

摩擦軸受を利用した機械構造物の 地震応答低減装置の開発

Development of Device for Reduction of Seismic Response of Mechanical Structure Using Friction Type Base Isolation System

青木 繁¹⁾, 中西 佑二¹⁾, 西村 惟之¹⁾
富永 一利¹⁾, 大高 武士²⁾, 稲垣 光義¹⁾
金澤 光雄³⁾, 川口 澄夫³⁾, 古田 智基⁴⁾

Shigeru Aoki¹⁾, Yuji Nakanishi¹⁾, Tadashi Nishimura¹⁾,
Kazutoshi Tominaga¹⁾, Takeshi Otaka²⁾, Mitsuyoshi Inagaki¹⁾,
Mitsuo Kanazawa³⁾, Sumio Kawaguchi³⁾, Motoki Furuta⁴⁾

Key Words : Seismic Motion, Random Vibration, Friction, Base Isolation, Power Spectrum

1. 緒 言

地震動入力を受ける構造物の破壊や転倒を防止するために、地震応答を低減する必要がある。そのために多くの種類の地震応答を低減させるための装置が開発されてきた。たとえば、建物内に設置されるダンパ[1][2]や建物や床の基礎部に設置される免震装置[3][4]などが開発されている。

本研究では主に建物の床に設置されている配電盤やコンピュータ用のラックのような機械構造物の地震応答の低減に着目した。そのために、凹面をもつ球面板で凸面の球面板または球体を挟む摩擦軸受型の地震応答低減装置を開発し、その有効性を明らかにすることを目的としている。本報告では、凹面の球面板で凸面の球面板または球体を挟む装置を用いて地震波による加振実験を行い、地震応答が低減されることを明らかにした。

2. 凸面の球面板を挟む装置

凸面の球面板（以下「マーブルプレート」と記す。）を挟んだ装置を作製し、加振実験によってその有効性を検討した。球面板の潤滑も大きな影響を及ぼすと考えられることから、グリースを塗布した場合と塗布しない場合についても検討した。

2.1 摩擦軸受

開発した摩擦軸受を図1に示す。これは、2枚の凹面をもつ球面板でマーブルプレートを挟んだものである。凹面をもつ球面板の寸法は250 mm × 250 mmで厚みが20 mmである。曲率はR250である。マーブルプレートの写真を図2に示す。中央部の高さは35 mmで幅が96 mmの円形をしている。端の厚さは5 mmである。このマーブルプレートが滑ることによって、振動台の揺れが免震台に伝わる構造になっている点、凹面の球形板により固有周期を変化させることができる点そして地震入力に対して復元力を持つ点にこの装置の特徴がある。

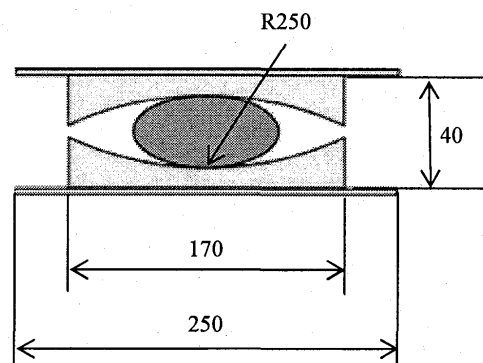


Fig. 1 Friction bearing (mm)
(Spherical plate and marble plate)

¹⁾都立産業技術高専 ものづくり工学科, ²⁾鹿児島大学 工学部, ³⁾金澤製作所, ⁴⁾バンドー化学

2.2 実験装置

長さ 1600 mm で幅 860 mm で厚みが 60 mm の振動台の四隅に摩擦軸受を取り付けて、その上加振台と同じ大きさの免震台を乗せた装置を使用した。加振台に地震波を入力した。加振台と免震台とを摩擦軸受の凹面をもつ球面板に固定させた。入力地震波の加速度および応答の加速度を測定するために、加振台と免震台に加速度計を設置した。

2.3 入力地震波

入力地震波として図 3 に示す模擬地震波を用いた。図 3 (a) に入力地震波の加速度波形、図 3 (b) に入力地震波のパワースペクトルを示す。図 3 (a) の横軸は加振開始からの時間である。本研究は機械構造物の地震応答を低減させることを目的としている。そのため、実在の機械構造物の固有振動数が含まれると予想される約 10Hz 付近にピークをもつ模擬地震波を用いた。

2.4 加振実験

この応答低減装置の性能を検証するために、水平方向一方向のみに加振させ、グリースを塗布した場合と塗布しない場合に対する地震応答低減の違いについて検討した。なお、応答低減装置に機械構造物を想定した荷重をかけるために、150 mm × 600 mm、厚みが 50 mm で質量が 35 kg の金属板を免震台上の中央部に 8 個(全体で 280 kg)乗せた。

2.5 加振実験

図 4 (a) にグリースを塗布しない場合の免震台の応答波形を、図 4 (b) に応答のパワースペクトルを示す。図 3 (a) と図 4 (a) とを比較すると、応答加速度が大幅に低減されている。また、図 3 (b) と図 4 (b) とを比較すると極低周波数域では応答のパワースペクトルは入力のそれと同程度であるが、それ以外の領域では応答のパワースペクトル

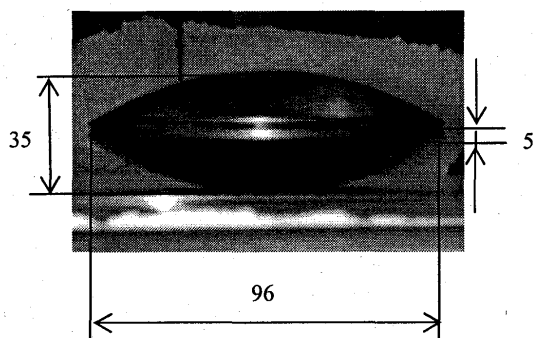
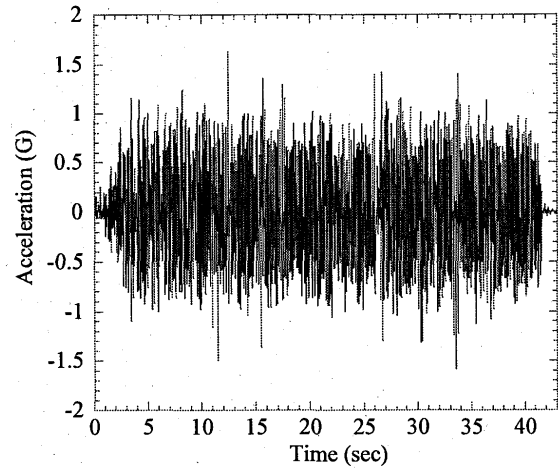
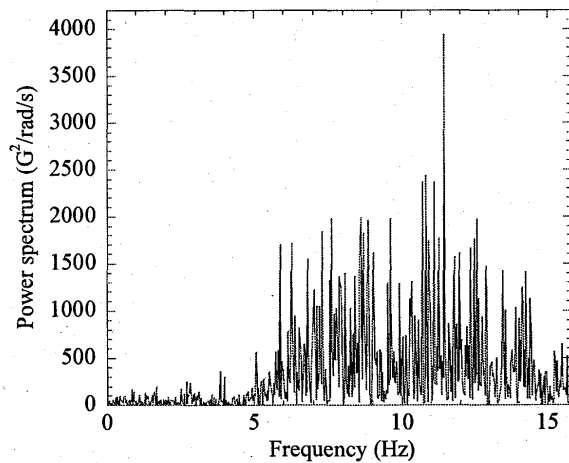


Fig. 2 Marble plate (mm)



(a) Time history



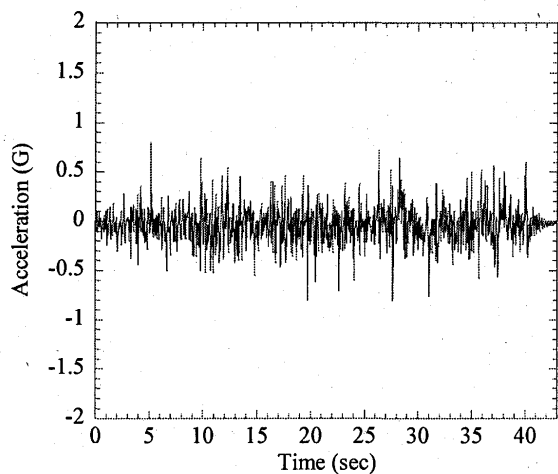
(b) Power spectrum

Fig.3 Input earthquake excitation

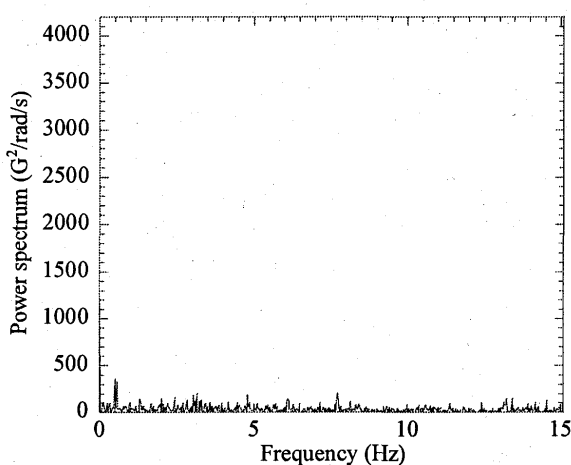
が入力のそれよりも大幅に低減されている。極低周波数域のピーク (0.5Hz 付近) はこの装置の固有振動数と考えられる。

表 1 にグリースを塗布しない場合と塗布した場合の応答加速度と入力加速度の絶対値の最大値、表 2 に応答加速度と入力加速度の自乗和を示す。これらを見ると、グリースを塗布していない場合では応答を低減することができたが、塗布すると応答が入力よりも大きくなった。これは、グリースを塗布しない方が摩擦による応答の低減効果が大きかったためと考えられる。また、塗布しない場合では応答の自乗和を大幅に低減することができた。

3. 球体を挟む装置



(a) Time history



(b) Power spectrum

Fig.4 Response of isolated plate

Table 1 Maximum acceleration

	Non-grease	Grease
Input (G)	1.80	1.80
Response (G)	0.80	2.56
Response/Input	0.44	1.42

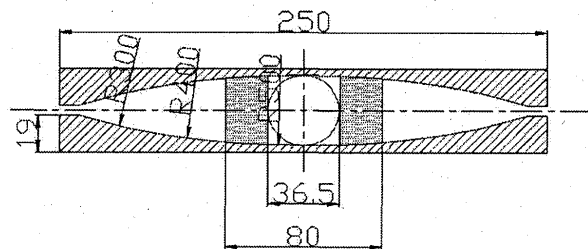
Table 2 Sum of squares of acceleration

	Non-grease	Grease
Input (secG ²)	410	410
Response (secG ²)	43.9	451
Response/Input	0.11	1.1

ゴムで囲まれた球体を挟んだ装置を作製し、加振実験によってその有効性を検討した。

3.1 摩擦軸受

この装置で用いる摩擦軸受を図5に示す。これは、ゴ

Fig.5 Friction bearing (mm)
(Spherical metal and rubber)

ムで囲まれた球体を2枚の凹面をもつ球面板で挟んだものである。凹面をもつ球面板の寸法は250 mm × 250 mmで厚さが19 mmである。球体の動きをよくするために、曲率はR300 mmからR500mmの間で図5に示すように連続的に変化させた。球体の径は36.5mmである。球体がないときのゴムの内径は36mm、外径は80mm、厚さは34mmである。マーブルプレートの場合と同様に、球体が滑ることによって、振動台の揺れが免震台に伝わる構造になっている。また、凹面の球形板により固有周期を変化させることができる。さらに、地震入力に対して復元力を持つ。

振動台の四隅に摩擦軸受を取付けた。入力地震波の加速度および応答の加速度を測定するために、加振台と免震台に加速度計を設置した。地震波は図3(a)に示したものをを用いた。

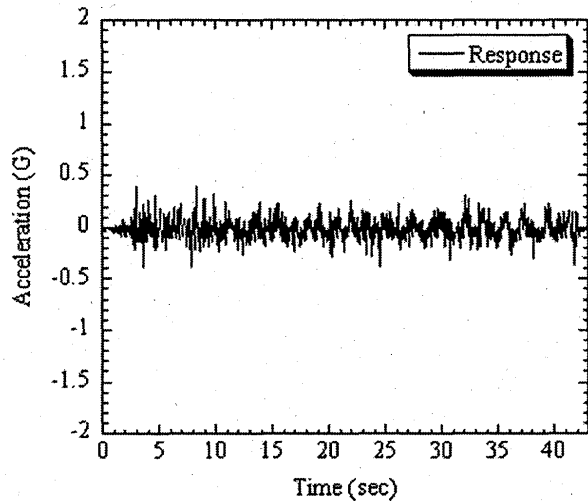
3.2 実験結果

この装置を用いた場合には、グリースを塗布した場合もしない場合も結果に差がなかったため、グリースを塗布した場合の結果を示す図6(a)に免震台の応答波形を、図6(b)に応答波形のパワースペクトルを示す。図3(a)と図6(a)とを比較すると、応答加速度が大幅に低減されている。また、図3(b)と図6(b)とを比較すると極低周波数域では応答のパワースペクトルは入力のそれと同程度であるが、それ以外の領域では応答のパワースペクトルが入力のそれよりも大幅に低減されている。

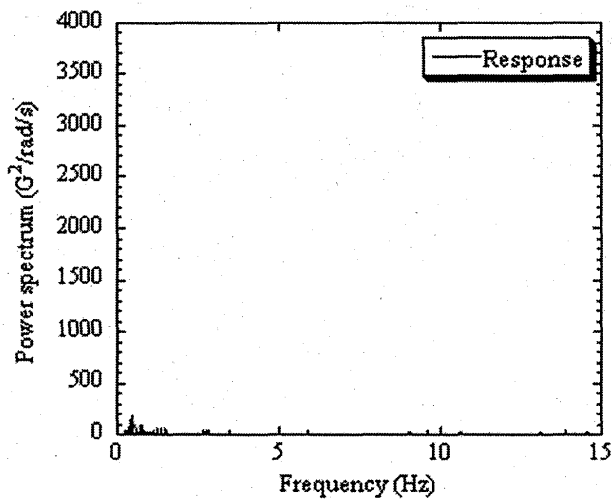
表3にこの実験における応答加速度と入力加速度の絶対値の最大値、表4に応答加速度と入力加速度の自乗和を示す。これらを見ると、この装置を用いると応答の最大値を低減できることが明らかである。また、応答の自乗和を大幅に低減できることが明らかである。

4. 結言

本研究では主に建物の床に設置されている配電盤やコンピュータ用のラックのような機械構造物の地震応答の低減に着目した。そのために、凹面をもつ球面板で凸面の球面



(a) Time history



(b) Power spectrum

Fig.6 Response of isolated plate

板または球体を挟む摩擦軸受型の地震応答低減装置を開発し、その有効性を加振実験によって検討した。その結果、

Table 3 Maximum acceleration

Input (G)	1.80
Response (G)	0.38
Response/Input	0.21

Table 4 Sum of squares of acceleration

Input (secG ²)	410
Response (secG ²)	12.0
Response/Input	0.03

この装置の加速度応答の最大値が入力地震波よりも小さくなり、応答の自乗およびパワースペクトルは大幅に低減されることが明らかになった。

文 献

- [1] Soong, T.T. and Dargush, G.F., *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley and Sons, and Sons, Chichester, 1997.
- [2] Rudinger, F., *Optimal Vibration Absorber with Nonlinear Viscous Power Law Damping and White Noise Excitation*, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol.132, No.1, pp.46-53, 2006
- [3] Chen, B-O., Tsai, C.S. and Chiang, T-C., *Compressive Stiffness Verification of Stirrup Rubber Bearing*, *Proceedings of the 2004 ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference*, PVP-Vol.486-1, pp.217-224, 2004.
- [4] Ugata, T., Ozaki, M., Murakami, Y., Nakayama, A., Nakano, T. and Maseki, R., *Sensitivity Analyses on Seismic Isolation System Using Elastic Sliding Bearings and Multi-Laminated Rubber Bearings*, *Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*, Paper # K10-3, 2003