

RC 造建物内に配置した家具の地震時挙動に関する有限要素解析

正会員 ○三浦 利季*1
同 山下 拓三*2
同 磯部 大吾郎*3

家具 RC 造建物 挙動解析
有限要素法 ASI-Gauss 法

1. 緒言

地震の際、建物自体の被害は少なくても、家具の移動や転倒による人的被害や避難の遅れが生じる可能性がある。そこで、従来から家具の耐震具の有効性を検証するための加振実験などが行われている。しかし、地震波や階層、部屋内の家具配置などの条件を変更する度に実験を行うとコストや時間がかかるため、繰り返し実験を行うことは困難である。そのため、これらの非構造部材の挙動を容易に検証可能とする数値解析手法の確立が期待されている。本研究では、家具の地震時挙動を解析できる有限要素解析コードの開発を目指した。解析コードには、ペナルティ接触理論に基づく接触アルゴリズムを ASI-Gauss 法[1]に導入した転倒挙動解析コード[2][3]を用いた。本稿では、防災科学技術研究所（以下、NIED）で行われた 10 層 RC 造建物の加振実験から得られた床応答と解析結果を比較し、建物モデルの有効性について検討する。続いて、建物の各階に家具を配置した解析を実施し、その結果について考察を行う。

2. 解析モデル

10 層 RC 造建物モデルの概観を図-1 に示す。建物の全高は 27.6 m である。総重量は 10.5 MN、固有周期は X 軸（長辺）方向が 0.65 s、Y 軸（短辺）方向が 0.61 s となった。略算式により求められる固有周期は 0.55 s であるため、解析モデルの固有周期は妥当な値と判断できる。

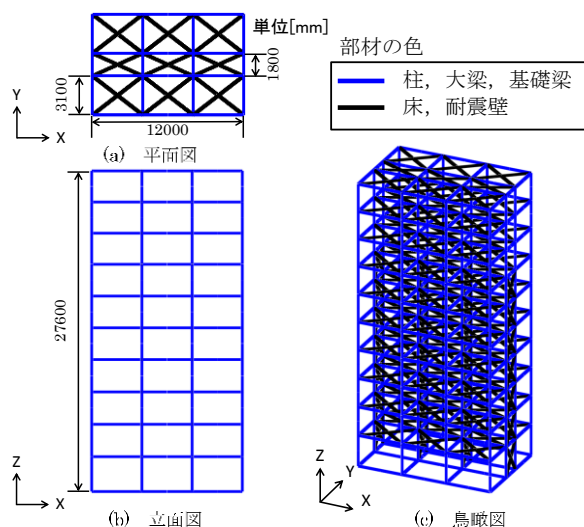


図-1 10 層 RC 造建物モデル

次に、建物内に配置した本棚モデルの概観を図-2 に、その寸法と重心位置を表-1 に示す。実験に使用された本棚には前開き扉が付いていたが、全体剛性には寄与しないことが考えられるため、中に入っていた内容物とともにその重量のみを考慮した。本棚の重心は、構成部材毎に密度を調整して表現した。地震の際に危険の大きい家具の挙動として、このように質量が大きく、重心位置が高い家具の移動や転倒が考えられる。この家具モデルを建物モデルの 1~10 階の各階に配置して解析を行った。

3. 解析条件

RC 部材のスケルトンカーブには Tri-linear モデルを用いた。ひび割れ強度は粘性減衰効果を考慮し、降伏強度の 1/3 の値とし、軸剛性、ねじり剛性は弾性とした。また、繰り返し荷重を受ける場合の曲げ剛性の履歴特性には Degrading-tri-linear モデルを採用した。

家具と床や壁間の接触は、数値的に判定した。接触が判定された要素に対しては、2 種類の接触力を作用させた。1 つ目は接触面の法線方向のみに作用するペナルティ力 F_p 、2 つ目の接触力は接触面の接線方向と法線方向に作用する動摩擦力 F_D である[2][3]。接触パラメータを表-2 に示す。先行研究[2][3]で有効な値として示されている、ペナルティ定数 α は対象物の重量と同一の値、ペナルティ指数 q は 1.0、減衰に関する係数 D_c は α の 120% と設定し、動摩擦係数は静止摩擦係数の 80% とした。また、壁との摩擦係数は、床と接触する際の Y 軸方向成分と同じ値に設定した。入力波には、JMA 神戸波 100% を用いた。

表-1 本棚モデルの諸元

寸法[mm]			重心位置		
W	D	H	w	d	h
600	417	1800	300	278.9	888.9

表-2 接触パラメータ

ペナルティ定数 α	ペナルティ指数 q	減衰に関する定数 D_c	静止摩擦係数	
			X軸方向	Y軸方向
157	1	157	0.297	0.292

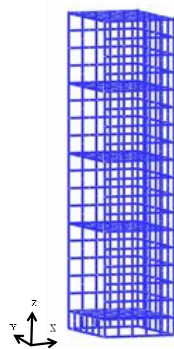


図-2 本棚モデルの概観

4. 解析結果

JMA 神戸波 100 %を入力波とした場合の 10 階 X 軸方向の床応答加速度および床応答速度を図-3, 図-4 に示す。それぞれ実験および解析で得られた結果をプロットしている。実験の 10 階床応答速度は、低周波ノイズの影響を軽減するために、床応答加速度を基線補正し台形積分を行って求めた。図-3 の X 軸方向の床応答加速度は、時間帯により異なっている箇所はあるものの、概ね近い振幅、周期を示している。Y 軸方向の床応答加速度も、X 軸方向と同様の傾向を確認している。Z 軸方向については、全体的に解析結果の方が大きい振幅となっていた。また、10 階床応答速度においても、X,Y 軸方向の成分は概ね近い振幅、周期を示している。これらの結果から、建物は十分な精度でモデル化されているものと考えられる。

建物内に配置した家具の解析結果として全体立面図を図-5 に示す。また、図-6 に 10 階に配置された家具の様子を示す。図-5 から、約 8 s 時に建物全体に大きな変形が生じ、家具に X 軸方向の力がかかった事がわかる。その後、建物の変形が回復する際に壁から押され、家具は -X 軸方向に力を受ける。今回の解析では、8 階に配置された家具が約 11 s 時に -X 軸方向に力を受け、前方に転倒した。また、1 階と 10 階に配置された家具は後方に転倒し、壁にもたれ掛かりながら仰向けに横たわる形となった。今回の結果から、階層によって転倒の有無や形態が異なることが確認された。

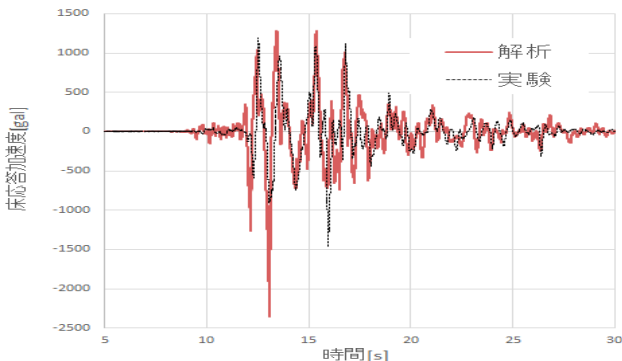


図-3 10 階 X 軸方向床応答加速度 (JMA 神戸波 100 %)

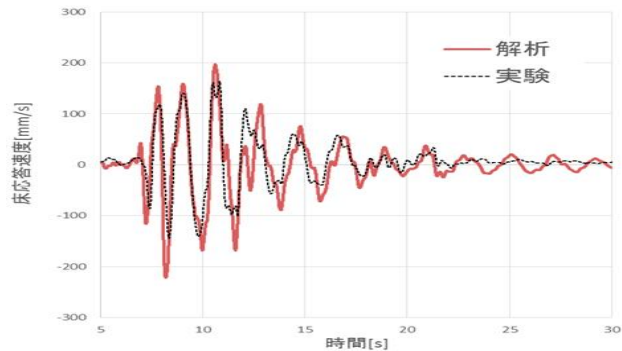


図-4 10 階 X 軸方向床応答速度 (JMA 神戸波 100 %)

5. 結言

本研究では、NIED により行われた実験で使用された 10 層 RC 造建物をモデル化し、これに家具モデルを配置した解析を行った。実験と解析から得られた床応答を比較した結果、解析で得られた 10 階床応答加速度および速度は実験で得られたものと概ね一致しており、建物モデルの有効性を示すことができた。また、建物の各階に家具を配置した解析では、階層によって異なる挙動を示す家具の様子が再現できた。これは、本解析では地震波によって揺れる建物内で、階層に応じて異なった加振力により家具が加振されるためである。現段階では、単一の地震波で行った結果であるため定性的な傾向は掴めないが、今後は様々な地震波を用いて解析を行うことで、地震波の周期や家具の設置階層が家具の挙動に対しどのように影響するか調査していく予定である。

参考文献

- [1] 磯部他: 高層建築物の火災時崩壊挙動に関する数値解析的検証, 日本建築学会構造系論文集, 第 76 巻, 第 667 号, (2011), pp.1659-1664.
- [2] 磯部他: 有限要素法を用いた地震時における家具の挙動解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 718 号, (2015), pp.1891-1900.
- [3] 荻野他: 家具・什器の地震時挙動を再現する有限要素解析手法の開発, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 717 号, (2015), pp.1687-1697.

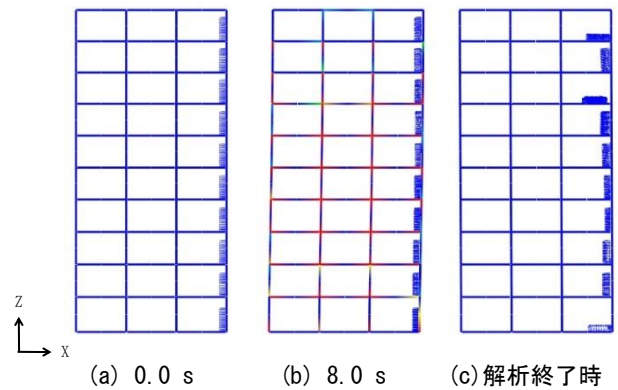


図-5 解析結果 (JMA 神戸波 100%, 全体立面図)

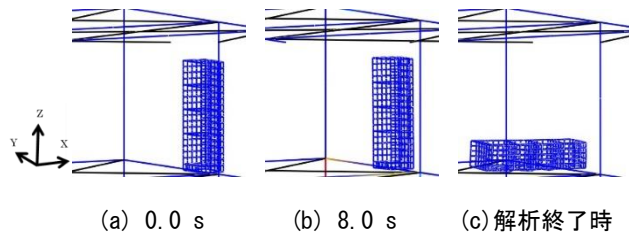


図-6 解析結果 (JMA 神戸波 100%, 10 階家具の様子)

*1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 大学院生
 *2 防災科学技術研究所 博 (工)
 *3 筑波大学教授 博 (工)

*1 Graduate Student, Univ. of Tsukuba
 *2 National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Dr. Eng.
 *3 Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.