

離岸堤背後への土砂投入による海浜変形

須山 洋*・宇多高明**・吉村敏明***
若田茂和***・中山 修****

1. ま え が き

黒部川扇状地として形成された下新川海岸の侵食は我が国有数のものであり、古くから侵食対策事業が行われてきている。この下新川海岸の東端に位置する宮崎漁港付近とその西側の海岸部においては、近年東から西へ移動している沿岸漂砂のバランスがくずれた結果、漁港構造物や海岸に悪影響を与えている。すなわち漂砂の上手側に位置する宮崎漁港の東防波堤前面では堆砂により航路の埋没現象が生じ、下手側の下新川海岸横尾地先では海岸侵食が著しい。諸外国ではこのような場合侵食と堆積とを同時に解決するためにサンドバイパス工法が多く利用されているが、我が国では適用例は数少ない。

建設省・水産庁では 58, 59 年度において海岸構造物の周辺で堆積、侵食が近接して発生している海岸の代表として下新川海岸を選び、現地における砂輸送の試験施工を含めて、堆積侵食を同時に解決する手法について検討した¹⁾。本報はこの調査のうち主として建設省で実施した離岸堤背後への土砂投入の試験施工の結果をとりまとめたものである。

2. 調査地域の特徴と土砂投入法

現地試験を実施した下新川海岸は富山湾の東部に位置し（図-1）、東は境川河口から西は片貝川河口に至る延長約 28 km の海岸である。当海岸は我が国でも有数の侵食海岸であり、種々の侵食対策が行われてきた。しかしながら近年においても侵食傾向にあり、離岸堤の沈下海岸堤防前面の洗掘等が生じている。図-1 には宮崎漁港周辺の海底形状も示してある。宮崎漁港の東側海岸には砂浜が存在するが、西側の海岸には砂浜はほとんど無く、護岸、離岸堤が設置されている。宮崎漁港東側と笹川河口以西の海岸線はおおよそ東西方向に向いているが、両者は約 600 m 食い違っており、笹川河口以西が陸側に後退した形状を示している。

砂輸送は次の方法で行った。まず宮崎漁港東防波堤前

面から土砂を採取し、図-1 に太い実線で示すコースに沿って下手側の下新川海岸横尾地先まで 2.5 km 区間の陸上輸送を行い、離岸堤背後の静穏域に投入した。土砂の投入量は 5900 m³ である。土砂輸送は 58 年 10 月 13 日から 12 月 7 日までの 34 日間で行った。また土砂の投入は 6 回に分けて行った（表-1）。

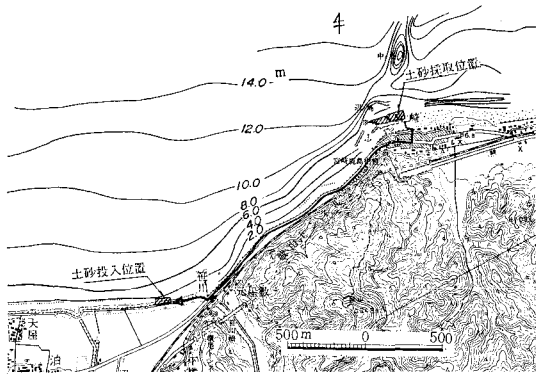


図-1 調査地域位置図

表-1 土砂投入量一覧

投入日	11月4日	11月10日	11月16日	11月17～18日	11月29日	12月7日
投入量	1,050m ³	1,100	1,100	530	1,060	1,060
累積値	1,050m ³	2,150	3,250	3,780	4,840	5,900

土砂の輸送方法については、施工時期が冬期にかかりしたがって波浪が激しく海上の作業は困難なこと、また対象海岸の底質が礫であることなどからダンプトラックによる陸路輸送を選んだ。土砂の投入箇所としては、漁港のすぐ下手側の海岸へ投入することも考えられたが、その付近は漁貝類の好漁場となっておりそれへの影響が懸念されたこと、また将来サンドバイパス工法が定着することを考えた場合、下新川海岸の当地先では離岸堤と養浜工とを組み合わせた工法も有効であると考えられることから離岸堤背後を選定した。

実際に以上の条件のもとで行った砂輸送のコストを

* 正会員 建設省北陸地方建設局河川部長
** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
*** 正会員 建設省北陸地方建設局黒部工事事務所
**** 正会員 (財)国土開発技術研究センター

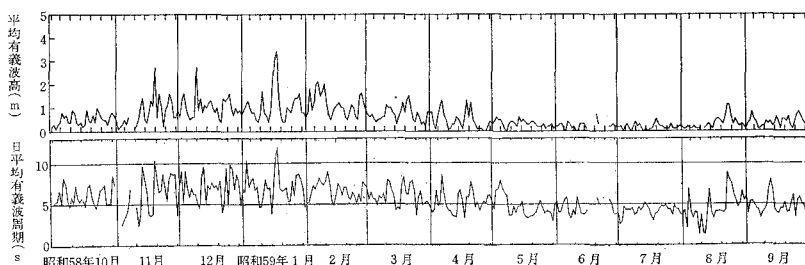


図-2 田中観測所における有義波高・周期の経時変化

58年度価格で計算すると、土砂の運搬・投入等に要する経費は全体で 1665 円/m^3 であった。その内訳として土砂の積み込みと運搬に 1250 円/m^3 、盛土及び投入が 415 円/m^3 である。土砂の運搬は 11 ton のダンプを用い、1日40往復したため1日当りの輸送量は $244 \text{ m}^3/\text{日}$ であった。

3. 土砂投入時の波浪条件

土砂投入及び追跡調査の行われた期間の波浪条件は、土砂投入点の横尾地先より 5.6 km 西に位置する田中観測所で調べられた。また投入点でも目視により波向観測が行われた。図-2は田中観測所の水深 15 m 地点に設置された超音波式波高計によって得られた日平均有義波高と周期の経時変化を示す。土砂投入は11月4日～12月7日の間に行われたが、この間11月20日には $H_{1/3}=2.5 \text{ m}$ 、 $T_{1/3}=12.9 \text{ s}$ の高波浪が来襲している。また土砂投入の完了した12月7日以降においても数回高波浪が来襲している。例えば12月12日には $H_{1/3}=2.3 \text{ m}$ 、 $T_{1/3}=5.8 \text{ s}$ の波が、また59年1月17日、18日には各々 $H_{1/3}=3.2 \text{ m}$ ($T_{1/3}=9.0 \text{ s}$)、 $H_{1/3}=2.8 \text{ m}$ ($T_{1/3}=11.6 \text{ s}$) の波が来襲した。1年間の波浪の変化を見ると、11月から4月までは冬期風浪により波高が高いが、5月より8月中旬までは波高がほぼ 0.5 m 以下と静穏になっている。このことは後に説明するように投入砂の移動に相当大きな影響を及ぼしている。周期は波高と対応関係を有し、冬期には比較的長周期の波の頻度が高いが、夏期には4秒前後の短周期波が多い。波高周期とも季節的変動が明瞭に表われている。

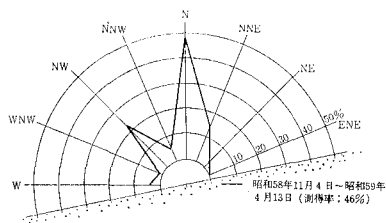


図-3 土砂投入地点沖合の波向

投入地点の横尾地先の護岸上からは、離岸堤沖の波向観測を行った(図-3)。データは、58年11月4日～59年4月13日までの観測によって得られた。図の基準線は海岸線方向にとっているが、波はこの海岸線の法線より時計回りの方向より高頻度で入射したことが分かる。この入射条件のもとでは西向きに沿岸漂砂が卓越する。

4. 投入土砂の追跡調査

ここでは投入土砂の追跡調査によって得られた汀線や海浜断面形、及び土量変化等について記述する。まず土砂投入域周辺の深淺測量と汀線測量の測線配置を示す(図-4)。深淺測量は図-4(a)に示すように沿岸方向に 40 m 間隔で東から西に並んだ $a \sim z$ の26測線を行った。土砂投入は測線 No. 174に位置する離岸堤背後で行ったが、漂砂の卓越方向が西向きのため、投入点より西側で広い範囲を測量することにした。一方投入点付近では 40 m の測線間隔では広すぎるために、図-4(b)に示すように投入点の離岸堤背後は 10 m 間隔で、またその上手、下手の離岸堤付近では 20 m 間隔で海浜部の測量を行った。

土砂投入に伴う海浜変形について、まず投入前後の深淺図の比較を行う。図-5に土砂投入前の58年10月13日から投入後の59年1月21日までの土砂投入地点周辺の地形変化を示す。土砂投入前では離岸堤背後の水深は約 2 m 程度であった。土砂投入の完了した12月7日の海浜形状では投入点の離岸堤背後の汀線が前進しているが、この時期には既に西側の離岸堤背後の汀線付近に砂が付き始め、離岸堤背後が浅くなっている。その後1月21日までの変化によると、開口部での地形変化は小さく、また投入点の離岸堤背後のトンボロが小さくなり、西側の離岸堤背後でトンボロが発達した。

図-6は投入点周辺の各測線における汀線と断面積変化量の沿岸方向の変化を示す。ここに、断面積変化量は土砂投入前の10月13日の深淺データを基準とし、離岸堤より岸側の範囲で計算した。また断面積の計算においては、汀線付近に設置されている消波工内の空隙率を 50% と仮定した。

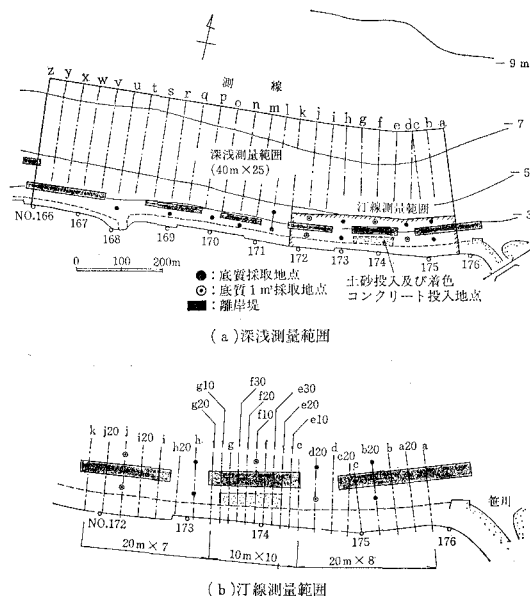


図-4 深浅測量、汀線測量の測線配置

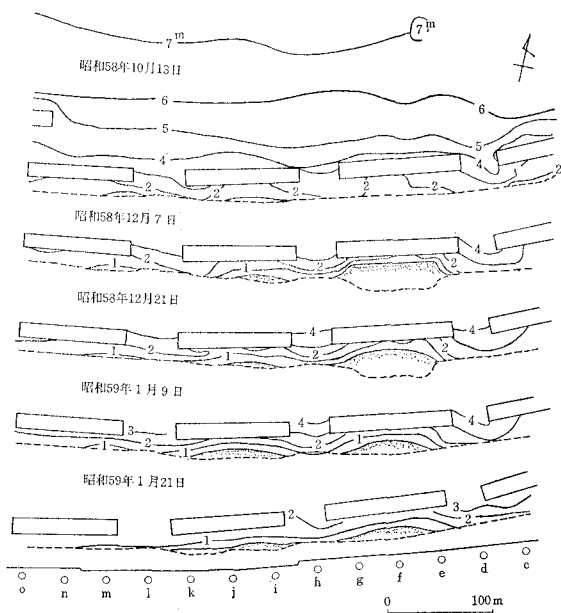


図-5 土砂投入前後の深浅図の比較

土砂投入地点では次第に汀線が後退し、隣接の西側離岸堤背後では汀線が前進した。汀線の変化は初期は急速であるが、時間の経過とともに小さくなった。断面積の変化も汀線変化と良く似た変化をしている。しかし離岸堤の開口部、例えば測線 h 付近での変化状況が相違する。すなわち汀線は変化の生じていない区間が相当幅広く存在するが、断面積が小さな値をとる範囲は測線 i と h の間の狭い区間に限られている。これは離岸堤開口部にお

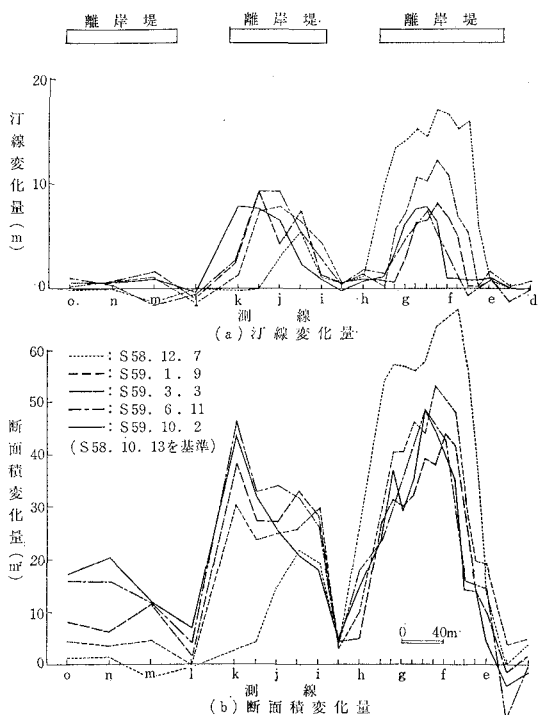


図-6 汀線と断面積変化量の沿岸方向分布

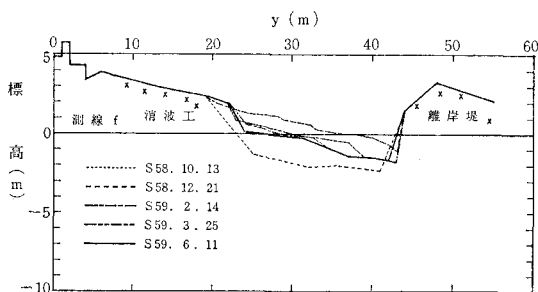


図-7 海浜断面形状の比較

いては汀線は前進していても浅い部分に土砂が堆積していることを示している²⁾。

汀線や断面積の変化に対応する断面形状の変化を図-7に示した。代表測線としては、投入位置の離岸堤背後の測線を選んだ。58年12月21日の形状は土砂投入後14日目の形状を表わすが、前浜より離岸堤の岸側端まで緩い勾配で土砂が堆積している。この測線ではその後侵食が生じたが、地形変化は T.P. -1.5~1.8m、高さ 3.3m の間で生じた。

汀線と断面積の変化量は相当良い相関関係を有している(図-6)。よって両者の相関を調べたところ、侵食堆積域の汀線変化量 (Δy) と断面積の変化量 (ΔA) の間には相関係数 0.97 において次式が成立する。

$$\Delta A = 2.6\Delta y + 3.5 \dots\dots\dots (1)$$

ここに ΔA , Δy の単位は m^2 と m である. ΔA と Δy の回帰係数は沿岸漂砂によって地形変化が生ずる場合の移動高 (h) を与える. 式 (1) によると $h=2.6m$ となる. この値は外洋に面した海岸の 10m 程度と比較して小さい. その理由は, 海浜地形変化が離岸堤より岸側に限られており, しかもその最大水深が高々 2m と浅かったためである (図-7).

5. 土量変化と沿岸方向の波エネルギー

離岸堤背後に養浜を行うに際しては, 投入された土砂が離岸堤背後部に止まるか, あるいは開口部等から沖へ流出する可能性があるかどうか知っておくことは工学上重要である. このため深浅測量データより各離岸堤の背後, 開口部ごとに変化土量を計算し, その時間的変化を調べた (図-8). ただし図の表示においては, 土砂投入前の 10 月 13 日から投入直後の 12 月 7 日までの総土量変化 $8152m^3$ により各時期の変化土量を割って規準化した. また土量計算では消波工内へ入った土砂量を計算する必要があるが, これには空隙率を 50% と仮定した. 12 月 7 日までの土量変化は投入量 $5900m^3$ と比較すると $2252m^3$ 多い. この理由としては消波工内の空隙率の取り方に問題があったか, あるいは 10 月 13 日の深浅測量に誤差が入ったことなどが考えられるが, その理由は明確ではない. よってこのままの規準で土量変化を調べることとした.

10 月 2 日までの土量変化をみると, 投入点下手側の第 2 離岸堤の背後までの土量の総和で考える限り投入土砂はほぼ全量が保持され, 沖への土砂の損失は小さかったことが分かる. また各領域の土量変化を比較すると, 土砂投入域では最初は全量の約 80% 近くも占めていたが時間の経過とともに減少した. その変化は初期は大きい, 時間を経ると緩やかになった. 下手側第 1 離岸堤ではこれと対称的な変化が生じた. 最初は全土量に占める割合は小さかったが, 急速に土量が増加した. このような土量の変化は, 離岸堤背後の浅海域において西向き

の沿岸漂砂によって土砂が運ばれたため生じたものと考えられる.

次に, 土砂の投入地点とその西側の離岸堤背後の土量変化割合と波の沿岸方向エネルギーフラックスの関係について調べた. 図-9 は各離岸堤背後の土量変化割合と離岸堤沖の水深 5m 地点で計算された沿岸方向のエネルギーフラックスの関係を示す. 沿岸方向のエネルギーフラックスは次の方法より求めた. まず最初に波浪観測を行っている田中観測所と横尾地先の間で屈折による波浪特性の相違を調べておき, 田中のデータより横尾の水深 15m 地点の波高, 周期を求める. 波向データは精度

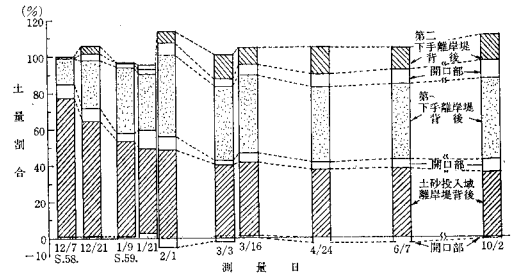


図-8 各領域での土量の経時変化

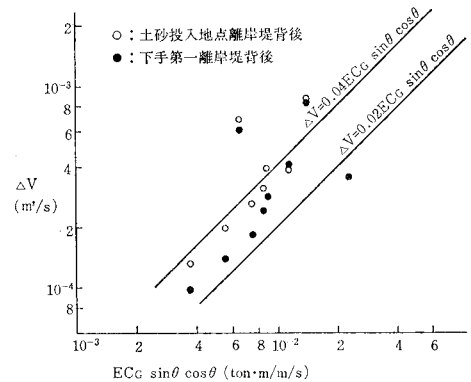


図-9 沿岸方向波エネルギーと土量変化の関係

は高くないが, 横尾地先で目視観測が行われているので目視観測の結果を水深 15m 地点の入射角と仮定した. ただし横尾地先でのデータが欠測の場合には田中における波向の目視データから横尾の波向を計算した. この場合, 田中の波向データの一部分については以下に述べる補正を行った. すなわち田中の風向風速特性とフェッチの関係より, 富山湾内では周期が約 5 秒より長い波は発生しにくいことから能登半島より西側から入射する周期 5 秒以上の波については能登半島先端より入射したと仮定した.

水深 15m 地点での入射波諸元が定まったあとに, 水深 15m 地点から 5m 地点まで屈折計算を行い, 最終的にエネルギーフラックスを求めた. 図-9 の横軸にとった沿岸方向のエネルギーフラックスは通常用いられているような碎波点において評価されたものでないために, 従来の結果と直接比較するのは困難であるが, ここで得られた土量変化割合と沿岸方向のエネルギーフラックスの間の係数はほぼ 0.02~0.04 のオーダーである. これはサベージ係数などと比較すると 1 オーダー小さな値となっている. これは地形変化が主として離岸堤背後で生じたため, 離岸堤による波浪減殺効果が表われたものと考えられる.

6. トレーサー追跡調査

トレーサー調査は、土砂投入が完了した 58 年 12 月 7 日に土砂投入地点の表層に約 30 m³ の着色コンクリートを散布し、その後 59 年 10 月 2 日までに 11 回にわたって追跡することによって行った。追跡調査は、汀線あるいは消波工上から着色コンクリートの拡がり個数を直接カウントした。着色コンクリートとしては、識別の容易さと耐摩耗性を考慮して、赤褐色のベンガラ系の顔料を混ぜ合わせた高強度着色コンクリートを約 15 cm 角に砕いたものを用いた。この高強度着色コンクリートの投入時における圧縮強度は約 900 kg/cm² であった。

図-10 は着色コンクリートの粒径別発見個数の沿岸方向分布を示したものである。発見個数は沿岸方向に 10 m 間隔ごとにカウントされている。また図中の矢印は粒径 5 cm 以下、及び 10~15 cm 粒径について発見個

数を投入域の西端から西向きに加算した場合に 95% に相当する位置を示している。粒径 5 cm 以下のものは時間の経過とともに確実に西向きに移動している。大粒径のものは細粒に比較すると移動は緩やかである。更に粒径 5 cm 以下のものは測線 P 付近まで移動しており、先に述べたように土砂投入による地形変化が測線 P 付近で見られなくなることと考え合わせると、今回の投入土砂の観測期間中の主な移動範囲は下手側約 350 m 付近までと考えられる。

7. ま と め

下新川海岸で実施したサンドパイパスの現地実験のうち、離岸堤背後で行った土砂投入の試験結果についてとりまとめた。実験の結果、下新川海岸のように漂砂の供給量が少なかったために離岸堤背後にトンボロが形成されなかった海岸において、人工的に土砂を供給すればトンボロの形成を促すこと、また離岸堤背後に投入された土砂は沖合へ急速に流出することなく、ゆっくりと沿岸方向に拡がるのが分かった。土砂投入によってトンボロが形成されることの効果としては次のものが考えられる。まず前浜が存在することは、越波、消波対策の上で有効であり、また波力が減少することにより海岸構造物自体の安定性の向上につながると考えられる。

謝 辞：本研究は昭和 58、59 年度にわたって国土庁の調整費において建設省と水産庁とが合同で行った調査の結果の一部をまとめたものである。調査は京都大学土屋義人教授を委員長とし、東北大学首藤伸夫教授、鳥取大学野田英明教授ほか行政機関の代表を委員とする検討委員会のもとに進められた。調査結果のまとめに際したは委員の方々から貴重な御意見をいただいたことをここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 海岸部における砂輸送システム調査(下新川海岸)報告書、建設省河川局・農林水産省水産庁、昭和 58 年度国土総合開発事業調整費報告、200 p., 昭和 59 年 3 月。
- 2) 須山 洋・宇多高明・吉村敏明・若田茂和：副離岸堤周辺の波、流れ、地形変化の観測、第 32 回海岸工学講演会論文集、pp. 405~409, 1985。

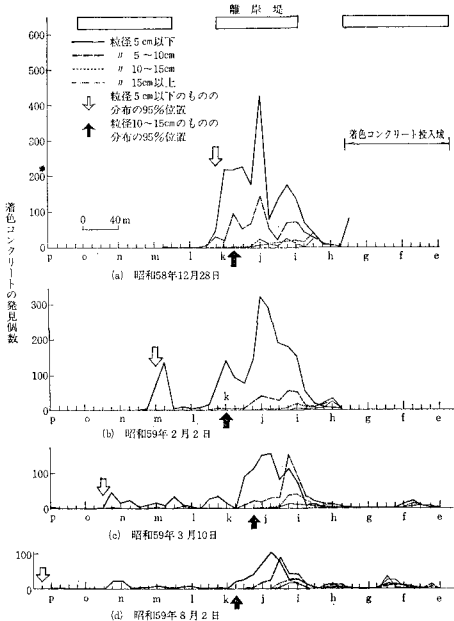


図-10 着色コンクリートの粒径別発見個数の沿岸方向分布