

出水による阿武隈川河口砂州変形過程の観測

谷口哲也*・沢本正樹**・首藤伸夫***

1. はじめに

治水および利水上、自然状態における河口付近地形の変化予測は工学的に重要な問題のひとつである。河口部は河川と海岸の接点として、河川流、潮汐、波および海浜流など複雑な影響を受けている。これら外力の作用形態と地形変化特性について知る必要があるが、実際に河口砂州地形変化を観測した例は少ない。特に、河川の大流量に伴う河口砂州の崩壊とその後の回復状況を詳細に観測した例は、観測準備や地理的条件などの関係上、きわめて少ない。

著者らは、阿武隈川河口砂州を対象に、河口地形の変化特性を調べる目的で 1984 年 5 月から定期的に現地観測を行っている。また 1985 年 7 月 1 日には台風 20 号に伴う河口砂州地形変化を実際に観測する事ができた。本報告は、出水時に観測した河口地形の変化を中心に、河口拡張過程及びその後の河口縮小過程と周辺の外力について述べるものである。

2. 対象河口状況

阿武隈川は、那須火山帯の旭岳を水源として北東に流れ仙台平野に入り太平洋に流入する流域面積 5396 km² 流路延長 225.1 km の一級河川である。固有流量は年平均 120~180 m³/s であるが季節的变化が著しく、隔雪時・梅雨期・台風時に大きな値を示しており、これらの時期には 1000 m³/s 以上の出水が時折みられる。阿武隈川は比較的広い感潮面積を有しており、潮汐プリズムを平均流量に換算した潮汐流量は 50~130 m³/s で、平水時及び低水時に潮汐流量が河口に与える影響は大きいと考えられる。

図-2 に過去における代表的な河口砂州の状況を示す。なお、現在の砂州の状況との比較のため、図中に現在の堤防を描いている。河口は南北に走る海岸線に開口し、直接太平洋の激浪の作用を受けるため、漂砂の堆積、侵食が甚だしく河口の位置、幅、方向は絶えず変化

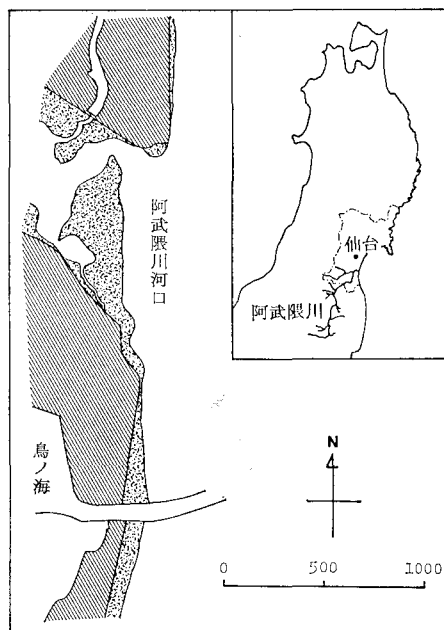


図-1 観測地点

し、特に河口幅は約 40~200 m 程度の範囲で変化している。従来、河口は河道中央部に位置していたが、現在では左岸寄りに位置を変え、右岸砂州が十分に発達した状態になっている。河口砂州の砂の中央粒径 (d_{50}) は、ほぼ 0.2~0.3 mm である。

3. 観測方法

平時には、2 週に 1 回の割合で河口砂州の汀線位置及びその前浜勾配を光波測距儀により測量し、平均潮位における河口砂州平面地形を図-4 のように再現した。これら図では地形変化の様子を見やすくするため、前回測量した平面図を点線で重ねて描いている。また、観測時の波向きを左岸にある高さ 15m の鉄塔上から光波測距儀で目視観測し、海岸汀線部数ヶ所の砂の粒度分布測定を行なった。

出水時の地形は、1) 出水直前に開口部周辺の砂州上に 30m×20m 間隔で打たれた杭と汀線の変化の観察、

* 学生会員 東北大学大学院 工学研究科

** 正 会 員 東北大学助教授 工学部土木工学科

*** 正 会 員 東北大学教授 工学部土木工学科

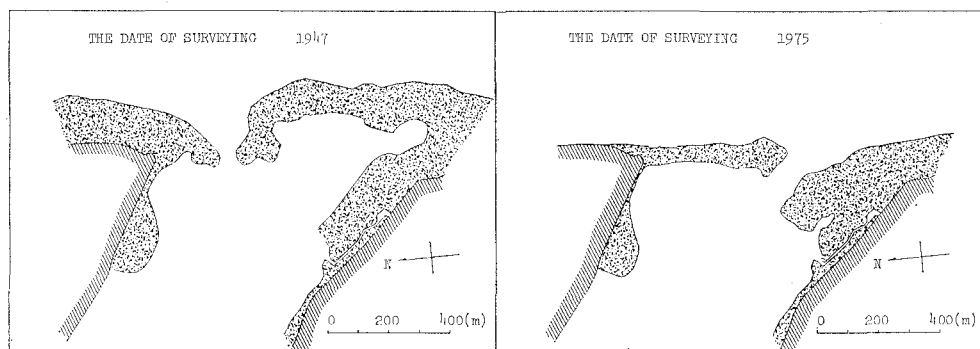


図-2 過去の砂州形状

2) 連続的に撮影した写真, 3) 当時撮影された航空写真より求めた。また, 出水後の回復過程では一週に一回の割で同上の平面地形測量を行なった。外力としては河川流量, 潮位, 波高・波向きデータを収集した。観測結果は, 波, 河川流量及び潮汐流量と関連づけて考察した。

4. 観測結果

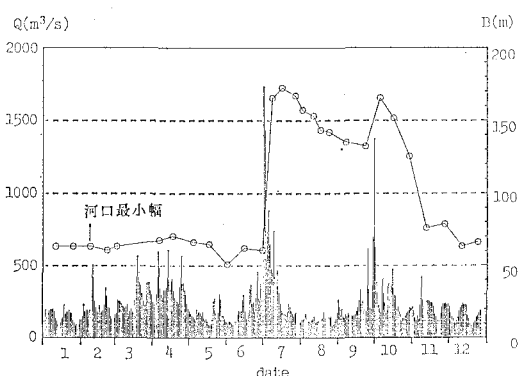
図-3・(a) に 1985 年 1 月～12 月までにおける河口幅 B (m) と河川流量に潮汐流量を考量した換算日平均流量 Q (m^3/s)²⁾, 図-3・(b) に汀線の単位幅当たりに入射する波エネルギーフラックス E ; $H^2 T \cos \theta$ ($m^2 \cdot s$) を示す。7 月 1 日の出水におけるピーク時の流量は約 $2800 m^3/s$ で, その時河口幅は約 170 m に広がった。また, 9 月 30 日にも小規模の出水があり, それに伴って再び河口幅が広がった。ここで 7 月 1 日を境にして観測結果と地形変化の特徴を, 1) 出水前, 2) 出水時, 3) 出水後に分けて述べる。

(1) 出水前の地形変化 (1 月 1 日～6 月 30 日)

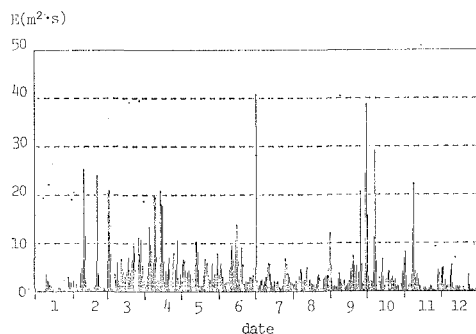
3～4 月の雪解け時に約 60 m あった川幅は 5 月～6 月に流量が減少するにつれ約 10 m 狭くなった。その時の地形変化の様子を示したのが 図-4・(a) である。これより, 河口幅の減少は一時河口近くの汀線が前進した (図-4・(a) の A) 後にその砂が削られて生じているのがある。この様子は, 昨年この時期にも観測された。また, 右岸寄りの海岸汀線の一部が海側へせり出している (図-4・(a) の B) のが見られた。この突出部は北側では砂が堆積し南側では侵食される過程を繰り返し北方向へ移動している。これはこの付近の波向きのほとんどが南東方向であることから, それに伴う北向きの沿岸漂砂によるものと考えられる。

(2) 出水時の地形変化 (7 月 1 日)

図-4・(b) は出水前後の河口砂州の地形変化を示したものである。出水時の河口砂州の状況は 7 月 1 日 13:00～14:00 に河水が砂州の上を越流し始め, 16:00 頃に砂州上にいくつかの水路が形成され (図-4・(b) の矢



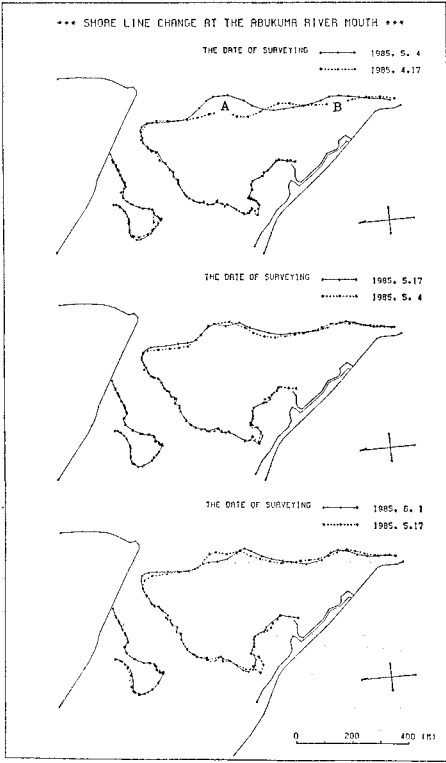
(a) 流量と河口最小幅



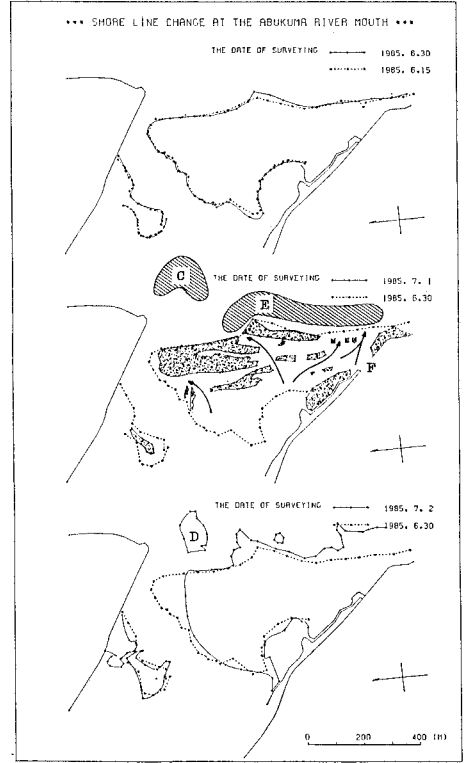
(b) 波エネルギーフラックス

図-3 1 月～12 月における外力の状況

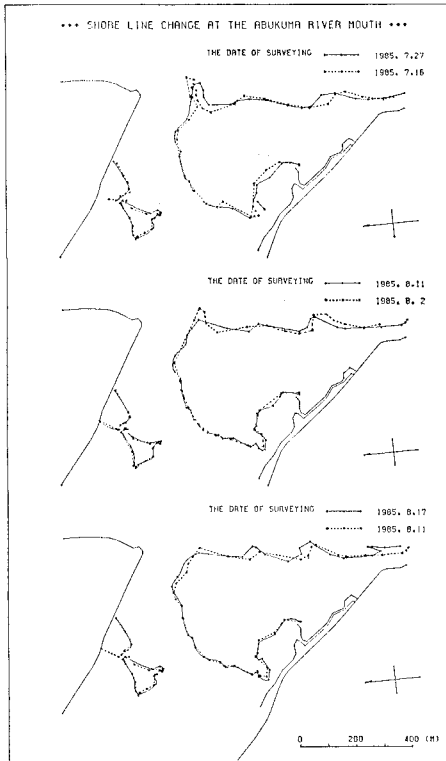
印), 流れがそこに集中するのが観察された。また, 開口部から流出した土砂は波の碎波の様子から前方 300 m 程度押し出されてたまっている (図-4・(b) の C) ことがわかり, その一部により中州 (図-4・(b) の D) が形成された。砂州の海側前面は台風に伴う高波で約 20 m 後退し, この欠壊した砂及び越流により砂州上から流出した砂は碎波状況から汀線のすぐ沖側に堆積している (図-4・(b) の E) ことが推測できた。図-5 は出水直前に打たれた杭の位置と 7 月 1 日における開口部



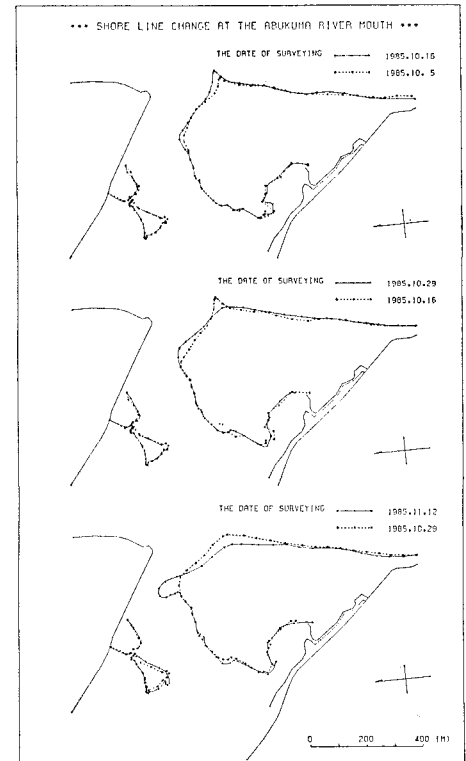
(a)



(b)



(c)



(d)

图—4 地形变化状况

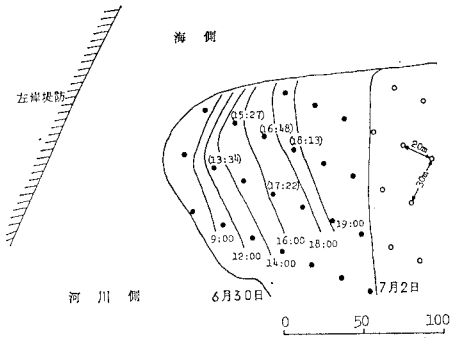


図-5 出水時の開口部地形変化

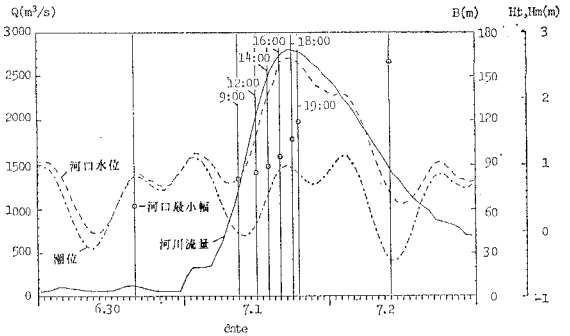


図-6 出水状況

地形の経時変化及び6月30日と7月2日の開口部の位置を示す。なお黒塗りの杭は流出したもの、括弧内の数は流出した時刻である。これより、開口部の拡幅状況は様でなく9:00~14:00頃までは最狭部より上流側の方が欠け方が大きく、その後は上流から下流まで欠け方に大きな違いがない。これは、河道が左岸側へ湾曲していることによる影響と思われる。

図-6は6月30日~7月3日までの河川流量 Q 、河口の水位 H_m 、潮位 H_t 及び図-5より得られた河口最小幅 B の変化を示す。この図から7月1日の14:00前後と23:00前後において水位変化の仕方に若干の変化が見られる。14:00頃変化は潮位変化に対応してないことから、砂州上に水が越流した影響によるものと思われる。河口部の削れる速度は大きい所で、最大15~16m/hであった。

次に河口幅の変化と流量の変化についてみる。流量のピーク近くである16:00~18:00と18:00~19:00では流量がほぼ同じで、河川内水位と潮位との差も似たようなものであることから、これらの間の河川流の掃流力には大差がないと思われる。しかし、河口最小幅の変化率は5.9m/hと11.7m/hで大きな違いがある。16:00~18:00には河口最狭部より上流側の砂州が大きく削られて河口最狭部へ砂を供給したが、18:00以降はその量が減ったことがひとつの原因であろう。さらに、水深方向の増深にも差があったのではないかと考えられる。洪水終了後の深浅測量により、河口部では-11mまで掘れていることが判明しており、平常時の-6mと比較にならない程の水深になっている。河口幅変化のみでは不十分で水深変化の時間的経過も同時に考慮しなくてはならない。

(3) 出水後の地形変化(7月2日~12月31日)

出水後もしばらく水が流れていた最も右寄りの水路(図-4・(b)のF)の開口部は、北向きの沿岸漂砂の影響により右側から砂がつき始めて砂州が延び、1~2週間で閉塞した。開口部前方にできた中州Dはその後トン

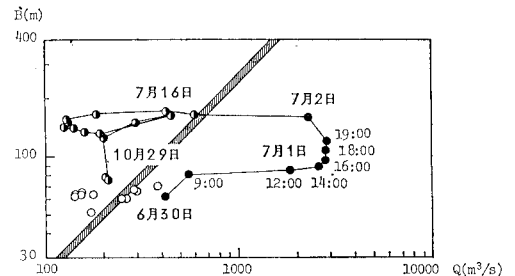


図-7 流量と河口幅の関係

ボロで連絡され、次第に陸方向に押しやられて主砂州と見分けがつかなくなった。砂州の冠水した部分では、従来存在していた砂の上に上流からの比較的粒径の大きい砂($d_{50}=0.3\sim0.5$)が堆積し、さらにその上に泥質が堆積しているのがみられた。また、海側汀線部では局部的に粒径の大きな砂($d_{50}=0.5$ 前後)が堆積していた。出水後の主開口部の幅の変化は9月23日までは比較的ゆっくりであった。しかし、9月30日の小規模な出水により再び幅が広がった後は急激に狭くなっている。これは、9月30日前後において波エネルギーフラックスがかなり大きな値であることから、これにより大量の土砂が供給されたためと考えられる。

7月16日~8月17日までの河口縮小過程の様子を図-4・(c)に示す。これより中州がトンボロでつながった部分が削られるにしたがい河口幅が減少していくのがわかる。また、10月5日~11月12日における河口幅縮小過程では図-4・(d)に示すように、(1)で述べた様な岸沖漂砂による左岸方向の汀線移動を繰り返して砂州前面に土砂がたまり汀線が前へせりだしている。これは10月16日頃まで続き、約100mの前進が見られた。この間、河口幅の縮小は顕著でなく、河口幅の縮小は砂州汀線の前進の後に起こっている。この様に2つの河口縮小課程は(1)で述べた状況と一致しており、変化は2段階の時間スケールで生じているといえる。前段の過程では、河口部は静的平衡に近い状態にあり、顕著な砂移動は河口

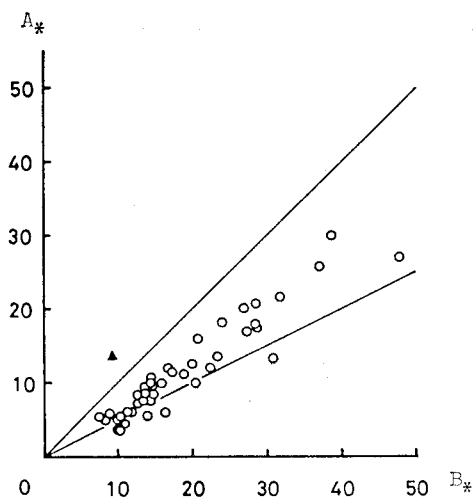


図-8 開口部の断面特性

部までには到達せず、周辺部海浜に排出された土砂が次第に戻されて来る時期である。周辺地形が発達し波によって動かされた土砂が河道に入りこむようになると、河口の動的平衡断面が流れと波の作用によって決まることとなる。

図-7 は河口最小幅と平均流量との関係を示す。白丸は出水前の状態、出水直前から直後までを黒丸、それ以後は半黒丸である。図中の斜線部は、青田ら³⁾によって示された阿武隈川における動的平衡断面の式に、ほぼ平衡状態と思われる1月～5月までの平均波エネルギーフラックスを与えて得られた安定河口幅と流量の関係式である。これより、出水前には、ほぼ斜線部に近い値を示しており、平衡状態に近いことがうかがわれる。

7月1日の出水では大流量があらわれたが、幅の変化は大きくない。もし断面変化が幅変化のみで生ずるとすると、観測値の4～5倍であっても良いと想像されると、観測値の4～5倍であっても良いと想像されると、水深変化が大きく生じたため、幅の変化が大きくなかったのであろう。また、砂州を乗り越えた流量の分が考慮されていないことも一因である。図-8 に、平常時の $A^* (=A/h_0^2)$ と $B^* (=B/h_0)$ の関係を白丸で、今回

の出水のものを黒塗りの三角印で示す。これからも、水深が大きくなったことがうかがわれる。

7月16日以降の河幅は、本来ならその時期の流量では維持できないものである。図-3・(b) からわかる通り、この時期の波エネルギーフラックスが小さいものであったことも一因であるが、波で運び込まれる砂が河口部にたどりつく前に周辺海浜地形を修復するのに時間がかかったことと、深く掘れた河口部へ落ち込んで水深を浅くするのに時間がかかったことのためであろう。これらが、図-4・(c) に見られる7月1日出水以降の河幅減少と、10月に生じた河口幅縮小過程との差の主原因と考えられる。

5. おわりに

1985年1月～12月の阿武隈川河口地形の観測結果の報告ならびに考察を、大流量に伴う砂州の崩壊とその後の回復過程を中心に行なった。

砂州崩壊過程では、様々な複雑な現象が生じている。特に、河口幅と河口断面に対する河川流量の力学的特性は単純ではない。

砂州の回復過程では、静的平衡から動的平衡へと2段階の時間スケールで生じているのが観測された。河口の縮小過程を考える時、洪水時の河口部水深、河口幅、周辺海浜地形すべてについての情報を得なければならず、今後のモデル化にあたってどれを最重要因子として選ぶかを慎重に判定する必要がある。

謝 辞：本研究を行なうに当たり、建設省東北地方建設局仙台工事事務所、運輸省第2港湾建設局塩釜港工事事務所ならびに石巻測候所の協力を得た。ここに記して厚く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小川由信・相川政登・首藤伸夫：阿武隈川河口砂州平面地形に関する現地観測，第40回年次学術講演会概要集，pp. 623～624，1985。
- 2) 小川由信・藤田義治・首藤伸夫：河口断面河口地形の変化について，第28回水理講演会論文集，pp. 129～135，1984。
- 3) 青田茂雄・首藤伸夫：河口断面積変化過程の数値モデル，第24回水理講演会論文集，pp. 203～208，1980。