

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月20日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560520

研究課題名（和文） 感潮河道蛇行部における懸濁土砂の横断方向輸送と河岸形成に関する研究

研究課題名（英文） Lateral sediment transport and morphodynamics in an meandering estuarine channel

研究代表者

氏名：横山 勝英 (Katsuhide YOKOYAMA)

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：10347271

研究成果の概要（和文）：筑後川感潮河道の蛇行部において流速分布を測定し、二次流の空間構造を把握した。その結果、上げ潮時に二次流の発達が顕著であり、SS輸送フラックスは底層で内岸側を向いていた。河床地形は洪水期に浸食された後に、約半年をかけて底泥が堆積してゆくが、湾曲内岸側でかつ上流側に堆積斜面が延びていた。これら複数の調査により、感潮河道では上げ潮時にSSが逆流輸送され、二次流の影響で湾曲部上流の内岸側に堆積してゆくことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The influence of a meander on a cross-sectional distribution of turbidity maximum was investigated in the estuarine channel of the Chikugo river. The cross-channel currents near the bottom flowed from the outside to the inside of the curve, and the suspended sediment concentration was high at the inside of the curve. These facts suggest that the secondary current occur in the meander of tidal channel and the suspended sediment transported by the turbidity maximum is moved into the inside of the bend. Over a period of several months, fine sediment was deposited near the river bank inside the bend. The muddy bar was formed in the center of the bend in the early stage of sedimentation, and it spread upstream of the curve gradually. It was found that the transport of fine sediment by a tidal current has played an important role in the morphodynamics of a river estuary.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：環境水理学，感潮河道，高濁度水塊，地形，二次流

1. 研究開始当初の背景

多くの大都市圏は内湾に面する沖積平野に立地しており、河口周辺は農業，工業，漁業などの様々な面で高度に利用されている。

従来の河川管理は利水・治水が主であったが、河口域にはユニークな生態系がみられ水産有用種が豊富であるため、近年はその保全・再生が求められており、総合的な環境管理の

重要性が増している。

最近、感潮河道では洪水時に土砂供給と底質移動が生じ、平常時には高濁度水塊によって微細土砂が往復移動し、1年を通じて地形と底質がダイナミックに変動することが分かってきた。また、緩流河川の河口域は蛇行しやすく地形の空間構造が複雑である上に、河道の流心部には砂が、流れの弱まる河岸や入り江にシルト・粘土が堆積しやすく、河床材料の空間分布が多様性に富んでいる。

このような土砂動態の時空間的な変動性や地形・底質の多様性は中・上流の河道では見られず、感潮河道特有のものである。河口域の生態系は単に「汽水」という条件だけではなく、時空間的な環境傾度が大きい中で生活しているため、生態系に配慮した河口域管理を進める上では棲息基盤の変動特性について理解することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、緩流河川の感潮域を対象として河道横断地形の形成メカニズムを解明する。緩流河川の河口域では河道が蛇行して河岸には泥質の緩斜面が発達するが、水あたりの弱い干潟的な環境は生態系にとって重要である。横断的に見ると流心部には砂が、河岸にシルト・粘土が堆積することが多いが、沈降速度が 10^3 異なる材料が一つの断面に混在している状況は従来の河川工学（中・上流での蛇行理論や土砂輸送・堆積理論）では取り扱われていない。

そこで、河口域特有の高濁度水塊の運動に着目し、蛇行部における懸濁土砂の横断的な分級・堆積と河岸傾斜面の形成過程の関係を、詳細な現地調査に基づいて解明する。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地

研究対象地は筑後川の感潮河道である。これまでの研究により、筑後川では潮汐往復流の流速が 1 m/s を超えて、高濁度水塊の最大濃度が $2,000 \text{ mg/l}$ を超えるなど、流れと土砂輸送が活発であることが分かっている。感潮区間は河口から 23 km までである。また、曲率半径が $1.5 \sim 3 \text{ km}$ のゆるやかな蛇行が連続している。 17.2 km 地点には床固めが設置されており、平常時の塩水遡上はここが限界である。河床の表層材料は $8 \sim 20 \text{ km}$ の区間ではシルト・粘土が卓越するが、ここでは砂質材料が基盤として存在し、シルト・粘土は非洪水期の一時的な堆積物である。

(2) 底泥堆積の詳細メカニズム

筑後川感潮域では河口から 14 km 地点で底泥の堆積が活発に見られる。したがって、 14 km 地点の河床にフレームを設置して、河床高、濁度、流速の3項目について定点モニタリン

グをおこなった。濁度計、流速計、デジタル音波探査機のセンサー一面を、初期河床からそれぞれ 0.4 m 、 1.2 m 、 1.6 m の位置に設置した。観測期間は8月29日から9月12日までの15日間である。潮汐による干満差は小潮で約 1 m 、大潮で約 5 m 、干潮時の最低水深は約 2 m となっている。さらに、期間内に河床横断面の音波探査を26回実施した。

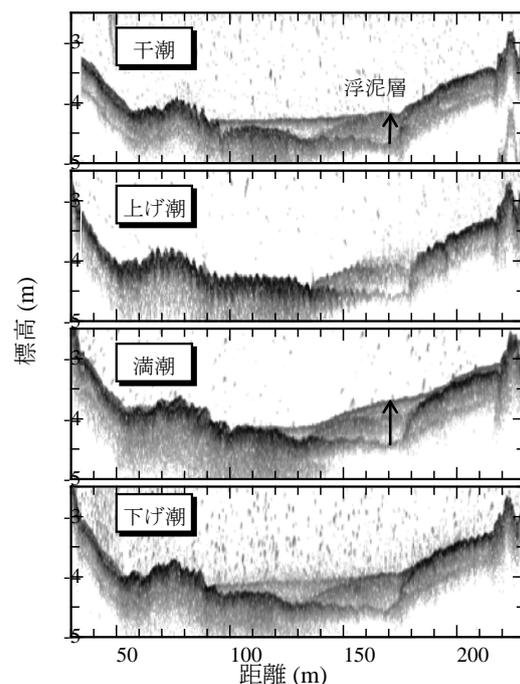
(3) 二次流と堆積斜面の形成

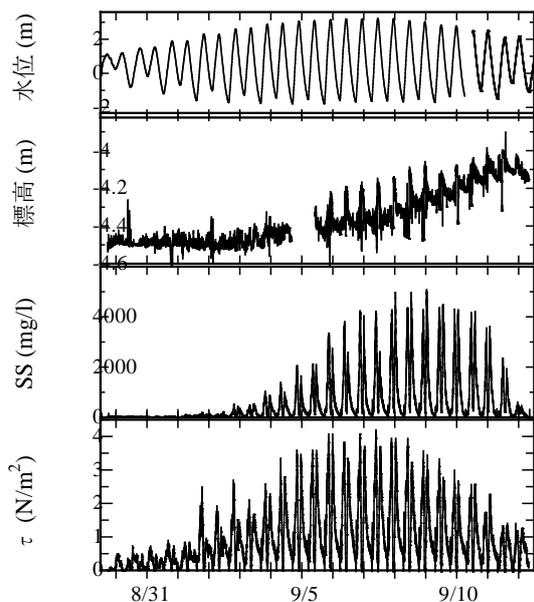
河口から $12.0 \sim 14.0 \text{ km}$ の湾曲部を対象に流速観測、SS鉛直分布測定、測量を行った。曳航式超音波流速計を用いて、 $12.2 \sim 14.4 \text{ km}$ の区間を $200 \sim 300 \text{ m}$ 間隔で横断方向に10測線を設定して流速分布の観測を行った。SS鉛直分布の測定は流速観測の約半分の6測線において実施し、左・中・右の3地点で多項目水質計を用いて計測した。またデジタル音響探査機を用いて、横断測量を $100 \sim 200 \text{ m}$ 間隔で17測線、縦断測量を $40 \sim 60 \text{ m}$ 間隔で4~6測線実施した。観測日は、流速・SS観測は9月4日、測量は3カ年にわたって1~3ヶ月の間隔で計18回行った。また、湾曲部 ($12.8 \sim 14.0 \text{ km}$) に対して、湾曲を最もよく表す円弧を設定した。

4. 研究成果

(1) 横断面の浮泥層の挙動

観測を開始した8月29日には河床に浮泥は存在していなかった。中潮(9月7日)の音波探査機による横断面画像を下図に示す。濃い黒色で反応している部分が河床であり、灰色の部分は浮泥層である。干潮時には距離 100 m から 190 m の間に最大 0.6 m の浮泥層が見られるが、上げ潮で左岸側の浮泥層がフラッ





シュされて、さらに右岸側の表面がぼやけている。満潮の潮止まりでは 140m より右岸側に濃く現れ、最大層厚は 0.8m になった。さらに、下げ潮で浮泥層が巻き上げられ、再び平坦な堆積層を形成している様子がわかる。このように浮泥層は潮汐にあわせて周期的に堆積と浮上を繰り返していた。

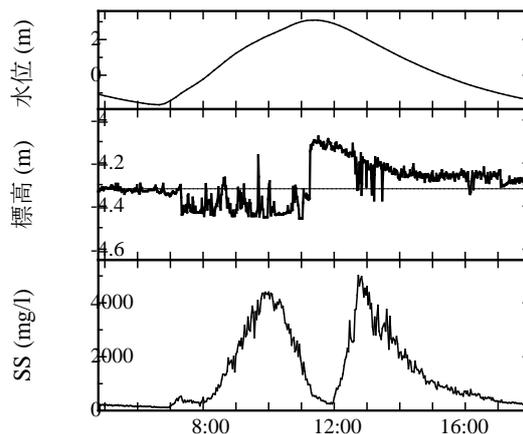
(2) 浮泥層の変動と SS 濃度の対応

図に河床標高、SS 濃度、底面剪断応力の連続モニタリング結果を示す。底面剪断応力は、流速鉛直分布に対し粗面の対数流速分布則を適用して、最小二乗法により最適な摩擦速度を求め、それを変換した値である。

河床標高は小潮期には明確な変化が見られないが、9月5日ごろから上下（堆積・浸食）しつつ次第に上昇してゆき、9月11日までに約 0.45m 堆積している。濁度は河床の変動の大きさに比例しているように見える。底面剪断応力は小潮期には最大でも 0.9 N/m²であったが、大潮期には 0~4 N/m²の範囲で大きく変動していた。

図に変動が最も顕著な 9月8日について河床標高と SS の変動を示す。河床標高は当初 -4.3m であったが、7時過ぎに上げ潮になると河床に乱れが生じ、濁度が上昇している。つまり、浮泥層の浸食とシルト・粘土の水中浮遊が同時に発生していると考えられる。11時過ぎの満潮では、河床が急激に上昇しているが、これは SS の急減、すなわち粒子が沈降した結果と考えられる。下げ潮になると河床が徐々に低下してゆき、SS は再上昇している。

SS 濃度を超音波流速計の反射強度から推定したところ、上げ潮では濁度計の変動とほぼ同じであったが、下げ潮では超音波流速計



からの推定値が約 1/3 に低下していた。濁度計が捉える浮遊粒子の粒径は 1 μm 程度であるが、超音波流速計は 1 mm 程度の粒子に対する応答性がよい。これらより、上げ潮ではシルト・粘土の単体粒子とフロックが共に懸濁しており、満潮で両者が沈降した後、下げ潮ではフロックが再懸濁しないことを示している。フロック自身が鉱物と有機物の凝集体であるから、それが河床に堆積すると粒子同士の結合が進んで、浸食されにくくなると推測される。

このように河床浮泥の動きと SS の変動には良い対応が見られた。また、上げ潮と下げ潮で底泥の浸食特性が変化することや、上流からと下流からの土砂移動量のバランスにより堆積が進行して、一潮汐後には河床が約 0.05 m 高くなっていると考えられた。

(3) 底面剪断応力と SS の関係

底面剪断応力と SS の関係を日別に整理したところ、小潮は剪断応力が 2.0 N/m² のときの SS は約 500 mg/l であるが、日を追うごとに同じ剪断応力でも高い SS が発生するように遷移してゆき大潮には 3,000 mg/l となった。この原因として、小潮から大潮期にかけて底面剪断応力が増加してゆき、その応力履歴によって底泥が巻き上がりやすい環境が形成されると推測できる。また、泥の堆積が進行することで巻き上げられやすい層の厚みが増す事も一因であろう。2週間後には静穏な環境となり、浮泥の圧密・固化が進むことで、再び巻き上げが生じにくい状況になると考えられる。

以上より、感潮河道では半月周期の現象として浮泥が徐々に供給され、半日周期の現象として底面剪断応力の影響をうけて堆積と再懸濁を繰り返しながら、徐々に堆積が進行してゆくことが明らかになった。

(4) 二次流の構造

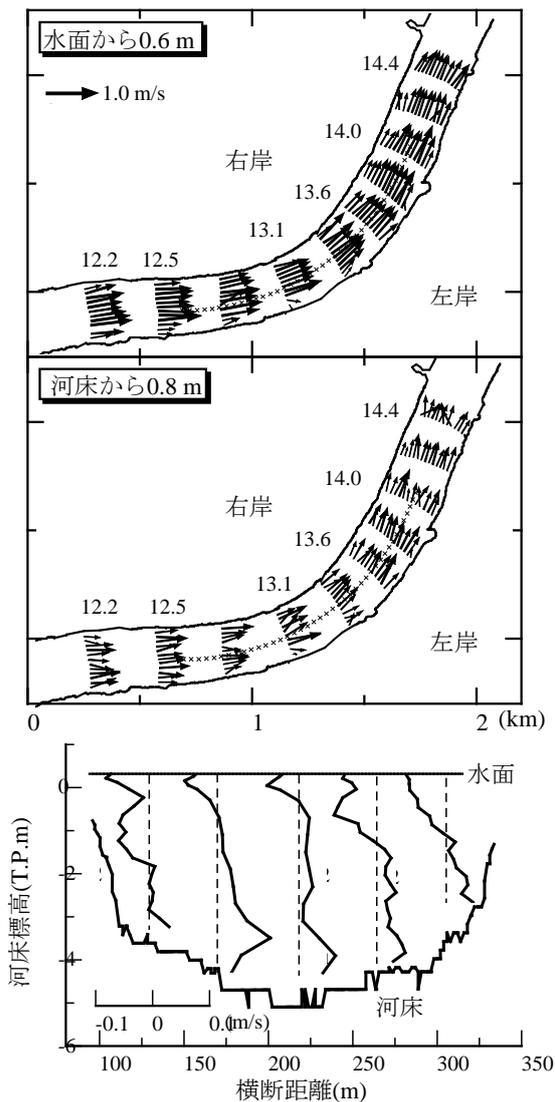
図に上げ潮時における水面から 0.6 m と河床から 0.8 m の位置の流速平面ベクトル図を

示す。表層では13.1~14.0 kmの区間で流速ベクトルが概ね円弧の接線方向に沿っているが、底層では13.4~13.8 kmの区間で流速が湾曲内側を向いている。また、上げ潮時の14.0 km地点の流速横断分布図を示すが、表層で湾曲内岸から外岸へ、底層で外岸から内岸へ向かう流れがあり、発達した二次流が現れている。

ここで、二次流の実測値と理論値(池田(1974))との比較を行った。筑後川感潮域では、大潮時の塩分の鉛直分布が強混合形態であり、流速が対数流速分布則に従うことを確認し、河川順流域の理論を適用した。比較には相対水深で整理した川幅平均流速を用いた。

上げ潮における13.8 km地点では実測値は理論値と整合していたが、14.0 km地点では理論値よりも強い二次流が観測されていた。この2つの傾向が13.4 kmと13.6 km地点でも交互に現れており、上げ潮時には約200 m間隔でらせん状となって二次流に強弱を伴って遡上していることがわかる。

下げ潮時にも12.8~13.8 kmの区間で二次流が生じているが、今回の観測からは詳細ならせん流の構造は把握できなかった。



(5) SS横断フラックスの検討

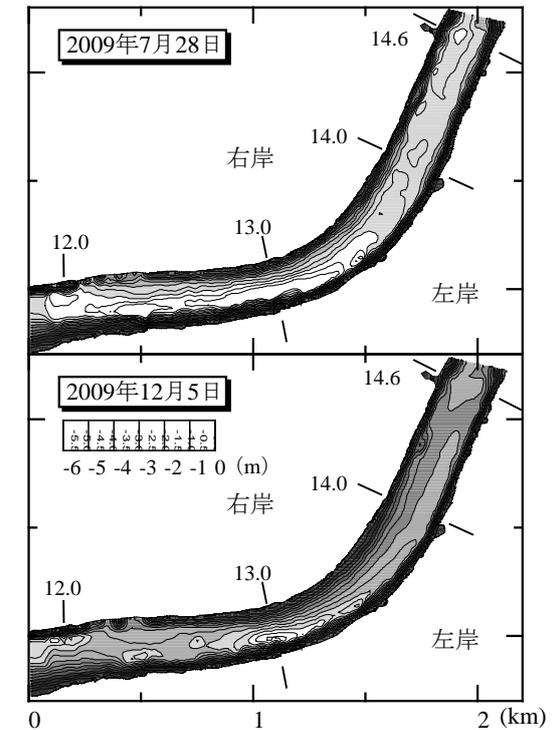
SS横断フラックスは多項目水質計から得られたSS濃度と、その地点における横断方向流速を乗じることで求めた。14.0 km地点におけるSS横断フラックスは、右岸や中央部で二次流によって底層のSSが湾曲内岸に輸送されており、河床面を遡上する際に二次流が減衰してSSが堆積し、斜面を形成していると考えられる。

(6) 河床地形の遷移過程

測量によって得られた河床地形図をみると、洪水直後の2009年7月28日の河床地形図では等水深線が右岸の岸際まで寄っていて左右の対称性が比較的高いが、4ヶ月経過した2009年12月5日の河床地形図では右岸側の等深線が流心方向に膨らんでおり、右岸側に堆積傾面が形成されたことがわかる。さらに詳しく地形変動を調べると、堆積過程初期に湾曲中心部に形成された傾斜面が上流側に延長されていく様子が捉えられた。

筑後川感潮域では、平常時において高濁度水塊によるSSの逆流方向への輸送が卓越しているため、下流から輸送されてきたSSが湾曲部で発生する二次流によって湾曲内岸側に運ばれると考えられる。そしてSSが湾曲内岸部に堆積することで斜面が形成され、一定の量が堆積するとさらに上流部へと堆積が進行し、結果堆積斜面が上流方向に延長していくと考えられる。

参考文献 池田駿介(1974): 移動床河川の湾曲部における二次流と動的横断平衡河床について, 土木学会論文報告集第229号,



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- 1) 横山勝英, 児玉真史, 岡村和麿, 山本浩二, 池ノ谷直樹: 筑後川の高濁度感潮域における光強度と植物プランクトンの変動, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 68, No. 4, pp. I_1585-I_1590, 2012. 2, 査読有
- 2) 大村拓, 横山勝英, 鈴木伴征, 高島創太郎: 筑後川河口域における汽水魚エツの行動と塩水遡上の関係について, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 68, No. 4, pp. I_715-I_720, 2012. 2, 査読有
- 3) 内山卓也, 山本浩二, 古谷貴子, 横山勝英, 関根雅彦, 濱田孝治: フロックカメラを用いた筑後川感潮域における懸濁物質の沈降特性に関する研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_881-I_885, 2011. 11, 査読有
- 4) 西村翔太, 山本浩二, 横山勝英, 内山卓也, 関根雅彦: 塩分および有機物が底質の再懸濁・沈降に及ぼす影響に関する研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_846-I_850, 2011. 11, 査読有
- 5) 横山勝英, 岩附豊佳, 児玉真史, 岡村和麿, 山本浩二, 池ノ谷直樹: 春季の高濁度感潮域における栄養塩分布特性に関する調査研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_901-I_905, 2011. 11, 査読有
- 6) K. Yokoyama, Y. Kaneko and K. Yamamoto: Turbidity Maximum and Secondary Flow in a Cross-section of a Meandering Estuary: Chikugo River, Japan, 34th IAHR World Congress, Australia, pp. 3847-3852, 2011. 7, 査読有
- 7) 横山勝英, 金子祐, 山本浩二: 感潮河道の湾曲部における高濁度水塊の横断分布特性と浮泥層の挙動, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol. 67, No. 2, pp. 60-69, 2011. 04, 査読有
- 8) 横山勝英: 河川を通じた土砂供給と汽水水域環境, 海洋と生物, 193号, vol. 33, no. 2, pp. 134-139, 2011. 04, 査読無
- 9) 横山勝英, 大村拓, 鈴木伴征, 高島創太郎: 筑後川河口域における塩水遡上特性と汽水環境について, 水工学論文集, 第 55 巻, pp. 1453-1458, 2011. 2, 査読有
- 10) 内山卓也, 山本浩二, 横山勝英: 筑後川感潮域塩水フロント付近における懸濁物質の沈降速度増加現象に関する研究, 海岸工学論文集, 第 57 巻, pp. 1001-1005, 2010. 11, 査読有

- 11) 横山勝英, 野間口芳希, 山本浩一, 岡村和麿, 児玉真史: 高濁度感潮域における植物プランクトンの変動特性～夏期の筑後川感潮域を対象として～, 海岸工学論文集, 第 57 巻, pp. 1006-1010, 2010. 11, 査読有
- 12) 横山勝英, 鈴鴨若菜, 高島創太郎: 高密度河床モニタリングに基づく底泥堆積過程の考察, 海岸工学論文集, 第 57 巻, pp. 481-485, 2010. 11, 査読有
- 13) K. YOKOYAMA, T. SUETSUGI and S. KAWANO, Annual sediment budget in the Shirakawa River estuary, Japan, 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, IAHR, Greece, pp. 893-898, 2010. 6, 査読有

[学会発表] (計 9 件)

- 1) K. Yokoyama: Survey of fluid mud dynamics in a highly turbid estuarine channel by echo sounder, The 10th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering (ICHE-2012), Orlando, USA, 2012. 11. 4-7
- 2) K. Yokoyama, A. Iwatsuki, M. Kodama, K. Okamura and Kouichi Yamamoto: Nutrient distributions in the highly turbid Chikugo river estuary and the difference between the early spring and the summer of 2010, The 10th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering (ICHE-2012), Orlando, USA, 2012. 11. 4-7
- 3) G. Azhikodan and K. Yokoyama: Influence of tidal mixing on suspended sediment transport and phytoplankton dynamics in the Chikugo river estuary, Japan: The 10th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering (ICHE-2012), Orlando, USA, 2012. 11. 4-7
- 4) 森下健, 横山勝英: 感潮河道の湾曲部における地形変動と流速分布の関係性について, 第 67 回土木学会年次学術講演会, 2012. 9. 5, 名古屋大学東山キャンパス
- 5) 岡村和麿, 横山勝英, 児玉真史, 清本容子, 長谷川徹: 河岸・河床堆積物の有機炭素安定同位体比からみた筑後川起源粒子の有機物特性, 2011 年度日本海洋学会春季大会, 2011. 3. 22-26, 東京大学柏キャンパス
- 6) 横山勝英: 緩流河川の感潮河道における土砂動態と地形形成について, 京都大学防災研究所一般研究集会「河口閉塞～河口部における土砂堆積モニタリングと長期予測～」, 2011. 1. 19, おうばくプラザ (招待講演)
- 7) 横山勝英: 河川および汽水域における土砂動態, 土木学会水工学委員会・水環境学会ノンポイント汚染研究委員会共催シンポジウム「流域圏の物質輸送に関する実態

評価の現状と課題」, 2010. 12. 22, 東京理
科大学森戸記念館 (招待講演)

- 8) 横山勝英: 河川を通じた土砂供給と汽水
域環境, 漁業用水問題研究会シンポジウム
「内湾の機能回復のための海と陸からの
アプローチ」, 2010. 11. 25, G Eカレッジ
ホール (招待講演)
- 9) 横山勝英, 大村拓, 鈴木伴征: 河川感潮
域における塩淡混合型の変化要因に関す
る考察, 第 65 回土木学会年次学術講演会,
2010. 9. 1, 北海道大学札幌キャンパス

[図書] (計 2 件)

- 1) 澤本正樹, 真野明, 田中仁編: 日本の河
口, 第 25 章「筑後川」を分担執筆, 古今
書院, pp. 240-250, 2010. 3
- 2) 澤本正樹, 真野明, 田中仁編: 日本の河
口, 第 26 章「白川」を分担執筆, 古今書
院, pp. 251-261, 2010. 3

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 勝英 (YOKOYAMA KATSUhide)
首都大学東京・都市環境科学研究科・准教
授
研究者番号: 10347271

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

山本 浩一 (YAMAMOTO KOICHI)
山口大学・工学部社会建設工学科・准教授
研究者番号: 50355955