

表-1 移動床模型条件

Case	L_r (m)	W (m)
1	16.0	0
2	7.2	0.8
3	12.8	3.2
4	2.4	1.6

きさによって導波板の位置を変え、導波板がリーフ中央、または開口部中央に位置するようにした。

固定床実験のうち 22 ケースについてはリーフ中央と開口部中央での波高・水位分布、開口部中央での流速測定、および流況観察を行った。波高・水位の測定には容量式波高計を、流速測定には電磁流速計を用いた。流況はフロートの移動を写真撮影することで求めた。また残り 24 ケースでは染料およびフロートの移動より流況観察のみを行った。移動床実験ではリーフ上の波高分布、流況および地形を測定した。地形測定は基準高さからの地形高を水系と定規を用いて測定した。

3. 人工リーフ周辺の流況パターン

開口部を設けると、開口部とリーフ上で波の変形の様子が異なるために平面的な波高分布を生じ、波峰の進行も複雑になる。その結果、人工リーフ周辺にはリーフ特有の海浜流が生じる。実験における人工リーフ周辺の海浜流の一例を図-3に示す。リーフ背後に一对の循環流が生じ、開口部では沖向きの流れになっていることがわかる。この流況パターンは開口部を有する人工リーフに特徴的なものである。しかし、 L_r や W および Y の条件によっては、リーフ背後が澁んだ状態になり循環流が生じない場合がある。そこで、固定床実験の結果を用いて平面諸元による流況パターンの区別を明らかにした。

流況は主として 4 パターンに分けられた。パターン I は図-4 a) に示すようにリーフ背後に 1 対の循環流が生じる流況である。堤長が長ければ、開口部の影響はリ

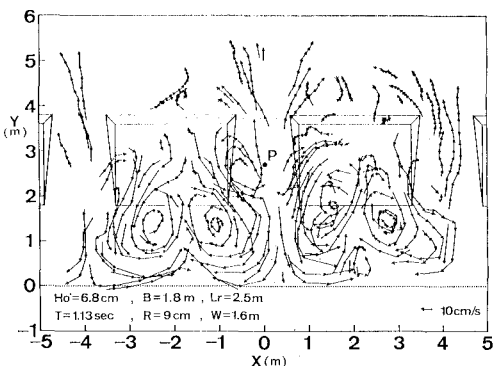


図-3 人工リーフ周辺の海浜流の一例

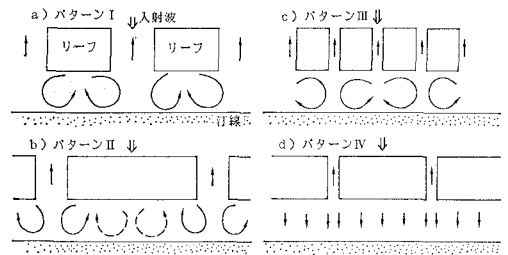


図-4 人工リーフ周辺での流況パターン

ーフ中央まで及ばない。このため循環流はリーフの両端に限られて形成され、リーフ中央は澁むが両端の循環流に対応した循環流が形成される。この場合の流況が図-4 b) に示すパターン II である。このときの堤長のスケールは離岸距離との比 (L_r/Y)、すなわち 1 基のリーフ背後の長方形スペースの形状特性によって判断する。一方、堤長が短い、すなわち 1 基のリーフ背後のスペースが岸沖方向に長い長方形になる場合には、明瞭ではないが 2 基のリーフ背後で一对の循環流が生じた。これが図-4 c) に示すパターン III である。また、堤長に比べ開口幅が狭い場合には、循環流は生ぜずリーフ背後の流況は澁んだ状態になった(図-4 d), パターン IV)。以下にパターン I ~ IV の流況の発生区分について述べる。

4. 流況パターンの区分

実験を行った 46 ケースについて、横軸を L_r/Y 、縦軸を L_r/W として流況パターンの区分を行った結果を図-5に示す。パターン I になるのは L_r/Y がほぼ 1~4 の間で、 L_r/W がほぼ 4 以下の時である。パターン I の流況になる平面配置の場合に、リーフ岸側の前浜勾配を 1/10、1/5 に変えることで Y を変化させたケース 43~46 では、前浜勾配が急になり L_r/Y が 4 程度に大きくなると循環流が生じなくなった。

海浜流の流況パターンは海浜流とリーフ上での波の変形に支配される。そこで図-6にリーフ岸端位置での開口部の波高 H_m とリーフ背後の波高 H_b の差とリーフの平面配置との関係を示した。同図は横軸に W/L_r をとり、縦軸には波高差 ($H_m - H_b$) を H'_0 で無次元化した値をとった。横軸は図-5の縦軸の逆数になっている。 L_r/Y が 1.11~2.75 では W/L_r が 0.4~0.6 程度でピークを示し、 W/L_r がある程度大きくなると波高差が小さくなる傾向を示す。また、 $W/L_r < 0.25$ ($L_r/W > 4$) の場合では無次元波高差はほぼ 0.4 より小さくなる。このようにパターン IV の流況になる $W/L_r < 0.25$ では波高差は小さい。一方、パターン I の流況となる場合でも W/L_r が 0.4~0.6 を越えると波高差が小さくなる。また、パターン III の流況となる場合 ($L_r/Y < 1$) には波高差が大きい。このように、波高差が大きいとき必ずし

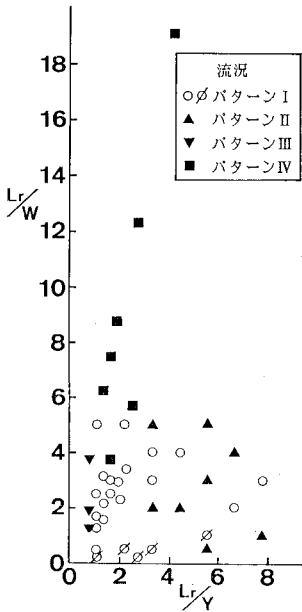


図-5 流況パターンの発生区分

開口部ではどの流況パターンでも沖向きの流れが生じる。開口部中央の測点(図-3に示すP点)で測定した平均流速の鉛直分布より沖向き単位幅流量を算定した結果を図-7に示す。この図も W/L_r を横軸にしてある。開口幅が相対的に小さいとき沖向き単位幅流量 q は大きく、 W/L_r が 0.4~0.6 を越えると減少する。流況パターン I となる場合に W/L_r が 0.4~0.6 を越えると波高差が小さくなる傾向は、この q の減少に対応する。すなわち、開口幅が広がると沖向き流れが弱くなり、その結果波速が増し波高は減少する。開口部の波速が増すとリーフ上との波速差が大きくなるため、波峰の岸向きの突出が大きくなり、開口部からの入射波がリーフ背後に拡がり易くなる。このようにして、ある程度波高は低下するが、パターン I の流況が形成され则认为られる。また、図-7によると L_r/Y が小さいとき q が大きくなっている。沖向き流れが速ければ開口部の波高が増加し波高差が大きくなる。波高は高くなるが開口部から入る波のエネルギーは増加せず波速も遅くなる。そのため、 L_r/Y が小さいときは波高差が大きくても循環流の形成には至らないと认为られる。流況パターンは開口部から入射する波の、水深と流れによる変化に影響されることがわかる。また、開口部で波峰が岸向きに突出した形状になる。これはリーフ上と開口部での波高差に起因する波速差や回折、水深差による屈折によるものであり、人工リーフ周辺の海浜流はこれらの現象に強く影響され则认为られる。

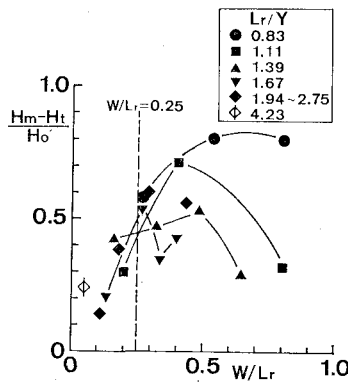


図-6 開口部とリーフ背後での波高差

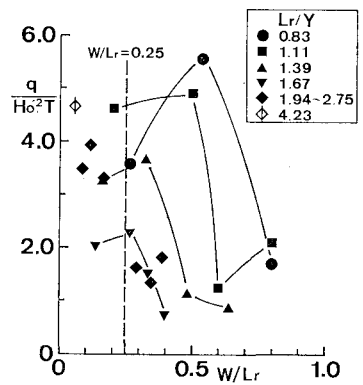


図-7 開口部での沖向き単位幅流量

5. 流況パターンと地形変化の関係

以上に述べた人工リーフの流況パターンと海浜地形変化との関係を移動床実験により検討した。図-8にパターン I の流況を示すケース 4 での地形変化量を示す。これは 1/20 一様斜面の初期状態から 10 時間波を作用させた後の状態である。地形変化はリーフ中央を挟んで沿岸方向に対称ではないが、リーフ背後でトンボロが形成されていることがわかる。一方、開口部およびその岸側は侵食されている。特に、開口部では 4~6 cm 洗掘されている。砂の収支からみて、トンボロは開口部岸側から循環流によって運ばれた砂により形成されたものと考えられる。1 対の循環流は沖に砂を流出させず、リーフ背後に砂を保存させる働きを持つと认为られる。このときのリーフ中央位置での沿岸方向波高分布を図-9a)に示す。開口部で波高が高くなっていることがわかる。また、代表的に $x=6$ m の開口部断面を図-10に示す。開口部がかなり深く洗掘されている。

パターン II の流況となるケース 3 の地形変化量を図-11に示す。リーフの端部に生じる循環流によりリーフ端部背後で堆積が生じている。しかし、リーフ中央では 2 次元的な変化のみが生じている。また、開口部はリー

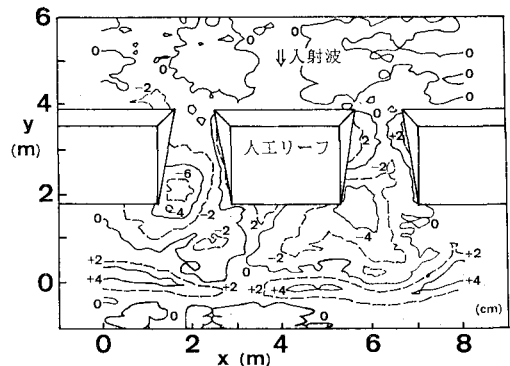


図-8 ケース 4 の地形変化量図

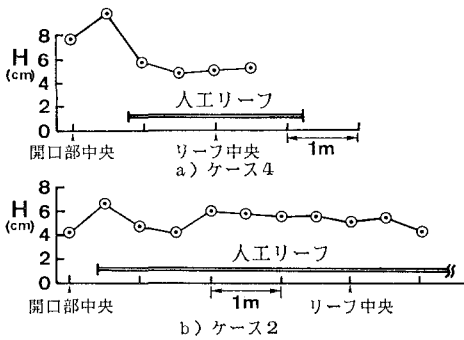


図-9 波高分布

フ側面が深く洗掘され、開口部中央はあまり変化していない。また、リーフ端部沖に 20 cm 程度の堆積がみられる。

最後に、パターン IV の瀾んだ流況になるケース 2 の地形変化量(図-12)では、開口部で洗掘が生じている他は、岸沖漂砂によると考えられる沿岸方向にはほぼ様な変化が生じているだけである。このときのリーフの中央位置での沿岸方向波高分布を 図-9 b) に示す。開口部での波高は大きくなっていない。

以上の実験結果によれば、パターン I の流況の堆砂効果が高いことがわかる。すなわち、リーフ背後の一対の循環流がリーフ背後に堆積を生じさせると共に、沖に砂が流出するのを防ぐ。ただし、開口部はどのケースでも洗掘されていることに注意する必要がある。また、どのケースもリーフ沖の法先洗掘はほとんどみられない。

6. 平面諸元決定法の検討

以上のことにより、限定された実験条件ではあるが、人工リーフ周辺の海浜流と平面諸元との関係がわかった。そこで、設置目的別に平面諸元の決定法を以下の①～③に示す。その前に、①～③の方法が適用できる断面形の条件についてに述べておく。

前述のように、図-5 に示した流況パターンの区分は、人工リーフ沖端で入射波が強制碎波する条件で得られるものである。よって、この区分を用いるためには、碎波による波浪減衰を十分に得られる断面形が必要である。リーフ岸端での波高伝達率

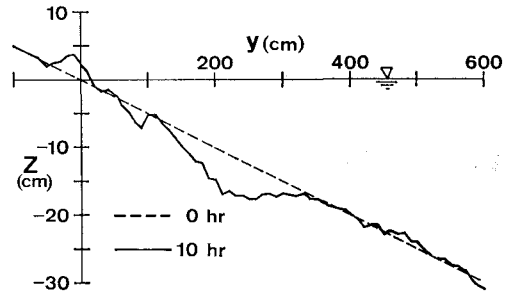


図-10 開口部での断面変化(ケース 1)

H_t/H_o' の値が大きくとも 0.5 程度になる断面形を選択する必要があると考えられる。また、離岸距離 Y は設置水深や堆砂を生じさせるためのスペースなどの断面形を決定する指標であり、平面配置とあわせて検討する必要がある。

以下に示す方法は一つの目安を与えるものであり、詳しくは水理模型実験を行って検討することが望ましい。

① 高潮対策

高潮対策(越波対策)においては、沿岸方向に波高分布が生じないことが望ましい。そのため、人工リーフを施工する場合には連続堤とすることが基本である。開口部を設ける場合には、 $W < 0.25L_r$ 程度に開口幅を狭くするべきである。

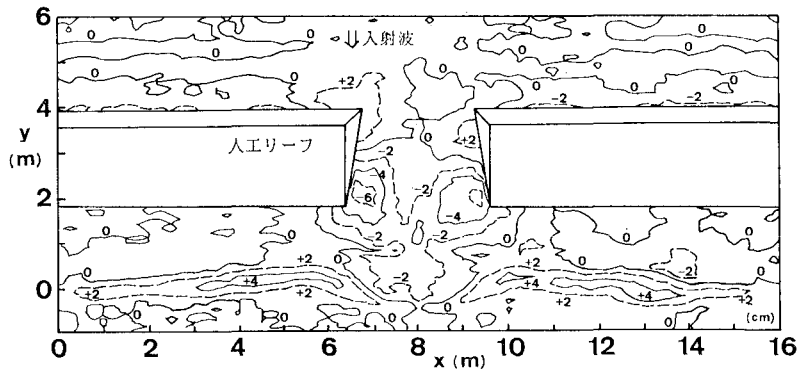


図-11 ケース 3 の地形変化量図

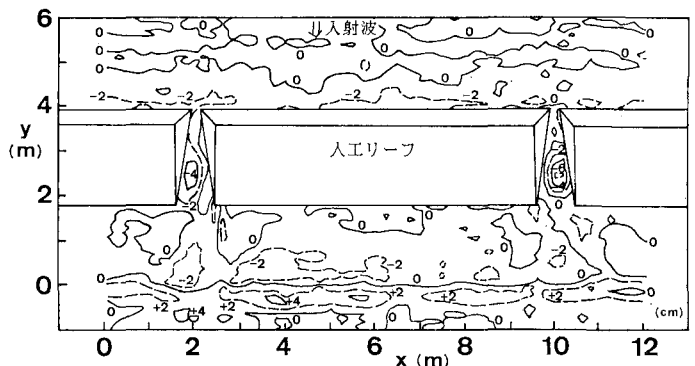


図-12 ケース 2 の地形変化量図

② 波浪の静穏化

波浪の静穏化を目的として人工リーフを設置する場合でも、沿岸方向に波高分布が生じないことが望ましい。また、海浜利用時には循環流が存在せず、流況は澁んだものの方がよい。よって、この場合でも $W < 0.25L_r$ 程度に開口幅を小さくするべきである。

③ 海浜の安定化

人工リーフ背後に形成されるパターンⅠの流況は、リーフより岸側の砂を沖に流出させることなくトンボロを形成させる働きをもつ。よって、海浜の安定化を目的とする場合には、パターンⅠの流況が形成されるように平面諸元を決定する必要がある。すなわち $W > 0.25L_r$ 程度に開口幅を広くし、堤長は $Y < L_r < 4Y$ とすべきである。ただし、開口幅をあまり広くとりすぎると、循環流が開口部中央まで及ばずリーフの効果がなくなる。そのようなケースを図-5の○に斜線を引いて示した。これより、 $W < L_r$ 程度にすれば開口部岸側も循環流の領域に入ることがわかる。よって、開口幅は $0.25L_r < W < L_r$ 程度を目安として決定するとよい。

開口部は沖向きの流れが生じるため、砂が沖に運ばれ洗掘が生じる可能性があるのに注意しなければならない。特に、人工リーフは碎波帯内ないしはその近傍に設置されるものであり、底質が細砂から成る海岸では、開口部で底質が浮遊し、かなりの洗掘を生じる可能性がある。

7. 結 論

人工リーフの平面配置により流況パターンは4種類に分類される。その分類区分を堤長、開口幅、離岸距離により示した。これらの流況は、リーフ上で碎波し減衰する波と開口部において水深、流れ、および屈折・回折により変化する波とによって支配され则认为られる。移動床実験の結果、リーフ背後の堆砂効果はパターンⅠが高いことがわかった。しかし、開口部ではどのケースにおいても洗掘を受けた。以上の結果から設置目的別に人工リーフ平面諸元の求め方をまとめた。

入射波が強制碎波され、リーフ上と開口部とで波の変形に差が生じる条件が成立すれば、実験条件と異なる地形、波および断面形の条件でも海浜流の発生形態にあまり変化はないと认为られる。したがって人工リーフ周辺の流況パターンと平面諸元との関係の定性的傾向は、一般にはここに述べたものになると认为られる。但し、人工リーフをある程度水深のある海底に設置し、リーフ岸側が深くなるような場合には波の変形が実験とは違ってくる。このような場合には別途検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明・田中茂信・筒井保博：人工リーフによる波浪と漂砂の制御，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 340～344，1984。
- 2) 宇多高明・小俣 篤：人工リーフの波浪減衰機能と海浜流場の形成に関する考察，土木技術資料，Vol. 28，No. 2，pp. 32～37，1986。