

波・流れ共存場における漂砂機構に関する実験

八 木 宏*・小川由信**・首藤伸夫***

1. はじめに

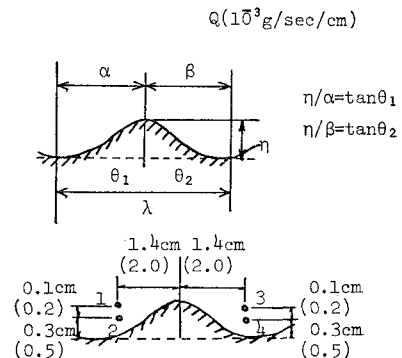
河口あるいは砕波帯内など波と流れが共存すの場における漂砂機構を知ることは、海浜変形を予測する上で重要な課題である。特に海底に砂漣が生じる場合、局所的な流れの場あるいは漂砂の移動形態は極めて複雑となり地形変化に直接係わる正味の漂砂量の算定は極めて困難となる。

従来より波の場における砂漣上の漂砂の研究は数多く行なわれており、正味の漂砂方向・浮遊砂の挙動などの現象面の定性的傾向、漂砂に深く係わる砂漣形状については比較的明らかになっている。一方、その定性的な研究に関しては大別して、i) 波高・周期・水深などマクロな水理量と底質の特性により、実験公式として漂砂量式を求めるもの。ii) 浮遊砂の挙動、流れの解析を中心としたミクロな取り扱い、に分類される。近年、海浜変形の数値シミュレーションが行なわれているが、波や流れの計算における出力が、波高・流速といったマクロな水理量であると考え、i) の取扱いの方が現状では応用性は高い。しかしながら、不規則波の下での漂砂、非平衡・過渡的な状態の漂砂、砂漣形状と漂砂の整合性なども説明しうる漂砂量則を得るためには ii) のような手法も必要であろう。

著者の一人はこれまで、波が流れを逆のぼる場における砂漣形状、砂移動機構といった研究を行ない、さらに波動場からの類推により浮遊砂を主体としたモデルにより漂砂量の算定を試みた。しかしながら必ずしもモデルの妥当性は十分でない。そこで本研究では、従来より行なわれている砂漣スケール、岸向・沖向漂砂量、浮遊砂濃度のオイラー的な測定に加え、砂漣進行速度、ビデオ撮影によるラグランジュ的な砂運動の追跡を行なうことにより、より詳細な漂砂機構、特に定常流速の増加に伴う正味の漂砂方向および砂移動形態の変化を明らかにする。

2. 実験方法

実験に用いた水路は、幅 30 cm、深さ 50 cm、長さ 10 m で、片面ガラス張りである。その中央部に 2 m に渡り砂（粒径 0.02 cm）を 5 cm に敷き、平坦に整形したのち定常流を与え、波をこれに逆行させた。実験条件及び結果を表—1 に示す。今回は特に、i) 定常流速の変化、ii) 波動流速の非対称性の変化に伴う漂砂機構を調べるために、水深を一定とし、波高・周期を変えたケース A、B についてそれぞれ定常流速を、0.0~15.0 cm/s にわたり 4 段階に増加させて実験を行なった。実験は、適当な時間、波と流れを作用させた後、二次元的な砂漣が発達した段階において、砂漣形状、岸向・沖向漂砂量、浮遊砂濃度、砂漣進行速度を測定し、併せてビデオ撮影を行ない、岸向沖向漂砂量の測定は、アルミプレート製のサンドトラップを用いた。ただし、測定は位置を変えて 3 回行ない、その平均値をデータとした。砂漣形状は、サーボ式砂面測定器を用いて測り、固定壁の影響のない中央部においてのデータについてゼロアップクロス法で砂漣一波を定義し、60 に分割した位相平均として求めた。浮遊砂濃度は光電式濁度計（受感部 3 mm）を用いて、図—1 に示す測定点において約 13 周期連続測定した。同位における測定された水面データのゼロ・アップクロス点で濃度データは分割され、50 分割の位相平均を求めた。



() CASE B

図—1 濃度測定位置

* 学生会員 東北大学大学院 工学研究科

** 正 会 員 工 修 建設省土木研究所

*** 正 会 員 工 博 東北大学教授 工学部土木工学科

表-1 実験条件および実験結果

	実 験 条 件					実 験 結 果					
	波 高 H (cm)	周 期 T (sec)	水 深 h (cm)	定 常 流 速 $\bar{u}_c$ (cm/s)	アー セル 数 n_r	岸 向 漂 砂 量 Q_{on} (10^{-3} g/cm/sec)	沖 向 漂 砂 量 Q_{off} (10^{-3} g/cm/sec)	正味の 漂砂量 Q_{net}	砂連進行速度 (沖 向 正) C_s (10^{-3} cm/s)	砂 波 連 長 λ (cm)	砂 波 連 高 η (cm)
A-1	5.00	1.24	20.07	0.00	15.6	- 0.442	0.642	0.20	-1.12	4.32	0.71
A-2	5.25	1.23	19.99	5.04	15.4	- 2.670	0.845	-1.82	-2.17	4.35	0.74
A-3	5.44	1.23	20.05	10.04	15.1	- 1.390	0.948	-0.42	-1.57	4.43	0.76
A-4	5.75	1.24	20.00	15.05	15.7	- 0.360	3.800	3.44	0.90	4.67	0.72
B-1	6.69	1.70	20.03	0.00	42.9	- 5.560	8.980	3.42	-2.97	6.76	1.33
B-2	6.00	1.69	19.85	4.77	37.2	- 2.190	4.520	2.33	-8.75	5.68	1.03
B-3	6.18	1.70	20.16	10.07	39.7	- 2.060	8.080	6.02	0.00	6.04	1.12
B-4	7.13	1.70	20.06	15.00	40.3	-12.820	11.730	-1.09	-5.50	6.03	1.19

3. 実験結果

砂移動量と純移動方向について、流れ強度、波特性などに従って考察すると次のようになる。(図-2~3)

(1) ケース A

ケース A は、比較的波高が小さく、比較的水深の大きい時で、アーセル数 15 程度の場合である。

この時、波形の特徴として、流れ強度を大きくしていても流れによる波形変形は著しくなく、単に波によって生ずる流速の原点をずらすという形の影響しかもない。ケース A を通じて、浮遊砂濃度変化には次のような特徴がある。砂連上流面での浮遊砂濃度の最大値 (a) は、上流向きとなった合流速で運ばれてきたもので生ずる。

つづいて生ずる (b) のピーク値は、上流を向く流れが峰より剝離し、これにまきこまれた砂によって生じてい

る。この (b) を作った砂群は、波の谷が来ると砂連下流面へ運ばれ、ピーク (c) を作る。(c) の寸法が大きくなった結果として、下流砂連の上流側に影響が及び (d) のピークがとらえられる。波の谷から水位が上昇する位相で砂連頂背後に渦が形成され、(e) のピークが発生する。(e) は流速反転時に上流側へと舞い戻りピーク (a) を与える。このような過程を繰返すことになる。流れが強くなるとピーク (f) が現れる。これは、上流向きの位相で砂連下流面に生ずる。砂連上流面に発生する渦が小さくなるため、(e)→(a) と運ばれてきた砂の一部が、渦の存在によって移動距離を制限される事なく上流へ進んだ結果である。

A-1 において上流面に現れる濃度ピークは、(a), (b), (d) とともに大きく、下流にあらわれる (e) は極めて小さい。しかしながら合計としての砂移動量は、上下流向きとも同程度である。

ケース A を通じて、(e)→(a) と反転した時の砂移動距離は砂連頂を 1 個のみ含む程度であった。従って、波のみの場合、ピーク (a) を作った砂の大半が砂連上砂面に落ちることによって砂連は上流へと進行する。

A-2 の様に定常流速を増すと、上流への掃流的な移動が増すためか、砂連は対称形に近づく。下流側斜面が急になるから、流れが下流を向く位相での渦の形成と、その中に含まれる砂濃度の増加のため、(e) のピークが大きくなり、それは結局 (a) のピークの増大と砂連の上流への進行速度の増大をもたらす事になる。さらにピーク (b)

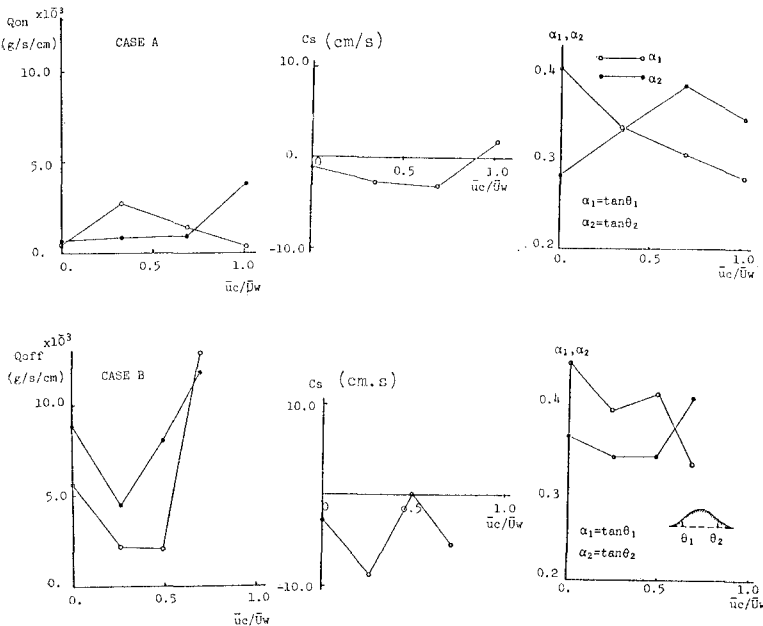


図-2 漂砂量、砂連進行速度、砂連波形勾配

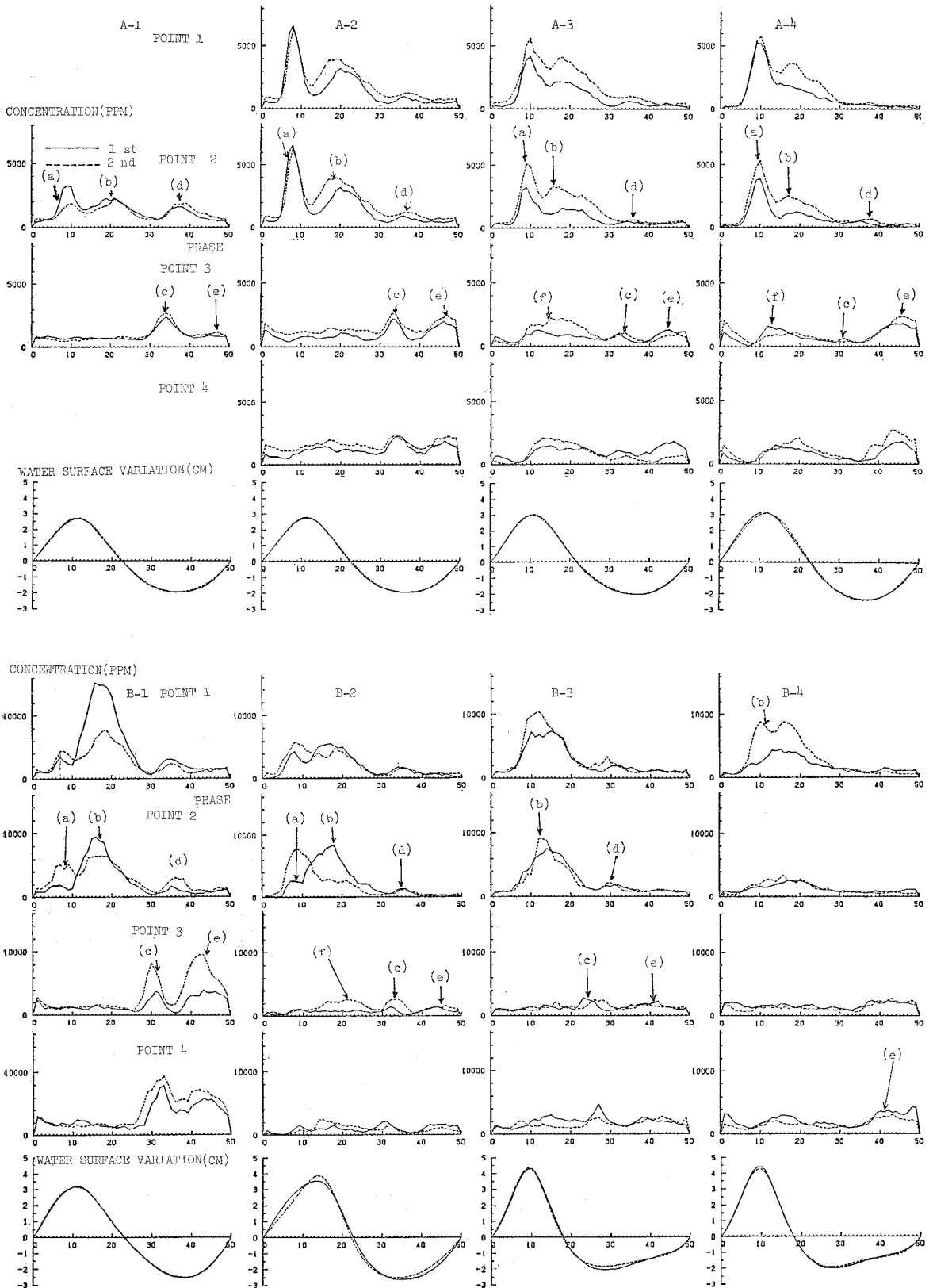


図-3 浮遊砂濃度時間曲線

が下流面から運ばれてきた砂をも取り込んで成長し、(c) へと戻る時、かなりの量を取り残して行くため、上流向きの砂移動が生ずる。

A-3 では、砂漣は下流面が急な非対称形となる。これは、掃流時に運ばれる砂が、下流向きが卓越したためであろう。この結果、(b) のピークを作る渦の勢力は、上流向き流速が小さくなることの効果がきいて、次第に小さくなり、これが運ばれてできるピーク (c) は小さなものになってしまう。ただし、(b) を作る渦の寸法が小さいので、(a) の砂の一部は、この渦に取り込まれることなく遠方に運ばれ、(f) のピークを作り上流へ運ばれる。(b) をつくる渦の勢いは小さくなるが、砂漣下流面からの掃流は依然として存在する。しかし、渦の強さはこれらの掃流された砂を浮遊状態に維持するためには弱いのか、これの反転としてのピーク (c) は弱く、砂を上流面に残してゆく。

A-4 のように定常流速が大きくなると、ピーク (e) が極めて大きくなる。これの反転としての (a) は、その大きさをほぼ維持し、(b)、(c)、(f) は、A-3 とあまり変化しない。しかし、(e) をつくる時期に砂が砂漣上流面を掃流的に運ばれる量がふえる結果、砂漣はより非対称となり、純移動量は冲向き、砂漣移動方向も、冲向きへと変化する。

(2) ケース B

ケース B は、波高が大きく、波の非対称性が無視できない場合である。波のみでは、アーセル数は 40 程度である。波の山はとがり、谷は平らである。流れを与えるときと波形の変化が著しく生ずる。

砂漣は波のみの場合、岸側の傾斜が急であり、非線形波による砂漣としての特徴を持っている。この形は定常流速を与えてもなかなかくずれず、実験における最大流速時にはじめて定常流の効果がきいて、沖側の勾配が急になる形となった。浮遊砂雲の移動行程は、ケース A に比べて大きく、一波長のみでなく、2~3 波長であった。

浮遊砂濃度には、ケース A と同じく、(a)~(f) のピークが見られるが、ケース A との大きい違いは、ピーク (a) が、小さく消滅する場合もあるという事である。

B-1 は波のみである。従来の実験結果と同じく、純漂砂としては、冲向き、砂漣は岸に傾き、岸側へと移動してゆく。

流れを少し加えると B-2 となるが、ピーク (b) を除き、著しく減少する。(b) は、砂漣下流面から砂で養われ、流れが下流向きとなると、わずかに (c) (d) でとらえられるピークを作って、下流側砂漣の上流面に到達する。(c) (d) の値が小さい事は、その地点を通過する速度が大きく、また、到達した場所で浮遊状態を長く維持できない事を意味しているのであろう。このため砂移動

の総和としては下流方向、砂漣移動方向としては、上流向きとなる。

B-3 では、(d) の出る時間が早くなる。すなわちピーク (b) を作った砂が早く下流へ運ばれる事あるいは、下流側砂漣の上流面のみならず下流面へも到達することを意味する。従って砂漣は進行を止めるが、純砂移動量は、下流向きに増加するのである。しかし、砂漣の非対称性はまだ岸側に急である。

B-4 になると定常流速が大きくなり、この波に対しては、始めて沖側が急な砂漣となる。流れの影響下での (e) が増え、対応するピーク (a) が、わずかながら現れる。ピーク (f) も現われ、A-3 に似たものに近づく。砂移動量は、A-3 の 10 倍程度と大きい、上下流向きの差は A-3 と同じく小さい。

4. 結 論

流れに対して波が逆上するような状態を含む条件で実験を行なった。砂漣としては、上・下流へ進む場合、停滞する場合があります、砂の純移動量としても、上流向き、下流向き、ほぼ同じ等があった。

これらの状態の組合せは、底面近くの小さな寸法での流れの構造と、それによって砂の動かされる機構との微妙な違いによって生じている。異なる A, B 2 ケースにおいて、A-3, B-4 は、砂移動量の上流・下流向きの各量の大きさは、かなり違うけれども、砂の純移動量砂漣移動形態などは似ている。しかしながら流れを増加しながら、この状態にたどりつく途中の状態は、全く異なっている。すなわち、A では岸向き漂砂量が卓越する状態を経て A-3 となる。B では冲向き漂砂量が卓越する状態から B-4 へとたどりつく。

この事から波・流れ共存時の砂移動の実験においては実験スケールの大きさに十分注意を払いながら実験を行なわないと間違つて結論を得る危険があるといわなくてはならない。いずれにせよ、波形勾配、アーセル数、といった大まかな特性値での分類でなく、砂漣近傍の流れをより良く表現しうる特性量を発見する必要がある。

謝 辞： この実験を行なうにあたり、東北大学工学部山路弘人技官より多くの助力を得た事をここに記して厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 田中 仁：波流れ共存場の乱流構造と漂砂現象に関する研究，東北大学学位論文，1984。
- 2) 佐藤 功：波流れ共存場における岸沖漂砂量，第 31 回海岸工学講演会論文集，pp. 311~315, 1984。
- 3) 早川典生・辻本剛三・森下憲治：砂漣上の渦運動による浮遊砂輸送機構，第 31 回海岸工学講演会論文集，pp. 291~295, 1984。