

# 実在免震建物を利用した振動実験環境と縮小模型実験に関する研究

名古屋大学工学部環境土木・建築学科建築学コース  
飛田研究室 鶴生明徳

## 1. 背景と目的

名古屋大学「減災館」では免震建物の振動特性について継続的な観測、振動実験を行う環境が整っており、地盤を含めた実在免震建物における免制震に関する振動特性について総合的に分析してきた。本研究では、この減災館(以下対象建物)の振動実験環境について述べると共に、対象建物をモデルとした縮小模型を製作し、その応答性状についての分析を目的とする。対象建物で蓄積された観測記録と模型実験を相互に検討することで、将来的な免震構造の発展や建築物の安全性向上を目指している。

## 2. 対象建物及び観測体制の概要

対象建物は、名古屋大学東山キャンパスに位置し、地上4階+屋上実験室1階のRC造基礎免震建物(2014年2月竣工)である。免震層はGL-4mに位置し、南東西側の免震基礎側面は地盤と接している。基礎はべた基礎で、基礎底面から深さ3.5m程度まで地盤改良が行われている。基礎免震層には、天然ゴム系積層ゴムアイソレーター(以下積層ゴム)5基、直動転がり支承(以下CLB)9基、オイルダンパー8基が設置されており、ほぼ弾性の免震特性を持つように設計されている。対象建物の屋上には積層ゴムとCLBで支えられた実験室が設けられており、基礎免震層と合わせて上下2段の免震層を持つ。基礎免震層と屋上免震層の固有周期は共に5.2sに設定している。

対象建物の振動特性を把握するため加速度計7基、免震層床面と1階床との相対変位を測定するための変位計4基、免震基礎側面に作用する動土圧を計測するための土圧計4基が常設されている。図1・2に対象建物での計測器の配置を示す。

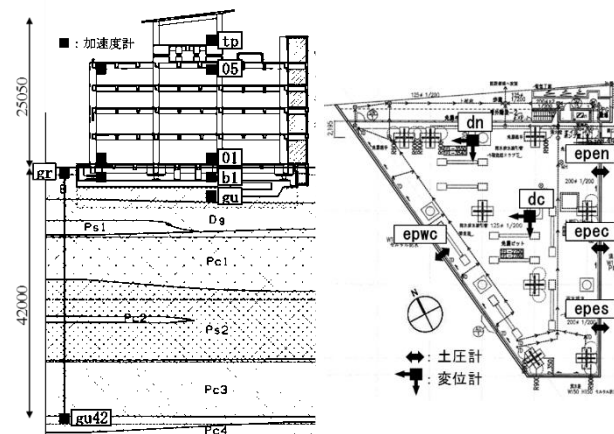


図1 加速度計配置

図2 基礎免震層の土圧計・変位計の配置

## 3. 対象建物の振動実験

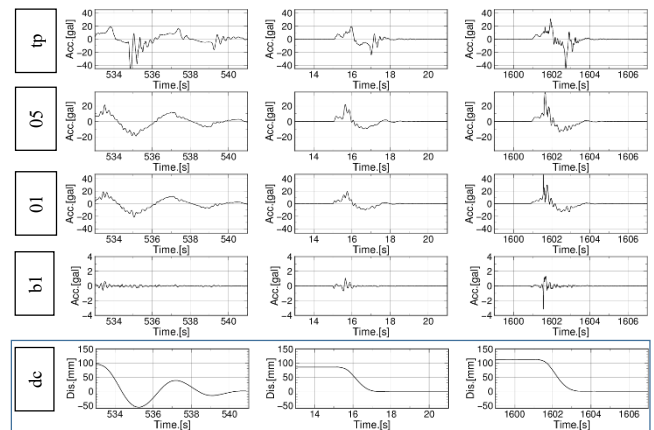
対象建物では環境条件や経年などの影響を含めた応答特性を検討するため、継続的な振動実験を行っている。将来的には屋上実験室をマスとしたAMDまたはTMD付き免震建物の実験、建物本体を地盤、屋上実験室を地盤上の建

物と見立てた共振現象を利用した実験を予定している。本章では、対象建物で実施した基本的な振動実験として自由振動実験と強制振動実験について述べる。

### 3.1 自由振動実験

対象建物では基礎免震層に設置された油圧ジャッキを用いて、上部建物を引いて東西方向に最大14cmまで静的に変位させ、解放することで、自由振動を引き起こすことが可能となる。図3に結果を示す。

図3の相対変位(dc)から、ダンパーなしの場合は2往復程度振動し、ダンパーありの場合は振動せずに中立点に漸近する応答が確認できる。振幅が小さい範囲ではCLBの摩擦による減衰が大きく影響するため、中立点に近づいたところで停止する。自由振動波形のフィッティングを行った結果、建物の固有周期は4.9s、減衰定数は87%と推定された。減衰定数は設計時に想定された30%よりもかなり大きく推定されている。



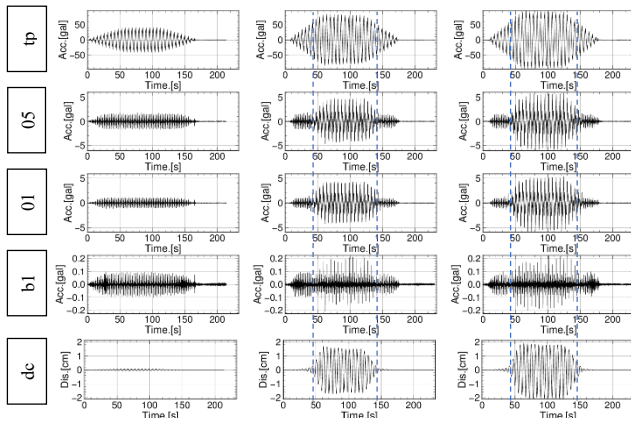
(a) 初期変位 10cm (ダンパーあり) (b) 初期変位 10cm (ダンパーなし) (c) 初期変位 14cm (ダンパーなし)

図3 自由振動実験の加速度波形と免震層相対変位 (東西方向)

### 3.2 強制振動実験

対象建物には加振装置として屋上に約400tの実験室を備えている。実験室はアクチュエータを用いて東西方向30cm、南北方向70cmまで加振することができ、加振周期を建物の固有周期5.2sと一致させることで共振現象を引き起こし建物側も振動させる強制振動実験を行うことができる。図4に結果を示す。

図4より、屋上実験室の加速度が約50galを超えるところから建物本体の応答加速度が大きくなり、基礎免震層に相対変位が生じているため、基礎免震層のCLBによる摩擦の影響が表れていると考えられる。この時の屋上実験室と建物本体の加速度にそれぞれの質量を乗じた慣性力の合計で加振力を求めると180kNとなり、CLBの摩擦係数と上部建物の質量から計算する摩擦力約160kNとおおむね対応している。



(a) 加振振幅 30cm (b) 加振振幅 60cm (c) 加振振幅 70cm

図4 強制加振実験の加速度波形と免震層相対変位 (南北方向)

#### 4. 対象建物をモデルとした免震建物模型の製作と振動実験

##### 4.1 模型の製作目的と基本的な振動特性

3章で述べたように、対象建物ではTMD付き免震建物の実験を想定しているが、十分な検討がなされていない。そこで、事前検討として対象建物をモデルとした上下2段の免震層を持つ免震建物の縮小模型を製作し振動実験を行うことで、その応答性状について分析する。製作する模型は上段と全体の質量比が対象建物の屋上実験室と建物全体の質量比と等しくなるように設計する。模型の免震層には対象建物と同じCLB付きの免震装置の模型を使用し、復元力として引きコイルばねを使用した。

上段と下段の免震装置についてそれぞれ自由振動実験を行った。結果から剛性を推定し、上部構造模型の質量を調節することで上下2段の免震層の固有周期を一致させた。上段免震層の固有周期0.55s、減衰定数20%、下段免震層の固有周期0.55s、減衰定数6%の免震建物模型を製作した。免震建物模型の概略図と写真を図5・6に示す。3.2では対象建物におけるCLBの摩擦の検討を行ったが、模型におけるCLBの摩擦による応答への影響は今後の検討課題である。

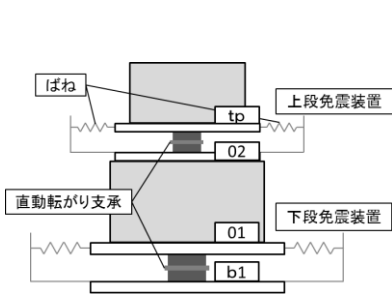


図5 免震建物模型の概略図

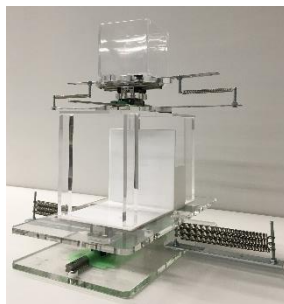


図6 免震建物模型の写真

##### 4.2 模型振動実験

製作した模型では上段模型がTMDとして働くことで、下段模型の応答低減効果が期待される。これを確認するため、上段免震層を固定した場合とフリーにした場合で、下段免震層に初期変位を与えて行う自由振動実験と、複数のランダム波を用いたランダム振動実験から模型の挙動について分析した。実験より得られた結果を図7・8に示す。

期待された通り、上段免震層をフリーにした場合は免震

層を固定した場合よりも、下段模型の応答が低減されることを確認した。自由振動実験(図7)から下段模型(01)においてフーリエスペクトルの振幅は5分の1、推定した減衰定数は約3倍となる。ランダム振動実験(図8)からも同様の傾向が見られ、下段模型(01)の最大加速度は2分の1程度となる。複数のランダム振動実験から得られた01/b1の伝達関数を見ると固有振動数付近で応答倍率が大幅に抑えられていることがわかる。

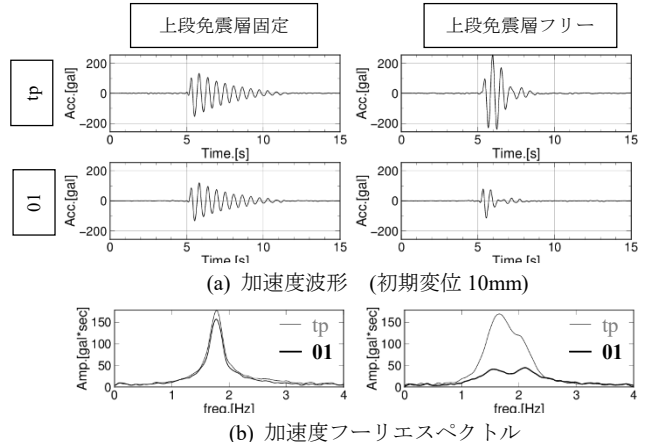


図7 自由振動実験の加速度波形とフーリエスペクトル

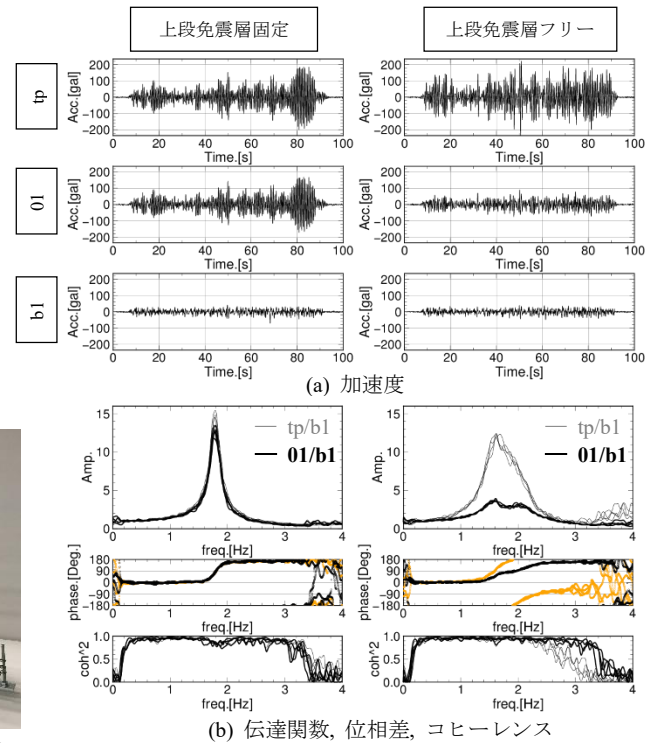


図8 ランダム振動実験の加速度波形と伝達関数

#### 5. 結論

本研究では、実在免震建物を用いた振動実験から分析した免震建物の応答特性について述べた。また、対象建物で予定されている振動実験の事前検討として、対象建物をモデルとした上下2段の免震層を持つ免震建物の縮小模型を用いて振動実験を行うことで、その応答特性を確認した。

今後は、対象建物で実施される振動実験と今回の結果を合わせて建物の応答について分析することを予定している。