

神大工 正員 ○ 松梨順三郎
大林組 正員 森 恒一

まえがき 不規則変動としての河床波のスペクトル特性については、^{1),2)} 芦田・田中, ³⁾ 日野, ⁴⁾ Nordin・Algert, 福岡⁵⁾の研究があり、特に1)によると、河床波の発生・発達に似た特性があり、Ripplesの領域では二次の解形マルコフモデルによる理論解、一三乗法則などがよく適合することが知られている。本研究では、まず、Ripplesの領域で考えられる著者らおよび川口⁶⁾の水路実験のデータに基づいて検討する。つぎに、任意のスペクトル形をとつた不規則河床波と応答関数法を用いて数値的にシミュレートする手順を^{7),8)}、二次の解形マルコフモデルによる理論スペクトルと期待スペクトルに選り、そのシミュレーションを試みたのでその大要をのべる。

1 期待スペクトルについて Ripplesの領域における期待スペクトルとしては、二次の解形マルコフモデルによるものと、一三乗法則が考えられるが、著者らの実験データとこれらと対比すると図-1をうる。実験値およびこれらの処理上の関係資料は表-1に示した。図の實線は河床変動を二次の解形マルコフモデル

$$\gamma(\ell) = \alpha \cdot \gamma(\ell-1) - \beta \cdot \gamma(\ell-2) + \varepsilon_\ell$$

とした場合の理論スペクトル $P(k)$

$$P(k) = \sigma_\varepsilon^2 / \{ 1 + \alpha^2 + \beta^2 + 2\beta \cos 4\pi k - 2\alpha(1+\beta) \cos 2\pi k \} \quad (1)$$

とす。ニに ℓ は河床に流うずらし間隔であり、 $\alpha, \beta, \sigma_\varepsilon^2$ は Nordin・Algert によると、 $\alpha = (C_0 C_1 - C_1 C_2) / (C_0^2 - C_1^2)$, $\beta = (C_1^2 - C_0 C_2) / (C_0^2 - C_1^2)$, $C_0 = (1+\beta) \sigma_\varepsilon^2 / [(1-\beta)\{(1+\beta)^2 - \alpha^2\}]$ と考えられる。この実験データによる $C_0, \alpha, \beta, \sigma_\varepsilon^2$ は表-2に示した。なお実験は一三乗法則

$$P(k) = (2.4 \times 10^{-4}) k^{-3} \quad (2)$$

を示し、実験式 $k_0 = 0.15 h^{-1}$ によるヒープ波数も示されている。この実験データでは高波数域でマルコフモデルより一三乗法則の方がよく適合しているが、本報告では、まずマルコフモデルと不規則河床波の期待スペクトルとして設定した。

2 応答関数法 一般に解形応答モデルによると、入力 $x(\ell)$ 、応答関数を $D(z)$ とし、出力 $y(\ell)$ は

$$y(\ell) = \int_{-\infty}^{\infty} D(z) \cdot x(\ell-z) dz \quad (3)$$

とえられる。 $D(z)$ のフーリエ変換

$$K(k) = \int_{-\infty}^{\infty} D(z) \exp(-i2\pi k z) dz \quad (4)$$

は波数応答関数とよばれる。出力 $y(\ell)$ の自己相関関数 $R_{yy}(z)$ は、入力 $x(\ell)$ のそれと R_{xx} とし

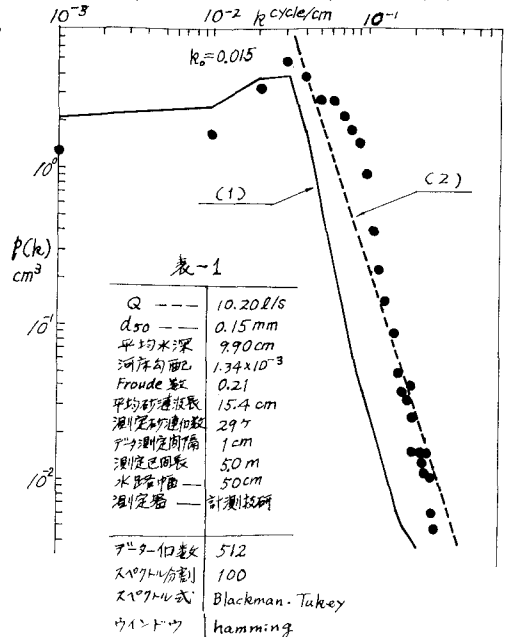


図-1 水路実験資料

表-2

α	1.612
β	0.741
σ_ε^2	0.0359 cm ²
C_0	0.5599 cm ²

表-3 (Nordin・RUN1)

α	1.072
β	0.478
σ_ε^2	0.000264 ft ²
C_0	0.000726 ft ²

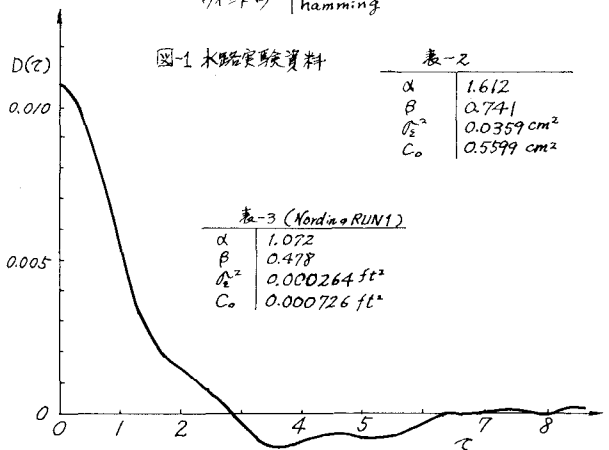


図-2 応答関数 $D(z)$

て、次式で与えられる。

$$R_{yy}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} D(\nu) d\nu \int_{-\infty}^{\infty} D(\nu') d\nu' R_{xx}(z + \nu - \nu') \quad (5)$$

式(5)の両辺を(4)式の関係を用いてフーリエ変換すると、次の関係を得る。

$$p_{yy}(k) = |K(k)|^2 p_{xx}(k) \quad (6)$$

既知入力 $x(l)$ およびそのスペクトル $p_{xx}(k)$ は任意であるが、いま簡単のために、ホワイトノイズと同様のスペクトル特性をもつ入力を用いよう。 $p_{xx}(k) = C = \text{const.}$ であり、上式は $p_{yy}(k) = |K(k)|^2 C$ となる。 $K(k)$ は一般に複素関数であり、簡単には求めるが、ここでは岩垣らに倣って

$$K(k) = \{p_{yy}(k)/C\}^{1/2} \quad (7)$$

と仮定する。以上によつて、出力 $y(l)$ の期待スペクトルが与えられていると、(7)式より $K(k)$ を求め、これをフーリエ変換して応答関数 $D(z)$ を求める。よつてホワイトノイズと同様のスペクトル特性をもつ既知入力 $x(l)$ に対して、設定期待スペクトルをもつ出力は式(2)によつてえられる。

3 シミュレーション結果と考察

出力としての不規則波床波の入力は、河床附近の不規則な流速変動と考えられる。いまこの入力をホワイトノイズと同様のスペクトル特性をもつ変動とみなし、期待スペクトルとして、(1)式(Nordin-AlgerのRUNI, 表-3)を適用すると、この場合の応答関数 $D(z)$ は図-2のようにならる。つぎに入力 $x(l)$ は電算機により図-3のようにならる一様乱数でシミュレートした。図-4は図-3の入力に図-1の応答関数と作用させた場合の出力波形である。図-5のプロットは図-4の不規則出力をデタロ数500、スペクトル分割数50で、Blackman-Tukeyの方法によりスペクトル解析した結果を示す。図の定規は期待スペクトル(1)を示す。プロットは基底数域で大きい値を与え、良好な結果とはいえないが、全波数領域としては大略の一致をえている、なお、一乗法則と期待スペクトルとする場合については講演時に報告する。

参考文献 1) 芦田・田中, Sand Wavesに関する基礎的研究(3), 第22回砂波学会, 2) 芦田・木村, Sand Wavesの発生過程に関する研究, 土木学会報告, 昭48, 3) M. Hino, Equilibrium-range spectra of sand waves formed by flowing water, J. Fluid Mech. 1968, 4) Nordin-Alger, Spectral Analysis of Sand waves, Proc. ASCE, 1966, 5) 福岡, 砂波の発生・発達とスペクトル, 東工大, 土報, No. 1968, 6) 松梨, 川口, 河床波のスペクトルに関する一考察, 土木学会報告, 昭48, 7) 岩垣・木村, 不規則波浪の数値シミュレーションに関する一考察, 土木学会報告, 昭48, 8) 日野, 波浪予測フィルタ・変換フィルタ(1), 14回海岸工学

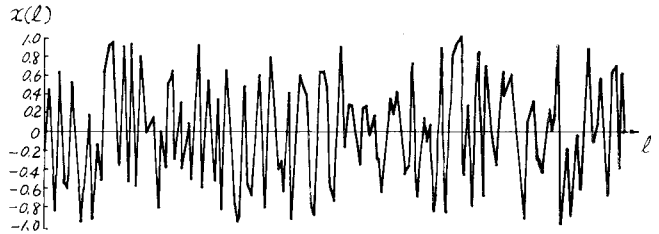


図-3 一様乱数: $x(l)$

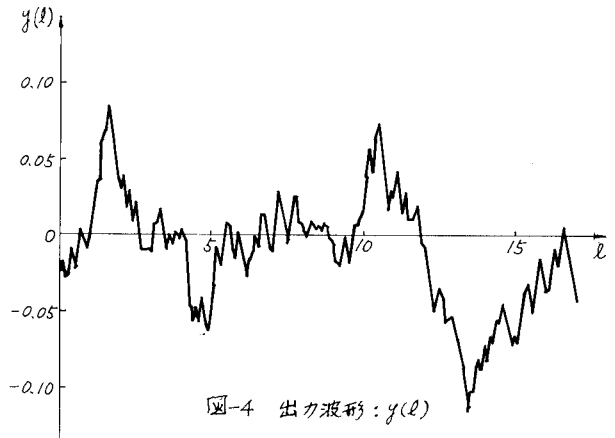


図-4 出力波形: $y(l)$

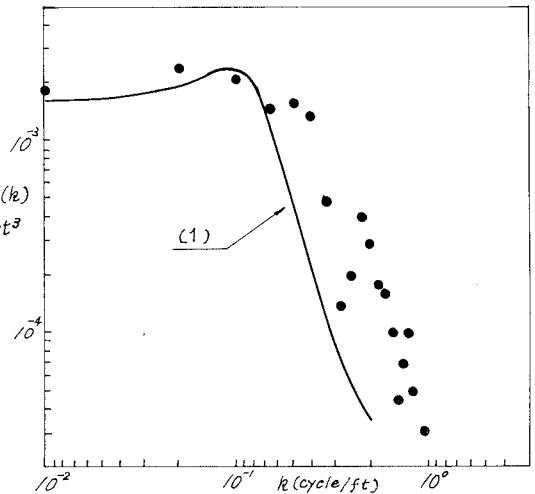


図-5 期待スペクトルとシミュレーション結果