

現地海岸での浮遊砂量について

入 江 功*

1. はしがき

砕波帯付近の漂砂は、砂は主として浮遊形式で移動している。その場合、漂砂を定量的に解析するには、沿岸流等の流れとともに浮遊砂量と外力条件との関係を明らかにする必要がある。浮遊砂量については、いままでも多くの研究がなされているが、そのほとんどが室内実験によるものである。現地海岸においては、波の不規則性、その砕波特性、海底の粗度、縮尺効果等、室内では再現しにくい要素が多々あり、既往の室内実験結果から現地浮遊砂量への言及はなかなか困難である。捕砂竿や捕砂器による浮遊砂調査で、現地の浮遊砂の特性を把握することも数多く試みられ、浮遊砂分布の形状等の定性的な特性はかなり明らかになってきている。しかし、これらの装置では、浮遊砂量の相対量しかとらえることができないので、観測の定量化には限界がある。捕砂竿の捕砂率と浮遊砂の絶対量とを関係づける試みがなされているが、資料が少ないこと、多くの仮定が入ること等で、どの程度現地浮遊砂量が説明できるか不明である。本報告では、荒天時において砕波帯内の海水を直接多量に採取できる採水装置をつくり、これを用いて種々の海象の下での浮遊砂の定量観測をした結果について述べるものである。多量の試料を採取できたので、浮遊砂量と外力との関係が明らかにできたほか、浮遊砂の粒度組成と外力との関係についても、興味ある事実が明らかとなった。

2. 観測場所および方法

観測は、日本海に面する酒田港北港地区の海岸において、昭和49年12月から昭和50年3月の冬季間に実施した。観測装置の配置は図-1に示すとおりである。長さ170mの突堤の先端位置で、-2m、-3m、-3.5mの3つの高さの位置に図-2に示すような鉄パイプノズルを取付け、それらのパイプを突堤の根元まで引いて、開閉バルブを経由してポンプ(最大出力2.5PS)へ接続した。採水に際しては、まず根元の開閉バルブを開き、ポンプの吐出口を接続して送水し、突堤先端までに至るφ32mmの鉄パイプ内に水を満たす。次に開閉バルブを

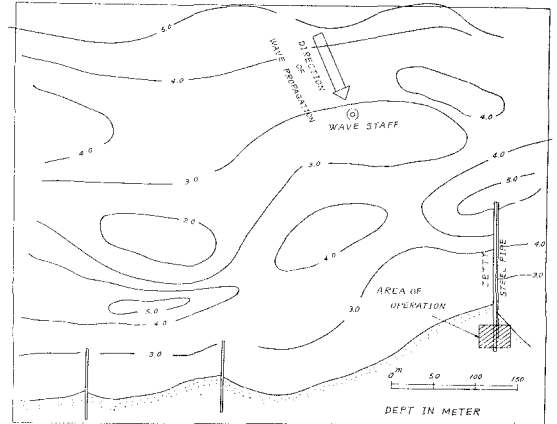


図-1 観測の場所(深浅図は昭和50年1月7日)

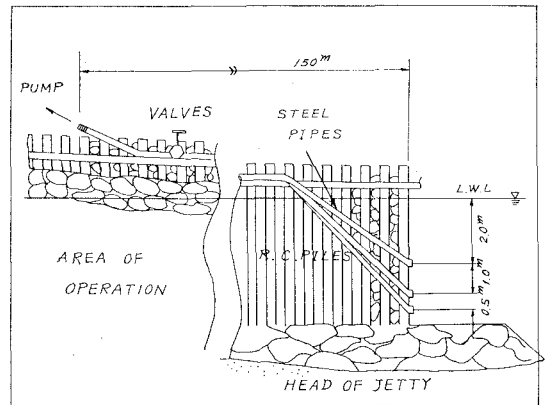
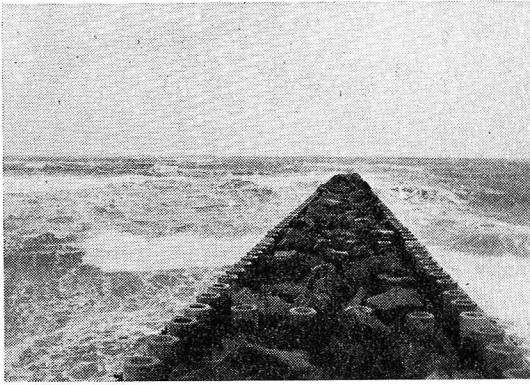


図-2 採水装置設置図

閉じ、そこにこんどはポンプの吸入口を接続して吸入した。吸入にあたっては、管内流速が浮遊限界流速以上となり、全部浮遊して運ばれるよう、管内流速0.5~1.0 m/secとした。また、先端の浮遊砂の条件が根元でも確保されるようにするため、吸入を開始して10分間は採水せず待機し、吸入状態が定常化した後に試料水を約260l採取した。採取した水は全量を60~120l入り容器に入れ、10分間放置して上澄液を廃棄し、沈殿砂を採取した。波は、図-1に示す位置に波高桿を設置し、8ミリカメラで10分間撮影し、1秒ごとに水位を読み取って

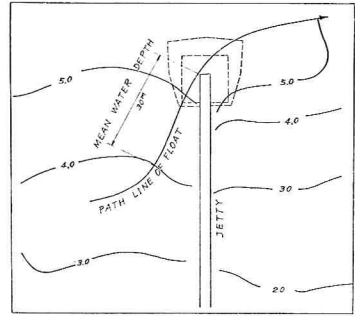
* 正会員 運輸省港湾局防災課



写真—1 突堤先端周辺の波
(昭和50年1月14日午前10時)



写真—2 採水作業



図—3 突堤先端周辺の水深

なお、本装置で得られた浮遊砂量の鉛直分布が、はたして突堤先端水深の下で浮遊されたものかどうかは疑問である。荒天時における突堤先端付近の流況予備調査によれば、図—3 に示すような流跡をたどり、特に突堤先端から 10~20m 付近から流れが速いことがわかった。そこで今回は、流跡に沿って、突堤先端から流れの上手へ 30m の区間をとり、その区間の平均水深をもって、浮遊砂量鉛直分布整理用の水深とした。したがって、突堤先端における海底からの採水高さに、この平均水深と突堤先端水深との比を掛けて補正された採水高を解析に用いた。

3. 観測結果

表—1 は観測結果の一覧表である。水深は観測時の潮

波形を求め通常の方法で波を整理した。波の観測、採水は、観測日の午前 10 時を中心を実施した。

表—1 観測結果 (No. 9~11 は野田による)

ケース番号	記号	観測年月日	有義波高 (cm)	周期 (sec)	水深 (cm)	採水高さ Z (cm)	濃度 Cz (PRM)	中央粒径 D50 (cm)	沈降速度 Wo (cm/s)
NO. 1	●	49.12.9	41	6.7	531	357	1.7	0.019	1.45
						286	1.1	0.022	1.78
						250	2.5	0.0175	1.27
NO. 2	▲	50.1.14	143	8.5	440	228	2.4	0.033	3.02
						137	1.33	0.040	3.83
						91	2.41	0.034	3.14
NO. 3	○	50.1.18	66	6.3	442	228	5.6	0.0175	1.27
						137	10.1	0.0195	1.50
						91	11.1	0.0200	1.57
NO. 4	△	50.1.25	131	8.0	440	228	12.6	0.028	2.45
						137	13.6	0.030	2.69
						91	19.1	0.029	2.57
NO. 5	▲	50.1.29	142	7.9	415	228	11.7	0.0365	3.41
						137	15.5	0.0350	3.25
						91	18.6	0.0340	3.14
NO. 6	▲	50.1.30	118	8.1	417	228	13.4	0.027	2.34
						137	14.5	0.026	2.24
						91	15.9	0.028	2.45
NO. 7	●	50.2.12	64	7.3	420	228	3.4	0.0225	1.80
						137	10.8	0.0250	2.10
						91	13.7	0.0260	2.20
NO. 8	●	50.3.14	70	6.1	424	228	7.4	0.027	2.34
						137	6.5	0.026	2.20
						91	12.1	0.027	2.34
NO. 9	■	42.1.18	90	6.0	700	300	13.0	0.020	1.50
						200	26.0	0.018	1.40
						150	60.0	0.016	1.20
						100	125.0	0.020	1.50
NO. 10	■	42.1.20	95	7.2	520	400	19	0.020	1.50
						300	30	0.020	1.50
						200	28	0.020	1.50
						100	60	0.060	6.50
NO. 11	□	42.1.20	90	7.0	520	500	25	0.020	1.50
						400	30	0.020	1.50
						300	42	0.020	1.50
						200	28	0.020	1.50
						100	51.0	0.060	6.50

位で補正して示してあり、また採水高さは海底面からの高さで、さきに述べた補正がしてある。沈降速度は砂の比重 2.65, 水温 3°C として求めた。表中 9~11 ケースは、野田²⁾らが大湊海岸で実施したもので、絶対量の比較のため本データに加えた。

(1) 浮遊砂量の鉛直分布

浮遊砂量の鉛直分布を、海面から海底面まで一律に表現することは困難である。技術目的からすれば、海底に近く、濃度の比較的大きいところの浮遊砂量を知る必要があるわけであるから、これらの領域に焦点をあわせ、工学的に許せる範囲内でできるだけ簡単に分布を表現することを試みる。野田は、 $kz \leq 0.3$ ($k=2\pi/L$, z =海底面からの高さ) の範囲においては、現地観測による浮遊砂分布から得られる鉛直拡散係数は、岸ら³⁾による、

$$\epsilon_z = \alpha K u_B^* (z + z_0) \dots\dots\dots (1)$$

の表現が妥当としている²⁾。ここに α は比例定数, K は Kármán 定数, z_0 は roughness length であり, u_B^* は最大摩擦速度に比例する摩擦速度である。また、拡散係数は、

$$\epsilon_z = - \frac{w_0 \bar{C}_z}{d\bar{C}_z/dz} \dots\dots\dots (2)$$

で通常表わされるが、式 (1) と (2) とを考えあわせると、浮遊砂の鉛直分布は log-log 関係にあることがわかる。井口⁴⁾は鹿島海岸沖浜帯の捕砂筈による浮遊砂調査結果により、このことを示した。そこで、今回においても井口の場合と同様、浮遊砂量の鉛直分布を、

$$\log z = a \log C_z + \beta \quad (a, \beta; z \text{ によらない定数}) \dots\dots\dots (3)$$

と仮定した。図-4 は、表-1 の観測結果をプロットしたものであるが、各ケースに対し引いてある直線は、以上の考えにもとづいたものである。ここで、 a, β が、外力によって表示されれば、外力と浮遊砂量との関係がわかることになる。

式 (2) と (3) から、

$$\epsilon_z = -w_0 a z \dots\dots\dots (4)$$

となり、これと (1) から、

$$a = -\alpha K (u_B^*/w_0) \dots\dots\dots (5)$$

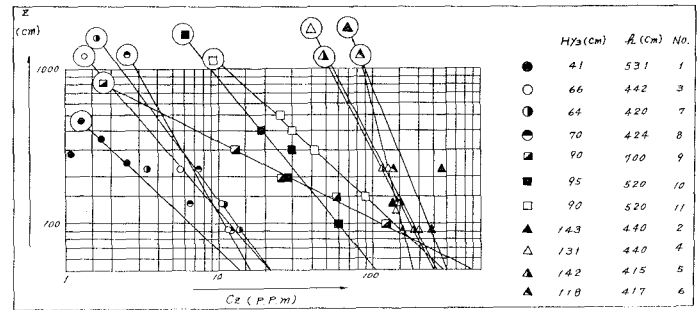


図-4 浮遊砂量の鉛直分布

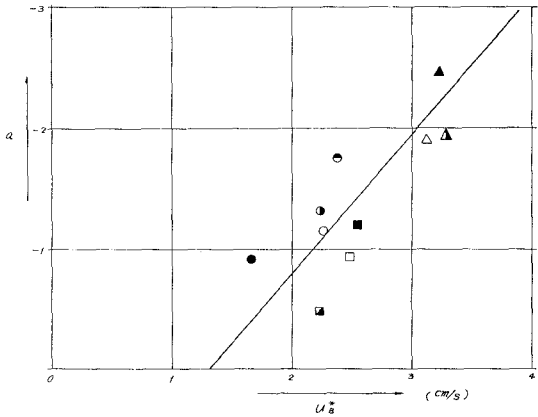


図-5 a と u_B* との関係

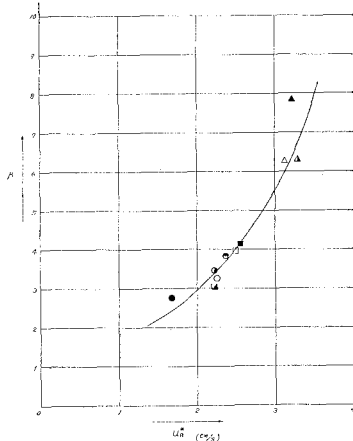


図-6 beta と u_B* との関係

であり、 a は (u_B^*/w_0) で表わすことができる。ここで表現の便宜上 $kz_0=0$ としたが通常は $kz_0 \neq 0$ であるからその分の修正が必要である。今回の現地観測結果から、 a と u_B^* との関係をプロットしたのが図-5であるが、両者は互いによく相関している。同様に β と u_B^* との関係をプロットしたのが図-6であるが、これも両者よく相関しているようである。ここで、 u_B^* としては、進行波の層流境界層の場合の最大摩擦速度を表わす式

$$u_B^{*2} = \sqrt{2\pi\nu/T} \cdot \pi H/T \sinh kh \dots\dots\dots (6)$$

により求めた⁵⁾。ここで、 ν は水の粘性係数, H, T は波の波高および周期, $k=2\pi/L$, h は水深である。

(2) 海底攪乱度を示す u_B^* と浮遊砂の粒度組成

図-5, 図-6 において、 (u_B^*/w_0) の代りに u_B^* のみを用いたのは、次の理由による。 u_B^* は、海底攪乱度をあらわす 1 つの指標と考えられるが、今回の観測

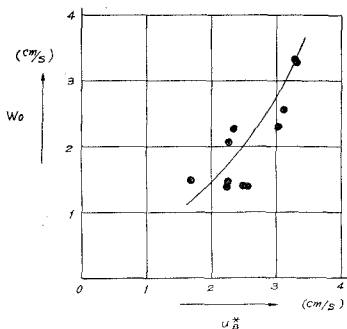


図-7 w_0 と u_* との関係

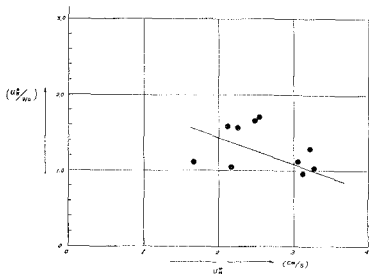


図-8 (u_*^3/w_0) と u_* との関係

結果からみると、図-7 にみられるように、浮遊砂の沈降速度と u_* とはある程度相関している。したがって (w_0/u_*) と u_* との関係は 図-8 のようになり、 (u_*^3/w_0) は必ずしも海底攪乱度の指標とはなっていない。もし、室内実験のように、実験砂がよくふるい分けされておれば、 w_0 がほぼ一定となるので (u_*^3/w_0) もまた海底攪乱度の指標となり得る。しかし、現地のように、海底砂のふるい分けが十分でない場合は、海底攪乱度の増大に伴い、浮遊にあずかる砂粒径の組成が異なってくるようである。図-9 は、このことをいまいしくわしくみるために、浮遊砂の粒度組成の u_* による変化を示したものである。図によれば、 $u_* \leq 2.4$ cm/sec では $D=0.25$ mm 以下の浮遊砂が多かったのに比し、 $u_* \geq 2.4$ cm/sec では $D=0.25$ mm~ 0.42 mm の砂が非常に多くなっていることがわかる。また、 $D=0.1$ mm 以下の砂の割合は、 $u_* \geq 3.0$ cm/sec では非常に少なくなっている。これは、波が大きくなるにつれ、浮遊する砂は海底の表面付

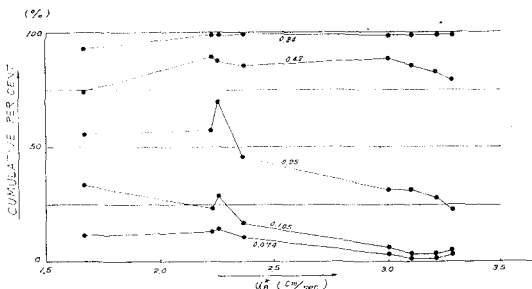


図-9 浮遊砂粒度組成の u_* による変化

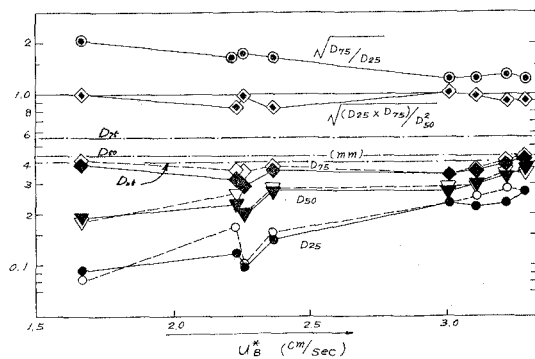


図-10 浮遊砂粒度組成の各統計値の u_* による変化 (一点鎖線は、海底からとった砂の粒径を示す)

近のみでなく、その下の比較的粒径の大きな底質が浮遊しはじめるためであろう。したがって、今後の現地における浮遊砂の研究として、海底砂粒径の鉛直分布特性も、重要な項目となるように思われる。図-10 は、同様に浮遊砂粒度組成の各統計値の変化を示したものである。 u_* の増大に伴い、碎波帯内の底質の大部分を構成する $D=0.2 \sim 0.4$ mm の粒径の浮遊砂が多くなり、ふるい分け係数も 1 に近づいている。

(3) u_* の値と浮遊砂量鉛直分布

図-5, 図-6 において、浮遊砂量鉛直分布式の係数である、 a, β は、海底摩擦速度 u_* と大きく相関している。そこでこれらの相関曲線を利用し、式 (3) の両辺から $\log h$ (h は水深) を差引いて、

$$\log(z/h) = a \log(C_z h^{1/a}) + \beta \dots\dots\dots (7)$$

としたときの浮遊砂量鉛直分布を、 u_* の各値に対して示したのが 図-11 である。ただし、この図においては、 C_z [ppm], h [m] の単位で表示している。この図を用いれば、酒田港海岸 (海底勾配 1/30, 底質粒径 $d=0.2$ mm~ 0.4 mm) と類似した海岸であれば、波の条件を与えることにより、浮遊砂量が求まることになるが、これについては以下のような限界がある。

- (イ) 海底面に非常に接近した所では本法が対象とする現象とは異なった機構で砂が移動していること。
- (ロ) 今回の調査における波、底質の諸元は 図-12 に

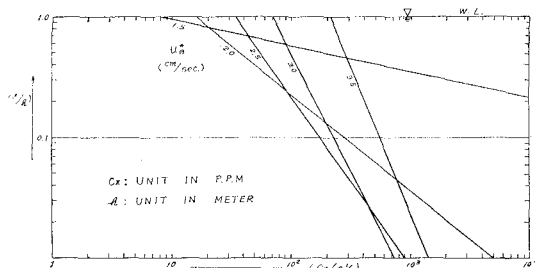


図-11 u_* の各値に対する浮遊砂量鉛直分布

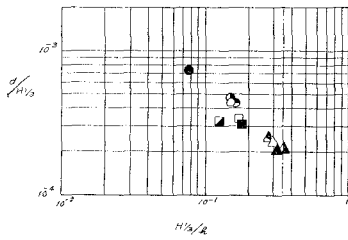


図-12 データの範囲

示すとおりであり、一番波が大きい場合でも図中一点鎖線で示すように、やっと限界有義波高⁹⁾に達するのみである。したがって、これよりさらに $H_{1/8}/h$ の大きいところについて本データを適用するわけにはいかない。すなわち、図-11の浮遊砂量鉛直分布は、沖浜帯から碎波帯へさしかかるまでの範囲に適用され得るものである。

4. 結 語

漂砂を定量的に取扱うことは、海岸、港湾工事を担当する技術者にとって永年の願いである。これに少しでも資するため、浮遊砂量の現地観測を実施したが、そのデータ範囲は、沖から汀線に至る漂砂帯の一部をカバーしているに過ぎない。また、底質粒径の粗い海岸に対しても適用不能である。ともあれ、漂砂を研究されている諸

賢にできるだけ正確にこの資料を示し、今後の御研究の一助となれば著者の幸いとするところである。

5. 謝 辞

本報告に用いた資料は、著者が、第一港湾建設局酒田港工事事務所勤務中に調査したものである。関係者各位に深く感謝するとともに、特に、資料の収集、整理に協力をいただいた同所工務課の丸山浩君、本調査の主旨をよく理解し、寒風の中を現地観測にたずさわっていただいた第一工事課機械係の各位に厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) たとえば、田中則男・小笹博昭・小笠原昭：波と流れによる砂移動に関する実験，港研報告，第12巻第4号，1973.12.
- 2) 野田英明：波による底質の浮遊，第14回海岸工学講演会講演集，1967.
- 3) 岸力ほか：波動による底質の浮遊，土木学会学術講演会講演概要，1967.
- 4) 井口正男：鹿島海岸沖浜帯の浮遊砂について（第2報），第17回海岸工学講演会論文集，1970.
- 5) 野田英明：波による海底砂の初期移動について，第13回海岸工学講演会講演集，1966.
- 6) 大野正夫・入江 功・大堀晃一：現地観測による波の変形，第21回海岸工学講演会論文集，1974.