

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—

Study on Measurement Way of the Human Body Damage Caused by Earthquake
- Dummy Development and Crash Experiment of Femur Fracture -

生田 英輔¹, 上西 亮¹, 宮野 道雄², 長嶋 文雄³, 梶原 浩一⁴

Eisuke IKUTA¹, Ryo Uenishi¹, Michio MIYANO²,
Fumio NAGASHIMA³ and Kouichi KAJIWARA⁴

¹ 大阪市立大学大学院 生活科学研究科

Graduate School of Human Life Science, Osaka City University

² 大阪市立大学

Osaka City University

³ 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科

Graduate School of Urban Environmental Science, Tokyo Metropolitan University

⁴ 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター

Hyogo Earthquake Engineering Research Center, NIED

It was clarified that the typical injured case was femur fracture according to the casualty survey after Hyogoken-Nambu earthquake. Some of the injured person were happened in on-damaged buildings. This indicates the importance of elucidating the mechanism of injury in order to consider ways of reducing human suffering during earthquakes. In this study, we developed a thigh model which is made of silicon and a mock bone and includes an acceleration meter. We made an experiment that furniture crash test and evaluated a risk of femur fracture.

Keywords: earthquake, casualty, dummy, furniture overturning, femur fracture

1. はじめに

地震時の人的被害に関しては、その地震の被害規模が死者数で表現されることもあり、死者数が大きく報道され印象に残ることが多い。しかしながら、外傷性に限定しても、死亡のほかにかすり傷程度の軽傷から中等傷、入院・加療が必要な重傷まで人的被害は多岐にわたり、様々な要因・部位・内容の負傷者が発生している。地震時の人的被害低減を考える上で死者数を低減することは最も優先されるべき課題ではあるが、死者と負傷者の発生メカニズムは紙一重であり、負傷者の低減も重要な課題であるといえる。

生田ら(2005)による1995年の兵庫県南部地震による人的被害データベースの分析¹⁾から、死者は胸部圧迫による窒息死が典型的であるのに対し、重傷者は大腿骨あるいは骨盤骨折が多いことが明らかになっている。さらに、それらの被害の原因である成傷器は、死者ではほとんどが家屋であるのに対し、重傷者では家屋と家具が同程度であった。地震発生時刻を考慮すると、家屋や家具による死傷者の大部分が、室内で横になっている姿勢(仰臥姿勢)で被害にあったことが推察できる。また、死者に関しては被害の大きかった非堅牢建物での発生が多かったのに対し、重傷者は比較的被害の小さい、あるいは無被害の堅牢建物での発生が報告されている。

今後の発生が確実視されている長周期成分を含む地震

動では、高層建築物、免震構造建物にて数十センチから数メートルの変位が長時間に渡って継続することが予測される。このような地震動が入力する高層建物の居室内では、家具等による人的被害の発生が懸念されており、その低減対策は喫緊の課題となっている。

このような状況を踏まえ、家屋部材落下時や家具転倒時にどの程度の荷重や衝撃が人体にかかり、どのような傷害が発生するのかを、実験により定量的に評価するための手法が必要とされている。死者の典型である、胸部圧迫に関しては既に宮野ら(2008)によって、胸部圧迫実験用ダミーが開発²⁾されているが、大腿部に関しては生田ら(2008)による簡易な大腿部モデルの開発³⁾が行われているものの、より人体に忠実に再現したモデルは開発されていない。

そこで本研究では、人体に忠実な大腿部モデルの開発およびモデルへの家具転倒実験を実施し、大腿骨骨折危険度の評価を行った。家具の種類や内容物が骨折危険度へ及ぼす影響を定量的に評価することを目的としている。

2. 地震時の重傷者発生機序

(1) 兵庫県南部地震による重傷者

兵庫県南部地震による重傷者の受傷部位¹⁾を表1に示す。受傷部位は全身に及ぶが、とくに骨盤や下肢とい

った部分がやや多い。四肢の外傷のうち64%が骨折であり³⁾、転倒家具などにより下肢を骨折した例が多かったといえる。また、下肢の負傷者のうち一部には死亡に至った例がある。これは重量物で下肢を圧迫されたことにより、挫滅症候群を発生した可能性が指摘されている。一方で兵庫県南部地震で注目された挫滅症候群の症例における受傷部位は、下肢が84.4%³⁾となっており、下肢への家具転倒や圧迫を防止することは防災対策上非常に重要であるといえる。

表1 重傷者の受傷部位

頭部	72	9.3%	骨盤	148	19.1%
頭頸部	13	1.7%	上肢	77	9.9%
胸部	102	13.2%	下肢	151	19.5%
体幹部	116	15.0%	不詳	5	0.6%
腰椎	90	11.6%	計	774	100.0%

(2) 大腿骨骨折

高齢社会を迎えたわが国では大腿骨骨折は、高齢者の転倒事故の増加に伴って、憂慮すべき状況になっている。大腿骨骨折によって、入院を余儀なくされ、退院後寝たきりになってしまう症例が多いからである。とくに強度の低い海綿質が露出する、近位部（頸部・転子部）での骨折が高齢者には多く、転倒事故の予防が重要視されている。一方で、骨幹部と呼ばれる大腿骨中央での骨折は、若年者の交通事故や労働災害での直達外力により発生する症例が多い。大腿部に対して垂直方向からの衝撃で骨折に至る。いずれの症例でも大腿骨骨折は入院加療が必要とされ、その機序の解明が期されている。

被災状況を想定すると同時に大腿骨骨折は、自力避難を困難にさせるという点で、火災や津波を伴う地震災害時には看過できない負傷であり、大腿部に転倒家具が衝突し、大腿骨骨幹部を骨折するという状況を本研究では評価対象とした。

3. 大腿部モデルの開発

(1) 大腿部の構造⁴⁾

人体の下肢のうち、膝より上部は大腿部と呼ばれ、他部位と同様に筋肉と骨などから構成されている。

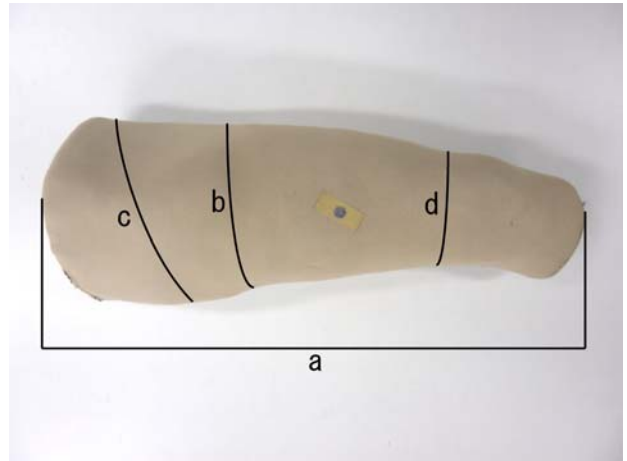
大腿骨は身体の骨のなかで、最も長く、重く、丈夫な骨であり、身体上部から軟骨で股関節と連結する大腿骨頭、突起部である大転子・小転子、大部分を占める大腿骨体、そして外側顆・内側顆を経て軟骨で膝関節へと連結されている。骨は表面から緻密質、海綿質などで構成され栄養動脈など血管も骨内部に存在する。

筋は内転筋などの内側大腿区画、大腿四頭筋などの前大腿区画、大腿二頭筋などの後大腿区画の三種に分けられ、屈曲・伸展の役割を担っている。

(2) 大腿部モデルの形状

本研究で開発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、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。大腿部モデルの形状の検証として、表2にしめす産業技術総合研究所

「AIST 人体寸法データベース 1991-92」⁵⁾を用いた。青年層男性の大腿囲、大腿骨付根囲、大腿最小囲の全てにおいて大腿部モデルは平均値を上回っているが、いずれの値も最大値以下となっており、人体の形状の再現としては問題ないと考えられる。



a	570[mm]	モデル長辺寸法
b (周長)	532[mm]	大腿囲 (大腿内側の輪郭が最も内側に突出した高さで大腿の長軸に直行するように測った大腿の周長)
c (周長)	655[mm]	大腿付根囲 (転子点を起点とし、股の左側を通し、鼠径部および殿溝を経て起点にいたる周長)
d (周長)	417[mm]	膝の直上で大腿が最も細い部分の水平周長

図1 大腿部モデル

表2 日本人の平均大腿周長

		青年層 (18~29歳)		
		男性	女性	男女平均
大腿囲	被験者数[人]	217	202	
	平均値[mm]	528.9	527.9	528.4
	最小値[mm]	411.0	443.0	411.0
	最大値[mm]	630.0	679.0	679.0
大腿付根囲	被験者数[人]	215	202	
	平均値[mm]	613.5	555.7	585.5
	最小値[mm]	510.0	464.0	464.0
	最大値[mm]	732.0	672.0	732.0
大腿最小囲	被験者数[人]	217	203	
	平均値[mm]	380.5	376.0	378.3
	最小値[mm]	302.0	321.0	302.0
	最大値[mm]	459.0	513.0	513.0

(3) 筋肉

筋肉には人間の筋肉に近い材料特性であると考えられるシリコンゴム（硬度 20°）を使用し、模擬骨を内包している。大腿部の筋肉は表3に示す通り大腿四頭筋、大腿二頭筋等、非常に複雑に筋肉が組み合わさって構成されているが、本研究で用いる大腿部モデルでは大腿部の筋肉を一様なものであると仮定した。使用したシリコンゴム（硬度 20°）の材料特性を表4にしめす。一方、筋肉のヤング率は弛緩時で $0.35 \pm 0.07 \text{MPa}$ 、緊張時は $9.8 \pm 1.9 [\text{MPa}]^6$ であり、本研究で用いるシリコンゴムのヤング

率は活性化時の筋肉に近い値となっている。また、モデル表面は皮膚として、ネオプレンゴム（厚さ 3mm）で覆われていて、シリコンゴムの損壊を防止している。模型の重量は 10.0kg である。

表 3 大腿部筋肉一覧

区画	筋名称
内側大腿区画	大内転筋
	長内転筋
	短内転筋
	恥骨筋
前大腿区画	薄筋
	大腿直筋
	大腿四頭筋
	外側広筋
	内側広筋
後大腿区画	縫工筋
	大腿二頭筋
	ハムストリング
	半腱様筋
	半膜様筋

表 4 シリコンゴムの材料特性

シリコンゴム硬度20°	
密度[g/cm ³]	1.08
ヤング率[MPa]	4
線収縮率[%]	4.1
引張強さ[MPa]	5.7
伸び[%]	1030
引裂強さ[N/mm]	17

(4) 骨

本研究で用いる模擬骨は図 2 にしめすもので、SAWBONES 社（米国）が販売する” 3rd Generation Composite Femur”⁷⁾である。この模擬骨は人間の骨に近い値を示す材料が用いられており、皮質骨の材料には” E-Glass filled epoxy”、海綿骨には” Rigid polyurethane foam”⁸⁾が用いられている。産業技術総合研究所「AIST 人体寸法データベース 1991-92」⁵⁾によると、青年層男性の大腿長平均値が 409.2[mm]となっており、模擬骨の値（a : 455[mm]）が少し大きい。これは、模擬骨がアメリカ人の寸法を基に製作されているためであると考えられるが、計測に大きな影響はないと考えられる。



a	b	c	d	e
455mm	45mm	31mm	135°	27mm

図 2 模擬骨

模擬骨および大腿骨の材料特性⁸⁾を表 5 にしめす。模

擬骨と人骨は圧縮強度・引張強度ともに近い値を示していることがわかる。また、大腿骨の材料特性には異方性があるが、本研究では大腿骨の長辺方向に対して垂直方向から荷重をかけることを想定しており、模擬骨の値と大腿骨の横方向の値とが近く、実験に用いることが可能であると判断した。

表 5 模擬骨と大腿骨の材料特性

模擬骨	皮質骨 (E-Glass filled epoxy)	密度 [kg/m ³]	1700
		引張強さ [MPa]	90
		引張係数 [MPa]	12400
		圧縮強さ [MPa]	120
		圧縮係数 [MPa]	7600
模擬骨	海綿骨 (Rigid polyurethane foam)	密度 [kg/m ³]	270
		圧縮強さ [MPa]	4.8
		圧縮係数 [MPa]	104

大腿骨	負荷状態		極限強度
	縦	引張[MPa]	
圧縮[MPa]			193
せん断[MPa]			68
弾性係数[GPa]			17
横	引張[MPa]		51
	圧縮[MPa]		133
	弾性係数[GPa]		11.5
せん断係数[GPa]			3.3

(5) 測定方法

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。

4. 大腿部モデルへの家具衝突実験

(1) 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 3 にしめす。

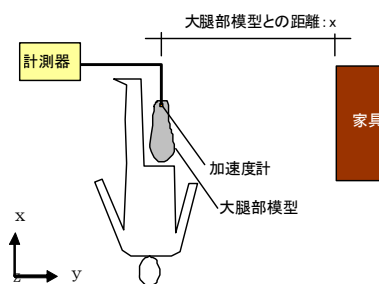


図 3 実験概要

(2) 衝突家具

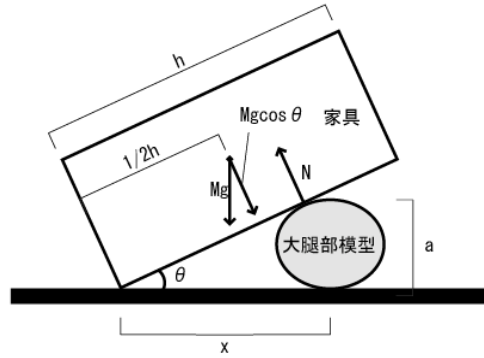
実験に用いた家具は表 6 にしめすとおりで、タンス 2 種、冷蔵庫、本棚、PC ディスプレイ、食器棚である。測定は 10 回実施し、内容物などを変化させた。また大腿部モデルと衝突家具の距離は、家具のサイズを考慮し適宜調整している。なお、一部の衝突実験では家具が破損し、同条件で複数回の計測ができなかった。

表6 衝突家具

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					
10	食器棚	食器 (46[kg])	1000*	92	830×440×1780

*モデルと転倒軸間との距離

な物体で重心は常に家具の中心にあるものとする。



h: 家具の高さ[mm], M: 家具の総重量[kg], g: 重力加速度[m/s²], a: 地面からの大腿部模型の高さ[mm], x: 大腿部模型中心から家具までの距離[mm], N: 家具にかかる反力[N], θ: 地面と家具衝突面のなす角[°]

図4 家具の载荷状況

5. 実験結果および考察

(1) 計測結果

三軸方向で計測された加速度を平均した値を表7に示す。

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。

表7 計測結果

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 大腿部模型の上下に毛布掛 (2つ折)
2		293.06	タンス上部分のみ転倒衝突 大腿部模型の下に毛布掛 (2つ折)
3		186.56	タンス上部分のみ転倒衝突 大腿部模型の上下に毛布掛 (2つ折)
4		456.61	タンス上部分のみ転倒衝突 大腿部模型の下に毛布掛 (2つ折)
5	タンス②	320.59	タンス①の下部分のみが転倒衝突
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	-

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

F(t): 衝撃力[kN], α(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]

[1]式では家具重量の値を用いるが、大腿部モデルに対して家具の転倒時に全重量は作用しない。そこで図4のように大腿部モデルへの载荷状況を簡易化し、[3]式を用いて家具重量を算出した。なお、本研究では家具は均質

$$N' = \frac{Mh \cos \tan^{-1} \left(\frac{a}{x} \right)}{2x} \quad [kg] \quad [3]$$

この結果、計算に用いる家具の重量は、上部と下部が分かれて転倒したタンス①は全重量が载荷したため39.0kg、タンス②(おもり含む)は75.4kg、冷蔵庫は51.2kg、本棚(本含む)は51.0kg、PCディスプレイは落下したため全重量である18.0kg、食器棚(食器含む)は80.4kgとなった。

(2) 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⁹⁾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8に示すとおりで、0.0%~99.9%と幅広い値が算出された。

表8 大腿骨骨折発生確率

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

(3) 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。既往の研究においては、高さ1800mmを超える家具での負傷が多いという結果¹⁰⁾もあったが、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。

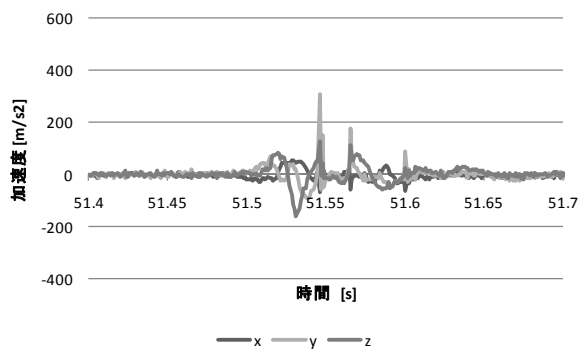


図5 タンス転倒時の加速度(測定番号1)

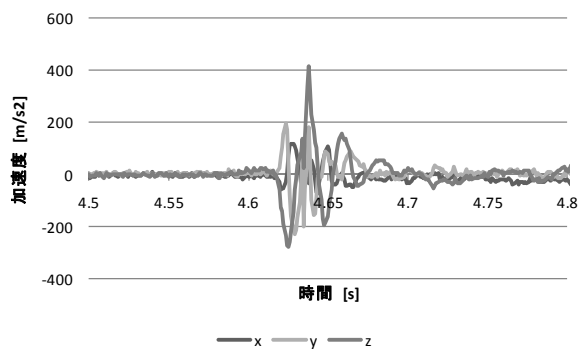


図9 タンス転倒時の加速度(測定番号5)

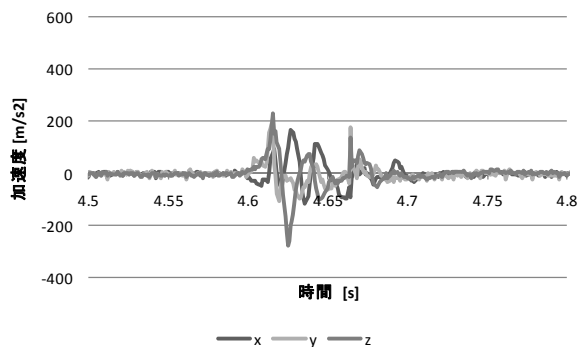


図6 タンス転倒時の加速度(測定番号2)

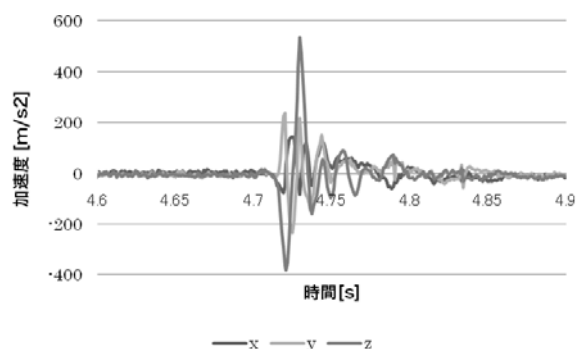


図10 冷蔵庫転倒時の加速度(測定番号6)

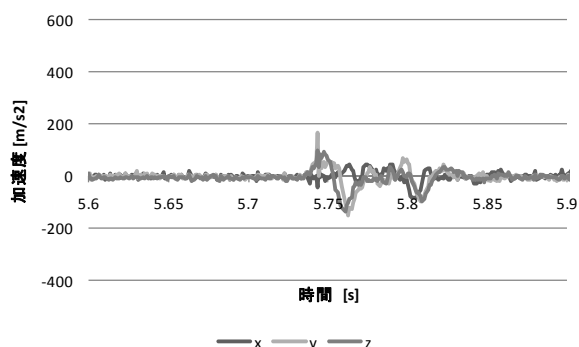


図7 タンス転倒時の加速度(測定番号3)

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(図11)。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すと考えられる。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。

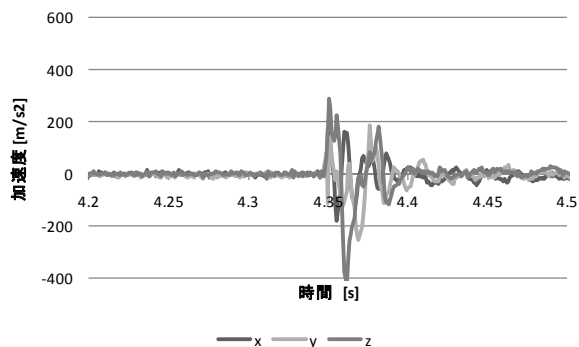


図8 タンス転倒時の加速度(測定番号4)

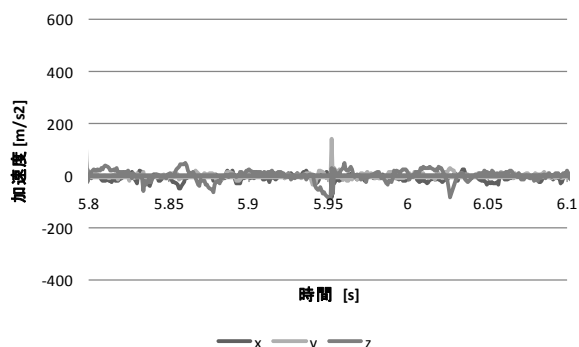


図11 本棚転倒時の加速度(測定番号7)

PCディスプレイの落下実験は2回計測を行ったが1回と2回目で骨折の危険度が大きく異なった(図12, 13)。これは、1回目の落下でディスプレイの外殻が破損し、2回目には緩衝効果があったためと考えられる。

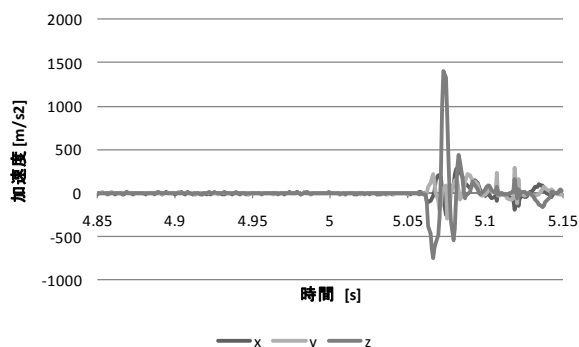


図12 PCディスプレイ落下時の加速度(測定番号8)

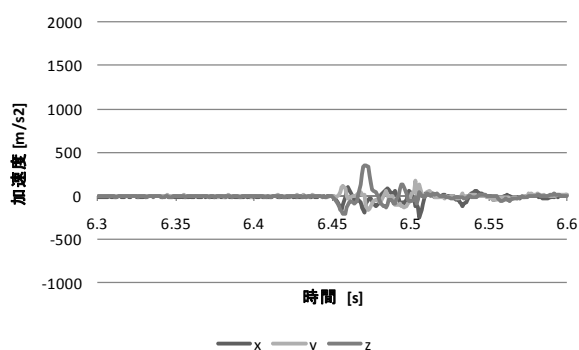


図13 PCディスプレイ落下時の加速度(測定番号9)

食器棚に関してはタンス②の実験同様、図14にしめすとおりで、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(図15)。

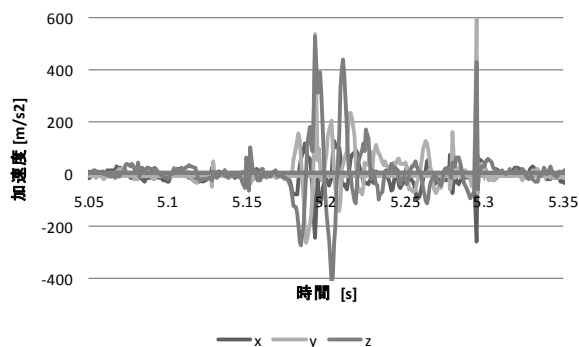


図14 食器棚転倒時の加速度(測定番号10)



図15 転倒した食器棚と食器

以上の10回の計測で得られた結果をまとめると、図16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。

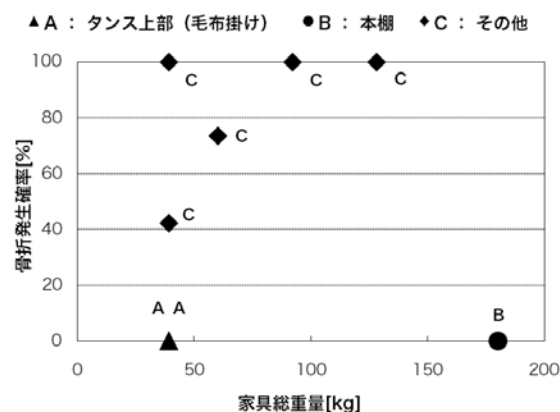


図16 家具総重量と骨折発生確率

6. まとめ

本研究では、人体被災度計測手法の開発の一環として、地震時の家具転倒による負傷者に多くみられる、大腿骨骨折の危険度を定量的に評価するための大腿部ダミー開発を行った。このダミーは大型三次元震動台を用いた実大建物破壊実験や小規模な震動台を用いた家具転倒実験などに用いて、転倒家具が人体に与える危険度を人間に代わって計測することが可能である。

大腿部モデルは人体に忠実に再現するため、実際に型どりをを行い、義肢製作会社の支援のもと人体にかなり近似したモデルを開発した。筋肉・骨の材料特性をモデルと生体とでも比較したが、実験を行うにあたって妥当な特性を持っていると確認することができた。

本研究では実際の地震時の被災状況を想定し、実際の家具を用い、内容物もより実際の状況に近い重量となっている。毛布の有無によって衝撃緩和効果があること、本棚は重量はあるが、内容物の本の緩衝効果で危険度が低い事など、具体的な防災対策へ応用できる知見を得ることができた。ただし家具の転倒状況に関しては、配置状況や地震動の特性によって様々な形態があると考えられ、今後は震動台実験や解析を組み合わせ、より現実に近い転倒状況を再現する必要がある。

骨折危険度評価では、大腿骨骨幹部の骨折が地震時と同様に多い交通事故に関する既往研究を参考にした。この種のデータはわが国では、あまり多くないが本研究での負傷形態は交通事故と相似している部分が多く、十分に適用が可能であった。防災分野では、既往研究は多くないので、今後幅広い分野から知見を得ることが必要と考えられる。

一方、兵庫県南部地震では高齢者の人的被害が深刻であったが、本研究のモデルは健常な若年者を基にしており、今後は筋力・骨密度等が低下した高齢者大腿部モデルの開発が課題であるといえる。また、本研究では筋肉が緊張状態にある時の物性値を適用したが、より危険度が高まると考えられる弛緩時の値でのモデル開発および骨折危険度評価も今後の課題である。

本研究で開発した大腿部モデルおよび胸部モデルにより地震時の典型的な死傷形態を評価することが可能となった。今後は今後家具転倒実験のみならず、家屋倒壊実験あるいは防災に関する市民向けの展示会などで活用していきたい。さらには、大きな問題となっている高齢者の転倒事故に関しても、本モデルおよび本研究での知見が活用できると期待される。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金若手研究（B）「地震時の住宅内における負傷危険度評価手法の研究（研究代表者：生田英輔）」の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 生田英輔, 宮野道雄, 糸井栄一, 西村明儒, 田中裕, 梶原浩一, 熊谷良雄: 統合データベースに基づく兵庫県南部地震による人的被害の発生機構に関する分析, 日本建築学会計画系論文集, 第 590 号, pp.117-123, 2005.
- 2) 宮野道雄, 生田英輔, 長嶋文雄, 田中裕, 梶原浩一, 奥野倫子: 地震時の人体被災度計測手法の開発—胸部圧迫実験用ダミーの作製—, 地域安全学会論文集, No.10, pp.49-54, 2008.国土庁: 平成 7 年版防災白書, p.11, 1995.
- 3) 杉本侃 (代表者): 阪神・淡路大震災に係る初期医療実態調査班研究報告書, P30, P65, 大阪大学医学部救急医学, 1996.
- 4) Gerard J. Tortora, Sandra Reynolds Grabowski: トートラ人体の構造と機能 (大野忠雄他共訳), pp. 366-373 丸善, 2004.
- 5) AIST 人体寸法データベース 1991-92,
<http://riodb.ibase.aist.go.jp/dhbodydb/91-92/>
- 6) 日本機械学会: 生体機械工学, 丸善, P46, 1997
- 7) SAWBONES 社ホームページ, <http://www.sawbones.com/>
- 8) 池田研二, 嶋津秀昭: 生体物性/医用機械工学, 秀潤社, P.54, 2000
- 9) 生田英輔・宮野道雄・糸井川栄一・田中裕・西村明儒・熊谷良雄: 阪神・淡路大震災における重傷者発生世帯への調査に基づく死傷発生メカニズムの検討, 地域安全学会論文集, No.4, pp.281-288, 2002

(原稿受付 2010.8.27)

(登載決定 2011.2.28)