

波の遮蔽構造物の建設に伴うポケットビーチの海浜変形

——沓岐筒城浜の例——

宇多高明*・芹沢真澄**・三波俊郎***・古池 鋼***

1. ま え が き

多くのポケットビーチは閉じた漂砂系を有するため、その端部または中央部で波の遮蔽構造物が建設されると周辺海岸で著しい汀線変化が生じることで特徴付けられる。そのようなポケットビーチの一つに長崎県沓岐南東部に位置する筒城浜がある。筒城浜は天然の貝殻片からなる砂浜とその背後に松林（保安林）が広がることから、典型的な「白砂青松」海岸として知られてきており、九州などからの海水浴客が多く訪れる非常に有名な海水浴場であった。しかし、近年著しい海浜変形が生じ、侵食によって海水浴場が狭まるなどの被害が出た。海岸の侵食原因について周辺住民は、沓岐周辺で行われている海砂採取との関係を指摘している。しかし、沓岐周辺の海砂採取は水深約 40 m と海岸線から十分離れた場所で行われていることから、侵食原因を直ちに海砂採取に求めることには難があり、むしろ防波堤の建設による波の遮蔽域形成に伴う海浜変形の可能性が指摘された。そこで、本研究では、深浅測量や底質採取、さらには空中写真の分析などを行って筒城浜の海浜変形の実態分析を行い、原因分析と今後の対応について検討した。

2. 観 測 方 法

筒城浜は図-1 に示すように沓岐南東部に位置し、東側を筒城崎に、西側を岩礁により囲まれた延長約 0.5 km のポケットビーチである。海浜は南南東方向に開いており、南側に位置する乙島（岬）までの約 1.5 km 間には、岩礁と小規模なポケットビーチが続いている。1999 年 11 月、筒城浜において沿岸方向に 20 m 間隔の測線を設定し、水深 8 m までの範囲で深浅測量を行った。この場合、過去に陸域でも著しい地形変化が起きたと想定されることから、海浜と保安林区域の境界までを測量範囲とした。次に、底質の水深方向変化を調べるために、3 測線において底質サンプリングを行い、採取資料を乾燥後 JIS1202 基準に基づいて粒度分析を行った。

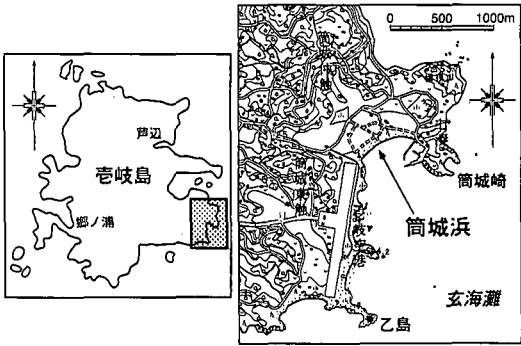


図-1 沓岐筒城浜の位置図

海浜変形に伴う汀線変化を調べるには、過去の空中写真の利用が有効である。このため、筒城浜で著しい地形変化が起こる前の 1966 年から、地形変化がほぼ安定化した 1999 年までの 32 年間に撮影された 7 組の空中写真を収集し、これらから汀線変化を調べた。汀線位置の算出では、深浅測量によって得られた前浜勾配と写真撮影時刻の潮位を基に、潮位変動に伴う汀線位置の補正を行った。

3. 空中写真の判読

筒城浜の空中写真を判読し海岸線の変遷を調べた。写真-1 は 1966 年の筒城浜の空中写真である。この当時、筒城浜には幅約 50 m で一様な幅の砂浜が広がっていた。海浜の東端には七湊漁港の防波堤と突堤が既に存在したが、それらの施設は筒城崎の背後に隠れており、ポケットビーチ全体に大きな影響を及ぼすような施設規模ではなかった。1971 年(写真-2)には、1966 年と比較して防波堤の先端付近まで突堤が延長され、全体として「コ」の字型の漁港施設が完成した。この段階で延長された突堤は、筒城崎による波の遮蔽域からやや突出したために、その西側隣接部には新たな波の遮蔽域が形成され、そのため突堤の基部には堆砂が見られる。

1977 年(写真-3)には、1971 年当時「コ」の字型であった防波堤の沖合に、東西両側から斜め防波堤が延ばされた。東防波堤の基部からの長さは 180 m であり、西防波堤は先端部が「く」の字型に曲げられており、防波堤西

* 正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 研究総務官
** 正会員 海岸研究室(有)
*** 海岸研究室(有)

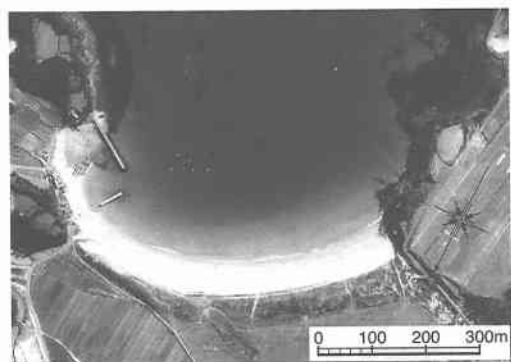


写真-1 筒城浜の空中写真 (1966年12月)



写真-4 筒城浜の空中写真 (1985年5月)

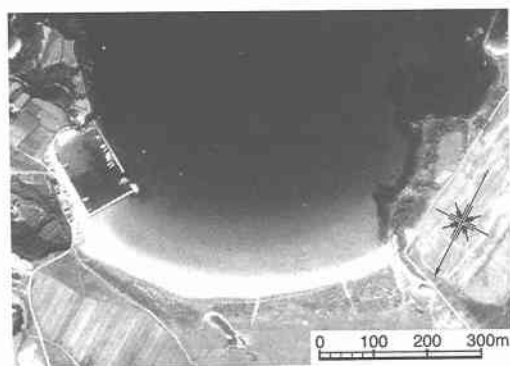


写真-2 筒城浜の空中写真 (1971年4月)



写真-5 筒城浜の空中写真 (1993年5月)

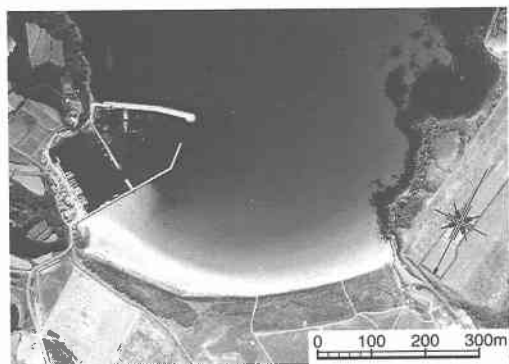


写真-3 筒城浜の空中写真 (1977年10月)



写真-6 筒城浜の空中写真 (1999年2月)

端先端まで長さは250 mである。ポケットビーチに正面から入射する波に対し、西防波堤は東防波堤の形成する波の遮蔽域内に入っているため、ポケットビーチへの影響は小さいが、東防波堤はポケットビーチの汀線とほぼ平行に延ばされたために、その背後に大きな波の遮蔽域が形成された。このため、これによる波の遮蔽域では土砂が堆積しつつあることが防波堤背後に白い堆積域が生じていることから見て取れる。工学的時間スケールで見ればポケットビーチ内の砂量は一定と見なせるから、防

波堤隣接域での堆積と対照的にポケットビーチ中央部から西部では土砂が削り取られ、汀線が後退している。

1985年(写真-4)では防波堤背後で汀線がさらに前進し、西側では汀線が後退している。1966年当時、海浜幅は約50 mで沿岸方向に一様であったが、1985年では西端では最大幅が約100 m、東端では約20 mと、東西で砂浜幅が非対称となった。また、写真-4を注意深く観察すると、防波堤の西側隣接域の砂浜幅が大きく広がった場所では、飛砂防備保安林を造るために植林が開始されて

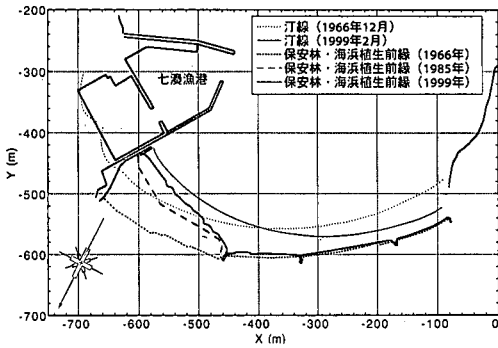


図-2 保安林区域と海浜植生帯前線の変遷

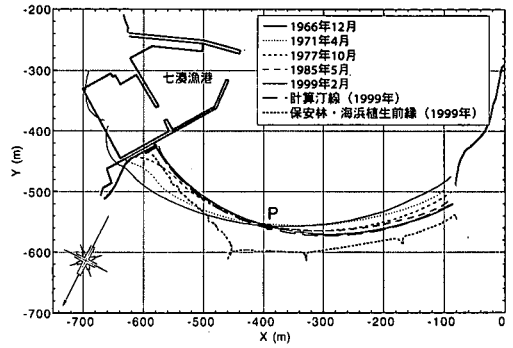


図-3 空中写真に基づく汀線変化

いることが、海浜への規則正しい植栽配列から見て取れる。

1993年(写真-5)では、1985年には開始されていた植林の結果、この区域は松林に変わった。しかしこれと同時に防波堤の隣接区域では汀線の前進が続いている。1985年には、「コ」字型の旧漁港施設の西側隅角部より約40 m 陸側に汀線があったが、1993年にはこの隅角部まで汀線の前進が見られることから汀線が前進したことが分かる。

1999年(写真-6)では、防波堤に隣接する堆積域では保安林の前面に海浜植生帯が最大約30 mの幅で広がった。西防波堤の「く」の字型隅角部の南側には海底の露岩域が黒々と見えている。

保安林と海浜植生帯は時間とともに広がってきているので、最近の汀線形状と合わせてこれらの区域の変遷を図-2に示す。防波堤の西側隣接部で砂浜が広がるに従い、保安林区域は最大100 m 前進したことが分かる。このように保安林区域が前進した場所ではもとと海浜であり、その海浜が植生によって安定化することになった。一方、汀線後退区域では、保安林区域と海浜の境界線の位置は変わらなかったものの、汀線が最大約37 m 後退したために、砂浜幅は現況で20 m まで狭まった。このことが海水浴場としての海浜利用を大きく阻害することになった。

4. 空中写真による汀線変化分析

空中写真の比較によれば、閉じた漂砂系を有するポケットビーチにおいて、防波堤の建設に伴って波の遮蔽域では汀線が前進し、遮蔽域から離れた場所では汀線が後退したことが明らかになった。ここでは汀線変化を定量的に分析する。

図-3には1966年から1999年まで33年間の汀線変化を示す。1966年までは約50 m 幅で沿岸方向に一樣な砂浜が存在したが、防波堤の建設後、波の遮蔽域では経

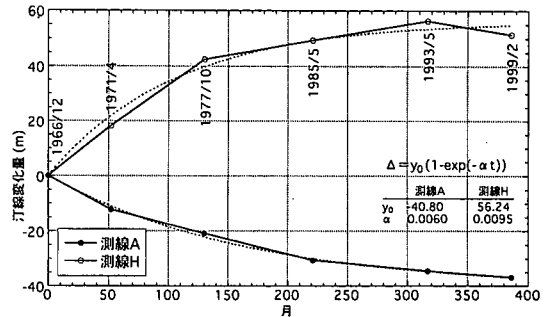


図-4 測線 A, H における汀線位置の時間的変化

年的に汀線が前進し、西側では汀線が後退した。1966年以降の最大汀線前進量は51 m、後退量は37 mであった。汀線の前進・後退区域は沿岸距離-390 mに位置する点Pで明瞭に区分され、それより西側では汀線が後退、東側では前進している。このような汀線変化は、防波堤が存在しない場合に安定していた汀線が、防波堤が突き出したことによって別の安定形状に移ったことを表している。

安定汀線形状については、Hsuの式(芹沢ら, 1996)により計算が可能であるから、土砂収支が満足するようにして計算した汀線形状も図示してある。1999年の汀線形状は、計算結果とほぼ対応を示している。

1966年の汀線位置を基準とし、これと直角方向に測った汀線変化量について、汀線後退・前進域に設けた測線A, H上において、汀線の時間的変化を示したのが図-4である。1971年までに防波堤は既に建設され、波の遮蔽域は既に形成されていたが、その影響は時間的には緩やかに出ていることが分かる。汀線前進・後退量 Δ は、次式で表される変化を遂げている。

$$\Delta = 56.2(1 - \exp(-0.0095 \cdot t)) : \text{測線 H} \cdots (1)$$

$$\Delta = -40.8(1 - \exp(-0.0060 \cdot t)) : \text{測線 A} \cdots (2)$$

5. 深浅図の分析

図-5にはD.L.基準(D.L. 0.0 m=T.P.-1.16 m)での深浅図を示す。これによれば、水深約3 mから陸上部の3 mまでの等高線は互いにほぼ平行であり、図示するように沖合の点Qを中心としたほぼ同心円状となっている。このことは図-5に示す水深3 m以浅の等高線は防波堤の建設後ほぼ安定した姿になっていることを意味している。図のように測線A~Hを定めたとき、各測線においてD.L. 2 m位置が一致するように各測線を重ね合わせると図-6が得られる。防波堤に最も近接する測線Hではやや他の測線とのずれが大きいが、各測線はかなりよい一致を示す。

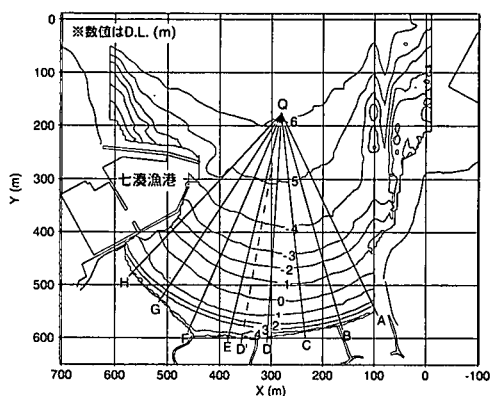


図-5 筒城浜の深浅図 (1999年11月測量)

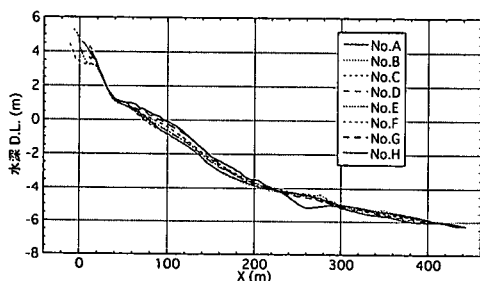


図-6 測線A~Hの重ね合わせ縦断面図

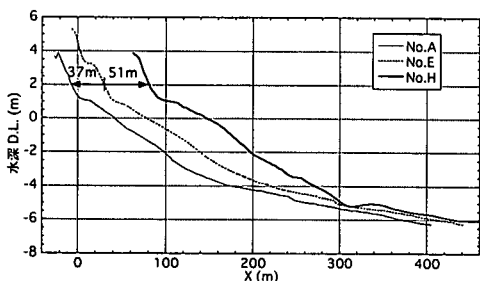


図-7 1966年当時の海浜縦断面形の復元

図-3の汀線変化図によれば、図-5の深浅図に示した測線Aでは、1966年以降最大約37 m汀線が後退し、測線Hでは最大約51 m前進している。一方、海浜変形後において、海浜縦断面形は沿岸方向の場所によらずほぼ同じ形状を保っている。これらの縦断面形の変化は空間的に生じたものであるが、一般に、この種の海浜変形では多くの場合、海浜縦断面形の空間的変化は時間的変化に置換可能である。この場合もそれが成立すると仮定すると、海浜縦断面形の復元が可能となる。図-5に示した平均縦断面形を、測線Aにおいては37 m陸側に、測線Hにおいては51 m海側にずらして重ね合わせると図-7となる。海浜変形はほぼ5 m以浅で生じていることが分かる。すなわち、この海岸における波による地形変化の限界水深は約5 mとなる。

6. 底質中央粒径とシルト・粘土の含有率の水深方向分布

図-8a, bには測線D'における d_{50} とシルト・粘土の含有率の水深方向分布を示す。 d_{50} は汀線での約0.19 mmから標高の増加とともに増大し、標高2.5 mで最大の0.27 mmとなる。水中では水深2 mまで一旦増加したあと急速に小さくなり、水深4.5 m以深では約0.16 mmの一定値となる。図-8bに示すシルト・粘土の含有率は、汀線付近では2.6%以下であるが、水深1 mから沖では単調に増加し、水深約4 mでは5%前後の値を有している。

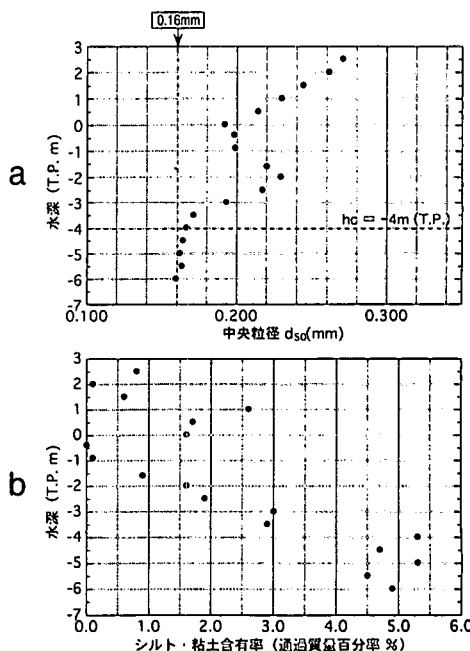


図-8 d_{50} とシルト・粘土の含有率の水深方向分布

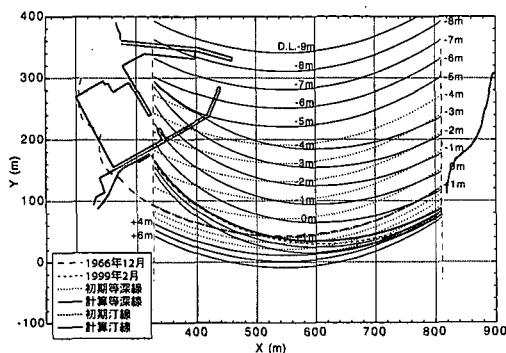


図-9 拡張 Hsu モデルによる安定海浜地形の計算結果

d_{50} が水深によらずほぼ一定で 0.16 mm 程度の細粒に変化する水深約 4 m とシルト・粘土の含有率が 5% 程度と高まり、水深によらずほぼ一定となる水深約 4 m (D.L. -3 m) とは共に一致している。この限界の水深 (底質粒径の限界水深) は、波による地形変化の限界水深とほぼ対応していることが明らかにされているが、筒城浜の場合、波による地形変化の限界水深は約 5 m であったから、これと比較してやや小さめの値となった。

7. 拡張 Hsu モデルによる 3 次元海浜変形の再現

芹沢ら (2000) は、Hsu モデルを拡張し汀線だけでなく等深線の変化をも予測可能なモデルを提案した。本研究でもこのモデルを筒城浜の海浜変形に適用して七湊漁港の防波堤延長による海浜変形を再現する。1966 年当時の汀線形状を初期形状とし、1999 年の海浜地形を再現した。なお初期地形は単純化のために平行等深線形状に均している。図-9 に計算結果を示す。海岸東端の七湊漁港の防波堤背後で等深線が大きく前進し、海岸線の西側の領域では汀線と等深線が後退している。漁港の遮蔽域では堆砂が進み、西側の海岸では侵食されたことがよく再現されている。水中部の変化は、波による地形変化の限界水深 $h_c = -5$ m 以浅で生じている。陸上部では $h_R = +4$ m までの範囲で生じている。海岸西部の侵食域の陸上部等高線を見ると、+4 m の等高線が 5 m の等高線に近接して密になり、浜崖の形成が進んでいる。また東端部の遮蔽域では $h_c = -5$ m の等深線が前進している。

8. 考 察

筒城浜で起きた海浜変形は、安定していたポケットビーチの一端に防波堤が建設され、これによって波の遮

蔽域が形成されて波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂移動が起きたことに起因する。ポケットビーチの汀線は、新設の防波堤が存在する条件下での、新しい波の入射方向に見合った安定形状となるよう変形を遂げた。ポケットビーチの延長約 0.5 km に対し、大きな遮蔽域を形成した東防波堤は汀線沖 180 m まで突き出ており、この長さは海岸線の長さと比較して無視できず、このためポケットビーチ全体に及ぶ海浜変形が生じた。このようにポケットビーチの一端で波の遮蔽構造物が建設された際、その影響がポケットビーチ全体に及ぶという現象は、宇多ら (2000) が分析した茨城県北部の有明・伊師浜海岸での離岸堤群の建設後の海浜変形と現象的には類似している。本研究で扱った筒城浜の場合には、透過性の離岸堤ではなく、不透透性の防波堤が、ポケットビーチの規模と比較して無視できない長さまで沖向きに延ばされたことが、著しい海浜変形の原因となったと考えられる。

筒城浜では、防波堤は少なくとも 1971 年までに建設されていたが、防波堤による波の遮蔽域形成に起因する海浜変形は 1999 年まで 28 年間継続し、最近ようやく安定形状に達した。著しい侵食が終息したことから侵食対策は不要であり、むしろ白砂青松の海岸を維持するには何らの対策を行わずそのままにしておくことが必要であると結論し、事実そのような方策が採られたのち現在まで事なきを得ている。これによって過剰反応による海岸の人工化を防ぐことができた。

一般に、海岸域での災害復旧では、侵食や施設の被災に対して直ちに対策が取られるのが常であり、場合によってはその対応がとられた結果として環境条件が悪化したり、あるいは新たな災害が誘起されることも希ではない。こうした悪循環を絶つには、条件が許せばここで見たように海浜の変形をそのまま放置し、自然の営みにまかすという視点も必要である。

参 考 文 献

- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, p. 442.
- 宇多高明・住谷勉夫・下山田光一・館谷純夫・高野泰隆・神田康嗣・大木康弘・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・五十嵐龍行 (2000): 茨城県北部有明・伊師浜海岸における市街地の発達, 保安林の拡張および離岸堤群の建設に起因する海浜変形, 地形, Vol. 21, pp. 17-30.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・神田康嗣 (1996): 修正 Hsu モデルによるヘッドランド周辺の最適安定海浜形状の計算法, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 646-650.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・神田康嗣 (2000): Hsu モデルの 3 次元海浜変形予測モデルへの拡張, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 601-605.