

# 大型振動台について

角 田 智 彦      此 上 典 文  
島 口 正三郎

## Large Shaking Table

Tomohiko Tsunoda      Norifumi Konoue  
Shosaburo Shimaguchi

### Abstract

A large shaking table has been used for experimental research on structural dynamics of civil works and building structures since it was installed in 1967 as one of the more important facilities of the Institute. A rough description of this table was given as a first report<sup>(1)</sup> just after its completion. A detailed report of improved specifications resulting from recent repair work is presented along with a summary of the table's application for research studies during the past nine years which will be a useful guideline for future utilization of the equipment.

### 概 要

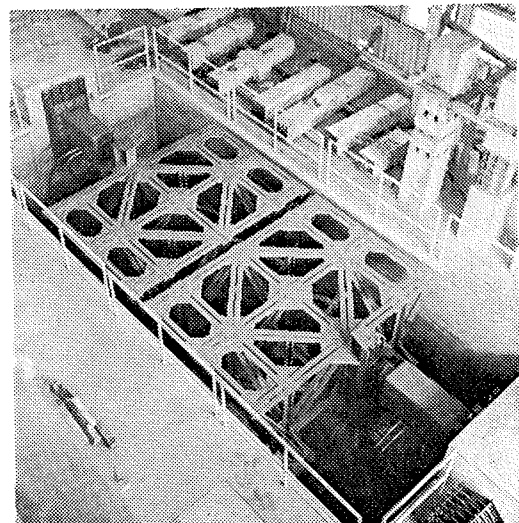
大型振動台は、当研究所の代表的設備の一つとして昭和42年に設置されて以来、土木・建築構造物の振動工学に関する研究に用いられてきた。この振動台については完成時に第1報として、使用上の基本的な考え方とその研究態勢について述べている。

本報は、最近の振動台のあり方を考え、改良された振動台の仕様性能と過去9年間に実施した研究成果および使用内容を検討したもので、その研究内容を紹介すると共に今後の指針とするものである。

### まえがき

当研究所の大型振動台は、昭和42年にわが国初の大容量、大変位、大加振力を備えた電気油圧式振動台として完成され、土木、建築構造物の振動工学に関する研究に用いられてきた。以来、年々稼動頻度が高くなりいくつかの故障箇所や問題点が生じてきたので、昭和48年から49年度にかけて、大規模の修理および改造が行なわれ、現在、より高精度の振動台として耐震工学の研究に使用されている。

本報告は改造された振動台の特性試験から明確になった性能仕様と基礎を大 SCHLE の機械基礎として扱う上での動的性状およびこの振動台を使用した従来の研究内容とその使用状況について紹介するものである。



写真一 電気油圧式振動台

### 1. 振動台の構成と性能について

振動台は加振台、加振機、油圧源装置、制御装置、受電装置により構成される。振動台のレイアウトは被加振体が重量物になること、作業性、騒音対策などを考慮に入れて加振台、主要油圧源装置などをすべて地下室に配置し、制御機器および計測関係は隣接する付属建屋に、受電関係はまとめて屋外に設備されている。写真-1に振動台の全景、図-1に主要系統図、表-1に振動台仕様を示す。

#### 1.1. 加振台および基礎

加振台は3m×4m平面で高さ1mのトラス状箱型をローラーにより支持しており、実験に応じて半分に分割して使用できる。加振台床の剛性が問題となるような実験に対しては上面全体に鉄板(板厚70mm, 重量約4.6ton)を用意している。基礎に関してはその詳細を後述する。

#### 1.2. 加振機とその配置

加振機は電気-油圧サーボ方式であり、加振台の両端中央部に2コの加振機を取付けてある。ただし、制御系は片側のみである。加振台に対して加振機の着地点は可変である。したがって供試体の重心高さにより着地点を最適に選び振動台入力波形へのREACTIONを防いでいる。

#### 1.3. 油圧供給装置

主要油圧供給装置は37kW×4台の油圧源で、常用圧力は140kg/cm<sup>2</sup>である。油圧温度、液面の自動制御安全装置が設けられている。

#### 1.4. 制御装置

制御装置は油圧源の駆動および実験に際しての加振台の運転を遠隔操作により行ない、実験中の諸数値は

デジタル量で表示される。装置の安全面では電気系、機械系、油関係にそれぞれ独立の故障表示器を設け、同時に制御盤面にランプ表示ができる。また加振台との連絡はスピーカー、FM送受信器により行ない、実験の確実な遂行に努めている。

1.4.1. 加振入力信号 入力信号源としては内部に規則波、不規則波発生器を有し、外部信号源としては地震波端子がある。

##### i) 規則波発生器

0.1~200Hz 範囲の正弦波、三角波、矩形波の3種類で振動数は周波数カウンターでデジタル表示する。

##### ii) 不規則波発生器(ホワイトノイズ)

バンドパス・フィルターと組み合わせることによりDC~200Hzの範囲内でいくつかの帯域が設定できる。このときパワースペクトルは一定である。

##### iii) 外部信号源(任意地震波入力)

外部端子より電圧印加することにより任意な地震波に対応して動作する。この場合の波形は変位、速度、加速度のいずれでもよく、1階積分、2階積分増幅器を使用し、よりよい再現性をはかっている。但し、最良の方法は直接入力の場合である。

1.4.2. 加振機の制御 加振機サーボ系は、入力信号と加振機に取り付けた変位、速度および加速度検出器が入力と加振台上の出力とを電圧で比較し、サーボ弁を駆動させる。本装置の特徴は、変位検出用の差動トランスを2種類(±100mm, ±10mm)用意していることで、微小変位から大変位に至るまで精度の高い実験が行なわれる。また加速度検出器もサーボ方式の検出器を用い位相特性の向上をはかっている。

#### 1.5. 応答特性

1.5.1. 加振機サーボ系の応答特性 加振機を加振

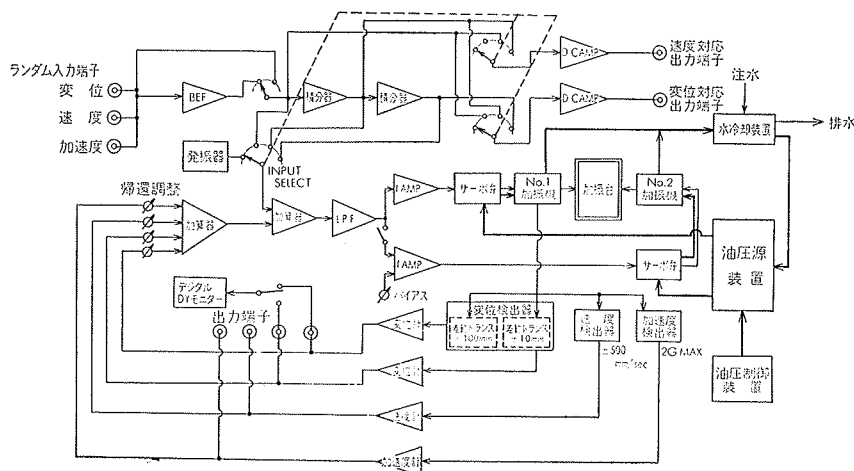


図-1 主要系統図

項目	諸元
加振力	10 ton
振動数	0.1~50.0 Hz
振動波形	正弦波、三角波、矩形波 RANDOM波、任意の地震波形
振動方向	水平一方向のみ
最大振巾	200mm
無負荷時最大加速度	3g (全負荷10ton時1g)
加振台寸法	巾3,000×奥行4,000×高さ1,000mm
加振台重量	約5 ton
加振台支持方式	ローラー支持・18カ所
加振機	振動方向前後に1ヶづつ
使用限界性能	図-2

表-1 振動台仕様

台から切りはずし単体としての特性試験を行なった。試験は2種類(±100mm, ±10mm)の変位制御系それぞれについて行なった。±100mm変位制御の場合、感度平坦な振動数は5Hz以下、位相特性は90°遅れが24Hzである。同様に±10mmでは10Hzまで平坦、90°遅れが47Hzである。なお加振機内作動油剛性はKa=4.5t/mm(±2mm出力時)がメーカーより提示されている。

1.5.2 加振台の応答特性

i) 正弦波試験 図-2は使用限界性能を示すもので、実線は10ton 負荷時の限界でその上限および下限

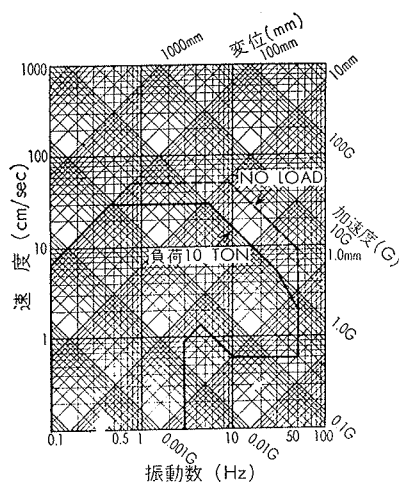


図-2 性能曲線

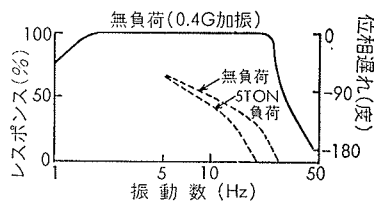


図-3 加振台周波数及び位相特性

を合せて示している。点線は0ton 負荷すなわち加振台重量5tonのみが加振機負荷としてかかった場合である。図-3は、周波数に対する振幅および位相特性を示す。

ii) 地震波試験 使用した地震波は ELCENTRO (1960NS) および大阪大林ビルで観測された地震記録波形(1973, 11. 25, 18:19震源地, 和歌山県中部, 大阪震度Ⅲ)<sup>2)~3)</sup>である。図-4は一例として後者の原波形と加振台上応答波形の比較を示す。図-5は得られた加速度波形の振幅フーリエ解析結果の対応である。なおこれらの波形は、今後建物内にある設備機器等のフロアーレスポンスを考慮した地震入力波形として活用される。

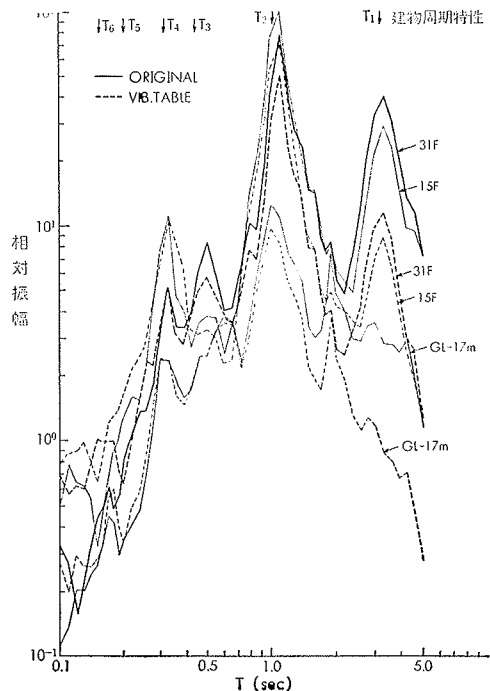


図-5 加速度波形の振巾フーリエ解析結果の対応

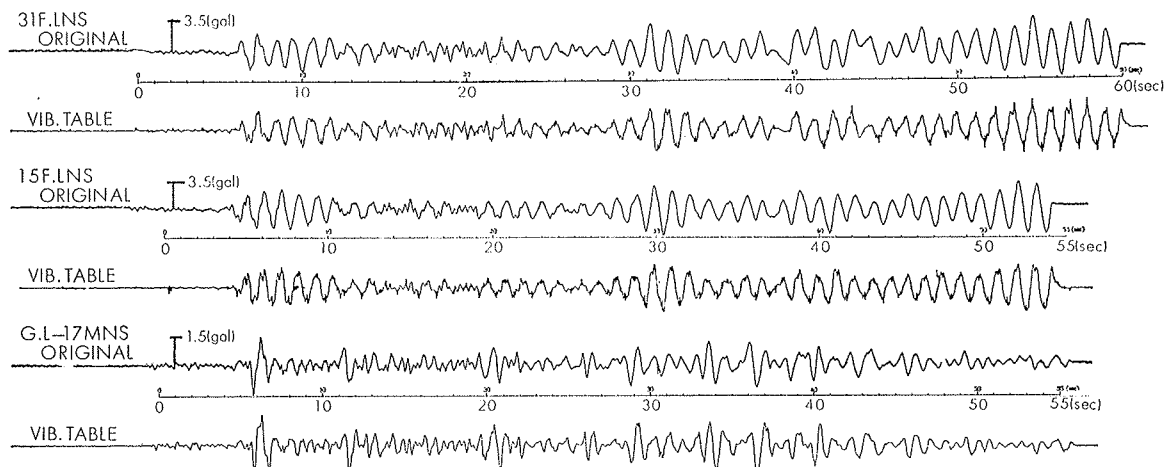


図-4 大阪大林ビルで地震観測された加速度記録波形による対応

## 2. 振動台基礎の動特性

当基礎は、図-6に示す如く基礎本体とそれに隣接する設備用地下室で構成されている。一般に、このような基礎は、支持地盤の弾性と比較すれば剛体と考えることができる。従って本項においては、当基礎を剛体として扱うこととする。

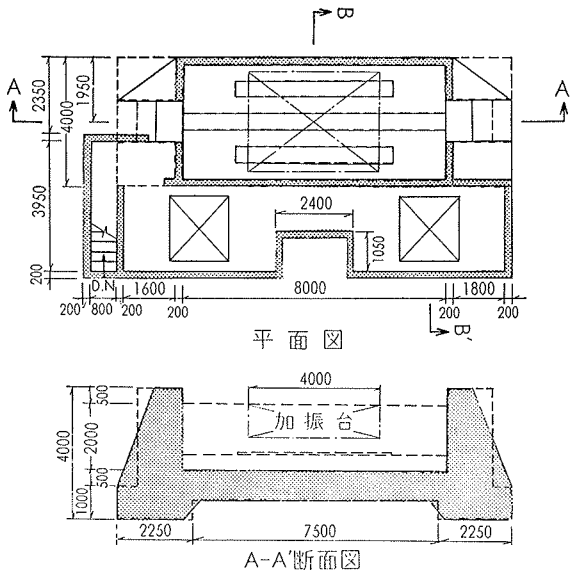


図-6 振動台基礎図

### 2.1. 基礎のモデル化

剛体の重心と底面の土のパネ作用から定まる剛心とが同軸上にある場合には、重心を通る慣性主軸に沿う重心の移動と、これらの軸まわりの回転の6自由度連成振動系となる。当基礎に関しても6自由度系として解析するのが理想的であるが、本報では、概略の振動性状を把握する目的で、図-6に示す破線部分の基礎すなわち加振台基礎本体に限定すれば重心と剛心は同軸を共有し、また外力の作用方向(加振台の振動方向)を考慮すれば、一平面内におけるスウェーローッキング連成の2自由度系として扱うことができる<sup>4)</sup>。

### 2.2. 基礎の振動実験

基礎-地盤系の共振振動数を明確にする目的で、加振台の加速度を200GAL一定に保ち、3~50Hzまでの加振実験を実施した。図-7に共振曲線を示す。

一般に、加振力の増大すなわち変位レベルの増加に伴って共振振動数あるいは地盤のパネ定数は低下するが、未だ定量的に明確にされたとはいえない。

図-8は、図-7で判明した共振振動数付近を対象と

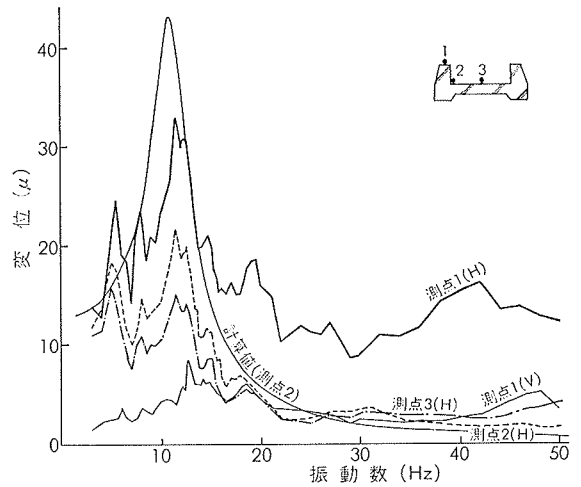


図-7 200GAL 加振時の共振曲線

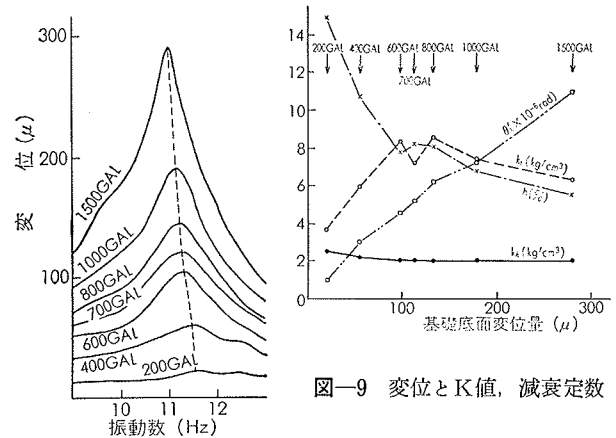


図-8 共振曲線

図-9 変位とK値、減衰定数

した数種類の加振台加速度一定の共振曲線である。

### 2.3. 実験結果の検討

各CASEにおける動的地盤係数および減衰定数と基礎底面の変位量との関係を図-9に示す。変位レベルの増大に伴う各定数の変化が顕著にあらわれており、基礎底面変位量100μ付近を境に様相が変化しているのが認められる。次に、本実験で得られた地盤係数と減衰定数を用いた計算による共振曲線を200GAL一定加振の場合について図-7に示してある。測点2と3とは、前述のモデル化によれば理論上は一致するものであるが、実測値と差異がみられるのは、地下室の隣接という現状から重心と剛心の不一致によるねじれ振動の要素が影響していると考えられ6自由度系の解析結果と比較する必要がある。今後、基礎底面と地盤とのすべり現象、あるいは、土の付加質量などの要因も考慮したモデルを設定し、解析結果と実測値との比較検討をおこなう予定である。

### 3. 研究内容と使用状況

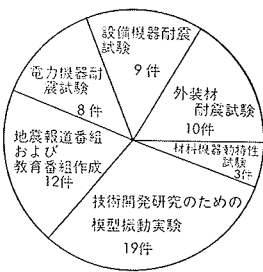
大型振動台は、当研究所の代表的な設備機器の一つとして研究所発足当初から動的な実大耐震試験および模型振動試験等に使用されてきた。それらの研究成果の各々については逐次技研所報等に報告されているので、ここでは振動台を用いた研究内容の主なものを紹介すると共にその使用状況について述べる。

#### 3.1. 振動台による研究内容

振動台による研究は、社内における技術開発的研究は勿論、施主、設計事務所、公共的關係からの委託研究に対しても活用されている。その内容は分類すると表一2のようである。

(49. 12. 末現在)	
分類	研究内容
1. 外装材耐震実験	実大PCカーテンウォールの確認試験の内、動的耐震性能試験 ——重量的に大きい(10~15 ton)
2. 設備機器耐震実験	電子交換機、搬送装置、石油ストープ、フロアレスボンスを考慮した地震タイラック、車番器、家具調度品、動力制御盤、一入力波形の選定、トランス・バッテリー、etc. ——大振申、大加速度が必要。
3. 電力機器耐震実験	密閉開閉装置、コンデンサ架台、フッシング、S P 支持端子装置、直立投入形断路器 ——依試体が大きい
4. 地震報道番組および教育映画	“地震と防災”に関する報道TV局、ラジオ局、新聞社、消防庁、学校安全協会 ——遠度III~IV、大振申、大加速度が必要
5. 模型振動実験	S造3層、RC造3層、煙突、H.T.G.R. WALL FOUNDATION、周波数特性範囲、沈埋トンネル、LNGタンク、水中盛土 ——地震入力応答が重要
6. 材料機器の動特性試験	コーキング材、防振ゴム、鉄筋計、強震計

表一2 研究内容の分類

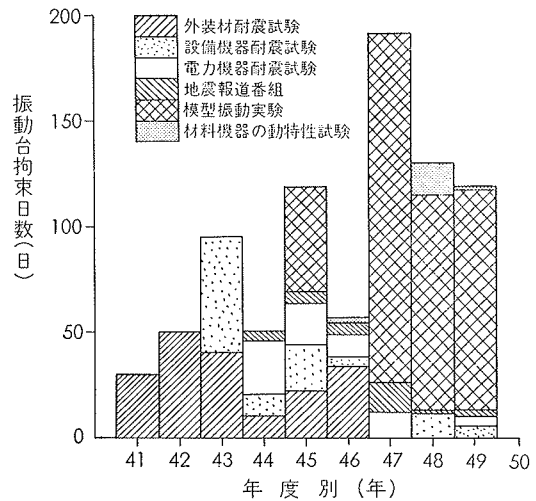


図一10 研究成果の割合

図一10は、大型振動台を使用した研究成果の割合を示すもので、図は昭和49年末迄の過去9年間における使用件数(61件)に対する比率をあらわしている。

#### 3.2. 振動台の使用状況

振動台の使用状況を図一11に示す。図一11は年度別の研究内容とその稼働率を示したもので、年毎の研究内容の変遷とその使用件数の増加が伺える。近時では土木分野での利用もめざましく、表一2に示される沈埋トンネル、LNGタンク、WALL FOUNDATION



図一11 年度別振動台使用状況

原子炉容器に関する模型振動実験による技術開発的研究が主である。また一方、今般の社会情勢から各企業において地震に対する関心度も高まり、技術レベルの向上と相まって地震時のフロアレスボンスを考慮した設備機器の耐震性能に関する実験的研究があり、それらは特に電子計算機および家具調度品の地震時の挙動に関するものである。

以上、当研究所振動台の仕様性能および過去9年間に実施した研究成果とその使用内容についての紹介を行ってきたが、今後は土木・建築構造物の耐震問題に対処する上における振動台のあり方を考え、地震波入力に関する研究の向上と共に新しいタイプの加振台への方向づけを行なってゆく所存である。

#### 謝辞

本報告書を作成するにあたって、ナショナル電設(株)宮地繁吉氏の尽力に負うところが非常に多く、ここに深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 角田：地震振動台による模型実験と当研究所振動台について 大林組技術研究所報 No. 1, 1966
- 2) 角田, 瀬尾：大阪大林ビルにおける地震観測について 大林組技術研究所報 No. 9, 1974
- 3) 中川, 渡辺, 島口, 寺村：大阪大林ビル振動実験 大林組技術研究所報 No. 7, 1973
- 4) 角田, 此上, 茶谷：クイ基礎振動実験 大林組技術研究所報 No. 11, 1975