

# ブーメラン型サーフィンリーフの特徴と その稼働日数について

## CHARACTERISTICS AND OPERATING RATE OF BOOMERANG TYPE ARTIFICIAL SURFING REEF

鈴木高二朗<sup>1</sup>  
Kojiro SUZUKI

<sup>1</sup>正会員 工修 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

After construction of two artificial surfing reefs in Australia, the artificial surfing reef becomes the world wide current topics not only for surfing but also coastal engineering community.

In this study, the characteristics of boomerang type artificial surfing reef are investigated with hydraulic experiment. The operating rate of the reef regarding surfing is also estimated with numerical simulation. For the safety for surfer, the crest of the reef should not be so shallow. On the other hand, the wave breaking and operating rate decrease at high water level.

**Key Words :** Artificial surfing reef, Surfing, Shore protection, Submerged breakwater

### 1. 本研究の背景と目的

#### (1) 我が国のサーフゲレンデの現状

1960年代から始められてきたサーフィンは、その愛好家の人口が徐々に増え続け、我が国でも、約150万人にも及ぶ非常に人気のあるスポーツとなってきた。国民100人に1人以上がサーフィンをしていることになる。サーフィンは全国各地の海岸で行われており、鎌倉や江ノ島周辺の湘南の海岸では、真冬でも週末ともなると数mに1人という非常に密な間隔でサーファーの姿を見ることが出来る。夏期の湘南では1時間500円の費用でも、数百台収容可能な巨大駐車場が満車状態となっており、サーフボードを積んだ高級車も多く見られる。また、ウェットスーツの高性能化や比較的容易にサーフィンができるロングボードの隆盛などにより、若い男性だけでなく、女性や中高年の愛好家が増えている。

人口の増加とともに、サーフィンのカルチャーやビジネスなども発展し、地域が活性化するなどの効果も出てきている。驚くことに過疎地域でも、サーフィンに適した波が発生する場所では、年齢の若いサーファーが移住し、最近では過疎化問題を解消するとして歓迎される事例も増えている。過疎地域の病院でも、波の良い場所ではサーフィンを愛好する看護師が集まる事例なども見られる。

#### (2) サーファーの混雑とサーフゲレンデの減少

一方、人口増加にともなって海岸が混雑し、サー

ファー同士の接触事故、あるいはローカル（地元）サーファーとビジターサーファーとの喧嘩などの問題が常日頃発生している。

このような混雑は、サーフィンそのものの性質に起因している。まず、サーフィンは波が砕け始める場所から乗り始めるスポーツであるため、波が砕け始める場所（砕波線）に人が集中するという問題がある。（ヨットやウィンドサーフィンなどのマリンスポーツは、面的に広がった空間を利用できるため、混雑がさほど問題とならないが、サーフィンは砕波線しか利用できないため、混雑しやすい。）また、サーフィンは波の進行方向（岸沖方向）だけではなく、図-1のように波の進行方向と直角方向（沿岸方向）に滑るスポーツであり、通常1人のサーファーが20～50m沿岸方向に滑るため、1つの波を1人が占有することになる。通常、1時間に乗れる波は多くとも300波程度であるため、混雑していれば1時間に数回しか乗れない場合も多い。

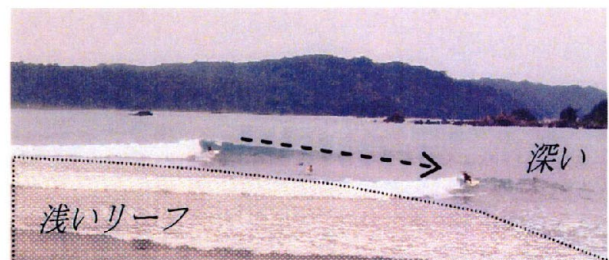


図-1 サーフィンに適した横に砕ける波  
浅い地形（リーフ）が沖へ張り出している

このように混雑しやすい状況に、河川からの砂の供給不足や、海岸・港湾構造物の建設に伴う海岸侵食などがあいまって、サーフィンができる海岸は年々少なくなり、我が国の海岸はサーファーで非常に混雑した状態となっている。関東、関西など、いずれの大都市圏にも多くのサーファーがいるが、湘南や九十九里などのサーフィンに適した遠浅な砂浜や岩礁が多くある関東と比較すると、関西圏のサーフポイントは意外に少ない。例えば台風常襲地帯である紀伊半島は、波も多くサーフィンに適した海岸が数多くあるように思えるが、実際には危険な岩礁地帯が多く、サーフゲレンデの数は限られている。

### (3) 人工サーフィンリーフに関する近年の動向

サーフィンリーフに関する研究はハワイ大学の Walker 氏<sup>1)</sup>が、サーフィンに適した横に砕けていく波の速度を Peel Velocity として定義し、ハワイオアフ島のパイプラインなど、いくつかのサーフスポットにあてはめて解析したことにはじまる。国内では徳島県の海部川河口のリバーマウス型サーフスポットの解析にはじまり、先駆的に三井、中野らがデルタ型人工サーフィンリーフを提案している<sup>2), 3)</sup>。

そのほか、80～90年代には造船学等で数多くのサーフィンやサーフィンリーフに関する研究が実施されている。“サーフィン波発生装置”<sup>4)</sup>、“没水平板”<sup>5)</sup>、“海洋波集波レンズ”<sup>6)</sup>、“レンズマウンド”<sup>7)</sup>、“フレネル潜堤”<sup>8), 9)</sup>、“テーパー型潜堤”<sup>10)</sup>などがある。そのいくつかは、直接サーフィンには関係せずとも、波を平面的に制御するという点で、参考になるものである。ワイルドブルーヨコハマやシーガイアのオーシャンドームなどのウェーブプールは、これらの研究と同時期に築造されている。ただし、残念ながら現在、これらのウェーブプールは現存していない。

一方、サーフィン人口の増加とサーフゲレンデが減少するという傾向は、我が国のみならず世界各地で見られる現象であり、人工サーフィンリーフが切望されている。人工サーフィンリーフが実際に築造されたのは2000年以降である。最初の1箇所（カリフォルニアに造成されたリーフ）<sup>11)</sup>は、建設に用いた土のうが砂地盤に埋没して失敗した。建設された場所が漂砂量の大きいバートラフ型海浜に設置されたことがその失敗の一因である。2009年現在、Pratte's Reef は完全に撤去されている。

残りの3箇所はオーストラリアの西海岸にある Cables<sup>12)</sup>と東海岸 Gold Coast に設置された Narrowneck<sup>13), 14)</sup>と呼ばれるリーフ、さらにニュージーランドに造成された Mount Reef とよばれるリーフである。これらはサーファーが怪我をしないように大型土嚢（ニュージーランドでは長さ50m×幅5m×高さ3mの土嚢）で築造されており、サーフィンに適した波が発生している。さらに、最近イギリスのボーンマスで建設中である。

ただし、完成したリーフはいずれも稼働日数が低

く、あまり評判がよくない。特に Narrowneck は、綺麗な碎波となっているものの、築造前にメディアがいつでも良い波が発生すると報じたこともあり、必ずしも評判がよくない。

しかし、その後、これらの建設例を受けて急速に人工サーフィンリーフへの期待が盛り上がり、世界各地で計画されている。我が国でもその状況は変わらず、地域を活性化したい過疎地域、あるいは、サーフィン人口の過密な都市域でその期待が大きい。

### (4) 本研究の目的

以上のような背景から、本研究では図-2に示すようなブーメラン型人工サーフィンリーフの特性をサーフィンと海岸防災の観点から水理模型実験により調べることを目的とした。また、その稼働率を和歌山県的那智湾に設置することを想定して、水理模型実験と数値計算によって調べることにした。

なお、ブーメラン型リーフはデルタ型リーフの中心部が無い形状である。材料費を減らすこととサーファーが転倒した際に深い部分に落ちるため、その安全性を保つことを意図した形状となっている。近年、海外で提案されているリーフはブーメラン型が多いため、本研究でもブーメラン型を選定した。

## 2. ブーメラン型サーフィンリーフの特性

### (1) 水理模型実験

実験は図-3に示す水路で実施した。水路の総延

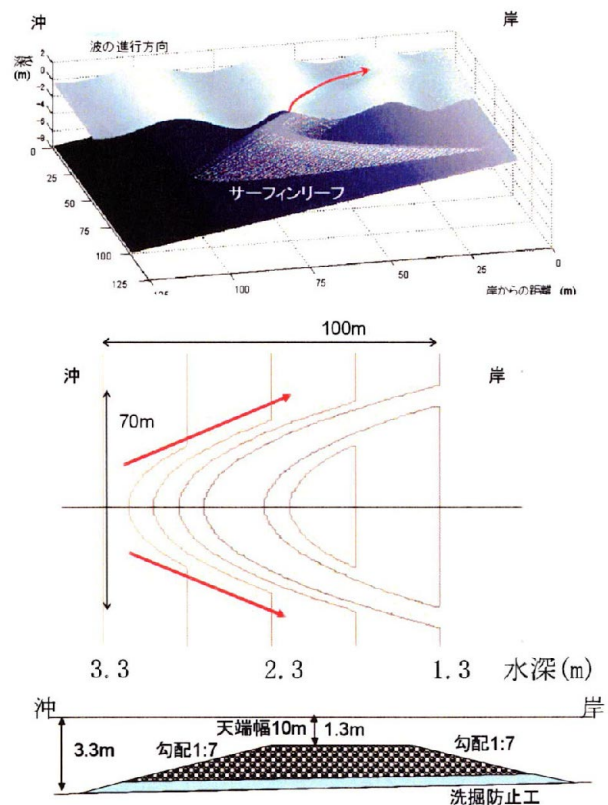


図-2 サーフィンリーフの概念図と平面図、断面図



図-3 実験水路と模型設置位置

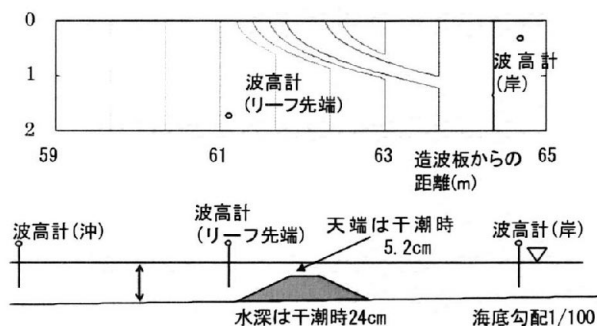


図-4 模型周辺の平面図と断面図

表-1 実験条件と模型縮尺

|               | 現地   | 実験     |                 | 現地     | 実験       |
|---------------|------|--------|-----------------|--------|----------|
| 水深<br>(干潮-満潮) | 6m   | 24cm   | 波高              | 0.5~3m | 2~12cm   |
|               | 7m   | 28cm   | 周期              | 6~15s  | 1.2~3.0s |
|               | 8m   | 32cm   | リーフ岸沖長          | 95m    | 3.5m     |
| 水深 天端部        | 1.3m | 5.2cm  | リーフ沿岸長<br>(左半分) | 38m    | 1.52m    |
|               | 2.3m | 9.2cm  |                 |        |          |
|               | 3.3m | 13.2cm |                 |        |          |

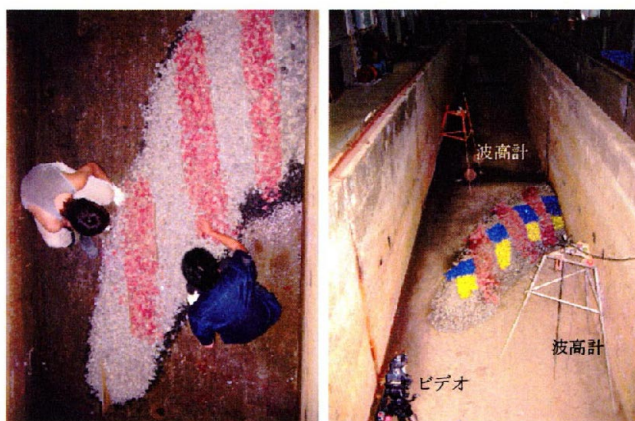


図-5 模型製作状況(左)と計測器の設置状況(右)

長は 105m あり、水路幅は 2m である。図-4 は模型の平面図と断面図である。今回のサーフィンリーフはブーメラン型で左右対称なため、その半分の模型を水路に設置して実験した。このほか、波高計とハンディカム 2 台を設置して砕波状況を計測した。

実験は表-1 に示すように 1/25 縮尺で行った。今回は砕波状況を詳細に見るため、規則波で行った。

この際、潮位は 3 種類（干潮と満潮、さらにその中間潮位）を試し、波高は 5 種類、周期は 4 種類の計 60 ケースの実験を行った。なお、リーフで屈折した波が水路壁にあたり、横方向の多重反射が起きたため、そのような乱れの起きる前の最初の 5~10 波を解析対象の波とした。

図-5 は、模型の製作状況と計測器の設置状況であり、石を並べることによって模型を製作している。

## (2) 砕波特性

図-6 は、満潮時で周期 15s、波高 2m の波が作用した場合の波の砕波状況であり、それぞれ a) は砕波開始直後、b) はその後の砕波状況である。波がサーフィンリーフの先端部に集まり、右側から左側に徐々に砕けているのが分かる。図-6 b) を見るとカールと呼ばれる部分が最も波が大きくなっており、既に砕けた部分は、エネルギーが砕波で消費されるため、波が小さくなっている。カールはこのまま、リーフの形にそって図-7 のように砕けていった。

図-8 は、波の波高と周期で、サーフィンが可能となる砕波状況をまとめたものである。なお、サーフィンは崩れ波と巻き波時に可能と判断し、巻き波時にリーフ天端が露出する場合は不可能とした。図中△で可能と標記した場合の波浪条件は、ほとんどが崩れ波であり、砕波はリーフ先端から沿岸方向にリーフの 1/5~1/3 程度しか砕けず、波に乗る距離が短いため、波に乗れても満足できるほどの砕波ではない。○で最適と標記した場合は崩れ波から巻き波で、リーフ先端から末端まで横方向に長い距離を徐々に砕けていた。一般に初級者には崩れ波が良く、

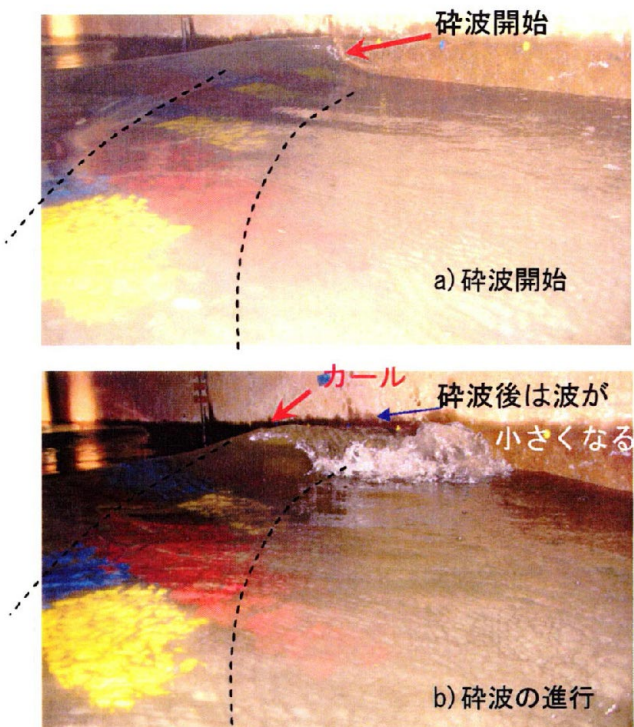


図-6 砕波状況（満潮周期 15s、波高 3m）

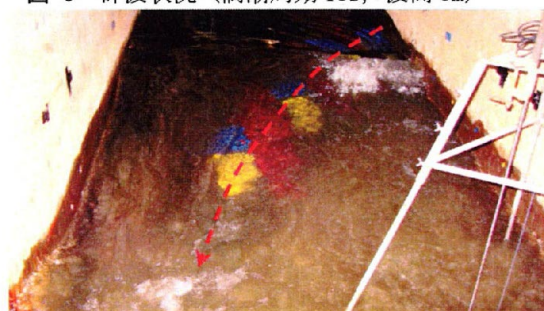


図-7 砕波を上から見た状況  
波がリーフにそって左へ砕けて行く

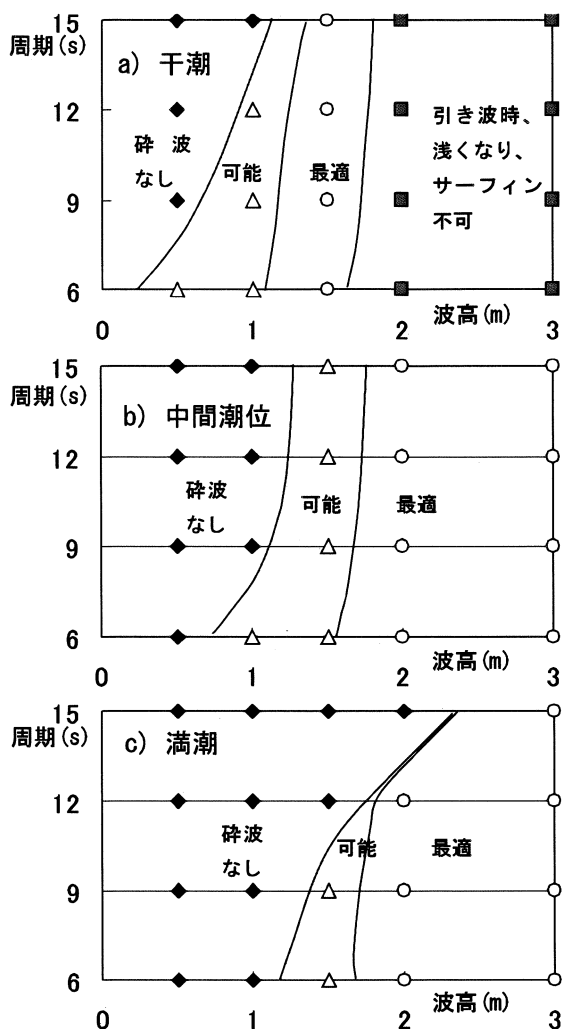


図-8 波高周期とサーフィンの可能性

●は不可、△は可能だが碎波距離が少ない、○は最適

巻き波になるほどサーフィンの技術が要求される。

周期が短いほど碎波しやすい傾向にあり、干潮時（図-8(a)）では、周期 6s で約 0.5m から碎波し始めた。干潮では 1.5m の波が最もよく、リーフ中央から末端部まで長い距離、波に乗ることが可能である。しかし、2m 以上の波になるとリーフの天端が引き波時に露出するため、危険な状態となっていた。

干潮から 1m 高い潮位（図-8(b)）では、波高約 1.5m からサーフィンが可能となるが、この場合もリーフの 1/3 程度しか碎けない。しかし、2~3m の波に対しては、長い距離波に乗ることが可能である。さらに、干潮時より 2m 水位が高い満潮時（図-8(c)）では、波高約 2m から碎波し始めた。

0.5~1.5m 程度の波が卓越する海岸では、干潮時にはサーフィンに適しているものの、満潮時はサーフィンの稼働率が下がることが分かる。一方、さらに波の大きい海岸ならば、中間潮位から満潮にかけて、より適した波が発生するものと考えられる。

### (3) リーフ上の碎波による波高減衰効果

サーフィンリーフでは、図-9 のように波がリーフ先端に集中する。そのため、波が小さくリーフで

波が碎波しない場合には、リーフ中央の背後では若干波が大きくなるのに対し、リーフの端の背後では波が小さくなる。一方、波が大きくなり、リーフ先端で碎波すると、波がエネルギーを失うため、その背後の波高は全体に小さくなる。

図-10~12 は、入射波高とリーフ中央背後の波高である。波が小さく、碎波しない場合、例えば図-10 の波高 1m では波の大きさが 2 割ほど大きくなっている。しかし、それ以上になると波高は一気に小さくなり、干潮時、周期 6s の場合には、波高が 3 割未満（エネルギーでは 1 割未満）になっている。

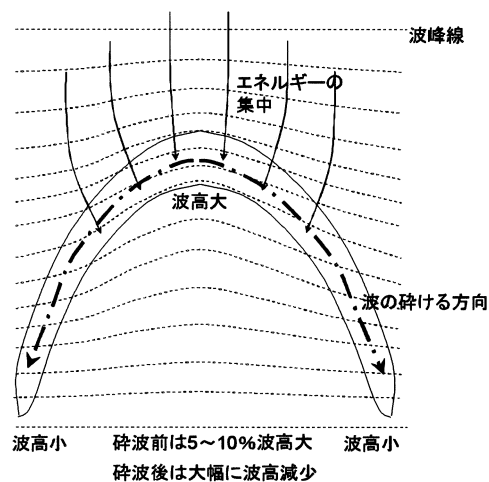


図-9 サーフィンリーフの特性を示す模式図

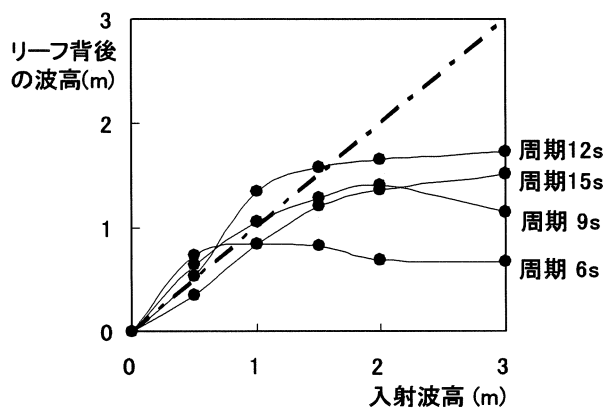


図-10 入射波高とリーフ背後の波高（干潮時）

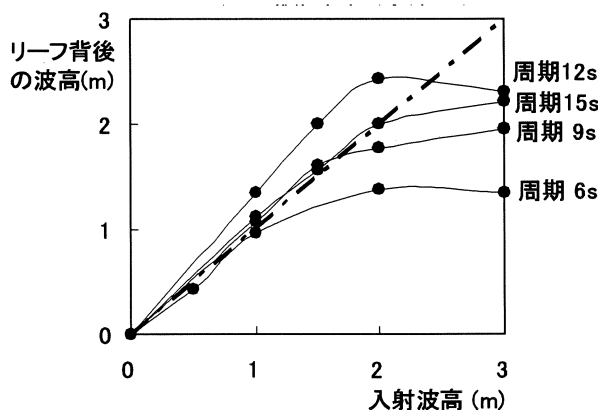


図-11 入射波高とリーフ背後の波高（中間潮位）

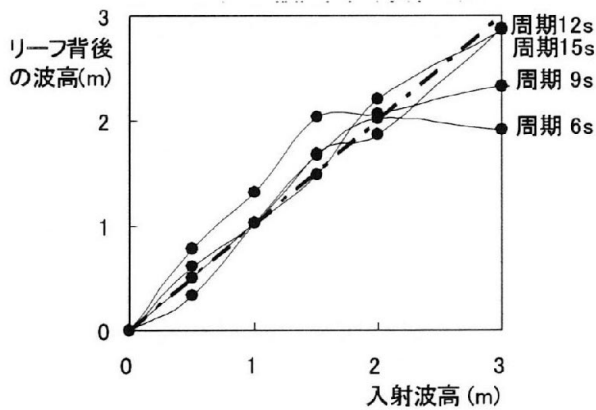


図-12 入射波高とリーフ背後の波高（満潮時）

一方、中間潮位(図-11)になると、波高 1.5m から碎波するものの、リーフの先端から約 1/5～1/3 しか碎けないため、実質的に波の減衰効果が見られるのは、波高が 2m 以上のケースだった。満潮時(図-12)になると、さらに波高減衰効果が下がり、3m 以上の波でなければ消波効果が見られないことが分かった。

以上のことから、サーフィンの稼働率と消波効率が、比例するような関係にあることが分かった。

### 3. 実海域での稼働率の算定

#### (1) 数値計算と計算条件

ここでは、ブーメラン型人工サーフィンリーフを図-13 に示す那智勝浦湾に設置した場合の稼働率を算定するため、人工リーフ設置地点での周期と波高の出現頻度をエネルギー平衡方程式による波浪変形計算プログラムを用いて算出し、2. の水理模型実験結果と照らし合わせて、サーフィン可能な日数（稼働日数）を求めた。また、稼働率は稼働日数/365 日として定義した。

なお、エネルギー平衡方程式による波浪の計算にあたっては、那智勝浦湾の北に位置する新宮港の沖合で計測された波浪データをもとに、エネルギー平

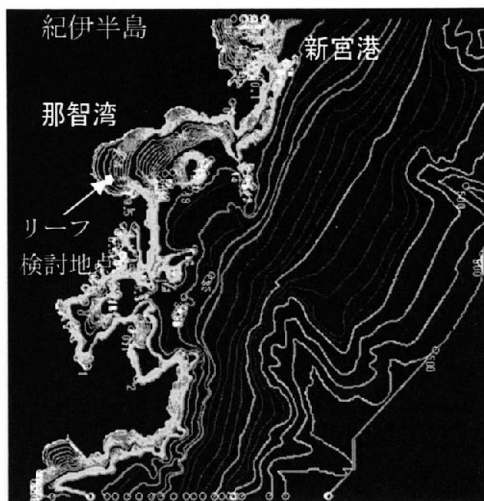


図-13 那智湾と計算に用いた水深データ

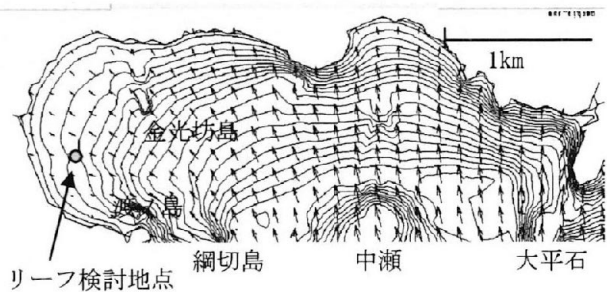


図-14 計算結果の一例（SSE, 入射波高 3m, 周期 12s）

#### リーフ設置位置の有義波高(m)

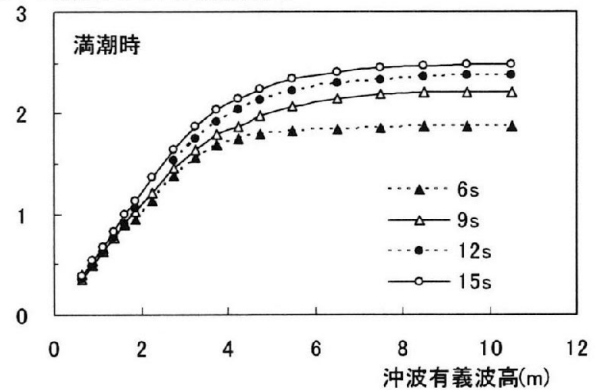


図-15 リーフ検討地点の波高(E 方向から入射した場合)

衡方程式を用いて那智勝浦湾での波の出現頻度を調べた。計算は沖波波高 0.5～10m, 周期 6～15s, 6 方位, 満潮, 干潮のケースについて検討した。

#### (2) リーフ検討地点での波浪特性とリーフの稼働率

図-14 は、計算結果の一例である。リーフ検討地点は、那智湾の奥部にあたり、中瀬、網切島、金光坊島といった浅瀬に波のエネルギーが吸収されるなどするため、波浪が小さくなる傾向にある。

図-15 は、リーフ検討地点の波高の一例である。検討地点の干潮時の水深が 3.3m と浅いこともあり、碎波の影響で周期 15s のうねりでも最大有義波高は 2.5m まで減衰している。

図-16, 17 は、新宮港沖で観測された波浪の出現確率であり、それぞれ 11s 未満と 11s 以上の波である。東方向からの波浪がいずれの場合も卓越し、出現確率は 11s 以下の波の方が多い。今回はこの観測データを数値計算の沖波の波浪出現確率として考え、図-15 に示すような計算結果と比較して、那智湾の波浪出現確率を求めた。ただし、観測データは地形の影響を受けており、本来、沖合の波浪へ割り戻す必要があるものと考えられ、今後の課題としたい。

図-18, 19 は那智湾内のリーフ検討地点での波浪の出現確率とサーフィンの稼働率であり、それぞれ、干潮時と満潮時での計算結果である。図中に、図-8 の実験結果から、サーフィンが可能か、最適かをともに示している。潮位変化が無く、常に干潮だとすると、0.5m 以上の波が 118 日ほどあるものの、サーフィンを楽しめる最適な波浪条件は約 23 日と少ない。満潮の場合はさらに少なく、干潮と満潮を

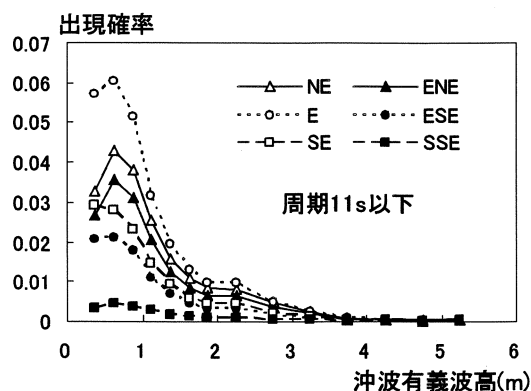


図-16 新宮沖で観測された波浪出現確率(周期 11s 未満)

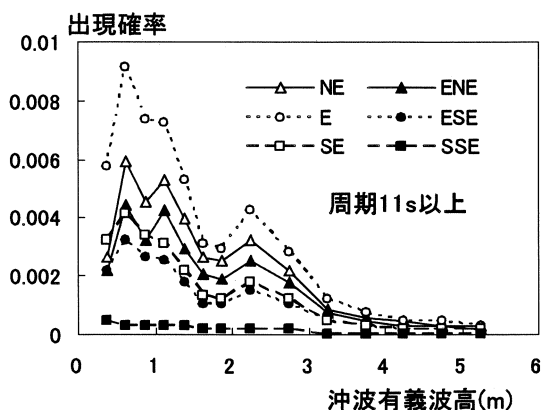


図-17 新宮沖で観測された波浪出現確率(周期 11s 以上)

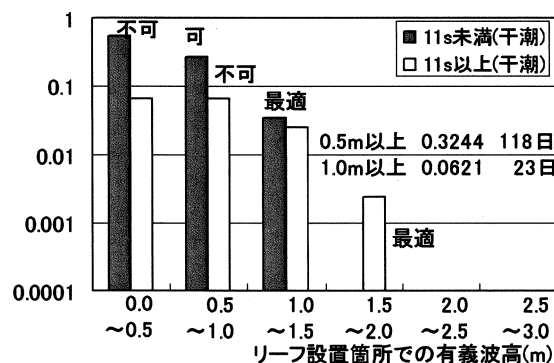


図-18 リーフ検討地点の波浪出現確率と稼働率 干潮時

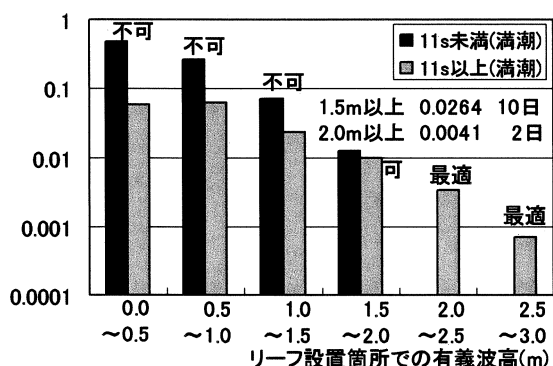


図-19 リーフ検討地点の波浪出現確率と稼働率 満潮時

平均すると、波に乘れ始める（砕波し始める）0.5m以上の波の日が約 64 日、最適な日は約 13 日となる。

実験値が規則波であるのに対し、波浪の出現確率は不規則波の有義波で求めているなど、今後、さらに検討すべき点があるものの、以上の結果から当該

検討地点に設置した場合、全般に稼働率が低くなる傾向にあるものと考えられる。

### (3) サーフィンリーフに関する今後の課題

今回検討したブーメラン型リーフは、サーファーの安全性や材料費を抑えるため、天端幅を 10m と小さくするなどしている。そのため、サーフィンの稼働率、防災面で見た場合の波浪減衰率も低くなる傾向にある。今後、サーファーに安全なリーフの構成材料や、設置予定地点の海象特性を考慮したリーフ形状の検討をする余地があるものと考えられる。

**謝辞：** 本解析を実施するにあたり、和歌山県県土整備部から波浪データを提供していただいています。また、本研究は科学研究費(基盤研究(C)20500611, 代表者：鈴木高二朗)の補助を受けて行っています。

### 参考文献

- Walker J.R., R.Q. Palmer and J.K. Kukeya : Recreational surfing on Hawaiian reefs, Proc. of 14th Coastal Engineering, ASCE, pp.2609-2628,1972.
- 吉田善昭・中野晋・増味康彰・三井宏：サーフィンに適する波と人工リーフの関係，海洋開発論文集，Vol. 7, pp. 113-118, 1991.
- 中野晋・吉田善昭・中野孝二・三井宏：サーフィンに適するデルタ型リーフ周辺の流れと漂砂，海洋開発論文集，Vol. 9, pp. 229-234, 1993.
- 朝田宏・山岸直人・山下誠也：サーフィン波発生装置，第 2 回波浪エネルギー利用シンポジウム講演集，pp. 191-198, 1987.
- 工藤君明・續辰之介・今井貫爾・秋山義信：没水平板の集波効果に関する研究—凸レンズ型没水平板による波の変形解析，日本造船学会論文集，No. 160, pp. 217-225, 1986.
- 木下健・村重淳：海洋波集波レンズ—細長体理論による特異点分布—，生産研究，41, 10, 788-791, 1989.
- 藤原隆一・芳田利春・宇田高明・小俣篤：レンズマウンドの消波特性と構造物周辺の波高分布・海浜流の予測，東洋建設技研報告，第 18 巻，pp. 13-27, 1991.
- 鈴木康正・上原功・富田康大・望月徳雄・平石哲也：フレネル潜堤による波向・波高変更効果に関する模型実験，海岸工学論文集，第 42 巻，pp. 701-705, 1995.
- 平石哲也：小型潜堤を用いた海浜安定工法に関する模型実験，港空研資料，No. 896, 1998.
- 武若聡・入江功・黒田寛：テーパー型潜堤による波向制御，海岸工学論文集，第 41 巻，pp. 726-730, 1994.
- Pratte T.P., J.R. Walker, P.E. Gadd and C.B. Leidersdorf : A new wave on the horizon towards building surfing reefs nearshore, Coastal Zone 89', pp.3403-3411,1989.
- Pattiaratchi, C. : The cables artificial surfing reef, western Australia, Shore & Beach, Vol.75, No.4, pp.80-92, 2007.
- Turner I.L., V.M. Leyden, R.J. Cox, L.A. Jackson and J.E. McGrath : Physical Model Study of the Gold Coast Artificial Reef, J.C.R., S.I., No.29, pp.131-146, 2001.
- Jackson L.A., B.B. Corbett, R.B. Tomlinson, J.E. McGrath and G. Stuart : Narrowneck Reef : Review of seven years of monitoring results, Shore & Beach, Vol.75, No.4, pp.67-79, 2007.
- Black K. and S. Mead : Sand bank responses to a multi-purpose reef on an exposed sandy coast, Shore & Beach, Vol.75., No.4, pp.55-66, 2007.