

沿岸砂州を模倣した人工リーフの海浜安定化効果

宇多高明*・小 俣 篤**・横山 揚久**

1. ま え が き

緩勾配の砂浜海岸に暴浪が作用すると、汀線付近の砂は沖に移動し沿岸砂州を形成する。沿岸砂州が形成されると、そこで高波浪は砕波するため、汀線付近の海浜の侵食は止まり海浜は安定する。暴浪の後、静穏な条件になると、沿岸砂州を形成した砂は再び岸方向へと運ばれ、暴浪前の海浜地形に戻る。このように、海浜はそれ自体安定化機構を有している。しかし、暴浪に起因する一時的な汀線の後退が堤防法先の洗掘、堤防の被災などを招くことがある。また、異常波浪により大規模な冲向き漂砂が生じ、静穏時に汀線が回復しない可能性も残されている。このような冲向き漂砂による汀線の変動を抑えるには、沿岸砂州を人工的に模倣した構造物を設置する方法が考えられる。

本研究は、沿岸砂州を模倣した人工リーフ^{1),2)}を設置した場合の海浜安定化効果を検討することを目的とする。沿岸砂州の形成には、離岸流の発生やカスプ地形の形成等3次元的現象が関与するので、人工リーフの平面形状を変え、平面形状と海浜の安定化効果との関係について考察する。まず、2次元実験により沿岸砂州を模倣した人工リーフ設置時の海浜変形を調べ、次に人工リーフ形状を平面的に変化させて流況や地形変化について調べた。

2. 人工リーフの海浜安定化効果

2.1 実験方法

実験には幅 30 cm、長さ 33 m の造波水路 (図-1) を用いた。模型海浜は海底勾配 1/30 の一様斜面とした。底質には中央粒径 $d_m=0.28\text{ mm}$ の砂を、リーフ模型には碎石を用いた。実験では、1/30 勾配斜面にまず静穏波を5時間作用させ、実験初期における断面変形を起こすことにより、模型実験固有の岸沖漂砂の影響をできるだけ取り除いた。次に、リーフを設置して暴浪波を15時間作用させた。また、リーフ設置時との比較のため、

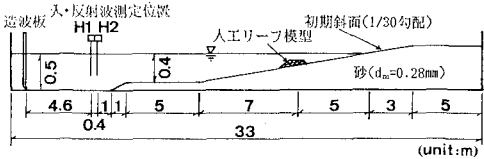


図-1 2次元実験水路の概要

表-1 実験条件条件一覧

	模型条件	波条件	測定	H_0' (cm)	T (sec)	H_0'/L_0
2次元実験	I-1	静穏波	a	3.7	1.26	0.015
			b	12.5	1.38	0.042
	I-2	暴浪波	a	12.7	1.39	0.042
			b	12.3	1.36	0.043
	B=1.0 m	静穏波	a	3.4	1.26	0.014
			b	10.8	1.36	0.037
平面実験	II-1	静穏波	a	3.8	1.26	0.015
			b	13.3	1.36	0.047
	II-2	暴浪波	a	4.2	1.26	0.017
			b	13.0	1.37	0.044
	変化無	静穏波	a	4.2	1.27	0.017
			b	11.9	1.36	0.041
高さ変化	II-3	暴浪波	a	4.4	1.24	0.018
			b	12.1	1.37	0.041

注) a: 波作用初期 b: 波作用5時間後

自然海浜に暴浪を作用させた実験も行った。リーフの設置位置はこの実験データをもとに定めた。静穏波、暴浪波の条件を表-1に示す。海浜断面形の測定は、水路中央に沿って静穏波作用後、および暴浪波作用後 1, 3, 5, 15 時間に行った。更に、リーフ設置位置とその岸側沖側に合計3本の鉛直測線を設け、1, 5 時間後に超音波式流速計を用いて流速の鉛直分布を測定した。

2.2 実験結果

自然海浜の場合と、人工リーフを設置した場合との暴浪作用前 (静穏波作用後5時間) と暴浪波作用後15時間の断面形状を図-2に示す。自然海浜の場合、 $0.5\text{ m} \leq X \leq 5.0\text{ m}$ の範囲が大きく侵食され、 $5.9\text{ m} \leq X \leq 11.0\text{ m}$ の範囲に砂が堆積した。この波浪条件の下では冲向き漂砂が生じ、海浜断面はステップ状に変化したことがわかる。この結果より、侵食範囲の沖側限界点付近に沿岸砂州を模倣した人工リーフを設置することにした。その諸元は、天端水深が 9.5 cm、天端幅が 1 m である。人工リーフを設置すると、人工リーフ岸側の侵食はほと

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室

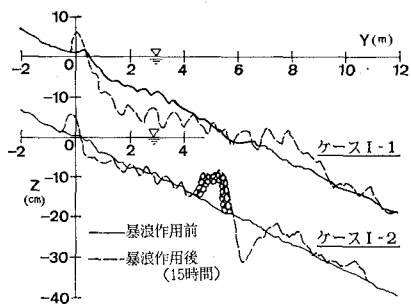
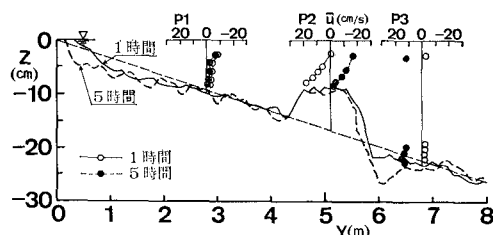


図-2 断面変化 (ケース I)

図-3 $\bar{u}$ の鉛直分布 (ケース I-2)

んど抑えられ、人工リーフにより冲向き漂砂が阻止されることがわかる。ただし、リーフ沖側の法先は大きく洗掘された。これはリーフの設置位置が冲向き漂砂の生じる範囲内であったことが主因と考えられる。

次に、リーフを設置したケースの流速測定結果より、暴浪波作用1時間後と5時間後の Euler 平均流速 $\bar{u}$ の鉛直分布を求めた (図-3)。最も上方の測点は波のトラフレベル直下に設定した。図には流速測定時の断面形状も併せて示した。 $\bar{u}$ の計算に用いた測定波数は約 30 波である。リーフ岸側の測点 P1 では、1, 5 時間後共に冲向きの流れが存在する。リーフ上では1時間後に岸向きの流れが存在したが、5時間後では冲向きになった。1時間後でのトラフレベル下における岸向きの質量輸送の存在は、それに釣合う冲向き質量輸送がトラフレベルより上か堤体内に存在していることを示す。そこで、リーフの堤体内に染料を注入して堤体内の浸透流を調べた。この結果、堤体内には平均的に冲向きの流れが存在していることがわかった。その流量は上記の岸向きの質量輸送に匹敵するオーダーであった。リーフ堤体内を通過する浸透流の流量が大きいことは、リーフの堤体材料を選択することにより浸透流量を変化させうること、これによって更にリーフ上の流れをも変化させうの可能性を示唆している。5時間後には堤体内に砂が詰まり透過性が悪くなったため、リーフ上ではトラフレベルより下の流れが冲向きに変わったと考えられる。5時間後、リーフの法先の洗掘は進行し、P3 の $\bar{u}$ は岸向きとなった。リーフ上の5時間後の平均流速分布が全体的に冲向きであることから、透過波高と底質粒径によってはリーフ内で

浮遊した底質がリーフ沖に輸送される可能性もある。

3. リーフ形状と流況・地形変化の関係

3.1 実験方法

実験には幅 16 m, 長さ 20 m の平面水槽 (図-4) を用いた。平面実験は2次元実験と同じ波浪、地形条件の下でリーフの形状を変えて行った。模型海浜は沿岸方向に一樣とし、リーフは連続堤とした。リーフ形状は離岸流を固定する目的で、波浪減殺効果が沿岸方向に変化するように天端水深または天端幅を沿岸方向に周期的に変化させ、一樣断面も含め3ケース設定した (図-5)。実験では静穏波を7時間作用させて初期海浜を形成し、その後模型を設置して暴浪波を作用させた。暴浪波の作用時間は15時間である。暴浪波の作用前後に海浜地形、波高分布、流速の鉛直分布、流況等の測定を行った。波

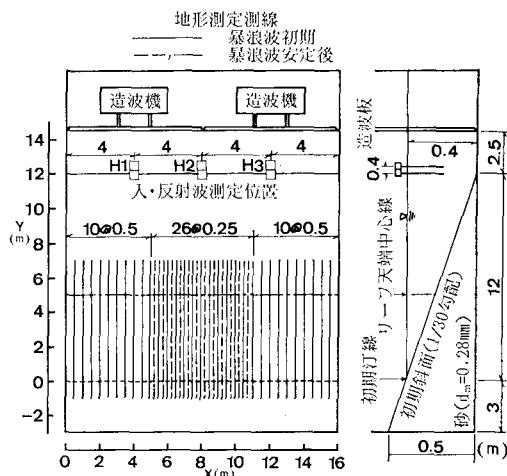


図-4 平面水槽の概要

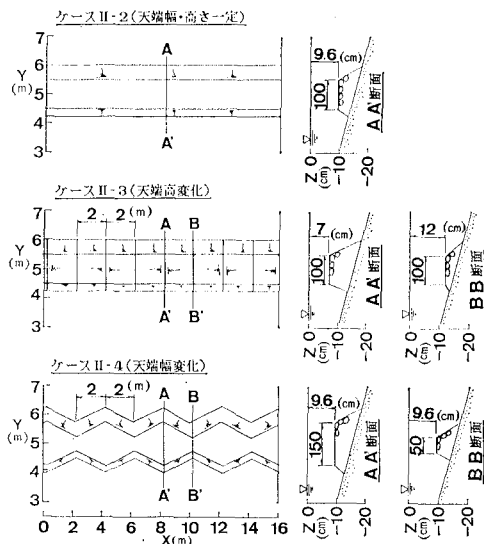


図-5 人工リーフ形状

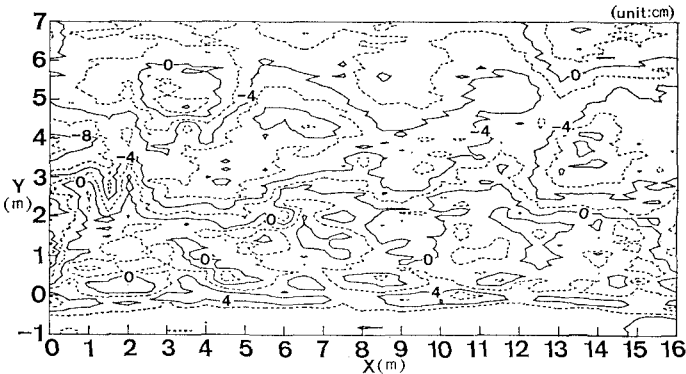


図-6 地形変化量図 (ケースII-1)

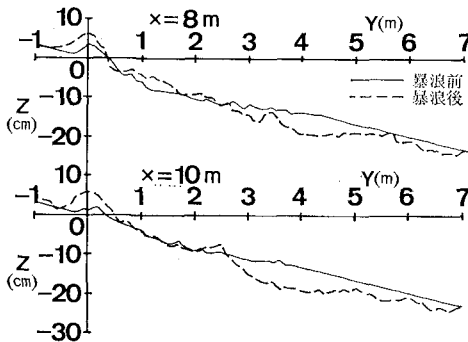


図-7 断面地形変化 (ケースII-1)

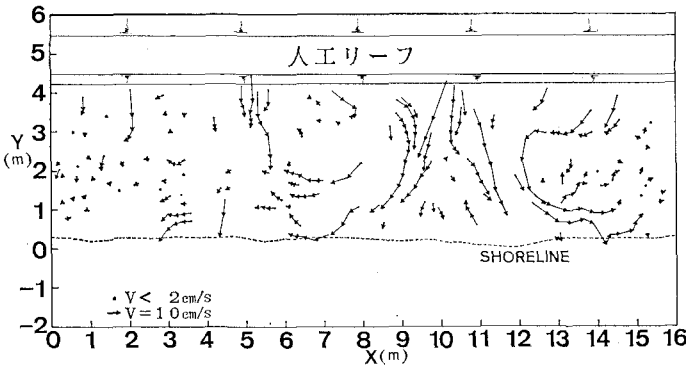


図-8 流況図 (ケースII-2)

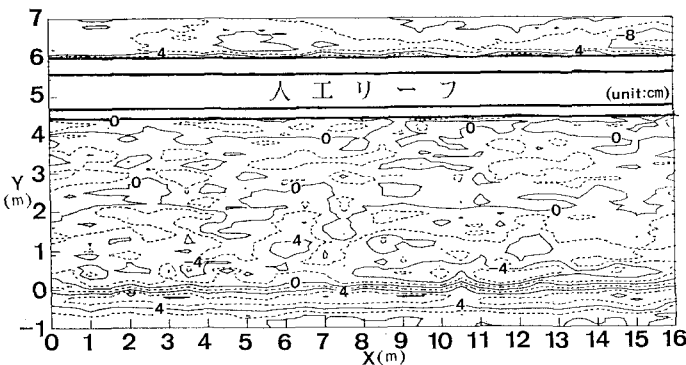


図-9 地形変化量図 (ケースII-2)

高測定には容量式波高計を用いた。流速の測定方法は2次元実験と同様である。流況測定はビデオを用いたフロート追跡により行った。実験ケースと波浪条件を表-1に示した。

3.2 地形変化

フロート追跡と染料を用いた流況観測の結果、自然海浜の条件では $X=5\sim 7$ m, $10\sim 12$ m の範囲に2つの顕著な離岸流が見られた。特に $X=10\sim 12$ m に位置する離岸流は大規模であった。暴浪波作用前と作用後の海浜地形より求めた地形変化量の平面分布を図-6に示す。

$3\text{ m} \leq Y \leq 6\text{ m}$ の範囲に注目すると、 $X=5\sim 7\text{ m}$, $10\sim 12\text{ m}$ で約4 cm 海底面が下がった。堆積は汀線付近 ($-1\text{ m} \leq Y \leq 1\text{ m}$) に少し見られるだけであり、 $1\text{ m} \leq Y \leq 6\text{ m}$ の全域で侵食が生じた。向岸流域の $X=8\text{ m}$ 測線上と離岸流域の $X=10\text{ m}$ 測線上の断面形を図-7に示す。 $X=8\text{ m}$ 測線上では $0.6\text{ m} \leq Y \leq 2.3\text{ m}$ の範囲で堆積が生じ、また $Y=2.5\text{ m}$ より沖の侵食量は $X=10\text{ m}$ 測線上の場合より小さい。このように向岸流域では離岸流域に比べてやや侵食量は少なかった。しかし、全体的な断面変化の傾向は共に2次元実験の結果(図-2)と良く類似しており、平面実験においても2次元実験と同様な意味での沖向き漂砂が生じたことが明らかである。平面実験において岸沖方向の地形変化特性が2次元実験と同様であったことから、平面実験でもリーフは2次元実験と同じ位置に設置した。ここでは帯状リーフとしたケースII-2の結果を明らかにする。まず、リーフ設置後15時間における流況を図-8に示す。離岸流は見られなくなり、 $9\text{ m} \leq X \leq 11\text{ m}$ の範囲に向岸流域があるほかは、全体的に溺んだ流れとなっている。次に地形変化量の分布を図-9に示す。 $-0.5\text{ m} \leq Y \leq 0\text{ m}$ の範囲で沿岸方向にはば一様に堆積が生じた。また、 $0\text{ m} \leq Y \leq 2\text{ m}$ の範囲で侵食が生じている。これらの地形変化は2次元的な特徴を有している。 $Y=2\text{ m}$ からリーフの岸側までの範囲にはほとんど地形変化が生じていない。代表として水路中央での断面変化(図-10)を見ると、リーフ岸側では侵

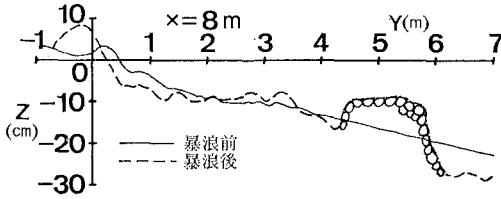


図-10 断面地形変化 (ケースII-3)

食性の変化ではなく、堆積性(Ⅲ型)の海浜変形が生じたことが明らかである。また、図-9によると2次元実験と同様にリーフの沖側は4~8 cm 侵食されている。以上のことより、帯状人工リーフによりリーフ岸側の海浜は堆積性になり、かつその効果は沿岸方向にはば一様であることがわかる。

3.3 リーフ形状の効果

リーフの天端幅と天端高を周期的に変えた時の流況・地形変化を調べた。堤体形状変化の間隔は、自然海浜における向岸流と離岸流の間隔より4 m とした(図-5 参照)。向岸流域での波浪減殺効果が高くなるよう、向岸流域では天端幅を広く、あるいは天端高を高くした。天端高を変化させたケース II-3 の流況を図-11 に示す。向岸流は $X=2$ m, 5~7 m, 10~11 m, 14~15 m で発

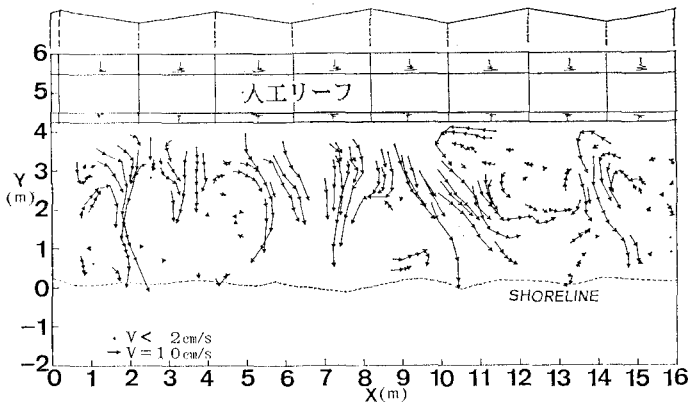


図-11 流況図 (ケースII-3)

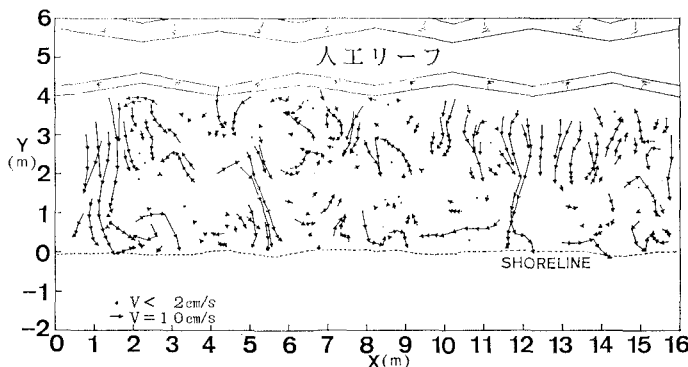


図-12 流況図 (ケースII-4)

達し、ほぼ低天端の位置に対応する。一様断面のケース II-2 に比べ、リーフ内の海浜流パターンに規則性が生じ、その流速も全体的に大きくなった。一方、天端幅を変化させたケース II-4 の流況(図-12)では、流れのパターンは不規則であるが、リーフの近くでは天端幅が広い位置で向岸流となる傾向が見られる。流速は全体的にケース II-3 に比べて小さい。

次に流速の鉛直分布について述べる。測定は、ケース II-2, 3, 4 の全ケース共に、 $X=8.2$ m, 10.2 m の岸沖測線上、 $Y=2.8$ m (P1), 5.1 m (P2), 6.8 m (P3) の3地点で行った。測定結果より求めた暴浪作用後5時間の Euler 平均流速 $\bar{u}$ の鉛直分布を図-13 に示す。図には海浜断面形状も示した。リーフを設置した場合、沖側の法先侵食によりリーフ天端の沖側端が3~5 cm 沈下している。自然海浜(ケース II-1)では、離岸流部にある $X=10.2$ m の測点 P1 では速い沖向き流れが存在する。沖に砂が運ばれた原因はこの流れの存在によると考えられる。直線状のリーフ(ケース2) II-では、測点 P1 に平均的な流れは見られない。リーフ上の測点 P2 では $X=8.2$ m, 10.2 m 測線共に沖向き流れが存在する。また、P3 の底面付近でも沖向きの平均流が見られ、リーフ法先の底質はこの流れにより沖に運ばれた

と考えられる。リーフの天端高を変化させたケース II-3 では、リーフ上の測点 P2 において高天端を通る $X=8.2$ m 測線上に比べ、低天端を通る $X=10.2$ m 測線上で沖向き流れが強い。一方、 $X=8.2$ m 測線上の P1 地点の流向は沖向きであるのに対し、 $X=10.2$ m 測線上では岸向き流れになっている。天端高の低い位置($X=10.2$ m 測線)で向岸流となる点は流況図(図-11)と対応する。リーフの天端幅を変化させたケース II-4 のリーフ上の測点 P2 では、天端幅の広い $X=8.2$ m 上で岸向き流れ、狭い $X=10.2$ m 上で沖向き流れとなっている。P1 での平均流にはあまり差はない。

以上の結果より判断すると、天端高の変化は沿岸方向の波浪減殺効果を変化させるためリーフ内の海浜流を励起することになり、その結果リーフ上での沖向き流れを強めるようである。一方、天端幅を変化させたケースでは天端幅の広い部分で強い岸向き流れを生ずるが、リーフ内に海浜流は励起されなかった。この理由としては次のことが考えられる。天端幅は天端水深に比べ波浪減殺効果への影

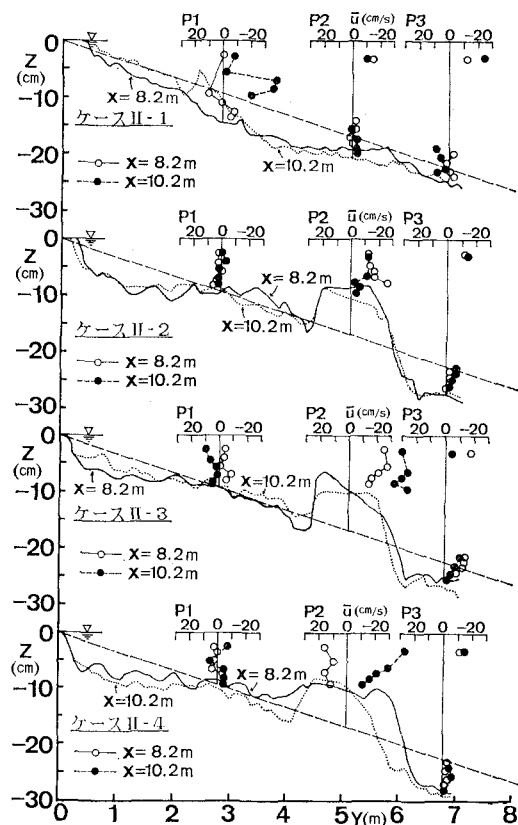
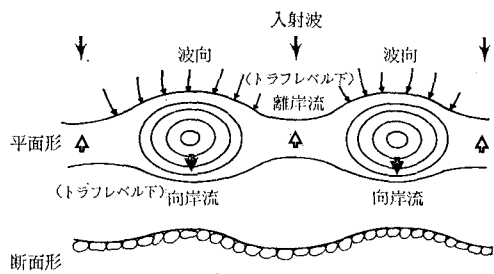
図-13 u の鉛直分布 (ケースII)

図-14 人工リーフ模式図

響は小さい。実験範囲程度の天端幅の変化では、波浪減殺効果の沿岸方向変化はあまり大きくなく、それよりもリーフ形状変化による波の屈折効果が波の変形に強く影響したと考えられる。すなわち、屈折により天端幅の広い部分で波が集中・減衰し、その結果、岸向きの流れを生じたと推定される。狭い部分では屈折によって入射波のエネルギーが減少したため、リーフ内での海浜流を励起するような沿岸方向の波高分布が生じなかったと推

定される。この場合、狭い部分では沖向き流れが生じたが、狭い部分を沿岸方向に長くすることによりその流速を低下できる可能性がある。

底質が細かく高波浪が来襲する海岸では、浮遊砂のリーフ沖への流出を防ぐために、リーフ上でのトラフレベルより下の沖向き流れをできるだけ小さくする必要がある。実験結果より、図-14に模式的に示す形状のリーフを用いることにより、天端幅が広く天端高の高い部分に波を集中・減衰させ、狭い部分での入射エネルギーを減少させると共に、狭い部分の延長を長くすることで沖向き流れを弱めて、リーフ沖への砂の流出を防ぐ方法が考えられる。

4. 結 論

主要な結論を以下に記す。

- ① 人工リーフを設置すれば、前浜の侵食が生じる暴浪波の条件においても沖向き漂砂を減少させ、リーフ岸側の海浜の侵食を防ぐことができる。ただし、リーフ沖側の法先は大きく洗掘された。また、リーフ上では、トラフレベル下の平均流は沖向きであった。よって、透過波高と底質粒径によってはリーフの岸側で浮遊した砂がリーフ沖に輸送される可能性もある。
- ② 暴浪波により侵食性となる海浜に帯状人工リーフを設置することによって、リーフ岸側の海浜は堆積性になり、離岸流の発生も抑制された。更に、その効果は沿岸方向にはほぼ一様であった。
- ③ リーフの天端高を変化させたケースでは、天端高の高い部分に比べ低い部分での沖向き流れが強かった。一方、天端幅を変えたケースでは幅の狭い部分で沖向き流れが生じたのに対し、幅の広い部分では岸向き流れとなった。
- ④ 人工リーフの天端幅または天端高を沿岸方向に変えることで、リーフ内およびリーフ上の流速場を変化させ、リーフを横切る沖向き漂砂を制御できる可能性があることがわかった。例えば、底質が細かく高波浪が来襲する海岸では、天端幅が広い部分を強調した人工リーフによりリーフ沖に砂を流出させない方法が考えられる。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明・小俣 篤・横山揚久：人工リーフ周辺に生じる海浜流と地形変化，第34回海岸工学講演会論文集，pp.337～341，1987。
- 2) 宇多高明・小俣 篤：人工リーフの設計法，土木技術資料，Vol.29, No.12, pp.26～31，1987。