

海岸付近の流れのメカニズムに関する実験的検討

田 中 寛 好*・和 田 明**

1. はじめに

漂砂・海浜変形あるいは拡散等海岸環境問題に対処し解決をはかるためには、海岸付近に存在する流れの機構や特性を十分把握しておくことがまず必要となる。その上でそうした知見を数値モデルに適切に反映させ、海岸・海底地形条件、構造物配置条件、波浪条件、沖合流れの条件、温排水や産業廃水の放流条件等を考慮して海岸付近の複雑な流れを精度良く予測しなければならない。

こうしたことに鑑み、筆者等は海浜流に関する研究を実施してきており、先に、水理モデルに基づくきめ細かい計測によって海浜流の発生に寄与する平均水位分布の重要性を明らかにした¹⁾。先の研究で得られた知見から類推すれば、海岸付近に存在する種々の流れに関しても水位分布の果たす役割は重要であると考えられるが、急流河川の場合と異なり、流れのゆるやかな海域で水位差という微小物理量を抽出することは容易ではない。そのため、従来の研究においても、水位分布の定量的な把握やそれが海岸付近の流れの発生に与える影響にポイントを置いて論じたものはほとんど無い。

本研究は、水理実験に基づく平均水位分布の精密な測定によって、海浜変形や温排水拡散と関わる海岸付近の種々の流れの機構や特性を明らかにすることを目的として実施したものである。

2. 実験内容

本研究においては、平均水位の精密な測定に基づき主として以下の項目を実験的に検討した。

1) 突堤や離岸堤設置に伴って生ずる海浜流現象の機構解明、2) 波浪と沖合恒流が共存する際の海浜流の時間空間的な変動機構の解明。

実験に使用した水槽は、長さ 50 m、幅 22.6 m、高さ 1.5 m の平面水槽である。水槽の一端には造波機が設置しており、他端には図-1 に示すような遠浅の海底模型地形が縮尺 1/150 (20 m×14.7 m) で製作されている。な

お、海底地形は底面モルタル仕上げの固定床であり、地形の時間的変化が流れの特性に与える影響は無視して取扱っている。さらに、地形模型の両サイドには恒流発生装置が取り付けられているが、この装置は、モートルポンプを用い水を循環させて水槽側壁部に設けた多孔塩ビ管から給排水することによって沿岸方向の流れを発生するものである。本実験は、海岸付近の流れに関する種々の物理機構を明確に把握する目的で行うことにしているため、波は規則波、沖合の流れは定常流を用いた。しかも、波高については、相似則で換算すると通常の現地のものよりかなり大きめのものも対象としている。

水面波形の測定には電気的相互干渉が無く零点移動のほとんど見られない容量式波高計を用い、海浜流流速は超音波式流速計および比重 1 に調節した浮子を併用して測定した。平均水位は非常に高い精度で把握する必要があるため、計測系のドリフトが全くないことを確認した後、アナログ水位記録の静水面上と静水面下の面積を 1 mm 方眼紙を用いて数え上げ、静水位からの平均水面変位量を求めた。

次章で検討する突堤部近傍域の海浜流挙動に関する実験、離岸堤背後の流れに関する実験 (2 種類)、波と沖合恒流共存時の海浜流変動機構に関する実験、計 4 種類の実験は、図-1 に示す地形模型上それぞれすべて異なる場所で行われている。

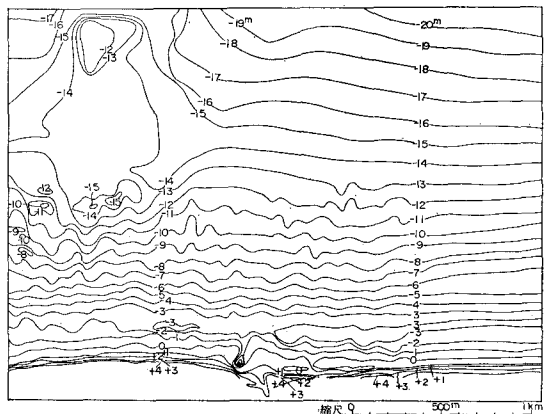


図-1 模型に採用した海域の海底地形

* 正会員 工修 (財)電力中央研究所土木技術研究所 環境水理部海洋環境研究室

** 正会員 工博 (財)電力中央研究所土木技術研究所 環境水理部長

3. 実験結果とその考察

3.1 突堤部近傍域での海浜流の挙動

突堤部近傍域での海浜流の挙動に関し、平均砕波波高 2.1 cm, 周期 2.0 s の規則波を用いて実験を実施した。

上記の波が汀線に対し直角に入射する際の突堤部近傍域における砕波帯内の水位・波高平面分布ならびに海浜流流況パターンを 図-2 に示す。従来の海浜流モデルを用いた数値計算ではこうした突堤付近の沿岸流 (long-shore current) の挙動がうまく説明できないことが示されている²⁾ が、防波堤周辺部の流況を予測する上で沿岸流挙動の機構を解明しておくことはぜひとも必要である。

図-2 の実験結果を見ると、突堤に接する部分ではその少し手前の場所よりも平均水位が若干高い傾向にあり、沿岸流は突堤部まで到達することなく沿岸方向で最も水位の低い場所へ向きを沖に転じていることがわかる。このように、実験結果は、沿岸流の挙動が平均水位分布と密接な関連を有することを示すものである。もう少し詳細に検討すれば、次のように考えられる。

波が突堤部に進入してくると、消波ブロック (実験では砂利を使用) による摩擦効果のため波速が小さくなり、図に示すように突堤部で波峰線が遅れる。そのため、直角入射であっても、特に砕波帯内では突堤に向う方向の水粒子輸送成分が生ずることになる。このことが突堤部に接する部分の水位上昇を大きくしているものと考えられる。波高に関しては、突堤に接する部分の砕波線近傍では消波ブロックによるエネルギー逸散が卓越するため小さくなる。しかし、汀線に近づくとき、エネルギー逸散による波高減衰効果と波峰線の歪みによって生ずる反射に基づく波高増大効果が相殺して突堤に接する部分でも波高は小さくならない。沿岸流は、砕波帯内の波高の大きい場所から小さい場所へ流れるとは限らず、平均水位の高い場所から低い場所へ向う。波峰線の歪みにより波の発散域になる突堤の少し手前の領域の水位が低くなるため沿岸流はそこに流入するが、その後水位の高い突堤部までは達し得ず、向きを沖に変えて砕波帯外へ流出する。

Liu and Mei³⁾ は、防波堤周辺の流れを計算するためその領域の波高分布を詳細に検討した。Radiation stress 項の正確な評価を意図して厳密な波高分布の算定をねらったのであろうが、その算定式自体取扱いが容易な微小振幅波理論に基づいたものであるため、砕波帯内・近傍の現象に適用するには無理があり、上述のような沿岸流の挙動が説明できない。砕波帯内での沿岸流卓越領域では、流れの起因力として、沿岸方向水位差による圧力勾配のみを考慮し、微小振幅波理論に基づく radiation stress

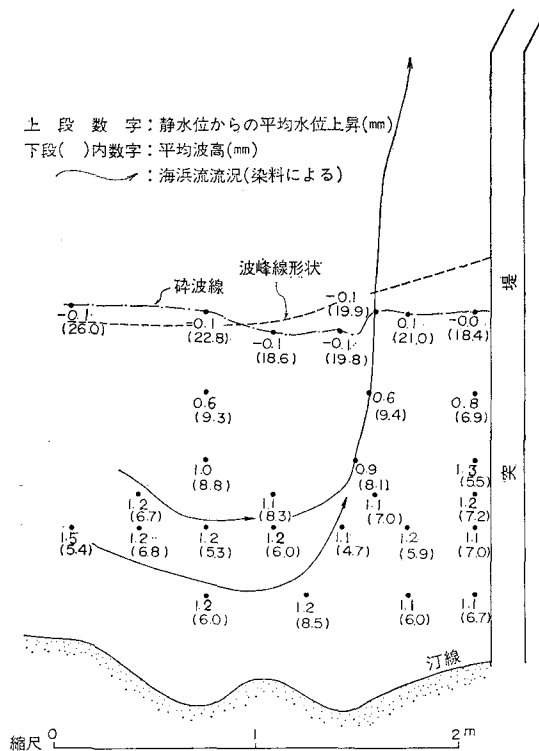


図-2 突堤部近傍域における平均水位・波高分布と海浜流流況パターン

の勾配による沿岸方向力についてはむしろ無視して取扱った方が実現象を良く表現するのではないかと考えられる。また、精度良く流れを計算するためには、防波堤の摩擦効果による波峰線の歪みに関連した現象も数値モデル中に反映させていく必要があろう。

3.2 離岸堤背後の流れ

本節では、砕波帯幅と同程度の長さの単一離岸堤を砕波線近傍に設置した場合を対象とし、離岸堤両側の砕波波高がほぼ同じ場合と異なる場合とについて、その背後域の流れの特性、機構を検討する。実験に用いた波は、平均砕波波高 3.0 cm, 周期 2.5 s および平均砕波波高 3.7 cm, 周期 2.5 s の 2 種類の規則波である。

上記前者の波が離岸堤に対し直角に入射する際の砕波帯内平均水位と海浜流速の平面分布を 図-3 (a), 砕波帯内波高と海浜流速の平面分布を 図-3 (b) に、後者の波が直角に入射する際の砕波帯内平均水位と海浜流速の平面分布を 図-4 (a), 砕波帯内波高と海浜流速の平面分布を 図-4 (b) に示す。離岸堤両端での砕波波高、砕波線位置がほぼ同じである場合には左右一対の海浜循環流が形成されるが、両端での砕波波高、砕波線位置がかなり異なる場合は砕波波高の大きい領域から小さい領域に向う一方向沿岸流が形成されており、波浪条件によって離岸堤背後の海浜流形態は著しく影響を受ける

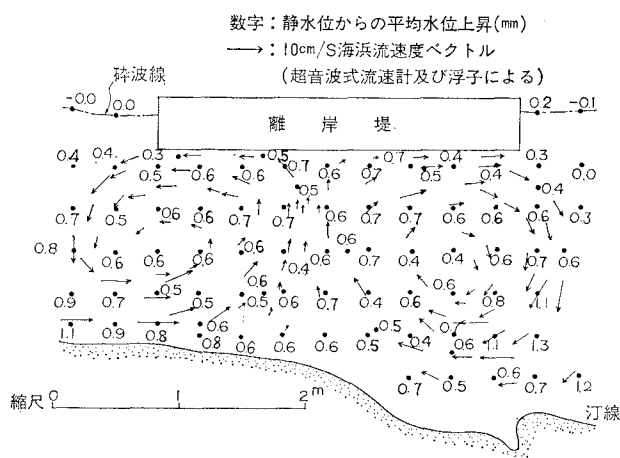


図-3 (a) 離岸堤背後の平均水位と海浜流速の平面分布
(離岸堤両端の砕波波高が同じ場合)

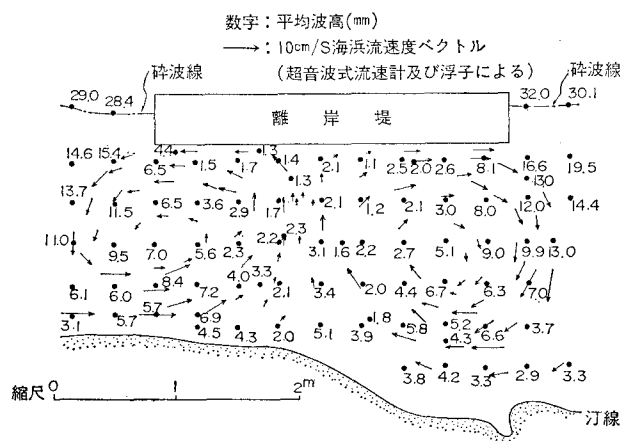


図-3 (b) 離岸堤背後の波高と海浜流速の平面分布
(離岸堤両端の砕波波高が同じ場合)

ことが実験結果により見出された。こうした現象の生成機構を以下でもう少し詳細に検討する。

まず、循環流タイプに注目する。離岸堤の影響を受けない領域では直接波浪の影響を受けるために汀線近傍の set-up が大きくなるが、離岸堤背後域では両端からの回折波のみに依存するため、set-up も小さい。この汀線近傍での大きな水位勾配によって離岸堤中央部に向う沿岸流が誘発される。離岸堤中央部の汀線付近では水位がやや高くなっているため、沿岸流はここまで到達せずさらに水位の低い場所を目ざすため向きを沖に変える。離岸堤中央部付近では、岸沖方向の顕著な水位勾配が見られないものの弱い沖向きの流れが生じている。この流れは、主として汀線近傍で大きな流速を有していた沿岸流の慣性力によるものであらうと考えられる。離岸堤のすぐ背後域では、その中央部に水粒子が流入してくるため、そこでは端部よりも水位が高くなる。したがって、

離岸堤に沿う水位勾配により中央部から端部へ向う流れが形成される。離岸堤の無い部分での岸向きの流れは、砕波後の波による質量輸送であり、水位勾配に基づく流れとは特性を異にする。現地海岸に設置される離岸堤はその背後に砂を堆積させる機能を有しており、この海浜循環流を利用するものである。汀線近くの強い沿岸流によって砂が外部から運搬され、離岸堤中央部の弱い沖向き流れの領域で沈降、堆積するためにトンボロ状の地形が形成されるものと考えられる。波高分布の図面からは、微小振幅波理論に基づく radiation stress の分布と流れとの直接の相関はあまり無いことが推測される。

次に、沿岸流タイプについて検討する。この場合は、沖に向って左側の砕波波高が右側と比べて大きいため、set-up も左側領域の方がかなり大きくなっている。離岸堤背後域に関しては、波高は離岸堤の影響を受け無い両端領域よりも小さいが、水位は平均的に見て両端領域の中位である。離岸堤背後の回折波領域の方が右端の直接波浪の影響を受ける領域よりも水位が高めであるという現象は、左側からの回折効果によりかなり多量の水粒子が背後域に輸送されることを物語るものである。大局的には左から右に向って水位が低くなっており、その方向に沿岸流が形成されている。これは、離岸堤が無い場合に予想される流況と同様である。細かく見れば、離岸堤の右端背後岸近くに水位が周囲より高くなっている場所が存在し、沿岸流はその部分避けるようにして斜めに向きを変えている。こうした局所的な領域においても水位分布は流れに対し強い影響を及ぼしていることがわかる。

3.3 波と沖合恒流が共存する際の海浜流の変動機構

筆者等は先の研究⁴⁾で、波と沖合恒流が共存する際は波のみが作用する場合と比べて海浜流流速変動パワースペクトルの短周期変動成分が大きく、そうした場に温排水を放流した際拡散パターンの時間的変動が顕著となることを示した。今回の実験では、海浜流の時空間的変動の直接要因を検討するため、平均砕波波高 8.0 mm (原型で 1.2 m)、周期 0.83 s (原型で 10.2 s) の規則波と平均流速 4 cm/s (原型で 50 cm/s) の沖合恒流を発生させた。このように、波浪および恒流条件としては現地で十分起り得るものを採用した。

沿岸流の方向が時間的に逆転する砕波線近傍の場所を選び、その沿岸流領域の 3 測点における時間波形の変化例を図-5 に示す。沿岸流が存在しない時間帯では 3 測点の平均水位はほぼ等しく、沿岸流が C から A に向って

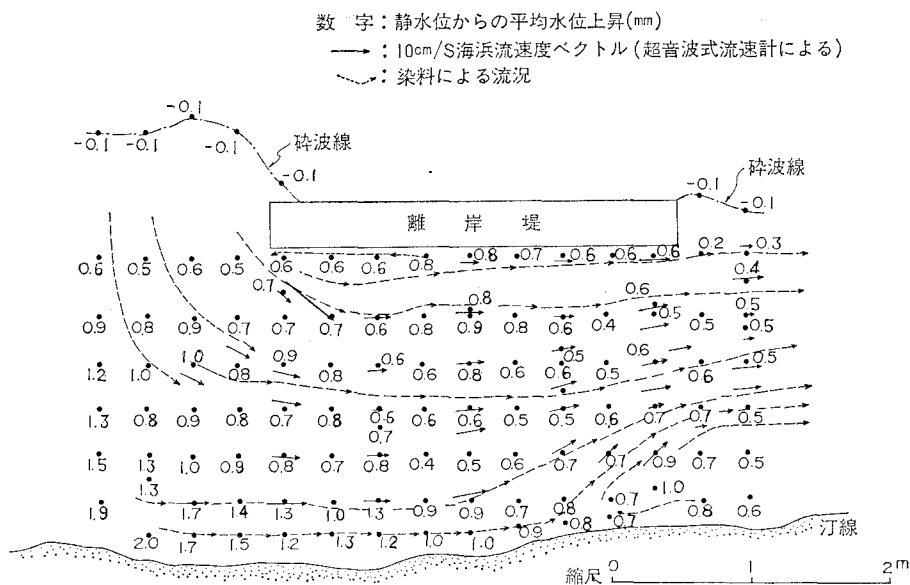


図-4 (a) 離岸堤背後の平均水位と海浜流速の平面分布
 (離岸堤両端の碎波波高が異なる場合)

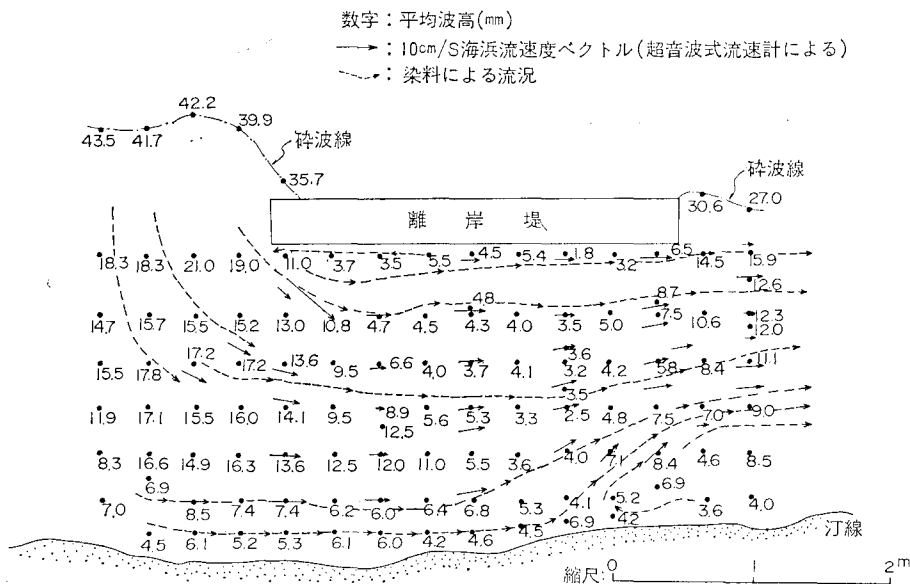


図-4 (b) 離岸堤背後の波高と海浜流速の平面分布
 (離岸堤両端の碎波波高が異なる場合)

いる時間帯では平均水位はC点が高く、A点が最も低くなっている。逆にAからCに流れている時間帯では水位の関係も逆転し、A、B、Cの順に低くなっている。実験結果より海浜流の時空間的変動の直接要因は平均水位分布の時空間的変動であることが明らかとなった。

ゆえに海浜流の変動機構は以下のように考えられる。

砕波帯外において波と恒流とが相互干渉すると、波と流れのエネルギーバランスが時々刻々変化するために空間波形が時間的に変化することになる。砕波帯外の波形が変化すれば砕波波形や砕波帯内の波形も変化することになり、それに応じて平均水位分布も時間的に変化する。その結果、海浜流の時空間的変動が生ずるのである。

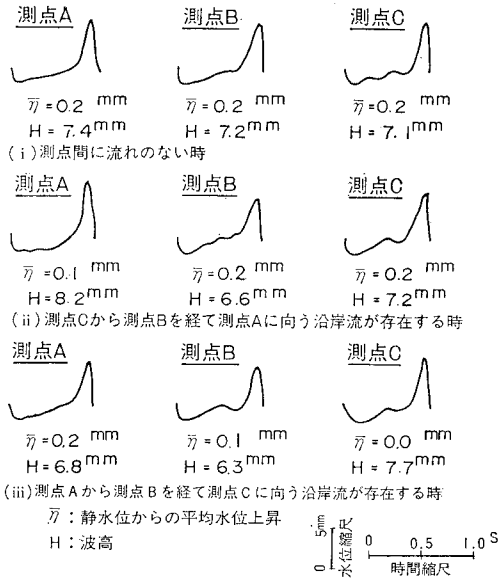


図-5 波と沖合恒流共存時の沿岸流領域3測点における時間波形の変化の一例

4. 結 語

波による質量輸送等を除けば、突堤付近や離岸堤背後の海浜流の挙動、波と沖合恒流が共存する際の海浜流の変動機構いずれにおいても平均水位平面分布が支配的な要因となっていることが精密な実験計測によって明らかとなった。

今後は、現象論的な検討からさらににつこんで理論的な考察をすすめる必要があり、海岸付近の種々の流れが予測できる数値モデルの展開を目指す予定である。

参 考 文 献

- 1) 田中寛好・和田 明: 海浜流の発生機構に関する実験的研究, 第 27 回海講論文集, pp. 153~157, 1980.
- 2) 丸山康樹・鹿島遼一: 防波堤周辺の流れの実験と数値 Simulation, 第 25 回海講論文集, pp. 470~474, 1978.
- 3) Liu, P. L. F. and C. C. Mei: Effects of a breakwater on nearshore currents due to breaking waves, Tech. Rep. 192, R.M. Parsons Lab., Mass. Inst. of Technol. Cambridge, 1974.
- 4) 田中寛好・和田 明・小森修蔵・竹内 出: 拡散に影響を及ぼす海浜流の特性, 第 26 回海講論文集, pp. 504~508, 1979.