

河口前面テラスの形成とその消長

FORMATION OF SAND TERRACE IN FRONT OF A RIVER MOUTH AND ITS DECLINE

須賀 堯三*・石川 忠晴**・灘岡 和夫**・田中 仁***

By Kyozo SUGA, Tadaharu ISHIKAWA, Kazuo NADAOKA and Hitoshi TANAKA

This paper deals with formation of sand terrace in front of a river mouth during a flood and its subsequent deformation to sand bar by wave action. Examination of field data and results of laboratory experiments show that the sand terrace has shallow plane of nearly uniform depth bordered by steep slope, and that the sand terrace is formed only during a large flood transporting considerable amount of sediment, though its seaward development is limited in length. After the flood, waves break at the edge of the terrace, causing local erosion along the wave-breaking line. The sand terrace moves slowly towards the river mouth, deforming and shrinking its shape.

Keywords: river mouth, sediment transport, sand bar

1. はじめに

河口砂州に関しては、洪水水位の低減対策や航路維持の問題などに関連してこれまで数多くの研究が行われている¹⁾。しかし、その発生メカニズムや変形プロセスの詳細については河口部での土砂移動の実態が不明なためほとんど明らかにされていない。

河口部での砂州の消長を含めた土砂移動のダイナミクスを論じるにあたっては、河川流・波浪・潮汐が有する非正常性を無視することはできず、特に洪水時の河口部での土砂移動と河口地形、ならびにそれに引き続く平常時での波浪の作用による地形変化を一連の時間的連続性のもとで捉えていく必要がある。またそのためには、単に水上に現われている砂州やその近傍のみを議論の対象にするのではなく、空間的な連続性をもったより広範囲な領域を視野の中に入れておく必要がある。

このような観点からすると、従来の河口砂州に関する研究では、洪水による砂州のフラッシュ等の議論はある

ものの、河口部での土砂移動を河口前面の海域を含めた空間的拡がりの中で、平常時→洪水時→平常時といった非定常な外力のもとでの土砂の動態を論じたものはほとんど存在しないといってよい。その大きな原因の1つとしては、このような土砂動態を論ずるうえでよりどころとなり得る現地データ、特に洪水時あるいは洪水直後のデータがこれまでのところほとんど得られていないという点が挙げられる。そこで、本研究ではまず、航空写真と河口部およびその前面海域の深淺測量のデータの中から、特に洪水直後の状況を示していると考えられるデータを抽出する作業を通じて、河口前面域における洪水による排出土砂の堆積形状の実態(テラス地形の形成)を明らかにした。次に、よく制御された外力条件のもとで室内実験を行うことにより、現地データの解析を通して明らかにされた河口部の地形特性のいくつかの断片的な様相を時間的な連続性のもとで捉え直すことを通じて、上記の推測を検証するとともに砂移動過程の詳細を把握した。

2. 現地データに基づく洪水直後の河口部の地形特性の把握——洪水によるテラス地形の形成——

(1) 河口テラスの形成(羽越荒川)

* 正会員 工博 宇都宮大学教授 工学部土木工学科
(〒321 宇都宮市石井町 2753)

** 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部土木工学科
(〒152 目黒区大岡山 2-12-1)

*** 正会員 工博 宇都宮大学助手 工学部土木工学科
(〒321 宇都宮市石井町 2753)

羽越荒川は、山形県西置賜郡の大朝日岳にその源を発し、新潟平野北端で日本海に注ぐ流域面積 1 151 km² の一級河川である。河床の縦断勾配は下流部で約 1/700、中流部で 1/400、上流部 1/300 であり、この地方では屈指の急流河川であり、排出土砂量も多い。昭和 42 年に羽越災害をもたらした大出水（ピーク流量、約 8 000 m³/s）が起これ、その後、昭和 45 年から 50 年まで定期的に河口地形測量が実施された²⁾。

図一1に、各年の河口の平面形と深浅測量の測線番号を示す。図一2は、測線 16 における各年の海底縦断形を示したものである。年ごとの変化が激しいが、開口部がこの測線付近にあった昭和 49 年 8 月の形状が特徴的である。すなわち、海岸線から約 300 m 程度沖合まで、ほとんど平坦な地形が形成されている（測量直前の昭和 49 年 7 月に 2 213 m³/s の流量を記録している）。そこで、昭和 49 年 8 月の深浅データをもとに、海浜地形を三次元的に図示することを試みた。その結果を図一3に示す。これから、河口前面に浅い平坦地形すなわちテラス地形が存在することが明瞭に読み取れる。

(2) 河口テラスならびに岸向き漂砂による砂州の形成（北上川）

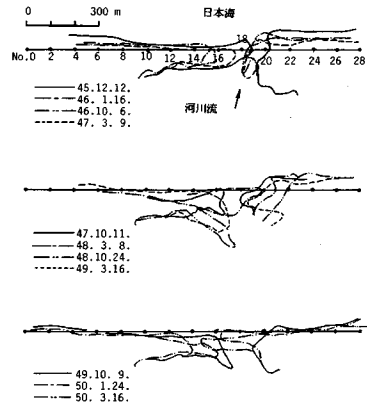
北上川は、昭和 8 年に付け替えが行われ、直接太平洋に注ぐようになった。北上川が注ぐ追波湾は、北端、南端にそれぞれ岩礁が露出し、南北 2 km にわたるポケットビーチが形成されている。したがって新河口付近には、もともと、沿岸漂砂がほとんどないと推測される。

図一4は、航空写真より読み取った昭和 22 年以降の汀線の変動を図示したものである。汀線の前進が顕著である。以上から、この河口では、当該河川の排出土砂が沿岸漂砂に比べて圧倒的に優勢と考えられる。

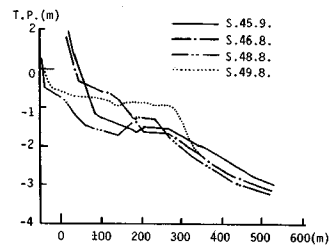
写真一1は、アイオン台風による大出水の直後の昭和 23 年 10 月 13 日に撮影された北上川河口の航空写真である。昭和 22 年 9 月 16 日、23 年 9 月 18 日には、それぞれカスリン、アイオン台風が来襲しており、登米地点の最大流量は、それぞれ 5 440 m³/s、4 870 m³/s であった。

まず、碎波線の形をみると、河口前面域では大きく沖測に張り出した形になっており、全体として舌状を呈していることがわかる。また、この舌状領域の端部では波峯線が急激に屈曲しているが、これはそこで水深が急激に小さくなっていることを示している。さらに、屈折後の波峯線間隔がほぼ一様であることから舌状領域内部はほぼ水深が一様な平坦地形となっていることがわかる。このようなことから河口前面の水面下には大規模な舌状のテラス地形が存在しているものと推測される。

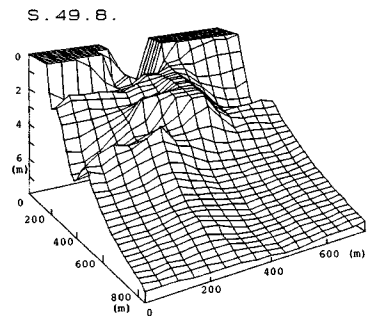
洪水時における河口部での土砂移動に対しては波に比べて圧倒的に河川流の作用が大きく、このことから考え



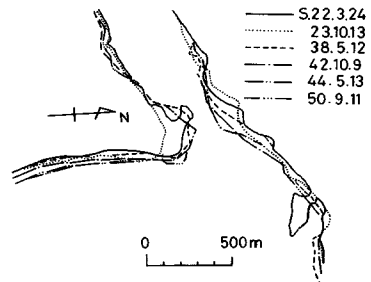
図一1 荒川河口砂州の変遷



図二 荒川河口縦断地形（測線 No. 16）

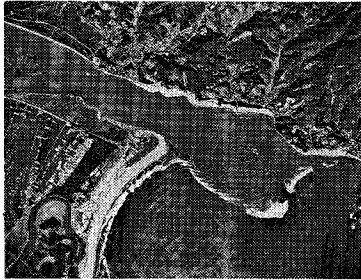


図三 荒川河口部の透視図（昭和 49 年 8 月）



図四 北上川河口地形の変遷

ると洪水時の土砂移動形態は貯水池の堆砂過程と基本的に同一とみなせる。貯水池の堆砂は一般的にテラス状の堆砂形態をとることが知られており、このことから、こ



写真一 北上川河口航空写真 (昭和 23 年 10 月 13 日)



写真二 北上川河口航空写真 (昭和 38 年 5 月 12 日)

ここで示した 2 つの現地データにみられる河口部での洪水時におけるテラス地形の形成は、河口部での排出土砂量が多く、また排出土砂の粒径が大きく掃流形式の土砂移動が支配的な場合にはかなり一般的に生じる可能性があると考えられる。

写真二は、昭和 38 年撮影の航空写真である。河口の右岸側に大規模な河口砂州が発達している。先に述べたように、この付近の沿岸漂砂は少ないと考えられるので、この砂州は、波によりテラス状の堆積土砂が陸側に移動して生じたものと考えられる。この写真と先の写真一とは時間的に連続していないが、写真一にみられる碎波分布によって岸沖方向の砂移動が生じるとすれば写真二の河口砂州の発達が理解できる。

このようなことから、「河口テラスの外縁における碎波によって、河口を取り囲む形で円弧状の堆積が生じ、その一部が水面上に露出して河口砂州となる。」と推測される。

3. 実験的検討^{3),4)}

以下では、前節に述べた機構によって実際の河口砂州が形成される可能性について実験的に検討する。ただし、河口部の砂移動現象に関する相似則は確立されていないので、以下に述べる実験はあくまでも、定性的な検討を目的としたものである。

(1) 実験装置および実験方法

実験には幅 350 cm、長さ 540 cm、深さ 60 cm の平面水槽を用いた。海浜部はベニヤ製の固定床とし、勾配は

表一 実験条件

ケース	A	B
流量 [l/s]	2.9	2.3
波高 [cm] ^k	3.0	3.0
周期 [s] ^k	0.64	0.64
給砂量 [l/min]	2.0	2.0
給砂時間 [min]	20	20
導流堤長 [cm] ^{k,x}	15.0	15.0

- 一様水深部での値
 .. 静水時汀線よりの長さ

1/10 である。沖側の一様水深部の水深は 25 cm である。海浜中央部には幅 30 cm の河道を設けた。その概要はすでに文献 3), 4) に詳述したので、ここでは割愛する。

実験は、合計 4 ケースについて行われたが、本論文では紙面の都合により 2 ケースについてのみ記す。各ケースの実験条件を表一に示した。なお、ここでは砂移動形態として掃流形式のものを対象としていることから、底質としては中央粒径 0.2 mm の豊浦標準砂を用いた。

本研究では、河口の砂移動現象を 2 つのプロセスに分離して考えている。すなわち、①河川流による排出土砂の河口前面での堆積過程。②その後の波による砂州形成過程の 2 つである。そこで、実験では、まず、波浪を作用させない状態で河川から一定流量のもとで 20 分間にわたって給砂を続けた。次に後半の砂州形成に関する実験においては、河川流量をゼロとし、波のみを 60 分間作用させた。なお実験の途中で適宜流れまたは波を止め、水陸両用連続式砂面計を用いて地形測定を行った。

(2) 実験結果

各ケースについての地形変化の測定結果を図一 5, 6 に示した。通水後 20 分、通水を停止して波を作用させてから 10 分、60 分の時点での測定結果をそれぞれ (a), (b), (c) に図示した。

前述したように、河川流のみによる排出土砂の堆積過程は、基本的には貯水池の堆砂現象と同一とみなせる。実際、実験結果は、現地データと同様に河口前面に平坦なテラス状の地形が形成されることを明瞭に示している。ケース A と B を比較すると、前者のケースの方が河川流量が多く、その結果、岸沖方向に細長いテラスが形成されている。一方、ケース B では、ケース A に比べて河川流のフラッシュ能力が小さいため、テラスがある程度、離岸方向に成長すると、テラス先端の河床勾配が逆勾配となり、せき上げが生じる。その結果、横断方向への流れが生じ、テラスは横断方向へ成長することとなる。後に述べるように、このような河口前面のテラス形状は、その後の波による土砂の回帰過程に対して重要な影響を及ぼしている。

次に、図一 5, 6 中の (b), (c) に示した波による河口砂州の形成について述べる。テラスの形成後、波を作

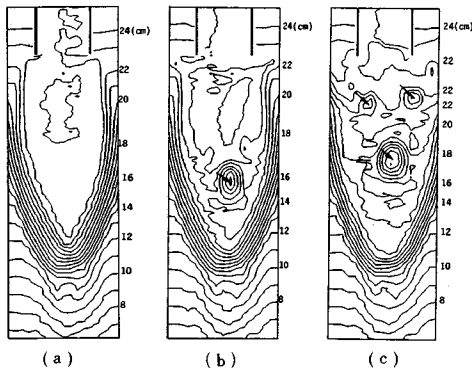


図-5 地形変化 (ケース A)

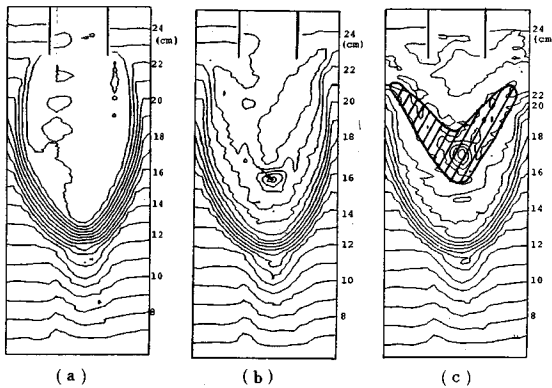


図-6 地形変化 (ケース B)

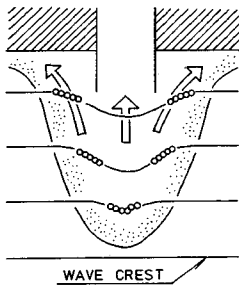


図-7 砕波後の流れのパターン

用し始めると、テラス先端部の幾分岸寄りで砕波が生じ、水塊の突入点に局所的な洗掘が生じる。テラス地形の幅が広いケース B では、テラスの外縁に沿って生じる砕波によりプーメラン状の洗掘地形 (図中の斜線図) が現われる。図-7 は、テラス上の砕波後の流れのパターンを矢印で模式的に示したものである。図中には、波峰線の変形の様子と砕波線の位置 (丸印) も示した。これからわかるように砂粒子は砕波後の流れにより、プーメラン地形の岸側沿いに全体として岸向きに運ばれ、一部は河口に、他は河口の外側に向けて移動している。特に、

後者の移動が顕著であり、汀線近くに沿岸方向にひげ状の砂州が発達した。

一方、ケース B に比べて、テラス地形の横断方向への広がりが少ない、ケース A では、波が河口部に集中し、河口の外側に逃げる土砂は少なく、導流堤内に河口砂州が発達する。

以上の実験結果より、洪水時のテラスの形成が現地データにみられたものに対応する形で再現でき、さらに、引き続き波の作用によりテラス地形が変形していく過程で砂粒子が岸向きに運ばれ、河口砂州へ発達していく様子が示された。これは前章の現地データに基づく砂州形成に関する推測結果を裏付けるものである。

なお、この実験結果によれば、河口前面のテラス地形がその後の変形過程において沿岸方向に成長すれば、河口閉塞が軽減されることが期待されるが、この点については、現在のところ定量的な結論は得られていない。

4. 結 論

現地データの検討により、洪水時には河口前面にテラス状の地形が形成されることが判明した。室内実験においても同様の現象が観察され、さらに、テラスの形状はその後の河口砂州の形成に対し、大きな影響を有することが認められた。

今回明らかとなった河口部におけるテラス地形の形成・河口砂州の発達のプロセスに対し、導流堤長の及ぼす効果を明らかにすることが今後の課題である。

謝 辞：実験を行うに際し、宇都宮大学 宮崎勝己技官、同学部学生 高山博行君の協力を得た。また、本研究の一部は文部省科学研究費 (自然災害特別研究、代表：宇都宮大学教授 須賀堯三) により行われた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 土木学会水理委員会河口部の水理現象小委員会：河口部の水理現象と関連する諸問題，土木学会論文集，第 363 号 / II-4，pp. 47~60，1985。
- 2) 建設省羽越工事事務所：荒川河口調査報告書，1976. 3。
- 3) 田中 仁・須賀堯三・石川忠晴・灘岡和夫：河口前面での流出土砂の堆積及び波による河口砂州の形成に関する研究，土木学会第 41 回年次学術講演会概要集第 2 部，pp. 583~584，1986. 11。
- 4) 須賀堯三 (代表者)：河口砂州の河道侵入に対する対策工法に関する研究，昭和 60 年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書，1986. 3。

(1986. 9. 29・受付)