

3次元拡張個別要素法を用いた地震時の家具の動的シミュレータの開発

元中央大学大学院 正会員 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、その約9割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3次元拡張個別要素法(3D-EDEM)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タを開発する。このシミュレータは、防災教育ツールとして誰もが簡単に利用することのできるものである。

2.三次元拡張個別要素法 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けりなどの問題が解決される。

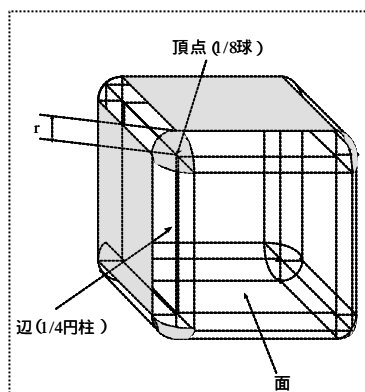


図1 解析の基本要素

3. 間隙材を使ったシミュレーション

既往の研究では、壁と家具の間に金具などの転倒防止装置を付けた解析を行ってきた。しかし、この手の転倒防止装置は、住宅の柱、壁の中の間柱(桝=さん)など限られた場所にしか設置することができない。また、賃貸住宅などでは壁や柱に傷をつけることも難しい。そこで、家具と天井の間に何らかの間隙材を挟み込むことで、家具の移動や転倒を防ぐ方法を考える。

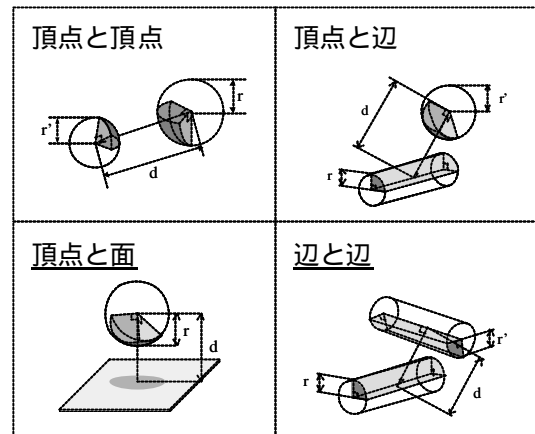


図2 要素間の接触パターン

この時、天井の強度を考えると、間隙材は適度な剛性(荷重を面で支える)を持ち、軽いものが適している。具体的には、発泡スチロール程度の材料特性を有するものが適している。ただし、発泡スチロールは火災時に有毒ガスを発するので、段ボール紙を重ねた「八ニカムボード」などが適している。

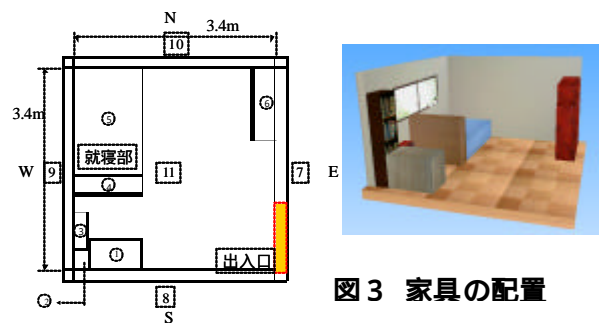


図3 家具の配置

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⁾(**図4**)。ここでは簡単のために柱、壁、床、天井はいずれも変形せず、倒れないと仮定した。なお、**図**において左側が間隙材の入っていない状態、右側が間隙材の入っている状態である。なお、壁と天井を取り払って表現しているが、いずれも解析においては考慮されている。

キーワード：家具，拡張個別要素法，個別要素法，人的災害，コンピュータシミュレーション，地震被害

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所B棟 目黒研究室 Tel: 03-5452-6436, Fax: 03-5452-6438

表1 家具の諸元

家具	机	本棚	間隙材	サイドテーブル
プロポーシヨ(cm)	100×60×70	30×50×190	30×50×40	20×70×60
質量(kg)	50	80	1.44	7
密度(10^{-3} kg/cm ³)	0.12	0.56	0.024	0.07
摩擦係数	0.50	0.50	0.50	0.50
家具	本棚	ベッド	たんす	間隙材
プロポーシヨ(cm)	130×35×110	130×200×50	45×140×180	45×140×50
質量(kg)	280	350	286	7.56
密度(10^{-3} kg/cm ³)	0.56	0.27	0.35	0.024
摩擦係数	0.50	0.50	0.50	0.50
プロポーシヨ(cm)	7 9 壁(櫃)	8 10 壁(櫃)	11 床	12 天井
プロポーシヨ(cm)	20×380×250	380×20×250	380×380×20	380×380×20
質量(kg)	931	931	1415	1415
密度(10^{-3} kg/cm ³)	0.49	0.49	0.49	0.49
摩擦係数	0.50	0.50	0.50	0.50

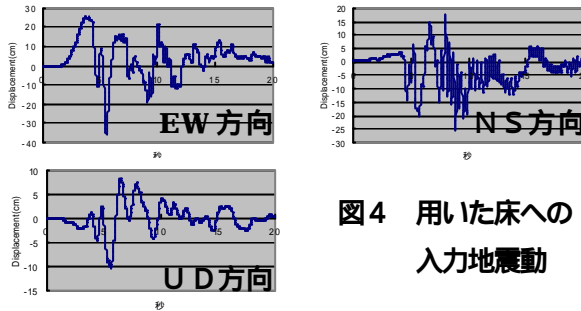


図4 用いた床への入力地震動

図5の左右の図を比較すると、間隙材を家具と天井の間に挟み込むことで、家具の転倒を防止できていることがわかる。

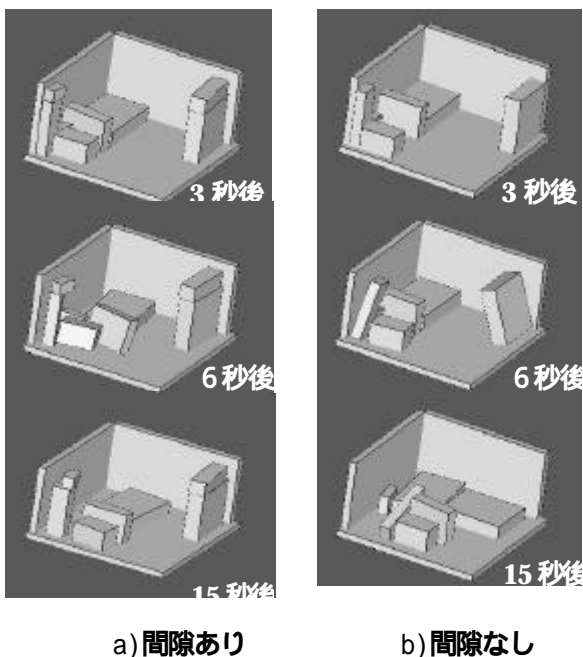


図5 シミュレーション結果

4. シミュレータの開発

兵庫県南部地震以降、家具による死傷者の問題の重要性が指摘されているにもかかわらず、家具の転倒防止策を行っている家庭は非常に少ない。そこで、誰もが簡単に利用し、さまざまな状況下における部屋の内部の危険性を把握できるツールの開発を試みた。

ユーザーは、部屋の大きさ、床の材質、出入口の場所、家具の数と種類、その配置(図6)、転倒防止装置の有無、建物の種

類と階層などを決定する。すべてを入力し終わると、ユーザーはその条件下での家具の挙動をアニメーションとして(図7)見ることができる。

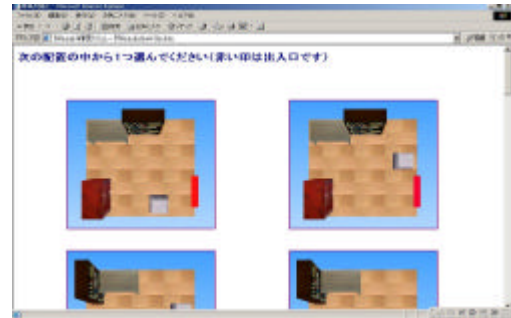


図6 家具の配置を決める図



図7 家具の動的挙動のシミュレーション

5. まとめ

本研究では、3D-EDEMを用いて様々な転倒防止策を用いたシミュレーションと、よりリアルな家具モデルを用いたシミュレーションを行った。家具の動的挙動シミュレータを開発した。これらの結果、これらのシミュレーションは防災上以下のような点に貢献すると考えられる。

1. 今後、連結金物に替わる有効な転倒防止装置の開発とその普及に役立つ。
2. 一般市民が様々な条件下での地震時の家具の挙動を自分で手軽にシミュレーションできるシステムは、防災教育ツールとして広く利用できるものである。

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