

軟着底構造物の地震時応答に関する研究

鳥取大学工学部  
鳥取大学工学部  
鳥取大学大学院

フェロ-会員  
正会員  
学生員

上田 茂  
谷口 朋代  
○稲葉 敬昭

1.はじめに

軟着底構造物は、地盤改良を施さない軟弱地盤上でも浮力を利用することにより直接設置できるような構造物であり、波力などの水平力に対しては構造物底面の摩擦力により抵抗する。本研究では、水中矩形剛体が正弦振動するとして、その運動方程式を数値解析により解くことによりその地震時応答解析を行う。

2. 水中剛体振動

水中で物体が加速度運動すると周囲の水の影響で付加慣性力が作用する。この付加慣性力は動水圧として取り扱うことが出来る。水中振動時にモデルに作用する力は、動水圧合力を  $p_d$  とすると図 1.で表される。剛体の慣性力と動水圧合力の合力が静摩擦力以下の時、剛体は地盤と一体となって振動する。そして地盤

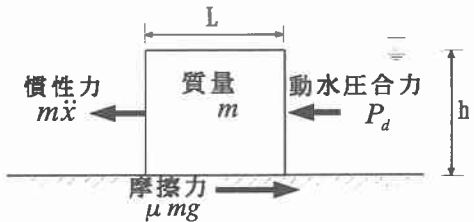


図 1 剛体に作用する力

の加速度、速度が大きくなり合力が静摩擦力を越えると剛体は滑動をはじめる。この時摩擦力は静摩擦力から動摩擦力に不連続に変化し、滑動中の動摩擦力は一定値をとることとする。地盤から剛体への動摩擦力の供給は地盤の加速度に関係なく、剛体の速度よりも地盤の速度の方が大きいときに発生し、地盤と剛体の相対速度がゼロになるまで続く。地盤の加速度は減少し方向を変えるため、剛体はそのまま一方方向に滑動を続けることなく、剛体と地盤の間の相対速度がゼロとなれば、また地盤と一体となって運動する。

3. 動水圧算定

動水圧の算定法は、構造物の形状、水の圧縮性、構造物の変形、構造物設置地盤の特性などを考慮することによりいろいろな算定法が考えられている。本研究では、ウエスターガードの近似式で算定する場合と、浮体の動揺解析に用いられるラディエーション流体力として算定した場合について解析を行う。

| 周期 (s) | 付加質量係数     | 造波減衰係数     |
|--------|------------|------------|
| 0.5    | 23,000,000 | 336,000    |
| 1.0    | 23,000,000 | 336,000    |
| 1.5    | 21,000,000 | 998,000    |
| 2.0    | 19,000,000 | 1,980,000  |
| 2.5    | 17,000,000 | 3,590,000  |
| 3.0    | 14,000,000 | 6,060,000  |
| 3.5    | 10,000,000 | 9,000,000  |
| 4.0    | 7,000,000  | 12,900,000 |

表 1. 流体力係数

ウエスターガードの近似式では動水圧合力を  $P_d = (7 w_0 h^2 B / 12) \times (\ddot{x} / g)$  と表される。ただし  $w_0$  は水の単位体積重量、 $B$  は剛体の幅、 $g$  は重力加速度である。これは剛体の片面に作用する動水圧合力なので振動解析時にはこれを 2 倍した動水圧合力の値を用いる。一方、ラディエーション流体力は浮体の動揺解析時に用いる力で浮体が動揺することによって周囲の流体を運動させることによる反作用力のことである。この力は浮体の加速度に比例する力と速度に比例する力に分けられ、それぞれ加速度、速度で割ったものを付加質量、造波減衰係数とし流体力係数として扱われることが多い。これらの力はいずれも角周波数の関数である。本研究では、係数算定に港湾技術研究所の浮体動揺解析システムプログラムを使用した。本研究で用いた流体力係数を表 1.に示す。剛体は構造物底部に流体領域が存在しないため、同諸元の浮体に比べて流体力係数は大きくなると考えられる。

4. 解析モデル

解析に用いるモデルを図 2 に示す。振動解析時の水深は  $h = 15.00\text{m}$  とする。剛体の静摩擦係数は 0.5 とし、動摩擦係数は 0.5、0.4、0.3 を用いる。

地盤の振動方向は、図の  $x$  軸に平行な方向とし上下方向の振動は考えない。また入力する地震波は、正弦波に  $(1 - e^{-t})$  掛ける。

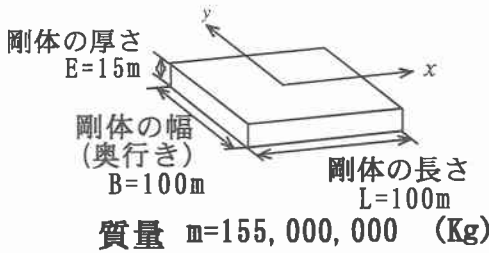


図 2. 剛体諸元

これは、定常的な水平正弦地動の振幅を徐々に大きくしていくことで初期条件による滑動の発現を防ぐためである。結果は十分な時間が経過した時の解析結果を採用する。また周期 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0(s)の時の解析を行い、入力加速度の最大値が 600(gal)になるように振幅の値を調整する。

## 5. 解析結果

それぞれの周期、動摩擦係数、動水圧算定法についてニューマークβ法を用い滑動を解析した。

この結果、地震のような短い周期におけるラディエーション流体力の速度項は小さく、いずれの方法を用いても動水圧は加速度項に依存する形になった。いずれの動水圧算定法を用いた場合も周期が小さいとき、滑動量は近い値になるが、周期が大きくなるに従って、その差は大きくなる。また、いずれの周期、動摩擦係数の場合においてもその動水圧合力、滑動量ともにウエスターガードの近似式を用いた場合の方が大きくなる。

剛体の最大応答加速度は、剛体が滑動を始めるときの加速度となり静摩擦係数に依存する。また滑動中加速度は動摩擦係数に依存し、滑動量は滑動中加速度と地盤の加速度の差に依存する。

剛体の地盤に対する変位は、短周期の時と比較して周期が大きくなると大きくなる。最大応答加速度は動水圧をウエスターガード式において算定した場合、周期、動摩擦係数に関係なく、417Gal になった。また、動水圧をラディエーション係数により求めた場合、短周期ではウエスターガードの式で求めた場合と近い値になるが、周期が大きくなるとその差は大きくなる。

活動中加速度は、動水圧をウエスターガード式において算定した場合、動摩擦係数に依存し動摩擦係数が等しければ周期が異なっても同じ値になり、動水圧をラディエーション係数により求めた場合、最大応答加速度同様、短周期においてはウエスターガードの時に近い値になったが、周期が大きくなると加速度もわずかに大きくなる。

いずれの動水圧算定法を用いた場合も水の影響を考えないときと比較して滑動量が大きくでる結果になった。これは動水圧が作用すると摩擦力に抵抗する力が増えるためと考えられる。

## 6. まとめ

流体力係数はあくまで浮体の場合におけるものである。動水圧の影響が大きく、あるいは摩擦係数が小さくなるほど滑動をはじめる地震加速度が小さく、地盤との相対変位は大きくなる。このとき構造物と外部とを考えた被害は大きくなる。しかし、早く滑動するため構造物自体の応答加速度は小さくなり構造物の内部での被害は小さくなると考えられる。

実際の軟着底構造物は様々なケースが考えられ、構造物の形状、水の圧縮性、構造物の変形、構造物設置地盤の特性などを考慮する必要がある。

## 参考文献

- 1) 上部達生、檜垣典弘：水中の剛構造物の地震時滑動と動水圧の実験的研究、港湾技術研究所報告 Vol.23 No.3 (1984. 9) PP. 153-186
- 2) 土木学会海岸工学委員会：海岸波動、社団法人土木学会 (1994. 7) PP. 403-405

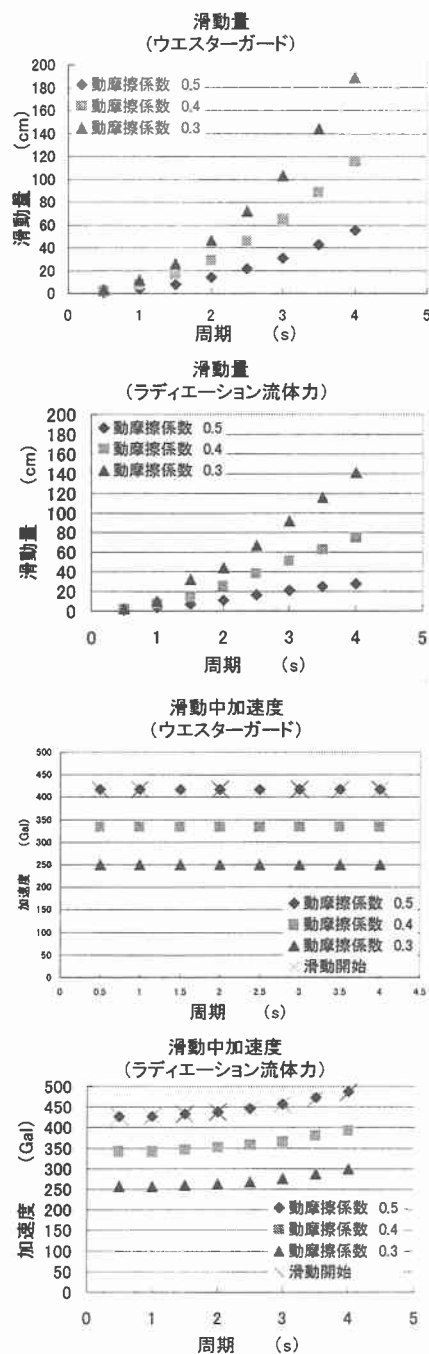


図3 解析結果