

直線運動機構を利用した免震装置の研究

—第2報 地震波加振実験と応答解析—

An Earthquake Isolation Device Using Linear Motion Mechanism

—2nd Report: Seismic Excitation Tests and Response Analysis—

藤田 隆史*・余語 邦彦*・小見 俊夫*

Takafumi FUJITA, Kunihiko YOGO and Toshio OMI

1. ま え が き

前報¹⁾では本免震装置の構造と試作実機による正弦波加振実験の結果について述べた。本報告では、前報と同様、免震装置の試作実機に機器の代わりにトップヘビーな実験用機器モデルを搭載して行った地震波加振実験の結果と応答解析について述べる。

2. 地震波加振実験の結果と考察

2.1 平行方向加振の場合 図1は東北大・NS波の床応答Aにより加振したときの、機器モデルが免震された場合と免震されない場合(振動台に固定された場合)の

応答を比較したものである。ここで、機器モデルが固定されたときの固有振動数は、定着部を若干補強したこともあって、8.8 Hzであった。また、図の固定された場合の応答は、実際の実験では649 Galの入力で得られた応答を、免震された場合の入力加速度644 Galにそろえるため、線形補正して求めたものである。図1の場合には、免震することによって機器モデルの応答加速度が約1/7に減少している。さらに、固定された場合には加振直角方向(Y方向)にもかなりの応答加速度が発生しているが、免震された場合のそれは非常に小さくなっている。

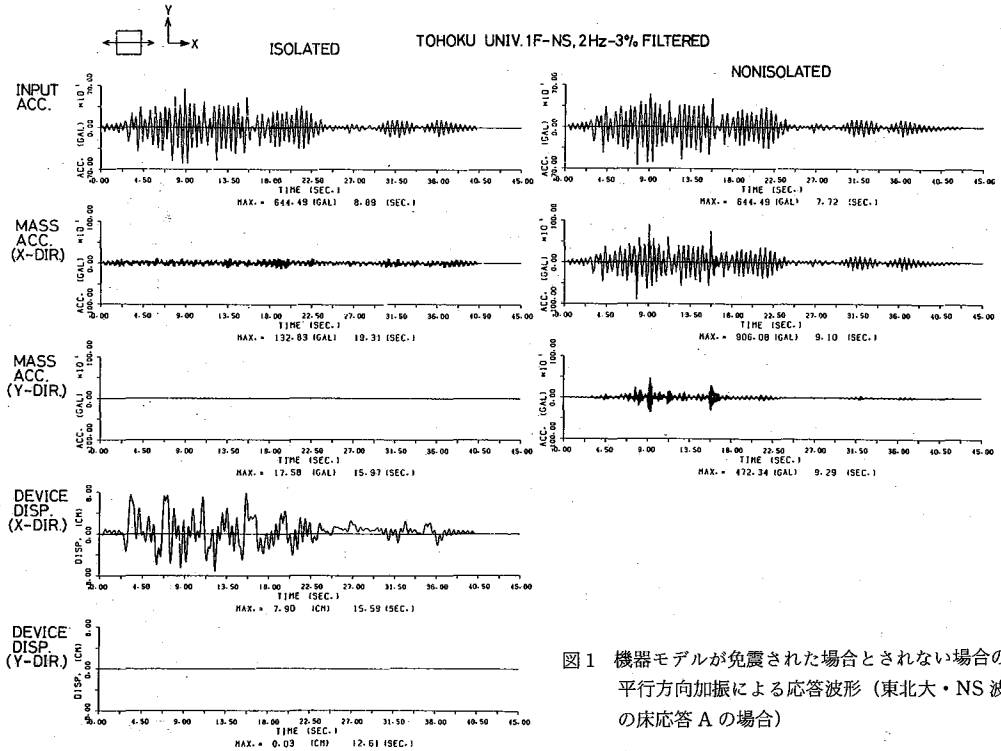


図1 機器モデルが免震された場合とされない場合の平行方向加振による応答波形(東北大・NS波の床応答Aの場合)

* 東京大学生産技術研究所 第2部

図2は、入力地震波18波の各場合について、入力加速度、機器モデルが固定された場合と免震された場合の応答加速度および免震装置の相対変位を棒グラフで表したものである。ここで、固定された場合の機器モデルの応答加速度は、実際は地動で335~360 Gal, 床応答Aで533~714 Gal, 床応答Bで616~820 Galの入力加速度に対して得られたものであるが、対応する免震された場合の入力加速度に一致するように線形補正して求めたものである。すなわち、図2の固定された場合と免震された場合の応答は、実際にもほぼ同一の加振レベルに対するものである。同図より、一見して十分な免震効果のあることがわかり、固定された場合との比較でももちろんのこと、入力加速度との比較からも本装置は十分な免震性能を有していることがわかる。

図2には免震された場合の応答加速度と相対変位についての解析結果が示されているが、いずれの地震波の場合にも良好な一致が得られている。

2.2 斜め方向加振の場合 図3は、図1と同様、東北大・NS波の床応答Aを入力したときの、機器モデルが免震された場合と固定された場合の応答を比較したものである。ただし、機器モデルが斜め方向に固定された場合の固有振動数は9.3 Hzであった。図3を図1と比較すると、免震装置の相対変位については、斜め方向加振の場合にもY方向相対変位は非常に小さく、X方向相

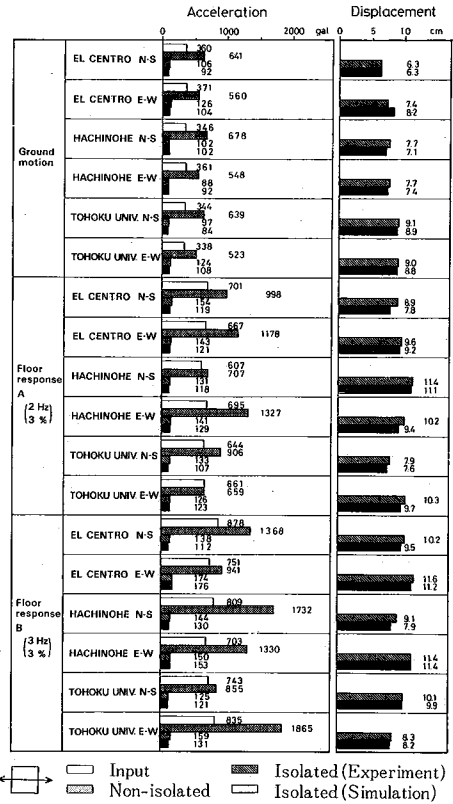


図2 平行方向地震波加振における免震性能

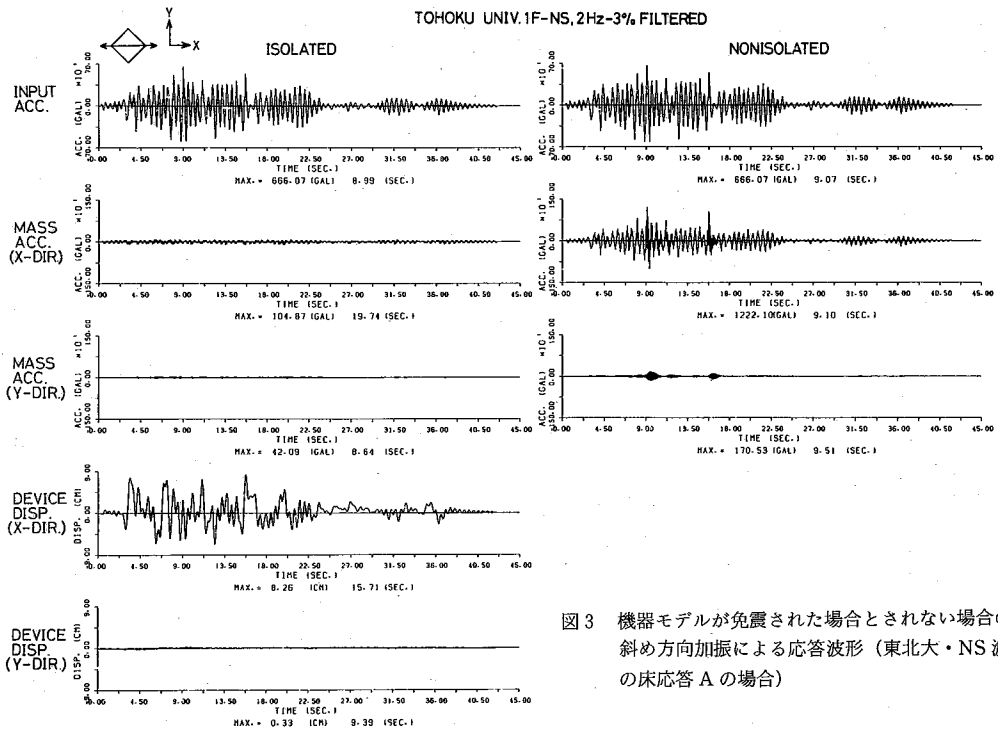


図3 機器モデルが免震された場合とされない場合の斜め方向加振による応答波形(東北大・NS波の床応答Aの場合)

研 究 速 報

対変位は平行方向加振のそれとほとんど同じである。免震された機器モデルの応答加速度については、斜め方向加振の場合の Y 方向応答加速度がわずかに増加しているが、正弦波による斜め方向加振のときほどには大きくない。このように地震波加振の場合には、正弦波加振の場合以上に、斜め方向加振と平行方向加振の応答に差がなくなっている。

図 4 は、入力地震波 18 波の各場合について、入力加速度、機器モデルが固定された場合と免震された場合の応答加速度 (X 方向) および免震装置の相対変位 (X 方向) を棒グラフで表したものである。この場合にも十分な免震効果が認められる。

図 4 には解析結果も示されているが、実験結果との良好な一致が得られている。

3. 応 答 解 析

3.1 解析モデル 実験用機器モデルを搭載した免震装置の運動方程式は、機器モデルを一質点系として、次のように表される (図 5 参照)。

(i) 摩擦ダンパのすべりががない場合—Phase I

$$x_1 = \text{const.}, \dot{x}_1 = 0$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) = -m_2 \ddot{z}_H \quad (2)$$

(ii) 摩擦ダンパのすべりがある場合—Phase II

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \frac{\dot{x}_1^2}{x_1^2 + h^2} \dot{x}_1 + \{(m_1 + m_2)g\mu_1 + F\mu_2\} \text{sgn}(\dot{x}_1)$$

$$+ c_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) = -m_1 \ddot{z}_H \quad (3)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2 (x_2 - x_1) = -m_2 \ddot{z}_H \quad (4)$$

(iii) Phase I と Phase II の切換条件

$$\left. \begin{aligned} &|m_1 \ddot{z}_H - c_2 \dot{x}_2 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2)| > (m_1 + m_2) \\ &g\mu_1 + F\mu_2 \text{ のとき,} \end{aligned} \right\} \text{Phase I} \rightarrow \text{Phase II} \quad (5)$$

$\dot{x}_1 = 0$ かつ,

$$\left. \begin{aligned} &|m_1 (\ddot{x}_1 + \ddot{z}_H) - c_2 \dot{x}_2 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2)| \\ &\leq (m_1 + m_2)g\mu_1 + F\mu_2 \text{ のとき,} \end{aligned} \right\} \text{Phase II} \rightarrow \text{Phase I} \quad (6)$$

ここで、 x_1, x_2 はおのおの免震装置可動部、機器モデルの設置床面に対する相対変位、 m_2, c_2, k_2 はおのおの機器モデル (一質点系モデル) の質量、減衰定数、ばね定数、 m_1 は免震装置可動部の質量、 c_1 は免震装置のオイルダンパの減衰定数 (各レール方向について)、 h はオイルダンパの取り付け長、 μ_1 はローラ部の摩擦係数、 μ_2 は摩擦ダンパの摩擦係数、 F は摩擦ダンパの押し付け力、 k_1 は免震装置のばね定数 (各レール方向について)、 g は重力加速度、 \ddot{z}_H は設置床面の水平方向加速度である。また、みかけの摩擦係数 $\bar{\mu}$ は次式で与えられる。

$$\bar{\mu} = \mu_1 + \frac{F}{(m_1 + m_2)g} \mu_2 \quad (7)$$

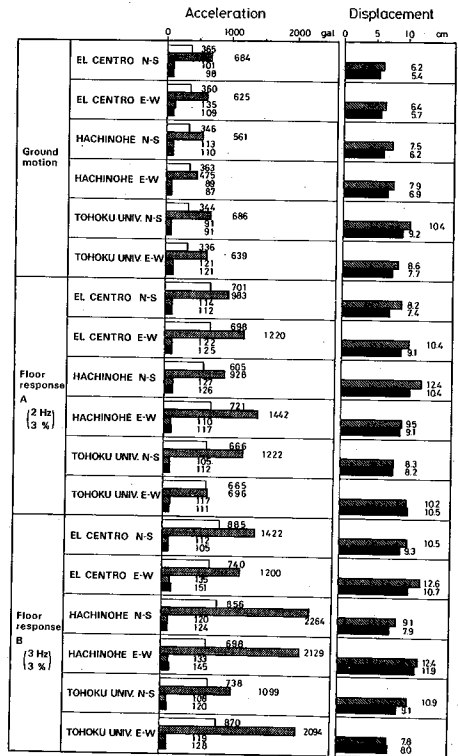


図 4 斜め方向地震波加振における免震性能

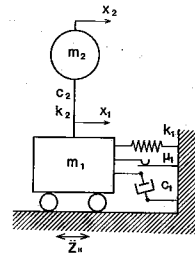


図 5 解析モデル

斜め方向加振の場合には、下側レール方向 (x 方向) と上側レール方向 (y 方向) で解析モデルの定数値に違いがあるため、x, y 方向の応答を別々に解析し、後に X, Y 方向の応答を合成する必要がある。

3.2 実験結果との比較 解析モデルの定数の主なものは前報の表 1 に示されている。ただし、機器モデルの架台の質量 180 kg に関しては、その 66.5% を m_1 に、残りを m_2 に振り分けることとした。この推定値を用いて系の固有振動数を求めると、x 方向の 1 次は 0.287 Hz、2 次は 6.01 Hz となり、y 方向の 1 次は 0.283 Hz、2 次は 7.21 Hz となる。また、機器モデルの臨界減衰比 $\zeta_c (=$

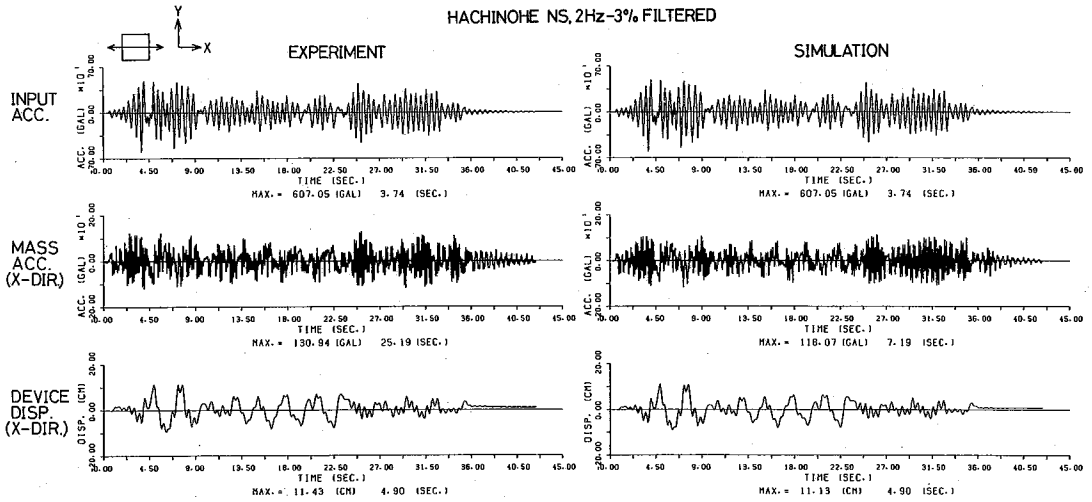


図 6 実験と解析による応答波形の比較 (平行方向加振における八戸・NS 波の床応答 A の場合)

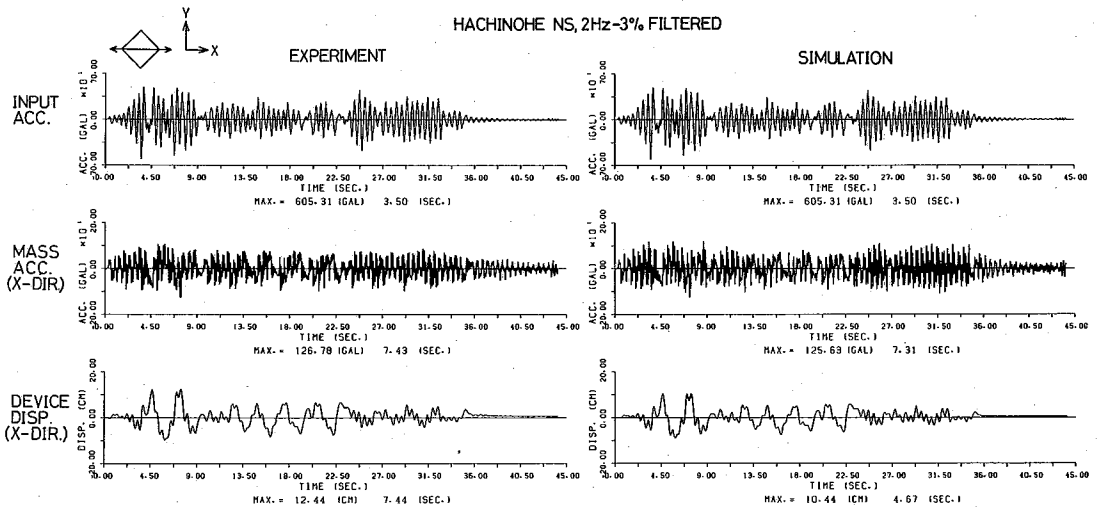


図 7 実験と解析による応答波形の比較 (斜め方向加振における八戸・NS 波の床応答 A の場合)

$c_2/2\sqrt{m_2k_2}$ は 0.03 とした。

図 6, 7 は, とともに八戸・NS 波の床応答 A を入力した場合の, おおの平行方向加振, 斜め方向加振での応答波形を解析より求め, 実験結果と比較したものである。両者とも良好な一致が見られる。実験結果との比較は, 前報の図 4~8 および本報の図 2, 4 でもなされているが, いずれの場合にも良好な一致が得られている。

なお, 以上の解析の数値積分には Newmark の β 法 ($\beta = 1/6$) を用いた。

4. あとがき

本研究では, 直線運動機構を利用した免震装置の実機

を試作し, それにトップヘビーな実験用機器モデルを搭載して正弦波と地震波による加振実験を行い, その応答解析を行った。その結果, 本免震装置の振動特性が明らかになり, 十分な免震性能を有することが確認された。

最後に, 振動実験およびデータ処理に協力された服部忍技官に心から感謝の意を表する。

(1983年2月15日受理)

参考文献

- 1) 藤田, 余語, 小見, 直線運動機構を利用した免震装置の研究 (第 1 報, 免震装置の構造と振動特性), 生産研究, 35 卷, 4 号 (1983-4)