

振動台実験に基づく速度感応型性能可変ダンパを用いた小規模免震構造物の変位制御に関する研究
(その2 応答性状の比較)

正会員 ○天埜 貴仁*¹ 同 高橋 武宏*² 同 福和 伸夫*³
同 護 雅史*⁴ 同 平野 茂*⁵ 同 及川 孝則*⁶

変位制御 想定外入力 共振
免震戸建住宅 振動台実験 速度感応型

1.はじめに

その 1 では、免震戸建住宅に適用が期待される速度感
応型性能可変ダンパの構造、力学的特性、及び実験概要
について述べた。その 2 では、3 種のダンパを装着した際
の応答性状の比較を行い、免震戸建住宅の変位制御に関
しての優位性を分析する。

2.実験に用いた入力波

入力波は過去に観測されたものと、模擬波を用いてそ
れぞれ以下に示す 4 つのグループに分類した。入力波一
覧を表 1 に示す。ただし、振動台に入力できるように加
速度波形にフィルター処理を施した。本報では、A グル
ープから石巻波と柏崎波を用いて分析を行う。これらの
加速度波形と 5%擬似速度応答スペクトルを図 1 に示す。

表 1 入力波一覧

グループ	符号	名称	フィルター周期(sec)		継続時間 (sec)	最大値			元データ出典
			Low cut (sec)	High cut (sec)		Acc. (gal)	Vel. (kine)	Dis. (cm)	
A 長周期地震動 長周期パルス地震動	A1	柏崎	2.55	0.40	36	457	88.2	23.2	新潟県中越沖地震(2007)
	A3	宮小牧	7.99	0.40	100	65	29.3	22.9	十勝沖地震(2003)
	A4	八戸	10.00	0.40	70	181	33.4	9.5	十勝沖地震(1968)
	A5	輪島	10.00	0.40	28	264	38.9	9.9	能登半島地震(2007)
	A6	石巻	10.00	0.40	130	385	64.8	16.1	東北地方太平洋沖地震(2011)
	A7	TCU067	4.81	0.40	40	399	82.8	22.9	台湾・集集地震(1999)
	A8	Kocaeli	4.81	0.40	30	181	60.3	22.8	トルコ・コジャエリ地震(1999)
B パルス波を含む地震動	B1	川口	2.15	0.40	38	741	104.7	23.5	新潟県中越沖地震(2004)
	B2	鷹取	1.99	0.40	22	537	102.9	22.7	
	B3	喜合	2.27	0.40	25	666	98.9	23.9	兵庫県南部地震(1995)
	B4	神戸	4.54	0.40	20	817	109.8	23.7	
	B5	築館	10.00	0.28	140	501	42.2	12.7	東北地方太平洋沖地震(2011)
	B6	仙台	10.00	0.40	90	690	90.4	21.3	
C 模擬地震動	C1	三の丸	4.00	0.40	130	211	64.5	24.0	想定東海地震(福和)
	C2	浜松	3.91	0.40	30	466	90.9	24.2	
	C3	静岡	3.50	0.40	30	467	91.0	23.7	想定東海地震(中央防災会議)
	C4	富士	5.85	0.40	25	607	97.0	21.0	
	C5	大阪	10.00	0.40	250	70	28.9	17.2	想定南海地震(釜江)
	C6	BCIL2	6.40	0.40	70	315	47.5	24.0	日本建築センター
D 告示波	D2	八戸位相	5.28	0.40	120	349	64.1	23.1	十勝沖地震(1968)
	D3	川口位相	3.20	0.40	38	417	61.6	23.5	新潟県中越沖地震(2004)
	D4	鷹取位相	4.31	0.40	22	415	80.6	23.4	
	D5	神戸位相	4.00	0.40	20	487	62.8	23.8	兵庫県南部地震(1995)

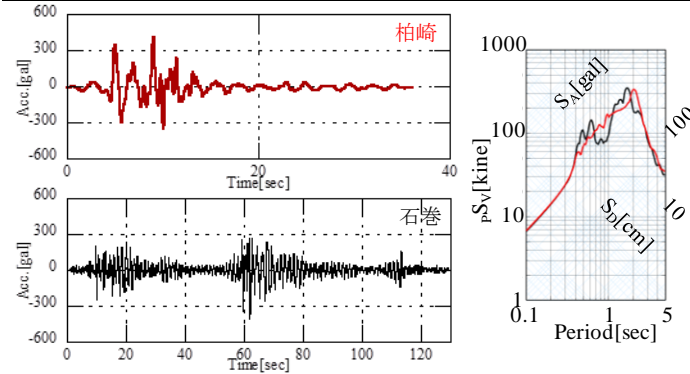


図 1 入力波加速度波形、5%擬似速度応答スペクトル

3.試験体振動特性

フリー免震時の振動特性はカーブ
フィット法より固有周期 2.75 秒、
減衰定数 6%である。フィッティ
ングの様子を図 2 に示す。尚、1 次固
有振動数のみを対象とし、0.1Hz～
3Hz でフィッティングを行った。

4.応答性状比較

各ダンパを装着した際とフリー免
震時の上部構造物での加速度波形、
免震層の相対変位波形、その際のダ
ンパの変位-減衰力、速度-減衰力を図 3~図 4 の(a)~(d)に示
す。また、各加振での最大値を表 2 に示す。

石巻波入力時は、図 3(a)から、ダンパ B の加速度は、
最大値は小さいが、継続的に振幅が大きい。最大値が小
さい理由は、図 3(c)(d)から、ダンパの最大減衰力が小さ
いためである。継続的に加速度が大きい理由としては、
ダンパ B が高い減衰力を長時間保持する力学的特性のた
めである。減衰力が高い状態だと、ずっとダンパが効い
ている状態となり、非免震に近い状態となるために、入
力が小さくても他のダンパと比較し、応答加速度は大き
くなる。また、ダンパ B のみ免震層の応答変位が大きい。
これは、図 3(d)よりダンパ B の通常回路時の勾配が小さ
いため、設計の 50kine ではダンパ内の圧力が足らず、減
衰力が大きくならなかったためである。

柏崎波入力時は、ダンパ C のみ免震層の応答変位が小
さくなった。ダンパ A は減衰力が上がっても、低速にな
ると減衰力を落とすという力学的特性のため、繰り返し
大きな入力を受けると、ダンパ内の回路を切り替える機
構で閉じ遅れが生じ、免震層の応答変位が大きくなる。
ダンパ B は石巻波入力時と同様の理由から、免震層の応
答変位が増大したが、図 4(b)よりダンパの減衰力が高
くなってからは、高い減衰力を長時間保持する力学的特
性のため、免震層の応答変位は他のダンパと比較し小さい。

ダンパ B の加速度波形が、継続的に大きいことによる
上部構造物への影響を考慮するため、図 3(a)、4(a)の加
速度波形の加速度フーリエスペクトルを図 5 に示す。図
5(a)から、ダンパ B は 1~3Hz 付近で振幅が大きく、それ

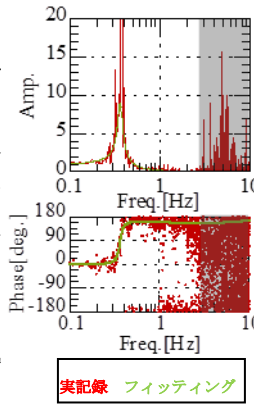


図 2 試験体振動特性

は木造住宅の固有振動数と近接する値である。また、図5(b)の柏崎波では、ダンパBは高振動数側で他のダンパと差が少ない。長時間繰り返し入力を受けるような石巻波では、ダンパBは1~3Hz付近で、上部構造物での入力が他のダンパより増幅されるが、継続時間の短い柏崎波ではその傾向は見られない。

5.まとめ

3種のダンパを用いて振動台実験を行った。どのダンパでも、免震層の応答変位を、フリー免震時の半分以下であり、なお且つ、一般的な免震戸建住宅のクリアランスの限界である30cm以下に制御できた。また、入力波によって応答性状が異なることが確認できた。各ダンパの特徴を表3に示す。

今後は本実験で得られた力学的特性に基づき、数値解析を行い、各パラメータを変化させるパラメトリックスタディにより、免震戸建住宅に用いるためのダンパとしての最適パラメータの検討が必要である。

謝辞

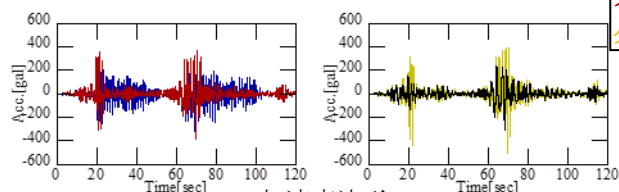
実験には㈱奥村組技術研究所の三次元振動台を利用した。技術研究所の栗本雅裕氏、安井健治氏、山上聡氏、上寛樹氏には長期に渡って振動台制御及び計測、そして貴重なご意見を戴いた。ここに記し謝意を表します。

ダンパA ダンパB
ダンパC フリー免震

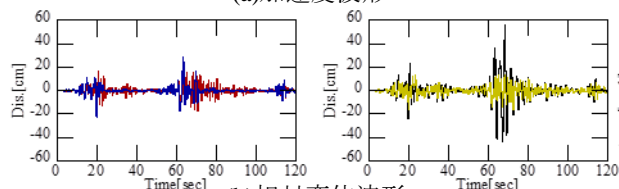
図4 柏崎波入力時の応答

表2 各加振結果

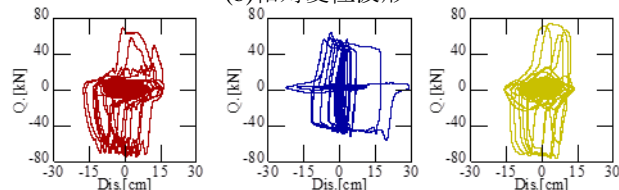
	石巻波		柏崎波	
	応答加速度 [gal]	免震層変位 [cm]	応答加速度 [gal]	免震層変位 [cm]
ダンパA	384	18	400	24
ダンパB	337	29	342	28
ダンパC	503	16	440	15
フリー免震	305	56	355	60



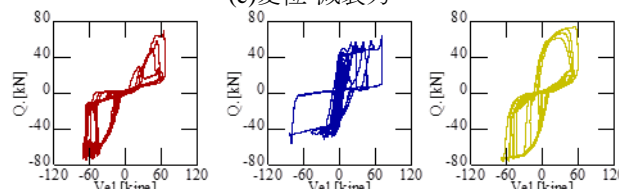
(a)加速度波形



(b)相対変位波形

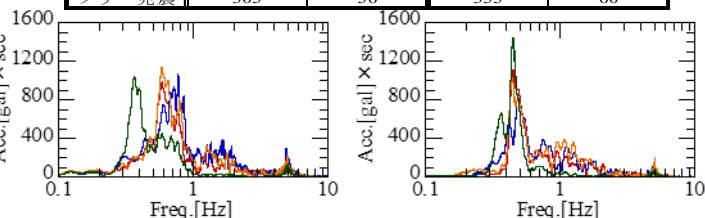


(c)変位-減衰力



(d)速度-減衰力

図3 石巻波入力時の応答



(a)石巻波入力時

(b)柏崎波入力時

図5 加速度フーリエスペクトル

表3 各ダンパ特徴

	長所	短所
ダンパA	応答加速度を抑えつつ変位を抑制できる	低速で抵抗力を落とすため、繰り返し大きな入力となると変位が増大する
ダンパB	応答加速度の最大値が小さい 繰り返し入力を受ける時、ダンパの抵抗力が高くなるとその後は応答変位が小さくなる	継続時間の長い繰り返し加振を受ける入力だと、継続的に加速度が大きくなり、上部構造物で1~3Hz付近の成分が増幅する
ダンパC	全加振で一番応答変位を抑制できる	応答加速度の最大値が他より大きい

*1 名古屋大学大学院・大学院生

*2 名古屋大学減災連携研究センター・研究員

*3 名古屋大学減災連携研究センター・教授・工博

*4 名古屋大学減災連携研究センター・准教授・博士（工学）

*5 ㈱一条工務店 特建設計部・博士（農学）

*6 ㈱一条工務店 工事部免震工事課

*1 Graduate Student, Nagoya Univ.

*2 Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ.

*3 Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng

*4 Assoc.Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng

*5 Ichijo Housing Company Co., Ltd, Special Design Department, Dr. Agr

*6 Ichijo Housing Company Co., Ltd, Construction Department, Menshin Division