

離岸堤周りの海浜流と漂砂の現地観測

梶 太郎*・宇多高明**・陶山幸夫***・中村正敏***

1. ま え が き

皆生海岸では海岸侵食を防止するために、昭和46年より離岸堤が建設され、昭和57年までに12基の設置が終った。離岸堤の建設後、いずれの離岸堤においてもトンボロは大きく発達し、最近ではそれらのトンボロは安定状態にある。これらの離岸堤より岸側には著しい堆砂が見られるが、沖合部においては大規模な堆積と侵食が生じている。後者の点については筆者らは前報¹⁾で検討し、その海浜変形の実態を明らかにした。しかし前者に関して、離岸堤周りの流れと漂砂を現地海岸で詳しく調べ、それに基づいて離岸堤周辺の地形変化機構を実証的に明らかにしようとする試みは不足している。

本研究の目的は、離岸堤周辺の波、流れ、漂砂を現地観測によって明らかにし、地形変化の機構について考察することにある。このため皆生海岸で最初に建設された第1,2号離岸堤を選び、その周辺で流れと漂砂の観測を行った。この結果、離岸堤より岸側域の底質は高波浪時に開口部より沖向きに流出するが、静穏時には開口部の漂砂方向は岸向きとなることが流速と蛍光砂による漂砂観測データより定量的意味から明らかになった。また離岸堤前面では堤体を斜めに横切る流れが常時発達していることもわかった。このように離岸堤周辺では漂砂移動がかなり活発であるが、トンボロ面積を指標として約14年間の変化を調べると、トンボロは長期間緩い速度で成長していることがわかった。結局、波浪条件に応じて離岸堤周辺では漂砂の方向と量が変化するが、それらがほぼ均衡を保ちつつ次第に堆砂が生じている。

2. 観 測 方 法

海浜流と蛍光砂による漂砂観測は、皆生海岸の1,2号離岸堤の周辺海岸で行った(図-1)。まず海浜流観測はその経時変化を明らかにすることを目的としたものであって、図-1に示す st. A, B, C の3地点に2成分型のEMCを設置し、流速の経時変化を測定した。測定地点

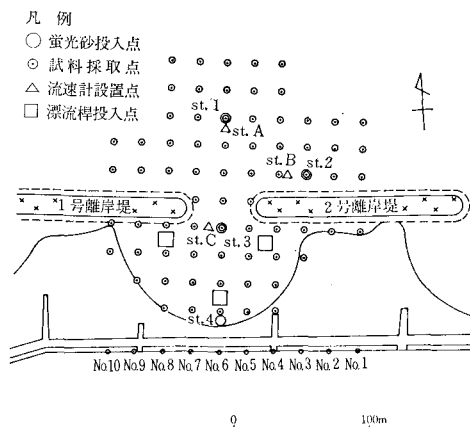


図-1 離岸堤周辺の観測点の配置

の水深は st. A が 5.2m, st. B が 3.4m, st. C が 2.6m である。測定は60年の3月4日より3月18日までの連続測定である。EMCは海底面上1mの位置にセットした。流速は、st. A では毎正時に1秒間隔で1024データ収録した。st. B, C では10分毎に1秒間隔で128データを収録した。

蛍光砂による漂砂観測の方法は次のようである。まず現地海岸の砂を採取し、乾燥後黄橙、青、赤、緑色に着色し、各500kgの蛍光砂を作製した。蛍光砂の投入は、海浜流観測の開始日と同日の3月4日に行った。投入地点は4地点とした。それらの位置と水深はまとめて表-1に示す。投入方法は、st. 1よりst. 3においては作業船により運搬し、投入点にブイを設置した後、船上より投入した蛍光砂の土のう袋を海底においてダイバーが開袋した。st. 4については、陸上よりダイバーが運び、投入点において開袋した。

試料採取は蛍光砂投入後の1, 3, 7, 8, 14日の5回

表-1 蛍光砂の投入位置と水深

投入点	蛍光砂	水深	備 考
st. 1	黄橙	6.5 m	離岸堤開口部沖合
st. 2	青	3.5 m	2号離岸堤前面
st. 3	赤	2.5 m	離岸堤開口部岸側
st. 4	緑	0.5 m	離岸堤開口部汀線

* 正会員 建設省中国地方建設局倉吉工事事務所長
 ** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 *** 正会員 建設省中国地方建設局倉吉工事事務所

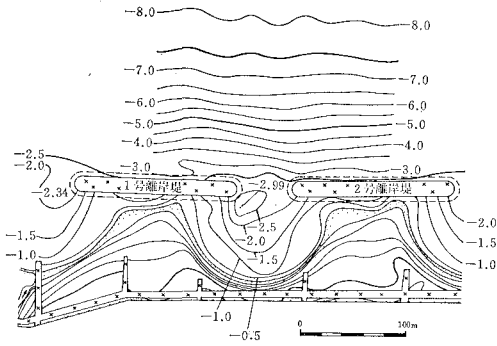


図-2 離岸堤周辺の海底地形 (昭和60年3月5日測量, T.P. 基準)

行った。採取は、離岸堤沖側では誘導点と船上より誘導一角法により採取地点を決定し、ダイバーがコドラート (20×20×5 cm, アルミ製) を海底に差し込み、コドラート内の底質を採取した。離岸堤岸側ではダイバーを誘導点と補点により誘導し、同様にコドラートを用いて採取した。蛍光砂のサンプリング箇所は 20m 間隔で格子状に組んだ合計 70 地点である (図-1 参照)。

蛍光砂と流れの観測中の波浪条件は、日吉津観測所の超音波式波高計により調べた。また波向については、皆生海岸において1週間に1回、アリダードによる観測が継続されている。観測時の離岸堤周辺の深浅図を 図-2 に示す。離岸堤背後には大きなトンボロが発達しており、開口部の等深線はほぼ同心円状になっている。また開口部は T.P. -3m と周りよりかなり深い。離岸堤沖の等深線は海岸線とほぼ平行に走っており、水深 3m から 6.5m の間は約 1/20 勾配である。さらに 図-2 では省略したが、沖合部、例えば水深 8m から 9m の間の海底勾配は約 1/190 と大変緩やかである。

3. 海浜流の観測結果

3 地点 (st. A, B, C) で 1 秒間隔で測定された 2 成分の流速については、1 時間平均流速を求め図示した (図-3)。すなわちサンプリング間隔 1 秒は、有義波周期約 6~8 秒に対して充分細かくはないので、短周期成分は落とし、長周期成分についてのみ注目した。st. B, C については 10 分間ごとに観測しているため毎正時をはさんで 5 個のデータより 1 時間平均流速を求めた。流速値は各地点とも岸沖成分 (V_0) と沿岸成分 (V_L) を別々に図示する。 V_0 は沖向き、 V_L は東流を正とする。また 図-3 には日吉津観測所で測定された有義波高と周期を示す。

最下段に示された有義波高の変化によると、観測期間中 3 時期に比較的高波浪が現れている。すなわち 3 月 5 日~6 日、9 日~12 日および 15 日~16 日である。これらの波浪条件に対応して流速成分にも著しい変化が生じ

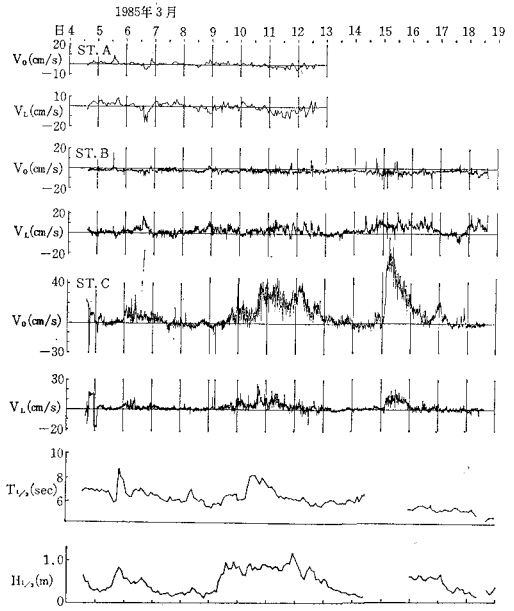


図-3 有義波高・周期と st. A, B, C の流速の経時変化 (V_0 は岸沖成分, V_L は沿岸成分流速)

た。とくに開口部と 2 号離岸堤の前面に位置する st. C, B で顕著な流速値が測定された。st. A では水深が 5.2 m と大きいので流速変化の絶対値はずっと小さい。各地点の流速変化を調べると、まず st. A の V_0 は小さな変動のみであり、特徴ある変化は見られない。 V_L は高波浪時負値が出現し、西流が卓越している。皆生海岸では毎週 1 回アリダードによる波向観測が行われているが、図-3 に示す観測期間中およびその前後の波向は 2 月 27 日が ENE, 3 月 6 日が NE, 3 月 13 日が NE, および 3 月 29 日が NNE とほぼ NE 方向が卓越していた。波向の測定間隔はかなり長い、4 回の観測ともほぼ NE となったことから判断して、その間も NE 方向の波向となり易かったと考えられる。この場合、波の入射方向は海岸線の法線に対して時計回りの方向からの入射となり、西向きの沿岸流を生じさせる。st. A の V_L はこの沿岸流の特徴を表わしていると考えられる。次に、2 号離岸堤前面 st. B の流速を調べる。 V_0 は全体として負値がほとんどである。この流向は離岸堤を横切る方向である。また V_L は V_0 と対称的にはほぼ正値を有する。結局、離岸堤前面では離岸堤を斜めに横切って岸方向へ向かう流れがほぼ常時生じていることがわかる。開口部に位置する st. C では絶対値の最も大きい流速が測定された。高波浪時 V_L と V_0 は大きな正値を持つ。これは開口部において NE 方向の強い離岸流が生ずることを表わす。この流れは波の入射方向と正反対の向きであって、開口部から斜めに流出するものである。さらに V_0 に注目すると、波浪が静穏なとき例えば 3 月 7 日~3 月 9 日、3 月 13 日~3 月 14 日の間が負値となる。これは開

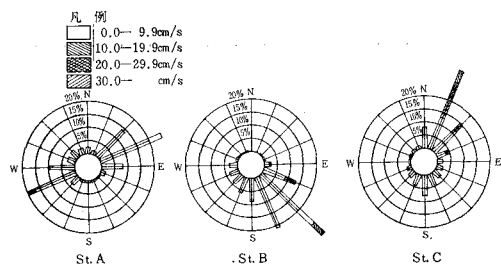


図-4 流向別流速出現率

口部流速が静穏時に逆転することを意味している。このように、開口部では波浪条件に応じて流向が逆転し、高波浪時は沖向きに、静穏時には岸向き流速となることがわかる。

次に流速の測定値より、各地点ごとに流向別の流速出現率を求めた(図-4)。離岸堤の開口部沖の st. A では ENE-WSW の流向の出現率が高い。これは離岸堤の平面図(図-1)によると、海岸線と平行な方向よりやや反時計回りに傾いている。また流速は WSW 方向に強い流速が現われている。2号離岸堤前面に位置する st. B では st. A とまったく特徴が異なる。流向は SE 方向が大きく卓越している。この流れの存在は、離岸堤を横切って背後へ向かう漂砂(岸向き漂砂)を生じさせる可能性がある。離岸堤の開口部に位置する st. C では、開口部を斜め沖向きに流れる NNE 方向の離岸流が非常に卓越し、しかも他の2点と比較すると流速値も大きい。

4. 螢光砂観測の結果

st. 1~st. 4 の4地点に投入された螢光砂の拡がり状況を各地点ごとに調べる。計測された螢光砂数は1kgあたりの数量で表示する。最初に沖合の st. 1 に投入された螢光砂の投入後14日、3月18日の分布を図-5に示す。投入点の水深が6.5m と他の位置と比較してずっと深いため、螢光砂の拡散は後述する他のケースと比較して緩やかである。ほとんど同心円状に拡散している

Y: 黄橙色螢光砂投入点

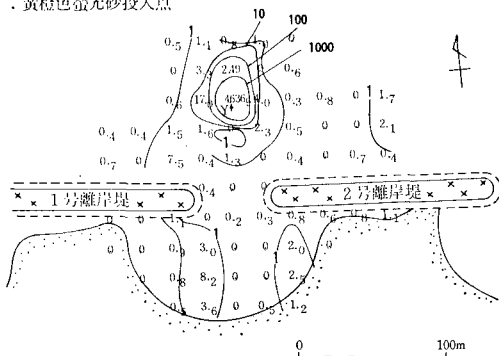


図-5 螢光砂の拡散 (st. 1, 黄橙色, 投入14日後)

B: 青色螢光砂投入点

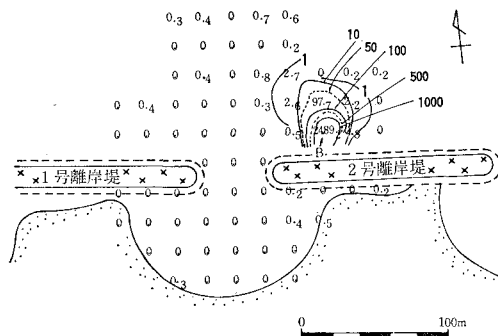


図-6 螢光砂の拡散 (st. 2, 青色, 投入8日後)

が、全体的にはわずかに西向きにより多く拡がっている。これは、前節で述べた st. A の西向き流速が東向き流速よりやや強いことと一致する。また、螢光砂は投入点付近に多く残されているが、離岸堤背後部分にもわずかな個数は見出されており、14日間のうち沖合の水深6.5m 地点の螢光砂の一部が確かに離岸堤背後へ運ばれたことがわかる。

次に2号離岸堤の沖, st. 2 に投入された青色の螢光砂の拡がり状況を調べる。投入後8日、3月12日の螢光砂分布を図-6に示す。螢光砂の拡散範囲はそれほど広くなく、ほぼ離岸堤前面に限られている。ただしわずかなではあるが離岸堤の背後でも螢光砂が見出されている。この時、開口部には螢光砂がまったく見られないことに注意する必要がある。st. 2 に隣接する st. B の流向流速出現率によると、SE 方向の流れが卓越する。この流れの方向は離岸堤を横切って岸側に向いている。したがって図-6において離岸堤背後で見出された螢光砂は離岸堤を横切って運ばれた可能性がある。さらに投入後14日、3月18日の螢光砂分布を図-7に示す。投入地点では非常に多くの螢光砂が見出されている。離岸堤の背後では開口部より岸方向に等濃度線が連続的に伸びている。このような連続的分布が得られたことから判断する

B: 青色螢光砂投入点

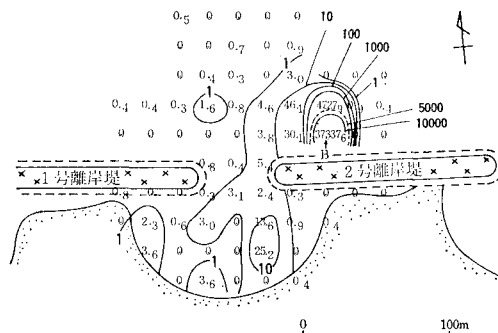


図-7 螢光砂の拡散 (st. 2, 青色, 投入14日後)

R : 赤色蛍光砂投入点

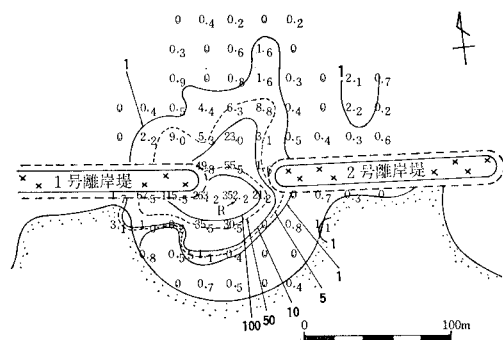


図-8 蛍光砂の拡散 (st. 3, 赤色, 投入8日後)

と、蛍光砂の一部は開口部を経由して岸向きに流れたと考えられる。

同様に st. 3 に投入された赤色の蛍光砂について調べる。離岸堤の開口部に3月4日投入された蛍光砂の投入8日後の3月12日の分布を 図-8 に示す。離岸堤の背後では西側に位置する1号離岸堤の背後で数多くの蛍光砂が見出されている。この間の主な入射方向は既に述べたようにほぼNE方向である。この条件のもとでは離岸堤背後部での漂砂の方向はやや西向きとなる。事実、別途行ったフロート観測によると西側離岸堤背後の方が東側より著しい循環流セルが発達した。1号堤背後で蛍光砂の発見個数が多いことはこのことより説明できる。また、開口部より沖では中心線より東側の方が高濃度となっている。これは 図-3 に示した離岸堤の開口部の st. C の流速、または 図-4 の流向別流速出現率から期待される漂砂の方向と同一である。すなわち離岸堤の開口部ではやや東向きに離岸流が生じ、それによって底質が運ばれることがわかる。

投入後14日の3月18日の蛍光砂分布を 図-9 に示す。離岸堤背後では蛍光砂はさらに拡がったが、高濃度はやはり西側離岸堤背後で見られる。東西の離岸堤背後での蛍光砂数の非対称性は明らかである。沖合に流出した蛍光砂は広く拡散したが、1号離岸堤の沖側で高い濃

R : 赤色蛍光砂投入点

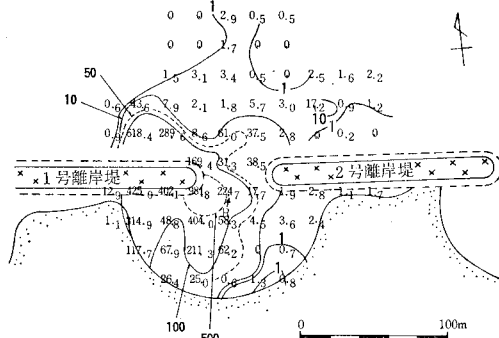


図-9 蛍光砂の拡散 (st. 3, 赤色, 投入14日後)

度になっている。これは開口部より流出した蛍光砂が西向きの漂砂によって運ばれたものと考えられる。

ところで、図-8 に示した蛍光砂分布では開口部において沖向き漂砂が卓越していたが、図-7 ではむしろ岸向き漂砂が卓越し、両者は互いに逆の傾向を示す。この理由は次のように考えられる。図-8 は3月12日の測定値を示すが、このときの波浪条件は相対的に高い波が約4日間続いたあとであり、このとき沖向き流れが生じ、それによって大量の蛍光砂が開口部から沖へ流出する。その後波浪条件は3月18日まで静穏な条件となったが、この場合開口部に位置する st. C の岸沖成分は負、つまり岸向き流速に逆転している。この流れのもとでは離岸堤の開口部の蛍光砂は少しずつ岸向きに移動する。これらの理由より 図-7 (3月18日観測) に示す蛍光砂分布が得られたものと考えられる。

最後に汀線近傍に投入した緑色の蛍光砂の投入14日、3月18日の蛍光砂分布を 図-10 に示す。最大値は投入点の沖約30mで出現し、また開口部を通して斜め西側へも拡がりを見せている。東西の離岸堤の背後の分布の比較を行うと、再び西側離岸堤背後では数多くの蛍光砂が見出されるのに対し、東側離岸堤の背後ではほとんど見られない。この特徴は 図-8, 9 で見られたのと同様であって、波が時計回りの方向から入射するため漂砂の方向が開口部中心線に対して左右非対称となったためと考えられる。また東側離岸堤背後において蛍光砂数に極端な違いがあるもう一つの原因として、離岸堤を横切る岸向き流れが存在し、それが蛍光砂を堤の背後へ運ぼうとする循環流と向きが逆になるため蛍光砂が運ばれにくかったためと考えられる。

離岸堤周辺では蛍光砂の移動状況より明らかなように、波浪条件に応じて底質は離岸堤背後部から沖向きに流出し、また岸向きに移動する。その変化はかなり激しい。このような漂砂はいわば短期的変動であるが、より長期的にみて離岸堤背後の地形がどのように変化しているかを知っておくことも重要である。そこで2つの離岸

G : 緑色蛍光砂投入点

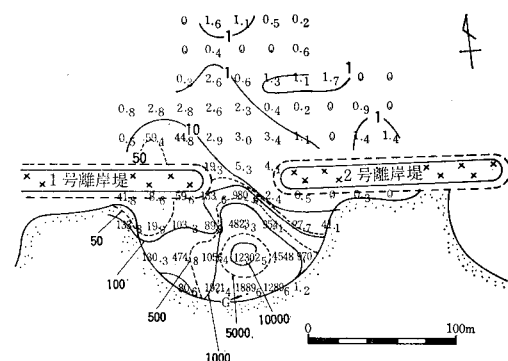


図-10 蛍光砂の拡散 (st. 4, 緑色, 投入14日後)

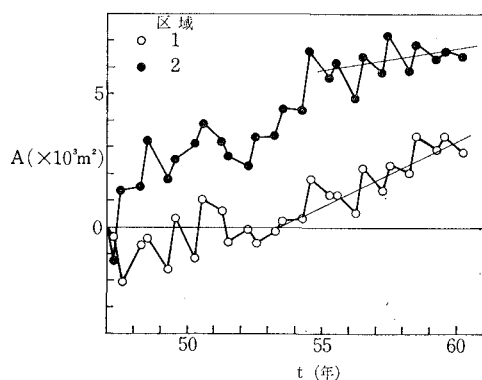


図-11 トンボロ面積の長期的変化

堤背後の T.P. 0m と護岸線および開口部中心線で囲まれる部分の面積を求めた。さらに 47 年 3 月時点を基準としてそれからの変化量を算出し、図-11 に示した。ここに区域 1, 2 は離岸堤 1, 2 号背後のトンボロ面積であり、測量は各年の 3 月と 6 月に行われている。また 1, 2 号離岸堤は各々 46 年 9 月, 47 年 8 月に完成している。

1 号離岸堤背後のトンボロ面積は離岸堤設置後一時的に減少したが、その後は増加した。また、昭和 50 年頃ピークを持ったあと再び減少したが、53 年からは変動はあるもののほぼ単調に増加している。53 年以降の面積の増加率を図中の実線の傾きより定めると $dA/dt=480 \text{ m}^2/\text{yr}$ となる。2 号離岸堤背後のトンボロ面積は 1 号と比較すると増大する時期が早く、しかも大きな変化が現われた。この場合も昭和 50 年～52 年には面積が減少したが、その後は急速に増加し、55 年以降はほぼ安定状態に近づいた。またこの後の変化を詳細に調べると、冬期波浪の後の 3 月の方が 6 月に比較して面積が広い。すなわちトンボロが大きく成長した 55 年以降は変動が大きくなり、冬期に土砂堆積、他の季節に侵食される特徴がある。第 2 号離岸堤背後のトンボロ面積の 55 年以降の変化率を求めると、約 $160 \text{ m}^2/\text{yr}$ であり、トンボロ面積 1 よりもずっと小さい。

結局、離岸堤周辺では短期的地形変化を繰り返しつつ、長期的には $160\sim480 \text{ m}^2/\text{yr}$ 程度の割合でトンボロ面積が増加していたことがわかる。

5. 結 論

本研究の成果は以下のように要約される。

- ① EMC による流速測定によると、離岸堤開口部では高波浪のとき斜め沖向きの強い離岸流が観測された。波浪が静穏となると逆に弱い岸向き流れが生じた。
- ② 離岸堤前面では離岸堤を斜めに横切る岸向き流れが生じる。この流れは高波浪時とくに強くなる。
- ③ 離岸堤前面に投入された蛍光砂は、離岸堤を横切って堤内へ入るものと、開口部を回って離岸堤背後へ運ばれるものとの 2 つのモードが見られた。前者は高波浪時に卓越する離岸堤を横切る流れによって、また後者は静穏時、開口部での岸向き流れによって生じたものと推定される。
- ④ 開口部に投入した蛍光砂は斜め沖向きに急速に拡散された。これは ① の離岸流によって運ばれたものと考えられる。
- ⑤ 離岸堤背後では西側離岸堤背後に高い濃度で蛍光砂が見出され、東西の離岸堤背後で著しい非対称性が生じた。これは観測期間中の波の入射方向が NE、すなわち西向きの沿岸流を生じさせる方向であったことから説明される。
- ⑥ 汀線付近に投入された蛍光砂は最も拡散速度が大きく、堤内で拡散されるとともに、開口部を経由して次第に西側へと運ばれた。東西の離岸堤背後では発見個数が著しく非対称となり、西側で多く見出された。とくに東側離岸堤の背後、法先部では蛍光砂はほとんど見られなかった、このような分布となる点は、② で述べた離岸堤を横切る流れが存在しなければならないことを裏付ける。
- ⑦ 離岸堤付近では波浪条件に応じてかなり活発な漂砂が見られる。離岸堤背後から沖への漂砂、あるいは沖から岸側へ向かう漂砂が見られた。活発な漂砂移動は見られるが、離岸堤背後の土量の増加割合はかなり緩やかである。例えば指標としてトンボロ面積を選ぶと、近年における増加割合は 1 号離岸堤で $480 \text{ m}^2/\text{yr}$ 、2 号で $160 \text{ m}^2/\text{yr}$ であった。

参 考 文 献

- 1) 石橋正穂・宇多高明・岸田正人・清水生一：皆生海岸における海浜地形変化の解析，第 30 回海岸工学講演会論文集，pp. 234～238, 1983.