

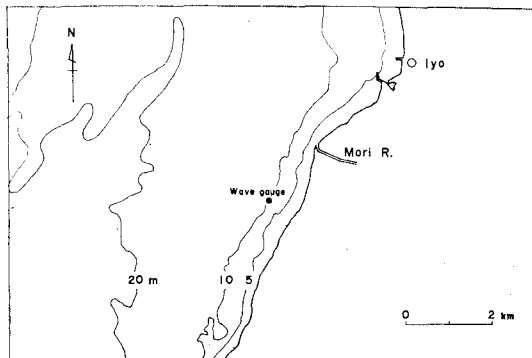
中予海岸における波浪について

柿 沼 忠 男*・伊 福 誠**

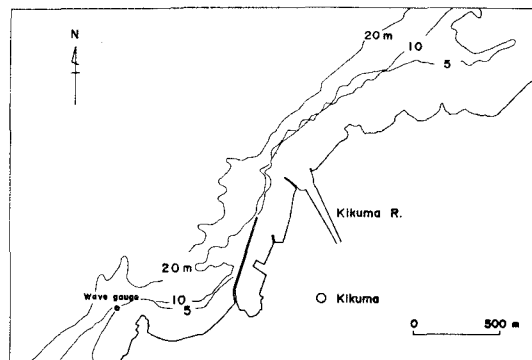
1. 緒 言

海岸構造物を設計する場合には、外力としての設計波を決定する必要がある。海岸構造物は、比較的浅い所に築造されるから、そうした浅海領域における海岸波浪の特性を詳しく調べておくことが必要になってくる。

この論文は、比較的限定された吹送距離をもち、大小の島々が点在するという、きわめて特徴的な中予海岸を対象領域とし、建設省が愛媛県伊予市大字森の伊予波浪観測所（北緯 $33^{\circ}43'$ 、東経 $132^{\circ}40'$ ）と越智郡菊間町大字浜の菊間波浪観測所（北緯 $34^{\circ}02'$ 、東経 $132^{\circ}50'$ ）に設置している2台の水圧式波高計（図—1 (a), (b)）の



(a)



(b)

図—1 水圧式波高計の位置

* 正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部海洋工学教室

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部海洋工学教室

波浪記録を解析して、内海の浅海領域における海岸波浪の特性についての基礎的資料を得ようとしたものである。

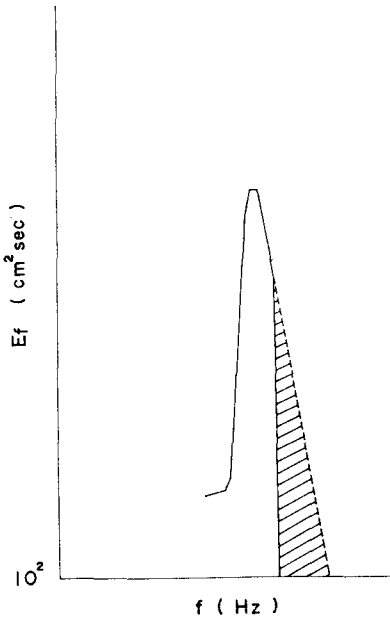
2. 波浪資料の解析

伊予波浪観測所および菊間波浪観測所での、それぞれ、昭和48年11月17日5時～12月28日23時および昭和48年10月22日1時～12月31日5時と昭和50年11月16日5時～12月25日7時までの2時間ごとの波浪資料を解析し、各種平均波の波高、周期および有義波の波形勾配、分散およびパワースペクトルと圧力波の skewness kurtosis、パワースペクトルおよびバイスペクトルを求めた。なお、ここで得た分散、skewness, kurtosis および両スペクトルは、17分間の波浪記録を0.6 sec 間隔でデジタル・トレーサ OT-60 によって読み取り、九州大学の大型計算機および愛媛大学の計算機によって求めたものである。

3. 波浪資料の解析結果

伊予および菊間の両波浪観測所の観測資料から得た有義波高、有義波周期は、それぞれ、 $0.63 \sim 2.11$ m, $5.1 \sim 6.7$ sec および $0.22 \sim 1.13$ m, $3.6 \sim 5.6$ sec であった。スペクトルの算定に際して、伊予では 0.255 Hz, 菊間では 0.333 Hz 以上の高周波側を除外した。なお、 E の算定は、スペクトルピークの高周波側を延長した直線が、スペクトル密度 $E_f = 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ($H_f = 20 \text{ cm}$) と交わる点と前述のカットオフ周波数の間の分散（図—2 の斜線の部分）をカットオフ周波数までの分散に加えて得たものを2倍した。図—2 は、こうした E を算出する方法を示したものである。

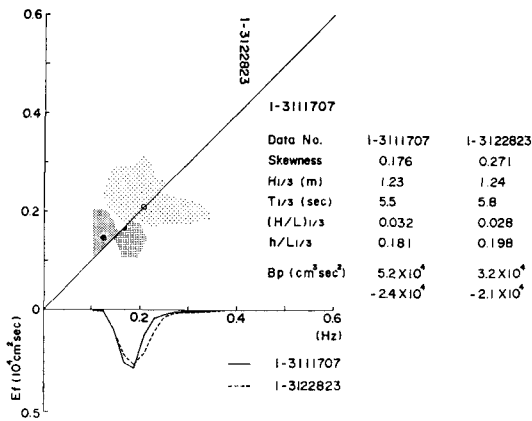
伊予および菊間における各種平均波高と $\sqrt{E}$ の関係では、得た資料は、有義波周期に対応する波長と水深からみれば、すべて浅海波であるが、各種平均波高は、線型確率過程モデルに基づいた Longuet-Higgins の理論値より小さい値を示すことがわかった。また、伊予および菊間とも、平均波高、 $1/10$ 最大波高および最大波高の有義波高に対する比の観測値は、かなりのばらつきはあるが、Longuet-Higgins の理論値と比較的よく一致してお



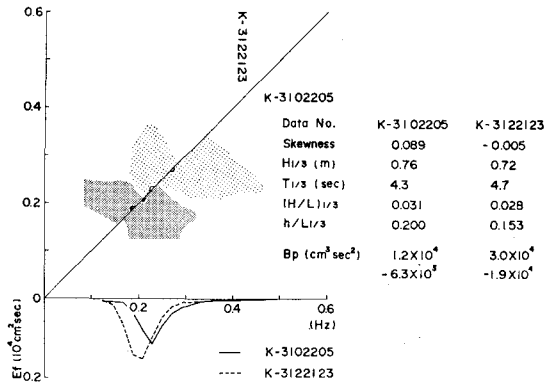
図—2 E の算出法

り、従来の水圧式波高計による観測結果とはほぼ似た値を示している。有義波周期の平均周期に対する比は、伊予と菊間で、それぞれ、1.00 および 0.97 という値を得たが、これらは、著者の一人が、わが国各地海岸で得た値 (1.16~1.33) よりも小さい。また、有義波周期の波浪スペクトルのピーク周期に対する比は、それぞれ、1.01 および 0.99 という値を示し、これらは、Darbyshire が北大西洋で数多くの嵐時に得た 0.88 という値や著者の一人がわが国各地海岸で得た 0.77~0.92 という値よりも大きい。波浪スペクトルについては、有義波の水深波長比は、伊予および菊間で、それぞれ、0.141~0.232 および 0.134~0.232 という値を示し、解析した波浪は浅海波とみなし得るが、スペクトルのピーク付近の高周波側は周波数の $-5 \sim -6$ 乗に比例し、この結果は、Neumann-Pierson が深海において見出した n の値 $4 \sim 8$ の中にある。

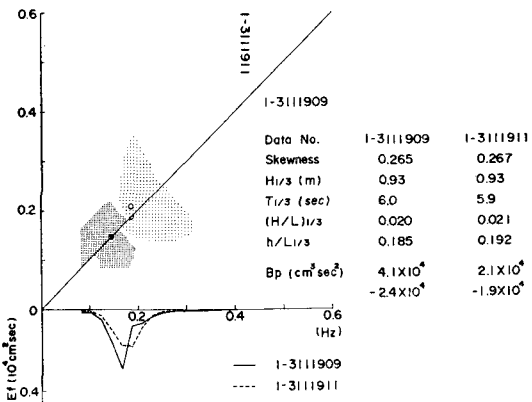
skewness が周波数ごとにどのように分布しているかを調べるためにバイスペクトルを求め、そうしたバイスペクトルが、有義波高、波形勾配、水深波長比、波高水



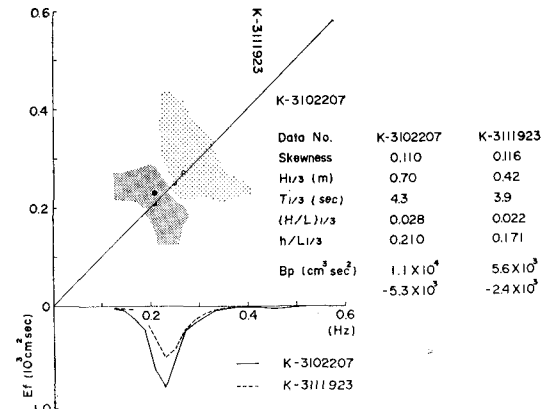
(a)



(b)



(c)



(d)

図—3 バイスペクトル

深比および skewness などとどのような関係にあるかを検討してみた。その結果、一般的傾向として、パワースペクトルのピークを境にして低周波側が正、高周波側が負であること、パワースペクトルに第2ピークが生じている資料では、第2ピーク付近の干渉を持つこと、ピーク成分波と高周波側の成分波との自己相互の干渉がかなり強いこと、有義波高及び波形勾配がほぼ等しい資料では、有義波の水深波長比が大きいものほど正および負のバイスペクトルピークの絶対値が小さく、正および負のバイスペクトルピークの絶対値が大きいものほど skewness が小さいこと、などを得た。

図-3 (a), (b) は、有義波高および波形勾配がほぼ等しいものについて、(c), (d) は、skewness がほぼ等しいものについて検討したものである。図中には、各資料のパワースペクトルも、実線および破線によって示してある。密な影をつけた部分は、バイスペクトル密度が正で、かつバイスペクトルピーク値の 20% よりも大きい領域を示し、粗い影をつけた部分は、バイスペクトル密度が負で、その絶対値が負のバイスペクトルピークの絶対値の 20% よりも大きい領域を示している。●および○は、それぞれ、正および負のバイスペクトルピークの位置を示している。(a) は、有義波高 1.23 m, 有義波周期 5.5 sec, 風速 13.5 m/sec の海風下での資料 I-3111707 と有義波高 1.24 m, 有義波周期 5.8 sec, 風速 10.0 m/sec の海風下での資料 I-3122823 を示したものである。パワースペクトルは、I-3122823 が、ピークより高周波側で僅かに大きい値を示しているが、ほぼ良く似た形をしている。自己相互の干渉は、パワースペクトルのピークを境にして低周波側が正、高周波側が負の干渉を示し、両者とも自己相互の干渉の位置に負のバイスペクトルピークが生じているが、正のバイスペクトルピークの生じている位置は異なっている。密な領域は、ほぼ、同じ大きさであるが、粗な領域は、I-3122823 の方が僅かに大きめである。(b) は、有義波高 0.76 m, 有義波周期 4.3 sec, 風速 8.0 m/sec の海風下での資料 K-3102205 と有義波高 0.72 m, 有義波周期 4.7 sec の資料 K-3122123 を示したものである。パワースペクトルは、K-3122123 が低周波側にピークが生じ、ピーク値も大きい、高周波側の裾は、ほぼ

似ている。自己相互の干渉は、(a) と同様な特性を示し、両者とも自己相互の干渉の位置に正、負のバイスペクトルピークが生じている。粗および密な領域とも K-3102205 の方が大きめである。(c) は、有義波高 0.93 m, 有義波周期 6.0 sec, 風速 13.0 m/sec の海風下での資料 I-3111909 と有義波高 0.93 m, 有義波周期 5.9 sec, 風速 11.0 m/sec の海風下での資料 I-3111911 を示したものである。パワースペクトルは、(b) と同様に、ピーク周波数は異なるが、高周波側の裾では、ほぼ似て

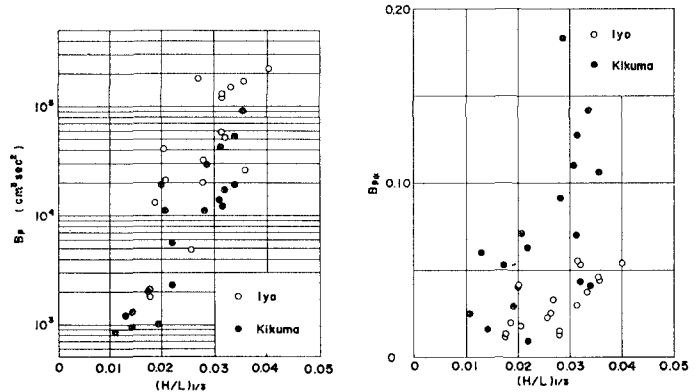


図-4 (a) B_p および B_p^* と $(H/L)^{1/3}$ の関係

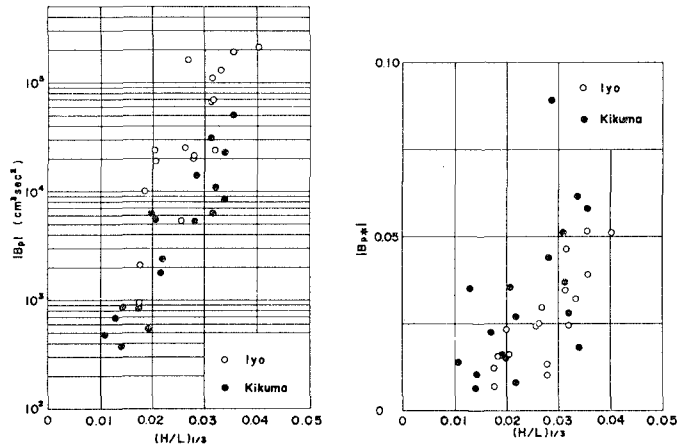


図-4 (b) $|B_p|$ および $|B_p^*|$ と $(H/L)^{1/3}$ の関係

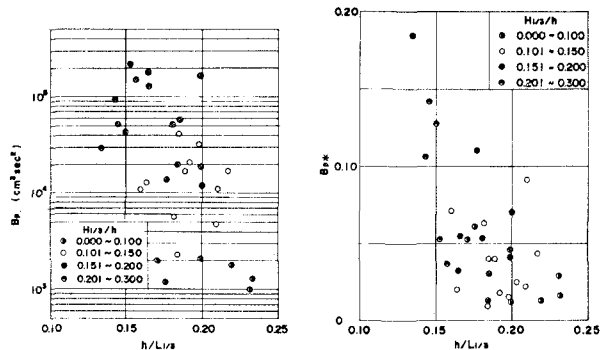


図-5 (a) B_p および B_p^* と $h/L^{1/3}$ の関係

いる。自己相互の干渉は (a) と同様な特性を示し、両者とも自己相互の干渉の位置に正のバイスペクトルピークが生じているが、負のバイスペクトルピークの位置は異なっている。粗、密の領域は、多少、大きさは違うが、ほぼ似た形を示している。(d) は、有義波高 0.70 m, 有義波周期 4.3 sec, 風速 14.0 m/sec の海風下での資料 K-3102207 と有義波高 0.42 m, 有義波周期 3.9 sec, 風速 13.0 m/sec の海風下での資料 K-3111923 を示したものである。パワースペクトルは、K-3102207 の方がピーク値も大きく、第1ピークの周波数 0.229 Hz のほぼ2倍の周波数のところに第2ピークが生じている。自己相互の干渉は、(a) と同様な特性を示し、両者とも自

己相互の干渉の位置に負のバイスペクトルピークが生じているが、正のバイスペクトルピークの位置は異なっている。粗、密な領域は、多少のずれはあるが、ほぼ良く似た形をしている。

以上、有義波高 0.22~2.11 m, 有義波周期 4.1~6.7 sec の波浪について、圧力変動のバイスペクトルの特性を調べた。Hasselmann-Munk-MacDonald¹⁾ は圧力変動について、著者らは²⁾ 階段抵抗式波高計による水面波形について、浅海において次のようなバイスペクトルの特性を得た。すなわち、パワースペクトルのピーク成分波は強い正の自己相互の干渉をもつこと、パワースペクトルがピークを示す成分波と高周波側の成分波との間に比較的に強い正の他己相互の干渉があること、などを得たわけであるが、ここで得た結果は、正、負の符号を除けば非常に良く似た形を示している。

これまで、バイスペクトル密度の絶対値の分布について調べてきたが、さらに各成分波間の干渉がもっとも強いバイスペクトル密度のピーク値と波形勾配、水深波長比、波高水深比および skewness との関係を調べてみた。

図-4 (a), (b) は、有義波の波形勾配と正、負のバイスペクトルピークの絶対値の関係を示したものであり、右図の方は、バイスペクトルピークの値を3次のモーメントによって正規化したものである。これらの図をみると、波形勾配が大きいくほど、正および負のバイスペクトルピークの絶対値は大きいことがわかる。図-5 (a), (b) は、波高水深比をパラメータとし、正、負のバイスペクトルピークの絶対値と有義波の水深波長比の関係を示したものである。これらの図をみると、かなりばらついてはいるが、波高水深比が大きいくものほど、正および負のバイスペクトルピークの絶対値が大きく、水深波長比が大きくなるにつれ、正および負のバイスペクトルピークの絶対値は減少していることがわかる。図-6 (a), (b) は、正、負のバイスペクトルピークの絶対値と skewness の関係を示したものである。図中、左図は、横軸に分散の3/2乗の値、縦軸に正、負のバイスペクトルピークの絶対値をとり、右図は、横軸に分散の3/2乗を3次のモーメントで割った値の逆数、すなわち、skewness をとり、縦軸に正規化したバイスペクトルピークを表わしている。これらの図をみると、分散の3/2乗の値が大きいくものほど、正および負のバイスペクトルピークの絶対値も大きく、skewness が大きいもの

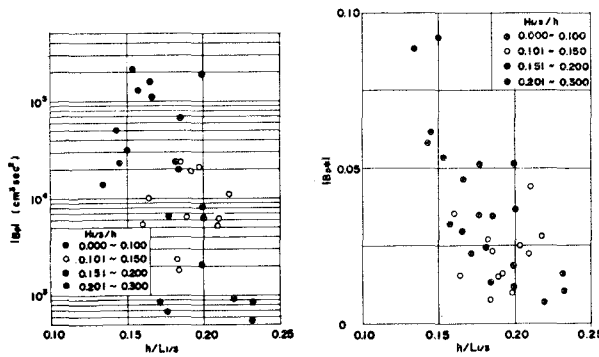


図-5 (b) $|B_p|$ および $|B_p^*|$ と $h/L_{1/3}$ の関係

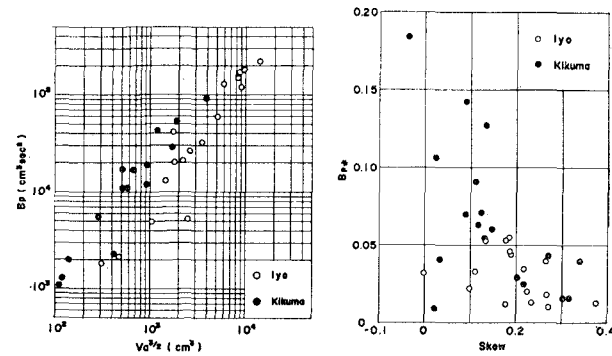


図-6 (a) B_p と $V_a^{3/2}$ および B_p^* と skewness の関係

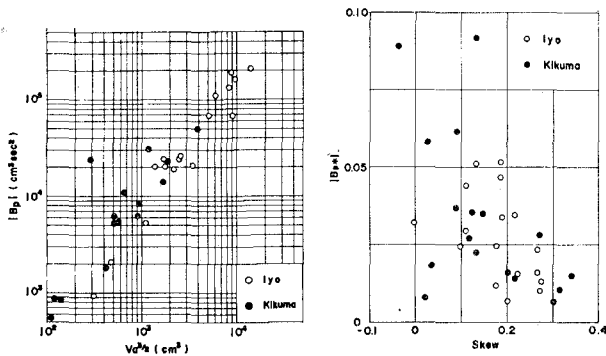


図-6 (b) $|B_p|$ と $(V_a)^{3/2}$ および $|B_p^*|$ と skewness の関係

ほど、正規化した正および負のバイスペクトルピークの絶対値は小さいことがわかる。

4. 結 語

以上、著者らは、建設省の伊予および菊間両波浪観測所に設置されている水圧式波高計による波浪資料を解析した結果、各種平均波高は、線型確率過程モデルに基づく Longuet-Higgins の理論値より全般的に小さい値を示していること、浅海における周波数スペクトルのピーク付近の高周波側は、周波数の $-5 \sim -6$ 乗に比例すること、バイスペクトルは、自己相互の干渉は、パワースペクトルのピークを境にして低周波側が正、高周波側が負であること、パワースペクトルに第2ピークが生じている資料では、第2ピーク付近の干渉は正の値をもつこと、有義波高および波形勾配がほぼ等しい資料では、水深波長比が大きいものほど正および負のバイスペクトルピークの絶対値が小さく、正および負のバイスペクトルピークの絶対値が大きいものほど skewness が小さいこと、正および負のバイスペクトルピークの絶対値は、有義波の波形勾配および波高水深比が大きくなるにつれ、

かなりばらついてはいるが、大きくなること、水深波長比および skewness が大きくなるにつれて小さくなること、などを得た。

最後に、この研究を進めるにあたり、終始、ご激励、ご指導を賜った京都大学岩垣雄一教授に深く感謝の意を表するとともに、快く資料を提供して下さった建設省四国建設局松山工事事務所の方々、資料整理に協力していただいた白井 孝技官に謝意を表する。

なお、この研究が文部省科学研究費の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) Hasselmann, K., W. Munk and G. MacDonald: Bispectra of Ocean Waves, Proceedings of the Symposium on Time Series Analysis Held at Brown University, John Wiley & Sons, Inc., pp. 125-139, 1963.
- 2) 柿沼忠男・伊福 誠: 大湊海岸における波浪の変形について (3), 第23回海岸工学講演会論文集 pp. 302-307, 1976.