

平成 19 年度（財）港湾空港建設技術サービスセンター

研究開発助成報告書

助成番号：平成 19 年 2 月 2 日付 06－2 号

研究開発項目：(8) 公共施設の維持管理

港内長周期波浪計測と港内作業・係留船警報システム構築 (2)

平成 20 年 5 月

神戸大学大学院海事科学研究科

河口 信義

# 目 次

|          |                    |           |
|----------|--------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>はじめに</b>        | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>実験方法</b>        | <b>2</b>  |
| 2.1      | 実験概要 . . . . .     | 2         |
| 2.2      | 波浪観測ブイ . . . . .   | 4         |
| 2.3      | 港内係留船舶 . . . . .   | 7         |
| <b>3</b> | <b>解析方法</b>        | <b>11</b> |
| 3.1      | 波浪情報計測 . . . . .   | 11        |
| 3.1.1    | 波高 . . . . .       | 11        |
| 3.1.2    | 波向き . . . . .      | 11        |
| 3.2      | 移動体動揺計測法 . . . . . | 12        |
| 3.2.1    | 姿勢計測 . . . . .     | 12        |
| 3.2.2    | 移動量計測 . . . . .    | 15        |
| <b>4</b> | <b>結果および考察</b>     | <b>17</b> |
| 4.1      | 波浪情報 . . . . .     | 17        |
| 4.1.1    | 波高 . . . . .       | 17        |
| 4.1.2    | 波向き . . . . .      | 22        |
| 4.2      | 船体動揺 . . . . .     | 24        |
| 4.2.1    | 姿勢計測 . . . . .     | 24        |
| 4.2.2    | 移動量計測 . . . . .    | 27        |
| <b>5</b> | <b>警報システム</b>      | <b>30</b> |
| <b>6</b> | <b>まとめ</b>         | <b>32</b> |

# 1 はじめに

港湾内で発生する通常の重力波（周期約 0.1 秒～30 秒程度）が引き起こす問題は、ハード面から解決されつつあるが、周期が数十秒～数十分にわたる比較的長い周期の長周期波浪が定在性か進行性のなみであるかはまだ明らかにされていない。さらに、これらの長周期波浪は港に係留している船舶や錨泊している船舶にとって、非常に危険な大きな水平運動が誘発され、係留索の切断あるいは走錨など重大な支障をきたしている。そこで、我々は今までに長周期波浪の発生メカニズムを研究するために必要な計測システム構築およびその性能評価に重点を置き研究を進めてきた。

本研究テーマは我々が継続的に進めてきた研究の一要素的な課題として港内の長周期波浪の波向き・波高および係留船舶への影響を計測し、その結果を用いて港内における係留船舶および工事作業船舶の安全を確保することが目的であり、本テーマを実行することで港湾の建設・維持管理に係る技術およびそのためのシステム構築に多大な貢献ができるものとする。

本年度は昨年度に引き続き、台風発生時に生じる長周期波による船体動揺計測をキネマティック GPS（以下 K-GPS）によって行う手法を検討し、その結果を評価することを目的とし、南方の外洋に開いている沖縄本島付近にある台風による長周期波浪によって船舶と岸壁が接触し、岸壁損傷による多大な損害が生じている鹿児島県志布志港において、港外ブイ・港内ブイおよび係留船舶のそれぞれにキネマティック GPS を設置し、港内外における長周期波浪情報（波高および波向き）およびそれら波浪に係留中の船舶の動揺に与える影響を実験的に調査し、港内作業・係留船への警報システム構築のための基礎的な資料とする。

## 2 実験方法

### 2.1 実験概要

実験は2007年9月17日11時から13時までの約2時間、志布志港港外に3個と港内係留船舶の近傍海域に3個のGPSブイを設置し、さらに係留船舶（フェリー：12,418トン）の船首、左舷、船尾の3カ所にK-GPS受信機を、また係留船舶から約3km離れた陸上にリファレンス局を設置した。図1に志布志港付近実験海域における港外および港内のブイ設置、図1に係留船舶の係留状態およびGPS受信機設置位置を示す。



図1: 実験海域とブイ・係留船配置



図 2: 港内係留船および付近設置ブイ配置

実験当日の天候は台風11号が過ぎ去り、天候晴れ、風速2-3m/s程度であったが、沖縄東方海上に次の台風12号があり、目視による波高は港外で約1.5m、港内で約0.5m程度であった。図3に実験当日の天気図、図4に志布志港内の波の様子を示す。

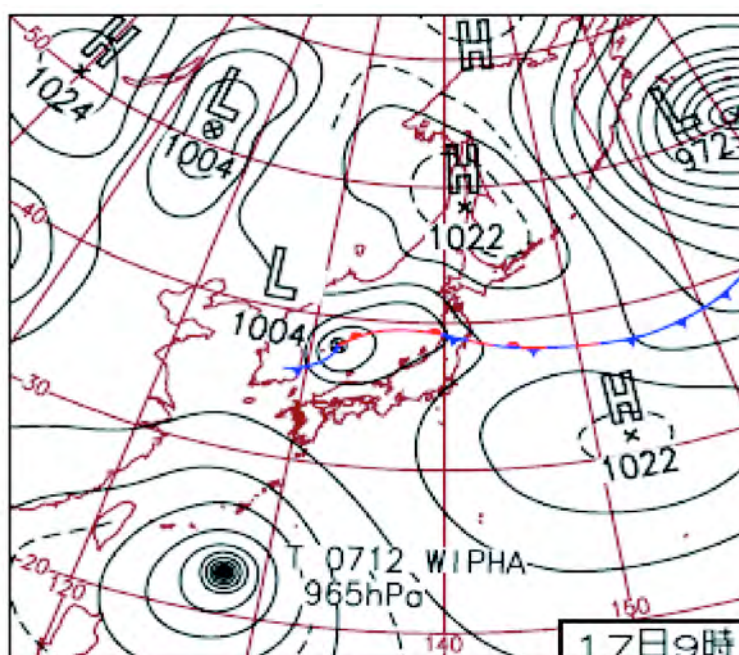


図 3: 実験当日の天気図

## 2.2 波浪観測ブイ

本実験は港外波浪と港内波浪の違いを調べるために、同時に港内および港外に波浪観測ブイを設置して波浪情報（波高および波向き）を計測した。また、前回同様に港外および港内ブイは3個のブイを1辺約100m間隔で正三角形配置とした。

港外ブイは気象条件が悪くならない限り常時係留状態とし、ブイに設置したGPS受信機による情報は無線LANを用いて、港外ブイ設置付近にある陸上のリファレンス局へのデータ伝送を行なった。設置時における港外ブイおよび近傍の陸上に有るリファレンス局を図5および図6に示す。

また、港内設置ブイは無線によるデータ伝送では無く、ブイに設置した小型パーソナルコンピュータにGPS受信機からのデータを記録し、実験後にデータ解析を行なう。港内ブイを図7に示す。

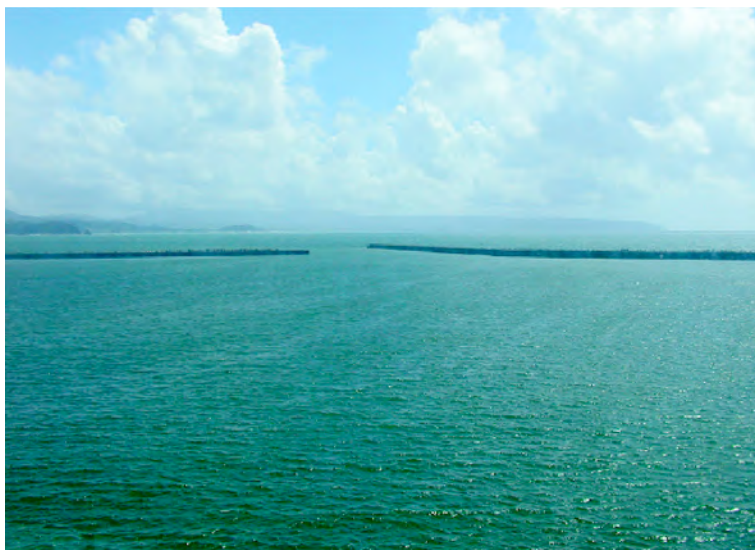


図 4: 実験時における港内の様子



図 5: 港外設置ブイ



図 6: 陸上リファレンス局



図 7: 港内設置ブイ

## 2.3 港内係留船舶

港内係留船舶は株式会社「ダイヤモンドフェリー」所有のサンフラワー（総トン数12,418トン，全長186m，船幅25.5m）を計測対象船舶とした．船舶の運航スケジュールに従って，志布志港における係留時刻が10時から18時の間であることから実験は11時から13時までの2時間とした．計測対象船舶の全景を図8に示す．



図 8: 計測対象船舶

また，係留船舶の動揺を計測するために3つのGPS受信機を設置した．一般的に，陸上リファレンス局と移動局間の距離は20km以内であれば，キネマティックGPSによる精密計測を行なうことが可能であり，本実験における陸上リファレンス局と係留船舶間の距離は約3 km程度であることから，受信したGPSデータをキネマティック処理を行なうための条件は十分満足している．係留船舶へのGPS受信機配置および係留索状態の概要を図9に示す．また船首，船尾および舷側の3カ所に設置したGPS受信機を図10，11，12，船首および船尾における係留索の状態を図13，14に示す．

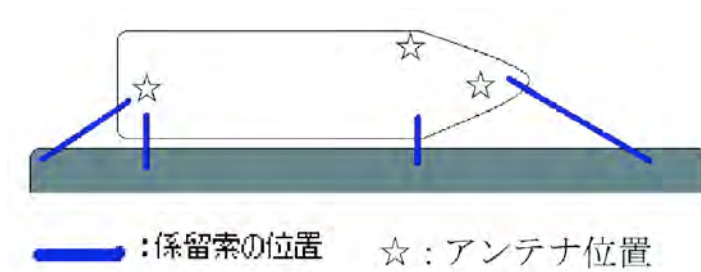


図 9: 係留船舶上の GPS 受信機配置および係留索状態

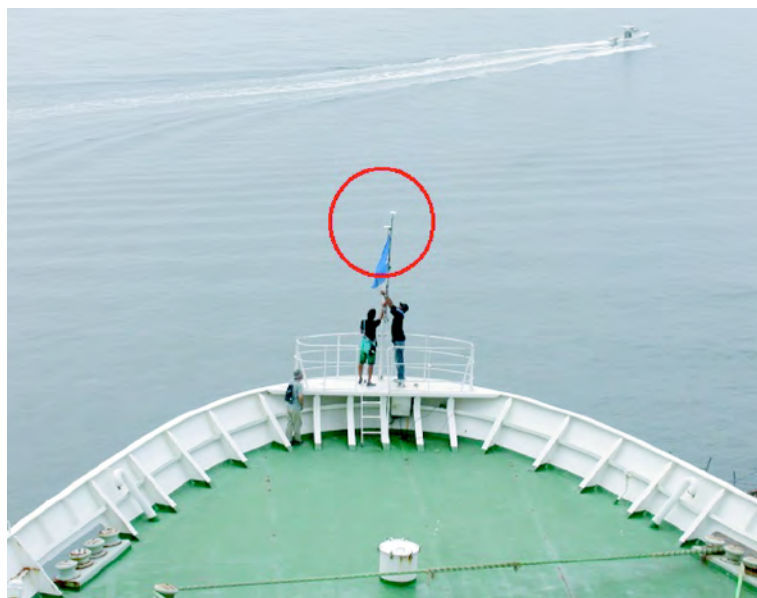


図 10: 船首配置した GPS 受信機



図 11: 船尾配置した GPS 受信機



図 12: 舷側配置した GPS 受信機



図 13: 船首係留索の状態



図 14: 船尾係留索の状態

## 3 解析方法

### 3.1 波浪情報計測

本研究では波浪情報として波高と波向きを収集することを目的として、波高は GPS ブイの垂直変位から求め、また波向きは GPS ブイの水平変位量を水粒子運動の水平変位と見なし、その方向を測定することで得る。

#### 3.1.1 波高

波高とは波の山から谷までの高さをいうが、波浪予想図や波浪実況図、強風注意報や暴風警報、あるいは天気予報で示される波高は正確には有義波高である。有義波高はある一定の時間内に観測された  $N$  個の波を波高の高いほうから順に並べて上位  $N/3$  個を取り出し、その波高の平均をとったものである。この波は経験によると、熟練した観測者が波高を観測するときにはほぼ有義波に近い値を得るという。ここでは、GPS ブイの垂直変位量に基づいた有義波高を計算により求める。

#### 3.1.2 波向き

理想的な波を考えたとき波の断面は、トロコイド曲線（大円をころがしたとき、その中の小円の一点が描く曲線）に近く、水の粒子の軌道は進行しないで円を描く。円の直径が波高に相当する。海底が浅い場合は、楕円軌道になる。波が次第に大きくなると、水粒子が波の山で前進する距離が波の谷で後退する距離よりも大きくなり、円運動しながら少しずつ進むようになる。

本研究では、洋上に浮かべたブイは水粒子運動に同調し運動すると考え、以下の様に波向きを推定する。

1. GPS ブイの垂直変位より、波高を求める。
2. 波高の周波数解析を行うことで、波の周期を求める。
3. 波の周期より、1 波毎の GPS ブイ水平成分を求める。
4. 水平成分の回帰直線を求め、回帰直線方位から波向きを推定する。
5. 最後に得られたデータの波数分の波向きを平均化し波向きとする。

## 3.2 移動体動揺計測法

移動体の動揺を次の6成分（swaying 左右移動： $X$ ，surging 前後移動： $Y$ ，heaving 上下移動： $Z$ ，pitching 前後揺角： $\psi$ ，rolling 横揺角： $\phi$ ，yawing 左右揺角： $\theta$ ）とし，ここでは移動体の姿勢角を表す pitching 前後揺角： $\psi$ ，rolling 横揺角： $\phi$ ，yawing 左右揺角： $\theta$ を姿勢計測として，さらに swaying 左右移動： $X$ ，surging 前後移動： $Y$ ，heaving 上下移動： $Z$ を移動量計測とし，はじめに姿勢計測により3つの角度を求め，次に移動量計測により3つの平行移動量を求める．

### 3.2.1 姿勢計測

航空機や船舶など移動体における動揺に伴う姿勢を決定するためにGPSを用いる．まずここでは，船体甲板上に移動体プラットフォームを考え，移動体プラットフォームの姿勢は，プラットフォームに固定された座標系の各々の軸についてのオイラー回転角度で与えられる．そこで，これらの移動体の姿勢を表すオイラー回転角は，移動体固定プラットフォーム座標上に設置された3つのGPSアンテナ相対位置とローカル・フレーム座標系上でGPSの位置を精密に測ることで決定できる．図15は，プラットフォームに固定された座標系の3つのオイラー回転角度と3つのGPSアンテナの位置を示す．

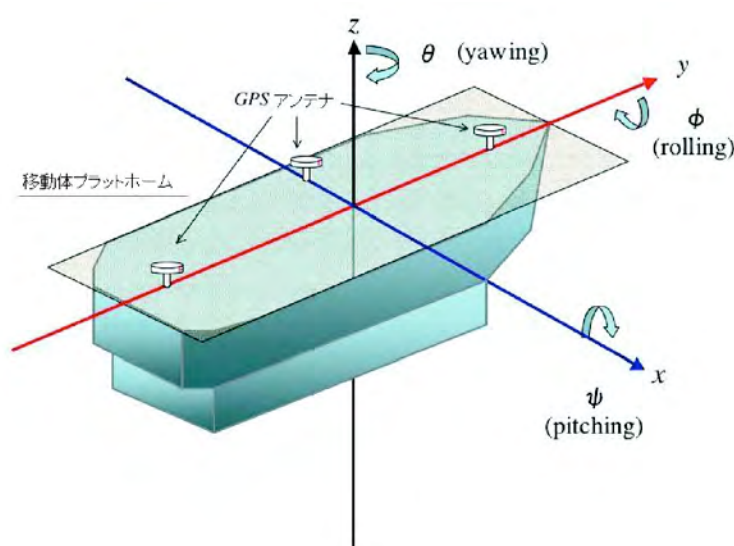


図 15: 移動体プラットフォーム上の GPS アンテナ位置とオイラー回転角

この図において, yawing は,  $z$  軸についての回転角度である (時計回りを+とする), pitching は  $x$  軸 (時計回りを+とする) についての回転角度である. pitching の測定は, 図 16 に示すように #1 及び #2 で示される船首および船尾に設置した GPS アンテナの位置は重心位置  $(0,0,0)$  を中心とした pitching により #1' 及び #2' に移動したとすると, #1' 及び #2' の  $(y, z)$  位置成分から直接 pitching 角度が求められる. 同様にして, 船首尾線上に取り付けた GPS アンテナの  $(x, z)$  と左舷側に取り付けた GPS アンテナの  $(x, z)$  より rolling 角度, 船首尾線上に取り付けた GPS アンテナの  $(x, y)$  より yawing 角度が原理的には求められる.

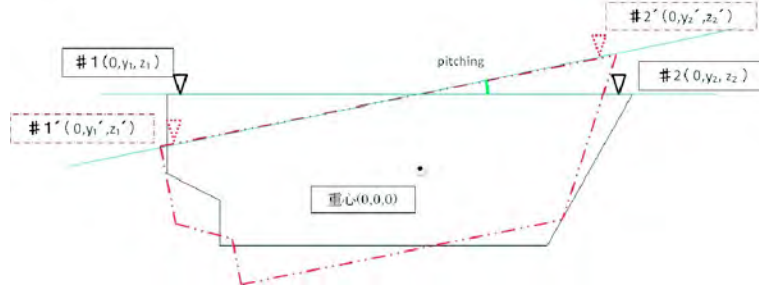


図 16: pitching と GPS アンテナ位置

移動体の動揺を次の 6 成分 (swaying 左右移動:  $X$ , surging 前後移動:  $Y$ , heaving 上下移動:  $Z$ , pitching 前後揺角:  $\psi$ , rolling 横揺角:  $\phi$ , yawing 左右揺角:  $\theta$ ) の中で三次元移動体における姿勢を表すためのオイラー回転角を用いて回転マトリックス  $\mathbf{R}(\psi, \phi, \theta)$  を以下の式で定義する.

$$\mathbf{R}(\psi, \phi, \theta) = \begin{vmatrix} \cos(\psi)\cos(\theta) & \cos(\psi)\cos(\theta) & -\sin(\psi)\cos(\phi) \\ -\sin(\psi)\sin(\phi)\sin(\theta) & +\sin(\psi)\sin(\phi)\sin(\theta) & \\ -\cos(\phi)\sin(\theta) & \cos(\phi)\cos(\theta) & \sin(\phi) \\ \sin(\psi)\cos(\theta) & \sin(\psi)\sin(\theta) & \cos(\psi)\cos(\phi) \\ +\cos(\psi)\sin(\phi)\sin(\theta) & -\cos(\psi)\sin(\phi)\cos(\theta) & \end{vmatrix} \quad (1)$$

$i$  番目の GPS アンテナの移動体プラットフォーム上の固定位置座標を  $(x_i, y_i, z_i)$  とし, リ

ファレンス局を原点として東方向を X 軸の正方向、北方向を Y 軸の正方向および上方向を Z 軸の正方向にとるローカル位置座標系を考え、リファレンス局からの X, Y, Z 方向の位置変位量で与えられる  $i$  番目の GPS アンテナのローカル位置座標を  $(X_i, Y_i, Z_i)$  とする。船上に設置された GPS アンテナの個数が 3 個であることからローカル位置マトリックス  $\mathbf{L}$  および動体プラットフォーム上固定位置マトリックス  $\mathbf{P}$  を

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

と定義すると、ローカル位置マトリックス  $\mathbf{L}$  は回転マトリックス  $\mathbf{R}$  および移動体プラットフォーム上固定位置マトリックス  $\mathbf{P}$  を用いて、

$$\mathbf{L} = \mathbf{R}\mathbf{P} \quad (4)$$

となり、オイラー回転マトリックスは

$$\mathbf{R} = \mathbf{L}\mathbf{P}^{-1} \quad (5)$$

を移動体固定プラットフォーム座標上に 3 つの GPS アンテナ位置と、ローカル座標上で計測された 3 つの GPS アンテナ位置が計測されることで回転マトリックス  $\mathbf{R}$  の 9 つの構成要素の値が求まる。

次に、回転マトリックス  $\mathbf{R}$  の構成要素と回転角の関係から

$$\theta = \tan^{-1}\left\{\frac{\mathbf{R}(2,1)}{\mathbf{R}(2,2)}\right\} \quad (6)$$

$$\psi = \tan^{-1}\left\{\frac{\mathbf{R}(2,3)}{\sqrt{\mathbf{R}(2,1)^2 + \mathbf{R}(2,2)^2}}\right\} \quad (7)$$

$$\phi = \tan^{-1}\left\{\frac{\mathbf{R}(1,3)}{\mathbf{R}(3,3)}\right\} \quad (8)$$

となり、回転マトリックス  $\mathbf{R}$  の各構成要素は既に得られており、上記 3 つの式により 3 つの GPS アンテナ位置を計測した各時間における pitching 前後揺角： $\psi$ , rolling 横揺角： $\phi$ , yawing 左右揺角： $\theta$  が一意に得られる。

### 3.2.2 移動量計測

直線動揺成分である swaying, surging, heaving は陸上に設置した基準局を原点としたローカル座標系を用い計測する。図 17 に heaving を求めるために必要な概略図を示す。はじめに移動体が動揺していない場合における船首および船尾の GPS アンテナ位置を #1, #2 とする。次に、移動体が直線動揺成分である heaving が生じることで #1' 及び #2' に移動する。さらに、pitching だけを生じることで 2 つの GPS アンテナ位置は #1'' 及び #2'' に移動する。ただし、pitching 角  $\psi$  は前章の手法で既に求まっている。

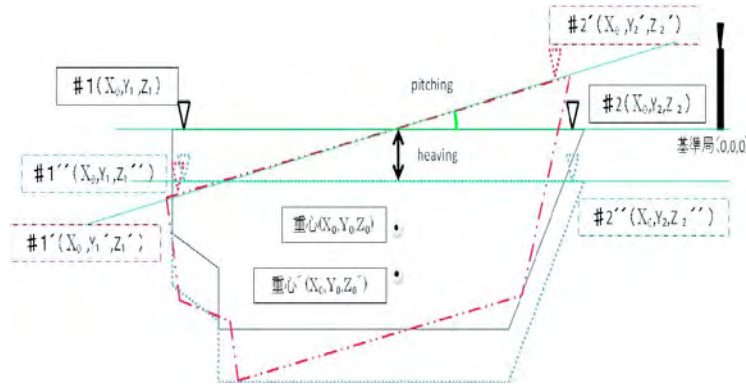


図 17: heaving と GPS アンテナ位置

そこで、pitching と heaving によって移動体が動揺した GPS アンテナ位置 #1' 及び #2' から計測した pitching 角  $\psi$  だけ逆回転させるために回転マトリックス内にマイナスの pitching 角  $-\psi$  を代入し、計測したアンテナ位置を回転させることで、#1'' 及び #2'' のアンテナ位置が求まり、次にローカル座標における GPS アンテナ位置との差を求めることで、直線動揺変位である heaving を求めることができる。

直線動揺変位量を表すベクトル  $\mathbf{S}(P_X, P_Y, P_Z)$  は

$$\mathbf{S} = [P_X, P_Y, P_Z]^T \quad (9)$$

となる。ここで、 $T$  は転置を表す。そこで、ローカル位置マトリックス  $\mathbf{L}$  は回転マトリックス  $\mathbf{R}$  と動体プラットフォーム上固定位置マトリックス  $\mathbf{P}$  の積に直線動揺変位量を表すベクトル  $\mathbf{S}$  を加えた次式で与えられる。

$$\mathbf{L} = \mathbf{R}\mathbf{P} + \mathbf{S} \quad (10)$$

そこで,

$$\mathbf{S} = \mathbf{L} - \mathbf{R}\mathbf{P} \tag{11}$$

ただし,  $\mathbf{S}$  は 3 行 3 列のマトリックスとなることから

$$\mathbf{S} = [\bar{P}_X, \bar{P}_Y, \bar{P}_Z] \tag{12}$$

ここで

$$\bar{P}_X = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 X_i$$

$$\bar{P}_Y = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 Y_i$$

$$\bar{P}_Z = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 Z_i$$

によって得られる.

## 4 結果および考察

### 4.1 波浪情報

#### 4.1.1 波高

はじめに，図 18 および図 19 に港内および港外に設置した GPS ブイの時系列垂直変位量を，またこれら計測値に基づいて計算した有義波高を表 4.1.1 にそれぞれ示す．

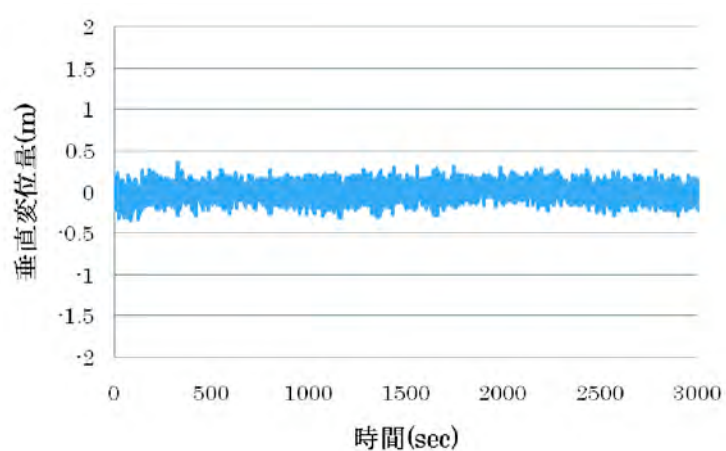


図 18: 港内 No.1GPS ブイの垂直変位

表 1: 港内ブイによる有義波高

|           | 港内 No.1 ブイ | 港内 No.2 ブイ |
|-----------|------------|------------|
| 観測波数      | 300        | 300        |
| 有義波高 (cm) | 41.2       | 39.7       |

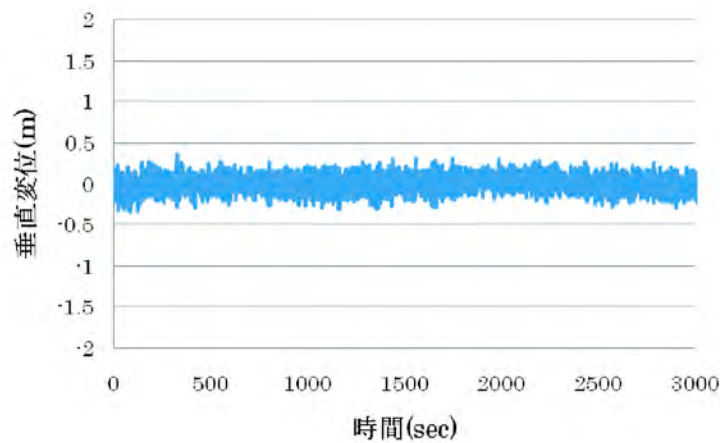


図 19: 港内 No.2GPS ブイの垂直変位

次に，港外設置 GPS ブイによる時系列垂直変位量を図 20 および図 21 にまたこれら計測値に基づいて計算した有義波高を表 4.1.1 にそれぞれ示す．

表 2: 港外ブイによる有義波高

|           | 港外 No.1 ブイ | 港外 No.2 ブイ |
|-----------|------------|------------|
| 観測波数      | 300        | 300        |
| 有義波高 (cm) | 178.2      | 182.3      |

次に，港内および港外波浪のスペクトル解析結果を図 22，図 23 に示す．

これらの結果から，港内および港外の波浪はともに 0.094Hz にスペクトルピークがあった．この結果から周期 10.6 秒の波浪が最も卓越している波浪と考え以下の波向き推定の対象波浪とする．

さらにここでは，昨年度実施した実験結果から港内外波浪の違いを調べる．図 24 に港内外に設置した GPS ブイの垂直変動を時系列で示し，図 25 に両垂直変位のスペクトルを示す．

港内では約 30cm 程度の変動がみられ，港外では 40cm から最大で 1m の変動がみられ，スペクトルはともに 0.09Hz 付近（周期約 10 秒）にピークが見られるが，これらの卓越した波浪は防波堤によって減衰している．しかしながら，0.04Hz より低い（周期 25 秒より長い）長周期波は防波堤による減衰が少ないように見受けられる．

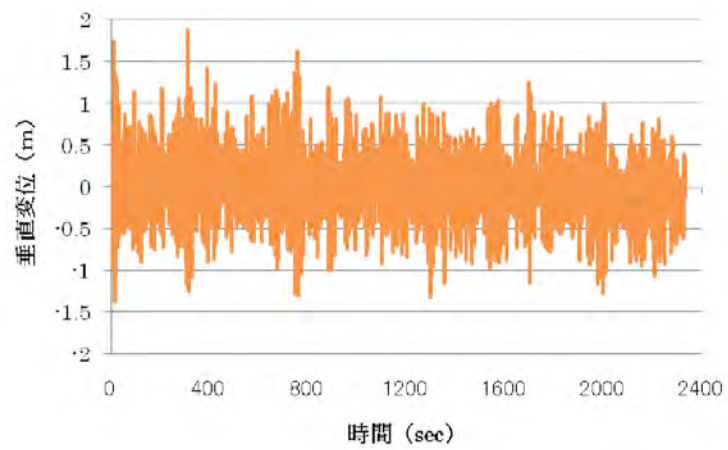


図 20: 港外 No.1GPS ブイの垂直変位

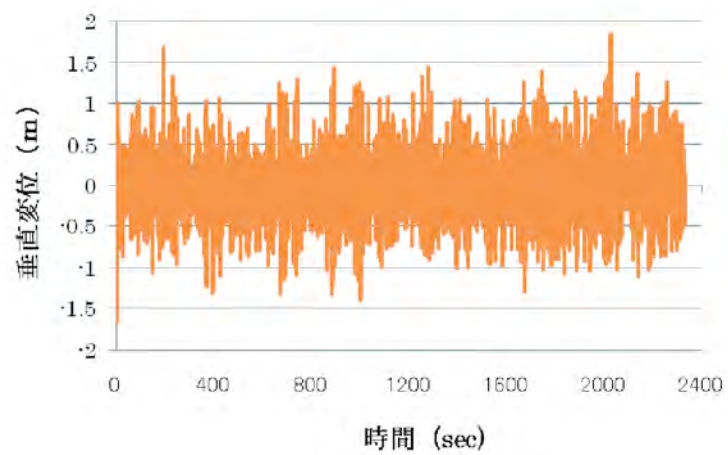


図 21: 港外 No.2GPS ブイの垂直変位



図 22: 港内波浪スペクトル



図 23: 港外波浪スペクトル

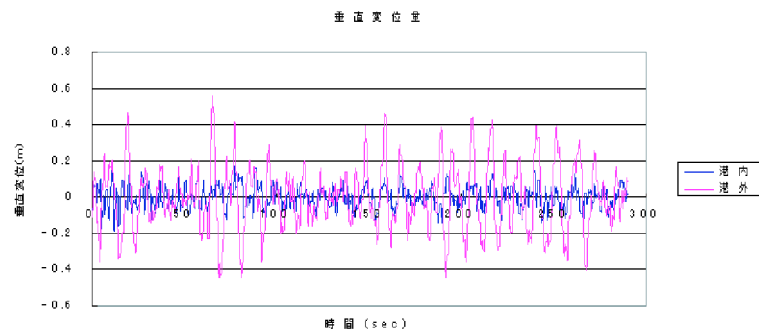


図 24: 港内外 GPS ブイの垂直変位時系列

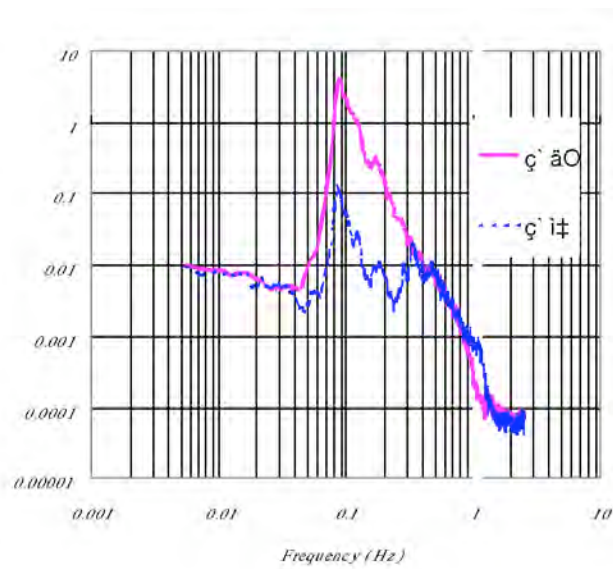


図 25: 港内外 GPS ブイのスペクトル

### 4.1.2 波向き

港内外に設置した GPS ブイの垂直変位を解析した結果から，以下では周期 10.6 秒の波浪を対象波浪とする．図 26，図 27 に港内および港外ブイの対象波浪一周気分の水平変位の一例を示す．

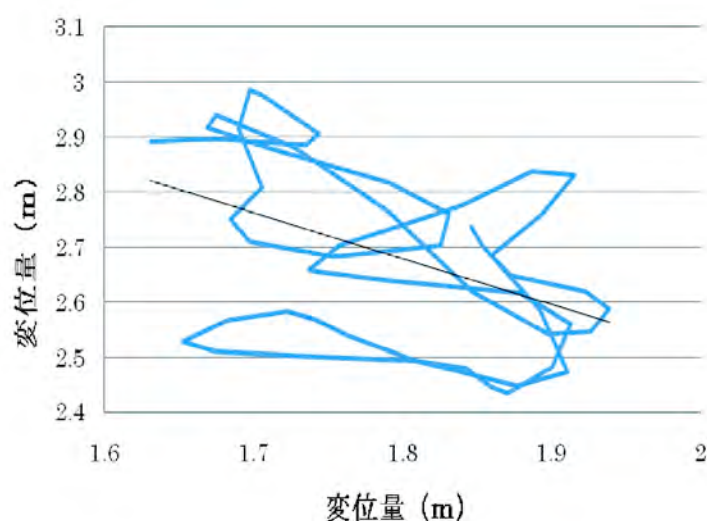


図 26: 港内ブイの水平変位

これら対象波浪一周気分の両ブイ水平変位データの回帰直線を求め，その方位を計算する．港内におけるブイの水平変位から波向きを求めた結果を表 3 に，港外におけるブイの水平変位から波向きを求めた結果を表 4 に示す．

表 3: 港内ブイによる波向き

|         | 港外 No.1 ブイ | 港外 No.2 ブイ |
|---------|------------|------------|
| 観測波数    | 300        | 300        |
| 波向き (度) | 91.9       | 92.2       |
| 標準偏差    | 18.6       | 19.9       |

表 3 より港内ブイにより計測した港内の波向きは約 92 度，表 4 より港外ブイにより計測した港外の波向きは約 130 度であった．また，昨年度に計測した結果は対象波浪周期 10 秒で，港内波浪の波向き 105 度，港外波浪の波向き 128 度であった．

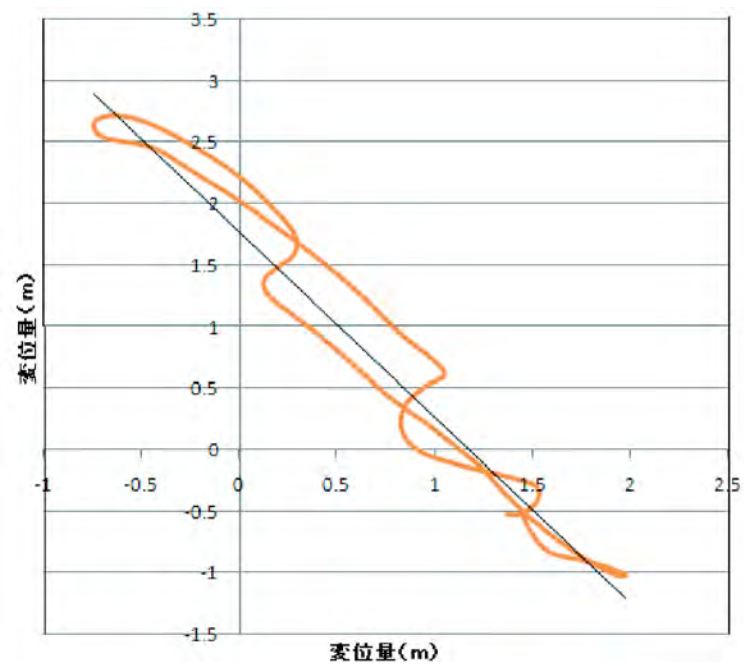


図 27: 港外ブイの水平変位

表 4: 港外ブイによる波向き

|         | 港外 No.1 ブイ | 港外 No.2 ブイ |
|---------|------------|------------|
| 観測波数    | 200        | 200        |
| 波向き (度) | 129.6      | 133.1      |
| 標準偏差    | 15.7       | 17.7       |

## 4.2 船体動揺

動揺成分を回転動揺成分である姿勢計測と直線動揺成分である移動量計測別に述べる.

### 4.2.1 姿勢計測

図 28, 29, 30 に解析された pitching, rolling, yawing の時系列結果を示す.

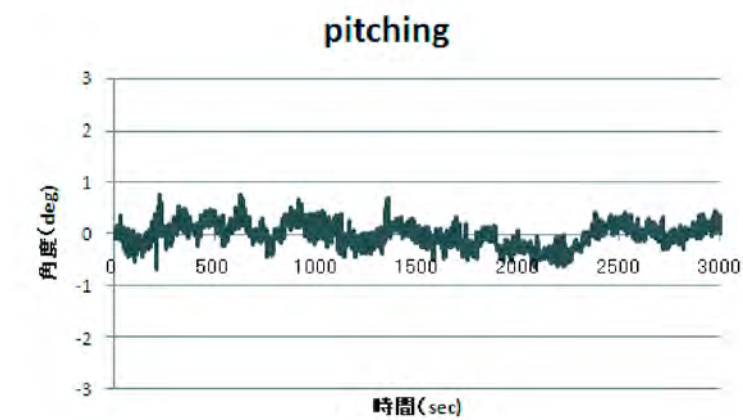


図 28: pitching の時系列変動

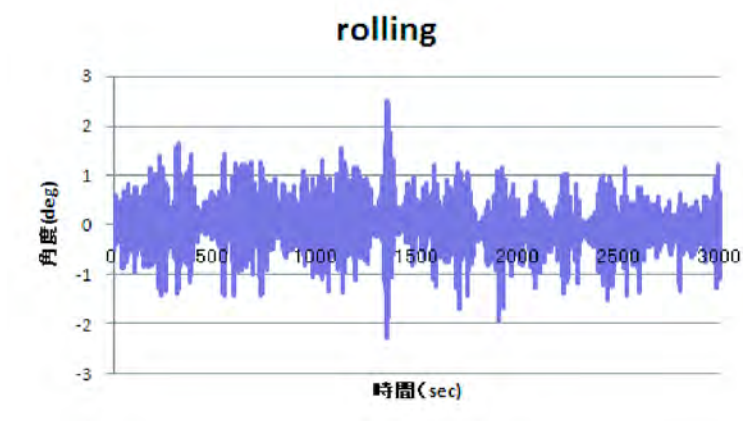


図 29: rolling の時系列変動

さらに, 図 31, 32, 33 に pitching, rolling, yawing のスペクトルを示す.

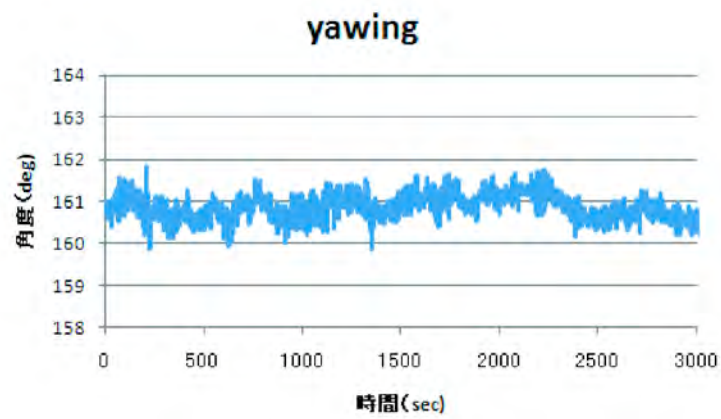


図 30: yawing の時系列変動

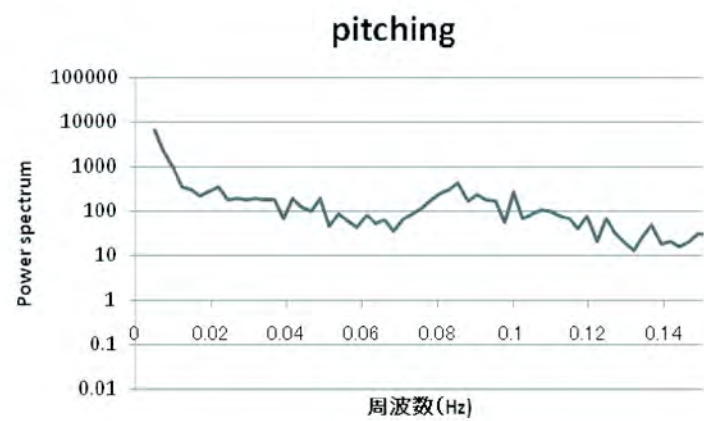


図 31: pitching のスペクトル

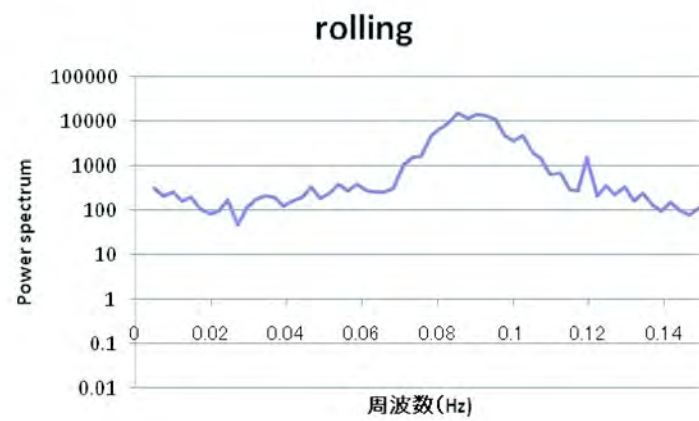


図 32: rolling のスペクトル

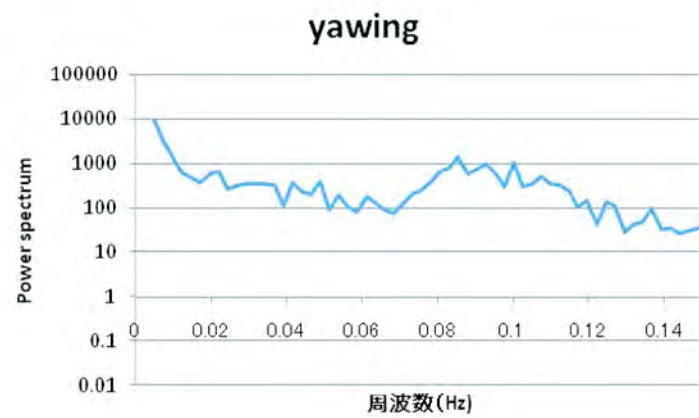


図 33: yawing のスペクトル

これらの結果から船体動揺は pitching 平均 0.2 度程度最大で 1.6 度, rolling 平均 2 度, 最大で 5 度程度, yawing 平均 0.5 度程, 最大 1.5 度程度の移動体動揺が計測されている. また, それぞれの全ての動揺スペクトルは 0.08Hz から 0.1Hz (12.5 秒から 10 秒) にピークが見られた.

#### 4.2.2 移動量計測

図 34, 35, 36 に解析された swaying, surging, heaving の時系列結果を示す.

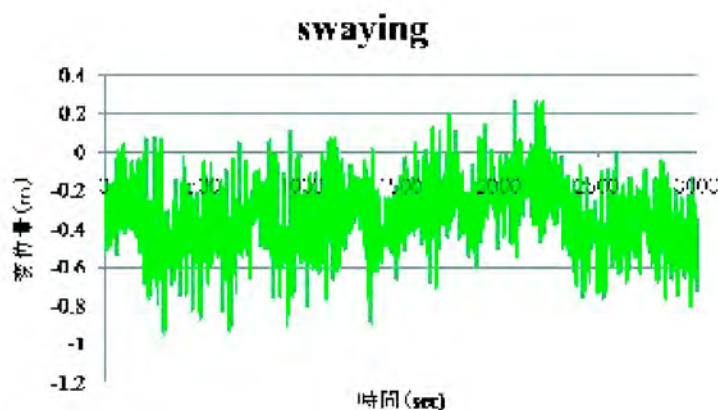


図 34: swaying の時系列変動

さらに, 図 37, 38, 39 に swaying, surging, heaving のスペクトルを示す.

これらの結果から, 船体動揺の中で swaying は平均 0.4m, 最大で 0.8m 程度, surging は平均 0.1m, 最大で 0.3m, heaving は平均 0.4m, 最大 1.2m 程度の移動体動揺が計測されている. また, それぞれの動揺のスペクトルにおいて, swaying, surging, heaving のどのスペクトルも 0.08Hz から 0.1Hz (12.5 秒から 10 秒) にピークが見られた.

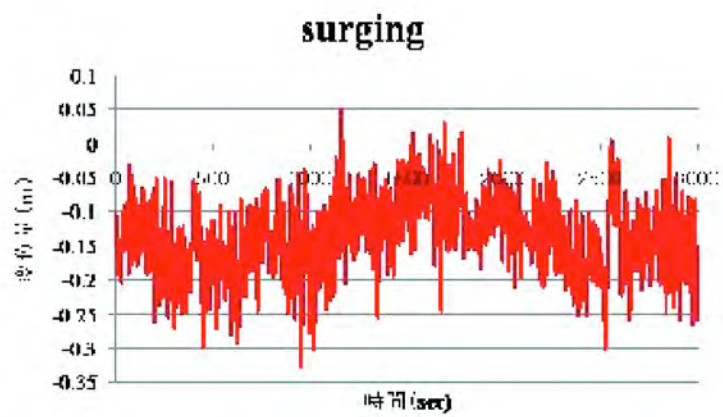


図 35: surging の時系列変動

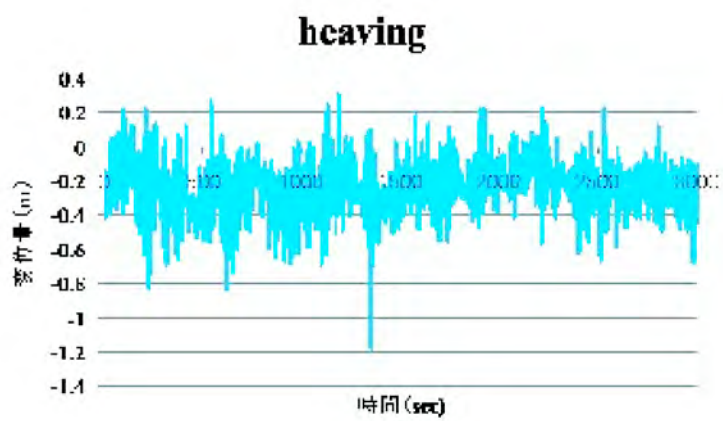


図 36: heavig の時系列変動

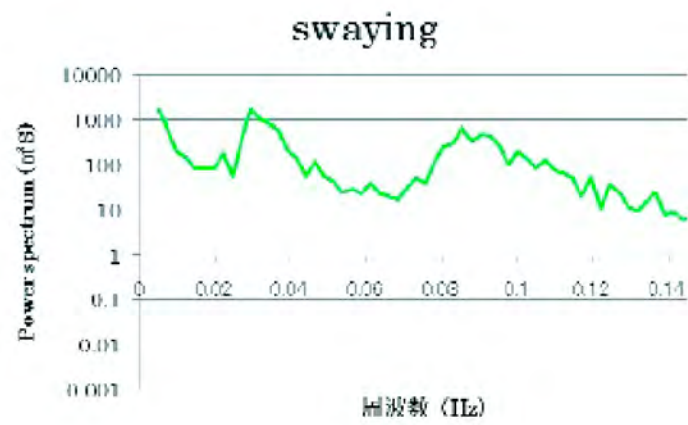


図 37: swaying のスペクトル



図 38: surging のスペクトル

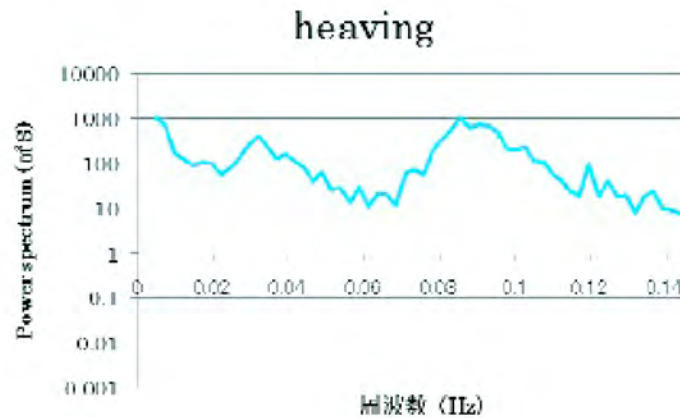


図 39: heaving のスペクトル

## 5 警報システム

上記の様々な波浪情報および係留船舶における動揺特性を考慮して、港内における作業・係留船舶に対する警報システムの構築を考える。本報告では、警報システムの基となる警報表示画面の一試作を図 40 に示す。

港内作業船および係留船舶にとって最も重要な情報は、港内波浪が過去どのように変化して、現在どのような状況であり、そして近い将来どのように変わって行くかである。その時間的な港内波浪情報の変化に従って、現在作業を継続すべきか、あるいは暫くの間作業を中止し係留対策を施すべきかを判断および決定する。そこで、港内を幾つかの地域に分けて、それぞれに長周期波浪における周期と波高の警報開始値と限界値を設ける。各地域において、その開始値と限界値を超えた場合に開始値を超えた場合には黄色で、限界値の場合には赤色で表示する。また、各地域の黄色と赤色のマークをクリックすることで、過去数時間の波向および波高の時系列データが表示され、この時系列データにより今後どのように変化するかを予測するために用いる。さらに、その時に観測された卓越した波周期情報および気象に関する情報（図以外には風向、風速の時系列データ）などを表示できるものとする。

ただし、本表示画面の試作は現在までの解析結果に基づいた成果であり、今後解析を進めることにより、さらに充実した警報システムとして改善が可能である。そこで、このような実験を様々な港湾において長期に実施することで、係留船舶の長周期波浪による動揺特性が解明され、荷役中の動揺、悪天候時の風波が船舶に与える影響を予測することができる。

## 港内作業船警報システム

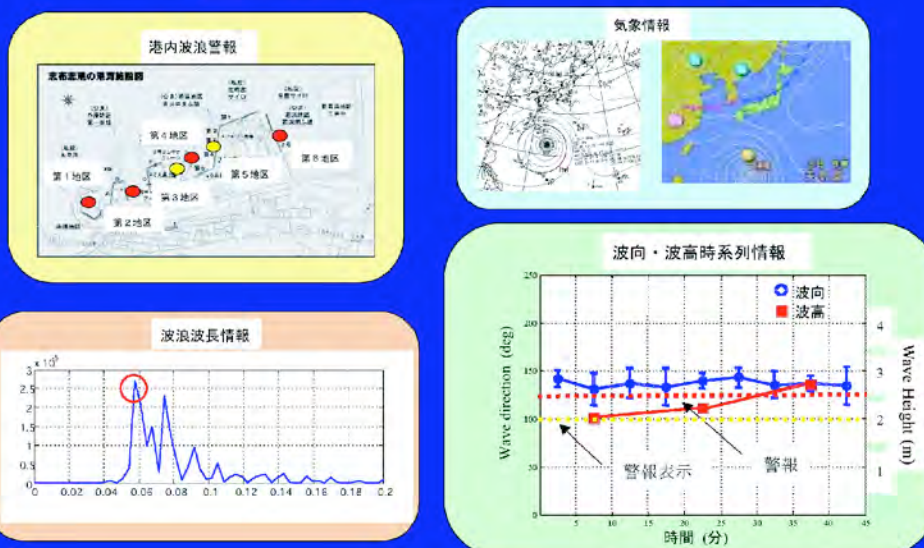


図 40: 港内作業船警報システム

## 6 まとめ

本研究は停泊フェリー付近および港外の2カ所にGPSブイを設置し港内外の波浪を、同時に係留船舶の動揺を計測するための実験を行なった。港外ブイによる波浪情報計測の結果からは波高180cm、波向き130度、周期約10秒の波浪を、港内ブイによる波浪情報計測の結果からは波高40cm、波向き92度、周期約10秒の波が観測された。志布志港では港外の波向きが港内で左方向に向きを変えることがわかり、また波浪エネルギーの減少の程度などの精密な計測が可能であることがわかった。

係留船舶の結果からは、まず回転動揺成分であるrollingでは2度から5度程度の変動が、pitchingでは0.2度から1.6度の変動が、yawingでは0.5度から1.5度程度の変動が観測された。直線動揺成分であるswayingでは30cmから80cmの変動が、surgingでは10cmから30cmの変動が、heavingでは40cmから1.2m程度の変動が観測された。また周波数特性では、港内の波浪周期(0.09Hz)と一致する周波数が見られ、船体の動揺は、港内の波浪の影響を受けることがわかった。

今後、港内外の多点位置における波浪を観測することで、港内外における波浪がどのように係留船舶に影響するかが詳細にわかると考える。さらに、荷役中の動揺影響、悪天候時の風波が船舶に与える影響を予測する手法を考え、港内作業・係留船への警報システムの構築を行ない、それにより港内作業船および係留船舶の波浪による海難事故防止につなげたいと考える。

## 謝 辞

本実験の実施に際して、鹿児島県志布志港湾事務所、海上保安庁志布志海上保安署およびダイヤモンドフェリーの皆様方に大変お世話になりました。また、本助成に関連してご協力を賜りました、全ての皆様方にお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Hidenobu Fujii, Nobuyoshi Kouguchi, Hiroshi Ishida and Ichiro Deguchi; GPS Wave Observation System with Arrayed Buoys, Proceedings of the Institute of Navigation GPS Meeting, 2002.
- [2] 藤井英信, 河口信義, 石田廣史, 出口一郎, “アレー配置ブイによる GPS 波浪観測システムの提案と波の到来方位推定精度”, 土木学会海洋開発論文集, 第 19 巻, pp857-862, 2003.
- [3] 柳潤子, 河口信義, 石田廣史, 出口一郎, “GPS ブイアレーによる波浪情報観測システム”, 土木学会海洋開発論文集, 第 20 巻, pp.635-639, 2004.
- [4] D. Hou, Y. Yoo, M.Hamada, N. Kouguchi, “Precise Measurement Method of Wave Direction by GPS Buoy Correction for Buoy Oscillation
- [5] 柳潤子, 侯代金, 河口信義, 石田廣史, 出口一郎, 井潤健二: GPS 速度積分法による垂直ブイ位置変位特性と波向推定, 土木学会土木学会海洋開発論文集, 第 19 巻, pp.295-300, 2005 年 7 月.
- [6] D. Hou, Y. Yoo, R. Hamao, N. Kouguchi, K. Itani, “GPS Position Using Velocity Integration Method”, The Proceedings of Asia Navigation Conference 2005, Dalian, China, Aug. 31-Sep.2, pp.229-237.