

州島の形成とサンゴ砂礫の移動に関する 現地調査

佐貫 宏¹・田島 芳満²・琴浦 毅³・前田 勇司⁴・茅根 創⁵

¹ 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)
Hiroshi.Sanuki@mail.penta-ocean.co.jp

² 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

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: Tsuyoshi.Kotoura@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: Yuuji.Maeda@mail.penta-ocean.co.jp

⁵ 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、様々な現地調査や実験、数値計算が行われてきているが、サンゴ礫の移動特性や州島の地形変化特性に関する現地調査は少ない。本研究では、西表島北方リーフ上にサンゴ礫だけで形成されるバラス島を対象として継続調査を行い、バラス島周辺の外力場を評価するとともに、州島の形成を担うサンゴ砂礫の移動特性について検討した。その結果、サンゴ礫の移動に対して、潮流ではなく波が支配的であり、特に移動限界シールズ数は0.02程度で既往の研究と概ね一致することがわかった。また、着色礫の追跡により島の東西から来襲する波によってリーフフラット上のサンゴ礫が島へ集積されることが明らかとなった。さらに、斜面法尻部に設置したセディメントトラップ調査から島南方へのサンゴ礫流出が確認された。したがって、サンゴ礁州島がリーフ上のサンゴ礫の集積とリーフ斜面への流出によって維持形成されていることが明らかとなった。

Key Words : coral reef, ballast island, wave observation, steep slope reef, gravel transport

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¹⁾。

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、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従した礫の堆積が発生することがわかっている²⁾。また、西表島北方に位置するサンゴ礫だけで形成されたバラス島を対象に現地調査を実施し、外力場の評価を行っ

た研究もあるが³⁾、サンゴ礫の経路や島への流入、流出量の定量的評価までは至っていない。バラス島を対象に数値計算を実施し、外力場とサンゴ礫集積過程を評価することにより、サンゴ礫の輸送に対しては潮流や海浜流ではなく波が支配的であり、周囲の地形によってサンゴ礫の集積が促進されていることがわかっているが⁴⁾、GPVデータから得られた波浪の出現頻度を基に波浪条件をランダムに設定しているため、高波浪時のサンゴ礫輸送特性や地形変化特性は不明である。そこで本研究では、バラス島(図-1)を対象に台風時の波浪・流速を観測するとともに、台風後に地形測量や礫の追跡を実施することにより、高波浪時のサンゴ礫輸送特性や地形変化特性を解明することを目的とする。

2. サンゴ礫の移動特性

(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

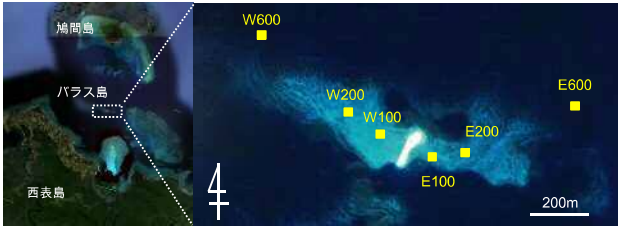


図-1 バラス島と調査位置図

表-1 調査概要

地点名	緯度	経度	水深 (m)	計測項目	計測期間	
					開始	終了
E100	24° 26' 06.08"	123° 49' 04.95"	3	波高	7/29	10/28
				流速	7/29	8/25
				定点カメラ	7/28	10/28
E200	24° 26' 05.98"	123° 49' 09.58"	3	波高	7/29	10/28
E600	24° 26' 11.67"	123° 49' 22.57"	10	波高, 流速	7/28	10/28
W100	24° 26' 08.19"	123° 48' 59.48"	3	波高	7/29	10/28
				流速	7/29	9/3
W200	24° 26' 10.07"	123° 48' 55.30"	3	波高	7/29	10/28
W600	24° 26' 20.00"	123° 48' 45.00"	10	波高, 流速	7/28	10/28

るバラス島を対象とした。既往の調査⁵⁾より、バラス島は季節性波浪や台風などの影響から高さ変化をとめないながら東西方向に数10m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、バラス島南部では水深の深い窪地へのサンゴ礫の流出が見られるものの、定性的には体積変化は小さく、バラス島はリーフ中央部に安定的に存在している。

島は長軸約1 km、短軸約0.3 km、全周を勾配約1/30の急勾配斜面を持つ楕円形リーフのリーフラット上のほぼ中央に位置し、北を鳩間島、南を西表島に遮蔽されており、波浪は東西の両島間開口部からのみ来襲するものと考えられる。特に南側からの波浪は風波のみに限定されるが吹送距離が短いことからバラス島の地形変化への影響は少ないものと考えられる。

(2) 調査項目

バラス島周辺の波浪場、流速場を把握するため、図-1と表-1に示す位置、期間、項目で定点観測を行った。リーフェッジ付近のE600、W600は水深が比較的深度から Wave Hunter-08 Σ (アイオーテック製) を設置し、水圧、水位、流速2成分を取得した。リーフラット上のE200、W200、E100、W100では設置水深が浅いため水圧式水位計 (JFE アドバンテック製) にて観測を行った。加えて、リーフ上の流速場の把握のため E100、W100 には電磁流速計 (JFE アドバンテック製) を設置し流況を観測した。同時に観測期間中の外力作用時のリーフ上のサンゴ礫の移動状況を把握するため、E100には静止画像取得のためのインターバルカメラ (JFE アドバンテック製) を海底に設置し、1 サンプル/2 時間で定点撮影した。

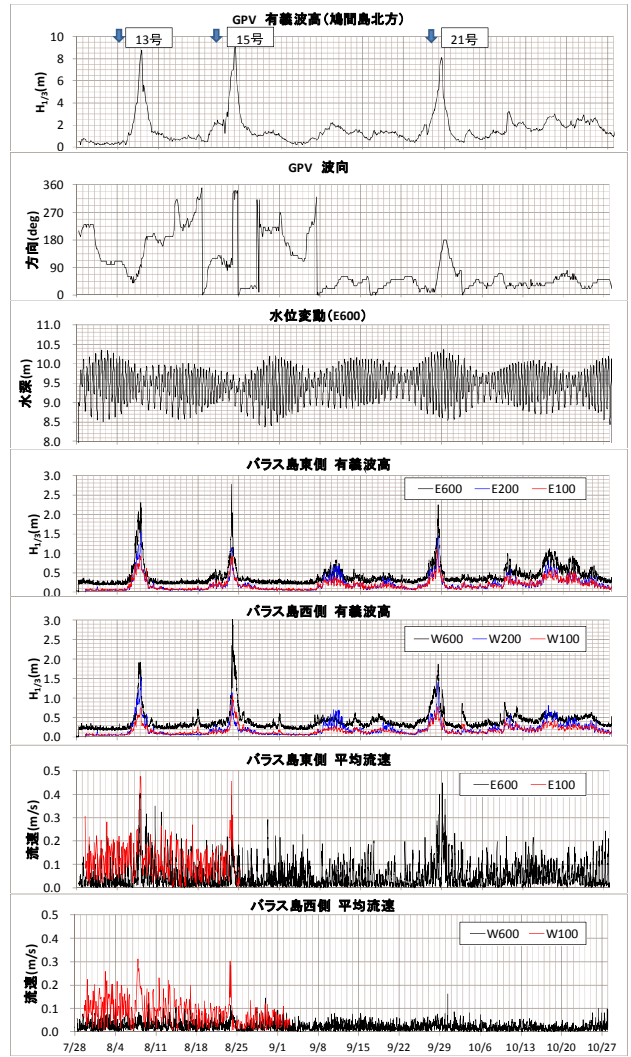


図-2 観測結果時系列

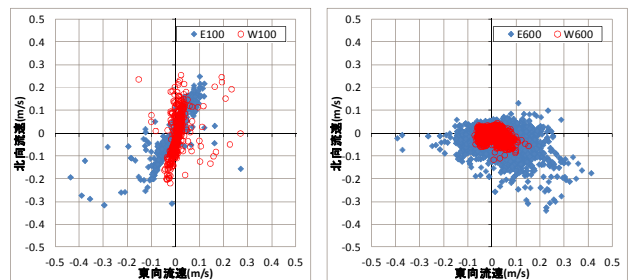


図-3 平均流速 uv プロット

(3) 調査結果

図-2に観測結果の時刻暦を示す。なお、比較のために鳩間島北側での GPV データも加えた。波向は北からの波を0°とし、時計回りで示している。高波浪が来襲している8/8、8/24、9/28はそれぞれ台風13号、15号、21号の影響である。リーフ内 (E100、E200、W100、W200) の常時波浪はリーフェッジによる強制砕波により、有義波高0.1~0.2m程度となっている。

図-3に平均流速の uv プロットを示す。E100、W100 地点では NNE-SSW 方向成分が卓越しており、最大でも

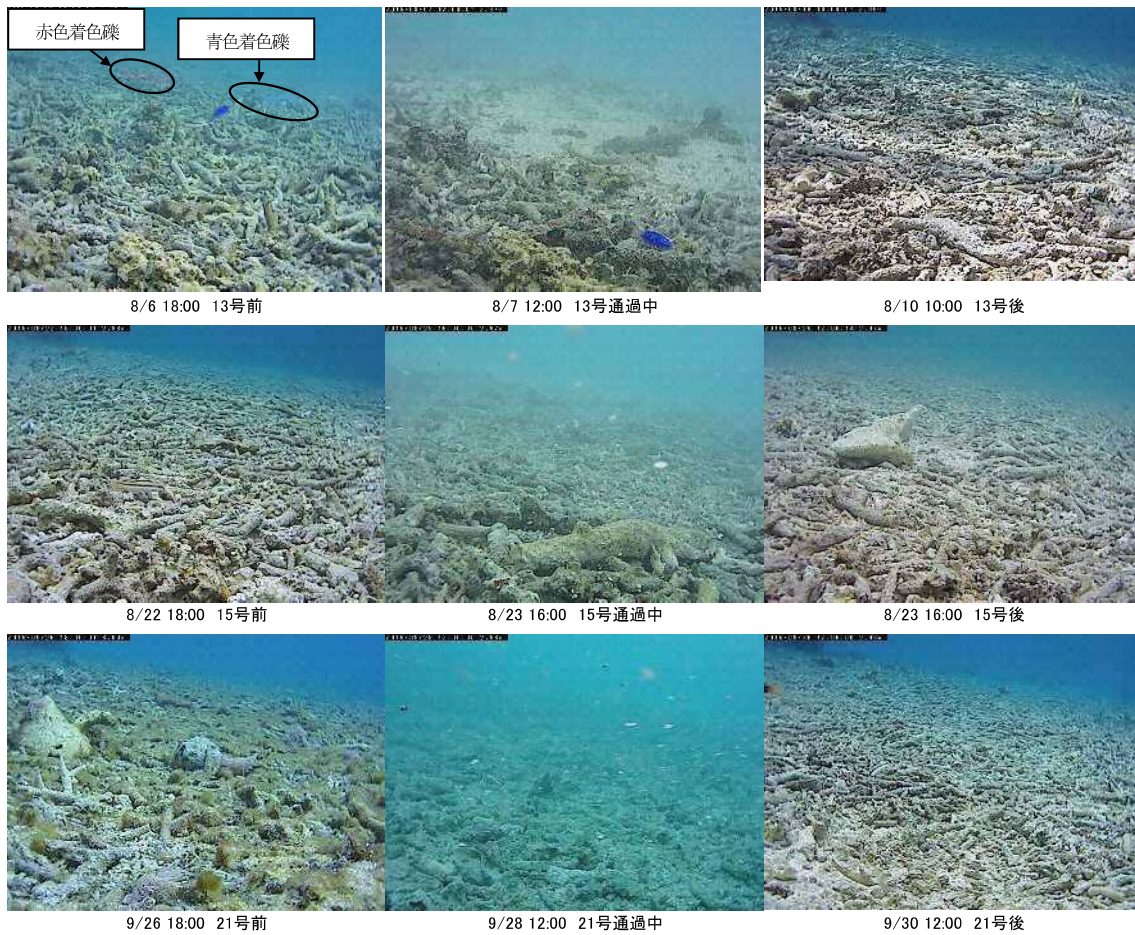


図-4 台風時の定点撮影画像 (E100)

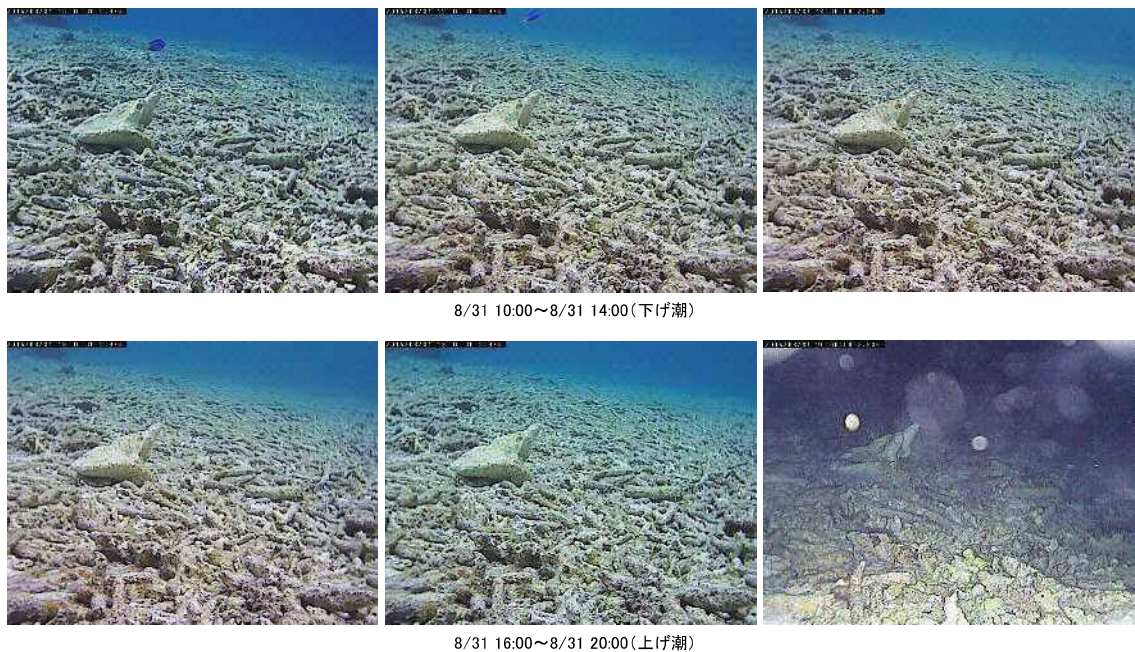


図-5 常時波浪, 大潮時の定点撮影画像 (E100)

0.2~0.3m/s 程度である。E100 地点に設置したインターバルカメラによって撮影された画像より礫が移動したタイミングを確認した。まず、高波浪来襲時における礫移

動を確認するために 3 回の台風来襲時における画像を整理した(図-4)。いずれの台風においても台風通過中に小さいサンゴ礫が堆積し、通過後には通過前と全く異なる

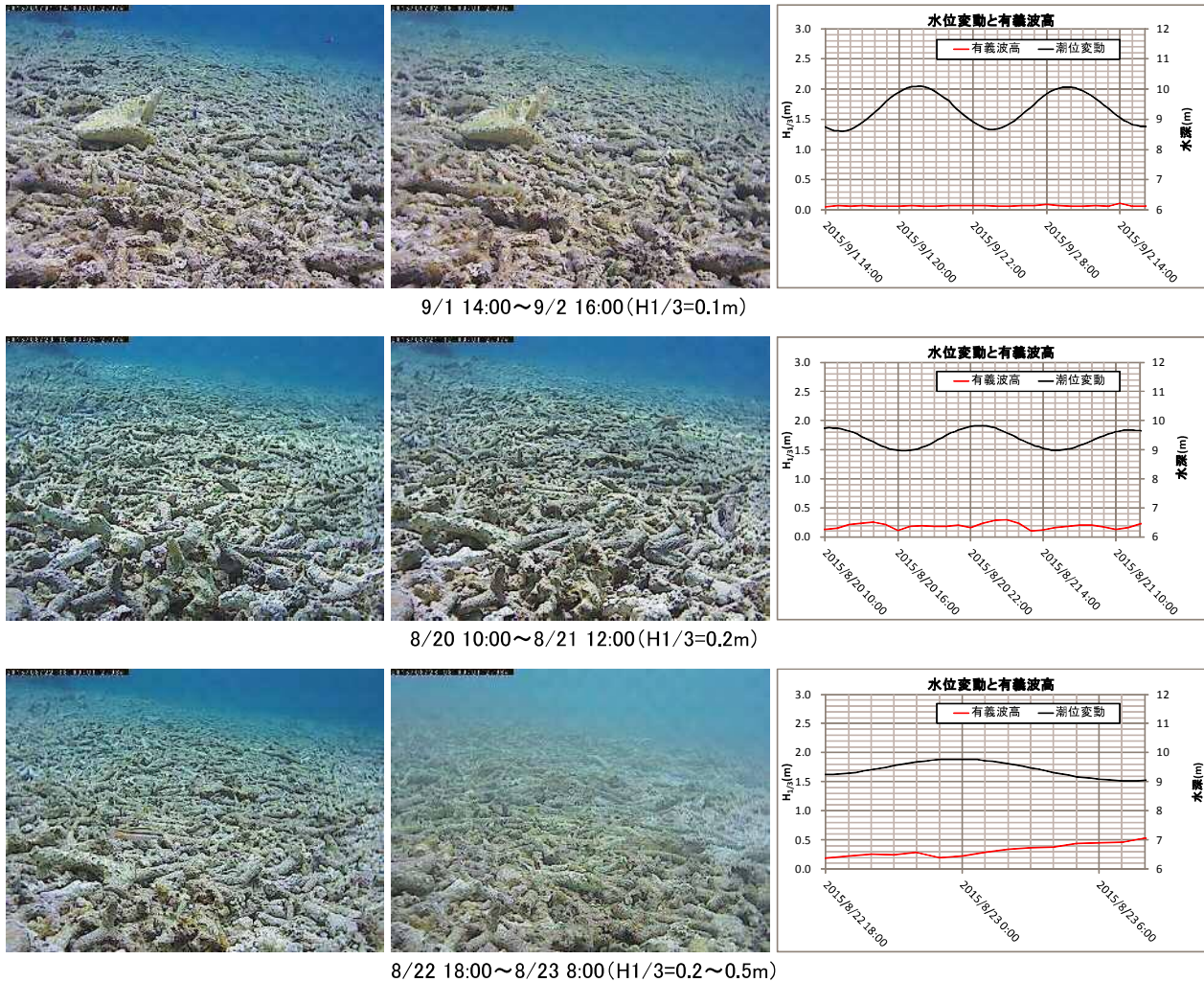


図-6 波高レベルごとの定点撮影画像 (E100)



図-7 着色礫 (左: W100, 右: E100)

る様相を示していることがわかる。8/6 18:00 時点で画像上部に写っているのは着色礫であるが、台風 13 号通過時点で全て画像範囲外に移動していることがわかる。

潮流による礫の移動特性を確認するために常時波浪下で大潮の上げ潮および下げ潮時の画像を整理した (図-5)。局所的な回転あるいは滑動といった移動はしているものの、有意な移動は見られなかった。次に波による礫移動特性を確認するために、同レベルの波高が 2 時間以上継続するタイミングを抽出し、画像の比較を行った (図-6)。有義波高のレベルはおおよそ 0.1, 0.2, 0.2~0.5m の 3 段階とした。有義波高 0.2m 以下の時点では礫の有意な移動は見られないが、0.2~0.5m 時点では礫の大幅

な移動が見られる。図-6 で比較した時点の外力場を評価するために、各レベルにおけるシールズ数を評価した。サンゴ礫の見かけの比重を 0.89 とし、底面摩擦係数は波・流れ共存場における Madsen の底面境界層モデルより算出した。また、サンゴ礫は直径 2cm, 高さ 10cm の円柱形と仮定し、体積同等の球体に換算して粒径は 4cm とした。算出したシールズ数は以下の通りであり、既往の研究結果⁶⁾ とほぼ一致している。

- ・移動限界シールズ数: 0.03~0.08 程度⁶⁾
- ・有義波高 0.2m 時点: 0.01 程度
- ・有義波高 0.2-0.5m 時点: 0.02

3. バラス島のサンゴ礫収支

(1) 調査方法

バラス島の大きさの変動を知る上では、周辺の海底に堆積するサンゴ礫の移動特性だけでなく、その移動方向や島からのサンゴ礫の流出も重要となる。

サンゴ礫の移動方向を観測するために E100 および



図-8 セディメントトラップ位置

表-2 観測期間

項目	場所	開始日	観測日			
着色礫	E100	7/30	8/30	9/16	10/30	
	W100					
セディメントトラップ	N	7/30	8/14	8/30	10/30	
	SW					
	SC					
	SE					

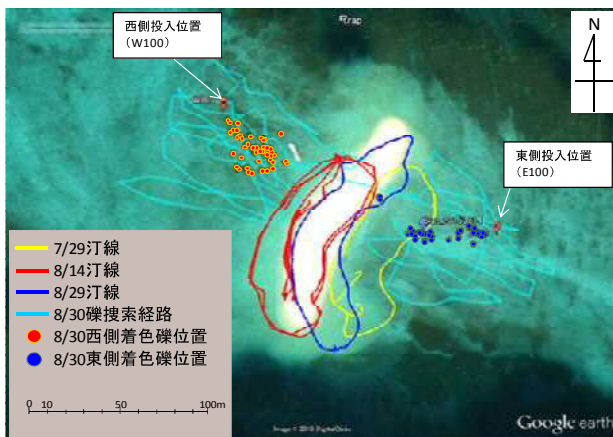


図-9 着色礫調査結果 (8/14, 8/30)

W100 地点に着色したサンゴ礫を撒きだし (図-7), 移動箇所を追跡した。また, 島からの流出量を観測するために図-8 に示す斜面部の地点においてセディメントトラップを設置し, トラップされた礫の重量を計測した。観測期間は表-2 に示す通りである。

(2) 調査結果

図-9 に 8/14 および 8/30 に行った着色礫の調査結果を示す。図中, 8/14 の調査では一つの礫しか見つけることができなかったが, E100 に撒きだした礫がバラス島に近づく方向に移動していた。8/30 の調査では東西に撒きだした着色礫がともにバラス島に近づく方向に移動していることがわかる。この調査は台風 13 号および 15 号後に行ったものであり, この二つの台風時の波向は図-10 に

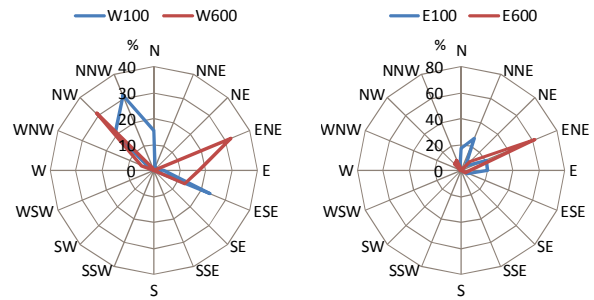


図-10 台風 13 号, 15 号時波向 (左: 島西方, 右: 島東方)

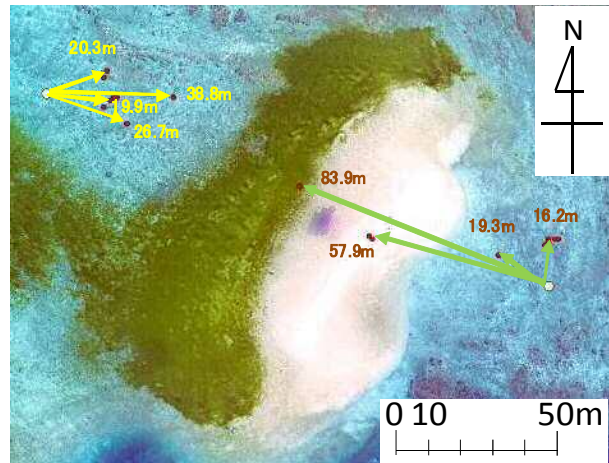


図-11 着色礫調査結果 (10/30)

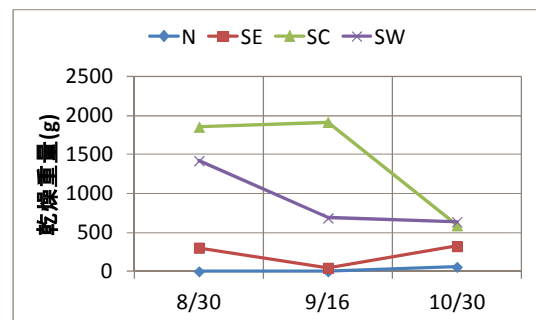


図-12 捕捉されたサンゴ礫重量

示した通りであるが, 島の東方では島へ向かう方向に, 西方では島へ向かう方向と遠ざかる方向の 2 成分が卓越している。E100,W100 の潮流方向は図-2 に示した通りで, 南北方向成分が卓越している。タイミングによっては島西方においても東からの波が卓越する期間があるといえるが, 概ね波向とサンゴ礫の移動方向は一致しているため, 潮流方向ではなく波向によってサンゴ礫の移動方向が規定されていると考えられる。また, 図-11 は 10/30 に行った着色礫の調査結果であるが, さらにバラス島に近づくように分布していることがわかる。

図-12 はセディメントトラップより回収したサンゴ礫の量を示したものである。南北を比較すると南側のトラップ量が多いことから, 南側に流出していることがわかる。また, トラップを 10/30 以降も設置し続け, 1/28 に

目視でのみ確認したところSW地点では完全に埋没していた。これらの結果から波によって島へサンゴ礫が集積される現象と斜面からの重力的な崩落によりサンゴ礁州島が維持形成されていると考えられる。

4. まとめ

バラス島における高波浪時のサンゴ礫輸送、地形変化特性を把握するためにバラス島リーフエッジ付近およびリーフフラット上に波高計、流速計、インターバルカメラを設置し定点観測した。さらにサンゴ礫の移動経路を把握するために着色礫を追跡し、島からのサンゴ礫の流出特性を把握するために斜面法尻部にセディメントトラップを設置し、トラップされた礫の量を計測した。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) サンゴ礫の移動に対し、潮流の影響は小さく、波による影響が支配的である。
- (2) リーフ内の有義波高で0.2~0.5m程度の波が来襲すると礫が移動し始め、その時のシールド数と既往の実験で得られた移動限界シールド数を比較するとよく一致することがわかった。
- (3) 既往の研究により、バラス島東西から来襲する波によってサンゴ礫が島へ集積すると考えられていたが、着色礫の追跡とリーフ内の波向により、このことが明確に示された。
- (4) 斜面法尻部に設置したセディメントトラップによる調査から、バラス島南方への重力的な崩落による流出が顕著であった。
- (5) サンゴ礁州島は波によるサンゴ礫の集積とリーフ斜面への流出により維持形成されていると考えられる。

本研究では輸送時の外力場や島への輸送(供給)経路、概算的な流出量を示したものの、供給量の評価や精緻な

流出量の評価までは至っていない。また、リーフ内に堆積したサンゴ礫の島への供給量だけでなく、リーフ内へのサンゴ礫供給量も重要である。今後は、種々の量を見積もった上で数値計算による地形変化の再現計算を行う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ヤティブ(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・創成一生物が造る島の生体工学的保全・創成技術一, 土木技術, 66巻, 11号, pp.53-58, 2011.
- 2) 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.
- 3) 岩塚雄大, 琴浦 毅, 片山裕之, 竹森 涼, 田島芳満, 茅根 創: バラス島の形成・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.
- 4) 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.I_721-I_726, 2015.
- 5) 鈴木拓也, 茅根 創, 岩塚雄大, 片山裕之, 関本恒浩, 磯部雅彦: サンゴ礁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.
- 6) 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-I522.

(2016.2.4 受付)

FIELD SURVEY ABOUT FORMATION OF CORAL CAYS AND TRANSPORT OF CORAL GRAVEL ON BALLAST ISLAND

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

Coral cays formation mechanism has various field surveys, experiment, and numerical simulations, but observation data for transport feature of coral gravel and topographic change is almost less. In this study, we conducted field survey in ballast island on northern reef of Iriomote Island which is formed by only coral gravels. Then, we discuss about external force and transport feature of coral gravel in the reef. As a result, we understand that external force of coral gravel transport is caused by the waves than the flow on the reef and Shields number is around 0.03, these results correspond with the past study. The movement of colored coral gravel showed that wave from east and south gathered coral gravel in the reef to ballast island. Then, we measured the amount of gravel which trapped in the sediment-trap on lower end of the reef slope. Thus, coral cays are formed and maintained by transport of gravel to island and flow out to reef slope.