

三次元拡張個別要素法を用いた地震時の家具の動的挙動シミュレーション

中央大学大学院 学生会員 榎本 美咲
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

兵庫県南部地震による直後の死者・行方不明者は5,500人を超え、その9割近くが圧死や窒息死であった¹⁾。また、その約1割が家具類の転倒や高所からの落下による影響を、直接・間接的に受けたと言われている¹⁾。建物の耐震化の進展や地震の規模別発生頻度を考えると、家具の落下や転倒による死傷者の問題は、今後の地震防災を考える上でますます重要になってくると思われる。そこで本研究では、直方剛体要素を用いた三次元拡張個別要素法解析(3D-DEM)²⁾により、地震時の家具の動的挙動を分析するコンピュータシミュレーションを行う。

2. 三次元拡張個別要素法と連結式家具のモデル化

本研究では、家具を三次元直方剛体ブロックの集合体として扱う。ただし、要素間の接触判定を簡便化するために、**図1**に示すような適当な半径(r)を用いて、頂点を1/8球、辺を1/4円柱と仮定する。

この仮定により、接触のパターンは**図2**に示すような頂点と頂点、頂点と辺、頂点と面、辺と辺の4つに分類でき、接触力算定の簡便化と鋭い角を有した理想直方体を用いた場合に生じる頂点のひっかかりなどの問題が解決される。

従来の三次元個別要素法(3D-DEM)では、要素と要素をつなぐ「間隙ばね」が頂点と頂点の間にしか導入されていないため、連結式家具の中でも、家具の上下をつないだものしか解析することができなかった。しかし、家具の転倒防止装置等を考えると、壁と家具をねじなどを用いて連結されているものもあるので、本研究で用いる三次元拡張個別要素法では、頂点と面の間にも「間隙ばね」を設けることができるモデルとした。そしてこのモデルを用いて壁に連結された家具のシミュレーションを行う。

3. 解析モデル

解析には**図3**に示すようなモデルルーム(鉄筋コンクリート造5階建内部の部屋)を用いた。入力地震動としては、神戸海洋気象台の加速度時刻歴を数値積分して得られるEW, NS, UD方向の変位時刻歴を1階基礎部への入力外力とした5質点系の応答解析を行い、この応答値を本モデルに入力する床の振動外力とした³⁾。(簡単のためにここでは柱、壁、床はいずれも変形せず、倒れないと仮定した。)

表1 モデルの諸元

モデル	9 11 壁(檜)	10 12 壁	13 床
プロポーション (cm)	20 × 380 × 250	380 × 20 × 250	420 × 420 × 20
密度 (10^{-3}kg/cm^3)	0.49	0.49	0.49
摩擦係数	0.50	0.50	0.50

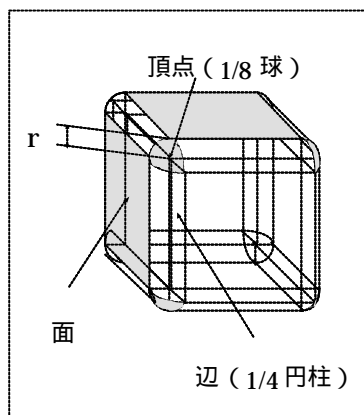


図1 解析の基本要素

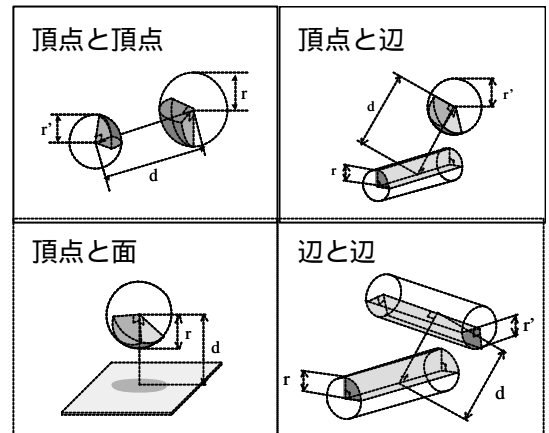
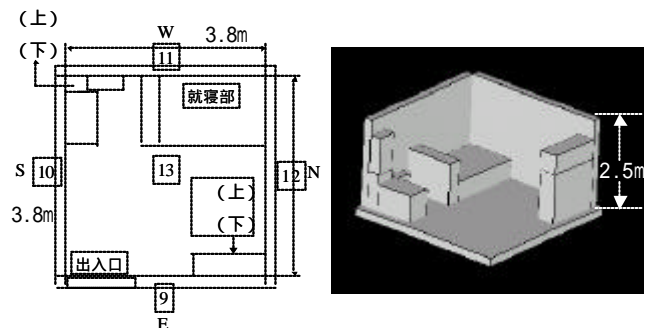


図2 要素間の接触パターン



内の番号は表2に対応する。

図3 解析に用いたモデルルーム

表2 モデルの諸元

家具	机	本棚	テーブル	本棚	ベッド	たんす	たんす
プロポーション (cm)	100×60×70	30×50×95	20×70×60	130×35×110	130×200×50	45×140×130	45×140×50
質量 (kg)	50	80	7	280	350	286	110
密度 (10^{-3}kg/cm^3)	0.12	0.56	0.07	0.56	0.27	0.35	0.35
摩擦係数	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

なお、連結部分（間隙ばね）の破壊基準・間隙ばね定数は、表3のねじの引き抜き抵抗試験結果を参考に設定した（家具と壁11，家具と壁9がつながれている）。また図3では、手前の壁を取り払って表現しているが、いずれの壁も解析においては他の壁と同様に扱っている。

4. 解析結果

図4から図6に異なるフロアにおける家具の挙動を示す。上層階ほど激しい挙動をしていることがわかる。

表3 引き抜き抵抗試験の結果

供試体名 :ナラ
木ねじサイズ :3.5 (直径)×20 (長さ) (mm)
ねじ込み深さ :15 (mm)
引き抜き抵抗力 219.3 (kg)

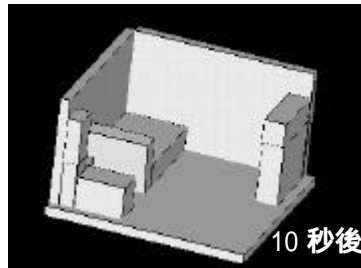
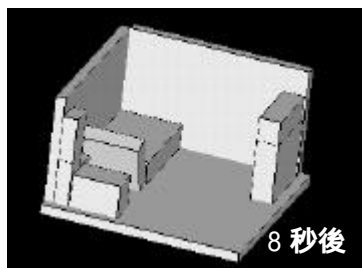
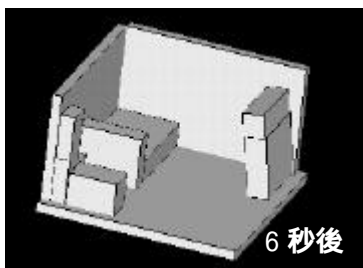


図4 鉄筋コンクリート造1階部分のシミュレーション結果

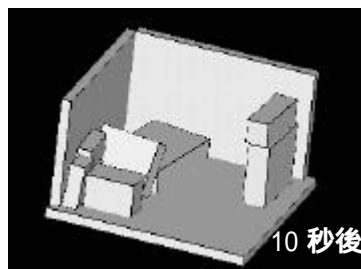
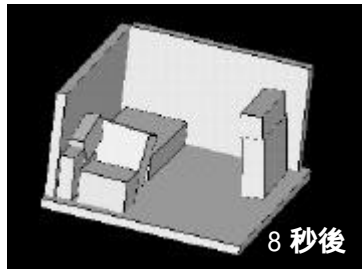
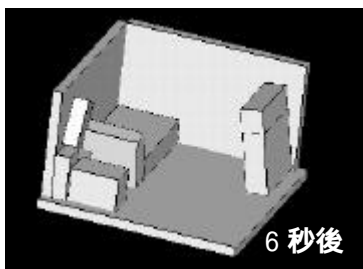


図5 鉄筋コンクリート造3階部分のシミュレーション結果

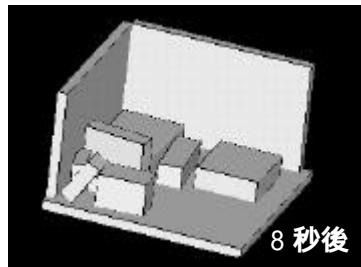
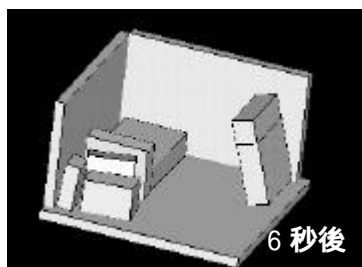
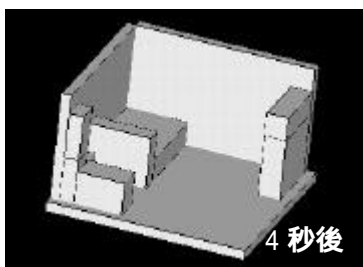


図6 鉄筋コンクリート造5階部分のシミュレーション結果

5. おわりに

本研究では、三次元拡張個別要素法（3D-EDEM）を用いて、転倒防止装置や連結式家具の動的シミュレーションが行えるシステムをつくり、解析を試みた。その結果以下のようなことがわかった。

3D-EDEM によって得られた解析結果をアニメーション化することにより、地震時の家具の挙動の可視化が可能となった。そして、このツールは実在する部屋をモデル化することにより、そこに住む住民の防災意識を高めるのに有効なツールとなりうる。

参考文献

- 1) 日本建築学会建築委員会/兵庫県南部地震調査研究部会/建築内部空間における被害WG：阪神淡路大震災住宅内部被害調査報告書，1996.9.，
- 2) 目黒公郎・西川大介：3次元個別要素法による地震時の家具の動的挙動解析，土木学会第53回年次学術講演会概要集，I-B248, pp496-497, 1998.，
- 3) 松本晋太郎・目黒公郎：3次元拡張個別要素法による地震時の家具の挙動シミュレーション，土木学会第55回年次学術講演会概要集，I-B401, 2000.，