

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820202

研究課題名(和文) 河口地形管理に向けた河川下流域の土砂動態調査と予測技術の確立

研究課題名(英文) Field survey of sediment dynamics in estuary and establishment of numerical simulation technique contributes to appropriate management of estuarine morphology

研究代表者

水谷 英朗 (Mizutani, Hideaki)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：00636756

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：河口域地形変化の現象は未だ明確にされていない点が多くあり、本研究では河川及び河口域地形の計測を高頻度を実施し、河口砂州地形の形成・発達と河川下流域の土砂動態を実証的に追究することを行った。そして、河口砂州地形の形成・発達と河川下流域の土砂動態の予測技術向上を目指し、簡易 Lagrange型の掃流砂モデルを新たに提案し、実務向きの水深積分型流れ解析モデルへ導入し河川・河口域地形の予測モデルを構築し、実河川に適用し構築したモデルの検証を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, field survey of river and estuarine morphology were conducted in order to investigate demonstratively the relationship between dissipation, formation and development processes of mouth-bar and sediment transport in downstream region of river. A new practical simplified Lagrangian bedload model was developed in order to improve the accuracy of simulation results of estuarine morphology processes. The new bedload model was introduced into depth-averaged flow model with bed variation model and applied to an actual river. The new model was compared with previous general Euler type bedload model and data of our field measurements, and it was indicated that the new model reproduced well especially in meandering reach.

研究分野：水工学

キーワード：河口砂州 河口の地形変化 河口閉塞 富田川

1. 研究開始当初の背景

河口の現象は、河川域・海岸域の現象に比べて複雑であり、これは河川流、潮流、波浪、そして風の影響など、河川側と海域側の両方の外力が合わさってもたらされているためである。河口砂州等の河口地形は、それらの様々な外力の影響によって創り出された不安定な地形で、いわばそれらの外力の変遷が河口地形をもたらしたと言える。河口砂州は、一般に降雨の少ない時期に形成され夏季の出水時にフラッシュされるというサイクルを繰り返していることが知られているが、河口の閉塞傾向が強いと魚類の溯上障害となるだけでなく、夏季の出水時においては洪水流下の阻害要因となるため、河川近隣に住む人口が多い我国にとって、河口砂州のモニタリングと適切な河口地形管理は、環境及び治水安全上極めて重要な意義を持っている。

我が国において、河口地形が安定せず治水や利水の面で困難を強いられている河川は少なくない。和歌山県では、2011年の台風12号によって多発した斜崩壊で、山域から河川への土砂供給が甚大となり、河口閉塞の促進および河床上昇による洪水流下面積の低下をもたらした。治水安全度が著しく低下した箇所が多く存在している。早期に治水安全度を回復させるためにも、非洪水期に河川上流から河口まで適切に素早く堆積した土砂を流下させ、尚且つ、河口閉塞を助長させないよう海域まで流下させることが喫緊の課題となっている。これまで沿岸漂砂による砂州形成、洪水時の砂州フラッシュに関する研究がいくつかなされているが、河口域の現地観測の困難性および現象の複雑さからまだまだ未解明な点が多く残されている。特に河口砂州地形の形成・発達と河川下流域の土砂動態（流下特性）の関係性についてはほとんど現象理解が進んでいない。現在、河口閉塞時の治水安全度低下の具体的な対策としては、短絡的で弥縫策の人工開削や防砂目的の導流堤設置と限られた対策しか存在しない。しかし、導流堤が河川環境へ与える影響は未解明な部分が多く、汽水域では多様な物理環境の下、微妙な釣り合いの下でハビタットが成立している場も多く、導流堤設置以外の打開策が求められている。

2. 研究の目的

河口域の現象は未だ明確にされていない点が多く、河口砂州等の河口地形については河川流、潮流、波浪、風の影響など様々な要因によって変化しているため、現象が極めて複雑であり、地形変化についてもその外力全てを考慮する必要がある。信頼に足る予測技術は未だ確立されていない。近年の気候変動により洪水危険度が高まると言われている状況下で、河口域地形の予測技術確立は防災上の喫緊の課題となっている。本研究では、河口砂州地形の形成・発達と河川下流域の土

砂動態（流下特性）の関連性に着目し、それらを現地計測より実証的に明らかにし、そして、その計測データを用いて河口域地形の予測技術の進展に資する研究を進めることを目的としている。

3. 研究の方法

本研究は、以下の項目について研究を遂行した。

(1) 河川下流域の土砂動態と河口砂州地形の変動特性

河川下流域の土砂動態と河口砂州地形の変動特性の関係性を明らかにするため、和歌山県南部を流下する富田川を対象河川とし、河川下流域および河口域について河床地形や粒度構成等の現地計測を実施した。河口域において高頻度で詳細な地形計測を実施し、河口砂州地形の短期的な発達・消失と、河道の土砂流下特性の関係性を実証的に追究する。図-1に示すようなRTK-GNSSを利用した歩行地形計測とGPS機能付き測深器を利用したゴムボートおよび観測船による水面下の地形測量により、海域・河口域および河川下流域の地形について水面下と陸上域において途切れなく連続的な地形データを取得する。高頻度に現地計測することが短期的なスケールの現象を捉えるためには重要であるため、本研究を遂行するにあたって安価で低労力化された地形計測手法を選択し現地計測体制を構築し計測を行った。



図-1 ボート計測とGPS歩行計測の様子

(2) 簡易ラグランジュ型流砂解析手法の確立

これまでの土砂輸送モデルを大別すると、比較的モデル化が容易な流砂量式を用いた従

来の Euler 型解法で解くモデルと、砂粒を離散体として Lagrange 型解法で解くモデルの 2 つに分けることが出来る。砂一粒一粒の運動の複雑さから考えると正確に砂粒運動を捉えるためには Lagrange 型の数値モデルが有効であることは明瞭ではあるが、対象場全ての砂粒子を解析する必要があるが、現状では計算負荷の面から解析できる範囲に限られていることは否めない。対象場全ての砂粒子を解析するような Lagrange 型の掃流砂モデルで広範囲の解を得ることは現実的に難しく、Euler 型モデルより再現性が高く計算負荷を軽減した簡易 Lagrange 型掃流砂モデルの開発と技術進展が望まれている。本研究ではこのような背景の下、河川・河口域の地形変化を高精度に再現可能な数値モデルの構築をめざし、Lagrange 型掃流砂モデルを簡易化することを検討した。数値解析モデルの実用性に重きを置き、水深積分型の流れ解析モデルに簡易 Lagrange 型掃流砂モデルを導入した地形変化モデルの開発を進めた。

(3) 実河川へ簡易ラグランジュ型掃流砂モデルの適用

(2) で構築した地形変化モデルを 2015 年に実施した和歌山県 2 級河川富田川の市ノ瀬地区の地形計測データを用いて検証を行った。モデル検証の第 1 ステップとして短期的な洪水イベントによる地形変化に構築したモデルを適用し、再現性等の検討を行う。構築した簡易 Lagrange 型掃流砂モデルと従来の Euler 型掃流砂モデルの解析結果を比較することで構築した簡易型 Lagrange 型掃流砂モデルの特性について検証する。

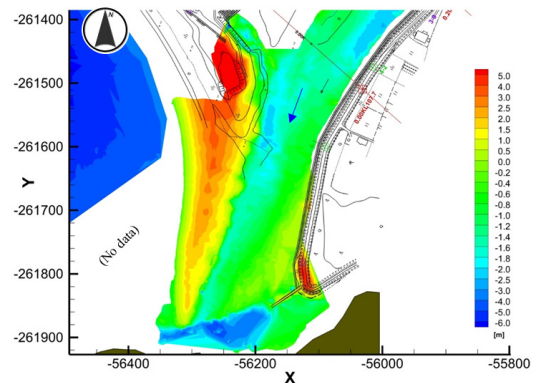
4. 研究成果

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

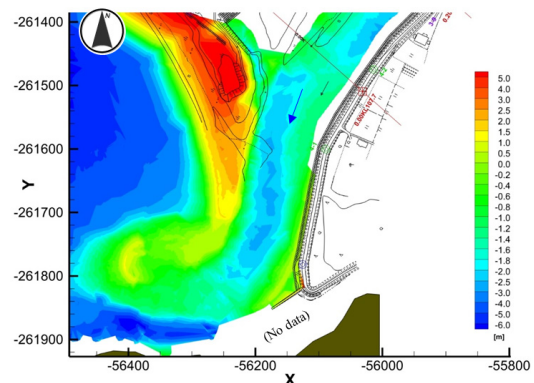
(1) 河川下流域の土砂動態と河口砂州地形の変動特性

研究期間中に来襲したいくつかの台風の前後で河口域地形計測を実施し、台風がもたらす下流河川域と河口域の土砂動態と地形変化をとらえることが出来た。台風がもたらす出水によって砂州のフラッシュ (図-2)、低水路内の洗掘、そして高波浪によって土砂の河道内への押し込み現象が確認され、河川と海側のパワーバランスによって地形が変化することが富田川の現地計測結果から実証的に示された。フラッシュ後の砂州地形の再生過程において、沿岸線に沿って小高い微地形が不連続的に形成・統合され、砂州地形が徐々に再生される現象が計測結果から確認された。高潮位と台風による高波浪ピークが重なり、河口砂州の土砂を低水路内へと押し込む現象が本研究で計測され、大きな出水が無い場合においても、台風通過による河口地形変化は注視しなければならない。また、台風がもたらす砂州地形へのインパクトは

大きく大きな地形変化をもたらすが、冬季の風浪による地形変化も徐々に地形を変化させるため、富田川河口砂州を管理およびモニタリングするためには、台風等の気象擾乱前後だけでなく、冬季も定期的に注視する必要があることが示された。



(a) 2014/06/17; before the intrusion of typhoon



(b) 2014/09/03; after the intrusion of typhoon

図-2 台風来襲時の河口砂州地形変化

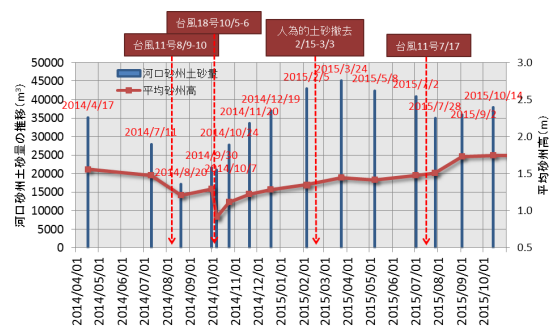


図-3 河口砂州土砂量と平均砂州高の推移

(2) 簡易ラグランジュ型流砂解析手法の確立

本研究で構築した数値モデルは代表砂粒型の Lagrange 型解法で解くことで地形変化を実現しており、その砂粒の運動方程式には滑動形式で簡略化され、堆積過程を確率モデルによって砂粒移動経路上に土砂を堆積させている。確率モデルによって代表砂粒の移動ステップ各地点の堆積量を求め、次にその移動地点の点情報から計算格子へ堆積土砂

量を配分することとなる。本研究ではここで新たな提案として、代表砂粒の移動を離脱格子に存在する砂粒群の移動と捉え、図-4に示す概念図のように、砂粒の離脱格子の形状を代表砂粒の移動経路に沿って移動させ、あたかも格子内の離脱した砂粒群が格子形状内の初期配置を維持しながら移動するようモデル化している。その移動格子と固定格子の重なり合う面積割合で堆積土砂量を隣接格子へと配分するような、従来型 Euler 解法に比べ砂粒運動の実現象により近い土砂輸送のモデル化を導入している。

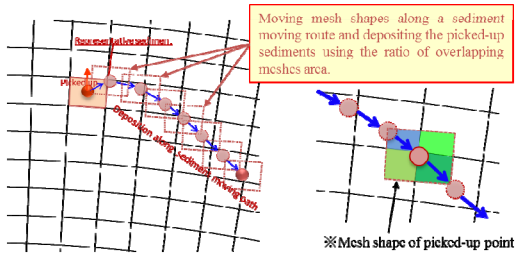


図-4 簡易ラグランジュ型流砂モデルの概念

上述した簡易 Lagrange 型土砂輸送モデルによって、混合粒径条件で広範囲の数値シミュレーションを実現するためには、さらなる計算負荷軽減と簡略化が必要となった。本研究では、代表砂粒の移動経路については運動方程式より解くが、砂粒の移動と流れの時間をリンクしない方法で代表砂粒の移動経路の計算頻度を減らし、計算負荷の軽減を図ることとした。具体的には、図-5の計算フローに示すように、砂粒の移動を流れとリンクして毎ステップ計算するのではなく、流れの計算ステップより大きなある一定間隔毎に砂粒移動経路計算を行うこととし、砂粒移動経路計算では流れ場を固定し、流れの時間発展ステップに関係なく代表砂粒を移動し、全ての離脱土砂量が堆積するまで砂粒移動させ、砂粒の移動経路から算定される堆積先格子情報と離脱土砂量に対するその格子への堆積量割合を各計算格子および粒径階毎に記憶することとした。そして、それらの情報を用いて時間発展の毎ステップで計算される離脱土砂量を記憶した堆積先格子へと配分することとしている。砂粒の移動と流れの時間をリンクしないことにより、砂粒の移動経路計算を実施する回数が減少させ計算負荷を大きく軽減し、実領域の広範囲の数値シミュレーションを実現させることができた。

(3) 簡易ラグランジュ型掃流砂モデルの適用

本研究では、和歌山県2級河川富田川の市ノ瀬地区を対象に、高精度 GNSS を用いた歩行計測による砂州地形計測を実施し 2015 年台風 11 号来襲前後に地形計測を実施し、出水による砂州地形の変化を現地計測から捉

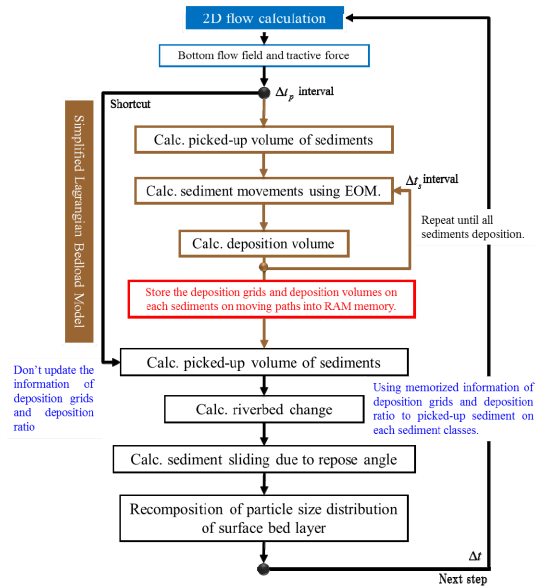
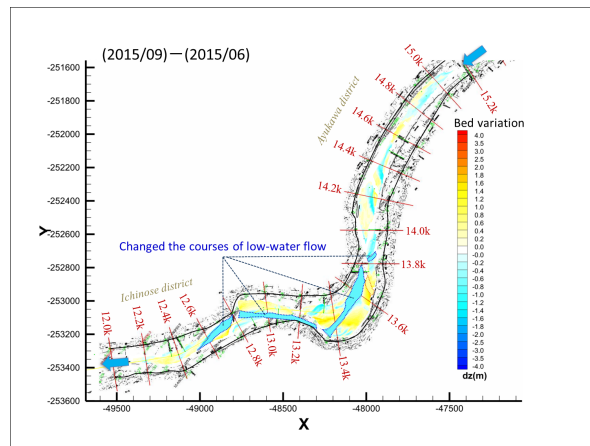
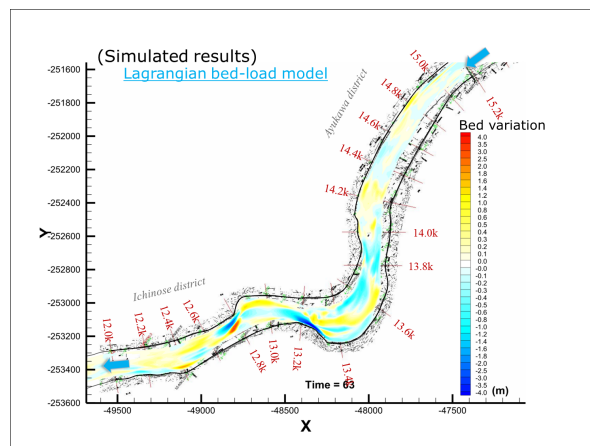


図-5 簡易ラグランジュ型流砂モデルの計算



(a) measured data



(b) simulated result

図-6 現地計測と計算地形の比較

えることができた。そして、構築した簡易 Lagrange 型掃流砂モデルを用いて、その台風

11 号出水による地形変化を再現する数値シミュレーションを実施した。従来の Euler 型掃流砂モデルの結果と比較することで、簡易 Lagrange 型掃流砂モデルの特性について検証を行った。簡易 Lagrange 型モデルで概ね良好に砂州地形の変化を再現することができることを示し (図-6)、洗掘及び堆積の河床変動量に関する結果は、直線区間では従来型の Euler 手法で計算される結果と差が小さく、河道湾曲部で若干の差が生じることが示された。これらの原因としては、簡易 Lagrange 型モデルの方は粒径階毎の代表砂粒の移動経路を計算するため、局所的に河床勾配が大きい場所では粒径毎に土砂輸送方向に差が生じたと考えられ、簡易 Lagrange 型モデルの方が土砂輸送過程において局所的な河床地形の影響を計算に反映できていることが示された。

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)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 水谷英朗、馬場康之、久保輝広：2016 年田辺湾における水温・塩分濃度観測、京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学宇治キャンパス、2 月、2017
- ② 久保輝広、水谷英朗、武藤裕則：田辺湾近隣河川における河床設置型河川水温計測、京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学宇治キャンパス、2 月、2017
- ③ 水谷英朗、武藤裕則：簡易 Lagrange 型解法を用いた掃流砂モデルによる富田川河床変動シミュレーション、京都大学防災研究所年報、第 59 号 B、pp.438-446、6 月、2016
- ④ Mizutani, H. and Muto Y.: Numerical simulation of riverbed variation in tonda river using simplified Lagrangian bedload model, Proceedings of 20th IAHR-APD congress, Colombo, Sri Lanka, August 28-31, USB-memory, 2016
- ⑤ Hideaki Mizutani, Yasuyuki Baba, and Teruhiro Kubo: Morphological changes of Tonda River estuary in 2014, Gravel Bed Rivers 8, Sep. 14-18, 2015
- ⑥ 水谷英朗、馬場康之、久保輝広：和歌山県富田川河口の地形変化計測、京都大学防災研究所年報、第 58 号 B、pp.650-660、6 月、2015
- ⑦ Mizutani, H., Baba, Y. and Kubo, T. : Topographical changes due to typhoon hits in estuary of Tonda River, Japan, Proceedings of 5th International Conference on Water & Flood Management(ICWFM-2015), March 6-8, Dhaka, Bangladesh, pp. 287-294, 2015

- ⑧ Mizutani, H.: Measurements of Morphological Changes in Tonda River Estuary, 流域災害研究センター国際シンポジウム, 13th, Jan., 2015

[その他]

ホームページ等

- ① 和歌山県富田川河口の地形変化をさぐる (京都大学防災研究所 研究紹介 Web ページ)
<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/SpecialHP/second/detail/index.php?id=7-2-2015024>
- ② 富田川河口地形の現地計測 (http://mizutanihideaki.sakura.ne.jp/Tonda_river_estuary.html)
- ③ 富田川河道域の地形計測 (http://mizutanihideaki.sakura.ne.jp/Tonda_river_topo_survey.html)
- ④ 富田川の河床変動シミュレーション (http://mizutanihideaki.sakura.ne.jp/Tonda_river_bed_cal.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水谷 英朗 (MIZUTANI, Hideaki)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号： 00636756