

静岡海岸の沿岸漂砂量およびその分布形の評価

宇多高明* ・鈴木忠彦** ・大石守伸***
山本吉道**** ・板橋直樹*****

1. まえがき

宇多(1993)は、現地海岸における著しい海浜変形のほとんどは沿岸漂砂の場所的不均衡によって生じており、それをもたらすのは防波堤などによる沿岸漂砂の連続性の阻止、河川・海食崖からの供給土砂量の減少、あるいは大規模防波堤の建設に伴う波浪場の変化などであることを明らかにした。これらのいずれのケースにおいても、海浜変形の基本原則自体は既に明らかであるが、なお沿岸漂砂量の量的評価やその分布形に関し問題点が残されており、特に海岸に離岸堤やヘッドランドなどの侵食対策施設が設置されたことによる沿岸漂砂の移動機構の変化などについては多くの不明な点がある。そして、このことが侵食対策時における海浜変形予測の精度低下を招いており、予測精度の向上のためには、この種の問題点を明らかにすることが是非とも必要とされる。

本研究では現地海岸の実例として静岡海岸を選び、安倍川の流出土砂の急減によって著しく侵食された海岸が近年における流出土砂量の増加により再び堆砂していく過程の分析を通じて、上記の問題について考察するものである。

2. 静岡海岸の概況

静岡海岸は図-1に示すように駿河湾西岸に位置し、安倍川河口より北側へ広がる延長7.8 kmの砂礫海岸である。この海岸の北側には清水海岸が隣接し、三保を経て三保松原の砂嘴へと続く。縄文海進時には久能山の一部も侵食されて三保松原の砂嘴の形成土砂の一部を供給したと考えられるが、現海水準では砂嘴への唯一の土砂供給源は安倍川となっている。安倍川においては1968年以前に河道での砂利採取が広範に行われ、このため河川流下土砂量が急減し、河口近くより著しい海岸侵食が発生し、侵食区域は次々と北側へ広がった(豊島ら, 1981; 宇多ら, 1991)。また、静岡海岸に続く清水海岸へと流れ

た沿岸漂砂は、その多くが三保松原の北端より海底谷へと流出している(宇多ら, 1993)。

本研究で取り上げる区間は、図-1に示すように安倍川河口より北に7.8 km離れた測線 No. 1より、安倍川河口の No. 78 までの区間である。ここに、測線間隔は100 mである。静岡海岸ではこれらの測線に沿って毎年深浅測量が行われてきている。本研究ではこれらのデータをもとに分析を進める。

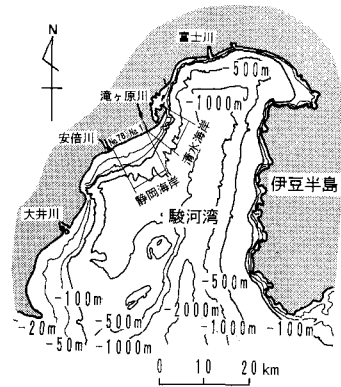


図-1 静岡海岸の位置と測線配置

3. 静岡海岸の汀線変化と海浜断面形の変化

まず、深浅測量データをもとに、1983年を基準とした汀線変化図を作成した(図-2)。図中、右端の No. 78 が安倍川河口左岸に位置し、沿岸距離の原点は河口より北7.8 km 地点に定めてある。また、図の上段には各種対策施設の概略の位置を示す。主な汀線変化は静岡海岸の漂砂源である安倍川の河口近傍より始まった。当初は浜川の導流堤を境界として、それ以南で集中的に堆砂が進んだが、1990年以降堆砂域は浜川の導流堤の北側へと急速な広がりを示した。しかも、北側への堆積区域の広がりと同時に、当初顕著な前進を示していた区域(例えば、1987年における No. 66~No. 70の区間)では、逆に汀線は急速に後退し、全体として土砂の集合体(以降 sand body と呼ぶ)が緩やかに変形しつつ北側へ移動した特徴が見られる。そして、1993年には sand body の先端部が

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長

** 静岡県土木部河川課長補佐

*** 静岡県土木部河川課主査

**** 正会員 工博 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部

***** 正会員 工修 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部

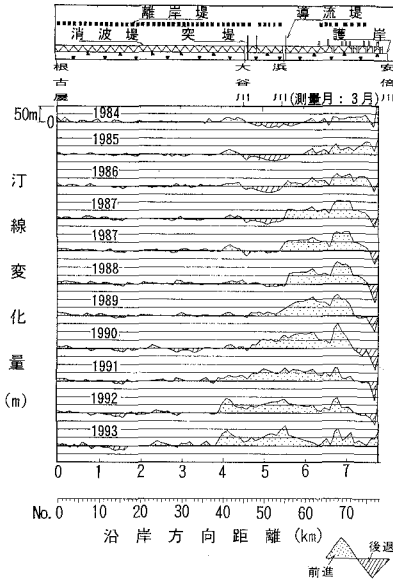


図-2 静岡海岸の汀線変化 (1983年基準)

到達したと考えられる No. 38 より北側では、それ以南と比較して汀線に全く動きが見られず、この付近では護岸と消波ブロックで固められた状態にあって、前浜もないことから、海浜は侵食されきり移動するべき土砂がないことを示している。

この sand body の移動に伴う海浜断面形の変化を、特徴的な変化の見られた 3 断面について調べる。まず、1988 年までに大きく汀線が前進したが、その後は後退傾向に転じた区域で、離岸堤の間にある No. 67 と離岸堤のない No. 62、そして浜川河口導流堤の北側で近年に著しい前進傾向を示す区域で離岸堤の間にある No. 53 を選ぶ。

図-3 には No. 67 の断面変化を示す。1988 年まではほぼ -4 m 以浅で堆砂が急速に進み、その後は沖合の -7 m 以浅の広い区域で堆砂が生じた。この区域では水深約 3 m に離岸堤が設置されていることを考慮すると、1988 年までは離岸堤の岸側域で堆積し、この区域が満杯状態となったあと、沿岸漂砂が離岸堤の沖合を通過するようになり、その部分の堆砂を促進したと考えられる。1983 年～1993 年の変化で見ると、この断面では顕著な地形変化はほぼ -7 m 以浅で見られる。

図-4 に示す No. 62 の断面変化では、1989 年までに -4 m 以浅で大量の土砂が堆積したが、その後は侵食傾向に転じた。この断面でも地形変化はほぼ -7 m 以浅で見られるが、-5 m～-7 m の間の海底面の変動は小さく、離岸堤間に位置する No. 67 における -5 m～-7 m での著しい土砂堆積と顕著な相違を示す。

図-5 に示す測線 No. 53 では、1988 年までは -5 m 以浅で侵食が進んだが、1989 年には土砂が堆積して 1983

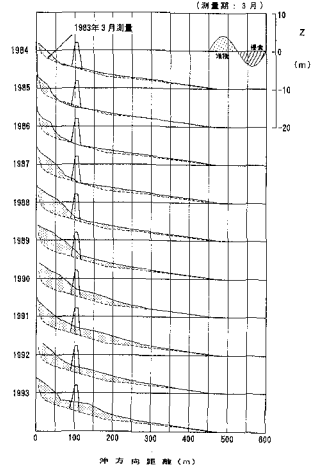


図-3 海浜断面形の変化 (測線 No. 67)

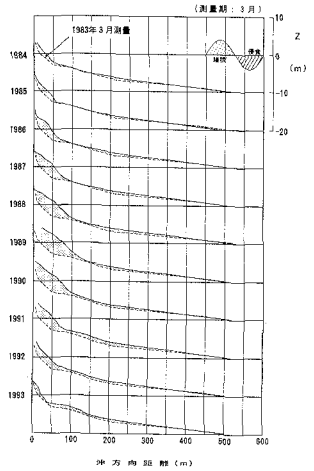


図-4 海浜断面形の変化 (測線 No. 62)

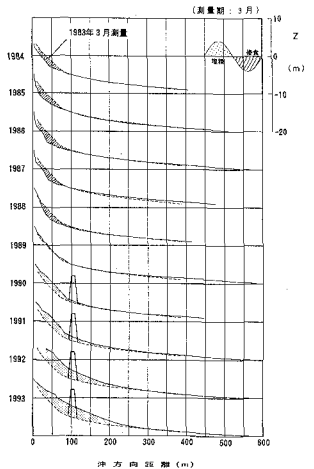


図-5 海浜断面形の変化 (測線 No. 53)

年の断面形とはほぼ一致し、その後大きく堆積して1993年には-7m以浅の広い区域で大量の土砂が堆積している。

離岸堤近傍のNo.53と、近傍には離岸堤のないNo.62とでは堆砂状況に大きな違いが見られるので、図-4、5より詳細に断面形を調べてみる。まず、図-4の最も堆積量の多い時期である1989年の断面において、 $y=100$ m付近の海底勾配は1/15である。一方、図-5の1993年の断面において $y=150$ m付近の海底勾配は1/25であり、離岸堤を通る断面ではそうでない断面より緩やかな海底勾配を形成しつつ土砂が堆積することがわかる。

以上に述べた海浜変形は断面内で侵食・堆積が一方的に進むことから、沿岸漂砂によるものと言える。沿岸漂砂に起因する海浜変形では、汀線変化量(Δy_s)と海浜断面積の変化量(ΔA)の間にはほぼ線形な関係が成立することはよく知られている。そこで本研究でも同様な検討を行うと図-6となる。なお、海浜断面積の算出時の積分範囲の陸側限界はT.P.+4m、海側限界は図-3~5の海浜断面変化図をもとにT.P.-7mとし、沿岸方向には著しい汀線変化の見られるNo.36~No.78を対象範囲とした。そして、 ΔA と Δy_s の間には相関係数0.88で次式が成立する。

$$\Delta A = 7.7\Delta y_s + 20.4 \dots\dots\dots (1)$$

ここに ΔA 、 Δy_s の単位はそれぞれ m^2 とmである。両者の回帰係数は漂砂の移動高(h)に等しいから、 h は7.7mとなる。

ΔA と Δy_s の間はかなり良い相関関係が成立するのは沿岸漂砂による海浜変形であることから当然である。しかし、図-3~5に見たように、この海岸では離岸堤が設置されており、その影響により海浜断面変化が自然海岸の場合とかなり異なっている。離岸堤の岸側で土砂が滴

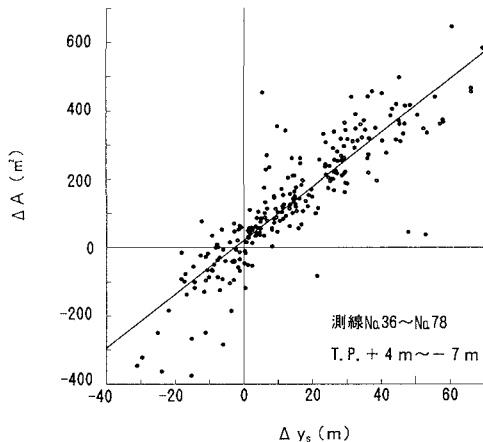


図-6 汀線変化量と断面積変化量の相関

杯となるとその沖合に堆積するが、このとき海浜断面積は増加しても汀線は前進できない。このことを考えると、図-6のように全断面積変化量と汀線変化量の関係を調べるだけでは不十分であり、水深ごとの断面積変化について詳細に検討する必要がある。

4. 沿岸漂砂量と sand body の重心点の移動速度

本海岸の海浜変形では、土砂堆積に伴い海底勾配がかなり大きく変化することが見出されたので、この点に関し詳細な検討を試みる。断面積変化量の指標として、離岸堤の岸端水深に相当するT.P.-3m~T.P.+5m間と顕著な土砂移動の限界水深に相当するT.P.-7m~T.P.+5m間の海浜断面積の変化量を求め、それらの時空間変化を調べた。図-7に両者の結果を示す。T.P.-3m以高の断面積変化量の時空間変化は、図-2に示した汀線変化と非常によく似た変化を示している。一方、T.P.-7m以高の断面積変化量もよく似た変化であるが、この場合一度堆積したあとの断面積の減少割合がずっと緩やかであり、明らかに-3m~-7mの間での土砂堆積が全断面積の増加に寄与している。以上のように離岸堤より沖合の区域で土砂の堆積が進んでいるのである。

図-7に示したように-7m以高の海浜土砂量は経年

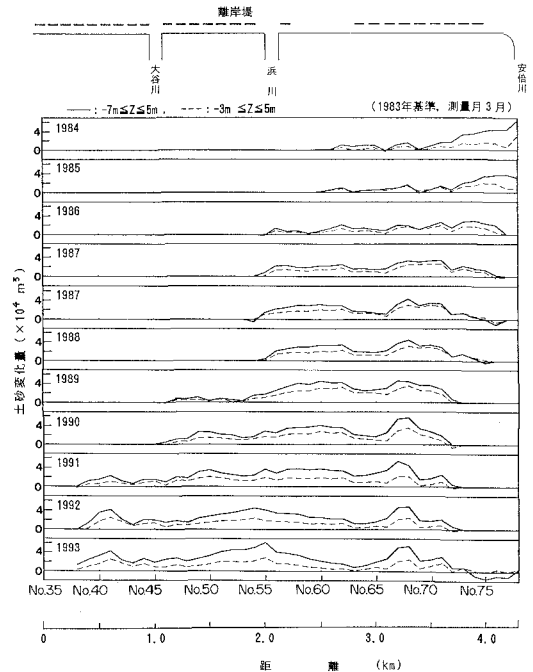


図-7 T.P.-3m以高および-7m以高の海浜断面積変化量の時空間分布

的に増加しているが、顕著な土砂量の増加の見られる沿岸方向の範囲は測定年ごとに限られている。そこで各年ごとに表-1に示す範囲を定め、その中で海浜土砂量の変化を算出し、前浜面積の変化とともに土砂量の経年変化としてまとめると図-8になる。これによると、多少の変動はあるものの1983年より1993年までの10年間の平均で、 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で総土砂量が増加していることがわかる。この地区は全体に北向きの沿岸漂砂が卓越しており、現在、唯一の土砂供給源は安倍川である。また、土砂が堆積して形成された sand body の北側先端部より北側では海浜変形は見られず、事実上漂砂移動量は0と見なせる。したがって、図-8に示す全堆積土砂量の増加割合は、安倍川河口より当地区に供給される沿岸漂砂量に等しい。宇多ら(1993)は静岡海岸の北に広がる清水海岸での沿岸漂砂量を約 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定した。静岡・清水海岸が侵食される以前には、全域でほぼ同一の沿岸漂砂量があったと考えられるので、当地区での漂砂量も約 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と仮定される。1983年以降の漂砂量はこれと比較すると約77%となっている。また、図-8に示す前浜面積とT.P. 0 m 以高および-3 m 以高の全土砂量は1989年までは増加したが、その後はほぼ一定値を保っている。このことは離岸堤より岸側での

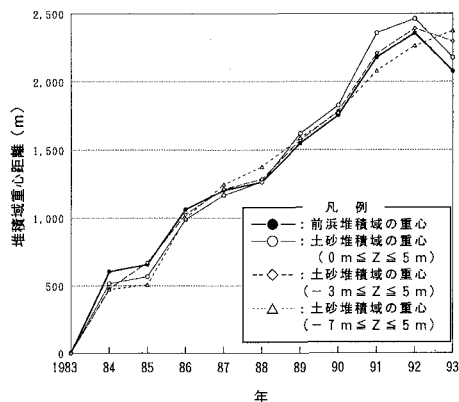


図-9 sand body の重心点の移動

土砂量変化で見ると堆砂は止まったように見えるが、実際には沖合部で堆砂が続いていることを意味している。

図-9には、前浜の堆積域の重心点および各水深以高の堆積域の重心点のNo. 78からの沿岸距離の経年変化を示す。これによると、いずれの場合も sand body の重心点はほぼ単調に北側へ移動しており、重心移動速度の平均値は235 m/yrとなる。図-8に示した離岸堤より岸側の海浜土砂量は1989年にほぼ飽和状態となったのに対し、重心点はいずれの部分でもほぼ同一速度で移動している。このことは、離岸堤の岸側の土砂量は変わらないものの、それらも全体として沖合の土砂と同一速度で移動していることを意味している。宇多ら(1991)は、汀線変化より同じ地区の離岸堤の建設以前の erosional wave の位相速度を0.5~0.8 km/yrと推定した。この値と比較すると、離岸堤群の設置により伝播速度が0.47~0.29倍まで低下したことがわかる。

5. 水深変動量および沿岸漂砂量の水深方向分布

各測線毎に平均水深からの水深変動量を算出し、標準偏差を求めてその水深方向分布を描くと図-10となる。水深変動量は-1 m~-2 mの間で最大の約2 mとなり、そこより陸側、海側に単調に減少する分布形となる。そして標準偏差はほぼ-7 mで0.2 m程度の水深によらない一定値を示す。この標準偏差は深浅測量の限界精度を与えると考えられる。したがって、波による地形変化の限界水深は約7 mにある。

著者は既に等深線の水平方向変位量 (Δy_i) を汀線変化量 (Δy_0) で規準化することによって、沿岸漂砂量の水深方向分布が近似的に求められることを示しているが、この手法に基づき、離岸堤の有無による沿岸漂砂量分布の違いについて、図-3~5に示した断面データを用いて調べてみる。いずれの断面も1983年を基準とする。そして、

表-1 土砂量の積分範囲、重心等

測量年	土砂量の積分範囲	測線間距離(m)	重心点距離(m)(起点: No. 78)
1984	No. 60~No. 78	1,800	471
1985	No. 60~No. 78	1,800	508
1986	No. 55~No. 76	2,100	997
1987	No. 55~No. 76	2,100	1,247
1988	No. 55~No. 75	2,000	1,376
1989	No. 46~No. 72	2,600	1,586
1990	No. 46~No. 72	2,600	1,773
1991	No. 38~No. 72	3,400	2,078
1992	No. 39~No. 72	3,300	2,263
1993	No. 38~No. 78	4,000	2,373

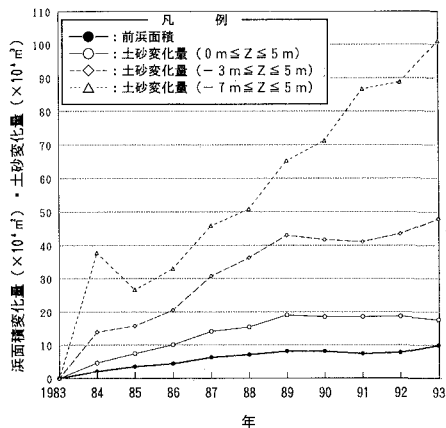


図-8 土砂量と前浜面積の経年変化(1983年基準)

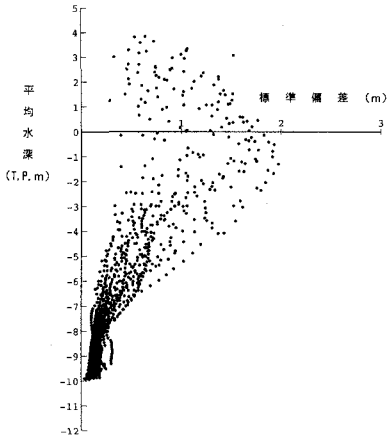


図-10 水深変動量の水深方向分布

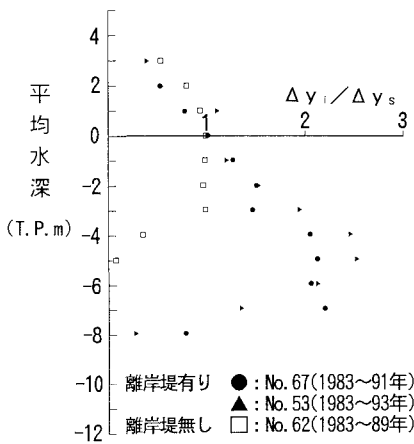


図-11 沿岸漂砂量の水深方向分布

離岸堤群内に位置する測線 No. 67 では十分に堆砂が生じた 1991 年の断面データより Δy_i を求める。同様に No. 53 では離岸堤沖で堆積の著しい 1993 年の断面データ、そして離岸堤群より離れた No. 62 では 1989 年の断面データを用いて、それぞれの Δy_i を求め、 Δy_s で割って標準化すると図-11 となる。なお、測線 No. 62 の 1989 年の断面データを見ると (図-4 参照)、T.P.-5m 以深では水深変動量のごくわずかであるが、海底勾配が小さいため Δy_i が過大となることを考慮して、本測線の計算範囲の沖合限界を T.P.-5m までとした。

図-11 によると、自然海浜部の沿岸漂砂は汀線付近でピークを持ち、海側・陸側に単調に減少する分布形となる。一方、離岸堤がある場合では、沿岸漂砂が離岸堤の沖合を通過しているために、T.P.-4m 付近で極大値を

とる。すなわち、全体として漂砂量分布が水深の大きな方向へずれた分布形となる。

6. 結 論

本研究の主要な結論は以下に要約される。

(1) 静岡海岸での 1983 年～1993 年の海浜変形では、土砂の集合体 (sand body) が変形しつつ移動する現象が見出された。sand body の重心点の移動速度は 235 m/yr であり、この値は同じ地区で離岸堤が設置される以前の erosional wave の位相速度と比較して 0.47～0.29 倍となっている。

(2) この sand body 域では 1983 年～1993 年の 10 年間に $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ も堆積した。静岡海岸の土砂供給源は安倍川のみであり、また sand body の先端を越えた土砂流出はごくわずかと考えられるので、この堆積量は安倍川から当区域へ流入する沿岸漂砂量に等しい。また、この漂砂量は著しく侵食される以前の漂砂量推定値 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の約 77% である。

(3) 離岸堤群の無い自然海浜部で土砂が堆積する場合はかなり急な海底勾配となる。一方、離岸堤周辺では離岸堤より沖合で緩勾配をなして土砂が堆積し、汀線や前浜土砂量にはほとんど変化が見られない。

(4) 平均水深に対する水深変動量の標準偏差を求め、この水深方向分布を図示した。これによると標準偏差は -1～-2m の間で最大の 2m を示し、それより海側・陸側に単調に減少し、-7m でほぼ 0 となる。したがって、-7m は当海岸における波による地形変化の限界水深に等しい。

(5) 標準化された等深線距離の水深方向分布より、沿岸漂砂量の水深方向分布を算定した。これによると汀線付近で最大値をとり、そこより海側・陸側に単調に減少する特性を示す自然海浜部の分布形に対し、離岸堤部では -4m 付近でピークとなる分布形となった。これは離岸堤による沿岸漂砂の阻止により、沿岸漂砂が全体として沖側へずれたためと考えられる。

参 考 文 献

- 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. 12, No. 2, pp. 117-134.
- 宇多高明 (1993): 日本の海岸侵食, 第 29 回水工学に関する夏期研修会講義集, pp. B-3-1-B-3-20.
- 宇多高明・鈴木忠彦・山本幸次・板橋直樹 (1993): 三保松原の危機的海岸侵食状況, 海岸論文集, 第 40 巻, pp. 441-445.
- 豊島 修・高橋 彌・鈴木 勲 (1981): 静岡海岸の侵食特性について, 第 28 回海論文集, pp. 360-364.