

螢光砂を用いた漂砂の現地観測

橋本 宏*・宇多 高明**

1. まえがき

海岸侵食の防止や外洋における港湾の建設に際しては漂砂現象についての知識を必要としている。沿岸漂砂量については来襲する沿岸方向の波エネルギーや波浪特性と直接漂砂量を結びつけた公式が提案されている。しかしこれらの公式は比較的単純な海岸に適用できるもので、海岸構造物周辺の砂の移動や沿岸方向に周期的に地形の変化する場合には適用できない。漂砂の卓越している碎波帯においては波によって砂が浮遊するとともに沿岸流や離岸流などのいわゆる海浜流によって砂が運ばれる。また離岸堤や突堤などはその周囲に生じる流れによって砂が移動し、これに伴って地形が変化することによりその効果が発揮される。したがってこれらの漂砂現象を詳細に把握するには碎波帯内において直接波と流れによる砂の移動状況を調べることが必要である。

ここでは現地海岸において波浪、地形、流れ、漂砂についての総合的な観測を行い、漂砂現象を明らかにしようとして試みた結果を報告する。漂砂観測はサンプリングや検出に手間がかかるが、砂の移動状況が他の方法に比較して明確にとらえることのできる螢光砂をトレーサーとして用いる方法で行った。特に砂の移動経路、移動速度、移動厚などを明らかにするために調査を行った。

2. 現地観測

(1) 地形

現地観測は茨城県那珂湊市阿字ガ浦において昭和49年10月11日から18日まで行った。観測項目は地形、底質、風、波浪、海浜流、漂砂である。阿字ガ浦海岸は太平洋に面し、磯崎漁港から東海村海岸を経て日立港に至る延長10kmの南北に向けた砂浜海岸の南端に位置している。海底勾配は約1/50の遠浅な海岸であり、南側は磯崎漁港の防波堤によって夏期には波が低く、海底勾配も緩い。一方北側では勾配もきつく、波長が数10mのカスプや浜崖が存在する。この海岸に漂砂現象を観測するための延長約100mの棧橋がN87°Eの方向に設

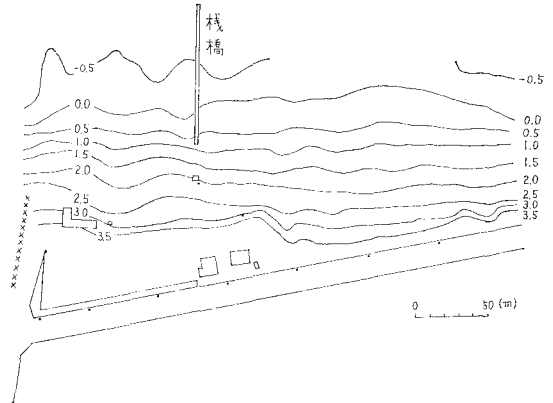


図-1 棧橋付近の地形図

けられている。観測地点付近の地形を図-1に示す。碎波帯内の地形測量は一般に困難であるがここではダイバーが海中にポールを立て、その位置を2台のトランシットで、また高さはレベルによってポールに取付けた目盛を読むことによって測定した。観測期間中波が相当荒かったために碎波点付近の海底地形は調べることができなかった。図-1によれば地形は一様でなく棧橋の両側と120mほど北側に離れた地点に深みがあり、この位置は後に述べる離岸流の発生地点とほぼ一致している。

(2) 底質

この海岸では比較的粒径は小さく、 $d_{50}=0.2\sim 0.3$ mmであるが一部砂利の出ているところもある。漂砂観測時に棧橋から南側へ15m離れた測線に沿って採取した砂の粒度分析を行った結果は図-2に示すように比較的均一で、汀線付近では $d_{50}=0.18$ mmから沖になるほど

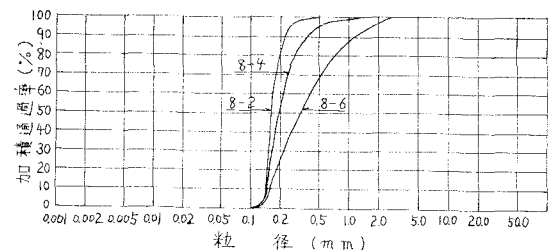


図-2 粒度分布

* 正会員 建設省土木研究所海岸研究室長

** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

$d_{50}=0.22\text{ mm}$ (汀線から 24 m) $d_{50}=0.35\text{ mm}$ (汀線から 48 m) と大きくなっている。

(3) 風

観測時の天候は快晴であった。10月11日の漂砂観測期間中の風向, 風速はほぼ一定で風向 NNE, 風速 5~6 m/sec であった。なお観測は地上 7.5 m に取付けた自記風向風速計で行った。

(4) 波 浪

波浪は棧橋先端に取付けた容量式波高計によって測定した。しかし棧橋が碎波帯の中にあるために碎波後の波を測定していることになる。表-1 に観測結果を示すが波高については観測中大きな変化はしていない。碎波後の波のために波高がほぼ水深によって限定されているとも考えられるが, 来襲波には大きな変化はなかったと推定される。波のスペクトルは顕著なピークを持たず, 低周波数の領域でエネルギーが大きくなっている。

なおこの他にスタッフによって碎波波高を測定しており, また波向についても写真から求められている。それによると $H_b=1.8\text{ m}$, $\alpha_b=11.5^\circ$ (棧橋の方向に対して 11.5° 南側から入射) であった。

表-1 波浪条件

	10:10~10:30		10:40~11:00	
	波高 H (cm)	周期 T (sec)	波高 H (cm)	周期 T (sec)
平均	41.5	4.44	42.9	3.80
有義波	66.0	5.93	69.7	4.92
1/10 最大	82.9	8.35	83.5	6.73

	11:10~11:30		12:10~12:30	
	波高 H (cm)	周期 T (sec)	波高 H (cm)	周期 T (sec)
平均	42.9	3.96	40.6	4.23
有義波	68.3	5.75	60.8	6.36
1/10 最大	85.5	7.80	74.0	8.59

(5) 海 浜 流

海浜流の観測は気球に吊した 70 mm のカメラによっ

て海面上 200~300 m の上空から, 棧橋より投入したフロートの移動状況を一定の時間間隔 (20 秒程度) で撮影した。撮影後特定のフロートの移動状況を追跡することによって流速を求めた。海浜流の流況を示したのが図-3 である。この流況はいくつの特徴を持っている。まず棧橋の南側に強い離岸流が発生しており, その最大流速は約 90 cm/sec に達している。また棧橋の南側の離岸流の根元にいわゆる rip-feeder current が発生している。一方この離岸流は碎波点より沖へ出ることにはできずに, 碎波帯内で循環し, 棧橋の先端付近を中心とする半径約 40 m の大きな渦を形成している。流況を撮影した写真から判定すると離岸流の発生地点では深掘れが存在していると考えられる。

3. 漂 砂 観 測

(1) 観 測 方 法

砂の移動現象を観測する方法としてはアイソトープや螢光砂をトレーサーとして追跡する方法がある。アイソトープによる方法は比較的トレーサーの検出が容易であるが取扱いはむずかしい。螢光砂による方法はサンプリングに手間がかかるが, 螢光塗料の色を変えてトレーサーの種類を増やすことができ, また海底に対して鉛直方向の分布を調べることができるという利点を持っており, ここでは螢光砂による方法を採用した。

漂砂の観測は, 碎波帯内に適当な間隔で螢光砂を投入し, その広がり状態をサンプリングすることによって調べた。螢光砂は現地の砂と粒度分布および比重を同じにするために, 現地で砂を採取し, 乾燥後モルタル練りと同様な方法で螢光塗料と混合した。螢光塗料は重量で砂の 5% の割合で混合し, 色としては赤, 緑, だいたい色の 3 色を用いた。螢光砂は 20 kg ずつビニール袋に入れ, 投入前に海水で濡らしておいた。投入量および位置は図-4 に示すように離岸流の発生している地点に汀線に直角に 6 m 間隔で岸側 9 点は 40 kg, 沖側 4 点は 20 kg ずつ合計 420 kg を同時に投入した。なお汀線から赤, 緑, だいたい色の順序になっている。

螢光砂のサンプリングは適当な時間間隔で行わなければならない。時間および距離間隔は必要とする現象がと

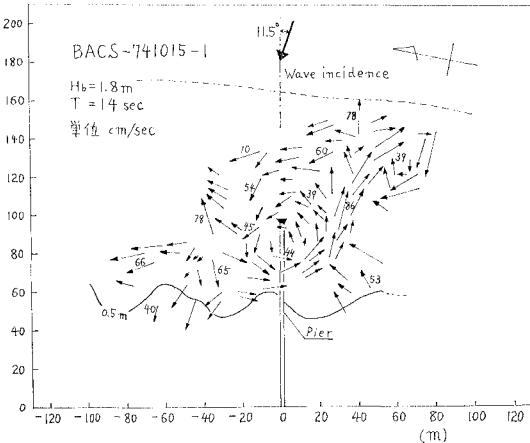


図-3 流 況 図

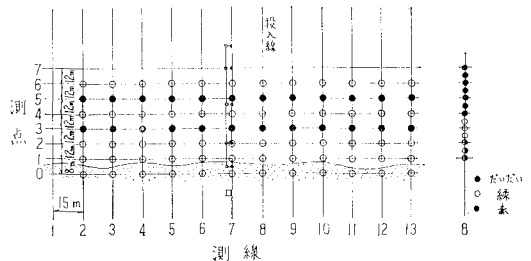


図-4 螢光砂投入点および採取点

らえられるように細かく、螢光砂の広がる範囲をある程度覆うようにサンプリング点を 図-4 に示すように配置した。すなわち沿岸方向には 15 m 間隔で 12 点、延長 165 m、沖方向には 8 m および 12 m 間隔で 7 点、延長 68 m である。沖方向にはさらに広い範囲をサンプリングする必要があったが波が荒く危険であったので、やむをえず上記の範囲とした。サンプリングは 250 cc 入りのピンを利用し各地点の海底の砂を採取することによって行った。

砂の移動現象においては平面的な移動状況のほかに、海底からどの程度の厚さまで移動しているか、またその移動速度がどうなっているかという問題は移動量や移動形態を考える場合に重要な意味を持っている。したがってここでも 図-4 に黒点で示すように汀線に平行な 2 測線で深さ方向の分布を測定した。サンプリングには直径 30 mm の塩ビパイプを二つに割って合わせたものを海底に埋め込み、深さ 10 cm 程度までの乱さない資料を得る方法を用いた。これらのサンプリングは 1 測線を 1 人で行い、1 回のサンプリングには約 13 分ほどかかっている。なお漂砂観測に要した人員は 21 名であった。

(2) 観測結果

螢光砂を投入してから 30 分、1, 2, 4 時間後の砂 1 g 当りの螢光砂数の平面的分布を示したのが 図-5~8 である。これらの図は螢光砂が短時間のうちに離岸流によって沖へ運ばれ、それが棧橋先端の戻り流れによって岸方向に移動していることを示している。すなわち投入点(測線 8)にはほとんど螢光砂がなく、一方測線 5, 6 で

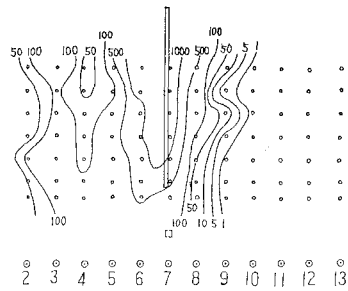


図-7 螢光砂の平面分布 (第3回2時間後)

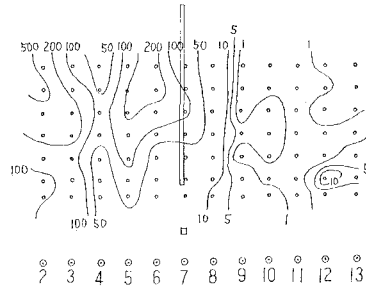


図-8 螢光砂の平面分布 (第4回4時間後)

は沖から出現し離岸流の根元付近に移動している。このような状況は各色の分布を調べると一層明らかになる。図-9~11 は投入後 30 分の各色の螢光砂の分布であるが、沖に投入されただいたいは岸近くにまったく存在せず、沖方向に濃度が高くなっている。また岸近くに投入した赤も沖方向に濃度は高くなっているが、岸近くにもかなり存在する。緑は上記二者の中間的性質を示している。また 3 色とも測線 5, 6 では沖方向に濃度が高い。

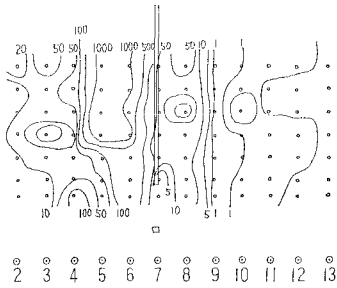


図-5 螢光砂の平面分布 (第1回30分後)

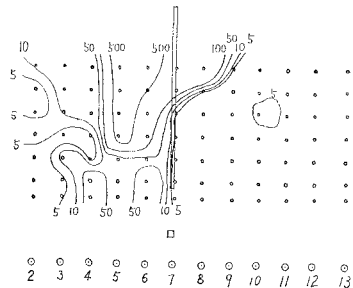


図-9 螢光砂 (だいたい色) の平面分布

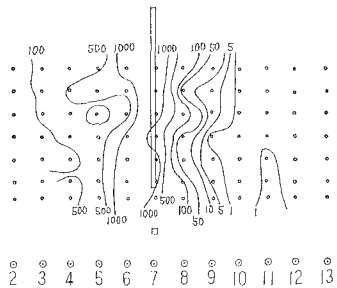


図-6 螢光砂の平面分布 (第2回1時間後)

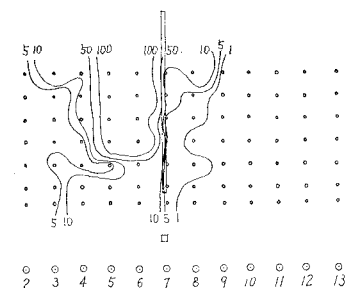


図-10 螢光砂 (緑色) の平面分布

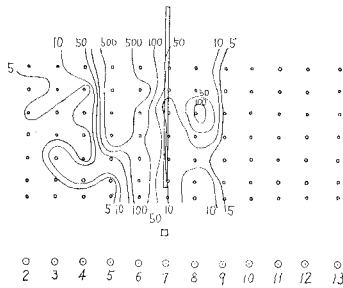


図-11 螢光砂(赤色)の平面分布

すなわち、砂の移動は離岸流や向岸流によって決定的な影響を受けている。

砂の移動速度については流速の早い離岸流の領域では螢光砂が少なく、流速の遅い向岸流または沿岸流の存在する領域では螢光砂が多く見出されることから、砂も流れに対応して移動していると推定される。投入後の螢光砂の濃度分布の重心の移動速度を求めれば、これは砂の平均の移動速度と考えられる。この速度を図-5~11の濃度分布を使用して求めてみると2~8cm/secになりそれに対応する流速としては、図-3の流況図から平均速度を求めると20~40cm/secであった。

移動厚については図-12, 13に採砂器によってサンプリングした螢光砂の入っている最大深さを示した。深さとしては10cm程度まで螢光砂が見出される。螢光砂濃度の平面分布(図-5, 6)と比較すると濃度の高い部分では深く、濃度の低い部分では浅くなっている。また深さ方向の濃度分布を示したのが図-14である。

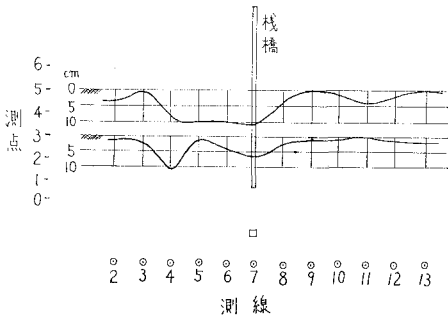


図-12 螢光砂混入最大深(第1回30分後)

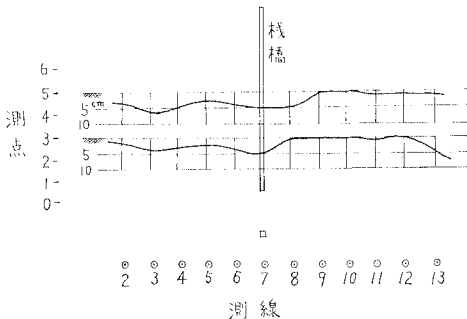


図-13 螢光砂混入最大深(第2回1時間後)

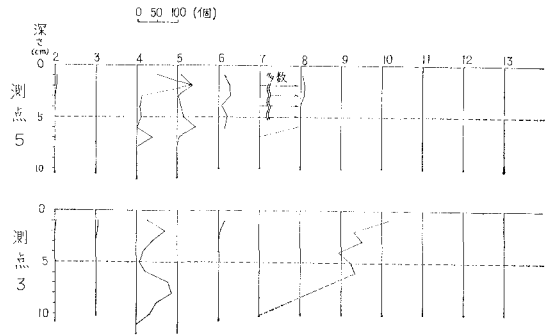


図-14 螢光砂の鉛直分布

測線4~6では鉛直方向の濃度に二つのピークが現われている。この原因は明らかではないが、浮遊形式の移動と掃流形式の移動による差から生じたのではないかと考えられる。

ここで得られた値を用いて離岸流内での漂砂量のオーダーを推定してみると、移動速度5cm/sec、厚さ5cm、幅10mとすれば、90m³/hrとなり相当量の砂が連続的に移動していることになる。このような底質の大量の移動は離岸流の発生や沿岸方向に周期的に変化する地形の形成に密接に関連していると考えられる。

4. まとめ

地形、波浪、海浜流、漂砂についての総合的な観測によって漂砂現象を明らかにすることを試みたが、その結果次のような成果が得られた。

- (1) 砕波帯における砂の移動は砕波にともなって発生する海浜流に強く支配されている。
- (2) 流れの流速が数10cm/secの場合には、砂の移動速度は数cm/secである。
- (3) 砂の移動している厚さは波浪条件にも支配されようが10cm程度である。

この海岸のように海底勾配が緩く、大規模な離岸流などの海浜流が発生しやすい海岸においては、漂砂量を直接波の特性すなわち砕波波高や入射角と結びつけることは困難であり、むしろ平均的な流れによって漂砂量と方向が決定されることから、流れと漂砂量の関係を求める必要がある。

最後に漂砂観測に御指導および御協力をいただいた中央大学服部教授および首藤教授に感謝致します。

参考文献

- 1) 橋本 宏・宇多高明: 波浪・海浜流・漂砂の観測システムとその応用例, 土木技術資料, Vol. 17, No. 1, January 1975.
- 2) 橋本 宏・白波瀬正道・宇多高明: 棧橋を利用した漂砂観測, 土木学会第29回年次学術講演会講演概要集, 昭和49年10月.
- 3) 建設省土木研究所(1975.3): 波浪・海浜流に関する現地観測調査(その2), 土木研究所資料第1005号