

砕波帯内における掃流漂砂の挙動について

榎 木 享*・出口 一郎**

1. 緒 言

海岸侵食あるいは港湾埋没の防止といった漂砂制御の問題、あるいは海中構造物建設にともなう隣接海岸の海浜変形予測といった問題に対して、最近では現象を単純化した数値モデルによる予測法が実用化されつつあり、著者らもその一例を第 23 回海岸工学講演会¹⁾に発表した。しかしながらこれらの計算においてその多くが現象をモデル化する際に、汀線に直角方向に移動するいわゆる縦漂砂は季節的な海底地形変動には寄与するが数年間にわたって残留するような地形変動には寄与しないといった仮定を設けたり、あるいは海底地形の変化に対して一次元モデルが成立するといった仮定に基づいたものである。これらの仮定は地形変化が全くの平衡状態に達した後かあるいは数力年といった長期間にわたった平均的な地形変化に対してのみ成立するもので通常の海岸においてかならずしも成立するものではない。一方縦漂砂のみによって生ずる二次元的な海底断面変化については Eagleson ら²⁾ および Swart³⁾ によって地形変化が平衡状態に達した断面形状を解析的に求める方法が提案され、また実験的にも数多くの研究者によって多数の研究結果が発表されているがそれらの結果を平面的な海底地形変化にそのまま適用するには多くの問題点が残されている。

そこで著者らは波浪とそれによる沿岸流が存在する状態における沿岸漂砂量および縦漂砂量の汀線に直角方向分布形状とその時間変化を明らかにすることにより従来得られている二次元海底断面形状に関する研究成果の三次元海底断面地形への適用の可否を検討するとともに、さらに精度の高い海浜変形の数値モデルを作るための基礎資料を得ることに努めた。本論文は、まず掃流形式で移動する漂砂のみに着目し、移動方向別の漂砂量測定装置を製作し移動床模型実験によって沿岸漂砂量および縦漂砂量の汀線に直角方向分布形状について検討を加えたものである。

2. 漂砂量測定装置および解析方法

従来、沿岸漂砂量の算定においては入射波浪が砕波点においてもつエネルギーの汀線に平行方向成分と結びつけられたりあるいは波浪によって生ずる沿岸流の流速を河川の流砂量公式に用いることによって評価されてきた。最近になって Thornton⁴⁾ は沿岸漂砂量の汀線に直角方向分布に対し理論的な評価を与えているが、その論文においてもやはり縦漂砂は無視されている。また縦漂砂については二次元移動床における砕波点より沖側の乱れの少ない領域に対して石原・榎木⁵⁾ の層流境界層および Du Boys の流砂量公式に基づく理論式、あるいは Vincent その他によるいくつかの実験公式が提案されているが、砕波帯内における縦漂砂の分布については岩垣・斐ら⁶⁾ によって二次元移動床実験から得られた地形断面変化量から求められた実験結果およびその他 2, 3 の実測結果が報告されているにすぎない。従来地形変動を考える場合理解し易いように漂砂を汀線に平行および直角方向の移動量として分離して考えているが、しかしながら波とそれによる沿岸流が存在している状態における底質の移動は決して汀線に平行および直角方向に独立に移動するものではなく、それぞれ独立に評価することはできない。底質の移動の様子を移動方向も含めて正確に把握するには一個の底質粒子を Lagrange 的に追跡すればよいわけであるが、そういった方法は計測技術の関係上目下のところ実験室においても不可能である。そこで著者らは、Euler 的に移動方向別の底質移動量を測定する装置を考案した。図-1 に装置の概略を示す。採砂装置は内径 9.96 cm、高さ 5 cm および内径 7.06 cm、高さ 3 cm の内部が 4 分割された塩ビ製円筒である。これらを図-1(b) に示すようにその上端が海底面と同一平面になるように埋設し底質の移動量を測定する。ここで底質の移動のしかたについて考えてみると、砕波点以深の底質は波浪のみの影響をうけ、ほぼ波による水粒子運動の方向と同じ方向の運動をする。一方砕波点以浅では波浪と沿岸流の合成された外力をうけ、汀線付近においてはいわゆる saw tooth movement と言われるような運動を行なう。このように底質移動方向および移動量は

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 大阪大学助手 工学部土木工学科

方向に移動するときの移動方向 θ_2 は碎波点まではほぼ波向 θ と一致しているが、水深が浅くなり沿岸流の流速が増加するにつれて沿岸流の流向の方向にふれる。特に θ_2 は θ_1 と方向が逆転し底質はジグザグ状の運動を行ない、その状態が汀線付近まで続き、汀線におけるいわゆる saw tooth movement と言われる底質の運動の様子が明確にとらえられている。また図-2 (a) および (b) から明らかなように沿岸流の流速が最大になる地点と沿岸漂砂量 q_x が最大となる地点は一致していない。

以上において $\theta_0=30^\circ$, $H_0/L_0=0.023$ の場合について検討を加えたが、 $\theta_0=30^\circ$ の他の2つのケース ($H_0/L_0=0.042$ および 0.063) とともに $H_0/L_0=0.023$ の場合同様の傾向を示している。なお、 $\theta_0=15^\circ$ の場合は汀線方向に安定したような沿岸流が生ぜず離岸流等の複雑な海浜流を生じたので以後は沿岸流の卓越する場合として $\theta_0=30^\circ$ の場合のみをとりあげて考察を進める。

(1) 沿岸漂砂量の分布について

ここで沿岸漂砂量分布について考えてみる。前述の Thronton は平行な等深線をもち平衡状態にある海岸においては、波動は単に底質を動かす状態にするだけの作用をし、底質の net-transport は沿岸流のみによると考えた。そして底質の移動速度は沿岸流による底部摩擦速度に比例し、碎波帯内における底質移動に寄与するエネルギーは底部摩擦と碎波によるエネルギー逸散量を合わせた全エネルギー逸散量に比例すると考えて沿岸漂砂量 q_x の汀線に直角方向 (y 方向) 分布に対して以下に示す関係を与えている。

$$q_x(y) = \frac{-1}{g(1-\rho/\rho_s)} \left(B_s \cdot \sqrt{\frac{U}{u_m}} \right) \cdot \frac{\partial E \cdot C_g}{\partial y} \quad (2)$$

ここに、 $q_x(y)$: 汀線から距離 y における単位時間・単位長さ当たりの沿岸漂砂量、 u_m : 波動による底部最大水粒子速度、 ρ , ρ_s : 水および底質の密度、 U : 沿岸流速、 E : 単位面積当りの波のエネルギー、 C_g : 群速

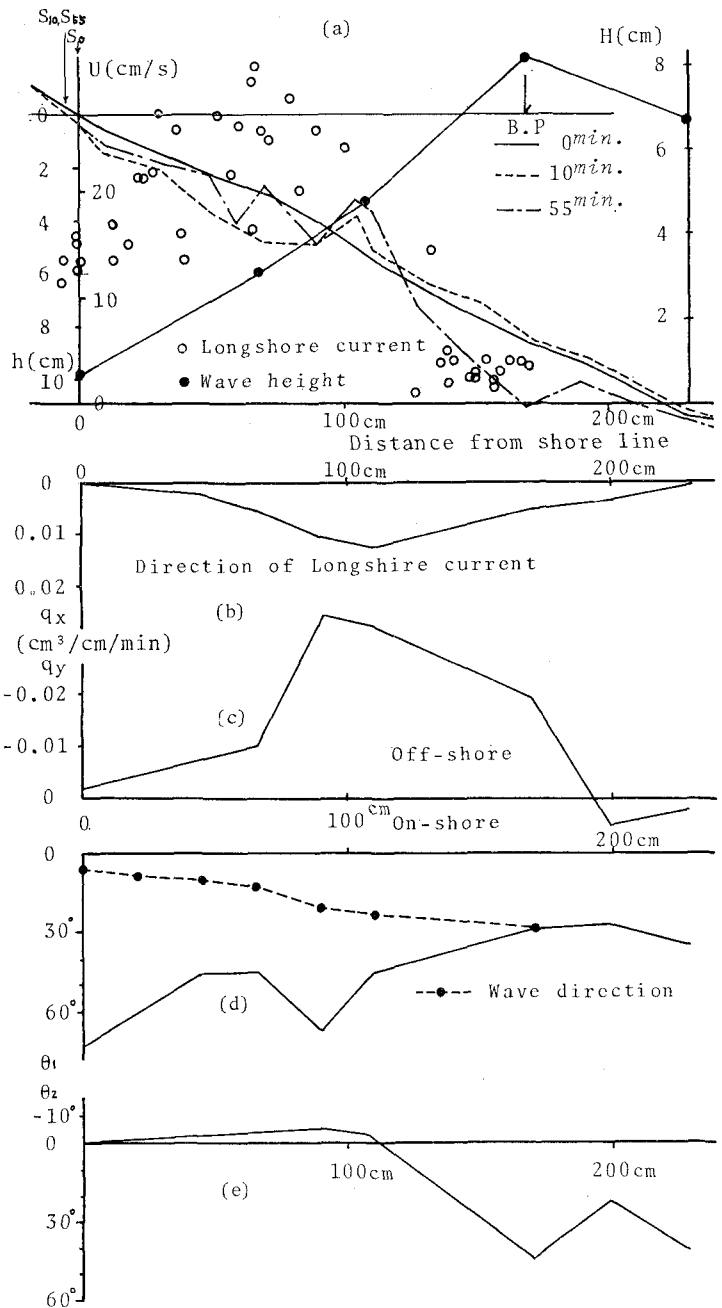


図-2

度、 B_s : 比例定数である。そして碎波後の波高、群速度、沿岸流速に対しては以下に示す (3)~(5) 式を用いている。

$$H = kh \quad (3)$$

$$C_g = C = \sqrt{g(1+k)h} \quad (4)$$

$$U = -\frac{5}{8} \frac{\pi k}{f_w} \left(1 - \frac{k^2}{8(1+k)} \right) \cdot C_b \cdot \sin \theta_b \cdot \cos \theta_b \times \frac{h}{h_b} \frac{\partial h}{\partial y} \quad (5)$$

ここに、 h :水深、 f_w :底部摩擦係数、で添字 b は砕波点における諸量を表わす。

先に著者らの移動床実験においては、砕波点以浅の底質は Thornton が仮定したように汀線に平行方向（沿岸流の流向の方向）のみの運動をするのではなく、鋸歯状の運動をすることを指摘した。しかしながらジグザグ運動している底質の汀線に平行方向の時間平均した移動速度が、波動と沿岸流による全底部せん断力に基づく摩擦速度の時間平均値（これは $\sqrt{f_w u_m^2}$ に比例すると考えられる）と全底部せん断力の汀線に平行方向成分に基づく摩擦速度（これは $\sqrt{f_w \cdot U \cdot u_m}$ に比例すると考えられる）の比 $(U/u_m)^{1/2}$ で表わされ、砕波帯で失われるエネルギーに比例したエネルギーが底質移動によって消費されるとすると、著者らの実験結果に対しても (2) 式は適用できる。そこで著者らの実験で得られた沿岸漂砂量分布と (2) 式から計算される沿岸漂砂量分布の関係について検討してみた。このとき (3)~(5) 式中の比例定数 k および (5) 式中の f_w の値が明らかではないので (2) 式の計算にあたっては実験によって得られた砕波後の波高、波速および沿岸流の流速を用いることにした。 $\theta_0 = 30^\circ$, $H_0/L_0 = 0.023$, 0.042 , 0.063 の場合の実験で得られた波高、波速、沿岸流流速を 図-3 (a)~(c) に示す。なお、それぞれの図中には計算に使用した値を実線・破線・一点鎖線で示してある。これらの値を (2) 式に用いて計算した結果と造波開始直後に得られた沿岸漂砂量との比較を 図-4 (a)~(c) に示す。これらの図から明らかなように沿岸漂砂量分布の実験値と計算値はほぼよい一致を示し、分布形状において最大値をとる水深はほとんど一致している。このことより砕波帯内の沿岸漂砂量は U/u_m および $\partial(E \cdot C_q)/\partial y$ によって決定されるといふ Thornton の考え方の妥当性が

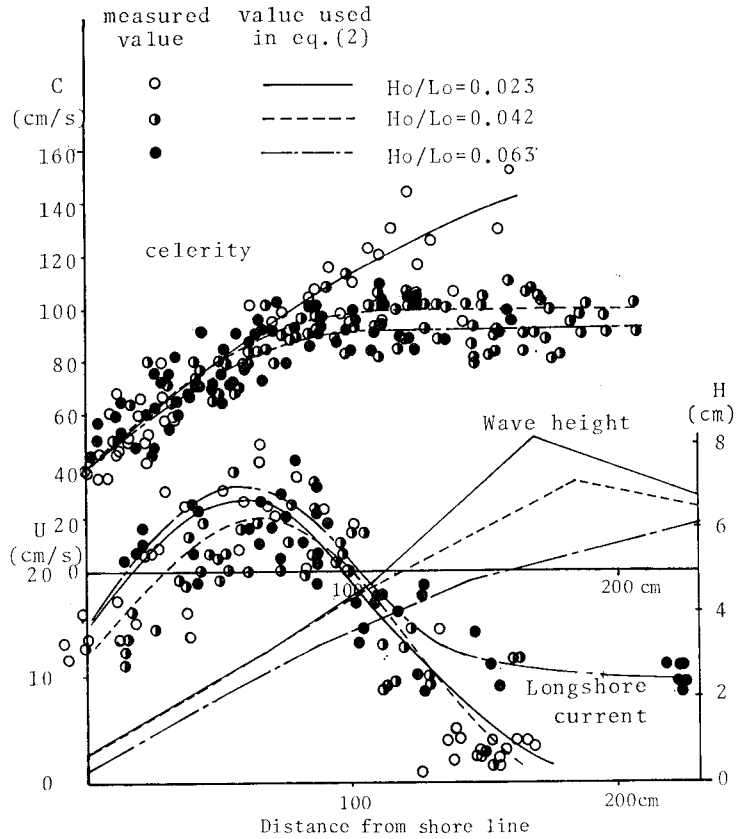


図-3

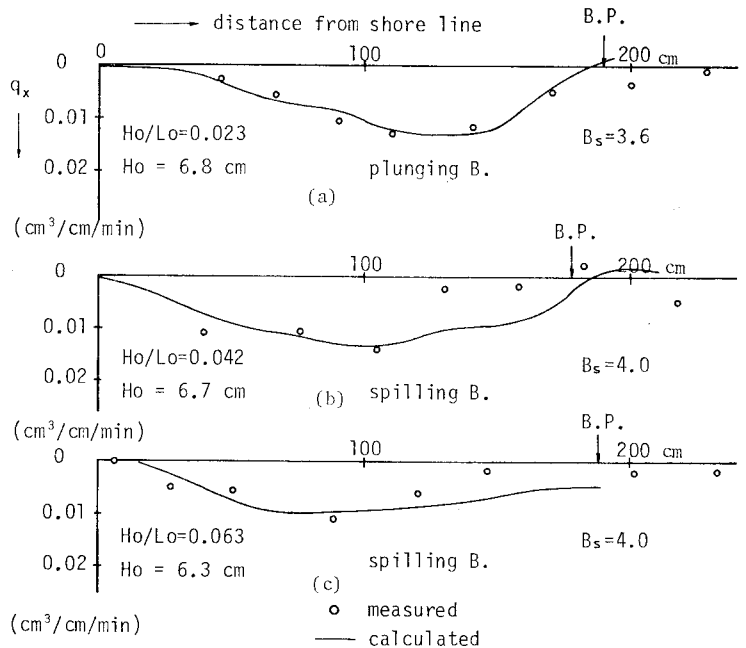


図-4

検証された。しかし Spilling type の砕波をする 図-4 (b), (c) の $H_0/L_0=0.042$ および 0.063 の場合は q_x が最大となる水深に深において実測された漂砂量よりも計算結果の方が若干大きな値を示しているが、これは砕波形の差異によるものと考えられるけれども砕波形の差異にともなう沿岸漂波量分布の差異については今後検討しなければならない。なお (2) 式における比例定数 B_s は $H_0/L_0=0.023$ の場合は 3.6 , $H_0/L_0=0.042$ および 0.063 の場合は 4.0 とほぼ同じ値を用いているが実際の海岸にこの比例定数が適用できるかどうかさらに検討していきたい。

(2) 縦漂砂量の分布について

次に縦漂砂については 図-2 (c) に示すようにその分布形においてピークを示す水深は沿岸漂砂のピークと一致しており、造波開始直後においては分布形状も類似した形を示す。また分布形状における両者の最大値の比 q_{ym}/q_{xm} は $H_0/L_0=0.063$ の場合は 1.8 , $H_0/L_0=0.042$, 0.063 の場合はほぼ 3.0 と縦漂砂が卓越しているが造波時間の増加とともに地形変化が進行しバーが形成されるにつれて q_x , q_y とも海底地形に対応した凸凹のある分布形状(トラフで小さくなりバーの沖側斜面でピークを生ずる)を示し、造波開始後 55 分では q_{ym}/q_{xm} の値も $H_0/L_0=0.023$ の場合は 1.6 , $H_0/L_0=0.042$ の場合は 0.6 , $H_0/L_0=0.063$ の場合は 1.2 と減少していく。したがって三次元海浜地形が平衡状態に近づくにつれて沿岸漂砂量と縦漂砂量の比はほぼ同程度の移動を示すよ

うになると思われる。

5. 結 語

著者らが考案した移動方向別の漂砂量測定装置を用い移動床実験において沿岸漂砂量および縦漂砂量の計測を行ない、造波開始直後の沿岸漂砂量分布は Thornton によって導かれた漂砂量分布と一致することを示した。しかし今回の実験では時間的变化の激しい縦漂砂量分布の力学的なメカニズム、および沿岸漂砂量の時間的变化は明らかにはできず、今後さらに波浪と沿岸流が存在する場のそれぞれによる底部摩擦と漂砂移動との関係と共に究明していくつもりである。

参 考 文 献

- 1) 榎木 亨・出口一郎: 海浜変形の予測に関する基礎的研究, 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 216~221, 1976.
- 2) Eagleson, P. S. and Dean, R. G.: Wave induced motion of bottom sediment particles, Proc. ASCE. HY. 10, pp. 53~80, 1959.
- 3) Swart, P. H.: Schematization of on shore-offshore transport, Proc. 14th conf. Coastal Eng., pp. 884~900, 1974.
- 4) Thornton, E. B.: Distribution of sediment transport across the surf zone, Proc. 13th conf. Coastal Eng., pp. 1049~1068, 1972.
- 5) 岩垣雄一・妻 義光・宮脇清文: 海底断面形状と漂砂量分布の関係について, 第31回年次学術講演会, 1976.