

3.1.3 室内の安全性向上の実現に関する研究

3.1.3.1 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成18年度業務目的

(2) 平成18年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 家具を適切に配置するためのフロー図の作成
 - 2) 家具の転倒防止器具を適切に選択するためのフロー図の作成
 - 3) 本研究成果に関する各種ステークホルダーへのヒアリング調査
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学生産技術研究所 東京大学工学系研究科	教授 大学院生	目黒公郎 佐藤芳仁	meguro@iis.u-tokyo.ac.jp

(c) 業務の目的

家具や什器の転倒防止対策の実情調査、これが徹底されていない理由の調査を行うとともに、家具や什器メーカーと住宅メーカー等と協力のもと、特別な・室内安全性を確保するための技術開発技術がなくても(素人でも)対処できる簡易な家具を固定するシステム(試案)を提案する。家具や什器の地震時の動的挙動解析ツールも開発する。

(d) 5カ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

家具や什器の転倒防止対策の実情調査、これが徹底されていない理由の調査を行うとともに、家具や什器メーカーと住宅メーカー等と協力のもと、特別な技術がなくても(素人でも)対処できる簡易な家具を固定するシステム(試案)を提案した。

2) 平成15年度：

特に専門的な知識のない一般の人々を対象として、地震時の室内の安全性を自己評価できるシミュレーターや評価システムの開発を開始した。また、これらの基本データとなる家具や什器の転倒防止対策の実情調査も引き続き実施し、これが徹底されていない理由を調査した。前年度同様、簡易な家具を固定するシステムの検討も続けた。

3) 平成16年度：

これまでに検討を進めてきた簡易な家具を固定するシステムに関する検証実験(開発したシミュレーターによる数値実験を含む)を行った。新築の建物、耐震補強済み建物、既存不適格建物における家具の動的挙動の差を理解するために、地震時の建物の動的挙動シミュレーターもあわせて開発した。これらの研究成果に基づいて、対策法の適用マニュアルを試作した。

4) 平成17年度：

平成16年に引き続き、簡易な家具を固定するシステムに関する検証実験(開発したシミュレーターによる数値実験を含む)を行った。また検証実験と数値実験を照らし合わせるにより、数値解析手法の高精度化を図った。試作した適用マニュアル

に対する、家具・什器メーカーや住宅メーカーの意見調査を行い、その分析結果を反映した技術の検証を試みた。

5) 平成18年度：

平成17年度に実施した実験結果を踏まえ、地震時の建物の動的挙動シミュレーターの高精度化を図る。またユーザにとって使いやすいインターフェースの改良も図る。実験と数値シミュレーターの結果から把握できた家具固定器具の性能と、より効果的な使用方法を踏まえて、これらの設置マニュアルを整備する。

(e) 平成18年度業務目的

昨年度までに実施してきた実験と検討を進めてきた簡易な家具を固定するシステムの成果を踏まえて、地震時の建物の動的挙動シミュレーターの高精度化を図る。またユーザにとって使いやすいインターフェースの改良を行う。さらに家具の設置に関して注意すべき点と具体的な対策法を、専門的な知識のない一般市民でも理解できるようにわかりやすくまとめる。そして地震時の安全性の観点から、家具の配置をどのように決定すればよいかを示すフロー図と、家具に応じて正しく転倒防止器具を選択し設置するためのフロー図を作成する。これら二つのフロー図を用いることで、専門的な知識のない一般市民でも、適切な場所に適切な転倒防止措置を用いて家具を設置でき、地震時の室内被害を大幅に軽減しうる環境を整備する。

(2) 平成 18 年度の成果

(a) 業務の要約

1995 年の兵庫県南部地震では、地震発生後から 2 週間までの死者に占める建物被害を直接原因とする死者は 8 割以上にものぼり¹⁾、その中の約 1 割が家具の転倒・落下による影響を受けたと言われている²⁾。また 2004 年の新潟県中越地震では、川口・小千谷地域において、負傷者の約 4 割の原因が家具類の転倒や落下物とされている³⁾。

地震の規模別発生頻度や震度別の面積、また今後の建物の耐震性の向上を考えると、建物の被害以上に室内の家具の転倒や移動などが死傷者の原因として重要性を増してくると考えられる。地震時の家具による被害を減らすには、転倒防止装置の設置など、市民 1 人 1 人の自発的な被害軽減行動が不可欠である。

そこで本研究では、地震時の家具の挙動による被害を最小化するために、室内の家具の設置に関して注意すべき点と具体的な対策法を、専門的な知識のない一般市民でも理解できるようにわかりやすくまとめた。まずは家具を配置する上で注意すべき項目をまとめ、地震時の安全性の観点から、家具の配置をどのように決定すればよいか分かるフロー図を作成した。次に、昨年の家具の振動台実験と家具の転倒率による生活空間の安全性評価から得られた結果をもとに、対象とする家具ごとにどのタイプの転倒防止器具が効果的であるのかを簡潔にまとめ、転倒防止器具を正しく選択するためのフロー図を作成した。一般市民がこれら二つのフロー図とその解説を用いることで、適切な家具の転倒防止措置を選択し設置する環境が整備され、地震時の室内被害を大幅に軽減させることが可能となった。

(b) 業務の成果

1) 家具を適切に配置するためのフロー図の作成

地震による居住者の被害は、激しい地震動の影響で倒壊するなどした建物の影響を直接受けているものと、建物の被害は軽微であったが室内で転倒した家具などの影響で被災したものに大きく分けられる。地震の規模別発生頻度や震度別の面積、また今後の建物の耐震性の向上を考えると、建物の被害以上に室内の家具の転倒や移動などが死傷者の原因として重要性を増してくる。地震時の家具による被害を減らすには、家具の適切な配置と適切な転倒防止装置の設置が重要である。

そこでまずは、適切な家具の配置法に関するフローを作成した(図 1)。地震時の家具による被害を減らすには、危険性の高い場所への家具の配置を避けることである。すなわち、家具を配置する適切な場所と向きを適切に決めることがポイントである。作成したフロー図は自分の住んでいる建物の特性と部屋の使い方を考慮し、家具を配置する上で知っておくべき項目を簡潔にまとめたものである。自分の住んでいる建物がどちらの方向に揺れやすいのかの特性は、建物の壁量を計算することにより知ることができ、その壁量は壁実長に壁倍率を掛けることにより求めることができる⁴⁾。さらに転倒によって出入口がふさがったり、自分の身体を襲ってくるような位置や向きに配置しないことが重要である。

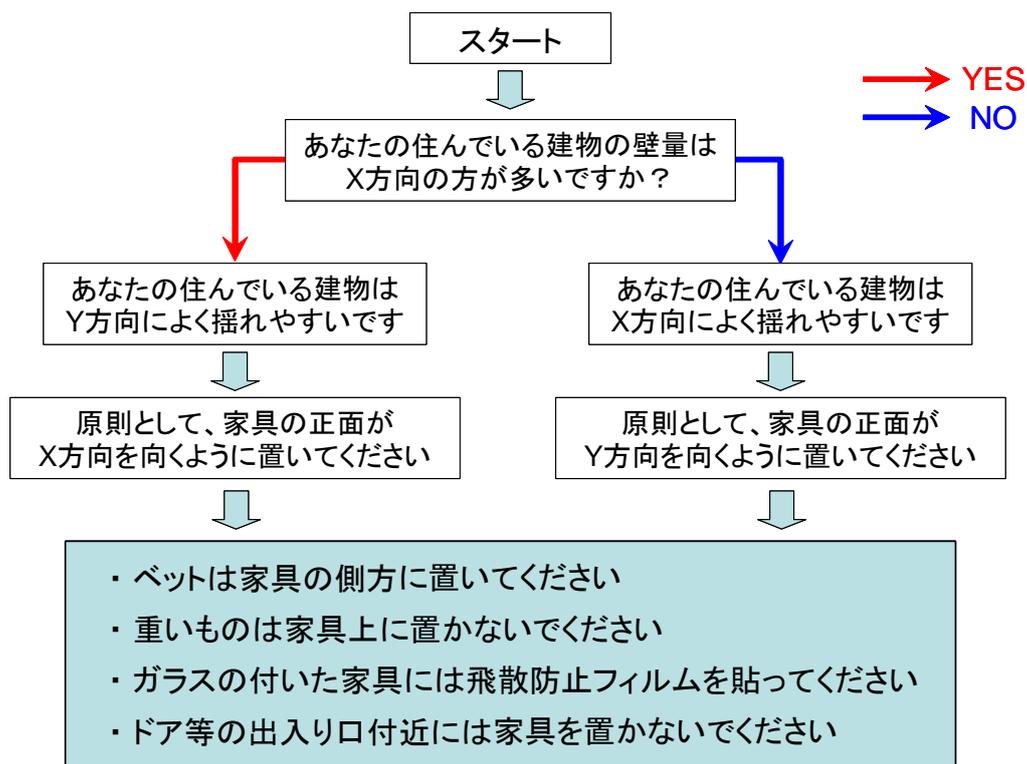


図1 家具の配置を適切に決定するためのフロー

図2に示す木造の戸建住宅（モデルルーム No.1）を対象に説明する。色の異なる各壁についている数値は壁の強度を示す数値であり、この値の大きな壁ほど地震に対して抵抗する。この建物の壁量をX方向とY方向に分けて計算すると、X方向の壁量合計が34[m]、Y方向の壁量合計が28[m]になる。この建物ではX方向の壁量の方が多いので、地震時にはY方向に揺れやすいことがわかる。一方、図3に示す例（モデルルーム No.2）では、X方向の壁量合計が27[m]、Y方向の壁量合計が31.5[m]で、Y方向の壁量の方が多く、地震時にはX方向に揺れやすい。

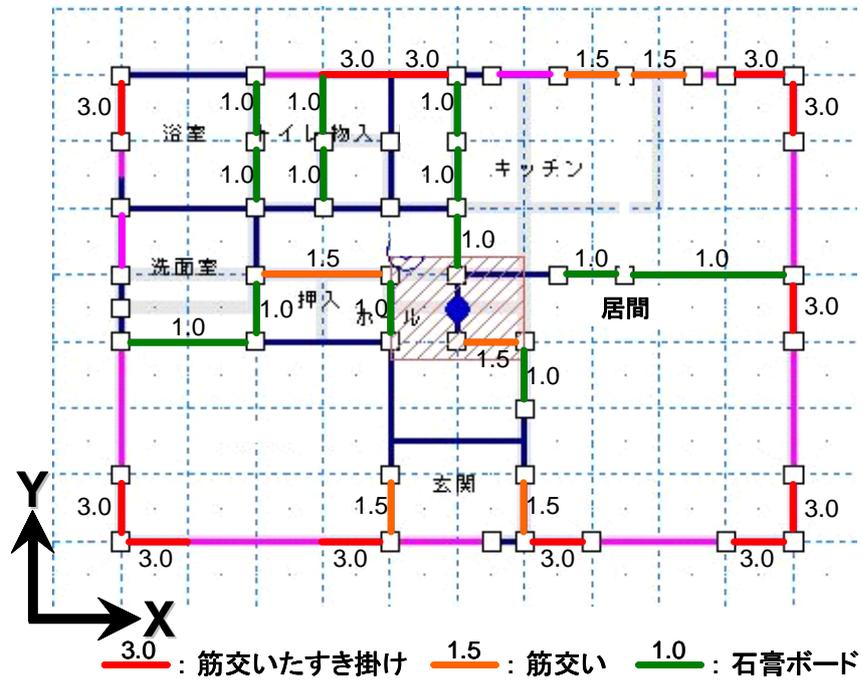


図 2 モデルルーム No.1 の平面図

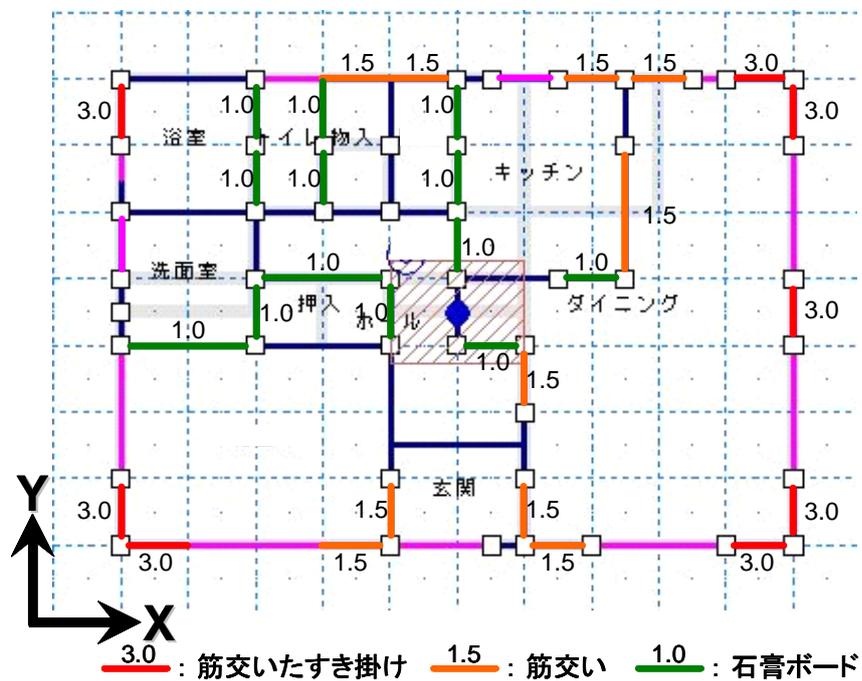


図 3 モデルルーム No.2 の平面図

図 3 のモデルルーム No. 2 の左下隅の部屋が自分の部屋であったとする。この部屋を対象に、家具配置フロー図と壁量をもとに、最適な家具のレイアウトを考えたものが図 4 となる。Y 方向の壁量が多いため、X 方向に揺れやすい。よって、家具（本棚）の設置向きは

正面がY方向を向くように配置する。またもし転倒した場合でも出入り口を塞がない位置であることを確かめる。

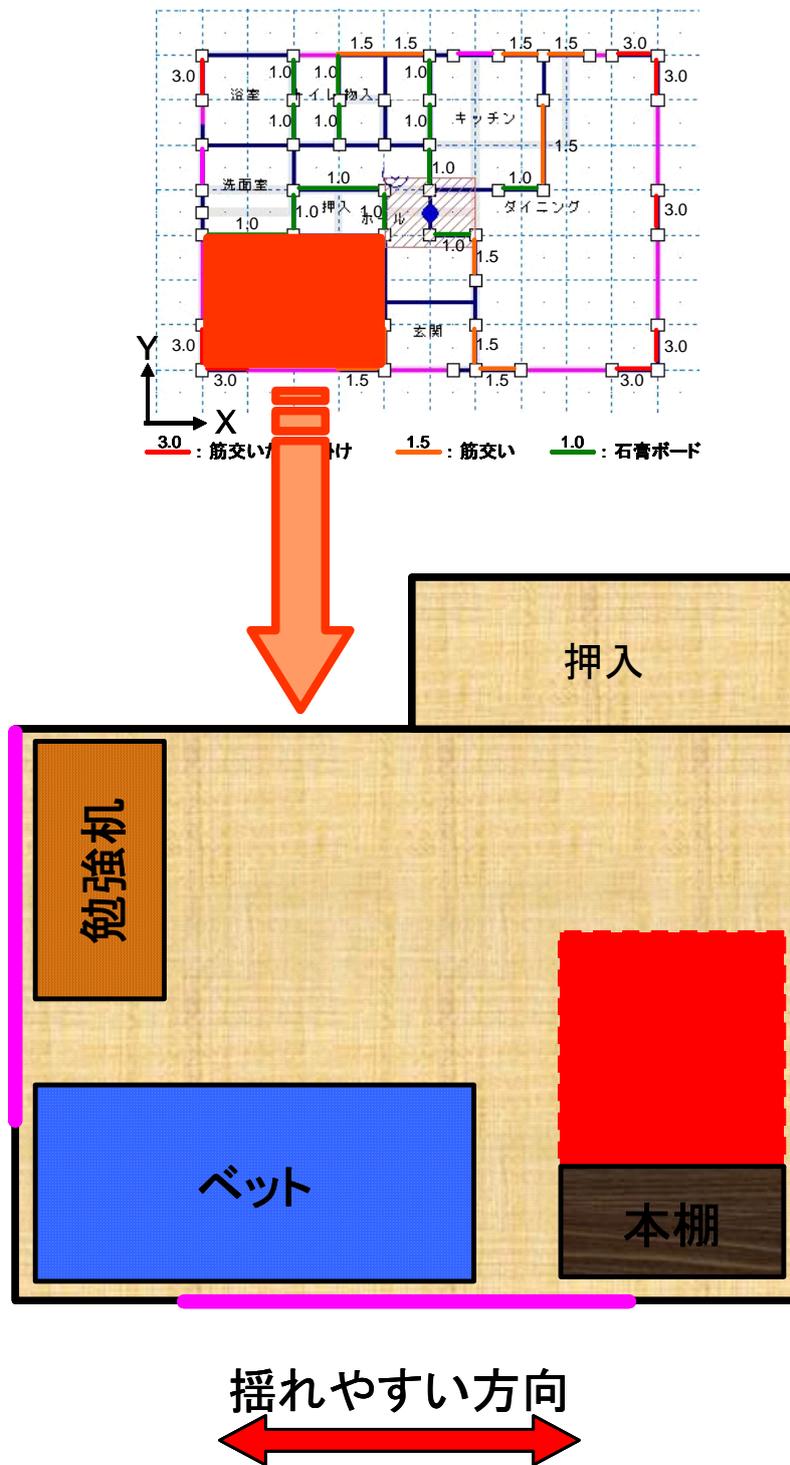


図4 最適な家具のレイアウト

2) 家具の転倒防止器具を適切に選択するためのフロー図の作成

次に、転倒防止器具を適切に選択するためのフロー図(図 5)を作成した。転倒防止器具は、床の種類や取り付ける家具のタイプまたはサイズにより、発揮する転倒防止効果の大きさが異なる。このフロー図は、それら転倒防止の効果を決定する要因をまとめ、家具に転倒防止器具を取り付ける際に、どのタイプの器具を取り付けたらよいのかをわかりやすく示したものである。また、この章の最後に転倒防止器具決定フロー図の解説を載せる。この解説により、フロー図をより詳細に理解することができる。

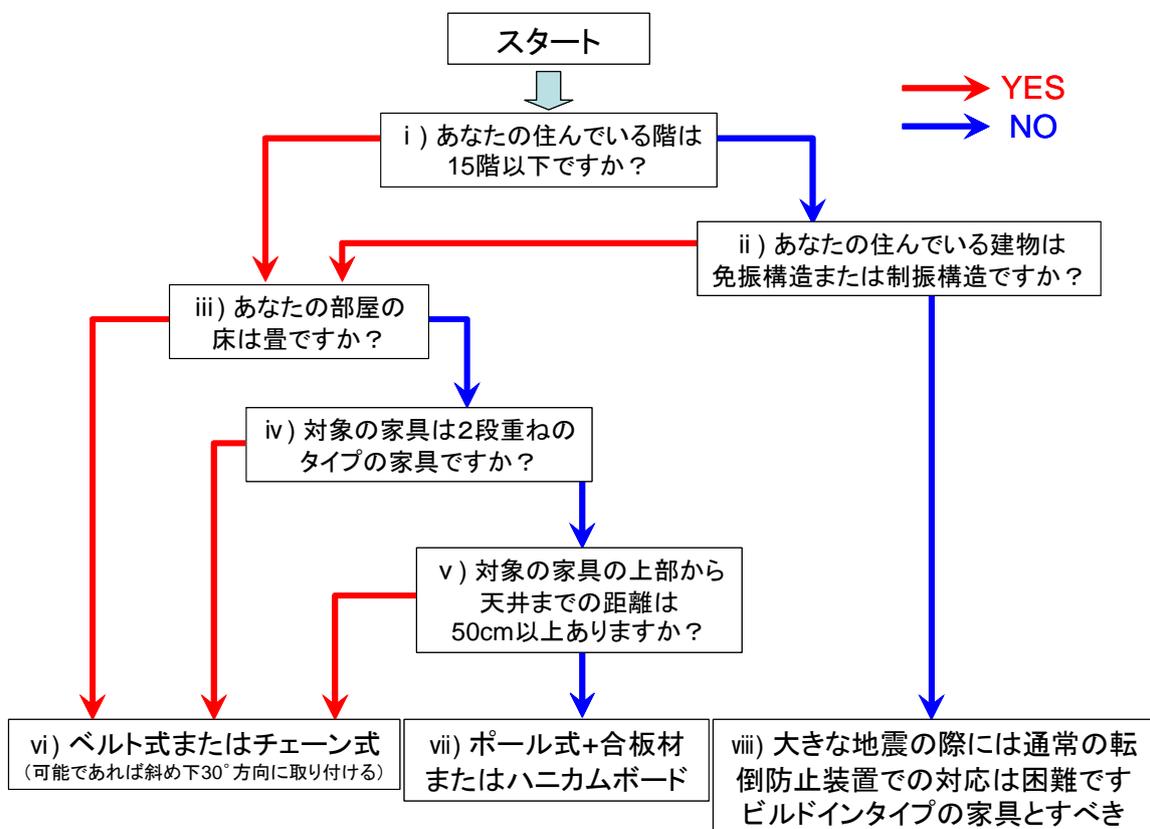


図 5 家具の転倒防止器具を適切に決定するためのフロー

(2 段式以上の家具では、各段の家具を相互に堅固に連結することがまず重要である)

ベルト式またはチェーン式転倒防止器具は、通常は図 6 に示すように、一端を家具の上部に取り付け、もう一方を斜め上方 30~60° の方向に取り付ける。しかしベルトやチェーンは、可能であれば図 7 に示すように、斜め 30° 下方向に取り付けると効果が格段に上がる。理由は、斜め下方向に取り付けることによって、ベルトやチェーンに働く引っ張り力が家具を床に押しえつける効果を持つからである。この下向きの力によって、地震時の家具は床に押しえつけられ、水平方向の変位が防がれる。特に床が畳で、家具の正面を逆目方向になるように家具を置いた場合には、家具の下端面と畳面との大きな摩擦力により、一層水平方向の変位を防ぐことができ、転倒防止効果が高まる。この効果は連結装置によってしっかり連結された 2 段重ねのタイプの家具でも有効である。

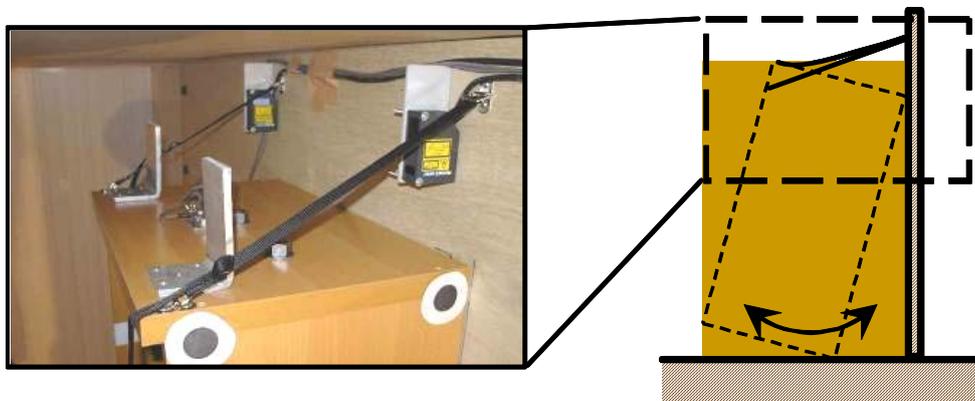
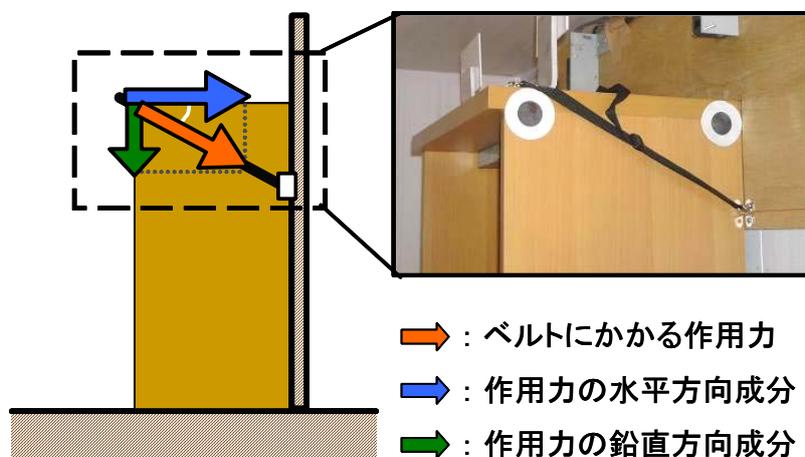


図 6 ベルト式転倒防止器具を斜め 30° 上方向に設置した場合の家具の挙動



- : ベルトにかかる作用力
- : 作用力の水平方向成分
- : 作用力の鉛直方向成分

図 7 ベルト式転倒防止器具（斜め 30° 下方向設置）

図 5 の「ポール式+合板材」の転倒防止器具は、合板材を 2 本のポール式転倒防止器具の上部に設置し、ポール式転倒防止器具の上部と合板材を両面テープで固定したものである（図 8）。通常、天井の剛性はそれほど高くないため、ポール式転倒防止器具の小さな上部の面積で押すと変形したり壊れたりして、ポール式転倒防止器具が倒れることがある。しかし 2 本のポールと合板材を連結することで、両方のポールが一体となって挙動し、また天井を面で支えることになり転倒防止効果が著しく向上する。この状況は、滑り止めシートを挟んだ上で、ハニカムボードと家具と天井の間に設置した場合と同様である。ハニカムボードとはダンボール紙を重ねたもの（図 9）で、衣類をきつめに詰めたダンボールの箱と同程度の硬さである。この程度の硬さの場合、箱自体が変形することで天井への負担が軽減される。しかし家具が転倒するほどは変形できないので、結果的に高い転倒防止効果を発揮する。



図 8 「ポール式+合板材」転倒防止器具

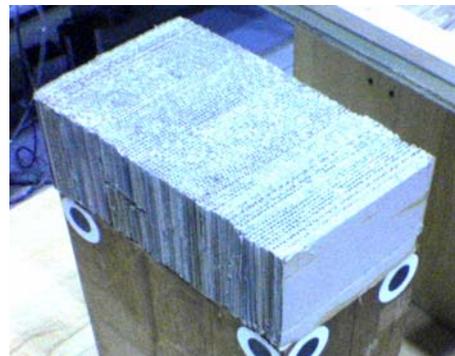


図 9 ハニカムボード

次に、建物の階数を考慮した適切な家具の設置のために、次のような検討を行った。N-S、E-W方向ともに 1.2[sec]の固有周期となる剛性を持ち、U-D方向はN-S、E-W方向の 100 倍の剛性を持つ 20 階建てのビルを、多質点系のバネマスモデルで表現し、このビルが様々な地震動を受けた際の各フロアの時刻歴応答解析⁵⁾を行った。入力地震動には、過去の地震で記録された地震動データベースから、卓越周期の短い記録から長い記録までをバランスよく選択して用いた。この解析によって得られた各階の 3 次元時刻歴床応答を入力波とし、モデルルームに設置された各種の家具の動的挙動を 3D-EDEMによってシミュレーションした。シミュレーションによって得られた家具の転倒率は図 10 のとおりである。上階では地震動が増幅されるために、15 階以上のフロアでは、ベルト式転倒防止器具を取り付けた場合でも、家具が転倒してしまう危険性が高いことがわかる。これを防ぐには、建物やフロアに免振構造や制振構造を設置して入力地震動を低減するか、あらかじめ部屋に造り付けられている、ビルドインタイプの家具にする必要がある。

3) 本研究成果に関する各種ステークホルダーへのヒアリング調査

本研究で実施した振動台を用いた家具の転倒実験（転倒防止器具の性能評価を含めて）や、自分の部屋を対象とした地震時の家具のシミュレーションシステム、さらにこれらの結果を踏まえた、家具の安全な配置と転倒防止器具の決定フロー図に関して、関係者の意見を聞いた。具体的には、国・自治体・業者・市民などの様々なステークホルダーを代表

する方々へのヒアリング調査を行った。得られた意見の概要を以下にまとめが、この調査の主たる部分は、耐震補強の推進制度に関する研究成果に関するインタビューと合わせて実施したものである。

- ・ビジュアルに地震時の様子が見られるのは良い。(国からの視点：衆議院議員、早稲田商店会会長 安井潤一郎氏)
- ・中野区では家具の転倒防止器具の取付工事の希望者に耐震改修施工者を紹介する事業も行っている。65歳以上のみ世帯・身体障害者のみ世帯・ひとり親世帯等には工事費が無料(固定器具は有料)となる。実績が伸びていないのが残念であるが、提案のような転倒防止器具の効果がわかりやすく示されるツールがあれば理解が進んでいいと思う。(以上、自治体首長からの視点：東京都中野区長 田中大輔氏)
- ・地震時の家具の挙動をリアルに見せるシミュレーターは効果があって良い。家具の振動台実験の様子は映像を一般公開してほしい。ビデオなどで販売してもよいと思う。墨田区では平成18年から高齢者等を対象に家具の転倒防止器具を無料で取り付ける事業も行っている。2,000件分の予算を用意していたが、今のところ実績は600件である。(以上、行政の担当部局からの視点：東京都墨田区都市計画部 部長 渡会順久氏、建築指導課課長 沖田 茂氏)
- ・耐震補強工事を行う際に、業者が無料で室内の転倒防止対策もやってあげている。その際に家具の挙動や転倒防止装置の効果が目で見てわかるのはいいツールだと思う。(耐震補強や家具の転倒防止器具の取り付けの活動を進めている市民からの視点：地域住環境研究所 福井義幸氏)
- ・足立区では家具の転倒防止措置への2万円の補助制度がある。ピアノ・冷蔵庫・仏壇の転倒防止対策が難しい。これらの対策は、そもそもその壁に下地を入れてしまう方が良いので、耐震補強と一緒にやれば効果的である。耐震補強工事を行う際は、転倒防止対策をやってほしいかどうか施主に聞き、ほとんどの場合には転倒防止措置もやってあげている。またその際に、実際の地震時の家具の動きや転倒防止装置のあるなしによる被害の差がわかりやすく見えるのはいい。(耐震補強業者からの視点：松崎建設株式会社 代表取締役 松崎孝平氏)
- ・会社設立国が地震国ではないので、地震に対して特に配慮してきてはいないが、今回話を聞いて、地震対策の重要性を認識した。特に地震多発国へのビジネスを考える上では忘れてはいけない点であると思う。今後は商品の展示法と商品開発の両面で考えていきたい。その際に、今回説明を受けたシミュレーションやシステムは重要性を認識する上で非常にわかりやすく効果的であると思う。(家具メーカー IKEA、Mr.Mike Schaap 氏)

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究では、地震時の家具の挙動による被害を最小化するために、室内の家具の設置に関して注意すべき点と具体的な対策法を、専門的な知識のない一般市民でも理解できるようにわかりやすくまとめた。まずは家具を配置する上で注意すべき項目をまとめ、地震時

の安全性の観点から、家具の配置をどのように決定すればよいか分かるフロー図を作成した。次に、昨年の家具の振動台実験と家具の転倒率による生活空間の安全性評価から得られた結果をもとに、対象とする家具ごとにどのタイプの転倒防止器具が効果的であるのかを簡潔にまとめ、転倒防止器具を正しく選択するためのフロー図を作成した。これら二つのフロー図とその解説を用いることで、一般市民でも適切な家具の転倒防止措置を選択し設置する環境が整備され、地震時の室内被害を大幅に軽減させることが可能となった。

(d) 引用文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 共通編-1 総集編， p.61， 2000.3
- 2) 日本建築学会建築委員会／兵庫県南部地震調査研究部会／建築内部空間における被害WG：阪神淡路大震災住宅内部被害調査報告書， 1996.9
- 3) 東京消防庁 家具の転倒・落下防止対策推進委員会：家具類の転倒・落下防止対策推進委員会における検討結果， 2005.3
- 4) 財団法人 日本建築防災協会：木造住宅の耐震精密診断と補強方法， pp.9-28， 1997
- 5) 大崎順彦：建築振動理論， 彰国社， pp.215-297， 1996

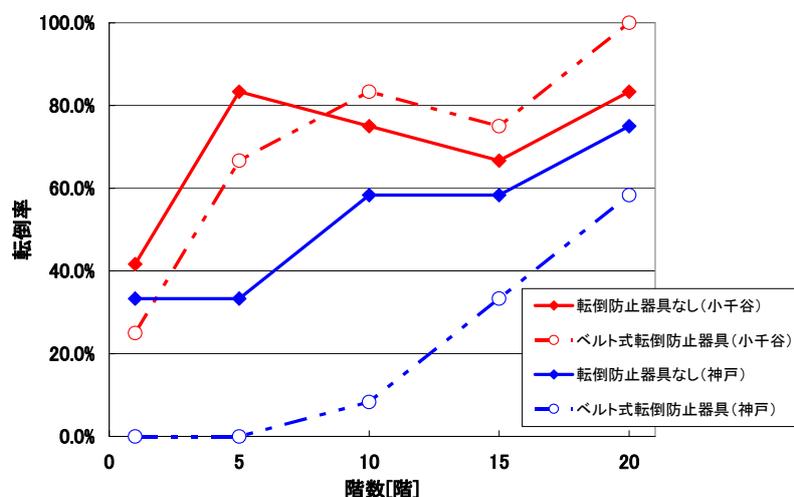


図 10 地震動におけるフロアと転倒率との関係

項目	解説	図表
<p>i) あなたの住んでいる階は15階以下ですか？</p>	<p>15階以上になりますと、大きな地震の際には上階では揺れが増幅され、転倒防止器具を設置しても、家具が転倒してしまう危険性が高いです。 例えば、鉄筋コンクリート造20階建ての建物で、N-S、E-W方向の固有周期が1.2秒の場合、家具の転倒率は右図のようになります。</p>	<p>図11a 地震動におけるフロアと転倒率の関係(転倒防止器具なし、upは転倒防止器具)</p>
<p>ii) あなたの住んでいる建物は免振構造または制振構造ですか？</p>	<p>あなたの住んでいる建物が免振構造または制振構造であれば、あなたの建物の揺れは小さくなります。 制振構造は、風に対してのもが多く、一般的に地震に対しての効果は高くありません。 また免振構造においては、長周期化した固有周期に合う長周期成分の多い地震動が作用した場合には、揺れが小さくならず、むしろ増幅される可能性があります。</p>	<p>図11b 地震動におけるフロアと転倒率の関係(転倒防止器具なし)</p>
<p>iii) あなたの部屋の床は畳ですか？</p>	<p>畳とフローリングでは、右図のように各階の転倒率は異なります。</p>	<p>図11c 地震動におけるフロアと転倒率の関係(転倒防止器具なし)</p>
<p>iv) 対象の家具は2段重ねタイプの家具ですか？</p>	<p>2段または3段重ねタイプの家具は非常に不安定です。 必ず上下の家具を丈夫な金物(連結装置)で連結してください。</p>	<p>図11d 2段重ねタイプの家具の挙動(upは転倒防止器具、連結装置なし)</p>
<p>v) 家具の上部から天井までの距離は50cm以上ありますか？</p>	<p>家具上部から天井までの距離が50cm以上あると、ポール式転倒防止器具をしっかりと固定することが難しくなります。</p>	<p>図11e ポール式転倒防止器具の設置図 通常天井の 高さは24cm</p> <p>図11f ポール式転倒防止器具</p>

図 11 適切な家具配置のための解説

項目	解説	図表
vi) ベルト式またはチェーン式	<p>一般的にはベルト式またはチェーン式転倒防止器具は斜め30°上方向に取り付けますが、可能であれば斜め30°下方向に取り付けてください。</p> <p>斜め下方向に取り付けることによって、家具を床に押さえつける力をかけることができ、この力によって地震時の家具の水平方向変位を防ぐことができます。</p> <p>木ねじは壁下地または鴨居にしっかりと取り付けてください。</p> <p>壁が石膏ボードの場合はトグラード拡張アンカーを使用し、木ねじを取り付けてください。</p> <p>床が畳の場合は、家具の正面が摩擦力の大きい逆目方向になるように置くことで、効果が高くなります。</p> <p>2段重ねタイプの家具に取り付ける場合は、家具の1段目と2段目を連結する連結装置を必ず取り付けてください。</p>	<p>図9 ベルト式転倒防止器具(30° 斜め上方向取り付け)</p> <p>図10 チェーン式転倒防止器具(30° 斜め下方向取り付け)</p> <p>図11 ベルト式転倒防止器具(30° 斜め下方向取り付け、連結装置あり)</p> <p>図12 ベルト式転倒防止器具(30° 斜め下方向取り付け、連結装置あり)</p>
vii) 「ポール式+合板材」 または「ハニカムボード、ボックス」	<p>「ポール式+合板材」転倒防止器具とは、ポール式転倒防止器具の上部と合板材とを面テープによって固定したものです。</p> <p>「ポール式+合板材」転倒防止器具は、ポール式転倒防止器具の上部と合板材とを面テープによって固定することにより、左右両方のポールが一体となって挙動するため、器具がはずれてしまう可能性はかたがた小さくなります。</p> <p>「ポール式+合板材」転倒防止器具は、天井との接触面が広いため天井に作用する応力が小さくなります。つまり、天井への負荷が小さいという利点があります。</p> <p>「ポール式+合板材」転倒防止器具を設置する場合は、家具上部の前面ではなく、家具上部の背面に設置してください。</p> <p>「ハニカムボード」は、ダンポール紙を重ねたものです。軽量であるため、落下しても人間への影響はほとんどありません。また、紙でできているため加工が容易です。</p> <p>「ハニカムボードボックス」の代替物としては、ダンポール箱に衣類を詰め込んだものが有効です。</p>	<p>図13 ポール式+合板材</p> <p>図14 ポール式+合板材</p> <p>図15 家具の挙動(ポール式転倒防止器具のみ)</p> <p>図16 家具の挙動(ポール式転倒防止器具のみ)</p> <p>図17 ハニカムボード</p> <p>図18 ビルドインタイプの家具</p>
viii) ビルドインタイプの家具とすべき	<p>あなたの部屋は大きな地震の際には激しく揺れてしまい、通常の転倒防止器具での対応は困難です。</p> <p>家具に転倒防止器具を設置しても、転倒してしまう危険性が高いです。</p> <p>よって、家具を作りつけ(ビルドイン)タイプにする必要があります。</p>	<p>図19 ビルドインタイプの家具</p>

図 12 適切な家具の転倒防止器具の選択と設置のための解説

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
佐藤芳仁・ 目黒公郎	振動台実験による家具の転倒防止器具の効果の検証	第 61 回土木学会年次学術講演会	2006. 9
伊東大輔・ 目黒公郎	地震時の家具の動的挙動を考慮した生活空間の安全性評価に関する研究	第 61 回土木学会年次学術講演会	2006. 9
目黒公郎・ 佐藤芳仁・ 伊東大輔	家具の転倒防止器具の効果を振動台実験によって検証する	第 25 回日本自然災害学会学術講演会梗概集， pp. 123-124	2006. 11
目黒公郎・ 伊東大輔・ 佐藤芳仁	家具の動的挙動考慮した生活空間の地震時の安全性評価	第 25 回日本自然災害学会学術講演会梗概集， pp. 125-126	2006. 11

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

