

衝撃緩和クッション材の開発（第1報）

梅本 博一^{*1)}， 重本 憲佑^{*1)}

Development of Cushion for Reducing Impact Force of Fall (1st Report)

UMEMOTO Hirokazu^{*1)} and SHIGEMOTO Kensuke^{*1)}

高齢者における転倒事故による大腿骨頸部骨折リスクの低減を目的とした発泡樹脂製のクッション材を開発するために、転倒時に床との間で起こる衝突現象を再現できる評価装置を製作し、各種クッション材を敷いた場合に起こり得る衝突時の荷重、加速度及び変位を、それぞれ動力計、レーザードップラー振動計及びレーザ式判別変位センサを用いて計測するとともに、その評価方法について検討した。その結果、高齢者の転倒事故による大腿骨頸部骨折対策に有効なクッション材を見出した。また、衝突時に生じる荷重と加速度との間には正の比例関係があり、荷重と接触時間との間には負の比例関係があることがわかった。さらに、衝突時のクッション材の形状復元について検討するために圧縮残留ひずみ試験を実施した結果、対象としたすべてのクッション材における60分後の残留ひずみ量は1mmより小さな値を示していた。

1. 緒言

近年、高齢社会となった我が国において転倒事故対策は、重要な課題の一つとなっている。厚生労働省による「不慮の事故死亡統計」(平成21年度)によると、主な不慮の事故の種類別にみた死亡数の年次推移において「転倒・転落」によるものが平成7年の5,911人から平成20年の7,170人まで増減を繰り返しながらも増加傾向にある。また、「国民生活基礎調査」(平成22年度)によると、要介護となった原因のうち骨折・転倒は約10%を占めており、その数字は脳卒中、認知症及び高齢による衰弱に次いで4番目に多い。さらに、日常生活の中の事故で救急搬送されている高齢者の約8割が転倒事故であることも東京消防庁により報告されている。高齢者における転倒事故の多くは大腿骨頸部骨折を引き起こし、そのまま歩行不能な状態、すなわち寝たきりとなることが多いことから、転倒事故対策の重要性及び緊急性は明白である。

現在、転倒による骨折を予防できる商品として、床に並べて敷くタイプの保育用クッション材や衝撃吸収パッド付き下着(ヒッププロテクタ)がある。しかしながら、保育用クッション材は薄くて柔らかいため、転倒事故による骨折予防に対しては十分な衝撃荷重の緩和が期待できない。また、ヒッププロテクタは装着時の違和感があるため現在でも装着率が高いとは言えず、未装着時の転倒事故による骨折のリスクを低減できていないのが現状である。

そこで、転倒事故による大腿骨頸部骨折を防ぐことに着目し、県内企業が製造している発泡材を高機能化することによって、骨折リスクを低減するクッション材を開発することを目指した。本研究では、衝撃荷重に対する緩和性能を評価するための装置を試作し、衝撃を緩和するクッショ

ン材の性能評価方法(衝撃荷重緩和性能及び残留へこみ等)、並びにその計測結果について具体的に検討した。

2. 実験方法

2.1 衝撃緩和評価装置の試作

0.7mの高さから転倒した際に生じる腰回りにおける衝撃荷重は、男女平均して筋緊張状態で約8,600Nであり、筋弛緩状態で約5,600Nであると報告されている¹⁾。本研究では高齢者における転倒を想定していることから、筋弛緩時の5,600Nの衝撃荷重を安定して発生させることができるように衝撃緩和評価装置を試作した。その評価装置の外観を、図1に示す。木製部材を大腿骨と見立て、衝突時に点接触の状態となるようにテーブル上に動力計を設置し、角材の上に重錘、角材の下に木製部材を取付けた。また、任意の高さから角材を自由落下可能な構造とした。



図1 評価装置

ン材への荷重、加速度、変位及び残留へこみ量を把握するため、荷重計測には日本キスラー(株)製type9257BA型固定動力計を用い、加速度計測にはポリテ

*1) 基盤技術・ソリューショングループ

ックジャパン(株)製 NLV-2500-K 型レーザードップラー振動計を用いた。また、変位及び残留へこみ量計測には(株)キーエンス製 IL-300 型レーザ式判別変位センサを用いた。なお、スペクトリス(株)ブリュエル・ケアー事業部製計測データ解析装置(フロントエンド Type3050-B-060 型)を用いてすべての機器のアナログ出力を A-D 変換し、データを取得した。

2.2 使用したクッション材

衝撃荷重の緩和評価に用いたクッション材を、表 1 及び図 2 に示す。このクッション材を図 1 の評価装置の動力計の上に設置した。

表 1 クッション材一覧

No.	名称	厚み(mm)	素材
0	クッションなし	-	-
1	PE-10PB	20	PE+EVA
2	改 E-100NF(硬)2	20	スチレン+オレフィン系
3	改 E-100NF(軟)2	19	
4	市販品(衝撃吸収)	20	シリコン系
5	E-100NF	10	スチレン+オレフィン系
6	E-100NF	15	
7	E-100NF	20	
8	TEST1	25	
9	TEST2	25	
10	TEST3	21	

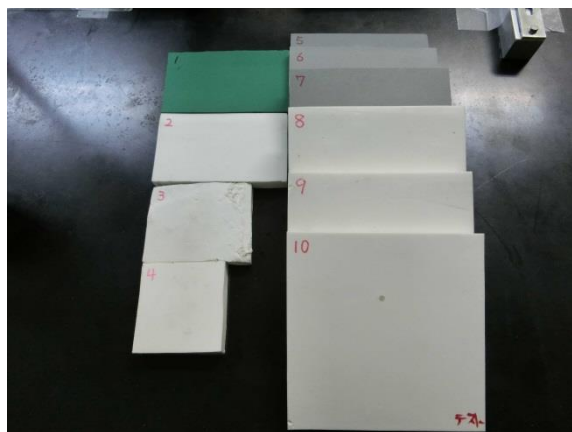


図 2 クッション材一覧

2.3 一定温度下での落下試験

転倒事故による大腿骨頸部の骨折予防に関する性能について評価するため、クッション材を設置しない状態で転倒時の衝撃荷重である 5,600N 以上の衝撃荷重が発生するように落下高さを調整した。その後、表 1 に示した各クッ

ション材を動力計の上に設置して落下試験を実施した。その実験状況を図 3 に示す。動力計で荷重を計測し、角材の上部に設置したレーザードップラー振動計及びレーザ式判別変位センサで加速度及び変位を非接触で計測した。また、短時間で生じる衝突現象を把握するためにサンプリング周波数を 16,384Hz とした。荷重計測時のハイパスフィルタを 7Hz に設定し、加速度及び変位計測時はフィルタなしとした。なお、試験環境温度を 23°C 一定とした。



図 3 落下試験状況

2.4 クッション材の残留へこみ試験

本研究で用いたクッション材は床材の上に敷くタイプを想定し、その上の歩行への耐性も必要となる。そこで、表 1 に記載のクッション材のうち、No.1 及び No.6~10 のクッション材を用いて、荷重を負荷した後の形状の復元状態について検討するために残留へこみ試験を実施した。JIS A 1454 の残留へこみ試験 B 法²⁾に準拠し、表 1 に記載の No.7 のクッション材において約 80% のへこみが生じる 80N を試験条件とした。残留へこみ試験に用いた圧子は直径 19mm 球であり、載荷時間を 5 分とした。載荷直後及び除荷 60 分後の残留へこみ量をレーザ式判別変位センサにより計測した。なお、試験環境温度を 23°C 一定とした。残留へこみ試験の試験状況を図 4 に示す。



図 4 残留へこみ試験状況

3. 結果及び考察

3.1 同一温度下での落下試験結果

各クッション材に対する第一次衝突時の荷重を図5に示し、クッションに接触した後の速度変化すなわち加速度を図6に示す。図5からわかるように、同じ厚さのクッションを設置してもクッション材の材質によって第一次衝突時に発生する荷重にも違いが生じている。大腿骨頸部の骨折は、平均年齢74歳の被験者において、 $3,440\text{N} \pm 1,330\text{N}$ で起こると報告されている³⁾ことから、その下限値である $2,110\text{N}$ を骨折発生有無の閾値として設定した。その結果、市販品であるNo.4シリコン系のクッション材及びNo.2～No.3, No.6～No.10 スチレン+オレフィン系のクッション材が閾値を下回る荷重を示しており、転倒事故による大腿骨頸部の骨折を予防する効果があるものと考えられる。また、同じスチレン-オレフィン系のクッション材において厚さが増大するにつれて荷重が減少している。また、図6からわかるように、荷重と同様、クッション材の材質によって第一次衝突時に発生する加速度にも違いがあり、クッション材の厚さが増大するにつれて加速度は減少している。

木製部材がクッションに接触してからの加速度と荷重との関係を、図7に示す。線形近似線の相関係数Rの二乗値が1となっており、荷重と加速度との間には完全な相関がある正の比例関係となっている。したがって、試作した評価装置によるクッション材に与える荷重と加速度との間には、第一次衝突後の現象において次の(1)式で表される運動の第2法則を適用することができる。

$$f = ma \tag{1}$$

この線形の近似式から求めた m 値は約 5.7kg であり、重錘の重量と類似した値となっている。

各クッション材における第一次衝突時の変形量を図8に示し、レーザードップラー振動計を用いて計測した第1次衝突におけるクッション材への接触時間を図9に示す。図8からわかるように、クッション材の材質や厚みによって衝突時に完全に押しつぶされている状態になるクッション材があることがわかった。また、図9からわかるように、クッション材の材質や厚みによって接触時間にも違いが生じていることがわかった。第一次衝突時の荷重と接触時間との関係を図10に示す。図10からわかるように、荷重と接触時間との間には負の比例関係があり、線形で近似すると、次の(2)式となる。

$$f = -143,138\Delta t + 5,917 \tag{2}$$

ここで、 f は荷重(N)を示し、 Δt は接触時間(sec)を示す。本研究にて検討したクッション材と類似した性質のクッションを用いる場合、接触時間を計測することによって第一次衝突時の荷重を概算することができるものと考えられる。

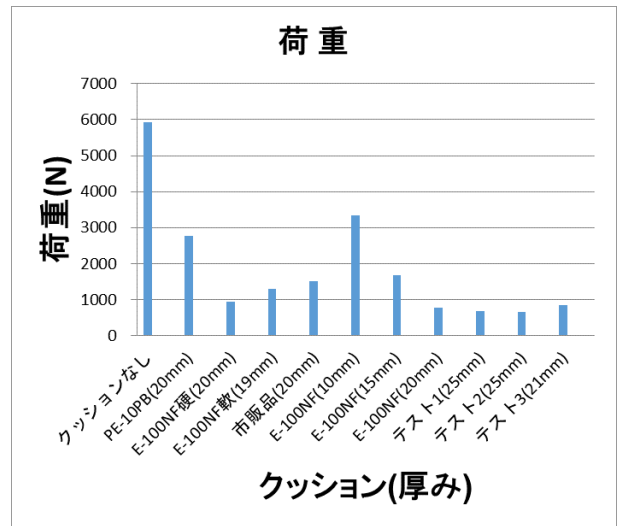


図5 落下試験結果 (荷重)

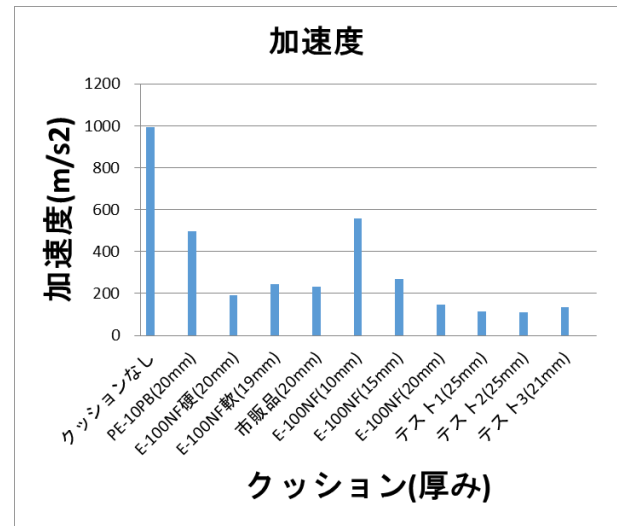


図6 落下試験結果 (加速度)

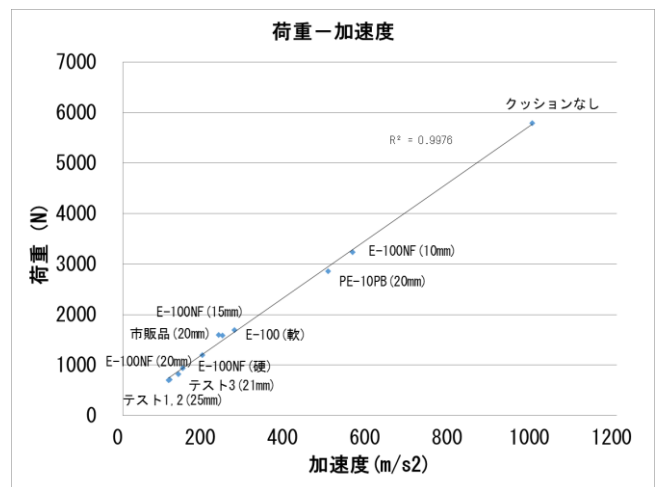


図7 荷重と加速度の関係

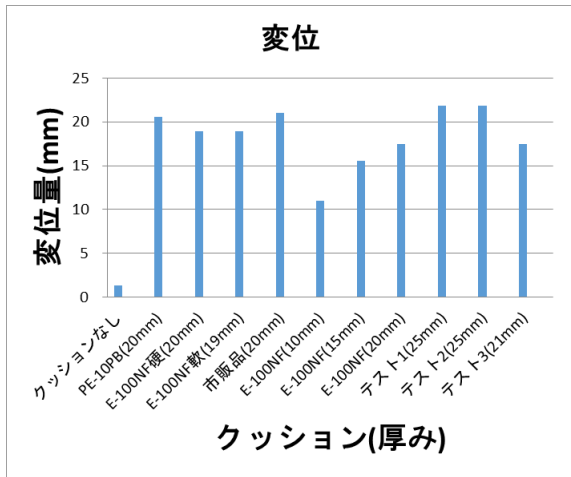


図 8 落下試験結果 (変位)

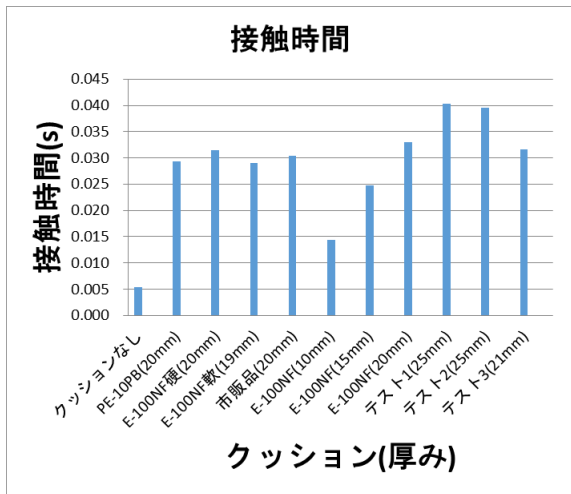


図 9 落下試験結果 (荷重)

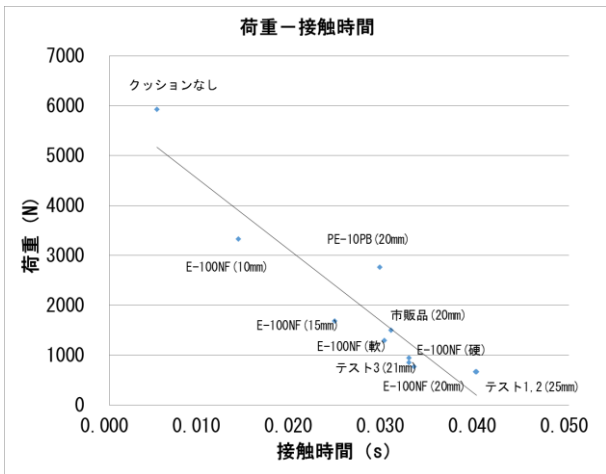


図 10 荷重と接触時間の関係

3.2 残留へこみ試験結果

残留へこみ試験の結果を表2に示す。本研究において使用したすべてのクッション材において、残留へこみ量はすべて 1mm 未満となっていることがわかる。クッション材が載荷時に大きく変形しても、除荷 60 分後にはほぼ元の状態にまで形状が戻るということがわかった。

表 2 残留へこみ試験結果

No.	クッション厚み(mm)		残留へこみ量 (mm)
	載荷前	除荷60分後	
1	19.9	19.9	0
6	14.9	14.3	0.6
7	19.9	19.4	0.5
8	25.7	24.8	0.9
9	24.7	23.8	0.9
10	21	20.6	0.4

4. 結言

高齢者における転倒事故による大腿骨頸部の骨折リスクの低減を目的としたクッション材を開発するため、県内企業が製造する発泡材を用いて衝撃緩和性能及び残留へこみについて検討した。その主な結果は、次のとおりである。

- (1) シリコン系またはスチレン+オレフィン系のクッション材 No.2~4 及び No.6~10 は設定した閾値を下回る荷重を示しており、転倒事故による大腿骨頸部の骨折を予防する効果があるものと考えられた。
- (2) クッション材の厚さの増大にともない衝撃荷重が減少していた。
- (3) クッション材への衝撃荷重と加速度との間には完全な相関がある正の比例関係が成り立ち、第一次衝突後の現象に運動の第二法則 $f=ma$ が適用できることがわかった。
- (4) 荷重と接触時間には負の比例関係があり、本研究において対象としたクッション材と類似した性質のクッション材の場合、接触時間を計測することによって衝撃荷重を概算できるものと考えられた。
- (5) 使用したすべてのクッション材において、残留へこみ量はすべて 1mm 未満となっており、クッション材が載荷時に大きく変形しても、除荷 60 分後にはほぼ元の状態にまで形状が戻るということがわかった。

本研究で使用した計測データ解析装置は、公益財団法人 JKA 「機械工業振興補助事業」により導入、設置した装置である。



参考文献

- 1) Robinovitch SN, Hayes WC, McMahon T A: Prediction of Femoral Impact Forces in Falls on the Hip. Journal of Biomechanical Engineering 1991;113:366-374
- 2) JIS A 1454-2010 高分子系張り床材試験方法
- 3) Courtney Amy C, Wachtel Edward F, Myers Elizabeth R, Hayes Wilson C: Age-Related Reductions in the Strength of the Femur Tested in a Fall-Loading Configuration. The Journal of Bone and Joint Surgery 1995;77:387-395