

2次元水槽内における斜面上砕波の数値計算手法について

建設省 正員 岡 邦彦
 大阪大学工学部 正員 樋木 亨
 大阪大学工学部 正員 後野正雄

1. まえがき：海岸工学の分野において砕波に関連した現象は複雑でかつ未知な部分が数多く残されているが、それらは砕波現象そのものが十分解明されていないのが主たる原因である場合が多い。従来より砕波現象そのものを取り上げた研究は数多く行なわれているが、砕波現象は短時間の間に特性が急変するものであることから実験的な計測が難しく、特に砕波状態の波峰付近の特性について測定された研究もごくわずかである。そこで2次元水槽内部の一樣斜面上における砕波直前の内部機構を知るための数値解析手法を構築し、実験によりその妥当性を検証してみた。

2. 数値解析手法：解析における支配方程式としては、連続式に相当するものとして(1)式の速度ポテンシャル ϕ に肉するラプラス方程式を、運動量方程式に相当するものとして(2)式の ϕ_t に関するラプラス方程式を、 ϕ と圧力 P を結ぶ補助関係式として(3)式を用いる。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \dots (1) \quad \nabla^2 \phi_t = 0 \quad \dots (2) \quad \phi_t + \frac{1}{2}(\nabla \phi)^2 + g\eta + \frac{P}{\rho} = 0 \quad \dots (3)$$

自由表面上の運動学的境界条件から自由表面上の水粒子のラグランジュ座標を x, y として

$$dx/dt = \partial x / \partial t = \phi_x \quad \dots (4) \quad dy/dt = \partial y / \partial t = \phi_y \quad \dots (5)$$

さらに速度ポテンシャル ϕ についても(3)式と力学的境界条件 $P=0$ より

$$d\phi/dt = \partial \phi / \partial t = \frac{1}{2}(\nabla \phi)^2 - g\eta \quad \dots (6)$$

また自由表面上で

$$\phi_t = -\frac{1}{2}(\nabla \phi)^2 - g\eta \quad \dots (7)$$

(4),(5),(6)式は常微分方程式であるので(1)(2)式を用いて右辺を求めながら解くことができる。

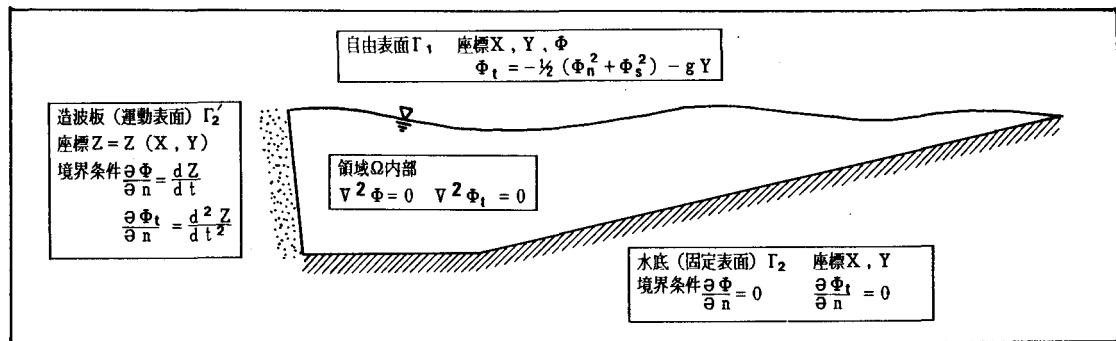


図-1 領域内部の支配方程式と境界条件

初期条件としては、時刻 $t = 0$ において自由表面が静水面であるとし、速度ポテンシャル $\phi = 0$ とする。これらの初期境界条件のもと、境界上 i 点において、 ϕ と ϕ_n に関する境界積分方程式 (7)、(8) を立て、これより自由表面上の ϕ_n 及び ϕ_{in} を求める。

$$\phi_i \phi_i + \int_r \phi_n \log r \, d\Gamma = \int_r \phi \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial n} \, d\Gamma \quad \dots (7)$$

$$\phi_i \phi_{in} + \int_r \phi_{in} \log r \, d\Gamma = \int_r \phi_t \frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial n} \, d\Gamma \quad \dots (8)$$

ここで

r : 点 i と境界との距離

ϕ_i : 点 i での境界の内角

n : 法線方向単位ベクトル

次に自由表面上の ϕ , ϕ_n , ϕ_{in} をスプライン補間し、境界接線方向 s に関する微係数を求め、これらより、自由表面上の $\frac{\partial \phi}{\partial t}$, $\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$, $\frac{\partial \phi}{\partial t}$, $\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$, $\frac{\partial \phi}{\partial t}$, $\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$ を求めることができる。さらに、時刻 $(t + \Delta t)$ における自由表面上の座標及び ϕ を 2 次の Taylor 展開より求める。以上の手順を繰り返すことにより、造波板の造波現象と水槽内の波浪変形計算が可能となる。

3. 実験: 実験水槽は図-2 に示す 2 次元造波水槽で片側にフラップ造波機を有し、水槽内底は $1/10$ の一様斜面である。造波板から 1.5(m), 5(m), 7(m) の各位置に波高計 A B C を設置し水位変動を計測する。外力条件である造波板の運動はビデオ撮影により求める。碎波点近傍の空間波形は写真撮影より求める。

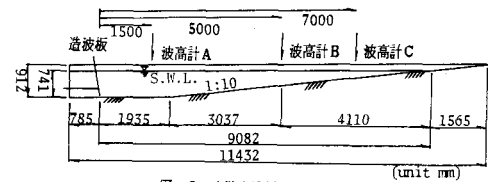


図-2 実験水槽側面図

4. 比較検討: 図-3 は造波板の運動周期が 2 秒の場合の波高計 A B C の水位変動の時系列に関する実験値と計算値の比較である。横軸に造波板が動きはじめてからの時間を縦軸に水位変動をとっている。これより計算値は十分実験結果を表わすことができることがわかる。次に図-4 は同じケースについて、造波板が動きはじめてから 7.35 秒後の碎波点近傍の空間波形に対して実験値と計算値を比較したものである。図中横軸に造波板からの距離と縦軸に水位をとっている。

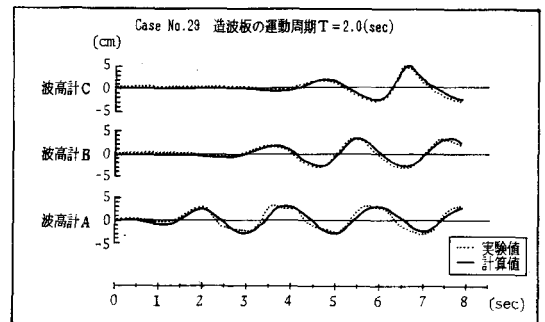


図-3 自由表面の時系列に関する実験値と計算値の比較

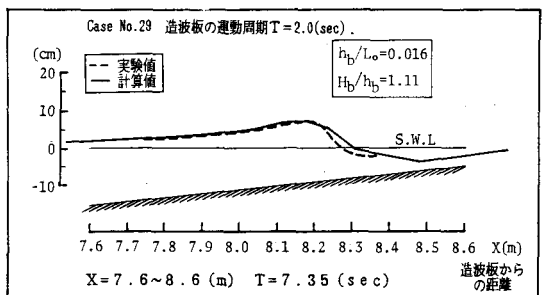


図-4 自由表面の空間波形に関する実験値と計算値の比較

5. 結論: 自由表面を有する 2 次元非定常流体力学に対して自由表面の力学的条件と運動学的境界条件を厳密に満足するような解析手法を構築するとともに、2 次元造波水槽内の造波現象と一様斜面上の碎波現象を数値解析した結果、実験と良好な一致を示し、本数値解析手法が斜面上の碎波についても有効であることが確認できた。