

サンゴ礫州島形成促進対策工としての 透過型礫捕捉工の現地実験

青木 健太¹・小林 誠²・佐貫 宏³・片山 裕之⁴・
井手 陽一⁵・茅根 創⁶・田島 芳満⁷

¹ 正会員 五洋建設(株)九州支店(〒812-8614 福岡県福岡市博多区博多駅東 2-7-27 (TERASOII 6F))

E-mail: kenta.aoki@mail.penta-ocean.co.jp

² 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: makoto.kobayashi@mail.penta-ocean.co.jp (Corresponding Author)

³ 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: hiroschi.sanuki@mail.penta-ocean.co.jp

⁴ 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: hiroyuki.katayama@mail.penta-ocean.co.jp

⁵ 海洋プランニング(株)九州事務所(〒819-0165 福岡市西区今津 6015-7)

E-mail: ide@op-spirit.co.jp

⁶ 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

⁷ 正会員 東京大学大学院工学系研究科教授(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: yoshitaji@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

サンゴ礫州島の形成・維持機構については、これまで現地観測や移動床実験、数値解析により検討されてきており、特定の自然条件下において集積されたサンゴ礫が干出し、サンゴ礫州島が形成されうることが定性的に把握されている。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は限られる。著者らは、サンゴ礫州島形成促進のための透過型礫捕捉工を提案し、2次元断面水槽を用いた移動床実験によりその効果を定性的に検証したが、現地実証には至っていない。

本研究では、西表島北方に位置するバラス島を対象に同捕捉工を試験設置し、現地実証実験を行った。その結果、透過型礫捕捉工の効果を確認するとともに、捕捉工形状を改良することにより、異なる方向に移動するサンゴ礫の捕捉効果を向上させることに成功した。また、数値計算モデルにより観測期間中の高波浪の検証解析を行い、サンゴ礫を移動させる主な外力について再現することができた。

Key Words : coral reef, offshore structure, wave observation, permeable gravel trap

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 つの環礁に数十の州島が分布する。さらに環礁のみならず、パッチ礁に見られる孤立したリーフ上にも州島が形成されることから、その数は数千以上にも達する。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¹⁾。

サンゴ礁州島の形成・維持機構に関する研究は、西表島北方の孤立リーフ上に存在するサンゴ礫だけで構成されるバラス島と呼ばれているサンゴ州島を対象に実施されており、現地観測結果からバラス島が形を変えながら

維持形成していることを明らかにした例²⁾、リーフ上の外力場を検討し、サンゴ砂礫の移動特性の評価を行った例³⁾、砂とサンゴ礫の大きさや形状の相違に着目した実験からサンゴ礫の限界シールズ数の検証を行った例⁴⁾などがある。また、サンゴ礫州島の形成を促進させることを目的とした透過型礫捕捉工を提案し、2次元断面水槽における移動床実験によりその効果を検証⁵⁾した例もあるが、現地実証までは至っていなかった。

本研究では、2020年度と2021年度にバラス島近傍のリーフ上に透過型礫捕捉工を試験設置し、捕捉工の形状に改良を加えながら現地におけるサンゴ礫集積効果の検証を試みた。また、確認された捕捉工の効果を報告するとともに、設置期間中の波浪観測結果から外力場とサンゴ礫の移動の関係を整理し、数値解析により外力場の再現を行った結果についても報告する。

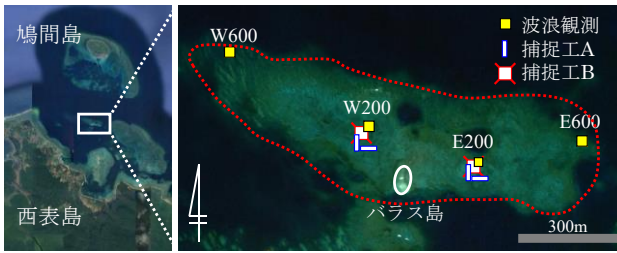


図-1 バラス島位置と調査地点

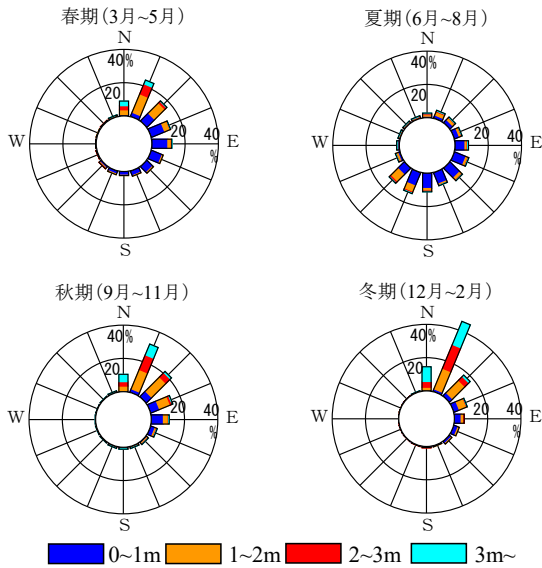


図-2 波向別波高頻度表 (2008年~2021年)

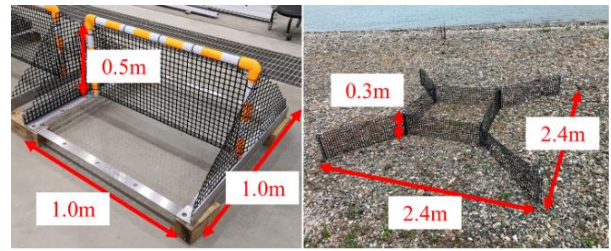
表-1 調査概要

	E200	W200	E600	W600
緯度	24° 26' 06.3"	24° 26' 10.7"	24° 26' 10.7"	24° 26' 17.9"
経度	123° 49' 09.4"	123° 48' 55.3"	123° 49' 21.5"	123° 48' 43.9"
水深	3m	3m	10m	10m
計測項目	波高, 流速 対策工		波高, 流速	
計測期間	2020/06/25~2020/11/19 (捕捉工A)			
	2021/08/03~2022/03/10 (捕捉工B)			

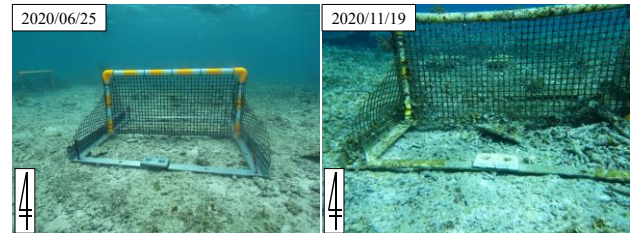
2. 現地調査

(1) 調査地点

調査地点は沖縄県八重山地方の西表島北方に位置するバラス島を対象とした。バラス島は楕円形リーフ(長軸約1km, 短軸約0.3km, 全周を急勾配斜面に囲まれる)のリーフラットの中央部南側に位置し, 北を鳩間島, 南を西表島に遮蔽されているため, 東西からの波の作用が支配的な場所となっている(図-1)。既往の調査²⁾から, バラス島は季節性波浪や台風などの影響を受け島の標高の変化を伴いながら東西方向に数十m程度の移動が見られ, 高潮位の際には没水する場合があることが分かっている。また, バラス島はリーフ中央部に安定的に存在していたが, 近年の台風の大型化やサンゴ礫供給量の減



(a) 捕捉工 A (b) 捕捉工 B
図-3 透過型礫捕捉工寸法および形状



(a) 設置時 (b) 設置から5か月後
図-4 捕捉工Aの設置状況

少からリーフラット上の南側端部に移動し急激に縮小している。

図-2に外洋(鳩間島北方約5km, 123° 48' 00" E, 24° 33' 00" N)のGPVデータから求めた波向別波高出現頻度を示す。秋期から春期にかけてはNNE方向の季節風による高波が発生しているのに対し, 夏期から秋期にかけては, 対象地点が台風通過点であることから, 台風起因したE-SW方向の高波が卓越していることがわかる。

(2) 調査項目

図-1にバラス島における調査地点を, 表-1に調査概要を示す。バラス島周辺リーフ上の波浪場, 流速場を把握するため, 波高波向計(Wave Hunter-14Σ: アイオーテック製)を4地点(図-1中のE200, W200, E600, W600)に設置した。観測は水圧, 水位, 流速2成分についてサンプリング周波数0.5s, 観測間隔60分間中20分間の定点観測を行い, 観測終了後に収録データの統計処理を行った。

(3) 透過型礫捕捉工

本研究では透過型礫捕捉工として, 異なる形状の2タイプの透過型礫捕捉工を検証した(図-3)。2020年に設置した捕捉工A(図-3左)は幅1.0m, 奥行き1.0m, 高さ0.5mの衝立形状であり, 現地では, 直径約15mm×長さ40~120mmの枝状のサンゴ礫が多く見られたことから, サンゴ礫捕捉部分は目合い25mm程度のプラスチックネットを用いた透過メッシュとした。設置位置はバラス島から東西に約200m離れた2地点(図-1中のW200およびE200, 水深3~4m)であり, サンゴ礫の移動方向としてリーフ長軸方向が卓越していると想定して, それぞれ2基ずつ向き

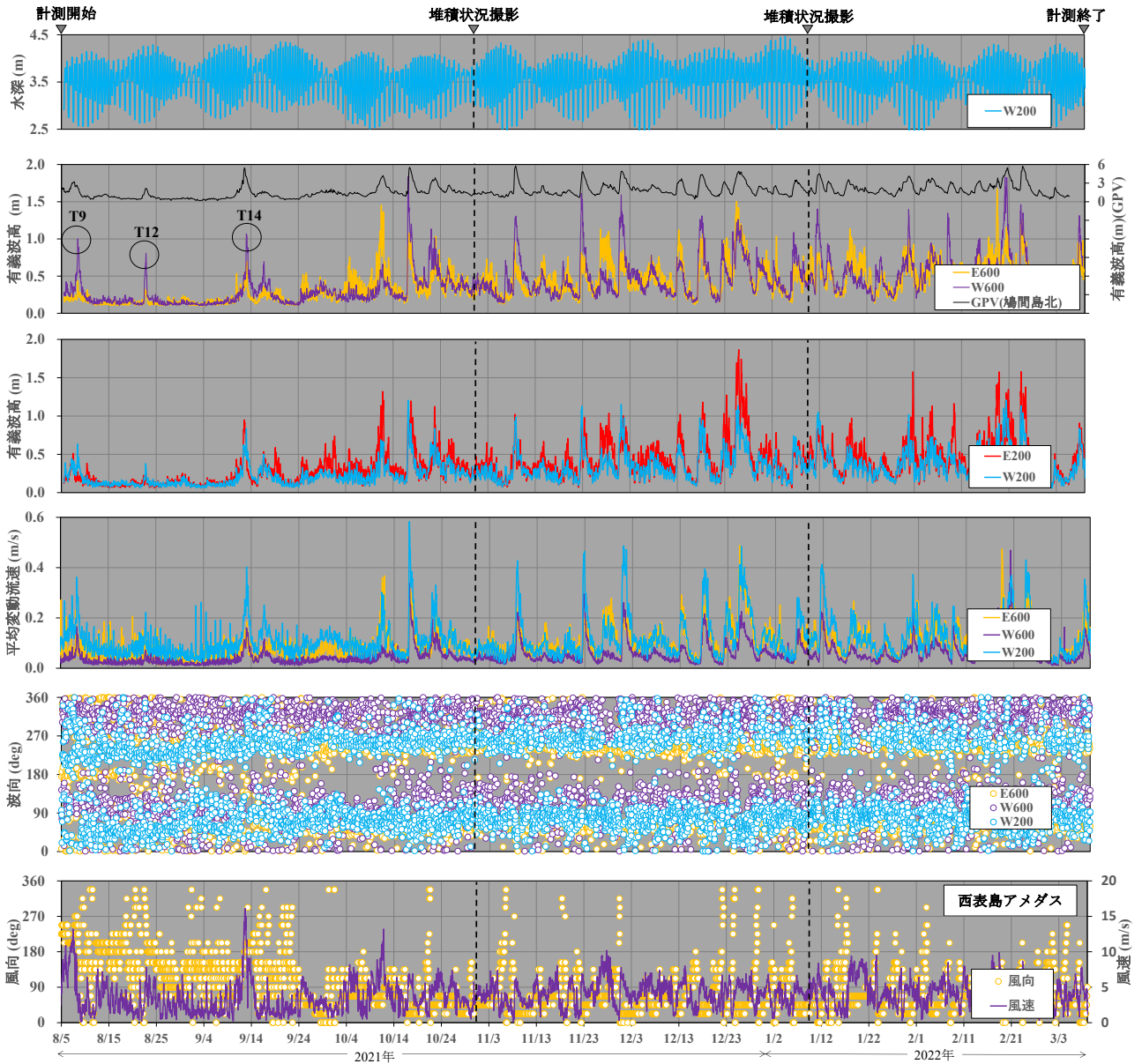


図-5 観測結果, GPV およびアメダスデータ

を変えて設置した。図-4 に設置時および5か月後の捕捉工 A の設置状況を示す。サンゴ礁は W200 地点で南北方向に設置した捕捉工の南側隅角部にわずかに堆積する程度であり、十分なサンゴ礁捕捉効果を確認することができなかった。これはリーフ内では礁の移動方向がリーフ長軸方向だけでなく、複雑な地形に起因する多方向の外力によって移動していたため、リーフ長軸方向の作用のみを想定した構造では十分に礁を捕捉できなかったことが原因と考えられる。

2021年に設置した捕捉工 B (図-3 右) は幅 2.4m, 奥行き 2.4m, 高さ 0.3m の構造物であり、様々な方向に移動する礁を補足できる形状に改良するとともに、礁が透過性ネットを乗り越えて中央の閉空間に捕捉されることを想定して、天端高を低くする工夫をした。なおサンゴ

礁捕捉部分については、捕捉工 A と同様に目合い 25mm 程度の透過メッシュとした。設置位置は図-2 に示す 2 地点とし、それぞれ 1 基ずつ設置した。また、現地では水中カメラ撮影により定期的にサンゴ礁の堆積状況を観測した。

(4) 調査結果

全観測期間における水深、波高、平均変動流速、波向の観測結果と、比較のために鳩間島北方の GPV の時系列、および西表島アメダスで観測された 1 時間平均風速、風向の時系列も加えた (図-5)。なお、E200 地点の流速データについては計測機故障のため欠測としている。

8/7, 8/22, 9/12 に観測された高波浪はそれぞれ台風 9 号, 12 号, 14 号接近の影響であり (図-6), 10 月以降に

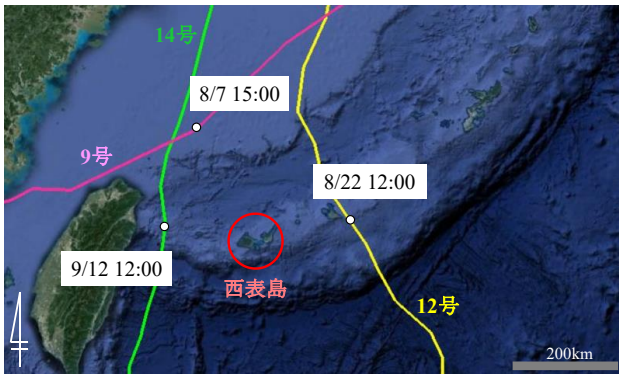


図-6 観測期間中の台風経路

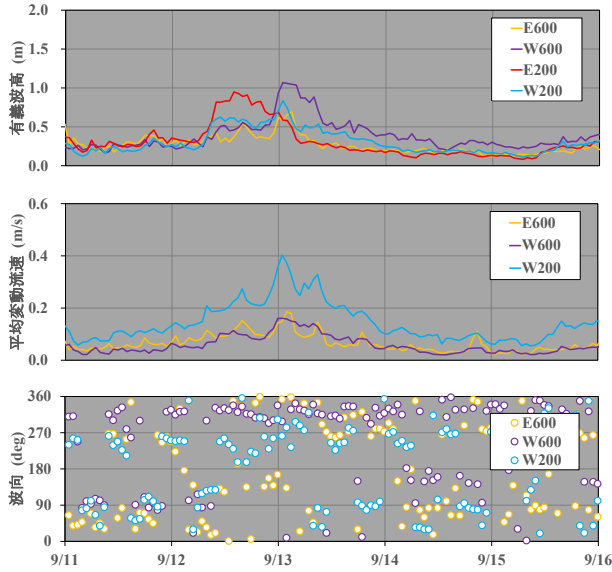


図-7 台風接近時の波浪状況

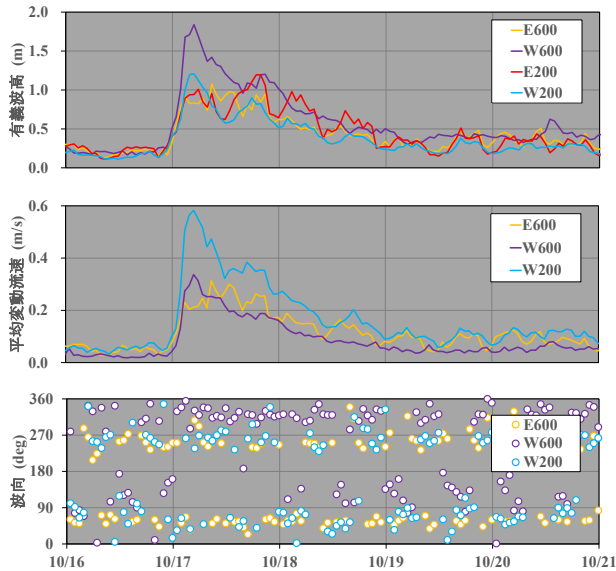


図-8 季節風卓越時の波浪状況

観測された高波浪は季節風が要因と考えられる。台風接近時の有義波高の最大値はリーフエッジ付近の E600 地点で 0.70m (9/13 2:50), W600 地点で 1.07m (9/13 0:50) となった。季節風卓越時には、外洋(鳩間島北方 GPV)

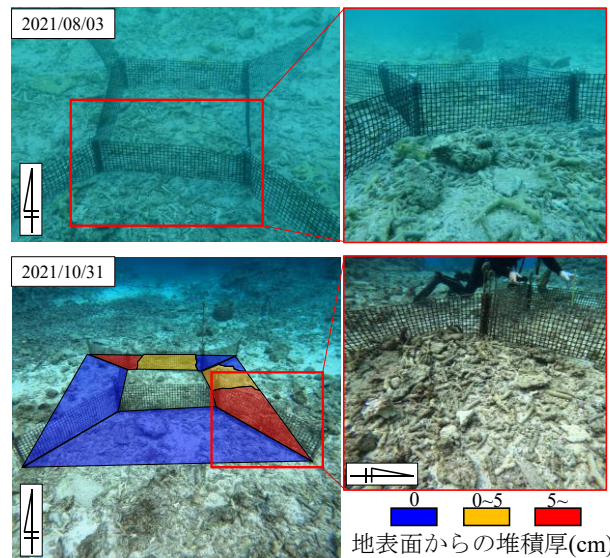


図-9 捕捉工 B の堆積状況 (E200 地点)

の波向が N 方向の際には、E600 地点と比較して W600 地点の波高が大きくなる傾向にあり、鳩間島南東方向に広がるリーフ地形の遮蔽効果が顕著であった。また、外洋の波向が E 方向に近づくほど E600 地点の波高が大きくなる傾向にあった。E600, W600 地点ともに GPV データと比較すると波高が減衰しているもののピーク近傍の時間変動特性は概ね一致していた。また、E200, W200 地点は E600, W600 地点と比較して波高が減衰する傾向にあった。有義波高、平均変動流速の時系列に潮位変動に追随するような傾向がみられることから、リーフ上での波高や流速は潮汐による水深変化に伴って、碎波や屈折の影響を受けていることが推察された。さらに、台風接近時には最大で 16m/s 程度の風速が観測されており、周辺波浪場に影響していることが考えられる。

次に、サンゴ礁を移動させる外力が発生したと想定される台風接近時および季節風卓越時の 2 期間について、有義波高、平均変動流速、波向を整理した。

図-7 に台風 14 号接近時の波浪状況を示す。期間中の有義波高の最大値は、W600 地点で 1.07m, W200 地点で 0.84m であった。最大波高発生時の波向は W600 地点が NW であったのに対し、W200 地点では最大波高発生前後で SW~NW となっており、バラス島西側リーフ上では長軸方向だけでなく、短軸方向の外力も作用していたことが示された。

季節風卓越期間中に外洋(鳩間島北方 GPV) で波高が最大となった期間の波浪状況を図-8 示す。期間中の波高の最大値は W600 地点で 1.84m, W200 地点で 1.21m であった。最大波高発生時の波向は E600 地点で NE, W600 地点で NNW, W200 地点で W となっており、鳩間島の遮蔽を受けて東西から入射した波がバラス島付近に集まっていることを示す結果となった。

図-9 に期間中の E200 地点に設置した捕捉工のサンゴ

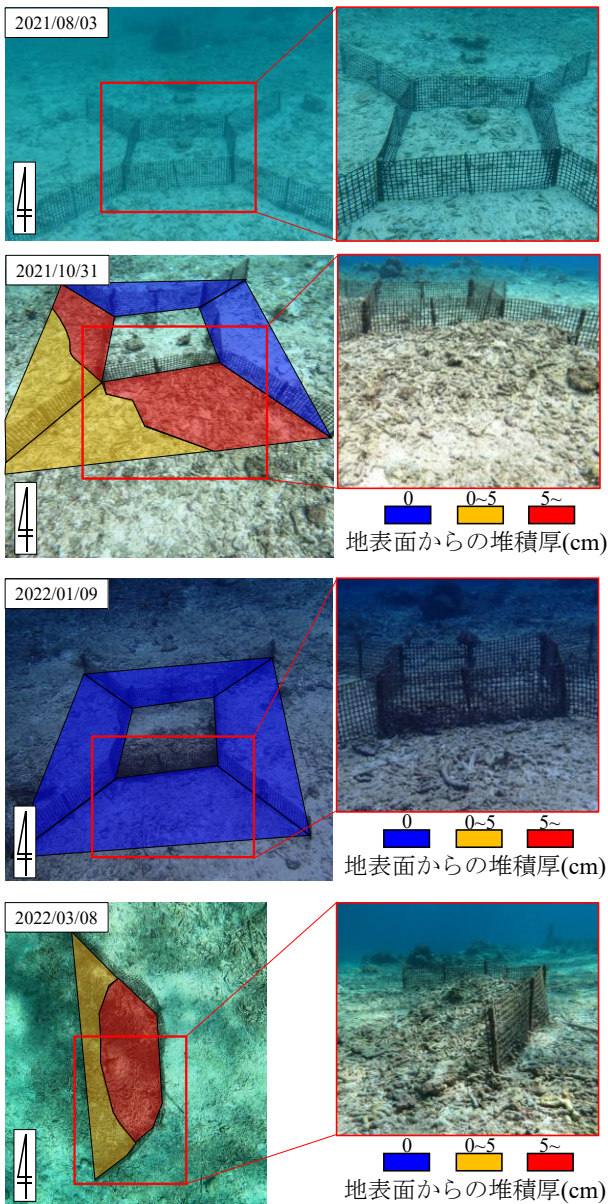


図-10 捕捉工Bの堆積状況 (W200地点)

礫堆積状況を示す。2021年10月末時点では最大で11cm程度堆積が確認でき、捕捉工東側と北側に礫が捕捉されていたことから、北東方向からの外力が作用し、礫が移動していることが示唆される結果となった。なお、これ以降については12月24日の高波浪により捕捉工が損壊したため、効果を確認することができなかった。

図-10にW200地点の捕捉工の礫堆積状況を示す。2021年10月末では捕捉工南側と西側に礫が最大16cm程度堆積していた。これは、期間中に観測された波向とも一致し、南西方向からの外力によって礫が移動していることが示唆される結果となった。一方、2022年1月時点では堆積量が減少しており、捕捉方向とは逆向きの外力により礫が流出したと考えられる。2022年3月時点では捕捉工が一部損壊したものの、西側で最大25cm程度礫が堆積しており、西向きの外力の作用を示す結果となった。

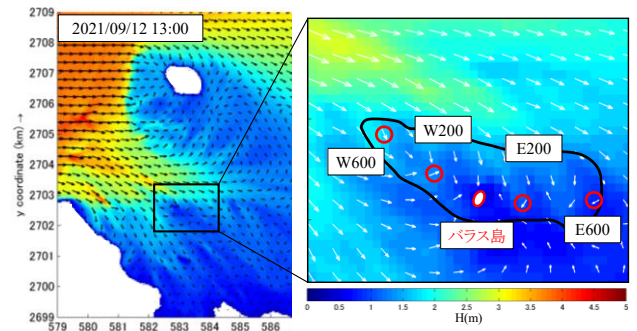


図-11 波高・波向分布の計算結果 (台風14号接近時)

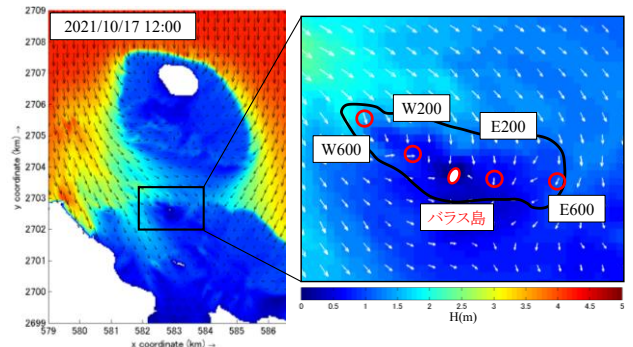


図-12 波高・波向分布の計算結果 (季節風卓越時)

3. 数値計算

(1) 計算手法

サンゴ礫の移動を引き起こす外力として波の作用が支配的であり⁶⁾、リーフ上の波浪場の把握が不可欠であることから数値計算によりリーフ地形を含んだ平面波浪場および流速場の再現計算を行った。波浪場の計算には第3世代波浪推算モデル SWAN⁷⁾を、流速場の計算には Delft3D-FLOW モデル⁸⁾を使用した。計算領域は鳩間島、西表島を包含する広領域 (計算格子間隔 500m) と、鳩間島のリーフ地形やバラス島周辺の孤立リーフを再現した狭領域 (計算格子間隔 40m) の2領域を接続して計算した。入射波条件は鳩間島北方の GPV データを基に再現期間中のエネルギー平均波を設定した。また、潮位変動の影響を考慮するため、西表の天文潮位を与えると同時に、西表島アメダスの観測データを用いて風の影響も考慮した。計算時間間隔は3sとした。

(2) 計算結果

再現対象期間は台風14号接近時 (2021年9月12日～9月13日) および季節風卓越時 (2021年10月17日～10月18日) の2期間とした。

台風接近時の入射波は $H_0 = 4.20\text{m}$, $T = 8.9\text{s}$, 波向W, 方向集中度 $S_{\text{max}}=10$ 相当として計算した。図-11に9/12 13:00の計算結果を示す。有義波高はW200地点で1.31m, E200地点で1.04mと過大だったものの、波向については、

W200 地点で WSW, W600 地点で NW, E200 地点で NE 寄りとなり, 観測結果および礫の堆積状況から推測される波向と一致していた. すなわち, サンゴ礫の移動方向は波向に大きく依存するという既往研究³⁾の考察を支持する結果となった.

季節風卓越時の入射波は $H_0 = 4.41\text{m}$, $T = 9.3\text{s}$, 波向 N, 方向集中度 $S_{\text{max}}=15$ 相当として計算した. 図-12 に 10/17 12:00 の計算結果を示す. W600, E600, W200, E200 地点の有義波高はそれぞれ 1.60m, 1.01m, 0.84m, 0.70m と現地観測結果(それぞれ 1.21m, 0.93m, 0.58m, 0.59m)をやや過大評価していたものの, 波向は W600 地点で NW, W200 地点で W, E200 地点で N となり, 観測結果と礫の堆積状況から推測された波向と一致した.

なお, 本計算で用いた地形ではバラス島を含む孤立リーフについて詳細な地形を再現しているものの, 鳩間島および西表島周辺のリーフ地形については精緻なデータが不足している. そのため, 西表島・鳩間島間のリーフ地形によって波が碎波して減衰する過程を計算では正確に再現できず, 波高を過大評価する結果になったと考えられる.

4. まとめ

サンゴ礫州島の形成促進を目的とした透過型礫捕捉工について, 平面二次元的な礫捕捉効果の検証を行うため, バラス島を対象に, 波高波向計を用いて波浪観測を行うとともに, 形状の異なる 2 タイプの捕捉工の現地実証実験を行った. その結果, 以下の結論が得られた.

- (1)サンゴ礫集積促進のための捕捉工について, 現地実証試験よりその効果を確認した.
- (2)捕捉工を単一方向の衝立形状から全方位に開口する

形状にすることで, サンゴ礫捕捉効果をさらに高めることができた.

- (3)数値計算結果は観測による波高変化を妥当に再現した. リーフ上の波向はリーフエッジにおける屈折により, 複雑に変化し, その波向はサンゴ礫の捕捉状況から推定されるサンゴ礫の移動方向と一致した.

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) 鈴木拓也, 茅根創, 岩塚雄大, 片山裕之, 関本恒治, 磯部雅彦: サンゴ礫州島の地形変化メカニズムに関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_838-I_843, 2013.
- 3) 佐貫宏, 田島芳満, 琴浦毅, 前田勇司, 茅根創: 州島の形成とサンゴ砂礫の移動に関する現地調査, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.72, No.2, pp.I_43-I_48, 2016.
- 4) 岩塚雄大, 琴浦毅, 片山裕之, 田島芳満, 茅根創: サンゴ礫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-I_522, 2015.
- 5) 前田勇司, 琴浦毅, 佐貫宏, 田島芳満, 茅根創: サンゴ礫州島形成促進のための対策工に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_823-I_828, 2016.
- 6) 竹森 涼, 田島芳満, 藤川大樹, 茅根 創: 孤立リーフ上におけるサンゴ砂礫集積メカニズムの分析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.I721-I_726, 2015.
- 7) The SWAN team, : USER MANUAL SWAN – Cycle III version 41.20A, 2018
- 8) Deltares : Delft3D-FLOW User Manual, 672p, 2011.

(Received February 3, 2022)

(Accepted May 9, 2022)

FIELD TEST OF PERMEABLE GRAVEL TRAP AS A COUNTERMEASURE FOR CORAL REEF ISLAND FORMATION

Kenta AOKI, Makoto KOBAYASHI, Hiroshi SANUKI, Hiroyuki KATAYAMA, Yoichi IDE, Hajime KAYANNE and Yoshimitsu TAJIMA

A number of studies have investigated the physical mechanisms of the formation of coral cays through field surveys, laboratory experiments and numerical analysis. These studies show that coral gravels can be naturally accumulated and form coral cays under certain conditions while such natural conditions are limited. To enhance accumulation of coral gravels, authors proposed a gravel trap and showed its effective performance through laboratory experiments.

This study conducted a field survey to test the performance of the gravel trap in the actual field. The trap was placed around Ballast island located in the north of Iriomote Island, Okinawa. Through the field survey, it was found that the trap with modified layout can effectively accumulate coral gravels transported from various directions. Dominant direction of gravel transport, inferred from accumulated gravels around the trap, reasonably agree with the estimated dominant wave direction around the trap.