

図書館書架の地震時挙動および書籍の落下メカニズムに関する解析的研究

金沢大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○田中 宏和
金沢大学理工研究域 正会員 村田 晶, 宮島 昌克, 池本敏和

1. はじめに

近年の日本国内で発生した地震では, 「家具の転倒」や「落下物」による負傷が, 負傷原因のほぼ半分を占めている. 様々な年代の人が利用する, 代表的な公共施設の1つである図書館の書架や書籍の地震時の挙動を把握することは, 地震時の迅速な避難を図ることや, 書架の転倒等に伴う人的被害を軽減するためにも重要なことである. 写真-1に示すように2011年に発生した東北地方太平洋沖地震においても書架の転倒被害が見られた¹⁾. これまで, 地震時における家具の転倒挙動や転倒被害に関する検証が行われている^{2), 3)}. しかしながら, 本の落下まで考慮した書架の地震時挙動を評価する研究はほとんど行われておらず対策の元となる, 書籍落下に伴う書架の地震応答特性に関する定量的な評価に関する研究や知見が十分でない. そこで本研究では, 振動台実験によって書架の地震時挙動および書籍の落下挙動を検証し, 地震時の書架転倒メカニズムを解明することを本研究の目的とする.



写真-1 東北地方太平洋沖地震における書架の転倒¹⁾

2. 実物書架を用いた振動台実験⁴⁾

(1) 実験概要

地震時の書架および, 書籍の落下挙動を検証するために, 振動台実験を行う. 書籍を配架した書架に地震波加振を行い, 振動特性, 落下挙動の把握を行う.

本研究では実験装置として水平, 上下各1方向の2軸振動台を用い, 図-1に示す通り振動台に対して書架を45度傾けて設置することにより, 疑を再現する. 加振による書架の挙動は加速度計を用いて似的に3次元方向の振動

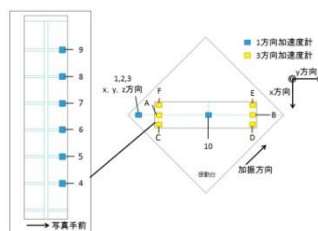


図-1 供試体書架及び設置, 計測方法

測定する. 入力地震動には1995年兵庫県南部地震(JMA神戸波), 2011年東北地方太平洋沖地震(K-NET築館波), 2007年新潟県中越沖地震(K-NET柏崎波)を調整して用いる.

(2) 実験結果

図-2, 表-1に示す書籍の落下率については, JMA神戸波では上段に行くにつれて応答倍率が大きくなり, 1次モードが卓越する挙動を示したと考えられる. 上段での書籍落下率が高く, 4段目より下での書籍の落下はほとんど見られなかった. ここで, K-NET柏崎波で書籍の落下が見られなかったのは, 入力地震波の加速度が小さかったことが原因と考えられる. また, K-NET築館波では中段で最も応答倍率が小さくなっていることから, 書架全体の固有振動数より高めの振動が入力されたことにより, 2次モードが卓越するような振動となったか, 下段部分の剛性低下により, 非線形の挙動をしていると考えられ, 結果として応答倍率が減少したと考えられる. 書籍の落下は最上段と下段で見られた. また, 同じ段においても配架場所によって書籍の落下が見られたため, 天板4隅の加速度を比較したところ, 4隅ともに大きな差はなく, また波形の特徴の違いと落下場所の違いに相関性はあまり見られなかった. 全体としては加速度が1000gal程度を超える段では落下が見られるということが分かった. 以上より, 書籍の落下要因には振動数特性が影響するものの, 落下するかどうかのトリガーとしては加速度が大きく影響すると考えられる.

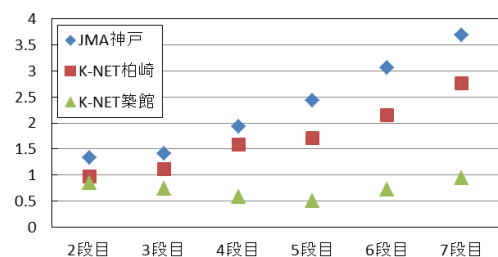


図-2 加速度応答倍率

表-1 最大加速度と書籍の落下率

計測場所	最大加速度(gal)			平均落下率(%)		
	JMA神戸	K-NET築館	K-NET柏崎	JMA神戸	K-NET築館	K-NET柏崎
7段目	1798	1182	556	89.9	58.9	0.0
6段目	1492	899	432	69.1	4.5	0.0
5段目	1182	621	345	24.9	0.0	0.0
4段目	943	730	268	12.1	0.0	0.0
3段目	685	921	225	0.0	20.2	0.0
2段目	648	1057	196	0.0	42.9	0.0
振動台, 1段目	487	1250	201	0.0	63.8	0.0

3. 3次元個別要素法を用いた挙動解析

1) 解析の概要

実物書架を用いた振動台実験では、数パターンでの検証しかしておらず、また建物の減衰、配架パターンの違いなどを考慮していない。しかしながらそれらを実験によって検証するには膨大な時間がかかってしまう。そこで3次元個別要素法を用いたシミュレーションによって実験で考慮しきれなかった部分について解析し、検証を行っていく。本研究では、書架及び書籍を3次元直方剛体ブロックの集合体として扱う。ただし、要素間の接触判定を簡略化するために、適当な半径 (r) を用いて頂点を1/8球、辺を1/4円柱と仮定する。

2) 解析モデル

表-2に示す通り、書架モデルの諸元は幅1.86m、高さ2.28m、奥行き0.49m、各段の間隔は0.3mで、書籍はA5判(19.5kg×8)と四六判(15kg×20)を配架し、総重量は668.1kgとなる。今回は書籍の落下挙動を注視するため、図-3に示す通り書架を構成する各部材は簡略化し、剛結合により一体化させる。また書籍一つ一つを表現すると、解析に膨大な時間がかかってしまうため、今回は重量を合わせた複数の簡易ブロックを用いて表現する。接触パラメータに関しては、現時点では理論的に決定することができない。しかし、要素の質量が大きいものほど接触時の反力も大きくなると考えられるため、要素の質量に比例するという仮定のもと、実験結果と比較し、試行錯誤的に決定する。

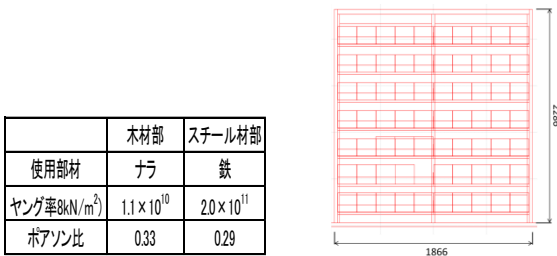


図-3 モデル諸元とモデル図

3) 解析結果

表-3は金子が行った研究⁵⁾を参考に実験結果をもとに決定した値である。この接触パラメータを用いて解析を行った結果、図-4に示すようにJMA神戸波とK-NET柏崎波では、全体としてある程度の整合性を得ることができた。K-NET築館波は整合性があまり取れなかった。この原因として、モデルが完全剛体で表現されているため、剛性低下が表現できなかったか、書籍1冊1冊の挙

表-3 接触パラメータ

ばね定数(N/m/kg)		減衰定数(N/s/m/kg)	
法線方向 K _n /m	接戦方向 K _s /m	法線方向 C _n /m	接戦方向 C _s /m
799.2	305.1	56.5	21.58

表-4 実験値と解析値の比較 (最大加速度)

測定場所	JMA神戸(gal)		K-NET柏崎(gal)	
	実験結果	解析結果	実験結果	解析結果
7段目	1798	1701	556	455
6段目	1492	1593	432	395
5段目	1182	1235	345	335
4段目	943	1145	268	275
3段目	685	1053	225	218
2段目	648	870	196	155

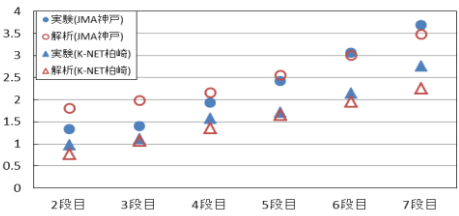


図-4 実験値と解析値の比較 (応答倍率)

動が効いており、簡易ブロックで表現しきれなかったことが考えられる。今後は書籍の特徴等、細かい部分の再現もできるよう、パラメータ等モデルを改良していく。

4. まとめ

振動台実験では、書籍の落下要因には振動数特性が影響するものの、落下するかどうかのトリガーとしては加速度が大きく影響し、応答加速度が1000galとなることが落下の目安であることが分かった。

3次元個別要素法を用いた解析では、JMA神戸波とK-NET柏崎波では実験との整合性がある程度とることができたが、K-NET築館波では、あまり精度はよくなかった。この書籍の落下挙動はその時々状態、配架書架個々の特徴によっても変わってしまうため、書籍の落下が見られた地震波では、整合性が下がってしまったと考えられる。今後は書籍の特徴等、細かい部分の再現もできるよう、パラメータ等モデルを改良していく。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ご協力いただいたキハラ株式会社の方々および金沢工業大学の学生諸氏、本研究室の学生諸氏に感謝いたします。また、入力地震波形はK-NET、JMAの記録を用いました。記して感謝いたします。

参考文献

1) 柳瀬寛夫：地震による書架の転倒及び資料落下防止策について、国会図書館第23 回保存フォーラム「地震に対する図書館の備え-良かったこと、分かったこと」、2012

2) 大町達夫・仲摩貴史：転倒防止家具の提案と機能評価、第 23 回地震工学研究発表講演会概要集、pp.521-524、1995

3) 目黒公郎・西川大介：3次元個別要素法による地震時の家具の動的挙動解析、土木学会第53 回年次学術講演会講演概要集、第I-B部、pp.496-497、1997

4) 田中宏和・村田晶・原優：図書館書架の地震時挙動および書籍の落下メカニズムに関する研究、第34 回地震工学研究発表会、2014.

5) 金子美香・林康裕：剛体の転倒限界に関する基礎的検討、日本建築学会構造系論文集、No.479,pp.41-49,1996.1