

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289155

研究課題名(和文) 沖浜泥質洪水堆積層に着目した砂浜海岸の物質収支評価と堆積環境変遷の復元

研究課題名(英文) The Sedimentation on a Wave-dominated Open Coast as Effected by Fluvial Supply and Littoral Drift

研究代表者

関口 秀雄 (SEKIGUCHI, Hideo)

大阪市立大学・大学院理学研究科・客員教授

研究者番号：20027296

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では堆積物の粒径を考慮した海浜環境マネジメントに資するために、大河津分水一寺泊海岸系をとりあげ、河口海岸における堆積物収支の特徴と課題を明らかにした。河川流出にともなう砂と泥の供給流束を推定し、沿岸漂砂流束および沖浜における泥質物質の沈積流束との関係を定量的に検討した。海食台への漂砂付加様式を考慮した、砂浜地形発達に関する新たな解析解を導出し、大河津分水通水開始以後の汀線変動と底質環境変遷の推定に有効なことを示した。さらに、外浜における砂泥成層の実相を示すとともに、泥層が河川洪水由来であることを淡水性珪藻遺骸の産出状況の観察から明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research project explores the way in which extensive beaches of sand have developed on an open-coast rocky shore that faces the Japan Sea. The operation of the Okotsu diversion channel started in 1922 marks the abrupt and thereafter continued supply of fluvial sediment. The discussion centers on assessing the rates and pathways of the sandy and muddy sediments in the sea, including the following themes: storage over a shore platform; beach progradation; seaward limit of cross-shore profile change; muddy flood deposits on a wave-dominated shoreface; wave-formed sedimentary structure; and shelf sedimentation. A closed-form solution based on one-line modelling enabled the authors to reconstruct the stages of development of sandy beaches on a shore platform, and to assess the fluxes of associated longshore drift in the context of the sediment budget analysis.

研究分野：工学

キーワード：国土保全 自然災害 海岸侵食 漂砂環境 洪水堆積物

1. 研究開始当初の背景

(1) 陸と海を繋ぐ土砂分配過程の研究は、沿岸域の多様な地形・生態環境のなりたちに関わる重要課題である。海岸工学分野では、砕波帯（上部外浜）における沿岸漂砂と海浜変形の研究が活発である。一方、海洋地質学分野では、海底ハイドロカーボン資源との繋がりから、陸棚や大陸斜面におけるイベント堆積層の研究が盛んである。しかし、洪水イベントの影響を織り込んだ10年~100年スケールの海浜環境マネジメントに不可欠な沖浜（水深 15 m~50 m 程度）における漂砂環境の実態や、底質環境変遷に関する調査研究は少ない。

(2) 例外的なのは、沙流川流域の2003年台風10号洪水土砂流出調査（土木学会水工委員会調査団）である。この事例では、沖浜の泥質洪水堆積物は短期間に逸散しているが、外海における洪水堆積物の保存ポテンシャルを検討するうえに貴重な情報を提供している。阿賀野川沖合海底土の福島原発事故由来の放射性セシウム調査結果（新潟県）を参照すると、冬季に顕著な沖向き放射性セシウム移行の生じていることが読みとれる。ただし、漂砂過程と結びつけるには、海底土の堆積構造や流況の検討が不可欠である。

2. 研究の目的

(1) 日本の砂浜海岸の多くは河川供給土砂を本来の漂砂源としている（図1）。しかし、流域開発や河川水の高度利用にともない、常時の河川流送土砂量は低レベルにとどまるようになってきた。そのため、汀線地形や底質環境は、低頻度の洪水時における土砂配分様式に依存する傾向が強まっている。従来型海岸マネジメントでは、砕波帯の沿岸漂砂に関心が集中するきらいがあり、洪水時に海域に流入する大量の砂泥混合物の配分過程については、知見が十分に集積されていない。

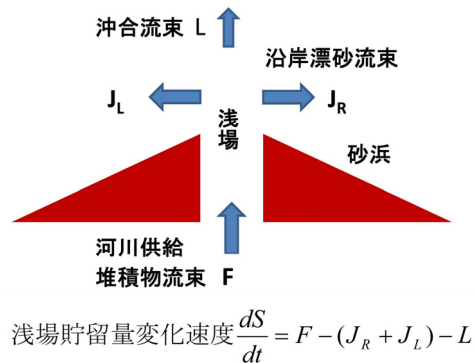


図1 河口海岸における堆積物配分様式と砂浜地形発達との繋がり
(図中のそれぞれの流束は厳密には粒径ごとに定義する必要がある)

(2) 本研究では、上述の状況をふまえ、堆積物の質（粒径）を考慮した海浜環境マネジメントに資するため、洪水由来の砂泥混合物がどのように海浜環境のなりたちを支持しているのか、その体系的な理解を促進することを目的としている。そのため、実海浜フィールドとしては、河川供給土砂が砂浜地形発達に重要な役割を果たしてきた大河津分水一寺泊野積海岸系を取りあげる。

3. 研究の方法

(1) 海域堆積環境調査

実施した主な調査項目を以下に述べる。2015年度主要調査地点を図2に示しておく。

- ① 音波探査 (STRATABOX, 10 kHz)
 - ② 海底表層グラブ採泥 (エクマンバージ採泥, 計6地点, 水深10 m~60 m; 大型スミスマッキンタイア (SM) 式グラブ採泥, 計10地点, 水深21.3 m~196 m)
 - ③ 沖浜堆積物柱状コア採取 (重錘付ピストンコアラ-自由落下方式; 水深30 m, 40 m, 60 mの3地点 (P30, P40, P60))
- これらの実施地点は、図2中のSM-30, SM-40, SM-60地点の近傍である。
- ④ 外浜堆積物柱状コア採取 (バイプロコアリング方式; VC-09S, VC-15S, VC-09, VC-15の4地点)

これら4地点では、塩分濃度、水温、濁度の深度分布も合わせて測定した。

⑤ 堆積物分析

採取した堆積物試料に対して、レーザー回折式粒度分析、地球化学的分析、放射性セシウム分析（ガンマ線スペクトロメトリ）、淡水生珪藻遺骸の顕微鏡観察等を行った。堆積物柱状コアに対しては、コア半裁前に X 線 CT 撮影を行った（研究協力：上田圭一博士）。

(2) 流域堆積環境調査

大河津分水路上流域に当る信濃川流域の9地点（越後湯沢、小千谷、長岡を含む）にお



図2 海域調査(2015年度)の主要地点；
△印はバイプロコア地点を表す
(図の背景は Google earth)

いて、底質および側岸土壌を採取し、放射性セシウム濃度の測定、および淡水生珪藻遺骸の検鏡に供した。

(3) 河川土砂流出史の検討

国土交通省水文水質データベースや新潟県関連資料を参照して、河川土砂流束の大きさを推定した。基礎式としては、浮遊物質濃度(SS)の大きさが河川日平均流量のベキ乗に比例する、という経験則を使用した。推算結果については、後出の「河口海岸の土砂収支」の文脈において述べる。

(4) 波による地形変化限界水深 h_c の推定

寺泊・野積海岸では波候統計資料が乏しいので、岸沖断面変化の観測結果に着目するのが直截的である。野積海岸の岸沖断面変化については、藤井・桐(1999)による観測結果が参考になる。異なる5年(1990, 1995~1998年)のいずれも3月の岸沖断面地形曲線を比較すると、それらは、水深8~9m域においては実質的に1本の線に収束している。そこで、野積海岸の砂浜地形発達モデル化(後述)では、 $h_c = 8\text{ m}$ とされている。

(5) 河口海岸の土砂収支

① 沿岸漂砂による砂浜地形発達モデル

相対的に急勾配な基盤面(海食台)に漂砂が付加していく場合、その初期過程では、水中砂体は成長しながらも汀線前進は顕在化しない。そのような「潜伏効果」を表現できる解析解(基礎式は拡散型偏微分方程式)を新たに導出した。境界条件として河口付近断面を通過する沿岸漂砂流束を織り込んでいるので、河口海岸土砂収支の検討に有用である。

② 総合的な検討

以上の研究成果に基づいて沿岸堆積体の特徴を概観するとともに、河口海岸の土砂収支に関する総合的な検討を行った。

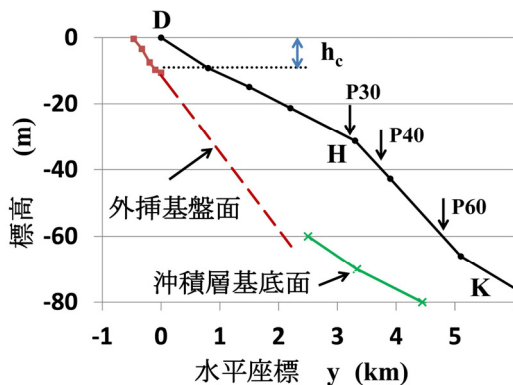


図3 野積海岸における沿岸堆積体の概観(座標 y の原点は2010年汀線位置; 沖積層基底面のプロットは宮地ら, 2011に基づく)

4. 研究成果

(1) 沿岸堆積体の概観

野積海岸における沿岸堆積体のイメージを図3に示す。現海底地形面(曲線DHK)は、大型SM式グラブ採泥時の測深結果に基づく。現砂浜下の基盤は、元々は泥岩質の海食台であった。その沖合延長部(推定)は、沖積層基底面(宮地ら, 2011)の下位に潜り込んでいるようである。現海底地形面における傾斜変換点(地点H)では、沖積層厚は概ね40mに達するが、その供給源は不明である。

(2) 傾斜変換点より沖合への泥輸送と沈積
水深30mを超えてさらに沖合へ泥が輸送される傾向は、エクマンバージ採泥試料中の放射性セシウム分析結果からも明らかである。ここでは、大型SM式グラブ採泥地点の中から、塑性指数が最大($PI = 28$)であったSM-60地点(水深66m)の調査結果を報告する。層相は採取全層(厚さ11cm)にわたって泥であった[平均粒径 $15\ \mu\text{m}$]。分析結果によると、セシウム134とセシウム137が海底面から11cmの深さまで分布している。したがって、2011年7月新潟・福島豪雨出水時点から採泥(2015年8月)に至る4年間に堆積したと仮定すると、泥の堆積速度は、 $2.8\ \text{cm/yr}$ になる。

(3) 沖浜堆積速度(傾斜変換点より陸側)

ピストンコアリングの実施位置(P30, P40, P60)を図3中に示す。使用した重錘付コアラーの質量和は約450kgであったが、貫入深さは海底面から1.2m~1.8mにとどまった。堆積層が極細砂・細砂主体であったことの反映であろう。

各柱状コア内における淡水生珪藻遺骸の産出状況を図4に示す。大河津分水通水開始(1922年)以前には、本海域は河川流出の影響を受けなかった。したがって、淡水生珪藻遺骸のコア内出現深度は、大河津分水通水に

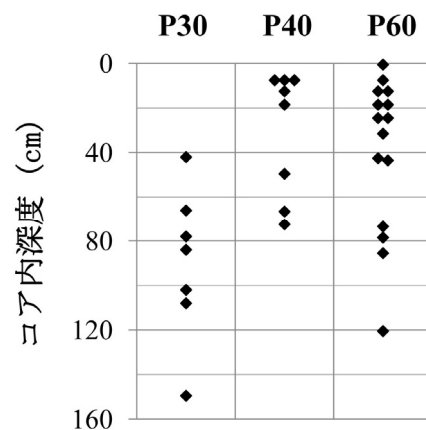


図4 沖浜柱状コア内の淡水生珪藻遺骸の出現深度分布

ともなう沖浜堆積層厚の増加を反映している。図4の結果によると、地点P30における淡水生珪藻遺骸の最深出現層準は、現海底面下1.5 mである。

したがって、同地点（現水深30 m）における大河津分水通水開始以来（92年間）の堆積層厚は、1.5 m以上と推定できる。堆積速度に換算すると、概ね2 cm/yrになる。長期的には無視し得ない浅海化の傾向である。

(4) 外浜における砂泥成層の実相

① 開放性外浜における泥層の保存

新潟沿岸域では、毎冬、有義波高にして4 mを超える暴浪に曝される。従来、このような開放性外浜では河川出水由来の泥が冬季を越すことは難しく、容易に侵食され沖合へ再移動するものとみなされてきた。上述のグラフ採泥結果もこのような定説を裏付けているようである。しかし、実相はそれ以上に豊かで、示唆に富む。

2015年8月採取パイプロコアのX線CT画像を図5に示す。特筆されるのは、VC-15S（水深17.2 m）とVC-15（水深14.9 m）のいずれにおいても、海底下約1 m厚の砂層の下位に、泥層が分布していることである。興味深いことに、その下位にも砂層を介して別の泥層が分布している。

これら柱状試料では、生物擾乱の影響が少なく、波浪堆積構造をX線CT画像から抽出することも可能である。

一方、見方を変えると、砂底への泥層保存にともない、底生動物にとっては生息環境が好ましくはなくなった可能性がある。

② 海底泥層中の淡水生珪藻遺骸

パイプロコア試料中の各泥層から、多様な淡水生珪藻遺骸が産出した。したがって、これら泥層は洪水由来堆積層と認定し得る。

③ 海底泥層中の放射性セシウム

パイプロコア試料（VC-15）中の放射性セシウムの濃度分布を詳細に調べた。その結果、泥

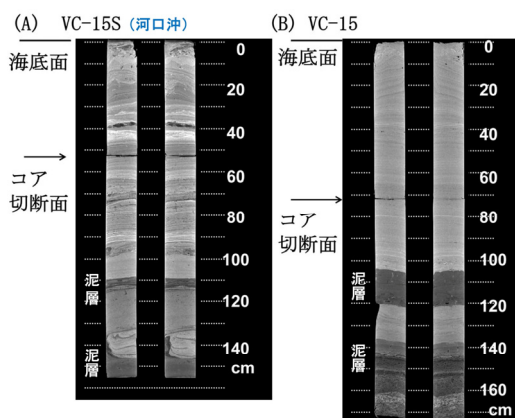


図5 外浜パイプロコアのX線CT画像（各コア直交2断面を示す）；
(A) 河口沖、水深17.2 m
(B) 野積海岸中央沖、水深14.9 m

層中にセシウム134が分布することが明らかになった。

したがって、同泥層は、2011年7月新潟・福島豪雨出水を契機に海域に運び込まれた泥質物質に由来する可能性がきわめて高い。

(5) 河口海岸の土砂収支の検討

① 沿岸漂砂流束の推定

海食台への漂砂付加様式をふまえた解析解に基づく、砂浜地形発達の様子を図6に示す。海岸中央部においては、汀線前進が顕在化するのに約10年を要し、その後は急速に汀線が前進している。

本解析によると、河口近傍断面を通過する野積海岸側への沿岸漂砂流束(J_R)の推定値は、78万 ton/yrである。寺泊海岸側にも同等の沿岸漂砂流束(J_L)を仮定すると、沿岸漂砂流束の総量は、概ね150万 ton/yrになる。漂砂の理解には、粒径情報も重要になる。砂浜部ボーリングコアの粒度分析結果（東ら、2013；関口ら、2013）を参照すると、粒径250 μ m以上の中粒砂及び粗粒砂から構成されている。波や流れによる分級作用の帰結と解することができる。

② 河川供給土砂流束の推定

1933年～1958年（計26年間）における大河津分水路の流量頻度表（新潟県、1960）を参照して、土砂流出総量を推算した。その結果を年間あたり河川供給土砂流束(F)に換算すると、852万 ton/yrになる。

その中、泥分（75 μ m以下）は80%、砂分（75 μ m以上）は20%を占める（新潟県、1960）とみなせる。したがって、泥分供給流束は、682万 ton/yrになる。

一方、砂分供給流束は170万 ton/yrになる。この推定値は、一見すると、上述の沿岸漂砂流束の推定値と調和的である。しかし、砂浜を実際に構成しているのは、粒径250 μ m以上の中粒砂及び粗粒砂である。したがって、河川由来堆積物の粒度特性については、その

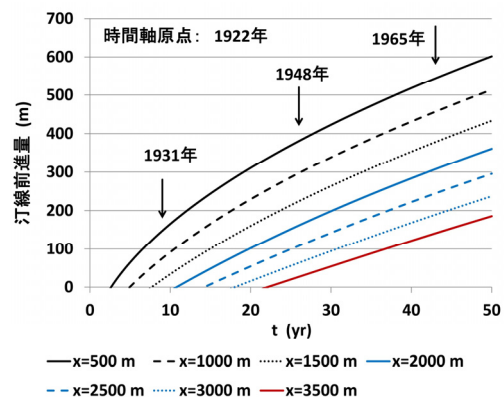


図6 砂浜地形発達モデルの野積海岸への適用（汀線前進が顕在化するまでの潜伏期間は河口からの距離xに応じて長くなっている）

時間的変遷も含めて、さらなる分析が必要である。

③ 河口沖浅場の流砂/漂砂変換機能

河口沖浅場（河口沖テラス）における堆積物の貯留および再配分機能については、未だ十分には解明されていない。ここでは、河口沖浅場の堆積構造に関する成果を述べておく。河口沖で実施したパイプロコア (VC-09S, 水深 6.2 m) の X 線 CT 画像解析によると、河口沖浅場は単純な砂体ではなく、砂泥成層を形成している。すなわち、海底面下 0.5~0.6 m に泥層が分布し、その下位に中粒砂（厚さ 0.25 m）が「捕捉」されている。その下位には、別の泥層が分布している。

このような堆積構造の形成には、大出水にともなう河口沖浅場での水中チャンネルや水中堤防の自律的な形成、そして出水減勢期の沿岸漂砂のタイミングが深く関わっているように推察される。

1970 年代以降、寺泊・野積海岸における砂浜面積は停滞している。1911 年汀線位置を基準にした汀線変動の GIS 解析結果を図 7 に示しておく（東ら, 2013）。

砂浜地形発達が鈍化したのは、河口沖浅場における流砂/漂砂変換効率の低下によるのか、あるいは流域土砂生産量や粒度組成の変化に帰せられるのか、今後、さらに分析を進める必要がある。

④ 下部外浜の浅海化傾向

海浜環境マネジメントには、上部外浜 ($h < h_c$) における海浜変形のみならず、下部外浜 ($h > h_c$) における地形変化と底質環境変化にも注目する必要がある。

水深 15 m 地点 (VC-15) では、厚さ約 1 m の細砂層（平均粒径 129~204 μm ）が、泥質洪水堆積層上に分布している。当細砂層が泥層上に単調に累重したとみなすと、その堆積速度は、0.25 m/yr に達する。

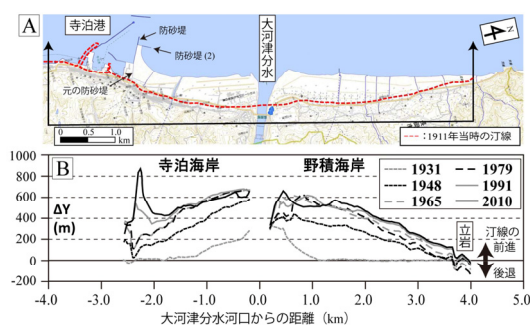


図 7 寺泊・野積海岸における 1911 年汀線位置を基準にした汀線変動実績（東ら, 2013 に基づく）

上述のような下部外浜における急速な砂層堆積モードが長期的に継続するのかどうか、モニタリングによる評価を待ちたい。

水深 30 m 地点 (P30) では、大河津分水通水開始以来の平均的な堆積速度（極細砂・細砂主体）は、概ね 0.02 m/yr であることを指摘した。一見、小さな値のようにであるが、超長期的な視点ではそうではない。

日本の多くの堆積性海岸は、海水準が安定した最近数千年間の堆積作用の影響を受けている。

一方、寺泊・野積海岸においては、大規模河川（大河津分水路）の河口出現以来、90 数年が経過したに過ぎない。

河川流出にともなう堆積物の海域流入は悠久の営みである。海浜地形環境変遷の可能性について、多角的な検討を望みたい。

⑤ 泥質物質の行方

大河津分水から海域に流出する泥質物質の流束は 682 万 ton/yr にのぼる、との推定を既に述べた。

その行先はどこであろうか？

寺泊・野積海岸～間瀬海岸沖（水深 40 m~140 m）の陸棚域（概ね 5 km x 20 km の広がり）を対象に推算を行った。当領域における平均的な堆積速度を見積もるために、SM60 地点の堆積速度 (0.028 m/yr) に低減係数 (0.2) を乗じた。表層 1 cm の堆積土の間隙率は 0.722、土粒子比重は 2.65 とおくと、当陸棚域での沈積流束は、41 万 ton/yr になる。

しかし、この値は、河川から供給される泥質物質流束 (682 万 ton/yr) の 6 % を占めるに過ぎない。

残りの泥質物質はどこに輸送されるのか、気になるところである。

郷本海岸～寺泊・野積海岸～間瀬海岸の陸棚域より沖合には、大陸斜面と佐渡海盆（最大水深 520 m）が広がっている。その面積は 1000 km^2 （上で検討した陸棚域の面積の約 10 倍）に及ぶ。したがって、泥質物質の受皿としては最有力候補である。

泥質物質の広域輸送に関わる流体営力の評価は今後の課題である。それに関連して、陸棚の水利環境もダイナミックであることを強調しておきたい。

<引用文献>

- ① 新潟県、旧信濃川関屋分水調査報告書、1960
- ② 藤井秀人、桐 博英、放水路周辺海浜の汀線変動とその要因、農業土木学会論文集、No. 200、1999、35-43
- ③ 宮地良典、船引彩子、楮原京子、井上卓彦、天野敦子、卜部厚志、岡村行信、越後平野沿岸部海域・陸域に分布する沖積層の地層対比、海陸シームレス地質情報、新潟沿岸域、数値地質図 S-2、2011、1-13
- ④ 東良慶、平石哲也、関口秀雄、河口海岸域における砂浜地形の形成過程を読み解く試み、土木学会論文集 B1 (水工学)、69 巻 4 号、2013、I_1477-I_1482

- ⑤ 関口秀雄、山崎秀夫、中川亮太、石田真展、東良慶、原口強、細山得三、河口砂浜海岸の堆積環境変遷における洪水土砂流出の重要性、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、69 巻 2 号、2013、I_691-I_695

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 関口秀雄、山崎秀夫、石田真展、東良慶、原口強、細山得三、大河津分水一寺泊野積海岸系における河川土砂流出と堆積層形成の繋がり、土木学会論文集 B1 (水工学)、72 巻 4 号、2016、I_349-I_354
- ② 大竹剛史、AYURZANA Badarch、細山田得三、大規模河川の河口から放出される土砂の海底への沈降と堆積過程の計算、土木学会論文集 B1 (水工学)、72 巻 4 号、2016、I_355-I_360
- ③ 関口秀雄、山崎秀夫、石田真展、東良慶、原口強、細山田得三、漂砂と堆積作用の繋がり一野積海岸の底質環境変遷に着目して、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、72 巻 2 号、2016、I_787-I_792
- ④ 大竹剛史、AYURZANA Badarch、細山田得三、河口から放出される土砂と海水の混合による沈降促進を考慮した浮遊土砂の数値計算、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、72 巻 2 号、2016、I_1309-I_1314

[学会発表] (計 5 件)

- ① 石田真展、山敷庸亮、関口秀雄、原口強、東良慶、山崎秀夫、福島原発事故で放出された放射性セシウムの移流に果す河川水中の懸濁粒子の役割、日本地球惑星科学連合会 2015 年大会、2015 年 05 月 27 日、幕張メッセ (千葉県千葉市)
- ② 関口秀雄、山崎秀夫、石田真展、東良慶、原口強、細山田得三、大河津分水一寺泊野積海岸系における河川土砂流出と堆積層形成の繋がり、第 60 回水工学講演会、土木学会、2016 年 03 月 15 日、東北工業大学八木山キャンパス 9 号館 (宮城県仙台市)
- ③ 大竹剛史、AYURZANA Badarch、細山田得三、大規模河川の河口から放出される土砂の海底への沈降と堆積過程の計算、第 60 回水工学講演会、土木学会、2016 年 03 月 15 日、東北工業大学八木山キャンパス 9 号館 (宮城県仙台市)
- ④ 関口秀雄、山崎秀夫、石田真展、東良慶、原口強、細山田得三、漂砂と堆積作用の繋がり一野積海岸の底質環境変遷に着目して、第 63 回海岸工学講演会、土木学会、2016 年 11 月 17 日、大阪大学中之

島センター (大阪府大阪市)

- ⑤ 大竹剛史、AYURZANA Badarch、細山田得三、河口から放出される土砂と海水の混合による沈降促進を考慮した浮遊土砂の数値計算、第 63 回海岸工学講演会、土木学会、2016 年 11 月 17 日、大阪大学中之島センター (大阪府大阪市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関口 秀雄 (SEKIGUCHI, Hideo)
大阪市立大学・大学院理学研究科・客員教授
研究者番号：20027296

(2) 研究分担者

山崎 秀夫 (YAMAZAKI, Hideo)
近畿大学・理工学部・教授
研究者番号：30140312

東 良慶 (AZUMA Ryoukei)
大阪工業大学・工学部・准教授
研究者番号：50464201

細山田 得三 (HOSOYAMADA, Tokuzo)
長岡技術科学大学・工学研究科・教授
研究者番号：70262475

原口 強 (HARAGUCHI, Tsuyoshi)
大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：70372852

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

上田 圭一 (UETA, Keiichi)

下山 正一 (SHIMOYAMA, Shoichi)