

東京大学工学部 学生員 塩崎 正孝
 東京大学工学部 正会員 磯部 雅彦
 東京大学工学部 正会員 堀川 清司

1. まえがき

砕波帯付近に構造物を設置すると、波及び流れが変化し、漂砂・拡散現象に影響する。

本実験では、平面水槽を用い、固定床に離岸堤を設置した場合の、水面変動および平均流速場を測定した。また熱膜流速計により測定した流速変動成分より、線形理論を用いて、radiation stressを算定し、考察した。

2. 実験方法

図-1に示すように、20分の1勾配斜面上の幅3.3mの部分に、ガイドウォールを設置し、テストセクションとした。汀線より1.15m沖に、長さ90cm、幅5cmの離岸堤を設置した。周期1秒、換算沖波波形勾配0.022の波をおこし、構造物周辺174の測点で容量式波高計により波形を測定し、波高及び平均水位を求めた。プロペラ流速計により測定した流速を算術平均して、定常流成分を求めた。さらに熱膜流速計により、底面から5mmの位置での流速変動を測定した。

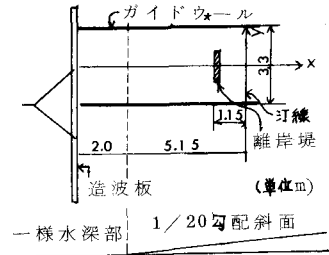


図-1 実験水槽

3. 実験結果及び考察

図-2に示すように、離岸堤前面では、進行波と離岸堤からの反射波のために重複波が生じており、その節・腹に対応して波高の高低がみられる。また回折波の影響も加わり、島状分布もみられる。離岸堤背後では、沖からの進行波が遮蔽されるために、波高が小さくなっており、また、回折波のまわり込みがはっきりと確認できた。回折波の交わりのために、離岸堤中心線付近では、相対的に波高が高くなっている。

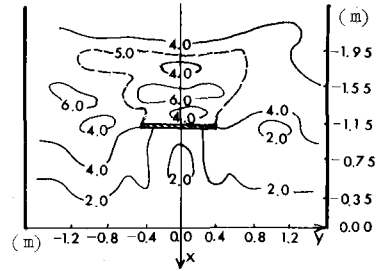


図-2 波高分布 (単位 cm)

図-3より明らかのように、離岸堤背面では、左右にはっきりとした循環流が生じている。離岸堤すぐ前面では、中心線に向かう弱い流れが、また、ガイドウォール付近には、弱い離岸流が見られた。これらは染料によっても確認できた。また流れの影響により、相対流速が場所的に異なっていた。特に離岸堤背面に沿う流れのため、相対的に流速が小さくなっているのが顕著であった。

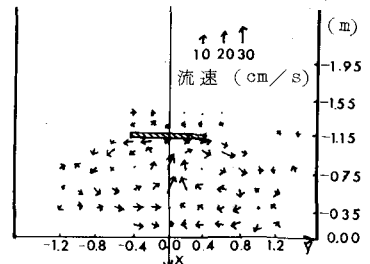


図-3 定常流

図-4は平均水位の変動を示す図である。砕波直前から減少しはじめ、砕波後に急増し、以後漸増している。離岸堤すぐ背面の低下量が小さく、相対的に平均水位が高くなっている。砕波後に平均水位が上昇する部分では、離岸堤背後で上昇量が小さく、相対的に平均水位が低くなっている。離岸堤背後の部分について比較すると、中心線上がやや高くなっている。

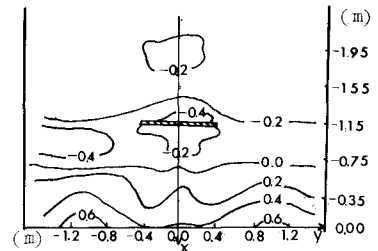


図-4 平均水位 (単位 cm)

radiation stressの算定に際しては、岸沖方向および沿岸方向に直角に検出器を設置した場合の熱膜流速計の出力を位相平均し、さらに

それぞれの方向の流速の絶対値を求めた。次に観察結果および平均流速の測定結果を考慮して符号の判定を行ない、それぞれの方向の流速変動とした。このようにして求めた岸沖方向および沿岸方向底面流速、ならびに位相平均された水面変動をフーリエ級数に展開し、線形理論を用いてそれぞれ任意の水深における岸沖方向、沿岸方向および鉛直方向流速を推定することにより、radiation stressを求めた。実際の計算では線形理論を用いるために、実測底面流速をフーリエ級数に展開した時、高周波成分の伝達関数が非常に大きくなる。このため、測定誤差と考えられる高周波成分が結果を大きく左右することになるので、3項までのフーリエ係数を用いた。これを、線形長波理論を用いて計算したradiation stressと比較してみたところ、ほとんど一致した。

radiation stressの分布に関して、 S_{xx} については図-5のように、重複波の生じているところで大きく、特に離岸堤前面で大きくなっていく。また、砕波直前にやや増加し、砕波後は徐々に減少しており、ほぼ波高分布と同じような傾向になる。

図-6は S_{yy} の分布図であり、流速沿岸方向成分が小さいために、一般的に波高分布とほぼ似かよっている。つまり、 S_{xx} と違って離岸堤前面に高値があらわれている。 S_{yy} に関しては、値については、離岸堤前面及び離岸堤周辺以外では、 S_{xx} 、 S_{yy} に比べ小さくなっており、符号は左右逆になっていた。

次に、現象を誘起する外力としてのradiation stressの勾配と、結果として生ずる平均水位の変動及び流れとの関係について考察を行なう。まず、波及び流速場の基本方程式の各項に、実測値を代入して、オーダーを比較してみたところ、radiation stress S_{xx} 、 S_{yy} の勾配の項と平均水位の変動の項が、他の項に比べ、1オーダー大きいことがわかった。そこで、radiation stressの勾配と平均水位の変動との関係をもてみる。平均水位(図-4)、 S_{xx} および S_{yy} (図-5、図-6)からそれぞれの勾配を模式的に描いたのが図-7である。定性的にはよく合致していることがわかる。ただし砕波後のset-upが始まる点で、radiation stressが減少しはじめる点よりも、若干岸側に寄るのは、砕波直後に波動エネルギーが、乱れのエネルギーに変換され、これがReynolds stressとして、全体の運動量のバランスに寄与しているためと考えられる。さらに定量的に見てみると、 S_{xx} の勾配に関しては、左右離岸堤外が圧倒的に大きく、離岸堤背後で小さくなる。一方、平均水位の変動量については、離岸堤背後で若干小さくなっているものの、ほぼ等しい。したがってこの差を補うように、循環流による底面摩擦力が働いていると考えられる。(今日は、底面摩擦力を定量的に見つめるには到らなかった。)すなわち、平均水位および水深の変化を小さいとすると、平均水位の変動項の回転は0に近くなり、また、底面摩擦力は平均流速に比例するとして、この項の発散は0に近くなる。このことより、radiation stressの勾配の非回転成分および回転成分は、それぞれ平均水位の変動および定常流に起因する底面摩擦力が釣り合っていると考えられる。

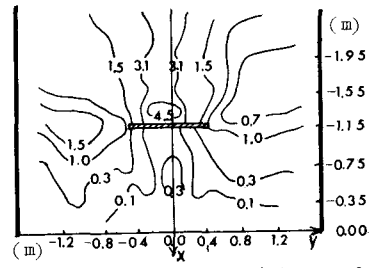


図-5 $S_{xx} / \rho g$ の分布(単位 cm^2)

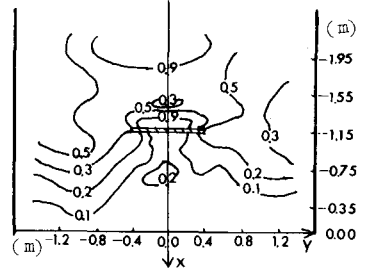


図-6 $S_{yy} / \rho g$ の分布(単位 cm^2)

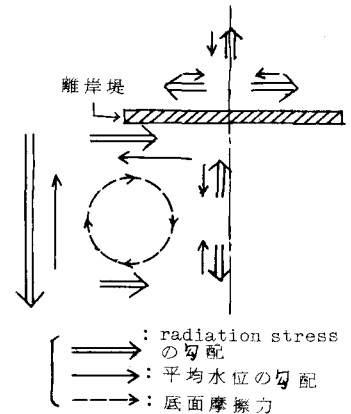


図-7 力学的釣り合いの模式図