

竹竿式捕砂器の漂砂捕集特性について

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	西, 友夫 佐藤, 修 梨本, 勝昭 山本, 勝太郎
巻/号	49巻12号
掲載ページ	p. 1789-1795
発行年月	1983年12月

竹竿式捕砂器の漂砂捕集特性について*1

西 友夫・佐藤 修・梨本勝昭・山本勝太郎

1983年3月28日受理

Characteristics of Sediment Trapping by the Bamboo Sampler

Tomoo NISHI, Osamu SATO, Katsuaki NASHIMOTO, and Katsutaro YAMAMOTO*2

Suspended sediment in the sea often troubles improvement and development of coastal fishing ground. But quantitative measurement of sediment remains a difficult problem. Bamboo samplers, which have been frequently used in Japan, could not show the quantitative characteristics of the sediment, either. Because the relation between the amount of sediment trapped in the sampler and the amount of sediment in the sea was unknown. Some studies on the bamboo sampler have been carried out in order to show this relation directly. But few investigations have been performed from the point of view of the trapping mechanism of bamboo sampler.

In this paper, in order to obtain the basic data of analysing the mechanism, simplified experiments in steady flow were performed. In the experiments, two-dimensional models of bamboo sampler were used and spherical glass particles were suspended in the steady flow. The authors make the assumption that sediment particles go forward as they go downward by gravity in steady flow passing through the hole of bamboo sampler. With this assumption, the efficiency of capture F can be written as the following equation.

$$F = \frac{S_f}{S_i} = \frac{d \cdot w}{a \cdot v}$$

where S_f is the weight of sediment which is trapped in the sampler, S_i is the weight of sediment which flows into the sampler, a is the height of the hole, d is the diameter of the sampler, w is the fall velocity of the particles and v is the current velocity. F were measured in various cases in which the values of a , d , w , v were varied.

The results calculated from the above formula agreed well with the experimental values.

沿岸漁場の整備・開発を進める上で漂砂はしばしばその障害となっているが、現在のところ定量的な漂砂の測定方法は十分に確立されていない。漂砂は、掃流砂あるいは浮遊砂の形態で移動し、それぞれ非常に多くの測定方法が実施されてきた。^{*3,1-2)} このうち増養殖施設などへの堆積が問題となる浮遊砂の測定は、トラップやポンプによる直接的測定あるいは光電管やX線等による間接的測定によって行なわれてきており、近年は超音波やレーザーを利用する新しい間接的測定方法も開発され利用されるようになってきた。^{1,3,4)} しかし、間接的測定の精度はまだ十分でなく、また多額の経費を要するなどの制約が大きく、広く普及するまでには至っていない。一方、トラップによる直接的測定は、簡単に浮遊砂を直接採取できるために広く用いられているが、捕砂特性(捕砂量と浮遊砂量の関係)が十分明らかでないために、その測定目的は各地点の浮遊砂量の相対的比較に限定さ

れている。

本研究では日本の代表的な浮遊砂測定トラップである竹竿式捕砂器についてその捕砂特性の解明を試みた。竹竿式捕砂器の捕砂特性について、HOM-MA and HORI-KAWA,⁵⁾ 島田・吉高⁶⁾ は現地と実験室において竹竿式捕砂器と採水による測定を併用し捕砂量と浮遊砂濃度の関係を直接求めている。また野田⁷⁾ は、現地での同様な測定を行ないさらに次元解析によって両者の関係を求めている。これらの研究によって捕砂特性は定性的にはある程度明らかにされたが定量的には十分解明されていない。それは、これらの研究が現場への適用の観点から波と捕砂効率の関係を直接求めようとする点に主眼を置いており、竹竿式捕砂器の砂粒捕集機構を解明しようとするものではなかったためである。砂粒捕集機構に関しては、福島・柏村⁸⁾ が水槽実験を行ない、定常流中では浮遊砂濃度、竿内への流入流速、粒径が捕砂量に影響を与

*1 本報の概要は昭和57年10月日本水産学会秋季大会で発表した。

*2 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Minato 3-1, Hakodate 041, Japan).

*3 福島久雄: 水工学に関する夏期研修会講義集 B, 1-9 (1965).

えていることを明らかにしたが、これらについての理論的な解析は十分行われていない。

そこで本研究では、竹竿式捕砂器において最も単純な場合である定常流入による捕砂現象について、流入流速、粒子の沈降速度、竹竿式捕砂器の形状と捕砂率との関係を明らかにすることを試みた。

理論的解析

竹竿式捕砂器（以下捕砂器と称する）は竹竿もしくはプラスチックの円筒に一对の小さな穴を向かい合わせにあけた簡単なものである。Fig. 1 に 1975 年度大規模増殖場開発事業調査⁹⁾ で使用された捕砂器を示す。測定時には数日間たとえば Fig. 2 のように設置しておき中に捕集された浮遊砂を回収する。捕砂器は波浪や沿岸流によって複雑に運動し、海底に対して鉛直に固定した場合と、ある程度動くように海底から係留した場合とでは

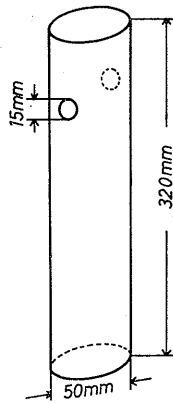


Fig. 1. A bamboo sampler.

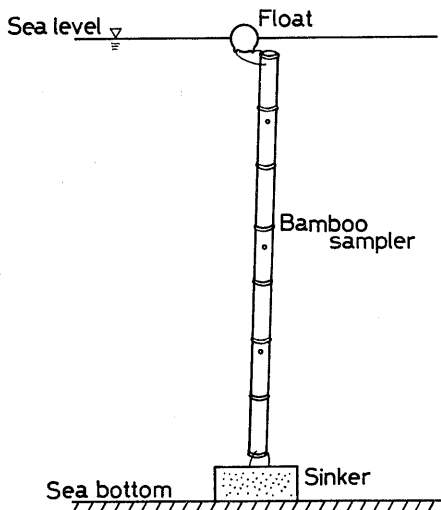


Fig. 2. An example of bamboo sampler setting.

捕砂率が異なることが報告されている。¹⁰⁾ また現場での浮遊砂の動きは複雑なので、ここでは単純化して考え、定常流中における捕砂器の砂粒捕集機構について解析を行なった。捕砂器内部の流れは砂粒捕集に大きな影響をおよぼすと考えられるので、Fig. 3 に示すように内部の流れを可視化して調べた。内部では、流入口から出口まで通過する流れの上下部分に渦が生じていた。渦などの全体の様子は流速によって大きく変化する。しかし、流入口から流出口までの流れはほぼ一様と認められたので、ここでは Fig. 4(a) のように、粒子は重力により一

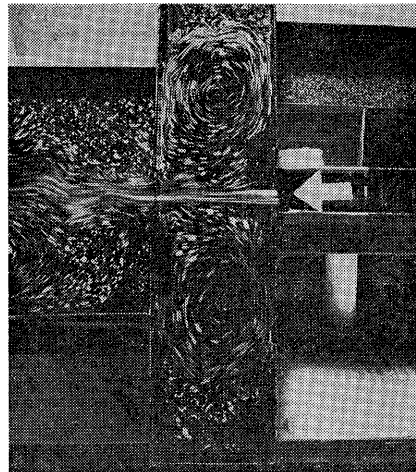


Fig. 3. Photograph of the flow inside the model of bamboo sampler.

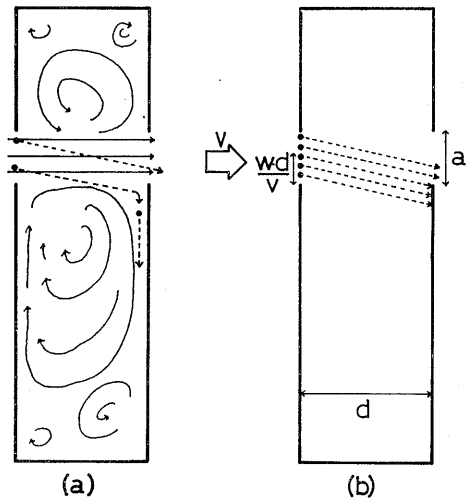


Fig. 4. Trajectory of particles in steady flow.

(a) Particles go forward as they go downward by gravity in steady flow passing through the hole of bamboo sampler.

(b) A part of particles is trapped in the bamboo sampler.

様に沈降しながら流れに乗って進んで行き一定量が捕集されるものと仮定し解析を進めた。

ここで流入流速を v 、粒子の静水中の沈降速度を w 、捕砂器の幅を d (流れの向きに測ったもの) と b (d と垂直に測ったもの)、穴の大きさ (鉛直方向) を a 、浮遊粒子濃度 (単位体積中の浮遊粒子重量) を C とする。また、単位時間に捕砂器に流入する浮遊粒子量を S_i 、単位時間に捕砂器に堆積する浮遊粒子量を S_j とすると、捕砂率 F は $F=S_j/S_i$ と定義できる。なお捕砂係数を k とする。水が捕砂器を通過するのに要する時間は d/v 、水中の粒子がその間に沈降する距離は $w \cdot d/v$ となる。仮定により Fig. 4(b) のように流入口の穴の下端から上方へ $w \cdot d/v$ のところまでを通過した砂粒は捕集され、それより上を通過した砂粒は流出することになる。

単位時間に流入する浮遊粒子量 S_i およびこの間に穴の下端より距離 $w \cdot d/v$ の範囲から流入する浮遊粒子量 S_j はそれぞれ次式で示される。

$$S_i = Cabv \quad (1)$$

$$S_j = C(w \cdot d/v)bv = Cwbd \quad (2)$$

ここで、 S_j に捕砂係数 k を掛けて捕砂量 S_f とすると、

$$S_f = kS_j = kCwbd \quad (3)$$

となる。従って捕砂率 F は次式で表わされることになる。前述の仮定が完全に成り立てば $k=1$ である。ただし常に $F \leq 1$ である。

$$F = \frac{S_f}{S_i} = \frac{kCwbd}{Cabv} = k \frac{w}{v} \cdot \frac{d}{a} \quad (4)$$

装置および実験方法

捕砂器を単純化した模型として Fig. 5 に示すアクリル製の 2 次元模型 (捕砂器を縦に切った形) を使用した。Table 1 にその諸元を示す。Fig. 6 に実験装置全体の模式図を示す。水道水を流入させ、バケツ A と水槽の片端 B から水をあふれさせた。常に一定の水頭差を保持し安定した流れを作った。流速はバケツを上下させて水槽

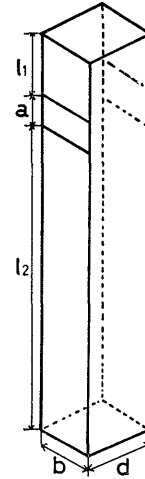


Fig. 5. Notations of bamboo sampler model.

a : height of the hole.

b : breadth of the sampler.

d : side length of sampler.

l_1, l_2 : length of the sampler.

との水頭差を調節することにより変えた。水は水路を通過してから捕砂器模型に流入するようにし、その水路内に粒子を投入し均一に浮遊させた。また水路の底を這う粒子は捕砂器に入らぬようトラップを設けた。砂は形状、比重とも不均一なので、ここでは Fig. 7 に示す比重 2.44 の球形ガラス粒子を使用した。平均粒径が 100, 150, 200, 400 μ の 4 種類で、その粒度組成を Fig. 8 に、実測した各粒子 (それぞれ 100 個) の平均沈降速度を Table 2 に示す。

実験は、水頭差を調節し流速が安定した後行なった。まず、水路に色液を流しモータードライブカメラを用いて連続的に写真撮影し、そのフィルム上での色液の進行から流速を読みとった。次に粒子を粒径別に 70.0 g 用意し、20~40 分程度かけて静かに投入、浮遊させた。その後流れを止めて、捕砂器模型に堆積した粒子 (S_f) と水路の底を這ってきてトラップに堆積した粒子 (S_i)

Table 1. Details of experimental model of bamboo sampler

Height of the hole a (cm)	Length of the sampler		Diameter of the sampler d (cm)
	l_1 (cm)	l_2 (cm)	
0.5	9.75	19.75	5.5
1.0	9.50	19.50	5.5
1.5	9.25	19.25	5.5
2.0	9.00	19.00	5.5
2.5	8.75	18.75	5.5
1.5	9.25	19.25	3.5
1.5	9.25	19.25	4.5
1.5	9.25	19.25	6.5
1.5	9.25	19.25	7.5

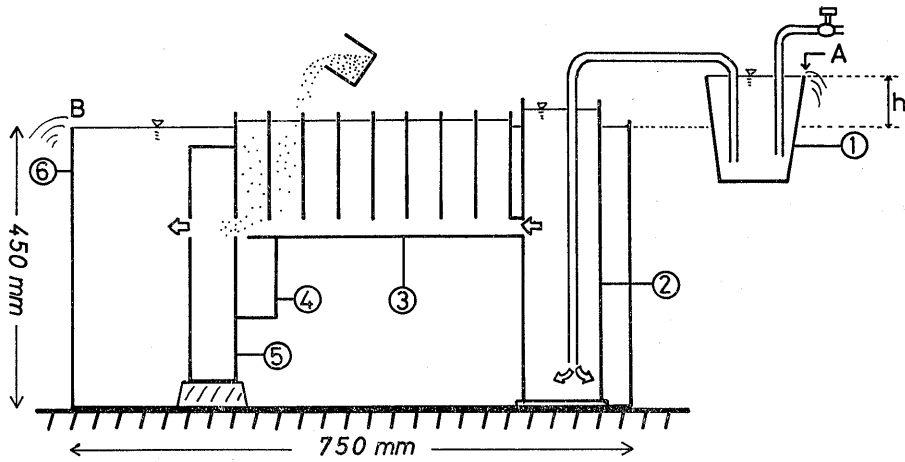


Fig. 6. Schematic diagram of experimental apparatus.

- 1: bucket.
- 2: cylinder.
- 3: channel where particles are suspended.
- 4: trap which catches crawling particles.
- 5: bamboo sampler model.
- 6: tank.

The water overflows at A and B. The steady flow occurs due to existence of head drop h and the flow velocity depends on the value of h .

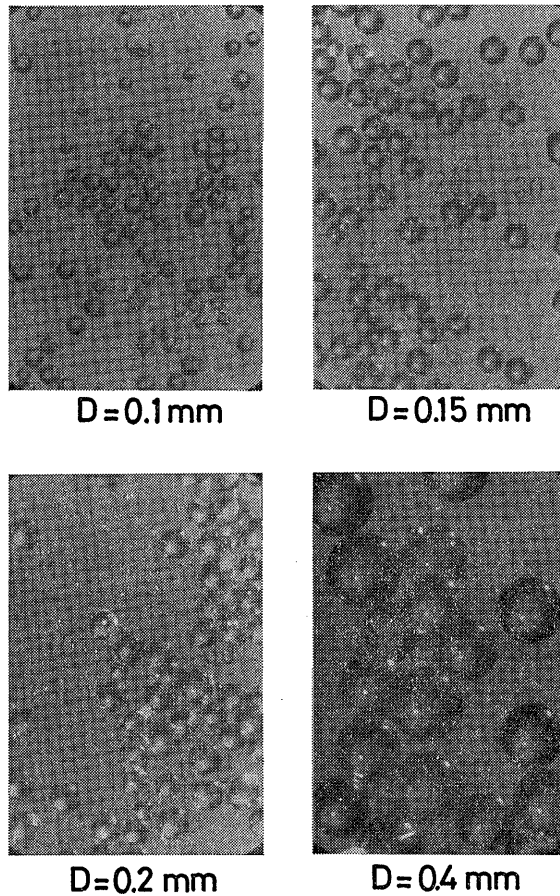


Fig. 7. Particles used in experiments. (a unit scale: 0.05 mm)

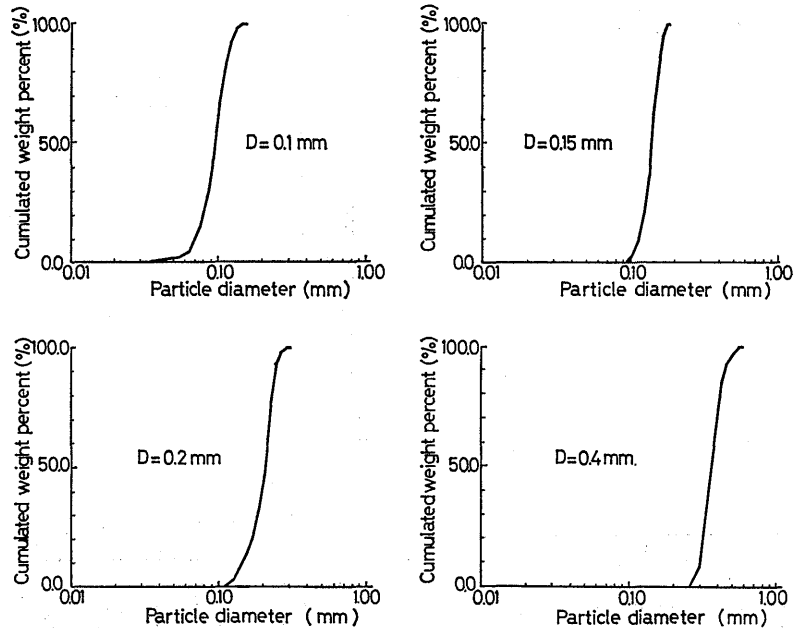


Fig. 8. Cumulative curves of experimental particles.

Table 2. Fall velocity of glass particles

Particle diameter (commercial size) (μ)	Mean diameter (μ)	Mean fall velocity (experiment) (cm/sec)	Standard deviation	Reynolds number
100	101.4	0.86	0.08	0.6
150	146.3	1.49	0.25	1.4
200	212.0	1.80	0.28	2.5
400	391.3	5.42	0.59	14.0

(Water temperature: 5°C)

を回収し乾燥させてそれぞれ秤量した。投入した粒子量 (70.0 g) から S_2 を差し引いて流入粒子量 (S_1) とし、 $S_1/S_2=F$ とした。

流速 v 、粒子の沈降速度 w (粒径)、穴の大きさ a 、捕砂器模型の径 d を変えてそれぞれ捕砂率 F を測定した。まず $a=1.5$ cm, $d=5.5$ cm の模型について、各粒径の粒子ごとに 10~13 通りの流速を設定して捕砂率を測定した。次に直径 200 μ の粒子を用い流速を約 10.2 cm/sec, 約 26.5 cm/sec とし、 $d=5.5$ cm で a を 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 cm と変えて、さらに $a=1.5$ cm で d を 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5 cm と変えて捕砂率を測定した。また広範囲の粒径の粒子が混在している場合の影響を調べるため、ふるい分けした粒径 75~100 μ の粒子, 150~200 μ 粒子, 300~400 μ 粒子をそれぞれ秤量後混合して同様の実験を行ない、回収した後再びふるい分けして各粒径ごとの捕砂率を求めた。流入粒子の割合は 75~100 μ が 41.8%, 150~200 μ が

31.7%, 300~400 μ が 26.5% であった。

なお実験中の水温は 4~7°C であった。また流量を計算すると浮遊砂濃度は最大でも 2 g/l を超えていないので、粒子による水の流速分布や流れへの影響はほとんどなかったと考えられる。

結果および考察

Fig. 9 は $a=1.5$ cm, $d=5.5$ cm の模型について 4 種の粒子ごとに流速を変えて捕砂率を測定した結果をまとめたものである。図中の実線は (4) 式で $k=1$ とし求めた計算値であり、実験値と良く一致している。 w/v が大きくなると捕砂率が計算値より若干小さくなる傾向を示すが、これは計算の際に使う w の値を粒子の平均沈降速度で代表させていることによると思われる。即ち、平均粒径の粒子ならずべて捕集されるような比較的遅い流速の場合でも平均以下の小さな粒子の一部は流出してしまうが、計算ではすべて平均粒径粒子の値で代表させ

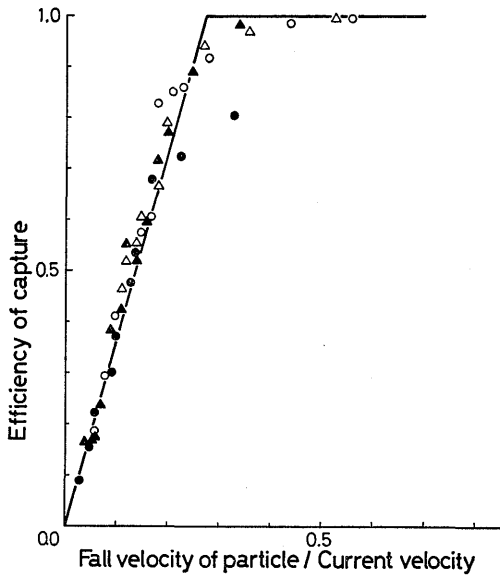


Fig. 9. Relation between efficiency of capture (F) and ratio of fall velocity to current velocity (w/v). ($a=1.5$ cm, $d=5.5$ cm)
 ●: experimental values ($D=0.1$ mm).
 ○: experimental values ($D=0.15$ mm).
 ▲: experimental values ($D=0.2$ mm).
 △: experimental values ($D=0.4$ mm).
 Solid line is the values calculated from formula (5).

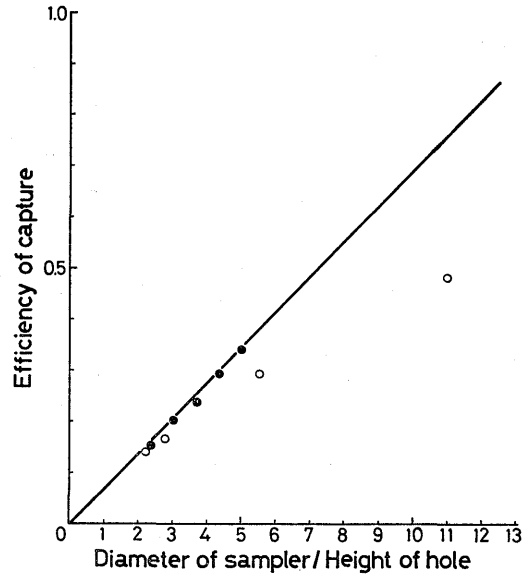


Fig. 11. Relation between efficiency of capture (F) and ratio of diameter of sampler to height of hole (d/a). ($w=1.80$ cm/sec, $v=26.5$ cm/sec)
 ●: experimental values ($a=1.5$ cm, $d=3.5\sim 7.5$ cm).
 ○: experimental values ($a=0.5\sim 2.5$ cm, $d=5.5$ cm).
 Solid line is the values calculated from formula (5).

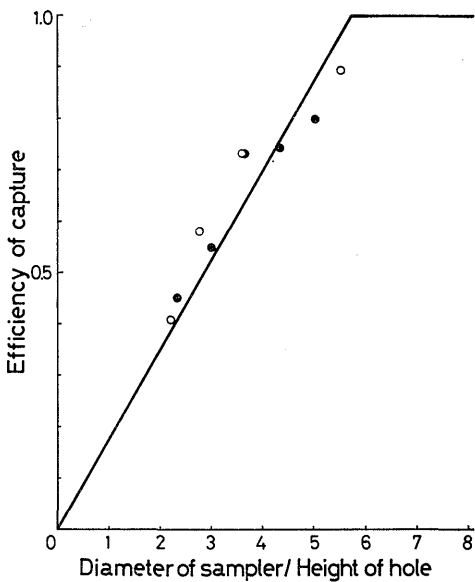


Fig. 10. Relation between efficiency of capture (F) and ratio of diameter of sampler to height of hole (d/a). ($w=1.80$ cm/sec, $v=10.2$ cm/sec)
 ●: experimental values ($a=1.5$ cm, $d=3.5\sim 7.5$ cm).
 ○: experimental values ($a=0.5\sim 2.5$ cm, $d=5.5$ cm).
 Solid line is the values calculated from formula (5).

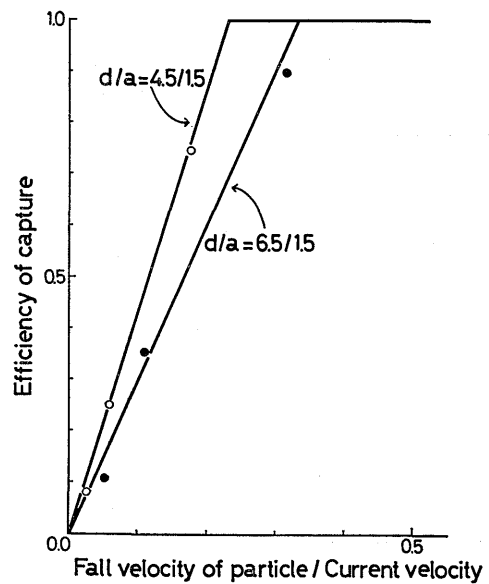


Fig. 12. Relation between efficiency of capture (F) and ratio of fall velocity to current velocity (w/v) with mixed particles.
 ○: experimental values ($a=1.5$ cm, $d=4.5$ cm).
 ●: experimental values ($a=1.5$ cm, $d=6.5$ cm).
 Solid line is the values calculated from formula (5).

ているからである。Fig. 10, 11 は流速、粒子を一定にして a, d の異なる模型について捕砂率を測定した結果をまとめたものである。Fig. 10 は流速 10.2 cm/sec, Fig. 11 は流速 26.5 cm/sec のもとでともに粒径 200 μ の粒子を用いて行なった結果である。ここでも (4) 式で $k=1$ として求めた計算値と実験値は全体としては良く一致した。ただし Fig. 11 において $a=0.5$ cm の模型の場合の捕砂率が計算値から大きく離れている。これについては $a=0.5$ cm で流入口・流出口が狭いために、後述する流れの乱れの影響が大きく生じたものと思われるが明確ではない。次に、75~100, 150~200, 300~400 μ 粒子を混合して浮遊させ、それぞれの捕砂率を測定した結果を Fig. 12 に示す。このようにかなり粒径分布が広がっている場合でも各粒子の捕砂率は計算値と良く一致している。

以上の結果より定常流中における2次元捕砂器模型の捕砂率は、(4) 式で捕砂係数 $k=1$ とみなせ、次の式で表示できると考えられる。

$$F = \frac{w}{v} \cdot \frac{d}{a} \leq 1 \quad (5)$$

また基本的な粒子捕集機構については、粒子は重力によって一様に沈降し捕集されるものと考えられる。

ただし、色液を用いた観察によると流入水は 8~9 cm/sec ($Re \approx 900$) で乱れはじめ 15~20 cm/sec ($Re \approx 1500 \sim 2000$) で完全な乱流になっており、また実験の過程で捕砂器模型の上半部の渦に巻き込まれる粒子も若干観察された。この現象は粒径が小さなもの程、流速が大きい程著しく、従って水平流の中の乱れによってある程度粒子の散らばりが起こっていると思われる。しかし、実験値と計算値は良く一致しており、これらの現象は捕砂率に大きな影響を与えていない。本実験では上方向に巻き上げられた粒子は再び沈降して流出してしまうので、結果には大きな影響を与えなかったものと考えられ

る。従って、模型の形状が今まで使われている捕砂器のように3次元的なものであれば、粒子が水平方向への散らばりによって流れの両側の渦に捕捉されて捕砂率が多少高くなる可能性もある。この点は今後検討すべき課題であるが、捕砂機構の基本的仕組みとしては、大部分の粒子は重力による沈降によって捕集されると考えて良いであろう。

今後、3次元模型の場合、浮遊砂濃度などの諸条件が大きく異なる場合について検討し、現場への適用に近づけていく所存である。

文 献

- 1) J. P. DOWNING: *NSTS workshop on instrumentation for nearshore processes, Univ. of Calif., Sea Grant college program*, 58-83, (1977).
- 2) 砂村継夫: 海浜変形の観測手法に関する研究 (海岸研究会編), 海岸環境工学研究センター, 東京, 1979, pp. 76-88.
- 3) 堀田新太郎: 海浜変形の観測手法に関する研究 (海岸研究会編), 海岸環境工学研究センター, 東京, 1979, pp. 26-29.
- 4) 沿岸水理観測装置開発研究会: 海岸水理に関する研究 (観測装置の開発) 昭和 57 年度上半期経過報告書, 海洋科学技術センター, 横須賀, 1982, pp. 85-131.
- 5) M. HOM-MA and K. HORIKAWA: *Proc. 8th Conf. on Coastal Engineering*, 168-193, (1963).
- 6) 島田米夫・吉高益夫: 第 21 回海岸工学講演会論文集, 215-218 (1974).
- 7) 野田英明: 第 14 回海岸工学講演会論文集, 306-314 (1967).
- 8) 福島久雄・柏村正和: 第 7 回海岸工学講演会論文集, 41-55 (1960).
- 9) 水産庁: 大規模増殖場開発事業調査総合報告書, 東京, 1977, pp. 7.
- 10) 井口正男・町田 貞: 地理学評論, 43, 535-547 (1970).