

沖浜帯における混合粒径砂の浮遊に関する実験

Laboratory Experiment on the Suspended Sediment of Mixed Sand
in the offshore zone.

川 又 良 一*

Ryoichi KAWAMATA

I ま え が き

砂れんの発達する沖浜帯での底質の浮遊については拡散方程式を基にした浮遊砂の鉛直濃度分布に対する議論が数多くなされている。これらの議論の多くは、浮遊砂の基準点濃度および拡散係数に関するものであるが、近年これら拡散理論とは別に、砂れん近傍での底質の浮遊機構に着目し、岸一沖方向の漂砂量を求めようとする試みが砂村ら(1979)、野田ら(1979, 1980)によってなされている。これらは、いずれも砂れんによって発生する水粒子の渦運動に伴う浮遊砂について述べ、その濃度および移動の方向、量について考察したものである。

このような浮遊砂に関するいくつかの取扱いにおいて、底質特性に対する考慮はなされているもののその表示いは単一粒径、あるいは代表粒径という形であり、粒度分布を考慮した研究はあまり多くない。

鹿島・斉藤(1971)は浮遊砂の基準点濃度と底質粒度分布との関連について、一方向流におけるLane and Kalinske(1941)のモデルを基に、各粒径別濃度を求める試みを行なった。Lane and Kalinskeのモデルは底面付近での流れによる鉛直乱れ速度と底質の沈降速度との関係より浮遊砂基準点での沈降速度別濃度を推定するものであり、一方向流の場合のみではなく振動流への適用はある程度有効であったと考えられる。しかし今だに

浮遊砂と粒径との関係は明確となったとはいえず、海岸漂砂の現象を取扱う上での一つの問題点といえる。

本報告は室内実験を行ない、砂れんの発達した底面付近での浮遊砂の粒径別濃度を測定し、粒径のちがいによる砂の浮遊のしやすさについて考察したものである。なお本報告では、粒径の表示として浮遊砂を扱う上で重要なパラメーターである沈降速度を用いることとした。

II 実 験

(1) 実験装置および底質条件

実験は、筑波大学水理実験センターにある長さ21m、巾0.5m、高さ0.7mの小型二次元造波水槽を用いて行なった。移動床としては水槽中央部に長さ2.5mにわたって厚さ10cmで水平に砂を敷きならし、その後には消波用として透過性1/10斜面を設置した。

浮遊砂の採取は外径3.5mm内径3mmのステンレスチューブの先端をふさぎその周囲4ヶ所に直径1.5mmの穴を開けた採水管を用いて、真空ポンプにより採水した。採水量は1~3ℓでそれに要した時間は40秒~2分程度である。

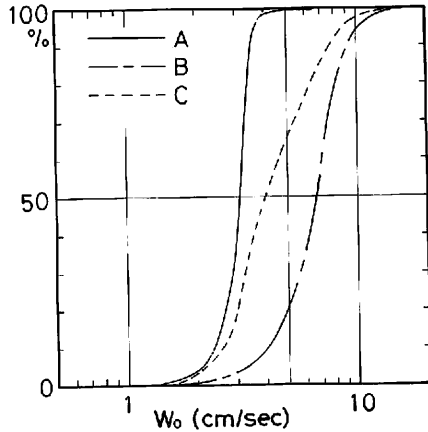
実験砂は第1表および第1図に示す3種類の自然砂を用いた。A砂は豊浦標準砂でほぼ均一な沈降速度の分布をしている。B砂は中央粒径0.44mmの自然砂であり、沈降速度はA砂と比べて広い範囲に分布している。C砂は、A、B砂を混合し

* 日本テトラポッド株式会社

第1表 実験底質砂

底質	d_{50} (cm)	W_{050} (cm/sec)	
A	0.021	3.1	豊浦標準砂
B	0.044	6.6	自然砂
C	0.029	4.1	AとBの混合

比重はいずれも約2.67



第1図 実験底質砂の沈降速度の累加曲線

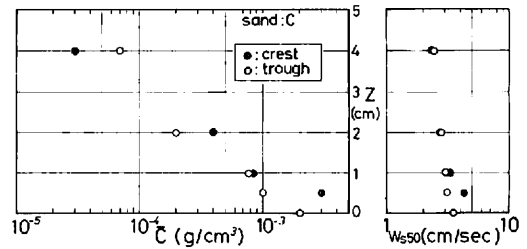
たものである。その分布の広さはB砂と同程度であるがA砂を加えた分だけ沈降速度の小あい砂の割合が多くなっている。

なお沈降速度の測定には測定区間1mの沈降管を用い、計測時間は8分間(沈降速度にして約0.2cm/sec)とした。

(2) 予備実験

実験はまず予備実験を行ない砂れんの峰と谷での浮遊砂濃度の鉛直分布と、それぞれの高さで採取した浮遊砂の沈降速度を測定した。この場合底質はC砂を用いて、水深(h):25cm, そこでの波高(H):11.4cm, 波の周期(T):1.0secの条件で行なった。砂れんの峰高を基準としてそこからの高さを、峰上で $Z=0.5, 1, 2, 4$ cm, 谷の部分では $Z=0, 0.5, 1, 2, 4$ cmの各点で浮遊砂を採取した。

第2図は各点で測定された浮遊砂の平均濃度(C)と、採取砂の中央粒径に相当する沈降速度(W_{s50})がの高さ方向の分布を示すもので、黒丸



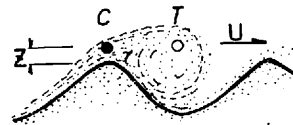
第2図 浮遊砂濃度と沈降速度の中央値(W_{s50})の鉛直分布

峰、白丸が谷での採取結果である。濃度の分布は片対数紙上でほぼ直線的な分布を示すが、底面付近では砂れんの峰上での値が大きい。 W_{s50} の分布は、底面に近いほど峰と谷の部分の差が大きく、 $Z=1$ cmまではその差が明らかにわかるが、それ以上になると両者は同じ値を示すようになる。これらのことより、底面の砂れん近傍での浮遊砂は、砂れんの峰と谷とではその濃度、沈降速度ともに峰の部分で大きい値を示し、砂れんによる水粒子の乱れが異なると考えられる。しかしその影響は一定の高さまでしかおよばないようである。

(3) 実験条件および結果

予備実験結果より、浮遊砂の沈降速度のちがいが顕著に表われる峰と谷の部分での浮遊砂を採取測定することとする。第3図に示すように浮遊砂の採取位置は、採水管による砂面の攪乱が少なくなる $Z=0.5$ cmとした。これは実験条件によって若干のちがいはあるが、砂れんによって発生する渦のほぼ上端付近に位置し、特に谷の部分では渦が上方に拡散する時に発生する浮遊砂雲の顕著な所であり、峰の部分は砂れん斜面上を掃流状態で移動して来た底質砂が背後の渦に取り込まれる部分に相当する。

実験は第2表に示すようにA、B砂を用いたも



第3図 浮遊砂採取位置

第2表 実験条件および結果

CASE	h (cm)	T (sec)	H (cm)	L (cm)	底質	C_c (g/cm ³)	C_T (g/cm ³)	W_{sc50}	W_{ST50}
A—1	25	1.4	8.6	201	A	2.27×10^{-3}	9.60×10^{-4}	2.75	2.67
2	"	1.2	8.8	168	"	3.28×10^{-3}	2.07×10^{-3}	3.01	2.80
3	20	1.4	8.6	180	"	3.31×10^{-3}	1.43×10^{-3}	3.05	2.80
4	"	1.2	8.1	148	"	3.58×10^{-3}	1.76×10^{-3}	3.01	2.72
5	"	"	5.2	151	"	8.40×10^{-3}	5.00×10^{-4}	2.77	2.60
B—1	25	1.6	8.7	213	B	9.00×10^{-4}	3.20×10^{-4}	6.80	4.92
2	"	1.2	8.7	170	"	1.13×10^{-3}	1.30×10^{-4}	5.59	3.98
3	20	1.4	8.4	186	"	1.07×10^{-3}	2.20×10^{-4}	6.67	5.08
4	"	1.2	7.9	152	"	1.92×10^{-3}	3.30×10^{-4}	6.11	5.35
5	"	"	5.1	155	"	2.20×10^{-4}	4.00×10^{-5}	5.12	3.44
C—1	25	1.6	9.4	218	C	1.59×10^{-3}	7.15×10^{-4}	3.64	2.95
2	"	"	5.7	"	"	2.63×10^{-4}	5.60×10^{-5}	4.05	2.90
3	"	1.4	8.4	210	"	9.75×10^{-4}	4.03×10^{-4}	3.65	3.15
4	"	"	6.6	209	"	7.10×10^{-4}	2.00×10^{-4}	4.30	2.90
5	"	"	5.5	"	"	1.56×10^{-4}	5.14×10^{-5}	3.77	2.95
6	"	1.2	8.1	158	"	1.03×10^{-3}	4.17×10^{-4}	3.55	2.87
7	"	"	7.3	156	"	5.60×10^{-4}	1.55×10^{-4}	3.95	3.03
8	"	"	6.0	"	"	1.73×10^{-4}	4.29×10^{-5}	3.44	2.86
9	"	1.0	7.2	120	"	2.38×10^{-4}	8.20×10^{-5}	3.63	2.89

h : 水深 T : 周期 H : 波高 L : 波長 W_{sc}, W_{ST} の単位は cm/sec

の各5ケース、C砂を用いたもの9ケースの計19ケース行ない、それぞれについて濃度と沈降速度分布およびその中央値(W_{s50})を測定した。なお表、図等に用いる記号の添字 o, s , はそれぞれ初期底質砂、浮遊砂を、 c, T は浮遊砂の採取断面が峰上、谷上であることを示すものである。

第4～6図に各ケースでの沈降速度の累加分布の測定結果例を示す。実線は初期底質、破線は峰、点線は谷での浮遊砂である。各ケースとも予備実験で得られたのと同様の結果を示しているが、特にB砂では砂れんの峰と谷との差が顕著である。これはB砂の初期底質中に細粒砂の成分が少なく、浮遊しにくい大粒径の砂が多いためと考えられる。またA砂は分布が均一であるためあまり変化が見られないが、従来より単一粒径砂として取扱って来た標準砂についてもその中央粒径や分布に多少の変化が生じることがわかった。

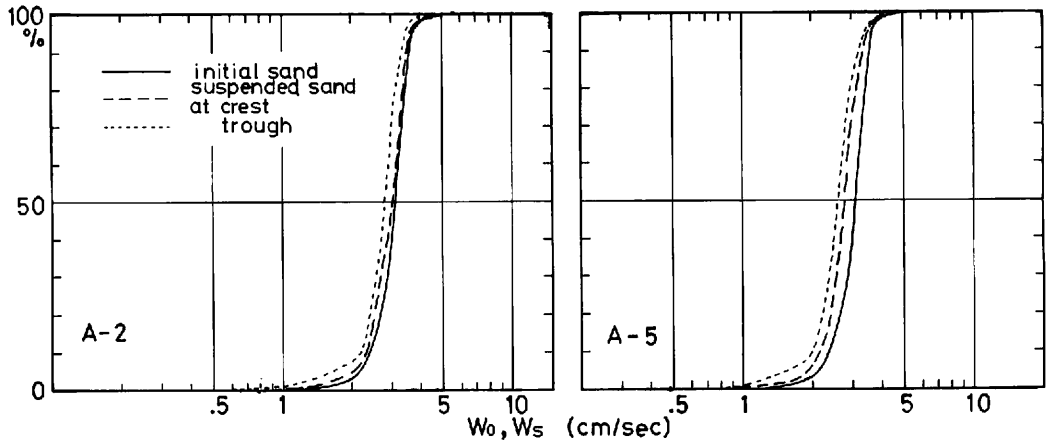
なお沈降分析の精度上、採取砂全体に対してし

める割合の少ない粒径部分については若干の算定誤差が生じていると考えなければならない。

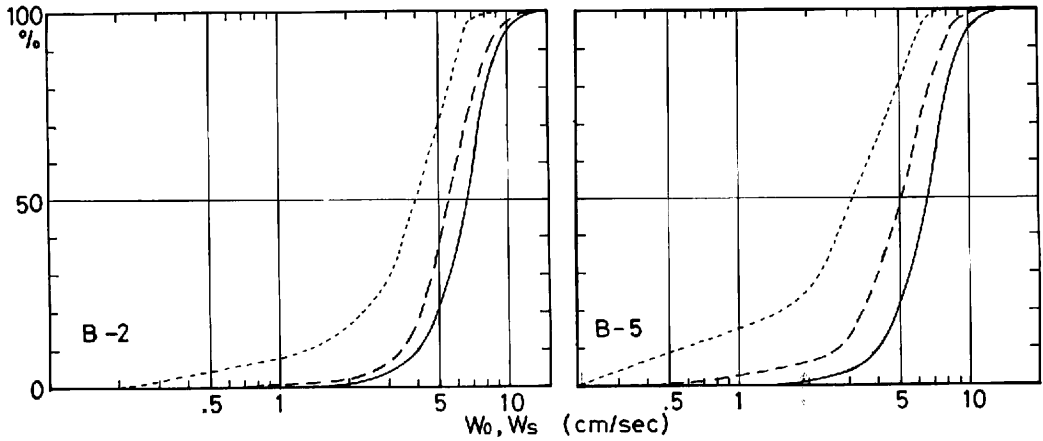
第7図は、波による底面での最大流速 U_{bmax} と浮遊砂濃度との関係を示したものである。 U_{bmax} の算定には微小振幅波を用い、 $U_{bmax} = (\pi H/T)/(\sinh 2\pi h/L)$ で行なった。この図より底面流速の増大とともに濃度が大きくなり、各ケースとも U_{bmax} の4～5乗に比例する傾向が認められる。また底質砂の沈降速度が小さいほど濃度は大きい。一方、 W_{s50} と濃度との関係を示すと第8図のようになり、各ケースとも底面砂中に含まれる割合の少ない沈降速度の小さなものほどその濃度は小さくなり、当然のことながら初期底質砂の W_{o50} に近づくとつれて濃度は増大する。

III 考 察

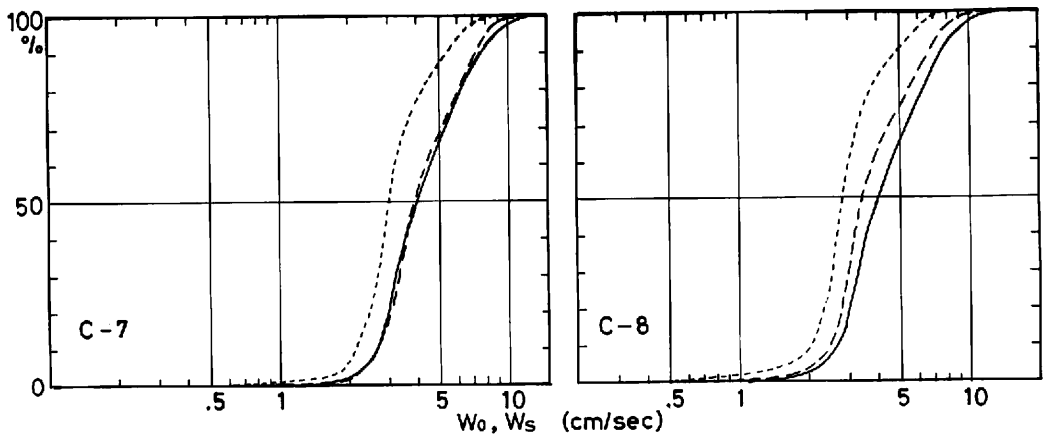
第7図の結果は底面での流れが速いほど底質は浮遊しやすいことを示している。また第8図よ



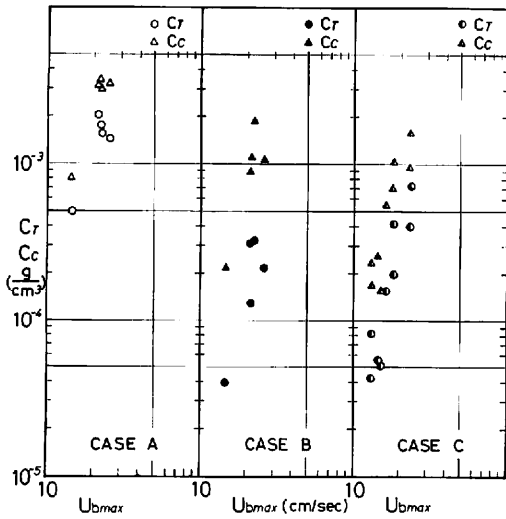
第4図 底質および浮遊砂の沈降速度の累加曲線 (CASE A)



第5図 底質および浮遊砂の沈降速度の累加曲線 (CASE B)



第6図 底質および浮遊砂の沈降速度の累加曲線 (CASE C)



第7図 底面流速と浮遊砂濃度

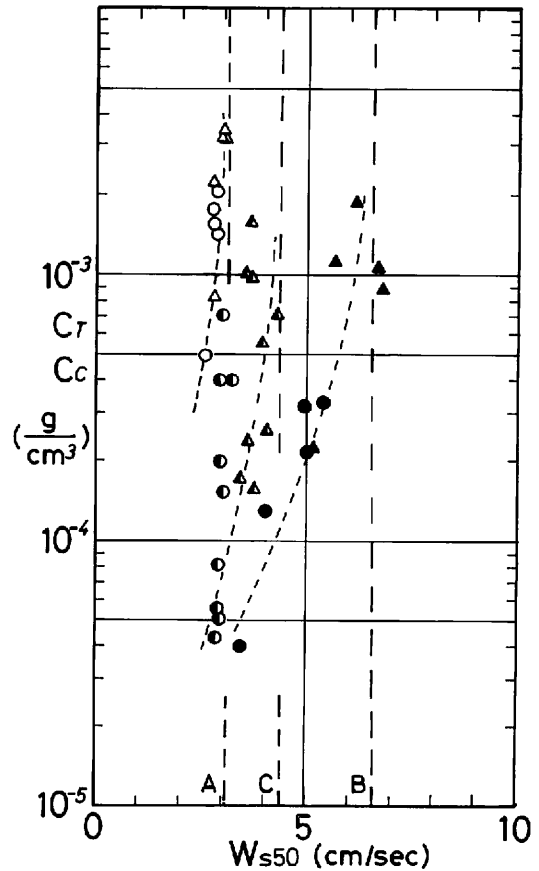
り、底面砂の中で沈降速度の大きなものは小さなものに比べて浮遊しにくいために浮遊砂の沈降速度分布の中央値はその濃度が小さいほど小さくなって来ることを示している。

以上の結果より、底質砂の中で一定の沈降速度を持つ砂粒子の浮遊のしやすさを表わす量として W_s/U_{bmax} が上げられる。この無次元量は U_{bmax} を線形長波で近似すれば $U_{bmax} \propto (H/L)gT$ で表わされることより、Dean (1973) の示した碎波帯内での岸一沖方向の砂の移動限界を与える $(H_0/L_0) = C_T W_s/gT$ と一致する。なおここで C は定数である。

今、直接底面砂と浮遊砂を量的に比較することはできないので、ここでは砂れんの峰での浮遊砂から背後の渦に取り込まれる浮遊砂量の割合を考え、 U_{bmax} を微小振幅波で表わすこととして、 W_s/U_{bmax} との比較を行なってみた。

ある沈降速度 W_s の砂が砂れんの峰から渦に取り込まれる量の割合として、峰上での浮遊砂濃度 (C_C) 中にしめる W_s の砂の濃度の割合を α 、砂れん谷部での浮遊砂濃度 (C_T) 中にしめる割合と β すれば、それぞれの W_s の砂の濃度を ΔC_C 、 ΔC_T として、

$$\Delta C_C = \alpha C_C, \quad \Delta C_T = \beta C_T$$



第8図 浮遊砂の沈降速度の中央値と濃度

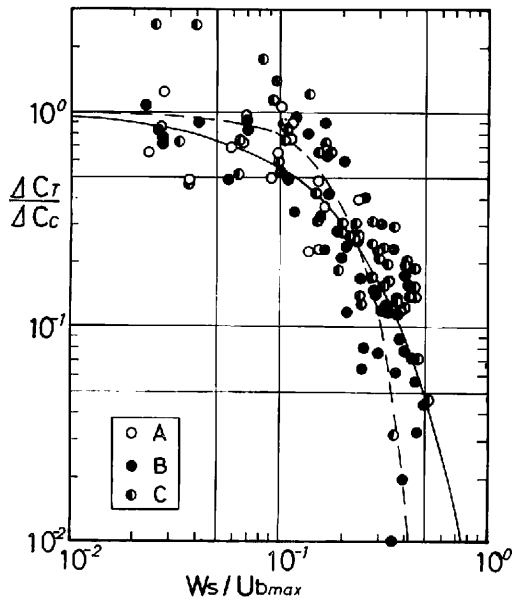
となり、峰上から渦に取り込まれる W_s 砂の濃度の割合を、 $\Delta C_T/\Delta C_C$ で表わすとする。

ここで谷で浮遊する砂はすべて峰上より移動したもので他からの流入はないものとすれば、 $\Delta C_T = \Delta C_C$ で $\Delta C_T/\Delta C_C = 1$ で最大値を示す。 $\Delta C_T/\Delta C_C$ が $f(W_s/U_{bmax})$ で表わされると仮定すれば、実験結果より $f(W_s/U_{bmax}) \rightarrow 0$ で $\Delta C_T/\Delta C_C \rightarrow 1$ 、 $f(W_s/U_{bmax}) \rightarrow \infty$ で $\Delta C_T/\Delta C_C \rightarrow 0$ となる。このような関数型は一般に指数関数で表わすことができるので、

$$\frac{\Delta C_T}{\Delta C_C} = \exp[-a(W_s/U_{bmax})^n] \dots \dots \dots (1)$$

となる。 a と n はここでは一応定数として考える。

今、各浮遊砂の沈降速度分布から W_s を 1 cm/



第9図 W_s/U_{bmax} と $\Delta C_T/\Delta C_C$

secごとに区切りそれぞれの α , β を求め $\Delta C_T/\Delta C_C$ と W_s/U_{bmax} の関係を示したのが第9図である。図中実線は(1)式において $n=1$, $a=6$ の場合であり、破線は $n=2$, $a=25$ の場合の曲線である。データはかなりばらついており定数の値を決定するに到らないが、各実験ケースとも同様の傾向を示している。

IV あとがき

沖浜帯での底質の浮遊砂について、沈降速度のちがいによる砂の浮遊のしやすさについて実験的に検討した。(1)式の妥当性については今後さらに検討を加える必要がある。第9図の中で $\Delta C_T/\Delta C_C$ の値が1以上を示すものがありこのことは式(1)の仮定に反することとなるが、これは対象としている一つの砂れん以外からの浮遊砂の流入があるた

めであり、本実験の採取法ではこの影響を取り除くことはできない。したがって実際の対象砂れん上からの底質の浮遊は実験データより細粒砂の値が小さく出てくることが予想される。このことより(1)式中 n の値は第9図に示した曲線のうち $n=1$ に近いものではないかと考えられる。

また、砂れんの形状との関係についても検討を加える必要もあり今後は、底面砂の粒度組成と浮遊砂との関連について砂れんの大きさを考慮し検討を加えていきたい。

本報告は筆者が水理実験センターに在職中に行なった実験結果をまとめたものであり、井口正男センター長をはじめ水理実験センターの皆様にはたいへんお世話になり末筆ながら心より感謝いたします。

文 献

- 鹿島遼一・斉藤昭三(1971): 振動流による浮遊砂の濃度と粒径. 第18回海岸工学講演会論文集, 355—358.
- 砂村継夫・阪東浩造・堀川清司(1978): 非対称砂れん上での砂移動機構と漂砂量に関する実験的研究. 第25回海岸工学講演会論文集, 250—254.
- 野田英明・松原雄平(1978): 汀線に直角方向の漂砂. 第25回海岸工学講演会論文集, 246—249.
- 野田英明・松原雄平(1980): 岸・沖向き漂砂量に関する研究. 第26回海岸工学講演会論文集, 197—201
- Dean, R. G. (1973): Heuristic models of sand transport in the surf zone. Proc. of Conf. on Engineering Dynamics in the Surf Zone, 208—214.
- Lanc, E. W. and A. A. Kalinske (1941): Engineering Calculations of Suspended Sediment. Trans. AGU., 22, 603—607.