

## 潜水構造物による碎波の数値実験 に関する研究

名古屋大学大学院 学○織田 幸伸  
名古屋大学大学院 学 金 度参  
名古屋大学工学部 正 岩田好一朗

**1.はじめに:** 潜水構造物は、構造物全体が水面下に沈んでいるため、環境を損なうことなく波浪制御が可能な構造物として、近年注目されている。しかし、潜水構造物は一般に、他の構造物に比べて透過性が高いことが知られており、波浪制御構造物として考える場合には、構造物上で波を強制的に碎波させ、エネルギーを消散させることによって透過率を小さくする方法が有効となる。したがって、このような構造物を考える場合、その碎波の有無と、碎波波高や碎波形式などが重要となってくる。潜水構造物上での碎波を取り上げた研究はいくつがあるが、その多くは実験的研究であり、数値計算などによる解析としては Vinje ら<sup>1)</sup> の研究やステップ上での孤立波の碎波を扱った安田ら<sup>2)</sup> の研究があげられる。本研究は、境界要素法による従来の非線形波動解析法を用い、潜水構造物による碎波を数値的にシミュレーションしようとするものである。

**2. 計算方法:** 図-1に示すような、一定水深の2次元波動場を考える。流体を非粘性、非圧縮とし、非回転運動を考え、速度ポテンシャル $\phi$ により流体運動が記述できるとする。基礎方程式及び境界条件は以下のようになる。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (\text{基礎方程式}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (\text{固定境界における境界条件}) \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt}(X, Y) = \left( \frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \quad (\text{自由表面における運動学的境界条件}) \quad (3)$$

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial \phi}{\partial s} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial n} \right)^2 \right\} - g Y \quad (\text{自由表面における力学的境界条件}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -U(y, t) \quad (\text{造波境界における境界条件}) \quad (5)$$

ただし、 $(X, Y)$  は自由表面上の各節点の座標を、 $s, n$  は、それぞれ境界の接線方向および外向き法線方向を表し、 $U(y, t)$  は造波境界において与える水粒子の速度を表す。また自由表面上での圧力 $P_s$ は、 $P_s = 0$  としている。式(1)より $\phi$ が調和関数であるため、領域内にグリーンの公式を適用すると、境界上の点 $P$ における速度ポテンシャル $\phi$ は、次の境界積分方程式によって表される。

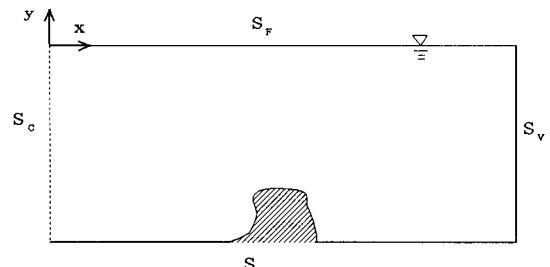


図-1 2次元波動場と座標系

$$\theta(P)\phi(P) = \int_S \left\{ \phi(Q) \frac{\partial G}{\partial n} + G \frac{\partial \phi(Q)}{\partial n} \right\} ds, \quad G = \log R \quad (6)$$

ここで、 $R$  は境界上の点 $P$ と $Q$ との間の距離であり、 $\theta(P)$  は、点 $P$ の両側の境界線のなす角である。いま、式(6)を離散化したものに、式(2)(5)の境界条件と、ある時間における自由表面上の $\phi$ の値を与えると、

すべての節点における  $(\phi, \partial\phi/\partial n)$  の値が求められる。この値を用いると、式(3)(4)より次のタイムステップにおける自由表面上の  $\phi$  の値と  $(X, Y)$  が求められる。実際の計算では、 $\phi$  に關しても以上と同様の式を求め、2次までの計算によって各タイムステップにおける水面形状と自由表面における  $\phi$  の値を求めている。

### 3. 計算結果

**3. 1 安定性と計算精度：**以上の様な計算では、水槽両端に与える境界条件が重要となるが、まずはその影響を受けにくい孤立波について計算結果の安定性を調べる。図-2は、初期条件として孤立波の波形と水表面での速度ポテンシャルを初期条件として与えたもの結果である。図中の細線は太線の一周期後の波形であるが両者はほぼ一致しており安定した波形が進行しているのがわかる。また、このときの伝播速度は  $171.1\text{cm/s}$  であり、理論値の  $171.5\text{cm/s}$  にはほぼ等しい。次に、図-3は造波境界  $S_c$ において、水平速度を  $U = a \sin \sigma t$  によって与え、造波させた計算結果である。ただし、 $a$  は波高の関数である。また、図中には比較として Stokes の 3 次近似による波形を示してあり、計算波形は、造波境界からおよそ  $3/2$  波長離れた位置での波形である。図を見ると両者はよく一致しており、線形条件によって造波しても非線形な波が発生していることがわかる。

**3. 2 潜水構造物への適用：**図-4は、例として潜堤上を通過する波について計算した結果である。潜堤の天端幅は  $100\text{cm}$ 、天端水深は  $10\text{cm}$  であり、水路長と水深はそれぞれ  $11\text{m}$ 、 $60\text{cm}$  である。図によると、左から入射した波は潜堤上でその前面が立ち上がり、潜堤を通過すると非線形性が強くなり  $2$  倍周波数成分が卓越している。これは、実際の現象をよく再現しているといえる。この後波形は、波峰で先鋒が強くなり計算不可能となる。これは碎波が起こっているためと思われるが、天端水深と波形勾配の関係から考えると、巻き波型の碎波が起こるはずであり、この原因については現在検討中である。

**4. おわりに：**本研究では、任意形状の潜水構造物による碎波を数値的にシミュレーションできるモデルの構築を行ってきた。しかし、現在碎波における波の巻き込みを再現できるには至っておらず、今後、この原因を明らかにし、種々の潜水構造物における碎波問題を議論できる数値実験モデルを構築していく所存である。

#### <参考文献>

- 1) Vinje, T. and P. Brevig : Adv. Water resources, Vol. 4, pp. 77-82, 1981.
- 2) 安田孝志・原 正典・  
田中光宏：海岸工学論文集  
第36卷, pp. 51-55, 1989.

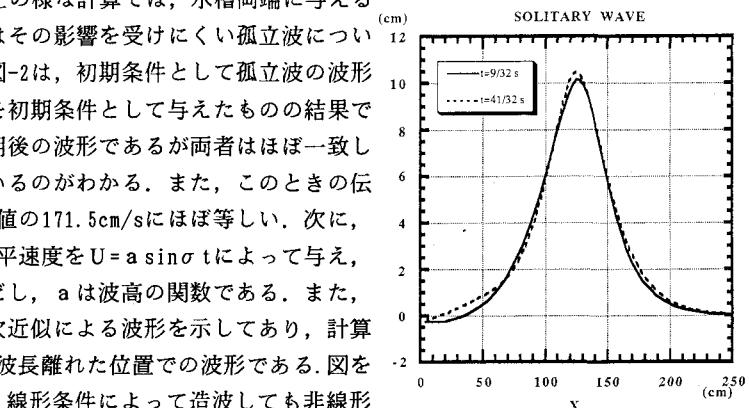


図-2 孤立波の伝播

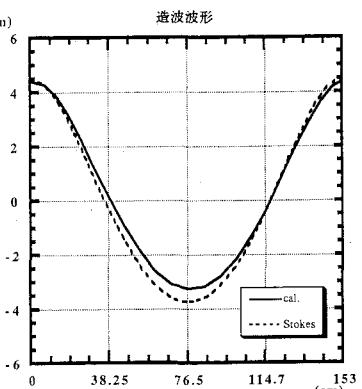


図-3 造波波形

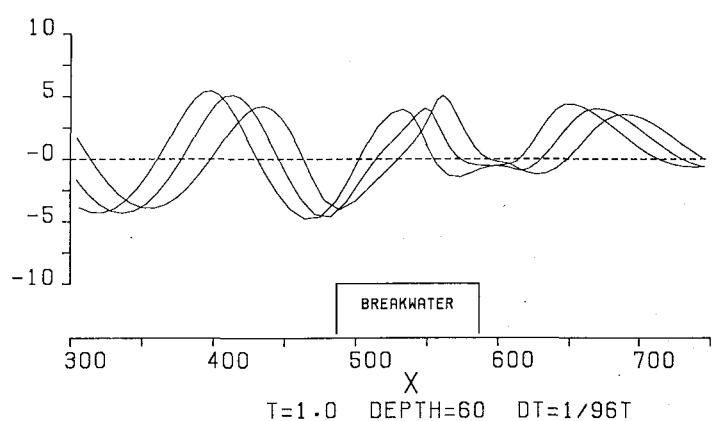


図-4 潜堤による波形変化( $t=7\frac{3}{4}T \sim 8T$ )