

地震振動台による模型実験と 当研究所振動台について

角 田 智 彦

概 要

当研究所の最も代表的な設備の一つとして大型振動台が設置されたので、その紹介をす
ると共に使用するについての基本的な考え方を述べて見る事にする。

1. 概 説

従来から地震振動台は耐震理論の裏づけとなる様な研究の手段として特に土質力学の分野や大型構築物、たとえば発電用の原子炉やダムなどの研究に用いられてきた。そのために振動台の性能としては大容量、大変位、大加振力などが要求されてきていたが精度、価格の面から適当な TYPE が得られなかった。

最近になって建築の分野でも超高層建物の研究が盛んになり電子計算機を駆使する事によりその目的の大半は達せられるが未解決の部分がいくらか残る。そこでそれらの点を振動台で模型実験を行ない解決すると言ふ分担作業を行ない、より良い設計に近づけようと考えている。

以上のように土木、建築両分野から振動台を用いし
かも大型化したものの必要性が生じてきた。当研究所では今後の研究テーマとも考え合わせて電気油圧式と言ふ TYPE の振動台を新設し研究態勢をととのえる事とした。以下に主として構造物を対象とした模型実験の概略を述べる事とする。

2. 地震振動台と電子計算機

超高層建物の構造設計において電子計算機は欠く事のできない手段となってくる。その基本設計から細部の断面決定に至るまで動的設計過程のみならず静的な計算部門までを分担している。

ここで振動台と比較して論じようとしているのは動的設計において使用されるアナログコンピューターとの関係である。コンピューターも従来の5質点位の小型なものも将来は IC 回路等の開発により建物各階を質量置換できる可能性も生じてきた。したがって基本設計を行なうには十分満足できるようになってきた。しかしたとえば地盤条件の導入、各部材接合部の剛性の評価、構造体の振れ振動の検討などに対しては不適當である。

一方、振動台を使用して模型実験を行なう事の利点は複雑な設計をなされた構造体で質点系の置換が困難な場合すなわち電子計算機にかけるには仮定が多すぎるような場合でも基本的な条件を満足するように模型

を選定すれば定性的な答のみならず定量的にも応答を
求める事が可能である。また、振動台と電子計算機の
長所、短所は丁度逆にしたような性格をもつ面が多く
したがって動的設計に際しては両者を上手に使う事も
必要な事だと考える。

上述のような振動台の使用方法は純理論的な用い方
であるが他面、次のように試験機としての利用方法も
ある。実物材料の疲労試験、外装材の剥脱試験、カー
テンウォールや大型ガラス窓の振動試験、精密機械類
の加振試験、実在構造物の防振方法を実験より求める
などの種々の使用方法がある。

3. 模型実験

上述のような目的のために使用する模型は DIS-
PLAYに使用されるような縮尺率さえ満足すれば良い
と言ふのではなく一定の相似則に従って材料、縮尺な
どを選定して製作せねばならない。

すなわち模型に生じた現象たとえば振動モード、変
位、歪量、破壊などを現物に置換を行なう。そのために
工学関係で最も良く用いられるのがBUCKINGHAM
の π - 定理で証明される換算式である。

種 類	記号	実物と模型の比率 (添字 p = 実物 m = 模型)
大 き さ	D	$\frac{D_m}{D_p} = \alpha$
密 度	ρ	$\frac{\rho_m}{\rho_p}$
弾 性 率	E	$\frac{E_m}{E_p} = \frac{\alpha \rho_m}{\rho_p} \quad \frac{E_m}{E_p} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_m} = \beta$
振 動 数	N	$\frac{N_m}{N_p} = \frac{\sqrt{\beta}}{\alpha}$
時 間	T	$\frac{T_m}{T_p} = \sqrt{\alpha}$
慣 性 力	I	$\frac{I_m}{I_p} = \frac{\alpha^3 \rho_m}{\rho_p}$
加 速 度	\ddot{x}	$\frac{\ddot{x}_m}{\ddot{x}_p} = \frac{\beta}{\alpha}$
歪 度	ϵ	$\frac{\epsilon_m}{\epsilon_p} = 1$
応 力 度	σ	$\frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{\beta \rho_m}{\rho_p} = \frac{E_m}{E_p}$

表-1

この相似則により決められた単位で模型を製作する事になるが、振動台を使用する目的で特に超高層建物の研究では、1) 基盤への入力波形として任意の地震波形を与える事、2) 弾性試験だけでなく塑性範囲にはいり破壊をおこすまでの実験、したがって接合部の剛性、DUCTILITY FACTOR、減衰常数などを検討できる事が条件となってきた。そのため、できるだけ大型模型で実材料を使用すると言う傾向になってきた。

4. 振動台の種類

現在、使用されている振動台をその駆動装置から区別して見ると、カムまたはクランク式、不平衡重錘式、電磁式、電気油圧式などに分けられる。

1) カムまたはクランク式——無段変速電動機の回転によりカムまたはクランクを介して振動させるもので振動数範囲は D.C~15c/s 位まで、振幅は10~100mmの間で可変である。 2) 不平衡重錘式——UNBALANCE MASSの回転による遠心力を利用する方式で回転数の2乗に比例した加振力が得られる。したがって回転数が600rpm(100c/s)までは波形歪も少ない大出力の振動台の作製が可能である。振動数範囲は5~100c/sである。 3) 電磁式——強力な永久磁石内の可動コイルに必要な振動波形に比例した電流を与えコイル部分に直結された振動台を駆動する方式である。振動数範囲は0.1~300c/s程度で上記二方式でできないRANDOM波を入力として駆動する事も可能である。加振能力も20t・g(20t重量の模型を加速度1gで加振する事)が可能である。 4) 電気油圧式——詳細は当研究室の設備の項で説明するが、その特徴として電磁式と同様RANDOM波、任意波形の地震動の再現、大出力、大変位などの条件を満足させる。

5. 当研究所の振動台紹介

5.1. 小型電磁式振動台

5.1.1. 性能について

諸元	内容
加振力	25.0kg
振動数	1.0~50.0%(加振機のみでは5.0~2,000%)
振動波形	正弦波のみ
振動方向	水平方向(加振機のみでは上下動も可)
無負荷時最大振巾	12mm
全負荷時最大振巾	2.4mm
無負荷時最大加速度	15g
振動台面積	700×1,100mm
振動台支持方式	架構フレームより振子式 T=1.0sec

表-2

5.1.2. 小型電磁式振動台を用いた実験例 1) 某化学工場の鉄骨架構とタンクの防振対策として模型実験

を行なった例を簡単に説明する。まず現状での問題点を把握するための実測を行ない振動モード、振動数、振幅等の項目と振動源との関係を調査した。その結果を検討して、模型材料を硬質塩化ビニール、縮尺=1/20、重量配分を砂鉄とパラフィンを混合して各階に行なった。立面図を図-1に振動台に模型を設置した様子を図-2に示す。

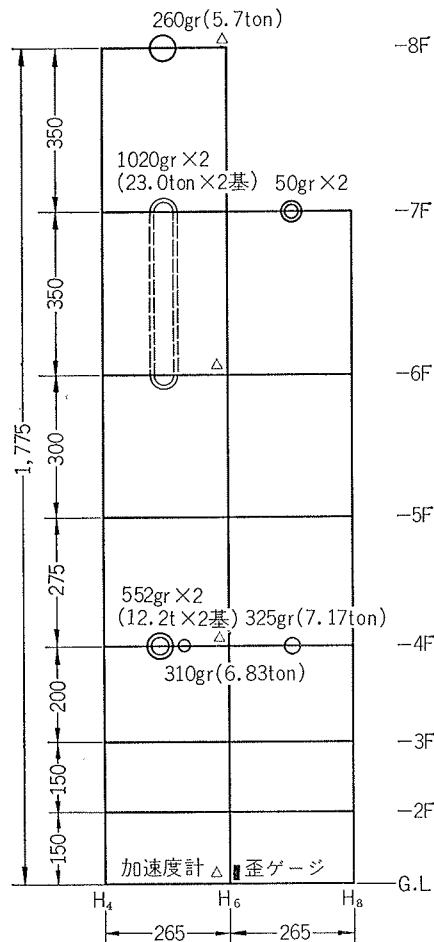


図-1

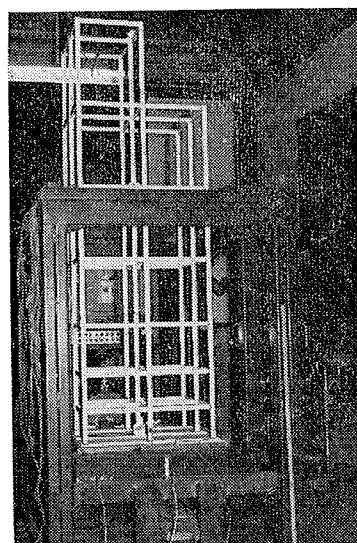
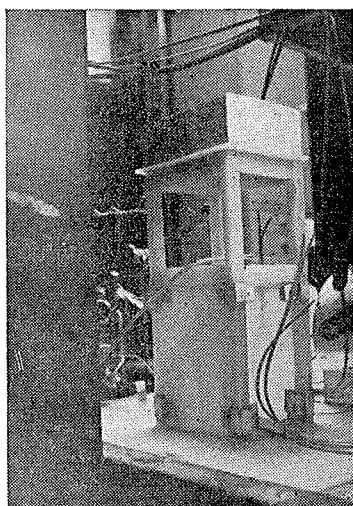


図-2

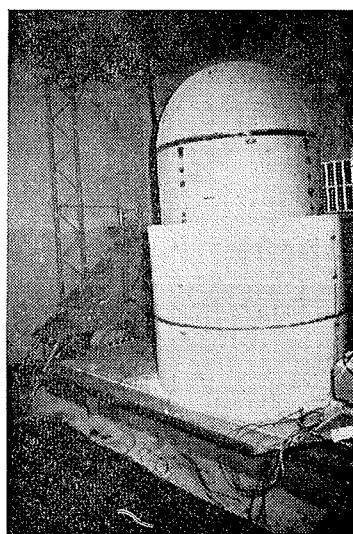
防振対策としてブレースを取り付ける事とし10ヶの補強案を作り各 CASE の各次共振時の振動モード、振源の振動数で加振した時の振動モードなどを測定しこれら強制振動時と自然地震時の考察を行ない、経済性も含めての最適設計案を決定した。なお実際の補強工事は来年度になるため最終的な結論はその後の実測を行なってから判断できるので次回の所報に報告したい。

2)某工場の高架水槽の防振対策をたてるための実験例を図一3に示す。この例も1)と同様に外部の振源からの影響で高圧タンクの使用に障害が起ったために行なった実験で、架構はRC構造であるため鉄骨ブレース、プレキャスト製ブレース、ブロック壁、RC壁の各 CASE を実験して最適案を決定した。

3)大阪大学鳥海研究室の RANDOM 波振動台を使用した発電用原子炉外部遮蔽体実験例は別稿に説明。(図一4)



図一3



図一4

5.2. 大型電気油圧式振動台

5.2.1. 性能について

諸 元	内 容
加 振 力	10 ton
振 動 数	0.1~50.0%
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	3 g (全負荷10ton時 1 g)
振 動 台 寸 法	巾3,000×奥行4,000×高さ1,000mm
振 動 台 重 量	約 5 ton
振 動 台 支 持 方 式	ローラー支持 18カ所
駆 動 用 ア ク チ ュ エ ー タ ー	振動方向前後に1ヶづつ

表一3

前述のごとく電気油圧式振動台は種々の特色をもった振動台であるが、開発されてからの歴史が浅く試作的な振動台としては東京都立大学田沼米研究室にある程度で、製作者も当研究室の振動台を設計、製作に当っては研究者の態度でのぞんだため種々の困難もあったが当初の我々の仕様(表一3)をほぼ満たす振動台として完成した。

この電気油圧式の特徴を列挙して見ると、1)低 CYCLE の波形歪が少い。高 CYCLE については土木建築の分野で必要とする範囲 50~60c/s までは問題はない。2)大出力大振幅の設計が容易である。3)種々の制御回路の組み合わせにより荷重量、変位量、振動数などの変動による歪を是正する事が可能である。4)AC. TUATOR (駆動部)の占める面積が電磁式に比べて少なくすむ。5)ACTUATOR を振動方向の前後に1ヶづつ、振動盤も全体を半分に分割できるように設計してあるため小さな供試体については半分を駆動させる。6)振動盤に対して ACTUATOR の着力点は可変である。したがって供試体の重心高さにより着力点を最適に選び振動台入力波形への REACTION を防ぐ。7)ACTUATOR 部分のみ単独で場所を変えて使用する事が可能であるから動的繰り返し試験機、その他の加力装置としての使用方法もある。

以下簡単に BLOK DIAGRAM, 性能曲線, 特性試験について述べる事にする。(図一5)

1)BLOK DIAGRAM——入力信号のうち正弦波、三角波、矩形波は @FUNCTION GENERATOR から、RANDOM WAVE は @' から、任意の地震波形は TAPE RECORDER から SERVO AMPLIFIER に供給される。VIBRATION TABLE の変位を検出した DISPLACEMENT AMPLIFIER からの信号と @' 他からの信号は比較補正を行ないそれ No. 1, No. 2 の ACT に電流として加えられる。一方 HYDRAULIC POWER SOURCE から高圧 (150~210kg/cm²) の油が ACTUATOR に常時加えられているので、ACTUATOR は入力信号からの電流に比

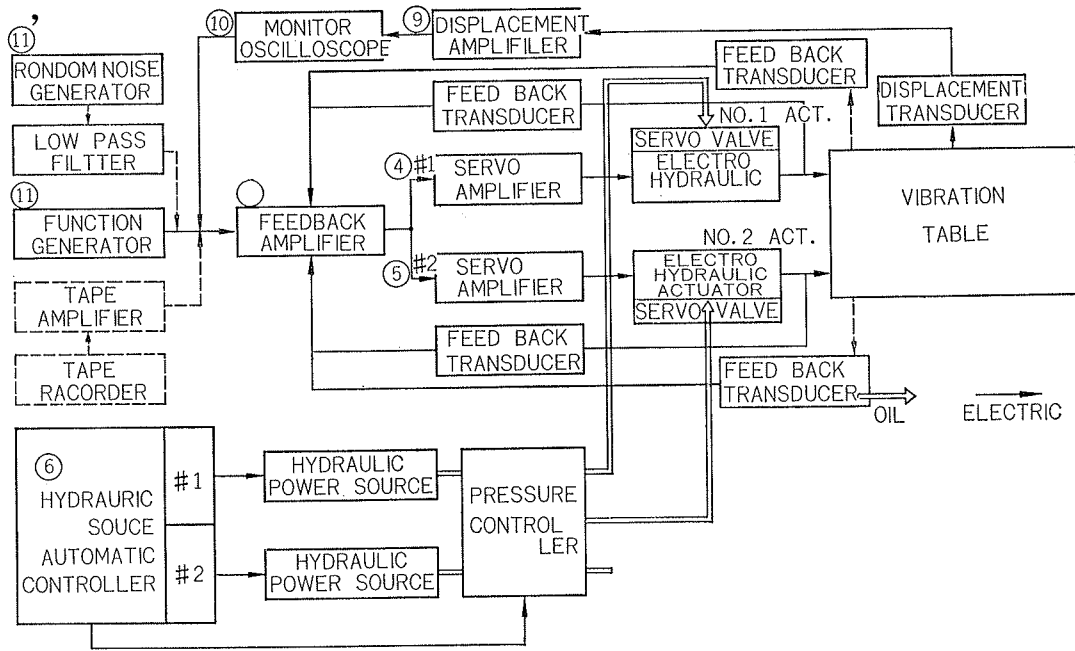


図-5

例した動きをする。VIBRATION TABLE から AMPLIFIER には波形補正用に各種の FEED BACK CIRCUIT が設けられ最適条件を作り出している。

2)性能曲線図-6——図中薄墨の範囲が仕様書要求の部分で特性試験を行なった際に確認されたところでは UPPER LIMIT に関しては各振動数共十分性能を發揮している。LOWER LIMIT に関しては、0.1~5.0c/s 間では振幅について最大出力の10%、5.0~50.0

c/s 間では加速度について最大出力 10%のまでを当初の目標として調査したがこの範囲では十分使用可能である。

3)特性試験図-7~13——まず個々にACTUATOR, VIBRATION TABLE の性質を調べ次に No.1, No.2 TABLE だけの試験を行い最後に No. 1,+No. 2 無負荷, 全負荷 (約8.0t)時の順に性質を調べていった。測定結果より1) ACTUATOR 2基の SYNCHRO に問題はなかった。2) VIBRATION TABLE の曲げに

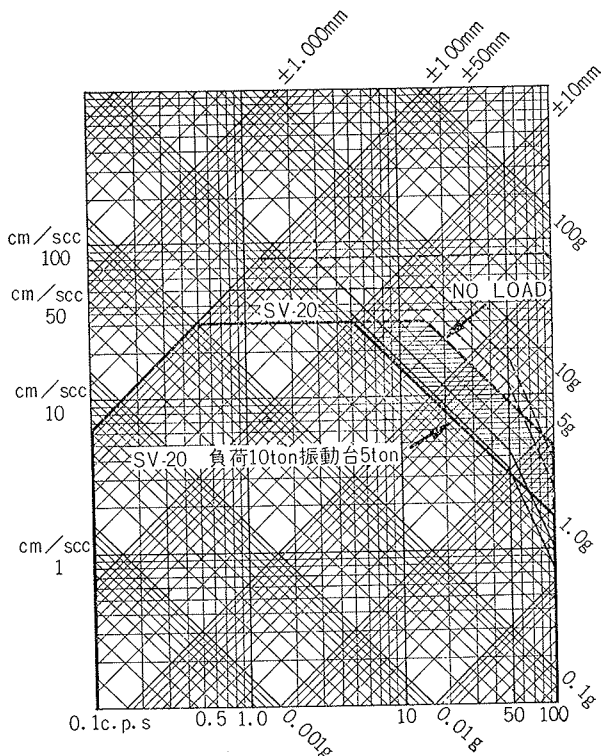


図-6

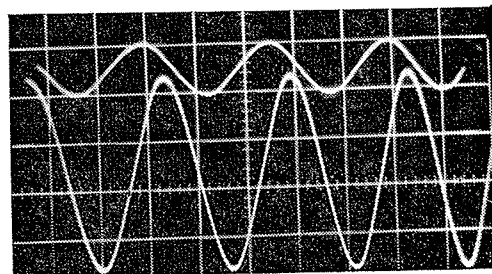


図-7 総合試験 NO. 1 TABLE+NO. 2 TABLE 8.0t 負荷, $f=0.4c/s$, $2a=20mm$, 波形は上段入力波形下段差動変圧型変位計

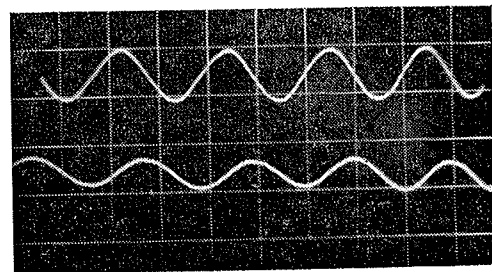


図-8 総合試験 NO. 1 TABLE+NO. 2 TABLE 8.0t 負荷, $f=30c/s$, $2a=0.56mm$

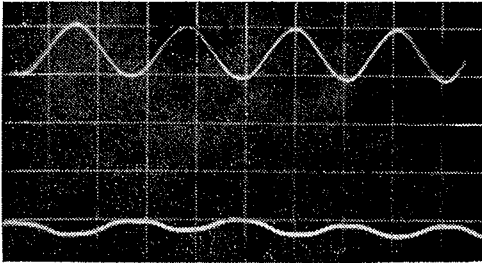


図-9 総合試験NO. 1 TABLE+NO. 2 TABLE
8.0t 負荷, $f=50\text{c/s}$, $2a=0.2\text{mm}$

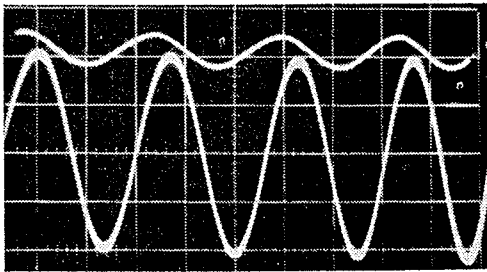


図-10 総合試験NO. 1 TABLE+NO. 2 TABLE
8.0t 負荷, $f=0.4\text{c/s}$, $2a=180\text{mm}$

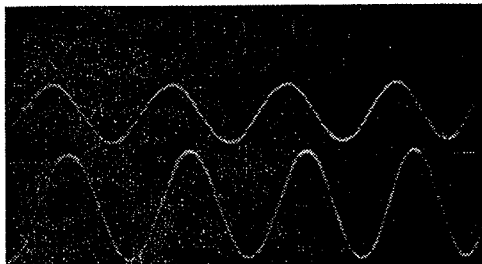


図-11 総合試験NO. 1 TABLE+NO. 2 TABLE
8t 負荷, $f=30\text{c/s}$, $2a=1.6\text{mm}$

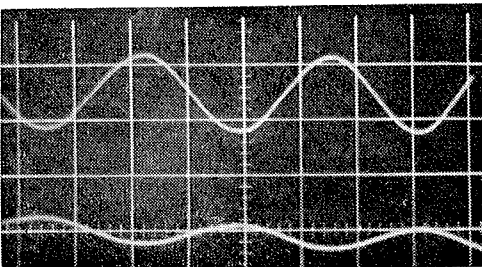


図-12 総合試験NO. 1 TABLE+NO. 2 TABLE
8.0t 負荷, $f=50\text{c/s}$, $2a=0.6\text{mm}$

よる一次振共振点 $80\sim 85\text{c/s}$, 部材共振点 $220\sim 450\text{c/s}$

3) 総合試験の際無負荷時より全負荷時の方が制御がよくかかり波形歪が少ないなどの事が判った。代表的な資料を図-7~13に示す。

6. あとがき

以上で構造研究の分野での振動台の位置づけと、当研究所振動台の紹介を行なってたが、電気油圧式振動台については本年度は完成したばかりで現在まだ種々の特性試験を行なっている段階なので今後この振動台を使用する研究テーマを簡単に説明して本稿を終りたい。

1) 一質点系の基本モデルを作製し (Plan $1,000\text{mm} \times 1,000$, $H=1,000$, 柱 $4 \times H-100 \times 50 \times 7.5$, $W=8.0\text{t}$) 各種入力, 入力 GAIN についての基本的な計測を行ない電子計算機での数値計算との比較検討を行なう。

2) 実地盤上での地盤係数との相関性を求めるための基準モデルの基礎実験

3) 超高層建物の二次部材その他が固有振動数に及ぼす影響についての研究。

4) 振動台上で地盤を含めて構造物の振動実験を行なう。

5) ショックベトンパネル, カーテンウォール等の実部材の耐震実験

などが計画されている。

総合試験NO. 1 TABLE+NO. 2 TABLE 8.0t 負荷,
RANDOM WAVE DC~45c/s FLAT, 50c/s-3db,
波形は上段入力信号, 下段=振動台上の加速度波形

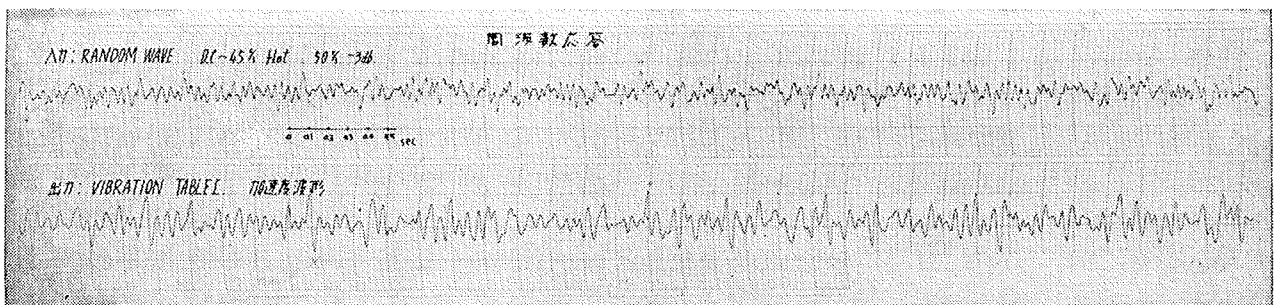


図-13

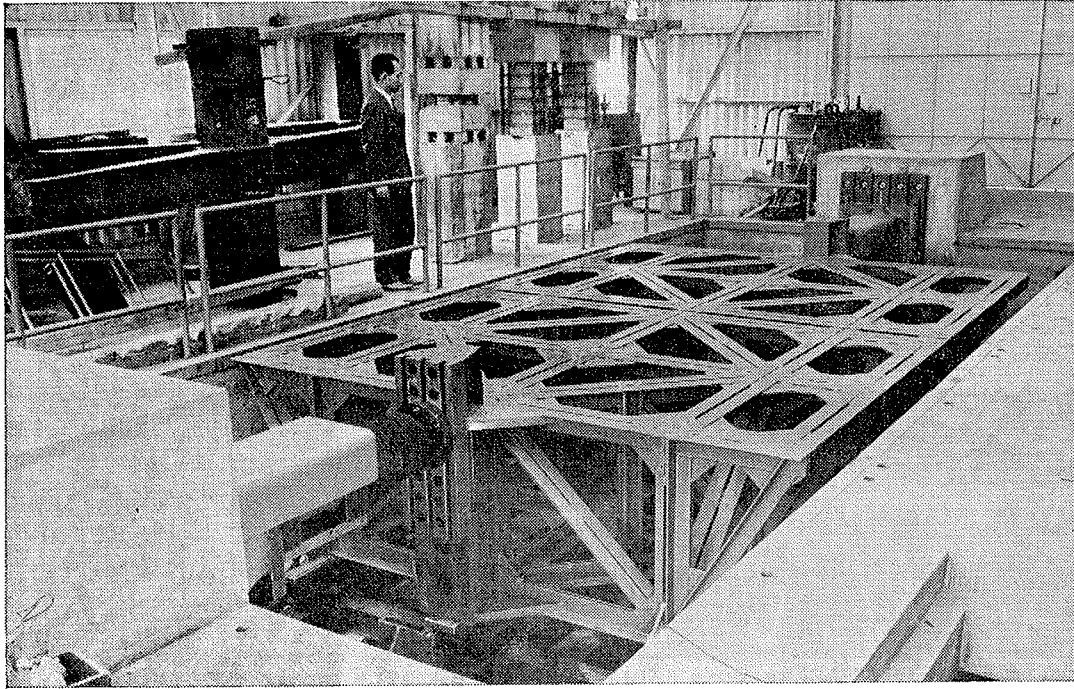


図-14