

ある長スパンビルの振動実験

中川 恭次 金子 正孝
渡辺 清治 蔭山 満

Vibration Test of a Long-Span Building

Kyoji Nakagawa Masataka Kaneko
Seiji Watanabe Mitsuru Kageyama

Abstract

The object of this vibration test was to grasp the dynamic properties of a long-span building and the fundamental natures of large slabs in the same building. The authors carried out vibration tests of the building by means of a BCS-A-200 type vibration generator. The results are summarized in the present paper. The vibration tests consisted of the following:

- (1) Forced vibration tests of a building frame by BCS-A-200 type vibrator.
- (2) Forced vibration tests of a large slab (24 m × 24 m) by V-15 type vibrator.
- (3) Free vibration tests of the same slab by sand-bag dropping.
- (4) Measurements of vibrations of the slab caused by pedestrian traffic.
- (5) Measurements of micro-tremors.

概要

この報告は、長スパンを有するビルの動的特性に関する資料と長スパン床版の基礎的な振動特性に関する一資料を得ることを目的として行なった振動実験について述べるものである。実験内容については、(1)大型起振機による躯体の強制振動実験、(2)小型起振機による床版の強制振動実験、(3)砂袋の落下による床版の自由振動実験、及び人間歩行時の振動測定、(4)常時微動観測、等である。躯体の強制振動実験によって明らかになったものは、3次迄の各次固有振動数、固有モード、減衰定数、各次共振時の大梁の上下振動モード、等である。床版の強制振動実験では、床版の3次迄の各次固有振動数、固有モード、減衰定数が求められており、長スパン床版の振動性状を振動感覚の面から把握するために、砂袋の落下による自由振動実験、人間歩行時の振動測定を通して検討を加える。

1. まえがき

最近、使用目的によって大空間を必要とする建物が増え、その床構造は長スパン化、軽量化の傾向を示している。当ビルも例外ではなく、この様な長スパンを有するビルが居住空間、執務空間として、どのような振動性状を示すかは重要な問題である。この振動実験は、この点に着目して実施したものであり実験内容の特徴としては次のことが挙げられる。躯体の強制振動実験に関しては、(1)各次共振時の躯体の振動モードを立体的に把握すること、(2)各次共振時の大梁の上下振動モードを把握することである。床版の振動実験については、長スパンの床版の振動性状を振動感覚の面から把握するための資料を得ることを意図したことである。

2. 建物概要

当ビルは、図一1に示すように地上10階、地下1階、ペントハウス2階を有しており、最高地上高さ48.8m

である。建物の平面形状は、基準階で図一2に示す如く、短辺方向(スパン方向):30m、長辺方向(桁行方向):48mである。当ビルの基礎はベタ基礎を使用しており、G.L-約7.5mの所で砂礫層の良好な基礎地盤に支持されている。構造形式は、地下部分と低層部分が鉄骨鉄筋コンクリート造である。高層部分は②-③通り間、⑦-⑧通り間が鉄骨鉄筋コンクリート造でコアを形成しており、そのコア間が鉄骨造の大梁によって1スパンで結ばれている。床版は、スチールデッキプレート敷の上に人工軽量コンクリートを打設したものである。外壁は石貼り(砂岩)である。構造上の特徴は、図一2に示すように高層部分の床版が24m×48mの1枚床版と見做せる構造になっていることである。

3. 躯体の強制振動実験

3.1. 実験方法

起振機の設定場所は、図一2に示す如く、屋上(R階)の⑤通りと⑩通りの交点である。加振力の作用線は、短辺方向加振時には⑩通り上にあり、長辺方向加

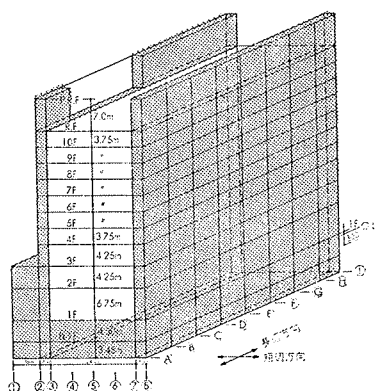


図-1 長スパンビルの概略図

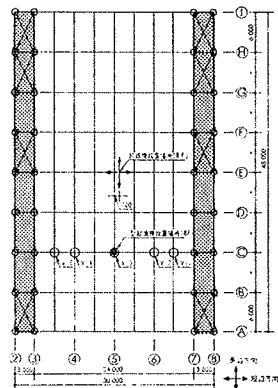


図-2 基準階床梁伏

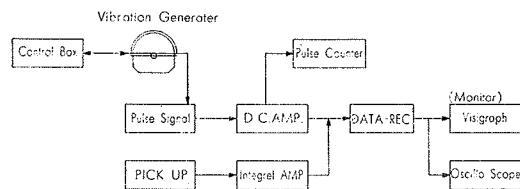


図-3 計測システム

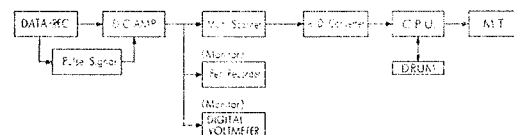


図-4 A-D変換システム

振時には⑤通りより⑧通り側に70cm寄った所にある。使用した起振機は、建研型同期式起振機；BC S-A-200型であり、単独運転時で最大加振力；3.0 ton、加振振動数範囲；

0.2Hz～20Hzである。図-5 共振点検索時の測点配置計測システムのフローを

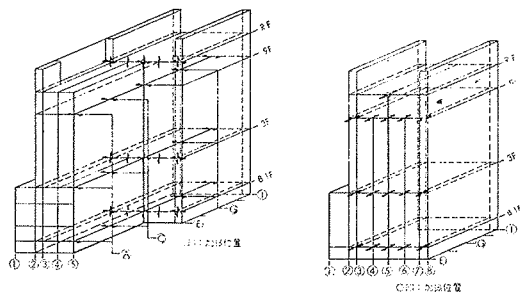
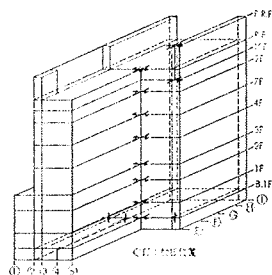
図-3に示す。使用した PICK-UP は、固有周期2.0 secの動コイル型変位計である。

3.2. データの処理方法

強制振動実験記録の数値化は、データレコーダーで記録した磁気テープから直接行なった。数値化システムのフローを図-4に示す。数値化の際には、起振機からのパルス信号を外部スタート信号として使用し、各加振振動数の記録ごとに時刻統一を行なっている。この様にして数値化した波形と同じ加振振動数の基準余弦波との相互相関々数を計算して振幅と位相差を求め、X-Yプロッターにより共振曲線、位相曲線を作図した。ここで使用した一連のデータ処理システムは、振動研究室で開発したものである。

3.3. 測点配置

共振点検索時の測点配置を図-5に示す。変位計の位置は、各測定階の⑤通りと⑧通りとの交点である。各次共振時における立体振動モードの測点配置を図-6に示す。測定階は、9階、3階、地下1階である。測定階の変位計の位置は、短辺方向加振時が⑤通り上で各々A、C、E、G、①通りとの交点であり、長辺方向加振時が⑧通り上で各々③、④、⑤、⑥、⑦通りとの交点である。更に、図-6には短辺方向加振時における各次共振時の大梁の上下振動モードの測点配置を示す。測定した大梁は屋上階、3階、地下1階の⑧通りの大梁で、上下振動モードに対しては③、④、⑤、



(短辺方向加振) (長辺方向加振)
図-6 立体振動モードの測点配置

⑥、⑦通りとの交点、水平振動モードに対しては③、⑤、⑦通りとの交点に変位計を設置した。

3.4. 実験結果

1次から3次までの共振曲線、位相曲線を図-7から図-10に示す。位相曲線図の縦軸は、起振機からのパルス信号に対する位相差を表わす。各次共振点から求めた振動モードを図-11、図-13に示す。この振動モードは絶対振幅量で表わしたもので同時刻モードではない。各次共振点における立体振動モードを図-12、図-14に示す。同一階の床版の振動モードは、短辺方向3次を除いて測点間に位相差はなく、床版が一体となって振動していることがわかる。短辺方向加振時の各次共振点における⑧通り大梁の上下振動モードを図-15に示す。1次振動から3次振動までの固有周期、減衰定数を表-1に示す。減衰定数は、各測点の共振曲線から $1/\sqrt{2}$ 法で求めたものを平均して定めたものである。この表より長辺方向と短辺方向の剛性を比較すると、長辺方向が非常に大きいことがわかる。基本振動数に対する高次振動数比は、短辺方向が1.10:4.42:13.2=1:4.02:12.0であり、長辺方向は2.51:9.80:15.6=1:3.90:6.22となる。この関係を短辺方向の設計値とともに図-16に示す。この図より短辺方向が顕著に曲げの影響を受けていることがわかる。ここで、短辺方向の基本周期について実験値と設計時の計算値を比較してみる。建築物の耐震設計資料*によると鉄骨

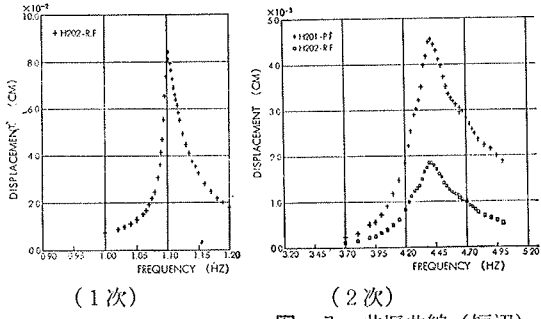


図-7 共振曲線(短辺)

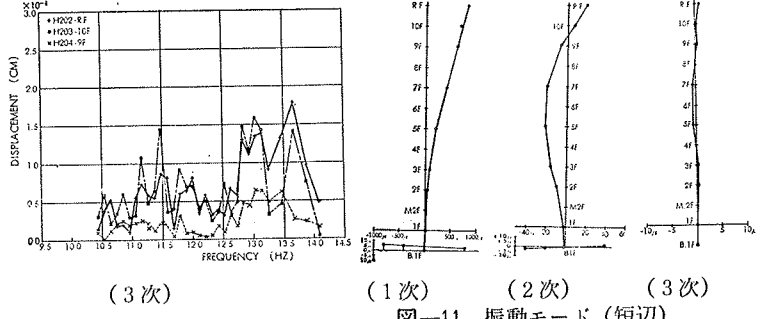


図-11 振動モード(短辺)

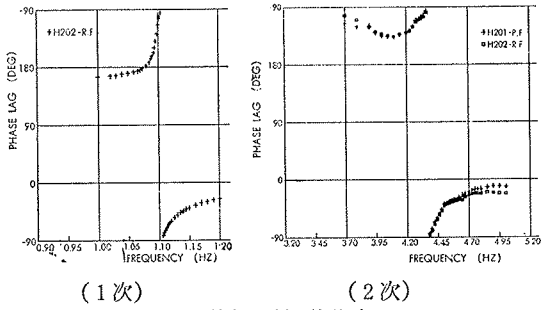


図-8 位相曲線(短辺)

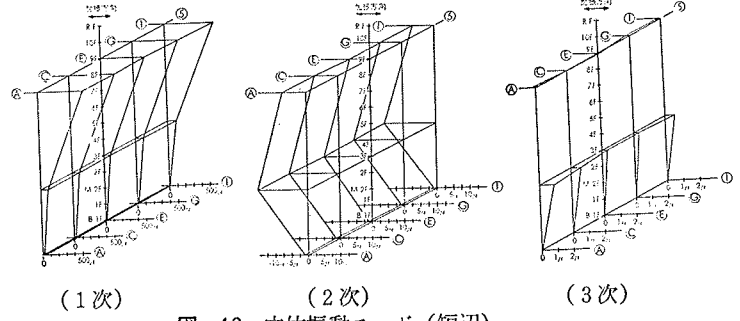


図-12 立体振動モード(短辺)

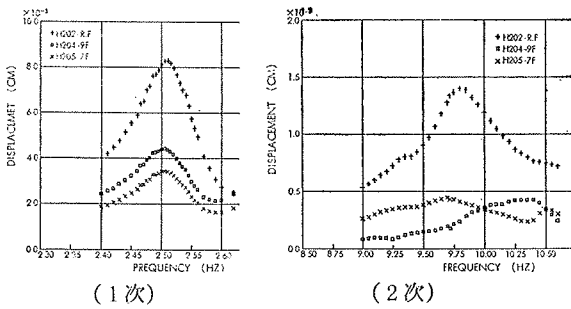


図-9 共振曲線(長辺)

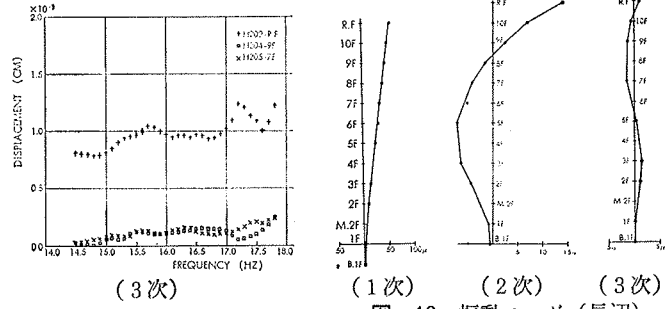


図-13 振動モード(長辺)

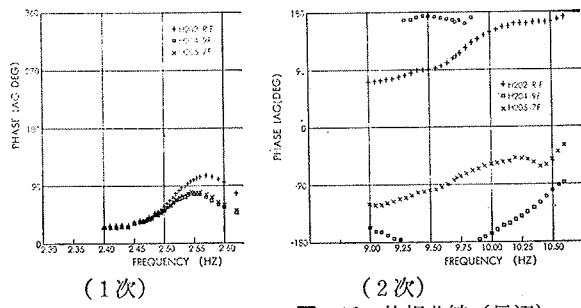


図-10 位相曲線(長辺)

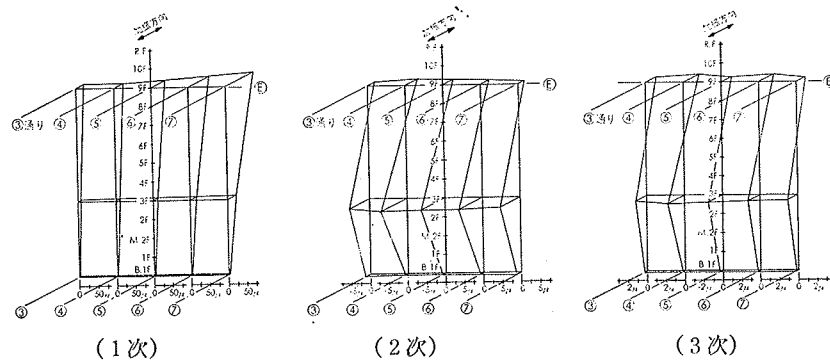


図-14 立体振動モード(長辺)

鉄筋コンクリート造の場合、実験値(T_m sec)と設計時の計算値(T_c sec)との関係は $T_c = 1.56 T_m$ である。当ビルの場合、 $T_c = 1.56 \times 0.909 = 1.418$ sec となり、ほぼ妥当である。次に、常時微動の測定結果について述べる。

測点配置は、共振点検索時の測点(図-5)と同じである。屋上階の常時微動波形のフーリエスペクトルを図-17、図-18に示す。この図より確認される建物の固有周期は、短辺方向については2次迄であり、長辺方向については3次迄が確認できる。この固有周期を表-2に示す。

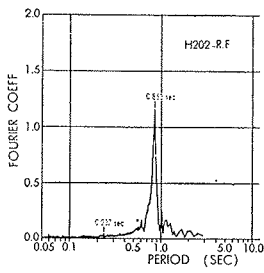
注 *日本建築学会構造標準委員会振動分科会作成

	短 辺 方 向				長 辺 方 向			
	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	減衰定数 (%)	加振モーメント (kg·m)	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	減衰定数 (%)	加振モーメント (kg·m)
1次	0.909	1.10	1.00	150	0.398	2.51	1.96	80
2次	0.226	4.42	3.12	30	0.102	9.80	4.26	6
3次	0.076	13.20	2.37	2	0.064	15.6	2.09	2

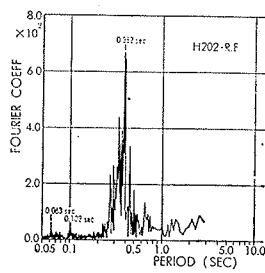
表一 強制振動実験結果

	短辺方向	長辺方向
	固有周期 (sec)	固有周期 (sec)
1次	0.853	0.382
2次	0.237	0.102
3次	—	0.063

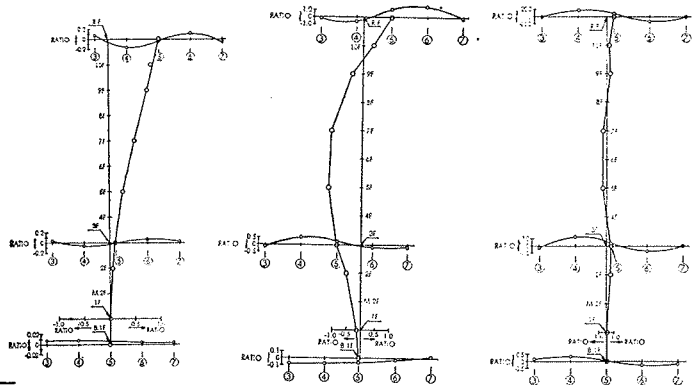
表一 2 常時微動測定結果



図一17 常時微動 (短辺)



図一18 常時微動 (長辺)



(1次) (2次) (3次) 図一15 大梁の上下振動モード

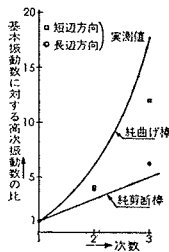
4. 床版の振動実験

建物内における生活空間が、そこを使用する人々にとって快適な空間と成り得るための必要条件の一つに、人体感覚を考慮した床版の防振的設計がある。この問題に対処するためには、実現象の把握が必要である。ここでは、長スパンを有する床版の振動性状について述べ、この問題に対処するための一資料としたい。

4.1. 強制振動実験

実験は、8階の床版について行なった。使用した起振機はメカニカルバイブレーター；V-15型であり、最大加振力；740 kg，加振振動数範囲；3～35 Hz である。起振機の設置場所は◎通り大梁上の⑤通りとの交点であり、共振点検索時の測点配置とともに図一2に示す。測点：V-3の共振曲線を図一19に示す。◎通り大梁の1次共振点、及び3次共振点における床版全体の振動モードを図一20に示す。更に、◎通り大梁の1次振動から3次振動までの固有周期、減衰定数を表一3に示す。

短辺方向の固有周期 (sec)	
1次	1.307
2次	0.530
3次	0.330



図一16

4.2. 砂袋の落下による自由振動実験

測点配置は、強制振動実験の共振点検索時に同じである。砂袋の落下位置は、測点：V-3近傍である。砂袋の重さは30 kg であり、落下高さは40 cm である。表一4に自由振動より求めた固有周期と減衰定数を示す。同表の減衰定数は、一周期振幅減衰比より求めた対数減衰率である。

4.3. 人間歩行時の振動測定

床版の振動測定は、短辺長辺両方向について、それぞれ1人が歩行した場合と2人が同じステップで歩行した場合を実施した。測点配置を図一12に示す。短辺方向に歩行した時は、⑥通り大梁上のV-1からV-5までの測点を使用し、歩行コースは⑤—⑥間の床上である。長辺方向に歩行した時は、⑤通り上のV-1からV-5までの測点を使用し、⑤—⑥間を歩行した。1人歩行時の床版の振動振幅と卓越振動数を表一5に示す。表中の振動振幅は、歩行者が通過した最も近い測点についての半振幅であり、卓越振動数は歩行時の振動波形のフーリエスペクトルから求めたものである。同表の長辺方向歩行時の振動振幅を、卓越振動数と同じ振動数を持つ定常的な振動と仮定して、有感曲線上にプロットしたものが図一22である。床版の振動波形（1人歩行時）のフーリエスペクトルを図一23に示す。以上の測定結果より、次のことが考察される。(1)当ビルのように短辺方向が1スパンの大梁で結ばれている建物においては、大梁に直交方向（長辺方向）に歩行する場合の方が、短辺方向歩行時に比較して大梁の1次振動が誘発されやすい。(2)大梁に直交方向に歩行する場合でも、その階下に間仕切壁が有る場合には、大梁の1次振動は著しく抑制される。(3)歩行時の床版の振動は、主に大梁の1次振動と歩行ステップによる振動の合成されたものである。

5. あとがき

以上、長スパンビルの振動性状について述べたが、

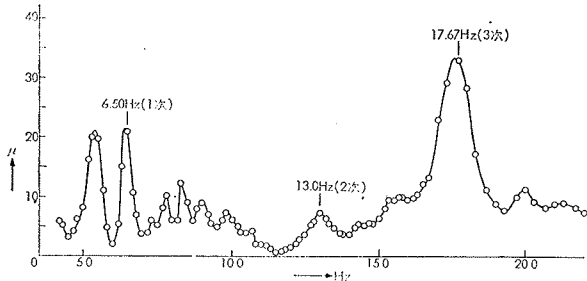
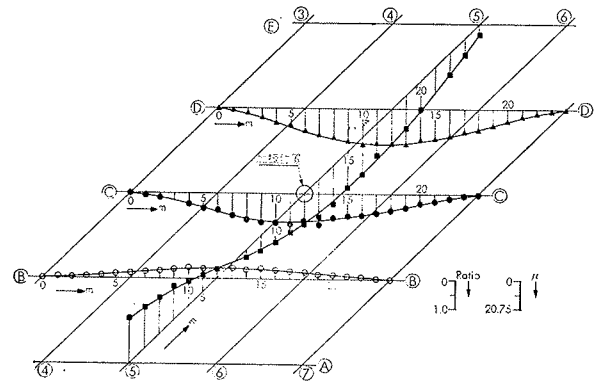
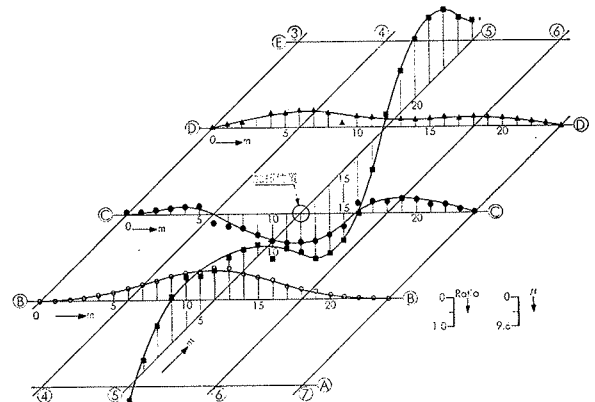


図-19 ③通り大梁の共振曲線 (測点: V-3)



1次 (短辺: 6.50Hz)



3次 (短辺: 17.67Hz)
図-20 床版の振動モード

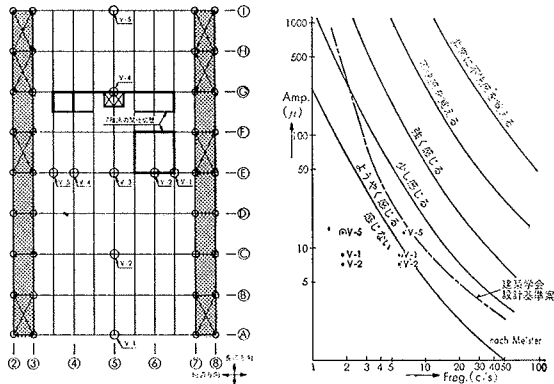
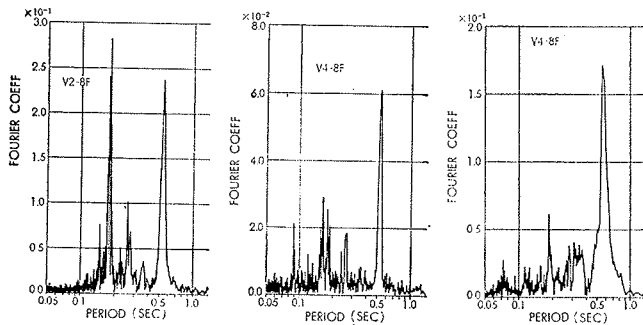


図-21 人間歩行時の測点配置

図-22 有感曲線



(長辺: V-2) (長辺: V-4) (短辺: V-4)

図-23 フーリエスペクトル (1人歩行時)

	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	減衰定数 (%)	加振モーメント (kg·cm)
1次	0.154	6.50	2.69	15.0
2次	0.077	13.00	3.00	15.0
3次	0.057	17.67	3.05	15.0

表-3 床版の強制振動実験結果

通過測点 ↓	長 辺 方 向					卓越振動数 (Hz)
	V1	V2	V3	V4	V5	
V1	8.65	—	—	—	—	1.82 5.49
V2	—	7.30	—	—	—	1.86 5.49
V3	—	—	2.86	—	—	1.90 6.25
V4	—	—	—	1.51	—	1.90 6.16
V5	—	—	—	—	13.59	1.86 6.25
通過測点 ↓	短 辺 方 向					卓越振動数 (Hz)
	V1	V2	V3	V4	V5	
V1	0.52	—	—	—	—	—
V2	—	1.30	—	—	—	1.84 5.36
V3	—	—	2.11	—	—	1.80 5.36
V4	—	—	—	2.95	—	1.80 5.36
V5	—	—	—	—	1.23	1.72 5.36

(単位: μ)

表-5 床版の振動振巾と卓越振動数 (1人歩行時)

測点名称	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	最大半振幅 (μ)	減衰定数 (%)
V-1	0.150	6.67	13.60	3.20
V-2			30.31	
V-3			56.54	
V-4			31.54	

表-4 床版の自由振動実験結果

この報告が今後の長スパンビルの設計に際して一資料となれば幸いである。最後に、本実験の全般にわたって御指導いただいた㈱日建設計名古屋事務所の本郷智之氏、大野富夫氏、ならびに種々の御配慮をいただいた当ビル工事事務所および振動研究室の諸氏の方々に深く感謝いたします。又、実験の実施に当たっては、日本検査コンサルタント㈱伊波弘彰氏、竹之内貴司氏、ナショナル電設㈱田代定氏の尽力に負うところが多くここに感謝の意を表します。