

建物内に配置した家具の地震時挙動解析

Seismic Motion Analysis of Furniture Placed in a Building

○非 賀 鐘輝 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Zhonghui HE, Graduate School, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

1. 緒言

長周期地震に見舞われた高層ビルの上層部では、家具の転倒により人身に危害が加えられる危険性がある。学校では、散乱した椅子や机などが避難の障害となる可能性がある。防災科学技術研究所のE-Defenseでは、家具の地震時挙動を再現するために、超高層建物の頂部を部分的に切り出した実大寸法の試験体を3次元振動台上で加振し、家具の転倒および外壁、天井等非構造部材の損傷など室内外で起こりうる現象を検証している。一般的に家具等の転倒解析には個別要素法(DEM)[1]がよく用いられるが、DEMは家具等を剛体として扱うために、壁や人身等と接触する際の変形や応力変化については検証することが困難である。

本稿では、家具の地震時挙動を再現するための有限要素解析コードを開発した。解析コードには、大規模な骨組構造解析において計算コストを最小限に抑えることが可能な、ASI-Gauss法[2]を用いた。接触・滑り状態をより詳細に表現するために、ペナルティ接触理論に基づいて摩擦力を考慮したアルゴリズムを導入した。さらに、建物および建物内に配置した家具を対象とし、大規模な数値解析を行った。

2. 摩擦力を考慮した接触アルゴリズム

家具間の様々な接触現象を再現するために、本研究ではペナルティ接触理論を導入した。図1に示すように、相対速度 v を持つ要素間の接触を考える。要素軸間の最短距離 l が要素幅の平均値 L より小さくなった際に、次式に示すペナルティ力 F_P が接触面の法線方向に作用することとする。

$$F_P = \alpha \left(1 - \frac{l}{L}\right)^q \frac{v_N}{\|v_N\|}, \text{ where } (l \leq L) \quad (1)$$

ここで、 α : ペナルティ係数, q : ペナルティ指数, v_N : 相対速度 v の法線方向成分である。 α を 50 kgf とし, q を変えた場合に得られる食い込み量 l/L に対する F_P のノルム値の分布を図2に示す。

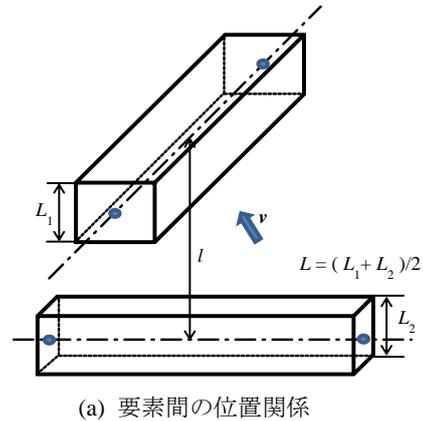
次に、次式に示す動摩擦力 F_D が接触面の接線方向および法線方向に作用することとする。

$$F_D = \mu \alpha \left(1 - \frac{l}{L}\right)^q \frac{v}{\|v\|}, \text{ where } (l \leq L) \quad (2)$$

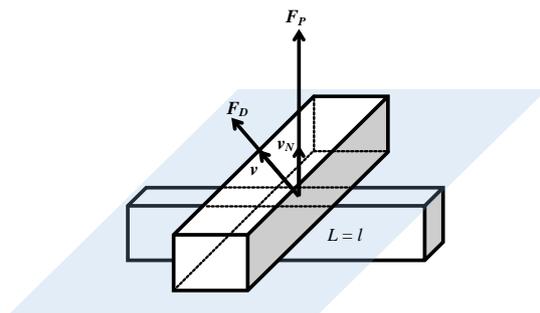
ここで、 μ : 動摩擦係数である。動摩擦力の法線方向成分は減衰力として作用し、数値安定性の向上に寄与する。

3. 家具の地震時挙動解析

本章では、開発した解析コードを用いて4層鋼骨組構造の



(a) 要素間の位置関係



(b) 要素間に作用するペナルティ力と動摩擦力

図1 要素間の位置関係および接触力

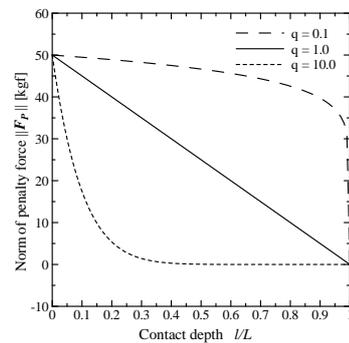


図2 食い込み量とペナルティ力の関係

最上層部に配置した家具を対象とし、解析を行った。図3、表1に示す4つのスチール製家具をそれぞれ部屋の中および壁際に配置し、図4に示すJR鷹取波の200%台上加加速度を骨組構造の支持点に入力した。内部を見やすくするため、図では壁を可視化していない。家具と4層鋼骨組構造ともに1

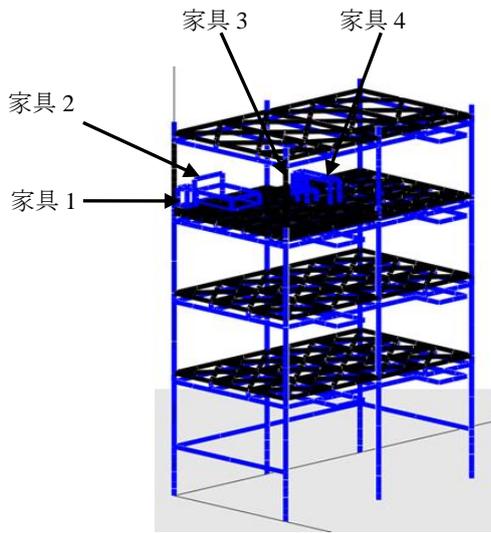


図3 解析モデル

表1 家具の形状及び重量

		長辺 [cm]	短辺 [cm]	高さ [cm]	重量 [kg]
家具1	台	50	50	80	23.7
家具2	ベッド	200	150	100	61.1
家具3	椅子	50	50	110	18.8
家具4	机	50	200	100	29.7

部材当り2つの線形要素は要素でモデル化した。モデル全体では総要素数 5,584, 総節点数 3,168, 総自由度数 19,008 である。ペナルティ係数 α を 50 kgf, ペナルティ指数 q を 1 とし, 動摩擦係数 μ を一律に 0.6 とした。また, ソルバーには共役傾斜法(CG法), 非線形増分理論には updated Lagrangian formulation, 時間積分には数値減衰を考慮した Newmark の β 法($\beta=4/9$)を用い, 時間増分を 1 ms, 質量減衰係数を 0.22841016 と設定した。一般PCによる計算にほぼ 20 時間を要した(CPU: 2.0 GHZ Xeon)。解析結果を図5に示す。4種類の家具がそれぞれロックインしたり転倒したりする様子が確認された。

4. 結言

本研究では, 家具の転倒挙動を再現する有限要素解析コードを開発した。さらに, 建物および建物内に配置された家具を対象とし, 数値解析を行った。その結果, テーブルや椅子などが散乱する様子が再現できた。今後, 学校などの室内空間を想定した大規模数値解析を実施していく予定である。

参考文献

- [1] Cundall, P.A.: A Computer Model for simulating Progressive, Large-scale Movement in Blocky Rock System, *Proceedings of the International Symposium on Rock Mechanics II-8*: 129-136, 1971.
- [2] Lynn, K.M. & Isobe, D.: Finite Element Code for Impact Collapse Problems of Framed Structures, *Int. J. for Numerical Methods in Engineering* 69(12): 2538-2563, 2007.

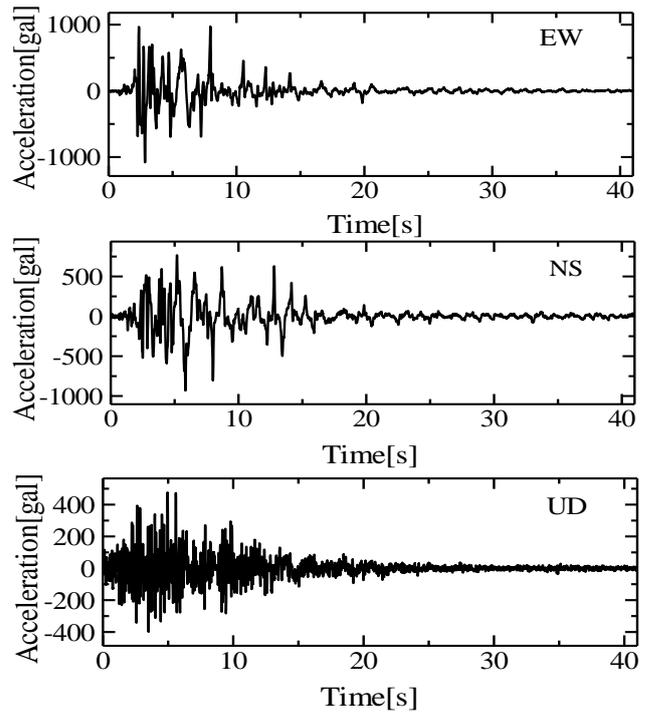


図4 JR 鷹取波 200%台上加速度

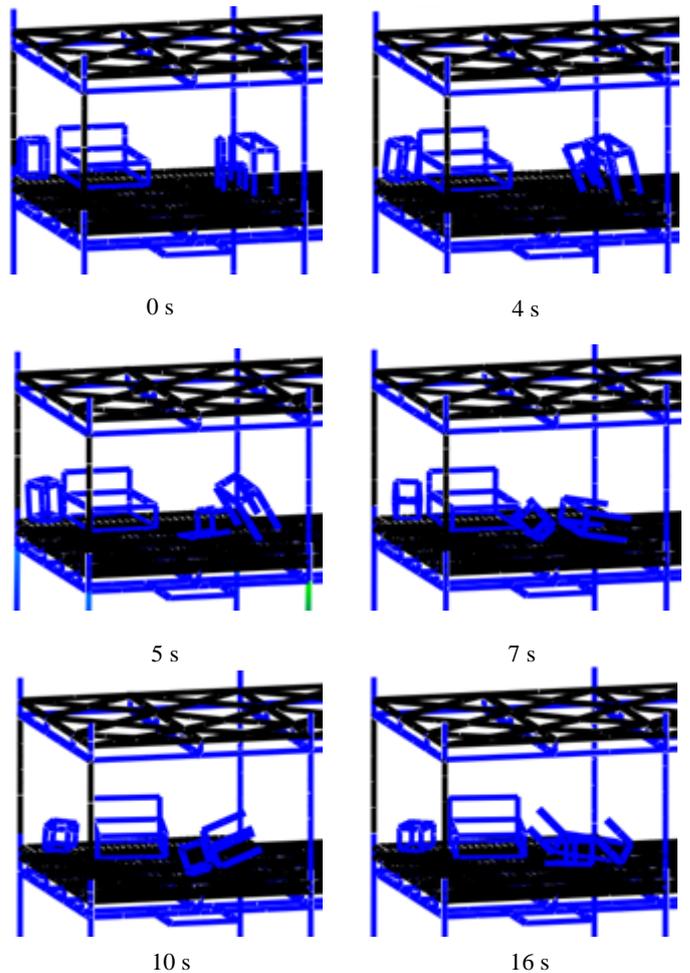


図5 解析結果