

水理模型実験によるクレスト型人工リーフの開発

山本正司* ・鳥居謙一** ・福濱方哉***
人見 寿**** ・宇多高明***** ・高橋 功*****

皆生海岸では 12 基の離岸堤を設置後、トンボロ状の海浜が形成され、安定的に推移している。しかしながら、環境・利用面からは、離岸堤の有する負の影響が大きいことも指摘されている。本研究では、平面水槽による移動床実験により、従来型の人工リーフでは離岸堤と同程度の海浜保全機能が期待できないことを明らかにし、クレスト型人工リーフと称する新たな形式の人工リーフを開発した。人工リーフ上の碎波による岸向きの流れを抑制することで、クレストは背後の海浜保全に大きな効果がある。クレストは水面上に露出するが、2 列とすることでさらに効果が増大し、高さも低く抑えることが可能で、景観上見苦しくない形に造ることができる。

1. はじめに

鳥取県の皆生海岸は古くから侵食が著しく、過去に突堤などを用いた侵食対策が行われたが、それらの試みが不成功に終わったことから 1971 年よりわが国で初めて離岸堤が設置された(豊島・定道, 1974)。現在では 12 基の離岸堤群が設置され、その背後にはいずれも規模の大きなトンボロが発達し、十分な防護効果を発揮するとともに海浜利用に役立っている。一方で、2000 年には新海岸法が施行され、これまでの防護のみを目的とした海岸事業に、新たに環境・利用も法目的に加えられた。これに伴い、これまでの防護機能に加え、周辺環境と調和した海岸保全整備への期待が高まっている。皆生海岸においても、かつての白砂青松の良好な海岸環境が後背地住民や観光客にとっての貴重な財産であって、現在の離岸堤群は、その防護効果は高いものの、汀線近傍にそそり立つ巨大な異形ブロックは利用者から不評となっている。そこで、離岸堤の防護機能を落とさずに、良好な海岸景観を創出できる保全対策が望まれている。本研究では、離岸堤に代わる新しい保全対策として人工リーフを考え、3 次元水理模型実験をもとに新型人工リーフ(クレスト型人工リーフ)を開発した。

2. 3 次元水理模型実験

水理模型実験は、国土交通省国総研の幅 30 m、長さ 23 m の平面水槽を用いて行った。模型縮尺は 1/50 とし、フルードの相似則により各変数の縮率を定めた。ただし海浜材料は現地海岸の中央粒径が 0.3~0.8 mm の中粒砂からなるが、これを細かくすることはできないことから 0.29 mm の珪砂を用いた。初期海浜断面は、皆生海岸の縦断測量をもとに図-1 に示す形状とした。

また皆生海岸では、現況で離岸堤群(堤長 150 m、離岸距離 100~180 m、開口幅 50 m)が設置されているので、図-1 に示す断面形を持った一様海浜を造った上で図-2 のように離岸堤群を設置し、それに表-1 に示す冬季波浪を約 20 時間作用させて離岸堤背後に十分トンボロを発達させた。

その後、中央の離岸堤を人工リーフに変更して人工リーフ周辺の海浜形状、海浜流、波高などを測定した。海浜形状は沿岸方向に 2 m 間隔で測線を設け、岸沖方向に 0.1 m 間隔で測定した。海浜流測定は多数の 2 cm 四

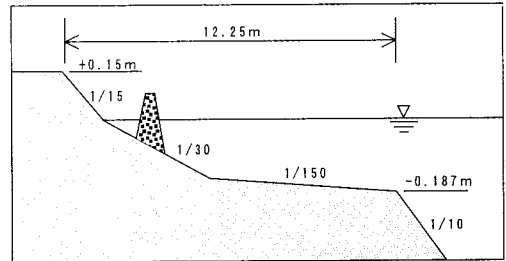


図-1 実験断面

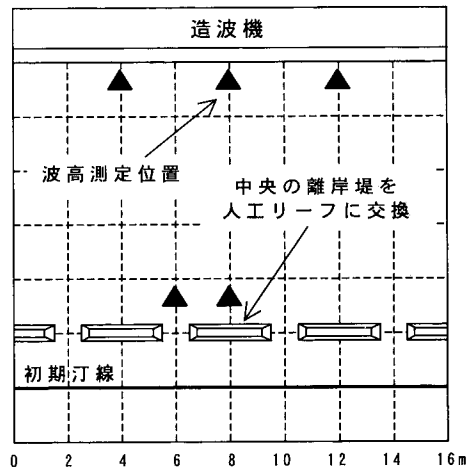


図-2 離岸堤と計測器の平面配置

* 国土交通省中国地方整備局 日野川河川事務所長
** 正会員 国土交通省四国地方整備局 大洲河川国道事務所長
*** 正会員 国交省国土技術政策総合研究所 海岸研究室長
**** 正会員 国交省国土技術政策総合研究所 海岸研究室
***** 正会員 工博 (財)土木研究センター 審議役
***** 正会員 (財)土木研究センター

表-1 入射波条件

種別	波高・周期	現地換算	備考
冬季波	6.0 cm 1.13 s	3.0 m 8.0 s	現地の移動限界を再現した代表波
静穏波	1.6 cm 1.0 s	0.8 m 7.1 s	海水浴利用時を想定
暴浪波	10.0 cm 1.64 s	5.0 m 11.6 s	年最大波相当

方の木片に着色したフロートを投入し、それをビデオ撮影し2s間隔でデータ化することによって行った。また波高測定は図-2に示すように5箇所を設置した波高計により測定した。

実験では、まず図-3に示すように通常型的人工リーフを考え、天端幅は40mの一定値にしたまま、天端幅や構造を変えてシリーズAの実験を4ケース行った。A1の人工リーフなしは比較の基準である。A2は天端水深のやや深いもの、A3は天端水深の浅いもの、A4はA3の岸側を異形ブロックの透過構造(複合型)にしたものである。実験では、表-1に示す波浪条件を設定した。

以上の通常型的人工リーフでは、後に詳述するように、いずれの場合も離岸堤背後の舌状砂州が大きく削り取られることが判明したことから、図-4に示すように、人工リーフの一部が水面上に出るクレスト型的人工リーフを新しく考え、シリーズBとして4ケースの実験を行っ

た。人工リーフの堤体の一部を水面上に出した理由は次の4点である。

- ①天然リーフにあってもリーフエッジのすぐ岸側には礁嶺があり、そこで効果的な砕波が起ること。
- ②その点で自然現象への analogy が成立すること。
- ③海面上に出る部分は異形ブロックではなく、沿岸方向に直線状の整然とした施設となると同時に、クレストは従来の離岸堤の天端高(+3m)と比較してその高さを大幅に下げられるので、景観を妨げる度合いが低下すると考えられること。
- ④クレストは人工リーフの沖側端付近に造られるので、離岸堤と比較して施設が汀線より十分離れること。

図-4に示したクレスト型人工リーフのうち、B1はクレストが1列で水面上高は1mである。B2では、景観への影響を小さくするためにクレスト高を水面上0.5mに下げた。しかしB2では効果が下がったため、B3では水面上0.5mのクレストを2列としている。さらにB4は、B1、B3の複合形であり、クレストの高さを階段状に変えている。

ここで、クレスト型の基本となる人工リーフ形状は、シリーズAのケースA2(天端高-0.657m)である。天端の深い形状を選択した理由は、夏季の海浜利用、生物の付着等を考慮すると、ある程度の水深が必要と判断したためである。作用波浪は表-1のうちの冬季波浪とし

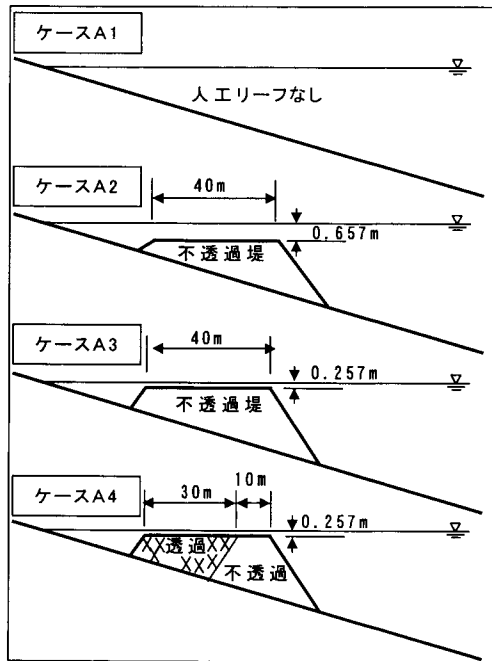


図-3 シリーズA(通常型人工リーフ)の断面

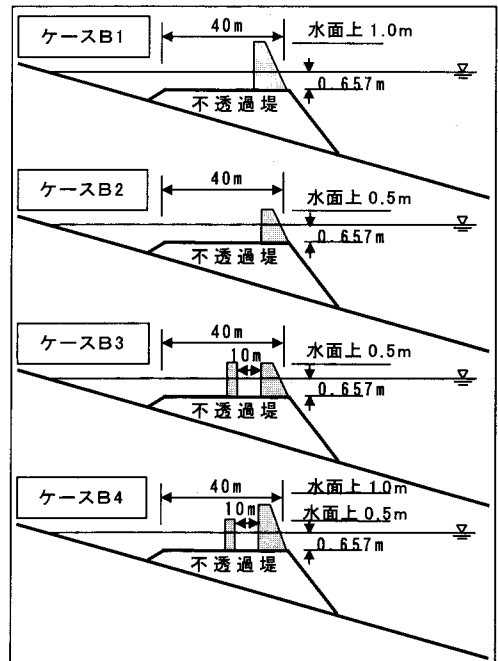


図-4 シリーズB(クレスト型人工リーフ)の断面

た。

3. 実験結果

(1) シリーズ A の海浜流と海浜形状

図-5にはケース A1~A4の海浜流の流況を示す。離岸堤を撤去したのみの A1では、複雑な海浜流パターンを示す。これに対し、人工リーフを設置すると、よく知られているように、入射波の人工リーフ上での強制砕波に伴って強い岸向き流れが生じ、さらに運び込まれた海水が人工リーフ端では両方向へ向いた強い沿岸流となった。この沿岸流は人工リーフと離岸堤の開口部から沖向き流れとなるのではなく、とくに A2 で顕著のように、隣接離岸堤の背後まで流れ込み、結果として離岸堤背後のトンボロを大きく削り取るようになった。この作用はとくに天端水深の大きい A2 で著しかった。この状況は人工リーフの岸側部分を異形ブロックとした複合型の A4 でも基本的には同様であった。

図-6は各ケースの等深線形状と水深変化量の平面分布の比較である。離岸堤を除去した場合、離岸堤背後にあった舌状砂州は完全に削り取られる。人工リーフを設置すると、天端水深の大きい A2 では図-5において強

い沿岸流が発達していたことから分かるように、岸向き流れが強いため人工リーフの岸側隣接域が大きく削られ、離岸堤を撤去した A1 と大差がなく、人工リーフ設置の効果が表れなかった。天端水深を小さくした A3 では人工リーフ岸側での侵食量は減少したものの、これも人工リーフ設置による積極的効果は見られなかった。複合型の A4 も同様であった。

(2) シリーズ B の海浜流と海浜形状

図-7には海浜流のパターンを示す。これによると、B1では岸向きの流速が低減した結果、両側の離岸堤背後地形への影響は小さくなった。クレスト高が減少した B2 では、流れの強度は弱いものの、両側の離岸堤背後への流れの作用が見られる。B3 は B1 に近い傾向を示すが、両側への流れが開口部から沖へ向かっているのが特徴的である。B4 は、B3 に近い傾向となった。

図-8には海浜形状と地形変化量の平面分布を示す。B1ではトンボロ地形がよく保存されているが、B2では舌状砂州はほぼ消失した。B3は、舌状砂州の先端部は B1 に比べて縮小したが、侵食範囲は小さく開口部には堆積域も認められる。B4は B3 に比べて舌状砂州の後退面積がやや小さいが、地形変化が小さくなった。以上の結果

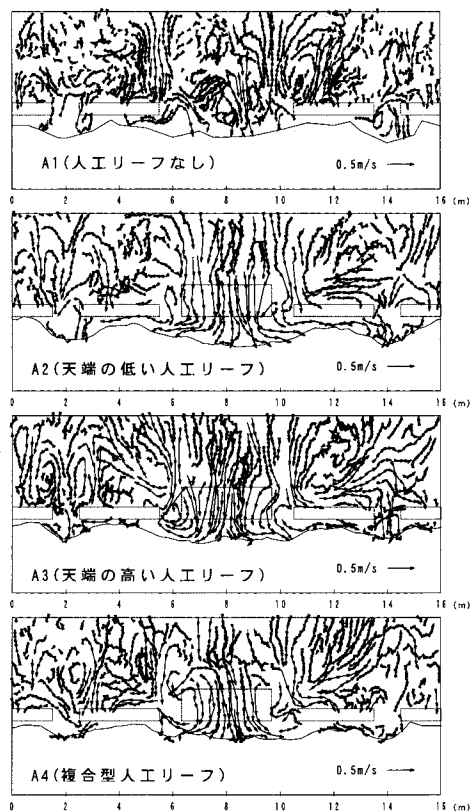


図-5 シリーズ A の平面流況

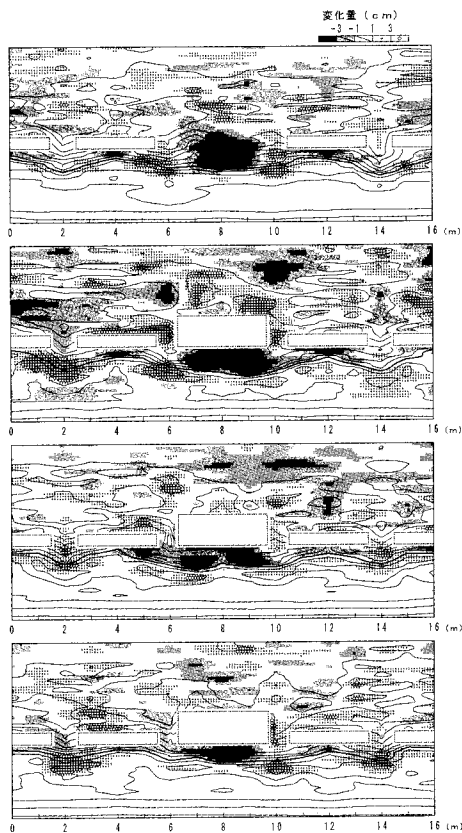


図-6 シリーズ A の地形変化

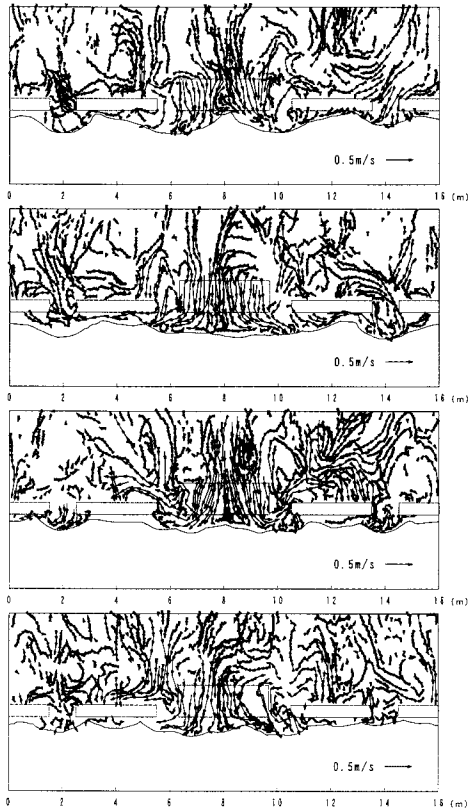


図-7 シリーズ B の平面流況

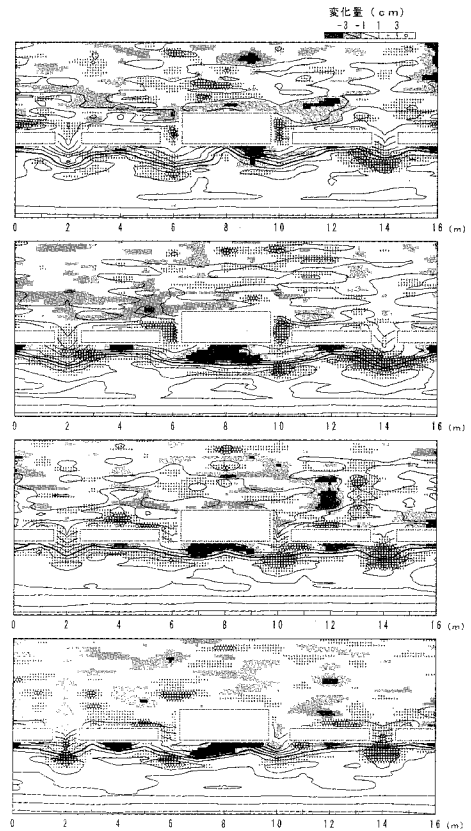


図-8 シリーズ B の地形変化

より、シリーズ B では人工リーフの改良効果がかなり顕著に現れることが分かった。

(3) シリーズ A, B の比較

図-9 は、離岸堤を設置して 20 時間の波作用の後、十分発達したトンボロを囲む 8 m × 2 m の長方形区域内で各等深線が包み込む面積 (S1) を算出するとともに、人工リーフ化して波を作用させた後と同じ区域での面積 (S2) を求め、面積比 S2/S1 を算出したものである。なお各ケースの離岸堤背後におけるトンボロの発達状況もわずかず異なるので、比較の基準には各ケースの離岸堤背後の海浜地形をもとに算出した。これによると、通常的人工リーフのみを設置した A2, A3 では砂浜面積が大きく減少する結果となった。また A4 では A1 よりやや性能が落ちた。この傾向はシリーズ B でも同様であったが、B3 では離岸堤の場合より面積の増大が見られた。

図-10 は同じ範囲における -10 cm 以上の土砂量の比較である。-10 cm の深さは、概ね人工リーフと離岸堤の開口部の深さであり、開口部から +3 cm の高さまでの土量となる。通常的人工リーフ上では、人工リーフ上の強い岸向きの流れがトンボロを削るばかりでなく、両側の離岸堤背後まで流れ込んで砂を運び去る。このため

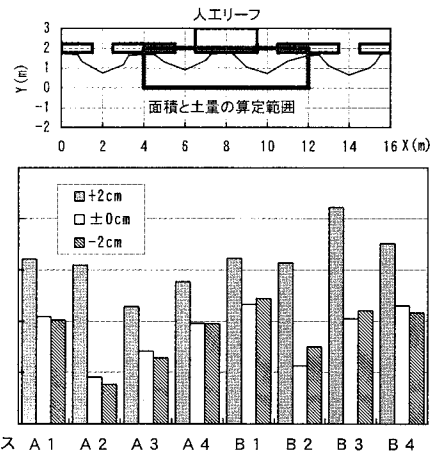


図-9 人工リーフ背後の砂浜面積の比較

A2, A3 では効果がないが、A4, B1~B4 では効果が高まった。これは図に示したようにクレストの設置によって岸向き流れが大きく弱まったためである。とくに、クレスト 1 列で高さ 1 m の B1, クレスト 2 列(高さ 0.5 m) の B3 では、複合型の A4 に比べても効果が高いことが分かる。B4 では、B1, B3 の複合的な意味合いがあったが、

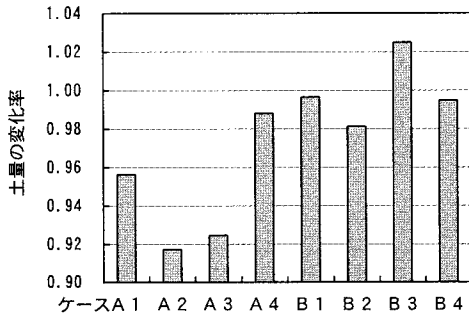


図-10 人工リーフ背後の土量変化の比較

B3よりも砂浜面積が減少する結果となった。

(4) 静穏波条件での人工リーフ周辺の海浜流

夏季の静穏波による流況を図-11に示す。比較のために併記したのでA3はリーフ上を岸向き・開口部から沖向きの流況パターンが明確なのに対して、クレスト型のケースB3のパターンはクレストの背後に回りこむようなパターンとなった。このことは、開口部からの戻り流れも抑制することを示しており、海水浴利用時における事故防止にも役立つ。

4. 結 論

海浜安定の機能が低い現状の離岸堤群に対して、同程度の機能を有する人工リーフを開発し、利用・景観と保全とを両立させることを目標として実験を行った。本研究で得られた結論を以下に列挙する。

- ①通常の没水型の人工リーフでは、砕波による向岸流の発生により、離岸堤と同程度の海浜安全性は期待できない。
- ②向岸流の発生を抑制するため、人工リーフの天端上に嶺（クレスト）を設けた結果、効果的であることがわかった。
- ③クレストは沖側に1列設けるより、背後にもう1列

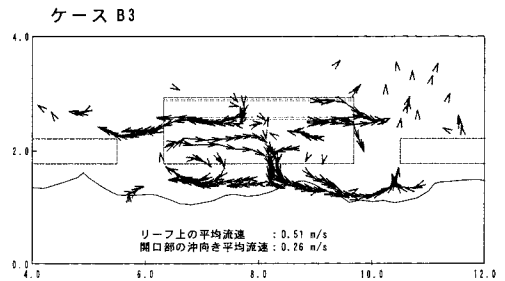
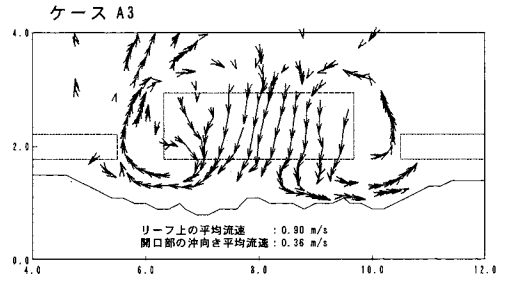


図-11 夏季の静穏波による流況の比較

追加して2列とすることにより更に効果が増大する。

- ④クレストは水面上に露出するが、2列とすることで高さが抑えられ、景観上も好結果をもたらす。

以上のように、クレスト型人工リーフは開発の目的をほぼ満足する機能を有する。しかしながら、これまでに施工例のない構造物であり、設計上適用外の領域となる部分もある。今後は実海域における試験施工を通して、その効果の実証や設計・施工上の問題点を明らかにしていきたいと考えている。

参 考 文 献

豊島 修・定道成美 (1974): 皆生海岸におけるトンボロと海浜変形, 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 167-172.