

東京大学工学部土木工学科 正 水口 優
同上 堀川清司

1. はじめに.

沿岸漂砂量の問題を、砂浜帯内の二次元的な漂砂砂濃度分布 $c(x, y, t)$ と沿岸潮流速度 $V(x)$ を組み合わせて得らるものとして考察を加える。

2. 砂浜帯内の漂砂砂濃度分布

砂浜帯内では、砂浜による乱れと砂浜後の波運動による乱れが混在して、かなりの高濃度の漂砂砂の分布があることが知られている。砂浜帯内の定常の漂砂(または移動し易さ)に対するモデルとして、次のような二次元拡散モデルを考える。

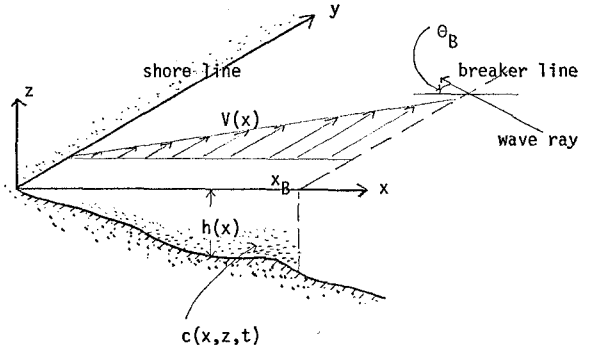


図-1 沿岸流による漂砂砂の輸送

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + w_0 \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (1)$$

ここで、 u は波の区間潮流速度、 w_0 は定常の沈降速度、 E_x は鉛直拡散係数である。 $c(x, y, t) = \bar{c}(x, y) + c'(x, y, t)$ とわけ、(1) 式に代入し平均操作を施すと、

$$u \frac{\partial \bar{c}'}{\partial x} - w_0 \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = E_x \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} \quad (2)$$

となる。ここで、 $u \frac{\partial \bar{c}'}{\partial x} \equiv \frac{\partial}{\partial x} (u \bar{c}') \equiv \frac{\partial}{\partial x} (E_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x})$ なる水平拡散係数を考え、しかも、簡単のため $E_x \ll E_z$ と仮定すれば、(2) 式の解は次のようになる。

$$\bar{c} = C_1 \exp(-w_0 z / E_z), \quad z' = z + d \quad (3)$$

鉛直拡散係数 E_z は、運動量の水平拡散係数に比例すると考えれば、 $E_z = M \alpha \sqrt{gR}$ と与えられる [Batjes (1976)]。(3) 式を x 方向に積分した積分濃度 $\bar{c}$ は、次のようになる。

$$\bar{c} \equiv C_1 M \alpha \sqrt{gR} / w_0 \sim x^{3/2} \quad (4)$$

なお、ここでいう漂砂砂とは、瞬間的に漂砂状態にあるばかり、いわゆる掃流砂、漂砂砂の区別は、余り意味がないであろう。

図-2 は、福井(1970)の室内実験における排水測定データを整理し直したものであるが、砂浜実験のデータが少なく、砂浜のものによる漂砂砂濃度が強調されている。(4) 式の妥当性を示すのは難しいが、強いて読み取れば、比例定数 $C_1 M$ は、図-2 中の右の値となる。Fairchild (1973) は、現地での排水測定の結果として、砂浜帯内の区間付近の濃度

H_0	T	x_B	$\bar{c}_{\max}$	duration h_B	$C_1 M$
9.64cm	1.72sec	6.0m	11.0ppt by weight	50hr	13.8×10^{-7}
8.53	0.96	5.0	6.9	23	11.4×10^{-7}

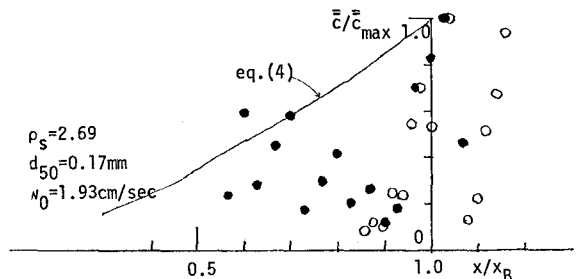


図-2 砂浜実験の積分漂砂砂濃度分布

について、 C_{bed} (重量ppt) $\div 0.24 H^{1/3}$ (cm) という関係を得ている。ここで、 H はその地点の波高である。これを強引に、鉛直方向に三角形分布で解釈すれば、 $\bar{c} \sim x^{2/3}$ となる。さらに、ベキ乗数もそろえて、 $H \div R$ とおけば、 $C_{IM}/w_o \sim 3.8 \times 10^{-7} \frac{dh}{dx}$ [sec/cm] を得る。この結果は、(4) 式が使えること、その比例定数 C_{IM} は、実験室のものより大きく出るといように解釈されるであろう。

3. 沿岸流況場

Longuet-Higgins (1972) によれば、斜めに入射する波の破波後の波高減衰に起因する radiation stress と、沿岸流況 V による底面摩擦が釣り合うとして、次式を得る。

$$V(x) = \frac{5\pi}{16} \frac{\tau g s}{c \sqrt{gh_b}} R \sin \theta_B, \quad s = \frac{dh}{dx} \quad (5)$$

ただし、 $\theta_B^2 \ll 1$ および $H = \pi R$ という仮定を用いている。また、 c は摩擦係数で、そのオーダーは、0.01 とある。

4. 浸透砂量度分布と沿岸流況場の組み合わせ

最も素直に、積の形を用いるという考え方に基けば次式となる [Dean (1973)]。

$$i_L(x) = (p_s - p) \bar{c}(x) V(x) \quad (6)$$

ここで、 i_L は沖合方向の分布を考慮した immersed weight transport rate (水中重量移動量) であり、 p_s は底質の比重、 p は水の比重である。(6) 式に、(4)、(5) 式を代入すれば次式を得る。

$$i_L(x) = C_2 (p_s - p) \frac{\tau g \sin \theta_B}{w_o c h_b^{3/2}} x h^{3/2} \frac{dh}{dx} \sim x^{5/2}, \quad C_2 = \frac{5\pi}{16} C_1 \quad (7)$$

全重量 I_L は、(7) 式を破波点まで積分して次式で表される。なお、 n は潮流度と流速の比である。

$$I_L = C_3 \left(\frac{p_s}{p} - 1 \right) \frac{M \sqrt{gh_b}}{s c r w_o} (E C n)_B \sin \theta_B, \quad C_3 = \frac{16}{7} C_2, \quad s = \frac{dh}{dx} \quad (8)$$

現状では、最も信頼できる Komar (1976) の実験結果を整理して得た半経験的な全重量式、

$$I_L = K_1 P_L, \quad P_L = (E C n)_B \sin \theta_B \cos \theta_B, \quad K_1 \div 0.77 \quad (9)$$

と比べて、 $\sqrt{gh_b}/w_o$ という項が入り、 $\cos \theta_B$ という項があとこいるのが大きな違いである。底質の特性としての破波速度 (潮流) が効くことは十分に得ることであり、それを実証するデータがないというのが現状であろう。ただし、現地海岸では、潮流、勾配および摩擦係数の間に存在するであろう関係が結果としてその効果が相殺されることも考えられる。 $\cos \theta_B$ の項は、潮流し易さと流氷の組み合わせ方としてどのような形態での機構を考えるかによる違いであり、 $\theta_B \ll 1$ ではその差は小さい。最後に、(8) 式と (9) 式の定量的な比較を試みるため、既にあげた条件中必要なものと、 $s = 0.03$ という値を用いると、(8) 式は

$$I_L \div 1.1 \times 10^{-3} \text{ (sec/cm)} \times \sqrt{gh_b} (E C n)_B \sin \theta_B \quad (10)$$

となる。 $h_B = 1\text{m}$ の時は、比例定数 $K_1 \div 0.33$ となる。結論としては、こういう考え方がどこまでいかに調べてみるのも一つの手段ということになる。紙面も尽きたので。

<参考文献> 福井直治 (1970), 東大工学部土木工学科卒論; Battjes, J.A. (1976), Abst. Proc. 15th Conf. Coastal Eng., 403-406; Dean, R.G. (1973), Proc. Conf. Eng. Dyn. in Surf Zone, Sydney, 208-214; Fairchild, J.C. (1973), Proc. 13th Conf. Coastal Eng., 1069-1088; Komar, P.D. (1976), Beach Processes and Sedimentation, Prentice-Hall; Longuet-Higgins, M.S. (1972), in Waves on Beaches, Academic Press, 203-248.