

水中振動台の性能実験

運輸省港湾技術研究所 正会員 野田節男
" " 倉田栄一
" " 上部達生
" " ○長田 信

1. はじめに

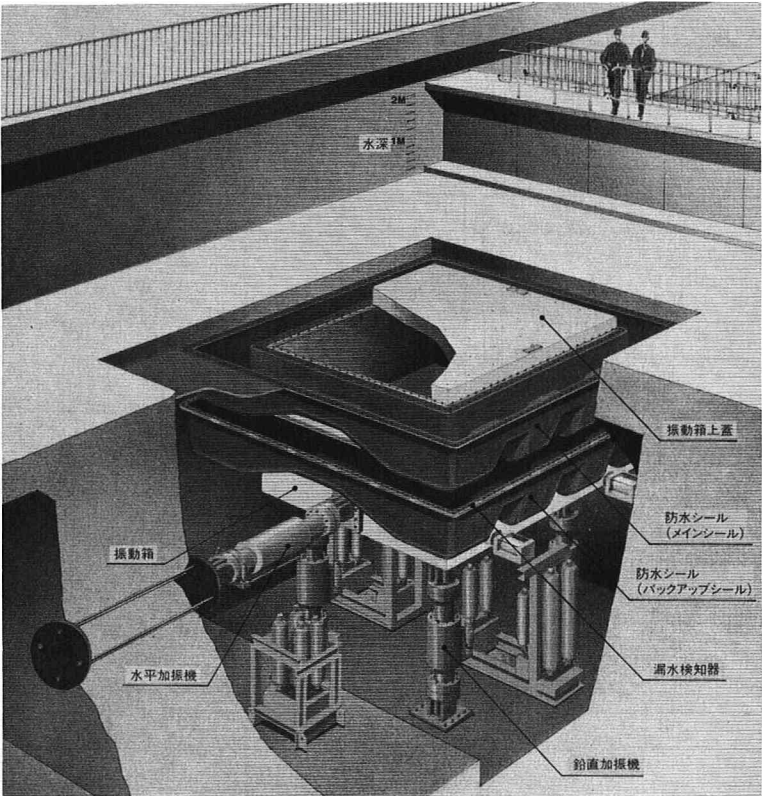
臨海部の開発・整備が進む中で、沖合の海域にも大規模な構造物が建設されようとしている。このような地域には構造物基礎に不適な軟弱地盤が多く、さらに大水深化にともない動水圧等の水の影響も顕著になるため、その地震時安定性の確保は重要な課題となっている。このため、実構造物の地震観測や模型振動実験、および数値シミュレーション等によって総合的な安全性の検討を行う必要がある。

港湾および海洋構造物を対象とした振動実験では、振動台上に固定した水槽内に模型と水を入れて、全体を加振する方法が一般的に用いられてきた。しかし、この場合、水槽の壁によって生じる動水圧の影響を避けることが難しく、また、加振にともなって水面に発生する波が水槽で反射するため、実験をわずかの時間内に終わらせる必要があった。この問題点を解決し、海底地盤だけが震動する実際の地震の様子を忠実に再現できるように、可動部を水槽の底部に設置した水中振動台を開発した。本報告では、この水中振動台の構造概要と、振動台完成後に実施した性能試験のいくつかについて述べる。

2. 水中振動台の構造概要

水中振動台の構造概要および主要諸元を図－1、図－2(a)(b)、表－1に各々示す。

振動台はその上面が水槽底面のレベルと一致するように設置されている。水槽は縦23m、横13mの大きさで、最大水深は 1.8mである。振動台と水槽底面の間は、十分な水密性を確保するために、二重の防水膜で連結されている。油圧源や加振機等の機械部分が振動台下に位置しているため、この水密性の確保は重要で、振動台を開発するにあたり最も難しい点でもあった。このため、材質、形状、引張り強度、耐久性等に関し種々の試験を実施した。防水膜の材質は、水圧や振動台変位にともな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

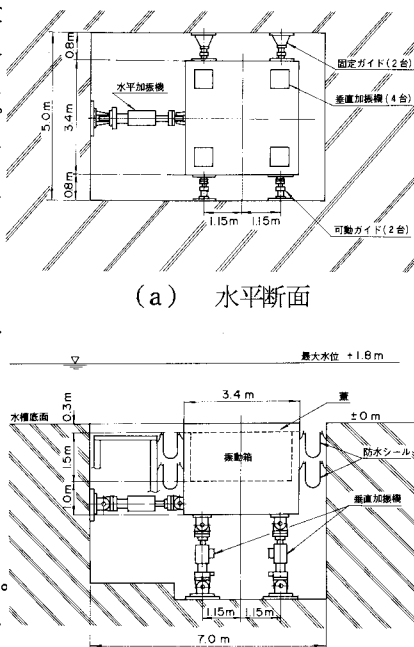


図－1 水中振動台の概要

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

の少ないことが要求されるため、ポリエステル布で補強した厚さ10mmのクロブレンゴムを使用している。また、変位ともなって発生する引張応力を緩和するために、図-3のように防水膜には凹凸を設けた。さらに、防水膜と振動箱および水槽底面間の取り付け部分の水密性を確実にするために、水膨張性のゴムパッキンを使用している。



(a) 水平断面
(b) 鉛直断面
図-2 構造概要

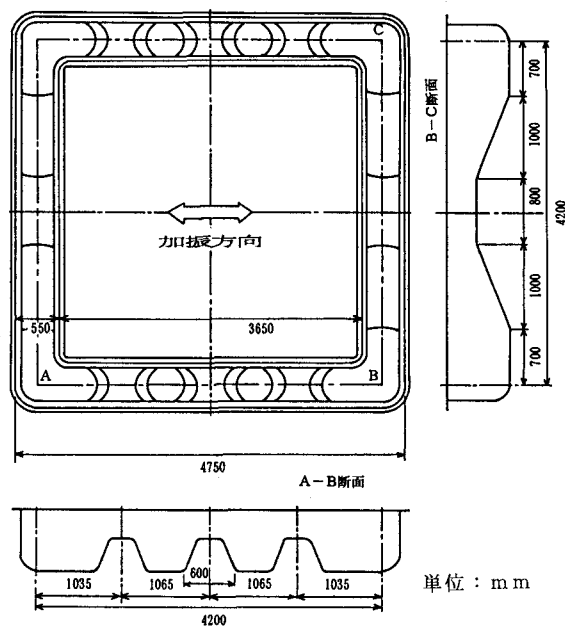


図-3 防水膜の形状

振動台には海底地盤をモデル化するための振動箱が、あらかじめ組み込まれており、地盤を含めた構造物全体の地震時の挙動を検討することができる。また、この振動箱を利用して、従来の振動台と同様に、液化化や地震時土圧などの実験を行うことも可能である。

出力波形としては正弦波、地震波等があり、精度良い出力波形を得るために模型の形状に応じて加振制御点を振動箱底面や上蓋等に選定できるように工夫されている。

3. 制御試験結果

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-4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ある。入力波形と出力波形の差はわずかで、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いえる。

図-5には、10tonの偏心荷重を搭載し、水無しの場合と1.8mの最大水深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に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

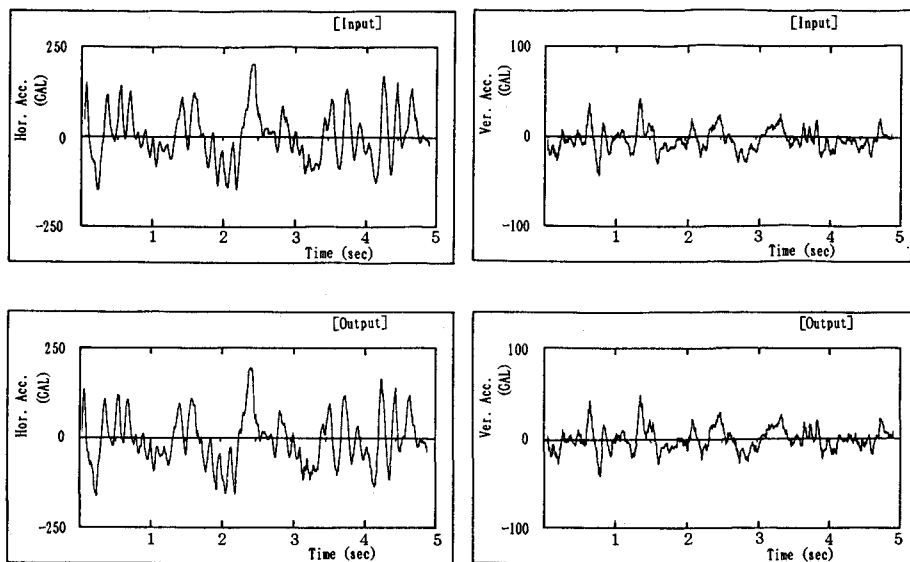


図-4 加速度時刻歴の再現

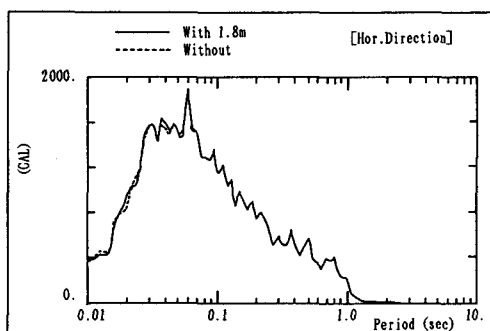


図-5 水の有無による応答スペクトルの比較

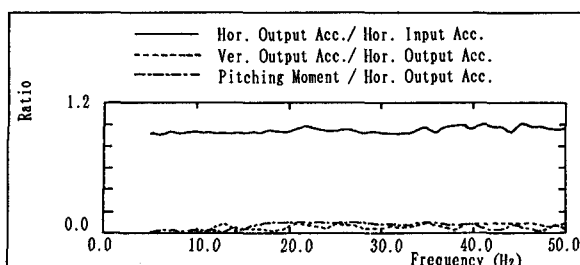


図-6 水平正弦波スイープ試験結果

5～50Hzまで正弦波スイープ加振を行った結果を図-6に示す。いずれの周波数においても、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わかる。

4. 水圧分布

(1) 防水膜の影響

前述したように防水膜に凹凸を設けた結果、振動台の変位にともなって防水膜上の水が変動し、水圧の発生が予想された。そこで、この影響を調べるために、水槽底によって支持されたアームを用いて水圧計を水中に固定し、加振中の振動台上部の水圧分布を測定した。試験時の水深は60cmとし、図-7に示すP1～P9の各位置において、振動台上20cmおよび40cmの点の水圧を計測した。なお、加振方向は水平一方向で、振動台の出力波形は5Hzの正弦波、最大加速度350Galとした。

図-8に振動台の加速度波形と台上20cm位置におけるP2,P5,P8の水圧の時刻歴を示す。振動台の端から内側になるほど、水圧の値が小さくなる様子がわかる。また、時刻歴の形状については、内側ほど次第に振動数の高い波が多く含まれる傾向が見られる。実際にP2とP8について波形のパワース

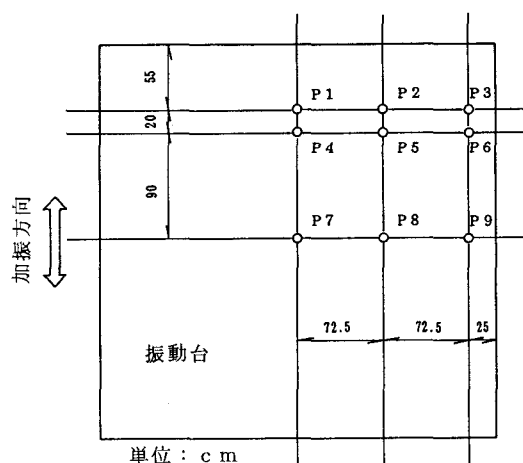


図-7 水圧計設置状況

ペクトルを計算してみると、図-9に示すようにP8では5Hzの整数倍の振動数付近でピークが現れている。比較のために、振動数を3および8Hzとして加振したところ、図-10のようにP8では各周波数の倍数あたりで同様にピークがあらわれている。これらの傾向は台上40cm位置の結果にもみられた。

測定位置P2,P5,P8の振動台上20cmおよび40cmにおけ

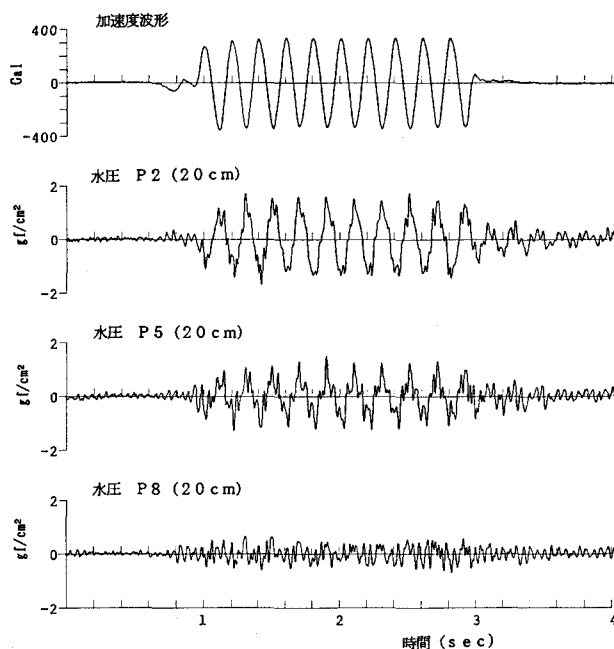


図-8 時刻歴波形 (台上20cm位置)

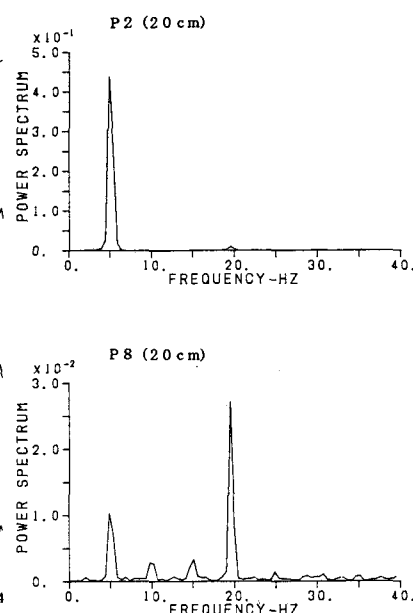


図-9 水圧のパワースペクトル

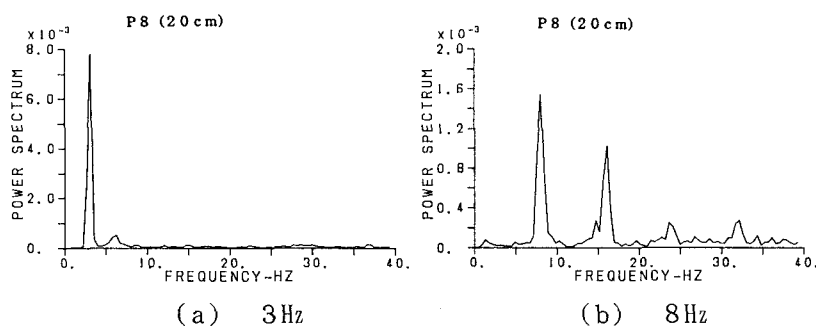


図-10 振動台の振動数と水圧のパワースペクトル

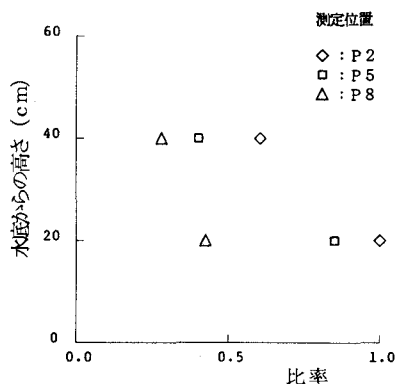


図-11 水圧の分布状況

る水圧時刻歴の最大値を、P2の台上20cm位置での最大値で除し、鉛直方向にプロットすると図-11のようになる。振動台の内側ほど、かつ水深の浅い位置ほど、水圧が小さくなっている様子がわかる。参考までに、振動台上に鉛直壁を仮定し、ケーソン等の動水圧の算定に使用される Westergaardの理論式で台上20cm位置での値を計算すると、約15gf/cm²となる。これに対し、P8における台上20cm位置の測定値は最大0.75gf/cm²であり、両者の値の比較から、模型振動実験を行う場合、振動台の内側では防水膜による水圧の影響はかなり小さいものといえる。また、加振時間を延ばした場合、最大値が大きく変化すること考えられたので、入力波を100波とした場合についても測定を行った。図-12にその結果を示す。加振開始直後は暫増しているが、それ以降はあまり変化はない。最大値についても、10波の場合と同程度となっている。このことから、長時間の加振を行っても比較的良好的な測定を行えるものと考えられる。

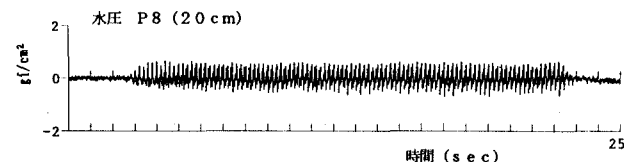


図-12 長時間加振時の水圧時刻歴

(2) 動水圧の比較

水中振動台を用いて行う防波堤や護岸の断面等の二次元模型の実験では、従来型の実験のように振動箱の側壁がないために、水圧が横方向に逃げる可能性が考えられた。そこで、簡単なケーソン模型を用いた動水圧測定実験を実施し、この影響について検討した。模型の設置状況を図-13に示す。水圧計を埋め込んだケーソンを振動台中央に置き、その両端に3個ずつダミーケーソンを設置した。この状態で水平方向に加振した後に、両端からダミーケーソンを1つずつ取り、ダミーケーソンを2個ずつとした場合、および1つずつとした場合について同様に動水圧を測定した。なお、水深は35cm、入力波は5Hz、10波の正弦波を用い、加速度を150Galとした。

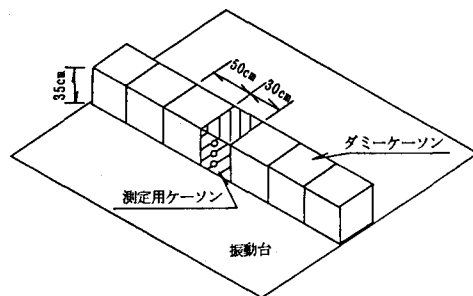


図-13 ケーソンの設置状況

各ケースについて水圧の最大値を震度（加速度最大値／重力加速度）で除した値を求め、その鉛直分布を示すと図-14のようになる。ダミーケーソンの数を変えても測定値にほとんど変化は見られなかった。また、図中にWestergaardの理論曲線もあわせて示したが、測定結果は良い一致を示している。

5. あとがき

水中振動台の構造概要と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、ほぼ満足できる性能を得ることができた。本振動台を利用することで、より現実に近い状態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。

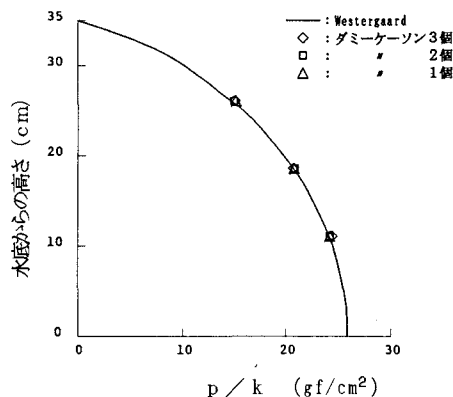


図-14 動水圧の鉛直分布