

筑後川感潮河道における地形・底質の季節変動に関する研究

横山勝英¹・山本浩一²・一寸木朋也³

河川感潮域における 1 年間の地形・底質変動特性を明らかにすることを目的として、筑後川の感潮河道を対象にして月ごとに横断測量と底質採取を行い、洪水による河床の地形・底質の変動状況と復元過程について調べた。その結果、河床には含水比が 300 % に達する軟泥が堆積しているが、洪水によってこれらはフラッシュされ河床に古い時代の底質が出現した。平均年最大流量において低水路の断面積は約 10 % 増大した。平水期には高濁度水塊により下流域から浮泥が輸送されており、約 1 ヶ月という短期間で河床面が 50 ~ 100 % 復元した。

1. はじめに

河川感潮域は生態系にとって重要な場であるが、洪水疎通能力を維持・増大させるために河床の掘削が計画されることがある。一般に河川では、洪水時には河床が洗掘されて断面積が増大する可能性がある。しかし、感潮河道には砂と泥が混在し、それらの力学的特性は異なることから河床変動特性はよくわかっていない。また、カニなどの生物にとっては水際の緩斜面が重要であると言われており、底質の横断分布特性を明らかにする必要がある。

横山ら (2005) は筑後川の感潮河道において洪水期の前後に横断測量を実施し、洪水によって河床が低下している可能性を示した。また、宇野ら (2002) は白川において、川西ら (2006) は太田川放水路において平水期に高濁度水塊が発生し、SS が内陸側に輸送されることを示した。これらの知見から、感潮河道の地形と底質は洪水と潮汐の作用により 1 年の間にダイナミックに変動すると予想されるが、変動過程を連続的に明らかにした研究は見あたらない。

そこで本研究では筑後川の感潮河道を対象にして、月ごとに横断測量と詳細な底質採取を行い、洪水による河床の地形・底質の変動状況と復元過程について調べた。

2. 研究方法

図-1 に筑後川感潮河道の平面図を、図-2 に既往の資料 (国土交通省筑後川河川事務所) から整理した河床縦断面図と底質分布図を示す。河口水位の朔望平均満潮位 (2002 年) は T.P.2.55 m であり、干潮位は -2.26 m であり、水位変動が約 5 m になる。河口から 23 km に筑後大堰が設置されており、感潮区間は大堰までとなっている。筑後大堰は流量が $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を超える洪水時には全開となる。

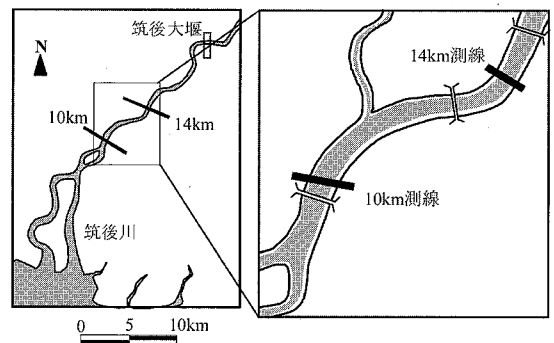


図-1 筑後川感潮河道の平面図

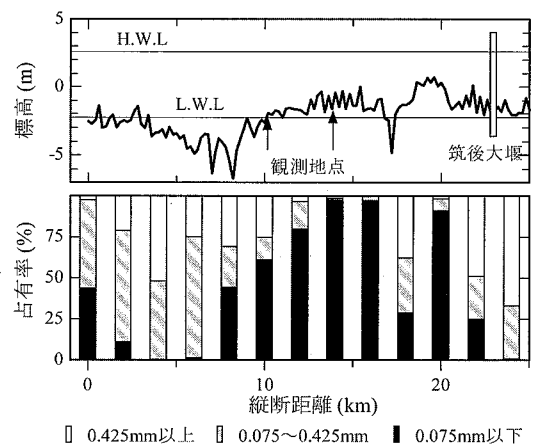


図-2 河床縦断面図と底質分布図

感潮区間の底質は河口付近と大堰直下で砂質分が主体であるが、河口から 8 ~ 20 km の区間ではシルト・粘土が卓越する。特に 14 ~ 16 km にかけては含泥率 (0.075 mm 以下の割合) が 95 % を超え、完全に泥化している。横山ら (2005) は 8 ~ 16 km の区間において洪水期を経ると河床が 1 m 程度低下することを示しているため、河床変動が大きいと予想される 10 km と 14 km 地点に観測測線を設定した。

各測線において 2005 年 5 月から 12 月まで 1 ヶ月ごと

1 正会員 博(工) 首都大学東京 都市基盤環境コース
2 正会員 博(工) 佐賀大学 有明海総合研究プロジェクト
3 学生会員 首都大学東京 都市基盤環境工学専攻

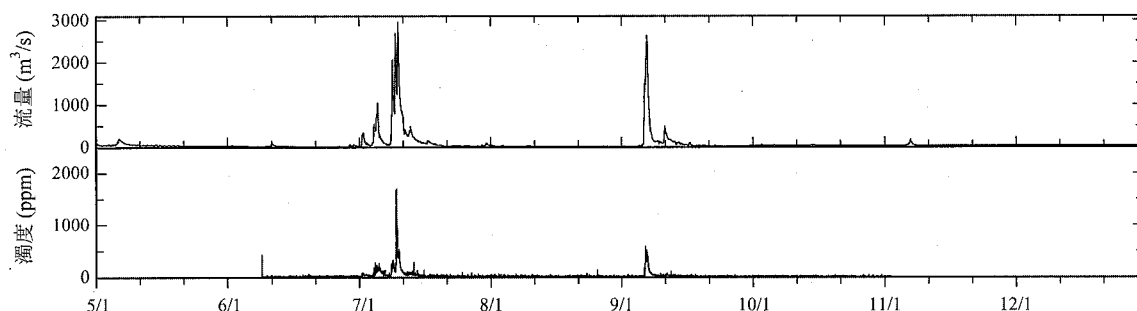


図-3 河川流量 (37 km) と濁度 (24 km) の時系列

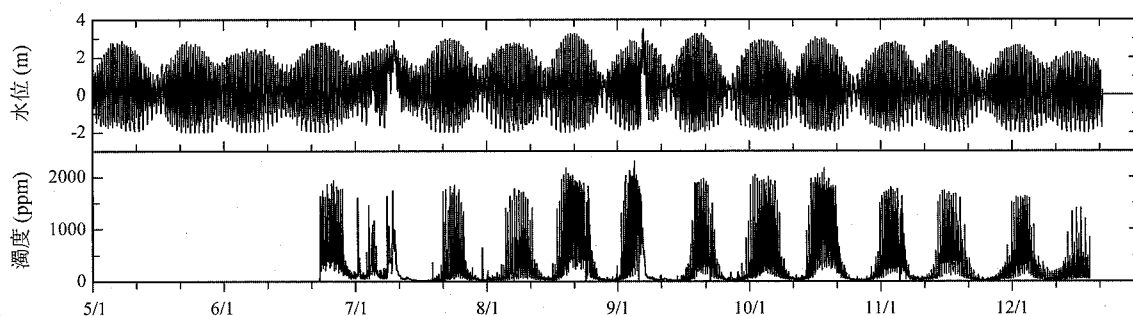


図-4 感潮河道 (14.6 km) の水位と濁度の時系列

に河床の横断測量と底質採取を行った。測量は放電紙式の音響測深機と D-GPS により行った。測深の基準となる水面標高には 14.6 km 地点の時間水位データ (水資源機構) を用いたが、1 時間あたりの水面変動が大きいため、別途小型水位ロガー (HOBO 製 U-20) を河岸に設置して 20 秒ごとの相対水位を計測し、両者を組み合わせることで測量時間帯の水面標高 (T.P.m) を作成した。

底質採取は各測線の 12 地点で実施した。通常は左岸、中央、右岸の 3 地点で行われるが、横断分布の特徴を把握するために、10 km 測線では低水路幅 330 m に対して 30 m 間隔で、14 km 測線では幅 250 m に対して 22.5 m 間隔で採取した。調査では採取地点を緯度経度座標で設定した。エクマンバージ採泥器もしくはスミス・マッキンタイヤ採泥器により底質を採取し、容器中の表層水を取り除いてからポリ容器に保存し、含水比、土粒子密度、強熱減量、粒度分布を測定した。

また、水中懸濁土砂の移動状況を把握するために、河川の 24 km 地点と感潮河道の 14.6 km 地点に濁度計 (アレック電子製 Compact-CLW) を設置し、10 分間隔で連続計測した。設置期間は 24 km 地点が 6 月 9 日から 11 月 2 日まで、14.6 km 地点が 6 月 23 日から 12 月 22 日までである。表示値はカオリン相当濃度であるが、SS の採水分析によるキャリブレーションは行われていない。

3. 調査結果

(1) 河川流況

図-3 に観測期間の上流流量と濁度の時系列を示す。洪水イベントは 7 月 2 日～14 日、9 月 6 日～8 日、11 月 7 日に発生した。7 月の洪水は梅雨前線によるものであり、2 週間に 5 回の洪水が発生し、このうちピーク流量は 7 月 11 日の $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ である。9 月は台風により、11 月は局地的な豪雨により洪水が発生し、それぞれピーク流量は $2,600 \text{ m}^3/\text{s}$ と $180 \text{ m}^3/\text{s}$ である。筑後川の過去 50 年間における平均年最大時間流量は $2,700 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、7 月の洪水は平均を上回り、9 月の洪水は平均程度の規模であった。

濁度は平常時には概ね 20 ppm 以下であるが、洪水時には流量波形に対応するように上昇している。7 月洪水のピーク時には濁度は 1,700 ppm に達し、9 月洪水では 590 ppm、であった。

図-4 に感潮河道の水位と濁度を示す。水位は潮汐にしたがって半月周期で T.P.-2 m から T.P.+3 m の範囲で変動しているが、洪水時には干潮水位が上昇している。濁度も水位と同様に半月周期の変動が見られ、大潮では最大で 2,000 ppm に達し、小潮では 20 ppm 程度にまで落ち込み、変動幅が非常に大きい。感潮河道で潮汐にしたがって変動する濁度は高濁度水塊の移動によるもの

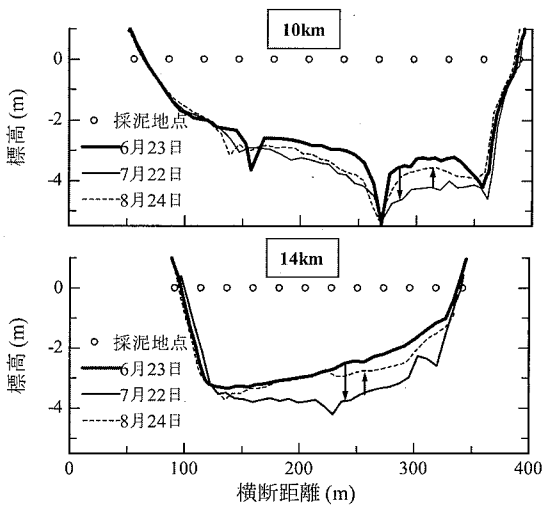


図-5 洪水前後の横断地形

と考えられる。筑後川感潮域では強混合状態で塩水が移動しており（横山ら，2005），強い流れの影響で高濁度水塊が活発に運動していると考えられる。

また，7月と9月の洪水時には潮位から予想される濁度よりも低い値を示している。一般に河川では洪水時に土砂が大量に輸送されるが，筑後川の感潮河道では平常時の濁度が非常に高く，平均年最大流量程度の洪水で発生する濁度を上回ることが分かった。図-4において洪水時に感潮河道で濁度が低下するのは，上流から土砂濃度の薄い淡水が流入することで，高濁度水塊を押し出しているものと推測される。

(2) 河床変動

10 km と 14 km の横断測量図を図-5 に示す。7 月洪水の前後比較として，洪水の 2 週間前（6 月 23 日），10 日後（7 月 22 日），6 週間後（8 月 24 日）を図示している。基本的な地形の特徴として，10 km は右岸が深く，左岸が緩傾斜になっており，14 km は逆に左岸が深くなっている。これは河川の蛇行の影響であり，図-1 によれば 10 km は右岸が湾曲の外岸側であり，14 km は左岸が外岸側に位置しているため，それぞれ外岸側が深く掘れていると考えられる。また，10 km には横断距離の 150 m 付近，270 m 付近，360 m 付近に滞筋のような洗掘箇所が見られる。この要因として，測線の下流側約 50 m の位置に立っている橋脚の影響が考えられる。

7 月 11 日の洪水から約 10 日を経た 7 月 22 日の断面形状は，10 km においては左岸の緩傾斜部分でほとんど変化が見られず，流心の平坦箇所でも 1 m 程度の侵食が見られ，水衝部となっている右岸斜面でも変化がない。14 km では左岸の水衝部から最深部にかけてはほとんど変化が見られず，中央から右岸にかけての緩斜面で最大

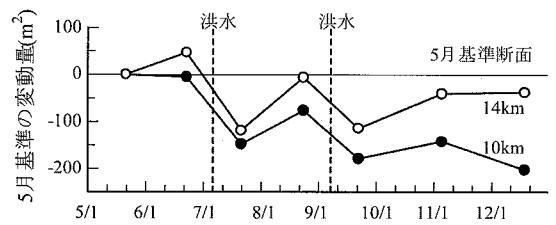


図-6 断面積変化量

1.5 m の侵食が発生している。このように，洪水の影響で河床が大きく侵食されることが分かったが，一般に侵食作用が卓越するとされる水衝部では変化が生じなかった。また 14 km では湾曲の内岸側が大きく侵食されたが，これに対して 10 km では中央部が侵食されるなど，地点ごとに様子が異なった。

洪水から約 6 週間を経た 8 月 24 日の横断面は，10 km では 0.5 m 程度堆積し，14 km では洪水前の形状にほぼ回復している。

図-6 に調査初回（5 月 22 日）の河床を基準とした断面積変化量を示す。洪水の前（6 月 23 日）までに 14 km では基準面からの増加が見られており，平水期にも堆積が生じていることが分かる。その後，7 月洪水を経て大幅に侵食が生じており，低水路断面積の 7 %（10 km）ないし 13 %（14 km）が侵食された。8 月 24 日までの 1 ヶ月間に河床面が上昇し，9 月 6 日の洪水を経ると再び侵食が生じ，低水路の 5 %（10 km）ないし 8 %（14 km）が侵食された。さらに 11 月 5 日までに緩やかな堆積が生じた。

このように洪水の規模が大きいほど侵食量も大きく，さらに川幅が狭い 14 km の方が侵食率が高い。さらに，洪水後には 1 ヶ月という短期間で河床が 20 %～100 % 復元しており，特に上流側の 14 km において回復が早い。

(3) 底質変化

図-7 に 7 月洪水前（6 月 23 日）の 10 km における底質分布図を示す。10 km では川幅全体に渡って 0.075 mm 以下のシルト粘土で構成されており，中央粒径 D50 は概ね 0.01 mm であり，非常に細かい。含水比は左岸において 200 % を下回っているが，それ以外の地点では 220～330 % となっており軟らかい泥状である。ただし臭気は無く，いわゆるヘドロとは異なる。土粒子密度は中央部で高く 2,600～2,690 kg/m³ の値を示し，左岸では 2520 kg/m³ と小さい。強熱減量は全体に高く 9～11.9 % の範囲であった。14 km でも分布状況はほぼ同様であるが，湾曲の向きが左右逆なので分布の特徴も 10 km の左右を逆にした様子であった。

図-8 に 10 km の含泥率（シルト粘土含有率）と含水

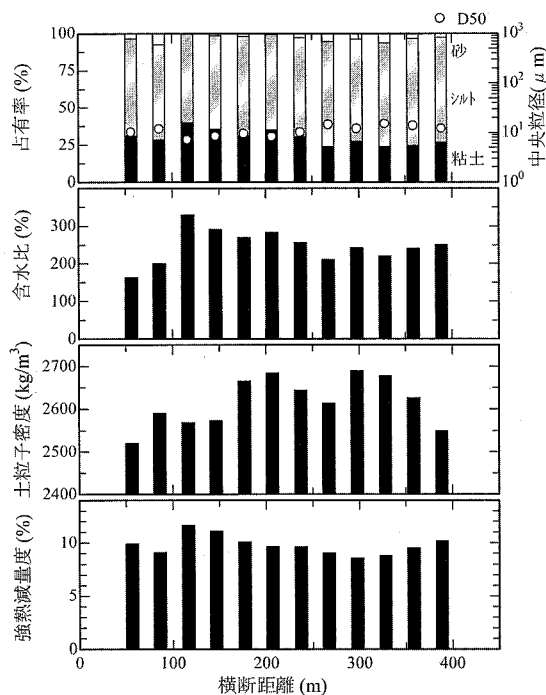


図-7 洪水前の底質分布図 (6月23日, 10 km)

比の時間変化を、図-9に14 kmに関する同様の図を示す。領域を河床変動が顕著であった流心部と変化がほとんど見られなかった岸際に分けて、各領域内の平均値を求めた。岸際の設定は図-4を参考にして14.6 km地点の平均干潮位 (T.P.-2 m) よりも上部の潮間帯とした。

10 kmにおいて流心の左右で傾向が全く異なり、左岸側では洪水後に含泥率が大きく低下して砂質に変化した。右岸側は含泥率が高いまま変化がなかった。左岸側の底質の変動傾向は河床変動 (図-5) と対応しており、河床が侵食を受けると砂質河床になり、堆積によって泥質に変化している。一方、岸際の含泥率は季節によらずほぼ一定で96%を示しており、含水比も180~230%の範囲で推移している。

14 kmでは含泥率は常に90%以上であり、泥質河床からの変化がないことが分かるが、含水比は洪水の後に低下している。すなわち河床変動 (図-5) との対応で見ると、洪水後に河床が侵食されると含水比が低下することから、古い締め固まった泥が出現していると推測される。7月洪水の前後で粒子密度と強熱減量を比較すると、流心部の平均値として洪水前は粒子密度が $2,680 \text{ kg/m}^3$ であったが洪水後には $2,720 \text{ kg/m}^3$ へと上昇し、強熱減量は9.9%から3.3%へと低下しているため、洪水後には分解の進んだ古い泥が現れたと考えることができる。また、岸際の場合は10 kmと類似しており、含水比は常に流心部よりも低い。

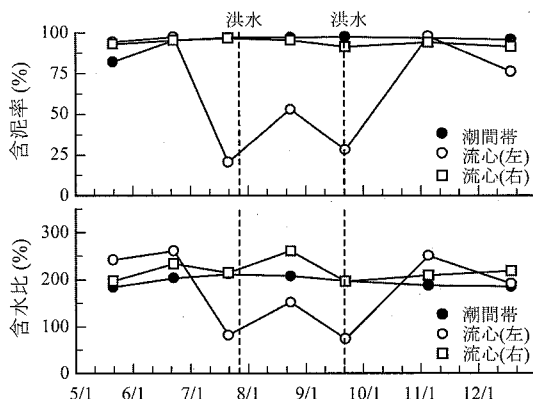


図-8 10 kmの含泥率と含水比の時間変化

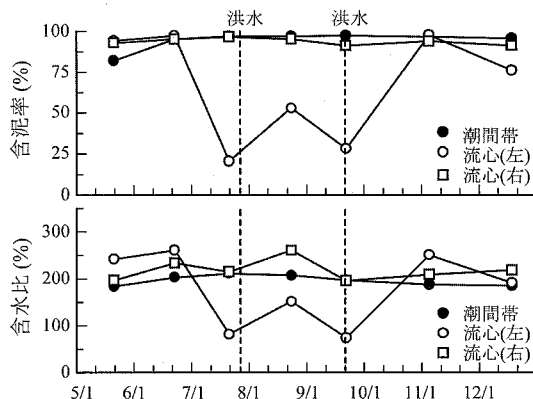


図-9 14 kmの含泥率と含水比の時間変化

4. 考 察

以上の観測結果を総合的に検討し、筑後川感潮河道の地形・底質特性に関する考察を進める。

(1) 河床の侵食特性

定期的な横断測量の結果から、洪水によって感潮区間の泥質河床が侵食作用を受けることが明らかになったが、その様子を詳しく見るために図-10に7月洪水時の上流流量と濁度、14.6 km水位と濁度の時系列図を示す。洪水期間中は平常時の高濁度水塊がフラッシュされていたため、上流河川と感潮域の間に大きな支川がないことを考慮すれば、両者の濁度は等しくなるか懸濁土砂の沈殿により下流の濁度の方が低くなるはずである。

しかし、14.6 kmでは上流よりも濁度が高い傾向にあり、ピーク濁度が $1,700 \text{ ppm}$ に達した7月10日の洪水を除けば、1.5~2倍の値を示している。2地点間の外部からの土砂供給はほとんど無いと考えられるので、感潮河道の底質が侵食されることで河川水中に懸濁土砂が供給され、濁度が増加していると推察される。

14.6 kmで濁度が高くなるのは洪水が流入したときの

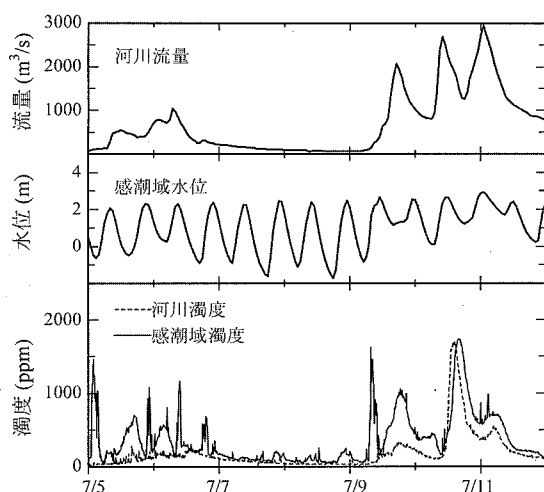


図-10 洪水時の河川と感潮河道における土砂輸送状況

干潮時である。感潮河道では潮汐の影響で上げ潮から満潮にかけては淡水が貯留され、下げ潮から干潮にかけて吐き出される。そのため、干潮付近で水面勾配が大きくなり、底面剪断応力の増大によって底質が侵食されとえられる。

(2) 横断面内の侵食特性

通常、河川では湾曲の外岸側が侵食作用を強く受けるが、10 km では中央部が侵食され、14 km では湾曲の内岸側が侵食された。湾曲の外岸側が侵食されない理由は次のように考えられる。河床には含水比が300%に達する軟泥が堆積しているが、外岸の急斜面や潮間帯は200%を下回る比較的締め固まった粘土質である。そのため平均年最大流量以下の洪水では、最初に軟泥がフラッシュされて流水断面面積が増大することで掃流力が低下し、外岸側における側方侵食が発生しないとえられる。

潮間帯の泥が締め固まっているのは、干潮位よりも上部は干陸化するので、1日に2回は浮力の効果が失われて自重で圧密するためである。

(3) 河床の堆積特性

図-11 に平常時の14.6 km における濁度時系列を示す。高濁度水塊による土砂移動は上げ潮において活発であり、濁度は下げ潮の2倍近い値を示している。また、洪水後の河床の復元量は上流側の14 kmの方が10 kmよりも大きかった。これらは、平常時の土砂輸送が上流側に向いている可能性を示している。宇野ら(2002)や川西ら(2006)は強混合型の感潮河道では高濁度水塊による正味の土砂輸送量が上流側に向くことを示しており、筑後川でも同様のメカニズムにより微細土砂が上流側に輸送されて河床に堆積すると考えられる。

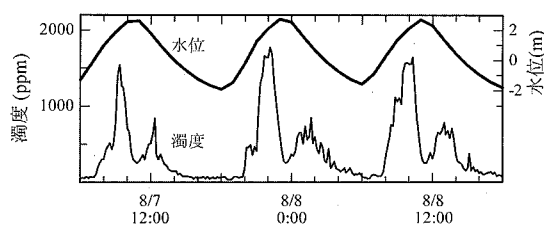


図-11 平常時の感潮河道における土砂輸送状況

(4) 底質材料の変化特性

10 km も14 km も洪水前には含泥率が90%を超える状況であったが、洪水後には10 kmでは締め固まった砂質分が河床に出現した。一方、14 kmでは河床が侵食されると締め固まった泥質が出現した。下流側で粒径の大きい砂が現れたことから、10 kmに出現した砂が今回の洪水により上流から運ばれてきたものではなく、もともと堆積していた砂が露出したことを示している。

5. ま と め

筑後川の感潮河道において地形・底質の季節的な変動特性を調べ、以下の知見を得た。河床には含水比が300%に達する軟泥が堆積しているが、洪水によってこれらはフラッシュされ河床に古い時代の底質が出現した。平均年最大流量において低水路の断面面積は約10%増大した。平水期には高濁度水塊により下流域から浮泥が輸送されており、約1ヶ月という短期間で河床面が50~100%復元した。

今後は、洪水時の侵食や高濁度水塊による浮泥の輸送・堆積に関する物理・化学メカニズムを詳細に調べる予定である。

謝辞：現地調査では国土環境株式会社の高島創太郎氏ならびに澤越正氏にご助力頂いた。国土交通省筑後川河川事務所と水資源機構筑後大堰管理所からは流量・水位データの提供を受け、河川環境管理財団「河川汽水域の水環境と生物環境に関する研究会」から研究費の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 宇野誠高・横山勝英・森下和志・高島創太郎・大角武志(2002)：熊本県白川河口域における土砂動態，海岸工学論文集，第49巻，pp. 561-565.
- 川西澄・荒木大志(2006)：感潮域における潮流と土砂輸送の数値解析，水工学論文集，第50巻(CD-ROM)。
- 横山勝英・河野史郎・山本浩一(2005)：有明海湾奥部の地形・底質分布に関する現地調査，海岸工学論文集，第52巻，pp. 936-940.