

屋内照明器具の地震時における挙動と危険性について

Behavior and Hazard of Interior Lighting Equipment in An Earthquake

桜井和敏*

北沢千弘*

斉藤洋*

吉田靖*

In many instances interior lighting equipment broke or fell during earthquakes.

In this study, an experimental steel-frame house was placed on the vibration table. Chain pipe pendants with two 20w and two 40w fluorescent lamps that were generally used in schools, factories, etc. were attached on the center of the ceiling and oscilated by means of sine waves in the vertical and horizontal directions.

The intrinsic vibration periods of interior lighting equipment come within 10 Hz, which is known as the highest value of ordinary earthquake waves. The acceleration intensity of some equipment reached about 36 times that of the floor, while a few lamps and fixtures fell or broke.

We succeeded in preventing interior lighting equipment from breaking or falling either by application of a flexible tube to the hanger or by improving part of the hanger.

1. はじめに

わが国は、地震の過密地帯であり、日本列島及びその周辺から放出される⁽¹⁾地震エネルギーは、地球全体のおよそ15パーセントにも達すると言われている。

昭和50年代になってからマグニチュード7以上の地震がすでに3回起っている。

昭和57年3月21日(日)、午前11時32分頃北海道浦河町においては、震度6の烈震に見舞われたが、火災の発生・死者は全くなかったと報告されている。

しかし、負傷者は多く、負傷者の94%が屋内で受傷しており、受傷の原因は落下物によるものが最も多いと言われている。

今回は、学校等の多数の人々が集まる場所に、特に多く使用されている天井吊下型蛍光灯器具の振動挙動について実験を行ったので報告する。

2. 実験目的

室内照明器具(天井吊下型蛍光灯器具)が地震動を受けたときの、挙動・破損・落下状況を把握し、現在使用されている器具についての改良すべき点等を検討することにより、器具の破損・落下防止対策を究明する。

3. 実験内容

大型振動台上に、図1に示す鉄骨製の実験ハウスを設置し、天井中央部に天井吊下型蛍光灯器具(以下蛍光灯器具と言う。)を取付けて正弦波による比較的苛酷な方法で加振した。

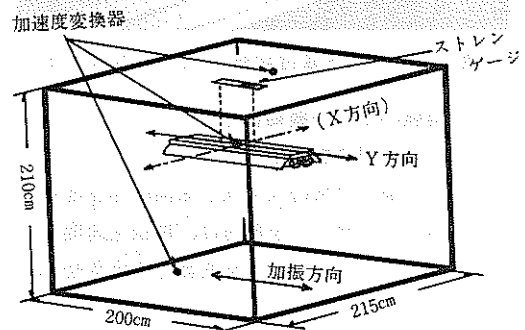


図1 実験ハウス(蛍光灯 Y方向取付状態)

* 第二研究室

なお、蛍光灯器具を加振方向に対して横向きに取付けた状態をX方向（以下X方向と言う。）又加振方向に対して縦向きに取付けた状態をY方向（以下Y方向と言う。）として実験を行った。

実験供試体として次の反射笠蛍光灯器具を使用した。

- チェーンペンダント 20W×2灯用、重量 2.14kg、チェーン11個（長さ37cm）
- チェーンペンダント 40W×2灯用、重量 4.4kg、チェーン11個（長さ37cm）
- パイプペンダント 20W×2灯用、重量 2.3kg、長さ37cm
- パイプペンダント 40W×2灯用、重量 4.56kg、長さ37cm

チェーンペンダントについては、長さを37cm（以下チェーン11個と言う。）、19cm（以下チェーン5個と言う。）、10cm（以下チェーン2個と言う。）の3種類について行った。

サポートカバーを取った状態は、パイプ、チェーンともサポートの穴に引掛け、あとはサポートカバーを化粧ネジ2本で固定した比較的自在性のある取付け構造となっている。

なお、20W用と40W用とは同一サポートを使用できるようになっている。（写真1にパイプペンダントの取付状態を示す。）

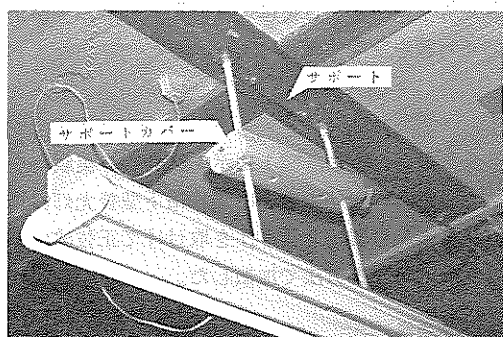


写真1 サポート取付状態(パイプペンダント)

(1) 実験ハウスの振動特性

ア、共振周波数測定

実験ハウスの天井面と床面に加速度変換器（センサー）を取付け、加振加速度を200ガル一定にて、周波数を変化させ共振点を測定した。

イ、漸増加振による加速度測定

周波数1Hz、5Hz、7Hzの3種類に

ついて漸増加振し、天井面と床面の加速度を測定した。

(2) 蛍光灯器具の共振周波数測定

蛍光灯器具の中央部に三軸型加速度変換器を取付け、加振加速度を80ガル一定にて、周波数を変化させ共振点を測定した。

なお、X・Y方向について実施した。

(3) 漸増加振による蛍光灯器具の加速度測定

周波数を共振点にセットし、加速度を每秒2ガルずつ漸増加振して行き、三軸型加速度変換器により蛍光灯器具及び床面の加速度を測定した。

(4) サポート部の歪測定

図2に示す、サポートの天井取付部（木ネジ付近）及び吊下用穴部付近にストレングジをはり付け、静歪及び動歪を測定した。

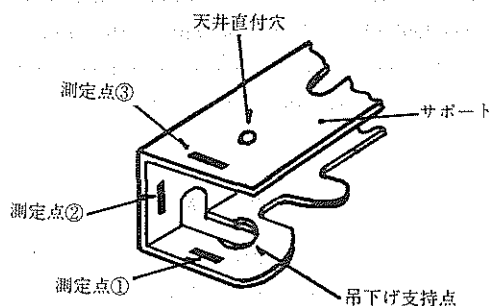


図2 歪測定点

静歪は、サポートを天井部に取付け垂直方向に荷重を掛け、バネ計りと静歪計により荷重量に対する歪量を測定した。

動歪については、蛍光灯器具の共振周波数における漸増加振により、加速度に対する歪量を動歪計によって測定した。

(5) 漸増加振における蛍光灯器具の状況観察

周波数を蛍光灯器具の共振点にセットし、加振加速度を漸増して行き、蛍光灯器具・吊具及びパイプ、チェーンについて、振れ・落下・破損状態等につき目視観察を行った。

(6) 構造別による比較実験

前記外の40W×2灯用反射笠蛍光灯器具・吊具について漸増加振における状況観察を行った。（2機種）

(7) 対震対策

パイプ・チェーンの代わりにフレキシブルチェーン（水道用）を使用，又器具の一部を改造して実験を行った。

4. 実験結果

(1) 実験ハウスの振動特性

ア，共振周波数測定

結果を図3に示す。

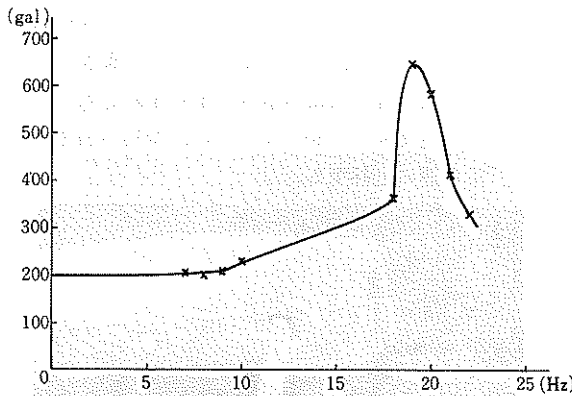


図3 実験ハウスの共振周波数
(加振加速度200gal一定)

共振周波数は，19Hzであり，0～10Hz間の天井面と床面加速度は，実験ハウスの構造上殆んど同じであった。

なお，今回行った蛍光灯器具の共振周波数は1.8Hz以下であるため実験ハウスの振動影響は，殆んどないものとする。

イ，漸増加振による加速度測定

結果を表1に示す。

表1に示す周波数で，気象庁震度階級の激震に相当する加速度450ガルまで加振した。

表1 実験ハウスの漸増加振における加速度

周波数 (Hz)	測定点	加 速 度 (gal)									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1	床面	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	天井面	50	100	150	204	250	300	350	400	450	500
5	床面	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	天井面	50	103	160	211	268	323	418	475	537	599
7	床面	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	天井面	50	109	158	210	265	320	380	431	493	554

なお，1Hzについては，振動機の性能上から200ガルまでの加振とした。

(2) 蛍光灯器具の共振周波数測定

表2に蛍光灯器具の共振時における，三方

向（X・Y・Z）加速度を示す。

表2 蛍光灯器具の共振時における三方向加速度(gal)

(加振加速度80gal一定)

試料 加速度 測定方向	20Wチェーン吊り			40Wチェーン吊り			20W パイプ 吊り	40W パイプ 吊り	
	全長	5ヶ	2ヶ	全長	5ヶ	2ヶ			
加振方向 X	X	1200	1305	1061	855	1258	836	322	393
	Y	535	211	107	527	368	147	108	82
	Z	676	776	857	609	869	441	127	146
加振方向 Y	X	702	554	472	1976	135	197	127	218
	Y	947	559	610	1813	890	691	729	652
	Z	358	422	335	1707	811	580	231	444

ア，X方向加振の場合

○ 蛍光灯器具がちょうどブランコを揺すったときと同じ状態となり，加振方向（X）の加速度が一番大きく，次に垂直方向（Z）であった。

イ，Y方向加振の場合

○ 20Wチェーンのチェーン2個，5個，11個ともに加振方向（Y）の加速度が一番大きく，次に横方向（X）であった。（回転運動が入るため。）

○ 40Wチェーン11個の場合のみ，ネジレ回転が激しく横方向（X）の加速度が一番大きく，次に加振方向（Y）であった。

○ 40Wチェーン2個，5個及び40Wパイプの加速度は，加振方向（Y）が一番大きく，次に垂直方向（Z）であった。このことは，器具の上下運動がかなり激しいからと言える。

図4，5に共振周波数時の合成加速度（ $\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}$ ）を示す。

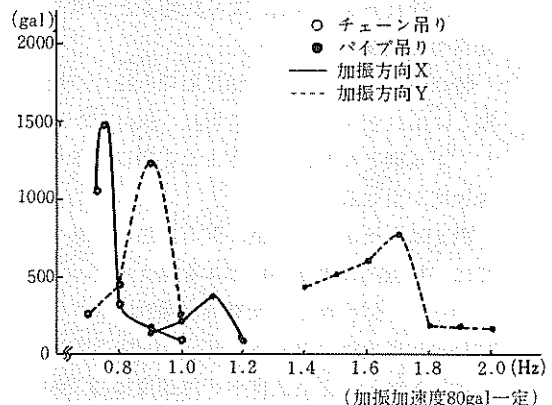


図4 20W・2灯用蛍光灯器具の共振周波数
(合成加速度)

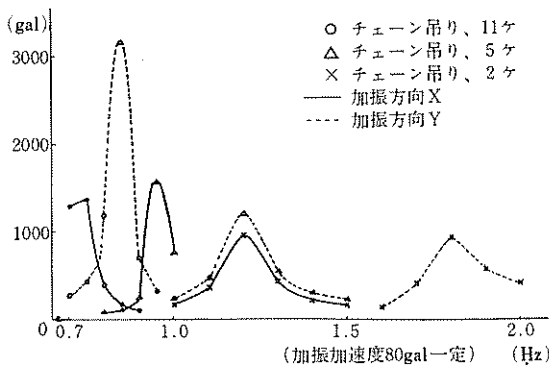


図5 40W・2灯用蛍光灯器具の共振周波数
(合成加速度)

(3) 漸増加振による蛍光灯器具の加速度測定
図6に結果を示す。

一般に漸増加振の初期において吊下げ物は、

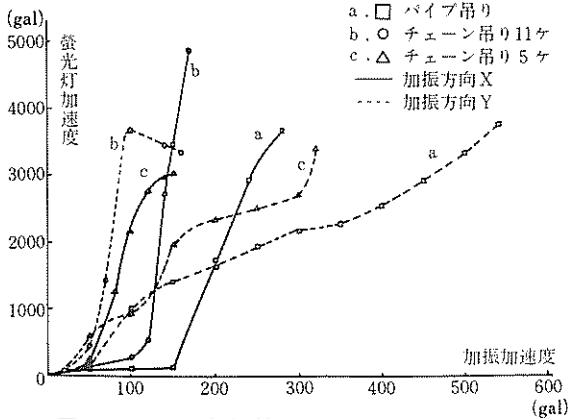


図6 20W・2灯用蛍光灯器具の応答加速度
(合成加速度)

単振動を繰返す間では、加振力相当量の加速度を生じているが、漸次増加することにより、各摺動部の状態や器具の重量分布の違いによって、揺れ方が不規則になり始めると急激に器具の加速度が上昇する。

特に長い吊下げ物は、加振周期と揺れの周期とに乱れが生じた時点で器具の揺れ方が著しく不規則となり、さまざまな方向に大きな加速度が生じる。

例えば、チェーン11個、X方向加振の結果では、加振加速度が100ガルを越えると、上下の揺れを伴う激しい衝撃的な揺れとなり、器具の加速度は急激に上昇し、170ガル加振時には、X・Y・Z各方向への加速度は2,200~3,400ガル(合成ベクトル量4,800ガル)にまで達する。

一方、Y方向加振では、初期のうちから上下の揺れが生じ始めることから、低い加振加速度(70~100ガル)の時点で器具の加速度は急激に上昇した。

しかし、加振加速度が100ガルを越えると単振動が大きく乱れ、回転を伴う不規則な揺れとなり、器具の加速度上昇は停滞した。

また、パイプ吊りで、X方向加振については、サポートカバーのパイプ貫通部が写真2に示すように、揺れの衝撃によって大きくなり、又化粧ビスにゆるみが生じ始める頃(加振加速度90~150ガル)から、器具の加速度は急速に上昇する。

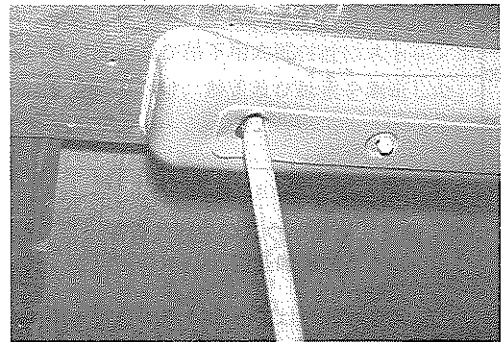


写真2 振動によりサポートカバーのパイプ貫通部と化粧ビス部が抜けた

なお、X方向とY方向加振を比較すると、サポートの構造上から、器具の加速度上昇は、Y方向が緩慢である。

又、これら測定結果から、吊下げ長さが長い程不規則な揺れを生じ易く、パイプ吊りよりチェーン吊りの方が、比較的大きな加速度を生じ易いと言える。

(4) サポート部の歪測定

図7に測定点②の結果を示すが、この点が他の測定点に比べると最も顕著な値であった。

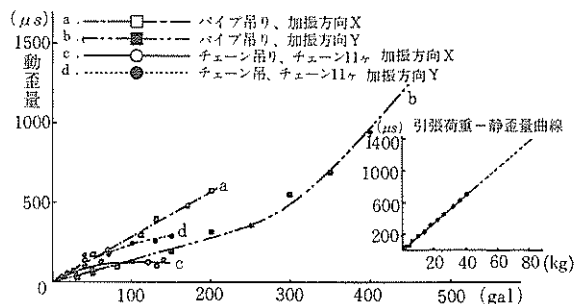


図7 漸増加振によるサポート部(測定点②)の動歪量

このことは、サポートがコの字形になっているため、測定点②の部分で加振荷重がかなり吸収されているものと考えられる。

図7のパイプ吊り、Y方向加振について見ると、200ガル加振時の動歪量が $580\mu S$ となっており、同図の引張荷重-静歪量グラフから $580\mu S$ 時34kgとなっているから、図2に示す測定点②の部分に約34kg程度の荷重が掛っていると見える。垂直方向に静荷重を加えた破壊実験では、チェーン11個は、荷重51kgにおいて写真3に示す状態となり、各チェーン

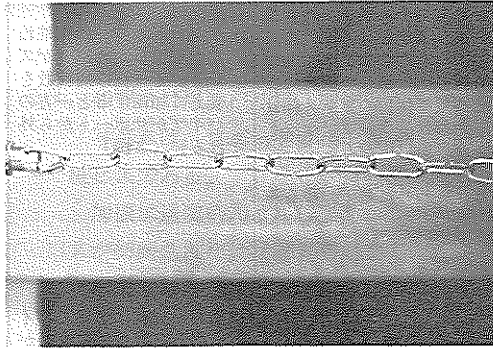


写真3 静荷重による破壊実験

がバラバラに飛散した。

又、パイプについては、荷重200kgにおいてサポートのパイプ引掛穴が変形し、パイプが離脱した。

(5) 漸増加振における蛍光灯器具の状況観察

図8に、破損・落下等に至った主な内容を示す。

以下、写真によって状況を説明する。

ア、20W 2灯用、チェーン2、加振方向X

写真4は、ランプ1灯が抜け落ち、天井に激しく当たっている。



写真4 器具が激しく天井に当たる

回転式ソケットであるため、ランプが振れにより回転し、ソケットから抜け落ち飛散した。

イ、40W 2灯用、チェーン2、加振方向Y

写真5は、器具が上下運動し、加振加速度250ガル付近で2本のチェーンから同時に、器具本体が外れ床に叩きつけられ、ランプは2本とも破損した。

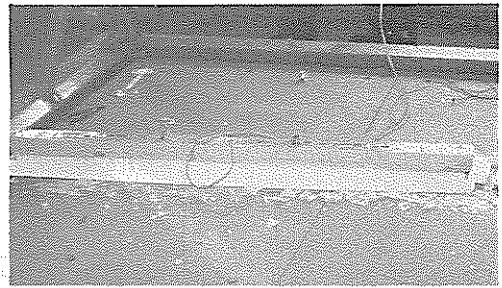


写真5 40W・2灯用蛍光灯落下状態

ウ、40W 2灯用、チェーン11、加振方向X

写真6は、加振加速度約90ガル程度で、片方のチェーンが外れて器具が吊下がった。

写真7は、器具が激しく天井に激突し、ソケットの部分が外側に広がった。

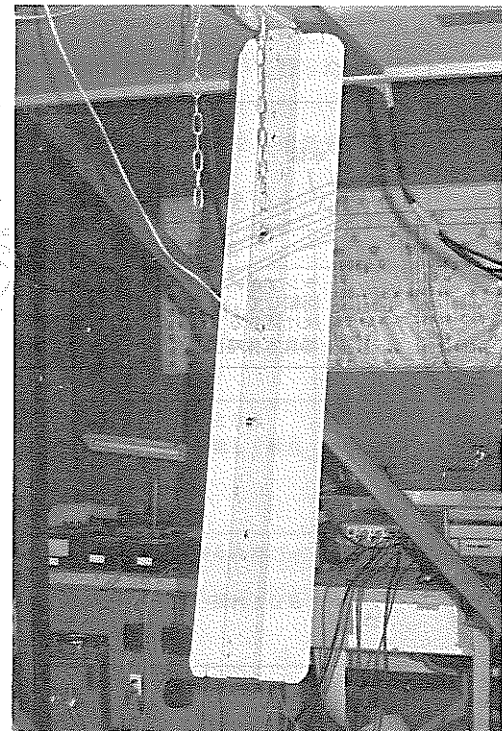
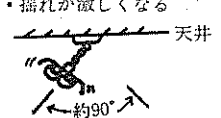
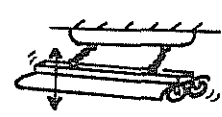
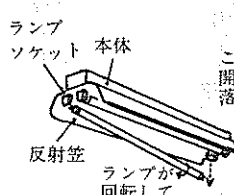
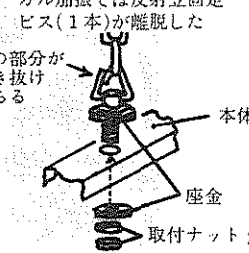
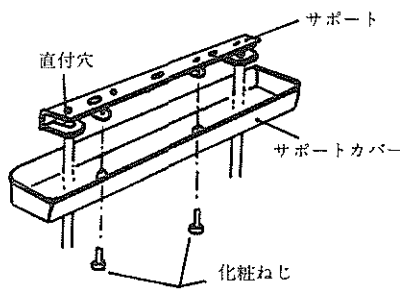


写真6 40W・2灯用蛍光灯器具
一方のチェーンが外れた状態

図8 漸増加振による蛍光灯器具の状況観察

試料	チェーン吊り		パイプ吊り	
加振方向・時間	20 W・2 灯用		40 W・2 灯用	
	1/2 長 (チェーン2ヶ)		全長 (チェーン11ヶ)	
加振加速度	X・240秒	Y・110秒	X・190秒	
(ガル)				
50	<ul style="list-style-type: none"> 揺れが激しくなる  <p>天井 約90°</p>	<ul style="list-style-type: none"> 揺れが激しくなる 	<ul style="list-style-type: none"> 揺れが激しくなる 天井にあたり始める (ソケット部分が破損) 片方のチェーンが外れて吊り下がる 	<ul style="list-style-type: none"> 可動範囲一杯に激しく揺れる
100	<ul style="list-style-type: none"> 蛍光灯ソケットの取付具合によってはランプが落下する (1図) 	<ul style="list-style-type: none"> 激しい上下振動が加わる 	<ul style="list-style-type: none"> ※天井への激しい衝突によって本体角のカシメ部分が外れ、ランプソケットが外側に広がる ※化粧ねじに若干のゆるみが生じた 	<ul style="list-style-type: none"> サポートカバーの化粧ねじが破損し、カバーがズレ下がる (更に周波数を変えて加振すると一方のパイプがサポートから外れる) (3図)
150				
200	<ul style="list-style-type: none"> 激しい上下振動が加わる ランプが抜け落ちる 他のランプ1灯は回転して消灯 天井に激しくあたり始める 	<ul style="list-style-type: none"> 2本の鎖が同時に外れて落下 (2図) 		
250				<ul style="list-style-type: none"> ※激しい揺れによってパイプの器具取付部に亀裂が入る
300		<ul style="list-style-type: none"> ※チェーンを補強しての500ガル加振では反射笠固定ビス(1本)が離脱した 		
	 <p>ランプソケット 本体 反射笠 ランプが回転して抜け落ちる 1図 器具本体略図</p>	 <p>この部分が開き抜け落ちる 本体 座金 取付ナット 2図 灯具取付部略図</p>	 <p>直付穴 サポート サポートカバー 化粧ねじ 3図 天井取付部略図</p>	

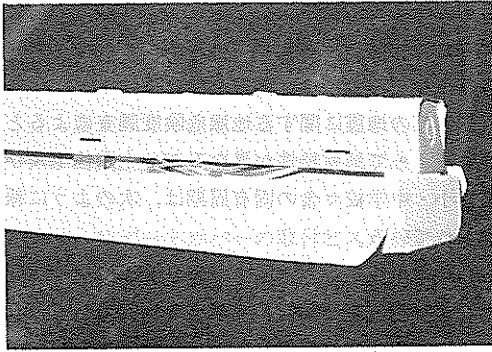


写真7 ソケット部分が変形

実験のうちでランプが落下したのもあった。

エ, 40W 2 灯用, パイプ, 加振方向 X

写真8は, サポートカバー取付け用の化粧ビスである。

加振加速度約90ガル程度で, 2 本ともビスが切断された。(写真右側 2 本)

写真9は, 化粧ビス切断により, サポートカバーがズレ落ち, パイプ一本がサポートから外れた状態である。

又, 激しい揺れによって, パイプと器具取付け部に亀裂が入った。

なお, イ, ウの場合, 蛍光灯器具とチェーン取付け部の鎖の構造を変えたところ, 器具の落下はなくなった。

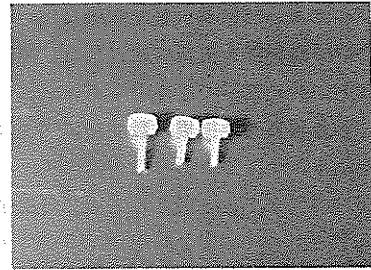


写真8 切断した化粧ビス(右の2本)

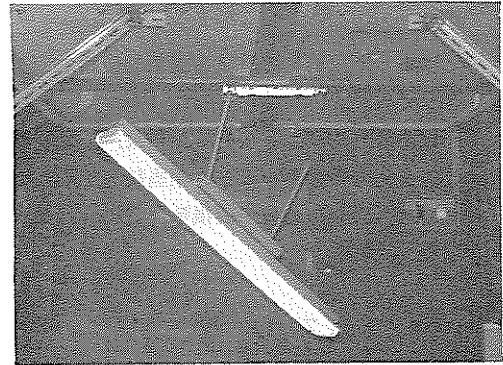


写真9 40W・2灯用蛍光灯器具
サポートからパイプが離脱

(6) 構造別による比較実験

図9に結果を示す。

40W 2 灯用, 蛍光灯器具及び吊具A, B 2 種類のタイプについて行った。

(7) 対震対策

図10, 11に40W 2 灯用蛍光灯器具をフレキ

図9 吊下形態の異なる蛍光灯での漸増加振時の状況

吊下形態の略図	吊下方式	漸増加振時の状況	破損等の状況
	チェーン吊り	<ul style="list-style-type: none"> 40~60ガルにて激しく揺れる 80~140ガルにて回転しながら天井にあたる 	—
	パイプ吊り	<ul style="list-style-type: none"> 60~80ガルにて可動範囲一杯の揺れとなる 120~140ガルにて上下振動が加わり激しく揺れる 	<ul style="list-style-type: none"> パイプと器具取付け部(両ナット固定)に亀裂が入る
	チェーン吊り	<ul style="list-style-type: none"> 20~90ガルにてストップリングがゆるみカバーが下がり始める 80~120ガルにて回転を伴う激しい揺れとなる 90~240ガルにて天井にあたる 	<ul style="list-style-type: none"> チェーン引掛具がサポート部の爪から外れたものもあった
	パイプ吊り	<ul style="list-style-type: none"> 20~30ガルにてストップリングがゆるみカバーが下がり始める 40~120ガルにて激しい揺れとなる 	<ul style="list-style-type: none"> 180ガル付近にて一方のパイプがサポート部より外れ宙吊りとなる サポート部に変形が認められる

シンプルチューブ吊りにした状態及びパイプ吊りの器具取付部を自在に改造した状態並びに同状態において、パイプをサポートに溶接したときの器具の共振周波数並びに加速度の結果を示す。

図11のデータと図6の20W 2灯用蛍光灯器具データ（40W 2灯用をはるかに大きくなる。）を比較すると図11の改造した器具の加速度は、はるかに低くなっている。

又、チェーンにビニールパイプを被せることによって、器具に与える衝撃を緩和することができた。

以上の方法によって行った結果、蛍光灯器具に与える振動ショックを相当緩和することができ、器具の亀裂・破損等は認められなかった。

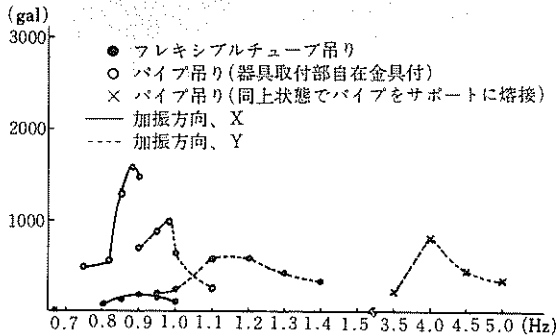


図10 40W・2灯用蛍光灯器具の共振周波数
(合成加速度)

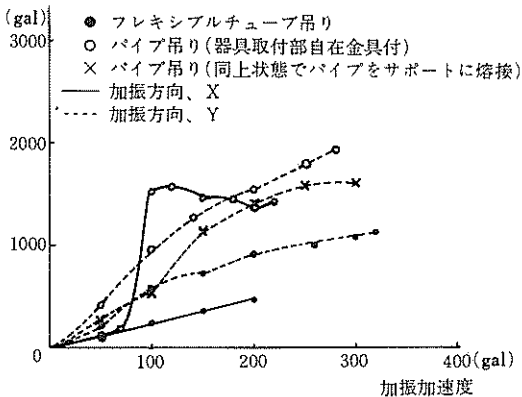


図11 40W・2灯用蛍光灯器具の漸増加振時の応答加速度 (合成加速度)

5. 考 察

関東大震災では⁽¹⁾木造家屋や鉄筋コンクリート造の低層建物が多数被害を受けている。

この当時の木造住宅の固有周期は0.3~0.5秒く

らいといわれている。

これら建物の固有周期が、地震動の振動周期に応答すると、大きな地震力を受ける。

東京都の地震に関する地域危険度調査によると地域によって地盤特性が異なるが、木造住宅及び公立小・中学校々舎の固有周期は、次のように報告されている。

- 専用住宅平家 0.2~0.5秒以上
- 専用住宅2階建 0.2~0.7秒以上
- 共同住宅2階建 0.3~0.7秒以上
- 公立小・中学校々舎 0.14~0.2秒以上

今回行った蛍光灯吊下器具の固有周期は、0.5以上という長い周期であった。

なお、一般に地震波の成分は、10Hz程度までといわれ、それ以上は減少すると言われている。

さて、本題に戻って、実験の結果から次のことが言える。

(1) 対 策

ア、フレキシブルチューブ(水道用品のもの)による吊下げは、蛍光灯器具に与える振動を大部分緩和することができ有効である。

また、この対策は、チェーンペンダントと同様に取付工事も簡単である。

イ、チェーン吊下げの場合、チェーンにビニールパイプを被せることにより、蛍光灯器具に与える衝撃的ショックをチェーンのみの場合より大幅に緩和できる。

ウ、蛍光灯器具とパイプペンダントの取付部を自在にすることにより、取付部の直接受ける力を緩和することができる。

エ、蛍光灯器具のチェーン取付部(図8の2図参照)が△形であったものを△形にしたところチェーンの抜けることが少なくなった。

なお、このことにより、チェーンがはずれて器具が落下する確率は少ないが、器具が天井面等に当たって破損する確率は同じである。

以上の点につき対策を行ったところ、蛍光灯器具の亀裂・破損・落下等はなくなり有効であったと考える。

(2) その他考察

次の点を考慮する必要があると言える。

ア、20W蛍光灯器具のランプソケットで回転

式のもの、振動によってランプが回転し、ランプの落下が多く見られた。(ランプソケットの取付間隔が広がるため、加振加速度100ガル程度で落下するものもあった。)

又、差込式ものは落下は認められなかった。

イ、サポートカバーの取付ビスが細いため、振動によりビスが切断しサポートカバーがはずれ、蛍光灯器具が脱落したものがあつた。

なお、蛍光灯器具、吊具の構造別実験の中で加振加速度が数十ガルでサポートカバ

ーがズレ落ち蛍光灯器具の脱落したのもあつた。(対策上の構造欠陥)

ウ、サポートを木ネジ等で取付ける場合は、十分に蛍光灯器具を支えることのできる、大きめのものを使う必要がある。

6. おわりに

今後、機会があれば、さらに充実した実験を行い検討し、対策を究明して行きたいと考えている。

7. 文 献

(1) 藤井陽一郎：地震