

# 菊池川河口域における藩政時代の石積水制が 流れおよび土砂動態に与える影響

EFFECTS ON TIDAL CURRENTS AND SEDIMENT TRANSPORT IN ESTUARY OF  
THE KIKUCHI RIVER BY SPUR DIKES CONSTRUCTED IN EDO PERIOD

大本照憲<sup>1</sup>・平川隆一<sup>2</sup>・澤田誠一<sup>3</sup>・長岡一成<sup>4</sup>・森下和志<sup>5</sup>・山崎祥吾<sup>6</sup>  
Terunori OHMOTO, Ryuichi HIRAKAWA, Seichi SAWADA, Kazunari NAGAOKA,  
Kazushi MORISHITA and Shogo YAMASAKI

<sup>1</sup>正会員 工博 熊本大学教授 工学部社会環境工学科 (〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 佐賀大学助教 理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

<sup>3</sup>正会員 熊本県土木部管理課 (〒862-0912 熊本県熊本市水前寺6丁目18-1)

<sup>4</sup>調査課長 国土交通省 九州地方整備局菊池川河川事務所 (〒861-0501 熊本県山鹿市山鹿178番地)

<sup>5</sup>正会員 いであ株式会社 九州支店環境技術グループ (〒812-0055 福岡県福岡市東区東浜1丁目5-12)

<sup>6</sup>学生会員 熊本大学 大学院自然科学研究科前期博士課程 (〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1)

In the Kikuchi River, which is situated in the northern part of Kumamoto prefecture, sediment deposition in the estuary has become a serious social problem in recent years. Therefore, Ministry of Land, Infrastructure and Transport has developed the renaturalization project of sand beach, which is located downstream of spur dike constructed in Edo period in estuaries of Kikuchi river. In this study, in order to grasp effects of spur dike on tidal currents and sediment transport, the flow velocity was measured over the beach nourishment by Stream-pro Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) in the period of spring tide. The results showed that spur dike generated strong horizontal circulation currents and accelerated sediment deposition over the beach nourishment.

**Key Words :** *The Kikuchi river, Spur dike, Tidal currents, Sediment transport, River estuary, Stream-pro ADCP, Field measurement*

## 1. はじめに

近年、菊池川の河口・沿岸域では上流から運ばれる家庭雑排水、畜産・水田等農業廃水に含まれる栄養塩が微細土砂に付着し、凝集・沈殿、堆積、流動するために水質に加えて底質も汚染されやすい環境となっている。さらに、治水安全度を高めるためにほぼ1960年代から1980年代の約30年余りの間に実施された河砂利採取および河道改修によって河道全般に亘って河床が著しく低下した。特に、河川感潮域においては消失した砂州も多く、この間に平均河床高は約2m低下したことから、有明海特有の強い潮流が菊池川に流入し易い環境が整い、沿岸域の微細土砂で富栄養化した底質（ガタ土）が河川感潮域の河岸に堆積していることが目視される。

このため、河口域では砂質性の河床が粘土やシルトで構成されたガタ土に覆われ、ヤマトシジミやテナガエビの漁獲量が激減するなど、生物の生育・生息環境が著しく劣化したことが懸念されている。また、河口より2.4km上流左岸には藩政時代に建設されたことが予想される石積水制（安政2年に井上英

右衛門作成の菊池川古絵図に長さ19間と記載）下流の大浜地先には嘗ては砂浜、松林があったことから地元住民から砂浜再生、ヤマトシジミの減少対策、松原公園の復元の要望が高まっている。このような背景の基に国土交通省菊池川河川事務所では平成18年度から22年度までの5ヶ年間の計画で菊池川下流域自然再生事業が実施されている。

河川の感潮域に関するこれまでの研究<sup>1), 2), 3)</sup>では、対象河口の干満差は1m程度であり、有明海に注ぎ込む河川に比べると小さい。有明海環境異変に伴って干満差の大きい筑後川、六角川、白川<sup>4), 5)</sup>および菊池川<sup>6)</sup>におけるガタ土動態への関心は高まっているものの、水際近傍における砂河床へのガタ土の堆積状況については不明な点が多い。

著者等は、菊池川河口域の河川環境において重要な要素となる平水時におけるガタ土の輸送過程解明の第一歩として、底質が最も活発に移動する大潮時の上げ潮および下げ潮における流れ場の詳細な時空間構造を明らかにするためにWorkhorse ADCPを、浮遊物質濃度の経時変化特性に対して自動採水器を、塩分濃度と水温の観測にSTDを用い、菊池川河口域

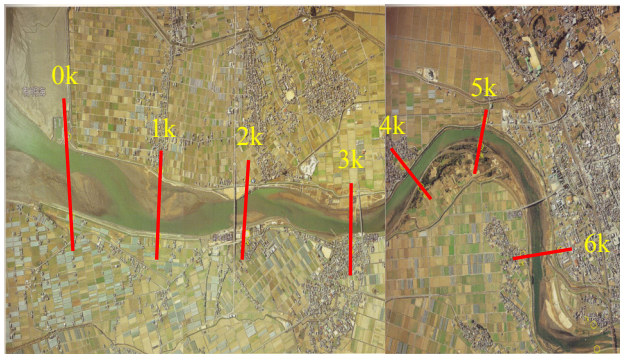


図-1 菊池川の航空写真（約6kmまで）

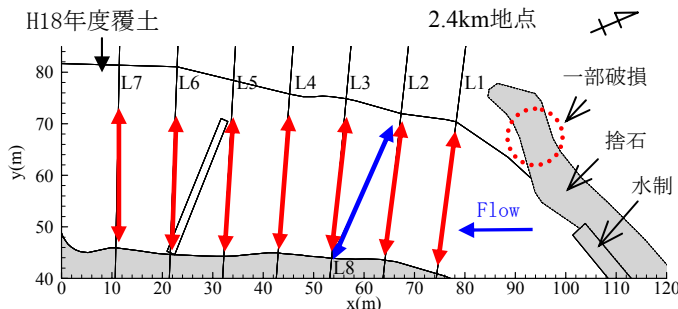


図-2 覆土上における流れの計測位置

の平水時における流れおよび土砂輸送特性について検討を行った<sup>6)</sup>。

本研究では、菊池川河口域におけるガタ土の堆積状況を明らかにするために2つの周波数38KHzと200KHzを有する超音波測深器を用いてガタ土堆積厚の把握を試みた。次に、河口より1.8km～2.4km区間の湾曲部外岸に位置する左岸水際部では2006年度に養浜事業が実施された砂質性の覆土上の流れおよび土砂動態に与える藩政時代の石積水制の影響を検討した。なお、覆土上の流れの計測には水深が20cm以上であれば計測可能なRDI社製のStream Pro-ADCPを用いた。

## 2. 現地観測

### (1) ガタ土の堆積傾向

菊池川河口域における広域的なガタ土の堆積状況の調査は、2005年12月18日と2006年1月4日の満潮時に実施した。ガタ土堆積厚さは図-1に示す通り河口0kmから約6km上流までの区間を対象とした。流下方向変化の計測位置は左右岸の水際近傍に取り、横断方向変化に対する計測位置は、河口0kmから6km上流の区間で約1km間隔を目安に計7計測線を設定した。使用した超音波測深器は、Kongsberg Maritime社製EA400SPおよび38/200 Combi D transducerである。周波数38kHzと200kHzを有する超音波測深器は、底質層の透過および反射特性を利用して河床高さと同時にガタ土厚さも計測可能である<sup>7)</sup>。超音波測深器のセンサーとGPSは、作業船に設置したサポートに取り付け、満潮時に計測線に沿って曳航した。なお、使用した船舶は吃水を約1m以

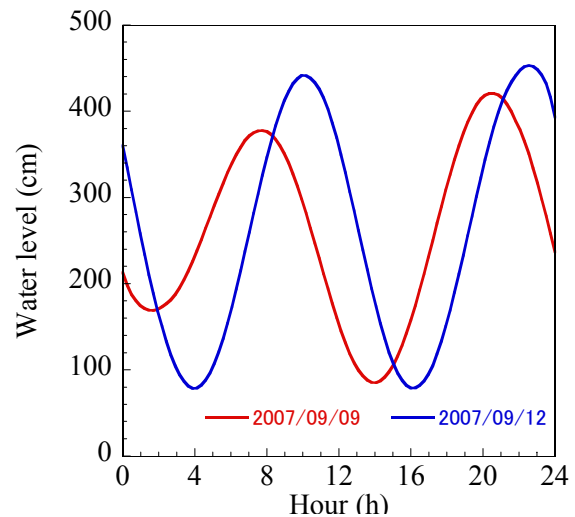


図-3 観測実施日の水位波形

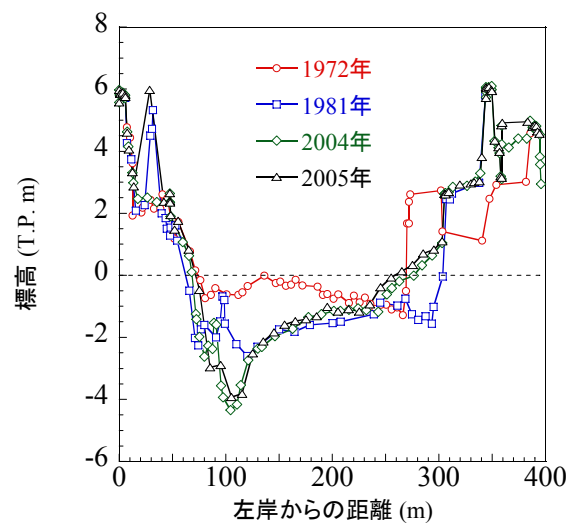


図-4 河口より2.4kmの横断面での河床変動の経年変化

上必要とすることから、厳密な意味での水際部におけるガタ土堆積の計測は困難であった。

また、河口より上流1.8km～2.4km区間の左岸は、藩政時代に建設された石積水制直下流域に当たり2007年3月に養浜事業が実施されたが潟土の堆積が顕著であった。作業船の進入が困難であったことから、左岸水際部における覆土上のガタ土の堆積厚は、採泥器を用いて6ヶ月経過後に計測した。

### (2) 藩政時代に建設された石積水制直下流の流れ

研究対象地は河口から2.4km付近の石積水制がある左岸に設定した。計測線は図-2に示すように水制から下流方向へL1～L7までの10m間隔、横断方向には水際から河道中央に向けて25mの長さに設定した。また、木杭水制の影響を調べるため、上流側木杭水制設置箇所に側線を1線設け、L8とし、計8側線設定した。木杭水制は、養浜面からの高さ50cm、根入れ深さ約2.5m、上向水制で河岸から反時計周りの角度70°であり、各木杭の直径15cm、木杭中心間隔1.5mで千鳥上に2列に配置されている。水制の長さは

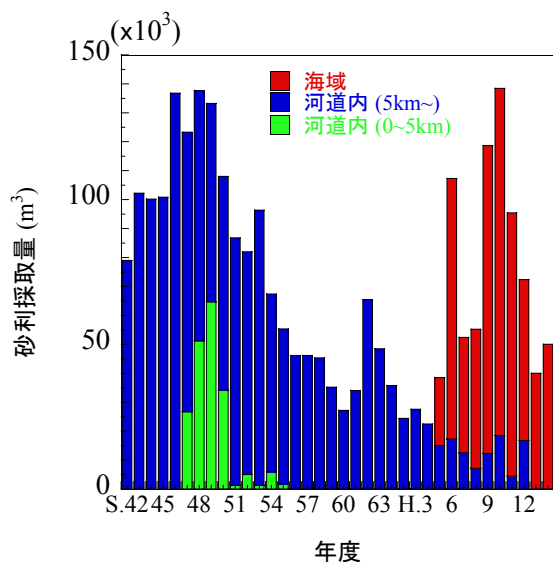


図-5 砂利採取の経年変化

上流側で26.3m，下流側で28.5mである。

流れの計測は，米国RD Instruments社製Stream-Pro ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler：超音波流速分布計)を使用した．Stream-Pro ADCPは，Workhorse ADCPでは不可能な1m以下の水深でも計測可能であり，小型・軽量かつ移動性に優れており，ワイヤレス通信で流れをリアルタイムで計測表示しながら流速の三成分を取得出来る。

この区間を研究対象地とした理由は，2007年3月に養浜事業が実施され，その後水際部にガタ土の堆積が著しく，藩政時代の下向き石積み水制の影響が不明であったためである．また，この区間は自然再生事業の対象地となっている．流れの観測実施日は，2007年の9月9日(中潮)，13日(大潮)であり，図-3はその日の水位波形を示す。

### 3. 河口域におけるガタ土の堆積

石積み水制がある河口から2.4km上流地点における河床横断面図の経年変化を図-4に示す．昭和47年から昭和56年にかけて河床低下が大きく進み滞筋部では4m近くまで低下しており，特に下流域においては平均河床で約2mの低下が見られた。

菊池川流域における河川環境の変化として最も深刻な課題は，汽水域の河床低下に伴う砂浜の減退，ヤマトシジミの激減，ガタ土の堆積である．砂利採取量の経年変化を図-5に示す．河道内で砂利採取が活発に行われていた期間と河床低下期間は概ね一致しており，砂利採取が河床低下の大きな要因となっていたことが示唆される．なお，平成以降は砂利採取が大幅に減少しており，平成13年以降においては河川内の砂利採取は行われていない。

但し，海砂の採取は平成5年以降，現在においても実施されている．海砂は，菊池川河口の沿岸域に発達した干潟から採取されたものである。

#### (1) 両岸におけるガタ土堆積厚さの流下方向変化

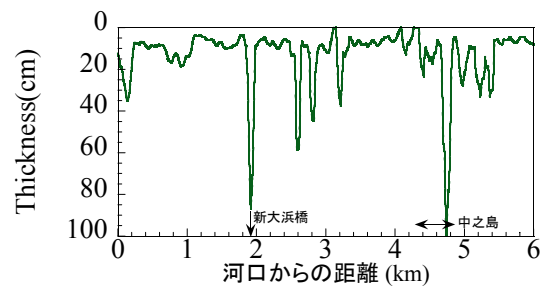


図-6 菊池川河口域の渦土堆積厚（左岸）

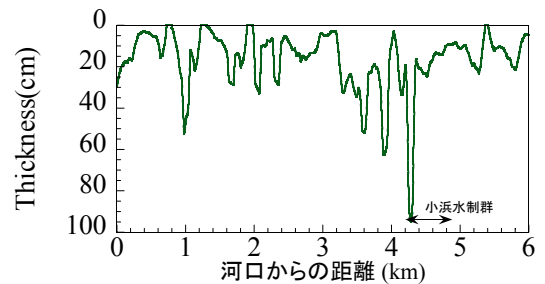


図-7 菊池川河口域の渦土堆積厚（右岸）

河床面は，超音波周波数200kHzから同定できることから，ガタ土の堆積厚さは超音波測深器38kHzの反射深度から200kHz反射深度の値を差し引いた値から得られる．このとき，超音波測深器の空間分解能は1cmであり，ジオスライサーの計測結果を比較したところ，水際近傍での渦土堆積厚は両者で，ほぼ一致していた．また，計測データから異常値を削除し，移動平均(10s)を図化した．また流下方向のx軸は河口からの距離を表している．左岸におけるガタ土堆積厚さと河口からの流下距離との関係を図-6に示す．左岸部においてはガタ土堆積厚は，河口砂州付近で約40cm，新大浜橋直下流の2km手前，および小浜水制群の対岸に当たり，中之島水際部に当たる4km～5.5km付近で約80～100cmで相対的に大きな値を示す．河口から2km上流地点は，河道幅が急縮するところで上げ潮時には加速流となる所ではあるが，右岸側が主流部で，左岸側は湾曲部内岸側に当たる．河口より上流4km～5.5km付近地点は写真-1からも分かるように川が大きく湾曲し，中之島水際部には竹林が繁茂している箇所である．このため，流軸の曲がりにより生じた遠心力2次流や植生による流速低減効果がガタ土を左岸側に堆積させたものと考えられる。

右岸におけるガタ土堆積厚さの流下方向変化を図-7に示す．右岸近傍においては，河口より約1km上流においてガタ土堆積厚さが約55cmの値を取ることが分かる．この箇所は，固定砂州が形成している所であり，滞筋が左岸側に大きく湾曲していることから，流軸の曲がりにより生じた遠心力2次流がガタ土を右岸側に堆積させたことが読み取れる．また3.2km～4.5km地点右岸も相対的にガタ土堆積が顕著である．ここも流軸の曲がりにより堆積厚が大きい．4km過ぎには，小浜水制群がある．そのため，水制間にガタ土が堆積したものと考えられる．以上の結果からガタ土の堆積は流軸の曲がりによって発生す

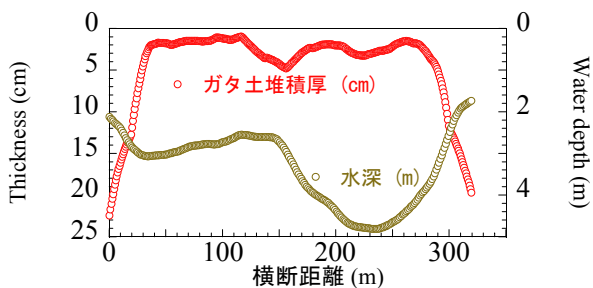


図-8 渦土堆積厚の横断方向変化 (河口から1.8km)

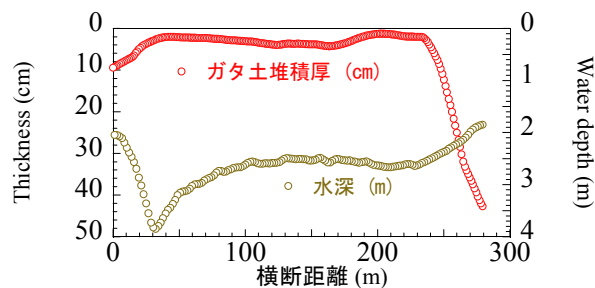


図-9 渦土堆積厚の横断方向変化 (河口から2.6km)

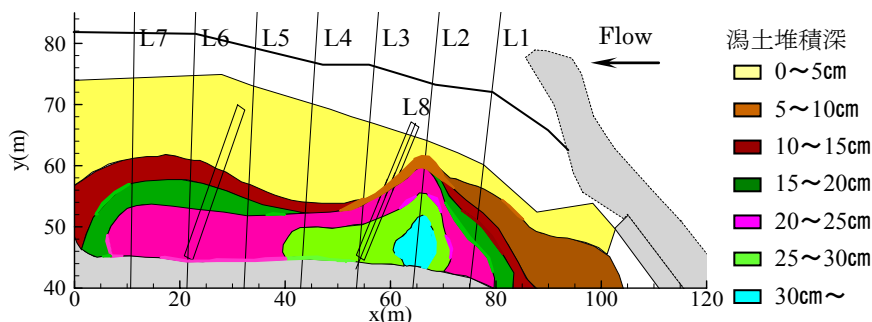


図-10 覆土上における渦土堆積厚

る遠心力2次流の影響を大きく影響を受け、砂州、水制間や河道幅などの境界が大きく変化する箇所であり、極大値は約100cm程度であることが認められた。

## (2) ガタ土堆積厚さの横断方向変化

ガタ土堆積厚さの横断方向変化を図-8および図-9に示す。図中の赤丸がガタ土堆積厚であり、茶色の丸が超音波周波数200kHzのデータから得られた河床高である。

まず河口より1.8km上流についてはガタ土厚さの流下方向から両岸でガタ土が堆積している場所である。図-8に示されているとおりこの横断方向には両岸で約25cm程度のガタ土が堆積しており、河道中央部には顕著なガタ土堆積は見られない。

次に河口より2.6km上流においては図-9に示すように左岸側に比べて右岸側でガタ土の堆積が大きい。この場所は、図-1からも明らかな様に河道が湾曲し、右岸には遠心力2次流によって固定砂洲が発生している場所でもあり、内岸側にはガタ土が堆積しやすいことが認められる。また、河道中央部ではほとんどガタ土の堆積は見られず、流速の遅い河岸付近、特に右岸側に堆積しやすい傾向のあることが分かった。

## 4. 石積み水制が流れとガタ土堆積に与える影響

### (1) 養浜場におけるガタ土堆積

図-10は、石積み水制の直下流域における養浜上のガタ土堆積分布を示したものである。河口より1.8km～2.4km区間の左岸水際部において2007年3月

に養浜事業（以降平成18年度覆土と呼ぶ）が実施され、砂質性の覆土上には約6ヶ月経過後にほぼ全域に亘ってガタ土が堆積した。図より、ガタ土堆積厚は水際に大きく、流心方向に漸減する傾向を示した。また、 $x=20\text{m}$ および $50\text{m}$ においては、覆土上に透過型の木杭上向き水制が設置されており、 $x=60\text{m}$ における木杭水制根付上流側ではガタ土の堆積厚さは極大値を示し、約40cm程度であった。

### (2) 養浜場における平面流況

ADCPによる横断面流況の計測結果をもとに中潮および大潮における最強流の上げ潮時と下げ潮時の水深で平均化した流速ベクトルを図-11～14に示す。下げ潮時の流速は、上げ潮に比べて遅かったため、傾向を分かりやすくするためにベクトルの大きさを2倍にしている。また、図中には2007年7月出水で石積み水制の前面にあった捨石の一部が欠損した箇所を示している。

図-11より、上げ潮極大流速は、中潮の計測線L1～L7では約30cm/s前後となっているが、計測線L8(上向き木杭水制)では、18cm/sと遅くなっている。また、図-12より大潮では、上げ潮極大流速は計測線L1～L7で約35cm/sとなっており、計測線L8(上流側木杭水制)では、27cm/sとなっている。このことから上向きの木杭水制によって流速が低減されていることが分かる。また、上げ潮では、中潮、大潮ともに、全ての計測線において水際部で流速が遅く、流心部に近づくにつれ流速が速くなり、上流方向へ安定した流れになっている。

図-13より、中潮では下げ潮時における各計測線上の極大流速は上げ潮時と同様に水際から離れた位置で発生し、向きは全般的に下流方向でその大きさ

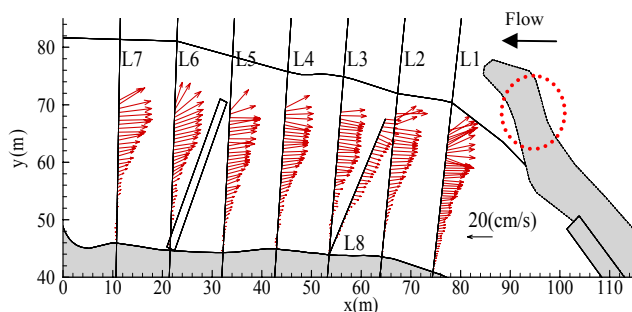


図-11 中潮の平面流速ベクトル(上げ潮)

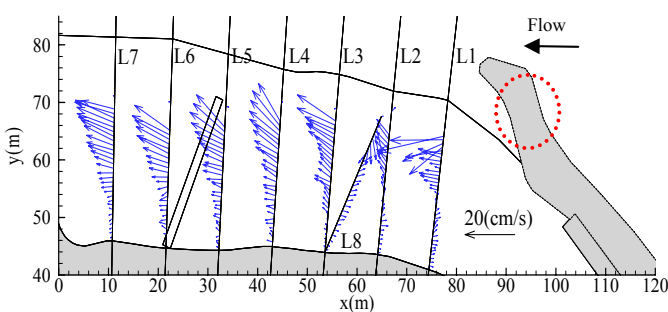


図-13 中潮の平面流速ベクトル(下げ潮)

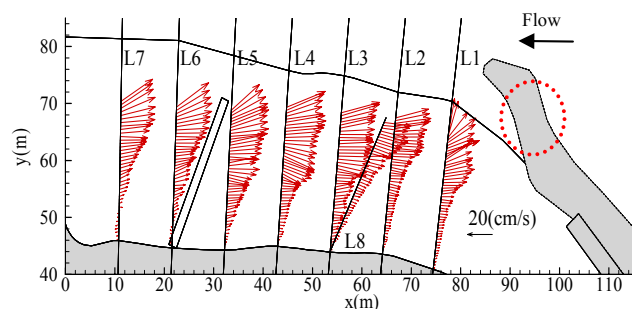


図-12 大潮の平面流速ベクトル(上げ潮)

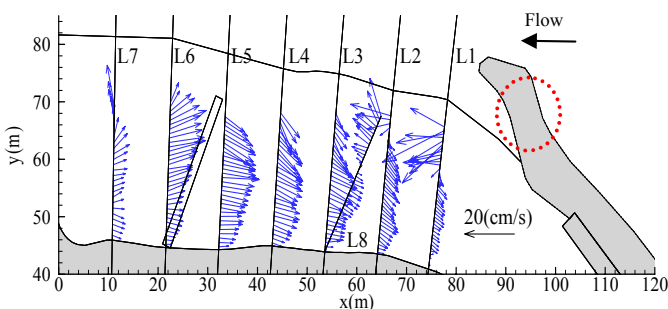


図-14 大潮の平面流速ベクトル(下げ潮)

は計測線L1で27cm/sで、計測線L2で10cm/s、計測線L3～L7で約20cm/s前後となっており、計測線L8で11cm/sとなっている。また、計測線L1、L2およびL8では水際から15m以内では微小ではあるが上流向きの流れが生じていることが認められる。

一方、図-14より大潮においては下げ潮時にも関わらず全般的に上流向きの流れを取りその極大値は約18cm/sであり、中潮の下げ潮時とは大きく異なることがわかる。なお、捨石欠損部の直下流では、局所的に極大流速がL1で35cm/s、L2で20cm/s、L8で18cm/sで下流向きの流れとなっていることが認められる。大潮の下げ潮では全体的に逆流が生じているのに対して、計測線L1、L2およびL8ではy=60m～70mで下流向きの大きな流速を示したのは、2007年の7月出水で捨石が流出された部分から短絡流が発生したことによるものである。

また、下げ潮時に石積み水制の直下流域において上流方向の流れが生じたのは、藩政時代の下向き石積み水制と捨石の影響を受けて水平循環流が形成され、このために、平成18年度覆土上にはガタ土が堆積したことが分かる。

### (3) 養浜場における横断面内の流れ

計測線L1およびL5の横断面流況を、各々、図-15および16に示す。符号は、上流向きを正としている。主流速は全般的に上げ潮時では鉛直方向に一様化し、横断方向には水際から離れるに従って大きくなる傾向にある。

一方、下げ潮時においては、相対的に鉛直方向の流速変化は大きい。また、水深平均流速でも見られた様に、下げ潮時においては覆土上では上げ潮時の上向きの流れに近い値を示し、ガタ土の堆積要因になっていることが明瞭に認められる。

著者ら<sup>9)</sup>は平成15年11月9日・10日の大潮時における定点観測から、滞筋部では浮遊物質濃度が上げ潮最強流時の前後1時間において大きな値を示し、最強流時においてSSは極大値200mg/lと350mg/lにまで達し、それ以外の時刻では概ね50mg/l以下であることを見出した。

ガタ土を含む浮遊物質は上げ潮最強流に載って遡上し、その濃度は下げ潮時には相対的に低い。更に石積み水制の直下流域に当たる覆土上では、下げ潮にも関わらず大潮時には上流向きの流れを取ることから、上げ潮時に堆積したガタ土は平成18年度覆土上から流出されず、堆積傾向にある。

藩政時代の石積み水制は、出水時には流速低減および水はね効果により水制下流域における土砂流出防止効果があるものの、平水時の潮流に対しては下げ潮時に水際部で上流向きの流れとなる安定した水平循環流を形成させ、ガタ土の堆積を促進することが明らかにされた。

## 5. まとめ

本研究では、菊池川河口域の水環境において重要な要素となるガタ土の堆積状況を明らかにするために2つの周波数38KHzと200KHzを有する超音波測深器を用いてガタ土堆積厚の把握を試みた。また、河口より1.8km～2.4km区間の湾曲部外岸に位置する左岸水際部では平成18年度に養浜事業が実施された砂質性の覆土上の流れおよび土砂動態に与える藩政時代の石積み水制の影響を検討した。

ガタ土の堆積は、河口0Kmから6Kmの区間を流下方向に計測した水際部では湾曲部内岸側、砂州形成部および河道拡幅部で大きく最大で150cm程度であり、代表的断面における横断方向の計測から水際部で約50cm、河道中央部においてはガタ土の堆積はゼロに近いことが認められた。

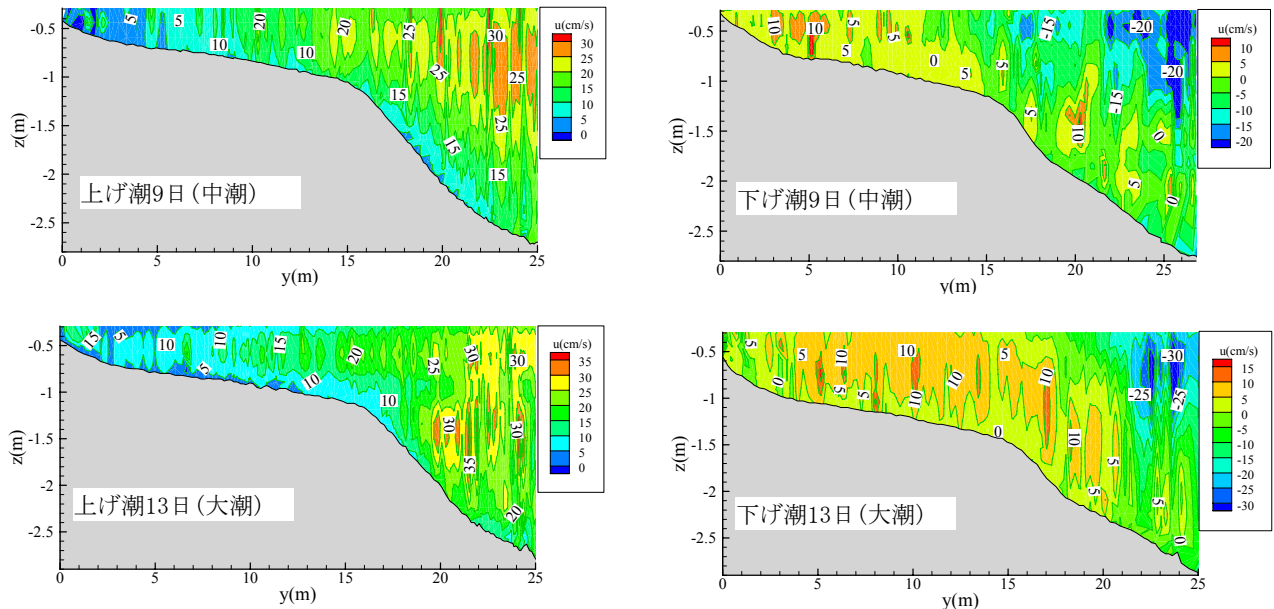


図-15 主流速の等値線 (L1)

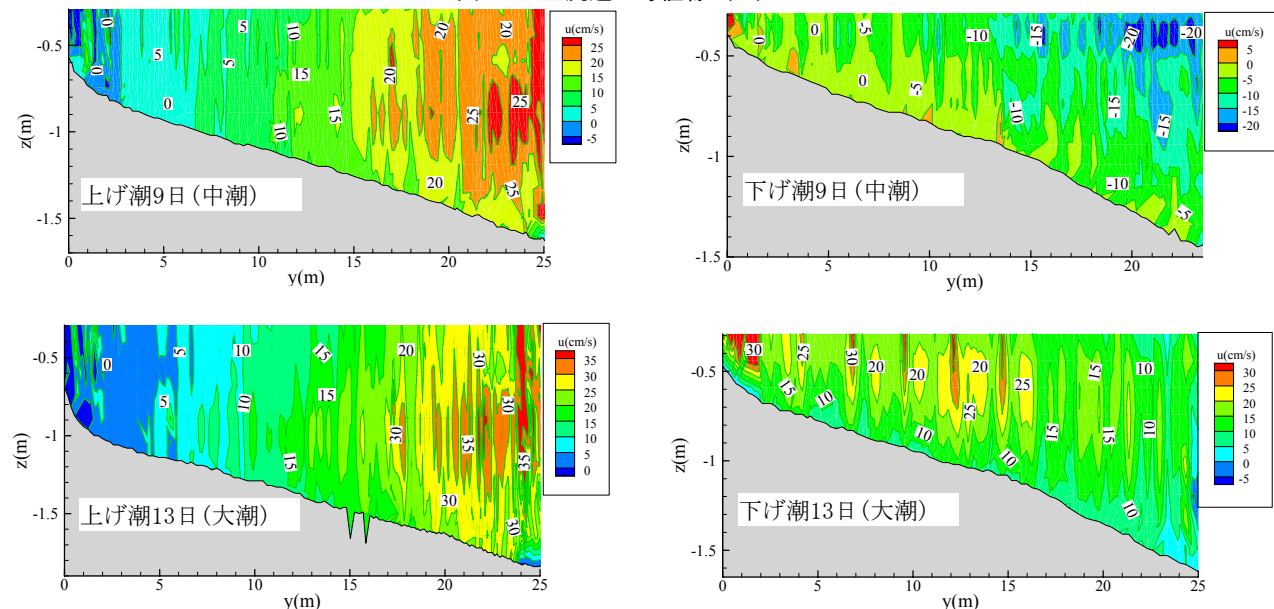


図-16 主流速の等値線 (L5)

さらに、藩政時代の石積水制の下流域に当たる河口より1.8km～2.4km区間の左岸水際部において平成18年度に養浜事業が実施された砂質性の覆土上には、約6ヶ月経過後にほぼ全域に亘ってガタ土が堆積し、その大きさは水際近傍で最も大きく、流心方向に漸減する傾向を示した。覆土上では、上げ潮に加えて下げ潮時においても大潮時には上流向きの流れであることが明らかにされた。即ち、藩政時代の石積水制は、出水時には流速低減および水はね効果により土砂流出防止効果があると同時に、平水時の潮流に対しては下げ潮時に水際部で上流向きの流れとなる安定した水平循環流を形成させ、ガタ土の堆積を促進する機能も有することが明らかにされた。

#### 参考文献

- 1) 川西澄, 胡桃田哲也, Mahdi RAZAZ, 水野雅光, 福岡捷二: 太田川放水路における塩水遡上と懸濁粒子の輸送特性, 水工学論文集, 第52巻, pp.1321-1326, 2008.

- 2) 安達貴浩, 衛門久明, 橋本彰博, 高橋大吉: 那珂川河口域における塩水侵入の現地観測ならびに数値シミュレーション, 河川技術論文集, 第8巻, pp.489-494, 2002.
- 3) 鈴木伴征, 石川忠晴, 横山勝英: 河川感潮域におけるエスチュアリー循環の現地計測と数値計算, 河川技術論文集, 第9巻, pp.259-264, 2003.
- 4) (財)河川環境管理財団: 河川整備基金自主研究事業 河川汽水域の水環境と生物環境に関する研究, 2006.
- 5) 横山勝英, 宮崎晃一, 河野史郎: 筑後川感潮河道と有明海奥部における高濁度水塊の広域移動に関する現地観測, 水工学論文集, 第52巻, pp. 1339-1344, 2008.
- 6) 大本照憲, 平川隆一: 菊池川河口域における流れと物質輸送について, 河川技術論文集, 第11巻, pp.489-494, 2005.
- 7) 五十嵐学, 佐々木淳: 東京湾奥部における浮泥堆積層厚の空間分布特性, 海工論文集, 第51巻, pp.981-985, 2004.

(2008. 9. 30受付)