

波による浮遊砂の濃度測定について

島田 米夫*・吉高 益男**

1. まえがき

波による底質の浮遊機構を解明するための理論的、実験的研究は数多くなされている。そして、実際海岸での浮遊砂の観測には、北大で開発された竹竿式捕砂器による方法が主として用いられ、その分布状態なども解明されてきた。しかし、この観測法は、浮遊砂濃度を直接観測するものでない。また、波の特性との関連についても未解決である。現地での波による浮遊砂濃度を直接測定するには、技術的困難を伴うが、便利である竹竿式捕砂器を今後も利用するためにも、また、実験的研究の現地への適合性を検討するためにも実施されねばならぬ問題である。

筆者らは、宮崎港付近の海岸において、竹竿式捕砂器による捕砂量測定と、採水器、ポンプ吸引による濃度測定を行ったので、その測定結果と、問題点について報告する。

2. 現地測定の概要

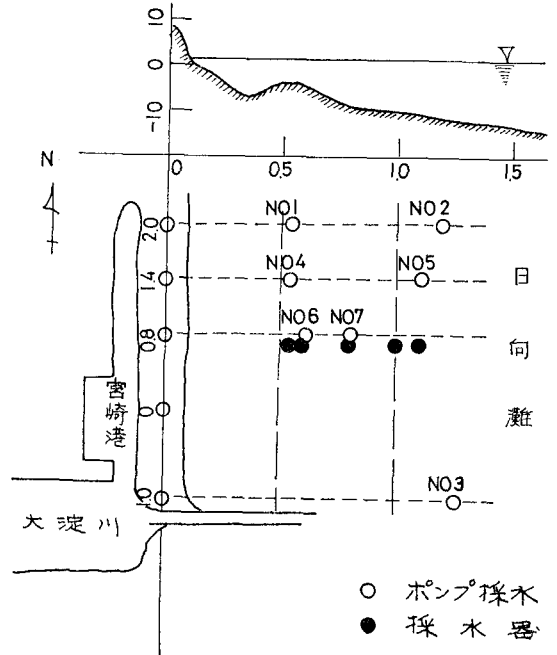
宮崎港付近の海岸は、図—1のように直接外洋に面した直線状の海岸で、等深線もほぼ汀線に平行である。海浜形状も図のように約 0.3~0.5 km 付近に trough と bar が形成され、沖浜は 1/50~1/200 の勾配となっている。

この海浜形状は、大淀川河口付近を除いてほしい同じ傾向を示している。

竹竿式捕砂器による捕砂量の測定は、広範囲に、かつ数多くの地点で行われたが、図に示した測定点は、捕砂量測定と濃度測定を同時に行った地点のみが示されている。

竹筒式捕砂器は、外径約 5 cm、節間約 30 cm の均一な竹を用い、捕砂孔の断面は 5 cm×1 cm として一昼夜投入した。同一地点に 2 本投入した場合もあった。

採水器による浮遊砂濃度測定は、最も簡便ではあるが、採水地点を採水器自身でかく乱するおそれがあること、採水量が少ないため分析が難しいこと、このため大きい採水器では、かく乱もまた大きい、等の問題点が考えられる。



図—1 宮崎海岸と浮遊砂測定点

そこで筆者らは、採水器による浮遊砂濃度測定とあわせて、ポンプ吸引による採水も行ってみた。ポンプは、普通ポンプと真空ポンプの 2 台使って同時に採水した。また、普通ポンプのほうの吸引速度を変化させて測定したものもある。吸引口の口径は、普通ポンプのほうは 26 mm、真空ポンプが 30 mm である。吸引口の先端は、船上から重錘をつけたロープをおろし、これに所定の高さで固定した。採水量は、採水器の場合は約 1 l、ポンプ採水では 10 l~20 l である。表—1 は、測定位置、測定日、測定期間中の有義波高、周期の最大値、および水

表—1 浮遊砂濃度の現地測定

測 定 点 番 号	H m	T sec	水 深 m	採水速度 cm/sec	測 定 法	測 定 日	記 号
1			4.8	24	7.1		○
2	0.35	67	11.5	24	7.4	S47.11 22-23	⊙
3			11.5	24	7.9		⊙
4	0.44	100	52	22	9.1	S.48.3 31-4.1	⊙
5			11.5	23	18.6		△
6	0.60	62	4.7	19	18.5	S.47.4 26-27	⊙
7			8.5	23	23.2		□
	1.80	100	4.5	12.0	採水器	S45.11.	

* 正会員 宮崎大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 宮崎大学助教授 工学部土木工学科

深, ポンプの吸引速度を示している。

測定期間中の波については, 捕砂器投入中に波の条件が変われば, 捕砂量も当然変化し, 浮遊砂濃度との関連も無意味となるので, 測定日の選定にはかなり苦労した。

図-2 は, 47 年 11 月の測定時前後の波の記録であるが, まずこの条件を満たしているときとみてよい。表-1 の他の波についても同様であった。

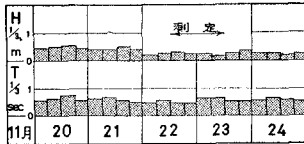


図-2 測定期間の波 (昭 47 年 11 月)

3. 竹竿式捕砂器による捕砂量

(1) 捕砂量鉛直分布

捕砂量の鉛直分布は, 図-3 のように, いわゆる「く」の字型」分布に近い。このうち, No. 1, 2, 3, 6 は, 海底から約 1m 前後に折点をもつ, より「く」の字に近い分布形であり, No. 4, 5, 7 は, やや違った分布を示している。

採水時に測定された海底からの高さごとの流速分布を

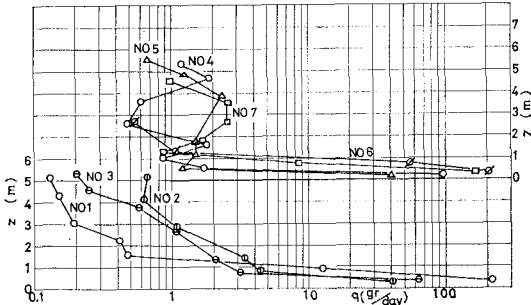


図-3 捕砂量の鉛直分布

表-2 採水地点の流速

測 点	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4,5	NO.6	NO.7
10.5						
9.0		0.18	0.12			
5.0		0.50	0.50			
4.0		0.19	0.22	欠		
3.0		0.22	0.22			
2.5	0.20					
2.0	0.36					
1.0	0.11					
0.5	0.29					
2.0	0.16	0.20	0.22		0.01	0.10
1.0	0.24	0.13	0.13		0.38	0.23
0.5	0.10	0.20	0.22		0.05	0.13
0.2	0.22	0.12	0.12		0.37	0.23
0.1	0.12	0.20	0.14		0.12	0.15
0.05	0.21	0.11	0.11		0.36	0.23
高さ(m)	流速 土一測定計算 (m/sec)					

みると, 表-2 のようになり, No. 1, 2, 3 は, ほぼ同じ程度の流速とみてよい。No. 4, 5 は欠測のためわからないが, No. 6, 7 では流速が大きく違っている。このときの流向の測定結果は, No. 6 と No. 7 ではちょうど逆転している。表中の下段の値は, 波による水粒子の水平方向の移動速度であるが, 水深が浅い場合 (No. 1, No. 6) より, 水深が深い場合 (No. 2, No. 3, No. 7) のほうが実測値にあっていようである。

(2) 等量線

図-4 は, 竹竿式捕砂器による捕砂量 (gr/day) から, 縦断分布の等量線を求めたもので, 海底にほぼ並行になっている。

100 gr. 等量線での捕砂量のほとんどは, 最下端の竹筒孔で捕砂されたもので, 海底から 0.15~0.30 m の範囲内である。この部分では, シルト分もかなり含まれていた。10 gr 等量線は海底からおおよそ 1.0 m 以内, 5 gr 等量線は 1.0~2.0 m の範囲にあるようである。

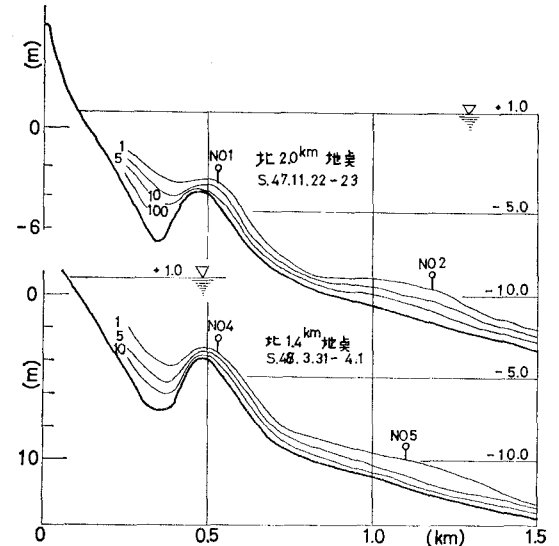


図-4 捕砂量の等量線

(3) 粒径と沈降速度

捕集された砂の沈降分析から, 高さごとに中央粒径 (d_{50}) を求めてプロットすると, 図-5 のようになる。海底から 0.5 m 以下で 0.2~0.3 mm 前後のものがみられるが, これより高いところになると, ほとんど 0.07~0.1 mm の範囲内にある。そして, 海底に近いところでは, 東海村海岸¹⁾ の調査資料に近く, 大湊海岸²⁾ より小さい。

一般に浮遊砂の中央粒径は, 海底からの高さによってしだいに細くなるものとされており, 図の東海村や大湊海岸の粒径分布はほぼその傾向にある。宮崎海岸の場合は, 海底からの高さが 0.5 m から 5 m の範囲では, 粒径の変化はほとんどない。0.07~0.1 mm の粒子 (比重

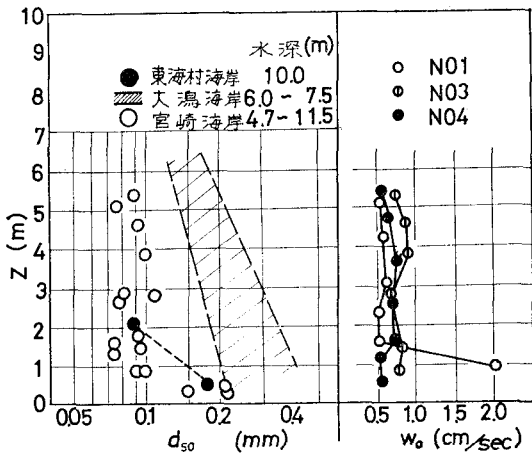


図-5 浮遊砂の粒径分布と沈降速度

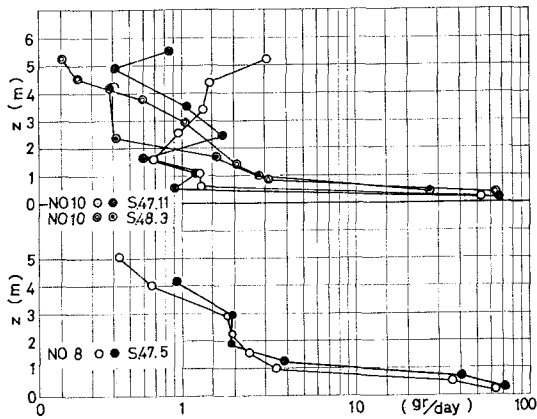


図-6 同一地点で2本の捕砂器による捕砂量の鉛直分布

2.65, 温度 20°C 球形) は, Stokes の沈降速度法則が適用できる限界付近であり, 沈降速度は簡単に求められない。浮遊砂の粒径が $0.07\sim 0.1\text{ mm}$ のとき, 海底からの高さによる粒径変化は明確でないのは当然であろう。 $0.07\sim 0.1\text{ mm}$ 粒子 (比重 2.65) の Stokes 法則による沈降速度は $0.6\text{ cm/s}\sim 0.8\text{ cm/s}$ (10°C), $0.9\sim 1.2\text{ cm/s}$ (20°C) のようになり, 図-5 の値はこれに近い。

(4) 捕砂量の誤差

図-6 は同じ地点で同時に2本の竹竿式捕砂器を投入したときの捕砂量鉛直分布の一例を示したものである。もちろん, 同じ捕砂量分布が得られれば理想的であるが, 波による竹筒孔の流速を竹筒投入期間を通じて同じにすることは不可能であり, 竹筒孔の向きを同じに保つことさえ難しい。やはり, No. 10 のように上層のほうではかなりばらついてくる。しかし下層 1.5 m 付近まではほぼ近似な傾向を示している。もちろん, 上層のばらつきも捕砂量の絶対量では下層に比較して非常に小さい。No. 10 は河口付近であるから, 上層には河川からの浮

遊砂がはいったことも考えられる。No. 8 はほぼ同じような分布が得られた。この場合は捕砂器の投入期間が2昼夜であるが, この結果と投入期間を2昼夜に長くしたこととの関連はわからない。高さの誤差を考えなければ, 捕砂量の誤差は $\pm 10\%$ とみてよい。

4. 捕砂量と濃度

(1) 浮遊砂濃度測定値

ポンプで採取された浮遊砂の濃度分布を図-7に示す。真空ポンプによるものはやはり, 「くの字型」を示しているが, 普通ポンプによるものは傾向がはっきりしないときもある。

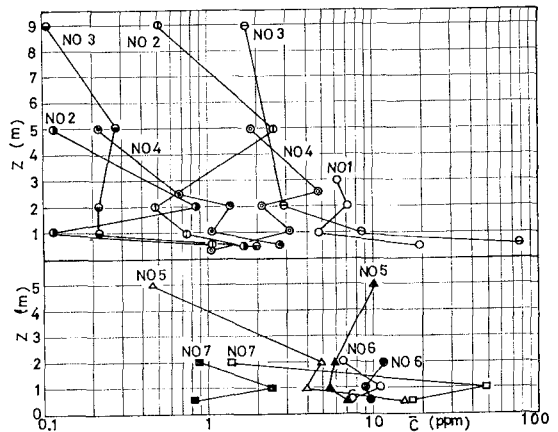


図-7 ポンプ採水による浮遊砂濃度分布

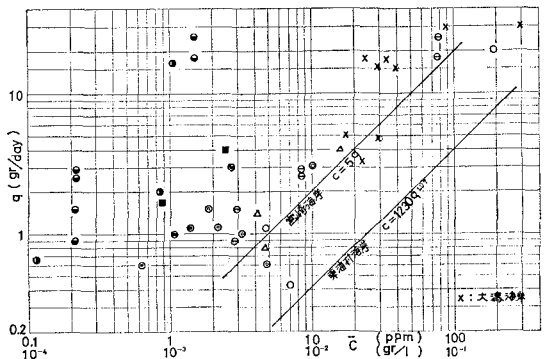


図-8 捕砂量と濃度

いま, 採取された捕砂量 $q(\text{gr/day})$ と浮遊砂濃度 $\bar{c}(\text{gr/l})$ とを, そのままプロットすると図-8が得られる。実線で示した宮崎海岸 $\bar{c}=5q$ ($\bar{c}$: ppm) の線は, 昭和45年11月 ($H_{1/3}=1.8\text{ m}$, $T_{1/3}=10\text{ sec}$) に行った採水器のみによる浮遊砂濃度の測定結果から推定したもので, これは大湊海岸の測定値に近い。

(2) 捕砂率

竹竿式捕砂器による捕砂量と, 採水による浮遊砂濃度

との関係は、すでに多くの実測結果が報告され、両者は一定の比例関係にあることが示されている。

福島・柏村³⁾は、この比例定数が竹筒孔を通過する流速に関係するとしており、野田²⁾は次元解析によって、

$$q_s/A \cdot \omega_0 = EC_i$$

ただし、 q_s : 単位時間あたりの捕砂量、

A : 竹筒孔の断面積、

ω_0 : 砂の沈降速度、

C_i : 竹筒入口の濃度、

E : 捕砂率。

この E は、竹筒内の流速、沈降速度、拡散係数および竹筒の有効水深、直径等の関数とみられるので、波の条件と竹の大きさを一定にとれば、 E も一定となるものと考えられる。

(3) 捕砂率の検討

前述したように、宮崎海岸の浮遊砂では沈降速度が Stokes 法則の限界にある。

いま、測定された沈降速度 ($d_{50}=0.07\sim0.3\text{ mm}$, $w_0=0.5\sim1.0\text{ cm/s}$) と $A=1\times5\text{ cm}^2$ を用いて整理してみると、図-9 のような q_s/w_0A と $\bar{c}$ との関係が得られる。宮崎海岸では、粒径 d_{50} は小さいにもかかわらず浮

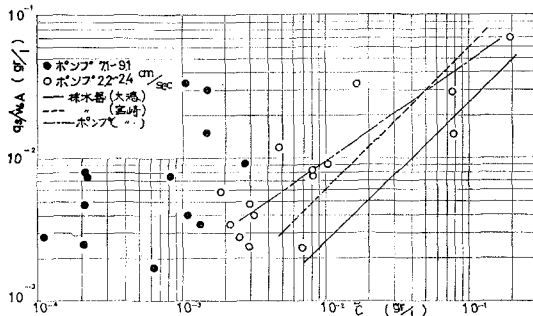


図-9 q_s/w_0A と $\bar{c}$ との関係

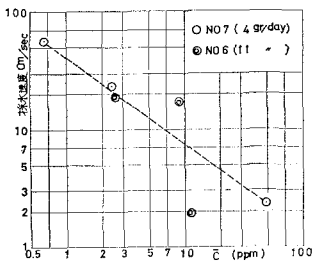


図-10 採水速度と濃度変化

遊砂濃度に対する捕砂量は比較的大きい。そして、捕砂率はほぼ 1 に近くなって大潟海岸の捕砂率約 0.3 に比し、大きすぎることになる(大潟海岸 $d_{50}=0.15\sim0.5\text{ mm}$, 沈降速度 $w_0=2.0\text{ cm/s}$)。逆にいえば、ある捕砂量に対して測定された浮遊砂濃度が小さすぎたことになる。

図-9 で採水速度 $2.2\sim2.4\text{ cm/s}$ でポンプ採水したときの濃度と捕砂量の関係は、採水器による $\bar{c}=5q$ の関係に近く、捕砂量との間に関連はあるようである。図のような推定線を入れると $\bar{c}=2.13q^{1.38}$ となる。なお、図-8, 9 でわかるように、ポンプ採水で採水速度の早いほうが捕砂量一定なら、浮遊砂濃度は小さい。このことは、吸引口の向きと流向、吸引口の口径の違いなど考えられるが、主要因は採水速度であろう。海底から 1m のところで吸引したときの例を図-10 に示した。この現象については、よくわからないので今後なお検討してみたい。

5. む す び

宮崎海岸の浮遊砂の粒径は、 $0.07\sim0.1\text{ mm}$ で Stokes の沈降速度法則の適用限界に近いことがわかった。宮崎海岸は濃度と、捕砂の量だけとの関係では大潟海岸に似ているが、沈降速度を考えると捕砂率は 1 近くなる。竹竿式捕砂器による捕砂量の誤差は $\pm 10\%$ 程度見込んでおく必要があろう。

ポンプ採水の測定値は採水器による測定値と一致しない。さらに採水速度を増せば、この不一致は増大する。しかし、採水速度に適度な値があるように考えられる。

おわりに、現地観測、および解析を進めるに当たり、資料を提供していただきました宮崎県港湾課と、その資料の解析にご協力いただいた国土開発コンサルタントの方々、さらに現地採取から資料整理に助勢いただいた本学土木教室の高野技官ならびに学生諸君に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Hom-ma, M. and K. Horikawa: Suspended sediment due to wave action, Proc. 8th Conf. on Coastal Eng., 1963.
- 2) 野田英明: 波による底質の浮遊, 第14回海岸工学講演会, 1967.
- 3) 福島・柏村: 漂砂とその測定, 第7回海岸工学講演会, 1960.