

ヘッドランド間の海浜安定化に対する人工リーフの効果について

The Effect on the Artificial Reef for the Beach Stabilization between the Headlands

上谷昌史¹・高井光彦²・山田浩次³・橋本新⁴

Masashi KAMITANI, Mitsuhiro TAKAI, Kouji YAMADA, Shin HASHIMOTO

Several types of the artificial reefs were designed as countermeasure against erosion and wave overtopping in Niigata coast, using a hydraulic model test with movable bed. We used a large-sized water tank (30m in width, 40m in length, and 4m in depth). The model scale was 1/100. It was found that the shoreline change was restrained by the artificial reef located between the breakwaters of the head-land, and also the artificial reef with a small channel on the center or that with the several opening parts had the effect that sediment surrounded by the head-lands is restrained from moving off-shore over the artificial reef.

1. はじめに

新潟海岸金衛町工区は日本海に面し、関屋分水路河口の東側に位置する砂浜海岸である(図-1)。過去には100mを越える広い砂浜を有していたが、港湾建設に伴う沿岸漂砂の遮断や河川改修に伴う供給土砂量の減少、水溶性天然ガスの汲み上げに伴う地盤沈下等により侵食が進行し、現在では砂浜が殆ど消失している。この海岸の侵食対策としてヘッドランド及び養浜による対策が計画・実施されており、ヘッドランド間についても背後地への越波防止および海浜安定化の観点から波浪低減対策が必要であり、開口部対策施設として人工リーフが計画されている(図-2)。しかし、ヘッドランドと人工リーフで海域を囲んだ場合には、囲われた海域への水塊流入に対する補償流として沖側に向かう戻り流れが発生し、この戻り流れに伴い、土砂流出が生じることが懸念される。人工リーフ周辺の流況、地形変化については、宇多ら(1987)により人工リーフ平面配置の特性が示され、以降、実験、数値計算等により様々な検討がなされているが(例えば、野口ら,2002)、当海岸のように側方が閉鎖された海域における戻り流れによる土砂流出が背後海浜に与える影響について評価する手法は確立されていない。

以上のことから、水理模型実験を行い、戻り流れの影響を把握するとともに、戻り流れに伴う土砂流出を低減できる可能性がある人工リーフ形状について実験により水理特性を検討した結果を報告する。

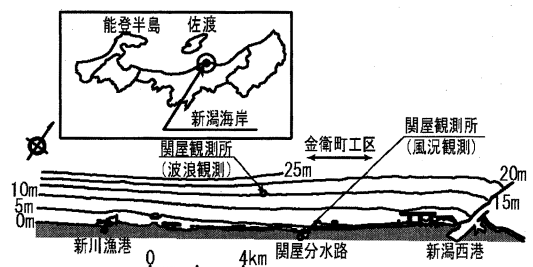


図-1 新潟海岸金衛町工区位置図

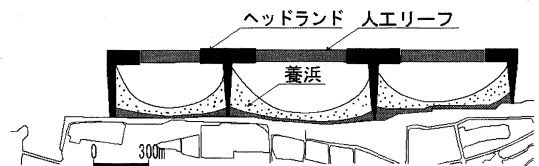


図-2 新潟金衛町工区の施設整備計画概要

2. 実験方法

(1) 実験水槽及び実験縮尺

実験には国土交通省国土技術政策総合研究所所有の大型平面水槽を用いた。大きさは幅30m、長さ40m、深さ4mであり、その中には造波板幅10mのフラップ式の造波機が3台設置してある(図-3)。実際の海域では、4基のヘッドランドが計画・実施されており、海岸線延長は3km程度である(図-2)。4基のヘッドランドを実験水槽内に再現し、水槽側方壁面の影響も考慮すると縮尺は非常に小さくなるため、一対(2基)のヘッドランドにより現地海浜をモデル化して実験を実施した。実験縮尺は使用水槽の規模(幅30m)、ヘッドランドの設置間隔(900m)を勘案して縮尺1/100(歪みなし)とした。

- | | |
|---------|---|
| 1 正 会 員 | (財)ダム水源環境整備センター企画部長
兼調査第一部長(前 国土交通省北陸地方整備局信濃川下流河川事務所長) |
| 2 | 国土交通省北陸地方整備局信濃川下流河川事務所海岸課海岸係長 |
| 3 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主任研究官 |
| 4 正 会 員 | 水修 (株)アイ・エヌ・エー海岸部 |

(2) 実験条件

対象海岸は、海岸線に対して東寄り（右寄り）の波浪が卓越する。対象海岸から西方約1.5kmに位置する関屋観測所（設置水深約16m、図-1）の波浪観測結果を用いて、対象海岸前面において波浪の出現エネルギーが最大となる波向をN19°Wと算定した（図-4）。この波向を再現するために造波板に対して護岸模型を17°傾けて設置した。海浜変形を確認する実験においては波高・周期は、当海岸の代表波浪として現地波換算で計画波浪に相当する波高8.0m、周期14.0s（実験スケール：波高8.0cm、周期1.4s）を用い、波高・流速等の計測には比較的頻繁に起こりうる高波浪時を想定し、年数回波に相当する4.7m、周期10.0s（実験スケール：波高4.7cm、周期1.0s）を用いた。現地海浜の底質粒径は、 $d_{50}=0.2\sim0.3\text{mm}$ 程度と細かいが、実験で用いる底質を過度に細かくすると水の粘性による影響が無視できなくなる。このため、 $d_{50}=0.2\text{mm}$ の実験砂を用い、現地海浜の再現性が良好である（図-6）ことを確認して実験を行った。

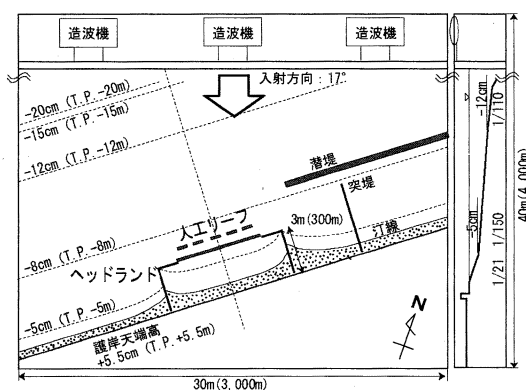


図-3 模型平面配置図

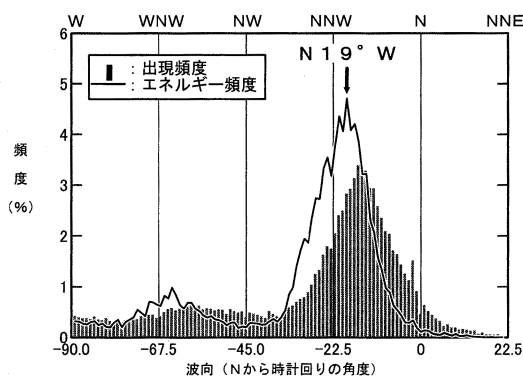


図-4 波向別の出現頻度およびエネルギー頻度
(1995～2000年)

(3) 人工リーフの形状

戻り流れは砕波により発生する岸向きの流れに対する補償流として発生すると考えられるため、この岸向き流れによる人工リーフ陸側への水塊流入を抑制することにより、戻り流れを抑制する方法が考えられる。この機能を有すると考えられる人工リーフ形状としては、天端面の一部を水面上に露出させることにより砕波による岸向き流れを抑制するクレスト型人工リーフ（山本ら、2004）が挙げられるが、当海岸では海域利用上の制約により人工リーフの天端を水面下にする必要があるため、ふた山型リーフによる検討を行った。具体的には図-5に示すように人工リーフを岸沖方向に2列に配置し、沖側リーフ上で強制的に砕波させて岸向き流れを発生させ、岸側リーフでヘッドランド間への水塊流入を抑制し、岸側リーフと沖側リーフの間で水塊を沿岸方向に、もしくは沖側リーフの開口部より水塊を沖側に逃がすことによる戻り流れの抑制効果を実験により確認した。

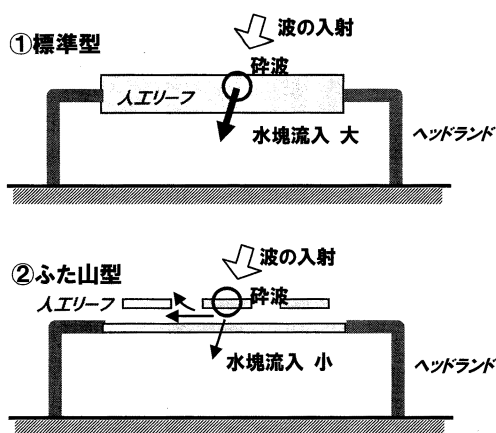


図-5 ふた山型リーフの水塊流入制御の平面イメージ

(4) 実験ケース

実験ケースの一覧を表-1に示す。当海岸の人工リーフに求める消波機能は背後護岸の波の打ち上げ高の低減の観点から波高伝達率 $kt < 0.6$ である。また、海岸利用（船舶航行の確保）の観点から、天端高はT.P.-1.5m以下（平均潮位時において水深2mを確保）が制約条件となる。実験に用いる人工リーフとして、まず、標準型リーフ（不透透構造）について、波高伝達率が0.6程度以下となる天端高 $B=30\text{m}$ を設定した（case1）。次に、case1と同程度の消波効果が得られるふた山型リーフとして数値波動水路により計算を行い、case2（岸沖リーフの天端幅10m、岸沖リーフの間隔20m）を設定した。しかし、case2では十分な土砂流出防止効果及び水位上昇低減効果が得られ

なかったため、岸沖リーフ間の距離を広くし、且つ、沖側リーフを分割する形状について実験を行った (case3)。なお、case3における岸沖リーフ間の距離及び沖側リーフの配置については、平面数値モデルにより数案計算を行い、相対的に水位上昇量が抑制される諸元を選定して実験を実施した。case4は、case3と同じ平面配置において沖側リーフの天端高を高くすることにより消波効果を高めた条件であり、case5はcase3と同じ平面配置で岸側リーフの一部を透過構造にした場合、case6は、case2～5と同程度の断面規模の標準型透過構造リーフであり水位上昇量の低減効果を確認するために実施した。

表-1 水理模型実験ケース一覧

実験ケース		case0	case1	case2	case3	case4	case5	case6
人エリーフ諸元	断面形状	なし	標準型	ふた山型				標準型
	沖リーフ形式		—	連続堤	5分割 (60m×5基)			—
	天端幅		—	10m				—
	天端高		—	T.P.-1.5m		T.P.-0.5m	T.P.-1.5m	—
	岸沖リーフ距離		—	20m	40m			—
	岸リーフ形式		不透過				不透過 (一部透過)	透過
	天端幅		30m	10m			50m	
	天端高		T.P.-1.5m					

3. 人工リーフの形状による水理特性

(1) 海浜の安定化効果

図-6に各実験ケースの汀線形状の比較結果を示す。初期汀線は砂浜幅30mを確保するように護岸に平行に整地している。人工リーフを設置しない場合 (case0) では、下手側 (左側) のヘッドランド基部への移動が大きい。この現象は現地海浜での現状と良く一致している。一方、人工リーフを設置した場合 (case1～3) では、汀線のヘッドランド基部への移動が少なく、安定化していることが伺える。

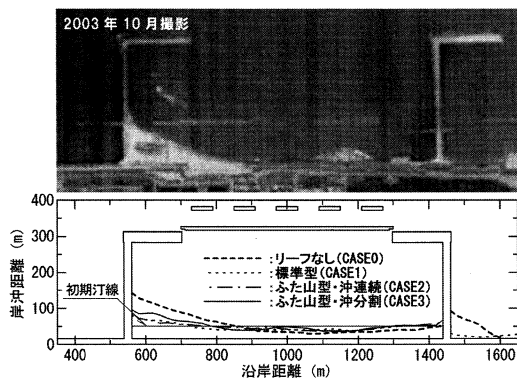


図-6 人工リーフの有無による汀線形状の比較

(2) 消波効果

消波効果の実験結果を図-7に示す。波高透過率 kt は、リーフ透過直後の計測波高を透過直前の計測波高で除して算定した。標準型リーフ (case1) の波高透過率 kt は0.34であり、ふた山型連続リーフ (case2) の kt は0.30と標準型リーフと同程度の消波効果があることがわかった。ふた山型沖分割リーフ (case3～5) の kt は0.40～0.46であり、標準型リーフおよびふた山型連続リーフと比較してやや消波効果は低い結果となった。これは沖側リーフを分割することにより波が碎波せずに進入する割合が増えたためと考えられる。開口部人工リーフに求める消波効果としては背後護岸での波の打ち上げ高低減の観点から、 $kt < 0.6$ 以下が必要とされているため、ふた山型沖分割リーフも所要機能を満足している。なお、case4は、ふた山型沖分割リーフの沖側リーフの天端をcase3よりも現地スケールで1m嵩上げし、消波効果の向上を試みたが、case3よりもやや消波効果が低い結果となった。この原因は明らかではないが、沖側リーフで反射波が増大し、開口部からの入射波高が高くなったことや岸側リーフの反射波が沖に向かわずに再度沖側リーフで反射したことなどが推定される。また、透過構造リーフ (case6) の kt は0.82であり今回実験に用いた諸元 (天端高T.P.-1.5m・天端幅50m) では、対象海岸における所要機能を満たさない結果となった。

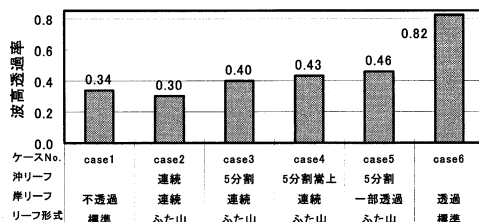


図-7 実験による人工リーフの消波効果

(3) 水塊流入の抑制効果

人工リーフ周辺の流速・流向計測結果を図-8に示す。人工リーフ沖側をみると、標準型リーフ (case1, 6) では、顕著な流れは発生していないが、ふた山型リーフ (case2～5) では横方向・沖方向の流れが発生している。このことはふた山型リーフにより、人工リーフ岸側に流入する水塊を阻止している効果であると考えられる。ふた山型リーフの形状の違いについてみると、ふた山型連続リーフ (case2) では横方向の流れが顕著であるのに対して、ふた山型沖分割リーフ (case3～5) では横方向および沖方向への流速1～2m/s程度の速い流れが発生している。沖方向の流れは沖側リーフを分割することにより、沖側リーフの開口部からも水塊を流出させて、人工リーフ岸側への水塊流入を抑制していると考えられる。

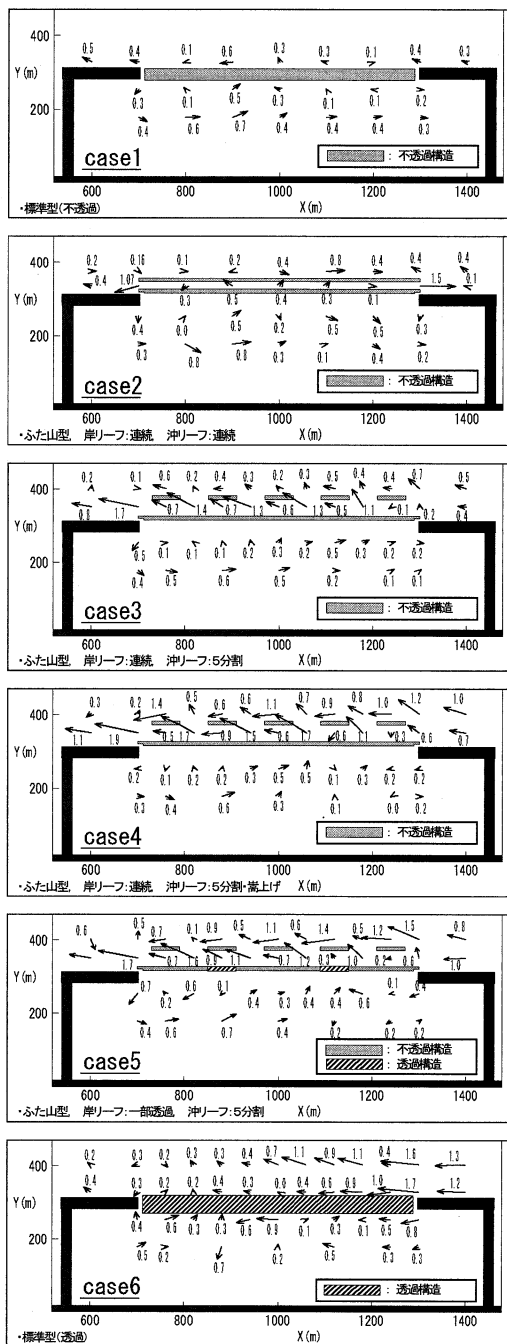


図-8 実験による人工リーフ周辺の流向・流速

(4) 土砂流出抑制効果

土砂流出抑制効果の実験結果を図-9 (1),(2)に示す。トレーサはヘッドランド間の中央の汀線部、ヘッドランドとリーフに囲まれた区域の中央部および下手側（左側）ヘッドランドの平行堤先端岸側の合計3箇所に入れた。流出率は20分間造波後にヘッドランドとリーフに囲まれた区域外に移動した数を計数することにより算定した。

リーフなし（case0）では、すべての投入箇所のトレーサは殆ど流出しなかった。一方、リーフを設置した場合（case1～6）では、いずれの形状でもトレーサの流出が生じたが流出特性は異なっていた。最も海岸の安定性に大きく影響すると考えられる汀線部の流出特性（図-9 (1)塗潰）をみると、ふた山型リーフ（case1～5）の流出率は0～10%と少ないが、透過構造リーフ（case6）は26%と若干増加している。汀線部に次いで海岸安定性に影響すると考えられる中央部の流出特性（図-9 (1)白抜）をみると、ふた山型リーフ（case1～5）では、ふた山型リーフ沖5分割（case3）を除いて40%以上の高い流出率となっているが、case3は1%と明らかに少ない。この理由としては、図-8に示した流向・流速のリーフ岸側をみると、case3では沖側に向かう流速が殆ど生じておらず、静穏となっていることが考えられる。

ヘッドランドの堤体の安定性に影響すると考えられる平行堤先端付近のトレーサの流出については、ふた山型リーフ沖5分割岸リーフ一部透過構造（case5）を除いて40%以上の高い流出率となっているが、case5は2%と明らかに少ない。この理由としては岸側リーフの透過構造部分から沖側への流れが集中し、ヘッドランド平行堤先端付近での流れが抑制されたことが考えられる。

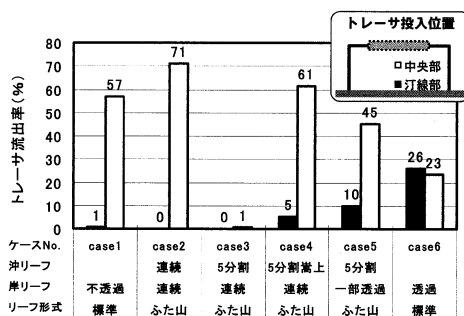


図-9(1) 実験によるトレーサ流出率（汀線部・中央部投入）

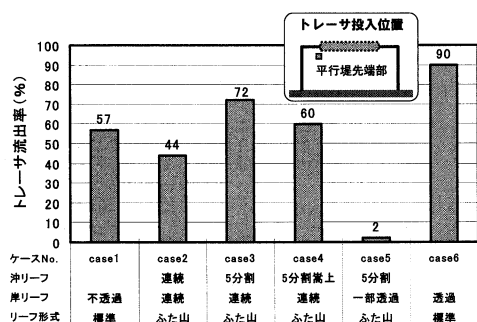


図-9(2) 実験によるトレーサ流出率 (平行堤先端部投入)

(5) 水位上昇抑制効果

水位上昇抑制効果の実験結果を図-10に示す。水位上昇量は、ヘッドランドと人工リーフに囲まれた区間の造波中の計測値の平均水面と静水面との差により求めた。不透過構造人工リーフ (case1~5) では、水位上昇量 η は0.42~0.56mであり、人工リーフなし (case0) の $\eta = 0.11\text{m}$ と比べて明らかに上昇している。また、ふた山型リーフ (case2~5) の形状による水位上昇の差異は生じていない。図-8で示したように、ふた山型リーフによる水塊の流入抑制効果が水位上昇抑制に反映されていない理由としては、水位については定常状態となっていることが考えられる。

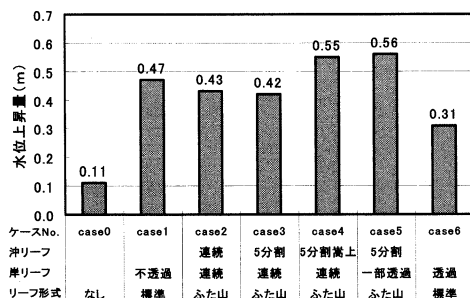


図-10 実験による人工リーフ岸側の水位上昇量

4. まとめ

- ①人工リーフの形状をふた山型リーフとすることで、リーフ岸側への水塊流入を抑制可能であることがわかった。
- ②人工リーフの形状をふた山型リーフとし、さらに沖側リーフを分割することにより土砂流出を抑制し、ヘッドランド間の海浜安定化が図れる可能性を示した。
- ③ふた山型人工リーフによりヘッドランド間への水塊流入を抑制したことで、ヘッドランド間で冲向きの流速が遅くなり土砂流出が抑制されたと考えられる。

今回の実験では戻り流れの発生要因となると考えられる水位上昇の抑制は確認できず、人工リーフを設置した場合にはすべてのケースにおいて明らかに水位上昇が発生した。トレーサ流出率により海浜の安定性は評価できたと考えられるが、水位上昇の海浜安定化に与える影響については現地海浜において確認する等が必要であると考えられる。

参考文献

- 宇多高明・小俣篤・横山揚久(1987): 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.
- 野口賢二・鳥居謙一・人見寿(2002): 人工リーフの平面性能評価に関する研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 821-825.
- 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.