

I-25 非対称骨組構造物の振動性状に関する基礎実験

専修大道短大	正 員	金子 孝吉
北海学園大	正 員	当麻 庄司
北海学園大	正 員	早川 寛志

I. まえがき

構造物の耐震性をもたせる方法として、(1) 構造物が地震力に耐えることのできる耐力構造にする、(2) 構造物に入ってくる地震力を和らげる免震構造にする、あるいは(3) 地震による構造物の応答を制御して振動を弱める制震構造にする、が考えられる¹⁾。このうち、最近では免震や制震に対する研究が活発になり、その成果は実際の建築物に应用されるようになってきている。しかしながら、構造物に耐震性をもたせることの原点はあくまで構造物自体が地震力に耐えることができるという耐力構造にあり、その上に立って免震構造や制震構造の考え方が応用されるべきであると考ええる。それは免震構造や制震構造は必ずしも構造物の耐震問題を全面的に解決するものではなく、それらはそれらなりの問題点を含んでいるからである。たとえば、免震構造として実用化されているものに積層ゴムにより荷重を受ける方式があるが、これは基礎と上部構造とが絶縁されていなければならず、配管構造が複雑となったり地下空間がとれない等の大きな問題がある。また、この免震構造方式は適用できる範囲が限定されており、せいぜい10階建ての構造物迄だろうと言われている。

次に、制震装置としてコンピュータ制御により最上階に設けた質量を地震による揺れと反対方向に移動させて建物の揺れを小さくするものもあるが、これはいつ発生するかわからない地震に対して、絶えずコンピュータを作動させて待機していなければならず、そのため装置の維持管理も必要であり決してこれのみで全てを解決するとは言えない。

やはり、構造物にあまり小細工を要せず、構造物の骨組自体にそれなりの耐震性を持たすことができれば、それに越したことはない。

構造物の骨組自体に地震に耐えるだけの強度を持たせる考え方として、骨組の構造をエネルギー吸収力が大きいようにする、たとえば偏心K形やY形筋かい付きの構造等、が提案されている。

しかし、これらの研究についても単層で行われた復元力特性や最終強度に関するものが多く、多層骨組構造物がどのような振動挙動を示すかという基本的な問題を取り扱った研究は意外に少ない。

そこで、本研究は2層と5層の骨組構造物について、各層の質量分布の状態を変化させた場合にどのように振動性状が変化するかを調査することを目的に、模型振動実験を行った。質量分布は各層において大きさと位置を変化させた。このように、骨組構造物における質量分布や骨組構造の形式の違いによってどのように振動の仕方が変わ

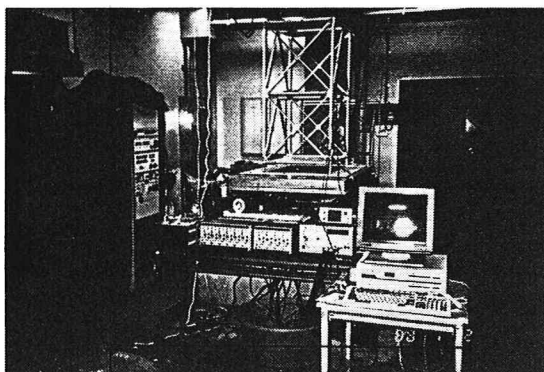


写真-1 (a) 骨組構造物模型

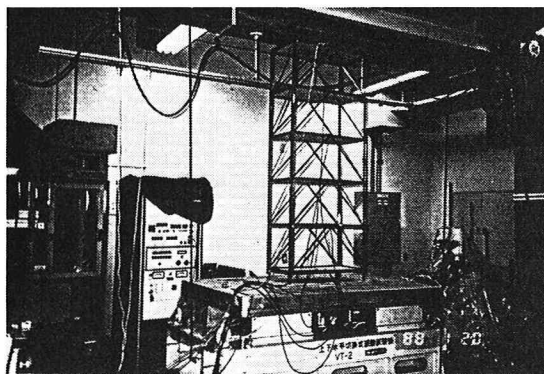


写真-1 (b) 骨組構造物模型

るのか、また非対称質量分布の場合はどうかを調べた結果、地震に強い骨組構造物のあり方を知る上で非常に重要な基礎データを提供してくれたのでここに報告する。

II. 多層骨組構造物模型

実験用の模型構造物は一般的な骨組構造物の振動性状を調べるという目的から、まずは典型的な2層と5層の骨組構造物とした。

その外観を写真-1に示し、図-1と2にそれぞれの寸法を示した。用いた部材の材料はアルミニウムのアングル材で市販されているものである。

床板には木合板(厚さ6mm)を用い、また付加重量として鋼板(4.5kg/1枚、300×200×10)を高力ボルト2本(0.5kg/1本)により本片(0.3kg/1枚)のスペーサーを介して床板に固定した。

図-1(b)に2層構造物模型の場合の重り鋼板取付位置を示す。

2層構造物模型(図-1)ではK形とX形の筋かいを用い、柱や梁との接続にはガセットを用いている。床板のスパンを短くし剛性を増すために、K形筋かいの頂点に梁を用いた。柱の下端部の支持は固定条件とするために2方向から止め金具により基礎板に固定した。

基礎板には十分剛性のある木合板(厚さ16mm)を用い、振動台とはこの基礎板に設けたボルト孔を通して固定した。

一方、5層構造物模型は図-2に示すように全体的に2層構造物模型より小型になっている。筋かいは長手方向にK形とし、短手方向には対角方向に1本しか用いていないので対称性に欠ける構造物となっている。

いわゆる、非対称骨組構造物となっている。骨組の材料は2層の模型同様にアルミニウムのアングル材を用いている。

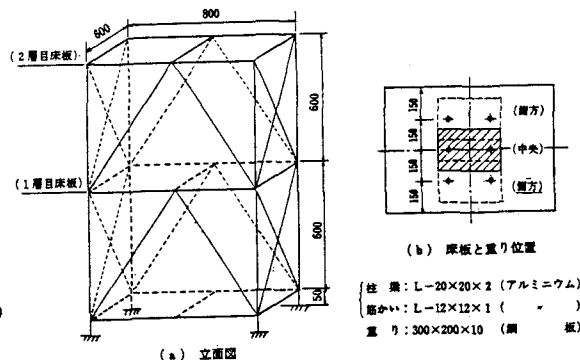


図-1 2層構造物模型寸法図

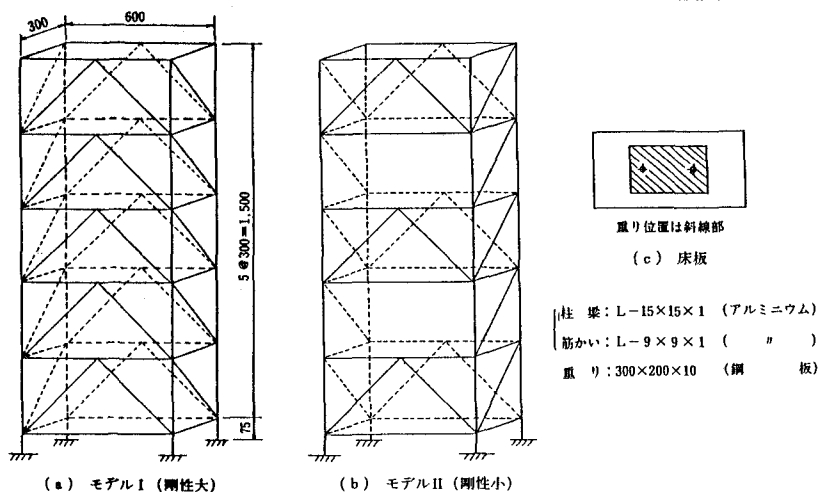


図-2 5層構造物模型寸法図

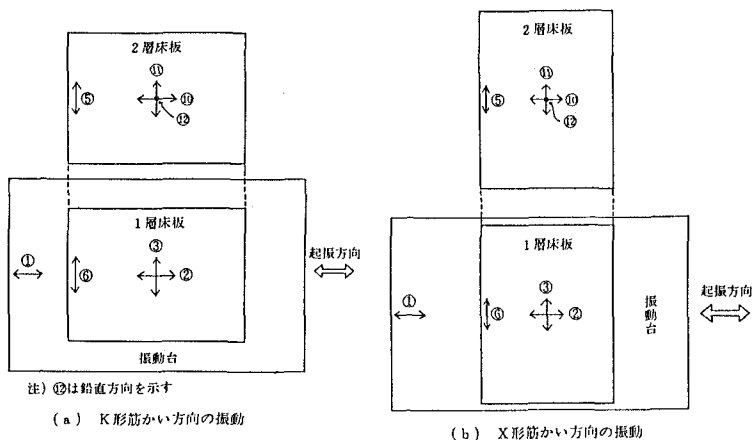


図-3 加速度変換器の位置と方向 [2層構造物]

III. 実験方法

実験は前節で説明した骨組構造物の模型を油圧サーボ型の振動台上に設置して水平に振動させ、各層における加速度を記録した。入力する波形は基本的な振動性状を調べる意味から正弦波とし、まず振幅を一定にしておき振動数を色々に変化させた。

実験ではこのときの各層の応答加速度を記録することにより振動性状を調べることにした。すなわち、各振動数における正弦波入力に対する定常応答振動を調べた。

加速度変換器を取り付けた位置と各測点番号は図-3に示す。これを見ると分かる通り加速度は各層の床板中央における振動入力方向とその直角方向、および床板先端部の入力直角方向において測定した。また、2層目の中央においては鉛直方向の加速度も記録した。入力加速度の記録は振動台上に直接加速度変換器を取り付け、他の測点と同様な方法により測定した。

加速度変換器から動ひずみ測定器を介して得られた加速度に関するアナログ情報は、A/D変換器を通してデジタル情報に変換した後コンピュータに取り込んでフロッピーディスク上に記録するもので一連の測定システムとして完成してある。

入力加速度の振動数は3~30Hzの範囲で実験を行うが、応答加速度データのコンピュータへの取り込みは5~10msec間隔(200~100回/秒)で行う。

質量は先に述べたように鋼板を床板上にボルト締めすることにより分布させることにしたが、その分布方法については次の3通りを考えた(図-1(b)参照)。

- ① 床板の中央部に載荷
(1枚あるいは2枚)
- ② 床板の測方部に載荷
(片側1枚あるいは両側2枚)
- ③ 無載荷

の場合である。この質量の載荷方法を1層目と2層目に組み合わせることにより、種々の質量分布状態を作り出した。図-4に

各実験ケースにおける質量分布状態を示す。図-5 加速度変換器振動方向はK形筋かいを面内とする長手方向(ケースA~I)と、模型を横方向に置いてX形筋かいを面内とする短手方向(ケースJ~N)の両方向について実験を行った。

5層骨組構造物の実験では図-5に示すように各層の起振方向の応答加速度を床板中央で測定した。起振直角方向の振動計測は最上層のみで行った。

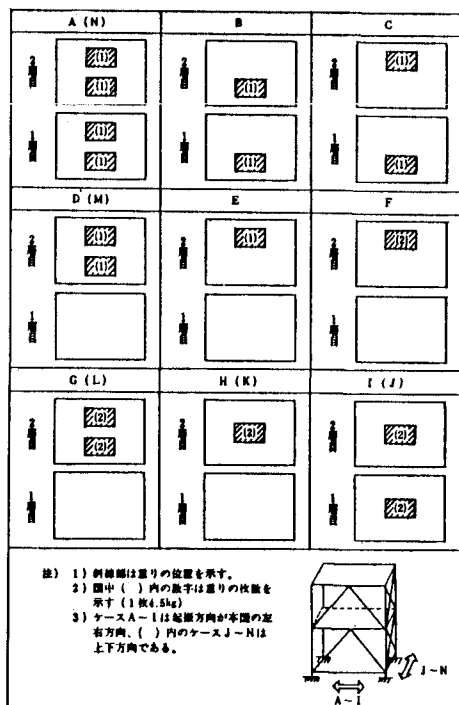


図-4 質量載荷位置 [2層構造物]

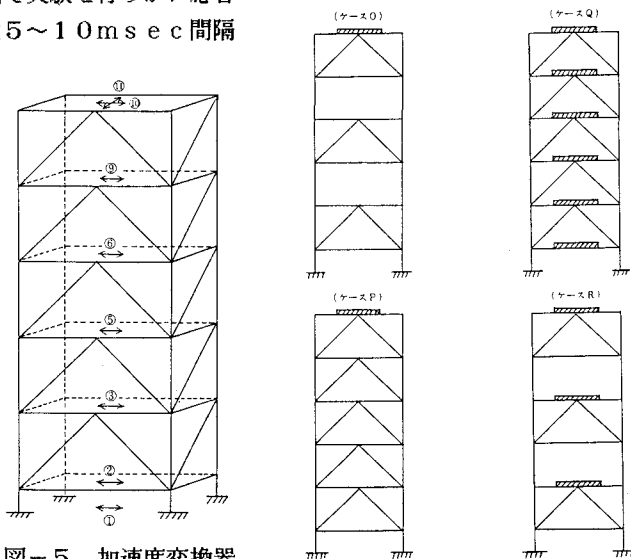


図-6 質量載荷位置 [5層構造物]

重り鋼板の荷重状態と骨組の種類は図-6に示す。ケースOとPは最上層にのみ重り鋼板1枚を荷重した。重り鋼板の大きさや取り付け方法は2層構造物と同様である。ケースQでは各層に重りを分布させ、またケースRでは筋かいが支持している床板上に載せた。

骨組の形としてはケースPとQでは全層にK形の筋かいを配したが、ケースOとRでは1層おきに筋かいを省き、剛性を低下させた構造としている。

IV. 骨組構造物の振動実験結果

振動測定されたデータはファイルとしてフロッピー・ディスクに収録されるが、利用する場合はパーソナル・コンピュータにより適当なプログラムを用いて再生した。

その中から一例を以下に示すことにする。たとえば、加速度応答波形を上から測点番号順に図-7に示した。

このような各ケースにおける記録波形から読み取られた値をもとに、図-8および図-9には応答波と入力波の振幅比を周波数別に表した加速度応答倍率スペクトルを示した。図-8は2層構造物で質量分布を両側に分けたケースAの場合と中央に集中したケースIの場合の加速度応答倍率スペクトルであるが、ケースIの方が若干大きな倍率を示していることがわかる。また、図-9は2層構造物で偏心質量を荷重した非対称なケースFと軸対称なケースHについて比較している。非対称構造物となるFの振幅がHの振幅より大きく、図-8と比べても振動方向に直角な成分の応答倍率がかなり高いことを説

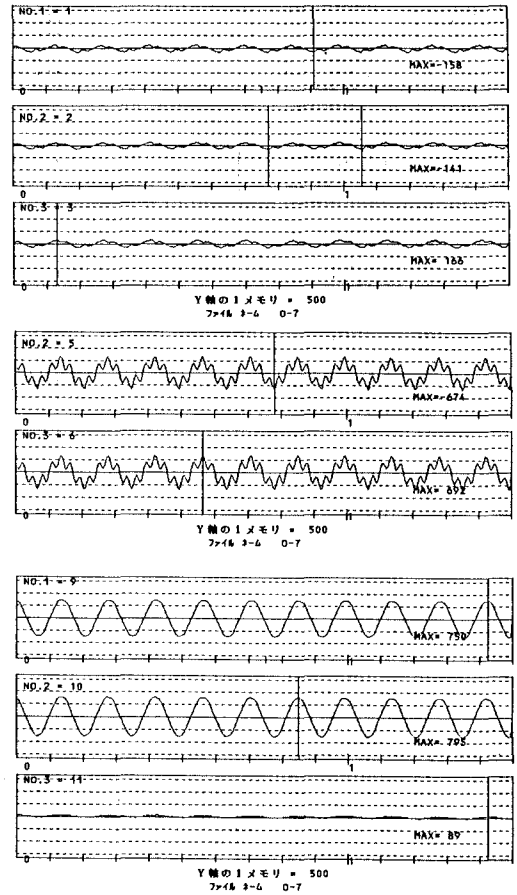


図-7 加速度応答波形

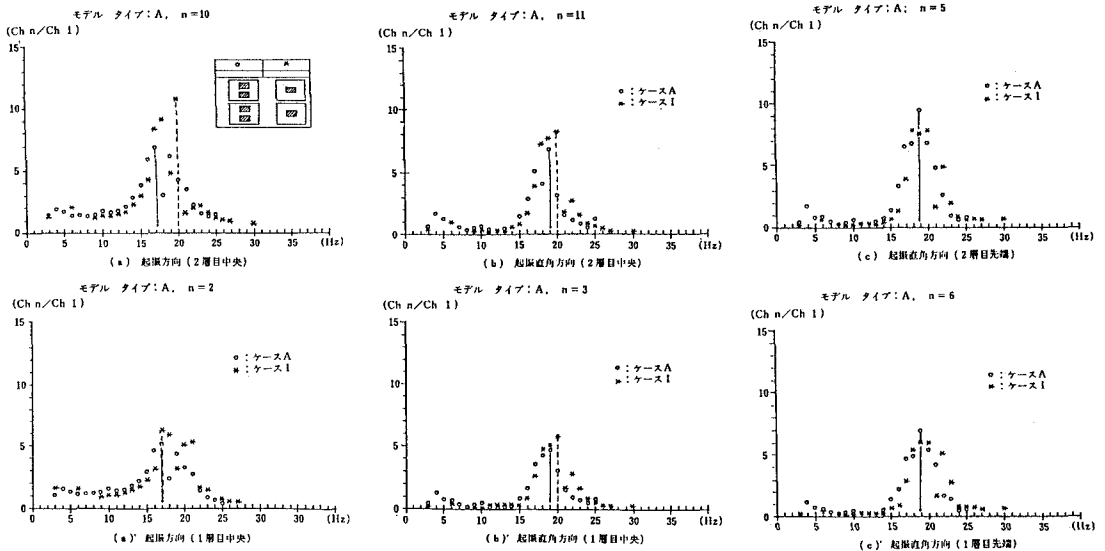


図-8 加速度応答倍率スペクトル [質量両側載荷Aと集中載荷I]

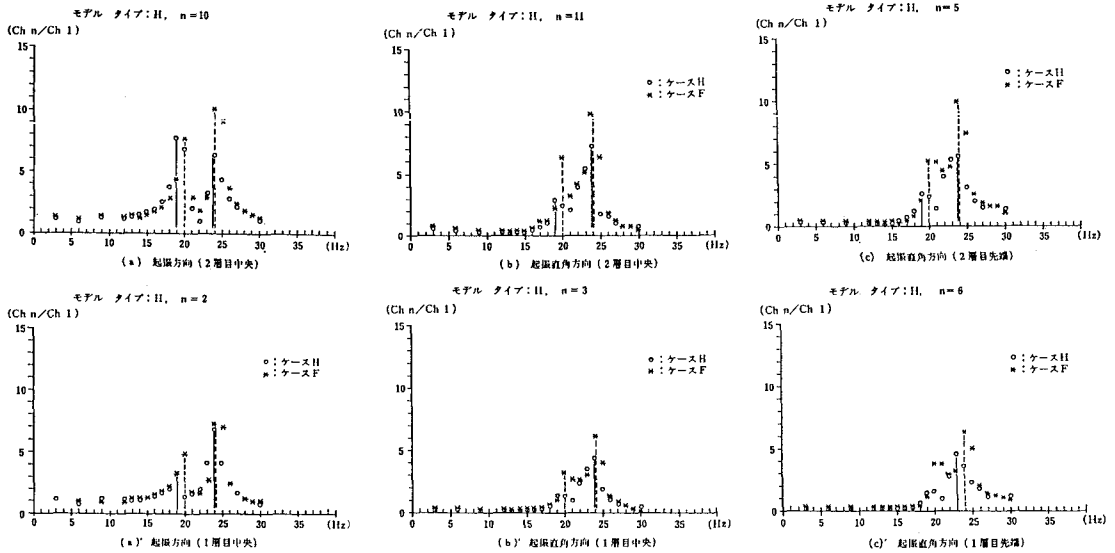


図-9 加速度応答倍率スペクトル [質量中央載荷Hと片側偏心載荷F]

み取ることができる。

このように、本実験で扱った全ての条件における振動測定から得られた波形に対して加速度応答倍率の共振ピークを示す値の周波数および振幅について整理した。表-1、表-2は2層構造物の場合で長手方向振動、短手方向振動におけるケースのものである。各ケースとも15Hz～30Hzの範囲に2、3の卓越したピークを持っている。また、表-3には5層構造物の場合で上層から下層までの入力振動方向の加速度応答倍率の最大振幅値とそのときの周波数を示した。明確なピークが1つであるが、ケース0の場合は6～8Hzの範囲に幅を持っている。これらの表を1つ1つ克明に追って得られる特徴を総合的に述べてみよう。

振動実験の中で特徴的なこととして認められたことは共振状態においては起振方向のみではなく必ず起振直角方向にも大きな振動が見られたことである。この現象は質量が偏心載荷された場合、すなわち重心非対称の場合だけでなく中央載荷の対称の状態においてもかなり現れた。また、この時には比較的細い部材から成る筋かい材の局所的な共振現象も観察された。筋かい材はガセットによって連結されているために、アングルの1片（フランジ）のみがガセットにボルト接合され、他片（ウェブ）は自由片になっている。構造物が振動する毎に筋かい材には圧縮力と引張力の繰り返し方向力が作用し、この時の偏心軸方向力による曲げモーメントが筋かい材の局所的な共振現象を引き起こすのではないかと考えられる。そして、これが模型構造物の起振直角方向の共振現象に寄与していることが考えられる。

表-1 加速度応答倍率の共振周波数と振幅 [2層構造物長手方向入力]

測点 H z		A		B		C		D		E		F		G		H		I			
		17	19	22	24.5	22	25	19.5	23	24.5	30	20	24	15	18	21	19.5	24	17.8	20	22
起振 方向	10 (2層)	6.9	6.2	8.0	7.3	8.5	9.8	5.1	14.3	7.5	7.5	7.7	10.2	5.7	7.1	4.2	7.7	6.4	9.2	10.8	2.1
	2 (1層)	5.2	4.4	6.2	4.9	5.6	6.8	3.5	8.5	4.7	5.5	4.8	7.0	4.3	4.9	4.4	3.4	6.8	6.4	5.4 (1.6)	
起振 直角 方向	11 (2層)	5.1	6.8	5.5	8.6	6.9	13.2	6.0	12.0	5.1	5.7	6.4	9.8	5.3	7.7	2.5	2.9	7.3	7.2	8.2	2.7
	3 (1層)	(3.6)	4.7	(3.5)	6.2	4.0	9.2	3.7	8.6	3.1	3.6	3.2	6.2	(2.5)	4.4 (1.3)		(1.4)	4.4	(2.6)	5.8	2.7
	5 (2層)	(6.5)	9.4	10.8	8.4	7.9	12.6	6.1	12.5	4.9	6.6	5.3	10.0	(4.3)	10.9 (2.3)		2.6	5.6	7.9	7.9	4.8
	6 (1層)	(4.6)	6.9	8.7	5.6	(4.3)	9.6	3.8	9.9	2.9	4.5	3.8	6.3	(3.3)	7.2	2.1	1.5	4.6	5.3	5.8	5.1

注 () は明確なピークを示していない場合を表す

また、筋かい材の局部的な共振現象が起振直角方向の大きな振動の直接の原因ではなく構造物の質量偏心有るいは剛性偏心が回転振動を誘起したとも考えられる。構造物の重量配置あるいは骨組構造が対称になるように計画しても、そこに生じた誤差が偏心効果を生み出す可能性がある。もし、質量偏心が原因

表-2 加速度応答倍率の共振周波数と振幅 [2層構造物短手方向入力]

測点	H z	J			K			L			M		N	
		17.5	20	22	19	22	24	15.5	18	20	19.5	22.5	16	19
起振方向	10 (2層)	4.2	23.7	(6.1)	3.7	11.2	12.7	5.3	10.6	(3.1)	7.9	9.2	6.0	12.9
	2 (1層)	3.1	17.2	(5.5)	2.6	6.0	7.5	3.3	10.4	(1.6)	4.7	6.1	4.1	8.2
起振直角方向	11 (2層)	6.8	16.0	(1.9)	(3.0)	4.5	11.4	(4.9)	7.0	2.2	(5.2)	8.9	-	8.5
	3 (1層)	5.1	10.5	(1.3)	1.2	(4.7)	11.7	3.7	8.1	2.6	5.2	6.2	-	6.3
	5 (2層)	7.1	9.1	5.2	1.9	8.2	17.5	(5.9)	8.7	(2.6)	5.4	10.3	-	10.7
	6 (1層)	4.9	7.7	4.4	1.2	(5.6)	12.7	3.6	4.9	4.5	(3.3)	5.9	-	9.0

だとすれば、重量の配置の仕方により大きく起振直角方向の共振点が異なってくるはずである。また、もし剛性偏心が原因だとすれば、斜材寸法を変えることにより共振点が変わってくることになる。

表-3 加速度応答倍率の

共振周波数と振幅 [5層]

測点	H z	O	P	Q	R
		6-8	20	14	16
10 (5層)		5.7	12.9	11.5	2.3
9 (4層)		5.3	9.3	9.6	2.1
6 (3層)		4.4	8.1	8.6	3.4
5 (2層)		4.3	6.1	7.2	3.2
3 (1層)		1.1	4.0	5.4	1.7
2 (下層)		1.0	2.5	4.5	1.5

V. あとがき

骨組構造物の耐震性を検討するために、2層骨組構造物と5層骨組構造物の模型を製作し、正弦波入力による定常振動実験を行った。まず、2層骨組構造物では重量分布の状態を変化させ、模型の縦方向と横方向に振動させ各層における応答加速度を計測した。その結果をまとめると次のようになる。

- (1) 応答加速度は起振方向のみならず起振直角方向にも大きく振動することがある。
- (2) 共振するピークが2つある場合が多く卓越しやすいモードが2つあることを示している。
- (3) 偏心質量で非対称な構造ほど振動応答の振幅が大きく加速度応答倍率も大きな値を示している。しかし本実験における質量偏心の程度では極端な捻れ振動は生じない。
- (4) 柱や筋かいの局部振動が構造物の全体振動に影響している様子が観測された。
- (5) 質量が中心にある場合の方が両側に分かれてある場合よりも振動の振幅が大きい。
- (6) 同じ骨組構造物でも質量が小さい場合の応答倍率が大きい。

一方、5層骨組構造物では筋かいの入れ方により剛性の高い場合と低い場合について、高さ方向の重量載荷を変化させて実験しておりその結果、

- (1) 起振直角方向の振動は顕著には生じていない。
- (2) 剛性が大きければ最大応答加速度の振幅も大きい。
- (3) 卓越しやすいモード（ここでは1次モード）が明確に現れる傾向にある。
- (4) 柱や筋かいの局部振動がここでもかなり顕著に見られた。

以上のような実験結果は基礎的なものではあるが、特に非対称性を有する骨組構造物の振動性状を把握する上で貴重なデータを提供してくれた。今後さらに骨組構造物の耐震性を高める研究を進めていくために、

- (1) 不規則な地震波に対する応答の調査、(2) 柱や筋かいの局部振動が全体振動に影響する効果の調査、(3) 非対称性構造物の起振直角方向振動の原因調査、そして(4) 耐震性を高める骨組構造物の設計方法などについて調べていく予定である。

参考文献

- 1) 大崎順彦著：わかりやすい免震建築、理工図書、1987。
- 2) 武田寿一編：構造物の免震・防振・制振、技報堂出版、1988。
- 3) 吉川敏則著：P C -9801実用数値計算プログラム集、昭晃堂、1984。