

京都大学工学部 正員 岩田雄一
 京都大学工学部 正員 〇木村 晃

1. まえがき：この研究は実験室内において現地波浪と同一のスペクトル構造を持つ不規則波浪を発生させる一方法として、ディジタル方式によるシミュレーション法のうち、Borgmanの提唱した数値フィルター法を用い、任意のスペクトル形状を有する不規則波浪を計算機を利用してシミュレートすることとを試みたものである。また、今回は期待スペクトルとしてPierson-Moskowitz スペクトルを選び、その波形のシミュレーションを試み、結果に対しても若干の考察を加える。

2. 周波数応答関数：ある系Gにおいて、任意の入力 $x(t)$ とそれを与えた場合に得られる出力 $y(t)$ との間には、系Gの応答関数を $h(\tau)$ とすると、一般に

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t-\tau) d\tau \quad (1)$$

の関係がある。また(1)式の応答関数 $h(\tau)$ をフーリエ変換して得られる関数

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \exp(-i2\pi f\tau) d\tau \quad (2)$$

は周波数応答関数と呼ばれる。今回の研究の目的は、特性の明らかな不規則入力 $x(t)$ を用いて、期待スペクトルと同一の特性を有する不規則出力 $y(t)$ を発生させることができる応答関数 $h(\tau)$ を求めることに帰着するといえる。(1)式から若干の演算により、 $y(t)$ の自己相関関数は

$$R_{yy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\alpha) d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} h(\beta) d\beta R_{xx}(\tau + \alpha - \beta) \quad (3)$$

のように与えられる。そこで R_{yy} および R_{xx} はそれぞれ、出力および入力の自己相関関数である。(3)式の両辺に対し、(2)式の関係を用いてフーリエ変換をほどこすと、

$$S_{yy}(f) = |H(f)|^2 S_{xx}(f) \quad (4)$$

のように周波数空間での入出力の関係を示すことができる。ここで入力 $x(t)$ としては、不規則変動であれば、いかなるスペクトル特性を有してもかまわないわけであるが、すべての周波数でそのスペクトル密度が等しいホワイトノイズを用いると(4)式は、

$$S_{yy}(f) = |H(f)|^2 C \quad (5)$$

となる。ただしCは常数である。一般には $H(f)$ は複素関数であり、簡単に(5)式を解くことはできない。 $H(f)$ が複素関数であることの理由は、入力および出力の位相関係を満足させるためである。しかし、不規則波浪のシミュレーションにおいては、入出力間の位相関係も特に問題とする必要はなく、結果的に所要のスペクトル構造を持つような不規則出力を求めることのみが問題となる。したがって、ここでは周波数応答関数を次式のように仮定し論議を進める。

$$H(f) = \sqrt{S_{yy}/C} \quad (6) \quad \text{または} \quad H(f) = i\sqrt{S_{yy}/C} \quad (7)$$

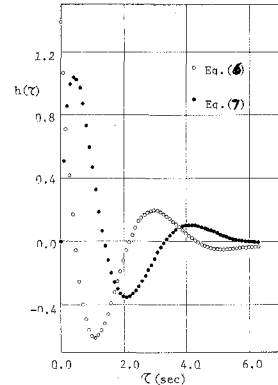


図-1 ホワイトノイズより Pierson-Moskowitz スペクトルを持つ波浪を作るための応答関数

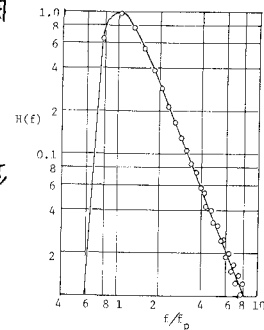


図-2 ホワイトノイズより Pierson-Moskowitz 波を作るための周波数応答関数

実際の計算に際しては、シミュレートすべき期待スペクトルを決定し、(6)式もしくは(7)式に代入した後、逆フーリエ変換して $h(t)$ を算定する。こうして得た $h(t)$ を(1)式にしたがってホワイトノイズに作用させ、所要の不規則波形状 $y(t)$ を得る。

3. 解析結果：前節の過程より明らかなように、期待スペクトルとしては任意のスペクトル形を選ぶことが可能であり、また、スペクトル形も関数表示する必要性はない。今回の研究においては、1例として(8)式で示される十分発達した波浪のスペクトル形の一つである Pierson-Moskowitz スペクトルを期待スペクトルとして選んだ。

$$S(f) = S(f_p) (f/f_p)^{-5} \exp\left\{\frac{5}{4}[1-(f/f_p)^2]\right\} \quad (8)$$

計算にあたり、 $S(f_p) = 1.0$, $f_p = 0.3 \text{ Hz}$ とした。図-1は周波数応答関数を(6)式(○印)または(7)式(●印)とそれぞれ仮定した場合の応答関数 $h(t)$ を20の部分について示したものである。で $t < 0$ の部分に関しては、○印は縦軸に対し、●印は横軸に対し異なる。図-2は図-1に示した応答関数(○印)をフーリエ変換して得た値と理論式(6)とを比較したものであり、非常に良好な一致がみられる。また、入力として用いた不規則信号はホワイトノイズとほぼ同様な周波数特性を有する一様乱数であり、図-3は混合型合同方式による一様乱数の例である。図-4はこの乱数に対し、図-1に○印で示した応答関数を用いて得た不規則波形状の時間記録を示したものである。また、この不規則波形状をデータ数2048、自由度40でスペクトル解析した結果を理論式とともに示したものが図-5である。図より明らかなように、低周波域を除いて計算結果と理論式とはほぼ一致しており、良好な結果が得られた。また、図-1の●印に対してはほぼ同様の結果を得た。したがって周波数応答関数 $H(f)$ を(6)式または(7)式とおくことの差はまったくないことがわかった。

4. 造波特性：不規則波発生機の造波特性に関しておこなった着者らの実験によれば、不規則波浪に対しても規則波と同様に Biesel-Suguet の造波特性に関する理論が適用できる。したがって実験水深を決定した後、各周波数に対応する Biesel-Suguet の理論により、波高と造波板の変位の比を計算し、その逆数を求めて造波特性に関する周波数応答関数を決定する。いまこの周波数応答関数を $F(f)$ とし、

$$H(f) = \sqrt{S_y g / C} \cdot F(f) \quad (9) \quad \text{または} \quad H(f) = C \sqrt{S_y g / C} \cdot F(f) \quad (10)$$

を新たな周波数応答関数とすれば、オ2節において述べたものとまったく同様の手順にしたがい不規則波形状を計算することができ、またそれにしたがって造波板を駆動させれば、水槽中に発生した不規則波形状は期待スペクトルと同じスペクトル構造を持つことになる。

この研究は文部省科学研究所合同研究による研究の一部であることを付記し謝意を表する。

参考文献

- Borgman, L. E.: Ocean wave simulation for engineering design, Jour. ASCE, Vol. 95 WW4, 1969.
常垣雄一・木村晃：造波機による現地不規則波浪のシミュレーションに関する研究、オ19回海岸工学講演会論文集, 1972

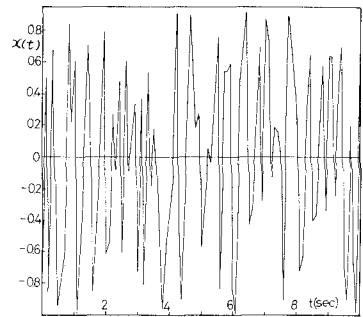


図-3 混合型合同方式による一様乱数の例

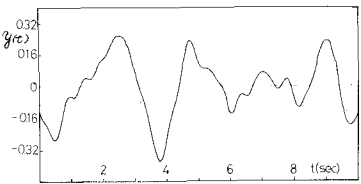


図-4 図-3に示した一様乱数に図-1の応答関数を用いて得た Pierson-Moskowitz 波

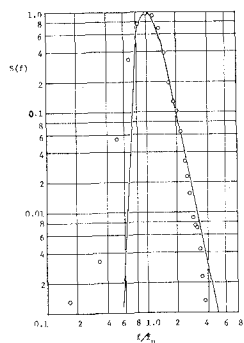


図-5 Pierson-Moskowitz スペクトル