

実在免震建物を利用した振動実験環境 (その1 免震建物の基本的な振動特性の評価)

正会員 ○鶴生 明穂*¹ 同 飛田 潤*²
同 福和 伸夫*³ 同 成澤 健太*⁴

免震建物	自由振動実験	強制振動実験
摩擦	減衰	固有周期

1.はじめに

名古屋大学「減災館」では、免震建物の環境条件や経年などの影響を含めた応答特性を検討するため、継続的な観測及び振動実験を行う環境が整っており、建設段階から地盤を含めた実在免震建物における振動特性について総合的に分析している^{1,2)}。本稿では、減災館（以下対象建物）の振動実験結果を報告する。

2.対象建物と観測体制の概要

対象建物は、図1・2に示すように地上4階十屋上実験室1階のRC造基礎免震建物（2014年2月竣工）である³⁾。基礎免震層には、天然ゴム系積層ゴムアイソレーター（以下積層ゴム）5基、直動転がり支承（以下CLB）9基、オイルダンパー8基が設置されており、復元力特性がほぼ弾性となるように設計されている。対象建物の屋上には積層ゴムとCLBで支えられた実験室が設けられており、基礎免震層と合わせて上下2段の免震層を持つ。基礎免震層と屋上免震層の固有周期はいずれも5.2sに設定している。

対象建物には加速度計7基、基礎免震層の相対変位計4基、免震基礎側面に土圧計4基が常設されている。



写真 外観(左), 基礎免震層ジャッキ(中央), 屋上免震層(右)

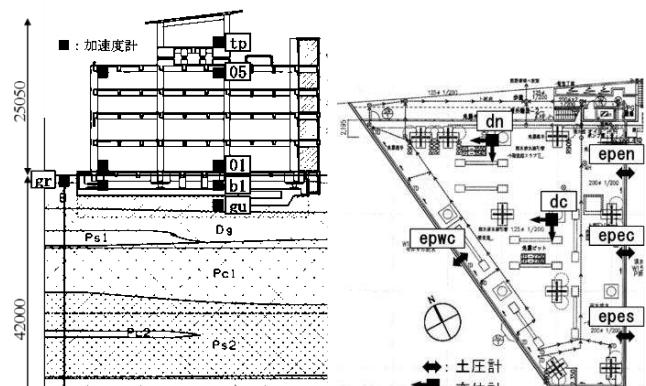


図1 加速度計配置

図2 基礎免震層の
土圧計・変位計の配置

3.加振実験の概要

対象建物が、復元力特性がほぼ弾性の免震特性を持つことを利用し、自由振動実験と強制振動実験の2種類の振動実験が可能である³⁾。これらの振動実験から基本的な免震制振の性能について分析している。

4.静的加力

ジャッキにより上部建物に強制変位を与えた時の力と基礎免震層の相対変位を計測して、基礎免震層の水平剛性と摩擦力を評価する。力-変位関係と、それをもとにした履歴則を図3・4、これよりから算出した剛性、摩擦力、等価粘性減衰定数を表1に示す。ダンパーなしの力-変位関係の切片は基礎免震層の摩擦力に、傾きは水平剛性に相当する。図3より、静的加力時のダンパーの有無による傾き、切片の違いはほとんど見られない。図4より、2014年10月と2017年2月のダンパーなしの力-変位関係と履歴則の傾きがほぼ同じであることから、積層ゴムの水平剛性の経年変化は微小であることがわかる。また、2014年10月の実験では摩擦力が171kNと推定され、CLBの摩擦係数（0.0039）と上部建物の質量から計算される摩

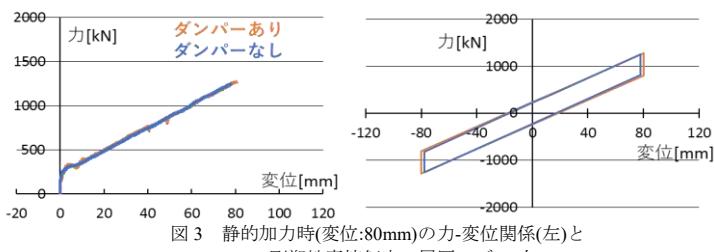


図3 静的の加力時(変位:80mm)の力-変位関係(左)と
剛塑性摩擦仮定の履歴モデル(右)

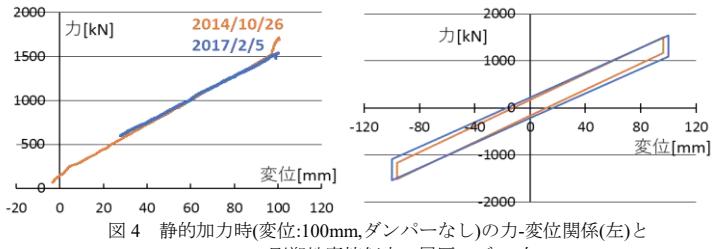


図4 静的の加力時(変位:100mm, ダンパーなし)の力-変位関係(左)と
剛塑性摩擦仮定の履歴モデル(右)

表1 履歴モデルから推定した各値

日付	ダンパー	強制変位	傾き(剛性)	切片(摩擦力)	等価粘性減衰定数	周期
2017/2/5	あり	80mm	12.9	237	—	—
			13.3	219	11.1	4.2
	なし	100mm	13.2	224	9.2	4.2
		138mm	12.8	219	7.3	4.3
		100mm	13.9	171	7.2	4.1

摩擦力約 160kN とおおむね対応している。一方、2017 年 2 月の実験では切片が約 1.3 倍となっていることから、摩擦力と等価粘性減衰定数が 30% 程度増加していることがわかる。2017 年 2 月の実験では強制変位が小さいほど推定される等価粘性減衰定数は大きくなる。ダンパーなしの場合について、水平剛性から推定した建物の固有周期はいずれの場合も 4.2s 前後となり設計値 5.2s より短周期となつた。

5.自由振動実験

図 5 に自由振動実験の結果を示す。ダンパーありの場合には振動せずに中立点に漸近し、ダンパーなしの場合には 1~2 往復程度の振動が確認できる。振幅が小さい範囲では CLB の摩擦による減衰が大きく影響し、初期変位による差も見られる。ダンパーなしの場合について、2014 年 10 月と 2017 年 2 月の自由振動波形を比較すると、1/4 周期まではよく対応しているが、以降は 2017 年 2 月の実験結果の方が早く振動が収まっている。図 4 で基礎免震層の摩擦力が増加していることと対応している。

実験から得られた自由振動波形について、(1)式を用いてフィッティングを行った結果を表 2、図 6 に示す。ジャッキ解放時にチャックの引っかかりがあるため、建物本体の加速度が最大になる瞬間以降の時間区間を使用する。振幅によって CLB の摩擦による減衰の影響が異なるため、振動の前半と後半で 2 分割して固有周期と減衰定数を推定した。

$$y = e^{-h\omega t} (d_0 \cos \omega t \sqrt{1-h^2} + \frac{v_0 + h\omega d_0}{\omega \sqrt{1-h^2}} \sin \omega t \sqrt{1-h^2}) \quad (1)$$

表 2 より、ダンパーありの場合、推定された減衰定数は約 80% となり、設計時に想定されたオイルダンパーによる等価粘性減衰定数 30% より大きくなっている。ダンパーなしの場合、静的加力と同様に初期変位が小さいほど等価減衰定数は大きく、また、振動の後半は前半に比べ

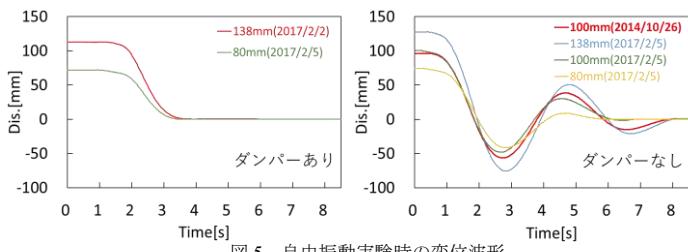
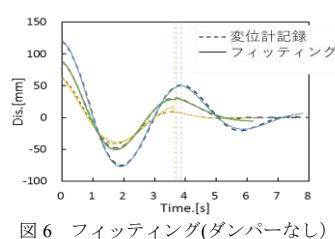


表 2 フィッティングから
推定された各値

ダンパー	初期変位	固有周期		減衰定数	
		前期	後半	前期	後半
なし	138mm	3.93s	4.20s	0.14	0.31
	100mm	3.72s	5.31s	0.18	0.49
	80mm	4.35s	3.52s	0.20	0.49
あり	138mm	4.58s		0.84	
	80mm	4.04s		0.82	



*1 名古屋大学大学院環境学研究科

*2 名古屋大学災害対策室 教授 工博

*3 名古屋大学減災連携研究センター 教授 工博

*4 名古屋大学大学院環境学研究科

て減衰定数が大きくなっている。いずれも、振幅が小さいときの CLB の摩擦の影響が考えられる。固有周期は 4s 程度と推定され、4.の結果と同様に小振幅では設計時に想定された固有周期 5.2s よりも短周期となっている。

6.強制振動実験

図 7 に強制振動実験の結果を示す。屋上実験室の加速度が約 50gal を超えるところから建物本体の応答加速度が大きくなり、基礎免震層に相対変位が生じている。これは、基礎免震層の CLB による摩擦の影響と考えられる。この時の屋上実験室と建物本体の加速度にそれぞれの質量を乗じた慣性力の合計で加振力を求めると 180kN となり、静的加力と同様に CLB の摩擦係数から求められる摩擦力におおむね対応している。

屋上実験室の加振振動数を変えて強制振動実験を行った。加振力-基礎免震層の相対変位の関係を図 8、加振振動数、屋上実験室と屋上スラブの最大加速度と応答倍率(05/tp)を表 3 に示す。ダンパーの有無によって建物本体が動き出す加振力に差はみられない。0.195Hz で加振した時の基礎免震層の変形は 0.185Hz の時の約 2 倍となった。また、応答倍率(05/tp)は加振振動数が高振動数になるほど大きくなる。

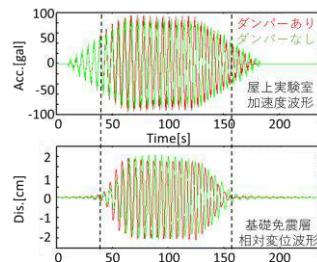


図 7 強制振動実験の加速度・変位波形
(加振振幅 70cm)

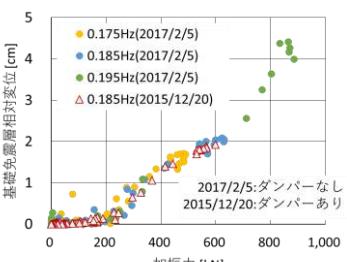


図 8 加振力-相対変位の関係
(加振振幅 70cm)

表 3 加振振動数と応答倍率

加振振動数	最大相対変位 [cm]	最大加速度 [gal]		応答倍率
		tp	05	
0.175Hz	1.76	73.51	2.44	0.03
0.185Hz	2.11	72.84	1.82	0.02
0.195Hz	4.56	75.77	6.85	0.09

7.まとめ

振動実験から建物の基本的な振動特性について、ダンパーの有無や経年(2 年半)の影響も含めて比較・分析した。基礎免震層の積層ゴムの水平剛性についてはほとんど経年変化が見られなかった。また、相対変位が小さい範囲では CLB の摩擦の影響が小さくないことを示した。

参考文献

- 1) 平野貴士他：建設段階の継続的観測に基づく三角形平面免震建物の振動特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014 年 9 月
- 2) 平野貴士他：免震建物の加力実験および振動実験に基づく性能評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、2015 年 9 月
- 3) 成澤健太他：実在免震建物を利用した振動実験環境の構築、構造工学論文集 vol.63B, 2017 年 3