

地震時における家具の転倒散乱が引き起こす

室内危険度評価ソフトウェアの開発

Development of the Software to Evaluate Danger inside Dwellings caused by Furniture and Content Falling in an Earthquake

村上 ひとみ¹, ○縄田 光雄¹, 松本 吉弘²Hitomi Murakami¹ and Mitsuo Nawata¹ and Yoshihiro Matsumoto²¹山口大学大学院理工学研究科環境共生工学専攻

Division of Symbiotic Environmental Systems Eng., Graduate School of Science and Eng., Yamaguchi Univ.

²計測技研株式会社

Keisokugiken Corporation.

Falling furniture and content falling during an earthquake causes the human casualties. We made the vulnerability function of furniture on the basis of questionnaire data in South Hyogo earthquake. We proposed method to evaluate degree of risk in each room based on the vulnerability function mentioned above. We developed the danger evaluation software in residential rooms that could calculate and describe the distribution of danger degree for input intensity. By using this software, inhabitant can change layout of furniture and fix it.

Key Words: vulnerability function, dangerous degree, falling furniture, earthquake injury, contents damage

1. はじめに

大地震では、外から被害が見えやすい建造物の被害が目立ちがちである。確かに、建造物の倒壊は人的被害を引き起こす大きな原因となる。しかし、構造上被害の軽微な家屋やアパート・マンションなどの室内被害も重要な問題である。地震時には、人が生活するために室内に持ち込んだ家具や電化製品及び設備機器などが、転倒や散乱及び落下することで、そこに存在している居住者を負傷させる原因となっている。また、このような室内被害は、地震中だけでなく地震後の避難行動の妨げになり、後片付けの際などに負傷する原因ともなる。室内被害を引き起こす物としては、家具の他にも窓ガラスや電灯などがあるが、最も注目すべきは、家具であると考えられる。そこで、家具が引き起こすであろう室内環境の悪化による危険度を事前に評価することが重要となる。

岡田²⁾は予想される室内の危険度をマイクロソーネーションの手法で、評価している。しかし、この方法を用いて危険度を評価するには、住宅のプランの入力・家具の配置・危険度の計算及びコンターマップの表示などに時間がかかりすぎる。そこで、室内危険度をすばやく、簡単に評価できるように室内危険度評価ソフトウェアを開発する必要がある。このソフトウェアを使用することで、パーソナルコンピュータ上に実際の住宅の間取りと配置されている家具を再現でき、入力震度に対する室内危険度がどの程度であるかが分かりやすく表示できるようになる。また、

入力震度を変更することで、震度上昇に伴う室内危険度の変化が見取れる。さらに、家具の配置の変更、家具数の低減、家具の固定をすることによって軽減する室内危険度を表示することで、家具の固定等のメリットを感じ取れる。そして、この室内危険度評価ソフトウェアを使用して得られた出力結果は、評価を行った住居の居住者により安全性の高いライフスタイルを送ってもらえるように、家具の配置の変更や家具の固定を提案する際の大きな手助けになると考えられる。

本研究では、まず1995年兵庫県南部地震時のアンケートデータを元にして家具の被害関数を作成する。そして、その被害関数を用いた新たな室内危険度評価手法を提案すると共にパーソナルコンピュータ上において簡易に室内危険度評価を行うことの出来るソフトウェアの開発を行う。

2. 室内被害と負傷の関係

ここでは、「1995年1月17日兵庫県南部地震に関するアンケート調査」(1997)²⁾のデータを使用して室内被害と負傷の関係を見定める。このアンケート調査は、竹内(大阪工大)他によって、1995年5月に行われており、質問項目は、地震発生時の住所、自宅の揺れの程度、自宅周辺の地震による被害、地震時の行動、避難、家族の消息、職場の被害、復興の対応等である。調査の対象者は、大阪工業大学・摂南大学・大阪工業大学短期大学部(教職員・学

生)、兵庫県建築士会会員、神戸大学(同窓会会員)の計1471名である。回収数は703通であり、回収率47.8%であった。

このアンケート調査結果を用いて分析を行うと回答者とその家族を含め2333人中、死傷者は201人(8.6%)であった。死傷者の負傷原因をまとめたものが表1である。この表から、軽症者の約80%が家具の転倒及び落下物やガラス等の室内被害が原因で生じている。死者や重症者は、半数が家屋倒壊を原因として生じているが、家具の転倒等の室内被害が原因となっている人も存在することが分かる。

表1 死傷者の主な原因(人)

	家屋倒壊	家具転倒・落下物	ガラス	計
軽症	18(9.7%)	86(46.5%)	65(35.1%)	185
重症	5(50.0%)	3(30.0%)	2(20.0%)	10
死亡	3(50.0%)	1(16.7%)	0(0%)	6

(複数回答あり)

表2は、家具転倒や落下物またはガラスの破損により負傷した人を負傷した時期別に分けたものである。これより、家具の転倒や落下物が原因である負傷は、地震の揺れの最中や直後に発生しているが、ガラスの破損が原因である負傷は、地震直後から避難や後片付けの際に集中していることが分かる。これより、同じ室内被害であっても負傷する時期が違うことが判明した。本研究では、家具が引き起こす室内被害の危険度を評価するが、この結果から本研究における危険度とは、地震の揺れの最中から直後の危険度を評価することであり、地震後の避難行動や後片付けの際の危険度を評価するものではない。

表2 負傷時期(%)

	揺れ最中	揺れ直後	避難最中	後片付け
家具・落下物	87.6	12.4	0	0
ガラス	13.4	58.2	10.4	22.4

図1は、家具の被害レベル別の負傷者有り世帯率を示している。この図より、「転倒」や「飛んだ」のように家具の被害レベルが高いと負傷者の発生する世帯も増加することが分かる。ただし、家具の被害レベルとしては、家具がずれることの方が、内容物が散乱することより高いと考えられるが、負傷に対する影響は、家具がずれることよりも内容物が散乱する方が大きいため、家具の被害レベルが上がっても負傷世帯率は、逆に下がっていると考えられる。また、冷蔵庫の被害レベルが「転倒」や「飛んだ」の場合に負傷世帯率が最も高くなっている。冷蔵庫は、モーターなどの重量物が下にあり重心が低くなるために震度が高くなっても倒れにくいという特徴がある。つまり、冷蔵庫が倒れるような被害であるということは、非常に揺れが強かったということであり、負傷世帯率が高くなったと考えられる。

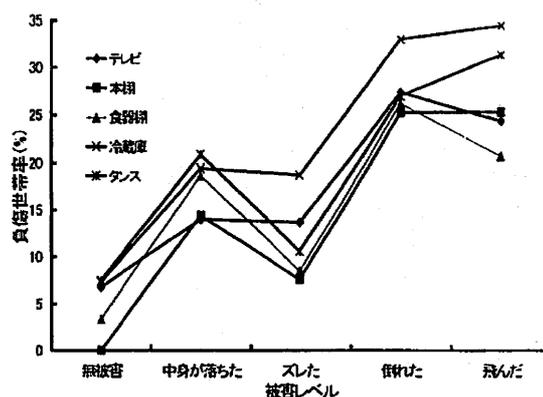


図1 家具被害レベル別負傷世帯率

3. 家具の被害関数

2章で使用したアンケート調査では、テレビ、本棚、食器棚、冷蔵庫、タンスの5種類の家具の被害について「無被害」「ずれた」「中身が落ちた」「倒れた」「飛んだ」の各被害レベルを質問している。また、各調査世帯の町丁目の震度を「在来震度一覧表(高田・他)」³⁾及び「改定震度一覧表(太田・小山)」⁴⁾に記載されている住所と照合して取得した。なお、改定震度の震度を優先とした。

この震度と家具の被害レベルの関係をまとめ、家具の被害関数を作成する。家具被害関数のパラメータが家具種別、被害レベルごとに異なるのでは、式が複雑で利用しにくくなると思われる。そこで、家具ごとに標準偏差を一定と仮定し、被害レベルのカテゴリーを独立変数とみなして数値化一類による家具被害関数を算出する。関数形としては、以下に示す正規分布関数を仮定する。

$$V(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^I \exp\left[-\frac{(I' - I_0)^2}{2\sigma^2}\right] dI' \quad (1)$$

ここに、 I_0 : 平均震度、 σ : 標準偏差

数値化一類により求めた各家具の被害レベルの平均震度と標準偏差を表3に示す。また、本棚の被害関数を図2に示す。なお、家具の被害関数の作成については文献5に詳しい。

表3 家具別被害関数の平均震度と標準偏差

		物が落ちる	ずれる	倒れる	飛ぶ
		テレビ	I_0	4.33	5.00
	σ	1.25			
本棚	I_0	4.00	5.19	5.72	8.30
	σ	1.49			
食器棚	I_0	3.91	5.97	6.50	8.32
	σ	1.47			
冷蔵庫	I_0	4.79	5.60	7.32	8.10
	σ	1.28			
タンス	I_0	4.86	5.18	6.11	7.64
	σ	1.06			

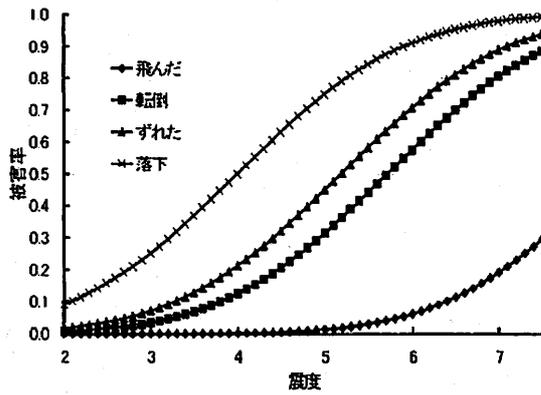


図2 本棚の被害関数

4. 危険度評価手法の提案

ここでは、室内危険度評価ソフトウェアで使用する室内危険度の評価手法を提案する。なお、本研究では2種類の室内危険度を考える。一方は家具の転倒危険度であり、他方は家具の転倒散乱危険度である。前者は、家具の転倒の被害のみを考慮する危険度である。家具が転倒することにより人体に直撃すると負傷する可能性が大きく、負傷の度合いも大きくなると考えられる。そのため、最も負傷に直結した危険度と言える。ただし、転倒しか考慮しないので、1つの家具が及ぼす危険度の範囲は狭くなる。また、転倒被害は高震度領域で起きるため、低震度での危険度評価ではあまり意味がない。後者は、家具の転倒に加えて内容物の散乱を考慮する危険度である。家具の内容物の散乱を考慮するため、転倒散乱危険度の分布は転倒危険度と比較して広がる。また、散乱被害が低震度領域から生じるため低震度から高震度までの危険度評価をすることが出来る。また、従来から部屋の散乱レベルと負傷率の関係は、調査されている。そこで、散乱レベルと転倒散乱危険度の分布を比較することで転倒散乱危険度と負傷率の関係が導き出せると考えられる。

4.1. 危険度評価式

室内危険度の評価対象を単位区画 x_{ij} に分割する。そして、単位区画 x_{ij} における家具転倒危険度 $D_A(x_{ij})$ と家具転倒散乱危険度 $D_B(x_{ij})$ をそれぞれ式(2)、(3)のように定義する。

$$D_A(x_{ij}) = \Pr \left(\bigcup_{k=1}^l A_k \right) \quad (2)$$

$$D_B(x_{ij}) = \Pr \left(\bigcup_{k=1}^l (A_k \cup B_k) \right) \quad (3)$$

ここに、 A_k : 単位区画 x_{ij} に家具 k が転倒の影響を与える事象、 B_k : 単位区画 x_{ij} に家具 k が散乱の影響を与える事象、 l : 単位区画 x_{ij} に影響を及ぼす家具数

つまり、家具転倒危険度は、対象となるメッシュに被害を及ぼす家具の転倒確率を確率和として計算した値である。家具散乱危険度も同様に、対象となるメッシュに被害を及ぼす家具の散乱確率と転倒確率を確率和として計算していく。転倒散乱危険度の計算において、転倒確率を使用する理由は、家具の内容物の散乱は、家具が転倒した時と転倒しない時とで散乱の範囲が異なるためである。つまり、転倒に伴う家具の内容物の散乱確率は、その家具の転倒確率と等しくなる。また、確率和であるため両危険度の値は、0から1の範囲をとる。

なお、本研究で使用する家具の転倒確率と散乱確率は、3章で作成した家具の被害関数を使用して算出する。各家具の転倒の被害関数を転倒確率として、落下の被害関数を散乱確率として使用する。

4.2. 転倒及び散乱範囲

家具の転倒及び内容物の散乱被害が影響を与える範囲は、図3で与えられる。なお、図中の r は式(4)によって求まる。家具の転倒危険度では、各家具がとる転倒被害は、設置している場所からそのまま前面に転倒した範囲にしか影響を及ぼさないとする。散乱危険度の場合は、家具が転倒した時としないときでは、影響を及ぼす範囲が異なる。

また、散乱危険度算定のイメージを図4に示す。転倒散乱危険度は、同じ震度に対して転倒する場合としない場合の散乱範囲と散乱確率が存在する。両者の重なる範囲は、それぞれの確率和をとることになる。

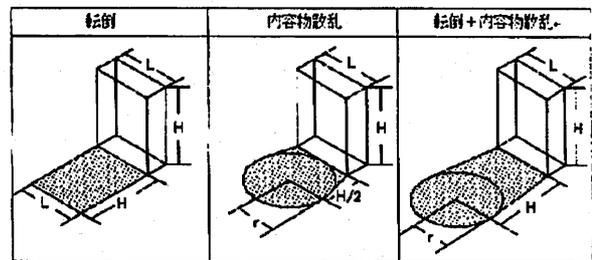


図3 転倒・散乱範囲⁶⁾

$$r = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{H}{2}\right)^2} \quad (4)$$

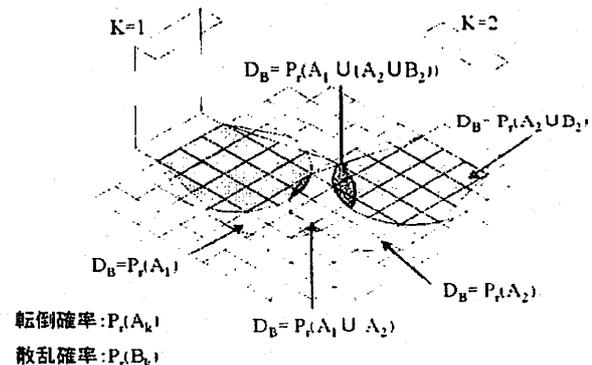


図4 散乱危険度算出のイメージ

5. 室内危険度評価ソフトウェアの開発

室内危険度評価ソフトウェアは、VisualBasic (Microsoft 社製) を使用して開発を行った。このソフトウェア利用の流れを図5に示す。また、本ソフトウェアの表示画面を図6に示す。

室内危険度評価を行う手順としては、まず、住居の間取りを入力する。間取りの入力は、画面上に壁を配置していくことで行う。家具の配置は、入力する際に家具の種類や寸法、方向などを選び配置していく。そして、入力震度に対する室内危険度は3章で提案した手法を用いて算出される。その出力結果は、各メッシュに色分けして表示される。震度を変化させることで、震度の上昇に伴い危険度の値が上昇していく様子が分かり(図7)、家具の削除や配置変更によって、室内危険度が軽減する様子が分かる。さらに、メッシュサイズを変更することや、部屋の設定をすることでより狭い範囲の危険度を算出できる。

このソフトウェアは、操作を簡単にするために極力マウス操作のみで処理出来るようにしている。ただし、2次元で作成しているため家具の高さは手動入力となる。

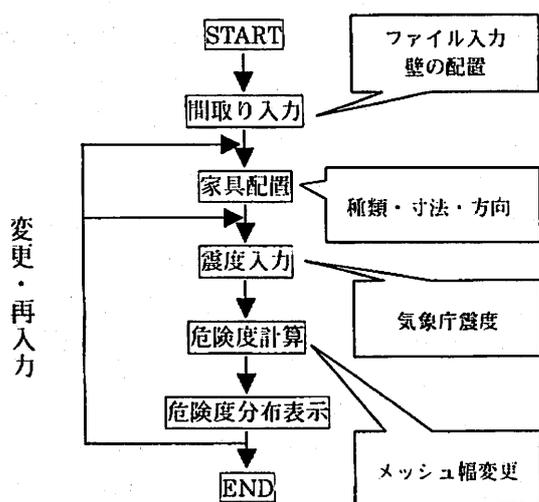


図5 ソフトウェア利用の流れ

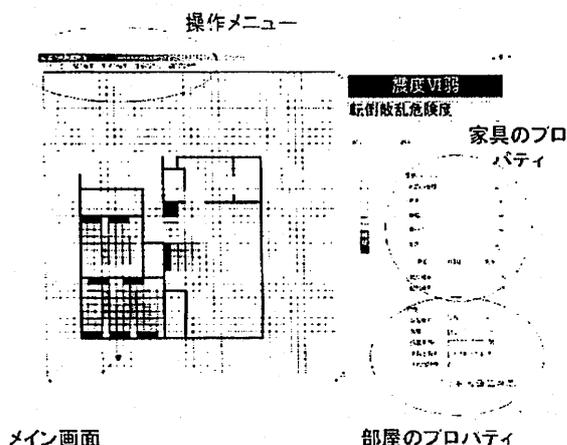


図6 室内危険度評価ソフトウェアの表示画面

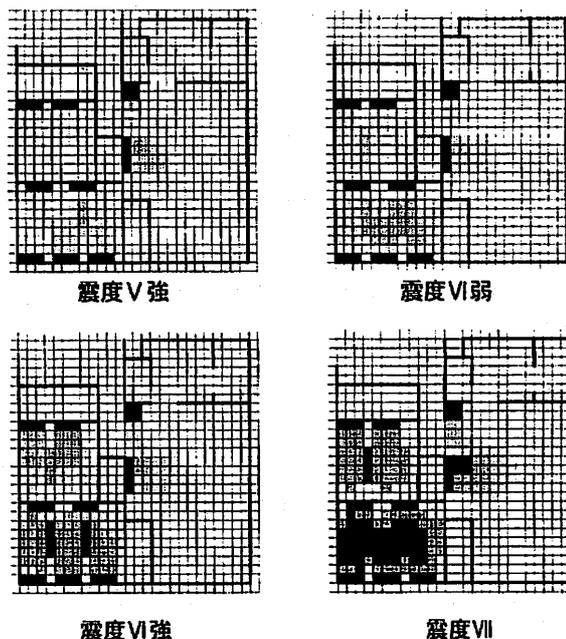


図7 震度上昇に伴う転倒散乱危険度の変化

6. おわりに

本研究では、地震時に家具が引き起こす室内危険度を評価するため、家具の被害関数を兵庫県南部地震時のアンケートデータから作成し、その被害関数を使用した室内危険度の評価手法を提案した。そして、室内危険度を分かりやすく容易に評価出来るように室内危険度評価ソフトウェアを開発した。今後、このソフトウェアを使用して得られた結果と実際の被害データの比較検討を行う必要がある。また、得られた室内危険度評価結果を保存及び統計処理し、その結果が表示できるようにする必要もある。

参考文献

- 1) 岡田成幸：地震時の室内変容に伴う人的被害危険度評価に関する研究、その1 居住空間危険度マイクロゾーニングの提案、日本建築学会構造系論文報告集、454、pp.39-49、1993。
- 2) 竹内吉弘・尾崎昌弘：3.揺れの体感の検討(追加アンケート調査による)、兵庫県南部地震に関する日本建築学会近畿支部所属会員アンケート調査第3次集計結果、日本建築学会近畿支部、1997
- 3) 神戸大学兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ：兵庫県南部地震に関するアンケート調査一集計結果報告書一、神戸大学工学部建設学科土木系教室耐震工学研究室、259-308、1996
- 4) 太田裕・小山貞紀・中川康一：アンケート震度算定法の改訂一高震度領域一、自然災害科学 16-4 307-323、1998
- 5) 松本吉弘：兵庫県南部地震アンケートデータに基づく家具被害関数の提案、山口大学工学部知能情報システム工学科卒業論文、2000
- 6) 鈴木有、高山 誠、後藤正美：地震時の家具被害による居住空間の被災予測、日本建築学会北陸支部研究報告集、35、pp.21-28、1992。