

港湾技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 659

Dec. 1989

離岸堤を備えた人工海浜の地形特性

栗 山 善 昭
加 藤 一 正
入 江 功

運輸省港湾技術研究所



Topographic Characteristics of Artificially Nourished Beaches Protected with Detached Breakwaters

Yoshiaki KURIYAMA*
Kazumasa KATOH**
Isao IRIE***

Synopsis

In Japan many artificial beaches have been planned, designed and constructed for maritime recreations. Almost all of artificial beaches are protected with detached breakwaters, because it is difficult in Japan to obtain sand continuously for the maintenance of beaches. In the early stage of construction, however, we did not have enough knowledge on the beach stability behind detached breakwaters. Therefore, follow-up surveys are carried out to investigate the topographic characteristics of the artificial beaches protected with detached breakwaters.

The studied beaches are Kataonami Beach facing the Pacific Ocean, Suma Beach and Beppu Beach facing the Seto Inland Sea, Kashiwazaki Beach and Wada Beach facing the Sea of Japan. The wave climates at these beaches are different. The waves at beaches facing the Pacific Ocean and the Seto Inland Sea are usually small, but a typhoon or a big extratropical cyclone occasionally brings high waves. At a beach facing the Sea of Japan, most of high waves are generated by strong monsoons in winter.

The volume changes in the landward regions from detached breakwaters, shoreline configurations and beach profiles are investigated. The main conclusions are as follows:

- (1) More than seventy-five percent of the nourished sand in volume remains in the landward regions from detached breakwaters. The relationships among the dimensions of quasi-stable artificial beaches are expressed by

$$Y_b = 0.9 \sim 2.3X_b, l_o = 0.2 \sim 0.5Y_b, X_r = 0.5 \sim 0.75X_f, \text{ and } X_f = 0.23Y_b,$$

where Y_b is the length of a detached breakwater, X_b is the distance from a shoreline to the detached breakwater, l_o is the width of a breakwater opening, X_r is the distance of a shoreline retreat from the initial position and X_f is the amplitude of shoreline undulation.

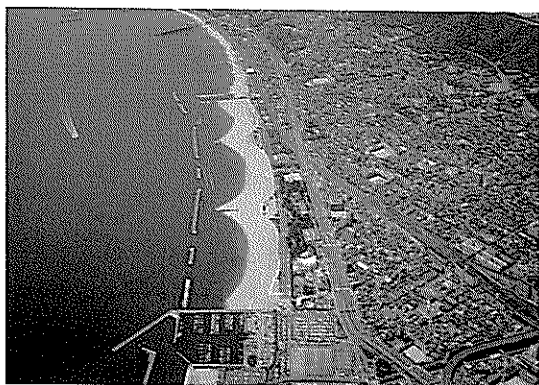
- (2) Auxiliary breakwaters or extended detached breakwaters make X_r , the distance of a shoreline retreat, small.
- (3) The foreshore slope behind a breakwater opening is steeper than that behind the breakwater. The foreshore slopes predicted with some formulas are compared with the observed values.
- (4) The berm level behind a breakwater opening is higher than that behind the breakwater by 30 ~ 100 cm. The calculated and measured berm heights are compared.

Key Words: Artificial nourishment, Detached breakwater, Salient, Berm

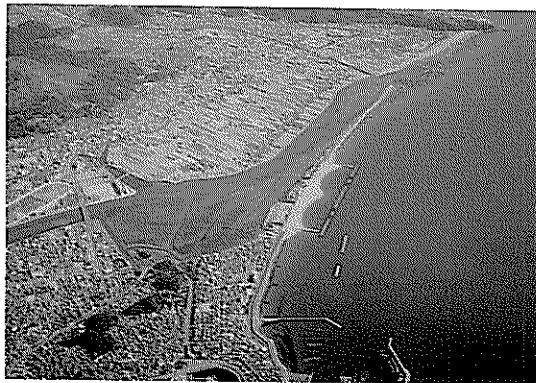
* Member of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

** Chief of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

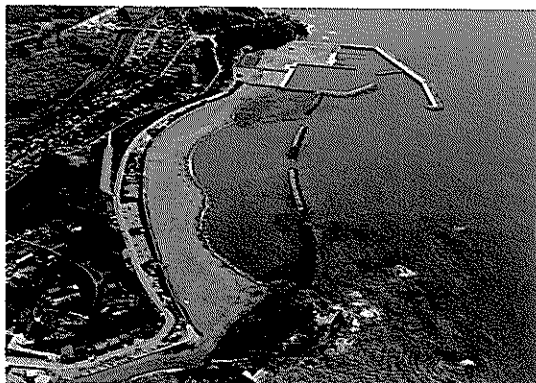
*** Former Director of Marine Hydraulics Division (Professor, Department of Hydraulic Civil Engineering, Kyusyu University)



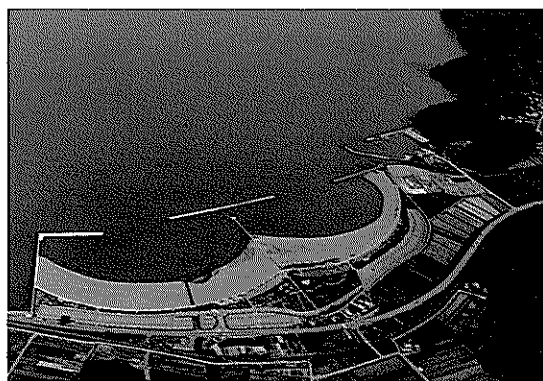
写真一 須磨海岸の空中写真(平成元年4月29日撮影)



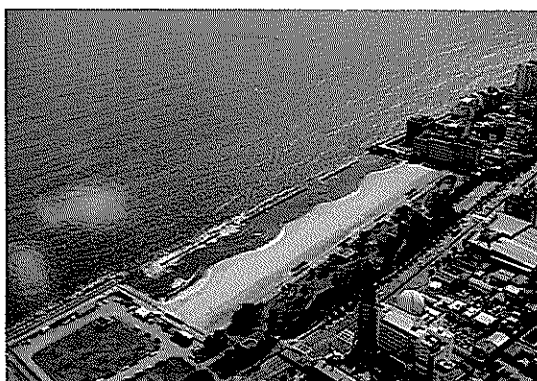
写真二 片男波海岸の空中写真(昭和62年2月26日撮影)



写真三 柏崎海岸の空中写真(平成元年4月撮影)



写真四 和田海岸の空中写真(昭和63年6月撮影)



写真五 別府海岸の空中写真

C

C

離岸堤を備えた人工海浜の地形特性

栗山善昭・
加藤一正**
入江功***

要 旨

人工海浜設計の際の参考資料を得ることを目的として、自然条件の異なる5つの人工海浜の深淺図などを収集、解析し、離岸堤を備えた人工海浜の平面形状特性、断面形状特性を論じた。解析対象海岸は、太平洋に面している和歌山県の和歌山下津港片男波海岸、瀬戸内海に面している兵庫県神戸港須磨海岸、大分県の別府港的が浜海岸、日本海に面している新潟県の柏崎港鯨波海岸、福井県の和田港鯉川海岸である。

解析の結果得られた主要な結論は以下の通りである。

- (1) 調査した5つの海岸では、75%以上の養浜砂が離岸堤より岸側に残っており、離岸堤長 Y_b 、開口幅 l_o 、離岸堤の距岸 X_b 、トンボロの全長 X_t 、汀線の計画位置からの後退量 X_r の関係は、 $Y_b = 0.9 \sim 2.3 X_b$ 、 $l_o = 0.2 \sim 0.5 Y_b$ 、 $X_r = 0.5 \sim 0.75 X_t$ 、 $X_t \cong 0.23 Y_b$ であった。
- (2) 副堤（長い離岸堤間の開口部に建設された短い離岸堤）建設、あるいは離岸堤延長によって汀線の計画位置からの後退量が小さくなった。ただし、副堤建設以前、離岸堤延長以前でも養浜砂の残存率は70%以上であった。
- (3) 開口部背後での前浜勾配は、離岸堤背後の前浜勾配に比べて大きかった。また、前浜勾配の推定値と実測値との比較によって、既往の前浜勾配の推定式の適用性が明らかとなった。
- (4) 開口部背後における後浜高さは、須磨海岸の場合を除いて離岸堤背後の値に比べて0.3~1.0 m高かった。また、波の遡上高さの推定値と後浜高さの実測値との比較によって、既往の後浜高さの推定式の適用性が明らかとなった。

キーワード：人工海浜、離岸堤、養浜、トンボロ、海浜勾配、後浜

1. はじめに

人工海浜は、天然砂浜の減少、砂浜の役割に関する認識の高まりおよび余暇の増加に伴うレクリエーション施設要求の増加を背景とし、特にレクリエーションの場として全国各地で造成されるようになってきた。昭和54年3月には、運輸省港湾局が人工海浜建設技術の指針として「人工海浜の建設技術マニュアル」（運輸省港湾局、1979）を作成した。しかし、当時は現地における人工海浜造成の事例が少なく、人工海浜に関する知見の蓄積が十分でなかったために、人工海浜建設後の追跡調査の重要性が指摘されていた（佐藤ら、1980）。

最近では、砂浜の持つ防災機能（砂浜は緩勾配であるために波の減殺効果が大い）に関心が寄せられている。海岸防護施設として従来用いられてきた直立護岸などの剛な構造物が人々の生活空間と海とを隔離していたのに比べて、砂浜は両者を連続的に結び付けているため親水性に富んでおり、時代の要請に合った防護施設としての砂浜の適用が考えられている。このように、人工海浜に寄せられる期待は今後ますます大きくなると考えられ、よって信頼性の高い人工海浜の設計が望まれる。

著者らは人工海浜の設計法を確立するために、建設された人工海浜の追跡調査を昭和58年度から行ない、結果の一部を第33回海岸工学講演会で発表した（入江ら、

* 水工部 漂砂研究室
** 水工部 漂砂研究室長
*** 前 海洋水理部長（現 九州大学教授 工学部水工土木工学科）

1986)。本資料は、追跡調査の結果をもとにして、離岸堤を備えた人工海浜の平面形状特性、断面形状特性を論じたものである。

2. 調査対象人工海浜の概要と各海岸での海浜変形

2.1 調査対象人工海浜の位置

本資料で対象とした人工海浜は建設後2年以上経過し、深浅図などのデータが豊富な海岸で、図-1に示す兵庫県神戸港須磨海岸（以下、須磨海岸）、和歌山県和歌山下津港片男波海岸（以下、片男波海岸）、新潟県柏崎港鯨波海岸（以下、柏崎海岸）、福井県和田港鯉川海岸（以下、和田海岸）、大分県別府港的浜海岸（以下、

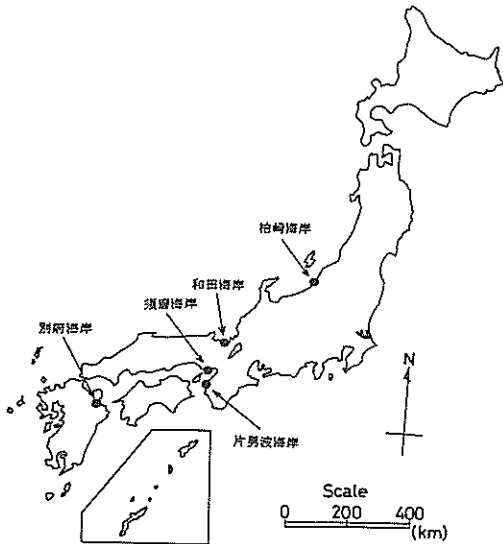


図-1 解析対象人工海浜の位置

別府海岸)の5つである。それぞれの人工海浜の空中写真を写真-1~写真-5に示す。

解析に用いた深浅図等の資料は主として海岸管理者から直接いただいたもので、それ以外の資料については参考文献に記した。

2.2 須磨海岸

須磨海岸では、昭和20年代後半から侵食が進み、昭和32年から昭和44年まで突堤が35基建設された。しかし、侵食が止まらず、昭和43年には浜幅が35mと戦前の半分になってしまった。そこで、神戸市は、侵食を防止すると共に市民の憩いの場と阪神圏における海水浴場を確保するために、昭和48年度から海岸整備事業として本格的な養浜を開始した（運輸省港湾局、1979）。

昭和48年度という年は、海岸環境整備事業の発足ともなって人工海浜造成事業が国の補助事業として開始された年である。これより、多くの地域で人工海浜造成が検討されるようになり、来襲波浪から人工海浜を防護するための外郭施設の築造が少しずつ進められるようになってきた。

このなかにあつて、昭和48年度に着工した須磨海岸の人工海浜は、きわめて先行的に事業が進められたものであり、その計画、設計、施工を通じて得られた多くの知見は、その他の人工海浜造成事業推進の先導的役割をはたすことになる。昭和48年着工の背景には、須磨海岸の侵食対策事業として、昭和43年の現地調査、昭和44年の養浜を含む海岸侵食対策の実験（佐藤ら、1970；佐藤・入江、1970）、昭和46年の養浜土砂流失防止工法の実験（田中ら、1973；Sato and Tanaka, 1974）、昭和47年の遊歩道を有する護岸の越波実験（服部・佐藤、1973；Sato and Tanaka, 1974）の実施

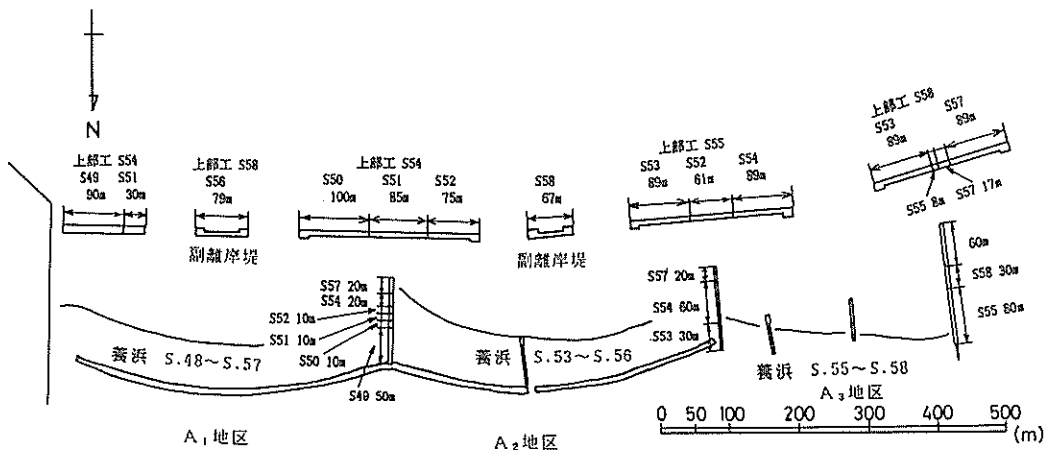


図-2(a) 構造物等の施工状況（須磨海岸）

があった。着工後も、昭和49年に海水交換に関する実験（佐藤ら，1975；佐藤ら，1976；佐藤ら，1977），昭和51～53年に第一期計画外郭施設配置の可否・法止工の効果に関する水路実験・第二期計画に関する実験（田中・小山内，1979）などが、事業の実施と並行して行なわれた。

図-2(a)は外郭施設の施工状況を示したものであり、図中の数字は施工年度を表す。離岸堤や突堤は、おおむねA₁地区、A₂地区、A₃地区の順序で建設されている。A₁地区については、昭和48年度から養浜（砂投入）が始められ、離岸堤、突堤の概成が整う昭和52年9月に本格的な養浜が実施され、その後昭和57年6月まで、計4回の段階的養浜がなされた。A₂地区についても、外郭施設の概成が整う昭和53年9月に第一回の養浜、そして昭和56

年9月までに計4回の段階的養浜が行われた。なお、A₁地区、A₂地区の離岸堤の開口部に副離岸堤（以下、副堤）[※]が、それぞれ昭和56年度、昭和58年度に建設された。A₃地区でも、外郭施設の概成が整った後の昭和55年9月に養浜開始となり、昭和59年9月までに計3回の養浜が行われた。いずれの地区においても養浜開始後、頻りに繰り返された地形測量によって人工海浜の地形変化がモニターされている。

図-2(b)は須磨海岸の形状を示したもので、A₁地区、A₂地区における実線は昭和58年12月の地形、A₃地区の実線は昭和58年2月の地形であり、一点鎖線は人工海浜建設以前のD.L.+1.0mの等深線の位置である。図-2(c)は人工海浜の計画断面である。表-1には須磨海岸の諸元を示した。表中の潮位や離岸堤の設置水深等はD.L.

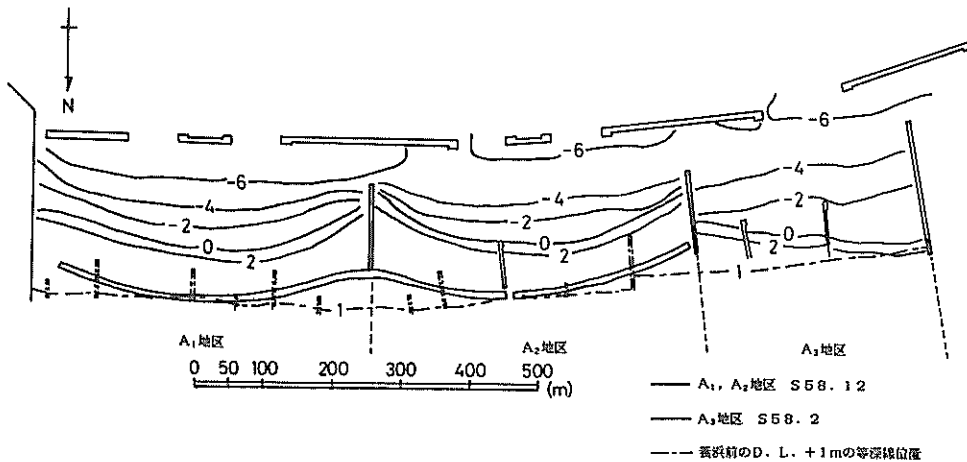


図-2(b) 須磨海岸の平面形状

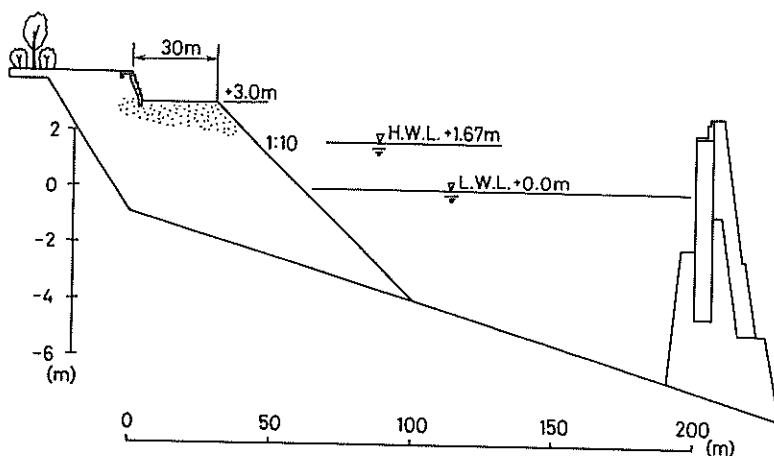
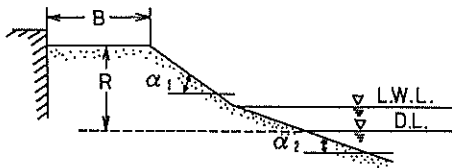


図-2(c) 須磨海岸の計画断面

※) 副離岸堤の明確な定義は無い。本資料では図-2(a)、図-15(a)に示されているように長い離岸堤間の開口部に建設された、短い離岸堤を副離岸堤と呼ぶ。

表一 須磨海岸の諸元

離岸堤の設計条件 波高 (m) 4.75 周期 (s) 7.9 波向 SSW 潮位 (m) 3.70	離岸堤の諸元 長さ(一基当り) (m) 120~260 開口幅 (m) 204~223 数 4 設置水深 (m) 7.0 構造形式 不透過 天端高 (m) 3.2 天端幅 (m) 6.5 副離岸堤 有
潮位 (m) L. W. L. 0.00 M. W. L. 1.10 H. W. L. 1.67	養浜の計画断面 α_1 1:10 α_2 3.0 R 3.0 B 3.00
	養浜砂の中央粒径 (mm) 1.3~1.6 土砂投入開始年度 S 48 投入土量 (m ³) 610 000 解析期間 S 53~S 57



図一 3 計画断面の特性を表す記号の定義

を基準としており、 α_1 、 α_2 、 R 、 B は図一3に示すように、それぞれL.W.L.より陸上部の海浜勾配、L.W.L.より海中部の海浜勾配、後浜高さ、後浜の幅である。

表一 2 須磨海岸の波浪特性

観測期間中の 極大有義波高 (m)	2.40	波高計の 設置場所	神戸港 (須磨海岸の 東10km)
発生確率年2回の波 波高 (m)	2.0	設置水深 (m)	1.60
周期 (s)	5	型 式	超音波
0.5 m以下の波の 発生確率	84%	解析期間	S 55~S 57

須磨海岸の波浪特性を表一2に示す。有義波高が0.5 m以下の波の発生確率が84%であることから、この海岸は比較的静穏であることが分かる。波高の大きい波は、台風や発達した低気圧によって生ずる。

図一4~6はA₁地区における海浜地形であり、各図の(a)が平面図、(b)が測線No. 1、No. 2の断面図である。図一4(a)によると、副堤のなかった昭和54年12月から昭和56年3月にかけて、開口部背後の汀線が後退し、離岸堤背後の汀線が前進した。図一4(b)の断面図によると、これらの変化はD.L.+3m~-3mの範囲で生じており、

D.L.-4m以深の海底地形は変化していない。昭和56年3月から昭和57年9月の間は養浜のため開口部背後、離岸堤背後で汀線が前進した(図一5)。副堤建設後の昭和57年9月から昭和58年12月にかけては、開口部背後、離岸堤背後において海浜変形量が非常に小さかった(図一6)。

図一7、8はA₂地区の海浜地形である。副堤のなかった昭和56年12月から昭和57年12月に、A₁地区と同様に、開口部背後で汀線の後退、離岸堤背後で汀線の前進が生じた(図一7)。しかし、副堤がほぼ完成した昭和58年12月では、昭和57年12月と比べて開口部、離岸堤背後の海浜はともにほとんど変化していない(図一8)。

以上の結果から、須磨海岸のA₁、A₂地区では、副堤のなかったときは開口部背後で汀線が後退したものの、副堤建設後は汀線の位置はほとんど変化せず、海浜は安定していると言える。

図一9は、A₃地区の海浜地形である。昭和55年12月から昭和58年2月にかけて、A₃地区中央の2本の突堤に囲まれた領域において汀線が後退し、-2mの等深線が前進している。しかし、海浜変形量は小さい。

図一10はA₁地区、A₂地区、A₃地区における離岸堤より岸側の領域の土量変化を示したものである。A₁地区では昭和52年9月の養浜前の海浜地形を基準とし、A₂地区では昭和53年9月の養浜前の地形を、A₃地区では昭和55年9月の地形を基準とした。黒丸は残留土量(養浜前からの増加土量)を表しており、破線は養浜砂の累計投入量を表している。3地区では、いずれの年月でも養浜砂の大部分が離岸堤よりも岸側の領域に留まっており、特に昭和59年9月以降では、全ての地区で残量が累計投入量を上回っている。残量が累計投入量を上回った原因としては、離岸堤を設置したことによって砂が沖から岸へ運ばれてきたこと、および深淺測量の誤差が考えられる。

図一11(a)、(b)は、A₁地区、A₂地区における離岸堤背後および開口部背後での汀線位置(人工海浜背後に設けた基準線から汀線までの距離)の経時変化を示したものである。離岸堤背後の汀線は時間とともに前進しており、開口部背後の汀線は養浜時に前進し、その後やや後退する傾向にあったが、副堤建設後は安定していることが分かる。

続いて、岸沖方向の断面を図一12に示すように2つの領域に分け、それぞれの領域での勾配を検討する。勾配 $\tan\theta_1$ は、L.W.L.から波の遡上端(後浜の沖側端)までの前浜の勾配を、 $\tan\theta_2$ はL.W.L.からL.W.L.-1.5

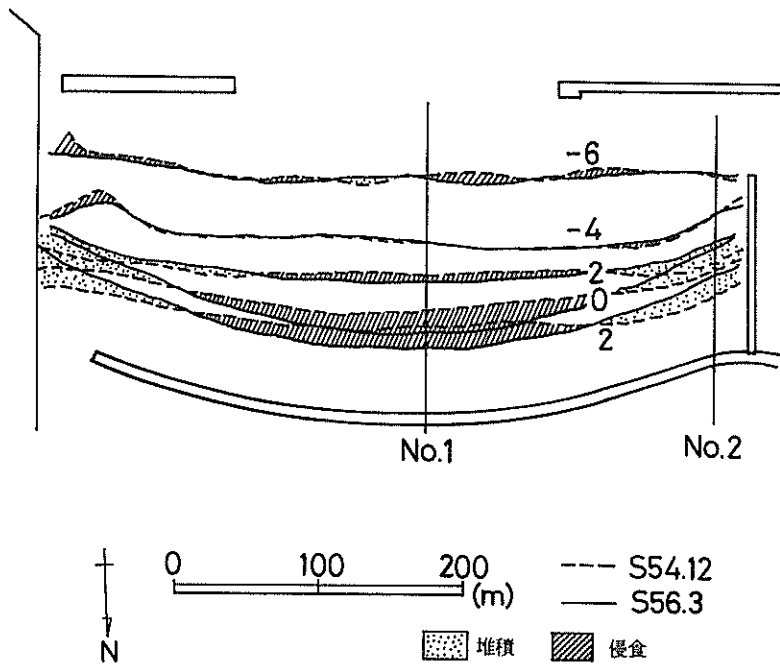


図-4(a) 須磨海岸A₁地区における海浜地形(平面形状, S54.12, S56.3)

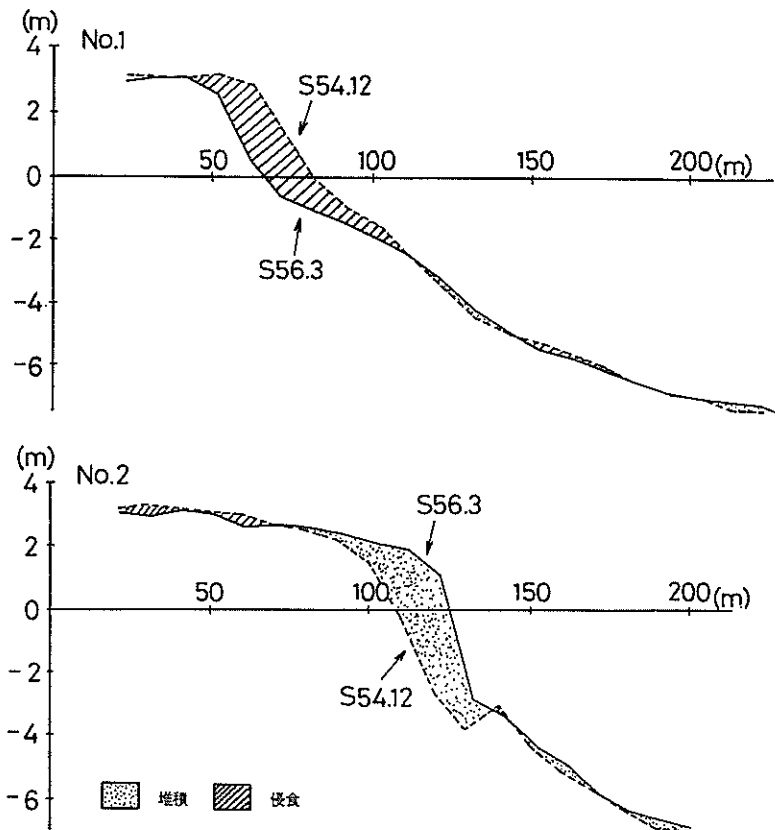


図-4(b) 須磨海岸A₁地区における海浜地形(断面形状, S54.12, S56.3)

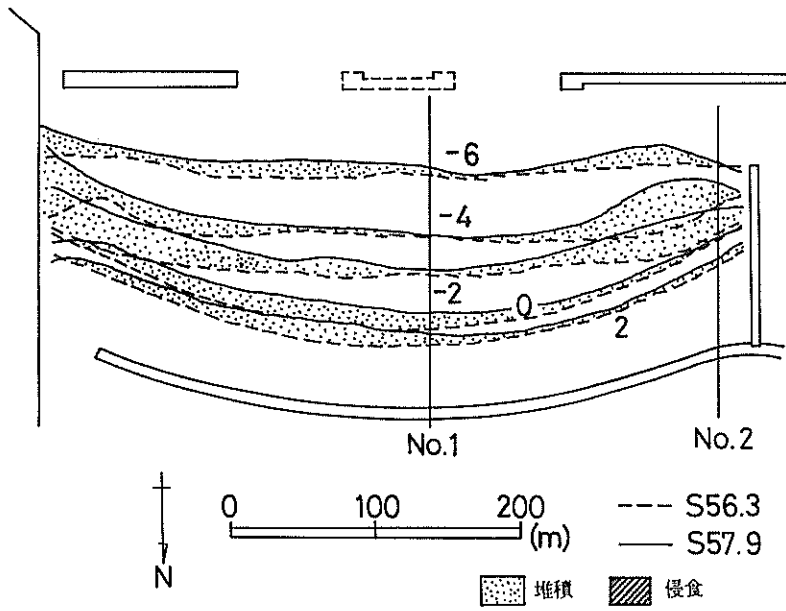


図-5(a) 須磨海岸A₁地区における海浜地形(平面形状, S56.3, S57.9)

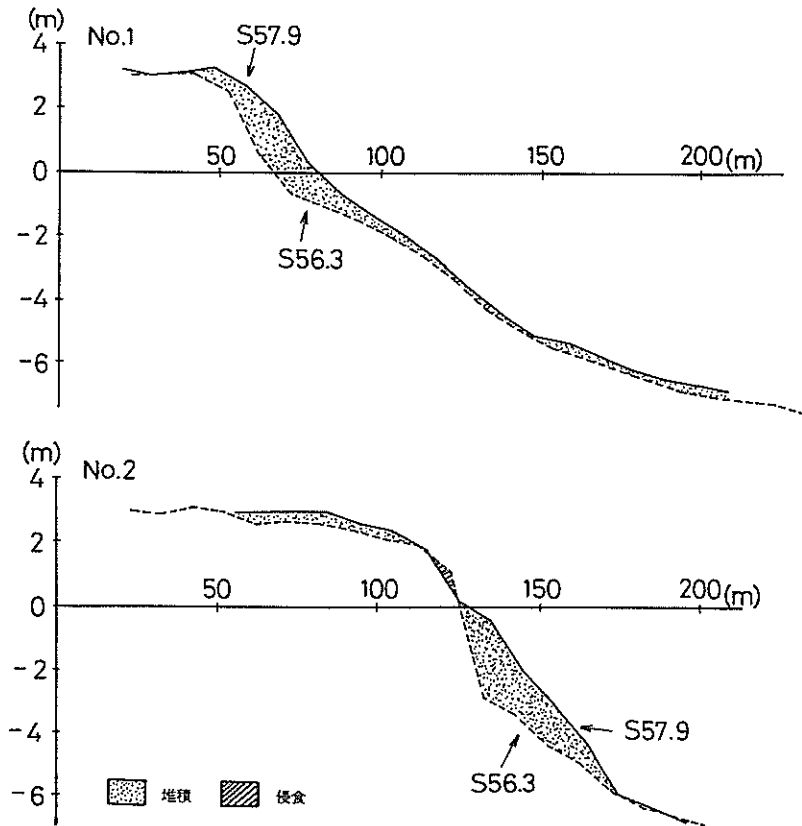


図-5(b) 須磨海岸A₁地区における海浜地形(断面形状, S56.3, S57.9)

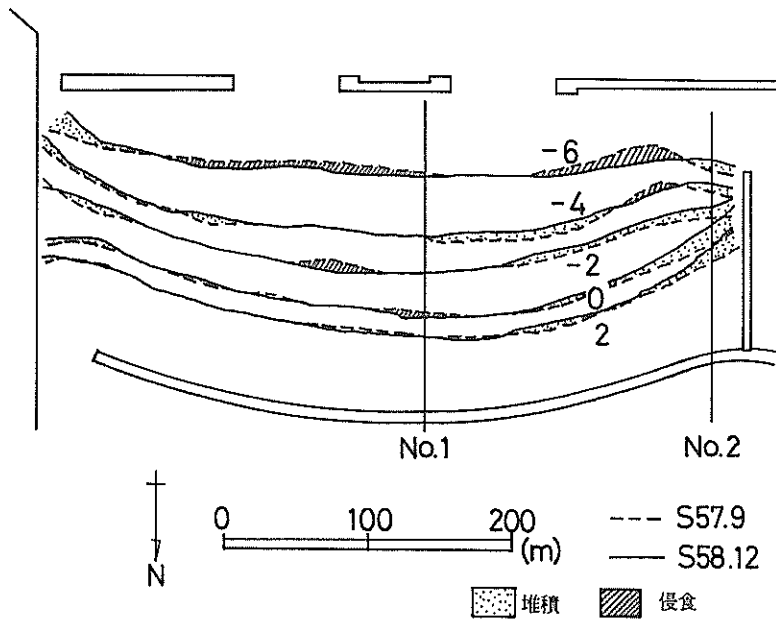


図-6(a) 須磨海岸A₁地区における海浜地形(平面形状, S57.9, S58.12)

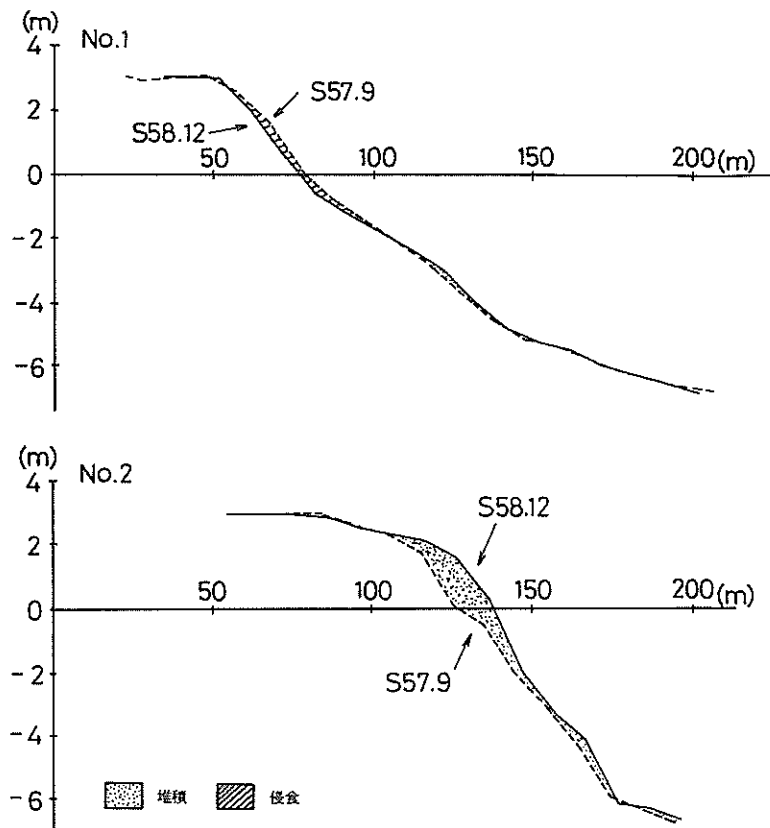


図-6(b) 須磨海岸A₁地区における海浜地形(断面形状, S57.9, S58.12)

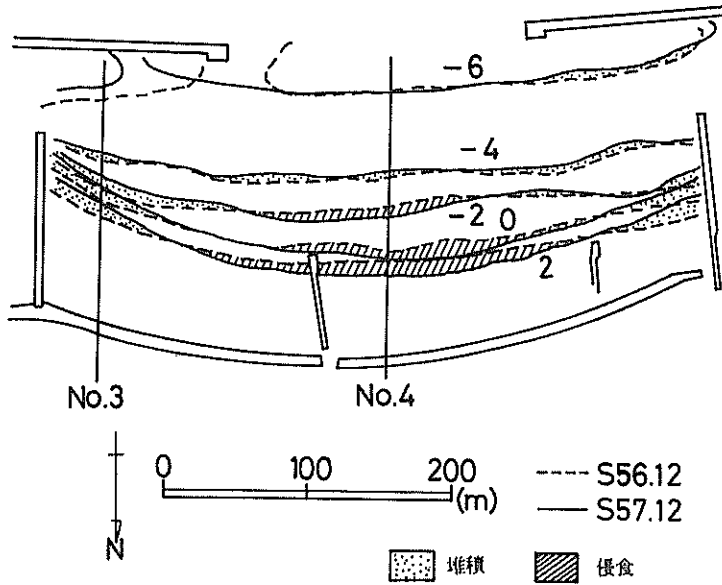


図-7(a) 須磨海岸 A₂ 地区における海浜地形 (平面形状, S56.12, S57.12)

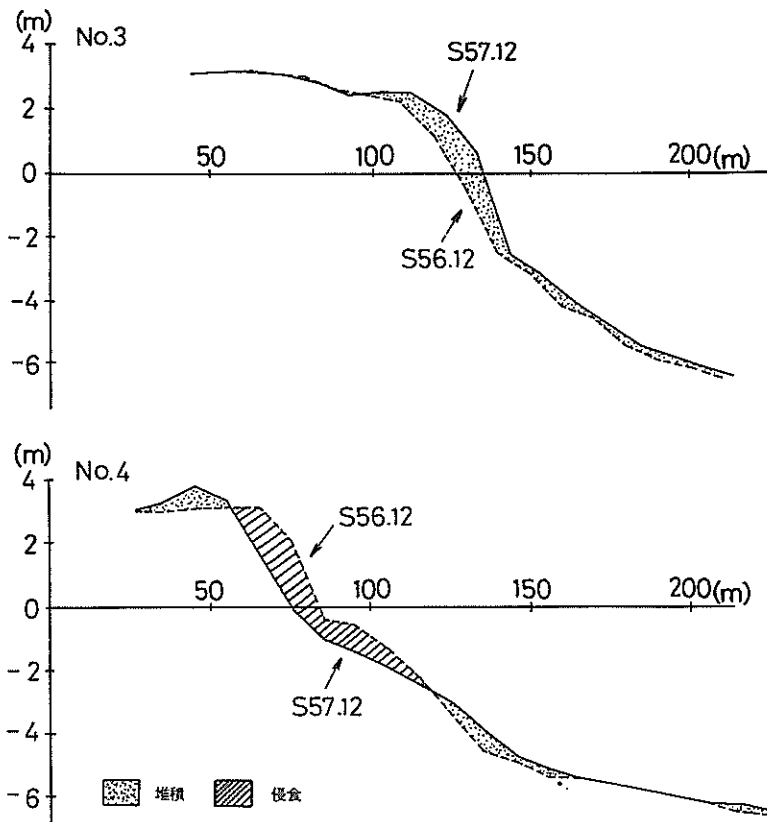


図-7(b) 須磨海岸 A₂ 地区における海浜地形 (断面形状, S56.12, S57.12)

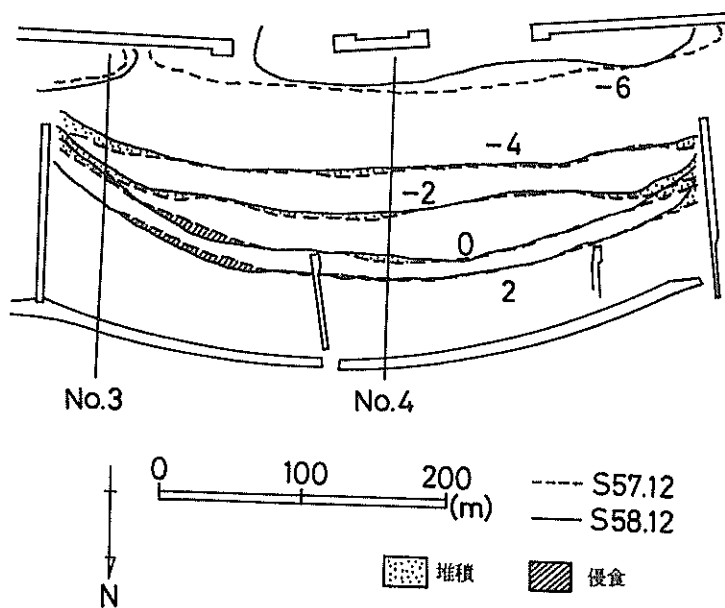


図-8(a) 須磨海岸A₂地区における海浜地形(平面形状, S57.12, S58.12)

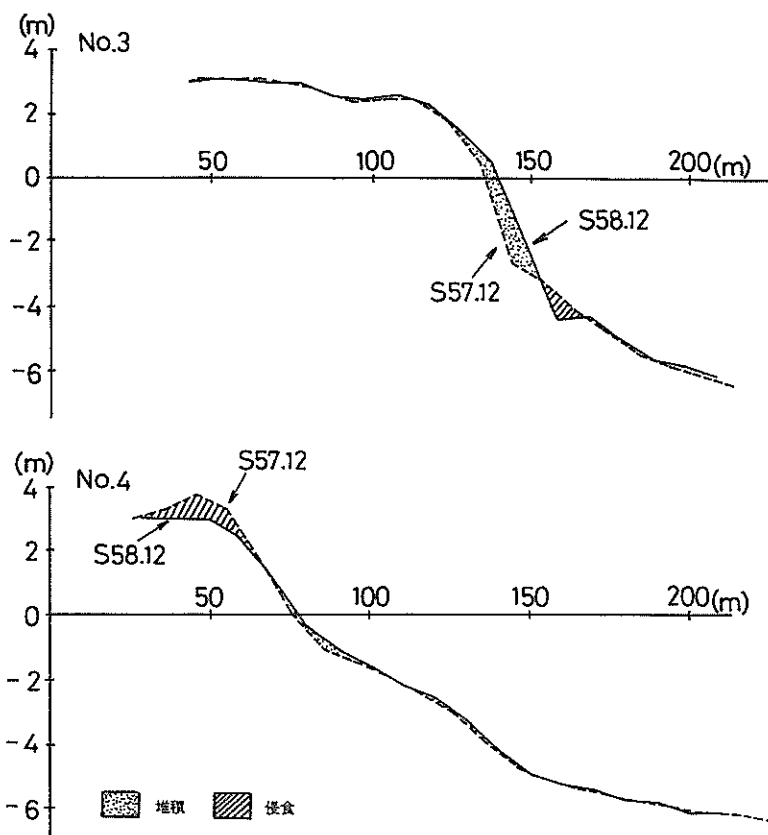


図-8(b) 須磨海岸A₂地区における海浜地形(断面形状, S57.12, S58.12)

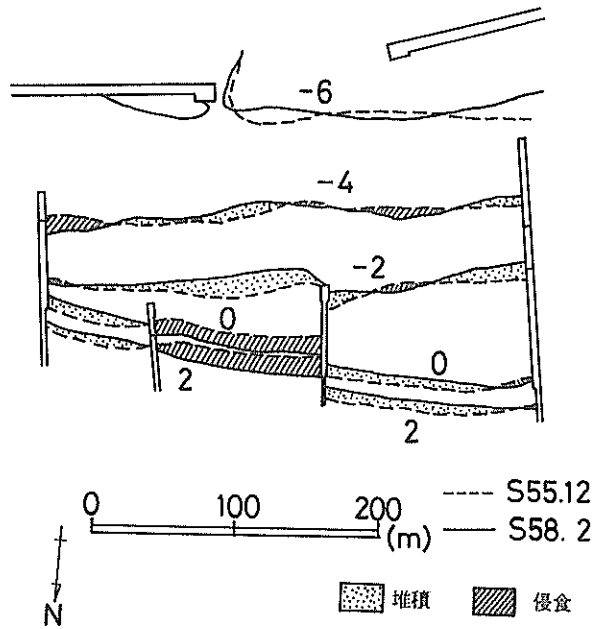


図-9 須磨海岸 A₃ 地区における海浜地形（平面形状，S55.12，S58.2）

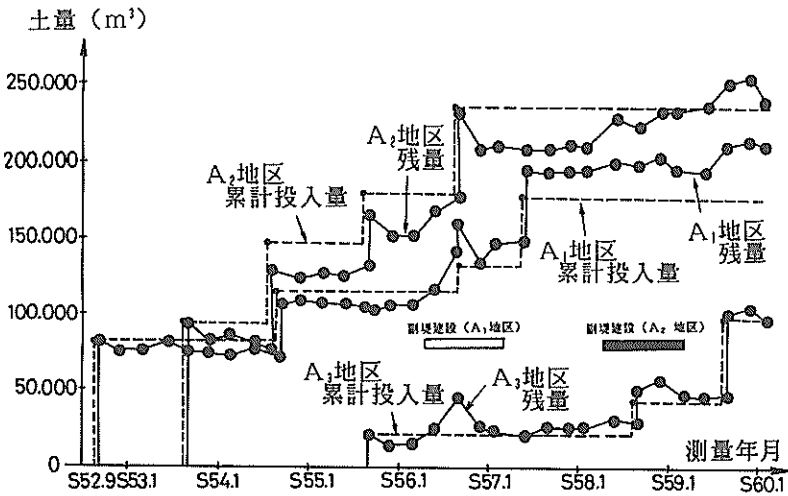


図-10 投入土量と残留土量の経時変化（須磨海岸）

mまでの領域の勾配である。海水浴場の水域の利用状況によると大半の利用者が足の立つ水深（1.0 mから1.5 m）以浅に分布している（運輸省港湾局，1979）ことから，L.W.L. - 1.5 mは海水浴客の利用頻度の高い領域の沖側端であると考えられる。

図-13 (a)が， $\tan \theta_1$ の経時変化である。離岸堤背後および開口部背後とともに，副堤建設後の $\tan \theta_1$ は建設前の値よりも小さくなっている。ただし，副堤建設後では開口部背後の値の方が離岸堤背後の値よりも大きい。また，いずれの測線でも $\tan \theta_1$ は常に設計勾配（1/10）より急勾配である。図-13 (b)は， $\tan \theta_2$ の経時変化である。

A₁地区の離岸堤背後（測線No.2）およびA₂地区の離岸堤背後（測線No.3）と開口部背後（測線No.4）では，副堤建設によって $\tan \theta_2$ が小さくなった。A₁地区の開口部背後（測線No.1）の $\tan \theta_2$ は，副堤建設後の昭和56年12月にやや小さくなったものの昭和57年9月には大きくなっており，副堤の影響ははっきりとは現われていない。なお，設計値と比較すると，離岸堤背後は急勾配，開口部は緩勾配になる傾向がある。

図-13 (a)，(b)に示された最終勾配をみると， $\tan \theta_1$ は開口部背後が大きく， $\tan \theta_2$ は離岸堤背後が大きいという逆の傾向が認められる。

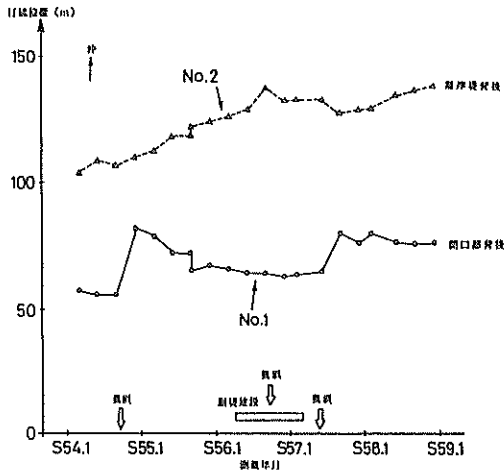


図-11 (a) 開口部背後および離岸堤背後での訂線位置の経時変化(須磨海岸, A₁地区)

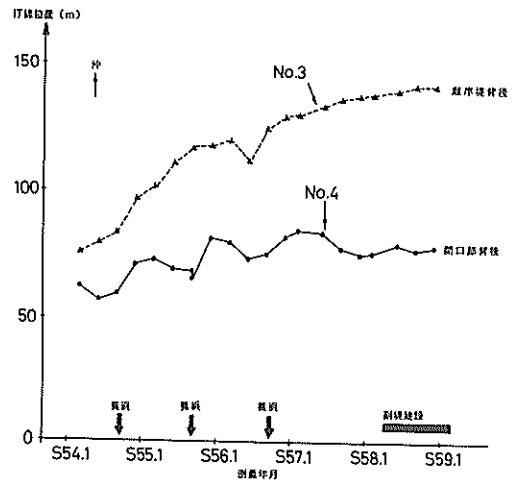


図-11 (b) 開口部背後および離岸堤背後での訂線位置の経時変化(須磨海岸, A₂地区)

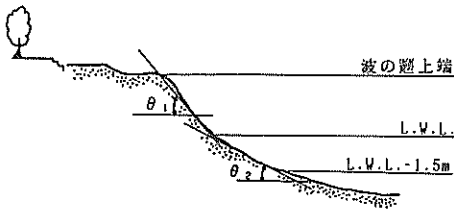


図-12 断面形状の特性を表す記号の定義

図-14は、後浜高さ R (D.L.基準)の経時変化である。A₂地区において副堤建設前の昭和57年12月に開口部背後(測線No.4)で後浜高さが3.7mであった。副堤建設後の昭和58年12月では、A₁地区、A₂地区ともに開口部背後、離岸堤背後で後浜高さが約3mであった。A₁地区では昭和57年9月から昭和58年12月にかけて(図-6(b)参照)、A₂地区では昭和57年12月から昭和58年12

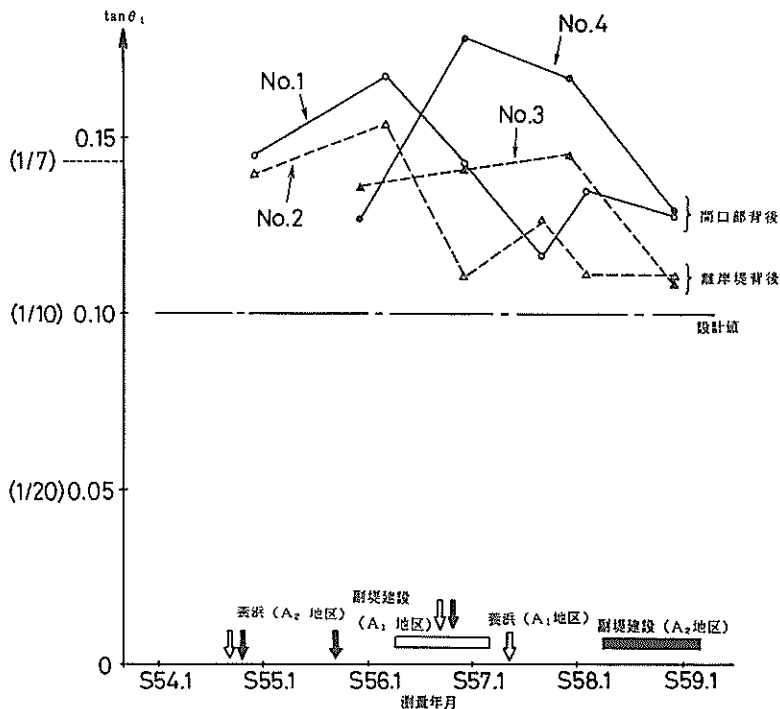


図-13 (a) 開口部背後および離岸堤背後での前浜勾配 $\tan \theta_1$ の経時変化(須磨海岸)

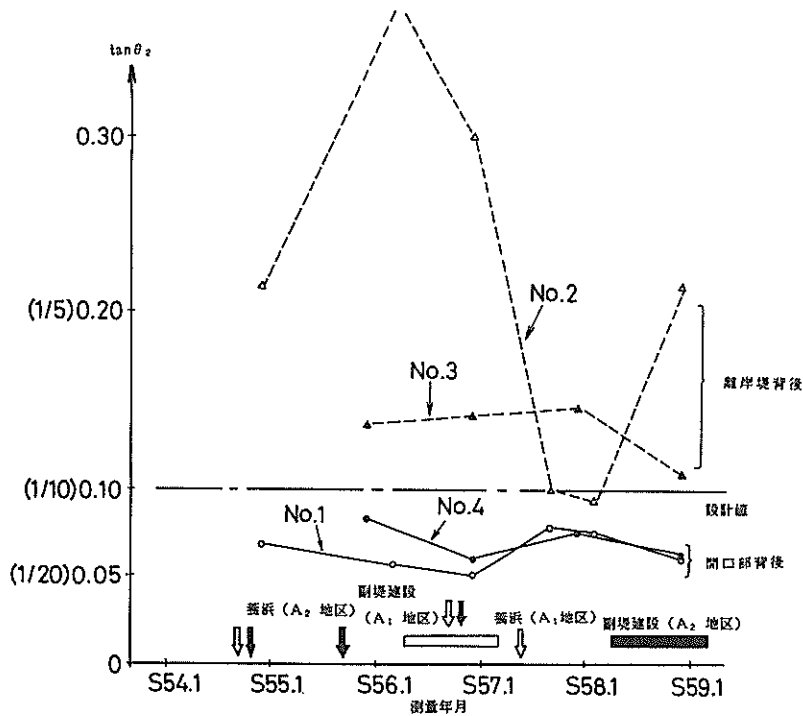


図-13(b) 開口部背後および離岸堤背後でのL.W.L.からL.W.L. - 1.5mまでの領域の勾配 $\tan \theta_2$ の経時変化 (須磨海岸)

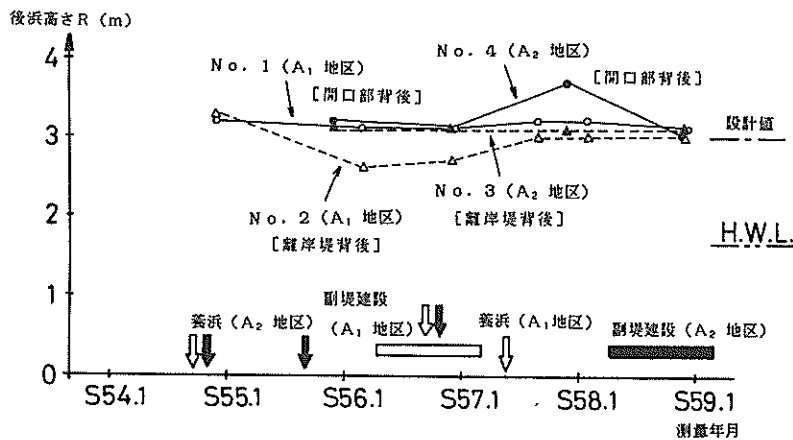


図-14 後浜高さの経時変化 (須磨海岸)

月にかけて (図-8(b)参照), 波は後浜まで達してないようであり, 後浜高さが3mとなったのは施工断面 (設計値) が残っていたためと考えられる。

2.3 片男波海岸

片男波海岸は, 昭和20年頃までは海水浴場として親しまれてきた。その後, 地震による地盤沈下, 河川からの流下土砂の減少, 台風などによって砂浜がやせ細り, 海水浴場として機能なくなってしまった。そこで, 県民

の日常的な海洋性レクリエーションの場を確保するために, 海岸整備事業が昭和52年度から着手された。

図-15(a)は構造物等の施工状況を示したものであり, 離岸堤近くの数字は離岸堤の施工年度である。養浜は昭和54年度と昭和55年度に行なわれた (和歌山県土木部港湾課, 1980; 畑中, 1986)。昭和54年度の養浜砂は広島県の忠の海から採取したものであり, 昭和55年度のは和歌川, 和歌浦, 毛見などの現地砂である。昭和

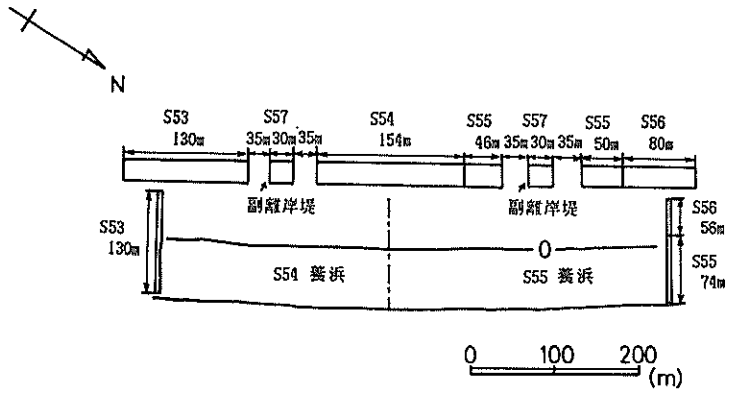


図-15(a) 構造物等の施工状況(片男波海岸)

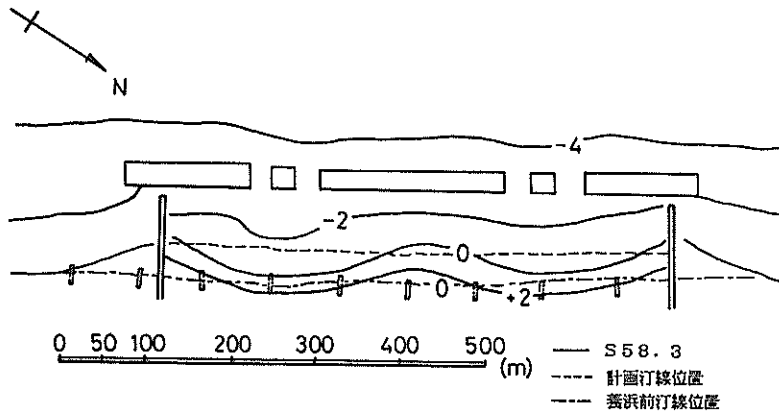


図-15(b) 片男波海岸の平面形状

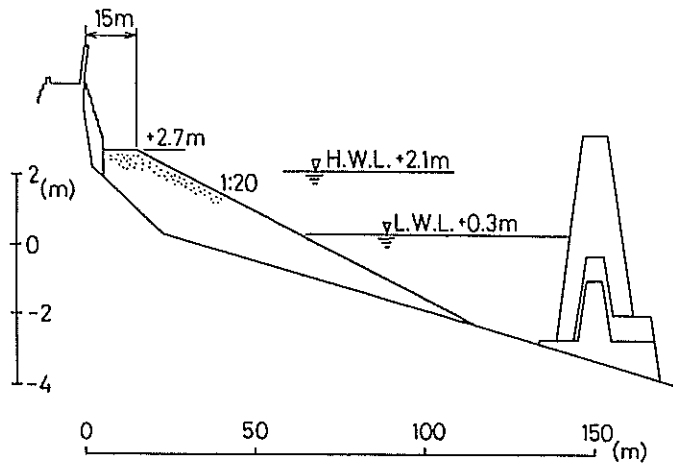


図-15(c) 片男波海岸の計画断面

57年度には開口部に副堤が二基施工されている。図-15(b)は片男波海岸の形状を示したもので、実線が昭和58年3月の地形、破線が人工海浜の計画時の汀線(D.L. 0m)、一点鎖線が人工海浜建設以前の汀線(D.L. 0m)である。また、図-15(c)は人工海浜の計画断面である。そして、表-3に片男波海岸の諸元を示した。なお、この海浜では、海水浴場をオープンする前の6月末には毎年砂浜の整地を行なっている。

表-3 片男波海岸の諸元

離岸堤の設計条件		離岸堤の諸元	
波高(m)	4.70	長さ(一基当り)(m)	130~200
周期(s)	6.6	開口幅(m)	81~87
波向	SSW	数	3
潮位(m)	2.99	設置水深(m)	4.4
潮位(m)		構造形式	透過
L. W. L.	0.30	天端高(m)	3.2
M. W. L.	1.10	天端幅(m)	7.5~8.1
H. W. L.	2.10	副離岸堤	有
養浜の計画断面		養浜砂の中央粒径(mm)	0.3~1.4
α_1	1:20	土砂投入開始年度	S 54
α_2		投入土量(m ³)	62 000
R	2.7	解析期間	S 54~
B	27.0		S 57

片男波海岸の波浪特性を、表-4に示す。有義波高が0.5m以下の波の発生確率が95%であることから、須磨海岸と同様にこの海岸が比較的静穏であることが分かる。波高の大きい波は、台風や発達した低気圧によって生ずる。

表-4 片男波海岸の波浪特性

観測期間中の 極大有義波高(m)	2.87	波高計の 設置場所	和歌山下津港 (片男波海岸の 北5km)
発生確率2回の波		設置水深(m)	9.5
波高(m)	2.0	型 式	ストレイニング 型水圧式
周期(s)	15	解析期間	S 55~S 57
0.5m以下の波の 発生確率	95%		

図-16から図-19は、片男波海岸の離岸堤より岸側の領域における海浜地形を示したもので、各図の(a)が平面図、(b)が測線No. 1, No. 2, No. 3の断面図である。図-16の実線は昭和55年3月の地形、破線は昭和54年度の養浜計画地形である。ただし、養浜領域が二基の離岸堤の間の領域であったため、それ以外の領域での破線は昭和54年3月の地形を表示している。開口部背後で汀線(D.L. 0m)およびD.L. +2mの等深線が後退し、離岸堤背後でトンボロが形成されている。断面図で見ると、No. 1の測線(開口部背後)では、D.L. -2m~+3mの範囲が侵食を受け、No. 2の測線(離岸堤背後)では、特

にD.L. 0m~-2mの範囲で堆積が生じていることが分かる。

図-17は、昭和55年度の養浜計画地形と昭和56年3月の海浜地形である。図中の破線は離岸堤よりも岸側の領域については養浜計画地形を、それ以外の領域については昭和55年3月の地形を表しており、実線は昭和56年3月の地形である。開口部背後で汀線(D.L. 0m)およびD.L. +2mの等深線が後退し、離岸堤背後で堆積が起こり、トンボロが形成されている。この間の測線No. 2の断面変化には、図-16(b)と比較して特にD.L. 0m以上で堆積が生じたという特徴がある。なお、汀線の後退量は測線No. 1の方が大きく、測線No. 3の方が小さい。

図-18は昭和56年3月の海浜地形(破線)と、昭和57年3月の地形(実線)を比較したものである。測線No. 1で汀線がほとんど変化していないのに比べて、測線No. 3で汀線が後退している。これは、前者がすでに離岸堤建設が終了して汀線位置が平衡状態にあったのに対し、後者では北端の離岸堤が昭和56年度に延伸されておりこれに伴って汀線位置が後退したためである。断面図によると、測線No. 3の侵食は全てのレベルで同程度に生じている。

図-19は昭和57年3月の海浜地形(破線)と、昭和58年3月の地形(実線)を比較したものである。昭和57年度には副堤が建設されており、汀線は副堤背後で前進し、離岸堤背後で後退している。この汀線変化には、人為的な要因が含まれていることに留意しなければならない。つまり、毎年海開き前の6月末に砂浜の整地を行なっているため、副堤背後では整地後の汀線後退量が昭和57年3月に比べて昭和58年3月が小さくなったと解釈する必要がある。同様に、離岸堤背後の汀線の後退は整地後の汀線前進量が小さくなったものである。このように、地形変化量が少なくなった(トンボロの規模が小さくなった)のは、開口部から侵入する波のエネルギーが副堤によって減少したためと考えられる。

図-20は、離岸堤より岸側の領域の土量変化を示したものである。黒丸は残留土量(養浜前からの増加土量)であり、破線は養浜砂の累計投入量である。養浜砂の累計投入量は、各年度の初めに砂が投入されたものとして整理した。残留土量については、2回の測測の間で養浜が行なわれていない場合のみ実測値(黒丸)の間を実線で結んだ。須磨海岸と同様に、養浜砂のほとんどが離岸堤よりも岸側の領域に留まっていることが分かる。

図-21は離岸堤背後、開口部背後の汀線位置の経時変化である。離岸堤背後の汀線位置と開口部背後の汀線位置との差が副堤建設後に小さくなっており、副堤建設に

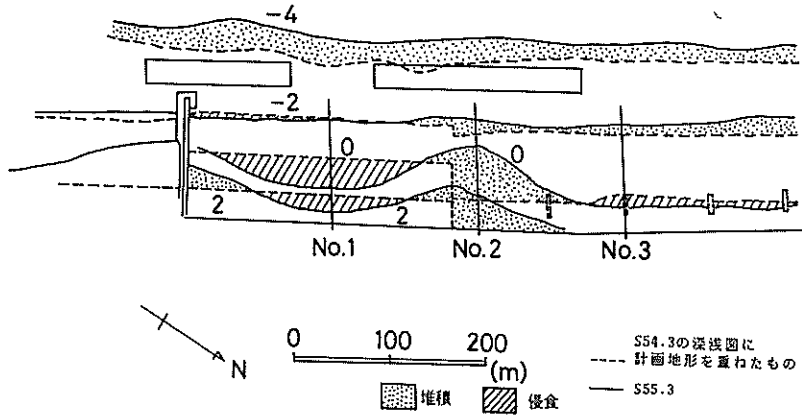


図-16(a) 片男波海岸における海浜地形(平面形状, 昭和54年度の養浜計画, S55.3)

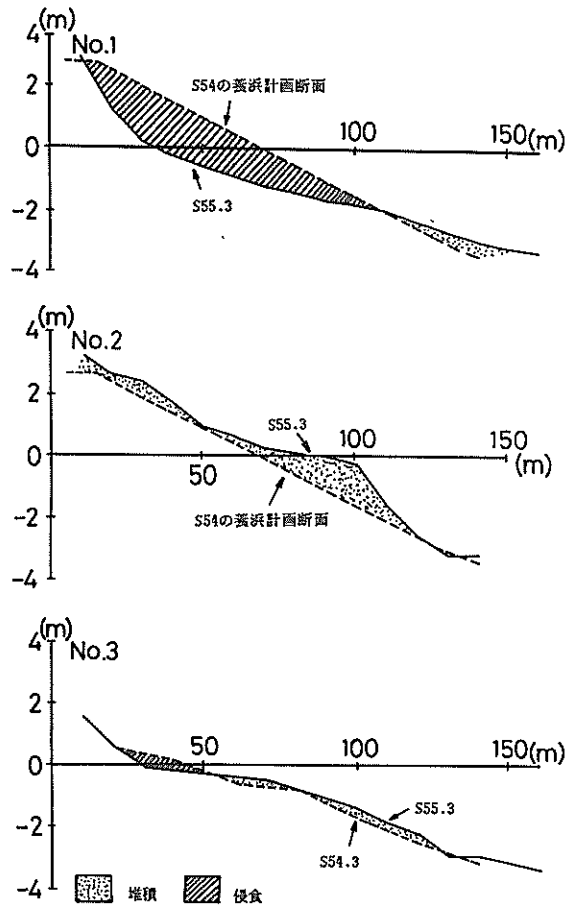


図-16(b) 片男波海岸における海浜地形(断面形状, 昭和54年度の養浜計画, S55.3)

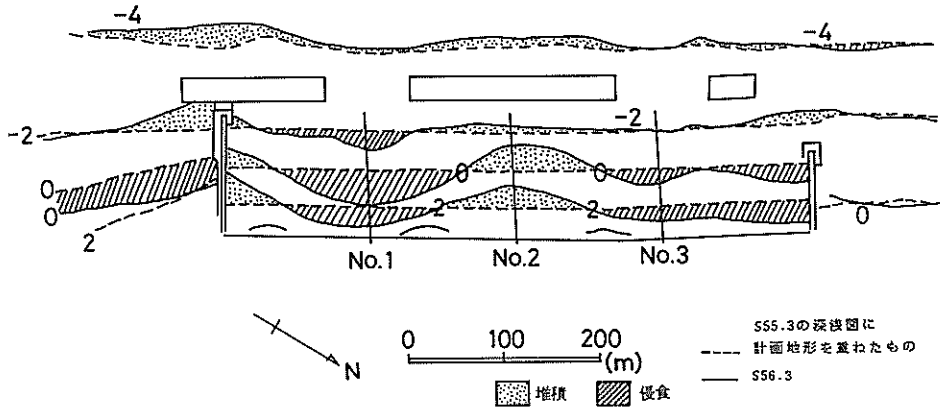


図-17(a) 片男波海岸における海浜地形（平面形状，昭和55年度の養浜計画，S56.3）

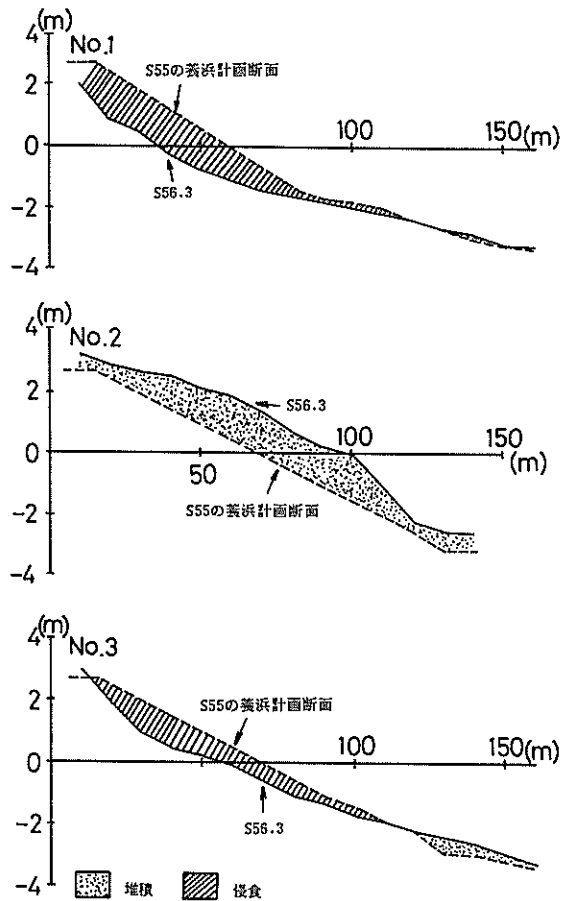


図-17(b) 片男波海岸における海浜地形（断面形状，昭和55年度の養浜計画，S56.3）

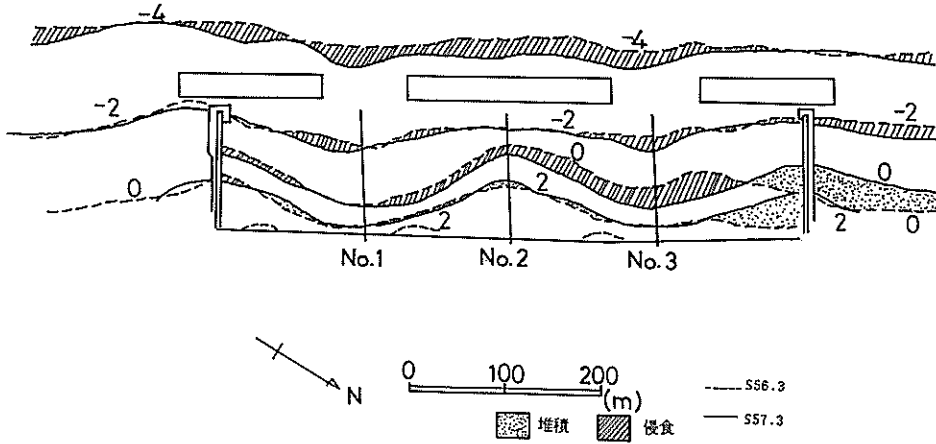


図-18(a) 片男波海岸における海浜地形(平面形状, S56.3, S57.3)

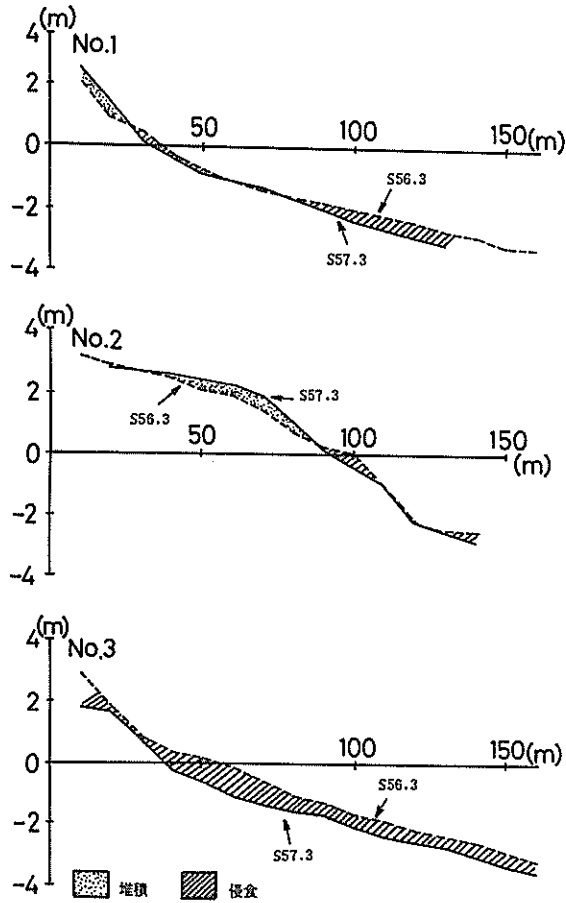


図-18(b) 片男波海岸における海浜地形(断面形状, S56.3, S57.3)

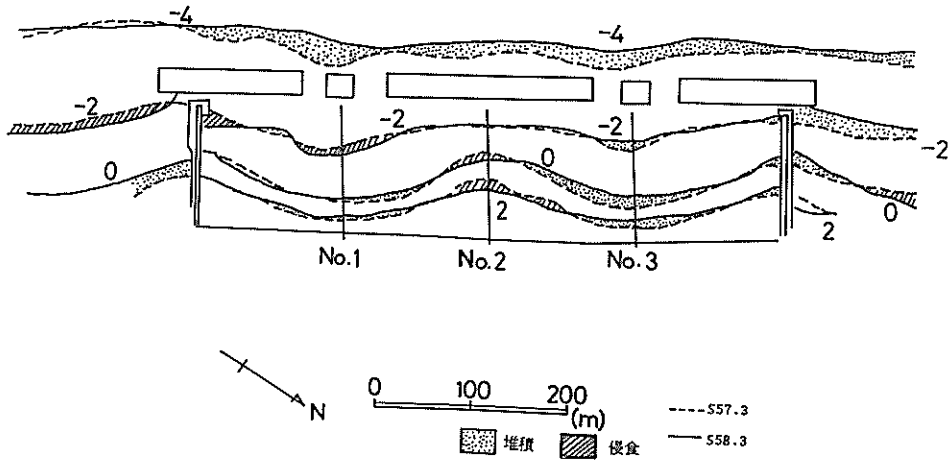


図-19(a) 片男波海岸における海浜地形(平面形状, S57.3, S58.3)

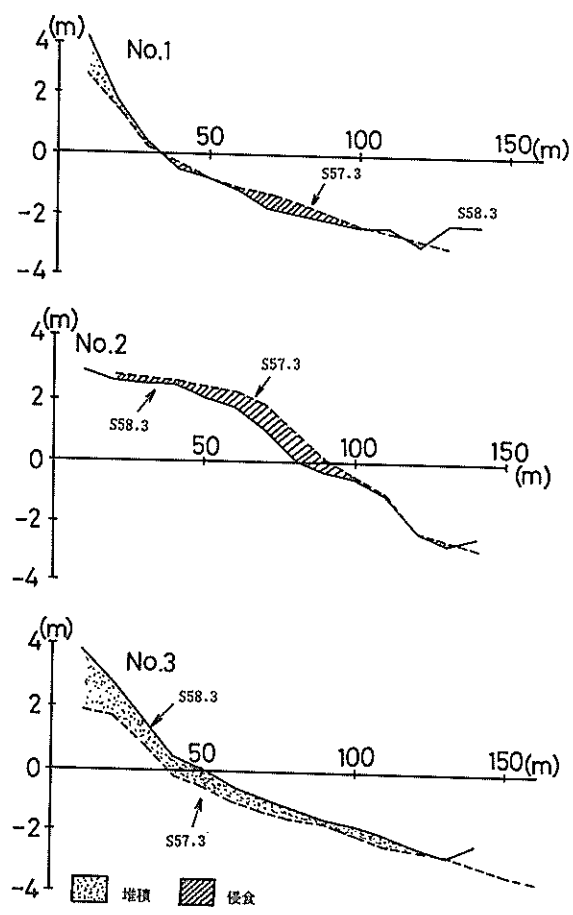


図-19(b) 片男波海岸における海浜地形(断面形状, S57.3, S58.3)

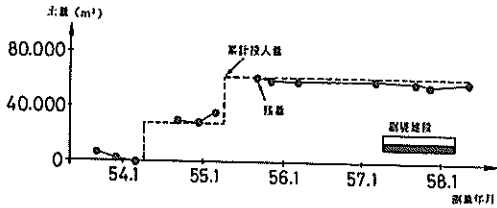


図-20 投入土量と残留土量の経時変化(片男波海岸)

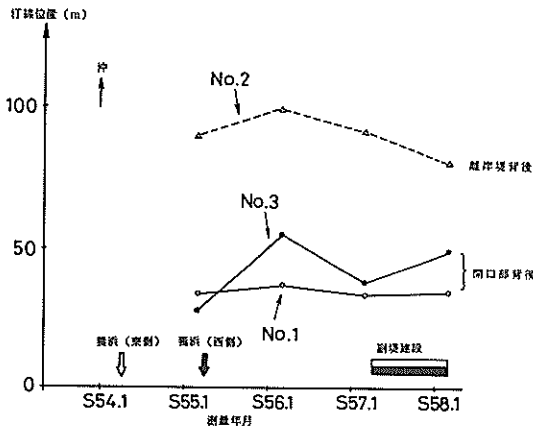


図-21 開口部背後および離岸堤背後での釘線位置の経時変化(片男波海岸)

よってトンボロが小さくなったことがこの図からも確認できる。

図-22(a), (b)はそれぞれ $\tan \theta_1$, $\tan \theta_2$ の経時変化である。開口部背後の $\tan \theta_1$ は離岸堤背後の $\tan \theta_1$ よりも大きい。一方、離岸堤背後の $\tan \theta_2$ は昭和56年3月以来、釘線の前進量が少なくなるとともに小さくなり、昭和58年3月では開口部背後の値とほぼ同じ値である。

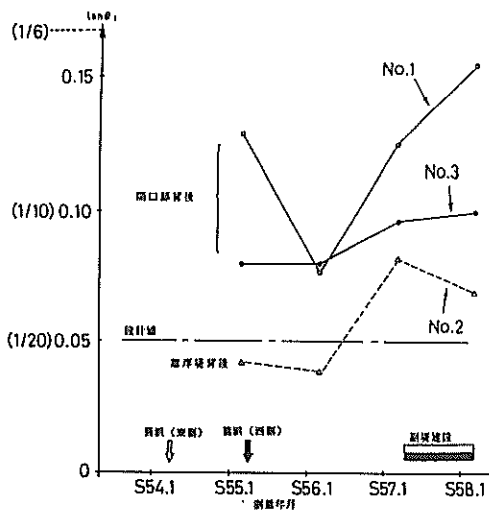


図-22(a) 開口部背後および離岸堤背後での前浜勾配 $\tan \theta_1$ の経時変化(片男波海岸)

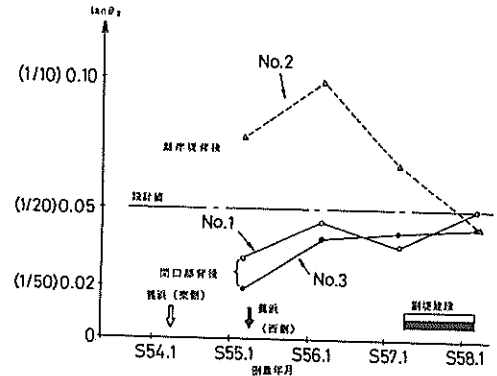


図-22(b) 開口部背後および離岸堤背後でのL.W.L. からL.W.L. -1.5mまでの領域の勾配 $\tan \theta_2$ の経時変化(片男波海岸)

後浜高さ R (D.L.基準)の経時変化を図-23に示す。副堤建設前の昭和57年3月以前において、開口部背後の後浜高さが設計値に比べて小さくなったのは、開口部背後の砂が波によって前浜から運び去られたためである。その結果、図-16から図-19までの断面図によると開口部背後での後浜の幅がほぼゼロとなっている。副堤建設後の昭和58年3月では開口部背後の後浜高さが3.8m

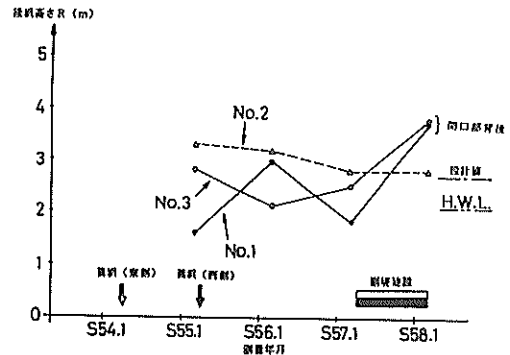


図-23 後浜高さの経時変化(片男波海岸)

となっており、離岸堤背後(測線No.2)の値(2.8m)、設計値(2.7m)に比べて1m近く高い。

2.4 柏崎海岸

柏崎海岸では、海浜レクリエーションのためのスペース拡大と自然環境の回復をはかる目的で、海岸整備事業の一環として昭和57年度から養浜が始められた。

柏崎海岸の波浪特性を表-5に示す。柏崎海岸では、有義波高0.5m以下の波の発生確率が45%で、前述した須磨海岸、片男波海岸や後述する別府海岸に比べて低く、有義波高が3.0m以上の波の発生確率が3%を超えている。

表-5 柏崎海岸の波浪特性

観測期間中の 極大有義波高 (m)	5.43	波高計の 設置場所	柏崎港 (柏崎海岸の 北 2km)
発生確率年2回の波 波高 (m) 周期 (s)	4.9 9		
0.5 m以下の波の 発生確率	45%	解析期間	S58.1~S58.11 S59.5~S60.5

これらの波高の大きい波の大部分は冬期季節風によるものである。

図-24(a)は構造物等の施工状況を示したものであり、離岸堤近くの数字は離岸堤の施工年度である。養浜は昭和57年度から昭和60年度まで毎年行なわれ、養浜砂には柏崎港西港の砂が使用された。昭和58年度には東側開口部の潜堤(天端高-2.5m)の40mが天端高+2.5mにまでかさ上げされ、開口部には天端高-3.5mまで1900m³の捨石が投入された。昭和59年度には西側開口部の潜堤40mが天端高+2.5mにまでかさ上げされ、開口部には天端高-4.5mまで3900m³の捨石が投入された。

図-24(b)は柏崎海岸の形状を示したもので、実線が昭和61年3月の地形、破線が人工海浜の計画時の汀線(D.L. 0m)、一点鎖線が人工海浜建設以前の汀線(D.L. 0m)である。図-24(c)は人工海浜の計画断面である。また、表-6には柏崎海岸の諸元を示す。

表-6 柏崎海岸の諸元

離岸堤の設計条件		離岸堤の諸元	
波高 (m)	3.90	長さ(一基当り) (m)	100~150
周期 (s)	10.0	開口幅 (m)	50~83
波向	NW	数	4
潮位 (m)	0.50	設置水深 (m)	6.2
潮位 (m)		構造形式	不透過
L.W.L.	-0.01	天端高 (m)	2.5
M.W.L.	0.23	天端幅 (m)	7.4
H.W.L.	0.42	副離岸堤	有(潜堤)
養浜の計画断面		養浜砂の中央粒径 (mm)	0.5~3.0
α_1	1:1.0	土砂投入開始年度	S57
α_2		投入土量 (m ³)	125 000
R	1.5	解析期間	S57~
B	50.0		S60

図-25から図-28は、離岸堤より岸側領域の海浜地形であり、各図の(a)が平面図、(b)が測線No.1, No.2, No.3の断面図である。図-25では昭和57年度の養浜計画地形と昭和58年3月の海浜地形を比較した。図中の養浜計画地形のうち、養浜砂の投入されていない領域(D.L. 約-3m以深)は昭和57年3月の地形である。昭和58年3月には広い領域で汀線が後退しており、後退量は東側で大きく西側で小さい。D.L. -4m付近の領域で

は堆積が生じており、しかも西側ほど堆積量が大きいようである。これらのことから、昭和57年度(昭和57年の養浜から昭和58年3月まで)には汀線付近の底質が西方へ移動しつつ沖に運ばれたと考えられる。

図-26は、昭和58年の養浜計画地形と昭和59年3月の海浜地形である。養浜計画地形のうち、養浜砂の投入されていない領域は昭和58年3月の地形である。昭和58年度には東側の潜堤がかさ上げされており、開口部には洗掘防止用に石が投入されている。その結果東側の汀線の後退量が著しく小さくなっている。しかし、西側の開口部背後の汀線の後退量は逆に大きくなっている。東側の潜堤をかさ上げたことによって、西側開口部から流入する波のエネルギーの方が東側開口部から流入するエネルギーに比べて相対的に大きくなったために、離岸堤より岸側の領域において西から東に向かう流れが生じ、西側の開口部背後における汀線の後退量が大きくなったものと考えられる。

図-27は、昭和59年の養浜計画地形と昭和60年3月の海浜地形である。養浜計画地形のうち、養浜砂の投入されていない領域は昭和59年3月の地形である。昭和59年度には西側の潜堤がかさ上げされており、開口部には洗掘防止用に石が投入されている。西側の潜堤もかさ上げされたことによって西側開口部から流入する波のエネルギーと東側開口部から流入する波のエネルギーが等しくなったために、開口部背後の汀線の後退量が東と西で等しくなっている。昭和59年度の汀線後退量は昭和57年度、昭和58年度の汀線の後退量に比べて小さく、海浜が安定しているといえる。

図-28は、昭和60年の養浜計画地形と昭和61年3月の海浜地形である。養浜計画地形のうち、養浜砂の投入されていない領域は昭和60年3月の地形である。昭和60年度は海浜変形量は昭和59年度の変形量と同様に小さい。

以上のことから、柏崎海岸では、潜堤がかさ上げされる以前は海浜変形が大きい、潜堤がかさ上げされた後は海浜変形量が小さくなり、海浜が安定したと言える。

図-29は離岸堤より岸側の領域の土量変化を示したものである。黒丸が残留土量(養浜前からの増加土量)、破線が養浜砂の累計投入量である。養浜砂の累計投入量は、各年度の初めに砂が投入されたものとして整理した。須磨海岸や片男波海岸と同様に、柏崎海岸においても養浜砂のほとんどが離岸堤よりも岸側の領域に留まっている。このことは、海象条件の厳しい日本海側といえども、離岸堤建設によって人工海浜を維持することが可能であることを示している。昭和60年3月、昭和61年3月で、残量が累計投入量を上回った原因としては、須磨海岸の

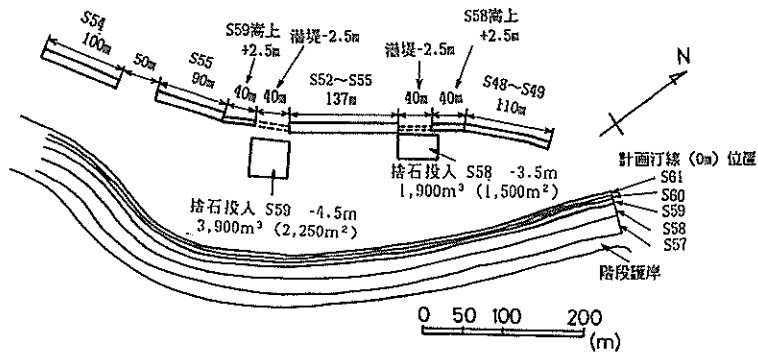


図-24 (a) 構造物等の施工状況 (柏崎海岸)

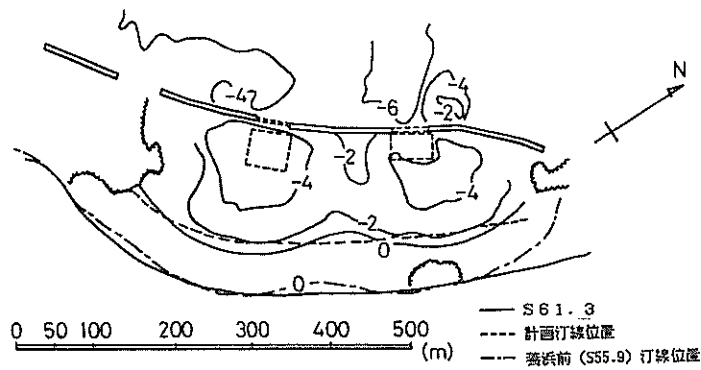


図-24 (b) 柏崎海岸の平面形状

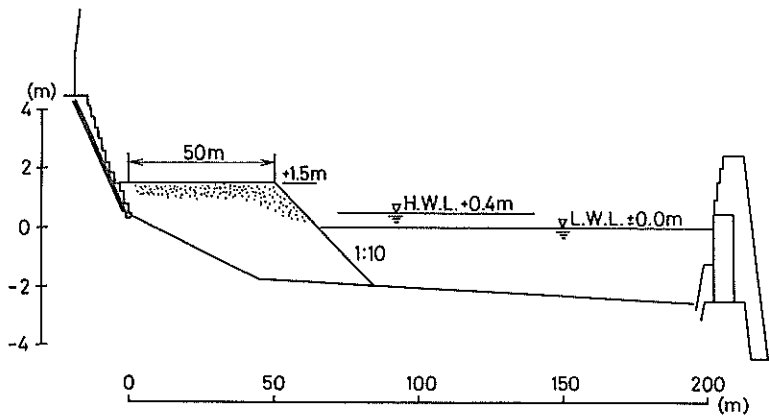


図-24 (c) 柏崎海岸の計画断面

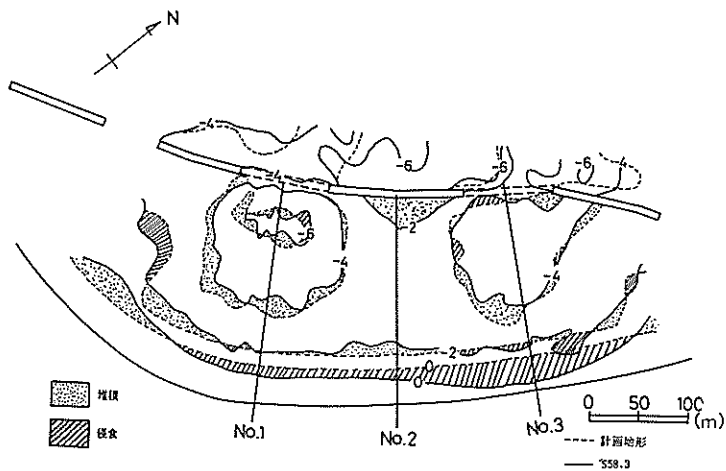


図-25(a) 柏崎海岸における海浜地形(平面形状, 昭和57年度の養浜計画, S58.3)

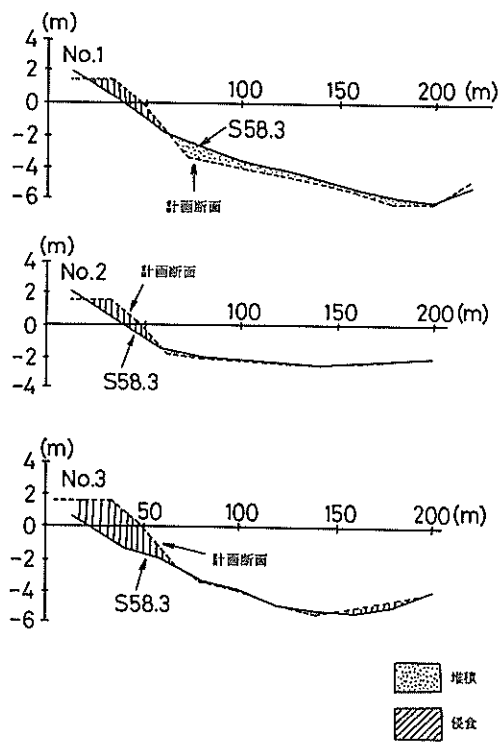


図-25(b) 柏崎海岸における海浜地形(断面形状, 昭和57年度の養浜計画, S58.3)

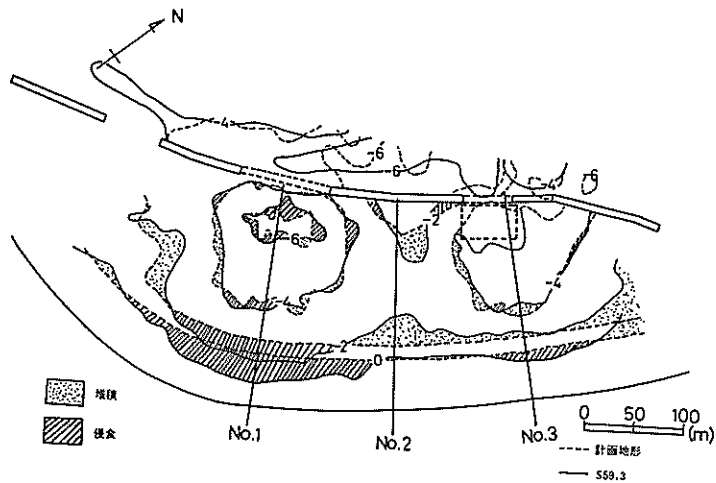


図-26(a) 柏崎海岸における海浜地形(平面形状, 昭和58年度の養浜計画, S 59.3)

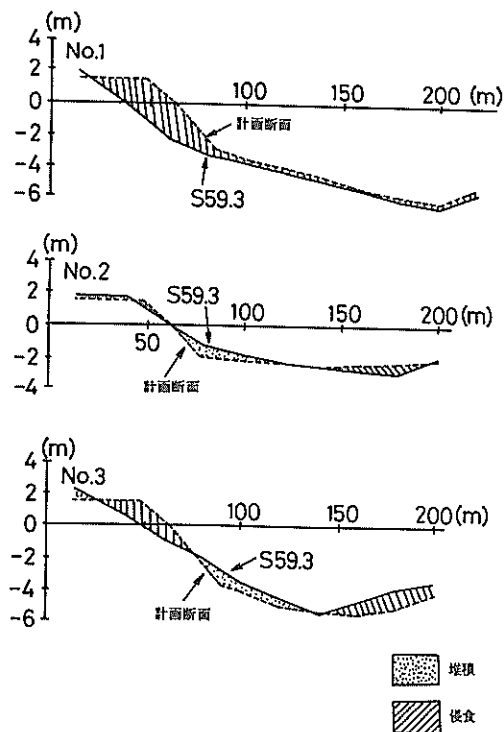


図-26(b) 柏崎海岸における海浜地形(断面形状, 昭和58年度の養浜計画, S 59.3)

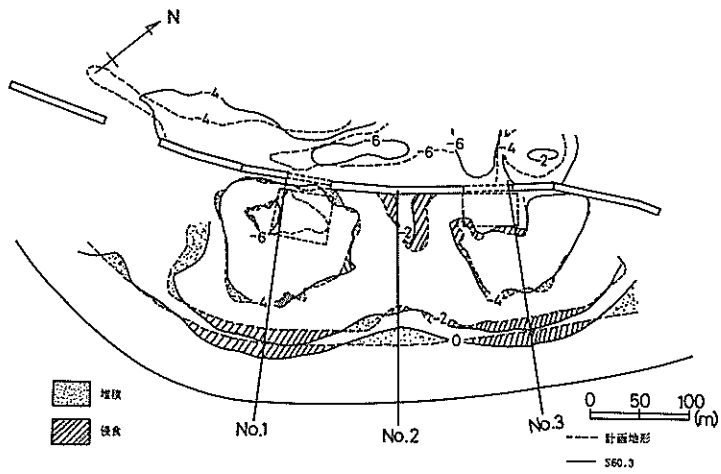


図-27(a) 柏崎海岸における海浜地形(平面形状, 昭和59年度の養浜計画, S 60.3)

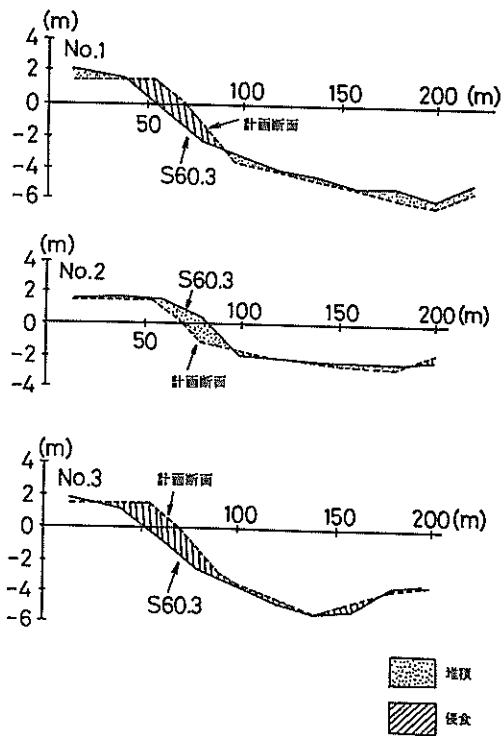


図-27(b) 柏崎海岸における海浜地形(断面形状, 昭和59年度の養浜計画, S 60.3)

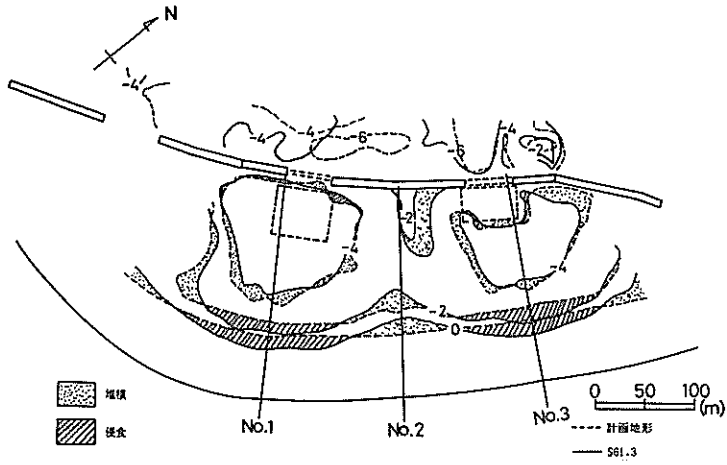


図-28(a) 柏崎海岸における海浜地形（平面形状，昭和60年度の養浜計画，S61.3）

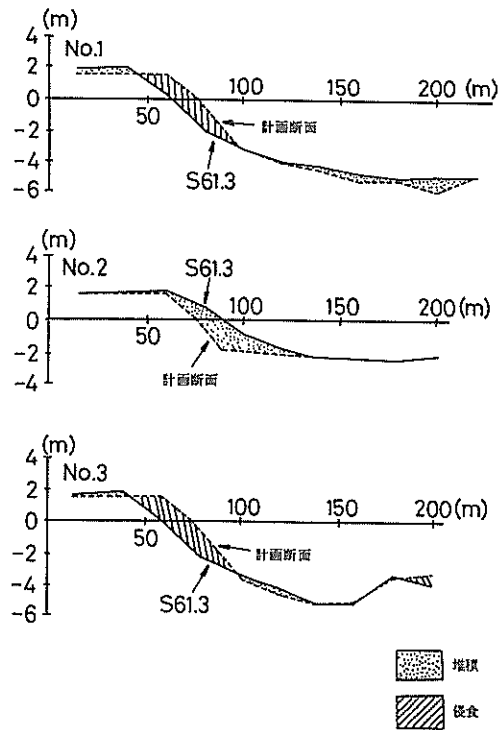


図-28(b) 柏崎海岸における海浜地形（断面形状，昭和60年度の養浜計画，S61.3）

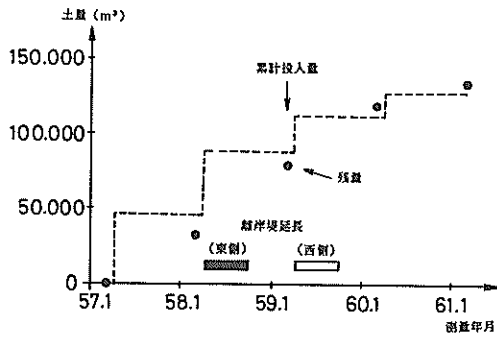


図-29 投入土量と残留土量の経時変化(柏崎海岸)

場合と同様に、離岸堤を設置したことによって砂が沖から岸へ運ばれてきたこと、および深浅測量の誤差が考えられる。

図-30は、離岸堤背後、開口部背後における汀線位置(人工海浜背後の基準線から汀線までの距離)の経時変化である。離岸堤背後のみならず、開口部背後においても汀線が前進しているのは、養浜が行なわれたためである。

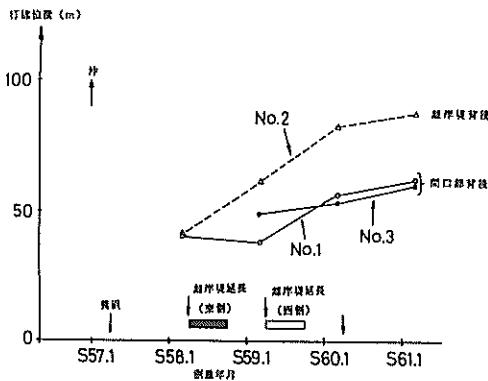


図-30 開口部背後および離岸堤背後での汀線位置の経時変化(柏崎海岸)

前浜勾配 $\tan \theta_1$ および $\tan \theta_2$ の経時変化を図-31(a), (b)に示す。昭和61年3月では、 $\tan \theta_1$ 、 $\tan \theta_2$ とも、開口部背後の値の方が離岸堤背後の値に比べて大きくなっており、 $\tan \theta_2$ の傾向が須磨海岸や片男波海岸の場合と異なっている。柏崎海岸では離岸堤直背後の水深が小さく、開口部の水深が大きくなっており、このことと開口部背後の $\tan \theta_2$ が離岸堤背後の値に比べて大きいことが対応している。

図-32は、後浜高さ R (D.L.基準)の経時変化である。昭和61年3月では開口部背後の後浜高さが1.9mとなっており、離岸堤背後の値(1.7m)、設計値(1.5m)に比べて大きい。なお、後浜の幅は、昭和60年3月以前は開

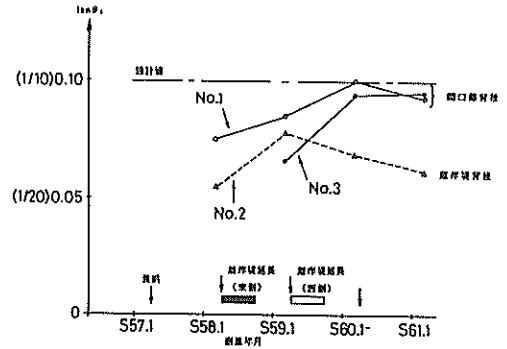


図-31(a) 開口部背後および離岸堤背後での前浜勾配 $\tan \theta_1$ の経時変化(柏崎海岸)

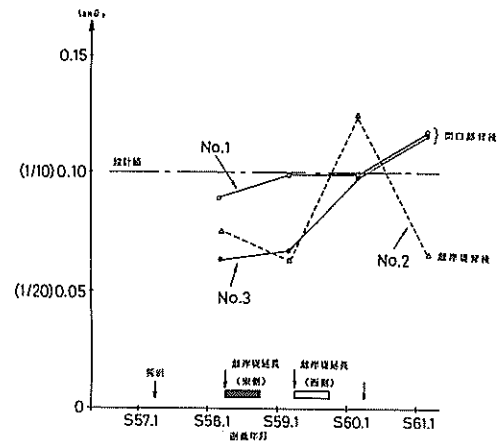


図-31(b) 開口部背後および離岸堤背後でのL.W.L.からL.W.L.-1.5mまでの領域の勾配 $\tan \theta_2$ の経時変化(柏崎海岸)

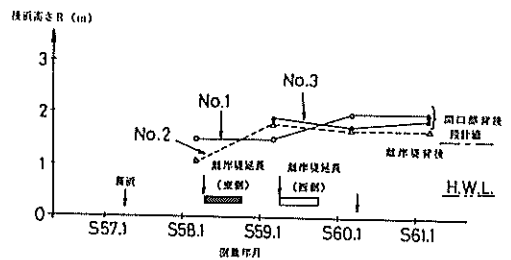


図-32 後浜高さの経時変化(柏崎海岸)

口部背後でゼロ、離岸堤背後では40~60mであった(図-25(b), 26(b), 27(b)参照)。これに対し、昭和61年3月では、開口部背後で40m、離岸堤背後で60mであった(図-28(b)参照)。

2.5 和田海岸

和田海岸は、不足している海水浴場の確保のために、砂浜がほとんどなかった海岸に建設された人工海浜である。海岸整備事業は昭和48年度から始められ、養浜は昭和55年度から行なわれた。この海岸は日本海側にあるので、波高は冬期に大きくなるものと考えられる。しかし、和田海岸は小浜湾の湾奥に位置して（図-39参照）直接日本海には面しておらず、柏崎海岸に比べ波高は小さい。ただし、和田海岸近傍での波浪データが存在しないため詳細なことは不明である。

図-33(a)は構造物等の施工状況を示したものであり、離岸堤近くの数字は離岸堤の施工年度である。図-33(b)は人工海浜の形状であり、実線が昭和60年3月の地形、破線が人工海浜の計画時の汀線（D.L. 0m）、一点鎖線が人工海浜建設以前の汀線（D.L. 0m）である。図-33(c)は人工海浜の計画断面を示したもので、表-7は和田海岸の諸元である。

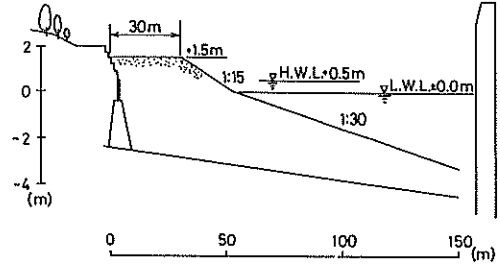


図-33(c) 和田海岸の計画断面

表-7 和田海岸の諸元

離岸堤の設計条件		離岸堤の諸元	
波高 (m)	1.12	長さ(一基当り) (m)	200
周期 (s)	9.0	開口幅 (m)	126
波向	N	数	1
潮位 (m)	0.50	設置水深 (m)	4.0
L. W. L.	0.00	構造形式	透過
M. W. L.	0.20	天端高 (m)	1.8
H. W. L.	0.50	天端幅 (m)	6.1
		副離岸堤	無
養浜の計画断面		養浜砂の中央粒径 (mm)	0.1 ~ 0.2
α_1	1:15	土砂投入開始年度	S55
α_2	1:30	投入土量 (m ³)	117 000
R	1.5	解析期間	S56 ~
B	3.00		S59

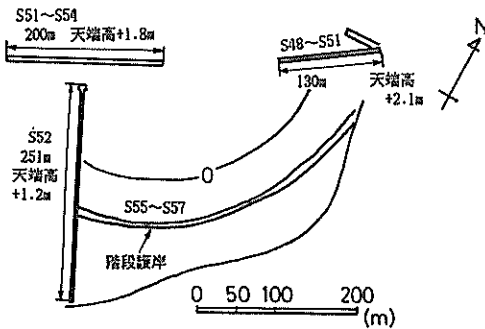


図-33(a) 構造物等の施工状況 (和田海岸)

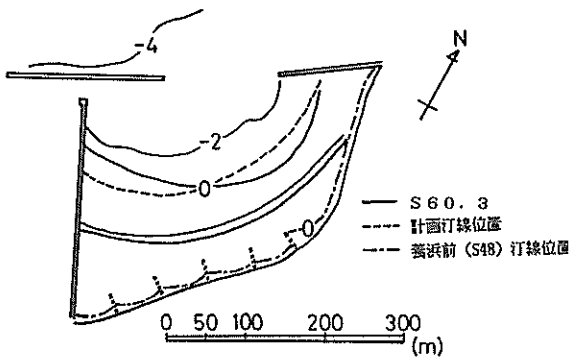


図-33(b) 和田海岸の平面形状

図-34, 35, 36は和田海岸の海浜地形であり、各図の(a)が平面図、(b)が測線 No. 1, No. 2 の断面図である。図-34は昭和57年10月の海浜地形(破線)と昭和58年3月の地形(実線)との比較である。東側が侵食され、西側で堆積が生じていることは、底質が東側から西側へ移動したことを示す。図-35は、昭和58年3月の海浜地形(破線)と昭和59年3月の地形(実線)との比較である。D.L. -2mの等深線は全域で後退しているが、汀線は東側で後退、西側で前進している。図-36は昭和59年3月の海浜地形(破線)と昭和60年3月の地形(実線)との比較である。海浜変形量は非常に小さく、東側の侵食および西側の堆積がわずかに認められるにすぎない。

図-37は、D.L. 0mの汀線の昭和57年10月から昭和60年3月までの経時変化である。図-34~36で述べたように、東側で汀線が後退し、西側で汀線が前進している。また、図-38は、離岸堤背後(測線 No. 1)および開口部背後(測線 No. 2)の汀線位置(人工海浜背後の基準線から汀線までの距離)の経時変化である。この図からも、離岸堤背後で汀線が前進し、開口部背後で汀線が後退していることがわかる。

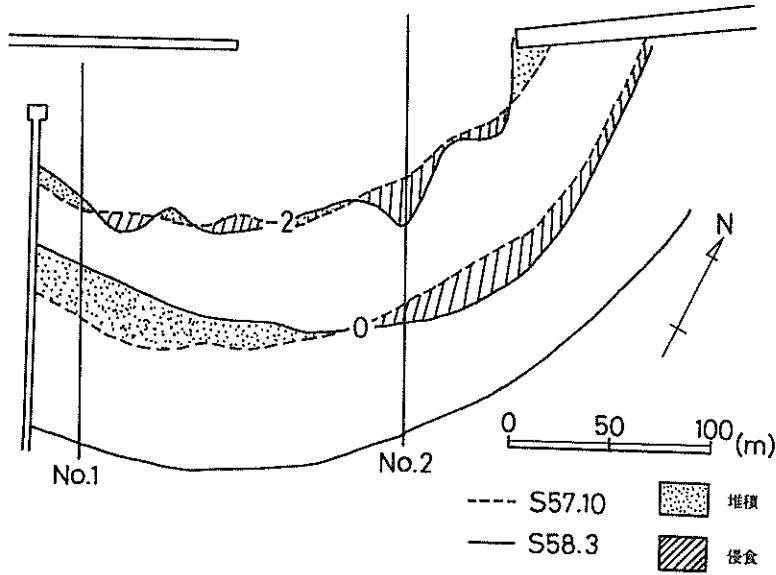


図-34(a) 和田海岸における海浜地形(平面形状, S57.10, S58.3)

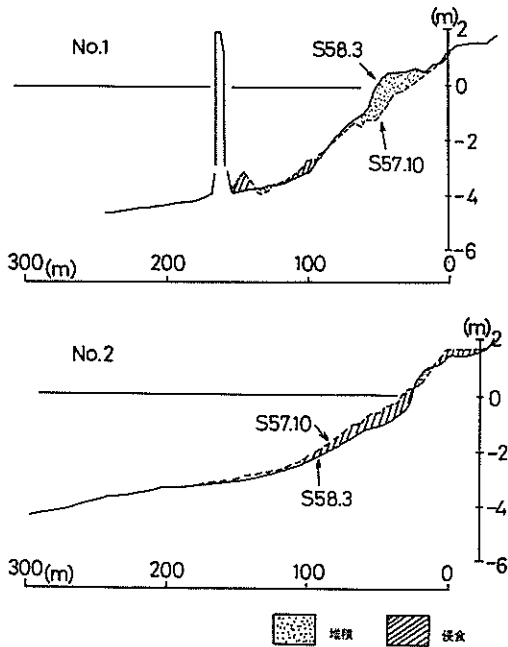


図-34(b) 和田海岸における海浜地形(断面形状, S57.10, S58.3)

このような汀線方向の変化は、人工海浜の設計時の平面形状(汀線方向)が、卓越する入射波の方向に対応していない場合に起こる。図-39は和田海岸の位置する小浜湾の一部を示したものである。フェッチはN~NNW方向が長く、また和田海岸の東35kmに位置する敦賀港の風速風向データによると、冬季の強風の風向はN~NNWが多いので、湾内発生波浪はN系のものが卓越する。さらに、湾口部より入射する湾外の波浪も、屈折によって人工海浜前面ではN系の波向になっていると推察される。したがって、何れの場合も卓越する波向がNに近い角度であることがうかがえる。しかしながら、人工海浜の汀線はNWに対して直角に近い角度で設計されていた。汀線は波の進入方向に対して直角になろうとする性質をもつので、和田海岸の汀線は卓越波向であるNに直角な方向に変化したのである。

人工海浜の平面形状の基本である汀線方向は、来襲波浪を十分調べて決定されなければならない。もともと砂浜が存在していた海岸や隣接する海岸に砂浜があるときには、それらの汀線方向を参考に出来る。というのは汀線に直角の方向が卓越波向となっているからである。つまり、それらの汀線と平行になるように人工海浜の汀線を設計すれば汀線変化の比較的小さい海浜を建設することができる。和田海岸の場合は、もともと砂浜がなかったところであり、周辺にも砂浜が存在しない。そして、

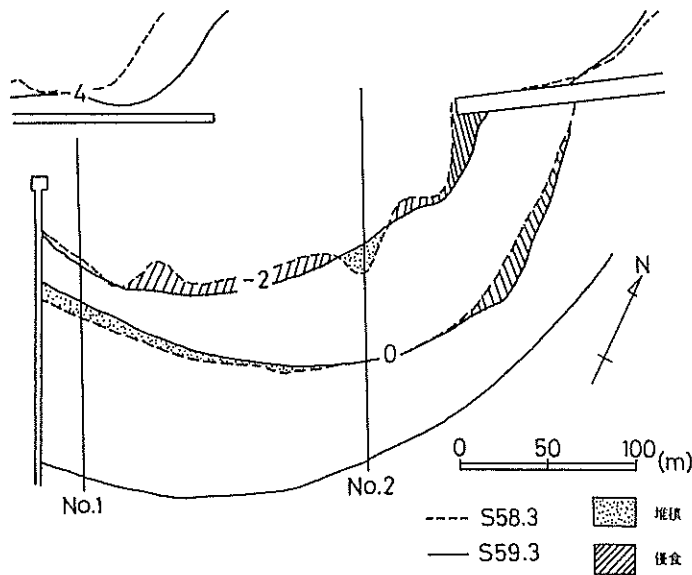


図-35(a) 和田海岸における海浜地形(平面形状, S58.3, S59.3)

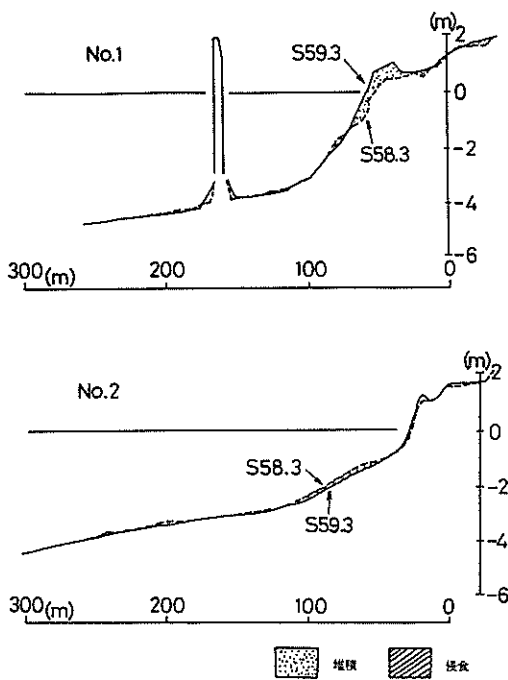


図-35(b) 和田海岸における海浜地形(断面形状, S58.3, S59.3)

波浪データも不十分であったことが、汀線方向の設計を困難にした原因ではなかろうか。

図-40は離岸堤より岸側の領域の土量変化を示したものである。黒丸と実線は残留土量(養浜前からの増加土量)であり、破線は養浜砂の累計投入量である。養浜砂の累計投入量は、各年度の初めに砂が投入されたものとして整理した。前述の3海岸と同様に、養浜砂の8割以上が離岸堤より岸側の領域に残っている。

図-41(a)は、 $\tan \theta_1$ の経時変化である。離岸堤背後では、汀線が前進するにしたがって $\tan \theta_1$ が急激に大きくなって平衡に達した。これに対し、開口部背後の $\tan \theta_1$ は初期に小さくなった後大きくなる。また、図-41(b)は、 $\tan \theta_2$ の経時変化である。離岸堤背後、開口部背後ともに、勾配は直線的に大きくなる。ただし、その割合は後者が非常に小さい。

図-42は、後浜高さ R (D.L.基準)の経時変化である。後浜高さは、昭和57年10月にはほぼ設計値の1.5mであった。しかし、昭和58年3月には開口部背後の値、離岸堤背後の値ともに小さくなり、その後ほぼ一定である。後浜高さが設計値より小さくなったのは、波の遡上高さが計画された後浜高さよりも低かったためであり、このことは斜面上にバームが形成された(図-35(b), 36(b)参照)ことから推察できる。昭和60年3月では、開口部背後の値が1.2mで、離岸堤背後の値0.8mよりも大きい。

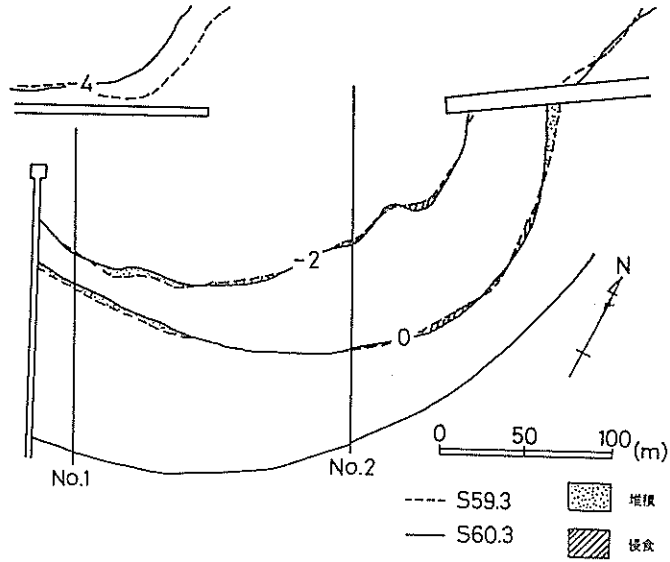


図-36(a) 和田海岸における海浜地形(平面形状, S 59.3, S 60.3)

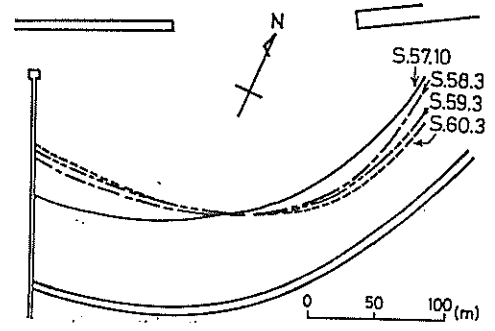
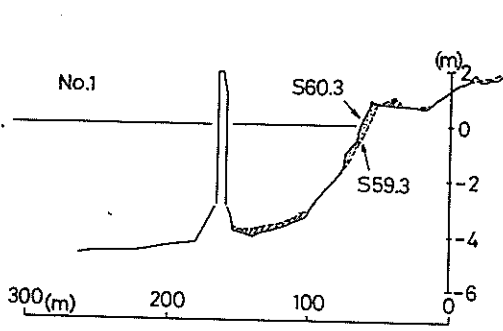


図-37 汀線位置の経年変化(和田海岸)

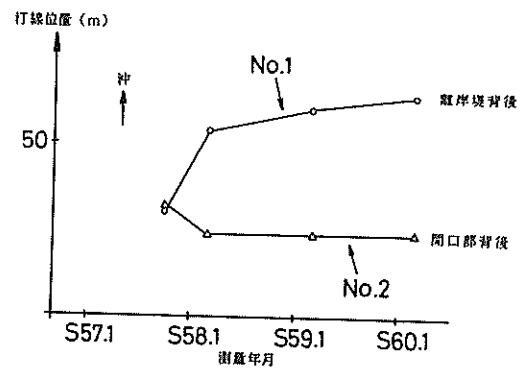
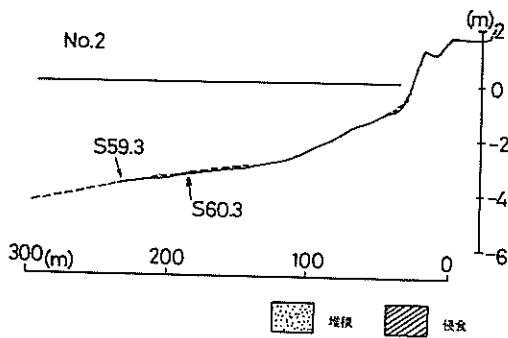


図-36(b) 和田海岸における海浜地形(断面形状, S 59.3, S 60.3)

図-38 開口部背後および離岸堤背後での汀線位置の経時変化(和田海岸)

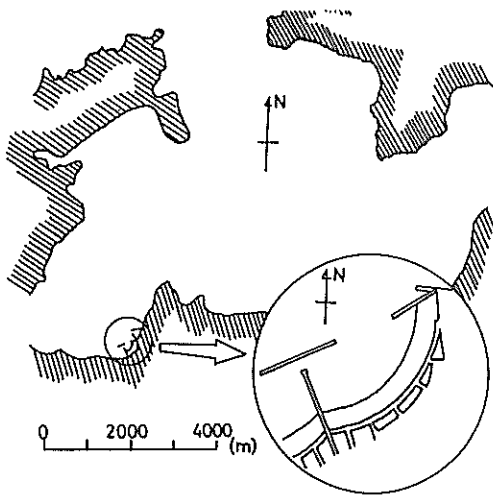


図-39 和田海岸の位置

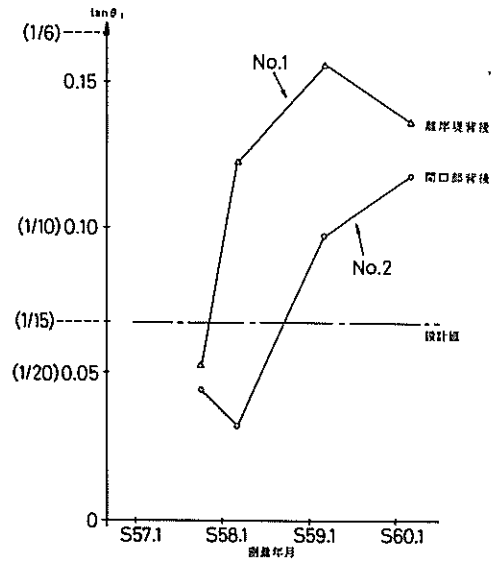


図-41(a) 開口部背後および離岸堤背後での前浜勾配 $\tan \theta_1$ の経時変化 (和田海岸)

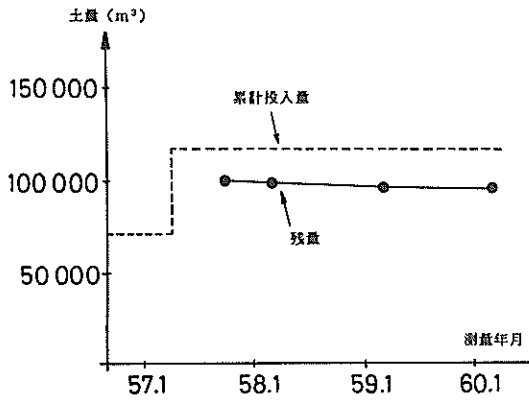


図-40 投入土量と残留土量の経時変化 (和田海岸)

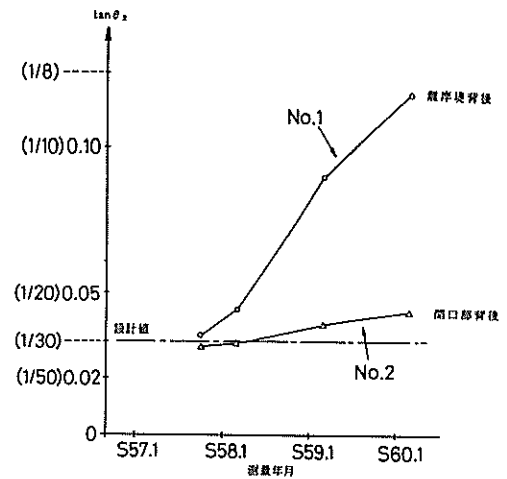


図-41(b) 開口部背後および離岸堤背後での L.W.L. から L.W.L. - 1.5 m までの領域の勾配 $\tan \theta_2$ の経時変化 (和田海岸)

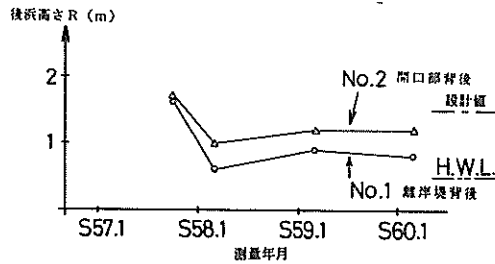


図-42 後浜高さの経時変化 (和田海岸)

2.6 別府海岸

別府海岸では、人々の憩いの場として親しまれる海岸線を創る目的で、海岸整備事業が昭和53年度に着手された。表-8に示した別府海岸の波浪特性によると、有義波高0.5m以下の波の発生確率が75%で、この海岸が比較的静穏な海岸であることが分かる。しかし、冬の季節風時には波高が大きくなり有義波高が4mを超えるときもある(日本気象協会, 1987)。

表-8 別府海岸の波浪特性

観測期間中の 極大有義波高(m)	3.86	波高計の 設置場所	大分港 (別府海岸の 東2.5km)
発生確率年2回の波 波高(m)	2.0	設置水深(m)	15.0
周期(s)	6	型式	超音波
0.5m以下の波の 発生確率	75%	解析期間	S59~S60

図-43(a)は構造物等の施工状況であり、離岸堤近くの数字は離岸堤の施工年度である。養浜は昭和58年と昭和59年に行なわれた。離岸堤の沖側では1tの被覆石が天端高-0.3mで岸沖方向には幅10.5m、沿岸方向には海岸幅一杯にわたって敷き詰められており、それより沖側では4tのブロックが天端高0.0m、岸沖方向幅4.5mで積

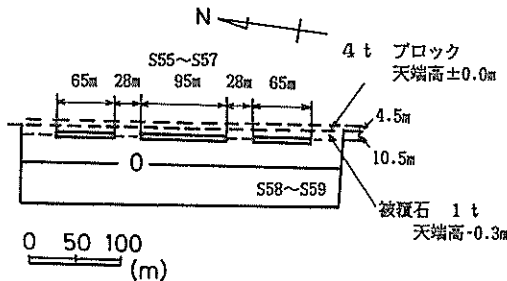


図-43(a) 構造物等の施工状況(別府海岸)

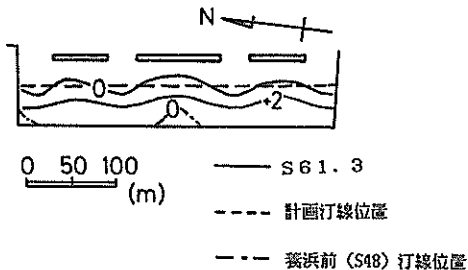


図-43(b) 別府海岸の平面形状

み上げられている。離岸堤は直径1000mmの管で構成されており、天端高は+2.0mで、H.W.L.(+2.1m)よりも低くなっている。図-43(b)は人工海浜の形状を示したもので、実線が昭和61年3月の地形、破線が人工海

浜の計画時の汀線(D.L.0m)、一点鎖線が人工海浜建設以前の汀線(D.L.0m)である。図-43(c)は人工海浜の計画断面である。なお、表-9に別府海岸の諸元を示した。

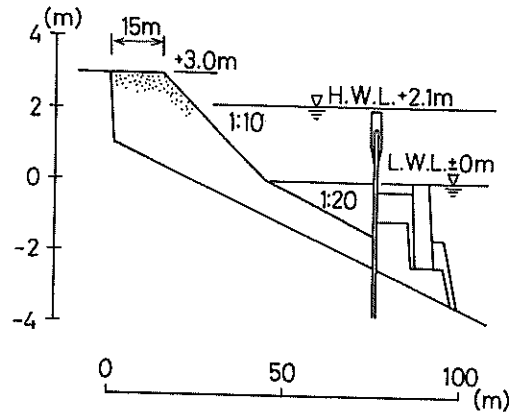


図-43(c) 別府海岸の計画断面

表-9 別府海岸の諸元

離岸堤の設計条件		離岸堤の諸元	
波高(m)	1.27	長さ(一基当り)(m)	65~95
周期(s)	4.6	開口幅(m)	28
波向	E	数	3
潮位(m)	3.40	設置水深(m)	3.0
		構造形式	不透過
潮位(m)		天端高(m)	2.0
L.W.L.	0.00	天端幅(m)	2.0
M.W.L.	1.30	副離岸堤	有(潜堤)
H.W.L.	2.10		
養浜の計画断面		養浜砂の中央粒径(mm)	0.8
α_1	1:10	土砂投入開始年度	S58
α_2	1:20	投入土量(m ³)	60 000
R	3.0	解析期間	S59~
B	15.0		S60

図-44, 45は別府海岸の海浜地形であり、各図の(a)が平面図、(b)が測線No.1~No.5の断面図である。図-44は養浜計画地形(破線)と、昭和60年4月の海浜地形(実線)を比較したもので、図-45は昭和60年4月の海浜地形(破線)と、昭和61年3月の地形(実線)を比較したものである。昭和60年4月では養浜計画地形に比べて開口部背後で汀線が後退し、離岸堤背後で汀線が前進し、トンボロが形成された。その後、昭和60年4月から昭和61年3月にかけては海浜変形がほとんど起こっておらず、離岸堤背後の海浜が平衡状態に達したと考えられる。

図-46は離岸堤より岸側の領域の土量変化である。黒丸は残留土量(養浜前からの増加土量)であり、破線は養浜砂の累計投入量である。養浜砂の累計投入量は、各

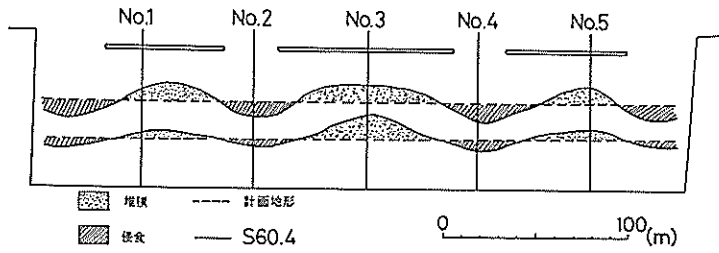


図-44(a) 別府海岸における海浜地形(平面形状, 養浜計画, S 60.4)

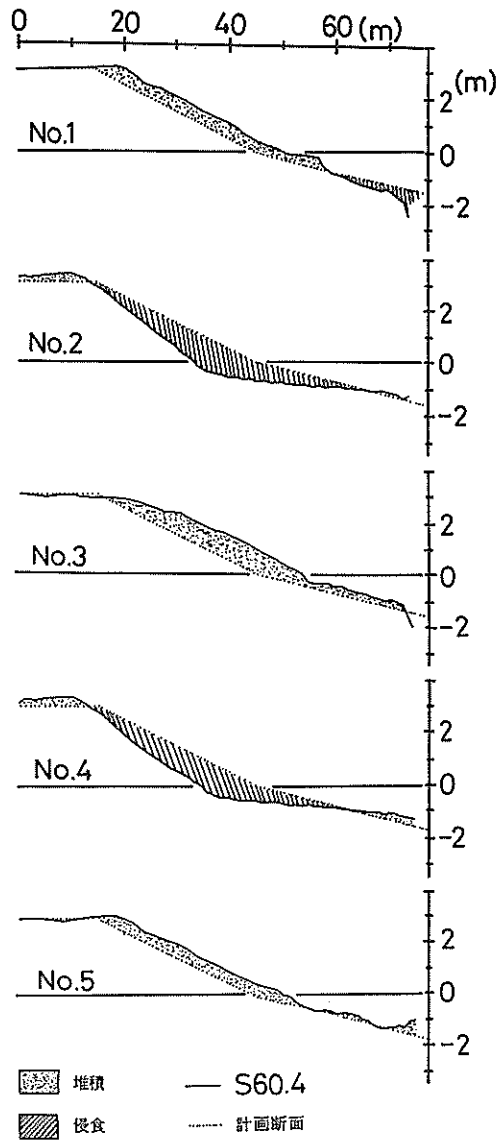


図-44(b) 別府海岸における海浜地形(断面形状, 養浜計画, S 60.4)

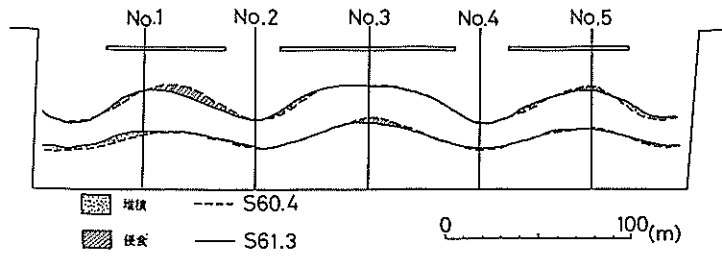


図-45(a) 別府海岸における海浜地形(平面形状,
S 60.4, S 61.3)

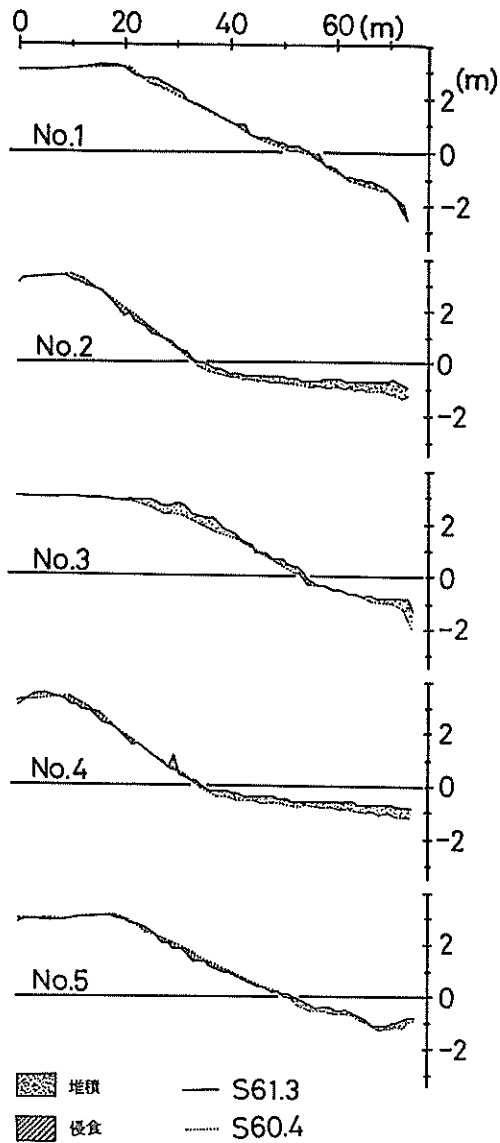


図-45(b) 別府海岸における海浜地形(断面形状,
S 60.4, S 61.3)

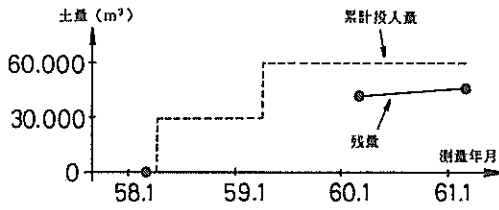


図-46 投入土量と残留土量の経時変化（別府海岸）

年度の初めに砂が投入されたものとして整理した。残留土量は、2回の測量の間で養浜が行なわれていない場合のみ実測値（黒丸）の間を実線で結んだ。この図によると、養浜砂の大部分が離岸堤よりも岸側の領域に留まっているといえる。

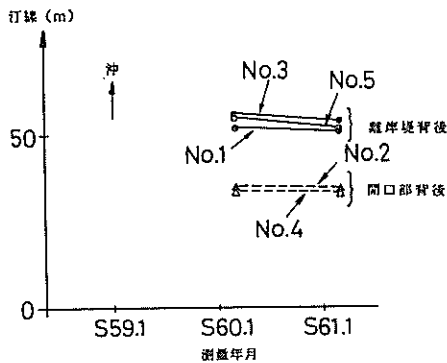


図-47 開口部背後および離岸堤背後での訂線位置の経時変化（別府海岸）

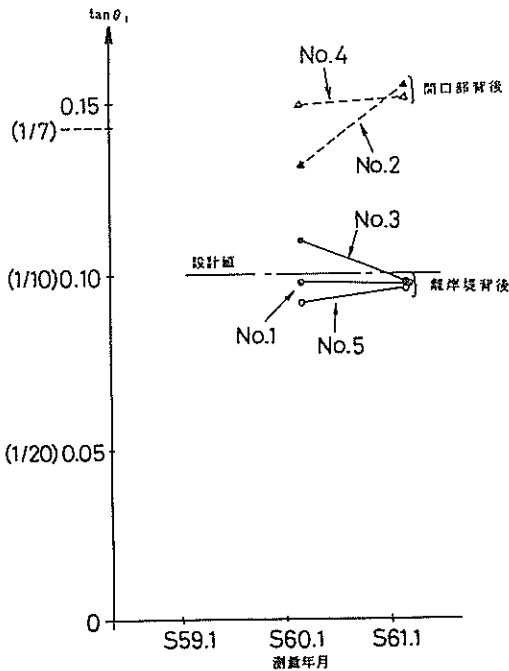


図-48(a) 開口部背後および離岸堤背後での前浜勾配 $\tan \theta_1$ の経時変化（別府海岸）

図-47は、離岸堤背後および開口部背後の訂線位置（人工海浜背後の基準線から訂線までの距離）の経時変化である。訂線の位置は昭和60年4月と昭和61年3月でほとんど一致している。

図-48(a), (b)はそれぞれ $\tan \theta_1$, $\tan \theta_2$ の経時変化である。開口部背後の $\tan \theta_1$ は離岸堤背後のそれに比べて大きい。図-48(b)に示した $\tan \theta_2$ は、離岸堤背後の方が開口部背後の値に比べて大きい。測線 No. 5 の $\tan \theta_2$ が他の測線に比べて大きくなったのは、離岸堤背後で洗掘が起こっていたためである。

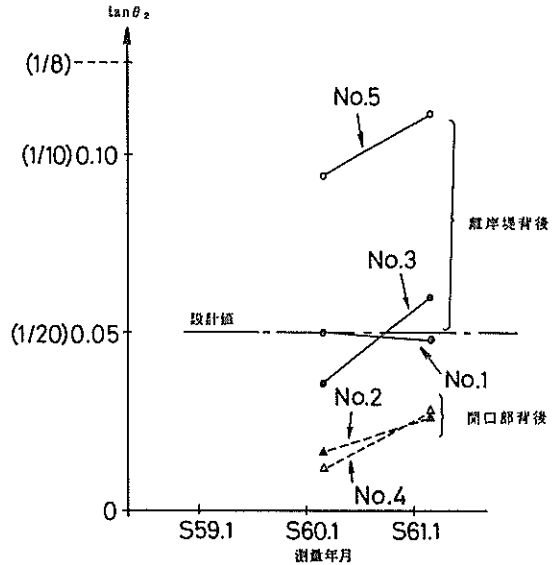


図-48(b) 開口部背後および離岸堤背後での L.W.L. から L.W.L. - 1.5 m までの領域の勾配 $\tan \theta_2$ の経時変化（別府海岸）

図-49は、後浜高さ R (D.L. 基準) の経時変化である。後浜高さは昭和60年4月と昭和61年3月の間でそれほど変化しておらず、開口部背後の値が 3.4 m で、離岸堤背後の値 (3.0 m)、設計値 (3.0 m) よりも高い。

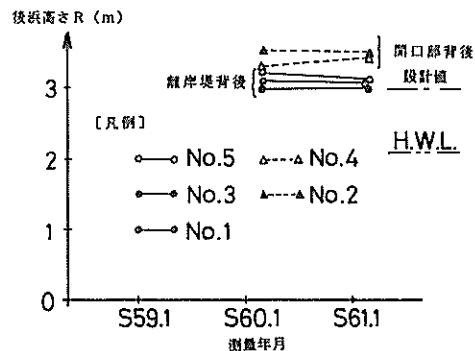


図-49 後浜高さの経時変化（別府海岸）

3. 離岸堤より岸側領域での土砂収支と地形特性

2.では、人工海浜の地形変化の特徴を個別に述べた。本章では、養浜土量の収支、平面形状、断面形状をまとめて解析し、離岸堤を備えた人工海浜の地形特性を調べる。

3.1 土砂収支

人工海浜を建設する際には、投入した養浜砂がどれだけ離岸堤より岸側の領域にとどまるかということが非常に大きな問題となる。表-10は収集したデータの中で最新の測量年月における養浜効率（残量 / 累計投入量）と、副堤建設前、離岸堤延長前の養浜効率をまとめたものである。最新の測量年月における養浜効率は各海岸とも75%を超えており、養浜砂の大部分が離岸堤より岸側の領域にとどまっていることが分かる。副堤建設前、離岸堤延長前においても養浜効率は70%以上であり、高い養浜効率となっている。

表-10 各人工海浜の養浜効率

海岸名	最新データ		副堤建設前		
	測量年月	養浜効率(%)	測量年月	養浜効率(%)	
須磨 A ₁ 地区	S 60.2	119	S 56.3	93	
	A ₂ 地区	S 60.2	102	S 58.2	90
	A ₃ 地区	S 60.2	102		
片男波	S 58.3	94	S 57.3	97	
柏崎	S 61.3	106	S 58.3	70※	
和田	S 61.3	82			
別府	S 61.3	77			

※離岸堤延長前の値

3.2 平面形状特性

人工海浜における平面形状の特性を把握するために、図-50に示す諸元、すなわち離岸堤長 Y_b 、開口幅 l_o 、離岸堤の距岸 X_b （養浜計画におけるM.W.L.の汀線と離岸堤との距離）、トンボロの全長 X_t 、D.L. 0 mの等深線（以下、汀線）の養浜計画位置からの後退量 X_r を調

べた。各海岸の X_r と X_t の整理にあたっては、以下の取り扱いを行なった。

須磨海岸（図-4～図-8参照）：計画時の汀線の位置がはっきりしなかったため、養浜直後の汀線位置を計画時の汀線位置とし、副堤建設前のA₁地区では昭和54年12月の汀線位置を、副堤建設後のA₁地区では昭和57年9月の汀線位置を、A₂地区では昭和57年2月の汀線位置を計画時の汀線位置とした。

片男波海岸（図-16～図-19参照）：測線No.1, No.3の値の平均値を開口部背後での値としてトンボロの全長と汀線の後退量を計算した。

柏崎海岸（図-25～図-28参照）：測線No.1, No.3の値の平均値を開口部背後での値とした。

別府海岸（図-44～図-45参照）：測線No.2, No.4の値の平均値を離岸堤背後での値、測線No.1, No.3, No.5の値の平均値を開口部背後での値とした。

和田海岸：汀線の移動の原因の一つが汀線の直角方向と卓越波向とのずれであり、他の海岸にはない原因が含まれているため、解析対象としなかった。

図-51は離岸堤長 Y_b とトンボロの全長 X_t との関係である。データとしては、前章で示したもののうち最新のものを用い、須磨海岸についてはA₁地区とA₂地区の値を示した。トンボロの発達には離岸堤の長さだけでなく距岸も関係していると考えられるのだが、図-51ではトンボロの全長が離岸堤長だけに依存しており、トンボロの全長は離岸堤長の約0.23倍となっている。

図-52は、開口部背後での汀線の後退量 X_r とトンボロの全長 X_t との関係である。副堤建設前、離岸堤延長前のデータには×印を付けてある。須磨海岸を除き、副堤建設以降の汀線の後退量はトンボロの全長の1/2～3/4である。須磨海岸においては、すでにトンボロの形状となった汀線を計画時の汀線位置としたため、計画汀線からの後退量がトンボロの全長に比べて著しく小さくなっている。

図-53は離岸堤の距岸 X_b と離岸堤長 Y_b の関係である。副堤建設前、離岸堤延長前のデータには×印を付けてある。副堤がある場合には副堤長の半分の値をその両側の離岸

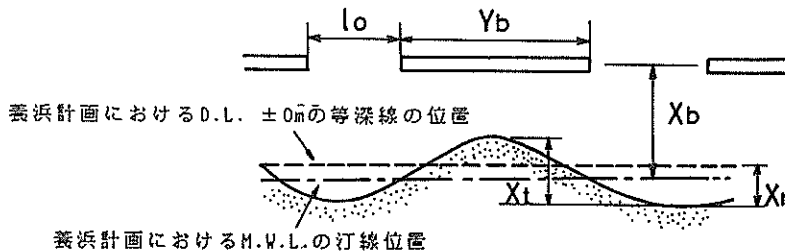


図-50 平面形状の特性を表す記号の定義

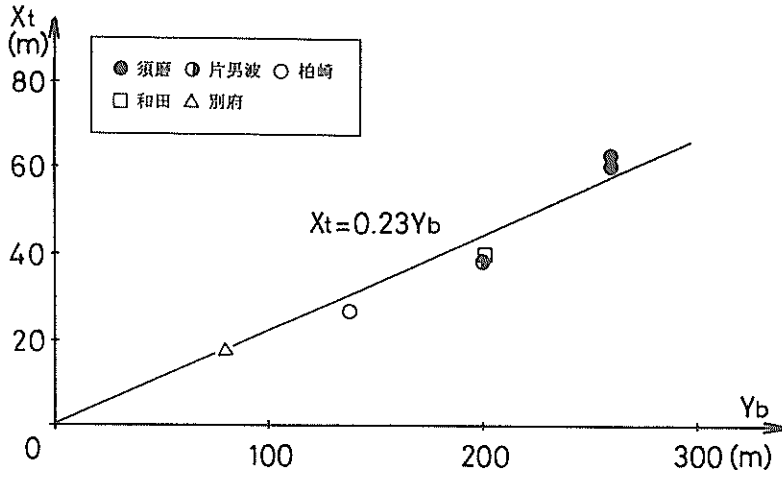


図-51 離岸堤長 Y_b とトンボロの全長 X_t との関係

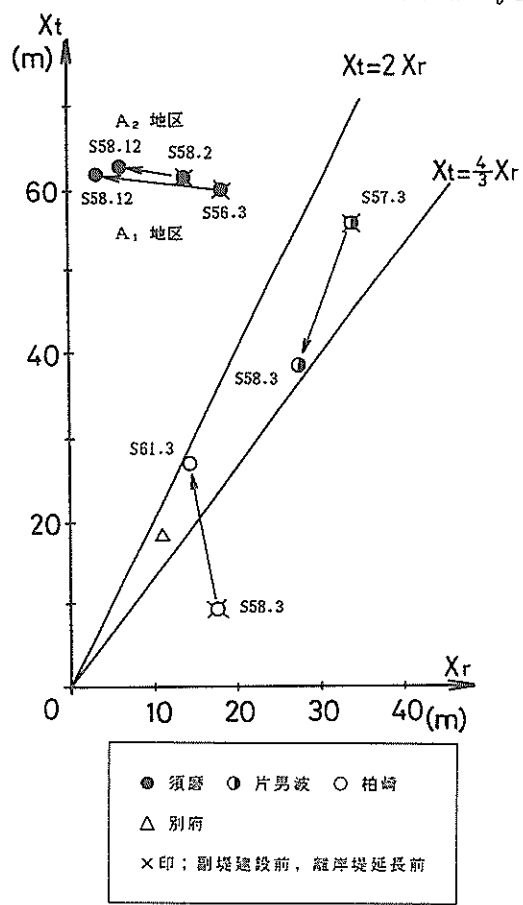


図-52 開口部背後における汀線の後退量 X_r とトンボロの全長 X_t との関係

堤長に加えた。人工海浜建設技術マニュアル（運輸省港湾局，1979，以下マニュアル）では、「背後海浜の利用

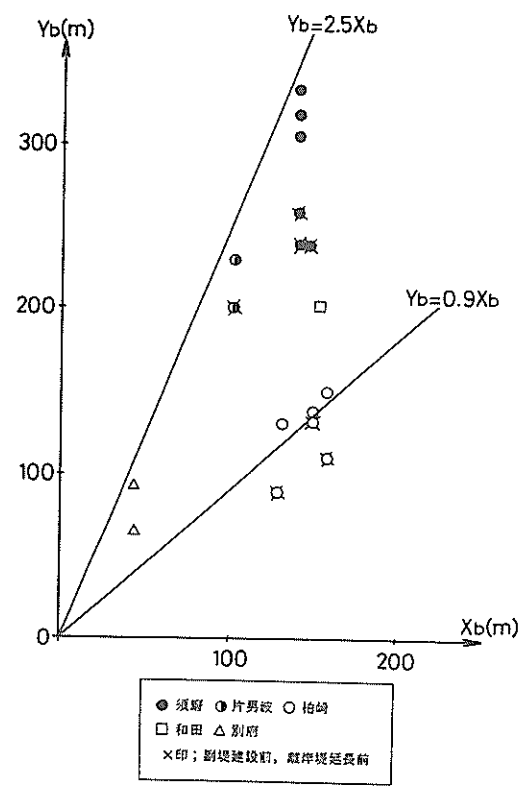


図-53 離岸堤の距岸 X_b と離岸堤長 Y_b との関係

者に圧迫感を与えないため，また眺望を妨げないため，離岸堤は平均的な汀線位置から100m以上離すことが望ましい」とされている。実績の離岸堤の距岸は，別府海岸を除いて，ほぼ100m以上となっている。また，マニュアルでは，「離岸堤の一基の長さは離岸堤の距岸の1.5～3倍程度が標準である」とされている。これに対し，離

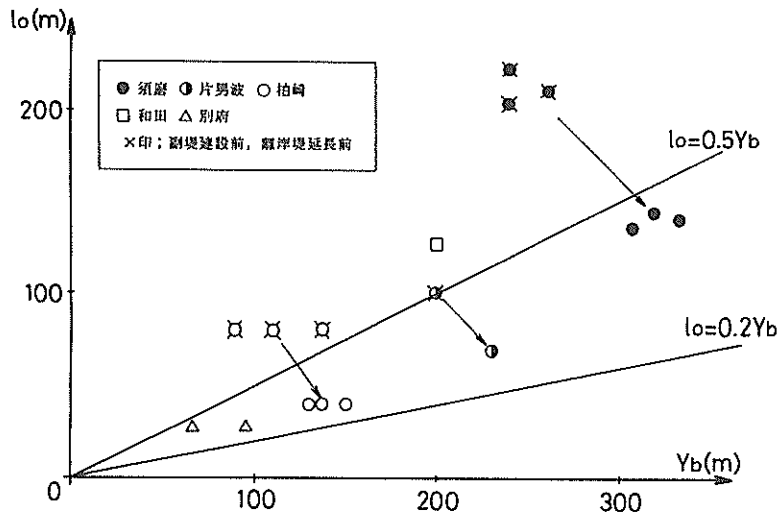


図-54 離岸堤長 Y_b と開口幅 l_o との関係

岸堤の距岸に対する離岸堤の一基の長さは、柏崎海岸で約 1.0、和田海岸で約 1.3、別府海岸で約 1.8、須磨海岸、片男波海岸で約 2.3 である。つまり、柏崎海岸を除いて、ほぼマニュアル通りの値となっている。

図-54 は離岸堤長 Y_b と開口幅 l_o との関係である。離岸堤の両側に開口部がある場合には両側の開口部の幅の平均を開口幅とし、副堤がある場合には副堤の両サイドの開口部の幅の和を開口幅とした。マニュアルでは、「開口幅は離岸堤長の 0.5～1 倍程度が標準である」とされているのに対し、図-54 は、副堤建設後、離岸堤延長後の値が和田海岸を除いて 0.2～0.5 であり、マニュアルよりも小さい値となっている。須磨海岸、片男波海岸、柏崎海岸では当初マニュアル通りの値で設計されており、その状態で養浜効率が 70% を超えていた。したがって、副堤を建設しなくても養浜砂を離岸堤よりも岸側の領域にとどめておくことは可能であると考えられる。しかし、図-52 から分かるように、開口部背後における汀線の後退量を小さくするためには開口幅をマニュアルの値よりも小さく設計した方が望ましいようである。

以上述べたように、離岸堤を備えた人工海浜の平面形状には図-51～54 の関係があるので、これらの結果を利用すると、離岸堤の距岸 X_b 、離岸堤長 Y_b 、開口幅 l_o 、トンボロの全長 X_t 、汀線の後退量 X_r のいずれか 1 つを決めれば、他の 4 つの諸元の目安を求めることができる。このことをフローチャートで示したのが図-55 であり、

矢印は諸元の決定される方向を示している。矢印が両方向に向いていて、どこからスタートしてもよい（最初に決めるパラメータがどれであってもよい）。ただし、各諸元の範囲（実績）は、つぎのとおりである。

$$\left. \begin{array}{l} 30 \text{ m} < X_b < 160 \text{ m} \\ 65 \text{ m} < Y_b < 330 \text{ m} \\ 18 \text{ m} < X_t < 65 \text{ m} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

図-56 は、離岸堤背後の平面形状を表す各諸元の関係（図-51～54）を基に作成した、人工海浜の平面形状である。上段が開口幅を狭くした場合、下段が開口幅を広くした場合であり、実線は離岸堤を汀線から離れた場合、破線は離岸堤を汀線に近づけた場合の離岸堤の位置である。それぞれの場合において、汀線は斜線内に落ち着くと推定される。図-51～54 の関係は、人工海浜の平面形状が幾何学的に相似になっていることを意味しており、したがって、図-56 を拡大・縮小コピーして新しく人工海浜を造成しようとする海岸の地形図に重ねることによって種々の規模の人工海浜の概略が検討できる。

3.3 断面形状特性

(1) 海浜勾配

図-57 は前浜勾配 $\tan \theta_1$ （図-12 参照）について、開口部背後の値と離岸堤背後の値とを比較したものである。離岸堤背後では 0.06～0.12 の間に分布しているのに対して、開口部背後の値は離岸堤背後の値に比べて大きく、0.09～0.16 の間に分布している。砂村は、波高

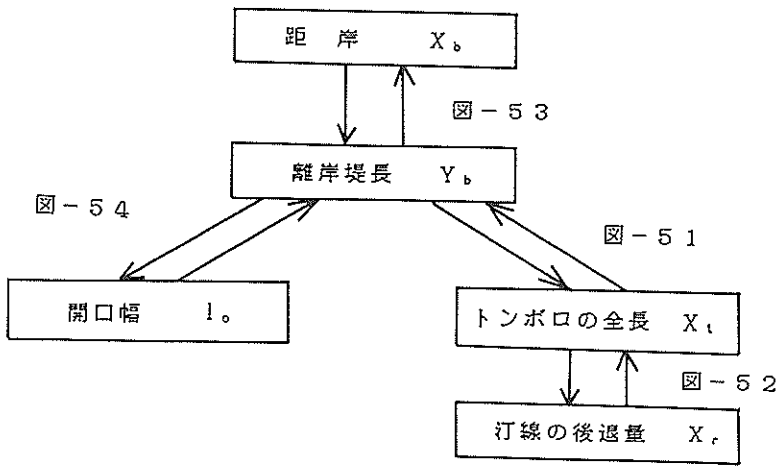


図-55 人工海浜設計のフローチャート

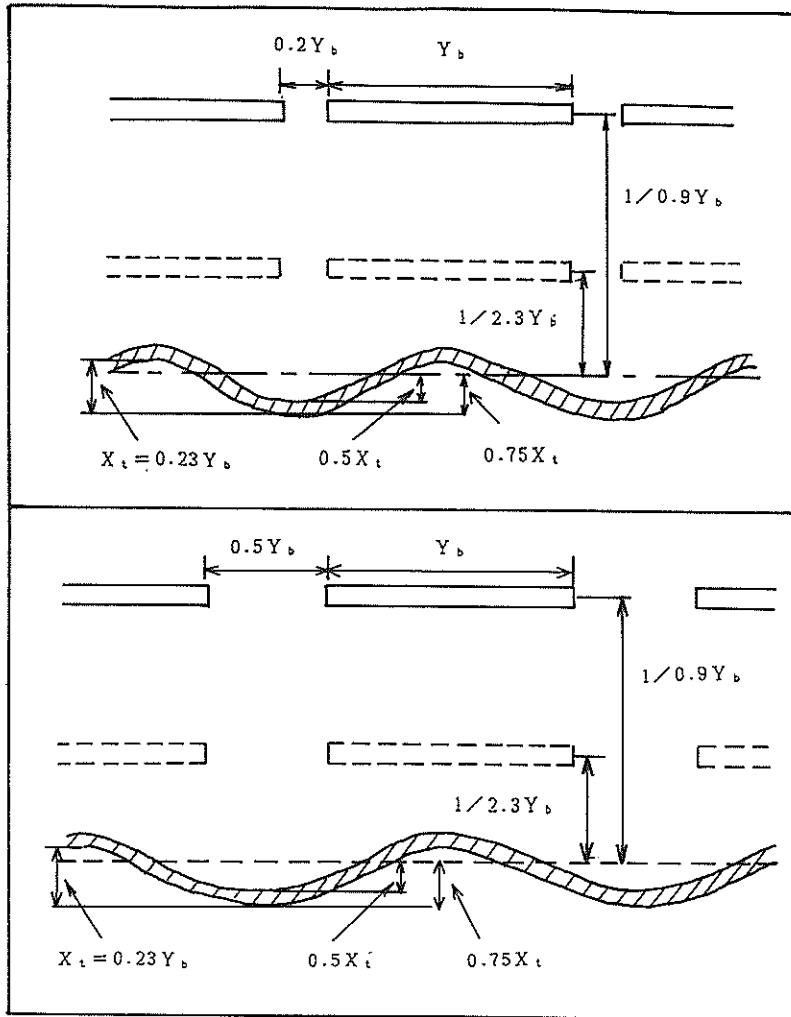


図-56 人工海浜の平面形状 (調査結果を基に作成)

が大きくなると前浜勾配は小さくなることを示している（本間・堀川，1985）。離岸堤背後の波高は開口部背後の波高に比べて小さいので，砂村の結果によれば離岸堤背後の前浜勾配の方が開口部背後の値に比べて大きくなり，図-57の結果とは一致しない。一方，宇多（1986）は，小川原湖海岸の三沢漁港をはさむ2測線（間隔600m）の断面形状を調べ，沿岸漂砂によって汀線が後退しているところの前浜勾配は汀線が前進しているところのそれに比べて大きいことを示している。汀線が後退している開口部背後での前浜勾配が，汀線が前進している離岸堤背後より大きいことは宇多の指摘と一致し，したがって，図-57の結果は人工海浜の前浜が沿岸漂砂（開口部から離岸堤背後へ向かう海浜循環流による沿岸漂砂）の影響を受けたためであると考えられる。

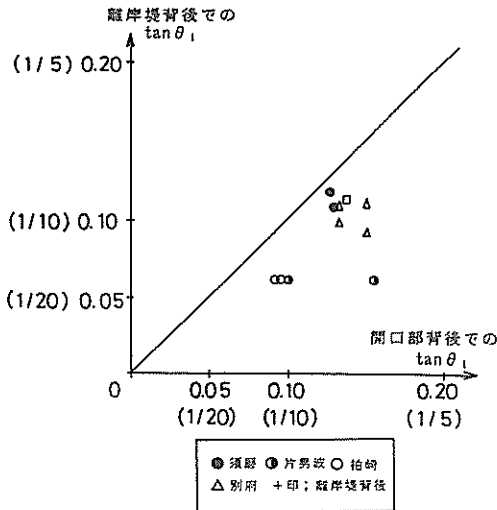


図-57 開口部背後の前浜勾配 $\tan \theta_1$ と離岸堤背後の $\tan \theta_1$ との比較

図-58は，L.W.L.からL.W.L. -1.5mまでの領域の勾配 $\tan \theta_2$ （図-12参照）について，開口部背後の値と離岸堤背後の値とを比較したものである。開口部背後では0.01~0.12の間に分布しており，離岸堤背後では須磨海岸を除いて0.04~0.12の間に分布している（須磨海岸の場合は0.21~0.25）。離岸堤背後の値と開口部背後の値を比較すると，離岸堤背後の値の方が大きかった海岸は須磨海岸，和田海岸，別府海岸であり，離岸堤背後の値が開口部背後の値とほぼ等しかった海岸が片男波海岸，開口部背後の値の方が大きかった海岸が柏崎海岸である。なお，離岸堤背後の値と開口部背後の値との間に明確な関係はみられない。

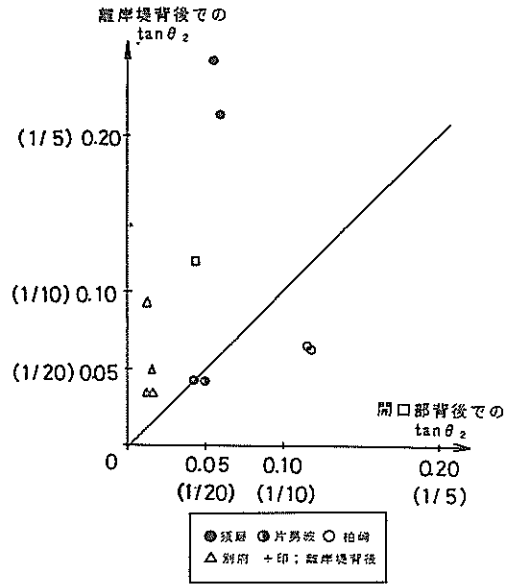


図-58 開口部背後の $\tan \theta_2$ (L.W.L.からL.W.L. -1.5mまでの領域の勾配) と離岸堤背後の $\tan \theta_2$ との比較

図-59は離岸堤背後（+印を付けたもの）と開口部背後において， $\tan \theta_1$ と $\tan \theta_2$ を比較したものである。開口部背後では $\tan \theta_1 \geq \tan \theta_2$ となっており，断面は凹型となる傾向があるのに対して，離岸堤背後では $\tan \theta_1 \leq \tan \theta_2$ となっており，断面形状は直線あるいは凸状（須磨海岸）になる傾向がある。

式(2)~(4)は海岸保全施設築造基準解説（海岸保全施設築造基準連絡協議会，1988，以下，築造基準）に載っている前浜勾配の推定式で，それぞれ，構造物のない全国12海岸での現地観測結果に基づいた前浜勾配の上限値を表す経験式（運輸省港湾局，1979，式(3.4)の $d_{50}/H_0 \geq 2.4 \times 10^{-4}$ の場合の d_{50}/H_0 の係数 $1/1.37$ は付図と一致しない。付図に一致するように係数を修正すると， $1/37.2$ となる），Rectorの式，砂村の式である。

〔経験式〕

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta_1 &= \left(\frac{1}{37.2} \cdot \frac{d_{50}}{H_0} \right)^{0.158}, \quad \frac{d_{50}}{H_0} \geq 2.4 \times 10^{-4} \\ \tan \theta_1 &= \left(376.6 \cdot \frac{d_{50}}{H_0} \right)^{0.7856}, \quad \frac{d_{50}}{H_0} < 2.4 \times 10^{-4} \end{aligned} \right\} \dots(2)$$

〔Rectorの式〕

$$\tan \theta_1 = 0.3 \cdot \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.3} \cdot \left(\frac{d_{50}}{L_0} \right)^{0.2} \dots\dots\dots(3)$$

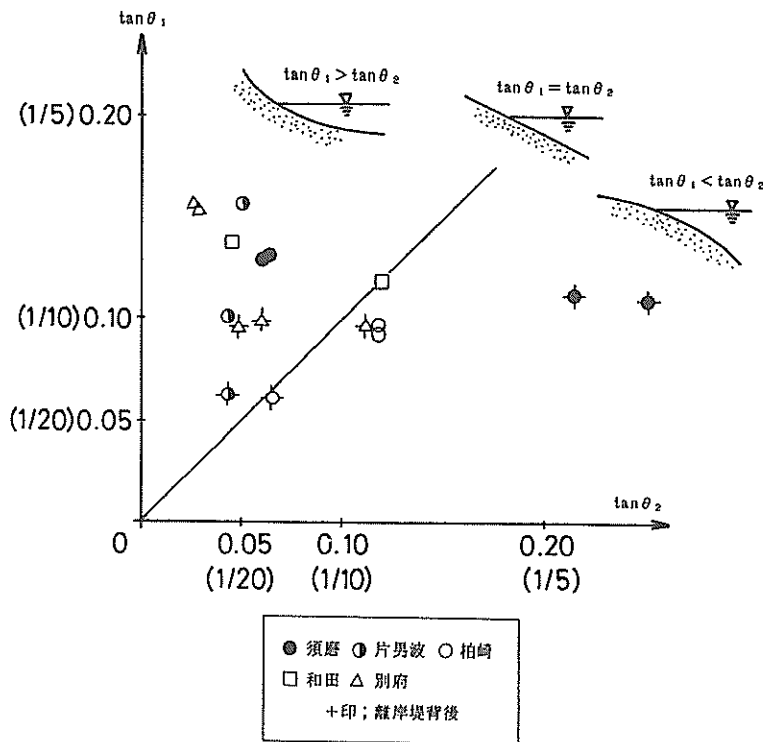


図-59 前浜勾配 $\tan \theta_1$ と L.W.L. から L.W.L. - 1.5 m までの領域の勾配 $\tan \theta_2$ との比較

[砂村の式]

$$\tan \theta_1 = 0.45 \cdot \left(\frac{d_{50}}{H_0}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.3} \dots\dots(4)$$

ここに、 d_{50} は底質の中央粒径、 H_0 は沖波波高、 L_0 は沖波波長である。

前浜勾配の実測値と式(2)~(4)で計算される値とを比較する。築造基準では「前浜勾配は、年数回程度来襲する波浪及び使用する養浜材料の粒径を対象として、人工海浜造成地点およびその近隣の海岸における実測値、諸公式による計算値、水理模型実験の結果などに基づいて決定する。」とある。そこで、離岸堤背後と開口部背後での前浜勾配を発生確率率 2 回の波の諸元(表-2, 4, 5, 8)を用いて計算する。計算で用いる波高は、離岸堤背後の水深を一定とする簡易計算法(築造基準)によって推定した、離岸堤背後、開口部背後の H.W.L. 時の汀線位置の波高である。計算手順は以下の通りである。

- ① 離岸堤背後の水深を開口部での水深に等しいと仮定し、潮位は H.W.L. とする。副堤がある場合には、副堤を一基の離岸堤として扱い、副堤の両側の開口部から進入する波を考慮する。

- ② 離岸堤の波高伝達率 r_b と潜堤の波高伝達率 r_s を田中(1976)が実験的に求めた値を用いて決定する。潜堤

がない場合には、 $r_s = 1$ とする。

- ③ 各開口部から進入する波の波高比 K_{oi} を、防波堤開口部からの不規則波の回折図(合田, 1977)を用いて計算する。計算では風波を想定し、 $S_{max} = 10$ とした。ただし、片男波海岸の場合は $H_0/L_0 = 0.0078$ であり、うねり成分が大きいのので規則波の回折図(日本港湾協会, 1979)を用いた。

- ④ 各離岸堤を通過する波の波高比 K_{b2} を③と同様にして求める。

- ⑤ 換算沖波波高 H_0' を式(5)によって求める。

$$H_0' = H_0 \cdot \left\{ (K_{o1}^2 + K_{o2}^2 + \dots) r_s + (K_{b1}^2 + K_{b2}^2 + \dots) r_b \right\}^{1/2} \dots\dots(5)$$

図-60 は、上記の方法で計算した換算沖波波高を用いて式(2)~(4)で計算した前浜勾配と実測値とを比較したもので、横軸が波形勾配、縦軸が前浜勾配である。図中、実線、一点鎖線、破線はそれぞれ式(2), (3), (4)を示している。推定値が複数の線で表わされているのは、各海岸ごとに粒径が異なるためである。十字の印のついている記号は、離岸堤背後の値である。式(2)で計算される値は全ての実測値よりも大きく、砂村の式(式(4))で計算される値はほとんどの実測値よりも小さい。Rector の式

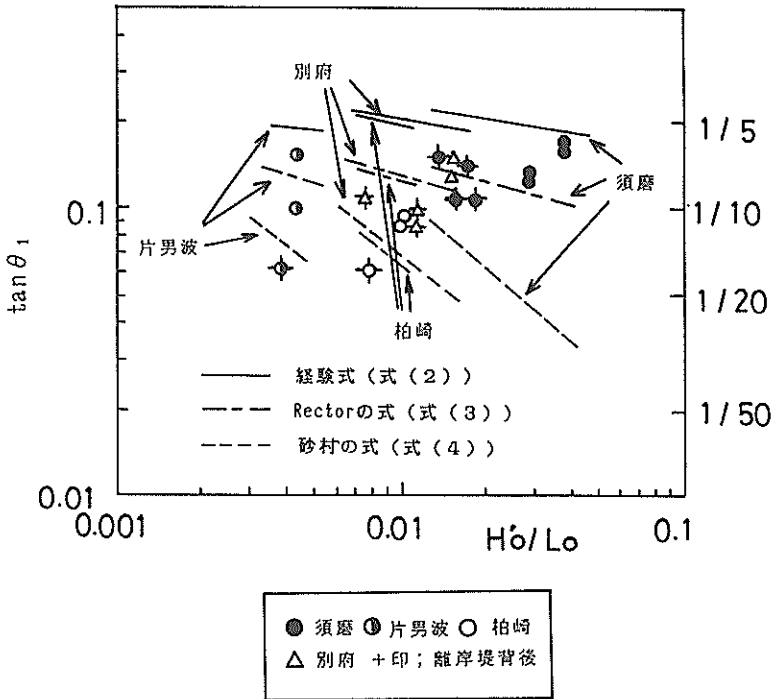


図-60 前浜勾配の推定値(式(2)~(4))と実測値との比較

(式(3))で計算される値は、柏崎海岸において実測値よりも大きくなっているものの、他の海岸では実測値の平均値に近い値となっている。以上の結果から、式(2)は前浜勾配の上限値を与え、式(3)は平均的な前浜勾配を与え、そして式(4)は前浜勾配の下限値を与えらる。

(2) 後浜高さ

表-11は、収集したデータの中で最新の測量年月における開口部背後の各測線における後浜高さを平均した値(D.L.基準)と離岸堤背後のそれとを比較したものである。須磨海岸の場合を除いて、開口部背後の後浜高さは離岸堤背後の値に比べて0.3~1.0m高い。

式(6)~(9)は築造基準に載っている波の遡上高さの推定式で、それぞれ、構造物のない全国12海岸での現地観

測値のパラツキの上部25%を表す経験式、Rectorの式、Swartの式、砂村の式である。

[経験式]

$$\left. \begin{aligned} \frac{R'}{H_0} &= (52 \cdot \frac{H_0}{L_0})^{-2.7}, \quad \frac{H_0}{L_0} \geq 0.013 \\ \frac{R'}{H_0} &= (8.25 \cdot \frac{H_0}{L_0})^{-0.481}, \quad \frac{H_0}{L_0} < 0.013 \end{aligned} \right\} \dots\dots(6)$$

[Rectorの式]

$$\left. \begin{aligned} \frac{R'}{L_0} &= 0.024, \quad \frac{H_0}{L_0} \geq 0.018 \\ \frac{R'}{L_0} &= 0.18 \cdot (\frac{H_0}{L_0})^{0.5}, \quad \frac{H_0}{L_0} < 0.018 \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

[Swartの式]

$$\left. \begin{aligned} \frac{R'}{d_{50}} &= 7644 - 7706 \cdot \exp A \\ A &= (-0.000143 \cdot \frac{H_0^{0.488} \cdot T^{0.93}}{d_{50}^{0.786}}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(8)$$

[砂村の式]

$$R' = 1.1 \cdot H_b \dots\dots(9)$$

ここに、R'は静水面からの波のはい上がり高さ、Tは周期、H_bは砕波波高である。

築造基準では「後浜天端高は、原則としてH.W.L.時

表-11 各人工海浜の後浜高さ

海岸名	測量年月	後浜高さ(m)	
		開口部背後	離岸堤背後
須磨 A ₁ 地区	S58.12	3.1	3.0
A ₂ 地区	S58.12	3.0	3.1
片男波	S58.3	3.8	2.8
柏崎	S61.3	2.0	1.7
和田	S60.3	1.2	0.8
別府	S61.3	3.4	3.1

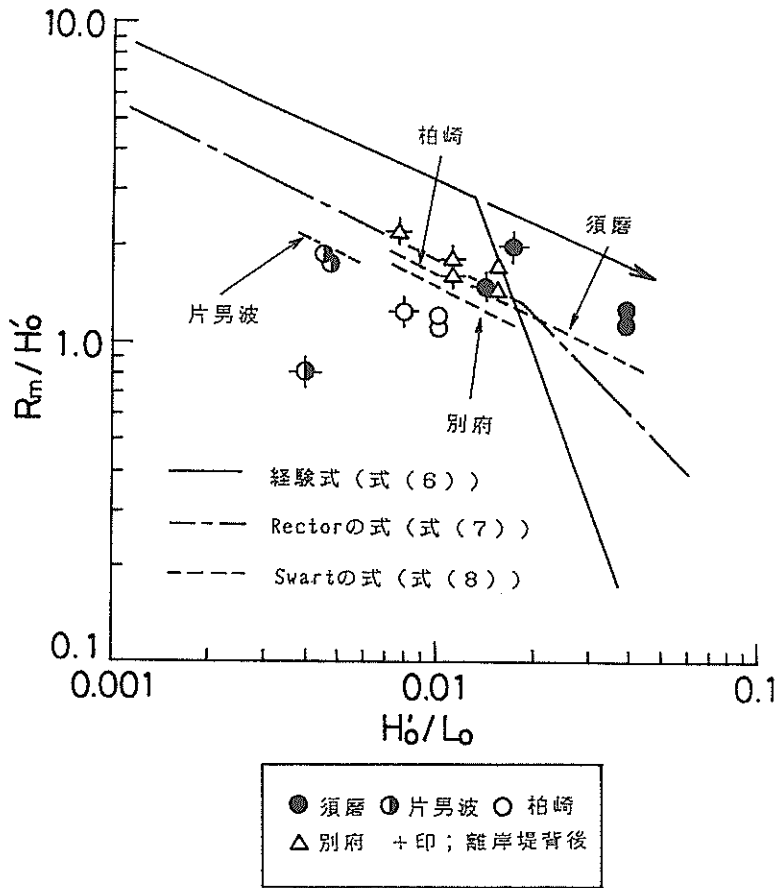


図-61 波の遡上高さの推定値(式(6)~(8))と後浜高さの実測値との比較

に年数回程度来襲する波浪が人工海浜の前浜に打ち上がる高さ程度とし、後浜部分はほぼ水平とする。来襲する波の打ち上げ高は、人工海浜造成地点およびその近隣の海岸における実測値、諸公式による計算値、水理模型実験の結果などに基づいて決定する。」とある。図-61は、H.W.L.を基準とした後浜高さの実測値 R_m と発生確率年2回の波の諸元を用いて式(6)~(8)で計算した値とを比較したもので、横軸が波形勾配、縦軸が沖波波高で無次元化された波の遡上高さ(後浜高さ)である。図中の実線、一点鎖線、破線はそれぞれ式(6)、(7)、(8)を示している。式(8)で計算される値が複数の破線で示されているのは、粒径が各海岸ごとに異なるためである。推定値を計算する際に用いる開口部背後、離岸堤背後の換算沖波波高は、前述の方法で求めた。なお、十字の印のついているデータは、離岸堤背後のものである。

図-61によると、波形勾配が0.015よりも小さい場合には式(6)で計算される値は実測値よりも大きいけれども、波形勾配が0.015よりも大きい須磨海岸の場合には式(6)で計算される値が実測値よりも小さい。

Rectorの式(式(7))で計算される値は、波形勾配が0.01よりも小さい場合には実測値よりも大きく、波形勾配が0.01よりも大きい場合には実測値よりも小さくなっている。

Swartの式(式(8))で計算される値は、Rectorの式で計算される値と同様に、波形勾配が0.01よりも小さい場合には実測値よりも大きく、波形勾配が0.01よりも大きい場合には実測値よりも小さくなっている。

図-62は、H.W.L.を基準とした後浜高さの実測値 R_m と発生確率年2回の波の諸元を用いて砂村の式(式(9))で計算した値とを比較したもので、横軸が波形勾配を、縦軸が砕波波高で無次元化された波の遡上高さ(後浜高さ)を表しており、実線は式(9)を示している。十字の印のついている記号は、離岸堤背後の値を表している。砕波波高は、換算沖波波高に対して、合田(1970)によって示された砕波波高と換算沖波波高の関係を適用して求めた。砕波波高によって無次元化された後浜高さの実測値は0.4から1.3までの間でバラついている。

浜に遡上した波が背後の護岸に達すると海浜の消失を

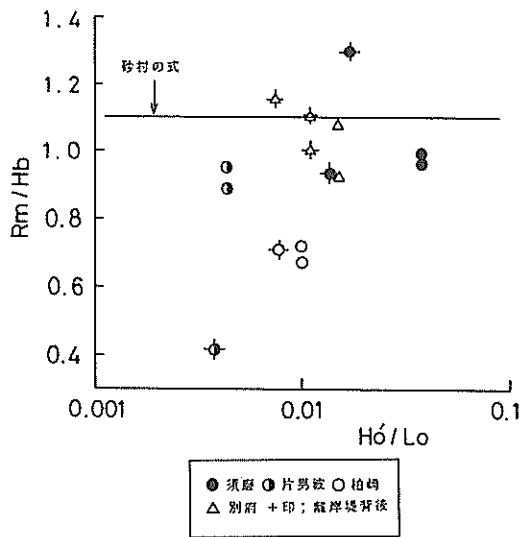


図-62 波の遡上高さの推定値(式(9))と後浜高さの実測値との比較

促進することになるので、後浜高さは高めに設定した方がよい。波形勾配が0.015よりも小さい場合には、式(6)~(8)の中で式(6)が安全側である。しかし、波形勾配が0.015よりも大きい場合では、式(6)の計算値は実測値よりも小さい。よって、式(6)で後浜高さを計算する場合には、図-61中の矢印で示しているように、波形勾配が0.013よりも大きい場合でも波形勾配が0.013よりも小さい場合の式を適用した方が安全である。

4. おわりに

今回の5つの人工海浜、つまり、須磨海岸、片男波海岸、柏崎海岸、和田海岸、および別府海岸に対する調査によって明らかになった結果を以下に列挙する。

(1) 調査した5つの海岸では、75%以上の養浜砂が離岸堤より岸側に残っており、離岸堤長 Y_b 、開口幅 l_0 、離岸堤の距岸 X_b 、トンボロの全長 X_t 、汀線の計画位置からの後退量 X_r の関係は、

$$Y_b = 0.9 \sim 2.3 X_b, \quad 30 < X_b < 160 \text{ m}$$

$$l_0 = 0.2 \sim 0.5 Y_b, \quad 65 < Y_b < 330 \text{ m}$$

$$X_r = 0.5 \sim 0.75 X_t, \quad 18 < X_t < 65 \text{ m}$$

$$X_t \approx 0.23 Y_b, \quad 65 < Y_b < 330 \text{ m}$$

であった。ただし、須磨海岸と片男波海岸については副堤(長い離岸堤間の開口部に建設された短い離岸堤)建設後の値であり、柏崎海岸については離岸堤延長後の値である。

(2) 副堤建設、あるいは離岸堤延長によって汀線の計画位置からの後退量が小さくなった。ただし、副堤建設

以前、離岸堤延長以前でも70%以上の養浜砂が離岸堤より岸側に残っていた。

(3) 開口部での前浜勾配 $\tan \theta_1$ は0.09~0.16の間に分布しており、0.06~0.12の間に分布している離岸堤背後の前浜勾配に比べて大きかった。

開口部背後での $\tan \theta_2$ (L.W.L.からL.W.L.-1.5 mまでの領域の勾配)は0.01~0.12の間に分布しており、離岸堤背後の $\tan \theta_2$ は0.04~0.12の間に分布していた。両者の間に明確な関係はみられなかった。

開口部背後では、前浜勾配 $\tan \theta_1$ は $\tan \theta_2$ に比べて大きく、凹型の断面形状であった。離岸堤背後では、 $\tan \theta_1$ と $\tan \theta_2$ はほぼ等しく、直線に近い断面形状であった。

既往の前浜勾配の推定式のうち、経験式(式(2))は上限値、Rectorの式(式(3))は平均値、砂村の式(式(4))は下限値に対応していた。

(4) 開口部背後における後浜高さは、須磨海岸の場合を除いて離岸堤背後の値に比べて0.3~1.0 m高かった。

波形勾配が0.015より小さい場合には、構造物のない全国12海岸で観測された波のはい上がり高さのばらつきの上部25%を表す経験式(式(6))で計算される値が実測値よりも大きく安全側である。しかし、波形勾配が0.015よりも大きい場合には式(6)で計算される値が実測値よりも小さくなる恐れがあるので、波形勾配が0.013より大きい場合でも、式(6)の波形勾配が0.013よりも小さい場合の式を適用した方が安全である。

本資料では離岸堤で囲まれた人工海浜の平面形状、断面形状の特性を調べた。しかし、それらの諸量に及ぼす波高や粒径の効果が十分に考慮されていないうえ、調査地点数が5つと少ないために人工海浜の一般的な特性を見いだすにはいたっていない。また、ここにまとめた人工海浜は建設後に異常波浪の試練を受けていないことも付記しておかなければならない。したがって、人工海浜設計の参考資料として本資料を活用する場合には、列挙した結論だけを参考にするのではなく、近隣の海岸や自然条件が類似の海岸の海浜変形も十分考慮していただきたい。

離岸堤を備えた人工海浜は、本資料で対象とした5つの海岸以外でも建設されており、実績をあげている。今後は、離岸堤などの構造物の天端を低くした修景性の優れた人工海浜への要請が高まり、さらに高度の技術が要求されてくるであろう。人工海浜の建設技術をさらに充実したものとしていくためには、より長期間の、より多くの人工海浜のデータの蓄積が望まれる。それとともに、未だに不明な点が多い海浜変形の機構を実験室や現地

データを基に明らかにし、人工海浜建設技術に応用していくことが必要である。

本資料でとりまとめた5つの人工海浜以外にも、いくつかの人工海浜で追跡調査を行った。貴重な資料を提供して頂き、調査、あるいはデータの解析の際に協力して頂いた海岸管理者の方々および各建設局の方々に感謝の意を表す。また、追跡調査のデータをまとめる際に助言いただいた田中則男元海洋水理部長（現在、日本テトラポッド）、資料の整理を手伝って頂いた前漂砂研究室浅倉弘敏技官（現在、清水港工事事務所）、漂砂研究室村上裕幸技官、前漂砂研究室 藤田誠技官、図面の作成を手伝って頂いた浅羽純子さんにも感謝の意を表す。

（1989年9月22日受付）

参 考 文 献

- 1) 入江 功・加藤一正・栗山善昭・村上裕幸・田中則男(1986):人工海浜における地形特性について,第33回海岸工学講演会論文集, pp.297~301.
- 2) 宇多高明(1986):侵食,堆積地形の断面特性について,第18回海岸実務講義集, pp.1~13.
- 3) 運輸省港湾局(1979):人工海浜の建設技術マニュアル, 112p.
- 4) 海岸保全施設築造基準連絡協議会(1987):海岸保全施設築造基準解説, pp.209~242.
- 5) 合田良実(1970):碎波指標の整理について,土木学会論文報告集,第180号, pp.39~49.
- 6) 合田良実(1977):港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—,鹿島出版会, pp.39~50.
- 7) 佐藤昭二・入江 功・天坂三明(1970):須磨海岸の漂砂に関する模型実験,港湾技研資料, No.106, 37p.
- 8) 佐藤昭二・入江 功(1970):須磨海岸の漂砂に関する実験,第17回海岸工学講演会講演集, pp.263~268.
- 9) 佐藤昭二・加藤 始・木村久雄(1975):レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の海水汚濁に関する実験的研究,第22回海岸工学講演会論文集, pp.201~206.
- 10) 佐藤昭二・加藤 始・木村久雄・高松恭文(1976):須磨レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の海水交換に与える影響,港湾技研資料, No.243, 29p.
- 11) 佐藤昭二・木村久雄・高松恭文(1977):レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の汚濁拡散に対する影響,港湾技術研究所報告,第16巻,第2号, pp.27~62.
- 12) 佐藤昭二・寺尾 健・田中則男(1980):人工海浜の建設,土木学会誌,2月号, pp.9~17.
- 13) 田中則男・佐藤昭二・佐々木克博(1973):須磨海岸における養浜について,第20回海岸工学講演会論文集, pp.489~494.
- 14) 田中則男(1976):天端幅の広い潜堤の波浪減殺および砂浜安定効果について,第23回海岸工学講演会論文集, pp.152~157.
- 15) 田中則男・小山内英雄(1979):養浜工に関する研究(その2)—神戸市須磨海岸における人工海浜の安定に関する実験およびその一般的考察—,港湾技研資料, No.326, 50p.
- 16) 日本気象協会(1987):気象海象要覧 周防灘・伊予灘・豊後水道,港湾気象海象シリーズ⑥, 292p.
- 17) 日本港湾協会(1979):港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp.2-50~2-90.
- 18) 畑中 明(1986):片男波海岸,みなとの防災,第89号, pp.56~61.
- 19) 服部典節・佐藤昭二(1973):前面に遊歩道を持つ階段護岸について—越波特性からの断面形の検討—,港湾技術研究所報告,第12巻,第3号, pp.71~98.
- 20) 本間 仁監修・堀川清司編(1985):海岸環境工学—海岸過程の理論・観測・予測方法—,東京大学出版会, p.140.
- 21) 和歌山県土木部港湾課(1980):片男波海岸養浜工について,みなとの防災,第66号, pp.31~38.
- 22) Sato, S. and N. Tanaka(1974):Field and model study on the protection of recreational beach against wave action, *Proc. 14th ICCE*, pp.1702~1720.

港湾技研資料 No.659

1989・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.