

3次元個別要素法を用いた図書館書架の地震時応答特性に関する研究

金沢大学理工学域環境デザイン学類 学生会員 ○王婷鈺

金沢大学理工研究域環境デザイン学系 正会員 村田 晶, 宮島 昌克

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示している。今回対象となる様々な年代の人が利用する公共施設の1つである図書館は建物自体に耐震補強をされているが、地震時に書架の転倒や書籍の落下によって人的被害が発生する可能性があり、地震時および地震後の避難活動に大きな支障をきたす恐れもある。

写真-1¹⁾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、転倒した書架や通路に書籍が散乱する状況が見られた。よって、書架や書籍の地震時の挙動を把握することは、地震時に書架の転倒や書籍の落下等に伴う人的被害を軽減するためにも重要である。

しかしながら、書籍の落下を伴う書架の地震時挙動を評価する研究はまだ十分でない。既往の研究としては複雑なため、田中ら²⁾は振動台実験および3次元個別要素法を用いたシミュレーションによって、書架の地震時挙動および書籍の落下挙動をある程度再現できたものの、書架の組みあがり方等に起因する応答特性がうまく評価できてなかったため、書架と書籍の応答特性をきちんと評価できるようにモデル等を改良する必要がある。そこで本研究では、田中²⁾の研究に基づいた解析モデルを改良した、三次元個別要素法を用いた地震時挙動解析により、地震時の書籍落下に伴う書架の地震応答特性を解明することを目的とし、既往の振動台実験と比較することで解析結果を評価する。



写真-1 東日本大震災における書架の転倒例

2.1 解析概要

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。この仮定により、接触パターンは頂点と頂点の接触、頂点と辺の接触、頂点と面の接触、辺と辺の接触の4パターンに分類できる。このことにより、接触力算定の簡略化と鋭い角を有した要素の場合に生じる頂点の引っかかりなどの問題が解決できる。また、書籍を1冊ずつ表現すると解析が複雑となるため、書籍を複数の集合体として扱い、重量を調整した簡易直方体で表す。入力地震動については1995年兵庫県南部地震(JMA 神戸波)、2007年新潟県中越沖地震(K-NET 柏崎波)、2011年東北地方太平洋沖地震(K-NET 築館波)の3波を用いる。

2.2 解析モデル

実験で用いた試験体と解析を比較するにあたり、実験で用いた書架の各部材の形状は複雑なものも多く、モデル化の際にそのまま再現すると、接触判定などの計算が複雑になり、その結果、解析に非常に時間がかかってしまい、非効率である。そのため、今回は書架を構成する各部材は簡略化する。また、配架板等の部材は、実物は突起部分に引っかけて固定してあるが、モデル化に際しては、部材同士を剛結合により一体化させることで表現する。書籍においては、書架全体の地震時挙動の解析結果と実験の整合性を確認するに際して、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。解析モデルは図-2に示すように、書架は幅1.86m、高さ2.28m、奥行き0.49m、各段の間隔は0.3mである。また、書籍はA5判(19.5kg×8)と四六判(15kg×20)を80%配架し、総重量は668.1kgとなる。書架を構成する部材としては、木材部をナラ材、スチール部を鉄の材料特性で表現する。床との固定はダミー板を挟むことで転倒しな

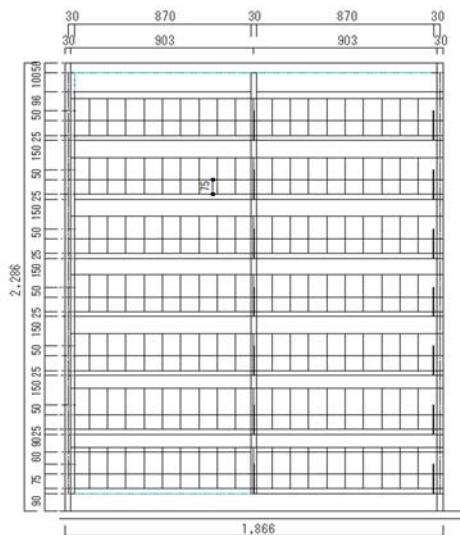


図-1 解析モデル概要図

いようにして表現する。

3. 解析結果及び考察

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ことから、実験結果と比較し、試行錯誤的に決定した値を表-1 に示す。この接触パラメータを用いて解析を行った結果を図-2 及び図-3 に示す。図に示すように、K-NET 柏崎波では、誤差も小さく概ね再現できていることが分かる。また、JMA 神戸波においては、上段における最大加速度は誤差も小さく再現できていると言える。しかしながら、下段においては解析値が実験値より若干大きく出ている。K-NET 築館波においては、解析値が実験値より誤差が大きく、中段において加速度が小さくなることが分かる。ここで、JMA 神戸波および K-NET 柏崎波に関しては、実験と同様に解析でも上段へいくに従い、応答が増加する挙動を示すが、K-NET 築館波に関しては、実験では中段の方が応答が大きくなる挙動を示しているのに対して、解析では上段へいくに従い、応答が増加するような挙動を示しており、結果が整合しない。これは、実験では加振中に中段から書籍が落下し、重量と振動特性が変化することが、解析で表現できてないことを示唆している。

表-1 接触パラメータ

	ばね定数(N/m/kg)		減衰係数(N/m/kg)	
	法線方向 K_n/m	接線方向 K_s/m	法線方向 C_n/m	接線方向 C_s/m
書架	2507.6	964.4	100.1	38.5
書籍	50.6	19.4	14.2	5.5

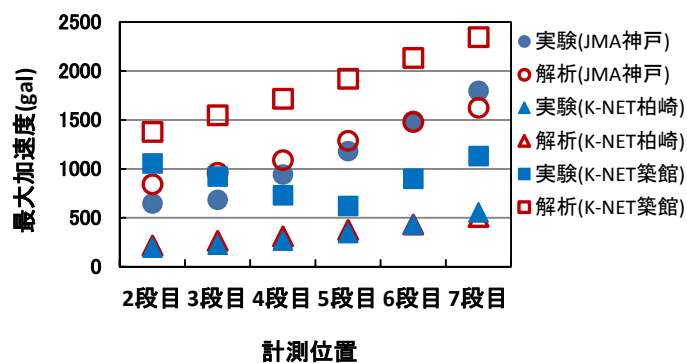


図-2 解析値と実験値の比較[最大加速度]

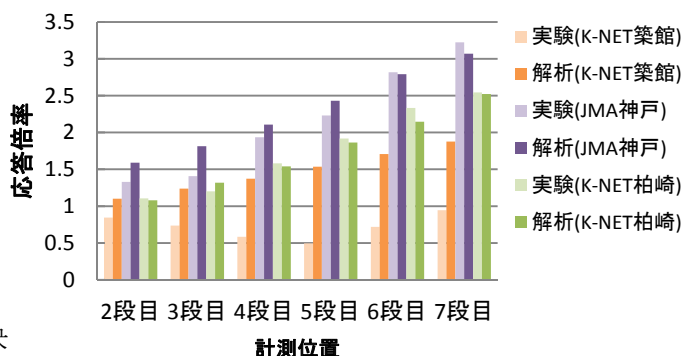


図-3 解析値と実験値の比較[応答倍率]

4. まとめ

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が、K-NET 築館波は整合性があまり取れなかった。その原因として、実際の書架は、完全に一体化しているわけではなく、振動特性が時々刻々変化してしまう。よって、結合部等の摩擦係等をきちんと評価できるようなモデルに改良しなければならない。そこで、実験結果をもとに書架のパラメータは変えずに書籍の接触パラメータを調整し、改めて解析を行って試行錯誤的にパラメータの値を決定した結果を発表会で報告する。

謝辞：本研究を進めるにあたり、K-NET, JMA の観測記録を使用させていただきました。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) 田中宏和：書籍の落下メカニズムを考慮した図書館書架の地震時応答特性に関する研究、平成 26 年度金沢大学修士学位论文、2015。