

ポケットビーチ内の安定汀線の計算法

——東播海岸の人工海浜への適用——

宇多高明*・岩崎福久**・加藤恒太郎***

1. はじめに

近年、海浜変形予測に関する多くの研究がなされ、3次元的海浜変形の予測が可能なモデルも数多く提案されている。これらのモデルは、基本的に波の場を計算しこれより海浜流場の計算を通じて3次元的な地形変化を予測するモデル（例えば、渡辺ほか、1984）か、あるいは等深線変化モデル（宇多ほか、1991）のように、波の場の計算より海浜変形を直接的に計算するモデルに分かれる。こうした方法とは別に、ポケットビーチなどにおける安定汀線を求める方法として、Hsu・Evans (1989) は1方向からの入射波が卓越する条件下でのポケットビーチ内の安定汀線形状を放物線近似で与える式を提案した。この方式は、静的平衡状態にある海岸線形を複雑な計算を行うことなしに直接計算できる利点を有している。しかし、計算に際して土砂収支の概念が取り込まれていないため、新たに養浜を行った場合などにおける安定汀線形の計算ができない欠点があった。そこで、本研究ではHsu・Evansのモデルに土砂収支の概念を含めることにより、任意の初期汀線形状から安定後の汀線形状を予測する手法を開発する。そして東播海岸の松江地区での養浜工に伴う海浜変形予測に応用し、その有効性を確認する。

2. 土砂収支を考慮した安定汀線の予測法

1方向からの入射波が卓越する条件下でのポケットビーチの安定汀線は、極座標を用いたときHsu・Evans (1989) により式(1)で与えられる。

$$r/r_0 = c_0 + c_1(\beta/\theta) + c_2(\beta/\theta)^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $r_0 = PQ$ 、 $\beta = \angle RPQ$ であり、係数 c_0 、 c_1 、 c_2 は β に依存する係数である(図-1、2参照)。式(1)でポケットビーチ内の汀線形状を計算するのに必要な条件は、波の入射方向と、岬または防波堤など波を遮蔽する構造物の先端位置(点P)、および点Qを定めることである。これらの点を土砂の連続関係が成り立つように定めるこ

とができれば、得られた汀線形状は安定汀線形状にほかならない。工夫が必要なのは、侵食・堆積土砂量の計算法である。ポケットビーチ内の土砂量が保存される条件では、安定汀線に至るまでの侵食土砂量と堆積土砂量は等しくなければならないことから、初期汀線を任意の位置に与えて計算汀線と比較し、侵食面積と堆積面積を求める。そして、侵食・堆積面積にそれぞれ次章で述べる漂砂の移動高を乗ずることにより侵食・堆積土砂量が計算される。侵食・堆積土砂量が最終的に一致すれば安定汀線形状が求まる。一般に海浜断面変化は場所的により異なるものであるが、ここでは海浜断面積の変化量と汀線変化量の間に線形関係が成立すると仮定して計算を進めるものである。これらの変数間で線形関係が成立することは他の多くの現地海岸でも確認されていることから、本研究ではこのように単純な関係式を導入する。

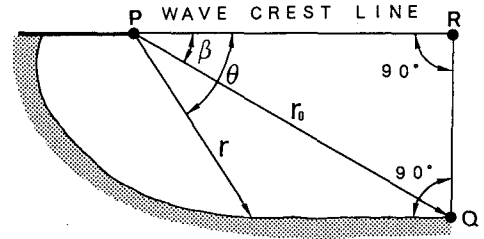


図-1 コントロール・ポイントの配置

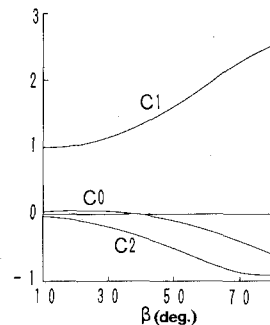


図-2 係数 c_1 、 c_2 、 c_3 と β の関係

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長

** 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室

*** 正会員 建設省近畿地方建設局姫路工事事務所

3. 東播海岸の海浜地形変化

(1) 平面深淺図の比較

まず、1989年9月の深淺図を図-3に示す。突堤①、②は林崎漁港の防波堤基部よりそれぞれ180m、360m西に離れている。この地先では林崎漁港の防波堤の先端に向け、沖合の等深線が斜めに走っており、東側ほど緩勾配である。また、構造物間では養浜が行われており、突堤を挟んで東側、西側の海浜は非常によく似た海浜状況を呈する。すなわち、突堤間において、突堤①、②よりそれぞれ東側に約60m離れた地点において汀線が最も凹んでおり、そしてこの位置より東側の汀線は直線的であり、一方西側では突堤の基部へ向かってなだらかに湾曲している。総じて突堤間の中心線に対して汀線は左右非対称である。これは、既に門松ら(1990)が指摘したように、この地先海岸への波の入射方向が平均護岸線方向への法線に対し時計回りの方向に傾いていることを示している。第2の特徴は、汀線付近の -0.5m ～ 1.5m の等深線が互いにほぼ平行なことである。これに対し、沖合の -0.5m 以深の等深線の間隔は非常に広い。このことは、 -0.5m ～ 1.5m の間の等深線が互いにほぼ平行移動していること、すなわち沿岸漂砂による海浜変形が生じたと考えられることである。また、詳細に見ると、陸上部の2mの等深線は中央より西半分では汀線と平行に、東半分では汀線と離れておりその付近の前浜勾配が緩くなっていることも特徴としてあげられる。人工海浜の西側では浜崖が形成されたことにより標高の高い位置まで地形変化が生じたのに対し、東側では前浜へ土砂が堆積したため、高々1.5m程度の波のうちあげ高までの範囲で地形変化が生じたことを表している。一方、林崎漁港の防波堤に沿う沖合部の地形では、 -1m 、 -1.5m の等深線が防波堤近傍で一度凹んだあと、その西側で沖に突出していることも特徴として指摘される。このような地形特性は、斜め入射波により防波堤に沿って発達した離岸流により深掘れが生じたことを表わしている。

図-3の状況より約1年が経過した1990年11月の海浜状況を図-4に示す。突堤①、②の間では有為な変化は見られないが、1990年11月までに長さ54mの不透過突堤③が漁港防波堤の基部より150mの位置に延ばされた。図-3では -1m 、 -1.5m の等深線が防波堤に沿って沖向きに大きく突出していたが、それらの頭部が抑えられるようにして突堤の内側に閉じ込められた。また、汀線付近では -0.5m ～ 1.5m の等深線が防波堤に沿って突堤背後へ向けて大きく突出している。これは突堤の遮蔽効果により生じたものである。さらに、図-4の -0.5m 、 -1.0m の等深線は、規模は小さくなったものの図-3の -1m 、 -1.5m の等深線と同様、防波堤の隣

接域で凹状を示す。ただ図-3ではその方向が防波堤とほぼ平行であったのに対し、図-4では大きく斜めに傾いた。このことは、突堤の建設により離岸流が阻止され、流れの方向が大きく変わったことに対応していると考えられる。また、図-4の突堤①の東側隣接部では -1.5m ～ -0.5m の等深線が著しく凹状となっていることも特徴の一つである。

図-4に示した海浜状況より5ヵ月後の海浜状況を図-5に示す。突堤等の構造物の規模が同一であるため、図-4と比較してそれほど大きな変化は見られないが、林崎漁港の防波堤と突堤①の間の区間では -1m の等深線が滑らかな形状となり、突堤①の東側隣接部における凹みも消失した。その後1991年11月には突堤③が100mまで延ばされた。突堤延長後の1991年11月の海浜状況を図-6に示す。突堤延長前の図-5と比較すると、突堤の延長とともに防波堤と突堤③の隅角部付近が静穏となったために汀線が急激に前進し、突堤の付け根と接続するようになった。またこれと合わせて -0.5m ～ 0.5m の等深線も大きく前進した。一方、突堤間の土砂量は一定であるから、東側区域での汀線の前進に対応して突堤①の隣接域での汀線が後退し、砂浜幅が狭くなった。

最終的に、1992年3月の海浜状況を示すのが図-7である。図-6に示した特徴がさらに顕著となり、前進した汀線は突堤③に到達したあと突堤に沿って沖向きにさらに突出した。これと対照的に突堤①の東側隣接部での汀線の後退が著しくなった。こうした変化があるものの、

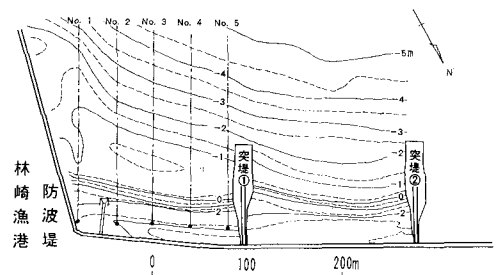


図-3 松江地区の深淺図 (1989年9月)

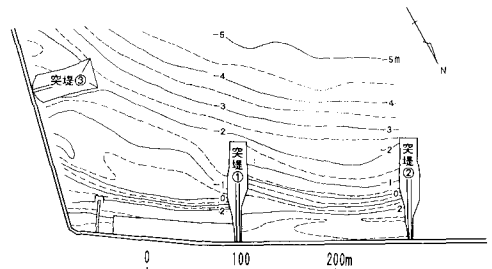


図-4 松江地区の深淺図 (1990年11月)

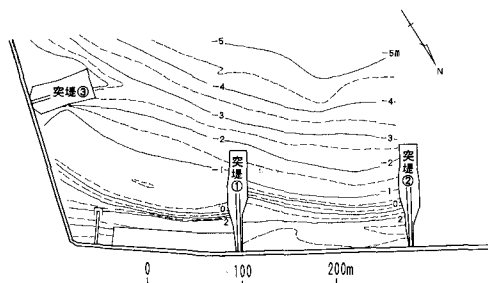


図-5 松江地区の深浅図 (1991年3月)

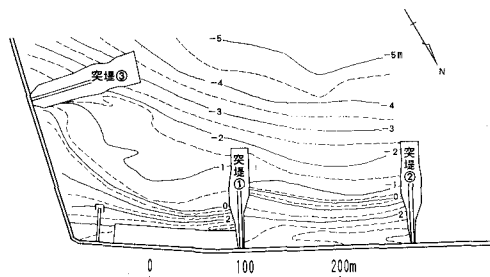


図-6 松江地区の深浅図 (1991年11月)

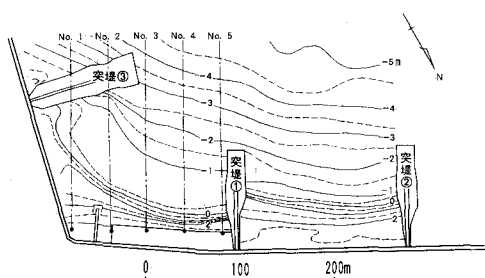


図-7 松江地区の深浅図 (1992年3月)

沖合の-1.5m以深の等深線にはほとんど変化が見られない。

(2) 海浜断面形の変化

図-3～7に示したように、この地先では突堤③の延長とともに著しい地形変化が生じた。そこで以下では海浜断面形の変化よりその特徴を調べてみる。図-3, 7に示した測線において、顕著な堆積を示す断面としてはNo.1を、沿岸漂砂が通過するのみであり断面変化の見られない測線としてNo.3を、そして著しく侵食された断面としてNo.4を選ぶことができる。まず、No.1の断面変化を図-8に示す。1989年より1991年3月までの間、突堤③の延長とともに汀線が前進したが、このとき前浜勾配はほぼ一定値を保ったまま海浜断面は沖方向に前進した。図-8によると、1992年3月まで汀線は前進し、前浜への土砂堆積は続いたが、突堤③による波の遮蔽効果が強くなったため、バーム高は次第に低下した。一方、突

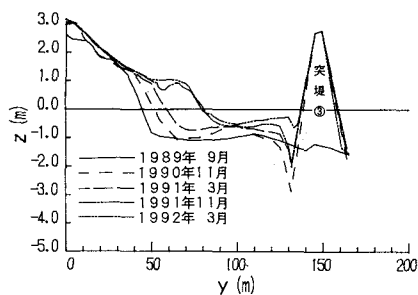


図-8 測線 No.1 の断面図

堤の基部の海底では時間経過とともに海底地盤高が上昇し、しかも突堤③のごく近傍を除き、全体として海底地盤高が突堤に近づくほど上昇している。これは図-7との比較によれば明らかのように、No.1の断面内での漂砂により海浜変形が生じたのではなく、突堤近傍では汀線の向きが大きく変わるために、No.1の測線とほぼ直交する方向への土砂移動による地形変化が重なったためと考えられる。

同様にして No.3 の断面変化を図-9に示す。No.3は図-3, 7の比較によれば、わずかに汀線は後退しているものの、侵食・堆積域の境界近くに位置している。このため、No.1と比較すれば断面変化量ははるかに小さい。陸上部では浜崖が形成されつつ汀線が後退しており、陸上部の地形変化は2.5mまで生じている。一方、海面下では沖合のバーが次第に消失し、平坦な地形へと変わりつつあるが、この場合の限界水深はほぼ-1.5mにある。

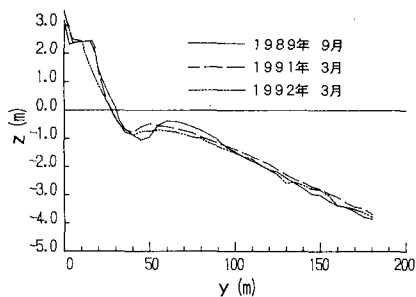


図-9 測線 No.3 の断面図

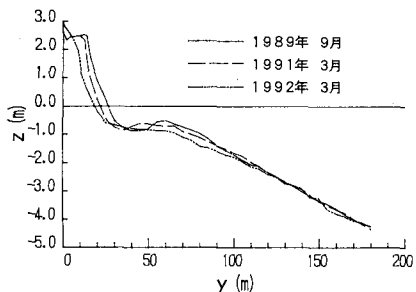


図-10 測線 No.4 の断面図

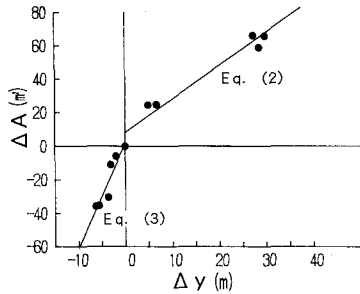


図-11 断面積変化量と汀線変化量の関係

同様に図-10はNo.4の断面変化である。この断面では侵食による断面変化が非常によく表われている。汀線の後退とともに陸上部の浜崖がほぼ平行に後退し、養浜時の平坦面($Z=2.5$ m)まで削られた。また海面下でも侵食が進み、バーは次第に消失して非常に平坦な斜面が形成された。そしてこの場合、顕著な地形変化の見られなくなる限界はほぼ $Z=-2$ mにある。それより沖合ではほとんど地形変化が生じていない。

(4) 漂砂の移動高

著しい断面変化の見られた1991年11月より1992年3月までの海浜断面変化より、断面積変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)とを求め、両者の相関関係を調べた(図-11参照)。データ数はやや少ないものの、計算の結果 ΔA と Δy の間には相関係数 $R=0.977$ (堆積域)、 $R=0.934$ (侵食域)を持つ線形関係として次式が成立する。

堆積域 ($\Delta y \geq 0$)

$$\Delta A = 1.95 \Delta y + 8.29 \quad \dots\dots\dots (2)$$

侵食域 ($\Delta y < 0$)

$$\Delta A = 6.34 \Delta y + 2.28 \quad \dots\dots\dots (3)$$

宇多・山本(1989)が示したように、 ΔA と Δy の回帰係数は漂砂の移動高に等しい。したがって本調査では移動高は堆積域では1.95 m、侵食域では6.34 mとなる。移動高の比は堆積域：侵食域が1：3.3となる。

4. モデルの東播海岸への適用

(1) モデルの検証

安定汀線の計算モデルを検証するため、東播海岸の松江地区の海浜変形に適用した。計算条件である波の入射角は、突堤①、②の中央より東側部分の汀線がほぼ安定して直線的に延びていることを考慮し、この平均汀線に対し直角方向($N 132.5^\circ W$)とした。

計算に際しては図-1に示した点P、Qを定める必要があるが、この場合突堤③と①の先端に点 P_1 、 P_2 を、また、両構造物より十分離れたビーチの中央付近に点Qを定め、2つの構造物背後での安定汀線を接続した。このとき点Q付近で汀線がやや滑らかではなくなるが、これ

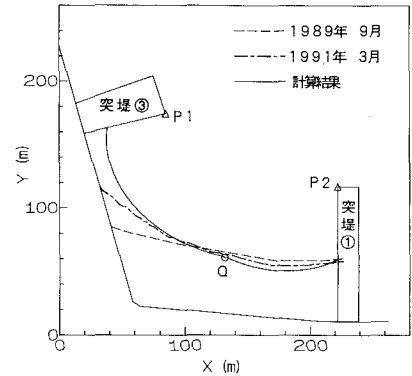


図-12 長さ54 mの突堤背後の安定汀線形

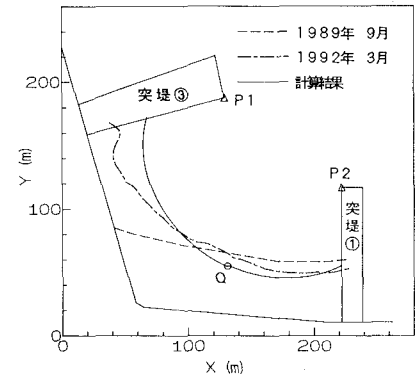
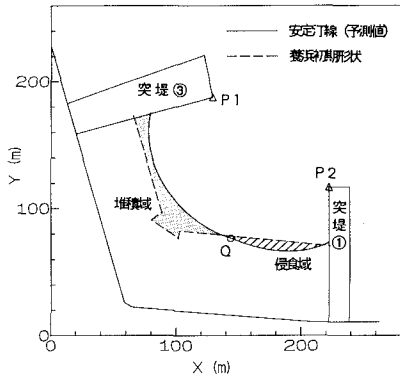


図-13 長さ100 mの突堤背後の安定汀線形

は實際上問題にならないと考えられる。

図-12は突堤③が半分延ばされた場合の汀線形の計算結果である。実測の汀線変化の特徴として、 $110 \leq x$ の範囲で汀線が後退し、 $x \leq 110$ では前進した。このとき汀線後退域の面積は前進域の面積よりはるかに小さいことが指摘される。このことは、侵食される場合と堆積する場合で移動高が異なり、侵食域の方がはるかに大きいことを示している。この点はすでに式(2)、(3)に関して述べた点と一致する。計算では汀線前進域と後退域の境界は実測値とよく一致する。しかし計算による汀線前進量と後退量の絶対値は実測値より大きい。この原因は、実測汀線形がまだ安定形状に十分達していなかったためと考えられる。なお、計算に際して汀線後退面積にそれぞれの区域における漂砂の移動高を乗じて求めた侵食土砂量は 3879 m^3 、堆積土砂量は 3881 m^3 であり、土砂収支はほぼ満足されている。

突堤③を100 mまで完全に延ばした場合の汀線変化と実測値を図-13に示す。突堤が延長されて波の遮蔽効果が高まったため、突堤③の付け根部分の汀線が大きく前進した。この場合も初期汀線と比較すると汀線の後退域の面積は前進域の面積と比較するとはるかに大きい。



図—14 追加養浜時の安定汀線形状の予測

計算汀線の全体形は実測値とかなり近くなったが、この場合もまた計算汀線変化量は実測値より大きくなった。計算での侵食土砂量は 7271 m^3 、堆積土砂量は 7239 m^3 であった。

(2) 養浜後の安定汀線予測

現在、この人工海岸では養浜により前浜を更に広げる計画がある。そこで本モデルにより養浜後の汀線変化について調べることとした。養浜後の安定汀線の予測結果を図—14 に示す。養浜後の安定汀線形状は、西側では侵食傾向に、東側では堆積傾向となる。また、その際の汀線移動量は初期形状に対して、侵食域内の No.4 付近で最大約 10 m、堆積域では最大 20 m 程度になると予測される。この時の侵食土砂量は 2140 m^3 、堆積土砂量は 2170 m^3 である。現況汀線と比較して養浜汀線は突堤①の付け根付近で 15 m ほど沖出しされることになるが、同じ養浜材料を用い、かつ養浜時における汀線付近の海浜勾配

を図—10 に示す海浜勾配 (1/6) より急にしなければ養浜直後における養浜砂の沖への流出はないはずである。なぜなら汀線が約 15 m 沖出しされたときの養浜の外側限界は十分広い侵食平均面の上にいるからである。さらに、養浜後の汀線変化を見ると、突堤①の東側隣接域の砂は東側へと動く傾向を示す。このことは、突堤①を越えて西向きに土砂が流出することはないことを示している。

5. 結 論

本研究の結論は以下のようである。

- ① Hsu・Evans の式をもとにして、ポケットビーチ内の土砂の保存則を考慮した安定汀線形の予測手法を開発した。
- ② 安定汀線の予測手法の適用性を東播海岸の松江地区における養浜工での汀線変化に応用して調べ、ほぼ妥当な結果を得た。このことは、本モデルが安定汀線を予測する上で実用的に使えることを示している。

参 考 文 献

- Hsu, J. R. C. and C. Evans (1989): Parabolic bay shapes and applications, Proc. Int'l. Civ. Engrs, Part 2, pp. 557-570.
- 門松 武・宇多高明・藤原 要・時沢真一 (1990): 東播海岸における養浜後の海浜地形変化, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 484-488.
- 宇多高明・山本幸次 (1989): 海岸侵食調査における 2, 3 の留意点, 土木技術資料, Vol. 31, No. 8, pp. 60-66.
- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1991): 沿岸漂砂による三次元海浜地形変化の予測法, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 386-390.
- 渡辺 見・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉 (1984): 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.