

飯岡海岸沖におけるサンドバイパスの現地実験

内 藤 公 夫*・宇 多 高 明**・山 田 尚***・神 田 康 嗣****

1. ま え が き

一般に、沿岸漂砂の卓越する海岸に漂砂を阻止する構造物が造られると、構造物の漂砂上手側では土砂が堆積し、下手側海岸では侵食が生ずる。このような原因で生じた海浜変形は全国各地で見られ、新潟県にある市振海岸における侵食などが実例としてあげられる（宇多ら，1988）。最近では、こうした原因で侵食と堆砂が生ずる場合、サンドバイパスが試みられるようになってきた（滝沢ら，1986；須山ら，1986）。

周知のように、サンドバイパスには種々の方法がある。例えば土砂をトラックで運搬したり、パイプラインで運ぶ方法などが用いられている。これらはいずれも土砂輸送を人為的に行うものであって、長期的に実施するにはかなり多くの維持経費を必要とする。特に、土砂の運搬距離が長い場合コストが高くなる。

サンドバイパスは、もともと自然の営力で漂砂が流れていた海岸に構造物が造られ、漂砂移動が止められたために、人工的に土砂を輸送しようとするものであるから、漂砂阻止構造物の近傍を除けば、対象海岸では依然として漂砂を生じさせる営力は存在しているはずである。したがって、構造物の上手側や港内などに堆積した土砂をできるだけ短い距離のみ運び、あとの移動は波の作用にまかせることが自然環境へ及ぼす影響をできるだけ少なくし、また経費を節減する意味からも望ましいと考えられる。

この方法を用いる場合には、例えば港湾への堆積土砂を投入するとしたとき、投入土砂が再び港湾へ戻らない保証を得ることが必要である。また、投入に際しては、投入土砂が下手海岸の養浜に確実に役立つことが明確でなければならない。維持コストは安価であるにもかかわらず、こうした問題点があるために、この方法については十分検討されていなかったのが現状である。

本研究はこの点に着目し、沖合部に投入された土砂が

漂砂の下手方向へ移動しつつ浅海部に運ばれ、したがって構造物の下手海岸の養浜を行う上で大いに役立つことを千葉県飯岡海岸での現地実験により明らかにする。

2. 観 測 方 法

現地観測は、千葉県の北九十九里に位置する飯岡海岸で1987年の5月～12月の間に実施した。飯岡海岸は屏風ヶ浦と九十九里海岸との接点に位置する。海岸の東側にある屏風ヶ浦は崖海岸として有名であり、そこで削られた土砂は九十九里海岸方向へと流れている（宇多ら，1987）。また、飯岡海岸は過去に激しい侵食を受けたために、侵食対策として10基の離岸堤が設置されている（宇多ら，1987）。主な調査項目としては、深浅測量、蛍光砂観測、流向流速観測などである。それらの調査日程をまとめると表-1 のようである。

表-1 調 査 日 程

項目	月日	5	6	7	8	9	10	11	12
		27		9	11	24	14		
深 浅 測 量	△		△	△	△	○	○		
蛍 光 砂 観 測			●	●	○	○	○		○
砂 溜 変 動			○	○	○				
流 速・流 向									
土 砂 投 入									

△：土砂投入に係わる測量観測
●：蛍光砂の投入
○：水調査の観測・採取・測定

土砂投入は、竜崎沖の1辺が約70mの正方形領域（図-1）において、1987年6月12日から7月8日までの27日間に8回に分けて実施した。投入砂は、飯岡海岸の東約10kmに位置する名洗港港内の汀線砂（中央粒径0.21mm）で、5127m³をガット船により海上から投入した。投入実績は図-2に示すようであり、1回の投入量は、第1回～第6回においては約500m³、第7、8回においては約1000m³とした。土砂投入には、ほぼ1ヶ月近くを要したため、後に明らかにするように、土砂投入期間中に何回か高波浪の作用を受けて土砂はかなり移動した。また、投入砂の中央粒径d₅₀=0.21mmは、実験地の下永井海岸の汀線砂の中央粒径d₅₀=0.25mmと比較すると、16%小さい。

深浅測量は土砂投入によって形成された海底面のマウ

* 正会員 千葉県土木部河川課
** 正会員 工博 建設省土木研究所 海岸研究室長
*** 正会員 千葉県銚子土木事務所
**** 正会員 (株)アイ・エス・エー新土木研究所

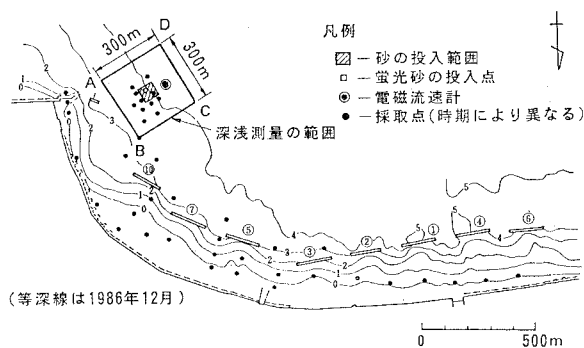


図-1 土砂投入地点、深浅測定の範囲および螢光砂の採取点

ンドが波、流れによって変形し、移動する過程を捉えることを目的として実施した。測量範囲は、1辺が300mの正方形領域である(図-1参照)。測線は竜王崎に近接する辺AB上に10m間隔で設置し、各測点の間隔は測線間隔と同様に10mとした。測線数は全体で32本である。測量時期は土砂投入前、投入後3, 5, 7, 14週間の6回とした。深浅測量では、微少な地形変化を捉える必要から、距離の測定は光波測距儀、測深は浅海用の精密音響測深儀を使用した。また、測量前のパッチェック、測量中の潮位実況の測定は飯岡漁港で行った。

螢光砂調査では、投入砂と同一粒径の海浜砂で螢光砂を作製し、投入砂上に敷均してその移動状況と分布を測定した。これにより広い範囲における投入砂の移動状況を把握することを目的としている。螢光砂の量は約 1m^3 とし、その投入位置は土砂投入によって形成されたマウンド上とした(図-1)。螢光砂の投入においては、螢光砂を1袋25kg程度に分割し、ロープに沿わせて海中に投入し、ダイバーにより海底で袋を切開し敷均した。螢光砂の採取位置は投入点の岸側および離岸堤周辺に重点を置いて定めた(図-1参照)。螢光砂のサンプリングは、投入後3, 5, 7, 11, 14週間に実施した。採取方法として江線付近は調査員が、沖合はダイバーが採取器を用いて直接採取した。一般に、螢光砂の追跡は多数の採取点を平面的に配置し、しかもそれらを時間的に繰り返して行う。しかしこの場合、現地観測に多大な労力が必要とし、しかも得られた結果は必ずしも螢光砂の拡がりを十分説明できないことが多い。そこで本研究では次の2つの視点より採取点をできるだけ限定的に選んだ。

①前報(宇多ら, 1987)によると、竜王崎先端に投入された土砂は南方向へ流れ、離岸堤群の背後に堆積した。今回の土砂投入点も竜王崎に近いので、投入土砂は沿岸方向に移動しつつ、必ず離岸堤背後に到達すると推定した。

②毎回の観測値をもとに次の測定点を選択すれば、明らかに螢光砂が検出されないような測定点を配置しなく

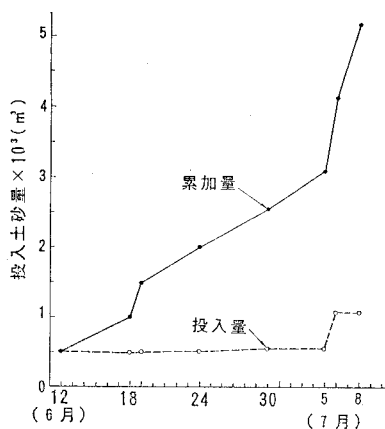


図-2 土砂投入の実績

て済む。

以上の視点のもとで、観測を行った。したがって、図-1に示した螢光砂の採取点では毎回測定を行った訳ではなく、その範囲は測定回数の増加とともに次第に西側へと広げた。

3. 観測期間中の波浪特性

土砂投入を行った1987年6月～10月の間の海象データについて、既設の観測点である銚子、片貝漁港の波浪観測データ、および当観測と同時期に千葉県水産課により実施された飯岡地点での波浪観測のデータを収集した。

これらの波高データのうち1日1波(銚子と片貝は12時、飯岡は11時)を代表波として各地点の有義波高、周期をまとめると図-3となる。銚子は犬吠崎の北端にあり、北東の風によって発達した波を直接受けるために、飯岡や片貝地点と比較すると明らかに波高が高い。飯岡と片貝は九十九里浜に面しているために、波高は同程度であるが、詳細に見ると飯岡の方がやや高い。

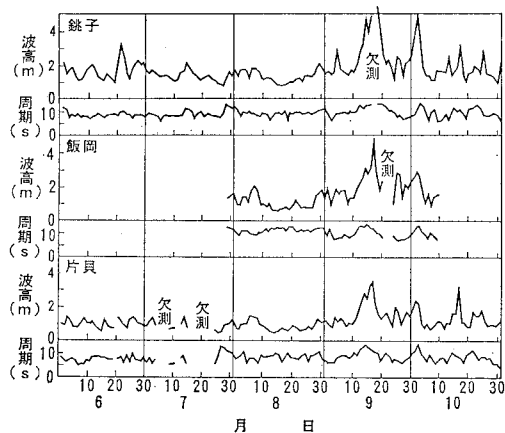


図-3 調査期間中の波高、周期の経時変化

土砂投入の実施期間である6月12日から7月8日までの期間は飯岡での波浪観測は行われていないので、銚子のデータを参照すると、6月21日には有義波高で3m以上の波浪が来襲している。深浅測量や蛍光砂による追跡調査の行われた7月9日以降10月末までの期間では、飯岡の波高値で9月17日に $H_{1/3}=4.78\text{ m}$ ($T_{1/3}=11.3\text{ s}$) なる高波が生起している。これは紀伊半島に上陸し、我が本土を縦断した台風13号による波浪である。

飯岡での1987年7月28日より10月9日までの2時間毎の波浪観測データをもとに、有義波高、周期の出現頻度をまとめると、有義波高は1~1.5mで最多頻度を示し、有義周期は8~9秒が卓越している。

さらに、有義波高と波向の複合頻度分布をまとめた(図-4)。波向観測は、千葉県水産課により飯岡漁港の沖合6km地点に電磁流速計を設置して行われている。波向の出現頻度の高いのは、SEおよびESE方向である。飯岡海岸の波向について論じた前報(宇多ら, 1987)の観測データによると、卓越波向はSEとSであった。SE方向については今回の値と一致するが、Sについては大きく異なる。この理由として、前回のデータは目視観測であって測定精度が低かったためと考えられる。図-1の海岸形状図を参照したとき、SE、ESE方向から波が入射すると、西向きエネルギーフラックスが卓越することは明らかである。このエネルギーフラックスのために、投入砂は次第に西方向へ移動した。

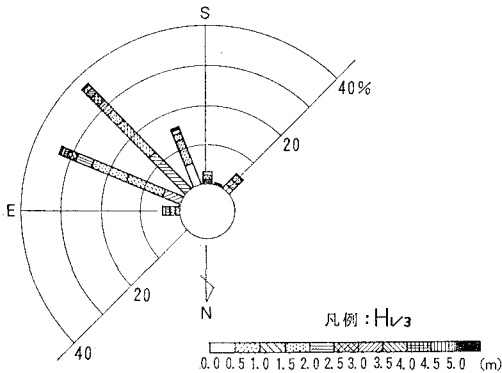


図-4 有義波高と波向の複合頻度分布

4. 土砂投入による地形変化

各測線ごとに水深変化量を求め、その平面的な分布をまとめると図-5となる。比較時期は土砂投入前の5月27日と投入直後の7月9日とした。ここに、測線は図-1の線分ABを2分する中心線より南北に10m間隔に配置しており、測線のS、またはNは中心から南または北側に位置することを示す。数字は中心からの距離(m)である。

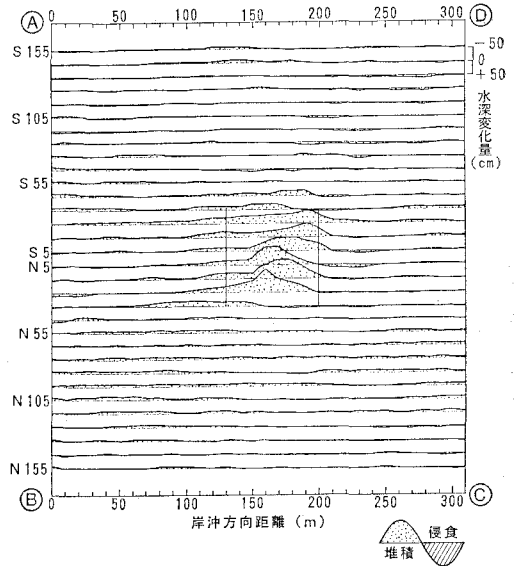


図-5 水深変化量の平面分布(第1,2回の比較)

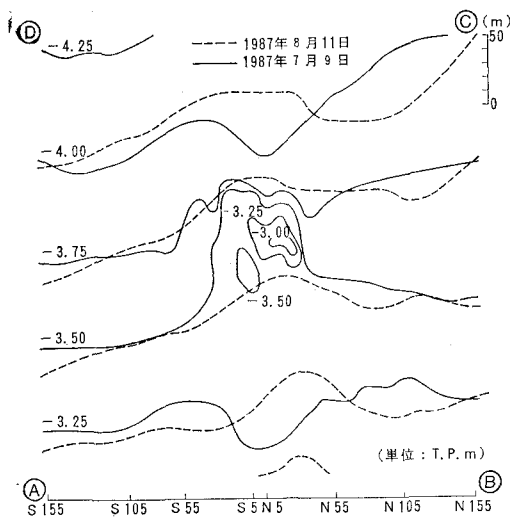
図中、N25~S25測線、および岸沖方向距離125m $\leq$ X $\leq$ 200mの間の正方領域が土砂投入域である。水深変化図によると、土砂投入域では海底地盤高が最大で84cm上昇している。土砂投入はできるだけ一様になるように行われたが、投入期間が6月12日より7月8日と約1ヶ月を要したため、この間の波浪の作用により既にかの土砂が岸向きに移動している。

土砂投入期間、飯岡では波浪観測は開始されていないので、銚子と片貝の観測データを参照すると、最も高い波高として銚子では6月21日に $H_{1/3}=3.22\text{ m}$ ($T_{1/3}=9.7\text{ s}$) の波が、また片貝では $H_{1/3}=1.33\text{ m}$ ($T_{1/3}=7.4\text{ s}$) の波が出現している。結局、これらの波の作用の下で底質がかなり移動したために、土砂投入域の岸側でもかなりの地形変化が見られたと考えられる。

投入点周辺の深浅図を図-6に示す。実線は土砂投入完了後の7月9日の等深線を、破線はそれから約1ヶ月が経過した8月11日の等深線を表わす。土砂投入直後では、T.P. -3.5mの等深線が舌状に大きく突き出ている。これは土砂投入により海底面がマウンド状に盛り上がったことを表わしている。その後8月11日になると、T.P. -3.5mのコンターに明らかなように、沖向きの突出形状は消滅し、沿岸方向になだらかな等深線形となった。これは投入土砂がかなり急速に運び去られたことを意味している。

5. 蛍光砂による投入土砂の移動状況

投入土砂の移動状況は、深浅測量データの比較によって明らかにされた。しかし、この方法は、地形変化量が



図—6 土砂投入域の深浅図 (第2回, 4回)

小さくなり、深浅測量自体の精度と同等になった場合、有効な結論を見出すことはできない。事実、前節で述べた深浅測量結果のうち第3回目の測量以降では顕著な特性を見つけることは困難であった。

そこで本研究では、土砂投入が終了した2週間後の7月22日に蛍光砂をトレーサとして投入し、その移動状況を追跡した。蛍光砂の移動状況を図—7(a)~(d)に示す。図中の○は蛍光砂が採取されなかった点を、●は蛍光砂が見出された地点を示し、併せて資料100g当りの検出個数も示した。

投入6日後の7月28日に第1回の観測を行った。蛍光砂は、投入点より北方向(10号離岸堤方向)へとほぼ直線的に移動した様子がうかがえたが、来襲波浪が静穏であったため活動は不活発であり、図は省略した。

投入後20日が経過した8月11日の蛍光砂の拡がり状況を図—7(a)に示す。蛍光砂の発見個数は極めて多く、投入点から北に約310mの地点においても、100g当り1700個も検出されている。第1回の観測と同様に、蛍光砂は南方向、すなわち海岸線から遠ざかる方向には移動せず、ほぼ一定して北方向へと移動している。蛍光砂を検出した地点のうち、投入点から最も離れているのは、北側に約310mの地点であるが、その外側には、蛍光砂の未検出点は存在しないことから、移動距離はやや過少評価されている可能性はある。しかし、蛍光砂は汀線部では検出されていないので、離岸堤の岸側にはまだ到達していないようである。観測期間の波浪条件を飯岡の観測データでみると、8月7日に $H_{1/3}=1.98\text{ m}$ 、 $T_{1/3}=8.9\text{ s}$ の波が出現している。すなわち、第1回観測に比較して、高波浪により蛍光砂が急速に移動したと考えられる。

投入後35日が経過した8月26日の蛍光砂の拡がり状況を図—7(b)に示す。投入20日後の観測においては、採取点の配置区域が狭かったとの反省から、区域を西側に拡大した。蛍光砂は、第10, 7, 5, 3号離岸堤の背後域の多くの地点に発見された。離岸堤背後では、10号堤の背後における100g当り42個が最多で、西方向に距離が離れると発見個数は少なくなった。また、興味あることに、10号堤と7号堤、および7号堤と5号堤の開口部沖では蛍光砂は検出されておらず、離岸堤内の発見個数が多いことと良い対照をなしている。投入点より10号堤を通り、その後離岸堤背後を結ぶ線に沿って測ると、蛍光砂の全移動距離は約1.3kmとなる。8月11日~8月26日の波浪条件を飯岡の観測値でみると、 $H_{1/3}$ の最大値が8月21日の1.13m($T_{1/3}=10.3\text{ s}$)と静穏な条件であった。

投入後64日が経過した9月24日の蛍光砂の拡がり状況を図—7(c)に示す。蛍光砂は、さらに西側に移動すると思われたので、採取点の範囲を西側へ広げた。蛍光砂は、離岸堤の背後に沿って移動し、4, 5号堤の開口部背後まで移動した。全移動距離は、投入後約2.2kmに達する。離岸堤背後で最も多くの蛍光砂が検出された箇所は、7号堤の背後である。前回の観測において最も多くの蛍光砂が見出された地点は10号堤の背後であったから、重心の移動から見ても明らかに蛍光砂は離岸堤背後を西方向へと移動していることがわかる。8月26日~9月24日の間では飯岡の波浪データとして、9月17日に、台風13号の影響により $H_{1/3}=4.78\text{ m}$ ($T_{1/3}=11.3\text{ s}$)の高波浪が来襲している。しかし、蛍光砂の移動パターンは前回観測時と良く似ている。

投入後84日が経過した10月14日の蛍光砂の拡がり状況を図—7(d)に示す。これが最後の観測である。蛍光砂は6号堤の西に配置された測点より東側のほぼ全域で発見された。それも離岸堤の岸側に限られており、離岸堤の沖に配置された測点ではほとんど見出されていないことが明らかである。蛍光砂の投入点からの全移動距離は約2.4kmに達している。

以上のように、竜王崎沖に投入された蛍光砂は岸向きに移動し、離岸堤背後に堆積した後、離岸堤背後域を西方向へ移動した。しかも離岸堤の沖にはほとんど流出しないことがわかった。

前報(宇多ら, 1987)では、飯岡海岸の深浅測量データを解析することにより、離岸堤背後の堆積土砂の大部分は、竜王崎付近で投入された飯岡漁港の浚渫土砂が下手方向に流下して堆積したものであることを明らかにしたが、本研究で明らかになった投入砂や蛍光砂の移動状況は、その結果と良い一致を示す。

結局、このような漂砂の移動が存在すると、竜王崎沖

に投入された土砂はやがて離岸堤の背後へと到達するから、離岸堤の背後の砂浜を広げる意味では大いに役に立つと考えられる。しかも土砂移動は自然の波の作用の下で行われるから、土砂輸送に要する費用は必要とせず、また人工的な土砂投入と異なり周辺海岸の環境へもたらず影響は小さいという特徴を有している。

6. 結 論

飯岡海岸での土砂投入の現地実験の結果、次の結論が得られた。

①投入土砂は海底面にマウンド状に堆積し、その後急激に拡散されつつ岸方向へと移動した。この漂砂の方向は、前報(宇多ら, 1987)において深浅測量データの解析より得られた漂砂方向と良く一致した。

②土砂投入と同時に行われた蛍光砂調査によると、海岸沖の約 T.P. -4m に投入された蛍光砂は波の作用の下で岸向きに移動し、やがて投入点の下手側に位置する離岸堤群の背後に堆積した。さらに、離岸堤背後の蛍光砂は緩い速度で漂砂の下手方向へ移動した。このことは、投入土砂が波の作用で運ばれ、その結果下手海岸に対して養浜効果を持つことを意味する。

③従来、サンドバイパスにおいては土砂をかなり長い距離の間、人工的に運搬するのが一般的であった。本研究では、この土砂輸送を波の力を利用して行うことができること、またその場合、投入砂が冲向きに拡散することなく、下手海岸を養うために有効であることが明らかになった。

参 考 文 献

- 宇多高明・桜本 弘・久保田進 (1987): 千葉県飯岡海岸の海岸侵食について, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 342~346.
 宇多高明・小林正一・種岡虎男 (1988): 新潟県市振海岸における海岸構造物設置に伴う海浜変形, 地形, Vol. 9, No. 1,

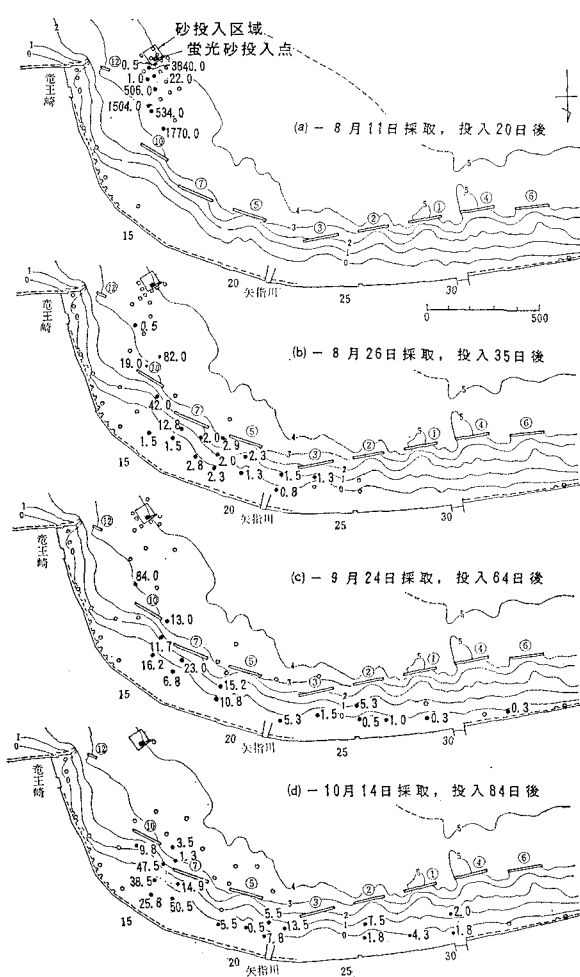


図-7 蛍光砂の分布

pp. 35~52.

- 須山 洋・宇多高明・吉村敏明・若田茂和・中山 修 (1986): 離岸堤背後への土砂投入による海浜変形, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 307~311.
 滝澤俊二・宇多高明・堤 博志・中山 修 (1986): 駿河海岸におけるサンドバイパスの現地実験, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 302~306.