

I-472

弾性地盤上の円筒構造物の地震時滑動現象

鹿島建設㈱ 山本治生・今井賢爾・堀越清視

○草野直幹・池谷 毅・永富政司

1. はじめに

着底式構造物は、水平外力に対して、構造物と地盤との間の摩擦力により力の釣合を保つ。着底式海洋構造物の場合、浮力が作用するため陸上の構造物に比べて接地圧が小さくなり、波力や地震力により滑動現象が生じやすくなる。地震による滑動現象については、藤野他¹⁾や堀越²⁾等の解析的な研究や上部他³⁾の実験的な研究がある。しかし、構造物の形状や地盤の弾性の影響については、必ずしも実験的な検証がなされていない状態である。

そこで、本報では海洋構造物によくみられる円筒構造物が弾性地盤上に設置された場合を対象として、地震時に示す滑動挙動を実験的に把握し、滑動挙動を算定する簡易な方法を示すことを目的とする。

2. 相似則

今回の実験では、将来水中実験を行うことを考慮して、相似則としてはフルード相似則を用いた。今回の実験で想定した現地条件、及び縮尺1/100のフルード相似則による模型条件を表-1に示す。

3. 実験方法

(1) 実験装置・実験条件 実験装置、模型の概要を図-1に示す。円筒模型は鋼鉄製とし、重心高さ、重量を変化させることができる。地盤模型は、弾性係数44Kg/cm²のシリコンゴム製である。弾性地盤表面と構造物底面には、摩擦係数調整用のサンドペーパーが張り付けられている。摩擦係数は、滑動現象が発生する前後で変化し、滑動前で静摩擦係数 $\mu_s=0.9$ 、 $\mu_d=0.8$ 、滑動後で $\mu_s=0.7$ 、 $\mu_d=0.6$ 程度である。加振装置としては、小型水中振動装置を用いた。加振条件は振動装置の性能から4, 10, 20Hzの正弦的なものとした。今回は気中でのみ実験している。

(2) 計測方法と計測項目 振動実験で計測した項目は振動台水平加速度、地盤表面水平加速度、構造物の水平、鉛直加速度、及び水平変位である（図-2参照）。加速度の計測には歪ゲージ式加速度計を、変位の計測には非接触変位計を用いた。

3. 実験結果及び考察

図-3 a, b, c, eに滑動現象が発生した場合の典型的な計測結果を示す。これを見ると従来からいわれているとおり滑動が発生した場合には、構造物の応答加速度の波形が矩形に近付き振幅が小さくなることがわかる。また、構造物変位に関してみると、変位が一方方向に蓄積する傾向がある。

表-1 現地条件と模型条件

項目	現地	模型
構造物直径	10m	10cm
構造物重量	1500ton	1.5Kg
構造物重心高さ	3, 5, 7m	3, 5, 7cm
地盤比重	1.6	1.6
地盤弾性係数	4.4tf/cm ²	44Kg/cm ²
振動周波数	1~10Hz	10~100Hz

振動台の性能により4~20Hzの範囲とした

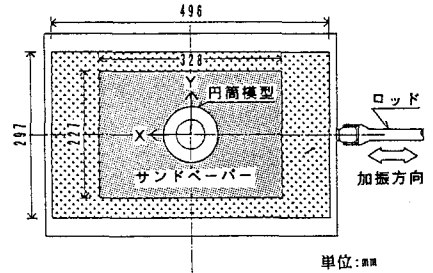


図-1 実験装置概要

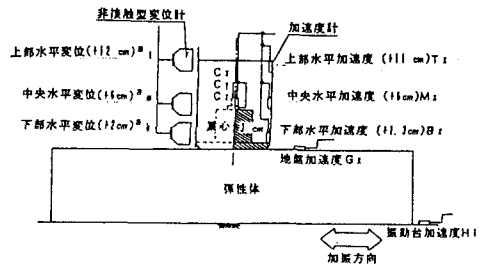


図-2 計測装置概要

図-4に、重心高さが変化した場合の、運動モードの変化を示す。これを見ると、重心高3cmの場合には、滑動現象が卓越し、重心高5cm、7cmの場合には、滑動現象とロッキング現象が共存することがわかる。重心高7cmの場合には、x軸回りの回転運動とy軸回りの回転運動とが連成するロッキング現象となり、振動加速度を増加させて実験する場合、滑動現象が顕著になる前に、構造物が不安定にふれまわる現象がみられる。

図-5に地盤加速度を増加させた場合の上、中、下部水平加速度の最大振幅を示す。これを見ると、ロッキング現象が共存しているために構造物の上、中部の加速度は底部の加速度とは異なっているが、滑動現象の発生の有無は、概ね構造物底部の加速度が摩擦係数に相当する800～1000galに達するか否かで判断することができる。よって、今回の実験の範囲では滑動現象とロッキング現象を分離して考えることが可能である。

4. 滑動応答解析

上述の実験結果から弾性地盤表面の滑動変位を簡単に求めるために、弾性地盤上の加速度を入力加速度として、剛体・剛体間の滑動解析法を用いて解析を行った。滑動解析のアルゴリズムは堀越³⁾の方法に、滑動が発生するごとに摩擦係数が減るサンドペーパーの摩擦特性を考慮したものとした。

5. 解析結果及び考察

図-3 d, eに解析結果の一例を示す。これを見ると、計算結果は応答加速度だけでなく、変位が一方に蓄積する現象まで忠実に再現していることがわかる。よって、剛体・剛体間の解析法により、弾性地盤上の構造物の滑動変位を概ね計算できることがわかる。

6. 結論及び今後の課題

今回実施した実験、解析により、①弾性地盤上の滑動現象はロッキング現象と共存する、②弾性地盤上の滑動現象においても、地盤表面の加速度を入力とすれば剛体・剛体間の解析法による挙動を良好に再現できることが明らかになった。

今後、海洋構造物の滑動を含む地震応答を対象にした場合、周囲の水が存在するために生ずる浮力、動水圧等の滑動現象への影響等を明らかにする必要があることがわかった。

<謝辞> 本研究は、(社)日本造船研究協会第205研究部会「海洋コンクリート構造物の設計・建造技術に関する実証的研究」の一部として実施したものであります。藤田譲東京理科大学教授、松岡一祥船舶技術研究所主任研究官はじめ関係各位に心から謝意を表します。

<参考文献> 1) 藤野他:地震動による物体の滑りについて、震研彙報Vol. 53, 1978. 2) 堀越:地震応答解析, BI T, 58年8月増刊号, 1983. 3) 上部他:水中剛構造物の地震時滑動と動水圧の実験的研究, 港研報告, 23巻, 1984.

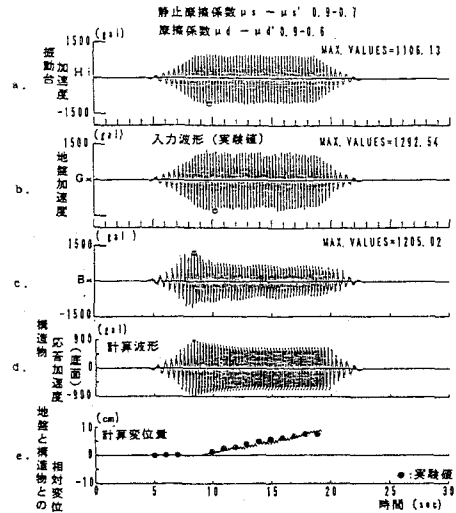


図-3 加速度及び変位の計測並びに解析時系列

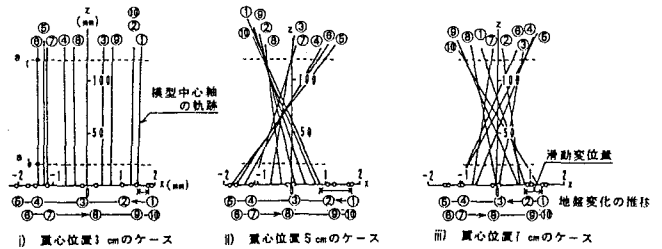


図-4 重心の違いによる運動モードの違い

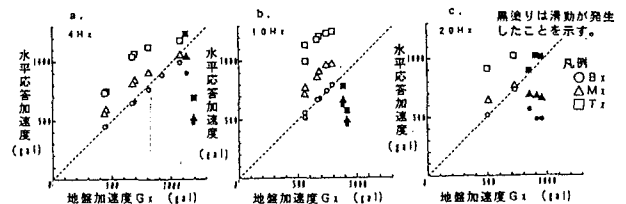


図-5 地盤表面加速度振幅と構造物加速度振幅との関係