

鳥取大学 工学部 学生員 〇 的場 善博

鳥取大学 工学部 正 員 野田 英明

1.はじめに 現地海岸において従来から、漂砂測定法の一つとして蛍光砂をトレーサーとした漂砂調査法がしばしば用いられてきた。この方法は、1回の調査でも多大の労力と時間を要するばかりではなく、特殊な技能者(たとえば潜水夫)の助けを借りねばならないという制約がある。また得られる資料も長期的に漂砂現象を解明できるほど十分なものではない。長期的な資料を得るには繰り返し調査する必要があるが、費用の面でも不可能に近い。この研究は、海底面を写真撮影できる蛍光砂撮影機を試作し、現地観測でその特性を確かめるとともに、波や流れによる蛍光砂の拡散現象という観点から拡散理論を用いて、蛍光砂分布の理論を導き定量的に評価しようとするものである。

2.写真撮影機の概要 図-1は、海底表面に存在する蛍光砂の撮影装置を示すものである。この筐体の主要部は、オートドライブ付の写真機、紫外線ランプであり、底面は海底表面上の砂粒を撮影するためのガラス板が取り付けられている。また筐体の内部には、写真撮影を遠隔操作するための装置も取り付けられている。上面は蓋構造となっていて撮影済のフィルムの取り出し、あるいはフィルムの装填に便利するようにしてあるが、筐体は水密な5びに耐圧構造である。現地調査の結果、この撮影装置の水密性や耐圧性、操作性等については問題のないことがわかった。ただ、紫外線ランプの電源をどのようにするかについては今後の問題として残されている。

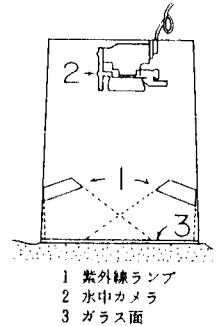


図-1 撮影装置

3.波・流れによる蛍光砂の二方向拡散理論 図-2に示すようにX軸およびY軸をとり、フィルム面上の蛍光砂数を全砂粒数で除した値を蛍光砂濃度C、XおよびY軸方向における蛍光砂の平均移動速度をそれぞれUおよびV、蛍光砂の拡散係数を K_x および K_y とすると2次元拡散方程式は次に示すようになる。

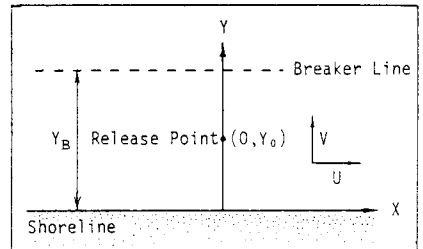


図-2 座標系と記号の説明

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \lambda C \quad \dots (1)$$

さらに、初期条件 $t=0$ で $C(x, y, 0) = f(x, y) \dots (2)$ 境界条件 $y=0$ で $\frac{\partial C}{\partial y} = 0 \dots (3)$ 、 $y=y_B$ で $K_y \frac{\partial C}{\partial y} - VC = 0 \dots (4)$ $x \rightarrow \pm \infty$ で $C=0 \dots (5)$ である。ここに、 y_B は碎波帯の幅であり、 λ は蛍光砂が時間とともに海底表面から砂層にもぐり込む割合が蛍光砂濃度Cに比例するとして導入された表面蛍光砂減少係数である。先の諸条件式(2)~(5)のもとに式(1)を解けば、2次元拡散方程式の解は次のようになる。

$$\frac{C}{C_0} = \exp(-\lambda t) \cdot \exp\left[-\frac{R}{2} \frac{(y - y_0)^2}{y_B}\right] \cdot E_f \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{G(\beta_n) \cdot (\beta_n^2 + R^2)^{1/2}}{(\beta_n^2 - 2R + R^2)} \cdot \exp\left(-\beta_n^2 \frac{K_y t}{y_B^2}\right) \cdot \cos\left(\beta_n \frac{y}{y_B} + \theta_n\right) \quad \dots (6)$$

ここに、 $E_f = \text{erf}(z_0) - \text{erf}(z_1)$ 、 $z_0 = (x - Ut + l) / 2\sqrt{K_x t}$ 、 $z_1 = (x - Ut - l) / 2\sqrt{K_x t}$

$$\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz \quad G(\beta_n) = \exp\left(-R \frac{l}{y_B}\right) \cdot \sin \beta_n \left(\frac{y_0 + l}{y_B}\right) - \exp\left(R \frac{l}{y_B}\right) \cdot \sin \beta_n \left(\frac{y_0 - l}{y_B}\right)$$

であり、 β_n の値は、 $\tan \beta_n = -2R\beta_n / (\beta_n^2 - R^2)$ から定められる固有値である。さらに、 $R = \nabla y_B / (2K_y)$ 、 $\theta_n = \tan(R/\beta_n)$ であり、 C_0 : 蛍光砂の投入時濃度、 y_0 : 投入点のY方向位置、 l : 蛍光砂投入幅の $1/2$ である。

4.現地観測の結果と理論値の比較検討 現地観測は鳥取海岸において実施した。図-3は、蛍光砂投入後7200(sec)経過したときの各撮影地点における濃度分布の理論値(図中の実線)と観測値(図中の破線および数字)と

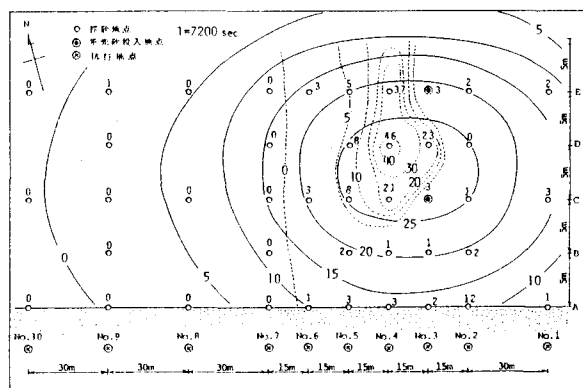


図-3 常光砂等個数線の観測結果と理論値の比較

を比較した一例である。濃度分布の重心位置は、理論と観測結果とではややことなるが、蛍光砂の減少係数および平均移動速度、拡散係数を的確に推定するならば、この研究で示した理論でもかなりの成果が期待できることがわかった。なお図中の理論値の計算には、蛍光砂の減少係数および平均移動速度、拡散係数をあらかじめ推定しておく必要がある。図-4は、何回かの測定によって得られた表面蛍光砂総数の時間的変化を示したものである。

図-4 表面電光砂総数の時間的变化

この図より、表面螢光砂総数の減少は、片対数紙上で直線になることから表面螢光砂総数は $e^{\lambda t}$ に比例することになり、図中の直線の勾配から表面螢光砂減少係数を推定することができる。一方、各方向の平均移動速度も推定する従来の方法は螢光砂濃度分布の重心位置の平均移動速度から求められてきたが、理論結果によると螢光砂濃度分布の重心位置は $R(= \nabla \psi_0 / 2k_y)$ および $S(= \nabla \psi_0)$ に関係するため、螢光砂の平均移動速度 V および拡散係数 k_y の関数となることかわかる。図-

図-5 重心位置 $\bar{y}/y_0$ の時間的变化と平均速度の関係

5は、y方向の重心位置 $\bar{y}_{cg}$ と δ との関係を示す理論

問-6 分散 σ_y^2/y_0^2 の時間的变化と平均速度の關係

値であって、もし $\bar{y}$ の平均移動速度が螢光砂の平均移動速度 V に比例するならば、 $\bar{y} \sim \sqrt{t}$ の関係が存在し図中の一点鎖線のようにならなければならない。ところが同図より明らかなように、理論曲線勾配は S に関して一定でない。このことから $\bar{y} \sim \sqrt{t}$ の関係の成立には疑問があることが明らかである。図-6 は、濃度分布の y 方向の分散 σ_y^2 と S との関係を示す理論値である。この図から $\sigma_y^2 \propto K_y t$ の関係が成立するのは一部分だけであることがわかり、経過時間が大きくなると、ある一定の値に収束している。これは理論式を解く仮定において、螢光砂の y 方向の移動範囲を破砕線までとしたために生じたと考えられる。移動範囲を無限遠までとした場合は、現在検討中である。

ちおわりに 以上この研究において得られた結果を要約すると次のようになる。1) 今後、現地観測を行うにあたって写真撮影による蛍光砂調査法が漂砂調査に有効なものであることが明らかとなった。2) 著者らが仮定した表面蛍光砂減少係数は、現地観測結果から算定しうることがわかった。3) 蛍光砂の平均移動速度および拡散係数を算定する場合、従来の算定法には疑問があり、新しい算定法に関する示唆が得られた。最後に、この研究は文部省科学研究費(試験研究)による研究の一部であることを付記する。