

1. はしがき : 不規則波を取扱う場合に個々の成分波の波速が線型理論にもとづく性質をもっているとは仮定することが多いが、現実には非線型効果により完全な線型性は保持していない。例えば柿沼らの波向の観測、あるいは鹿島による反射率の測定法に関する研究などにも成分波が線型性をもたないための影響が現われているようである。したがって波速を詳しく調べておくことは不規則波の研究にとって重要であろう。ここでは実験的に不規則波を発生させ、クロススペクトル解析を適用することによって成分波の波速を周波数の関数として求めた。さらに文献(3) にならって入射波と反射波のスペクトル比に現われる ripple を調べることによって成分波の波速を検討した。

2. 実験方法 : 幅60cmの風洞を半分に仕切って30cm幅の水路を2本作り 一方を反射水路、他方を消波水路と名付けた。前者には各種勾配の反射板を設け、後者には碎石およびスポンジ状マートを置いて消波させた。図-1は抵抗線式波高計の設置場所を示したものである。ビジュグラフ上に得た波形を0.1 sec 間隔でデジタル化し、6000個のデジタル量で一つの記録とした。

3. 解析方法 : 2台の波高計(図-1ではW-2およびW-4)から得られる記録を $x(t)$, $y(t)$ とする。相互相関関数は次式によって求める。

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot y(t+\tau) dt \quad \dots (1)$$

$$R_{yx}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \cdot x(t+\tau) dt \quad \dots (2)$$

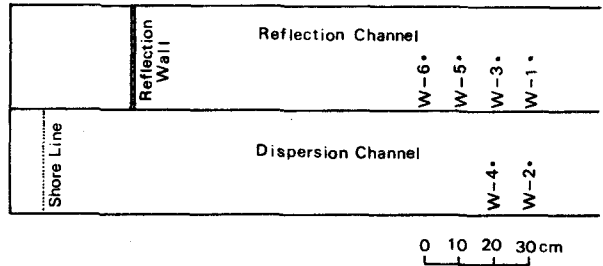


図-1 抵抗線式波高計の配置場所

$\{R_{xy}(\tau) + R_{yx}(\tau)\}/2$ は偶関数であり、これをフーリエ変換して Co-Spectrum $C(f)$ を求める。また $\{R_{xy}(\tau) - R_{yx}(\tau)\}/2$ は奇関数で、これをフーリエ変換して Quadrature Spectrum $Q(f)$ を得る。したがってクロススペクトル $G(f)$ は(3)式のように表示することができる。

$G(f)$ の偏角 $\theta(f)$ は周波数 f の成分波が2台の波高計間を通過するときの位相の変化を示しているので $2\pi f$ で割れば時間となる。(ただし $\theta(f)$ は主値しかわからないので波長が波高計間隔より小さいときは $2n\pi$ を加えねばならない。)

$$G(f) = C(f) - iQ(f) \quad \dots (3)$$

実験水路での波は一方向に進むと仮定すると速度 $S(f)$ は(4)式によって得られる。ただし D : 波高計間隔、 $\theta(f) = \tan^{-1} \{C(f)/Q(f)\}$ である。

$$S(f) = 2\pi f D / \theta(f) \quad \dots (4)$$

また周波数領域での相関性を示す Coherence $\gamma(f)$ は(5)式

$$\gamma(f) = \sqrt{|G(f)|^2 / E_x \cdot E_y} \quad \dots (5)$$

によって求められる。 E_x , E_y はそれぞれ $x(t)$, $y(t)$ の

$$E_z/E_x = 2 + 2 \cos(2\pi f T(f)) \quad \dots (6)$$

パワースペクトルである。 $\gamma=0$ は無相関を意味し、 $\gamma=1.0$

は完全な相関があることを意味する。また反射水路でのパワースペクトル E_z には規則的な ripple

が現われて入射波スペクトルとの比をとると完全反射の場合(6)式になることがわかっている。 $T(f)$

は成分波が反射板まで行って戻ってくるまでの時間を表わしている。

4. 解析結果：図-2 は解析結果の1例を示したもので上から順に反射板の角度を 30° , 50° , 70° および 90° としたものである。実線は(4)式による成分波の波速であり、点線は理論による波速である。破線は(5)式の Coherence を示したもので矢印は $x(t)$ および $y(t)$ のパワースペクトルがピーク値を持つ周波数を示している。 $f=1.4 \sim 2.3$ cps までは Coherence がほぼ1.0で $x(t)$ と $y(t)$ の間に強い相関があることがわかる。そしてこの周波数範囲では解析して求めた波速が傾向として線型理論に従うけれども $f=2.4$ 付近で急に波速が大きくなり、それより高周波数側でも波速が大きくなっている。また、Coherence は $f=2.4$ 付近で急に小さくなりそれより高周波数側では又大きくなっている。図-3は(6)式による解析結果の1例で反射板の角度が 90° の場合である。実線は実験値を、点線は線型理論によって計算した $T(f)$ を代入した(6)式の右辺の値である。

f が1.4から2.3の間ではかなり規則正しい変動が現われているが理論値にくらべると変動の間隔が長くなって

いる。これは波

長が若干長くなるという図-2の結果と対応している。 $f=2.4$ 以上では不規則な変動が現われており、波速が線型理論からかなりはずれることを意味している。変動の振幅が理論より小さいのは反射率が1.0より小さい不完全反射のためであろう。最後に本研究を進めるにあたり御指導を賜った細井正延教授に感謝の意を表します。

- 1) 析石・石田：波浪スペクトルにもとづく大鵬海岸の波向の推算について、京大防災研年報オ11号、昭43.3.
- 2) 鹿島：不規則な波の入射および反射エネルギースペクトルの測定法について、オ15回海洋工学講演会講演要録.
- 3) 石田・伊藤：風波の反射によって起こるスペクトル構造の規則的变化について、オ18回海洋工学講演会論文集.

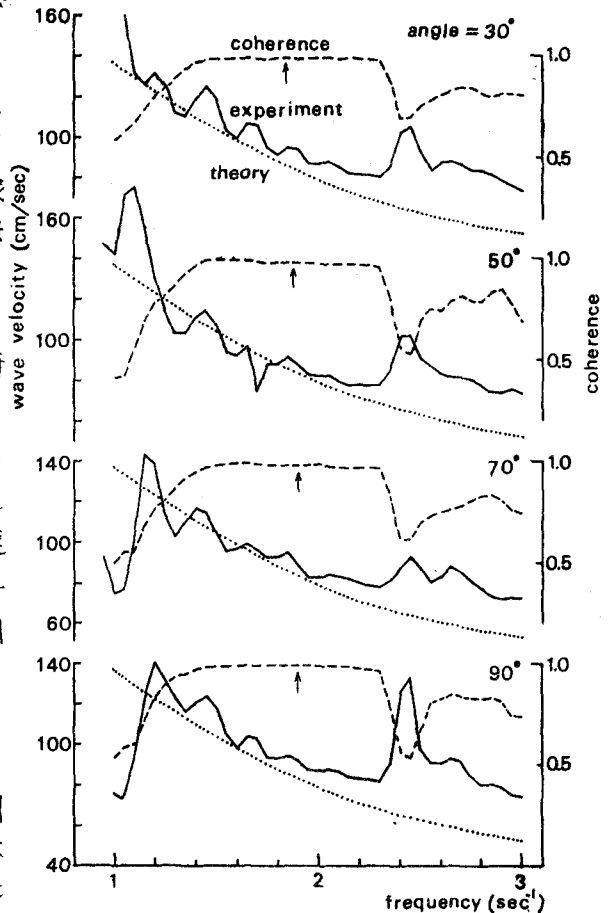


図-2 クロススペクトル解析による波速と coherence

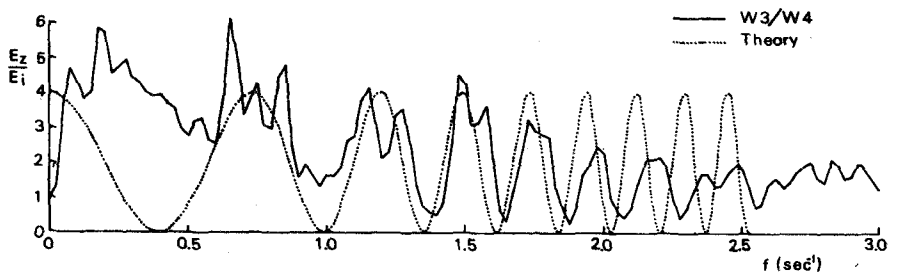


図-3 入射波スペクトルと反射波スペクトルの比