

海底摩擦を考慮した振幅分布の浅水変形

岐阜大学 正会員 安田孝志
 岐阜大学 学生会員 ○西本光伸

1. 緒言 浅海域に進入して来たうねりは、一般に一次元的取扱いが可能となるが、水深変化や海底摩擦の影響を受けるため、その記述には非線形性および不規則性に加えて海底地形の影響をも評価した波動理論が要求される。本研究では、摩擦のある傾斜海浜上のソリトン解を導き、これを浅海うねりの基準モードとしてその巨視的記述を行う手法を提案する。2. 摩擦のある斜面上のソリトン解 摩擦のある斜面上を伝播するソリトンの支配方程式として次式の Kakutani - Burgers 方程式を用いる。

$$\eta_x + \eta\eta_\xi + \eta_{\xi\xi\xi} + \frac{9h_x}{4h} \eta + \frac{b_x}{2b} \eta + \frac{8CK^2}{3h^{3/2}} \eta - \frac{2C}{3h^{3/2}} \eta_{\xi\xi} = 0 \quad (1)$$

ここに、 $X = \epsilon^{3/2} \chi^*$, $\xi = \epsilon^{1/2} (\int dx^*/h^{*3/2} - t^*)$, $\chi^* = x/h_0$, $t^* = t\sqrt{g/h_0}$, $\epsilon = (h_0/L_0)^2$ であり、 x は水平座標、 t は時間、 h_0 は原点での水深、 L_0 はソリトンの代表水平長、 C は摩擦係数および η 水平水面周りの水面変動を示す。式(1)の解は近似的に次式のように表される。

$$\eta = \frac{A_0}{h^{3/2}} \left(1 + \frac{32K_0}{45} \int_0^X \frac{C dx}{h^{3/2}}\right)^{-1} \left\{ \text{sech}^2 \phi + [2\alpha\phi + 3(\alpha+2\delta)] \text{sech}^2 \phi - (\alpha+2\delta)(1 - \tanh \phi) + G(\phi) \right\} \quad (2)$$

ここに、 α および r は h , b および C に関する変数であり、 G は次の偏微分方程式に支配される tail を表す。

$$G_{xx} + K^3 \{ G_{\phi\phi\phi} - 4(1 - 3 \text{sech}^2 \phi) G_{\phi\phi} \} = \frac{1}{2} \{ [\alpha_x \phi^2 + 3(\alpha_x + 2\delta_x) \phi] (1 - \tanh \phi) \}_x - 2\delta_x \text{Log} \{ 1 + \exp(-2\phi) \} \quad (3)$$

ソリトンの波峰から十分離れた遠方では、近似解

$$G_{\phi\phi} = 2(\alpha + 2\delta) \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \int_0^\gamma \frac{\sin(\sigma\gamma + 3\sigma^3)}{\sigma} d\sigma \right\}, \quad \gamma = \xi / X^{1/3} \quad (4)$$

が十分な精度を持つが、ソリトンの振幅変化に重要な波峰付近での $G_{\phi\phi}$ を精度良く求めるには式(3)を数値的に解く必要がある。図-1は、tail を数値解で表示した式(3)によるソリトンの波形を $\lambda_n (= \tanh \theta / A_0^{3/2}) = 0.06$, $\lambda_c (= C / A_0^{1/2}) = 0$ および $h^* (= h/h_0) = 0.9$ の条件下で示したものである。これより、図中の①および②で示されるソリトンの峰高の低下を③および④からなる shelf が補っていることがわかる。このように、⑤で示される合成波の峰高の変化に shelf が重要な役割を果たしており、その評価が必須となることわかる。

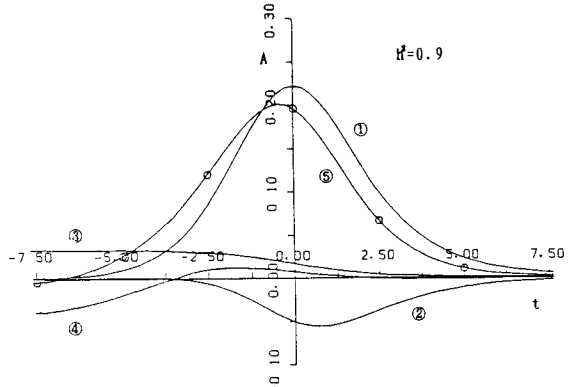


図-1 斜面上のソリトンの成分波とその合成波形

3. 振幅分布の浅水変化とその適用性 浅海におけるうねりの浅水変形は、成分波の変形特性を基に巨視的に記述される。従来の研究は、いずれも波別解析法と実験式に基づいたものであるため、個々波の波高分布の変化を見掛け上説明出来ても、力学の解明としては全く不十分であった。ここでは、うねりを不規則ソリトン列として扱い、その振幅分布の浅水変化を理論的に導く。不規則ソリトン列の振幅分布が最大生起確率条件によって定まるとすれば、それは次式で与えられる。

$$P(A) = \frac{A^{1/2} \nu(A+2)}{\sqrt{3} [1 + P(3/5) \nu^{3/5} (128/75)^{1/5}]} \exp\left(-\frac{2\sqrt{3}}{15} \nu A^{5/2}\right), \quad \bar{A} (2/3)^{3/5} [\nu^{2/5} + P(3/5) \nu^{4/5} (128/75)^{1/2}] - (15)^{2/5} [P(7/5) + 2(2\sqrt{3}/15)^{1/2} \nu^{1/2}] = 0 \quad (5)$$

成分波の振幅は上述の式(2)に従うとすれば、確率変数の変数変換によって水深を独立変数とする振幅分布が次式のように導かれる。

$$P(A) = P(f^{-1}(A)) R / (1 - \delta A)^{\circ}, \quad f^{-1}(A) = R A / (1 - \delta A), \quad (6)$$

$$\delta = 4C(1 - R^2) / 15 R \tan \theta$$

4. 摩擦係数の評価 式(2)の近似解を基に浅海うねりを記述する場合、friction factor Cの値を知る必要がある。そこで、まず、Camfield-Street(C-S)の孤立波の浅水変形に関する実験式¹⁾と、式(2)より導かれる振幅変化式

$$A = A_0 / (R + \delta A_0) \quad (7)$$

との比較よりCを決定する。C-S式は緩斜面上の孤立波の浅水変化に関する数多くの実験結果を整理して得られたもので、friction factor Cを陽には含んではいないが、底面摩擦の影響を受けているため、これより定まるCの値は実験室での孤立波の伝播の記述に用いられるべきものとなる。図-2はその比較を示したものであり、 $h/h_0 = 1 \sim 0.3$ の範囲で両者の差異を最小とるように決定すると、 $C = 0.0154$ となる。この値は、浅野ら²⁾の結果と比較してもほぼ妥当と考えられる。ついで、Torrey Pines Beach (U.S.A) で得られた観測結果³⁾よりCの値を決定することを試みる。223m離れた2測点間の式(1)による数値シミュレーション波形と観測波形を、両者の差異が最小となるようにCの値を仮定して比較するとCの値は0.0386となる。また、図中の各波峯成分が式(7)によって記述出来るとすれば、friction factor Cは2測点の水深と振幅を知ることによって次式より決定される。

$$C = \frac{15 \tan \theta R (A_0 - R A)}{4 A A_0 (1 - R^2)} \quad (8)$$

50波を対象として式(8)より求めたCの値は0.0367となり、以下ではこの値を式(7)において用いるべきfriction factorとする。図-3は、振幅分布の空間変化に関してCを0.0367とした時の上述のTorrey Pines Beachでの観測記録との比較を示したものである。これから、初期分布のピークに若干の相違は見られるものの両者の対応は良好であり、適切なfriction factorの値を選ぶことにより、式(6)および(7)によって浅海うねりの微視的および巨視的記述が可能となることがわかる。4. 結語 浅海におけるうねりが不規則ソリトン列として扱えるならば、力学理論に基づいて、式(6)によってその振幅分布の浅水変化を評価でき、併せて各種統計量の変化も容易に計算できることを示した。

参考文献

- 1) Camfield, F.E & R.L. Street: Shoaling of solitary waves on small slopes, Proc. ASCE, Vol. 95, No. WW1, 1969, pp. 1-22.
- 2) 浅野・雨宮・岩垣: 有限振幅波動場下における底面摩擦係数の評価に関する研究、第34回海岸工学講演会論文集、1987、pp. 1-5.
- 3) Yasuda, T., S. Shinoda & R. A. Dalrymple: Soliton mode representation for kinematics of shallow water swell, Coastal hydrodynamics (ed. R. A. Dalrymple, ASCE), 1987, pp. 751-764.

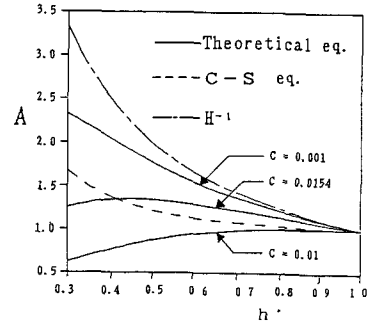


図-2 振幅の浅水変化とC-Sの実験式との比較

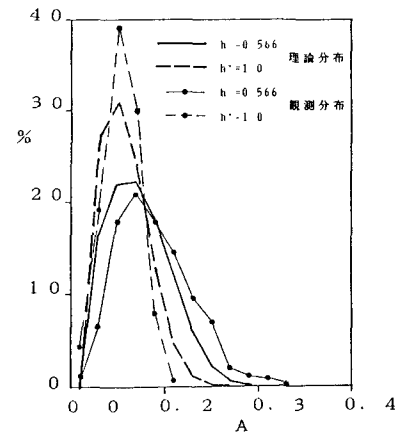


図-3 振幅分布の浅水変化に関する理論分布と観測分布との比較