住宅内の転倒時を想定した直張り木質フローリング床の頭部衝撃緩衝効果に関する検討

HEAD IMPACT BUFFERING EFFECT OF DIRECT PASTED WOODEN FLOORINGS BY HUMAN FALLING IN THE HOUSE

富田隆太 ——— * 1 井上勝夫 ——— * 2
川又周太 ——— * 3

Ryuta TOMITA ——— * 1 Katsuo INOUE ——— * 2
Syuta KAWAMATA ——— * 3

キーワード：
転倒, 衝撃緩衝効果, 歩行感, 住宅床, 直張り木質フローリング床

Keywords :
Fall, Impact buffering effect, Walking sense, Residential floors, Direct pasted wooden floorings

We conducted an examination of the dummy head with an impact force equivalent to the human head and conducted head impact tests using ordinary residential floors. We furthermore examined the effects of impact buffering by changing cross-sectional specifications of the direct-pasted wooden floorings. As a result, we got the followings: (1) The dummy head is probably a useful impact source equivalent to impacts to human heads, (2) Direct-pasted wooden floorings, by selecting the base material, impact buffering would have a considerable effect on fall impacts and it would also be possible to ensure proper elasticity while walking.

1. はじめに

我々は、高齢者及び成人を対象として、住宅床における居住性からみた歩行時のかたさ感覚及び床衝撃音に関する研究を行っている^{1)~4)}等。しかし、住宅の床は、そこが生活の場であることを考えれば、多種多様な性能が要求されるが、中でも安全性は重要視されなければならない。高齢者を対象として住宅床の居住性を考える場合には、特に、歩行時や椅子からの立ち上がり動作時等を対象に、安定性のある床仕上げ構造を供給していくことが重要であるが、同時に、転倒したときの安全性についても明らかにしておく必要がある。

これまで、人体頭部の物体衝突時における安全性に関する研究としては、主に車両工学の分野で、衝突実験用人体模型(ダミー)の開発や評価等に関する研究が盛んに行われている^{5)~7)}等。国土交通省と自動車事故対策機構が公表している「自動車アセスメント」によると、衝突安全性能試験にはダミーが用いられ、そのダミーの受けた衝撃や車室内の変形をもとに評価が行われている⁸⁾ことが示されている。これらは、人体頭部の衝突時の安全性からみた研究として非常に参考になるが、住宅床を対象とした場合には、対象とする動作や衝突時の姿勢が大きく異なることから、そのまま適用することは難しい。

一方、建築物を対象とした人体各部衝突時の安全性に関する既往研究としては文献^{9)~14)}等が挙げられる。小野らは、衝突時の身体の安全性からみた床・壁のかたさの評価に関する研究^{9)~11)}として、かたさ測定装置を開発し、官能検査による安全性予測尺度と対応する物理量を示し、床・壁のかたさ評価方法を提案

するに至っている。これらの研究は、建築物内における壁・床の身体衝突時の安全性からみた評価方法として非常に有用であるが、本研究で主に対象としている直張り木質フローリング床の種類の違いによる検討は行われていない。また、あくまでも被験者の安全性判断を評価の拠り所としているため、どの程度の損傷となるかについて、今後さらに研究していく必要があると考えられる。一方、直井らは床や壁を対象として、頭部ダミーや人体ダミーを用いた衝撃実験を行い、実験結果を医学分野での人の頭部耐性に関する研究成果¹⁵⁾にあてはめた評価を行っている^{12)~14)}。これらは、実際の人の頭部における評価手法として有用と考えられる。

以上のように、住宅床における転倒衝突時の安全性に関する研究は散見されるものの、このテーマの重要性からみると、まだ事例も少なく、より様々な角度から検討が行われる必要があると考えられる。また、現在多用されている直張り木質フローリング床に関する事例は少なく、軽量床衝撃音遮断性能の違いによる防音木質フローリング床の転倒時における頭部衝撃緩衝効果を検討したものはない。

そこで、本研究では、住宅内における転倒時を想定した頭部衝撃実験を行った。特に、現在、住宅で多用されている直張り木質フローリング床を対象に、断面仕様の変化による頭部衝突時の衝撃緩衝効果の検討も行ったので、その結果について報告する。

2. 頭部ダミーを用いた各床仕上げ構造施工時の衝撃試験

2.1 実験内容

*1 日本大学理工学部建築学科 助手・博士(工学)
(〒101-8308 千代田区神田駿河台1-8-14)

*2 日本大学理工学部建築学科 教授・工博

*3 フクビ化学工業(株) 修士(工学)
元日本大学大学院生

*1 Research Assistant, Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

*2 Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

*3 Fukuvi Chemical Industry, M. Eng.

転倒時において、身体部位の床への衝突を考えると、様々なパターンが考えられるが、本研究においては主な目的を床仕上げ構造の衝撃緩衝効果においており、その意味で頭部を一つの代表的モデルとして検討を行った。なお、国民生活センターの調査¹⁷⁾や我々が行ったアンケート調査¹⁸⁾においても、最も指摘が多い床への衝突身体部位として、頭部が挙げられている。

2.2 人体衝撃に対する頭部ダミーの適用性に関する検討

床への頭部衝突時の実験を行うにあたり、実験の安全性及び安定性を考慮し、何らかの人の頭部に代わるダミーが必要と考えた。先行研究として位置づけられる車両工学⁸⁾等の分野では、衝突安全性能試験にダミーを用いている。そこで、車両工学の分野で用いられている大人用ダミーの頭部だけ(以下、頭部ダミーとする：図1)を利用して、住宅床の転倒時における頭部衝撃の適用性について検討を行った。具体的には、実際の人の後頭部衝撃に相当する衝撃力特性を有するか、また平均的な人の有効質量を有するかの検討を行った。

そこで、まず図1に示す頭部ダミー及び実際の人の頭部による衝突時の衝撃力測定を行った。ただし、当然ながら人による測定の場合、被験者の安全に留意するため、損傷がない程度という大前提の下に、被験者にはなるべく自由落下による衝撃を行うように教示した。被験者は、成人10名とした。頭部ダミーの場合には、図2に示すように1cm, 1.5cm, 2cm, 5cm, 10cmの各高さから自由落下させた。また、人の場合には、図3に示すように額部にプラスチックバンドを固定し、それに取り付けた加速度ピックアップより衝撃時の振動加速度応答を求めた。頭部ダミーの場合には、図2に示すように、頭部ダミー内に埋め込んだ3軸の加速度ピックアップより各軸方向成分の振動加速度応答を求めた。実験は土間コンクリート上にフォースセンサをモルタルにて固定し衝撃力測定を行った。

図4に人の頭部と頭部ダミーの衝撃力時系列波形の例を示す。これをみると、人の頭部衝撃時と頭部ダミー落下時の衝撃力特性は良

い対応を示していることがわかる。また、図5に示すように衝撃力周波数特性からみても非常に良い対応を示している。これらより、今回測定に用いた頭部ダミーが人の頭部衝撃時と同等な衝撃力特性を有していると言える。

次に、これらの結果より求めた衝撃力PEAK値と、同時に測定した頭部の最大加速度を用いて、式： $m=F/\alpha$ (F :衝撃力PEAK値(N), α :最大加速度(m/s^2))より有効質量 m を算出した。なお、頭部ダミーの加速度応答は、主成分である図2に示すX成分(鉛直方向成分)を用いた。図6に人の頭部と頭部ダミーの有効質量算出結果を示す。これを見ると、人の頭部の有効質量が3.6kg~4.6kgとばらつきはあるものの、頭部ダミーの有効質量は4.2kg程度と人の頭部の有効質量の平均的な値を示していることがわかる。これらより、本研究で用いた頭部ダミーが人の頭部(成人)に相当する有用な衝撃源であると言える。

2.3 住宅床を対象とした頭部ダミーによる衝撃試験

2.3.1 実験概要及び評価方法

2.2において、人の頭部衝撃時に対して、頭部ダミーが衝撃力特性、有効質量からみて対応性が良いことを示した。そこで、頭部ダミーを用いて、住宅床を対象とした衝撃試験を行った。

実験は、一般的な鉄骨系ALC住宅の実大モデル棟の3階床躯体構造(ALC100+セルフレベリング剤12)上に、表1に示す床仕上げ構造を施工して行った。床仕上げ構造は、大別すると、下地なしの直張り工法床と図7に示す根太床を下地材として、その上に床仕上げ材を施工した二重床構造を対象とした。実験方法は、図8に示すように頭部ダミーの後頭部が床に衝突するように、自由落下時の頭部内の加速度応答を求めた。ここでは、落下高さを図8に示すように、30cm, 60cm, 90cm, 120cm, 150cmの5段階に変化させ、20回ずつの衝撃試験を行った。ただし、実際の転倒状況としては、150cmからそのまま直接自由落下して後頭部を床に衝突することはないと考えられ、人

図1 頭部ダミーの写真

図2 頭部ダミーの衝撃力測定
ブロックダイアグラム図

図3 人の頭部の衝撃力測定
ブロックダイアグラム図

図4 人の頭部と頭部ダミーの
衝撃力時系列波形の例

図5 人の頭部と頭部ダミーの
衝撃力周波数特性の例

図6 人の頭部と
頭部ダミーの有効質量

表1 対象床仕上げ構造

	床下地材	床仕上げ材
D (F-1)		木質フローリング (F-1) 総厚12mm 緩衝材なし
D (F-2)		木質フローリング (F-2) 総厚11mm 緩衝材2mm L60
D (F-3)		木質フローリング (F-3) 総厚12mm 緩衝材2mm L50
D (F-4)		木質フローリング (F-4) 総厚14mm 緩衝材5mm L40
D (C-1)		タイルカーペット (C-1) 総厚6mm ループバイル バイル厚3mm
D (T-1)		畳 (T-1) 総厚57mm 本畳
N (F-1)	根太下地 40×60 大引材 90×90 根太厚さ: 303 大引厚さ: 910 単位: mm	木質フローリング (F-1) 総厚12mm 緩衝材なし
N (C-1)		タイルカーペット (C-1) 総厚6mm ループバイル バイル厚3mm
N (T-1)		畳 (T-1) 総厚57mm 本畳

図7 根太床測定点図

図8 頭部ダミーによる床仕上げ構造の加速度応答測定ブロックダイアグラム

図9 中村らによる頭部の衝撃耐性曲線とデータの読み取り方¹⁵⁾

図10 方向別加速度波形

図11 実験回数別加速度波形

が転倒をする際には、何らかのかばう動作により、衝撃力が大幅に低減することが予想される。宇野らは、かばう動作により変化する転倒時の衝突速度を測定し、自由落下時に対する低減率を求め、直立時の頭の高さ155.4cm(標準身長166.4cm-頭の重心位置11cm)に適用した場合には31.2cmとなることを報告している¹⁹⁾。この

図12 直張り床における床仕上げ材の最大加速度

図13 根太床上における床仕上げ材の最大加速度

結果を参考とすると、本研究の30cm～150cmとした落下高さは妥当といえる。しかし、本研究では何cmまでが落下高さとして安全かどうかを問うものではなく、あくまでも床仕上げ構造の緩衝効果に着目している。安全性の面については、高齢者の場合も含め、落下高さをどの程度とするか、今後医学的な判断も含め様々な分野の視点で研究が行われるべきであると思われる。

また、頭部衝撃耐性の観点からみた評価方法として、医学分野で用いられている中村らによる図9に示す「頭部の衝撃耐性曲線」¹⁵⁾を用いた。この評価曲線は、猿の頭部衝撃実験から得られた結果をヒトに換算した脳震盪の耐性曲線と人頭蓋骨の落下実験から得られた骨折限界曲線に基づき示されている¹⁵⁾。そのため、本研究で対象としている頭部衝撃と近い状況により評価を行うことができると考え、この評価方法を用いることとした。なお、宇野らの研究¹⁹⁾や直井らの研究¹³⁾等でも、この評価曲線を用いて評価を行っている。

2.3.2 実験結果

20回の衝撃試験結果から、図10に示すように鉛直方向の主成分であるX方向の最大加速度の最も高い3データ(図11)の平均値を実験結果として用いた。

床仕上げ構造施工時における衝撃試験時の頭部ダミーの最大加速度を図12、図13に示す。これらを見ると、どの床仕上げ材も、根太床上に比べて、直張り床の場合、最大加速度が大きいことがわか

る。また、根太床上に施工した場合にも、根太上に比べて根太間に衝撃させると、曲げばねの影響により、加速度の低減効果が大きいことがわかる。ここで、木質フローリング床の仕様に着目すると、防音木質フローリング床であるF-3、F-4は、緩衝材のないF-1に比べて衝撃試験における緩衝効果がみられるものの、根太床上に施工する効果からみればその影響は小さい。また、薄いタイルカーペット(C-1)は、木質フローリングと同程度の効果しか得られていないことがわかる。これは、図10の頭部加速度波形からみると、木質フローリングやタイルカーペット等の薄い床仕上げ材に対して衝撃力が大きすぎ、床材が圧密しているためであろう。また、衝撃力の基本周波数は250Hz付近となっていることから、衝突時の加速度低下を実現するためには、頭部の有効質量(4kg程度)を考慮し、床側の動的ばね定数を 9.9×10^6 (N/m)以下とすることが必要と考えられる。これらを纏めると、薄い床仕上げ材である木質フローリングやタイルカーペットでは、床仕上げ材の仕様変化よりも、根太床等の床下地材の効果の方が大きいと言える。ここで、根太床下地の場合において、根太方向、大引方向をそれぞれ支持脚(ピン)と仮定した場合のばね定数を算出し、電気系の並列合成を仮定したばね定数を求めると計算上で衝撃周波数は55Hz程度となる。これは、衝撃時間に換算すると9ms程度となり、根太床上に薄い床仕上げ材(木質フローリングやタイルカーペット)

を施工した場合の実験時の衝撃継続時間 9 ～ 10ms とほぼ対応する。このように、衝撃継続時間が長くなることから、根太床上に床仕上げ材を施工した場合の衝撃緩衝効果が確認できる。なお、畳床は、木質フローリング材やカーペット材と比較して、衝撃緩衝効果が大きく、根太床上に施工するとさらに効果は大きい。

ここで、図9に示した中村らの頭部の衝撃耐性曲線に、本研究で行った実験結果を当てはめると図14、図15のようになる。図14に示した直張り床をみると、畳床では落下高さ120cm程度が脳震盪の限界を示しているのに対し、木質フローリングやタイルカーペットの場合では、落下高さは60cm程度と低くなっていることがわかる。また、図15に示した根太床上施工時には、木質フローリングやタイルカーペットの場合、直張り時より若干の緩衝効果はあるものの脳震盪の限界を示す落下高さは直張り時と同様の60cm程度である。しかし、根太間への衝撃時では、衝撃継続時間が増加し、平均加速度が大きく低減され、脳震盪の限界を示す落下高さが120cm程度を示すことがわかる。これらから、全体的には現状の木質フローリング床では防音木質フローリングとすることで、若干の効果は得られるものの、転倒時の衝撃緩衝効果に着目すると根太床や乾式二重床等の曲げばねの緩衝効果が得られる床にすることで大きな改善が見込めるものと考えられる。

3. 転倒時の衝撃緩衝効果と歩行感からみた直張り木質フローリング床の検討

3.1 実験内容

2.において、現状の住宅仕上げ床における転倒時の衝撃緩衝効果を検討した結果、転倒時の衝撃緩衝効果からみれば、直張り床に比べて曲げ変形を有する根太床の方が有効であることを示した。しかし、実際の住宅では直張り床を用いることも多く、その意味では直張り床においても、ある程度の衝撃緩衝効果が得られる床を実現する方法について検討しておくことが必要であると考えられる。そこで、直張り床の例として木質フローリング床を取り上げ、市販されている緩衝材を下地材として、木質フローリングに裏打ちした試作床を作製し、転倒時の衝撃緩衝効果に関する検討を行った。

当然ながら緩衝材を厚くすれば、衝撃緩衝効果は大きくなることが予想されるが、住宅は生活の場であることから、足元の不安定性や歩行時のかたさ感覚からみた好ましさについても配慮しなければならない。そこで、試作床における転倒時の衝撃緩衝効果を明らかにする一方で、既報^{1)～4)}等で示した知見に基づき、歩行時のかたさ感覚についても検討した。

試作床の断面構成を図16に、試作床の諸元を表2に示す。試作床に用いるフローリング材は、緩衝材のない表1のF-1とした。そし

図14 衝撃継続時間と平均加速度の関係(直張り床)

図15 衝撃継続時間と平均加速度の関係(根太床)

図16 試作床の断面構成

表2 試作床の諸元

	仕上げ材	下地厚 (mm)	下地材
試験床A	木質 フローリング (F-1)	5	ゴム板
		10	
試験床B		5	発泡ポリエチレン
		10	
試験床C		5	発泡プラスチック
		10	
試験床D		5	コルク
		10	
試験床E		5	衝撃吸収ゴム (アクリル+ウレタン+ゴム)
		10	
試験床F		5	ウレタンフォーム
		10	
試験床G		5	スポンジゴム
		10	

て、表2に示すA～Gの7種類の市販の下地材を図16に示すように裏打ち材として用いた。

実験は、表2に示す試作床を、設置床の影響を極力除外するために土間コンクリート上に設置し、2.と同様の方法で頭部ダミーの衝撃試験を行った。頭部ダミーの落下高さについては、最も危険な条件として150cmからの落下とした。2.でも述べたように、実際の人の転倒時には、何らかのかばう動作により衝撃が低減されることが想定されるが、図15で示したように根太床における根太間では150cm落下高さでも頭蓋骨骨折限界以下を示しており、ここでは直張り床で根太床程度の衝撃緩衝効果を得る断面仕様について検討することとし、目安を150cm落下高さによる頭蓋骨骨折限界とした。

3.2 実験結果

実験を行った全ての試作床における衝撃継続時間は4ms以内であったため、図17に示すように中村らによる頭部の衝撃耐性曲線¹⁵⁾の4msまでに着目した近似曲線を引くと、 $a\sqrt{t}=355$ (a :平均加速度(G), t :衝撃継続時間(ms))が導かれた。そこで、試作床における実験結果から得られた $a\sqrt{t}$ を求めた結果を図18に示す。これを見ると、試験体E, Fにおいて下地材を10mm裏打ちすることにより150cmからの衝撃時において $a\sqrt{t}=355$ を下回っていることがわかる。

ここで、直張り木質フローリング床において、歩行時のかたさ感覚からみた好ましさと安定感は、既報^{2), 4)}等でも述べたように動変位の大きい、すなわち柔らかい床は性能が低下するため、試作床について動変位測定を行った。ここでは、既報²⁾と同様の方法を用い、ボール落下時の動変位測定を行った。実験結果を図19に示す。また既報²⁾で検討したボールによる動変位と歩行時の好ましさの対応例を図20に示す。これらを見ると、頭部ダミーによる衝撃緩衝効果の大きかった試作床E, Fに着目すると、ボール落下時の動変位量としては試作床Fの方がかなり大きく、図20に示した歩行時の好ましさと対応でも好ましくない側に位置付けられることがわかる。一方、試作床Eについては、ボール落下時の最大変位量が1.4mm程度を示し、歩行時のかたさからみた好ましさも良いことがわかる。これらをまとめると、直張り木質フローリング床においても、現状からみれば総厚としては多少厚くなるが、下地材の種類を考慮することで、転倒衝撃時の衝撃緩衝効果が大きく、歩行時においても適正な弾性を確保できることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、頭部からの転倒時を対象として、頭部ダミーを用いた住宅床における衝撃緩衝効果について検討を行った結果、以下のような成果を得た。

- (1) 本研究で用いた頭部ダミーは、衝撃力時間特性、衝撃力周波数特性ともに人の後頭部衝撃時によく対応しており、かつ有効質量も人の平均的な値を示すことから、人の頭部に相当する有用な衝撃源であると言える。
- (2) 非防音直張り木質フローリングに比べて、防音直張り木質フローリングは、転倒時を対象とした衝撃緩衝効果からみると若

図17 頭部の衝撃耐性曲線(頭蓋骨骨折の限界)¹⁵⁾

図18 各試作床における $a\sqrt{t}$ の結果

図19 各試作床の最大変位量結果 (10mm)

図20 好ましさと最大変位量の例 (衝撃源: ボール)

干の効果はあるものの、根太床上の曲げばねによる緩衝効果からみればその影響は小さいと言える。

- (3) 直張り床の場合、本研究で対象とした床仕上げ材では、畳を用いた場合には120cm程度からの落下(転倒)が脳震盪限界を示すのに対し、直張り木質フローリングやタイルカーペットでは脳震盪限界を示す落下高さが60cm程度であることが示された。また、直張り木質フローリング材を根太床上に施工し根太間に衝撃した場合では、脳震盪限界を示す落下高さは120cm程度になることが示された。これらより、転倒時の衝撃緩衝効果に着目すると、床仕上げ材の曲げばねの緩衝効果が得られる根太床は、非常に効果的な床であることがわかった。
- (4) 直張り木質フローリング床においても、現状からみれば総厚としては多少厚くなるが、下地緩衝材を選定することで、転倒衝撃時の衝撃緩衝効果が大きく、歩行時においても適正な弾性を確保できることを示した。

以上のように、本研究では住宅床における床仕上げ構造の衝

撃緩衝効果を明らかにし、直張り木質フローリング床でも適切な緩衝材を用いることで、転倒時の衝撃からみた性能向上が期待できることを示した。しかしながら、あくまでもこれらの結果は一つの事例であり、身体的な個人差(特に乳幼児、高齢者の場合はさらに安全側に考えることが必要になろう)や衝突の仕方によって、かなり衝撃状況の変化が予想される。今後は、建築側からのアプローチと共に、医学的分野を含む他分野における研究の継続が望まれる。

参考文献

- 1) 富田隆太, 井上勝夫, 川又周太: 高齢者及び成人の歩行特性と歩行感からみた床仕上げ構造に関する検討, 日本建築学会環境系論文集, 第569号, pp. 7-14, 2003. 7
- 2) 渡部和良, 井上勝夫, 富田隆太: 床構造変化時の木質系フローリングの変位量と感覚評価について 高齢者歩行時の住宅床に関する研究: その6, 日本建築学会大会講演梗概集, D-1分冊, pp. 71-72, 2005. 9
- 3) R. TOMITA and K. INOUE: Floor impact sound using tapping machine and walking sense of aged and adults for floor finishing materials; Proceedings of inter-noise 2006, in06_557, pp. 1-10, 2006. 12
- 4) 富田隆太, 井上勝夫: 直張り木質フローリング床を対象とした高齢者及び成人の歩行感覚と動的変位量に関する検討; 日本建築学会環境系論文集, 第612号, pp. 15-22, 2007. 2
- 5) 宮崎亨一: 衝突実験用人体模型(ダミー)の動向について, 自動車研究, 第3巻, 第7号, pp. 38-40, 1981. 7
- 6) 神峰雄, 浅野 克: HYBRID-Ⅲダミーの構造と検定試験方法, 自動車研究, 第16巻, 第12号, pp. 24-27, 1994. 12
- 7) 後藤司, 小野古志郎: 低速度追突時のダミーと人体との衝撃応答の比較について, 自動車研究, 第22巻, 第2号, pp. 26-29, 2000. 2
- 8) 国土交通省、自動車事故対策機構: 自動車アセスメント, 2006. 3
- 9) 小野英哲, 三上貴正: 衝突時の身体の安全性からみた床・壁のかたさ測定装置設計・試作のための基礎的資料の集積 衝突時の身体の安全性からみた床・壁のかたさの評価方法に関する研究 (第1報), 日本建築学会構造系論文集, 第373号, pp. 9-18, 1987. 3
- 10) 小野英哲, 三上貴正: 衝突時の身体の安全性からみた床・壁のかたさ測定装置の設計・試作 衝突時の身体の安全性からみた床・壁のかたさの評価方法に関する研究 (第2報), 日本建築学会構造系論文集, 第381号, pp. 10-16, 1987. 11
- 11) 三上貴正, 小野英哲: 衝突時の身体の安全性からみた床・壁のかたさの評価方法の提示 衝突時の身体の安全性からみた床・壁のかたさの評価方法に関する研究 (第3報), 日本建築学会構造系論文集, 第394号, pp. 1-7, 1988. 12
- 12) 佐藤英幸, 長谷川敦志, 直井英雄他2名: 床構法が転倒時の頭部衝撃に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E分冊, pp. 529-530, 1986. 8
- 13) 直井英雄, 佐藤英幸, 長谷川敦志他1名: 床構法が転倒時の頭部衝撃に与える影響 (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, E分冊, pp. 693-694, 1987. 10
- 14) 下村龍治, 小野行彦, 直井英雄他1名: 床及び壁構法が転倒時の頭部衝撃に与える影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E分冊, pp. 679-680, 1990. 10
- 15) 中村紀夫: 重症脳外傷の一次性死因の解明とその対策, 昭和58年度科学研究費補助金(一般研究A)研究成果報告書, 1983
- 16) 眞野行生: 高齢者の転倒とその対策, 医歯薬出版, 1999. 12
- 17) 国民生活センター: 危害情報から見た高齢者の家庭内事故, 2003. 5
- 18) 富田隆太, 井上勝夫, 川又周太: 転倒状況に関する調査及び歩行感覚と動的変位量の対応性の検討 高齢者歩行時の住宅床に関する研究 その3, 日本建築学会大会講演梗概集, D-1分冊, pp. 97-98, 2003. 9
- 19) 遠藤佳宏, 宇野英隆: 転倒姿勢が頭部衝撃に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E分冊, pp. 691-692, 1987. 10

[2007年4月20日原稿受理 2007年7月26日採用決定]