

河口処理を目的とした人工リーフの波浪減衰および 閉塞防止効果の現地観測

宇多高明* ・秋本 修** ・小池康雄***
柿市勝重**** ・黒木利幸**** ・中村利行****

1. ま え が き

冬季間しばしば高波浪の作用を受ける日本海沿岸では、中小河川の河口を中心として、冬季の河口閉塞が融雪期洪水の原因となり、あるいは河口を通じて出入りする小型船の舟運上の障害となる。従来、こうした場合の対策として河口導流堤が広く用いられてきた。しかしながら、河口導流堤は沿岸漂砂の阻止機能を有するために、建設当初は導流堤の漂砂上手側への土砂堆積を促すが、そこが満杯になると土砂が導流堤先端を回り込み、これによって河口内堆砂が助長される恐れがある。同時に、導流堤が長い場合には、沿岸漂砂阻止の影響が下手側海浜に長い距離及ぶという問題点がある(宇多ら, 2000)。このことから、筆者らの一人は、河口沖に人工リーフを設置し、それにより洪水の流下阻害を起こさずに河道内への侵入波高の低減を図る手法を提案し、山口県の橋本川河口を対象として水理実験と数値計算による検討を行った(宇多ら, 1994)。また新潟県の乙大日川河口についてもその適用性について検討した(宇多ら, 1996)。この結果、乙大日川河口では、河口閉塞の防止に人工リーフが有効な手段になるとの見通しが得られた。これらを受けて、1998 年、乙大日川河口では人工リーフが建設され、その効果と周辺海岸への影響検討のために、深淺測量と波浪観測が行われた。観測結果のうち、人工リーフ周辺の地形変化についてはすでに宇多ら(2000)で報告したが、本研究では、主として人工リーフの波浪制御効果について述べる。今回の検討では、1998 年 11 月末から 1999 年 3 月初旬にかけて測得された波高・波向データを分析する。

2. 観測地の特徴と観測法

研究対象地は、図-1 に示すように新潟県北部に位置する荒川および乙大日川河口周辺地域である。乙大日川

は、一級河川荒川の南側に隣接して日本海に流入しており、乙大日川の導流堤を挟んで互いに隣接して流れている。これらの河川の河口は日本海に面しているために、冬季には NW 方向からの風浪が卓越している。また、波向と海岸線の方向から、これらの河口付近では南向きの沿岸漂砂が卓越していることが分かっている(宇多, 1997)。

河口処理としての人工リーフは河口部に設置することから、洪水の流下阻害とならないよう天端高を乙大日川河口部の計画河床高と同レベルの T.P.-2.5 m と低くした。また、河道内およびマリーナ内への進入波浪の低減を図ると同時に、周辺海岸への影響を極力小さくするよう、常時波浪には減衰効果を持たないが、冬季風浪のような荒天時波浪に対して減衰効果を発揮するよう設計した。このため、天端幅は 60 m とし、当面暫定断面として延長約 70 m の施工が行われた。設計時の潮位と波浪条件は、設計潮位(H.W.L.)が T.P.+0.75 m、設計波浪の $H_{1/3}$ が 4.3 m、 $T_{1/3}$ が 12.7 s である。人工リーフの設置位置は、図-2 に示すように既設河口導流堤(不透水性、長さ 160 m)の沖合で、30 m の開口幅を有している。堤長は 100 m である。

人工リーフによる波浪減衰効果を調べるために、図-2 に示すように、人工リーフの岸側法尻に St. 1、沖側法肩より 350 m 沖に St. 2 を設定し、これらの地点に水圧式、超音波式波高計と電磁流向流速計による同時観測が可能な、多機能型海象観測装置を設置し、波浪観測を実施し

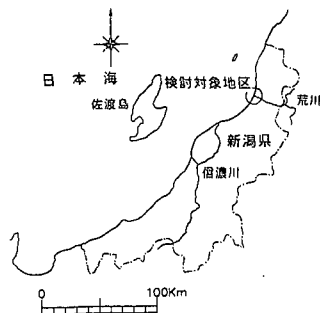
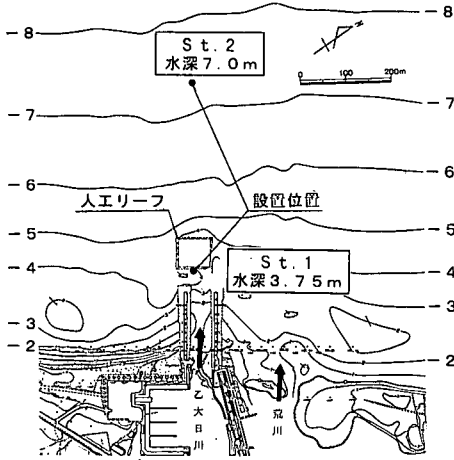


図-1 新潟県の荒川に隣接する乙大日川河口の位置図

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長
** 建設省北陸地方建設局信濃川工事事務所管理第二課長(前羽越工事事務所調査課長)
*** 建設省北陸地方建設局阿賀野川工事事務所胡桃山出張所技術係長
**** 正会員 三井共同建設コンサルタント(株)



図一 大日川河口沖の人工リーフと波高・流速観測点の配置

た、波高計の設置水深は St. 1 が T.P.-3.75 m, St. 2 が T.P.-7.0 m である。波高計は両地点とも 5 t のコンクリートブロックを設置台とし、その上に架台を設けて設置した。波浪や流れによる設置台の移動を防止するため、St. 1 では設置周辺をコンクリートブロックで抑えており、St. 2 では設置台下部を海底地盤に埋め込んでいる。観測期間は 1998 年 11 月 30 日 16 時から 1999 年 2 月 26 日 12 時までで、観測時間間隔は 2 時間、1 回の観測時間は 20 分、サンプリング間隔は 0.5 s である。

3. 観測データの処理

波高・周期については、以下に示す手順で基本処理を行った。まず、測得データの傾向と、異常値の有無を確認するため、観測波形の平均値と分散を求めた。超音波式波高計のデータは碎波等の影響による欠測や異常値を多数含んでいたため、以下では主として水圧式波高計の観測波形を用いて解析を進めることとした。

水圧式波高計による観測波形から水面波形を求めるには、周波数ごとの応答関数が必要である。このため、まず水圧式波高計データの周波数スペクトルを求めた。この周波数スペクトルに対し、微小振幅波理論による圧力変動と水面変動の関係式を用いた周波数に応じた割り増しと、長周期成分(周期 100 s 以上)の除去を行った。次に補正を行った周波数スペクトルを波形に戻し、表面波波形とした。

微小振幅波理論による圧力変動と水面変動の関係式は、 η を水面変動、 η_p を水圧変動、 k を波数($2\pi/L$)、 h を波高計設置水深、 y を波高計センサーの水深としたとき、

$$\eta/\eta_p = \cosh kh / \cosh k(h-y) \quad \cdots \cdots (1)$$

で表される。図-3 図は、 η/η_p および超音波式、水圧式波

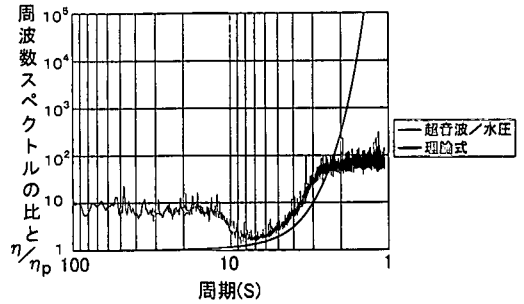


図-3 圧力式波高計による観測値の補正法

高計による周波数スペクトルの比を示す。前述のように、超音波式波高計のデータは欠測、異常値を多く含んでいるが、比較的データの乱れの少なかった St. 2 における、観測開始から 50 回目までのデータを使用した。図示するように実測値の周波数スペクトルの比と理論式は、周期 3~10 s では非常に整合がとれている。本検討の対象波浪の周期はこの範囲内であることから、水圧式波高計による観測波形から式(1)を用いて水面波形を求めた。

波向は、各地点で観測された流速データから、潮流、沿岸流の影響を取り除くため、生データから各観測回の平均流速を差し引いて変動流速を算出し、これより共分散法に基づいて卓越波向を算出した。共分散法による卓越波向の算出式は、卓越波向を θ_0 、 u 、 v を x 、 y 方向の流速成分としたとき、式(2)で表される。

$$\tan \theta_0 = 2uv / (u^2 + v^2) \quad \cdots \cdots (2)$$

4. 観測結果

(1) 有義波高・周期

表面波形について、ゼロアップクロス法により各観測回ごとの最大波、1/10 最大波、有義波、平均波高・周期を求めた。波高別の有義波の出現頻度を表-1 に示す。岸側測点の St. 1 の有義波高は 1.0 m~1.5 m が 68.0% を占めているが、1.5 m 以上の波高の出現頻度は 4.1% となっており、2.0 m を超える波高は観測されていない。沖側測点の St. 2 の有義波高は 1.0 m~1.5 m 未満が最も多く 23.7% である。また、2.0 m 以上の波高の出現頻度は 26.2% である。

図-4(a)、(b) は、St. 1、2 での有義波高・周期の比較図である。人工リーフ沖合の St. 2 の波高(H_2)が 1.25

表-1 有義波高出現頻度

地 点	波高階級 (m)	~0.5	0.5 ~1.0	1.0 ~1.5	1.5 ~2.0	2.0 ~2.5	3.0~	合計
		回数	82	213	717	43	0	1055
ST. 1	%	7.8	20.2	68.0	4.1	0.0	0.0	100.0
	回数	107	257	267	201	211	85	1128
ST. 2	%	9.5	22.8	23.7	17.8	18.7	7.5	100.0

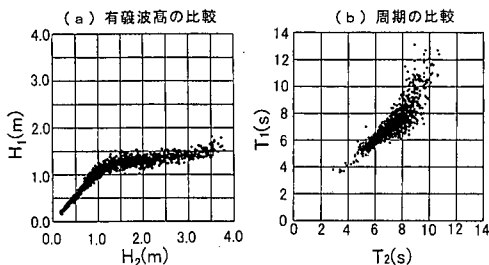


図-4 St. 1, 2における観測有義波高・周期の比較

m以下ではSt. 1, 2の波高はほぼ同じ値を示し、波浪減衰が見られない。人工リーフ上の天端水深は約2.5mであるから、天端水深の1/2以上の入射波高に対して消波効果が発揮されることが分かる。また入射波高の増大に対して、透過波高は緩やかに増大し、 $H_2=3.5$ mで透過波高が H_1 は約1.5 mと、透過率は0.43となる。よってこの人工リーフは高波浪に対しても高い波浪低減効果を発揮していることが分かる。一方、周期については8 sより短周期に対しては T_1, T_2 はほぼ同一であるが、8 sより長くなると透過波の周期 T_1 が長くなる傾向があり、 $T_1=10$ sの時 $T_1=12$ sと20%の増大が見られる。

人工リーフの波浪低減効果を調べるために、浜口ら(1988)が新潟海岸で行った人工リーフの波高伝達率の整理と同様にして、波高伝達率と人工リーフ天端水深/入射波高(St. 2波高)の関係を整理したのが図-5である。図では、St. 2における有義波周期をもとに、4階級に分けて結果を示している。人工リーフ天端水深/入射波高が2までは、波高伝達率(K)と相対水深(R/H_1)の間には式(3)が成立する。

$$K = 0.50 \cdot R/H \quad (3)$$

相対水深が2以上になると波高伝達率は0.5より増大し、0.76~1.32の値を示す。しかしほとんどのデータは0.9から1.3の間でばらついており、また、周期への依存性は見られない。 R/H_2 が大きい場合には人工リーフが浅海浅瀬となって屈折変形が著しく、かつ碎波が起らないことによって上述のような波高伝達率の増大が得られ

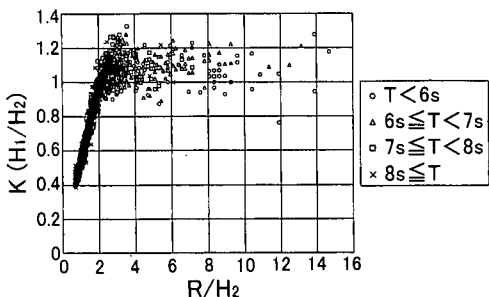


図-5 人工リーフの波高伝達率と相対天端水深の関係

と考えられる。式(3)によれば、この人工リーフは、相対水深が2以下の場合、周期に依存することなしに波高低減率が約0.50で与えられることが分かる。

(2) 周波数特性

人工リーフの沖側・岸側での波浪の周波数特性の変化を調べるために、代表的なケースを選んでスペクトルの比較を行った。

a) 1999年2月2日22時(図-6)：St. 1, 2の有義波高がそれぞれ1.49 m, 1.53 mと、ほぼ同じ値を示す場合であって、図-4(a)に示すSt. 1, 2の有義波高がほぼ1対1で対応している部分の中で、波高が最も高い場合である。実線で示すSt. 2は0.12~0.15 Hz(周期8~7 s)でピークを示すが、高周波・低周波数側にエネルギー密度が大きく低下している。これに対し、St. 1はピーク値が下がり、逆に高周波・低周波数側でのエネルギー密度の増大が見られる。

b) 1998年12月10日8時(図-7)：St. 1の有義波高が1.3 m, St. 2が2.0 mと、St. 2の波高に対するSt. 1の波高比が0.75と小さくなった場合である。St. 2は0.12~0.15 Hz(周期8~7 s)でピークを示している。St. 1では0.1~0.2 Hzでエネルギー密度が低下したものの、図-6の場合と異なり、これより高周波・低周波数側でのエネルギーの低下は小さい。

c) 1999年1月10日20時(図-8)：St. 1, 2の有義波高が1.81 m, 3.52 mと、St. 1の有義波高が最大値を示

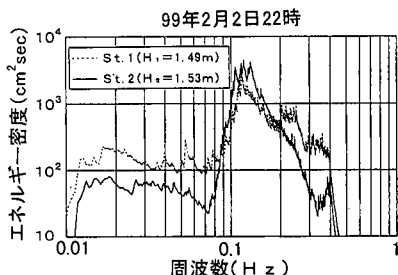


図-6 波浪のエネルギースペクトルの比較 (1999年2月2日22時)

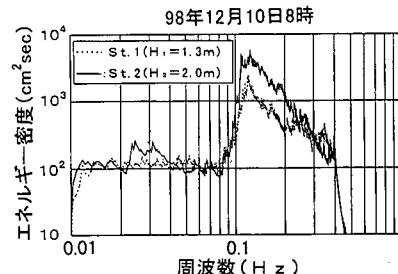


図-7 波浪のエネルギースペクトルの比較 (1998年12月10日8時)

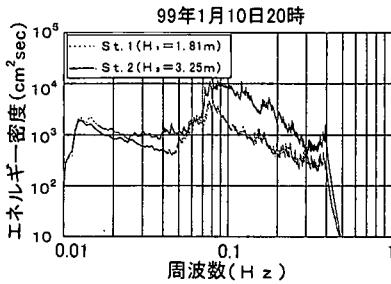


図-8 波浪のエネルギースペクトルの比較
(1999年1月10日20時)

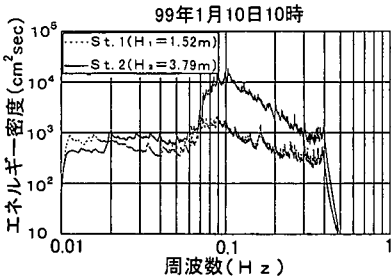


図-9 波浪のエネルギースペクトルの比較
(1999年1月10日10時)

した場合である。図-6, 7と比較して、エネルギー密度のピークは長周期側の0.075 Hz~0.1 Hzにある。人工リーフ通過後は、0.07~0.4 Hzの広い範囲でエネルギー密度の低下が見られ、図-6のように高周波・低周波数側でのエネルギー密度の増大はなく、ほぼ一様な低下である。

d) 1999年1月10日10時(図-9): 観測期間中で、St. 2が最大の有義波高を示した観測回である。St. 1, 2の有義波高は1.52 m, 3.79 mである。スペクトル形状は図-8の場合とよく似ている。St. 2は0.085~0.12 Hz付近でピークを有していたが、この場合も広い周波数帯でエネルギー密度の低下が見られる。

結局、この人工リーフは高波浪時において広い周波数帯で波浪のエネルギーレベルを低下させることが分かる。

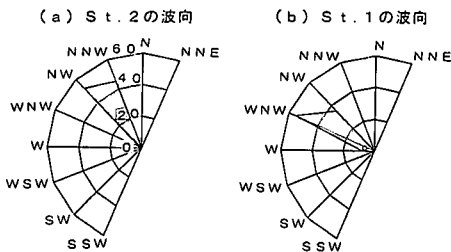


図-10 地点1, 2における波向観測結果

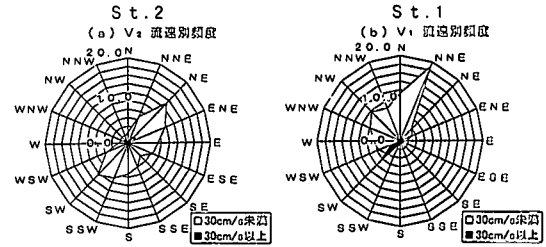


図-11 V_1 , V_2 の流速別頻度分布

(3) 波向特性

図-10には波向分布を示す。St. 2ではNWが最多頻度であり、53%を占め、NNWが45%とそれに続いている。これに対して、St. 1では、人工リーフとほぼ直角方向のWNW方向が最も多く約55%を占め、NWが35%でそれに続いている。勾配約1/100の海底地形と人工リーフによって波の屈折が起こり、約22.5°反時計回りの方向に波の入射方向が変化したと考えられる。

(4) 流速特性

各地点で観測された流速データの平均値を平均流成分とし、各観測回ごとに流向を整理した。流速頻度分布は、 V_1 , V_2 ともに、流速30 cm/s未満と以上の場合を区別して作成した。図-11には、平均流向の頻度分布を示す。St. 2では、共に沿岸方向成分である、NEが16%と最も多く、SWが12%となっている。30 cm/s以上の流速については、NE方向にわずかな卓越が見られるが、全体に流れは弱い。人工リーフ岸側のSt. 1では、NNEが20%で最多であり、そのほかの流向出現頻度は小さいが、30 cm/s以上の流速についてはSW方向に卓越した流れが発生している。これはこの地域で卓越している南下する方向の沿岸流の流向と一致する。

(5) 人工リーフ周辺の地形変化

人工リーフ周辺の地形変化の一部については宇多ら(2000)でも報告したが、図-12(a), (b), (c)には、改めて人工リーフ周辺の海浜地形を示す。特に人工リーフ周辺について注目する。(a)は1998年11月30日、(b)は1999年1月25日、(c)は2月26日の深浅図であり、冬季風浪前後の海底地形を表している。導流堤沖に設置された人工リーフの幅は60 m、長さは70 m、天端高はT.P.-2.5 mである。

図-12(a)において、人工リーフ両側の等深線形状に着目すると、-3 mの等深線は北側から人工リーフになだらかに接続した後、人工リーフの南側では急激に岸に接近し、深みが岸近くまで広がっている。人工リーフを挟んだ等深線形状の非対称性が明瞭に現れている。このことは全体としてこの地点では、南向きの沿岸漂砂が卓越し、この沿岸漂砂が人工リーフによって一部阻止され

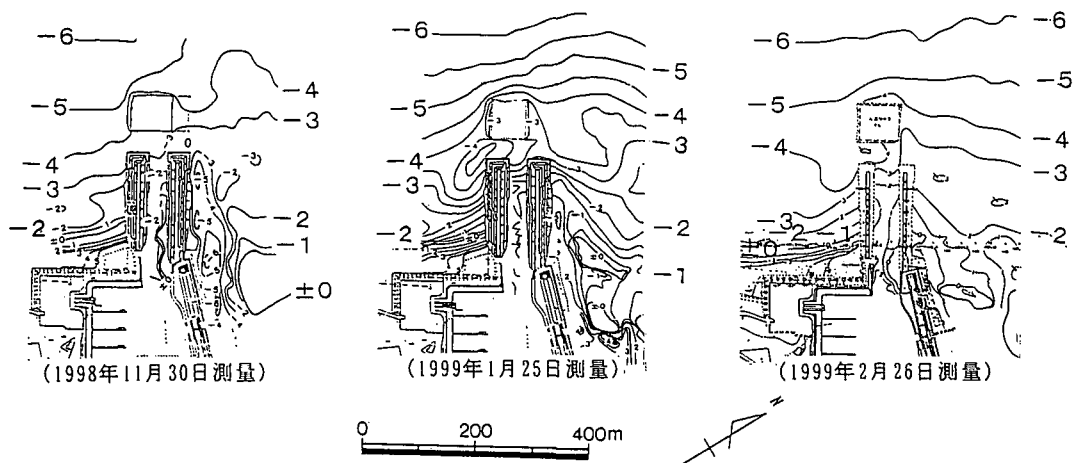


図-12 人工リーフ周辺の海底地形変化 (a): 1998年11月30日, (b): 1999年1月25日, (c): 2月26日

ているためこのような等深線形状になったと考えられる。また乙大日川の導流堤は、隣接の荒川の河口導流堤も兼ねているが、右岸導流堤に沿っては荒川の流路が形成され、-5mに達する深掘れが形成されている。

図-12(a)に示した1998年11月30日では、乙大日川の河口導流堤の右岸側には-5mの深みがあったのに対し、図-12(b)に示す1999年1月25日では、そこに浅瀬が形成された。人工リーフの北側では沿岸流の一部が斜め沖向き流れとなって流出した際形成されたと考えられる深みが、人工リーフの北側区域において斜め沖向きに発達している。人工リーフの南端部では、斜め岸向きに-4.5mに至る深みが形成された。図-12(c)に示す1999年2月26日の深浅図では、人工リーフの影響により、河口砂州の先端部が消失し、人工リーフおよび導流堤の右岸側の堆積傾向が著しくなった。また1998年2月時点で見られた導流堤右岸側の-3、-4m、-5mと続く深みが消え、水深が浅くなってきている。さらに人工リーフを挟んで-4mの等深線が北側では突出し、南側では局所的に大きく凹んでいることも特徴である。

一連の深浅図で特徴的な点は、冬季風浪が最も発達すると考えられる1月25日の観測では、人工リーフを挟んだ南北の地形に著しい非対称性が見られることであり、その場合、とくに人工リーフの南端に深掘れがあって、それが人工リーフと導流堤の間の隙間にも入り込んでいることである。この点は、数値計算に基づいた予測パターン(宇多ら, 1996)と同じ結果である。

この人工リーフは上述のように高波浪時に高い消波効果を発揮している。このため、冬季風浪による河口導流堤内への土砂のうちこみを防止し、図-12(c)に示すよ

うに、水路の維持に役立っている。また図-12(b), (c)に示すように、人工リーフの岸側では、南西端から深みが延びているが、このような深みの発達には、図-11(b)に示した南西方向の強い沿岸流の発達によって引き起こされたと考えられる。

5. あとがき

本研究では、1998年に乙大日川河口に建設された人工リーフの効果と周辺海岸への影響検討を行った。これにより、この人工リーフは、高波浪時の波浪低減率が約0.5であることが実証され、また人工リーフと導流堤の間に溝を形成させる意味で効果を発揮することが分かった。しかしながら、建設後まだ間もないことから、冬季風浪時における河口内の堆砂防止効果についてはもう少し長期間にわたって追跡調査を行うことが望まれる。

参考文献

- 宇多高明・高橋 晃・水魔嘉幸・高木利光 (1994): 人工リーフを用いた河口処理工の検討, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 506-510.
- 宇多高明・秋本 修・小池康雄・柿市勝重・黒木利幸・中村利行 (2000): 河口導流堤および河口内堆砂の軽減を目的とした人工リーフの建設に伴う河口周辺海岸の海浜変形, 水工学論文集, 第44巻, pp. 933-938.
- 宇多高明・皆本重雄・五十嵐新治・柿市勝重・大森慎二郎 (1996): 人工リーフを用いた河口処理工の検討—乙大日川の河口を例として—, 海洋開発論文集, Vol. 12, pp. 439-443.
- 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 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, p. 442.