

写真撮影方式による螢光砂調査法の研究

野田 英明*・的場 善博**・小林 幹和***

1. 緒 言

現地における漂砂調査法の一つとして螢光砂がしばしば用いられる。Ingle (1966)¹⁾ は彼の研究成果も含めて当時の螢光砂調査法について集大成している。

その後、Komar, Inman (1970)²⁾ はカリフォルニア海岸で螢光砂を用いて現地観測を行ない、沿岸漂砂量を算出している。さらに、Gaughan (1978)³⁾ や Inman (1979)⁴⁾ は海底面における砂層厚さを知るために螢光砂のサンプラーに工夫をこらし、その混合深さを求めている。

一方、我が国でも現地における漂砂の実態を把握するために螢光砂がしばしば利用されている。Kraus, Farnato, 堀川 (1980)⁵⁾ は沿岸漂砂量の岸沖方向分布を知る目的で螢光砂を利用しているし、灘岡・田中・加藤 (1981)⁶⁾ は局所的砂移動量を知るために螢光砂のサンプリングに工夫をこらし、測定地点を投入点から一定の円周上にとってその特性を調べている。また、日野・山下・米山 (1981)⁷⁾ は岸沖漂砂に関する実験で着色砂を用い、砂粒子移動の解析を行っている。

実験室における着色砂の利用は別として、現地における利用では Ingle の方法を除いてすべてコア・サンプラーを用いて採砂しているが、漂砂調査に螢光砂を多用できない一つの理由はその準備と採砂に多大の労力を要する点にある。

著者らは手軽に螢光砂が利用できる方法について従来から検討してきたが、ここでは Ingle の方法を応用し直接採砂するのではなく海底表面の螢光砂を写真撮影することによってその場所的あるいは時間的分布を知る試みを行ってきたので、その結果を報告する。

2. 現地観測の方法

図-1 は今回使用した写真撮影装置の概要を示すものである。この装置は 1983 年に最初に試作した装置にいくつかの改良を加えたものであって、海底表面にある螢

光砂を遠隔装置で撮影できるようになっており、上面 300×350 mm、下面 430×550 mm、高さ 650 mm、厚さ 3.2 mm の鋼製の台形筐体で、底面には厚さ 15 mm の強化ガラスが取り付けられており、水密かつ耐圧構造になっている。海底面の撮影範囲は 200×300 mm である。また、内

部にはカメラ、螢光砂を発光させる紫外線ランプ、遠隔操作のための各種装置および電源(電池)がおさめられている。紫外線ランプは水上よりケーブルにより送電できるようになっている。なお、カメラのシャッター速度は 1/4 sec で露出は 1.8 と一定にして撮影した。

図-2 は観測地点を示すものであって、その一つは外海に面した鳥取砂丘海岸のいそ波帯であり、他の一つは防波堤に囲まれた比較的静穏な鳥取港内で実施した。

鳥取砂丘海岸では 1984 年 12 月および 1985 年 8 月の 2 回、沿岸方向に 15 m 間隔で 15 点、沖方向に 5 m 間隔で 10 点の測定点を設置し、観測を行なった。この範

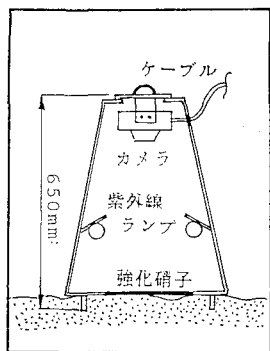


図-1 写真撮影装置

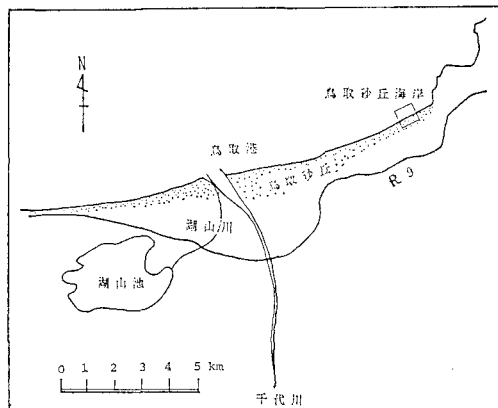


図-2 観測地位置図

* 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部海洋土木工学科

** 正会員 工修 建設省中国地方建設局

*** 学生員 鳥取大学 大学院 工学研究科

囲における最大水深は1.5m程度であって、人間が撮影装置を直接運搬して各測点における海底面の写真撮影を行なった。鳥取港内では1985年12月から翌年1月の約2カ月間に2回の観測を実施した。測点は港内の沿岸および沖方向とも100m間隔の格子点に設置した。なお、港内測定点は水深が5~15mであるため撮影には船を利用した。なお、螢光砂は現地の砂を用いて作成し、使用した色は赤、緑および黄色の三色である。

観測後の資料の分析はカラスライド中の螢光砂を読むとる作業のみである。

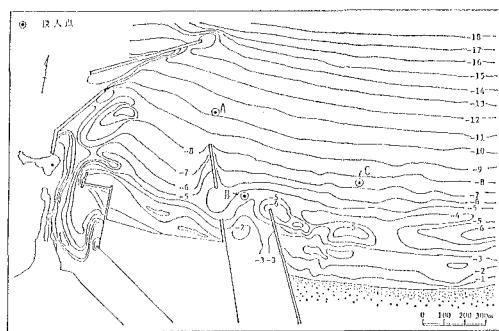


図-3 鳥取港の深浅測量図

3. 現地観測の結果と検討

(1) 鳥取港における観測結果

図-3は鳥取港および千代川河口の等深線並びに防波堤や導流堤の配置を示すものであって、図中のA、BおよびC点は螢光砂の投入地点であり、それぞれの投入点に黄、緑および赤色の螢光砂が投入された。投入量は各点2tonfずつである。螢光砂投入日時は1985年12月6日であり、それぞれA、BおよびC点に同時に投入された。海象の関係から写真撮影（ならびにスミス・マッキンタイヤ採砂器による採砂）が実施されたのは、1985年12月26日および1986年1月8日の2回であり、投入後それぞれ20日および33日目であった。

図-4(a)および(b)はそれぞれ投入後20日目における写真撮影法および採砂法による螢光砂等個数線を示すものであって、図中格子点の数字は読み取られた螢光砂の数を表わしている。なお、図中の破線は黄色螢光砂、実線は緑色、一点鎖線は赤色の分布を示している。また、写真撮影法では海底表面20×30cmの範囲の、採砂法では採取された試料500gf中の螢光砂数を示している。

図-5(a)および(b)は投入後33日目における同様の結果を示すものである。図-4(a)および図-5(a)ではそれぞれ港外および港内の一部で観測がなされていない。その理由は港外における波高の増大と港内における観測機器の故障によるものである。

螢光砂投入後の海象・気象を概括すると次のようである。はじめの20日間ではESEの風向が卓越し、その平均風速は3.8m/sであった。この風は陸風であり、波とは直接関係がないと推定される。一方平均の有義波波高および周期はそれぞれ2.9mおよび6.7secであった。

投入後20日~33日における海象・気象状況もほぼ同じであって、風向はESEが卓越し、平均風速は4.3m/s、平均の有義波波高および周期はそれぞれ2.6mおよび7.5secであった。

これらの図を比較すると、写真撮影法による螢光砂の個数は採砂法によるそれに比べて少ないが、場所的な分

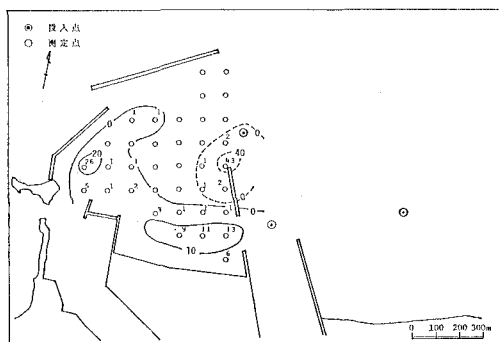


図-4(a) 写真撮影法による観測結果
(投入後20日目)

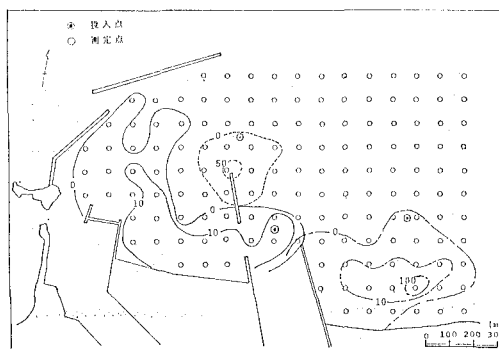


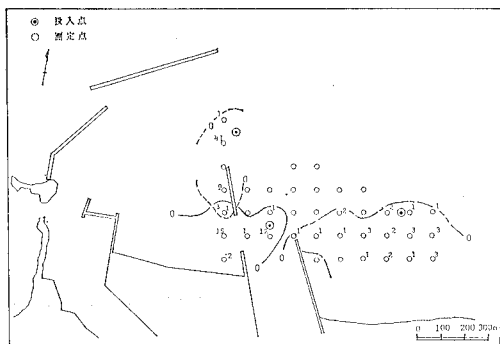
図-4(b) 採砂法による観測結果
(投入後20日目)

布の傾向には有意な差は認めがたい。ただし、螢光砂投入後1カ月も経過すると写真撮影法によって読みとれる螢光砂数はきわめて少なくなることがわかった。

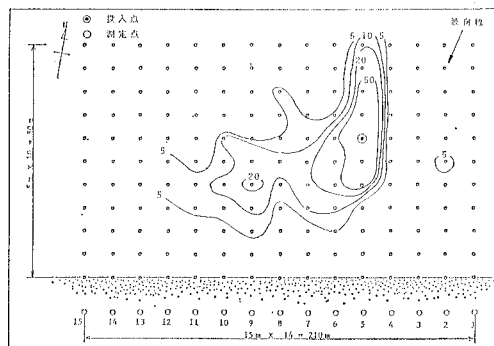
(2) 鳥取砂丘海岸における観測結果

図-6は観測地周辺の等深線を示すものであって、距岸400m付近に沿岸砂州が発達するほぼ直線の海岸であり、海底の平均勾配は約1/70である。底質の中央粒径は $d_{50}=0.25\text{mm}$ ではほぼ均一であった。

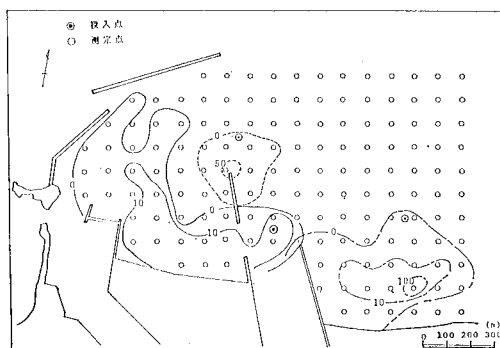
図-7(a)、(b)および(c)はそれぞれ螢光砂投入



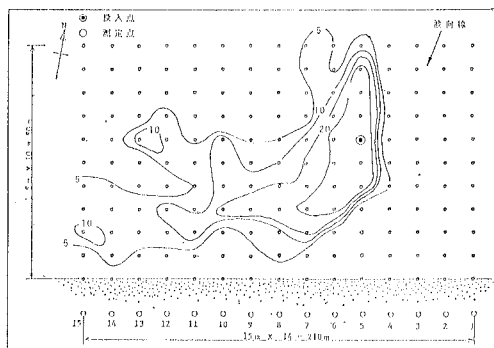
図—5(a) 写真撮影法による観測結果
(投入後 33日目)



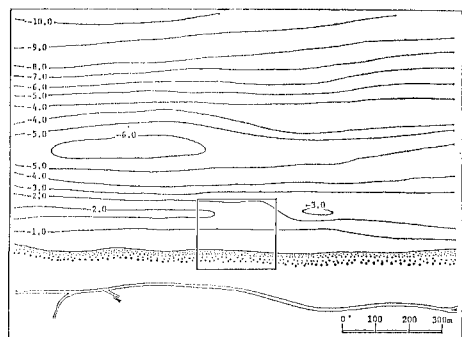
図—7(a) 鳥取砂丘海岸での観測結果
(投入後 1日目)



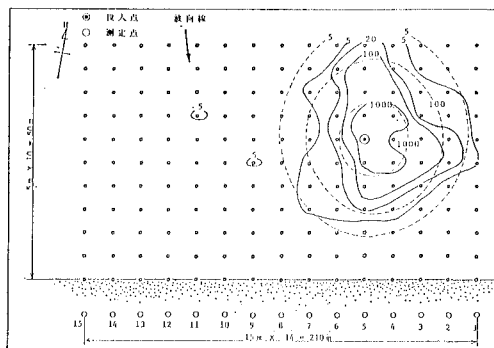
図—5(b) 採砂法による観測結果
(投入後 33日目)



図—7(b) 鳥取砂丘海岸での観測結果
(投入後 2日目)



図—6 鳥取砂丘海岸の深浅測量図



図—7(c) 鳥取砂丘海岸での観測結果
(投入後 9日目)

(1985.8.20) 後 1 日目, 2 日目および 9 日目における螢光砂数の場所的分布を示すものであって, 図中の●印は投入点を, また○印は測定点を, さらに矢印は観測時の波向を示している. 図—7 (a) および (b) より明らかなように, 螢光砂は西向きに移動, 拡散していることがわかる. この期間における平均の有義波高は 0.34 m, 周期は 4.5 sec であった. 観測期間中の波浪は穏やかで大きな変動がなかったため, 螢光砂は投入点を中心に拡

散している程度である. なお, 図—7 (c) 中における破線は後述する拡散理論を適用して求めた螢光砂の理論分布である. また, 実測螢光砂の分布から重心位置の移動速度を求めると, 沿岸方向のそれは $U=0.036$ m/hr, 岸沖方向のそれは $V=0.007$ m/hr (岸向きを正) である.

図—8 は観測時における螢光砂総数の時間的变化を示すものであって, 縦軸に対数目盛りで総数を, 横軸に普通目盛で投入後の経過時間をとってある. この図から明

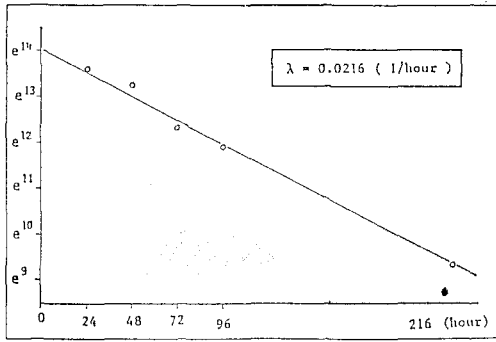


図-8 螢光砂総数の時間的变化

らかなように、海底表面における螢光砂総数は指数関数的に減少していることがわかる。

4. 螢光砂分布に関する拡散理論の適用

図-9 に示すように、沿岸方向に x 軸をとり、汀線に直角沖方向に y 軸をとって、海底表面における螢光砂濃度を c 、 x 方向および y 方向における螢光砂の移動速度をそれぞれ U および V 、同じく拡散係数を k_x および k_y とすると螢光砂濃度分布に関する拡散方程式は

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

となる。ここに、螢光砂が時間とともに海底表面下の砂層にもぐり込んでいることを考慮し、単位時間当りにもぐり込む量が螢光砂濃度 c に比例すると仮定し、その比例定数を表面螢光砂減少率 λ とする。(1) 式を初期条件 $t=0$ で $c(x, y, 0)=f(x, y)$ —(2)、境界条件 $y=0$ で $\partial c / \partial y = 0$ —(3)、 $y \rightarrow \infty$ で $c=0$ —(4)、 $x \rightarrow \pm \infty$ で $c=0$ —(5) を用いて解くと、螢光砂の濃度分布は次のようになる。すなわち、

$$\begin{aligned} \frac{c}{c_0} = & \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\lambda t) \\ & \times \int_{(x+l-Ut)/2\sqrt{K_x t}}^{(x-l-Ut)/2\sqrt{K_x t}} \exp(-z^2) dz \\ & \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{(y-y_0+l-Vt)/2\sqrt{K_y t}}^{(y-y_0-l-Vt)/2\sqrt{K_y t}} \exp(-z^2) dz \right. \\ & \left. - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{(y+y_0-l-Vt)/2\sqrt{K_y t}}^{(y+y_0+l-Vt)/2\sqrt{K_y t}} \exp(-z^2) dz \right] \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

ここに、 c_0 は螢光砂投入時の初期濃度であり、投入点は $x=0$ 、 $y=y_0$ である。さらに投入点の範囲は $2l$ である。前述した図-7(c) における破線は、実測分布から求めた $U=0.036$ m/hr、 $V=0.007$ m/hr ならびに実測分布の分散から求めた $k_x=0.86$ m²/hr および $k_y=0.17$ m²/hr、さらに図-8 における実測値の勾配(直線)を用い

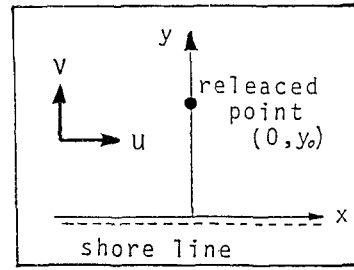


図-9 基礎式説明図

て $\lambda=0.0216$ (1/hr) を用いて式(6)を計算した結果の一例を示したものである。この結果から式(6)がほぼ適用できることがわかる。なお、 λ や k_x 、 k_y 、 U 、 V と波や底質の特性との関係はまだデータが少ないため十分満足すべき結果が得られていない。今後、 λ や拡散係数と混合深さ(移動厚)の関係についても多くのデータを入力してから検討する予定である。

5. 結 語

著者らは数年来、写真撮影方式で螢光砂調査を実施してきたが、その結果次のような成果が得られた。

(1) 本調査法では有意なデータを得ることができたうえに、データのサンプリングや検出に要する時間の短縮化と省力化をはかることができた。

(2) 今後、各種係数と波の特性との関係がわかれば、直接移動層を調べなくても漂砂量を求めることができると考えている。

(3) 比較的長期間でかつ広域の観測データには螢光砂の瞬間投入の拡散理論が適用できた。しかし、港内におけるように比較的狭い海域における拡散方程式の適用には境界条件を加味して数値計算法を開発する必要がある。

参 考 文 献

- 1) Ingle, J.C.: The movement of beach sand, Elsevier Publishing Co., 221 p., 1966.
- 2) Komar, P.D. and Inman, D.L.: Longshores and transport on beaches, JGR. 75, No.30, pp. 5914~5927, 1970.
- 3) Gaughan, M.K.: Depth of disturbance of sand in surf zone, Proc. 16th Conf. Coastal Eng., pp. 1513~1530, 1978.
- 4) Inman, D.L.: Presentation at the nearshore sediment-transport study workshop at La Jolla, 1979.
- 5) Kraus, N.C.・Farinato, R.S.・堀川清司: 沿岸漂砂量に関する現地観測, 第27回海岸工学講演会講演集, pp. 245~249, 1980.
- 6) 灘岡和夫・田中則男・加藤一正: 螢光砂を用いた局所的砂移動と移動量の観測, 第28回海岸工学講演会講演集, pp. 178~182, 1981.
- 7) 日野幹雄・山下俊彦・米山 晋: 着色砂による岸沖方向の海浜過程に関する実験, 第28回海岸工学講演会講演集, pp. 183~187, 1981.