

# 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

宇多高明\*・森下 襄\*\*・早津誠一\*\*\*

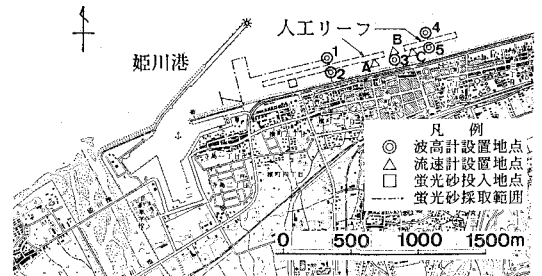
## 1. ま え が き

日本海に面した糸魚川海岸は, 新潟県の姫川港から海川の間, 約 3.7 km に広がっている. この海岸では姫川港の西防波堤の建設工事に伴い海岸侵食が顕著となり, 海岸線に沿って走る国道 8 号線がたびたび越波災害を受けるようになった(土屋ほか, 1985). このため数次にわたり消波工が設置されたが, ブロックの沈下・散乱によって十分な消波効果を確保するのが困難であった. そこで近年, 従来のように消波ブロックを海岸護岸の前面に投入する代わりに, 沖合に人工リーフを建設し, そこで冬期風浪を強制砕波させることにより消波を行う計画が検討され, 1986 年より計画は実施に移された.

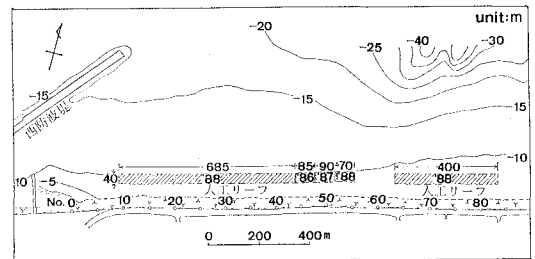
人工リーフについては, 最近現地海岸での施工例が報告されるようになった. 例えば, 浜口ほか(1988)は, 新潟海岸で人工リーフを施工するとともに, その機能性を現地観測により調べた. 新潟海岸の場合, 人工リーフの建設目的の一つには海洋性レクリエーションの利用を目的とした静穏海域の創出があり, 静穏効果を高めるために天端水深は約 2 m と浅かった. これに対して糸魚川海岸では海岸護岸からの越波を減少させることが第一の目的とされた. 一方, 新潟海岸と糸魚川海岸は海浜断面形の面でも著しい相違がある. 新潟海岸では汀線付近の海底勾配が約 1/50 と緩やかなのに対し, 糸魚川海岸では近年の侵食により急深となり, 前浜はほとんど存在せず, 消波工の沖合は 5~6 m へと急に深くなる. このような点より, 糸魚川海岸では新潟海岸と比較して天端上水深が約 4 m と深くした形式の人工リーフが選択された. このように天端上水深の大きい人工リーフが設置されたのは糸魚川海岸が我が国で最初である. そこで, 本研究では糸魚川海岸の人工リーフに関し波浪減衰効果を調べると共に, 構造物周りの流況と漂砂の実態を現地観測により明らかにし, 今後人工リーフを計画する上での参考資料を得ることとした.

## 2. 人工リーフの施工概要

最初に, 糸魚川海岸と姫川港西防波堤の位置関係を図一1に示す. 姫川の河口に隣接して延長 1100 m の西防波堤があり, その東側に糸魚川海岸がある. 糸魚川海岸の人工リーフは図一2に示すように, 1986年に工事が開始され, 同年に 85 m, 1987年に 90 m, 1988年には 1155 m が施工され, 1989年3月までの総延長は 1330 m となった. 現在, 人工リーフは姫川港寄りの延長 930 m の堤体と, 幅約 150 m の開口部を挟んで延長約 400 m の東側の堤体に分かれている. なお, 図一2には糸魚川海岸沖の等深線形(1987年3月測量)も示した. 人工リーフの開口部の沖には海底谷が迫っており, 急深となっている. 人工リーフの標準断面形は図一3に示すようである. 設置地点の水深は 8.6~9.6 m, 天端幅は 40 m であって, リーフの安定性を確保するために, リーフの沖側斜面とのり肩は 10 t の被覆ブロックにより, またそれより岸



図一1 糸魚川海岸の位置



図一2 人工リーフの施工順序と周辺の海底地形

\* 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  
 \*\*\* 正会員 新潟県河川課防災海岸係

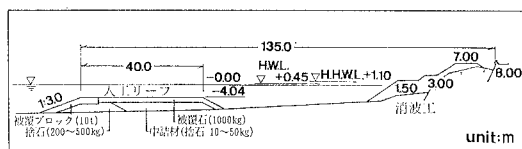


図-3 人工リーフの標準断面形

側は 1t の被覆石で覆われている。海岸護岸より人工リーフの沖側のり肩までの距離は 135 m である。なお、当海岸の平均海面は T.P. 0.27 m に、また H.W.L. は 0.46 m にある。

### 3. 波、流れ、漂砂の観測方法

3 項目より成る現地観測は、人工リーフ周りで行った (図-1 参照)。波高はリーフの沖側、岸側の各 2 点、および開口部に 1 点、合計 5 点 (St. 1~5) で測定した。St. 1, 4 の波高計はリーフ沖側の波高を測定するために、リーフの沖側のり肩より 50 m 沖合の水深 10 m, 11 m 地点に設置した。一方、St. 2, 5 の波高計はリーフの岸側のり肩より 20 m 岸側の水深それぞれ 6.3 m, 6.1 m 地点に設置した。観測期間は 1988 年 12 月 13 日~1989 年 3 月 15 日の 60 日間とした。用いた波高計は、水圧式自記録型 (MTW-II) である。観測は、毎偶数正時の 2 時間間隔とし、1 観測当り 16 分 52 秒または 122 波の波高・周期を磁気カセットテープ (CMT-90) に収録した。波形の測定時間間隔は 0.5 s である。流速は海底面上約 1.7 m に設置した 3 台の EMC を用いて測定した。観測期間は波高観測の場合と同様である。観測は、毎正時の 1 時間間隔とし、1 観測当り 1 s 間隔で 128 個の流向・流速をカセットテープに収録した。リーフ開口部周辺での流速計の設置状況を図-4 に示す。

リーフ周辺での漂砂特性を調べるに際しては、人工リーフの背後に約 0.5 m<sup>3</sup> の蛍光砂を投入し、その広がり状況を測定した。その場合、人工リーフの西側には姫川港があり、人工リーフ背後の蛍光砂は西側へと移動する可能性が大きいと考え、姫川港寄りに多数の観測点を設け

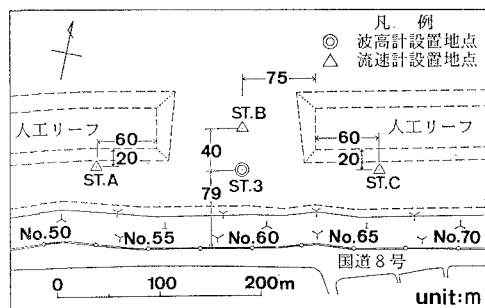


図-4 流速計の設置位置

た。蛍光砂の採取点数は最大で 49 であり、沿岸方向に 700 m, 岸沖方向に 300 m の範囲でサンプリングを行った。蛍光砂調査では、現地海岸より採取した海浜砂より、水洗いによりシルト分以下の細粒分を取り除き、また 2 mm のフルイで粒径 2 mm 以下の砂を 0.5 m<sup>3</sup> 選別した。選別した砂は乾燥させた後、10% の配合で蛍光塗料を混入し、蛍光砂を作製した。蛍光砂は人工リーフの岸側の 1 地点に投入したが、途中で拡散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。資料の採取では、バケット式採泥器を使用し、全点数 49 点より 1 回目 (投入後 3 日) と 2 回目 (投入後 17 日) は 32 点、3 回目 (投入後 32 日) は 39 点を選んで底質を採取した。

### 4. 人工リーフによる波浪減衰効果

観測時の一般的波浪条件として、観測を開始した 12 月 13 日以後、冬型気圧配置の盛衰に対応した 4~6 日前後の周期で有義波高 2 m 以上 (人工リーフ外側) の波浪が出現した。冬型気圧配置の強まった 12 月 17 日、1 月 28 日、2 月 26 日には有義波高 4 m 前後、最大波高で 6~7 m の高波浪が観測された。

人工リーフによる波浪減衰効果を調べるために、人工リーフの沖側、岸側の有義波高の関係を図-5, 6 に示す。観測データによると、有義周期の変化はほとんど見られなかった。そこで有義波高の変化のみを示した。図-5 は St. 1, 2 の関係を、また図-6 は St. 4, 5 の関係を示す。両側線ともに入射波高が高くなるにしたがい消波効果が顕著となり、入射波高が 4 m での波の透過率は 0.5 以下となる。この人工リーフは天端上水深が約 4 m と深いため、約 2 m 以下の波高に対しては消波効果は低いが、波高が高くなると消波効果が高くなる。人工リーフの消波効果は主として入射波高と天端上水深との比により支配されているから、その消波効果を詳細に理解するにはリーフへの入射波高と透過波高の比と、入射波高に対するリーフ上水深の相対比の関係を調べる必要がある。そこでこの方法によって St. 1, 2 と St. 4, 5 のデータを整理すると、図-7, 8 となる。ただし人工リーフ

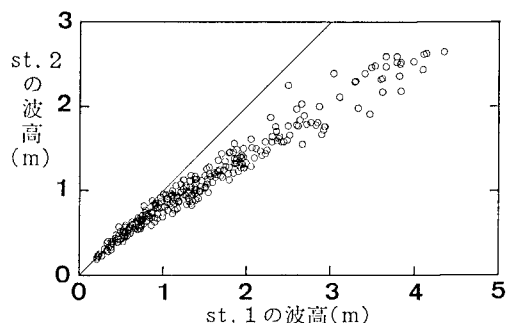


図-5 リーフの沖側 (St.1) と岸側 (St.2) の波高の関係

の天端水深の算出に際しては、St. 1 の波高観測データの平均水圧を水位に換算し、姫川港での観測潮位との比較により T.P. 基準の潮位を求めた。また、図中、黒丸印は砕波するケースである。砕波条件を満足する場合、透過波高は入射波高によらず天端上水深の約 1/2 に減少することが分かる。一方、入射波高が低い場合、透過率がかなり増大することが明らかである。

次に、図-9 にはリーフの沖側に位置する St. 4 の波高と、リーフの開口部に位置する St. 3 の波高の関係を示した。リーフ開口部では波高が増大しており、その割合は St. 4 の波高が 4 m の場合約 10 % である。このことは、離岸距離が同一位置にある St. 2, 5 の波高が約 4 m の場合、約 50 % 減少していた点と良い対照をなし

ている。このようにリーフの岸側にある St. 2, 5 の波高は砕波により著しく減少したのに対し、開口部では入射波の浅水変形や回折波の侵入のために波高がかなり高くなった。したがって、この状態では開口部の越波が増大する危険性がある。しかし、次章で述べるように開口部からは沖向きに海水が流出し、リーフ内の水位上昇を下げる効果を持っている。したがって開口部を閉じるかどうかについては今後越波状況等を注意深く観察してから判断する必要がある。ところで、同じくリーフの沖側にある St. 4 と St. 1 の波高を比較すると、St. 1 の方がわずかながら波高が高い(図-10)。これは St. 1 が姫川港の西防波堤に近いことから、回折波の影響を受け易かったためと考えられる。

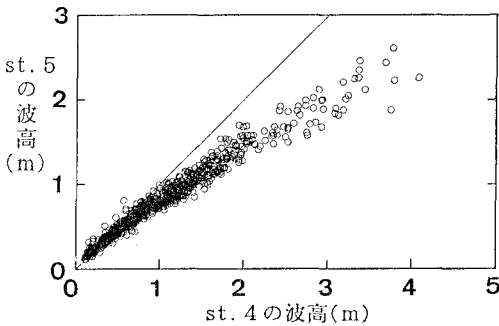


図-6 リーフの沖側 (St. 4) と岸側 (St. 5) の波高の関係

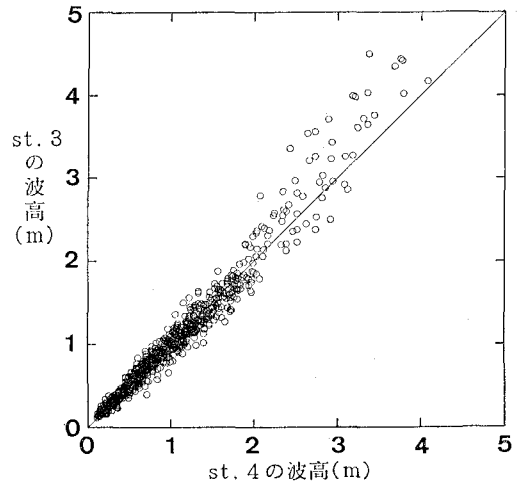


図-9 リーフの沖側 (St. 4) と開口部 (St. 3) の波高の関係

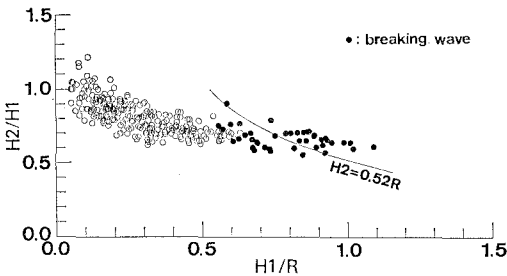


図-7 リーフの波高伝達率と波高水深比の関係 (St. 1, 2)

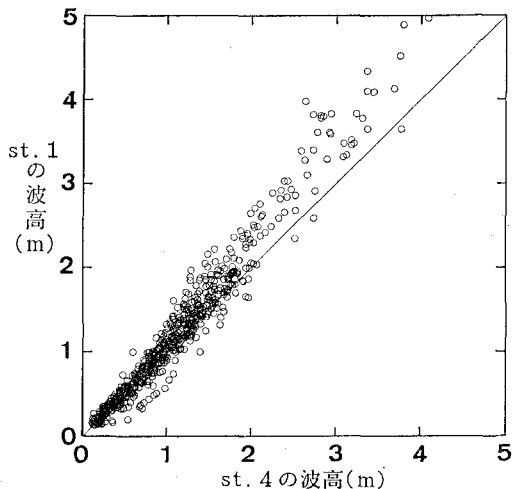


図-10 人工リーフ沖側の波高の相関 (St. 1 と St. 4)

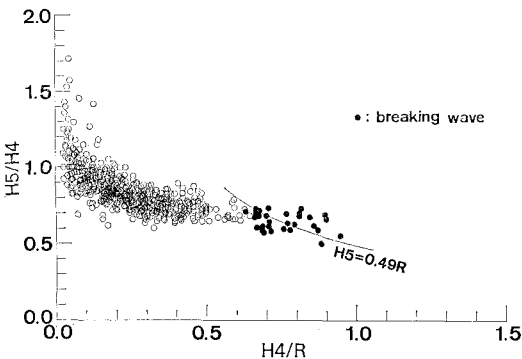


図-8 リーフの波高伝達率と波高水深比の関係 (St. 4, 5)

5. リーフ周りの流速測定

高波浪が観測された2月26日12時の流速測定値より、波の入射方向について調べた。開口部の岸側にある St. 3 のデータによると、このとき  $H_{1/3}=4.17\text{ m}$ 、 $T=10.3\text{ s}$  の波浪が観測された。St. A, B, C の流速瞬間値をもとに共分散法によって波の主方向を求めた。この結果によると、St. A では  $N24.3^\circ\text{W}$  の入射方向であるのに対し、開口部に対し対照的な位置にある St. C では  $N28.6^\circ\text{E}$  と E 方向へと傾いていた。また、それらの中央に位置する St. B では N 方向からの入射に近い  $N6.6^\circ\text{E}$  となった。

高波浪が来襲した2月26日12時のデータによると、St. A～C での波の入射方向は同一ではなかったが、この状況は他の時期にも見られた。代表的に他の3時期を選んで整理すると表-1 となる。表に示すように、各地点の波の入射方向が St. A ではやや西寄り、St. C ではやや東寄りとなる点は波高や周期によらずほぼ一定している。この原因としてリーフの沖合にある海底谷の影響が考えられる。土屋ほか (1985) は糸魚川海岸において NNW 方向からの入射波の屈折計算を行っているが、これによれば、St. A～C で見られた波向変化と同様な傾向が見い出されている。

次に、St. A, B, C の流速測定データをもとに、平均流速の流向別出現頻度を求め、図-11 示した。開口部の西側に位置する St. A では、2方向の卓越流向が見られた。最も強い流れが高頻度で見られたのは、NNE 方向である。これはリーフを斜めに横切って沖向きに流出する流れであり、St. A が開口部に近接することを考慮すると、全体として開口部方向への流れの一部に対応すると考えられる。第2の卓越流は、流速が弱いものの西方向へ向かう流れである。この流れは、姫川港西防波堤の存在によって引き起こされたと考えられる。すなわち、斜め防波堤の遮蔽域には時計回りの循環流が生ずるが、その場合、人工リーフが存在するために人工リーフと海岸線の間の水路部分で西向き流れが生じたと考えられる。開口部の St. B では全般に沖向き方向が卓越したもの、流向は一定しておらず、WNW～ENE の間でかなり大きく変動している。人工リーフの開口部に対し、St. A と対照的な位置にある St. C では、NW または WNW

表-1 St. A, B, C における波の入射方向 (度)

| 観測日時            | 地点 | ST. A   | ST. B  | ST. C   |
|-----------------|----|---------|--------|---------|
| 1989-2-17 12:00 |    | N17.43W | N6.68E | N39.35E |
| 1989-2-22 2:00  |    | N21.97W | N0.51E | N22.85E |
| 1989-2-26 12:00 |    | N24.29W | N6.58E | N28.63E |
| 1989-2-28 12:00 |    | N27.42W | N3.48E | N40.99E |

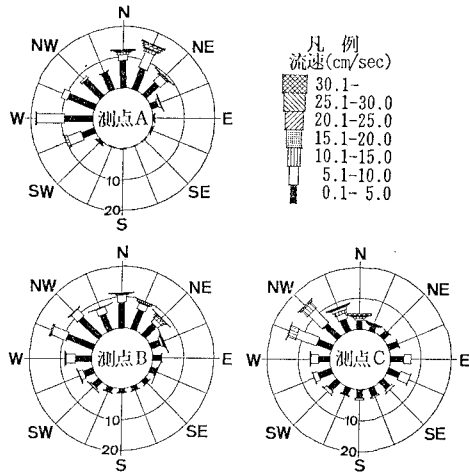


図-11 流向別流速出現頻度

方向の流れの頻度が高い。この流向は再びリーフの開口部の方向へと向いており、St. A の流向と対照的であって、共にリーフの開口部へと向いた流れが卓越することが分かる。以上に述べた開口部からの沖向き流れやリーフの背後から開口部へ向かう流れの存在は、新潟海岸での現地観測結果 (浜口ほか, 1988) や、水理模型実験の結果 (宇多ほか, 1988a) とかなり良い一致を示す。

6. 人工リーフ周りの漂砂

蛍光砂の追跡調査は投入後3回 (3, 17, 32日後) のサンプリング調査によって調べた。調査期間中の波浪条件として、St. 4 の有義波高の経時変化を図-12 に示す。観測期間中の有義波高の最大値 ( $H_{1/3}=3.77\text{ m}$ ) は、第1回目～2回目採取の間の1月28日に出現した。また、調査期間中、2.5 m 以上の高波浪が継続した期間は全体で6回あった。

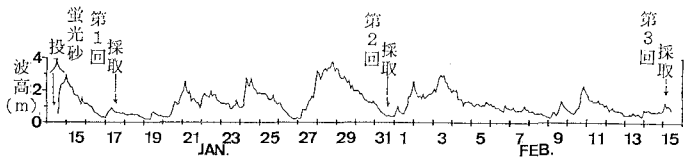


図-12 蛍光砂調査期間中の波高条件 (St. 4)

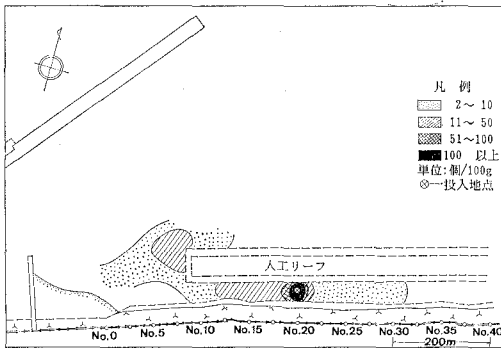


図-13 蛍光砂の平面分布 (3日後)

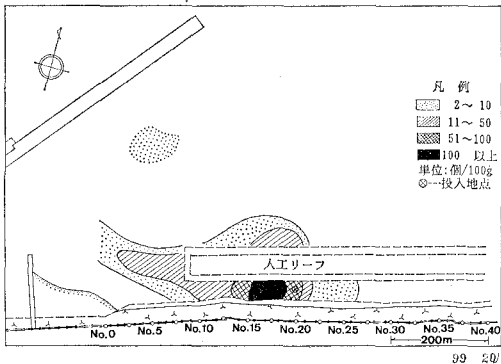


図-14 蛍光砂の平面分布 (32日後)

投入3日後の蛍光砂の分布を 図-13 に示す。蛍光砂数の分布に関しては、その広がり状況を理解し易くするために、4段階に区分した広がり分布を示した。最も多くの蛍光砂が見出されたのは人工リーフ背後の投入点であって、その周辺での東西方向の分布形は西側へ、つまり姫川港側へと著しく片寄っている。この原因は、姫川港の防波堤の存在のために、西向きの流れが生じ易く、リーフと護岸の間で西向きの沿岸流が発達したためと考えられる。一方、投入点に近接するリーフの沖側端では蛍光砂は発見されておらず、リーフの西側端部を回り込んだ蛍光砂分布となっている。

投入後32日の蛍光砂分布を 図-14 に示す。最も多くの蛍光砂の見出された地点は投入点の西50m地点であり、しかも姫川港の防波堤背後へと全体的に蛍光砂が移動している。一方、人工リーフの沖側に関しては、投入点の沖側で検出個数が多く、しかも検出個数の多い地点が同心円状に分布している。このような分布形から判断

して、人工リーフ沖側の蛍光砂はリーフ西端を迂回して到達したのではなく、リーフを横切って流出したものと考えられる。

## 7. 結 論

①糸魚川海岸に造られた天端水深4mの人工リーフは、冬期の高波浪を減衰させる上で効果的であり、有義波高4mの波に対し透過率が約0.5となることが観測データより示された。

②人工リーフの開口部では波高の増大が見られ、開口部付近の越波が増加する可能性がある。しかし、一方で開口部では③で述べるように沖向き流れが存在し、リーフ内の水位上昇を下げる効果がある。したがって開口部の処置については今後とも越波状況等をよく観察してから判断すべきと考えられる。

③人工リーフの開口部と端部近傍に設置したEMCによる観測データによると、開口部では沖向き流れが、また端部近傍では開口部方向への流れが生じていることが分かった。この観測結果は、新潟海岸での現地観測結果(浜口ほか, 1988)や水理実験データ(宇多ほか, 1988a)とも良い一致を示す。

④当海岸で人工リーフ背後に投入された蛍光砂は、リーフと護岸の間の水路を通して姫川港西防波堤の背後域へと流出した。これは防波堤背後に形成される循環流の一部に対応した流れによるものと考えられる。このような漂砂移動の存在は、人工リーフと海岸護岸の間の水路内で侵食を生じさせる可能性があるから、ブロックやリーフの捨石の安定性について今後十分注意を払う必要がある。

⑤蛍光砂調査では人工リーフの岸側に投入された蛍光砂の一部がリーフを横切って沖向きに流出した。これは暴浪時にリーフを横切って沖向き流れが生じ、それによって運ばれたためと考えられる。同様な結果は水理実験(宇多ほか, 1988b)でも得られている。

## 参 考 文 献

- 浜口達男・宇多高明・井上 力・五十嵐 晃・中山 修 (1988): 人工リーフの波浪制御効果に関する現地実験, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 128~132.
- 宇多高明・小俣 篤・横山揚久 (1988a): 人工リーフの機能と設計法, 土木研究所資料, 第2696号, 79 p.
- 宇多高明・小俣 篤・横山揚久 (1988b): 沿岸砂州を模倣した人工リーフの海浜安定化効果, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 427~431.
- 土屋義人・白井 享・山下隆男・芝野照夫 (1985): 糸魚川海岸の侵食制御に関する調査研究, (財)防災研究協会, 130 p.