

皆生海岸の人工リーフの嵩上げの効果に関する実験

Experiment on Effect of Raising Crown Height of Artificial Reef on Kaike Coast

宇多高明¹・藤原博昭²・上橋 昇³・大木孝志⁴・田代洋一⁵・酒井和也⁶

Takaaki UDA, Hiroaki FUJIWARA, Noboru UEHASHI, Takashi OOKI
Yoichi TASHIRO and Kazuya SAKAI

On the Kaike coast an artificial reef with crests was constructed in place of the detached breakwater. After the construction, the scale of a tombolo was reduced because of increased wave transmission of the structure and severe scouring occurred at the opening of the artificial reef owing to the development of rip currents. To improve this condition, the effect of raising the crown height of the artificial reef was investigated by the movable bed experiments using a plane wave tank. Raising the crown height of the artificial reef was found to be effective.

1. はじめに

皆生海岸では2005年に3号離岸堤を改築し、クレスト型人工リーフ（山本ら，2004）が建設された。その後、高波浪の作用時には人工リーフ天端上で発生する強い岸向き流れとセットになった離岸流が開口部から発生し、その際開口部で著しい洗掘が起こるとともに、主に開口部からの侵入波浪によって舌状砂州が著しく削り取られた（宇多ら，2009）。リーフ改築以前に存在した離岸堤背後の舌状砂州と比較すると、リーフ背後の舌状砂州の規模の縮小が著しいことから、何らかの方法でリーフの消波効果を向上させることが求められた。その場合最も有効なのが人工リーフの嵩上げと考えられる。そこで既設クレスト型人工リーフを嵩上げた場合としない場合の堆砂効果の相違を移動床模型実験により調べた。その際比較の対象とするために無施設と離岸堤の場合についても実験を行った。

2. 実験方法

移動床平面実験には、国土技術政策総合研究所の長さ・幅30mの平面水槽を用いた（図-1）。平面水槽を幅24mに仕切り、その中央を導波板により二分した12m区間の中央に模型（模型縮尺1/50）を設置した。実験目的は、嵩上げ人工リーフの消波・堆砂効果を調べることに

あるので、従来型人工リーフと嵩上げ人工リーフの比較実験を行うとともに、離岸堤を設置した場合と無施設条件での実験も合わせて実施した。とくに無施設条件での実験は現地海岸と模型海浜の相似性が十分確認されていない中で、各施設の効果を相対評価する際の基礎として用いるために行った。実験砂の粒径は $d_{50}=0.34\text{mm}$ であり、人工リーフの嵩上げ高は現地換算で0.4mとした。波浪条件は前回の実験（山本ら，2004）と同様に規則波とし、代表波、静穏波、暴浪波の3種類を設定した。ここに代表波とは、皆生海岸の日吉津観測所における1992～2001年の波浪観測データに基づく年数回の出現確率の波（未超過確率1%）、静穏波とは夏季の7、8月に発生する静穏波浪、暴浪波とは年最大波である。実際の波浪条件は模型〔現地〕で次のようである。代表波が $H_0=6.0\text{cm}$ 、 $T=1.13\text{s}$ （ $H_0=3.0\text{m}$ 、 $T=8\text{s}$ ）、静穏波が $H_0=1.6\text{cm}$ 、 $T=1.0\text{s}$ （ $H_0=0.8\text{m}$ 、 $T=7\text{s}$ ）、暴浪波が $H_0=10.0\text{cm}$ 、 $T=1.6\text{s}$ （ $H_0=5.0\text{m}$ 、 $T=11.6\text{s}$ ）である。また波の入射方向はいずれも直角入射とした。実験では代表波を20時間作用させた後、静穏・暴浪波を1時間作用させた。実験では入射波高と人工リーフ背後および開口部の波高を測定し、またフロート追跡により海浜流速を測定した。また海浜地

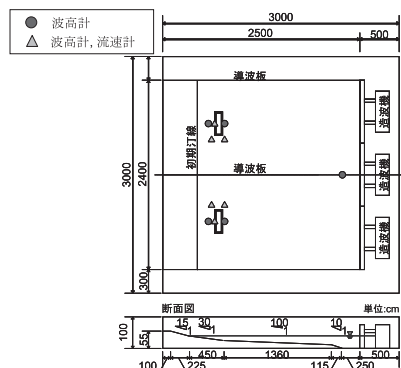


図-1 平面水槽模式図

- | | | |
|-------|------|--|
| 1 正会員 | 工博 | (財)土木研究センター常務理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科 |
| 2 | | 国土交通省中国地方整備局日野川河川事務所 所長 |
| 3 | | 国土交通省中国地方整備局日野川河川事務所 副所長 |
| 4 | | 国土交通省中国地方整備局日野川河川事務所 工務課長 |
| 5 正会員 | | (財)土木研究センター 河川・海岸研究部部長 |
| 6 正会員 | 修(工) | (財)土木研究センター 河川・海岸研究部 |

形は、沿岸方向に1m間隔、岸沖方向に0.1m間隔でレベルとスタッフを用いて測定した。

3. 海浜平面形状の比較

(1) 離岸堤と無施設

図-2は平面水槽の左半平面には離岸堤を設置する一方、右半平面は無施設のままとした場合における、(a) 初期、(b) 波作用20時間後、(c) 暴浪波作用後の海浜形状を示す。初期地形では等深線はいずれも沿岸方向に平行に伸びている。また離岸堤の堤長は3mで、初期汀線から1.9m沖合の水深6.9cmより沖側に17.0cmの堤体幅を持たせて設置してある。(a)の初期状態に対し $H=6.0\text{cm}$ ($T=1.13\text{s}$)の波を20時間作用させたときの海浜形状を(b)に示す。右半平面に示す無施設の場合には、 $Y=2\text{m}$ 付近を中心として浅海部が大きく掘られ、その砂が前浜上へと打ち上げられ、高さ4.5~5.5cmのバームが形成された。 $d_{50}=0.34\text{mm}$ の砂を用いて設定された1/30勾配の海浜に $H=6.0\text{cm}$ 、周期1.13sの波が作用する場合には岸向き漂砂が卓越する条件にあることが分かる。従って施設有りの条件では、このような岸向き漂砂が施設によって全面的に、あるいは部分的に阻止されるとともに、施設周辺での波の場の変化によって誘起された沿岸漂砂による地形変化が重なって起こることになる。その後暴浪波が作用すると、(c)に示すようにさらに岸向き漂砂が発達し、バームが6.5~8.8cmまで高まった。

一方、左半平面に設置された離岸堤背後では、20時間後には端部から中央部へと砂州が伸びてダブルトンボロが形成された。無施設の場合には汀線付近が大きく掘られたのと同様に離岸堤背後では砂の堆積が顕著である。これよりこの実験では離岸堤の堆砂効果をほぼ再現可能なことが分かる。その後暴浪波を作用させてもダブルトンボロは消失することなく発達が続く。

(2) 従来型と嵩上げ人工リーフ

図-3は左半平面に従来型人工リーフを、右半平面には嵩上げ人工リーフを設置して行った平面実験の結果を示す。図-2と同様、(a) 初期、(b) 波作用20時間後、(c) 暴浪波作用後の海浜形状を示す。人工リーフは離岸堤より幅が24.6cm広いが、皆生海岸の人工リーフの設置位置に合わせ、その岸側の肩の位置が離岸堤の法線と重なるように設置した。堤長は離岸堤と同一の3mである。図-3(a)のように平行等深線形状を持った模型海浜に人工リーフを設置して20時間波を作用させると、左半平面に設置された従来型人工リーフでは、その背後に緩やかな堆積が起こる(図-3(b))。離岸堤の場合には舌状砂州が大きく発達したが、従来型人工リーフの場合には舌状砂州の発達は緩やかである。一方、離岸堤の場合その両側での局所洗掘はそれほど大きくなかったが、人工リーフの端部では

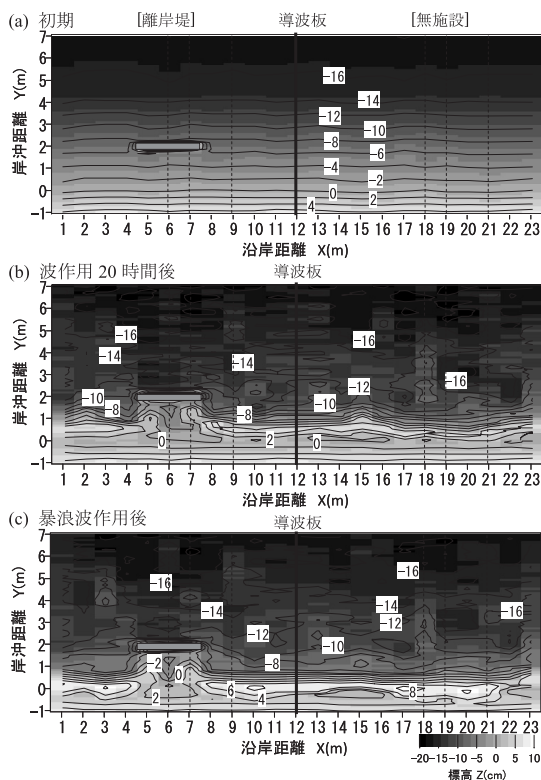


図-2 波作用後の海浜形状 (無施設と離岸堤設置)

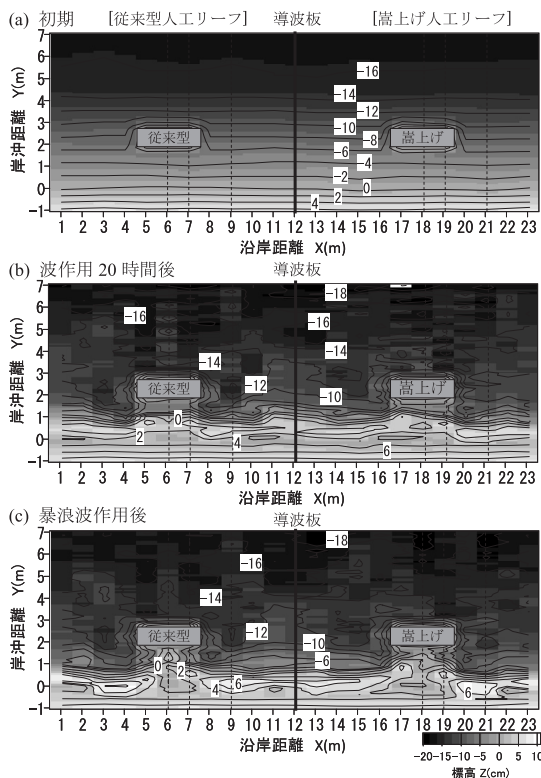


図-3 波作用後の海浜形状 (従来型・嵩上げ人工リーフ設置)

著しい深掘れが生じた。これは人工リーフ端部で強い離岸流が発生することに起因すると考えられる。その後暴浪を作用させると従来型人工リーフ背後からは砂が削り取られ、端部にあった深掘れ区域が人工リーフ背後へと広がり示す。右半平面に設置された嵩上げ人工リーフ背後の堆砂状況を従来型人工リーフと比べると、20時間後では同じく人工リーフ背後に砂が堆積するが、開口部での局所洗掘は従来型と比べて弱まっている。その後暴浪を作用させると嵩上げ人工リーフ背後からは砂が削り取られ、端部にあった深掘れ区域が人工リーフ背後へと広がり示すものの、その絶対値は従来型人工リーフと比べて低減している。

4. 従来型人工リーフと嵩上げ人工リーフの透過率, wave set-upの比較

従来型人工リーフと嵩上げ人工リーフの消波効果の違いを透過率から調べた。図-4は代表波と暴浪波条件のもとで、実験開始直後の人工リーフ背後と同一位置の無施設時の通過波高の比から算出した透過率 K_t を比較したものである。代表波の条件では従来型人工リーフの K_t が0.38であるのに対し、嵩上げ人工リーフでは0.26と、32%透過率

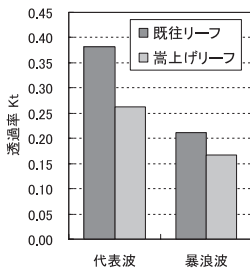


図-4 透過率の比較

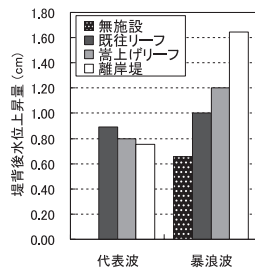


図-5 Wave set-up量の比較

の低減がみられる。同様に暴浪波条件でもそれぞれ $K_t=0.21, 0.17$ であって、この場合も透過率が19%低減し、人工リーフの嵩上げによって波浪減衰効果が高まったことが分かる。一方、一般に人工リーフによる波浪低減率が大きくなればなるほど逆にwave set-up量は増大する。実験データをもとにこの点を調べたのが図-5である。この場合も代表波と暴浪波条件の測定結果を示すが、代表波条件では従来型人工リーフが0.9cmであるのに対し、嵩上げ人工リーフでは0.8cmと10%低下している。またこれらは比較のため示した離岸堤背後のwave set-up量とほぼ同程度である。一方、暴浪波条件ではいずれの場合も絶対値が増加し、従来型人工リーフが1.0cmであるのに対し、嵩上げ人工リーフでは1.2cmと20%増加している。しかしこれらの値は無施設と離岸堤のある場合の値の中間的な値に留まっている。これより人工リーフを嵩上げしてもwave set-up量を著しく増大させるものではないことが分かる。

5. 従来型と嵩上げ人工リーフ周辺の海浜流場の比較

代表波と暴浪波の作用下における、従来型人工リーフと嵩上げ人工リーフ周辺の海浜流の測定結果を図-6, 7に示す。各図の(a)には従来型人工リーフの測定結果を、(b)には嵩上げ人工リーフの測定結果を示す。まず代表波の作用下では、いずれのタイプでも人工リーフ上では岸向き流れが卓越し、流れの一部は人工リーフの側面を通過して開口部へと流れ込んでいる。このような流れの結果、開口部には循環流が形成されている。図-3(b)に示したように、従来型人工リーフでは左側開口部の局所洗掘量が右側開口部のそれより大きかったが、これは左開口部での循環流の強度が大きいことと符号している。しかし岸向き流れから見ると従来型と嵩上げ人工

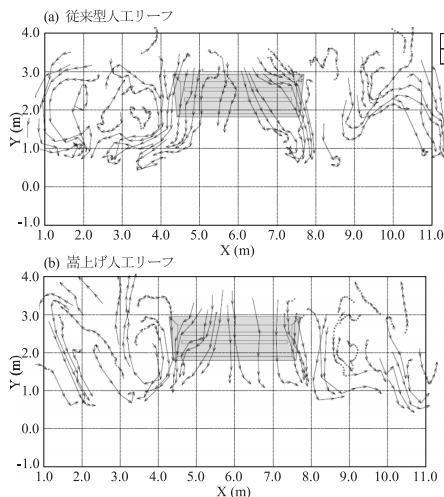


図-6 代表波作用時の海浜流の測定結果
(従来型・嵩上げ人工リーフ設置)

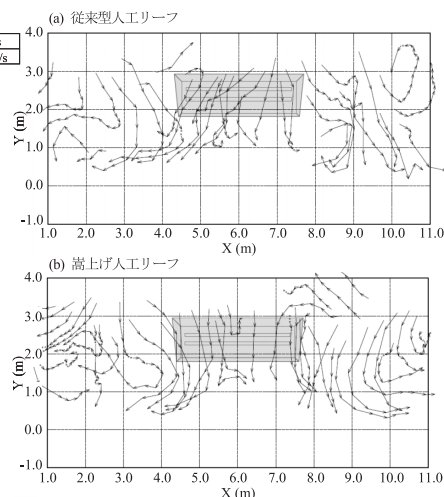


図-7 暴浪波作用時の海浜流の測定結果
(従来型・嵩上げ人工リーフ設置)

一の差異は大きくない。暴浪波の作用下では、図-7に示すように、従来型では施設背後から開口部へと強い沿岸流が生じるのに対し、嵩上げ人工リーフでは沿岸流強度が低下しており、図-3(c)で暴浪波作用時に施設背後での侵食が軽減される点と対応が見られる。

6. 地形変化量の平面分布の比較

(1) 離岸堤と無施設

図-8は、左半平面には離岸堤を設置する一方、右半平面は無施設のままとした場合における、(a) 初期～20時間後、(b) 初期～暴浪波作用後、(c) 20時間後～暴浪波作用後までの海浜地形変化量の平面分布を示す。まず無施設の場合、(a) では $Y=2\text{m}$ 付近が侵食され、侵食土砂が陸側へ打ち上げられたことが明らかである。砂が前浜へと打ち上げられる状況は、(b) や (c) の暴浪波作用時も同様である。これに対し離岸堤の場合には、無施設では沿岸方向にはほぼ一様な堆積域が伸びたのに対し、その背後には砂が岸向きに運び込まれることがないため堆積砂が起こらず、未堆積域が残される。それ以外の場所では岸向き漂砂による堆積が顕著であると同時に離岸堤両端からその背後へと細長い堆積域が伸びる。無施設の場合には20時間後から暴浪波作用後までで一層砂が堆積したが、その特徴は離岸堤を設置しても変わらない。

(2) 従来型と嵩上げ人工リーフ

図-9は左半平面に従来型人工リーフを、右半平面に嵩上げ人工リーフを設置して行った場合における、(a) 初期～20時間後、(b) 初期～暴浪波作用後、(c) 20時間後～暴浪波作用後までの海浜地形変化量の平面分布を示す。従来型人工リーフでは、(a) (b) とともに離岸堤と比較して人工リーフ両端部での深掘れが著しく、洗掘域が人工リーフの背後から斜め沖側へと広がる。このような結果は宇多ら (2009) の結果と一致している。しかし (c) の20時間後～暴浪波作用後の地形変化では (b) の初期～暴浪波作用後と比較して地形変化量自体は減少した。

嵩上げ人工リーフの地形変化量を従来型人工リーフの場合と比較すると、嵩上げにより消波効果が向上したために (b) では人工リーフ背後での堆砂量が増大している。その後 (c) の20時間後～暴浪波作用後の地形変化では人工リーフ背後の堆積砂の流出はほとんど生じておらず、従来型人工リーフと比べて暴浪時の舌状砂州の流出防止効果が高いことが分かる。

7. 縦断形の比較

(1) 離岸堤と無施設

左半平面には離岸堤を設置する一方、右半平面は無施設のままとした実験の結果より、離岸堤の中央断面($X=6\text{m}$ 断面、無施設では $X=18\text{m}$ 断面)、中央断面と施設

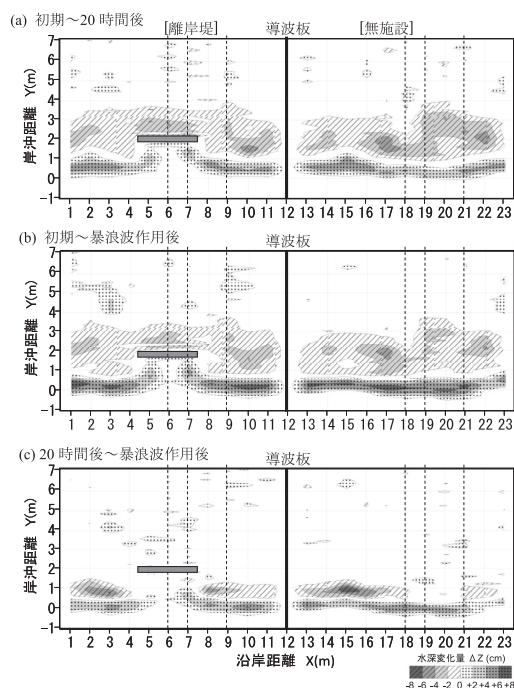


図-8 地形変化量の平面分布 (無施設と離岸堤設置)

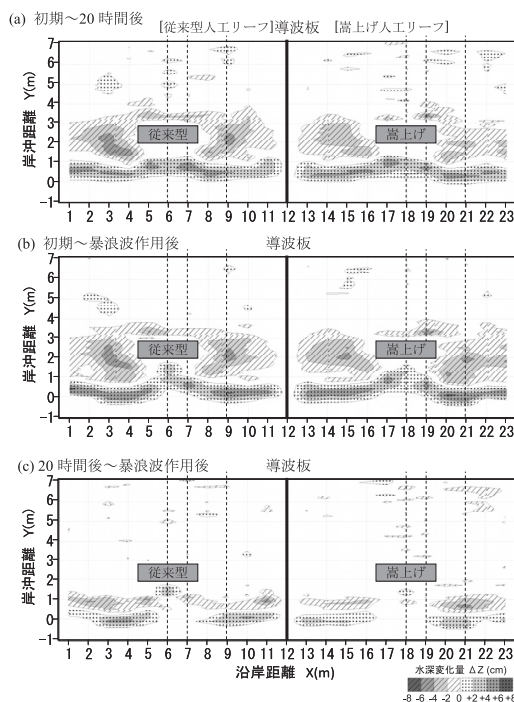
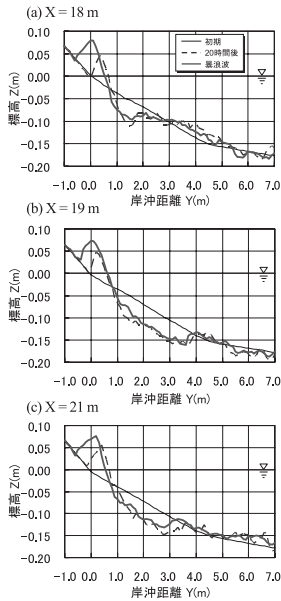
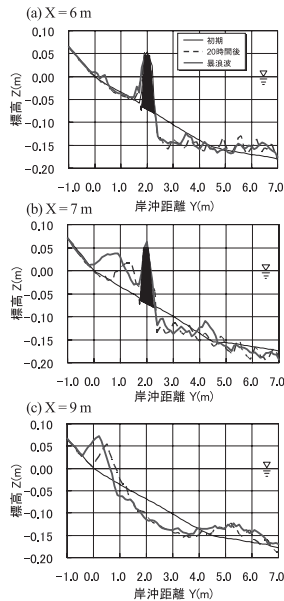
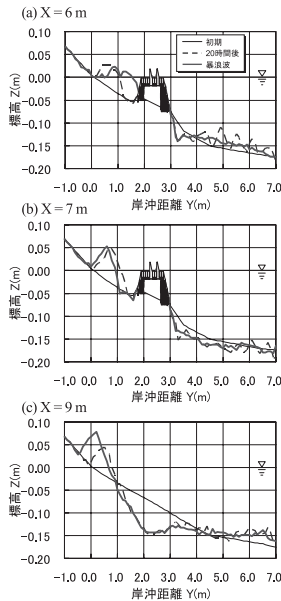
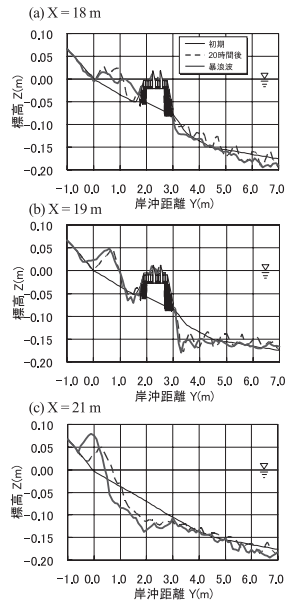


図-9 地形変化量の平面分布 (従来型・嵩上げ人工リーフ設置)

の右端の間 (離岸堤では $X=7\text{m}$ 断面、無施設では $X=19\text{m}$ 断面)、および施設右端から 2m 離れた断面 (離岸堤では $X=9\text{m}$ 断面、無施設では $X=21\text{m}$ 断面) を選んで縦断形の比較を行った。図-10, 11の (a) (b) (c) には、それぞ

図-10 縦断形変化
(無施設)図-11 縦断形変化
(離岸堤)図-12 縦断形変化
(従来型人工リーフ)図-13 縦断形変化
(嵩上げ人工リーフ)

れ中央断面、中央断面と施設の右端の間、および施設右端から2m離れた断面での縦断形変化を示す。無施設の場合(図-10)ではいずれの縦断形変化もほぼ相似形を保っており、 $Y=0.8\text{m}$ から平均3.5m区間が侵食され、そこから削り取られた砂が岸側へ移動し、20時間の波の作用後(a)(b)(c)の順に、4.6cm、4.7cm、4.4cmのバームが形成された。また暴浪の作用後にはバーム高が8.0cm、7.4cm、7.6cmまで高まった。このように無施設条件での海浜変形は岸向き漂砂の発生によって特長付けられる。離岸堤の場合(図-11)では、中央断面では砂が離岸堤背後へと運び込まれないため、汀線付近でわずかな堆積が見られるのみである。右端に近づくとき開口部から運び込まれた砂が堆積し舌状砂州が形成される。逆に離岸堤の沖では海底面の低下が起こる。

(2) 従来型と嵩上げ人工リーフ

同様に左半平面には従来型人工リーフを設置する一方、右半平面には嵩上げ人工リーフを設置した実験の結果より、人工リーフの中央断面(従来型人工リーフでは $X=6\text{m}$ 断面、嵩上げ人工リーフでは $X=18\text{m}$ 断面)、中央断面と施設の右端の間(従来型人工リーフでは $X=7\text{m}$ 断面、嵩上げ人工リーフでは $X=19\text{m}$ 断面)、および施設右端から2m離れた断面(従来型人工リーフでは $X=9\text{m}$ 断面、嵩上げ人工リーフでは $X=21\text{m}$ 断面)を選んで縦断形の比較を行った。図-12に示す従来型人工リーフでは、離岸堤と異なり施設の中央断面でも堆砂が進む(a)。また施設端部に近い断面でも砂が堆積し、20時間後の縦断形で比較すると離岸堤と従来型人工リーフ背後のバーム

高はそれぞれ1.7cm、5.0cmとなって人工リーフのほうが砂浜の発達ที่著しい。また人工リーフの沖側での局所洗掘量は離岸堤に比べて低減している。図-13に示す嵩上げ人工リーフでも施設背後で堆砂が起こる点は従来型人工リーフと同一であるが、端部に近い断面(b)では、20時間の波の作用で形成された舌状砂州に暴浪波が作用した場合の侵食量が低下し、嵩上げによって消波効果が高まった結果海浜の安定性が向上したことが分かる。

8. まとめ

離岸堤と無施設の場合も含んで、現地換算で0.4mの嵩上げを行った人工リーフと、従来型人工リーフの効果に関する移動床模型実験を行った結果、従来型人工リーフと比較して嵩上げにより消波効果が向上すると同時に、人工リーフ背後での堆砂量が増大すること、また嵩上げ型では、暴浪波を作用させた場合の舌状砂州の流出防止効果が高いことが分かった。さらに人工リーフを嵩上げしてもwave set-up量を著しく増大させるものではないことも明らかになった。

参考文献

- 宇多高明・森川数美・上橋 昇・大木孝志・芹沢真澄・神田康嗣・福本崇嗣(2009): 皆生海岸のクレスト型人工リーフ周辺の地形変化実験とその予測, 海岸工学論文集, 第56巻, pp.571-575.
- 山本正司・鳥居謙一・福濱方哉・人見 寿・宇多高明・高橋功(2004): 水理模型実験によるクレスト型人工リーフの開発, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.771-775.