

浅海域の岸沖漂砂量に関する実験的研究

砂 村 継 夫*

1. はじめに

浅海域における地形変化の予測を行うためには精度の高い漂砂量算定式が必要である。しかし、現在までのところ実用に耐えるに十分な、しかも一般化された算定式は実験室という単純な条件下ですら得られていない。この原因の一つは、高い精度をもつ漂砂量測定が非常に困難なことにある。本研究では、従来の測定法に比べて精度のよい新しい測定法を開発し、浅海域の水平移動床上での漂砂量をこの方法で測定し、砕波水深以深の浅海域に適用できるような漂砂量算定式を求めることを試みた。

2. 漂砂量測定法ならびに実験条件

実験室で従来用いられたことのある漂砂量測定法には(1)トラップあるいは捕砂器を設置する方法、(2)地形変化から求める方法、(3)浮遊砂濃度から推定する方法、(4)砂れんの動きから推定する方法などがあるが、いずれも精度の面で問題がある。そこで本研究では以下に詳述するような新しい測定法を開発した。

2 次元造波水路 (長さ 12m, 高さ 0.4m, 幅 0.2m) の中にかさ上げた水平部を作り、その一部を切込み、底質を入れるトレイを設けた (図-1)。トレイの拡大図を図-2 に示す。剝離渦の発生を防止する目的で、トレイの岸側および沖側端は曲面で作られている。トレイ中央の突起は油粘土製で、トレイを二等分するための仕切

板を容易に差込むことができる。仕切板は厚さ 0.5mm のステンレス鋼で、水路上端に固定されている昇降機の先端にとりつけられている。

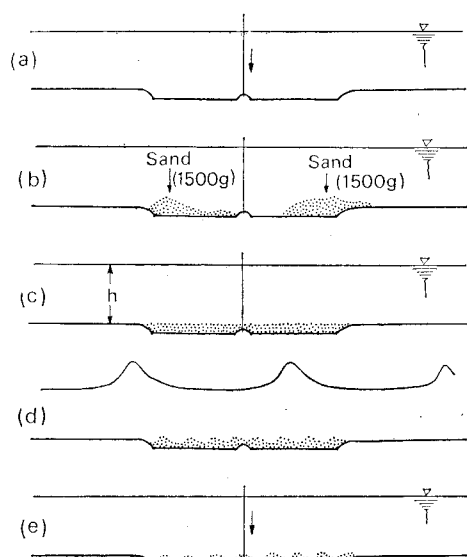


図-3 漂砂量測定順序

まず仕切板を降ろしトレイ中央の突起に差込む (図-3 (a))。二等分されたトレイに、それぞれ 1500g の底質を入れて (図-3 (b))、水平にならず (図-3 (c))。波を作用させた時に、砂れんが発生するケースでは (与えられた実験条件で砂れんが発生するかどうかは予備実験によって明らかにしておく)、砂れんの発達を促進するためトレイの中央から両側へそれぞれ 4~5cm 離れた砂面に比高 1cm 程度の切込みを (波の進行方向と直角に) 人工的に入れた後で、仕切板を静かに上昇させる。一定時間 (実験条件により異なり 10~90 分) 波を作用 (図-3 (d)) させた後で、再び仕切板を中央にセットし (図-3 (e))、二分された底質をそれぞれ別の容器に採集する。これら二つのサンプルを 110°C で 24 時間乾燥させた後に、質量を測り、それらの差を求める。この差を水中体積に換算し、さらに単位幅・単位時間あたりの値になおしたものを net の漂砂量 Q とする。なお正の値は岸向きを示す。

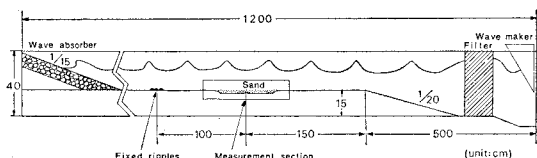


図-1 実験装置

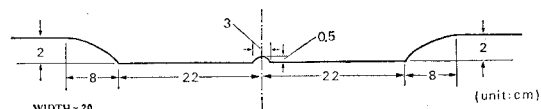


図-2 漂砂量測定部 (トレイ)

* 正会員 工博 筑波大学助教授 地球科学系

実験に用いた4種類の底質は、いずれも粒径のそろった砂で、平均粒径 D と標準偏差 σ は次の通りである:
 (1) $D=0.023$ cm, $\sigma=0.0046$ cm; (2) $D=0.041$ cm, $\sigma=0.0041$ cm; (3) $D=0.079$ cm, $\sigma=0.0055$ cm; (4) $D=0.13$ cm, $\sigma=0.011$ cm. 測定部での水深 h (図-3(c))は10および15 cmの2種類とし、波の周期は0.8, 1.2, 1.6, 2.0 および 2.4 secの5種類とした。底質粒径、水深および周期を一定に保ち、波高を適宜変化させて141ケースの実験を行った。波高は容量式波高計を用いてトレイ中央で測定された。なお Healy の方法で求めた反射率は $h=10$ cm のケースでは4~9%, $h=15$ cm のケースでは3~5%であった。

図-1に示されている、トレイから岸側1 mのところの固定砂れんは油粘土で作られており、波長約4.5 cm, 波高0.8 cmで岸側に急斜面をもつ3列の非対称砂れんである。これは、トレイから出て岸へ移動する底質をここで捕えるために作られたものである。

3. 漂砂量算定式

浅海波の水粒子速度は、波の峯が通過したときに大きく(岸向き)、谷が通ったときに小さい(沖向き)。このような流速場の非対称性が底質移動に大きな影響を与えることは明らかである。浅海域の漂砂問題を解くためには、この非対称性を表わすパラメータを導入する必要がある。このパラメータとして渡辺¹⁾は平均水面上の波頂高と波高の比をとっており、Sunamura^{2),3)}は次式のUrsell 数を用いている。

$$U = HL^2/h^3 \dots\dots\dots(1)$$

ここに H および L は水深 h における波高および波長である。本研究においても、底面付近の流速場の非対称性のパラメータとして式(1)の U を用いることにする。

振動流による砂移動量の定式化の試みは、シールズ数を用いた Madsen・Grant の研究⁴⁾以来、シールズ数あるいはこれに類似したパラメータを用いて多数行われてきている^{5)~12)}。最近、Hallermeier¹³⁾は次式で与えられるパラメータを用いて既往のデータを整理し良好な結果を得ている。そこで本研究でも、このパラメータを用いることにする。

$$\phi = (d_0 \omega)^2 / \gamma' g D \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $d_0 = H / \sinh(2\pi h / L)$, $\omega = 2\pi / T$, $\gamma' = (\rho_s - \rho) / \rho$, T は波の周期, ρ_s および ρ は底質および水の密度で、

砂の場合には $\gamma' \approx 1.65$ である。

まず底質の net の移動方向を調べるために、本実験で得られたデータ¹⁴⁾を二つのパラメータ, U と ϕ , を用いて整理した結果を図-4に示す。図中の×印は底質移動がなかったケース(わずかに移動するが、実測漂砂量に有意な結果をもたらさなかったケースも、これに含まれる)、白抜きの記号は岸向き、黒の記号は沖向きを示す。

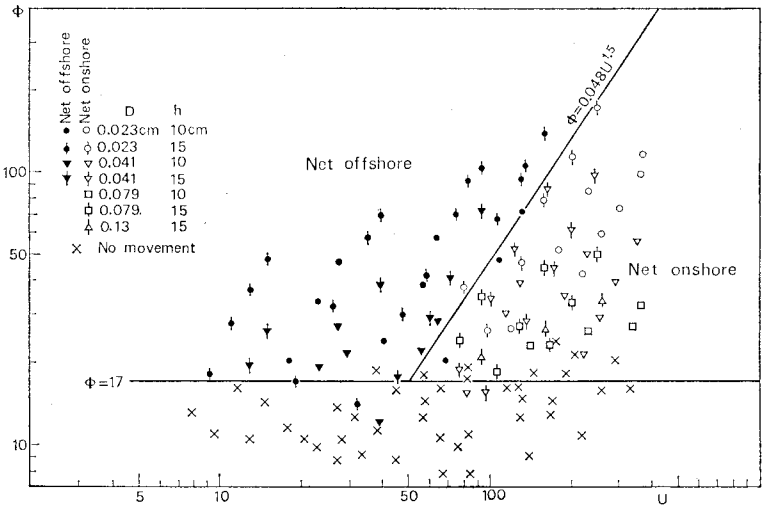


図-4 漂砂の方向

この図より、底質の移動限界(Sediment threshold)は、かなりデータのバラツキはあるが、 U に関係なく

$$\phi = 17 \dots\dots\dots(3)$$

とおくことができよう。

図-4から、 $U \leq 50$ の領域では岸向き漂砂は存在せず $\phi > 17$ で沖向き漂砂となることがわかる。一方、 $U > 50$ の領域では

$$\phi = 0.048U^{1.5} \dots\dots\dots(4)$$

の直線を境にして漂砂の移動方向が明瞭に区分される。すなわち $17 < \phi \leq 0.048U^{1.5}$ では岸向き、 $\phi > 0.048U^{1.5}$ では沖向きとなる。

底質の粒径 D と沈降速度 w とを用いた無次元漂砂量 Q/wD の値を図-4中のデータ・ポイントのわきにプロットしてみると、一定の U に対して Q/wD が ϕ の関数として表現できることがわかった(図が非常に繁雑になり見にくくなるので、この図には Q/wD の値を書き入れていない)。この関数形を見出すために、適当な大きさと区分された U の値ごとに Q/wD と ϕ との関係をプロットしたものが図-5(a)~(c)である。図中のパラメータは U の値である。 $U \leq 50$ (図-5(a))に対する Q/wD と ϕ の関係は、式(3)を考慮して、次式のように仮定する。

$$\frac{Q}{wD} = \begin{cases} 0 & \text{for } \phi \leq 17 \\ -A(\phi - 17)^2 & \text{for } \phi > 17 \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

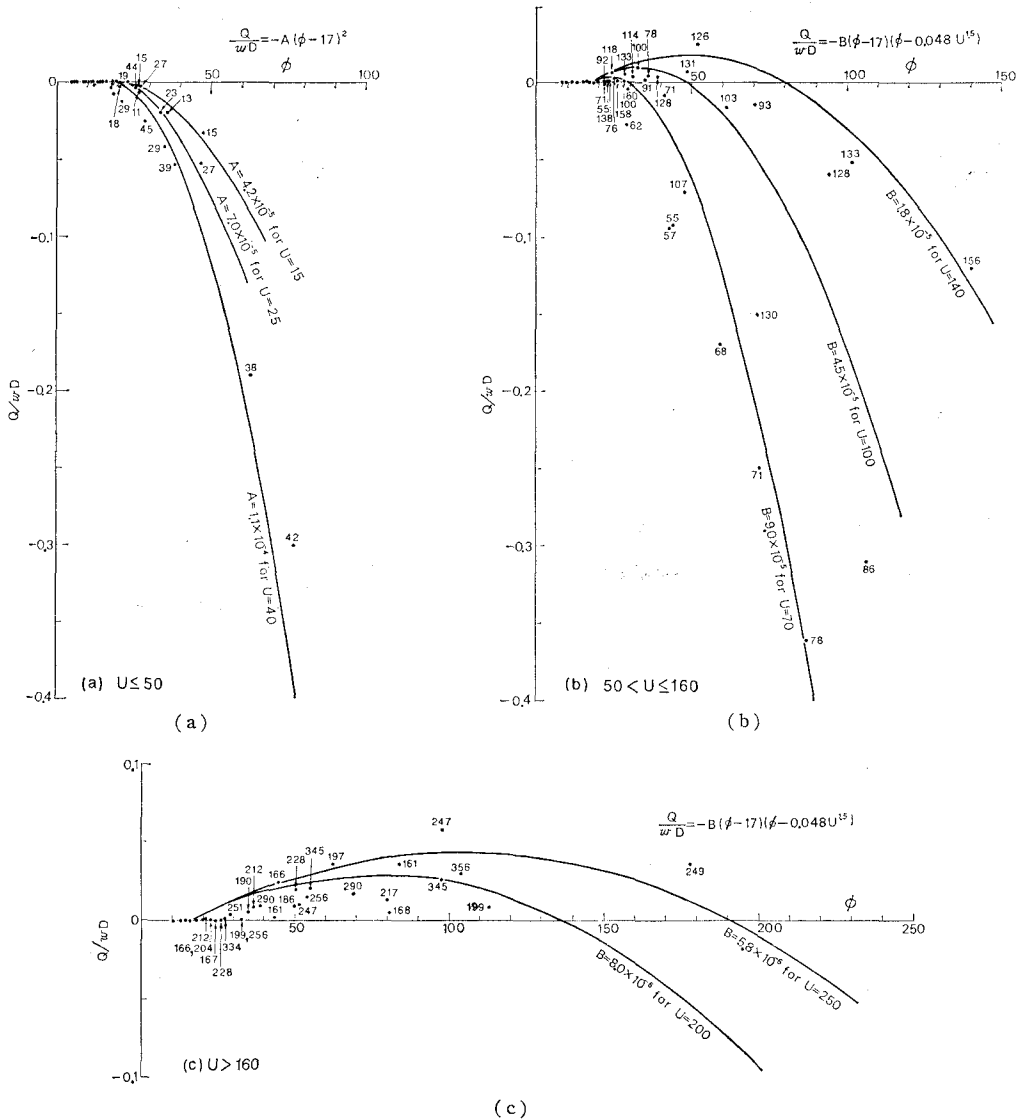


図-5 Q/wD と ϕ の関係 (パラメータは U の値を示す。ただし $\phi \leq 20$ にプロットされたデータには、図が見にくくなるので、 U の値を付していない。)

ここに A は U の関数である。一定の U に対して、この式が実測データに fit するように A の値を決定して描いた曲線が図中に示されている。このようにして求められた A と U の関係は

$$\left. \begin{aligned} A &= 4.2 \times 10^{-5} & \text{for } U &= 15 \\ A &= 7.0 \times 10^{-5} & \text{for } U &= 25 \\ A &= 1.1 \times 10^{-4} & \text{for } U &= 40 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

一方、 $U > 50$ (図-5 (b), (c)) に対しては、式 (3) と (4) を考慮して次の関数形を仮定する。

$$\frac{Q}{wD} = \begin{cases} 0 & \text{for } \phi \leq 17 \\ -B(\phi - 17)(\phi - 0.048U^{1.5}) & \text{for } \phi > 17 \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

ここに B は U の関数である。前と同様に、一定の U

に対してこの式がデータに fit するように B の値と決定して描いた曲線が図中に示されており、 B と U の関係は

$$\left. \begin{aligned} B &= 9.0 \times 10^{-5} & \text{for } U &= 70 \\ B &= 4.5 \times 10^{-5} & \text{for } U &= 100 \\ B &= 1.8 \times 10^{-5} & \text{for } U &= 140 \\ B &= 8.0 \times 10^{-6} & \text{for } U &= 200 \\ B &= 5.8 \times 10^{-6} & \text{for } U &= 250 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

次に A と U (式 (6)) および B と U (式 (8)) の関係をプロットしたものが図-6 である。図中の二つの直線は、それぞれのグループのデータ・ポイントをもとにして、 $U = 50$ の直線上で交わるように引かれている。二つの関係は

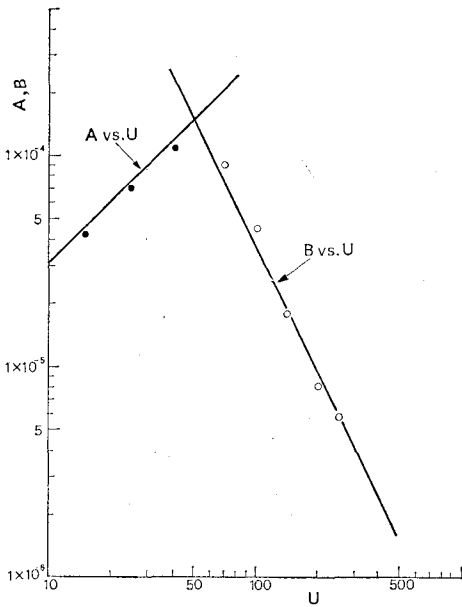


図-6 U と A ならびに B との関係

$$\left. \begin{aligned} A &= 3.00 \times 10^{-6} U \\ B &= 3.75 \times 10^{-1} U^{-2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

したがって無次元漂砂量 Q/wD は、式 (5), (7), (9) より ϕ と U の関数として次のように与えられる。

$$\frac{Q}{wD} = \begin{cases} 0 & \text{for } \phi \leq 17 \\ -3.00 \times 10^{-6} U (\phi - 17)^2 & \text{for } \phi > 17, U \leq 50 \\ -3.75 \times 10^{-1} U^{-2} (\phi - 17) (\phi - 0.048 U^{1.6}) & \text{for } \phi > 17, U > 50 \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

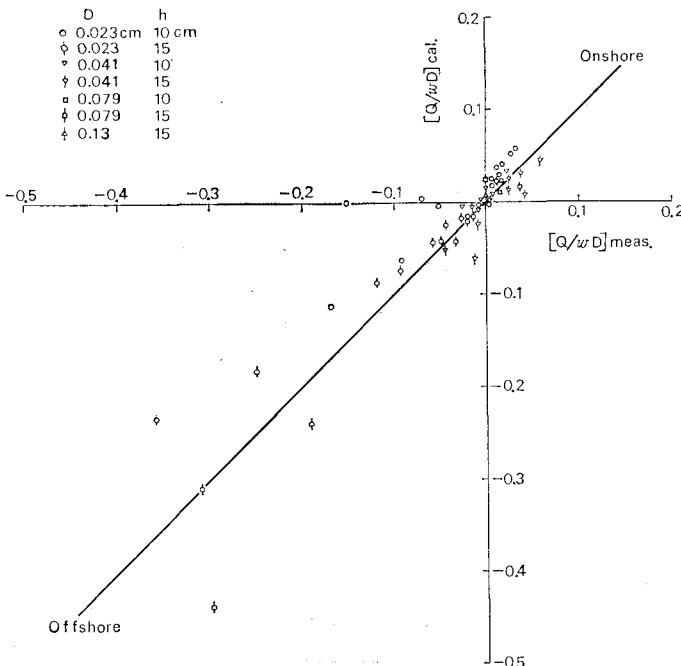


図-7 式 (10) による計算値と実測値との相関

式 (10) の適合性を確認するために、この式による計算値と実測値とをプロットしたものが図-7である。かなり点のバラツキが見られるが、全体的には両者の間に良好な相関がある。

4. おわりに

新しい漂砂量測定法を用いて得られたデータにもとづき、浅海域に適用可能な一般化された漂砂量算定式 (式 (10)) を求めた。波高、周期、水深、底質粒径が与えられれば、この式により net の漂砂量のみならず移動方向も同時に計算することができる。

最後に、本研究は文部省科学研究費 (自然災害特別研究、研究代表者: 尾崎 晃北大教授) ならびに財団法人 鹿島学術振興財団研究助成金 (研究代表者: 西村仁嗣筑大助教授) を受けて行われたものである。実験を行うにあたり、筑波大学自然科学類学生松井宏司君ならびに土田理君の熱心な協力を得た。また同大学小崎四郎技官には図面のトレースをお願いした。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 渡辺 晃・利穂吉彦・堀川清司: 二次元海浜変形と岸沖漂砂量分布, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 172~176, 1979.
- 2) Sunamura, T.: A laboratory study of offshore transport of sediment and a model for eroding beaches, Proc. 17th Int. Conf. Coastal Eng., pp. 1051~1070, 1980.
- 3) Sunamura, T.: Bedforms generated in a laboratory wave tank, Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Vol. 2, pp. 31~43, 1981.
- 4) Madsen, O. S. and W. D. Grant: Quantitative description of sediment transport by waves, Proc. 15th Int. Conf. Coastal Eng., pp. 1093~1112, 1976.
- 5) Sleath, J. F. A.: Measurements of bed load in oscillatory flow, Jour. Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. ASCE, Vol. 104, pp. 291~307, 1978.
- 6) 榎木 亨・出口一郎・岡田 学: 二次元海浜の碎波帯における漂砂移動について, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 167~171, 1979.
- 7) 前出 1)。
- 8) 郭 金棟・蘇 棋福・劉 進義: 岸沖漂砂量に関する実験的研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 183~186, 1980.
- 9) 香取完和・渡辺 晃・堀川清司: シート・フロー状態の底質移動に関する研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 202~206, 1980.
- 10) 野田英明・松原雄平: 岸・沖向き漂砂量に関する研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 197~201, 1980.
- 11) 柴山知也・堀川清司: 波による掃流砂量と堆積型海浜の形成機構に関する研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 192~196,

1980.

- 12) 利穗吉彦・渡辺 晃・堀川清司: 二次元海浜変形と岸沖漂砂, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 217~221, 1981.
- 13) Hallermeier, R. J.: Oscillatory bedload transport:

Simple rate equations, Continental Shelf Research, 1982 (投稿中).

- 14) 砂村継夫: 浅海域の岸沖漂砂量に関する二次元実験, 海岸環境工学研究センター報告書, No. 15, pp. 68~79, 1982.
-