

# サンゴ礁州島形成促進のための 対策工に関する研究

前田 勇司<sup>1</sup>・琴浦 毅<sup>2</sup>・佐貫 宏<sup>3</sup>・田島 芳満<sup>4</sup>・茅根 創<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 五洋建設(株)技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)  
E-mail: Yuuji.Maeda@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>2</sup>正会員 五洋建設(株)技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)  
E-mail: Tsuyoshi.Kotoura@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>3</sup>正会員 五洋建設(株)技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)  
E-mail: Hiroshi.Sanuki@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>4</sup>正会員 東京大学大学院工学系研究科教授(〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: yoshitaji@coastal.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>5</sup>東京大学大学院理学系研究科教授(〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: kayanne@eps.s.u-tokyo.ac.jp

サンゴ礁州島の形成・維持機構について、これまで現地観測や移動床実験、数値計算が行われてきており、その特性がわかりつつある。その中で、一定の自然条件下でサンゴ礁が干出し、島が形成されうるといことがわかっている。しかし、実際のサンゴ礁海域においてこれらの条件に一致する場所が存在するとは限らない。そこで本研究では人工的な対策工を設置することによって、サンゴ礁州島の形成を促進させることを想定し、二次元移動床模型実験によってその効果的な構造について検討した。その結果、水位面以上の天端高を有する透過構造物が効果的であることや、天端高が水位面以下の透過構造物を設置した場合にその構造によって堆積効率と地形の勾配に相違はあるものの干出までは至らないこと、消波工を有する構造物も効果的であることなどがわかった。また、数値計算モデルにより実験の再現計算を行い、精度よく再現することができた。

**Key Words** : coral reef, movable bed experiment, gravel transport, offshore structure

## 1. はじめに

サンゴ礁州島はサンゴ礁上に形成された標高数 m の低平な島であり静水面上に干出する。州島は主に環礁上に分布するが、環礁自体は世界で 480 ほどあり、1 つの環礁に数 10 の州島が分布する。さらに環礁のみならず孤立したリーフ(パッチ礁)上にも州島が形成されることから、その数は数 1000 以上にも達する。サンゴ礁州島の形成・維持メカニズムの解明は我が国島嶼部の保全に役立つだけでなく温暖化により水没が危惧される太平洋島嶼国の保全にも資することが出来る<sup>1)</sup>。

サンゴ礁州島の形成維持機構に関する研究も行われており、西表島の北方に位置する州島(バラス島)を対象に現地観測を行い、波浪場の評価を行った例がある<sup>2)</sup>。また、砂とサンゴ礁との相違に着目した実験から、サンゴ礁の限界シールズ数の検証を行った例<sup>3)</sup>や、平面水槽を用いた水理模型実験による検討も行われており<sup>4)</sup>、台風や高潮に起因する高波浪や短期間での非常に大きな外

力が作用した際にリーフエッジでの砕波とリーフ内の強い流れによりリーフ内では侵食傾向となるが、水深と波高の条件によっては局所的に平均水位の上昇に追随した礁の堆積が発生することや、リーフエッジにおける砕波による波高減衰や堆積地形形成によるリーフ内への波・流れの遮蔽効果が重要であることもわかっている。

しかし、自然界において州島が新規に形成・維持されるような条件となっている場所は多くないと推定される。そこで本研究ではリーフ上の水面下に堆積しているサンゴ礁を集積させることで州島形成を促進することができる対策工を想定し、二次元移動床水理模型実験によって波浪場、地形変化の特性を把握した上で、効果的な対策工の構造を検討することを目的とする。

## 2. 水理模型実験の概要

### (1) 実験模型および方法

実験縮尺は1/10とし、断面水槽(長さ50 m×幅0.6 m×



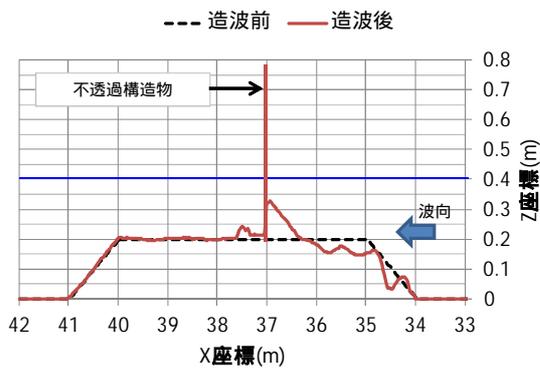


図-4 case1地形変化



写真-1 case1重複波

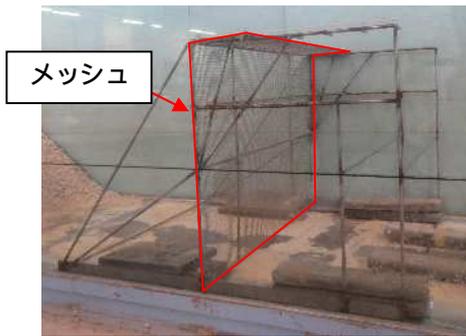


写真-2 透過構造物

## (2) case1 不透過構造物

波も礫移動も遮断する十分な高さの不透過構造物をサンゴ地形上のX=37 m地点に設置したcase1について、造波開始から30分後における地形変化を図-4に示す。構造物前面に堆積していることがわかるが、干出までは至らなかった。目視による観察ではおおよそ30分時点で平衡状態に達しており、礫を供給する、あるいは造波を継続したとしても干出までは至らないと考えられる。写真-1は造波中のスナップショットであるが、構造物前面において非常に大きな重複波が生じ、サンゴ礫の堆積を阻害していることがわかる。また、構造物背後にも堆積が見られるが、これは構造物の下側に強い浸透流が生じたことにより構造物下側の礫が移動したためである。以上のことから、対策工としてサンゴ地形上に不透過構造物を設置した場合、干出まで至らないだけでなく、構造物周辺の洗掘が生じて不安定な状態となることが懸念される。

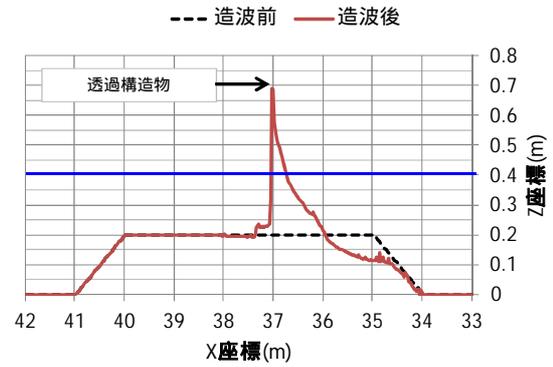


図-5 case2地形変化

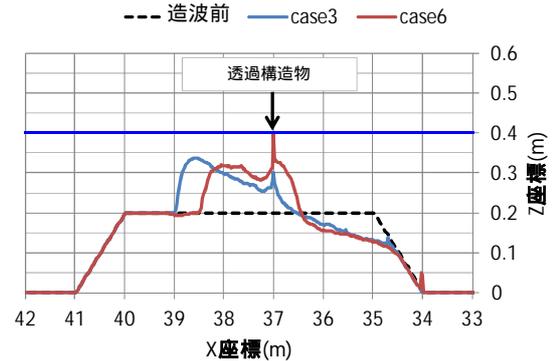


図-6 case3,6地形変化(構造物高さに関する比較)

## (3) case2 透過構造物

不透過構造物の結果をふまえ、水塊を透過し、礫を捕捉するような構造物が効果的であると考え、写真-2に示すようなメッシュ状(網目サイズ4 mm)の十分な高さをもつ構造物をX=37 m地点に設置した。なお、10分ごとに合計4回侵食域を補間する形で礫を供給しながら実験を行った。地形変化を図-5に示す。30分後には干出し、60分後には水面より0.15m程度干出する結果となった。また、透過構造物の場合は構造物周辺の洗掘は生じなかった。以上のことから、不透過構造物と比較すると透過構造物は州島形成促進と安定性の双方の面から優位であると言える。

## (4) case3~8 透過構造物の形状に関する検討

case2における検討から、透過構造物でかつ構造物の天端高を水面より上方に設定すれば干出することがわかったが、ここでは天端高を水面以下とした場合の構造物形状について検討する。構造物形状で変化させる項目は図-2に示した通りである。なお、礫の供給条件と造波時間はcase2と同様とした。

### a) 構造物高さの検討

構造物高さの異なるcase3とcase6の地形変化を比較し、構造物高さの効果に関する検討を行った。図-6に2ケースの地形を示す。構造物前面における堆積厚はcase3で

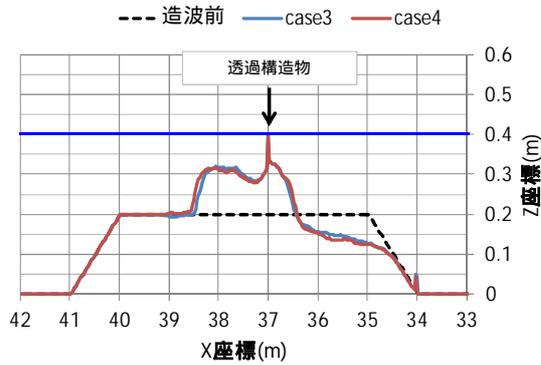


図-7 case3,4地形変化（高さ0.2mひさしに関する比較）

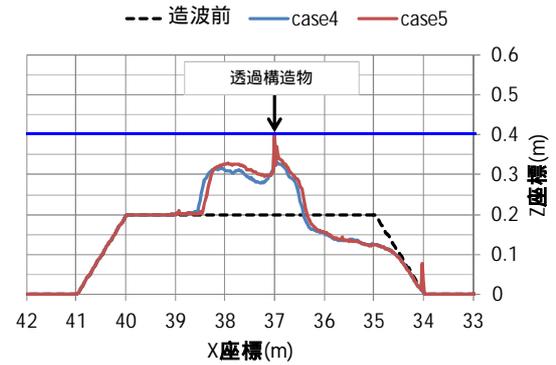


図-9 case4,5地形変化（高さ0.2m傾斜角度に関する比較）

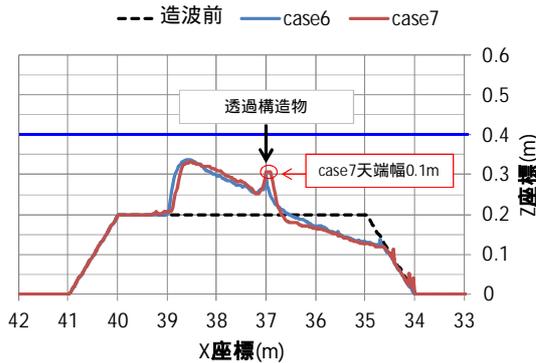


図-8 case6,7地形変化（高さ0.1mひさしに関する比較）

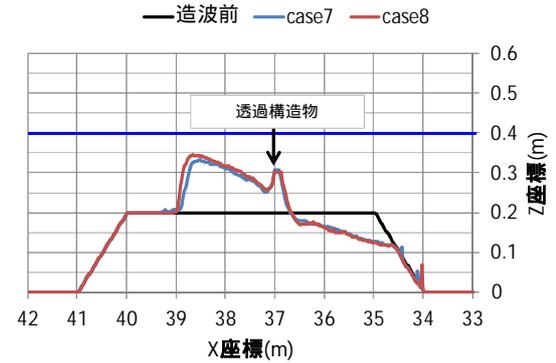


図-10 case7,8地形変化（高さ0.1m傾斜角度に関する比較）

0.13 m程度，case6で0.07 m程度となり，構造物高さが大きいほど堆積効果が大きい結果となった．しかし，形成された地形の勾配に着目すると，case6の勾配が1/20程度で小さく，自然な海底勾配に近いことがわかる．

#### b) ひさしの検討

構造物高さ0.2 mの場合において，case3とcase4の地形変化を比較し，ひさしの効果に関する検討を行った．図-7に2ケースの地形を示す．どちらのケースにおいても構造物前面における堆積厚は0.13 m程度であり，ケース間に有意な差は見られなかった．

次に構造物高さ0.1 mの場合においてひさしの効果に関する検討を行った．比較したのはcase6とcase7である．図-8に2ケースの地形を示す．構造物前面の堆積厚はcase6で0.07 m，case7で0.1 m程度となった．また，case7では構造物前面に形成された高さ0.1 mの堆積域の天端幅がひさしの長さ0.1 m分確保される結果となった．

#### c) 傾斜角度の検討

構造物高さ0.2 mの場合において，case4とcase5の地形変化を比較し，傾斜角度に関する検討を行った．図-9に2ケースの地形を示す．case5では構造物背面の堆積量が減り，前面の堆積量が増えていることから，ひさしを設けて傾斜させた場合には構造物前面に効率的に堆積させることができるということがわかった．

次に構造物高さ0.1 mの場合において傾斜角度の効果

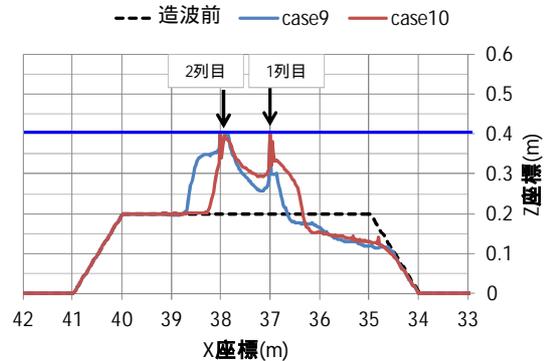


図-11 case9,10（2列配置の検討）

に関する検討を行った．比較したのはcase7とcase8である．図-10に2ケースの地形を示すが，有意な差は見られないことから，高さ0.1 mの場合には傾斜角の効果はほとんどないということがわかった．

#### (4) case9～10 透過構造物 複数配置に関する検討

透過構造物を2列配置した場合の検討を行った．case9と10の地形変化を図-11に示す．ケース間で異なるのは1列目の構造物高さである．どちらのケースにおいても1列目ではなく2列目前面に効果的に堆積させることができている．また，X=36.3～37.8 mの区間においてcase9の堆積量が小さく，2列目背後への堆積量が大きい結果と



写真-3 護岸構造物

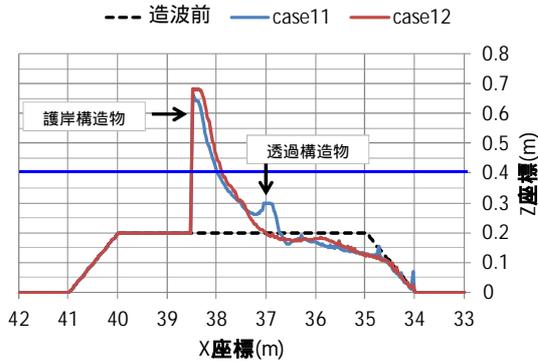


図-12 case11,12の地形変化 (護岸構造物の検討)

なった。

(5) 透過構造物と護岸構造物の組み合わせ

ここまでの検討より、透過構造物が優位であることや堆積に対して効果的な透過構造物の形状があることがわかったが、水位面以下の透過構造物では干出するまでは至らなかった。そこで、写真-3に示すように透過構造物背後に護岸構造物がある場合を想定したcase11の実験を行った。合わせて護岸構造物のみの実験としてcase12を実施した。図-12に地形変化の結果を示す。いずれのケースについても護岸構造物前面(消波工部)において大きく干出する結果となった。

以上の結果より、天端高を水位面以上とした透過構造物、あるいは消波工を有する護岸構造物がサンゴ島形成促進には効果的であり、勾配の小さい地形を形成させるためには天端高の異なる透過構造物を複数列配置することが効果的であることがわかった。

4. 数値計算

実際にこれらの対策工を適用する上で、断面および平面的な配置の検討が重要となる。また、実験では波浪条件を1ケースのみとしたが、波浪条件を変えた検討も必要となる。そこで、数値計算モデルによる波浪場および地形変化の再現を試みた。計算は田島ら<sup>5)</sup>によるモデルを採用した。このモデルの特徴は波浪変形モデルとして礫層内への浸透を考慮するために礫層内を線形長波方程

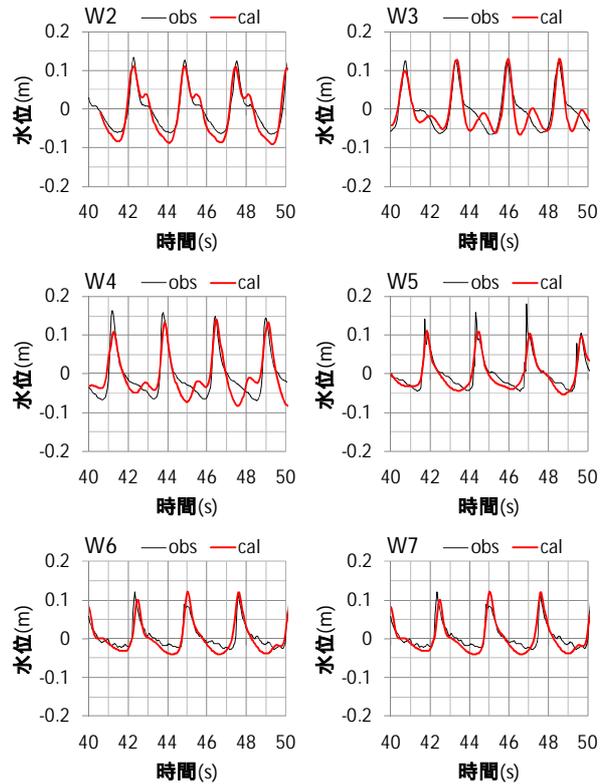


図-13 波高 実験値と計算値時系列

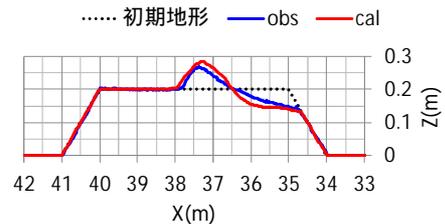


図-14 case0地形変化 実験値と計算値時系列

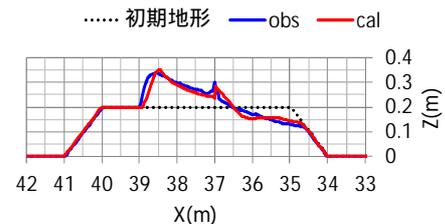


図-15 case6地形変化 実験値と計算値時系列

式、上層には修正ブシネスク方程式を採用していることや、掃流移動モデルとして粒子に作用する流体力に抗力だけでなく慣性力(加速度)の影響を考慮している点である。また、透過構造物についてはサンゴ礫の輸送のみ遮断するという境界条件を設定して考慮した。

対策工を設置していないcase0と高さ0.1 mの透過構造物を設置したcase6について計算を実施した。図-13にcase0における波高の結果を示す。実験値と計算値がよく一致しており、外力を評価する上では十分な精度であると言える。図-14と図-15にそれぞれcase0(30分後)と

case6 (120分後)の地形変化の結果を示す。case0については漂砂量を若干過大評価しており、case6については計算値の堆積域が沖側にシフトしているという特徴はあるものの、十分な精度を有しているということが言える。

## 5. まとめ

サンゴ礁を集積する効果をもち、これによって形成された地形が干出するような役割をもつ対策工を想定し、その効果的な構造を検討した。その結果、以下の結論が得られた。

- (1)不透過構造物と透過構造物では透過構造物が優位である。
- (2)透過構造物の天端高を水位面以上とした場合は干出するが、水位面以下とした場合はいずれのケースにおいても干出しなかった。
- (3)透過構造物の天端高を水位面以下としたケースにおいて、干出はしないものの構造物の高さ・傾斜・ひさしといった構造を変えることで、構造物前面に効率的に堆積させることができること、形成される勾配を小さくできることがわかった。
- (4)護岸のような消波工を有する構造物を設置した場合は干出する結果となった。
- (5)数値計算モデルを用いた再現計算では実験結果を精度よく再現することができた。

しかし、州島が形成されるのは陸域から遠く離れた場所が多いことから、消波工を有する構造物を設置するのは現実的ではない。また、場所によっては水位面以上の高さを有する構造物を設置することも困難である。

本研究では、潮位一定としたが、潮位変動も考慮した検討も重要であり、藤川ら<sup>9)</sup>は実験により潮位変動も加味した検討を行っている。また、今回は断面的な検討の

みを行ったが、現地に適用する上では平面的な検討も重要である。今後は数値計算により、潮位変動や平面的な検討も加味した形で、対策工の効率的な配置検討を実施することが重要と考えられる。

謝辞：本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発で採択され、国土技術政策総合研究所から委託された「サンゴ礁海岸保全モデルの開発」により得られた委託研究成果の一部である。また、東京大学海洋アライアンスイニシャティブ(日本財団)の協力を得た。ここに記して関係各位に謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 茅根 創：サンゴ礁・州島の生体工学的保全・創成 - 生物が造る島の生体工学的保全・創成技術 - , 土木技術, 66巻, 11号, pp.53-58, 2011.
- 2) 岩塚雄大, 琴浦 毅, 片山裕之, 竹森 涼, 田島芳満, 茅根 創：パラス島の形成・維持メカニズムに関する現地調査, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.71, No.2, pp.I\_455-I\_460, 2015.
- 3) 岩塚雄大, 琴浦 毅, 片山裕之, 田島芳満, 茅根 創：サンゴ礁による地形変化の基礎的検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I\_517-I522, 2015.
- 4) 岩塚雄大, 片山裕之, 関本恒浩, 青木健次, 茅根 創, 磯部雅彦：急勾配リーフ上のサンゴ礁州島形成メカニズムに関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I\_476-I\_480, 2012.
- 5) 田島 芳満, 藤川 大樹：礫斜面上を伝播・遡上する波による掃流移動モデルの構築, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.72, No2, 2016. (印刷中)
- 6) 藤川 大樹, 田島 芳満：潮汐を考慮したサンゴ州島形成過程の再現実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.72, No.2, 2016. (印刷中)

(2016.3.16 受付)

## RESEARCH ABOUT OFFSHORE STRUCTURE FOR ADVANCING FORMATION OF CORAL CAYS

Yuuji MAEDA, Tsuyoshi KOTOURA, Hiroshi SANUKI, Yoshimitsu TAJIMA, Hajime KAYANNE

Coral cays formation mechanism has various field surveys, experiment, and numerical simulations. The characteristic feature was made clear gradually. In these researches, sufficient amount of coral gravel are transported and can make island under certain condition (wave height, wave period, water level). However, the condition in the real coral reef does not necessarily correspond to the experiment condition. In this research, we studied the form of offshore structure which can advance formation of coral cays by movable bed experiment. We got the some results that permeable structure is more effective than impermeable structure, that the form of structure can change the efficiency of sedimentation and sea-bottom slope under the condition that permeable structure's height was under water level, and that the structure which has tetrapod (like a coastal structure) was efficient. In addition, we conducted numerical simulation about wave and change of seabed topography, and the results corresponded to experiment data with considerable accuracy.