

令和元年6月13日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26420497

研究課題名(和文) サンドリサイクルにおける土砂投入を考慮した3次元海浜変形予測モデルの開発

研究課題名(英文) Development of 3D morphodynamic model for sand recycling system

研究代表者

黒岩 正光 (KUROIWA, Masamitsu)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：10225279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、砂浜侵食対策として、陸域への養浜あるいは海域への土砂投入の併用によるサンドリサイクル対策に着目し、効率的、効果的な養浜やサンドリサイクルの検討ツールとしての新たな3次元海浜変形予測モデルを構築した。構築されたモデルを実際にサンドリサイクルが実施されている2ヶ所の現地海浜に適用し、現地調査結果と比較してモデルの妥当性を検討した。最後に、モデルケースとして浦富海岸を対象に土砂投入位置の違いによる海浜変形への影響も検討した。計算結果から、本研究で構築した土砂投入を考慮した3次元海浜変形モデルは概ね現地における海浜変形を再現可能であることが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

全国各地で侵食対策としてサンドリサイクルが実施されている。その解析には実務上等深線変化モデルが多く使用されている。しかし、海岸構造物がある場合、波と流れによる3次元解析が必要である。サンドリサイクルにおいては効率良く効果的な土砂投入を検討する必要がある。本研究で開発した3次元モデルは土砂浚渫過程と投入過程を導入した新しいモデルであり、学術的にも工学的にも有用性あるものである。本モデルは、サンドリサイクルの効果検証だけでなくサンドリサイクルの実施計画にも有益なツールである。今後、さらに国内外において実施される養浜事業に対して有益な資料提供が可能となると考えており、社会的意義が非常に高い。

研究成果の概要(英文)：Sand nourishment such as sand bypassing or sand recycling is an effective measures against beach erosion as an alternative technique. A new numerical model considering the sand nourishment, which is a 3D beach evolution model for taking account the sand dredging and injection processes, was developed. A model test for sand recycling in an area with artificial reefs was carried out, and then the ability of the presented was confirmed. The developed model was applied to a sand recycling project conducted at two field sites with artificial reefs (erosion area). From comparisons between the computed and measured bathymetry changes, it was found that the presented model gave fairly agreement with measured data. Finally, as a case study, the effect of sand injection against the beach erosion at Uradome beach with two artificial reefs was investigated.

研究分野：水工水理学(海岸工学)

キーワード：海浜変形 漂砂 サンドリサイクル 養浜 3次元海浜変形モデル 数値解析

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

我が国には、侵食対策として多くの人工リーフが設置されてきたが、必ずしも背後の砂浜が護られているわけではなく、台風の巨大化、通過経路の変化によって、想定外の高波の発生により、背後地の砂浜が決壊する事例が発生している。また、開口部では強い沖向き流れが発生することから深掘れ（洗掘）が発生し、人工リーフの機能低下の問題もある。例えば、鳥取県東部にある浦富海岸では、同海岸西側にある田後港の沖防波堤延伸によって海岸侵食が発生し、その侵食対策として人工リーフが設置された（図-1）。一方、田後港の港口部において堆砂が発生し、毎年浚渫を余儀なくされその浚渫土砂をリーフ周辺に投入するサンドリサイクルを実施している。また、同時に、西側の砂浜へ堆積した土砂を陸養浜しているにも関わらず、その効果は十分ではなく、リーフ開口部においても洗掘が発生し、港口部への堆砂も問題となっている。また、同県西部の皆生海岸では、マリナーに堆積した土砂を侵食域へ陸上輸送し侵食域へ養浜を行っている。ここでは、海岸構造物による侵食対策工法としての人工リーフが設置されているにも関わらず、養浜土砂の歩留まりはあまり良くなく、同地域の侵食は改善されていない（図-2）。一般的に、港内や港口部には、分級効果によって比較的粒径の細かい土砂が堆積しており、その堆積物を養浜に用いるのでは投入位置に留まりづらいこと、浦富海岸や皆生海岸においてはハード対策も併用しているにも関わらず、侵食対策としてのサンドリサイクルの効果が十分ではないのは、人工リーフ設置による波浪場、海浜流場特性の変化が大きく影響していることなどが、十分な侵食対策となっていないものと考えられる。効率よく適切な侵食対策を施すためには、対象地域の粒度特性、地形変化特性などを明らかにし、人工リーフなどのハード対策とサンドリサイクルなどのソフト対策の併用による適切な維持管理手法の見直しが必要であると考えられる。そのひとつの対策案の検討と対策による影響評価を行うためのツールとして高精度な数値シミュレーションモデルの開発が必要不可欠である。



図-1 浦富海岸におけるサンドリサイクル



図-2 皆生海岸におけるサンドリサイクル

養浜土砂の歩留まりはあまり良くなく、同地域の侵食は改善されていない（図-2）。一般的に、港内や港口部には、分級効果によって比較的粒径の細かい土砂が堆積しており、その堆積物を養浜に用いるのでは投入位置に留まりづらいこと、浦富海岸や皆生海岸においてはハード対策も併用しているにも関わらず、侵食対策としてのサンドリサイクルの効果が十分ではないのは、人工リーフ設置による波浪場、海浜流場特性の変化が大きく影響していることなどが、十分な侵食対策となっていないものと考えられる。効率よく適切な侵食対策を施すためには、対象地域の粒度特性、地形変化特性などを明らかにし、人工リーフなどのハード対策とサンドリサイクルなどのソフト対策の併用による適切な維持管理手法の見直しが必要であると考えられる。そのひとつの対策案の検討と対策による影響評価を行うためのツールとして高精度な数値シミュレーションモデルの開発が必要不可欠である。

### 2. 研究の目的

本研究は、人工リーフのような潜堤構造物と、陸域への養浜あるいは周辺への土砂投入の併用による侵食対策に着目し、今後の侵食対策としての効果的なサンドリサイクルやサンドバイパスの検討ツールとしての新たな海浜変形予測モデルを開発し、その適用性を検討しようとするものである。特に、人工リーフ周辺の波浪場と流れ場を適切に評価する必要があるため、申請者の開発した3次元海浜変形モデルをベースにモデルの構築を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 地形変化特性対の検討

数値シミュレーションモデルを開発する際には現地データとの比較によりモデルの適用性を検討する必要があるため、そのためにまず対象とする現地の地形変化特性を既存の深浅測量結果から検討した。また、陸養浜によるサンドリサイクルによる地形変化の動向も検討しておく必要があるため、図-1および図-2に示した浦富海岸と皆生海岸を対象とした。さらに、本研究ではUAV（ドローン）空撮画像による海浜解析手法についても検討した。

#### (2) 3次元土砂養浜解析モデルの開発

人工リーフ上では、強い岸向きの流れ、開口部では離岸流が発生するため、波と流れの相互干渉を考慮し、波浪場と流れ場を適切に評価する必要がある。また、天端水深が浅いため、天端上での碎波減衰、波の透過率などを適切に評価する必要がある。そこで、人工リーフ周辺の波と流れ解析モデルの構築を行い、局所洗掘や汀線変化計算を適切に評価し、陸上養浜や海域土砂投入できるようにモデルの改良を行った。

構築した数値モデル（以下、「本数値モデル」という。）は、黒岩ら<sup>1)</sup>が提案した波と流れの相互干渉を考慮した3次元海浜変形予測モデルをベースとしたもので、波浪場は間瀬ら<sup>2)</sup>の回折項を考慮した波作用量平衡方程式を用い、海浜流場は安本ら<sup>3)</sup>の準3次元海浜流モデルをカップリングした相互干渉モデルを用いた。本数値モデルは、波浪場、海浜流場、漂砂量および地形変化の計算の4つのサブモデルで構成される。最終ステップで計算された地形を波浪場の計算へフィードバック（地形データ更新）し、一連の計算を所定の回数だけ繰り返し実施することで、最終地形を計算する。なお、計算手順の概略を図-3に示す。このうち、サンドリサイクル等の

ような土砂の浚渫と投入の過程は、地形変化の計算のサブモデルにおいて考慮した。

(3) 数値モデルの波と流れおよび地形変化の再現性の検討

既往の模型実験結果と浦富海岸において観測された波浪(波高)と海浜流速との比較を行った。また、海浜変形再現性の検討については皆生海岸と浦富海岸を対象として行った。さらに、浦富海岸を対象として、日平均波浪の時系列データを用いた地形変化計算について検討した。

(4) 土砂投入位置や粒径の違いが海浜変形に与える影響について

最後に、ケーススタディとして浦富海岸を対象にサンドリサイクルにおける投入場所と粒径の違いによる影響を調べた。

#### 4. 研究成果

##### (1) 地形変化特性の検討

① 皆生海岸 : 皆生海岸(富益工区)の人工リーフ設置後の地形変化に着目し、平成15年度から平成22年度までの深浅測量結果を用いて人工リーフ設置に伴う侵食堆積状況と汀線変化を調べた。その結果、図-4に示したように平成15年度以降に人工リーフ設置に伴って沿岸漂砂の下手側で汀線の後退が顕著であり、サンドリサイクルにおける土砂の投入位置も漂砂の下手側に移動していることが明らかとなった。また、平成21年11月および翌年の平成22年11月の深浅測量結果から侵食堆積状況を整理した結果を図-5に示す。図-5(b)より、No. 4の人工リーフ西側(左側)において顕著な侵食と、No. 4とNo. 3との開口部において洗掘が見られた。

② 浦富海岸 : 浦富海岸では、平成8年度から年2回深浅測量が実施されている。図-6および7に示すとおり、水深8m以浅において海底地形変化が顕著であることが明らかとなった。また人工リーフ開口部付近の天端嵩上げ工事が開始され、平成19年9月から翌年3月までの期間において開口部の洗掘が発生し、当初水深6m程度であったのが、平成30年3月時点では約15mの深さとなっていた。この原因のひとつとして開口部に発生する強い沖向き流れによるものと推測された。

モデルの再現計算を行うにあたり、地形変化の特徴を把握しておく必要がある。浦富海岸では人工リーフ開口部の洗掘、田後港の堆砂が常に発生しているが人工リーフ周辺、あるいは背後の地形変化は傾向が捉えにくいので、土砂変化量によって傾向を調べた。ここでは、人工リーフ開口部の洗掘が発生した平成19年9月から平成26年3月までの、冬季における土砂変化量を調べた。平成19年9月から平成26年2月までの測量結果にもとづき、図-8に示す各領域(I~VI)の土砂変化量から地形変動特性を検討した。土砂変化量はサンドリサイクル終了後から翌年の春までの期間における差で示し、領域毎に各年の変化量を積み上げ量で比較している。また図中に示す折れ線グラフ(赤線)は各領域の土砂変化量の平均値を示している。この図より、サンドリサイクル完了後、冬季波浪を受け、田後港港口部(I)では平均約1万<sup>3</sup>m<sup>3</sup>堆砂が生じている。一方、人工リーフ開口部(V)では局所洗掘により土砂流出が顕著で

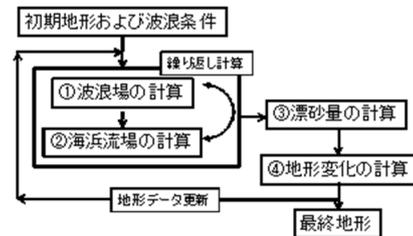


図-3 数値計算モデルのフロー

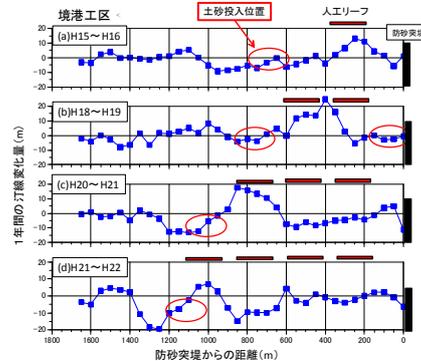


図-4 皆生海岸(富益工区)の汀線変化

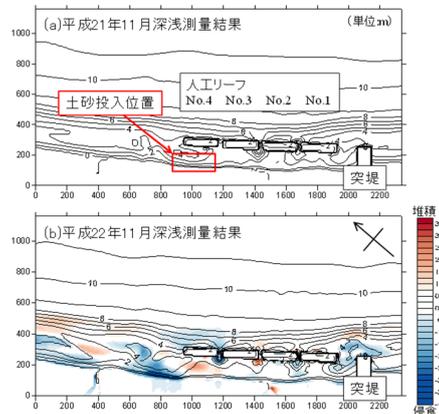


図-5 皆生海岸(富益工区)の海底地形変化

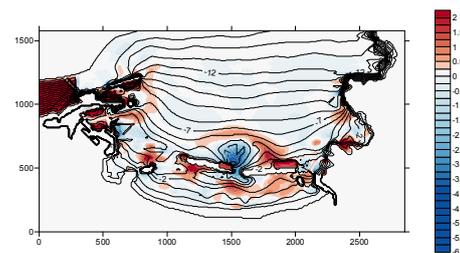


図-6 皆生海岸(富益工区)の海底地形変化

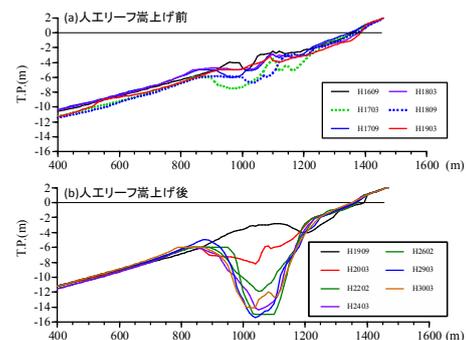


図-7 皆生海岸(富益工区)の海底地形変化

ある。ある限定された期間ではあるが、年間約3万 $m^3$ の土砂流出が見られる。また、領域(VI)では常時堆積傾向であることがわかる。対象期間の平均土砂変化量より、領域I、II、IVおよびVIは堆積傾向で、領域IIIはやや侵食傾向であることがわかった。

(2) 数値モデルの波と流れおよび地形変化の再現性の検討

①モデル地形におけるサンドリサイクルによる地形変化計算

皆生海岸(富益工区)に類似した地形および沿岸漂砂が卓越する場で人工リーフ設置による地形変化とサンドリサイクルを想定した。図-9(a)に示す人工リーフ(堤長200m、天端幅50m、天端水深1.5m)1基を設置した状態で、土砂を海上で浚渫し、浅瀬に投入するサンドリサイクル(約5,000 $m^3$ )を実施した場合の地形変化を計算した。波浪条件は有義波高 $H_s=1.5m$ 、有義波周期 $T_s=7.0s$ 、波向き $-10^\circ$ とした。また、波浪と海浜流の計算は2日毎に実施し、180日後まで計算した。

このうち、サンドリサイクル(土砂の浚渫と投入の期間)は、120日後から160日後までの40日間とした(図-10)。図-9(a)に示すようにサンドリサイクル開始前(計算開始から120日後)で、上手側の人工リーフ両端部で侵食、下手側の突堤付近では顕著な堆積が発生している。つぎに、サンドリサイクル(120日後から160日後の40日間)により、下手側の突堤付近の堆積域の土砂を浚渫し、人工リーフ左側の侵食域へ土砂を投入した(図-9(b))。これにより、侵食域での侵食量の緩和や浚渫域での埋め戻しが再現されている(図-9(c))。簡易ではあるが、堆積域での土砂を海上で浚渫し、侵食域の浅瀬に投入するサンドリサイクルの一連の過程が再現でき、本数値モデルの妥当性がおおむね確認できた。

②皆生海岸における海浜変形再現結果

計算結果の一例を図-11に示す。図-11(a)は、前者の再現計算上の土砂投入位置を示したものであり、現地においてもほぼ同じ位置にほぼ同じ量の土砂が養浜されている。図-11(b)は、平成23年11月の深淺測量結果を初期地形として翌年の平成24年11月との地形変化を示した実測値である。図-11(c)は、平成23年11月の深淺測量結果を初期地形として翌年の平成24年11月の地形変化を計算した結果であり、計算開始から80日間に約16,000 $m^3$ の土砂投入を考慮した。図-11(c)に示すように土砂投入地点付近のNo.4とNo.5の人工リーフ背後の侵食や堆積などが再現されており、図-11(b)に示した実測値とおおむね一致しており、モデルの妥当性が確認できた。

③浦富海岸における海浜変形再現結果

人工リーフ嵩上げ開始後の平成19年10月から翌年の3月までの間の地形変化を対象に再現性の検討をした。波浪データは全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)の鳥取港沖で2時間毎に観測されたデータを用いた。波浪条件の設定は階級別平均波浪時系列(図-12)とした。再現計算結果(図-13)より、開口部の洗掘と田後港の堆砂が良く再現されていることが確認された。

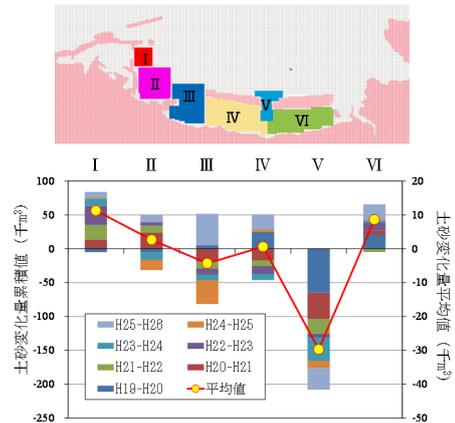


図-8 土砂変化量の比較

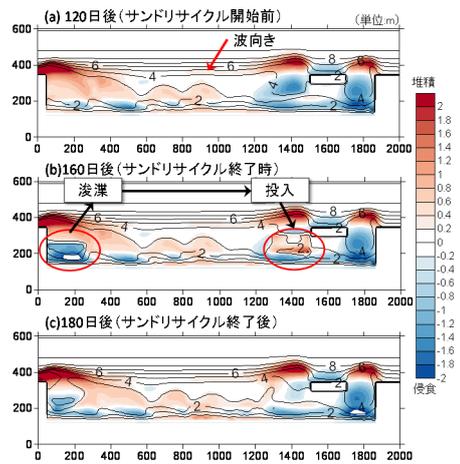


図-9 サンドリサイクル計算例(120日～160日の40日間サンドリサイクルを実施)

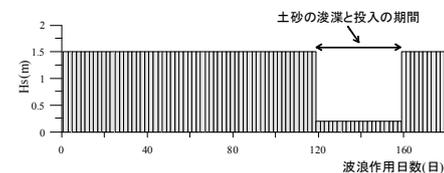


図-10 波浪時系列モデル

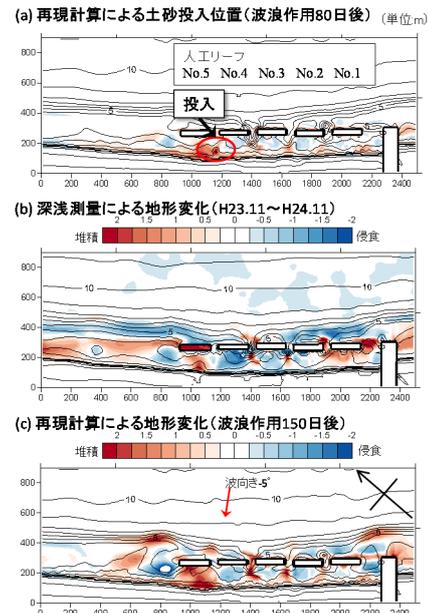


図-11 再現計算結果

(3) 浦富海岸を対象としたサンドリサイクルの検討事例

土砂投入時は波高を0.5mとし、投入期間は50日間に設定した。同時に田後港から浚渫を行った。

土砂投入位置は3パターンとして計算を試みた。図-14 に土砂浚渫と土砂終了時における地形変化の計算結果を示す。また図-15 に最終地形の計算結果を示す。計算結果には初期地形との差も示しており、赤色が堆積を、青色が侵食を表している。なお、図-14(b) は同海岸で実施されている土砂投入とほぼ同じ位置である。図-14 より、田後港では浚渫により海底面の低下（侵食）、各図の投入位置では土砂投入による堆砂の状況が再現されていることが確認できる。

図-15 より、最終地形を比較すると、侵食と堆積域のパターンはどの投入位置においても大きな違いはみられないが、開口部における洗掘防止対策としては開口部付近に土砂投入を行った場合（投入位置 B）が最も効果的であることが確認され、その次に、東側人工リーフ背後に土砂投入を行った場合（投入位置 C）、効果があることが確認できる。

ステップ	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	波向 (°)	波向 方位	出現 日数	作用 日数
①, ②, ⑥~⑨, ⑬, ⑭	1.43	6.65	-7.79	N	80	10日
③, ⑤, ⑩, ⑫	2.3	7.1	16	NNW	30	7.5日
④, ⑪	3.7	9.7	15.1	NNW	10	5日

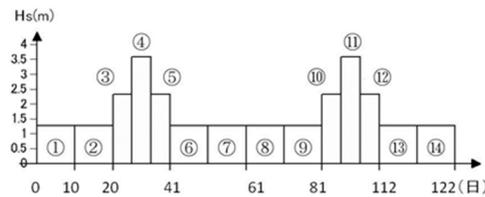


図-12 冬季波浪時系列モデル

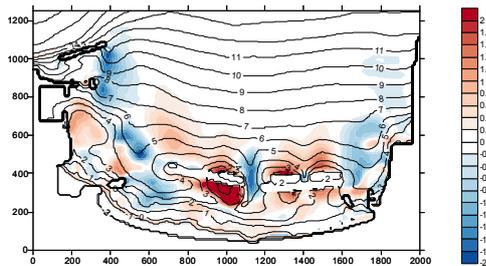


図-13 再現計算結果（土砂投入無し）

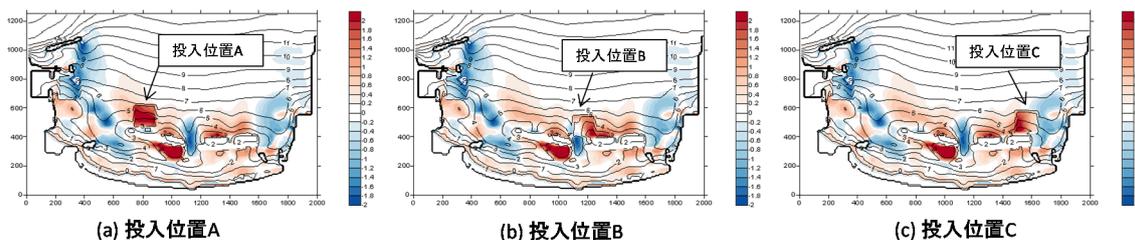


図-14 土砂浚渫と土砂投入終了後（サンドリサイクル終了後）の計算結果の比較

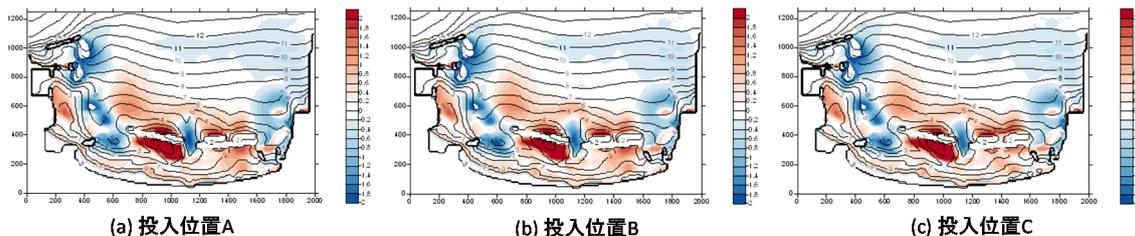


図-15 サンドリサイクル終了時から冬季波浪来襲後の計算結果の比較

(4) まとめ

本研究では、人工リーフのような潜堤構造物と、陸域への養浜あるいは周辺への土砂投入の併用による侵食対策に着目し、今後の侵食対策としての効果的なサンドリサイクルやサンドバイパスの検討ツールとしての新たな海浜変形予測モデルを構築した。構築されたモデルを鳥取県皆生海岸および浦富海岸に適用し、現地調査結果と比較しモデルの妥当性を検討した。最後に、モデルケースとして浦富海岸を対象に土砂投入位置の違いによる海浜変形への影響も検討した。計算結果から、本研究で構築した土砂投入を考慮した3次元海浜変形モデルは概ね現地における海浜変形を再現可能であることが確認できた。最後に、本モデルは今後のサンドリサイクルの効果検証やサンドリサイクル実施時における土砂投入計画等に利用可能であることを付記しておく。

## 参考文献

- 1) 黒岩正光・Ahmed KHALED SEIF・松原雄平・間瀬肇・Jinhai ZHENG：波と流れの相互干渉を考慮した3次元海浜変形予測モデル、土木学会論文集B2(海岸工学)、第66巻、pp. 551-555、2010
- 2) 間瀬肇・由比政年・雨森洋司・高山知司：波・流れ共存場における砕波および回折効果を考慮した位相平均波浪変形予測モデルの構築、海岸工学論文集、第51巻、pp. 6-10、2004
- 3) 安本善征・黒岩正光・松原雄平・津留秀臣・間瀬肇・市村康：人工リーフ開口部における流況に関する実験と準3次元海浜流モデル適用性の検討、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol. 70、No. 2、pp. I\_076-I\_080、2014

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- (1) 黒岩正光・末葎良太・市村 康・福岡和明、UAV を活用した海岸地形変化解析に関する研究、土木学会論文集 B3(海洋開発)、Vol.72、No.2、pp.I\_784-I\_789、2016、査読有  
([https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejoe/72/2/72\\_I\\_784/article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejoe/72/2/72_I_784/article/-char/ja))
- (2) 安本善征・黒岩正光・澁谷容子・松原雄平・小坂田祐紀、土砂の浚渫と投入過程を考慮した3次元海浜変形予測モデル、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.71、No.2、pp.I\_787-I\_792、2015、査読有  
([https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/71/2/71\\_I\\_787/article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/71/2/71_I_787/article/-char/ja))
- (3) Yoshiyuki Yasumoto, Masamitsu Kuroiwa, Yoko Shibutani, Yuki Osakada, and Yuhei Matsubara, Journal of Coastal Research, Special Issue 75 - Proceedings of the 14th International Coastal Symposium, pp. 502 – 506, 2016 , 査読有  
(<https://doi.org/10.2112/SI75-101.1>)
- (4) 安本善征・黒岩正光・松原雄平・津留秀臣・間瀬 肇・市村康、人工リーフ開口部における流況に関する実験と準3次元海浜流モデルの適用性の検討、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.70、No.2、pp.I\_076-I\_080、2014、査読有  
([https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/70/2/70\\_I\\_76/article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/70/2/70_I_76/article/-char/ja))

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：太田 隆夫

ローマ字氏名：OTA, takao

所属研究機関名：鳥取大学

部局名：工学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：70233129

※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。