

# べた基礎を有する木造住宅の耐震性能に及ぼす基礎の滑動の影響

名古屋大学工学部社会環境工学科  
建築学コース長江研究室 上段 聖也

## 1. 研究の目的と背景

木造住宅の上部構造の耐震性能の標準が向上してきている。具体的には、壁量の確保により剛性と耐力が高い。また、海外、特に米国でも木造住宅に対して高い余力を持たせる研究活動が活発化している。このような場合、地震時に基礎下でのロッキングや滑動が生じ、それによる損傷抑制の可能性が指摘されている。

本論では、実大木造住宅の公開実験データ<sup>2)</sup>により、上部構造の弾塑性応答特性を数値解析に反映する(図1)。また、2018年実施の切り出し架構実験により損傷過程を検証する(図2)。こうした資料とモルタル間の摩擦すべり要素実験とを結ぶことで、本研究の目的である基礎滑動の耐震性能への影響を考察する。

## 2. 実大木造住宅の公開実験データの分析及びモデル化

各試験体の概要と共通の仕様を表1、表2に、試験体の写真を図1に示す。本論で用いたデータは住宅性能表示制度における耐震等級1の耐震性能を有する3階建て木造軸組構法住宅のもの(表1中の試験体4)である。入力波は、限界耐力計算における第二種地盤の加速度応答スペクトルに適合する継続時間20秒の人工地震波を基準とし、これに倍率を乗じたものとしている。図3に建築基準法で定める大地震動の1.25倍相当の112.5%加振と1.67倍相当の150%加振の時刻歴加速度波形を示す。試験体4は112.5%加振に対しては、層間変形角の最大値が1/46radであり、倒壊などを生じなかった。150%加振に対しては1/8radという大きな値を示したが、倒壊を生じなかった。

二つの加振による各層の層せん断力と変位のデータから、松森らが用いた計算式<sup>3)</sup>により等価1自由度縮約を行った。112.5%、150%の1自由度縮約後の履歴ループと1次モード形状を図4に示す。それら二つの履歴ループを重ね合わせたものの外郭部分が図7に示す骨格曲線となる。

モデルの作成において、履歴ばねの復元力特性(図5、6)には、Modified Ibarra-Medina-Krawinkler Deterioration Model with Pinching Hysteretic Response (ModIMKPinching)をOpenSeesより選択した<sup>4)</sup>。このモデルは、バイリニア型の最大点指向型を基本としており、変位増大による強度劣化、スリップ性状、繰り返しによる強度・剛性劣化を考慮することができるものである。各種パラメータの決定では、骨格曲線においては図7に示した赤丸から数値を決め、履歴測においては150%加振時に得られた応答変位波形を用いて、各パラメータを変えながらプッシュオーバー解析し、実験値と近くなるようにして数値を決定した。減衰には5%の瞬間剛性比例型を採用した。プッシュオーバー解析によって得られた履歴ループと実験の履歴ループを重ねたものを図8に示す。さらに、その作業によって決定したパラメータを用いて動的解析を行った。時刻歴応答変位を図9に、履歴ループと実験値を重ねたものを図10に示す。

## 3. 摩擦すべり要素実験の概要

想定しているモデルは、図11に示す2節で紹介した3階建て木造軸組構法の住宅である。実験システムは、図



図1 E-Defense 実験 (2009) 図2 千葉実験 (2018)

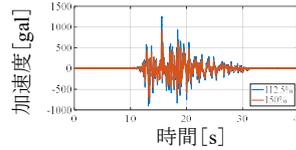


図3 入力波

表2 共通仕様

項目	仕様	
床面積	1, 2, 3階45.55m <sup>2</sup> , 延床面積136.65m <sup>2</sup>	
階高	1, 2, 3階2,800mm, 軒高8,905mm	
質量 [kg]	3階	6245.8
	2階	10683.6
	1階	10554.1
総質量	27482.4	

表2 試験体概要

試験体	特徴	耐力壁量
試験体1	建築基準法による最低基準の1.25倍以上の耐震性能を有する	耐震等級2
試験体2	試験体1と耐力壁配置は同じであるが、柱頭・柱脚の接合部性能が不十分	同上
試験体3	試験体1と壁量はほぼ一緒であるが、水平構面の剛性が不足し、耐力壁の配置も不均衡	同上
試験体4	耐震性に関して建築基準法による最低基準に適合する	耐震等級1

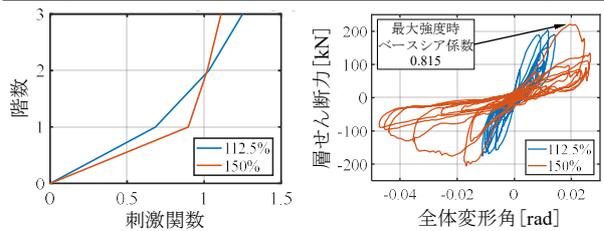


図4 (左:1次モード形状、右:等価1自由度縮約)

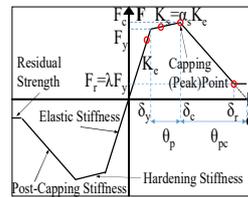


図5 骨格曲線

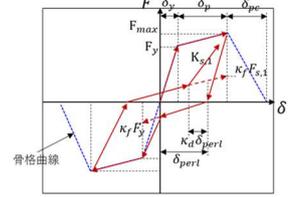


図6 履歴則

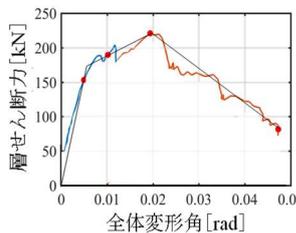


図7 骨格曲線

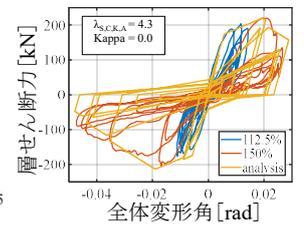


図8 プッシュオーバー

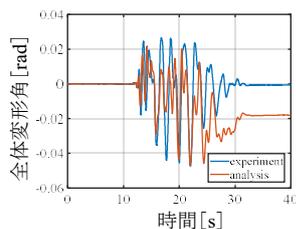


図9 時刻歴応答変位

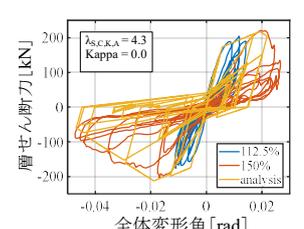


図10 動的解析

11のように木造住宅の基礎と上部構造を模擬した試験体とその試験体を支える受け側モルタルからなる。新築の木造建物の多くは、べた基礎であり、防湿の目的で基礎下にポリエチレンシートが敷きこまれるが、捨てコンの上もしくは下に設置される。本実験では、接触要素側にシートを固定して、上側に設置される場合も模擬した。試験体は、上部構造を模擬する三角錐とべた基礎を模擬する接触要素によって構成される。図12に示す接触要素は、強度の異なるモルタルから成る円柱型のもので、その直径とシートの有無を変えたものを13セット用意した。その直径は2節の木造住宅に基礎を付加した時の基礎下面圧を基準として決定した。表面粗さを均一にするために、接触要素は機械を用いて240番で研磨した。実験システムの全景と観測体制を図13に示す。

実験により得られた結果の各最大静止摩擦係数と面圧の関係を図14に示す。シートを設置した場合、摩擦係数が大きくなる傾向にあった。また、面圧変化による摩擦係数への影響は見られなかった。解析モデルで用いる摩擦係数は、基準面圧での実験のうち、最大値0.80、最小値0.52、その中間の0.66とした。

#### 4. 動的漸増地震動応答解析 (IDA)

動的漸増運動応答解析<sup>5)</sup>とは、ある地震強さで基準化された44波の地震動群に対して非線形時刻歴応答解析を行い、この地震動強さを漸増させることにより、建物の地震応答を統計的かつ連続的に把握することができる。地震動群には、FEMAP695を用い、44波の地震動の最大加速度(PGA)が0.5gとなるように基準化をした。数値解析モデルは、2質点で下側バネが剛塑性、上側バネが2節で作成したIMKPinchingモデルである。IDAを行った結果(図15)、基礎を固定した場合や摩擦係数が高い場合は上部構造が損傷するが、摩擦係数が0.52の場合に損傷抑制の可能性が示された。

#### 5. 結論・課題

本研究の結果を以下に示す。

- (1) ModIMKPinchingモデルにより実験結果を数値解析に適切に反映し、その傾向を評価した。
- (2) モルタル同士の最大静止摩擦係数(平均値)は、中強度で0.66、高強度で0.57、ポリエチレンシートを挟むことで中強度で0.70、高強度で0.77となった。
- (3) IDAにより基礎下の摩擦係数が0.52の場合に損傷抑制の可能性が示された。

基礎から地盤までに至る滑动数値モデルの構築とIDAから損傷状況の評価するための実験試料の蓄積今後必要である。

#### 6. 切り出し架構実験

1節で触れた切り出し架構実験の写真を図16に示す。



図16 切り出し架構実験

#### 参考文献

<sup>1)</sup> Amber Dance:Stanford engineers build, test earthquake-resistant house. Stanford Report, October 16, 2014  
<sup>2)</sup> 国立研究開発法人防災科学技術研究所「ASEBIJ」、課題名「3階建て木造軸組工法の設計法検証に関する実験」(https://www.edgrid.jp/)  
<sup>3)</sup> 松森泰造、田原健一、長江拓也、福山國夫：準フレーム鋼構造骨組み及び連想耐震壁フレーム構造骨組みを有する4層コンクリート系建物の1次モード応答評価：日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道) 2013年8月

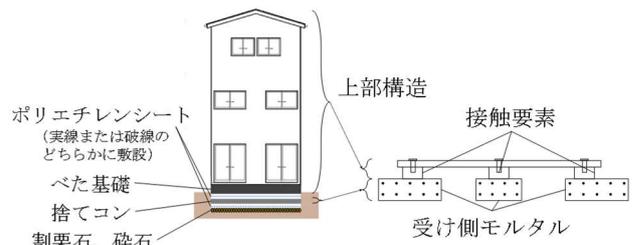


図11 想定モデル

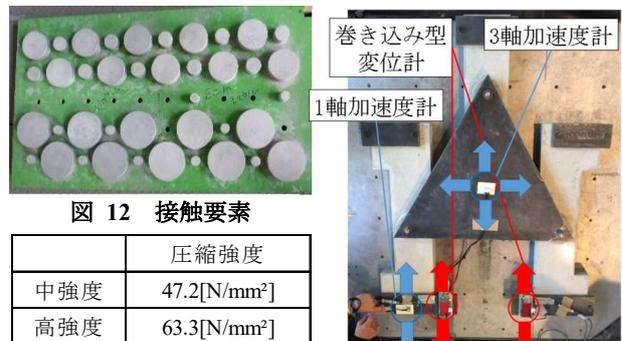


図12 接触要素

	圧縮強度
中強度	47.2[N/mm <sup>2</sup> ]
高強度	63.3[N/mm <sup>2</sup> ]

図13

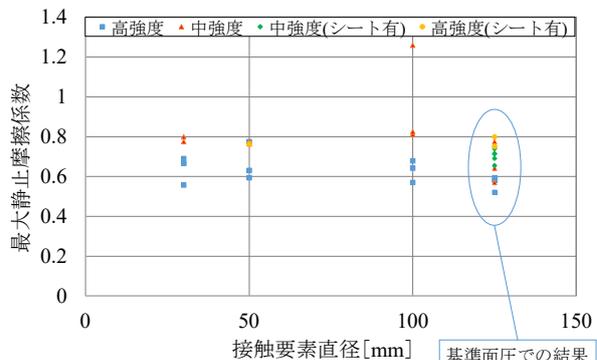


図14 最大静止摩擦係数と面圧の関係

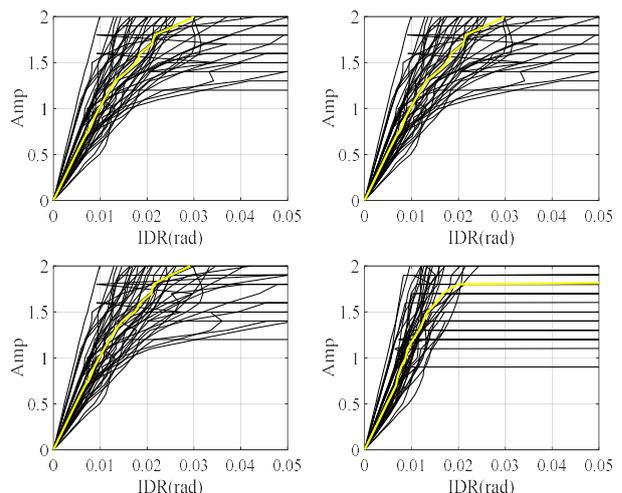


図15 IDA

(左上：固定、右上：0.8、左下：0.66、右下：0.52)

<sup>4)</sup> Luis F. Ibarra, Ricardo A. Medina, Helmut Krawinkler: Hysteretic Model that Incorporate Strength and Stiffness Deterioration, Earthquake Engng. Struct. Dyn. 2005, 2005  
<sup>5)</sup> 長江拓也、林静雄、中島正愛：全体降伏機構を呈する鉄筋コンクリートフレーム構造の強度劣化と終局限界、コンクリート構造年次論文集 Vol.29, No.3, 2007