3. 地震観測、微動計測、振動実験等を用いた一般建築物の減衰定数に関する文献等の抽出、公 開されたデータ等の情報の収集

3.1 文献の抽出方針

日本建築学会発刊の「建築物の減衰と振動」^{参 3-2}の第5章実測データベースが公開されていることからこのデータを対象とする。また、2章の調査結果の参 2-40 等では E-ディフェンスの実験の公開データを用いて検討を行っていた。そこで、一般建築物の減衰定数に関する文献等の抽出、公開されたデータ等の情報収取では E-ディフェンスの実験のデータアーカイブを対象とする。

3.2 公開データの情報の収集

3.2.1 日本建築学会の実測データベース

(1)分析の概要

日本建築学会が公開(http://news-sv.aij.or.jp/kouzou/s7/d1)している実測データベース^{参 3-1} を分析した。

分析対象は、「実測 DB①_一般建築物(2020.12).xlsx」に収録されている S 造、RC 造、SRC 造の 1 次の固有周期実測値と減衰定数実測値とした。なお、減衰定数実測値は地盤-建物相互 作用の影響(地下逸散減衰)を含んでいる。

分析方法は、次の2つとした。

- 固有周期実測値と減衰定数実測値の関係を、実測方法ごとに減衰評価手法でマーカー を色分けして散布図にプロットし、実測方法と減衰評価手法の違いによるデータの分 布の傾向を分析する。
- ② 同じ微動計測のデータに対して異なる減衰評価手法(時間領域・周波数領域)を適用 した場合に得られる減衰定数を比較し、その大小関係等の傾向を分析した。

(2) 固有周期実測値と減衰定数実測値の関係

一般建築物の短辺方向、長辺方向それぞれで実測された1次の固有周期実測値と減衰定数実 測値の関係を、実測方法ごとに減衰評価手法でマーカーを色分けして散布図にプロットした。 散布図の作図に当たって実測方法と減衰評価手法をそれぞれ、日本建築学会の「建築物の減衰 と振動」^{参 3-2}を参考にグループ化した。表 3.2.1-1 に実測方法のグループを、表 3.2.1-2 に減 衰評価手法のグループを示す。

実測データベースには固有周期実測値と減衰定数実測値がブランクやハイフンであるデータ も含まれている。これらの取り扱いについて説明する。まず、ブランクについては、日本建築 学会「建築物の減衰と振動」^{参 3・2}の 342 頁にて、次のような趣旨の記述がある。「同じ実測にお いて複数の減衰評価手法が用いられている場合や、振幅レベル別のデータについては、1a、1b... というようにアルファベット小文字を添えた形で番号を付し、データを区分した。この場合、 実測方法、実測年または時期、固有周期(1次~3次の実測値)が空欄となる。」したがって、" 空欄(ブランク)"の取り扱いは次のようにした。1a、2a など、実測方法によって区分されたデ ータの最初にデータがあり、かつ、実測手法と固有周期実測値がブランクであった場合は、実 測方法によって区分されたデータのb以降をaと同じ固有周期実測値であるとして散布図に含 めることとし、この条件を満足しないブランクは除外し散布図に含めていない。一方、ハイフ ンについては単純に除外して散布図に含めていない。

以上のようにして作図した散布図を、図 3.2.1-1 に S 造、図 3.2.1-2 に RC 造、図 3.2.1-3 に SRC 造として示す。なお、各図の(a)は実測方法を微動計測とする散布図、同様に、(b)は強制加 振、(c)は風観測、(d)は地震観測とする散布図であり、(a)~(d)の順は実測方法の振幅レベルが微 小~大となる順とした。

図 3.2.1-1 より、微動計測、強制加振では、比較的、減衰定数のばらつきが小さく、風観測、 地震観測の固有周期 1 秒付近の減衰定数のばらつきが大きい。図 3.2.1-2 より、固有周期 1 秒 以下の範囲の減衰値で、微動計測は最大 18%程度、強制加振は最大 9%程度、地震観測は最大 30%程度とそれぞればらついている。ただし、地震観測に見られる減衰定数 12%~30%の範囲 に分布するデータは減衰評価手法を「記載なし」とするもので、これらのデータを除くと減衰 定数のばらつきは 9%程度まで小さくなる。図 3.2.1-3 より、固有周期 1 秒以下の範囲の減衰値 で、微動計測は最大 7%程度、強制加振は最大 8%程度、地震観測は最大 30%程度とそれぞれば らついている。

構造種別に関わらず、実測方法の振幅レベルが大きくなるにつれ、固有周期が概ね1秒以下 の範囲の短周期側(建物高さが低い場合)において、減衰定数が大きな値を示していることが 分かる。これは、振幅レベルの大きい実測方法(地震観測)では低層の建物においては地盤– 建物相互作用の影響(地下逸散減衰)が顕著になることを表していると考えられる。

実測	方法	グループ					
常時	常時微動						
人力							
綱・打	引綱・振子加振						
起振機・制震装置	自由振動実験	7出市17川1灰					
による加振	強制加振実験						
風応答	風観測						
地震	観測	地震観測					

表 3.2.1-1 実測方法のグループ化

表 3.2.1-2 減衰評価手法のグループ化

	減衰評価手法	グループ
1/√2	法、ハーフパワー法	
位相	勾配法、最急降下法	
ノ	コーブフィット法	
	共振曲線	问仮奴限哦
回帰分析		
	対数減衰率	
RD 法	(自己相関関数を含む)	
多項式モデル	ARX モデル	中于自己工作
中能売用エジル	部分空間法、N4SID 法	时间限坝
小忠空间モノル	カルマンフィルター	
2	ブリッドサーチ法	
システム同	定、回帰分析、最小二乗法	その他、不明
	不明・その他	ての心・不明
	記載なし	記載なし

※1:TFは伝達関数、PSはパワースペクトルを表す。



図 3.2.1-1 1次の固有周期実測値と減衰定数実測値の関係(S造)



図 3.2.1-2 1 次の固有周期実測値と減衰定数実測値の関係(RC 造)



図 3.2.1-3 1次の固有周期実測値と減衰定数実測値の関係(SRC造)

(3) 異なる減衰評価手法による減衰定数の比較

同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を適用し得られた減衰定数に着目し、その 値を比較した。比較対象は、(2) 固有周期実測値と減衰定数実測値の関係で散布図にプロット したデータのうち、同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を適用し複数の減衰定数 を評価している建物で、S造はS-14、S-21、S-22、S-30、S-43、S-46、S-59、S-65、S-90、S-134の10棟、RC造はRC-1、RC-9、RC-24、RC-37~RC-44、RC-46~RC-56の22棟、SRC 造はSRC-1、SRC-3、SRC-8、SRC-23、SRC-28、SRC-39、SRC-41、SRC-59~SRC-70の19 棟である。これら建物の情報を表 3.2.1-3にS造、表 3.2.1-4にRC造、表 3.2.1-5にSRC造 として示す。これらの表は日本建築学会の実測データベース^{参 3-1}を抜粋したものである。これ ら 51 棟の建物では、それぞれの建物において同じ微動計測データ対して複数の減衰評価手法 を適用し 2~4 種類の減衰定数が評価されている。各表中、比較対象とするデータには橙でマー キングした。

表 3.2.1-3~表 3.2.1-5 で橙のマーキングをしたデータに対して、建物ごとに減衰定数を比較 した図を、図 3.2.1-4 に S 造、図 3.2.1-5 に RC 造、図 3.2.1-6 に SRC 造として示す。図 3.2.1-4 の(a)は短辺方向、(b)は長辺方向である。図 3.2.1-5 と図 3.2.1-6 に示した RC 造と SRC 造は、 建物棟数が多いため、各図とも、(a)と(c)に短辺方向を、(b)と(d)に長辺方向をそれぞれ分けて示 している。各建物で用いられている減衰評価手法は、表 3.2.1-2 に示した減衰評価手法のグル ープ化に照らすと、「周波数領域」、「時間領域」、「その他・不明」の手法に分類され、それぞれ 最大で 2 種類に整理できることから、図 3.2.1-4~図 3.2.1-6 の凡例は「周波数領域 1」「周波 数領域 2」「時間領域 1」「時間領域 2」「その他・不明 1」「その他・不明 2」と設定した。例え ば、建物 No.S-14 に着目すると、表 3.2.1-3 より、同じ微動計測データに対して適用されてい る減衰評価手法は「回帰分析(TF)」「回帰分析(PS)」「RD法」である。表 3.2.1-2より「回帰分 析(TF)」「回帰分析(PS)」は周波数領域に分類され、「RD 法」は時間領域に分類される。したが って、S-14 は図 3.2.1-4 のように整理され、棒グラフは「周波数領域 1」「周波数領域 2」「時間 領域 1」に値を示し、該当するデータがない「時間領域 2」「その他・不明 1」「その他・不明 2」 は非表示とした。他の建物も同様に整理/比較した。なお、比較対象とした実測データ(表 3.2.1-3 ~表 3.2.1-5 で橙のマーキングをしたデータ)の中に減衰評価手法が「記載なし」に分類され るデータが含まれていないことから、図 3.2.1-4~図 3.2.1-6の凡例に「記載なし」は含めてい ない。

図 3.2.1-4 より、総じて、周波数領域の減衰定数が大きいものの、長辺方向で S-46 の時間領域の減衰定数が大きい。最も大きい減衰定数は S-90 長辺方向の 4%である。図 3.2.1-5 より、総じて、周波数領域の減衰定数が大きいものの、短辺方向で R C-24、RC-51、RC-53、RC-55の時間領域の減衰定数が大きく、長辺方向で RC-46、RC-48の時間領域の減衰定数が大きい。また、RC-44、RC-54 は短辺、長辺いずれも時間領域の減衰定数が大きい。周波数領域の減衰定数では、特に RC-41 と RC-56 の長辺方向において 10%を超える大きな減衰定数が評価されている。この影響で S 造(図 3.2.1-4)、SRC 造(図 3.2.1-6)よりもデータのばらつきが大きくなっている。なお、RC-24 の長辺方向はプロットできるデータがないことを表している。図 3.2.1-6 より、総じて、周波数領域の減衰定数が大きいものの、短辺方向で SRC-8 の時間領域

の減衰定数が特に大きく、長辺方向で SRC-3 の時間領域の減衰定数が特に大きい。SRC-23、 SRC-39、SRC-41 ではその他・不明に分類される減衰評価手法がプロットされており、SRC-23 では周波数領域、時間領域と比較して減衰定数はほぼ同程度となっている。SRC-39 と SRC-41 では時間領域の減衰定数が大きく評価されている。最も大きい減衰定数は SRC-3 長辺方向の 5.3%である。なお、SRC-28、SRC-39、SRC-41 の長辺方向はプロットできるデータがないこ とを表している。

これら個々の建物の減衰定数の大小関係については、個々の建物の詳細、減衰評価手法の詳 細、微動計測の振幅レベル(記載がないデータもある)やデータ異常(風や局所的な振動の影 響)の有無など、実測データベースから読み取れる情報に不明な点があることから、考察する ことが難しい。他方で、構造種別に関わらず、各建物で同じ微動計測データを使用して異なる 減衰定数評価手法を適用した場合、得られた減衰定数は差が生じていることが分かる。これは、 減衰評価手法によって減衰定数は過大/過小評価となる場合があり、適切な減衰評価手法を選択 する必要があることを示唆している。

	所在地	竣	F	皆 数	ξ	打击	基準階	平面寸法		044	基礎情報	版	cto Sul		実測年	固有周期实	€測値(s)	減 衰 評 価 手 法	減衰定数実	測値 (%)	振幅個	٤(最大値)	
建物No.	都道府県名	I	地	地	塔	軒南	(1	n)	用途	種	深 さ	5 (m)	天冽	実 測 方 法	または	短辺	長辺	TF:伝達関数	短辺	長辺	2011年1月1日	短辺	長辺
		年	上	下	屋	(m)	長辺	短辺		別	根入	杭先	No.		時期	1次	1次	PS:パワースペクトル	1次	1次	》(风兀》(里方)	1次	1次
S-14	埼 玉		35	3	2	168.1	51.2	37.4	事務所	杭	20.0	48.5	1a	常時微動	2001	3.18	2.72	回帰分析(TF)	0.7	0.3			
													1b					回帰分析(PS)	1.2	0.6			
													1c					R D 法	0.3	0.3			
													2	人力加振	2001	3.21	2.74	対数減衰率	0.4	0.5			
													3	常時微動	2001	3.12	2.66	対数減衰率	0.1	0.1			
S-21	東京	1970	40	3	2	152.0	51.4	48.4	事務所	直接	18.6		1	振子	竣工時	3.17	3.14	対数減衰率,	0.9	0.6			
													2a	常時微動	1993	3.70	3.69	回帰分析(PS)	2.3	2.3			
													2b					R D 法	1.6	0.9			
S-22	東京	1997	28	4	1	150.2			事務所	直接	26.0		1a	常時微動	竣工時	3.03	2.68	回帰分析(PS)	0.3	0.9	速度(×10 ⁻³ cm/s)	5	5
													1b					R D 法	0.2	0.5			
													2	自由振動(起振機)		3.06	2.74	対数減衰率	0.4	1.0	速度(×10 ⁻³ cm/s)		300
													3	起 振 機		3.06	2.79	回帰分析(TF)	0.5	1.0	変位(×10 ⁻⁶ cm)	2500	8000
S-30	東京		32	4	3	132.0	60.0	45.0	事務所	直接	25.0		а	常時微動	1993	2.89	2.50	回帰分析(PS)	1.8	1.0			
													b					R D 法	1.1	0.3			
S-43	東 京	1980	30	5	1	120.0	56.6	38.0	事務所	直接	25.9		1	常時微動	竣工時	2.56	2.26	1/√2法(PS)	0.6	0.6	加速度(cm/s ²)	0.4	0.4
													2	同上	1988	2.84	2.56	自己相関	2.4	1.1	速度(×10 ⁻³ cm/s)	25	18
													3a	常時微動	1993	2.83	2.56	回帰分析(PS)	1.5	1.5			
													3b					R D 法	0.5	0.8			
S-46	東京	1998	23	3	0	119.5			学校	杭		21.0	1a	常時微動	1999-2000	1.96	1.89	1/√2法(PS)	0.5	1.1			
													1b					R D 法	0.4	1.3	速度(×10 ⁻³ cm/s)	2.5	1.7
													2	人力加振				対数減衰率	0.5	0.7	速度(×10 ⁻³ cm/s)	78.2	74.9
													3	常時微動	2000(11月)			システム同定	0.5	0.8			
													4	常時微動	2001(3月)			システム同定	0.4	0.8			
													5	常時微動	2001(7月)			システム同定	0.7	1.6			
													6	常時微動	2001(9月)			システム同定	0.8	1.1			
													7	常時微動	2001(11月)			システム同定	0.5	1.0			
S-59	東京		25	3	2	106.7	102	49.2					а	常時微動	1992	2.22	2.22	回帰分析(PS)	2.7	2.5			
													b					1/√2法(PS)	2.9	3.1			
													С					R D 法	0.8	0.5			
S-65	東京		24	4	2	100.0	62.4	38.4	事務所	直接	22.5		1a	常時微動	1993	2.22	1.99	回帰分析(PS)	1.7	2.7			
													1b					R D 法	1.5	0.9			
													2	同上		2.50	2.03	同上	1.2	1.3			
S-90	東京		19	3	0	81.3	41.4	20.6	事務所	直接	18.6		а	常時微動	1990	1.82	1.72	1/√2法	2.4	4.0	変位(×10 ⁻⁶ cm)	77.2	45.1
													b					回帰分析(PS)	2.0	2.4			
S-134	愛知	2000	10	1	0	41.1			学校	杭	7.5	42.0	1a	常時微動	2001	1.00	0.91	1/√2法(PS)	0.7	0.8			
													1b					R D 法	0.4	0.5			
													2a	起 振 機		1.00	0.91	1/√2法(TF)	1.4	1.2			
													2b					R D 法	0.9	0.9			

表 3.2.1-3 実測データベースの抜粋 (S造)

	所在地	竣	I	階 数	ξ	まっ	基準階3	平面寸法		1.8	基礎情	寂	de tail		実測年	固有周期	実測値(s)	減 衰 評 価 手 法	減衰定数実	測値(%)	振幅	直(最大値)	
建物No.	都道府県名	I	地	地	塔	1111 南	(r	n)	用途	種	深さ	š (m)	夫刑	実測方法	または	短辺	長辺	TF:伝達関数	短辺	長辺	法政策回	短辺	長辺
		年	上	下	屋	(m)	長辺	短辺		別	根入	杭先	No.		時期	1次	1次	PS:パワースペクトル	1次	1次	波形裡別	1次	1次
RC-1	大 阪		41	1	1	129.8	39.0	39.0	住宅	直接	8.3		1a	常時微動		1.82	1.79	回帰分析(PS)	1.3	0.7			
													1b			1.79	1.75	回帰分析(TF)	2.4	1.5			
													1c			1.84	1.78	R D 法	0.8	0.4			
													2	人力加振		1.82	1.79	対数減衰率	1.4	0.7	変位(×10 ⁻⁶ cm)	130	220
													3	地震応答観測		1.80	-	回帰分析(TF)	0.8		変位(×10 ⁻⁶ cm)	100~6000	
RC-9	千葉	1994	26	0	1	77.3	28.0	28.0	住宅	杭	5.2	49.0	а	常時微動	竣工時	1.11	1.10	回帰(TF)	2.4	2.3	加速度(cm/s ²)	0.1	
													b					R D 法	1.7	1.9	変位(×10 ⁻⁶ cm)	30	
RC-24	東京		6	1	1	25.7							а	常時微動		0.20	-	R D 法	1.6	—			
													b					回帰分析	0.2	-			
RC-37	広島		8	1		30.5	78	16	校舎	直接				常時微動		0.47	0.45	RD法	1.97	1.49			
	(広島大学)													常時微動		0.47	0.45	ハーフパワー法	3.29	2.99			
RC-38	広島		5	1		21.7	26.4	16.6	校舎	杭				常時微動		0.27	0.51	RD法	3.22	1.18			
	(広島大学)													常時微動		0.27	0.51	ハーフパワー法	3.97	2.91			
RC-39	広島		3			14.8	44.1	19.6	校舎	杭				常時微動		0.19	0.26	RD法	3.58	3.52			
	(広島大学)													常時微動		0.19	0.25	ハーフパワー法	5.72	7.53			
RC-40	広島		5			27	59.4	14.4	校舎	杭				常時微動		0.33	0.31	RD法	2.35	2.19			
	(広島大学)													常時微動		0.33	0.31	ハーフパワー法	2.99	3.03			
RC-41	広島		3			11.6	36.6	19.8	校舎	杭				常時微動		0.15	0.15	RD法	2.79	3.37			
	(広島大学)													常時微動		0.16	0.14	ハーフパワー法	9.49	17.27			
RC-42	広島		3			11.6	43.4	12	校舎	杭				常時微動		0.17	0.18	RD法	3.58	3.3			
	(広島大学)													常時微動		0.14	0.14	ハーフパワー法	7.92	5.41			
RC-43	広島		3			16.2	31.5	15.2	校舎	直接				常時微動		0.14	0.13	RD法	3.47	3.9	速度(×10 ⁻³ cm/s)	0.5	
	(広島大学)													常時微動		0.14	0.13	ハーフパワー法	4.96	5.59	速度(×10 ⁻³ cm/s)	0.5	
RC-44	広島		3			13.8	32	15	校舎	直接				常時微動		0.17	0.14	RD法	2.94	1.12			
	(広島大学)													常時微動		0.17	0.14	ハーフパワー法	2.71	0.73			
RC-46	広島		5			14.89	37.4	7.3	宿舎	杭	12.06			常時微動		0.225	0.19	RD法	3.43	3.6	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.225	0.19	ハーフパワー法	4.33	2.21	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-47	広島		5			14.89	37.4	7.3	宿舎	杭	11.36			常時微動		0.223	0.228	RD法	3.16	3.24	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.223	0.228	ハーフパワー法	3.63	3.59	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-48	広島		5			14.89	37.4	7.3	宿舎	杭	8.7			常時微動		0.225	0.205	RD法	3.35	3.8	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.225	0.205	ハーフパワー法	3.79	0.82	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-49	広島		5			14.85	56.4	7.2	宿舎	杭	9.04			常時微動		0.244	0.225	RD法	3.4	2.2	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.244	0.225	ハーフパワー法	8.97	3.01	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-50	広島		5			14.85	56.4	7.2	宿舎	杭	10.93			常時微動		0.228	0.205	RD法	1.64	1.95	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.228	0.205	ハーフパワー法	2.57	2.3	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-51	広島		5			14.85	56.4	7.2	宿舎	杭	10.72			常時微動		0.216	0.199	RD法	2.47	1.59	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.216	0.199	ハーフパワー法	2.29	2.26	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-52	広島		5			14.85	56.4	7.2	宿舎	杭	10.58			常時微動		0.211	0.191	RD法	2.39	1.66	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.211	0.191	ハーフパワー法	3.05	2.6	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-53	広島		5			14.85	56.4	7.2	宿舎	杭	6.75			常時微動		0.174	0.174	RD法	3.27	2.03	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.174	0.174	ハーフパワー法	3.08	2.28	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-54	広島		5			14.75	41.6	7.3	宿舎	杭	8.51			常時微動		0.207	0.165	RD法	3.6	2.31	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)											1				0.207	0.165	ハーフパワー法	1.35	1.98	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-55	広島		5			14.75	51.8	7.3	宿舎	杭	10.06			常時微動		0.225	0.174	RD法	2.95	3.49	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.225	0.174	ハーフパワー法	2.44	6.81	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
RC-56	広島		5			14.75	38.08	7.2	宿舎	杭	17.47			常時微動		0.23	0.175	RD法	2.28	2.22	変位(×10 ⁻⁶ cm)		
	(広島大学)															0.23	0.175	ハーフパワー法	7.12	11.52	変位(×10 ⁻⁶ cm)		

表 3.2.1-4 実測データベースの抜粋(RC 造)

表 3.2.1-5 実測アータペースの抜粋	(SRC 塇)	
-------------------------	---------	--

	所在地	竣		階 娄	夊		基準階	平面寸法		18	基礎情報	版	-		実測年	固有周期到	実測値(s)	減 衰 評 価 手 法	減衰定数実	測値 (%)	振幅値(*はRI	MS値、他は最	長(位)
建物No.	都道府県名	I	地	地	塔	軒 尚	(m)	用途	種	深 さ	5 (m)	実測	実測方法	または	短辺	長辺	TF:伝達関数	短辺	長辺		短辺	長辺
		年	上	下	屋	(m)	長辺	短辺		別	根入	杭先	No.		時期	1次	1次	PS:パワースベクトル	1次	1次	波形種別	1次	1次
SRC-1	大 阪	1993	50	2	2	156.8	31.4	31.4	住宅	杭	11.4	54.0	1	常時微動	竣工時	2.70	2.70	回帰分析(TF)	1.6	1.0	速度(×10 ⁻³ cm/s)	6.7*	8.1*
						156.8							1			2.78	2.78	自己相関	1.3	0.9			
						156.8							1			2.78	2.78	R D 法	1.3	0.9			
						156.8							3	地震応答観測	1993	2.90	2.86	システム同定	1.2	1.1	加速度(cm/s ²)	12	6
						156.8							3	同上	1995	3.69	3.72	同上	4.3	3.2	加速度(cm/s ²)	244	245
SRC-3	愛知	2000	10	1	0	39.3			学校	杭	7.8	45.0	1	常時微動		0.50	0.45	1/√2法(PS)	2.5	3.3			
						39.3							1					R D 法	2.6	5.3			
SRC-8	東京	1988	28	0	2	80.6	41.2	41.2	住宅	杭	10.5	63.0	1	常時微動	竣工時	1.23	1.23	1/√2法(TF)	3.6	3.3	速度(×10 ⁻³ cm/s)	200	200
						80.6							1					自己相関	4.9	3.2			
SRC-23	東京	1967	18	2	0	59.2	44.8	19.2	事務所	杭	8.5	22.0	2	起 振 機	1668	1.10	0.89	1/√2法	1.3	1.4			
						59.2							1	常時微動		1.25	1	回帰分析(PS)	0.7	0.9			
						59.2							1					自己相関	0.8	1.0			
						59.2							1					R D 法	0.8	1.0			
						59.2							1					a~cの平均(確率密度)	0.8	0.9			
SRC-28	東京		12	2	1	47.4	26.5	26.5	事務所	杭			1	常時微動		0.82	_	R D 法	1.1	_			
						47.4							1					回帰分析(TF)	1.2	_			
SRC-39	東京		8	2	1	31.7				直接			1	常時微動		0.46	_	R D 法	2.3	_			
						31.7							1					回帰分析	2.0	_			
SRC-41	東京		8	1	1	28.6	23.2	14.4					1	常時微動		0.41	_	R D 法	2.8	_			
						28.6							1					回帰分析	2.1	_			
	広島		8			37	67.4	16.2	校舎	直接			1	常時微動		0.45	0.42	RD法	1.72	2.74			
SRC-59	(広島大学)					37							1	常時微動		0.45	0.42	ハーフパワー法	3.04	4.08			
	広島		8	1		37	67.4	16.2	校舎	直接			1	常時微動		0.43	0.42	RD法	2.31	1.57			
SRC-60	(広島大学)					37							1	常時微動		0.43	0.42	ハーフパワー法	3.6	2.78			
	広島		8			30.7	59.4	16.2	校舎	杭			1	常時微動		0.51	0.60	RD法	1.13	0.9			
SRC-61	(広島大学)					30.7							1	常時微動		0.47	0.60	ハーフパワー法	3.13	3.04			
	広島		8			30.9	59.4	16.6	校舎	杭			1	常時微動		0.50	0.60	RD法	1.19	0.67			
SRC-62	(広島大学)				<u> </u>	30.9							1	常時微動		0.50	0.60	ハーフパワー法	2.98	3.02			
	広島		8			35	64.8	14.4	校舎	杭			1	常時微動		0.51	0.45	RD法	1.67	1.37			
SRC-63	(広島大学)					35							1	常時微動		0.51	0.45	ハーフパワー法	3.33	2.73			
	広島		7			36.8	58	19.5	校舎	直接			1	常時微動		0.49	0.50	RD法	1.61	2.63			
SRC-64	(広島大学)					36.8							1	常時微動		0.49	0.50	ハーフパワー法	2.65	4.64			
000.05	広島		7			31	32.5	16.6	校舎	直接			1	常時微動		0.36	0.30	RD法	1.66	2.44			
SRC-65	(広島大学)					31							1	常時微動		0.36	0.30	ハーフパワー法	2.69	3.01			
	広島		6			30.7	70.2	15	校舎	杭			1	常時微動		0.40	0.41	RD法	2.76	1.65			
SRC-66	(広島大学)					30.7							1	常時微動		0.39	0.40	ハーフパワー法	3.59	2.83			
000.07	広島		6			30.7	60	15	校舎	杭			1	常時微動		0.39	0.45	RD法	3.2	1.8			
SRC-67	(広島大学)					30.7							1	常時微動		0.39	0.45	ハーフパワー法	5.13	3			
600.60	広島		7	1		38.4	70.2	16	校舎	直接			1	常時微動		0.50	0.50	RD法	1.68	1.07			
3KC-08	(広島大学)					38.4							1	常時微動		0.50	0.51	ハーフパワー法	2.45	2.35			
600.60	広島		7			30.6	31.2	16	校舎	直接			1	常時微動		0.37	0.50	RD法	2.7	1.03			
3KC-03	(広島大学)					30.6							1	常時微動		0.37	0.50	ハーフパワー法	4.47	2.54			
CDC 70	広島		8			38	70.2	16	校舎				1	常時微動		0.50	0.42	RD法	1	1.05			
3RC-70	(広島大学)					38							1	常時微動		0.50	0.41	ハーフパワー法	2.61	2.49			



図 3.2.1-4 同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を適用した 1次減衰定数の比較(S造)



図 3.2.1-5 同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を適用した1 次減衰定数の比較(RC 造)



(a) 短辺方向(SRC-1, SRC-3, SRC-8, SRC-23, SRC-28, SRC-39, SRC-41, SRC-59~62)



(b) 長辺方向(SRC-1, SRC-3, SRC-8, SRC-23, SRC-28, SRC-39, SRC-41, SRC-59~62)





SRC-68

建物No.

SRC-67

SRC-63

SRC-64

SRC-65

SRC-66

SRC-70

SRC-69

図 3.2.1-6 同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を適用した1 次減衰定数の比較(SRC 造)

(4) 減衰評価手法に関する知見の整理

図 3.2.1-4~図 3.2.1-6 から分かる通り、同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を 適用した場合、得られた減衰定数は差が生じていることが分かった。ここでは、いくつかの既 往研究を引用し、減衰評価手法(主に、ハーフパワー法と RD 法に着目)に関する知見を整理 する。

森田・神田(1996) *33 では、常時微動の実測波形にカーブフィット法、ハーフパワー法、 自己相関関数法を適用し減衰定数を推定する研究が行われている。その中で、常時微動の実測 波形への適用に先立って、各手法をシミュレーション波形(1自由度系の自由振動波形)に適用 し、シミュレーション波形の継続時間を変化させた場合の減衰定数を比較し、次のような結果 が得られている。カーブフィット法とハーフパワー法は継続時間の取り方によって減衰定数を 過大評価する場合がある。減衰定数の設定値を正しく評価するのは波形の継続時間が固有周期 の整数倍である時で、これは、波形の継続時間によってフーリエスペクトルの基本振動数が決 まるため、波形の継続時間が固有周期の整数倍でないときは、フーリエスペクトルにおいて固 有振動数のピークを過小評価するため減衰定数を過大評価すると考えられるとしている。一方、 自己相関関数法による減衰定数は、波形の継続時間によらず、減衰定数の設定値を精度良く評 価しており、これら手法の減衰定数の大小関係は、常に、自己相関関数法≤カーブフィット法 ≦ハーフパワー法であるとしている。このほかに、微動波形をアンサンブル平均する一つの区 間長さによっても減衰定数の計算結果は変化するとされ、一つの区間長さが短いとカーブフィ ット法とハーフパワー法では減衰定数を過大評価する場合があり、アンサンブル平均の一つの 区間長さは1次固有周期の 50 倍程度とることが望ましいとしている。

小林ら(2007)^{*34}は、RD 法による減衰評価にバンドパスフィルターの幅が及ぼす影響を 検討している。この中で、固有振動数 f0、減衰定数 h の 1 質点系モデルを設定し、この系に地 表面で観測された微動計測記録(継続時間 60 分)を入力し、Newmark の β 法により地震応答 解析を行い、得られた応答波形に対して、f0 を中心としバンド幅を 0.01Hz~1.0Hz と変え、 RD 法により減衰定数 h*を評価している。なお、RD 波形を作成する際の重ね合わせは 1000 個 としている。固有振動数 f0 を 0.5、2.0、5.0Hz とし、減衰定数 h=2%とした系について、RD 法 により減衰定数 h*を評価した結果は、バンド幅が狭すぎる場合 h*は過小評価となり、各々のモ デルで、h*を最も精度よく評価できるバンド幅(最適バンド幅)が異なるとしている。また、 系の減衰定数 h を 0.5、2.0、5.0%とした場合の固有振動数 f0 とバンド幅の関係は、最適バン ド幅は f0 に比例し、h が大きくなるほど広くなるとしている。

一方、豊田・鷹野(2013) ^{参 3-5} は、RD 法による減衰定数の算出結果に影響を与える因子を 以下のように 3 つ挙げている。

①バンドパスフィルターの幅:幅を広げると他の振動成分が RD 波形に混入し、減衰定数は 過大評価になる。一方、狭すぎると過小評価になる。

②近似する波数:常時微動測定を用いる場合、波数を多く(10波長など)見ても RD 波形の 乱れは小さく、近似する波数が結果に与える影響は小さい。一方、定常性が弱くデータの短い 地震動を用いる場合、5 波長前後から RD 波形が乱れることが多く、近似する波数が多すぎる と過大評価になる。一方、少なすぎると過小評価になる。 ③波形の抽出方法:特定の振幅の極大値のみを抽出して重ね合わせるなどにより、非線形シ ステムへの適用や振幅依存性などの議論が可能となる。

日高・青木(2015)^{参 3-6}は、常時微動測定による灯台の振動特性の推定を行っている。この 中で、1971年竣工の全高 20.95m、上部円形下部八角形の RC 造の灯台を対象に、高さ 17m に 位置する灯室に設置された K3 センサで観測された微動データに対して、RD 法とハーフパワー 法で減衰定数を評価している。RD 法は、灯台の 1 次固有振動数 3.22Hz を中心にバンド幅 1.0Hz のバンドパスフィルター処理をしたのち、10 秒間の小サンプルに分割した波形を 4000 個以上 重ね合わせ RD 波形を抽出し、ハーフパワー法は、微動波形に対してアンサンブル平均により フーリエスペクトルを求め、スペクトルの平滑化には Parzen のウインドウ幅を 0.5Hz として 行ったとしている。なお、微動波形は 200Hz サンプリングで 4096 点に分割したとしている。 評価結果は、東西方向で RD 法 0.86%、ハーフパワー法 1.74%、南北方向で RD 法 1.30%、ハ ーフパワー法 2.10%となっており、「RD 波形抽出の際に用いたバンドパスフィルターの影響に より、RD 法により求めた減衰定数はハーフパワー法で求めた値より低めの評価になったと考 えられる。」と述べられている。

以上より、常時微動データを対象としてハーフパワー法と RD 法で減衰定数を評価する際、 結果に影響を与える因子とその影響は、表 3.2.1-6 に示すように整理できる。

減衰評価手法	影響を与える因子	与える影響
		波形の継続時間が 1 次固有周
	波形の継続時間	期の整数倍でないと、減衰定
ハーフパロー汁		数を過大評価する。
ハーノハリー伝	アンサンブル亚物の一つの区	アンサンブル平均の一つの区
	ノノリノノル平均の一·りの区 明Eキ	間長さが短いと減衰定数を過
	间女で	大評価する。
		幅を広げると減衰定数は過大
RD 法	バンドパスフィルターの幅	評価になる。一方、狭すぎると
		過小評価になる。

表 3.2.1-6 常時微動データを対象とした減衰定数の評価結果に影響を与える因子とその影響

3.2.2 E-ディフェンス実験データアーカイブ

防災科学技術研究所では E-ディフェンスの実験データを ASEBI (Archives of Shakingtable Experimentation dataBase and Information) * 37 の Web ページで公開されている。ASEBI では 2005 年度~2021 年度まで 82 の実験データが公開されており、このうち、RC 構造物に関 する実験データを抽出した。抽出した実験データを主要な項目に整理し表 3.2.2-1 に示す。同 表より、RC 構造物に関する実験データは 11 の実験データが抽出され、公開されているデータ は、主に、実験概要、試験体概要、波形データ等である。なお、波形データは csv (カンマ区切 り) ファイルに 1000Hz (一部 200Hz) サンプリングで収録されており、波形の継続時間が 300 秒程度であるデータは波形の刻み個数が 30 万個程度と膨大である。さらに 1 つの csv ファイ ルに 50~60 程度のチャンネルのデータが収録されてることから、ファイル容量は概ね、20MB ~300MB 超と大きく、ダウンロードに時間を要する点に留意する必要がある。

表 3.2.2-2 に、日本建築学会の構造系論文集、年次大会梗概集を中心に、大型振動台に関す る文献を調査した結果を示す。表の最右列に示した振動台の欄には、振動台の施設とASEBI で 公開されている実験データの対応を整理した。ASEBIの欄に示した丸番号は表 3.2.2-1 の丸番 号に対応する。

3.2.2(1)~3.2.2(11)に、表 3.2.2-1に示した各実験データの実験概要、試験体概要、波形デー タについて詳記する。実験概要については実験の目的、加振日程を、試験体概要については試 験体の主な仕様、図面(軸組図、床伏図)、1次固有周期等を、波形データについては加速度セ ンサの位置、加速度波形を例示し、それぞれ整理した。なお、波形データは後述する 3.3.1 シミ ュレーション解析等の検討において1入力1出力系のARX モデルを用いて減衰定数の試算を 行うことから、1階とR階の波形データを対象に収集した。

	実験概要						試験体概要	5								
No	宝瞼タイトル	実験	構造種別	階数	質量	最高高さ	其淮階平面寸法	図面	材料	強度	部材	固有周	期(sec)	減衰*	波形データ (サンブリング周波数)	備考
		年度	時起達加	FE XX	(ton)	(m)		ыш	Fc	鋼種	断面	長辺	短辺	(%)	())))))))))))))))))))))))))))))))))))))	
1	重要施設の耐震実験	2008	RC 耐震・免震	4	760.0	耐16.55 免17.115	長(Y) 10m× 短(X) 8m	0	0	0	0	0.24	0.23	× **	(1000Hz)	
2	重要施設の機能保持性能向上耐震実験	2010	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上	×	(1000Hz)	①の後発実験である。①の試験体に機 能性保持の対策が施されている。
3	コンクリート系建物実験/設備機器・配管実験	2010	RC 耐震	4	609.0	12.000	長(X) 14.4m× 短(Y) 7.2m	0	0	0	0	0.43	0.31	× **	(1000Hz)	
4	長周期地震動に対するRC造建築物の安全性検証方 法に関する検討	2012	RC 耐震	縮小 20層	415.0	15.000	長(X) 4.875m× 短(Y) 3.25m	0	0	0	0	0.51	0.56	× **	(1000Hz)	フレームモデルによる地震応答解析が 行われている。
5	実大免震建物の衝突による被害低減対策開発のため の加振実験	2013	RC 免震	4	686.6	17.600	長(Y) 13.4m× 短(X) 10m	0	0	0	0	0.43	~0.44	×	(1000Hz)	
6	縮小6層RC造耐震壁フレーム建物の振動実験	2014	RC 耐震	縮小 6層	320.0	5.400	長(X) 5.4m× 短(Y) 3.6m	0	0	0	0	0.0	095	×	(200Hz)	実験前後にFEM解析が行われている。
7	現行耐震設計基準に基づく10層RC造骨組の崩壊メ カニズムと普及型高耐震技術に関する実験	2015	RC 基礎すべ り・固定	10	1027.0	27.450	長(Y) 13.5m× 短(X) 9.5m	0	0	0	0	0.57	0.57	×	(1000Hz)	
8	モニタリング技術検証のためのRC造フレーム・模 型地盤の振動実験	2016	RC 地盤連成・ 基礎固定	縮小 3層	連成287.4 建物64.6	4.600	長(Y) 3.6m× 短(X) 2.2m	0	0	0	0	0.1	0.1	×	(1000Hz)	
9	高耐震鉄筋コンクリート造建物の耐震性能と普及型 高耐震技術に関する実験	2018	⑦に同じ	⑦に 同じ	⑦に同じ	⑦に同じ	⑦に同じ	⑦に 同じ	⑦に 同じ	⑦に 同じ	⑦に 同じ	0.578	0.449	×	(1000Hz)	⑦の後発実験である。⑦の試験体から 配筋量等が見直されている。
10	災害拠点建物の安全度・継続使用性評価法開発のた めの振動実験	2019		_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	○ (センサ位置不明)	ASEBIに諸元なし
(1)	5階建て鉄筋コンクリート造建築物の降伏点・減衰 評価実験	2020	RC 耐震	縮小 5層	458.0	17.600	長(X) 12m× 短(Y) 6m	0	0	0	0	0.	35	×	○ (1000Hz)	

表 3.2.2-1 RC 構造物に関する ASEBI のデータ

注釈)○:ASEBIの公開データに情報があることを表している。

- ×:ASEBIの公開データに情報がないことを表している。
- ー:ASEBIの公開データがないことを表している。
- *:減衰評価手法により評価される減衰定数。
- **: 東城他(2017) 参 3-25 により ARX で減衰定数が評価されている。

No	及主主	77 L II	+= #===	改主左	F	振動台	
NU.	尤我有	×1 [72	PEJ 单龙 司心	光衣牛	具	施設	ASEBI
1	三好雅人 他	せん断破壊型方立て壁がRC架構に及ぼす影響に関する実験的研究(その1~3)	日本建築学会大会(関東)	2006年9月	699-704	東京工業大学	-
2	松杰寿浩 仙	大型振動台による鉄筋コンクリート耐震壁フレーム構造の耐震性に関する研究	口木建筑学会楼准玄論立隹	2007年4日	85-90		
2		一実大6層試験体と3次元振動台実験の概要-	口平建荣于云傅坦示硎人来	2007年4月	00-90	F ディフェンフ	~
2		大型振動台による鉄筋コンクリート耐震壁フレーム構造の耐震性に関する研究	口木建筑带合楼华玄经立集	2008年1日	05 101		
5		一曲げ降伏後せん断破壊する耐震壁の負担せん断力一	口平建架于云傅道示酬又来	2000年1月	55-101		
4	壁谷津寿一 他	実大3層鉄筋コンクリート建物の振動実験	日本建築学会構造系論文集	2008年10月	1833-1840	E-ディフェンス	×
5	壁谷津寿海 他	実大3層RC外付け補強建物の設計と振動実験結果	日本建築学会大会(中国)	2008年9月	65-68	E-ディフェンス	×
6	長江拓也 他	4階建て鉄筋コンクリート造建物を対象とした大型振動台実験	日本建築学会構造系論文集	2011年11月	1961-1970	E-ディフェンス	3
7	勝又 英雄 他	縮小6層RC造耐震壁フレーム建物試験体の振動台実験 RC造建物の崩壊余裕度定量化に関する研究開発(その8~11)	日本建築学会大会(関東)	2015年9月	339-346		
8	米澤健次 他	縮小6層RC造耐震壁フレーム建物試験体の振動台実験 RC造建物の崩壊余裕度定量化に関する研究開発(その14)	日本建築学会大会(九州)	2016年8月	273-274	F ディフェンフ	6
9	岡田敬一 他	RC造6層建物試験体の大型振動台実験における地震時建物健全性判定支援システムの適用	日本建築学会大会(九州)	2016年8月	1025-1026		
10	杉本訓祥 他	縮小6層RC造耐震壁付きフレーム建物試験体の振動台実験における崩壊挙動	日本建築学会構造系論文集	2017年11月	1759-1768		
11	三浦耕太 他	連層耐震壁を有するRC造建物の残存耐震性能評価法に関する研究(その1~3)	日本建築学会大会(北陸)	2019年9月	649-654	東北大学	-
12	勅使川原正臣 他	RC造建物の振動減衰性状評価方法の検討(その19~29)	日本建築学会大会(東海)	2021年9月	509-530	E-ディフェンス	(1)
13	前田匡樹 他	連層耐震壁を有するRC造4層建物縮小試験体の振動実験による被災度評価と応答予測(その1~2)	日本建築学会大会(関東)	2020年9月	441-444	東北大学	-
14	壁谷津寿一 他	偏心鉄筋コンクリート構造物の非線形変形モードに基づく地震応答推定手法	日本建築学会構造系論文集	2005年10月	87-94	東京大学	-
15	勝文英雄 他	鉄筋コンクリート造4層壁フレーム模型の多方向入力振動台実験(その1~2)	日本建築学会大会(近畿)	2005年9月	407-410	東京大学	-
16	井上貴仁 他	震災時における建物の機能保持に関する研究開発(その5~15)	日本建築学会大会(東北)	2009年8月	973-994	E-ディフェンス	
17	//	医療施設の機能保持性能を検証するための実大震動台実験	口十冲效带个排件工会立在	2010年4日	771 700		1
17	佐藤木児 他	震災時における都市施設の安全性・機能性評価	口平建柴子云栖垣未늚又朱	2010年4月	//1-/80	E-ディノエノス	
18	井上貴仁 他	震災時における建物の機能保持に関する研究開発(その21~25)	日本建築学会大会(関東)	2011年8月	425-434	E-ディフェンス	2
19	杉本訓祥 他	縮小20層RC造建物試験体の長周期地震動による震動実験(その1~11)	日本建築学会大会(北海道)	2013年8月	653-674	E-ディフェンス	
20	豊田真士 他	長周期地震動を受ける20層RC造フレームの地震応答解析	日本建築学会構造系論文集	2014年8月	1167-1174	E-ディフェンス	4
21	佐藤栄児 他	E-ディフェンスを用いた実大実験による免震技術の高度化(その1~4)	日本建築学会大会(北海道)	2013年8月	751-758	E-ディフェンス	
22	佐藤栄児 他	E-ディフェンスを用いた実大実験による免震技術の高度化(その5)	日本建築学会大会(近畿)	2014年9月	551-552	E-ディフェンス	5
23	佐藤栄児 他	E-ディフェンスを用いた実大実験による免震技術の高度化(その6~8)	日本建築学会大会(関東)	2015年9月	557-562	E-ディフェンス	1
0.4	レズエムル	建物-杭-地盤連成系を対象としたE-ディフェンス振動台実験	口上油燈光入進水式為去生	0010ケフロ	005 005		
24	山添止砲 他	RC造杭基礎建物の地震応答評価その1	口平廷梁子云傅道希誦乂集	2018年7月	982-995	E-ディノェンス	8
25	梶原浩一 他	E-ディフェンスを用いた10階建て鉄筋コンクリート造建物(2015)の三次元振動台実験(その1~5)	日本建築学会大会(九州)	2016年8月	863-872	E-ディフェンス	7
26	梶原浩一 他	実大10階建て鉄筋コンクリート造建物を用いたE-ディフェンス実験(2018年度)(その1~3)	日本建築学会大会(北陸)	2019年9月	605-610	E-ディフェンス	9

表 3.2.2-2 大型振動台に関する文献の一覧

注釈) -:実験が E-ディフェンスでない他施設で行われているため ASEBI ではデータ公開していないことを表す。

×:実験が E-ディフェンスで行われているものの ASEBI ではデータ公開していないことを表す。

(1) 重要施設の耐震実験^{参 3-8}

a)実験概要

大地震時における救急救命、被災後の生命維持の拠点となる医療施設、および被災状況等の 情報発信の拠点となる情報通信施設など重要施設の機能保持および耐震性向上を目的に、耐震 構造及び免震構造とした2種類の医療施設を対象として実規模実験を行い、震災時における施 設の機能保持性能、機能損傷状況及び復旧性能を定量的に評価するための基礎データが取得さ れている。

表 3.2.2-3 には免震構造の試験体の加振日程を示す。加振は 2008 年 12 月 22 日、25 日、2009 年 1 月 9 日に行われている。入力地震波はエルセントロ波、JMA 神戸波、三の丸波が使用され、それぞれ振幅レベルを変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプリングはいずれも 1000Hz である。

また、表 3.2.2-4 には耐震構造の試験体の加振日程を示す。加振は 2009 年 1 月 15 日、19 日、22 日に行われている。入力地震波はエルセントロ波、JMA 神戸波、三の丸波に加え、横浜 波、ランダム波が使用され、それぞれ振幅レベルを変えた複数種類を入力している。波形デー タの収録時間は表のとおりであり、サンプリングはいずれも 1000Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	14:24	1	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
	14:36	2	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
	15:02	3	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
	15:12	4	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
2008/12/22	15:23	5	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
2000/12/22	15:28	6	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec
	15:47	7	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec
	15:55	8	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec
	17:06	9	エルセントロ波、X,Y軸、100%	82sec + 10sec
	19:40	10	JMA神戸波、X,Y,Z軸、80%	41sec+10sec
2008/12/25	15:18	11	三の丸波、X,Y軸、100%	328sec + 10sec
	12:02	12	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
	12:12	13	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
	12:21	14	エルセントロ波、X,Y軸、25%	82sec + 10sec
	12:47	15	JMA神戸波、X,Y軸、20%	41sec+10sec
	12:55	16	JMA神戸波、X,Y軸、20%	41sec+10sec
	13:04	17	JMA神戸波、X,Y軸、20%	41sec+10sec
2009/1/9	13:18	18	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec
	13:25	19	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec
	13:33	20	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec
	14:48	21	エルセントロ波、X,Y軸、100%	82sec + 10sec
	15:54	22	JMA神戸波、X,Y軸、80%	41sec+10sec
-	16:57	23	JMA神戸波、X,Y,Z軸、80%	41sec + 10sec
	18:14	24	三の丸波、X,Y軸、100%	328sec + 10sec

表 3.2.2-3 免震構造の加振日程 (ASEBI * 3-8 より抜粋・編集)

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間		
	12:03	1	ランダム波、X,Y軸、15gal	328sec+10sec		
	13:14	2	三の丸波、X,Y軸、100%	328sec+10sec		
	15:19	3	ランダム波、X,Y軸、15gal	328sec+10sec		
2000/1/15	16:18	4	横浜波、X,Y軸、20%	164sec+10sec		
2003/1/13	16:30	5	横浜波、X,Y軸、20%	164sec+10sec		
	16:45	6	横浜波、X,Y軸、20%	164sec+10sec		
	16:59	7	横浜波、X,Y軸、20%	164sec+10sec		
	18:10	8	橫浜波、X,Y軸、100%	164sec+10sec		
	12:02	q	ランダム波、X軸、15gal	328sec+10sec		
	12:23	5	ランダム波、Y軸、15gal	328sec+10sec		
	14:19	10	エルセントロ波、X,Y軸、20%	82sec+10sec		
2009/1/19	14:29	11	エルセントロ波、X,Y軸、20%	82sec+10sec		
2003/1/13	14:38	12	エルセントロ波、X,Y軸、20%	82sec+10sec		
	15:49	13	エルセントロ波、X,Y軸、100%	82sec+10sec		
	16:03	14	ランダム波、X軸、15gal	328sec+10sec		
	16:21	14	ランダム波、Y軸、15gal	328sec+10sec		
	13:22	15	ランダム波、X軸、15gal	328sec+10sec		
	13:40	15	ランダム波、Y軸、15gal	328sec+10sec		
	14:42	16	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec		
	14:50	17	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec		
2009/1/22	14:58	18	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec		
	15:08	19	JMA神戸波、X,Y,Z軸、20%	41sec+10sec		
	16:14	20	JMA神戸波、X,Y,Z軸、80%	41sec+10sec		
	16:30	21	ランダム波、X軸、15gal	328sec+10sec		
	16:48	~ 1	ランダム波、Y軸、15gal	328sec+10sec		

表 3.2.2-4 耐震構造の加振日程 (ASEBI ^参 3-8 より抜粋・編集)

b) 試験体概要

試験体は、一般的な医療施設を模した階用途構成とし、実大のスパン、階高を有する RC 造4 階建である。また構造形式として、上部構造と震動台をボルトで緊結した場合の耐震構造、及びそれらの間に免震装置を介在させた場合の免震構造の2種類の試験体が採用されている。試験体の主な仕様を表3.2.2-5 に示す。図3.2.2-1 には試験体図面を示す。(a)が軸組図、(b)が基準階床伏図である。スパンが長辺方向(Y方向)5m×2スパン、短辺方向(X方向)8m×1スパン、階高が1、3階を3.90m、2、4階を3.40mとされている。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)が示されているほか、設計時の1次固有周期はX方向0.23秒、Y方向0.24秒とされている。

本試験体の実験は、震災時における医療施設の機能保持性能、機能損傷状況及び復旧性能を 定量的に評価するために行われていることから、試験体は医療施設の内部空間が詳細に模擬さ れている。具体的には、1階に撮影室、情報通信室、2階に診察室、スタッフステーション、透 析室、3階に集中治療室、手術室、4階に病室、情報通信室を設けたとされており、躯体内外に 非構造部材ならびに医療機器が多数設置されている。そのため、加振実験において躯体に与え る影響として、主要架構のみならず非構造部材や医療機器などの影響も加わるとされている。

項目	仕様
構造種別、階数	RC 造、4 階
質量	760t
高さ	16.55m(耐震)、17.115m(免震)
床面積	10m×8m(1 階あたり)

表 3.2.2-5 試験体の主な仕様



図 3.2.2-1 試験体図面

c)波形データ

表 3.2.2・4 に示した耐震構造の試験体の加振日程のうち、例として、整理番号 1 のランダム 波 15gal と 13 のエルセントロ波 100%の波形データを収集した。図 3.2.2・2 には例示する波形 データのセンサ位置を示す。図 3.2.2・3 と図 3.2.2・4 にはそれぞれ、ランダム波 15gal とエル セントロ波 100%の 1 階と R 階の X 成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示 する。これらの波形データは 1000Hz サンプリングで収録されているが、波形データのファイ ル容量を軽減する目的から作図では 100Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バ ンドパスフィルター等)は行っていない生データである。



(a) 1 階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3-8}より抜粋・加筆)
(緑の丸印が例示する波形データのセンサ)



(b) R階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3-8}より抜粋・加筆)
(青の丸印が例示する波形データのセンサ)
図 3.2.2-2 加速度センサ位置



図 3.2.2-3 ランダム波 15gal (表 3.2.2-4 整理番号 1) による X 成分の波形データ



図 3.2.2-4 エルセントロ波 100% (表 3.2.2-4 整理番号 13) による X 成分の波形データ

(2) 重要施設の機能保持性能向上耐震実験^{参 3-9}

a)実験概要

本実験は、3.2.2(1) **重要施設の耐震実験^{参 3-8}**の後続実験である。先行実験で明らかになった 各構造での機能保持の脆弱性に関して対策技術を施した重要施設としての振動実験が行われ、 それらの対策技術の有効性および限界性能等について、定量的に明らかにすることが目的とさ れている。

表 3.2.2-6 には免震構造の試験体の加振日程を示す。加振は 2010 年 9 月 17 日、21 日、30 日、10 月 4 日に行われている。入力地震波はエルセントロ波、JMA 神戸波、横浜波、三の丸 波、ランダム波等が使用され、それぞれ振幅レベルを変えた複数種類を入力している。波形デ ータの収録時間は表のとおりであり、サンプリングはいずれも 1000Hz である。

また、表 3.2.2-7 には耐震構造の試験体の加振日程を示す。加振は 2010 年 10 月 12 日、15 日、18 日、21 日に行われている。入力地震波は免震と同様に、エルセントロ波、JMA 神戸波、 横浜波、三の丸波、ランダム波等が使用され、それぞれ振幅レベルを変えた複数種類を入力し ている。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプリングはいずれも 1000Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	10:42	1	ランダム波X	3sec+65sec+5sec
	10:57		ランダム波Y	3sec+65sec+5sec
	11:09		ランダム波_Z	3sec+65sec+5sec
	12:03	2	JMAX,Y補償1回目	3sec+41sec+5sec
	12:15	3	JMAX,Y補償2回目	3sec+41sec+5sec
	12:27	4	JMAX,Y補償3回目	3sec+41sec+5sec
	12:41	5	JMAX,Y,Z補償1回目	3sec+41sec+5sec
2010/9/17	12:52	6	JMAX,Y,Z補償2回目	3sec+41sec+5sec
	13:03	7	JMAX,Y,Z補償3回目	3sec+41sec+5sec
	13:19	8	エルセントロX,Y補償1回目	5sec+65sec+5sec
	13:32	9	エルセントロX,Y補償2回目	5sec+65sec+5sec
	13:44	10	エルセントロX,Y補償3回目	5sec+65sec+5sec
	14:05	11	JMAZ	3sec+41sec+5sec
	17:00	12	エルセントロ_X,Y_50kine	5sec+65sec+5sec
	19:12	13	JMAX,Y,Z80%	3sec+41sec+5sec
	13:02	14	三里塚波(PJ1-SRT)X,Y,Z	3sec+164sec+5sec
2010/9/21	15:00	15	JMAX,Y	3sec+41sec+5sec
	17:00	16	三の丸X,Y	3sec+327sec+5sec
	09:15		ランダム波X	3sec+65sec+5sec
	09:27	17	ランダム波Y	3sec+65sec+5sec
	09:38		ランダム波_Z	3sec+65sec+5sec
	09:51	18	ランダム波_Z_X変位=5cm	3sec+65sec+5sec
	10:03	19	ランダム波_Z_X変位=10cm	3sec+65sec+5sec
	10:15	20	ランダム波_Z_X変位=20cm*0.8	3sec+65sec+5sec
	11:09	21	橫浜波X,Y補償1回目	3sec+98sec+5sec
	11:23	22	橫浜波X,Y補償2回目	3sec+98sec+5sec
	11:36	23	横浜波X,Y補償3回目	3sec+98sec+5sec
2010/9/30	10:07	24	エルセントロX,Y補償1回目	5sec+65sec+5sec
	12:18	25	エルセントロX,Y補償2回目	5sec+65sec+5sec
	12:34	26	エルセントロX,Y補償3回目	5sec+65sec+5sec
	12:49	27	エルセントロX,Y,Z補償1回目	5sec+65sec+5sec
	13:01	28	エルセントロX,Y,Z補償2回目	5sec+65sec+5sec
	13:15	29	エルセントロX,Y,Z補償3回目	5sec+65sec+5sec
	13:32	30	JMAZ	3sec+41sec+5sec
	15:16	31	横浜波X,Y100%	3sec+98sec+5sec
	16:42	32	エルセントロX,Y50kine	5sec+65sec+5sec
	18:06	33	エルセントロ_X,Y,Z_50kine	5sec+65sec+5sec
2010/10/4	12:02	34	JMA_X,Y補償1回目	3sec+41sec+5sec
	12:12	35	JMAX,Y補償2回目	3sec+41sec+5sec
	12:22	36	JMAX,Y補償3回目	3sec+41sec+5sec
	12:33	37	JMAX,Y,Z補償1回目	3sec+41sec+5sec
	12:43	38	JMA_X,Y,Z補償2回目	3sec+41sec+5sec
	12:54	39	JMA_X,Y,Z補價3回目	3sec+41sec+5sec
	15:30	40	JIVIA_X,Y_100%	3sec+41sec+5sec
	10:50	41	JIVIA	35ec+415ec+55ec
	10:20	42		3000 + 227000 + 5000
	19.02	40		J3607J2188073880

表 3.2.2-6 免震構造の加振日程 (ASEBI ^参 3-9 より抜粋・編集)

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	10:03	1	ランダム波X	3sec+65sec+5sec
	10:15	2	ランダム波X200%	3sec+65sec+5sec
	10:30		ランダム波_Y_200%	3sec+65sec+5sec
	10:42		ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec
	12:02	3	三の丸X,Y	3sec+327sec+5sec
	12:23	4	ランダム波_X_200%	3sec+65sec+5sec
	12:35		ランダム波_Y_200%	3sec+65sec+5sec
	12:47		ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec
	14:30	5	三里塚(PJ1)X,Y,Z	3sec+164sec+5sec
	14:46	6	ランダム波X200%	3sec+65sec+5sec
2010/10/12	14:58		ランダム波Y200%	3sec+65sec+5sec
2010/10/12	15:09		ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec
	17:45	7	横浜波X,Y補償1回目	3sec+98sec+5sec
	18:01	8	横浜波X,Y補償2回目	3sec+98sec+5sec
	18:14	9	横浜波X,Y補償3回目	3sec+98sec+5sec
	18:36	10	横浜波X,Y補償1回目(レベル変更)	3sec+98sec+5sec
	18:49	11	横浜波X,Y補償2回目(レベル変更)	3sec+98sec+5sec
	19:03	12	横浜波X,Y補償3回目(レベル変更)	3sec+98sec+5sec
	20:06	13	横浜波X,Y100%	3sec+98sec+5sec
	20:21	14	ランダム波X200%	3sec+65sec+5sec
	20:34		ランダム波_Y_200%	3sec+65sec+5sec
	20:47		ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec
	11:07	15	エルセントロX,Y補償1回目	5sec+65sec+5sec
	11:18	16	エルセントロX,Y補償2回目	5sec+65sec+5sec
	11:33	17	エルセントロX,Y補償1回目(レベル変更)	5sec+65sec+5sec
	11:44	18	エルセントロX,Y補償2回目(レベル変更)	5sec+65sec+5sec
2010/10/15	11:56	19	エルセントロX,Y補償3回目(レベル変更)	5sec+65sec+5sec
	13:39	20	エルセントロ_X,Y_50kine	5sec+65sec+5sec
	13:52		ランダム波X200%	3sec+65sec+5sec
	14:04	21	ランダム波_Y_200%	3sec+65sec+5sec
	14:16		ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec
	13:02	22	JMAZ	3sec+41sec+5sec
	13:50	23	JMAX,Y,Z補償1回目	3sec+41sec+5sec
2010/10/18	14:01	24	JMAX,Y,Z補償2回目	3sec+41sec+5sec
	14:11	25	JMAX,Y,Z補償3回目	3sec+41sec+5sec
	17:01	26	JMAX,Y,Z100%	3sec+41sec+5sec
	17:13		ランダム波X200%	3sec+65sec+5sec
	17:24	27	ランダム波_Y_200%	3sec+65sec+5sec
	17:36		ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec
2010/10/21	13:02	28	JMAX,Y,Z40%	3sec+41sec+5sec
	13:17		ランダム波_X_200%	3sec+65sec+5sec
	13:29	29	ランダム波_Y_200%	3sec+65sec+5sec
	13:41	1	ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec
	16:04	30	JMA_X,Y_80%	3sec+41sec+5sec
	16:20		ランダム波X200%	3sec+65sec+5sec
	16:31	31	ランダム波Y200%	3sec+65sec+5sec
	16:46	1	ランダム波_Z_200%	3sec+65sec+5sec

表 3.2.2-7 耐震構造の加振日程 (ASEBI)^{参 3-9}より抜粋・編集)

b) 試験体概要

試験体は基本的に、3.2.2(1) **重要施設の耐震実験^{参 3-8}**で示したものと同様である(表 3.2.2-5、 図 3.2.2-1)が、以下の機能性保持の脆弱性に関する対策技術が施されている。

設計時の1次固有周期はX方向0.23秒、Y方向0.24秒とされている。

- 1)機器の壁面等への簡易固定対策
- 2) 衝突対策のための壁面の防護
- 3) 免震床・機器免震による対策
- 4) キャスター機器の簡便・高度な固定対策

c)波形データ

表 3.2.2-7 に示した耐震構造の試験体の加振日程のうち、例として、整理番号 1 のランダム 波と 20 のエルセントロ波 50kine の波形データを収集した。例示する波形データのセンサ位置 は図 3.2.2-2 と同様である。図 3.2.2-5 と図 3.2.2-6 にはそれぞれ、ランダム波とエルセントロ 波 50kine の 1 階と R 階の X 成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。 これらの波形データは 1000Hz サンプリングで収録されているが、波形データのファイル容量 を軽減する目的から作図では 100Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパ スフィルター等)は行っていない生データである。



(e) 伝達関数 (R 階÷1 階)

図 3.2.2-5 ランダム波 (表 3.2.2-7 整理番号 1) による X 成分の波形データ



図 3.2.2-6 エルセントロ波 50kine (表 3.2.2-7 整理番号 20) による X 成分の波形データ

(3) コンクリート系建物実験/設備機器・配管実験参3-10

a)実験概要

従来型鉄筋コンクリート構造の耐震性能を明らかにし、既往の耐震性能評価手法の妥当性が 検証されるとともに、新材料・新工法を用いた新しい構造システムの高耐震性能を実証する実 験における、各加振後のひび割れ等の損傷度を観察・記録し、耐震性能の評価につながる基礎 資料が得られている。

表 3.2.2-8 には試験体の加振日程を示す。加振は 2010 年 12 月 13 日、15 日、17 日に行われ ている。入力地震波は JMA 神戸波、JR 鷹取波、ホワイトノイズ波が使用され、それぞれ振幅 レベルを変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプ リングはいずれも 1000Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	12:31	1	White_Noise	5sec+41sec+5sec
	12:45	2	JMA-Kobe_10%	5sec+41sec+5sec
	12:57	3	White_Noise	5sec+41sec+5sec
2010/12/13	13:12	4	JMA-Kobe_25%	5sec+41sec+5sec
	13:27	5	White_Noise	5sec+41sec+5sec
	16:29	6	JMA-Kobe_50%	5sec+41sec+5sec
	16:41	7	White_Noise	5sec+41sec+5sec
	12:19	8	White_Noise	5sec+41sec+5sec
2010/12/15	15:02	9	JMA-Kobe_100%	5sec+41sec+5sec
	15:14	10	White_Noise	5sec+41sec+5sec
	11:01	11	White_Noise	5sec+41sec+5sec
2010/12/17	11:15	12	JR-Takatori_40%	5sec+41sec+5sec
	11:28	13	White_Noise	5sec+41sec+5sec
	14:30	14	JR-Takatori_60%	5sec+41sec+5sec
	14:41	15	White_Noise	5sec+41sec+5sec

表 3.2.2-8 加振日程 (ASEBI * 3-10より抜粋・編集)

b) 試験体概要

試験体は、実大寸法の部材で構成される、平面が長方形の4階建て鉄筋コンクリート造建物 である。試験体の主な仕様を表 3.2.2-9 に示す。図 3.2.2-7 には試験体図面を示す。(a)が軸組 図、(b)が基準階床伏図である。各階の階高は3m、長辺方向(X方向)は7.2mの2スパン、短 辺方向(Y方向)は7.2mの1スパンとされている。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)が示されているほか、加振実験前のホワイトノイズ加振で得られた1次固有周期はX方向0.43秒、Y方向0.31秒とされている。

なお、この研究では、表 3.2.2-9、図 3.2.2-7 に示した試験体とほぼ同形状、同質量のプレス トレストコンクリート造建物の試験体も用意され、地震応答性状や損傷過程など、同様の観点 から耐震性能が検証されている。実験では、両試験体が振動台上に並べて配置され同時に加振 されている。

項目	仕様	
構造種別、階数	RC 造、4 階	
質量	609t	
高さ	12m	
床面積	14.4m×7.2m(1 階あたり)	

表 3.2.2-9 試験体の主な仕様



(a) 軸組図 (長江他 (2011) ^参 3·11 より抜粋) (長江他 (2011) ^参 3·11 より抜粋)

図 3.2.2-7 試験体図面

c)波形データ

表 3.2.2-8 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号1のホワイトノイズ波と 9のJMA 神戸波 100%の波形データを収集した。図 3.2.2-8 には例示する波形データのセンサ 位置を示す。図 3.2.2-9 と図 3.2.2-10 にはそれぞれ、ホワイトノイズ波とJMA 神戸波 100% の1階とR階のX成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。これらの波 形データは 1000Hz サンプリングで収録されているが、波形データのファイル容量を軽減する 目的から作図では 100Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパスフィルタ 一等)は行っていない生データである。



(a) 1 階の加速度センサ位置
(ASEBI ^参 3·10 より抜粋・加筆)
(緑の丸印が例示する波形データのセンサ)
(清の丸印が例示する波形データのセンサ)
(図 3.2.2-8 加速度センサ位置





2-R1-A1Xの波形データないことから、伝達関数は計算不可

(e) 伝達関数(R 階÷1 階)

図 3.2.2-9 ホワイトノイズ波(表 3.2.2-8 整理番号1)による X 成分の波形データ



図 3.2.2-10 JMA 神戸波 100% (表 3.2.2-8 整理番号 9) による X 成分の波形データ
(4) 長周期地震動に対する RC 造建築物の安全性検証方法に関する検討^{参 3-12}

a)実験概要

これまで、高層建物の実現にむけた研究開発は、部材実験結果に基づく復元力特性を用いた 建物解析モデルにより解析的に架構の挙動を推定する手法が採られきた。このような手法の確 認のため、部分架構試験体や縮小模型を用いた各種の実験が行われているが、強非線形領域で は、スラブや耐震壁の影響で解析結果を過小評価することが指摘されており、強非線形領域の 挙動をより正確に把握する必要があるとして、この研究では、過去の設計用地震動より大きな 長周期地震動を対象とし、超高層 RC 造の架構全体を模擬した試験体の応答性状を、大型震動 台を用いた加震実験により直接的に把握し、検証することを目的としている。

表 3.2.2-10 には試験体の加振日程を示す。加振は 2012 年 8 月 28 日、29 日、30 日に行われ ている。入力地震波は JMA 神戸波、JR 鷹取波、ホワイトノイズ波が使用され、それぞれ振幅 レベルを変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプ リングはいずれも 200Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	14:03	1	ランダム波3軸30gal	15sec+164sec+10sec
2012/0/20	14:21	2	ランダム波3軸40gal	15sec+164sec+10sec
	14:37	3	3.11観測東雲波40%基本	15sec+164sec+10sec
	14:59	4	3.11観測東雲波40%入力補償①	15sec+164sec+10sec
2012/0/20	15:14	5	3.11観測東雲波40%入力補償②	15sec+164sec+10sec
	15:32	6	3.11観測東雲波40%入力補償③	15sec+164sec+10sec
	15:57	7	3.11観測東雲波100%入力補償④	15sec+164sec+10sec
	16:56	8	ランダム波3軸50gal	15sec+164sec+10sec
	12:20	9	3.11観測東雲波Y80%、XZ40%入力補償①	5sec+164sec+10sec
	12:37	10	3.11観測東雲波Y80%、XZ40%入力補償②	5sec+164sec+10sec
	12:54	11	3.11観測東雲波Y80%、XZ40%入力補償③	5sec+164sec+10sec
	13:20	12	3.11観測東雲波Y200%、XZ100%入力補償④	5sec+164sec+10sec
2012/8/29	14:17	13	ランダム波3軸50gal	5sec+164sec+10sec
2012/0/23	14:44	14	3.11観測東雲波Y120%、XZ40%入力補償①	5sec+164sec+10sec
	15:04	15	3.11観測東雲波Y120%、XZ40%入力補償②	5sec+164sec+10sec
	15:38	16	3.11観測東雲波Y120%、XZ40%入力補償③	5sec+164sec+10sec
	16:03	17	3.11観測東雲波Y300%、XZ100%入力補償④	5sec+164sec+10sec
	16:54	18	ランダム波3軸50gal	5sec+164sec+10sec
	12:18	19	平成23年愛知模擬波Y80%入力補償①	5sec+164sec+10sec
	12:32	20	平成23年	5sec+164sec+10sec
	12:48	21	平成23年	5sec+164sec+10sec
2012/8/30	13:03	22	ランダム波3軸50gal	5sec+164sec+10sec
2012/0/30	13:21	23	平成23年愛知模擬波Y80%入力補償①	5sec+164sec+10sec
	13:35	24	平成23年愛知模擬波Y80%入力補償②	5sec+164sec+10sec
	13:51	25	平成23年愛知模擬波Y200%入力補償③	5sec+164sec+10sec
	14:15	26	ランダム波3軸50gal	5sec+164sec+10sec

表 3.2.2-10 加振日程 (ASEBI * 3-12より抜粋・編集)

試験体は、階高 3m、最高高さ 60m 超の超高層建物を想定した縮小 20 層の RC 造建物であ る。縮尺は 1/4 で 1 階柱脚からの最高高さは 15m とされている。試験体の主な仕様を表 3.2.2-11 に示す。図 3.2.2-11 には試験体図面を示す。(a)が軸組図、(b)が基準階床伏図である。各階の階 高は 0.75m、長辺方向(X 方向)は 1.625m の 3 スパン、短辺方向(Y 方向)は 1.625m の 2 ス パンとされている。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)、地震応 答解析モデル(フレームモデル)の概要が示されているほか、固有値を求めるための加振実験 で得られた1次固有周期はX方向0.51秒、Y方向0.56秒とされている。

項目	仕様
構造種別、階数	RC 造、20 階(縮小 20 層)
質量	415t
高さ	15m
床面積	4.875m×3.25m(1 階あたり)

表 3.2.2-11 試験体の主な仕様



図 3.2.2-11 試験体図面

c)波形データ

表 3.2.2-10 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号1のランダム波 30gal と 7の3.11 観測東雲波 100%の波形データを収集した。図 3.2.2-12 には例示する波形データのセ ンサ位置を示す。図 3.2.2-13 と図 3.2.2-14 にはそれぞれ、ランダム波 30gal と 3.11 観測東雲 波 100%の1 階と R 階の X 成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。こ れらの波形データは 200Hz サンプリングで収録されているが、波形データのファイル容量を軽 減する目的から作図では 20Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパスフ ィルター等)は行っていない生データである。



(a) 1 階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3-12}より抜粋・加筆)
 (緑の丸印が例示する波形データのセンサ)



(b) R階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3·12}より抜粋・加筆)
 (青の丸印が例示する波形データのセンサ)
 図 3.2.2-12 加速度センサ位置



3-40



図 3.2.2-14 3.11 観測東雲波 100% (表 3.2.2-10 整理番号 7) による X 成分の波形データ

(5) 実大免震建物の衝突による被害低減対策開発のための加振実験^{参 3-14}

a) 実験概要

免震構造は、地震時の構造安全性や地震被災後の機能維持の観点から有効な地震対策として 注目されているが、長周期地震動等により設計で想定する以上の過大な変位が生じると上部構 造建物が擁壁に衝突し、強い衝撃力が上部構造建物に伝達される可能性が指摘されている。ま た、擁壁に衝突する等による上部構造の被害がない場合であっても、免震層に大きな相対変位 が生じた結果、ジョイント部分が損傷する等の被害が生じた事例も過去の地震で多数発生して いる。以上の背景に基づき、本実験では、極めて稀に発生する地震動や長周期地震動等が免震 構造に作用した場合に、擁壁への衝突にともなう構造物や室内環境への影響の評価およびジョ イント部分の被害発生メカニズムの解明を目的とした実験が実施されている。また、衝突した 場合の被害低減策としての緩衝ゴム等の効果を検討するとともに、衝突させないために応答変 位を低減させるための制御技術の応用方法の検討のための基礎データを収集することも合わせ て本実験の目的とされている。

表 3.2.2-12 には試験体の加振日程を示す。加振は 2013 年 8 月 8 日、9 日、12 日、13 日、 21 日、23 日、24 日、26 日、27 日に行われている。入力地震波は観測地震波や模擬地震波が使 用され、それぞれ振幅レベルを変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表の とおりであり、サンプリングはいずれも 1000Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	12:02:13		特性把握ランダム波-X	171.98sec
	12:16:15	1	特性把握ランダム波-Y	171.88sec
	12:30:59		特性把握ランダム波-Z	171.95sec
	13:21:45	2	1Hz-正弦波	226.17sec
	13:30:49	3	1Hz-正弦波	232.98sec
	14:04:57	4	特性把握ランダム波-Z	172.06sec
	14:17:43	5	特性把握ランダム波-Yaw	171.96sec
2013/8/8	14:30:05	6	特性把握ランダム波-A	172.07sec
(U型ダンパー	14:41:48	7	特性把握ランダム波-B	171.98sec
のみ)	14:51:58	8	特性把握ランダム波-C	171.91sec
	15:16:08	9	K-NET古川波-補償波作成1回目	314.9sec
	15.31.54	10	K-NFT古川波-補償波作成2回日	314.91sec
	16:05:29	11	K-NFT古川波-補償波作成3回日	314.93sec
	16:25:30	12	K-NFT古川波-補償波作成4回日	314 95sec
	16.49.19	13	大阪府庁波45度回転-補償波作成1回日	425sec
	17:08:41	14	大阪府庁波45度回転-補償波作成2回日	424 98sec
	17.27.56	15	大阪府庁波45度回転-補償波作成3回日	424.99sec
	11.30.46	16	5 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	171.91sec
	11.30.40	17	N L 10 L / / / A A - A - A - A - A - A - A - A -	315.02sec
2013/8/9	12.02.00	18		172.05sec
(U型ダンパー	12:02:03	10	19日10年ノノノム政-5	172.03Sec
のみ)	13.34.10	19		424.915ec
(衝突実験)	13:52:09	20	村住把握フノダム波-A	172.02sec
	10:00:13	21	K-NEI 白川波-120% Z-110%	314.9sec
	10:14:42	22	村住把握フノダム波-A	172Sec
	12:02:11	23	特性把握フンダム波-A	91.95sec
	12:13:16	24	特性把握フンダム波-B	91.8/sec
	12:22:20	25	特性把握フンタム波-C	91.88sec
	12:38:54	26	JR鷹取駅記録(BW40)-補償波作成1回目	49.9/sec
	12:53:28	27	JR鷹取駅記録(BW40)-補償波作成2回目	49.92sec
	13:06:58	28	JR鷹取駅記録(BW40)-補償波作成3回目	49.98sec
0010/0/10	13:19:47	29	JR鷹取駅記録(BW40)-補償波作成冉1回目	50sec
2013/8/12	13:29:31	30	JR鷹取駅記録(BW40)-補償波作成冉2回目	49.99sec
(U型ダンパー	13:47:18	31	JR鷹取駅記録(BW40)-補償波作成再2-2回目	49.9sec
のみ)	14:04:35	32	JR鷹取駅記録(BW40)-補償波作成再3回目	49.93sec
	14:17:34	33	天王寺波(BW20)-補償波作成1回目	60.01sec
	14:30:25	34	天王寺波(BW20)-補償波作成2回目	60.09sec
	14:43:01	35	天王寺波(BW20)-補償波作成3回目	60.1sec
	14:58:56	36	天王寺波(BW20)-補償波作成3-2回目	59.97sec
	15:11:06	37	JR鷹取駅記録-補償波作成1回目	49.86sec
	15:32:46	38	JR鷹取駅記録-補償波作成2回目	50.02sec
	15:45:17	39	JR鷹取駅記録-補償波作成3回目	50.1sec
	11:30:46	40	特性把握ランダム波-A	171.98sec
	11:42:04	41	JR鷹取駅記録(BW40)-60%	49.97sec
2013/8/13	11:52:14	42	特性把握ランダム波-A	172sec
(1)刑 ガンパー	12:16:13	43	JR鷹取駅記録(BW40)-70%	49.94sec
(しエスノハー	12:25:13	44	特性把握ランダム波-A	171.91sec
()み)	13:59:50	45	天王寺波(BW20)-55%	59.88sec
(衝突実験)	14:10:08	46	特性把握ランダム波-A	171.9sec
	16:00:38	47	JR鷹取駅記録-80%	49.96sec
	16.10.43	48	特性把握ランダム波-A	172.08sec

表 3.2.2-12 加振日程 (ASEBI ^{参 3-14}より抜粋・編集)

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	10:22:13	49	ならし加振-1回目	60.01sec
	10:25:21	50	ならし加振-2回目	60.01sec
	10:29:30	51	ならし加振-3回目	60.01sec
	10:32:12	52	ならし加振-4回目	60.01sec
	11:30:05	53	特性把握ランダム波-A	172.08sec
2013/8/21	11:41:27	54	特性把握ランダム波-A	172.01sec
(U型+オイル	11:58:45	55	JR鷹取駅記録(BW40)-65%	49.92sec
ダンバー)	12:09:25	56	特性把握ランダム波-A	171.85sec
(衝突実験)	15:01:16	57	天王寺波(BW20)逆位相3軸-20%	60.03sec
	15:09:18	58	天王寺波(BW20)逆位相6軸-20%	60.06sec
	15:28:14	59	天王寺波(BW20)-55%	59.97sec
	15:37:05	60	特性把握ランダム波-A	171.97sec
	17:41:20	61	JR鷹取駅記録-80%	49.92sec
	17:51:48	62	特性把握ランダム波-A	171.95sec
	12:19:14		特性把握ランダム波-X	172.02sec
	12:30:55	63	特性把握ランダム波-Y	172.01sec
2013/8/23	12:41:59		特性把握ランダム波-Z	171.94sec
(オイルダン	13:50:23	64	正弦波-1Hz-Y	119.44sec
(1,1,1,2,2)	14:39:07	65	特性把握ランダム波-Yaw	172.08sec
八一(5)(5)	14:51:29	66	特性把握ランダム波-A	172.08sec
	15:09:40	67	K-NET古川波-80%	314.87sec
	15:25:25	68	正弦波加振	138.1sec
	14:00:35		特性把握ランダム波-X	171.91sec
	14:11:26	69	特性把握ランダム波-Y	171.99sec
2013/8/24	14:23:44		特性把握ランダム波-Z	172sec
2010/0/21	14:35:06	70	特性把握ランダム波-A	171.93sec
	14:50:06	71	特性把握ランダム波-B	171.98sec
	15:00:39	72	特性把握ランダム波-C	172.01sec
	12:02:14	73	特性把握ランダム波-A	172.07sec
2013/8/26	12:18:25	74	K-NET古川波-補償波作成1回目	314.94sec
(オイルダン	12:37:01	75	K-NET古川波-補償波作成2回目	314.95sec
パーのみ)	13:01:58	76	K-NET古川波-補償波作成2-2回目	315.15sec
(衝突実験)	13:19:25	77	K-NET古川波-補償波作成3回目	315.03sec
(10)(0)(0)	15:31:46	78	K-NET古川波-136%	314.97sec
	15:45:17	79	特性把握ランダム波-A	171.97sec
	11:29:47	80	特性フンダムーA	91.98sec
	11:40:43	81	特性フンダム-B	92sec
	11:48:56	82	村田フノダム-し	91.98Sec
	12:03:54	83	大土守波(BW20)逆位相-桶貨1回日	6Usec
	12:19:04	84	大土守波(BW20)逆位相-補貨2回日	6Usec
2013/8/27	12:31:01	85	大土守波(BW20)逆位相-桶镇3回日	60.03sec
(オイルガン	12:57:39	07	大土守波(BW20)迎位伯-72%	60.09sec
(11)	13:00:32	87	村住フノダム-A 10度取用司母(DW40) 体徴1回日	172.01sec
ハー()か) ((新市中時)	14:43:48	00 80	JN鳥収引む駅(DW40)-借頂1凹日 IP摩取駅記録(BW40), 油燈2回日	50.06coc
(衝尖実験)	14:04:09	00	JN鳥収引む駅(DW40)-借頂2凹日 IP摩取駅記録(BW40), 油燈2, 2回日	50.00sec
	15.00.19	90	11/鳥4/30/10球(DW40)-11/開ビー2回日 12/2010日	50.01coc
	15.22.14	02	1P應取用記錄(BW/40) 補償/同日	10.01500
	15.41.22	92	11/////11/28(DW40)-111月4日日 12日時17日日日3月(20//10)-50%	43.37SeC
	16:26:50	9.0	IR應取駅記錄(BW/40)-30%	50.00560
	16.34.45	94	51/m=//s=0.00/00/00/00/00/00/00/00/00/00/00/00/00	171.95600
	10.04.40	33	NEVZAN	111.33360

試験体は、実大のスパン、階高を有する長辺方向(Y方向)13.4m×短辺方向(X方向)10.0m、 高さ17.6mのRC造4階建の免震構造であり、重量は上部建物が686.6t、基礎及び擁壁を含む 総重量が約1000tとされている。建物の4周には、免震層の設計時予測を上回る過大な変形時 の衝突時挙動を検証するため、実大として想定される擁壁が配置されている。試験体の主な仕 様をまた、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)が示 されているほか、上部構造の基礎を固定した場合の設計時初期剛性による固有周期は、0.43秒 ~0.44秒とされる。

表 3.2.2-13 に示す。図 3.2.2-15 には試験体図面を示す。(a)が軸組図、(b)が基準階床伏図である。各階の階高は 1、2 階が 4.2m、3 階が 3.5m、4 階が 3.0m とされ、平面は 2 スパン×2 スパンとされる。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)が示さ れているほか、上部構造の基礎を固定した場合の設計時初期剛性による固有周期は、0.43 秒~ 0.44 秒とされる。

項目	仕様
構造種別、階数	RC 造、4 階
質量	686.6t
高さ (上部構造のみ)	17.6m
床面積	13.4m×10m(1 階あたり)

表 3.2.2-13 試験体の主な仕様



(b) 基準階床伏図(佐藤他(2013)^{参 3·15}より抜粋)
 図 3.2.2-15 試験体図面

c)波形データ

表 3.2.2-12 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号1の特性把握ランダム波 と 17 の K-NET 古川波 100% (3.11 地震時の K-NET 古川での観測波)の波形データを収集し た。図 3.2.2-16 には例示する波形データのセンサ位置を示す。図 3.2.2-17 と図 3.2.2-18 には それぞれ、特性把握ランダム波と K-NET 古川波 100%の1 階と R 階の X 成分の加速度波形、 フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。これらの波形データは 1000Hz サンプリングで収 録されているが、波形データのファイル容量を軽減する目的から作図では 100Hz にリサンプリ ングし、これ以外の処理 (例えば、バンドパスフィルター等) は行っていない生データである。



(a) 1 階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3-14}より抜粋・加筆)
 (緑の丸印が例示する波形データのセンサ)



(b) R階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3·14}より抜粋・加筆)
 (青の丸印が例示する波形データのセンサ)
 図 3.2.2-16 加速度センサ位置



⁽e) 伝達関数 (R 階÷1 階)

図 3.2.2-17 特性把握ランダム波(表 3.2.2-12 整理番号 1)による X 成分の波形データ



図 3.2.2-18 K-NET 古川波 100% (表 3.2.2-12 整理番号 17) による X 成分の波形データ

(6) 縮小 6 層 RC 造耐震壁フレーム建物の振動実験^{参 3-16}

a)実験概要

RC 造建物の地震時挙動を把握するための振動台実験はこれまでに国内外で行われているが、 比較的古い年代を想定した設計建物とその補強工法の検証や、構造性能に悪影響を及ぼすおそ れのある偏心やピロティ構造などに対する検証などが多い。これを踏まえ、実験事例の比較的 少ない、現行規定に基づく RC 造中層板状共同住宅を取り上げ、震動実験により RC 造建物が 崩壊に至るまでの地震時挙動を把握することを目的とする。とされている。

表 3.2.2-14 には試験体の加振日程を示す。加振は 2015 年 1 月 20 日、21 日、22 日に行われ ている。入力地震波は JMA 神戸波、JR 鷹取波、ランダム波が使用され、それぞれ振幅レベル を変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプリング はいずれも 200Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	13:31:42	1	ランダム波1回目	179.145sec
	13:54:53	2	ランダム波2回目	179.155sec
	14:14:55	3	JMA神戸10%相当(X10%,Y10%,Z10%)	36.155sec
	14:25:40	4	ランダム波3回目	179.155sec
2015/1/20	14:43:47	5	JMA神戸40%相当(X40%,Y40%,Z40%)	36.155sec
2013/ 1/20	14:55:51	6	ランダム波4回目	179.155sec
	15:17:22	7	JMA神戸55%相当(X55%,Y55%,Z55%)	36.145sec
	15:29:26	8	ランダム波5回目	179.155sec
	15:46:15	9	JMA神戸70%相当(X70%,Y60%,Z70%)	36.155sec
	15:58:23	10	ランダム波6回目	179.155sec
	13:02:53	11	JMA神戸55%相当(X50%,Y44%,Z55%)	36.155sec
	13:15:12	12	ランダム波1回目	179.155sec
2015/1/21	13:35:48	13	JMA神戸70%相当(X60%,Y55%,Z70%)	36.155sec
2013/1/21	13:51:22	14	ランダム波2回目	179.155sec
	14:13:18	15	JMA神戸100%相当(X90%,Y85%,Z100%)	36.205sec
	14:24:14	16	ランダム波3回目	179.145sec
	12:56:17	17	JMA神戸55%相当(X50%,Y44%,Z55%)	36.145sec
	13:11:16	18	ランダム波1回目	179.175sec
	13:34:14	19	JMA神戸120%相当(X90%_Y100%_Z100%)	36.145sec
	13:47:13	20	ランダム波2回目	179.165sec
2015/1/22	14:06:12	21	JMA神戸140%相当(Y115%)	36.155sec
2013/ 1/22	14:19:47	22	ランダム波3回目	179.165sec
	14:29:44	23	JMA神戸140%相当(Y115%)	36.205sec
	14:40:21	24	ランダム波4回目	179.175sec
	14:55:31	25	JR鷹取120%相当(Y120%)	42.165sec
	15:18:19	26	ランダム波5回目	179.165sec

表 3.2.2-14 加振日程 (ASEBI * 3-16より抜粋・編集)

試験体は、2000年代後半を設計年代と想定し1層を1部耐震壁とし、2層以上を連層耐震壁 とした2×3スパン(連層耐震壁部は1スパン)の縮小6層建物とされている。縮尺は1/3であ る。試験体の主な仕様を表 3.2.2-15 に示す。図 3.2.2-19 には試験体図面を示す。(a)が軸組図、 (b)が基準階床伏図である。各階の階高は0.9m、長辺方向(X方向)は1.8mの3スパン、短辺 方向(Y方向)は1.8mの2スパンとされている。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)、FEM 解 析の概要が示されているほか、試験体の常時微動計測で得られた1次固有周期は0.095 秒とさ れている。

項目	仕様
構造種別、階数	RC造、6階(縮小6層)
質量	320t
高さ	5.4m
床面積	5.4m×3.6m(1 階あたり)

表 3.2.2-15 試験体の主な仕様





(a) 軸組図 (ASEBI ^{参 3-16}より抜粋)





c)波形データ

表 3.2.2-14 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号1のランダム波1回目と 15のJMA 神戸波 100%相当の波形データを収集した。図 3.2.2-20 には例示する波形データの センサ位置を示す。図 3.2.2-21 と図 3.2.2-22 にはそれぞれ、ランダム波1回目とJMA 神戸波 100%相当の1階とR階のX成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。 これらの波形データは 200Hz サンプリングで収録されているが、波形データのファイル容量を 軽減する目的から作図では 100Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパス フィルター等)は行っていない生データである。





(b) R 階の加速度センサ位置
 (ASEBI^{参 3·16}より抜粋・加筆)

(青の丸印が例示する波形データのセンサ)





図 3.2.2-21 ランダム波1回目(表 3.2.2-14 整理番号1)によるX成分の波形データ



図 3.2.2-22 JMA 神戸波 100%相当(表 3.2.2-14 整理番号 15)による X 成分の波形データ

(7) 現行耐震設計基準に基づく 10 層 RC 造骨組の崩壊メカニズムと普及型高耐震技術に関する 実験^{参 3-17}

a)実験概要

集合住宅などに多く用いられる鉄筋コンクリート造建物の高耐震化が目的とされ、集合住宅 をモデル化した試験体の基礎底に鋳鉄支承(鋳鉄製の鉄板)を設置した基礎すべり構法の加振 実験が行われている。次に、同一試験体を用いて試験体基礎部を震動台に固定した従来工法の 加振実験が行われ、両者を比較することにより基礎すべり構法の効果が検証されるとともに、 従来工法の建物試験体における損傷過程が検証されている。これらの実験により得られた知見 をもとに、建物の高耐震化技術の開発が目指されている。

表 3.2.2-16 には試験体の加振日程を示す。加振は 2015 年 11 月 25 日、27 日、12 月 9 日、 11 日に行われている。入力地震波は JMA 神戸波、ランダム波が使用され、それぞれ振幅レベ ルを変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプリン グはいずれも 1000Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	11:33:20	1	ランダム波	500.189sec
	12:22:16	2	JMA神戸波10%	56.219sec
	12:38:40	3	ランダム波	500.239sec
2015/11/25	13:26:51	4	JMA神戸波25%	56.209sec
(基礎すべり構法)	13:40:46	5	ランダム波	500.199sec
	16:30:13	6	ランダム波	500.199sec
	17:07:58	7	JMA神戸波50%	56.209sec
	17:20:59	8	ランダム波	500.239sec
2015/11/27	12:02:17	9	ランダム波	500.199sec
(甘本ナベリ株計)	12:55:08	10	JMA神戸波100%	56.209sec
(基礎)へり伸広)	13:09:54	11	ランダム波	500.199sec
	15:48:56	12	ランダム波	500.199sec
	16:26:53	13	JMA神戸波10%	56.219sec
2015/12/9	16:41:16	14	ランダム波	500.259sec
(甘淋田宁)	17:09:58	15	JMA神戸波25%	56.219sec
(埜啶回足)	17:23:00	16	ランダム波	500.229sec
	20:07:15	17	JMA神戸波50%	56.229sec
	20:20:04	18	ランダム波	500.239sec
	13:02:13	19	ランダム波	500.209sec
2015/12/11	14:00:28	20	JMA神戸波100%	56.229sec
(甘醂田宁)	14:17:47	21	ランダム波	500.249sec
(埜啶回化)	17:30:38	22	JMA神戸波60%	56.299sec
	17:44:05	23	ランダム波	500.219sec

表 3.2.2-16 加振日程 (ASEBI ^参 3-17 より抜粋・編集)

試験体は、10 階建て鉄筋コンクリート造で、基準階の平面形状は長辺方向(Y方向)13.5m、 短辺方向(X方向)9.5mで、スパンは長辺方向では4m×3スパン、短辺方向では3.1m、1.8m、 3.1mの3スパンである。高さは27.45m、建物試験体の重量は約1,000tとされている。試験体 の主な仕様を表 3.2.2-17 に示す。図 3.2.2-23 に試験体の図面を示す。(a)が軸組図、(b)が基準 階床伏図である。各階の階高は1階が2.80m、2~4階が2.60m、5~7階が2.55m、8~10階 が2.50mである。長辺方向は柱と梁で構成される純フレーム構造、短辺方向は1階から7階 に連層耐震壁を持つフレーム構造となっている。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)が示さ れているほか、振動台に設置された試験体(基礎すべり構法)の加振実験前の固有周期は、X方 向、Y方向ともに0.57秒とされている。一方、基礎すべり構法の加振実験後、試験体を振動台 に固定した直後の試験体固有周期は長辺方向(Y方向)で0.85秒、短辺方向(X方向)で0.58 秒とされており、基礎の固定条件により固有周期が変化した可能性が考えられるとしている。

項目	仕様
構造種別、階数	RC 造、10 階
質量	1,027t
高さ	27.45m
床面積	13.5m×9.5m(1 階あたり)

表 3.2.2-17 試験体の主な仕様

著作権者から利用承諾を得ていないため非表示
 著作権者から利用承諾を得ていないため非表示
 (b) 基準階床伏図
 (a) 軸組図 (梶原他 (2016) * 3·18 より抜粋・加

筆)

図 3.2.2-23 試験体図面

c)波形データ

表 3.2.2-16 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号 12 のランダム波と 20 の JMA 神戸波 100%の波形データを収集した。図 3.2.2-24 には例示する波形データのセンサ位 置を示す。図 3.2.2-25 と図 3.2.2-26 にはそれぞれ、ランダム波と JMA 神戸波 100%の 1 階と R 階の X 成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。これらの波形データ は 1000Hz サンプリングで収録されているが、波形データのファイル容量を軽減する目的から 作図では 100Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパスフィルター等)は 行っていない生データである。



(a) 1 階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3-17}より抜粋・加筆)
 (緑の丸印が例示する波形データのセンサ)



(b) R 階の加速度センサ位置(ASEBI^{参 3·17}より抜粋・加筆)
 (青の丸印が例示する波形データのセンサ)
 図 3.2.2-24 加速度センサ位置



図 3.2.2-25 ランダム波(表 3.2.2-16 整理番号 12)による X 成分の波形データ



図 3.2.2-26 JMA 神戸波 100% (表 3.2.2-16 整理番号 20) による X 成分の波形データ

(8) モニタリング技術検証のための RC 造フレーム・模型地盤の振動実験参 3-19

a) 実験概要

本研究では、E-ディフェンス震動台と、地盤中の杭基礎に支持された建物の試験体を用い て、地震入力した杭支持建物の上部構造と杭基礎を対象に、健全度評価のためのモニタリング 技術を検証することが目的とされている。振動実験では、基礎・地盤系の破壊(ステップ1)と 上部構造の破壊(ステップ2)からなる2段階の加振を行う計画とされている。ステップ1は、 モニタリング技術の検証、および地盤・杭・建物連成系の地震時挙動把握が目的とされ、ステ ップ2は基礎固定とした上部構造の耐力の確認が目的とされる。加振は長辺方向への1方向入 力で行われている。

表 3.2.2-18 には試験体の加振日程を示す。加振は 2017 年 2 月 3 日、6 日、10 日に行われて いる。入力地震波は内山波(内山・翠川(2006)^参 3·20)の距離減衰式による応答スペクトルに 適合する模擬波)、ランダム波が使用され、それぞれ振幅レベルを変えた複数種類を入力してい る。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプリングはいずれも 200Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	12:25:59	1	特性把握ランダム波B_10%_1回目	51.905sec
	12:56:52	2	特性把握ランダム波B_15%_1回目	51.905sec
	13:15:17	3	内山波_10%	92.895sec
	13:29:06	4	内山波_20%	92.905sec
2017/2/3	13:45:57	5	特性把握ランダム波B_15%_2回目	51.945sec
(フテップ1 連成系加振)	13:54:57	6	内山波_60%	92.925sec
(入) 9 / 1 建成禾加振)	14:09:16	7	特性把握ランダム波B_15%_3回目	51.905sec
	14:18:41	8	内山波_100%	92.905sec
	14:32:47	9	特性把握ランダム波B_15%_4回目	51.895sec
	15:05:35	10	内山波_200%	92.915sec
	15:15:51	11	特性把握ランダム波B_15%_5回目	51.925sec
2017/2/6	13:59:51	12	特性把握ランダム波B_15%_1回目	51.905sec
(フテップ1 連成系加振)	15:00:07	13	内山波_300%	92.925sec
(入了了)了[建成未加振]	15:27:57	14	特性把握ランダム波B_15%_2回目	51.935sec
	11:07:05	15	特性把握ランダム波B_15%_1回目	51.975sec
	11:15:18	16	内山波_60%	92.915sec
	11:35:49	17	特性把握ランダム波B_15%_2回目	51.915sec
	11:45:04	18	内山波_100%	92.905sec
	12:20:29	19	特性把握ランダム波B_15%_3回目	51.935sec
2017/2/10	12:30:07	20	内山波_200%	92.905sec
(フテップ2)甘陸国空加振)	13:10:02	21	特性把握ランダム波B_15%_4回目	51.925sec
(ヘアリアン基礎回足加強)	13:24:12	22	内山波_300%	92.905sec
	13:51:40	23	特性把握ランダム波B_15%_5回目	51.915sec
	14:02:46	24	内山波_400%	92.915sec
	14:29:49	25	特性把握ランダム波B_15%_6回目	51.915sec
	14:43:09	26	内山波_500%	92.955sec
	14:52:31	27	特性把握ランダム波B_15%_7回目	51.915sec

表 3.2.2-18 加振日程 (ASEBI * 3-19より抜粋・編集)

試験体は、剛土槽の砂地盤中に既製杭で支持された建物とされる。図面を図 3.2.2-27 に示す。 (a)が土槽を含む軸組図、(b)が基準階床伏図である。また、表 3.2.2-19 に試験体の主な仕様を 示す。建物は、RC 造 3 階建ての純フレーム構造で、サイズは縮尺 1/2.5 として、長辺方向(Y 方向)3.6m(1.8m×2 スパン)、短辺方向(X 方向)2.2m(2.2m×1 スパン)、高さ 4.6m とさ れる。杭は、杭長 0.87m、杭種は 150 ϕ の PC 杭とされ、柱直下のフーチングーつに対して 4 本 (全体で 24 本)の杭で支持されている。杭先端には、第一反曲点までの応力状態を模擬する目 的でピン支承を設置した。地盤は乾燥した掛津硅砂とされ、高さは杭長と同じ 0.87m、相対密 度は 60~65%、層中央での S 波速度は 130m/s 程度を目標とするとされる。剛土槽は、外形 10.8m×6.8m×高さ 1.6m とされ、側壁厚さ 0.8m、底盤厚さ 0.35m として、内法 9.2m×5.2m ×高さ 1.25m とされている。試験体の重量は、基礎を含む建物重量が約 65t、土槽と地盤を含 む総重量が約 290t とされる。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)が示さ れているほか、基礎固定時の試験体の1次固有周期は、約0.1秒とされている。

項目	仕様	
構造種別、階数	RC造、3階(縮小3層)	
質量	64.6t (建物)、287.4t (建物+土槽+地盤)	
高さ	4.6m	
床面積	3.6m×2.2m(1 階あたり)	

表 3.2.2-19 試験体の主な仕様



図 3.2.2-27 試験体図面

c)波形データ

表 3.2.2-18 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号 15 の特性把握ランダム 波 B15%と 18 の内山波 100%の波形データを収集した。図 3.2.2-28 には例示する波形データ のセンサ位置を示す。図 3.2.2-29 と図 3.2.2-30 にはそれぞれ、特性把握ランダム波 B15%と 内山波 100%の1 階と R 階の X 成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。 これらの波形データは 200Hz サンプリングで収録されているが、波形データのファイル容量を 軽減する目的から作図では 100Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパス フィルター等)は行っていない生データである。



(a) 1 階の加速度センサ位置(ASEBI ^参 3·19 より抜粋・加筆)
 (緑の丸印が例示する波形データのセンサ)



 ⁽b) R 階の加速度センサ位置(ASEBI ^参 3·19 より抜粋・加筆)
 (青の丸印が例示する波形データのセンサ)

図 3.2.2-28 加速度センサ位置





図 3.2.2-30 内山波 100% (表 3.2.2-18 整理番号 18) による X 成分の波形データ

(9) 高耐震鉄筋コンクリート造建物の耐震性能と普及型高耐震技術に関する実験参 3-21

a) 実験概要

本実験は、3.2.2(7)現行耐震設計基準に基づく10層RC造骨組の崩壊メカニズムと普及型高 耐震技術に関する実験^{参 3-17}の後続実験である。先行実験では、基礎すべり構造の動的な三次元 挙動の確認、基礎すべり構造による建物の地震応答低減効果の確認、基礎固定上部建物のごく 稀レベル大地震時までの動的弾塑性三次元挙動・損傷程度の確認等ができたとしたうえで、基 礎すべり構造については、基礎すべり構造の設計と地震応答推定のためのモデル化に関する基 礎データの収集、基礎すべり構造の離間現象の抑制方法検討のための基礎データの収集等が目 的とされ、基礎固定構造については、中高層鉄筋コンクリート純ラーメン構造の柱梁接合部の 設計を見直して良好な梁曲げ全体降伏型とし、大地震時の弾塑性応答を前回の接合部降伏型と 比較して部材の損傷確認と限界性能を確認することが目的とされている。

表 3.2.2-20 には試験体の加振日程を示す。加振は 2018 年 12 月 19 日、21 日、2019 年 1 月 7 日、9 日、11 日に行われている。入力地震波は JMA 神戸波、ランダム波が使用され、それぞ れ振幅レベルを変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表のとおりであり、 サンプリングはいずれも 1000Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
	11:45:09	1	ランダム波156%_1	261.859sec
	12:12:45	2	JMA神戸波(X_EW)_10%	57.859sec
	12:29:51	3	ランダム波50gal目標_2	261.849sec
2018/12/19	12:54:51	4	JMA神戸波(X_EW)_25%	57.859sec
(基礎すべり構法)	13:09:49	5	ランダム波50gal目標_3	261.849sec
	15:53:55	6	ランダム波50gal目標_4	261.869sec
	16:19:22	7	JMA神戸波(X_EW)_50%	57.859sec
	16:35:25	8	ランダム波50gal目標_5	261.859sec
2018/12/21	13:02:05	9	ランダム波XY260%Z185%_1	261.879sec
(甘陸すべり構注)	14:00:39	10	JMA神戸波(X_EW)XY逆位相_100%	20.849sec
(基礎) へり伸広)	14:24:55	11	ランダム波XY260%Z185%_2	261.859sec
	13:30:35	12	ランダム波XY260%Z185%_1	261.879sec
	13:52:02	13	JMA神戸波(X_EW)_10%	57.879sec
2019/1/7	14:01:57	14	ランダム波XY260%Z185%_2	261.879sec
(其磁国宗)	14:21:53	15	JMA神戸波(X_EW)_25%	57.889sec
(基啶回足)	14:31:55	16	ランダム波XY260%Z185%_3	261.879sec
	14:52:39	17	JMA神戸波(X_EW)_50%	57.879sec
	15:05:01	18	ランダム波XY260%Z185%_4	261.899sec
2019/1/9	12:30:06	19	ランダム波XY260%Z185%_1	261.909sec
(其礎因定)	14:00:06	20	JMA神戸波(X_EW)_100%	57.879sec
(坐爬回た)	15:34:11	21	ランダム波XY260%Z185%_2	261.919sec
	11:03:10	22	ランダム波XY260%Z185%_1	261.879sec
	11:34:45	23	JMA神戸波(X_EW)_100%	57.899sec
2019/1/11	11:47:17	24	ランダム波XY260%Z185%_2	261.889sec
(基礎固定)	13:20:47	25	ランダム波XY260%Z185%_3	261.889sec
	13:38:57	26	JMA神戸波(X_NS)_100%	57.889sec
	14:16:21	27	ランダム波XY260%Z185%_4	261.839sec

表 3.2.2-20 加振日程 (ASEBI ^参 3·21 より抜粋・編集)

試験体は基本的に、3.2.2(7) 現行耐震設計基準に基づく 10 層 RC 造骨組の崩壊メカニズムと 普及型高耐震技術に関する実験^{参 3-17}で示したものと同様である(表 3.2.2-17、図 3.2.2-23)が、 設計応力に応じて柱針の配筋の見直し、試験体の重量を軽減させるためスラブ厚、壁厚の見直 し等が施されている。

 震動台へ設置した後の試験体の固有周期は長辺方向(Y方向)で0.578秒、短辺方向(X方向)で0.449秒とされており、Y方向の固有周期は3.2.2(7)現行耐震設計基準に基づく10層

 RC 造骨組の崩壊メカニズムと普及型高耐震技術に関する実験^{参3-17}の試験体の固有周期(0.57秒)とほぼ一致しているとされている。

c)波形データ

表 3.2.2-20 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号 12 のランダム波 XY260%Z185%1 と 20 の JMA 神戸波(X,EW)100%の波形データを収集した。例示する波形デ ータのセンサ位置は図 3.2.2-24 と同様であるが、センサの名称が以下のように変更されている。

- F00-AX-SE \rightarrow F01-AX-SE
- F00-AY-SE \rightarrow F01-AY-SE
- · F00-AZ-SE \rightarrow F01-AZ-SE
- · F10-AX-SE \rightarrow FRF-AX-SE
- F10-AY-SE \rightarrow FRF-AY-SE
- · F10-AZ-SE \rightarrow FRF-AZ-SE

図 3.2.2-31 と図 3.2.2-32 にはそれぞれ、ランダム波 XY260%Z185%1 と JMA 神戸波 (X,EW)100%の1階とR階のX成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。 これらの波形データは1000Hzサンプリングで収録されているが、波形データのファイル容量 を軽減する目的から作図では100Hzにリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパ スフィルター等)は行っていない生データである。





図 3.2.2-32 JMA 神戸波(X,EW)100% (表 3.2.2-20 整理番号 20) による X 成分の波形デー

タ

(10) 災害拠点建物の安全度・継続使用性評価法開発のための振動実験参 3-22

a)実験概要

ASEBI * 3-22 には映像データ、試験管理情報、波形データのみが公開されており、実験概要 が分かる資料は公開されていない。

b) 試験体概要

ASEBI * 3-22 には映像データ、試験管理情報、波形データのみが公開されており、試験体概 要が分かる資料は公開されていない。

c)波形データ

ASEBI * 3·22 には波形データが公開されているものの、加速度計の位置が分かる資料が公開 されていないことから、波形の例示は割愛する。

(11)5階建て鉄筋コンクリート造建築物の降伏点・減衰評価実験参 3-23

a)実験概要

本実験では、部材の降伏点評価から架構の降伏点評価を行い、等価線形化法を適用すること により応答値を推定し、振動実験結果と比較することで応答値を精緻に評価できる方法を提案 し、限界耐力計算法への適用可能性について検討することが目的とされている。

表 3.2.2-21 には試験体の加振日程を示す。加振は 2020 年 10 月 16 日、19 日、21 日、27 日 に行われている。入力地震波はエルセントロ波、ホワイトノイズ波が使用され、それぞれ振幅 レベルを変えた複数種類を入力している。波形データの収録時間は表のとおりであり、サンプ リングはいずれも 1000Hz である。

日付	時刻	整理番号	加振条件	収録時間
2020/10/16	14:42:48	1	ホワイトノイズ20gal	147.959sec
	15:02:57	2	ホワイトノイズ40gal	147.919sec
	15:23:00	3	告示波El_Centro_NS_長辺60%	65.929sec
	15:37:36	4	ホワイトノイズ40gal	147.919sec
	16:06:50	5	告示波El_Centro_NS_長辺100%	65.959sec
	16:20:37	6	ホワイトノイズ40gal	147.939sec
2020/10/19	13:35:41	7	ホワイトノイズ40gal	147.919sec
	14:00:09	8	告示波El_Centro_NS_長辺125%	65.919sec
	14:13:27	9	ホワイトノイズ40gal	147.929sec
2020/10/21	13:30:44	10	ホワイトノイズ40gal	147.939sec
	13:59:54	11	告示波El_Centro_NS_長辺125%	65.949sec
	14:13:14	12	ホワイトノイズ40gal	147.949sec
2020/10/27	13:45:17	13	ホワイトノイズ40gal	147.949sec
	14:03:54	14	告示波El_Centro_NS_長辺60%	65.939sec
	14:16:15	15	ホワイトノイズ40gal	147.949sec
	14:35:39	16	告示波El_Centro_NS_長辺100%	65.979sec
	14:48:52	17	ホワイトノイズ40gal	147.929sec
	15:30:08	18	告示波El_Centro_NS_長辺150%	65.949sec
	15:42:51	19	ホワイトノイズ40gal	147.969sec

表 3.2.2-21 加振日程 (ASEBI * 3-23 より抜粋・編集)

試験体は地上5階建てRC造の純ラーメン架構(寸法縮尺率0.8)とされる。試験体の図面を 図 3.2.2-33 に示す。(a)が軸組図、(b)が基準階床伏図である。また、表 3.2.2-22 に試験体の主 な仕様を示す。平面規模は、長辺方向(X方向)12m(6m×2スパン)、短辺方向(Y方向)6m (3m×2 スパン) で、高さは 17.6m とされる。各階高は、1 階が 3.6m、2~5 階が 3.2m とさ れる。試験体の重量は約460tとされる。

また、部材断面リスト、材料情報(コンクリートの設計基準強度、鉄筋の鋼材種別)が示さ れているほか、加振前の固有周期はおよそ0.35秒とされている。

項目	仕様	
構造種別、階数	RC 造、5 階(縮小5層)	
質量	458t	
高さ	17.6m	
床面積	12m×6m(1 階あたり)	

表 3.2.2-22 試験体の主な仕様

著作権者から利用承諾を得てい	
ないため非衣示	著作権者から利用承諾を得ていないため非表示
(a) 軸組図	(b) 基準階床伏図

(勅使川原他(2021) 参 3-24 より抜

粋)

(勅使川原他(2021) 参 3-24 より抜粋)

図 3.2.2-33 試験体図面
c)波形データ

表 3.2.2-21 に示した試験体の加振日程のうち、例として、整理番号 1 のホワイトノイズ波 20gal と 5 の告示波エルセントロ NS100%の波形データを収集した。図 3.2.2-34 には例示する 波形データのセンサ位置を示す。図 3.2.2-35 と図 3.2.2-36 にはそれぞれ、ホワイトノイズ波 20gal と告示波エルセントロ NS100%の 1 階と R 階の X 成分の加速度波形、フーリエスペクトル、伝達関数を例示する。これらの波形データは 1000Hz サンプリングで収録されているが、 波形データのファイル容量を軽減する目的から作図では 100Hz にリサンプリングし、これ以外の処理(例えば、バンドパスフィルター等)は行っていない生データである。



(a) 1階の加速度センサ位置(ASEBI^参 3-23 より抜粋・加筆)
 (緑の丸印が例示する波形データのセンサ)



図 3.2.2-34 加速度センサ位置



図 3.2.2-35 ホワイトノイズ波 20gal (表 3.2.2-21 整理番号 1) による X 成分の波形データ



3.3 シミュレーション解析等の検討における課題の抽出

3.3.1 シミュレーション解析等の検討

ここでは、シミュレーション解析等の検討における課題を抽出することを目的に、表 3.2.2-1 に示した E-ディフェンスの実験データから検討対象を選択し、ARX モデル(以下、ARX)を用 いた減衰定数の試算を行う。検討対象として選択した実験データは、表中の①重要施設の耐震 実験^{参 3-8}であり、減衰定数の試算に用いる波形データは、図 3.2.2-3 に示した、ランダム波 15gal の X 成分とした。なお、この実験は、3.2.2(1)の試験体概要で述べた通り、試験体は医療施設の 内部空間が詳細に模擬されていて、躯体内外に非構造部材ならびに医療機器が多数設置されて いることから、加振実験において躯体に与える影響として、主要架構のみならず非構造部材や 医療機器などの影響も加わるとされている。すなわち、様々な機器が設置される原子力発電所 の減衰評価において、構造の複雑さによる減衰定数の増分に関する有益な知見となり得ると考 え、この実験データを選択した。

ARX を用いた試算の諸条件は、文献に示されている条件を参照するが、表 3.2.2・2 に示した 文献や ASEBI ^参 3·7 の公開資料は、実験概要、試験体概要、実験結果を報告することに重きをお いていることから、波形データを使用した減衰定数の評価を行っている文献は見当たらなかっ た。一方、2.5 第 2 章の参考文献「参 2-40 東城他(2017)」では、E・ディフェンスの 3 つの実 験(重要施設の耐震実験^参 3·8、コンクリート系建物実験/設備機器・配管実験^参 3·10、長周期地 震動に対する RC 造建築物の安全性検証方法に関する検討^参 3·12)を対象に、それぞれの実験で 得られた波形データに ARX を適用して 1 次と 2 次の固有振動数や減衰定数等の評価を行って いる。そこで、ここでは、試算の初段として簡単のため、以下に列記する東城ら(2017) ^参 3·25</sup> の 1 入力 1 出力系の ARX の計算条件を踏襲し、1 次の減衰定数の試算を行う。

<東城ら(2017)^{参 3-25}のARXの計算条件>

- ・収録時間刻みの10倍の間隔でリサンプリングを行う。
- ・算定区間は、20秒とし5秒ピッチでランニングさせる。
- ・モデル次数は、N=2とする。
- ・時間遅れ項は考慮しない。
- 予め伝達関数を確認し、各モードのピークを包絡する台形型のフィルターを施す。

ここで、時間刻みのリサンプリングは図 3.2.2-3 作図の際に、既に 10 倍の 100Hz としてい る。算定区間は、0~20 秒、5~25 秒・・245~265 秒の全 50 区間ランニングさせることを 表している。台形型のフィルターについては、東城ら(2017)^{参 3-25}ではバンド幅の具体的な数 値が示されていないため、ここでは、3.2.2(1)重要施設の耐震実験^{参 3-8}の試験体の加振前にお ける X 方向の 1 次固有周期は 0.23 秒 (1/0.23≒4Hz) であること鑑み、図 3.3.1-1 に示す 0.0Hz ~3.25Hz の振幅を 0、3.25Hz~3.75Hz の振幅を 0~1、3.75Hz~4.25Hz の振幅を 1、4.25Hz ~4.75Hz の振幅 1~0、4.75Hz を超える帯域の振幅を 0 とする台形型のバンドパスフィルター とした。このバンドパスフィルター処理をした 1 階と R 階の X 成分の加速度波形、フーリエス ペクトル、伝達関数を図 3.3.1-2 に示す。







図 3.3.1-2 バンドパスフィルター処理をしたランダム波のX成分

以上の条件で、バンドパスフィルター処理をしたランダム波の X 成分(図 3.3.1-2)に対し て、ARX を用いて試算した減衰定数を図 3.3.1-3に示す。図 3.3.1-3に示した減衰定数の試算 値は、4%~11%の範囲に分布している。結果自体は極端に大きい小さいといった特異値は見ら れないものの、東城ら(2017)^{参 3-25}の計算結果は8%~10%とされており、図 3.3.1-3に示し た試算値はこの結果よりもばらつきが大きい結果となった。これは、東城ら(2017)^{参 3-25}では バンドパスフィルターのバンド幅の具体的な数値が示されていないことから、図 3.3.1-3 に示 したバンド幅は東城ら(2017)^{参 3-25}異なっている可能性があるためであり、バンドパスフィル ターのバンド幅の影響が、両者の計算結果に差が生じている一因であると考えられる。

一方で、東城ら(2017) * 3·25 の計算結果(8%~10%)と、図 3.3.1-3 に示した試算値(4%~11%)は、設計等で用いられる慣用値(RC 造では 3%)よりもやや大きい値となっている。 東城ら(2017) * 3·25 は、この理由を明確に特定できないとしたうえで、既往の研究* 3·26、* 3· 27、* 3·28 を引用しつつ、非構造部材や試験体内に設置された医療機器により加振時の減衰定数 に付加的な減衰効果が生じている可能性があることを論じている。様々な機器が設置される原 子力発電所の減衰評価において、構造の複雑さによる減衰定数の増分に関する有益な知見とな り得ると考えられる。

ASEBI * 37 から収集した波形データを用いて、簡単な条件ではあるがモード同定が可能で、 今後、計算条件を変えた解析ができることを示した。一方で、ここで対象とした実験データ(重 要施設の耐震実験* 38)のように、非構造部材や試験体内に設置された機器や設備により加振 時の減衰定数に付加的な減衰効果が生じている可能性がある波形データを、地震応答解析等の 各種のシミュレーション解析に使用する場合は、減衰定数が設計等で用いられる慣用値よりも 過大に評価されることを念頭に取り扱うべきであると考えられる。



図 3.3.1-3 バンドパスフィルター処理をしたランダム波のX成分(図 3.3.1-2)に対して ARXを用いて試算した1次の減衰定数 (縦軸のスケールは、東城ら(2017)^参 3-25と同じとした)

3.3.2 課題の抽出

3.3.1の検討を踏まえ、シミュレーション解析等の検討における課題を抽出する。

ARX を用いて1次の減衰定数を試算した結果では、東城ら(2017) * 3-25 の結果と差が生じ る結果となった。これは、バンドパスフィルターのバンド幅が一因であると考えられる。波形 データを用いて減衰定数を評価する場合、本業務で使用した ARX のみならず、3.2.1 (4)で指 摘した通り、RD 法や対数減衰率法、カーブフィット法、ハーフパワー法等の手法においても、 波形データのノイズ除去に用いるバンドパスフィルターのバンド幅が結果に与える影響が大き いことがある。また、バンドパスフィルターの形状(例えば、台形型、パルス型、ボックスカー 型等)によっても結果に影響を与えることがある。各モードの卓越振動数を中心にどの程度の 幅の、どのような形状のバンドパスフィルターをかければよいかが課題である。

ASEBI * 37 から収集した波形データを用いて、簡単な条件ではあるがモード同定が可能で、 今後、計算条件を変えた解析ができることを示したが、非構造部材や試験体内に設置された機 器や設備により加振時の減衰定数に付加的な減衰効果が生じている可能性があるといったよう に、実験で得られた波形データは既に試験体等の影響を受けたものであることを念頭におき、 減衰評価手法により得られる減衰定数や、地震応答解析等の各種のシミュレーション解析で得 られる結果は、解析条件のみならず選択する波形データにも依存する点に留意が必要である。

3.4 第3章のまとめ

第3章のまとめを以下のように整理した。

・3.2.1 で収集した日本建築学会の実測データベースでは、多数の一般建築物の減衰定数実測 値を実測方法毎、減衰評価手法毎に整理した。その結果、構造種別に関わらず、実測方法 の振幅レベルが大きくなるにつれ、短周期側(低層の建物)においては地盤-建物相互作 用の影響(地下逸散減衰)が顕著になることを表していると考えられ、建物で観測された 応答波形には地盤の影響が含まれていることを念頭に取扱うべきと考えられる。

また、同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を適用し得られた減衰定数を比較した。その結果、構造種別に関わらず、各建物で同じ微動計測データを使用して異なる 減衰定数評価手法を適用した場合、得られた減衰定数は差が生じていることが分かった。 減衰評価に際しては、適切な減衰評価手法を選択する必要がある。

- ・3.2.2 で ASEBI から収集した E-ディフェンスの実験データでは、RC 造の建物について 11 の実験データを抽出し、主要な項目として実験概要、試験体概要、波形データに整理した。 実験概要では実験の目的、加振日程を、試験体概要では試験体の主な仕様、図面(軸組図、 床伏図)、1 次固有周期等を、波形データでは加速度センサの位置、加速度波形を例示し、 それぞれ整理した。なお、波形データは1入力1出力系のARX モデルを用いて減衰定数 の試算を行うことから、1 階と R 階の波形データを対象に収集した。また、波形データは ファイル容量が大きいことから、ダウンロードに時間を要する点に留意が必要である。
- ・3.3.1 では ASEBI から収集した波形データを用いて、ARX により減衰定数を試算し、東城他(2017) * 3-25 と比較した。その結果、両者の差は、バンドパスフィルターのバンド幅や形状の違いに起因すると考えられる。波形データを用いて減衰定数を評価する場合、本業

務で使用した ARX のみならず、RD 法や対数減衰率法、カーブフィット法、ハーフパワー 法等の手法においても、波形データのノイズ除去に用いるバンドパスフィルターのバンド 幅が結果に与える影響が大きいことがある。また、バンドパスフィルターの形状(例えば、 台形型、パルス型、ボックスカー型等)によっても結果に影響を与えることがある。これ らのことから、各モードの卓越振動数を中心にどの程度の幅の、どのような形状のバンド パスフィルターをかければよいかが課題である。

一方、ASEBIから収集した波形データを用いて、簡単な条件ではあるがモード同定が可 能で、今後、計算条件を変えた解析ができることを示したが、実験で得られた波形データ は既に試験体等の影響を受けたものであることを念頭におき、減衰評価手法により得られ る減衰定数や、地震応答解析等の各種のシミュレーション解析で得られる結果は、解析条 件のみならず選択する波形データにも依存する点に留意が必要である。

3.5 第3章の参考文献

- 参 3-1 日本建築学会 荷重運営委員会 建築物の減衰機構とその性能評価小委員会:各種建築物の実測データベース、2020 年 12 月、http://news-sv.aij.or.jp/kouzou/s7/d1 (2023/11/09 参照)
- 参 3-2 日本建築学会:建築物の減衰と振動、2020年
- 参 3-3 森田高市・神田順:常時微動による減衰定数評価手法に関する考察,日本建築学会構造 工学論文集、Vol.42B、pp. 553-560、1996 年 3 月
- 参 3-4 小林慎祐・神野達夫・三浦賢治: RD 法による減衰評価にバンドパスフィルターの幅が及 ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 515-516、2007 年 8 月
- 参 3-5 豊田尭博・鷹野澄:弱い地震動を用いた建物の減衰定数の推定:東京大学の建物を対象 として、地震研究所彙報、Vol.88、pp. 1-36、2013 年
- 参 3-6 日高みなみ・青木孝義:常時微動測定による灯台の振動特性推定,日本建築学会技術報告集,第 21 巻,第 47 号, pp. 71-76, 2015 年 2 月
- 参 3-7 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020
- 参 3-8 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「重要施設の耐震実験」
- 参 3-9 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「重要施設の機能保持性能向上耐震実験」
- 参 3-10 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「コンクリート系建物実験/設備機器・配管 実験」
- 参 3-11 長江拓也 他:4 階建て鉄筋コンクリート造建物を対象とした大型振動台実験,日本建築 学会構造系論文集、第 76 巻、第 669 号、pp. 1961-1970、2011 年 11 月
- 参 3-12 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ(ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「長周期地震動に対する RC 造建築物の安全 性検証方法に関する検討」
- 参 3-13 杉本訓祥 他:縮小 20 層 RC 造建物試験体の長周期地震動による震動実験 その1~1 1、日本建築学会大会学術講演梗概、pp.653-674、2013 年 8 月
- 参 3-14 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ(ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「実大免震建物の衝突による被害低減対策開 発のための加振実験」
- 参 3-15 佐藤栄児 他: E-ディフェンスを用いた実大実験による免震技術の高度化 その1~4, 日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.751-758、2013 年 8 月
- 参 3-16 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「縮小 6 層 RC 造耐震壁フレーム建物の振動 実験」

- 参 3-17 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「現行耐震設計基準に基づく 10 層 RC 造骨 組の崩壊メカニズムと普及型高耐震技術に関する実験」
- 参 3-18 梶原浩一 他: Eーディフェンスを用いた 10 階建て鉄筋コンクリート造建物(2015)の三 次元振動台実験 その1~5、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.863-872、2016 年 8 月
- 参 3-19 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ(ASEBI)」
 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「モニタリング技術検証のための RC 造フレ
 ーム・模型地盤の振動実験」
- 参 3-20 内山泰生・翠川三郎、震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの 距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第 606 号、pp.81-88、2006 年 8 月
- 参 3-21 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「高耐震鉄筋コンクリート造建物の耐震性能 と普及型高耐震技術に関する実験」
- 参 3-22 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「災害拠点建物の安全度・継続使用性評価法 開発のための振動実験」
- 参 3-23 国立研究開発法人防災科学技術研究所「E-Defense 実験データアーカイブ (ASEBI)」
 https://doi.org/10.17598/nied.0020 より課題名「5 階建て鉄筋コンクリート造建築物の降伏
 点・減衰評価実験」
- 参 3-24 勅使川原正臣 他:RC 造建物の振動減衰性状評価方法の検討 その19~29,日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.509-530、2021年9月
- 参 3-25 東城峻樹 他:大型震動台実験に基づく RC 造建物の振動特性の分析,日本建築学会構造 系論文集,第 82 巻、第 741 号、pp. 1695-1705, 2017 年 11 月
- 参 3-26 光田真旅他、実大三次元震動破壊実験装置における振動台と試験体の連成(線形モデル を用いたシミュレーションによる検討)、日本機械学会論文集(C編)、72巻、713号、 pp.30-36、2006年1月
- 参 3-27 笠井和彦他、震動台の回転を加味した建物試験体の周期・減衰・モード形の同定法、日本建築学会構造系論文集、第 76 巻、第 670 号、pp.2031-2040、2011 年 12 月
- 参 3-28 越前はるか他、3 自由度電動型加振装置を用いた他軸干渉その制御に関する研究、日本機 械学会 Dynamics and Design Conference 2010、335、2010 年 9 月

4. まとめ

本業務では、①建築物の減衰定数に関する文献の調査、分析及び②地震観測、微動計測、振 動実験等を用いた一般建築物の減衰定数に関する文献等の抽出、公開されたデータ等の情報の 収集を行った。以下に、各章の結果を整理する。

(1) 2. 建築物の減衰定数に関する文献の調査、分析

原子力発電関連施設と対象とした文献調査、分析、一般建築物の減衰定数に関する文献調査、 分析を行った。以下に、①減衰定数(減衰の設定に関係)、②振幅依存性(減衰の設定に関係)、 ③算定方法による減衰定数のばらつき(減衰定数の評価に関係)、④地震応答解析モデル(シミ ュレーション解析に関係)、その他、減衰に関する観点から、⑤構造の複雑さによる減衰定数の 増分、⑥BWR型原子炉建屋とPWR型原子炉建屋の違い、⑦建物規模による減衰の違い、⑧構 造形式による減衰の違い、⑨対象とする応答レベルについてまとめる。

①減衰定数

・模型試験体

ラーメン構造ではひび割れ以前 2%程度、壁式構造ではひび割れ以前 1%程度との報告が ある。一方、どちらもひび割れ後では 3%程度と報告されている。

また、壁式構造で弱非線形領域(γ=0.7×10⁻³)の場合 2%との報告がある。

・常時微動と地震観測から算定した減衰定数

微小~数%程度とばらついている。地盤-建物相互作用の影響と振幅依存性の影響を含 んでいるためと考えられる。

・シミュレーション解析で用いられた減衰定数

原子力発電施設では3%程度、一般建物では3%との報告があり、いずれも同程度の値が 用いられている。

②振幅依存性

対象とする応答レベルにより異なるが、微小な応答レベルでも振幅依存性があり、破壊 に近いレベルでは10%以上と報告されている。

また、JEAG4601のせん断のスケルトンカーブの第2折れ点付近以降で、履歴減衰を含む場合 6~7%と報告されている。

③減衰の算定方法によるばらつき

カーブフィット、ARX モデル、部分空間法等の手法によるばらつき、フィルタリングに よるばらつき等がある。評価手法によるばらつきに加えて、評価手法毎でも以下のような ばらつきの要因がある。

- ・部分空間法は次数の取り方よって同定精度やばらつきが変化する。
- ・1 入力 1 出力系 (SISO) 及び 1 入力多出力系 (SIMO) の ARX モデルでは、ARX(SIMO) が最も安定した値をとり、フィルタリングによるばらつきも小さい。
- ・回転のみの相互作用を考慮する系を上部構造のみを考慮した基礎固定系と見なす場合に は、建物の減衰定数を過大に評価する可能性がある。
- ・カーブフィットでも伝達関数を用いた場合とパワースペクトルを用いた場合で差がある。
- ・伝達関数を用いた場合でも、振幅のみと振幅と位相の両方をフィットさせた場合とも差

がある。

④地震応答解析モデル

質点系モデルは原子力発電関連施設と一般建築物のどちらにも使われているが、その減 衰モデルは原子力発電関連施設ではモード減衰(歪エネルギー比例型減衰)、一般建築物で は剛性比例型減衰が用いられる。また、質点系モデルに用いられる復元力特性は原子力発 電関連施設では通常 JEAG4601 の方法(せん断の復元力特性にエネルギー吸収がない)、 一般建築物では履歴によるエネルギー吸収の有る武田型、武藤型、劣化型 Tri-Linear モデ ルが用いられる。

一般建築物では質点系モデル以外に、立体架構モデルが用いられ、その減衰モデルは剛 性比例型減衰が用いられる。

原子力発電関連施設では質点系モデル以外に、3次元 FEM モデルが用いられる、その減 衰モデルは Rayleigh 減衰や剛性比例型減衰が用いられる。また、3次元 FEM モデルの材 料非線形の考慮の方法は、等価線形を用いた手法と材料非線形モデルを用いた手法がある。 ⑤構造の複雑さによる減衰定数の増分

・原子力発電関連施設

新規制基準適合性に係わる審査会合の会議資料で、構造の複雑さによる減衰定数の増分についての考察があり、以下のように記載されている。

「履歴減衰を含む RC 耐震壁の加振試験結果に着目すると、RC 部の減衰定数は弾性域 で1%~4%程度、それを超えた付近で5%~7%程度である。一方で、原子力発電所の振動 試験及び地震観測記録に基づく減衰定数は、弾性域の非常に小さい応答レベルでも1%~ 10%程度の減衰が得られている。これは、RC 耐震壁実験が、ボックス型 RC 耐震壁を用い た試験であるのに対し、原子力発電所は加力方向と直交する構造床や構造壁との接合部を 複数有する複雑な構造であり、これらの部材の挙動及び接合部を介した挙動から、減衰効 果が得られたものと考えられる。」^{参 2-1}

「PWR 型原子力発電所の構造壁や構造床の少ない単純な構造物である外部遮蔽建屋や PCCV は、複雑な構造である内部コンクリート等に比べて減衰定数が小さい傾向がある。 このことからも、構造の複雑さによる減衰効果が存在することが考えられる。」^{参 2·1}

これらを根拠に2%程度以上の増加を考慮している。

一般建築物

構造の複雑さによる減衰が含まれない模型試験体の減衰定数と構造の複雑さによる減衰 が含まれる地震観測から算定した減衰定数を比較した結果から、構造の複雑さによる減衰 の増分は無いと考えられる。

⑥BWR型原子炉建屋とPWR型原子炉建屋の違い

軟岩サイトにありかつ地盤に埋め込まれている場合の多い BWR 型原子炉建屋では、地 盤への逸散減衰の影響が建屋の減衰よりもかなり大きく、硬岩サイトにあり地盤に埋め込 まれていない PWR 型原子炉建屋では、地盤への逸散減衰の影響が小さく、そのため、建 物全体の振動系の各モードの減衰定数hは、建物の構造種別に応じて設定したhとほぼ対 応している。 PWR 型原子炉建屋では、構造壁や構造床の少ない外部遮蔽建屋や PCCV があり、複雑な 構造の内部コンクリート等に比べて減衰定数が小さい傾向にあることがモード同定等によっ て示されている。

⑦建物規模による減衰の違い

RC 造中低層建物の減衰定数の方が RC 造超高層建物の減衰定数よりやや大きくなってお り、RC 造超高層建物の減衰定数より RC 造中低層建物の減衰定数の方がばらつきが大きい 結果となっているとの報告がある。これは、RC 造中低層建物の方が固有振動数が大きく、地 盤-建物相互作用の影響が大きいためと考えられる。

⑧構造形式による減衰の違い

ー般建築物の構造形式はほとんどがラーメン構造であり、模型試験体を用いた振動台試験 もラーメン構造を対象としたものがほとんどであった。模型試験を用いた振動台試験ではラ ーメン構造ではひび割れ以前2%程度、壁式構造ではひび割れ以前1%程度でどちらもクラッ クが入ると3%、と報告されていることからラーメン構造と壁式構造の減衰定数に大きな違 いはないと考えられる。

⑨対象とする応答レベル

常時微動では微小、地震観測では地震動の大きさにより、小~中と考えられる。

応答レベルが大きくなるに従って減衰定数も増加するため、減衰定数の値は常時微動<地 震観測となっている。

(2) 3. 地震観測、微動計測、振動実験等を用いた一般建築物の減衰定数に関する文献等の抽出、 公開されたデータ等の情報の収集

2. の文献調査の結果から、公開されたデータベースとして、①日本建築学会各種建築物の実 測データベースと②国立研究開発法人防災科学技術研究所 E·ディフェンス実験データベースを 選定し、シミュレーション解析等の検討における課題を抽出した。

①日本建築学会の実測データベース

多数の一般建築物の減衰定数実測値を実測方法毎、減衰評価手法毎に整理した。その結果、 構造種別に関わらず、実測方法の振幅レベルが大きくなるにつれ、短周期側(低層の建物) においては地盤-建物相互作用の影響(地下逸散減衰)が顕著になることを表していると考 えられ、建物で観測された応答波形には地盤の影響が含まれていることを念頭に取扱うべき と考えられる。

また、同じ微動計測データに対して異なる減衰評価手法を適用し得られた減衰定数を比較 した。その結果、構造種別に関わらず、各建物で同じ微動計測データを使用して異なる減衰 定数評価手法を適用した場合、得られた減衰定数は差が生じていることが分かった。減衰評 価に際しては、適切な減衰評価手法を選択する必要がある。

②E-ディフェンス実験データアーカイブ (ASEBI)

RC 造の建物について 11 の実験データを抽出し、主要な項目として実験概要、試験体概要、 波形データに整理した。

また、ASEBI で公開されている波形データはファイル容量が大きいことから、ダウンロー

ドに時間を要する点に留意が必要である。 ③ASEBIの波形データを用いた試計算

ASEBI から収集した波形データを用いて、ARX により減衰定数を試算し、既往の文献の 結果と比較した。その結果、両者の差は、バンドパスフィルターのバンド幅や形状の違いに 起因すると考えられる。波形データを用いて減衰定数を評価する場合、本業務で使用した ARX のみならず、RD 法や対数減衰率法、カーブフィット法、ハーフパワー法等の手法にお いても、波形データのノイズ除去に用いるバンドパスフィルターのバンド幅が結果に与える 影響が大きいことがある。また、バンドパスフィルターの形状(例えば、台形型、パルス型、 ボックスカー型等)によっても結果に影響を与えることがある。これらのことから、各モー ドの卓越振動数を中心にどの程度の幅の、どのような形状のバンドパスフィルターをかけれ ばよいかが課題である。

一方、ASEBIから収集した波形データを用いて、簡単な条件ではあるがモード同定が可能 で、今後、計算条件を変えた解析ができることを示したが、実験で得られた波形データは既 に試験体等の影響を受けたものであることを念頭におき、減衰評価手法により得られる減衰 定数や、地震応答解析等の各種のシミュレーション解析で得られる結果は、解析条件のみな らず選択する波形データにも依存する点に留意が必要である。