

潮汐を伴う河口砂州形成実験について

歳田 正夫*・馬場 洋二**・浅野 富夫***・葛西 敏彦****

1. はじめに

河口部は河川と海岸との接点であり、河川からの流出土砂あるいは沿岸漂砂などにより、河口砂州が形成され河口閉塞が問題となることが多い。とくに、河状係数が大きい砂河川が、潮位差が小さくまた波浪が大きい沿岸に流入する場合、このような現象は顕著となり、一般に重要な河口処理については、現地資料の収集、解析あるいは河口閉塞機構に関する一般的な実験結果^{1)~6)}の適用だけでなく、古くから模型実験による検討も行われている^{7)~9)}。

模型実験により河口処理工について検討する場合、現地現象の再現性を確かめるための検証実験は極めて重要であり、この過程で多くの実験的工夫がなされる。たとえば、河口砂州を形成させる場合、波浪条件は現地資料を考慮しつつ、最終的には実験的に選択されるのが実状のようである。これに対し、潮汐については、若下の実験¹⁰⁾を除き、従来より一定潮位のもとでのみ実施される場合が多く、潮汐を伴う場合における河口砂州の生長過程を明らかにしようとする試みはあまりなされていない。しかしながら、潮位差に比べ波高がそれほど大きくない沿岸を対象とした河口砂州形成実験においては、潮汐の効果を十分に考慮する必要がある。

このような状況に鑑み、本研究においては、石炭粉を用いた大規模の移動床模型において種々の実験を行い、砂州の生長過程に対する潮汐の効果を把握しようとしたものであって、とくに現象の記述に重点を置いている。

2. 実験方法

(1) 実験装置の概要

実験に用いた移動床模型の縮尺は、 $L_r=50$ であって、図-1 に示されるように、河道部と海浜部とより構成されており、移動床用材料としては石炭粉が採用されている。図-2 は、実験に用いた石炭粉の粒径加積曲線を示したものであって、平均粒径は $d_m=0.032\text{ cm}$ 、 $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$

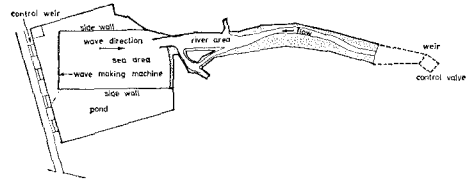


図-1 実験装置

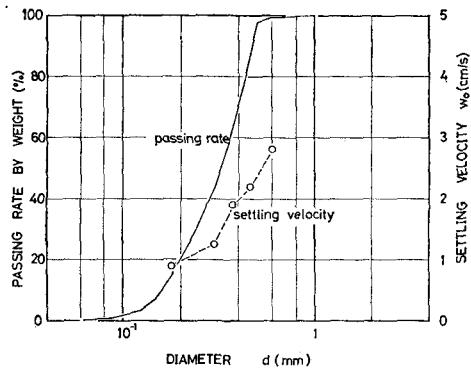


図-2 石炭粉の粒度分布

$=1.56$ 、沈降速度は $w_0=1.5\text{ cm/s}$ である。なお、河床材料の整形においては、河道部高水敷上には玉砂利（平均粒径 $d_m=5\text{ mm}$ ）を敷きつめ、高水敷の石炭粉の移動量が少なくなるようにされている。また、海浜部については、T.P. -8m の深さまで現地と相似に整形し、約 1/33 の勾配で平面水槽床版（T.P. -20m）にすりつけられている。

さらに、河川流量は、河道部上流端に設けられた量水槽に高水槽から送水することにより供給され、また、潮位は、海浜部模型の外周にめぐらされた平面水槽の水位により目標値に設定されている。なお、河川流量は、四角ぜきを有する量水槽の越流水深が所定の値となるように、高水槽からの送水管途中に設けられた流量調節用バルブにより設定され、潮位は、河口と対面する側壁に設けられた潮位調節用ゲート及び平面水槽用給水管からの補給により調整されている。

また、波浪実験に使用される造波装置は、幅 6m の造波板を有するベンジュラム形式の可動型平面造波機であ

* 正会員 建設省九州地方建設局大隅工事事務所長
 ** 正会員 工務 建設省土木研究所河川部都市河川研究室長
 *** 正会員 工務 建設省土木研究所河川部都市河川研究室研究員
 **** 正会員 建設省土木研究所河川部河川研究室

って、この実験では三基連結して用いられている。ただし、波の入射方向は、図-1に示されるような方向についてのみ実施されている。

(2) 実験水理条件

表-1は、一連の実験の水理条件を示したものであ

表-1 実験水理条件

Case	S.L.* (T.P.m)	H_0^* (m)	T^* (sec)	H_0/L_0	t (hour)	N	Q^* (m^3/s)
A	0.3 ± 0.6	—	—	—	3.6	2	20
B1	0.3 ± 0.6	2.16	11.0	0.0114	19.6	11	26
B2	0.3 ± 0.6	1.63	7.0	0.0212	10.7	6	20
B3	0.3 ± 0.6	1.66	9.2	0.0126	14.3	8	26
B4	0.3 ± 0.6	1.05	7.0	0.0138	30.4	17	26
C1	-0.3	1.04	7.0	0.0137	10.0	—	26
C2	0.3	1.00	7.0	0.0131	15.5	—	26
D	0.3 ± 0.6	1.01	7.0	0.0132	30.4	17	26
E	0.3	0.96	7.0	0.0125	15.5	—	26

*: transformed value to prototype, S.L.: sea level,
t: experimental time, N: number of tides,
Q: river discharge

て、ケースAは、潮汐のみによる水位、流況等の状況を把握しようとしたものであり、ケースB1~B4は、潮汐を与えると同時に種々の波浪を作用させ、河口砂州形成に及ぼす波浪条件の效果に着目したものである。

一方、ケースC1及びC2では、それぞれ、平均干潮位及び平均潮位のもとで、ケースA、Bと同様に、図-3(a)のような河床状態に波浪を作用させ、ケースBとの比較を目的としている。

さらに、ケースD及びEは、河口部を 図-3(b) のよ

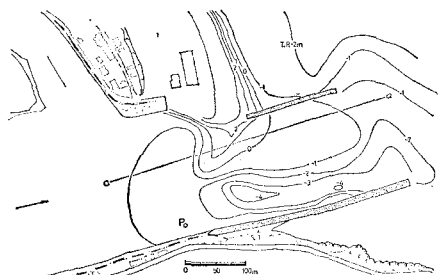


図-3(a) 実験初期条件 (ケースA, B, C)

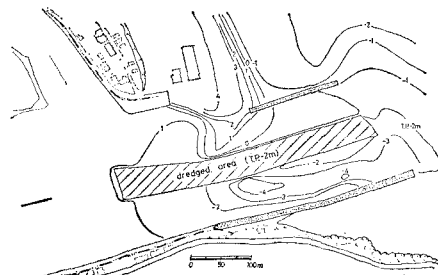


図-3(b) 実験初期条件 (ケースD, E)

うに浚渫した場合について、ケースB及びCと同様に、潮汐の效果を検討しようとしたものである。

なお、いずれの実験ケースにおいても、河川上流からは平水流量を流下させているが、海水との密度差は考慮していないため、塩水くさびの效果は無視されている。

3. 実験結果

(1) 河口部流況

河口部流況の基礎として、まず潮汐のみを作用させたケースAに基づき、潮汐流の状況について検討を加えると 図-4 のようになる。図において、河口 (図-3(a) の

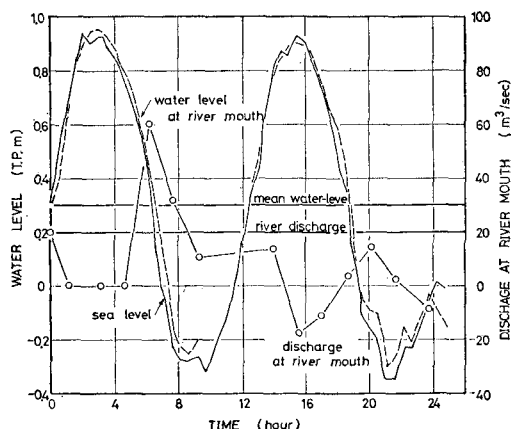


図-4 水位・流量と潮位との関係 (ケースA)

P点)の水位は、外海潮位と同位相またはほぼ同じ値をとりながら変動しているが、河口部流量は、計測値に若干のばらつきがあるものの、約1/4周期遅れた変動を示している。このとき、河口部流量の最大値は約 $60 m^3/s$ (順流), 最小値は約 $-20 m^3/s$ (逆流) であって、上流から与えた河川流量 $20 m^3/s$ との差 $\pm 40 m^3/s$ は潮汐の效果とみなすことができる。なお、このような傾向は、波を作用させた場合にもほぼ同様であって、河川流量を $26 m^3/s$ とした他のケースをも考慮すると、河川流量の2倍程度の流量が潮汐によって付加されるようである。

また、波を作用させると、河口付近の平均水位は wave set up により若干の変化を示す。いま、本実験における河口 (P点) の wave set up 量を、満潮位、平均潮位及び干潮位のそれぞれについて例示すると 表-2 のように

表-2 Wave set up の比較

(unit: m)

Sea level	B1	B2	B3	B4	C1	C2
High	0.02 (0.03)	0.04 (-0.02)	0.08 (-0.01)	0.07 (-0.06)	—	—
Mean	-0.07 (0.06)	0.08 (0.01)	0.08 (0.02)	0.08 (-0.03)	—	0.08 (-0.04)
Low	*	*	*	*	0.02 (0.01)	—

* unmeasured

なる。なお、表中()内の値は、佐々木・佐伯の式¹¹⁾を用いて算定した値であって、河床勾配のとり方には若干のむずかしさが含まれているため、両者は必ずしも一致していない。このような相違が生ずる他の原因としては、実験精度、河床面粗度(砂漣、砂堆)に対する考慮及び二次元結果の三次元現象への適用性などの問題がまずあげられるが、河川流あるいは潮位変動の効果を考慮した場合の wave set up 量そのものの不確定性も指摘され、今後これらの研究が必要となろう。

一方、図-5(a)及び(b)は、退潮時及び入潮時にお

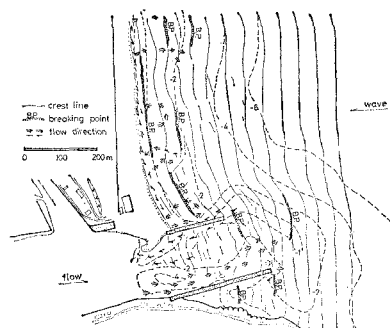


図-5(a) 海浜流況(ケースB4, 1周期退潮時)

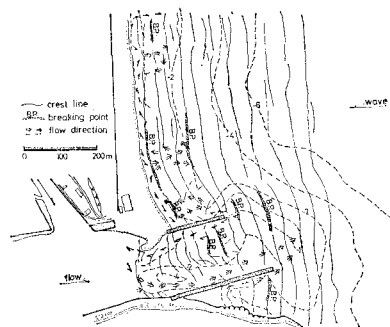


図-5(b) 海浜流況(ケースB4, 2周期入潮時)

ける海浜流況を比較したものであって、潮位が同じ平均潮位であっても、退潮時の方が沖で碎波している。このような現象は、従来からも指摘されており¹²⁾、潮位差が大きい河口における砂州形成を対象とした場合、潮位変動そのものの効果の外、潮流流をも考慮した漂砂の運動特性が重要となろう。なお、図-5のいずれにおいても、導流堤内左岸側において逆流を、また右岸側において順流を呈しているが、これは、図-3(a)に示されるように、実験初期の河床形状として右岸側を深く整形したためであり、左岸側の逆流によってもたらされる漂砂により砂州が発達していく。

さらに、入潮時と退潮時における波高分布を例示すると図-6のようになり、図-5からも予測されるように、同地点で比較した場合、入潮時に大きな波高を示している。

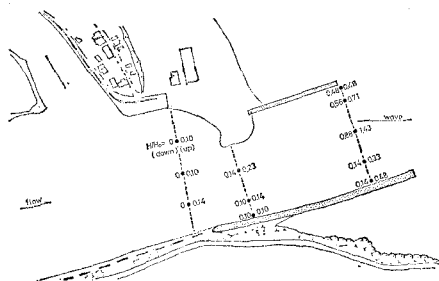


図-6 波高分布(ケースB4)

したがって、退潮時に巻きあげられて導流堤内に輸送された漂砂は、入潮時に再び激しく移動し、砂州は入潮時に著しく発達するものと推測される。

(2) 砂州の形成

河口部流況から予想された砂州の発達を、河口部等深線図を用いてさらに詳しく検討すると次のようになる。

図-7(a)及び(b)は、それぞれ、潮汐を与えたケースB4及び一定(平均)潮位のもとのケースC2において、平均潮位以上の部分により砂州の形状を表し、その形状の時間的変化を示したものであって、これら2ケースの波浪条件はほぼ等しいものとみなされるため、図-7における相違は潮汐の有無に基づくものとして差し支えない。両図の比較より、潮汐を与えると、砂州は一定(平均)潮位の場合よりも上流側に形成され、さらに平衡状態に達するまでには多くの時間を要することが知られる。すなわち、砂州の位置及び高さは、満潮時付近においてほぼ決定され、平均潮位以下ではあまり発達しない。なお、河床が低く波高が大きい限り砂州は上流

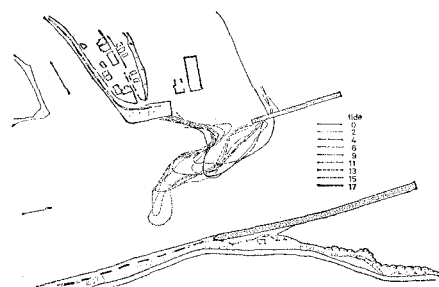


図-7(a) 砂州の生長(潮位変動を与えた場合、ケースB4)

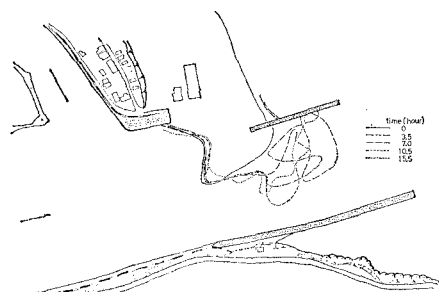


図-7(b) 砂州の生長(一定(平均)潮位の場合、ケースC2)

側へ伸延し、河道遡上によるエネルギー減衰のため波高が小さくなると、砂州は横断方向へと河口を閉塞する方向に発達し、河川流とバランスする位置で動的平衡に達するようである。これに対し、一定潮位の場合、砂州の形成は潮位そのものに大きく左右され、砂州は主として横断方向に発生する傾向をもっている。

潮汐の有無によるこのような特性を経験関数¹³⁾を用いて検討すると表-3 のようになる。表-3 は、図-3

表-3 経験関数における固有値の比較(ケースB4)

Relative eigenvalue	Sea level with tides	Constant sea level
λ_2/λ_1	0.13	0.05
λ_3/λ_1	0.03	0.02
λ_4/λ_1	0.02	0.01
λ_5/λ_1	0.01	0.01
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

(a) に示された断面 a-a における河床高の時間的変化より評価した経験関数の固有値 λ_n ($n=1, 2, 3, \dots$) を、 λ_1 に対する割合で示したものであって、潮汐を与えた場合の方が λ_1 の貢献度が小さく、両者を比較した場合、潮汐を与えると砂州は波動型の発達をし、一定潮位では拡散型の発達をするものと解される¹⁴⁾。

また、図-8 は、種々の条件のもとで形成させた砂州

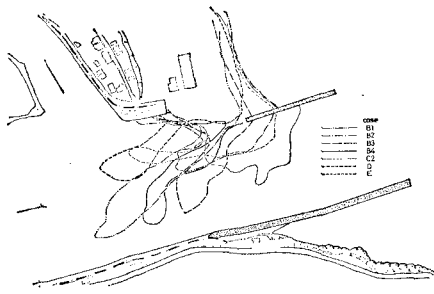


図-8 形成砂州の比較

の形状を示したものであって、いずれも平衡状態とみなされる形状で表示されている。ただし、ケースC1については、潮位が低いため波高の減衰が著しく、明確な砂州が形成されていないため表示されていない。図に示されたケースBの比較より、波形勾配が一定の場合、一般に波高が大きいものほど砂州は河道奥に形成され、また波形勾配が大きいものほど遡上波のエネルギーは大きく、砂州は上流側に鎌型に伸延していくようである。また、ケースD及びEは、いずれも3潮汐ごとに河口部を、図-3(b)のように、浚渫しながら砂州を形成させたものであって、河口水深が大きいと波のエネルギー減衰は小さく、砂州を河道奥へ押し上げる傾向が示され

ている。なお、いずれのケースにおいても、先に述べた潮汐の有無による砂州形成の特徴はよく現れている。すなわち、潮汐を与えた場合には、平均潮位から満潮位にかけて砂州は伸延発達し、満潮位から平均潮位にかけて砂州の側岸及び下流岸に漂砂が堆積し、平均潮位から干潮位にかけて砂州下流側に漂砂が沈積する傾向が認められる。

4. おわりに

本実験の結果、潮汐を伴う場合の河口砂州の形成特性がある程度明らかにされたが、河川流量及び潮汐と河口部流量、wave set up 量あるいは波高分布などとの関係、及び塩水くさびを考慮した場合の河口部の水理特性など、多くの問題点が残されており、さらに検討を加えていかねばならない。

なお、本研究の遂行にあたっては、京都大学防災研究所土屋教授及び建設省土木研究所河川部海岸研究室橋本室長、宇多研究員をはじめとする河川部の皆様から多くの御協力を賜りました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 榎木 亨: 河口閉塞機構に関する基礎的研究(第1報), 第12回海岸工学講演会講演集, pp. 162-167, 1965.
- 2) 榎木 亨・竹内 宏: 河口における沿岸砂州の発生発達について——河口閉塞機構に関する基礎的研究(第2報)——, 第13回海岸工学講演会講演集, pp. 151-155, 1966.
- 3) 榎木 亨: 河口閉塞にともなう河道内水位の変化について——河口閉塞機構に関する基礎的研究(第3報)——, 第15回海岸工学講演会講演集, pp. 195-202, 1968.
- 4) 榎木 亨・小船浩二: 河口水位変化に及ぼす導流堤の効果について——河口閉塞機構に関する基礎的研究(第4報)——, 第16回海岸工学講演会講演集, pp. 131-135, 1969.
- 5) 野田英明: 河口閉塞に関する二、三の実験, 京大防災研究所年報, 第10号B, pp. 223-234, 1967.
- 6) 野田英明・木村 晃: 河口閉塞に関する研究(1)——洪水流によるフラッシュの効果——, 京大防災研究所年報, 第13号B, pp. 427-443, 1970.
- 7) 吉高益男: 河口砂州の変化について——富田漁港模型実験による——, 第6回海岸工学講演会講演集, pp. 72-77, 1959.
- 8) 榎木 亨: 益田港河口漂砂に関する実験的研究, 徳島大学工学部研究報告, 第8号, pp. 31-42, 1963.
- 9) 建設省土木研究所: 土木研究所刊行資料目録, 1977.
- 10) 和田 学・原田重信: 渡川河口模型実験について, 第29回建設省技術研究会報告, pp. 658-663, 1975.
- 11) 佐々木幹夫・佐伯 浩: 碎波後の波の変形に関する研究(2), 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 39-44, 1974.
- 12) 佐藤道郎: 不等流を遡る波の波高変化に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第242号, pp. 15-29, 1975.
- 13) Winant, C. D., D. L. Inman and C. E. Nordstrom: Description of seasonal beach change using empirical eigenfunctions, J. Geophys. Res., Vol. 80, (15), pp. 1979-1986, 1975.
- 14) 橋本 宏・宇多高明: 阿字ヶ浦における海浜過程(第1報), 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 245-249, 1976.