

# 海底掘削穴岸側での急激な土砂堆積と砂嘴の大変形の機構

宇多高明\*   ・清野聡子\*\*   ・釘宮浩三\*\*\*  
芹沢真澄\*\*\*\*・古池 鋼\*\*\*\*\*・三波俊郎\*\*\*\*\*

## 1. ま え が き

別府湾北部に位置する守江湾湾口には、長さ約 1.2 km の住吉浜砂嘴が西向きに伸びている (図-1)。この砂嘴は、その東側に位置する奈多海岸などから供給された土砂が沿岸漂砂によって運ばれ、守江湾の湾口を塞ぐようにして堆積して形成されたものであるが、最近、砂嘴形成の主要因である沿岸漂砂移動のみでは説明できない現象によって砂嘴中央部での急速な土砂堆積が発見された。すなわち浅海に大量の砂の塊が出現し、それが塊をしながら砂嘴の先端方向へと移動したのである。その後この砂の塊は砂嘴先端部へ漂着するとともに砂嘴自体も大きな変形を遂げた。この現象は非常に珍しく科学的に興味がある。このことから、本研究ではまず数回の現地踏査と空中写真撮影をもとに現象の実態を明らかにする。次にこのような砂の塊の出現は、波によるサンゴ洲島や河口砂州の形成と非常に類似した現象として説明可能なことを宇多ら (1992) によるサンゴ洲島の形成機構に関する研究結果をもとに示す。さらに掘削穴の有無の条件下で砂嘴周辺の波浪場と海浜流場を計算し、掘削穴の存在によって沿岸流が加速され、砂嘴の大変形が生じたことを明らかにする。一般に、汀線近傍での海底掘削穴の形成は、そこへの土砂の落ち込みが問題とされることが多いが、本研究はこれと逆の現象が起こり得ることを実証的に示す。

## 2. 海底掘削に伴う急激な汀線変化

### 2.1 空中写真の比較

守江湾および住吉浜砂嘴については、1996 年 7 月 18 日と 1997 年 10 月 1 日に空中写真を撮影し判読を行った (清野ら, 1998; 宇多ら, 1998)。本研究では、これらに加えて 1998 年 8 月に再度空中写真撮影を行った。写真-1 は 1996 年 7 月 18 日撮影の住吉浜砂嘴の空中写真であ



図-1 大分県守江湾の住吉浜砂嘴の位置



写真-1 住吉浜砂嘴の空中写真 (1996 年 7 月 18 日撮影)



写真-2 住吉浜砂嘴の斜め空中写真 (1998 年 8 月撮影)

る。干潮時のため浅海域の海底地形が明瞭に判読される。砂嘴の大部分は護岸で囲まれているが、砂嘴先端には釣り針状の砂州が延びている。砂州先端部は灯台に接し、釣り針状の砂州の中央部には低地が入り込んでいる。砂嘴の南岸では護岸線が「く」の字形に折れているが、その東側には砂浜が延びている。また、砂嘴南岸沖に見える破線で囲んだ黒々とした区域は海底掘削穴であるが、

\* 正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 研究総務官

\*\* 正会員 農修 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学科

\*\*\* 住吉浜開発 (株)

\*\*\*\* 正会員 海岸研究室 (有)

\*\*\*\*\* 海岸研究室 (有)

この深みを取り巻くように5列の砂州が形成されている。掘削穴は沿岸方向に延びているが、護岸線の屈曲点から東側でも深みの岸側に2列の砂州が発達している。しかしそれより東側の掘削穴から離れた浅い海域では砂州は見られない。これらの砂州はいずれも干潮時に水面上に出るほどの高さを有することが特徴である。砂州が掘削穴の岸側の縁を囲むように発達していることは、波の作用によって急勾配の海底斜面から砂がうち上げられて砂州が形成された可能性を強く示唆する。

写真-2は1998年8月における住吉浜の空中写真である。砂嘴先端部にあるグラウンドの横に、かなり規模の大きなほぼ半円形の砂州が新たに形成された。写真-1と比較すれば、この半円形状の砂の堆積は1996年7月には全く存在していないから、この時までには新しく形成されたことが明らかである。これと対照的に写真-1では海底掘削穴の岸側の縁に沿って存在した砂州が写真-2では消失している。両者の対応を考えれば、写真-2で新たに形成された半円形状の砂の堆積は、護岸線の屈曲部付近に形成されていた砂州の砂が西向きに運ばれて堆積したと推定できる。さらに住吉浜砂嘴の先端は写真-1、2の比較により、この期間で大きく西向きに伸びたことから、この間西向きの沿岸漂砂が発達していたことは間違いなく、写真-2に示した半円形状の砂の堆積は砂嘴先端部の砂が東向きに運ばれ堆積したものではないと判断できる。

住吉浜砂嘴は西向きの沿岸漂砂が堆積してできたものであるが、住吉浜砂嘴の付け根付近では護岸前面に全く砂浜が存在しないことから、西向きの沿岸漂砂の供給は途絶えている。また東部の海浜では護岸が汀線から突出しており、突堤の役割を果たしている。このためそこを越えて沿岸漂砂は流出しにくい条件にある。

## 2.2 新たな堆積域の現地踏査

写真-2は1998年8月に撮影したものであって、この時点の砂州は半円形であった。しかし、この砂州は小砂嘴として形成された後、その先端が護岸に接続して半円形となったことが以下の実測によって示される。空中写真撮影に先立つ3月26日砂州の現地状況を調べた。写真-3は先端部を取り巻く海岸護岸上から砂州の上手側を西向きに撮影したものである。護岸下部に三角形に砂浜が広がっている。この地区での沿岸漂砂の卓越方向は写真の手前から前方である。したがって写真-3は沿岸漂砂の上手から下手方向を見ていることになる。写真で注目されるのは、三角形の前浜の汀線付近に黒っぽい海浜材料(砂鉄分)が観察され、勾配が比較的急なことである。なぜなら、写真より手前側には前浜がなく沿岸漂砂の供給は断たれていることから、砂浜が侵食された結果前浜付近に相対的に比重の大きな砂鉄分が多く残さ



写真-3 砂州の東端から西向きに砂浜を望む (1998年3月26日撮影)



写真-4 写真-3の松林前面の凹状汀線付近における浜崖形成状況 (1998年3月26日撮影)



写真-5 砂州の突出部から湾曲した汀線と住吉浜の灯台を望む (1998年3月26日撮影)

れるとともに、前浜勾配が急になりつつあることを表しているからである。写真-3に示す砂浜の汀線に沿って前方へ進み、松林のすぐ左側でやや凹状となった汀線の付近を示すのが写真-4である。ここでは明瞭な形で浜崖が形成されており、その当時集中的に侵食を受けていた。

この砂州はその先端部で最も突出したあと汀線が大きく湾曲し、海岸護岸の方向へと伸びる。写真-5は先端部からやや陸側を望んで撮影したものである。ここでは砂が堆積してバームが形成されるとともに汀線は全体に凸状であり、侵食域の凹状汀線とよい対照を示している。写真-6は、大きく曲がった砂州の先端部が海岸護岸に



写真-6 海岸護岸に接続した砂嘴の先端と砂嘴によって閉じ込められた内湖 (1998年3月26日撮影)



写真-8 写真-7の松林前面の凹状汀線付近における浜崖形成状況 (1998年4月27日撮影)



写真-7 砂州の東端から西向きに砂浜を望む (1998年4月27日撮影)



写真-9 砂州の西端部と護岸前面の捨石の関係 (1998年4月27日撮影)

まで伸びて接続した状況を示す。手前側は砂州がバリアー状に伸びた時に取り残された内湖である。写真-6によればこの砂州はその先端が細長い砂嘴として発達し、それがバリアー状に延びて護岸と接続したことが明らかである。しかも写真-3に示したように、手前側には前浜が存在しない場所から急に砂浜が発達し、砂の塊の漂砂上手側では侵食され、下手側では砂嘴が発達して全体として西側に移動したように見えることは、この砂州が全体的に塊として移動していることを強く示唆している。

### 2.3 堆積域の再調査

1998年4月27日砂州の再調査を行った。3月26日撮影の現地状況写真と比較することにより1ヶ月間の砂州形状の変化を明らかにすることができる。写真-7は写真-3とほぼ同じ方向に撮影したものである。比較のために写真-3, 7において護岸上の同一地点に矢印を付けている。これらの比較によって1ヶ月で砂の堆積域が大きく西側に移動したことが分かる。また写真-8は、写真-4と比較される。この場合も写真には護岸側面にある排水溝位置を矢印で示す。写真-4ではこの矢印の前面にはまだ浜崖が形成されておらず、比較的なだらかな海岸線であったが写真-8では浜崖の形成範囲に入った。写真-9は砂嘴先端が護岸に接続した砂州の全体状

況である。この段階でほぼ半円形の砂州となった。以上のように住吉浜の先端部において砂嘴として新たに形成され、護岸に接続してできた砂州は、その後波の作用で大きく西向きに移動し、住吉浜砂嘴の先端部にある砂州と一体化した。なお、1998年10月、住吉浜砂嘴先端部の前浜上の3地点で行った海浜材料の粒度分析によれば、砂の平均中央粒径は0.47 mmであった。以上の現象には2つの重要な機構が含まれている。第1は掘削穴の形成に起因する砂のうち上げ、第2はうち上げられた砂州が塊として砂嘴の先端方向へと移動する機構である。

### 3. 深淺図の比較

海底掘削の行われる前の1972年と海底掘削後の1996年の深淺図の比較により海底形状の変化を調べてみる。図-2, 3にそれぞれの時期の深淺図を示す。両者の比較によれば住吉浜砂嘴の南岸沖における掘削穴の形成が明らかである。穴の岸側は非常に急勾配であり、最大で-12 mまでに至る。図-3に示すように掘削穴周辺の台形区域を選び、その範囲で掘削土砂量を計算した結果、海底掘削土砂量は $4.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ であった。この量は住吉浜砂嘴全体の構成土砂量の44%にも達する量であった(清野ら, 2001)。



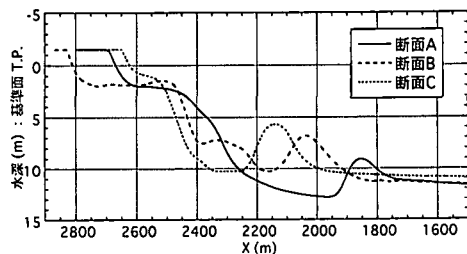


図-7 掘削穴を通る海浜縦断面形

できる。さらに別府湾の形状と風向風速から年数回発生するような高波浪を SMB 法によって推算すると、 $H_0$  はほぼ 1.1 m となる。実際には通常時には 0.5 m 程度の波浪が卓越している。図-6 にはこれらの変域を示すが、住吉浜での波浪・潮位条件は水面上にまで砂州が形成しうる条件をちょうど満足する。このため掘削穴の岸側に砂州が形成されたと考えられる。

## 5. 砂州の沿岸方向への移動と砂嘴先端部の変形機構

掘削穴形成に伴う砂の塊の移動と砂嘴の大変形には掘削穴形成前後の波浪場と海浜流が大きく関与していると考えられるので、波浪・海浜流の数値計算を行った。図-8 は海底掘削前の 1972 年と、掘削後の 1996 年の海底形状を与えて行った海浜流の数値計算の結果を示す。卓越入射波である SE 方向から年に数回程度起こる波浪を風データから推算し、波高 1.1 m、周期 4.0 s を入射波とし、潮位を HWL (T.P. + 0.88 m), MWL, LWL (T.P. - 1.42 m) と変え、それぞれの場合について波浪場と流れ場を計算した。図は HWL の場合の結果を示す。また流れの計算結果は、流向と輸送流関数として表示した。ここに輸送流関数  $\psi$  は、海浜流の計算結果を用いてその定義式 (堀川編, 1985)

$$U(h+\eta) = \partial\psi/\partial y, \quad V(h+\eta) = -\partial\psi/\partial x \quad \cdots (3)$$

を差分化した式を平面的に数値積分することにより求めた。ここに  $x, y$  は平面座標、 $U, V$  は  $x, y$  方向の海浜流流速 (深さ方向の平均流速)、 $\eta$  は平均水位の上昇量である。

海底掘削以前、住吉浜砂嘴の先端部では潮位によらず反時計回りの循環流が生じ、汀線近傍では西向きの沿岸流となっていた。潮位によって循環流の規模は変化した。砂嘴の先端部では流れの方向が場所的に緩やかに変化した。潮位による流れの変化は少なかった。これは砂嘴の南岸が浅い海域であったことによる。これに対し海底掘削後には、とくに LWL 時において砂嘴先端へ向かう流れの強度が増し、汀線付近の流れが強まった。また MWL

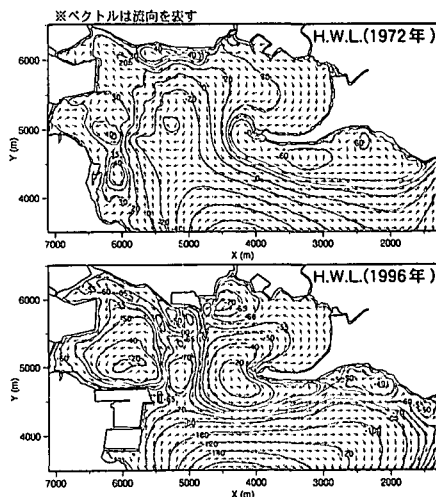


図-8 住吉浜砂嘴周辺における海浜流の計算結果

および HWL 時には砂嘴の先端を回り込んで湾内へと達する強い流れも形成された。このような流れの発生があったために掘削穴の周辺で波の作用でうち上げられた砂が砂嘴先端部へと移動し、砂嘴の先端部が内側へ大きく曲がったと推定される。

## 6. まとめ

守江湾に延びた住吉浜砂嘴周辺での海底掘削が砂嘴地形に及ぼした影響について検討した。この結果、汀線近傍での海底掘削によれば、掘削穴の岸側端部が侵食され、その土砂が岸向きに移動すること、そしてその土砂は沿岸漂砂によって下手側へと運び去られたことが明らかになった。掘削穴の存在は汀線部への波浪侵入を助長し、それによって沿岸流が加速されて砂嘴の大変形が生じたことが判明した。

## 参考文献

- 宇多高明・小菅 晋・伊藤弘之・山崎順一 (1992): サンゴ洲島の形成・消失機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 376-380.
- 宇多高明・清野聡子・芹沢真澄・古池 鋼・三波俊郎 (1998): 大分県奈多海岸および守江湾沿岸の現地踏査, 海洋開発論文集, Vol. 14, pp. 251-256.
- 清野聡子・宇多高明・真間修一・三波俊郎・芹沢真澄・古池 鋼・前田耕作・日野明日香 (1998): 絶滅危惧生物カブトガニの生息地として見た守江湾干潟の地形・波浪特性, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1096-1100.
- 清野聡子・宇多高明・三波俊郎・芹沢真澄・古池 鋼 (2001): 漂砂源の枯渇, 海底掘削, 護岸建設に起因する別府湾住吉浜砂嘴周辺の海浜地形変化, 地形, 第 22 巻, pp. 59-73.
- 和田尚大・田中 仁 (1997): 河口砂州の現地調査と平衡高さ算定式の提案, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 596-600.
- 堀川清司編 (1985): 海岸環境工学, 東京大学出版会, p. 582.