

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

琉球大学工学部	正会員	仲座 栄三
同上	正会員	津嘉山正光
同上	学生会員	仲嶺 智
東京工業大学工学部	正会員	日野 幹雄

1. はじめに

南西諸島は、約200もの島々からなり、その中でも琉球弧を中心とする海域は、オーストラリア海域とともに世界有数のサンゴ礁海域である。こうしたサンゴ礁海域は、その美しさから沖縄島で代表されるように、南西諸島を観光メッカへと導いた。しかしながら、そのサンゴ礁海域はその水深の浅さのために、陸域の都市化に伴い一番に埋め立てられ、幾千年もの荒波に打ち勝って成長してきたサンゴ礁は、現在沖縄本島南部においては、開発というかつて経験したことのない大波によってその姿を消そうとしている。こうした中、最近の漁業を巡る国際情勢の変化やウォーターフロント開発構想ブームをきっかけに海に対する人々の関心が高まり、沿岸部のサンゴ礁海域の重要性が増してきた。さらには、国や県の漁業を中心とした海洋開発構想においても沿岸部の高度利用のための海洋開発プロジェクトが打ち出されるようになった。

ところで、南西諸島には、陸域から数km離れたまったくの未開発地であるサンゴ礁群が数多く点在している。こうしたサンゴ礁群は、古くから好漁場として知られているが、このような状況に至って、水産業の拠点あるいは観光資源（その環境を崩すことなくサンゴあるいは魚介類と人間とが共存できるような利用）としてにわかに注目を集めるようになってきた。

本研究においては、大サンゴ礁の水産及び工学的な高度利用法を提案し、現在唯一の利用例である沖縄県宮古島の“幻の大陸”観光の実態を紹介する。更に、サンゴ礁群を利用する際生じるであろう海岸工学的あるいは水産工学的な問題点を三次元造波水槽実験によって検討する。

2. 大サンゴ礁の定義

本研究における大サンゴ礁とは、南西諸島海域に点在する、大離礁、大台礁あるいは大卓礁をいう。

南西諸島で見られるサンゴ礁は、裾礁・台礁・離礁に類別される。裾礁は、島のほぼ全周を取り巻き棚状に発達するサンゴ礁であり、南西諸島に見られる大半のサンゴ礁はこの種に属する。台礁と離礁は、単独ないし群をなして浅海に分布し、形態的には殆ど差異はないが、サンゴ礁の発達する場所や海底条件等の違いでその名称が異なる¹⁾。一般に台礁は離礁に比べ大きく、台礁が外洋ないしそれに面して立地しているのに対し、離礁は内湾的性格の海域に位置する。地理学的には、大環礁あるいは大台礁とは、直径が数十kmにも及ぶサンゴ礁を言う。本研究で対象とする大サンゴ礁というのは、工学的あるいは水産工学的にみてその規模が大である（高度利用可能である）という程度の意味であり、南西諸島海域に点在する台礁等の規模から考えて、直径が1.0km程度のものである。例えば、円形サンゴ

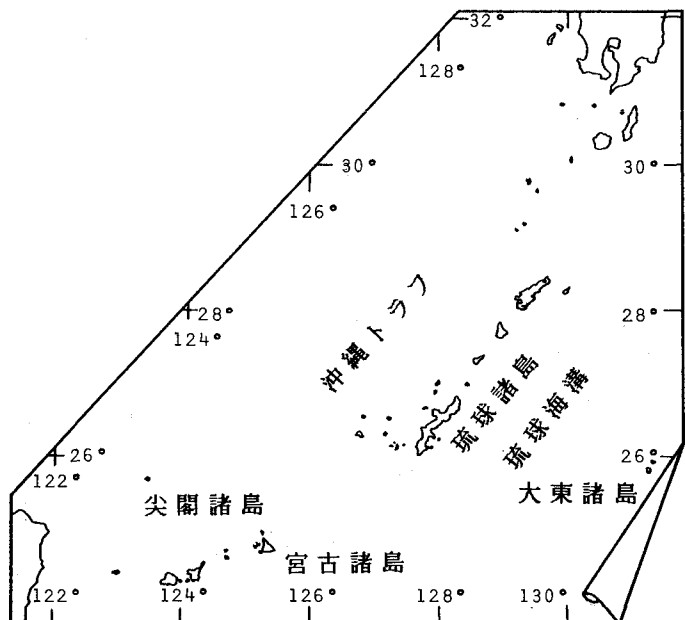


図 - 1 南西諸島位置図

礁の半径を500m程度とすると、一つの総合大学の敷地がすっぽり入る程度の大きさである。こうした大サンゴ礁は一般的に、陸域から数kmから数十km離れており、その天端は満潮時には海面下約2.0mにあり、干潮時には約1.0m干出する。図-1に、南西諸島の位置図を示した。高度利用可能な大サンゴ礁は、沖縄県内だけでも数十を数える。

3. 大サンゴ礁の高度利用法の提案

はじめに述べたように、まったくの未開発地である大サンゴ礁は、大いにその開発の可能性を有している。ここでは、上述した大サンゴ礁の高度利用法の提案をおこなう。

(1) 海洋性レジャーの基地としての利用

「日本人の生活様式は、フレックス制度の導入によって大幅に勤務時間が短縮される。更に、完全週休二日制度と共に余暇時間が増加し、例えば、プールでひと泳ぎしてからのお勤等、優雅な生活が現実のものとなる。」これは、本年経済企画庁が発表した21世紀の日本人生活様式である。

また最近では、リゾート観光がブームとなってきた。すなわち、21世紀の日本社会は、本格的なレジャー或はリゾート社会となることが予想される。

一方で、横内ら³⁾は、都市の国際化・情報化が進むにつれ、社会は益々高度化・複雑化し、人々は、肉体的以上に精神的消耗の激しい高度化社会において、ストレス解消のために“非日常的空間”を求めるようになるであろうと指摘している。こうなると21世紀の余暇活動の場所は、脱日常性・リゾート性、また冒険性等を有することが望まれるであろう。最近沖縄県の観光においても、にわかに無人島ブームが巻き起こっており、これは人々が、日常的な海水浴だけでなく“初体験的”或は“冒険的”なものを望んでいる現れと考えられる。

上述のような脱日常性或は冒険性等の条件を有しているのが大サンゴ礁である。ここで提案する大サンゴ礁の海洋性レジャー基地としての利用は、大サンゴ礁を中心に、サンゴ観賞、熱帯魚との戯れ、ダイビング、釣り、あるいは大サンゴ礁一周遊覧等々海洋性のレジャーを行うものである。観光面では、後で説明する“幻の大陸”観光としての利用、天然水族館等々、重要な観光資源ともなり得る。

(2) 熱帯性海洋牧場としての利用

これは、大サンゴ礁を熱帯性海洋牧場の中心地として利用しようとするものであり、こうした利用方法の提案は、沖縄県のマリノバージョン構想の中でも取り上げられている。図-2は、農林水産省が進めるマリタイムビレッジ構想を念頭において、大サンゴ礁（大台礁）を中心とする熱帯性海洋牧場構想の一例を示したものである。台礁は、水深（あるいは、住み着く魚の大きさ）によって深さ方向にA領域、B領域、C領域と分けられる。A領域は、熱帯魚の代表的なものであるタカサゴ、ハタ類、バラ類等の比較的浅海に住む熱帯魚を中心とした領域である。特に、礁斜面頂部は、激しい碎波が形成され、大量の気泡（酸素）を含んでいる。ここでは、現地の状況から考えて、イセエビ、サザエなど貝類の団地が作られる。

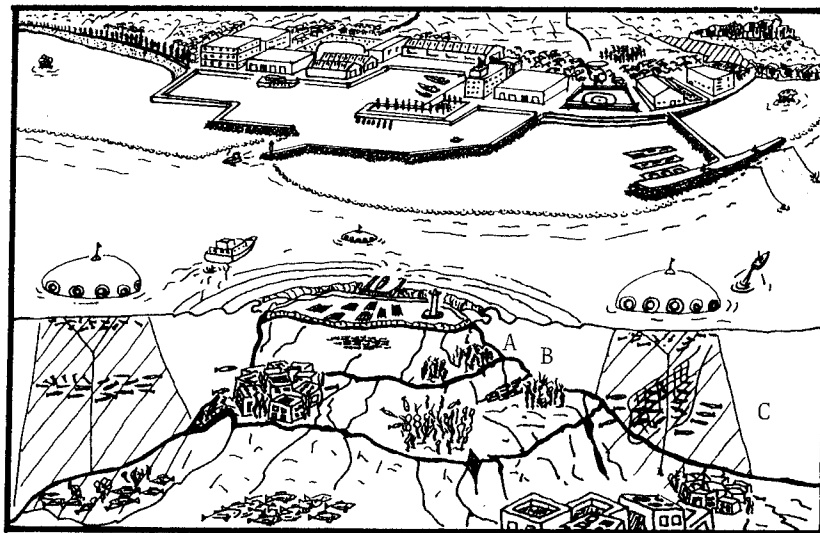


図-2 熱帯性海洋牧場構想の一例

B領域は、A領域を離れた中型魚の団地である。C領域は、最近流行の浮漁礁あるいは大型漁礁を用いた団地であり、カツオ、マグロ、カジキ等が生息する。さらに、サンゴ礁天端の礁池では、海草類、ウニ、ナマコ、あるいは小型熱帯魚の団地が作られる。

上述したように南西諸島をリゾート観光で訪れた大半の観光客は、脱日常性を望んでいる。すなわち、リゾート観光が増加するにつれ食事の面においても、とりたての地元の特産物が好まれるようになり、熱帯性の魚介類もその需要をさらに増すものと考えらる。すなわち、熱帯性海洋牧場は、益々重要な位置を占めるようになる。

(3) 海洋性バイオテクノロジーの研究施設としての利用

これは、最近話題になりつつある海洋性バイオテクノロジーの研究施設としての利用であり、熱帯性海域の魚介類あるいはサンゴから新素材、新科学物質を開発するための生産地である。通産省は、本年より官民合同の海洋性バイオテクノロジープロジェクトを始めることを明らかにしており、海洋性バイオ産業は、21世紀のバイオ産業として期待される。大サンゴ礁は、海岸線から数km離れたところに位置し、陸域の影響をあまりうけない領域であり、海洋性バイオテクノロジーによる新物質・新微生物の生産地として有効利用できる。

(4) 波浪エネルギーの収集基地

大サンゴ礁は、その大半が外洋に面しており年間を通して比較的高い波が来襲する。こうした高波高を利用した波浪発電、礁斜面での碎波に伴うサンゴ礁頂上での強い流れを利用した発電、あるいは潮位差発電など海洋エネルギーの収集基地・試験プラント等の設置場所としても用いられる。

(5) 国定熱帯性海洋保全区域

これは、大サンゴ礁の利用というよりもむしろそのままサンゴ礁海域を保全しようとするものである。例えば、沖縄本島のサンゴ礁は、南部においては、都市化による埋め立ての波を被りつつあり、本島北部海岸のサンゴは、農地の開発に伴う赤土の流入、あるいは環境変化によるオニヒトデの異常発生等によって絶滅の危機にさらされている。いまや世界的に珍しいサンゴがその姿を消そうとしているのである。この利用法は、こうした状況下のサンゴと熱帯魚との楽園を保全するため、全くの未開発地である大サンゴ礁を中心とする海域を、例えば、国定熱帯性海洋保全区域に指定しようとするものである。

(6) 海岸（海洋）工学或は水産工学研究の現地施設としての利用

これは、陸域から完全に隔離された大サンゴ礁を海岸（海洋）工学或は水産工学等の研究施設として用いようとするものである。

最近ウォーターフロント開発熱の高まりと共に、日本各地で大規模の埋め立て、あるいは沖合い人工島計画など大規模の海洋開発プロジェクトが計画・実施されるようになった。それにつれ、海岸工学の分野においては、益々現地観測が重要視されるようになる。また、大サンゴ礁を利用することによって、沖合い人工島建設のための基礎資料を得ることができるものと考えられる。

4. “幻の大陸”観光について

沖縄県宮古島では、上述の台礁を数年前から観光資源として活用している。対象となっている大サンゴ礁は、宮古諸島・宮古島の北部から5～20km沖にある大小100数余のサンゴ礁群（八重干瀬）の中で最大の干瀬（ドウ）である。ドウを中心とするサンゴ礁群は、南北10km、東西6.5kmにわたって散在する日本最大の台礁群である。その面積は、宮古島本島の10分の1程度にも達し、暗礁や礁斜面まで加えると3分の1にも達すると言われている²⁾。こうした台礁は、その頂面は満潮時、海面下2.0m程度の所にあり、干潮時には海面上0.5m程度干出する。一年を通して最も干出するのが、旧暦の3月3日・サニツ（浜下り）の日の3日前後である。この時期には、台礁は干潮時の約3時間の間は海面上約1.0m程度出現し、その後ゆっくりとその姿を海面下へと消して行く。こうした大台礁群は、文字どおりまさに“幻の大陸？”である。宮古島観光協会では、こうした幻想的な自然現象を観光の目玉として利用している。また、宮古島では、サニツの日に“八重干瀬祭”を行い観光PRを行っている。“幻の大陸”観光では、3日間で沖縄県内外より約1千人もの観光客が来島している。宮古島の年間の観光客数は約12万人程度であるから、3日間での観光客数としては多いと言える。写真-1-(1)～(4)は、1988年のサニツの日に行われた幻の大陸観光ツアー光景である。写真-(1)は、約600人を乗せたフェリーが大台礁（ドウ）に直接接岸し、観光客が一斉に幻の大陸へ上陸する様子である。上陸後は、写真-(2),(3)で見られるように、通常の陸上では味わえない多くの冒険が体験できるのである。最大干潮後2時間程度で台礁は海面下へ消え、写真-(1)～(3)に示すような巨大なサンゴ礁大陸は、もはやどこにも見えない。神秘的なドラマが終り帰りの船上では、幻の大陸で採った珍品大会が行われる。これが終わると船内は、益々盛り上がりを見せ豊年踊りの乱舞（写真-(4)）となる（これが現代の浦島太郎物語であろうか？）。

前述したようにこの幻の大陸観光には、脱日常性があり、また冒険性あるいはリゾート性がある。これまで全くの未開発地であった大台礁群は、これから積極的に利用して行く必要があろう。

(1)



(3)



(2)



(4)



写真 - 1 宮古島の“幻の大陸”観光

5. 海岸工学的問題点について

以上においては、大サンゴ礁の高度利用法についての説明を行った。ここでは、実際に大サンゴ礁を利用する際の海岸工学的あるいは水産工学的問題点について検討する。

例えば、上述の“幻の大陸”観光の場合、少々の時化でも観光船がサンゴ礁に接岸できない等の問題点を抱えている。大サンゴ礁は、1日2回繰り返される潮の干満によって、干出したり没したりするため、大サンゴ礁の周りの海象（波浪あるいは流れ）は、短時間の内に大きく変動することになる。また、大サンゴ礁を海洋性レジャーの基地として利用する場合、一年間を通して利用できるような環境下でなければならない（例えば、海水浴あるいはダイビング等を楽しむための快適な条件は、気温が 24°C 、水温 23°C 以上であり、来襲波の波高が 1.0m 以下と言われている）。

図-3における、○印及び●印は、沖縄本島南部における波浪データ（1975～1985年）から、一日平均有義波波高が 1.0m 以下及び 3.0m 以上となる確率を月別に示したものであり、△及び▲印は、それぞれ月別の平均気温及び平均水温を示している。図-3において、上記の波高条件 1.0m 以下を満足する日の確率は、台風の来襲時期7～10月を除いてかなり高い。しかしながら、観光客数及び台風の来襲が最も多い8・9月においては利用率がかなり悪くなる可能性がある。また、1月頃に気温が低くなっているが、これは水温が比較的高いのでダイビング・遊覧等としての利用には問題ないと考えられる。

次に、サンゴ礁周りの波浪及び流れの特性を実験的に検討する。特に、湧昇流も含めた流れの問題は、サンゴ礁を熱帯性海洋牧場として利用する場合においては重要なファクターとなる。

図-4の実験装置概要図に示す円形サンゴ礁は、直径が 400m の中規模の台礁を $1/100$ スケールでモデル化したものである。図-5は、サンゴ礁が干出した場合と満潮時の水没した場合とにおける海浜流を示している（流速の測定には、2成分電磁流速計を用い、水深の中間点で測定した）。なお、実験には、周期が 1.0 秒、波高が 6.0cm の単一波が用いられた。干潮時のサンゴ礁は、海面から完全に干出することから、サンゴ礁周りには、Meiri⁴⁾が指摘した円形島周辺の大規模循環流とほぼ同様な流れが発生している。この場合、サンゴ礁背後は、波高が小さく静穏な領域となるが、流れは、依然として大きい。

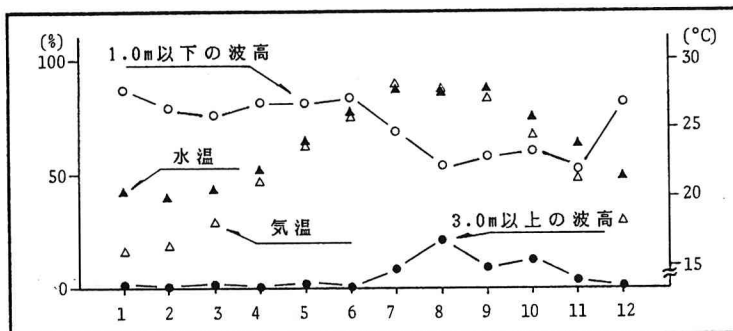


図 - 3 一日平均有義波波高の出現確率及び平均気温・平均水温

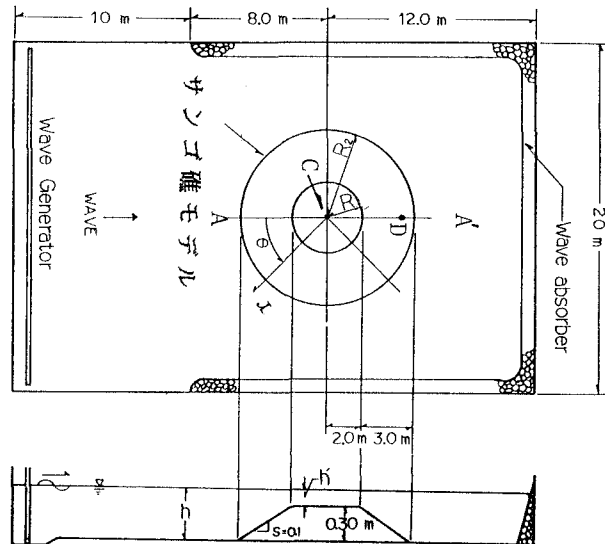


図 - 4 実験装置概要図

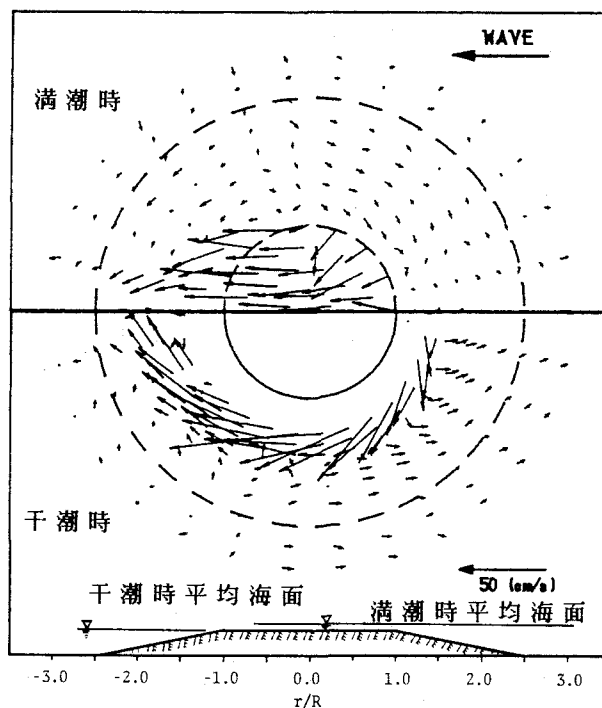


図 - 5 円形サンゴ礁周辺の海浜流

一方、満潮時における流れは、サンゴ礁中心から背後に向けて極めて大きく、サンゴ礁を中心とした大規模循環流を生じている。図-6は、サンゴ礁上のC及びD点(図-4参考)において、角柱に作用する波力を示している。図中、 η 及び P は、水面変動及び角柱に作用する波力を示している。図-6において、 $\bar{\eta}$ は、サンゴ礁上の平均海面の上昇量を示しており、 $\bar{P}$ は、平均波力、すなわちサンゴ礁上の流れによって引き起こされる流体力(抗力)である。筆者らは、文献5)において、非定常海浜流あるいはSurf-beatによって引き起こされる流体力は、個々波の波力を遙かに上回る場合があることをすでに指摘しているが、図-6における $\bar{P}$ の存在は同様なことを示している。図-6において、約1.0秒程度で変動しているのが個々波の波力であり、流れによる流体力とほぼ同じ大きさである。従来、こうした海浜流に伴う流体力は、個々波の波力と比較して小さいとし、海岸構造物に対する設計外力の算定には無視されてきた。しかしながら、サンゴ礁上のように水深が比較的浅い所では、個々波の波高は小さく、個々波の波力と流れによる流体力とは同程度となる。すなわち、サンゴ礁上の構造物の設計においては、流れによる流体力が重要なファクターとなり得るのである。

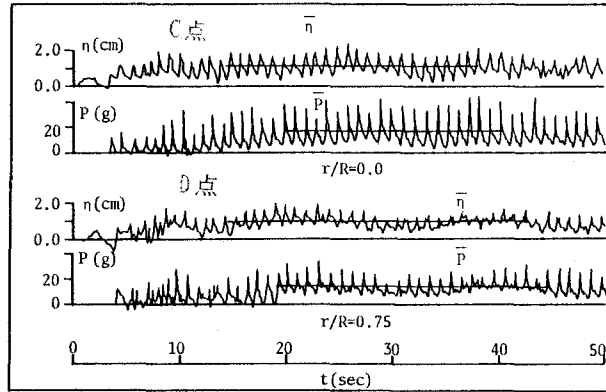


図-6 角柱に作用する海浜流の流体力

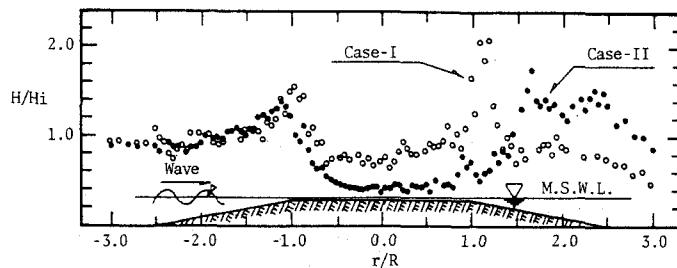


図-7 円形サンゴ礁近傍の波高分布（満潮時）

図-7は、満潮時におけるサンゴ礁上の波高分布を示している（図-4の中心線A-A'に沿って測定）。図-7の縦軸は、入射波高による無次元波高であり、横軸は、サンゴ礁の半径（R）による無次元距離である。図中、case-Iは波高が3.0cm、case-IIは波高が6.0cmの入射波（周期はいずれも1.2秒）に対応している。case-Iの場合は、サンゴ礁上でspilling碎波がわずかに起こっている場合であり、サンゴ礁背後の焦点で極めて大きな三角波が発生している（ちなみに、サンゴ礁が干出している場合、サンゴ礁背後は円形島と同様に静穏な領域となる）。case-IIの場合は、礁斜面上で発生したplunging碎波によってサンゴ礁上の波高はかなり減衰し、サンゴ礁上面においては入射波高の2割程度まで落ちている。この場合、波高の焦点がサンゴ礁背後にかなり移動したような形になっているが、これは、サンゴ礁上面における強い流れによって相対的な波速が変化したためである。

以上説明したように、大サンゴ礁周辺の海象は、干潮時と満潮時とは大きく異なり、大サンゴ礁を利用する際にはこれに付随する多くの問題点に留意する必要がある。

6. おわりに

本研究においては、南西諸島海域に点在し、現在まったくの未開発地である大サンゴ礁の高度利用法の提案を行った。また、現在唯一の利用例である沖縄県宮古島の“幻の大陸”観光の実態を紹介することにより、大サンゴ礁の高度利用の実現可能性を示すことができた。海岸工学的には、実験的に大サンゴ礁周辺の海象の変動の激しさを示した。特に、海浜流によって引き起こされる流体力は、積極的に海岸構造物の設計外力として取り入れる必要のあること等を示した。

謝辞

本研究を行うにあたり、琉球大学工学部水工学研究室の宇座俊吉技官、大学院生の松田和人君、長崎雅哉君をはじめ4年次学生のご協力を頂いた。また、非定常海浜流によって引き起こされる流体力の研究は、東京工業大学の日野研究室との共同研究であり、日野研究室の皆さんには、多大なご指導を賜った。

ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 目崎茂和：琉球弧をさぐる，沖縄あき書房，pp253，1985.
- 2) 目崎茂和：南島の地形，沖縄出版，pp.158，1988.
- 3) 横内憲久：ウォーターフロント開発の手法，鹿島出版，pp204，1988.
- 4) Mei, C.C., D. Angelides : Longshore circulation around a conical island, Coastal Eng. 1, 1976, pp.31-42.
- 5) 仲座栄三・津嘉山正光・日野幹雄・大城勉：波群津波の津波力に関する研究，第35回海岸工学講演会論文集，1988.