

II-35 三角形潜堤周辺の波・流れ場の非線形数値計算

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 柿沼太郎
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 渡辺 晃
 東京大学大学院工学系研究科 正会員 磯部雅彦

1. はじめに 水平面形状が三角形である三角形潜堤は、波高を減衰させることのみならず、波向きを変えること、そして、その結果、沿岸流を制御することに対して有効である（武若ら, 1994）。また、潜堤は、波を分裂させるから、ここで触れないが、波の周期の制御の可能性も秘めている。ところで、こうした波の分裂は、非線形性の強い場において見られる現象である。また、非線形系としての波は、媒質の輸送、すなわち、定常流の成分を含み得る。従って、三角形潜堤周辺の波または流れの場をより正確に解析するためには、非線形性を十分に考慮した基礎方程式を用いることが必要である。

いま、海浜流、特に、沿岸流の制御について考える。そこで、平面 2 次元を対象とした基礎方程式を用いることにする。平面 2 次元の強非線形・強分散性の波動方程式は、灘岡・中川（1993）、後野（1994）及び磯部（1994）によって開発され、それぞれの方程式の特徴も含めて、研究が蓄積されつつある。ここでは、磯部（1994）の導出した、変分原理による波動方程式を用いる。そして、砕波帯外に設置した三角形潜堤の堤体列に規則波が入射する場合の、潜堤周辺の任意の時刻における水面波形及び流速の数値解析を行ない、これより、波高分布及び鉛直平均流速の定常流成分を求める。ただし、潜堤周辺で波が砕波していないとする。

2. 基礎方程式 完全流体の非回転運動を扱う。速度ポテンシャル ϕ を N 個の関数の重ね合わせによって、式 (1) のように近似する。

$$\phi(x, z, t) = \sum_{\alpha=1}^N \{Z_{\alpha}(z, h(x)) \cdot f_{\alpha}(x, t)\} \quad (1)$$

ここで、 h は、静水深である。また、 Z_{α} 及び f_{α} は、それぞれ、鉛直分布関数及びその重み係数である。 Z_{α} の関数形として、式 (2) を選び、その項数を $N = 2$ とした。

$$Z_{\alpha} = (1 + z/h)^{2(\alpha-1)} \quad (\alpha = 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

いま、潜堤の側面に緩やかな勾配を設けておく。そして、緩勾配近似が成り立つ場合の波動方程式を適用する。詳細については、磯部（1994）を参照されたい。

3. 初期条件と境界条件 水深が一樣な海域に、三角形潜堤を設置する場合を考える。初期条件と水平方向の境界条件とを定めておく必要がある。

まず、初期条件は、静水状態とする。

次に、境界条件であるが、計算対象領域は、図 1 のように、沖側境界、岸側境界及び側方境界の 3 種類の境界に囲まれている。

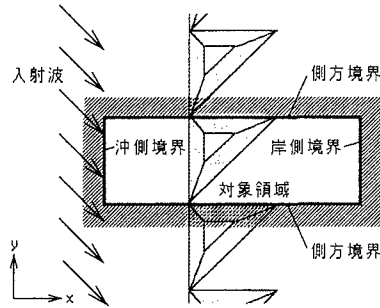


図 1: 計算対象領域

このうち、沖側境界及び岸側境界では、開境界条件を適用する。沖側境界において、規則波を斜め入射させるが、ここでは、正弦波を与えた。

他方、側方境界では、周期境界条件を採用する。すなわち、計算領域と全く同じ領域が、 y 方向に無限個連なっている考える。同一形態の堤体を数多く並べて設置することを想定しているのである。このような周期境界条件は、堤体及び海底の形状が、 y 方向に間隔 Y で、周期的に変化している場合にのみ適用できる。また、規則波が斜め入射する場合には、入射波の y 方向に測った波長と Y の最小公倍数の長さを計算領域の y 方向の幅とすればよい。

4. 数値計算法 基礎方程式と境界条件は、未知関数として重み係数 f_{α} 及び水面変動 η を含む。これらの微分方程式を差分方程式に離散化し、数値的に解く。その際に、ADI 法を用いる。空間的には、中央差分を用いる。時間的には、 f_{α} に関しては、中央差分または後退差分を用いる。一方、 η に関しては、前進差分を用いて陽的に求めるが、この方法では、計算時間間隔 Δt を大きくとれないという制約が課される。

5. 計算結果 計算条件を図 2 に示す。

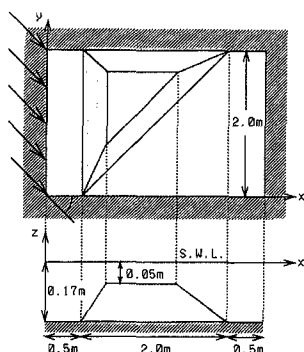


図 2: 計算条件

ここで、潜堤側面の勾配は、1:3である。また、 $x=0$ において、周期 $T_{in}=1.0s$ 、波高 $0.018m$ の正弦波を x 軸の正の方向とのなす角が 34.9° の向きに斜め入射させた。なお、差分格子間隔及び計算時間間隔 (ADI法の2段階分) をそれぞれ $\Delta x = \Delta y = 0.05m$ 及び $\Delta t = T_{in}/250$ とした。潜堤を設置しない場合において、波高の減衰がほとんど見られないことを確かめた。

計算結果として、図3に、波高分布を示す。ただし、波高 H_{rms} を式(3)で定義し、図には、入射波の波高 $H_{rms,in}$ に対する比を描いている。

$$H_{rms}(x) = \sqrt{\{\eta(x,t) - \bar{\eta}(x,t)\}^2} \quad (3)$$

ここで、 $\bar{\eta}$ は、 η の、入射波の1周期間にわたる時間平均値である。また、この場合の鉛直平均流速の定常流成分を図4に示す。各地点 (x,y) において、各時刻の流速を全水深にわたって鉛直積分すると流量が得られる。各地点毎に、この流量を入射波の1周期間にわたって時間平均した値をその地点の平均水深で除したものが、図4に示す速度である。

更に、同じ条件下で、入射波の波向きだけを変え、波を x 軸の正の方向に入射させた場合の、波高分布及び鉛直平均流速の定常流成分をそれぞれ図5及び図6に示す。この場合、潜堤沖側の側面である三角形の斜辺 BC に、波が、屈折のための臨界角を越えて進入する。その結果、この位置での波の反射が顕著である。

6. おわりに 入射波や潜堤の形態といった条件が異なる場合についても計算し、その結果を従来の線形波理論に基づく結果及び実験値と比較する必要がある。ただし、流れの問題では、海底摩擦の効果が重要であり、これを考慮することを指針として挙げる。

参考文献

- 磯部 (1994), 土木学会論文集, No. 491/(II)-27, pp. 1-14.
 武若・入江・辻 (1994), 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 731-735.
 瀬岡・中川 (1993), 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 6-10.
 後野 (1994), 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 16-20.

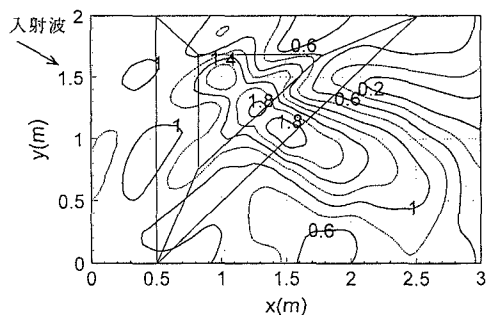
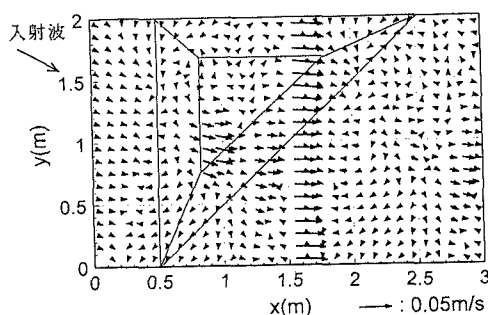
図 3: $H_{rms}/H_{rms,in}$ (Case 1)

図 4: 鉛直平均流速の定常流成分 (Case 1)

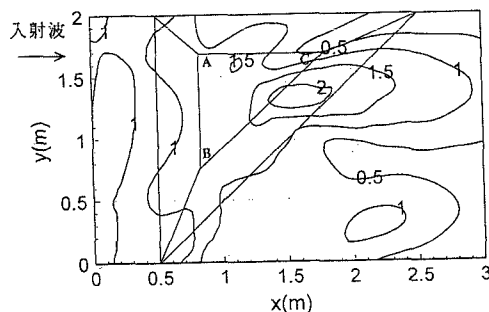
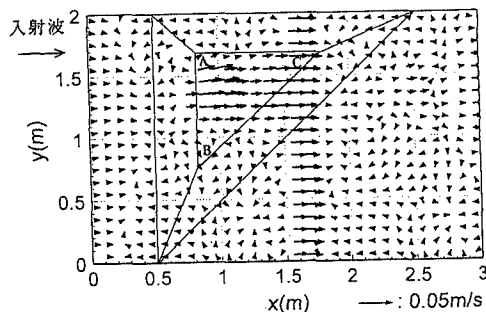
図 5: $H_{rms}/H_{rms,in}$ (Case 2)

図 6: 鉛直平均流速の定常流成分 (Case 2)