

観測栈橋近傍の海底地形と海底底質の粒度組成の変化

内山 清

要 旨

大渦波浪観測所では観測専用栈橋に沿って、月に1回測深と海底底質採取を行っている。現在、観測栈橋近傍海域は侵食性の海岸であり、弧状沿岸砂州の中央部に位置している。この海域において、2003年8月23日、10月7日、2004年10月7日、11月10日に行った深浅測量と海底底質採取データを解析した。深浅測量は、汀線から沖へ約200mの地点を汀線に沿った1測線と、岸沖方向の2測線を行った。また、海底底質採取は、岸から沖へ水深1mごとに、栈橋沿いの1側線、弧状沿岸砂州接合部の岸沖方向の1側線で実施した。海底地形の変形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変化の考察から、この海域の地形、底質の特性は、自然海浜である上下浜海岸とは異なり、年間を通して変動が急激で不規則であることがわかった。

キーワード：海岸底質、沿岸域観測栈橋、弧状沿岸砂州、トラフ、海岸砂丘

1. 緒 言

大渦海岸は、上越市郷津から柏崎市米山に至る全長約27kmのほぼ直線状の砂礫海岸である。大渦波浪観測所の観測栈橋は、この海岸線のほぼ中央に位置している。近年、直江津港防波堤の延伸による漂砂系の分断と関川からの土砂の遮断により、栈橋近傍では海岸侵食が顕著で、このため、海浜が消滅し、また、海底底質が、ただならぬ変異を示すようになった（Fig.1）。今回は、自然の節理に従って、バランスの上にたって変異していく上下浜海岸の海底地形、海底底質の粒度組成を考察した（内山, 2004）。今回自然の節理から逸脱してしまった、観測栈橋近傍の海底地形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変異の考察をする。とくに、2004年10月中に、観測栈橋の北東側、南西側の両側約200mに消波ブロックを当時の汀線の位置に設置した。これにより、水の流れ、海底地形、海底底質がどのように変異するか、大変興味深いところである。それに、海岸砂丘砂がどのような関与の仕方をするか（内山, 2002）（内山, 2003）、

また、前回の上下浜海岸での海底地形、海底底質の粒度組成と比較しながら（内山, 2004）、しっかりと考察することだ。上述のことを確実に実行することが、海岸侵食の原因解明に資するものと考えられる。

2. 沿岸、岸沖方向の海底地形の計測

2.1 沿岸方向の海底地形

Fig.1の側線に示すように、汀線から沖へ約200mの地点（栈橋先端の杭と栈橋の岸から4本目の杭の中間点）をSWからNEの方向へ、沿岸方向に深浅測量を実施した。冬季には季節風が強く吹いて、波の高い日が毎日のように続くため、船での測量が困難であるが、2005年3月初旬に深浅測量を実施できた。ここでは図示していないが、解析結果の考察にはこのときの海底地形を引合いに出すこともある。

今回は、2003年8月23日、2003年10月7日、2004年10月7日、2004年11月10日にそれぞれ行った深浅測量の結果をFigs.2, 3, 4, 5に示す。これらの図において、南西から北東へ大きな谷と山が1つずつ示されている。この谷が弧状沿岸砂州のTroughにあたり、山

は弧状沿岸砂州接合部にあたる。つまり、弧状沿岸砂州中心部が観測棧橋の位置に一致し、Troughの中心部が棧橋先端より沖へ約50mの地点であることがわかる。また、弧状沿岸砂州接合部の極浅部は、側線上にある。いずれの図からも、侵食海岸のために多少の移動や海底地形の変形はみられるが、山、谷地形の位置は安定であることが示されている。

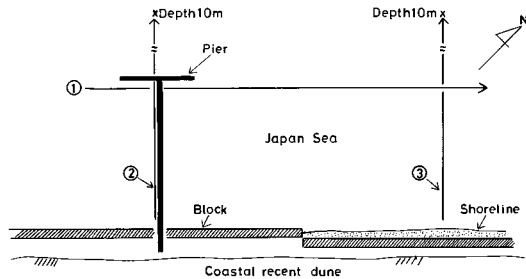


Fig.1 The measuring lines on a coastal sketch-map.

(1) 2003年8月23日の海底地形図 (Fig.2): 棧橋中心0に谷があり、0から北東へ約250mの地点に高い山がある。原点0から北東へ約70mの地点間に低い山があり、砂の堆積が認められる。谷と山の高低差(比高)は3.1mで、2002年8月31日の海底地形図と比較すると、変形も移動も全く認められないが、新たに小規模の山が形成されていることが分かった。

(2) 2003年10月7日の海底地形図 (Fig.3): 棧橋のある原点0に谷があり、そこから北東へ約320mの地点に大きい方の山があり、その比高は3.5mである。2003年8月23日の海底地形図と比べると、0から北東へ約70mの地点間の低い山は少し不明瞭になり、北東へ約320mの地点にある高い山が北東側へ約70m移動している。これは、この期間に3~4回のやや強い北西風が吹いたために生じたものと思われる。

(3) 2004年10月7日の海底地形図 (Fig.4): 原点0から南西へ約60mの地点に谷があり、そこから北東へ約380mの地点に高い山がある。谷と山の比高は3.7mである。2003年10月7日の海底地形図と比べると、谷が南西側へ約60m、山が北東側へ約60mそれぞれ移動したことになる。この間、丁度一年であり、冬季風浪によって、0から南西へ約50mの地点と0から北東へ約130mの地点間の小さい山が発達して、この両側に谷ができたものと思われる。このことと、棧橋の両側の消波ブロックの設置との因果関係を議論する必要があるかもしれない。

(4) 2004年11月10日の海底地形図 (Fig.5): 原点

0から南西へ約50mの地点に谷があり、北東へ約320mの地点に山がある。谷と山の比高は3.6mである。2004年10月7日の海底地形図と比べると、全体的に浅く、砂が堆積している。原点0から南西へ約50mの地点と北東へ約120mの地点間の小高い山は、この山の両側の谷が砂の堆積により浅くなり、不明瞭になっている。0から北東へ約320mの地点の大きな山は、南西へ約60m移動している。この時期は、北西からの季節風の頻度も高まり、消波ブロックの設置もほぼ終了していた。

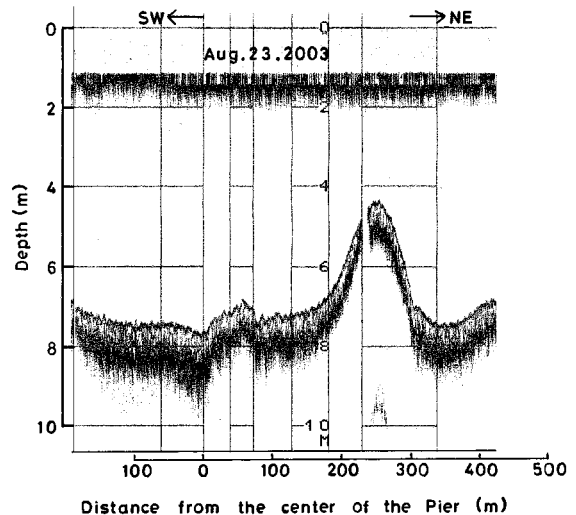


Fig.2 SW-NE alongshore bottom profile (200m offshore) measured on Aug.23, 2003.

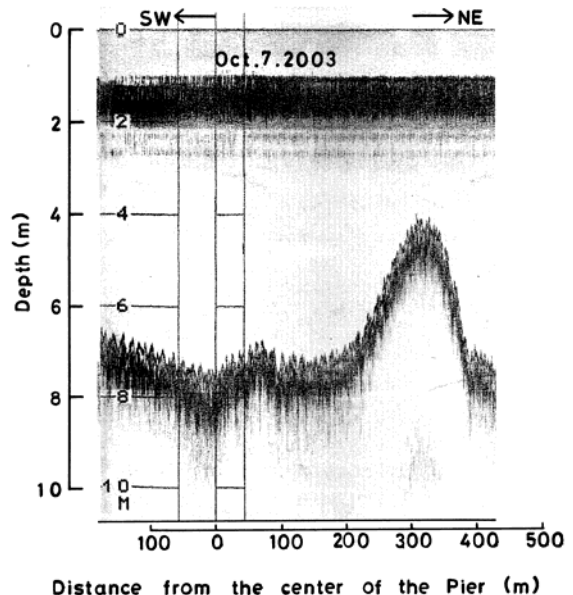


Fig.3 SW-NE alongshore bottom profile (200m offshore) measured on Oct.7, 2003.

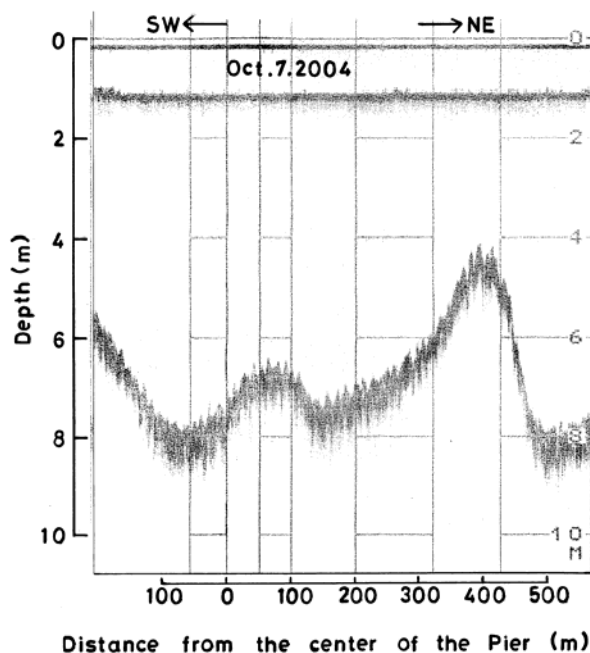


Fig.4 SW-NE alongshore bottom profile (200m offshore) measured on Oct.7, 2004.

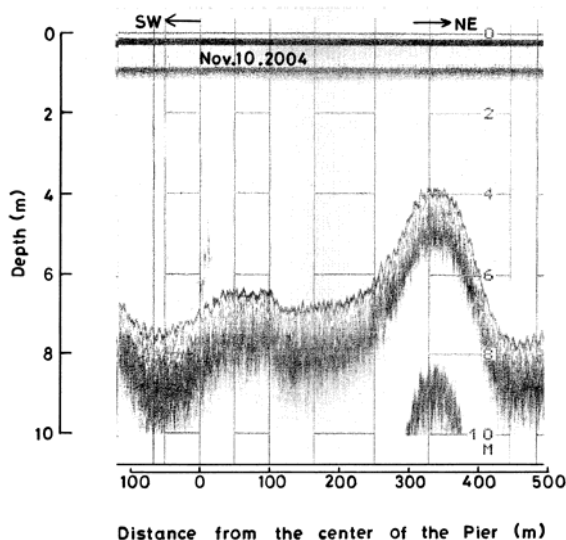


Fig.5 SW-NE alongshore bottom profile (200m offshore) measured on Nov.10, 2004.

以上のことから、谷の部分は、山の部分に遅れて変化しており、弧状沿岸砂州接合部から地形変化が始まることが示される。ここでは示していないが、2005年3月6日の海底地形図には、それが顕著にあらわれている。0 から南西へ約50m～60mの地点の谷は、このままの位置であるが、若干浅くなっており、0 から北東へ約320mの山は、やや南西側に移動して、水深は少し深くなっている。0 から南西へ約50mの地点～0 から北東へ約120mの地点間の小高い山は、1m位の砂の堆積によって、それより北東側となりの

一番高い山に融合されている。また、一番高い山より北東側の谷も1m近く堆砂している。

以上より以下の知見を得た。

- (1) 冬季に形成される海浜流の“上手側”の海底に人工リーフがある。それは、観測栈橋から南西側約200mの所に、幅約30mで長さ約200mで設置されている。海浜流が、この構造物によって強化される可能性があり、これにより栈橋の約300～400m北東側に位置する大きな山、あるいは弧状沿岸砂州接合部が南西側に移動するのであろう。つまり、強化された海浜流は、山あるいは弧状沿岸砂州接合部より南西側に位置する山や谷を侵食し、底質に分級作用を与え、山の部分の南西側の“かげ”になる個所に底質を堆積している可能性がある。
- (2) 山の部分で、頂点より北東側が侵食されて、それより北東側の谷の部分に堆積することになる。上述した機構によって少しの距離だけ南西側へ移動可能性がある。もうひとつの要因は、観測栈橋近傍の海底底質が極粗砂・粗砂という、移動しやすく、堆積しやすい砂で主要成分を組成しているからである（内山，2001）。
- (3) 夏季においては、北東あるいは、北からの風が吹く頻度が高いため、2方向からの海浜流が発生することが多い。これが、北東側にある離岸堤によって、強化され、冬季の場合と同様の作用を与え、北東側へ少し移動する可能性がある。上下浜海岸ではどうかというと、海岸には人工構造物がないため、移動するのは冬季に、北東側への1方向のみで、夏季にはそれがない（内山，2004）。

2.2 岸沖方向の海底地形：Fig.1の に示すように、弧状沿岸砂州中心部を、弧状沿岸砂州接合部を、それぞれ岸から沖へ深浅測量を行った海底地形図である。また、一般に、前者をBar型断面形、後者をStep型断面形という。なお、弧状沿岸砂州中心部は、丁度観測栈橋の位置にあるため、栈橋の南西側の“へり”に沿って岸から先端まで深浅測量をし、

これより沖は、この測線の延長線上を栈橋先端から沖へ向かって、船により深浅測量を行ったものとする。

- (1) 2003年8月23日：Bar型断面形（Fig.6）で、汀線から沖へ急激に水深を増して行って、汀線から沖へ約150mの地点付近で、水深が約5.0mとなる。ここより、なおいっそう水深を急増し、汀線から沖へ約200mの地点付近で、水深が約7.2mとなる。この地点から沖へなだらかに深くなって行って、Troughの中心に着く。汀線から沖へ約300mの地点付近にTroughの中心があつて、水深が約8.0mである。この地点から沖へ急激に浅くなって行って、Barの頂点に

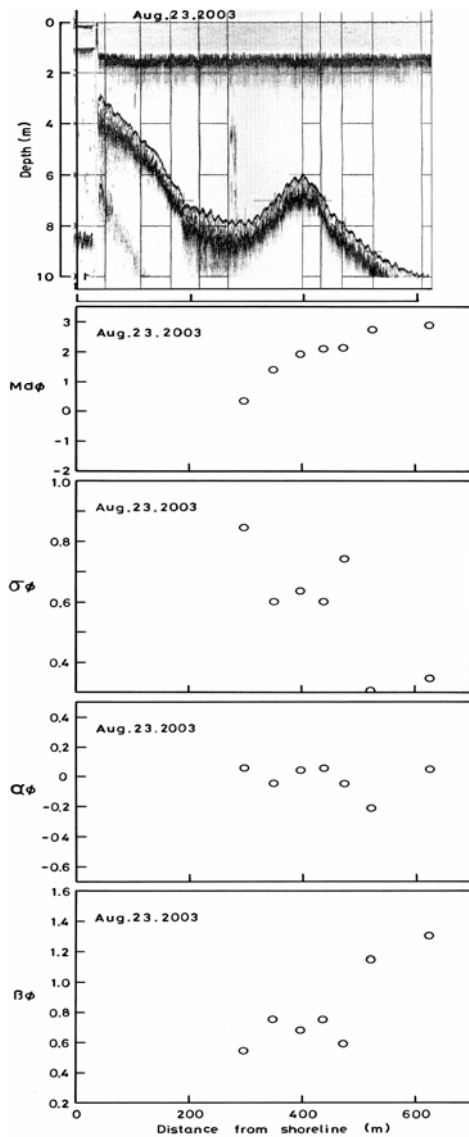


Fig.6 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.23.2003.

達する。汀線から沖へ約400mの地点付近にBarの頂点があり、水深が約6.0mである。Troughの中心からBarの頂点まで、沖へ向かって登って行く斜面のことを弧状沿岸砂州岸側斜面という。Barの頂点から沖へ向かってなだらかにくだって行って、Offshoreに達する。この地点は、汀線から沖へ約600mの地点付近で、水深は約10.0mである。また、Barの頂点から沖へ向かって、なだらかにくだって行く斜面のことを弧状沿岸砂州沖側斜面という。TroughとBarの比高は、2.0mである。

一方、2003年10月7日の、Step型断面形 (Fig.7) で、汀線から沖へ向かって、急勾配で水深を増して行って、一気に極深部に達している。汀線から沖へ約170mの地点付近に極深部があり、水深が約5.8mを示す。極深部から沖へ向かって急激に浅くなって

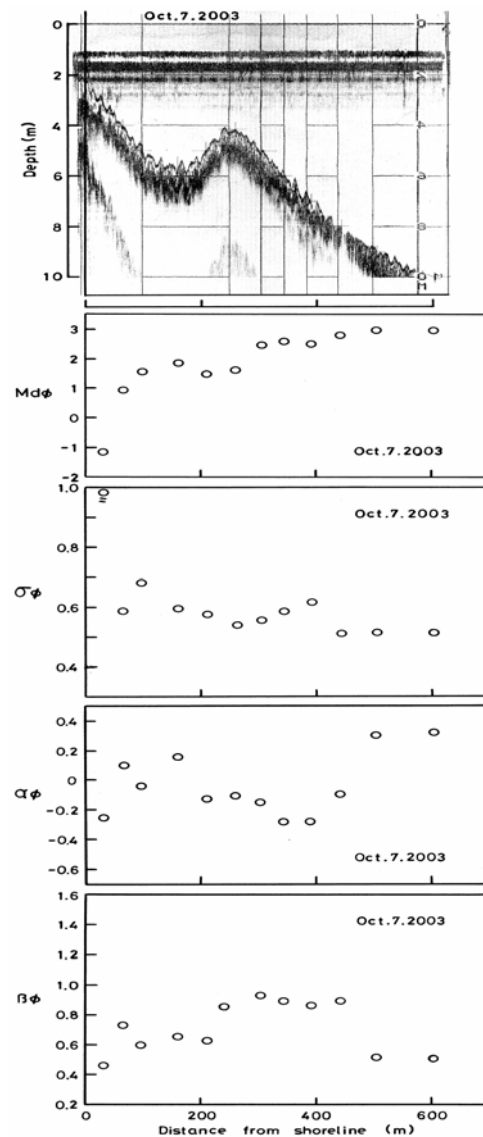


Fig.7 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2003.

行って、極浅部に達する。汀線から沖へ約240mの地点付近に極浅部があり、水深が約4.1mである。極浅部から沖へ向かって、なだらかな勾配で深くなって行って、Offshoreに達する。極深部と極浅部の比高は1.7mである。

(2) 2004年10月7日：Bar型断面形 (Fig.8) で、汀線から沖へ向かって急激に水深を増して行って、一気にTroughに達している。汀線から沖へ約300mの地点付近にTroughの中心があり、水深が約8.2mである。Troughの中心から沖へ向かって、急勾配で浅くなって行って、Barの頂点に達する。汀線から沖へ約400mの地点付近にBarの頂点があり、水深が約6.3mを示す。Barの頂点から沖へ向かって深くなりOffshoreに到達する。TroughとBarの比高は1.9mである。

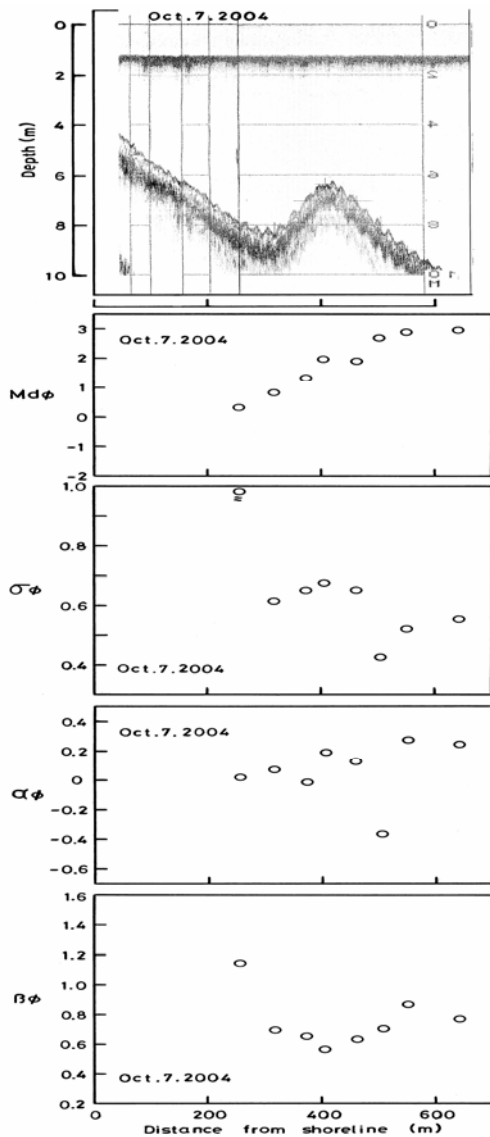


Fig.8 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2004.

一方、Step型断面形（Fig.9）で、汀線から沖へ向かって急激に極深部に達している。汀線から沖へ約160mの地点付近に極深部があり、水深が約6.2mを示す。極深部から沖へ向かって、急勾配で浅くなって行って、極浅部に達する。汀線から沖へ約230mの地点付近に極浅部があり、水深が約4.3mである。極浅部から沖へ向かって水深を増し、Offshoreに達する。極深部と極浅部の比高は1.9mである。

(3) 2004年11月10日:

Bar型断面形（Fig.10）で、汀線から沖へ向かって、急激に水深を増して行って、一気にTroughに達している。汀線から沖へ約150mの地点付近で、少々砂の堆積がみられ、微妙にふくらんでいる。汀線から沖へ約300mの地点付近にTroughの中心があり、水深が約8.0mを示す。Trough

から沖へ向かって、急に水深が浅くなって行って、

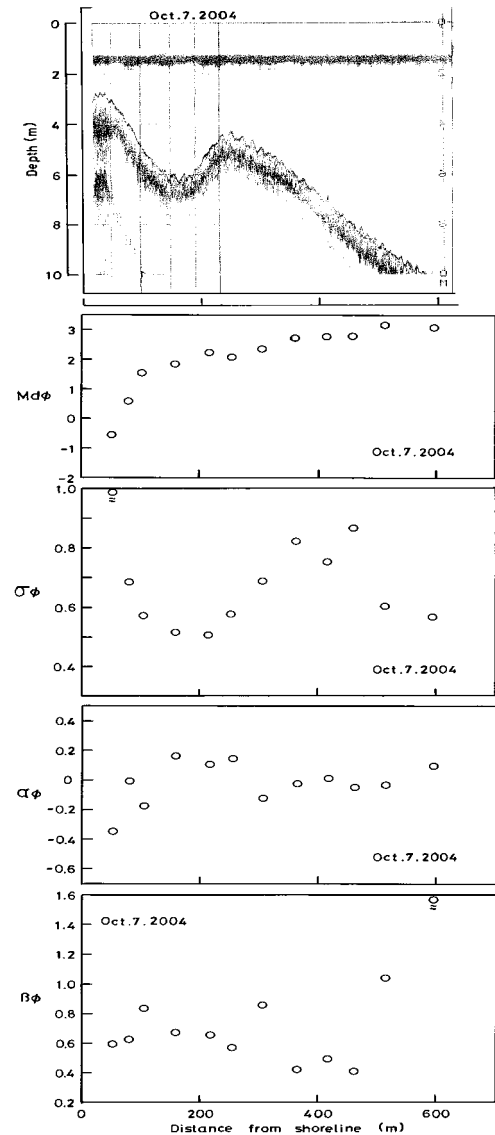


Fig.9 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2004.

Barの頂点に達する。汀線から沖へ約390mの地点付近にBarの頂点があり、水深が約6.2mである。Barの頂点から沖へ向かって、なだらかに水深を増して行ってOffshoreとなる。TroughとBarの比高は1.8mである。

一方、Step型断面形（Fig.11）で、汀線から沖へ向かって、急勾配で水深を増し、一気に極深部に達している。汀線から沖へ約170mの地点付近に極深部があり、水深が約5.6mである。極深部から沖へ向かって、急激に浅くなって行き、極浅部に到達する。汀線から沖へ約230mの地点付近に極浅部があり、水深が約3.9mを示す。極浅部から沖へ向かって、なだらかに水深を増して行って、Offshoreに達する。極深部と極浅部の比高は1.7mである。

上述の考察によって以下の知見を得た。弧状沿岸

砂州中心部で、Troughの中心の岸側手前に“たな”

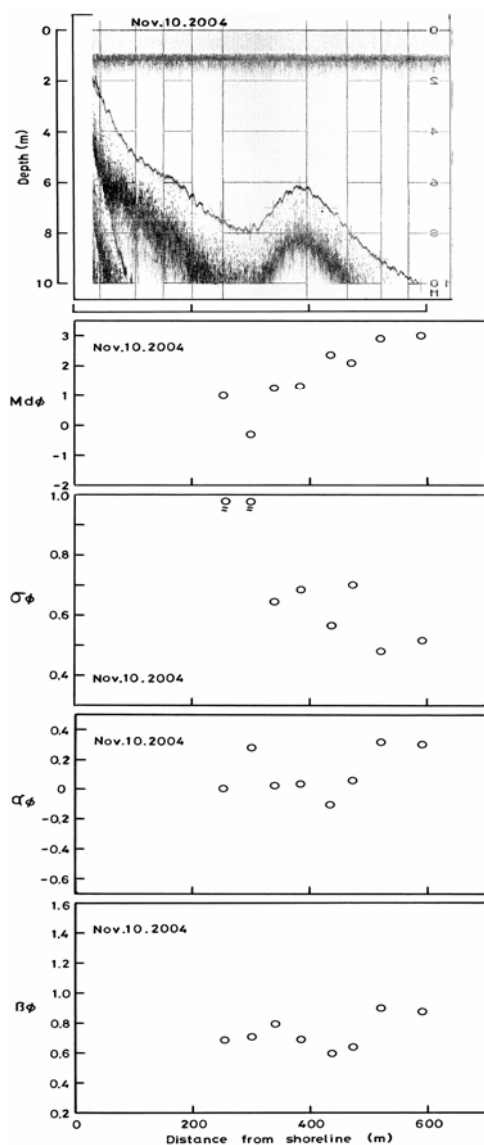


Fig.10 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Nov.10.,2004.

がないということである。離岸流（リップカレント）が強大なベクトルに発達して（大森他，1970），岸から沖へ向かって流れ下るため，断面形状は急勾配で，一気にTroughの中心に達している。上下浜海岸では自然の節理にのっとって，すべての現象が行われている。このため，弧状沿岸砂州中心部では，岸から沖へ向かって，ゆるやかな傾斜で下って行って，Troughの中心に達している。この岸側手前に必ず“たな”が存在する（内山，2004）。また，観測栈橋近傍の海岸における弧状沿岸砂州中心部のTroughとBarの比高は，上下浜海岸のそれよりも大きい。

一方，弧状沿岸砂州接合部では，夏季，冬季において，既設の人工構造物のために海浜流が強化され

る。このため，弧状沿岸砂州接合部においても盛んに，

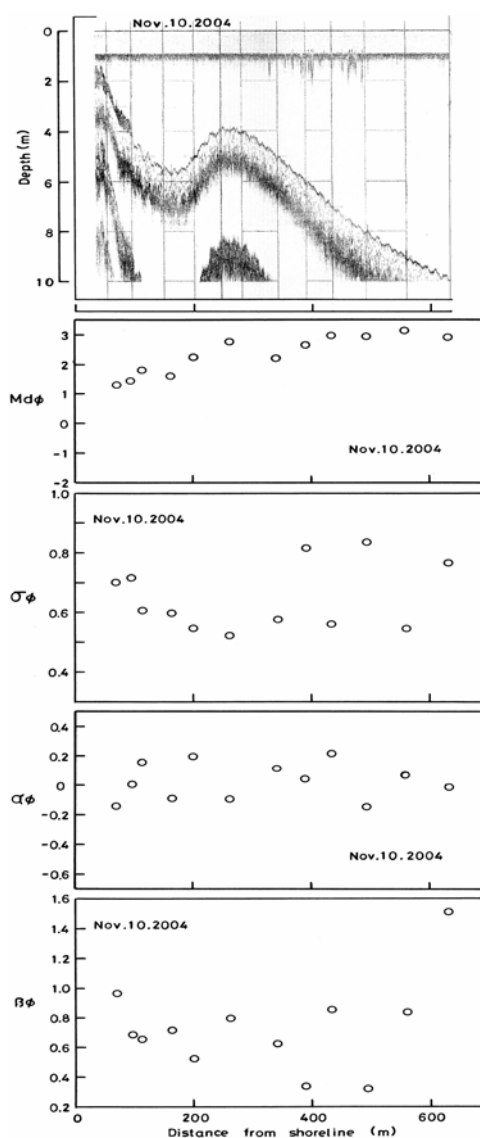


Fig.11 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Nov.10.,2004.

侵食，堆積が行われる。上下浜海岸のこの場所では，人工構造物がないため，海浜流のバランスがとれていて，夏季にはあまり海浜変形をおこさない。上下浜海岸の弧状沿岸砂州接合部の極深部と極浅部の比高は，栈橋近傍のそれより小さい（内山，2004）。

3. 海底底質の粒度組成（岸沖方向変異）

3.1 海底底質採取と粒度分析

冬季には激しい季節風，大きな波浪が毎日のように続くため，船が出せなく，船での海底底質採取はできない。そこで，今回は，おだやかな日々が続く，冬季以外で，夏季に海底底質採取した試料を用いる。

冬季の変化の最中の海底底質よりも、変化後の安定して、固定した海底底質の方がいろいろな面で都合がよいからである。しかし、変化の最中の海底底質にも大変興味があるので、2003年と2004年の2月に、観測栈橋の南西側の“へり”に沿って、それぞれ採取した海底底質を用いる。また、夏季に、観測栈橋の先端から沖、水深10mまでは船による採取を行ったが、汀線から栈橋先端までは、栈橋に沿って採取した海底底質で、船の採取の日、月に近似した海底底質を採用した。採取の行った日、月は、弧状沿岸砂州中心部で、船での採取が、2003年8月23日、2004年10月7日、11月10日、栈橋に沿っての採取が2003年2月10日、8月19日、2004年2月13日、10月18日、11月14日である。弧状沿岸砂州接合部では、船での採取が2003年10月7日、2004年10月7日、11月10日である。試料は、弧状沿岸砂州中心部で、船によって8点前後、栈橋に沿って20点前後採取した。一方、弧状沿岸砂州接合部で、船によって12点前後採取した。

それぞれ、上述の条件のもとで、一定量採取した試料を自然乾燥し、均質に処理して、1/4間隔で標準フルイを用いて慎重に、かつ、精度の高い粒度分析を行った。また、以下において、解析時すべてに、ウェントワースの粒径区分に従って表現する。

3.2 近似計算による粒度組成（中央粒径： $Md\phi$ 、標準偏差： $\sigma\phi$ 、歪度： $\alpha\phi$ 、尖度： $\beta\phi$ ）

(1) 2003年8月23日、10月7日：弧状沿岸砂州中心部において（Fig.6：栈橋先端～Offshore）、 $Md\phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約50mの地点間で、 $-2.0\sim 0\phi$ の値を示し、小礫・極粗砂で組成する。汀線から沖へ約50mの地点～汀線から沖へ約140mの地点間で、 $0\sim 3.0\phi$ の値を示し、粗砂・中砂・細砂で組成している。汀線から沖へ約140mの地点～栈橋先端間で、 $-1.0\sim 2.0\phi$ の値を示し、極粗砂・粗砂・中砂で組成している。栈橋先端～Offshore間で、 $0\sim 3.0\phi$ の値を示し、粗砂・中砂・細砂で組成する。汀線から沖へ約140mの地点付近で、極大値を示し、汀線から沖へ約220mの地点付近で極小値を示して、正の三次関数のグラフのような傾向を示す。 $\sigma\phi$ は、汀線付近で、例外を除いて値が大きい。汀線から沖へ約40mの地点～汀線から沖へ約140mの地点間は、値が小さい。汀線から沖へ約150mの地点～栈橋先端間は、値が大きい。汀線付近から沖側へ向かって、細粒側へ分級作用をうけて移動した砂が、汀線から沖へ約50mの地点～汀線から沖へ約140mの地点間に堆積している。とくに、細粒側へ分級作用を受けた細粒成分は、汀線から沖へ約140mの地点付近に多量に堆積することになる。粗粒成分、特に極粗砂、粗砂は

移動しやすく、堆積しやすい砂であるため、汀線から沖へ約40mの地点～汀線から沖へ約140mの地点間を“とびこえて”，移動してTroughに堆積することになる。つぎに、Troughで、粗粒側へ分級作用をうけて、“せり上って”Barの頂部に堆積することにより、汀線から沖へ約150mの地点～汀線から沖へ約300mの地点間は、値が大きくなる。Barの頂部～Offshore間で、沖へ向かって徐々に細粒化して行くので、値も小さくなる。汀線から沖へ約90mの地点付近で極小値、汀線から沖へ約200mの地点付近で極大値を示して、負の三次関数のグラフのような傾向を示す気がする。 $\alpha\phi$ は、汀線付近～Offshore間で、明瞭な傾向がみられず、正側、負側へシフトしているのが半半となっている。これは、岸から沖へ向かって分級作用を受けた底質が主要成分を組成して、それぞれ各地点に堆積する。その主要成分よりさらに粗粒な、あるいは細粒な、微量な成分が分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長いtailをもつことにより、それぞれ、その方にシフトする要因なのである。 $\beta\phi$ は、汀線付近とOffshore付近で値が大きく、両地点の間の値が小さいが、明瞭な傾向は見当たらない。

弧状沿岸砂州接合部において（Fig.7）、 $Md\phi$ は、汀線付近の1点が小礫で組成する。汀線から沖へ約40mの地点～汀線から沖へ約280mの地点間で、 $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示し、中砂で組成する。汀線から沖へ約290mの地点～Offshore間で、 $2.0\sim 3.0\phi$ の値を示し、細砂で組成している。10月7日の海底底質採取であるため、夏季における水の流れの作用をうけて、また、冬季における水の流れの作用を3～4回位うけているはずである。両季での水の流れの上手側に、それぞれ人工構造物があり、強化された海浜流となり、侵食、堆積をくりかえすのだろう。したがって、弧状沿岸砂州接合部全体に、中砂・細砂で組成して、礫成分は、ほとんどない状態となる。沖から岸へ、あるいは沿岸流による強烈な水の流れによって、粗粒側へ分級作用を受けた粗粒成分の砂が岸側に堆積することと思う。 $\sigma\phi$ は、汀線付近の1点は、大きな値で突出している。全体的に、値が小さく淘汰がよいようだ。岸から沖へ向かって、なだらかに値が小さくなって行く傾向があり、負の相関関係を示すのではないかと。 $\alpha\phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約180mの地点間で、正と負が半分ずつあり、値として大きい側に行っているようだ。汀線から沖へ約200mの地点～汀線から沖へ約480mの地点間で、全点が負にシフトしている。汀線から沖へ約500mの地点～Offshore間で、値が大きく、正にシフトしている。汀線から沖へ約360mの地点付近で、極小値を示し、下

に凸な放物線のような傾向を示す。それぞれ、負あるいは正にシフトするのは、分級作用をうけて、それぞれの地点に主要成分として堆積するが、それよりもっと粗粒な、あるいは細粒な、微量成分が、分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長いtailをもつことが、負または正にシフトする要因なのである。 $\beta \phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約220mの地点間と、汀線から沖へ約500mの地点～Offshore間で、それぞれ値が小さい。汀線から沖へ約280mの地点～汀線から沖へ約450mの地点間で、値が大きい。傾向として、上に凸な放物線のような気がする。

(2) 2004年10月7日：弧状沿岸砂州中心部において (Fig.8：栈橋先端～Offshore), $Md \phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約70mの地点間で、 $-2.0 \sim 0 \phi$ の値を示し、小礫・極粗砂で組成する。汀線から沖へ約80mの地点～汀線から沖へ約300mの地点間で、 $0 \sim 1.0 \phi$ の値を示し、粗砂で組成する。汀線から沖へ約390mの地点～Offshore間で、 $1.0 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、中砂・細砂で組成している。汀線付近～汀線から沖へ約260mの地点間で、岸から沖へ向かって、なだらかに弧を描くように値が大きく、細粒化して行っている。汀線から沖へ約330mの地点～Offshore間で、沖へ向かって少し急勾配で値が大きくなって行き、細粒化している。海底底質採取は、夏季の終りのころであって、冬季での不安定さもなくなり、安定した変異を示している。 $\sigma \phi$ は、汀線から沖へ約190mの地点付近で値が大きく、極大値を示すようだ。この地点から汀線付近へ、あるいはOffshoreへ、それぞれ近づいて行くにつれて、値が小さくなって行く。つまり、上に凸な放物線のような傾向を示している。 $\alpha \phi$ は、汀線付近～栈橋先端間で、例外の1点を除いて、全体的に負にシフトする。汀線から沖へ約250mの地点～Offshore間で、例外の1点を除いて、正にシフトしている。2月の場合は汀線から沖へ向かってスパイラルに変換する傾向を示していたが、この場合、夏季の終りということで、粒度組成も安定した様子だ。10月18日の場合は、同じ区間で、主要成分が粗砂となり、夏季での水の流れによって、分級作用をうけて安定した粒度組成になった。主要成分の粗砂の中に極粗砂、あるいは、それよりも粗粒な成分が微量残留し、混合している。その微量混合する粗粒成分が分布曲線の負、あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側よりも長いtailを有することにより、正から負に変換する由縁である。 $\beta \phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約100mの地点間で、値が大きい。汀線から沖へ約100mの地点～Offshore間で、値の変化の幅が小さく、一定な値で推移している。明瞭な傾向は見当た

らない。

弧状沿岸砂州接合部において (Fig.9), $Md \phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約83mの地点間で、 $-1.0 \sim 1.0 \phi$ の値を示し、極粗砂・粗砂で組成する。汀線から沖へ約100mの地点～Offshore間で、 $1.0 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、中砂・細砂で組成している。汀線付近から沖へ向かって、やや階段状に値が大きくなって行って、細粒化している。要は、汀線付近～Offshore間で、全体が砂で組成していて、礫は存在しないということである。これは、北東からの沿岸流と北からの水の流れの、それぞれ両者の上手側に離岸堤が既設されていて、いわば、これが水路のような役目をはたす。それで、両者の水の流れが、強大なベクトルに発達し、弧状沿岸砂州接合部の汀線付近～Offshore間で、主要成分を砂に変換したのである。また、上述したが、山、あるいは弧状沿岸砂州接合部が、北東へ移動したのもうなずけるのである。 $\sigma \phi$ は、汀線から沖へ約200mの地点付近で、値が小さく、淘汰がよい。汀線から沖へ約400mの地点付近で、値が大きく、淘汰が悪い。前者の地点付近で極小値を示し、後者の地点付近で極大値を示して、負の三次関数のグラフのような傾向を示す。 $\alpha \phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約120mの地点間で、負にシフトし、汀線から沖へ約160mの地点～汀線から沖へ約280mの地点間で、正にシフトしている。前者の区間の主要成分は、極粗砂・粗砂で、この中に礫成分が微量混合することによって、負にシフトした。また、後者の区間では、主要成分が中砂で、水の流れも強くなり、分級作用も顕著だったため、主要成分である中砂の中に細砂が微量混合することによって、正にシフトしたのである。主要成分の中に、その成分よりもっと粗粒な成分、あるいは細粒な成分が、微量それぞれ混合することによって、分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長いtailをもつことにより、どちらかにシフトするのである。汀線から沖へ約310mの地点～Offshore間で、0か0の近傍の値を示している。 $\beta \phi$ は、汀線から沖へ約200mの地点付近で、極大値を示し、汀線から沖へ約400mの地点付近で、極小値を示して、不明瞭ながら正の三次関数のグラフのような傾向だ。つまり、 $\sigma \phi$ の傾向と逆相関関係にあって、これが理屈にあった事象である。

(3) 2004年11月10日：弧状沿岸砂州中心部において (Fig.10：栈橋先端～Offshore), $Md \phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約15mの地点間で、 $-3.0 \sim -1.0 \phi$ の値を示し、中礫・小礫で組成する。汀線から沖へ約20mの地点～汀線から沖へ約50mの地点間で、 $-1.0 \sim 1.0 \phi$ の値を示し、極粗砂・粗砂で組成している。汀線から沖へ

約60mの地点～汀線から沖へ約150mの地点間で、 $1.0 \sim 2.0 \phi$ の値を示し、中砂で組成する。つぎに、汀線から沖へ約160mの地点～汀線から沖へ約270mの地点間で、 $0 \sim 2.0 \phi$ の値を示し、粗砂・中砂で組成する。汀線から沖へ約300mの地点付近の1点は、 $-1.0 \sim 0 \phi$ の値を示し、極粗砂で組成している。汀線から沖へ約330mの地点～Offshore間で、 $1.0 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、中砂・細砂で組成する。時期としては、冬季の入り口にさしかかって、10月以後、1ヶ月間に何回か、激しい水の流れの先例をうけたため、不安定な変異を示している。汀線から沖へ約100mの地点付近で、極大値を示し、汀線から沖へ約210mの地点付近で、極小値を示して、不明瞭ながら、正の三次関数のグラフのような傾向である。 $\sigma \phi$ は、汀線から沖へ約100mの地点付近で、値が小さく、極小値を示す。また、汀線から沖へ約200mの地点付近で、値が大きく、極大値を示すようだ。汀線から沖へ約200mの地点付近の、値が小さい2点を除いて、負の三次関数のグラフのような傾向を示す。これは、汀線から沖へ約60mの地点～汀線から沖へ約130mの地点間でのみ、10月の主要成分が極粗砂・粗砂であって、それが、11月14日での主要成分が中砂に変換している。故に、この区間は、冬季における南西からの沿岸流、と北西からの水の流れがそれらの上手側に既設の人工リーフによって、水路のようになり、強大なベクトルに発達した水の流れによって、この区間で、強烈に分級作用をおこして、中砂を主要成分とする砂を堆積させたことから、値を下げたのである。 $\alpha \phi$ は、汀線付近～汀線から沖へ約50mの地点間、と汀線から沖へ約250mの地点～Offshore間において、正にシフトしている。また、汀線から沖へ約60mの地点～棧橋先端間では、負にシフトしている。とくに、汀線から沖へ約60mの地点～汀線から沖へ約150mの地点間で、10月に主要成分が粗砂であったが、11月14日には、中砂に変換している。このことから、この区間では、激しい分級作用によって、粗砂が残留して主要成分中に微量混合することになる。この主要成分中の粗粒成分の微量が、分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長いtailをもつことにより、明瞭に負にシフトする要因なのである。汀線から沖へ約160mの地点付近で、極小値を示し、大きな弧を描いて、下に凸な放物線のような傾向を示す。 $\beta \phi$ は、全体的に値が小さく推移しており、明瞭な傾向がみられない。

弧状沿岸砂州接合部において (Fig11), $Md \phi$ は、汀線から沖へ約60mの地点～汀線から沖へ約170mの地点間で、 $1.0 \sim 2.0 \phi$ の値を示し、中砂で組成する。

汀線から沖へ約200mの地点～Offshore間で、 $2.0 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、細砂で組成している。10月には汀線付近に極粗砂・粗砂の主要成分が存在していた、しかし、11月10日での主要成分に、これらが姿を消した。汀線付近～Offshore間で、若干値を落しているものが数点ある。これは、主要成分の中砂・細砂の中に、極粗砂・粗砂の粗粒成分が微量移動してきて混合することで、値を落すことになる。岸から沖へ向かって、階段状に細粒化して行く、変則的な傾向を示す。10月初旬から11月初旬にかけて、観測棧橋を中心に、北東側と南西側に、それぞれ約200mの消波ブロックを、その時の汀線上に設置した。すると、2005年3月6日の深浅測量 (図には示さないが) によると、棧橋の中心～弧状沿岸砂州接合部間で、砂が約1m位堆積していることがわかった。これにより、ブロックの前面に砂が堆積し、汀線が前進した。また、弧状沿岸砂州接合部が、10月の位置より南西側へ約100m位移動したことになる。 $\sigma \phi$ は、汀線付近は、値が大きく、淘汰が悪い、しかし、沖へ行くにつれて値が小さく、淘汰がよくなって行く傾向のようだ。前述の数点のうちの3点、つまり、汀線から沖へ約340mの地点、汀線から沖へ約450mの地点、汀線から沖へ約630mの地点で、それぞれ、値が大きく、淘汰が悪い。これは、主要成分が細砂であるため、本来は淘汰がよくなければならないのだが、主要成分の細砂の中に、極粗砂・粗砂の粗粒成分が淘汰を悪くするくらいの量だけ移動して来て、混合したからである。南西からの沿岸流、北西からの水の流れが、それらの上手側に既設の人工リーフにより、海浜流が強化される。棧橋の北東側、あるいは南西側と、両側で、汀線での消波ブロックの設置によって、2方向からの、強大な水流れが、“まだら”のような状態になって、各個所に作用し、それに、分級作用も従って、このような現象となるのであろう。 $\alpha \phi$ は、汀線付近～Offshore間で、全点が、0か、あるいは0の近傍に位置している。正規分布に近い分布を示すものが全体をしめていることと思う。前述の3点は、0か、あるいは、やや負にシフトしている。主要成分が細砂で、その中に、極粗砂・粗砂・中砂の粗粒成分が微量混合することにより、分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側よりも長いtailをもつことにより、そうなるのである。 $\beta \phi$ は、全体的に明瞭な傾向は見当たらない。個々に、 $\sigma \phi$ の値と比べたとき、例外を除いて、相反する値をそれぞれ示している。

(4) $Md \phi$ と $\sigma \phi$ 、 $\alpha \phi$ の相関関係 (Fig.12): まず、Fig.12内の記号を説明すると、(a)は、汀線付近、(b)は、大部分が弧状沿岸砂州中心部のNearshore (半分位が、2003、2004年2月に底質採取したもの)、(c)は、

大部分が弧状沿岸砂州接合部の極深部、極浅部岸側斜面、極浅部、および、一部が、弧状沿岸砂州中心部のNearshore、(d)は、大部分が弧状沿岸砂州接合部の極浅部沖側斜面、Offshore、および、一部が弧状沿岸砂州中心部のBar沖側斜面、Offshore、と明記する。

$Md\phi$ - $\sigma\phi$ の相関関係において、粗粒側で $\sigma\phi$ の値が大きく、細粒側へ徐々に $\sigma\phi$ の値が小さくなって行く傾向を示すようだ。つまり、負の相関関係を示している。しかも、よく見ると、三重に負の相関関係が現れているような気がする。(a)の区分では、 $\sigma\phi$ の値の変化の幅が、すぐとなりの(b)の区分のそれと同様に広いことである。主要成分が、中礫・小礫・極粗砂と、3つの成分で組成して、細粒側へかたよるごとに、 $\sigma\phi$ の値が小さく、淘汰がよくなっている。これが、自然の節理にのっとなって作用する、上下浜海岸のこの位置では、主要成分が全部礫で、大変 $\sigma\phi$ の値が大きく、変化の幅も狭い(内山, 2004)。また、弧状沿岸砂州接合部での、この位置の点の存在がみられたが、今回は、桟橋近傍の弧状沿岸砂州中心部のこの位置の点のみが、全体をしめている。海浜の後浜基部に形成している、海岸砂丘砂は、粒度組成の主要成分を極粗砂・粗砂で組成している。これが、冬季の大きな波浪によって侵食され、ここでは海浜がないため、直接海へ流出する。この2つの成分で組成されている砂は、移動しやすく、堆積しやすい砂である(内山, 2001)、と認証済みなので、(a)の区分に次のチャンスがあるまで長らく滞留することとなる。弧状沿岸砂州の北東、あるいは、南西側に既設する離岸堤、人工リーフがそれぞれ水路のような役目を果たし、沿岸流、沖からの水の流れを、強大なベクトルをもつ水の流れに発達させる。したがって、上下浜のこの区分の粒度組成とちがって、大きな礫が存在しない中で、礫成分は沖へ移動することになる。故に、この区分においては、主要成分の中でしめる、この成分の混合比の頻度が高くなるにつれて、値が小さく、淘汰がよく、また、その逆も成り立つのである。(b)の区分では、前述のごとく、 $\sigma\phi$ の値の変化の幅が広い。2003、2004年の2月に採取の海底底質が、この区分に大部分入っていて、主要成分が極粗砂で組成している。また、夏季に採取の海底底質も、この区分に大部分入っていて、主要成分が粗砂で組成している。半分以上、 $\sigma\phi$ の値が大きく、淘汰が悪い、わずかだが、 $\sigma\phi$ の値が小さく、淘汰がよい。上下浜海岸のこの区分で、点の集合の形状は、桟橋近傍のこれと類似しているが、 $\sigma\phi$ の値の大きい点の集合が、今回多いようだ。この区分は、あらゆる方向からの水の流れが、一番強大にベクトルが発達することにより、このような事象となるのである。主要

成分の粗粒側すぐとなりの粗粒成分が激しい水の流れによって、強烈に粗粒側、あるいは細粒側へ分級作用を受けて運ばれて堆積し、混合する。この区分の大部分で、 $\sigma\phi$ の値が大きいのは、主要成分

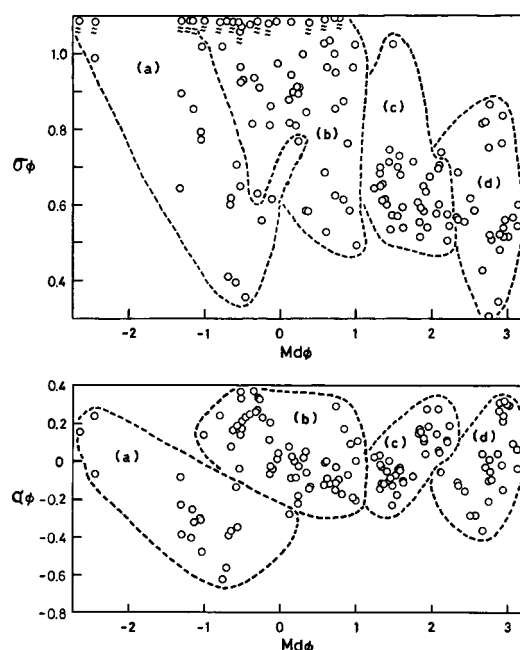


Fig.12 The correlation between $Md\phi$ and $\sigma\phi$, $\alpha\phi$, in the sediment of the sea bottom.

より粗粒な成分が、運ばれてきて堆積し、混合することにより、主要成分の混合比を下げる。また、一部で、 $\sigma\phi$ の値が小さいのは、主要成分と類似な成分が運ばれてきて堆積し、混合することによって、主要成分の混合比を高めるのである。(c)の区分では、1点の例外を除いて、一番 $\sigma\phi$ の値の変化の幅が小さい。弧状沿岸砂州中心部と接合部の点の数が半分づつ存在する。中心部では、それぞれ2方向からの沿岸流、と沖からの水の流れ、とくに、冬季に強大なベクトルに発達する離岸流によって、激しく分級作用を受けて、粒度組成の主要成分の混合比を高めることにより、 $\sigma\phi$ の値が小さく、変化の幅も狭くなっていることに反映している。接合部では、それぞれ2方向からの沿岸流と沖からの水の流れが大きく寄与して、粒度組成の主要成分の混合比を高めることで、 $\sigma\phi$ の値が小さく、変化の幅も狭くすることに、大きく反映しているのである。(d)の区分では、10点前後が弧状沿岸砂州中心部の海底底質の点であって、他は、全部接合部の海底底質の点である。 $\sigma\phi$ の値が大きい6点は、それぞれ2方向からの沿岸流と沖からの水の流れによって、粒度組成の主要成分より粗粒な成分が運ばれてきて堆積し、混合する。主要成分の混合比を低くすることによって、この事

象となった。また、他の点は、 $\sigma\phi$ の値が小さく、淘汰がよい。これは、それぞれ2方向からの2つの水の流れによって、粒度組成の主要成分と $\sigma\phi$ の値が同値か、あるいは、類似値の成分が運ばれてきて混合したため、主要成分の混合比を高めたためである。全体的に、上下浜海岸の $Md\phi - \sigma\phi$ と比べて、変則的な変異を示しているが、一応理論上納得のいく相関関係であることはまちがいない(内山, 2004)。

$Md\phi - \alpha\phi$ の相関関係において、全体的に明瞭な傾向は見当たらない。(a)の区分では、となりの(b)の区分と同様に、 $\alpha\phi$ の値の変化の幅が広い。2点は正に、他の点は全部負に、それぞれシフトしている。この区分では、粒度組成の主要成分が中礫・小礫・極粗砂で、上下浜海岸の海底底質の粒度組成、この区分の主要成分より細粒化した。海岸侵食が進んだため、多量の海岸砂丘砂が侵食されて海へ流出して、この区分に滞留しているからであろう(内山, 2002),(内山, 2003),(内山, 2004)。海岸砂丘砂のヒストグラムで二峰分布を示す、極粗砂、粗砂が多量に滞留して、この区分の主要成分を組成しているのである。この区分の大部分が、小礫・極粗砂を主要成分として組成し、負にシフトしている。中礫を主要成分として組成している2点のみが、正にシフトしている。南西側、あるいは北東側に既設の人工構造物によって、水路の様相を呈し、強大なベクトルに発達した沿岸流、および沖からの水の流れによって運ばれた底質が、主要成分を組成して堆積する。その主要成分よりもっと粗粒な、あるいは細粒な、成分がそれぞれ微量混合することによって、分布曲線の負、あるいは粗粒側に、正、あるいは細粒側に、その反対側よりも長いtailをもつことにより、負、正にシフトするのである。(b)の区分では、前述のごとく、 $\alpha\phi$ の値の変化の幅が広い。また、点の集合の形状は、上下浜の海底底質のこれとガラッと変ってしまった。この区分では、大まかに、点の集合を2つに分割することができる。1つの集合は、2003、2004年2月に棧橋に沿って海底底質採取のもので、主要成分が極粗砂であり、 $\alpha\phi$ の値は、正にシフトしていることだ。もう一方の集合は、夏季に海底底質採取のもので、主要成分が粗砂であり、 $\alpha\phi$ の値は、負にシフトしている。前者の場合、冬季の真最中ということで、他のどんな水の流れよりも、離岸流が優勢に作用することにより、(a)区間に多量に滞留する海岸砂丘砂が、主要成分の2成分のうち、細粒側へ分級作用をうけて移動して、堆積することで、正にシフトする。一方、後者の場合、夏季のため、南西からの沿岸流や北西からの水の流れ、あるいは離岸流よりも北東からの沿岸流や北からの水の流れが、

それぞれ、優勢に作用することにより、ここの主要成分の粗砂よりも粗粒な成分が移動してきて、堆積することで、 $\alpha\phi$ の値が負にシフトする由縁である。(c)の区分では、前述の2つの区分での、 $\alpha\phi$ の値の変化の幅よりずっと狭い。この区分の主要成分は中砂と細砂で、半分以上の点が、中砂を主要成分としている。全点の集合の中に、弧状沿岸砂州中心部と接合部が半半に存在して、それらがまた、全点を正、負に半半ずつ分割している。とくに、正側に3点の、2003年と2004年の2月に、棧橋に沿って海底底質採取のもが入っている。(d)の区分では、 $\alpha\phi$ の値の変化の幅が狭い。この区分の主要成分は細砂、と細砂にきわめて近い微砂である。大部分の点が弧状沿岸砂州接合部のもので、中の8点が弧状沿岸砂州中心部のものである。それぞれ、2つの方向からの沿岸流、と沖からの水の流れが、他の水の流れよりも優勢に作用し、主要成分よりもっと粗粒な、あるいは細粒な、成分を運んで堆積し、微量な成分を混合することによって、分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長いtailをもつことにより、負、正どちらかにシフトすることになる。

3.3 構成正規分布集団による解析

一般に、流体の作用のもとで堆積した細粒な岩屑の多くは、粒径の対数値に対する重量頻度がしばしば正規分布か、またはそれに近い分布をすることが経験的に知られている。しかし、実際には、多くの堆積物は正規確率紙に累積頻度曲線を描いた場合に、屈曲の変換点を示し、オーバーラップした複数の正規分布集団から構成されている。すなわち、粒径分布がいくつかの正規分布集団の合成からなっている。いくつかの図は、粒度分析の結果を、正規確率紙の横軸に ϕ 値をとり、縦軸に重量頻度の累積頻度曲線を描いた。つぎに、屈曲の変換点の位置を的確に見出すために、重量頻度分布曲線によって、2つの集団がオーバーラップする粒径を吟味した。2つの変換点の間が構成正規分布集団の1つとして、小さな黒点を描点し直線を引く。数本の直線が引かれ、構成正規分布集団の分離が行われたことになる。

分離した構成正規分布集団を図上で再び合成して、もとの累積頻度曲線と比較して正確に分離が行われたかどうかを検定した。白丸は、分離した構成正規分布集団の示す直線を図上で再び合成した描点である。白丸は、もとの累積頻度曲線の上に大体よくのっており、構成正規分布集団の分離がよい精度で行われたことを示している。また、粒度分析も高い精度で行われたことがわかる。

今回は、2003年8月19、23日、2004年10月18、7日、

2004年11月14, 10日, そして, 2003年10月7日, 2004年10月7日, 2004年11月10日, とそれぞれの時期に, 大湊波浪観測所, 観測用栈橋近傍の海底底質採取の試料を用いて解析し, 考察する。ただし, 前の底質採取の日, 月は, 弧状沿岸砂州中心部で, うまい具合に観測用栈橋の位置にあたり, 汀線~栈橋先端間は, 毎月1回栈橋上から海底底質採取の試料を採用し, 栈橋先端~Offshore間は, 船からの海底底質採取の試料を採用した。これは, 船による底質採取のときの日, 月と栈橋上からの底質採取の日, 月が近接するのが望ましいためである。後の海底底質採取の日, 月は, 弧状沿岸砂州接合部で, 船からの底質採取の試料である。1回につき, 上述の2測線で, おのおのの測線で3点ずつ, 3回解析し, 考察した。

(1) 2003年8月19, 23日, 10月7日: 弧状沿岸砂州中心部 (Fig.13) において, Nearshore(a)では, $Md \phi$ が, - 1.1 ϕ の小礫を1.6%, - 0.2 ϕ の極粗砂を39.7%, 0.6 ϕ の粗砂を53.0%, 1.4 ϕ の中砂を5.5%でそれぞれ構成する。Trough(b)では, $Md \phi$ が, - 1.6 ϕ の小礫を1.5%, - 0.4 ϕ の極粗砂を33.3%, 0.5 ϕ の粗砂を49.8%, 1.6 ϕ の中砂を13.6%, 2.6 ϕ の細砂を1.4%でそれぞれ構成する。Bar(c)では, $Md \phi$ が, 0 ~ 1.0 ϕ の粗砂を14.1%, 1.9 ϕ の中砂を66.1%, 2.7 ϕ の細砂を19.1%, 3.7 ϕ の微砂を0.7%でそれぞれ構成している。

この測線の海底底質採取時期は, 夏季の中間点位なので, 夏季特有の流れになっている。しかし, それぞれの地点には, まだ堆積した冬季の粒度組成の名残が見える。弧状沿岸砂州の北東側の離岸堤が既設され, 北からの水流を強化する。この測線では, この2つの水の流れの頻度が高くなり, 離岸流よりも優勢に作用するのである。海浜の後浜基部に形成している, 海岸砂丘砂が, 冬季の大きな波浪によって侵食されて, 直接海に流出し, 離岸流により, 細粒側へ分級作用を受けながら移動して, 堆積したことになる。これとともに, この海底底質採取時期での2方向からの水の流れの上手側に堆積している海岸砂丘砂が, 細粒側へ顕著に分級作用を受けて, この測線の各地点に堆積していることがわかる(内山, 2004)。NearshoreとTroughの主要成分は, 海岸砂丘砂のそれと同じく, 極粗砂・粗砂であって, いずれも, 2つで構成している主要成分のうちで, 細粒側の混合比の頻度が高い。また, Barにおいては, 主要成分を, 粗砂・中砂・細砂で構成していて, 中砂の混合比の頻度が断然高い。これは, 内陸に堆積している新砂丘砂の主要成分の粗砂・中砂の構成と同じで, とくに分級作用を受けて, そのうちの細粒側の砂が堆積したのだらう。要は, この測線全体で海岸砂丘砂が, かなり高い頻度で堆積していることになる。

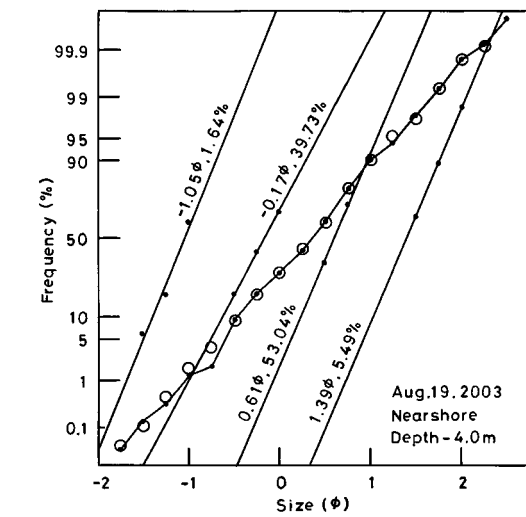
また, 上下浜海岸での同測線のそれぞれ同地点に比べても, ウェントワースの粒径区分表で, 一段細粒側の砂で構成していることがわかる。

弧状沿岸砂州接合部 (Fig.13) において, Nearshore(d)では, $Md \phi$ が, - 1.6 ϕ の小礫を0.3%, - 0.1 ϕ の極粗砂を9.3%, 0.9 ϕ の粗砂を71.9%, 1.7 ϕ の中砂を16.9%, 2.5 ϕ の粗砂を0.9%でそれぞれ構成する。極深部(e)では, $Md \phi$ が, 0 ~ 1.0 ϕ の粗砂を11.2%, 1.8 ϕ の中砂を71.2%, 2.68 ϕ の細砂を16.6%, 3.9 ϕ の微砂を1.0%でそれぞれ構成する。極浅部(f)では, $Md \phi$ が, 0 ~ 1.0 ϕ の粗砂を25.2%, 1.7 ϕ の中砂を68.4%, 2.6 ϕ の細砂を6.4%でそれぞれ構成している。

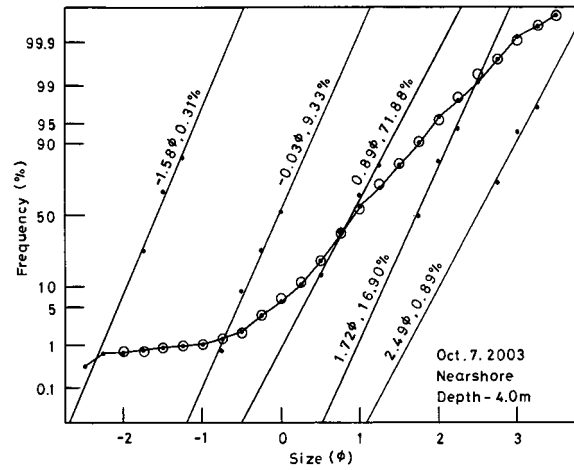
この測線の海底底質採取時期は, 冬季の入り口に当たっていて, 数回の冬の嵐にあっている。しがたって, 海底底質の粒度組成は, 夏季の様相を呈しているが, 水流は, 南西, あるいは北西からとなっていると思う。Nearshoreは粗砂で, 極深部と極浅部は中砂で, 主要成分を単独でそれぞれ構成している。北東, あるいは北からの水の流れの上手側に, 冬季に堆積した海岸砂丘砂が, 細粒側へ相当激しく分級作用を受けて, 他の個所より浅いため, “せり上って” 各地点に堆積したことになる。自然な海岸を保つ上下浜海岸で, 同じ時期に海底底質採取を行って, 同各地点のそれと比べると(内山, 2004), 極深部と極浅部は, 主要成分を中砂で構成しているが, その混合比の頻度はかなり高い。Nearshoreには, 礫成分が30%位で構成していて, 主要成分の極粗砂の混合比の頻度を若干下げている。これは, 大湊波浪観測所, 観測栈橋から北東へ約10~15kmの所に, 米山を源流とする川が2~3本, 海へ出ているため, これらの川から流出した礫成分が, 北東からの沿岸流によって移動して, Nearshoreの地点に“せり上って” 堆積したことになる。

(2) 2004年10月18, 7日: 弧状沿岸砂州中心部 (Fig.14) において, Nearshore(a)では, $Md \phi$ が, - 3.2 ϕ の中礫を11.5%, - 1.3 ϕ の小礫を47.1%, - 0.8 ϕ の極粗砂を38.1%, 0.6 ϕ の粗砂を1.1%, 1.4 ϕ の中砂を1.1%でそれぞれ構成する。Trough(b)では, $Md \phi$ が, 0 ~ 1.0 ϕ の粗砂を71.7%, 1.6 ϕ の中砂を26.4%, 2.7 ϕ の細砂を1.9%でそれぞれ構成する。Bar(c)では, $Md \phi$ が, 0 ~ 1.0 ϕ の粗砂を10.8%, 1.9 ϕ の中砂を63.6%, 2.7 ϕ の細砂を24.0%, 3.9 ϕ の微砂を微量でそれぞれ構成している。

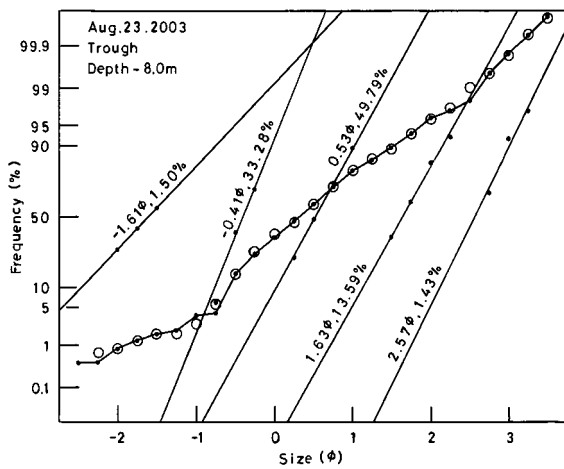
この測線のNearshoreでは, 主要成分が礫成分・極粗砂であって, とくに礫成分(中礫・小礫)の混合比の頻度が高い。これは, この測線の海底底質採取時期が夏季の終りと冬季の入り口といった, オーバ



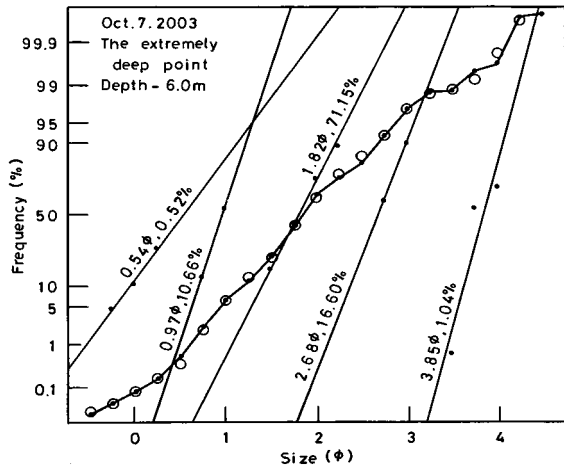
(a) On the nearshore



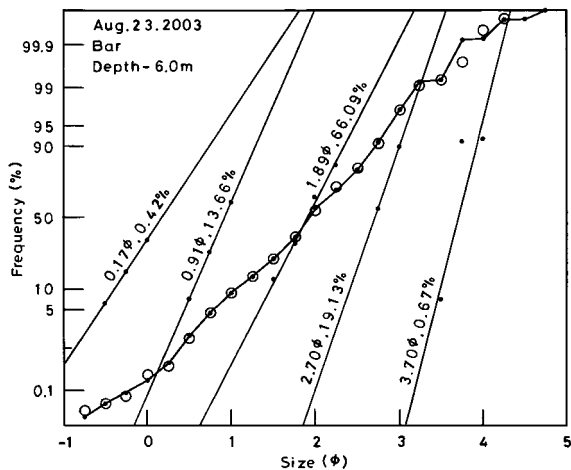
(d) On the nearshore



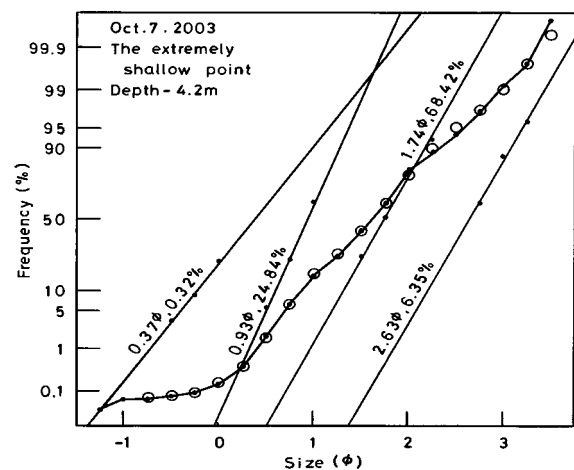
(b) On the trough



(e) On the extremely deep point



(c) On the bar



(f) On the extremely shallow point

(a),(b),(c) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug. 19, 23, 2003.

(d),(e),(f) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct. 7, 2003.

Fig.13 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, in the sediment on the sea bottom.

ーラップした時期でもある。したがって、夏季で、北東からの沿岸流と北からの水の流れが、強大なベクトルに発達して、発生していただろうし、また、数回の北西からの季節風による、南西からの沿岸流と北西からの水の流れ、とこれらよりも優勢に作用する、離岸流もあったことと思う。前項に説明のように、米山を源流とする川から海へ流出した礫成分は、途中の上下浜海岸の所要の各地点を通して、この測線の汀線付近に滞留する。つぎに、汀線付近に滞留している礫成分は、冬季の入り口のため数回、あらゆる水の流れよりも優勢に作用する離岸流によって、沖へ移動し、Nearshoreに堆積したことだろう。上下浜海岸とこの測線の間に、数箇所離岸堤が既設されていて、ここでは、いくつもの水路の様相を呈し、沿岸流と沖からの水の流れは、この上なくベクトルを強大に増強したことだと思う。また、この測線の、2つの水の流れの上手側に、弧状沿岸砂州接合部があり、この測線のNearshoreで、ある程度粗粒化していることも、うなずける。TroughとBarでは、細粒化しており、離岸流により、細粒側へ分級作用をうけて堆積したことがわかる。この2地点の粒度組成の主要成分は、海岸砂丘砂のそれに一致していて、海岸砂丘砂が多量に堆積していることがわかる。Troughには、海岸砂丘砂のヒストグラムで、二峰分布を示すうちの、細粒側の成分の粗砂で主要成分を構成していて、Barには、内陸に形成している新砂丘砂のヒストグラムで、二峰分布を示すうちの、細粒側の成分の中砂で主要成分を構成している（内山、2002）、（内山、2003）、（内山、2004）。

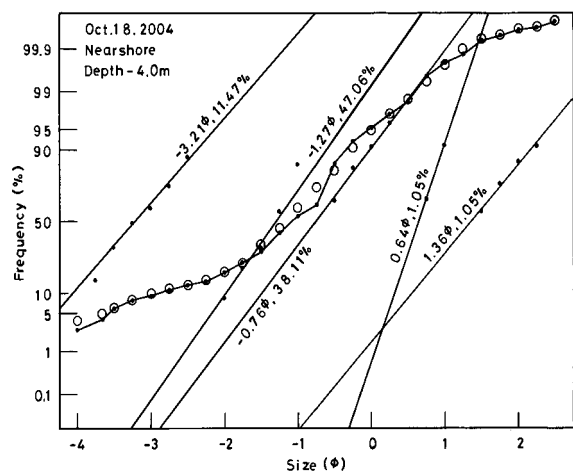
弧状沿岸砂州接合部(Fig.14)において、Nearshore(d)では、 $Md \phi$ が、 $-1.0 \sim 0 \phi$ の極粗砂を29.4%、 0.7ϕ の粗砂を54.5%、 1.5ϕ の中砂を15.7%、 2.6ϕ の細砂を0.3%でそれぞれ構成する。極深部(e)では、 $Md \phi$ が、 0.1ϕ の粗砂を0.3%、 $1.0 \sim 2.0 \phi$ の中砂を85.7%、 2.7ϕ の細砂を13.7%でそれぞれ構成する。極浅部(f)では、 $Md \phi$ が、 -0.2ϕ の極粗砂を0.2%、 $1.0 \sim 2.0 \phi$ の中砂を70.2%、 2.7ϕ の細砂を28.1%でそれぞれ構成している。

この測線では、海底底質採取の時期といい、水の流れといい、前述の事情と全く同じである。Nearshoreでは、夏季での水の流れの上手側から運ばれてきた底質は、この地点で“フルイ分け”されたかのように、細粒側へ分級作用をうけて“せり上って”、極粗砂より細粒な成分が堆積し、礫成分は、水の流れの下手側に位置する弧状沿岸砂州中心部のNearshoreに堆積することになる。この地点の粒度組成の主要成分が、極粗砂・粗砂・中砂であって、海岸砂丘砂の主要成分、および、それぞれの混合比の頻度ともよ

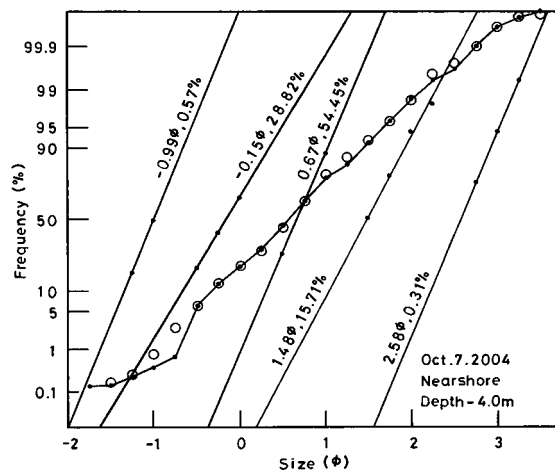
く類似している。堆積している海岸砂丘砂の供給もとは、南西側となりに位置している、弧状沿岸砂州中心部の各地点であることがわかる。極深部と極浅部では、主要成分が中砂・細砂で、去年と比べて細粒化している。これは、内陸に形成の新砂丘砂の主要成分である細粒側の成分の中砂が、この2つの地点で、細砂とともに主要成分を成し、しかも、中砂の方が、混合比の頻度で、断然勝っている。弧状沿岸砂州中心部の各地点から、冬季における2つの水の流れによって、細粒側へ分級作用を受けながら、この測線は浅いこともあり、“せり上って”堆積したことになる。

(3) 2004年11月14、10日：弧状沿岸砂州中心部(Fig.14)において、Nearshore(a)では、 $Md \phi$ が、 $-1.0 \sim 0 \phi$ の極粗砂を81.1%、 0.7ϕ の粗砂を17.2%、 1.7ϕ の中砂を1.0%でそれぞれ構成する。Trough(b)では、 $Md \phi$ が、 -2.4ϕ の中礫を4.1%、 -1.3ϕ の小礫を19.7%、 -0.5ϕ の極粗砂を38.9%、 0.7ϕ の粗砂を21.4%、 1.7ϕ の中砂を12.6%、 2.7ϕ の細砂を2.5%でそれぞれ構成する。Bar(c)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を46.6%、 1.7ϕ の中砂を45.8%、 2.7ϕ の細砂を7.1%でそれぞれ構成している。

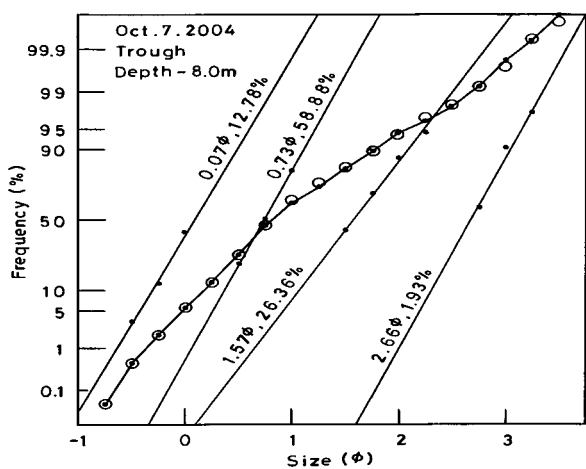
この測線では、海底底質採取の時期が完全に冬季の入り口に入ったという感じである。南西からの沿岸流と北西からの水の流れが、その、それぞれの水の流れの上手側に人工リーフの既設で、それが、水路のような様相と化し、強大なベクトルに発達する。しかし、この時期になると、その2つの水の流れより、離岸流の方が優勢に作用することになる。10月18日のNearshoreで、粒度組成の主要成分のうちの礫成分60%近くを構成し、極粗砂の成分とそれと対を成していた。それが、11月14日になると、極粗砂の混合比の頻度が増加し、80%以上を構成して、粗砂と対で、この主要成分を構成している。ここでは、フルイ分けのように、細粒側へ分級作用をうけて、極粗砂、粗砂が多量に堆積し、10月18日のこの地点で、多量に堆積していた礫成分は、強大なベクトルに発達した離岸流によってTroughに移動したことになる。Troughには、Nearshoreからの供給によって、10月7日に礫成分、極粗砂の堆積がほとんどなかったが、11月10日には、主要成分として堆積している。このため、粗砂の混合比の頻度が急激に減じた。一応、全体が平均した混合比の頻度を呈して堆積している。Barでは、粗砂が増加して、中砂、細砂が減じ、それぞれの混合比の頻度に変化した。これは、粗砂が弧状沿岸砂州岸側斜面で、粗粒側へ分級作用をうけて、“せり上って”Barに堆積したと思われる。10月7日、この地点に多量に堆積していた中砂は、弧状沿岸



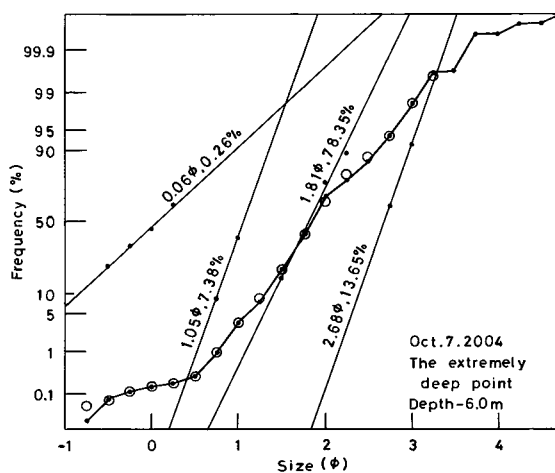
(a) On the nearshore



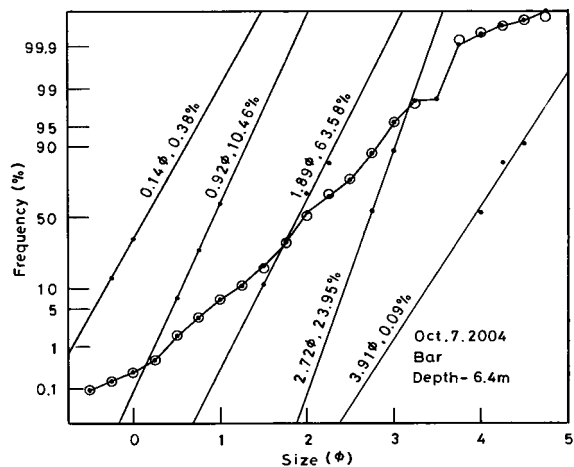
(d) On the nearshore



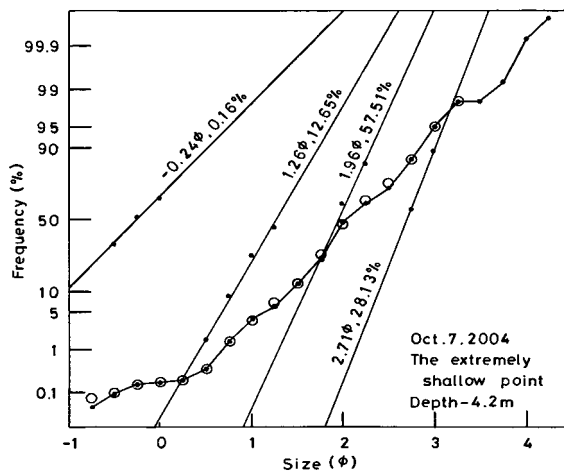
(b) On the trough



(e) On the extremely deep point



(c) On the bar

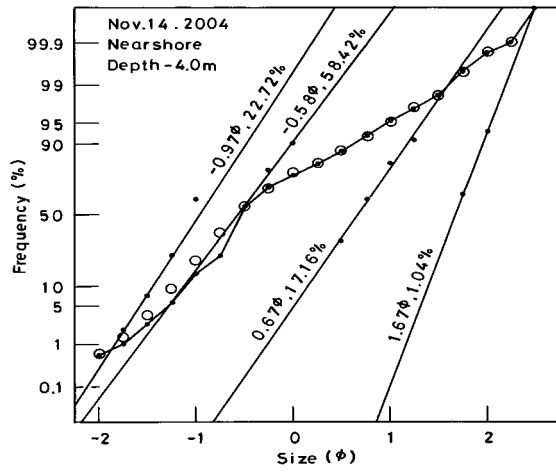


(f) On the extremely shallow point

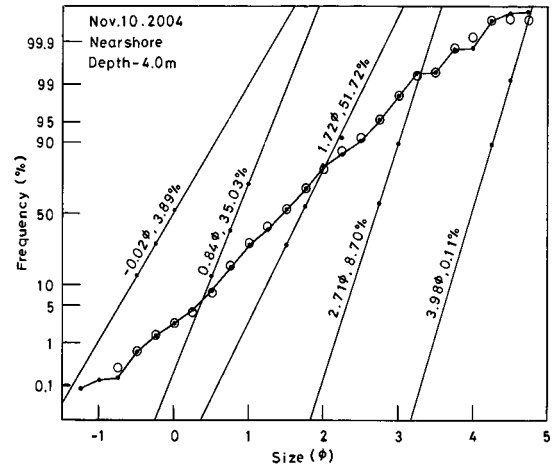
(a),(b),(c) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.18,7.2004.

(d),(e),(f) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2004.

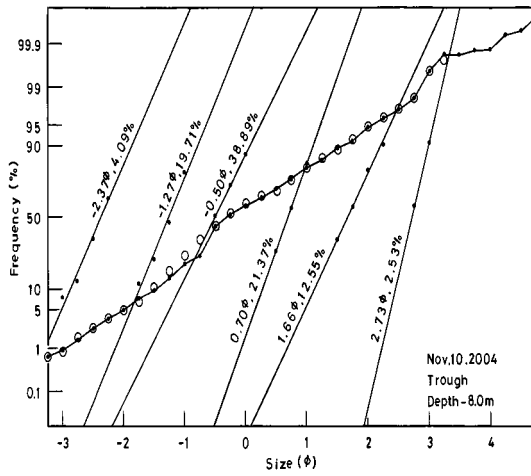
Fig.14 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, in the sediment on the sea bottom.



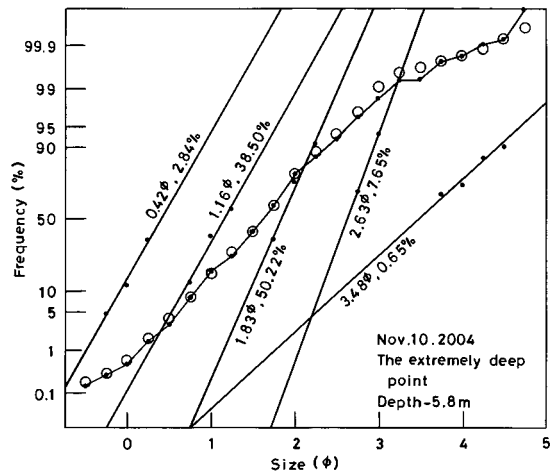
(a) On the nearshore



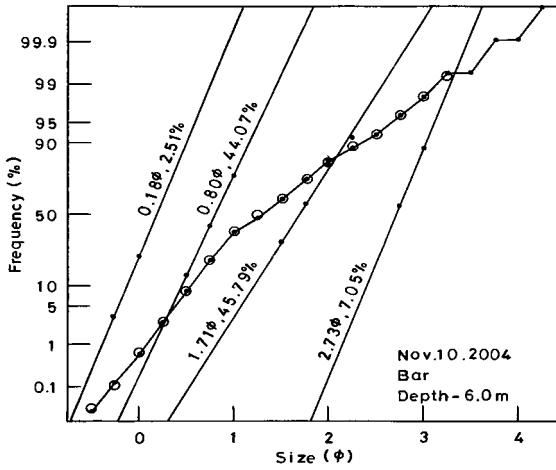
(d) On the nearshore



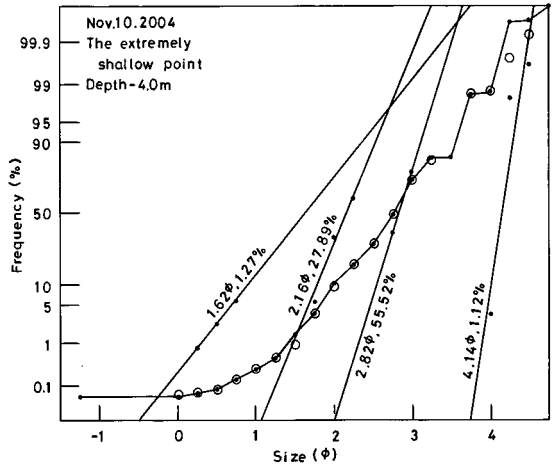
(b) On the trough



(e) On the extremely deep point



(c) On the bar



(f) On the extremely shallow point

(a),(b),(c) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Nov.14,10.2004.

(d),(e),(f) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Nov.10.2004.

Fig.15 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, in the sediment on the sea bottom.

砂州沖側斜面を下って、Offshoreへ移動したのではない。そこで、粗砂、中砂が、それぞれ45～47%位の混合比の頻度を示し、主要成分を構成して、堆積したことになる。主要成分が粗砂・中砂であって、また、内陸に形成の新砂丘砂の主要成分でもあり、それぞれ混合比の頻度も相当よく類似している。

弧状沿岸砂州接合部(Fig.15)において、Nearshore(d)では、 $Md \phi$ が、 -0.02ϕ の極粗砂を3.9%、 0.8ϕ の粗砂を35.0%、 1.7ϕ の中砂を51.7%、 2.7ϕ の細砂を8.7%、 4.0ϕ の微砂を微量でそれぞれ構成する。極深部(e)では、 $Md \phi$ が、 0.4ϕ の粗砂を2.8%、 $1.0 \sim 2.0 \phi$ の中砂を88.7%、 2.6ϕ の細砂を7.7%、 3.5ϕ の微砂を微量でそれぞれ構成する。極浅部(f)では、 $Md \phi$ が、 1.6ϕ の中砂を1.3%、 $2.0 \sim 3.0 \phi$ の細砂を83.4%、 4.1ϕ のシルトを1.1%でそれぞれ構成している。

この測線では、海底底質採取の時期が11月10日ということで、南西からの沿岸流、北西からの水の流れが相当顕著に作用したようだ。10月7日のNearshoreでは、粗砂が混合比の頻度のモードを示し、極粗砂とともに主要成分を構成していた。それが、11月10日のこの地点では、中砂が混合比の頻度のモードを示し、粗砂とともに主要成分を構成している。これは、上述した2つの水の流れによって、10月7日の弧状沿岸砂州中心部のBarの頂点に、多量に堆積している中砂が、その岸側斜面の弧に沿って岸側へ移動し、11月10日のこの地点に堆積したのだらう。10月7日と11月10日の弧状沿岸砂州中心部のBarの頂点で、主要成分の混合比の頻度、加えて、弧状沿岸砂州接合部のNearshoreのそれを互いに見比べれば、前述の砂の需給関係が一目瞭然である。極深部では、主要成分が中砂・細砂の構成で、中砂の混合比の頻度が断然高い。10月7日のこの地点の混合比と比べると、粗砂と中砂に微量付加して、混合比の頻度をそれぞれ微少上げ、細砂はその頻度をわずかに下げている。極浅部では、細砂が単独で、主要成分を構成している。10月7日のこの地点の主要成分と比べると、中砂の混合比の頻度が70%、細砂のそれが28%と、この2つで主要成分を構成していた。それが、11月10日のこの地点では、中砂がほとんどなくなり、細砂が83%の混合比の頻度になっている。これは、10月7日の弧状沿岸砂州中心部のBarの頂点、と接合部の極浅部に、多量に堆積していた中砂が、上述の2つの水の流れによって、分級作用をうけながら、11月10日の接合部のNearshore 極深部に移動して、堆積したことが、それぞれの混合比の頻度を高めている由縁である。一方、細砂は、Offshoreに、主に堆積している砂であって、上述の2つの水の流れによって、運ばれてきて、この測線の水の流れの上手側となり位置する、

弧状沿岸砂州中心部沖側斜面を弧に沿って移動し、“せり上って”接合部のこの地点に堆積したものと思われる。2005年3月6日の深浅測量（ここでは図に出さない）では、弧状沿岸砂州接合部の南西側の、かげになっている測面で、細粒成分の砂の堆積が顕著に、北東側で侵食が激しく、行われた。つまり、あらゆる個所よりも、この測線が先行して変異し、冬季には、南西側に移動することがわかった。また、夏季には、北東側へ移動するようだ。

4. 結語

観測用棧橋近傍海域は侵食性の海岸であり、弧状沿岸砂州の中央部に位置している。この海域において、2003年8月23日、10月7日、2004年10月7日、11月10日に行った深浅測量と海底底質採取データを解析した。深浅測量は、汀線から沖へ約200mの地点を汀線に沿った1測線と、岸沖方向の2測線を行った。また、海底底質採取は、岸から沖へ水深1mごとに、棧橋沿いの1側線、弧状沿岸砂州接合部の岸沖方向の1側線で実施した。海底地形の変形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変化の考察から、この海域の地形、底質の特性は、自然海浜である上下浜海岸とは異なり、年間を通して変動が急激で不規則であることが示された。

参考文献

- 内山 清 (2001): 海底底質と海浜底質の粒度組成 - 棧橋に沿った海底底質とビーチカスプにおける海浜底質 - , 京都大学防災研究所年報, 第44号 B - 2, pp.361 - 374 .
- 内山 清 (2002): 棧橋に沿った海底底質と上下浜での海底底質の粒度組成 - 両者の粒度組成による差異 - , 京都大学防災研究所年報, 第45号 B , pp.467 - 478 .
- 内山 清 (2003): 大湊海岸・上下浜における海浜底質の粒度組成 - ビーチカスプの性質と粒度組成との関係 - , 京都大学防災研究所年報, 第46号 B , pp.637 - 649 .
- 内山 清 (2004): 大湊海岸・上下浜における海底地形と海底底質の粒度組成 - 海底地形の変形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変異 - , 京都大学防災研究所年報, 第47号 B , pp.641 - 663 .
- 大森晶衛・星野通平・茂木昭夫 (1970): 浅海地質学, 東海大出版会 .

Changes in beach profile and sediment grain size composition in the coast of Observation Pier, Ogawa Wave Observatory

Kiyoshi UCHIYAMA

Synopsis

Monthly beach profile sounding has been carrying out since 1972 along the Observation Pier, Ogata Wave Observatory, DPRI, Kyoto University by the author. Sediment sampling from the sea bottom has also been conducted. This paper reports the analyzed results of profile and sediment sampling data measured on days of Aug.23, Oct.7, 2003, Oct.7, and Nov.10, 2004. Beach profiles of alongshore sounding line 200m offshore and two cross-shore measuring lines are analyzed in this paper. Sediment sampling was conducted with 1m-pich on two cross-shore measuring lines which locate on the center and jointed lines of the crescent-shaped bar surrounding the Pier, respectively. It was made clear that both the sea bottom profiles and the grain size composition of the sea bottom sediment have changed dramatically and irregularly in all seasons in this erosion coast.

Keywords: coastal sediment, nearshore observation pier, crescent-shaped bar, trough, coastal sand dune