

名 工 大 正 員 細 井 正 延

・ 石 田 昭

・ 井 本 久 吉

1. 諸 言

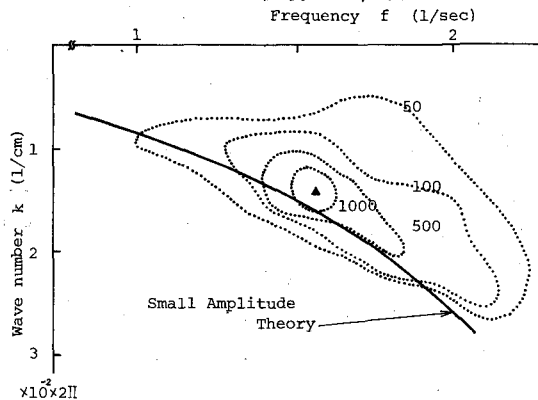
風波のような非線型性の強いランダム波に対しては、波数・周波数による表現が必要となることを石田らは指摘している。一般に現地波にしろ実験波にしろ、表面には吹送流が加わるのでスペクトル構造が変化する可能性がある。ここでは、風洞水槽（2次元水槽であるから波の方向分散はないものとする）における実験から吹送流の影響を除去した、いわゆる真の波数・周波数スペクトルを求め、さらにそのモデル化を行なう、実測した周波数スペクトルから波数・周波数スペクトルを推定する方法を考察したので報告する。

2. 実験方法および解析方法

幅 60 cm, 高さ 120 cm, 有効フェッチ 20 m の両面ガラス張りの風洞水槽を使用し、汀線から 6 m の範囲は水底を 20 cm 高くして約 1 m の長さの斜面で沖側の水底と接続させた。吹送流の測定は中立粒子をカメラにて 0.2 秒間隔で撮影し、その間の中立粒子の移動量を読み取り、0.2 で除いて求めた。水位変動の測定方法は前報と同じであり、ここでは省略する。また波数・周波数スペクトルの算定は FFT 法により算出した。

3. 解析結果

実験によって得られた波数・周波数スペクトルの一例を図-1 に示す。この場合の実験条件は水深 $h = 20$ cm, 平均風速 $U = 6.96$ m/sec である。図中の各点線はエネルギー密度の等値線を示し、1000, 500, 100, 50 ($\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}$) の場合を示した。また実線は微小振幅波の $f-k$ 関係を示し、印 Δ はエネルギーピーク位置を示す。この図からエネルギー $f-k$ 平面でかなり幅広く分布し

図-1 波数・周波数スペクトル $E(f, k)$

ていて、かつピーク値は微小振幅波理論の $f-k$ 関係よりかなり高周波側にあることがわかる。これは非線型性の強い波であるということの他に、吹送流の影響により周波数が見掛け上大きくなるためと考えられる。そこで吹送流の影響を除去した、いわゆる真の波数・周波数スペクトルを求めることを考える。図-2 は吹送流速 u の鉛直分布を示したもので、縦軸は平均水面から鉛直下向きにとった距離であり、横軸は吹送流速である。図中の黒丸が測定値であり、これは各水深における 20 以上の測定値を平均したものである。この図から $z = 0$ からほぼ 12 cm までの範囲では吹送流は正の流速を持ち、12 cm より深い領域では負の流速を持つことがわかる。さて、吹送流の影響を除去する、いわゆる周波数の補正であるが、図-2 から吹送流速分布が一様流速分布とならないため周波数によって

その補正に關係する流速が異なると一般に考えられる。つまり、低周波数の波ほど深い点における流速にまで關係し、高周波の波になると平均水面近くの流速にだけ關係すると思われるが、ここではオノ1段階として吹送流の分布を一様流速分布と考え、この一様流速は図-2から得られる平均流速 $\bar{u}$ で代表させることにする。また、波の伝播速度はかなり深い位置における流速にはあまり關係しないと考えられるため、平均流速 $\bar{u}$ を流速が正である領域での平均値とした(図中の実線で表わされるような直線分布と考え $z=0$ からほぼ12cmまでの平均流速を求め $\bar{u}=2.5\text{cm/s}$ を算出)。このように考えると各波数に対する周波数の補正量は次式で表わされる。

$$\Delta f = -\bar{u}k/2\pi \quad (1)$$

ここで Δf は周波数の補正量であり、 k は波数である。図-1の波数・周波数スペクトルに対して式(1)の補正を施し、エネルギー密度の等値線を描くと図-3のようになる。図-1と図-3を比較すると、周波数の補正により波数方向への広がりが大きくなり、周波数方向への広がりはいさくなる。

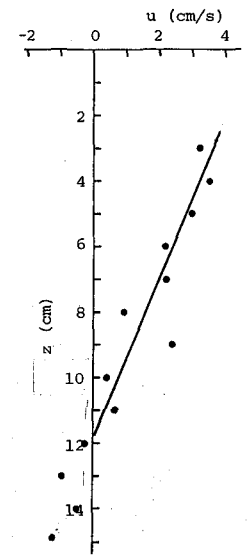


図-2 吹送流の鉛直分布

またエネルギーピークの位置もかなり微小振幅波理論の f - k 關係に近づくが、微小振幅波理論とは一致しない。これは非線型性の強い波であり、波長が微小振幅波理論による波長より長いと考えられるが、周波数の補正量と吹送流速分布との關係がはきりしないため、今後はこの点を十分検討する必要がある。次に図-3で表わされる波数・周波数スペクトルを一点で得られる周波数スペクトルから推定することを考える。各周波数に対して波数方向のエネルギーが誤差関数的に低減するものと仮定し、かつそのピークが $k=Af+B$ で近似できると考え、さらにその直線上のピーク値も f_p を中心として誤差関数的に低減するものと仮定する。また $f=f_p$ で波数について0から ∞ まで積分した値が $E(f_p)$ に等しくなるようにすると、波数・周波数スペクトルを次式のように表示することができる。

$$E(f, k) = \gamma \cdot E(f_p) \sqrt{\frac{|\alpha|}{\pi}} \frac{1}{A \cdot f_p + B} \exp \left[-\beta \left(\frac{f}{f_p} - 1 \right)^2 + \alpha \left(\frac{k}{A \cdot f_p + B} - 1 \right)^2 \right] \quad (2)$$

図-3の場合各係数の値は次のように得られた。

$$\gamma = 1.21, \alpha = -33.22, \beta = -488.43$$

$$A = 0.0146 \times 2\pi, B = -0.00792 \times 2\pi$$

これらの値のうち α, A, B の値は実験条件による変化はなく、 γ, β の値は実験条件によりかなり変化し、 β の値は非線型性の強い波ほど小さく β の絶対値は非線型性の強い波ほど小さくなるようである。最後にこの研究は文部省科学研究の一部であることを付記し感謝の意を表する。

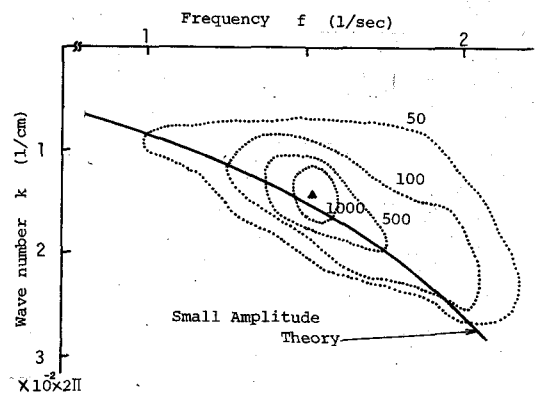


図-3 算の波数・周波数スペクトル $E(f, k)$

参考文献

- 1) 石田昭・金泰順：風波の波数周波数スペクトルに関する実験的研究，オノ23回海講演文集，PP317-322，1976
- 2) 石田昭・岡本泰雄・古田正勝：波数周波数スペクトルによる風波の反射率測定，オノ24回海講演文集，PP107-111，1977