

二次元振動試験機による灯油ストーブの挙動について

Behavior of Kerosene Space Heaters in case of two-axdal shaking table.

野口 義 憲*

渡 辺 孝 夫*

小 川 弘 行*

概 要

灯油ストーブ等の液体燃料を使用する燃焼器具は、東京都火災予防条例により対震安全装置を設けることが定められている。この装置は地震時にストーブ等からの出火を防ぐ目的でつくられ、水平方向の振動により作動する基準になっている。このため、実際の地震時のように、垂直と水平の振動が同時に加振された場合の燃焼器具の挙動と出火危険について実験を行った。

結 果

- (1) 灯油ストーブは水平1000ガル、垂直700ガルにおいても、転倒・出火しないことが判明した。
- (2) 対震安全装置は周期0.3秒において水平振動に垂直振動が加わると、水平一方向に比べ早く作動した。

The Fire Prevention Ordinance of Tokyo requires that all fire-using appliances using liquid fuel, such as kerosene space heaters, be equipped with safety devices against earthquake shocks. The standard in the Ordinance requires their response only to the horizontal movement of the earth.

A direct under earthquake generates horizontal and vertical movements at the same time. We did not have any data on the behavior of fire-using appliances at the event of direct under earthquakes.

We simulated the earthquake on two-axdal shaking table. We placed kerosene space heaters on the vibrator, and studied the behavior of them and the risk of the outbreak of fire.

Result :

- (1) We observed that kerosene space heaters did not fall down and not start any fire.
- (2) The safety devices responded faster to the shock of the combined horizontal and vertical movements than to that of the single horizontal movement in case of 0.3 sec period.

1. はじめに

最近、世界の各地で大きな地震が発生しており、特に6月に起きたイラン大地震においては、当庁から国際消防救助隊を派遣させるなど、国民の地震への関心が急速に高まっている。

日本においては、震度4程度の地震が相次いで発生しているが、中央防災会議等の地震予知の分野では、南関東地域に発生する直下型地震の予知は難しいと指摘している。当庁としてもこの提言を踏まえ、各種の出火防止対策を推進している。

現在出火防止対策の一環として、灯油ストーブ等の液体燃料を使用する燃焼設備器具については

東京都火災予防条例等により、地震時に出火を防止するための対震安全装置を設けることと定められている。しかし、地震時における対震安全装置の技術上の検査基準は、水平一方向の規則波（正弦波）で加振し消火及び転倒等の対震挙動を確認しているのみで、直下型地震のように上下動と水平動が同時に振動した場合の燃焼設備器具の挙動の実験については皆無であった。

このため、二次元振動台を用いて、灯油ストーブ等の挙動と出火危険を把握するため、各種の実験を行い結果を得たのでここに紹介する。

2. 実験理論

(1) 灯油ストーブの振動

室内に置かれた灯油ストーブの強震時の挙

*第二研究室

動は基本的に次の3種類に分類される。

- A：ロッキング（器具の一方が持ち上がり前後に揺れる現象）→転倒
- B：スリップ（横滑り）
- C：ジャンプ（飛び跳ね）

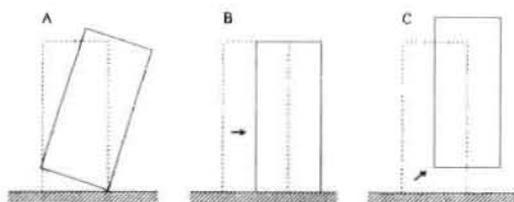


図1 物体の動きの分類

この中で出火危険に結びつくものは、ロッキングからの転倒が考えられるため、灯油ストーブのロッキングについて図2に基づき静的な状態での一般的な式は次のとおり。

（条件として灯油ストーブが床面を滑らないと仮定する。）

ア ロッキング

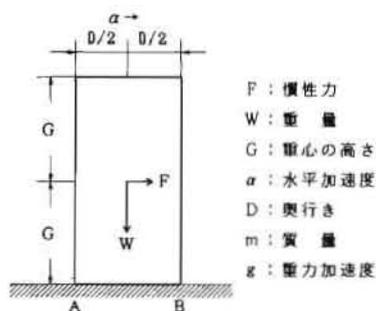


図2 ロッキングのメカニズム

この図から慣性力Fは

$$F = m\alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

重量Wは

$$W = mg \quad \dots\dots\dots (2)$$

となり、(1)(2)から

$$F = (W/g)\alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。

この慣性力が、地震時に器具を浮き上がらせる力となる。

A端が浮き上がった状態を想定し、他端Bにおける右回りモーメント M_1 は慣性力により

$$M_1 = F \times G \quad \dots\dots\dots (4)$$

B端における左回りモーメント M_2 は自重

(W)により

$$M_2 = W \times (D/2) \quad \dots\dots\dots (5)$$

となり、A端が浮き上がるためには

$M_1 > M_2$ が必要であり、これに(1)~(5)を代入すると、浮き上がりに必要な加速度が求まる。この加速度を「静的ロッキング限界加速度」と言う。

$$\alpha > (D/2G) \times g \quad \dots\dots\dots (6)$$

(6)式により器具の重心の2倍の高さと奥行きを関係を図3に示す。

この図から直線の左範囲のガル数ではロッキングを起こすことが言える。

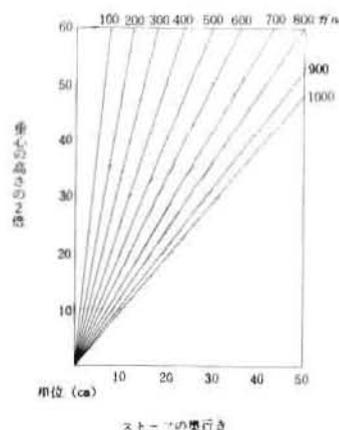


図3 静的ロッキング限界曲線

イ 転倒

建設省建築研究所の石山裕二氏は、器具の転倒については地震の速度が器具の転倒に支配的な作用を及ぼすと考え、次の式を提案している⁽¹⁾。

$$V = 25.6 \times (D/\sqrt{2G}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

V：転倒する時の地震の速度 (cm/sec)

D：器具の奥行き (cm)

G：器具の重心の高さ (cm)

この式は奥行きが小さいほど、また高さが高いほど倒れやすいことを示している。

この式により器具の重心の2倍と奥行きの関係を図4に示す。この曲線の左範囲のガル数では転倒することが言える。

速度Vと加速度 α との関係は

$$V = \frac{\alpha}{2\pi f} \dots\dots\dots (8)$$

で示される。

f = 周波数

この周波数が判れば速度、変位は上記の式により求めることができる。

これらの式を基に次の実験を行った。

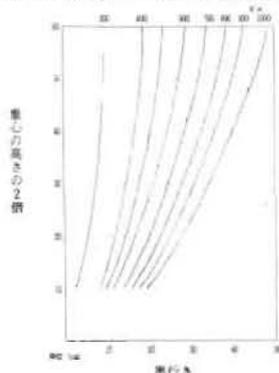


図4 静的転倒限界曲線

3. 実験項目

項目(1)については二次元振動試験機(図5)を使用し、実験を行った。

(1) 各種振動による灯油ストーブ等の挙動実験
正弦波による一次元振動と二次元振動における灯油ストーブ等の挙動実験

(2) 灯油ストーブの転倒時の安全確認実験

ア 転倒時における漏油量の測定

イ 転倒時における出火危険

4. 実験装置

実験装置概要は図5に示すとおりで、

① 振動試験機

② 灯油ストーブ

ガスファンヒータ

③ 床材

から構成されている。

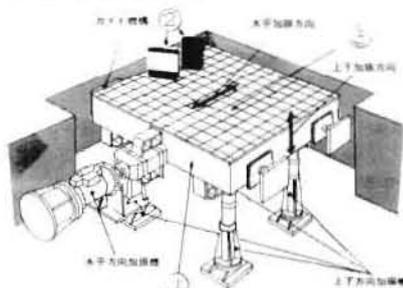


図5 実験装置概要図

① 振動試験機

株式会社 日立製作所製 HSP-230S 二次元振動試験機

表1に試験機の仕様を示す。

この試験機は水平・垂直同時加振型であるため、水平または垂直一方向のみの加振に比べて実際の地震動に近い動きを再現できる。

表1 試験機の仕様

振動方向	水平及び垂直二軸
振動方式	電気油圧サーボ方式
最大加速度	水平 3.0G・上下 1.5G
最大振幅	水平 150mm・上下 60mm
使用振動数範囲	DC ~ 50 Hz
最大搭載重量	7000 kg
振動合寸法	300 × 300 cm
振動波形	正弦波・地震波

② 灯油ストーブ

ア 本実験に使用したストーブは、1989年製の市販品のなかから、一般家庭で最も多く使用されている灯油ストーブ(芯上下式)で代表的な3機種5台(表2)を用いた。

表2 灯油ストーブの概要

No	型式	寸法(幅×奥行×高さ)(mm)	重心(mm)	発熱量(kcal/h)
1	対流型	474×474×600	198	4,600
2	放射型	444×320×500	274	2,200
3	放射型	444×320×455	207	1,800
4	放射型	310×339×460	242	1,800
5	放射型	350×321×500	226	2,200

イ ガスファンヒータ

灯油ストーブと同様に、一般家庭で用いられている3機種3台(表3)とした。

表3 ガスファンヒータの概要(都市ガス13A用)

No	型式	寸法(幅×奥行×高さ)(mm)	重心(mm)	発熱量(kcal/h)
1	ガスファンヒータ	390×220×550	195	2,200
2	ガスファンヒータ	440×240×550	190	2,500
3	ガスファンヒータ	340×200×540	205	2,000

③ 床材

畳(FPS:ポリスチレンフォーム)を用いた。

5. 実験方法

- (1) 各種振動による灯油ストーブ等の挙動実験
 正弦波による一次元振動と二次元振動における灯油ストーブ等の挙動実験

ア 一次元振動（水平）における灯油ストーブ等の挙動

- (ア) 対震安全装置の作動状況

振動試験機上に畳を固定し、その上に灯油ストーブを配置した。

入力波は正弦波で行い、表4より周期は0.3秒、0.7秒の2種類を用いた。

加速度の範囲は0ガルから200ガルまでとし10ガル単位で徐々に増加した。各灯油ストーブの対震安全装置が作動する加速度を確認し、さらに周期を変えて同じように対震安全装置の作動を確認し、各灯油ストーブの対震安全装置の作動する周期と加速度を求めた。

各加速度の振動時間は30秒とした。



写真 二次元振動試験機を使用しての灯油ストーブの挙動実験

- (イ) 移動・転倒状況

灯油ストーブは奥行きや重心の違うNo.1, No.2の2台を使用した。

入力波は周期0.3秒の正弦波で行い、最少加速度はロッキングが始まる計算値（570ガル）を基に300ガルと設定し最大加速度は昭和53年6月宮城県沖地震において、東北大工学部9階で1040ガルを記録したことを参考にして、1000ガルまでとし50ガル単位で増加させ、移動・転倒状況を観察した。

各加速度の振動時間は30秒とした。

- イ 二次元振動における灯油ストーブの挙動

- (ア) 対震安全装置の作動状況

実験は、一次元振動における各種灯油ストーブの対震安全装置の作動と比較するため、灯油ストーブの配置、床材、入力波、周期は一次元振動と同じとした。

また、上下動の影響を見るために、水平動と上下動を同時に加振した。

加速度の範囲は、水平動は100ガルから10ガル単位で徐々に200ガルまで増加させた。上下動は、0ガルから50ガルまで10ガル単位で増加させ、次に50ガル単位で200ガルまで順に増加し実験を行った。そして、灯油ストーブの対震安全装置の作動する周期と加速度を求めた。

さらに、上下動のみで加速度を0ガルから100ガル単位で1000ガルまで加振させ、対震安全装置の作動実験を行った。

各加速度の振動時間は30秒とした。

- (イ) 移動・転倒状況

灯油ストーブのNo.1, No.2とガスファンヒータのNo.1を用いた。

入力波は周期0.3秒の正弦波を使用し、加速度の範囲は水平動においては、300ガルから50ガル単位で1000ガルまで増加させた。上下動においては、300ガルから50ガル単位で1000ガルまで増加させた。上下動においては、300ガルから50ガル単位で700ガルまで増加し実験を行った。実験は上下動を一定にし、水平動を変化させ移動・転倒状況を観察した。各加速度の振動時間は30秒とした。

なお、今回の実験で用いた周期は表4より求めた。

表4 建築物の周期、減衰定数²⁾

建物	項目	周期(秒)	減衰定数(%)
木造一戸建	平屋	0.15~0.3	4 ~ 10
	2階建	0.2~0.5	4 ~ 10
中低層建築物 15階以下	T=0.054N T:周期 N:地上階数		鉄骨造 4%以下 鉄筋・鉄骨 コンクリート造 2~10
高層建築物 15階を超える	T=0.079N		0.5 ~ 4.0

(2) 灯油ストーブの転倒時の安全確認実験

ア 転倒時における漏油量測定

各ストーブの燃料を、ストーブの油量計表示で満量とし、芯を正常燃焼時の位置に設定し、点火せず転倒時ストーブの前面が下になるようにしてストーブを約1秒間で転倒させ30秒間放置後、漏油量を測定した。

イ 転倒時における出火危険

各ストーブの燃料を、油量計表示で満量としてからストーブに点火、2時間正常燃焼させた後、転倒時ストーブの前面が下になるようにしてストーブを約1秒間で転倒させ、対震安全装置の作動状況及び出火の危険性の有無を観察した。

6. 実験結果及び考察

(1) 各種振動による灯油ストーブ等の挙動実験

正弦波による一次元振動と二次元振動における灯油ストーブの挙動実験

ア 一次元振動と二次元振動で周期0.3秒、0.7秒における対震安全装置の作動状況の結果を表5、6に示す。

(ア) 対震安全装置の作動は一次元振動、二次元振動とも東京都火災予防条例に基づく検査基準(100ガル~200ガル)に適合した。

(イ) 一次元振動、二次元振動の作動状況の比較については、一次元振動における作動が

0.3秒で 130~190ガル

0.7秒で 140~170ガル

なのに比べ、二次元振動においては

0.3秒で 110~150ガル(水平)

0.7秒で 120~160ガル(水平)

で、周期0.3秒では一次元振動より低い値で作動していることが認められた。

このことは、水平振動に上下振動が加わることにより、対震安全装置内の錘のバランスが不安定になり、水平振動のみに比べ早く作動したものと思われる。

周期0.7秒については水平振動のみに比べ二次元振動では140~150ガルで作動値が集中した。

この結果、地震時においても灯油ス

トーブの消火は検査基準内で作動することが確認された。

(ウ) 上下運動のみを0から1000ガルまで加振させ対震安全装置の作動実験を行ったが、その結果、総ての灯油ストーブの対震安全装置は作動しなかった。また、移動・転倒もなかった。

表5 対震安全装置の作動状況 (0.3sec.水平,上下振動)

		上下方向の加速度(ガル)									
Z	X	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
0					④⑤			③	②		①
10				②③		④⑤	①				
20				②	③	④	①④				
30			②		③		①④⑤				
40			②		③	④⑤	①				
50			②	③		④⑤	①				
100				③	②⑤	①	④				
150			②		③	①⑤	④				
200			②③		①④	⑤					

● ○数字は、対震安全装置が作動したストーブ%

表6 対震安全装置の作動状況 (0.7sec.水平,上下振動)

		上下方向の加速度(ガル)									
Z	X	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
0					④	⑤		①②	③		
10				②			③④⑤	①			
20				②			③④⑤	①			
30					①	⑤	②③④				
40						①⑤	②③④				
50					①②		④⑤	③			
100					①	⑤	②③④				
150							①②④	③⑤			
200						①②③	④⑤				

● ○数字は、対震安全装置が作動したストーブ%

イ 正弦波による一次元振動と二次元振動における灯油ストーブの移動・転倒状況の結果を表7、8に示す。

この表より

(ア) 灯油ストーブにあっては、移動及びロッキング現象が起きたが転倒はしなかった。

この理由としては、灯油ストーブは奥行きが広く、かつ重心が低いため、安定性がある。その上、床を滑るためロッキング現象が起きにくく、上下動が入った二次元振動においても、転倒に至らなかったと思われる。

(イ) 移動距離においては、30秒間で一次元振動と二次元振動とも最高150~160cmで

あった。

表7 一次元振動による灯油ストーブの振動実験

ストーブ	挙動	移動開始	ロッキング開始	転倒
No. 1		650	500	なし
No. 2		350	800	なし

[数字は水平加速度(単位:ガル), 周期 0.3秒]

表8 二次元振動による灯油ストーブの振動実験

ストーブ	挙動	移動開始	ロッキング開始	転倒
No. 1		400 (450)	500 (600)	なし
No. 2		400 (450)	1000 (500)	なし

[数字は水平加速度, ()内は上下動の加速度
(単位:ガル), 周期0.3秒]

ウ 二次元振動(正弦波)におけるガスファンヒータの移動・転倒状況の結果は水平600ガル上下700ガルで転倒した。

このことは、ガスファンヒータは灯油ストーブに比べ形が不安定で、滑りによる移動が少ないため、ロッキング現象が起きやすくなり転倒したものとおもわれる。

(2) 灯油ストーブの転倒時の安全確認実験

ア 灯油ストーブの転倒時における漏油量の測定

結果は表9に示すとおり、灯油ストーブからの転倒による漏油は認められなかった。

これは、タンクの構造により給油口からの漏れがないためである。

表9 転倒時の漏油量 (転倒30秒後に測定)

No.	漏油量 (g)	対震安全装置の作動状況
1	0	作 動
2	0	〃
3	0.1	〃
4	0	〃
5	0	〃

イ 灯油ストーブの転倒時における出火危険

結果は、表10に示すとおり転倒直後に対震安全装置が作動し消火が行われたため全ストーブから薄白の煙が上がったが、ジュウタンや漏油に着火する危険は認められなかった。

表10 転倒時の出火の有無

No.	出火の有無	状 況	安全装置
1	無	薄白の煙が上がる	作 動
2	〃	〃	〃
3	〃	〃	〃
4	〃	〃	〃
5	〃	〃	〃

7. ま と め

(1) 対震安全装置の作動について

一次元振動、二次元振動において、対震安全装置は正常に作動した。

また、周期0.3秒においては一次元振動に比べて、上下振動が加わる二次元振動の方が速く作動することも判った。

この結果、地震時、灯油ストーブの消火は検査基準内で作動することが確認された。

炎の有無については、対震安全装置の作動時燃焼筒の離脱が見られたが、消火は完全であった。

(2) 灯油ストーブの転倒について

一次元振動、二次元振動(水平1000ガル上下700ガル)において転倒は認められなかった。

しかし、今から20年前の昭和45年に樫村らが行った実験³⁾では、ストーブは水平一方500ガル前後で転倒していた。

(3) 転倒時における出火危険について

同じく、昭和45年に樫村らが行った灯油ストーブの転倒時の漏油量は400cc前後(30秒間)であり、しかも、対震安全装置が設置されてなく、転倒後15秒以内に漏油に着火し燃え広がった。

今回の実験ではストーブの転倒は見られず、消火は対震安全装置の作動により完全に行われた。また、燃料の漏れは認められず、漏油による出火の可能性の少ないことが確認できた。

このことから地震時、灯油ストーブ自体による出火危険は確実に減少することが検証できた。

(4) 二次元振動試験の必要性について

対震安全装置の振動試験は一次元振動及び二次元振動においても検査基準に適合することから現在の検査基準で良いと思われる。

8. おわりに

直下型地震波による灯油ストーブ、ガスファンヒータ自体の移動、転倒等については、各方面から関心が寄せられている。今回は地震動などの複雑な振動現象を、一次元振動とは違って遙に自然に近い状態で再現できる二次元振動台を用いて実験を行った。そして総てを解明するには至らなかったが、その一端を把握することができたので報告するとともに、今後も灯油ストーブ以外の家具等の屋内収容物について、超高層マンションを想定し実際の地震に近い振動実験を行ってゆく予定である。そしてこの結果が都民の地震対策上の参考になれば幸いである。

おわりに、本実験に寄せられた東京大学生産技術研究所田村重四郎教授、小長井一男助教授はじめ職員の方々並びに財団法人震災予防協会細淵武進氏のご指導、ご協力に対して甚大なる感謝の意を表する次第である。

9. 参考文献

- (1) 日本建築学会大会学術講演梗概集
昭和54年9月
建設省建築研究所 石山裕二
〃 岡田 恒
- (2) 日本建築学会編 建築物の耐震設計資料
基本周期——地上階数関係
- (3) 消防科学研究所報第9号 消防科学研究所
昭和47年7月
火気使用設備器具の振動時における
挙動について
檜村利明
後藤 繁
内田 稔