

長周期地震動による高層ビル各階の家具転倒に関する検討

建築都市デザイン学科 2280080008-4 岩田 隼久
(指導教員 張 景耀)

1. はじめに

近年、地球規模の気候の変化の影響か、地震、竜巻、猛暑、大寒波、火山の噴火など各地で異常気象が発生している。特に地震は、東北地方太平洋沖地震でも取り上げられたが、長周期地震動による被害が報告されている。長周期地震動とは、約 2~20 秒周期で揺れる震動のことであり、減衰せずに遠方まで伝わるという性質がある。今まで、長周期の揺れは遠方まで伝わるが、そのエネルギー自体は小さく、建物を揺らすほどの力はないと考えられてきた。しかし、建物を揺らすほどのエネルギーを持った長周期地震動が遠方まで伝わる可能性が高い事は「地球シミュレータ」を用いた解析によっても検証されている。実際に、2003 年 9 月の十勝沖地震では震源から 200km も離れた苫小牧市にある大型石油タンクがスロッシングによる地震被害を受け、長周期地震動による被害が確認されている(写真 1)。



写真 1. 十勝沖地震による
苫小牧市の石油タンクの火災

建築技術の発展により高層建築物や超高層建築物が建設されているが、その耐震性能も飛躍的に向上している。しかし、これらの建築物は通常の建築物よりも固有周期が長いいため長周期地震動に対して共振が危惧されている。

したがって、本研究の目的は、高層建築物の長周期振動に対する応答と振動特性、家具の挙動を明らかにすることである。

2. 概要

2.1 解析モデル

地震工学シミュレーションのためのオープン・システムである OpenSees を用いて、1 次固有周期が異なるモデルを 3 種類作成し、固有周期の算出と周期 0.5 秒~10 秒の正弦波と各モデルの固有周期の正弦波に対する応答加速度を時刻歴解析から求める。

30 階建て(モデル 1)、50 階建て(モデル 2)、70 階建て(モデル 3)の設計用 1 次固有周期は、それぞれ約 2.79 秒、

約 4.95 秒、約 6.92 秒である。モデル 1(図 2)は、93 の節点、150 の柱梁要素で構成される。モデル 2 は、213 の節点、250 の要素で構成される。モデル 3 は、213 の節点、350 の要素から構成される。支持点はすべて固定とする。要素はすべて弾性である。単位は N、mm、秒である。モデルの空間は 2 次元で節点自由度は最大 3 とする。また、入力地震波は最大加速度 40 mm/s²とする。A0 を入力正弦波の最大加速度(A0 = 40 mm/s²)、モデル 1、2、3、における各層・各周期の最大応答加速度をそれぞれ A1、A2、A3 とする。入力地震波の最大加速度と各モデルの最大応答加速度の比を示す(図 3、図 4、図 5)。A1/A0、A2/A0、A3/A0 は固有周期において高層階で 20~30 倍の値を示した。また、低層階でも他の周期の振動と比べ、高い応答を示している。

2.2 家具の転倒する条件

家具の剛性モデルを図 5 に示す。長周期振動を考慮する場合、家具は加速度が静的な転倒加速度を上回ったときに転倒する。転倒加速度は(1)式で表される。

$$A = \frac{B}{H} g \quad (1)$$

ここで、A 転倒加速度、B は家具の幅、H は家具の高さ、g は重力加速度を示している。

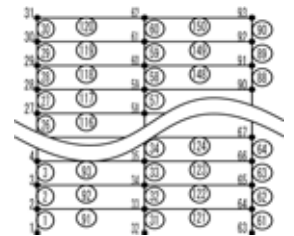


図 1. モデル 1

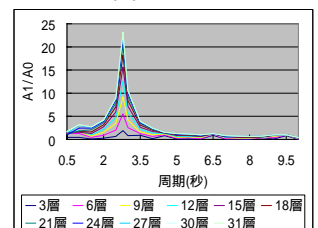


図 2. 各周期での A1/A0 比

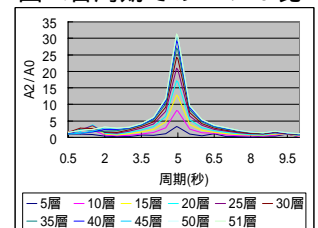


図 3. 各周期での A2/A0 比

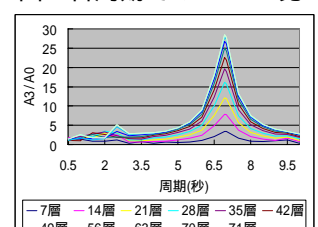


図 4. 各周期での A3/A0 比

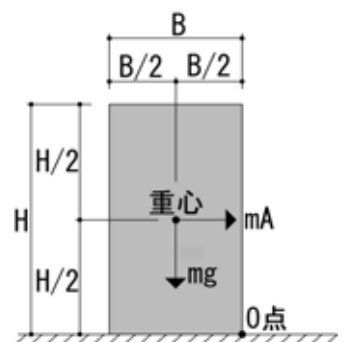


図 5. 家具の剛性モデル

2.3 家具の転倒と震度の関係

震度階級は(2)式の計測震度を換算することで表される。

$$I = 2 \log_{10} A + 0.94 \quad (2)$$

I : 計測震度

A : 最大加速度(mm/s²)

(2)式から各震度後との最大加速度を求める。

表.1 は、各震度階級における計測損度と最大加速度の関係を示す。

表.1

震度階級	計測震度	最大加速度(mm/s ²)
1	0.5 以上 1.5 未満	6.025595861
2	1.5 以上 2.5 未満	19.05460718
3	2.5 以上 3.5 未満	60.25595861
4	3.5 以上 4.5 未満	190.5460718
5弱	4.5 以上 5.0 未満	602.5595861
5強	5.0 以上 5.5 未満	1071.519305
6弱	5.5 以上 6.0 未満	1905.460718
6強	6.0 以上 6.5 未満	3388.441561
7	6.5 以上	6025.595861

3. 結果

3.1 各震度における家具形状と家具転倒の最低階数

図 5、図 6、図 7 にそれぞれモデル 1、モデル 2、モデル 3、の各震度における家具の形状と家具の転倒する最低階数を示す。家具の形状を示す B/H は 0.1~1.0 の範囲である。これは、家庭やオフィスで使われる一般的な家具は、すべてこの範囲に収まることからである。

図 5、図 6、図 7 で示されるように、長周期地震動でも固有周期を含む地震波だと構造物の応答加速度は 20~30 倍という大きいものになるため、震度 3~4 の地震でも家具は転倒することが分かる。

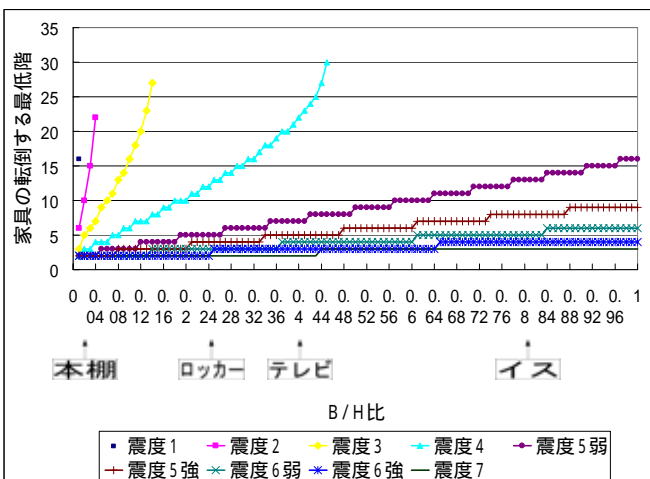


図 5. 震度における B/H 比と家具の転倒する最低階の関係 (モデル 1、30 階建て、1 次固有周期：約 2.79 秒)

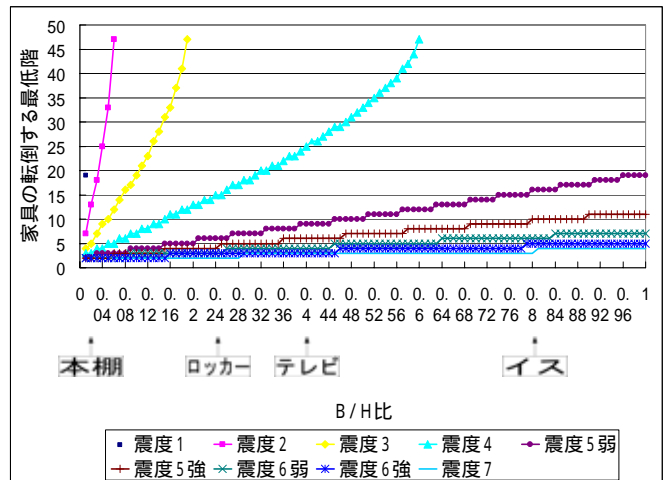


図 6. 震度における B/H 比と家具の転倒する最低階の関係 (モデル 2、50 階建て、1 次固有周期：約 4.95 秒)

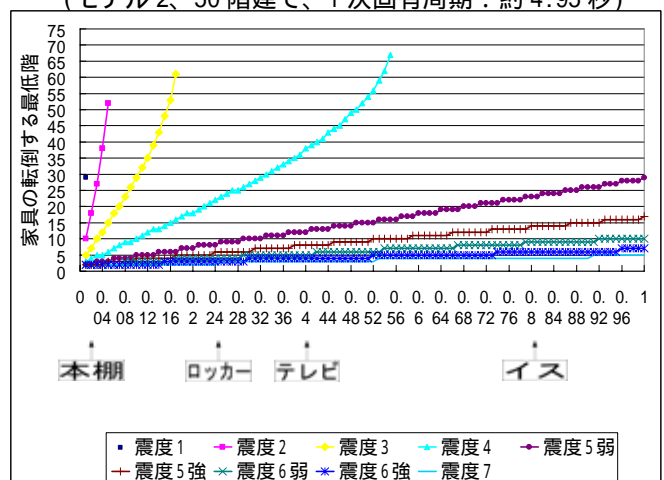


図 7. 震度における B/H 比と家具の転倒する最低階の関係 (モデル 3、70 階建て、1 次固有周期：約 6.92 秒)

4. まとめ

本研究では、高層建築物の長周期地震動に対する振動特性と家具の挙動の検討を行った。いくつかの固有周期を有する構造物で解析を行ったが、どの構造物も固有周期前後で地動加速度に対して 20~30 倍で最も大きく応答することが分かった。

また、地震時の家具の挙動と震度の関係を図示することで、高層建築物では、長周期地震動、特に固有周期を有する場合、震度自体は小さくても家具の形状と階数によっては、家具が転倒することが分かった。

今回は特定の構造物で考察したが、一般性のある式を提案することが今後の課題である。

参考文献

- 金子美香：地震時の家具の挙動、建築雑誌、1413 号、64 ページ、1997 年 10 月 20 日
- 柴田明徳：最新 耐震構造解析 第 2 判、森北出版株式会社、2003 年