

## 波力および地震動を同時に受ける海洋構造物に関する研究

京都大学工学部 正員 渡辺英一 京都大学工学部 正員 酒井哲郎  
 東海大学海洋学部 正員 北原道弘 京都大学大学院 学生員 阿部雅文  
 京都大学大学院 学生員 松本敏克

## 1. まえがき

沖合いでの海上空間開発においては、水深にかかわる様々な制約により、有脚式あるいは浮体式海洋構造物を用いた開発が中心となる。しかし、この様な構造については未知の部分が多く、基礎的な研究も十分であるとはいえない。そこで本研究は、有脚式海洋構造物の脚部材を対象としてこれを円柱にモデル化し、常時作用する波浪を考慮した上で、地震動が発生した時の円柱構造物の振動応答解析を行うものである。このとき構造物自体の動揺により、その近傍の流体が攪乱されるとして、構造物と流体との間で相互作用を回折理論に基づいて厳密に考えた。そして水深をパラメータとして、構造物の波浪あるいは地震動の応答の卓越性について考察し、修正モリソン式より得られる結果と比較、検討した。

## 2. 波力の算定

円柱型海洋構造物に作用する波力を求めるには、一般にモリソン式が用いられるが、地震を受けて構造物が動揺する場合には、次の2点が問題である。

(1) 構造物が動揺するにもかかわらず、水粒子速度としては、静止位置において、しかも、構造物が存在しない場での値を用いなければならない。

(2) 地震動のような大きな加速度がはたらく場合には、この式の成立は定かでない。

以上のことから、本研究では以下に述べる回折理論による方法を用いた。すなわち、波力は次の3つの波の合成により生ずるものである。

(CASE-1) 入射波浪 ; (CASE-2) 波浪を受けた構造物の動揺に伴う散乱波

(CASE-3) 静水中で地震動を受けた構造物の動揺に伴う散乱波

それぞれの場合について速度ポテンシャル $\phi$ を考える。これは連続式を満たし、各々の境界条件に応じて求められる。そして、これらの1次結合により、波浪と地震動が同時に作用する合成場での速度ポテンシャル $\phi$ を表す。この時、数学的に厳密な解を求めるために、次のような仮定を設定した。

(1) 波浪は微小振幅波理論<sup>1)</sup>にしたがい、 $\exp(i\omega_1 t)$ なる振動をする。

(2) 地震動も定常で、 $\exp(i\omega_2 t)$ と近似される。

(3) 構造物の規模及び波の諸性質から、慣性項が卓越する。

(4) 入射波浪と地震動の方向は一致する。

こうして求められた速度ポテンシャル $\phi$ を用いて、波力を算定する<sup>2)</sup>。特に、(case-2),(case-3)にもとづく波力の成分は、造波抵抗と呼ばれる。

## 3. 解析モデル

解析モデルとしては、簡単のため円形断面を有する下端固定の片持ちばり構造を考えた。このモデルを深さ方向に  $n$  個に分割し、有限要素法により解析する。このとき、変位量を次のように定義する。

$x_k$  = 波浪のみが作用した場合の節点  $k$  における絶対変位の振幅 ( $k=1, 2, \dots, n+1$ )

$y_k$  = 地震動のみが作用した場合の節点  $k$  における絶対変位の振幅 ( $k=1, 2, \dots, n+1$ )

地震動を  $y_1 \exp(i\omega_2 t)$  として与えるものとする、時刻  $t$  における節点  $p$  の相対変位  $u$  は、以下のようになる。

$$u = x_k \exp(i\omega_1 t) + (y_k - y_1) \exp(i\omega_2 t)$$

#### 4. 数値解析および結果

水深をパラメータとして変化させるため、水深40mまでは2mごとに可変分割とし、それ以深は20分割とした。正確な応答変位を求めるために整合質量マトリックス<sup>3)</sup>を用い、減衰マトリックスは質量比例とし、構造減衰のみを考えて1次減衰定数を0.02とした。また水深以外の諸元は、Table-1のように設定した。

まず、水深  $h$  を変化させたときに、その水深  $h$  に対応する構造物の節点変位(振幅)を求めた。その結果をFig-1に示す。この図は、横軸に構造物の長さ(水深)をとり、縦軸に1～ $n$ の節点の応答変位のうち最大の振幅( $x_{k_{max}}$ 、 $(y_k - y_1)_{max}$ )をとったものである。ここでは、水深  $h$  を変化させると同時に、波浪の周期  $T$  も8.0、10.0、12.0(秒) にわたり変化させた。 $x_{k_{max}}$  は  $h$  が大きくなるか、 $T$  が短くなるほど大きくなる。 $(y_k - y_1)_{max}$  は、ある水深(この図では34m)からはほとんど変化しなくなる。そのため、小さい水深では地震の影響が卓越しているが、大水深になれば逆に波浪の影響が大きくなる。

次に、構造物の挙動を知るために、波浪と地震の影響が良く現れている64mでの変位の様子をFig-2に表した。また、修正モリソン式を用いた解析法による結果をFig-3に示した。この2つを比べると、 $x_k$  は両者ともほとんど差異が認められないのに対し、 $(y_k - y_1)$  は大きく異なる。すなわち、モリソン式に従えば自由端でのたわみ角は大きくなる。ところが、回折理論に従えばたわみ角は逆に小さく、また  $(y_k - y_1)$  も小さい。これは、流体の乱れに対する評価の程度の違いであると考えられる。

#### 5. 参考文献

- 1) 岩佐義朗：水理学，朝倉書店，pp.182～189，1967年。
- 2) 伊藤喜行・木原力：円柱の動揺に伴う造波抵抗，港湾技術研究所報告，第11巻第3号，運輸省港湾技術研究所，1972年9月。
- 3) 土岐憲三：土木学会編 新体系土木工学11 構造物の耐震解析，技報堂出版，pp.132～133，1981年。

Table-1 諸元の値

| 構造物に関する諸元                                   | 自然外力に関する諸元                        |
|---|-----------------------------------|
| 半径; $r=5.0(\text{m})$                       | 波高; $H=4.0(\text{m})$             |
| 肉厚; $t=0.04(\text{cm})$                     | 地震動の振動数; $F=2.0(\text{Hz})$       |
| 弾性定数; $E=2.1 \times 10^7 (\text{tonf/m}^2)$ | 地震動による最大変位; $y_1=0.074(\text{m})$ |

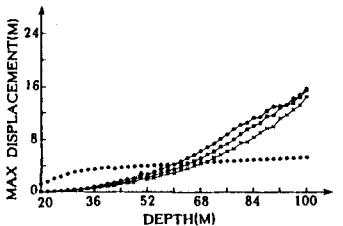


Fig-1 構造物の長さ(水深)をパラメータとして変化させたときの  $x_k$  および  $(y_k - y_1)$

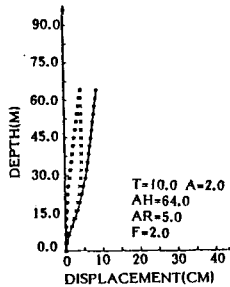


Fig-2 回折理論による水深64mに対応する構造物の節点応答変位

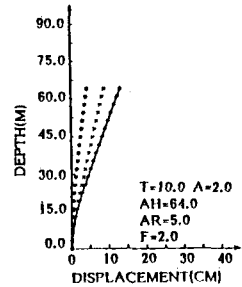


Fig-3 修正モリソン式による水深64mに対応する構造物の節点応答変位