北海道鵒川河口域の短期的な地形変動機構について

大塚 淳一¹・水垣 滋²・山下 俊彦³

¹正会員 (国研) 寒地土木研究所寒冷沿岸域チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail: 08900@ceri.go.jp

²正会員 (国研) 寒地土木研究所水環境保全チーム (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)
E-mail: s-mizugaki@ceri.go.jp

³正会員 北海道大学教授大学院工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: y-toshi@eng.hokudai.ac.jp

北海道南部の鵒川河口域において2013年4月から2014年9月の間に19回の地形観測を行うことにより、河口地形の短期的な変動機構を把握した。河口東側に建設された構造物が西向きの沿岸漂砂をほぼ遮断しているため砂州前面の比較的浅い領域(水深0～5 m程度)の侵食が進んでいる。侵食された土砂は砂州の延伸に寄与しながら河口西側に移動している。砂州前面の侵食と河口西側への土砂の移動はともにSE～SSW方向から来襲する波高1.5 m以下の波浪が強く影響する。また、河口幅と河口西側の地形変動量はともに河川流量と正の相関があることから、河口西側では波浪によって東側から移動した土砂に加えて河川から流出した土砂と出水時にフラッシュされた砂州先端部の土砂が地形変動に影響することが明らかとなった。

Key Words : river mouth, topographic change, high-frequency survey, wave enrgy, river discharge

1. はじめに

外洋に面した河口域では洪水による砂州のフラッシュや河口沖への土砂の移動、さらに波浪の作用による砂州の回復と周辺海岸への土砂の輸送などによって地形が短期的に変動する。河口地形の変動が河口周辺の漂砂環境や生態環境に与える影響を評価するためには、海底地形を含む河口域の地形観測を行うことが重要であり、観測頻度が高いほど地形変動の特性を正確に把握することが可能となる。しかしながら、河口域の地形観測は通常、公共測量として年1, 2回の頻度、もしくはより低頻度で行われることが多いため、河口地形に関する既往の調査・研究ではおもに中・長期的な地形変動を対象に検討が行われている(例えば、出口ら¹⁾、由比ら²⁾)。一方、近年、天竜川河口域を対象に実施された高頻度な地形観測の結果が報告されている。宇多ら³⁾は2008年から2010年の3年間で8回観測された河口域の地形データをもとに河口部の地形変化量と洪水・波浪との関係を示している。また、岡辺ら⁴⁾は漁船の操業ログを活用することにより高頻度で河口域の地形データを取得し、河口テラスの変化と河川出水、波浪との関連について検討している。極めて複雑な河口域の地形変動をより正確に理解するためには、今後多くの河口域で実施された高頻度な地形観測

図-1 調査位置図

の結果を蓄積することが必要といえる。

本研究では北海道南部の鵒川河口域において2013年4月から2014年9月の1年半の間に地形観測を19回実施し、各観測期間の地形変化量と波浪、河川流量との関係から短期的な地形変動機構を検討した。

2. 観測地点と観測方法の概要

(1) 観測地点

北海道中央部から太平洋に注ぐ鵒川は流域面積1270 km²、幹川流路延長135 kmの1級河川である。河口から南

図-2 (a)鵜川の日最大流量, (b)様似漁港沖の有義波高, (c)有義周期, (d)平均波向き (赤線: 測量実施日, (8)は陸上測量のみ実施, 波浪データは毎正時の値)

東方向約2 kmの地点には鵜川漁港が供用されている (図-1)．鵜川河口の汀線は1970年代前半から1990年代後半までの約20年間で300 m以上も後退し、渡り鳥の重要な中継地・餌場となる干潟が消失した．河道内での砂利採取の禁止 (1997年) や養浜事業 (2000年以降) の効果もあり、近年では大幅な汀線の後退は報告されていない．

(2) 河川流量と波浪の観測

流量データは河口から約2 km上流に位置する鵜川橋水位観測所の値を使用した．波浪データは河口から約100 km南東に位置する様似漁港沖 (水深31 m地点) の値を使用した．両データは北海道開発局室蘭開発建設部から暫定値として提供されたものである．図-2に2013年4月1日から2014年9月30日までの(a)鵜川の日最大流量, (b)様似漁港沖の有義波高, (c)有義周期, (c)平均波向きを示す．

(3) 河口地形の航空写真撮影

河口の全景を把握するため、2013年3月下旬から2014年10月中旬までの間、航空写真撮影を7回実施した．写真-1に鵜川河口の航空写真を示す．

(4) 河口地形の観測

2013年4月から2014年9月までの間、鵜川河口の沿岸方向約2 km、岸沖方向約1 kmの範囲 (図-1白枠内) において地形観測を19回実施した．沖から水深1 m程度までの海域では小型船に超音波式測深機 (M9, SonTek社製) を設置し、測線間隔50 mで深淺測量を行った．測深データに対して潮位補正を行う際には鵜川漁港内に設置した検潮所の潮位データを使用した．また、小型船でも航行不能な浅い海域と陸上部ではRTK-GPS (ProMark100,

写真-1 鵜川河口の航空写真

ashtech社製) を用いて徒歩による測量を行った．GPSによる測量は深淺測量が行われる前後数日以内に実施した．各測量終了後、両測量データを合成してKrigingによる10 mメッシュの地形データ (TP基準) を作成した．

超音波の速度は塩分、水温、水圧 (水深) によって変化するため、測深を行う際には音速補正 (いわゆる、バーチェック) を行う必要がある．河川から淡水が流入する河口域では海中の塩分・水温が空間的に大きく異なるため、通常行われる1地点でのバーチェックでは測深精度が低下する．そこで本研究では、測深中に毎回約60地点で塩分・水温の鉛直分布を計測し (CastAway-CTD, SonTek社製を使用) 、得られた値を用いて各測深点の超音波速度を補正した．

3. 結果と考察

(1) 河口地形の季節変動

ここでは、図-2に示す流量・波浪データ、写真-1に示す河口の航空写真および図-3、図-4に示す測量結果をも

図-3 各測量期間の地形変化量と等深線 (矢印：河口の中心，等深線：前後の測量結果のうち前の値を表示)

とに鶴川河口域の季節的な地形変動特性について説明する．なお，図-3は各測量期間の地形変化量，図-4は1回目の測量結果を基準とした地形変化量を示している．

a) 2013年融雪期（2013年4月18日-6月8日）

2013年の融雪期は200～400 m³/s程度の出水が4月上旬か

ら6月上旬まで断続的に生じた．この出水によって東側に向いていた河口が西向きに変わり，河口西側の浅い領域が侵食した（写真-1(a)(b)，図-3(a)(b)，図-4(a)）．また，西寄りの波高3 m以上の高波浪が数回来襲したが，波向きとはほぼ逆方向から河口フロントに向う土砂の移動が

図-4 1回目の測量結果を基準とした地形変化量 (赤：堆積，青：侵食，矢印：河口の中心)

確認された。左岸側の砂州は東側から西側に延伸して河口の位置が約200 m西側に移動した。

b) 2013年夏季 (2013年6月8日～9月11日)

6月上旬から9月の台風来襲までの間、河川流量は少なく波浪状況も静穏な日が続いた。この間、砂州前面の浅い海域が徐々に侵食するとともに、東側から西側へ砂州が約360 m延伸した (写真-1(b), 図-3(c)～(g), 図-4(b))。なお、比較的静穏な夏季に砂州が西側へ延伸する様子は例年確認されている。

c) 2013年台風来襲時 (2013年9月11日～10月2日)

2013年9月18日に来襲した台風18号の影響によって最大900 m³/s程度の出水が生じた。この出水によって砂州の先端部がフラッシュされて河口幅が約340 m広がった。また、河口西側と河口から約300 m沖にそれぞれ約2.0万 m³と約2.6万 m³の土砂が堆積した (写真-1(d), 図-3(h), 図-4(c))。河口西側には河口が西側に向いていた出水初期に河川から流出した土砂が多く堆積しており、河口沖にはフラッシュされた砂州先端部の土砂が堆積したと考えられる。

d) 2013年台風来襲後 (2013年10月2日～12月25日)

台風通過後から12月下旬までの間、200～400 m³/s程度の出水が漸続的に生じた。また、この時期から西からの波浪来襲頻度が増加し、波高4 m以上、周期10 s以上の高波浪が数回来襲した。河口フロントに堆積した土砂には河川から流出したものと台風来襲時に河口周辺に堆積した土砂の一部が波浪の影響によって河口フロントへ移動したものが含まれていると考えられる (図-3(i)(j), 図-4(d))。また、西寄りの波浪が多く来襲したにも関わら

ず、砂州は東側から西側へ約190 m延伸し、台風来襲時に広がった河口幅が徐々に減少した。

e) 2013～2014年冬季 (2013年12月25日～2014年3月20日)

12月下旬から3月下旬までは積雪および気温の低下により河川が結氷した (写真-1(e))。冬季の流量は少ないため河川から流出して河口フロントに堆積する土砂は少ない。また、この期間も西からの高波浪が多く来襲したが、左岸側の浅い領域が徐々に侵食して砂州が西側に約160 m延伸した (図-3(k)(l)(m), 図-4(e))。

f) 2014年融雪期 (2014年3月20日～6月3日)

2014年の融雪期の流量は2013年よりも少なく100～300 m³/s程度となった。流量は少なかったが砂州の先端が200 mほどフラッシュされて河口幅が広がり、河川から流出したと考えられる土砂が河口フロントに堆積した (写真-1(f), 図-3(n)(o), 図-4(f))。西寄りの波浪の勢力が比較的強かったが融雪期後半において砂州が東側に延伸し河口幅が徐々に減少した。

g) 2014年夏季 (2014年6月3日～7月29日)

融雪終了後から8月の出水までの間、流量が低下し海域も比較的静穏な日が続いた。その間、2013年と同様に砂州前面の浅い領域が徐々に侵食するとともに、砂州が西側に約290 m延伸した (図-3(p)(q), 図-4(g))。砂州の総延伸量は800 m以上に達し、1回目の測量では海中であった河口西側の一部の領域が陸上部へと変わった。

h) 2014年夏季の出水時 (2014年7月29日～9月21日)

2014年の8月は前線通過の影響に伴い500～600 m³/s程度の比較的規模の大きい出水が漸続的に生じた。この出水によって砂州の先端がフラッシュされて河口フロントに

約9.4万 m^3 の土砂が堆積した(図-3(n), 図-4(h))。

(2) 全測量期間を通じた地形変動の評価

図-4に示す1回目の測量結果を基準とした地形変化量を見ると、時間の経過とともに測量範囲のほぼ中央を境界として東側の領域が徐々に侵食し、西側の領域では堆積する様子が確認できる。また、図-3に示す等深線から水深0~5 m程度の範囲において侵食・堆積の傾向が強く表れていることがわかる。図-4(h)をもとに全測量期間における東西両領域(水深0~5 m)の地形変化量を求めると、東側領域の侵食量は約25.0万 m^3 、西側領域の堆積量は約29.4万 m^3 となる。図-1に示すように、測量範囲よりも東側には漁港、護岸、突堤があり、これらの構造物が西向きに沿岸漂砂をほぼ遮断しているため東側領域が侵食し、侵食された土砂が西側領域に堆積していると考えられる。また、水深5 mよりも深い領域の地形変化量が小さいことから、東側領域で侵食された土砂はほとんど沖へは移動せずに比較的浅い海域を經由して西側へ移動したと考えられる。河口周辺海岸の平均的な法線がSW方向を向いていることを考慮すると、SE~SSW方向からの波浪(以下、E波浪)が東側領域から西側領域への土砂の移動と砂州の延伸に影響していると推察される。

(3) 地形変化量と波浪との関係

本節では、侵食・堆積の傾向が顕著に表れた水深0~5 mの東側領域(E領域)および西側領域(W領域)の地形変化量と波浪との関係について検討する。なお、紙面の制約上、本稿においては前節で示したE波浪(波高1.5 m以下)と冬季・融雪期に多く観測されたSW~W方向からの高波浪(以下、W波浪; 波高1.5 m以上)を対象に検討した結果を示す。

図-5は各測量期間の(a)E波浪とW波浪のエネルギー、(b)砂州の延長と延伸量、(c)E領域とW領域の地形変化量を示している。ここで、波浪エネルギーは各測量期間の波浪データから求めたエネルギーフラックスの時間積分値である。また、図-6、図-7は図-5から得られた波浪エネルギーと砂州の延伸量、地形変化量との関係を示している。E波浪エネルギーと砂州の延伸量との関係には有意な正の相関が得られ(図-6(a))、E領域の地形変化量との関係では負の相関(図-6(b))、W領域の地形変化量との関係では正の相関が得られた(図-6(c))。これらの結果はE波浪によってE領域が侵食され、その土砂は砂州の延伸に寄与しながらW領域へと運ばれていることを強く示唆している。一方、W波浪エネルギーと各地形変化量との関係では有意な相関が得られなかった(図-7)。種々の波浪条件で検討したが、有意な相関が得られたのは図-6に示す結果のみであった。現段階では波高1.5 m以下のE波浪のみが地形変化量と有意な相関が得られた理

図-5 各測量期間の(a)E波浪とW波浪のエネルギー、(b)砂州の延長と延伸量、(c)E領域とW領域の地形変化量

図-6 E波浪のエネルギーと砂州の延伸量、E領域、W領域の地形変化量との関係

図-7 W波浪のエネルギーと砂州の延伸量、E領域、W領域の地形変化量との関係

由は不明であるが、波高1.5 m以下のE波浪は夏季に多く観測されているから、夏季の太平洋沿岸に特有なうねりを伴った波浪が地形変化に強く影響した可能性がある。

(4) 地形変化量と河川流量との関係

図-8は各測量期間の(a)流量、(b)河口幅、(c)W領域の地形変化量を示している。また、図-9は図-8から得られた流量と河口幅、地形変化量との関係を示している。出口¹⁾は河口近傍の地形は一度大きな流出があるとそれに支配された変化を呈すること指摘している。そこで本検討では、流量として各測量期間の日最大流量の最大値を採用した。河口幅は河口出口の砂州先端のT.P. 0 mから右岸側T.P. 0 mの最大距離と定義した。流量と河口幅との関係では高い正の相関が得られ(図-9(a))、流量とW領域の地形変化量との関係においても有意な正の相関が得られた(図-9(b))。また、図-6(c)に示すようにW領域の地形変化量とE波浪エネルギーとの関係でも有意な正の相関が得られている。以上の結果より、W領域ではE領域からE波浪の影響により輸送された土砂に加えて、

河川から流出した土砂と出水時にフラッシュされた砂州先端部の土砂が地形変動に影響しているといえる。

4. 結論

本研究では鵜川河口域において地形観測を高頻度で行うことにより、複雑に変動する河口地形の短期的な変動機構を把握した。漁港、護岸、突堤によって西向き沿岸漂砂がほぼ遮断されているため、河口東側の比較的浅い領域（水深0～5 m程度）の侵食が進んでいる。また、侵食された土砂は砂州の延伸に寄与しながら河口西側に移動する。河口東側の侵食と西側への土砂の移動はSE～SSW方向から来襲する波高1.5 m以下の波浪が強く影響している。河口幅と河口西側の地形変動量はともに河川流量と正の相関があることから、河口西側では波浪によって東側から移動した土砂と河川から流出した土砂および出水時にフラッシュされた砂州先端部の土砂が地形変動に影響しているといえる。河口域の短期的な地形変動をより詳細に把握するためには、河道を含むより広範囲の地形データを高頻度・高解像度で取得し、河川から流出する土砂の量を把握する必要がある。また、河口近傍で波浪観測を行うことにより、地形変化と波浪との関係をより正確に把握することが重要といえる。

謝辞：波浪・流量データは国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部から提供されたものである。また、ワイエスアイ・ナノテック株式会社の中田正人氏から河口地形の観測方法について自らの豊富な経験をもとに貴重な助言を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 出口一郎, 千 受京, 石川裕夏, 小野正順: 由良川河口周辺地形の変動に及ぼす河川流量の影響について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.561-565, 1997.
- 2) 由比政年, 中谷 健, 石田 啓, 山内正彦, 二俣

図-8 各測量期間の(a)流量, (b)河口幅, (c)W領域の地形変化量 (流量は各測量期間の日最大流量の最大値, 河口幅は前後の測量結果のうち後の値を採用)

図-9 各測量期間の流量と(a)河口幅, (b)W領域の地形変化量との関係

秀, 高橋 至: 手取川河口域周辺の海底地形変化に対する河川土砂供給の影響に関する研究, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.576-580, 2004.

- 3) 宇多高明, 三波俊郎, 石川仁憲, 白石慎重, 佐藤純一郎: 天竜川河口部地形の洪水・波浪応答に関する現地観測, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No.2, pp.I_626-I_630, 2012.
- 4) 岡辺拓巳, 加藤 茂, 高岡 翔: 天竜川河口テラスの高頻度なモニタリングに基づく地形変化の解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70, No.2, pp.I_626-I_630, 2014.

(2015.3.18 受付)

CHARACTERISTICS OF SHORT-TERM TOPOGRAPHIC CHANGES AROUND THE MU RIVER MOUTH, NORTHERN JAPAN

Junichi OTSUKA, Shigeru MIZUGAKI and Toshihiko YAMASHITA

High-frequency topographic survey was conducted around the mouth of the Mu River in northern Japan, from April 2013 to September 2014, to elucidate the characteristics of the short-term topographic changes resulting from sediment transport by wave action and river flows. From the survey data, the east of the river mouth is found to have significantly eroded because westward longshore sediment transport is almost blocked by jetty and revement. The sediments eroded in the east area was continuously transported along the nearshore region to the west of the river mouth, developing the sandbar, due to the westward wave action especially with the height lower than 1.5 m. Sediments were also supplied to the west area from the river and the toe of the sandbar in flood events.