

振動による石油ストーブの転倒実験

梶 村 利 明*
後 藤 繁*

1. は し が き

密集市街地で大地震が発生した場合、これに伴って起る火災により大被害を受けることは、すでに過去の事例からも明らかであり昭和43年5月16日9時49分頃北海道、東北地方を襲った十勝沖地震では、十和田市、八戸市等で火災が同時に数カ所で発生したが、石油ストーブ、石油コンロ等の転倒によるものが多いといわれている。

このことは石油燃焼器具の普及度からみて冬期の使用時に地震が発生した場合、出火源となる危険性が極めて大きく、消防関係者に多くの問題を提起し、今後消防対策を樹立するため、この種器具の転倒に関する実態を把握する必要がある。

最近暖房用として多く使用されている石油ストーブが地震の場合、果してどの程度の震度階において滑動し、または転倒するものであるか、勿論実際の地震波は複雑であり、これを再現する機械が現在のところ、みあたらないので今回は基礎的な資料を得るため市販数種の石油ストーブについて単振動の振動試験機を用い実験を実施し、滑動、転倒、漏油等の状況を観測した。

2. 実験日時及び場所

昭和43年9月4日、5日

N電気振動実験室

東京消防庁消防科学研究所実験室

3. 実験参加者

東京消防庁消防科学研究所第二研究室

東京消防庁予防部予防課

東京消防庁防災救急部防災課

4. 実験項目

- (1) 振動による石油ストーブの滑動、転倒、漏油等の実験観測。
- (2) 石油ストーブの摩擦係数、転倒角度の測定。

5. 実験の方法

(1) 実験に使用した起振機

| | |
|-------|------------|
| 名称 | 松平式振動試験機 |
| 型式 | UBS-8AⅡ型 |
| 最大積載量 | 150kg |
| 全振幅 | 10mm |
| 周波数 | 0~600c/min |
| 起振機台 | 80×80cm |

なお起振機は水平方向、上下方向に夫々別個に振動する単振動である。

(2) 摩擦係数の相異による石油ストーブの滑動、転倒、及びその他の現象を観測するため起振機の振動台上に畳、ベニヤ板、更に一般に普及しているカーベットの置き、その上に石油ストーブをのせて、振幅(10mm)を一定とし周波数を徐々に上げる方法で振動実験を行なった。

また傾斜角試験機を用いて石油ストーブの転倒角度を測定し、さらに次式により摩擦係数値を求めた。

$\mu = \tan \theta$ (θ は石油ストーブが滑り出すときの摩擦角)

(3) 供試石油ストーブ

本実験に使用した石油ストーブは市販されているもののうちから対流型3種、反射型3種(うち落差式1種)を選んだ(第1図参照)。

6. 実験結果及び考察

(1) 実験観測記録

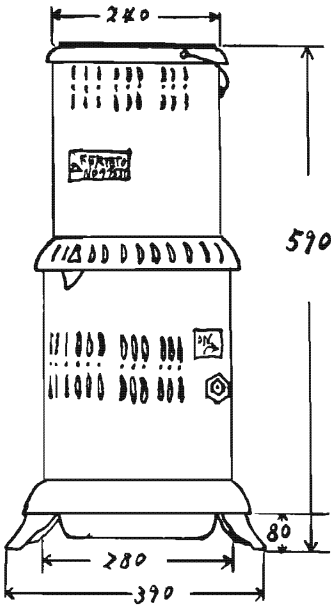
実験はストーブ実験番号の順に、燃料タンクの状態は満タンの場合、空の場合(実験番号1.3.6のみ)の二通りとして行なった。

この間の状況については、判然としない部分もあったが、観測結果を第1、2表に示す。

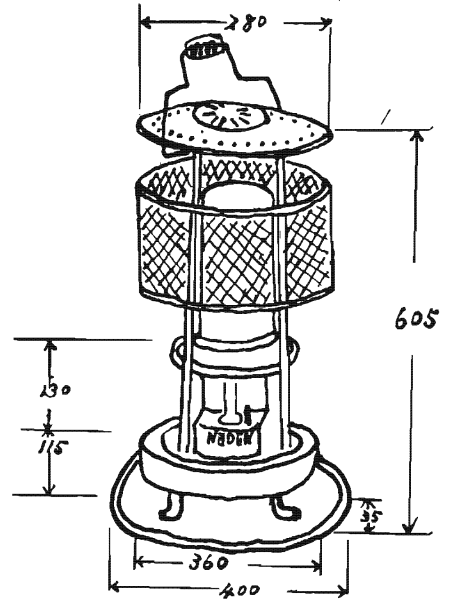
* 第二研究室

第1図

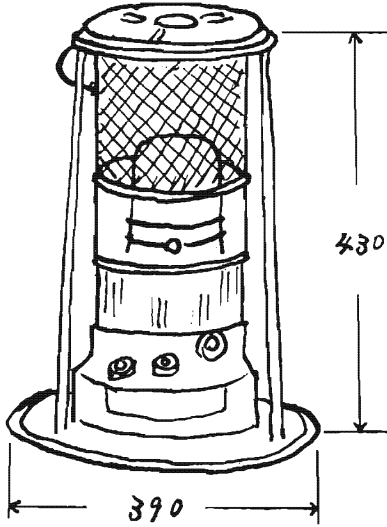
実験番号 1



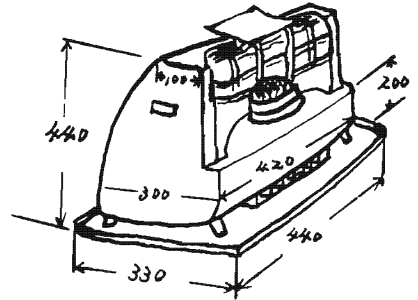
実験番号 2



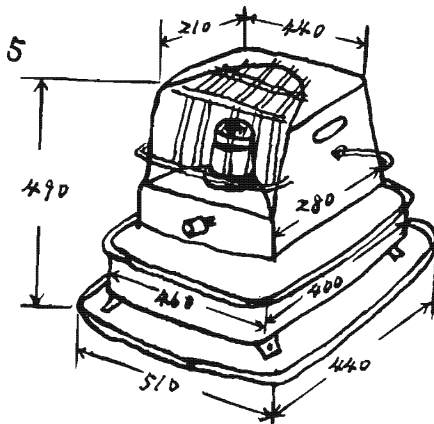
実験番号 3



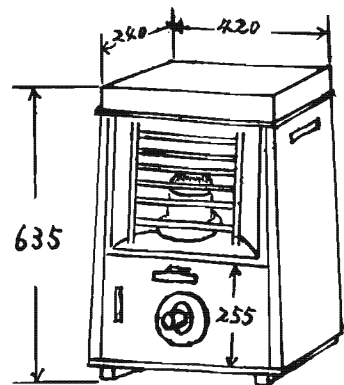
実験番号 4



実験番号 5



実験番号 6



第1表 水 平 振 動

| ストーブ 実験番号 | 床 材 | 燃料タンク の状態 | 最 大 加 速 度 cm/sec ² | 観 測 状 況 |
|--------------|------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 畳 | 満 | 400 | 燃焼筒が振動音を発生しゆれだす。ストーブのゆれ運動が始まる。 |
| | | | 630 | ストーブが移動しだす。油量計取付部から微量の漏油。以後移動をつづける。 |
| 2 | " | " | 240 | 油量計取付部から微量の漏油。 |
| | | | 550 | 燃焼筒が振動音を発生しゆれだす。 |
| | | | 650 | ストーブが移動しだす。以後移動をつづける。 |
| 3 | " | " | 150 | バーナーバスケット部から少量の漏油。 |
| | | | 400 | 燃焼筒が振動音を発生しゆれだす。ストーブが移動しだす。以後移動をつづける。 |
| 4 | " | " | 400 | ストーブが移動しだす。 裏蓋が開く。 |
| | | | 670 | 油受皿下部より少量の漏油。 |
| | | | 870 | 前面ガードがはづれる。 以後移動をつづける。 |
| 5 | " | " | 320 | 燃焼筒が振動音を発生しゆれだす。 |
| | | | 450 | ストーブが移動し燃焼筒がゆれながら回転す。 |
| | | | 900 | ストーブの移動激しく起振機台上より落下。 |
| 6 | " | " | 200 | ストーブ全体のゆれ運動が始まる。 |
| | | | 360 | ストーブが移動しだす。 |
| | | | 700 | ストーブの移動激しく起振機台上より落下。 |
| 1 | ベニヤ板 | 満 | 400 | 燃焼筒が振動音を発生しゆれだす。 |
| | | | 550 | ストーブが移動しだし、油量計取付部から微量の漏油。以後移動をつづける。 |
| 2 | " | " | 400 | 燃焼筒が振動音を発生しゆれだす。 |
| | | | 450 | 油量計取付部から微量の漏油。 |
| 3 | " | " | 550 | ストーブが移動しだす。以後移動をつづける。 |
| | | | 200 | バーナーバスケット部から少量の漏油。 |
| 4 | " | " | 400 | ストーブが移動し、燃焼筒が振動音を発生しゆれだす。以後移動をつづける。 |
| | | | 360 | ストーブが移動しだす。 |
| 5 | " | " | 600 | 裏蓋が開く。油受皿下部より少量の漏油。 |
| | | | 750 | 移動激しく起振機台上より落下。 |
| 6 | " | " | 320 | 燃焼筒振動音を発生しゆれだす。 |
| | | | 400 | ストーブが移動しだす。 |
| | | | 750 | 移動激しく起振機台上より落下。 |
| 6 | " | " | 250 | ストーブ全体のゆれ運動が始まる。 |
| | | | 350 | ストーブが移動しだす。 |
| | | | 750 | 移動激しく起振機台上より落下。 |

| ストーブ 実験番号 | 床 材 | 燃料タンク の状態 | 最 大 加 速 度 cm/sec ² | 観 測 状 況 |
|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | カ ー ペ ッ ト | 満 | 420 | 燃焼筒が振動音を発し、ストーブのゆれ運動が始まる。 |
| | | | 600 | ストーブが移動しだす。油量計取付部から微量の漏油。 |
| | | | 750 | 移動激しく起振機台上より落下。 |
| 2 | " | " | 500 | 燃焼筒振動音を発しゆれだし、ストーブが移動しだす。 |
| | | | 550 | 油量計取付部から微量の漏油。以後移動をつづける。 |
| 3 | " | " | 150 | バーナーバスケット部から微量の漏油。 |
| | | | 450 | 燃焼筒が振動音を発し、ストーブが移動しだす。以後移動をつづける。 |
| 4 | " | " | 400 | ストーブが移動しだす。 |
| | | | 450 | 裏蓋が開く。油受皿下部から少量の漏油。以後移動をつづける。 |
| 5 | " | " | 350 | 燃焼筒が振動音を発し、ストーブが移動しだす。 |
| | | | 500 | 燃焼筒がはづれる。以後移動をつづける。 |
| 6 | " | " | 200 | ストーブ全体のゆれ運動が始まる。 |
| | | | 360 | ストーブが移動しだす。 |
| | | | 750 | 移動激しく起振機台上より落下。 |
| 1 | ベニヤ板 | 空 | 300 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 450 | ストーブが移動しだす。以後移動をつづける。 |
| 3 | " | " | 350 | 燃焼筒振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 400 | ストーブが移動しだす。以後移動をつづける。 |
| 6 | " | " | 350 | ストーブ全体のゆれ運動が始まり、移動しだす。 |
| | | | 700 | 放熱ネットがはづれ、移動激しく起振機台上より落下。 |

第 2 表 上 下 振 動

| ストーブ 実験番号 | 床 材 | 燃料タンク の状態 | 最 大 加 速 度 cm/sec ² | 状 況 観 測 |
|--------------|-----|--------------|-------------------------------------|--|
| 1 | 畳 | 満 | 750 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 870 | ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 |
| | | | 960 | バーナーバスケット部及び給油口から少量の漏油。以後大きく躍動しながら移動をつづける。 |
| 2 | " | " | 670 | 油量計取付部から微量の漏油。 |
| | | | 920 | ストーブ全体がおどり出し移動をはじめる。以後大きく躍動しながら移動をつづける。 |
| 3 | " | " | 490 | バーナーバスケット部から微量の漏油。 |
| | | | 970 | ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 |
| | | | 1060 | ストーブの上蓋がはづれ、躍動しながら移動をつづける。 |
| 4 | " | " | 560 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 油受皿下部より少量の漏油。 |
| | | | 830 | ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 |
| | | | 970 | 裏蓋が開き、ガード、燃焼筒はづれる。 以後大きく躍動しながら移動をつづける。 |

| ストーブ 実験番号 | 床 材 | 燃料タンク の状態 | 最大 加 速 度 cm/sec ² | 状 況 観 測 |
|--------------|-----------|--------------|------------------------------------|--|
| 5 | " | " | 600 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 790 | ストーブ全体がおどり出し移動をはじめ。 |
| | | | 880 | バーナーバスケット部から少量の漏油。 以後躍動しながら移動をつづける |
| 6 | " | " | 750 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 880 | 放熱ネットがはづれ、ストーブ全体がおどりだし移動を始める。以後大きく躍動しながら移動をつづける。 |
| 1 | ベニヤ板 | 満 | 670 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 880 | ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 |
| | | | 970 | 給油口の蓋がはづれ漏油大。以後躍動しながら移動をつづける。 |
| 2 | " | " | 500 | 上部ゆれ始め、油量計取付部から少量の漏油。 |
| | | | 790 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだし、ストーブが移動し始める。 |
| | | | 880 | ストーブ全体が大きく躍動し、ガード止めビス4本離脱、以後移動をつづける。 |
| 3 | " | " | 670 | バーナーバスケット部より微量の漏油。 |
| | | | 880 | 燃焼筒が大きくゆれだす。 |
| | | | 1110 | ストーブ全体がおどり出し移動し始める。 |
| | | | 1200 | ストーブ全体が大きく躍動し漏油大。 以後大きく躍動しながら移動をつづける。 |
| 4 | " | " | 800 | ストーブ全体がおどり出し移動をし始める。 裏蓋が開く。 |
| | | | 870 | 油受皿下部から少量の漏油。 |
| | | | 1060 | 前面ガードがはづれ、以後躍動しながら移動をつづける。 |
| 5 | " | " | 880 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 ストーブ全体がおどり出し移動をし始める。 |
| | | | 1060 | バーナーバスケット部より少量の漏油。 以後躍動しながら移動をつづける。 |
| 6 | " | " | 630 | 燃焼筒が振動音を発しながらゆれだす。 |
| | | | 970 | ストーブ全体がおどり出し移動をし始める。 |
| | | | 1010 | 放熱ネットがはづれ移動、躍動激しく起振機台上より落下。 |
| 1 | カー ベット | 満 | 790 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 920 | ストーブ全体がおどり出し移動をし始める。 |
| | | | 1160 | バーナーバスケット部、給油口から少量の漏油。 以後大きく躍動しながら移動をつづける。 |
| 2 | " | " | 430 | 油量計取付部から微量の漏油。 |
| | | | 1100 | ストーブ全体がおどり出し移動をし始める。以後躍動しながら移動をつづける。 |
| 3 | " | " | 1000 | 燃焼筒倒れ燃焼筒下部より少量の漏油。 ストーブ全体が躍動しながら移動をつづける。 |
| 4 | " | " | 490 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 750 | 燃焼筒倒れストーブの移動が始まる。 |
| | | | 920 | 油受皿下部より漏油大。 |
| | | | 1010 | 前面ガード、裏蓋が離脱。以後躍動しながら移動をつづける。 |

| ストーブ 実験番号 | 床 材 | 燃料タンク の状態 | 最大 加速度 cm/sec ² | 状 況 観 測 |
|--------------|------|--------------|----------------------------------|--|
| 5 | " | " | 880 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 |
| | | | 920 | バーナーバスケット部より少量の漏油。 |
| | | | 1000 | 以後躍動しながら移動をつづける。 |
| 6 | " | " | 830 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 970 | 放熱ネットがはづれストーブ全体がおどり出し移動を始める。 |
| | | | 1000 | ストーブの上部大きくゆれ移動をつづける。 |
| 1 | ベニヤ板 | 空 | 880 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 900 | ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 以後大きく躍動しながら移動をつづける。 |
| 3 | " | " | 970 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 1000 | ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 以後躍動しながら移動をつづける。 |
| 6 | " | " | 830 | 燃焼筒が振動音を発しゆれだす。 |
| | | | 1000 | ストーブ全体がおどり出し移動を始める。 以後躍動しながら移動をつづける。 |

(2) 摩擦係数, 転倒角度の測定

倒角度を第3表に, すべり出し加速度を第4表に示

本実験に使用した石油ストーブの摩擦係数, 及び転

す。

第3表

| ストーブ 実験 番号 | た た み | | カ ー ベ ッ ト | | ベ ニ ヤ 板 | |
|------------------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| | 転 倒 角 度 | 摩 擦 係 数 | 転 倒 角 度 | 摩 擦 係 数 | 転 倒 角 度 | 摩 擦 係 数 |
| 1 | 33° | | 32° | | 24° | 0.4 |
| 2 | | 0.5 | | 0.4 | | 0.5 |
| 3 | 30° | 0.5 | 29° | 0.5 | 24° | 0.4 |
| 4 | 25° | 0.4 | 23° | | 23° | |
| 5 | 27° | 0.4 | 26° | | | 0.3 |
| 6 | 24° | | 23° | | 24° | |

(燃料満)

(3) 力学的考察

石油ストーブの滑り出し, 転倒について簡単な力学的考察を加へてみる。

一般に地震の強さは, 地震波のエネルギーで示すが, 通常その起す被害の程度, 例へば死傷, 家屋の倒壊等により弱いときは人体に感じた程度で示す。

地震計で観測したときにもこの目的に合わせるため最大加速度をもつてする。

即わち, 地震動が周期Tで, 振幅Aならば最大加速

度 α は次式で与へられる。

$$\alpha = \frac{4\pi^2}{T^2} A \approx 39.5 \frac{A}{T^2}$$

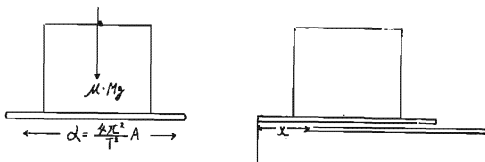
普通振幅Aをミリメートル, 周期Tを秒で表わす。

また最大加速度 α を重力加速度gで割ったものを震度(I)という。

水平振動の場合, 石油ストーブの滑り出す条件を求めてみると,

第4表

| ストーブ 実験番号 | 床材 | 燃料タンク の状態 | すべり出し 加速度 cm/sec ² |
|--------------|-------|--------------|-------------------------------------|
| 1 | たたみ | 満 | 630 |
| | ベニヤ板 | " | 550 |
| | カーペット | " | 600 |
| 2 | たたみ | " | 650 |
| | ベニヤ板 | " | 550 |
| | カーペット | " | 500 |
| 3 | たたみ | " | 400 |
| | ベニヤ板 | " | 400 |
| | カーペット | " | 450 |
| 4 | たたみ | " | 400 |
| | ベニヤ板 | " | 360 |
| | カーペット | " | 400 |
| 5 | たたみ | " | 450 |
| | ベニヤ板 | " | 400 |
| | カーペット | " | 350 |
| 6 | たたみ | " | 360 |
| | ベニヤ板 | " | 350 |
| | カーペット | " | 360 |
| 1 | ベニヤ板 | 空 | 450 |
| 3 | " | " | 400 |
| 6 | " | " | 350 |



変位 $x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$ で表わされるから

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2\pi}{T} A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

加速度は

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{T^2} A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

また

$$\left. \begin{aligned} \text{力} &\dots\dots\dots M \frac{4\pi^2}{T^2} A \\ \text{摩擦係数} &\dots\dots\dots \mu \cdot Mg \end{aligned} \right\} \text{であるから}$$

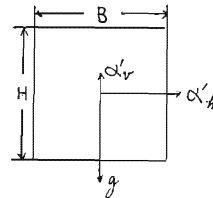
滑動の条件は

$$M \frac{4\pi^2}{T^2} A > \mu \cdot Mg \text{である。}$$

即ち $\alpha > \mu \cdot g$ となる。

ここで μ は石油ストーブと床材との間の摩擦係数値、 g は重力の加速度である。

水平振動と上下振動を石油ストーブに与へた場合の滑り出す条件を考えてみると、



振動の加速度の水平分を α'_h とし、垂直分を α'_v とし、 g を重力の加速度とすれば、

$$M\alpha'_h \geq (Mg + M\alpha'_v)\mu \dots\dots \text{垂直方向の加速度下向きの場合}$$

$$M\alpha'_h \geq (Mg - M\alpha'_v)\mu \dots\dots \text{垂直方向の加速度上向きの場合}$$

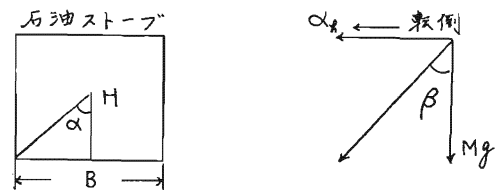
$$\text{今 } \frac{\alpha'_h}{g} = \alpha_h, \frac{\alpha'_v}{g} = \alpha_v \text{ とおき上式に代入し}$$

$$\mu \leq \frac{\alpha_h}{1 \pm \alpha_v} \text{ を得る。}$$

即ち上向きの加速度が働いて、しかも水平加速度が大ききとき物体は滑動しやすい。

このことは地震の調査報告によくみられることで或る一つの方向に多く倒れ、その反対のものが少ない。

次に振動による石油ストーブの転倒について考へてみると、重力と振動力の合成力が石油ストーブの底面の外側に向う場合に転倒するとすれば



$$\beta > \alpha \dots\dots \text{転倒条件}$$

$$\text{従つて } \tan \beta > \tan \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{B}{2H}, \quad \tan \beta = \frac{4\pi^2 A \cdot M}{T^2 Mg}$$

$$\therefore \tan \alpha = \frac{B}{2H}, \quad \tan \beta = \frac{4\pi^2 A}{g T^2}$$

$$\therefore \frac{4\pi^2 A}{g T^2} > \frac{B}{2H} \quad \therefore \frac{\alpha}{g} > \frac{B}{2H}$$

但し、Hは重心の高さ、Bは底辺の幅。

即ち $\frac{B}{2H}$ の値が大きいもの程、つまり石油ストーブの底板を広くし、重心を低くすれば転倒しにくい。

また地震そのものについては $\frac{\alpha_h}{1 \pm \alpha_v}$ の値が小さい程、物体を転倒させる能力が小さい。

このことは石油ストーブの形、摩擦係数の大きさ等により相当の差が出てくることは当然である。

(4) 地震の強さと最大加速度

地震計もなく、被害も少ないときに地震の強さを決定するには直接人体の感覚による。

この目的のために震度階級というものができている。

気象庁で用いている震度階級と最大加速度を対応させ第5表に示す。

第5表

| 震度階 | 名称 | 最大加速度 cm/sec ² | 説明 |
|-----|-----|------------------------------|---------------------------------------|
| 0 | 無感覚 | 0 ~ 0.5 | 地震計以外に感じない。 |
| 1 | 微震 | 0.5 ~ 2.0 | 静止している人又は注意深い人のみ感ずる。 |
| 2 | 軽震 | 2.0 ~ 8.0 | 戸障子が振動する。 |
| 3 | 弱震 | 8.0 ~ 32.0 | 家屋動揺し、戸障子が鳴り、時計が止まり、液体動揺し、吊したものが振動する。 |
| 4 | 中震 | 32.0 ~ 128.0 | 家屋激しく動揺し、座りの悪いものは倒れ、液体が溢れ出る。 |
| 5 | 強震 | 128.0 ~ 250.0 | 壁亀裂し、石碑、石灯笼等倒れ、煙突破損し、土蔵壁落ちる。 |
| 6 | 烈震 | 250.0 ~ 350.0 | 家屋倒壊、山崩れなどの地変がある。 |
| 7 | 激震 | 350.0 ~ 600.0 | 家屋倒潰30%、山崩、地割れ、断層をする。 |

実際の地震動は不規則な合成振動である。

震度の強さの程度を中央気象台が定めた震度階により最大加速度でみると、石油ストーブが滑り出したり、転倒したりするのは激震以上となる。

しかしながらこのことについて地震動を水平方向、垂直方向のみの単振動だけから解明するには問題が多すぎる。

単振動の最大加速度 α は

$$\alpha = \frac{4\pi^2 A}{T^2} \approx 39.5 \frac{A}{T^2}$$

で表されるから、石油ストーブの滑り出す条件は一定加速度であることを示しており本実験においても概ね 350~650cm/sec² の範囲で滑り出しており理論上の値と略一致している。

また滑り出した石油ストーブは起振機の限界まで転倒せず、移動により起振機台上から落下するのみであった。

床材の相異なる滑動、転倒の状況を見ると滑りについては摩擦係数値の少ないベニヤ板の方が早く滑り出し、「ゆれ運動」に関しては畳の方が起り易い。

またストーブの脚が畳の「へり」、「いぐさの目」等に接した場合は「ゆれの幅」が大きくなり転倒の可能性も生じてくる。

すなわち床面が平滑なもの程、「ゆれ運動」が起りにくい。

実験番号1の如き脚のついているものは「ゆれ運動」が起り易く5に見られるように底板のあるものは「ゆれ運動」を起してもその幅が狭い。

このことは平面的な底板がついているものは底面が広い床に対する圧力が少ないので振幅の両端で重力と合成力が石油ストーブの片側の脚にかかる力が弱いため「ゆれ運動」が起り難いものと考えられる。

またその振幅、加速度が定常的であれば、ストーブの移動少なく、ながく躍動しつづけている。

実験番号4の如き落差式反射型石油ストーブは燃料タンクの位置が高いため、振動に対しては比較的不安定である。

本実験中、給油口、油量計取付部及びバーナーバスケット部から少量の漏油が6番を除く全部の器種から認められたが漏油量は予想に反して少なかった。

以上の実験で得られた結果から振動に対する石油ストーブの安定性については次のことが考えられる。

- 1) 燃料を補給した場合に重心位置が高くなる(落差式)ものは不安定である。
- 2) 底板の面積が広いもの程安定性を増す。
- 3) 脚のついているものは底板付のものより安定性に欠ける。

7. おわりに

地震、振動等による石油ストーブの直接の転倒、又は他の物体との衝突による転倒によって発生する火災

は重要な事項として各方面に多くの問題を提起したが、これを解明するには実際の地震動は極めて複雑でまた実験に供した起振機の構造上、単振動で行なったものであり、これのみでは正確な現象を把握することは困難であるが、今回の実験ではあくまでその傾向を

つかむことを目的として振動実験を行なったものであり、この小文が多少なりとも参考になれば幸いである。

(参考文献 地震学 中村左衛門太郎著)