

# 大阪大林ビル振動実験

中川 恭次 島口 正三郎  
渡辺 清治 寺村 彰

## Vibration Test of Osaka Ohbayashi Building

Kyoji Nakagawa Shosaburo Shimaguchi  
Seiji Watanabe Akira Teramura

### Abstract

The Osaka Ohbayashi Building, a 32-story steel structure, was completed in December 1972. The new system of Ohbayashi Cross Structure (O.C.S.) was adopted for its structural design. The results of vibration tests for this building are reported in the present paper. Artificial excitation by large pendulum for fundamental vibration was adopted besides the usual vibration generator method for high-mode tests. Microtremors of the building were also observed. Natural periods obtained by vibration tests were moderately shorter than the design value as in cases of other tall buildings due to the building's low stress level in the tests.

### 概要

大阪大林ビル（本店ビル）は昭和47年12月に竣工した。当ビルの構造形式は十字形大架構形式（クロスストラクチャー・システム）を採用している。外壁はPCパネルである。試験は基本振動に対し大型ふり子装置，高次振動に対し起振機を使用した。また施工過程を追いながら計4回の常時微動測定も行なった。この結果，建物の動的特性に関する貴重な資料を得ることができた。強制振動実験で測定された固有周期は超高層建築一般の傾向と同様に設計固有周期と比較して短周期であった。この理由は設計が大変形時を対称としているのに対して振動実験は微小変形に属するからである。

本実験は高層建築の基礎的な振動特性を把握することを目的として実施したものであり，本報告はこれらの実験結果をできるだけ数多く示した。しかしさらに解析が進むにつれて貴重な資料が出る事が予想され，これらは順次報告するつもりである。

### 1. まえがき

大阪大林ビル（本店ビル）は地上32階，地下3階の高層ビルである。試験は施工過程を追いながら計4回行なった。すなわち，1)鉄骨建方完了時，2)外装材取付け中，3)外装材，アルミサッシュ取付け完了時，4)完成時，である。試験工程の時期等詳細は表-1に示す。調査内容は1)施工過程に伴う固有周期，固有振動形の変動及び常時微動における建物の卓越した“ゆれ方”の調査，2)強制外力実験を行ない，スパン，桁行，ねじれ立体各成分の固有周期，固有振動形，減衰定数等詳細な調査，3)強制外力実験による地盤と建物との相互作用に関するロッキング振動，スウェイ振動，

基礎反力（土圧）分布等の調査，4)基準階デッキプレートスラブの振動調査。5)床骨組みの水平剛性に関する調査等である。建物振動試験の方法は常時微動測定その他，最大偏心モーメント 200 kg・mの起振機（第3回）を使用し，更に当社研究所が開発，設計

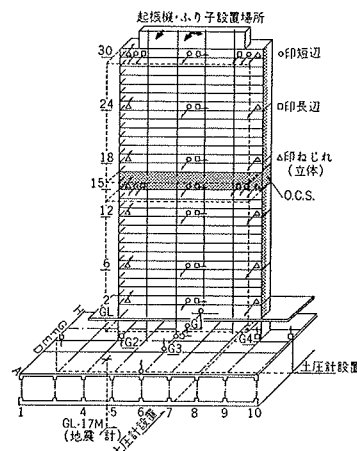


図-1 大阪大林ビル

製作した最大偏心モーメント15000kg・mの振り子試験装置(第3回)を使用して超高層ビルの振動試験に対処した。この結果、本店ビルの動的性状及び施工過程を追った種々の動的特性の変動等を把握することが出来た。

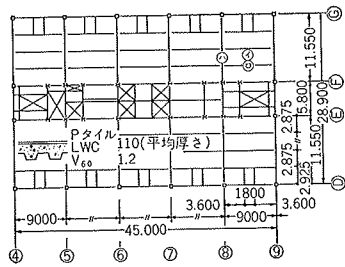


図-2 基準階梁伏図

実験 CASE	調査月日	建物施工状況	備 考
1	S. 47. 5. 30	鉄骨建方完了 (外装材取付け 14 F L 附近)	常時微動(短辺)
	6. 1		" (長辺)
2	S. 47. 6. 18	外装材取付け中 (21 F L 附近)	床スラブ測定
	6. 19		常時微動(ねじれ)
3	S. 47. 8. 8 8. 9 8. 10 8. 11 8. 12 8. 13	外装材取付け完了	常時微動(短辺)
			" (長辺)
			床組み水平剛性調査
			常時微動(ねじれ)
			振り子(長辺)
			" (短辺)
4	S. 47. 11. 30	仕上げ工事中	振り子(短辺)起振機(ねじれ)
	12. 1		振り子(ねじれ)
	12. 2		起振機(短辺)(長辺)
			常時微動測定
			短辺方向の測定
			床スラブ28 F L 測定
			長辺方向の測定
			床組み水平剛性調査
			ねじれ測定

表-1 振動調査工程概要

## 2. 建物概要

建物の特徴、概要は次の通りである。当ビルの基礎は良好な基礎地盤(G L-14.6m、大阪層群最上部の砂礫層)に支持されたべた基礎である。地下部分は全体が一体化された鉄骨鉄筋コンクリート造である。当ビルの形状は、図-1に示すように地上32階、地下3階、最高高さ119.4mである。平面形状は長方形(スパン方向28.9m、桁行方向45.0m)である。高層部分は純鉄骨構造である。この構造は、外側柱が口型、内側柱がH型、梁がビルトアップ材(一部H型)、内側が鉄板耐震壁である。床はスチールデッキプレートを使用した人工軽量コンクリートスラブである。外壁はPCパネルである。

構造計画上の特徴はコア内に設けた耐震壁(スチフナー付鋼板)と16階の高さ3mの大型梁からなる十字形の大架構形式(O.C.S.)を採用したこと。および外周にBOX性をもたせる柱配置により、大スパン架構に生じがちな剛性不足を補い、十分な振れ抵抗を確保していること等が主にあげられる。

## 3. 常時微動測定

### 3.1. 目的

常時微動を生ずる外乱は地盤の微動、周辺道路の通

行車両、風が主因である。建物はこの外乱によって常に微動している。本測定の目的は次のとおりである。

- イ) 通常、建物がどのような「ゆれ方」をしているか、
- ロ) PCパネルおよび各種2次部材が建物の動特性にどのように影響を及ぼしているか、これは具体的に前後4回の測定から周波数成分の変動、各次振動形の変動、減衰量の相対的な変化を調査したものである。

### 3.2. 測定方法および解析方法

使用計器は、CASE-1(表-1)が固有周期1秒の高感度動コイル型変位計であり、CASE-2以降は固有周期5秒の動コイル型変位計である。測点は振動形を求めるための測定配置である。常時微動波形から振動形を求めることは一般に難しい。この理由は、「ゆれ方」で記したように高次の振動も含まれるからである。そこで、この一連の測定を通じて振動形検出に関するいくつかの方法を試み、精度、作業の省力化等の具体的な測定方法の改善のための資料作成を行なった。特にまったく新しい試みとして、データレコーダーに収録した波形をスペクトル解析し、これをプロッターで図示し各次周期に相当する振幅値から振動形を描く方法を試みた。この方法による試みはCASE-2、CASE-4において行なった。

### 3.3. 測定結果

常時微動の建物の「ゆれ方」をCASE-3の場合について図-3~図-5に示した。測定波形を注意してみると、図-3は比較的1次振動形1次周期が卓越した「ゆれ方」であり、図-4は2次振動形2次周期が卓越した「ゆれ方」である。図-5は同様に3次振動形3次周期である。測定波形から数多くこのような振動形を作図した結果、以上の3つに大別できた。したがって次に示す周波数の解析結果を含めて考察すると、常時微動において、1次から3次までが比較的良好に卓越していることが判る。尚、点線で示した振動形は強性振動実験(CASE-3)で求められた振動形である。図-6~図-11は測定波形を周波数解析(フーリエスペクトル解析)した結果である。短辺および長辺方向は、各階平面の中心(剛心)部の測定結果であり、ねじれ方向は東端あるいは西端部の階段室近くの短辺方向を測定した結果である。したがってねじれ方向はねじれ固有周期と同時に、短辺方向の固有周期も現われている。図-6~11は各ケース、各方向を代表する1つを示したものである。この結果、常時微動では1次周期から3次周期までよく現われることが判った。

施工過程による固有周期の変遷を図-15に示す。この結果、1次固有周期の変動が最も大きく、3次固有周期は殆んど変動していない。鉄骨建方完了時の1次

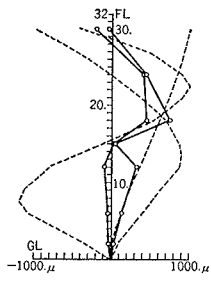


図-3

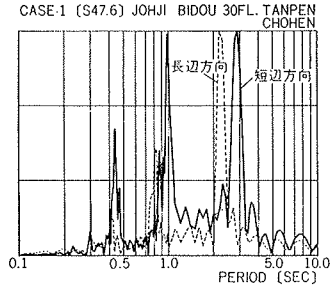


図-6

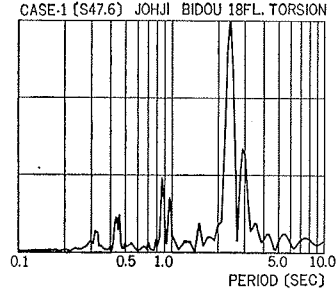


図-9

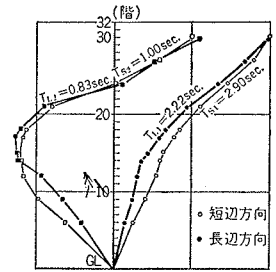


図-12 常時微動振動形

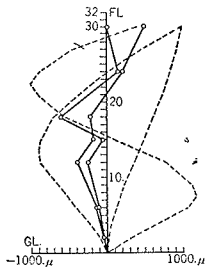


図-4

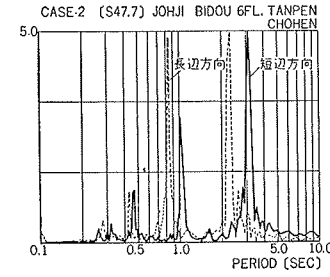


図-7

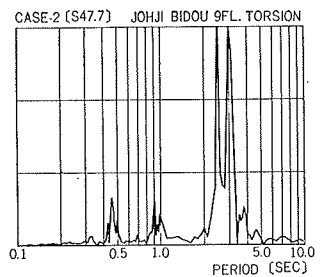


図-10

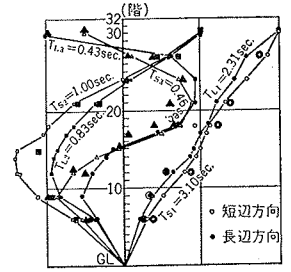


図-13 常時微動振動形

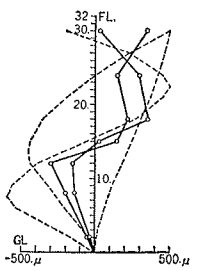


図-5

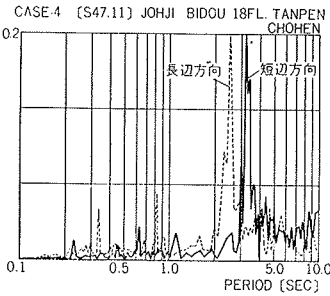


図-8

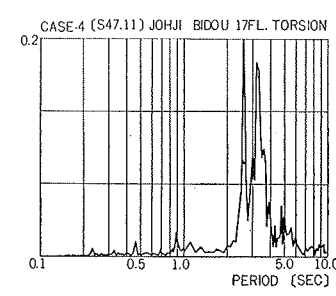


図-11

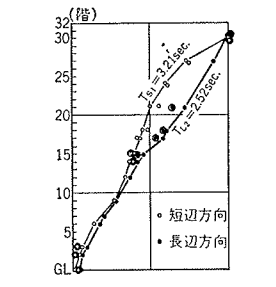


図-14 常時微動振動形

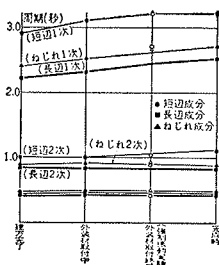


図-15 施工過程と固有周期との関係

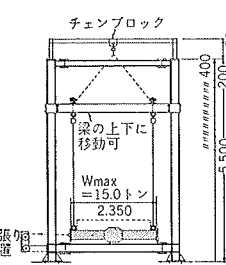


図-16 ふり子装置概要図

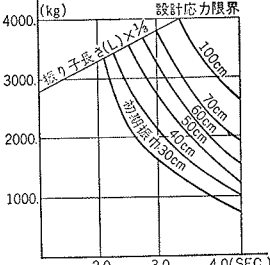


図-17 振り子装置性能

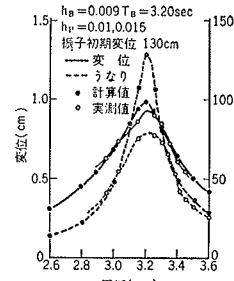


図-18 振り子実験 (短辺)

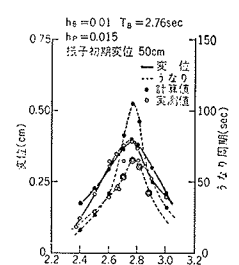


図-19 振り子実験 (長辺)

固有周期を基準にして完成時と比較すると、短辺方向が10%、長辺方向が13%それぞれ長周期側に増加している傾向がある。常時微動測定から求めた振動形は図一12～図一14に示す。実線は波形の時刻合わせをして求めた振動形で実線上にないプロット (◎回△印短辺1次2次3次◎■▲印長辺)は周波数解析の振幅を用いて求めた振動計で両者共比較的良好に一致していることが判った。施工過程の変遷に対する振動形は外装材の取付け位置により多少相違が見られる。

#### 4. 強制振動実験

建物の特徴から強制振動実験は次の点に注目して行なった。

上部構造については短辺、長辺方向の剛性評価とねじれ振動、コア部分の働きと鉄板耐震壁の効果、十字形架構形式(クロスストラクチャシステム)の振動性状への影響、等である。

地下部分については地盤と建物との相互作用の観点からロッキング、スウェイ、基礎反力分布(土圧)と振動との関連等々である。

##### 4.1. 強制外力装置

強制外力装置は起振機とふり子装置である。起振機

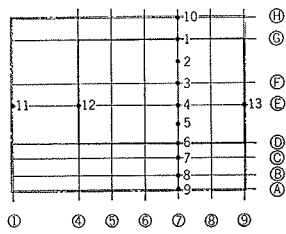


図-20 土圧計設置場所

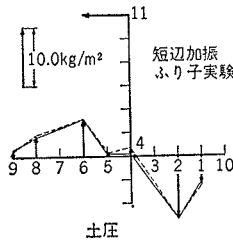


図-21 土圧分布(1)

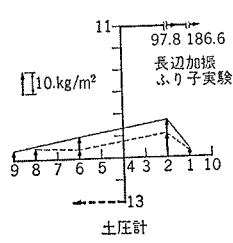


図-22 土圧分布(2)

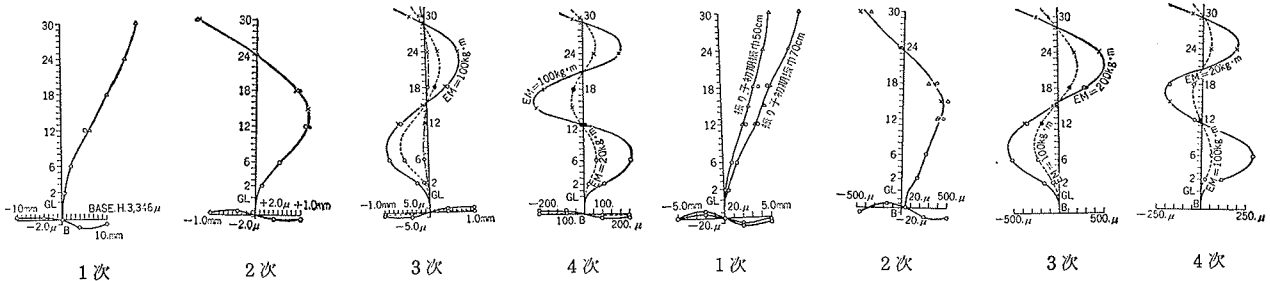


図-23 短辺方向の振動形

図-24 長辺方向の振動形

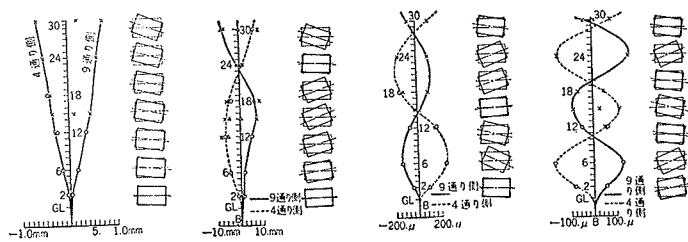


図-25 ねじれ立体振動の振動形

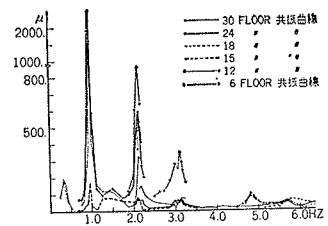


図-26 共振曲線 (短辺)

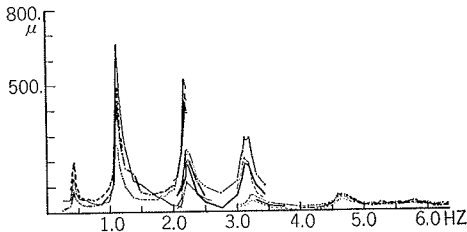


図-27 共振曲線 (長辺)

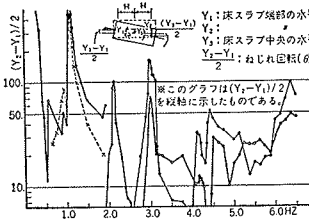


図-28 共振曲線 (ねじれ立体)

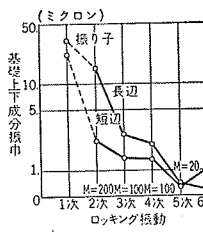


図-29 ロッキング振動量

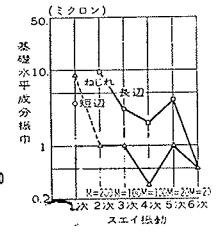


図-30 スウェイ振動量

はBCS-A型(最大加振力3.0トン)を使用した。ふり子装置は固有周期が約2秒から約4秒の非常にゆっくりと振動する建築・土木構造物に対して試験できるので、振動実験方法を大幅に改善することが出来るであろう。装置の概略図を図-16に示し、性能表を図-17に示す。

4.2. 加振場所・測定場所

起振機とふり子装置の設置場所はペントハウス屋上である。測定場所は図-1に示す。土圧計設置場所は図-20に示す。

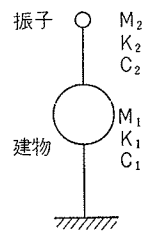
4.3. 振り子実験解析方法

解析方法について、その概要のみを記す。建物とふり子の系が下図の場合の振動方程式は次式である。

$$M_1 \ddot{y}_1 - C_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + C \dot{y}_1 - K_2 (y_2 - y_1) + K_1 y_1 = 0$$

$$M_2 \ddot{y}_2 + C_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + K (y_2 - y_1) = 0$$

上式は自由振動の方程式であるが、シュミレートするためにふり子 ( $y_2$ ) に初期変位を与えると自由振動する。 $K_2/M_2$  が  $K_1/M_1$  に近接するとうなり現象が生じる。この建物の減衰定数をパラメーターにして、うなりの周期及び建物の振幅、波形をシュミレートして減衰定数を決定する。なお、振り子装置のみの減衰性状については別途実験により算出した。この方法によるシュミレートの結果は振幅、うなり周期について図-18~図-19に、また波形について、本論文の最後に実測波形(図-32~図-33)を示す。



	短 辺		長 辺		ね じ れ	
	周 期	減衰常数	周 期	減衰常数	周 期	減衰常数
1 次	3.20	0.90	2.65~2.76	1.00	2.67	
2 次	1.038	1.22	0.889	2.723	0.917	2.047
3 次	0.446	2.895	0.408	2.81	0.472	1.347
4 次	0.320	2.90	0.303	2.646	0.333	1.610
5 次	0.204	1.80	0.215	3.153	0.227	1.015
6 次	0.157	2.50	—	—	0.157	1.777

表一 2 強制振動実験結果

34) と共に解析波形を図一35, 図一36に示した。

#### 4. 4. 実験結果

1次振動から6次振動までの固有周期, 減衰定数は表一2に示す。次に結果の概要を記す。

上部構造・短辺方向, 長辺方向, ねじれ立体振動, 各々の振動形は1次振動形から4次振動形まで図一23から図一25までに示す。固有周期, 減衰定数は1次振動が振り子装置の測定値から研究所内アナログコンピューターによりシュミレートした結果(図一18, 図一19)であり, 高次振動は起振機実験の測定値(図一26~図一28)から求めたものである。この結果, 短辺, 長辺方向の剛性比較をすると長辺剛性が大きい。短辺, 長辺, ねじれ振動の固有周期が近接している。ねじれ振動は殆んど剛心まわりの回転振動である。等の傾向が判った。

下部構造 下部構造の測定場所は図一1, 図一20に示す。上部構造が基準振動しているときの地下2階 G1~G4 測点の上下振動は図一23, 図一24に示す。この結果を振動次数との対応で図一29に示す。図中M=200, 100, …は起振機の偏心モーメント(kg・m)である。1次のロッキング比(ロッキング回転角×建物高さ/30階水平変形量)は短辺方向が約0.0162, 長辺方向が約0.0157であり, 他の高層ビルに較べると, 多少固定度が高いと言える。また, 1次振動をしている時に低層部端部の上下振幅は高層端部のそれよりも小さくて基礎がたわむ傾向が見られるが, 土圧計(短辺)の傾向と同じである。スウェイ振動量は振動次数との対応で図一30に示す。短辺方向のスウェイ比(B2階水平変位/30階水平変位)は約0.0002で微量である。土圧計の測定値は短辺方向振動の場合は図一21に, 長辺方向振動の場合は, 図一22に示す。いずれも, 振り子装置で加振した場合である。短辺方向振動の土圧分布は土圧計2と6とが他に較べて大きい。土圧計2と6は高層部端部直下に相当する。尚, 下部構造と上部構造の振動量の対応グラフを作成したので地震が起きた

時, すみやかに各種振動量の推定が出来るようになった。

階数	測定位置	常 時 微 動		自 由 振 動	
		周 期(sec)	振 巾( $\mu$ )	周 期(sec)	振動数(Hz)
28	イ. 床版中央	0.128	12.7	0.13	7.7
	ロ. 小梁上	0.131	13.6	0.13	7.7
	ハ. 大梁上	0.138 0.065	3.2	0.10 0.063	10.0 15.9
12	イ. 床版中央	0.13 0.34	2.7	0.125	8.0
	ロ. 小梁上	—	—	0.125	8.0
	ハ. 大梁上	0.132	2.2	0.125	8.0

表一 3 スラブ振動測定結果

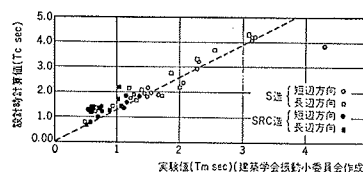
#### 5. スラブ振動調査

基準階床組み図を図一2に示す。代表的な28階と12階床の測定結果を表一3に示す。

#### 6. 実験値と計算値との比較

図一32は国内で実験を行なった23の高層建築物の長短辺方向1次周期について実験値( $T_m$ sec)と設計時の計算値( $T_c$ sec)とを比較したものである。鉄骨造の両者の関係は $T_c=1.26T_m$ である。実験値が小さくなる理由は実験

固有周期(秒)	1次	2次	3次
短 辺 方 向	3.93	1.27	0.62
長 辺 方 向	3.93	1.26	0.54



図一31 実験値一設計時計算値関係(基本周期)

#### 7. あとがき

以上, 高層ビルの今後の設計資料を得る目的で実施した振動実験結果の一部を報告したが, 常時微動から減衰を算出する作業あるいは振り子装置によるねじれ振動減衰量のシュミレート計算等, 解析途上のものもあるが, 他の解析も含めて本報告が何かの参考となれば幸甚である。

最後に, 本実験の実施に際し, 種々配慮をいただいた本店設計部, 本店ビル工事々務所の各位, ならびに実験に協力下さった振動研究室の角田智彦主任, 瀬尾和夫, 此上典文, 若松邦夫, 諸氏の方々に深く感謝いたします。

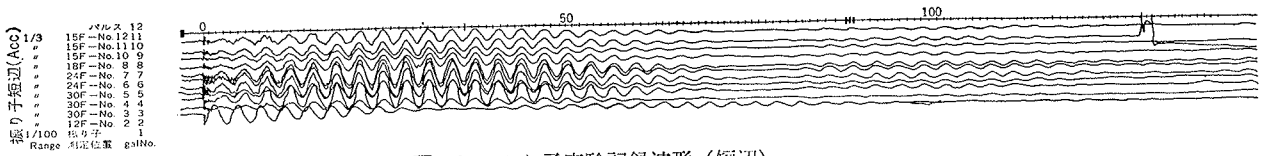


図-32 ふり子実験記録波形 (短辺)

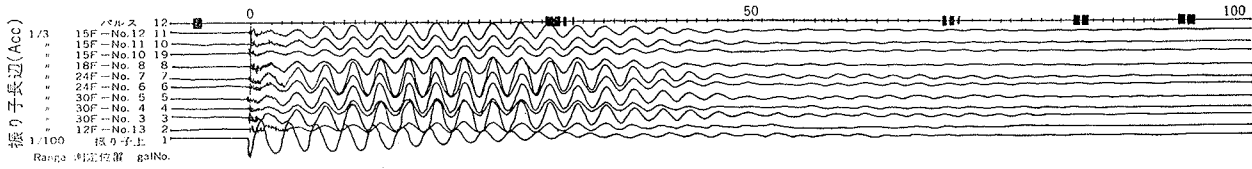


図-33 ふり子実験記録波形 (長辺)

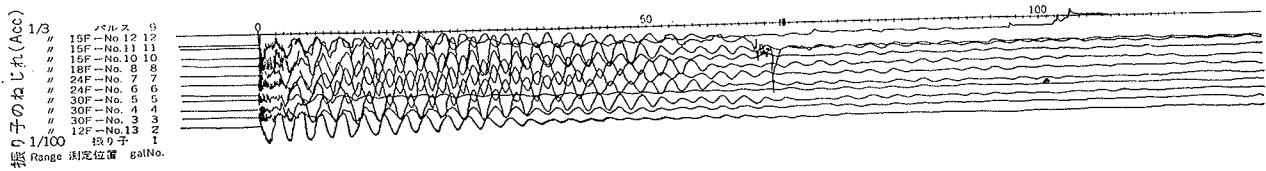


図-34 ふり子実験記録波形 (ねじれ)

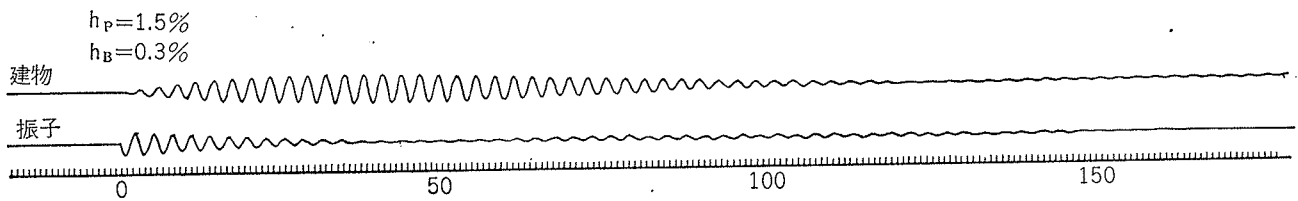


図-35 ふり子実験シュミレート解析波形 (短辺)

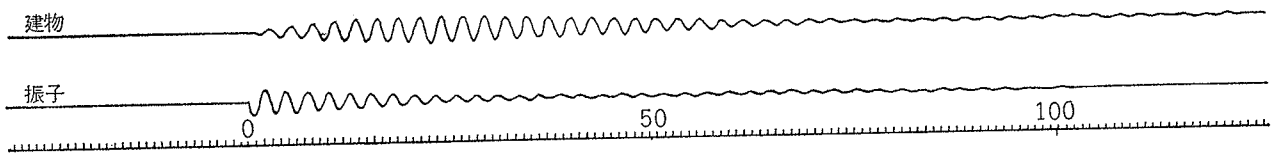


図-36 ふり子実験シュミレート解析波形 (長辺)