

人工リーフの波浪制御効果に関する現地実験

浜口達男*・宇多高明**・井上 力***
五十嵐晃***・中山 修****

1. ま え が き

近年、侵食対策のみに主眼を置いた離岸堤工法に代わって、水面下の構造物であって景観を損なうことがなく、海浜の利用も阻害せずに海浜の安定化を行うことのできる人工リーフ工法が注目され、全国各地で施工されるようになった。新潟海岸でもこの工法が採用され、1986年度に2基の人工リーフの試験施工が行われた。この工法は提案されてから日が浅く、室内実験による研究成果^{1),2),3)}はいくつか発表されているものの、現地海岸においてその効果や機能性の確認は行われていない。そこで、人工リーフ周りで種々の現地調査を実施した。本研究の目的は現地観測により、人工リーフの波浪低減効果、流況・地形変化制御効果を明らかにすることである。

2. 人工リーフの建設

人工リーフは新潟海岸において1986年6～9月の間に建設した。人工リーフの岸沖方向の幅は50m、長さが120mと100mである(図-1)。ただし長さ100mのリーフは、1987年6～10月の期間に100m延長され、全長は200mとなった。リーフの設置位置は2基の離岸堤に挟まれた区域内であり、リーフの岸側の法肩が離岸堤の法肩法線と一致する位置に、リーフ相互の開口幅を75mとして設置した。リーフの構造を図-2に示す。中詰層である捨石(30～100kg)の上に重量200～500kgの捨石を敷並べた。リーフの天端高はT.P. -1.5mである。当海岸の潮位条件として、MSLはT.P. +0.49mに、HWLはT.P. +0.7mに、またLWLはT.P. +0.26mにある。したがって天端水深は約2mとなる。またリーフの沖側の法勾配は1:3とした。

3. 現地調査

現地調査は5項目について行った。主な観測項目は、深浅測量(6回)、波高・流況観測、漂砂観測、堤体の安定性調査である。深浅測量は、測線間隔を40mとしてリーフ周辺の地形変化を調べるために実施した。

波高観測は、沖波(St. 1)及び入射波(St. 2)に対する人工リーフ背後の透過波(St. 3)、開口部(St. 4)、自然海岸に近い地点(St. 5)の波高の違いを明らかにするため、図-1に示す5箇所に超音波式波高計(St. 1)あるいは容量式波高計(St. 2～5)を設置し、1987年1月22日から2月2日までの12日間、2時間毎の観測を行った。波高計設置時の平均潮位(T.P. +0.49m)からの設置水深は、-13.0m(St. 1)、-3.1m(St. 2)、-1.6m(St. 3)、-2.1m(St. 4)、-2.0m(St. 5)である。

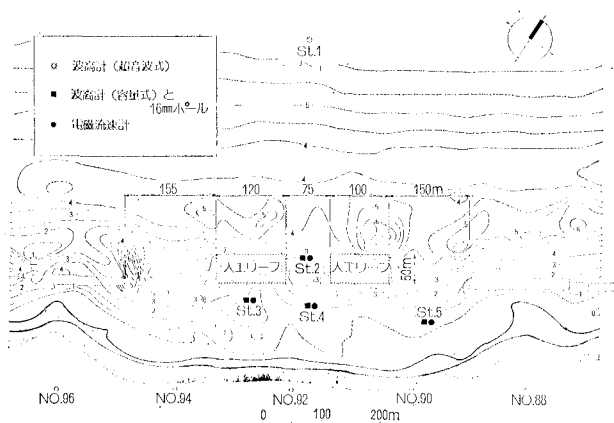


図-1 人工リーフと波高、流速の観測点の配置

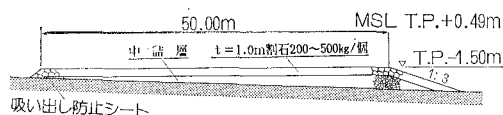


図-2 人工リーフの断面形状

* 正会員 建設省北陸地建信濃川下流工事事務所長
** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
*** 正会員 建設省北陸地建信濃川下流工事事務所
**** 正会員 (財)国土開発技術研究センター

人工リーフ周辺の流況調査には、波高計と同地点に設置した電磁流速計を用いた。また、フロートをヘリコプター上のビデオカメラで追跡する手法と漂流桿をトランシットで追跡する手法により流況観測を行った。

漂砂観測では、人工リーフ前面及び開口部に蛍光砂を投入し、3回の採取を行った。堤体の安定性調査では、重量別にマーキングした捨石を12箇所計36個投入し、冬季風浪前後の2回、平面座標観測を行い移動量を測定した。

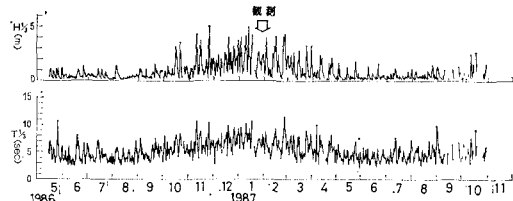


図-3 新潟西港における有義波高 ($H_{1/3}$), 周期 ($T_{1/3}$) の経時変化

新潟西港の沖合の -23 m 地点で観測された有義波高・周期の時系列変化を図-3に示す。約1年半の間の $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ の変化が示されている。10月～3月の間、冬季風浪のため波高は高くなるが、他の時期は静穏である。また、周期は波高と相関を有しており、高波浪時、周期は8秒前後と長くなる。現地観測は波高が最も高い時期である1月に行われた(図-3参照)。

4. 観測結果

(1) 人工リーフ周りの海浜地形

図-1には1987年1月に測量されたリーフ周りの海浜形状を示した。リーフ背後では汀線の著しい前進は見られないが、背後域では舌状の幅広い堆積域が見られる。一方、リーフの開口部では洗掘が生じている。東(右)側のリーフの沖合では顕著な深掘れが見られる。しかし、これがリーフ端部に発生した洗掘であるかどうかは現段階では十分判断できない。何故なら、リーフの東(右)

側の離岸堤沖に見られるように、緩い勾配を持った当海岸ではバー・トラフ地形が発生しやすいためである。

(2) 波, 流れの特性

St. 1, 2, 3における有義波高と沿岸・岸沖流速の経時変化を図-4に示す。ここに岸沖流速はリーフを横切る冲向き流れを正、沿岸方向流速はそれより時計回りに90°を成す方向を正とした。1月22日より2月2日まで延べ12日間の変化を示す。リーフ沖の水深13m地点(St. 1)の入射波高の変化を見ると、1月24日～25日の間に3mを越える波が出現している。1月24日～26日の間は平均的に見ても約2mの波高が続いている。その後一時波高は低くなったが、1月30日から2月1日にかけて再び2mを越える波高が出現した。このような入射波高に対し、リーフの開口部に位置するSt. 2の波高を比較すると、全体に浅水変形のために波高が増大している。ただしSt. 1で約2mを越える入射波高であった場合は碎波減衰により逆に波高は低下している。更に

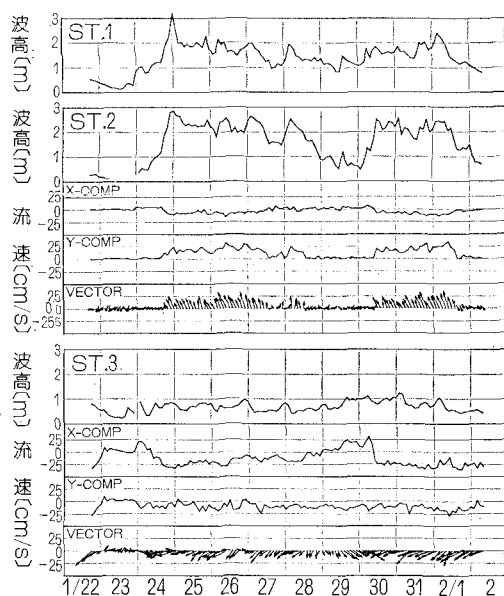


図-4 有義波高と流速の経時変化 (St. 1, 2, 3)

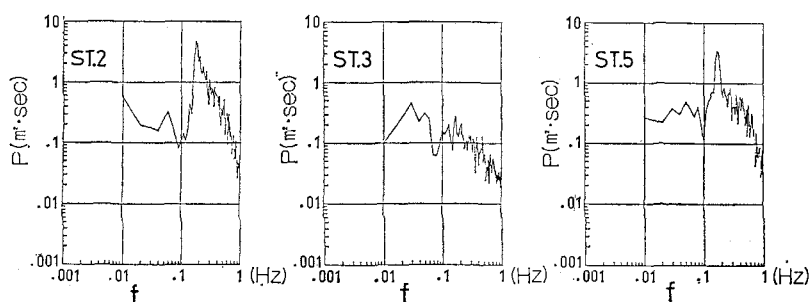


図-5 波のスペクトル (St. 2, 3, 5)

St. 3 と St. 2 の波高を比較すると, St. 3 の水深が 1.6 m と浅く, また, リーフを通過する際に碎波減衰が生ずるため, St. 3 の波高は著しく低下している. 次に, 流速データを見ると, St. 2 では高波浪時沖向き流れが卓越している. この特性は, 水理模型実験結果¹⁾と良い一致を示す. また, St. 3 の流れは全般に岸向き流れとなっており, これも実験結果と一致する.

人工リーフ周辺での波浪の周波数特性から見た変化を, 2月1日午前4時に測定された波形記録のスペクトルの変化より調べた(図-5). スペクトルの場所的相違を調べるために, 人工リーフの開口部の St. 2, リーフ岸側の St. 3, および離岸堤とリーフの間に位置する St. 5 のスペクトルを示した. St. 2 のスペクトルは, 入射波の卓越周波数である約 0.2 Hz に鋭いピークを有している. しかし, リーフ背後 St. 3 のスペクトルではこのピークは消失した. 一方, St. 3 と汀線からの距離がほぼ同様な St. 5 では依然として卓越周波数で明瞭なピークがある. 以上の点より, 人工リーフを通過した波は, リーフ上の碎波により入射波浪エネルギーを失うことがわかる.

次に, 人工リーフの波浪低減効果を図-6に示す. ここに, H_i はリーフの岸側の St. 3 の波高, また H_0 は St. 2 の波高である. 更に R はリーフの天端水深である. 人工リーフの波浪低減効果には天端水深 R が大きく関与しており, R/H_i が小さくなると波浪低減効果が高くなる. この結果は室内実験の結果¹⁾と良く一致する. また, 合田による直立堤 ($B/L_0 \sim 0$) に関する実験式がほぼデータの上限を包絡することがわかる. 更に, 入射波高の大きさにかわらず人工リーフ背後の波高 H_0 は多少の例外を除くと入射波高 H_i のほぼ 80% 以下に抑えられている. 特に, リーフ上で碎波するような入射波の場合には,

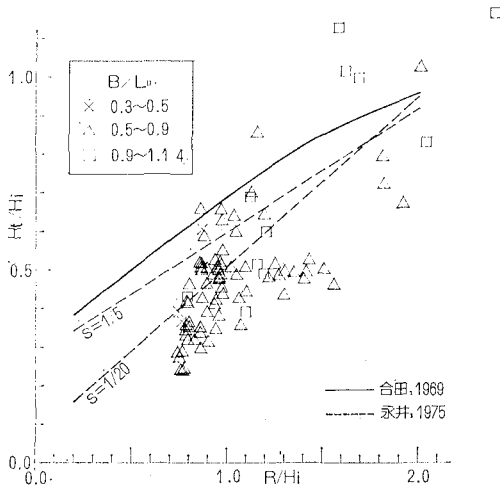


図-6 リーフによる波高伝達率 (H_0/H_i) と波高天端水深比 (R/H_i) の関係

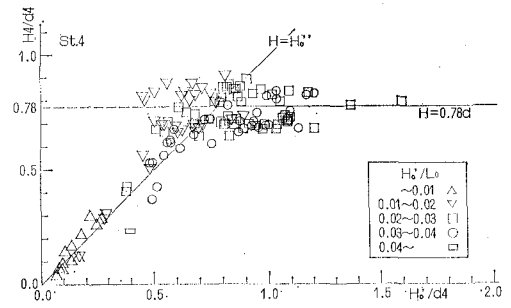


図-7 H_4/d_4 と H_0/d_4 の関係

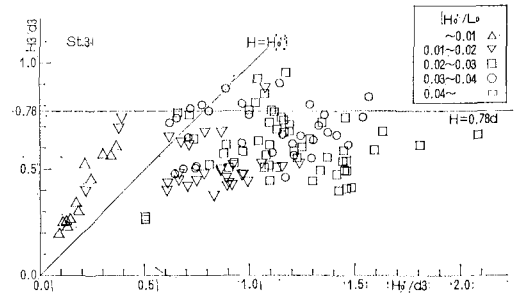


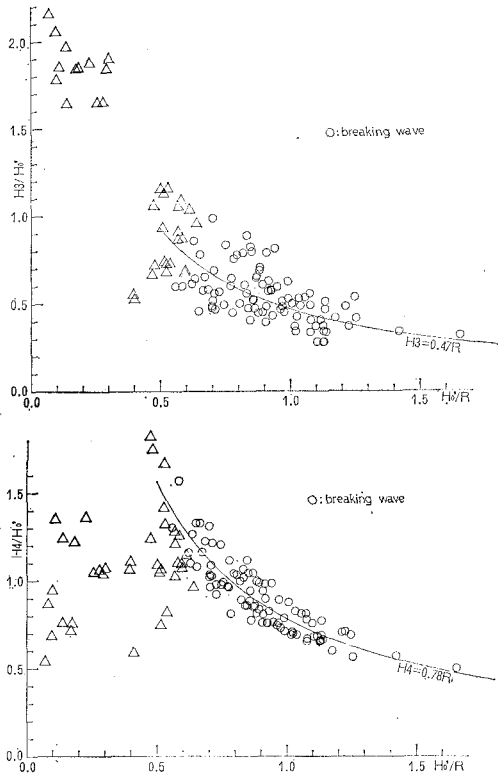
図-8 H_3/d_3 と H_0/d_3 の関係

伝達波高 H_0 は $(0.4 \sim 0.7) H_i$ となる.

次に, 沖合の St. 1 の測定値より計算した換算沖波波高を H_0' , St. 3, 4 の波高を H_3 , H_4 , 水深を d_3 , d_4 として H_4/d_4 と H_0'/d_4 の関係(図-7) 及び H_3/d_3 と H_0'/d_3 の関係(図-8)を調べた. また図中に碎波限界波高が $H_c = 0.78d$ で与えられるとしてその値も示した.

リーフの開口部岸側の St. 4 では, H_0'/d_4 が次第に増加すると H_4 も単調に増加する. その後, 碎波限界 ($H = 0.78d$) になるとばらつきは大きくなるもののそれ以上波高は増加しなくなる. 一方, リーフ背後の St. 3 のデータに関しては, St. 4 と特性がかなり相違している. 天端水深に対して入射波高が高くなると, リーフ上では碎波が生ずる. そのため岸側での伝達波高はほぼ $(0.4 \sim 0.8)d$ となっている. 一方, 入射波高が低くなり, リーフ上で碎波が生じない場合, St. 4 と比較して浅水変形が著しくなり波高が高くなった.

同様に St. 1 で測定された波高より求めた換算沖波波高 (H_0') を用いて St. 3 の波高を無次元化し, リーフの天端水深 (R) と H_0' の比 (H_0'/R) を求めて両者の関係を調べた(図-9). 更に, 沖波波高, 周期, 平均海底勾配をもとに合田の碎波指標により碎波水深を求め, この値がリーフの天端水深より大きい場合は碎波が生ずるとして碎波しない場合とデータを区別した. また, 碎波する条件のデータのみより $H = aR$ の関数形を仮定して最小二乗法で求めた回帰式を実線で示した. リーフを通過する波

図-9 H_3/H_0' , H_4/H_0' と H_0'/R の関係

では、 $H_3=0.47R$ の関係が成立することがわかる。一方、リーフの開口部に位置する St. 4 の波高に関しては $H_4=0.78R$ の関係を満足する。両者の比較によれば明らかに波浪減衰効果が高くなっている。

(3) 平面的波峰線形状

空中写真を用いると波峰線の平面形状を求めることができる。1月28日11時39分に撮影された画像より波峰線分布を求めた結果を図-10に示す。人工リーフの沖では2つの離岸堤を結ぶ直線に対する法線方向に対して時計回りの方向に約25°を成す方向より波が入射している。このような斜め入射の条件の下では西向き沿岸流が生ずることになる。人工リーフ上は水深が小さいために開口部に比較して波速が小さい。そのため開口部の波峰線形は岸向きに突出した形になっている。しかも、波が斜め入射するために、凸状の波峰線部分が人工リーフの背後で西方向にその位置をずらしている。図には当日の汀線形も示した。波峰線が沖に向かって凸となっている部分では汀線も舌状に突出していることは注目される。

(4) リーフ周りの平面流況

電磁流速計による流向流速観測とフロート追跡の結果

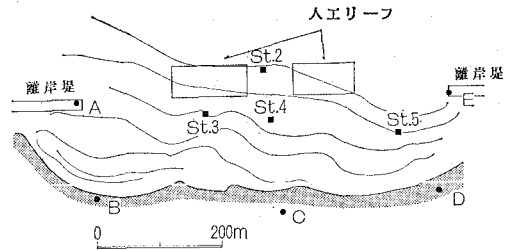


図-10 人工リーフ周辺の波峰線形

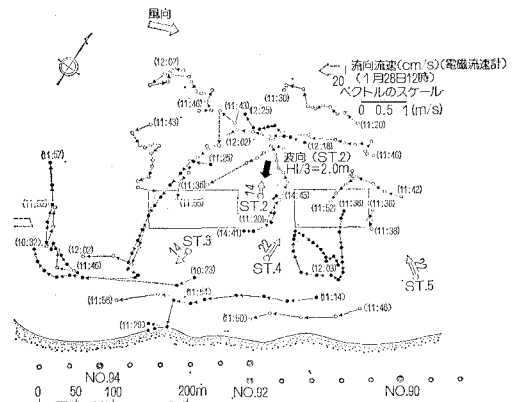


図-11 人工リーフ周辺の流況

得られた流況とを同時に図-11に示す。この時の波向は新潟海岸において高波浪時に卓越するNNWであり、有義波高はSt. 2で2m、周期が7.7秒であった。図より、①人工リーフ上では向岸流が生ずること、②人工リーフ背後では循環流が生じ、更に、③開口部での離岸流の存在が認められる。これらは水理模型実験で得られた結果¹⁾と良い一致を示す。また、沖合では西向きの流れが発達しており、これは新潟海岸で従来から確認されている卓越流向と一致する。また、汀線付近ではかなり速い流速(平均0.6m/s)を持った西向き沿岸流が著しい。これらの流れの存在は、西向きの漂砂を生じさせることになる。

(5) 汀線変化

人工リーフ背後域での汀線変化を図-12に示す。西側のリーフは長さ120mで、また東側のリーフは長さ100mで1987年9月に完成した。それとはほぼ同時期(8月)に東側の離岸堤の延長工事がなされた。そのため当区域では2種類の構造物の建設に伴う地形変化が現われた。また、東側リーフは次年の6~10月には更に100m延長され、全体の長さが200mとなった。それ故、1987年9月~1988年1月の汀線変化にはこの部分の影響も表われている。リーフ延長以前の1987年7月までの変化によると、離岸堤の延長によりその背後のトンボロが著し

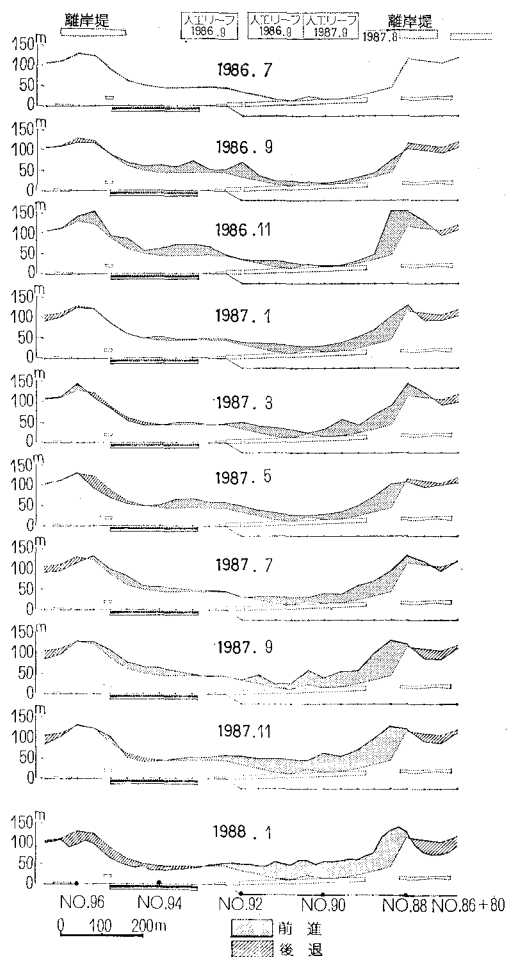


図-12 汀線形の経時変化

い発達をみた。一方、この間人工リーフ背後での汀線は緩やかに前進したのみであった。人工リーフが全長200mまで延長された後では、汀線はかなり幅広く前進した。離岸堤背後での汀線前進と比較すると、トンボロのように突出した形とならずに、沿岸方向にはほぼ一様に前進したことがわかる。人工リーフでは離岸堤ほど波浪減衰効果が高くなく、沿岸方向の波高変化が小さいこと、

また構造物背後での流況パターンが両者でかなり違うことなどが汀線変化の相違する原因と考えられる。

5. 結 論

本研究によって得られた成果を要約すると以下のようである。

- ① 新潟海岸の人工リーフはかなり高い消波効果を持つことが波高伝達率及びスペクトルの変化の面より明らかになった。
- ② 人工リーフ周辺の流況として、開口部では沖向き流れが、またリーフ上では岸向き流れが卓越した。これは水理模型実験によって得られた特性と一致する。更に汀線付近では新潟海岸の特徴と考えられる西向きの流れ(最大流速70~80 cm/s)が観測された。
- ③ 人工リーフ背後では離岸堤の背後ほどに波は静穏ではない。そのため汀線の前進量は離岸堤の場合より小さく、全体としてはなだらかな汀線となることが測量データより明らかになった。
- ④ 人工リーフ背後の汀線付近の海底は、人工リーフの設置によってステップ状となった。これは海浜利用上有効と考えられる。

謝 辞: 本報告は大阪大学 榎木 亨教授を委員長とし、東海大学 豊島 修教授ほか行政機関の代表者からなる新潟海岸海浜安定化施設(人工リーフ)検討委員会の指導、助言の下で進められた調査の結果の一部をまとめたものである。成果をまとめるに際し、これらの方々より多くの助言をいただいたことに対し深甚な謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明・小俣 篤: 人工リーフの設計の考え方, 海岸, Vol. 25, pp. 158~172, 1986.
- 2) 宇多高明・小俣 篤・横山揚久: 人工リーフ周辺に生ず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.
- 3) 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.