

# 秋田海岸における波浪の季節変動に関して

榎 国 夫

On the seasonal variations of ocean waves on the coast of AKITA

Kunio ENOKI

(昭和57年10月30日受理)

The analysis on the charactor of ocean waves on the coast of AKITA have already reported by the author.

In this paper, seasonal vaviations of wind waves on the coast of AKITA were investigated by using the wave data in this place.

Results obtained were summarized as follows;

- (1) Prodominant frequency of wind waves were from  $1.7 \times 10^{-1}$  Hz to  $2.5 \times 10^{-1}$  Hz in summer. In winter these were from  $7 \times 10^{-2}$  Hz to  $10^{-1}$  Hz.
- (2) On the all cases of data, there were compornents of low frequency from  $4 \times 10^{-3}$  Hz to  $8 \times 10^{-3}$  Hz. On this season these were estimated by the surf beat to brokon wind waves in the Sea of Japan.
- (3) On the theory of wave energy, it was discussed a little.

## 1. 緒 言

これまで、日本海沿岸における波浪に関する研究は、海岸構造物の設計施工あるいはそれ自体に多大な影響を与える冬期の風浪に関するものが大部分であった。しかし、近年浅海漁場の開発発展とともに静穏時における波動による海水交流も見逃せない問題としてクローズアップされてきた。そこで秋田港における波浪観測データを用いて、波動の周波数成分の季節変動をパワースペクトルを求めて検討しあわせて全エネルギーと波高の関係を調べた。

## 2. 波浪観測値とその解析結果

波浪の観測は、秋田市向浜沖 2.6 km、水深約 26 m の地点に設置された超音波式波高計を用いて行なわれ、附近の海底形状は勾配約  $\frac{1}{100}$ 、砂泥であった。解析に用いたデータは、秋田港における風向頻度より冬期間の卓越風である、W~NWの範囲のものまた夏期間の卓越風であるSE~SSEの範囲のものに限定した。図1-1は過去5年間における秋田港の季節別、全期間風向頻度図である。

図1-2は同期間における強風(10m/sec以上)風向頻度図である。観測時間15分~20分の波形記録を

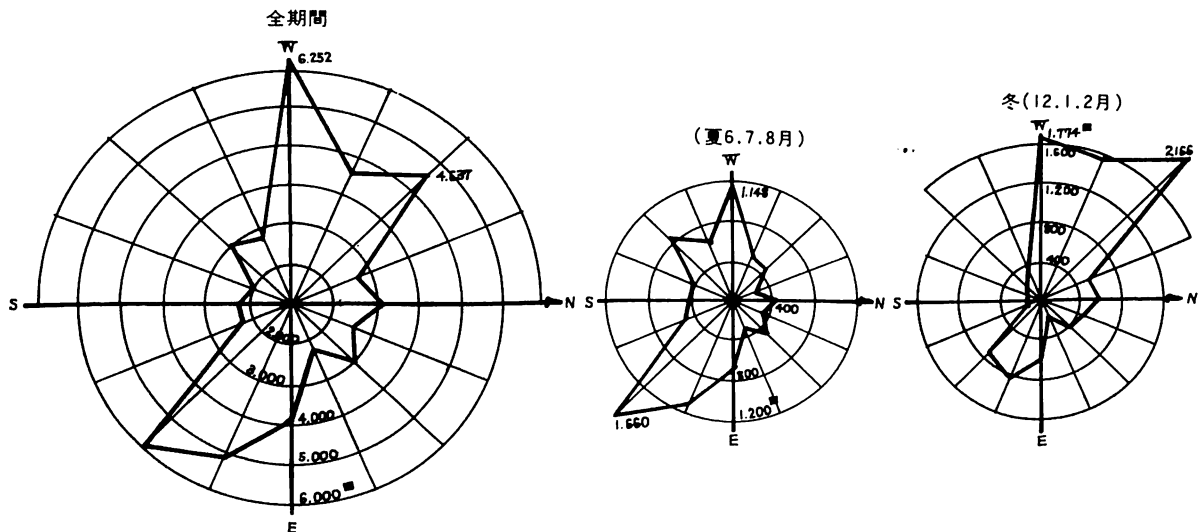


図1-1 季節別・全風・風向頻度図〔秋田港〕

秋田海岸における波浪の季節変動に関して

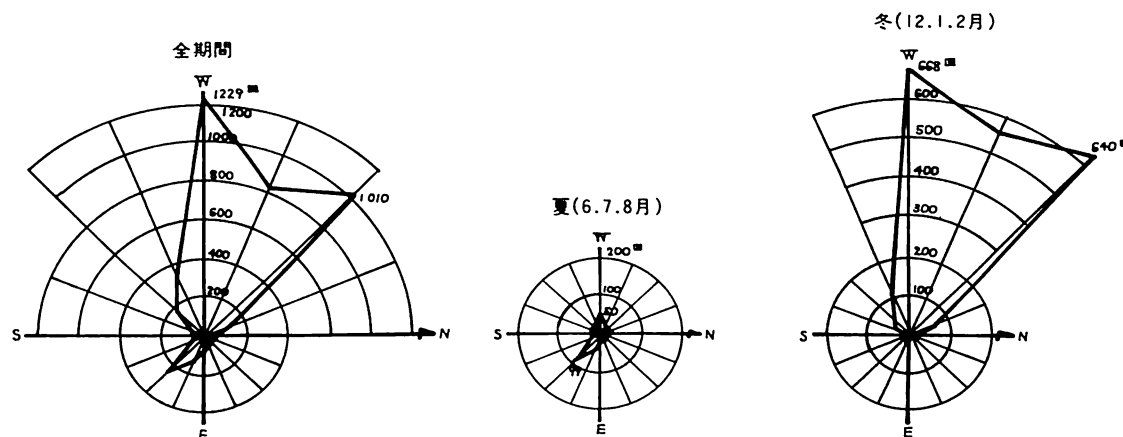


図1-2 季節別・強風・風向頻度図(秋田港)  
[10m/s以上]

1秒間隔で読み取り、Zero-up-cross法により波高を与えた。これらのデータより、波動の周波数成分の解析を行なう為、Blackman&Tukeyの方法によりパワースペクトルを求める。すなわち、一般にパワースペクトルを $S(w)$ 、自己相関関数を $R(\tau)$ とすると、

$$S(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-jw\tau) d\tau$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos w\tau d\tau$$

これを数値計算で求めるため、データより、記録波形を等時間間隔 $\Delta t$ に分割し、各時刻における海面水位 $X(t_n)$ を読み取る。ラグタイム $\tau$ に対する自己相関関数を求めると、

$$R(\tau) = \frac{2}{N-K} \sum_{n=1}^{N-K} \eta(t_n) \eta(t_n - k)$$

$$K = 0, 1, 2, \dots, n$$

$N$ : 分割されたデータの総数

$$\eta(t_n) : X(t_n) - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X(t_n)$$

そこで自己相関関数をワーリエ変換するとラインパワーは、

$$L_0 = \frac{1}{2m} (R_0 + R_m) + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m-1} R_k$$

$$L_h = \frac{1}{2m} (R_0 + Z \sum_{k=1}^{m-1} R_k \cos \frac{\pi kh}{m} + R_m \cos \pi h)$$

$$h = 0, 1, 2, \dots, m$$

$$L_m = \frac{1}{2m} \{ R_0 + (-1)^m R_m \} + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m-1} (-1)^k R_k$$

で与えられる。 $L_h$ を移動平均し、Hamming WindowでSmoothingを行ない、パワースペクトル $S(w)$ を計算した結果が図2-1, 図2-2, 図3

1, 図3-2である。いずれも縦軸にスペクトル密度、横軸に周波数を目盛ってある。図2-1, 図2-2は夏期間における代表的なパワースペクトルの例であり、図3-1, 図3-2は冬期間のそれである。これらの図から解かるように、いずれも三つのピークを持っている。低周波数側の第一のピークは周波数: $f = 4 \times 10^{-3} \text{ Hz} \sim 8 \times 10^{-3}$ 位でこれを周期に直すと2分~6分の長周期成分であり、4つの図に共通に含まれている。すなわち、季節に無関係に存在する成分ということになる。これは碎波のエネルギーの一部が長周期の波となって、遠く伝わって来ることによる、いわゆる日本海のサーフビートではないかと考えられる。第三のピークは高周波側にあり、図2-1, 図2-2において周波数 $1.7 \times 10^{-1} \text{ Hz} \sim 2.5 \times 10^{-1} \text{ Hz}$ で周期に直すと4sec~6sec位になる。これは夏期の海面の静穏な状態における波浪の周期を現わすものと考えられる。また図3-1 図3-2においては、周波数 $7 \times 10^{-2} \text{ Hz} \sim 10^{-1} \text{ Hz}$ で周期に直すと10secから14sec位になり、この周期が冬期の荒天時の波浪の周期を代表するものと思われる。最後に第二のピークであるが、これはケースにより多少バラツキがみられるが、おおよそ周波数 $1.5 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-2} \text{ Hz}$ であり周期換算すると20sec~50sec位になる。これは、気象条件、海象条件を加味した港湾あるいはその近辺のscale-effectによるものではないかと思われ、今後も検討を続けていきたい。第三のピークより、高周波側は、急激な減衰をみせているが、海底勾配が $\frac{1}{100}$ という形状により、沖波が観測点に到達するまでに海底の摩擦による浅海変形を十分受け、その際、エネルギーの小さな高周波成分側に急激な減衰が生じたものと思われる。この減衰の割合はPhillipsの提案した $f^{-5}$ 則に従

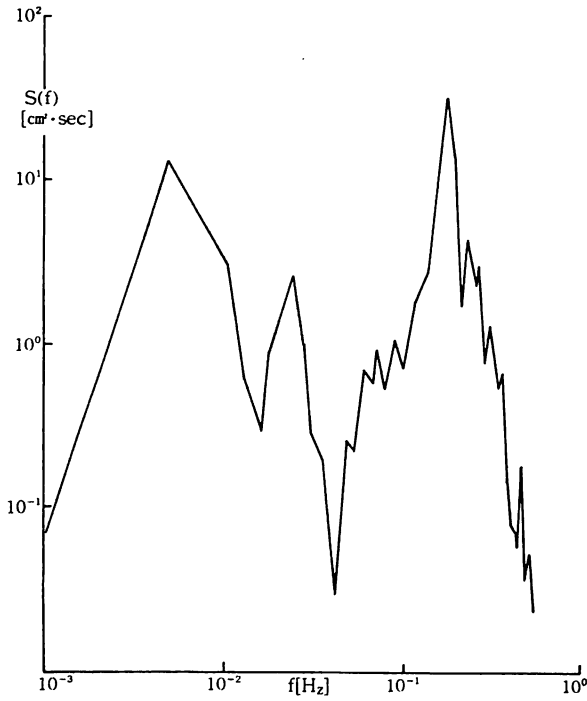


図2-1 パワースペクトル (June 2, 1980)

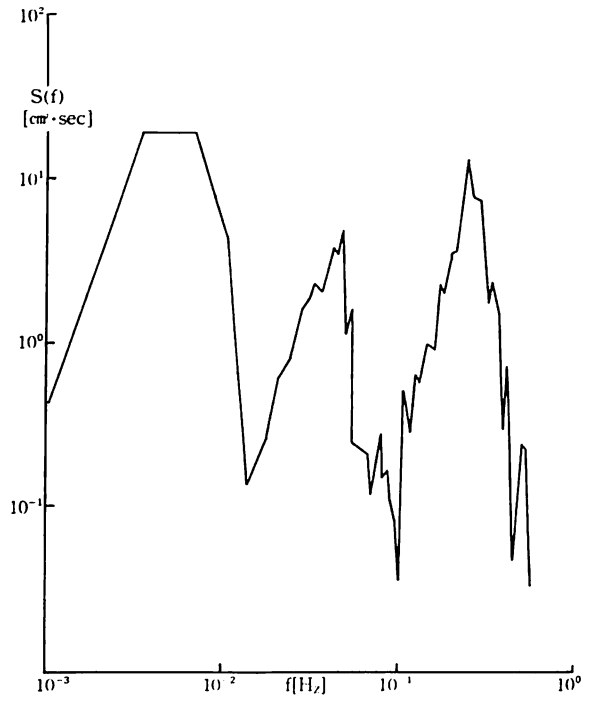


図2-2 パワースペクトル (June 18, 1980)

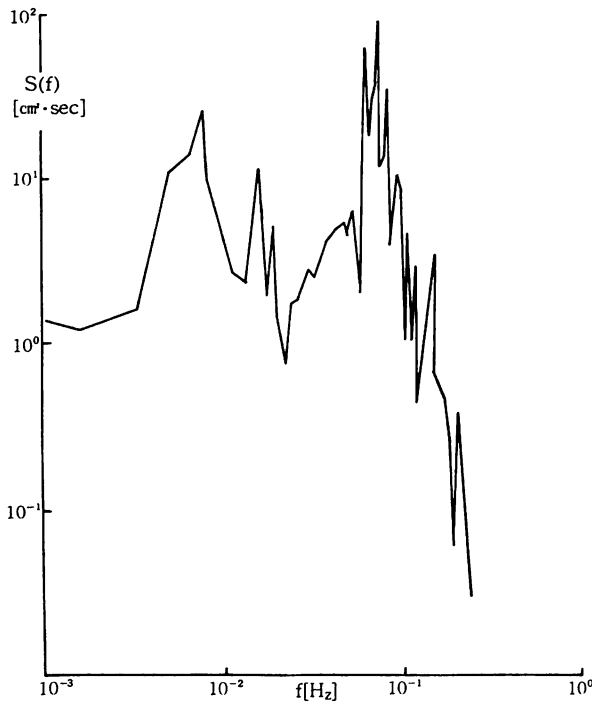


図3-1 パワースペクトル (Nov. 25, 1979)

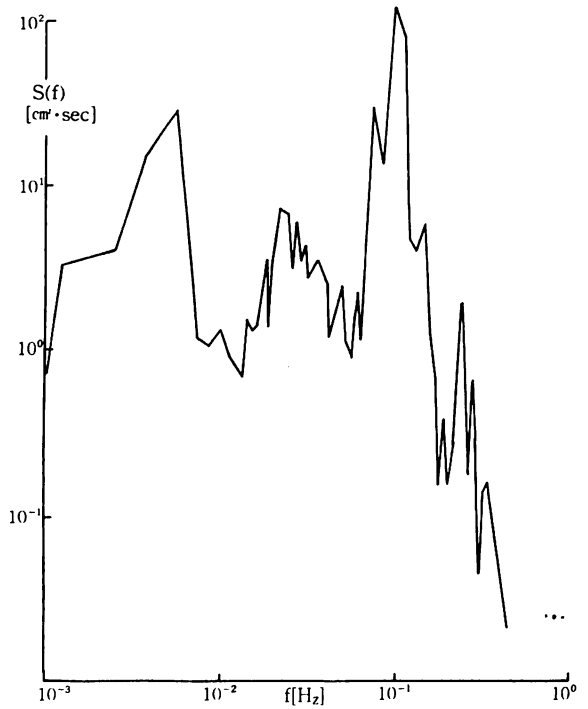


図3-2 パワースペクトル

っている。

### 3. 波動のエネルギーと波高の関係

正弦波の単位幅、1波長あたりのポテンシャルエネルギー  $E_p$  は

$$E_p = \int_0^L \int_0^\eta \rho g y dx dy = \frac{1}{2} \rho g \int_0^L \eta^2 dx$$

によって表わされる。  $\eta = \frac{H}{2} \sin(kx - \omega t)$   
 $L = 2\pi/k$  とすると、

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2 L$$

同じく1波長あたりの運動エネルギー  $E_k$  は

秋田海岸における波浪の季節変動に関して

$$E_k = \int_0^L \int_{-h}^{\eta_1} \rho \left\{ \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy$$

である。波動のポテンシャル $\phi$ は連続の式

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$$

を満足する。これらを考慮して $\phi$ を求めると

$$\phi = \frac{H}{2\sigma} \cdot \frac{\cosh k(y+h)}{\cosh kh} \cos(kx - \sigma t)$$

この結果と $\eta = 0$ を用いて $E_k$ を求めると、

$$E_k = \frac{1}{16} \rho g H^2 L$$

従って、単位幅、1波長当りの全エネルギー $E$ は

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$$

となる。これが実際の波浪の場合、種々の変形が加わり、特に風浪において Longuet-Higgins の理論によると

$$H = C\sqrt{E}, \quad E = \int_0^\infty S(f) df$$

ここで単位記録時間内の波高の分布がレイリー分をしているものとする、定数 $C$ の値は平均波高 $\bar{H}$ 、有義波高 $H_{\frac{1}{3}}$ 、最大波高 $H_{\frac{1}{10}}$ に対して、それぞれ1.77, 2.83, 3.60で与えられる。図4は縦軸に波高 $H$ 、横軸に波の全エネルギーをとり、実測値をプロットしたものであり、実線は理論値を表わしている。

4. 結 論

これまでの結果を要約すると

(1) 周波数成分は季節に関係なく三つのピークを持ち、低周波側から第一のピークは日本海のサーフビート、第二ピークは港湾の scale effect, 第三ピークは、各季節における波浪の卓越周波数に相当すること。

(2) 夏期(6月, 7月, 8月)の波浪の静穏時における卓越周波数を周期に換算すると、4 sec ~ 6 sec, 冬期(12月, 1月, 2月)の荒天時における卓越周期は10~14 sec であること。

(3) 海底形状による高周波側の減衰が著しく、 $f^{-5}$  則に従っている。

(4) 波高が3 m以下のとき、波の全エネルギーと波高分布は、実測値と理論値が良く一致している。すなわち、静穏時において波動エネルギーの損失が小さい。

(5) 波高が4 m以上のとき、実測値が理論値より小さな値を示す。これは沖波に対する湾内の海底形

状による減衰率を過少に見積っている為と思われる、この補正を必要とする。

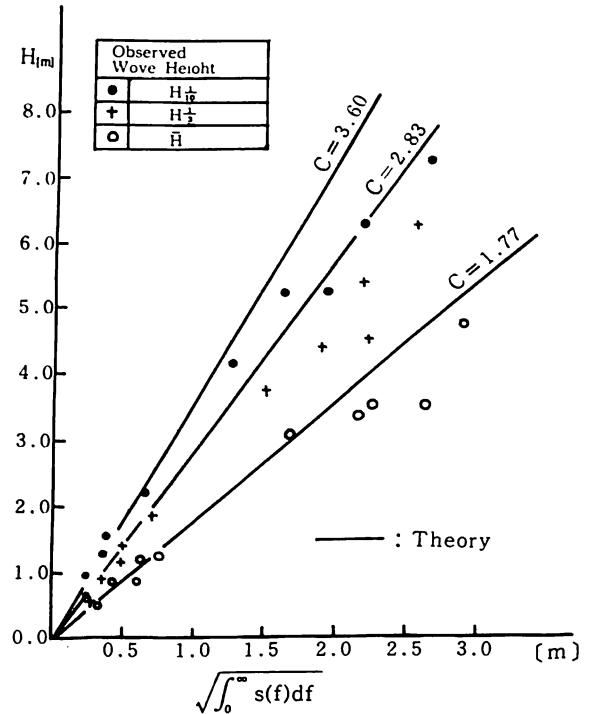


図4 波の全エネルギーと波高分布

参 考 文 献

- 1) The measurement of power spectra, Dover 1958
- 2) Analysis of Records at Sea Waves; Pv-oc. Inst, Cuiril Eng. Vol 26, Na 10
- 3) 河野二夫・永野一甫・喜屋武忠, 第25回海岸工学講演会論文集, PP 146 ~ 150, 1978
- 4) Ippen, Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Company, P 150
- 5) 高山知司・菊地 治, 第25回海岸工学講演会論文集, PP 103 ~ 107, 1978
- 6) 石田 昭・高橋宏直, 非定形浅水波を表示する方法に関する研究, 土木学会第36回年次学術講演会講演集, PP 749 ~ 750, 1981
- 7) 間瀬 肇・岩垣雄一・福原拓平, 波の発達, 減衰に伴う Wave Grouping の変化, 土木学会第37回年次学術講演会講演集, PP 773 ~ 774, PP 773 ~ 774, 1982