

IV-5

研波を含む浅海でのスペクトル計算法と、浅海スペクトルについて

九州大学 正員 井島 武士

同 学生員 山根 信

同 同 竹田 重三

1. まえがき

在来の浅海における不規則波の推算は、不規則波を周波数、振幅、位相、方向の各々異なる成分波の合成と考え、深海の波が、浅海に向か、て進行するとともに、各々の成分波を地形変化によって変形し、それを合成して浅海における波のスペクトルを求めるものであったが、その方法では研波指標を導入することができず、浅水域における不規則波の変形に重要な影響を与える研波現象の研究が、あまりなされていない。そこで本研究では、研波帯の波の動きを、個々の波頭として考えるのに便利な波の確率分布の統計的モデルを利用して、shoaling, 屈折や研波等を受ける、浅海の不規則波特性の計算法を報告し、それによって求められた浅海スペクトルの性質を示す。

2. 基本的仮定と、深海スペクトル

(1) 等深線が直線と平行、且つ海底勾配が一樣である。

(2) 不規則波の個々の成分波の周期は、水深の変化によらず不変である。

(3) 座標系は、図-1のように規定する。

(4) 深海波のスペクトル

周波数スペクトルは、光島⁽¹⁾が提案したものを使用した。

$$S_0(\sigma) = \left[8.40 \left(\frac{gF}{U_*^2} \right)^{-0.312} \right] g^2 \sigma^{-5} \exp \left[-1.95 \times 10^3 \left(\frac{gF}{U_*^2} \right)^{-1.32} \left(\frac{U_* \sigma}{g} \right)^{-4} \right] \quad \dots (1)$$

二次元スペクトルの方向関数

$$D(\theta) = \frac{\exp \{ a \cos(\theta - \alpha) \}}{2\pi I_0(a)} \quad \dots (2)$$

ここで、 F ；吹送距離、 U_* ；摩擦速度、 $I_0(a)$ ；変形ベッセル関数、 $a=6$

3. 浅海での波の変化

深海の波高、波長、波向を H_0, L_0, α_0 、浅海でのそれを H, L, α とすると、次の関係式が成立する。

$$\frac{L}{L_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} \quad \dots (3) \quad \frac{L}{L_0} = \tanh kh \quad \dots (4) \quad \text{浅水係数} \quad \frac{H}{H_0} = \left\{ \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0} \tanh kh \left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right] \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (5)$$

研波実験 (Iversen (1952), Hamada (1963), Suquet (1950)) 結果を整理して、次の近似式が求められる。⁽²⁾

$$H_b = H_0 \{ 0.76 S^{1/2} \cos^{1/2} \alpha_b (H_0/L_0)^{-1/4} \cos^{3/8} \alpha_0 \} \quad \dots (6)$$

ここで、 k ；波数、 H_b ；研波高、 α_b ；研波水深での波向、 S ；海底勾配

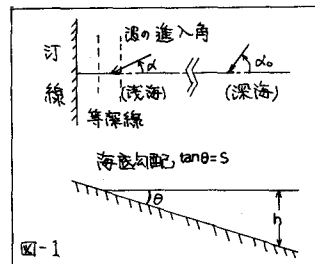
4. 研波水深の規定と、研波後の波高の減衰

(1) 研波水深の規定；沖波の波数と任意水深から、相当深波高 H が式(5)より計算される。この波高が(6)式で示される研波高と等しくなる水深を、各 H_0, L_0 、毎に求めて、それを研波水深とする。

本研究では、その研波指標として、次のものをを使用した。

① 式(5)、(6)から水深 h を未知数とする方程式を作り、逐次近似法で数値的に解いたもの。

② J. I. Collins の研波実験より整理したもの。



$$h_b = H_b / (0.72 + 5.6S) \quad \dots\dots (7)$$

③ 金田の提案(1973)によるもの

$$h_b = \frac{L_0}{-1.5\pi(1+KS^{+0.5})} \log_e(1 - \frac{H_b}{AL_0}) \quad \dots\dots (8) \quad \text{ここで } A=0.17, K=15$$

(2) 砕波後の波高減衰; 砕波した波は、その後水深の減少に比例して、波高も線形的に減少するとして、次式で求める。
 $H_c = H_b (h_c / h_b) \quad \dots\dots (9) \quad \text{ここで } h_c; \text{任意水深}$

5. 浅海での波高の出現確率の計算

(1) 深海での波高の確率分布; 深海波高の平均波高を $\bar{H}_0$ とすると、レーリー分布で近似され $P(H_0)$ として図に示す。

(2) 浅海での波高の確率分布; 確率変数の一次元変数変換により、水深 h_c の波高確率分布が次のように計算される。
 $P(H_c) = P(H_0) \frac{\partial H_0}{\partial H_c} \quad \dots\dots (10)$

(10) 式の偏微分の値は、式(3)へ式(6)の関係式より、解析的に求められる。

(3) 砕波を含む任意水深での波高出現確率; 各波高毎に出現確率を計算する過程で、任意水深 h_c の相当深水波高が砕波高より大きくなれば、その波高は、砕波し(9)式に従って減衰する。よって、その波高の出現確率は、減衰した波高に相当する波高の出現確率となり、砕波高よりも低い場合砕波していないで、減衰波高と同じ波高の出現確率にプラスされる。

以上の操作により、任意水深での波高出現確率が求められる。その結果を図-2、図-3に示す。図-2は、波高の出現確率を相対水深をパラメーターとして整理したもので、砕波高付近の出現確率が大きくなる。図-3は波向をパラメーターとして整理したもので、波向が大きくなる程、出現確率のピークの波高は小さくなるが出現確率は大きくなる。図中の L_0 は、周波数スペクトルにおいて、ピークのエネルギーを持つ波の深海波長である。

6. 浅海での周波数スペクトルの計算

(1) 浅海の一次元周波数スペクトル; 各周波数毎に、波高出現確率から波の持つエネルギーを計算する。

深海波のエネルギー $E_0(\omega)$

$$E_0(\omega) = \int_0^\infty P(H_0) \cdot H_0^2 dH_0 = \sum_{i=1}^n P(H_{0i}) \cdot H_{0i}^2 \quad \dots\dots (11)$$

任意水深 h_c での浅海波のエネルギー $E_c(\omega)$

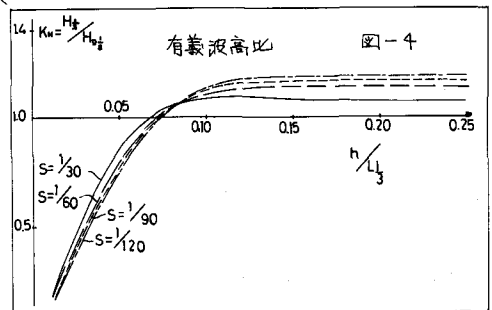
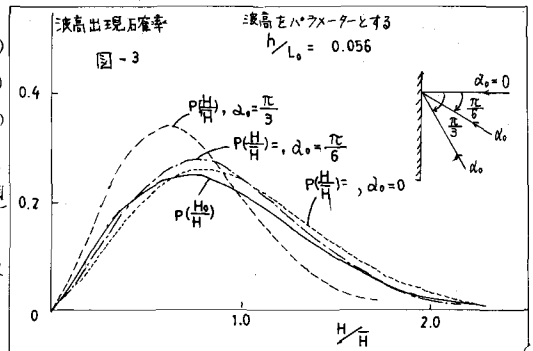
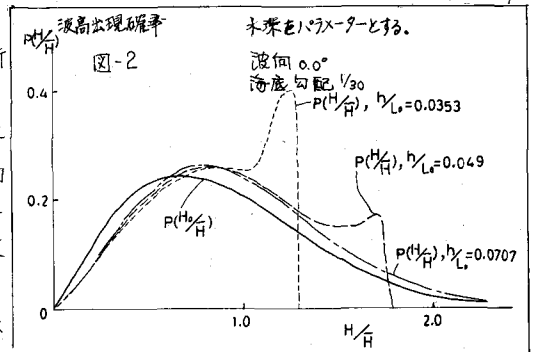
$$E_c(\omega) = \int_0^\infty P(H_c) \cdot H_c^2 dH_c = \sum_{i=1}^n P(H_{ci}) \cdot H_{ci}^2 \quad \dots\dots (12)$$

よって浅海の周波数スペクトル $S_c(\omega)$ は、

$$S_c(\omega) = S_0(\omega) \cdot (E_c(\omega) / E_0(\omega)) \quad \dots\dots (13)$$

以上の操作より求められた浅海スペクトルを示す。

図-4は、水深と海底勾配をパラメーターとして計算したスペクトルの有義波高から、深海波との波高比を示した



ものである。これから、海底勾配が小さい程、破浪、shoalingの効果の大きい事が示されている。又図-5は、水深をパラメーターにとったもので、

- i) ピープのエネルギの顕著な低下、
- ii) 主ピークの低周波側への若干の移動が示されている。

図-6は、勾配と水深をパラメーターにとったもので、図-4と同様の事が明らかである。

任意水深の周波数スペクトル

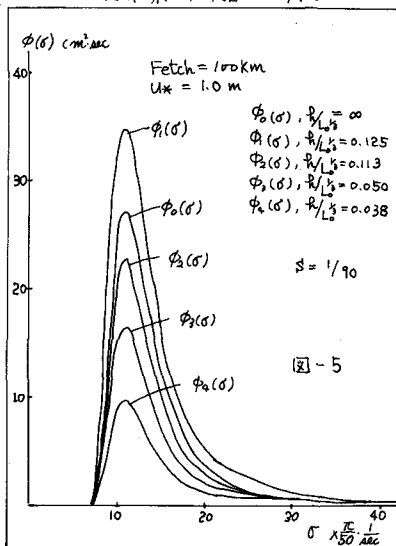


図-5

浅海スペクトルにおける勾配の効果

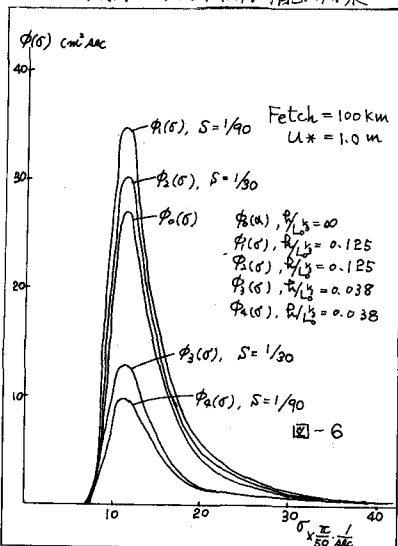


図-6

(2) 浅海の方向スペクトル

方向スペクトルの各成分波の波向は、次の関係式により、水深毎に変化する。

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \alpha_0 \tanh 2\pi h/L) \quad (14)$$

次に深海の方向スペクトルから、その各周波数、波高毎に浅海スペクトルを計算し、式(14)により方向変数と変換して、浅海方向スペクトルを求めた。図-7は深海、図-8は、浅海での方向スペクトルを示す。その2つの図から、浅海における一次元スペクトルの特徴と共に、波向の分布幅が狭くなることがわかる。

7. あとがき

本研究で得られた浅海スペクトルについて、以上述べたように、定性的に良好な結果が得られているが、定量的な検証については、現在観測値との比較を検討中である。又その浅水域への波高出現確率の計算過程において、破浪後の波の波高減衰と、その波の持つ出現確率の配分、又水深変化による個々の波の周期変化や波相互の干渉等の非線形効果の導入に、なお考察を加える必要があり、これが、今後の研究を進める上の課題である。

深海の方向スペクトル

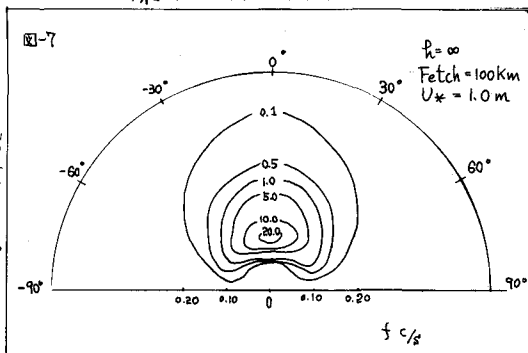


図-7

浅海の方向スペクトル

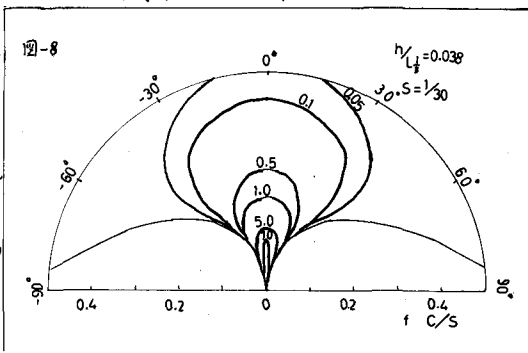


図-8

参考文献

- 1) Hisashi MITSUYASU: The One-Dimensional Wave Spectra at Limited Fetch. Rep. Res. Inst. for Appl. Mech. Kyushu Univ., Vol. XX, No. 66, March 1973
- 2) J. Ian Collins: Probabilities Of Wave Characteristics in The Surf Zone. Tetra Technology, Incorporated Pasadena, California, September 1969