

糸魚川海岸における人工リーフ周辺の波, 流れ, 漂砂の現地 観測 (2) ——水位上昇とリーフ上の冲向き, 漂砂に注目して——

宇多高明*・浅香恵則**・湯田 寛***

1. ま え が き

近年, 離岸堤と同様な消波効果を持ち, 没水式の構造を有する人工リーフが注目され, 全国各地で施工が進められるようになった. その特徴は, 何にも増して汀線近くに消波ブロックの山を築くことなしに消波が可能なことにある. 新潟県にある糸魚川海岸では, 海岸線に沿って走る国道8号線がしばしば越波災害を受けたために, 海岸線に沿って大量の消波構造物が設置された. しかし, 毎年の冬期風浪により, 消波工の沈下, 散乱に悩まされてきた. そこで越波災害を抜本的意味より防止するために, 天端水深の大きい人工リーフが計画され, 実際に1986年より人工リーフの施工が始められた. また, 施工に併せて種々の現地調査が進められてきている. 筆者らは, この人工リーフの消波効果を調べるとともに周辺の流れや漂砂の調査を行い, 結果の一部を報告した (宇多ら, 1990).

現地観測によりこの人工リーフの持つ水理機能はかなり明らかになったが, 人工リーフの機能についていくつかの問題点が残されていた. 例えば, 人工リーフ岸側での平均水位の上昇や, 高波浪時においてリーフを横切る漂砂などの定量的意味からの評価は十分ではなかった. 本研究は, 前報にひき続いて糸魚川海岸の人工リーフを取り上げてこれらの問題点を現地観測により明らかにすることを目的とする. このため 1989 年 12 月 25 日より 1990 年 3 月 11 日まで現地観測を実施した.

2. 人工リーフの概要と観測方法

糸魚川海岸の人工リーフは, 前報 (宇多ら, 1990) で報告した段階では西側リーフが 1025 m, 東側リーフは 400 m であり, 両者の間の開口幅は 155 m であった (図-1 参照). その後人工リーフの延長工事が進み, 東側リーフは東

側へ 500 m 延長されるとともに開口幅が 60 m 狭められた (図-1: 斜線部). 今回の観測は, 東側リーフ周辺で実施した. 人工リーフの諸元は前報と同様であり, 天端幅が 40 m, 天端水深は T.P. -4 m である. なお, 当海岸の潮位条件としては M.S.L. が T.P. 0.27 m に, H.W.L. は T.P. 0.46 m に, また L.W.L. は T.P. 0.06 m にある.

人工リーフ周辺で実施した観測の内容は, 水圧式波高計 (2 台) による波高観測, 電磁流速計 (3 台) による流速測定, および蛍光砂調査である. 蛍光砂調査では併せて採取資料より底質粒径も調べた. 波高計は, 図-1 に示すようにリーフ中央部の沖側 (測点 1), 岸側 (測点 2) に設置した. 測点 1 はリーフの沖側ののり肩より 20 m 沖の T.P. -11.0 m に, 測点 2 はリーフの岸側ののり肩より 20 m 岸側の T.P. -6.5 m に位置した. 波高測定は 2 時間ごとに行い, 1 測定当り 16 分 52 秒または 122 波の波高周期を記録した. 3 台の流速計は図-1 の点 A, B, C に示す位置に設置した. すなわち点 A はリーフの西側端より 60 m の位置に, B は中央部に, C は東端より 60 m の位置にある. また流速計はいずれもリーフの岸側ののり肩より 20 m 岸側に配置した. 流速測定は 1 時間間隔で行い, 1 観測当り 1 s 間隔で 128 個の流向流速を記録した. なお, 3 台の流速計の設置地点の地盤高は, T.P. -6.6 m (A), -6.5 m (B), -7.5 m (C) である. 流速計は, 一辺が 2.5 m の方塊ブロックに取り付けており, 受感部の高さは海底地盤上 1.7 m である.

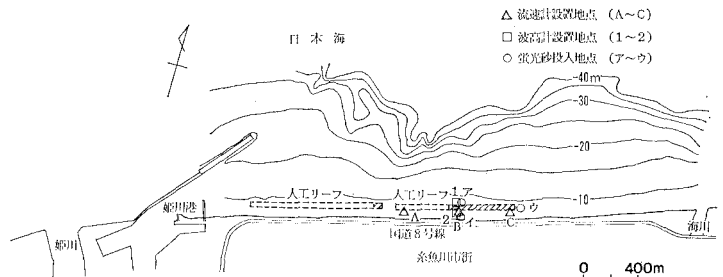


図-1 人工リーフの形状と構造物周辺での測点配置

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
** 新潟県糸魚川土木事務所治水課長
*** 新潟県糸魚川土木事務所治水主任

蛍光砂観測では、調査地点付近の海浜砂を水洗いしてシルト分を取り除き、2mmのフルイにより2mm以下の砂を1.5m³選別した。選別した砂を乾燥後、10%の配合で橙、緑、赤の蛍光砂を各0.5m³作製した。蛍光砂の投入においては途中で散乱しないように注意し、潜水夫により海底面に直接着底させた。投入点は、リーフ中央部の沖側、岸側と開口部である(図-1のア、イ、ウ)。蛍光砂の投入後、3, 12, 32日の3回、バケット式採泥器および円筒式採泥器により70地点(第1, 2回)、75地点(第3回)において底質をサンプリングした。採取資料は500gを分取し、乾燥後紫外線を照射して混入している蛍光砂数を計測した。波高計・流速計はともに1989年12月25日に設置し、3月10日まで観測を継続した。また、蛍光砂調査は1990年2月7日より3月11日の間で実施した。

3. 観測結果

3.1 入射波の特徴

観測期間中、リーフの沖側の測点で測定された有義波を調べると、周期はほぼ5~11sの間で出現しており、最多頻度は6~7sにある。一方、有義波高の最多頻度は0.5~1.0mの間にあり、観測期間中の最大値は、 $H_{1/3}=4.35$ m, $T_{1/3}=9.4$ sであった。

波の入射方向に関しては、リーフの岸側の測点2で波浪観測と同時に実施している電磁流速計による流速測定データと合わせて波高階級別の波向分布を求めると図-2となる。卓越した入射方向はNNW方向であって、そのほかの入射方向の頻度は少なく、また多少の出現頻度はあっても波高は低い。NNWは、人工リーフの法線方向(N14°W)とほぼ等しく、波はリーフにはほぼ直角に入射していたと言える。

3.2 人工リーフの波浪減衰効果

人工リーフの沖側と岸側の波高記録より人工リーフの消波効果を調べた。人工リーフの沖側、岸側での測定値を添字1, 2を付けて区別し、有義波高の場所ごとの比較を行うと図-3となる。入射波高の最大値は約4mに達するが、リーフを通過すると波高は大きく減衰し、最大値は約2mとなることがわかる。人工リーフによるこのような有義波高の減衰状況は、前報の結果と非常に良い一致を示す。一方、有義周期については、波高0.5m階級ごとに周期比を求めると、周期比は0.95~1.02の間の値となり、リーフの前後でほとんど変化がないことが分かった。

次に、人工リーフの波高低減率(H_2/H_1)を波高天端水深比(H_1/R)の関係として整理すると図-4となる。ここに、天端水深 R は潮位変動を考慮して前報と同様な方法により定めた。図の表示においては、砕波と非砕波

の区別も付けた。 H_1/R が増加し、リーフ上で砕波が生ずると波高の低下が著しくなり、 H_2/H_1 は0.5に漸近する。砕波条件のデータのみより H_1 と R の関係式を求めると、

$$H_2=0.47R \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。この関係式は前報で得られた式とはほぼ同様な関係である。このように、当海岸の人工リーフは高波浪時において高い消波効果を発揮するのが特徴である。

3.3 平均水位の変化

人工リーフを設置した場合の問題点の一つは、リーフ

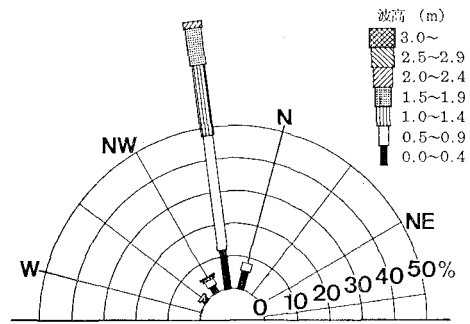


図-2 波高階級別の波向分布

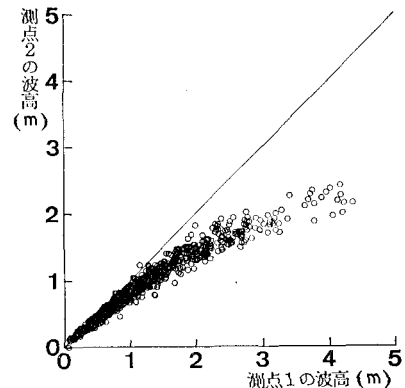


図-3 測点1, 2の有義波高の関係

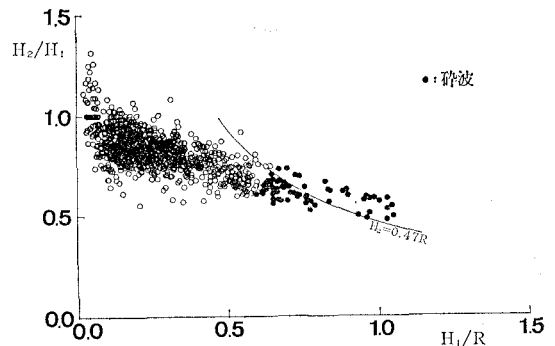


図-4 波高比 H_2/H_1 と波高天端水深比 H_1/R の関係

の岸側において平均水位が上昇し、これによって堤防・護岸からの越波量が増加する可能性があることである。当海岸で人工リーフを設置した最大の理由は、護岸からの越波を防止し、隣接する国道8号線のバイパスでの交通を確保することにある。したがって平均水位の上昇は当初より一つの問題点とされていた。しかしながら、当海岸の人工リーフは、冬期の高波浪のみを低減させれば良いことから、天端水深は約4 mと深く、このためリーフ岸側における水位上昇はそれほど高くはないと考えられた。本研究では、この問題点を観測によって確認することとした。

人工リーフの沖側、岸側での水圧式波高計のデータより、波高計センサー上の水深値を算出し、この2地点の水深の差の経時変化を水位変化と見なしてその変化を調べた。なお、測定値は0.5 s 間隔で1分間の連続測定データを処理した。例えば、1月22日～1月26日、3月7日～3月10日の波高と水深差の経時変化を図-5に示す。これらによれば、ばらつきはあるものの、高波浪時、平均水位の上昇が見られる。波高と平均水位の間には弱いながら相関が認められるので、リーフ沖側の測点1の波高と水深差の関係としてまとめると図-6となる。波高が低い場合は波高と水深差の間には有意な関係が見られないのは当然であるが、入射波高が高くなると次第に水深差が小さくなっている。静穏時の水深差は平均水位の変化を含まないと仮定してその平均値より水位上昇量を求めると、波高4 mで上昇量は約10 cmとなる。すなわち入射波高に対する比を求めると0.03となる。この値は天端水深の浅いリーフの場合(宇多ら, 1989)と比較すると非常に小さい。以上の点より、当海岸の人工リーフは天端水深が大きいので、リーフ岸側での水位上昇量は非常に小さく、越波対策上はほぼ問題とする必要がないことが確認された。

3.4 流速変化の特徴

流速測定は、リーフ背後の3点(A:西端近傍、B:中央、C:東端近傍)で行われているから、各点のデータの比較よりリーフ周辺の流れの特性を明らかにすることができる。流速階級別の流向出現頻度をまとめて図-7に示す。測点Aでは、沿岸方向の流れが卓越するが、強い流れはW~NWの方向に集中している。中央の測点Bでも、沿岸方向の弱い流れが卓越するが、強い流れはWNW~N方向に集中している。この方向はリーフを横切る方向である。リーフの東側端部に近い測点Cでも沿岸流成分が卓越しており、また強い流れはNNE~ENE方向に発生している。以上3地点の流向流速の頻度分布により、流速25 cm/s以上の流向出現頻度をまとめると

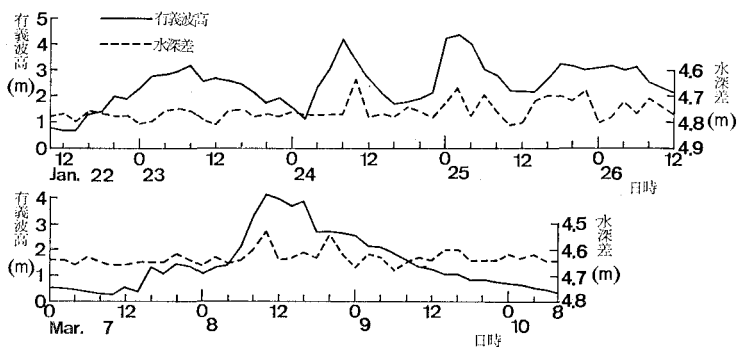


図-5 入射波高と水深差の経時変化

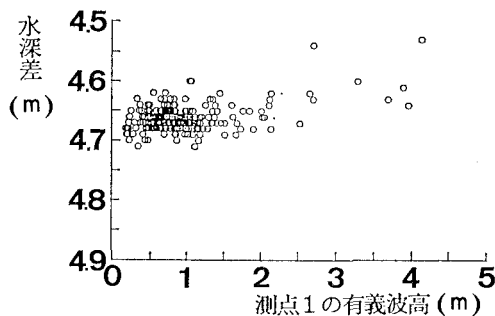


図-6 測点1の波高と水深差の相関

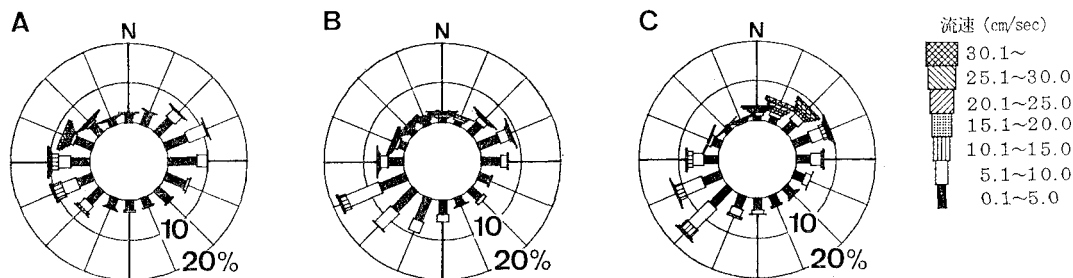


図-7 流向別流速出現頻度(測線 A, B, C)

図一8 となる。測点AとCは対照的な分布を示し、開口部方向への斜め沖向き流れが卓越している。これは前報の結果とも一致を示す。中央の点Bではリーフを斜めに横切って沖方向へと向かう流れが卓越している。すなわち、高波浪時、このリーフではリーフを横切って沖方向へと向かう流れが卓越することが明らかである。

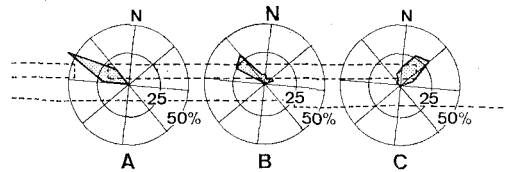
3.5 人工リーフ周辺での漂砂

人工リーフを設置したとき、その岸側域では波浪が減衰するが、それに応じて流れが生ずるから、この流れによって岸側区域の底質が沖合へ流失する危険性がある。この点に関しては波浪減衰ほどには十分に解明されていない。そこで本研究では人工リーフの岸側、沖側、開口部に蛍光砂を投入してその移動状況を調べた。蛍光砂は1990年2月7日に投入され、その後32日間追跡が行われた。この間、投入後3日までは $H_{1/3}$ は1m以下と穏やかであった。第1回目～第2回目(19日後)の間では2m以上の波が3度来襲し、その最大値は測点1の記録で2.72mであった。第2回目～第3回目(32日後)では、期間の前半は穏やかであったが、3月8日に $H_{1/3}=4.12$ mの波が来襲した。これらのことから、第1回目には静穏波での拡散が、第2回では2～3mの波が来襲した場合の拡散が、そして第3回では4m以上の高波浪が来襲した時の蛍光砂の拡散状況を調べることができる。まず、人工リーフの岸側に投入した橙色の蛍光砂の拡散状況を図一9に示す。投入後3日では波浪が静穏であったために蛍光砂は人工リーフの岸側でのみ数多く発見された。投入後12日ではかなり広い区域まで蛍光砂は拡散しているが、投入点の沖側にも蛍光砂が見出される。最終の32日後には、投入点のすぐ沖合に数多くの蛍光砂が集中的に発見された。また、沖合で広く拡散したのみではなく、東側の人工リーフの端部方向へもかなりの移動が見られる。図一9より判断される最も重要な点は、人工リーフの岸側に投入された蛍光砂が、リーフを横切って沖合へと流出したと考えられることである。すなわち、図一9より判断する限り、投入点のすぐ沖合で多数の蛍光砂が発見され、それより東西方向に発見個数が減少する点は、蛍光砂がリーフを横切って流出したことを明瞭に示している。しかも、このような蛍光砂の沖への流出は高波浪時に生ずることが分かった。

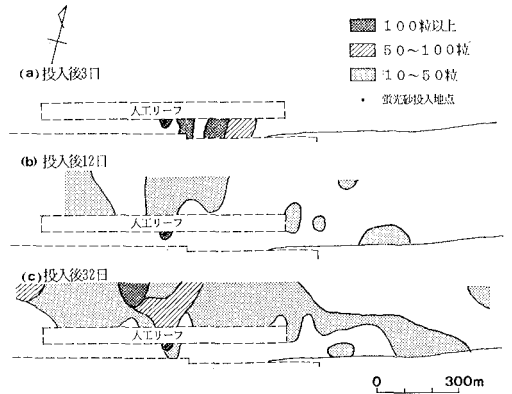
次に人工リーフの沖側に投入した緑色の蛍光砂の拡散状況を図一10に示す。投入後3日では橙色の場合と同様その広がりは大きくない。投入後12日、蛍光砂は人工リーフの沖合で東西方向に広く拡散し、一部は開口部の東側まで広がった。32日後、蛍光砂はリーフの沖合の非常に広い範囲で拡散し、また、東側の端部では高濃度域が海岸線に対し斜めに分布している。更に、図一10(b), (c)で注目すべき点は、人工リーフの沖側、岸側で

の発見個数の著しい差異である。沖合で数多くの蛍光砂が見出されたのに対し、岸側ではほとんど発見されなかった点は、高波浪時、リーフ上では沖向きの流れが発達するから、リーフ沖側の底質は岸側へと移動し得ないことが分かる。

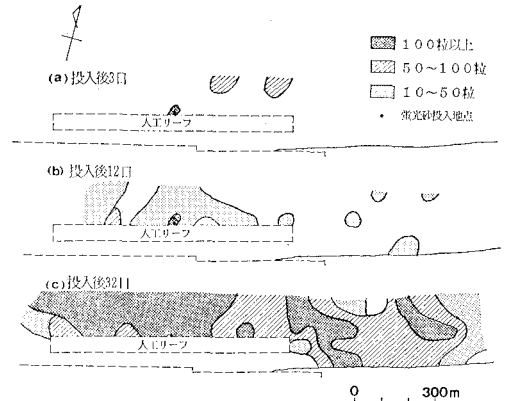
以上の点より、人工リーフ周辺の漂砂特性として、高波浪時、リーフの岸側からはリーフを横切って沖向きに底質が移動し、リーフ沖ではその底質が東西方向に広く拡散すること、また、ここでは省略したが開口部付近に投入した蛍光砂の移動状況によれば、端部付近での漂砂の移動はそれほど活発ではないことが結論される。



図一8 流速 25 cm/s 以上の流向出現頻度



図一9 人工リーフ岸側に投入された蛍光砂の広がり分布



図一10 人工リーフ沖側に投入された蛍光砂の広がり分布

3.6 人工リーフ周辺の底質中央粒径分布

人工リーフ周辺の底質粒径の分布特性を蛍光砂のサンプリング資料を利用して調べた。4 測線に沿う底質中央粒径を 図-11(a) に示す。図には採取した全資料を指触法により底質判別した結果も示した。一見して明らかに、リーフの岸側では大粒径の底質が分布し、リーフ沖の 0.16 mm 程度の粒径と顕著な相違を示す。また、開口部では岸より沖方向に中央粒径が大きく減少している。高波浪時、人工リーフの岸側からはリーフを横切って沖向きに海水が流出する。また、リーフの岸側ではリーフ上での碎波に伴い、かなり乱れた状態になっている。これらの点より、リーフの岸側では細粒の底質が安定しにくい状態になっていると推定される。図-11(b) には人工リーフが建設される前の 1984 年 9 月の底質中央粒径の分布を示した。これによると、人工リーフの建設以前には現在の人工リーフの岸側の区域においても細粒の底質が分布している。このことは、人工リーフの岸側で

はリーフの設置によって粗粒化が進んだことを示唆している。

4. 結 論

糸魚川海岸の人工リーフ周辺で行った波、流れ、漂砂の現地調査の結果得られた成果は以下のように要約される。

①人工リーフの消波効果を入射波高と透過波高の比より算定した。これによると、有義波高約 1 m 以上の波に対して消波効果が現われ、4 m の入射波高に対しては減衰率が約 0.5 となることが示された。これは前報で述べた西側リーフの消波効果とほぼ同等である。このリーフは、冬期の高波浪に対し高い消波効果を発揮する。

②人工リーフ周辺の漂砂特性として、高波浪時にはリーフ岸側からはリーフを横切って沖合に底質が移動し、リーフ沖ではその底質が東西方向に広く拡散すること、それに比較して端部付近での漂砂移動はそれほど活発ではないことが分かった。

③底質資料の分析によると、リーフ設置後にリーフの岸側では粗粒となったことが分かった。これは、リーフ岸側は乱れた状態にあり、しかも高波浪時に沖向き流れが卓越するために、細粒分が沖へ流出したことを示唆する。さらに、このことはリーフの岸側で養浜を行う場合には粗粒の底質を用いるべきことを表わしている。

参 考 文 献

- 宇多高明・森下 裏・早津誠一 (1990): 糸魚川海岸における人工リーフ周りの波、流れ、漂砂の現地観測, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 489-493.
宇多高明・小俣 篤・横山揚久 (1988): 人工リーフの機能と設計法, 土木研究所資料, 第2696号, p. 79.

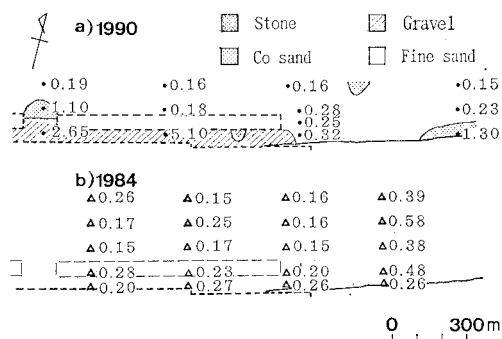


図-11 人工リーフ周辺の底質中央粒径の分布