

直線運動機構を利用した免震装置の研究 — 第 3 報 原子力発電所の電気計装盤への応用—

An Earthquake Isolation Device Using Linear Motion Mechanism
—3rd Report : Application to Instrumentation Panels for Nuclear Power Plant—

藤 田 隆 史*・余 語 邦 彦*・小 泉 孝 之*・小 見 俊 夫*
Takafumi FUJITA, Kunihiko YOGO, Takayuki KOIZUMI and Toshio OMI

1. ま え が き

本研究では、屋内軽量機器用の免震装置として考案された直交する 2 組の直線運動機構を用いる免震装置について、前 2 報⁽¹⁾⁽²⁾に述べたように、試作実機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て、本免震装置の振動特性を明らかにするとともに、十分な免震効果を確認した。研究の次の段階では、本免震装置の原子力発電所の電気計装盤への応用を検討するために、振動実験と応答解析を行った。本報告ではその結果について述べる。

2. 原子力発電所用計装盤搭載による振動実験

本免震装置の原子力発電所用計装盤への応用を検討するため、図 1 に示すように、これまでの実験に用いてきた試作機に耐震試験用の模擬盤を搭載して振動実験を行った。この模擬盤の外形寸法は $1350^W \times 1000^D \times 2300^H$



図 1 原子力発電所用計装盤を搭載した免震装置の振動実験

mm であり、その内部には実盤を忠実に模擬するようにダミーウエイトが取り付けられており、総質量は 1200 kg である。免震装置のばねとオイルダンパも搭載質量の変更にとまって取り換えられた。ここで、搭載状態での電気計装盤を剛体としたときの系の固有周期を T (式 (9) 参照)、さらにオイルダンパを線形に取り付けられたときの臨界減衰比を ζ_i (式 (10) 参照) とすると、この供試体での T と ζ_i は、 x 方向 (下側レール方向) で $T=3.75s$, $\zeta_i=3.4$, y 方向 (上側レール方向) で $T=3.63s$, $\zeta_i=3.5$ である。また、みかけの摩擦係数 μ (式 (11) 参照) もこれまでの実験と同じ 0.02 に設定された。

実験は水平・鉛直二方向同時加振が可能な大型振動台 (三菱電機 (株) 伊丹製作所) を用いて行われた。水平加振の方向は免震装置の x 方向だけとし、盤は奥行方向が加振方向となるように免震装置のテーブルに取り付けられた。

図 2 に実験結果の一例を示す。同図は、大船渡 (1978

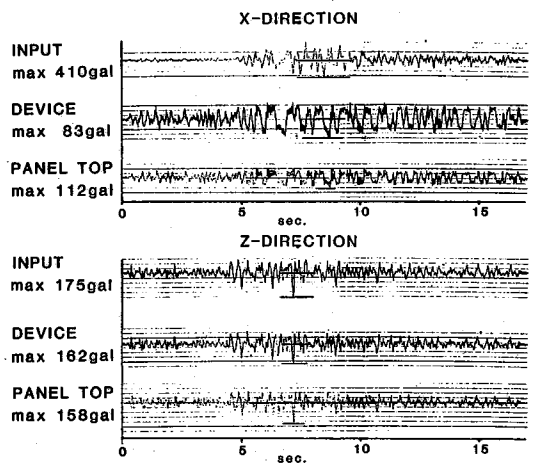


図 2 水平・鉛直二方向同時加振の場合の応答波形 (大船渡・E41'S と UD 記録を入力した場合)

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部

年宮城県沖地震)での E 41°S 方向と UD 方向の地動加速度記録を用いて水平・鉛直二方向同時加振したときの、免震装置上面と盤上面での応答加速度波形である。水平方向には十分な免震効果が現れていると同時に、鉛直方向にはまったく増幅のないことがわかる。ここで、盤上面での応答加速度が免震装置上面でのそれより少し大きくなっているが、実験に用いられた盤がほぼ剛体とみなせるものであることを考えると、免震装置のテーブルの剛性が十分なものであれば、両者の値はほぼ等しくなったはずである。試作機でのテーブルは角パイプの格子で出来ているが、今後、このような機器の場合にはテーブルをより剛なものに改良することが考えられる。

3. 応答解析

上述の供試体の解析モデルとして、図 3 に示すように、盤を剛体とし、免震装置のテーブルでのせん断と回転を考慮すると、運動方程式は次のようになる。

(i) 摩擦ダンパのすべりがない場合—Phase I

$$x_1 = \text{const.}, \dot{x}_1 = 0 \quad (1)$$

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

$$I\ddot{\varphi} + c_3\dot{\varphi} + c_2H(H\dot{\varphi} - \dot{x}_2) + k_3\varphi + k_2H(H\varphi + x_1 - x_2) = 0 \quad (3)$$

(ii) 摩擦ダンパのすべりがある場合—Phase II

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \frac{\dot{x}_1^2}{x_1^2 + h^2} \dot{x}_1 + \{(m_1 + m_2)g\mu_1 + F\mu_2\} \text{sgn}(\dot{x}_1) + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2 + H\dot{\varphi}) + k_1x_1 + k_2(x_1 - x_2 + H\varphi) = -m_1 \ddot{z}_H \quad (4)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - H\dot{\varphi} - \dot{x}_1) + k_2(x_2 - H\varphi - x_1) = -m_2 \ddot{z}_H \quad (5)$$

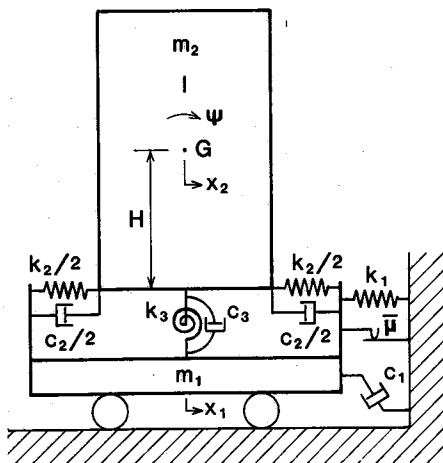


図 3 三自由度系の解析モデル

$$I\ddot{\varphi} + c_3\dot{\varphi} + c_2H(H\dot{\varphi} + \dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_3\varphi + k_2H(H\varphi + x_1 - x_2) = 0 \quad (6)$$

(iii) Phase I と Phase II の切換条件

$$\left. \begin{aligned} &|m_1 \ddot{z}_H - c_2(\dot{x}_2 - H\dot{\varphi}) + k_1x_1 \\ &+ k_2(x_1 - x_2 + H\varphi)| > (m_1 + m_2)g\mu_1 + F\mu_2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

のとき, Phase I → Phase II

$\dot{x}_1 = 0$ かつ

$$\left. \begin{aligned} &|m_1(\dot{x}_1 + \dot{z}_H) - c_2(\dot{x}_2 - H\dot{\varphi}) + k_1x_1 \\ &+ k_2(x_1 - x_2 + H\varphi)| \leq (m_1 + m_2)g\mu_1 + F\mu_2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

のとき, Phase II → Phase I

ここで、 x_1, x_2 はおのおの免震装置可動部、盤重心の設置床面に対する相対変位、 φ は盤の回転角、 I, m_2 はおのおの盤の重心まわりの慣性モーメント、質量、 H は盤の重心高さ、 k_2, c_2 はおのおの盤のせん断に対するばね定数、減衰定数、 k_3, c_3 はおのおの盤の回転に対するばね定数、減衰定数、 m_1 は免震装置可動部の質量、 k_1 は免震装置のばね定数、 c_1 は免震装置のオイルダンパの減衰定数、 h はオイルダンパの取付け長、 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 は摩擦ダンパの押付け力、 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、前述の $T, \zeta_1, \bar{\mu}$ は次のように定義される。

$$T = 2\pi\sqrt{(m_1 + m_2)/k_1} \quad (9)$$

$$\zeta_1 = c_1 / \{2\sqrt{(m_1 + m_2)k_1}\} \quad (10)$$

$$\bar{\mu} = \mu_1 + \mu_2 F / \{(m_1 + m_2)g\} \quad (11)$$

解析モデルの定数の内の一部に推定値を用いて系の x 方向の固有振動数を求めると、1次は 0.266 Hz、2次は 14.5 Hz、3次は 27.5 Hz となる。また、図 4 には、大船渡・E 41°S 波による水平方向加振の場合の実験結果と解析結果が比較されており、ほぼ満足し得る結果が得られている。

4. 耐震設計用床応答波による検討

本免震装置を原子力発電所用計装盤に応用する場合の設計パラメータ値やその免震効果を調べるために、搭載機器は振動実験で用いた模擬盤の実盤とし、当該盤が設置される床面での実際の耐震設計用床応答波（あるサイトでの設計用人工地震波によって作成されたもの）による応答を解析した。その際、免震装置のテーブルの剛性は現在の試作機のままとし、前節で求めた解析モデルを用いた。

図 5 に、使用した設計用床応答波の加速度および変位に関する応答スペクトルを示す。図 6 は、 T と $\bar{\mu}$ 、および、 T と ζ_1 を変化させた場合の盤の応答加速度と免震装置の相対変位を調べたものである。相対変位が小さい

研究速報

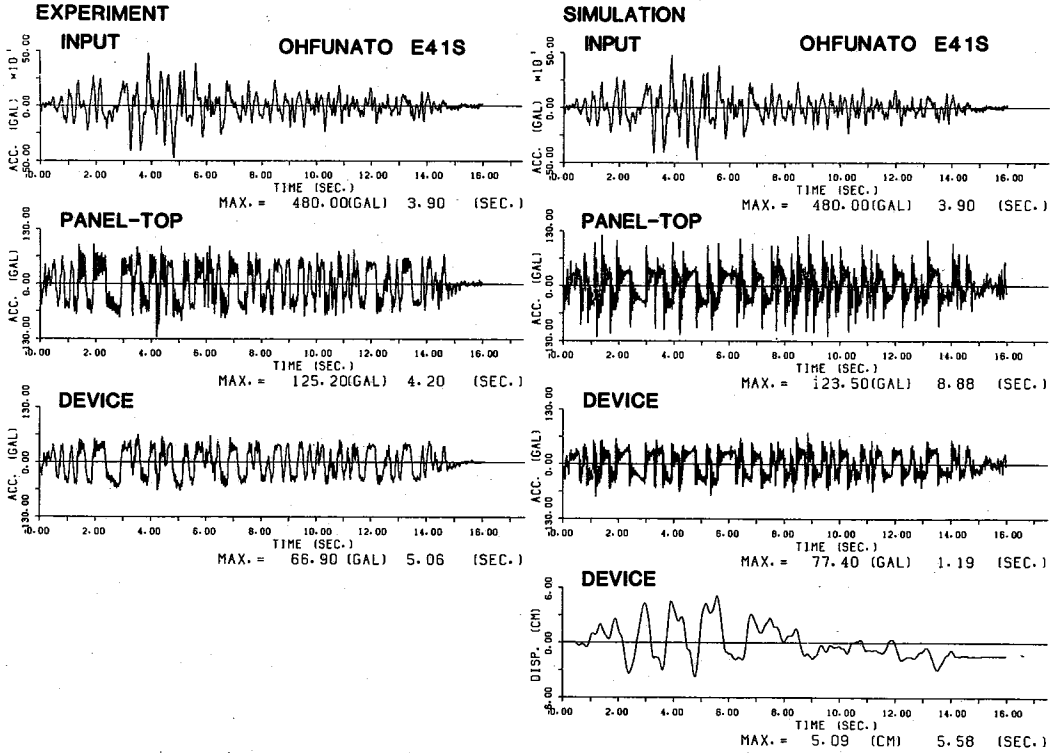


図4 実験と解析による応答波形の比較

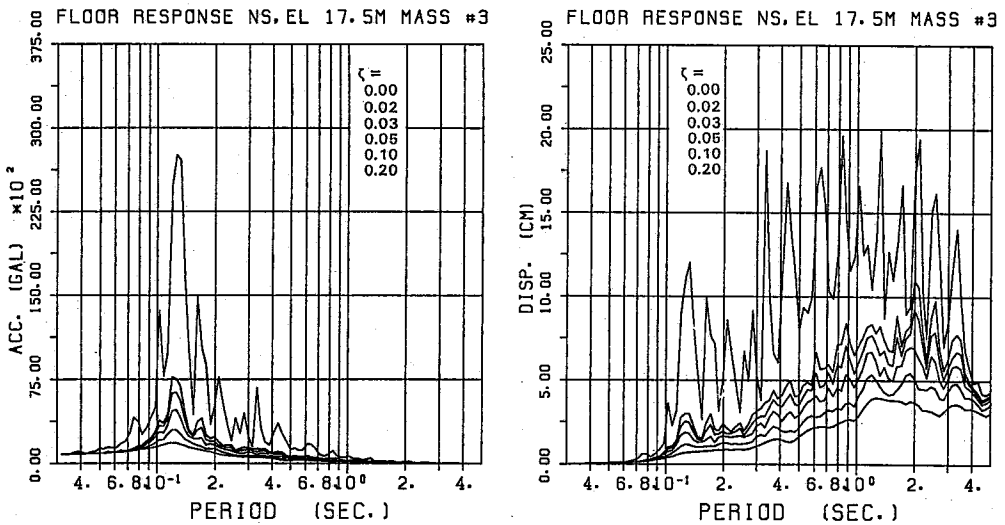


図5 当該盤の設置床における設計用床応答スペクトル

ため、運動方向と直角に装着したオイルダンパの効果は非常に小さい。また、原子力発電所の電気計装盤には火災に対する防災の観点からオイルダンパの使用が制限されることも考慮して、オイルダンパは使用しないこと

した。 T と $\bar{\mu}$ についても、同図の結果や他の事情を考慮して、 $T=3.5s$ 、 $\bar{\mu}=0.02$ を採用した。

図7は、当該盤が上で選定された設計パラメータ値を持つ免震装置により免震された場合の解析結果である。

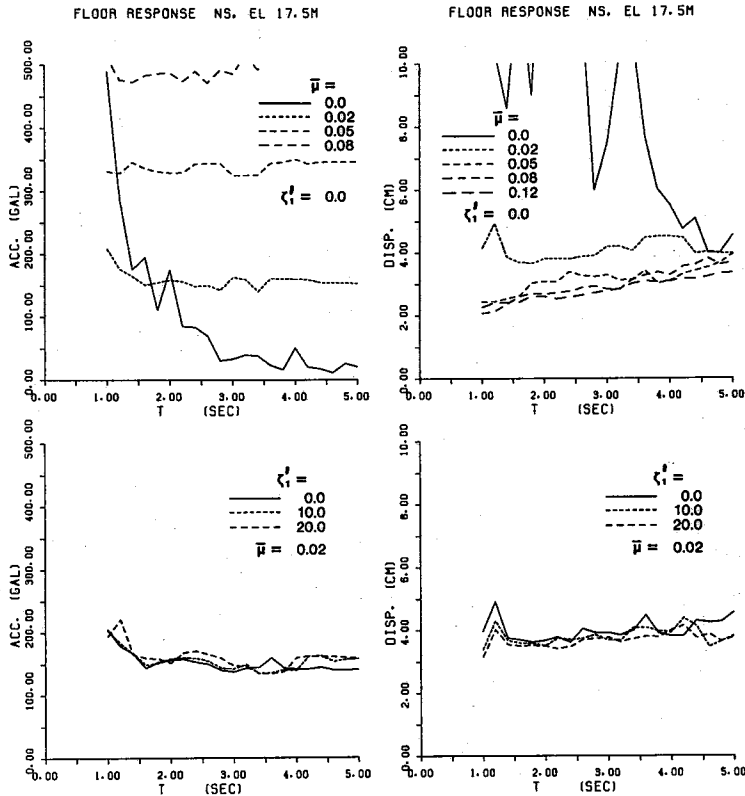


図6 免震装置のばね定数, みかけの摩擦係数, オイルダンパの減衰定数が免震性能に及ぼす影響

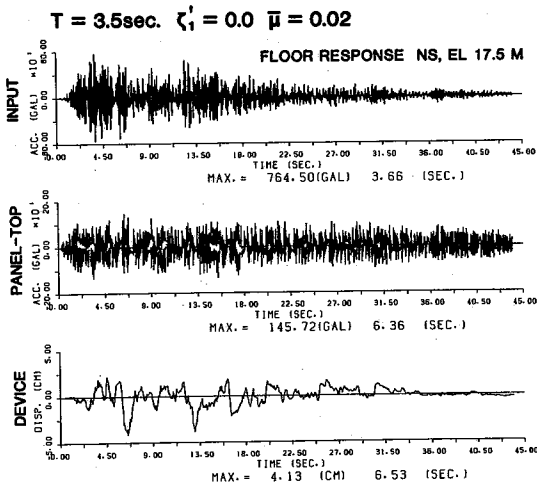


図7 原子力発電所用計装盤へ応用した場合の免震効果

原子力発電所の場合には岩盤上に剛な建屋 (この例での建屋の1次固有振動数は6.08 Hz)を建造するため, 床応

答は高振動数成分の多い波となり, その結果, 一般建物の場合に比べて, 免震効果は大きくなり, 免震装置の相対変位は小さくなることが期待できる。

5. あとがき

本研究で用いた原子力発電所の耐震設計用床応答波に関して多大の御協力をいただいた三菱原子力工業(株)の猿山一郎氏, 澤田貞章氏に, また, 振動実験やデータ処理などに協力された第2部藤田研究室の服部忍技官に, 末筆ながら, 心からの謝意を表す次第である。

(1983年4月18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巻, 4号 (1983-4)
- 2) 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2報, 地震波加振実験と応答解析), 生産研究, 35巻, 5号 (1983-5)