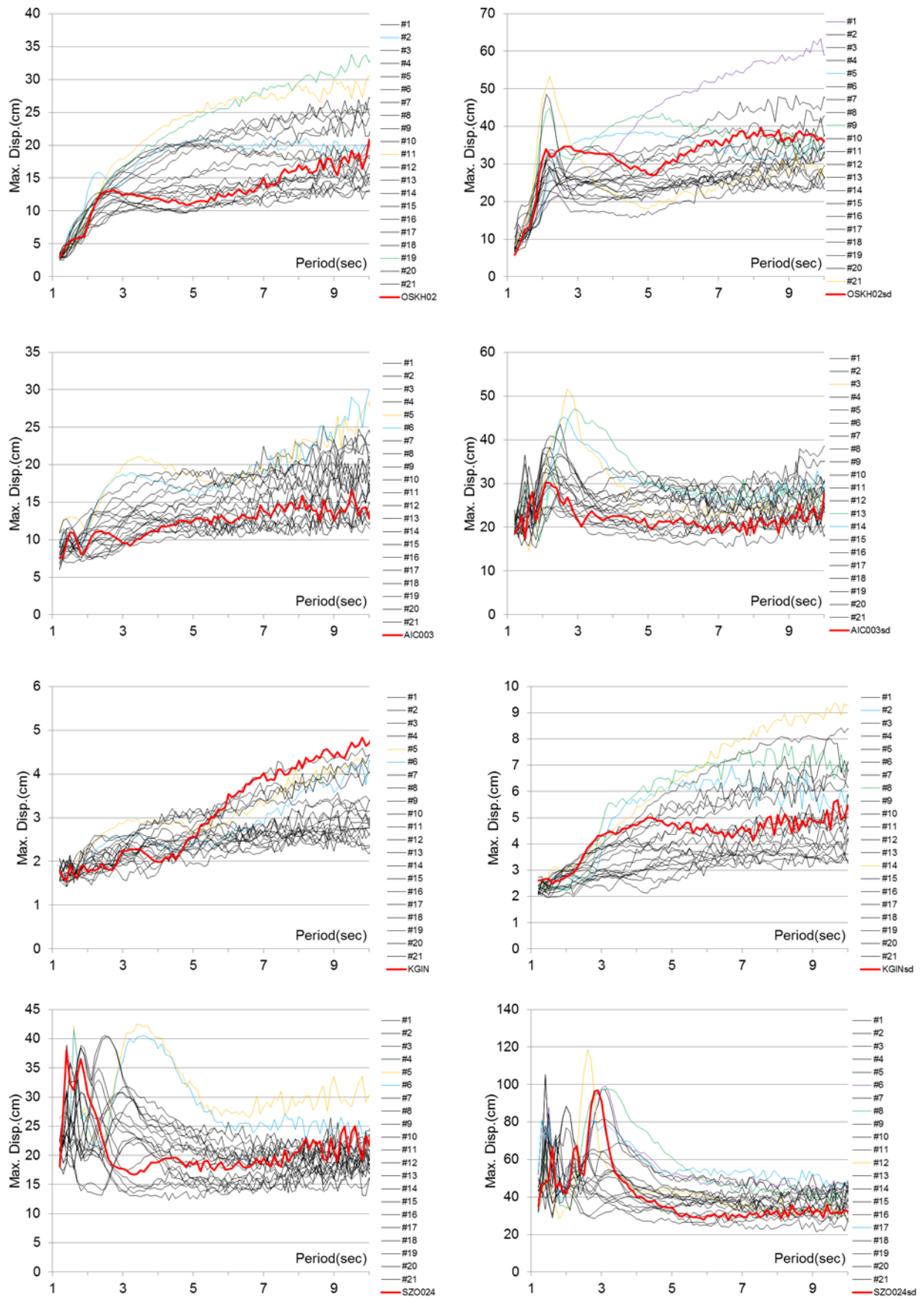


图 5.5-4 最大応答変位 ($\alpha = 0.04$) [左図：平均 右図：平均+標準偏差]

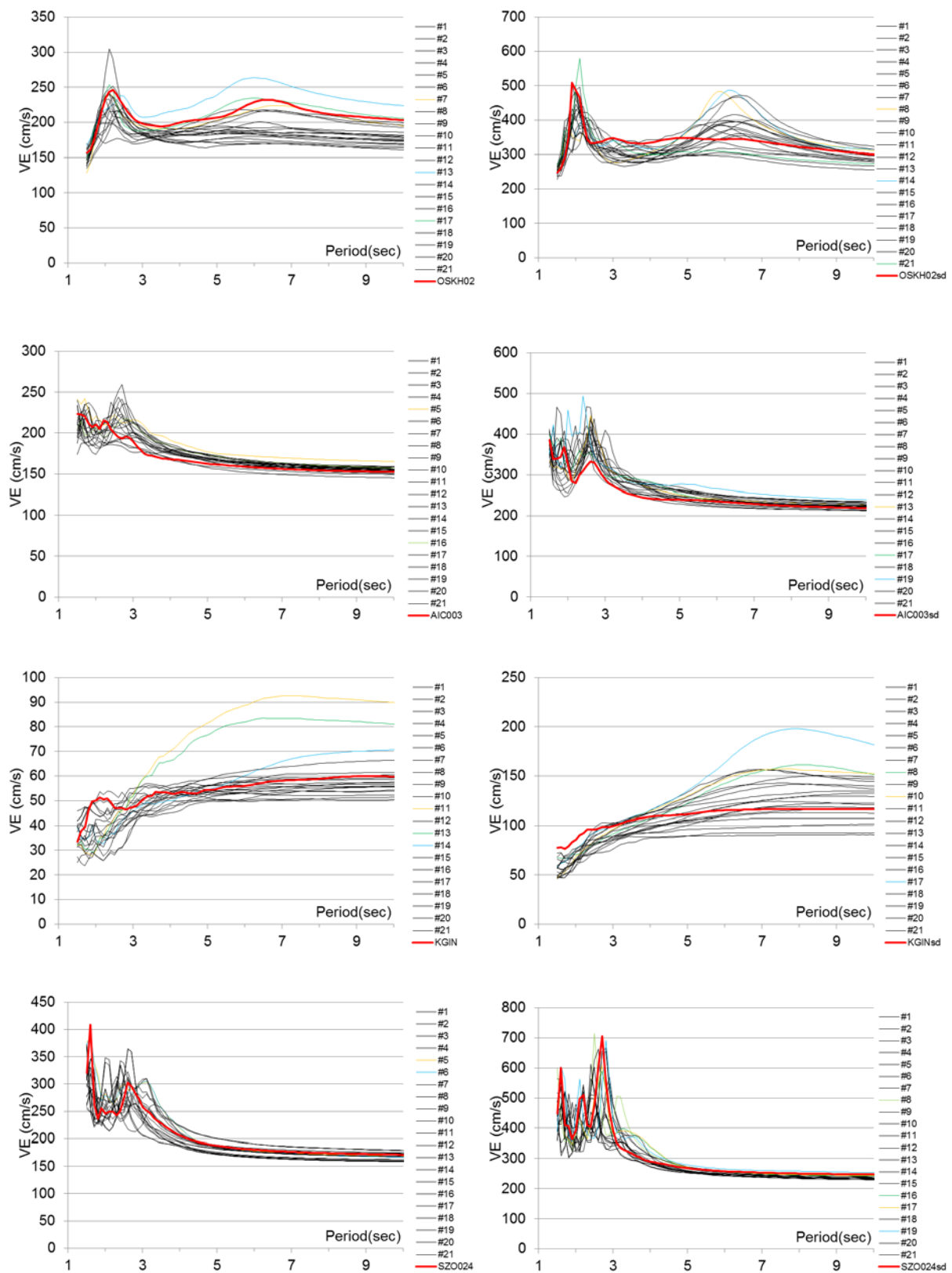


図 5.5-5 地震エネルギー入力の場合速度 ($\alpha = 0.02$) [左図：平均 右図：平均+標準偏差]

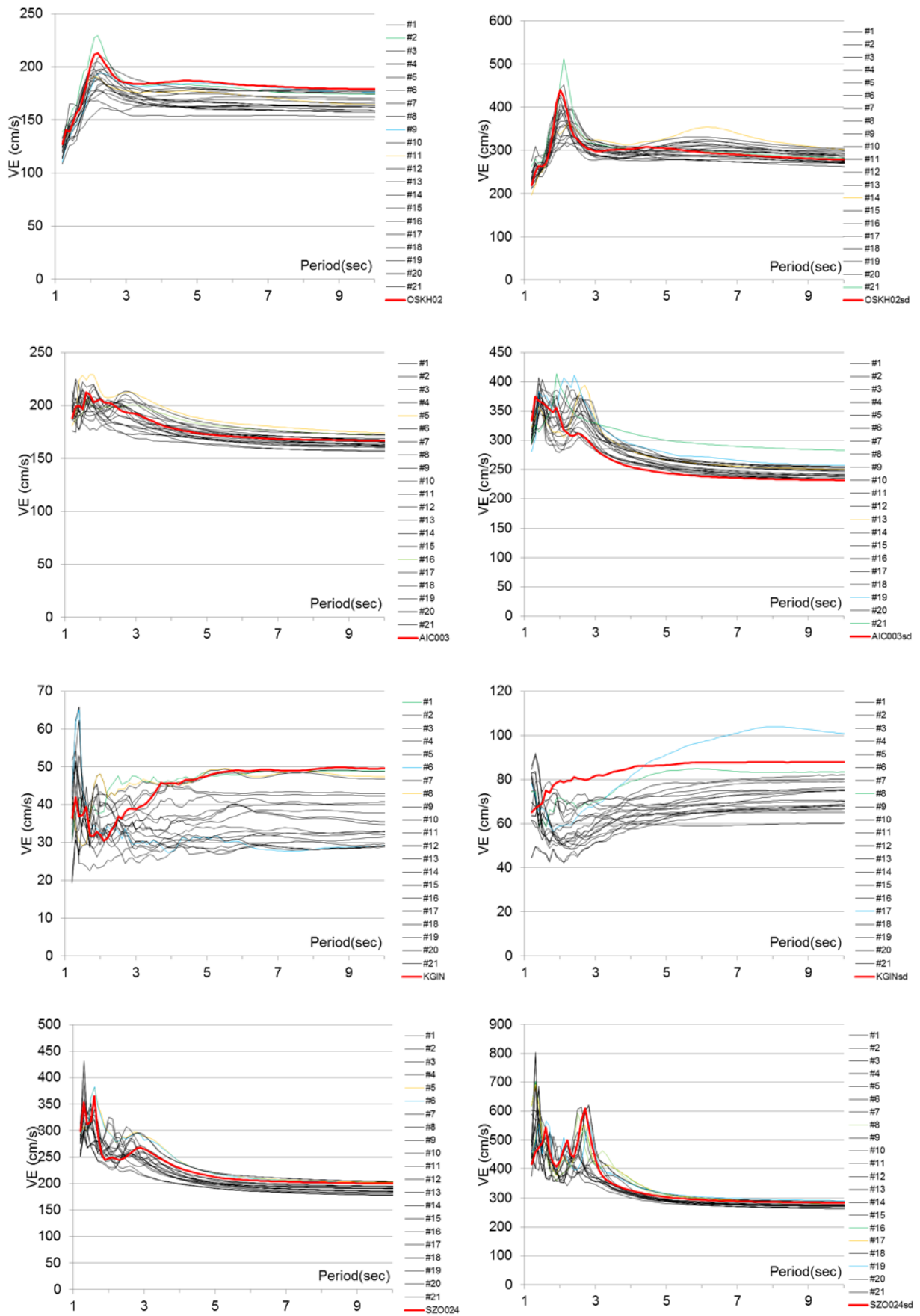


図 5.5-6 地震エネルギー入力の場合の等価速度 ($\alpha = 0.03$) [左図：平均 右図：平均+標準偏差]

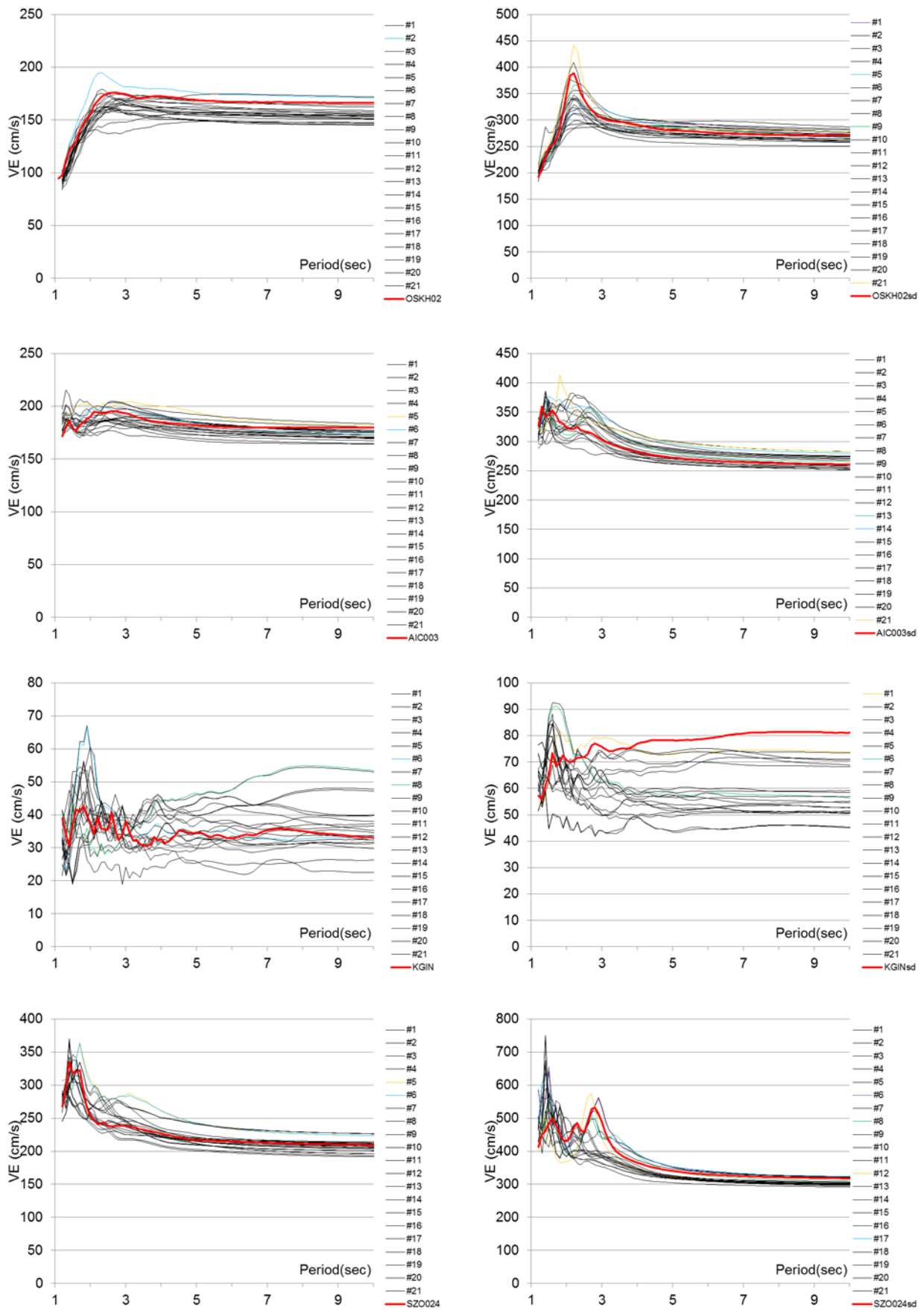


図 5. 5-7 地震エネルギー入力等の等価速度 ($\alpha = 0.04$) [左図：平均 右図：平均+標準偏差]

5-6 まとめ

- 平成 21 年度に検討を行った地震動に比べ、此花 (OSKH02) では擬似速度応答スペクトル、エネルギースペクトルともに非常に大きくなっている。これは、前回の検討は南海地震単独であったのに対し、今回の検討は 3 連動地震であり、地震の規模が大きくなったことによると考えられる。
- 平成 21 年度に検討を行った地震動に比べ、津島 (AIC003) や新宿 (KGIN) では擬似速度応答スペクトル、エネルギースペクトルともにやや小さくなっている。前回の検討は東海+東南海連動地震であったのに対し、今回の検討は 3 連動地震だが南海地震の影響はこの地点では小さく、回帰式や断層モデルの変更や地震動作成上のばらつきにより、前回よりも小さくなってしまったと考えられる。
- 浜松 (SZ0024) は震源に近く、非常に大きいレベルの地震動だが、4 秒以上の成分は少なく 4 秒以上の固有周期の免震建物の応答は比較的小さい。
- 平均の波 (AV 波) ではモデル建物の上部構造の状態はほとんどが短期許容応力度以下であり、短期許容応力度を超えるものも、弾性限耐力以下であり損傷はほとんどないと考えられる。免震層の変形も、建設年度が古い 1 棟を除き、すべて許容変形以下であった。
- 平均+標準偏差の波 (SD 波) では、OSKH02 や SZ0024 で上部構造の状態が保有水平耐力を超えているものが 5~8% 程度あった。弾性限耐力を超えているものもやや多く、保有水平耐力を超えているものも含めて、全体の 15% が弾性限耐力を超えていた。免震層の変形では、OSKH02 で固有周期の長いもので限界変形を超えているものが多くみられ、全体の 15% 程度であった。
- 今回の検討では、免震部材の品質変動や製造時のばらつきは考慮しておらず、それを考慮するともう少し応答が大きくなると思われ、建物の状態はもう少し悪くなると思われる。
- OSKH02 の地震動が前回に比べ非常に大きくなっているため、免震部材の吸収したエネルギーも前回の 1.2~1.5 倍程度に大きくなっている。免震部材の限界値には至っていないと思われるが、温度上昇による品質変動の影響がより大きくなっていると思われる。
- 戸建住宅に関しては、SZ0024 の地震動で周期が短い場合に応答が非常に大きくなるが、それ以外は概ね許容値以下となっている。
- 地震動のばらつきは非常に大きく、応答変位は最小値と最大値では 2 倍程度の差がみられる。地震動を選定する際に、目標スペクトルに最も近いものを選んでいてもかかわらず、応答変位は平均よりも大きく下回っている場合も多い。エネルギーの入力値 V_e のばらつきは、応答変位のばらつきに比べ小さく、選定した波はほぼ平均的なレベルとなっている。

