

土 木 研 究 所 報 告

第 191 号

東播海岸における養浜工に関する研究

宇 多 高 明

伊 藤 弘 之

平成 5 年 11 月

建 設 省 土 木 研 究 所

Copyright © (1993) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

東播海岸における養浜工に関する研究

宇 多 高 明*

伊 藤 弘 之**

Beach changes associated with beach nourishment on Toban coast

by Dr. Takaaki UDA

and

Hiroyuki ITO

要 旨

東播海岸における養浜工の追跡調査結果をもとに、養浜工の利点および問題点を集約した。まず、東播海岸の松江、谷八木、江井ヶ島および西島地区における養浜工に関し、深淺測量データを分析して海浜変形特性をとりまとめた。松江地区では、波向の季節変動に伴うサイクリックなモードを有する海浜地形変動と、突堤の遮蔽効果による海浜変形により特徴付けられる。また、谷八木および江井ヶ島地区では離岸堤の遮蔽効果により構造物背後で汀線が大きく前進して舌状砂州が形成され、開口部では逆に汀線が後退するという海浜変形が見られた。さらに、砕石を用いた礫養浜が実施された西島地区では、1990年～1991年の冬期風浪および9119号台風に伴う高波浪によるバームの著しい発達を観察された。養浜工の消波効果については、波のうちあげ高の現地観測を行って調べた。これによると、養浜斜面上への波のうちあげ高は近隣の護岸設置区域と比較して約1/4と小さく、消波効果が非常に高いことが確認された。養浜工の安定性については、岸沖方向漂砂および沿岸漂砂による養浜工の変形について考察した。岸沖漂砂による海浜断面変化に関しては、堀川ほかの海浜断面変形のタイプ分類判別式、武田・砂村のバーム高の算定式およびSunamuraの前浜勾配の算定式による算定結果と、松江・西島両地区における海浜変形を比較した。松江地区では岸沖漂砂による顕著な断面変化が生じなかったため堀川ほかのタイプ分類判別式の適用性は検討できなかったが、西島地区における礫浜の変形特性はこの手法によりよく説明できた。また、武田・砂村のバーム高算定式およびSunamuraの前浜勾配算定式は、細砂からなる海浜への適合性はかなり高いものの、礫海浜への適合性は低く、実測値を過小評価することがわかった。最後に、安定海浜の汀線形に関し、Hsu・Evansの方式を改良し、新たに土砂収支の概念をとり込むことにより、安定汀線を求める実用的な計算方法を開発した。そして計算結果と実測値を比較し、ほぼ妥当な値が得られることを確認した。

キーワード：東播海岸，養浜，礫浜，海浜変形，前浜勾配，岸沖漂砂，沿岸漂砂，地形変化の限界水深，バーム，突堤，離岸堤

Synopsis

On the basis of the field observations on beach nourishment conducted on the Toban coast facing the Seto Inland Sea, advantages and technical problems of the beach nourishment were summarized.

平成4年12月10日原稿受理 (Received on December 10, 1993)

*河川部河川研究室長，工博

**河川部海岸研究室研究員，工修

Beach survey data at Matsue, Taniyagi, Eigashima and Nishijima regions on the Toban coast were analyzed to investigate the beach changes. At Matsue region, beach changes of a cyclic mode caused by the seasonal change in wave direction and beach changes due to the sheltering effect of an oblique groin were observed. At Taniyagi and Eigashima regions, the shoreline advanced due to the sheltering effect of a detached breakwater to form the cusped foreland behind the breakwater, whereas at the opening of the breakwaters the shoreline retreated. At Nishijima region, where beach nourishment by gravel was carried out, dominant berm-formation by rough waves was observed during the winter seasons between 1990 and 1991 and during typhoon 9119. In order to study the wave dissipating effect of the artificial beach, wave run-up height was observed. It was confirmed that the wave run-up height on the artificial beach was about one-fourth of that height measured at the adjacent coast protected by the sea wall, and wave dissipating effect of the nourished beach was confirmed to be very high. Regarding the stability of the nourished beach, beach deformation due to the cross-shore and longshore sand drift was investigated. As for the beach profile changes due to the cross-shore sand drift, the criterion for the classification of three beach profiles given by Horikawa et al. and Takeda & Sunamura's predictive equation of the foreshore slope were applied to the beach changes observed at Matsue and Nishijima areas. It was found that the deformation of gravel beach at Nishijima area can be well explained by Horikawa's method. Predictive equations of the berm height by Takeda & Sunamura and of the foreshore slope by Sunamura are found to be well applicable to the beach changes of fine material, but they give an excessively lower evaluation compared with the measured values on the gravel beaches. Finally the model calculating the stable shoreline in a pocket beach given by Hsu & Evans was improved to include the concept of the sediment budget and a practical method to predict the stable shoreline was developed. It was confirmed that the predicted shoreline corresponds well with the measured shoreline at Matsue region.

Key words : Beach nourishment, Gravel beach, Beach changes, Foreshore slope, Cross-shore and Longshore sand drift, Critical depth for sand movement, Berm formation, Groin, Detached breakwater.

目 次

第1章 まえがき	1
第2章 東播海岸の概要	1
第3章 松江地区における養浜	5
3.1 養浜工の概要	5
3.2 養浜後の海浜変形	6
3.3 突堤による遮蔽域形成後の海浜変形	9
3.4 漂砂の移動高	
第4章 谷八木地区における養浜	16
4.1 養浜工の概要	16
4.2 養浜後の海浜変形	16
4.3 漂砂の移動高	19
第5章 江井ヶ島地区における養浜	19
5.1 養浜工の概要	19
5.2 養浜後の海浜変形	19
5.3 漂砂の移動高	23
第6章 西島地区における礫養浜	24
6.1 礫養浜の概要	24
6.2 冬期風浪時の海浜変形	25
6.3 9119 号台風時の海浜変形	26
6.4 漂砂の移動高と沿岸漂砂量	30
6.5 養浜材の円形度の変化	30
第7章 考 察	31
7.1 養浜工の消波効果	31
7.2 養浜工の安定性	32
第8章 結 論	37
謝 辞	37
参考文献	37

第1章 まえがき

近年、我が国では環境問題に対する関心が高まっているが、海岸保全に関しても施設の保全効果や経済性のみを重視するのではなく、景観や海浜の利用にも配慮した施設整備が求められるようになった。このため、消波効果が高いだけでなく、利用空間を創出し海岸景観も損なうことのない養浜の価値が大きくクローズアップされている。しかしながら、沖合の消波施設や突堤などの補助施設の整備が不十分な場合や、波浪条件が厳しい場合には、高波浪による養浜砂の流出を完全に防止することが難しいことや、流出した砂が沖合での養殖漁業の障害になることなど、解決すべきいくつかの問題点があるのが現状である。一方、漂砂に関する問題は相似則が十分確立していないために実験的検討に限界があることから、現地海岸のデータをもとにこれらの問題を検討することが必要とされている。しかしながら、現地海岸で養浜後の追跡調査により十分なデータを集めた研究はほとんど行われていないのが現状である。兵庫県に位置する東播海岸では、建設省近畿地方建設局姫路工事事務所により松江地先で1983年に養浜工が初めて実施されて以来、養浜工を主体とする海岸保全施設の整備が進められ、現在までに明石川以西の松江、藤江、谷八木、八木、江井ヶ島、西島、魚住地区の延べ約2.7 kmの区間で砂浜が復元されつつある。特に、1990年に実施された西島地区、

および1991年に実施された魚住地区の養浜工では、養浜材料として新たに礫が用いられた。礫は波浪条件の厳しい海岸でも安定性が高く、また、消波効果が高いと考えられるが、安定性や消波効果に関する検討は従来不十分であった。

以上の点より、東播海岸における養浜後の海浜変形実態を把握しておくことは、単に今後東播海岸において養浜事業を進める上で有益であるに止まらず、類似の波浪条件を有する他の現地海岸で養浜工を計画する際にも大いに役立つと考えられる。そこで、本研究では松江、谷八木、江井ヶ島、西島地区における養浜工の追跡調査結果より、東播海岸の養浜工の機能・安定性について考察するものである。既に、各地先での海浜変形実態については、地先ごとにとりまとめを行い、研究成果の発表を行ってきているが、本報告ではそれらの共通事項をできる限り一般的に整理することを念頭において研究を進めた。

第2章 東播海岸の概要

東播海岸は神戸港域西端から加古郡播磨町喜瀬川に至る総延長26 kmの海岸であって、東側より順に垂水、明石東部、明石西部、播磨の4工区に分かれており、各工区は大阪湾、明石海峡、播磨灘に面している(図-2.1)。強潮流の流れる明石海峡には摺鉢状の深海部が形成されており、明石川河口の沖合に位置する

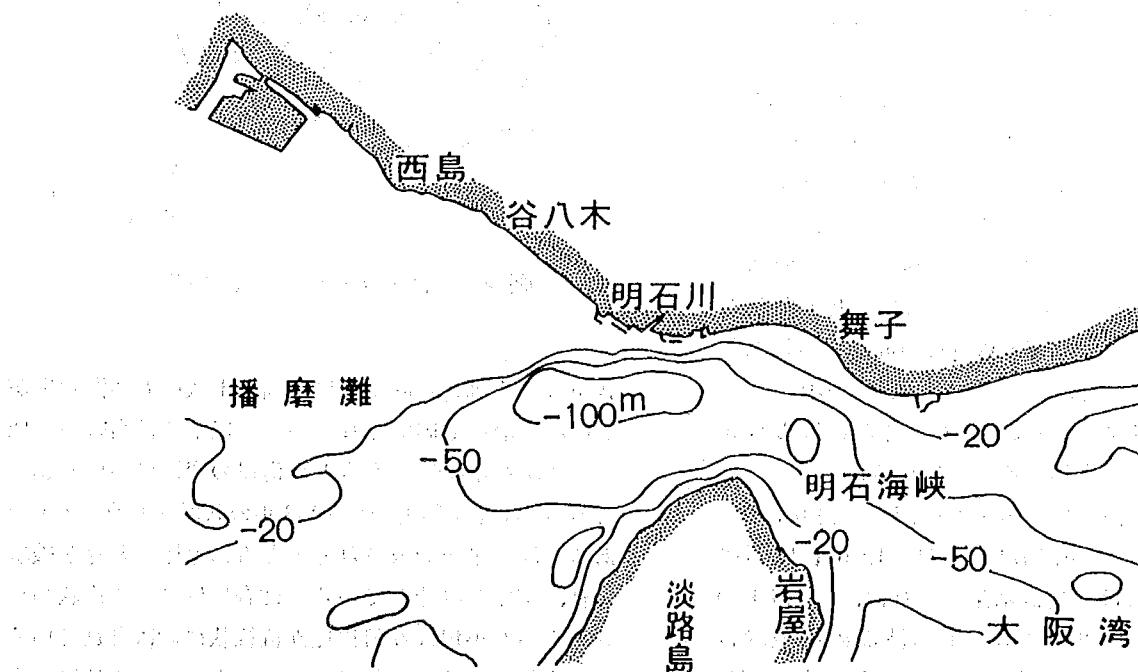


図-2.1 東播海岸周辺の地形図

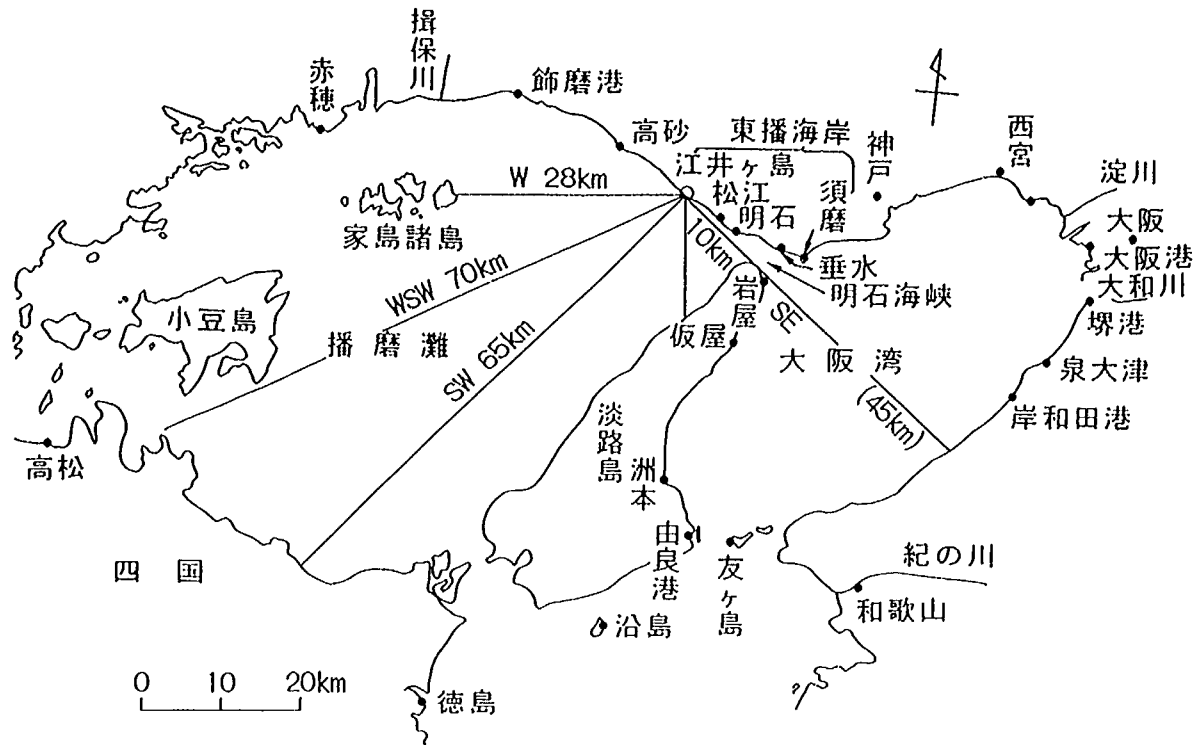


図-2.2 東播海岸のフェッチ

最深部は、 -100 m に達する。このため東播海岸の海底地形は明石川を境として東西で著しい違いを示す。明石川以東では -20 m の等深線が海岸線近くに迫り、汀線付近の勾配は約 $1/10$ と急である。これに対し明石川以西の播磨灘沿岸では沖合に浅海域が広がり、海底勾配は $1/30$ 程度と緩い。

東播海岸は瀬戸内海に位置するため、内海で発達した風浪が支配的である。東播海岸のフェッチグラフを図-2.2に示す。Sは淡路島、W~WSWは家島諸島と小豆島に遮蔽されるため、フェッチの長い方向は、東播海岸西部ではSW~WSWとSE方向に、東部ではWとS~E方向にある。江井ヶ島観測所で観測された風向風速データのうち1971年~1987年の風配図を図-2.3に示す。江井ヶ島では夏期にはSE方向からの強風が、また冬期にはW~WSW方向からの強風が卓越する。これらの風向特性とフェッチとの関係より、夏期にはSE方向からの入射波が、冬期にはWSW~W方向の入射波が卓越することになる。

東播海岸の計画波浪は、明石以西で $H=3.4\text{ m}$ 、 $T=8\text{ s}$ と設定されているが、1971年9月~1980年11月の間の江井ヶ島における観測結果によれば、 2 m 以上の波高の出現率は4.6%、 3 m 以上の波高の出現率は0.1%と非常に低い。東播海岸では、明治26年~昭和30年の間に海岸線が 100 m 近く後退するなど海岸侵

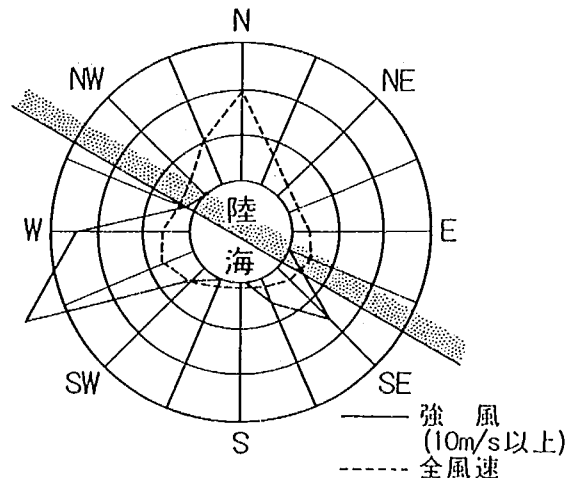


図-2.3 江井ヶ島における風配図

食が著しく、昭和30年頃には高さ十数mもの海食崖が海岸線に沿って形成されていた。以下では当時の現地海岸状況を示す写真をもとに海岸の変遷について調べてみる。江井ヶ島地先の1953年の状況が写真-2.1である。海食崖が形成されるとともに家屋の基礎が破壊され、家屋が倒壊している。沖合にはクシの歯状の形状をもった小規模な離岸堤が直線状に設置されているが、崖侵食の防止効果はほとんどない。この地区の海食崖を西向きに望んだのが写真-2.2である。前方は



写真-2.1 江井ヶ島地先の東側の海岸状況 (1953年)



写真-2.2 江井ヶ島港方向を望む海岸状況 (1953年)

江井ヶ島港であり、また写真上部には倒壊した家屋の残骸を見ることができる。写真-2.3は1955年頃の東播海岸の状況である。海食崖の状況は写真-2.2の場合とよく似ている。また、この段階では海食崖の基部には前浜が広がっていたことが見てとれる。その後、約20年が経過した1977年の海岸状況が写真-2.4である。海食崖に沿って直立護岸と根固工が設置された。こうした対策により海食崖の後退は止められたが、写真-2.1~2.3と比較すると崖基部の海浜も同時に失われてしまったことが分かる。このため侵食対策上は効果的であったものの、汀線へのアクセスや良好な海

岸景観の維持の点より見るといささか問題が残された。こうした状況は東播海岸の他の地先においても似た状況にあった。そこで1983年以降、松江地区を初めとして、東播海岸西部工区の藤江、谷八木、八木、江井ヶ島地区、播磨工区の西島、魚住地区でも養浜が実施されるようになった(写真-2.5)。松江地区、藤江地区、江井ヶ島地区では細砂による養浜が実施されているが、比較的海底勾配の急な西島、魚住地区では、養浜工の安定性を高めるため礫養浜が実施されている。

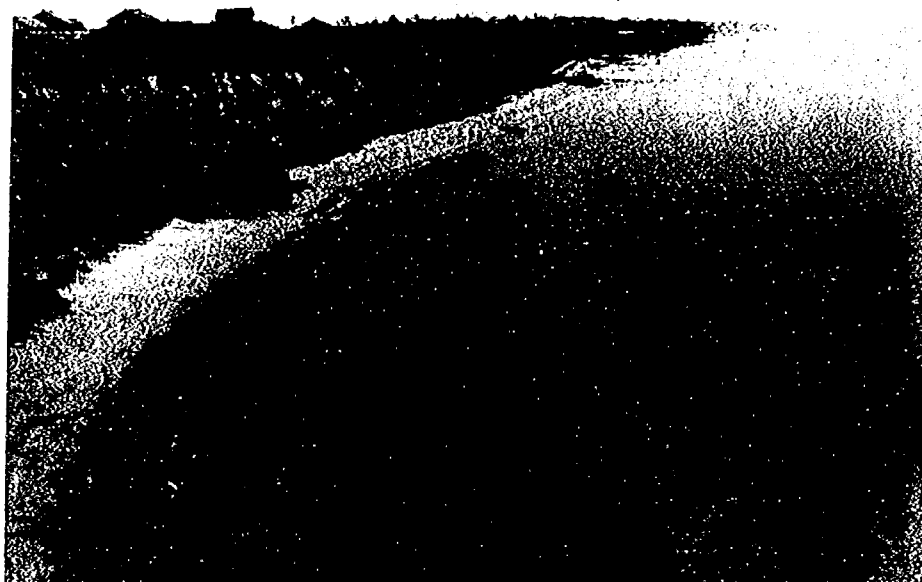


写真-2.3 海岸護岸の施工前の状況 (1955年頃)

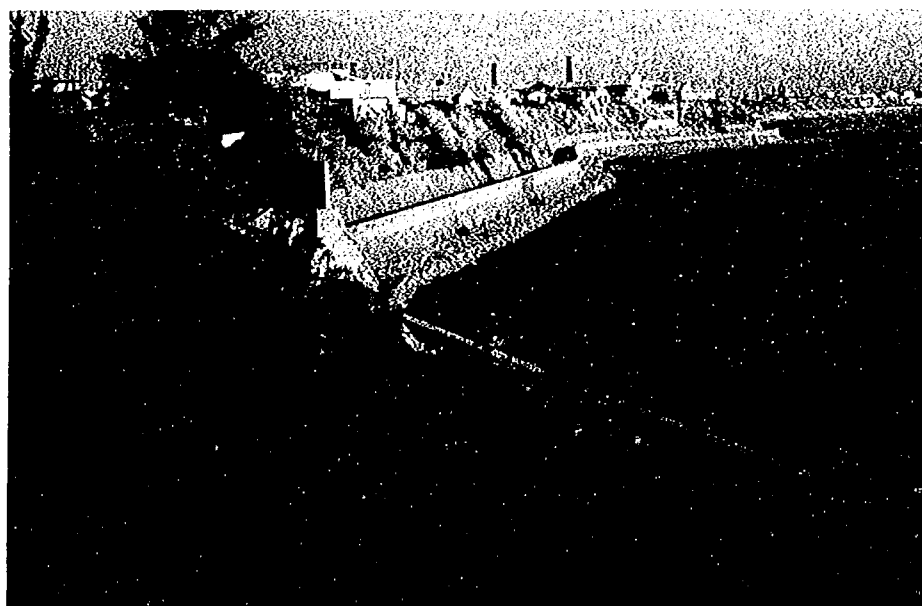


写真-2.4 海岸護岸の施工後の状況 (1977年12月)



写真-2.5 東播海岸西部の海岸状況

第3章 松江地区における養浜

3.1 養浜工の概要

松江地区では1982年より養浜工が施工されてきた(門松ほか, 1990)。養浜工の施工範囲は林崎漁港防波堤の西方に位置する突堤群に囲まれた6区域であり, その平面配置は図-3.1に示す通りである。養浜工の設計断面に関しては, 計画潮位, 計画波浪に対する波のうちあげ高がT.P.5 mの既設護岸の天端高を越えないことを条件とし, 建設省土木研究所で行われた水

理模型実験(宇多・山本, 1983)より海浜幅25 m, 海浜高さT.P.2.5 m, 前浜勾配1/10の諸元が求められた。また, 養浜工の両側には砂の流出防止のため捨石による不透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, 突堤の天端高はT.P.2.5 mであり, 180 mの間隔で設置されている。

養浜材は広島県忠の海産の海砂を用いており, 中央粒径は0.88~1.1 mmである。施工方法としては, バージアンローダー船により海上から投入された養浜材がブルドーザー, 砂撒船で敷き均された。養浜砂の投入は表-3.1に示すように段階的に行われ, 1986年

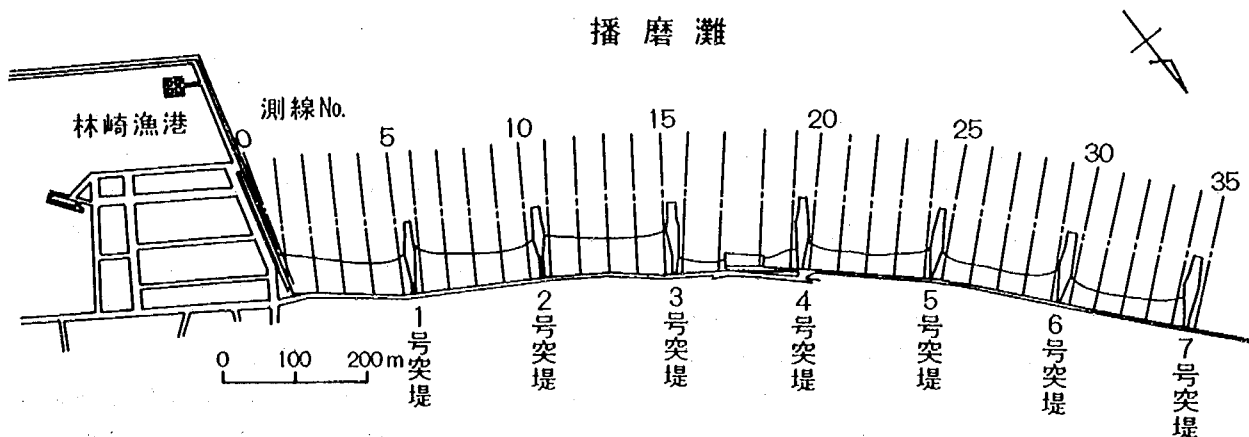


図-3.1 松江地区における養浜区域

表-3.1 松江地区における養浜土砂量

(m³)

投入地点 年	林崎漁港 ～ ①号突堤	①号突堤 ～ ②号突堤	②号突堤 ～ ③号突堤	④号突堤 ～ ⑤号突堤	⑤号突堤 ～ ⑥号突堤	⑥号突堤 ～ ⑦号突堤
1982		10,900				
1983		9,060			7,820	
1984		4,830	9,500	9,820		8,890
1985	10,990					
1986			14,750			
1987					14,860	13,910
1988				14,700		
計	10,990	24,790	24,250	24,520	22,680	22,800

には全ての区間で養浜工が完成している。その後、養浜工は波による変形は生じるものの安定していたが、1991年に林崎漁港防波堤に沿って新たに養浜工を造成するため、林崎漁港の西端の防波堤の基部に突堤が建設され、これに伴いかなり著しい海浜変形が生じた。

3.2 養浜後の海浜変形

この地区では、1982年以降、図-3.1に示す測線に沿って深浅測量が繰り返し行われきた。測線間隔は25m、測線数は36本である。1,2号突堤間の養浜工は1984年9月に完成しており、それ以降は波の作用のみによる海浜変形が見られる。そこで、深浅測量結果をもとにこの区間について1984年10月～1986年2月の海浜変形特性をとりまとめた。

(1) 汀線変化

1,2号突堤間の1984年10月～1986年2月の汀線変化を図-3.2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号突堤の西側隣接部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。1985年1月から1985年6月の間ではNo.6～No.8で汀線が後退、No.8～No.10で汀線が前進し、1984年～1985年の変化と逆傾向となった。その後、1985年6月～1986年2月の間には再び1984年10月～1985年1月と同様な変化が生じた。

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-3.3となる。突堤間に挟まれた養浜区間において、中央より東側と西側とは逆モードの汀線変化が見られ、それらが季節的に変動している。この原因としては、図-2.3に示したように、冬期にはWまたはWSWの風が卓越するのに対し、夏期にはSE方向の風が発達することがあげられる。そこで、江井ヶ島で観測されたデータに基づき、波向が風向と等しいと仮定し、観測された有義波高・周期および海岸線への法線方向に対する波の入射角より、波のエネルギーフラックス(F)の沿岸方向成分を求め、図-3.3に併せて示した。ここに、実線は西向き、破線は東向きのエネルギーフラックスを示す。全体的には冬期風浪による波浪が卓越するために東向き成分が大きいが、夏期には西向き成分もかなり大きくなる。汀線変化と対応させると、東向きのエネルギーフラックスの卓越により東側にある測線No.6,7で堆積が生じ、No.9,10では侵食が生じていることが明らかである。西向きのエネルギーフラックスの卓越する場合はこの逆である。以上のように、当海岸の海浜は、波の入射方向が季節的に変化するために、それに応答していることが見出された。汀線のこの種の季節的な変動は、霞ヶ浦(宇多ほか, 1987)や鹿島灘沿岸(住谷ほか, 1988)などでも見出されており、また宇多・坂野(1989)は実験・

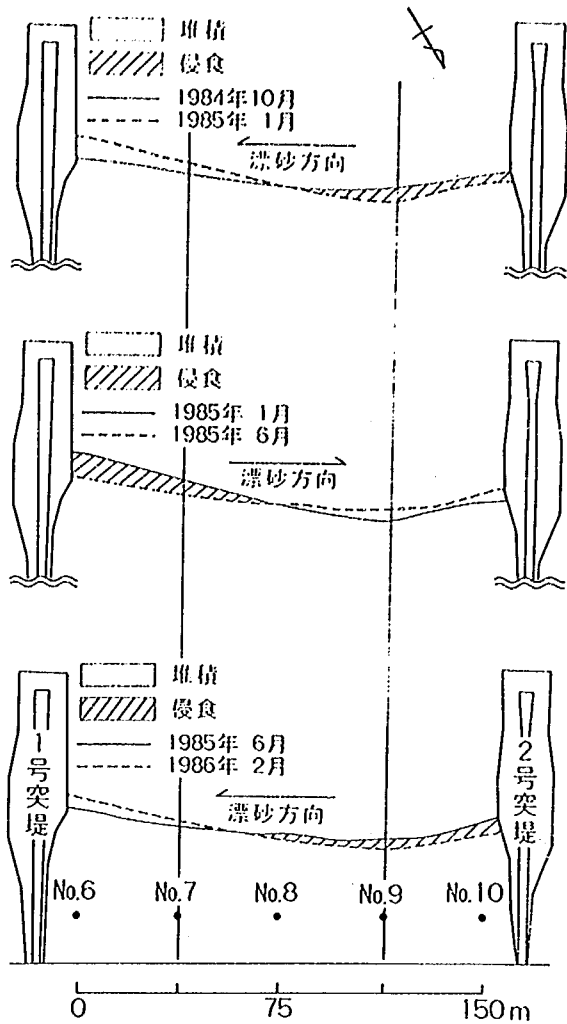


図-3.2 汀線の季節的变化

理論の両面より検討している。これらの点より、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平面的な海岸変形について調べてみる。代表時期としては、養浜直後の1984年10月と、養浜より約3年半経過後の1988年2月を選ぶ。深浅図をそれぞれ図-3.4, 3.5に示す。ここに、水深の基準面はT.P.0 mとする。図-3.4は夏期のSE方向の風によって発達した入射波の作用を受けた後の地形、図-3.5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である。両者を比較すると、図-3.5では測線No.6, 7付近の-1.0 m~-1.5 mの等深線が全体に前進し、No.9付近で後退していること、そしてこれらの等深線は互いにはほぼ平行移動していることがわかる。これらの点は、この地形変化が東向きの沿岸漂砂によって生じたもので

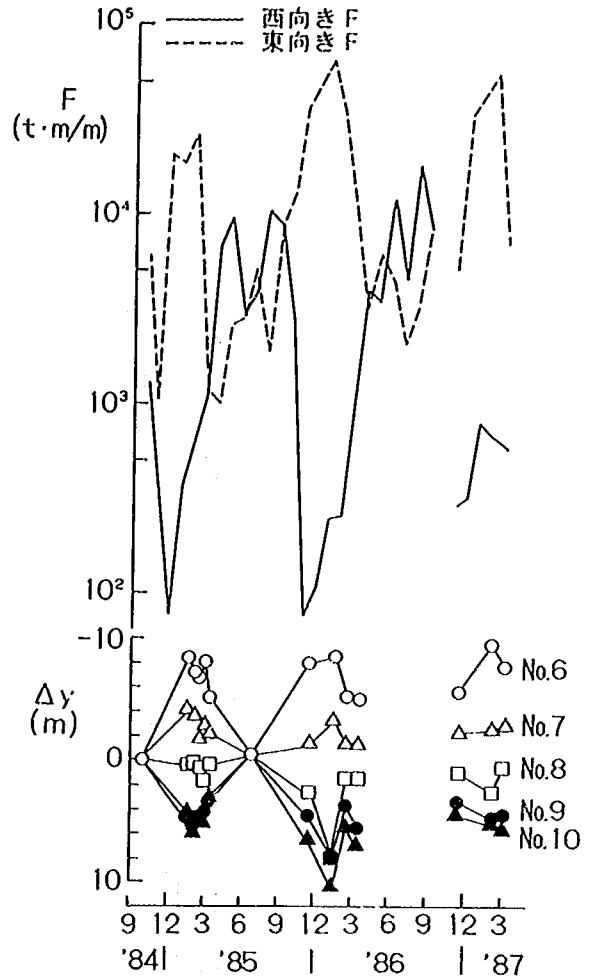


図-3.3 汀線変化と沿岸方向エネルギーフラックスの関係

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やや東側となる点など、宇多・坂野(1989)の実験結果と良い対応を示している。また、図-3.4, 3.5を比較すると、突堤沖合の-2.5 m以深の等深線には変化が見られない。このことは波による海岸変形が-2.5 m以浅で卓越することを示している。

(3) 海岸断面形の変化

深浅データをもとに代表断面形の経年変化を調べてみる。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、それらの中間にある測線No.8を選ぶ。以下、測線No.6, No.9の海岸断面形の変化を図-3.6, 3.7に示す。

1984年10月時点の海岸断面形を基準と考えたとき、図-3.6に示す測線No.6では、ネットの意味で断面内の土砂量が増加している。土砂堆積の陸側限界は

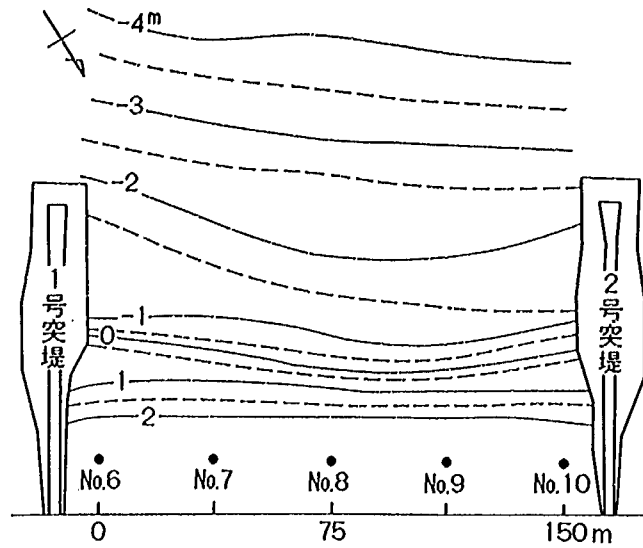


図-3.4 深浅図 (1984年10月測量)

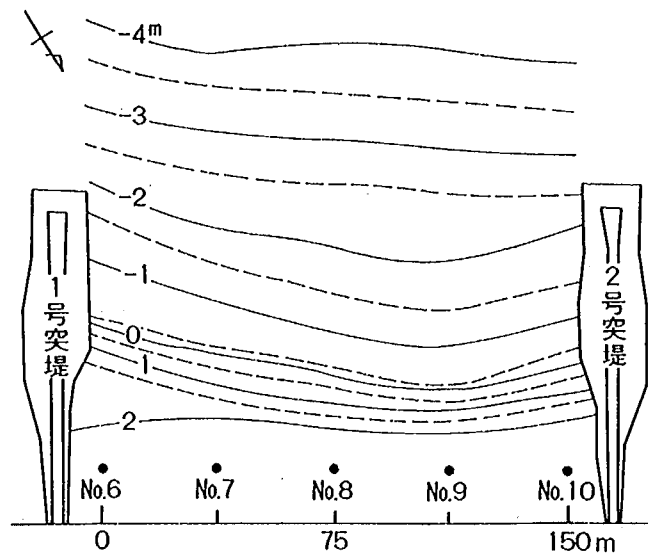


図-3.5 深浅図 (1988年12月測量)

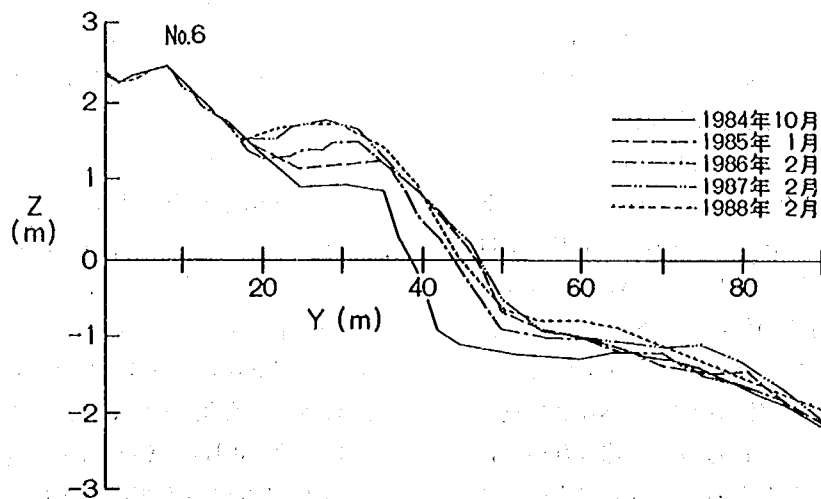


図-3.6 海浜断面形の経時変化 (測線No.6)

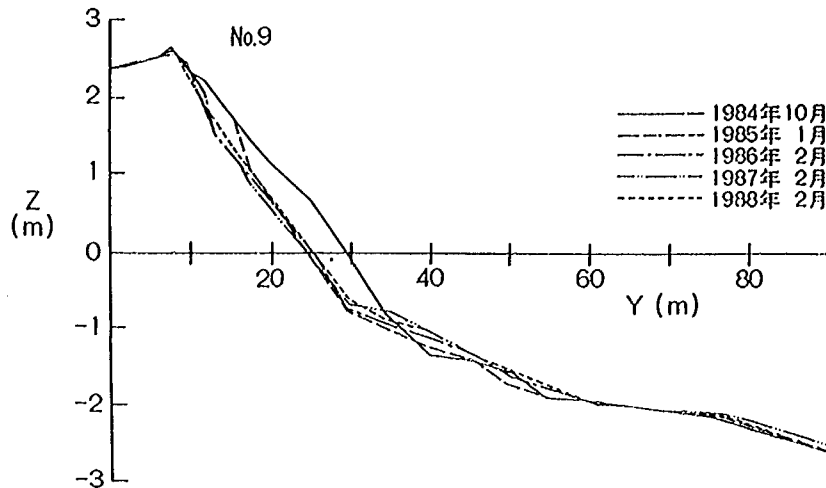


図-3.7 海浜断面形の経時変化 (測線No.9)

表-3.2 前浜勾配の一覧

測線 No.	測量年月日			
	1985.1	1986.2	1987.2	1988.2
No. 6	1/9	1/7	1/9	1/6
No. 9	1/6	1/7	1/7	1/7

初期斜面と $Z=1.5\text{ m}$ とが交差する点にあり、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1月に 1.2 m 、1986年2月に 1.5 m 、1987年2月に 1.8 m と、経年的に高まりを示し、1987年2月にはほぼ安定状態に達した。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 (T.P. $0.0\sim 1.0\text{ m}$ の平均勾配として定義) は表-3.2 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 $-2.0\text{ m}\sim 1.5\text{ m}$ の範囲で地形変化が生じ、しかも断面内のいずれの位置でも堆積が見られ、侵食域が存在しないことから、他の断面で削り取られた土砂がこの測線付近に堆積したものであることがわかる。

図-3.7 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が高くなり、1988 年にはほぼ平坦面上にまで侵食域が広がった。堆積域の No.6 ではバームを形成しつつ土砂が堆積し、最終的にバーム高はほぼ 1.8 m で一定値を持つに至ったが、侵食域の場合は侵食の限界

高さが時間経過とともにいくらかでも高くなり、養浜時の上部平坦面まで達した。そして侵食限界点は高さでは規定されず、むしろ一定の浜崖勾配を保ちつつ汀線が後退することが明らかである。これらは堆積・侵食が生ずる場合の断面変化の典型的な相違点である。一方、No.6 断面と同様、No.9 断面においても前浜勾配は一定である (表-3.2 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 であり、それより沖合での地形変化はほぼ無視できる。

3.3 突堤による遮蔽域形成後の海浜変形

(1) 平面深浅図の比較

1990 年～1991 年には、林崎漁港防波堤の基部において海岸線に対して斜め方向に突堤が伸ばされたが、この突堤はかなり大きな遮蔽効果を持っていたため背後の汀線に著しい変化が表われた。以下ではこの点に関して分析する。1989 年 9 月の深浅図を図-3.8 に、また海岸の全体状況を写真-3.1 に示す。突堤①、②は林崎漁港の防波堤基部よりそれぞれ 180 m 、 360 m 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 60 m 離れた地点において汀線が最も凹んでおり、そしてこれら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

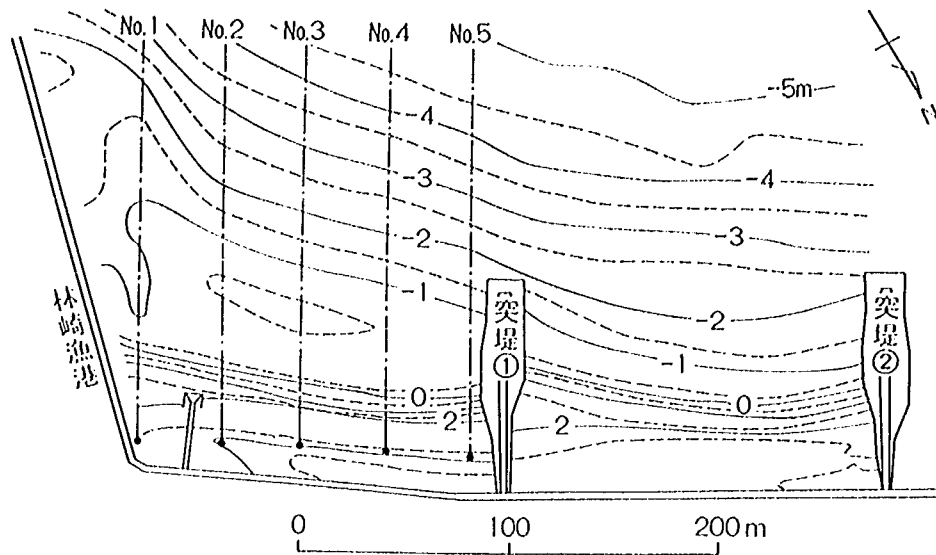


図-3.8 松江地区の深浅図 (1989年9月)



写真-3.1 松江地区の突堤施工前の状況 (1989年)

てなだらかに湾曲している。総じて突堤間の中心線に関して汀線は左右非対称である。これは、既に門松ほか(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 $-0.5\text{ m} \sim 1.5\text{ m}$ 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 -0.5 m 以深の等深線の間隔は非常に広い。このことは、 $-0.5\text{ m} \sim 1.5\text{ m}$ 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 2 m の等高線は中央より西半分では汀線とほぼ平行であるが、東半分では汀線と離れるとともに、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。以上の点は、海浜中央より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 1.5 m 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わしている。一方、林崎漁港の防波堤に沿う沖合部の地形では、 -1 m 、 -1.5 m 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-3.8の状況より約1年が経過した1990年11月の海浜状況を図-3.9および写真-3.2に示す。突堤

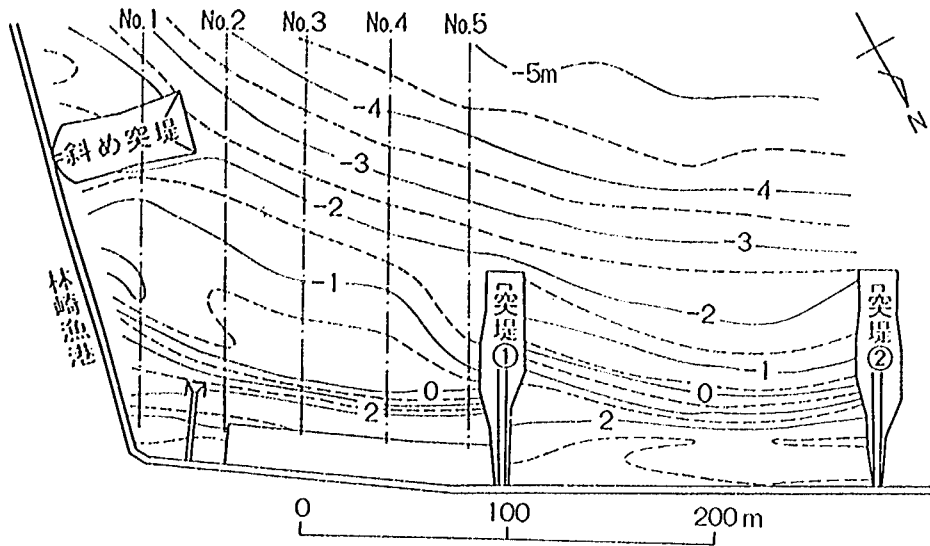


図-3.9 松江地区の深浅図 (1990年11月)

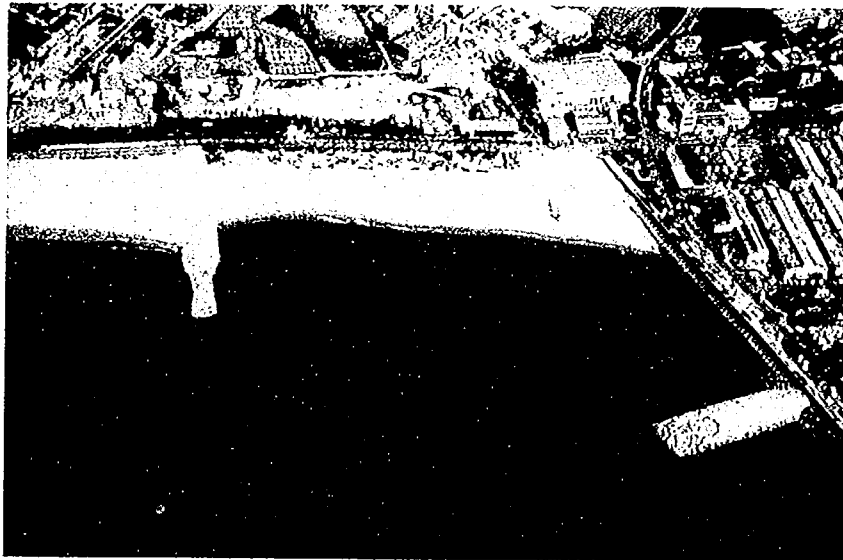


写真-3.2 突堤長54mの場合の海岸状況 (1990年)

①、②の間では有意な変化は見られないが、1990年11月までに長さ54mの不透過突堤が林崎漁港の防波堤の基部より150mの位置に延ばされた。図-3.8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、図-3.9では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-3.9の-0.5m、-1.0mの等深線は、規模は小さくなったものの図-3.8の-1m、-1.5mの等深線と同様、防波堤の隣接域で凹状を示す。ただし図-3.8ではその方向が防波堤とほぼ平行であったのに対し、

図-3.9では大きく斜めに傾いた。このことは、突堤の建設以前には防波堤に沿った離岸流が発達していたが、突堤の建設後、突堤と汀線の上に時計回りの循環流が形成されたことに対応すると考えられる。また、図-3.9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-3.9に示した海浜状況より5カ月後の海浜状況を図-3.10および写真-3.3に示す。突堤等の構造物の規模が同一であるため、図-3.9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。

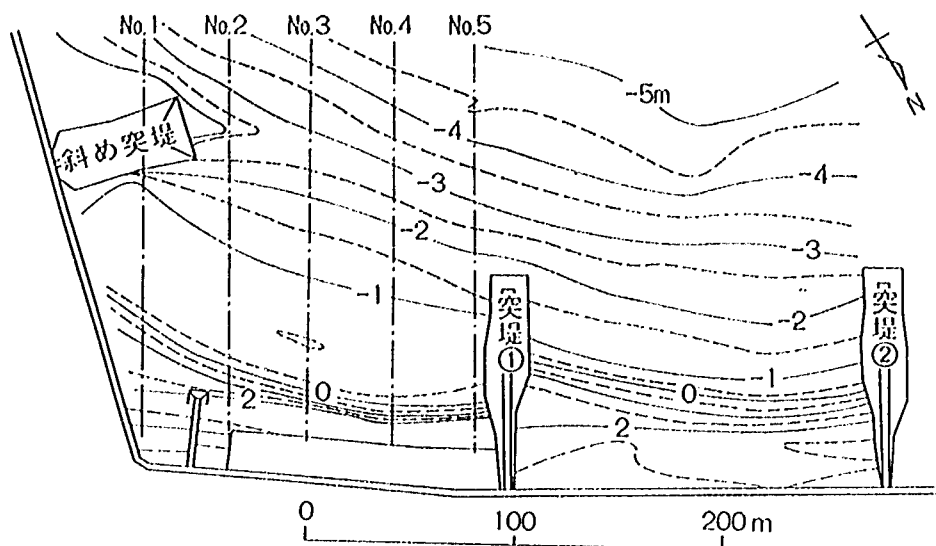


図-3.10 松江地区の深浅図 (1991年3月)



写真-3.3 松江地区の海岸状況 (1991年3月)

その後1991年11月には突堤①は100mまで延ばされた。突堤延長後の1991年11月の海浜状況が図-3.11および写真-3.4である。突堤延長前の図-3.10と比較すると、突堤の延長とともに防波堤と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-3.12である。図-3.11に示した特徴がさらに顕著となり、前進した汀線は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、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-3.8~3.12に示したように、この地先では突堤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-3.12に示した測線において、顕著な堆積を示す断面として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-3.13に示す。1989年9月より

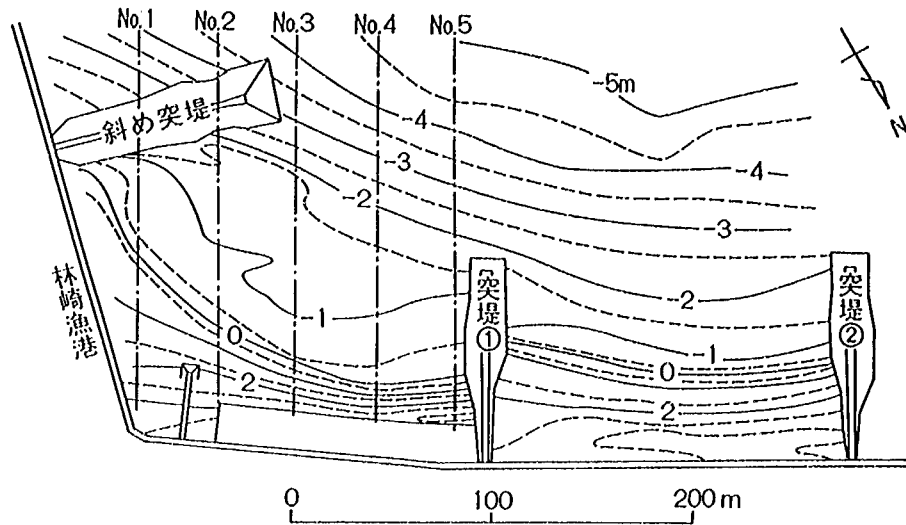


図-3.11 松江地区の深浅図 (1991年11月)

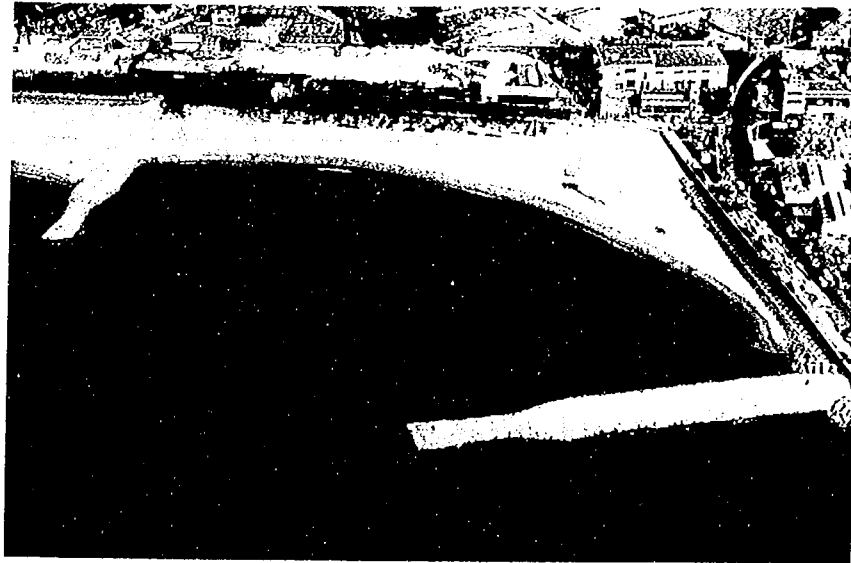


写真-3.4 突堤長100mの場合の海岸状況 (1991年11月)

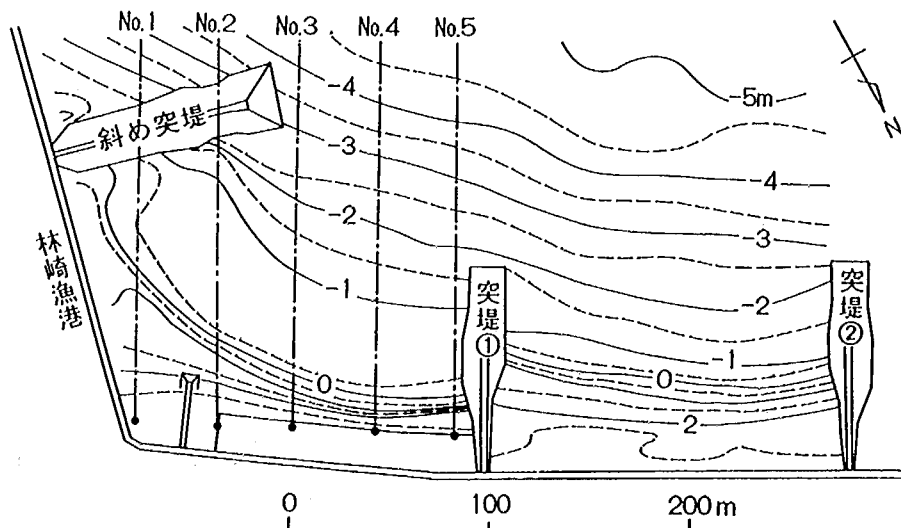


図-3.12 松江地区の深浅図 (1992年3月)

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が沖方向へと前進した。図-3.13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、突堤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-3.12との比較によれば明らかなように、No.1の断面内での岸向き漂砂により土砂が運ばれて堆積したのではなく、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沿岸漂砂により運ばれ

た土砂が突堤近傍に堆積したことを意味すると考えられる。

同様にしてNo.3の断面変化を図-3.14に示す。No.3は図-3.8~3.12の比較によれば、汀線はわずかに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2.5 m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-1.5 mにある。同様に図-3.15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

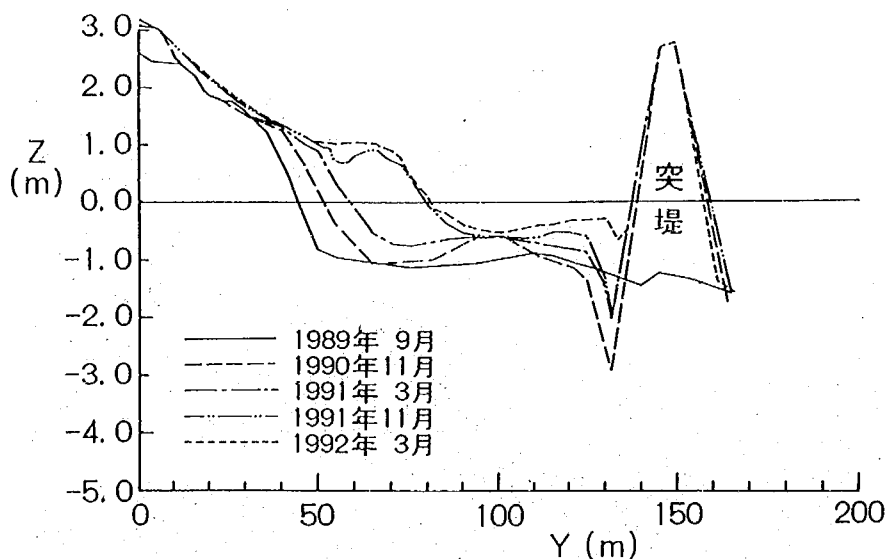


図-3.13 測線No.1の断面図

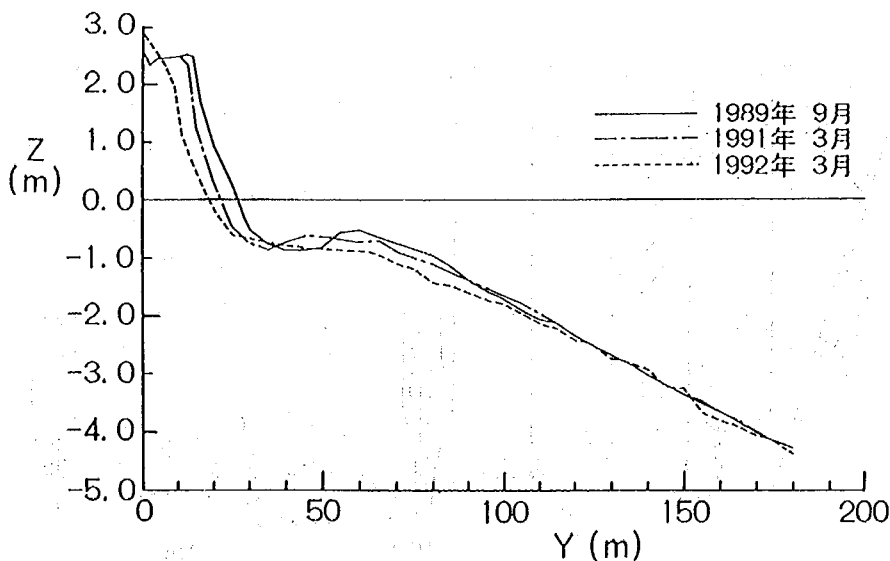


図-3.14 測線No.3の断面図

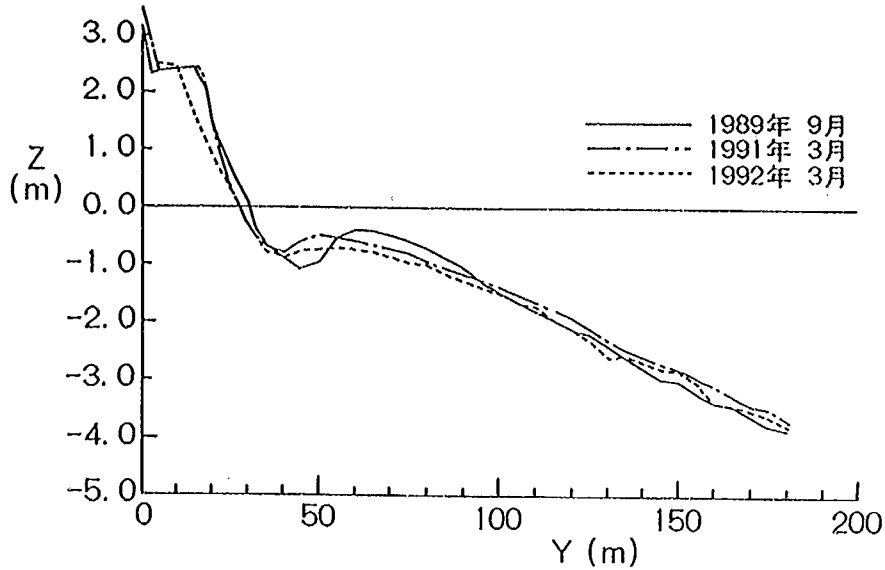


図-3.15 測線No.4の断面図

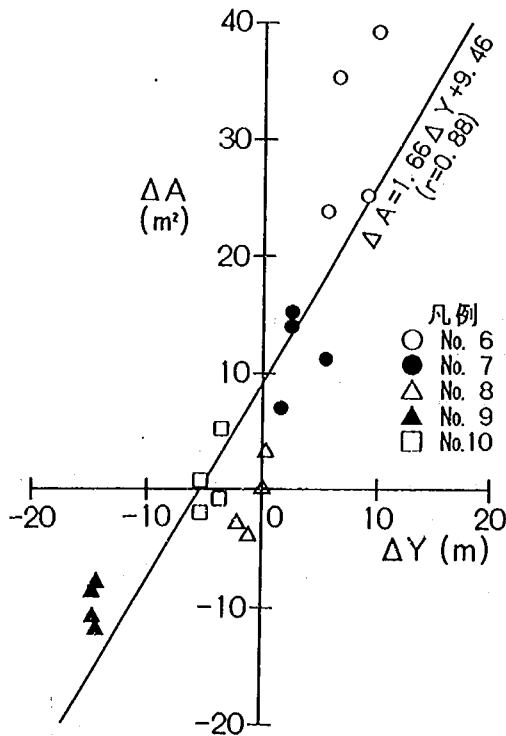


図-3.16 汀線変化量と断面積変化量の関係

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。

3.4 漂砂の移動高

海浜断面データをもとに、1984年を基準として斜め

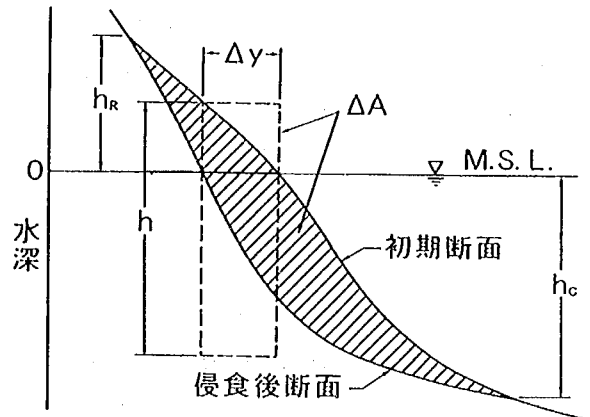


図-3.17 移動高の定義図

突堤の建設以前の期間において汀線変化量 (ΔY) と断面積の変化量 (ΔA) とを求め、両者の相関関係を調べると図-3.16となる。ここに断面変化量の計算範囲は基準点より沖方向に 90 m までとした。図-3.16によれば、 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。

$$\Delta A = 1.66 \Delta Y + 9.46 \quad (3.1)$$

ここに、 ΔA と ΔY の単位は m^3 と m である。移動高を図-3.17で定義すると、 ΔA と ΔY の回帰係数は漂砂の移動高に等しいから、この場合移動高は $h=1.66$ 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 $h=3.3$ m、また淡路島の北端の松帆崎では $h=2.0$ mと得られている(宇多, 1986)。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、作用波高が低いため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。

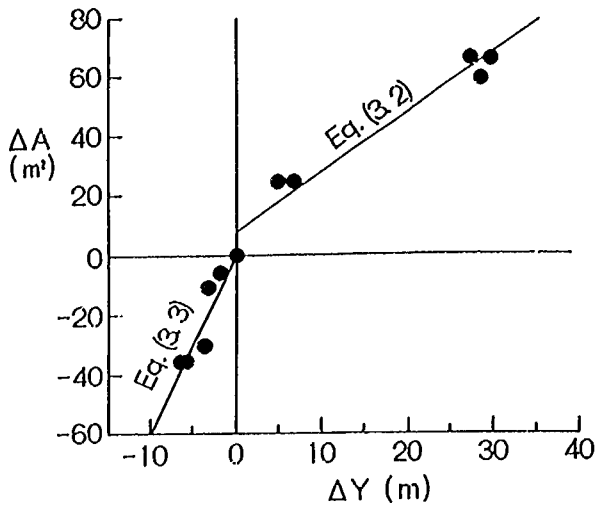


図-3.18 汀線変化量と断面積変化量の関係（突堤建設後）

さらに、林崎漁港防波堤の基部に斜め突堤が建設された後の海浜変形についても漂砂の移動高を求めた。この場合、堆積域と侵食域で異なった特性を示すので、それぞれについて移動高を求めた。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ると図-3.18となる。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 ($\Delta Y \geq 0$)

$$\Delta A = 1.95 \Delta Y + 8.29 \quad (3.2)$$

侵食域 ($\Delta Y < 0$)

$$\Delta A = 6.34 \Delta Y + 2.28 \quad (3.3)$$

したがって、移動高は堆積域では1.95 m、侵食域では6.34 mとなる。堆積域での移動高は斜め突堤の建設以前における移動高(1.66 m)に近いが、侵食域での値は約3倍も大きな値となった。これは、図-3.15に典型的なように断面変形が前浜付近だけでなく、沖合でもかなり大きかったことによる。

第4章 谷八木地区における養浜

4.1 養浜工の概要

谷八木地区は、第3章で述べた松江地区の西2.5 kmに位置する。ここでは既に離岸堤が設置されていたが、消波効果が保全目標に達していなかったため、離岸堤の遮蔽域と一部重複した範囲で養浜が実施され、養浜工は1989年10月に完了した(図-4.1)。養浜区域の東側には離岸堤があり、そこでは波が著しく遮蔽されるから、既設の海岸護岸の法線と平行な汀線は大きく変形することが予想された。

4.2 養浜後の海浜変形

(1) 深浅図の判読

谷八木地区の汀線変化を図-4.2に示す。1989年10月より1990年3月までの間に、No5より西側の汀線が大きく後退し、東側では大きく前進した。しかし、1990年3月と1991年3月の比較では両者の差は非常に小さい。このことは、著しい地形変化は養浜後6ヶ月で生じてしまい、その後の変形は少なかったことを表わしている。したがって、波による地形変化を調べる意味では養浜直後の1989年10月と1990年3月の2枚の

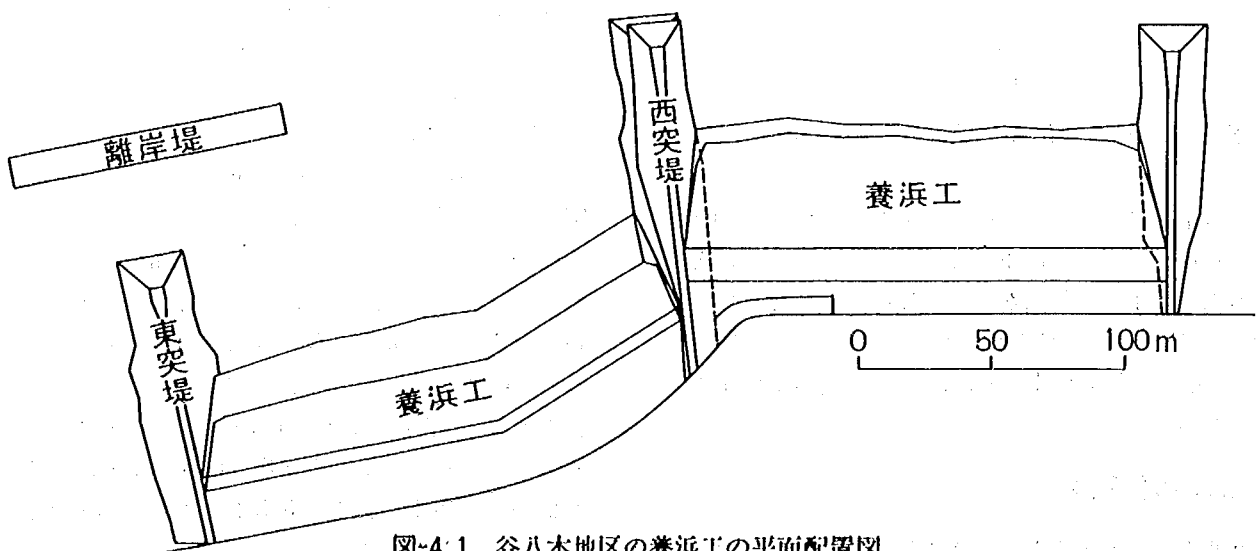


図-4.1 谷八木地区の養浜工の平面配置図

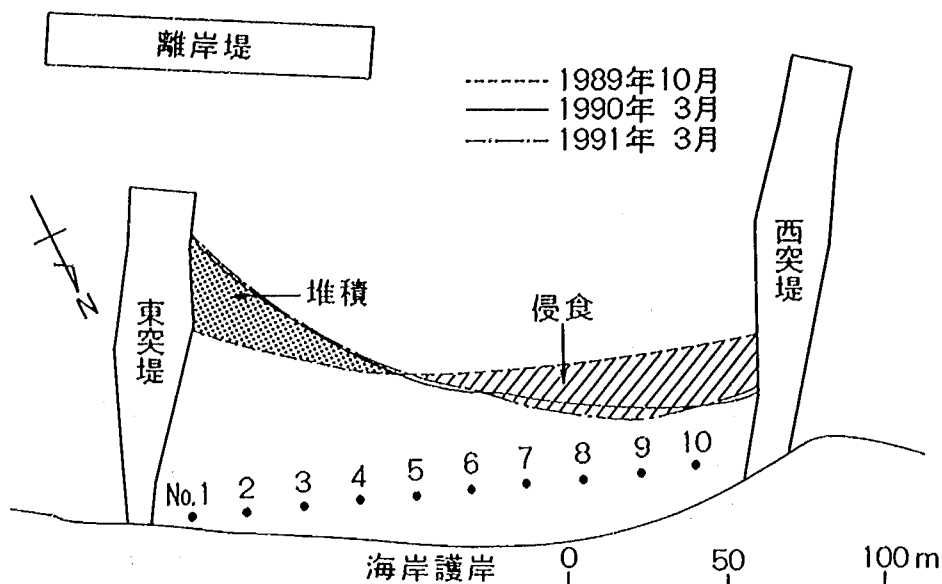


図-4.2 汀線変化図

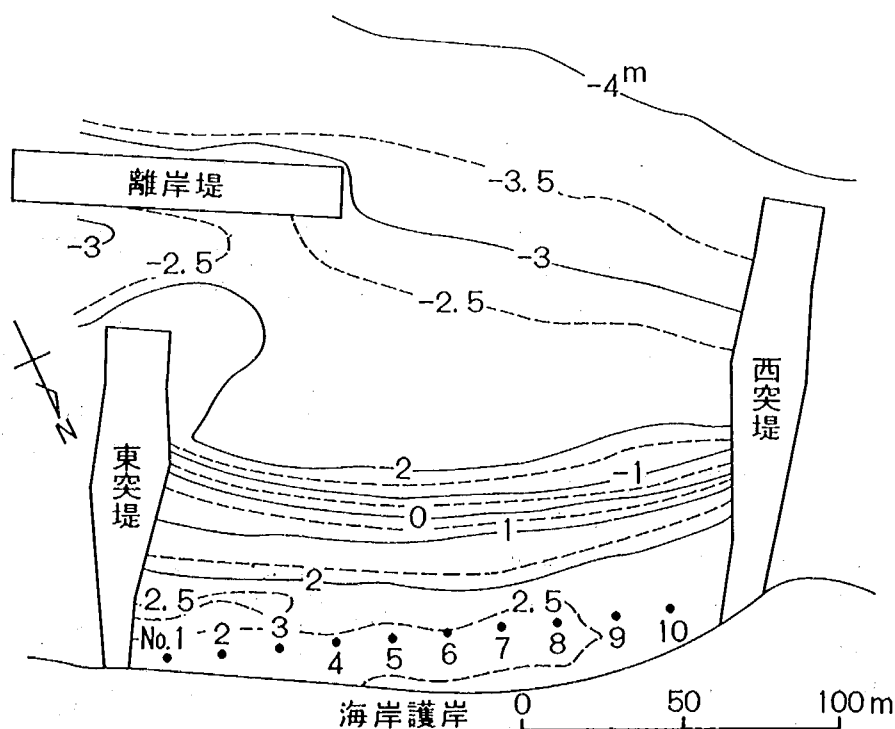


図-4.3 深浅図 (1989年10月)

深浅図を比較すればよいことになる。そこで、以下ではこれら2時期の深浅データをもとに分析を試みた。

1989年10月および1990年3月の深浅図をそれぞれ図-4.3, 4.4に示す。養浜直後の1989年10月時点では、突堤の間において海岸護岸の法線とほぼ平行であった汀線が、冬期風浪の作用を受けた後の1990年3

月には海浜のほぼ中央のNo5より西側では大きく凹み、東側では逆に大きく突出した。そして、汀線の後退域では陸上の $-1.5\text{ m} \sim -2.0\text{ m}$ の範囲の等深線が、そして汀線の前進域では $-1.5\text{ m} \sim -1.0\text{ m}$ の間の等深線がほぼ平行に移動したことが分かる。以上の等深線の移動は、離岸堤と西突堤の間において南西方向から進

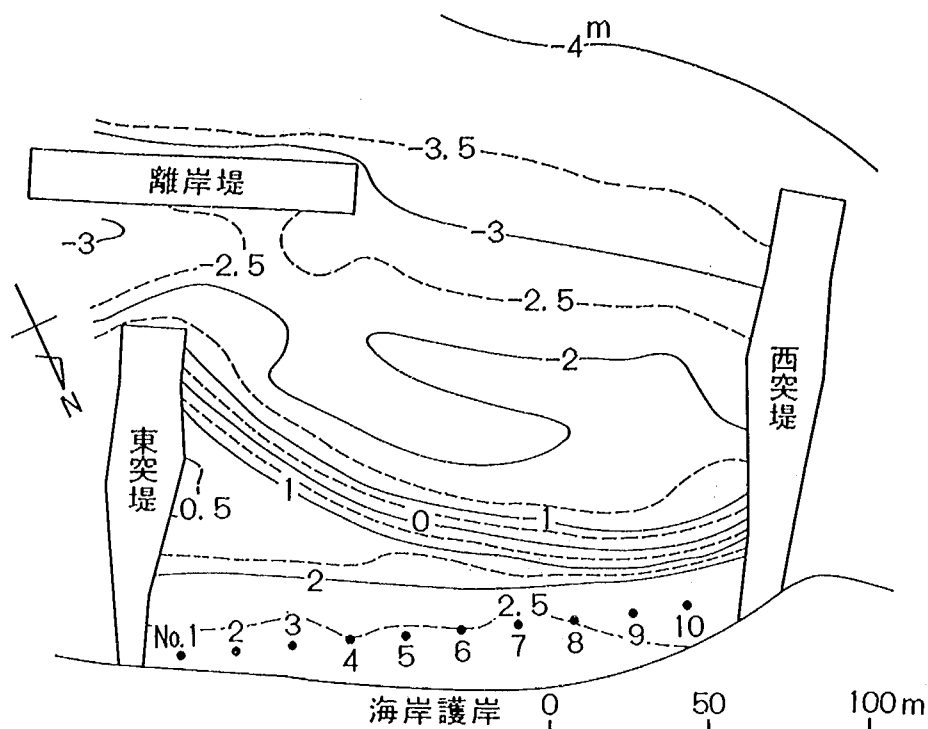


図-4.4 深浅図 (1990年 3月)

入する入射波により東向きの沿岸漂砂が生じ、西側半分では侵食が、東側半分では堆積が生じたことを表わしている。また、等深線の著しい変動が $-1.5\text{ m} \sim -2\text{ m}$ の間で生じている点は、この海岸での沿岸漂砂の活発な範囲がほぼこの間にあること、そして、沖合での波による地形変化の限界水深がほぼ -1.5 m にあることを示している。

(2) 断面変化

深浅図の比較のみでは地形変化状況が理解しにくいので、以下では断面図の比較を行ってみる。図-4.2の汀線変化図によると、汀線が最も後退した測線はNo.10、最も前進したのはNo.1、そして前進も後退もしていない測線がNo.5である。これらの断面変化をまとめると図-4.5となる。No.10では初期に $1/7.7$ 勾配で整形された前浜が大きく削られ、浜崖ができた。そして前浜勾配は $1/6.3$ と急になった。さらに地形変化はほぼ -1.5 m 以浅でのみ生じており、前浜の侵食土砂量に匹敵するような沖合での土砂堆積はどこにも見られない。侵食・堆積域の中間に位置するNo.5では断面変化はほとんど生じておらず、養浜時の形状がそのまま残されている。前浜勾配は $1/7.7$ で変わりがない。堆積域にあるNo.1ではNo.10の場合とちょうど逆に、ほぼ -1.5 m 以浅に砂が堆積し、前浜が広がった。この断面では明らかに土砂量は純増している。また前浜勾配は $1/$

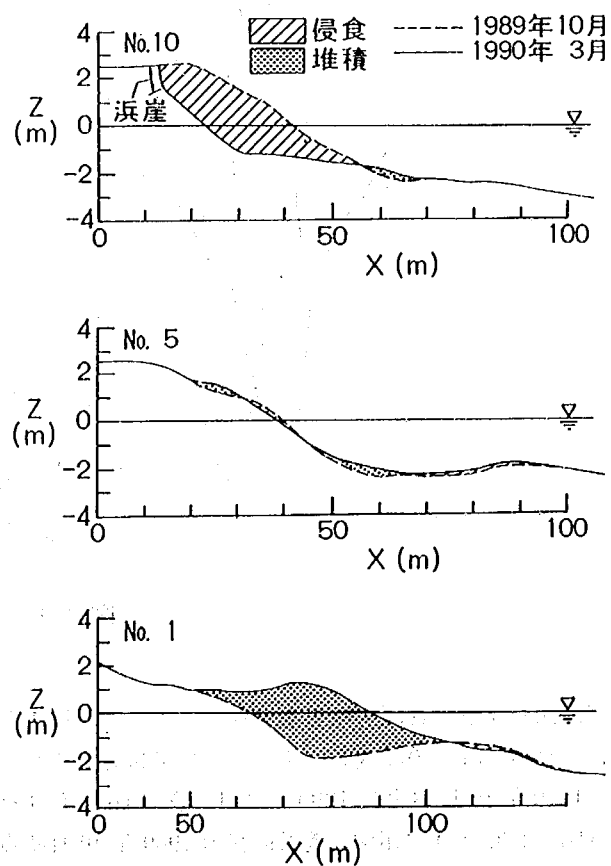


図-4.5 断面変化図

8.3 であって変わらない。以上の断面図よりこの海浜では沿岸漂砂がNo5 を通過して東側へ移動したことが確認される。そして沿岸漂砂が通過するのみのNo5 では初期断面形がほぼ保存されたが、侵食されたNo10 では明らかに前浜勾配が急になった。

4.3 漂砂の移動高

図-4.5 に示した断面変化図によれば、断面変化量 (ΔA) と汀線変化量 (ΔY) を読み取ることができる。測線はNo1 よりNo10 まで 10 本あるのでそれぞれについて 1989 年 10 月より 1990 年 3 月までの変化量を算出し図示すると図-4.6 となる。両変数の間には相関係数 $R=0.98$ で次式が成立する。

$$\Delta A = 2.7 \Delta Y + 1.23 \quad (4.1)$$

ここに、 ΔA 、 ΔY の単位はそれぞれ m^2 と m である。 ΔA と ΔY の回帰係数は漂砂の移動高に等しいから、この地区の漂砂の移動高は $2.7 m$ となる。

漂砂の移動高は汀線変化量を海浜断面積に換算する場合の定数に等しいので、汀線の後退域と前進域の平面積にこの値を乗ずれば、海浜の侵食・堆積土砂量に換算される。したがって、侵食土砂量は $4285 m^3$ 、堆積土砂量は $2588 m^3$ となる。ところで 1990 年 3 月の深浅図によると $-1.5 m$ の等深線が東突堤の先端を回り込んでいる。 $-1.5 m$ 以浅では漂砂が活発なことを考慮すると、この点は養浜砂の一部が東突堤先端を迂回して東側へと流出したことを表わしている。事実、侵食土砂量と堆積土砂量を比較すると堆積土砂量が $1697 m^3$ 小さく、かなり多くの土砂が東側へ流出したと思われる。この原因は東突堤の長さが短かったため、もし前浜幅を広げたい場合には、東突堤を延長してから

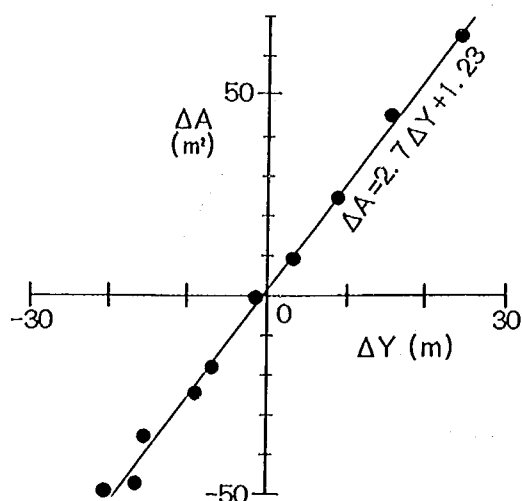


図-4.6 汀線変化量と断面積変化量の関係

追加養浜を行う必要があることを示している。

第5章 江井ヶ島地区における養浜

5.1 養浜工の概要

江井ヶ島地区では、西側を江井ヶ島港により区切られた全長 $330 m$ の区間において、堤長約 $100 m$ の突堤 2 基が造られ、その間で養浜が行われた（坪香ほか、1992）。養浜工の平面形と断面形を図-5.1 に示す。人工海浜では遊歩道が設けられ、その前面には海浜へのアクセスを考慮して緩傾斜護岸が造られた。そしてその前面には十分広い前浜が造成された。造成された海浜の高さは $T.P. + 2.5 m$ 、前浜勾配は $1/10$ であり、砂浜自体が消波工として位置付けられている。養浜に用いられたのは広島県産の海砂で、 d_{50} は $1.4 mm$ である。土砂の投入は 1988 年と 1989 年に行われ、江井ヶ島港と突堤①の間では合計 $18,410 m^3$ の土砂が、また突堤①、②の間では合計 $20,120 m^3$ の土砂が投入された。

5.2 養浜後の海浜変形

(1) 深浅図の比較による養浜後の海浜変形分析

養浜工の実施された江井ヶ島地区では、養浜前より深浅測量がくり返し行われてきているので、これらのデータを利用すれば人工海浜の波浪への応答特性を調べることができる。まず、養浜前の 1986 年 5 月の深浅図を図-5.2 に示す。江井ヶ島港と東突堤の間には $-2 \sim -1 m$ の間に広い平坦面が広がっているが、そのほぼ中央付近では $-1.5 m$ の等深線が大きく湾入し、海岸線のごく近傍まで迫っており、このため護岸前面には前浜がほとんどなく、護岸に波が直接当たる状態となっていた。これに対し江井ヶ島港の隣接部では江井ヶ島港の防波堤の背後にあるものの、SE 方向には開いているため小さなポケットビーチが形成されている。図-5.3 は養浜直後の 1989 年 10 月の海浜状況である。養浜砂の流出防止用に 2 基の不透過突堤（堤長 $100 m$ ）が建設され、その間で養浜が行われた。突堤①、②の間の汀線はほぼ直線的に延びているが、江井ヶ島港と突堤①の間の汀線は防波堤の背後で凹んだ状況を呈している。養浜前の 1986 年 5 月の深浅図（図-5.2）によれば、この付近の汀線は沖合防波堤の遮蔽域に入るため、防波堤の開口部より侵入する波に対してはほぼ安定な汀線形であった。これに対し、図-5.3 の養浜後汀線を見ると、開口部が防波堤と突堤①の間で狭めら

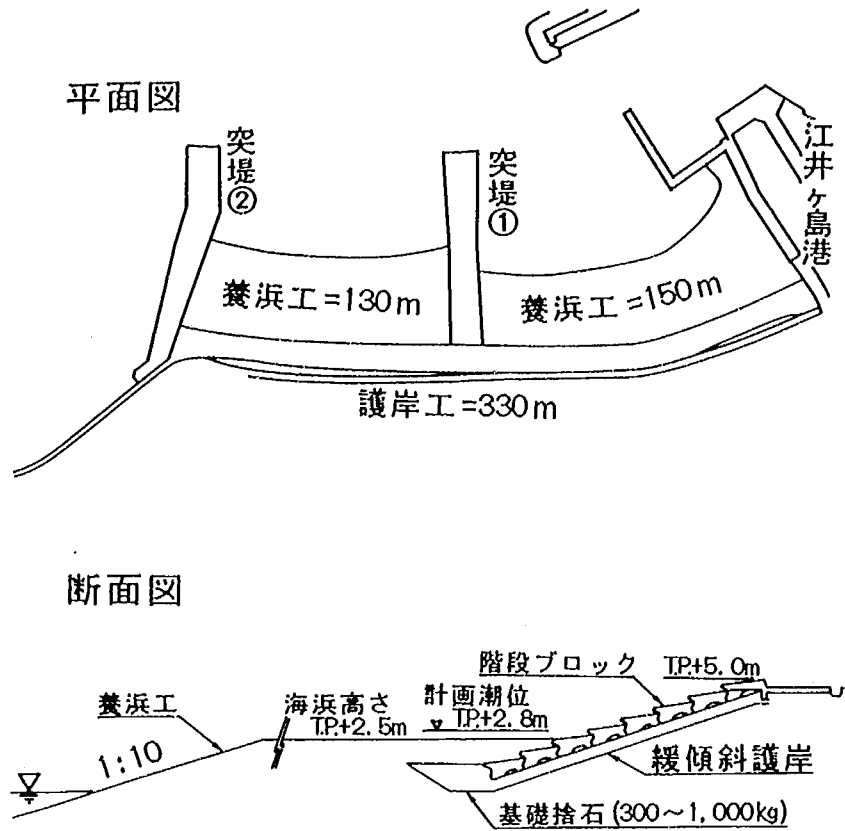


図-5.1 江井ヶ島地区の養浜工の平面図と断面図

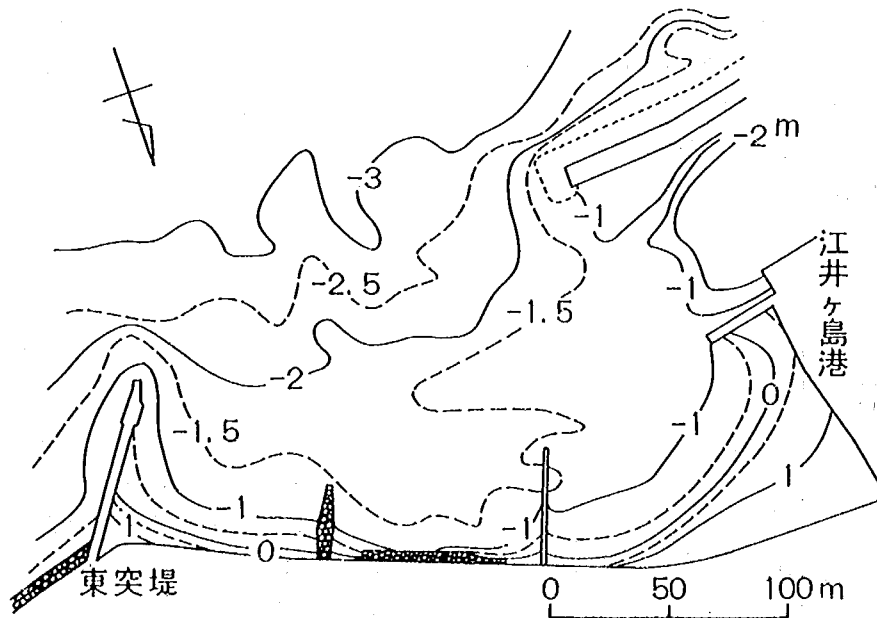


図-5.2 深浅図 (1986年5月)

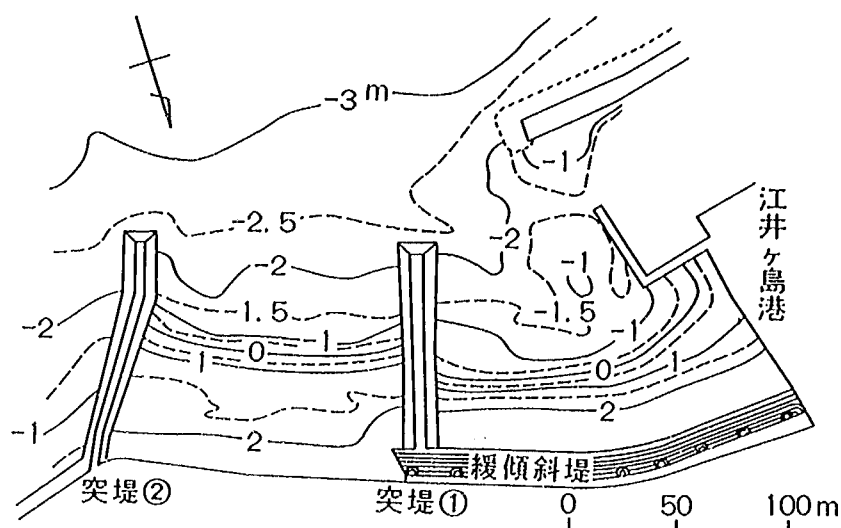


図-5.3 養浜後の海底形状 (1989年10月)

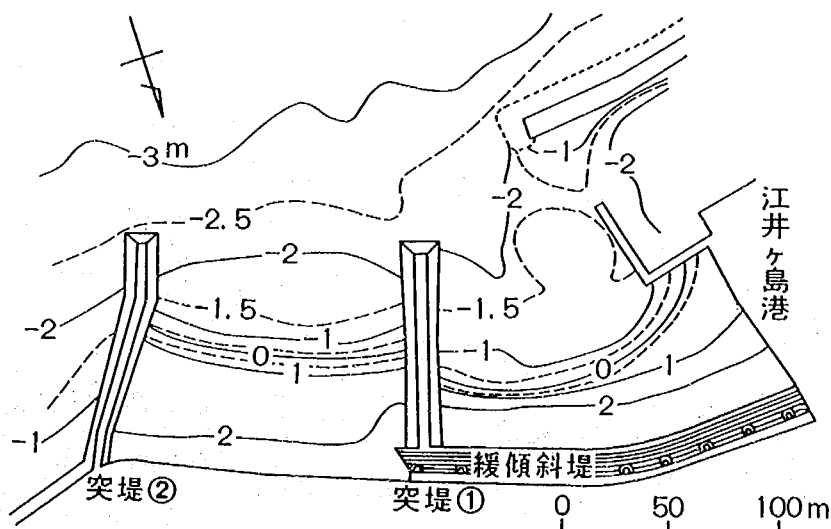


図-5.4 養浜後の海底形状 (1990年3月)

れたのに対し、養浜汀線の大部分は旧護岸線と平行に造成された。この形は、沖合防波堤と突堤①の間の狭い開口部から入射した波に対して明らかに不安定な形状となる。

図-5.3に示した状況より、冬期風浪の作用を受けた後の1990年3月の海浜状況を図-5.4に示す。突堤①、②の間の海浜には顕著な変化は見られないが、江井ヶ島港と突堤①の間では、江井ヶ島港の近傍で著しく凹状であった汀線が全体になだらかな弧状へと変化した。この地形変化は、江井ヶ島港の防波堤と突堤①の開口部からの入射波により西向きに沿岸漂砂が生じ、これによって汀線がより安定な形状となったことを示している。

養浜より約2年が経過した1990年11月の海浜状況を図-5.5である。図-5.4と比較すると、江井ヶ島港の隣接域で汀線が大きく前進したのに対し、突堤①の隣接域では汀線の後退が続き、浜崖も形成された。その結果、形成された汀線形は、防波堤と突堤①のほぼ中央より入射する波に対応したポケットビーチ形状となった。突堤①の西側では以上の変形が見られたが、突堤①、②の間の汀線はほぼ安定形状を保っていた。

1989年10月より1991年3月までの間の汀線変化をまとめると図-5.6となる。突堤①、②の間の汀線は、1989年10月～1991年3月の間でほとんど変化が見られない。これは養浜汀線の向きが卓越波浪の入射方向に対しほぼ直角であったためである。これに対し、

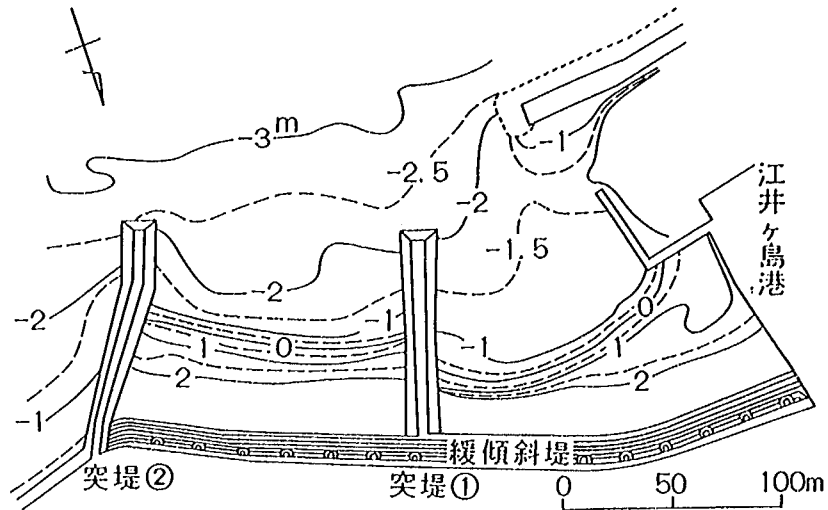


図-5.5 養浜後の海底形状 (1990年11月)

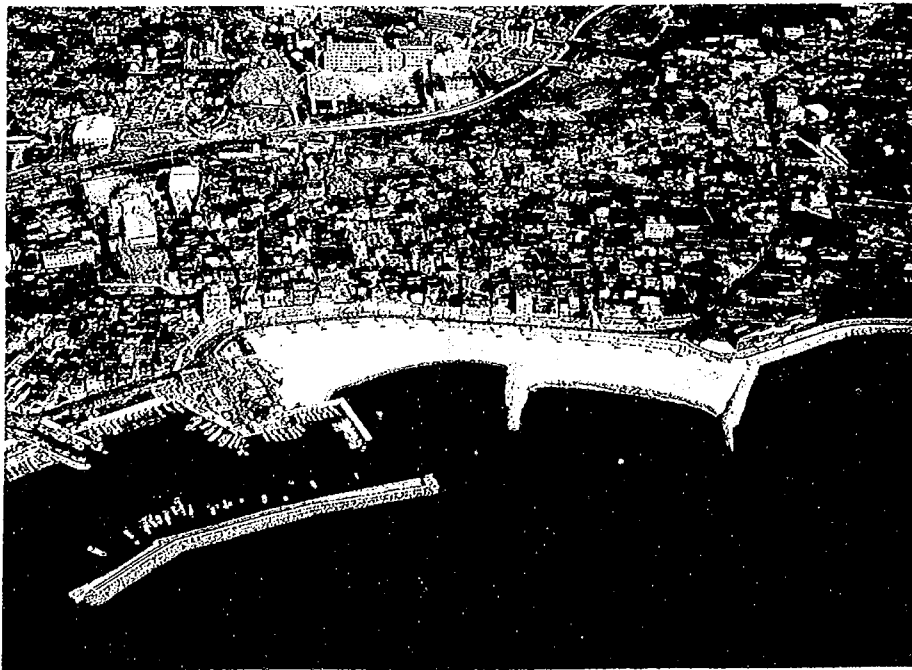


写真-5.1 江井ヶ島地先の海岸状況 (1991年)

突堤①と江井ヶ島港の間では海浜中央より東側の汀線が後退し、これと対照的に西側では汀線が前進した。このような汀線変化が生じたのは、江井ヶ島港の防波堤と突堤①の間からの侵入波に対し、養浜汀線が不安定な形状であったためである。江井ヶ島港の防波堤は卓越波に対しかかなり広い遮蔽域を形成するため、その背後では離岸堤背後の舌状砂州の発達と同様な原理で汀線が前進したものである。また、突堤①の両側の汀線位置を比較すると、1991年3月において西側の汀線は東側の汀線より18mも後退した形となっている。もしこの突堤がない場合には突堤①、②の間の汀線が大

きく後退し、砂は西側へ流出する。その意味では突堤①もそれなりの漂砂阻止効果を持っていたと言える。一方、江井ヶ島港と突堤①の間では養浜直後において突堤①の隣接域の汀線は後退し、江井ヶ島港側では次第に前進したが、1990年11月と1991年3月の汀線形の変化がわずかとなった。このことは、突堤①と江井ヶ島港の防波堤の間からの入射波に対し、汀線がほぼ安定状態に近づいたことを意味する。写真-5.1は1991年に撮影された養浜工の全景である。この段階では既に汀線はほぼ安定状態にあったから、写真-5.1はほぼ安定状態にある砂浜を表わしている。緩傾斜護岸の

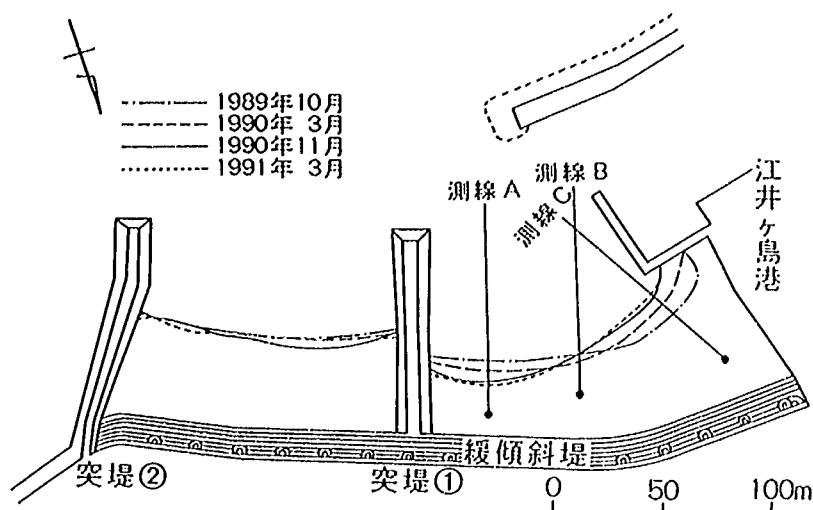


図-5.6 汀線変化図

前面に広い前浜が広がり、環境条件が向上したことが明らかである。

(2) 断面変化

図-5.6の汀線変化図において特徴ある汀線変化の見られた測線を選んで海浜断面形の変化を調べてみる。著しい汀線変化は、突堤①と江井ヶ島港の間で見られるが、図-5.6に示したように汀線が最も後退した位置の測線A、汀線変化のほとんど見られない測線B、そして汀線の著しく前進した測線Cを選び、それらの断面変化を図-5.7に示す。いずれの断面でも養浜前の断面形と養浜後の断面形を示す。測線Aでは養浜直後の1989年10月より汀線が後退した。汀線が後退する時、前浜勾配はほぼ一定で、浜崖の高さが次第に高くなった。そして侵食断面は上に凹形である。測線Bでは汀線変化はごくわずかであって、ここでは沿岸漂砂が単に通過したのみである。これに対し、測線Cでは土砂が堆積し、バームの高さが1m～1.5mへと次第に増加した。また、これら3断面のいずれにおいても、沖合において地形変化の収束する限界水深はほぼ1.5mにある。また、汀線が後退する場合には上に凹形の断面形を保ちつつ侵食が進むこと、また堆積するときはバームを形成しつつ上に凸形の断面形を保つことが特徴といえる。

5.3 漂砂の移動高

図-5.7に示した海浜断面形の変化より、1989年10月を基準として1990年3月および11月までの汀線変化量(Δy)と断面積変化量(ΔA)を求め、それらの関係をまとめると図-5.8となる。両者の間には相

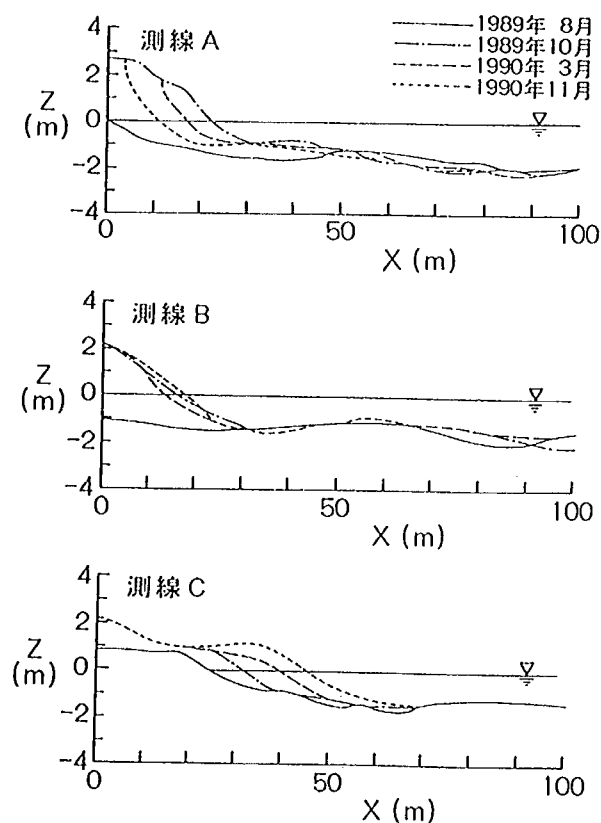


図-5.7 断面変化図

関係数0.97で次式が成立する。

$$\Delta A = 2.7 \Delta y - 2.6 \quad (5.1)$$

したがって、江井ヶ島地区では漂砂の移動高は2.7mとなる。一方、江井ヶ島地区の東5kmにある松江地区で行われた養浜では、移動高として $h \approx 1.7$ mなる値が得られている。これと比較すると、江井ヶ島地先の

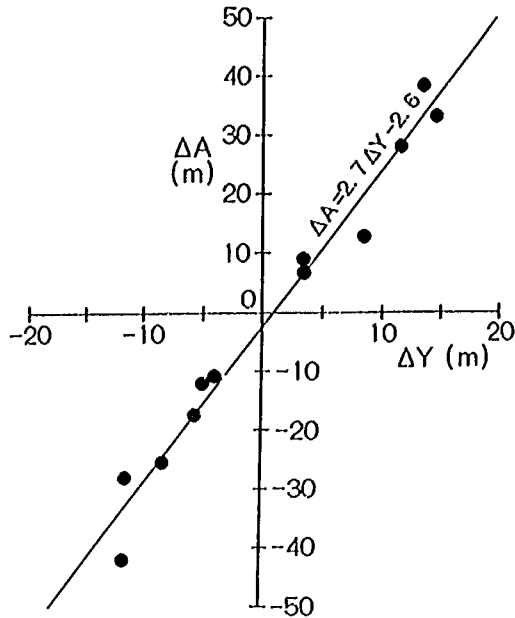


図-5.8 汀線変化量と断面変化量の関係

移動高は約 60% 大きな値となった。

第 6 章 西島地区における礫養浜

6.1 礫養浜の概要

東播海岸の西端に位置する西島地区(図-6.1)でも養浜が計画されたが、松江～江井ヶ島地区と異なり、西島地区では海底勾配が急であるため、細砂を養浜材料に用いると流出し、沿岸部での漁業の障害となる恐

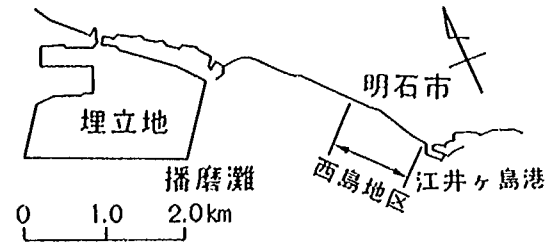


図-6.1 西島地区の位置図

れがあった。そこで新たに礫を用いた養浜が計画された。養浜工は消波施設として位置付けられているが、礫は間隙が大きく透過効果が著しいため、かなり高い消波効果を持っていると考えられる。したがって養浜材としての礫の使用はかなり効果的であり、また、安定性も高いはずである。このようなことから、西島地区では礫養浜が試験的に実施された。

西島地区における礫養浜の平面形を図-6.2に示す。養浜区間の南東側には赤根川の導流堤があり、これによって南東側への礫の流出は防がれている。一方、この導流堤より北西 200 m には捨石による長さ 119 m、先端の天端高 T.P. 1.5 m の突堤が設けられている。養浜工が非常に広い範囲で同時に行われるのであれば沿岸方向への土砂流出を防止するための補助施設は必要ないが、ここでは 192.5 m の区間に限った養浜であったため、北西側への土砂流出を防止するため突堤が設けられた。養浜には中央粒径 25 mm の礫が使用された。この礫により初期勾配 1/10 の一様斜面が造成された。この場合、T.P. 2.0 m 以上は利用上の便も

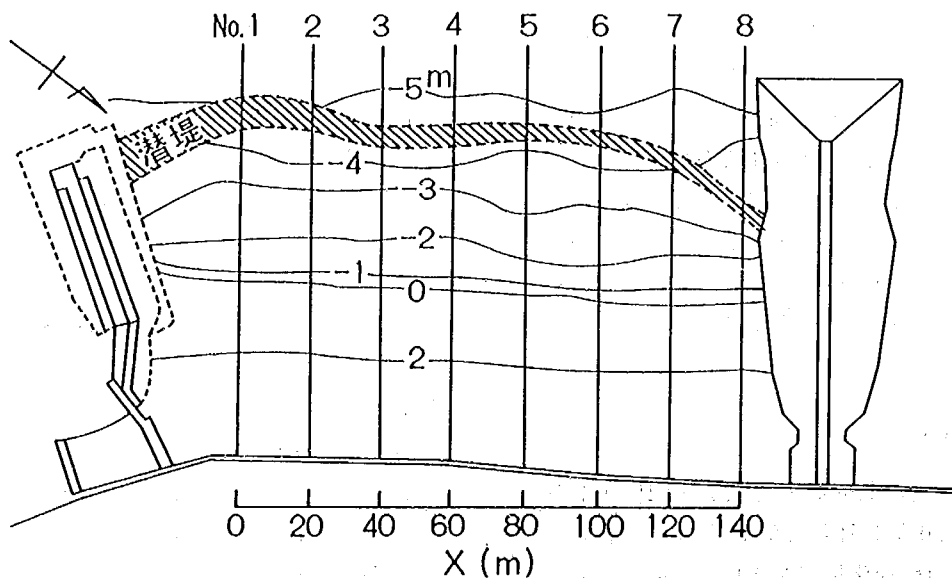


図-6.2 礫養浜の平面形と測線配置

考えて中央粒径 0.88 mm の砂で養浜された。礫養浜の場合、投入礫は岸向きに移動し、沖への移動はないと予想されたが、工事のし易さや、沖合の漁場への土砂移動は防止しなければならないことから、養浜区間の沖合に捨石による低い潜堤を設けた(図-6.2 参照)。また養浜後、図-6.2 に示すように 20 m 間隔に設けた 8 本の測線に沿って深淺測量を繰り返し、海浜断面面形の変化を調べた(門松ほか, 1991; 坪香ほか, 1992)。

6.2 冬期風浪による海浜変形

(1) 冬期風浪時の海象条件

1990 年～1991 年の冬期間における風浪のうち、特に高波浪であった 1990 年 12 月の波浪、潮位、風速データを図-6.3 に示す。上段より順に江井ヶ島での風速、東二見での潮位、江井ヶ島での有義波高・周期を示す。東播海岸では特に西寄りの季節風が吹くと高波浪が発生する。1 m 以上の有義波高は 12 月中に 4 期間出現しているが、いずれも 10 m/s 以上の高風速と対応している。一方、有義周期には顕著な特徴は見られず、ほぼ $3.5\sim 5.0\text{ s}$ の間で不規則に変動している。

(2) 養浜後の海浜変形

代表 3 測線に沿う海浜断面面形の変化を図-6.4 に示

す。図-6.2 に示したように、No.2 は東突堤に、また No.7 は西突堤に近接する。また No.5 は養浜区間のほぼ中央に位置する。いずれの断面においても -3.5 m ～汀線の間が侵食され、侵食された底質が前浜へうちあげられた。この結果、ほぼ $1/10$ であった前浜勾配

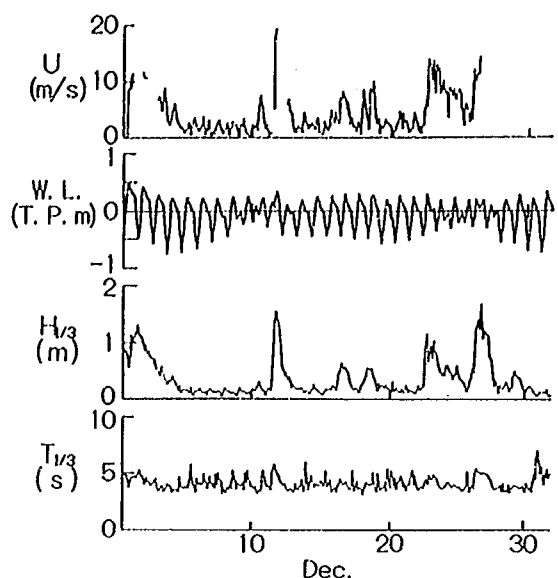


図-6.3 風速、潮位および有義波高・周期の経時変化 (1990年12月)

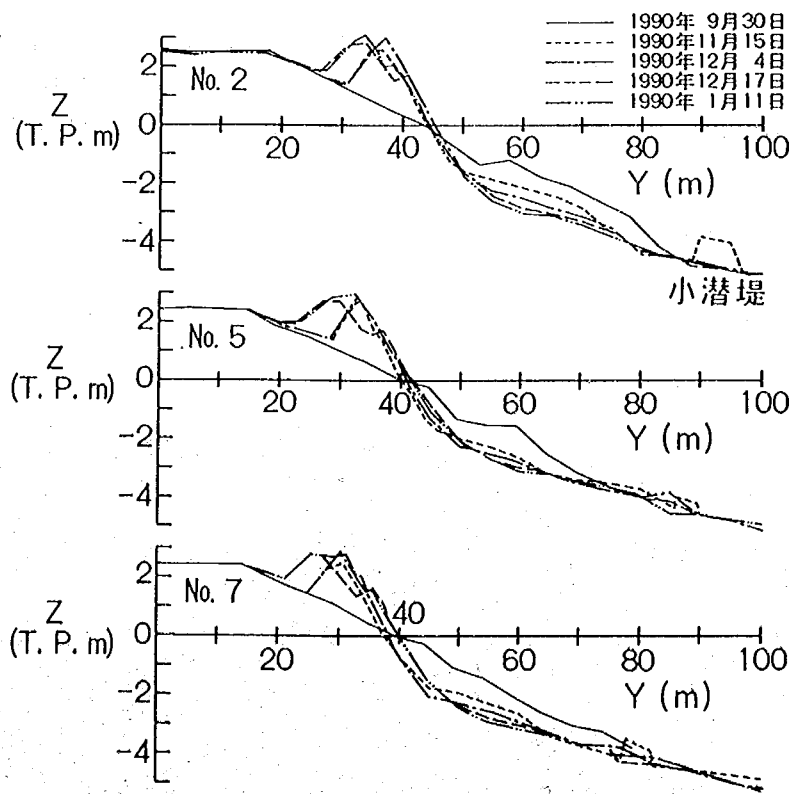


図-6.4 断面変化図

は約 1/3 の急勾配になり、また高さ約 3 m に達する高いバームが形成された。しかし、礫養浜を行った区域の最も沖側にあった小潜堤より沖合へと移動する礫は見られなかった。この場合、礫に対する地形変化の生ずる移動限界はほぼ -3.5 m にあったことになる。

図-6.4 に示したように海浜断面は平均海面以下で侵食され、侵食土砂は前浜へうちあげられた。この場合、1990 年 11 月の完成断面を基準として堆積・侵食断面の経時変化を求めると図-6.5 となる。いずれの断面も良く似た変化を示し、堆積断面は 3 断面とも約 30 m² とほとんど同一である。侵食断面もかなりばらついているが、堆積断面とほぼ同程度である。

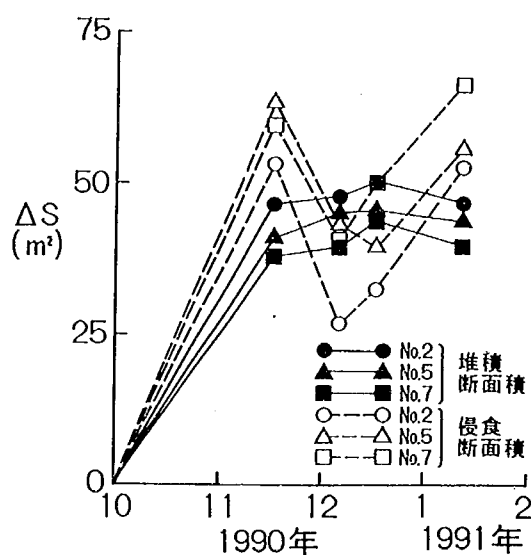


図-6.5 海浜断面の経時変化

以下、現地海浜の状況を写真により調べてみる。写真-6.1 は養浜完成後約 2 ヶ月の 1990 年 11 月 26 日の海岸状況である。この時点までに多量の礫が前浜へうちあげられ、小高いバームが形成されていたことが分かる。写真は西突堤より南東向きに撮影されたものであるが、突堤の隣接部を除けば海浜変形は沿岸方向にほぼ一様に生じている。写真-6.1 の撮影後 7 日たった 12 月 2 日 11 時の海浜状況を写真-6.2 に示す。写真-6.1 よりさらにバームが発達し、前浜勾配が急になっている。図-6.3 によれば、写真-6.2 の撮影時、 $H_{1/3}=1.12$ m、 $T=4.7$ s と当海岸としてはかなりの高波浪が観測されていた。

6.3 9119 号台風時の海浜変形

(1) 9119 号台風時の海象条件

1991 年 9 月 13 日、マーシャル諸島の東で発生した台風 9119 号は我が国各地に多くの被害をもたらした。この台風は 27 日 18 時に北九州市付近に達した後、山口県を経て加速しつつ日本海に進み、再び北海道に上陸するコースをとった。北九州市付近における中心気圧および最大風速はそれぞれ 940 hPa、50 m/s であり、極めて大型の台風であった(気象庁, 1991)。図-6.6 には、江井ヶ島沖において観測された台風来襲時の 9 月 26 日～27 日の有義波高 $H_{1/3}$ ・周期 $T_{1/3}$ 、神戸と姫路における風向・風速・気圧、そして調査地点の西 3 km に位置する東二見における潮位の経時変化を示す。9 月 27 日 10 時までは、 $H_{1/3}$ は 0.2 m 以下と静穏であったが、12 時以降急激に増大し、9 月 27 日 22 時に



写真-6.1 礫養浜区間の状況 (1990年11月26日14時)

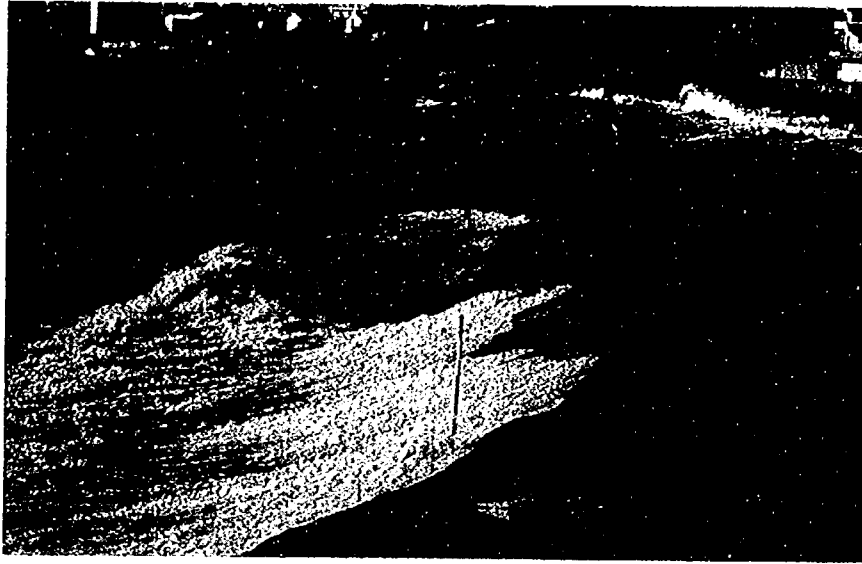


写真-6.2 高波浪のうちあげ状況 (1990年12月2日11時)

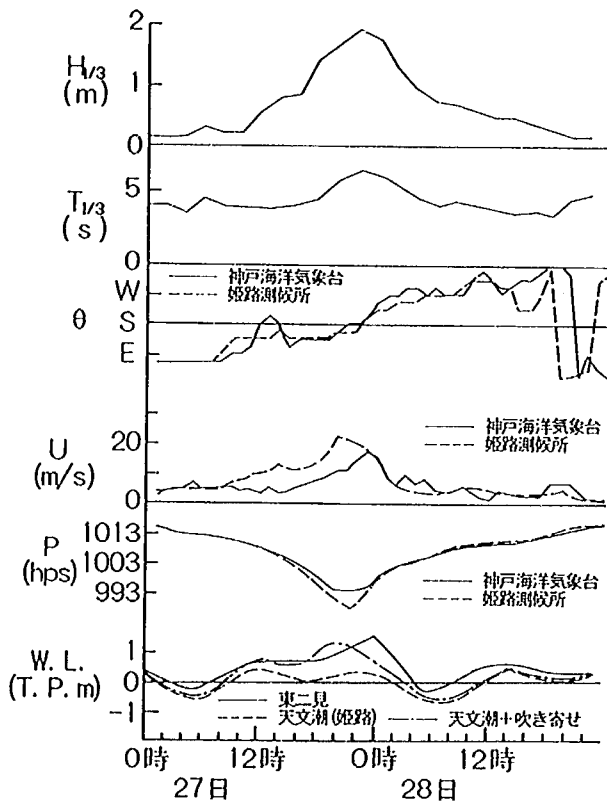


図-6.6 台風9119号来襲時の風速・風向，潮位，有義波高，周期の経時変化

は最大値の1.9 mに達した。その後波高は低下し、9月28日の20時には再び静穏な条件に戻った。この間、 $T_{1/3}$ は約3.8 sより最大波来襲時の7.3 sへと長くなったあと、再び3.3 sのレベルに戻った。風向については、9月27日の10時以前はE方向であったが、次第にS方向に変わり、9月27日20時にはほぼS方向に、

その後9月28日2時以降はW方向となった。同様に、神戸と姫路の風速記録によれば、風速のピークは姫路で9月27日20時の22.7 m/s、神戸で23時の17.3 m/sであって、10 m/s以上の強風が約13時間も続いた。さらに、気圧も9月27日の20時頃を中心として約25 hPs低下した。当海岸はS～W方向のフェッチが長いから、9月27日の20時頃を中心として風波が非常に発達するとともに、吹き寄せと気圧低下による潮位の上昇が起こった。図-6.6に示す潮位には姫路(東二見)における天文潮と実測潮位を示したが、最大約126 cmの偏差が発生した。以上のように台風9119号の通過により高波浪が発生するとともに、満潮時が最大波の出現時刻と重なり、さらに高潮が発生したことは礫浜の大きな変形原因となった。

(2) 海浜変形

台風9119号の来襲時には海岸線の法線に対して大きく傾いた方向から波が入射したため、沿岸漂砂による著しい海浜変形が生じた。1991年3月と1991年10月の深浅図を図-6.7および6.8に示す。1991年3月では西側に比較して東側の汀線がやや沖に位置し、しかもバームの標高の高い部分が中央より東側にあった。これに対し、西突堤近くの測線No.7ではバーム高も低く、汀線が凹状にくぼんでいた。また、-2.5 m以浅の等深線は汀線とほぼ平行であって、しかも等深線間隔が狭かった。しかし、-2.0 mと-3.0 mの等深線の間隔は西突堤の近くで広く、東側ほど狭くなる。1991年10月の高波浪作用後の海浜形状を示す図-6.8では、図-6.7に示した特性が東西で逆転した。すなわち、①汀線は西側ほど沖向きに突出し、②バームの標

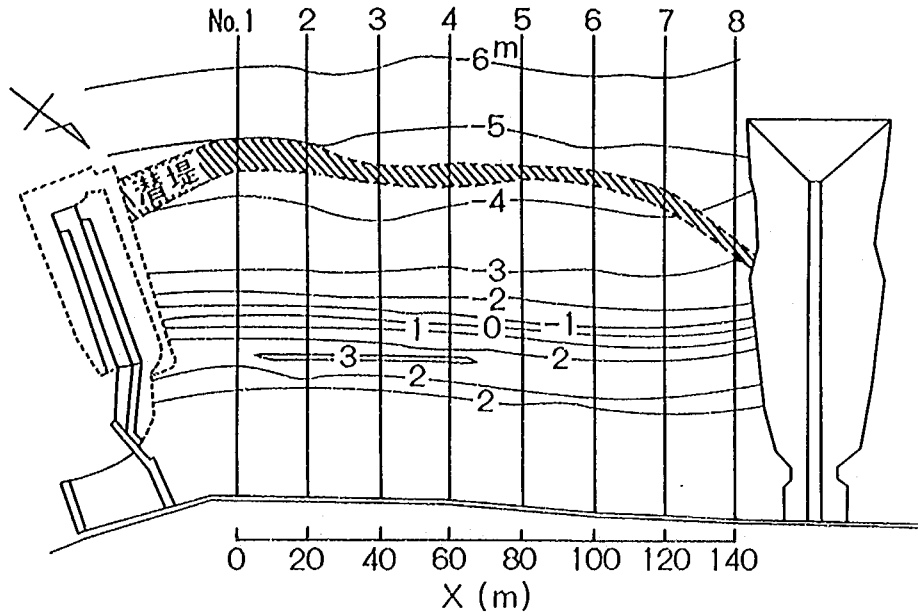


図-6.7 深浅図 (1991年3月)

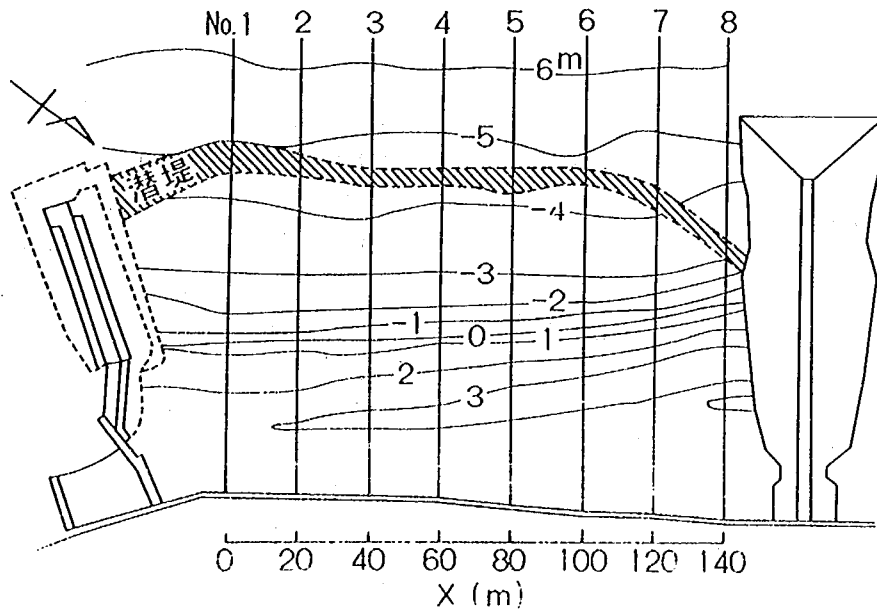


図-6.8 深浅図 (1991年10月)

高の高い部分が西突堤の近傍に形成され、③-2.5 m 以浅の等深線も全体に西側ほど突出した。こうした地形変化は、卓越波の入射方向が汀線と直角方向に対して、西寄りから東寄りへと変化したため、それに応じて生じたと考えられる。また、図-6.8において-3.0 mと-2.5 mの間の等深線の間隔は東側ほど広く、逆に西突堤の隣接部では非常に狭い。このことは汀線が前進した所では間隔が狭く、後退した所では広いことを示している。図-6.7, 6.8とも-2.5 m以浅の等深線

は汀線と一体的に変動していることを考慮すると、上述の点は、沿岸漂砂による地形変化が生ずる場合における地形変化の限界水深がほぼ-3 mにあり、これ以深では顕著な地形変化が生じないことを意味する。

深浅測量データをもとに突堤間の汀線変化をまとめると図-6.9となる。高波浪の作用前、汀線は東側で前進、西側で後退する特徴を示していたが、高波浪の作用後、特性が大きく逆転した。これらの汀線変動は、波の入射方向が西寄りから東寄りに大きく変わったた

め生じたものである。一方、図-6.9によると、汀線の前進域の面積 166 m^2 に対し、侵食域の面積は 466 m^2 と侵食域の面積の方が約 180% 大きい。また汀線が前進も後退もしない中立断面は、突堤間の中央ではなく、それより 31 m 西側にある。以上の点は、海浜変形が沿岸漂砂によるものだけでなく、岸沖方向漂砂も存在したことを示唆する。

次に、東突堤に隣接する測線 No.1、西突堤に隣接する No.8、そして汀線が前進も後退もしない中立断面を挟む No.5, 6 の断面変化を図-6.10 に示す。図-6.8 に示したように、中立断面は突堤間の中央の No.4 より 31 m 西側にある。測線 No.1 では、高波浪の作用前には 3.0 m の高さをもつ高いバームが発達し、汀線付近の勾配が約 $1/2.7$ の断面形を有していたが、高波浪の作用によりバームは大きく削り取られた。このときの侵食範囲の沖側限界は -2.9 m にある。旧バームは大きく削り取られたが、陸側には高さ 3.0 m の新バームが形成された。中立断面に近い No.5, 6 では、汀線付近の断面形はほとんど同一であって、前浜勾配にも変化が見られないが、No.5 では汀線付近でわずかに侵食、逆に No.6 ではわずかに堆積傾向が見られる。したがって汀線が前進も後退もしない位置 (No.5 と No.6 の間) では主として沿岸漂砂が西向きに通過するのみであったことがわか

る。しかし、前浜上のバームの形態をみると、旧バームの標高 2.9 m に対し、新バームでは 3.4 m と標高が高く、またかなり多くの礫が前浜上へうちあげられていることから、この付近では沿岸方向に運ばれてきた礫の一部が岸向き漂砂によりうちあげられたと考えられる。一方、海面下ではともに -2.9 m 以浅においてのみ著しい地形変化が見られる。

No.8 では、旧バーム上に大量の礫がのり、新バームが形成された。汀線付近の勾配は高波浪の来襲前が $1/2.7$ 、来襲後が $1/4.3$ とやや緩くなったが、バームの標高は 2.7 m より 3.8 m へと 0.9 m も高まった。大量の礫が堆積したが、その沖側限界はほぼ -3.0 m にあり、小潜堤の内側でのみ堆積した。

図-6.10 に示したように、断面形の比較によれば各測線ごとに地形変化の限界水深が読み取れるので、バーム高とともにそれらを整理すると表-6.1 となる。これによると、地形変化の限界水深はほぼ 3 m にあり、沿岸方向の変動も小さい。一方、高波浪作用前の旧バームでは平均標高が 2.9 m であったが、作用後には 3.3 m と平均で 0.4 m の上昇をみた。また、旧バ

表-6.1 地形変化の限界水深およびバーム高の沿岸方向分布

測線 No.	地形変化の 限界水深 (m)	バーム高 (T.P.m)	
		(旧)	(新)
No. 1	2.9	3.0	3.0
No. 2	3.0	3.1	3.1
No. 3	3.0	3.0	3.2
No. 4	2.8	3.0	3.4
No. 5	3.2	2.9	3.4
No. 6	2.9	2.9	3.4
No. 7	2.9	2.8	3.5
No. 8	3.0	2.7	3.8
平均	3.0	2.9	3.3

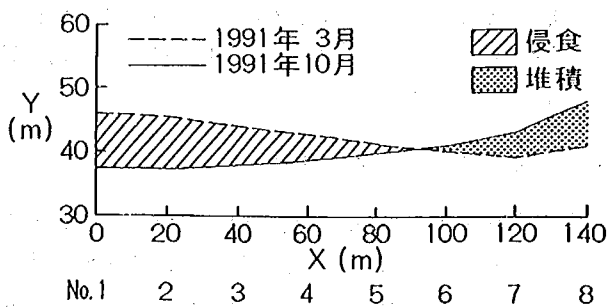


図-6.9 汀線変化図 (1990年9月30日~1991年1月11日)

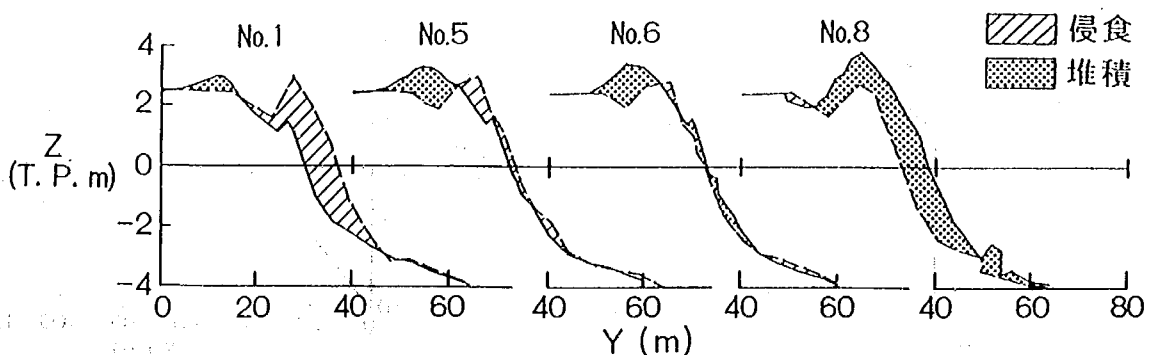


図-6.10 断面変化図 (1991年3月~1991年10月)

ムの高さは東突堤に隣接するNo1, 2で高く、西側のNo8で低かった。これに対し新バームでは西側のNo8で3.8 m, 東側のNo1で3.0 mと、東側の方が0.8 mも低いことが特徴である。すなわち波向変動に対し、突堤による波の遮蔽域側ではバーム高が低く、波が集中する側ではバーム高が高くなったのである。

6.4 漂砂の移動高と沿岸漂砂量

9119号台風の来襲時における海浜断面変化図によれば、地形変化の生じている範囲が明瞭に読み取れるので、各測線ごとに断面変化量 (ΔA) と汀線変化量 (ΔY) を読み取り、両者の相関を調べると、図-6.11となる。両者の間には、相関係数 $r = 0.97$ と非常に高い相関で式(6.1)が成立する。

$$\Delta A = 6.2 \Delta Y + 10.7 \quad (6.1)$$

したがって、当地区における漂砂の移動高は6.2 mとなる。すでに表-6.1に示したように、今回の高波浪時、地形変化の限界水深とバーム高の沿岸方向の平均値はそれぞれ3.0 mと3.3 mであり、両者の和は6.3 mとなる。この値は上述の移動高と一致する。このことは、今回の海浜変形がバームの頂高より地形変化の限界水深までの間ではほぼ平行移動したことを意味している。さらに、式(6.1)によれば、 ΔA が0のとき、 $\Delta Y \approx -1.7$ mの汀線変化が存在することになる。これは図-6.10の断面図で明らかにしたように、バーム上へと岸向きに土砂が運ばれ、汀線が後退したことを意味している。このことから、前出の図-6.9の汀線変化図において汀線の後退域の面積が前進域の面積より大きかったことが説明がつく。事実、図-6.9において汀線を1.7 m沖側へ平行移動させ、各断面で一定量の岸

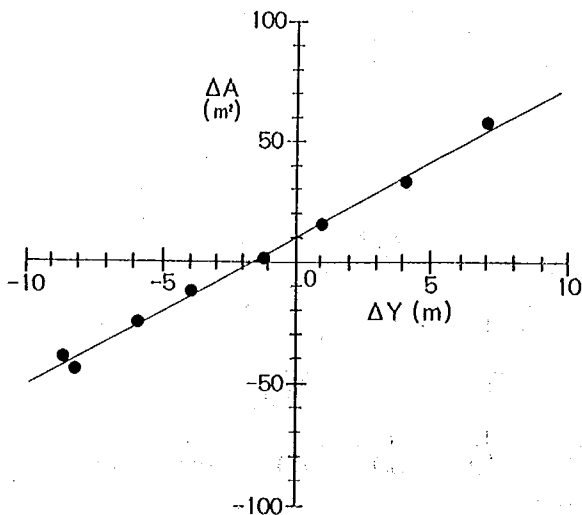


図-6.11 汀線変化量と断面変化量の関係

向き漂砂があったと仮定すれば、侵食域、堆積域の面積は262 m², 323 m²となって両者はほぼ均衡する。

各測線ごとの断面変化量に測線間隔 (20 m) を乗じて、体積変化量 ΔV の沿岸分布を求めると図-6.12となる。体積変化量は沿岸方向に増大し、No5で最大値2013 m³を示したあと、再び減少する。養浜箇所は両側を突堤に囲まれており、礫はこの範囲外にほとんど流出しない。しかしながら、測線位置は突堤と完全に重なるものではないために、No1の東側とNo8の西側にもわずかに海浜が存在し、そこでも地形変化が生じうる条件となっている。そこで、ここでは便宜上No1で $\Delta V = 0$ とした。したがって実際の ΔV は図-6.12に示す値よりわずかに大きくなる。ところで、 ΔV はほとんど今回の高波浪時に生じた変化であるから、その継続時間で割れば、沿岸漂砂量の沿岸分布と等しくなる。高波浪の継続時間は、 $t \approx 30$ hrであったから、No5における沿岸漂砂量は $q \approx 67$ m³/hrとなる。一方、入射波高が0.3 m以上であった30時間について、換算沖波データをもとにエネルギーフラックスの時間平均を計算し、サベージ公式 (Savage, 1962) より漂砂量係数を逆算すると、 $f \approx 0.30$ となる。ここに、砕波角は図-6.8において汀線の交差角に等しいとし、 6° とおいた。得られた係数値はサベージ公式で一般に使われている0.217と同じオーダーであり、しかもそれより大きな値である。このことは、礫の場合砂よりも粒径がはるかに大きいにもかかわらず、砂と同程度の動き易さをもつことを意味している。

6.5 養浜材の円形度の変化

海浜を利用する場合、碎石を用いた礫養浜では角が尖っていることが問題となる。しかし、養浜時に尖っていた礫も波の作用のもとで次第に角が取れて円みを帯びてくるはずである。このような見地より、村岡ほか (1990) は、青森海岸において礫の円形度の変化を

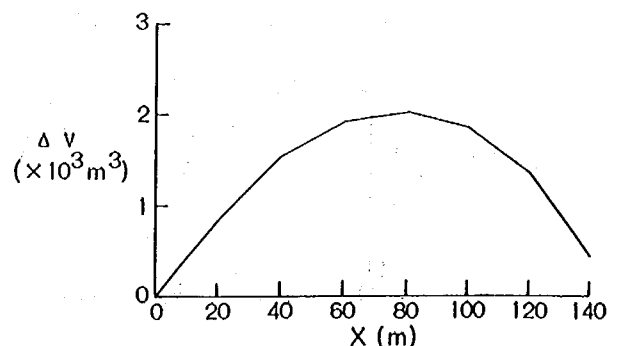


図-6.12 体積土砂量の沿岸方向分布

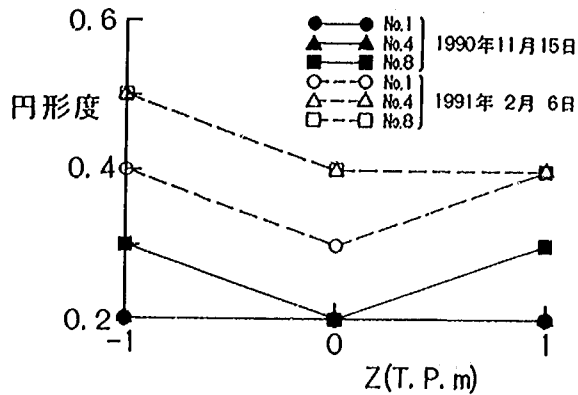


図-6.13 養浜材の円形度の経時変化

調べ、1985年1月から1989年10月の間に円形度が0.2から0.6へとかなり増大したことを明らかにした。そこで、ここでも同様に礫とクルンバインの円形度図表を比較することにより、礫の円形度の変化を調べた。調査は1990年11月15日と、1991年2月6日に実施した。サンプリング調査では、測線No.1, No.4, No.8の $Z = 1.0$ m, 0 m, -1.0 m付近で1 kgの養浜材料をサンプリングし、それらをもとに円形度を調べた。結果を図-6.13に示す。これによると、円形度は全測線、全地点の平均で約3月間に0.2より0.4へと2倍大きくなり、かなり短期間で丸みを帯びることが分かった。

第7章 考 察

第3章～第6章では、東播海岸の各地区における養浜工について述べてきたが、ここでは東播海岸全体を通じ養浜工の消波効果と安定性について考察する。

7.1 養浜工の消波効果

東播海岸における養浜工は消波施設として位置づけられている。消波効果は波のうちあげ高の低減率で表わすことができるが、東播海岸では養浜工およびその周辺に位置する護岸の区域において波のうちあげ高が測定されている。うちあげ高測定は1987年1月と2月の2回行われた。調査対象となったのは海底勾配がほぼ等しい江井ヶ島地区における護岸(写真-7.1)および松江地区における養浜工(写真-7.2)の2種類である。うちあげ高は護岸沖側の海底勾配に依存するが、これら2地区では砕波帯を包含する水深5 m以浅の海底勾配が1/40程度とほぼ同じ条件であるため、うちあげ高の違いは構造物の影響によると見なし、相互比較を試みた。調査方法は写真撮影による読み取りであり、あらかじめコンクリート構造物には50 cm間隔の目盛りを、また養浜工には目盛りをつけた支柱を立てた。うちあげ高 R と観測時の換算沖波波高 H_o' の関係を図-7.1に示す。ここに、 H_o' は江井ヶ島観測所での観測値からの換算値である。消波効果は(うちあげ高/沖波波高)が小さいほど高いが、護岸区域に比べ養浜工の消波効果は4倍近く高いことが分かる。

次に、西島地区の礫養浜区間の波のうちあげ状況を写真-7.3に示す。この時の潮位はT.P. 0.62 mである。護岸+消波工の区間では波が護岸に達し、高くうちあがるとともにしぶきが発生しているが、養浜区間では入射波は礫浜の基部付近で砕波して前浜を遡上するが、護岸まで達していない。また、養浜工上の遡上波は遡上時に礫浜内に浸透しており、しぶきはほとん

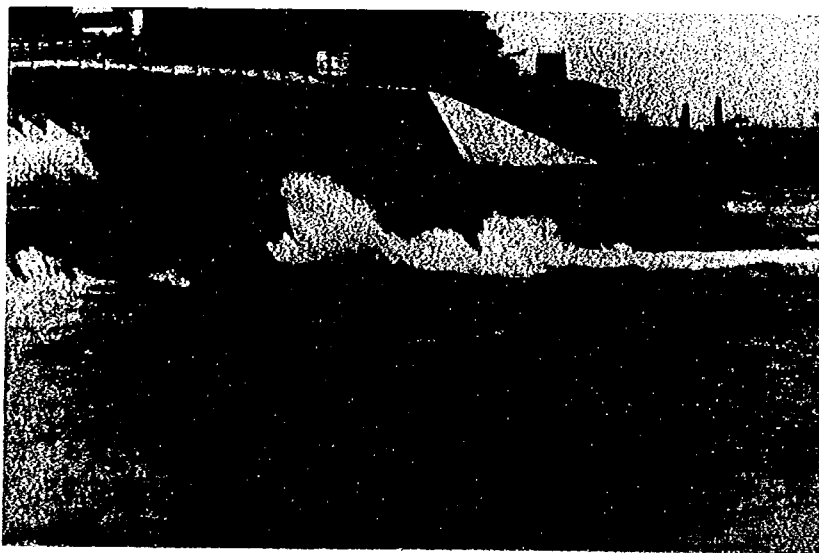


写真-7.1 護岸への波のうちあがり状況



写真-7.2 養浜工区間への波のうちあがり状況

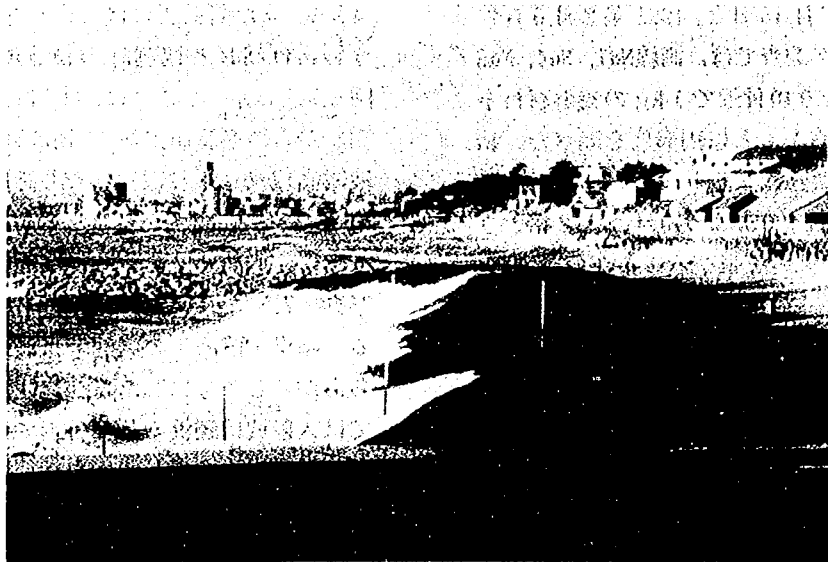


写真-7.3 礫養浜区間と護岸区間のうちあげ高の比較

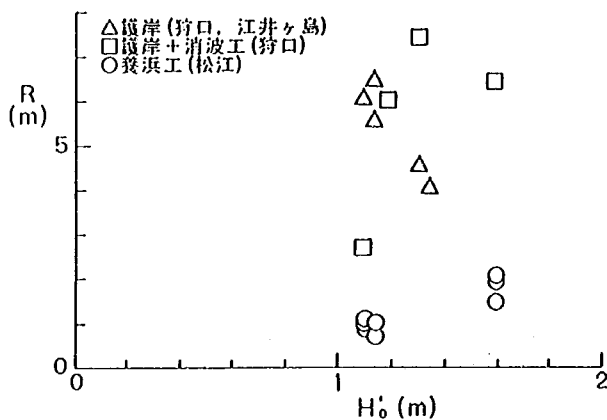


図-7.1 波のうちあげ高と沖波波高の関係

ど発生していない。このように、養浜工は消波効果が優れているのみでなく、塩害のもととなるしぶきの発生を防ぐという優れた特徴を有している。

7.2 養浜工の安定性

一般に消波工として用いられる異形コンクリートブロックと比べ、養浜材の大きさ（重量）は著しく小さいため、養浜工に関しては養浜材の波に対する安定性の検討が重要な課題となる。養浜材の流出形態としては、①沖向き漂砂による流出、②沿岸漂砂による流出の2通りが考えられる。①に関しては、養浜材の粒径を適切に選択するとともに、必要に応じて消波工を設

置ることによって波浪を減衰させ、底質の沖方向への移動を防ぐ。また、②に関しては突堤やヘッドランドにより底質の沿岸方向の移動を阻止するのが一般的である。いずれの場合においても養浜砂の流出防止のために突堤や離岸堤などの補助施設の規模を大きくし過ぎたり、あるいは基数が多すぎると、景観上や水産への悪影響が出る恐れがあることが問題となる。したがって必要かつ十分な施設検討が必要とされる。ここでは東播海岸の養浜工の安定性について、以上の観点より検討を加えてみる。

(1) 沖向き漂砂に対する養浜工の安定性

既存の移動床模型実験を中心とした研究によれば、海浜は、波の作用により前浜が侵食され沖浜に土砂が移動するタイプⅠ、碎波帯内が侵食され、沖合のバーとバームとが同時に形成されるタイプⅡ、そして岸向き漂砂が卓越してバームが形成されるタイプⅢの3タイプの海浜変形を生じると言われている。堀川ほか

(1975)は、式(7.1)により定義されるC値により、タイプⅠ、Ⅱ、Ⅲ型の海浜断面変化の分類を試みた。

$$C = (\tan \beta)^{0.27} (d/L_0)^{-0.67} (H_0/L_0) \quad (7.1)$$

ここに、 $H_0(m)$: 沖波波高、 $L_0(m)$: 沖波波长、 $\tan \beta$: 海底勾配、 $d(m)$: 海浜材料の中央粒径である。C値の大小によってタイプの分類が可能とされており、移動床水理模型実験のデータに対してはタイプⅠとⅡは $C=8$ によって、またタイプⅡとⅢは $C=4$ により分けられるとされている。一方、現地データに対しては必ずしも十分なデータではないが、タイプⅠとⅡは $C=18$ によって、またタイプⅡとⅢは $C=9$ によって分類されとしている。現地データによる式(7.1)の検討は十分ではないので、以下では東播海岸のデータを用いて検討してみる。

式(7.1)は岸沖方向漂砂が卓越する場合の海浜変形を対象としているが、東播海岸でこのような海浜変形が生じたのは1990～1991年の冬期風浪による西島地

表-7.1 波高、周期、潮位、前浜勾配、バーム高の一覧

月日時	波高 (m)	周期 (s)	潮位 (T.P. m)	前浜 勾配	バーム 高(m)	測量結果
10 26 16	0.88	4.5	0.91	0.17	1.92	
11 4 18	0.94	4.1	0.57	0.16	1.51	
11 4 20	1.03	4.6	0.64	0.16	1.75	
11 4 22	1.07	4.5	0.48	0.15	1.58	
11 9 20	1.03	4.3	0.93	0.15	1.96	
11 9 24	0.90	4.2	0.34	0.16	1.29	
11 10 2	0.88	4.4	0.19	0.16	1.17	
11 10 4	0.80	3.9	0.13	0.17	0.96	
11 10 14	1.11	4.9	0.23	0.15	1.46	
11 10 16	0.98	4.7	0.56	0.16	1.67	
11 10 18	0.92	4.3	0.60	0.16	1.58	
11 10 20	0.82	4.0	0.35	0.16	1.21	
11 10 22	0.88	3.9	0.05	0.16	0.91	11月15日 $\tan \alpha = 0.29$ $B_h = 2.66m$
12 1 6	0.86	5.1	0.24	0.17	1.38	
12 1 8	0.84	4.8	0.64	0.17	1.69	
12 1 10	0.80	4.7	0.72	0.17	1.73	
12 1 18	1.16	4.8	0.61	0.15	1.84	
12 1 20	0.97	4.5	0.54	0.16	1.59	
12 1 22	1.10	4.8	0.15	0.15	1.35	
12 2 8	1.10	5.3	0.37	0.16	1.70	
12 2 10	1.09	4.8	0.63	0.15	1.82	
12 2 12	1.12	4.7	0.61	0.15	1.79	
12 2 14	0.86	4.2	0.47	0.16	1.40	
12 2 16	0.85	4.0	0.31	0.16	1.18	
12 2 18	0.99	4.5	0.37	0.16	1.43	
12 2 20	0.84	4.6	0.29	0.17	1.30	
12 11 14	0.84	3.6	0.25	0.16	1.03	12月4日 $\tan \alpha = 0.36$ $B_h = 2.96m$
12 11 16	1.37	5.4	0.53	0.15	2.04	
12 11 18	1.57	5.9	0.49	0.14	2.25	12月17日 $\tan \alpha = 0.29$ $B_h = 2.80m$
12 11 20	1.46	5.8	0.10	0.15	1.77	
12 22 18	0.91	4.1	0.24	0.16	1.17	
12 22 20	1.17	4.5	0.00	0.15	1.15	
12 23 2	0.81	4.4	0.06	0.17	1.01	
12 23 12	0.88	4.5	0.07	0.17	1.08	
12 26 10	1.08	4.7	0.05	0.15	1.21	
12 26 12	1.28	5.3	0.08	0.15	1.51	
12 26 14	1.42	5.5	0.20	0.14	1.76	
12 26 16	1.22	5.1	0.32	0.15	1.66	
12 26 18	1.23	5.2	0.27	0.15	1.65	
12 27 6	1.18	4.9	0.16	0.15	1.43	
12 27 8	1.13	5.0	0.15	0.15	1.42	
1 5 18	0.86	4.2	0.02	0.16	0.95	
1 6 12	0.94	5.0	0.07	0.16	1.23	
1 6 14	0.90	4.6	0.26	0.16	1.30	1月11日 $\tan \alpha = 0.4$ $B_h = 3.04m$

区の礫海浜の変形のみであった。よって、この時期の海浜の変形を例にして、式 (7.1) の妥当性について検討する。潮位、波浪データは2時間おきに与えられているが、バームは潮位が高く、かつ高波浪の条件で発達すると考えられるので、潮位が T.P.0 m 以上で、かつ $H_{1/3} \geq 0.8$ m の条件を満たす場合を選び出した (表-7.1)。西島地区の礫養浜後の断面変化をタイプ分類にあてはめると、浅海域の底質が前浜上へうちあげられ、バームが形成されたことから典型的なタイプ III 型に分類される。いま、海底勾配を 1/20、底質粒径を 25 mm として式 (7.4) により計算を行うと、 $C = 1.4 \sim 2.2$ となる。この値は明らかに $C = 9$ 以下であることから堀川の分類のタイプ III に入ることが確認される。したがって礫浜において、海浜断面変化のタイプ分類に式 (7.1) が適用しうようである。

松江・西島両地区ともバームの形成が見られたが、海浜利用や海岸景観を考えると、バーム高や前浜勾配もある予定された範囲内に納めれば理想的である。バーム高や前浜勾配に関しても、いくつかの算定式が提案されているが、武田・砂村 (1982) は、静水面を基準としたバーム高 B_b に関して、式 (7.2) を提案した。

$$B_b = 0.125 H_b^{5/8} (g T^2)^{3/8} \quad (7.2)$$

ここに、 H_b (m): 砕波波高, g : 重力加速度, T (s): 周期である。前浜勾配 $\tan \alpha$ に関しては多くの算定式があるが、その中で Sunamura (1989) は式 (7.3) を提案した。

$$\tan \alpha = \frac{0.12}{(H_b/g)^{1/2} d^{1/2} T^{1/2}} \quad (7.3)$$

なお、式 (7.2)、(7.3) に含まれる砕波波高の計算には、Sunamura・Horikawa (1974) の式 (7.4) が利用できる。

$$H_b/H_0 = (\tan \beta)^{0.2} (H_0/L_0)^{-0.25} \quad (7.4)$$

式 (7.2)、(7.3) に西島地区の海底勾配、有義波高、周期および潮位を与え計算した前浜勾配とバーム高を測量結果とともに表-7.1 に示す。礫浜における前浜勾配の計算値は、波に対する応答性がにぶく、またその絶対値が実測値の約 51% とはるかに小さい。またバーム高の実測値は最終的には約 3.04 m にも達したが、計算では最大で 2.2 m であって、実測値の 72% しかない。すなわちこの場合も過小評価となった。このように礫浜の場合には、式 (7.2)、(7.3) による計算では前浜勾配およびバーム高とも過小評価となる。このことは、礫浜に対するこれらの算定方式については今後さらに検討すべきことを示している。

一方、松江地区での細砂を用いた養浜では、前浜勾配が約 1/8、バーム高が約 1.8 m と得られている。これに対しても上述の方法を同様にしてあてはめてみる。松江地区は西島地区の東わずか 5 km に位置するので、波浪条件は西島地区とあまり変わらないと考えられる。このため、西島地区での波浪および潮位条件を代用して、式 (7.2)、(7.3) より前浜勾配およびバーム高を計算した。結果は $i = 0.08$, $B_b = 2.2$ m となり、前浜勾配についてはいくぶん緩く、バーム高についてはやや高い値となったが、全体に対応関係は礫の場合よりも良くなっている。以上のことから、式 (7.2)、(7.3) は砂浜には適用できるが、礫浜への適用には問題が残されていると言える。

4 地区ではいずれも波による海浜断面変化が示されている。松江地区では図-3.6、3.7 および図-3.13~3.15 に、谷八木地区では図-4.5 に、江井ヶ島地区では図-5.7 に、そして西島地区では図-6.4、6.10 に示されている。これらの断面変化の共通点・相違点を調べると、細砂による養浜が行われた松江、谷八木、江井ヶ島地区の場合にはいずれも突堤間の東側のいずれか一方の断面内では侵食のみが起り、これと反対側では堆積が生じている点が主な共通点である。これは同時に示された汀線変化と併せて考えれば、海浜変形が沿岸漂砂により引き起こされたものであることを示している。そして各断面の変形には岸沖漂砂によると考えられる変形は見られないのが特徴である。一方、礫養浜の行われた西島地区では、1990~1991 年の冬期風浪による変形では岸向き漂砂のみによる変形が見られたあと、1991 年の 9119 号台風の来襲では沿岸漂砂による海浜変形に岸向き漂砂による変形が重なった変形となった。したがって、礫養浜を実施した西島地区においても沿岸方向への漂砂移動を防止する突堤さえあれば養浜砂の流出は防止できることがわかる。

(2) 沿岸漂砂に対する養浜工の安定性

波向変動や沖合消波施設の影響により、養浜された海浜の汀線は平面的に変化することは既に述べた。沿岸漂砂による養浜材の流出を防ぐには、突堤・ヘッドランド等、漂砂を阻止する構造物が必要であるが、この時地形変化が収束する限界水深 (地形変化の限界水深) を正確に把握し、突堤の先端水深をそれより深部に設定しなければならない。さらに、顕著な海浜変形が予想される場合は、突堤先端の水深変化を考慮して、突堤の設置水深を決める必要がある。

東播海岸の各地区における地形変化の限界水深は松

江地区で約 2.0 m, 谷八木地区で約 1.5 m, 江井ヶ島地区で約 1.5 m, 西島地区で約 3.0 m であり, また漂砂の移動高はそれぞれ 1.66 m, 2.7 m, 2.7 m, 6.2 m であった。西島地区における地形変化の限界水深および漂砂の移動高はその他の地区に比べて大きな値を示すが, これは海底勾配が急で急深であったためと考えられる。また, 各地先の地形変化の限界水深は外洋に面した海岸の約 10 m と比べて小さいが, これは瀬戸内海の波の穏やかさに対応している。これに対し, 養浜完成直後の突堤の先端水深は松江地区で約 2.0 m, 谷八木地区の東突堤で約 2.0 m, 江井ヶ島地区で約 2.0~2.5 m, 西島地区で約 5.0 m と地形変化の限界水深より深く, 谷八木地区を除いて養浜材の流出は見られなかった。これらの突堤長はいずれも 100 m 程度であり, 十分合理的な長さである。東播海岸で養浜工が成功した理由の一つとして, 地形変化の限界水深が小さいため, 比較的小型の突堤でも養浜材の流出を十分阻止できたことが挙げられる。

松江地区, 谷八木地区および江井ヶ島地区では, 沖合消波構造物による養浜工の変形が見られた(図-3.12, 4.4, 5.5 参照)。これらは, 離岸堤や斜め突堤による波の遮蔽効果が表われたためであって, 構造物背後に土砂が引き寄せられていく現象である。この現象は静的に安定したポケットビーチ内に施設が建設された場合によく見られ, 新たな安定汀線が形成される。松江地区, 江井ヶ島地区では土砂の流出は見られないが, 谷八木地区では東突堤の先端を回って土砂が流出した。これらは設計された養浜形状が安定海浜形状と異なったため生じたものである。養浜工の平面形状を決定する場合は周辺施設の影響を考慮すべきであり, Hsu・Evans (1989) による安定汀線形の算定式が有効利用できる。ただし Hsu・Evans の方法では土砂収支の概念が含まれていないため, 実際の適用に難点があった。そこで本研究では以下のようにして改良を加えた。

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 (7.4) で与えられる。

$$r/r_0 = c_0 + c_1(\beta/\theta) + c_2(\beta/\theta)^2 \quad (7.4)$$

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-7.2, 7.3 参照)。式 (7.4) 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

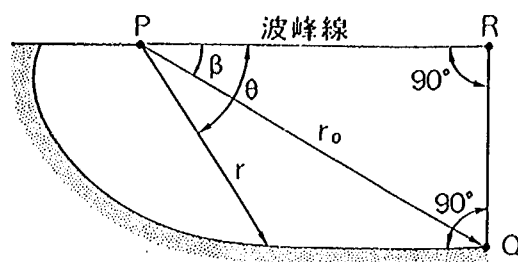


図-7.2 安定汀線形状と β , r の定義図

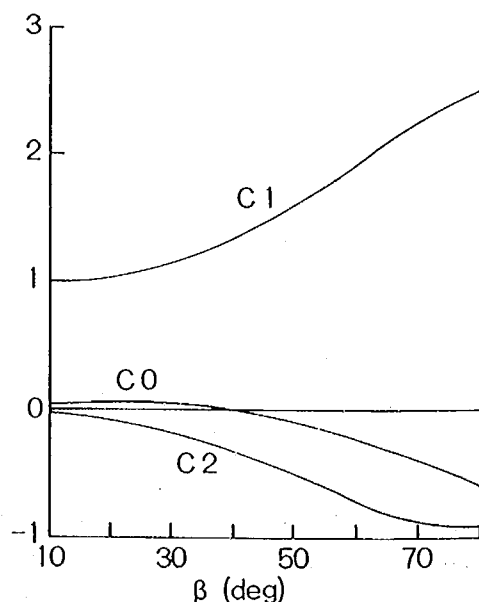


図-7.3 係数 c_0 , c_1 , c_2 と β の関係

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。

この算定方法を図-7.4の林崎漁港西側の海浜変形に適用してみる。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 W)とする。

計算に際しては図-7.2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

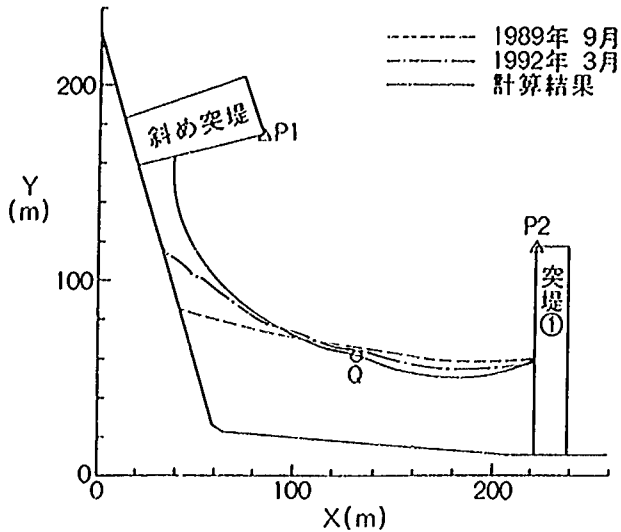


図-7.4 松江地区の汀線形状と安定汀線形の比較 (防波堤長54m)

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、これは実際上問題にならないと考えられる。

図-7.4は突堤③が54m建設された場合の安定汀線形状の計算結果であり、1989年9月および1991年3月の汀線形と比較してある。実測の汀線変化の特徴として、 $110\text{ m} \leq x$ の範囲で汀線が後退し、 $x \leq 110\text{ m}$ 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(3.2)、(3.3)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。

さらに、突堤③を100mまで完全に延ばした場合の汀線変化と実測値を図-7.5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。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。なお、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。

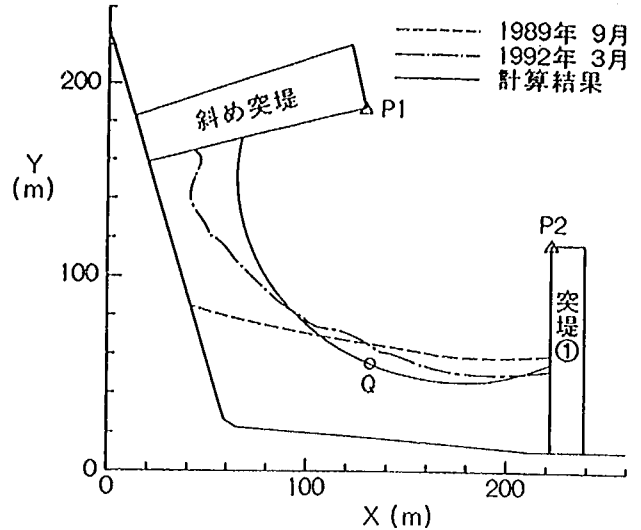


図-7.5 松江地区の汀線形状と安定汀線形の比較 (防波堤長100m)

第8章 結 論

本研究の主要な結論は以下のようである。

①東播海岸は閉鎖性水域である瀬戸内海に位置するため、作用波浪は風浪が支配的である。そして淡路島、小豆島、家島諸島等の遮蔽効果、および夏期におけるS E、冬期におけるWSW~W方向の強風の発達という気象特性より、夏期にはS E、冬期にはWSW~W方向からの波浪が卓越する。このため、松江地区においては季節的にサイクリックな海浜地形変動が観察された。

②西島地区の礫養浜区間では、冬期風浪および台風9119号時の高波浪に伴う岸向き漂砂により顕著なバームの発達をみ、浅海域の礫が前浜上へうちあげられた。また台風9119号来襲時には波が汀線に対して斜め入射したため礫の沿岸方向への移動が生じたが、突堤を越えた土砂流出はなかった。礫の沖への移動は見られず、安定性は良好であったが、前浜勾配が約1/3と急になることが利用上の問題点として指摘された。

③西島地区の礫養浜に関し、堀川ほかの海浜断面変化分類の判別式を適用した。礫浜の変形は岸向き漂砂によりバームが形成されるタイプIIIであったが、これは堀川ほかの判別式による判別結果とよい一致を示した。一方、武田・砂村のバーム高の算定式およびSunamuraの前浜勾配の算定式による算定結果は、松江地区の砂浜には比較的良くあったものの、西島地区の礫浜では過小評価となった。このことは、細砂からなる海浜を対象とするバーム高や前浜勾配の算定式を

このまま礫浜へ適用することは無理があることを示している。

④谷八木および江井ヶ島地区では、沖合の消波構造物の影響による海浜変形が生じた。これは養浜時汀線が安定汀線形状と異なり、波に対し不安定であったためである。養浜工を安定的に施工するには、安定汀線形状を事前に把握し、これをもとに汀線形を定める必要がある。安定汀線形状を求めるために、本研究ではHsu・Evansの方式を改良し、土砂収支の成立条件を加えて、実用的に利用できる方法を開発した。今後においてはこの方法が有効利用が可能である。

⑤東播海岸は、他の外洋に面した海岸と比較すると波浪条件が穏やかなため、波の作用下での地形変化の限界水深は2.0~3.0 mとかなり小さい。このため比較的小規模な突堤により沿岸漂砂を完全に阻止することができた。東播海岸での養浜事業が成功しつつある理由の一つはこの点にある。東播海岸と同等規模で養浜工が可能なのは、同様な波浪条件をもつ内海・内湾に位置する海岸は当然であるが、沖縄のリーフ海岸などでも可能と考えられる。

⑥養浜工および護岸の2種類の施設でうちあげ高を測定した。これによると、護岸のみの区域に比べ養浜工の消波効果が4倍近く高いことが分かった。また、養浜工は塩害の原因となるしぶきや塩分飛沫の防止効果も高い。このことは海岸環境を改善する上での養浜工の有効性を改めて示すものである。

謝辞 本研究は、建設省近畿地方建設局姫路工事事務所の全面的な協力のもとで進められたものである。資料等の入手について種々の便宜を図っていただいたことに対し、姫路工事事務所に深甚な謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次(1983)：東播海岸移動床模型実験報告書，土木研究所資料，第2020号，p. 75。
- 宇多高明(1986)：明石海峡周辺海岸の海浜地形変化，土木技術資料，Vol. 28, No. 9, pp. 9-14。
- 宇多高明・赤穂俊作・今井武雄(1987)：霞ヶ浦における風波による湖浜変形の実態，土木学会論文集，No. 381/II-7, pp. 161-170。
- 宇多高明・坂野 章(1989)：波向が周期的に変化する場における海浜地形変化，海岸工学論文集，第36巻，pp. 369-373。
- 宇多高明・岩崎福久・加藤恒太郎(1993)：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—，海岸工学論文集，第40巻，pp. 401-405。
- 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。
- 門松 武・宇多高明・大杉広徳・伊藤弘之(1991)：東播海岸の西島地区における礫養浜の現地実験，海岸工学論文集，第38巻，pp. 301-305。
- 気象庁予報部(1991)：災害時自然現象報告書，第4号，p. 68。
- 住谷勉夫・園部武正・宇多高明・伊藤 隆・猿田正則・横田喜一郎(1988)：鹿島灘沿岸におけるヘッドランドの建設による海浜の安定化，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 437-441。
- 武田一郎・砂村継夫(1982)：バームの形成条件と高さ，地形，Vol. 3, No. 2, pp. 145-157。
- 坪香 伸・宇多高明・上島隆男・村尾 弘・加藤恒太郎・小西正純(1992)：東播海岸の江井ヶ島地元における養浜工の追跡調査，海洋開発論文集，Vol. 8, pp. 469-473。
- 坪香 伸・宇多高明・谷 宗彦・大杉広徳・伊藤弘之(1992)：東播海岸における礫養浜の追跡調査，海岸工学論文集，第39巻，pp. 361-365。
- 村岡憲司・宇多高明・渥美雅裕(1990)：青森海岸における礫養浜および雑石斜面の打ち上げ高・飛沫に関する現地実験，海岸工学論文集，第37巻，pp. 76-80。
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋(1975)：波による二次元汀線変化に関する一考察，第22回海岸工学講演会論文集，pp. 329-334。
- Hsu, J.R.C. and C. Evans(1989)：Parabolic bay shapes and applications, Proc. Intn. Civ. Engrs, Part 2, pp. 557-570。
- Savage, R.P. (1962)：Laboratory determination of littoral transport rates, Proc. ASCE, No. WW2, pp. 69-92。
- Sunamura, T. and Horikawa, K. (1974)：Two dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th ICCE, ASCE, pp. 920-938。
- Sunamura, T. (1989)：Sandy Beach Geomorphology Elucidated by Laboratory Modeling, Applications in Coastal Modeling, pp. 159-213。

土木研究所報告第191号

平成5年11月25日発行

発 行 建設省土木研究所
〒305 茨城県つくば市大字旭1番地
電 話 0298 (64) 2211

印 刷 前田印刷株式会社筑波支店
〒305 茨城県つくば市東新井14-5
電 話 0298 (51) 6911

本研究報告より転載又は複製する場合は、前もって
建設省土木研究所情報資料課に連絡のうえ、許可を
得てください。

Report
of
Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Vol. 191, November 1993

CONTENTS

Beach Changes Associated with Beach

Nourishment on Toban Coast Takaaki UDA
Hiroyuki ITO
