

機関番号：24402

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20700578

研究課題名 (和文) 地震時の住宅内における負傷危険度評価手法の研究

研究課題名 (英文) Study of Injury Risk Evaluation in Homes during Earthquakes

研究代表者

生田 英輔 (IKUTA EISUKE)

大阪市立大学・大学院生活科学研究科・助教

研究者番号：50419678

研究成果の概要 (和文)：阪神・淡路大震災における調査から、倒壊を免れた家屋内でも、家具転倒等による負傷者が発生している。このような被害を防止するために、その危険度を定量的に評価する手法を開発した。大腿骨骨折に焦点を当て、実験とシミュレーションによる危険度評価を試行した。実験に関しては、より現実に近い環境を想定し、多様な条件下での家具転倒実験を実施した。また、実際の被災状況を想定するため、アンケートを実施し、防災意識や家具の状況を把握した。

研究成果の概要 (英文)：According to the investigation in Hanshin-Awaji great earthquake disaster, the injured person by overturning furniture occurred even in the house which was not collapsed.

I developed technique to evaluate the degree of risk quantitatively to prevent such casualty. I focused on a thighbone bone fracture and tried a degree of risk evaluation by an experiment and the simulation. About the experiment, I assumed near environment more practically and, carried out the furniture fall experiment under a variety of conditions. In addition, I carried out a questionnaire to assume the afflicted situation and assess the situation of disaster prevention awareness and the furniture conditions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：地震、負傷危険度、家具転倒

1. 研究開始当初の背景

建築基準法の改正、耐震改修の促進に関する法律の施行などにより、わが国の建築物は世界的にもトップクラスの耐震化が進み、頻発する地震に対しても一応の成果を挙げている。一方、どんなに耐震化された建物でも、

その室内においては固定されていない家具の転倒により人的被害が発生する事も事実である。具体的な例を示すと、研究代表者らの阪神・淡路大震災における人的被害調査から、死者の殆どは家屋を原因とするのに対し、入院を伴う負傷者は家屋と家具による負傷

が同程度であり、とくに鉄筋コンクリート構造など堅牢建物の集合住宅で家具による負傷が多いことが明らかとなった。負傷内容としては、骨盤や大腿骨の骨折が典型であった。今世紀中の発生が懸念される南海・東南海地震においては、近年大量に供給されている高層の集合住宅において揺れが増幅する可能性が高く、家具の転倒による人的被害が多発することは容易に想像できる。この種の被災地が広範囲にわたり、津波や大規模火災を伴う地震では転倒家具による大腿骨骨折などで避難が出来ない状況は致命的であり、死者低減対策と同様に負傷者低減対策も重要である。

負傷者低減を目指すうえで、その発生メカニズムの解明は必須であるが、どのような種類の家具によって、どのような状況下で負傷が発生したかといった事には未解明の部分が多い。また性別・年齢と負傷内容・程度の関係など明らかにすべき課題は多い。

2. 研究の目的

本研究では、地震時の住宅内における典型的な負傷発生要因として、転倒家具による負傷を定量的に評価できるようコンピュータシミュレーションを用い、居住環境の条件（家具の種類・配置・寝具・床材など）および人体モデルの生理的指標（年齢・性別に伴う骨密度の違いや姿勢・負傷部位など）を変化させ、それぞれの条件下での負傷シミュレーションを行う。そこで得られた知見から、より安全な居住環境を見出すとともに、幼児や高齢者など災害弱者となりうる人々に対するより効果的な防災対策を提案する事を目的としている。

3. 研究の方法

はじめに、阪神・淡路大震災で典型であった大腿骨の骨折シミュレーションを行うが、その前段階としてシミュレーション用モデルの開発も行う。

次にシミュレーションと同様に、大腿骨骨折を想定し、人体模型を用いた家具転倒実験を実施する。

これらの結果から、転倒家具による負傷メカニズムと危険度を明らかにする。

また、実際の被災状況を想定するため、高齢者や若年者に、防災への意識や家具の状況に関するアンケートを実施する。

4. 研究成果

(1) シミュレーション

はじめに大腿骨表面形状デジタルデータを入手した。このデータ形式のままでは、有限要素解析には使用できないため、プログラムにより各節点の座標データの再配列し、有限要素解析において使用できるモデルへと変

換した。骨の物性に関しては、本研究で使用するモデルは表面形状のみであるが、人骨は表面に皮質骨、内部に海綿骨という構成になっている。本来はモデルにおいても内部に要素を構築する必要があるが、人骨ではその強度の殆どは皮質骨によるものであり、モデルにおいても表面形状の要素のみで、皮質骨と同等の強度を持たせることとした。

阪神・淡路大震災においては仰臥姿勢で就寝中に、大腿部に家具が転倒し骨折に至ったという例が典型であると考えられるので、大腿骨モデルを被衝突体として水平に配置し、両端を支持固定する。つぎに衝突体として大腿骨モデルの上方直近に落下物モデルを配置する。このモデルには家具と同等の質量、および解析時間の短縮のため事前の計算による転倒速度を与え、計算を行った。

しかしながら、解析条件の設定に不備があり、想定していた応力の発生状況を再現するには至らなかった。様々に設定を更新し、解析を行ったが、結果を得るには至らなかった。

(2) 実験

実験に関しては、市販品の家具を使用し、家具の種別毎に、危険度評価を実施した。

① 大腿部モデル

本研究で使用した大腿部モデルの形状は、より生体に忠実なモデルを目指し、実際に人体（日本人、男性、22歳）の大腿部（左脚）から型取りを行った。このモデルは図1にしめすとおりで、表面は皮膚としてネオプレンゴム、筋肉としてシリコンゴムおよび骨として内側に配置された模擬骨から構成されている。

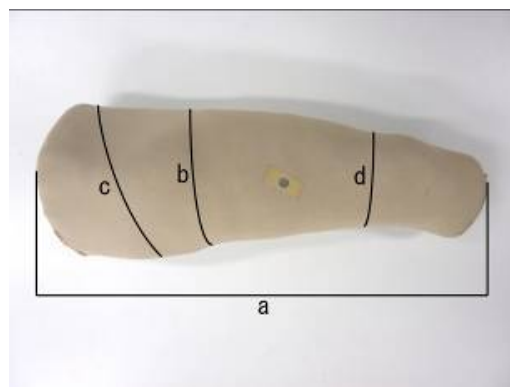


図1 大腿部モデル

模型の膝側背面部には大腿骨にかかる加速度が直接計測できるよう加速度計を挿入するための穴があり、大腿骨に接するように加速度計が設置されている。計測された値は、データロガーに集積される。測定周波数は1.0kHzであり、三軸方向の加速度を計測した。

② 実験方法

兵庫県南部地震は早朝に発生したため、負傷者の多くが就寝中であつたと考えられる。そ

ここで、本研究では仰臥姿勢で床に布団を敷いた状態で就寝中に、周辺の家具が転倒または落下してきたとの想定で、実験を行った。家具の転倒または落下は、とくに振動の特性などは考慮せず、人の手によって行っている。実験の概要を図2に示す。

実験に用いた家具は表3に示すとおりで、タンス2種、冷蔵庫、本棚、PCディスプレイ、食器棚である。測定は10回実施し、内容物などを変化させた。また大腿部モデルと衝突家具の距離は、家具のサイズを考慮し適宜調整している。なお、一部の衝突実験では家具が破損し、同条件で複数回の計測ができなかった。

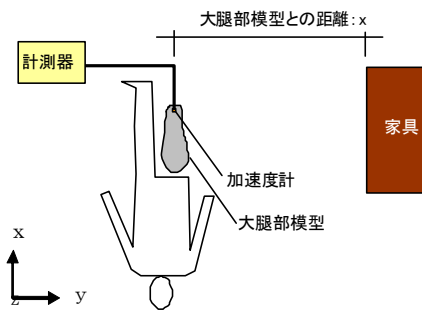


図2 実験概要

表1 実験に使用した家具

測定番号	衝突家具	家具の内容物	モデルからの距離[mm]	家具総重量[kg]	家具寸法 W×D×H
1	タンス①	なし	1200*	39	1193×590×1855
2					
3					
4					
5	タンス②	おもり (100[kg])	650*	128	900×560×1830
6	冷蔵庫	なし	1000*	60	600×585×1740
7	本棚	本 (129[kg])	1000*	180	1200×450×1800
8	PCディスプレイ	なし	1000 (落下高さ)	18	420×500×450
9	食器棚	食器 (46[kg])	1000*	92	830×440×1780
10					

*モデルと転倒軸間との距離

③実験結果

三軸方向で計測された加速度を平均した値を表2に示す。

表2 実験結果

測定番号	衝突家具	加速度 [m/s ²]	備考
1	タンス①	167.93	タンス上部分のみ転倒衝突 大腿部モデルの上下に毛布掛 (2つ折)
2		293.06	タンス上部分のみ転倒衝突 大腿部モデルの下に毛布掛 (2つ折)
3		186.56	タンス上部分のみ転倒衝突 大腿部モデルの上下に毛布掛 (2つ折)
4		456.61	タンス上部分のみ転倒衝突 大腿部モデルの下に毛布掛 (2つ折)
5	タンス②	320.59	タンス①の下部のみが転倒衝突
6	冷蔵庫	436.57	-
7	本棚	166.58	-
8	PC	784.71	ディスプレイは落下衝突
9	ディスプレイ	264.68	衝突して外殻破損
10	食器棚	456.02	-

計測された加速度から大腿部内部にかかる衝撃を計算する。衝撃の計算には以下の式[1][2]を用いている。はじめに、計測された加速度曲線から[1]を用いて衝撃力曲線 F(t) を求める。次に[2]で衝撃力曲線をおもりの衝突時間内で積分し、衝突時間で除すことで大腿部模型にかかる衝撃力を平均化した平均の力を求める。

$$F(t) = \alpha(t) \cdot (M + m) / 1000 \quad [1]$$

F(t) : 衝撃力[kN], $\alpha(t)$: 3軸合計加速度[m/s²],
M : 家具重量[kg], m : 大腿部模型重量[kg]

$$\bar{F} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (F(t) \cdot \Delta t)}{\Delta T} \quad [kN] \quad [2]$$

\bar{F} : 平均の力[kN], Δt :測定時間[s], ΔT : 衝突時間[s],
t1: 衝突開始時間[s], t2: 衝突終了時間[s]

④骨折危険度評価

各回の平均衝撃力を松井ら(2004)の大腿骨骨折リスク曲線に当てはめ、大腿骨骨折の発生確率を求め、危険度評価を行った。発生確率は表3に示すとおりで、0.0%~99.9%と幅広い値が算出された。

表3 骨折危険度評価

測定番号	転倒家具	平均衝撃力 [kN]	発生確率[%]
1	タンス①	5.6	0.4
2		9.3	42.3
3		5.0	0.2
4		13.6	99.9
5	タンス②+100kgおもり	17.2	99.9
6	冷蔵庫(空)	10.1	73.5
7	本棚+本1列入	4.5	0.1
8	PCディスプレイ	11.1	95.0
9		3.4	0.0
10	食器棚+食器46kg	21.0	99.9

⑤考察

タンス①では、測定番号1、3では、モデルを毛布で覆い、測定番号2、4では、モデル下部に毛布を敷いただけであるが、危険度評価に大きな差があり、毛布の有無が骨折危険度に大きく影響するといえる。

タンス②は上下に分離したため下部のみが衝突した。高さは800mmと他の家具に比べて低いものであるが、内容物が大きいので、ほぼ大腿骨骨折は免れないという結果となった。高さが低くても重量のある家具には注意が必要であるといえる。

冷蔵庫では空の状態転倒実験を行ったが、骨折の発生確率は73.5%となり危険度は高い。内容物が入るとさらに危険度は高まると考えられる。

本棚の転倒実験では他の家具転倒実験で得

られた加速度の波形と異なる波形の加速度が計測された。これは、本棚本体が衝突する前に内容物である本が先行してモデルに衝突したためである。また、冷蔵庫と比較して総重量の重い本棚が衝撃加速度が低くなっている原因としては、飛び出した本が衝撃緩和の役割を果たしと考えられる。よって今回の実験では本の重量は大腿部にかかっているとは想定せず、本棚自体の重量 (51.0kg) が大腿部にかかるものとして衝撃力を計測した結果、大腿骨骨折の発生確率は 0.1% と非常に低い値であった。

食器棚に関してはタンス②の実験同様、大腿骨骨折発生確率は 99.9% であり、骨折はほぼ免れないという結果であった。加えて、食器棚の転倒時には割れてガラスや食器が飛散する様子がみられ、骨折以外にも外傷の危険が非常に高いと考えられる。食器棚の直近で就寝するケースは少ないと考えられるが、人的被害低減の為に食器棚の転倒・飛散防止対策は重要であるといえる。

以上の 10 回の計測で得られた結果をまとめると、図 3 へ示すとおりとなる。x 軸を家具総重量、y 軸を骨折発生確率とし、「A 群：タンス上部のみ転倒衝突実験。大腿部模型の上下に二つ折り毛布掛け。(測定番号 1、3)」、「B 群：本棚衝突実験。(測定番号 7)」および「C 群：その他の家具の衝突実験。(測定番号 2、4、5、6、10)」の三群に分けて比較した。なお、自由落下となる「PC ディスプレイ衝突実験。(測定番号 8、9)」は除いている。A 群：タンス上部の場合は、同種の家具と比較しても著しく骨折発生確率が低く、モデルと家具の間に毛布が存在することによる緩衝効果が明らかになった。また、B 群：本棚では、家具総重量は他の家具と比較してもかなり大きい、内容物である本による緩衝効果から、骨折発生確率が著しく低いことが明らかになった。一方で、C 群：その他の家具では、家具総重量が増加すると骨折発生確率も相関して増加する傾向が見られ、家具総重量と骨折発生確率の関係が明らかになった。

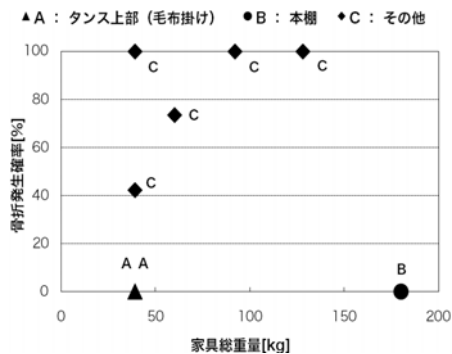


図 3 家具総重量と骨折発生確率

(3) アンケート調査

①集合住宅における家具配置状況調査

19~23 歳の男女 13 人を対象に、現在居住している住宅、間取り、家具について調査を行った。高層マンション (6 階~19 階建て) に居住している人が全体の 54% と最も多く、次いで低層マンション (3 階建て以下) と中層マンション (4・5 階建て) が同じ割合で 23% を占めていた。一方、部屋の位置は一般的に低層階と呼ばれる 1 階~3 階に居住している人が最も多く、全体の 46% を占め、次いで中層階と呼ばれる 4・5 階に居住している人が 31%、高層階と呼ばれる 6 階以上に居住している人は 23% と最も少なかった。

一人が部屋の中に置いている家具の数は、平均 6.9 個。全体で 20 種類のものが挙がり、そのうち所持率が高い家具は、棚、ベッド、テーブル、クローゼット、PC デスクの 5 種であった。この 5 種の寸法 (幅・奥行き・高さ) の平均値、材質、主な内容物を表 2 に示す。13 人の家具の合計は 86 個。その家具全体での材質の割合は木製が 53 個と最も多く全体の 62% を占めていた。家具に転倒防止策を施している人は 13 人中 1 人であった。

表 4 寸法の平均値、材質、主な内容物

名称	幅 (mm)	奥行き (mm)	高さ (mm)	材質	内容物
棚	966	348	836	木、スチール	本・雑誌・服・TV・DVD・コンボ
ベッド	1005	2000	455	木、アルミ	布団・衣類
テーブル	925	625	377	木、スチール	
クローゼット	1146	585	1860	木	衣類・教科書
PC デスク	1085	537	647	木、スチール	PC・筆記用具

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

① 生田英輔、上西亮、宮野道雄、長嶋文雄、梶原浩一、地震時の人体被災度計測手法の開発—大腿部モデルの開発と家具衝突実験—、査読有、地域安全学会論文集、No. 14、2011、pp. 1-6

〔学会発表〕 (計 4 件)

① Eisuke Ikuta, Ryo Uenishi, Michio Miyano, Fumio Nagashima: Experimental Study on Femoral Fracture due to Overturning of Furniture in Seismic, Mizunami International Symposium on Earthquake Casualties and Health Consequences, 2010.11.16, Mizunami city (Gifu, Japan)

② 上西亮、生田英輔、宮野道雄、梶原浩一: 大腿部模型を用いた地震時の家具転倒による大腿骨骨折の危険性評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2 分

冊、2010.9.25、富山大学（富山県富山市）、
pp.861-862

③Eisuke Ikuta、Ryo Uenishi、 Michio Miyano、Fumio Nagashima、Evaluation of Femur Fracture due to Furniture Overturning in Seismic、14th European Conference on Earthquake Engineering、2010.8.30、Ohrid (Republic of Macedonia)、P939

④上西亮、生田英輔、宮野道雄、梶原浩一：大腿部模型を用いた家具転倒による大腿骨骨折の危険性評価に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集第50号・構造系、2010.6.20、大阪工業技術専門学校（大阪府大阪市）、pp.149-152

6. 研究組織

(1) 研究代表者

生田 英輔 (IKUTA EISUKE)

大阪市立大学・大学院生活科学研究科・助教

研究者番号：50419678

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし