

3次元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

中央大学大学院 学生員 松本 晋太郎
東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

はじめに 1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震による直後の死者行方不明者は5千5百人を超え、その9割近くが圧死や窒息死であったことが報告されている¹⁾。またその約1割が家具類の転倒や高所からの落下の直接・間接的影響を受けたと言われ、けが人を含めればその数はずっと多くなる²⁾。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、直方体要素（ただし各頂点には適当な半径の1/8球、各辺には1/4円柱を想定）を用いた3次元個別要素法解析³⁾によって、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試みる。

解析モデル 解析には図1に示すような部屋（著者松本の部屋）をモデル化する。図1に示すモデルルームがRC2階建構造（図2）の1階にあった場合と2階にあった場合の比較を行う。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（図3）を1階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とした。（柱、壁、床はいずれも変形せず、倒れる事もないと仮定した。）なお、図1では、手前の2つの壁（N, E）を取り払って表現しているが、解析においては、これらの壁も他の壁と同様に考慮されている。この解析で用いた2階建RC構造物（図2）の固有周期は $T(1次)=0.10\text{ sec.}$ （ただし鉛直方向の固有周期は水平方向の1/10としている）と仮定した³⁾。その他の解析の諸元は表1と表2に示す通りである。

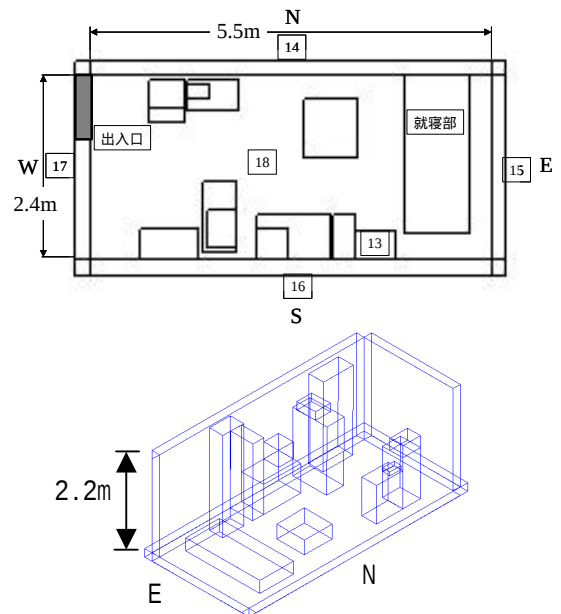


図1 解析モデル

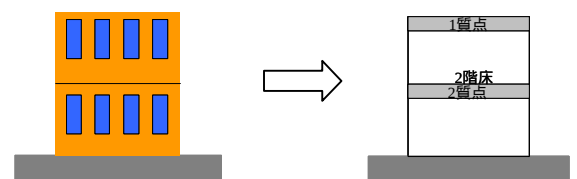


図2 RC2階建モデル

表1 RC2階建モデルの固有周期と減衰定数

次数 i	固有周期 $T(s)$ (EW, NS)	固有周期 $T(s)$ (UD)	減衰定数 h
1	0.10	0.010	0.05
2	0.03	0.003	0.05

表2 モデルルーム内の家具・その他の解析諸元

家具	ベッド	本棚	机	PCモニター	スチールラック	プリンター
プロポジション (cm)	90 × 205 × 30	60 × 30 × 180	100 × 60 × 70	40 × 40 × 40	91 × 46 × 160	50 × 40 × 20
質量 (kg)	150	180	50	15	160	10
密度 (10^{-3}kg/cm^3)	0.27	0.56	0.12	0.23	0.24	0.25
摩擦係数	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

家具	タンス	冷蔵庫	電子レンジ	チェスト	トレイ	こたつ
プロポジション (cm)	80 × 40 × 215	48 × 55 × 120	48 × 36 × 28	70 × 40 × 90	30 × 20 × 10	75 × 75 × 35
質量 (kg)	170	47.5	13.5	50	5	13
密度 (10^{-3}kg/cm^3)	0.25	0.15	0.28	0.20	0.83	0.07
摩擦係数	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

モデル	13 柱	18 床(コンクリート)	14 15 16 17 壁(コンクリート)
プロポジション (cm)	56 × 36 × 220	590 × 280 × 20	550(20) × 10(220) × 240
密度 (10^{-3}kg/cm^3)	2.4	2.4	2.4
摩擦係数	0.50	0.50	0.50

キーワード：家具，個別要素法，人的被害，地震防災，地震動，コンピュータシミュレーション

〒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

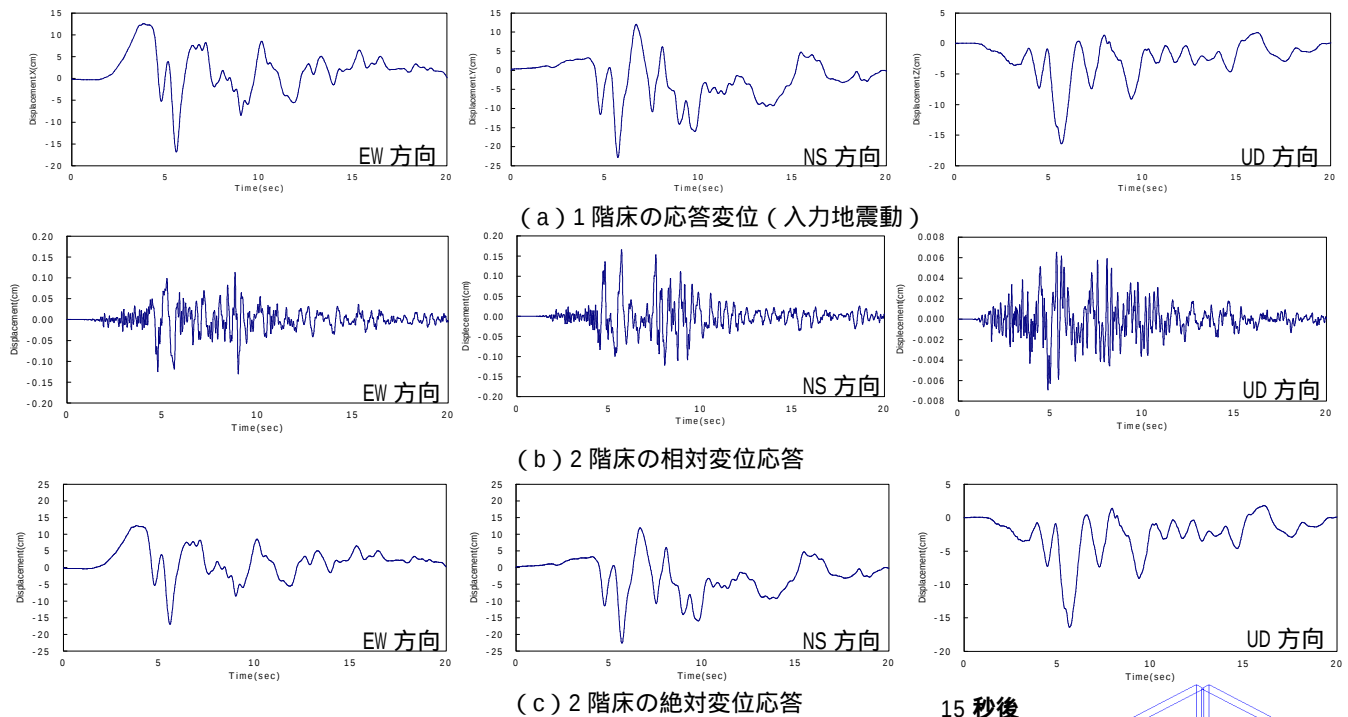


図3 応答解析の結果

解析結果： 図4はモデルルームが2階にあった場合のシミュレーション結果である。図を見ると、この解析の設定条件通りに、床、壁、柱が剛な挙動をすれば、就寝中に家具が居住者に倒れかかり、生命を脅かすような危険性は少ない。しかし、解析終了後のタンス及び冷蔵庫の位置に注目すると、これらがこの部屋の唯一の避難経路と思われる出入り口を完全に塞いでしまっている。救助活動や避難行動が阻害され、被害の拡大に繋がってしまう可能性がある。また、家具の転倒や落下によって、ただでさえ混乱している状態に加えて避難経路が塞がれば、パニック状態に陥る可能性も十分考えられる。よって、このような災害時のパニックを防ぐためにも、家具が転倒しても避難経路が確保できるような配置を事前に考えておく必要がある。今回のシミュレーションにおいて確認された事例から、出入り口の付近の冷蔵庫(電子レンジ)を他の場所に移動をすべきであることが分った。また、冷蔵庫に倒れかかっているタンスも配置を変えるか、もしくは固定するといった手段を取るべきであることも分った(図5)。次に、モデルルームが1階及び2階にあった場合の結果(図4,6)を比較すると、1階にあった場合には2階に比べて家具の転倒・落下・散乱などの被害が少ない事が分った。

おわりに： 本研究では、3次元個別要素法によるシミュレーションを行うことで、次の点が分かった。

1. 事前に被害状況が目の前に突きつけられる事で、この手法が家具の配置に関する意識を高めることができる有効な手段であることが分った。
2. あるモデルルームを例として、家具の転倒現象が人間に及ぼす危険性が認識された。

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，B248, pp496-497, 1998， 3) 川崎市：川崎市地震被害想定調査報告書 近距離地震の追加検討，pp106-115, 1997.3

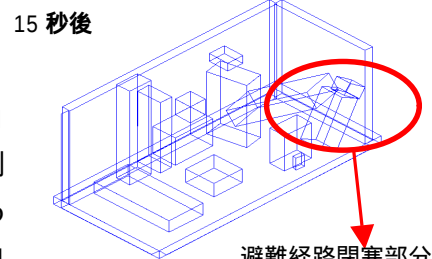


図4 2階部分のシミュレーション結果

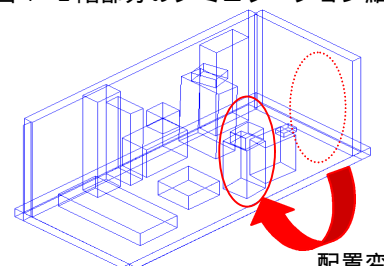


図5 冷蔵庫(電子レンジ)の配置変更後

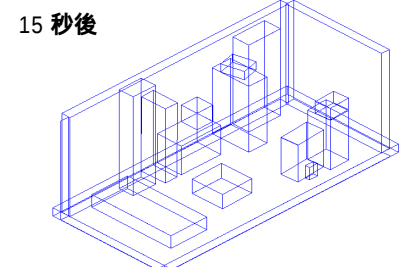


図6 1階部分のシミュレーション結果