

〔付録 1〕 観測地震動を用いた建物応答倍率の算出

建物応答倍率は、人工的に作成した模擬地震動を用いた地震応答解析で算出しているため、実際の観測地震動を用いて地震応答解析を行った場合に建物応答倍率に差異が生じるかどうかを確認した。本検討のイメージを図 付録-1-1に示す。

用いる観測地震動は、1995年兵庫県南部地震以降に発生した2000年鳥取県西部地震から2011年東北地方太平洋沖地震の14地震、合計59波の観測地震動とする。その際、解析に必要な建物モデルは、建物応答倍率を作成する際に用いた建物モデルから、代表的な建物モデルとして直接基礎形式のRC造建物を選択し、表層地盤のS波速度は、各観測地震動が得られた地震観測点のS波速度を用いる。

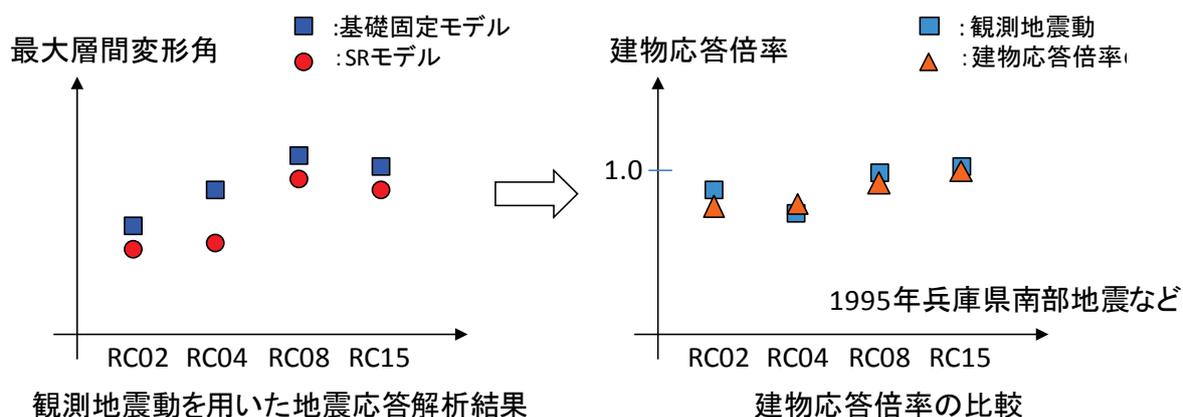


図 付録-1-1 観測地震動を用いた建物応答倍率算出の概要

1. 比較に用いた建物モデルと観測地震動

(1) 比較に用いた建物モデル

対象とした直接基礎形式のRC造建物は、建物耐力に関わる係数は $\alpha=3$ 、アスペクト比は $BC=1$ として、建築面積は2階および4階建てでは $A=100\text{m}^2$ 、8階および15階建てでは $A=400\text{m}^2$ とする。埋込深さは2階及び4階建てでは埋込深さ $D=0\text{m}$ 、8階及び15階建てでは埋込深さ $D=3\text{m}$ とする。

(2) 比較に用いた観測地震動

比較に用いた観測地震動を表 付録-1-1に示し、各観測地震動の加速度応答スペクトルを図 付録-1-2～図 付録-1-5に示す。検討に用いる観測地震動は、1995年兵庫県南部地震以後の主な被害地震で観測された地震動のうち、建物被害が生じた地域に近い観測記録や、大きな最大地動加速度や最大地動速度が得られた観測記録を選んでいる。

地盤ばねの算定に用いる各地震観測地点のS波速度は、平均S波速度AVS30を用いる。平均S波速度AVS30は、K-NET観測点およびKiK-net観測点では公開されているPS検層結果から算定する。なお、K-NET観測点では、表層20mまでの地盤情報しか得られないため、深さ20mまでの平均S波速度をAVS30として代用している。その他の地震観測点については、地震ハザードステーション(J-SHIS)からAVS30の値を読み取っている。

検討に用いる観測地震動の最大地動加速度PGAと、最大地動速度PGVとの関係を図 付録-1-6に示す。最大地動加速度PGAは100～2700 cm/s^2 程度、最大地動速度PGVは20～140 cm/s^2 程度、PGA/PGVは3～36程度に分布している。同じ地震の観測記録であっても、地点によって周期特性が大きく異なる場合も見られる。

本文において建物応答倍率の作成に使用した地震動の、最大地動加速度PGAと最大地動速度PGVとの関係を図 付録-1-7に示す。最大地動加速度PGAは1200 cm/s^2 程度、最大地動速度PGVは130 cm/s 程度までに分布している。最大地動速度は、観測地震動と同程度となっているが、最大地動加速度は、観測地震動と比べて低い値となっている。また、PGA/PGVは18程度までに分布しており、最大地動加速度と同様に、観測地震動と比べて、PGA/PGVが高い場合に差が生じている。

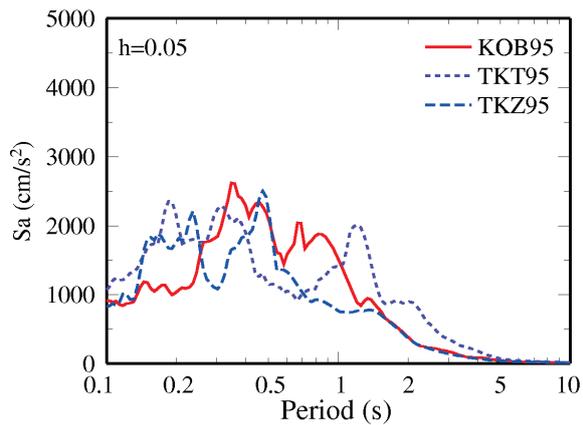
建物応答倍率の作成に使用した地震動は、表層地盤の地震応答解析を行った結果を用いている。この時、表層地盤のS波速度を150～300 m/s で考えており、表層地盤の非線形性の影響によって、最大地動加速度が抑えられ、表層地盤の周期も伸びる。観測地震動が得られている観測地点では、AVS30が400 m/s 以上と硬い地盤でも得られていることから、このような差が生じていると考えられる。また、建物応答倍率の作成に使用した地震動では、表層地盤への入力地震動として、告示波の加速度応答スペクトルに適合させた模擬地震動を用いているが、そのスペクトル特性と、各被害地震における震源による地震動特性（スペクトル特性）の違いも影響している。

表 付録-1-1(1) 検討に用いる観測地震動一覧

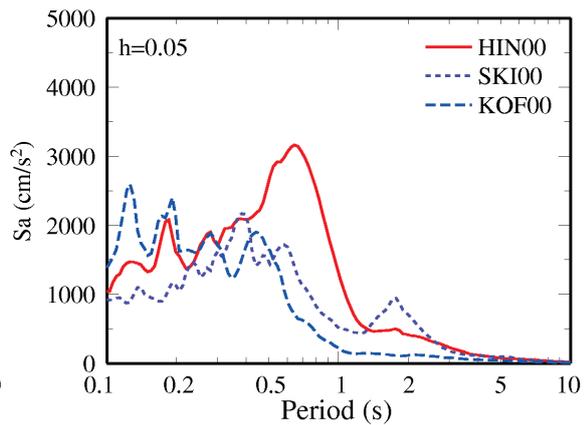
No.	観測波形			地震名	方位	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	PGA/ PGV	AVS30
	Code	観測地点名	観測機関						
1	KOB95	JMA神戸	気象庁	1995年兵庫県南部地震	NS	818	87	9.4	203
2	TKT95	JR鷹取	鉄道総研		EW	657	125	5.3	203
3	TKZ95	JR宝塚	鉄道総研		EW	601	84	7.2	332
4	HIN00	日野	KiK-net	2000年鳥取県西部地震	NS	926	116	8.0	268
5	SKI00	境港市東本町	気象庁		EW	749	84	8.9	260
6	KOF00	江府	K-NET		NS	726	42	17.4	461
7	NIM00	新見	K-NET		EW	816	26	30.9	458
8	YNG00	米子	K-NET	EW	384	53	7.3	138	
9	ONO01	大野	K-NET	2001年芸予地震	EW	441	32	14.0	205
10	YUK01	湯来	K-NET		EW	831	31	26.4	495
11	MHR01	三原	気象庁		NS	243	20	12.2	200
12	WKY03	涌谷町新町	気象庁	2003年宮城県北部の地震	EW	513	42	12.3	191
13	FRK03	古川市三日町	気象庁		EW	213	19	10.9	217
14	OJK03	牡鹿	K-NET	2003年宮城県沖の地震	EW	1112	35	32.0	1676
15	OFN03	大船渡市大船渡町	気象庁		EW	1106	33	32.0	400
16	TMK03	苫小牧	K-NET	2003年十勝沖地震	EW	73	36	2.0	414
17	TYK03	豊頃	KiK-net		EW	404	71	5.7	134
18	ATM03	厚真	KiK-net		EW	376	84	4.5	97
19	TIK03	大樹	K-NET		EW	346	77	4.5	460
20	SBT03	標津	K-NET		EW	491	56	8.8	130
21	KSR03	釧路	K-NET		EW	407	43	9.6	203
22	SRN03	白糠南	KiK-net		EW	392	75	5.2	291
23	URH03	浦幌	K-NET		NS	390	57	6.8	97
24	MKW03	鶴川	K-NET		NS	190	32	6.0	169
25	KWG04	川口	気象庁	2004年新潟県中越地震	EW	1667	143	11.6	369
26	YMK04	山古志	気象庁		EW	716	82	8.8	400
27	OJY04	小千谷	K-NET		EW	1309	134	9.7	416
28	JOJ04	小千谷市城内	気象庁		EW	898	92	9.7	100
29	HSK04	新潟小国町法坂	気象庁		EW	692	63	10.9	373
30	TUK04	十日町	K-NET		NS	1715	58	29.7	472

表 付録-1-1(2) 検討に用いる観測地震動一覧

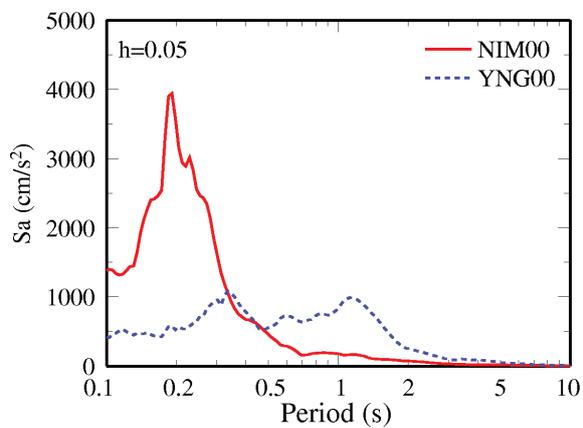
No.	観測波形			地震名	方位	PGA (cm/s ²)	PGV (cm/s)	PGA/ PGV	AVS30
	Code	観測地点名	観測機関						
31	MNT04	港町	K-NET	2004年留萌支庁南部の地震	EW	1127	71	15.9	599
32	FKO05	福岡	K-NET	2005年福岡県西方沖地震	NS	277	57	4.8	187
33	MEH05	前原	K-NET		EW	261	21	12.5	215
34	WJM07	輪島	気象庁		2007年能登半島地震	EW	439	79	5.5
35	FGI07	富来	K-NET	EW		849	48	17.5	338
36	ANA07	穴水	K-NET	EW		782	100	7.8	136
37	NTO07	能登町宇出津	気象庁	NS		147	22	6.7	208
38	KSW07	柏崎	K-NET	2007年新潟県中越沖地震	NS	667	124	5.4	188
39	KRW07	刈羽村割町新田	気象庁		NS	461	122	3.8	163
40	OJY07	小千谷	K-NET		NS	391	22	17.6	416
41	KKZ07	上越市柿崎区柿崎	気象庁		EW	446	81	5.5	194
42	NSY07	柏崎市西山町池浦	気象庁		NS	835	76	10.9	308
43	NRK08	鳴子	K-NET	2008年岩手・宮城内陸地震	NS	440	72	6.1	361
44	HNR08	東成瀬	KiK-net		EW	2448	76	32.3	402
45	ISN08	一関西	KiK-net		NS	1143	71	16.2	500
46	KRK08	栗原市栗駒	気象庁		EW	689	53	13.0	316
47	ISH08	一関東	KiK-net		NS	889	63	14.1	434
48	TKD08	築館	K-NET		NS	740	47	15.7	481
49	FRK08	古川	K-NET		EW	233	44	5.2	164
50	BHR09	棒原	K-NET	2009年駿河湾の地震	NS	251	27	9.2	337
51	YEZ09	焼津	K-NET		NS	314	30	10.6	225
52	SZG09	修善寺	KiK-net		EW	443	35	12.7	207
53	SGR09	牧之原市相良	気象庁		NS	348	58	6.0	208
54	SRH09	御前崎市白羽	気象庁		EW	773	47	16.6	380
55	SND11	仙台	K-NET	2011年東北地方太平洋沖地震	NS	1517	84	18.2	333
56	ISN11	石巻	K-NET		NS	458	55	8.4	277
57	HTC11	日立	K-NET		NS	1598	71	22.6	301
58	HKT11	鉾田	K-NET		NS	1355	75	18.1	296
59	MIT11	水戸	K-NET		NS	779	38	20.3	421



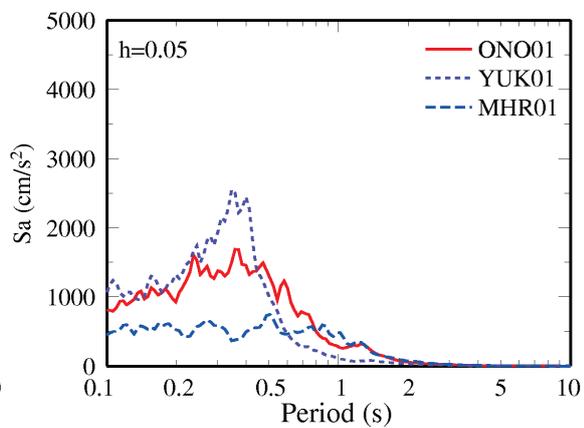
(a) 1995年兵庫県南部地震



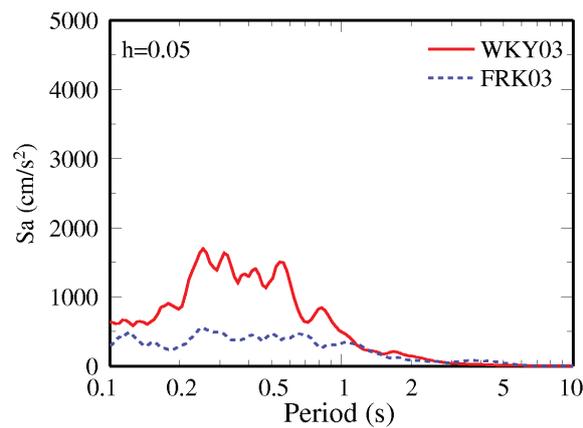
(b) 2000年鳥取県西部地震(1)



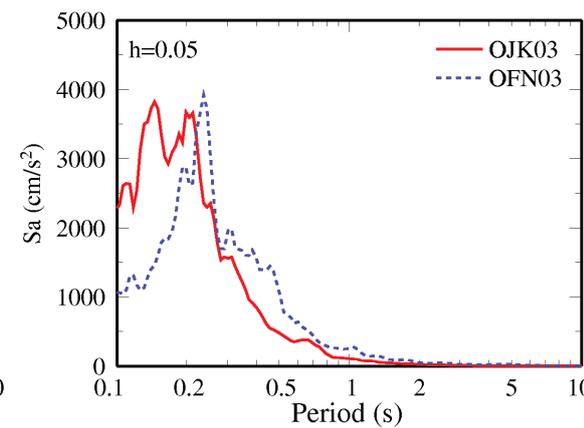
(c) 2000年鳥取県西部地震(2)



(d) 2001年芸予地震

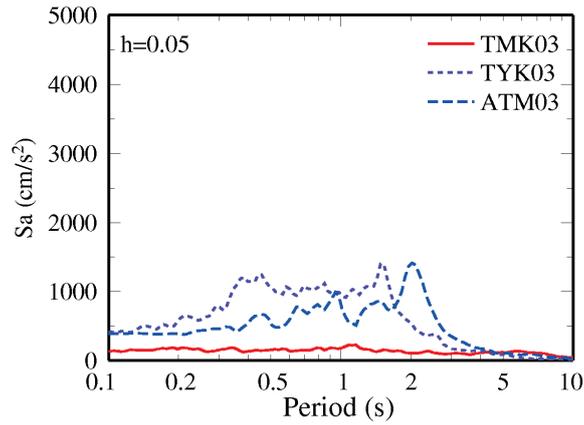


(e) 2003年宮城県北部の地震

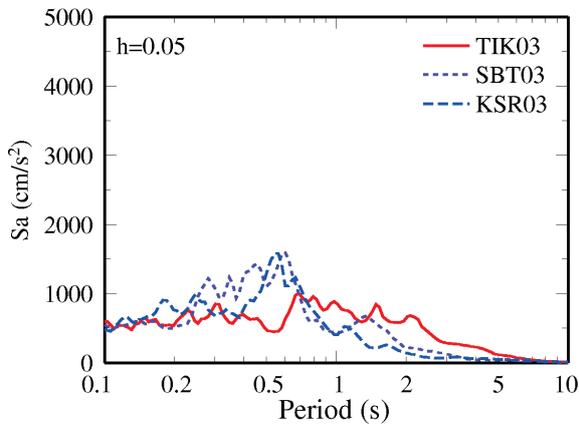


(f) 2003年宮城県沖の地震

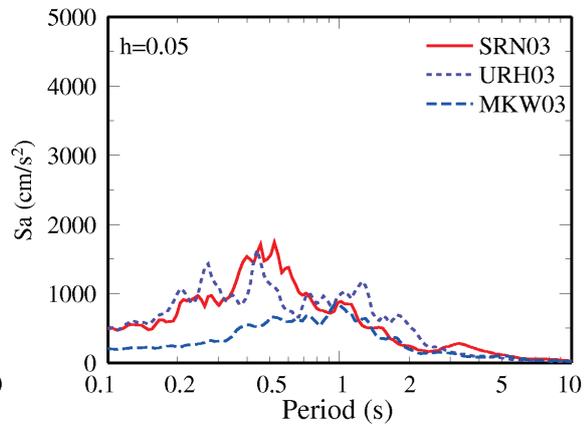
図 付録-1-2 観測地震動の加速度応答スペクトル



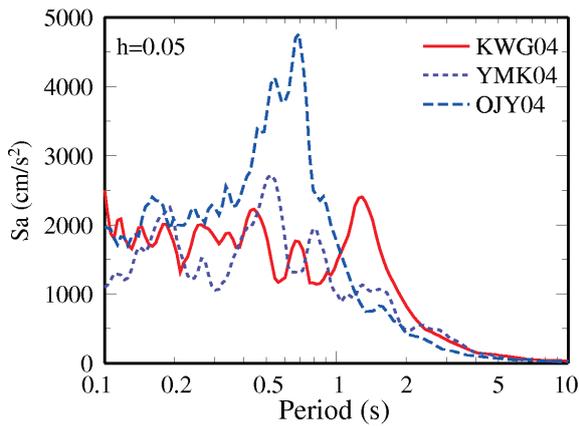
(a) 2003年十勝沖地震(1)



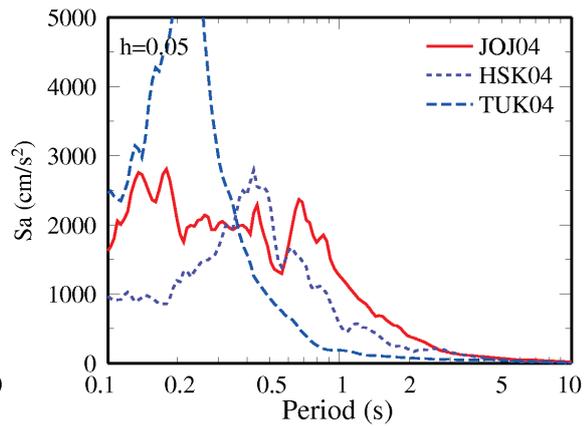
(b) 2003年十勝沖地震(2)



(c) 2003年十勝沖地震(3)

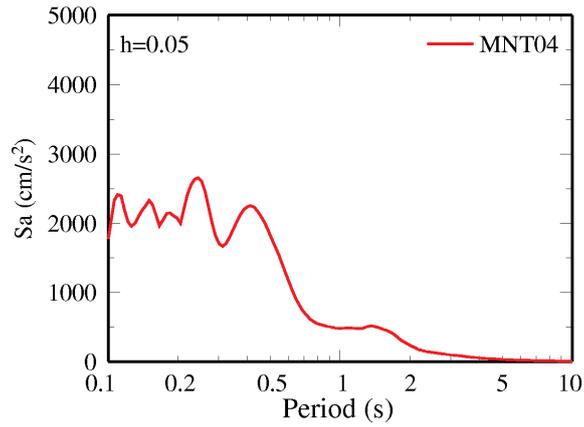


(d) 2004年新潟県中越地震(1)

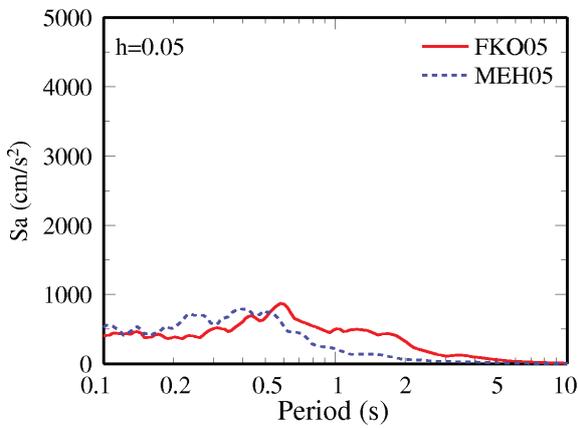


(e) 2004年新潟県中越地震(2)

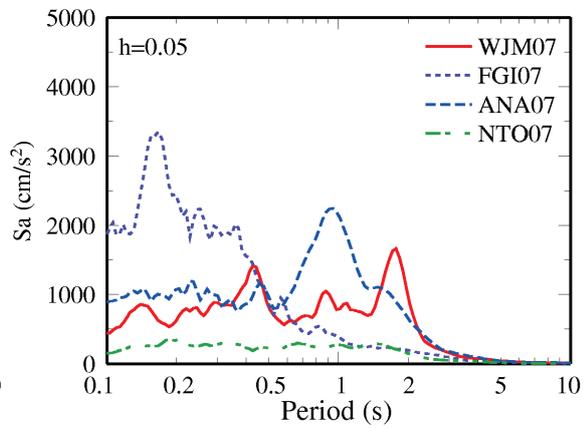
図 付録-1-3 観測地震動の加速度応答スペクトル



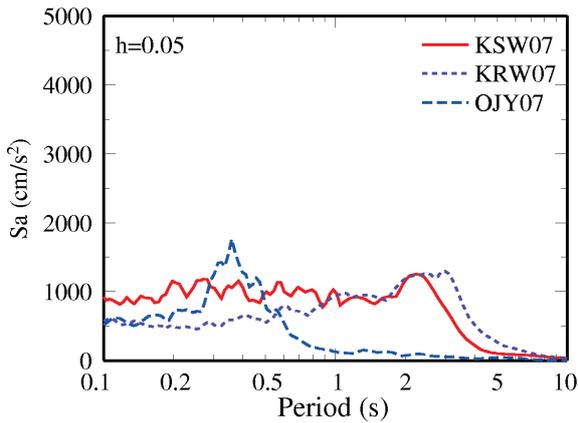
(a) 2004年留萌支庁南部の地震



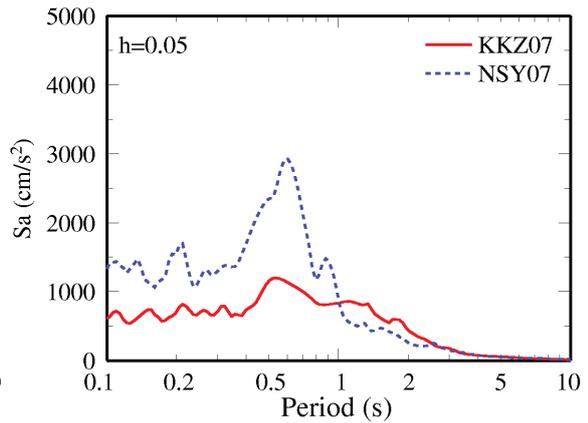
(b) 2005年福岡県西方沖地震



(c) 2007年能登半島地震

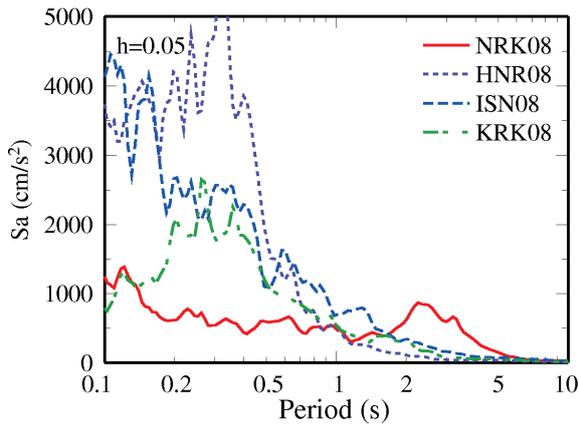


(d) 2007新潟県中越沖地震(1)

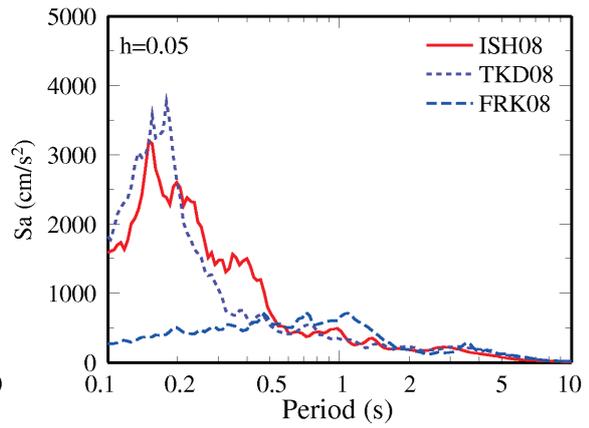


(e) 2007新潟県中越沖地震(2)

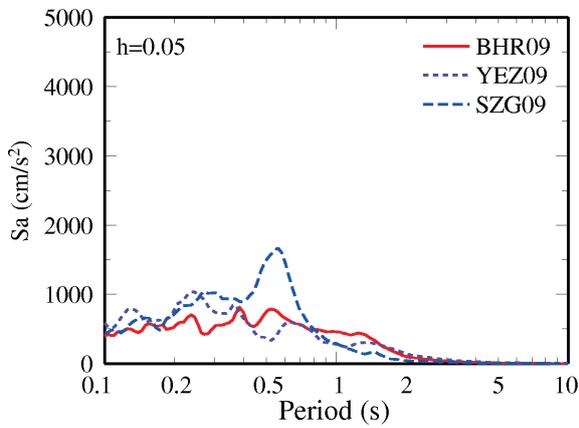
図 付録-1-4 観測地震動の加速度応答スペクトル



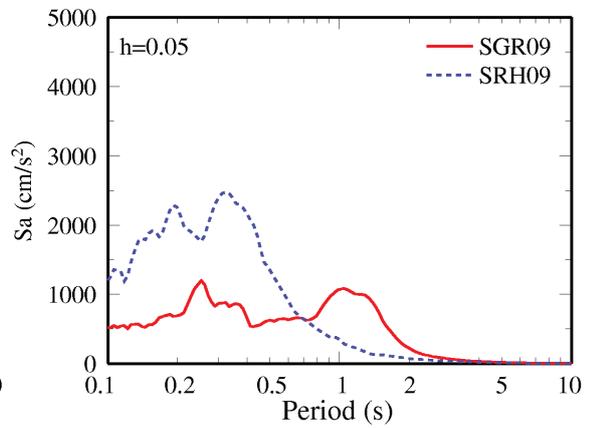
(a) 2008年岩手・宮城内陸地震(1)



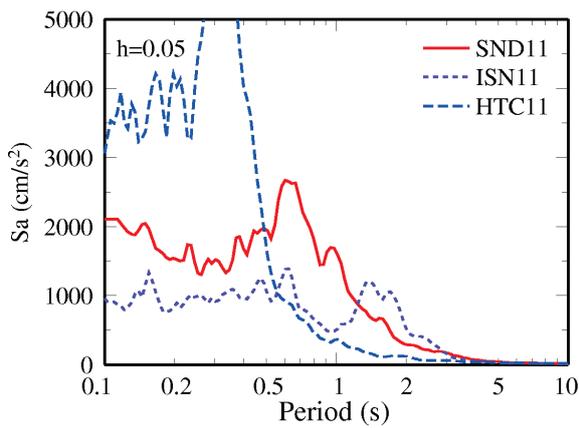
(b) 2008年岩手・宮城内陸地震(2)



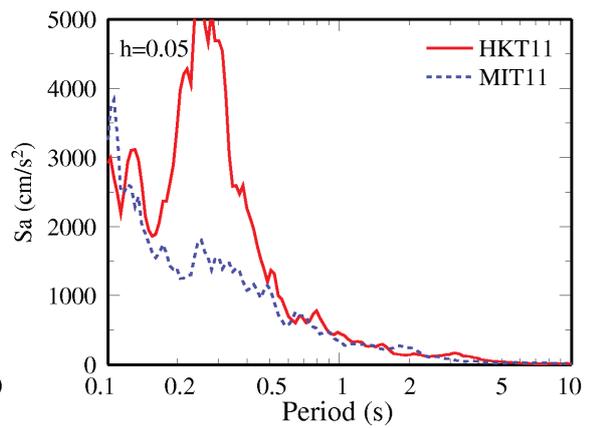
(c) 2009年駿河湾の地震(1)



(d) 2009年駿河湾の地震(2)



(e) 2011年東北地方太平洋沖地震(1)



(f) 2011年東北地方太平洋沖地震(2)

図 付録-1-5 観測地震動の加速度応答スペクトル

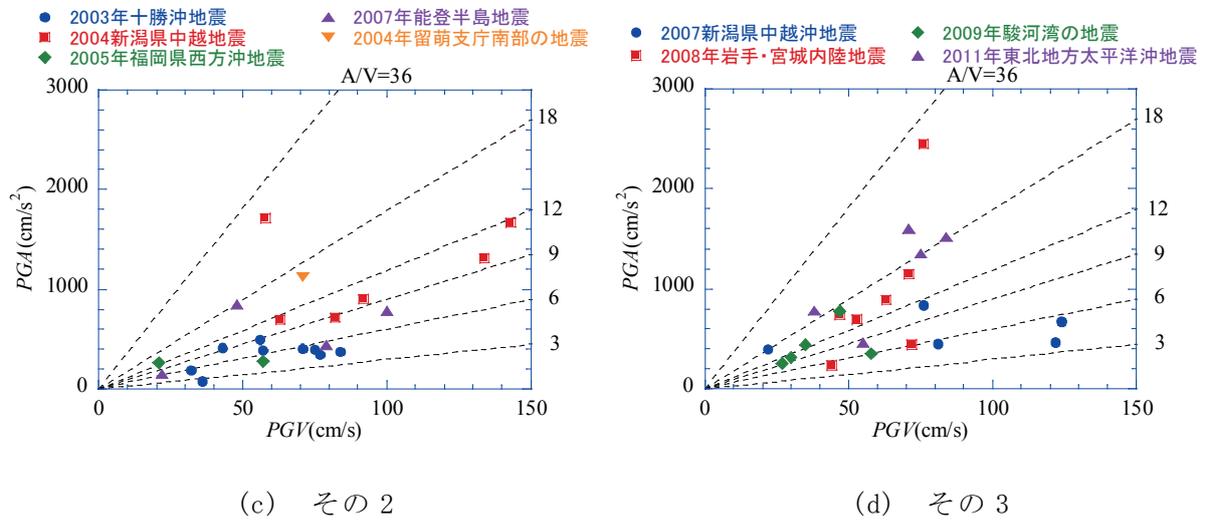
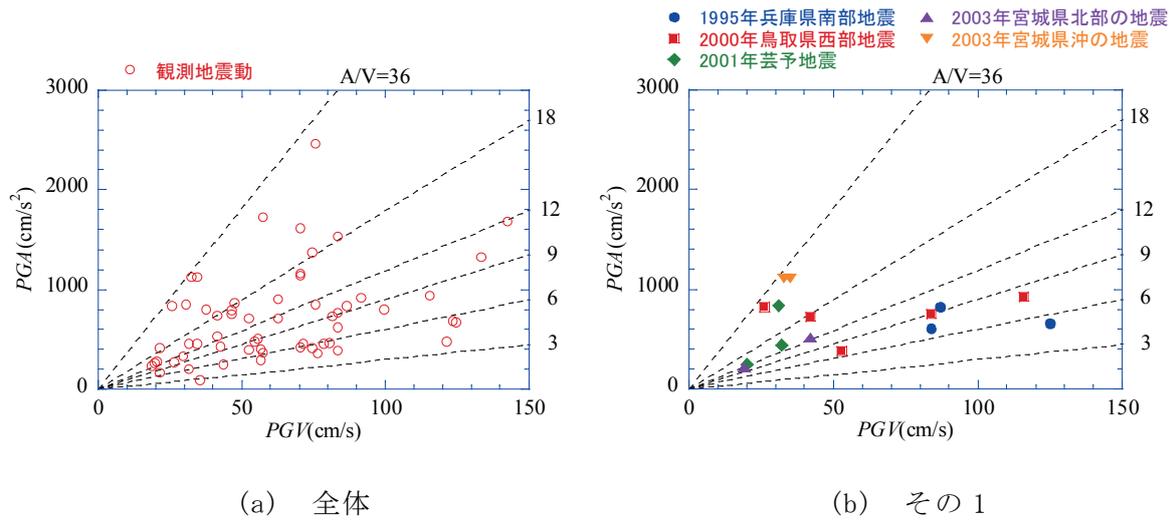


図 付録-1-6 観測地震動の最大地動加速度PGAと最大地動速度PGVとの関係

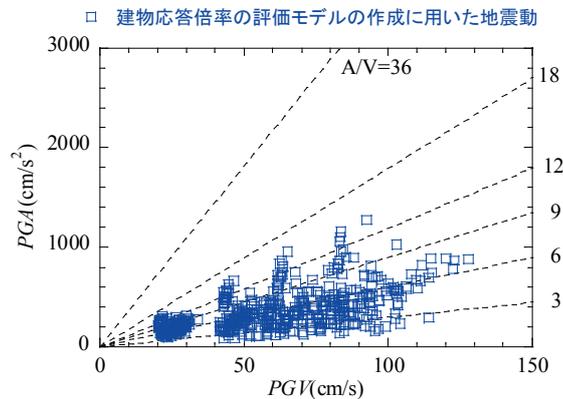


図 付録-1-7 建物応答倍率の作成に使用した地震動における最大地動加速度PGAと最大地動速度PGVとの関係

2. 観測地震動を用いた建物応答倍率

本文に記載した建物応答倍率と、観測地震動を用いて算定した建物応答倍率とを比較して、図 付録-1-8～図付録-1-11に示す。建物応答倍率は、地震動の周期特性A/Vで区分しているため、同様に各観測地震動の周期特性をPGA/PGVで区分して比較している。建物モデルは、直接基礎形式のRC造建物を対象とし、建物耐力に関わる係数は $\alpha=3$ 、アスペクト比はBC=1として、2階および4階建てでは建築面積A=100m²、8階および15階建てでは建築面積A=400m²で表示している。埋込深さは2階及び4階建てでは埋込深さD=0m、8階及び15階建てでは埋込深さD=3mである。

表層地盤のS波速度が200m/s以下と比較的柔らかい地盤の観測地震動の場合などで、観測地震動を用いて算出した建物応答倍率が建物応答倍率の平均値 $\pm 1\sigma$ を超えている例がいくつか見られるが、全体的には、観測地震動を用いて算定した建物応答倍率は、地震動の周期特性A/Vに関わらず、提案した建物応答倍率の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲にほぼ入っており、提案した建物応答倍率は、近年の被害地震における観測地震動が作用した際の、建物応答の変化を概ね説明できているといえる。

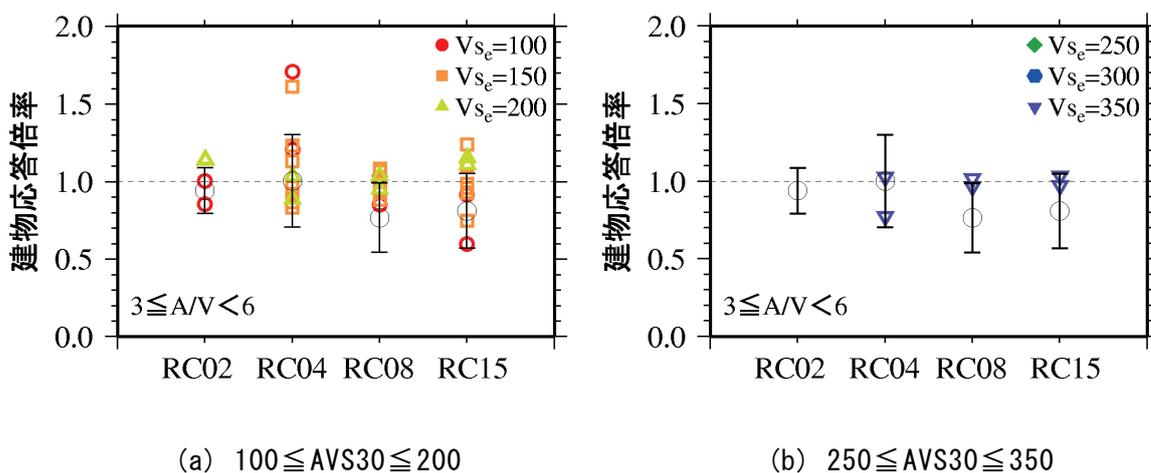
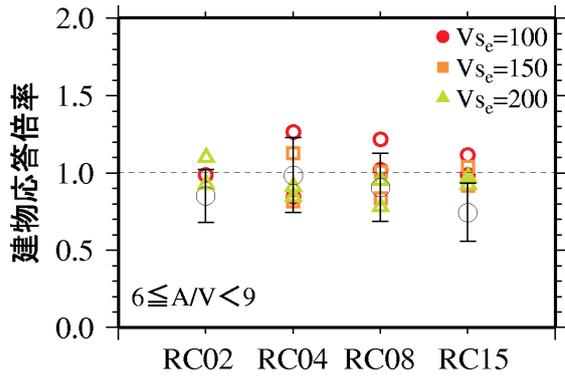
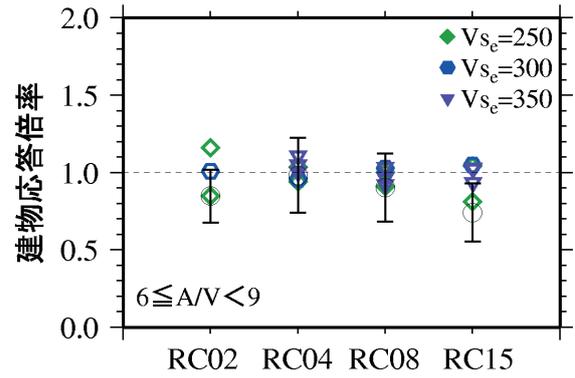


図 付録-1-8 建物応答倍率と観測地震動を用いた建物応答倍率との比較 ($3 \leq A/V < 6$)

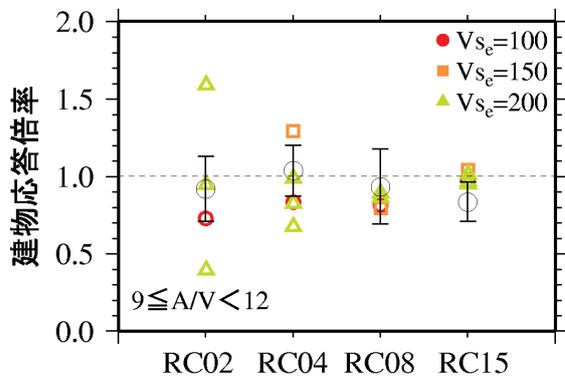


(a) $100 \leq AVS30 \leq 200$

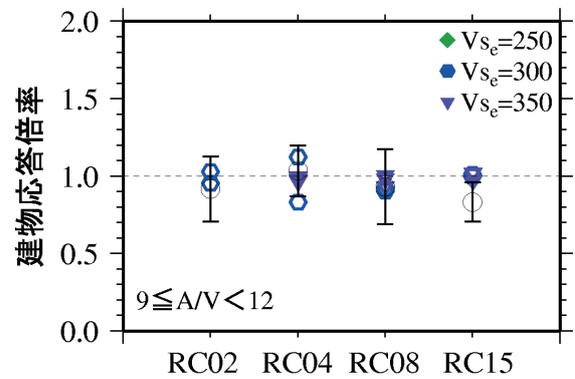


(b) $250 \leq AVS30 \leq 350$

図 付録-1-9 建物応答倍率と観測地震動を用いた
建物応答倍率との比較 ($6 \leq A/V < 9$)

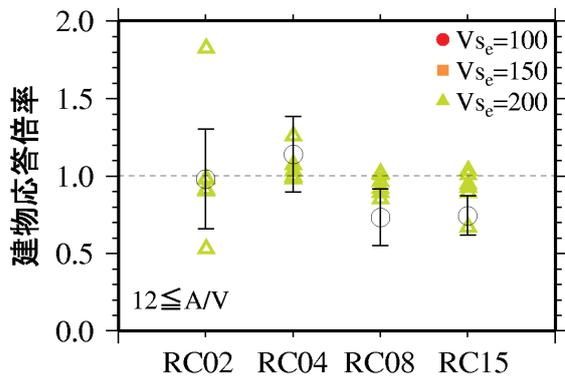


(a) $100 \leq AVS30 \leq 200$

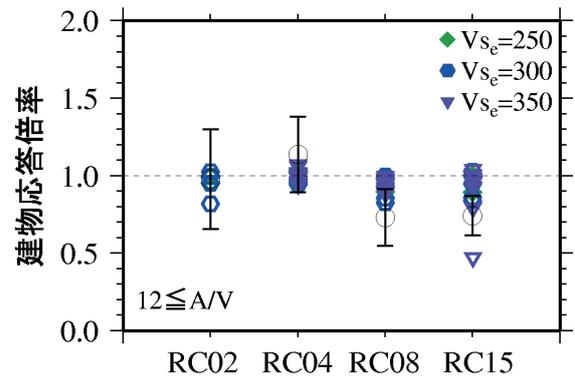


(b) $250 \leq AVS30 \leq 350$

図 付録-1-10 建物応答倍率と観測地震動を用いた
建物応答倍率との比較 ($9 \leq A/V < 12$)



(a) $100 \leq AVS30 \leq 200$



(b) $250 \leq AVS30 \leq 350$

図 付録-1-11 建物応答倍率と観測地震動を用いた
建物応答倍率との比較 ($12 \leq A/V$)