

阿賀野川河口における大規模洪水による砂州フラッシュと地形応答

宇多高明*・大谷靖郎**・橋本 新***

1. ま え が き

近年、全国各地で海岸侵食が進んでいるが、海岸侵食を未然に防ぎ、侵食対策の効果を明らかにするためには、海浜変形機構についての十分な理解が必要である。その現象解明には様々な手法が考えられるが、現地での測量データを用いた検討の場合には、主として次の2つの方法が考えられる。第1は、海岸に建設された構造物が周辺の漂砂環境に及ぼす影響の検討を通じた解明の方法であり、第2は、河口において洪水流による急激なインパクトが与えられた後の海浜変形を調べる方法である。これらは、いずれも海浜変形機構の理解に有効であるが、前者の方法による研究は数多いものの後者の研究例は少ない。実例としては、阿武隈川(沢本ら, 1987)、天竜川(宇多ら, 1994a)、相模川(宇多ら, 1994b)などの例があるに過ぎない。また、河口における洪水時の土砂流出過程を調べることは、河口を経由した周辺海岸への河川からの漂砂供給を検討する上でも重要である。

本研究では、阿賀野川河口において1978年6月に起きた大洪水による河口砂州のフラッシュと、その後の波の作用による土砂移動について、測量データの分析を行うことにより、上述の問題について新たな知見を得ようとするものである。

2. 解析に用いた深淺データ

調査対象地域は、新潟県北部に位置し、日本海に流入する阿賀野川の河口である。阿賀野川では、1978年6月26日に最大流量 $7,870 \text{ m}^3/\text{s}$ (馬下観測所: 河口上流32.8 km地点の観測値)の大洪水が発生し、河口部に発達していた砂州が大きくフラッシュされた。阿賀野川河口の周辺海域では、深淺測量が毎年1回行われていることから、本研究では、これらの深淺測量成果を用いて洪水による河口部のテラス地形の形成機構と、その後の河口砂州の再形成に伴う沖合地形の変化について分析を行う。

深淺測量成果は、図-1に示すように50 m間隔で数値化した。深淺データの沿岸方向の測線数は81測線であり、河道の左岸法線はNo. 18に、右岸法線はNo. 35に位置する。沿岸方向の解析範囲は、河口の西側0.85 km、東側2.30 kmであり、図-1の1978年6月の大洪水による砂州フラッシュ後の等深線図から明らかなように、河口沖の三角形のテラス地形を含む十分広い範囲を解析対象としている。以下の解析では、1977年～1985年に行われた7回分の深淺データを用いている。なお、解析に用いた深淺測量成果では、海浜の陸上部の標高は明らかではない。

3. 河口周辺の等深線および河道断面の比較

はじめに、1978年6月の大洪水による河口砂州フラッシュ時の海浜変形について、等深線図の比較により調べる。洪水前後の1977年10月と1978年10月の等深線図を重ねた結果を図-2に示す。なお、1978年10月の深淺測量は、日本海側で活発な漂砂移動をひき起こす冬季風浪が作用する前に行われており、洪水後の地形がほぼそのままの形で残されている可能性が高い。したがって、沖合の等深線の形状は、洪水流が海域に拡がる状況をよく反映しているものと考えられる。河口沖の-6 m以深の等深線は、洪水前には沿岸方向にほぼ平行に延びていたが、洪水流によって各等深線が河口を中心として大き

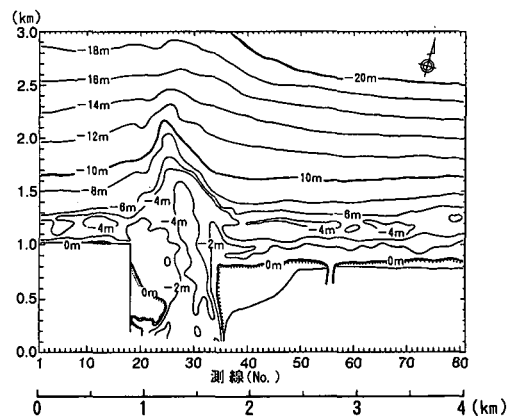


図-1 阿賀野川河口部の解析区域

* 正会員 工博 建設省土木研究所 河川研究室長
 ** 正会員 (株)アイ・エヌ・エー 海岸環境部
 *** 正会員 水修 (株)アイ・エヌ・エー 海岸環境部

く三角形状に突出した。等深線の沖向き突出量は、 -8 m の等深線で最大値 (550 m) を示している。洪水後には、河口の右岸沿いに -4 m のみお筋が形成されており、このみお筋は河道の法線に対して約 12° 反時計回りの方向に伸びている。このため、河口沖の三角形状のテラス地形は左右非対称となっているが、 -12 m 以深の等深線の最突出点を連ねる線は、みお筋の延長線に対してやや右に蛇行している。また、図-2によると、 -18 m と非常に深い所まで土砂の流出が見られ、通常の高浜変形ではほぼ水深 10 m 以浅で漂砂移動が活発なものと比較して、はるかに深いところまで土砂が堆積していることも特徴的である。

河口沖合における膨大な土砂堆積と対照的に河道内では著しい侵食が生じている。その状況を理解するために、図-2中に示した2測線 (A-A', B-B') で測量された河道横断地形の変化を図-3, 4に示す。A-A'は、洪水前の最狭断面であり、B-B'は、A-A'より約 350 m 下流の断面である。各図には、洪水前の1977年12月と洪水直後の1978年8月の横断地形を示す。図-3に示すA-A'断面では、洪水前には -6.8 m の最深部を有する深いみおが形成されていたが、洪水とともに最深部は -4.7 m まで埋め戻され、代わりに両岸が大きく削り取られた。洪水直後のH.W.L. (T.P.+1.80 m) 基準の河道断面積は $2,640\text{ m}^2$ となることから、洪水時の断面平均流速は 3.0 m/s と推定される。一方、図-4に示すB-B'断面では、洪水時に右岸側が大きく侵食し、最深部が -5 m より -6 m まで深くなった。

次に、洪水直後の1978年10月と洪水後7年が経過した1985年10月の等深線図を図-5に示す。図-2と非常によく似ているが、河口沖の堆積域と侵食域が逆転して

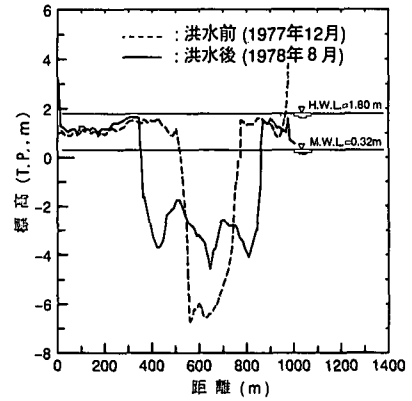


図-3 洪水時の河道横断面地形の変化 (A-A'断面)

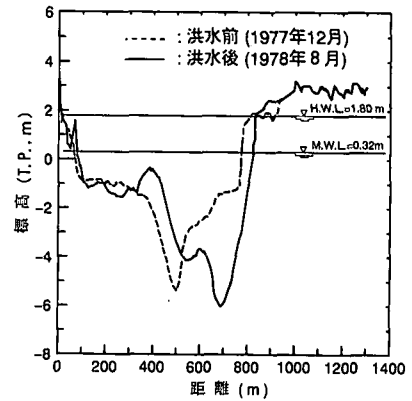


図-4 洪水時の河道横断面地形の変化 (B-B'断面)

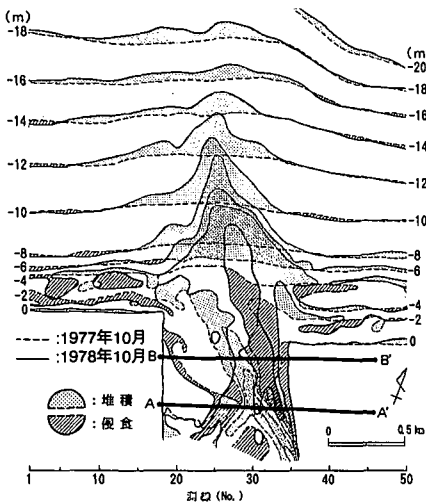


図-2 洪水前後の河口部の等深線変化 (1977年～1978年)

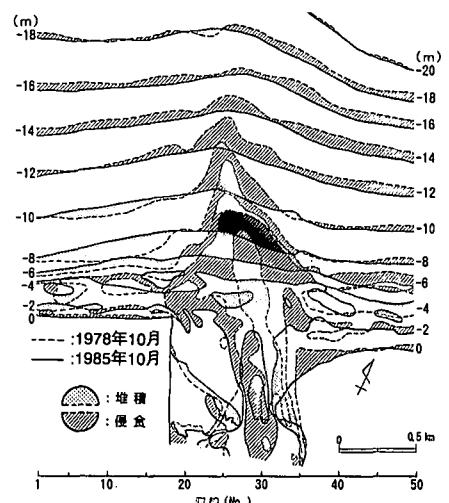


図-5 洪水後の河口部の等深線変化 (1978年～1985年)

いることに着目する必要がある。すなわち、洪水によって河口沖に大きく突出した等深線は、7年間で大きく後退したことがわかる。しかし、図-2に示した1977年10月と比較すると、等深線は、沿岸方向にほぼ平行となるまでには戻ってはおらず、河口沖を中心とした張出部が存在している。また、河口部では、洪水時に形成された右岸側のみお筋は埋め戻されて砂州が発達し、左右岸の砂州の間には-6 mの最深部が形成された。

4. 等深線距離の変化と海浜縦断面地形の比較

洪水流による砂州のフラッシュとその後の波による海浜変形は3次元的な変化であるため、個々の等深線の動きに分解して調べることで現象の理解が容易になると考えられる。図-6は、基準線から各等深線までの沖向き距離（等深線距離）の変化量を算出し、その沿岸分布を示したものである。図には、1978年6月の大洪水を挟む1977年10月～1978年10月の等深線の前進量と、洪水後の1978年10月～1985年10月の等深線の後退量を重ねて示した。一般に、等深線の後退量は、負値として整理されるが、図-6では符号を逆転させて表示してある。したがって、両者が完全に重なり合えば、洪水時のフラッシュにより形成された河口テラスが、洪水前の状況に完全に戻ったことを意味する。まず、洪水前後の1977年～1978年の前進量を見ると、-4 m以深の等深線

が河口を中心としていずれもほぼ三角形に突出したことが、これらの突出形状が左右対称ではなく東側の突出量が多いこと、さらには沖合での土砂の堆積はほぼ測線No. 15～No. 35（幅1 km）で生じたことがわかる。一方、洪水後の1978年～1985年の後退量は、洪水前後の前進量とほぼ対応しており、洪水により形成された河口テラスが波の作用によってほぼ消失したことがわかる。しかしながら、細部に注目すると、-8 mの等深線の変化に代表されるように、突出部西側の広い範囲で土砂の堆積が生じており、非対称なモードの地形変化も同時に生起している。

図-7は、1977年10月～1985年10月の等深線距離変化量の沿岸分布であり、図-6と比べて縦軸の目盛りを引き延ばしている。これによると、-5～-10 mの等深線は、河口沖のテラス地形の西側では前進傾向にあり、逆に東側では後退傾向にある。このようにテラス地形の西側で堆積、東側で侵食となる地形変化では、東向きの沿岸漂砂による作用を考えなくてはならない。すなわち、阿賀野川河口では、やや東向きの沿岸漂砂が卓越し、さらに、河口前面の大規模なテラス地形によって沿岸漂砂の場所的不均衡が生じたため、西側で堆積が、東側で侵食が生じたものと推定される。

図-6に示したように、洪水に伴う等深線の変化は、測線No. 15～No. 35の延長1 kmの区間で特に著しい。そこで、この区間における100 m間隔の断面地形変化を図-8に示す。これによると、-8 mの等深線の最大突出点のNo. 25を境として、西側と東側では断面地形の変化特性が異なっている。No. 25以西では、ほぼ単調な土砂堆積が生じたのに対し、No. 25以东では、No. 29に代

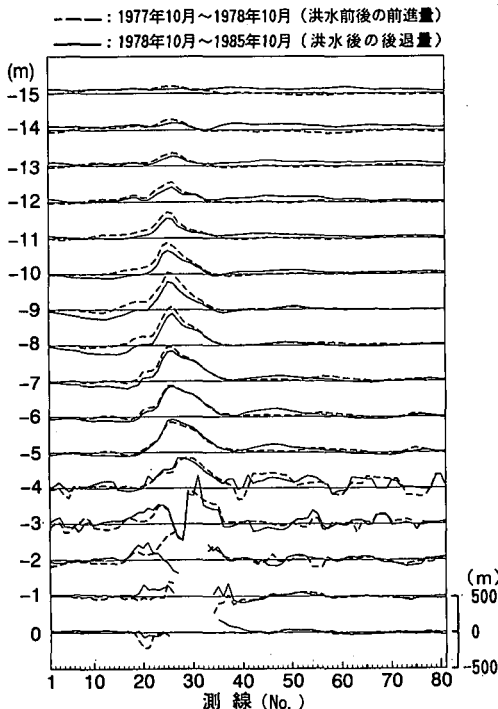


図-6 洪水前後および洪水後の等深線距離の変化

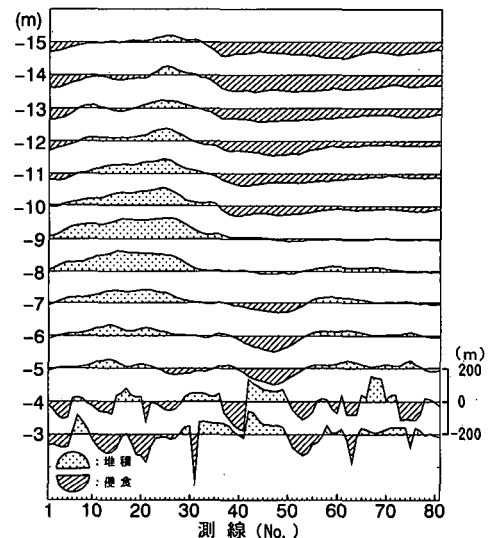
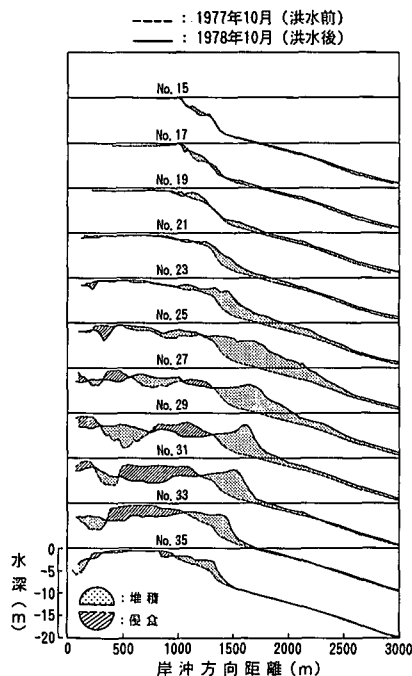


図-7 1977年～1985年における等深線距離の変化



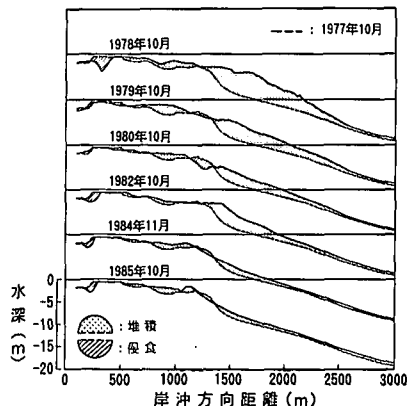
図—8 洪水前後 (1977 年～1978 年) の海浜断面地形の変化

表されるように、沖合に高まりを形成しつつ土砂が堆積し、海面下に自然堤防状の地形が形成されている。また、図—8 によると、最も著しい堆積が生じた測線は No. 25 であり、洪水前後の堆積厚は 4.5 m に達している。

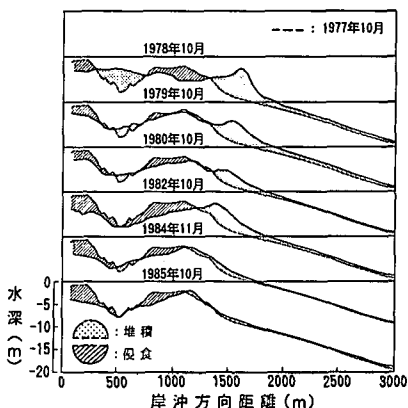
5. 代表断面地形の経時変化過程

洪水流により形成されたテラス地形の波の作用に対する応答特性を調べることは、海浜変形機構の検討に役立つものと考えられる。そこで、代表測線を選定して海浜断面地形の経時変化を調べた。はじめに、図—9 に最も土砂堆積の著しい測線 No. 25 の断面地形の変化を示す。洪水時には、河口沖合に水深約 4 m のテラス地形が形成され、その沖側では約 1/75 勾配で -15 m 程度までの範囲に土砂が堆積したが、堆積域はその後ほぼ単調に減少し、1985 年 10 月には洪水前 (1977 年 10 月) の断面地形にほぼ戻っている。このように、測線 No. 25 では、約 7 年間で洪水前とほぼ同様な断面地形へと復元した。なお、1982 年 10 月には、テラス地形の再発達が見られるが、これは、1981 年 6 月 21 日の洪水 ($Q=7,369 \text{ m}^3/\text{s}$) および 1982 年 9 月 12 日の洪水 ($Q=6,360 \text{ m}^3/\text{s}$) が発生したことによる。ただし、1981 年の洪水は 1976 年の洪水 ($Q=7,870 \text{ m}^3/\text{s}$) とほとんど同規模であったが、河口部の土砂堆積状況は異なるものであった。

図—10 に海面下に自然堤防状の地形の形成が確認された測線 No. 29 の海浜断面地形の変化を示す。沖合の自



図—9 測線 No. 25 における海浜断面地形の経時変化



図—10 測線 No. 29 における海浜断面地形の経時変化

然堤防状の地形は、時間経過とともに急速に高さが減少し、規模が小さくなった。しかし、1982 年 10 月には再び発達した後、1985 年 10 月には、河道内を除いて沖合地形は洪水前の状況に戻っている。この測線においても、2 度目の洪水による変動は見られるが、約 7 年間で河口沖の断面地形が復元されたことがわかる。

図—11 に測線 No. 21 における縦断面形の変化を示す。No. 21 は、No. 25 を中心としたとき、東側の No. 29 と対称的位置にあることから、両者の比較により三角形状のテラス地形の東西での地形変化の違いを調べることができる。No. 21 では、洪水後 (1978 年 10 月) の変化は他の測線に比べてはるかに小さく、1980 年 10 月～1982 年 10 月には再び沖合への土砂堆積が見られるが、堆積土砂量は経時的に減少している。1985 年 10 月では、洪水前 (1977 年 10 月) の断面地形にほぼ近づいたが、図—10 に比べて沖合の 1.3 km～2.0 km 間の堆積量は大きい。このように、洪水による初期の流出土砂量が少ないにもかかわらず、堆積量が大きい点は注目し値する。なぜなら、図—7 に示した -8 m の等深線距離変化量に

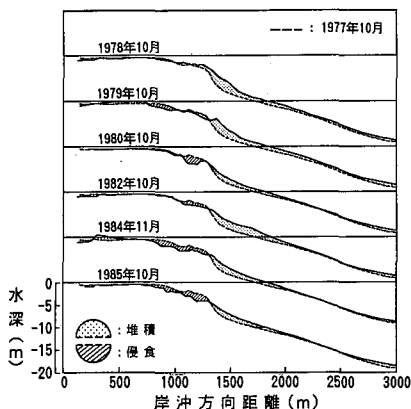


図-11 測線 No. 21 における海浜断面地形の経時変化

見られるように、東西の最突出点の位置がほぼ対称であるにもかかわらず、西側の方が沖合の堆積土砂の減少割合が小さくなっていることは、テラス地形に沿う岸向きの漂砂以外に沿岸漂砂による土砂の移動もあったと考えられるからである。

6. 考 察

図-8 に示した断面変化図に明かなように、河口の沖合では、水深約 15 m 付近まで有意な土砂堆積が見られ、その後の波の作用によってこの堆積土砂は時間の経過とともに徐々に侵食された。篠田ら (1992) は、深淺データの分析に基づき新潟海岸の地形変化の限界水深を約 10 m と推定しているが、これと比較して得られた値は 50 % も大きい。この差異の理由としては、新潟海岸の場合には、海浜砂が波によって十分に淘汰された均一な粒径で構成されているのに対し、本研究のように洪水流によって形成された地形では、細粒分を多く含む不均一な粒径の底質であったものと推定される。したがって、洪水流の砂州フラッシュによって形成された地形に対して、従来の地形変化の限界水深を適用する際には注意を要すると考えられる。

洪水時に沖合へ流出した土砂が波の作用によって再び河口部に戻り、7 年後には洪水前の地形がほぼ復元された事実は、図-2 と図-5 を比較すれば明らかである。その意味では、洪水流という強烈な外力によって形成された地形が、波の作用下における粘り強い復元力で元の形に戻ることが明らかになった。しかし、他の河川で明らかにされているように、河口テラスの外縁に沿って土砂が岸向きに移動する過程 (例えば、宇多ら, 1994c) は、深淺データより明らかにすることはできなかった。その主な理由は、河道内や海浜部の砂州高の測量が行われていないこと、さらには変化過程を明らかにするためには

測量間隔が 1 年と長いことによる。

一般に、河口部の河道計画では、河口砂州のフラッシュを前提としていることが多い。これには、河口沖でのテラス地形の形成と、波による砂州の復元が強く関係している。それにもかかわらず、河口部の測量では、河口より上流側の河道のみを対象とし、河口沖合の深淺測量が行われていない例がほとんどである。測量に伴う経費上の問題があるにせよ、これでは河口部の土砂移動や河口から海岸へ供給される土砂の評価などは不可能となる。このことから、今後は基礎データとして重要な河口沖の深淺測量も同時に実施する必要がある。

7. 結 論

本研究で得られた成果は、つぎのように要約される。

① 阿賀野川では、1978 年 6 月 26 日の $7,870 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水により、河口砂州が大きくフラッシュされ、沖合に三角形のテラス地形が形成された。土砂は -15 m 付近まで流出し、-8 m の等深線は沖向きに 550 m も突出した。また、最大の堆積厚は 4.5 m に達した。

② 洪水時には、河道の最狭狹部では最深部が埋められたが、側方侵食により両岸が削られた。この下流側では、縮流の効果により大きく洗掘され、-4 m の最深部を有するみお筋が形成された。

③ 洪水により形成されたみお筋は、右岸側よりやや左 (西) に湾曲していたが、この湾曲部の外側には、海面下に標高約 -4 m の自然堤防状の地形が形成された。

④ 河口部から沖へ流出した土砂は、波の作用により急速に河口へと戻り、7 年後にはほぼ洪水前の沿岸方向に平行な等深線が復元された。

⑤ 河口沖でのテラス地形の形成後、その西側では堆積傾向に、東側では侵食傾向となった。これは、テラス地形によって沿岸漂砂が阻止されたためと考えられ、このことから、阿賀野川河口付近の海岸では、東向きの沿岸漂砂がやや卓越することが分かった。

参 考 文 献

- 宇多高明・高橋 晃・松田英明 (1994a): 相模川河口テラスの地形的特徴とその変形過程, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 441-445.
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本雅彦・大谷靖郎 (1994b): 天竜川河口砂州の伸長に伴う河岸侵食と海浜変形, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 481-485.
- 宇多高明・高橋 晃・松田英明 (1994c): 河口地形特性と河口処理の全国実態, 土木研究所資料, 第 3281 号, 123 p.
- 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. 179-187.
- 篠田 孝・宇多高明・岡村幸弘 (1992): 新潟海岸沖における大規模地形変化, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 346-350.