

最上川河口砂州の変形機構について

西川 和廣*・佐々木 充**・前川 勝朗***
宇多 高明****・国松 広志**

1. ま え が き

外洋に面した海岸に流入する河川の河口では、一般に河口砂州が良く発達する。河口砂州は河道内への波の侵入を防ぎ、塩水遡上を阻止する上では有効であるが、洪水流を安全に流下させる上で障害となることがある。現象的に見れば砂州は波の作用で形成され、河川流によって削られる。特に日本海沿岸に面した河川では冬期風浪による砂州の発達と、融雪出水等によるフラッシュが毎年繰り返される。

このような問題に関する過去の研究は主として現地実測によって行われてきた。例えば、宇多ほか(1988)は、鳥取県の千代川河口における冬期風浪による土砂の打ち込みと融雪出水によるフラッシュの機構を現地データより分析した。また、藤井ほか(1988)は、相模川河口砂州の河道内への発達と、砂州つけ根の侵食との因果関係を定量的に明らかにした。また、沢本ほか(1987)や佐々木ほか(1987)は、阿武隈川河口砂州の洪水流による変形機構を調べた。

山形県のほぼ中央部において日本海に注ぐ最上川の河口では、近年、左岸導流堤の建設後、砂州が河道の上流方向へ急激に移動するとともに、導流堤の上流側のつけ根部分が著しく侵食された。生じた変化の基本パターンは、前述の相模川の場合に近かったが、生じた現象のスケールははるかに大きいものであった。このような河口砂州の上流への移動は、河川からの流出土砂量の減少などに伴って近年全国各地で見られる。したがって、現地の実態を明らかにすることは当河口域での現象解明に役立つだけでなく、同様な問題を持つ他の河川において河口問題を検討する上でも有効と思われる。本研究ではこのような視点より最上川河口砂州の変形実態を分析するとともに、移動床実験により検討を加えた。

2. 最上川河口部の自然条件

最上川の河口は過去かなり変遷してきた(例えば、前川, 1990参照)。現在は河口に隣接して酒田港の防波堤が延びており、そこで河口が固定されている。河口の左岸には1989年現在で長さ168mの導流堤が存在する。

最上川の砂越水位観測所(河口より11.0km地点)における1965年より1984年までの流量観測データより求めた月平均流量を表一1に示す。月平均流量の全平均値は約400m³/sであり、例年、融雪出水の始まる3月より流量が増加し、4月で1000m³/sを越え、5月も約580m³/sとかなりの流量となるが、他の季節の流量は小さい。表一1には月平均流量の標準偏差も示した。標準偏差も月平均流量にほぼ比例している。

河口周辺の波浪条件は、運輸省による酒田港沖における波浪観測資料より調べられる。夏期は非常に静穏であるが、例年、10月～3月頃までの間、冬期風浪により2～3mの高波浪の来襲頻度が高い。有義波周期については、一般に3～7秒が高頻度であり、特に冬期風浪時は周期の長い波の頻度が高くなる。また別途行われた波向観測によれば、河口付近での卓越入射方向はWNW, WおよびNW方向である。砂州周りの底質粒径に関しては、1983年に砂州の先端部の汀線付近の3地点で採取された底質資料をもとに粒度分析が行われた。これによると、中央粒径の平均値は約1.4mmであった。

表一1 月平均流量(砂越水位観測所, 1965年～1984年)

月	1	2	3	4	5	6	7
月平均流量 (m ³ /s)	296	280	491	1085	580	271	362
標準偏差 (m ³ /s)	86	90	181	244	223	137	232
月	8	9	10	11	12	年間	
月平均流量 (m ³ /s)	279	238	213	359	378	403	
標準偏差 (m ³ /s)	176	82	82	103	103	55	

* 正会員 建設省東北地建酒田工事事務所長
** 正会員 建設省東北地建酒田工事事務所
*** 正会員 農博 山形大学助教授農学部 農業工学科
**** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長

3. 河口砂州の変形実態

3.1 河口砂州の汀線形と断面形の変化

最初に、近年における河口砂州の変遷を調べた(図-1)。導流堤の建設以前の1975年の砂州は河口を閉ぐように対岸方向へはほぼ直線的に延びていた。1980年になると、河川の横断方向に延びていた砂州は上流方向へと移動し始めた。1985年には導流堤のつけ根において汀線の湾入が始まると同時に、斜め上流方向への砂州の著しい発達が始まった。1988年までには導流堤の上流側の湾入域が波の回折効果により更に広がるとともに、一度堆積した砂州が再び削られた。この結果、砂州は全体として上流方向へ移動した。1989年にもこの変化が続き、最終的に河川の横断方向に約290mの長さを持つ河口砂州が形成されるに至った。一方、波の遮蔽域内に入る砂州の上流側の河岸形状にはほとんど変化が見られない。

砂州形状の平面的な変化に対応した海浜断面形の変化は、図-1のCS1~CS12測線において調べられている。そこで、これらの12本の測線のうち代表的にCS4とCS6測線を選び、断面形の経時変化としてまとめた(図-2)。CS4測線は近年汀線が最も後退した場所に位置する。また、CS6測線は1985年時点において砂州の先端付近を横切る場所に位置する。CS4測線では汀線が後退し、浜崖が形成されつつ侵食が進み、しかも-1.0~-1.5mに侵食平坦面が形成された。汀線の後退と同時に河道の中心では河床高が次第に上昇し始めた点が注目される。一方、CS6測線は砂州を斜めに横切っているために、砂州の断面形は歪んだ形で表示されているものの、この場合も砂州の後退とともに-1.0~-1.5m付近に侵食平坦面が形成されたことが分かる。

図-2に示した河川の横断形は測線間隔が200mと広く、砂州のスケール(約1km)に対し十分な細かさを有していない。また砂州の汀線形に対して測線の方が斜向することなどから、経時変化を調べる上では有用なものの、砂州形状の局所的な地形特性を調べるには十分な資料とは言えない。そこで1989年9月6日に砂州の汀線に沿って詳細な海浜測量を実施した。測線配置を図-3に示す。導流堤の隣に基準点No.0を設け、そこから砂州の先端(No.32)まで20m間隔で測点を配置した。測線は汀線に直交する方向に設定した。図-3には4の倍数の測線の断面形を示した。図示に際しては、汀線位置をずらしつつ、各断面を重ねて表示した。図-3の測点配置によれば、導流堤の延長線と砂州の汀線の交差する点に最も近接するのはNo.19とNo.20である。No.0~No.16の間では、汀線背後の地盤高が高いために、いずれも浜崖が形成されている。一方、No.20~No.32は、砂州が河道へ突き出た部分である

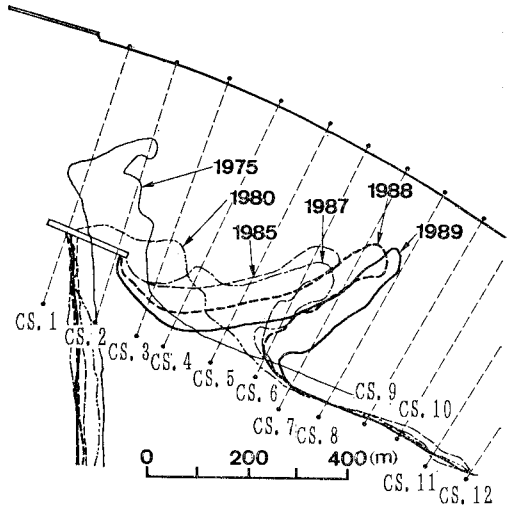


図-1 河口部の汀線変化

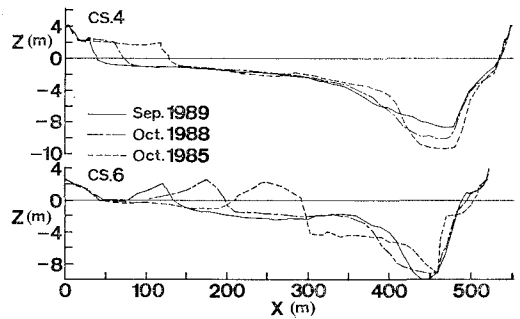


図-2 河口部横断形の経時変化

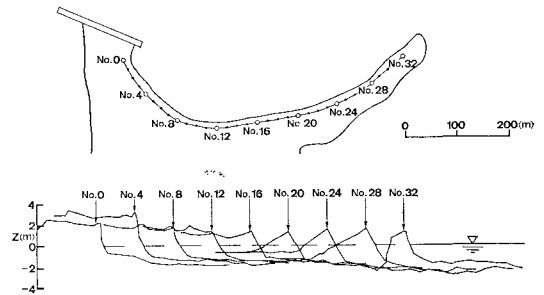


図-3 砂州に直交する測線に沿う海浜断面形の変化

ため、海側より砂州高が上昇したあと再び海面下に没する。この場合、いずれの断面でも海側の前浜勾配に対して、砂州の背後の斜面勾配は緩くなっている。また、砂州高はほぼ2.4mと一定である。沖合の海浜形状に関しては、侵食域にあるNo.0~No.16に止まらず、堆積域にあるNo.20~No.32においても-1.0~-1.5mの範囲に広い平坦面が存在する。侵食域では波による移動限界まで砂が削りとられた結果平坦面が形成され

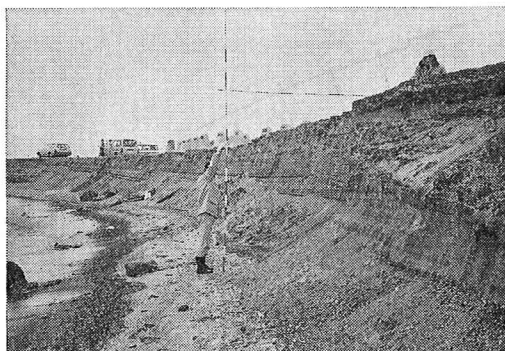


写真-1 侵食域における浜崖の形成状況

た。汀線変化図(図-1)によれば、現砂州の沖合では過去に形成された砂州が侵食された後に再び現砂州が突出したから、沖合には侵食平坦面がそのままの形で残されたと考えられる。砂州の堆積域では、断面形成に関する履歴の効果が含まれることが明らかである。

導流堤の隣接域で、激しい侵食を受けた河岸の状況を写真-1に示す。河道内への侵入波浪によって砂州のつけ根部分が大きく侵食され、高さ約3mに及ぶ浜崖が形成された。浜崖の高さは導流堤の隣接部で最も高く、上流方向に次第に減少する。浜崖部分では土砂の層状堆積状況が見てとれる。

3.2 最深河床と砂州位置の関係

河口砂州が伸びると河積が小さくなり、流れが縮流されるために、砂州の下流には局所的な深掘れが生じた。この深掘れの位置には砂州の移動と対応した変動が見られた。代表的に1985年10月、1988年10月、1989年9月時点での河口部の等深線形を図-4にまとめて示す。右岸堤防とその延長上にある防波堤が全体としてやや反時計回りの方向に曲がっており、また左岸側より砂州が伸びたため、最深河床は右岸近傍で見られる。また水深の最大値はそれぞれ11.1m(1985年)、10.5m(1988年)、12.3m(1989年)であり、また、最深河床位置は近年上流方向へ移動したことが分かる。

3.3 河口砂州の変形原因

砂州が上流方向へと遡った原因について考察するために、導流堤と砂州形状の関係を図-5に示した。1977年での堤長は23mであり、汀線付近でわずかに海側へ突き出していた。このため導流堤があっても漂砂は自由に迂回することができたから汀線は直線状に延びていた。ところが、1978年には導流堤の北側がわずかに後退傾向を示し始めた。このような状況になると、漂砂は導流堤を迂回しにくくなる。その後、導流堤は上流方向に延長され、1982年3月現在でその長さは99mとなった。1978年～1982年の間に砂州は上流方向へ移動し、導流堤の北側の汀線は消失した。導流堤は防砂突堤のように機能

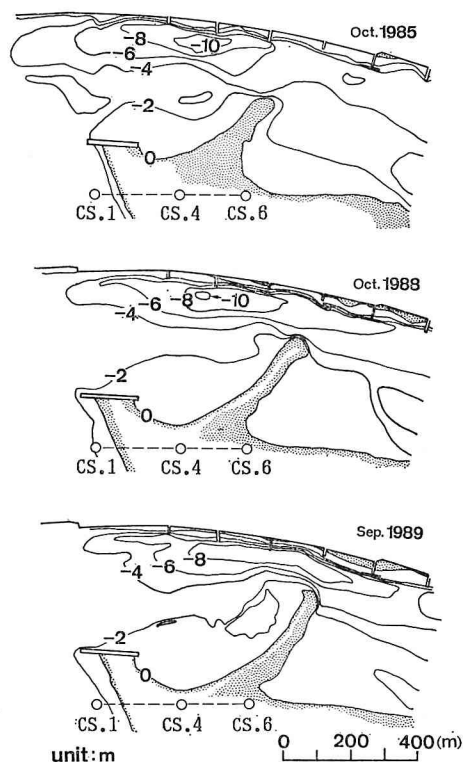


図-4 河口部の局所洗掘状況 (1985年10月, 1988年10月, 1989年9月)

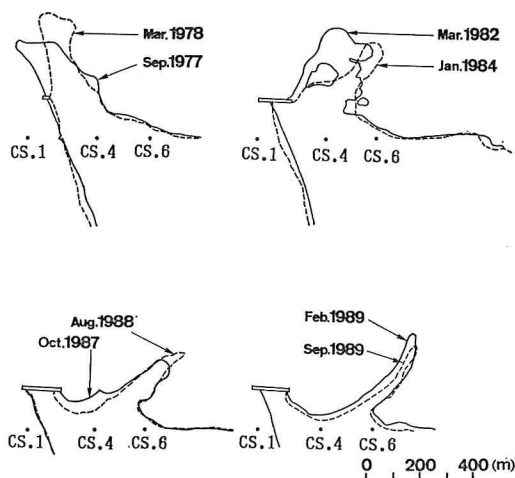


図-5 導流堤建設前後での砂州形状の変遷 (1977年～1989年)

し、海側から河道方向への土砂の回り込みを防止している。このため導流堤のつけ根部分での供給漂砂量は極端に小さくなったと考えられる。一方、河道内に突き出た砂嘴の形態は河道への侵入波に対し不安定な形状であるから、より安定な形状となるよう変形を続けることにな

る。1984年になると、1982年に比較して砂嘴の先端部が上流方向へ 130 m 移動した。この後、1987年～1989年 9月の間の砂州の変形状況は、漂砂の供給の絶えた導流堤のつけ根で汀線がフック状に湾入し、ここで侵食された土砂が河道の横断方向に運ばれて砂州が形成される点では共通の特徴を示す。しかも、湾入度の増加とともに、砂州の先端部の上流方向への移動が顕著である。このような汀線変動では次の安定化機構が働いている。

①導流堤のつけ根では汀線が湾入するが、ここでは湾入度が大きくなると回折波の入射方向と汀線とのなす角が小さくなるとともに回折波高も小さくなるので沿岸漂砂量が減少する。

②砂州が横断方向に突出するにつれ、河道内への侵入波浪と砂州の汀線とのなす角が小さくなるため漂砂量が小さくなり、地形変化量が減少する。

③河道への侵入波のエネルギー量は河口からの距離とともに減少するので、この意味からも漂砂量は減少する。

4. 移動床平面実験による砂州形状変化の検討

4.1 実験方法

移動床平面実験により河口砂州の変形機構を調べた。21 m×16 m×0.6 m の平面水槽中に $d_{50} \approx 0.3$ mm の砂により模型海浜（図-6）を製作した。沖合の平坦部の水深は 35 cm に保ち、導流堤の先端付近より 1/10 勾配の斜面を造り、さらに河道内は 10 cm の平坦河床とした。導流堤模型は不透過板で製作した。河道の幅は 3 m、長さは 9 m とし、導流堤の上流側の砂浜の平坦面高さは 7 cm に設定し、その海浜勾配は 1/5 とした。また岸側の側壁の前面では波を消波させるために約 1/2 勾配の海浜斜面を造った。

この種の模型実験では漂砂の相似則が成立しないため実験結果を直接現地へ適用することはできない。そこでここでは定性的意味より現象を調べることに重点を置き、フルードの相似則により入射波の諸元を定めることとし、縮尺を 1/50 程度と考え、入射波高を 5 cm、周期を 1.2 sec とした。この入射波条件は、そのまま現地条件に換算するとかなり高波浪となるが、中央粒径 0.3 mm の砂を用いた実験において、移動限界水深がほぼ平坦河床の水深となるよう選択された。実験では模型に波を 6 時間作用させ、この間 1 時間間隔で海浜形状を測定した。なお、汀線形はほぼ直角に曲がっているので、海浜地形は x, y 軸方向に設定した測線に沿って 0.25 m 間隔で測定した。

4.2 実験結果

波の作用に伴う海浜形状の変化として、初期と造波開始 3 時間後の海浜形状を 図-7 に示す。(a) は初期形状であって、導流堤背後の等深線は導流堤の法線と平行

である。3 時間の波の作用により、導流堤の上流側では湾入部が形成され、等深線が導流堤の内側へと半円状に延びている。ここでの前浜勾配はそれほど急ではないが上流方向に次第に急になり、 $y \approx 3$ m 付近では急な浜崖が形成された。一方、汀線より沖合には緩い勾配の斜面が広く発達している。さらに上流の $y \approx 1.6$ m 付近からは汀線が前進し、湾入部からなだらかに屈曲した汀線形が形成された。 $x \approx 2.5$ m 付近では汀線がやや突出しているが、全体的には大きく汀線が前進し、前浜上には標高 4 cm の広い平坦面が形成された。以上に述べた地形特性はいずれも現地状況と良い対応を示している。

汀線形の変化を 図-8 に示す。導流堤は不透過であ

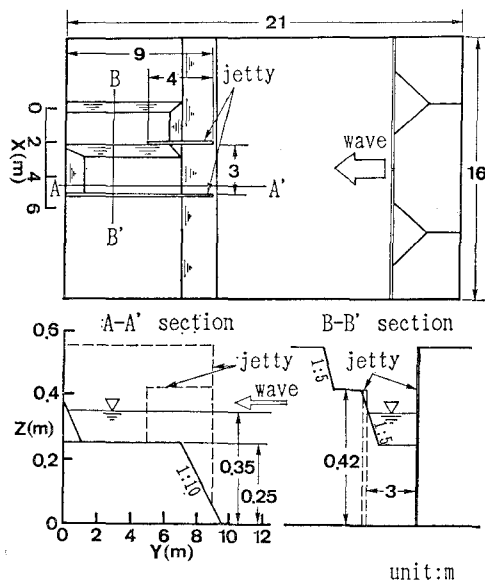


図-6 実験状況図

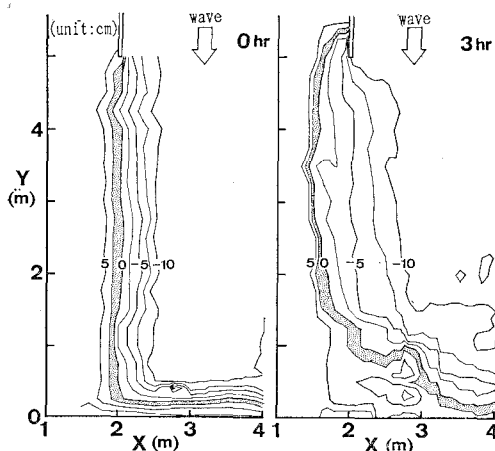


図-7 導流堤背後の海浜形状(初期と3時間後)

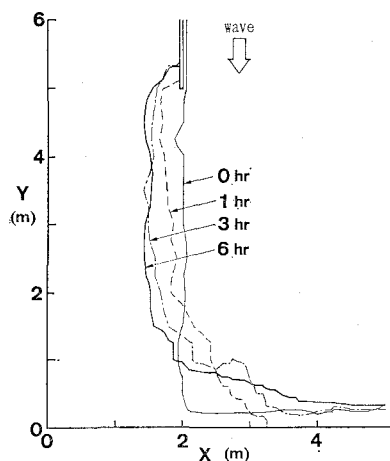


図-8 汀線変化図

り、それより海側からの土砂供給は断たれているために、導流堤の上流側では次第に汀線が後退し、侵食土砂は沿岸漂砂によって運ばれ、上流側の側壁前面に堆積した。海浜変形状況で注目されるのは次の点である。すなわち、導流堤より上流側では汀線の後退域が広がるが、導流堤のすぐ背後での汀線変化は初期ほど速く、時間の経過とともに安定化に向かうこと、また著しい汀線の後退区域は次第に上流方向へ移動し、これとともに最初汀線が前進した区域も再び侵食されることである。同様な特徴は最上川の河口砂州でも見られたとおりである。

図-9 には、侵食域、堆積域より選んだ4断面における海浜断面形の経時変化を示した。導流堤の岸側端より0.25 m 上流側の $y=4.75$ m 断面では前浜が次第に削られ、沖合には平坦面が形成された。また前浜勾配はほぼ一定値を保っている。 $y=3$ m 断面では、浜崖が形成されつつ汀線が後退するとともに、沖合には侵食により緩勾配斜面が形成された。 $y=1.5$ m 断面では最初1時間までは海浜に土砂が堆積し、その後3、6時間には海浜断面が侵食されている。この断面は侵食、堆積域の境界付近に位置するためこのような変化が表われた。堆積域にあり、 y 軸と平行な測線である $x=3.0$ m 断面では、他の断面と異なりバームが形成されつつ汀線が前進し、沖合の平坦部まで土砂が堆積した。このように実験で観察された侵食、堆積域の断面形状特性は最上川河口砂州の持つ特性とかなり良い一致を示す。

5. 結 論

本研究によって得られた主要な要点を以下に要約する。

①最上川河口では、左岸の導流堤の建設に伴って導流堤の上流側部分で汀線が湾入し、侵食された土砂は上流方向へ移動して砂嘴を形成した。これは導流堤により河道

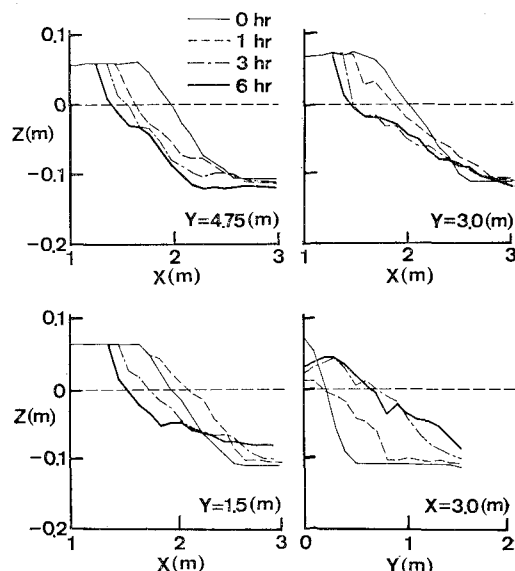


図-9 海浜断面形の変化

内への土砂侵入が断たれたために、河道内への侵入波に対してより安定な汀線形となろうとしたために生じた変化である。②砂州は波の作用により上流方向へと移動し、これに伴って侵食区域も上流方向へと広がりを示した。③海浜断面特性として、汀線が後退し湾入部が形成された部分では、高さ約3 mにおよぶ浜崖が形成され、またその沖には $-1.0 \sim -1.5$ m の広い侵食平坦面が形成された。また砂州の延びた部分では前浜頂が約2.4 mと一定であり、海側勾配に対し背面勾配が緩い断面形となった。④侵食域における浜崖や侵食平坦面の形成、堆積域におけるバームの形成は実験と現地とでかなり良い対応を示すことが分かった。

なお、本研究を進めるにあたり、筆者らの一人(前川)は科学研究補助金「総合研究(A)」(研究代表者 東北大学工学部澤本正樹教授、研究課題東北地方主要河川の比較河口学)の一部補助を受けた。また本論文の公表にあたり、小川記念基金の補助を受けた。

参 考 文 献

- 宇多高明・福井次郎・竺原章之 (1988): 千代川河口における波と流れによるダイナミックな地形変化の観測, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 452~456.
- 佐々木隆士・宇多高明・刀瀧 賢・菅原信雄・海野 仁 (1987): 洪水流による河口砂州のフラッシュの観測, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 327~331.
- 沢本正樹・首藤伸夫・谷口哲也 (1987): 阿武隈川河口砂州の変形過程, 土木学会論文集, 第387号/II-8, pp. 179~188.
- 藤井友雄・宇多高明・綿貫布征・鴨下由男・木村慎二 (1988): 相模川河口部の地形変化実態, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 447~451.
- 前川勝朗 (1990): 最上川河口の砂州について, 東北地域災害科学研究, 第26巻, pp. 47~51.