

## 三次元拡張個別要素法を用いた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<sup>1)</sup>。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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>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。その中で、新たに要素と要素をつなぐ「間隙ばね」を導入し、連結式家具の挙動についてシミュレーションを試みる。

### 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

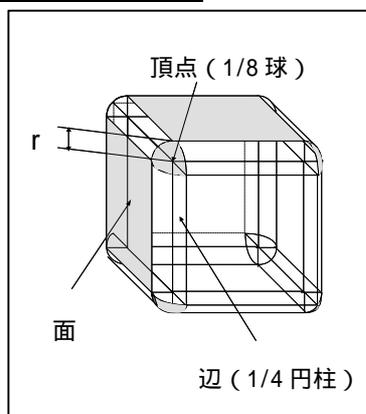


図1 解析の基本要素

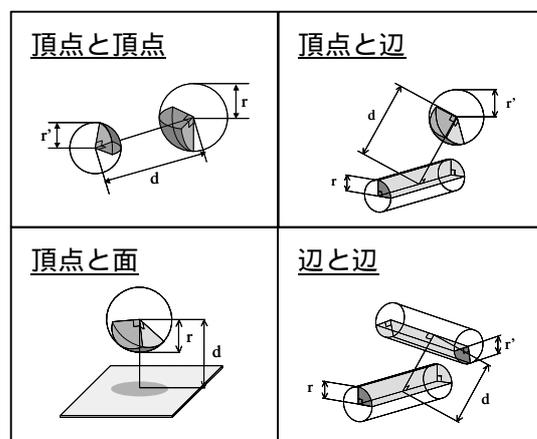


図2 要素間の接触パターン

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を解決できる。

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」が導入されていないため、要素同士の連続性を表すことができなかったが、実際の家具はいくつかのブロックが連結された構造を持ち、普段は連続体と見なせる挙動をする。しかし、強い地震動によって連結装置が壊れるとばらばらな単体として挙動する。すなわち、地震時の家具の挙動を再現するには、連続体から非連続体までの挙動を解析できなければならない。そこで本研究では、連結装置を間隙ばねとしてモデル化し、連結式家具のシミュレーションを行う。

**4. 解析モデル** 解析には図3に示すようなモデルルーム(木造2階建ての2階)を用いた。図3に示す部屋の家具が連結式家具である場合と、そうでない場合とを比較する。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2質点の応答解析を行い、この応答値を本モデルに入力する床の振動外力(図4)とした<sup>3)</sup>。(柱、壁、床はいずれも変形せず、倒れないと仮定した。)

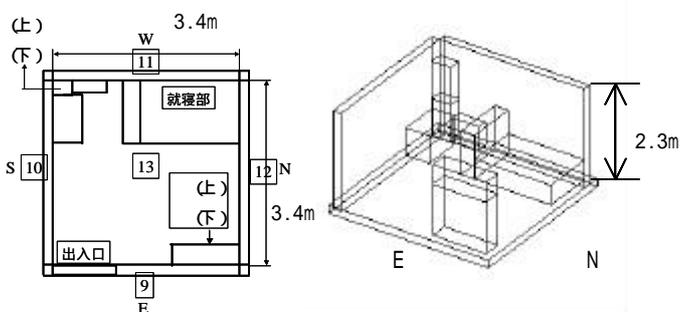


図3 解析モデル

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: 03-5452-6437, Fax: 03-5452-6438

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 ( $10^{-3}\text{kg/cm}^3$ )	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 ，家具 と 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。

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 ( $10^{-3}\text{kg/cm}^3$ )	0.49	0.49	0.49
摩擦係数	0.50	0.50	0.50

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)

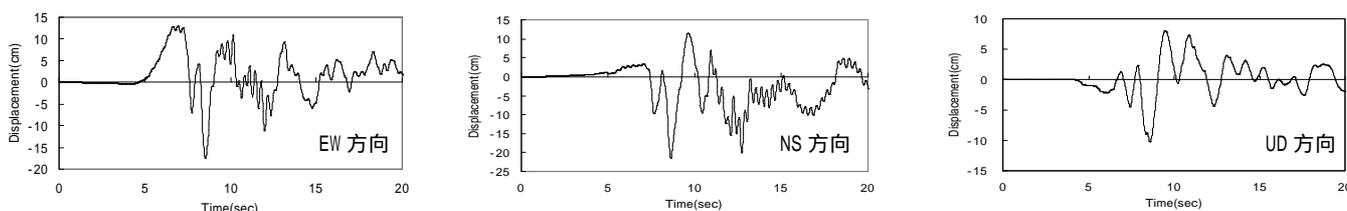


図4 モデルルームの床に入力した地震動

**5. 解析結果** まずは本棚（図3の ）に着目する。9秒までは両者とも同じような挙動を示すが、10秒辺りから違いが見られ、連結されていない方では上の本棚が徐々に傾き始め、12秒後には机の上に落下し、13秒後には床に落下した。連結式家具の方は、12秒後でも変化が見られなく、13秒後に上の本棚が少し移動している。次に、たんすに（図3の ）に着目すると、連結式家具とそうでない家具とでは、転倒時間、転倒過程に大きな差は見られなかった。

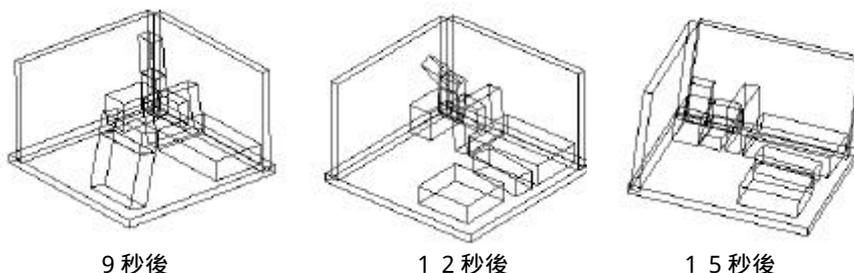


図5 シミュレーション結果（非連結式家具）

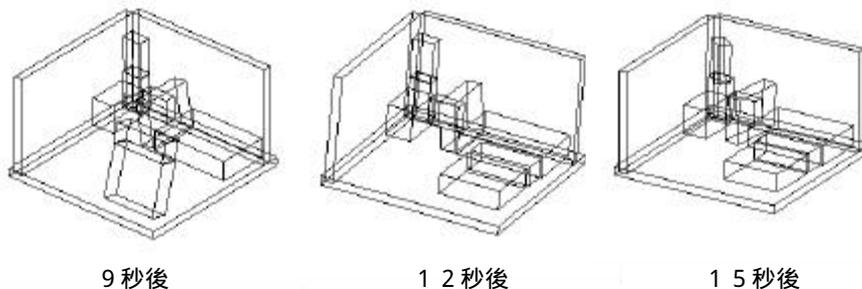


図6 シミュレーション結果（連結式家具）

**6. おわりに** 本研究では、三次元拡張個別要素法（3D-EDEM）を用いた連結式家具の動的シミュレーションを行った。その結果以下のようなことがわかった。

1. 間隙ばねを導入することにより、連結式家具のシミュレーションが行えるようになった。
2. 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。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.