

有限要素解析による家具の耐震対策の検証

Verification of Quake-Proof Countermeasures on Furniture by Finite Element Analysis

○非 小林 康一 (筑波大院)
Koichi KOBAYASHI, Graduate School, Univ. of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

正 磯部 大吾郎 (筑波大)
Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

Key Words: *Finite element method, Motion analysis, Quake-proof furniture, ASI-Gauss code*

1. 緒言

日本は世界有数の地震大国であり、数多くの地震が発生している。特に 1995 年の阪神・淡路大震災では、多くの構造物が倒壊した。また、地震による家具などの内部設備の転倒・損傷が発生し、人的被害も生じた。2011 年の東日本大震災では、震源から遠く離れた首都圏などで、建物自体への被害は少なかったが、家具や内装設備に大きな被害をもたらされた。東日本大震災後に東京消防庁が都内で実施したアンケート調査によると、約 20% の回答者が家具類の転倒・落下、移動（家具類が転倒せず、概ね 60cm 以上移動したものが）あったと回答している。さらに、階層が上層になるほど家具類の転倒・落下・移動が発生したと回答した割合が増加する傾向にあった[1]。

近年、家具などの什器を固定するなどして転倒を防ぎ、被害を未然に防ぐ措置が実施されている。これらの対策の有効性は、加振実験を行うことにより検証することができるが、コストや時間がかかり繰り返し行うことは困難である。そこで本研究では、ペナルティ接触理論に基づく接触アルゴリズムを ASI-Gauss 法[2]に導入した転倒挙動解析コード[3]を用いて、耐震対策を施した家具の地震時挙動解析を行い、耐震対策の検証、考案を行っていく。

2. 解析モデル

Table 1 に、解析対象とした家具モデルの寸法・重量・重心位置・静止摩擦係数を示す。静止摩擦係数は、防災科学技術研究所で行われた実験で、ベルトを巻いた家具を引き、動き出した際の荷重を重量で除した値の平均値である。モデル化にはすべて線形要素は 10 要素を用いた。耐震器具として、L 字金具および転倒防止ベルトをモデル化した。L 字金具を上部・側部に、転倒防止ベルトを上部に取り付けた家具モデル（以後、各々 L 字上部モデル、L 字側部モデル、ベルトモデルと記す）および L 字金具モデルの概観を Fig. 1 に示す。なお、図表では各々 L-U model, L-S model, Belt model と記す。重心位置は、構成する各部材の密度を調整することにより表現した。L 字金具は、1 部材 2 要素のねじ要素を用いて家具に取り付けた。L 字側部モデルでは、L 字金具の位置を家具の重心高さとした。転倒防止ベルトと家具との角度は、最適な角度とされている 30°とした[4]。ベルトの素材はスチールとし、10 要素のトラス構造とした。耐震器具と壁との取り付けは、ねじ要素の端節点を拘束することにより表現した。モデルの要素数と節点数は、L 字金具を取り付けた家具モデルがそれぞれ 1,984 と 1,503、転倒防止ベルトを取り付けた家具モデルがそれぞれ 1,840 と 1,395 である。

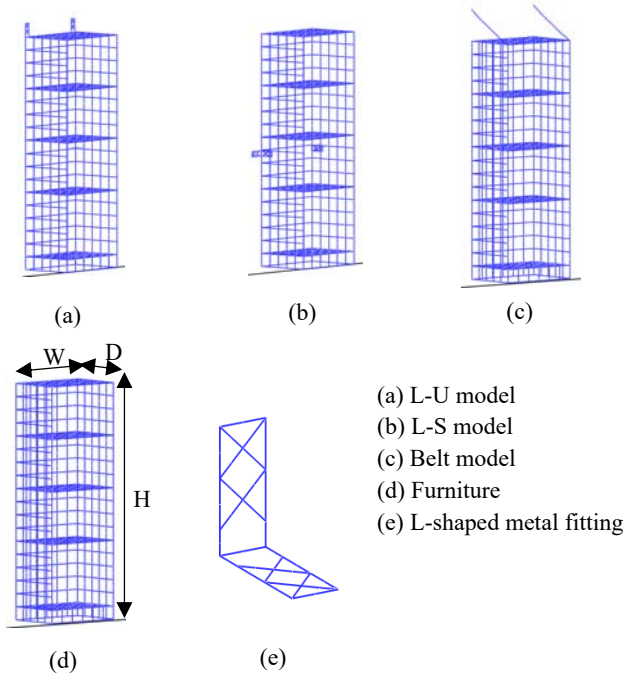


Fig. 1 Numerical models

本研究で用いた接触アルゴリズムでは、床と壁の要素分割が粗いと、床と壁の要素と家具の要素とが接触判定されない可能性がある。しかし、床と壁の要素分割を細かくすると、計算コストが極端に増加してしまう。そのため、床と壁は要素分割せずに、その接触判定は、接触要素の節点座標値と壁および床の座標値の差を用いて数値的に行った。なお、本研究では耐震器具と家具との接触は考慮していない。

3. 解析条件

本研究では、ねじ要素に加わる軸力が特定の引き抜き荷重以上になった場合、その要素を破断させることで引き抜きを表現することとし、その荷重を 150 kgf とした。入力波として、KiK-net 益城波 (M1F), KiK-net 芳賀波 (H1F), JMA 神戸波 (K1F), およびそれらを 10 層 RC 造建物解析モデルに入力した際に算出された 10 階の床応答加速度 (各々 M10F, H10F, K10F) を用いた。入力波を JMA 神戸波とした 10 層 RC 造建物の解析より得られた 10 階床応答加速度と、防災科学技術研究所で行われた、入力波を JMA 神戸波とした際の加振実験より得られた 10 階の床応答加速度とが良好に一致していることが確認されている。入力波を原波とした際の解析結果は 1 階での挙動、入力波を 10 階の床応答加速度とした際の解析結果は 10 階での挙動に近似できる。

Table 1 Properties of furniture and static friction coefficients

Dimension [mm]			Weight [kg]	Static friction coefficient	
W	D	H		X-direction	Y-direction
600	417	1800	157	0.297	0.292

4. 解析結果

Table 2 に各入力波に対するモデルの転倒状況を示す。Fig. 2 には、神戸波の 10 階でのそれぞれの家具モデルの様子を示す。また、Fig. 3 には、各入力波での解析終了時に初期位置から最も遠くまで移動した節点の変位を示す。

Table 2 Turnover situation of each model by each input wave

	M1F	M10F	H1F	H10F	K1F	K10F
L-U model	N	T	N	T	N	T
L-S model	N	T	N	T	N	N
Belt model	N	T	N	T	N	T

T: overturned, N: not overturned

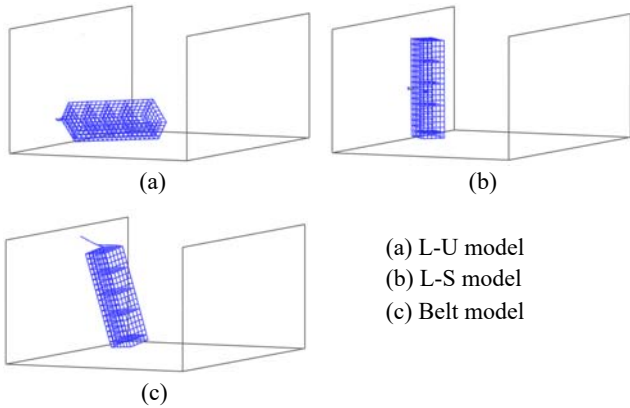


Fig. 2 Behaviors of each model on the 10th floor when JMA Kobe wave is applied

Table 2 に示すように、L 字上部モデルおよびベルトモデルは、10 階ではすべて転倒するという結果となった。L 字側部モデルは、益城波および芳賀波を 10 階で受けると転倒するが、神戸波を 10 階で受けた場合は転倒しない結果となった。

Fig. 3 に示すように、益城波（10 階）では、すべてのモデルで耐震器具が外れ、大きな挙動となった。一方、芳賀波、神戸波（10 階）では、L 字上部モデル、ベルトモデルでは家具が大きな挙動をするが、L 字側部モデルは比較的挙動が小さいことがわかる。ベルトモデルは、益城波（1 階）では挙動が大きくなり、片方の転倒防止ベルトを取り付けているねじが引き抜かれる結果となった。芳賀波（1 階）ではねじは引き抜かれないが、他のモデルと比較すると、若干の家具の移動が確認できた。L 字上部モデルは、すべての地震波（1 階）でねじが引き抜かれる結果となった。L 字側部モデルは、神戸波（10 階）では終了時に片方の L 字金具のみ付着した状態となったが、すべての地震波（1 階）でねじは引き抜かれなかった。L 字上部モデルの場合、地震動入力直後にねじに

大きな軸力が加わり引き抜かれたため、転倒に至ったと考えられる。ベルトモデルの場合、家具に対しての固定が不十分であり、家具の挙動により衝撃的な力がねじに加わり引き抜かれたため、転倒に至ったと考えられる。一方、L 字側部モデルは、ねじの取り付け位置から家具の重心位置までの距離が近く、家具の転倒モーメントが相対的に小さくなったため、ねじが引き抜かれず耐震器具が機能したと考えられる。

5. 結論

本研究では、L 字金具を上部、側部に取り付けた家具モデル、転倒防止ベルトを取り付けた家具モデルでの地震時挙動解析を行った。高層階では、L 字上部モデルおよびベルトモデルは、大きな挙動となり転倒する結果となった。しかし、L 字側部モデルは、神戸波（10 階）では転倒しないという結果となった。L 字上部モデルでは、家具が十分に固定されるが、大きな地震動下ではねじに大きな力が加わるため、固定部分が破壊され、耐震器具として機能しなくなる可能性がある。ベルトモデルは、ねじの固定部分は破壊される可能性が低い、家具の挙動によって衝撃的な力がねじに伝達され、固定部分が破壊してしまう場合もある。また、家具の固定が不十分であるため、ねじが引き抜かれずとも家具が大きな挙動をしてしまう恐れがある。一方、L 字側部モデルは、ねじの取り付け位置から家具の重心位置までの距離が近く、また、L 字金具取り付け部分が家具重心位置に対して線対称に取り付けてある。そのため、ねじに対して大きな力が加わらないため、ねじ固定部分が破壊されず、また、家具を十分に固定できるため、耐震器具として機能し続ける可能性が高い。

以上より、家具などの内部設備は、高層階になると耐震対策を施していても地震時に大きな挙動となり、危険性が高まることが示唆された。家具などの内部設備の転倒・落下による人的被害を小さくするためには、固定が十分な耐震器具を内部設備の重心位置に応じて取り付ける必要があるものと考えられる。

参考文献

- [1] 東京消防庁：平成 23 年度 長周期地震動に対する高層階の室内安全対策専門委員会報告書。
- [2] 磯部 大吾郎, チョウ ミヨウリン：飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 579 号, (2004), pp.39-46.
- [3] 磯部 大吾郎, 山下 拓三, 田川 浩之, 金子 美香, 高橋 徹, 元結 正次郎：有限要素法を用いた地震時における家具の挙動解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 718 号, (2015), pp.1891-1900.
- [4] 東京都防災ホームページ：
<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/bousai/1000027/1000289.html>.

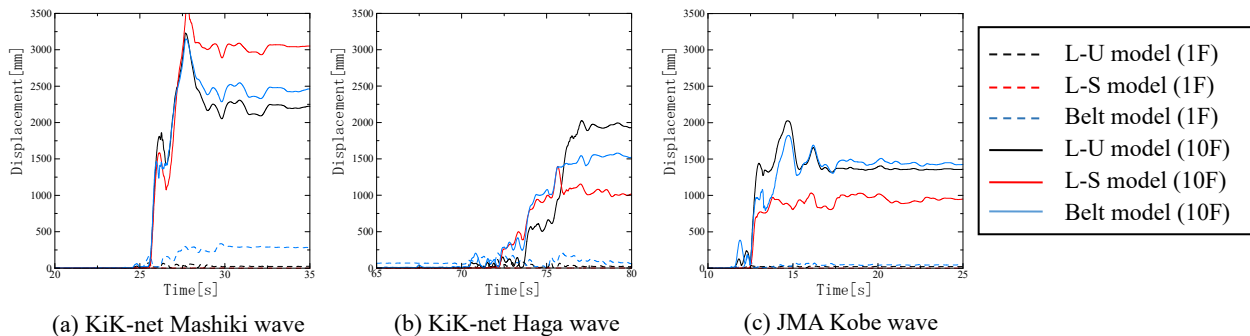


Fig. 3 Maximum nodal displacements of models subjected under each input wave