

# 銚子漁港内外の長周期波の通年観測

山 本 正 昭\*

## 1. 緒 言

銚子漁港は千葉県東端の利根川河口付近に位置する大規模漁港であり、全国2位(56年)の陸揚量を誇っている。前報<sup>1)</sup>(26回)で述べたように、この外港部泊地ではあびきと呼ばれる長周期波が発生し、静穏度に悪影響を与えている。この長周期波は風浪に比べ、防波堤等による遮閉効果が小さく、かつ共振を生じやすいため、その対策が難しい。前報では2日間の現地観測について報告したが、今報告では銚子漁港内外における一年間の定時観測結果について述べる。なお、この現地調査は千葉県と協同で行なったものであり、特に同県銚子漁港事務所の方々のご助力による所が大きい。

本報告で述べる長周期波とは1~2分周期の水面動揺を言い、Munkが言う1~3分の長周期波に相当する。この現象はうなりをなす波郡が海岸で砕波するために生じるものであり、したがって長周期波周期は波浪のうなりの周期に対応する、と彼は説明している。その他、長周期波の原因として考えられることは、台風などの嵐、急潮流などが挙げられている。

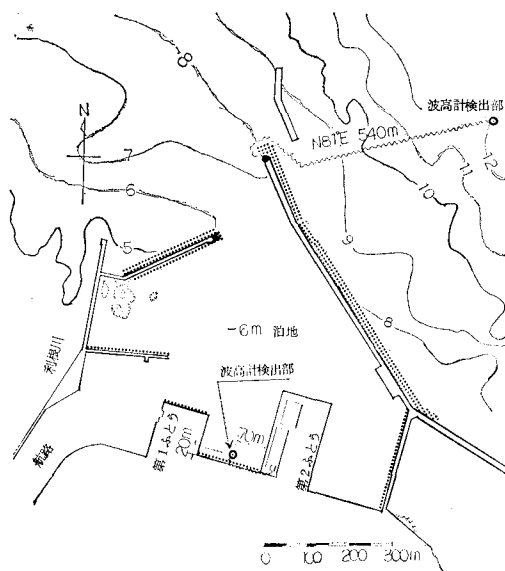
また、最近の観測例として、田子の浦港港外にて昭和43年より長周期波高計による観測<sup>2)</sup>が続けられており、ここでは風波に起因する長周期波が観測され、その結果卓越周期80~90秒、波高は来襲波高の約10%であると報告<sup>2)</sup>されている。銚子の付近では鹿島港外にて昭和51年10月から52年1月まで長周期波観測<sup>3)</sup>が行なわれ、有義波周期50~59分の長周期が卓越していることが発表されている。この周期は今報告より非常に長く、原因としては陸棚セイシュであると説明されており、今回問題になっている現象と別の原因と考えている。

## 2. 調査内容

### (1) 観測項目

今回行なった観測項目は下記の通りである。

- ① 港内水位変動
- ② 港外長周期波
- ③ 港外波浪



図一 銚子漁港波高計設計位置図

### (2) 測定方法および観測期間

図一に示すように、港外の波高計は外港東防波堤先端灯台よりN81°E方向540mの地点、港内波高計は外港泊地終端護岸から20mの地点に検出器を設置し、前者は漁港事務所庁舎、後者は第2埠頭市場屋上内にて記録を行なった。この検出器の設置位置水深は港外波高計の場合は-12m、港内波高計の場合は-4.2m(検出器水深-2.63m)である。

港内の水位変動測定に使用した波高計は、現地用ストレンゲージ式ケーブル波高計(SGW:協和商工KK製)を長周期波が記録できるように一部改造したものである。この計器は時限装置により、2時間毎に20分間記録でき、記録スピードは0.5mm/s、記録幅は42/1000とした。

港外波浪の測定には超音波式波高計(USW:海上電機KK製)を使用した。この出力信号をローパスフィルタに通して長周期変動分を抽出し、平衡型記録器にて記録した。このフィルタは周期20秒の正弦波で90%、周期50秒で6%の減衰率を示している。この記録速度は10mm/min、記録振幅比は30/1000とした。

\* 正会員 農修 農水省水産工学研究所 漁港水理研究室

港外波浪については波高計に有義波演算装置を付加してプリンタで結果を打出す方式をとった。

観測期間は港外長周期波および港外波浪については昭和 53 年 5 月 16 日から翌年 5 月 15 日までの 1 年間、港内長周期波および港内波浪については昭和 53 年 9 月 19 日から翌年 9 月 19 日までの 1 年間とした。

### (3) 記録の読取り, 整理方法

長周期波形記録の読取り方法の仕分け方は以下の区分で行なった。

#### A 波形をトレースして紙テープに出力するもの。

- ① 港外波浪で 3m (有義波) 以上が出現した場合, その前後で 2m を越えた時間の記録。
- ② 港内又は港外長周期波高が 0.4m を越えた記録。
- ③ 観測開始初期 (昭和 53 年 9 月 19 日 16 時より 9 月 25 日 14 時まで) の記録。

#### B 最高波のみ読取り有義波換算を行なうもの。

- ① 上記以外の記録

港内長周期波については, A の方法で読取りを行なう場合, 図-2 に示すように, まずフリーハンドで波浪によるギザギザを平滑化した曲線を描き, 次ので波形を自動波形読取り装置によってトレースすることにより, 12 秒間隔 (港内記録では 6mm, 港外では 2mm ステップ) で 20 分間の記録を読取る。この出力紙テープを電算処理し, 有義波, 平均波およびスペクトルを算出する。

B の場合, 最高波より便宜的に有義波換算を行なう。すなわち, 有義波高は最高波高の 0.83 倍, その周期は最高波の周期に等しいとした。なお, 長周期波最高波高が 0.1m に満たない場合は測得不可とした。これらの結果を基に各調査項目について, 以下のとりまとめを行った。その処理方法については文献<sup>9)</sup>によった。

- ① 有義波全リスト
- ② 観測率および月別最大波
- ③ 有義波波高別頻度表
- ④ 有義波周期月別頻度表
- ⑤ 有義波高と周期の 2 次元分布
- ⑥ 日別最大有義波一覧
- ⑦ 波形記録 (長周期波のみ)
- ⑧ スペクトル図 (長周期波のみ)

## 3. 観測結果

### (1) 観測状況

港外波高計に長周期波計が取り付けられ, 昭和 53 年 3 月より観測を始め, 翌年 5 月 15 日の激浪により検出部が砂に埋もれるまで常時連続記録された。

一方, 港内波高計は昭和 53 年 9 月 19 日より定常観測に入り, その後 55 年 3 月まで観測が続けられた。したがって,

港内外にて同時観測が行なわれた期間は, 昭和 53 年 9 月 19 日から 54 年 5 月 15 日までの約 8 ヶ月である。この結果, 一, 二の台風を除いて, 年間のほとんどの顕著な波は観測し得たと思われる。

### (3) 港内長周期波

港内長周期波形の 1 例を 図-3 に示す。この中で規則的な大きい波が数波程度続く場合が多い。年間の最大長周期波高は昭和 54 年 2 月 25 日のシケ時に発生し, 波高 0.67m, 周期 93 秒であった。表-1 に港内長周期波高頻度を示す。これによると 70% 近くが 0.1m 以下であり, 99% は 0.35m 以下である。月別分布によると 11 月から 4 月まで波高が大きく, 6~8 月までは小さい。この分布は波浪の波高頻度とよく合致している。

図-4 に年間の港内長周期波周期頻度を示す。図から明らかなように, 周期 100 秒から 120 秒に最多の分布を示し, 約 50% がここに集中している。この周期は前報で述べた通り, 外港泊地の縦振動周期 (単節) と一致している。

1 測定時間 (20 分) 内の波高分布を表わす尺度として,

$$H_{1/10}^*/H_{1/3}^* \doteq 1.2, \quad H_{\text{mean}}^*/H_{1/3}^* \doteq 0.7 \dots\dots\dots (1)$$

という値を得た。

### (3) 港外長周期波

港外長周期波形の一例を 図-5 に示す。この波形は港内のものより不規則で周期も短かく, より短周期成分を含んでいる。昭和 53 年 5 月 16 日より 1 年間の観測の結果, 5 月から 9 月に欠測が多いが, この期間の波高はほとんど 0.2m 以下と推定される。期間中の最大波高は昭和 54 年 2 月 25 日に 0.70m を記録した。

表-2 に港外長周期波波高頻度を示す。この分布は港内長周期波と似た傾向を示し, 約 70% が 0.1m 以下, 99% が 0.4m 以下となっている。また, この周期については 図-4 に併記しているように 60~79 秒間の分布

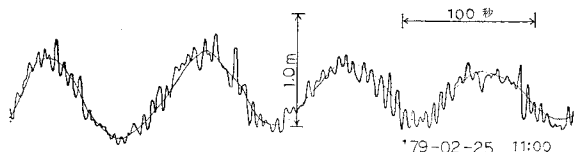


図-2 港内水位記録例

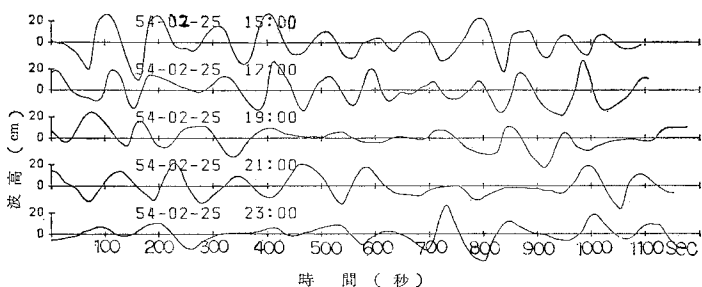


図-3 港内長周期波記録例

が多いが、30 秒から 200 秒程度まで幅広く分布している。しかし、港内で最多の 100~119 秒間は 5.2% に過ぎない。

(4) 港内外波浪

港内波浪は図-2 にその 1 例を示すように、港内長周期波と重なったものとして現われることが多い。記録された最大波は昭和 54 年 3 月 31 日 0.79m (港外波浪 ENE, 2.14m) 次いで 2 月 24 日 0.76m (港外波浪 N, 3.24m) である。

統計によると、波高 0.10m 以下が 68% を占め、0.4m 以上は約 1% となっており、それは 2 月、3 月を中心に冬から春にかけて多く発生し、港外波浪の頻度分布(表-3) に相似した分布を示す。港外波浪の年間最大波は昭和 54 年 2 月 26 日に  $H_{1/3}=4.86\text{m}$ 、 $T_{1/3}=11.3$  秒を記録した。周期については、最多周期は 7~8 秒、最大周期は 15 秒代となっている。

4. 2, 3 の考察

(1) 観測値間の相関と重回帰式

昭和 53 年 9 月 19 日より 9 月 25 日までの観測初期のデータ、および一連のシケで最大時の波高が 3m を越えた場合のその前後の波高 2m 以上の期間のデータ、計 410 組より、港内長周期波高、同周期、港外長周期波高、同周期、港内波浪波高、同周期、港外波浪波高、同周期および波浪の波向き の計 8 項目について相関係数を求めた。

その結果、港内長周期波高は、当然ながら港外長周期波高との相関が大きく(相関係数  $r=0.63$ )、かつ港外波浪波高および周期とも正の相関が大きい。波向(北より右廻りの角度)に対して負の相関があり、港口開口方向に近い波向程、港内長周期波は大きいことが判る。一方、港外長周期波は港外波浪の周期と波高とに相関が大きかった。港外長周期波と港外波浪の波向  $D$  との相関は、 $H^*$  と  $D$  で  $r=-0.11$ 、 $T^*$  と  $D$  で  $r=0.05$  と弱いことも注目に値する。

長周期波の周期については、港内と港外との相関係数も  $-0.14$  と小さい。この原因は港内の周期がその自由振動周期に合ってくるためと推定される。また、港外長周期波の周期は他のいずれの変数とも相関係数は小さくなっている。

以上のことより、各波高の推算式を重回帰分析により求め、港内長周期波高  $H_K^*$  は

$$H_K^*=0.52H^*-0.0010D+0.15\cdots\cdots(2)$$

表-1 港内長周期波の有義波高月別頻度表

| 月  | 日    | 観測所 | 波高 (m) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|-----|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    |      |     | 0.10   | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 |
| 1  | 372  | 17  | 248    | 100  | 7    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 2  | 336  | 2   | 199    | 70   | 37   | 11   | 14   | 2    | 1    | -    | -    | -    |
| 3  | 372  | 3   | 186    | 127  | 45   | 9    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 4  | 360  | -   | 186    | 143  | 22   | 7    | 2    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 5  | 372  | -   | 304    | 49   | 16   | 3    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 6  | 360  | -   | 345    | 15   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 7  | 372  | -   | 309    | 53   | 4    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 8  | 372  | 10  | 309    | 45   | 8    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 9  | 360  | 7   | 254    | 83   | 13   | 3    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 10 | 372  | 33  | 173    | 144  | 21   | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 11 | 360  | 33  | 190    | 103  | 20   | 7    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 12 | 372  | 9   | 193    | 113  | 45   | 8    | 4    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 計  | 4380 | 114 | 2896   | 1057 | 238  | 49   | 22   | 3    | 1    | -    | -    | -    |
| 平均 |      |     | 2896   | 3953 | 4191 | 4240 | 4262 | 4265 | 4266 | 4266 | 4266 | 4266 |

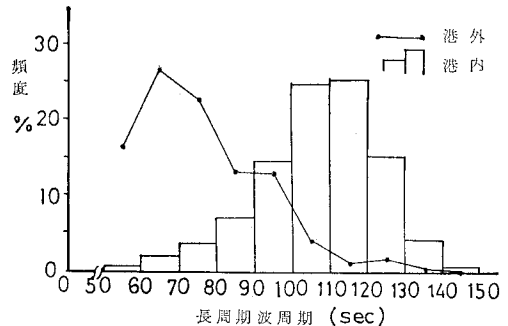


図-4 港内外長周期波周期の頻度分布 ('78.9.19~'79.5.28)

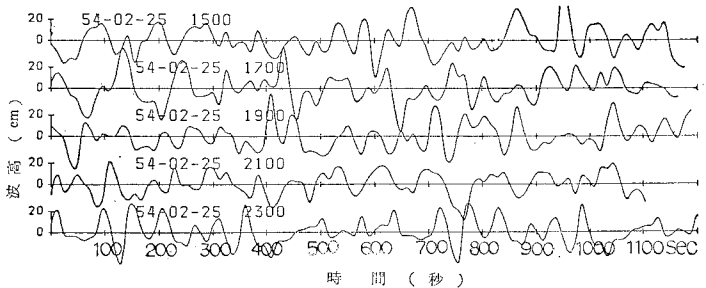


図-5 港外長周期波記録例

表-2 港外長周期波の有義波高月別頻度表

| 月  | 日    | 観測所  | 波高 (m) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    |      |      | 0.10   | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 |
| 1  | 372  | 2    | 305    | 52   | 9    | 4    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 2  | 336  | 9    | 213    | 82   | 8    | 8    | 7    | 7    | 1    | 1    | -    | -    |
| 3  | 372  | 2    | 202    | 130  | 29   | 4    | 3    | 2    | -    | -    | -    | -    |
| 4  | 360  | 1    | 209    | 112  | 29   | 6    | 2    | 1    | -    | -    | -    | -    |
| 5  | 372  | 160  | 176    | 29   | -    | 3    | 2    | 2    | -    | -    | -    | -    |
| 6  | 360  | 311  | 40     | 9    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 7  | 372  | 161  | 184    | 21   | 6    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 8  | 372  | 300  | 71     | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 9  | 360  | 149  | 157    | 54   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 10 | 372  | 8    | 235    | 126  | 3    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 11 | 360  | 7    | 274    | 95   | 22   | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 12 | 372  | -    | 221    | 102  | 43   | 6    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 計  | 4380 | 1110 | 2287   | 774  | 149  | 32   | 14   | 12   | 1    | 1    | -    | -    |
| 平均 |      |      | 2287   | 3061 | 3210 | 3242 | 3256 | 3268 | 3269 | 3270 | 3270 | 3270 |

または、

$$H_K^*=0.026T+0.032H-0.0012D-0.04\cdots\cdots(3)$$

ただし、 $D$ は港口開放向(N)よりの偏り(度)、前者のデータ数は 183 個、その重相関係数は 0.6978、後者はデータ数 183、その重相関係数 0.6905 である。

港外長周期波高  $H^*$  は

表-3 港外波浪の有義波高月別頻度表

| 月  | カイ   | カウツ | -1.00 | -1.50 | -2.00 | -2.50 | -3.00 | -3.50 | -4.00 | -4.50 | -5.00 |
|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 372  | -   | 165   | 111   | 40    | 36    | 12    | 3     | 3     | 2     | -     |
| 2  | 336  | 2   | 56    | 120   | 73    | 41    | 9     | 5     | 12    | 13    | 5     |
| 3  | 372  | -   | 44    | 91    | 107   | 68    | 32    | 20    | 4     | 5     | 1     |
| 4  | 360  | -   | 43    | 125   | 91    | 56    | 21    | 9     | 8     | 7     | -     |
| 5  | 372  | 4   | 146   | 159   | 38    | 12    | 1     | 1     | 3     | 5     | 3     |
| 6  | 360  | -   | 292   | 61    | 7     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 7  | 372  | -   | 214   | 144   | 8     | 3     | 3     | -     | -     | -     | -     |
| 8  | 372  | 3   | 308   | 35    | 12    | 5     | 3     | 4     | -     | 2     | -     |
| 9  | 360  | -   | 70    | 144   | 87    | 39    | 18    | 2     | -     | -     | -     |
| 10 | 372  | -   | 40    | 110   | 141   | 70    | 11    | -     | -     | -     | -     |
| 11 | 360  | 40  | 47    | 126   | 110   | 19    | 12    | 5     | -     | -     | -     |
| 12 | 372  | -   | 104   | 100   | 47    | 63    | 51    | 5     | 2     | -     | -     |
| カイ | 4390 | 49  | 1529  | 1326  | 761   | 412   | 173   | 55    | 32    | 34    | 9     |
| カイ |      |     | 1529  | 2855  | 3616  | 4028  | 4201  | 4256  | 4288  | 4322  | 4331  |

表-4 相 関 係 数

|                  | $H_K^*$ | $T_K^*$ | $H^*$ | $T^*$  | $H$    | $T$    | $D$    |
|------------------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 港内長周期波波高 $H_K^*$ | 1       | 0.109   | 0.133 | -0.133 | 0.369  | 0.528  | -0.355 |
| 〃 周期 $T_K^*$     |         | 1       | 0.058 | -0.142 | 0.156  | 0.065  | 0.243  |
| 港外長周期波波高 $H^*$   |         |         | 1     | -0.076 | 0.759  | 0.547  | -0.109 |
| 〃 周期 $T^*$       |         |         |       | 1      | -0.187 | -0.057 | 0.051  |
| 港外波浪波高 $H$       |         |         |       |        | 1      | 0.731  | 0.037  |
| 〃 周期 $T$         |         |         |       |        |        | 1      | -0.031 |
| 波向 $D$           |         |         |       |        |        |        | 1      |

(注) データ数 177

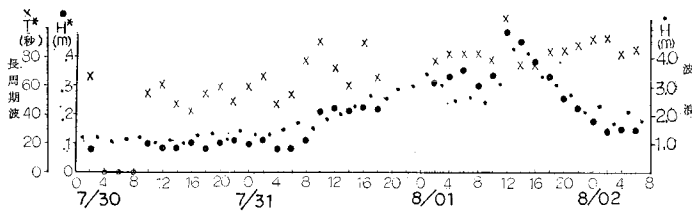


図-6 台風時の波高変化 (台風 7807 号)

$$H^* = 0.095H + 0.023T - 0.26 \dots\dots\dots (4)$$

ただし、データ数は 388 個、重相関係数は 0.8593 である。

## (2) 港外長周期波の発生機構について

長周期重力波とよばれる 100 秒前後の波は主に風波の高い時に発生しているが、それらの時系列データの例が図-6 である。この場合の長周期波高の波高は波浪のそ

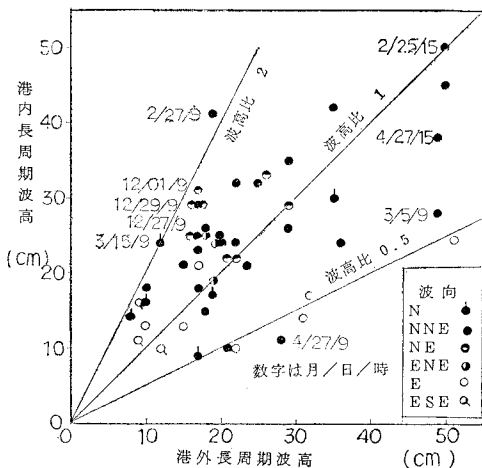


図-7 波向別港内外長周期波波高の比較

れの 1/10 を示しており、さらに、両者の時間的ズレは無いと言える。すなわち、長周期波のエネルギー伝播速度 (約 250 km/時) が短周期波 (約 15 km/時) より速いことを考えると、長周期波が台風域内から発生したと仮定すれば、長周期波が早く到着するはずであるが、その傾向は認められない。このことは長周期波と波浪の波高の相関係数が高いことにあわせて、長周期波は波浪が原因で起ることを説明している。

## (3) 港内長周期波の波高増大について

港内泊地の共振周期については前報で検討したので結論だけを記すと、銚子漁港外港の当泊地は第 2 埠頭先端よりやや先を定常波の節とする単節の自由振動を起こし易く、その周期は 110 秒前後とみられる。しかし、実際の程度の内外振幅比になるか検討するにはデータ不足であった。

この 1 年間の観測の結果、図-7 に示すように、共振の指標となる長周期波の内外振幅比  $H_K^*/H^*$  は、0.5 から 2.0 に分布しており、回折係数 (0.25) より

大きくなることが判明した。その誘因となる港外長周期波の周期は、有義波周期ではこれより小さく現れたが、スペクトル分析 (図-8) の結果では図-9 に示すように、外にも 100 秒付近にピークが現れることが多い。

一方、波高と波高比  $H_K^*/H^*$  との関係については図-7 から、北に近い波高が大きく現れているが、(2) 式からも波向に関係していることがわかる。この波向は波浪の波向であり、港外長周期波の波向は不明である。

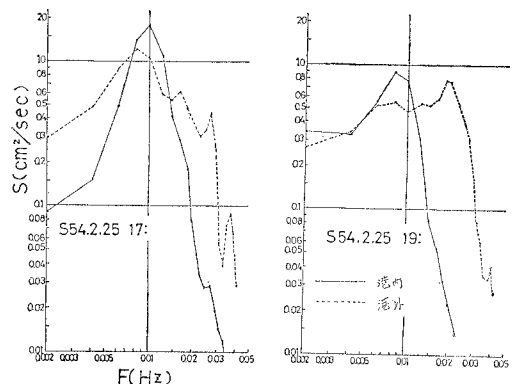


図-8 港内外長周期波のスペクトル図

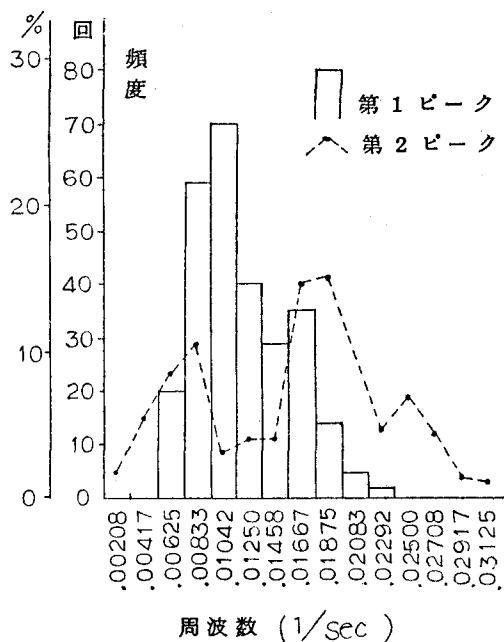


図-9 港外スペクトルのピーク周波数頻度

そのほか,  $H_{K^*}/H^*$  が大きくなっている条件をあげれば,

- ① 港内長周期波の有義波高と平均波高の比が大きい.
- ②  $H_{K^*}$  が前後の時刻より大きいか又は  $H^*$  が前後の時刻より小さい.
- ③  $H^*$  が 0.3m より小さい.

などであり, ①②は1回の観測波数が少ないことによる統計データのバラツキが原因と考えられ, 波高増大の条件とは言い難い.

#### 参考文献

- 1) 山本正昭・菅原輝男: 銚子漁港長周期波の現地観測, 第24回海講論文集, pp. 134~138, 1979.
- 2) 高橋智晴・鈴木穂実・佐々木弘・中井徹也: 田子の浦港における長周期波の観測, 港湾技研資料 No. 130, 1971.
- 3) 林 直樹・高橋秀彰・山本政光: 外海における長周期波の観測, 第25回海講論文集, pp. 14~17, 1978.
- 4) 高橋智晴ほか: 波浪に関する拠点観測年報, 港湾技研資料, No. 137, 158, 178, 209, 258, 286, 311, 332.
- 5) 山本正昭: 波浪統計処理の自動化, 水工研技報——水産土木1——, pp. 75~97, 1980.