

3. 免震建物の振動特性に関する実験的研究

飛田 喜則 福本 昇
井上 重信 中澤 敏樹

要 旨

本報告は、竣工した免震建物において常時微動測定、人力加振実験、静的加力実験および自由振動実験をおこなった結果について述べたものである。実験の結果、微小振幅時の一次固有周期が約0.35秒、減衰定数が1.5%であること、また大振幅時における免震層の荷重－変位関係および減衰定数が設計どおりであることを確認した。

キーワード

免震建物／自由振動／固有周期／減衰定数／大変形／荷重－変位関係

目 次

1. はじめに
2. 対象建物
3. 実験概要
4. 実験結果
5. ま と め

3. EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION PROPERTIES OF ISOLATED BUILDINGS

Yoshinori Tobita Noboru Fukumoto
Shigenobu Inoue Toshiki Nakasawa

Abstract

This report presents the results of microtremor measurement, static loading test and free vibration test. As a result of the tests, it was confirmed that the primary natural period at the time of small amplitude was about 0.35 seconds and the damping factor was 1.5%, and that the load-displacement relationship and the damping factor on the isolated floor at the time of large amplitude were in good agreement with the design figures.

1. はじめに

阪神大震災以後、免震建物はその耐震性の高いことが評価され、これまでに数多く建てられている。しかし、ほとんどの免震建物は、実際に大きな地震動を経験しているものはない。そのため、免震層が大きな変形をした場合について、その特性を検討しておくことが今後の設計に対して重要となる。

本報告は、完成した免震建物の常時微動測定、人力加振実験、静的加力実験および自由振動実験をおこなった際の振動特性について述べたものである。

2. 対象建物

本実験で対象とした建物は、平成8年から9年にかけて大阪府堺市に建設された免震建物である。表2.1に本建物の概要、図-2.1～図-2.3に本建物の配置図（1階平面図）、基準階平面図および断面図を示す。なお、図中には、実験に用いた加力用ジャッキ、変位計および加速度計を設置した位置を併記している。

本建物は、平面形状が長辺の長さ約48.0m、短辺の長さ約11.0mの整形建物であり、階数が地上7階、塔屋1階である。建物の構造種別は、鉄筋コンクリート造である。構造形式は、長辺方向がラーメン構造、短辺方向が耐震壁付きラーメン構造であり、各柱の下に積層ゴム20基（LRB:19基、RB1基）が設置されている。

建物に設置されている免震装置の諸元を表2.2に示す。免震装置は、直径の異なる3種類の鉛プラグ入り積層ゴムが19基と天然積層ゴムが1基である。

表-2.1 建物概要

建 物 用 途	共同住宅		
敷 地 面 積	2045.97㎡		
建 築 面 積	606.60㎡		
延 床 面 積	3293.74㎡		
階 数	地上7階、塔屋1階		
軒 高	21.05m		
最 高 高 さ	26.00m		
構 造 種 別	鉄筋コンクリート造		
構 造 形 式	桁行方向	ラーメン構造	
	梁間方向	耐震壁付ラーメン構造	
基 礎	場所打ちコンクリート杭		

表-2.2 免震装置概要

種 類	鉛プラグ入り積層ゴム			天然積層ゴム
	LRB750	LRB700	LRB650	RB650
個数	2	13	4	1
ゴム直径(mm)	750.0	700.0	650.0	600.0
鉛プラグ径(mm)	150.0			—
ゴム層厚(mm)	180.0			
K _{d30} (kgf/cm)	1511.8	337.9	1175.1	1007.9
Q _{d30} (tf)	15.0			—

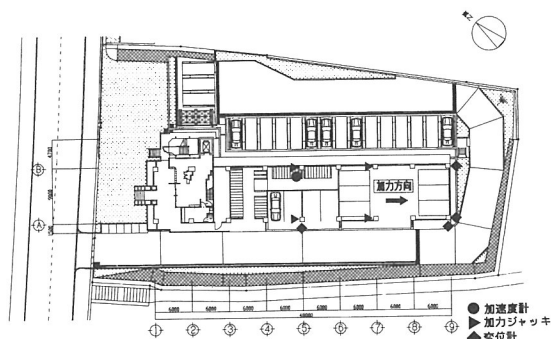


図-2.1 配置図

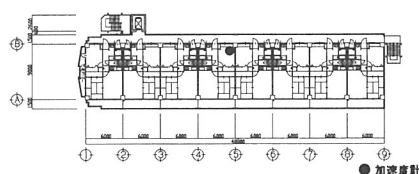


図-2.2 基準階平面図

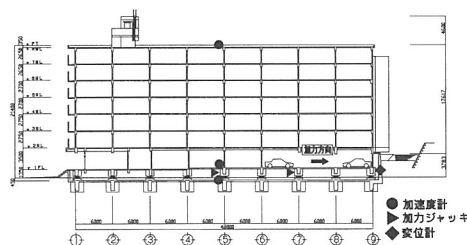


図-2.3 断面図

3. 実験概要

3.1 実験目的と種類

本建物の微少振幅時における建物の固有周期および免震層の減衰定数を確認するために、常時微動測定および人力加振実験をおこなった。

つぎに、比較的大きな水平変形が生じた時の免震層の荷重－変位関係および動的な振動特性の確認のために、静的水平加力実験および自由振動実験をおこなった。静的水平加力実験時の免震層の様子を写真－1に示す。

3.2 実験方法

(a)常時微動測定

常時微動測定は、外部振動の比較的小さい時間帯におこなった。測定は、測定位置を免震層下部、1階床および屋上階の建物重心（各3成分）とし、測定時間を約2分間、記録振動数を100Hzとした。なお、測定に用いた加速度計の総合振動数特性は、1.0Hz以上で平坦である。

(b)人力加振実験

人力加振実験は、人員を10名、加振回数を10回とし、加振周期を常時微動測定で得られた1次固有周期としておこなった。加振方向は長辺方向とした。測定は、常時微動時と同様とした。

(c)静的加力実験

静的加力実験は、免震層を水平方向に変形させておこなった。このときの変位を約4.0cmおよび7.5cm、加力方向を長辺方向とした。

水平加力には、瞬時に载荷荷重をゼロにする性能を有する急速解放弁付油圧ジャッキ（最大能力:180ton）を免震層に4台設置しておこなった。測定は、免震層のせん断力値をジャッキの圧力変換器、免震層の変位を建物の端部に設置した非接触型レーザー変位計を用いておこなった。

(d)自由振動実験

自由振動実験は、前述したジャッキによって強制変形を与えた後、急速に水平力を除くことによっておこなった。このときの強制変位を約7.5cmとし、加力方向を長辺方向とした。

測定は、常時微動測定、静的加力実験時と同様に建物内の加速度計および免震層の変位計を用いておこなった。

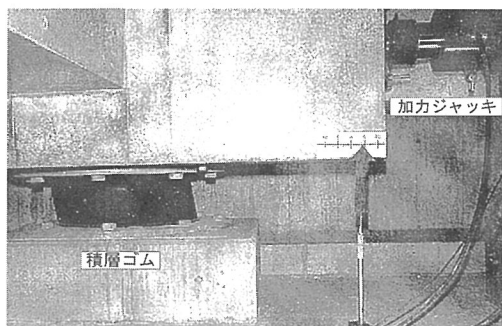


写真-1 加力ジャッキにより免震装置に変形を与えている様子

4. 実験結果

4.1 常時微動測定

常時微動時の加速度時刻歴波形から算定したフーリエスペクトルを図-4.1に示す。なお、フーリエスペクトルの平滑化にHanning Window処理(10回)を施した。

図-4.1から、常時微動時の建物の1次固有周期が約0.35秒であること、上部建物が剛体として挙動していることが確認できた。

4.2 人力加振実験

人力加振実験によって得られた1階床の加速度時刻歴波形を図-4.2に示す。また、図中に加振終了後の加速度波形から求めた減衰曲線を示した。なお、加速度時刻歴波形には、4.0Hzのローパスフィルター処理を施した。

図-4.2から、微小振幅時の免震層の減衰定数は、約1.5%であった。

4.3 静的加力実験

静的加力実験の結果から、最大変位が約4.0cmおよび7.5cmの場合の荷重-変位関係を図-4.3に示す。図にはそれらの変形時の免震層の設計式によるスケルトンカーブも示した。

図-4.3から、免震層の変形量が大きくなるに従い剛性が低下していること、また荷重-変位関係は設計値とほぼ一致していることが確認できた。

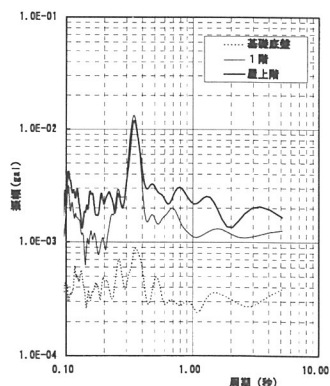


図-4.1 常時微動時のフーリエスペクトル

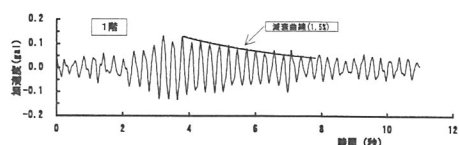


図-4.2 入力加振時の加速度時刻歴波形（1階）

4.4 自由振動実験

自由振動時の免震層の変位時刻歴波形を図-4.4に、建物の屋上、1階および基礎底盤の加速度時刻歴波形を図-4.5に、基礎底盤に対する1階および屋上階のフーリエスペクトル比を図-4.6に示す。なお、加速度時刻歴波形は、4.0Hzのローパスフィルター処理を、フーリエスペクトルの平滑化にはHanning Window処理(10回)を施している。

図-4.4の変位時刻歴波形から、免震層の変位は、最大変形点から急速に減少(除荷時とする)し、その後自由振動を繰り返している(自由振動時とする)ことがわかる。除荷時に第2波まで考慮して求めた対数減衰率は、約25.7%であった。これは、設計に用いた履歴ループから求めた値とよく一致している。また、自由振動時の対数減衰率は、約2.5%であった。

図-4.5、図-4.6より、屋上階および1階の時刻歴波形がほぼ同位相であることから、上部構造は一体と

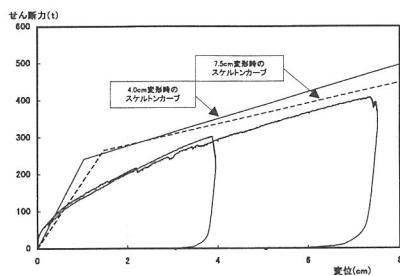


図-4.3 荷重-変位関係

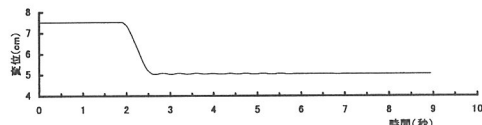


図-4.4 自由振動実験時の変位時刻歴波形

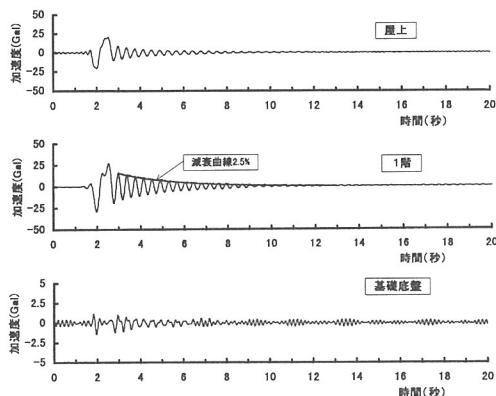


図-4.5 自由振動実験時の加速度時刻歴波形

して挙動していることがわかる。

さらに、加速度時刻歴波形を2.0秒間隔でフーリエスペクトルを算定し、それぞれの時間帯における建物の周期の変化を図-4.7に示す。図-4.7より、自由振動時の建物の一次固有周期は、約0.402秒から0.365秒へと変化した。

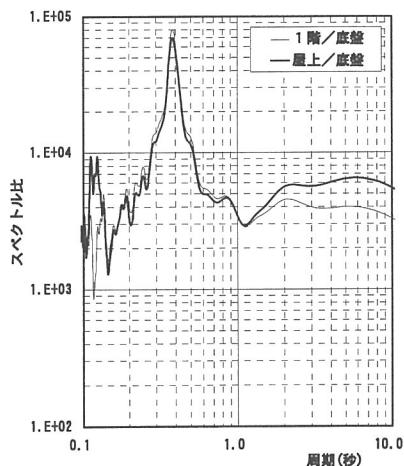


図-4.6 フーリエスペクトル比

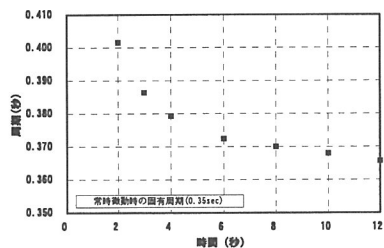


図-4.7 自由振動中の固有周期の変化

5. まとめ

実験の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 本建物の微小振幅時の1次固有周期は約0.35秒、減衰定数は1.5~2.5%であった。
- 2) 強制変位7.5cmを与え自由振動させた場合の減衰定数は25.7%であり、これは設計値とほぼ対応している。
- 4) 静的載荷実験から得られた荷重-変位関係は、設計値とよい一致を示した。

【謝辞】

本実験をおこなうにあたり、(仮称) 堺宮山台マンション作業所山岡所長をはじめ関係各位に多大なる協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。