

令和元年5月30日現在

機関番号：50101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06521

研究課題名(和文) 蛍光砂を用いた混合粒径下における波打ち帯の漂砂移動特性に関する研究

研究課題名(英文) CHARACTERISTICS OF SEDIMENT TRANSPORT IN THE SWASH ZONE UNDER MIXED GRAIN SIZE

研究代表者

宮武 誠 (Miyatake, Makoto)

函館工業高等専門学校・社会基盤工学科・准教授

研究者番号：20435382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：粒径別に色相の異なる蛍光砂を用いた混合粒径下において、画像解析による漂砂濃度計測法を確立し、波打ち帯の漂砂可視化実験を適用させた。その結果、混合粒径で構成した底質の粒度分布を変化させた場合における砂浜斜面の飽和度に応じた波打ち帯の粒径別漂砂移動特性を明らかにするとともに、それに伴う底質の粒度変化や縦断地形変化に及ぼす影響を解明した。また、混合粒径下の粒径別無次元掃流力を評価可能な遡上波変形と浸透流の結合数値解析モデルならびに、浸透・滲出流を考慮した漂砂輸送モデルを構築し、その再現性及びモデルの妥当性について実験結果との定性的な比較から検証し、今後の課題を整理した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで主に波の特性量との関係で説明されてきた漂砂問題に対し、本研究で対象とした波打ち帯の水理学的特性から、遡上波に伴う前浜浸透・滲出流の影響を砂浜斜面の飽和度を考慮して解明したこと。加えて、底質を混合粒径とすることで、その粒度分布に応じて、底質が粗粒化し前浜斜面が急峻化することや斜面がより安定化するアーミング効果等の諸現象と粒径別漂砂量の関係を見出したことで、海岸工学分野において学術的に重要な知見を提示した。また、構築した混合粒径に適用させた透過斜面の粒径別無次元掃流力モデルを通じ、汀線付近の侵食現象を含めた今後の海浜変形予測の精度向上に資する数値計算法を提案した。

研究成果の概要(英文)：The image measurement techniques of fluorescent sands with different colors for each grain size are established through the steady circulation flow experiments under the mixed grain size. These techniques are applied for solitary wave experiments to evaluate the sediment transport comprised of mixture sand grains at swash zone. As the result, it makes clear that the characteristics of swash sediment transport according to saturation of beach slope in different condition of grain size distribution. A numerical approach of tractive force for respective grain sizes of sand mixtures is presented, that is quantified through a permeable Shields parameter. The results of prediction are in good qualitative agreement with those of experiments.

研究分野：海岸工学

キーワード：混合粒径 波打ち帯 無次元掃流力 漂砂移動 飽和・不飽和斜面

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

1. 研究開始当初の背景

波打ち帯の漂砂運動は、砕破帯に次いで活発であることが知られており、汀線後退や前浜勾配の急峻化、浜崖の形成といった汀線付近の海岸侵食現象に直接影響を及ぼすため、その特性の解明は重要な課題である。既往の現地観測において、荒天時の前浜地下水位の上昇が後浜のバームの消失過程に大きく影響することや、砂浜内に埋設した透水層により地下水位を低下させると、前浜域の堆積が促進することを指摘しており、地下水位の高さ(砂浜内の飽和度)は、波打ち帯の侵食・堆積過程ならびに、漂砂移動に重要な役割を果たしているものと考えられる。波打ち帯の漂砂移動に関する研究はこれまでに活発に行われてきたが、遡上波水塊が高速かつその水深が極めて小さいことに加え、波の遡上・流下に伴い砂層表面で生じる浸透・滲出流に大きく影響されるため、現象の複雑さや測定の困難さから、その研究のほとんどは単一粒径に限定され、測定した地形変化量を基に漂砂量を推算したものに留まっている。近年になって、引き波時の底面露出部を含めた砂粒子量を画像解析により計測した研究があるものの、波打ち帯の漂砂量を直接的に計測した研究事例は未だ数少ないのが現状である。一方、波の遡上・流下運動に浸透・滲出流の影響を考慮に入れて、波打ち帯の漂砂移動を検討した研究も国内外問わず数多く行われているが、その多くは数値解析による検討が主体になっており、特に前浜砂層内に交差的に混在する飽和・不飽和領域を包含した浸透・滲出流により、それらが波打ち帯の漂砂移動に及ぼす影響を考察した研究は見当たらない。

2. 研究の目的

波打ち帯の漂砂運動に関するこれまでの既往研究の多くは、遡上波水塊が高速かつその水深が極めて小さいことに加え、波の遡上・流下に伴う浸透・滲出流に大きく影響されるため、現象の複雑さや測定の困難さから、単一粒径に限定して議論されてきた。本研究は荒天時を想定し、粒径毎に色相の異なる蛍光砂を用いた波打ち帯の漂砂移動可視化実験及び混合粒径に対応させた透過斜面の無次元掃流力モデルを通じ、砂浜斜面の飽和度に応じた混合粒径下での波打ち帯の漂砂移動特性ならびに、それらが縦断地形変化や底質粒度変化過程に及ぼす影響を明らかにすることで、上述した汀線付近の侵食現象の解明に資する知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 3 粒径階の蛍光砂濃度変換テーブルの作成と混合粒径下への適用性に関する検討

はじめに混合粒径下での漂砂濃度を粒径別に評価できる画像解析による漂砂計測手法について検討した。水路内に設けた定常循環流実験において、濁度計及び画像濃淡値から色相の異なる 3 粒径階の蛍光砂に対する濃度変換曲線を作成した。次にこれら 3 粒径階の蛍光砂を用いて 3 パターンの配合割合に変化させた混合粒径について同実験を実施し、粒径別漂砂濃度の評価を行った。手法としては得られた画像の色相分離により各色相に対する画像濃淡値を取得し、上述した 3 粒径階の濃度変換曲線を用いて算出した各粒径の漂砂濃度の合計値と濁度計によって得られた混合粒径下での漂砂濃度を比較するとともに、流水中の蛍光砂濃度の含有割合と投入した混合蛍光砂の粒度分布を比較することで、本研究で構築した混合粒径下における漂砂濃度計測手法の妥当性及び適用性について検証した。

(2) 孤立波作用下における混合粒径による波打ち帯の漂砂可視化実験

次に(1)で記した画像解析による漂砂濃度計測法を、濁度計等では直接計測できない混合粒径下における波打ち帯の漂砂移動に関する可視化実験に適用させた。実験は、ピストン式造波機を有する 2 次元造波水路内に海底勾配 1/10 の塩化ビニール製固定床斜面モデルを設置し、その上部の水平床に長さ 3.5 m、高さ 30 cm、後浜天端 50 cm を有する海底勾配 1/10 の砂浜モデルを製作して行った。砂浜モデルを構成する底質は、(1)で検討した 3 種の配合の混合粒径砂である。遡上波の流体運動は、砕波に伴う乱れや先行波による戻り流れとの干渉などの複雑な水理現象を呈している。そのため、本研究は底質の飽和度に応じた混合粒径下での波打ち帯の漂砂移動特性を把握するにあたり、現象を単純化させるため、入射波には孤立波(波高 8cm, 周期 4.5sec)を用いた。模型斜面後浜側に設けた貯水槽の水位を変化させることにより砂浜斜面を飽和及び不飽和状態にした上で、孤立波を 2 分間隔で 10 波作用させた。水路原点より 220 cm 沖側の砂層表面には、厚さ 1 cm、岸沖方向に 10 cm、水路横断方向一様に底質と同配合の蛍光砂を敷設し、暗転した実験室内でブラックライトを照射することで、遡上波による蛍光砂の移動を水槽側面から高速度カメラにより撮影した。その後、得られた画像は(1)と同じ画像計測法により遡上波流水中に含まれる粒径別蛍光砂量を求めた。斜面上の遡上波変形及び砂層内の地下水位は、3 本の容量式波高計及び 3 本の水圧計によりそれぞれ計測した。実験終了時にはレーザー式距離計により地形変化量を測定した後、蛍光砂層部から地形変化後の底質を採取して粒度試験を行った。これより混合粒径で構成した底質の粒度分布を変化させた場合における砂浜斜面の飽和度に応じた波打ち帯の粒径別漂砂移動特性を明らかにするとともに、それに伴う底質の粒度変化や縦断地形変化に及ぼす影響について言及した。

(3) 前浜浸透・滲出流を考慮した波打ち帯の漂砂解析法の構築と混合粒径への適用性

数値解析ははじめに、混合粒径下における波打ち帯の漂砂輸送解析モデルの構築に向け、遡上波変形と飽和・不飽和浸透流を結合させた数値解析モデルならびに、単一粒径下における浸透・滲出流を考慮した漂砂輸送モデルを構築し、過去に行った段波作用下における波打ち帯の

漂砂移動に関する可視化実験の再現計算を実施することで、数値モデルの再現性や妥当性を検証するとともに、波打ち帯の漂砂移動に及ぼす飽和・不飽和斜面の影響について解明した。

次に上述した数値解析モデルをベースに混合粒径下における粒径別無次元掃流力を評価可能なモデルを構築し、(2)の実験結果との定性的な比較となるが、分布の傾向等を把握することで、混合粒径下における波打ち帯の漂砂輸送解析モデル構築に向けた足掛かりとなる知見について整理した。

4. 研究成果

本研究で得られた成果を整理すると以下のとおりである。

(1)本研究で構築した画像解析による漂砂濃度計測法において、混合粒径における配合割合を変化させても、画像の色相分離により各色相に対する画像濃淡値から濃度変換曲線を用いて算出した各粒径階の漂砂濃度の合計値は、別途、濁度計により計測した混合粒径下の漂砂濃度にほぼ一致することを確認した(図-1)。また、流水中の粒径別漂砂濃度含有率においても投入した混合粒径の粒度分布に概ね一致し、妥当な精度で計測可能であることを確認した(図-2)。なお、この計測手法は、実験当初において混合粒径の配合割合による影響が懸念されたが、粒度分布を変化させても、その影響は小さく、適用可能であることも確認した。これより、本画像解析法の妥当性を提示できた。

(2)細粒分を多く含む混合粒径下の粒径別蛍光砂量(図-3)は、遡上波掃流に加え滲出流による揚力効果が加わることで、飽和及び不飽和斜面でともに遡上時よりも引き波時で大きくなる分布を呈しているが、その傾向は地下水位の経時変化(図-5)から浸透水を速やかに滲出する飽和斜面において顕著となり、特に流出する細砂成分の増加が著しい。その結果、波作用後の底質粒度分布(図-7)において、飽和斜面で粗粒化がより一層進行し、前浜勾配の急峻化を助長することを示した(図-9)。

(3)一方、底質を構成する粗砂の割合が多くなるに従い、図-4に示す各粒径別蛍光砂量は、細粒分を多く含む混合粒径底質と同様に遡上時よりも引き波時で大きくなる傾向にあるが、斜面の飽和度に依らずほぼ同じ結果となることから、飽和・不飽和斜面による浸透・滲出流の影響は消失する。このことを前浜地下水位の経時変化(図-6)が同じになることから確認できた。底質に含まれる細砂の含有絶対量が小さくなることから、波作用後の前浜地形変化や底質粒度分布の変化も相対的に小さくなり、結果として構成する底質の粗粒分が多くなるに従い、より多くの粗粒材が遡上斜面に留まることで、細粒分で構成する底質よりも侵食の進行が抑制され、斜面をより安定化させるアーミング効果が、斜面の飽和度に伴う浸透・滲出流の影響よりも大きくなることを明らかにした(図-8,10)。

(4)単一粒径下における浸透・滲出流を考慮した漂砂輸送モデルを構築し、過去に行った段波作用下における波打ち帯の漂砂可視化実験の再現計算を行った結果、斜面を透過した場合の計算値は、飽和・不飽和斜面における実験値の特性や傾向を不透過とした場合に比べ、良好な結果で評価できることを示した。また、底質粒径を変化させたことに伴う波打ち帯の漂砂移動に及ぼす斜面飽和度の影響をより正確に反映することができることを確認した(図-11)。

(5)混合粒径下における粒径別無次元掃流力モデルに底質の各粒径階の配合割合を考慮した結果、底質の粒度分布を変化させた場合における混合粒径下の波打ち帯の各粒径別蛍光砂量の特性及び傾向を定性的ではあるが、概ね良好な結果で評価できることを示した(図-12)。しかし、本研究で対象とした遡上波流水中の混合粒径底質は、基本的にシートフロー形式での移動となるため、更に計算精度を高めるためには、遡上波流水中の流体運動と漂砂濃度との固液相間で生じる相互干渉を考慮する必要があること、また、混合粒径の各粒径別での限界掃流力の与え方、特に斜面内の飽和度(砂層内のサクシオン動態)によって時々刻々変化していることが想定されること等一部課題が残っている。そのほか現地海岸の適用を考えた場合、連続した進行波への適用も検討する必要があると考えられる。今後はこれら課題点を構築した数値解析モデルに組み込み反映することで、混合粒径下における波打ち帯の粒径別漂砂量ならびに、それに伴う縦断地形変化や粒度分布変化を予測し、再現性やモデルの妥当性を検証する所存である。

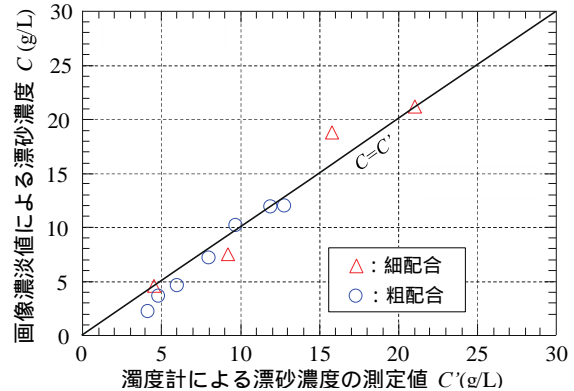


図-1 漂砂濃度の画像解析値と計測値の比較

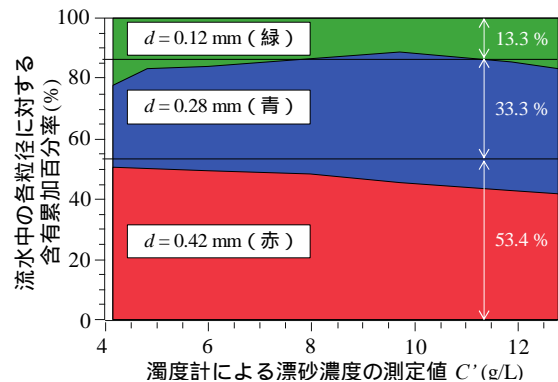
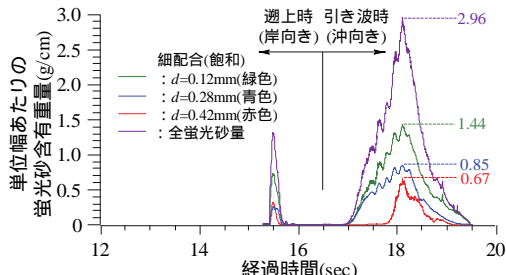
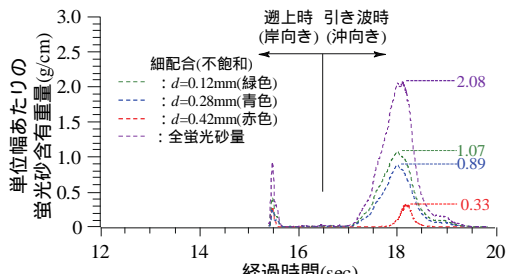


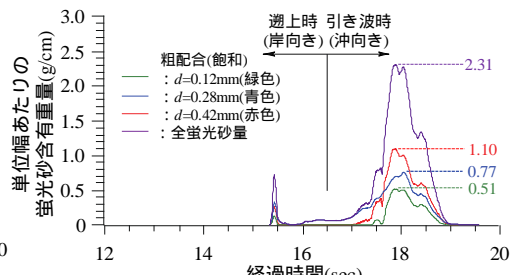
図-2 漂砂濃度の粒径別累加含有百分率の一例(粗配合の場合)



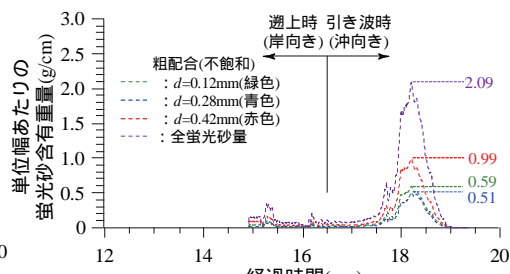
(a)飽和斜面の場合



(b)不飽和斜面の場合

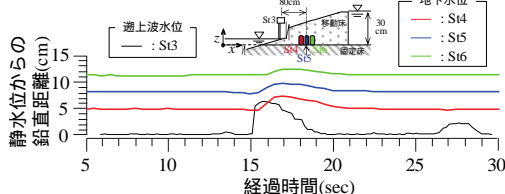


(a)飽和斜面の場合

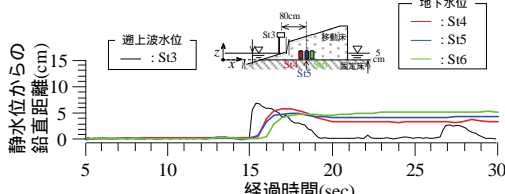


(b)不飽和斜面の場合

図-3 蛍光砂量の経時変化(細配合)

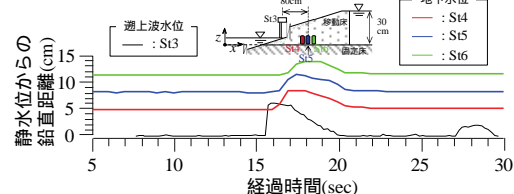


(a)飽和斜面の場合

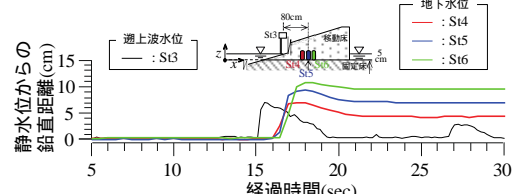


(b)不飽和斜面の場合

図-4 蛍光砂量の経時変化(粗配合)



(a)飽和斜面の場合



(b)不飽和斜面の場合

図-5 地下水位の経時変化(細配合)

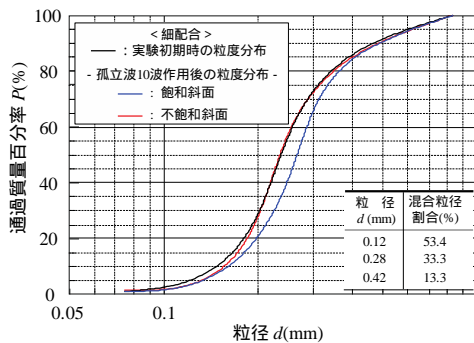


図-7 波作用後の粒度分布(細配合)

図-6 地下水位の経時変化(粗配合)

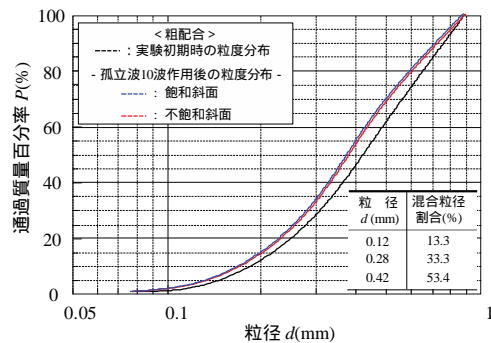


図-8 波作用後の粒度分布(粗配合)

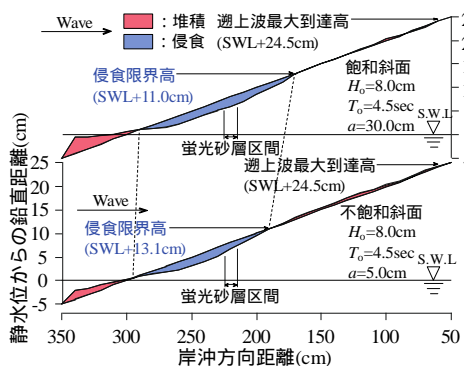


図-9 縦断地形変化(細配合)

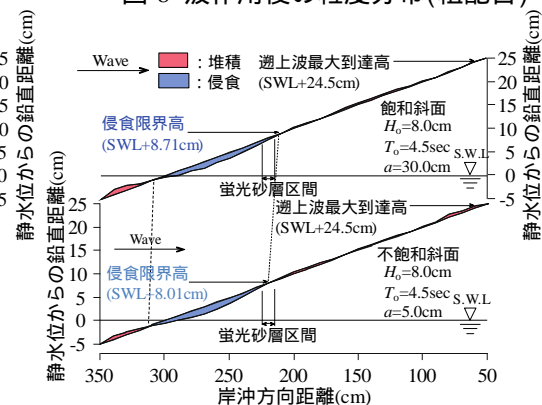


図-10 縦断地形変化(粗配合)

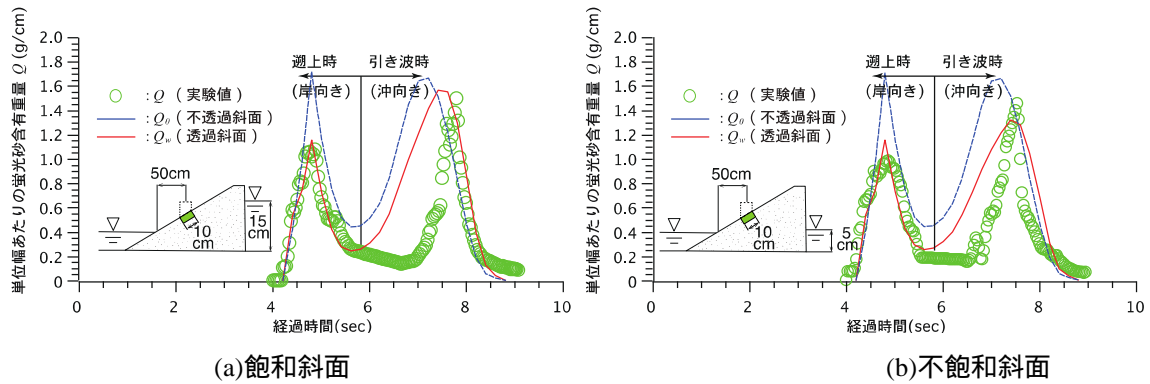


図-11 単一粒径下での波打ち帯の漂砂量の実験値と計算値の比較の一例(粗粒底質の場合)

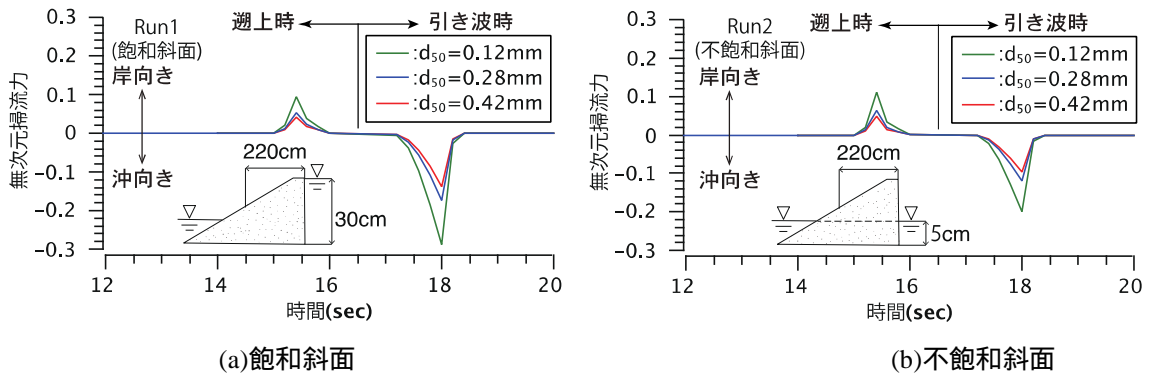


図-12 混合粒径下での波打ち帯の粒径別無次元掃流力の一例(細配合の場合)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- (1)本間 大輔 宮武 誠 佐々 真志 木村 克俊 白水 元 蛸子 翼：地盤性状変化を考慮した海岸道路の後浜斜面の高波による破壊メカニズムの解明,土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol. 72(2016) No. 2 p.1_1189-1_1194, 2016.
- (2)白水 元,佐々 真志,宮武 誠：砂浜底質の波の迎上に伴う間隙変化モニタリング手法の開発,土木学会論文集 B3(海洋開発),Vol. 73(2017) No. 2 p. 1_702-1_706, 2017
- (3)宮武 誠,成田 郁史,木村 克俊,越智 聖志,佐々 真志,白水 元:混合粒径下における波打ち帯の漂砂移動特性,土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol. 73(2017) No. 2 p. 1_541-1_546, 2017.
- (4)宮武 誠,石橋 さくら,木村 克俊,越智 聖志,佐々 真志,白水 元:前浜浸透・滲出流を考慮した波打ち帯の飽和・不飽和斜面の漂砂輸送解析,土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol. 74(2018) No. 2 p. 1_715-1_720, 2018.
- (5)石橋 さくら,宮武 誠,越智 聖志,佐々 真志:粗粒底質における前浜浸透・滲出流を考慮した波打ち帯の漂砂輸送解析,土木学会論文集 B3(海洋開発),Vol. 75(2019) No. 2 印刷中, 2017.

〔学会発表〕(計6件)

- (1)成田 郁史 宮武 誠：“混合粒径下における蛍光砂濃度の画像解析”，土木学会北海道支部論文報告集，第73号，B-49，2017.
- (2)荒木 京佑 宮武 誠 本間 大輔：“地盤性状変化を考慮した海岸道路の後浜斜面の高波による被災メカニズムに関する研究” 土木学会北海道支部論文報告集，第73号，B-54，2017.
- (3)成田 郁史 宮武 誠：“混合粒径下における波打ち帯の漂砂移動可視化実験”，土木学会北海道支部論文報告集，第74号，B-44，2018.
- (4)和田 京果 宮武 誠：“粗粒度底質における波打ち帯の漂砂移動特性”，土木学会北海道支部論文報告集，第74号，B-45，2018.
- (5)石橋 さくら 宮武 誠 越智 聖志：“前浜浸透・滲出流を考慮した波打ち帯の飽和・不飽和斜面の漂砂輸送解析”，土木学会北海道支部論文報告集，第75号，B-17，2019.
- (6)和田 京果 宮武 誠：“鉛直1次元浸透流モデルによる前浜砂層域の浸透・滲出流解析”，土木学会北海道支部論文報告集，第75号，B-19，2019.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：佐々 真志，木村 克俊

ローマ字氏名：Sassa Shinji, Kimura Katsutoshi

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。