

# 最近の漂砂対策工法

佐藤 昭 二

## 1. はしがき

漂砂対策工を論ずるには、漂砂現象そのものを明らかにしなければならない。漂砂現象については、本研修会では、例えば、1970年に堀川教授が漂砂特論と題して、また1971年に野田教授が海浜過程と題して、それぞれ近年における漂砂の研究成果をとりまとめておられる。そこで、ここでは直接、漂砂対策工そのものから論じて行くこととする。

漂砂対策は海岸侵食対策と港湾埋設没策とに大別されるが、いずれにしても、それは、漂砂による海岸や海底の地形変化が我々の生活や経済活動に不都合であるときそれに対処する方策に他ならない。この海底地形変化には、2つの大切な傾向がある。その一つには、地形が波や流れなどの外力に対してより安定な形状に変化しようとする傾向があり、もう一つは、海底が外力のエネルギーあるいはそれによる乱れが相対的に大きい所で洗掘され、相対的に小さい所で堆積するという傾向である。漂砂対策を立てるに当っては、この2つの極めて常識的な傾向を常に思い浮かべ、できるだけそれに逆らわないように、あるいはその性質をうまく利用することが大切である。

さて、現在行われている漂砂対策工のすべてについてここで言及するには紙面に限りがあるので、その中、最近特に注目を集めている離岸堤、養浜、防波堤配置および移動床模型実験を中心として述べ最後に総括的な意味で実例の幾つかを示すこととする。

## 2. 漂砂対策工としての離岸堤

離岸堤の意味は明確ではないが、海岸線から沖側に汀線とほぼ平行に建設された防波堤形式の構造物を指し、最近では、後浜上に建設されたものも含めている。従って平行堤と云う言葉が使われることもあるが、それは一般的となっていない。

離岸堤を漂砂対策として本格的に利用したのは、新潟西海岸の侵食対策が初めてであろう。本海岸の離岸堤は荒天時の碎波帯内汀線から約150m沖、水深-3~-4mの位置に建設された。<sup>3)</sup>工事は昭和25年に開始され、初めは有孔ブロック、セルラブロック、石詰コンクリート杭柵などを用いた天端±0mの透過性の潜堤として建設された。沈下対策として粗だ沈床などの基礎を用いたが、沈下を防ぐことができず、テトラポッドで補強された。このテトラポッドによる補強は、その後たびたび行われると共に天端も次第に高められ、現在では、+2m程度の天端高となっている。この離岸堤工事と平行して、離岸堤と汀線間の沿岸流を阻止するためそれらの間を結ぶように透過性突堤が建設された。この離岸堤を採用した理由は、それ以前に建設された簡易な護岸、短かい不透過堤および杭打水制がいずれも激しい侵食を防止することができず失敗に帰したからである。この対策として強固な護岸または上記離岸堤が考えられた。離岸堤工事を開始した当時においては、強固な海岸護岸は工費がかさむので、それは重要な部分のみとし、初期投資の比較的小さい離岸堤と突堤の組合せが先行さ

れた。しかし、この離岸堤は相当に効果があったが、そのみによっては、激しい海岸の欠壊を完全に防止できず昭和30年に至って砂丘の後退はもはや許すべからざる限界に至った。その時から、護岸工事が先行されその補強として離岸堤の補強と延長が行われた。その結果、今日では護岸、突堤、離岸堤の組合せと港内浚渫土砂による養浜によって侵食が防止されている。

以上の新潟海岸における貴重な経験によって、侵食対策工としての透過離岸堤はその天端が水面上ある程度の高さがあれば相当に効果が期待できることが判った。しかし、沈下が著しく建設後相当長期にわたる補強のため多額の費用を必要としたため、他の海岸では、その後あまり利用されなかった。しかしながら、高潮対策として建設された海岸堤防や護岸の前面前浜の消失とそれに伴う堤防の破壊、そして海洋性リクリエーションの場としての海浜維持などの観点から離岸堤の効果が改めて認識され、ここ数年、離岸堤建設が盛んになって来ている。離岸堤はまた、港湾埋没対策にも用いられて来ている。

今日まで、離岸堤に関する研究も多く行われ、その波浪特性については相当に明らかにされているが、漂砂特性については定量的に不明の部分が多く残っており、離岸堤の計画施工上の問題点も多い。ここでは、この問題点と離岸堤の利用について述べることにする。

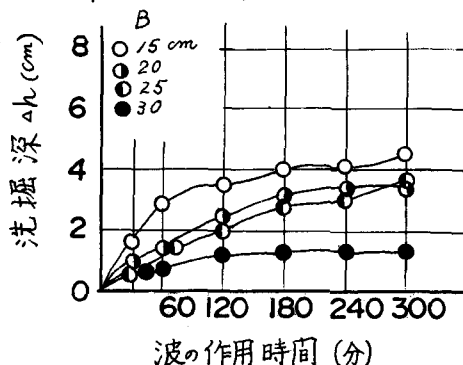
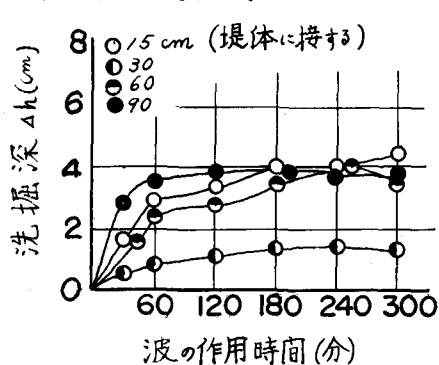
## 2・1 透過離岸堤による護岸前面前浜の維持

砂浜海岸に堤防や護岸を建設すると堤による波の反射と堤にそう沿岸流の増大のためその前面の浜の侵食が促進されて浜が消失するばかりでなく、堤体法先洗掘が起り、遂には堤体破壊に至る例が多い。その前浜の消失防止あるいは浜の回復のために異型ブロックによる透過離岸堤がしばしば建設される。

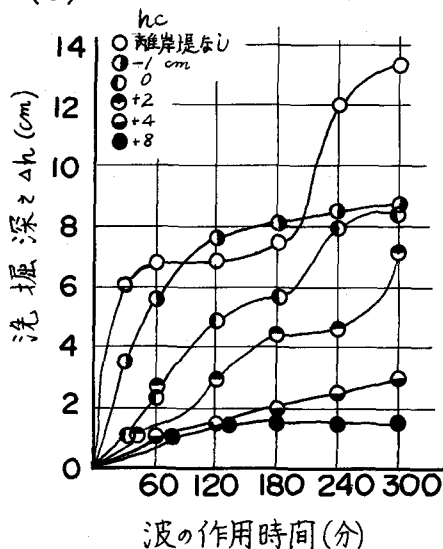
まず、造波水路で行った実験結果をのべる。<sup>4)</sup> 図-1は、初めに1/10の模型海浜を細砂(平均粒径0.2mm)で作し、それに換算沖波波高 $H_0 = 6\text{ cm}$ 、周期 $T = 1.52\text{ sec}$ の波を15時間作用させて平衡海浜を作った後、図(e)のように汀線に直立壁、沖側に透過離岸堤を設置し、 $H_0 = 12\text{ cm}$ 、 $T = 1.52\text{ sec}$ の波を作用させたときの結果である。まづ、(a)は、直立壁から離岸堤までの距離による壁体のり先洗掘 $\Delta h$ の変化である。消波工のように、壁体に密着した場合(白丸)は(c)に示す離岸堤なしのときと比較すれば相当効果があるが、なお洗掘が大きく、300分後においてもさらに $\Delta h$ が増加する傾向を示す。離岸堤を壁体から離すにつれて $\Delta h$ は小さくなるが、あまり離すとまた大きくなる。なお、この場合は、離岸堤の幅は30cm、高さは波が越波しない程度に水面上8cmとしてある。(b)は、離岸堤の幅による効果で幅が大きいほど効果があることを示す。(c)は、天端高の効果で、高さ $h_c$ が+4cmになって初めて洗掘防止効果が顕著に現れている。この場合は、すべて $X = 30\text{ cm}$ で、離岸堤沖側のり先の初期水深は6cmであり、 $h_c = 4\text{ cm}$ の場合は碎波が離岸堤を少し越波しており、 $h_c = 8\text{ cm}$ では越波がなかった。(d)は、(a)の場合の実験に対する(e)に示す区間別の300分後の平均洗掘深さを示すものである。区間ⅠとⅡに着目すると、 $\Delta h$ が最小の $X = 30\text{ cm}$ の場合が必ずしもよいとは限らず、90cmまたは、60cmの場合が良いとも云える。(a)に示すように $X = 90\text{ cm}$ または60cmの場合、 $\Delta h$ が $X = 30\text{ cm}$ より大きかったのは、位置の関係から離岸堤に作用する波がより大きく、したがって透過波も大きくなりそれが直立壁に作用したためである。

図-2は、上と同じ実験において根固め消波工と離岸堤を設置した場合である。波作用300分後には消波工の沈下はなく離岸堤と消波工との間に砂の堆積が起っている。これは、沖側から離岸堤を透過して来たものである。なお、離岸堤のすぐ沖側は洗掘されていることに注意されたい。

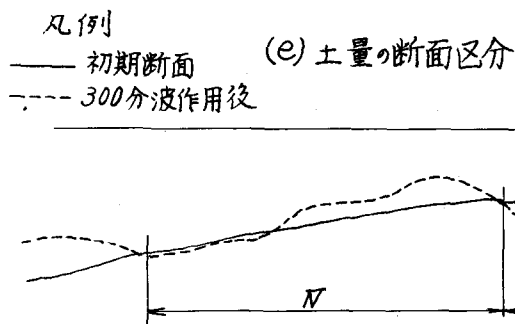
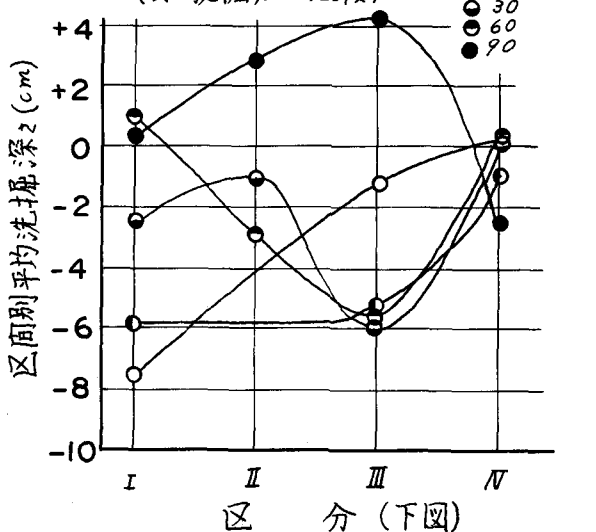
(a) 距離による変化 ( $B=30\text{cm}$ ,  $h_c=8\text{cm}$ ) (b)  $X$ による変化 ( $X=30\text{cm}$ ,  $h_c=8\text{cm}$ )



(c) 高さによる変化 ( $B=30\text{cm}$ ,  $X=30\text{cm}$ )

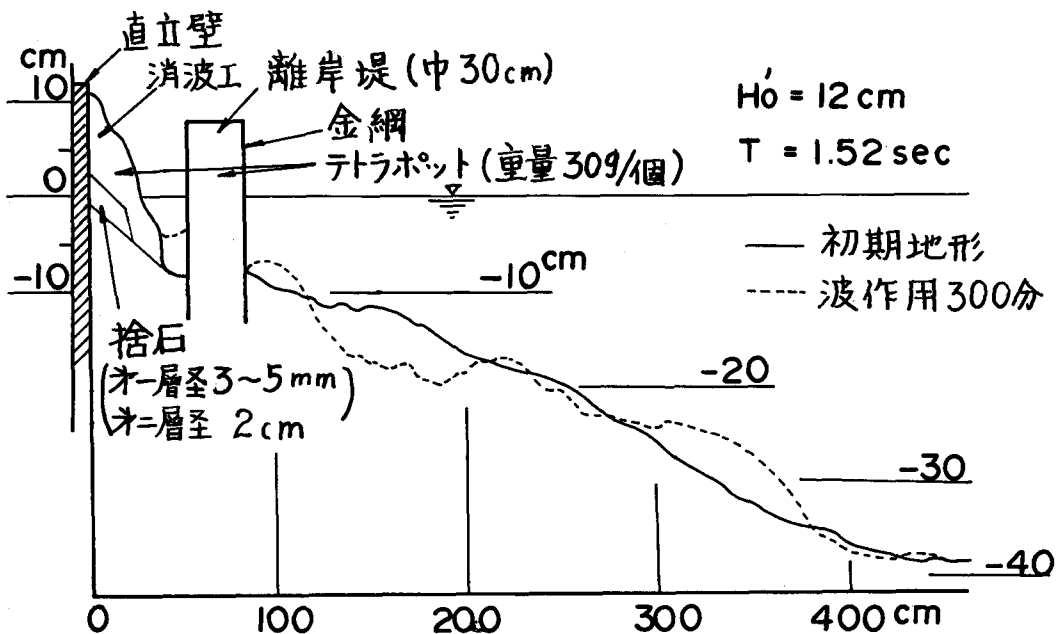


(d) (a)に対する区間別平均洗掘深さ (負は洗掘, 正は堆積)

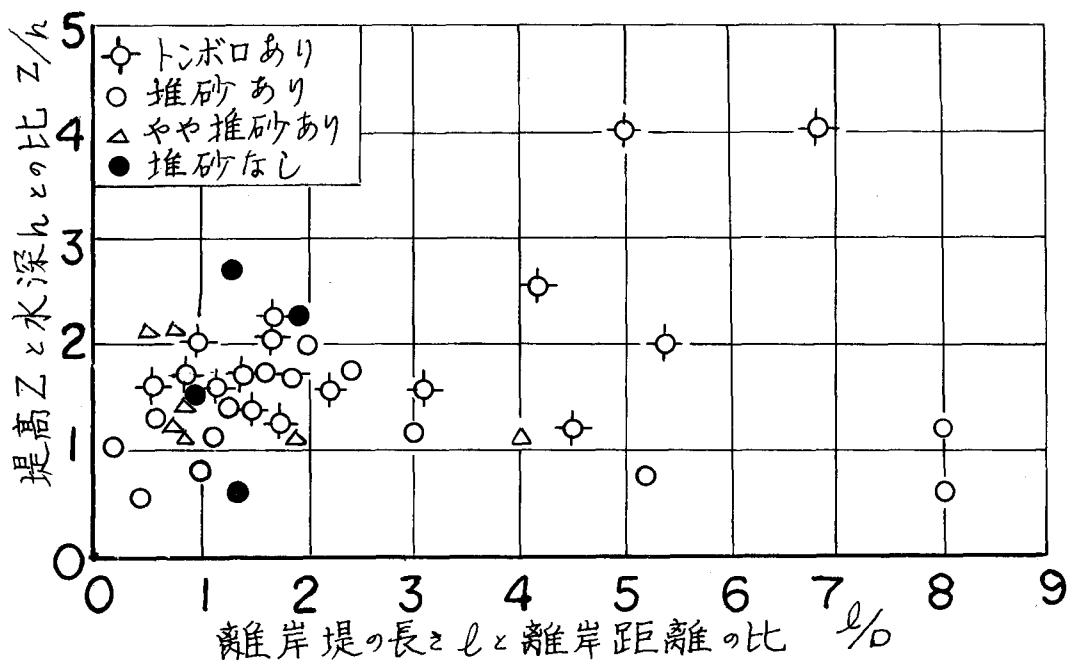


図一 離岸堤の直立壁前面の洗掘防止効果の実験

(佐藤・入江・佐々木による)



図一 2 根固め消波工と離岸堤の組合せ工法の海浜変化 (佐藤・入江・佐々木による)



図一 3 離岸堤の堆砂効果と設置位置の関係 (豊島による)

また、図-3は実在の異形ブロックまたは捨石による離岸堤の背後の堆砂状況を示したものである。<sup>5)</sup>  
 この図によると、多かれ少なかれ、大部分が離岸堤によって堆砂が生じている。豊島は、堆砂の著しいものや、トンボロの発生したケースの大部分は、汀線附近に広い砂浜があったものや、遠浅海岸の例が多く、堆砂の少ないものは、護岸などの前面で砂浜がない場合であると述べている。

以上のことから、護岸前面の浜の侵食対策としての異型ブロックまたは粗石などによる透過離岸堤の計画にあたっては、次の点に留意すべきと思われる。

(1) 離岸堤は、なるべく岸近くに設置した方が、水深が浅くなり、工費や機能上有利であるが、護岸からは、少し沖側に離して設けるべきであり、少くとも荒天時の沖波波長の $1/5 \sim 1/10$ 以上離すべきである。ただし、砕波線より岸側とする。

(2) 護岸の前面にある程度の砂浜（離岸堤を透過した波のエネルギーが護岸に達する前に十分消散し得る程度）がない所では、護岸前面に消波を兼ねた根固め工を必要とする。

(3) 天端は、水面下では不十分で、朔望平均満潮位を基準として、水面上、設置水深の $1/2$ 以上の高さを必要とする。（ただし、潮差が大きく、波高が小さい内海では、朔望平均満潮位の代りに平均水面としてよい）

(4) 離岸堤は、護岸前面に十分な砂浜がある所では不連続堤でもよいが、それが無い所や侵食の激しい所は、連続堤とする。連続堤の場合は、護岸と離岸堤の間に、不透過突堤を設置し、堤内の沿岸流を阻止する。

(5) 現在、完全な沈下対策はないので、建設後沈下に対するかさ上補修が、現地の海況条件により多かれ少なかれ必要となる。沈下対策としてアスファルトやプラスチックフィルターを異形ブロックなどのすぐ下に敷いても、それらは、やがて切れてしまい、その効果はほとんど期待出来ない。プラスチックフィルターの上に捨石を設けた基礎が比較的沈下に対して有効である。しかし、何回かかさ上げをしている中に沈下はほとんど止るのが普通である。

(6) 一般に、水中に建設した場合は、その前面の海底に洗掘孔が出来るのが普通である。すなわち、離岸堤前面の堆積は期待できない。

護岸前面が急な海底勾配の所では、上記(1)、(3)を満足させるように離岸堤を設置することが困難である。このような所では、消波工の巾を厚くして、消波工を透過する波が護岸のり先に達する前に十分エネルギーを消散するようにしなければならない。

## 2・2 護岸のない自然海浜における透過離岸堤

自然海浜における離岸堤は、単に汀線附近の侵食を防止する目的で前浜附近に設ける場合、砂丘根本の後浜上に設ける場合、あるいは、海水浴場におけるように、汀線より沖側に設ける場合など種々である。

汀線から沖側に設置する場合は、連続堤より不連続堤とする場合が多い。不連続堤の場合、個々の堤の背後にはトンボロが発生し、それが突堤として効果を發揮して沿岸漂砂を阻止する。しかし、開口部に直面する前浜は堤建設前より汀線が後退することが多い。開口部の巾は、汀線に近いほど狭くするが、通常 $50 \sim 100\text{m}$ とする場合が多い。また、連続堤の場合は、2・1に述べたと同じ理由で、突堤を併用する必要がある。不連続堤の場合も、漂砂が一方に卓越しているときには、各堤の中央から突堤を出し、T型堤のようにすべきである。この場合の突堤は、不透過堤の方が効果がある。

一方、前浜や後浜上の離岸堤は、不連続堤より連続堤の方がよい。また、高さは、そ上波が越波しない程度の高さとする必要がある。それは、このように設置される離岸堤は、云うなれば、簡易な海岸護岸であるからである。若し、開口部があれば、その部分には、直接波が作用するばかりでなく、離岸堤を透過したそ上波による戻り流れが開口部に集中して、開口部付近が異常に侵食されるからである。しかし、後浜などでは浜への出入りのために開口部を必要とすることが多い。この場合には図-4

のように副堤を設けるか、あるいは、本堤をちどりの配置とする。

わが国では、後浜上に異型ブロックの離岸堤を設ける例が最近比較的多く見られるが、捨石が容易に入手できる所では、捨石を用いる方が有効である。英国のS.W.WalesのPendern

では、図-5のように砂丘の欠壊を防止するため捨石の連続堤を建設した。基礎には金網を敷いた。その結果は、砂丘と捨石の間に砂が堆積し、大きな波によってこの砂は持ち去られるが、しばらくすると、また堆積が起ると報告している<sup>6)</sup>。また、設置後7年においても捨石の沈下はない。この工法は、以前に、砂

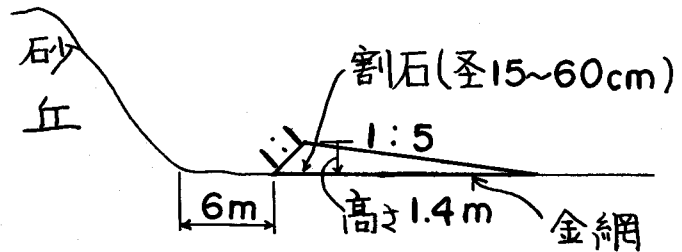


図-5

丘面に建設された階段式コンクリート護岸ののり先が荒天時に洗掘が大きく、一部が破壊されたために考え出した工法であると述べている。

### 2・3 港湾埋没対策への離岸堤の利用

港湾埋没を防止するためにも、離岸堤が利用される。図-6は、その説明図である。(a)は、防波堤の先端外側に設置された離岸堤で、防波堤との間で港口に侵入しようとする漂砂を捕捉する。このトラップ内に捕捉された砂は、1年または2年に1度、港口水深と同じ程度の深さまで浚渫する。このと

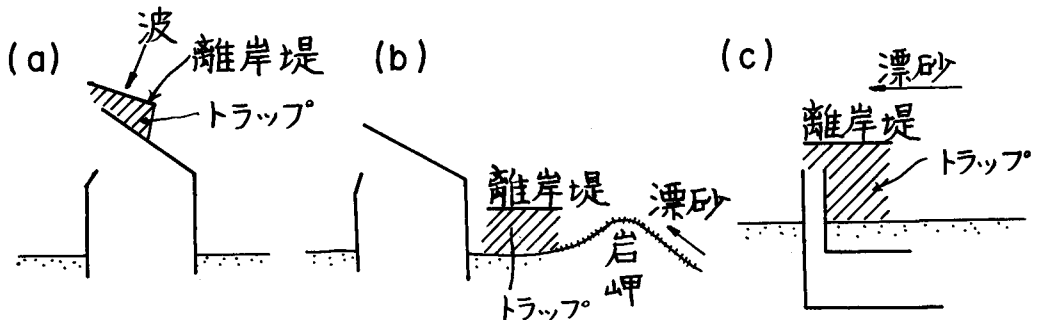
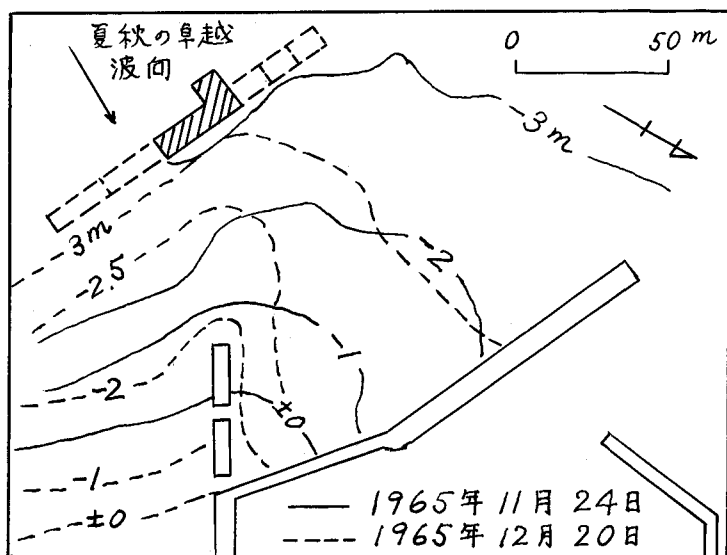


図-6 埋没対策に対する離岸堤の利用

き、離岸堤は、浚渫船を波から遮蔽する役目もする。図-7は、北海道節婦港の例で、夏期、南よりの波で離岸堤背後に堆積した砂の大部分は、冬期の北寄りの波で防波堤の根本の方へ押しもどされるので、トラップ内の浚渫はほとんど必要としないという<sup>7)</sup>。通常の海岸では、一方向からのみ波が来ることはまれで、節婦港のように、季節的に卓越波向が変化することが多いので、この方法は比較的利益利と思われる。

図-6の(b)の場合は、離岸堤と海岸との間で漂砂を捕捉して港口に達する漂砂を減少せしめようとする



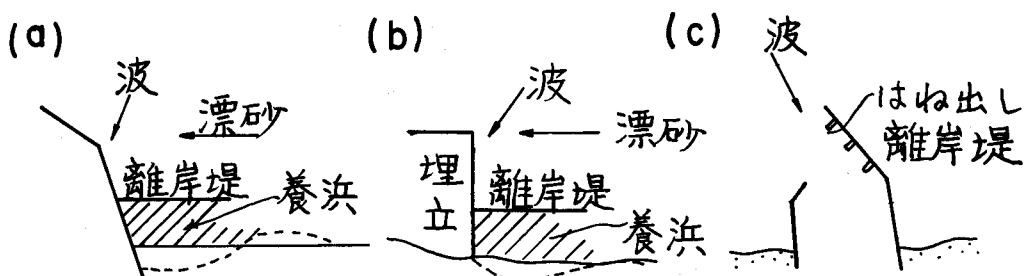
図一七 節婦港の離岸堤による埋没対策（尾崎による）

ものである。しかし、上手側が沿岸漂砂が大きくない連続した単調な砂浜のときには、上手側の汀線附近の砂が離岸堤背後に寄せられ海岸侵食を起す。海岸が岩崖であるような所ではこの心配はない。特に、図のように、岩崖の岬を廻って沿岸漂砂が来る所では有効である。(c)は、中小港湾で、港口への侵入波の防止も兼ねて建設される。この場合の例は、後述するが、一方向に漂砂が顕著に卓越している海岸でないと、(b)と同様に上手側の侵食を招くおそれがある。また、離岸堤から海岸までの間を通過する沿岸漂砂ばかりでなく、沖側の砂も、堤のかげに引き込むことになるので、浚渫量は予想より多くなる。

以上のような、港湾埋設対策としての離岸堤は、回折波によるトンボロ現象を利用して沿岸漂砂を完全に捕捉することが目的である。したがって、構造は、不透過であるべきであり、砕波帯より沖側に設置すべきで、さらに、天端高は通常の防波堤と同じ程度にする。

#### 2・4 その他の利用

漂砂の上手側の防波堤を汀線から斜めに延長したり、汀線に直角の部分短かかったりすると、その根本の海岸が堤にそう波の集中をうけ侵食することが多い。この対策として図一八の(a)に示すよう



図一八 離岸堤のはね出し

に、防波堤からはね出したように離岸堤が用いられる。また、図の(b)のように埋立のための直立護岸を急速に作ると同じような侵食が起り、離岸堤を必要とする。しかし、いずれの場合も、離岸堤を設けると、それに隣り合った上手の海浜が侵食されることが多いので、離岸堤建設と同時に、その背後に浚渫砂などによる養浜をするのがよい。すなわち、人工的にトンボロを作ってしまうのである。なお、これらの場合は離岸堤を侵食対策として用いるのであるから、構造は透過性でもよく、碎波線より岸側に設置すべきである。

また、これは離岸堤とは呼び難いかも知れないが、港口から侵入した波を消波させるために、防波堤の内側にそって、図の(c)のように、小型のはねだした異型ブロック堤を設けることも行われる。さらに、T型突堤は突堤と離岸堤の組合せと考えられる。

### 3. 砂浜海岸の防波堤

砂浜海岸における防波堤の配置や構造については、漂砂の観点からは次の点に留意して計画すべきである。

(1) 防波堤は、できるだけ沖側まで延長して港口水深を深くすると共に、港口巾をできるだけ狭くする。これは水深が深いほど底質移動は少なく、港口幅が狭いほどそこから侵入漂砂が少なくなるからに外ならない。しかし、これら水深や港口幅の決定は、入港船舶の大きさも、同時に考慮しなければならない。

(2) 卓越波から港内を遮蔽するように防波堤を配置する。これは、港内の静穏度の観点のほか、沖浜での波による底質移動の主方向は、一般に波向と一致するからである。このため、漂砂の上手側の防波堤は長く、途中で卓越波から港内を遮蔽するように折り曲げるのが普通である。

(3) 防波堤は、少くとも碎波線を越えるまでは、汀線と直角に延長する。これは、碎波帯内では、沿岸流による汀線と平行な漂砂が卓越するからである。また、この部分を汀線と斜めに延長すると、2・4で述べたように、堤外側の海岸侵食が起りやすい。

(4) (2)で述べた途中からの折れ曲げは、図-9に示すように、それより先の部分に卓越波が作用したとき、岸向きの質量移送が生ずるようになる。一般に、防波堤にそう波の集中による防波堤外側根本における水位の上昇や沿岸流の堤による阻止のために、堤にそって沖向きの流れが生ずる。この流れを出来るだけ弱めて、沿岸漂砂が堤にあって港口に達するのを減少せしめるためである。

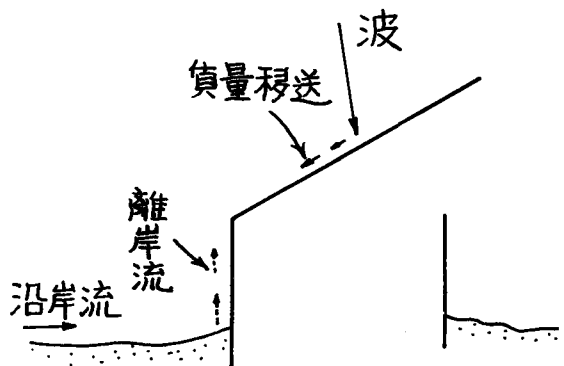


図-9

(5) 防波堤は、漂砂の観点から不透過にすべきである。

(6) 碎波帯内では、特に理由のない

限り、越波がないように十分高くする。特に、前浜や後浜の部分に留意する。これは、砕波帯内では、浮遊砂が激しいので、それが波と共に防波堤を打越すのを防ぐためである。

(7) 防波堤にそってでは、通常海底の洗掘が起る。図-10は鹿島港防波堤建設中の堤両洗先の洗掘深を示す<sup>9)</sup>。このように、一般に沿岸砂洲付近(図では-3m付近)と、堤の折部付近で洗掘が大きい。このような洗掘に対処するため、混成堤の基礎マウンドの中は、漂砂の激しい海岸ほど広くとり、洗掘によるのり先からの沈下が、上部工近くに及ばないようにすることが必要である。

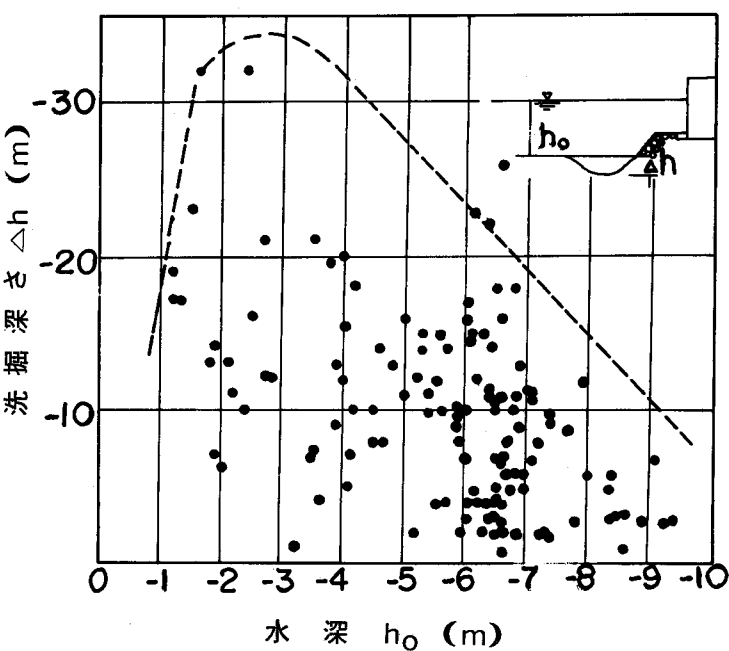


図-10 防波堤ののり先洗掘と水深  
(佐藤・田中・入江による)

図-11は、砂浜海岸に多い防波堤配置の模式図である。(a),(b)は、最も普通に見られる配置で、A、Bの部分は消波のための自然浜または消波護岸とする。漂砂の下手側の防波堤の建設をしないうちに、上手側の防波堤の折部より先の部分を延長すると、その陰にトンボロ現象が生じ、下手側海岸の侵食が

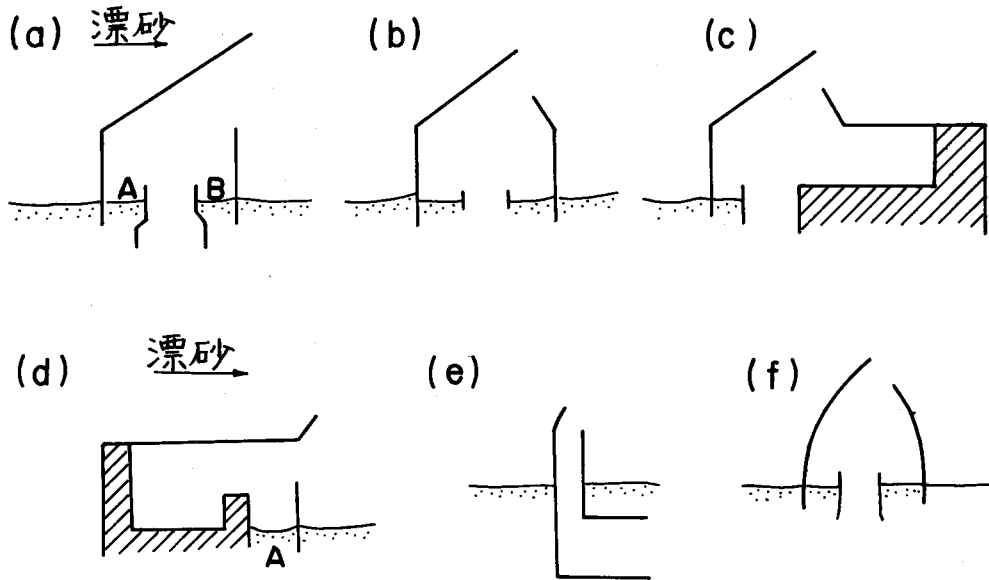
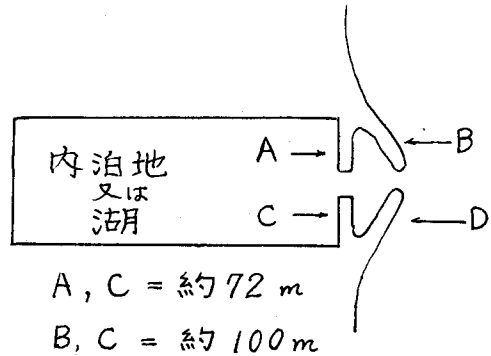


図-11 砂浜海岸の防波堤配置

促進される。これは、施工上の注意である。(c)は、航路浚渫砂を利用して堤内に埋立地を作るときの一例である。(d)や(e)は、漁港などの小型船舶用の港の配置に多い例であるが、(e)は堤の内側を消波構造にしないと港口航路が荒れる。(f)のように先端部をカーブにするのは、堤に沿う洗掘が少ないと云われている。しかし、通前の矩形ケーソンではカーブをつけることは施工上困難であり、捨石または、ブロック堤に多い形である。

カナダでは、浚渫することなしに、港口水深が1.5～2.0 mを維持できる漁港の配置として図-12を提案した。<sup>10)</sup> 模型実験を行い、さらに、現地に建設し、予期した成果を得ている。このような港の建設条件としては、中程度の波に港口が常にさらされることである。内泊地は、侵入波によって水位が高まり、港口には底に沿う離岸流が生ずるので港口開そくを防止できる。



#### 4. 養浜とサンド・バイパス

図-12 浚渫を必要としない小型船用防波堤配置

(Dennely and Machnnis による)

海浜に土砂を補給して人工海浜を形成したり、あるいは侵食されつつある海岸に土砂を補給する養浜工は、海岸侵食防止の外に、臨海性クリエーションの立場から行われる。米国においては盛んである。例えば、図-13に示すConnecticut州のLong Island Soundに面する海岸においては、過去30年間(主として、1955～1965年)<sup>11)</sup>に、31ヶ所総延長約20マイルの海岸で人工養浜が行われた。その養浜砂の供給源は、港口浚渫砂

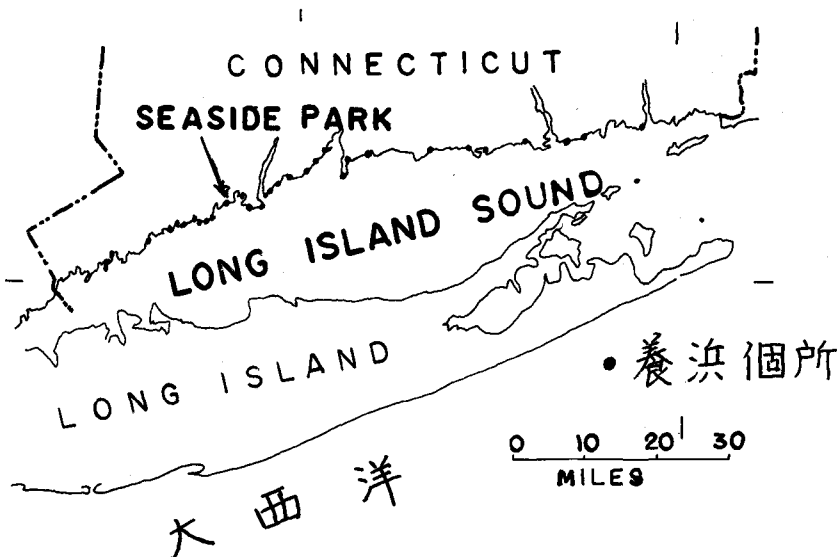


図-13 Long Island Soundの北海岸における養浜箇所  
(Robert A. McCableによる)

や陸地の砂の場合もあったが、図-14 の例に示すように沖浜の砂であった。養浜時の前浜勾配は、陸地の砂を用いた場合  $1:10 \sim 1:15$  で、ポンプ浚渫船を用いたときは、 $1/20 \sim 1/50$  となった。これらの人工浜は、波作用の後、自然海浜勾配に近く  $1:8 \sim 1:10$  となった。また、沿岸漂砂が一方方向に卓越している所では、突堤を設けないと砂の流失が大きかった。このように、波の小さい内湾においては、沖浜の砂を利用した人工海浜は、養浜砂の流出が少なく、きわめて成功している。

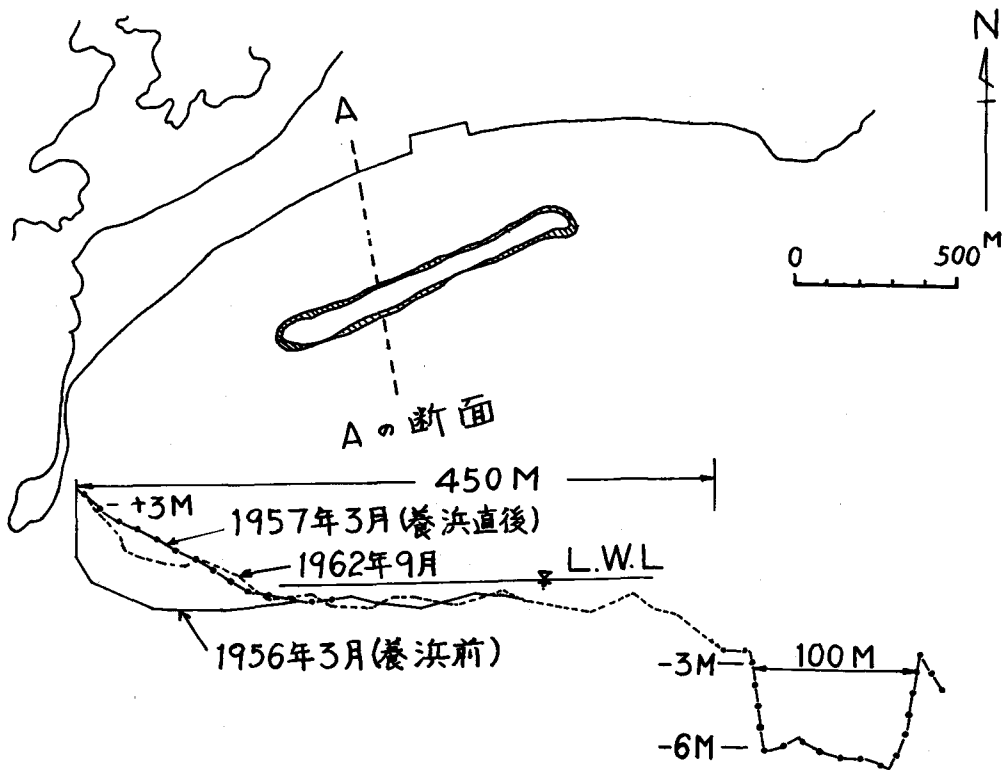


図-14 Connecticut, Seaside Parkの人工養浜 (Williamによる)

沖浜の砂を利用しようとする試みは、外海に面した海岸でも試験的に行われた。New York の近くのNew Jersey州Sea Girt 海岸で、図-15 に示すような組合せで、水深-10 m付近の海底砂を海浜に養浜した。始めに、海底排砂管がブイをつけて陸側から沖へ引き出された。つぎに、台船がアンカーされた。台船上の排砂管と海底排砂管との間は、ボールジョイントと直管の組合せによってflexibleな結合とした。このため、台船は  $34 \times 90$  ftの長円形面積内で移動が可能であった。更に、陸上部の排出管の取付けも行い、現地準備が完了した後に、ホッパー浚渫船がNew York から来た。浚渫船は、台船に固定され、排砂管が連結された。浚渫作業は、3月から5月にかけて行われた。その間、flexible jointとその附近の海底パイプの故障があった。その修理中と時化のときは、浚渫船は港に帰った。また、波で台船が陸岸へ打ち上ったこともあった。しかし、ともかく、この試験中、250,000 立方ヤードの養浜を行った。さらに改良をすれば、1ヶ月当り500,000 立方ヤードの養浜が可能であり、工費は1立方ヤード当り1.30ドルになると述べている。

また、米国Florida州では、Drag-scraperを用いて海岸から約800 ft 沖側の砂を岸にひき

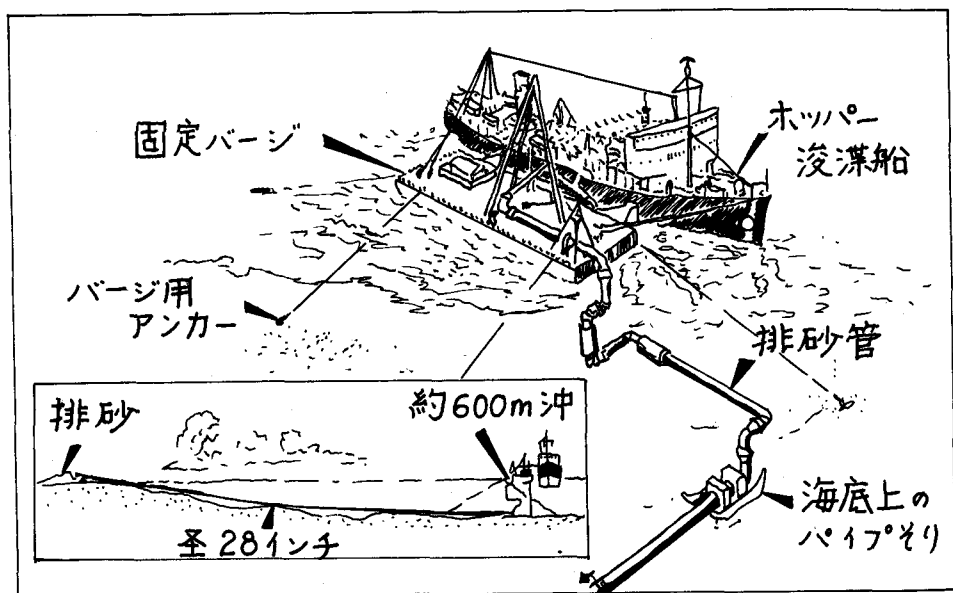


図-15 ホッパー浚渫船による沖浜からの養浜 (Maurielloによる)

よせた。scraper は、V字型に沖に向かって張られたロープによって陸岸のドラムホイストで引かれた。この試みは、まだ実用の段階には至ってないようである。

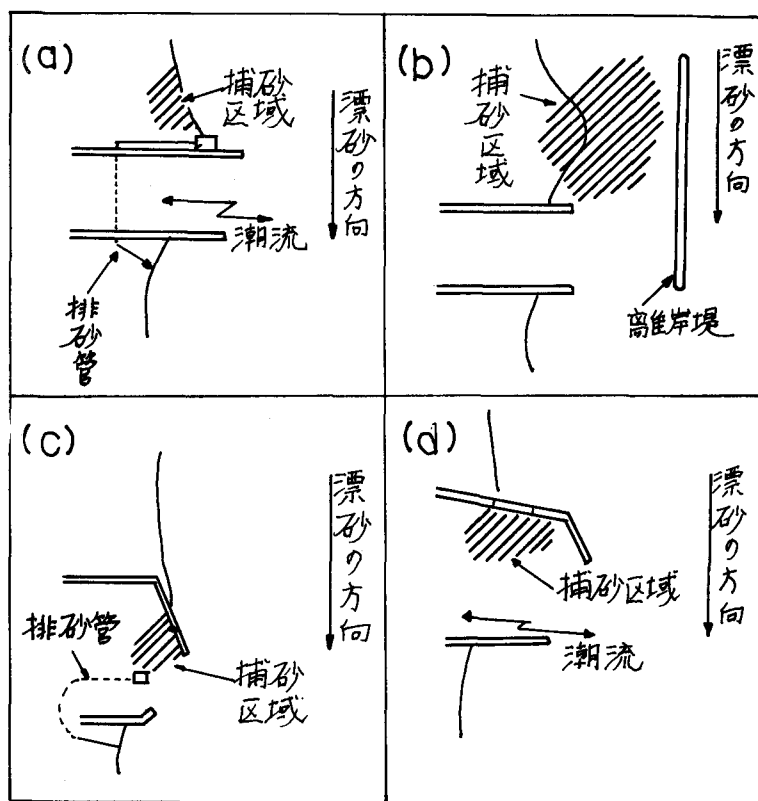


図-16 サンド・バイパス工法 (Wattsによる)

入江や河口の導流堤、砂浜の防波堤などによって漂砂が遮断されるとき、沿岸漂砂を機械的に下手側海岸に輸送するサンドバイパス工法は、航路の埋没防止と下手海岸の侵食防止の目的で行われる。図-16は、アメリカで行われたサンドバイパス工法を模式的に示したものである。(a)は、導流堤または防波堤の根本附近の堤上に固定式または堤上を動くポンプによって上手側の砂を港口を横切る海底パイプライン（あるいは、橋にそわしてパイプを通す）を通して、下手海浜に排出する。これは、荒天時にポンプを運転できないこと、沿岸漂砂がポンプがとどく範囲を越えて移動するものもあること、および直接沖側から港口に侵入する漂砂を捕捉できないことのために、十分港口埋没を防ぐことができず、別に浚渫船により港口浚渫を必要とする。(b)は、離岸堤背後にトラップを作り、1年または、2年に一度の割合で浚渫し、下手海岸へ排出する。このとき、同時に航路部分の浚渫も行い。これについては、2・3でも述べた。(c)は、防波堤の先端の陰にサンドトラップを設け、ポンプ浚渫船で下手側に排出する。Santa Barbara が有名であるが、我が国の港湾は云うなれば、この方法をとっている。(d)は、防波堤の前浜附近の一部の天端を低くして、その陰をトラップとする。米国のNorth Carolina 州 Masonboro の入江口で行われた。<sup>16)</sup>このとき、上手側防波堤の前浜附近の1000ft部分をコンクリート矢板で作りその天端を平均水面とした。他の部分は、天端が平均水面上6ftの捨石傾斜堤であった。図-17は、その平面図である。上述の各々の事例については、既に多く紹介されている。<sup>17)</sup>

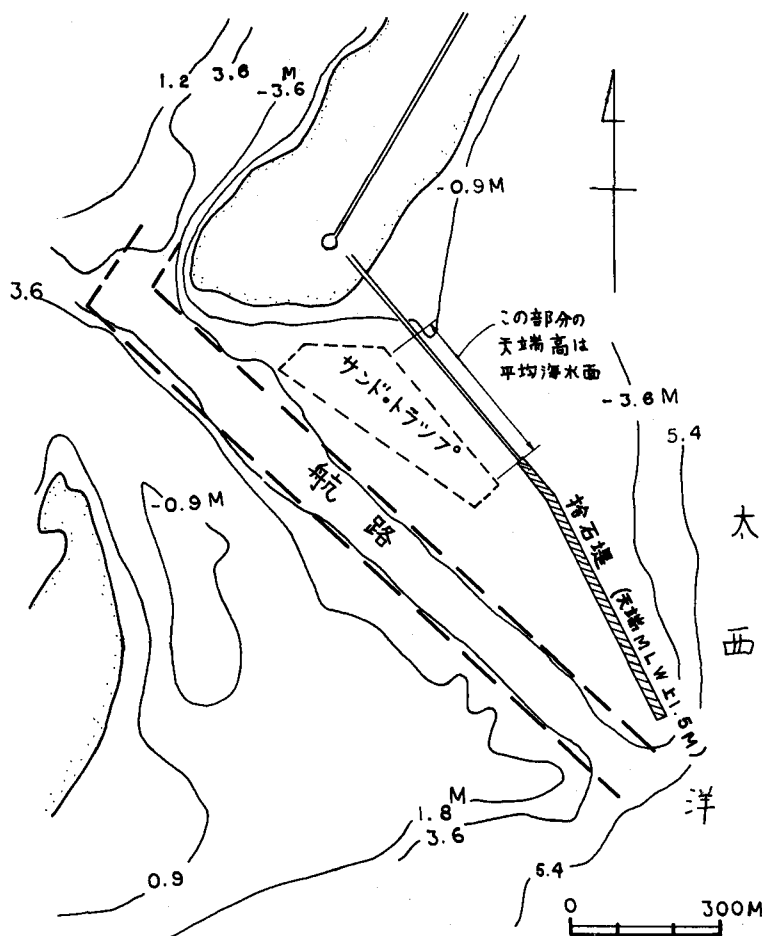
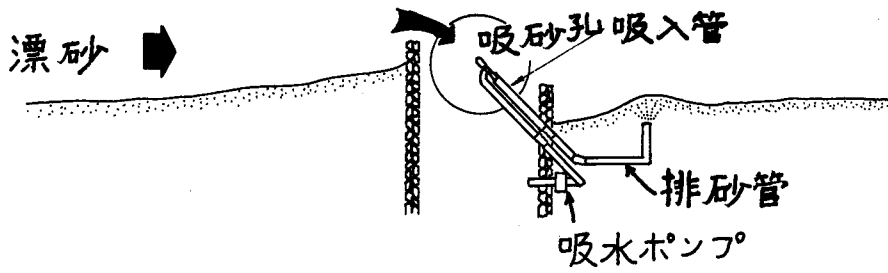


図-17 North Carolina の Masonboro 入江口のサンドバイパス (Magnuson による)

# 平面図



# 断面図

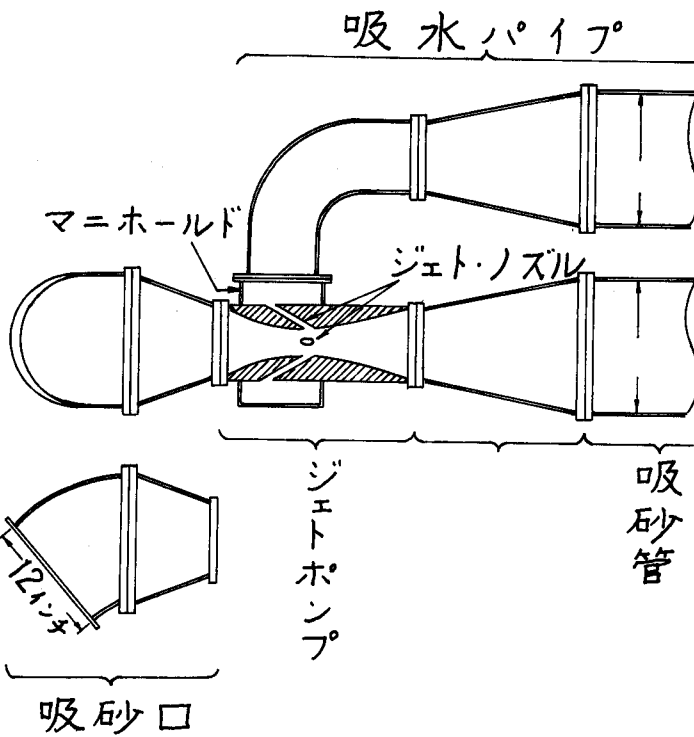
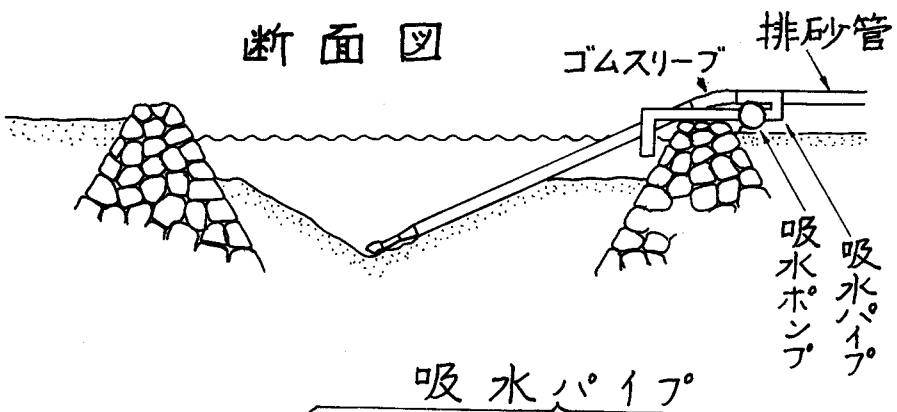


図-18 Grater-sink サンド輸送装置 (Inman and Harrisによる)

18)  
Inman・Harrisは、上述のようにサンド・トラップを特に必要としないバイパス方法として図-18に示すGrater-sink Sand Transfer Systemを提案している。これは、吸砂口、jet ポンプ、注水管、排砂管等からなる。吸砂口は、深く掘り下げられた港口の孔の中に置く。この孔は、締っていない砂の場合は、この装置自身によってjet ポンプを運転して掘り下げることができる。海底が締った砂のときは、この装置を設置した後、ロータリー・カッター浚渫船で吸砂口の近くを掘り下げる。一度孔が出来ればjet ポンプを連続運転することによって、港口水深の維持が出来る。この装置の特徴は、(1)装置が簡単で初期投資が少いこと、(2)運転費が安いこと、(3)船舶の航行をじゃましないこと。(4)特に広いサンド・トラップを必要としないこと。(5)荒天時でも作業ができることであると述べている。しかし、事例はまだ報告されていない。

## 5. 漂砂対策工のための平面移動床模型実験

ある海岸や港の漂砂対策を立てる場合、漂砂現象が複雑なため理論的解析的に解決出来ないことが多く、模型実験によって、何らかの手がかりを得なければならない場合が多い。しかし、衆知の通り、砂移動に関しては、模型と現地との間に普遍的な相似律は存在しない。そのため、実験目的によって、種々の工夫がなされている。年単位の長期間の漂砂現象を対象とした実験における一般的な手法を述べる。

### 5・1 模型の歪<sup>19)</sup>

漂砂の外力は、波や流れであるから、漂砂現象を相似ならしめるためには、まず、波や流れなどの水の運動を相似ならしめねばならない。そのためには、Froude の相似律によって模型の水平および鉛直縮尺は同一でなければならない。しかし、実験対象範囲と限られた模型水槽の大きさから、水平縮尺は $1/100$ より小さくなる場合が多く、歪を与えないと底質は動きにくくなる。また、細砂を用いた実験では、歪を与えないで模型浜を作り、波を作用させると、一般に、破碎帯、特に前浜附近は現地より急な勾配となる。従って、模型海浜形状を現地と相似ならしめるためにも、模型縮尺に歪を与えねばならないことが多い。

歪の決定法は、対象とする海岸の代表的な標準自然海浜の模型に代表的な波を作用させる。このとき、長時間の波作用に対しても、初期海浜断面があまり変化しない場合の歪を採用する。須磨海岸の養浜に関する断面実験のとき、代表的な波として、通常の荒天時の波(波高 $1.5\text{ m}$ 、周期 $6\text{ 秒}$ )をとり、水平縮尺 $1/100$ 、 $1/50$ 、 $1/40$ に対して、歪を変えて、細砂( $d_m=0.13\text{ mm}$ )模型海浜の安定を調べた。<sup>20)</sup>そのとき、水平縮尺 $1/100$ のときは、歪 $3$ 、 $1/50$ では歪 $1.5$ 、 $1/40$ では歪 $0$ のとき模型海浜が比較的安定であった。筆者らが行ったマルデルプラタの実験では、代表波を波高 $3.2\text{ m}$ 、周期 $10\text{ sec}$ 、水平縮尺を $1/500$ として、細砂( $d_m=0.15\text{ mm}$ )、ベークライト(比重 $0.38$ 、粒径 $1.1\text{ mm}$ )、石炭粉(比重 $1.8$ 、粒径 $0.68\text{ mm}$ )の3種の底質についてテストした。その結果は、細砂で鉛直縮尺 $1/70$ としたときが最も良かった。<sup>21)</sup>堀川・佐々木は、新潟海岸の養浜に関する実験において、代表波として冬期間の波のエネルギーの2乗平均値に相当する波高 $2.4\text{ m}$ 、周期 $8\text{ sec}$ の波をとり、底質として細砂(粒径 $0.16\text{ mm}$ )、パールライト(比重 $2.0$ 、粒径 $1.71\text{ mm}$ )およびメサライト(比重 $1.7$ 、粒径 $1.5\text{ mm}$ )をとってテストを行い、水平縮尺 $1/500$ のときそれぞれ、歪が $1.66$ 、 $1.28$ 、および $1.11$ とするとき模型断面形が現地と一致したと述べている。

以上、要するに、水平縮尺が小さいほど、歪を大きくとる必要があり、また、粒径と比重が小さい

底質を用いるほど、歪を小さく出来る。しかし、塩化ビニール粉末のように余り軽い粒子を用いると、前浜形状が安定しないということも起る。さらに、代表波として、どんな諸元の波を採用するかによっても歪が変る。この代表波としては、沖浜帯の底質が十分動かし得るものでなければならぬので、通常の荒天時の波をとることが多い。

### 5・1 模型縮尺

歪をもつ漂砂の移動床模型実験では、水平縮尺を  $L_r$ 、鉛直縮尺を  $V_r$  とすると、水の運動の縮尺を次のようにとるのが普通である。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{波 高} & H_r = V_r \\ \text{短周期波の周期} & T_r = \sqrt{V_r} \\ \text{潮汐などの周期} & t_r = L_r / \sqrt{V_r} \end{array} \right\} \text{流速 } v_r = \sqrt{V_r} \quad (1)$$

海岸における波の変形は、回折より屈折現象が重要なこと、砂移動に関して重要な波形勾配を現地とほぼ相似ならしめることなどのために、波の周期を鉛直縮尺の平方根にとる。潮汐は長周波としての Froude の相似に従って縮尺を決める。従って、波と潮汐の時間縮尺は一致しない。潮汐は、一般の海岸では直接砂移動には関係なく、波の変形あるいは、波の海浜への作用力に影響を与えるものであり、年単位の長期間の漂砂現象に関しては、単なる水位変化を与えているにすぎないので、このことは、あまり問題とならない。

漂砂に関する時間縮尺は、漂砂に関する連続の式から与えられる。<sup>22)</sup> 例えば、沿岸漂砂量  $qx$  が模型と現地で求められるとすれば、

$$\frac{t'_m}{t'_p} = \frac{hm/hp \cdot xm/xp}{qxm/qxp} \quad (2)$$

ここで、 $t'_m/t'_p$  は砂移動に関する時間縮尺、 $hm/hp, xm/xp$  は、それぞれ鉛直および水平方向の模型縮尺で、 $m, p$  はそれぞれ模型と現地をあらわす。

しかし、一般に、沿岸漂砂量を求めることは、模型も現地も困難なことが多い。そこで、通常は、ある期間の防波堤の上手側における堆積量、その下手側の欠壊量、港口附近の土砂堆積量、あるいは汀線の後退量などを対象に取り上げる。そうして、模型内で、それに相当する変化が何時間で起きるかを試行的に決定して、時間縮尺を決める。この場合、その土量変化量ばかりでなく、地形の変化形状ができるだけ相似になるように、波向、ときによっては、波の諸元を多少変える。

### 5・2 模型底質

Zwanborn は、<sup>23)</sup> 河川の乱流時の河床粗度を示す式と Chezy の抵抗係数との関係から河川の移動床模型に関して次のような底質撰定の基準を得た。

$$(v_*/W_o)_r = 1 \quad (r \text{ は縮尺を表わす}) \quad (3)$$

ここで、 $v_*$  : 摩擦速度、 $W_o$  : 底質の沈降速度で、この式に、 $v_* = \sqrt{\tau_o/\rho} = \sqrt{\rho g R I/\rho} \doteq \sqrt{ghS}$  ( $R \doteq h$ ,  $I \doteq S$  河床勾配) を代入すると、

$$(hS)_r^{\frac{1}{2}} / W_o_r = 1 \quad (4)$$

となる。彼は、この(4)式を Durban 港の土砂潜堤の実験にも適用してよい結果を得たと述べている。<sup>24)</sup> このとき  $S$  としては、海底平均勾配をとった。一般に、底質移動は、掃流型式の場合は  $\tau_o/\tau_c$  ( $\tau_c$  = 限界掃流力、 $\tau_o$  = 掃流力)、浮遊型式の場合は、 $v_*/w_o$  が重要な factor になる。海の場合は、

浮遊移動がより支配的であるので(3)式は一応合理的である。しかし、底質の移動は、この外に Reynolds 数にも関係するし、海の場合  $I=S$  と単純にとることには問題があるので、(3)式が決して完全に論理的であるわけではない。底質選定の目安程度に考えるべきである。

(4)式において、歪がなければ

$$W_r = (h_r)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

となり、野田が浮遊砂の方程式に基づいて得た基準と一致する。<sup>25)</sup>

### 5・3 模型の再現性

(4)あるいは(5)式に合致する底質が何時も必要なだけ多量に得られるとは限らないし、また、得られたとしても、それで底質移動の相似が完全に得られるわけでもない。更に歪をもつ模型においては、水の運動に関する相似も完全でない。従って、対策工の実験を開始する前に、現地現象が模型内にとどの程度の相似で再現されているかを確かめねばならない。この場合、底質の移動や、海底地形の変化を対象にするのがよい。また、模型全域あるいは、すべてのファクターにわたって、同程度の相似で再現することも困難な場合が多い。したがって、現地とのづれを十分に把握しておき、対策工実験の結果の解釈に誤りのないようにしなければならない。

しかし、筆者の経験では、上述のごとく留意して模型の諸元を定めれば、波のエネルギーあるいは水の乱れの相対的な強さの海岸線方向の分布(直角方向についてもある程度まで)は、ほぼ現地と相似になるので、砂移動に関する一般の対策工法の相対的な定性的特性は、十分把握出来る。しかし、定量的特性は、漂砂に関する時間縮尺を決定したときと全く同じ条件(地形や波形などの外力について)同じ地点で実験された対策工について概約把握し得る程度に過ぎない。

## 6. 実 例

### 6・1 Durban港(南アフリカ)の漂砂対策<sup>26) 27) 28)</sup>

Durban港は、感潮湖口を利用した港である。その海岸線の状態を図19に示す。港口導流堤工事は、1851年に開始され、1952年以後延長されていない。本格的な航路維持浚渫は、1903年から行われている。

図-20は、導流堤建設と航路浚渫に伴う附近海底地形変化の状況を示す。導流堤建設前の1851年には、港口水深は、約9ftであった。導流堤延長と共に、初期においては港口附近沖側の等深線は沖へ移動し、北海岸の汀線は前進した。すなわち、1903年の北海岸の汀線は、1851年より約800mも前進している。図で、1903年の地形の中に点線で1857年の汀線が示してある。1903年以後本格的な維持浚渫が始まり、特に、南導流堤先端沖側をサンド・トラップ(図-19参照)とした。そうして、1938年以前までは、この浚渫砂を港口西側約1.5マイルの所に排棄していた。このため、1926年の深淺図に見られるよう

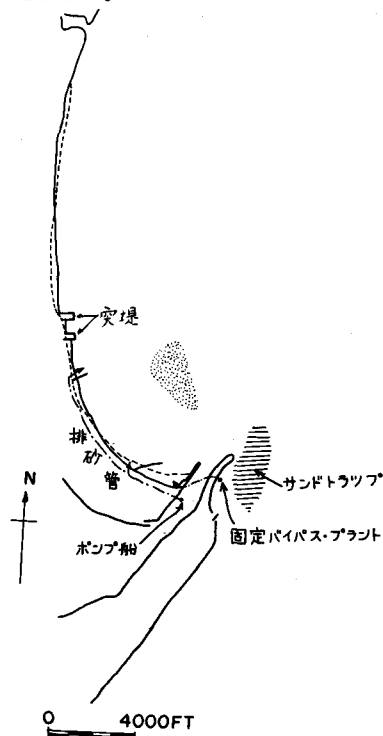


図-19 Durban 港

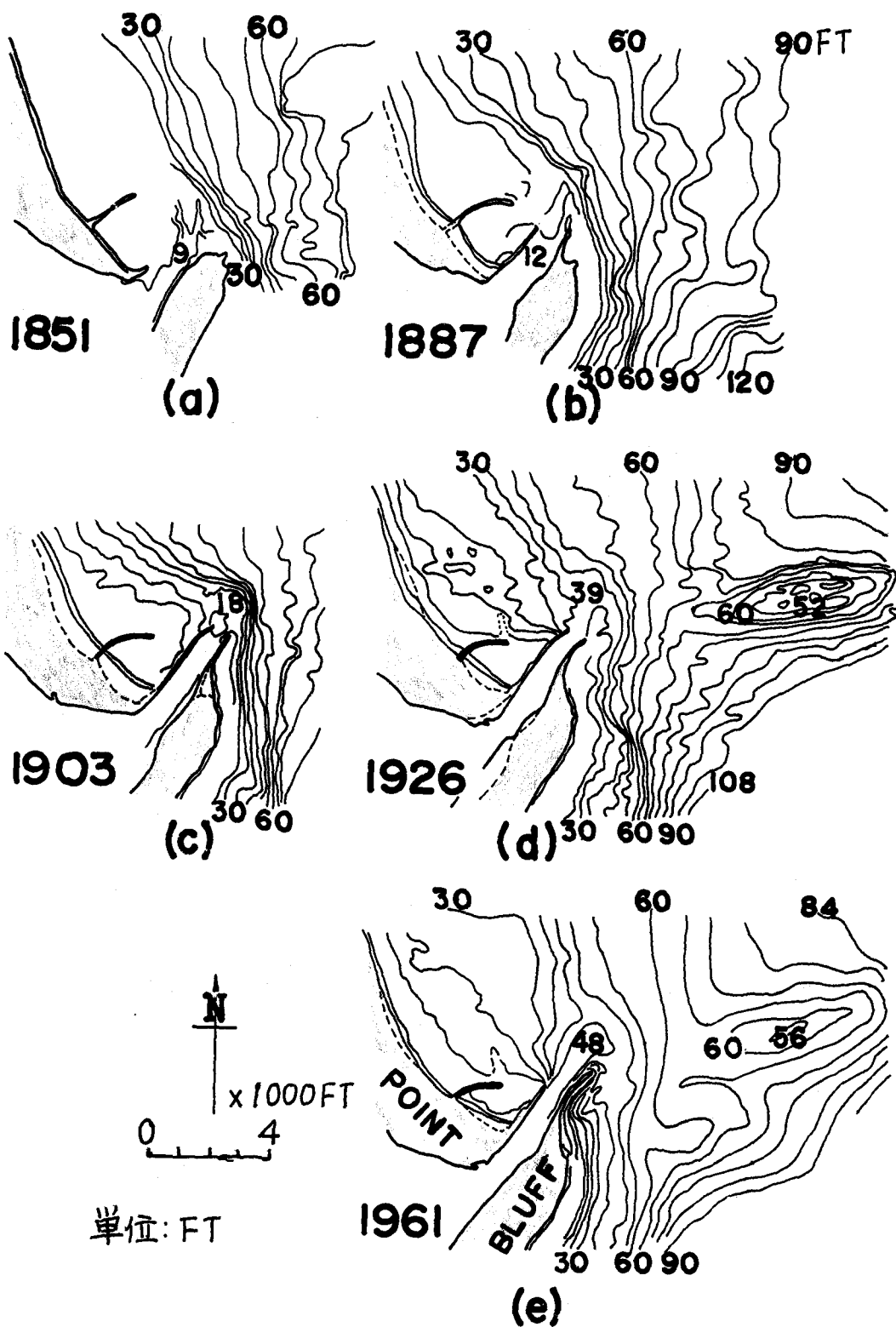


図-20 Durban 港の地形変化 (Jordaan による)

に、その部分に、水深50~60 ftの浅瀬が三ヶ月状に形成された。同時に、北海岸は、北導流堤の近くは堆積したが、より北側の部分が侵食され始めた。そこで、1938年に北導堤の航路側に浚渫船を繋留し、航路の浚渫砂を北堤根本に排出した(図-19参照)。その量は、1949年まで約500万立方ヤードに達した。それと同時に、港口沖のサンド・トラップでの浚渫砂の排出地点は、南海岸の種々の地点に変更した。さらに、1950年には、サンド・トラップでの浚渫砂を減少させるために、南堤の根本に固定サンドバイパスプラント(図-19参照)を設置した。このバイパスプラントによって1950年から1953年まで年間当り約200,000立方ヤードの砂を北海岸にバイパスした。しかし、その後は、吸砂口附近に漂砂が集まらなくなり、バイパス能力が減じたので、1953年に、以前行われた北導流堤航路側に繋留したポンプ船による北海岸への養浜が再開された。そうして、1960年には、ポンプ船からの排砂管は途中でブースターを取り付けて更に北側まで延長された(図-19参照)。また、1954年から1956年の間に図-19に示すように、北海岸には、養浜砂の損失を防止するため2本の突堤が建設された。なお、固定バイパスプラントは、1959年に撤去されたが、それが動いていた1950年から1959年までの9年間の間、それによって、航路の維持浚渫量の明らかな減少は見られなかったと述べている。

現在、巾650mの航路を水深-42 ft(沖側先端部は-48 ft)を維持するために、主として南導流堤先端外側のサンド・トラップを約-54 ftに保っているが、このための年間浚渫量は、平均800,000立方ヤードである。また、北海岸は、養浜が行われているにも拘らず、汀線の欠壊が止まない。この北海岸の侵食は、上述の1938年までの浚渫砂の排出によって出来た港口西側沖の浅瀬によって、波が屈折し、北海岸の中央部に波が集中するようになったこと、さらに、導流堤の延長とその先端のサンドトラップの水深増加による南からの漂砂の供給の減少によるものと考えられている。

上述の北海岸の侵食対策および港内泊地拡張と航路水深増加に伴う浚渫砂の適切な排出地点を見出すことのために、図-21に示すような浚渫砂による潜堤を計画した。北海岸の前面、水深-8~-16 mの海底上、頂高L.W.L.以下-7.3 m、頂巾61 m、長さ約4.5 kmの潜堤を浚渫砂で作るもので、必要総土砂量は800万立米である。1966年11月から始めて1970年3月まで約250万立米の浚渫砂(粒径0.35mm)を計画の中、南側半分に投入した。この間(1969年8月に波高4.5 mの波があった)、潜堤の高さの変化は1 m以内、天端の海岸に直角方向移動は60 mであり、全体としての土量の消失は、ほとんど無いと報告されている。さらに、潜堤背後海浜の汀線の前進も見られ、海岸侵食対策としても効果があったという。

なお、この潜堤を実施するに当たっては、潜堤の安定性に関する移動床模型実験を前述の(4)式に従って行ったが、実験と現地とはよく一致したと云う。

## 6・2 Long Island(米国ニューヨーク州)太西洋岸の海浜防護<sup>29)</sup>

Long Islandの南海岸は、図-22

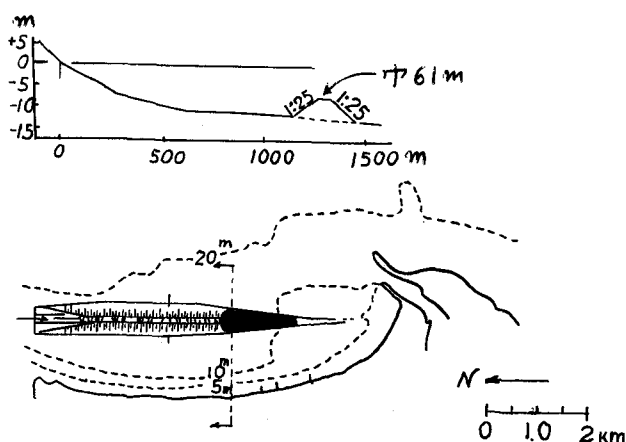
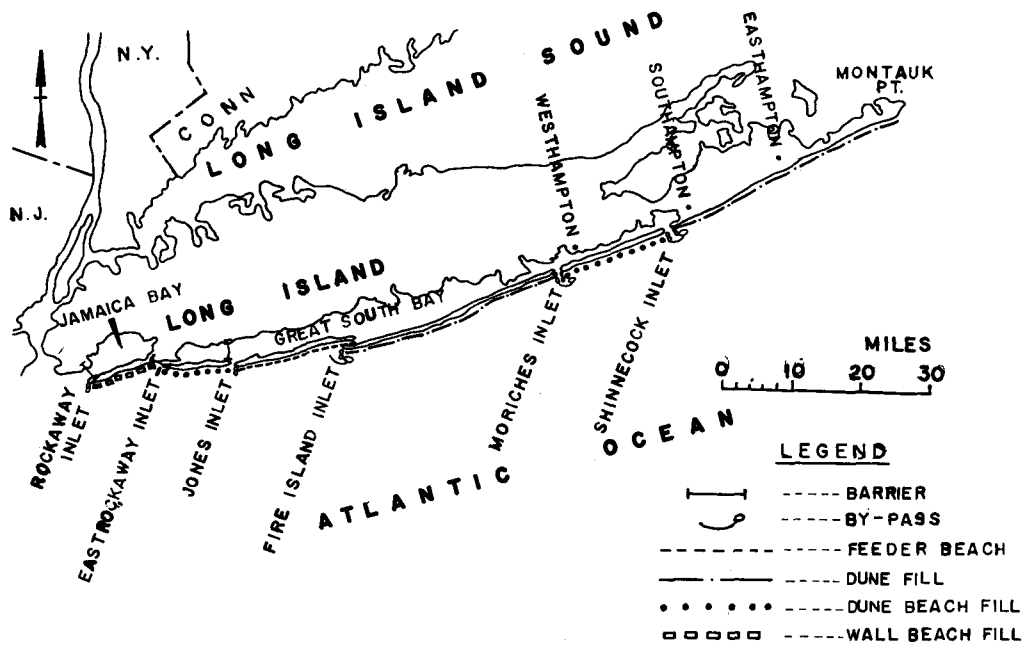


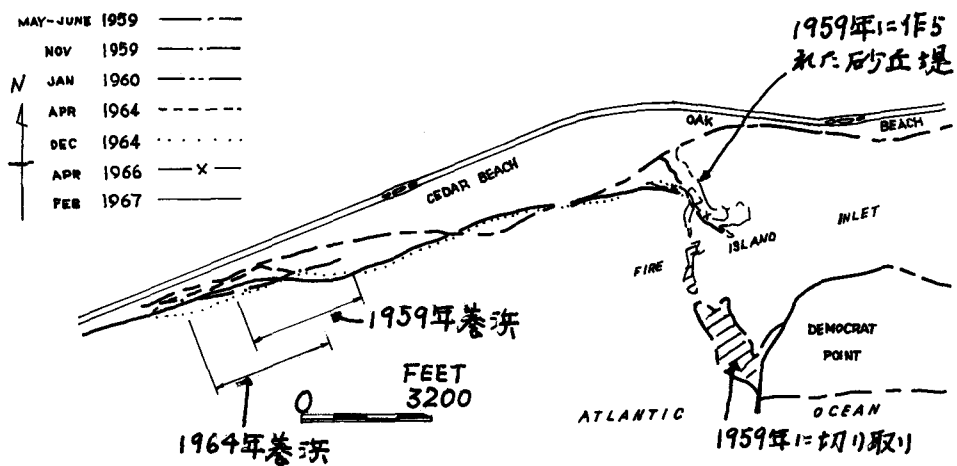
図-21 土砂潜堤 (Zwamborn 他による)

に示すように120マイルの海岸線をもつが、ハリケーンの来襲を常にうけ、それによる潮位の上昇は、最大12~13 ft、波高は25~30 ftと推算された。漂砂は、東から西へ年間30~60万立方ヤードと推定されている。このため、高潮と侵食対策が行われているが、その主なものを述べる。なお、前浜の底質粒径は、0.6~0.2mmで東に行くほど小さくなっている。



図一22 アメリカ・Long Islandの太西洋岸の海浜防護対策

1965年3月から1966年10月の間に、Moriches InletとShinnecock Inletの間に11本、Shinnecock InletとMontauk Pointの間のEast Hamptonの海岸に2本の突堤が建設された。各突堤の長さは550 ft、間隔は1200~1500 ftであった。これらの突堤群完成後18ヶ月では、漂砂の上手側にある4~5本の突堤間には砂が十分堆積したが、下手側の他の突堤間では、



図一23 Fire Island入江における人口砂丘突堤 (Panuziによる)

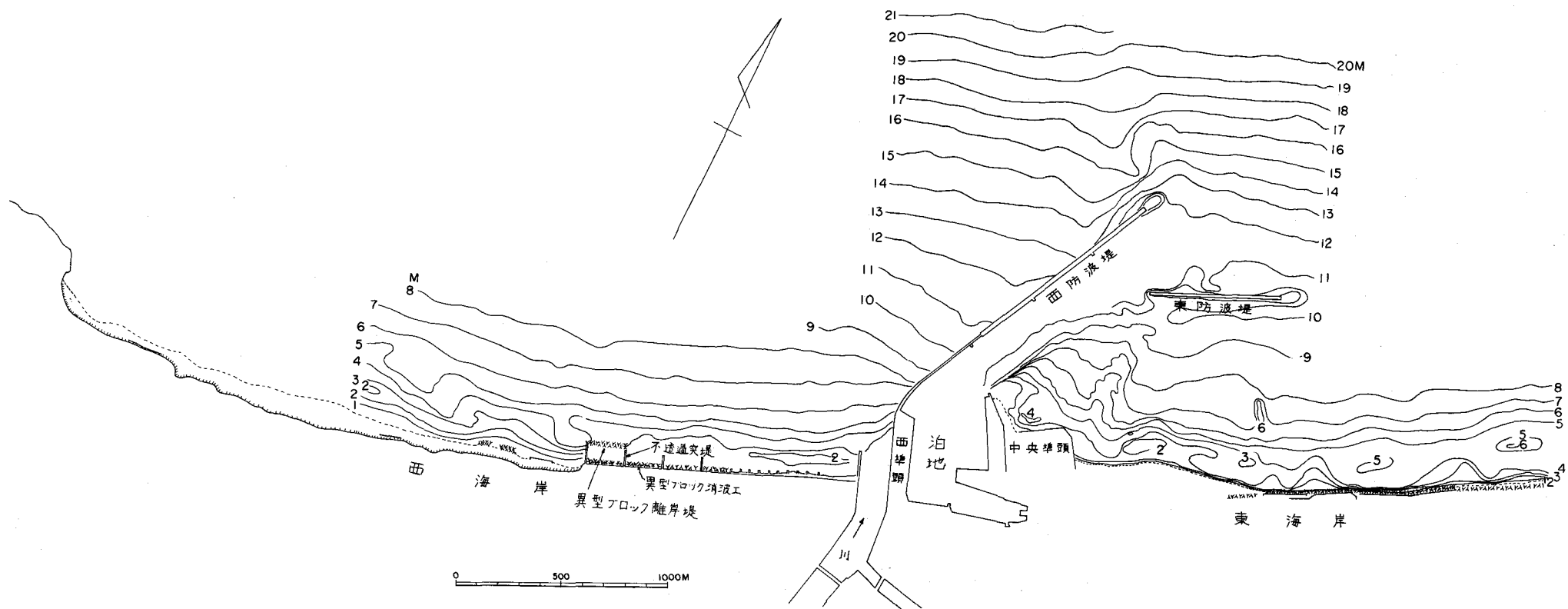
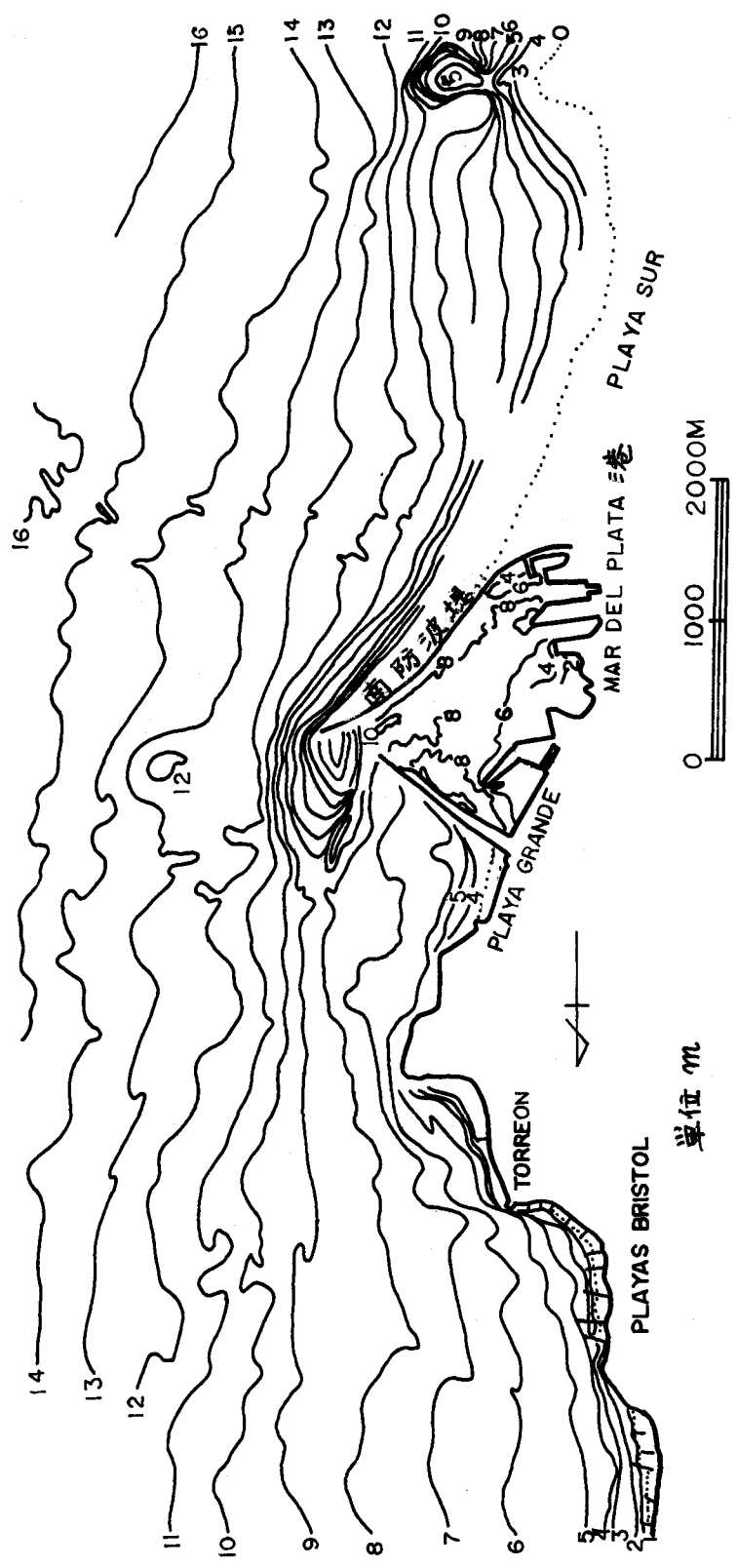


図-26 深 浅 図 (昭和46年11月)



図一 24 アルゼンチン・マルデルプラタ港深淺図 (1968年)

砂の堆積が少ないと云う。このため、長い突堤を一時に建設するときには、突堤建設と同時に、突堤間に養浜をすることが望ましいと報告している。

Fire Island Inletでは、入江を出入りする潮流が北海岸を著しく侵食していた。そこで、1959年、図-23に示すように、入江の南側の砂州先端部を切り取り、その砂で北側に砂の突堤を作り、潮流を北海岸から遠ざけた。南側の切り取られた砂州先端には護岸と突堤を設けて砂州の前進を阻止した。さらに、1959年と1964年には、図示の位置に入江口の浚渫砂を排出し、それが海岸に沿って西方向に移動して海浜の欠壊を防止することを期待した。しかし、これらの養浜砂は、期待した通り西方向には流れて行かなかった。土砂突堤の建設によって附近の沿岸漂砂の方向は変化し、突堤の近くでは東向きとなった。西向きが、卓越するのは、1966年の養浜地点よりもっと西側からであると推定された。

以上の外に、高潮対策も兼ねて、砂丘を高くした前浜養浜や、護岸前面における養浜も行われた。さらに、各 Inlet では、断続的に浚渫船によって東から西へ砂のバイパスが行われている。

6・3 マルデルプラタ港(アルゼンチン)の漂砂対策<sup>30)</sup>

大西洋に面するマルデルプラタ港は、1911年に着工され、途中、第一次大戦で一時中止したが、1924年にはほぼ現在の南北両防波堤（方塊ブロック被覆をもつ捨石傾斜堤）が完成された。図-24は、1967年の港附近の深浅図である。波の卓越方向は、SSE~SEで、南から北へ向う沿岸漂砂が年間40万立米と推定されている。このため、南防波堤はこの卓越波から港口を遮蔽するように長く、そして先端がENE方向に曲げられている。防波堤先端水深は、建設前-12mであったが、完成直後は-11mであった。しかし、その後、北防波堤南側の土砂堆積が増加するに伴い、港口には砂洲が形成され始め、1950年頃から港口維持浚渫が始った。

しかし、浚渫にもかかわらず、図-25に示すように、砂洲は発達を続け、1967年頃には、進入航路を砂洲の内側に沿って-9m、巾50mとして浚渫によってようやく維持していた。現在砂洲の頂部水深は-2m程度で南防波堤先端は-5m程度の水深となっている。1960年頃には、一時,Durban

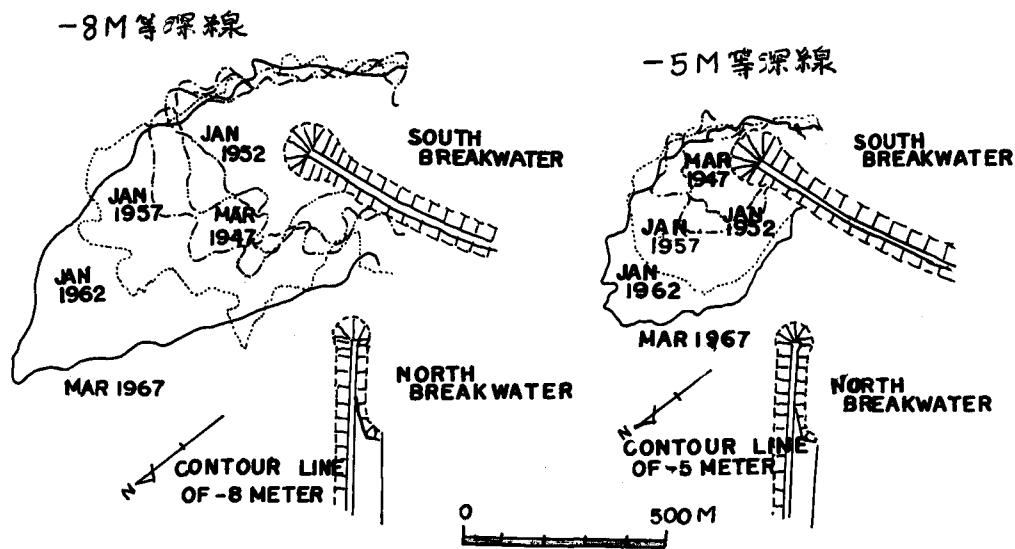


図-25 マルデルプラタ港口の砂洲の発達 (佐藤による)

港と同様に、固定バイパスプラントを南防波堤の根本と、その先端から約400m陸側の所に設置して運転したが、その効果はほとんどなく、その上、サクシオン部分が波浪で破損し、この方法は失敗に終わった。

そこで、筆者らは、数年前、現地観測と模型実験を行い、前述の図-6の(a)に示すような離岸堤を南防波堤先端外側に設け、その内側のサンド・トラップ内の浚渫砂を図-24のTorreonの南の突出から排出することを提案したが、それが実施されたかどうかは聞いていない。

また、港の北の海岸は、港の建設につれて、海岸欠壊が激しくなったといわれ、現在、多くの長い不透過堤（鋼又はコンクリート矢板を打ち、その中に捨石をつめたもの）が建設されているが、よく漂砂を捕捉して良い海水浴場となっている。

#### 6・4 直江津港の漂砂対策

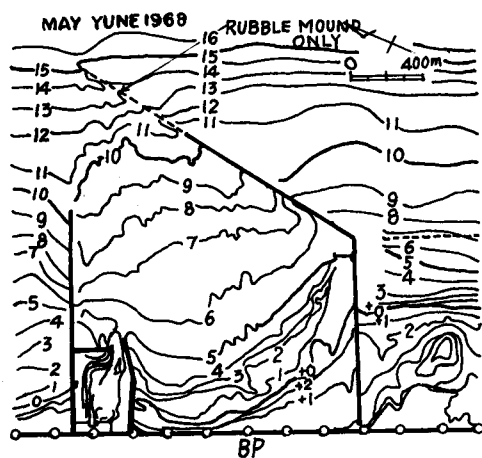
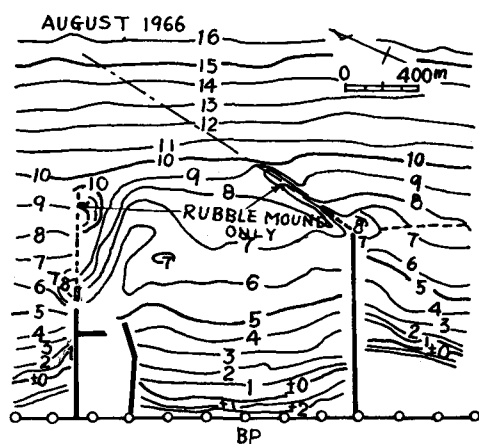
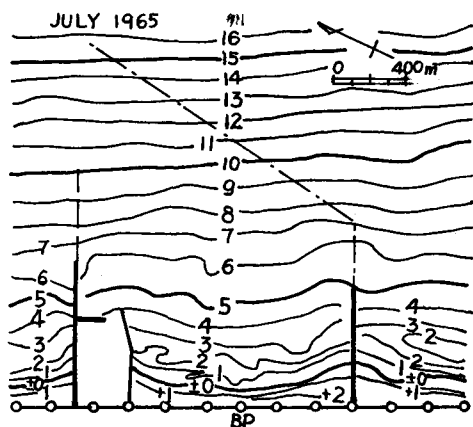
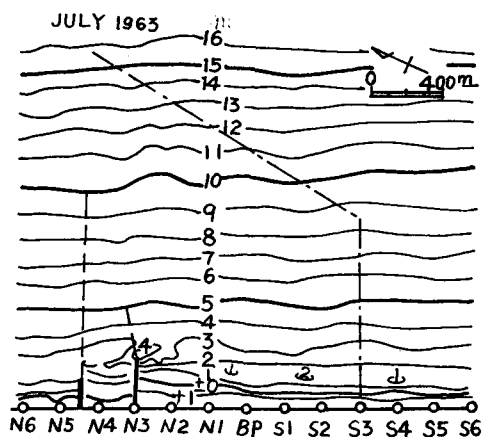
図-26は、46年11月の日本海に面した直江津港の深浅図である。本港は、元来、河口港であった。しかし、港の発展のために、昭和31～35年にかけて河口分離を行った。その当時の海岸全体としての漂砂の卓越方向は、東向きと考えられていた。

西海岸は、河口分離以前から欠壊性であり、河口近くには、短い突堤や簡易な護岸が建設されていた。しかし、分離後も、欠壊は進み海岸護岸の改修、根固めと消波を兼ねた異形ブロックの投入が行われた。防波堤延長と共に、欠壊の範囲は次第に西方に広がり、海岸護岸の西方への延長と、その前面への異形ブロックの投入が行われた。欠壊された砂は、防波堤の延長と共に次第に西方に移動し、現在では、図-26に示すように、河口から1500m以西に広い砂浜が形成されている。（この部分は、岩崖で以前には浜はほとんどなかった）。その後、河口近くを除いて護岸前面に投入された消波ブロックの沈下は著しく、護岸根本まで波が常に押寄せるようになった。そこで、44年から図-26に示すように、長さ約80mの長い不透過突堤（鋼管杭にコンクリートブロックをさした構造）の建設と、それらの先端を結ぶように異形ブロック離岸堤の建設を開始した。まだ、この建設は完成していないが、不透過突堤の建設のみによっても、護岸前面の消波ブロックの沈下はほとんど止り、突堤の近くには砂の堆積が見られた。そうして、離岸堤を建設した部分の背後には、広い砂浜が形成された。これで、この西海岸侵食に対する恒久的な対策を得ることが出来た。

一方、東海岸については、西防波堤が延長されるにつれて、東海岸の漂砂がトンボロ現象で防波堤の陰に引きこまれるようになり、絶えず航路浚渫が行われている。更に、44年度より、離岸堤としての東防波堤の建設に伴い、この現象は一層顕著になった。この対策として、図-26の東防波堤の東端に向って、陸側から防波堤を建設することになっている。なお、この港では、泊地を、西防波堤の根元に作ったために、防波堤の内側に沿って来る波で、泊地内が荒れ、その対策として、防波堤内側に沿って、幾つかの短い異型ブロックの突出を出しているが、十分でない。

#### 6・5 鹿島港の漂砂対策

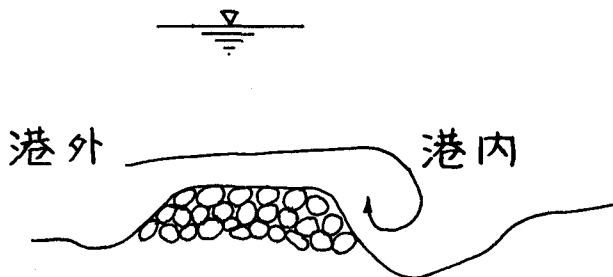
図-27は、鹿島港防波堤建設に伴う等深線の変化を示す。<sup>31)</sup>この海岸の漂砂は、南向き、北向きとも、年間60万立米前後で、北向きが数万立米程度卓越していると考えられている。このため、南防波堤を長くしたが、北よりの波高も、相当多いので、その先端は大きく北に折り曲げてある。1965年の深浅図では、外泊地内の4m以浅の等深線は、陸側に凸形となり、沖側の等深線は沖向きに凸形となっている。この傾向は、1966、1968年において一層顕著になる。また、南防波堤の陸側近くで、



図一 27 鹿島港の海底地形変化 (佐藤・入江による)

その外側と内側とで、等深線がほとんど同じ位置にあるのは、汀線と直角部分の陸寄りの半分は、捨石堤であったが、その残りの直角部分は、コンクリート方塊堤であったためである。このため、外泊地の浚渫に先立ち、堤内側には、矢板を打ち岸壁を作って砂の侵入を防止した。1966年の深浅図で、北防波堤の基礎捨石のみの部分（点線で示す）の内側が大きく洗掘されている。これは、図一28に示すような波による渦と、港内から港外に向う流れが、堤内側に沿うためと思われる。

また、1965年夏から、図一29に示すように、作業船溜りから浚渫船が入り中央航路の浚渫を始めた。これは、図のAから入ると、防波堤が十分延びていないため、浚渫作業が困難なことと、そこから漂砂が侵入して来るためである。



図一 28

この浚渫砂は、南防波堤外側に排出されたが、その砂が沖へ流出することを防ぐ目的で、南防波堤折部から海岸と平行に、捨石による天端高5 mの潜堤が建設された。この潜堤は、完全には土砂の流出を防止することは出来なかったが、投棄された砂による前浜が、自然海浜と比較して急勾配に保たれたことから、相当の効果はあったものと思われる。<sup>32)</sup> 図の

1968年の等深線では、南防波堤外側の-9~-12 mの等深線間隔が広く、全体として沖向きに張り出しているが、南防波堤が更に北防波堤の先端を越えて、水深-22 m附近まで延長された今日においては、堤に

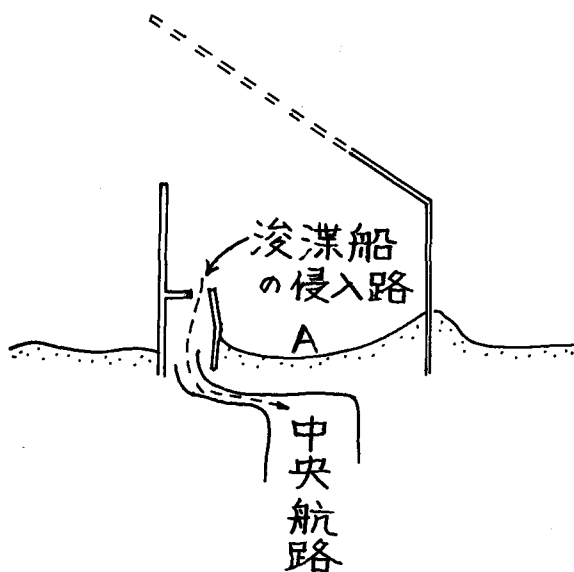


図-29

沿う岸向きの波による質量移送効果も現われ、そのような傾向は顕著に見られなくなった。

#### 6・6 Port Hueneme 港と Channel Island 港(アメリカ・カリフォルニア州)の漂砂対策<sup>33)</sup>

図-30の Port Hueneme 港の防波堤は、1940年に建設された。このため、南への年間80~120万立方ヤードの沿岸漂砂が、港口前面の海谷へ落ちこみ、南西海岸が侵食した。そこで、1953~1954

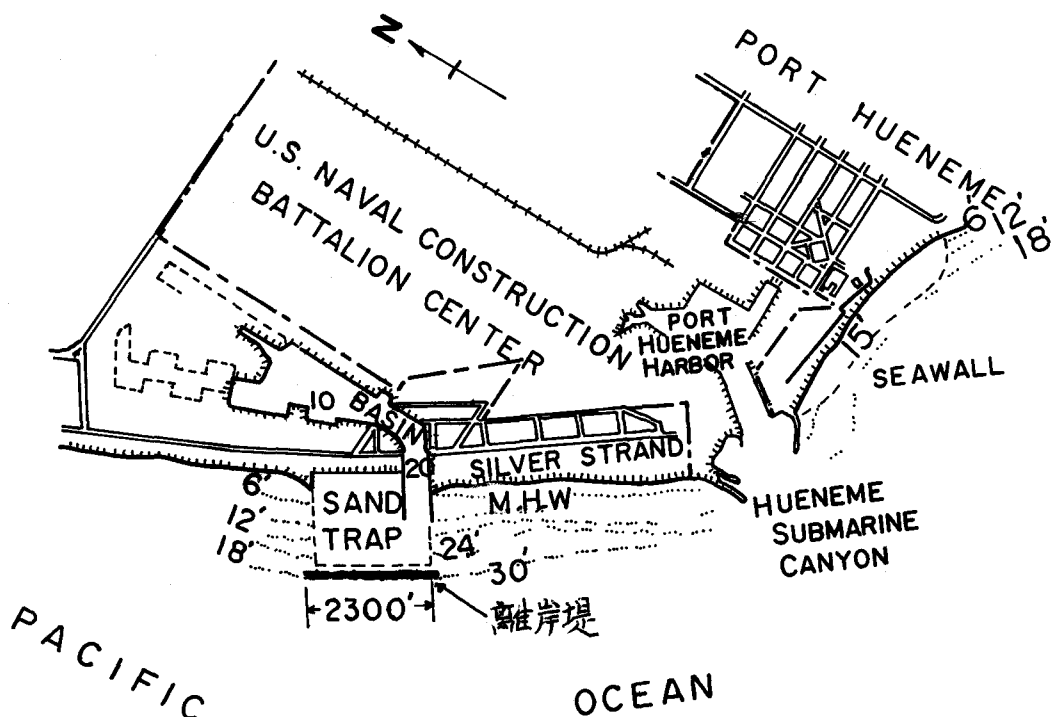


図-30 Port Hueneme 港と Channel Island 港の漂砂対策

年にかけて、北防波堤外側の砂約203立方ヤードを南海岸にバイパスした。その後、この港の北側に、ヨットの泊地としてのChannel Island 港が計画された。そこで、図のように、Channel Island港の前面の水深-30ftの所に、天端高L.W.L.上14ft.長さ2,300ftの捨石堤による不透過離岸堤が建設され、その背後のトラップ(水深-30ft)内に沿岸漂砂を捕捉することとした。このトラップ内の浚渫は、2年おきにポンプ浚渫船によって行うことが計画され、1963年には、150万 $m^3$ 、1965年には230万 $m^3$ の砂が、Port Hueneme港の南側海岸前浜にバイパスされた。この方法によって、港口埋没と海岸欠壊を同時に防止している。詳細については、文献17を参照されたい。

## 参 考 文 献

- 1) 堀川清司：漂砂特論，1970年度水工学に関する夏期研修会講義集，海岸・港湾コース〔土木学会水理委員会〕
- 2) 野田英明：海浜過程，1971年度水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，〔土木学会水理委員会〕
- 3) 山田正平：新潟海岸の欠潰について，第2回海岸工学講演集 PP.175~186〔土木学会，昭和30年11月〕
- 4) 佐藤昭二・入江功・佐々木克博：海岸堤防のり先洗掘防止工法に関する実験的研究，港湾按研資料，№117，1971年7月
- 5) 豊島修：離岸堤の統計的考察，第17回海岸工学論文集。PP.323~330〔土木学会，昭和43年12月〕
- 6) R.S. Colquhoun: Dune Erosion and Protective Works at Pendine Carmarthenshire, Proc. of 11th Conf. of Coastal Engineering, Sept. 1968, pp. 708-718
- 7) Ozaki, A.: Observed effects of the offshore breakwater constructed off a sandy beach, Summary of 10th Coastal Engineering, Aug. 1966
- 8) 佐藤昭二，合田良実：海岸・港湾，PP336~350，わかり易い土木講座17，〔彰国社，昭和47年3月〕
- 9) Sato, S., Tanaka, N., Irie I.: Study on Scouring at the Foot of Coastal Structure, Proc. of 11th Conf. of Coastal Engineering, Sept. 1968, pp. 579-598
- 10) Dennelly P. and MacInnis I.: Experience with Self-dredging Harbour Entrance, Proc. of 11th Conf. on Coastal Eng. Vol. 2, Sept. 1968, pp. 1284-1294
- 11) Robert A. McCable: Beach Behavior, North Shore, Long Island Sound, Proc. of A.S.C.E., WW4, Nov. 1970, pp. 781-794
- 12) William H. Vesper: Behavior of Beach Fill and Borrow Area at Seaside Park, Bridgeport, Connecticut, Tech. Memo. of U.S. Army Coastal Eng. Research Center No. 11
- 13) Louis J. Maurielle: Beach Rehavilitation by Hopper Dredger, Proc. A.S.C.E. WW2, May 1968, pp. 175-188

- 14) Robert A. Dalrymple: An Offshore Beach Nourishment Scheme, Proc. of 12th Conference on Coastal Eng. Sept. 1970, Vol. II, pp. 955-966
- 15) George M. Watts: Trends in Sand Transfer System, Proc. of Santa Barbara Special Conference on Coastal Engineering, Oct. 1965, pp. 799-804
- 16) Saville, T. Jr. and Watts G.W.: XXnd International Navigation Congress, Section II Subject 4 に提出された著者の論文1969.
- 17) U.S. Army Coastal Engineering Research Center: Shore Protection, Planning and Design, Technical Report No. 4 (3rd Ed.), 1966  
または、土木学会編：海洋保全施設便覧，改訂版，昭和44年7月，pp. 257～259.
- 18) Douglas L. Inman and Roland W. Harris: Grater-sink Sand Transfer System, Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng. Sep. 1970, Vol. II, pp. 919-933
- 19) 佐藤昭二・田中則男他：港湾埋没に関する移動床模型の再現性－鹿島港模型実験の場合－，港湾技術研究所報告，9巻1号，pp. 71～123，昭和45年3月
- 20) 佐藤昭二・入江功・佐々木克博：養浜に関する断面模型実験，須磨海岸漂砂調査報告書，運輸省第三港湾建設局，昭和45年12月
- 21) 堀川清司・佐々木民雄：養浜工に関する基礎実験，第17回海岸工学論文集，pp. 241～249，昭和45年11月。
- 22) 例えば，文献19)
- 23) Zwanborn J.A.: Reproducibility in Hydraulics Models of Prototype River Morphology, La Houille Blanch No. 3, 1966, pp. 291-298
- 24) Zwamborn, Fromme, Fitzpatrick: Underwater Mound for the Protection of Durban's Beaches; Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng. Sep. 1970, Vol. II, pp. 975-994
- 25) 野田英明：ぐみ崎漁港の漂砂に関する実験（その1）京大防災研年報，第9巻，昭和41年3月，pp. 359～371
- 26) Jan M. Jordaan: Effects of Hydrographic Changes due to Nearshore Dredger Dumping on Wave Refraction and Littoral Sand Balance, Proc. of 9th Conf. on Coastal Eng., June 1960, pp. 310-322
- 27) 文献24) に同じ
- 28) Jan M. Jordaan: Study of Durban Harbor Silting and Beach Erosion; Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng., Sept. 1970, Vol. II, pp. 1097-1116
- 29) Frank L. Panuzi: The Atlantic Coast of Long Island, Proc. of 11th Coastal Eng., Sep. 1968, pp. 1222-1241
- 30) 佐藤昭二：マルデルプラタ港の港口埋没と海岸欠壊に関する現地観測，第6回港研究発表会講演概要 1968年12月，PP. 41～53
- 31) Sato, S. Irie, I.: Variation of Topography of Sea-bed Caused by the Construction of Breakwaters, Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng., Sept. 1970, Vol. II, pp. 1301-1319

- 32) 佐藤昭二・田中則男・入江功：鹿島港防波堤延長工事に伴う海底地形の変化について，第15回海岸工学講演集，昭和43年12月，pp.163～168
- 33) 文献17) に同じ。