

若狭敦賀・松原海岸における 汀線変化と汀線砂礫特性について

芝 野 照 夫*

Characteristics of longterm shoreline changes and shoreline sediments at Matsubara-coast, Wakasa Tsuruga

Teruo Shibano

Wakasa, Matsubara beach is located in the inner part of Tsuruga Bay and has for a typical pocket beach. Investigated a characteristic of longterm shoreline changes and sediment on shoreline.

Shoreline retreat reaches 40m~30m with 100year pasts at the central part of a beach. The result, shoreline-shape is curved gradually and shoreline retreat is remarkable in central part, it is caused by moved of a longshore beach sediments.

1. 緒 言

若狭敦賀湾の湾奥に位置する「気比の松原海岸」は、『白砂青松』で知られた日本でも有数の砂浜海岸である。

この海岸の東側約半分は敦賀港として開発が進められ、古くから日本海側の海上交通の要として重要な位置を占めてきた¹⁾。敦賀港の西に広がる松原海岸は、砂浜の背後に松林が広がり、この松林は飛砂を防止するとともに、景勝林として夏期の海水浴や観光などリクリエーションゾーンとして整備、利用されてきている。

最近では、この砂浜海岸の変形がいわれ、砂浜の狭小化が懸念されてきている。砂浜海岸の変形は海浜底質の移動によって生じるものであり、この海岸のようなポケットビーチでは底質の移動が海岸内で収支するとされているものの、その収支のバランスが崩れ長年による沖方向への底質流失が海岸の狭小化を招いていると考えられる。

このような海岸の変形を明らかにする最初として、海浜底質、とくに、汀線砂礫についての調査を行い、その分布特性を明らかにしたものである。

2. 松原海岸の地形および外力特性

松原海岸を湾奥に持つ敦賀湾は、図-1のように東西3km、南北に10kmで、その東・西両側は山地、南側は平野に囲まれ、北方向のみ日本海へと通じている。

気比の松原海岸は、かつて、現在の気比の松原海岸と

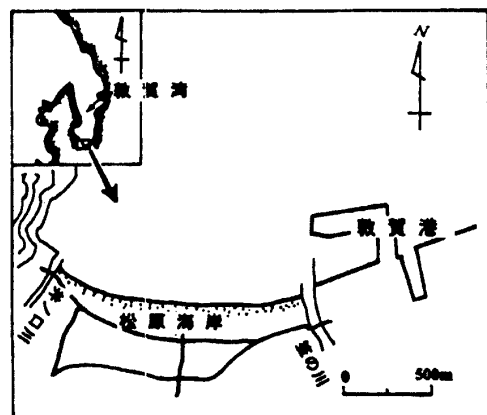


図-1 松原海岸位置図

* 建設工学科 土木工学専攻

ほぼ同じ延長距離を持った砂浜が東側にも続いていたものと考えられるが、東半分は敦賀港として開発・築港され自然の形態はほとんど見られず、現在は湾奥の西側半分の海岸線延長が約 1,400 m の砂浜海岸のみ残されている。

気比の松原海岸には 3 列の浜堤が認められ、その標高は 4 ～ 6 m で最前列の海に面した浜堤が最も高くなっている。この浜堤は北陸沿岸で見られるものと形成年代もほぼ同じであると考えられ、各地に見られる形成時に汀線と平行方向に作られた横列砂丘に対比されている。これらの浜堤を前面に持つ敦賀平野は、敦賀湾への流入河川である「木の芽川」、「笙の川」および「井の口川」などの中小河川の流送土砂の堆積によって形成されてきたものである。

海岸に作用する外力²⁾のうち風についてみると次のようである。敦賀港における風について各季節ごとに

みると、12 月から 2 月の冬期には NNW 方向からの冬期季節風が比較的強く、春期および夏期には S 方向および SSE 方向からの来襲頻度が高くなっている。

一方、来襲波浪については、日本海沿岸では冬期季節風時に高波浪の来襲が考えられるが、敦賀湾においては湾口が北方向に比較的狭く開いているといった地形的な特性から、越前岬や立石岬が天然の防波堤となるために高波浪の来襲がほとんど見られず、古くから北前船の重要な寄港地となっていたことから明らかなように、来襲波浪が小さく静穏な天然の良港といわれている。

敦賀港における 1981 年から 1992 年まで約 10 年間の波高別来襲頻度は、波高 1.0 m 以下の波が全体の 99.2 % を占め、波高 1.5 m 以上の波の来襲は 0.1 % となっている。また、来襲波浪の周期は、年間を通して 2.0 sec 以下の波の来襲頻度が最も高く、全体の 64.3 % を占めている。しかし、高波浪の来襲が考えられる冬期には、4.1 ～ 8.0 sec までの波が全体の 53.4 % と約半分を占めている。松原海岸の海浜変形に影響を与える波浪は、図-2 のように NNW 方向の波向が冬期間で約 90 % を占めている。これらのことから、風および波浪の来襲方向は、湾口から入射するほぼ N 方向を中心とするものであることが明らかである。

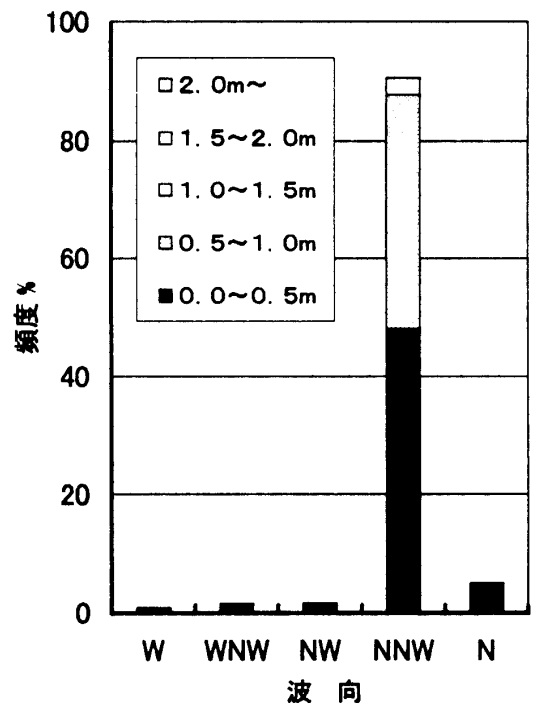


図-2 敦賀港における来襲波浪

3. 汀線の長期変化

松原海岸の汀線変化については、最近の継続した実測資料がないため、ここでは 1982 年の陸地測量部作成の縮尺 1/20,000 の地形図と国土地理院によって測量された 1993 年作成の最も新しい縮尺 1/25,000 をもととした地形図を比較した。

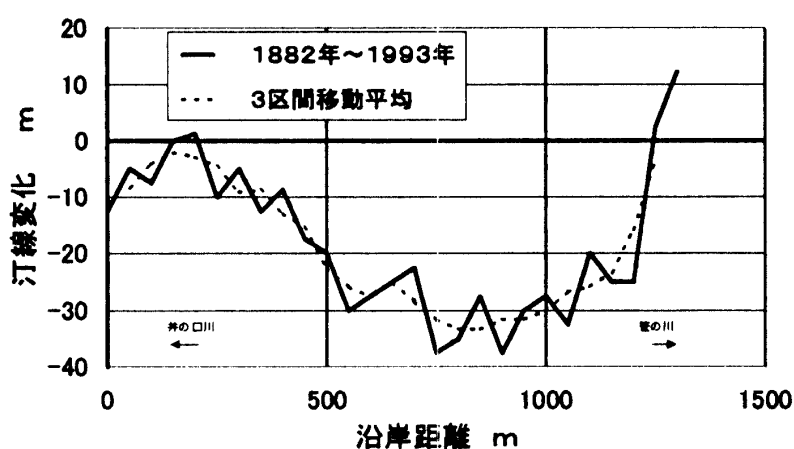
図-3 は、その両者の地形図上に同一の「不動点」を設定して基準線を描き、それから汀線位置を読みとり、約 110 年間における長期的な汀線変化を示したものである。

これによると、一般的に松原海岸の中央部付近の汀線が後退し、海岸の両端部ではほとんど変化していないか汀線の若干の前進傾向を示すことがあきらかである。

汀線の変化を沿岸方向に詳細に検討すると、海岸の西端から中央部に向かって 200m 付近までは若干の前進を示すが、局所的に汀線の形状が湾入して後退しているところもあり、場所によっては約 35 m もの後退が見られる箇所もある。とくに、海岸中央部に近い「井の口川」河口から約 700 ～ 1,100 m 付近までの範囲で汀線後退は顕著となり、最大の汀線後退を示すところでは、平均的に約 0.3 m / year もの後退量となっている。

通常、海岸の正面から来襲波浪が入射するポケットビーチでは、海岸の中央部付近で最も湾入する傾向を持っているが、現在の松原海岸においては海岸中央部より若干東側の湾入が大きく、かつての松原海岸は現在の「笙の川」河口付近が砂浜海岸の中央部にあたり、一続きの砂浜海岸が古くからの敦賀港の拡張・整備に伴って約半分になったものと思われる。また、現在敦賀港の沖合には金ヶ崎から西方向に延びる大規模な防波堤が建設されており、それによる回折波の形成によっても松原海岸の汀線形状が規定されてきたものであろう³⁾。

海岸中央部の汀線後退は、当然のことながらその付近の底質を沿岸漂砂として海岸の両端部へと移動させ、後述する汀線砂礫特性の沿岸方向分布からも明らかのように、海岸両端部に移動した底質の細粒部分が海岸端部に存在する「笙の川」と「井の口川」の河川流に乗って沖方向へと流出しているものと考えられる。



図－3 松原海岸における長期的汀線変化

4. 汀線砂礫特性の沿岸方向分布⁴⁾

a) 粒径の沿岸方向分布

図－4は採取した汀線砂礫特性、とくに中央粒径の沿岸方向分布を示すものである。これまでのいろいろの研究から、粒径値が減少する方向に沿岸漂砂の卓越移動方向があるものと考えられている。この松原海岸においても後述するように沿岸漂砂の卓越移動方向を明らかにするべく汀線砂礫特性の沿岸方向分布について検討する。

この沿岸方向、すなわち沿岸漂砂の移動に伴って底質の粒径特性が変化、すなわち粒径値が減少することは、波浪によって底質は絶え間なく揉まれ、砂礫同士の削摩作用によって破壊されるだけでなく、摩耗され粒径も次第に小さくなることである。また、波浪によって繰り返し削摩されるために、次第に角が削られ円くなり、沿岸漂砂の移動方向を示す一つの指標である円形度も沿岸漂砂の下手側海岸に行くほどその値が大きくなることが知られている。中央粒径(d_{50})のグラフでは、海岸の西端から 500m 付近の海岸中央部でその値が大きくなっており、その他 400m、900m、1,100m の位置においても値が他のところに比べて大きくなっている。

この分布傾向は d_{10} 、 d_{25} 、 d_{75} 、 d_{90} 粒径の分布においてもほぼ同じようなピークがみられている。なお、注目すべきところは、1,000m ～ 1,200m 付近で大きく底質粒径の値が変化していることで

ある。これはこの 1,100m から 1,250m 程度の範囲に「突堤」や汀線から約 50m 沖合に「離岸堤」のような作用をするコンクリート構造物があることに原因しているものと考えられる。

これらの図に共通して海岸の両端部ほど粒径が小さくなる傾向にあり、それに対して海岸の中央部では粒径も大きく、また粒径の変化も大きくなっている。

このことは底質を移動させる直接的な外力である来襲波浪が海岸の真正面から入射し、それによって発生する沿岸流は海岸の中央部付近から海岸の両端部へとその流れがあり、海岸中央部付近の底質の細粒部分が両端部へと移動して中央部付近に粗粒な底質が残留することに原因しているものと考えられる。また、いずれの図からも明らかなように 600 m～900m 付近で粒径の値が大きく変化しており、海底地形の変化などの要因によって来襲波浪に変化が生じ、細粒の底質から粗粒の底質までが混在する状態になっていると思われる。

一方、図-5の平均粒径の沿岸方向分布の移動平均値を見ると海岸の中央部付近に値のピークがあり、そのほかの粒径の沿岸方向分布を総合して前出の汀線の変化と考えあわせると、海岸中央部の底質が海岸両端へと移動するために中央部ほど汀線が後退していることと一致している。

一般に、来襲波浪が海岸の正面から入射するようなポケットビーチにおいては、円弧状の湾入した汀線形状を示すことが多く、この形状が来襲する波浪に対して最も安定な形状であることから、松原海岸においても来襲外力に対して底質を移動させながら安定な海岸になろうとする過程であると考えられる。

b) 淘汰度など砂礫特性値の沿岸方向分布

図-6は淘汰度 (S_0)、図-7は歪度 (S_k) の沿岸方向分布を示したものである。淘汰度 S_0 は底質の淘汰、すなわち底質を構成する各粒径の広がり、とくに細粒のものから粗粒のものまでが混在するかを示すもので、その値が 1 に近づくほど均一な粒径の粒子から構成されていることを示し、値が大きければ細粒から粗粒まで幅広い底質から構成されていることを示している。

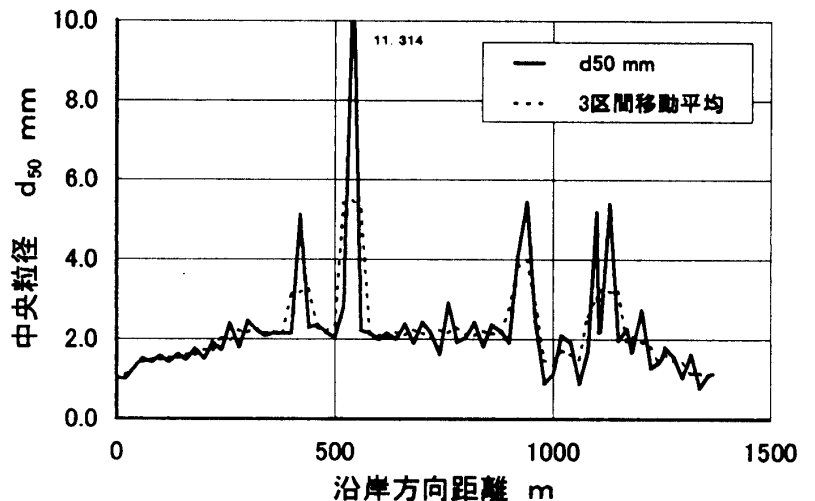


図-4 中央粒径 (d_{50}) の沿岸方向分布

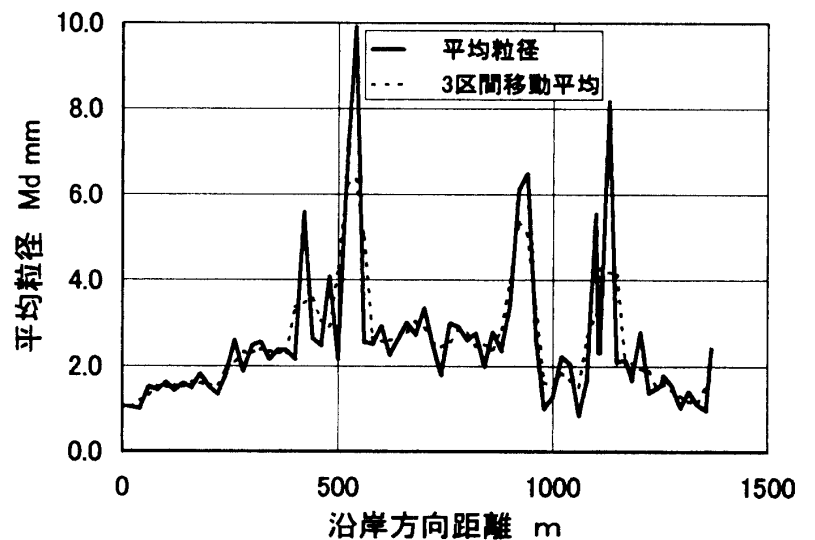


図-5 平均粒径 (M_d) の沿岸方向分布

淘汰度 (S_0) の沿岸方向分布を見てわかることは、井の口川側より 400m 付近までは、その値が 1.0 ～ 1.3 の間で変化している。篩い分け作用が良好な海浜底質では $S_0 = 1.25$ 程度となることからほぼ均一な粒径から構成されていることを示している。それ以降の海岸の中央部付近までは、海岸の西端から 500m 付近をピークに大きく変化して、その値も大きくなっており、底質は細粒から粗粒のものまで混在していて淘汰が悪いことを示している。しかし、1,000m 付近以降では、変化も小さく、値自身も小さくなっていることから次第に底質構成が均質になってきていることを示している。

また、歪度 (S_k) は中央粒径 (d_{50}) に対して、粒径構成が大きいものの割合と小さいものの割合を示す値であって、値が 1.0 に近い場合は、粒度構成が中央粒径付近に集中していることを示し、1.0 より大きい場合には、粒径構成が中央粒径より粒径の大きい方に、逆に 1.0 より小さい場合には、粒径の小さいほうに偏ることを意味している。

図-7 の歪度 (S_k) の沿岸方向分布から井の口川河口の海岸西端部から海岸中央部に向かう 500m 付近までは 1.0 前後の値を示し、中央粒径付近に粒径構成が集中していることを表している。

一方、520m 付近では値が大きく変化するとともに値自身も大きくなっていることから、この付近の底質は中央粒径より粒径の大きい方に粒径構成が偏っているといえよう。これと同様のことは 780m 付近、1,340m 付近でも見られるが、逆に 540m 付近では粒径が小さい方に偏っていると思われるところもある。

次に各粒径ごと、とくに中央粒径を基本に 10 % 粒径、25 % 粒径、75 % 粒径および 90 % 粒径の関係について検討する。

図-8 の中央粒径 (d_{50}) と 10 % 粒径 (d_{10}) との関係において、海岸の西端から 1,129.5m 地点である No.59 の底質は、図中に示す直線から若干離れているが、ほぼ中央粒径 d_{50} の値が大きくなれば 10 % 粒径 (d_{10}) も大きくなる傾向である。

また、図-9 の d_{50} と d_{25} との関係では、図-8 よりもそれぞれの値が図中の直線付近に集中していることから両者はよく対応し、50 % 粒径より細粒の砂礫はほぼ同じような淘汰の作用によ

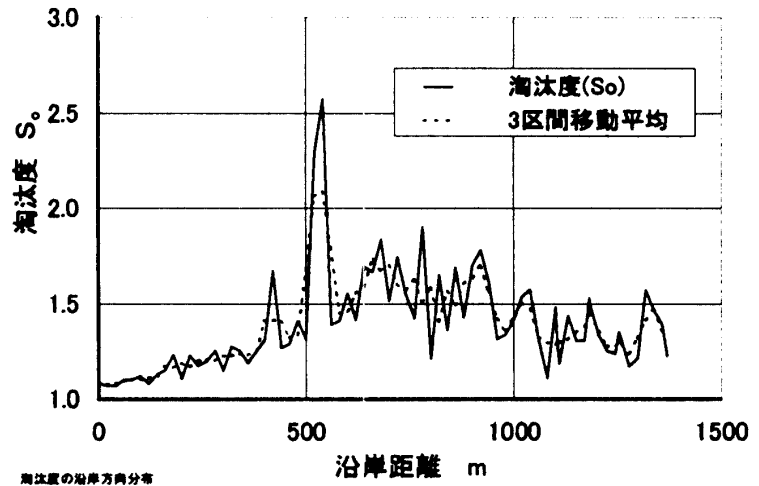


図-6 淘汰度 (S_0) の沿岸方向分布

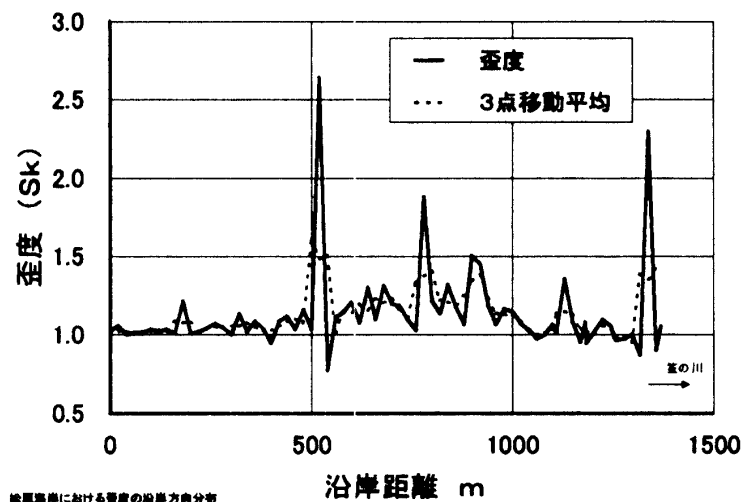


図-7 歪度 (S_k) の沿岸方向分布

って規定されているのではないかと考えられる。

一方、図-10に示す d_{50} と d_{75} との関係では、両者はほぼ対応しているものの海岸の西端から520～540mで採取したNo.27とNo.28の砂礫は粒径が大きい砂礫が多く含まれているために、大きく図中の直線から離れており、図中に記載していない。これは底質採取に際して採取した砂礫の量が少なかったことによるものとも思われるが、汀線に沿って形成されていたカスプが採取時には消滅しており、そのときの、底質の沿岸方向分布が維持されていたのではないかとと思われる。

以上のように、中央粒径を指標として各粒径階の粒径についてその関係を見たが、海浜の地形変化、とくに微地形の形成と消滅が底質粒径の分布においても大きく影響していることを示唆しているものであろう。

c) 底質の中央粒径と

特性値との関係

中央粒径 (d_{50}) と淘汰度 (S_0)、歪度 (S_k) との関係を図-11および12に示している。

海岸における底質構成の揃っているのは、一般に河川の河床底質に比べて波浪によって繰り返し篩い分け作用が加わることから、底質粒径だけでなく粒度組成の構成もよくな

ることが知られている。その値を示す淘汰度 (S_0) は、底質の構成が良好と言われる海岸での値が約1.25に比べて少し大きく、少し粗い粒度の底質から細粒のものまで含んでいることを表している。

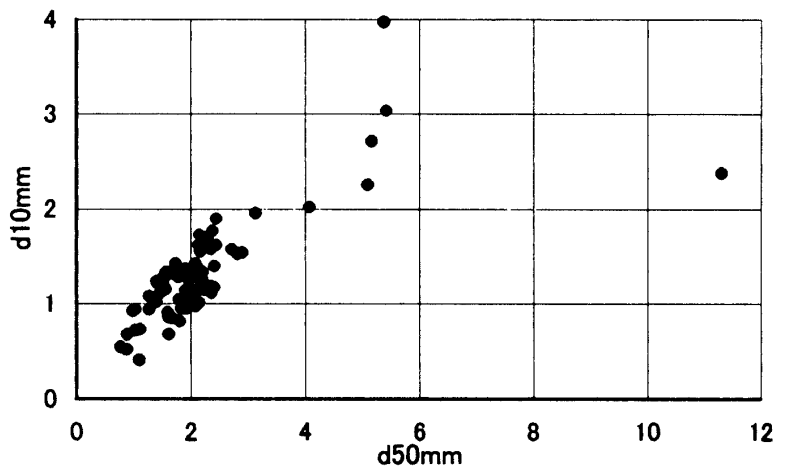


図-8 d_{50} と d_{10} の関係

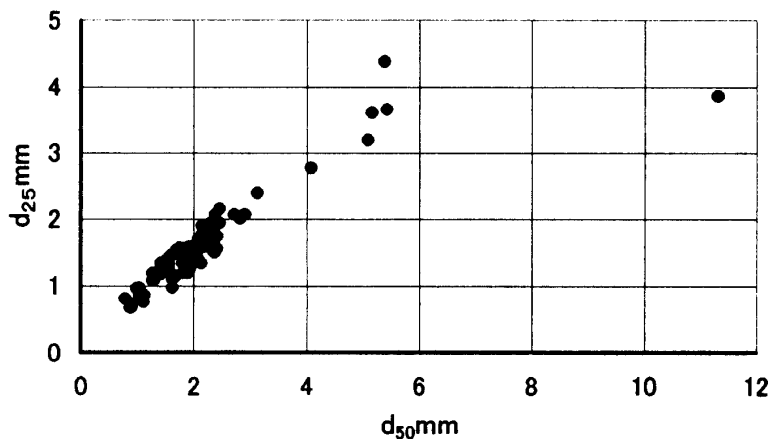


図-9 d_{50} と d_{25} の関係

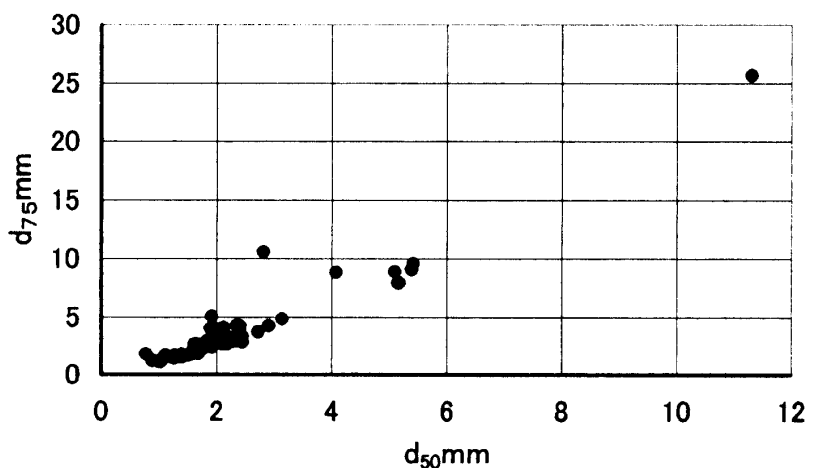


図-10 d_{50} と d_{75} の関係

海岸を構成する底質は主として細粒砂のものから 2.00mm 程度の礫の範疇の境界付近のもので構成されている。全体的な傾向としては中央粒径 (d_{50}) が 2.00mm 程度から粗くなるにしたがって標準偏差は大きな値を示すようになる。これはの粒径が大きくなるにしたがって、粒度組成の構成範囲が広がっているものである。しかし、中央粒径が 3.00mm 以上を越える底質は数が少ないものの、底質粒径が大きくなると標準偏差も大きくなるという一般的な傾向である右上がりの幅広い粒度の構成が一変して、左下がりの 1.0 へ向かう方向となり、底質構成が均一となる方向に向かうことが明らかである。これは一般の海岸においてもみられる傾向と同様である。

5. 汀線砂礫の分布特性から見た 漂砂の卓越移動方向

松原海岸における汀線砂礫の粒度分析を行い、その沿岸方向分布を明らかにしたが、ここではそれらの特性から考えられる漂砂の移動について検討する。

中央粒径をはじめとする底質粒径、淘汰度および歪度の沿岸方向分布から海岸中央部付近のそれぞれの値が変動があるものの一般に大きく、また、海岸の両端に近づくほどその値が漸減している。

このことは一般に沿岸漂砂の移動方向、すなわち漂砂の下手側に向かって海浜の底質粒径などが漸減するといわれており、このことから海岸中央部から両端部にむかって底質が移動しているものと考えられる。

汀線の長期間における変化のところでも明らかにしたように、海岸の中央部付近の汀線後退が大きく、それに対して海岸両端では大きな変化がみられないことと一致するものである。

これは湾口から進入する波が汀線直前で碎波したのち、海岸の両端に向かう流れを発生し、それによって次第に海岸中央部から両端部の方向へと底質が運ばれた結果といえよう。

また、海浜の汀線近傍には、そのときの来襲波浪との関係で波長が約 3m 程度のカスポが形成されていることもある。このカスポは汀線砂礫の採取時には形成されていなかったものの、海岸の中央部付近ほどカスポの発達は顕著であり、カスポの峰の部分に粗粒径の底質が集中するが、カスポの湾入部では比較的細粒な底質が分布している。

汀線砂礫の採取時にはカスポにかわって汀線近くのところが盛り上がりそのすぐ後浜の部分が

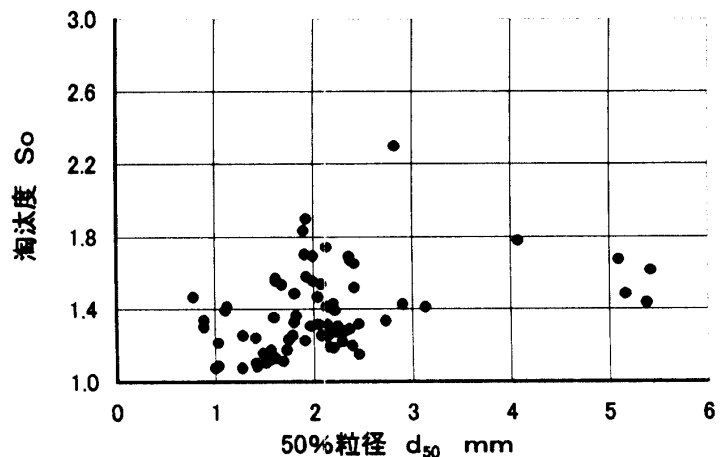


図-1 1 中央粒径と淘汰度の関係

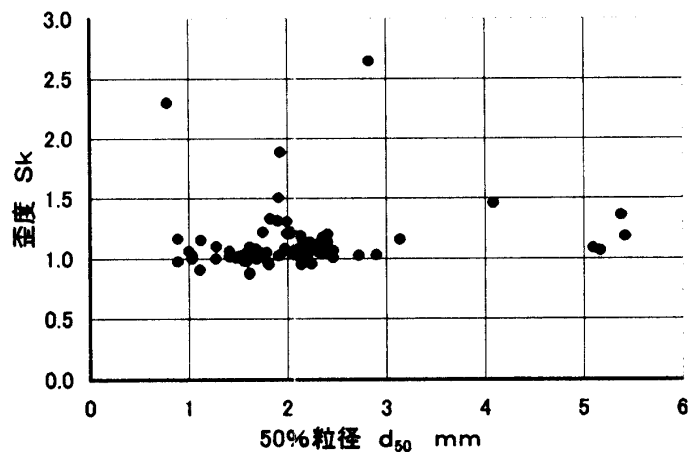


図-1 2 中央粒径と歪度の関係

低くなって、写真-1のように一種の水路が汀線と平行に続いているような状態であった。

このように汀線近傍の海浜地形は来襲する波浪を反映して時間的にも変化し、その変化の過程で底質を篩い分けて下手側海岸へと底質が移動しているものであろう。

さらに、松原海岸の両端部は突堤や河口導流堤によって区切られ、海岸中央部から移動してき底質は、少しづつ突堤や河口導流堤に沿って沖方向に流失しているものと考えられる。

図-13に底質粒径、淘汰度、歪度などの沿岸方向分布特性から推定した漂砂の卓越移動方向を示している。

6. 結 語

以上のように、敦賀湾湾奥に位置する松原海岸のような、波浪がほぼ海岸の正面から来襲するポケットビーチでは、汀線砂礫特性の沿岸方向分布特性から海岸中央部付近の底質が粗粒となり、海岸両端部へ向かうほど細粒となることが明らかにされた。

このことは海岸中央部から両端部方向へ向かう流れによって底質の細粒部分が流失すること、また、汀線形状は約90年間の地形図の比較によっても中央部で30m～40m後退しているが、両端部において後退がほとんど見られないことから海岸中央部から両端部へと底質が移動し、長期的に海岸中央部が侵食されることを示している。



写真-1 汀線に沿う海浜形状

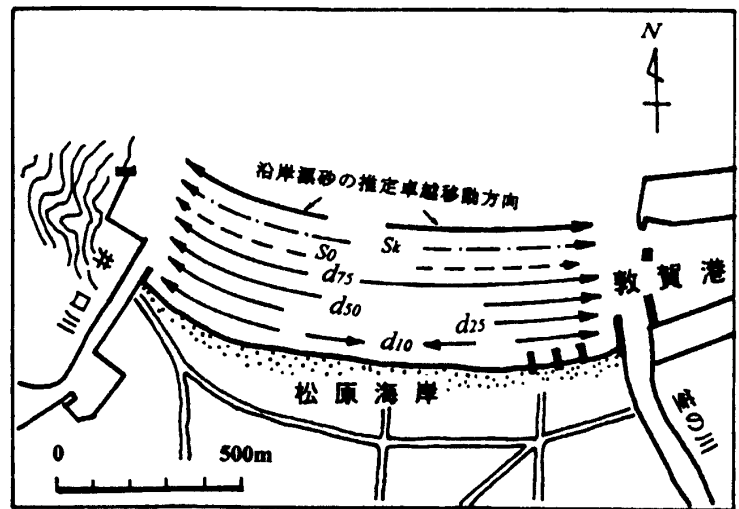


図-13 松原海岸における沿岸漂砂の卓越移動方向

参 考 文 献

- 1) 敦賀市史編さん委員会：敦賀市史 通史編上巻、pp.1~79.1985.
- 2) 福井県：敦賀港港湾計画改定資料、1992.
- 3) 島田 敬・山口 豊・片野明良：松原海岸の地形変化特性、海岸工学論文集 第42巻(2)、pp.656~660、1995.
- 4) 土屋義人・芝野照夫：砂浜海岸の分類と底質特性について、第32回海岸工学論文集、pp.326~330、1985.

(平成11年11月29日受理)