

三保松原の危機的海岸侵食状況

宇多高明*・鈴木忠彦**・山本幸次***・板橋直樹****

1. ま え が き

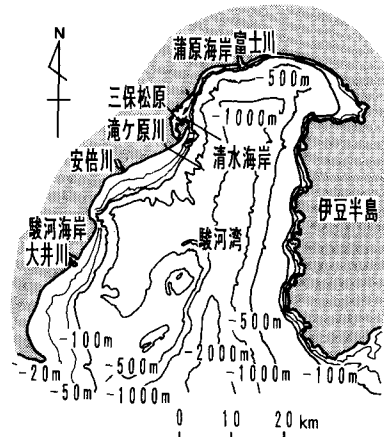
近年、海岸侵食が全国的に目立っている。一般によく知られているように、沿岸漂砂の卓越した海岸において海岸侵食が生ずると、侵食域は沿岸漂砂の不連続が起きている箇所より下手側へと次々と広がっていく。こうした場合、原理的に見れば漂砂の最も下手側より海浜安定化の策が採られることが望ましいが、実際には上手側における激しい侵食を放置できず、また、いまだ侵食が顕在化せず広い前浜がある地先で対策工事を進めることに対する地元の同意が得られにくいことなどから、その実現は非常に困難である。かくして護岸・消波工などを主体とする対策と下手側侵食の悪循環が始まることになる。

ところで、沿岸漂砂の十分な供給のもとで、海岸線と入射波の波峰線とが大きな角をなすときに形成される地形に砂嘴がある。砂嘴の海岸線に沿っては著しく卓越した沿岸漂砂が発達するので、上述の侵食が発生すると侵食域は激しい勢いで下手側へと広がることになる。本研究では、こうした問題の典型例として、静岡県三保松原砂嘴を取り上げて砂嘴先端付近での侵食状況を明らかにし、著しい侵食が羽衣の松で有名な御穂神社の前面海岸まで数年で及ぶ危機的状況にあること、そしてこの状況を救うには、広い開口部を開けて離岸堤（ヘッドランド）群を侵食速度より速やかに展開する、いわば飛び石作戦以外に道はないことを明らかにする。

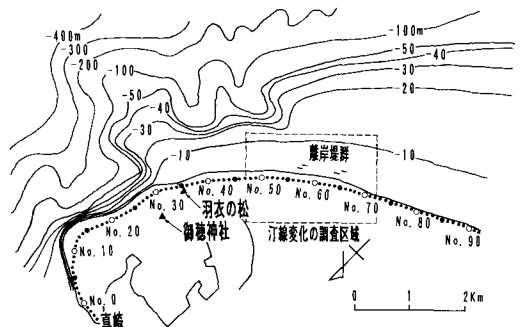
2. 清水海岸の地形

清水海岸は三保松原砂嘴の先端部に位置する。この砂嘴は図一に示すように典型的な分岐砂嘴であり、北海道東部にある野付崎と並んで我が国有数の規模を誇る。図示するようにこの砂嘴は駿河湾西岸にあり、主として湾口からの入射波が屈折して作用する。砂嘴はこの波の作用により北東方向へと延びている。本研究の調査区域

は、砂嘴先端部の直線距離で約7 km の区域である。図一2には調査区域の測線番号と、海底形状を示す。この区域では深浅測量が1988年以降毎年3月に行われてきている。測線は100 m 間隔で配置されており、起点は三保松原の先端のNo. 0 にあり、ここより南側へと配置されている。砂嘴が、鳥のクチバシ状に突き出た場所（真崎）はNo. -4 に、北東方向に最も突き出した位置はNo. 12 に、そして羽衣の松で有名な御穂神社はNo. 35 に位置している。図一2には沖合の等深線形状も示すが、No. 12～No. 30、No. 36～No. 44 およびNo. 48～No. 54の間には急深な海底谷が迫っている。一方、No. 55以西で



図一 三保松原と清水海岸の位置



図二 清水海岸の測線配置

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長（前海岸研究室長）
 ** 静岡県土木部河川課
 *** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室研究員
 **** 工修（株）アイ・エヌ・エー（元建設省土木研究所海岸研究室部外研究員）

は沖合にかなり広い大陸棚が発達しており、緩勾配の海底斜面となっている。また-10 mの等深線と汀線の間隔はNo. 30より南西側では300 m以上とかなり広いが、砂嘴の先端では非常に狭い。以上に述べた海底地形特性は、同じ駿河湾の、三保松原の南西30 kmに位置する駿河海岸(図-1参照)沖の海底地形(宇多ほか, 1991; 村田ほか, 1991)と非常に一致を示す。

図-2の汀線形状を詳細に調べると、No. 40より南西側の汀線は変動はあるもののほぼ滑らかに直線状に延びている。これに対しNo. 16~No. 26の区間とNo. 35付近の汀線は凹状になっている。駿河湾は南に開いているから、入射波の主方向はSである。この方向からの入射波は岸近くで屈折するが、海底谷部分では水深が大きいため周辺域より波峰線が突出し、それに応じて汀線が凹状になったと考えられる。このような海底谷背後での凹状の海岸線は同じ駿河湾の北部に位置する蒲原海岸(滝澤ほか, 1987)でも見られる。

3. 汀線変化と平面的地形変化

まず、汀線変化について調べてみる。測線No. 47~No. 71区間の1988年を基準とした汀線変化を図-3に示す。図の右端のNo. 71には緩傾斜堤が設置されていたが、それより北側では1988年現在なだらかに汀線が延びていた。1989年までに緩傾斜堤の北側の汀線が後退し始めた。汀線の後退量は緩傾斜堤の隣接域で最も大きく、そして北側ほど小さくなり、No. 58では汀線変化は見られなくなる。1990年までの変化状況は1989年までのそれとよく似ているが、No. 62以西では汀線の後退量が増大するとともに、新たにNo. 50~No. 58の間でもわずかなではあるが汀線の後退が始まった。沿岸漂砂の上手側より護岸や消波工を設置すれば、侵食域がただちに下手側へ広がり、そこに再び護岸や消波工が設置され、結局一連の海岸線は構造物群によって覆われてしまい、砂浜が消失してしまう。そこで、清水海岸では離岸堤を下手側に大きく離して設置し、海浜を安定化する策(飛び石作戦)が採用された。1991年までにNo. 65には1基の離岸堤が設置された。離岸堤は北向きの沿岸漂砂を阻止するため、離岸堤位置で汀線は階段状となった。一方、漂

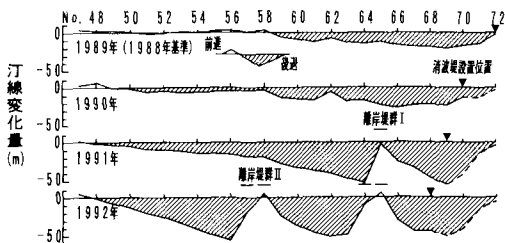


図-3 測線 No. 47~No. 72 区間の汀線変化

砂の下手側ではNo. 64~No. 48の間の汀線が三角形状に後退した。侵食域は1989年当時と比較して約900 m広がった。2年間で変化が生じたことから侵食域の平均的な広がり速度は0.45 km/yrとなる。宇多ほか(1991)は、静岡・清水海岸において侵食域の広がり速度の伝播速度を求め、1983年~1988年の平均で0.5 km/yrという値を示した。上述の値はこの値にかなり近い。1992年になると、2基ずつの離岸堤群が開口幅約500 mをもって設置された。離岸堤群の間では1988年当初と比較すると汀線は最大約36 mも後退したが、離岸堤群の間の汀線の後退はやや緩やかになった。しかし、離岸堤群の下手側の汀線は三角形状に後退しており、その状況は1991年における離岸堤下手側の汀線後退状況と同様である。

緩傾斜堤の下手側区域の地形変化を図-4に示す。1988年と1992年の深淺図である。1988年段階では、緩傾斜堤は南西(漂砂の上手)側より進められてきた保全工事の北東端に位置していた。北東方向の沿岸漂砂により削られたが、1988年段階では緩傾斜堤の北東側には狭いながら前浜が残されていた。このとき、-4 m以浅の等深線は緩傾斜堤を中心として西側ほど後退傾向にあった。一方、沖合の-5 m以深の等深線は沿岸方向にほぼなだらかに延びている。1992年になると、緩傾斜堤の東側に大きな開口部をもった離岸堤が設置され、この間の海浜の安定化が図られたが、工事中に北東方向へ沿岸漂砂が流出し緩傾斜堤の隣接域が侵食されて浜崖が形成された。この結果波が護岸に直接作用する状況となったため、護岸前面には消波工が設置されることになった。

海浜の安定化を図るため設置された離岸堤周辺の詳細な海浜変形について調べてみる。図-5(a)には、離岸堤設置前の1988年の深淺図を示す。この段階では全ての等深線が沿岸方向になだらかに延びていた。汀線より-4 mまでの等深線は非常に密であるが、-5 m以深はなだらかな勾配である。1992年の深淺図を図-5(b)に示す。

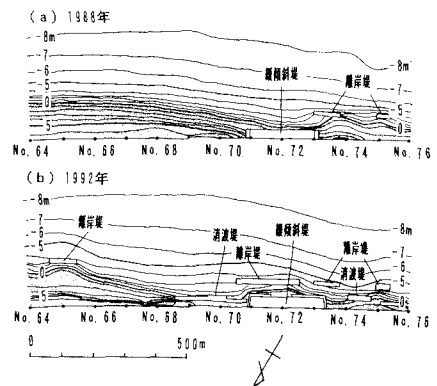


図-4 緩傾斜堤下手側の海浜変形(測線 No. 64~No. 76)

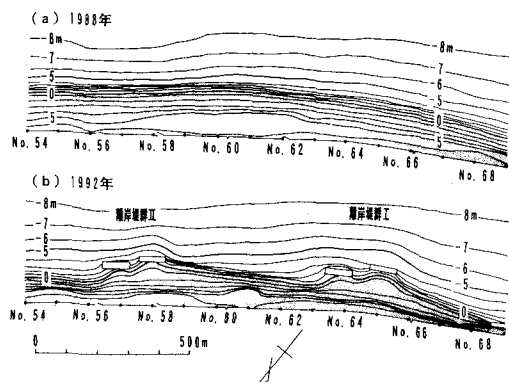


図-5 離岸堤群周辺の海浜変形 (測線 No. 54~No. 69)

離岸堤群 I, II の設置により、ほぼ直線的であった海岸線は階段状となった。例えば西側にある離岸堤群 I の周辺では、西側の汀線は離岸堤へ向かって直線状に延びているのに対し、東側では汀線が大きく湾入しており、離岸堤のすぐ東側で汀線が最も後退している。以上の汀線形状は、この地点において北東方向への沿岸漂砂が卓越していることを示している。

離岸堤の設置水深は約 3.5 m であるが、離岸堤の沖合の -5, -6 m の等深線は離岸堤群 I 付近で沖向きに突出し、それより東側ではなだらかに岸へ近づいている。離岸堤の設置前の 1988 年の深浅図ではこれらの等深線が沿岸方向にほぼ直線的に延びていたから、離岸堤の設置によりその沖で等深線が前進したことは明らかである。以上の点は、離岸堤の沖を沿岸漂砂の一部が通過して下手方向へと流れ出していることを表わしている。

4. 海浜断面変化

ここでは典型的な断面変化の見られた 3 地区の海浜断面形の変化について述べる。図-2 に示したように、測線 No. 30 より南西側では汀線と -10 m の等深線の間隔は 300 m 以上はあり、岸近くまでの海底谷の発達は見られない。この区間の代表として緩傾斜堤のすぐ下手側に位置する測線 No. 68 の断面変化を図-6 に示す。1988 年より 1992 年まで 4 年間の断面変化であるが、この測線では陸上部の約 6 m より -7 m までの間が削られ、急深となったことがわかる。沖合の -7 m 以深では測量時の断面形はほぼ重なりを示す。波による顕著な地形変化の見られなくなる限界の水深 (地形変化の限界水深) はほぼ 7 m にあるが、この値は宇多ほか (1991) の求めた値とよい一致を示す。海浜は著しく削られたものの、汀線付近での侵食に匹敵する沖合部での堆積はどこにも見られない。このことは、海浜が沿岸漂砂によって削られたことを示している。

三保松原の平面形を示した図-2 において、砂嘴が最

も北東方向に張り出す位置にあるのは測線 No. 12 である。ここでは砂浜幅が広いが、沖合には急深な海底谷が迫っている。この周辺の海浜断面変化として、図-7 には測線 No. 14~No. 10 の 5 断面の変化を示した。いずれも 1988 年と 1992 年の測量結果である。測線 No. 14 では沖浜の海底勾配は約 1/2 と急で、-110 m まで落ち込んだあと、再びやや浅くなる。この断面では土砂は -65 m まで落ち込み、勾配が急になった。隣接の No. 13 でもよく似た特性が表われており、土砂は -70 m まで落ち込んでいる。沖合の海底谷の深さは No. 14 より北側へと次第に浅くなり、No. 12 では沖合の勾配急変点は -50 m にある。この断面でも鉛直上方に凸形の断面形を保ちつつ土砂が堆積している。測線 No. 11 では No. 14~No. 10 の区間のうち、最大の汀線前進量 (16 m) を示した。沖合の勾配変化点 (-30 m) より岸側で、海浜断面がほぼ平行移動する形で土砂が堆積した。測線 No. 10 では、沖合の勾配急変点の水深が 22 m と、それより南側にある測線より浅くなる。ここでも -22 m 以浅の急斜面上にのみ土砂が堆積している。以上の 5 断面の変化では、最大水深 70 m、最小水深でも 22 m までの範囲に土砂が落ち込んでいることが特徴としてあげられる。このことは、前述した測線 No. 68 において -7 m 以浅のみが削られるのと著しい対照を示す。海浜が侵食される場合、水深 7 m 以浅が削られて汀線が大きく後退しても、砂嘴の先

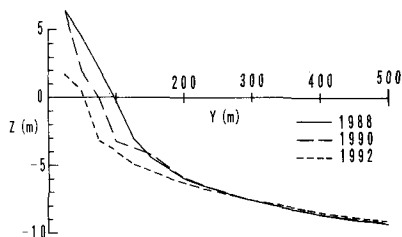


図-6 海浜断面形の変化 (測線 No. 68)

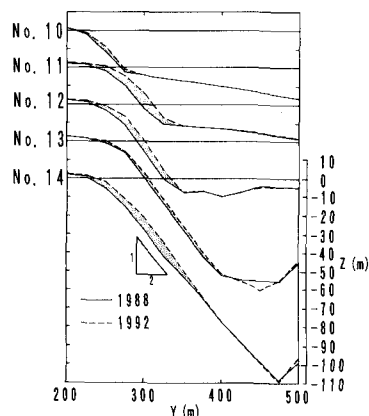


図-7 海浜断面形の変化 (測線 No. 14~No. 10)

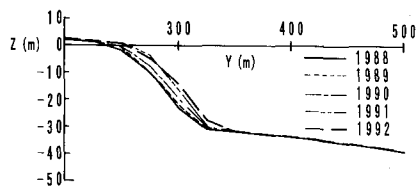


図-8 測線 No. 11 における海浜断面形の経時的変化

端部で土砂が堆積する場合、地形的特性よりこの水深の約10倍まで深い所へ土砂が落ち込んでしまう点は大きな問題点として指摘される。なぜなら汀線変化で見限り、汀線の後退域の面積と比較して前進域の面積ははるかに小さくなるからである。第2の特徴として、いずれの断面でも凸状を示しつつ土砂が堆積しており、しかも断面内の全域で堆積のみが生じていることが指摘される。このことは、侵食域に位置する No. 68 では断面内の全域で侵食のみが生じたことと非常によい対照を示しており、両者の特徴は清水海岸の海浜地形が沿岸漂砂によって生じたことを意味する。そしてこれらの断面変化は、宇多・山本 (1991) が示した砂嘴地形周りの普遍的な断面特性とよく一致する。

図-7 に示した断面変化では、1989年と1992年と2時期のみの断面形が示されている。実際には測量は経年的に行われているから、海浜断面形の経時変化をより詳細に調べることができる。汀線が最も著しく前進した測線 No. 11 を選んで断面形の変化を示すと図-8 となる。これによると、1988年より1991年までは海浜断面の単調な平行移動が見られた。1992年にも土砂の堆積が見られたが、このときは沖合に厚く土砂が堆積し、逆に汀線付近ではわずかながら侵食傾向にある。しかし、全体として見る限り海浜断面はほぼ単調に平行移動しており、経年的に単調な土砂堆積が起きたことがわかる。

5. 沿岸漂砂量の算定

侵食・堆積域における海浜土砂量の変化について調べてみる。侵食域は、図-3 に示した No. 47～No. 72 の区間 (延長2500 m) が、堆積域には、No. 46 より北側の区域が相当するが、特に著しい堆積の見られた区域として、No. 15～No. 7 と、No. 0 を挟む No. 1 と No. -1 の区間の土砂量の計算も併せて行った。侵食域、堆積域における1988年を基準とした海浜土砂量の経年変化を図-9 に示す。侵食域では1988年より1992年まで4年間で $54 \times 10^4 \text{ m}^3$ の土砂が消失した。年間の変化量に換算すると、 $13.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ となる。測線 No. 72 より西側は護岸、消波工および離岸堤ではほぼ覆われており、北側への沿岸漂砂の供給量は大きく減少し、ほぼ0に近いと考えられるので、上述の値は漂砂の連続条件より No. 47 を通

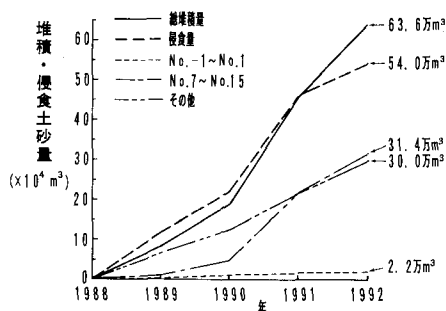


図-9 総侵食・堆積土砂量の経年変化

過して北側へ流出した沿岸漂砂量に等しい。宇多ほか (1991) は、清水海岸の侵食域 (No. 70～No. 85) と静岡海岸の堆積域 (No. 151～No. 166) の1984年より1988年までの海浜土砂量の経年変化より、No. 70 と No. 166 を通過する平均沿岸漂砂量を1984年～1988年で、 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定した。本研究で求められた沿岸漂砂量は計算区域、計算時期が相違するにもかかわらずこれと非常によい一致を示す。

図-9 には砂嘴先端部の2地区とともに全堆積域の堆積土砂量の経年変化を示す。No. 15～No. 7 では、1988年より1990年まではわずか $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ の堆積であったが、その後急速に土砂堆積が進み、1992年までには $31.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ もの土砂が堆積した。1988年～1990年の間、堆砂割合が少なかったが、この期間は侵食量も少ない傾向を示す。このことは、1989年～1990年の間、波浪が比較的静穏であったことを意味する。No. 1～No. -1 の土砂量変化では、1988年より1992年までに $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ の土砂が堆積した。堆積割合は、約 $0.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ である。No. 15～No. 17 の堆積域 I の堆砂割合と比較すると1オーダー小さな値である。

一方、総堆砂量は、1992年時点における侵食量の $54 \times 10^4 \text{ m}^3$ に対し、 $63.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ と約18%大きくなった。両者は厳密には一致しないが、堆積土砂量の計算は広い範囲で行われているため測量誤差が入り易いこと、また侵食域において上手側からの土砂供給は完全には0でないこと、さらには1992年を除けば両者の対応はかなり良好なことなどを考慮すると、全体的に見れば両者はかなりよい一致を示すと言える。

6. 考 察

静岡・清水海岸では安倍川からの供給土砂量の急減によって発生した沿岸漂砂の場所的不均衡により、過去に侵食域が $0.8 \text{ km}/\text{yr}$ (1975年～1983年) および $0.5 \text{ km}/\text{yr}$ (1983年～1988年) の速度で下手方向へ伝播しつつあるが、海岸線近くには国道150号線が通り、また石垣イチゴの産地として沿岸域は高度に利用されている。このた

めこれらの資産を守ることが重要であり、種々の防災対策がとられてきた。しかし、予防的な侵食対策ではないため、侵食域はさらに北東側へと広がりを示した。このような悪循環をできる限り防止するため離岸堤群による海浜の安定化対策がとられ、その効果があがりつつあるが、なお侵食域は下手方向へと約 0.5 km/yr の割合で広がっている。1992 年現在、侵食区域は No. 48 まで達している。この地点と羽衣の松で名高い御穂神社 (No. 35) まではわずかに 1.3 km 離れるのみである。このことは、現在のまま侵食が進めば約 3 年で神社前面の海浜にまで侵食域が広がることを示している。これを防止する策は 2 つ考えられる。第 1 の案はサンドバイパスであり、第 2 案は現在進めている離岸堤による海浜の安定化を急速に進めることである。第 1 案を実行するには No. 14 付近で砂礫を採取し、上手側の No. 71 付近に投入することが必要である。その量は少なくとも年間約 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ を確保しなければならない。しかし、砂礫の採取運搬および投入に要する経費は約 1 万円/ m^3 と見積もられることから、毎年 10 億相当の経費が必要とされ、これを長期間にわたり実施することは非常に困難である。第 2 案は、現在の手法をそのまま進めるものであるが、海浜が侵食される以前の段階で下手側の対象区域に離岸堤群を設置しなければならない。この案を実施する上で最も困難な点は、いまだ侵食を受けておらず、広い前浜がある段階で地先の人々に離岸堤の設置の理解を求めることにある。調整が長引き、施工が遅れば遅れるほど離岸堤の堆砂効果は失われる。No. 79 以南のように大きく削られ、消波工で覆われた状態で離岸堤を施工してもほとんど効果がないことは自明である。国民的財産とも言える三保松原を砂浜のままで保全するため関係者の理解を求めたいゆえんである。

7. 結 論

本研究の主要な要点は以下のようである。

① 清水海岸の No. 30 以南では幅広い大陸棚が発達しており、沿岸漂砂による海浜変形は -7 m 以浅でのみ

見られる。このことは、侵食域における地形変化の限界水深がほぼ 7 m にあることを意味する。一方、砂嘴の先端部、特に No. 14~No. 10 の区間では勾配約 1/2 と急斜面を形成しつつ最深で -70 m まで土砂が落ち込んでいることがわかった。

② 侵食域における 1988 年~1992 年の侵食土砂量は $54 \times 10^4 \text{ m}^3$ であり、年平均の侵食割合は $13.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ に達した。また、この値は No. 47 を通過して北東側へ流出した沿岸漂砂量に等しい。この値は過去に宇多ほか (1991) が静岡・清水海岸で推定した値と非常によく一致を示す。

③ 砂嘴の先端方向へ運ばれた漂砂の多くの部分は、砂嘴が最も北東方向へ張り出した No. 14~No. 10 の区間に堆積している。また、No. 47 以北の区域における総堆砂量は $63.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ であって侵食量より 18 % 多い値であった。

④ 清水海岸の侵食がこのまま進むとすれば、御穂神社の前面海岸で侵食が始まるまでに残された時間は約 3 年となる。海浜を保全する策としてサンドバイパスと離岸堤群による海浜安定化の案を検討したが、前者はその経費が年 10 億円もかかり、コストが大きいため実現が不可能なこと、また後者は工学的には実施可能なものの、漂砂下手側の海浜で侵食が始まる前の段階で対策を始めねばならず、そのための地元調整が問題となることを指摘した。しかし、現在の所この方法を進める以外有効な策はないと考える。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次 (1991): 湖内および湾内に発達する砂嘴地形の変形特性, 土木研究所報告, 第 186 号, pp. 59-72.
- 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, 12, pp. 117-134.
- 滝澤俊二・宇多高明・堤 博志・大長良昭 (1987): 蒲原海岸の海岸侵食実態, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 347-351.
- 村田 守・宇多高明・片岡賢一・大石英雄・山本幸次 (1991): 駿河海岸の海浜変形と土砂収支, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 281-285.