# 浮遊式海洋構造物の実海域実験

## その4. 方向スペクトル波中における動揺応答

正員大松重雄\* 正員安藤定雄\* 正員小宮治彦\*\*

At-sea Experiment of a Floating Offshore Structure Part 4. Motion Responses in Directional Spectra Waves

> by Shigeo Ohmatsu, Member Sadao Ando, Member Haruhiko Komiya, Member

#### Summary

The at-sea experiment of the moored floating platform "POSEIDON" has been carried out at Japan Sea since 1986 for four years. In this experiment, three ultra-sonic type wave probes were installed as a line array at the sea bottom of the test area, and the directional wave spectra were obtained using measured three time series of water surface elevation by Maximum Likelihood Method (MLM). Also, the six components of motions of POSEIDON were measured by accelerometer and vertical/directional gyro.

In this paper, the authors tried to estimate the directional frequency response functions in wave frequency range using these field data. The results estimated by present method were compared with the theoretical response functions and it was found that we need many experimental runs of various wave directions for obtaining fairly good response functions.

### 1. 緒 言

浮遊式海洋構造物の波浪中動揺応答を精度よく予測する ことは非常に重要であり、多くの理論的、実験的研究がな されている。従来、これらの研究の多くは海洋波を長波頂 の一方向不規則波とみなして行われて来たが、近年、海洋 波を現実の短波頂不規則波として取り扱った研究が盛んに 行われるようになった。(たとえば文献 1, 2, 3)。この場合、 海洋波はあらゆる方向からの不規則波が重ね合わされたい わゆる方向スペクトル波として取り扱われる。そして方向 スペクトル波中の動揺の線形一次応答は線形重ね合わせ理 論で推定可能であるといわれている。

しかしこれらの研究は理論計算および模型実験によるも のであり、実機実験によって検証された例は著者の知る限 りないようである。そこで本論文では、浮遊式海洋構造物 『POSEIDON 号』(以後 P 号と略す)の実海域実験データを 利用し、短波頂不規則波中の実測値から応答関数を推算す

\*\* 日本鋼管(株)

ることを試みる。また逆に、そうして求めた応答関数ある いは理論計算による応答関数から方向スペクトル波中の動 揺応答を推定した結果と実測値との比較を行うことにす る。P号の動揺特性についてはすでに文献4)で模型実験結 果との比較を中心に発表しているが、本論文は方向波中で の動揺としての取り扱いを中心に述べたものである。

なお不規則波中での海洋構造物の動揺には、よく知られ ているように、線形一次応答のほかに長周期運動などの非 線形応答があるが、それらについては別の機会にゆずるこ とにする。

#### 2. 実機実験

実海域実験に使用した P 号は, Fig. 1 に示すように 12本 のフーティング付きコラムに支えられたプラットフォーム の形状をしている。コラムの直径は 2 m (左右舷の 2 本ずつ は 2.5 m), フーティングの直径は 4 m, 高さは 2.5 m で, 各コラムはそれぞれ 10 m の間隔で配置されている。P 号 の主要目を Table 1 に示す。また P 号は,沖側のコーナー 各 2 本,陸側のコーナー各 1 本,合計 6 本のチェーンで弛 緩係留されている。係留の方向は,実験海域の冬場の海象

<sup>\*</sup> 運輸省船舶技術研究所海洋開発工学部





Fig. 1 Side view and plan view of POSEIDON

		DIMENSIONS
1 TEMS		DIMENSIONS
Length overall		34.0 m
Breadth overall		24.0 m
Height of main structure		13.5 m
Draft		5.5 m
Distance between columns		10.0 m
Column diameter		2.0 m (2.5 m)
Column height		8.5 m
Footing diameter		4.0 m
Footing height		2.5 m
Displacement	(\( )	514.63 m <sup>3</sup>
Height of C.G.	(KG)	6.48 m
Height of C.B.	(КВ)	2.01 m
Metacentric height		
Transverse	(GMt)	1.89 m
Longitudinal	(GM1)	5.30 m
Radius of gyration		
Roll	(Kxx)	9.81 m
Pitch	(Куу)	12.86 m
Yaw	(Kzz)	14.85 m

Table 1 Principal dimensions of POSEIDON

\* water depth is 41.6 m.



Fig. 2 Arrangement of chain lines and wave probes

条件を考慮し,主に船首方向から入射波を受けるように, 船首を WNW (292.5°)の方向にして係留されている<sup>5)</sup> (Fig.2参照)。

P号の動揺は, surge, sway, heave は甲板上中央に設置 した加速度計の信号を時間につき2重積分することにより 求めた。その際, P号の傾斜による重力加速度の成分は除去 した<sup>6)</sup>。 Roll, pitch は vertical gyro で, yaw は舶用 directional gyro で計測した。なお本論文に示す surge, sway, heave は甲板上中央での値であり,重心位置での値ではな い。

入射波の計測は, P 号の船首側前方約 180 m に設置された3台の海底設置型超音波式波高計により行った。前報<sup>n</sup>に示したように,3台の波高計アレイの信号より最尤法(MLM)で入射波の方向スペクトルを求めた。

データ収録は P 号上のパソコンにより1日4回,6時間 毎に各34分8秒間,自動的に行われる定時計測(サンプリ ングタイム  $\Delta t = 0.5$ 秒)と,観測員の判断でスタート/スト ップ信号を P 号に送信することによって行われる長時間 連続の臨時計測( $\Delta t = 1.0$ 秒)の2種類が行われたが,本論 文では定時計測の結果を利用する。

#### 3. 方向周波数応答関数の推定

浮遊式海洋構造物の方向周波数応答関数の推定について は竹沢ら<sup>3)</sup>の水槽実験による研究がある。本論文でもそこ



Fig. 3 Estimated directional frequency response functions of surge motion using 30 experimental cases

浮遊式海洋構造物の実海域実験





190

に示された解析方法を参考にする。

方向スペクトル波中での動揺の応答スペクトルは次式で 与えられる。

$$S_i(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} |H_i(\omega, \chi)|^2 W(\omega, \chi) d\chi \qquad (1)$$

ここで  $S_i$  は動揺の応答スペクトル, W は方向波のスペクトル関数であり,  $H_i$  が求めるべき動揺の方向周波数応答関数である。 $\omega$  は周波数,  $\chi$  は波向角で本論文では向い波状態を 0° と設定した。方向波のスペクトル関数 W は、周波数に対するエネルギー密度の分布を表す周波数スペクトルと、各周波数毎の方向の分布を表す方向分布関数の積として、次のように表される。

 $W(\omega, \chi) = D(\omega, \chi) S_{\eta}(\omega)$ (2) ここで  $D(\omega, \chi)$ : 方向分布関数

 $\int_{-\pi}^{\pi} D(\omega, \chi) d\chi = 1$ 

(2)式を(1)式に代入すると

$$S_{i}(\omega) = S_{\eta}(\omega) \int_{-1}^{n} |H_{i}(\omega, \chi)|^{2} D(\omega, \chi) d\chi \qquad (3)$$

を得る。ここで  $S_n(\omega)$  と  $D(\omega, \chi)$  は 3 台の波高計アレイの 信号を使用した MLM 解析により,また  $S_i(\omega)$  も動揺の実 測値のスペクトル解析により求められるので,(3)式を離 散化することにより  $H_i(\omega, \chi)$  を未知数とする方程式が得 られる。 $H_i(\omega, \chi)$  を求めるためには,離散化による未知数 の数以上の方程式が必要であり,複数のデータを利用して 連立方程式を解くことになる。

以下,推算結果について述べる。

計算には 1988 年 12 月および 1989 年 1 月の定時計測の データを利用した。実験海域の波向は、ある程度以上の波 高になるとほとんど P 号の前方から、すなわち  $\chi = \pm 90^{\circ}$ の範囲に限られるので、求めるべき方向周波数応答関数も この範囲に限定した。また計算する周波数の範囲は入射波 のパワーがある程度以上必要であり、 $0.08 \sim 0.16$  Hz の範



Fig. 5 Principal directions and significant wave heights of 62 experimental cases used for estimation

囲とした。χの離散化については, 10°毎および 30°毎の2 種類,計算に使用する実験ケースの数は未知数の数から62 ケースまで,種々試みたが,10°毎の場合,精度良い結果を 得ることができなかった。30°毎の場合,未知数の数は,応 答関数の左右対称性を考慮すると,4個である。4個の未 知数に対し、4個の実験ケースを利用すれば解は得られる が、非常に精度が悪い。したがって、それ以上の実験ケー スを利用し,最小二乗法で解を得ることにした。計算に使 用した実験ケース(つまり方程式の数)が 30 個の場合の surge の例を Fig. 3 に示す。これでもあまり精度の良い推 算とは言えない。最終的には 62 個のケースを利用した。結 果を Fig.4に示す。推算結果はχが大きくなるほど,つま り波のパワー少なくなるほどばらつきも大きくなる。しか しながら,図中には特異点分布法による理論計算の結果(波 高 3.0 m, コラムの軸方向の Cd=2.0, 軸に垂直方向の Cd =1.0 で計算)も示すが,両者はおおよそ一致していること がわかる。推算結果のばらつきは,風や流れなどの外乱の 影響,波の方向スペクトルおよび動揺の応答スペクトルの



Fig. 6 Bird eye view and contour curve of directional wave spectrum for the case of S8121705





192

日本造船学会論文集 第169号



Fig. 8 Errors of root mean square of zeroth spectral moment

推定精度のほかに,求めるべき応答関数そのものが厳密に は波高に対して線形ではないことにも起因しているであろ う。

なお、竹沢ら<sup>3</sup>は方向周波数応答関数をフーリエ級数に 展開する方法を示している。今回その方法も試みてみたが、 結果はほぼ同様であった。いずれにせよ、精度良い解を得 るにはできるだけ入射波の方向の異なる実験ケースを多数 使用することが必要である。参考のために、今回の計算に 使用した 62 ケースの入射波の有義波高と主波向の分布を Fg.5 に示しておく。

#### 4. 方向スペクトル波中の応答予測

方向周波数応答関数が与えられれば、(3)式により方向 スペクトル波中の動揺応答を推算することができる。

前節で求めた方向周波数応答関数を用いて,動揺のスペ クトルを推算した結果の一例を Fig.7 に示す。この場合の 入射波の有義波高は 4.9 m,主波向はほぼ船首からであっ た。方向スペクトルを鳥瞰図および contour curveで Fig. 6 に示す。Fig.7より推算値と実測値はほぼ一致している ことがわかる。図中には前節で述べた理論計算による方向 周波数応答関数を使用した推算結果も示してあるが,一致 度はあまりよくない。特に pitch について顕著である。それ は Fig.4(e)に示されているように推算された応答関数と 理論計算による応答関数がかなり違っていることによる。 また Fig.7(a)には $\chi=0^\circ$ の応答関数のみを使用した場合 (すなわち長波頂と仮定した場合)の推算結果も示してある が、当然ながら実測値より大きな値となっている。

方向スペクトル波中の応答予測の精度を調べるために, 予測されたスペクトルの0次モーメントの平方根を,実測 のそれと比較してみた。

$E1 = (\sqrt{m_0'} - \sqrt{m_0}) / \sqrt{m_0}$	(4)

$$E2=(\sqrt{m_0^{\prime}} - \sqrt{m_0})/\sqrt{m_0}$$
 (5)  
ここで  $m_0$  は実測値,  $m_0$  は推算された応答関数による予約値  $m_1^{\prime\prime}$  は理論計算で求めた広答関数による予約

値, m% は理論計算で求めた応答関数による予測値である。 前節で示した 62 ケースにつき, この E1 および E2 を入射 波の主方向を横軸に示したのが Fig. 8 である。図中には E1, E2 の平均値および標準偏差も示してある。この図よ りどの程度で応答が予測できるかがわかる。横運動の精度 が縦運動のそれより悪いのは,入射波が主に船首方向であ り,横運動量が相対的に小さいからであろう。また, E1, E2 の標準偏差を比較すると, E1の方が小さいことがわか る。

## 5. 結 言

本論文では浮遊式海洋構造物 POSEIDON 号の実海域 実験のデータを利用し、方向スペクトル波中の動揺につい て、線形方向周波数応答関数の推算を試みた。得られた結 論を要約して、以下に示す。

- 1) 本論文で示した方法により、実海域における方向波 および動揺の実測データから線形方向周波数応答関数 の振幅部分を推算することができる。ただし、実用上 十分な精度の応答関数を得るにはできるだけ広い範囲 からの入射波を数多く利用する必要がある。
- 2) こうして求めた方向周波数応答関数と波方向スペクトルから、どの程度の精度で動揺応答のスペクトルを予測することができるかを示した。

おわりに、本研究は運輸技術研究開発費による「海洋構 造物の沖合展開のための開発研究」の一環として海洋科学 技術センターを始め、日本海事協会、民間企業七社との共 同研究として実施された。本研究の実施に当たって設置さ れた総合研究会の元良会長および浮遊式構造物分科会の宝 田会長を始め、関係各位にお礼申し上げます。

共著者の一人である海洋開発工学部安藤定雄部長は本論 文作成中の1990年12月25日,突然永眠されました。

本実海域実験は安藤部長の強力なイニシアチフのもとに 実施されてきたものであり、その努力がこれから結実する という時に帰らぬ人となられたことは、本人にとっていか ばかりか無念であったでしょう。今後、部員一同は故人の 志を継いで、このプロジェクトの完成に努力するつもりで あります。

この紙面を借りて,安藤定雄部長のご冥福をお祈り致し ます。

#### 参考文献

- 1) 竹沢誠二,小林顕太郎:方向スペクトル波中におけ る海洋構造物の応答-その1 線形一次応答-,日 本造船学会論文集,第165号(1989)
- Takezawa, S., Hirayama, T., Shivashis Acharyya: Towed Ship Motion Test in Directional Spectrum Waves in a Long Tank (Part 3), Journal of Society of Naval Architects of Japan, No. 167 (1990)
- 竹沢誠二,平山次清,上野誠也,陳剛:浮遊型海洋 構造物の方向スペクトル波中実験に基く方向周波数 応答関数推定,日本造船学会論文集,第168号(1990)
- 4) 大松重雄他:浮遊式海洋構造物による実海域実験 (5)模型実験と実海域実験との相関について,第54 回船舶技術研究研究所発表会講演集(1989)
- 5) 安藤定雄,工藤君明,矢後清和:浮体式海洋構造物 による海域実験,日本造船学会誌,第695号(1987)
- 大川豊他:浮遊式海洋構造物による実海域実験(4) 実験構造物の運動性能,第50回船舶技術研究所研究 発表会講演集(1987)
- 7) 吉元博又,安藤定雄,小林顕太郎:浮遊式海洋構造物の実海域実験その3.実験海域の波方向スペクトルについて、日本造船学会論文集、第168号(1990)