肱川河口における ADCP を用いた流況および地形変動観測

Measurement of Flow and Topography Change Using ADCP around Hiji River Mouth

中田正人¹・伊福 誠²・木村一郎³・原槇利幸⁴

Masato NAKATA, Makoto IFUKU, Ichiro KIMURA and Toshiyuki HARAMAKI

In this study, the flow and the topography change around the river-mouth bar are clarified by the measurement using ADCP. At the offshore side of river-mouth bar, the clockwise circulation is significant and the river-mouth bar advances toward the offshore. The growth rate of river-mouth bar is controlled by the sandy shoal which is formed at the terrace. After stopping the extraction of sediment at the offshore side of the river-mouth bar, the secular change of the sediment volume is approximately constant. Judging from this result, it is supposed that the sediment budget around the river-mouth bar is related to the extraction of sediment.

1. はじめに

近年, ドップラー流速分布計を用いた乱流計測や流量計測に関する研究が行われるようになってきた(川西ら, 2002; 佐藤ら, 2004). 著者らは, 水準測量や ADCP と RTK-GPS で構成した観測システムを用いて, これまで流れが砂州地形形成に及ぼす影響について検討してきた(伊福ら, 1995, 1996; 中田ら, 2007). 本研究では, 砂州周辺の潮流と河川流の相互の流れと地形計測を行うことによって, 出水前後の土砂の堆積状況を詳細に把握して, 土砂移動が砂州の消長や周辺地形に及ぼす影響について検討を行い, 河口周辺の土砂管理に役立てようとするものである. 観測場所は, 愛媛県南西部に位置する一級河川である肱川の河口部である(図-1).

図-1 観測位置

2. 観測システム

(1) システム概要

水深と3次元流速を多層で計測できる観測システムを

使用して観測を行った. システムに使用した ADCP は, SonTek/YSI 社の 1 MHz で測定レンジ $\pm 10\text{m/s}$, 精度 $\pm 1\%$ を, GPS 受信機は基準局・移動局ともに Trintle 社 MS-750 を使用した. RTK-GPS の精度は平面座標 $\pm 2\text{cm}$ 以内, 鉛直座標 $\pm 3\text{cm}$ 以内である.

(2) 観測方法

ADCP 観測システムにより砂州周辺およびその沖合の図-2に示す $1,600 \times 1,000\text{ m}$ の領域を設定し, 上げ潮時・下げ潮時の潮流最強時間帯を中心に1計測当たり約2時間でそれぞれ測線間隔 50m の測線上を約 2m/s で移動しながら, 計測点の位置座標と1層厚 0.5m で多層の3次元流速を5秒間隔で連続計測した. また, 上げ潮時と下げ潮時で測線を 25m ずらすことで測線間隔は 25m となり, 地形計測の精度を上げている. ADCP で観測が不可能な浅水部と砂州においては, 干潮時間帯に RTK-GPS により歩行しながらサンプリング 1s で陸上測量を行い, 効率性と観測精度を高めた.

図-2 航跡図

(3) 観測期間

当観測場所では, これまで2002年から観測を継続してきた. 2007年からは, 観測領域を拡大し2007年9月25~26日に沖側 400m の $1,000 \times 1,000\text{m}$ を, 2008年1月10~13日に沖側 $1,000\text{m}$ の $1,600 \times 1,000\text{m}$ を大潮期において地形と同時に流況観測をした. 全域において可能な限り流速の速

1 正 会 員 (株)エイトコンサルタント プロジェクト部
2 正 会 員 愛媛大学大学院教授 理工学研究科
3 (株)エイトコンサルタント 技術部

い状態を観測できるようにするため、干潮・満潮時間の1時間後から計測を開始し、約2時間で測線上を移動して観測した。

3. 解析結果

(1) 河川流量

肱川流域のうち、中流域である大洲第二水位観測所のH-Q曲線式より2007年までの河川流量を算出した(図-3)。台風上陸が10個を記録した2004年は、 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水が3回あり、2005年9月7日にも $3,100\text{ ton/s}$ 以上の出水が3回あり、その内8月31日は $3,200\text{m}^3/\text{s}$ 、2005年9月7日にも $3,100\text{m}^3/\text{s}$ の流量を記録している。

図-3 河川流量

(2) 風向風速

風向・風速については、波浪推算の基礎資料とするため、対象地点近傍の長浜アメダス(図-1)のデータを用いて整理した。

図-4 風配図 (2002年～2007年：通年)

現地観測を行った2002年～2007年の風向・風速を通年、季節にとりまとめ通年の風配図を図-4に示す。なお、季節の区分は、冬季を1月～3月、春季を4月～6月、夏季を7月～9月、秋季を10月～12月とした。通年の風向をみると風速 4.9 m/s 以下は、全体の頻度も高く風向はS方向、次いでNE方向に多いことがわかる。風速 $5.0\sim9.9\text{m/s}$ も風速 4.9m/s 以下と同様な傾向を示すが、風速 10m/s 以上になると頻度は少なく、風向もNNE方向、W方向に多い。季節風向をみると、夏季は山から海に向けて吹き降ろす

4.9m/s 以下のS方向(肱川沿いに吹き降ろされた風は観測地点のある肱川河口右岸側ではS方向に偏向する)の弱風が15%を占めるが、秋季においては、同じS方向でも $5.0\sim9.9\text{m/s}$ の頻度が増えている。また、冬季は、季節風によりNW方向の頻度が増えている。

(3) 来襲波浪

肱川河口部に来襲する波浪について、その地形条件より図-5に示すWSW～NNEを抽出し、現地観測を行った2002年～2007年の長浜における風資料からSMB法を用いて推算し、波向・波高を通年、季節にとりまとめた。図-6および7は、それぞれ方位別波浪来襲頻度および波浪波向頻度、波向別平均波高・周期である。

通年の波浪波向頻度図から、長浜における卓越波向は、NNEおよびWであり、波高は、吹送距離の長短からNNE方向は 1.0m 未満、W方向は $1.0\sim2.0\text{m}$ が卓越する。季節では、NおよびNNE方向の波浪出現頻度が高く、秋季か

図-5 対象波向

図-6 方位別波浪来襲頻度(2002年～2007年：全体)

図-7 波向別平均波高・周期(2002年～2007年：全体)

ら冬季にかけて季節風の影響によりNWおよびW方向の波浪出現頻度が高くなるとともに、W方向においては、2.0~3.0m未満の波高出現頻度も高くなっている。また、対象波浪の周期は、出現頻度が高い波高0.5~1.25mにおいては、3.0~4.0sであり、対象期間の最大波高3.41m(2004年10月20日)に対応する周期は6.0s程度である。

図-8の時系列図より、2002年、2003年は、波高も最大で1.2m程度と小さく波向も分散しているが、2004年以降は、毎年10月~4月にかけてWSWおよびNNEから最大で2.8m程度の波浪が来襲している。

図-8 波高・波向時系列

(4) 流況

a) 上げ潮時

上げ潮時における底層付近の流況は、図-9に示すように河口テラス沖合で沖浦漁港防波堤以南の海岸線に並行な南から北へ向かう流れを示すが、河口テラス上では、漁港防波堤北端から陸方向に向きを変え河口テラス上に拡散して流れている。また、河口テラス上の河口砂州沖側では、そのまま北上する流れと河道内へ向かう流れに分流し、河道内へは主として河口砂州発達側の右岸側沿いに遡上している。

図-9 底層付近の流速ベクトル(上げ潮時)

b) 下げ潮時

下げ潮時における底層付近の流況は、図-10に示すように北東から南西に向かって流れ、離岸堤沖側付近から河口テラス上に回り込みがみられるものの、多くは港湾

護岸および堆積地形に沿って沖向きの流況を示している。また、河川流は主に滞筋部を流下し、沖浦漁港防波堤北端で潮流と交わる流況を示している。このように、現状地形における低水時の河口テラス上では、周辺構造物および河口テラス地形の影響を受け、上げ潮時の北向きの流れが卓越しており、河口テラス上に堆積している土砂を離岸堤方向および河口砂州中央部へと岸向きに輸送する流れが顕著になっている。また、河口砂州中央部から先端部にかけては、河口砂州の延伸と深く関わっている時計回りの流れが卓越している。

図-10 底層付近の流速ベクトル(下げ潮時)

(5) 地形変化

肱川河口における河床・海底地形図について 2003年11月のものを図-11に、2006年1月のものを図-12に、2007年1月のものを図-13に、2008年1月のものを図-14示す。これらの深浅図から、沖側600m程度まで河口デルタが形成され中心はやや北に偏心し、ほとんどその範囲に変化がないことがわかる。河口テラス上では、2004年9月の出水後に河口砂州がフラッシュされて沖側に堆積し、図-12以降には河口沖側200mの河口テラス上に、「くの字」状の堆積の帯が形成されている。また、「くの字」状の堆積部は、年々陸側に向きを変え延伸している。

肱川河口部の河床変動(断面変化)について、断面変化が大きい新長浜大橋上流部($x=270\text{m}$)および図-11中の実線で示す滞筋に着目して検討した。

滞筋沿いの河川縦断変化を図-15に示す。縦断距離 $x=-200\text{m} \sim x=320\text{m}$ にかけて変化が大きく、その前後はあまり変化していないことがわかる。河口砂州の発達には、 $x=270\text{m}$ で最も大きく2003年11月~2004年3月にかけ大きく成長したが、2004年8月に大きく洗掘され、その翌年の2005年7月にも大きく洗掘されているのがわかる。

また、洗掘量は、新長浜大橋橋脚部の $x=200\text{m}$ 付近が最大でその沖合い100m($x=100\text{m}$)付近では堆積し、その沖側の突堤部($x=0\text{m}$)で洗掘される傾向にある。

河口砂州の消長が顕著な $x=270\text{m}$ 付近の河川横断変化を図-16に示す。2003年11月~2004年3月にかけて横断方

図-11 河床・海底地形図(2003年11月)

図-12 河床・海底地形図(2006年11月)

図-13 河床・海底地形図(2007年11月)

図-14 河床・海底地形図(2008年1月)

定している。

図-15 河床縦断面

図-16 河床横断面

通常の沓川河口の地形変化は、「くの字」状の堆積がなかった時は、平時の時計回り循環流と冬季波浪により新長浜大橋右岸上流部に河口砂州が大きく発達し、夏季の出水によりその河口砂州が削り取られていたが、「くの字」状の堆積が生じた後は、同じような傾向にはあるものの河口砂州の発達は小さい。「くの字」状の堆積は、図-12～図-14に示すように河口テラス沖側に堆積した土砂が秋季から冬季にかけて卓越するWあるいはNNE（NNE方向は屈折の影響を受けN方向からの来襲となる）方向からの波浪により変形されたものである。

「くの字」状の堆積が生じた後の地形変化について、図-17に2007年3月～2007年9月の地形差分を、図-18に2007年9月～2008年1月の地形差分を示す。河口砂州の消長は、夏季の出水でフラッシュされ沖側に堆積し（図-17）、その土砂が冬季波浪により巻き上げられ、岸側へ輸送されるとともに、潮汐に伴う沿岸流の時計まわりの循環流との相互作用により、河口砂州が発達している（図-18）。2005年7月以降河口砂州の発達が小さくなっている要因としては、「くの字」状の堆積後、卓越する冬季波浪により輸送された土砂が波浪の卓越方向と直角に堆積し、この堆積が天然の潜堤効果を発揮して、岸側への伝播波を減衰させ土砂の輸送を抑えるためと考えられる。

向にも河口砂州が発達し、右岸から左岸方向に約50 m 延伸したが、2004年8月には約50mの後退、9月にも約50 m後退し、その後は、比較的安定している。また、横断変化は $y=350$ mから $y=500$ mで大きく滞筋部は比較的安

図-17 地形差分図 (2007年3月～2007年9月)

図-18 地形差分図 (2007年9月～2008年1月)

(6) 海砂利採取による影響

図-1に示す観測範囲から北に約1 km離れた海域に、海砂利採取許可区域が設定され、1978年10月から2005年3月までに累計29,600,000 m³の許可量で採取が行われている。観測領域内の全体土砂量の経年変化を調べ、土砂収支と海砂利採取量との関連を調べた(図-19)。

観測領域内では、2005年3月の海砂利採取終了以降、土砂量はほぼ同一で推移していることから、海砂利採取は河口テラスの土砂収支と関連があるのではないかと考える。

4. 結論

本研究による主要な結論は以下の通りである。

- (1) 潮流と河川流の相互作用で、河口砂州前面では砂州の成長する方向に向いて時計回りの沿岸流が卓越している。

図-19 河口全体土量変化 (沖合1km)

- (2) 河川は、下げ潮時は滞筋を中心に流下し、上げ潮時は河口砂州発達側の右岸寄りの遡上流れとなっている。
- (3) 出水による河口砂州のフラッシュで、河口テラス上には同心円状に土砂が堆積し、冬季のNE～WSWの卓越波向に直交するように「くの字」地形に変形している。
- (4) 河口テラス上に堆積した土砂が、冬季波浪により河口砂州へ土砂を供給している。
- (5) 河口テラス上に形成されたバー地形の潜堤効果により、河口砂州の成長速度が抑制されることがわかった。
- (6) 海砂利採取が禁止されて行われなくなってからの河口土砂量の経年変化はほぼ同一で推移していることから、土砂収支に海砂利採取の影響が関わっていることが推測される。

謝辞：本研究は、科学研究費(基盤研究(B) No.17360230, 代表者：真野 明)の補助を受けて行ったことを記し、謝意を表します。

参考文献

- 伊福 誠・三好栄一(1995)：出水による肱川河口砂州周辺の流れと地形変化，海岸工学論文集，第42巻，pp.601-605。
- 伊福 誠，三好栄一(1996)：出水に伴う肱川河口砂州の崩壊とその後の回復過程，海岸工学論文集，第43巻，pp.616-620。
- 川西 澄・鳥居義仁(2002)：高解像度ドップラー流速分布計による感潮河川における乱流境界層の観測，水工学論文集，第46巻，pp.815-820。
- 佐藤慶太・二瓶泰雄・木水 啓・飯田祐介(2004)：洪水流観測への高解像度超音波ドップラー流速分布計の適用～江戸川を例にして～，水工学論文集，第48巻，pp.763-768。
- 中田正人・伊福 誠・塩見政博(2007)：ADPのボトムトラック機能を用いた砂州周辺の流れと地形計測，水工学論文集，第51巻，pp. 1069-1074。