

流れ場における不規則波伝播の数値解析モデル

長崎大学工学部 学生会員 近藤 達哉 長崎大学工学部 フェロー 富樫 宏由
 長崎大学工学部 正会員 M.Mohiuddin 長崎大学工学部 平山 康志

1. 序論

波・流れの相互干渉の現象は、波伝播特性、流れの分布及び海洋構造物に作用する外力等に強く影響する浅海域において最も重要である。従来の研究の殆どは規則波と流れの相互作用等に限定されており、流れ場における不規則波の伝播についてはあまり取り扱われていない。本研究の目的は、流れ場における不規則波の挙動を解析するために、Madsen タイプの拡張型 Boussinesq 方程式と波・流れ分散関係式に基づく一次元波・流れ数値解析モデルを構築することである。

2. 理論展開

全水深に亘って深さ方向に積分した一次元拡張型 Boussinesq 方程式(Mohiuddin 等、1999)は、以下のようである。

$$\frac{\partial S}{\partial T} + \frac{\partial P}{\partial X} = 0, \quad P = \int_{-h}^s u dz \quad \dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial T} + \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{P^2}{d} \right) + gd \frac{\partial S}{\partial X} - h^2 \left(B + \frac{1}{3} \right) \frac{\partial^3 P}{\partial X^2 \partial T} - Bgh^3 \frac{\partial^3 S}{\partial X^3} = \frac{\partial h}{\partial X} \left(\frac{1}{3} h \frac{\partial^2 P}{\partial X \partial T} + 2Bgh^2 \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \right) \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 d は全水深、 h は流れがあるときの水深、 S は水面変動、 P は水粒子速度 u を全水深で深さ方向に積分した流量、 g は重力加速度、 B は curve fitting parameter(=1/15)である。

また、波・流れ共存場で上記の支配方程式(1)、(2)を適用するために、波・流れ共存場に対する速度ポテンシャルを用いた波・流れ分散関係式(Mohiuddin 等、1999)は以下のようである。

$$-\omega^3 \left\{ 1 + k^2 h^2 (B + 1/3) \right\} + \omega^2 U k \left\{ 1 - k^2 h^2 (B + 1/3) \right\} + \omega k^2 \left\{ U^2 + gh(1 + Bk^2 h^2) \right\} - U k^3 \left\{ U^2 - gh(1 + Bk^2 h^2) \right\} = 0 \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 $\omega(=2\pi/T)$ は角周波数、 T は周期、 k は波数、 U は波伝播方向の流れ速度成分である。これを波速 $C(=\omega/k)$ を用いて表すと、次式となる。

$$\frac{C^2}{gh} = \frac{CU}{gh} \left\{ \frac{1 - k^2 h^2 (B + 1/3)}{1 + k^2 h^2 (B + 1/3)} \right\} + \frac{1}{gh} \left\{ \frac{U^2 + gh(1 + Bk^2 h^2)}{1 + k^2 h^2 (B + 1/3)} \right\} - \frac{U}{C} \frac{1}{gh} \left\{ \frac{U^2 - gh(1 + Bk^2 h^2)}{1 + k^2 h^2 (B + 1/3)} \right\} \quad \dots\dots (4)$$

3. 数値解析

支配方程式(1)、(2)は準陰的差分法(Dronkers、1969)を使用して近似される。このスキームでは P と S は異なる時間レベルで定義される。 $T=(n+1/2)\Delta t$ 時間レベルで計算された P の値は、2重掃出し法を用いた。また、水面変動の3次の偏微分 $\partial^3 S / \partial X^3$ (Boussinesq 補正項)は水表面曲率項 S_{xx} で離散化し、それを更に離散化しないで直接 S_{xx} を得るために3次のスプライン法を採用した。

4. 解析結果

数値解析は、図-1に示すような 1/40 の海底勾配で緩やかに変化する領域において行う。ここで、流速は流れがない場合($U=0$)、同一方向流れ($U=0.25\text{m/s}$)及び逆方向流れ($U=-0.25\text{m/s}$)と変化させた。また、波のスペクトルの計算に対しては次の基礎式を用いる。

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^5 \exp[-1.03(T_{1/3} f)^4] \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 $S(f)$ はスペクトル密度関数($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、 f は振動数(Hz)、 $H_{1/3}$ は有義波高(m)、 $T_{1/3}$ は有義波周期(s)である。

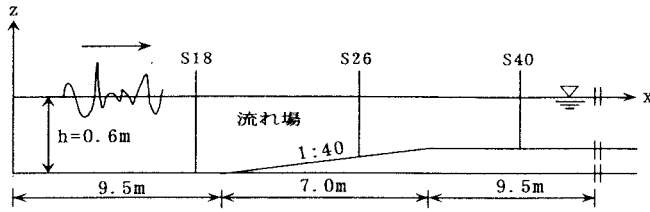


図-1 波・流れ共存場の解析領域

図-2(a), (b)はS18とS26ポイントのスペクトル密度を比較している。ここで、横軸は振動数 f 、縦軸はスペクトル密度 $S(f)$ である。

図-2(a)は同一方向流れ及び逆方向流れのいずれの場合も、流れがない場合よりもスペクトルが大きくなっている。また、同一方向流れの場合がその他の場合よりもスペクトルのピークが振動数が小さい方にずれている。

図-2(b)については、逆向き流れの場合が、流れがない場合のスペクトルよりも大きくなり、同一方向流れの場合は、流れがない場合のスペクトルよりも小さくなっている。

図-3にはS26ポイントにおける流れがない場合($U=0$)、同一方向流れ($U=0.25\text{m/s}$)及び逆方向流れ($U=-0.25\text{m/s}$)の場合の水面変動を示した。この3つを比較してみると、逆方向流れ時の水面変動が、流れがない場合と同一方向流れの水面変動の場合よりも増幅が顕著に現れている。また、同一方向流れの水面変動は、流れがない場合の水面変動より減少している。

4. 結論

波・流れ場に、Madsenタイプの拡張型 Boussinesq 方程式と波・流れ分散関係式を用いて、不規則波伝播の数値解析モデルを提示した。ここでは主に、流れがない場合、同一方向流れ及び逆方向流れがある場合のスペクトルについて検討したが、当初の予想通り、傾斜底面上において逆方向流れがある場合のスペクトルが、その他の場合のスペクトルよりも大きくなるという結果が顕著に見られた。

参考文献

(1)M.Mohiuddin・富樫宏由・平山康志(1999): 傾斜海底地形上における波・流れ相互干渉のモデル構築、海岸工学論文集、第46巻、pp.71-75.

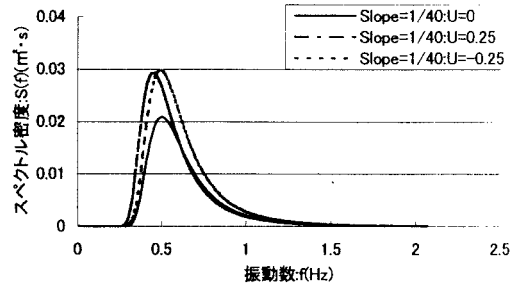


図-2(a) スペクトル密度の変化 S18ポイント(8.5m地点)

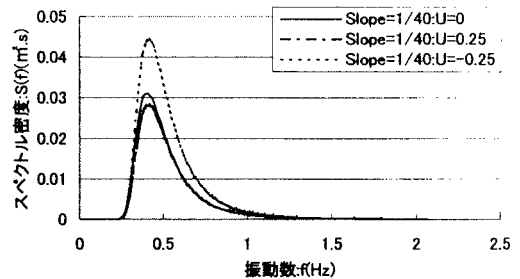


図-2(b) スペクトル密度の変化 S26ポイント(12.5m地点)

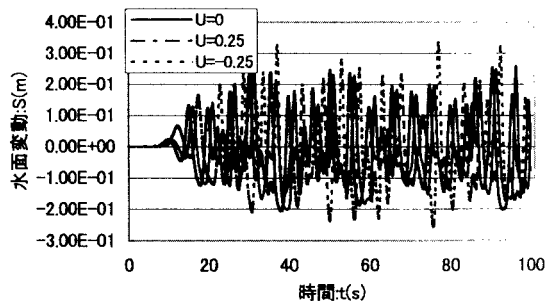


図-3 S26ポイントの水面変動