

II-463

平面2次元における長周期水位変動の伝播変形

名古屋工業大学 学生員 水谷隆夫

名古屋工業大学 正員 喜岡 渉

1. はじめに

浅海において増幅される長周期水位変動の伝播変形特性のうち、屈折・回折を伴う平面2次元的な変形過程については未だ不明な点が多い。Sand(1982)ならびに木村(1985)によって示されているように、こうした長周期水位変動を2次の非線形干渉による非線形長周期波と考え、長周期波の波向きは波群を形成する個々の1次成分波の波数ベクトルの差として与えられるため、1次成分波の波向きよりも広い方向から伝播してくることになる。さらに、個々の1次成分波が屈折や回折によって波向きを変え、長周期波も自由波の発生を伴う伝播変形を生じると考えられるが、そうした挙動解析を行った例は見当たらない。本研究では、1次成分波の方向スペクトルが与えられたときの長周期波の伝播変形の計算方法を検討するもので、具体的には2成分合成波を用いた計算を行うことによって長周期波の変形特性を調べた。

2. 計算方法

図-1に示すように座標系をとり、基礎式としては長周期水位変動 ζ と流速 U, V についての次式を用いる。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + h \frac{\partial U}{\partial x} + h \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial x} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \quad (3)$$

ただし、上式中の τ_{bx}, τ_{by} は底面摩擦項を示し、これらの値を0とすると上式はMei and Benmoussa(1984)がWKB法によって求めた2次のオーダーの長波方程式と同じになる。また、式中のradiation stressは、方向分散性を有する1次成分波が式(4)で与えられるとすると式(5), (6)のように表される。

$$\eta = \sum_{n=1}^N a_n \cos(\varphi_n) \quad \varphi = \vec{k}_n \cdot \vec{x} - \omega_n t + \varepsilon_n \quad (4)$$

$$S_{xx} = \frac{1}{4} \rho g \sum_{n=1}^N a_n^2 + \frac{\rho}{2} \sum_{n=1}^N \frac{a_n^2 \omega_n^2}{\sinh^2 k_n h} \left\{ \frac{h}{2} (\cos^2 \theta_n + 1) + \frac{\sinh k_n h \cosh k_n h}{2 k_n} (\cos^2 \theta_n - 1) \right\} + \frac{1}{4} \rho g \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{n=m+1}^N a_m a_n \left\{ \cos(\varphi_m - \varphi_n) + \cos(\varphi_n - \varphi_m) \right\} + \frac{\rho}{2} \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{n=m+1}^N \frac{a_m a_n \omega_m \omega_n}{\sinh k_m h \sinh k_n h} \left\{ \cos \theta_m \cos \theta_n \left\{ \frac{\sinh(k_m - k_n)h}{2(k_m - k_n)} + \frac{\sinh(k_m + k_n)h}{2(k_m + k_n)} \right\} - \left\{ \frac{\sinh(k_m + k_n)h}{2(k_m + k_n)} - \frac{\sinh(k_m - k_n)h}{2(k_m - k_n)} \right\} \right\} \left\{ \cos(\varphi_m - \varphi_n) + \cos(\varphi_n - \varphi_m) \right\} \quad (5)$$

$$S_{xy} = \frac{\rho}{2} \sum_{n=1}^N \frac{a_n^2 \omega_n^2 \cos \theta_n \sin \theta_n}{\sinh^2 k_n h} \left\{ \frac{h}{2} + \frac{\sinh k_n h \cosh k_n h}{2 k_n} \right\} + \frac{\rho}{2} \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{n=m+1}^N \frac{a_m a_n \omega_m \omega_n \cos \theta_m \sin \theta_n}{\sinh k_m h \sinh k_n h} \left\{ \frac{\sinh(k_m - k_n)h}{2(k_m - k_n)} + \frac{\sinh(k_m + k_n)h}{2(k_m + k_n)} \right\} \left\{ \cos(\varphi_m - \varphi_n) + \cos(\varphi_n - \varphi_m) \right\} \quad (6)$$

ただし、 $S_{yy} = S_{xx}$ で S_{yy} の計算には式(5)の $\cos \theta_n$ を $\sin \theta_n$ に置き換えたものを用いればよい。周波数のみならず方向についても狭帯スペクトルを仮定すると、式(5), (6)はそれぞれ次式で表されることになる。

$$S_{xx} = \frac{1}{4} \rho g |A|^2 \left(2 \frac{C_g}{C} - 1 \right) + \frac{1}{2} \rho g |A|^2 \frac{C_g}{C} \cos^2 \theta \quad (7)$$

$$S_{xy} = \frac{1}{2} \rho g |A|^2 \frac{C_g}{C} \sin \theta \cos \theta \quad (8)$$

3. 計算結果とその考察

図-1に示すような領域を対象とし、計算に当たっては沖側境界($h=25\text{m}$)で入射角の異なる2成分波を与えた。境界条件としては、沖側境界における反射成分と岸側境界については透過条件を与え、両側壁では全反射するものとした。数値計算は時間については前進差分、空間に対しては中央差分をそれぞれとる陽差分スキームによった。図-2は入射波として $T_1=10\text{sec}$, $a_1=0.5\text{m}$, $\theta_1=\pi/2$ 及び $T_2=8\text{sec}$, $a_2=0.1$, $\theta_2=5\pi/8$ の2成分波を用いた時の計算結果を示す。このケースでは、 a_2 が小さいために波数ベクトルの差の方向の増幅は弱く、浅水化に伴いほぼ主方向での増幅が卓越していることがわかる。

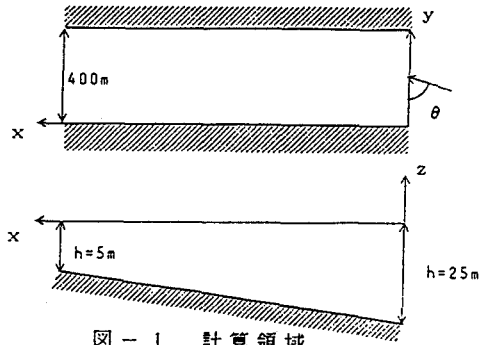


図-1 計算領域

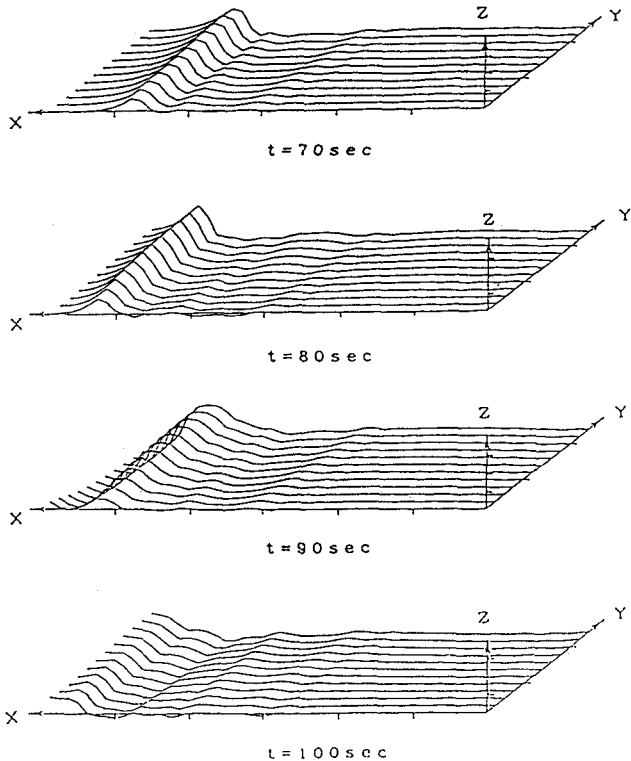


図-2 長周期波の空間波形

参考文献

- 木村晃：非線形型長周期の2次元スペクトル，第32回海岸工学講演会論文集，pp154～158。
 Mei, C.C. and Benmoussa, C. (1984): Long waves induced by short-wave groups over an uneven bottom, J. Fluid Mech., vol. 139, pp219～235.
 Sand, S.E. (1982): Long waves in directional sea, Coastal Engineering, vol. 6, pp195～208.