

東播海岸における養浜後の海浜地形変化

門 松 武*・宇多高明**・藤原 要***・時 沢 真 一***

1. ま え が き

近年、失われた砂浜を復活するための一手法として養浜が各地で行われるようになった。養浜に際しては養浜砂の流失を防ぐために突堤等の補助施設がしばしば造られる。補助施設を造って養浜を行ったとき、卓越波の入射方向がほぼ一定した海岸では養浜後汀線は急速に安定形状へと変化する。しかし多くの海岸では波向が季節的に変動しており、このような変動とともに突堤間の養浜砂が流失する可能性がある。したがって、波向の動的変化を伴う海岸で養浜の計画を立てるに際しては、このような機構による養浜砂の流出の可能性について十分検討することが必要とされる。具体的には、波向変動に対応する等深線の変動状況を調べなければならない。一方、突堤間の養浜砂が養浜区間外へと流失しない限りにおいて、砂移動が存在することは砂浜を良好な環境に保つ上でも有効と考えられる。したがって、その意味からも海浜変形状況を十分把握する必要がある。

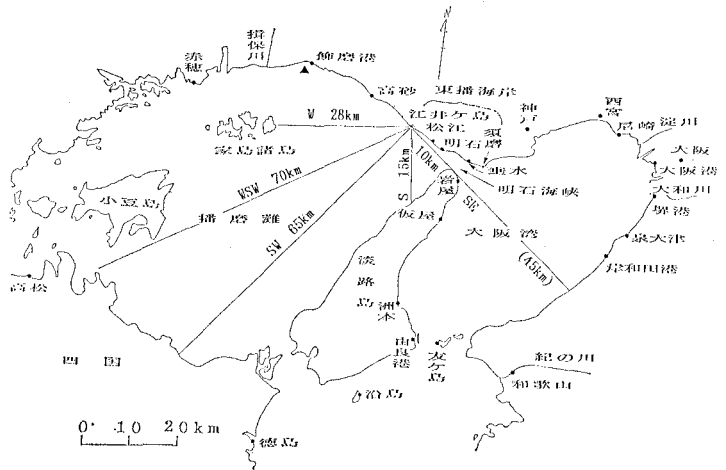
瀬戸内海に面した東播海岸では、近年消波工の代わりに養浜工が広く実施されている。この海岸では波の入射方向が季節的に大きく変化するのが特徴である。したがってこの海岸における漂砂特性を調べることは、波向が変動する場における養浜砂の安定性を考える上で役立つと思われる。そこで本研究では養浜後行われた深浅測量のデータに基づき地形変動状況を分析した。

2. 東播海岸における養浜工の概要

東播海岸は神戸港域の西端、堺川河口から神戸市垂水区および明石市を経て、兵庫県加古郡播磨町喜瀬川に至る総延長約 26 km の海岸であって、大阪湾、明石海峡お

よび播磨灘に面している（図—1）。この海岸では、1982 年より養浜工が計画され、明石西部地区の松江・藤江地先より実施に移されてきた。

養浜工は、消波工として位置付けられており、その消波効果は水理模型実験により検討された。計画潮位 T.P. 2.8 m において、計画波高 $H=3.4$ m, $T=8.0$ s の波が入射したとき、打ち上げ高が T.P. 5 m の護岸高を越えない条件として、養浜の天端幅が 25 m, 天端高が 2.5 m, 前浜勾配が 1/10 と決定された（宇多・山本, 1983）。



図—1 東播海岸の位置図

また養浜工の両側には漂砂の流出防止を目的として捨石による不透突堤が施工された。護岸から突堤先端までの長さは 100 m, 先端水深は T.P. -2.5 m, 突堤間隔は 180 m, 天端高は T.P. 2.5 m である。図—2 に養浜区域と突堤配置を示す。ここに、突堤番号は東側より No. 1 ~ No. 3 と付けてある。養浜に用いられたのは広島産の中央粒径が 0.88~1.1 mm の砂であり、バージアンローダ船により汀線付近に吹き上げた後、ブルドーザにより敷均した。1号突堤と2号突堤の間における養浜は1982年~1984年の間に行われ、全体で約3万m³の土砂が投入された。図—3 に土砂の投入実績を示す。また、養浜時およびその後の地形変化を調べるために、図—2 に示

* 正会員 建設省近畿地方建設局総務課工事事務所長
 ** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 *** 正会員 建設省近畿地方建設局姫路工事事務所

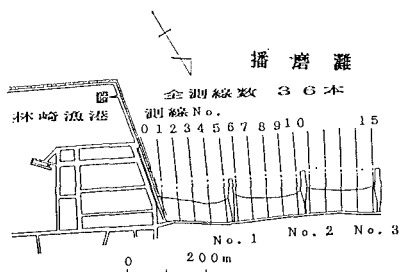


図-2 東播海岸の松江地区における養浜区域

す測線に沿って深浅測量を繰り返した。

3. 気象、波浪、潮位条件

東播海岸への入射波浪は、風向の季節変化の影響を強く受ける。調査地点の西約 5 km に位置する江井ヶ島での 1982 年～1987 年の風向風速データより求めた月別の風配図によれば、冬期 (12 月～2 月) には西高東低の気圧配置のために W または WSW の風が卓越する。夏期 (6 月～8 月) には夏型の気圧配置になるため SE が著しく卓越する。結局、東播海岸では冬期の W～WSW 方向と、夏期の SE 方向の卓越風向によって特徴付けられる。

当海岸のフェッチ (L) は前出の 図-1 に示すようである。W 方向は家島諸島によって妨げられているが、それでも $L=28$ km である。また WSW 方向の L は 70 km である。他の卓越風向である SE 方向に関しては、明石海峡で淡路島の北端にほぼ接しているが、わずかな変化で大阪湾方

向へとフェッチが伸びる。この条件を考慮すると $L=45$ km となり、SE 方向は窓は狭いものの、かなり長いフェッチを有することが分かる。以上に述べた風の発達とフェッチの分布により、当海岸では主として W

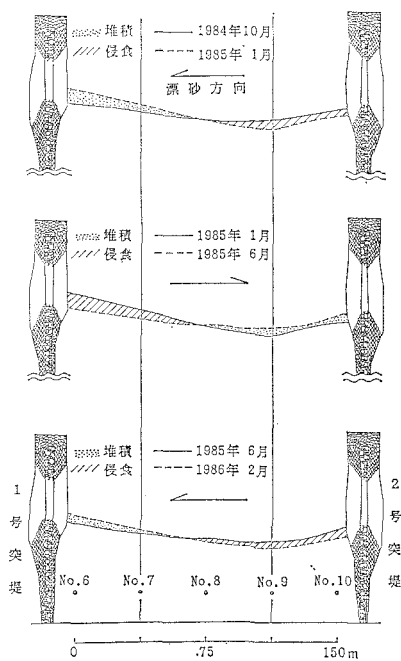


図-4 汀線形状の季節的变化

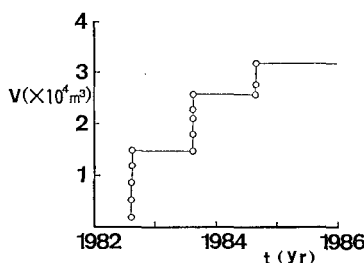


図-3 養浜砂の投入実績

～WSW 方向からと SE 方向からの入射波が卓越することになる。

東播海岸の江井ヶ島では水深 10.5 m 地点に設置された超音波式波高計により波浪観測が行われてきている。1984 年～1988 年の観測データをもとに、全年と冬期 (12 月～2 月) の有義波高・周期の出現

頻度をまとめると、通年では波高 0.5 m 以上の出現割合が約 7%，卓越周期は 3～4 s である。一方、冬期に限れば、0.5 m 以上の波高の出現率は約 15% となり、また周期は 3～4 s に加え 4～5 s も目立つようになる。

4. 海浜地形変化の特性

(1) 汀線変化

養浜区間における 1984 年 10 月～1986 年 2 月の間の汀線形の変化を 図-4 に示す。1984 年 10 月～1985 年 1 月では 2 号突堤に隣接する区域で汀線が後退し、逆に 1 号突堤の西側では汀線が前進している。汀線が最も著しく前進したのは測線 No. 6、逆に汀線が後退したのは No. 9 である。このような汀線変化は、冬期風浪により東向きの沿岸漂砂が生じ、それが西側の突堤によって阻止されたためと考えられる。1985 年 1 月から 1985 年 6 月の間ではこれと逆の汀線変化が生じ、No. 6～No. 8 で汀線が後退、No. 8～No. 10 で汀線が前進し、1984 年～1985 年の変化と逆の傾向となった。これは主として夏期に発達する SE 方向の風により、西向きの沿岸漂砂が生じたためである。その後、1985 年 6 月～1986 年 2 月の間には再び 1984 年～1985 年と同様な変化が生じた。このように当地区の汀線形は風向の変化に対応した周期的な変動が卓越し、突堤間で沿岸漂砂の方向が反転することが特徴と言える。汀線のこの種の季節的な変動は、霞ヶ浦 (宇多ら, 1987) や鹿島灘沿岸 (住谷ら, 1988) 等でも見出されており、また宇多・坂野 (1989) は実験・理論の両面より検討している。このような点より東播海岸で観測されたこの現象はかなり高い普遍性を有していると考えられる。

(2) 平面深浅図の比較

代表時期の深浅図の比較を通じて海浜地形の平面的な変化状況について調べた。代表時期としては、養浜実施直後の 1984 年 10 月と、1988 年 2 月を選んだ。深浅図を 図-5, 6 に示す。ここに、等深線の基準面は T.P. 0 m とする。図-5 は夏期の SE 方向によって発達した入射波の作用を受けた後の地形、図-6 は冬期の W または WSW 方向の風によって発達した入射波の作用後の地形

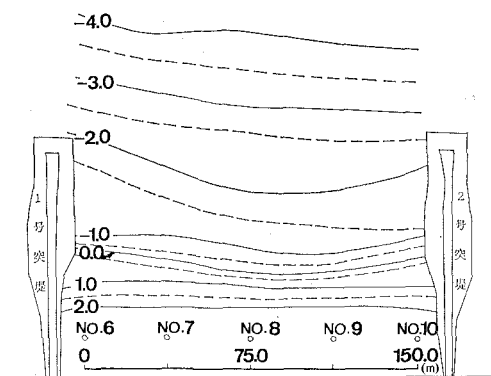


図-5 深浅図 (1984年10月測量)

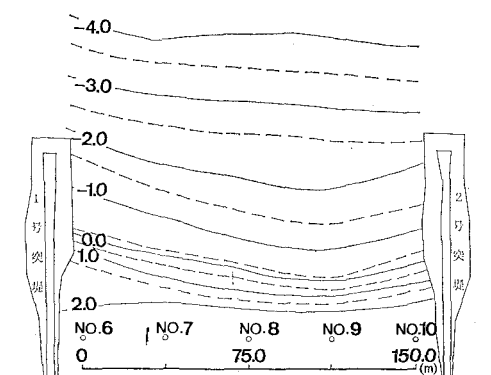


図-6 深浅図 (1988年2月測量)

である。両者を比較すると、まず突堤の沖合の -2.5 m 以深の等深線には変化が見られないことがあげられる。測線 No. 6, 7 付近では図-5 に比較して図-6 では $1.5\text{ m} \sim -1.0\text{ m}$ の等深線が全体に前進し、No. 9 付近で後退している。このときこれらの等深線は互いにほぼ平行移動している。このことは、この地形変化が東向き沿岸漂砂によって生じたものであることを表わしている。また、汀線付近の等深線がほぼ一体的に変動するとともに、汀線が最も後退する測線が西側突堤に沿う位置よりもずっと東側となる点などは、宇多・坂野(1989)の実験結果と良い対応を示す。

(3) 等深線距離の経年的変化

養浜は 1982 年～1984 年の間に実施されたが、この間および実施後において深浅測量が繰り返行われた。養浜区間の汀線は季節的に変動し、汀線の前進、後退が最も顕著に見られる測線は No. 6 と No. 9 であった。そこでこれら 2 測線を代表として選び、基準点より $1.5 \sim 5.0\text{ m}$ の間の等深線までの沖向き距離(等深線距離)の経年変化を調べた。この場合、読み取りを行う等深線の間隔は 0.5 m とした。まず、測線 No. 6 における等深線距離の経年変化を図-7 に示す。養浜は図-3 に示した

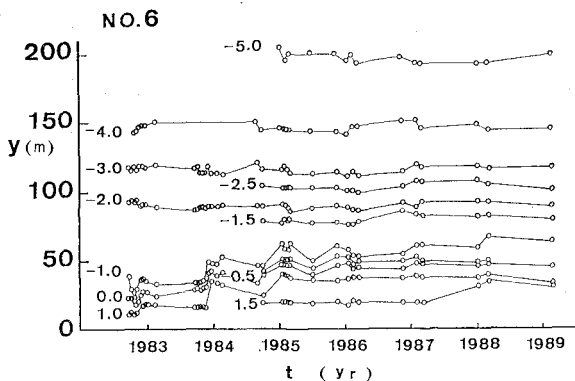


図-7 測線 No. 6 における等深線距離の経年変化

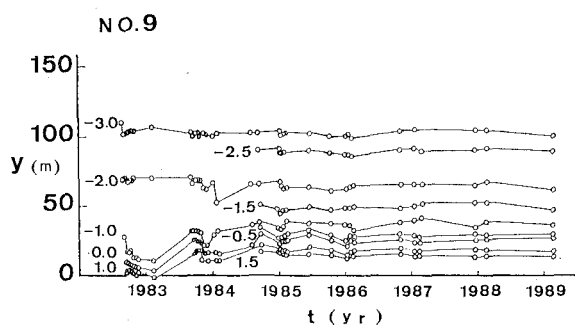


図-8 測線 No. 9 における等深線距離の経年変化

ように、1982 年 9 月に $14,900\text{ m}^3$ 、1983 年 9 月に $10,700\text{ m}^3$ 、1984 年 8 月に $6,200\text{ m}^3$ と集中的に行われた。したがって例えば、1983 年 9 月に汀線が急激に前進したのはこの養浜によるものである。沖合の等深線の位置を調べると、 -2 m 以深の等深線は時間的に安定形を保っており、汀線付近での等深線の前進・後退と良い対照をなしている。このことは、養浜時沖方向への土砂流出はほとんどなく、土砂の沖向き移動は無視できる量であったことを示す。ところで、1983 年の養浜直後から 1984 年の養浜までの間、汀線付近の等深線が後退傾向を示すことは注目される。なぜならば、養浜が行われたあとと人為的な改変は行われておらず、したがってこのような汀線後退は波の作用で生じたと考えられるからである。同様に測線 No. 9 における等深線距離の変化を図-8 に示す。沖合の -2 m 以深の等深線がほぼ安定している点は図-7 の場合と同一である。汀線付近の等深線の特徴を調べると、先に図-7 では汀線付近の等深線の後退傾向の見られた 1983 年 12 月～1984 年 8 月の間、この測線では逆に等深線が前進しており、No. 6 と No. 9 で逆モードの変化が見られる。これは既に述べたように、この間 SE 方向の風が発達した結果、西向きの漂砂が生じ、これによって突堤間の東寄りに位置する No. 6 では侵食が、また No. 9 では堆積が生じたことを表わしている。

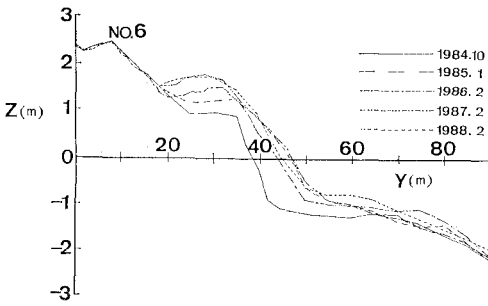


図-9 海浜断面形の経年変化 (測線 No. 6)

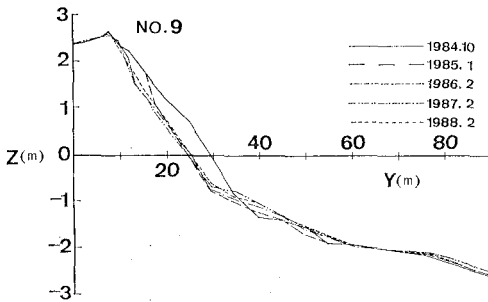


図-10 海浜断面形の経年変化 (測線 No. 9)

(4) 海浜断面形の変化

深浅データをもとに代表断面形の経年変化を調べた。代表断面としては、著しい堆積の見られた測線 No. 6、侵食域に位置する測線 No. 9 を選んだ。以下、測線 No. 6, No. 9 の海浜断面形の変化を図-9, 10 に示す。1984 年時点の海浜断面形を基準と考えたとき、図-9 に示す測線 No. 6 では、断面内で多量の土砂が堆積している。土砂堆積の陸側限界は $Z=1.5\text{ m}$ にあり、その点より海側でバームの発達が著しい。バーム頂は、1985 年に 1.2 m 、1986 年に 1.5 m 、1987 年に 1.8 m と、経年的に高まりを示し、1987 年にほぼ安定形に近づいた。1984 年～1987 年の間でバーム高の平均的な増加割合を求めると 0.3 m/yr となる。バームの成長とともに汀線の前進が見られるが、この間前浜勾配 ($0\sim+1\text{ m}$ の平均勾配として定義) は表-1 に示すようにほぼ一定である。一方、海面下ではほぼ -2 m までの範囲で地形変化が生じている。結局、この断面では初期断面の $1.5\text{ m}\sim-2\text{ m}$ の範囲で地形変化が生じたことになる。

図-10 に示す測線 No. 9 では、1984 年以降明らかに侵食が進んでいる。前浜上では時間経過とともに侵食限界の高さが高くなり、1988 年にはほぼ平坦面上にまで達した。この原因は、汀線の後退とともに前浜上には浜崖が形成され、それが一定勾配を保ちつつ後退したためである。主として堆積の生じた No. 6 では、初期地形に対する地形変化の生ずる限界が 1.5 m とほぼ一定しており、これに対して No. 9 では、侵食開始点の高さが時

間経過とともに高くなった。これらは堆積・侵食が生ずる場合の海浜断面形変化の典型的な相違点と言える。一方、この断面においても No. 6 断面と同様前浜勾配は一定である (表-1 参照)。海面下の地形変化を調べると、 -0.8 m 以浅では前浜と一体的に侵食が進んでいるが、その沖の -1.0 m 付近にはわずかながら堆積区間が見られる。また、顕著な地形変化の見られる限界水深は約 -2.0 m にある。結局、この海岸では養浜後 5 カ年が経過する段階で生じた地形変化から判断する限り、漂砂の活発な範囲は -2 m 以浅にあり、それより沖合での地形変化はほぼ無視できることになる。

表-1 前浜勾配の一覧

測量年月 測量No.	1985. 1	1986. 2	1987. 2	1988. 2
No. 6	1/9	1/7	1/9	1/6
No. 8	1/8	1/8	1/8	1/9
No. 9	1/6	1/7	1/7	1/7

(5) 漂砂の移動高

海浜断面データをもとに 1984 年を基準とした汀線変化量 (Δy) と断面積の変化量 (ΔA) とを求め、両者の相関関係を調べた。計算の結果、 ΔA と Δy の間には相関係数 $R=0.88$ を持つ線形な関係として、次式が成立する。ただし、 ΔA の変域は $-20\leq\Delta A\leq 40$ にある。

$$\Delta A = 1.66\Delta y + 9.46 \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに ΔA と Δy の単位は m^2 と m である。式 (1) では切片の値がかなり大きい。また、 ΔA の変域の値と比較すれば切片の値は小さい。 ΔA と Δy の回帰係数は漂砂の移動高に等しい (宇多・山本, 1989) から、この場合移動高は $h=1.66\text{ m}$ となる。移動高に関しては、この海域の舞子海岸においては $h=3.3\text{ m}$ 、また淡路島の北端の松帆崎では $h=2.0\text{ m}$ と得られている。これらと比較すると、当海岸では松帆崎の値よりも約 20% 下まわることになる。また、当海岸は内海にあり、作用波高が低いこと外海に面した海岸における約 10 m と比較して約 $1/6$ となっている。

5. 汀線変化と沿岸方向のエネルギーフラックスの関係

最近、宇多・坂野 (1989) は、波向が季節的に変動する場における構造物周辺での周期的モードを持った海浜地形変化について実験的に調べた。東播海岸でもこれと同一な現象が生じている。いま、養浜が完了した 1984 年 10 月の汀線形を基準として各測線の汀線変化量を求め、その経年変化を調べると図-11 となる。測線 No. 6, 7 では冬期には汀線が前進し、夏期には後退している。逆

