

密度成層における表面波及び内部波の数値解析

鹿児島大学大学院 学生会員 ○柊田 幸助

鹿児島大学大学院 正会員 柿沼 太郎

1. 序 論: 非線形浅水モデルを適用した数値解析を行ない、界面位置による表面波及び内部波の振幅の違い、そして、表面波と内部波の挙動特性に対する海底地形の影響について検討する。

2. 内部波の基礎方程式系: 非粘性・非圧縮性の2層流体の非回転運動を対象とし、各層における密度を一樣かつ一定とする。速度ポテンシャルが各層内で鉛直方向に一樣であるという浅水近似を適用して、第1層及び第2層の連続方程式及びBernoulliの式が

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla \{ (\zeta - \eta) \nabla \phi_1 \}, \quad \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = - \left\{ g \zeta + \frac{1}{2} (\nabla \phi_1)^2 \right\};$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = - \nabla \{ (\eta - b) \nabla \phi_2 \}, \quad \frac{\partial \phi_2}{\partial t} = - \left\{ g \eta + \frac{1}{2} (\nabla \phi_2)^2 + \frac{p_1 + p}{\rho_2} \right\}$$

と得られる。ここで、 $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ であり、 ζ 、 η 、 ϕ_1 、 ϕ_2 、 g 及び p_1 は、それぞれ、水面変動、界面変動、第1層(上層)における速度ポテンシャル、第2層(下層)における速度ポテンシャル、重力加速度及び界面における圧力である。また、 ρ_1 及び ρ_2 をそれぞれ第1層及び第2層の流体の密度とし、第1層の静水深を h_1 として、 $p = (\rho_2 - \rho_1)gh_1$ とする。

基礎方程式系は、陽解法を用いた差分法によって解く。初期状態において、流速を至る所で0とする。

3. 水平床上の表面波及び内部波の数値解析: 全長10 mの対象領域(図-1)において、自由水面、または、内部界面に初期波形を与え、表面波及び内部波の振動特性を検討する。初期状態において、全水深 h を0.1 m、流体の密度比を $\rho_2/\rho_1 = 1.025$ とする。初期波形を振幅0.01 m、波長2.5 mの正弦波形とし、静水深比 h_1/h を0.25 (①)、または、0.75 (②)とする。

計算格子間隔及び計算時間間隔は、それぞれ、 $\Delta x = 0.01$ m 及び $\Delta t = 0.005$ s とする。

対象領域の中間地点における水面及び界面変動の周波数スペクトルを図-2 及び 3 に示す。自由水面にのみ初期波形を与える Case A では、界面位置の違いは、表面波に殆ど影響しないが、内部波に影響を与え、界面が自由水面に近い程、内部波の振幅が大き

い。内部界面にのみ初期波形を与える Case B では、界面が自由水面に近い程、表面波の振幅が大きい。

4. 内部波に対する地形の影響: 波長の異なる海底地形(図-4)を考える。対象領域の全長を4.1 mとし、静水状態の全水深及び上層厚をそれぞれ0.04 m及び0.01 mとする。振幅0.005 mの正弦波形を初期界面形とし、初期界面形の波長を海底面の波長で除した値を n とする。図-5に界面変動を示す。波高は、 $n=1$ の場合に最大となる。これは、 $n=1$ のとき、海底地形が初期界面形と一致し、共振を生じて波高が大きくなったためであると考えられる。また、主振動の周期は、 n に殆ど依存しないが、副振動の周期は、 $n=1$ のとき、水平床の場合にほぼ一致し、 $n<1$ のとき、長く、 $n>1$ のとき、短くなっている。

5. 密度成層が存在する場合の湾水振動: 湾の応答特性に対する密度成層の影響を検討する。対象領域(図-6)の全長を100 kmとし、外洋の静水深 h を10 m、湾内の静水深を5 m、そして、湾長 l を3 kmとする。格子間隔及び時間間隔を $\Delta x = 10$ m 及び $\Delta t = 0.5$ s とする。単層と2層の場合を考え、後者では、静水状態の上層厚 h_1 が1 mの場合 ($r = h_1/h = 0.1$) と3 mの場合 ($r = 0.3$) を対象とする。

初期水面形として、振幅0.1 mの正弦波形を外洋で与えたときの、湾奥での表面波の波高増幅率(湾奥の波高を湾口の波高で除した値) K を図-7に示す。2層の場合、層厚比 r による違いが殆ど見られない。初期水面形の波長を L として、 $kl = 2\pi l/L = 11.9$ 及び17.3のとき、2層の場合の K が単層の場合より高く、 $kl = 6.3 \sim 6.8$ のとき、単層の場合の K が2層の場合より高い。

6. 結 論: 非線形浅水モデルを適用して、表面波及び内部波の数値解析を行なった。界面の自由振動の波長が海底面の波長と一致するとき、内部波波高が高くなる。また、入射波の周期によって、密度成層の存在が、湾奥における表面波の波高増幅率を高める場合と低減する場合とがあることがわかった。

キーワード 内部波、密度成層、浅水方程式、湾水振動

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究科, Phone: 099(285)8467

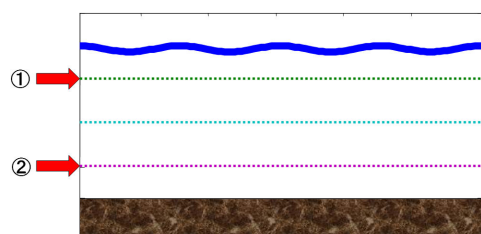


図-1 計算対象領域

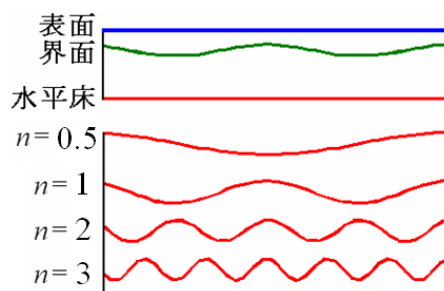


図-4 海底地形

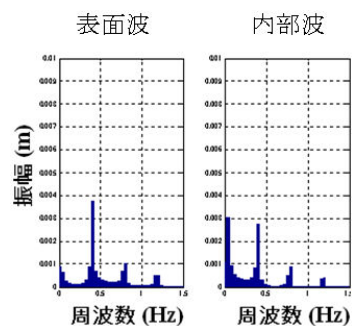
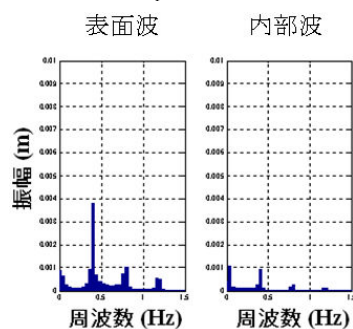
① $h_1/h = 0.25$ ② $h_1/h = 0.75$

図-2 Case A の周波数スペクトル

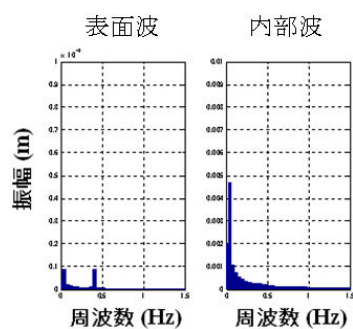
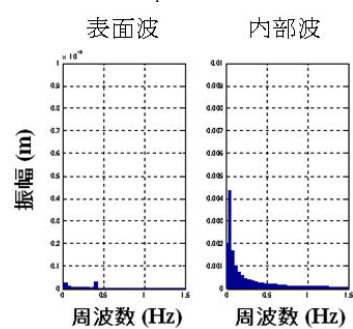
① $h_1/h = 0.25$ ② $h_1/h = 0.75$

図-3 Case B の周波数スペクトル

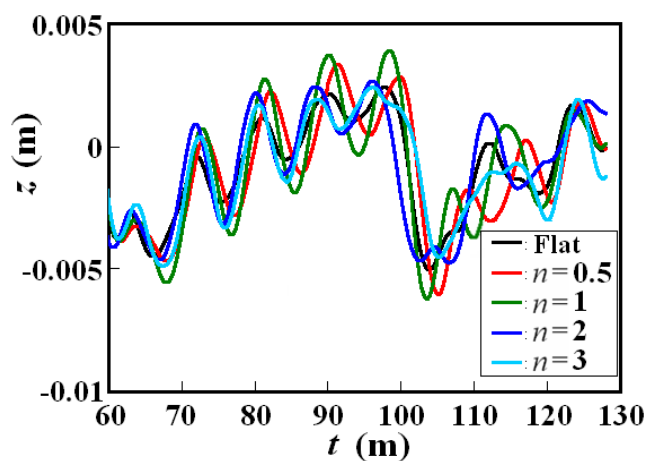


図-5 界面変動

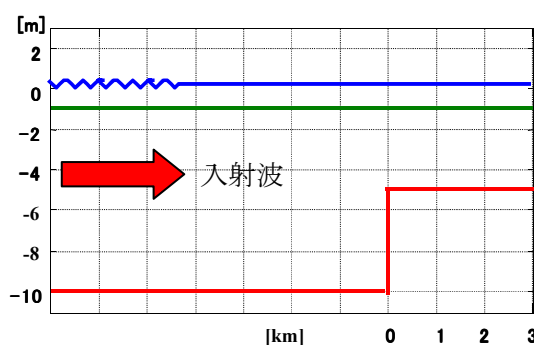


図-6 計算対象領域

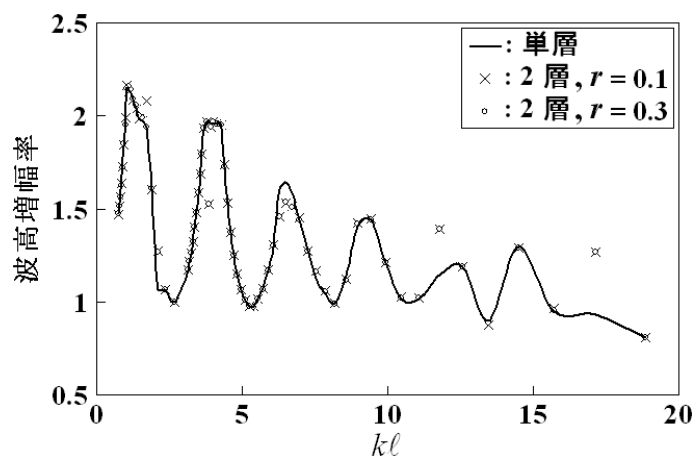


図-7 湾奥における表面波の波高増幅率