

潜堤の3次元効果について

長崎大学工学部 学生員 ○山田 和弘

正 員 余 錫平

正 員 富樫 宏由

1. 序言

環境保全および沿岸景観に対する意識が高まる近年、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、従来の研究のほとんどは断面2次元の場合を想定したものであり、その結果を基に実際の潜堤周辺における波高分布を推定するのは必ずしも適切であるとは限らない。これは、場合によって波の屈折効果が無視できないからである。そこで本研究では、有限要素法を用いて潜堤周辺の波浪変形をより正確に評価し、その結果に基づいて潜堤の3次元効果を明らかにするとともに、波高が低減すると思われる潜堤の背後において、波のエネルギーが集中し、局所の波高が大きく増大することもあり得ることを示す。

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、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 (Yu・Togashi, 1994)。

$$\nabla \cdot (C_g \nabla \eta) + (1 + i\mu)^2 k^2 \eta = 0 \quad (1)$$

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_g 波群速、 μ は波高減衰係数である。波数は波の角周波数および水深から分散関係式で求める。減衰係数に関しては、Yu ら (1992) 同様、非碎波領域と碎波領域において異なる経験式で与える。碎波領域を定める際には、全領域で碎波しないことを仮定した試算を行い、試算結果に合田 (1970) の碎波条件式を適用する。

数値計算は変分法に基づいた有限要素法を用いて行う。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。

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_{\Omega} [C_g (\nabla \eta) \cdot (\nabla \eta) + (1 + i\mu)^2 k^2 \eta^2] d\Omega + \Pi_r \quad (2)$$

ここに、 Ω は対象問題の領域を表す。 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。計算領域を三角要素に分割し、各要素において既知量および未知量をともにその節点値と内挿関数の線形組合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る。

$$\Pi = \eta^T K \eta - \eta^T r \quad (3)$$

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 は係数マトリクス、 r は境界条件に関連した既知のベクトルである。式(3)を汎関数の最小化条件に代入すると、有限要素方程式

$$K \eta = r \quad (4)$$

が得られる。式(4)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と振動位相の節点値が得られる。

3. 計算結果と考察

一様勾配 ($\tan \beta = 0.02$) の海底上に離岸潜堤が設置される場合を想定する。潜堤の天端長さは 100m、幅は 10m、斜面勾配は 1/5、設置水深は 2m、天端の

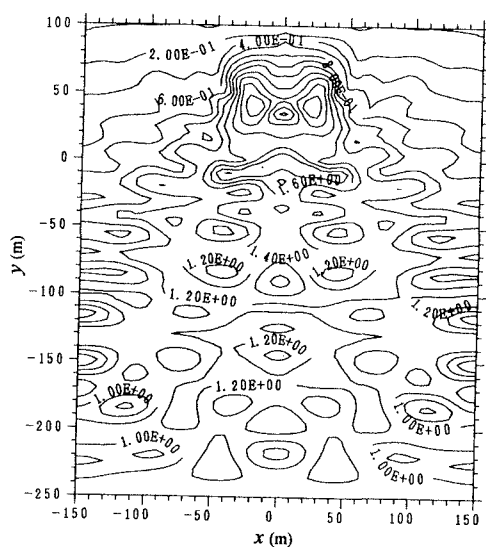


図1 潜堤周辺の波高分布

没水深さは 1m とする。問題を単純化するために、直角入射波の場合を考える。入射波の周期は 10s、沖開境界における波高は 1m とする。計算領域は、沿岸方向に潜堤を中心にして 300m、岸沖方向に海岸線から 350m の海域 ($-150\text{m} \leq x \leq 150\text{m}$, $-50\text{m} \leq y \leq 100\text{m}$) とする。

図 1 には、計算で得られた潜堤周辺の波高分布が示されている。波の屈折効果を見捨てると、潜堤によって保護された海域は相対的に静穏な海域であるが、実際の場合においては、図 1 に示されているように、潜堤の背後で波のエネルギーが集中し、局所の波高が顕著に増大することが分かる。そのため、潜堤の背後で碎波線は、潜堤を設置しない場合よりも海岸線に近く、これで潜堤の海岸保全効果が全く期待できないことは明らかである。

図 2 および図 3 は、それぞれ $x = 100\text{m}$ および $x = 0$ の断面における波高分布を示したものである。 $x = 100\text{m}$ の断面において、潜堤の影響が相対的に小さいため、海岸に近づく波は潜堤の設置位置に相当するところで碎波し、碎波点から海岸線まで波高が遞減する。図 2 の波高分布と比較すれば、図 3 に示された $x = 0$ の断面での波高分布における潜堤の影響が非常に大きいことは分かる。潜堤の沖側でより顕著な反射が見られる一方、潜堤の付近では、波高が大きく増大し、大きな波高を有する波が海岸線のかかなり近くまで至っていることが示されている。

図 4 および図 5 は $y = -100\text{m}$ および $y = 40\text{m}$ の断面における波高分布である。潜堤の前面において反射波およびその回折の影響があるものの、波高がほぼ一様分布を有するのに対して、潜堤の背後では限定された範囲に波高が極めて大きく、潜堤の集波効果が無視できないことは明らかである。

4. 結論

本研究においては、一様勾配の海底上に離岸潜堤が設置される場合を想定し、それを周期 10s の波が直角入射する際の潜堤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、波高が低減と思われる潜堤の背後において、波のエネルギーが集中し、局所の波高が大きく増大することが分かった。しかし、潜堤に関する集波現象が地形条件および入射波条件にどのように依存するのか、また、この集波現象をどのように利用して波浪制御が行えるのかは、今後の研究課題として残されている。

参考文献 [1] 合田 (1970) : 碎波指標の整理について, 土木学会論文報告集, 第 180 号, 39-49. [2] Yu・Masahiko・Watanabe (1992) : Finite element solution of wave field around structures in nearshore zone, Coast. Eng. in Japan, Vol. 35, 21-33. [3] Yu・Togashi (1994) : Irregular waves over an elliptic shoal, Proc. ICCE'94, 746-760.

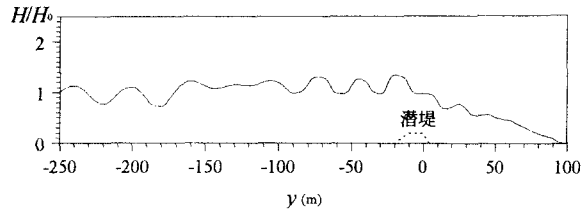


図 2 $x = 100\text{m}$ 断面における波高分布

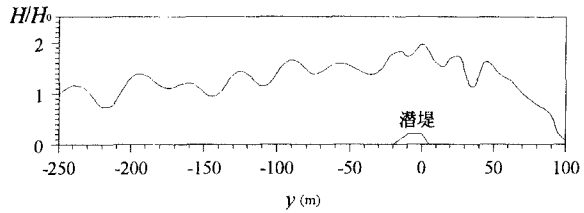


図 3 $x = 0$ 断面における波高分布

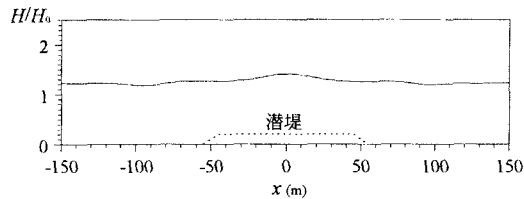


図 4 $y = -100\text{m}$ 断面における波高分布

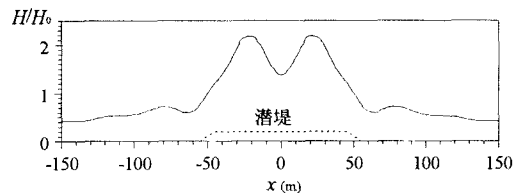


図 5 $y = 40\text{m}$ 断面における波高分布