

令和元年6月5日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05749

研究課題名(和文) 熱帯雨林地域の大河川河口域における微細土砂動態の解明とモデル化

研究課題名(英文) Study on fine sediment transport dynamics at estuary in tropical climate area

研究代表者

中川 康之 (NAKAGAWA, YASUYUKI)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：30360762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,500,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシア国内ジャワ島西北部のPatimban海岸周辺(Cipnagara河口沖)において、現地連携機関との協力により、雨季と乾季それぞれの2時期に、水質・濁度等の空間分布の把握を目的とした現地調査を実施した。雨季には、河川からの高濁度水が海域に流入する様子を捉え、乾季における観測結果との対比を通じた季節変動の把握に成功した。また、雨季の河口直近の海底近傍では、重力流的な挙動を示すFluid mud層が存在することも現地観測で明らかにした。さらに、当該海域での土砂輸送過程の基本外力となる潮流と波浪場の数値シミュレーションと、現地底質の特徴(砂泥混合)を反映させた底質移動モデルの構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東南アジア諸国においては、熱帯地域特有のシルト・粘土質を主とする大量の微細懸濁物の河川上流から供給され、河口沿岸部での地形変化に深く関与する。一方、これらの地域では都市の物流の要となる港湾施設が河口部周辺に建設されることが多く、河口域での土砂動態の把握は船舶の航行安全上も重要となる。このような背景を踏まえ、本研究では熱帯域特有の河川流下土砂の季節変動の特徴を現地観測により明らかにし、それらの移動予測に必要な基本外力(潮流、波浪)のシミュレーションならびに現地の底質条件を反映した底質移動のモデル化を行った。

研究成果の概要(英文)：Field surveys were carried out for grasping the spatial distribution of water quality, turbidity, etc. in the two seasons of rainy season and dry season around Patimban coast (Cipnagara estuary) in the northwestern part of Java Island in Indonesia. In the rainy season, we grasped the flow of high turbidity water from the river into the sea area, and successfully grasped the seasonal variation through the comparison with the observation result in the dry season. In addition, it was clarified by field observation that there is a fluid mud layer that shows the gravity flow behavior near the seabed around the river mouth in the rainy season. Furthermore, numerical simulation of tidal current and wave field were also carried out, which are the basic external forces of sediment transport process in the area, and sediment transport model reflecting the characteristics of local sediment (sand mixture) was also set up.

研究分野：土木工学 海岸工学 環境水理学

キーワード：Fluid mud 河口域 土砂輸送 東南アジア 底泥密度 砂泥混合

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大川河口域に隣接することの多い、東南アジア諸国の大都市における港湾機能の強化においては、熱帯地域特有のシルト・粘土質を主とする大量の微細懸濁物の河川上流からの供給と、その堆積が河口沿岸部での舟運利用に大きな障害となっている。このため、河口域での海上輸送の効率化（維持浚渫量を軽減できる航路設定や、効率的な維持浚渫サイクルの設定など）においては、このような水域での土砂輸送特性の把握が極めて重要である。

特に熱帯雨林地域の大川では、シルト・粘土質を主とする微細懸濁物を大量に含むため、これら流下土砂の輸送やその堆積範囲を予測するためには、海水よりも高比重となる極めて高濃度な浮泥状態にある Fluid mud（流動泥）の挙動を正確に評価できることが重要となる。このような Fluid mud の現地での挙動につて、世界的にも大規模な大陸川河口域であるアマゾン川河口や揚子江河口を対象とした研究がいくつかみられる（たとえば Kineke ら(1996) や McAnally ら(2007)）。一方、港湾周辺から流入する Fluid mud による埋没対策について、たとえばインドネシア国内の港湾を対象として水理実験および数値シミュレーションで検討した例は見られる（Hidayat ら、2002）ものの、東南アジア地域の主要河川における Fluid mud 輸送に関する現地データに基づく実態把握に関する事例は乏しい。

### 2. 研究の目的

国内の気象条件とは異なる熱帯域での河川からの土砂輸送環境の特徴をふまえ、それに基づく沿岸地形の発達過程を明らかにすることが本研究の目的である。さらに、対象海域の波浪外力や潮汐流など、海域に流入した土砂の移動を支配する諸過程の特徴をふまえた外力モデルや底質輸送モデルの構築を図り、将来的な当該水域での地形変化予測の精度向上に資することを目的とする。

### 3. 研究の方法

一方、Fluid mud は SS 濃度で示すと  $10^4 \sim 10^5 \text{mg/l}$  の高濃度な範囲にあり、その分布構造等を現地で測定するためには、浮遊土砂濃度の測定に用いられる一般的な光学式濁度計では測定が不可能である。これに対し研究代表者は、Fluid mud の濃度範囲を含む、浮遊状態から圧密状態に至る底泥の湿潤密度を現地で測定可能な、現地式密度計を導入することにより、日本国内における内湾や河口域における Fluid mud 堆積の実態を明らかとしてきた。このような計測手法を本研究で対象とするインドネシア国内での観測水域に応用し、Fluid mud 層の出現特性を把握する。また、当該海域の海象特性を考慮した、底質輸送における基本外力（潮汐流や波浪）のモデル化を検討して、地形変化の予測シミュレーションに必要なモデル構築に取り組む。

### 4. 研究成果

#### (1) 現地観測の概要

ジャワ海に面したインドネシアのジャワ島北岸側では、特徴的な形状の河口デルタがいくつも発達している。本研究では、その中でインドネシアのジャワ島北西部に位置する Cipunegara 川の河口を観測対象として(図-1)、陸域から供給される土砂の河口域での動態の解明に向けて以下の観測を実施した。対象とする Cipunegara 川は複数の河口を有しており、ここでは岬先端東側の河口沖を Area-A とし、またそれよりも上流側より東側に分岐した河口沖の Area-B の 2 水域に、Fig.1 に示すように設定した調査点を設定した。各観測点では多項目水質計（JFE アドバンテック製・AAQ1183）による水温・塩分・濁度の鉛直分布測定と、現地式密度計（Hydramotion 社製・XL-4）による海底付近の底泥湿潤密度の鉛直分布測定を実施した。これらの観測は、当該海域は熱帯域にあるため、おおよそ 11 月～3 月に雨季、4 月～10 月に乾季となることを考慮して、2017 年 2 月（雨季調査）および同年 8 月（乾季調査）のそれぞれ 2 時期に実施した。前述した水質等の観測をこれら雨季・乾季ともに 2 日間にわたり現地計測を実施した。また、当該海域周辺の地形や底質に関する基本情報に関しては、現地の連携研究機関（BPPT：科学技術評価応用庁海岸工学研究所）により、音響測深機器による深浅測量やグラブ式サンプラーを用いた採泥および底質分析、さらに計測点での流況観測が実施された。

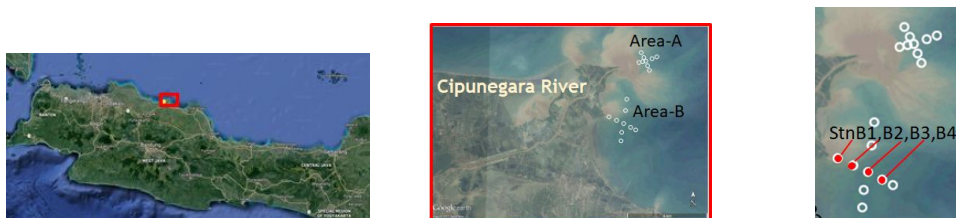
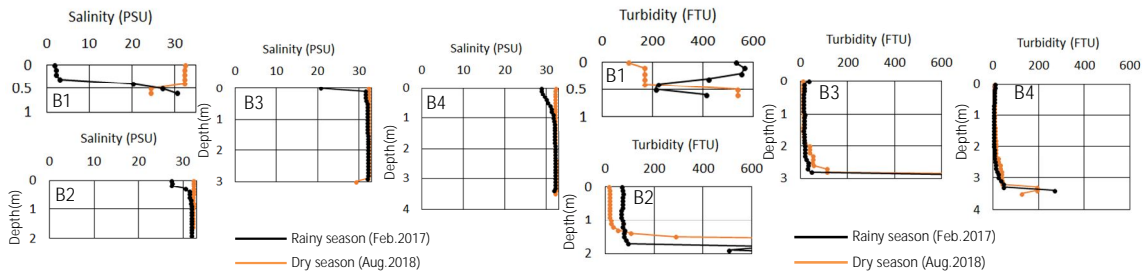


図-1 現地観測対象海域と調査地点位置

#### (2) 主な観測結果

水質観測の測定結果の一例として、Area-B の岸沖方向の観測線上の地点での塩分鉛直分を図-2(左図)に示す。図中には雨季調査（2017 年 2 月 17 日・18 日実施）および乾季調査（同年 8

月9日・10日実施)における,それぞれの地点での計測結果を重ねて示している.これらによると,雨季調査時(図中黒線)において表層付近の塩分濃度の低下が確認でき,特に Area-Bの河口直近である B1 地点では底層付近を除いて淡水が支配的な状況となっていることがわか



る.

図-2 塩分(左)および濁度(右)の鉛直分布計測例(Area-B)

一方,これらと同時に測定された濁度の鉛直分布を図-2(右図)に示す.塩分の測定結果に見られた,雨季における淡水の影響(塩分低下)がみられる水深層では,濁度が相対的に乾季よりも高くなっていることがわかる.すなわち,河川を通じて供給される濁水の影響が河口域周辺で見られることを示している.このような雨季にみられる低塩分・高濁度水の影響は,水深が5mより深い沖合の観測地点においては水面付近に限られるのに対し,河口により近い浅海地点のうち A3, B1, B2 では雨季における濁度の上昇が極めて顕著であるなど,時空間分布の変動の特徴を明らかにした.さらに雨季においては,河口直近の海底付近に Fluid mud 層が15~20cm程度の厚さで存在することが確かめられた(図-3).

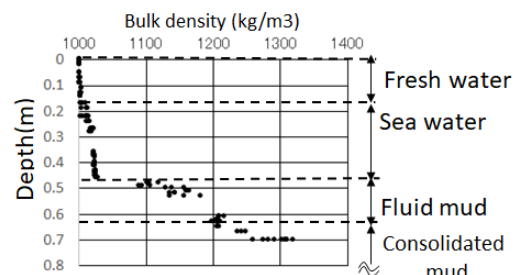


図-3 雨季に観測された河口部での Fluid mud 層の出現(地点 B1)

### (3)底質輸送モデルの構築に向けた検討

対象海域の底質輸送を適切にモデル化するためには,海象条件等の基本特性を反映させた輸送外力のシミュレートが基本となる.このため,ここではジャワ海での風況場に応じて発生する風波の再現を試みた.対象海域では,海陸風など比較的短周期の風場の変動による波浪場の応答に特徴があることが,必ずしも波高データが今回の調査で測得できていないものの,調査船の出船時の様子で確認されている.このような波浪の出現特性について,ジャワ海を対象とした風場データに基づく波浪推算(WaveWatch 使用)を実施し,風場の変動に対応した波浪発達の応答特性が計算結果に示されることを確認した.また,潮汐流については,現地の潮位データ等の観測結果との比較を通じた検証を行い,これら底質輸送の基本外力をシミュレートするためのモデルの構築を進めた.

一方,対象となる海域での底質性状について,河口域極直近では Fluid mud 形成もみられるような泥分主体の領域がみられるものの,対象域の広い範囲においては,細砂分とシルト・粘土の泥分が混在した砂泥混合底質が支配的であることが,連携研究機関により提供された底質分析データより確認されている.従来の底質輸送モデルでは,砂分もしくは泥分のいずれかを対象とした底質輸送モデルを使用することが多く,両者を同時に扱うモデル化の汎用化には至っていない.そこで,本研究では現地での底質情報を反映させるため,砂泥混合底質を対象とする底質輸送モデルの構築にも取り組み,水槽実験を用いた砂泥混合底質の移動特性の検討(図-4)に基づき,砂泥底質輸送モデルにより算定される底質輸送量の再現性の検証も行った.

### (4)まとめと今後の課題

以上,熱帯地域における河川からの土砂供給過程の特徴について,特に河口周辺での塩分・濁度の空間分布や河口直近で生じる水底近傍での Fluid mud 層の形成等の実態を現地観測により明らかにした.また土砂移動過程を適切にシミュレートするためのモデル化に向けて,対象海域での波浪場や潮汐流などの基本外力に関する計算結果の再現性の検証を行った.特に波浪

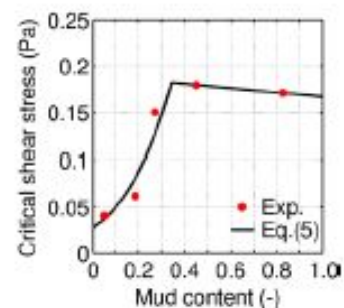


図-4 砂泥混合率の違いによる底質移動限界の変化に関する実験結果

場に関しては、比較的静穏海域とされるジャワ海ではあるものの、モンスーン風や海陸風ほかの風場に応答した波浪の発達がみられることから、浅海域における底質輸送の再現において波浪場の再現性が鍵になることから、波浪推算ツールを獲得できたことは今後の研究のさらなる発展につながるものである。また今回の対象海域では、当初見込んでいたシルト・粘土を主体とする底質性状だけでなく、細砂分も含んだ砂泥底質が広範囲に分布していることから、このような底質移動の再現に対応可能な基本モデルを構築した。本研究では、これらの基本外力ならびに底質輸送のサブモデルの構築まで進めることができたことから、今後はこれらのモデルの統合により、対象海域における広域的な地形変化シミュレーション・ツール構築へと展開し、また現地研究者（本研究終了後も連携体制は継続中）にて行われている測量結果との比較等を通じた検証が期待できる。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計2件)

中川康之・高嶋紀子・村上和男・後藤嘉雄・長井一平 (2016) : 河口港における河川濁水の流入と堆積過程に関する検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, No. 2., pp.1\_523-1\_528.

小碓 大地・中川 康之・梅山 崇・高山 優・服部 俊朗 (2018) : 含泥率の異なる砂泥混合底質の移動実験とその再現計算, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 74, No. 2, pp.1\_739-1\_744.

### 〔学会発表〕(計6件)

Nakagawa, Y., A. Bagyo Widagdo, M.Banno, Gugum A. Gumbira, T.Kosako, H.Tamura, Dinar C. Istiyanto (2018) : Field observation of fluid mud around river mouths in north western Java Island, Indonesia, Proc. of the International Conference on Sustainability in Civil Engineering (ICSCE2018), Nov. 24th, 2018, Hanoi, Vietnam.

中川康之・バギョ・ウィダグド・伴野雅之・ググム・グムピラ・小碓大地・田村仁・ディナール・イステイアント(2018) : 2018年度日本流体力学会年会, 平成30年9月5日, 大阪

Nakagawa, Y., A. Bagyo Widagdo, M.Banno, Gugum A. Gumbira, T.Kosako, H.Tamura, Dinar C. Istiyanto (2018) : Field observation of fine sediment transport process around river mouths in north western Java Island, Indonesia, 36th International Conference on Coastal Engineering 2018, Aug. 2, 2018, Baltimore, USA.

Nakagawa, Y., F. Murayama, Flume experiment of fluid mud dynamics around navigation channel, Proc. of Inter. Conf. on Cohesive Sediment Dynamics (INTERCOH2017), Nov.13-17, Montevideo, Uruguay

Nakagawa, Y., N. Takashima, Y. Gotoh and I. Nagai (2016) Fluid mud dynamics around dredged navigation channel at river mouth port, Proc. for the PIANC-COPEDEC 9th Conference. Oct. 20th, 2016, Rio de Janeiro, Brasil.

中川康之・高嶋紀子・村上和男・後藤嘉雄・長井一平(2016) : 河口港湾域における密度躍層の土砂輸送への影響について, 2016年度日本流体力学会年会, 平成28年9月26日, 名古屋

### 〔図書〕(計0件)

### 〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

取得状況 (計0件)

### 〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

該当なし

### (2)研究協力者

研究協力者氏名 : 伴野雅之

ローマ字氏名 : BANNO, Masayuki

研究協力者氏名：田村仁  
ローマ字氏名：TAMURA, Hitoshi

研究協力者氏名：小碓大地  
ローマ字氏名：KOSAKO, Taichi

研究協力者氏名：ディナール・イスティヤント  
ローマ字氏名：Dinar Istiyanto

研究協力者氏名：バギョ・ウィダグド  
ローマ字氏名：Bagyo Widagdo

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。