

三角形潜堤を用いた沿岸流の制御

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. 序論 水平面形状が三角形である三角形潜堤は、波高の減衰効果のみならず波向や周辺の流れの制御機能も有し(武若ら, 1994)、工学的な関心が寄せられ始めている。柿沼ら(1996)は、強非線形・強分散性の波動方程式を基礎方程式とする平面2次元の数値解析手法を提案した。そして、これを三角形潜堤の無限堤体列周辺の波・流れ場に適用し、波の非線形性までも厳密に考慮して解析を行なった。本研究では、この基礎方程式に砕波拡散項を付加することによって砕波を考慮する。そして、三角形潜堤を用いることによって、沿岸流をどれだけ抑制できるかについて考える。

2. 基礎方程式 磯部(1994)の波動方程式の第2式に、次式のように砕波拡散項を付加する。

$$g\zeta + Z_{\beta}^{\zeta} \frac{\partial f_{\beta}}{\partial t} + \frac{1}{2} Z_{\gamma}^{\zeta} Z_{\beta}^{\zeta} \nabla f_{\gamma} \nabla f_{\beta} + \frac{1}{2} \frac{\partial Z_{\gamma}^{\zeta}}{\partial z} \frac{\partial Z_{\beta}^{\zeta}}{\partial z} f_{\gamma} f_{\beta} + \frac{\partial Z_{\gamma}^{\zeta}}{\partial h} Z_{\beta}^{\zeta} f_{\gamma} \nabla f_{\beta} \nabla h - \nu_{D\beta} \nabla^2 f_{\beta} = 0 \quad (1)$$

ここで、 ζ , Z_{β}^{ζ} および f_{β} は、それぞれ、水面変動、速度ポテンシャルを近似する鉛直分布関数およびその重み係数であり、 h は、静水深である。また、 $\nu_{D\beta}$ は、次式で与える。

$$\nu_{D\beta} = \frac{gd}{\sigma^2} f_D, \quad f_D = \alpha_D r_D \tan \beta \sqrt{\frac{g}{d}} \quad (2)$$

ここで、 d , σ および $\tan \beta$ は、それぞれ、平均水深、波の角周波数および海底勾配である。係数 α_D は、合田の砕波指標より定めた砕波点を挟んで半波長にわたって0から1まで増加させ、それ以後、砕波帯内において1とする。また、 r_D は、水口ら(1978a)および磯部(1986)より、次式とする。

$$r_D = \begin{cases} 0 & (\gamma \leq \gamma_r) \\ \sqrt{\frac{\gamma - \gamma_r}{\gamma_s - \gamma_r}} & (\gamma > \gamma_r) \end{cases} \quad (3)$$

$$\gamma_r \simeq 0.3375, \quad \gamma_s = 0.57 + 5.3 \tan \beta \quad (4)$$

ここで、 γ は、波高水深比である。

$-\nu_{D\beta} \nabla^2 f_{\beta}$ は、運動量方程式のレベルにおいて、近似的に佐藤・Kabiling(1993)の砕波拡散項と一致し、

砕波が生じていることによる運動量の拡散を表わすという物理的意味を持っている。

3. 数値計算法 波動方程式は、ADI法によって数值的に解き、任意の時刻の ζ と f_{α} を求める。計算対象領域は、図1のように、沖側境界、岸側境界および側方境界の3種類の境界に囲まれている。

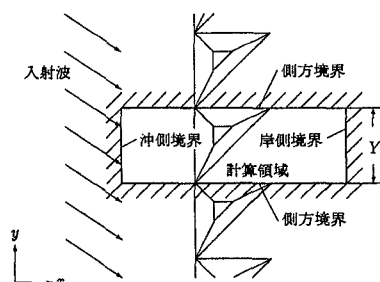


図1: 計算対象領域

このうち、沖側境界および岸側境界では、開境界条件を適用する。他方、側方境界では、同一の物理現象が、ある一定の長さ Y の周期で y 軸方向に無限回繰り返しているという状況を想定し、周期境界条件を適用する。その際に、側方境界における速度ポテンシャルの多価性を認める。

4. 計算条件 図2のような三角形潜堤を沿岸方向に無限個並べ、沖側境界 $x=0$ において、表1のような規則波を入射させた。

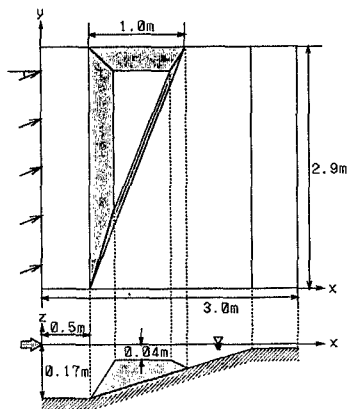


図2: 海底地形と三角形潜堤

キー・ワード: 三角形潜堤, 沿岸流, 強非線形, 数値計算
 連絡先: 〒113 文京区本郷 7-3-1
 TEL. 03(3812)2111, FAX. 03(5689)7340

表 1: 計算条件

沖側境界での静水深 h_{off}		0.17m
海底勾配 $\tan \beta$		1/10.4
入射波	波高 H_{in}	0.032m
	周期 T_{in}	0.81s
	波長 L_{in}	1.02m
	$U_{r \text{ in}} = H_{\text{in}} L_{\text{in}}^2 / h_{\text{off}}^3$	6.8
入射角 $(^{\circ}) \alpha_{\text{in}}$		20.5 $^{\circ}$
差分格子間隔 $\Delta x, \Delta y$		0.025m
計算時間間隔 $(^{\circ}) \Delta t$		$T_{\text{in}}/500$
ϕ を近似する級数の項数 N		3

 (*) 波向が x 軸の正の方向となす角

(**) ADI 法の 2 段階分

5. 計算結果 図 2 の斜面上において、三角形潜堤を設置しない場合、波高および沿岸流の岸沖方向の分布が、それぞれ、図 3, 4 のように求まる。図 3, 4 ともに、実線が計算結果であり、○が水口ら (1978b) による実験結果である。数値計算では、岸側境界付近に静水深が一様である領域を設けており、この点が、波の遡上域を含む水口ら (1978b) の実験と異なる。

これに対し、三角形潜堤を設置した場合、波高の平面分布が図 5 のようになった。潜堤周辺の波高の減衰は、潜堤前面における波の反射、潜堤上での波の屈折および分裂による。また、沿岸流は、測線 $y = 0.5\text{m}$, $y = 1.5\text{m}$ および $y = 2.5\text{m}$ 上において、それぞれ、図 6 に示すような分布となった。なお、この場合にも、沿岸流は、各地点における y 軸方向の線流量を入射波の 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すことによって求めた。

6. 結論 三角形潜堤の堤体列が有する沿岸流の制御機能に着目して数値解析を行なった。その結果、三角形潜堤を用いることによって波を屈折させ、沿岸流を抑制することができることを確かめた。また、特に、潜堤が波を分裂させる場合、潜堤背後の波高が低減し、そのため、減少した沿岸流のピークが三角形潜堤を設置しない場合よりも岸寄りに生じた。

参考文献

- 磯部 (1994), 土木学会論文集, No. 491/(II)-27, pp. 1-14.
 柿沼・渡辺・磯部 (1996), 第 51 回年譜概要集, (II), p. 70-71.
 佐藤・Kabiling (1993), 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 386-390.
 武若・入江・辻 (1994), 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 731-735.
 水口・辻岡・堀川 (1978a), 第 25 回海講論文集, pp. 155-159.
 水口・大嶋・堀川 (1978b), 第 25 回海講論文集, pp. 425-429.

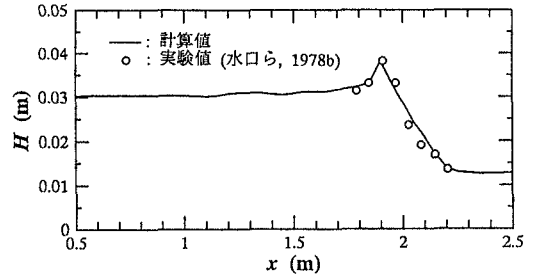


図 3: 潜堤を設置しない場合の波高の分布

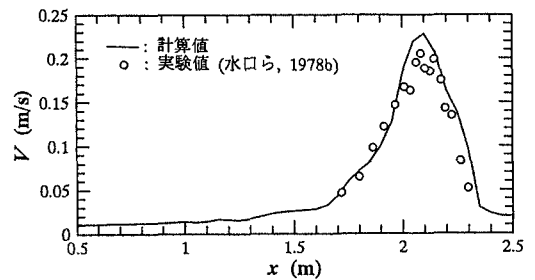


図 4: 潜堤を設置しない場合の沿岸流の分布

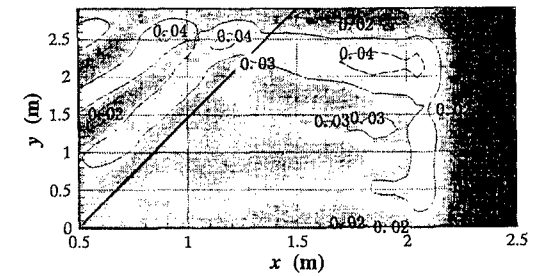


図 5: 潜堤を設置した場合の波高の分布 (単位: m)

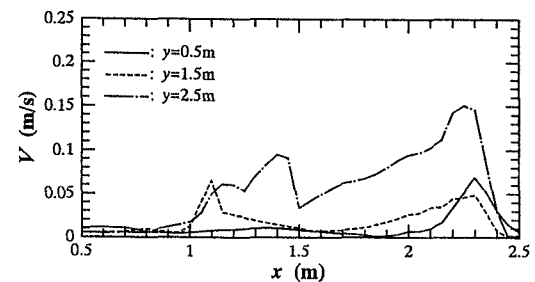


図 6: 潜堤を設置した場合の沿岸流の分布