

向岸流の抑制により局所洗掘防止を図る人工リーフの開発

Development of New Artificial Reef Preventing Local Scouring by Controlling Shoreward Currents over Reef

山本 学¹・宇多高明²・石川仁憲³・星上幸良⁴・福濱方哉⁵・野口賢二⁶

Manabu YAMAMOTO, Takaaki UDA, Toshinori ISHIKAWA, Yuki-yoshi HOSHIGAMI,
Masaya FUKUHAMA and Kenji NOGUCHI

Since the artificial reef has a submerged shape near the sea surface, strong shoreward currents are generated over the crown in general. These shoreward currents return offshore as rip currents from the openings of the reef, causing significant local scouring. A new type of artificial reef was developed in this study, preventing the development of shoreward strong currents, rip currents and resulted local scouring on the basis of the hydraulic model tests. The new type of artificial reef has the crown close to the mean sea level, and the offshore slope is protected by concrete armor units to enhance the stability.

1. はじめに

福井県浜住海岸では、既設離岸堤の人工リーフへの改築により景観や利用への配慮を行う海岸づくりが検討されている。この場合、人工リーフは離岸堤と異なり、天端が水面近くで没水した構造を有するため天端上で強い岸向き流れが生じ、この流れが開口部から離岸流となって沖に戻る(国土交通省, 2004)ため、開口部周辺で著しい洗掘が発生することが危惧される。事例としては、鳥取県の田後海岸の人工リーフ間での異常洗掘があげられ(沢村ら, 2007)、これは人工リーフの安定性や海浜利用にも少なからぬ影響を及ぼすと考えられる。このため、強い向岸流を抑制しつつ所定の消波効果を発揮するタイプの人工リーフの開発が望まれる。このような検討では、構造物周辺での局所流と地形変化の関係を調べる必要があるため、移動床模型実験が有効な検討手段となる。移動床模型実験はその相似性が確立していないので、実験結果をそのまま現地換算することはできないものの、少なくとも波の変形と海浜流の再現は可能であり、また離岸堤との相対比較の意味において人工リーフ周辺の地形変化を明らかにすることは可能と考えられる。このことから、本研究ではこのような視点に立って向岸流抑制

型の人工リーフを移動床模型実験によって開発する。

2. 実験方法

本研究では、離岸堤との比較において新型人工リーフの開発を進める。実験には図-1に示すように、国土技術政策総合研究所の幅30m、長さ23mの平面水槽を用い、両側を導波板で仕切った13m区間で実験を行った。底質材料には中央粒径が0.34mmの均一砂を用いた。模型縮尺は1/50とし、水理量はフルード則に従った。浜住海岸では既に離岸堤群があり、そのうち2基を人工リーフに改築する計画である。そこで離岸堤と人工リーフの機能の相違を調べるために、離岸堤・人工リーフを1基のみ設置して両者の機能の比較を行い、その上で群堤条件下での機能の相違を調べた。

実験では、砂を敷き詰めた移動床に実験波を12時間

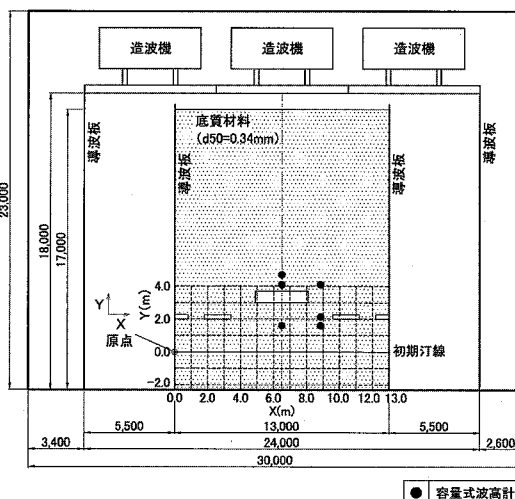


図-1 模型形状と測点配置

- | | |
|-------|---|
| 1 | 福井県福井土木事務所 |
| 2 正会員 | 工博 (財)土木研究センター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 |
| 3 正会員 | 工修 (財)土木研究センターなごさ総合研究室主任
研究員 |
| 4 正会員 | 博(工) 国際航業(株)防災・海洋部 |
| 5 正会員 | 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究
部海岸研究室長 |
| 6 正会員 | 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究
部海岸研究室 |

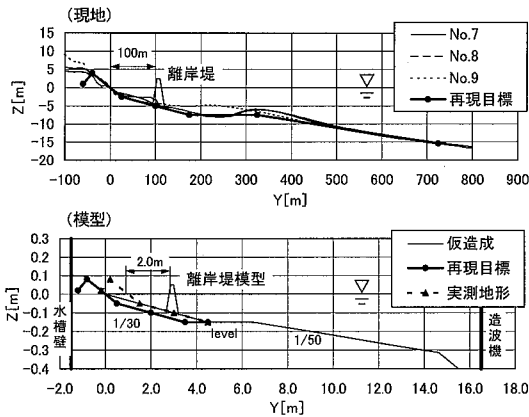


図-2 現地と模型海浜の縦断面

作用させて地形変化を調べた。測定項目は、容量式波高計による5点での波高測定、フロート追跡による海浜流測定、およびレベルによる岸沖方向0.1m、沿岸方向0.5m間隔での測定である。図-1には測点配置を示す。波高測定は、沖合、堤前面、開口部および人工リーフの岸側での透過波高の測定からなる。実験波の条件は、移動床模型実験の相似則が確立していないことから、現地波浪条件をフルード則により縮小することはできない。本研究では海浜縦断面が現地と相似形となる波浪条件を経験的意味から調べ、それより最適条件を定めた。まず人工リーフ施工区域を通る実測断面は図-2のようであるから、それらを平滑する直線で組み合わせられる模型断面を定めた。この断面に模型波を作用させたとき、前浜に砂が打ち上げられてバームが形成され、その高さが現地の約4mとなり、かつ前浜勾配1/10が模型上で再現される条件を Sunamura・Horikawa (1974) の手法で検討した結果、模型での規則波の波高は5.0cm、周期が1.1sとなった。この波は現地換算すると、波高が2.5m、周期が7.8sであり、結果的に浜住海岸における冬季のエネルギー平均波高2.2m、周期7.4sとほぼ一致をみた。なお、現況の離岸堤の透過率は0.5とした。人工リーフの諸元としては、現況の離岸堤と同様な消波効果が発揮される構造とするため、「人工リーフの設計の手引き」をもとに天端水深が1.0m、天端幅が25m、延長が160mの従来型人工リーフとした。

3. 離岸堤・人工リーフ（単体）周辺の海浜流と地形変化の比較

(1) 海浜流の比較

図-3は離岸堤1基を設置した場合の海浜流の分布である。特徴的な流れとして、離岸堤の右側では離岸堤から2m離れた場所に強い岸向き流れが生じ、それが汀線付近に達した後、両側へと流れて一対の循環流を形成

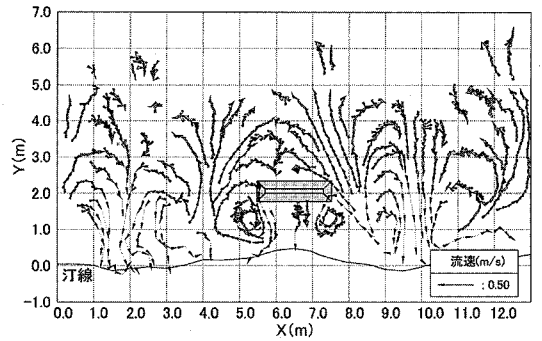


図-3 海浜流の平面分布（離岸堤単体の場合）

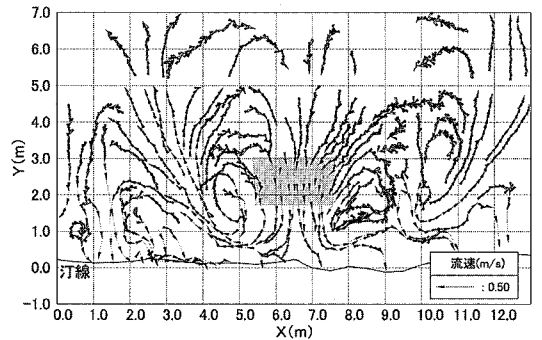


図-4 海浜流の平面分布（人工リーフ単体の場合）

している。同様に、離岸堤左側の、離岸堤から3.5m離れた場所にも強い岸向き流れが生じている。また離岸堤の背後域では、右端近傍では左回り、左端では右回りの循環流が形成されている。これらの流れの強さは、離岸堤の両側区域で見られた岸向き流れと比較すると小さい。一方、離岸堤端部では斜め沖向きの離岸流が生じている。離岸堤背後の循環流の向きは一般的に見られる循環流の向きと逆であるが、これは地形変化が生じた後のほぼ安定形状になった段階で海浜流が測定されたことに原因があり、離岸堤周辺のわずかな波浪場の変化の影響が強く出たことに起因すると考えられる。

図-4は、人工リーフを1基設置した場合の海浜流の分布であり図-3に対応する。離岸堤の場合との大きな違いは、人工リーフ上において非常に強い岸向き流れが誘起され、それが人工リーフの両端から斜め沖向き流れとなることである。とくに人工リーフ右側のX=8.0-9.0mに強い沿岸流が発生している。また、人工リーフ左側のX=5.0-4.0mでは強い沿岸流が集中した後、X=4.0-3.0mでは斜め沖向きの強い離岸流が発達している。

(2) 地形変化の比較

図-5、6は、離岸堤1基を設置した場合の海浜形状と、初期地形からの地形変化量の分布である。離岸堤の設置

によって離岸堤背後域では砂が堆積し舌状砂州が形成された。舌状砂州の形成に預かる砂は主として離岸堤両側の、 $X=2.0\text{m}$ および 8.5m 付近を中心とした、汀線よりやや沖の部分から運び込まれた。一方、 $X=1.5\text{m}$ 付近と $x=9.5\text{m}$ 付近の汀線付近は侵食されて深みが形成されている。これらの位置は図-3において強い岸向き流れが生じている場所と一致している。結局、離岸堤周辺では、その両側から離岸堤による波の遮蔽域へと沿岸漂砂が起り、波の静かな場所に砂が堆積して舌状砂州が形成される。これは従来から言われた知見と一致する。

図-7, 8は人工リーフ1基を設置し、同様な実験波浪を作用させた場合の実験結果である。図-5, 6と比較す

ると、人工リーフ背後の舌状砂州の規模は明らかに小さくなった。これと同時に、人工リーフの両端部から斜め沖向きに著しい深掘れが生じた。この深掘れは人工リーフの両側側面と平行ではなく斜め沖へと向いている。これらの発生位置は、人工リーフ横の強い沿岸流および斜め離岸流の発生箇所と一致する。一方、人工リーフの近傍には、離岸堤と異なり人工リーフ端部を中心とするわずかな堆積も生じている。すなわち、人工リーフのみ建設した場合、堤体上に強い岸向き流れが生じ、それが外向きに流出するため、離岸堤と異なり背後域に形成される舌状砂州の規模は大きく減少し、施設背後が広い水域となって残されることが分かる。

4. 離岸堤・人工リーフ（群堤）周辺の海浜流と地形変化の比較

(1) 海浜流の比較

図-9は離岸堤群が設置された条件での海浜流の平面分布であり、単体のケースの図-3に対応している。離岸堤群があるため岸向きの強い流れは発生しておらず、離岸堤開口部からの沖向き流れが目立っている。離岸堤の岸側では多くの場合淀んだ状態か、あるいは弱い循環流が生じている。離岸堤群のうちの2基を人工リーフに変更した場合の海浜流の分布を図-10に示す。図-9と比較

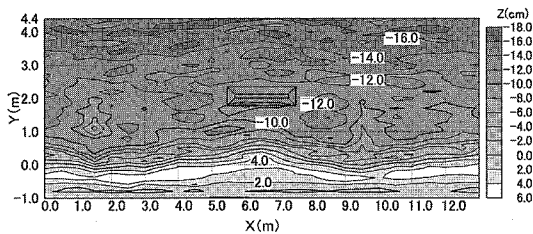


図-5 深浅図（離岸堤単体の場合）

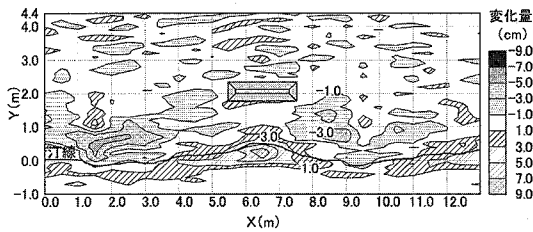


図-6 地形変化量（離岸堤単体の場合）

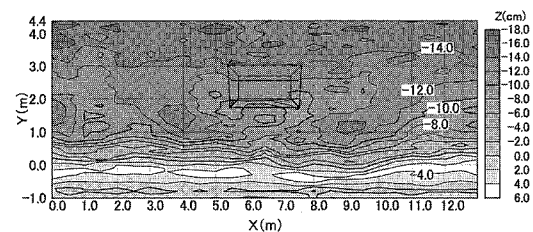


図-7 深浅図（人工リーフ単体の場合）

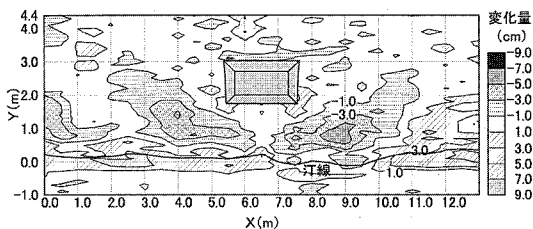


図-8 地形変化量（人工リーフ単体の場合）

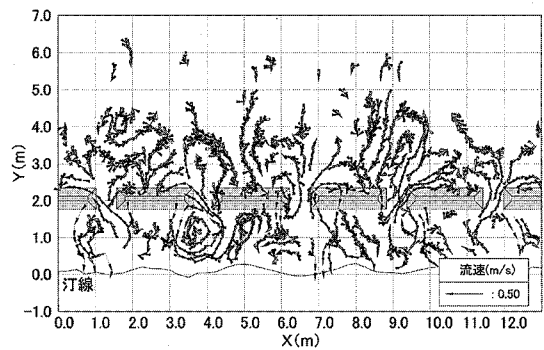


図-9 海浜流の平面分布（離岸堤群）

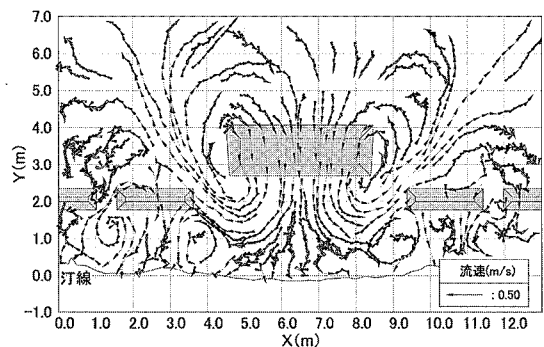


図-10 海浜流の平面分布（離岸堤群+人工リーフ）

較すれば明らかなように、人工リーフ単体の場合と同様人工リーフ上で強い岸向き流れが発生し、その流れは人工リーフと既設離岸堤の開口部を通過する強い斜め冲向きの離岸流に変わる。

(2) 地形変化の比較

図-11, 12には離岸堤群を設置した場合の海浜形状と地形変化量の分布を示す。単体の場合と同様、離岸堤の背後ではいずれも舌状砂州が形成され、開口部に当たる汀線付近が侵食されている。これらから離岸堤開口部の汀線付近が掘られ、そこから供給された砂が離岸堤の背後に堆積して舌状砂州が形成されたことが明らかである。

図-13, 14は離岸堤のうち2基を撤去して人工リーフに改築した場合の海浜形状と地形変化量の分布である。人工リーフに隣接する離岸堤背後での舌状砂州の形成は離岸堤群のみの結果を示す図-11と同様である。大きな違いは離岸堤と人工リーフの開口部にあって斜め冲向きに非常に顕著な深掘れが生じたことである。これは開口部から斜め冲向きの強い離岸流の発達によって説明できる。また人工リーフ両隣の離岸堤の端部において岸向きの細長い堆積域が形成されているが、これは開口部における斜め冲向き流れの一部が離岸堤によって阻止されたことによる。一方、人工リーフの背後では舌状砂州は消失したが、全体としてはなだらかな等深線となった。この点については単体人工リーフの場合の海浜形状(図-7)より改善が見られる。しかしそれでも離岸堤と人工リーフの開口部の岸端では水深の増加が見られる。

5. 向岸流抑制型人工リーフの開発

単体の離岸堤または人工リーフを設置した場合、図-5, 7および図-6, 8の比較によれば、離岸堤ではその背後に舌状砂州ができるが、人工リーフでは舌状砂州は形成されず、汀線の前進量は少ない。また人工リーフの両脇で斜め方向に異常な洗掘が生じる。このような深みは人工リーフ上に強い岸向き流れが生じ、この流れが沖へと戻る際に生じるものであり、離岸堤ではそのような現象は起こらない。施設背後に舌状砂州ができないことは、逆に施設背後に広い静穏域を確保する上では有効であるとも言えるが、その静穏域は人工リーフ側に広く、汀線付近では狭いという分布となり、汀線近傍に溝ができる。この溝が海浜利用時に存在することは利用障害となりえる。離岸群堤とそれらのうち2基のみを人工リーフに改築した場合も基本的には同様な結果が得られたが、人工リーフの両脇に離岸堤群があるため、深掘れ区域が汀線より離れた場所にできるという結果となった。しかしこの場合も離岸堤と人工リーフの間には強い流れが起こり、そこが異常に洗掘された。これらを考慮すると、浜住海岸にあっては通常型的人工リーフ、すなわち

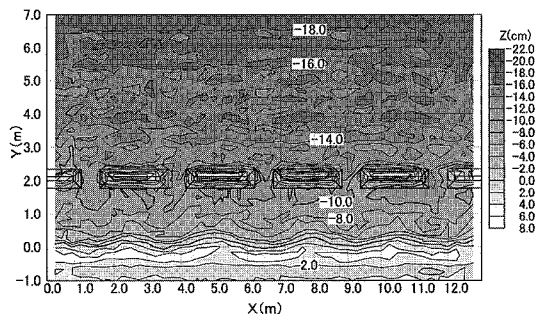


図-11 深浅図 (離岸堤群)

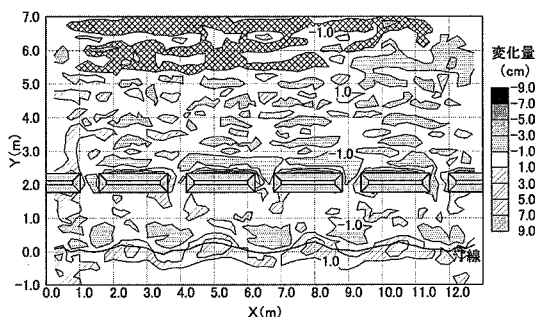


図-12 地形変化量 (離岸堤群)

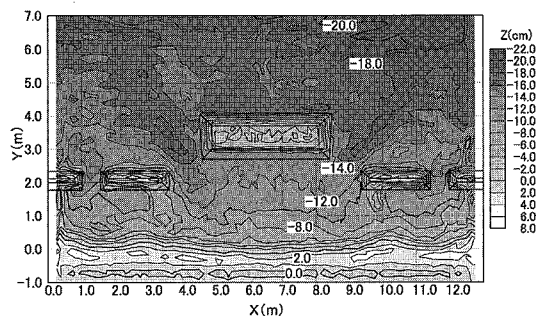


図-13 深浅図 (離岸堤群+人工リーフ)

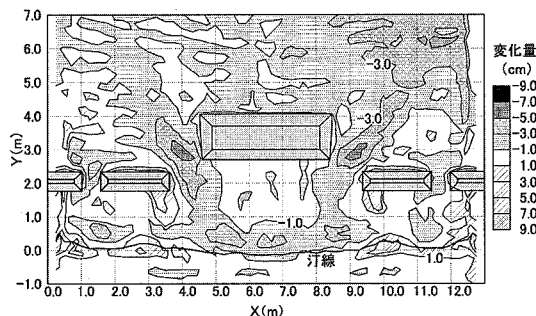


図-14 地形変化量 (離岸堤群+人工リーフ)

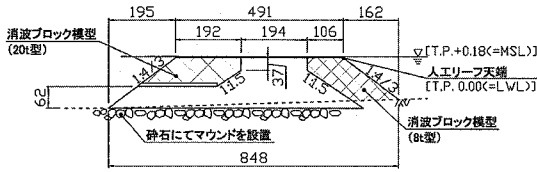


図-15 新型人工リーフの断面形

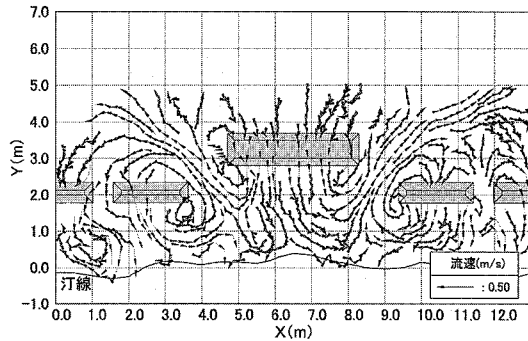


図-16 海浜流の平面分布 (新型人工リーフ)

捨石層の上に平ブロックを並べるという手法をとると離岸堤と比較して機能低下が起こることを意味する。消波効果は離岸堤と同程度にすることは可能であるが、問題は人工リーフ上の岸向き流れを弱めるよう、平ブロックではなく、異形ブロックを積む構造に変更する必要があると考えられる。粗度を大きく増加して流れを弱めるのである。具体的検討においては、まず天端高を現計画のT.P.-1.5mから0.0mまで0.5m刻みで嵩上げた条件下で波浪・海浜流計算を行った。この結果、天端高を高めるに依り人工リーフ上の流速は増加するが水深が減少することにより流量は減少し、開口部の沖向き流れは天端高がT.P. \pm 0.0mの場合最も低減できた。このため実験はこの条件で実施した。

実験に用いた人工リーフの断面形を図-15に示す。断面形は沖側と岸側が透過性で中央部が不透透性の混合型である。これらのうち沖側には異形ブロックを新設し、岸側は既設離岸堤のブロックを転用する計画である。堤長1.6mの模型人工リーフを離岸距離3mに設置した。なお実験はMSLで実施するため天端水深は4cmとなる。

図-16は改良人工リーフ周辺の海浜流の分布である。対応する従来型人工リーフ周辺の海浜流分布を示す図-10と比較すると、人工リーフ上の岸向き流れが非常に弱くなったことが分かる。弱い岸向き流れは発生し、離岸堤との開口部から斜め離岸流となって流出しているが、図-10と比較すればその流速が低下したことが明らかである。また図-17, 18は、12時間後の海浜形状と初

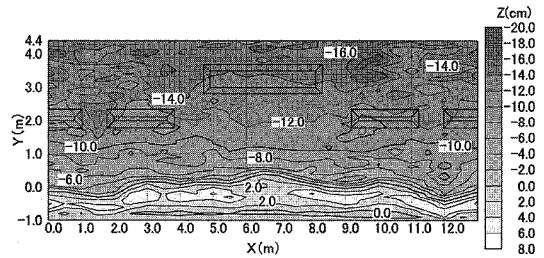


図-17 深浅図 (離岸堤群+新型人工リーフ)

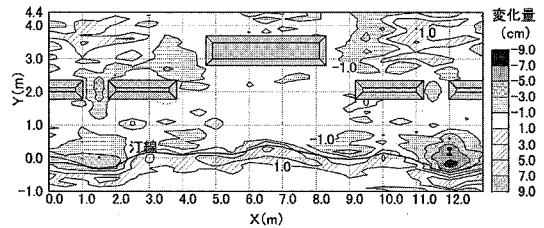


図-18 地形変化量 (離岸堤群+新型人工リーフ)

期からの変化量分布であるが、従来型人工リーフの実験結果(図-13, 14)と比較すると、消波効果の増大により静穏度が増した結果、離岸堤背後と同様に舌状砂州の形成が進んでいる。また人工リーフと離岸堤の間の洗掘量も大きく低減された。

6. まとめ

従来型的人工リーフの天端上での強い岸向き流れと、その補償流として生じる開口部からの斜め離岸流とそれに起因する局所洗掘を防ぐ新しいタイプの人工リーフとして、人工リーフの天端高をできるだけ水面近くとし、沖側部分を異形ブロックで覆う手法を提案した。この人工リーフでは沖側部には従来型人工リーフのように平ブロックではなく、ブロック間のかみ合わせが良好な異形ブロックを用いることを想定しており、その安定性を保つことが容易と考えられる。また、天端上での粗度増加による波浪減衰も期待される。

参考文献

- 国土交通省河川局海岸室・国総研海岸室監修(2004):「人工リーフの設計の手引き(改訂版)」, (社)全国海岸協会, p. 95.
- 沢村敦人・小林昭男・宇多高明・安本善征・野志保仁(2007): 防波堤による波の遮蔽域形成に伴う周辺海岸での侵食防止策の検討, 海洋開発論文集, 第23巻, pp. 1033-1038.
- Sunamura, Y. and Horikawa, K. (1974): Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 920-938.