

(157) 海洋構造物の地震時挙動に関する研究 — (その1) 振動台実験による検討 —

(株) 間組技術研究所 新井 伸夫
 // 浦野 和彦
 // 竹内 廣高

1. まえがき

海洋空間開発に対する機運の高まりをうけて、沖合人工島などのプロジェクトの創出が各方面で行われている。それらプロジェクトを構成する種々の構造物に対し耐震安定性の検討・評価技術を確立することは重要であり、着底式構造物については、特に滑動発生時の応答を明らかにすることが必要となっている。

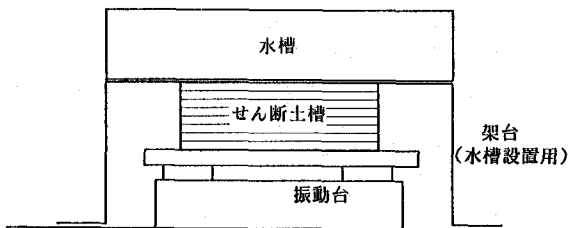
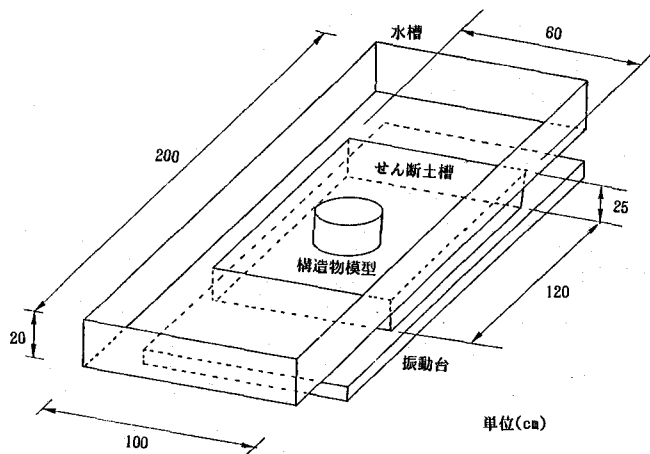
これまでに着底式海洋構造物の地震時挙動に着目して実施された研究としては、金谷他¹⁾、山本他²⁾などがある。それらの研究においては、防波堤形状の構造物や海域に孤立して存在する円筒型構造物に対する振動実験が行われ、滑動開始加速度の評価や滑動時の免振効果（応答加速度、動水圧の低減）の確認といった滑動挙動の把握が試みられてきた。ただし、それらの実験における模型地盤としては岩のブロックやシリコンゴムといったものが用いられており、地盤は、剛体あるいは理想的な弾性体とみなせるものであった。

本報は、着底式海洋構造物の中でも特に「軟着底式」と呼ばれる、接地圧の小さい海洋構造物の地震時挙動に対し、地盤との相互作用をより現実に近い形で評価するために実施した振動台実験の結果について検討を行ったものである。

2. 実験の概要

実験装置の概略の構成を図-1に示す。模型地盤を作成するため振動台の上にせん断土槽（厚さ 1cmの亚克力枠を板状ベアリングを介して21段重ねたもの）を設置し、その周囲に水槽を置いて海域を模擬した。その際、水槽は、振動台とは独立した架台上に設置し、せん断土槽の天端と水槽の底面は同一レベルとなるようにした。さらに、土槽と水槽の間をビニールシートでつなぎ、振動台では土槽のみを加振するようにした。また、実験時、構造物模型により生じる波が水槽の壁に反射し模型の挙動に影響を及ぼすことを防ぐため、水槽の壁に沿って消波装置（スタイロパックを袋に詰めたもの）を設置した。

模型地盤は、豊浦標準砂を水中落下法を用いせん断土槽中に散布することで作成した。実験の対象としたのは、図-2に示す 3種の地盤である。ここで、「しめかため」地盤は相対密度70%程度のものとし、また、「ゆるづめ」地盤とは相対密度約40%の厚さ 5cmの層とした。碎石



(紙面に直角な方向に加振)

図-1 実験装置の構成

は、7号碎石を使用した。

構造物模型としては、図-3に示すものを使用した。これらは、直径100m（または一辺100m）、高さ26mの着底式構造物の1/400模型を想定しており、水深を5cm（実構造物においては20mに相当）として、図-2の3種類の地盤に対する地震時挙動の差異の把握を試みた。加振周波数は、20Hzと38Hz（模型地盤の1次固有周波数にはほぼ相当）に設定した。相似則に従うと、この加振周波数は、それぞれ、実構造物に1Hzおよび1.9Hzの地震波が入射したことに相当する。

実験の際の計測器配置を図-4に示す。加速度計は、すべて加振方向の水平加速度を測定するように設置した。また、水平方向変位は、非接触型の変位計により測定した。

なお、ここで想定した実構造物の接地圧はすべて $5t/m^2$ とし、その値をもとにフルードの相似則に従い模型の重量を決定した。また、構造物の重心は、模型の中心に設定した。さらに、模型底面の静止摩擦係数は、はぼ0.5となるようにした。

3. 軟着底式海洋構造物の地震時挙動

軟着底式海洋構造物の地震時挙動を検討する上で考慮する必要があるのは、①支持地盤が軟弱であるため液状化が起こる可能性のあること、②接地圧が小さいため滑動が生じやすいと考えられること、の2点である。そこで、実験結果に基づいて、液状化発生時および滑動発生時の構造物の挙動に関する考察を試みることにする。

3.1 液状化時の挙動

円柱模型を、表層にゆるづめ層のある地盤（図-2の模型地盤(a)）上に設置して行った実験の結果を図-5に示す。まず、模型直下、ゆるづめ地盤としめかため地盤の境界における間隙水圧(P-4)の変動から、加振によりゆるづめ地盤が液状化していることが分かる。そのため、構造物模型にせん断力が伝わらなくなる状態が生じている（これは、加振開始後すぐに構造物模型に加速度が生じなくなっていることにより理解される）。また、その際、構造物模型は沈下をおこしている。

（これは、加振開始後すぐに構造物模型に加速度が生じなくなっていることにより理解される）。また、その際、構造物模型は沈下をおこしている。

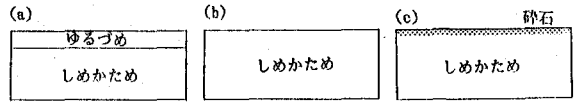


図-2 実験対象とした模型地盤の構成

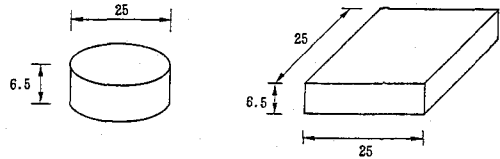


図-3 実験に用いた構造物模型（縮尺1/400）

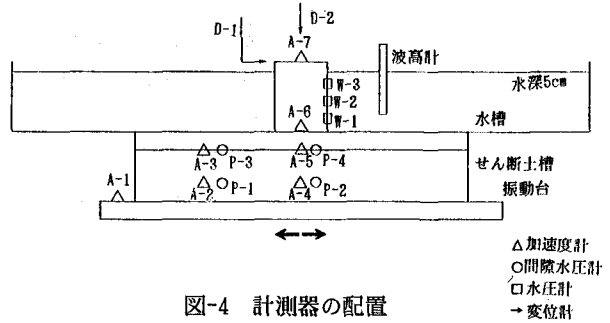


図-4 計測器の配置

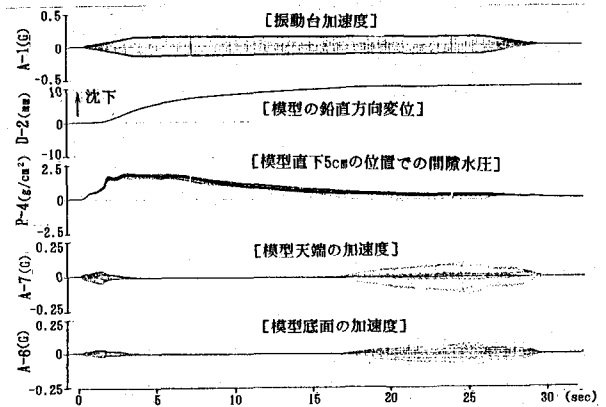


図-5 円柱模型(1/400)の加振実験結果（ゆるづめ地盤）

さらに、しばらく加振を継続すると過剰間隙水圧が徐々に低下し、沈下の進行が停止するころ（過剰間隙水圧がほぼ 0 に戻るころ）から構造物模型に再び加速度が発生していることが見てとれる。この現象は、液状化したゆるめ地盤が、加振開始後 6～7 秒の時点を超えてその層の下部より徐々にしめかたまっていく（そのため P-4 での過剰間隙水圧は徐々に低下する）、しかしながら表層付近では液状化層が存在するため、しめかため層の拡大が表層に及ぶまで（そのとき沈下現象は停止）模型にせん断力が伝わらない状態が続く、と考えれば定性的には理解されると思われる。この現象を模式的に表現したのが図-6 である。

ここに示した結果より、着底式構造物の支持地盤が地震時に液状化をおこす場合、構造物には一時的に慣性力が作用しなくなり、その際、沈下を生じる、ということが分かった。

ただし、ここで与えた加振条件を実現現象に置き変えて考えると、構造物に非常に継続時間の長い地震動が作用したことになるため、この実験において見られたように、地震力が一旦作用しなくなった後しばらくして再びはたらくといった現象が実現現象として現れるかどうかについては、液状化層の厚さや排水距離なども考慮した上で検討しなければならない問題であると思われる。

3.2 滑動時の挙動

上述したものと同一円柱模型を、碎石を敷いた地盤（図-2 の模型地盤(c)）上に設置し実施した加振実験の結果について述べる。

まず、水平方向変位の計測結果を図-7 に示す。この図の縦軸は構造物模型の加振方向水平変位量を示しており、正方向は振動台の加振機に近づく方向、負方向は加振機より遠ざかる方向への変位を示している。この図から、模型が滑動をおこし一方方向に変位が蓄積していった様子がみてとれる。さらに、発生した滑動現象は、鉛直方向変位を測定するために設置した変位計のターゲットのずれから、回転運動をも伴ったものであったと推定された。

図-8 に加振初期における地盤と構造物模型の加速度時刻歴を比較して示す。この図からは、加振開始時には地盤(A-5) より模型底面(A-6) の方が加速度が大きいが、地盤の加速度があるレベルを超えると模型底面の加速度は一定レベル以上の値を持たなくなっていることが分かる。さらに、その時には、模型底面の加速度波形自体も変化し、地盤の波形に比べてなめらかになっている。これらは、構造物模型の滑動に対応した現象であると考えられる。

地盤(A-5) と構造物模型底面(A-6) の加

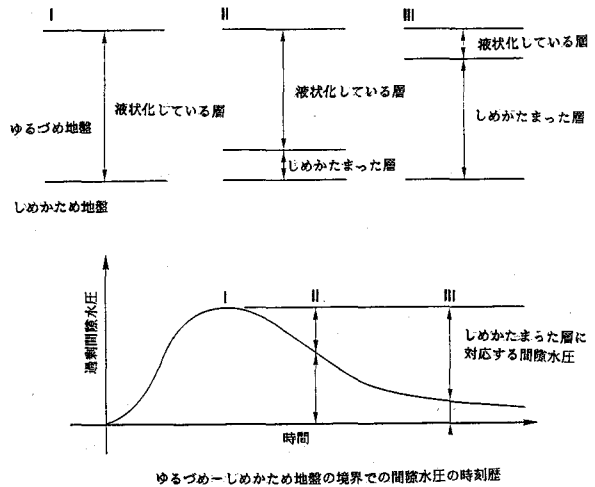


図-6 過剰間隙水圧の変動とゆるめ地盤の状態

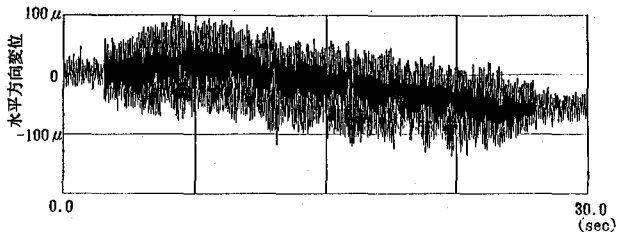


図-7 円柱模型(1/400)の加振実験結果
構造物模型の水平方向変位(碎石を敷いた地盤)

速度値の比較からは、滑動現象は、地盤加速度がほぼ100gal程度の時に発生しはじめたと推定される。この値は、動水圧を付加質量として考慮することにより算定される滑動開始加速度77gal（静止摩擦係数を0.5と仮定）と比較して若干大きいものとなっている。この差は、この加振実験において、模型-地盤間の摩擦係数など、滑動現象を支配する要因を実験計画時に想定した値に完全に設定できなかったことによると考えられるが、模型の規模、測定の精度などを考えればほぼ良い一致を示していると判断される。

また、滑動時の地盤(A-5)と模型の底面(A-6)、天端(A-7)の加速度を比較すると、滑動することにより模型に生じる加速度が地盤の加速度よりも小さくなっていること、構造物模型は若干ロッキングをおこしながら滑動していることが分かる。このようにここで得られた実験結果は、滑動することによる免振効果が現れたものとなっている。

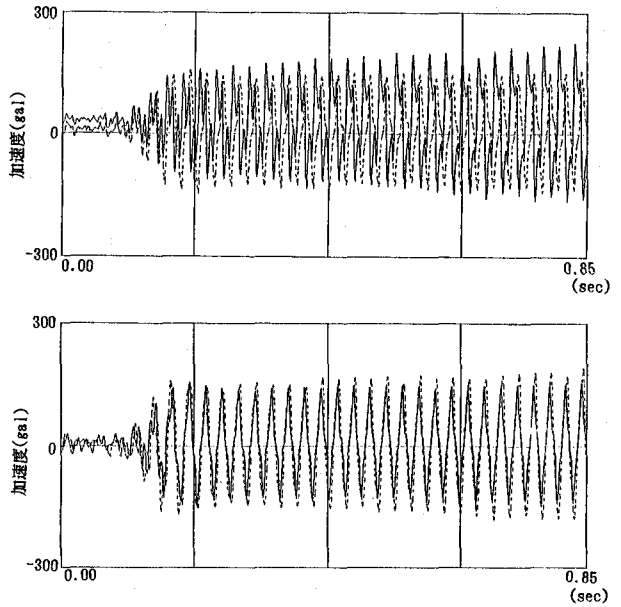


図-8 円柱模型(1/400)の加振実験結果
加振初期の加速度（碎石を敷いた地盤）

4. まとめ

軟着底式海洋構造物を想定した模型について振動台実験を行い地震時挙動の把握を試みた。その結果以下のことが明らかになった。

- ① 構造物の支持地盤が液状化をおこす場合、構造物に一時的に慣性力が作用しなくなる、という現象が生じその際、構造物は沈下する。
- ② 構造物が滑動をおこす場合、その滑動開始加速度は、動水圧を付加質量として考慮することで推定することが可能である。また、滑動発生時、構造物に作用する慣性力は低減される。

5. あとがき

振動台実験の結果に基づき、着底式海洋構造物の地震時挙動について若干の考察を試みた。今後は、解析結果との比較などを含めた詳細な分析をさらに進めることで着底式海洋構造物の地震時挙動の定量的な、そして精度の良い把握を目指したいと考えている。

<参考文献>

- (1) 金谷守・西好一・青山瑞明・飯島健・玉野浩之：水中構造物の地震時滑動に関する振動台実験、第23回土質工学研究発表会、pp.983~984、1988。
- (2) 山本治生・草野直幹・今井貫爾・池谷毅・永富政司：海洋構造物の地震時滑動に関する実証的研究、海洋コンクリート構造物の設計・建造に関するシンポジウム講演概要集、pp.213~224、1990。