

大台礁を利用した外洋性人工ビーチの創造

Manmade beaches on isolated coastal reefs

仲座栄三*・津嘉山正光**・赤嶺好祐***

Eizo Nakaza, Seikoh Tsukayama, Kohyu Akamine

ABSTRACT

There are many isolated coral reefs around the Okinawa Islands, and most of them have configuration of circular plateau with diameter about 400-2000m. The depths of water on the coral reefs are about 2m at high tide and become about 0.5-1.0m at low tide. Up to this day, high utilizations of the coral reefs have been proposed, one of them is an application of a method developing artificial beach along open sea coast.

Because of existance of strong longshore currents induced by high incident waves, generally, a natural beach is not formed on the coral reef. In this study, a method of development of artificial beaches along open sea coast for making beaches on the reefs is proposed.

1. はじめに

沖縄近海（南西諸島周辺）には、直径が数kmにも達するほぼ円形（あるいは、台形）の孤立大サンゴ礁（その殆どが“台礁”として分類されている）が数多く点在している。その多くは、満潮時に海面下2m程度まで水没し、干潮時には完全に干出する。そのため、このサンゴ礁自体が砂の生成能力を有しているにも関わらず、満潮時（サンゴ礁が水没時）に発生する海浜流によって、サンゴ礁上の砂の殆どが台礁背後の水深50m程度の海底へと流失している。事実、台礁背後にはかなりの規模の堆砂帯の存在が砂採取に関する調査から報告されている。ところが、こうしたサンゴ礁の中央付近に直径数m程度の岩塊あるいは隆起サンゴ礁などが存在すると、その周りには砂が付き、極めて安定した砂浜を形成している場合が多い。本研究では、こうした陸域から数km程度離れた所に点在する孤立サンゴ礁の形状特性あるいはサンゴ礁上の砂浜形状特性と波・海浜流との関係を航空写真を用いて調べると共に、こうした孤立サンゴ礁上の堆砂特性から学んだ新たな外洋性の人工ビーチの創造を行うことを主たる目的としている。

2. 波によって造形されるサンゴ礁の島

写真-1に、沖縄県本部半島から西側に約6km離れたところにある水納島の航空写真を示す。図-1に水納島と沖縄本島の位置関係を示す。馬蹄形の島は、その形からクロワッサンアイランドなどと呼ばれている。この島は、数万年前までサンゴ礁の礁原であったものが地震などで隆起したものと考えられている（目崎, 1988）。サンゴ礁は波の来襲方向に向かって成長することなどが指摘されており、この島はサンゴ礁時代にも馬蹄形であったものと考えられる。その証拠に、現在このサンゴ礁を取りまいているサンゴ礁（裾礁）も島と同様に馬蹄形をしている。図-2にこの島の概要を示す。図示のとおり、この島の周りは幅約400~800mのサンゴ礁によって取り囲まれている。このリーフの外周は干潮時干上がる

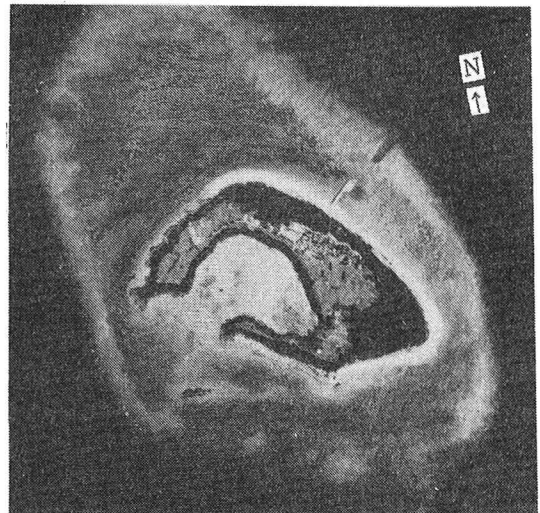


写真-1 水納島周辺のサンゴ礁

* 正会員 琉球大学工学部土木工学科（〒903-01 沖縄県西原町字千原1番地）

** 正会員 琉球大学工学部土木工学科

*** 琉球大学大学院工学研究科

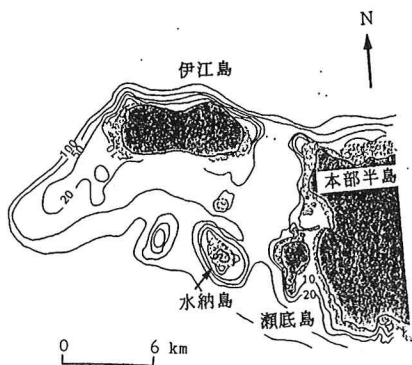


図-1 水納島の位置図

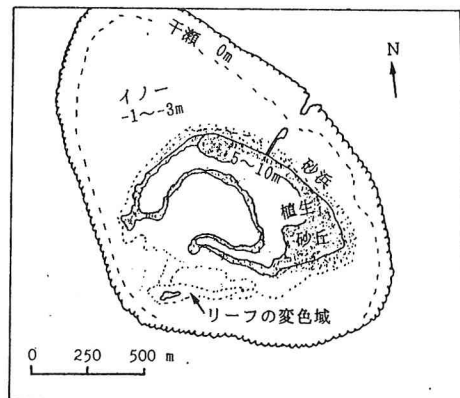


図-2 水納島の植生及び砂浜・砂丘

干瀬からなり、内側はD.L.-1m程度の水深を有する礁池（イノー）からなっている。馬蹄形の島の北東側に発達する植生の下には、高さ5~10mの砂丘が発達している（南西諸島の砂丘と植生との共存については、仲座らを参照、1991）。写真-1で示すリーフ上には流れの痕跡線を示すと考えられる無数の筋が見える。この流れの痕跡は、南西から北西方向に流れている。この写真は、昭和52年11月21日に撮影されたもので、沖縄における本格的な季節風（北風）が吹き始める前のものである。すなわち、写真で読み取れる痕跡線は夏場に出来たものと考えられる。島の北東部に発達する砂浜は、リーフ上の筋から判断される流れの、岸からの剥離点付近より付き始め、島の背後では極めて太ったものとなっている。流れについて、島の前面側のリーフ上には、島背後の砂浜と若干色の異なった部分が見える。この部分は北風が吹き荒れる季節風時の波浪に対して島の背後にあたり、冬場にはこの変色した部分に砂が移動堆積するものと推定される。もし、そのようなことであれば、この馬蹄形の島の周りのサンゴ礁上の砂浜は、季節によって大移動しているものと思われる。写真-1には、馬蹄形の島の左下に、水面上に頭を出した小規模の隆起サンゴ礁が見られるが、この周りには砂浜は形成されていない。しかし、この隆起サンゴ礁の周りのサンゴ礁上もやや変色しており、季節によってはこの隆起サ



写真-2 コマカ島周辺のサンゴ礁

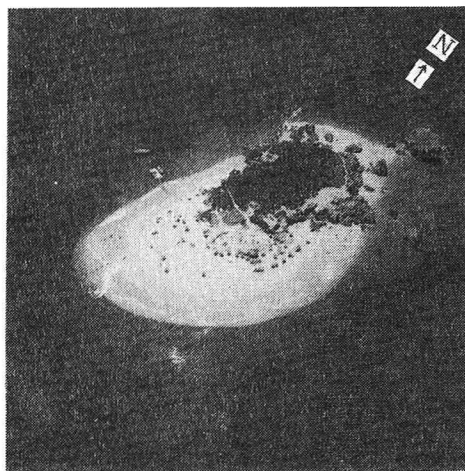


写真-3 季節風により形成された砂浜
（目崎、1988）



写真-4 コマカ島を円形状に取り囲む砂浜
砂の大移動（台風の“うねり”による）

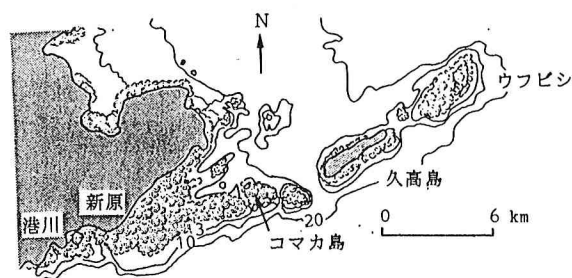


図-3 コマカ島の位置図

ンゴ礁の周りにも砂浜が形成されているものと推定される。しかしながら、この隆起サンゴ礁の周りは断崖からなっているため、安定した砂浜の形成は望めない。

写真-2は、沖縄本島南部の中城湾の外周を囲むサンゴ礁を示している。図-3にこのサンゴ礁の沖縄本島との位置関係を示す。図示のとおり、このサンゴ礁は沖縄本島南部の新原海岸あたりから延びるサンゴ礁（堡礁）の終点付近にあたる。この写真の中央付近にあるコマカ島の拡大航空写真を写真-3に示す。この島は、海拔10m程度の琉球石灰岩（直径約70m）を砂浜が取り囲んだ形の無人島である。この無人島は、現在沖縄における観光・リゾートの資源としての重要なビーチとなっている。この航空写真は、初夏の頃撮影されたものであり、写真に見られる舌状の砂州は冬場の季節風によって形成されたものと考えられる。写真-4は、秋口に撮影した航空写真である。この写真の場合、砂浜は島の周りにほぼ円形状に分布している。すなわち、このコマカ島の周りでも季節による砂の大移動が見られる。写真-2に示す堡礁上は、所々にある小さな水路によって分断されており、分断されたサンゴ礁の形は明瞭でないがほぼ馬蹄形をしているのが分かる。このサンゴ礁は、沖縄近海を北上する台風からの“うねり”を直接受けるため、サンゴ礁の発達には台風からの“うねり”の来襲方向にあたる南側に発達している。

写真-5は、沖縄本島南部糸満市から約14Km西側に位置するルカン礁の航空写真である。このルカン礁は、長径が1.75Km、短径が1.20Kmのほぼ楕円形のサンゴ礁である。このサンゴ礁の外周は干潮時干上がるが、サンゴ礁中央部の礁池は干潮時でも水深約1～3mである。このサンゴ礁はその形状と礁池の存在とから、一見環礁に見えるが、サンゴ礁学的には台礁とされている（目崎，1988）。このサンゴ礁の北側には、燈台が立っているが、その土台の周りにはわずかに砂浜の形成が認められる。

図-4に、沖縄本島南部那覇港の約10Km沖にあるサンゴ礁群を示す。これらのサンゴ礁は、沖縄の方言でチービシと呼ばれている（海図では、慶伊瀬島

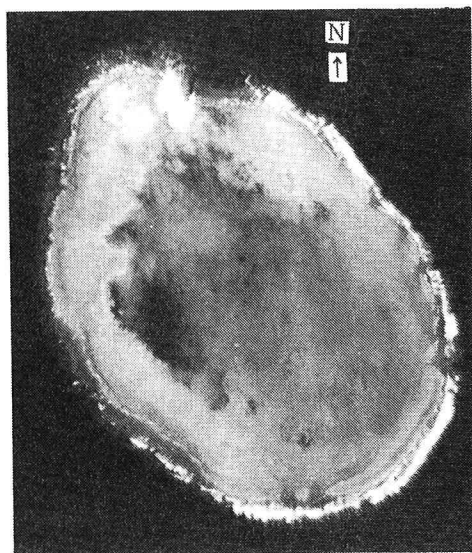


写真-5 ルカン礁

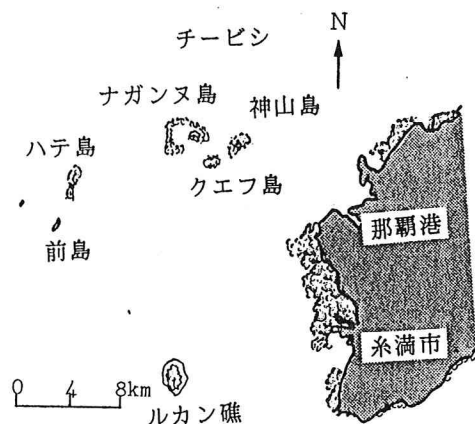


図-4 チービシ及びルカン礁の位置図



写真-6 ナガンヌ島（チービシ）

と記されている)。ここに群落をなすサンゴ礁で最大のものがナガンヌ島であり、この島のサンゴ礁の面積は、 24km^2 にも達する。写真-6は、ナガンヌ島の航空写真である。写真に示すように、このサンゴ礁も馬蹄形をしており、北からの来襲波浪が卓越しているものと思われる。波に対してサンゴ礁の背後側に砂浜が形成されている。この砂浜は、堆積砂のほぼ中央にある高さ 8m の岩場がきっかけとなったものと考えられる。このサンゴ礁上の砂洲島の平均標高はD.L.+ 2.5m であり、堆砂量は $5,250,000\text{m}^3$ にも達する。サンゴ礁上には、筋状の線がサンゴ礁背後に向かって流れており、リーフ上の堆積砂よりもさらに膨大な量がリーフ背後の深海へと流失しているものと推定される。事実、このサンゴ礁背後は、沖縄県有数の海砂採取場となっている。

以上では、直径が約 1km 程度のサンゴ礁を対象として説明してきたが、直径が数百 m 程度のサンゴ礁であれば沖縄県下では無数に存在している。

3. サンゴ礁上に外洋性人工ビーチを創る

3-1 新たな人工ビーチの提案

先に説明したように、サンゴ礁上に島や岩塊など何らかの流れを遮るような障害物が存在する場合、その周りには砂浜が形成される傾向にある。特に、なだらかな勾配を有する陸域が存在する場合には、そこにゆたかな砂浜が形成されている。また、砂浜の形成と共に、植生フロントが海岸側に前進し、その植生はさらに飛砂を捕捉・保留してフロントを前進させている(仲座ら, 1991)。例えば、写真-1で説明した水納島の北東海岸もこうして形成されたものと考えられる。この島の場合、当初サンゴ礁であったものが隆起し、その周りにさらにサンゴ礁が発達すると共に、波や生物により砂が製造され、隆起サンゴ礁の周りに付いたものと考えられる。

本研究では、こうした大サンゴ礁上で波とサンゴ礁が織りなす自然の造形に学び、サンゴ礁上に上述のような小陸域(砂を寄せる為の種石)を人工的に設置することにより自然に砂浜を形成させ、外洋性の(無人島の雰囲気醸し出せる)人工ビーチを創造しようとするものである。この人工ビーチは、レジャー施設としての利用も考えられるが、他方で大量の漂砂をサンゴ礁上に堆積させ、そこを海砂採取場あるいは海洋牧場とする利用法も考えられる。また、最近話題になった沖の鳥島における問題の岩場の保全に対する新たな手法ともなり得るものと考えられる。

以下においては、サンゴ礁上の波浪及び流れを実験あるいは数値計算により明らかにし、サンゴ礁上に形成される人工ビーチがどのような海象礁環境下に置かれるかを検討することとする。

3-2 サンゴ礁周りの波浪及び海浜流

直径が 400m 、満潮時のリーフ上水深が 3m のサンゴ礁に台風からの“うねり”を想定した波浪が来襲した場合におけるサンゴ礁周りの波高分布を実験的に求めたのが図-5である。図-6に実験に用いた水槽及びモデル形状を示す。実験では長さの縮尺が $1/100$ のモデルを用いた。実験波の周期は 1.2 秒であり、波高は 8.0cm である(詳細は、仲座らを参照, 1988)。図-5において、○印は実験値であり、実線は数値計算値である。なお、数値計算には渡辺・丸山(1984)らの計算モデルを用いた。来襲波はリーフ先端付近で砕波し、サンゴ礁上では入射波高の約 0.3 倍まで減衰している。

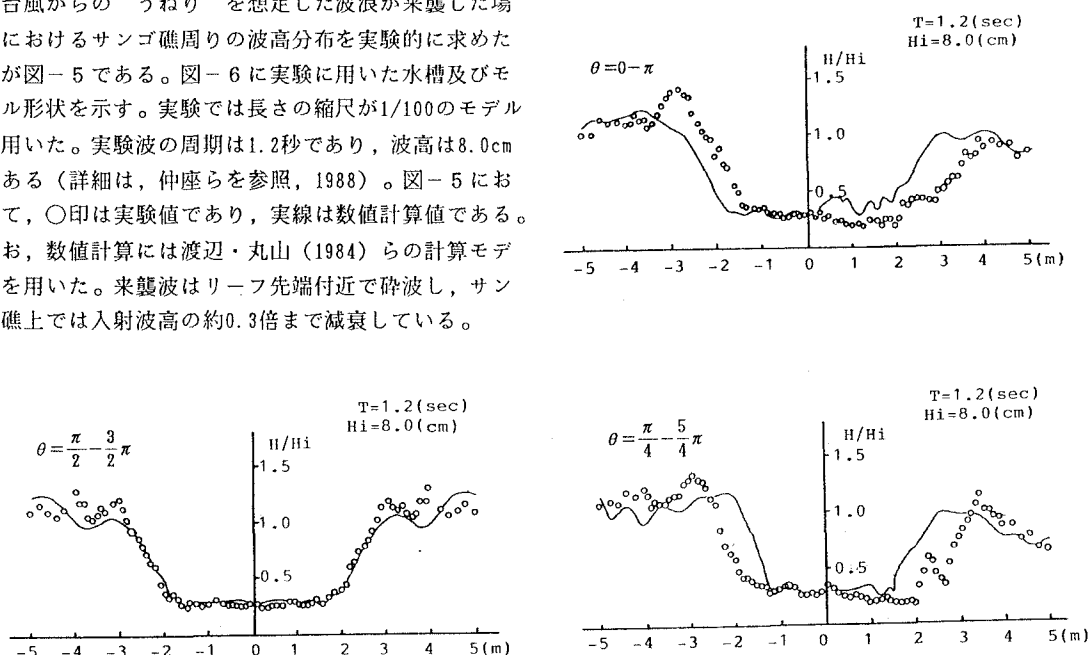


図-5 サンゴ礁周辺の波高分布、実測値と計算値との比較

しかし、サンゴ礁背後では屈折及び回折波の影響により入射波高と同程度まで回復している。実験値と計算値とは、 θ が $0 \sim \pi$ 方向の測線上における沖側で多少両者の差が見られる。計算には波の非線形性や流れとの干渉効果が考慮されてなく、このことを考慮に入れると全体的には計算値は実験値と一致していると考えられる。以下においては、この数値計算手法を用いてサンゴ礁上に陸域を形成した場合におけるサンゴ礁周りの波浪及び海浜流のシミュレーションを行う。

図-7 は、径が700m、満潮時の水深が5mのサンゴ礁に台風からの“うねり（波高8m、周期12秒）”が来襲してきた場合を想定した波高分布及び海浜流のシミュレーション結果である。来襲波は、砕波変形によりサンゴ礁の中央付近に行くにつれて減衰するもののサンゴ礁の背後辺りにある波の焦点付近で比較的波高の高い領域が存在している。リーフ上に形成される海浜流は先にサンゴ礁の航空写真で説明したように、リーフ前面から背後に向けて流れている。しかし、サンゴ礁上の波の焦点となる所で高波高領域が存在するため、この位置で小さな循環流が形成されている。このシミュレーション

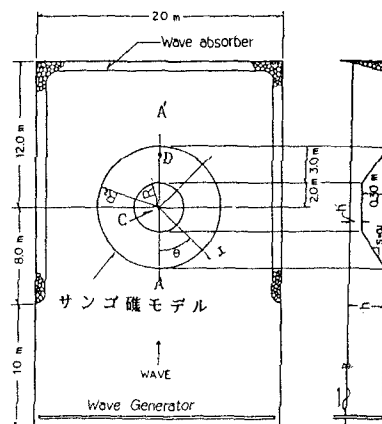


図-6 実験装置概要図

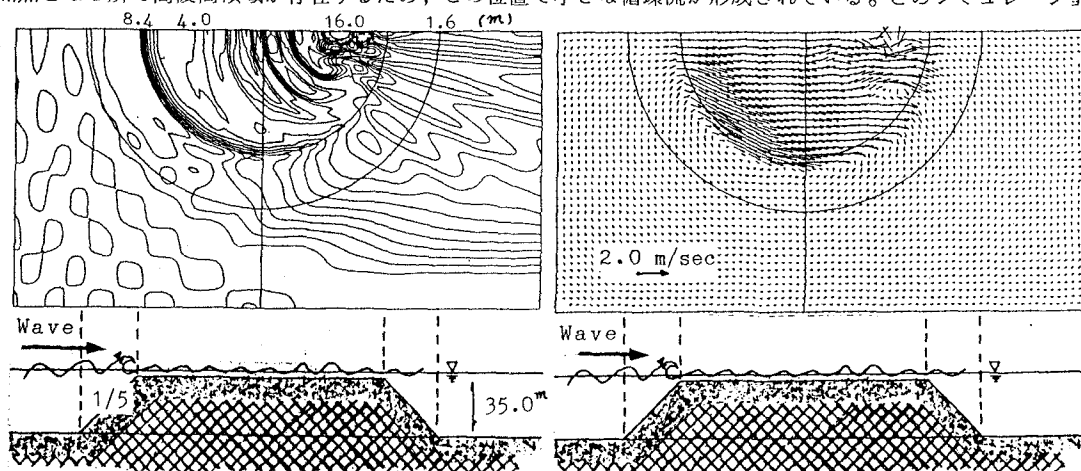


図-7 台礁に来襲する波浪の波高分布及び海浜流

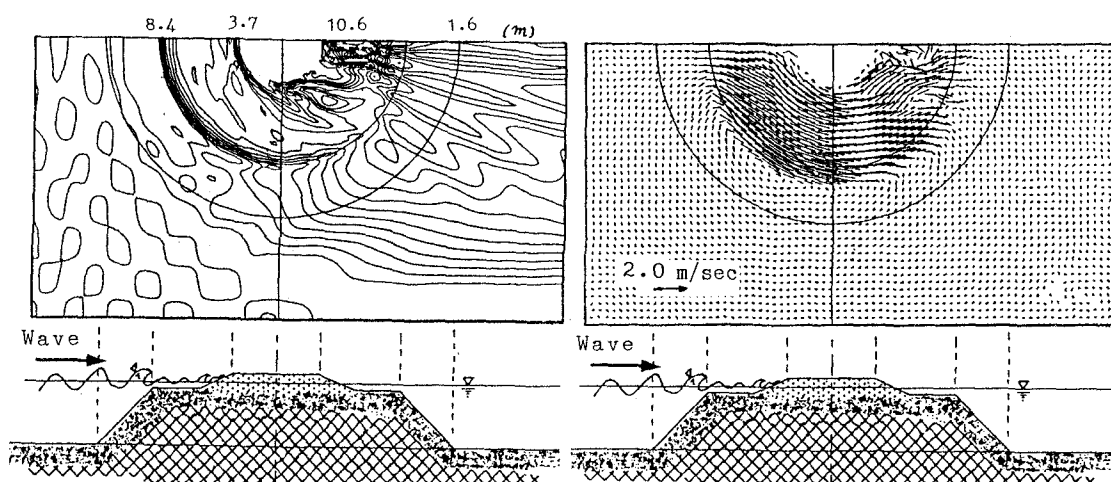


図-8 島を有する台礁周りの波高分布及び海浜流

結果で示すとおり、サンゴ礁の海浜流は、サンゴ礁の前面（以下、波の来襲側を意味する）から中央部にかけてかなり強いに関わらず、サンゴ礁背後では、急激に流れが減衰している。すなわち、リーフ上の殆どの砂あるいは懸濁粒子の殆どがサンゴ礁背後に沈降するものと考えられる。このことから濁りを嫌うサンゴは波の来襲方向のみに発達するものと考えられる。また、このことがサンゴ礁を馬蹄形に造形するメカニズムとも考えられる。

図-8は、サンゴ礁上の中央に半径120mの島が存在する場合の波浪及び海浜流のシミュレーション結果である。ここに示す波高分布は、図-1に示すサンゴ礁上に島が無い場合の波高分布と比較して大きな相違は見られない。流れについては、島を周り込む流れの形成のために、サンゴ礁上で若干流れが強くなっている。また、流れは、島の背後深くまで島に沿った形で流れており、この流れの存在は島周りの砂浜形成に対して危惧される。しかし、写真-1で示す水納島のサンゴ礁上にも島の背後深くまで明瞭な流れの痕跡線が認められ、この島に付く砂浜がかなりゆたかであることを考えると、この海浜流の存在はさほど問題にならないものと思われる。今後、現地観測及び室内実験をとおしてこの点をさらに検討したい。

4. おわりに

本研究では、琉球諸島に無数に点在する大サンゴ礁（台礁）について、波とサンゴが織りなす造形美を航空写真をとおして検討した。その結果、サンゴ礁上にわずかな陸地や岩塊が存在すると、その周りには砂浜が自然に形成されることを見だし、それに学んでサンゴ礁を利用した外洋性の人工ビーチの創造を行った。また、室内実験や数値計算により円形台礁周りの波・流れについて検討した。本文でも指摘したとおり、今後詳細な現地観測および室内実験が、サンゴ礁の発達特性を知るためにも必要であると考えられる。

参考文献

- 沖縄県農林水産部漁港課(1986)：珊瑚礁内波浪観測調査報告書，p. 85.
- 谷本修志・中野奏雄・大月和義・宇田高明・小俣篤(1988)：沖縄県仲泊地区のリーフ周辺での波と流れの観測.
- 仲座栄三・津嘉山正光・仲嶺智・日野幹雄(1988)：大サンゴ礁の高度利用法の提案及び海岸工学的問題点について，海洋開発論文集，Vol. 4，pp. 265-270.
- 仲座栄三・津嘉山正光・赤嶺好祐・小林智尚(1991)：リーフ海岸における堆砂特性と新たな人工ビーチの創造，第38回海岸工学論文集，投稿中.
- 仲座栄三・津嘉山正光・砂川勇二・大山幸徳(1991)：捕砂・留砂機能を有する植生による砂浜の自然管理システムに関する研究，第38回海岸工学論文集，投稿中.
- 目崎茂和(1988)：南島の地形，沖縄出版，p. 158，1988.
- 渡辺晃・丸山安樹(1984)：屈折・回折・砕波減衰を含む波浪場の数値解析法，第31回海岸工学講演会論文集，土木学会，pp. 103-107.