

東京大学大学院 学生員 林 銘 崇
東京大学工学部 正会員 堀 川 清 司

1. はじめに

砕波帯付近の混合過程は砕波による乱れおよび海浜流の作用から成りまっているといえよう。従って、砕波による汀線に直角方向の拡散および海浜流による汀線方向の分散の二つにわけて取り扱うことができると考えられる。砕波に伴う海浜流は、Harris(1969)¹⁾によれば、三つのタイプがある。即ち、対称セル循環、非対称セル循環(蛇行流)および沿岸流システムである。そのうち、沿岸方向の分散に最も寄与するのは非対称セル循環および沿岸流システムであり、前者の場合については別報で発表する²⁾。本論文においては、沿岸流システムの増幅について取り扱うことにする。

沿岸流システムが卓越している場合における沿岸分散の理論的展開および現地観測結果との比較について、著者ら³⁾は既に発表した。ここでは、その理論を一部修正し、また実験結果を述べることにする。

2. 沿岸流による沿岸方向分散係数の算定式

いま、海浜の地形は一様な勾配 S をもっているものとし、砕波帯付近の水域を三角形断面の開水路と考える。汀線から沖向きに x 軸、汀線方向に y 軸をとれば、物質濃度 C に関する拡散方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v(x) \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{1}{h(x)} \left(K_x h(x) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (1)$$

ここで、 $v(x)$ は沿岸流速、 $h(x)$ は水深、 K_x, K_y はそれぞれの方向の拡散係数を示す。なお、 C, v, K_x, K_y は水深方向に一様と考えている。

式(1)より、幾つかの仮定のもとで濃度モーメント法を適用して、物質の汀線方向の拡がり、すなわち統計的分散の流路断面にわたっての平均 $\overline{y^2}$ を求めた。分散係数 K_e を $(\frac{1}{2}) \frac{\overline{y^2}}{\Delta t}$ で定義し、これから沿岸流の剪断効果による分散係数を求めると、

$$K_e = \frac{1}{A} \int_0^{x_e} h(x) v(x) dx \int_0^x \frac{dx}{K_x h(x)} \int_0^x h(x) (\bar{v} - v(x)) dx \quad (2)$$

となる。ここで、 A は沿岸流の流路断面積、 $\bar{v}$ は断面平均沿岸流速、 x_e は流路幅である。

式(2)において、Longuet-Higgins(1970)⁴⁾の提案した沖・岸方向の拡散係数 K_x 及びそれを用いて求めた沿岸流速分布、また Battjes(1975)⁵⁾の K_x に関する提案式及び Longuet-Higgins の沿岸流速分布を用いて計算すれば、沿岸方向分散係数 K_e は次の通りで

ある。 $K_e = R v_0^2 x_0^3 \quad (3)$

$$R = \begin{cases} \alpha N^{-1} g^{-1/2}, & \text{Longuet-Higgins (4-a)} \\ \alpha \left(\frac{F_0}{f_0}\right)^{1/2} M^{-1/2} S^{-1/2}, & \text{Battjes (4-b)} \end{cases}$$

ここで、 M, N は無次元、 g は重力の加速度、 S は海浜勾配を示す。なお、 α は水平混合の相対的な重要度を示すパラメータ $P = \pi^2 N / g f_0$ による定数である。 γ, f_0 はそれぞれ波高水深比および波の運動に対する摩擦係数である。

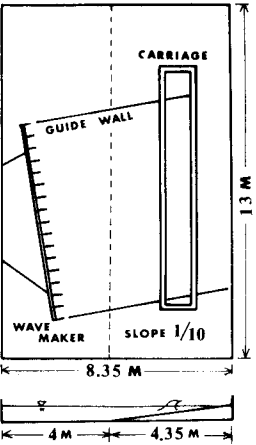


図-1. 実験水槽

表-1. 実験の諸条件

CASE	周期 sec	沖波高 cm	沖波向	砕波高 cm	砕波向	砕波水深 cm	砕波幅 cm	染料投入	投入量 mg/gross
I	0.8	5.2	20°	5.7	15.4°	7.0	8.8	呉源	210
II	0.8	4.4	10°	5.3	4.5°	5.0	7.4	線源	250

3. 実験方法および結果

実験は図1に示すような屋外平面水槽に行なわれた。実験の際の装置および染料の諸条件を表1に示す。流速はフロベリ式流速計を用いて測定した。砕波帯内に染料(ローダーミンB)を投入し、投入点より1.5m, 2.5m, 3.5mおよび4.5mの4測線(岸・沖向き)で砕波帯内3点, 砕波帯外1点, それぞれ5秒間隔で同時に採水した。染料濃度は蛍光分光光度計を用いて測定した。

流速の測定結果は図2および図3に示す。これらの流速分布は, Longuet-Higgins⁷⁾の理論式とほぼ一致している。なお, 染料濃度の汀線方向に, 時間と共に投入点よりの距離と共に変化する状況を図4および図5に示す。これらの図より, 時間と距離の増大に伴い, ピーク濃度は減少し, パッチの幅は増加することが認められる。以上のような流速および濃度のデータから, 平均流速 $\bar{u}$, 統計的分散 σ^2 ならびに分散係数 K_e を求めた。表2にこれらの結果と理論値の比較を示す。表中, 分散係数の実験値はFischer(1967)⁶⁾にしたがい, 式(5)により計算したものである。

表2. 理論値と実験値との比較

$$K_e = \frac{\bar{u}^2 \sigma^2}{\bar{u}^2 + \sigma^2} \quad (5)$$

ここで, $\bar{u}$,
およびそれ

CASE	$\bar{u}$ cm/sec	距離 cm	$t_0 - t_1$ sec	σ^2 (sec)	分散係数, cm^2/sec		
					実験値 (4-a)	理論値 (4-b)	
I	16.3	350 450	6.1	436 540	2.26 $\times 10^3$	7.71 $\times 10^3$	6.86 $\times 10^3$
II	14.2	350 450	7.0	484 641	2.42 $\times 10^3$	4.99 $\times 10^3$	4.43 $\times 10^3$

上流地点および下流地点での統計的分散, t_1 , t_2 は平均経過時間である。いずれのケースにおいても, 理論値と実験値はオーダ的によく一致しているが, 値そのものに聞しては, 理論値は実験値よりも大きく, ここにケースIでは, 理論値ははるかに大きい値となる。その理由の一つとしては, 恐らく, この実験では, 砕波帯幅に比べて, 汀線方向の距離, すなわち, 流下の距離がそれ程十分長くなかったために, 分散現象がまだ顕著ではなかったからであろう。

4. おわりに

以上, 沿岸流が卓越している場合における砕波帯付近の沿岸方向の分散係数を理論および実験の両面から取り扱った。理論値は実験値とオーダ的によく一致していることが確認された。

最後に, 実験に際しては, 元東京大学工学部受託研究員本多和彦氏ならびに東京大学港湾研究室の方々の協力を得た。ここに記して謝意を表す。なお, 本研究は文部省科学研究費特定研究「海洋環境保全」に関する基礎的研究による成果の一部であることを付記する。

<参考文献> 1) Harris, T.F.W. (1969), *Symp. on Coastal Eng., South Africa.*

2) 堀川清司・林 銘榮 (1978), 第25回沿岸工学講演会論文集。

3) 堀川清司・林 銘榮 (1978), 第22回水理工学講演会論文集, 67~73.

4) Longuet-Higgins, M.S. (1970), *J. Geophys. Res.*, Vol.75, 6778-6801.

5) Battjes, A.J. (1975), *Proc. Symp. on Modeling Techniques*, ASCE, 1050-1061.

6) Fischer, H.B. (1967), *J. Hydraulics Div., ASCE*, Vol.93, No. HY6, 187-216.

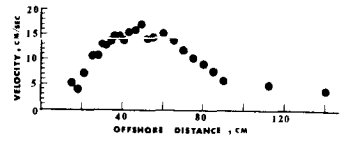


図2. 流速分布(CASE I)

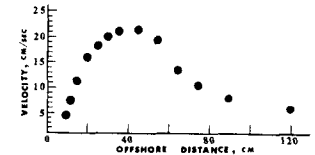


図3. 流速分布(CASE II)

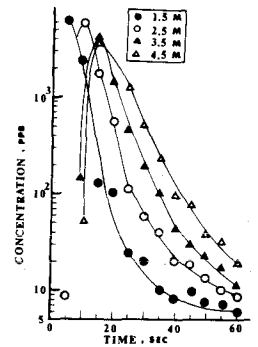


図4. 沿岸方向の濃度変化(CASE I)

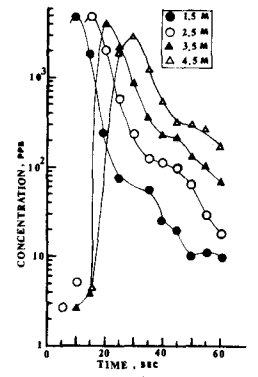


図5. 沿岸方向の濃度変化(CASE II)