

# 文部科学省 国立機関原子力試験研究費

## - 1 原子力施設の新システムによる免・制震化技術の研究

### Study on New Seismic Isolation and Response Control System for Nuclear Facilities

(研究期間 平成 13～17 年度)

構造研究グループ  
Dept. of Structural Engineering

大川 出  
Izuru Okawa

This report contains three research topics related to structural response control system for building structures. Firstly, a shaking table test of base isolation building using sliding bearing is reported with respect to the adhesion property and the simulation analysis. Secondly, a new seismic isolation system which is composed of two layers with a magneto-rheological fluid (MR) damper on each layer will be reported. We design a gain-scheduled controller based on H control theory, as applied in the semi-active seismic isolation system installed a multi-degree-of- freedom structure. By using the new seismic isolation system and dividing the roles into two layers, it was verified that the new system is superior to the traditional one and the gain-scheduled controller designed is effective for seismic isolation. Lastly, a semi-active isolation system with Magneto-Rheological fluid damper was tested with 3 story, base isolated steel specimen on 3D shaking table for semi-active control.

#### 【研究目的及び経過】

原子力施設の耐震性を向上し、さらに安全性の評価をより明確なものとするための手法として、原子力施設の免・制震化に有効な装置の設計及び特性試験等を行ってきた。具体的には、次に示す 2 項目である。

すべり支承の固着と面圧の変動を考慮した解析に関する検討

MR ダンパを用いたセミアクティブ免震に関する検討

上記項目のうち は、原子力施設の免震化に関して有効なすべり支承に関して、経年での摩擦係数の変動を確認するとともに、支承に生ずる面圧の変動を考慮した数値解析が可能な立体解析プログラム Daisy の改良について実施した。 は、原子力施設の免震性能を向上するために、磁気粘性流体を用いたセミアクティブ制御を適用して性能を検討するためのものである。

#### 【研究内容】

##### 1. すべり支承を用いた免震建物の応答解析

###### (1) 固着実験とシミュレーション解析

すべり支承が高軸力下において長期間さらされた際の固着について、500 日程度までの試験結果及び振動台実験による固着現象の確認、固着を考慮した解析を行ない、滑り支承の固着現象と、その固着が建屋応答に及ぼす影響を検証した。

###### (2) 大型試験体を用いた振動台実験

鉄骨造 3 層の免震試験体を用いて 3 方向の地震入力を受ける振動台実験を行った。滑り支承を用いた免震建物の二次元、三次元振動台実験を行ない、滑り支承が二次元平面上をすべる際の接線方向の摩擦力を評価した。直

交 X Y 方向で位相をずらした Sin 波の加振の結果と二方向及び三方向の地震動入力による加振の結果から、摩擦係数は一方向加振の結果にほぼ対応していることが確認できた。この実験結果は改良を加えたプログラム Daisy による解析結果ともよい一致を示した。

##### 2. MR ダンパを用いたセミアクティブ免震の検討

###### (1) 大型試験体による振動実験

本研究では、これまで 2 層免震構造による縮小モデル試験体を対象に、図 1 の MR ダンパを用いたゲインスケジュールド制御 (GS 制御) によるセミアクティブ免震の有効性を 1 方向加振実験により示した<sup>1)</sup>。

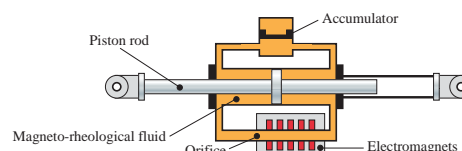
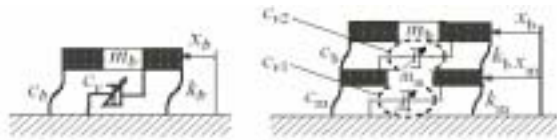


図 1 MR ダンパ模式図

本年度は、上部構造の応答に与える影響を調査するため、鉄骨造 3 層の試験体を免震化し、1 方向及び 2 方向同時加振実験を行い、GS 制御の動作検証及びセミアクティブ免震の有効性を検証した。加振実験を行った結果、MR ダンパを用いたセミアクティブ免震がパッシブ免震に比べ優れた応答低減性能を有していることを確認した。

###### (2) 2 層化免震システムの検討

従来 1 層で構成されていた免震層を図 2 に示すとおり 2 層に分け、複数のダンパを配置することで、より効果的な応答低減を目指した 2 層化免震システムについてセミアクティブ制御性能を解析と実験により検証した。



(a) 従来型免震 (b) 2層化免震

図 2 2層化免震システム

【研究結果】

1. すべり支承を用いた免震建物の応答解析

図 3 に、4 種類の試験体について摩擦係数の変化を示す (O, P はすべり材メーカー、L, H は低摩擦及び高摩擦タイプを表す)。摩擦係数は経年で上昇し、また低摩擦タイプの上昇の度合いが大きいことがわかる。図 4 は支承材 PL を用い、振動台上に 1 日放置直後とその後の同一入力下での滑り支承の摩擦係数の変動を比較したものである。7.5 秒付近で固着による摩擦係数の上昇が見られたが全体として影響は小さいことが確認された。図 5 は、すべり支承に生ずる軸力と水平変形について、解析結果と実験結果とを比較したものである。両者はよく一致し、解析プログラム Daisy の有効性が確認できた。

2. MR ダンパを用いたセミアクティブ免震の検討

(1) 大型試験体による振動実験

入力に八戸波 (1968, 50kine) を用い、オイルダンパを設置したパッシブ免震と比較した場合として、図 6 に、2 方向加振時の免震層の X Y それぞれの方向の応答変位の実験結果を、図 7 に解析による各層の応答加速度の比較を示す。いずれの方向についても応答を低減できていることがわかる。

(2) 2層化免震システムの検討

図 8 に、通常の免震構造の場合と 2 層化免震構造として GS 制御を適用した場合それぞれについて、応答加速度 (RMS 値) の低減の効果を、上部構造最下層における数値により基準化して示した。2 層化免震とすることで各層の加速度応答を 10% 程度低減することができることが示されている。

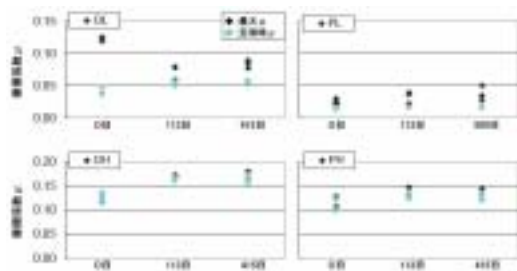


図 3 支承材の摩擦係数の経年変化

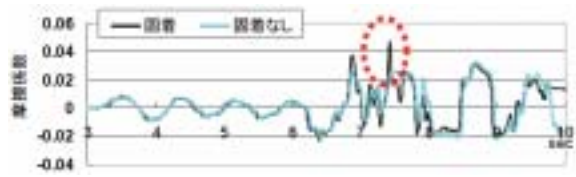


図 4 固着 (1 日放置後) の摩擦係数の変動

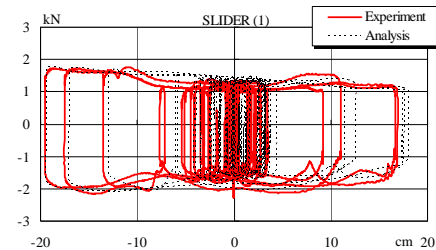


図 5 すべり支承の荷重 変形履歴

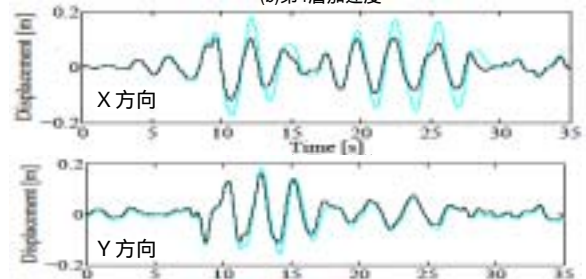


図 6 免震層の応答変位

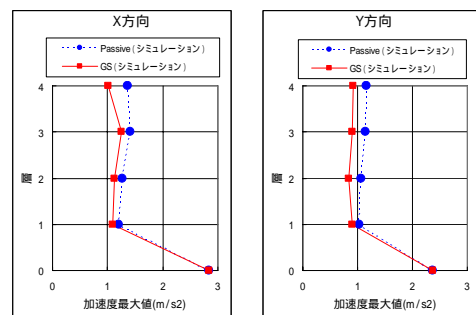


図 7 上部構造の加速度応答

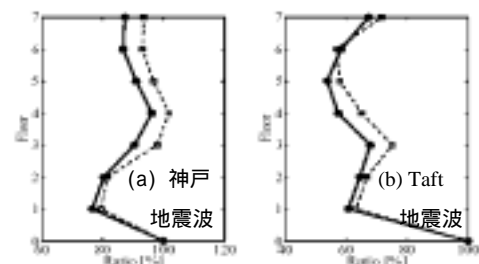


図 8 2層化免震による制御効果の向上

【参考文献】

1) 井上ほか：MR ダンパを用いたセミアクティブ免震建物に関する研究 (その 6~その 10)、日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道)、B-I、pp.344-353、2004.8