

(株) 竹中土木 正 員 栗田雅司

神戸大学工学部 正 員 筧 源亮

1. まえがき

波の干渉は、波の基礎方程式において線型項だけを考えると自由表面上の圧力が一定であるという条件があれば、波が寄せ合っても理論式では干渉せずに各々の方向に伝達していく。非線型項をも考慮に入れると寄せ合う波とその合成された波とのエネルギーの伝達が説明できる。本研究は風波の場合の非線型干渉をスペクトルを用いたものとボックスカーインテグレーターとを併用して調べたものである。ボックスカーインテグレーターとは雑音の中の信号を取りだす装置である。

2. 実験装置と実験方法

実験装置は幅40cm, 長さ2.6m, 水路部水深10cm, 風洞部6cm の風洞水そうである。この水路部下流端に図-1 に示すように異なる2 方向からの波のなす角が30° になるように枠を設けている。この図中の矢印は波が入射してくる方向であり、W-1, W-2はその方向だけからの波を指す。さらにW-3はW-1とW-2共に入射してくる場合とする。ここでW はWaveの略である。Point1~Point4は測点の位置である。Point1はa-a'とb-b'から等距離であり、隣接する測点は5cm ずつ離れている。測点では波高を測定した。また水深hと波長Lとの比は

$$h/L \approx 1.50 > 1/2$$

となるので実験で使用した波は深海波とみなせる。

3. スペクトルによる波の干渉について

図-2 はPoint3におけるW-1とW-2の場合のスペクトル図であり、縦軸はスペクトル横軸は周波数である。スペクトルの算定法はFFT法によるもので平滑関数としてはハニングの式を用いた。図-2 での f_1 , f_2 は生のスペクトルの最大値の位置であり、その値は

$$f_1 = 7.4 \text{ Hz} \quad f_2 = 5.5 \text{ Hz}$$

であった。f の添字はW-1, W-2の数字と同じである。

このW-1とW-2の波が共に入射してきて合成された波W-3のスペクトルが図-3 である。縦軸、横軸は図-2 と同じである。図-3 の破線は図-2 のW-1, W-2の最大ピークの周波数値 f_1 と f_2 より算定したものである。 f_1 , f_2 はW-1, W-2の最大ピークの周波数の位置であり、 $2f_1$, $2f_2$ はそれぞれ f_1 , f_2 の2 倍高調波の位置である。 $f_1 \pm f_2$ と $2f_1 \pm f_2$, $2f_2 \pm f_1$ はそれぞれ波の基礎方程式に摂動展開を用いてその第2 近似と第3 近似での式

$$k_i \pm k_j = k_3 \quad \sigma_i \pm \sigma_j = \sigma_3 \quad (i, j=1, 2 (i \neq j)) \quad (1)$$

$$2k_i \pm k_j = k_3 \quad 2\sigma_i \pm \sigma_j = \sigma_3 \quad (i, j=1, 2 (i \neq j)) \quad (2)$$

による位置である。ここで k_i , σ_i ($i=1, 2, 3$) はそれぞれ波

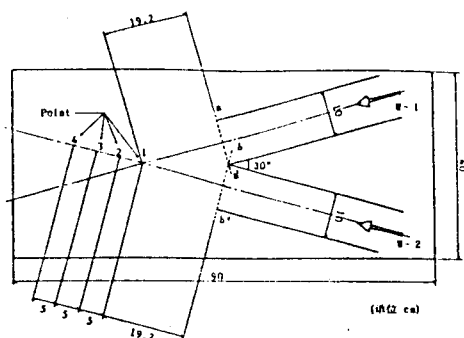


図-1 測定位置

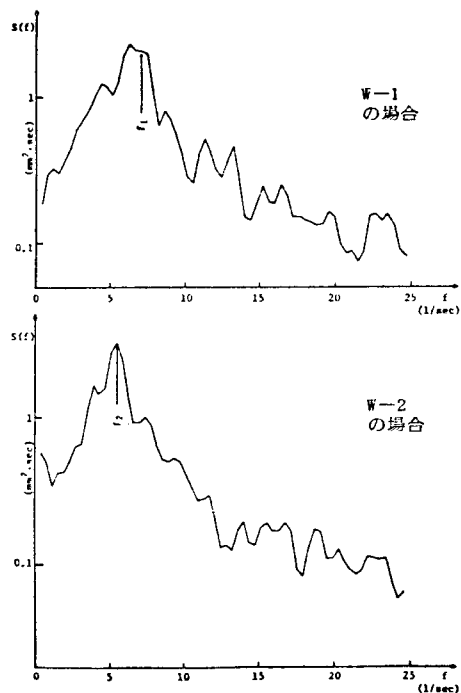


図-2 W-1, W-2のスペクトル図

数と角周波数である。 k と σ の添字はW-1, W-2, W-3の数値と対応する。

図-3 のスペクトル上の黒丸は生のスペクトル値においてピークを示している所である。

このスペクトル上の黒丸と前述のW-1とW-2の最大ピーク f_1 と f_2 によって算定された破線の位置とを比べるとこの図では一致しているのが 5ヶ所、またわずかにずれているのも加えると 8ヶ所になる。他の測点において同様にした結果 8割程度が一致していた。

次に (2) 式において $k_3=2k_1-k_2$ の場合の波速を持つ波を Longuet-Higgins らによって示された式に本研究の実験値を適用した式が (3) 式でそれを図示したのが図-4 である

図-4 の横軸 γ は σ_1/σ_2 である。 k_1, k_2 はW-1, W-2の生のスペクトルの第 6位ピークまでを示している周波数値より決定し k_3 は k_1, k_2 より既知となる。振幅 a_1, a_2, a_3 は k_1, k_2, k_3 の値よりそれぞれW-1, W-2, W-3の場合のフーリエ係数より算定した。図-4 より実験値と理論値との関係は実験値の方が大きい値を示しているが傾向としては一致していると考えられる。

4. ボックスカーインテグレーターによる平均波形

ボックスカーインテグレーターは平均法による繰り返し性非定常成分の計測機である。入力信号は、周期は一定でなくてもよいが、繰り返し性がなければならず、また繰り返す信号の位相に合わせて平均操作を行うため、これと同位相の参照信号を必要とする。参照信号には入力信号の一部を狭帯域フィルター(B.P.F.)に通したものとした。この参照信号を入力信号から取り出したい波の周期に合わせれば、繰り返し位相が一致しているためその周期成分の平均波形が取り出せる。もし参照信号の周期に波が存在しない場合はその出力は零となる。

このボックスカーインテグレーターをW-3のデータに用いた結果が図-5 と図-6 である。図-5 の上方の波形の周期は7.5Hz、下方は5.6Hzである。これは図-2の f_1, f_2 の周波数の波が取り出せたことを意味する。また図-6の平均波形の周波数は9.4Hzとなりこれは $2f_1-f_2=9.4(\text{Hz})$ の波と考える事ができる。

5. 結論

スペクトルと平均波形によって、式 (2) で算定される周波数の波は風波の場合においても確かめる事ができ、図-5, 6 に現われた非線型の波はスペクトルの線型の算定によっても示されると考えられる。

参考文献 1) Longuet-Higgins, M.S. : J. Fluid Mech. 12, 1962 2) 麓・山崎 : 関西支部年講II-39, 1978 3) Philips, O.M. : J. Fluid Mech. 9, 1960 4) Longuet Higgins, Smith : J. Fluid Mech. 25, 1966

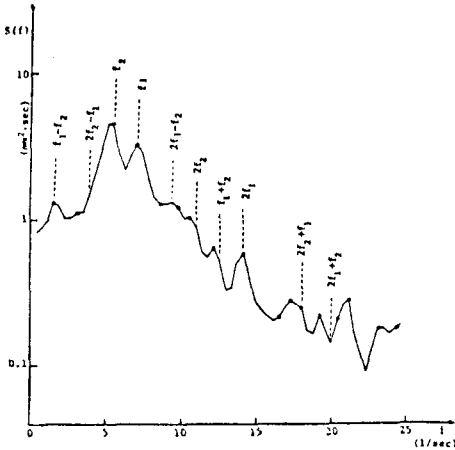


図-3 Point3におけるW-3のスペクトル図

$$\frac{a_3}{(a_1 k_1)^2 a_2 k_2} = G(30^\circ, \gamma) x \left| \frac{\sin(x \delta k)}{x \delta k} \right| \quad (3)$$

ここで、 $x=29.2\text{cm}$, $\delta k = \frac{1}{2}(k_3 - \frac{\sigma_1^2}{g})$

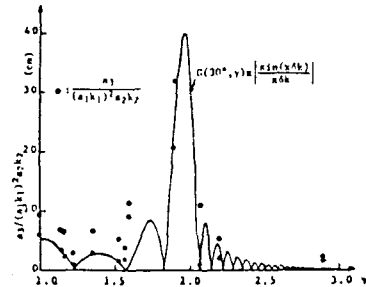


図-4 Point3での $a_3/(a_1 k_1)^2 a_2 k_2$ と γ の図

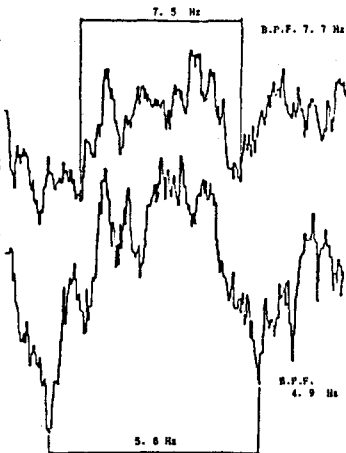


図-5 Point3の f_1, f_2 の平均波形

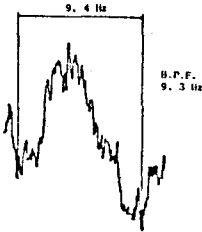


図-6 Point3の9.4Hzの平均波形