

(87) 水中振動台の開発

運輸省港湾技術研究所 正会員 野田節男

” ” 倉田栄一

” ” ○長田 信

1. はじめに

近年、ウォーターフロントの開発・整備の必要性が高まっており、港湾や海岸、さらに沖合の海域に大規模な構造物が多く建設されようとしている。しかし、これらの地域には構造物基礎に不適な軟弱地盤が多く、さらに水中構造物は一般の陸上構造物に比べ地震の影響をより多く受けるという必然性を有している。

構造物の耐震性に関しては、従来より実構造物の地震観測、振動台や遠心力载荷装置を用いた模型実験、数値シミュレーション等によって総合的な検討が進められている。水中構造物の安定性の解明には、構造物と水および地盤の相互作用がとりわけ重要であるが、これまでの振動台による模型実験では、台上に搭載した水槽を用い模型と水を同時に加振するため、海底地盤だけが震動する実際の現象とは異なっている。また、加振により水面に生じる波の反射の影響を避けるには、かなり大きな水槽を搭載しなければならない。この度、このような問題点を解決するために、水槽の底部に設置した水中振動台を開発したので、その概要を報告する。

開発にあたっての考慮事項としては、大水深における重力式構造物、根入れ構造物、地中構造物、土構造物や地盤などを対象とするため、必要に応じて海底地盤をモデル化できる土槽を備えること、水平動の他に比較的大きな鉛直動を発生できること、および従来の振動台と同様な使用が可能なことなどに留意した。

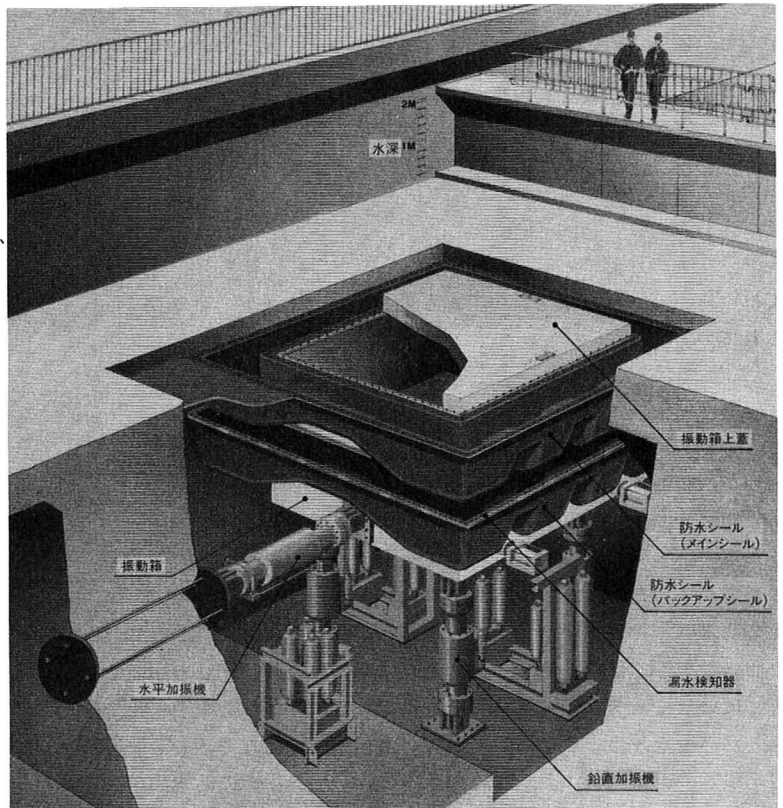


図-1 水中振動台の概要

2. 装置の主要諸元と構成

図-1、図-2 (a),(b)に水中振動台の構造概要を示す。また、主要諸元を表-1に、限界性能曲線を図-3に各々示す。

振動台は上面が水槽底のレベルと等しくなるように設置されている。水槽は 23m×13m の広さを有し、水は最大水深1.8mまで入れることが可能である。振動台はあらかじめ振動箱が組み込まれた構造とし、上面の蓋を取り外すことにより、海底地盤のモデル化を可能とした。振動台と水槽底面の間は補強布入りの合成ゴ

ムを用いた防水膜によって連結されている。加振機や油圧ポンプ等が振動台下に配置されているので、十分な水密性を保つため、防水膜は2重構造としてある。この防水装置が施されているために、水平加振入力位置が振動台の下側に偏っていて、とくに、振動台の上面に重量模型を設置する際には、振動台上面の出力波形をコントロールするのが難しい構造となっている。そこで、対象とする模型に応じて加振制御点の位置を変え、精度良い出力波形が得られるように工夫した。

システムの作動油としては、水グリコール系を用いており、火気に対する安全性が図られている。

3. 防水装置

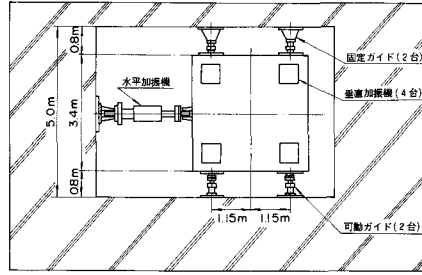
本振動台の開発にあたり最も困難な技術的課題は、振動台と周囲の水槽底面との間の水密性の確保であった。具体的には、防水膜の①耐水圧性、②振動台の大ストロークに対する引張強度、③耐久性、④周囲の取り付け部の水密性などがある。これらを解決するために種々の試験を実施した。

1) 防水膜の材質

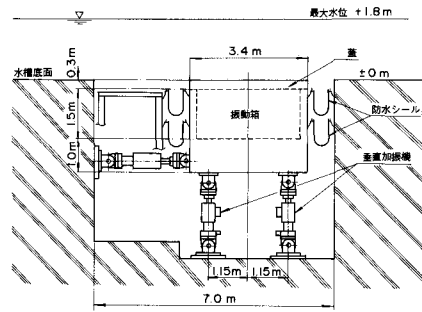
防水膜としては水密であると共に水圧や振動台変位に伴う引張力に対して十分な強度を持ち、かつできるだけ伸びの少ないことが必要のため、ポリエステル布（繊維交角 60°）で補強した厚さ10mmのクロロプレンゴム膜を使用した。防水膜片の引張試験により、設計水圧0.4kg/cm²下での防水膜破裂に対し十分な強度（安全率18）を持ち、許容範囲内の伸びであることを確認した。

2) 小型模型試験

振動台は水面下で水平 ±200mm、鉛直 ±100mmと大きく変位するので、伸びの少ない防水膜に過大な応力が発生しない形状でなければならない。そのため防水膜の全体形状は、縮尺1/10の小型模型を用いて選定した。この試験では水圧に代わり空気圧を作用させた。防水膜の形状が単純な半円筒形の場合、水平変位に伴い水平加振方向に平行な防水膜（側面膜）に斜方向のシワが生じ大きな応力が発生する。このシワの影響を低減するためには、シワを分断するように適切な深さのU型の溝を設けるのが効果的であることが判明し



(a) 水平断面



(b) 鉛直断面

図-2 構造概要

表-1 主要諸元

水槽寸法	23m×13m
水深	最大 1.8m
振動台位置	水槽底面
振動箱内寸	3m×3m×(深) 1.5m
振動箱上蓋	3.4m×3.4m
積載重量	最大 60tf
加振方向	水平、鉛直、水平・鉛直同時
加振能力	最大変位 水平±200mm、鉛直±100mm 最大速度 水平 40Kine、鉛直 20Kine 最大加速度(最大積載時) 水平 0.8G、鉛直 1.5G 許容転倒モーメント 水平 75tf・m、鉛直 40tf・m
加振振動数	DC~50 Hz
加振方式	電気・油圧サーボ方式
加振入力波形	正弦波、地震波
防水シール	補強布入り合成ゴム
作動油	水グリコール系作動油

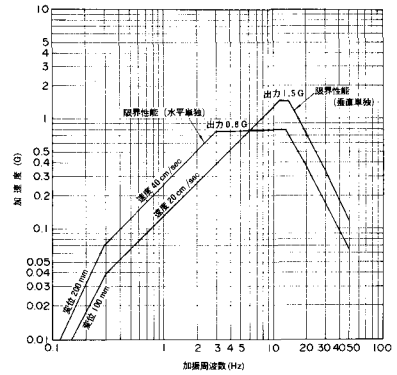


図-3 限界性能曲線

た。溝の数と形状は、防水膜模型の変形抵抗力の測定およびシワの形状から判断し図-4のように1側面3カ所とした。加振直角方向の防水膜（正面膜）の形状は、側面膜とのすり合わせおよび加振中に膜内に入り出す水量を少なくするために図-4に示す形とした。

3) 実物大模型試験

総合性能を確認するため、防水膜の実物大の模型に所定の水圧、変位を与え、全体変形、各部の伸び、シワおよび水密性などを測定した。模型の形状は長さ4.75m×幅1.62mで、溝付き側面膜および比較のための半円筒形膜の各々1辺である。その結果、防水膜に発生する最大応力は引張強さの約1/10であり、防水膜が側面の壁に接触する等の有害な変形も認められなかった。防水膜と振動箱・コンクリート壁の間の水密性は、水膨張性ゴムパッキンの使用などで十分確保できることが判明した。

4) その他

防水膜の劣化・疲労などの耐久性に関しては、類似装置における使用実績から問題はないと考えられる。異物による損傷については、重量20kgのコンクリートブロックを高さ2.8mから落下させ膜面に異常の無いことを確認した。水漏れに対する安全対策としては、防水膜を2重にし、その間に漏水検知器を設置するとともに、出入口に船舶用防水ハッチを採用している。

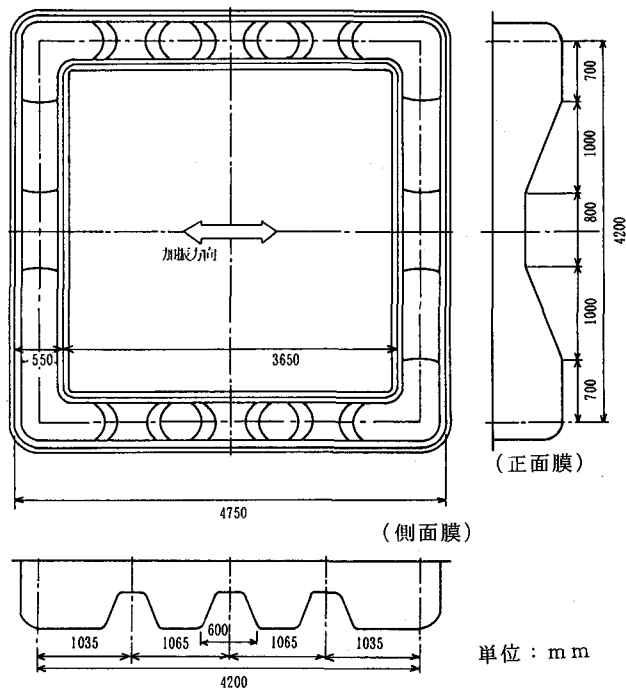


図-4 防水シール形状

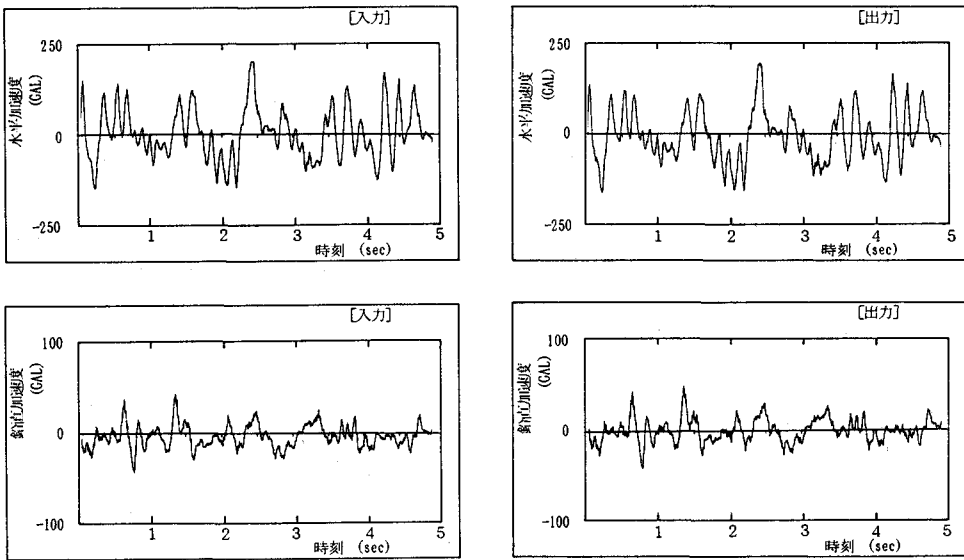


図-5 加速度時刻歴の再現

4. 実機試験結果

振動台完成後に行った性能試験のうち幾つかについて報告する。

地震波の再現性を調べる目的で、日本海中部地震の記録波（秋田港、NS、UD成分）を用いて、水がない状態で水平・鉛直同時加振を行った。その結果を図-5、図-6に示す。なお、加速度波形については大振幅の箇所を選んで示しており、各波形の応答スペクトルはダンピング2%で計算した。時刻歴、応答スペクトルとも入力、出力の差は僅かで、水平、鉛直加速度ともに目標波形をかなり忠実に再現しているものと云える。

図-7には、10tonの偏心荷重を搭載し、水無しの場合と1.8mまで注水した場合の水平加速度に関する応答スペクトルが示されている。なお、荷重は振動台上面の半分コンクリートブロックをボルトで固定して作成した。また、入力波形としては任意に作成した不規則波を用い、両ケースとも同じ目標加速度を設定した。図のようにほとんど差異は認められず、水がある場合でも波形の再現性は十分であることがうかがえる。

最後に、水深1.8mにおいて10tonの偏心荷重を搭載し、水平目標加速度を50Galとして5~50Hzまで正弦波スイープ加振を行った結果を図-8に示す。いずれの周波数にお

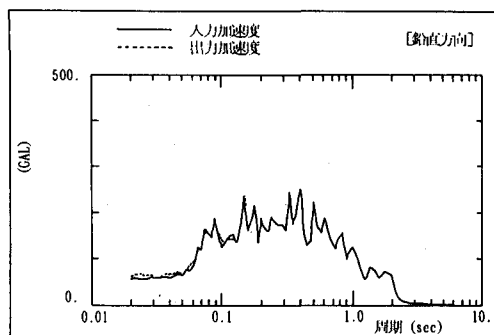
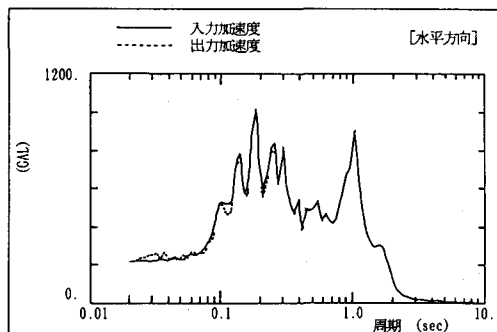


図-6 応答スペクトル

いても、水平加速度の変動率は±10%以内に収まっていて、鉛直、ピッチングの出力は低く抑えられていることが分かる。

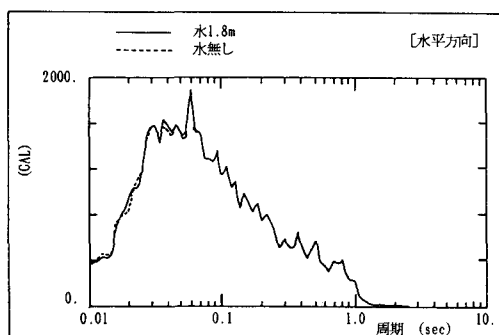


図-7 水の有無による応答スペクトルの比較

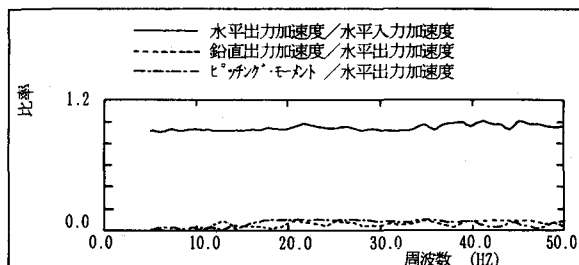


図-8 水平正弦波スイープ試験結果

5. あとがき

水中振動台の構造概要とその特徴、および性能試験結果について報告した。開発に際し防水装置など技術的に難しい点が多々あったものの、予想通りの性能を有する振動台を完成させることが出来た。本振動台を利用することで、より現実に近い形で水中構造物の地震時挙動に関する実験を行うことが可能となり、今後、大水深防波堤や護岸、埋設構造物等の実験を通して、構造物の地震に対する信頼性の向上や合理的な設計に役立つものと考えられる。