

風波の持つ波数・周波数スペクトルのモデル化について

名古屋工業大学 正員 石田 昭

名古屋工業大学 学生員 金 泰 順

1. はしがき： 水の波は振幅が大きくなると非線型効果が強くなるために、波数と周波数の間に一義的關係が存在しなくなる。特に風波のような不規則波においては、各成分波間の非線型相互干渉が生じるために複雑なスペクトル構造になる。したがって波の挙動を完全に把握するためには、波浪エネルギーが波数・周波数平面上でどのように分布しているかを知らることが必要となる。しかし現地波浪の波数・周波数スペクトルを得ることは非常に困難であり、そのため一般には観測および解析が比較的容易である周波数スペクトル、あるいはSWOPの観測例に代表されるような波数スペクトルによって取り扱われている。実験室内では風波が一方に進行すると仮定できるから、その波数・周波数スペクトルは比較的簡単に求められる。そこで本研究では実験水槽内で起した風波を写真観測することにより、その波数・周波数スペクトルを求め、さらに波数・周波数平面上での波浪エネルギーの分布形状から波数・周波数スペクトルのモデル化を行なおうとするものである。

2. 実験方法： 実験に用いた水槽は有効フェンケ約20cm、幅60cm、高さ120cmの両面ガラス張り風洞水槽である。汀線から6mの範囲の水底を20cm高くして浅水領域を作り、約1mの長さの斜面で冲刷の水底と連続させた。また消波させるために

No.1
風下側に碎石を約1/6勾配で設置した。水深および風速を表-1に示すようにそれぞれ変化させ、その時発生する風波を水槽側面からカメラおよびストロボスコープを併用してスリット撮影した。(カメラはアサヒペンタックスSP、レンズ28mm、F35、絞り開放、フィルムはコダックTRI-X、ストロボは閃光周波数400rpm、閃光時間22 μ sec、閃光間隔 $\Delta t = 0.15$ secであり。)なお、読取りはスライド用フィルムに反転し、プロジェクターで拡大して行なった。Z方向のサンプリングは5cm間隔で57点(全長280cm)、Y方向のサンプリングは0.15sec間隔で59点(8.7sec)とした。最大ラブはそれぞれ15、20と

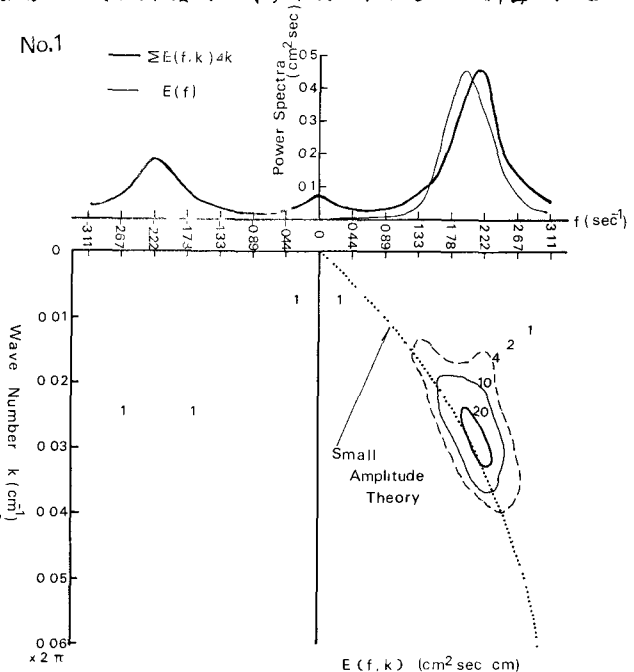


図-1 波数・周波数スペクトル $E(f, k)$ の等値線および $E(f)$

また $\omega = 0.222$ cps, $\Delta\omega/2\pi = 0.005$ cpsである。

3. 解析結果および考察： 図-1に得られた波数・周波数スペクトル $E(f, k)$ の等値線および波高計から得た周波数スペクトル $E(f)$ などを示す。このデータはすでに著者らが第30回年次講演会で報告した

ものであるが、そのときは周波数が0の付近、および波数が0.005付近にかなり強いエネルギー分布が見られた。これは前回指摘したように水位変動 $\eta(x, t)$ の読取りに際し平均水面が両端で傾斜しているかのごとくに競んだために現れたものである。今回はいったん静水面の位置を読み取って、この値からの偏差量を水位変動とする修正を試みに結果かなり抑えることができた。図-2の(a)~(d)は各データから得られた波数・周波数スペクトルだけを示した。また表-1には各データの諸元および解析結果を示してあり、表-1からわかるようにデータNO-1は $E(f, k)$ の値が小さいので微小振幅に近い波でありと考えることができる。この場合には第30回年次講演会の報告でもふれたように、風波のもつエネルギーが微小振幅波理論の波数・周波数関係を示す曲線を中心に分布していることがわかる。一方その他のデータは非線型効果の強い例で、図-2をみるとわかるようにピークエネルギー付近での等値線の長軸が波数 k 軸に平行となる傾向があり、図-1のNO-1とは違ったスペクトル構造を示すようになる。また、第30回年次講演会では $E(f, k)$ を用いたモデル式を報告したが、実用的には周波数スペクトルのピーク値 $E(f_p)$ 、あるいは波数スペクトルのピーク値 $E(k_p)$ を基にしたモデル式の方がより有用であることは言うまでもない。そこで、いま $E(f_p)$ が得られているとしたときの $E(f, k)$ をモデル化してみよう。まず前掲の $E(f, k)$ の等値線から各周波数について波数 k 方向のエネルギー分布図を求め、それが幾差関数的に低減するものと仮定する。さらにそのピーク値が $k = a_1 f + b_1$ という直線上にあるものと仮定し、かつピーク値そのものが幾差関数的に低減するものとするれば、結局 $E(f, k)$ は次のように表わすことができる。モデル(1)式： $E(f, k) = E(f_p) \sqrt{\frac{1}{a_1 f + b_1}} \exp[\beta_1 (\frac{f}{f_p} - 1)^2 + \alpha_1 (\frac{k}{a_1 f + b_1} - 1)^2]$ 。同様に、 $E(k_p)$ が得られているときのモデル式は次のようになる。モデル(2)式： $E(f, k) = E(k_p) \sqrt{\frac{1}{a_2 k + b_2}} \exp[\beta_2 (\frac{k}{k_p} - 1)^2 + \alpha_2 (\frac{f}{a_2 k + b_2} - 1)^2]$ 。なお式中の各係数は表-1に示す通りである。表-1からわかるように、 α_1, α_2 の絶対値はピークエネルギー $E(f_p)$ が大きくなると小さくなって、幅の広いスペクトル構造となることを示している。しかし、 β_1, β_2 についてはそれほど顕著な変化はみられないことがわかる。最後に、本研究に際し助力として頂いた井本文に吉助手、ならびに学部生 平野、藤井の両君に感謝の意を表します。

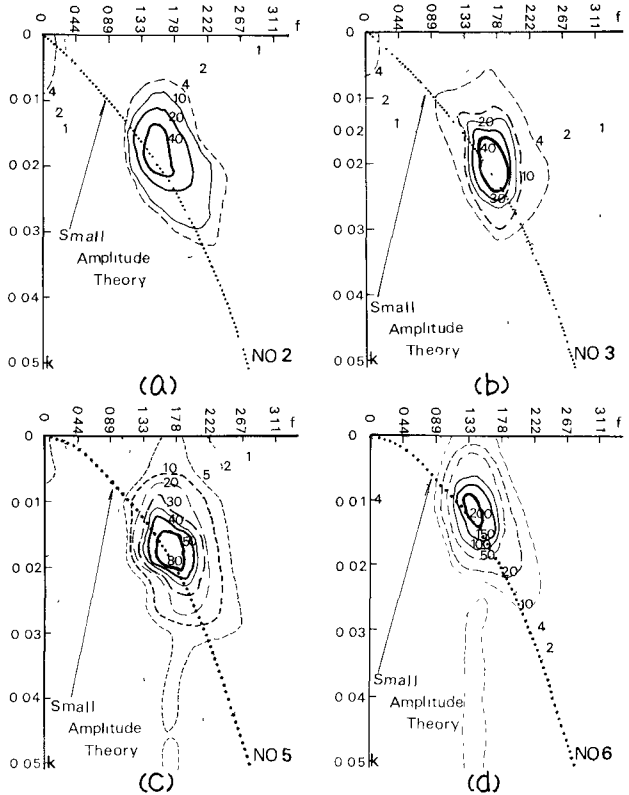


図-2 波数・周波数スペクトル $E(f, k)$ の等値線

表-1 実験諸元および各係数

	h (cm)	u (m/sec)	a_1 B_1	a_2 B_2	A_1 B_1	A_2 B_2	h/L	$E(f_p)$
No. 1	8.7	9.3	-17.325 -21.870	-41.606 -7.839	0.011 -0.005	22.00 1.56	0.261	24.50
No. 2	8.7	14.1	-8.341 -18.074	-19.920 -8.384	0.009 0.003	0.00 1.56	0.174	50.00
No. 3	8.7	14.9	-10.590 -20.660	-24.330 -9.164	0.009 0.004	0.00 1.78	0.174	44.88
No. 5	19.4	9.3	-8.384 -20.882	-22.699 -5.895	0.011 -0.003	22.00 1.34	0.388	86.10
No. 6	19.4	14.9	-2.291 -20.588	-20.538 -2.872	0.011 -0.005	0.00 1.33	0.194	203.0

ものとするれば、結局 $E(f, k)$ は次のように表わすことができる。モデル(1)式： $E(f, k) = E(f_p) \sqrt{\frac{1}{a_1 f + b_1}} \exp[\beta_1 (\frac{f}{f_p} - 1)^2 + \alpha_1 (\frac{k}{a_1 f + b_1} - 1)^2]$ 。同様に、 $E(k_p)$ が得られているときのモデル式は次のようになる。モデル(2)式： $E(f, k) = E(k_p) \sqrt{\frac{1}{a_2 k + b_2}} \exp[\beta_2 (\frac{k}{k_p} - 1)^2 + \alpha_2 (\frac{f}{a_2 k + b_2} - 1)^2]$ 。なお式中の各係数は表-1に示す通りである。表-1からわかるように、 α_1, α_2 の絶対値はピークエネルギー $E(f_p)$ が大きくなると小さくなって、幅の広いスペクトル構造となることを示している。しかし、 β_1, β_2 についてはそれほど顕著な変化はみられないことがわかる。最後に、本研究に際し助力として頂いた井本文に吉助手、ならびに学部生 平野、藤井の両君に感謝の意を表します。