

富士海岸の侵食実態と地形変化予測

河野 宏*・宇多高明**・藪崎義之***・水野益宏***

1. ま え が き

駿河湾の湾奥に位置する富士海岸は、富士川からの流送土砂によって形成された海岸である。この海岸では昭和 36 年頃から盛んになった富士川での砂利採取によって河口からの流出土砂が減少したため、河口付近の海岸が侵食された。また昭和 34 年より 37 年にかけて田子ノ浦港の防波堤が建設されてから、防波堤の西側では堆積が、東側では侵食が始まった。この海岸侵食に対して田子ノ浦港下手側の海岸では昭和 49 年以来消波堤が設置され、また上手側の富士川河口から田子ノ浦港の間では離岸堤が設置され、汀線後退が防がれてきた。

この富士海岸では昭和 43 年以来、深淺測量が行われてきている。本研究の第 1 の目的は、このデータを用いて昭和 43 年から 58 年に至る 15 年間の海浜変形を調べることにある。その方法としては、駿河海岸などで利用された¹⁾等深線距離の変化を調べる方法を用いる。この検討によって、田子ノ浦港の下手海岸における沿岸漂砂量や海浜の変形過程が明らかになったが、とくに強調すべき点として、田子ノ浦港下手(東側)では侵食された土砂のほとんどが水深約 20m 以深の沖合へと流出していることがあげられる。研究の第 2 の目的は、海浜の 3 次

元的地形変化を予測可能なモデルを作ることにある。このため沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮し、消波堤の効果を評価できるモデルを作成した。この結果消波堤のある条件のもとでの 3 次元地形変化予測が可能となった。

2. 調査方法

富士海岸は駿河湾の湾奥に位置する(図-1)。この海岸の富士川から東へ約 5.5 km の位置には、昭和 34 年から 37 年にかけて田子ノ浦港の防波堤が建設された。また、沼津港に隣接する測線 No. 0 より富士川河口の No. 80 までの範囲において 43 年より毎年深淺測量が行われてきた。測線の間隔は 250 m である。ここでは、43 年から 58 年まで 15 年間の深淺測量データを解析し、富士海岸の海浜地形変化特性を明らかにする。

解析方法は、深淺測量データより T.P. + 2 m から T.P. - 30 m まで 1 m 間隔の水深に対応する等深線距離(基準点からある等深線までの沖方向距離)を読み取り、その時間的、空間的变化を調べる方法である。

3. 富士海岸の侵食実態

3.1 汀線の場所的、経年的変化

まず、汀線変化の状況を図-2 に示す。横軸は測線番号であり、No. 0 が沼津港、No. 81 が富士川河口左岸に隣接する。測線間隔は 250 m なので、全体で 20.25 km の範囲を含む。縦軸は昭和 43 年時汀線を基準としたときの各年の変化量である。

田子ノ浦港は昭和 34 年から 37 年の間に建設されたがその後防波堤の東側海岸では侵食が次第に進んだ。58 年までに侵食域は No. 62 より No. 49 まで、距離にして約 3.5 km 広がった。海岸侵食が進むにつれ、侵食対策事業として消波堤が建設され、現在は田子ノ浦港から昭和放水路までほぼ全域に設置されている。しかし当区域では消波堤の異形ブロックの散乱が激しい²⁾。

以上のように田子ノ浦港より東側の区間では相当大規模な侵食が起きたが、昭和放水路と沼津港の間では同じ時期汀線の前進がほとんど見られないことは注意する必要がある。これは侵食された土砂が沖への損失となって失われたことを意味している。

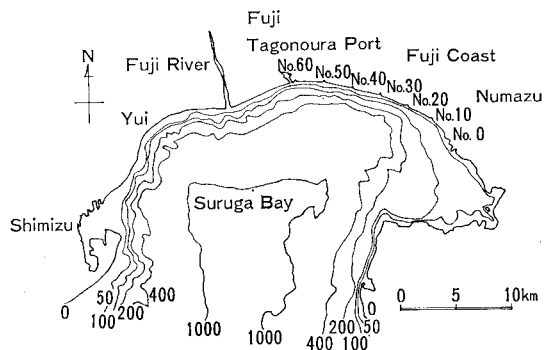


図-1 富士海岸位置図

* 正会員 建設省大臣官房政策企画官
 ** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 *** 正会員 建設省中部地方建設局沼津工事事務所

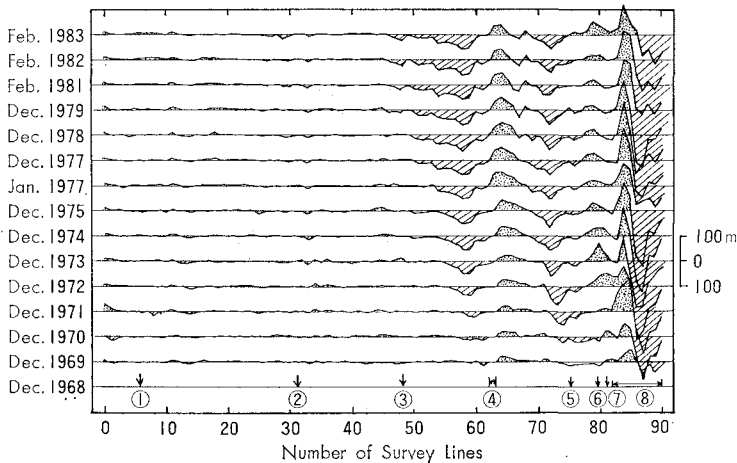


図-2 汀線の場所的、経年的変化(富士海岸全域), ①新中川放水路
②昭和第二放水路 ③昭和放水路 ④田子ノ浦港 ⑤入道樋門
⑥元富士第二樋門 ⑦元富士樋門 ⑧富士川

また、図-2によると富士川と田子ノ浦港の間でも海岸侵食が進んでいる。とくに入道樋門と田子ノ浦港の間で侵食が著しい。田子ノ浦港防波堤の右岸(西側)では汀線が前進しているが、この位置では土砂の一部は沖への損失として失われ、また一部は砂利採取によって対象領域外へ搬出された。

測線 No. 62 から No. 45 までの区間の汀線の経年変化を図-3に示す。横軸は年単位であり、また縦軸は1968年12月を初期値としたときの変化量である。図中の口印は、その測線において消波堤が設置された時期を示す。汀線の後退はNo. 58で最も大きく、1971年から1973年までの2カ年で約50m汀線が後退した。その後1974年には消波堤が完成したため、あまり大きな侵食は生じていない。また、田子ノ浦港から離れるにしたがい、汀線後退の生ずる時期が次第に遅くなっている。測線

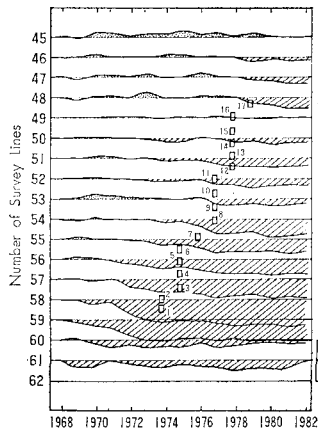


図-3 汀線の経年変化(田子ノ浦港から東側)

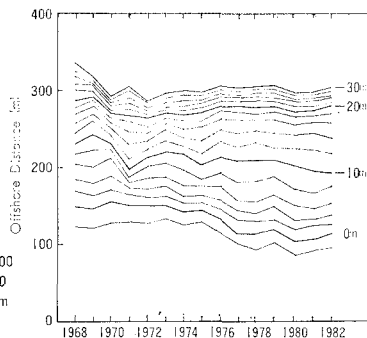


図-4 測線 No. 54 における等深線距離の経年変化

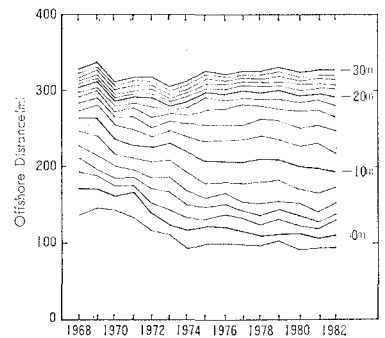


図-5 測線 No. 58 における等深線距離の経年変化

No. 48 では1979年に至って初めて汀線後退が始まった。さらに、この測線のように田子ノ浦港から離れた地点と、例えば No. 58 のように港に近い地点の変化とを比較すると、汀線変化の初期段階においては離れた地点の方が汀線変化速度が小さくなる傾向がある。このように消波堤がある場合の汀線変化に関しては、汀線変化モデルによる計算が行われているが³⁾、数値計算結果と実測値とは基本的特性が良く一致する。

3.2 代表地点における等深線距離の経年変化

ここでは代表地点における全ての等深線距離の経年変化に着目する。

代表地点としては、田子ノ浦港の東側で著しい侵食の生じた測線 No. 54 と No. 58 を選ぶ。

まず図-4は測線 No. 54 における等深線距離の経年変化を示す。横軸は年月、縦軸は等深線距離である。汀線は1975年12月以降急激に後退したが、T.P.+2m から T.P.-10m の範囲の等深線もほぼ汀線と同時に変化しており、この区間の海浜が一体的に変化したことがわかる。一方、水深16m以深では等深線の変化は少ないが水深20m以深ではわずかながら等深線の前進が見られる。このことは、汀線付近の侵食土砂の一部が沖合へ失われた可能性があることを示している。また1968年から1971年頃までの変化をみると、例えば T.P.-6m の等深線距離の変化と汀線の変化とを比較したとき、わずかながら前者の方が早く変化が起きている。

次に、測線 No. 54 よりも1km西側、田子ノ浦港より1km東側地点の測線 No. 58 における等深線距離の変化

を図-5に示す。No. 54の変化と比較すると明らかなように、No. 58の方が汀線の変化が早く始まった。No. 54に先立つこと4年の1971年には既に急激な汀線後退が始まった。地形変化が早く始まったのはNo. 58がNo. 54よりも沿岸漂砂の阻止構造物に近かったためである。この地点においてもT.P.+2mからT.P.-10mまでの等深線距離はなだらかに減少している。また水深約16m以深では等深線距離は緩やかな増加傾向を持つ。これは測線No. 54と同様に、侵食土砂の一部が沖合へと失われているためと考えられる。

3.3 沿岸漂砂の移動高と沿岸漂砂量の算定

田子ノ浦港防波堤の東側海浜では海岸侵食が経年的に進んだが、各年度の断面形状は既知なので、これらのデータをもとに海浜断面積の変化量と汀線変化量の関係を調べることができる。計算は田子ノ浦港防波堤の東側に位置するNo. 61から、汀線変化がほぼ存在しなくなるNo. 45の範囲で行う。ただし、断面積変化量と汀線変化量が小さいデータを多数用いて相関を調べても有意な相関関係は得られないので、相当大きな地形変化の生じたNo. 52からNo. 59までのデータを用いることにした。またNo. 60, No. 61は構造物の影響が著しいので省略した。さらに断面積の計算範囲は陸上部より水深20mまでとした。計算の結果、両変数の間には相関係数0.80で次の関係が成立する。

$$\Delta A = 13.3 \Delta y + 150 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに ΔA , Δy の単位はそれぞれ m^2 , m である。変数 ΔA と Δy の間の係数値は平均的移動高 h を与える。式(1)によると h は13.3mと与えられる。

移動高 h が算定されたので、次に田子ノ浦港防波堤の東側の代表地点における沿岸漂砂量を実測データより求めてみる。この方法は、漂砂阻止構造物の下手海岸の侵食土砂量の変化より算出するものである¹⁾。まず、No.

45では1968年以来汀線の変化がないために、汀線の方角は一定であり、したがって平均的な入射波に対して沿岸漂砂量は一定値を保つことに注意する。田子ノ浦港の防波堤は先端水深が約13mと深いので、防波堤を越えて東側海岸へ流入する土砂はほとんどないと考えられるので、測線No. 45を通過する沿岸漂砂量の総和は、この位置と防波堤とに挟まれた区間の土量変化にほぼ等しい。ただし沖への損失もわずかにあると考えられるのでもしその分があれば沿岸漂砂量の総和と沖への損失量を加算したものが土量変化となる。ここでは沖への損失は一応0としておく。一方、総土量の変化は侵食域の平面積を求め、これに移動高($h=13.4m$)を乗ずれば求まる。この結果を図-6に示す。総侵食土量は多少のばらつきはあるが経年的に増加する。その時間的変化率は沿岸漂砂量を与えるので、1973年と1983年の間で変化率を求めると、 $Q=11.7m^3/yr$ となった。この沿岸漂砂量は測線No. 45における平均的沿岸漂砂量である。

3.4 等深線面積変化量

既に述べたように田子ノ浦港防波堤の下手側海浜では大規模な侵食が生じた。この場合、侵食域の面積は次第に拡大していったが(図-2参照)、逆に汀線が前進した部分の面積はずっと小さい。これは汀線付近より侵食された土砂が沖合へ失われたことを示唆している。このような土砂の沖合への損失の問題は富士海岸の保全に対して重要な要素となると考えられるので、さらに検討を加えた。まず当地区の等深線図を図-7に示す。図示する各等深線と基準線とで囲まれた部分の面積の累積値を求め、さらに49年を基準とした変化量の形にまとめることによって、等深線面積変化量の沿岸方向累積値を求めた(図-8)。計算に用いた深浅データは1974年と1983年のものである。この計算は測量の精度が低い場合、測量誤差の検討を行うことになってしまうために、図-4, 5

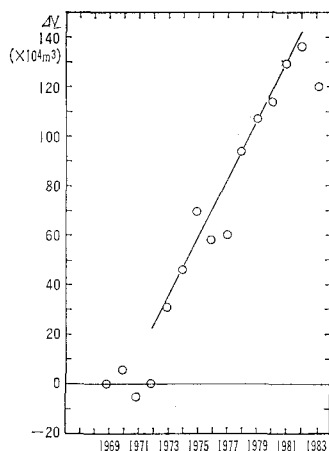


図-6 田子ノ浦港防波堤の下手側における総侵食土量の変化

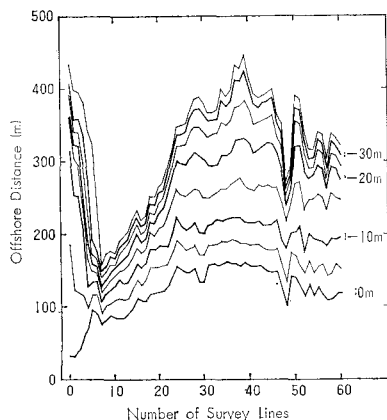


図-7 等深線距離の場所的分布(深浅図)

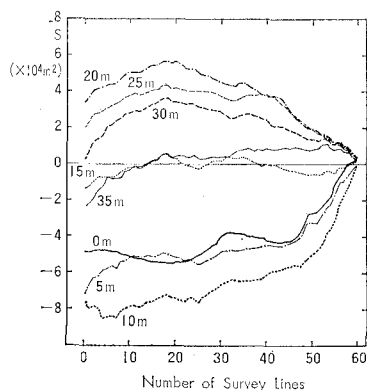


図-8 等深線面積変化量の沿岸方向累積値

に示された等深線距離の経年変化図を参考にして妥当な比較年を定めた。計算の原点は測線 No. 60 においた。汀線で囲まれた部分の面積は沿岸方向に収支がとれておらず、沼津港に隣接する No. 0 まででは9年間に約 $5 \times 10^4 \text{ m}^2$ の欠損となっている。累積値は No. 60 から No. 45 の間で大きく変化し、そのあとはあまり変化していない。また図には汀線に囲まれた部分の面積変化だけではなく、5m間隔の各等深線に囲まれた部分の面積変化の累積値も示されているが、水深 5m と 10m の場合は汀線のそれと良く似た変化をしていることがわかる。すなわち No. 60~No. 45 の間で急激な変化が生ずるがそのあとはほぼ一定値を保ち、No. 0 位置では欠損を示すことである。欠損量は水深 5m および 10m とともに約 $7 \times 10^4 \text{ m}^2$ となっている。このように汀線と水深 10m 付近までの変化が良く似たものとなるという点は、等深線距離の経年変化図において浅海部の等深線距離が一体的に変化していたことと一致する。

一方、沖合の水深 20, 25, 30m の等深線の場合、浅海部と対照的な変化が表われている。浅海部では土砂の欠損があったが、沖合では土砂量が増加している。ただし浅海部では No. 60 と No. 45 の間で急速に侵食面積が増加したが、沖合部では No. 18 までの広い範囲で堆積面積が増加している。土砂量の増加は、棚状の海底面(図-7 参照)が発達した所でとくに大きい。以上の特徴は、田子ノ浦港防波堤の下手側海浜で削られた土砂(これは図-6 によると 1973 年から 1982 年までの9年間で約 105 万 m^3 に達している)のほとんどが水深 20~30m 付近へと落ち込んでいることを表わしている。このような沖合への土砂の損失については、首藤ら⁴⁾もブルトニウム含有量調査よりその存在を示唆しているが、両者の結果は基本的に一致をみている。結局、沖合への土砂の損失の機構の調査とともに、それを防止する手法を考案することが富士海岸の保全を図る上で重要である。

4. 海浜地形変化の予測

海浜地形変化の予測は、沿岸漂砂量の水深方向分布を考慮したモデル⁵⁾によって行った。沿岸漂砂量の水深方向分布は実測断面形状より定められるが、これにはある断面形の経時変化を必要とする。ここでは図-4, 5 に示した測線 No. 54 と No. 58 のデータを用いた。図-9 は測線 No. 54 においては 1973 年の値を基準として 1976 年および 1977 年までの地形変化量を、また No. 58 においては 1970 年の値を基準として 1973 年および 1974 年までの水平方向地形変化量を求め、更に汀線変化量で各水深の変位量を割って規準化したものである。データはばらつきはあるが、汀線位置をピークとする三角形状

分布が得られた。地形変化が生じてても沿岸漂砂量分布があまり変化しないと仮定したとき、生じた地形変化量の分布はほぼ沿岸漂砂量分布と等しくなる⁵⁾。

計算に際して、沿岸漂砂量公式にはサベージ公式を用い、漂砂量を各水深ごとに分割するには図-9 の規準化された分布の平均値を用いた。ただし陸上部では生じた地形変化量が大き過ぎたため下限値を用いた。富士海岸では消波堤があるためにそのモデル化が必要である。モデル化は次のようにして行う。まず消波堤先端位置と海浜断面形を与えると先端水深が定まる。規準化された分布形のうち、消波堤先端より浅い部分の沿岸漂砂量は全量がカットされ、したがってその割合に応じて漂砂量は減少する。先端水深が増すにつれ漂砂量は減少することになる。地形変化量は消波堤の先端水深より深い部分の分布に応じて配分する。

この計算を続けると、消波堤沖の海底は次第に深くなり、消波堤前面に鉛直な崖が形成されてしまう。しかし実際にはこのようなことは起らない。消波堤沖の地形は時間の経過とともにある断面形に近づいてゆき、その後はほとんど変化しなくなると考えられる。この断面形は理論的に定めることは困難なので、ここでは経験的な方法によって定めた。いま、底質粒径や波浪条件などが沿岸方向にあまり変化せずほぼ一定とする。田子ノ浦港の下手海岸で侵食が進むとき、港に近い部分より安定断面に近づいてゆくはずである。結局、田子ノ浦港に近い測線より安定断面形を選ぶことになる。当計算では測線 No. 58 の 1981 年と 1983 年の値を用い、両者の下限値より安定断面形を定めた。

初期地形は 1970 年のデータとし、1983 年まで 13 年間の地形変化予測を行った。まず波浪計算としては、十分深い沖合で波高 $H=0.85 \text{ m}$ 、周期 $T=9 \text{ 秒}$ 、波向 $\alpha = S 13^\circ W$ の波を設定し、海岸に入射させる。この波に

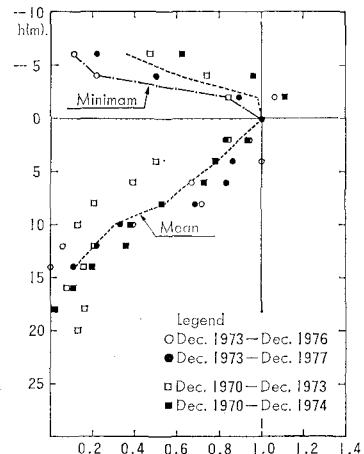


図-9 規準化された水平方向地形変化量の水深方向分布

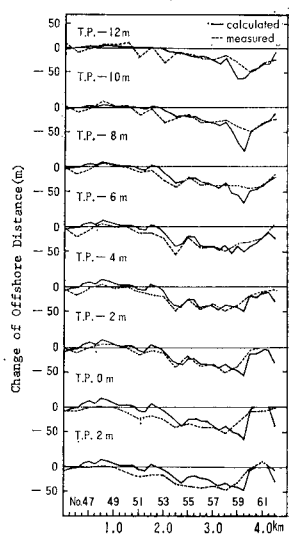


図-10 8年後の地形変化量の比較

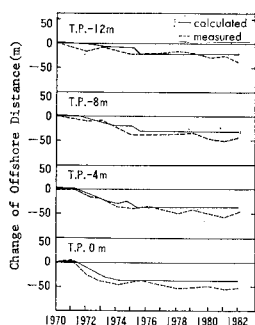


図-11 測線 No. 58 における地形変化過程の比較

そのまま下手側に通ずるものとした。図-10 は 1970 年を初期値として 8 年後までの予測を行い、実測値との比較を行ったものである。図の横軸は沿岸距離であり、陸上の T.P. + 2 m から T.P. - 12 m まで 2 m おきの各水深に対応する等深線距離の比較がなされている。8 年後における各水深の水平方向変位量は予測値と実測値とで良い対応を示すことがわかる。図-10 は、ある時期の空間的变化を知るには有効であるが、経時変化過程を知るには有効ではない。そこで測線 No. 58 を選んで代表的等深線距離の経時変化を示したのが図-11 である。時間的变化の点から見ても地形変化状況が相当良好に再現されていることがわかる。

5. 結 論

本研究によって得られた結論をまとめると次のとおりである。①田子ノ浦港防波堤の建設によってそれより東側への沿岸漂砂が遮断され、下手側に海岸侵食が生じた。1968 年より 1983 年までの間での最大汀線後退量は測線 No. 58 における約 60 m であった。②侵食は測線 No. 60~No. 45 の間で著しかったが、最近の侵食量は小さくなりつつある。これは漂砂量が減少したことと、消波堤が建設されたことによる。④田子ノ浦港東側の測線 No. 45 を通過する沿岸漂砂量は、1973 年から 1982 年までの平均で $11.7 \text{万 m}^3/\text{yr}$ であった。④田子ノ浦港下手側の海浜の浅海部より侵食された土砂の大部分は、沖合の水深 20~30 m 付近へと落ち込んでいる。⑤沿岸漂砂の水深方向分布を考慮し、消波堤の効果を評価できる 3 次元海浜変形モデルを開発した。計算値は実測値と良く一致した。

参 考 文 献

- 1) 武内達夫・宇多高明・中島秀樹・青山春男：駿河海岸における海浜地形変化の解析，第 31 回海岸工学講演会論文集，pp. 114~118, 1984.
- 2) 河野 宏・宇多高明・藪崎義之・水野益宏：離岸堤、消波堤の異形ブロックの散乱実態，第 32 回海岸工学講演会論文集，pp. 475~479, 1985.
- 3) 宇多高明・山本幸次：漂砂阻止構造物下手の海浜変形，第 40 回年講，pp. 641~642, 1985.
- 4) 首藤伸夫・田口二郎・遠藤泰司：富士海岸における砂礫の移動について，第 23 回海岸工学講演会論文集，pp. 221~225, 1977.
- 5) 斉藤晴雄・宇多高明・網田政芳・沢田善治・林 秀治：小川原湖海岸の海岸侵食とその予測，第 32 回海岸工学講演会論文集，pp. 380~384, 1985.

より水深 10 m 地点まで屈折計算を行い、沿岸方向の波高、波向分布を求める。さらにこの条件を与え、浅海の等深線が平行と仮定して碎波点における波高と碎波角を求めた。地形変化が生じてでも水深 10 m 地点の入射波は大きく変化しないと、それより浅い部分で屈折計算を繰り返した。

消波堤設置時の断面形状が安定断面より後退している場合や海底勾配の相違等により断面の一部が安定断面より後退している場合には、安定断面より後退している部分についてはその時の断面形状を安定断面に置き換えた。さらに安定断面に達したときの漂砂量は、流入量が