

住宅設備ユニット振動実験報告*

稲葉誠一・小川信行・箕輪親宏

国立防災科学技術センター大型実験研究部耐震実験室⁺

Earthquake Responses of House Equipment Units*

By

Seiichi Inaba, Nobuyuki Ogawa and Chikahiro Minowa

Earthquake Engineering Laboratory,

Research Division of Large Experiments (Ibaraki-ken),

National Research Center for Disaster Prevention⁺

Abstract

This paper describes the dynamic test which was carried out for getting data on the earthquake response of house equipment units. The house equipment units used in this test were a sanitary unit, a kitchen unit, an air conditioner and conveyance units. These units were installed in the house frame built on the large-scale shaking table of the National Research Center for Disaster Prevention. Four kinds of vibration were used as the input waves of the shaking table. They were sinusoidal waves, calculated floor response waves, earthquake ground waves and earthquake floor waves. The accelerations of the units were measured in this test. The results of the vibration test were summarized as the following.

(1) The vibration of house equipment units is largely influenced by the dynamic response of house frame.

(2) The house equipment units, which have the center of gravity at high level, should be clamped to floor or wall of house frame to reduce the over-turning vibration.

(3) The house equipment units without high rigidity are inclined to make the complicated vibration.

まえがき

建築は元来注文生産である。だが「労賃の高騰」, 「技能者の不足」, 「施工期間の短縮」などの問題が起こり簡単に速く建築する方法の開発に努力が払われ, 建築材料の規格化だけでなく, 家具および建具, それに建築設備全体の規格化が進んでいる。これらの傾向がさらに進み部屋の規格化, 建築全体の規格化が試みられている。これらの例として住宅の浴室, 便所, 洗面所のユニット化, プレハブ住宅などを見ることができる。

* この報文は, 昭和48年1月5日に財団法人日本燃焼器具検査協会から申請があり, 昭和48年1月16日に国立防災科学技術センターが受託した「住宅産業における材料および設備の標準化のための設備ユニットと建築躯体の振動実験」に関する受託研究報告書である。

+ 茨城県新治群桜村大字栗原4489-1. 郵便番号300-32.
+ Address: No. 4489-1, Kurihara, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki-ken 300-32, Japan.

ここでは、規格化が進んで、ユニット化されている住宅設備（浴室、洗面所、便所、その他冷暖房設備、台所設備）の振動性状を建物に据え付けた状態で調べ、住宅設備ユニットの耐震性に関する資料を得る目的で財団法人の日本燃焼器具検査協会からの委託により1973年2月に国立防災科学技術センター大型実験研究部耐震実験室で行なった「住宅設備ユニットの振動実験」について報告する。

1. 実験概要

実験は予備実験と本実験に分けて行なった。予備実験は各供試体（建築構造体、各設備ユニット等）の構造的不備を見つけ、同時に各供試体の震動性状を本実験に先だち大まかにつかむためのものであり、各設備ユニットを建築構造体に据え付けないで行なった。この予備実験の結果は本実験を行なうための参考資料とした。

本実験は建築構造体と各設備ユニットが地震を受けた場合おのおのどのような振動をするか調べるために、各設備ユニットを建築構造体に据え付け、実際の住宅で使用されている状態に近づけて行なわれた。

1.1 供試体

供試体は建築構造体、各住宅設備ユニットなどから構成されている。これら実験に使用された設備ユニットは、浴室、洗面所、便所を一つにした「サニタリーユニット」、台所の各設備すなわち流し台、冷蔵庫、ガスレンジ等から構成されている「キッチンユニット」、ダクト、パイプ等から構成されている「搬送ユニット」、それに「冷暖房ユニット」である。「搬送ユニット」は「サニタリーユニット」用のものと、「キッチンユニット」用のものの2種からなり、別々に設置される。ここでは前者を「ダクトユニット」、後者を「パイプユニット」と便宜的に呼ぶことにする。また「冷暖房ユニット」には石油タンクがユニットと別に備えられている。これら各設備ユニットは日本燃焼器具検査協会では表⊗1のように呼ばれているものである。

1.1.1 建築構造

建築構造体は鉄骨構造で壁、天井がなく、実験中外部から観察しやすく作製されている。図⊗1からもわかるように胴縁、ブレースでフレームを補強し、高い剛性を与えようとしているが、内側のフレームの剛性が低く、建築構造体が一体となって振動台と同様の振動をすることは短軸方向に加振した場合、不可能である。柱はボックス型の断面を有し、おのおの振動台にボルト接合されるようになっている。はりにはH形鋼で柱との接合はボルトによってなされている。床はC形鋼の上に幅10cm、高さ5cmの木材を載せた根太の上に厚さ2.4cmのラワン材を

張って作られている。また、ユニットを据え付けるため床は一部設けられていない。天井には「冷暖房ユニット」からのダクトをつるためのつり木が備えられている。一方「搬送ユニット」から延びるパイプ等を固定するために天井に鉄板が備え付けられている。これは高層のアパート等で「搬送ユニット」が上下のスラブに取り付けられることを想定してのことである。

1.1.2 サニタリーユニット

このユニットは浴室部と、洗面所と便所が一つになった部分の二つの部分から構成されている。洗面所には洗たくスペースも含まれている。配管、配線がすべて組み込まれており「ダクトユニット」と接合すればすぐ機能するようになっている。給排水管、ガス管はすべてベースフレームに内蔵されており、「ダクトユニット」とは洗面化粧台の底を利用してたわみ継手で接合されている。排気管は天井に敷設されており、「ダクトユニット」の排気ダクトに接合されている。このユニットの構造はパネル方式なので高い剛性を有している。天井は厚さ4mmの合板、壁は30mmの合板、床もC形鋼を根太にした12mmの合板から構成されている。このユニットの中に備えられているものはバスタブ、洗たく機、洗面化粧台、それに便器である。固定されているのは便器だけである。

1.1.3 キッチンユニット

このユニットは台所の設備をすべて納めており、パイプユニットに配管、配線を接合すればただちに使用できるようになっている。構造はパネル形式である。サイドパネルは3枚で厚さ25mmである。バックパネルは冷蔵庫部分のものと流し台部分のもの2枚から構成されている。このパネルはサイドパネルより薄く、厚さ20mmである。ユニット上面にはパネルは用いられておらず、つり戸だなでユニット上面が構成されている。内部に納められている設備はガスレンジ、食器洗機、流し台、レンジフード、冷蔵庫、つり戸だな、水切だな等である。剛性、強度の点でこのユニットは、パネルの接合および厚さに問題があり、不十分な所があり本実験に先だち補強された。この補強はバックパネルにつり板材を打ち付けただけである。

1.1.4 冷暖房ユニット

一般に利用されているパッケージドエア-コンディショナーで油ダキ、水冷方式を採用している。上面よりダクトが延び冷暖房するようになっている。ダクトはグラスウール製のものでかなりの重量がある。このユニットは縦75cm、横

60cm, 高さ約2mで底部に2本の設置用の木材が取り付けられている。配管のうち、1本だけダクトユニットと接合されている。このユニットの重心、重量は資料がないため不明である。

1.1.5 ダクトユニット

中高層アパートのダクトスペースに内蔵することを目的としており、上層階および下層階との「ダクトユニット」と接続に多くの問題があり、この場合はたわみ継手で各配管を接合するようになっている。このユニットでは幅2,375mm, 奥行425mm, 高さ2,500mmのフレームの中に各種配管, ダクトが内蔵されている。サニタリーユニットとの配管の接合も, 施工上の都合から, たわみ性の接合方式を取っている。管をフレームに取り付ける支持方式はUボルトとハンガースドルによった方式を採用している。ダクトではアングルボルト締め付方式を用いている。管は污水管が鋳鉄管であるのを除いて, すべて鋼管である。ダクトは亜鉛鉄板製でL形鋼のフランジで補強されている。フレームはL形鋼50×50×6の溶接構造である。

1.1.6 パイプユニット

機能的には「ダクトユニット」と同様であるが, 搬入の容易さを考え, 上下二つ割りの組立タイプで, 上と下のフレームは三か所でボルト接合されている。フレームは高さ2,605mmで, 幅3,200mm, 厚さ100mm, C形鋼100×50×2.3を用いて製作されている。配管の接合部はほとんどたわみ性のものを用いるようになっている。

1.1.7 各設備ユニットの建築構造体への据え付け

各設備ユニットの配置は図5に示すとおりである。冷暖房ユニット(付属の石油タンクも), キッチンユニットはラワン床面に単に置かれているだけでなんら固定の方策は取られていない。サニタリーユニットはラワン床面より約15cm下がったフレームの床梁の上に単に置かれているだけである。「ダクトユニット」, 「パイプユニット」は, 床はり面で建築構造体にボルトで数か所接合されている。「ダクトユニット」の配管は振動台とたわみ継手により接合されている。このたわみ継手は振動台に取付板により固定されている。建築構造体上面では配管固定のために備えられている鉄板にこれらの配管は溶接されている。「パイプユニット」の底部は建築構造体に固定されているが, 上部は自由端となっており, 実際の場合と異なっている。冷暖房ユニットから出るダクトはアルミ製のバンドで,

天井を想定したつり材に据え付けられた。配管の接合でたわみ性のものを用いていない所は「サニタリユニット」と「ダクトユニット」の排気管など二、三か所である。各ユニット間のクリアランスは数cmであった。

1.2 加振方法

実験は、建築構造体の長軸方向（L方向）を加振方向に対し平行にした場合と、短軸方向（T方向）を加振方向に対し平行にした場合の二つのケースについて実施された。両ケースとも、振動台に固定されている柱は四すみの柱だけであった。供試体である設備ユニットは高層、中層のアパートに取り付けられる場合が多いので、今回の実験ではこれらのことを考慮し正弦波と地震波による加振のほか、高層アパートの高層階での強震記録波、および地震波に対する仮想建築物の計算で求めたフロアレスポンス波での加振も行なった。また、各設備ユニットの共振振動数における状況を観察するため、共振点実験と称し、各共振振動数で0.05Gから連続的に加速度を増加する加振も行なった。これらの波形による実験では、正弦波加振による実験を共振実験と呼ぶことにした。共振点実験、共振実験以外の加振は任意波形実験と呼ぶことにする。各ケースについての加振波形は次のようなものである。（「4sb4fタフト」とあるのはタフトでの地震波に対する4階建築の4階での応答波という意味である。）

1) Aケース（T方向）

1) 共振実験

0.1 G正弦波 1 Hz ~ 20 Hz (50ステップ)

0.2 G正弦波 1.5 Hz ~ 20 Hz (41ステップ)

2) 任意波形実験

イ) 地震波

タフト 1952 E-W (ヘレナ地震, 1952年7月21日)

八戸 1968 E-W (1968年十勝沖地震, 1968年5月16日)

釧路 1962 E-W (広尾沖地震, 1962年4月23日)

ロ) フロアレスポンス波

4sb4fタフト(1952E-W)

16sb10fタフト(1952E-W)

4sb4f八戸(1968E-W)

16sb10八戸(1968E-W)

4sb4fエル・セントロ(1940N-S)

16sb10fエル・セントロ(1940N-S)

ハ) 強震記録波

又穂団地 P H N - S

又穂団地 P H E - W

3) 共振点実験

正弦波 2.5 Hz, 5.5 Hz, 6.0 Hz, 8.5 Hz, 12.0 Hz, 0.05 Gから増加させる。

ii) B ケース (L 方向)

1) 共振実験

0.1 G 正弦波 1 Hz ~ 20 Hz (50 ステップ)

0.15 G 正弦波 1.5 Hz ~ 20 Hz (42 ステップ)

2) 任意波形実験

A ケースと同じ

3) 共振点実験

正弦波 2.0 Hz, 4 Hz, 6 Hz, 11 Hz, 0.05 Gから増加させる。

このほかに A ケースでエル・セントロ (1940 N - S) で加振したが B ケースでは行うことが出来なかった。任意波形実験での加振レベルは振動台の性能によって制限されてしまうので実際のものとはかなりの差がある。今回の実験の場合、16層建築の10階のフロー・レスポンス波では波の周期が長いため、実際のレベルの1/10ほどの波形でしか実験できない。以上の実験は実物であるのでタイムスケールはすべて1である。

1.2.1. フロー・レスポンス波

この波形を求めるには、建築物を仮定し、この建築物の地震波に対する応答を計算しなければならない。地震波としては前述のようにタフト (1952 E - W), 八戸 (1968 E - W), エル・セントロ (1940 N - S) の三つの波を用いた。建築物としては16層の高層建築物と4層の中層建築物の二つを仮定することにした。波形を取り出した階は16層建築では10階, 4層建築では4階である。

4層建築物では約500 m²の床面積を設定しせん断型の振動モデルを立てた。基礎と地盤については基礎に同質量の付加質量を加えスエィだけによる振動を仮定している。表-2, 表3, 図-7に4層建築物の振動性状を示した。

16層建築物では1F~2Fの床面積を約2,000 m², 3F~16Fの床面積を約1,000 m²と仮定した。また一方基礎が地下50mの所にあるとし、地盤を5層に分け、最下層の床面積の2倍の土が建築物と振動系をなしていると考え、

せん断型の振動モデルを立てた。表 - 4, 表 - 5, 図 - 8 に 16 層建築物の振動性状を示した。

振動台は変位制御方式であるため, 入力波は変位波形でなければならない。このためフロア・レスポンス波形は基盤に対する相対変位波形とした。振動台の加速度を実際の場合に合そうとするなら, 計算から導かれた絶対加速度を二回積分して入力変位波形を作るべきであるが, 減衰定数が小さいため相対変位を入力波として用いても振動台の加速度には大差はない。これを数式で説明すると次のようになる。¹⁾

次のようなモデル・アナリシスの方法を用いる。

W_j : j 次の固有円振動数, x_i : i 階の変位

χ : 変位ベクトル ($\chi^T = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$)

χ_j : j 次の固有ベクトル, h_j : j 次の減衰定数

β_j : j 次の影響係数, q_{j0} : j 次の基準関数

\ddot{y} : 地動加速度 n : 自由度

とすると

$$\chi = \sum_{j=1}^n \chi_j \beta_j q_{j0} \quad \text{で表わされる。}$$

$$i^T = (1, 1, 1, \dots, 1) \quad \text{とすると}$$

$$i = \sum_{j=1}^n \beta_j \chi_j \quad \text{の関係が成り立っている。}$$

このようにすると q_{j0} について次のような振動方式が成り立つ。

$$q_j + 2h_j \omega_j \dot{q}_{j0} + \omega_j^2 q_{j0} = -\ddot{y}$$

すると

$$q_{j0} = -\frac{1}{\sqrt{1-h_j^2} \omega_j} \int_0^t \ddot{y}(\tau) e^{-h_j \omega_j (t-\tau)} \sin\{\sqrt{1-h_j^2} \omega_j (t-\tau)\} d\tau \quad (2)$$

$$\dot{q}_{j0} = -\frac{1}{\sqrt{1-h_j^2}} \int_0^t \ddot{y}(\tau) e^{-h_j \omega_j (t-\tau)} \cos\{\sqrt{1-h_j^2} \omega_j (t-\tau) + \epsilon_j\} d\tau \quad (3)$$

ただし $\epsilon_j = \tan^{-1} \{h_j / \sqrt{1-h_j^2}\}$,

よって

$$\ddot{\chi} + \ddot{y} i = -\sum_{j=1}^n \{2h_j \omega_j \dot{q}_{j0} + \omega_j^2 q_{j0}\} \beta_j \chi_j.$$

表 - 6 に示す計算結果をみても明らかなように右辺第 1 項は h_j が非常に小さく, 第 2 項に比べ無視出来るので,

$$\ddot{\chi} + \ddot{y} i = -\sum_{j=1}^n \omega_j^2 q_{j0} \beta_j \chi_j.$$

今回この相対変位を計算するのに線型加速度法を使用した。振動台への入力

波として用いた4層建築物の4階、及び16層建築物の10階の基盤に対する相対変位を基盤入力をタフト(1952E-W)として図-9、図-10に示したこの図から4層建築物の場合は1次モードで揺れ、16層建築物では10階のゆれであるせいもあるが、主要動部では2次、3次のモードでゆれるが徐々に1次のモードで揺れるようになるのがわかる。

1.2.2. 強震記録波

振動実験のために準備した強震記録は1971年1月5日午前6時9分に志摩半島沖東経137度10分、北緯34度26分、深さ40Kmで起った地震での名古屋市西区又穂町の住宅公団又穂住宅の中の15階建アパートのペントハウスでの記録である。このとき名古屋では震度4と発表されている。この建物は図-11に示すような断面を有している。強震計はペントハウスのほかに地下1階にも設置されており図-12、図-13のような記録が取れている。この二つの記録を見ると水平動については固有振動数で建物がゆれているのがわかる。ペントハウス記録で水平2方向の波形を見るとE-W成分もN-S成分も同じ固有周期である。また地下とペントハウスの上下動の記録をくらべると両方とも同じレベルで波形も大変良く似ている。ロッキング振動を考えた場合、剛体の重心からの1次、2次のロッキング中心までの距離を Z_1 、 Z_2 、この重心から観測点までの鉛直距離を h 、主軸に沿った距離を b とすると、回転を O_1 、 O_2 で表わして次のようになる。

$$\text{観測水平動 } u \text{ は } u = O_1(Z_1 + h) + O_2(Z_2 + h)$$

$$\text{観測上下動 } v \text{ は } v = (O_1 + O_2)b$$

これからロッキング振動の場合上下動は高さには関係しないことがわかる。このことから建物はロッキング振動をしていたと考えられる。ペントハウスのN-S成分と上下成分の位相が合っていることからこのことが明らかである。

次に地下での記録の水平2成分の加速度応答スペクトルを取ってみると図-14、図-15のようになる。両図とも同じ傾向を示しており、0.63秒のピークは建物の振動によるものであり、0.3秒付近のピークは地盤によるものと考えられる。

1.3. 測定方法

この実験の測定は二つに分けることができる。一つは16mm撮影機によるもので、全体的な挙動を視覚により把握するため日本燃焼器具検査協会により行なわれた。もう一方は加速度計によるもので、供試体の加速度が磁気テープに記録されるようにな

っている。これは国立防災科学技術センターにより行なわれた。

この測定に於ける、各測点の加速度は図-16のような系統で記録された、A、B両ケースとも基準となる加速度計を振動台に張り付けた。測定点の位置はAケースでは図-32と図-34に、Bケースでは図-33と図-35に示す。測定方向は主に加振方向であるが、Aケースのキッチンユニットについては換れを予想して加振直角方向でも測定を行なった。また上下方向についても建築構造体床中央、冷暖房ユニット等で測定を両ケースに於いて行なった。この上下動記録は記録解釈の参考として使用した。

2. 実験結果

A、B両ケースについて行なった共振実験、および任意波形実験の結果を示す。共振点実験は16mm映画撮影と観察が主であり、加速度測定は補助的に行なわれた。ここでは共振点実験の概略を述べる。冷暖房ユニットの振動が大きくなった2.5Hz(Aケース)、2.0Hz(Bケース)の正弦波振動に於いては0.2G~0.3Gで転倒しかけたため加振を中止している。また一方、この2.0Hz(Bケース)はキッチンユニットの振動が大きくなる所でもあり、冷蔵庫や流し台がずれを起していた。ダクトユニットの共振点(Aケース)5.5Hzでは建築構造体の配管溶接板とパイプの溶接が破壊された。この時の加速度は約0.5G付近であった。これらの点を除いて共振点実験では顕著な点は見られず、サニタリーユニットなどがかなりの耐震性がある事が示された。

2.1. 共振実験結果

この実験については振動台の加振レベルと、ケースに従い、各測定点の状況を横軸に加振正弦波の振動数、たて軸に測定加速度を振動台加速度で割った値を取ったグラフに書いてみた。これを図-17~図-30に示す。このグラフに書くために用いた波形にはローパスフィルターを通した波形を用いず原波形を用いた。この実験では供試体の衝突などにより鋭い衝撃が生じているため固有振動数や減衰はダクトユニットを除いては求められない。また転倒振動などでは応答は正弦波ではなく、一般に用いられている共振曲線の考えを適用することは難しい。このためこのグラフは測定点の加速度の大きさを見るだけのものである。

2.1.1. Aケース

建築構造体は3.5Hzで大きくゆれ10倍ほどの応答倍率を示している。この減衰定数は約0.08である。前にも述べたように建築構造体は両端が振動台に固定されているだけなので、両端の部分はあまり振動せず、中央の部分が大きくゆ

れる現象が起った。この建築構造体の床が大きくゆれたのは $1.1\text{ Hz} \sim 1.2\text{ Hz}$ 付近であり、各供試体がこの振動数でピークが出ているのはこのためと考えられる。冷暖房ユニットは 0.1 G 加振の場合 $2.5\text{ Hz} \sim 3.7\text{ Hz}$ 、 0.2 G 加振では $1.7\text{ Hz} \sim 3.7\text{ Hz}$ の範囲で転倒振動を起している。この現象は上記の振動数付近で、床板をバネとした供試体のロッキング振動が大きくなり、供試体の水平加速度が浮き上り加速度 $(b/h) \times G$ を越えてしまったためと考えられる。

この転倒振動により冷暖房ユニットはサニタリユニットに激しく衝突している。この影響が図-31に現われている。ダクトユニットは建築構造体の影響で 3.5 Hz で上っているが 6.0 Hz のピークが明白である。キッチンユニットの加振方向の振動は 0.1 G の場合、建築構造体の影響がいくら現われるだけでピークはみられない。 0.2 G の場合、 6.0 Hz からいくつかのピークがみられる。キッチンユニットとパイプユニットについては直角方向の振動も計ったが加振方向の値に匹敵する加速度が生じていた。これは図-32に示すように重心と剛心の違いにより振れ振動が生じたためと思われる。キッチンユニットのキュービクルが剛であれば振れ振動の状態が変わり、このような複雑なゆれ方を防げたかもしれない。しかし、いくら剛であっても振れが生じれば加振直角方向に力が作用しキッチンユニットのように細長い物は加振直角方向で転倒振動しやすくなる。

2.1.2. Bケース

建築構造体はAケースのときのような鋭いピークはみられない。ダクトユニット配管溶接板の部分が 9.0 Hz 付近でピークを示しているのが目をひく。他の建築構造体の部分は 7.0 Hz 付近で小さなピークを示しているが、Aケースにくらべ平坦である。この 9.0 Hz の影響はダクトユニットにも現われており、この振動数でピークを示している。冷暖房ユニットはAケースのときより幅が短くなっているため浮き上り易くなっており、測定値が大きくなっている。冷暖房ユニットとサニタリユニットは同じ振動を示しており、 $1.5\text{ Hz} \sim 7.0\text{ Hz}$ でピークをもっている。前のピークは冷暖房ユニットの転倒振動によるものである。後のピークは建築構造体の 7.0 Hz のピークの所であり、建築構造体との関係で生じているものと考えられる。一方、サニタリユニットの中のバスタブは振動数の変化に対し一様な応答をしており、振動性を示していない。このバスタブは単に置かれているだけであり、床との摩擦が大きく影響すると考えられるが、この実験では水を入れていないため実際とはかなり異なっている。キッチンユニットおよびパイプユニットでは両方とも足の幅が狭くAケースのときよりも激しくゆれている。キッチンユニットの冷蔵庫測が $2.0\text{ Hz} \sim 4.0\text{ Hz}$ で浮き上りを起して

いるのがわかる。建築構造体がピークを示している7.0 Hz付近でパイプユニットが建築構造体の影響を受け大きくゆれている。

2.2. 任意波形実験結果

表-7～表-14にA, B両ケースに於ける場合の任意波形実験の結果を示す。この数値は各波の振動台の最大加速度で供試体の最大加速度を割った値である。測定波形はすべてローパスフィルターを通していているため高振動数成分はカットされている。

これらの値を見ると, A, B両ケースの場合とも, 4層建物のフロアレスポンス波に対する各設備ユニットの応答は地震波の種類にかかわらず, 同様な値を示している。仮想した4層建物の一次固有振動数と建築構造体の1方向(Aケース)の固有振動数が近かったためAケースでは非常に大きな振動が生じたためと考えられる。16層建物のフロアレスポンス波の場合, この波は地震波により励起される固有振動モードがいくらか異なるので, 4層建物のフロアレスポンス波のときより各設備ユニットの応答値はバラツキが大きい。強震記録波実験ではN-S, E-W成分の波形とも振動数1.6 Hz, 振幅0.1 Gであり, 震度4程度の地震のときの高層住宅で設備ユニットのゆれを一方向加振で再現することが出来た。地震波の場合, これは平屋の住宅の場合に対応すると考えられるが, 地震波の振動数成分が異なるため, 多少のバラツキが見られる。

各設備ユニットの応答波形を見ると, 供試体のちがいによる多少の差はあるが, 全体に振動台のゆれと同じ周期でゆれ, その上に高振動数の波が乗っている。また転倒振動を起しやすい供試体の中には倍の周期でゆれるものもあった。顕著な現象としては任意波形実験の最初の波形(4s b 4 f タフト)で冷暖房ユニットから延びていたガラス繊維製のダクトが落ちてしまったのが挙げられる。この場合, Aケースであり建物が共振してしまったことも一つの原因であるが, アルミバンドによるつり方に問題があったと思われる。またAケースで, 八戸E-Wの波で加振したとき石油タンクが転倒してしまった。これはこの波が長周期成分を多く含んでいたためと思われる。長周期だと一定以上の加速度の継続する時間が長いいため転倒が起ると考えられる。

2.3. 考察

これらの結果から住宅設備の耐震性を考える場合, 建物の振動性状が大きく関係することが明らかである。前にも述べたように, 建物は中低層では地盤の作用で生じるロッキング振動又は1次～2次の振動モードでゆれ, 高層建築では2次～5次の振動モードでゆれる。これら建物の振動に住宅設備の固有振動が合ってしまうと住宅設備の振幅が大きくなってしまふ。このため住宅設備はかたじょうに作り高い固有振動(10 Hz以上)を

もたせ、建物との共振を防ぐようにすべきである。これら設備を床に置くだけでは、スベリやタッピング、転倒振動を起してしまうので必ず床に固定する必要がある。このとき、固定材と設備で成す振動系が建物の固有振動と同じ固有振動を有しないようにし、固定材に十分な強度をもたせる必要がある。また壁にも固定する場合は壁の変形を固定材で吸収してしまい、設備に強制変形を与えないようにしなければならない。

ダクトおよび配管は建物の全体にわたっているので建物の変形に追随するような性質をもたせる必要がある。この実験ではパイプ系にたわみパイプ、たわみ継手が用いられており、これらの効果を確認することができた。一般の建物の構造体は層間変位約2cmまで耐えるように設計されているので、配管もこの変位に耐えなければならない。建物が平面内で複雑な振動をする場合、平面内のダクト、パイプにもたわみ性をもたせなければならない。

ダクトおよびパイプの支持方法は住宅設備と同じく、その振動系の固有振動が建物の固有振動に合わないようにし、支持材には十分な強度、じん性をもたせる必要がある。

3. あとがき

この実験は超高層の建築を想定していたが、振動台のストロークが小さいため、超高層を対象とした実験ができなかった。また建築構造体の剛性を高くしようとしたが、結果的にはできなかった。測定においても変位計でも計測する必要があった。加速度測定だけであつたため目で見ただけの感じと大分異なつたところがあつた。また各供試体の力学的特性、および重量、重心などが不明のため十分な検討を加えることが出来なかった。

この振動実験は日本燃焼器具検査協会からの委託研究で昭和48年2月5日～2月13日までに実施し、この報告書の取りまとめは主として箕輪が担当した。またこの振動実験の振動台運転制御は耐震実験室の飯田、久保田、伊藤により行なわれた。

最後に振動台入力波を作製していただいた第三研究部の勝山研究員、現在 第三研究部計測研究室長、強震データを提供していただいた資料調査室の河村事務官、(現在 科学技術庁資源調査所)、および地震波を提供していただいた日本大学田治見研究室の方々に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 田治見宏(1959): 建築振動学 コロナ社. 40-41

(1974年11月29日 原稿受理)

表1 ユニット名称

Sanitary Unit	Sa6
Kitchen Unit	KI-32
Air-Conditioner Unit	D
Duct Unit	SeG-31
Pipe Unit	SeP-36

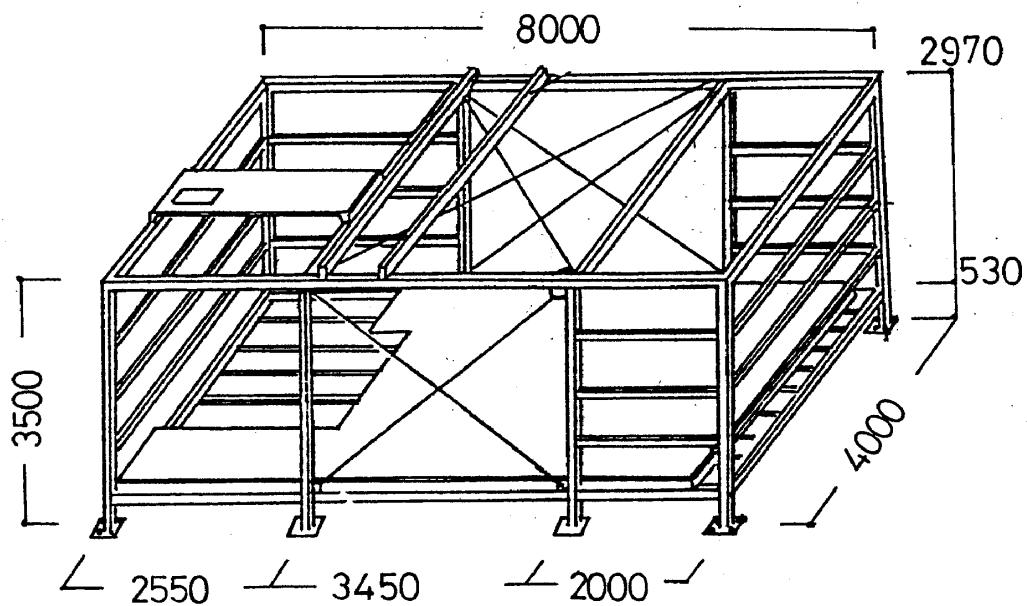


図1 建築構造体

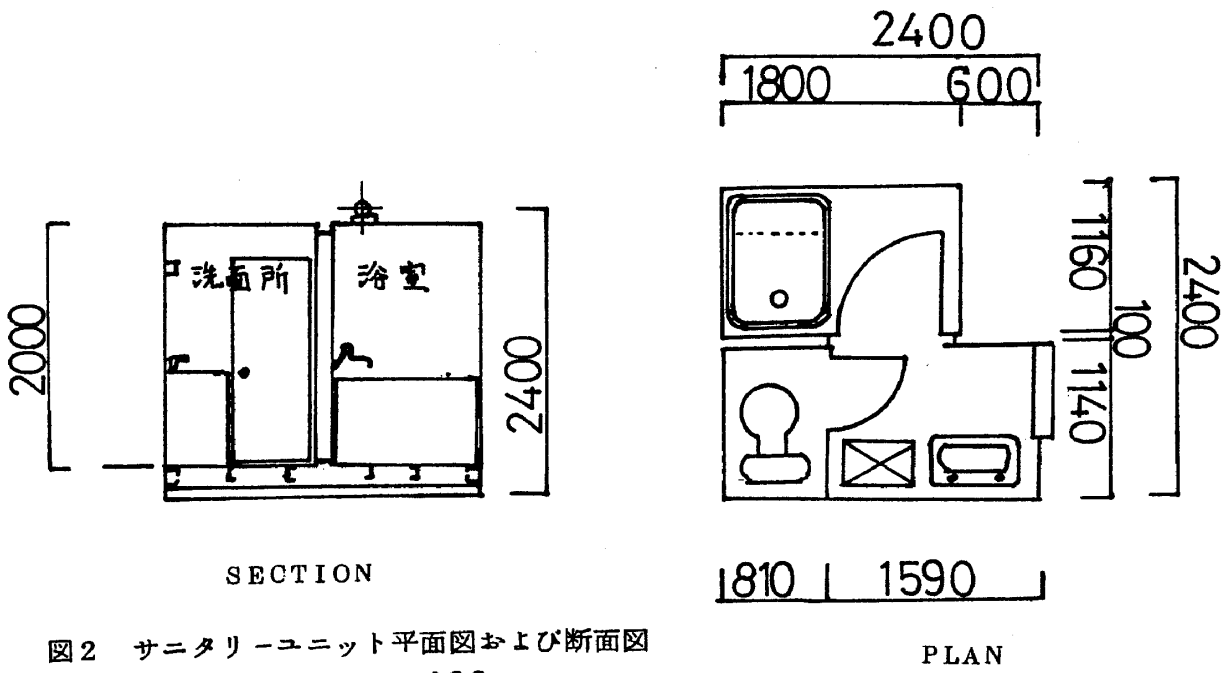


図2 サニタリーユニット平面図および断面図

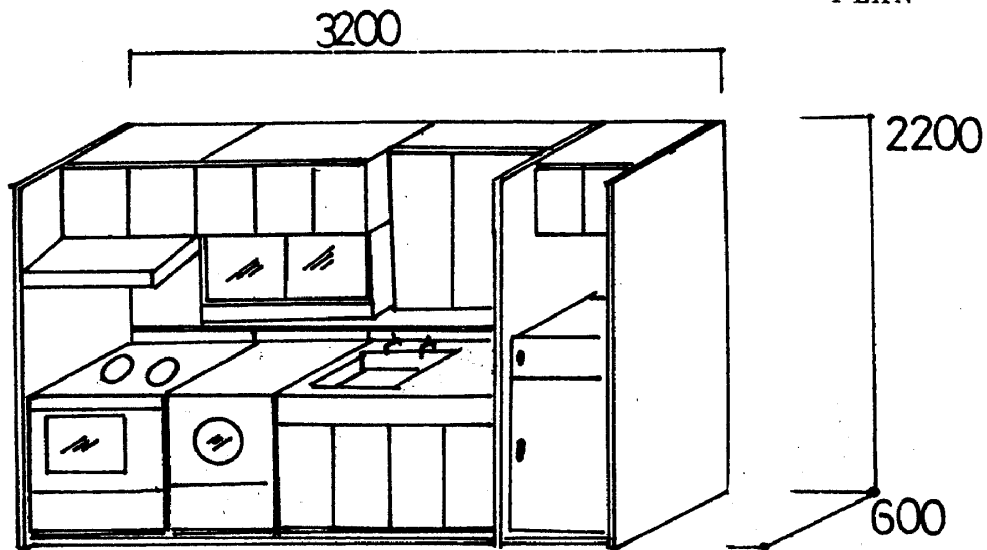


図3 キッチンユニット

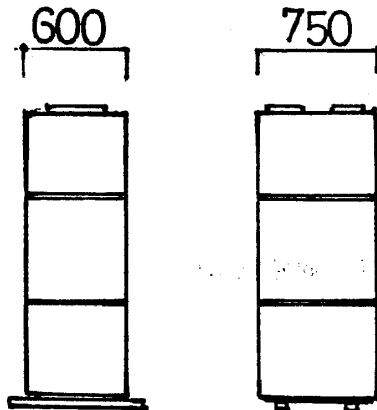


図4 冷暖房ユニット

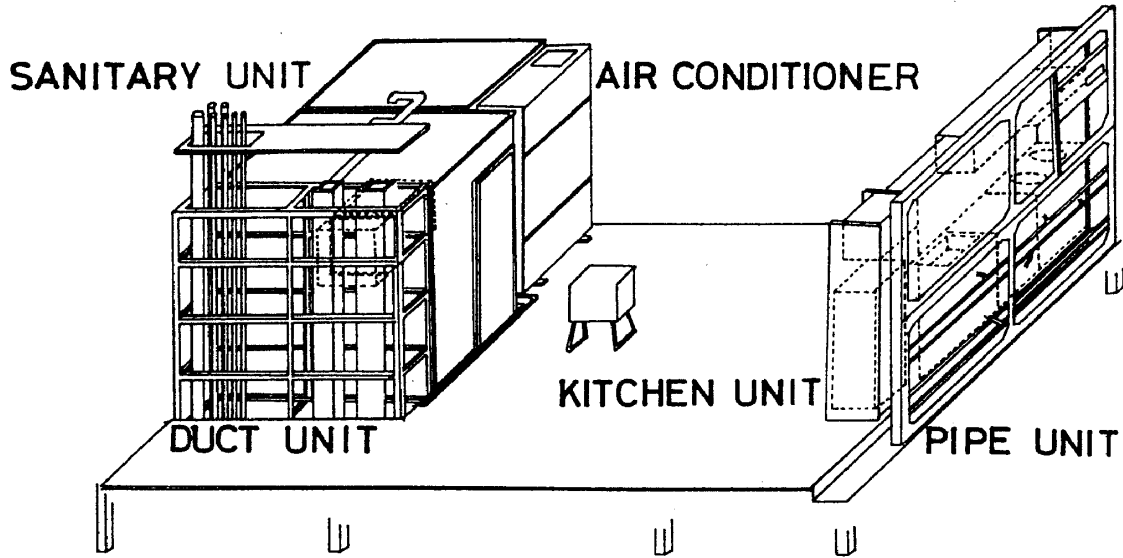


図5 設備ユニット据付図

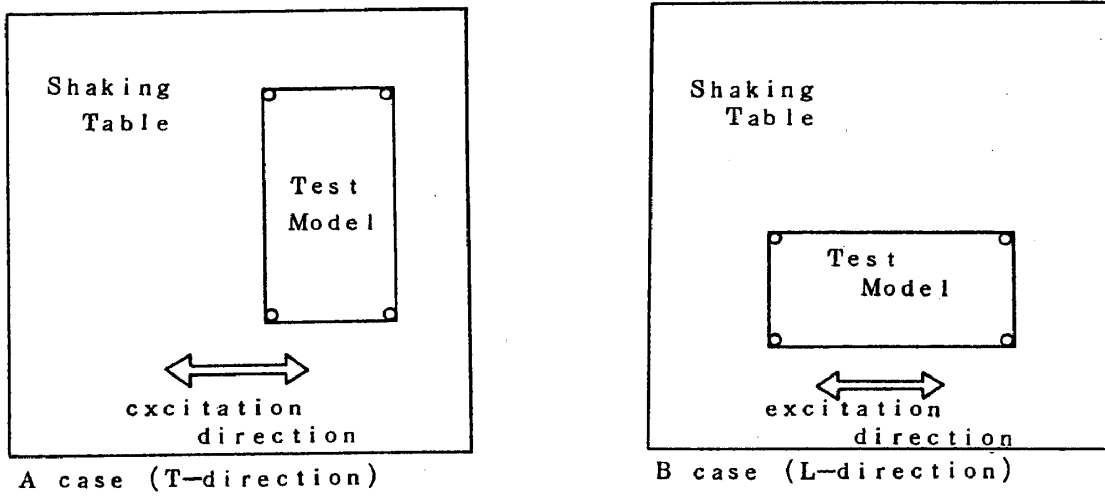


図6 供試体設置図

表2 4層建築物仮定値

MODEL	MASS t/Gal	SPRING t/cm	DAMPING t·sec/cm
	0.6	2500	245
	0.5	2800	237
	0.5	3100	249
	0.5	3500	265
	1.0	6300	5.03

表3 4層建築物固有振動数

1st Natural Frequency	3.78Hz
2nd Natural Frequency	10.1Hz
3rd Natural Frequency	15.0Hz
4th Natural Frequency	192Hz
5th Natural Frequency	232Hz

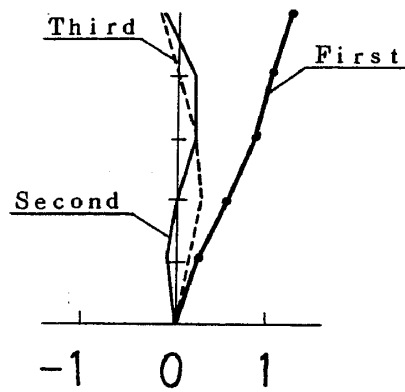


図7 4層建築物振動モード

表A 16層建築物仮定値

MODEL	MASS	SPRING	DAMPING
	t/Gal	t/cm	t·sec/cm
○	1.10	900	6.30
○	0.70	1150	5.64
○	0.70	1400	6.26
○	0.70	1650	6.80
○	0.75	1900	7.56
○	0.75	2150	8.02
○	1.00	2400	9.82
○	1.00	2650	10.30
○	1.00	2900	10.80
○	1.00	3150	11.20
○	1.00	3400	11.70
○	1.00	3650	12.10
○	1.00	3900	12.50
○	1.00	4150	12.90
○	3.50	5000	28.50
○	4.00	6000	31.00
○	20.00	60000	38.00
○	64.00	100000	1012.00
○	64.00	200000	1431.00
○	64.00	200000	1431.00
○	64.00	200000	1431.00

表5 16層建築物固有振動数

1st Natural Frequency	0.93Hz
2nd Natural Frequency	2.18Hz
3rd Natural Frequency	2.78Hz
4th Natural Frequency	3.56Hz
5th Natural Frequency	4.65Hz

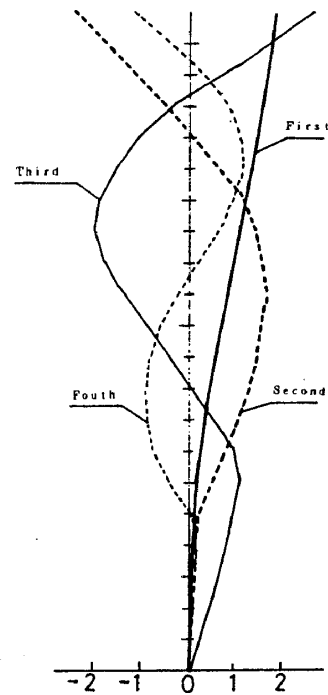


図8 16層建築物振動モード

表6 4層建築物減衰定数

1st Damping Factor	0.0097
2nd Damping Factor	0.0278
3rd Damping Factor	0.0405
4th Damping Factor	0.0521

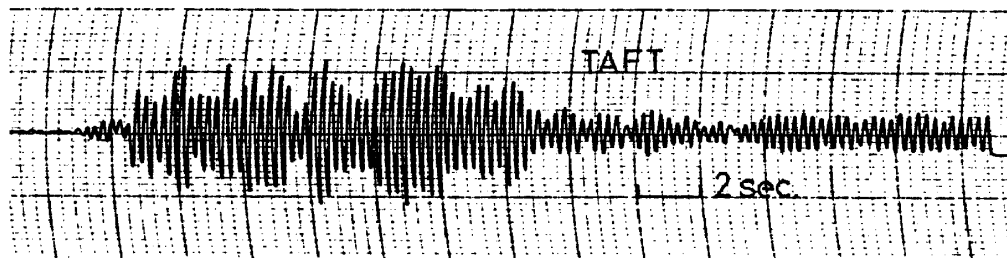


図9 4層建築物の4階の振動

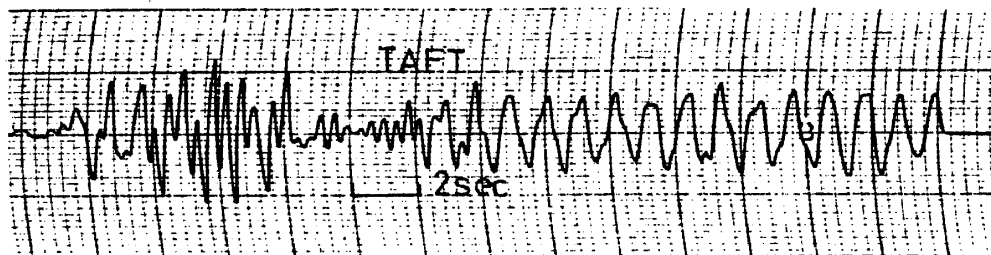


図10 16層建築物の10階の振動

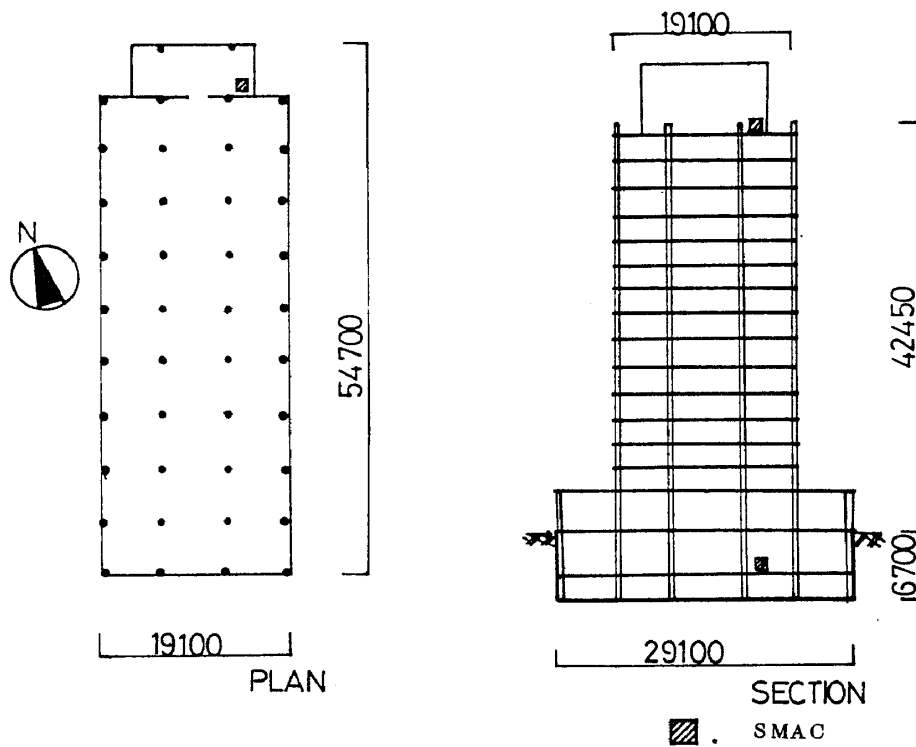
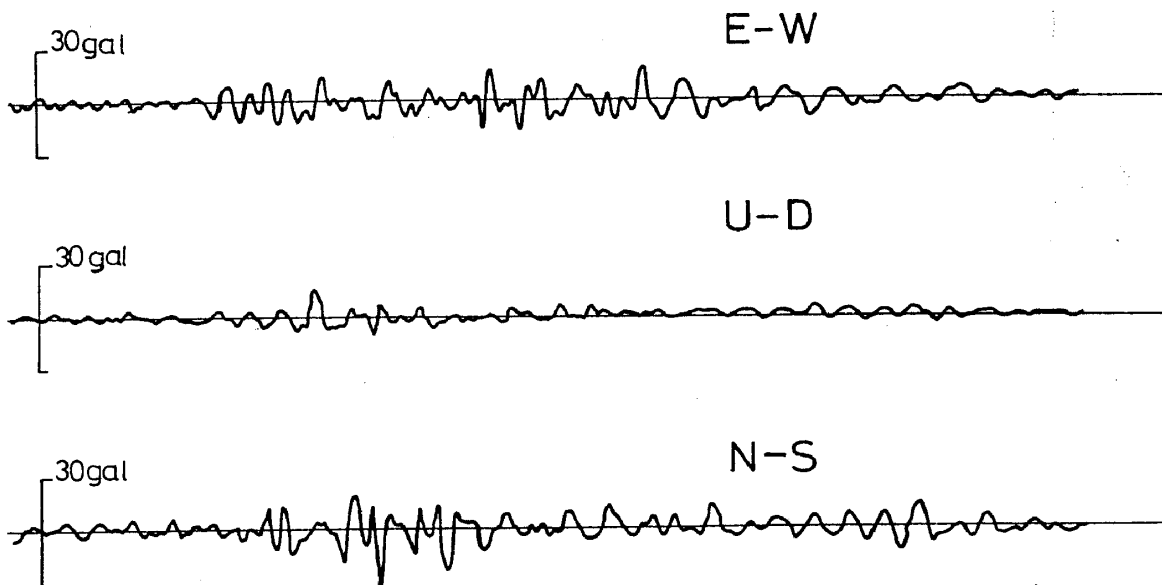


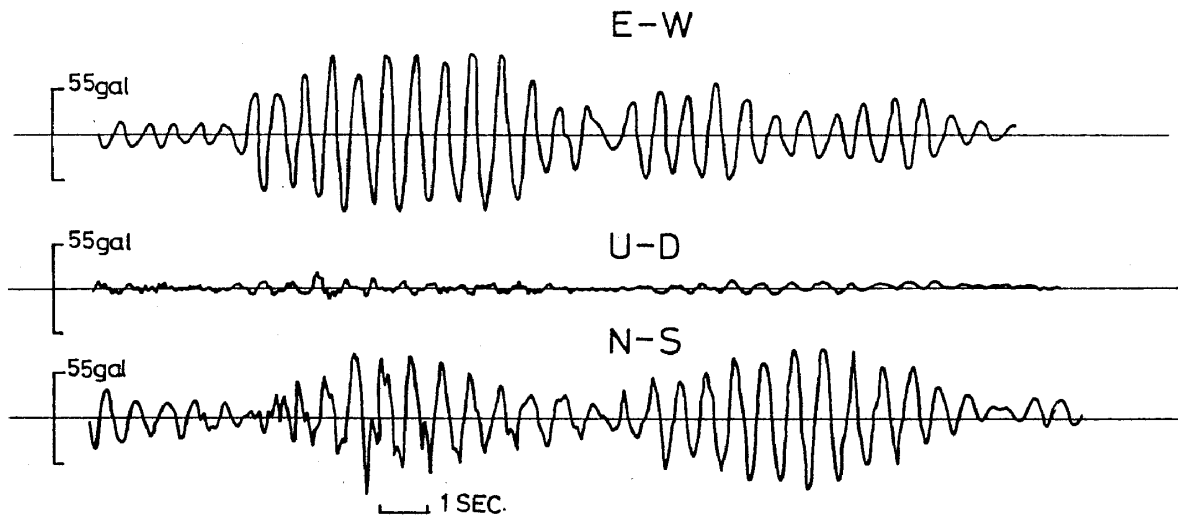
図 1 1 又穂団地強震計設置図



MATAHO(NAGOYA CITY) APART. BF └─┘ 1SEC.

0609 JST 5 JAN. 1971

図 1 2 又穂団地地下階波形



MATAHO(NAGOYA CITY) APART. P.H

0609 JST 5 JAN. 1971

図13 又穂団地ベントハウス波形

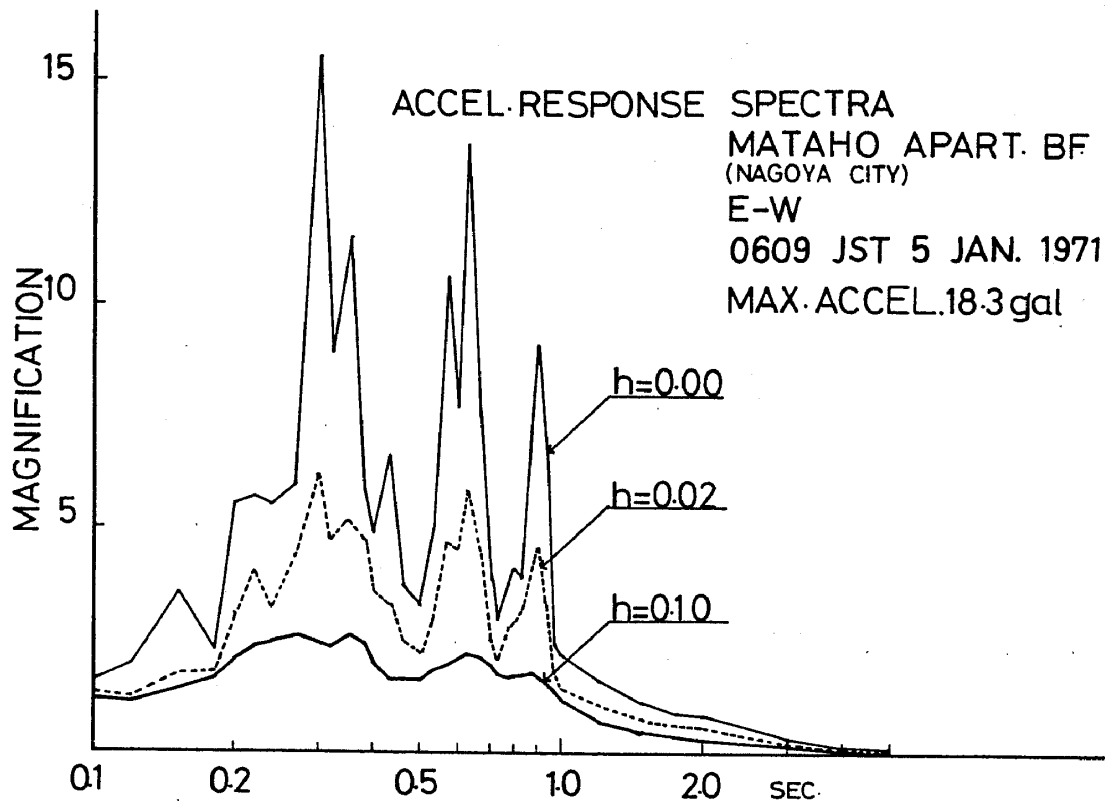


図14 又穂団地地下階波形 E-W成分加速度応答スペクトル

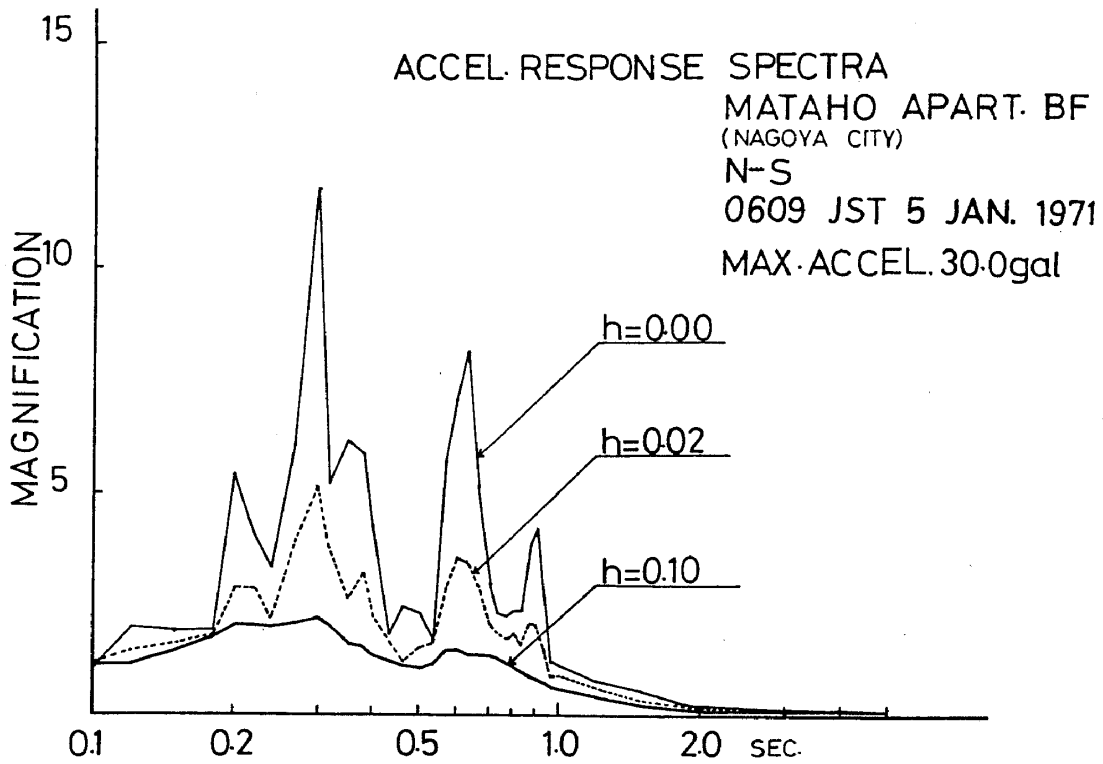


図 1 5 又穂団地地下階波形 N - S 成分加速度応答スペクトル

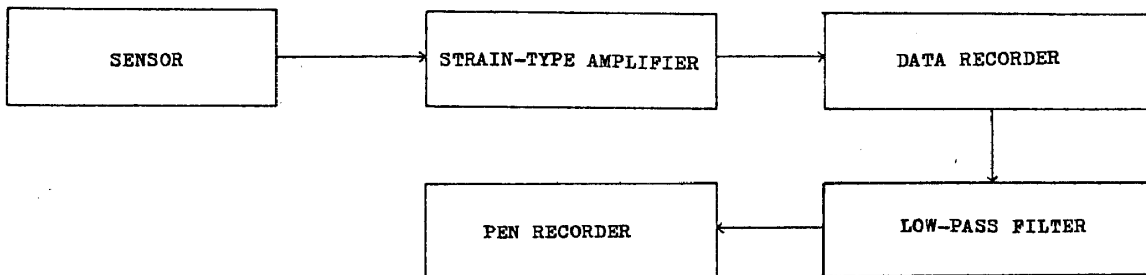


図 1 6 測定系統図

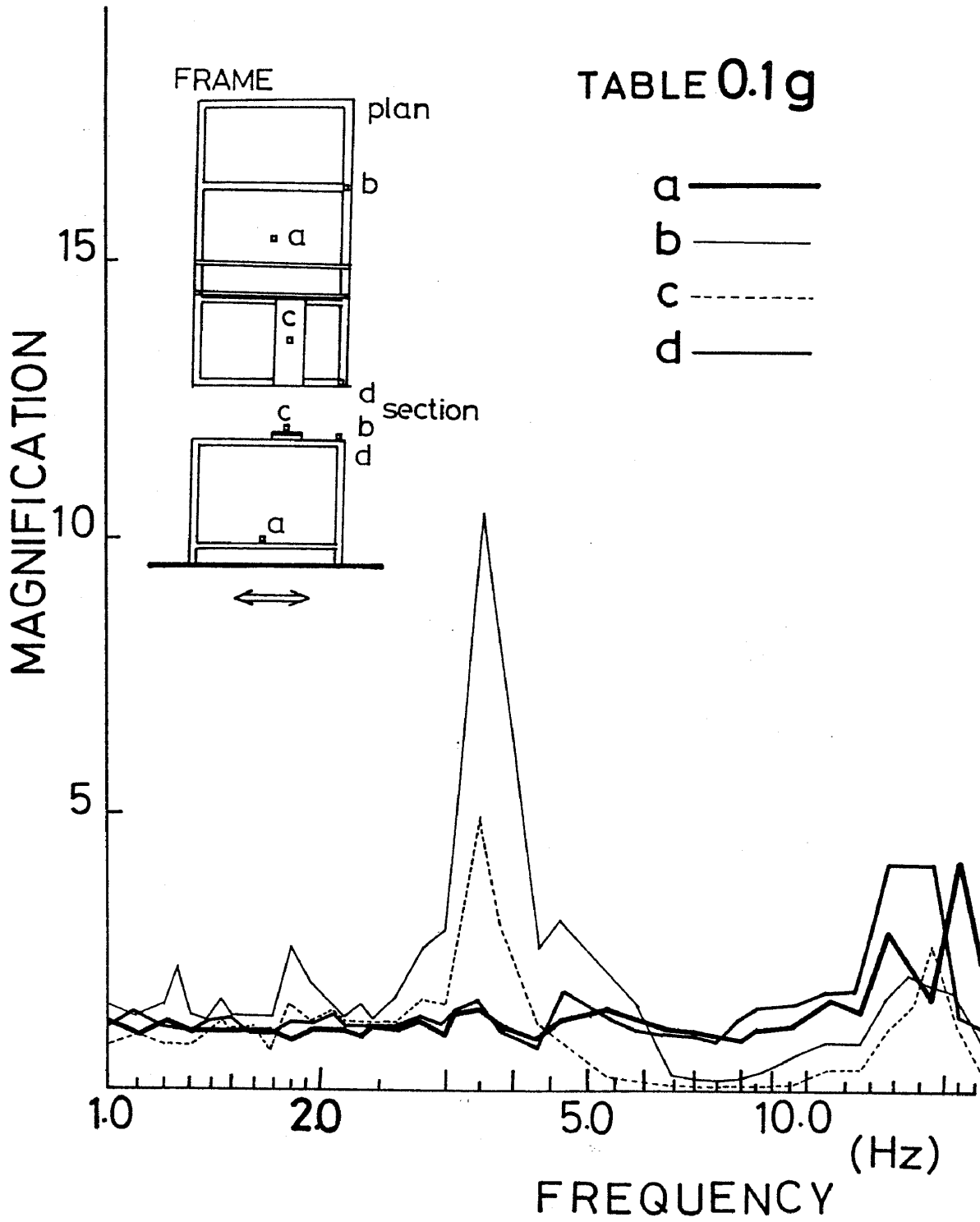


図17 Aケース建築構造体応答(0.1G)

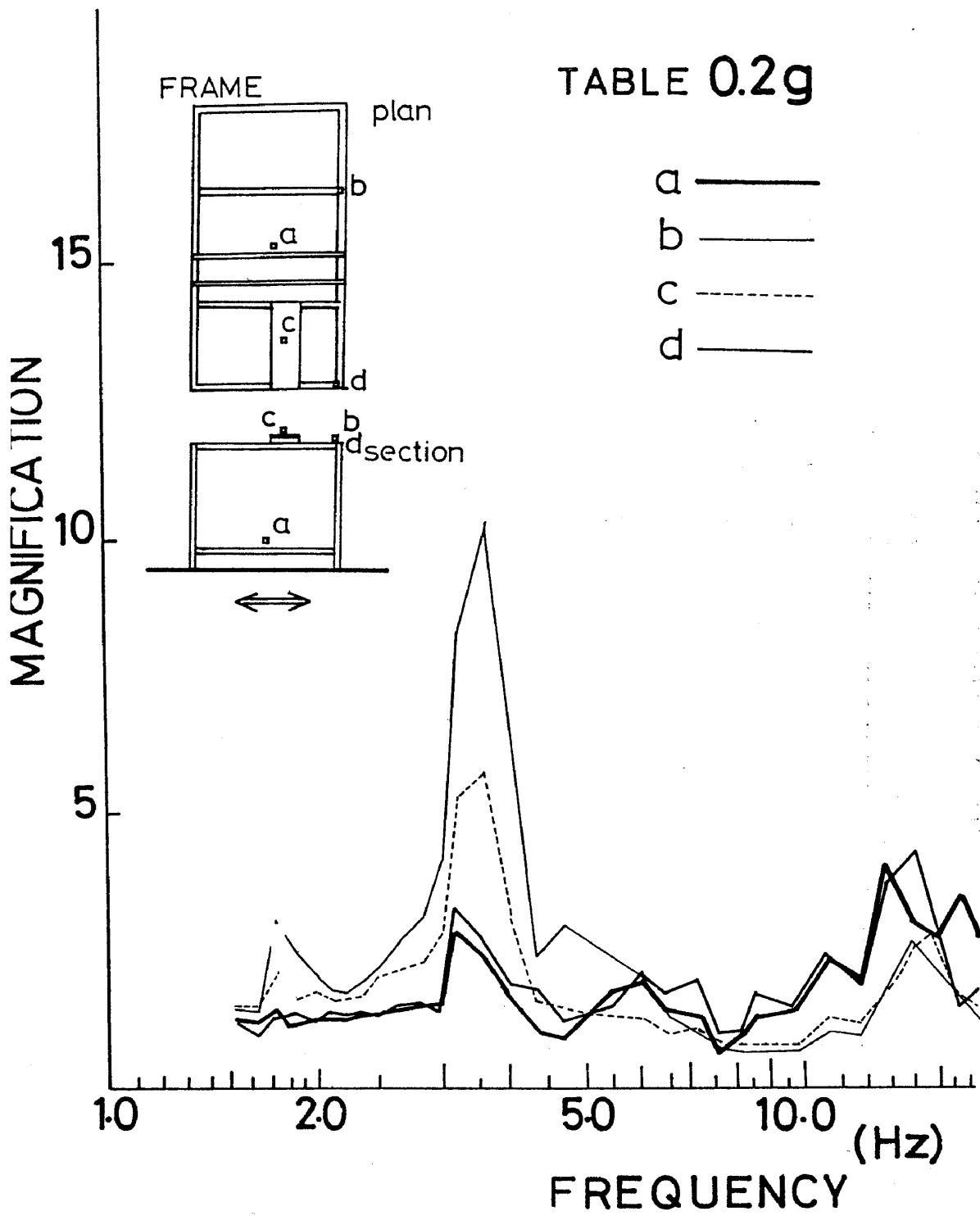


図18 Aケース建築構造体応答(0.2G)

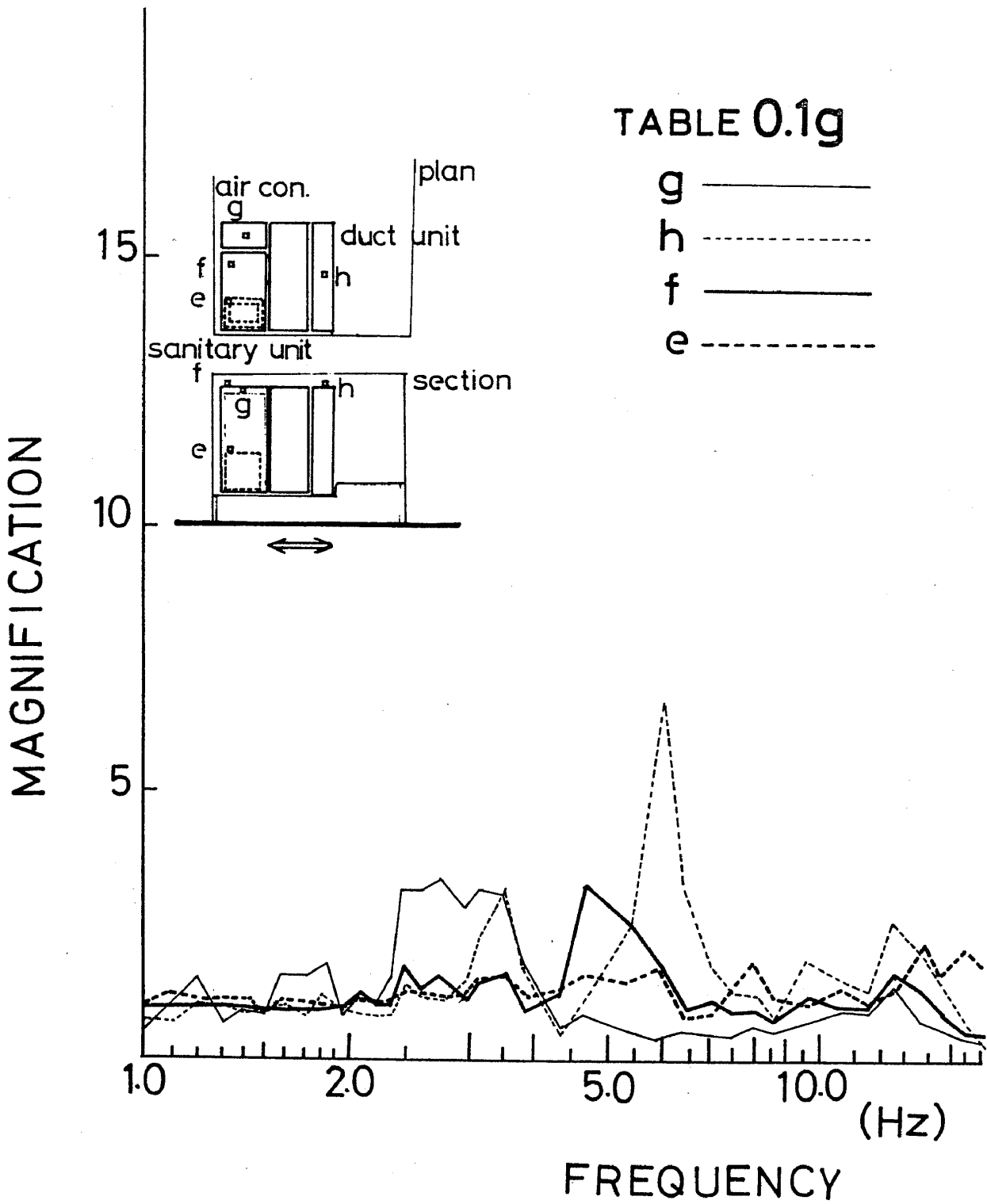


図19 Aケースサニタリ-ユニット応答(0.1G)

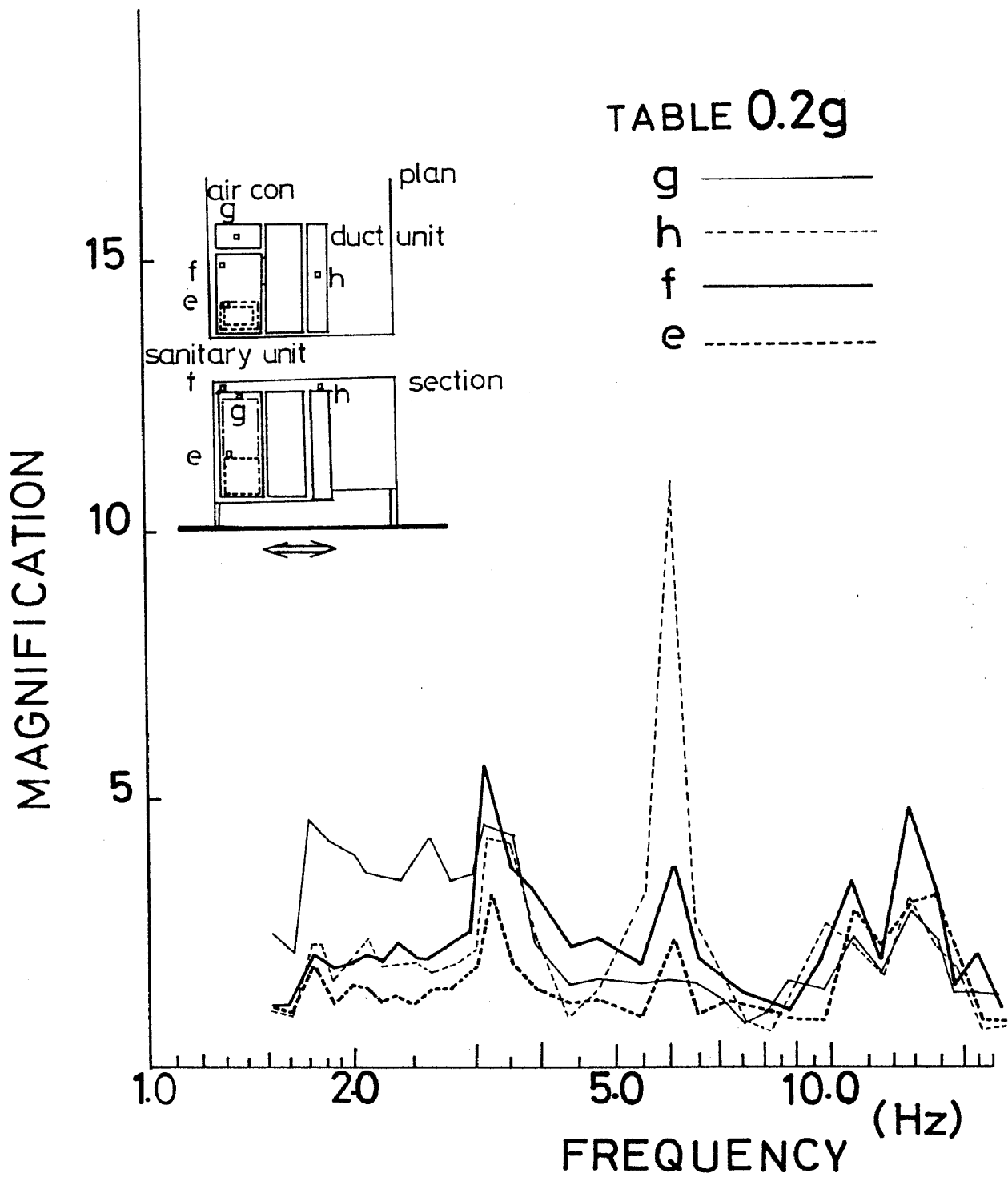


図20 Aケースサニタリーユニット応答(0.2G)

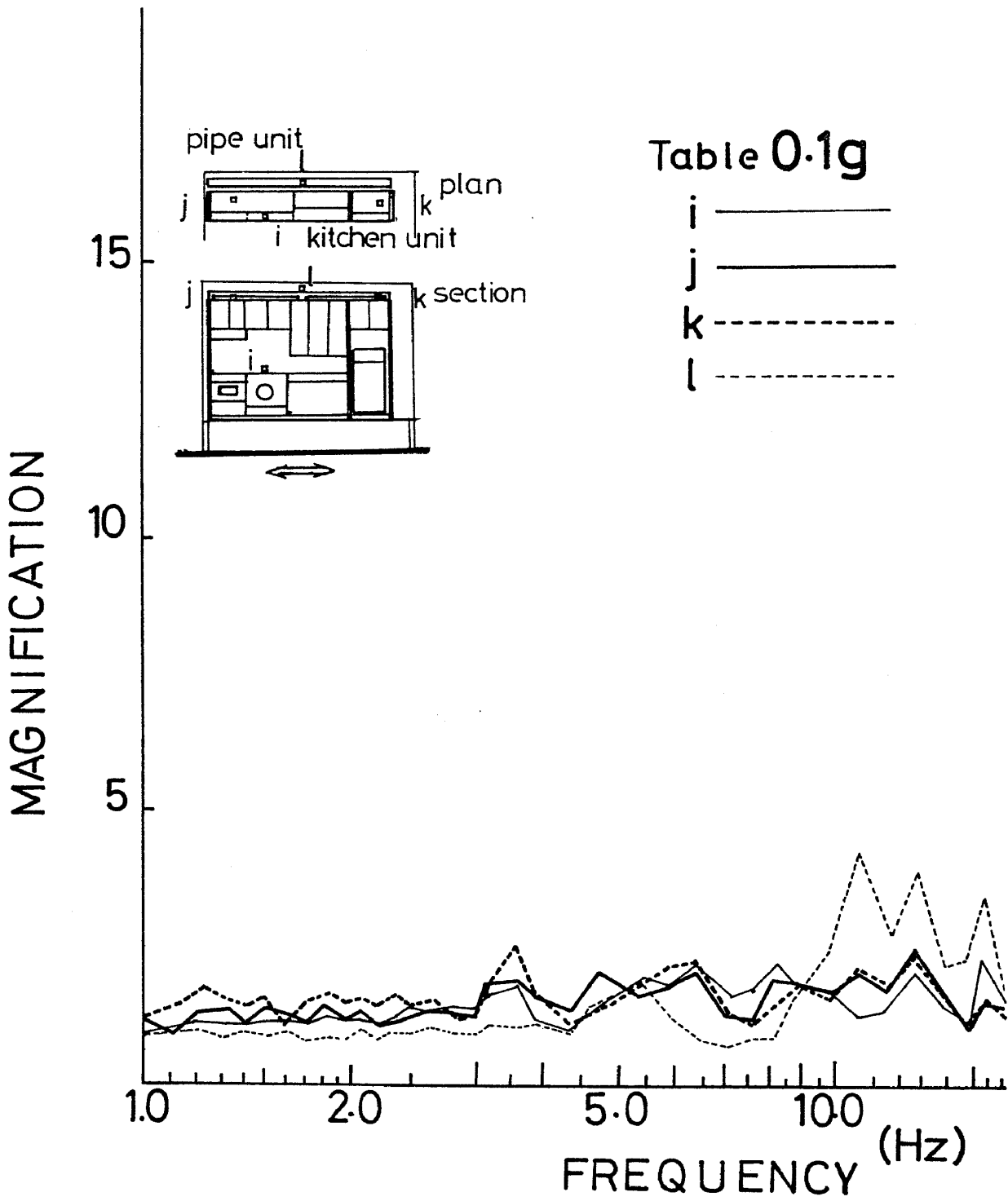


図 2 1 A ケースキッチンユニット等応答 (0.1 G)

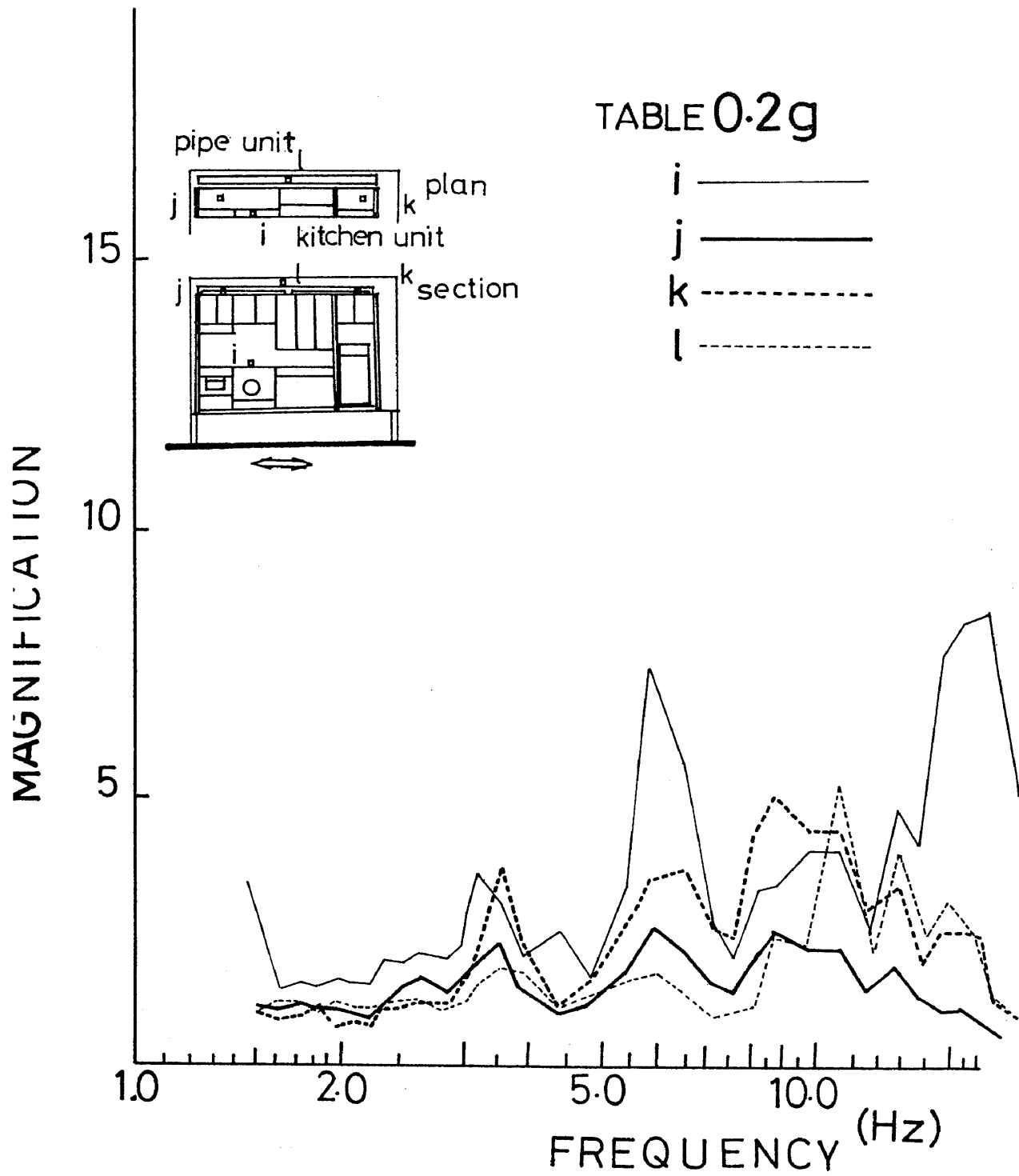


図 2 2 A ケースキッチンユニット等応答 (0.2 G)

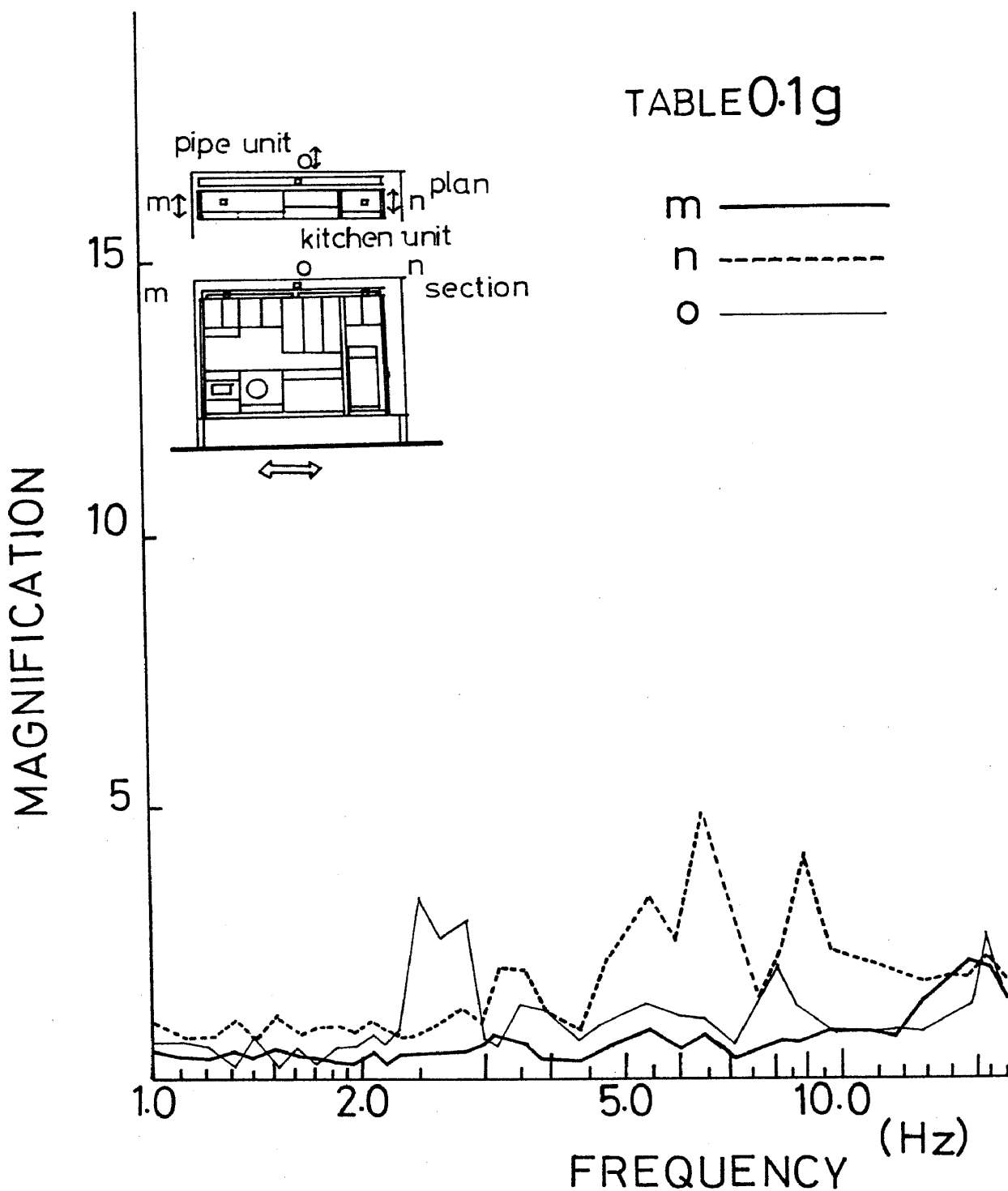


図23 Aケースキッチンユニット等加振直角方向応答(0.1G)

TABLE 0.2g

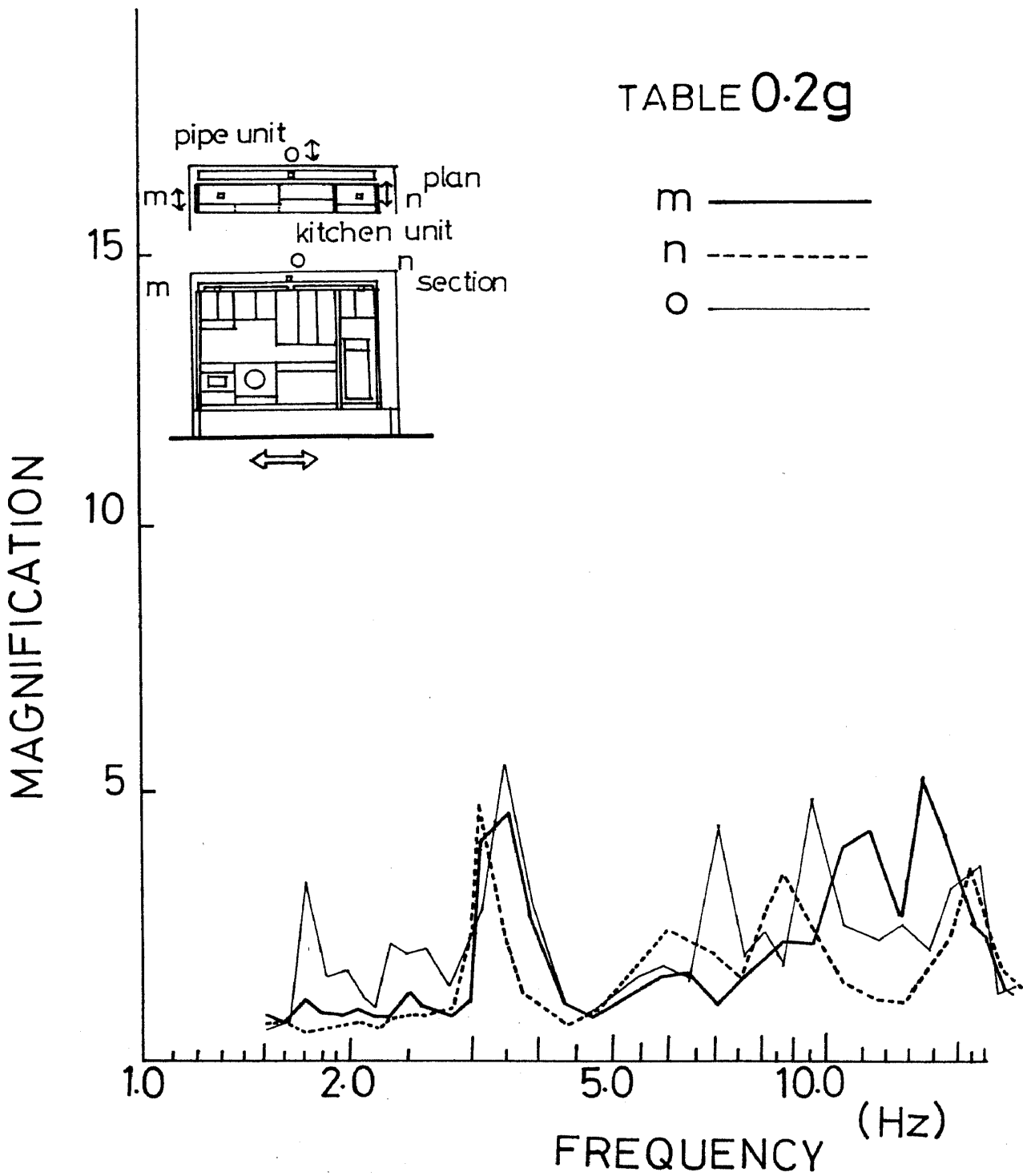


図24 A ケースキッチンユニット等加振直角方向応答 (0.2 G)

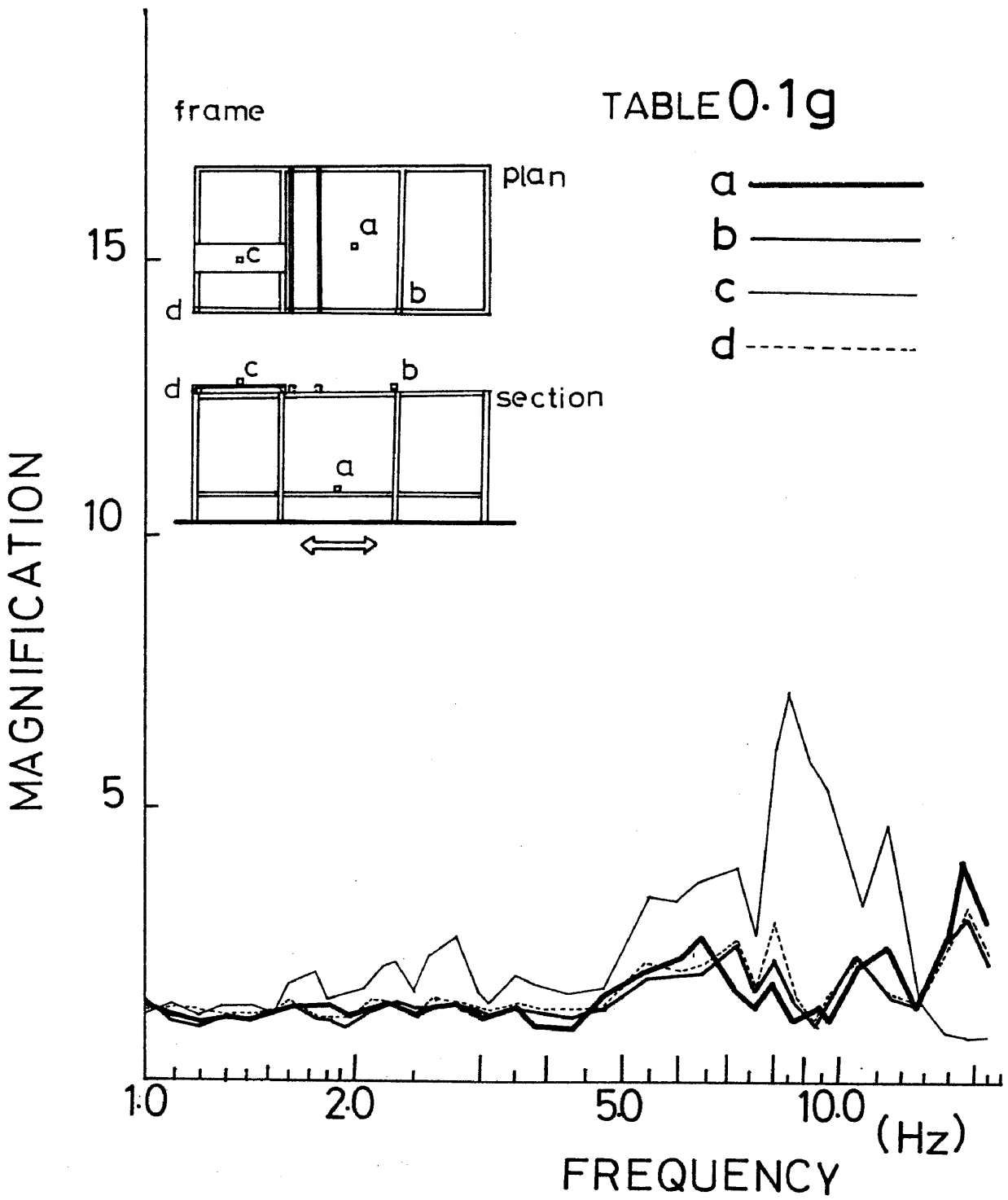


図25 Bケース建築構造体(0.1g)

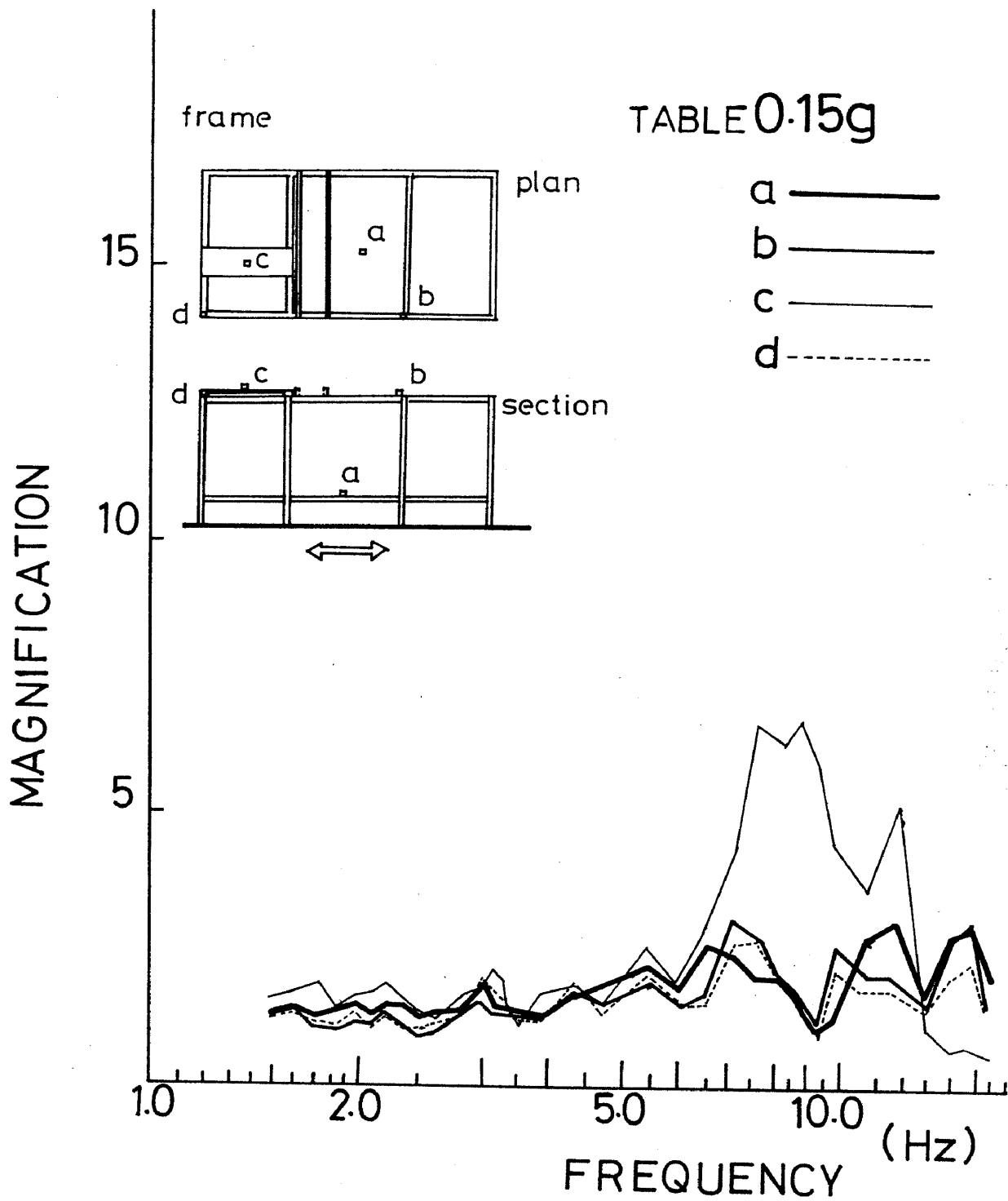


図26 Bケース建築構造体(0.15G)

Bケース建築躯体応答

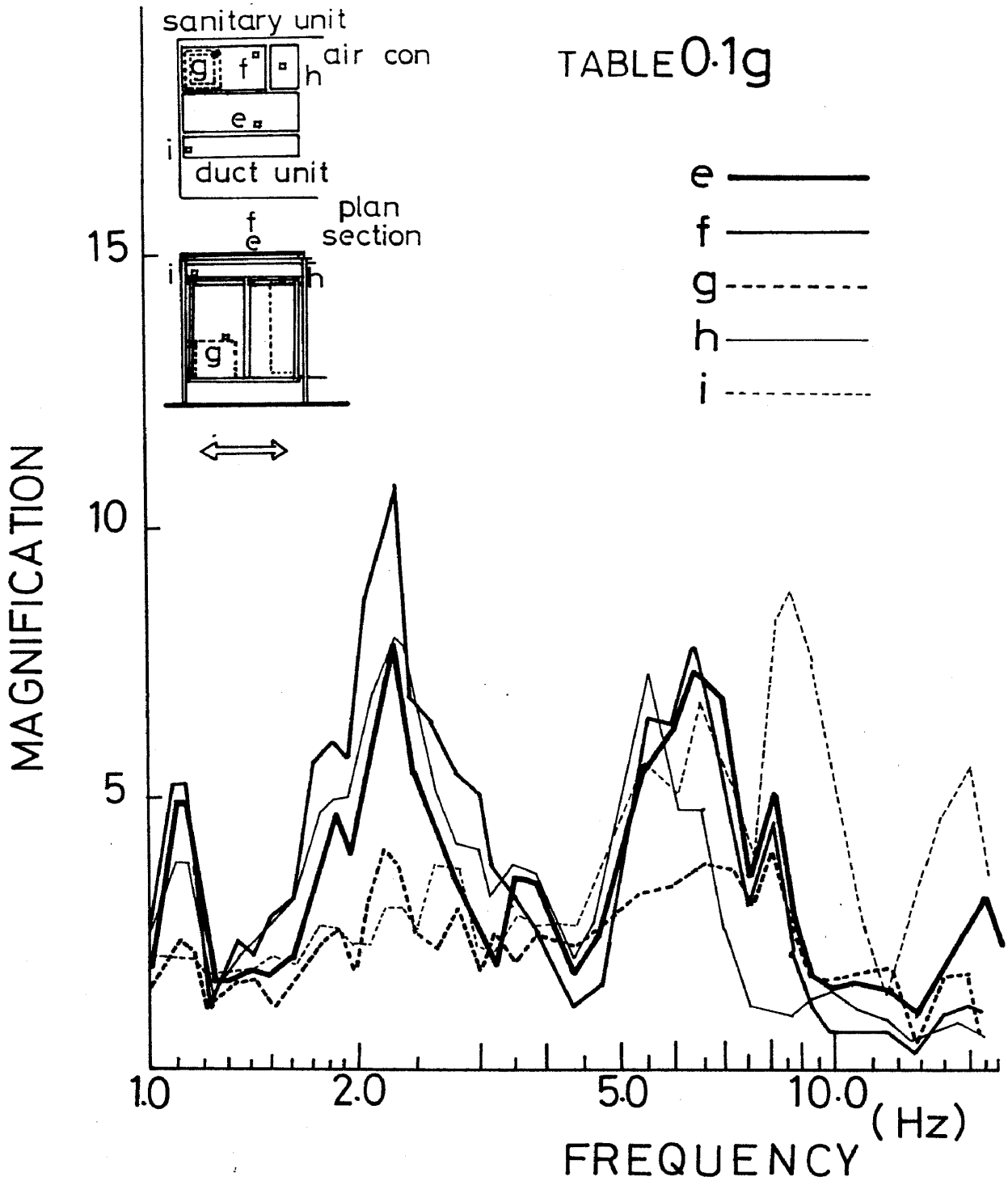


図27 Bケースサニタリーユニット等応答(0.1G)

TABLE 0.15g

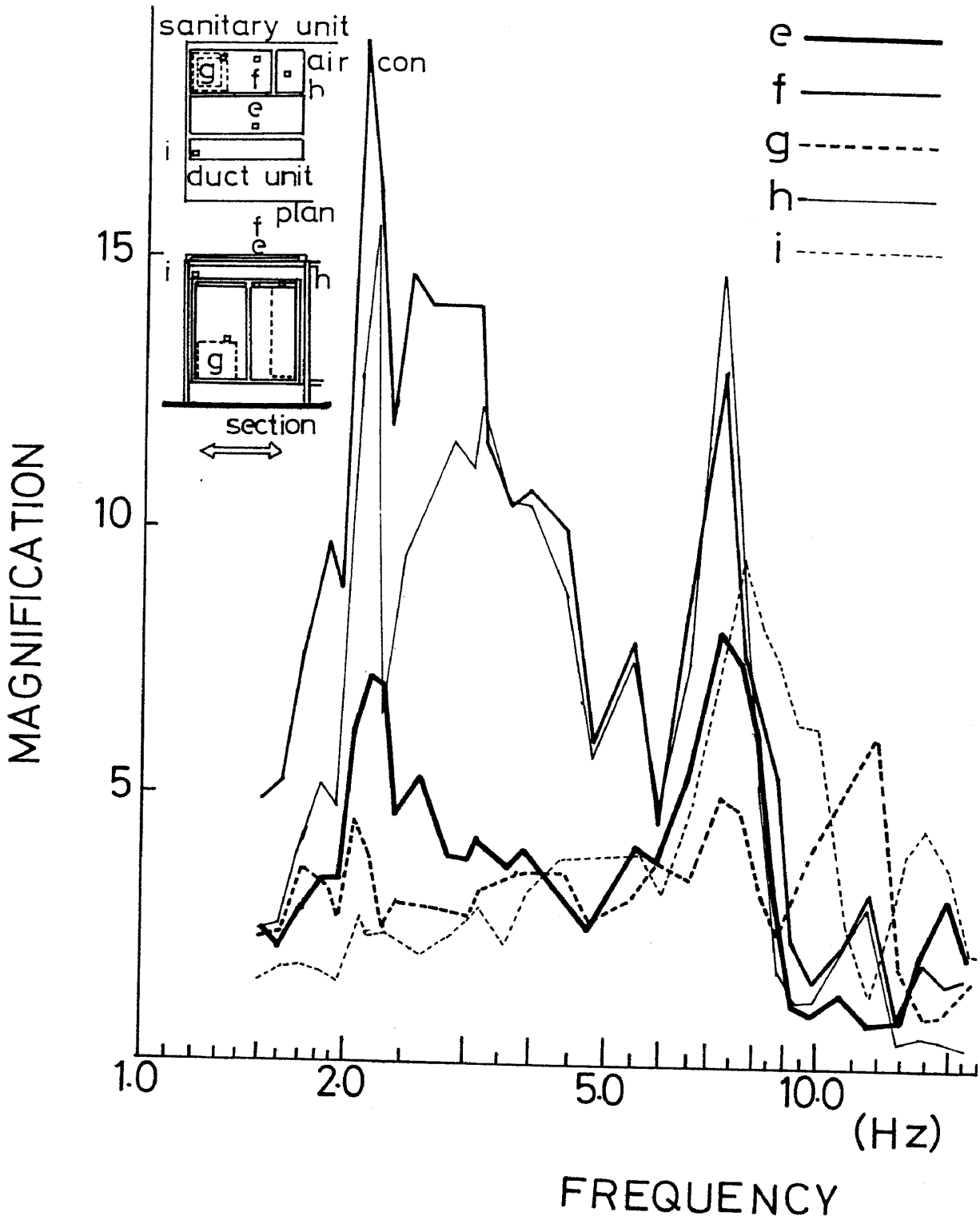


図28 Bケースサニタリーユニット等応答(0.15G)

TABLE 0.1g

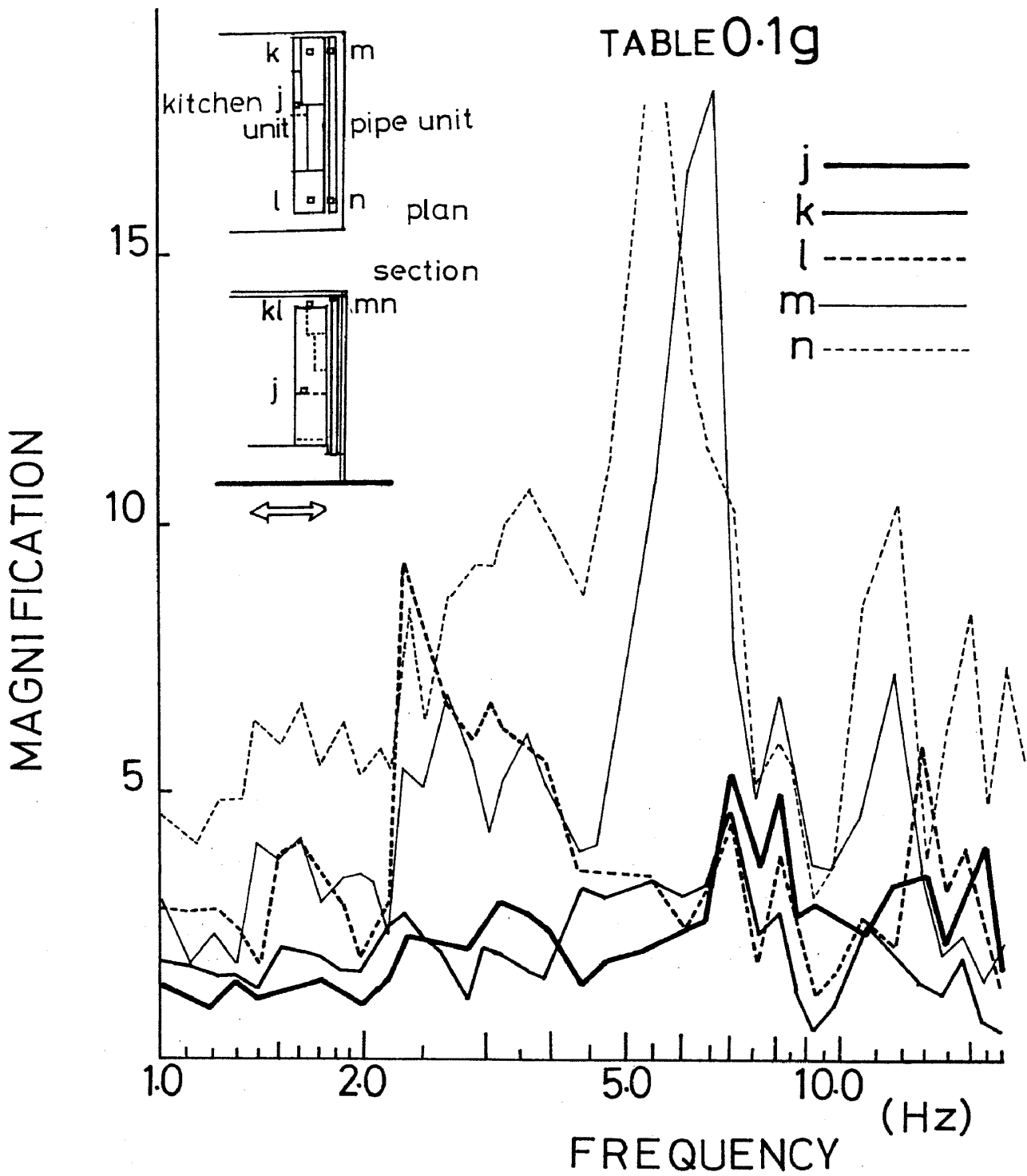


図29 Bケースキッチンユニット応答(0.1G)

TABLE 0.15g

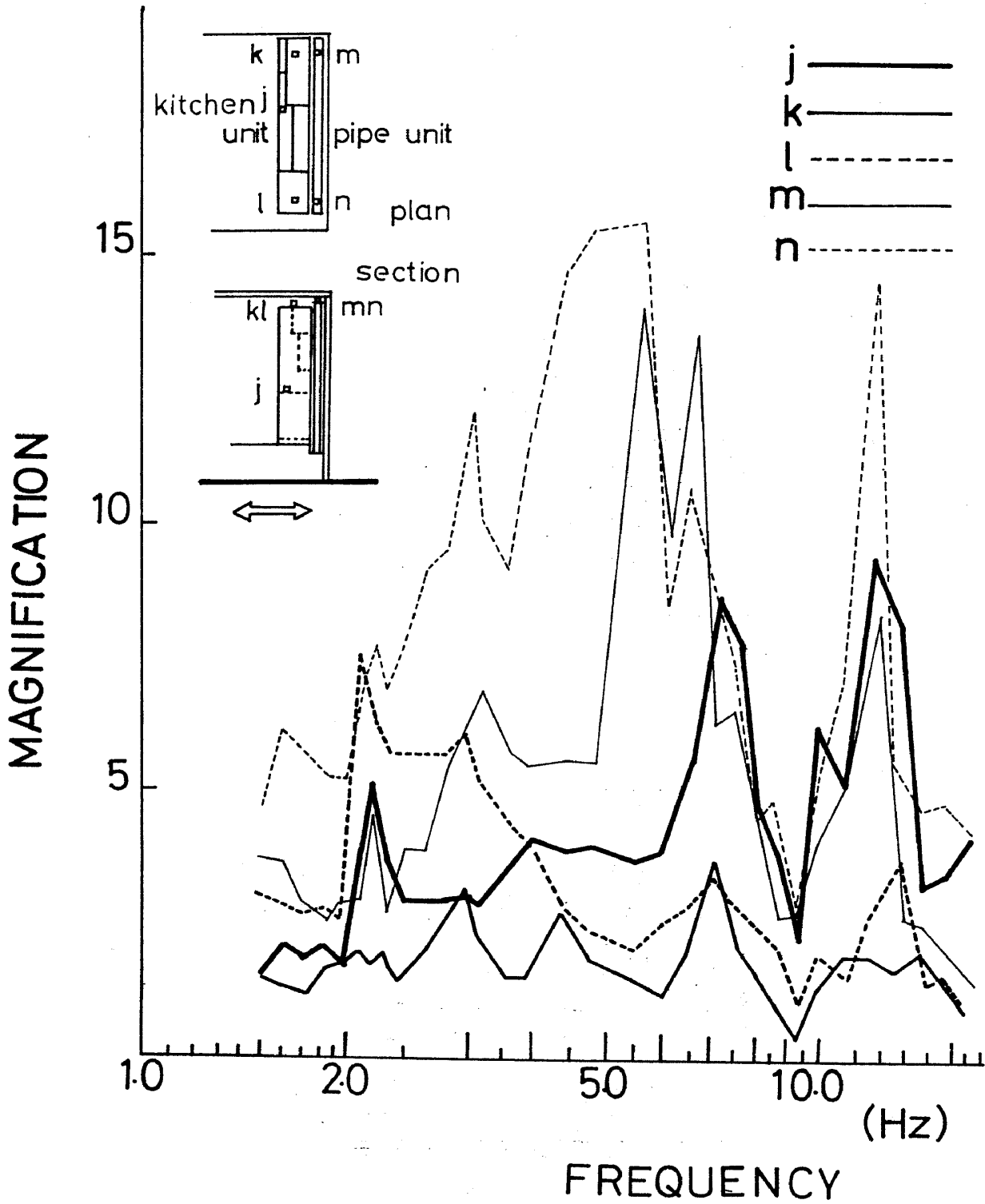


図30 Bケースキッチンユニット応答(0.15G)

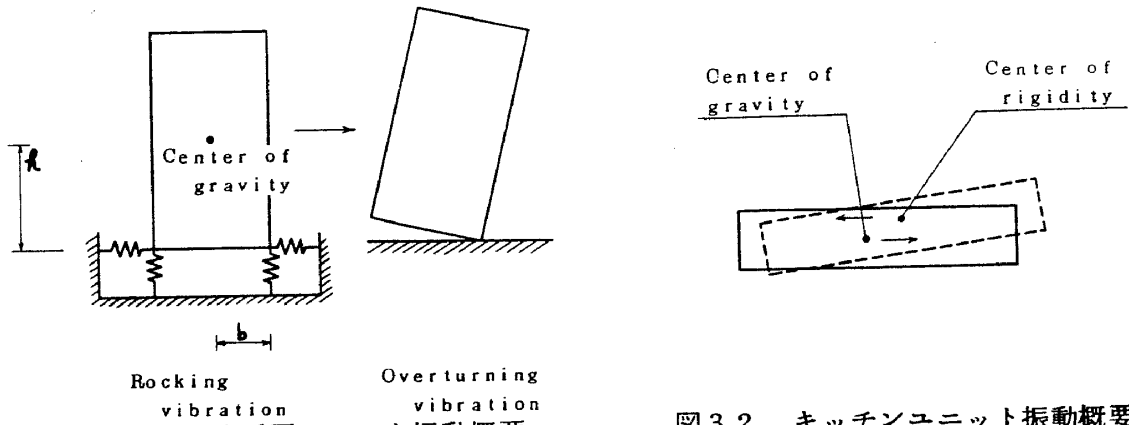


図31 冷暖房ユニット振動概要

図32 キッチンユニット振動概要

A. CASE

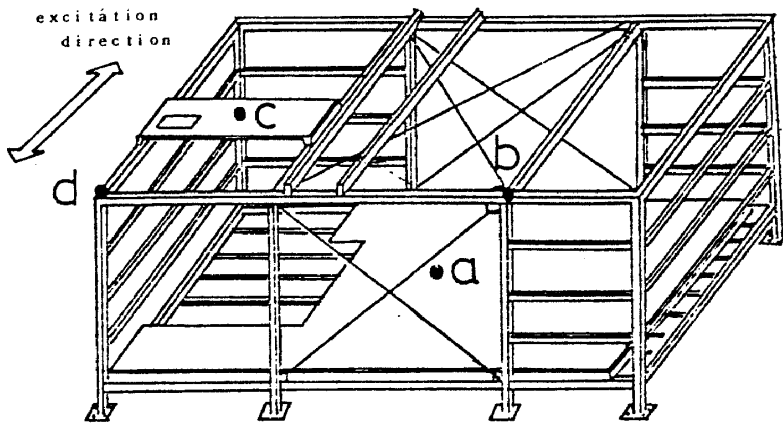


図33 Aケース建築構造体加速度測定点

B. CASE

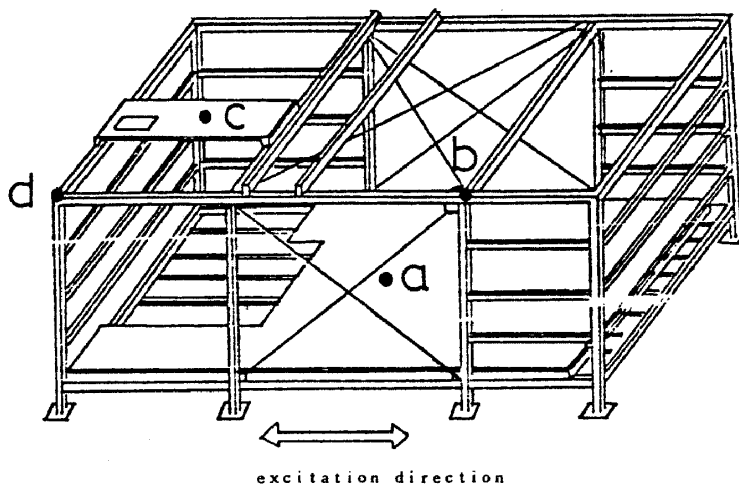


図34 Bケース建築構造体加速度測定点

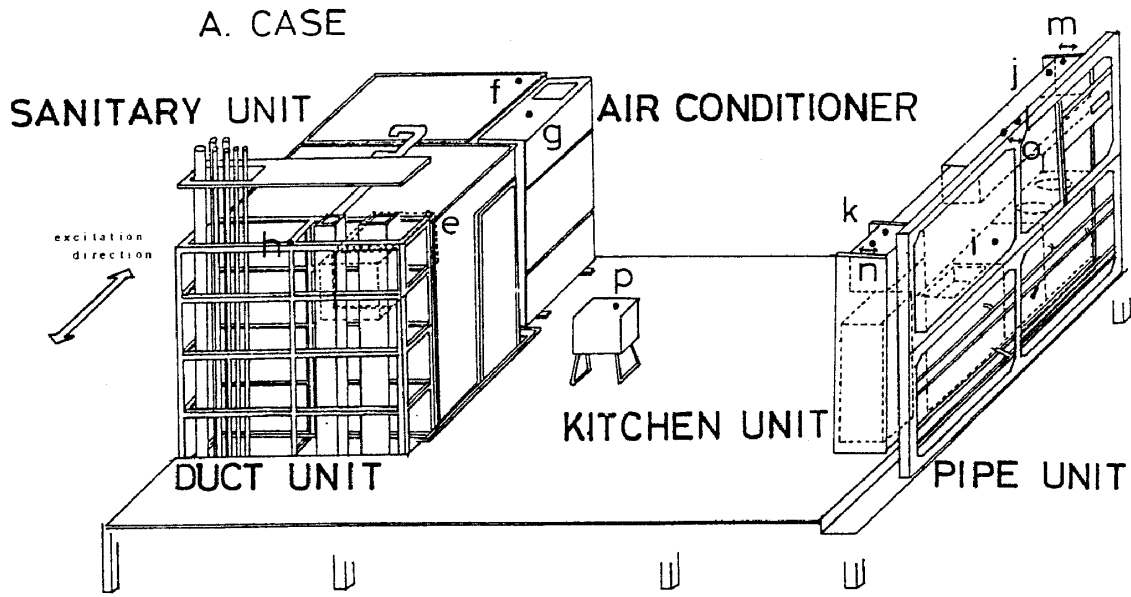


図 3 5 A ケース設備ユニット加速度測定点

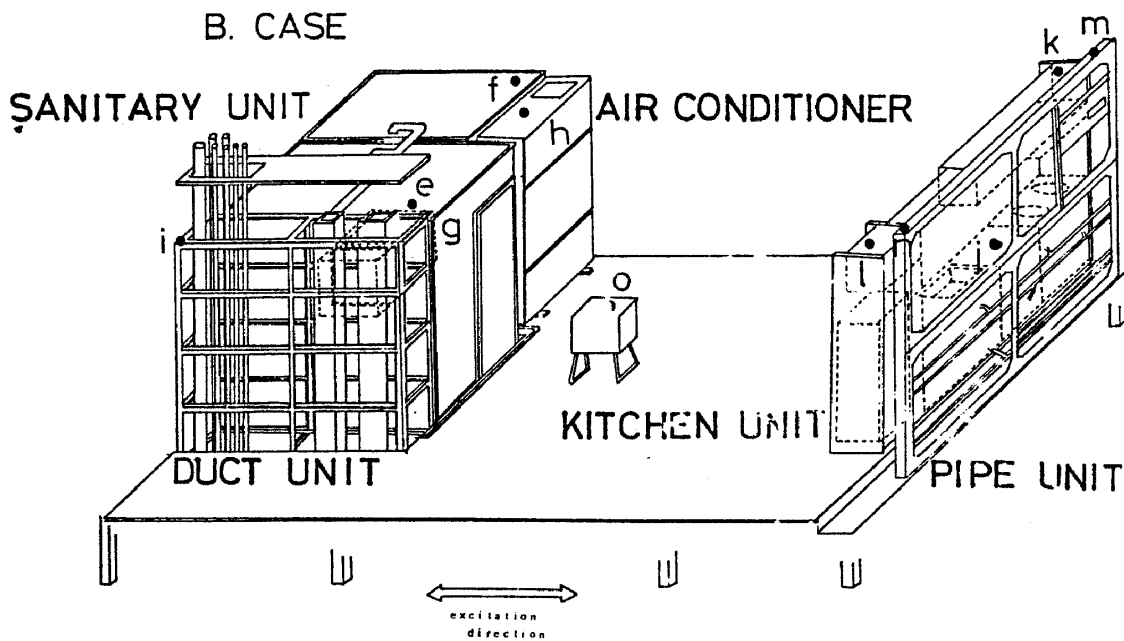


図 3 6 B ケース設備ユニット加速度測定点

表7 4層建築物の4階の地震応答波形(T方向)

Measurement Point	M Measure direction	Earthquake Waves		
		Taft E-W	Hachinohe E-W	El Centro N-S
a	radial	1.61	1.47	1.83
b	radial	5.80	5.25	4.78
c	radial	3.38	2.94	3.98
d	radial	1.70	1.93	1.96
e	radial	1.57	2.31	2.39
f	radial	1.59	2.69	2.43
g	radial	4.18	4.98	5.35
h	radial	3.51	3.00	4.69
i	radial	1.00	1.70	1.47
j	radial	1.10	1.65	1.47
k	radial	2.06	2.95	3.16
l	radial	5.79	7.50	5.85
p	radial		2.16	1.22
m	transverse	1.25	1.00	0.50
n	transverse	2.97	3.14	2.32
o	transverse	1.25	1.40	0.97
Maximum table accel.		0.681G	0.681G	0.653G

表8 16層建築物の10階の地震応答波形(T方向)

Measurement Point	Measure direction	Earthquake Waves		
		Taft E-W	Hachinohe E-W	El Centro N-S
a	radial	1.50	1.27	1.05
b	radial	5.24	3.48	4.35
c	radial	2.76	2.07	2.73
d	radial	1.26	1.33	1.65
e	radial	1.60	1.37	1.82
f	radial	1.64	1.39	2.01
g	radial	9.35	7.39	8.18
h	radial	3.16	1.87	1.93
i	radial	1.33	1.17	1.23
j	radial	1.80	1.25	1.65
k	radial	3.37	2.68	3.86
l	radial	37.1	1.28	1.31
p	radial	4.12	1.96	3.40
m	transverse	0.37		0.20
n	transverse	0.75		1.00
o	transverse			
Maximum table accel.		0.120G	0.120G	0.129G

表9 又穂団地SMA C記録波形(T方向)

Measurement Point	Measure direction	Penthouse N-S	Penthouse E-W
a	radial	1.25	1.26
b	radial	1.79	1.61
c	radial	1.38	1.18
d	radial	1.30	1.10
e	radial	1.44	1.42
f	radial	1.24	1.32
g	radial	4.10	2.43
h	radial	1.53	1.11
i	radial	1.01	1.19
j	radial	1.41	1.50
k	radial	1.57	1.27
l	radial	1.67	1.50
p	radial	2.85	3.73
m	transverse	0.24	0.15
n	transverse	0.21	0.18
o	transverse		
Maximum table accel.		0.102G	0.113G

表10 地震波形 (T 方向)

Measurement Point	Measure direction	Taft E-W	Hachinohe E-W	Kushiro E-W
a	radial	1.80	1.39	1.75
b	radial	5.60	3.26	9.20
c	radial	3.18	1.85	4.04
d	radial	1.73	1.39	1.57
e	radial	2.01	1.57	3.10
f	radial	2.53	2.15	1.68
g	radial	6.75	4.50	5.62
h	radial	2.77	2.60	4.57
i	radial	1.53	1.56	1.63
j	radial	2.62	2.52	2.88
k	radial	4.91	4.81	5.15
l	radial	9.00	4.00	3.13
p	radial	4.59	2.02	3.17
m	transverse	0.73	0.34	0.50
n	transverse	1.72	1.16	2.65
o	transverse	5.00	1.96	1.65
Maximum table accel.		0.068G	0.170G	0.136G

表11 4層建築物の4階の地震応答波形(L方向)

Measurement Point	Measure direction	Earthquake waves		
		Taft E-W	Hachinohe E-W	EL Centro N-S
a	radial	1.66	1.67	1.59
b	radial	1.43	1.41	1.45
c	radial	3.03	2.32	2.25
d	radial	1.34	1.47	1.43
e	radial	3.18	3.14	3.10
f	radial	3.26	3.02	2.97
g	radial	1.97	1.35	1.08
h	radial	3.36	3.74	3.16
i	radial	3.24	3.12	2.64
j	radial	2.46	2.28	2.02
k	radial	1.86	2.00	1.45
l	radial	2.18	2.15	1.77
m	radial	9.00	9.25	8.20
n	radial	7.00	7.90	7.80
o	radial	2.07	2.15	3.44
Maximum table accel.		0.500G	0.487G	0.550G

表12 16層建築物の10階の地震応答波形(L方向)

Measurement Point	Measure direction	Earthquake waves		
		Taft E-W	Hachinohe E-W	El Centro N-S
a	radial	1.17	1.19	1.33
b	radial	1.06	1.21	1.24
c	radial	1.76	1.75	1.97
d	radial	1.09	1.21	1.18
e	radial	1.66	1.44	1.83
f	radial	1.70	1.48	2.18
g	radial	1.60	1.33	1.49
h	radial	3.01	2.77	4.47
i	radial	1.74	1.77	2.26
j	radial	2.23	2.60	2.02
k	radial	3.69	2.52	3.62
l	radial	9.00	7.80	8.94
m	radial	4.46	4.73	3.23
n	radial	4.53	3.81	4.21
o	radial	5.95	4.50	4.42
Maximum table accel.		0.127G	0.115G	0.117G

表13 又穂団地S M A C記録波形(L方向)

Measurement Point	Measure direction	Penthouse N-S	Penthouse E-W
a	radial	1.39	1.25
b	radial	1.40	1.27
c	radial	1.92	2.12
d	radial	1.44	1.27
e	radial	1.61	2.06
f	radial	1.53	1.74
g	radial	1.47	1.38
h	radial	3.36	3.82
i	radial	2.10	2.29
j	radial	1.77	3.27
k	radial	3.07	5.26
l	radial	4.07	17.00
m	radial	3.49	5.23
n	radial	4.04	5.13
o	radial	6.05	6.46
Maximum table accel.		0.115G	0.131G

表14 地震波形 (L 方向)

Measurement Point	Measure direction	Taft E-W	Hachinohe E-W	Kushiro E-W
a	radial	1.53	1.28	1.59
b	radial	1.21	1.05	1.22
c	radial	2.53	1.71	2.70
d	radial	1.23	1.13	1.21
e	radial	2.35	1.90	2.84
f	radial	2.50	2.10	3.18
g	radial	1.69	1.45	2.05
h	radial	3.54	2.67	4.42
i	radial	2.92	2.15	3.86
j	radial	3.97	2.18	1.43
k	radial	3.24	2.87	3.04
l	radial	8.27	9.60	5.40
m	radial	5.51	4.35	8.30
n	radial	4.39	4.70	5.67
o	radial	6.41	4.87	3.38
Maximum table accel.		0.077G	0.112G	0.159G