

(II-5) 数値流体計算を用いた海域構造物周辺波動場の解析

長岡技術科学大学大学院 学生会員○中田 芳貴
長岡工業高等専門学校 正会員 吉田 茂
長岡技術科学大学 正会員 細山田得三
長岡技術科学大学 正会員 早川 典生

1. はじめに

海岸波動の分野において波動場数値計算は、自由表面の取り扱いが難しく、さらに計算時間に多大な時間を必要とするため、敬遠されがちであった。しかしながら、数値流体力学の分野では、自由表面変動を考慮した流体数値計算が各種開発されている。これは Navier-Stokes 方程式を用いて直接計算するため、乱流をモデル化する以外には原理的に仮定を含んでいないと考えられる。また近年は高速コンピュータの価格が低廉化しており、今後海岸波動の分野においても数値流体計算が取り入れられるものと思われる。

本研究では潜堤を含む波動場を計算領域とし、流体数値コードの1つである SOLA-SURF 法を用いた波動場の数値計算を実施し、その計算結果を水理実験結果と比較検討したものである。

2. 数値解析手法

水部では非圧縮性流体における Navier-Stokes 方程式を適用し、潜堤内部では以下の式を適用した。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\varepsilon \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - \frac{\varepsilon v}{K} u_i - \varepsilon g \delta_{i3} \quad (1)$$

ここで、 $x_1(x), x_2(y), x_3(z)$ は直角座標系であり、 x_1 と x_2 は水平軸でそれぞれ波進行方向、波直角進行方向を示し、 x_3 は底面上向きを正とする鉛直軸を示す。 u_1, u_2, u_3 は x_1, x_2, x_3 方向の流速、 g は重力加速度、 ε, K は空隙率、透水係数である。

本計算の2次元での境界条件は

- ①計算領域左端：造波境界
- ②計算領域右端：sommerfeld の放射条件
- ③固体壁面：不透過条件とすべりなしの条件
- ④自由表面での運動学的条件と力学条件

である。

水表面において力学的条件は、自由表面における水部と気体部の双方での接線、法線方向成分がそれぞれ一致するようにした。自由表面での水平成分を無視すれば、接線および法線方向成分について以下の3式が得られる。

$$v \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) = C_D \frac{\rho_a}{\rho} |u_a| u_a \quad (2)$$

$$v \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) = C_D \frac{\rho_a}{\rho} |v_a| v_a \quad (3)$$

$$\phi_s = \phi_a + 2v \frac{\partial w}{\partial z} \quad (4)$$

ここで、 $C_D, \rho_a, \rho, u_a, v_a, v, \phi_s, \phi_a$ はそれぞれ水表面での抵抗係数、空気の密度、水の密度、水平風速、鉛直風速、動粘性係数、自由表面での正規圧力 ($\phi = p/\rho$)、大気圧である。この条件式より海上風の波の運動への影響も考慮できるが、本研究では ρ_a, U_a をいずれも0としている。これらの条件式に用いる自由表面での流速などの変数は、場合によっては、隣接するセルの流速で代用する。また、自由表面形状の時間発展は、自由表面の運動学的条件を時間積分して求めた。

3. 計算条件

計算は長岡技術科学大学の長水路を対象としており、断面2次元および3次元を対象としている。計算領域の水深は55cm、水路長15m、入射波の周期は1.5secである。潜堤の形状は高さ及び天端幅がそれぞれ37.5cm、100cmで岸沖両方法勾配1:1である。2次元計算ではセル長 $\Delta x_1, \Delta x_3$ は5cm, 2cm、刻み時間 Δt は0.001secとし、3次元計算では $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta t$ は5cm, 5cm, 5cm, 0.005secとした。

keywords ; 数値流体、海洋構造物、波動

連絡先 ; 〒940-2137 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL (0258)47-9621

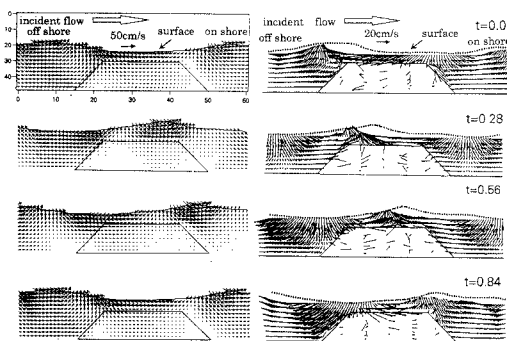


図-1 潜堤周辺のベクトル図（2次元）
（左：数値計算、右：室内実験）

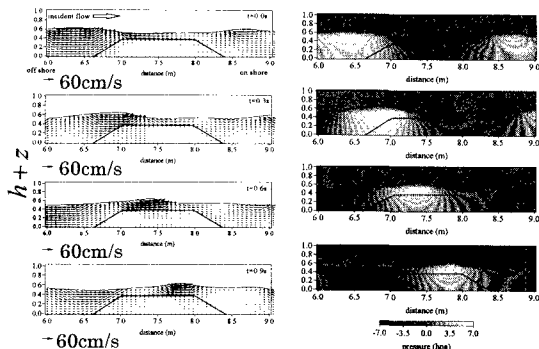


図-3 3次元数値計算による流速ベクトル図と
動圧力の等値線図

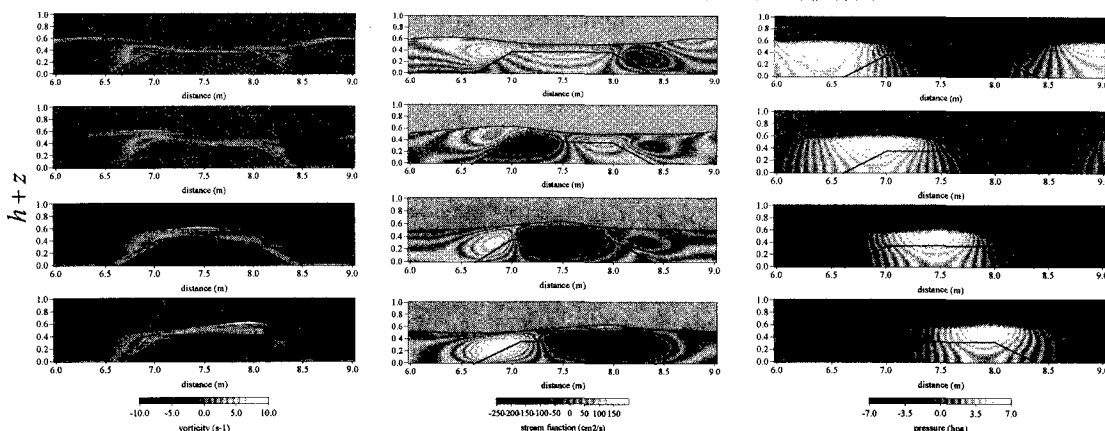


図-2 渦度、流関数、動圧力の空間分布（0.3秒間隔の時間発展）

4. 計算結果

図-1には2次元による潜堤上を波が通過する際の流速場のベクトル図を示す。数値計算結果は波の入射による流速場の変動をよく再現していることが分かる。潜堤内部の流速は、外部の変動と連動してほぼ同位相で変動しているが、流速の大きさは周囲に比べて低減している。

図-2には数値計算による透過性潜堤周辺の渦度、流関数、動圧力の空間分布図を示す。渦度は潜堤沖側法肩部付近で大きな値を取り、波の位相で若干値が変化しているものの、ほぼ全時間にわたって消滅することなく高い渦度が維持されている。流関数はセル状の構造を持ち、波の進行に併せてセルが移動している。左側のセル(白)は、波の進行と共に移動するが潜堤内に入りきらずに変形していることがわかる。圧力の等値線は潜内外においてなめらかに接続されているものの分布形状が若干歪んでおり、潜堤内外での圧力分布の違いが現れている。

図-3に3次元での流速ベクトルと動圧力の等値線図を示す。3次元での数値計算においても2次元と同様の結果が得られている。潜堤内部の流速は2次元計算と比較すると若干小さいことがわかる。

5. まとめ

本研究では潜堤周辺の波動場の数値解析を行い、室内実験との比較検討も行った。本計算は、自由表面外の流速成分を外挿して求めるなど、計算原理において誤差が含まれる可能性があるが、計算結果からはほぼ満足できるものであることがわかった。

参考文献

- 1) Bulgarelli, U., Casulli, V., Greenspan, D.(1984): Pressure Methods for the Numerical Solution of Free Surface Fluid Flows,Prinerige Press Swansea U.K.,323p