

耐震工学・大型振動台完成

昨年11月24日から26日まで日本地震工学シンポジウムが国外からの参加者も加えて開催され、今年も10月25日、26日の両日東京において地震工学研究発表会が開かれた。この間、松代地震という契機も手伝って多くの調査・研究が発表されるようになってきた。このような動きの一方で、昭和39年11月17日付で学術会議から「耐震工学研究の強化拡充について」内閣総理大臣あてに出された勧告、40年6月9日に「耐震工学研究の強化拡充に関する勧告の実施について」関係省庁に出された要望に含まれる大型振動台の建設が実現した。この要望書には、① 工学的強震計の増設ならびに記録の活用、③ 大学研究機関における耐震工学および土質工学の教育研究の強化拡充とともに、② に軟弱地盤における耐震工法確立のための特別措置をあげている。設置を要する設備として、土質力学実験用大型振動台、構造物振動試験用大型起振機、人為地震発生装置、不規則過程解析用レスポンス計算装置をあげ、つぎのようにその必要性をうたっている。軟弱地盤上に築造される構造物の耐震において特に問題になる点は、① 軟弱地盤の支持力、すなわち軟弱地盤上に築造された構造物の基礎工のすべり出し、または沈下の問題、② 軟弱地盤上の構造物が地震時に生ずるロッキング振動の問題である。このうち土が関与する問題は、土の性質、特に含水した土の性質がいちじるしく複雑であり、数理解析のみではその性質を明らかにすることは困難であり、実験的研究を欠くことはできない。この場合、実験の規模はなるべく実物に近いことが望ましく、大型実験施設が必要となるが、経費の関係上従来これがなかったことが軟弱地盤における耐震工法確立の上の一つのあい路となっていた。また新材料の開発により構造物の新しい設計法の採用が必要となり、これについても、実験的研究によって、その安

全性を確認することが必要である。

このようにして昭和41年度に科学技術庁防災センターと、東京大学生産技術研究所に大型の振動台がつくられ、42年度にこれを使った最初の実験が行なわれた。今年の耐震工学上の主要な話題としては、ほかに本州四国連絡橋の耐震設計指針の決定や、松代地震という大きな問題があるが、耐震工学研究の将来を指向するものとして、大型振動台を本稿の主要題材として選ぶこととする。

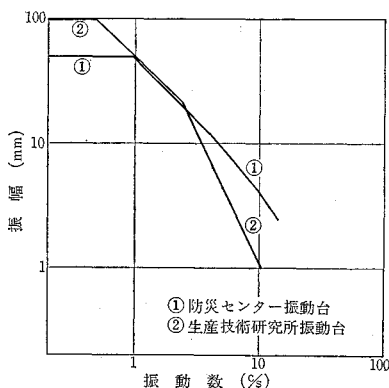
振動台の計画上、主として問題となるのは駆動方式と振動台の大きさおよび出力である。駆動方式には、油圧式と電磁式があるが、大出力、大振幅のためには油圧式によらねばならず、そのため波形ひずみ、高周波での駆動を犠牲にしなければならない。つぎに振動台の大きさを決定する上で考慮しなければならない諸条件は、つぎのとおりである。壁で仕切った振動台上の土槽中の地盤は、壁の付近で動きが拘束され、無限のひろさをもつと考えられる地盤の動きとちがってくる。このかく乱の領域を除いたものが、実質的な振動台の大きさである。この中に作る模型の相似則は、振動による慣性力が現実の地盤を支配する力であるとして計算するのが普通である。これによると、実物と同じ材料で模型を作るとすると、時間は長さの縮尺の平方根に比例して短かくすべよいことになる。このような方法によって計画された模型の縮尺と、それに合う振動条件を満たすように振動台は設計される。しかし、厳密に考えると問題はある。現象を支配する力は慣性力だけではなく、なにかほかの力も関係しているかも知れない。この力に関する相似律は、慣性力によるものと必ずしも同じではあり得ない。これは流体の場合のレイノルズ数、フルード数の関係と類似のものであるが、土の場合なお困難な条件がある。変形係数を例にとるならば、応力とひずみの関係は直線的でなく、ひずみが小さいときは直線的であっても、少し大きくなると始めの直線関係からはずれてくる。模型の縮尺を小さくするほど模型の結果から現実の結果を推定するときの無理は大きくなる。縮尺比を大きくしてこの無理をなくすためには、大きな振動台が必要となる。

さらに、実物の破壊現象の再現ということも問題となる。振動特性だけを調べるだけならば従来の小型の振動台でもよく、また理論的には与えられた条件のもとに電子計算機で計算させることもできるが、破壊に至るまでの現象を調べるには、模型を破壊できるだけの大きなエネルギーをもち、破壊の起こりやすい大きな模型を乗せることのできる振動台が必要になる。また実際の構造物

の振動を解析する前の段階として、振動台の上で起きた現象を説明する理論をつくり、さらに発展させるためのステップとして使うべきだという議論もある。このためにも、今まで使ってきた振動台の大きさを越えたものが必要となる。

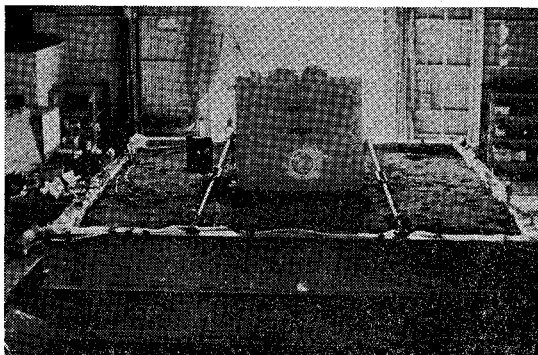
防災センターに作られたものは、将来筑波山麓の研究学園都市に共用施設として作られる出力 360 t-G の大型振動台に必要な、上下・水平各 4 台の加振機のうち 1 台を試作機として作らせたものであって、出力は 90 t-G である。90 t-G とは、90 t のものを重力の加速度 (1 G) で加振できるということであり、45 t のものなら 2G まで加振できる。試作機は駆動方式として電気油圧式をとっており、限界性能は 図一 1 に示すようなものである。性能試験のために取り付けられた加振台は 3.5×3.5 m の広さのものである。振動波形は、正弦波のほか不規則波、地震波を出すことができ、入力信号でバルブの開きを加減し、プランジャーに入る一定圧力の油の量を決めそれにより台に振幅を与える。この振動台は共用施設として、製作に当って学識経験者ならびに関係研究機関の担当者をもって構成された大型耐震実験装置調査委員会による審議を経ている。

図一 振動台の限界性能

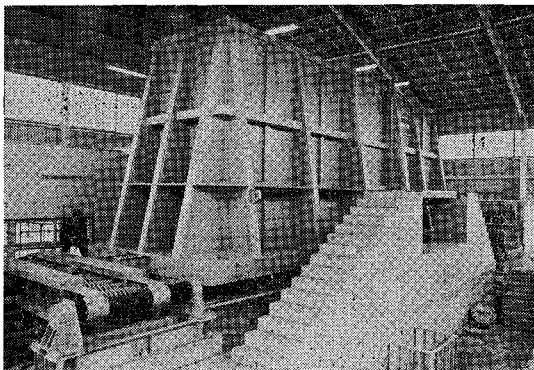


本年 7,8 月この振動台を使って防災センターと建設省土木研究所、防災センターと東京電力の共同で実験を行った。前者はケーソンの安定に関する実験で、振動台上に 3.5×3.5×1 m の砂槽を乗せ、砂を敷きつめ、その上に 1×1×0.5 m のコンクリートブロックを 0.5 m の辺が振動方向と平行になるように置き、ブロックの固有振動数、振動の中心、砂槽の動きをしらべたものである。実験の様子は、写真一 1 に見られるようなものである。この振動台には不規則な外部入力を入れることができることを利用し、ホワイトノイズを入力として与え、それによって生じた測定値を解析することにより、模型の振動性状を知る方法を応用している。

写真一 1 防災センターにおける実験状況



写真二 東大生研の振動台



東京大学生産技術研究所に作られたものの限界性能も 図一 1 の中に示されている。形式は同じく電気油圧式のものであるが、20 t-G の出力のアクチュエータで、砂槽重量 35 t と最大積載重量 135 t を最大 0.4 G の加速度で加振するため、砂槽を支えるスプリングの強さを種々組み合わせ、その共振を利用するようにしている。砂箱の大きさは、長さ 10 m、深さ 4 m、幅 2 m で、振動台を支える基礎のコンクリートは 1200 t、振動台重量の約 7 倍である。振動台の振動の周囲への伝ばを少なくするために、基礎のコンクリートをさらにゴムのパッド・25×25×25 cm、53 個でささえ地盤との縁をしゃ断している。

この振動台を使い、東京大学生産技術研究所では、くい基礎の実験を行なっている。砂箱の中に、3 m 厚さに締固めたシンダー・サンドと油の混合物を地盤とし、42 cm 間隔に縦横 3 本ずつ計 9 本の径 100 mm、肉厚 1.5 mm のアルミニウム管を打ち込み、下端を砂箱の底面に固定し、上に 1.26×1.26×1.5 m、重さ 4.5 t のコンクリートブロックを乗せたものを加振している。

これらの実験結果はまだ整理発表されるには至っていないが、小型の振動台で行なわれた実験や、ブロックの上に加振機を載せて行なわれた実験のときには認められなかった、新しい問題を示すものと思われる。