

岸沖漂砂量に関する実験的研究

郭 金棟*・蘇 棋福**・劉 進義***

1. 緒 言

海岸の波による土砂の移動問題は、長い間海岸工学研究者にとって大いに興味のあるものであった。しかしながら現象の複雑さと難解さにより多大な関心が寄せられたにもかかわらず未知の問題がまだ多い。3 次元的な沿岸漂砂量と汀線と直角方向の漂砂量は理論的にも実験的にも比較的困難ではあるが、2 次元的な岸沖方向の漂砂量についても、まだ充分満足すべき成果が得られているとは言い難い。このように不明な所が多い現状では海岸の侵食・堆積や海岸堤防の洗掘の究明、または海岸変形予測にも自ら限界があると考えられる。このような問題を解明するにはもっと基礎的な実験と理論解析の累積によって漂砂量を定量的に把握する必要がある。

海底における波による土砂の移動は、河川で起こる流れによる土砂の移動と基本的な過程では相似である。この二つの主なる相違は、波の運動による水分子や砂粒の移動速度と方向は不定常な往復運動であるのに対し、河川の流れによる土砂移動は単方向な定常運動である。河川の流れによる土砂の移動機構については、長年における広汎な研究業績があり、これらの知識は波による漂砂の解明に寄与する所が大いにあると思われ、ここでは河川の掃流砂の輸送量を取り扱う主な二、三の考え方を波による底床掃流漂砂量の推定に引用し、その適用性について検討したものである。また底質と海底勾配による影響についても考察を行なった。

2. 実験装置および実験方法

実験には水路と水槽を用いて行なった。水路は長さ 50 m、幅 2 m、高さ 1.7 m、内 10 m ガラス張りのコンクリート造波水路である。水路の一端にはフラップ式造波機を、また他端には 1/8 勾配の斜路を設置し、それを仕切り板で三分し、その上に 30 cm 厚さの異なる底質を敷きつめ移動床とした。実験に使用した底質は、平均粒径 0.48 mm 比重 2.65 の砂、粒径 0.5 mm 比重 2.22

の石炭粉と粒径 0.52 mm 比重 1.65 の石炭灰である。なお水槽は 25 m 長さ、20 m 幅、深さ 1.2 m である。水槽の一端にはフラップ式造波機があり、他端には一様勾配の海浜を設け、その内左側 4 m を各々 1.0 m 間隔に仕切板で四つの水路に仕切り、その上に 1/30、1/40、1/50 と 1/60 の斜路を設け、ここに石炭灰を敷きつめた。この実験には比重 2.02 平均粒径 0.16 mm の底質を使用した。

各断面の中央には水深 2.5 cm または 5 cm おきに捕砂箱を 6 個から 10 個設けて漂砂量を測定した。捕砂箱はブリキ製で外箱の大きさは 202 mm×112 mm×100 mm、内箱は 100 mm×110 mm×100 mm とし、2 個の内箱を外箱に納め、それにより岸向き・沖向きの掃流砂を別々に捕えた。捕砂箱の上には金網（網目約 1 mm）の幅 100 mm、長さ 220 mm、両端には 1 V : 2 H のテーパを設けたフタをかぶし、それによって捕砂箱による流れと砂の攪乱をなるべく少なくするよう試みた。

波高は超音波波高計二本により各捕砂箱での波高を測定した。捕砂量はガラスピーカーによって体積を計ったものである。実験条件は表-1 に示すように 1.0~2.0 sec の周期を用い種々に波高を変えて実験を行なった。測定時間は波の掃流力によって異なり、波の高い場合では約 5 分、波の小さい場合では約 20 分程度で波を止め捕砂量を測定した。

表-1 実験条件

条 件	A			B
底 面 勾 配	1/8			1/30, 1/40, 1/50, 1/60
比 重	2.65	2.22	1.65	2.02
平均粒径 (mm)	0.48	0.50	0.52	0.16
深海波々高 (cm)	6.0~19.2			2.0~11.1
周 期 (sec)	10, 1.5, 2.0			1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0
固定水深 (cm)	75.0			77.2

3. 実験結果および考察

RUN A においては異なった比重の底質を使って底質が掃流砂におよぼす影響を究明することを試みた。図-1 は周期 1.0 sec 水深 14 cm と周期 2.0 sec 水深 25.1

* 正会員 工博 中華民国成功大学教授 工学院水理工程系
** 正会員 中華民国漁業技術顧問社技師長
*** 工修 中華民国中興工程顧問社工務師

cm の所で捕えた掃流砂量と沖波波高の関係を示したものである。図から知るように比重の一番軽い石炭灰 ($S_r=1.65$) の掃流砂量がもっとも多く、それに続いて石炭粉 ($S_r=2.22$)・砂 ($S_r=2.65$) となっているが、波高が小さい時二者は入りまじっている。いずれの場合においても沖波波高の増大と共に漂砂量は増加し、ほぼ砕波が測点に近づいた場合に極値を示す。その後沖波波高が大きくなると逆に漂砂量は減少する。周期が短く水深が比較的浅い場合の左の図の結果を見ると沖波波高が小さい時に岸向き漂砂は沖向きよりも多く、波高がある程度大きくなると二者は逆転し沖向き漂砂は多くなる。しかし周期 2.0 sec 水深 25.1

cm の右の図においては波高が小さい時に沖向き漂砂が多く、極値をこえた所で岸向き漂砂が卓越する。一般には波形勾配、底質粒径と波長の比または surf similarity parameter で底質の移動方向を議論しているが、この図から示唆するように砕波点とかなり密接な関係があるようである。図-2 は周期 2.0 sec の波が作用した場合の漂砂量と波高の関係を示したものである。波高が大きい場合比重

の軽い石炭灰の移動量が一番多く、それに続き石炭粉、砂となっているが波が小さく掃流力が小さい場合にはこの関係は不明確となる。またこの図からも知るように砕波帯より沖側では漂砂量は波高に比例して増加する。

図-3 は周期・波高が一定の場合、砕波点以深においての異なる水深にて測定された漂砂量は水深が浅くなるに従い増加している。図-4 は同じ測点においてほぼ同じ沖波波高をもつ周期の異なった波が作用した場合の漂砂量を示したものであって、周期の長い波ほど漂砂量が多いことを示している。

掃流砂量の無次元表示として、Einstein が提案した bed load function

$$\Phi = q_s / \sqrt{SgD^3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

と Shields 数

$$\Psi = U_*^2 / SgD \quad \dots\dots\dots (2)$$

を用いて表示したのが 図-5 である。ここでの q_s は単位時間単位幅における掃流砂の体積、 $S=(\rho_s-\rho)/\rho$ 、ただし、 ρ_s は底質の密度、 ρ は流体の密度である。 D は底質の平均粒径である。また U_* は摩擦速度の振幅であり、層流境界層では Longuet-Higgins の求めた式

$$U_* = \left(\frac{8\nu U_b^2}{\pi T} \right)^{1/4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 ν は動粘性係数、 T は波の周期、 U_b は微小振幅波の底面流速の振幅

$$U_b = \frac{\pi H}{T \sin kh} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここでの H は波高、 k は波数、 h は水深である。乱流境界層の場合

$$U_*^2 = \frac{1}{2} f_w U_b^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

によって計算した。この際の摩擦係数 f_w は Jonsson の実験結果

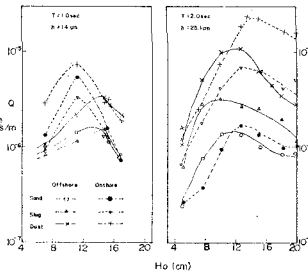


図-1

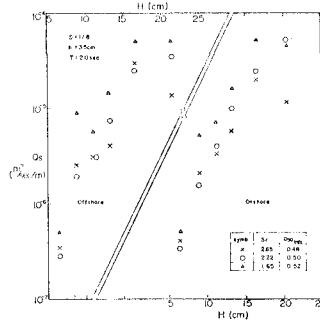


図-2

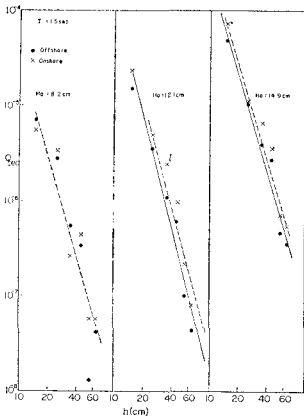


図-3

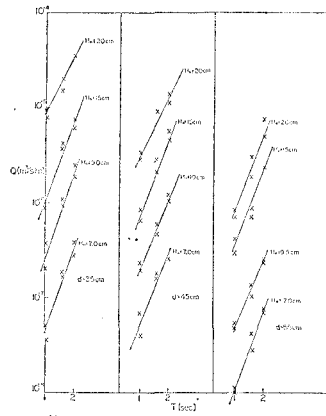


図-4

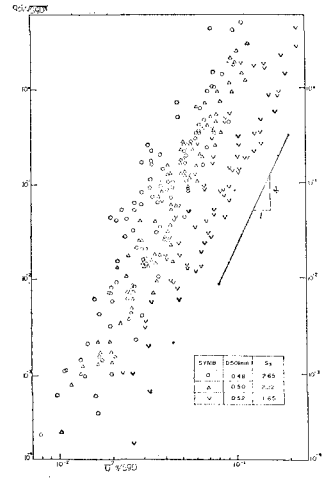


図-5

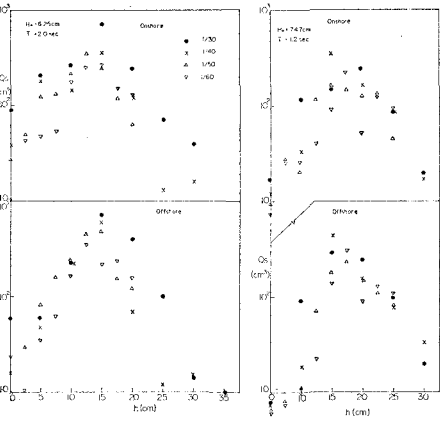
$$f_w = \frac{0.0604}{\left(\log \frac{30\delta}{k_s}\right)^2} \dots\dots\dots (6)$$

によって推算した。ただし k_s は Nikuradse 粗度, δ は境界層の厚さである。図—5 から知るように Φ と Ψ の関係はほぼ $\Phi = K\Psi^4$ となり, 比重の軽い底質では K 値は小さい値を示す。Wilson が河川において異なる比重の掃流砂量を測定して分析した結果によると, 本図と同様な傾向をもつと指摘している。この結果は Madsen・Grand の $\Phi \propto \Psi^3$ よりも乗数が大きく, ほぼ $\Phi \propto \Psi^4$ になっている。沖向き漂砂量もほぼ同様な関係を示しているが, ここではその図面を省略する。

Kalinske の河床掃流砂量の無次元表示を利用して漂砂量を示したのが 図—6 である。図中の q_{s0} は沖向漂砂量を表わす。この図においても q_s/U_*D と U_*^2/SgD の関係はほぼ Einstein の bed load function と同様, いずれも実験値のばらつきは大きく, 軽い底質は右側に移る。また q_s/U_*D は U_*^2/SgD の 4 乗に比例していることが伺われる。Einstein による表示も Kalinske による表示も同じ程度の相関を持ち, どちらがよいかは判断しがたい。

RUN B においては同じ底質を用い海底勾配の相異による漂砂量の関係を調べてみたものである。この実験に用いられた底質は比重 $S_r = 2.02$, 平均粒径 $D_{50} = 0.16$ mm の石炭灰である。図—7 は実験結果の一例であり, 同じ波が作用した時異なる水深にて測定された漂砂量を表わしたものである。図から知るように碎波帯内においては海底勾配が小さいほど漂砂量は少なくなる傾向を持っている。その原因は緩勾配ほど碎波帯は長くなり波高が早く減衰するから同じ水深においても弱くなり漂砂量は少なくなる。しかし, 碎波点付近またはそれより沖浜においては海底勾配による影響は無視しても支障がないようである。

漂砂量の無次元表示として RUN A と同じく Φ と Ψ の関係をプロットしたのが 図—8 である。沖浜においては RUN A と同様にばらつきはあるが Φ と Ψ の相関が認められる。また Φ も Ψ の 4 乗に比例している。しかしながら碎波帯の実験値はばらつきが大きく, Shields 数のわずかな違いで Φ はかなり変っている。その原因は碎波帯内の底面流速ならびに摩擦速度に関する評価が不明確であることによるものと思われる。そこで相対水深が $h/L \leq 1/10$ においては底面流速を次式によって求めた。

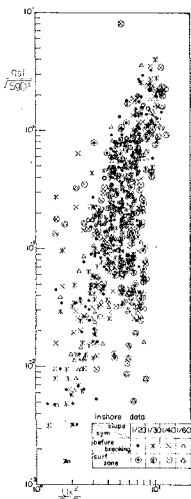


図—7

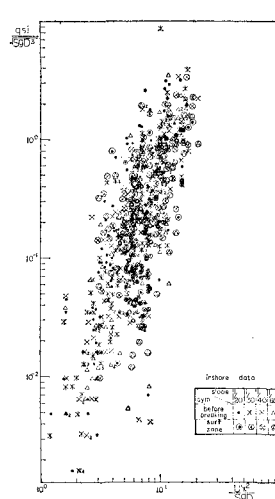
トしたのが 図—8 である。沖浜においては RUN A と同様にばらつきはあるが Φ と Ψ の相関が認められる。また Φ も Ψ の 4 乗に比例している。しかしながら碎波帯の実験値はばらつきが大きく, Shields 数のわずかな違いで Φ はかなり変っている。その原因は碎波帯内の底面流速ならびに摩擦速度に関する評価が不明確であることによるものと思われる。そこで相対水深が $h/L \leq 1/10$ においては底面流速を次式によって求めた。

$$U'_0 = \sqrt{g(h+H)} \frac{H}{2h} \dots\dots\dots (7)$$

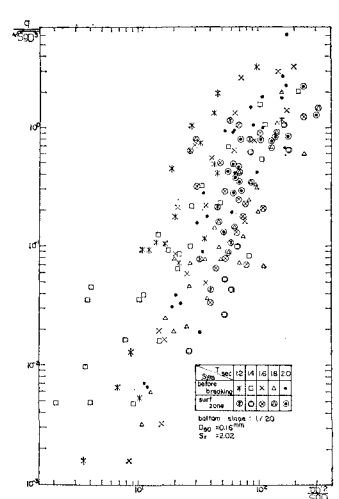
これによって計算された摩擦速度を U'_* とし, Φ と $\Psi' = U_*'^2/SgD$ の関係をプロットすると 図—9 のごとく相関は良くなっている。データのばらつきにより海底勾配による影響は不明瞭である。沖向き漂砂も同じ傾向をもつがここでは図面を省略する。計算を簡易にするため直接底面流速を摩擦流速の替りに用いて Shields 数を計算し bed load function との関係をプロットしてみたのが 図—10 である。この表示法は摩擦速度で表示した場合



図—8



図—9



図—10

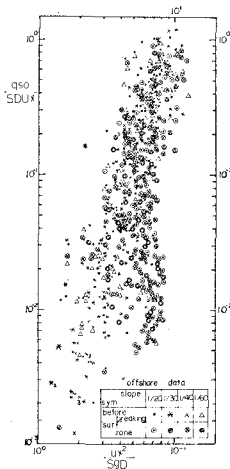


図-11

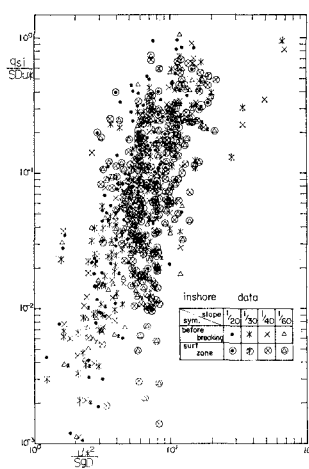


図-12

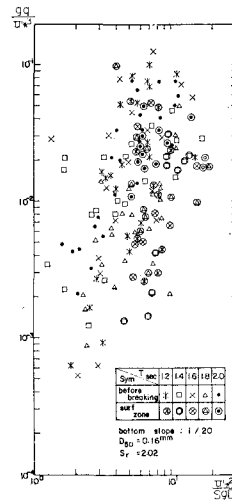


図-13

よりもばらつきは大きく不適用と思われる。Kalinske の bed load function によって漂砂量を表わしたのが 図-11 である。同様にして碎波帯内の傾向は不明瞭なので U^*/SgD によって Shields 数を評価したのが 図-12 である。図-13 は Bagnold にならって qg/U_*^3 と U_*^2/SgD の関係をプロットしてみた。データはかなりちらばり良い相関とは言い難い。

4. 討 論

漂砂量を的確に把握するには、まず良い精度をもつ捕砂器を開発する必要がある。本実験で用いた捕砂箱は岸・沖からの砂源を遮断する欠点があり、捕砂箱の上に金網のフタをかぶせて水深と粗度の影響をなるべく減小するよう試みたが、フタの上には勿論砂澁の発生はできなく、捕砂箱の存在によって掃流砂の運動は攪乱を受けるし、箱の長さが砂粒の移動距離に合致したものであるかも疑わしい。また捕砂箱を設置する際、特に注意を付けて扱わないとデータもかなり変りうる。本文では岸向き漂砂を主にして取り上げたが沖向き漂砂も order 的には岸向と同じく、無次元取扱いにおいても二者ともにばらつきは大きく、それより net の漂砂量を割り出すのは無理である。また捕砂箱設置の不適切によって net の漂砂量は微妙に変化し的確には捕えられなかった。net の漂砂量を測定するには別の捕砂器を考えなければならない。

比重の軽い底質は波によって動き易く重たい底質より漂砂量は多くなるが、Einstein の bed load function と

Shield 数で表示すると、かえって比重の重い底質の ϕ が上になる。その原因は $\psi \cdot \phi$ 共に比重 S が入っているからであろう。また海底勾配が急な場合ほど碎波帯内の漂砂量は多いが order 的にほぼ同じである。無次元表示ではデータの散乱が大きくそれにより海底勾配による影響を定量的に求めるのは無理である。無次元表示では二、三の河川掃流砂量の表示式を用いて究明したが、Ein-

stein と Kalinske の bed load function の表示は比較的良好、Bagnold の表示はばらつきが大きい。その主な原因は摩擦速度の評価によるものと思われる。特に碎波帯内においてはその評価の仕方によって漂砂量の推定値が order 的に変りうる。またここでは漂砂がない場合として摩擦速度を推定しているが、漂砂や砂澁によって流れの抵抗もかなり変りうるであろう。この場合河床の場合と同様に修正をほどこす必要もあると思われる。本文のような取り扱い方である掃流砂の漂砂量はある程度算定することができるが精度の高い計算はなお困難があり、さらに検討を要する。

参 考 文 献

- 1) Madsen, O. S. and W. D. Grant: Sediment transport in the coastal environment, Rept. No. 209, Dept. Civil Eng., MIT, 1978.
- 2) Jonsson, I. G.: Wave boundary layers and friction factors, Proc. 10th Conf. Coastal Eng., ASCE, Vol. 1, 1966.
- 3) Einstein, H. A.: A basic description of sediment transport on beach, in, Wave on Beaches and Resulting Sediment Transport, Academic Press, N.Y., 1972.
- 4) Raudkivi, A. J.: Loose Boundary Hydraulics, 2nd ed., Robert Maxwell, M.C., 1976.
- 5) Yalin, M. S.: Mechanics of Sediment Transport, Pergamon, 1972.
- 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, 1979.
- 7) 渡辺 晃・利徳吉彦・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, 1979.