

沖合人工島建設に伴う海浜変形過程と侵食対策

西 隆一郎* ・宇 多 高 明** ・佐 藤 道 郎***
脇 田 政 一****・大 谷 靖 郎*****・堀 口 敬 洋*****

1. はじめに

最近, 沿岸域利用の高度化に伴い, 超大型の浮体構造物や沖合人工島による海上空間の有効利用が提案されている。大規模構造物の建設では, 周辺の自然環境に対する影響を最小限にすることが求められるが, 周辺海域の波浪・流況場に多大な影響を及ぼすことが危惧される。一般に構造物の背後では, 波の遮蔽域の外から内に向かう沿岸漂砂が発達し, 構造物の建設以前には安定していた海岸線に著しい変化が生じる。わが国では, このような防波堤等の建設による新たな波の遮蔽域の形成に伴う地形変化の事例が多数見られる (例えば, 宇多, 1997)。沖合人工島の場合には, 防波堤に比べて規模が大きいため, 人工島背後の海岸線が新たな漂砂環境に対応して大きく変化することが予想され, 遮蔽域内外ともに著しい海浜変形が長期間継続する。また, このような海浜変形が生じた場合には, 遮蔽域の境界付近に防砂突堤を設置して, 沿岸漂砂の移動を阻止すると同時に, 堆積域から侵食域に大量の養浜を行なうことにより, 侵食を軽減させることが必要となる。しかし, 養浜が大規模となることから, 実施事例は非常に少ない。

本研究では, 鹿児島県の柏原海岸で生じた沖合人工島建設に伴う海浜変形過程を実測データに基づき明らかにするとともに, 侵食対策として実施した大規模な養浜工および防砂突堤の有効性・適用性を検討した。

2. 柏原海岸の概要

柏原海岸は, 図-1 に示すようにほぼ南東方向に湾軸を有する志布志湾奥部の中央から南端に位置する。志布志湾奥部は, 延長約 14 km の弧状の連続した砂浜海岸となっており, 北端には志布志港が位置し, 北から前川, 安楽川, 菱田川, 田原川, 肝属川の中小河川が流入している。柏原海岸は, 延長約 7 km の砂浜海岸であり, 南端

に肝属川, 北端に田原川が位置している。柏原海岸の沖合では, 1985 年から石油備蓄基地 (以下, 備蓄基地と略称) の建設が始まり, 1987 年には外郭施設が完成している。備蓄基地は, 東西が約 1.5 km, 南北が約 1.5 km で広さが 192 ha のほぼ矩形の沖合人工島として建設された。

志布志湾沿岸では, 志布志港の沖合約 6 km に位置する枇榔島沖の水深 35 m 地点において, 志布志港工事事務所により波浪観測が実施されている。図-2 に示す 1992 年～1997 年の有義波高の経時変化によると, 波高が 5 m 程度以上の高波浪は, 毎年 7 月～9 月の台風時期に 1 回は来襲しており, 春季の 3 月～5 月にも波高 2 m～3 m の高波浪が来襲している。特に 1993 年には, 期間中最大の 8.3 m (8 月 10 日) を含めて有義波高が 7 m を超える高波浪が 2 回来襲している。また, 1997 年の 6 月～10 月には, 波高 3 m 程度以上の高波浪が毎月来襲しており, 最大は 9 月 16 日の 7.2 m となっている。図-3 に示す平均波向の出現頻度を見ると, 志布志湾の湾軸方向の SE (112.5～157.5°) が全体の 60% 程度を占めており, 柏原海岸付近の海岸線に対してほぼ直角に入射する波向が卓越している。

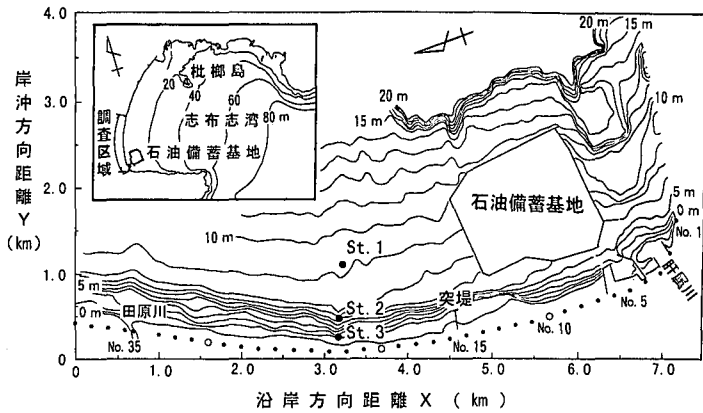
3. 沖合人工島建設に伴う海浜変形

3.1 石油備蓄基地建設の海浜変形

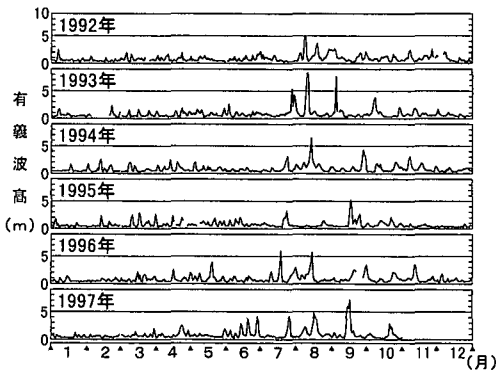
柏原海岸では, 備蓄基地の建設以前の 1984 年から深浅測量が定期的に行われている。深浅測量の範囲は, 備蓄基地背後の肝属川河口から田原川河口付近までの約 7 km 区間である。図-1 に示した等深線図は, その一例であり, 1992 年 6 月の深浅測量成果である。また, 図中には, 作成した深浅データの座標軸も示しており, 沿岸方向距離 X の原点は測量範囲の北端とした。

始めに深浅データを用いて汀線変化の検討を行う。図-4 に備蓄基地建設前の 1985 年 7 月の汀線を基準とした 1992 年 6 月までの期間における汀線変化量の沿岸分布を示す。この期間中には, 1987 年 6 月に備蓄基地の外郭施設が完成し, 波の遮蔽効果が発現し始めた。備蓄基地背後の X=4.7 km 地点より南側で汀線の前進が著しく, 主な汀線の前進域は 2 つの舌状砂州からなってい

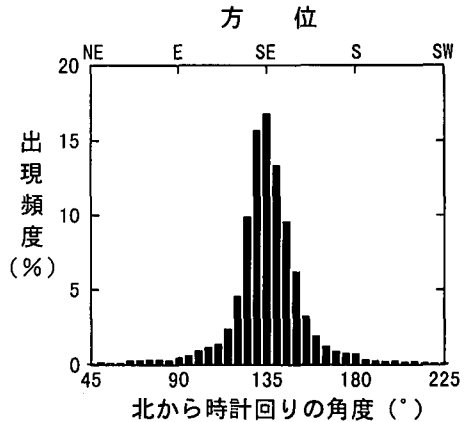
* 正会員 工修 鹿児島大学 工学部 海洋土木工学科 助手
** 正会員 工博 建設省 土木研究所 河川部長
*** 正会員 工博 鹿児島大学 工学部 海洋土木工学科 教授
**** 前 鹿児島県 土木部 河川課 防災海岸係長
***** 正会員 (株)アイ・エヌ・エー 海岸部
***** (株)アイ・エヌ・エー 海岸部



図一 柏原海岸の調査位置



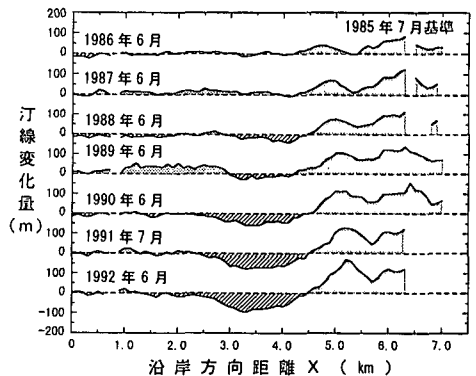
図二 枇榔島沖における有義波高の終時変化



図三 枇榔島沖における波向の出現頻度

る。外郭施設の完成直後の1987年6月では、砂州のピークは各々 $X=4.9$ km, 6.3 km に位置している。南側の砂州は、ピーク的位置があまり変化せずに規模が年々増大しているが、北側の砂州は、突出量が1986年の40 m から1992年の170 m と規模が増大するとともに、ピーク的位置も1986年の $X=4.75$ km から1992年の $X=5.25$ km に移動している。このことは、北側の舌状砂州が波の作用によって500 m も備蓄基地背後に押し込まれたことを示しており、砂州の移動速度は83 m/yr となる。なお、舌状砂州北側の侵食と堆積の変換点の位置にはほとんど変化が見られない。

一方、備蓄基地背後の北側隣接部では、外郭施設の完成後の1988年6月以降に侵食が顕著となり、侵食域が北側に拡大するとともに侵食量も増大している。1992年6月には、侵食域の延長は約2.5 km に、汀線の最大後退量は100 m に達している。また、1988年6月～1992年6月では、侵食域端部の位置は $X=2.8$ km から $X=1.8$ km と1,000 m 北側に拡大し、ピーク位置も $X=4.1$ km から $X=3.2$ km と900 m 北側に移動していることから、侵食域の拡大速度は、200～250 m/yr 程度と予想される。



図四 石油備蓄基地の建設後の汀線変化

以上の汀線変化は、備蓄基地の建設による波の遮蔽域形成に伴って、波の遮蔽域外から備蓄基地の背後へと土砂が運ばれて堆積したことに起因しており、新たな波動場に対する大規模な海浜変形を伴って、汀線は次第に安

定化に向かっていたものと推定される。

3.2 大規模養浜後の海浜変形

このような海岸侵食の対策として、1993年には堤長が230 m、先端水深がT.P.-2.3 mの不透過性のT字型防砂突堤が $X=4.6$ km地点に建設された。さらに、備蓄基地背後の115万 m^3 の堆積土砂を北側の侵食域に運んで養浜するという対策工事が行われた。また、1994年には、 $X=3.5$ km付近に堤長約200 mの緩傾斜堤防の建設および浜崖の整地が実施された。図-5に防砂突堤と大規模養浜工の施工時および施工後における汀線変化量の沿岸分布を示す。図の最上段は、施工時の1992年6月～1993年11月の汀線変化であり、養浜工事の土砂採取により備蓄基地背後の汀線が後退している一方で、北側隣接部の $X=2.0$ km～4.5 kmの間では汀線が前進している。

防砂突堤と養浜工の施工後の1993年11月から最新の1997年11月までの4年間の汀線変化を見ると、1年後の1994年11月には、最大で約70 mの汀線後退が既に生じている箇所もあり、養浜砂はほぼ流出した状況となっている。1994年以降は、高波浪時の侵食によって浜

崖が形成されると、浜崖部分の土砂を汀線に押し出す形で整地が行われているため、自然条件下における汀線の変化を評価することは難しいが、1995年11月までは全体的に侵食傾向にあると考えられる。1996年11月では全体的に汀線後退量が減少して、砂浜が回復する傾向が見られるようになるが、1997年12月には、再び突堤北側のほぼ全域で侵食が著しくなり、特に $X=1.7$ km～3.7 kmでは1年間に数10 m以上の汀線後退が生じている。この理由としては、1995年および1996年では来襲した高波浪が最大でも有義波高が6 m程度と比較的小さいこと、1997年には有義波高が7 mを超える高波浪が来襲したことが考えられる。

次に備蓄基地建設前の1985年7月を基準とする代表測線における汀線位置の経時変化を図-6に示す。 $X=1.0$ kmは北端の田原川河口右岸付近、 $X=2.2$ kmは侵食域の端部、 $X=3.2$ kmは侵食のピーク付近、 $X=4.5$ kmおよび $X=4.7$ kmは防砂突堤の両側、 $X=5.3$ kmは堆積のピーク付近に位置する。北部の $X=1.0$ kmと $X=2.2$ kmおよび防砂突堤両側の $X=4.5$ kmと $X=4.7$ kmでは、変化量が比較的小さく堆積もしくは安定傾向にあるが、いずれも1993年11月以降はやや侵食傾向となっている。最も侵食が顕著な $X=3.2$ kmでは、1992年6月までは経時的に汀線が後退していたが、養浜の施工後の1993年11月以降は比較的安定した状況となり、1997年には再び著しい侵食が生じた。最も堆積が顕著な $X=5.3$ kmでは、1992年6月までは経時的に汀線が前進していたが、1993年11月に養浜工の土砂採取により汀線が100 m程度後退した以降は比較的安定した状況にある。このことは、備蓄基地背後では、防砂突堤の建設前に比べて汀線の前進量が激減したことを示しており、防砂突堤による漂砂の阻止効果が現れているものと考えられる。

3.3 海浜断面地形と土砂量の変化

備蓄基地建設から突堤と養浜工の施工前、突堤と養浜工の施工前後および施工後の3つの時期における海浜断面地形の変化を図-7～9に示す。測線位置は、図-1に示しており、測線No. 33が田原川河口右岸、No. 27が侵食域の端部、No. 22が侵食のピーク付近、No. 15およびNo. 16が防砂突堤の両側、No. 12が堆積のピーク付近となる。

突堤と養浜工の施工前(1986年6月～1990年11月)の変化を図-7に示す。備蓄基地背後の測線No. 12では、水深5 m以浅で土砂の堆積が顕著であるが、その他の測線では、汀線付近の侵食が著しく、特にNo. 22では5 mに達する侵食が生じている。ただし、No. 22を除いて沖合では堆積が生じていることから、備蓄基地の建設による影響に加えて沖向き漂砂による侵食が生じたことが考

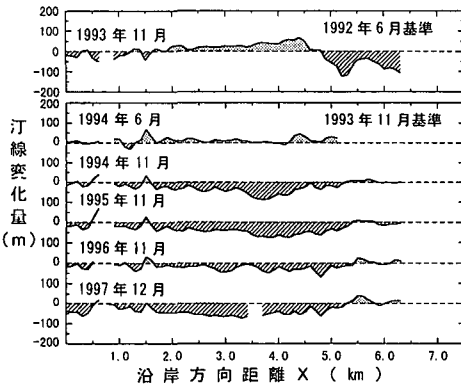


図-5 防砂突堤・養浜工の施工後の汀線変化

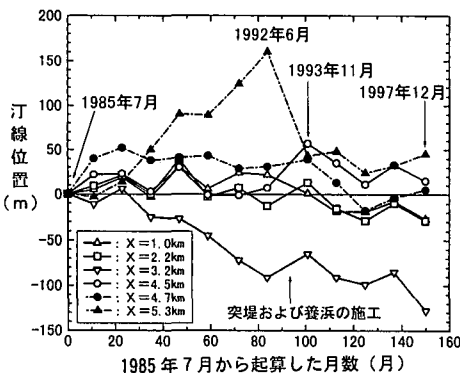


図-6 代表測線における汀線位置の経時変化

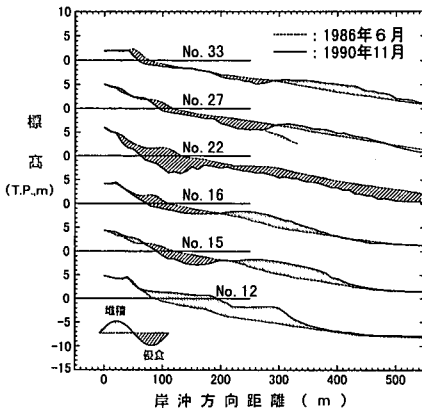


図-7 突堤・養浜工の施工前の断面地形変化

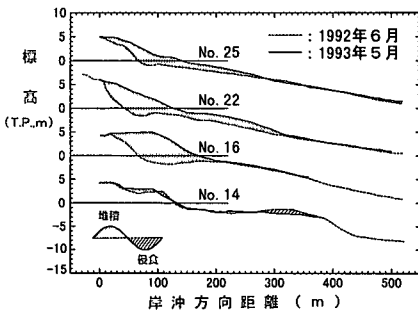


図-8 突堤・養浜工の施工前後の断面地形変化

えられる。また、No. 22を除いた測線においては、いずれも顕著な地形変化は水深8m程度以浅で生じており、有意な地形変化の限界水深は8m程度と推定される。

図-8に示す突堤と養浜工の施工前後におけるNo. 16～No. 25の断面地形の変化を見ると、防砂突堤北側で実施された大規模養浜の状況が分かる。突堤と養浜工の施工後(1993年11月～1997年12月)の変化を図-9に示す。備蓄基地背後の測線No. 12では、土砂採取跡を埋める形で堆積が生じているが、堆積量は突堤の施工前に比べて減少している。その他の測線では、汀線付近の侵食傾向が顕著であり、No. 15, No. 16, No. 22では、施工前と比べて後浜の地形が急勾配になるとともに、浜崖が形成されている。また、突堤両側のNo. 15およびNo. 16では、沖合の350m～500mにおいて顕著な土砂の堆積が生じており、突堤に沿う沖向き流れによる土砂移動量が大きいことを示している。

図-10に深浅測量成果から求めた土砂変化量の沿岸方向分布を示す。上段の養浜前の1986年6月～1990年11月では、備蓄基地背後の遮蔽域における堆積量は60万 m^3 、隣接域における侵食量は97万 m^3 であり、年平均の変化量は、堆積が13万 m^3/yr 、侵食が22万 m^3/yr となる。一方、下段の養浜後の1993年5月～1997年12月では、

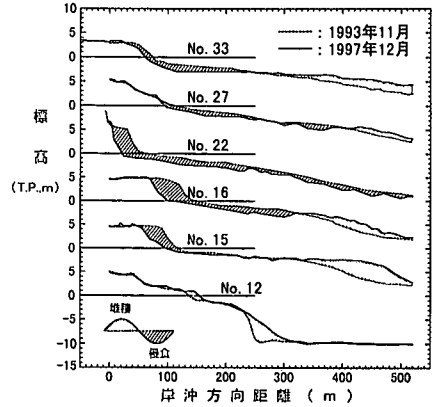


図-9 突堤・養浜工の施工後の断面地形変化

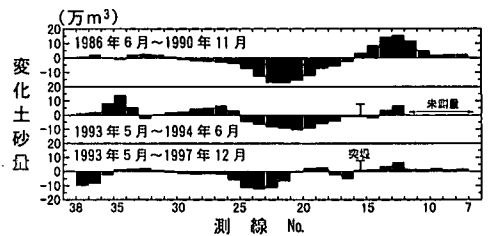


図-10 代表期間における変化土砂量の沿岸方向分布

堆積量が22万 m^3 、侵食量が83万 m^3 であり、年平均の変化量は堆積が5万 m^3/yr 、侵食が18万 m^3/yr と減少していることから、防砂突堤によって遮蔽域内へ向かう漂砂が約6割低減されたものと考えられる。

4. 現地観測結果

現地観測は、侵食が顕著である緩傾斜堤防の設置区間の北側(測線No. 22+100m)において、土砂移動の実態把握を目的として実施した。観測地点は、図-1中に示した3地点(St. 1:水深10m, St. 2:水深6m, St. 3:水深3m)であり、各地点で波浪・流況および砂面変動の連続観測を実施した。観測期間は、1996年冬季が1ヶ月間、1997年夏季が2ヶ月間であり、1996年冬季の観測地点はSt. 2とSt. 3の2地点である。波浪・流況観測には自記式の水圧式波高計・電磁流速計を、砂面変動観測には自記式のフォトスキャン方式砂面計を用いた。なお、St. 1には超音波式波高計も併設した。

1996年冬季の観測結果を図-11に示す。観測期間中に来襲した波浪は、最大でも有義波高が1m未満と小さいが、水深2mのSt. 3では、平均流速の最大値は20 cm/s に達している。また、St. 3では、北向き(N～NNE)の流れが卓越しているが、水深6mのSt. 2では、St. 3と異なり海岸線に沿う南向き(SSW～SE)の流れが卓越し、平均流速の最大値は10 cm/s 程度となっている。St. 2

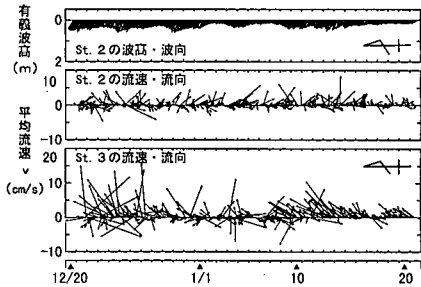


図-11 1996年冬季の波浪・流況観測結果

と St. 3 で卓越流向が大きく異なることは、波による汀線付近の海浜流と潮流等の沖合の流れの特性の違いによるものと考えられる。なお、砂面変動観測結果によると、St. 3 では、60 cm 程度の海底地盤の変化が生じていることから、波高の小さい冬季においても有意な地形変化および土砂移動が生じているものと考えられる。

次に 1997 年夏季の観測結果を図-12 に示す。水深 10 m の St. 1 の波浪観測結果によると、観測期間中には有義波高で 2 m 以上の波が 4 回来襲し、9 月 14 日には台風 9719 号による期間中最大の有義波高約 6 m の高波浪が来襲した。また、平均波向は、St. 1 では ESE が 60% 以上、枇榔島では SE が 60% 以上を占めており、いずれも志布志湾の湾口方向の波向が卓越している。

流況観測結果を見ると、St. 1 では、平均流速が 5 cm/s 以下の流れが大半を占めるが、高波浪時には約 30 cm/s の南向き流れが発生している。St. 2 では、平均流速が 5 cm/s 程度の沖向きの流れが大半を占めるが、台風 9719 号による高波浪時には平均流速が約 40 cm/s の流れが生じている。最も水深が浅い St. 3 では、他の 2 地点に比べて平均流速が大きく、最大では約 80 cm/s に達する。また、平均流向は、流れが強い時には沖向きが、弱い時には岸向きが卓越するという特徴がある。

砂面変動観測結果を見ると、水深 10 m の St. 1 においても、最大で 30 cm 程度の海底地盤の変化が生じており、有義波高が 2 m 以上の高波浪時に侵食が生じ、波が穏やかになるとともに元に戻るような変化傾向が認められる。また、顕著な侵食が生じた時には、20 cm/s 以上の強い南向きの沿岸流速成分が生じており、侵食された土砂が備蓄基地方向に移動したことが分かる。水深 6 m の St. 2 では、高波浪の来襲時に 80 cm の堆積および 40 cm の侵食が生じているが、堆積時には北向き、侵食時には備蓄基地方向となる南向きの強い沿岸流速成分が発達している。

5. 結 論

本研究の主要な成果は以下に要約される。

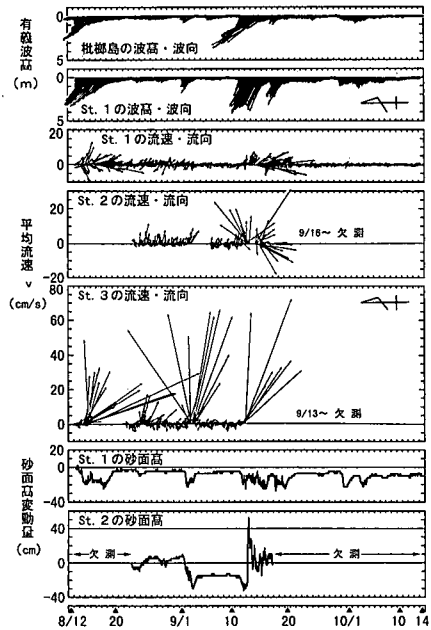


図-12 1997年夏季の波浪・流況・砂面変動観測結果

① 柏原海岸では、沖合人工島として建設された石油備蓄基地により新たに波の遮蔽域が形成されたため、4 年間に約 100 万 m^3 の土砂が遮蔽域の外側から備蓄基地背後に移動し、大規模な双峰型の舌状砂州が形成された。

② 一方、遮蔽域外側では、侵食区域延長が約 2 km、最大汀線後退量が 100 m に達する著しい侵食が短期間に生じ、侵食のピーク位置は約 250 m/yr の速度で移動した。

③ 侵食対策として、堤長 230 m の防砂突堤および堆積域から 115 万 m^3 の土砂を採取して養浜を実施した結果、遮蔽域内の堆積土砂量が半減したことから、侵食対策および養浜工に防砂突堤が有効なことを実証した。

④ 侵食が最も激しい測線において現地観測を実施した結果、高波浪時には最大で 80 cm/s の遮蔽域に向かう流れが発生し、観測地点では、流向が遮蔽域方向の時には侵食傾向、逆方向の時には堆積傾向となる。

なお、本文で述べたような大規模な養浜を実施しても、侵食を完璧に制御するまでには到っていないことから、今後ともモニタリングの継続が必要である。

参 考 文 献

- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, p. 442.
- 西隆一郎・佐藤道郎 (1994): 砂浜-海浜系の侵食に関する現地観測と数値実験について, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 541-545.