

やや長周期地震動による小型免震装置の挙動

Dynamic Characteristics of Small Isolation System by Long Period Ground Motion

栗田 勝実¹⁾, 青木 繁¹⁾, 中西 佑二¹⁾, 富永 一利¹⁾, 金澤 光雄²⁾, 小川 信行³⁾, 大喜聖洋⁴⁾

Katsumi Kurita¹⁾, Shigeru Aoki¹⁾, Yuuji Nakanishi¹⁾, Kazutoshi Tomonaga¹⁾,
Mitsuo Kanazawa²⁾, Nobuyuku Ogawa³⁾, Kiyohiro Ooki⁴⁾

Abstract : A small base isolation system installed inside building is constructed for small structure. In order to investigate dynamic characteristics of this system by long period ground motion, excitation experiment and evaluation by numerical analysis is done. It is possible to reduce the response to 1/5, if input wave do not include a frequency component which is same as natural frequency of this system. Comparing response wave forms between excitation experiment and numerical analysis modeling by single degree of freedom system, it is good agreement, although the peak amplitude between them indicates 10 % difference.

Keywords : Base isolation system, Natural frequency, Damping ratio, Acceleration response, Resonance

1. はじめに

大地震の際、建物内部に設置された幅や奥行きに対して高さがあるコピー機やコンピュータ用ラックなどのOA機器類や美術品は、その揺れにより転倒する可能性がある。これを防止するため、建物内部に設置可能な小型免震装置が盛んに開発されている^{1), 2)}。これらの動的特性の評価は、平成7年兵庫県南部地震を神戸海洋気象台で観測した周期0.8秒に卓越周期を持つ地震波を入力波として用いていることが多い。

一方、関東平野や大阪盆地などの堆積平野では、周期数秒～十数秒のやや長周期地震動が観測されることが知られており³⁾、同じ帯域に固有周期を持つ長大構造物は、その揺れによる影響を強く受ける^{4), 5)}。一方、このような構造物内にも小型免震装置を設置する可能性もあることから、やや長周期地震動に対する装置の動的特性を把握しておくことは重要となる。本研究では、我々が提案している小型免震装置⁶⁾を用いて、やや長周期地震動が観測された平成19年能登半島地震を入力波として用いた小型免震装置の振動特性について述べる。

2. 摩擦軸受を用いた小型免震装置

小型免震装置の重要部品である摩擦軸受を図1に示す。2枚の凹面をもつ球面板に球体のベアリングを挟んだものである。球面板の寸法は200mm×200mm、曲率を一定として、SR450およびSR1200mmの凹面板を製作した。この内部にある球体と球面板が転がり滑ることで地面の揺れが積載物に伝わらない構造になっている。本装置の

特徴の一つとして、振り子の機構が用いられていることにより、揺れが収まった後に復元力により自動的に原点(中心)に戻る機能を備えている点が挙げられる。

小型免震装置は、図2に示すように各角に摩擦軸受を1つつ配置して制作した。また、摩擦軸受は、2次元平面内を自由に移動することが可能な機構となっており、かつ、免震装置に配置したそれらが独立に可動できることにより、ねじり振動の免震に対応できることも特徴として挙げられる。

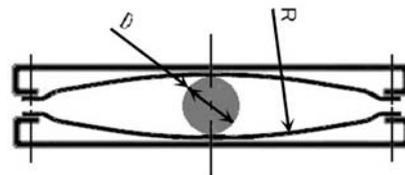


図1 摩擦軸受

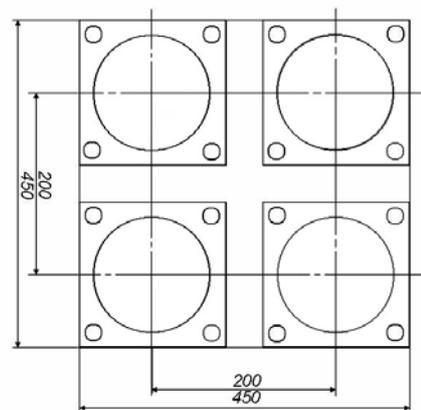


図2 小型免震装置

1)東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 2)金澤製作所 3)千葉科学大学
4)東京都立産業技術高等専門学校 専攻科

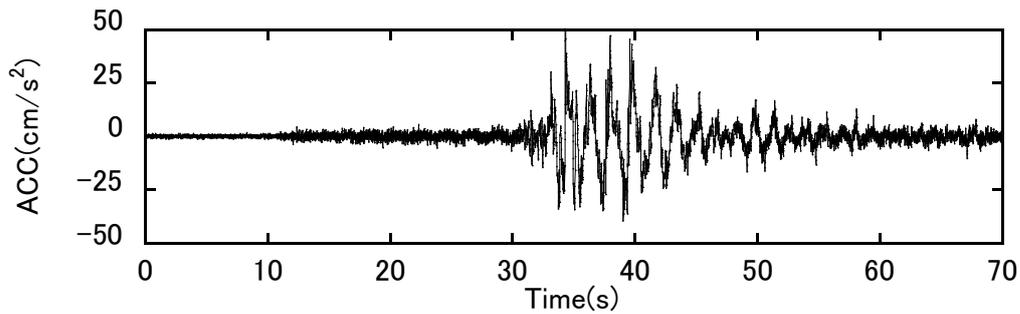


図3 入力波として用いた地震波形 (JMA 輪島 10%)

3. 小型免震装置の固有振動数と減衰比

前述の如く、摩擦軸受は振り子機構から成り立っているため、製作した小型免震装置は固有振動数を持つ。また、球体が凹面板を転がり滑りをするとき摩擦が生じるために減衰を伴う。そのため、固有振動数と減衰比が装置の特性を制御するパラメータとなる。そこで装置の固有振動数と減衰比を自由振動の記録から推定した。

実験は、小型免震装置の上板に一定の変位を加えて自由振動を引き起こさせ、装置上部に取り付けた加速度変換器(共和電業 AS-2GA)から出力される信号をセンサインターフェイス(共和電業 PCD-300A)を用い、0.01 秒のサンプリング間隔でパーソナルコンピュータにより記録した。

自由振動から推定した固有振動数と減衰比を表 1 に示す。

表 1 固有振動数と減衰比

半径	固有振動数 (Hz)	減衰比
SR 450	0.535±0.0046	0.019±0.004
SR1200	0.290±0.0060	0.102±0.027

4. 振動実験

実験は、振動台上に小型免震装置を取り付けた後に、上板に重量 6kg のおもりを載せ固定した。免震装置上面には加振方向 (X 軸) とそれに直角方向 (Y 方向)、また振動台には加振方向に加速度変換器を設置して振動測定をした。

4. 1 入力地震波

加振実験に用いた入力地震波は、平成 19 年能登半島地震を輪島測候所で観測した地震波の EW 成分 (JMA 輪島波) を 5~10% に低減したものである。地震波形を図 3 に、そのフーリエスペクトルを図 4 に示す。JMA 輪島波は波形に 0.5Hz 成分が明瞭に現れており、スペクトルでも同振動数に鋭いピークが存在しており、やや長周期地震動が卓越している。

4. 2 加速度応答波形

小型免震装置の上で測定した加速度応答波形を図 5 に、

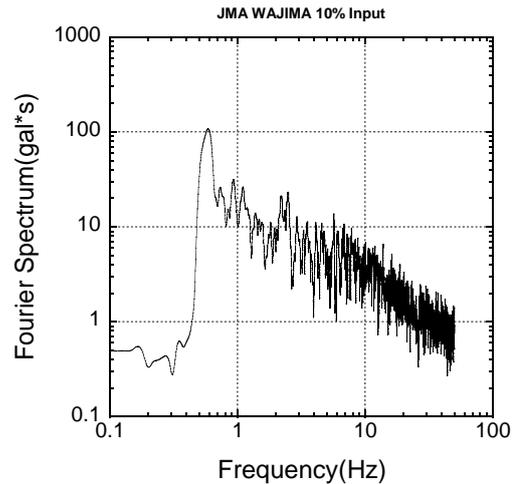


図4 入力波のフーリエスペクトル

その最大振幅を表 2 に示す。摩擦軸受に用いる凹球面板の半径を SR450mm とした場合の小型免震装置では、最大振幅が入力波よりも 4 倍程度増大しており、明瞭な共振した波形性状を示している。ところが SR1200mm とした場合では、最大振幅は入力に対して 0.2 倍程度と十分な免震効果を示しており、また、共振を示す波形性状を示していない。

表 2 入力と応答の最大値とその比

半径	入力 (gal)	応答 (gal)	応答/入力
SR450	26.3	109.4	4.159
SR1200	53.1	12.1	0.227

4. 3 フーリエスペクトル振幅

図 6 に、小型免震装置上で記録した加速度応答波形のフーリエスペクトルを示す。SR450mm では 10Hz 以上の帯域で免震効果が現れているが、1Hz~10Hz では、入力と免震台上のスペクトルはほぼ同じ振幅レベルを保っている。1Hz 以下になると入力よりも振幅が大きくなり、固有振動数の 0.5Hz で共振を引き起こし 10 倍以上増幅している。だが、SR1200mm では 0.5Hz 以上では十分な免震効果が得られており、入力の卓越振動数である 0.5Hz

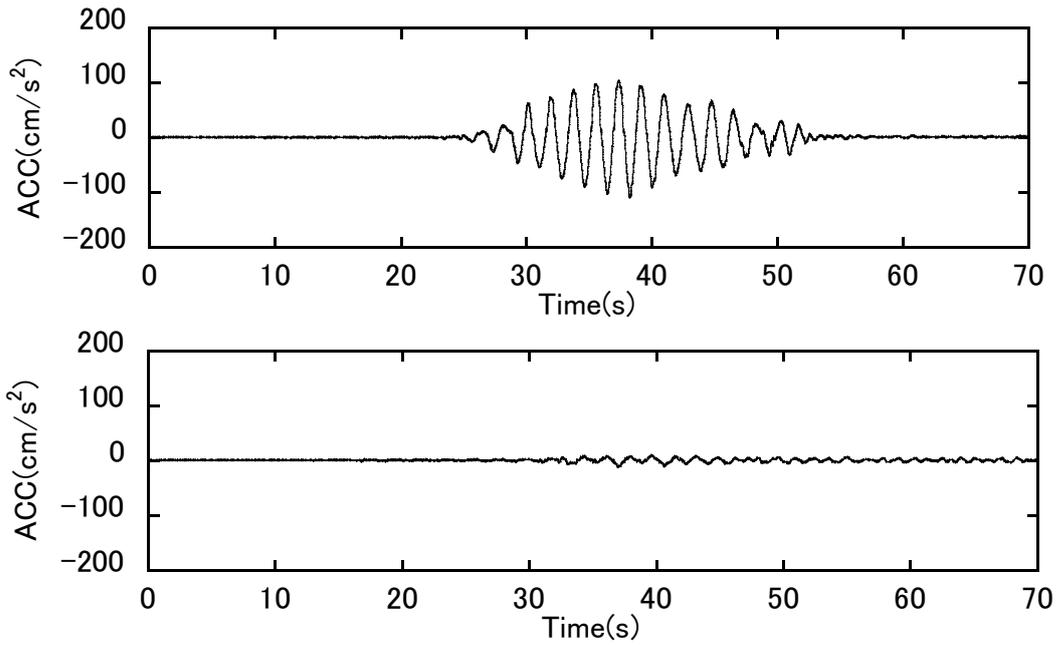


図5 免震装置上部での応答波形
(上図：SR450mm 下図：SR1200mm)

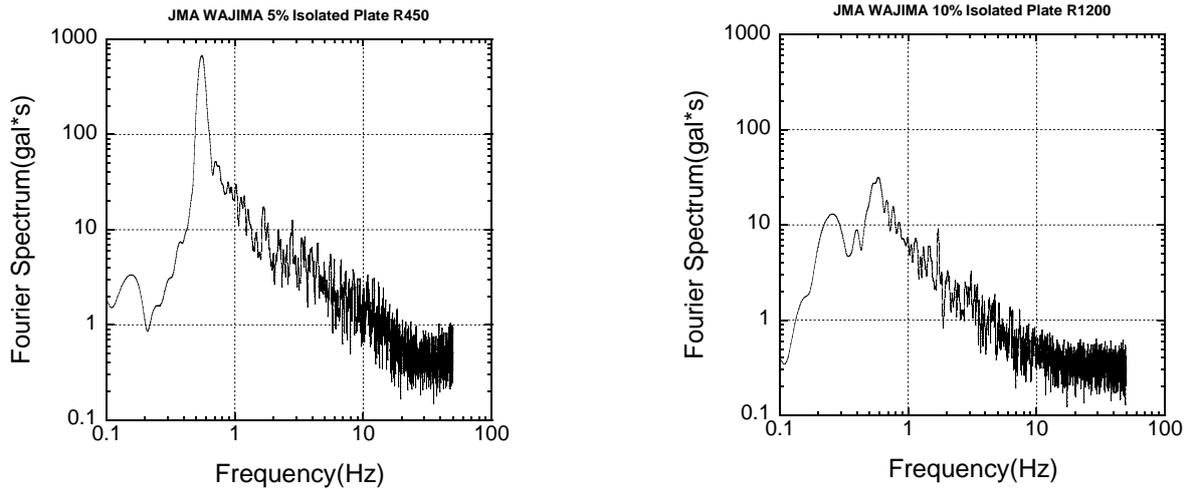


図6 加速度応答波形のフーリエスペクトル
(左図：SR450mm 右図：SR1200mm)

でも 70%減少している。しかし、装置の固有振動数付近である 0.3Hz ではピークが現れており、入力非常に小さいにも関わらず 10 倍以上の増幅を示している。

5. 数値解析による評価

5. 1 解析モデル

解析に用いたモデルは、小型免震装置を 1 自由度系と見なしてモデル化した。運動方程式は

$$\ddot{x} + 2h\omega_n(\dot{x} - \dot{y}) + \omega_n^2(x - y) = 0 \quad \dots (1)$$

ここで h は減衰比、 ω_n は小型免震装置の角固有振動数、

x, \dot{x}, \ddot{x} は装置の変位、速度、加速度、 y, \dot{y} は地動の変位、速度である。なお、解析に用いた諸元は、前述の如く表 1 に示した自由振動実験の結果である。解析は、計算刻みを 0.01s として、4 次精度の Runge-Kutta 法を用いて行った。

5. 2 加振実験結果との比較

5. 2 加振実験結果との比較

加振実験による加速度応答波形と数値解析との比較を図 7 に、また最大値の比較を表 3 に示す。SR450mm の

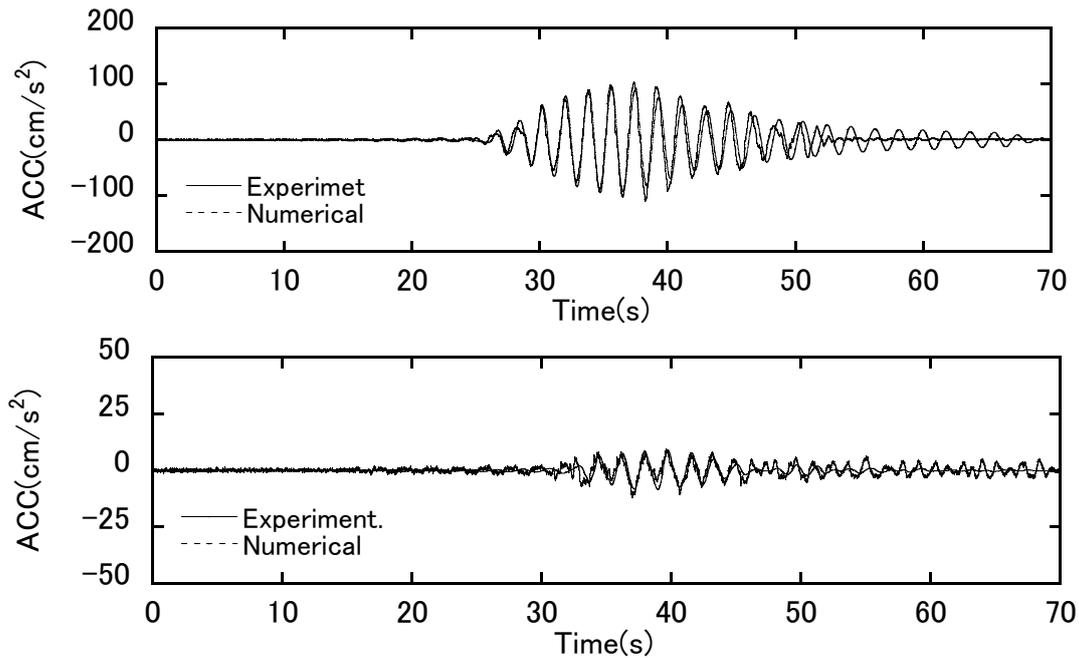


図7 加振実験と数値解析から求めた応答波形の比較
(上図：SR450mm 下図：SR1200mm)

場合では、後続部分で数値解析の結果が加振実験より振幅が若干大きく現れるが、主要動部分の振幅および位相の一致は良好である。また、SR1200mm の場合では、後続部分で今度は逆に加振実験の方が解析結果より振幅が大きく現れているが、主要動部分は両者の対応が良い。最大値だけを見ても差は 10%以下と小さい。このことから本解析手法は有効である。

表3 加振実験と数値解析における最大値の比較

半径	加振実験 (gal)	数値解析 (gal)
SR450	95.2	109.4
SR1200	9.0	12.1

6. 結言

本研究では、やや長周期地震動が観測された平成 19 年能登半島地震を入力波とした場合の小型免震装置の振動特性について、加振実験と数値解析による検証を行った。

その結果、凹球面の曲率が R450mm を用いた小型免震装置では、装置の持つ固有振動数と入力波の成分により共振を引き起こしたために応答は増幅した。しかし、R1200mm の場合では約 1/5 まで低減した。

また、数値解析では、最大値に関しては 10%程度の差異があるが、加振実験と数値解析の応答波形は良い一致が示され、解析手法の妥当性が示された。

今後は、入力波に含まれる振動数成分と装置の固有振動数が共振した場合に、そのピークを抑えるため減衰比

h を大きくする機構を本装置に導入することが課題となる。

7. 参考文献

- [1] 藤田 聡, 山本浩道, 北川喜浩, 倉林 浩: 複曲率摩擦振り子型免震装置に関する研究開発 (自動販売機モデルを用いた振動実験及び応答解析による免震性能の検討), 日本機械学会論文集 (C 編), 69, 684, 50-56, 1996
- [2] 上田智士, 秋元将男, 榎本孝雄, 藤田隆史: 美術品用転がり形免震装置の研究, 日本機械学会論文集 (C 編), 71, 703, 43-48, 2005
- [3] 鳥海 勲: 平野の地震動特性について, 第 4 回日本地震工学シンポジウム, 129-135, 1975
- [4] 村松郁栄: 大自然の力, 1988
- [5] 畑山 健, 座間信作, 西 晴樹, 山田 實, 廣川幹浩, 井上涼介: 2003 年十勝沖地震による周期数秒から十数秒の長周期地震動と石油タンクの被害, 地震 2, 57, 2, 83-104, 2004
- [6] 青木 繁, 大高武士, 中西佑二, 西村惟之, 稲垣光義, 金澤光雄: 摩擦軸受を用いた地震応答低減法 (第 1 報, 基礎実験), 日本機械学会関東支部第 12 期総会講演会, No.010-1, 485-486, 2006