

千葉県富津岬の海岸侵食

宇多高明*・神田康嗣**

1. まえがき

一般に、湖や湾口などのように海岸線に立てた法線と大きな角度をなして波が入射する場所では、しばしば砂嘴の形成が見られる。このような砂嘴は十分な漂砂供給のある条件では安定しているが、供給土砂量が減少するとその外縁をなす海岸で急速に侵食が進む。具体例として例えば駿河湾の西岸、安倍川河口の北側に伸びる三保松原砂嘴があげられる(宇多ほか, 1991)。ここでは安倍川からの流出土砂量の減少とともに激しい海岸侵食が生じている。ところで砂嘴には様々な形態があり、三保松原は分岐砂嘴に分類されるが、先端が鋭く尖った形態は尖角州と呼ばれる。その最もよい実例は東京湾口に発達する富津岬であろう。この砂嘴も三保松原砂嘴と同様、近年著しい変形が生じ、第1海堡とつながっていたその先端部が切れ、砂州が北側に大きく移動して長い間安定していた尖角州の形状が失われつつある。この砂嘴の南北両側は古くからノリの養殖場として利用されてきており、ノリ養殖に際しては東京湾内の栄養分に富んだ海水と、浦賀水道より進入する外海水との混合が重要な役割を果たしていると考えられる。しかし、近年の砂嘴の地形変化の規模はかなり大きく、周辺の潮流場を通じて場合によってはノリの養殖にも影響を及ぼす可能性がある。また富津岬先端の砂州は、現在東京湾に残された唯一の天然の砂浜であって、そこは海浜公園として利用されていることからその重要度も高い。このような点より、本研究では尖角州という特徴的な地形である富津岬を取り上げ、近年の砂嘴の変動とその原因について考察するものである。

2. 富津岬の地形概要

富津岬は、東京湾の湾口において千葉県側より西側へ長く伸びた砂嘴(尖角州)である。富津岬周辺の地形を図-1に示す。富津岬の南面は浦賀水道に面しており、したがって浦賀水道を経由した相模灘からの波浪が卓越する。この入射波条件では全体に北上する方向のエネルギー

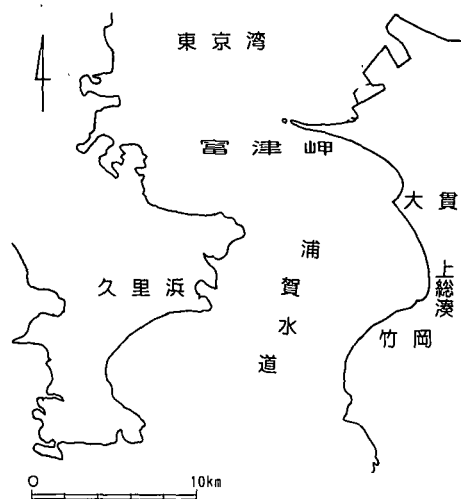


図-1 千葉県富津岬の位置図

ーフラックスが卓越するので、図-1に示すように上総湊～富津岬の間には2段のフック状海岸線が形成されている。このため、これらのフック状の海岸線への流入河川や海食崖からの供給土砂は、北西端の富津岬方向へと移動することになる。

図-2には海上保安庁水路部発行の海図より作成した富津岬周辺の深淺図を示す。水深の基準面は基本水準面とされており、第1海堡地点において平均水面は基本水準面上1.1mにある。海図から作成した深淺図であるため、ごく浅い海域の水深はあまり明らかではないが、いくつかの地形特性を見い出すことができる。まず沖合の水深10、20mの等深線は比較的直線状に伸びているが、汀線は南端の磯根崎より北西方向へ大きく湾入するとともに、5mの等深線もかなり湾入している。また大貫漁港の防波堤の南側、磯根崎との間に三角形の前浜が広がっている点は、磯根崎の南部の海食崖の後退に伴って発生した土砂が北側へ運ばれ、そこで止められていることを表している。さらに、磯根崎～富津岬間の沖合では、10mと5mの間に非常に緩い勾配の斜面が広がっていることも特徴の一つである。一方、2mの等深線は岬の北側では汀線とほぼ平行に延びており、その間に1～2km

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長

** 正会員 (株)エムエーシー



図-2 富津岬周辺の海底地形

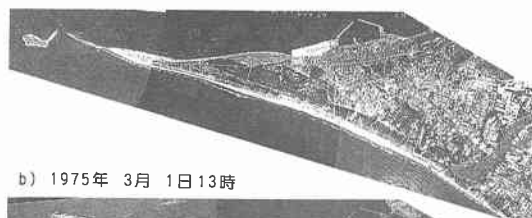
と広い干潟が発達しているのに対し、岬の南側では第1海堡より岬の近傍において岬の先端方向へ延びている。そして離岸堤付近が水深3.6mであることを考慮すると、2mの等深線は離岸堤のかなり岸側においてほぼ汀線と平行に延びていると推定される。

3. 空中写真の判読

ここでは1967年より1994年の間に撮影された5組の空中写真より〔写真-1a)~e)〕、富津岬の海岸線の変遷について調べてみる。まずa)には1967年3月19日の富津岬の状況を示す。写真左端にあるのが第1海堡であり、砂嘴の北側にある港は富津漁港である。この時点では砂嘴の汀線は南側の海岸線をそのまま延長したかのようにして第1海堡へ向かって直線的に伸びている。砂嘴の先端部と第1海堡の間には幅約250mの開きが見られる。砂嘴が三角形に突き出ている部分の南面には海岸線に沿って黒っぽく護岸が写されているが、この時点では護岸前面の前浜幅は最も狭い所で約30mあった。また写真右下に見えるように、砂嘴の南側で海へ注ぐ農業用水路は、河口部で大きく西側へ蛇行しており、砂嘴の南側汀線がほぼ直線的に第1海堡へ向かって伸びていたことと考えると、砂嘴の南側では北西向きの沿岸漂砂が卓越していたことがわかる。

b)には1975年の海岸状況を示す。1970年~1975年の間に富津岬の南側では2種類の構造物の建設が進んだ。第1は写真下部に見られるように、砂嘴の南側に下洲漁港の防波堤が伸びたことである。防波堤周辺の海岸線形状を調べると、漁港の南東側では汀線が三角形に前進し、北西側では後退している。このことは下洲漁港の建設により富津岬の先端方向へ向かう沿岸漂砂が阻止されたことを意味する。第2の構造物は、富津岬の先端部から下洲漁港の間約4kmに造られた堤長500~600m、開口幅50~60mの鋼管製離岸堤6基である。これらの離岸堤は、通常の異型ブロック製の離岸堤と比較して消波効果は低いものの、それによる消波効果が現れた結果、

a) 1967年 3月19日13時



b) 1975年 3月 1日13時



c) 1980年 1月 8日10時



d) 1990年 1月 2日12時



e) 1994年 2月25日10時

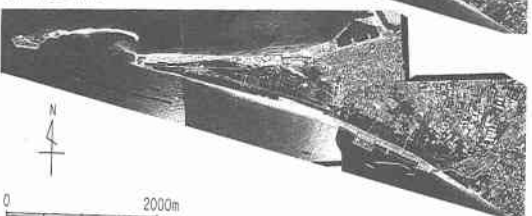


写真-1 富津岬の空中写真

その背後になだらかな舌状砂州が形成されている。これらの構造物の建設と同時に富津岬先端部の北側への移動が著しくなった。同じ状況はc)に示す1980年1月の写真にも明らかである。この空中写真には砂嘴南側の離岸堤が顕著に写されており、下洲漁港側から3基目までの離岸堤の背後には大きく舌状砂州が発達しているのが見てとれる。1975年~1980年の間、下洲漁港では拡張工事が続き、b)で防波堤の南東側に堆積した土砂は漁港内へとり込まれ、その後除去されることになった。富津岬の先端に注目すると、先端部から2番目までの離岸堤の背後では侵食されてほとんど前浜が失われ、護岸が露出することになった。そして護岸の先端では汀線がフック状に後退し始めた。砂嘴の南側ではこの時点まで下洲漁港の防波堤により北西方向への沿岸漂砂が阻止されるとともに、離岸堤群の消波効果により砂嘴先端へ向かう漂砂量も減少したと考えられる。このため砂嘴先端の護岸

前面の前浜が消失するとともに護岸先端ではフック状の汀線が形成されたと考えられる。さらに c) によると、砂嘴南側の離岸堤群のうち最も西側の離岸堤の先端は第1海堡と護岸先端とを結ぶ距離の約 $1/3$ の所にあるため、この離岸堤の西側の開口部から侵入する波は離岸堤背後で回折し、その波は護岸端部より西側のフック状汀線の形成を助長したと考えられる。また前出の a) と比較すると、砂嘴の北側先端部での土砂堆積が著しいが、このように砂嘴の北側へ土砂を押し込む作用を生じさせる意味でもこの離岸堤開口部からの回折波がかなりの効果を有していたと考えられる。なぜなら、南側からの入射波の作用のみでそのような変化が起こるのであれば、1967年当時既にそのような変化は起きていなければならず、南側からの入射波では北東向きのエネルギーフラックスを生じさせることはできないからである。砂嘴の北側での堆砂が著しくなった時期が離岸堤の建設時期と一致することもまた一つの理由と考えられる。

同様に、1990年1月の空中写真を d) に示す。c) と比較すると、下洲漁港は拡張され規模が大きくなったが、この漁港の南東側には幅広く三角形の前浜が広がっており、逆に北西側では汀線がやや凹状となっている。最も大きな変化が表れたのは、砂嘴の先端部である。護岸の先端では汀線が大きく湾入し、護岸が海中にとり残されることになった。また第1海堡との間の砂州は、細長く弓状に湾曲するとともに数カ所で切れている。

最後に、e) は1994年2月の空中写真である。d) に示す1990年の空中写真と比較して、下洲漁港の南東側での土砂堆積が益々著しくなり、三角形の前浜が大きく広がった。また漁港の北西側では汀線が凹状となっている。砂嘴の先端では護岸の北側の汀線が凹状となるとともにそのすぐ北側に大きな開口部が形成され、第1海堡と砂嘴先端の間の砂州が第1海堡を基点として反時計回りに回転したかのような状況となった。また、開口部を經由して浦賀水道へと向かう潮流の作用により開口部の西側には大きな砂州の発達が見られる。さらに、a) と e) の比較によれば富津漁港の西側に隣接する護岸の前面では細長い砂州が発達してきたことが分かる。e) に示すように、このすぐ東側には防波堤があって沿岸漂砂の移動が阻止されていることを考えると、上述の土砂は、砂嘴の先端方向から東向きに土砂が移動して堆積したものと考えられる。

4. 汀線変化の比較

空中写真より、各年の汀線変化についてまとめてみる。以下では全て1967年の汀線を比較基準とする。図-3 a), b), c) には1970年、1975年および1980年の汀線形をまとめて示す。a) に示す1970年では下洲漁港の建設

工事が始められているが、その周辺での汀線変化は大きくない。砂嘴先端では1967年、1970年とも汀線はほぼ直線的に尖っているが、1970年には尖った先に弓状の砂州が発達している。b) に示す1975年では下洲漁港の南東側で汀線が前進、北西側で後退している。砂嘴の先端部では護岸前面の前浜は消失し、侵食により護岸の先端より汀線が後退し、砂州が北側へ移動した。一方、砂嘴の北側では延長約1 km 間で堆砂により汀線が前進している。またこの堆積区域のすぐ東側には護岸があるが、その西側端部の汀線の局所的後退は見られず、滑らかに伸びている。このことは富津岬の北側での堆積土砂は主として先端方向から移動してきたことを表わしている。1975年までには図示するように砂嘴の南側に離岸堤が新設されており、これと上記の変化の生じた時期とはよい一致を示す。1980年までの変化では、下洲漁港の南東側の汀線の前進が著しく、漁港の北西側では離岸堤背後での舌状砂州の形成が著しい。砂嘴先端では離岸端部よりフック状の汀線の後退が始まり、その東部での汀線前進が著しくなった。

同様にして図-4 a), b), c) には1985年、1990年および1994年の汀線形を示す。1985年では護岸端部でのフック状汀線の後退がさらに著しくなり、砂嘴の先端の砂州は1967年の汀線とほぼ平行に、北側へ150 m 移動

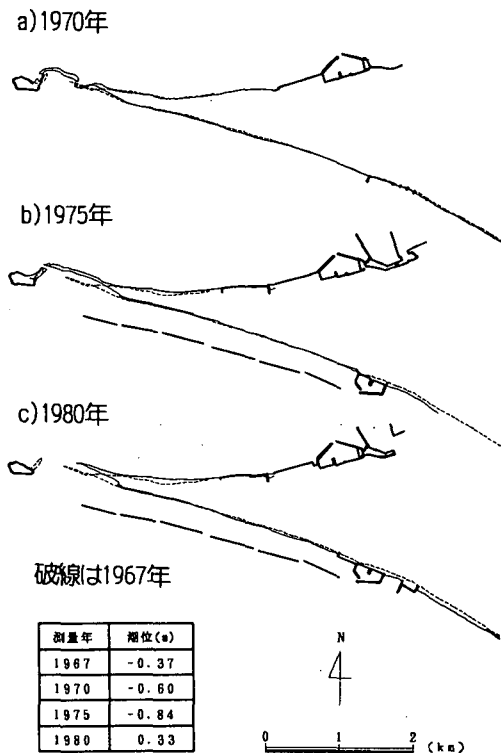


図-3 富津岬の汀線形状の比較 (1967年～1980年)

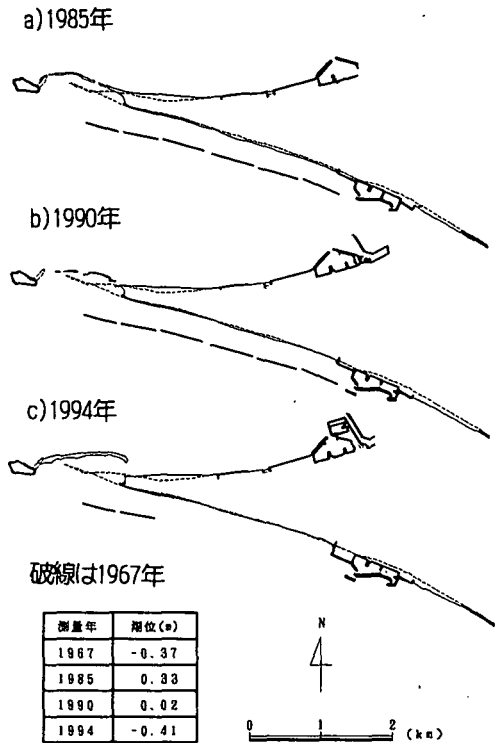


図-4 富津岬の汀線形状の比較 (1985年～1994年)

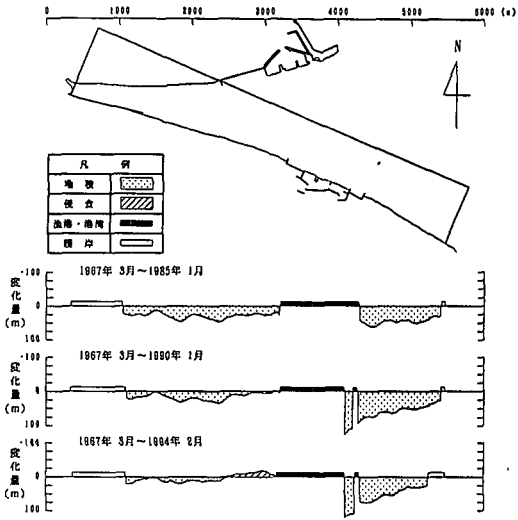


図-5 汀線の経時変化 (1967年3月基準)

m²/yr となる。一方、漁港の東側では汀線は前進傾向を示し、漁港の東側隣接部で最大の汀線前進を示す。この漁港の東部にも護岸が造られており、その前面にはほとんど前浜がないことから、近年南東側からの漂砂供給量は減少していると考えられる。特に1990年～1994年では汀線に大きな変化は見られない。そこで1985年～1990年で前浜面積の増加割合を求めると2,200 m²/yr となる。

前浜面積の時間変化率が求められたから、この割合に漂砂の移動高を乗ずれば海浜土砂量への換算が可能である。そこで前出の図-2を参照すると、磯根岬に隣接する大賀漁港や下洲漁港の港口では堆砂傾向にはあるものの、急速な土砂堆積もなく維持されていること、また離岸堤の岸側の舌状砂州も写真-1c)に示してように汀線近傍に発達が抑えられていることなどから判断して、汀線と一体的な土砂移動による地形変化が生じている範囲の沖合限界は水深2～3mにあると考えられる。したがって平均水面基準の水深では3～4mとなる。一方、1994年11月26日に実施した下洲漁港の西側の海浜での前浜測量によると、バーム高は約1mであった。これらのことから、富津岬の南側海岸での漂砂の移動高は4～5mと推定される。ここでは沿岸漂砂量の下限値を推定することとし、漂砂の移動高を4mとして前浜面積の減少または増加割合に乗ずると、侵食割合は1985年～1990年の変化より2.2×10⁴m³/yr、1990～1994年で1.9×10⁴m³/yrとなる。また、堆積量の変化より0.9×10⁴m³/yrなる漂砂量が得られる。全体の平均は1.7×10⁴m³/yrである。結局、下洲漁港の建設後、この位置において年間2万m²程度の沿岸漂砂が阻止され、これによって富津岬の先端部での侵食が顕著になったことがわかる。

している。1990年では、1985年と比較して潮位が高いため砂嘴先端と第1海堡の間の砂州形状が細長くなっているが、そのほかの特徴は1985年当時とほぼ同様である。1994年では、先端の護岸端部でのフック状汀線の形成が進み、砂州が北側へと移動したことがよくわかる。また砂嘴の北側では汀線が最大幅80m、沿岸方向に約1kmの範囲で前進したこともわかる。また、下洲漁港の南東域での汀線の前進も目立っている。

既に述べたように、富津岬の先端部での海浜変形には砂嘴の南側より先端方向への沿岸漂砂の供給量の減少が大きく関与していると考えられる。そこで、以下では富津岬南側の海岸線の変化を詳しく調べることにした。前出の図-3、4によると、下洲漁港が現況とほぼ同様な形状となったのは1985年である。漁港の防波堤が概成する以前には、漁港の南東側の汀線前進区域に新たに施設が造られているから堆積土砂量の計算は困難である。そこで1967年を基準として、1985年、1990年、1994年の汀線変化を求めた。結果を図-5に示す。下洲漁港の西側では沿岸方向に汀線が変動しているが、これは離岸堤の背後に舌状砂州が形成されたことを表わす。下洲漁港と富津岬先端部の護岸の間では、全体的に前浜面積が減少傾向にあり、特に漁港の西隣りでの汀線後退が著しい。いま、1985年～1990年および1990年～1994年の間で前浜面積の減少割合を求めるとそれぞれ5,600 m²/yr、4,800

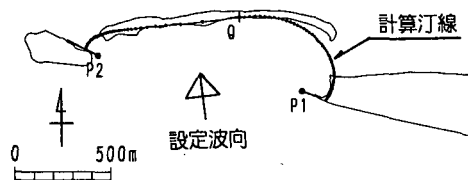


図-6 Hsuの式による計算汀線と実測汀線の比較

5. 湾入汀線形の計算

図-4に示したように富津岬先端部の護岸端部の汀線は大きく湾入している。このような湾入汀線は、第1海堡と護岸先端部の不透過構造物により波の場が強く支配され、それに合わせて汀線形が安定形に近づこうとしていることを示している。こうした場合の汀線形についてHsu・Evans (1989)はそれを近似的に与える式を導いている。そこで本研究でもこの方法のあてはめを試みる。

前出の図-3, 4によると、1975年頃までは護岸端部がフック状に湾入しておらず、汀線が比較的なだらかに伸びていた。このことは砂嘴の南側に沿って沿岸漂砂の流入があったことを示している。これに対し1994年の汀線では護岸端部より汀線は著しく湾入しており、ほぼ漂砂の供給が断たれている。この条件下で砂嘴先端部の砂州形状は、中央部がほぼ直線的に伸びている。このためこの直線上に点Qを定める。この砂州への入射波の方向は前節で述べたように離岸堤の開口部からの侵入波と透過波が合成されたものとなると考えられるが、図-4で砂州の汀線がほぼ直線的であることから、主方向は近似的にこの汀線に直角と近似されよう。さらに護岸先端の破壊された部分の先端にP₁、第1海堡の汀線よりやや沖にP₂をとって計算すると図示する計算曲線が得られる(図-6)。これによると、計算値は実測値とかなりよい対応を示している。これは砂州の形状が護岸と第1海堡とに境界条件が与えられ、その中で汀線が安定形になりつつあることを示していると考えられる。

6. 考 察

本研究により、我が国各地にある多くの砂嘴と同様、

尖角州である富津岬もまた沿岸漂砂の供給量の不足により近年著しい変形を遂げたことが明らかにされた。そして砂嘴の先端部は過去にあったような鋭く尖った形状ではなく、第1海堡と先端部の護岸端部をコントロールポイントとする安定形状に近づきつつあることが判明した。また、砂嘴の先端部より侵食された土砂は北側隣接部へ波により押し込まれて堆積していることも分かった。

1994年4月以降、下洲漁港の西側に並んでいた6基の離岸堤は撤去された。このことは、当面富津岬の先端部への供給土砂量は増加傾向となって砂嘴の先端部の変形は緩和傾向となる一方、下洲漁港の西側地区での侵食は今後著しくなることを意味している。しかしながら長期的に見ると富津岬の先端部では下洲漁港での漂砂の阻止が続くことから、将来的にも漂砂の供給量は減少する。したがって離岸堤を撤去しても1967年以前の尖角州の形状を復原することは困難であり、むしろ先端部の壊れた護岸を補強することによりその背後に安定な海浜を形成させることが望ましいと考えられる。少なくとも砂嘴先端の砂州は微妙なバランスの上に形成されているので、そこに大規模な侵食対策施設を造ることはかなり危険と言えるであろう。

7. あとがき

1982年2月16日の現地踏査後、富津岬の海浜変形については筆者らの念願から忘れ去られていたが、1994年9月15日に再び訪れる機会を持ったところ、その変形の大きさには驚かずにはいられなかった。富津岬は尖角州という特殊な地形であることから、その保全には細心の注意を払う必要があり、そのためにこの資料が役立てば筆者らの望外の喜びとするところである。

参 考 文 献

- Hsu, J. R. C. and C. Evans (1989): Parabolic bay shapes and applications, Proc. Intn. Civ. Engrs., Part 2, 87, pp. 557-570.
宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1991): 砂嘴地形周りの海浜変形—三保松原を例として—, 地形, Vol. 2, No. 2, pp. 117-134.