

# 図書館書架の地震時応答特性 に関する実験的検討

原 優<sup>1</sup>・村田 晶<sup>2</sup>・後藤正美<sup>3</sup>・木原正雄<sup>4</sup>

<sup>1</sup>キハラ株式会社 (〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台3-5)

E-mail:hara@kihara-lib.co.jp

<sup>2</sup>正会員 金沢大学助教 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:murata@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>金沢工業大学教授 環境・建築学部建築学科 (〒924-0838 石川県白山市八束穂3-1)

E-mail:murata@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup>キハラ株式会社 (〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台3-5)

E-mail:kihara\_m@kihara-lib.co.jp

日本列島周辺は4つのプレートが接し合い、また多くの活断層が存在する、地震がとてもしやすい地域であり、近年においても東北地方太平洋沖地震をはじめ多くの大規模地震災害が起きている。多くの地震災害において、「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、図書館の書架や書籍の地震時の挙動を把握することは、地震時の人的被害を軽減するためにも重要なことである。しかし、上記の耐震対策に対して、定量的な評価に関する研究や知見が少ない状況である。そこで上記の課題を解明するために、実大の書架を対象に地震波加振実験を行った。書架に免震や耐震の補強をして実験を行ったが、揺れの周期による落下する本の割合や、加振実験時の応答加速度について考察を行ったので報告する。

**Key Words :** book shelves, shakeing table test, earthquake response

## 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。また年代別では、若者と高齢者における「家具の転倒」や「落下物」による被害が顕著となっている<sup>1)</sup>。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、書架の転倒や書籍の落下に伴う人的被害を軽減するためにも重要なことである。

地震時における図書館内部の耐震対策としては、書架の転倒防止と書籍の落下防止が考えられる。書架の転倒防止策としては、書架の頂部を金属のアンクル等によって連結し、地震時の転倒を防止するものや、近年では減震装置を書架の脚部に取り付け、地震時の転倒を防止するものがある。また、書籍の落下防止策としては、書架の棚に落下を防止する器具を設置し落下を防ぐものや、

棚板に傾斜をつけて書籍の落下を防止するものがある。しかし、上記のような対策に対して、定量的な評価をおこなった研究は少ない。各対策の有効性や実用性を定量的に評価するためには、入力地震動と書架の振動特性の関係、地震時の書架の応力分布あるいは書籍の落下メカニズムの解明などの課題がある。

そこで、本研究では上記の課題を解明するために、実大の書架を対象にした地震波加振実験を行う。実大の書架を水平2軸加振可能な振動台上に載せ、東北地方太平洋沖地震で記録された水平2成分の実地震波を入力し、書架の上下段に加速度計を配置して書架の応答加速度を計測する。また、実験毎に落下した書籍の状況をカメラ撮影することで、各棚の書籍の落下率を記録する。それら実験結果から、入力地震動と書架の振動特性との関係、および書籍の落下状況と振動特性との相関について考察する。

## 2. 実験の概要

### (1) 実験装置

振動台上にフローリング床を敷設し、(平面寸法: 2.0m × 2.0m) 試験体書架を、通路幅1.2mをあけて設置して水平2方向を加振する実験を行った。実験の全景を写真1に示す。



写真1 実験の全景

### (2) 計測方法

計測は、振動台テーブル面および書架上部と下部にそれぞれ加速度計を設置し、応答波形を計測した。書架の全景および俯瞰、転倒防止器具部の加振時の様子をビデオカメラで記録した。

### (3) 試験体

振動台上に複式2連7段の木金混合書架(書架寸法: W.1800mm × H.2286mm × D.490mm)に、1段につき書籍を80%配架し、書架に転倒防止を施して加振した。複式2連7段木金混合書架と書架寸法を図1に示す。

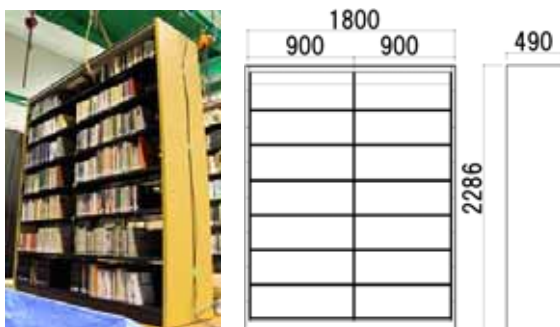


図1 複式2連7段木・金属混合書架の概要

また、振動台の上には書架を2台載せて加振を行う。加振方向は、書架の奥行き方向をX方向、幅方向をY方向とする。書架の設置状況と加振方向を図2に示す。図1に示す木金混合書架に、転倒防止を施して加振を行う。

棚には、写真2のように1段あたり棚80%の書籍を配架する。

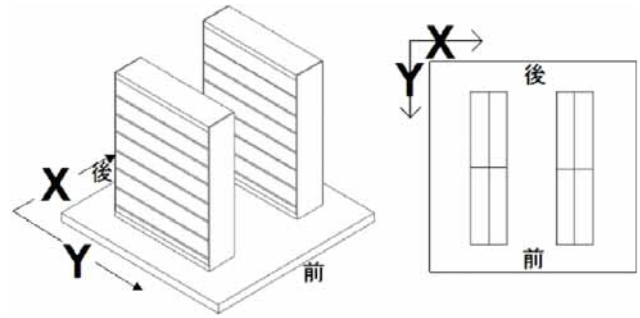


図2 書架の設置状況と加振方向



写真2 書籍の配架状況

### (4) 試験体の転倒防止方法

本実験では、書架に減震装置を書架に設置した場合、床固定を施した場合、床固定をして天つなぎを施した場合の3種類の転倒防止器具を書架に設置して加振を行う。下記に転倒防止器具について記す。

#### a) 減震装置

減震装置は、書架の下に開発した免震的なアプローチによる、地震時に書架に伝わるゆれを抑えることにより転倒を防止する装置である。本装置は床と書架の間に設置する。本実験では、減震装置を書架に設置したものの他、床固定を施したもの、床固定をして天つなぎを施したもの、計3種類で加振実験を行う。

#### b) 床固定

床固定はL型金具を使用する。L型金具は、書架の転倒防止において最もよく施されている方法であり、写真3のように書架の下部と床をL型の金具によってビスで緊結することにより、書架の転倒を抑える。



写真3 L型金具

c) 天つなぎ

天つなぎは、通路を隔てて設置されている、2連の書架の天板同士を、写真4のように金属のアンクルで連結することによって、書架の転倒を抑える。天つなぎは2本でつなぎ、書架と天つなぎの接続は、ボルト2本で行う。



写真4 天つなぎ

(5) 入力地震波

入力地震動は、2011年東北地方太平洋沖時地震の宮城県栗原市で観測された地震波（K-NET築館；以下MYG波と表記する）の加速度を振幅調節し、加振を行う。

(6) 実験一覧

表1に実験一覧を示す。

表1 実験一覧

実験	試験体仕様	入力地震波	加振方向	入力加速度[gal]	
				X	Y
a-1	減震装置	東北地方太平洋沖地震 (MYG)	XY 2方向	79.8	79.7
a-2	"		XY 2方向	95.2	89.4
a-3	"		XY 2方向	313.4	175.7
a-4	"		XY 2方向	461.9	217
a-5	"		XY 2方向	847.4	374.9
b-1	床固定		XY 2方向	89.2	115.3
b-2	"		XY 2方向	155.7	179
b-3	"		XY 2方向	238.6	327.2
b-4	"		X 1方向	412.1	-
c-1	床固定・天つなぎ		XY 2方向	92.5	121.6
c-2	"		XY 2方向	158.4	189.4
c-3	"		XY 2方向	416.7	369.8

3. 実験結果および考察

入力地震動と書架の応答特性のうち、振動数特性を示した伝達関数について結果の一例を図3～図6に示す。それぞれ図3、図4は減震装置について、図5は床固定について、図6は天つなぎの結果例である。図3(a), (b)に示すように減震装置を取り付けてあっても、入力レベルが小さく線型的な挙動の範囲に収まっている場合、減震装置は機能していないことがわかる。図3(c), (d)に示すように書架全体の1次固有振動数は2Hz程度であるが、Y方向の剛性が若干高い傾向となっている。また、X方向では約9Hzで2次のピークが見られる。入力レベルの上がった図4については、減震装置が機能していることに起因する約1Hzのピークが見られ、応答倍率も10倍程度と減衰の効果も見て取れる。ただし、書架と書籍の挙動による影響と思われる10Hz以上のノイズな応答特性が、特にX方向に表れている。図4(c), (d)に示すように固有振動数、応答倍率ともに図3と同様な傾向が見られるが、図3に示されていたX方向の2次のピークはあまり見られない。図5に示すように書架の1次固有振動数は図3、4と同様な傾向となっているが、応答倍率は若干低下している。減震装置ありと比較して高振動数領域でのノイズな応答が見られる。また、1Hz以下の低振動数で応答倍率が高くなっているのは、L型金具とビスとの緊結の際、L型金具穴の遊びがあるため、ビスが金具内で滑っている影響のためと考えられる。図6に示すように天つなぎによる応答特性については図5と同様な傾向であり、緊結することによる違いは見られない。これは、緊結している書架同士が同様の载荷条件になっているためと思われる。実際には条件が異なる場合も多いことから、条件を変えた試験体での実験を行う必要があると思われる。

次に、それぞれの試験体における最大入力加速度と最大応答倍率との関係を示した図を図7～図9に示す。図7に示すように、床と書架下部の応答倍率はおおむね1を下回っていることから、減震装置は有効に機能していることがわかる。また、書架下部と上応答倍率も図8、9と比較して小さくなっていることから、減震の効果を見て取ることができる。応答倍率はX方向、Y方向に大きな違いは見られないが、入力レベルが上がるに従い、応答倍率が低下していることがわかる。このことから、伝達関数では顕著に見られなかった、試験体の剛性低下による影響が表れていると考えられる。図8、9についても図7と同様な傾向となっているが、図9に示すように天つなぎによる応答倍率の低下について若干であるが見られる。しかし、実験で示される結果からは天つなぎによる補強は、転倒防止効果に限定しておくべきであると言える。

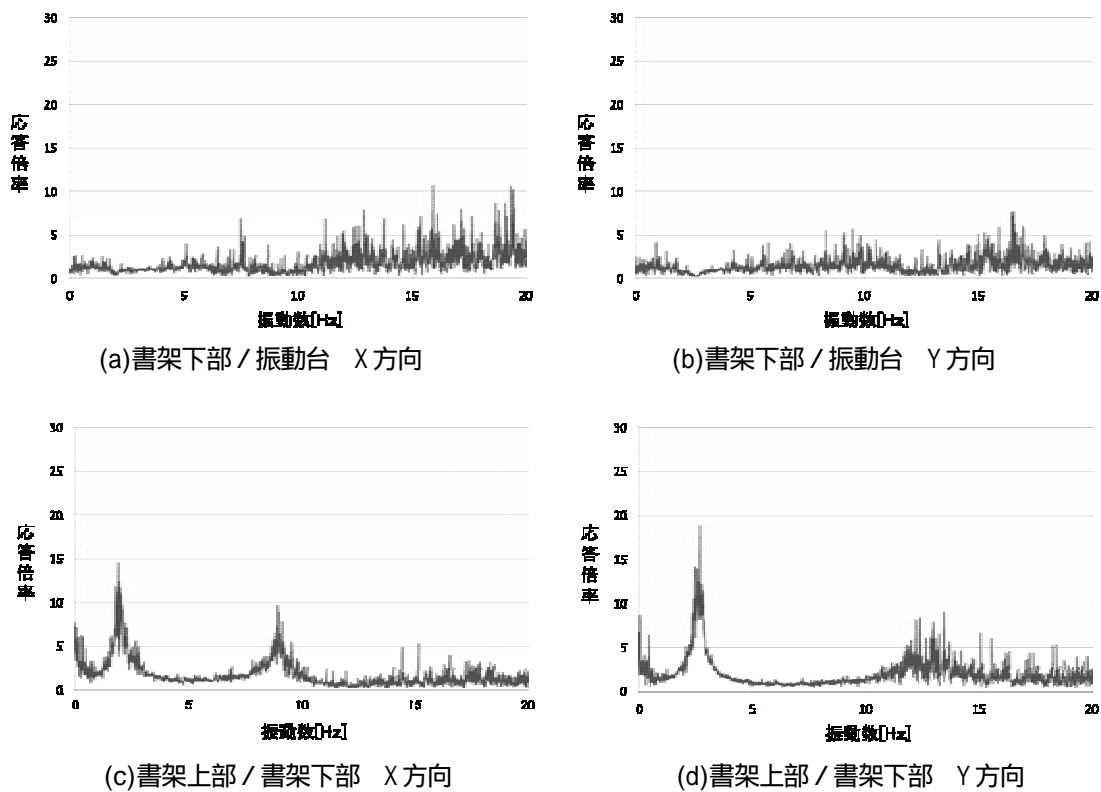


図3 伝達関数 (MG波 実験 a-3)

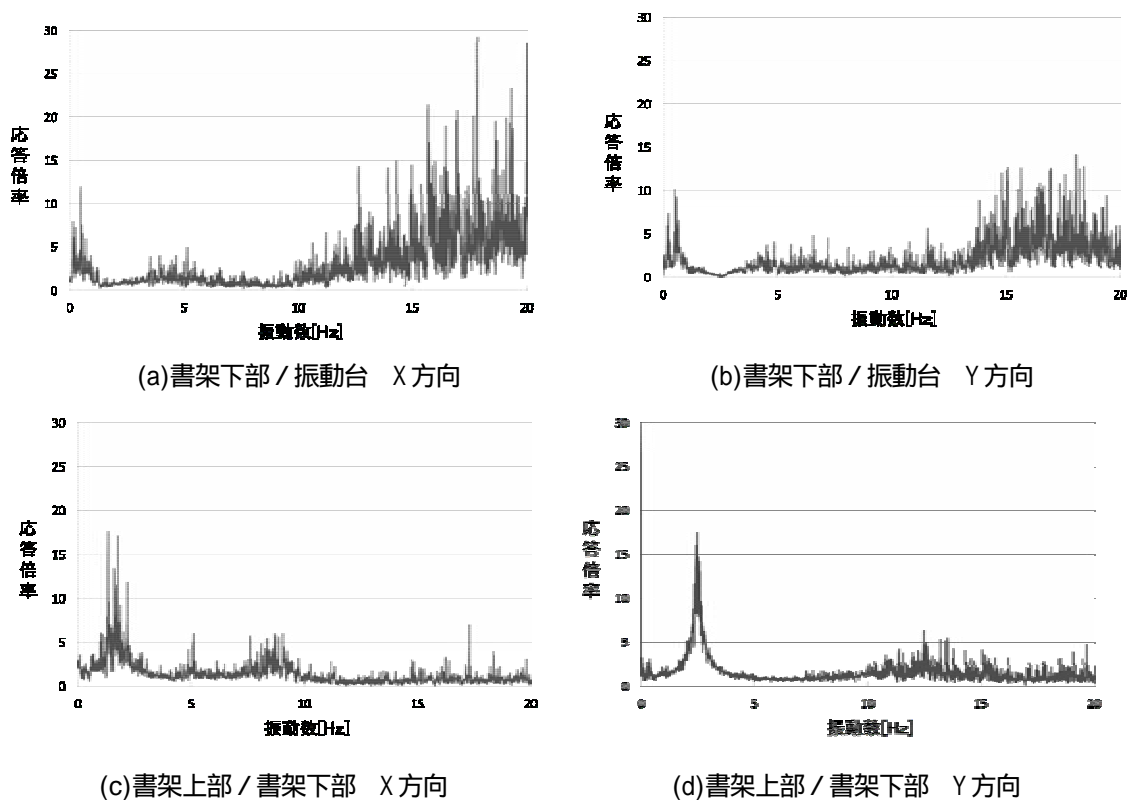
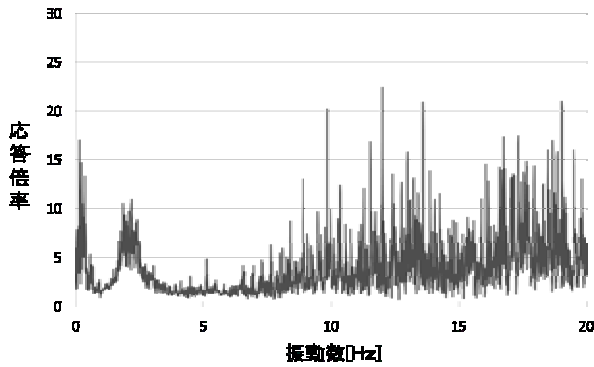
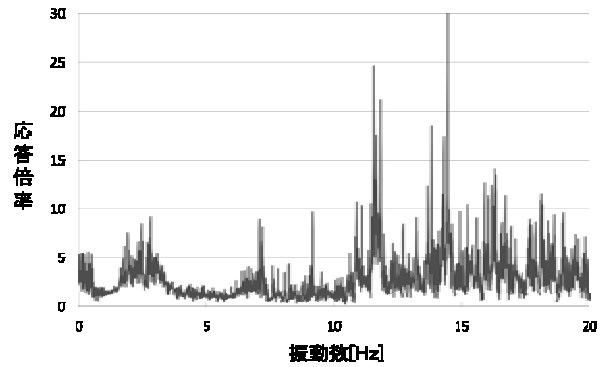


図4 伝達関数 (MG波 実験 a-5)

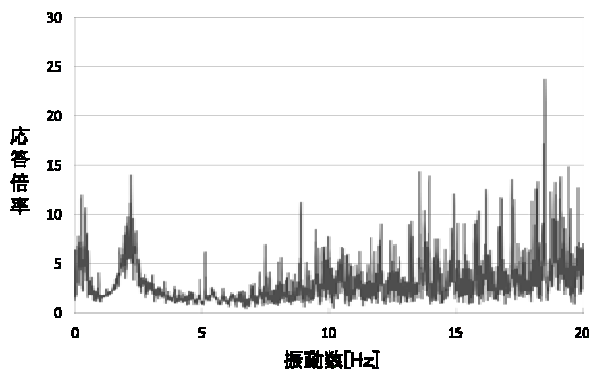


(a)書架上部 / 書架下部 X方向

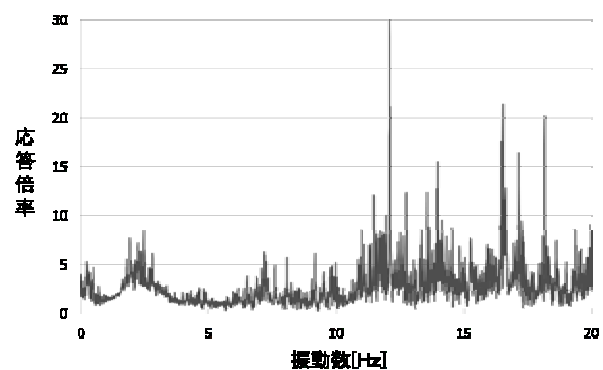


(b)書架上部 / 書架下部 Y方向

図5 伝達関数 (MYG波 実験 b-3)



(a)書架上部 / 書架下部 X方向



(b)書架上部 / 書架下部 Y方向

図6 伝達関数 (MYG波 実験 c-3)

#### 4. まとめ

本研究による書架の実大振動台実験より、以下の知見が得られた。減震装置についてはある入力レベルまでは効果を発揮することはないが、入力レベルが上がると有効に機能することがわかった。伝達関数については書架の加振方向で1次固有振動数の違いは見られないが、書架短手方向に2次固有振動数のピークが見られた。ただし、最大応答倍率には大きな影響を与えないことが分かった。最大応答倍率はX方向、Y方向に大きな違いは見られないが、入力レベルが上がるに従い、試験体の剛性低下による応答倍率が低下していることがわかった。今後は、書架の落下特性と振動特性との関係について考察する予定である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、実験のサポートをしていただいた、後藤研究室学生諸氏に感謝いたします。なお、実験を行うにあたって用いた強震記録は、K-NETの観測記録を利用させていただきました。ここに記して感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 今井 季, 水村一明, 阿出川悟, 宮崎 正: 宮城県北部を震源とする地震及び平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震における負傷者データの分析, 地域安全学会梗概集, Vol.15, pp.77-80, 2006

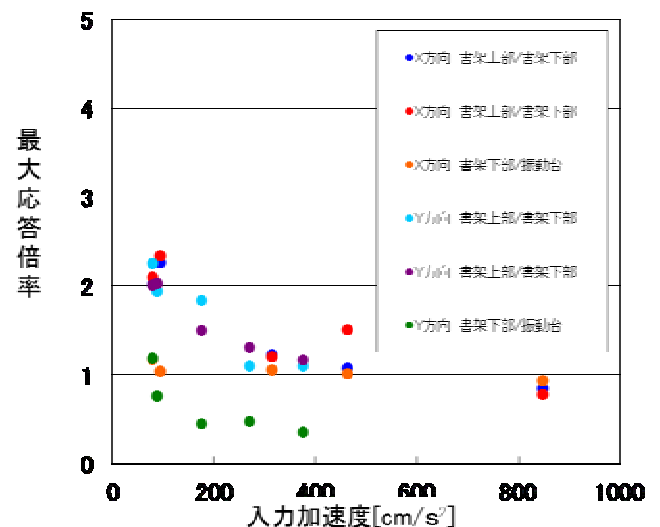


図7 最大応答倍率 (減震書架)

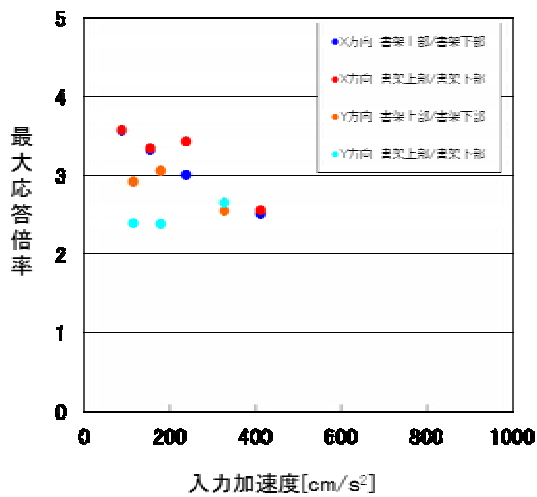


図8 最大応答倍率（床固定）

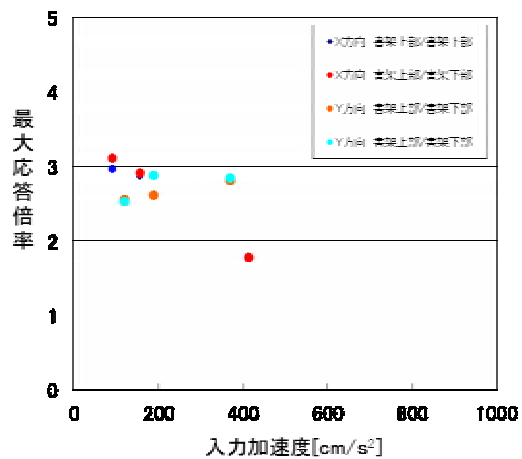


図9 最大応答倍率（天つなぎ）

## EXPERIMENTAL STUDY ON A CHARACTERISTIC OF EARTHQUAKE RESPONSE FOR LIBRARY BOOK SHELVES USING SHAKING TABLE

Yu HARA, Akira Murata, Masami GOTO and Masao KIHARA

Most of human injured cause by falling furniture or falling objects in the earthquake disaster. Especially, library is the place where many people are gathered, it is important to estimate seismic behavior of library shelves and books. However, there is less study of quantitative evaluation and knowledge.

In this study, we evaluate about earthquake behavior of real-sized library shelves and books using 2-horizontal direction shaking table. We clarified the seismic characteristics of library shelves.