

砕波帯内における浮遊砂濃度分布

—2, 3 の興味ある観測例について—

田中 則男*・加藤 一正**・灘岡 和夫**

1. はじめに

海浜変形を予測するにあたっては、波・流れ・漂砂量・海底地形などの種々の要因を、それらの相互関係を明らかにしつつ同時に考慮する必要がある。これらの諸要因およびその相互関連を解明して行くには、現地での実測結果を蓄積して行くことがきわめて重要である。筆者の一人は、先到大洗海岸における砕波帯内の浮遊砂濃度分布の測定結果について報告したり（以下これを前報と呼ぶ）。本報告では、その後実施した現地観測の結果から更に詳細なデータが得られたので、

それを基に surf zone での浮遊砂濃度分布及びそれと他の地形・流れ等の諸要因との関連について述べ、加えて従来あまり注目されていなかった swash zone での濃度分布について、新たに開発した装置を用いて測定した結果について述べる。

2. Surf zone における浮遊砂濃度分布

ここに述べる内容は、前報に引き続き 1977 年 10 月 15 日～18 日茨城県大洗海岸において実施した surf zone の総合観測により得られたデータのうち、浮遊砂濃度分布に関連するものを取りまとめたものである。なお、このときの surf zone の波浪、海浜流等については、既に昨年の本講演会で報告しており¹⁾、観測地点及び観測期間中の海象条件等についてはこの中で詳述している。

浮遊砂のサンプリング装置は、前報で用いたものと同じもので、鉛直方向に並んだ 6 個の採水孔から同時採水出来る装置を砕波帯内を移動するソリの上に搭載した形式のものである。採水時の水圧による自然採水形式であるため、採水時間はその点の水頭により異なるけれど

も、およそ 3～4 秒と考えてよい¹⁾。従って、本装置による採水方法では、波の周期以下の短時間で濃度値が得られる。

図-1 に、観測領域の海底地形とおおよその海浜流のパターンを示す。領域の中心に強い離岸流とそれに伴う循環流が生じており、海底地形もそれに応じて複雑である。同図には、浮遊砂採取地点も示されているが、各採水点の横に付してある数字は、最初の 2 ケタが観測日を、最後がサンプル番号を表わしている。鉛直方向には、海底面から 25, 100, 150, 250 および 350 cm の高さの

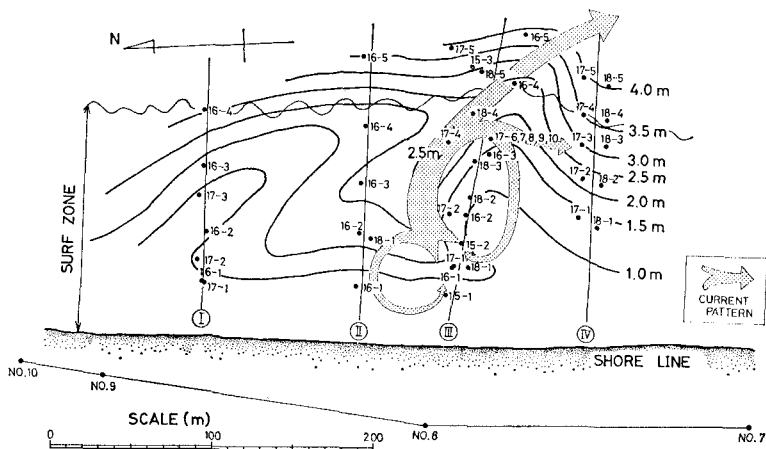


図-1 観測領域の地形と海浜流パターン並びに浮遊砂採取地点

6 地点で採取した。

(1) 浮遊砂濃度の鉛直分布

代表地点の浮遊砂濃度の鉛直分布を、その地点の平均水位とともに図-2 に示す。浮遊砂濃度の鉛直分布は、

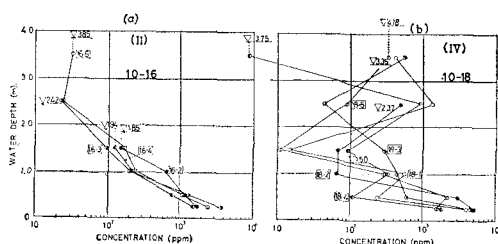


図-2 浮遊砂濃度の鉛直分布

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部漂砂研究室室長

** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部漂砂研究室研究員

(a) 図のように上方に行くにつれて急激に減少するという通常の傾向を示すものは全体の割合から比べるとわずかで、多くのものは (b) 図の例のように最上採水点、或いは中間部に極大点が生ずるような分布形を示している。ただし、ほとんどの場合最大濃度を示す点は、底面近傍の採取点であり、その値も千～数千 ppm の範囲に入り、上層・中層ほどのバラツキはない。

図-3 は、測線Ⅲ上の一点 (図-1 の 17-6, 7, 8, 9,

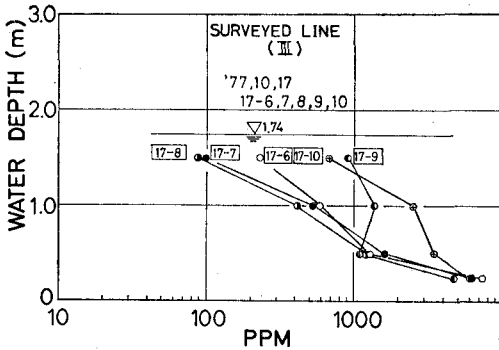


図-3 同一地点で繰り返し採取した浮遊砂の鉛直濃度分布

10) で繰り返し採水した結果である。採水地点が丁度 surf zone 内の離岸流中に位置しているため、全体に濃度が高い。底面近くの濃度は、5 回ほぼ同じ 5 000～7 000 ppm 程度であるのに対して、上層に向かうにつれて濃度のバラツキが大きくなり、一番上層に近いところでは 90～900 ppm とほぼ 1 オーダの範囲に広がる。このようなバラツキは、先述したように採水時間がそれぞれ 3～4 秒で波の周期より短いものであるため、採水が波のそれぞれ異なる位相で行われたことによると考えられる。言い換えると、浮遊砂濃度は表面近くでは波の位相に応じて大きく変化するのに対して、底面近傍では位相に関係なくほぼ一定となっている。

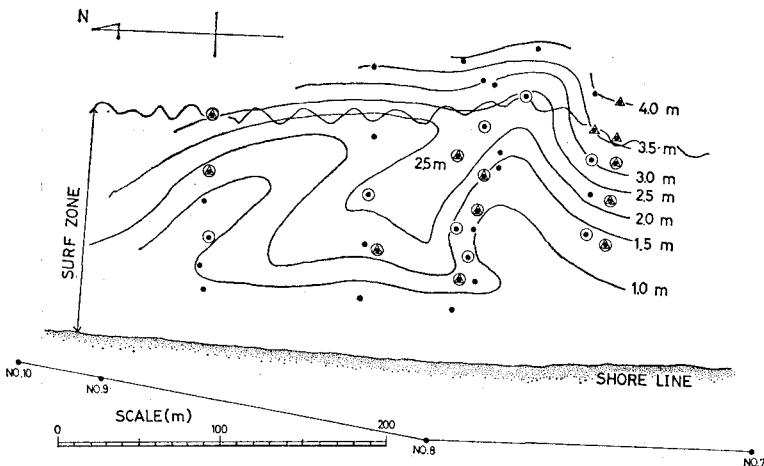


図-4 波の峰の通過時の採取地点及び表層濃度の高い地点の関係

図-2 によると、浮遊砂の採水がその点の平均水面より高い位置にある採水孔によりしばしば行われている。これは、波の峰の通過時に採水されたものと考えられる。このように波の峰の通過時に採水された地点を 図-4 中の白丸で示す。前述したように水表面近くの濃度がしばしば急激に高くなることが認められる。このような傾向がある地点を 図-4 中に三角形で示すと、surf zone 内においては三角形は全て白丸中に位置していることがわかる。すなわち、表面近くの濃度が急激に高くなるのは、全て波の峯が通過した時に採水した場合である。

以上の結果から考えると、surf zone での浮遊砂の鉛直拡散は、次のようなメカニズムに支配されていると推察される。すなわち、底面近傍では、波動運動に伴い底面近傍で発生した乱れにより、砂の鉛直拡散が行われる。一方、上層及び中層では、bore の crest 直下に生じる波高スケールの大規模な渦運動が鉛直拡散に対して支配的になる。このことは、波の峰の通過時には最上層に必ず高濃度点があり、中層部では逆に濃度の極小点が生じていることから裏づけられる (通常の irrotational な波動では、任意の位相での濃度分布で中層より上層の濃度が大きくなることはない)。従って、surf zone での浮遊砂の鉛直拡散を扱う際には、底面近傍の底面の影響が支配的な領域と、上層・中層の bore に伴う大スケールの乱れが支配的な領域の、二つの領域に別けて考える必要がある。

(2) 浮遊砂濃度の岸沖方向分布と海浜流・海底地形

図-5 は、各地点の濃度分布を鉛直方向に積分することによって求めた平均濃度を円の大きさに区別して表わしたものである。測線Ⅰでは、斜めに張り出した浅瀬上で高い濃度を示し、その沖側と岸側では共に低い値となっている。測線Ⅱにおいても同様の傾向がうかがえるが、全体に水深がⅠに比べて大きく、それほど明確ではない。測線Ⅲでは、沖から水深が浅くなるにつれ濃度が高くなり、その岸側で再び水深が深くなるにつれて低くなる。この中の測点 17-6～10 は、全測点中最も高濃度レベルとなっている地点であるが、図-1 に示すようにこの測点は、ちょうど離岸流と循環流が分岐している場所にあっており、海浜流との関連が想像される。

前報¹⁾で報告したように、浮遊砂の濃度レベルは岸に近く水深が浅くなるほど高くなる傾向がある。測線Ⅳではこのような傾向が明確に現われているが、他の測線では浅瀬の岸側の水深が再び深く

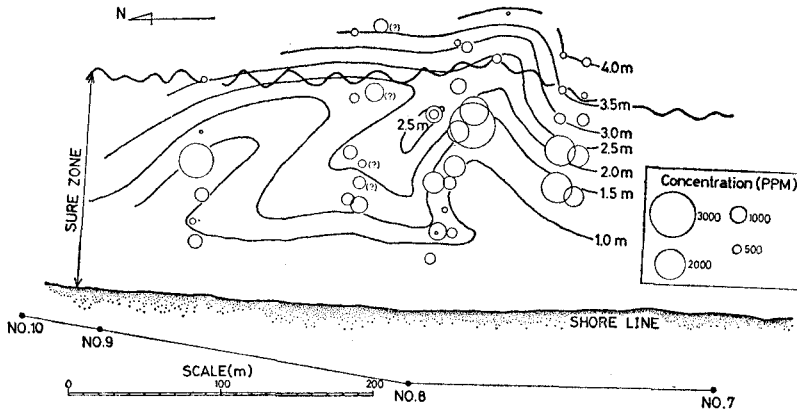


図-5 断面平均濃度の平面分布

なっている所までしかデータがとられていないためそのような傾向は明らかではない。測線Ⅰ・Ⅱの岸側の部分にその傾向が若干読み取れる程度である。なお、測線Ⅱの18日の測定では、18-1を除いて測定位置の精度に疑問があるため概略地点をプロットし、その横に(?)印を付した。

浮遊砂濃度の岸沖方向分布の特徴をより明瞭に示すために、縦軸に surf zone の端からの距離を、横軸に平均濃度及び最下点濃度をとって整理したものを図-6に示した。図中の実線及び破線が平均濃度、一点鎖線が最下点濃度である。これによると、濃度レベルが浅瀬上で高くなり、その岸側と沖側とで低くなるというパターンが一層明瞭になっている。最下点濃度は、先述したように波の位相の違いによる影響をあまり受けないので、平均濃度に比べバラツキが小さい。この最下点濃度の分布で見ると、各測線のピーク値はほぼ一定で、5000 ppm 前後である。また breaker zone での濃度レベルは、最下点濃度で 2000~4000 ppm、平均濃度で 400~900 ppm の範囲におさまるようである。

測定期間中の沖波は、各日の正午の値で16日が $H_{0.1/3}=1.0\text{m}$ 、17日が $H_{0.1/3}=1.2\text{m}$ 、18日が $H_{0.1/3}=1.4\text{m}$ であったが(文献2)参照)、このような沖波々高の相違による濃度レベルの変化はあまりなく、特に最下点濃度

の値はほとんど一本の線にのっておりバラツキが少ない。

3. Swash zone における濃度分布の測定

Swash zone における漂砂現象については、従来あまり注目して観測されなかったように思われる。しかし、swash zone での漂砂量は、それが前浜の形成に密接に関連しているだけでなく、海浜変形の数値シミュレーションにおい

て、それが岸側での境界条件を与えるという点で、その内容を明らかにすることが重要な意味を持つようになってきている。

筆者らは、swash zone での漂砂現象を解明するの一つの手がかりとしてその濃度分布を測定することを考え、以下に述べるようなサンプリング装置を開発した。

(1) サンプリング装置

このサンプリング装置は、図-7に示すような構造で、鋼棒(A)とそれに固定された上下二枚の金属板(B)(C)に沿って上下可動な円筒(D)が装着されている。この円筒を図のように上に引き上げた形で止め金具(E)により吊るしておき、ヒモ(F)を引くことにより任意の瞬間に落下させれば、円筒と(B)(C)二枚の金属板の間に海水と共に移動状態にある砂を捕捉することが出来る。円筒落下後、(C)の部分では水密構造を有し、内部の海水がもれることはない。円筒の内径は 11.6 cm、長さは 70 cm であり、金属板(B)(C)間の長さは約 52 cm である。

(2) 観測方法及び観測時の海象条件

観測は、茨城県阿字ヶ浦海岸において実施した。この観測では、4基のサンプリング装置を海岸線に直角方向にほぼ 6m 間隔に並べてサンプリングを行なった。設置地点の前浜勾配はほぼ 1/30 であり、サンプラーは全て最終碎波点の岸側に設置された。また、底質は中央粒径

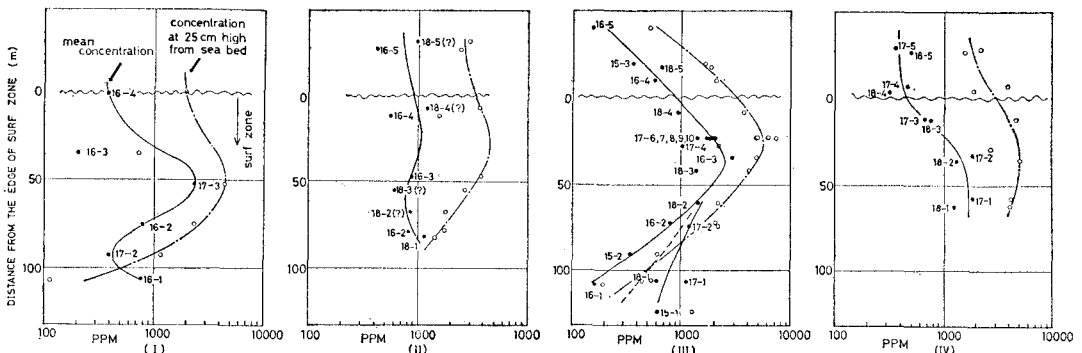


図-6 測線別の岸沖方向濃度分布

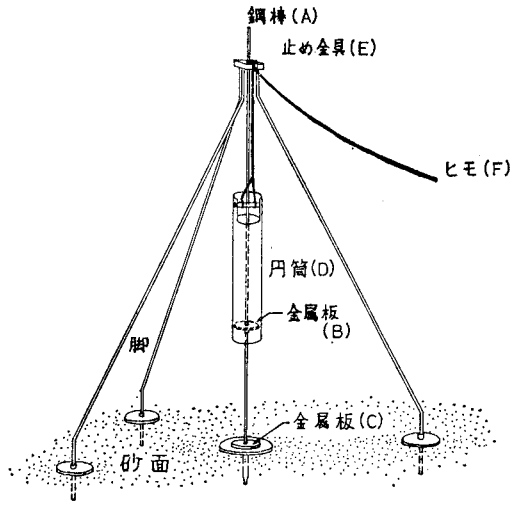


図-7 サンプリング装置の外観図

0.18mm の細砂である。

観測は、1978 年 12 月 11 日の午後、12 日の午前と午後の 3 回にわたって行われた。観測期間中の潮汐及び沖波の状況を、それぞれ 図-8、表-1 に示す。サンプリ

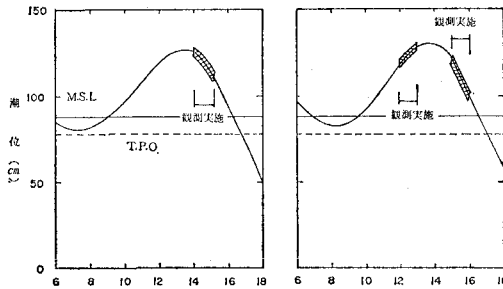


図-8 観測期間中の潮汐

表-1 観測期間中の沖波諸元

	時 刻	有義波高 (m)	有義周期 (sec)
11日	9:30~ 9:40	1.69	6.9
	15:00~15:10	1.83	7.8
	20:00~20:10	1.47	7.9
12日	2:00~ 2:10	1.00	8.0
	9:30~ 9:40	0.78	6.8
	15:00~15:10	0.85	7.1
	21:50~22:00	0.72	8.0

ングの大半は高潮位時に実施されており、サンプリング中の潮位の変化は 0.1~0.2m 程度である。

サンプリングは、次の三種の方法で行われた。

a) bore がほぼ遡上しきった時

を見計って、全てのサンプラーを同時に落とす。

b) bore の crest 通過時に、順次サンプラーを落していく。

c) bore の crest 通過直前に、順次サンプラーを落していく。

上記 c) タイプのサンプリング結果については、データ数が少なく有意な情報が得られなかったため、今回の報告では省略した。

(3) 観測結果

i) a) タイプのサンプリング結果

図-9、図-10 は、横軸に水深を縦軸にそれぞれ、捕砂量及び濃度をとって整理したものである。これによると、捕砂量・濃度とも水深の減少に対して指数関数的に増加することが分かる。特に、濃度は 10^5 のオーダーにまで達しており、surf zone における過去の測定値に比べて 1 オーダー高い。これは、水深がかなり小さくなると砂移動がほとんど掃流砂形式で生じるようになるが、今回用いた装置によりこのような薄層流までサンプリング可能となったことによる。また、同図によれば、採取点の相違によって捕砂量及び濃度のランクがずれ、岸側のサンプラーほど濃度レベルが高くなることが知られる。

ii) b) タイプのサンプリング結果

図-11、12、13 は、それぞれ、捕砂量・濃度・水深の岸沖方向の分布を示している。各サンプラーの位置は、沖から順に A, B, C, D の記号で表わしてある。また、実線が 12 日午前、破線及び一点鎖線が各々 12 日午後、11 日午前の測定結果である。図-11 の捕砂量の分布を見ると、実線では、岸側に移るにつれて増加しているのに対し、破線・一点鎖線では、途中の B 点でピークを示す。これは、12 日の午前の測定の潮位が午後の測定の潮位よ

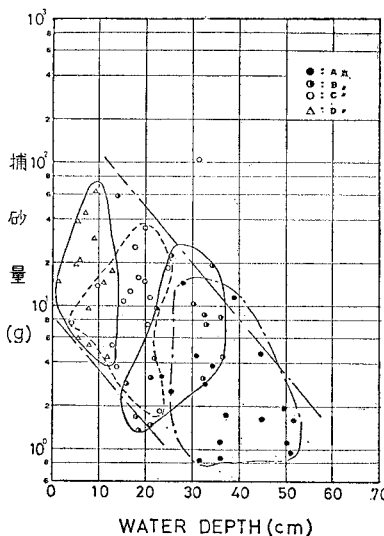


図-9 捕砂量と採取点の水深の関係 (a) タイプ

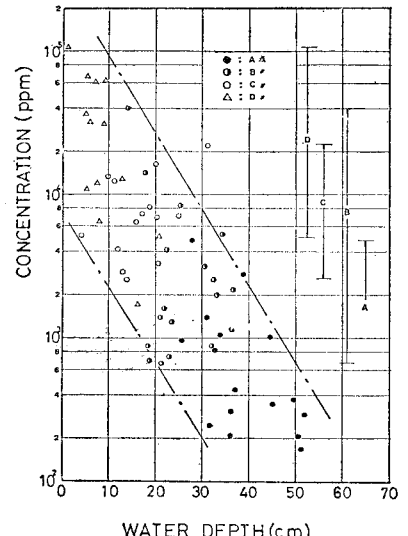


図-10 濃度と採取点の水深の関係 (a) タイプ

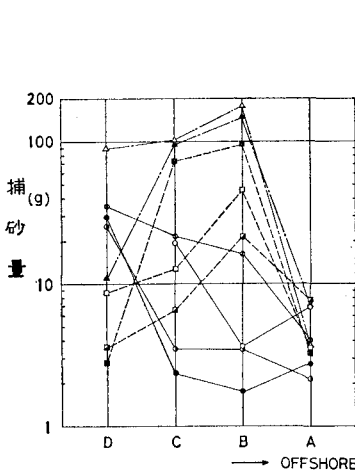


図-11 捕砂量の岸沖方向分布 (b) タイプ

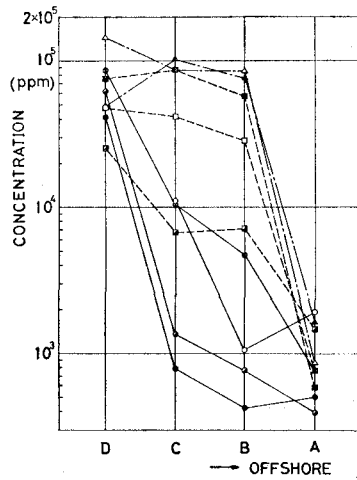


図-12 濃度の岸沖方向分布 (b) タイプ

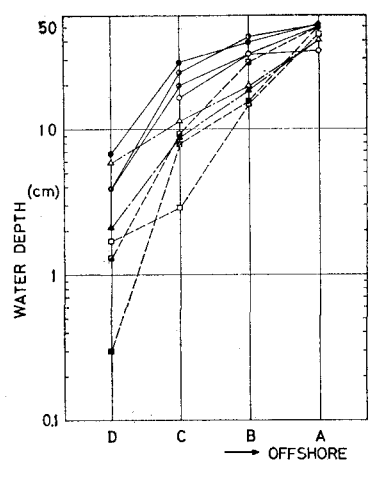


図-13 水深の岸沖方向分布 (b) タイプ

り高いこと、及び11日の測定では12日に比べサンプラーを全体により岸側に設置したこと等に対応して、最終砕波点からサンプラーまでの距離が12日の午前の測定では相対的に小さくなっていたためと考えられる。このことは、図-13において、12日午前では水深の測定値が全体に大きくなっていることからもうなずける。したがって、12日午前の測定結果は、全体をより沖側にずらして見る必要がある。濃度の分布は、捕砂量が極大を示す地点より沖側では急激な増加傾向を示すが、岸側ではほぼ一定の濃度となっている。

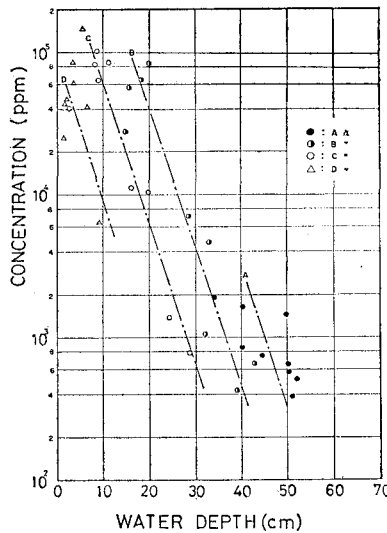


図-14 濃度と採取点の水深の関係 (b) タイプ

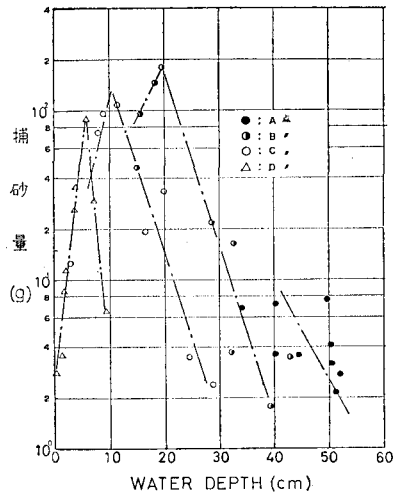


図-15 捕砂量と採取点の水深の関係 (b) タイプ

a) タイプの場合と同様に、濃度及び捕砂量を水深との関連で整理すると、図-14、図-15となる。濃度は水深の減少と共にやはり指数関数的に増加するが、その増加率はa) タイプの場合よりさらに大きく、10 cm 程度の水深差で1オーダーの濃度差がある。またサンプラーの設置位置の相違によって点が明瞭に別れ、グラフ上で平行な直線群となっている。これにより、同一の水深に対し、沖側のものほど高濃度となることが分る。

次に、図-15に示す捕砂量と水深との関係で見ると、濃度の場合とは異なって途中に極大値を持つ分布形となることが分る。この場合も、設置水深の相違により分布傾向が明瞭に異なっている。

4. あとがき

今回の観測では、surf zone, swash zone とともに、波の周期以下の短時間での測定が行われたが、このような場合、波の位相と濃度分布特性を詳細に関連づけることが望まれる。このことは、今回の観測では十分に行うことが出来なかったので今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 田中則男: 砕波帯内における浮遊砂濃度分布の一観測例とその観測方法について、第22回海講演文集, pp. 319-324, 1975.
- 2) 田中則男・加藤一正: 大洗海岸における海浜流、砕波帯内の波の観測、第25回海講演文集, pp. 232-236, 1978.