

北部九州のポケットビーチ間の沿岸漂砂の連続性について

李 在 炯* ・ 武 若 聡** ・ 小 島 治 幸*** ・ 入 江 功****
山 口 洋***** ・ 高 江 洲 義 忠***** ・ 島 田 浩*****

1. はじめに

北部九州の沿岸は、自然海岸が大小のポケットビーチを連ねて残されており、「筑前八松原」とも呼ばれている。将来の地域の発展を担う新たな用地を内陸部に確保出来ず、このような海岸の沖合に人工島等として整備することへの要請が最近とみに高くなってきた。この場合、沿岸域での自然の営みについて十分調査し、それまで残されてきた自然環境を極力保全することがミチゲーションの観点からも極めて重要である。

ポケットビーチの両端には岩礁で出来ている岬があり、その間に滑らかな曲線の砂浜が形成されている(図-1)。その地形の特徴からポケットビーチ間を連絡する沿岸漂砂が存在せず、各海岸毎に漂砂機構が閉じられていると一般的には考えられる。しかし各海岸の港や突堤などの周辺の汀線の前進、後退状態を調査してみると岬を越え、西向きに漂砂の存在が疑われる。もしそうであれば、人工島などの大規模な建設事業が与える海岸環境への影響は多数の海岸に及ぶ危険性がある。漂砂機構が一つの海岸に閉じ込められているかいないかによって、人工島等の建設による各砂浜への影響範囲は大きく異なる。

本研究では、相連なるポケットビーチ間の漂砂の連続性を調べるため、まず海岸に沿って底質を採取してその粒度分析、重鉍物分析を行ってポケットビーチ間の底質の関連性を調べ、次に大波浪時の岬周辺の海浜流を計算して力学的に岬を超えた漂砂の連絡が有り得るかを調べて、人工島等の建設によるインパクトの評価に資するものである。

2. 海象条件

2.1 波 浪

波浪観測は玄海灘ブイ(設置水深、51.7 m)及び津屋

- * 学生会員 理修 九州大学大学院 工学研究科
- ** 正 会 員 工博 筑波大学講師 構造工学系
- *** 正 会 員 工博 九州共立大学教授 土木工学科
- **** 正 会 員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科
- ***** 正 会 員 工修 若築建設(株)
- ***** 正 会 員 (株)テトラ
- ***** 正 会 員 (株)関西開発エンジニアリング

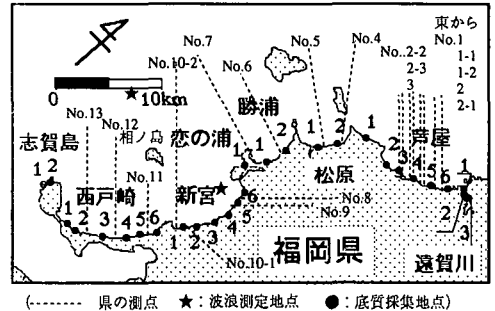


図-1 底質の採取地点及び県測地点

崎沖の海洋観測ステーション(設置水深、15 m)で観測されている。相ノ島の北西約10 km地点の玄海灘ブイで1984年から1987年までの間測定されたデータ統計によると年間を通して常時波の時は卓越波向がNE(22.9%)~NNE(16.2%)で、高波(2 m以上)の時はNE(28.1%)~NNE(22.7%)の卓越波向が現れる。一方、津屋崎沖2 kmの海洋観測ステーションの1989年から1992年までの統計資料によると常時波の時はNNE(10.0%)~N(8.4%)の卓越波向が現れる。また高波(2 m以上)の時はW(55.5%)~WNW(20.4%)の卓越波向が現れる。

玄海灘ブイは、大水深に設置してあるので、全方向の波の観測が可能であるが、津屋崎の海洋観測ステーションは、北方を岬で遮られているので、西からの波がより強く観測できる。これ等の観測結果から、この海域ではNNE~NEの波が規模、頻度ともに最も大きく、次いでW~WNWの波が大きいと言える。

2.2 潮 流

沿岸の潮流は平均して、大潮期の満潮時にN~NE間へ流れ、逆に大潮期の干潮時はS~SW間へ流れる。流速の大きさは、S~SW間流れの上げ潮時より、N~NE間流れの下げ潮流時が強い。S~SW流れの上げ潮時は0.1~1.0 ノット、N~NE流れの下げ潮流時が0.3~1.4 ノットの流れてである。

3. 底質分析

3.1 底質分析の試験方法

海岸踏査により中潮位で採集した底質は水洗いし、海水を取り除いた後充分混ぜ合わせ、約 150 g を取り出し、炉乾燥した。その試料を用い、ふるい分け試験を行った。ここで利用した粒径の大ききの単位は、底質分析で幅広く使われている ϕ スケールを用いて行なった。

$\phi = -\log 2d$; ここで d は粒径 d (単位: mm)

計られた粒度分布から累積百分比曲線を求めた後、Folk and Ward の計算式を用いて ϕ 値による中央粒径 $M_{\phi\phi}$ 、平均粒径 M_{ϕ} 、粒度分布の標準偏差 (sorting, σ_{ϕ})、偏わい度 (skewness, α_{ϕ}) を求めた (Douglas W. Lewis *et al*, 1994)。

中央粒径 $M_{\phi\phi} = \phi_{50}$

平均粒径 $M_{\phi} = \frac{\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16}}{3}$

標準偏差 (sorting) $\sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$

偏わい度 (skewness) $\alpha_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}} - \frac{\phi_{50} - \phi_5}{\phi_{95} - \phi_5}$

(ϕ_{95} , ϕ_{84} , ϕ_{50} , ϕ_{16} , ϕ_5 はそれぞれ粒度加積曲線で累加百分率が 95%, 84%, 50%, 16%, 5% に対応する粒径の ϕ 値。)

ふるい分け試験によってふるい分けされた底質のうち、 $\phi=2.5$ と $\phi=3.0$ のふるいに残った試料、つまり粒径が $\phi 2.0 \sim \phi 3.0$ の資料を約 10 g 取り、その試料を用いて重鉱物分析を行う。なお西戸崎 No. 2 と芦屋 No. 1 については $\phi 2.0 \sim \phi 3.0$ の質量が少なかったため、 $\phi 1.0 \sim \phi 2.0$ の資料を用いた。

まず、重液を用いて重鉱物、軽鉱物の分離を行った。重液にはプロモホルム (比重 2.85) を用いた (Maria A. Mange *et al*, 1992)。試料を塩酸処理し、残留有機物や貝殻等の炭酸塩を除く。重液に試料を浸すと、重液よりも比重の重い重鉱物が下に沈殿する。重鉱物を濾紙で濾した後、メチルアルコールで洗い、自然乾燥させる。重液に浮いている軽鉱物を濾紙で濾し、同様に自然乾燥させる。こうして分離した重鉱物、軽鉱物を、重量を計った後、観測点ごとに分ける。重鉱物の観察は偏光顕微鏡を用いて行った。観察を行う前に偏光顕微鏡観察用のスライドガラスを作った。

重鉱物がスライドガラス上で重ならないで均等に分散するようにし、その上にやわらかい接着用のカナダバalam を静かにのせる。カバー・ガラスをその上にのせ、密着させる。

以上の手順でスライドガラスを各観測点ごとに作成し、観察はそれぞれの測点で重鉱物の累計が 200 になるまで行い、それを全鉱物数と各鉱物数の比で表した。

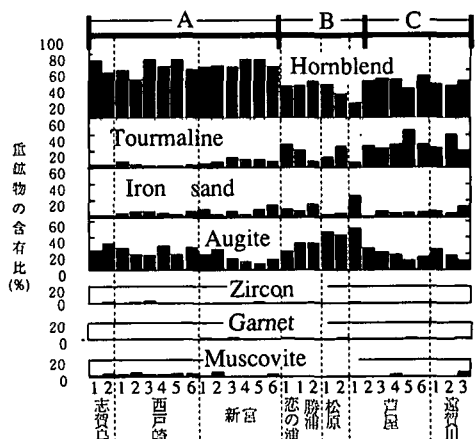


図-2 各調査地点の重鉱物

3.2 重鉱物分析の結果及び考察

重鉱物観察では主に Hornblend (普通角閃石), Tourmaline (電気石), Augite (普通輝石), Iron sand (砂鉄), Muscovite (白雲母), Zircon (ジルコン), Garnet (ざくろ石) が観察できた (図-2)。

Hornblend, Tourmaline に着目すると、新宮と恋の浦の間の岬を境にまた芦屋海岸 No. 1 と No. 2 の間の岬を境に東西で全体に含まれる比が変化する。西戸崎・新宮海岸では Hornblend が非常に高い比で含まれているものの、Tourmaline はほとんど含まれていない。芦屋海岸では、Hornblend は西戸崎・新宮海岸のものよりは少ないものの、かなり含まれている。Tourmaline も高い比で含まれている。

Augite に着目すると、恋の浦から芦屋 No. 1 までの地域では含有量が多くなる。志賀島から西戸崎、新宮にかけての地域では、恋の浦から芦屋 No. 1 までの地域よりは少ないものの、かなりの Augite が観察された。

西戸崎・新宮海岸に Hornblend の比が非常に多くて、Augite がかなり含まれているのは志賀島から西戸崎、新宮にかけての地質に Hornblend 及び Augite 含有 Hornblend (普通輝石含有普通角閃石) が多く含まれている志賀島花崗閃緑岩及び北崎花崗閃緑岩などの白亜紀の新期花崗岩類が分布し、それが反映されていると思われる。恋の浦から芦屋 No. 1 までの地域は Augite がかなり高い比で含まれているが、それはこの周辺地域の普通輝石角閃石安山岩溶岩などで構成されている下関亜層群の北彦島層の影響だと思われる。芦屋 No. 2 より東側の海岸の底質は遠賀川周辺の花崗岩変成岩類の影響を受けていると思われる。

重鉱物分析の結果、調査を行った海岸の砂の特性は、志賀島から新宮の「地域 A」、恋の浦、勝浦、松原の「地域 B」、芦屋、遠賀川の「地域 C」に分類される。

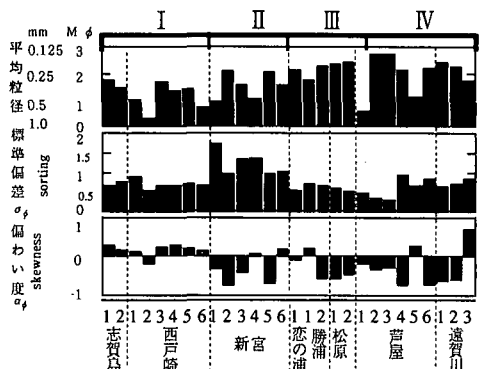


図-3 各調査地点の粒度分析による組織特性値

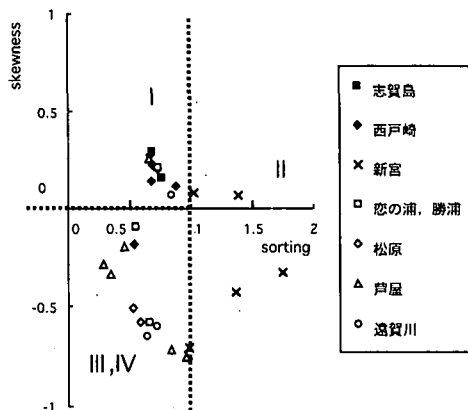


図-4 底質の sorting と skewness の相関度

3.3 粒度分析の結果及び考察

粒度分析の結果より得られた各々の海岸の平均粒径, 標準偏差 (sorting), 偏わい度 (skewness) に見られる値の変動にはいくつかの測点で海岸地形, 人為的な海浜砂の補給の影響が含まれると考えられる。試験により得られた粒度組成を図-3に示す。

平均粒径に着目すると, 遠賀川河口から恋の浦までは相対的に細粒子が存在し, 西戸崎, 志賀島では粗粒子が存在する, 新宮では東から西に掛けてだいに粗粒化している。

Sortingに着目すると, 遠賀川から恋の浦, また西戸崎, 志賀島の海岸では1以下で安定しているのに対し, 新宮の海岸では1に近い値若しくは1よりも大きな値となる。sortingは底質粒度組成の均一度を表す指標であり, 値が0に近付くほど粒度組成が均一であることを示す。よって, 新宮の海岸ではsortingが大きく粒度組成が際立って不均一であると言える。

Skewnessに着目すると, 遠賀川から恋の浦までの海岸では例外があるものの負の値で安定し, 西戸崎, 志賀島の海岸ではおおむね正の値で安定している。これに対して新宮の海岸では値の変動が激しい。

波や沿岸流によって運搬される底質は移動しながら流速, 波力に合う均一の粒径の砂が集まる (Patrick McLaren *et al*, 1985)。それによりふるい分けが良好になる。これに伴いsortingが小さくなるのは漂砂の移動経路をたどるのに有効な手段となる。すなわち, sortingが減少する方向に向かっての漂砂の流れを考えることができる。また粒径が小さくなるとskewnessが負に, 逆に粒径が大きくなると正に偏っていく傾向も見られる。

以上の分析から, 漂砂はsortingが減少する方向に向かって流れるという条件と東から西への漂砂の卓越が考えられる波浪条件を考えた時, 芦屋海岸から松原海岸方向に, また新宮海岸から西戸崎海岸方向に流れる漂砂機構が仮定し得る。しかし, 芦屋海岸から松原海岸方向の

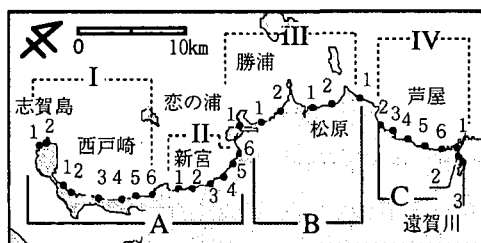


図-5 底質分析による各海岸の類似性

漂砂は岬の地形や芦屋 No. 1 だけの著しい粒径の粗粒化などから, 漂砂の直接的なつながりは考えにくい。また, 新宮海岸から西戸崎海岸方向に流れる漂砂機構は可能性は否定できないものの, 新宮 No. 1 での sorting 値の大きさが両海岸の関連性を十分には確認できない。

以上の分析結果から, 調査を行った海岸の砂の特性は sorting が小さく skewness が正の志賀の島, 西戸崎の「地域 I」, sorting が大きく skewness の変動の激しい新宮の「地域 II」, sorting が小さく skewness が負の恋の浦から芦屋 No. 1 までの「地域 III」, 芦屋 No. 2 から遠賀川にかけての「地域 IV」の4つに分類される。分類された中で, 「地域 I」と「地域 II」は前述したように両海岸にわたる漂砂機構を完全には無視できない。図-4は底質の sorting, skewness の相関度を表したものである。

3.4 底質分析による考察

重鉱物分析及び粒度分析による結果から各海岸の類似性を調べた結果, 図-5のようにグルーピングされた。

底質分析の結果を整理すると, 粒度分析結果から志賀島, 西戸崎の「地域 I」, 新宮の「地域 II」, 恋の浦から No. 1 までの「地域 III」, No. 2 から遠賀川にかけての「地域 IV」, の4つに分類され, 重鉱物分析の結果から, 志賀島から新宮の「地域 A」, 恋の浦, 勝浦, 松原の「地域 B」, 芦屋, 遠賀川の「地域 C」に分類されることが分かった。

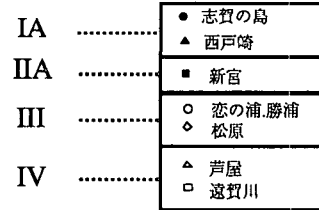
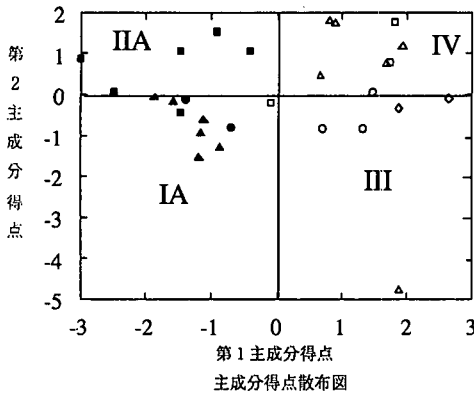


図-6 底質分析による主成分分析

次に、粒度解析と鉱物組成解析の結果を客観的に評価するために主成分分析を行った。結果を図-6に示す。結果は、調査対象地点の海浜砂の特性が4つの群に分けられることを示唆している。重鉱物組成によって分類された「地域A」、「地域B」、「地域C」の内「地域A」の志賀島から新宮の地域はさらに志賀島から西戸崎の「地域IA」、新宮の「地域IIA」に分類され、これは粒度分析結果でも「地域I」、「地域II」に区分された。

4. 地形変化

航空写真と福岡県の測線での海浜断面の資料から本研究地域の地形変化を求めてみた。

4.1 汀線変化

まず汀線の位置変化をみると、1947年～1961年はほとんどの海岸の汀線は後退しており、侵食の傾向がみられる。1961年～1966年は、芦屋海岸は県測点No. 2-3のみ堆積傾向にあり、他の測点は侵食傾向にある。他の地域においては、ほとんどの海岸が堆積の傾向であった。1966年～1975年は新宮海岸の県測点No. 10-1が著しい堆積をみせている以外は、ほとんど侵食されている。1975年～1982年芦屋No. 1-2, No. 2, No. 3においては堆積、No. 2-2, No. 2-3においては侵食の傾向となっている。恋の浦から松原までの海岸においてはNo. 7は侵食で、他は堆積傾向となり、新宮・西戸崎海岸にNo. 10-1, No. 11でやや侵食しているが他は堆積傾向となっている。1947年～1982年は時間的、場所的に変化はあるものの、1mほどの侵食の傾向であった(図-7)。

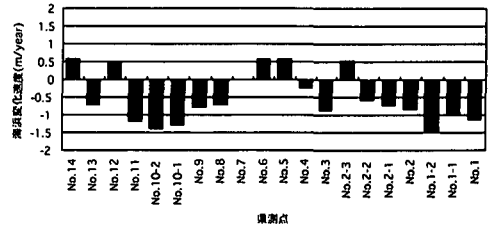


図-7 1947年～1982年(35年間)の汀線変化

新宮海岸においては西側(図-1の新宮No. 1付近)の沖に離岸堤が1982年から1996年までにかけて西から東へ順次建設された。建設直後から、離岸堤の背後に著しい砂の堆積が生じた。この海岸には、NNE～NE方向、およびW～WNW方向からの波が同じ程度の強さで作用し、これにより西方向、東方向の両方の沿岸漂砂が発生する。したがって、離岸堤背後の著しい堆積は、西向きの漂砂のとき離岸堤に砂がトラップされ、東向きの漂砂ではもはや出てこないことによるものとも考えられ、必ずしも東向きの卓越漂砂が存在する理由とは考えられない。

また、砂の採集場所のうち、新宮海岸のNo. 3と西戸崎海岸のNo. 5の付近の突堤では突堤の東側に砂が堆積されており、西向きの漂砂をうかがわせる。

4.2 海浜断面の変化

昭和56年から平成7年にかけて計られた県測点での海浜断面をみると、芦屋海岸での海浜断面はほとんど変化がみられず、この海岸は比較的安定している海岸に思われる。しかし、新宮や西戸崎海岸沖では、水深10～20mのところがある程度(最大変動幅～1m)の変動が認められ、沖合での漂砂の存在可能性が充分疑われる。

5. 海浜流

5.1 計算法

以下に示す基本式を用いて流れ場の計算を行った。

(1) 連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U(h+\eta)}{\partial x} + \frac{\partial V(h+\eta)}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

(2) 運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} \\ + F_x - M_x + R_x + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} \\ + F_y - M_y + R_y + g \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここで、 η は平均水位、 U 、 V は平均流速成分、 h は水深、

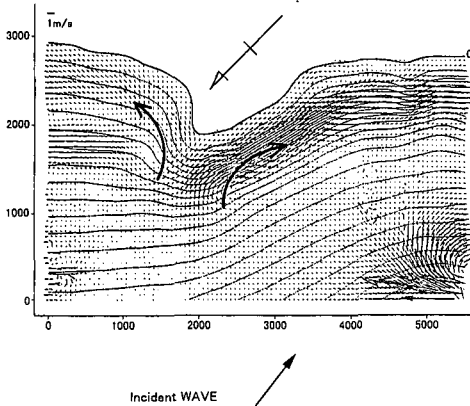


図-8 沿岸流速場：波向き N，波高 5.0 m・周期 7.5 sec

g は重力加速度， F_x, F_y は摩擦項， M_x, M_y は水平拡散項， R_x, R_y は *Radiation Stress* 項である。計算には，*staggered scheme* を採用した。全ての項を中央差分を用いて離散化し，収束計算には陽形式の非定常計算法を用いた。

5.2 実地形における計算

計算は，粒度分析において差違の有無により，新宮の領域を対象に行った。対象領域の水深データは海の基本図（海上保安庁）を元に 150 m の格子間隔で作成した。計算に際しては，これを 10 m 間隔に補完したものを用いた。入射波は常時波の条件として波向き N，NNW，NW，WNW，波高 0.5 m，1.0 m，1.5 m 周期はすべて 4.5 sec，高波浪時の条件として，それぞれ波向き NW，NNW，波高 4.0 m・周期 6.5 sec，波高 5.0 m・周期 7.5 sec を用いた。

5.3 計算結果と考察

計算により，各ケースの沿岸流の分布と流量を算出した。図-8 に高波浪時の条件として，波向き N，波高 5.0 m・周期 7.5 sec を用いたケースの沿岸流速場を示す。西戸崎・新宮のケースでは，どの入射角においても流速場は岬の先端で 2 つに別れていることから，常時波，高波浪時波ともに岬で流れが分断されている。すなわち，高波

浪時にも砕波帯付近では岬を越える流れは起きにくいと考えられる。

6. 結 論

(1) 重鉱物分析から「地域 A」，「地域 B」，「地域 C」に，粒度分析から「地域 I」，「地域 II」，「地域 III」，「地域 IV」に，主成分分析から I A，II B，III，IV に分けられ，一定の区分が出来た。その結果，新宮と西戸崎とは他に比べ，類似性が高いことが認められたが漂砂が連続しているかについての結論は得られなかった。

(2) そこで実地形の水深データを用いて沿岸流場を計算した結果，「地域 I」，「地域 II」の間の岬を越える流れは否定された。

(3) 海底地形の測深結果によれば，水深 10 m 以上の沖浜帯での季節の変動は芦屋海岸ではほとんど見られなかったが，新宮，西戸崎ではある程度認められる。これより，これらの海岸の間の沖合の漂砂を通しての関連性は否定できない。

今後更に背後の砂の供給源及び沖合の砂の調査，砂の移動限界水深，潮流などの要素を考えた詳細な研究が望まれる。

謝辞：底質分析のため九州大学理学部の岡田博有教授に試験の場を提供してもらい，貴重な御助言を頂いた。また，試験に際して，九大理学部の方井卓さんには多大な御協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 服部昌太郎 (1987): 海岸工学，コロナ社，pp. 131-133.
- Douglas W. Lewis and David McConchie (1994): Analytical Sedimentology, Chapman and Hall, pp. 92-129.
- Maria A. Mange and Heinz F. W. Maurer (1992): Heavy Minerals in Color, Chapman and Hall.
- Patrick MacLaren and Donald Bowles (1985): The effects of transport on grain size distributions, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 55, No. 4, pp. 457-470.