

実海域における透過性構造物周辺の波浪解析

長崎大学大学院 学生員 山田 和弘
長崎大学工学部 正 員 富樫 宏由

1. 序 言

近年、種々の波浪制御・海岸侵食制御構造物が提案され、実用に供されようとしている。その中でも最近の環境保全および沿岸景観に対する意識の高まりと共に、人工リーフや大規模潜堤と呼ばれるものに代表される透過性潜堤を利用した波浪制御法は注目されている。そして、潜堤の反射・透過特性に関して数多くの研究が行われてきた。しかしながら、従来の研究の殆どは1次元もしくはモデル解析といった限られた条件下のものであり、また平面的な波浪場の解析例も数少ない。そこで本研究においては、現在実際に長崎市西部の手熊海岸で透過性潜堤による波浪制御工が計画されている実海域を対象とし、透過性潜堤周辺の平面的波浪場の解析を、緩勾配の仮定の下に透水層の存在を考慮したモデル方程式を用いて計算すると共に、潜堤による波浪制御工においても現況の離岸堤と同様の波浪制御効果が得られるか否かを検証する。

2. 理論および数値計算法

潜堤周辺の波は微小振幅波であると仮定する。底面摩擦などによる波の減衰を流体運動に抵抗力が働く場合のそれで模擬すると、不透過底面上の海面変動を支配する緩勾配方程式は以下のように書ける(Yura, 1992)。

$$\nabla \cdot (CC_i \nabla \eta) + (1 + if_p)k^2 CC_i \eta = 0 \quad (1)$$

一方、水平透水層上の海面変動を支配する緩勾配方程式は以下のように書ける(Somchaiら, 1989)。

$$\nabla^2 \eta + (1 + if_p)k^2 \eta = 0 \quad (2)$$

ただし、 $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 、 $i = \sqrt{-1}$ 、 η は複素振幅、 k は波数、 c は波速、 c_i は群速度、 f_p は波高減衰係数である。減衰係数に関しては、Yura(1992)同様、非砕波領域と砕波領域において異なる経験式で与える。砕波領域を定める際には、全領域で砕波しないことを仮定した試算を行い、その計算結果に合田(1970)の砕波条件式を適用する。波数は波の角周波数および水深から以下の分散関係式で求める。

$$\sigma^2 = gk \frac{\varepsilon \exp(kh_i) \sinh(kh_p) - \delta \sinh(kh_i)}{\varepsilon \exp(kh_i) \sinh(kh_p) - \delta \cosh(kh_i)} \quad (3)$$

ここに、 σ は角周波数、 g は重力加速度、 h_i は堤体上の水深、 h_p は堤体高さ、 ε は空隙率、 δ は抵抗係数を含む関数である。式(3)において、透水層の空隙率 ε を0とすれば、水深 h_i での通常の微小振幅波と一致する。

数値計算は変分法に基づいた有限要素法を用いて行う。幸いにも、形の上で式(1)は式(2)を満たしているため、式(1)についてのみ考えればよい。有限要素方程式を導く際に、まず対象問題の境界条件で式(1)の解を最小化条件とする汎関数を以下のように得る。

$$\Pi = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} CC_i \{ (\nabla \eta) \cdot (\nabla \eta) - (1 + if_p)k^2 \eta^2 \} d\Omega + \Pi_r \quad (4)$$

ここに、 Ω は対象問題の領域を表わす。 Π_r は境界線積分に関する項であり、境界条件式を基に定式化する。計算領域を三角形要素に分割し、各要素において既知量および未知量を共にその節点値と内挿関数の線形組み合わせで近似することにより、汎関数 Π は下式のように書き換えられる。

$$\Pi = \eta^T K \eta - \eta^T r \quad (5)$$

ただし、 η は未知の複素振幅の節点値で構成されるベクトルであり、 K は係数マトリックス、 r は境界条件に関連した既知のベクトルである。式(5)を汎関数の最小化条件に代入すると、有限要素方程式

$$K \eta = r \quad (6)$$

が得られる。式(6)を強制境界条件も満たされるように修正して解くと、複素振幅すなわち自由水面の振幅(実部)と位相(虚部)の節点値が得られる。

3. 計算結果と考察

計算ケースは、(1)現況再現、(2)計画不透過性および(3)透過性潜堤の計3ケース行った。(1)における現存の不透過性離岸堤の天端長さは100m、幅は30mのものが30m間隔で2堤設置されている。一方、(2)および(3)の計画潜堤の天端長さは150m、幅は40m、斜面勾配は1/3、天端の没水深さは1.66mのものが50m間隔で2堤設置するものと計画されている。なお透過堤の空隙率は56%とする。代表波として平常時の波浪を

考える。このとき、沖開境界における入射波高は1.27m、周期は4.8s、入射角は直角である。

図1は、離岸堤存在時の波高分布を示したものである。いま砂浜からの反射波を無視して考えると、水深の変化のみによって生じた屈折効果に加え、離岸堤による回折効果が同時に発生している。このとき、波エネルギーは屈折・回折の影響により離岸堤後方に集まろうとしている。しかし、この海域では離岸堤を2堤並べて設置していることと、離岸堤から海岸までの距離が充分でなく、かつ水深も浅いので波エネルギーが集中する余裕がないものと考えられる。したがって、離岸堤によって遮蔽された海域は静穏な海域となっている。また、離岸堤先端付近の遮蔽域では回折効果が非常に大きい、回折波が海岸に近づくにたがって屈折効果が回折を上まわっているのがわかる。

図2には、不透過性潜堤設置時の波高分布が示されている。このとき、潜堤では完全な遮蔽体とならないので回折現象は図1ほど顕著に現れない。むしろ屈折効果の影響をより大きく受けているものと考えられる。そのため、潜堤によって遮蔽されるべき海域を図1のそれと、静穏海域の目安とされる0.5m等波高線と比較すると、明らかに図2におけるそのほうが海岸に近づいている、つまり静穏海域が狭くなっているのがわかる。これは、潜堤が不透過性であるため、潜堤を越える波エネルギーは砕波によってしか減少しないためと考えられる。しかし砂浜海岸のみを見ると、堤体を大きくすることによって図1のそれとほぼ同等の効果が得られている。

図3には、透過性潜堤設置時の波高分布が示されている。このとき、前述のように潜堤では完全な遮蔽体とならないので回折現象は現れにくいと考えられるが、この図においては回折現象が非常に大きく生じているように見受けられる。これは、潜堤を越える波が潜堤上で砕波を生じて波エネルギーが減少することと、潜堤を透過性にしたことによるエネルギー吸収によって波エネルギーが減少することが考えられる。次に潜堤によって遮蔽される海域を図2のそれと比較してみると、明らかに図3のほうが静穏海域は広がっており、堤体の大きさが違うとはいえ、図1のそれと同等の効果が得られている。また、潜堤背後における集波現象はこの場合も見られない。更に、潜堤前面の反射波については、潜堤を透過性にするによるエネルギー吸収によって反射波の波高も図2のそれより小さい。

4. 結 論

本研究においては、実海域に設置された離岸堤および潜堤（不透過性および透過性）周辺の波浪変形状況について、有限要素法を用いて調べた。その結果、不透過性潜堤では堤体を大きくするだけでは従来の離岸堤並みの波浪制御効果は得られないが、潜堤を透過性にするによって従来の離岸堤と同等の波浪制御効果が得られることが分かった。しかし、今回の計算では規則波しか取り扱っていないので、実際の海の波である不規則波での数値計算が、今後の研究課題として残されている。

参考文献 [1] Somchai-Isobe-Watanabe(1989) : 透過潜堤による波浪変形の解析モデル, 海岸工学論文集, 第36巻, 643-647. [2] Yu-Isobe-Watanabe(1992) : Finite element solution of wave field around structures in nearshore zone, Coast. Eng. in Japan, Vol. 35, 21-33.

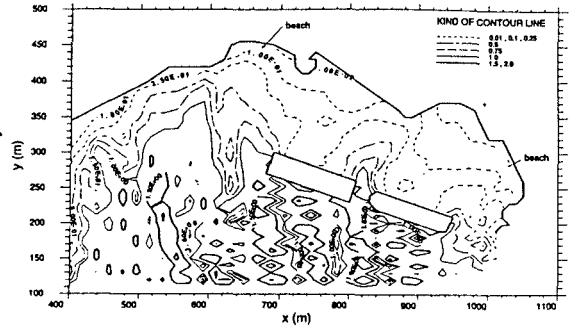


図1 離岸堤周辺の波高分布

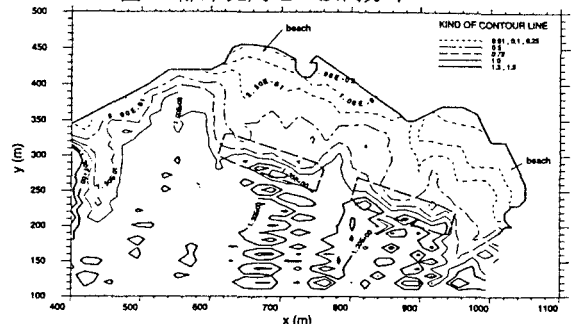


図2 不透過性潜堤周辺の波高分布

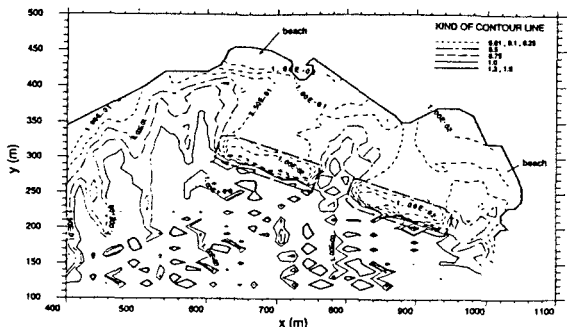


図3 透過性潜堤周辺の波高分布