

京都大学防災研究所 正員 岩垣 雄一
 同 正員 土屋 義人
 運輸省 正員 川崎 芳一

1. 緒言

海浜における漂砂の運動機構は一般に極めて複雑であり、たとえ二次元的な海浜のみを対象としてもその水理学的な解析はほとんど困難であろう。しかしながら、海浜変形がそうした漂砂の運動に基づくものであることから、何らかの方法によってその機構を解明しなければならないわけである。従来より海浜における漂砂の運動に対しては、その考察の都合上河川などにおける流砂の場合と同様に、掃流によって流送されるものと浮遊によって運ばれるものとに分けて考察がなされてきたものであるが、前述したようにこの現象は極めて複雑であって、その機構を正面から解析することは不可能といつてよいであろう。

本研究は以上のような現状において、海浜変形に密接に関係するものの一つである浮遊機構について主として実験的に考察した結果である。とくに二次元海浜の変形機構を解明することが、この研究の目的であることから、模型海浜において浮遊砂量とその分布を測定し、波の特性と底質との関連において、その浮遊機構を解明しようと試みたのである。

2. 浮遊砂の濃度分布

波の作用によってなぜ砂が浮遊するかは明確でないが、いま波動運動における乱れが波動運動における水粒子の運動に密接に関係するものと仮定して、極めて簡単な取扱いのもとに、浮遊砂の濃度分布について考察することをしよう。まずここでは簡単なために、二次元の一種な水深の場合について考えることにすれば、浮遊砂の濃度分布をあらわす方程式は次式によってあらえられる。

$$\frac{\partial C'}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(C'u) + \frac{\partial}{\partial z}(C'u) = \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon_x \frac{\partial C'}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon_z \frac{\partial C'}{\partial z}) + w_0 \frac{\partial C'}{\partial z} \quad (1)$$

ここに、 C' : 浮遊砂の濃度、 u : x 方向の流速成分、 w_0 : 浮遊砂の沈降速度の代表値、 ε_x および ε_z : それぞれ x および z 方向の拡散係数、であり、座標 x および z はそれぞれ水平および鉛直上向き正にとるものとする。波による浮遊の場合には、たとえば濃度は一周期についての平均値を用いることが多いので、いま(1)式の諸量にすべて一周期の平均値を用いることにして、近似的にその計算を行ない、かつ x 方向には現象は変わらないものとするれば、次式がえられる。

$$\frac{d}{dz}(\varepsilon \frac{dC}{dz}) + w_0 \frac{dC}{dz} = 0 \quad (2)$$

ここに、 C および ε : それぞれ一周期についての平均の濃度および拡散係数、である。いま近似的に波動運動の場合の混合距離が水粒子の軌道の長さに比例するものとして計算を行なえば、軌道の長径および短径に比例させた場合は浮遊砂の濃度分布はそれぞれ次式によってあらえられる。長径を用いた場合、

$$\frac{C}{C_a} = \exp \left[-\frac{\alpha \sinh^2 2\pi h/L}{(H/L)^3} \left(\frac{w_0}{C_w} \right) \left\{ \frac{1}{\cosh 2\pi Z/L} - \frac{1}{\cosh 2\pi q/L} + \log_e \frac{\tanh \pi Z/L}{\tanh \pi q/L} \right\} \right] \quad (3)$$

おさび短径を用いた場合,

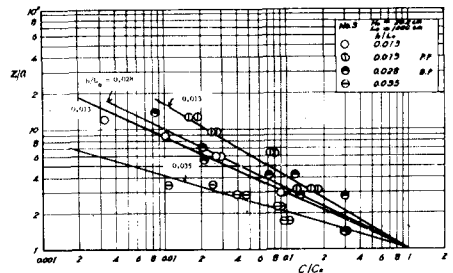
$$\frac{C}{C_a} = \exp \left[-\frac{\alpha \sinh^2 2\pi h/L}{(H/L)^3} \left(\frac{w_0}{C_w} \right) \left\{ \frac{1}{\sinh 2\pi q/L} - \frac{1}{\sinh 2\pi Z/L} + \frac{1}{(\sinh 2\pi q/L)^2} - \frac{1}{(\sinh 2\pi Z/L)^2} - \log_e \frac{\tanh \pi Z/L}{\tanh \pi q/L} \right\} \right] \quad (4)$$

ここに, C_a : 基準点 $Z=a$ における濃度, H : 波高, L : 波長, C_w : 波速, h : 水深, $\alpha = \sqrt{2}/\pi\beta$, β : 混合距離における係数, である。

3. 模型海浜における浮遊砂の濃度分布に関する実験的考察

実験水槽は中 1.0m, 深さ 1.5m, 長さ 70m で, その一端には *Pneumatic wave generator* おさび *Multi-purpose wave generator* が設けられている。この水槽内に勾配 1/10 の模型海浜をつくり, これに波形勾配 0.02 おさび 0.04 の波によってほとんど平衡に達するまで実験を続け, その状態における浮遊砂の濃度分布をピトー管に似た層曲管を用いサイフォンによって測定した。この場合層曲管の口は沖側に向けてとりつづけ。実験に用いた砂は網野海産のもので中央粒径は 0.35mm である。

つぎに, 以上の方法によってえられた実験結果を前述した浮遊砂の濃度分布に関する考察のもとについて検討した結果について述べよう。まず図-1 は波形勾配 0.02 の場合における模型海浜の各点における浮遊砂の濃度分布を両対数図-1. C/C_a と Z/a との関係教紙上に図示した結果の一例である。図中 C_a の値としては $Z=0.05h$ における濃度を用いることにしたが, これだけとえれば波高を基準にとって定め他の場合に較べて後述するようになり実験結果がよく整理されることがわかったからである。またこのような模型海浜においては, C/C_a と Z/a との関係を片対教紙上に図示するよりも, 図-1 のようにあらわす方が実験値がよく整理されるようであった。いま(3)式において $2\pi Z/L \ll 1$ である場合を考えるととくにすれば, (3)式はつぎのように近似できる。



$$C/C_a = (Z/a)^{-n}, \quad n = \alpha (\sinh^2 2\pi h/L) (H/L)^3 (w_0/C_w) \quad (5)$$

この関係は図-1の実験結果をあらわしているわけであるが, 一方同様な近似を(4)式に適用した場合には(5)式のような簡単な関係はえられないようである。したがって, ここでは海浜における浮遊砂の濃度分布が(5)式によってあらわされるものとして, その特性を検討することにして, 図-2は(5)式における指数 n の中に含まれる係数 α を次元解析の手法によって検討した結果である。図中 h_b は碎波水深である。この結果によれば, 碎波点より沖側においては, 一つの関係によってあらわされるようであるが, 碎波点より岸側になるとその傾向が相違していることがわかる。また図-3は(5)式における C_a について考察した結果であって, これも図-2と同様に h/h_b によって実験結果がよく整理されることがわ

る。そして図-2の場合と同じく碎波点より岸側においてはその傾向が大きく相違している。以上のことから碎波点より沖側において、近似的に(5)式の関係が成立するようであって、結局この範囲における濃度分布は次式によってあらわされることになる。

$$C = 46 \left(\frac{h}{h_0} \right)^4 \left(\frac{z}{20h} \right)^{-3.2} \pi^3 \left(\frac{h}{L_0} \right)^2 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^2 \left(\frac{H_0}{h_0} \right)^{-2} \left(\frac{H_0}{H_1} \right)^{-3} \left(\frac{L_0}{L_1} \right)^{-1} \left(\frac{H_1}{C_{w0}} \right) \quad (6)$$

ここに、 H_0 および L_0 ：沖波の波高および波長、 C_{w0} ：沖波の波速である。この結果によれば、濃度分布に対しては波形勾配や碎波水深などが大きく関係するが、その絶対値には碎波水深に対する水深の比の影響が極めて大きいことがわかる。なお、底質の効果は当然波速との比としてあらわれている。

つぎに碎波点より岸側における浮遊砂の濃度分布について考察するが、この付近においては、その浮遊機構を直接考察することのできないので、次元解析法に基づいて考察することにしよう。まず濃度分布に関係する水理量間の関係は次式によってあらわされる。

$$\phi \left(C, \frac{z}{h}, \frac{h}{L_0}, i, \frac{h_0}{L_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{t}{T}, \frac{gL_0^3}{\nu^2}, \frac{d}{H_0}, \frac{\sigma}{\rho}, \lambda, S_f \right) = 0 \quad (7)$$

ここに、 i ：海浜勾配、 h ：実験水路の水深、 t ：時間、 g ：重力の加速度、 ν ：底質の大きさ、 σ/ρ ：底質の比重、 λ ：空隙率、 S_f ：底質の形状係数、 ν ：動粘性係数である。海浜が平衡に達したときを考えると、さらに(6)式の結果を参考にしてあまり重要でないと考えられる諸量を省略し、(7)式から濃度 C をつぎのようにあらわすことにした。

$$C = \phi \left(\frac{z}{h}, \frac{h}{L_0}, \frac{H_0}{L_0}, \frac{d}{H_0} \right) \quad (8)$$

図-4は碎波点における浮遊砂の濃度分布を(8)式の関係に基づいて考察した結果の一例である。この結果によれば、碎波点において、濃度分布がかなり急であることがわかるが、こうした関係は波形勾配によってかなり変わらうようである。また d/H_0 によってもかなりその傾向が相違することになったが、さらに詳しい考察は多くの実験結果とその付近の浮遊砂の運動に関する実験にまたねばならない。

図-5はいそ波帯における浮遊砂の濃度分布を測定した結果を(8)式に基づいて整理したものであるが、この場合は図-4の場合と相違して d/H_0 の効果はほとんどみられないようである。しかしながら波形勾配による濃度分布の相違は極めて大きく、波形勾配が大きいほど濃度分布が一様に

図-2 α と h/h_0 との関係

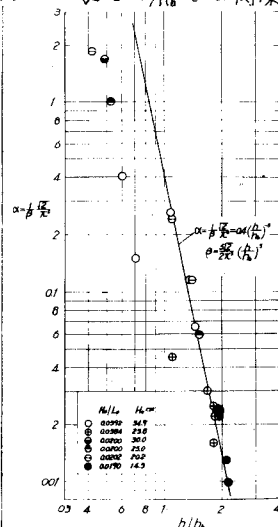


図-3 C_0 と h/h_0 との関係

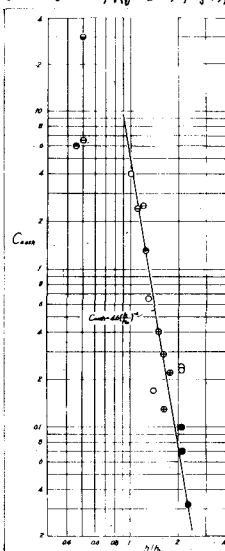
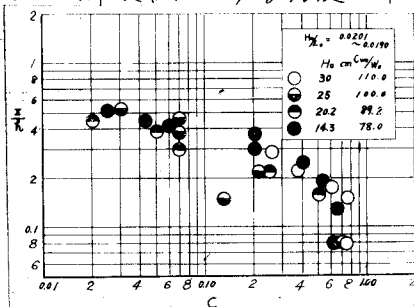


図-4 碎波点における濃度分布



なる傾向を示しているようである。

海浜変形において最も重要な現象の一つである汀線の前進あるいは後退におよぼす浮遊砂の影響は、主として砕波点以後のいそ波帯でのものであることから、今後こうした領域における考察を大いに進めて、その浮遊機構を解明していきたいと考えている。

最後に以上の研究を行なうにあたって、熱心に助力していただいた学生井保武寿君に厚く謝意を表する次第である。

図一 いそ波帯における浮遊砂の濃度分布

