

積層ゴムによる重量機器の免震支持 (第3報 免震支持された系についての振動実験)

An Aseismic Base Isolation System Using Laminated Rubber Bearings for Heavy Mechanical Equipment
(3rd Report : Excitation Test for A Scale-Model of Isolated Equipment)

藤田 隆史*・藤田 聡*・芳沢 利和*・鈴木 重信*
Takafumi FUJITA, Satoshi FUJITA, Toshikazu YOSHIZAWA and Shigenobu SUZUKI

1. ま え が き

本研究では重量機器等の耐震措置として非常に有効である積層ゴムを用いた免震支持装置を開発、研究しており、前報¹⁾²⁾では10 ton用実大免震支持装置の予備的な免震性能の解析、積層ゴムの設計法そして基本特性実験の結果について報告した。本報告では、寸法縮尺比0.44なる縮尺モデルを四体製作し、これらにより支持した縮尺機器モデルの振動実験について述べる。

2. 実験モデルと相似則

前報で報告した10 ton用実大免震支持装置および被支持体(機器モデル)をプロトタイプとし、寸法縮尺比を0.44とした場合の縮小免震支持装置および機器モデルを設計、製作した。表1に代表的な諸定数の相似則を示す。積層ゴムは天然ゴム系のゴムを使用し、ゴム厚1.

表1 代表的な諸定数の相似則

	Prototype	Scale Model
Mass of equipment	40000kg	3300kg
Natural frequency of equipment	2.53Hz	5.75Hz
Natural frequency of isolated equipment	0.47Hz ~0.59Hz	1.13Hz

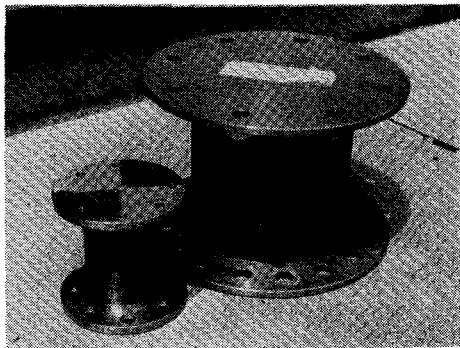


図1 積層ゴム

1 mm, 鉄板厚0.8 mm, 直径85.8 mm, 層数53であり、図1に実大10 ton用積層ゴムと比較して示す。縦、横の長さの比が実大モデルに比較して大きいのは、接着層の厚さの影響である。被支持体(機器モデル)としては、一質点系の構造物を考え、相似則よりその質量等を決定した。

図2に免震支持装置四体を振動台上に設置したところを示す。また図3に免震支持された機器モデルを示す。

製作した機器モデル自体の有する減衰は非常に小さいことが予想されたので、オイルダンパを機器モデル基部に設けて臨界減衰比が3%程度になるよう調整した(図

表2 プロトタイプと縮尺モデルとの比較

	Prototype	Scale Model
length	l_p	$l_m = 0.44l_p$
time	t_p	$t_m = 0.44t_p$
freq.	f_p	$f_m = f_p/0.44$
mass	m_p	$m_m = (0.44)^3 m_p$
acc.	α_p	$\alpha_m = \alpha_p/0.44$



図2 振動台上の免震支持装置

* 東京大学生産技術研究所 第2部

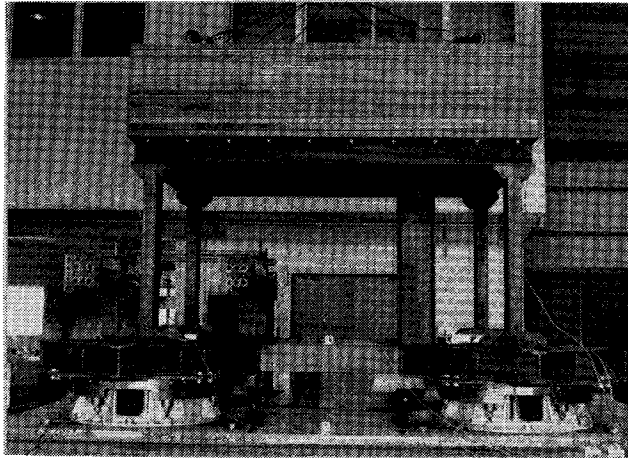
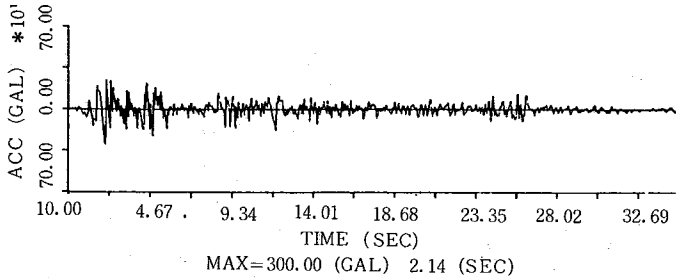


図 3 免震支持された機器モデル

El Centro NS, 300Gal (Actual time history)



El Centro NS, 681.82Gal (for the model, scale factor: $\gamma=0.44$)

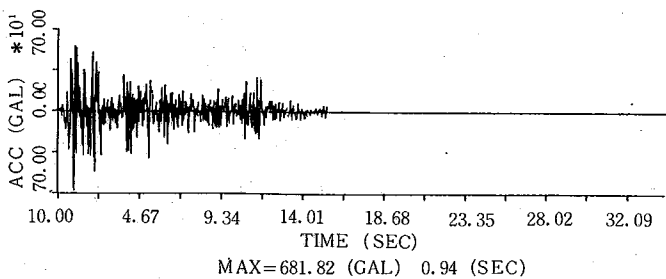


図 4 入力地震波の比較

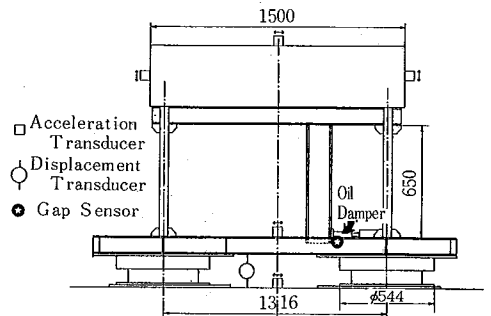


図 5 実験モデル概要と測定箇所

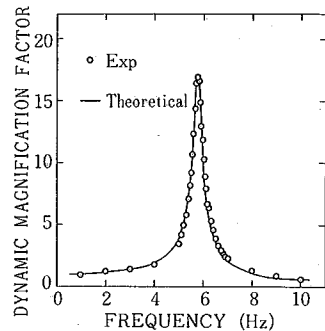


図 6 機器モデルの共振特性

5 参照)。表 2 に代表的な各諸元(実測値)をプロトタイプのものと比較して示すが、相似比は良く実現されていることがわかる。

3. 実験方法

まず、機器モデルを振動台上に直に固定し、その正弦波応答および地震波応答を調べた。正弦波加振実験における入力は 30 Gal を目標に、地震波は 100 Gal を目標と

した。次に免震支持された系の正弦波応答と地震波応答を調べた。正弦波加振における入力は 300 Gal および 600 Gal を目標に、地震波はプロトタイプの 300 Gal に対応して 681.82 Gal を目標にした。

地震波は表 1 に示される相似則に基づき修正する必要があり、時間軸に関しては実地震波記録 35 秒を 15.4 秒に圧縮し、加速度値に関してはプロトタイプの 300 Gal

研 究 速 報

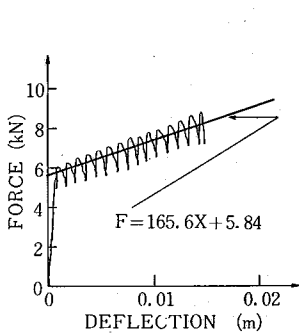


図 7 免震支持装置の静特性

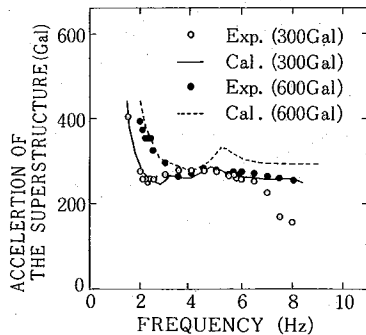


図 8 機器の加速度の共振特性

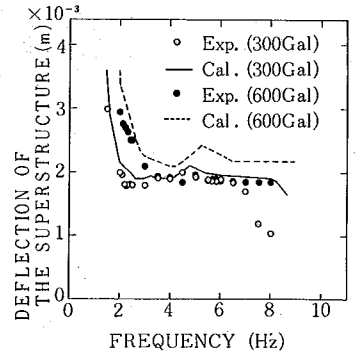


図 9 機器のたわみの共振特性

を 681.82 Gal に増加する。実験に用いた地震波は、El Centro NS, El Centro EW, 八戸 NS, 八戸 EW, 東北大 NS, 東北大 EW, TAFT N 21 E, TAFT S 69 E の計 8 波である。図 4 に El Centro NS 実地震波記録と実験用地震波の比較を代表例として示す。

図 5 に示すように各測定ピックアップを設けた。摩擦力設定のため、免震支持装置の摩擦ダンパ押しばねに加わる力、機器モデルの上部質量の水平、鉛直両方向加速度、基部の水平方向加速度、支柱の変形量、振動台の加速度そして積層ゴムの変形量を測定した。

4. 正弦波加振実験

機器モデルを振動台に直付し、正弦波加振実験を行い、図 6 に示す共振曲線(加速度応答倍率)を得た(共振周波数は 5.75 Hz)。実線は臨界減衰比 3% の場合の理論曲線であるが、前述したようにオイルダンパを併用することにより理論値と非常に良く一致していることがわかる。

免震支持された系の実験においては、免震支持装置の摩擦ダンパによる摩擦力の管理が重要である。そこで、4 データ程度を測定するごとに(後述する地震波加振実験においては各入力波ごとに)、油圧ジャッキおよびロードセルを用いて摩擦力特性を調べた。図 7 にその一例を示す。機器モデルの総質量は 3,300 kg であるので、定格摩擦力は 5.88 kN となる(プロトタイプにおいて見かけの総摩擦係数として 0.08 を採用したので、本縮尺モデルにおいては相似比より見かけの総摩擦係数は 0.182 となる)。なお、図 7 中の直線およびその式は、全ての測定値の平均を示しており、ばらつきは極めて少なかった。

図 8 に機器上部質量加速度の共振曲線を示す。入力には正弦波 300 Gal および 600 Gal 一定である。2 Hz 近傍より低周波数領域で応答が増加しているのは、免震支持された系の共振点(積層ゴムの水平方向剛性によって決定される)に近づくからである。また、3~6 Hz では入力の大さきによらず同程度の応答をしている。図 9 に機

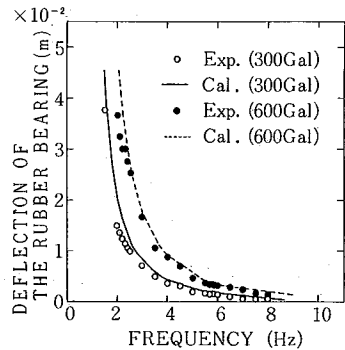


図 10 積層ゴムのたわみの共振特性

器上部質量と基部の相対変位(支柱のたわみ量)の共振曲線を示す。傾向は加速度の場合と良く似ている。両図から、機器モデルの共振点(5.75 Hz)近傍においてもその応答は増大しておらず、免震効果が良く表れている。図 10 に積層ゴムのたわみの共振曲線を示す。なお、図 8、図 9、図 10 中の実線および破線は計算機シミュレーションによるもので、結果の考察については次報で報告する。

5. 地震波加振実験

図 11 に地震波加振実験の波形例(東北大 NS)を機器モデル(直付)のものと比較して示す。直付された機器モデルの応答波形は、入力波のレベルが対応する免震支持された系の実験の入力波のレベルに一致するように機器モデルの応答を線形倍して求めたものである。免震支持をすることにより、機器の応答加速度は 1593 Gal から 495.11 Gal に、応答変位(支柱のたわみ量)は 1.18 cm から 0.36 cm にそれぞれ低減している。また、免震支持された系の応答加速度、応答変位はほぼ一定値をとっていることがわかる。

本実験は、東北大 NS 波を含め計 8 波を用いて行ったが、その免震効果と積層ゴムの最大変位の値をまとめたものを図 12 に示す。同図より、機器を免震すると、その応答加速度を 1/2 から 1/5 程度に低減できることがわか

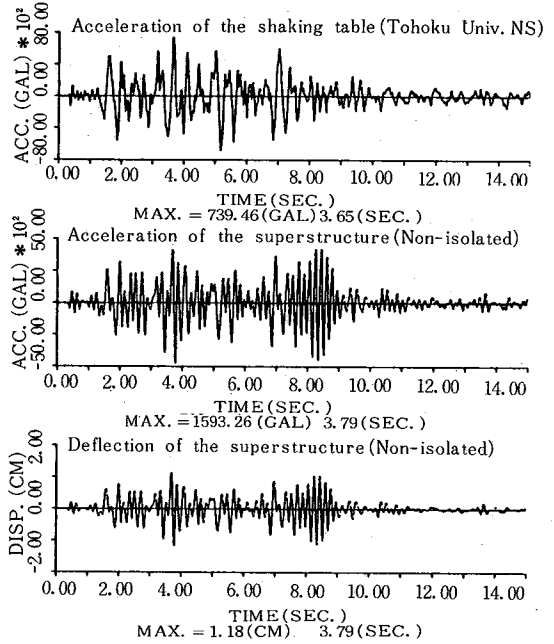
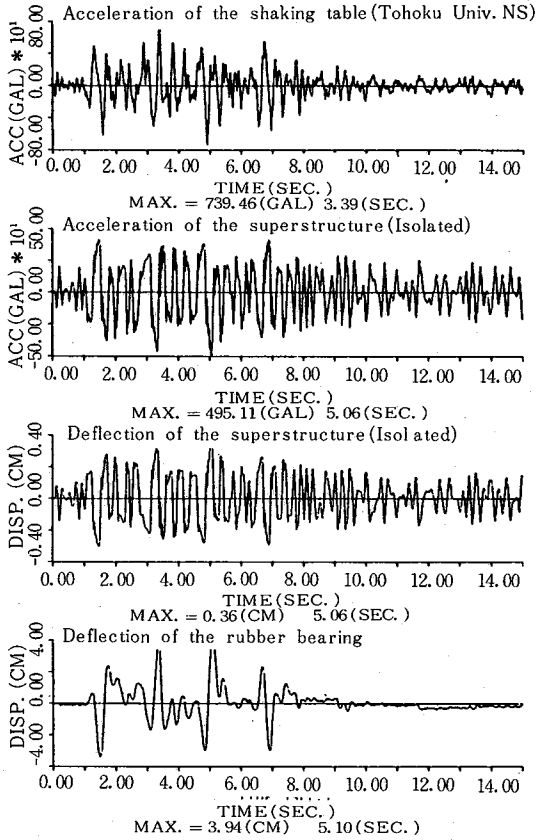


図11 免震支持された系とされていない系の応答波形の比較 (東北大 NS 波入力)

る。また、地震波の周波数成分によっては積層ゴムの応答変位が大きくなることわかる。なお、計算機シミュレーションによる結果については、次報で報告する。

6. あとがき

本実験の結果を要約すると次のようになる。

(i) 製作した免震支持装置は良好なる免震性能を示した。

(ii) 第一報¹⁾で述べた積層ゴムの設計法により製作した積層ゴムの特性は第2報²⁾の実大モデルの実験においても確認されたが、今回の縮尺モデル実験においても設計値と実験値は良く一致し、設計法の妥当性が確認された。

(iii) 摩擦力の設定は比較的容易であり、また一度設定するとほとんど変動しないことが判明した。なお、摩擦力設定のわずかな差による応答の違いはほとんど見られなかった。

なお次報において、解析モデルによる計算機シミュレーションの結果について報告する。(1982年11月17日受理)

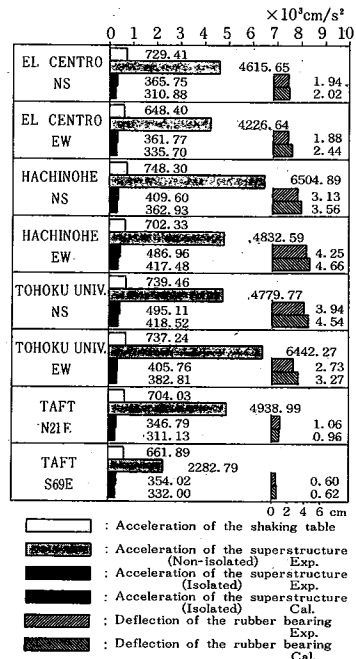


図12 免震効果と積層ゴムの変形量

参考文献

- 1) 藤田(隆), 藤田(聡), 芳沢; 積層ゴムによる重量機器の免震支持(第1報), 生産研究, Vol.34, No.2 (1982)
- 2) 藤田(隆), 藤田(聡), 芳沢; 積層ゴムによる重量機器の免震支持(第2報), 生産研究, Vol.34, No.9 (1982)