

第九章 砂濱と河口の防波堤其の他

第一節 砂濱の防波堤と防砂堤

港内埋没の原因は、既に第二章第三節に述べた如く、主として、注入河川の流砂と砂濱の漂砂とに依るものであるが、本節にては、漂砂多き砂濱の工事に就て述べ、河川の流砂に對する工事は、次節に譲る。

又漂砂 (Sand-drift) の定義と理論とは、第二章第三節に記して在るから、本節にては、専ら之が防止の方法に關して論する。

漂砂防止の大要 漂砂に依る港内の埋没を、如何にすれば防止し得るやの問題は、極めて重要で且つ最も困難な事である、而して之が方法の大要を列記すれば、次の如くなる。

- (1) 防波堤或ひは防砂堤の頭端を、なるべく深き所まで、突出せしむる事
- (2) 防波堤の方向を、沿岸潮流になるべく順應せしめて、其の停滯を少なくする事
- (3) 打込波、又は越波に依つて、局部的に發生せる潮流の力を利用する事
- (4) 港口の方向を、漂砂の流れ来る方向へ、向ける事
- (5) 港口の幅員を狭めて、漂砂の侵入する量を、少なからしむる事
- (6) 防砂堤を、海濱に突出せしめて、流れ来る漂砂を、其の所でなるべく唯止むる事

以上記した六項の外に、或ひは港内面積を特に大きくして、捲込んだ漂砂を廣く散布せしめ、以て水深の減少を遅延せしむる事もある。

此等の工夫と注意とを以てするも、猶且つ港内に土砂の滞積する場合には、浚渫作業 に依つて、水深の維持を行はなければならぬ、例へば、ジープリウグや、エムイデンにては、其の爲めに常に強力なる浚渫船を用意して居る。

上記六項の中で、港口に關するものは、簡単であるから其の説明を省き、其の他の事項即ち、堤頭、潮流、防砂堤、等に關して以下順次之を説明する。

堤頭と水深 一般に波力の海底に及ぼす影響の、最も大なる箇所は、波打ぎわであつて、其の附近に散布する砂礫の粒は比較的に大きい、然るに此海岸を離れて深くなるに従ひ、海底に及ぼす波力は減少して、砂粒は次第に細小となる。

而して漂砂の原因は既述の如く、主として波浪に因るものであるから、漂砂の移動は、波力大なる波打ぎわに最も多く、深くなるに従つて其の量を減する、例へば水深約 10 m の海底に至れば、砂の移動は殆んど之を認めない。

今若し防波堤の頭端を、砂の移動なき水深線まで、突出せしむれば、漂砂が其の堤頭を廻つて、港内へ侵入し来るの虞がない理である。但し實際はなかなか理論通りに行かないが、兎に角 堤頭の水深が大なれば、漂砂侵入の害を大に減少し得る事は、確實であつて、之に反し堤端が浅ければ危険である。而して其の境界は、波力の大小、漂砂の多少に依つて一概に言へないが、本邦沿岸に於ける大略の見當は先づ 8~9 m 以上の水深なれば安全であつて、約 5 m 以下の淺い所では危険である。

尙ほ嘗て第二章第三節に記した砂畦 (Sand ridge) が海底にある場合には、少くも此砂畦を越す所まで、堤端を突出せしむべきである。

沿岸潮流に順應 漂砂に關する 潮流と防波堤との問題は、(2) の如く沿岸潮流に順應せしむる事と、(3) の如く發生潮流を利用する事との二つである、即ち先づ前者の順應の問題より記述する。

島堤 は潮流を遮ざる事最も少なく、好く之に順應するものであるが故に、島堤内には、堆積土砂が比較的に少ない。

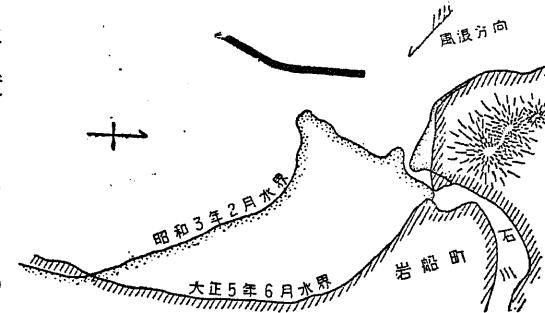
但しそうの場合は、強い潮流が、港内を流通する場合に限るのであつて、次の如き場合には、島堤と雖も、やはり漂砂の堆積を見る。

例へば、漂砂の原因が、主として波浪に依つて運ばれ、然も打込波や越波等に

依つて起る 局部的の潮流も生じない場合には、防波堤の蔭となれる 静穏の水面に來つて、漂砂は次第に沈澱する、其の實例は、岩船港に於ける島堤内の埋没である (圖参照)。

〔註〕 岩船港(新潟縣)

の島堤内の埋没は、島堤の兩端よりの打込波

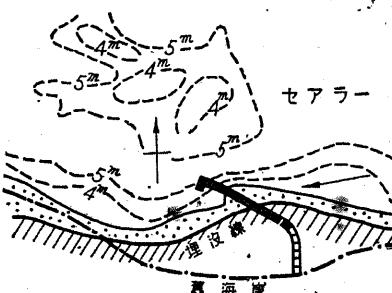
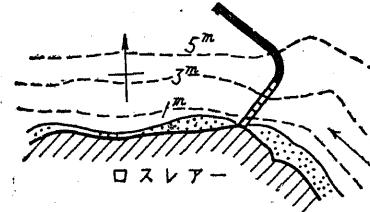


岩船港の埋没図

が互に衝突して、其所に土砂を堆積するのである、即ち島堤の約中央に當る陸岸が次第に埋つて進出しつゝある。

岩船港に於ける、島堤の計畫延長は 245 m であつて、大正 9 年に着手したが、其の進捗に従つて、著しく港内埋没し、遂に昭和 2 年の調査に依れば、埋没面積 6.5 ヘクタール、其の土量約 440,000 m³ に及んだ。

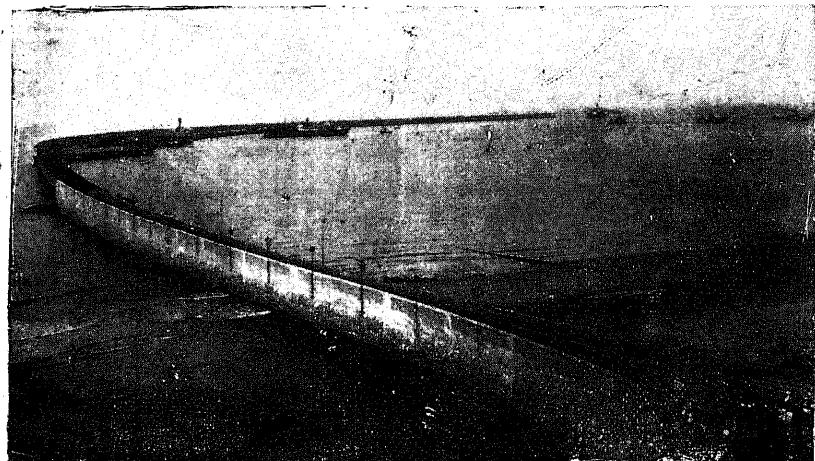
半島堤 は一般に潮流を遮ざる爲めに、之が内外に土砂の堆積を見る、其の堆積を成る可く少くする爲めに、半島堤の根元を開切して、潮流と漂砂との流通を自由ならしめ、又後述の如く、防波堤の前端を、潮流になるべく順應せしめたものが多い。



例へば、ロスレアーポート (Rasslare) の防波堤の根元は、270 m ほど開切して在つて、然も防波堤の先きの方は、潮流に好く平行順應して居るが

成功せるロスレアーポートと埋没せるセアラー

爲め、其の結果は極めて良好であつた。



ジーブリューゲ防波堤（黒く見える所が開切箇所）

尙ほ、防波堤の根元を開切した實例には、大泊、小名濱、ジーブリューゲ、等がある。

〔註〕 Rasslare、Zeebrugge、大泊の防波堤は何れも、其の内側を埠頭に利用する爲め、開切の箇所には、連絡橋を架してある。

大泊の開切は 200 m、Zeebrugge は 300 m である、Zeebrugge の附近は、漂砂甚だ多き爲め、此開切にも關はらず、港内には相當の堆積を見る。

Ceara 港は、防波堤の根元を開切したにも關はらず、港内の埋没甚しく、遂に廢港となつた。

次に半島堤の 出し方 に就て述べる、言ふ迄でもなく、其の形狀は、最も潮流に順應したものでなければならぬ。

例へば次頁の（甲）圖の如く、半島堤を海岸から、直角に突出せしめたもの、或ひは（乙）圖の如く、潮流へ逆つて斜に出したもの等に於ては、何れも海堤の附近に、多量の堆積土砂を生ずる。

然るに（丙）圖の如く、先づ流に順應して、稍々斜に突堤を出し、更に其の前端に進むに従つて、一層潮流の流向に順應し、殆んど之と平行せしめたものにあ

つては、之が堆積土砂は、圖に見るが如く甚だ少ない。

（丙）の實例は、今治、岸和田、長濱等である。

〔註〕 今治は砂濱港であるが、防波堤の配置宜ろしく、尙ほ其の堤端附近の水深は 11 m に及ぶが爲め、漂砂の捲込は殆ど無い（第八章第二節圖参照）。之に反して、長濱港は冬の西風に依つて、肱川の河口より襲來する漂砂頗る多く、尙ほ防波堤附近の水深が淺い爲め、其の防波堤の捨石部を傳はつて土砂が移動して、堤端の延長に砂洲の堆積を見る、而して此砂洲は、更に春の北東風の爲めに、堤端の内側に散乱せらるゝを常とする。

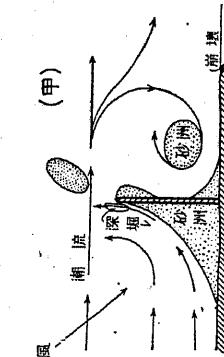
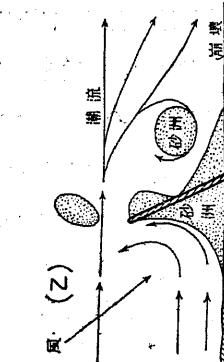
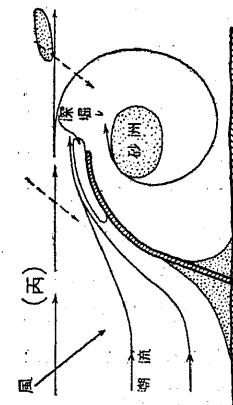
二本の半島堤 に依つて圍まれた港に於ては、港口より流れ込む 潮流の逃げ道が無い爲めに、漂砂は港内に沈澱する。

例へば、磯濱港の埋没の如きは、其の適例である（次頁の圖参照）。

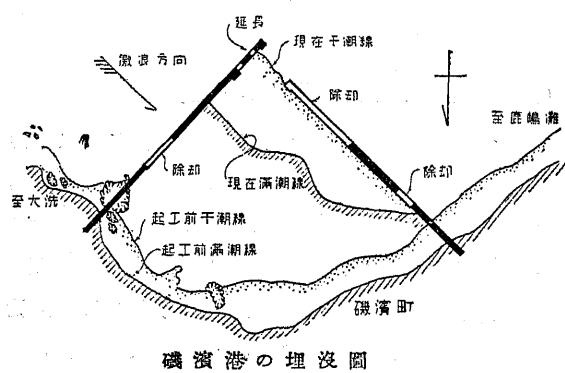
この二本の半島堤に依つて圍む港の漂砂を防ぐには、既述の如く堤頭を成るべく深い所まで突出させ、更に尙ほ港口の配置その他に就て注意して、港口の漂砂を拂へば、多少之が捲込みを減少し得る。

例へば、エムイデン港の堤頭は、約 10 m の水深線まで突出してある。

〔註〕 茨城縣の磯濱港は、港湾外廊分類圖、B₂ の如き港形をなすものであつて、其の港面積は約 7.6 ヘクタール、港口の水深は當初 2.3 m、港口の幅は當初 65 m、後變更して 182 m であつたが、漂砂が左右の防波堤の脚部を傳はつて港口に逃し、更に港口より港内に捲き込んで、遂に全港内を殆ど埋め盡してしまつた、和蘭のアムステルダムの



外口をなす Ymuiden 港は、分類圖 B₁ の如き港形を呈するものであつて、漂砂の多き爲め、約 40 年間に 300m も海岸の進出を見た。然し近年は略々平衡の状態に達して著しき埋没を見ない、只だ多少は浚渫に依つて、港内の水深を維持しつゝある(第二章第三節圖参照)。

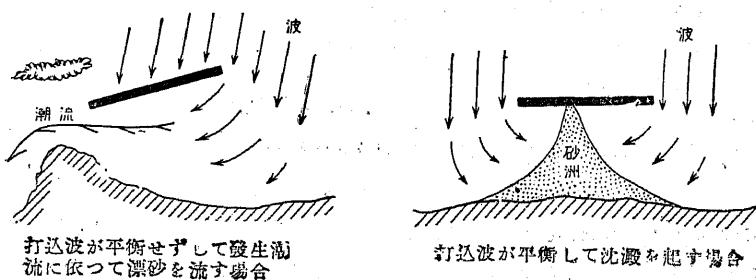


砂浜港の埋没図

發生潮流の利用 以上述べ來つた所は、沿岸潮流との順應に關する問題であつたが、茲には、越波と打込波とに依つて、局部的に發生する潮流の力を利用して、漂砂を拂ふ工夫を述べる。

この越波と打込波とに依つて、局部的に潮流を生ずる事は、既に第二章第七節(風波に依る發生潮流ロハ参照)に於て述べた、而して此の發生潮流の力を、巧に誘導して、漂砂堆積の量を輕減せしむる事は、海工學上の最も興味ある問題と思ふから、今之に關する私見を次に述べる。

(1) 越波を利用するには、防波堤の一部を低く造り、或ひは暗礁等を其のまゝ利用して、打込波を越させ、引波は之を遮ぎつて、港内の水位を上昇せしめ、之に依つて發生した局部的潮流を、常に港口へ向つて流さしめ、其の力に依つて漂砂を拂ひ、濬筋その他の水深を維持せしむる。



打込波が平衡せずして發生潮流に依つて漂砂を流す場合

打込波が平衡して沈澱を起す場合

(2) 打込波を利用するには、或は防波堤を開切して、港口を二つ以上設け、又は其の港口の方向と幅員、或ひは防波堤の配置等を適當に定めて、次の如く成る様に設計する。

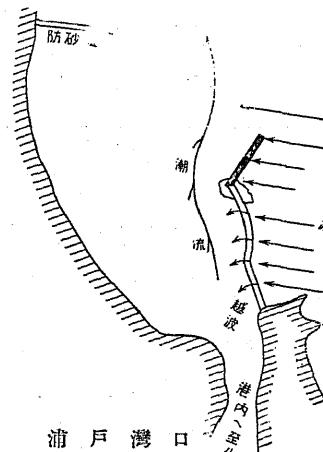
即ち各港口の打込波の勢力を比較した場合に、一方の勢力が、著しく凌駕するが如く、防波堤と港口等の配置を定め、以て懸案の潮流が、常に一方より他方へ、通り抜ける様に工夫する。

例へば、著者が豫算要求の際に設計した浦戸港の修築計畫にては、其の港口附近に於ける、濬筋の水深を維持する爲め、特に低い防波堤を造り、以て越波に依つて、發生する局部的潮流の力を利用するに努めた。

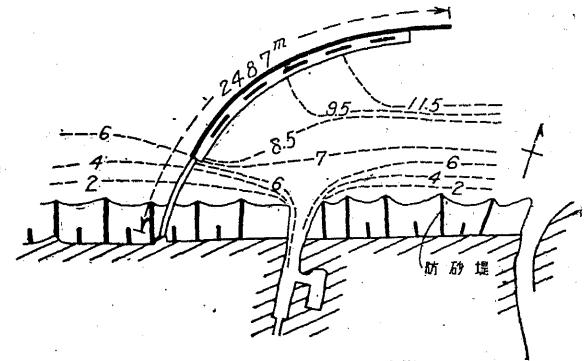
次に岩船港の島堤内に於ける、土砂の埋没は、既述の如く島堤の兩端よりの打込波の勢力が稍々平衡して、島堤内の中央附近にて、兩者が衝突し其所に土砂を堆積せしめたものと思ふ、されば若し此の平衡を破つて、一方より他方へ、常に潮流を流し得る地形ならば、或ひは其の埋没は、稍々少なかつたかも知れぬ。

防砂堤 或ひは砂止堤と稱するものは、沿岸の漂砂を喰止めて、港内の方へ達せしめない様に、陸岸から突出させた突堤である。

即ち其の目的が漂砂の停止に在るから、堤の左



浦戸港口



ジープリューグ沿岸の防砂堤

右には、成るべく多量の堆積土が生ずるのを望む、例へば前に掲げた(甲)圖の如く、陸岸から直角の方向へ出したものが有效である。又其の設置の場所が、漂砂の流れ来る方の側へ置かるべきは言ふ迄でもない。

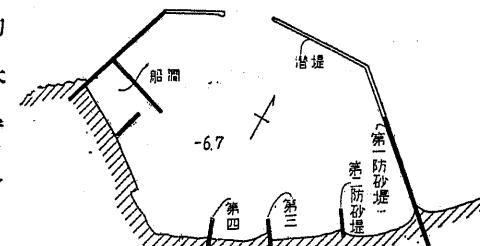
次に防砂堤配置の様式に二種ある、即ち

(1) 小突堤を、數多く設置するもの

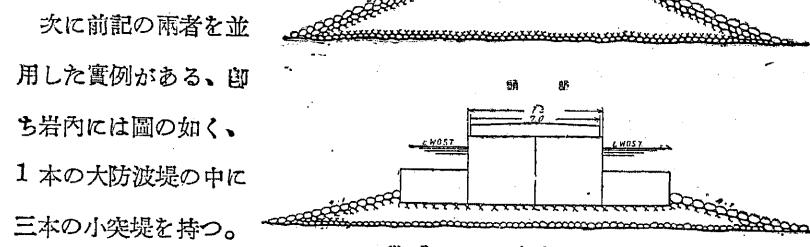
(2) 一本の大突堤を、水深大なる所まで達せしむるもの

前者は構造簡易で、工費も一般に安い、然し砂止の效果は、後者の大防砂堤式の方が勝る。

小防砂堤式の實例は、和蘭の漁港スケベニンゲン(Skeveningen)の防砂堤である、即ち其の沿岸には、水深約2.5mに達する小突堤が數十本並んでゐる、又ジーブリューゲの海濱にも圖に示すが如く、多數の小防砂堤が並んでゐる。



大防砂堤式の實例には、稚内の岩内港の防砂堤がある、又浦戸港の設計には、圖に見るが如き1本の大防砂堤をして、水深約6mまで到達せしめた。



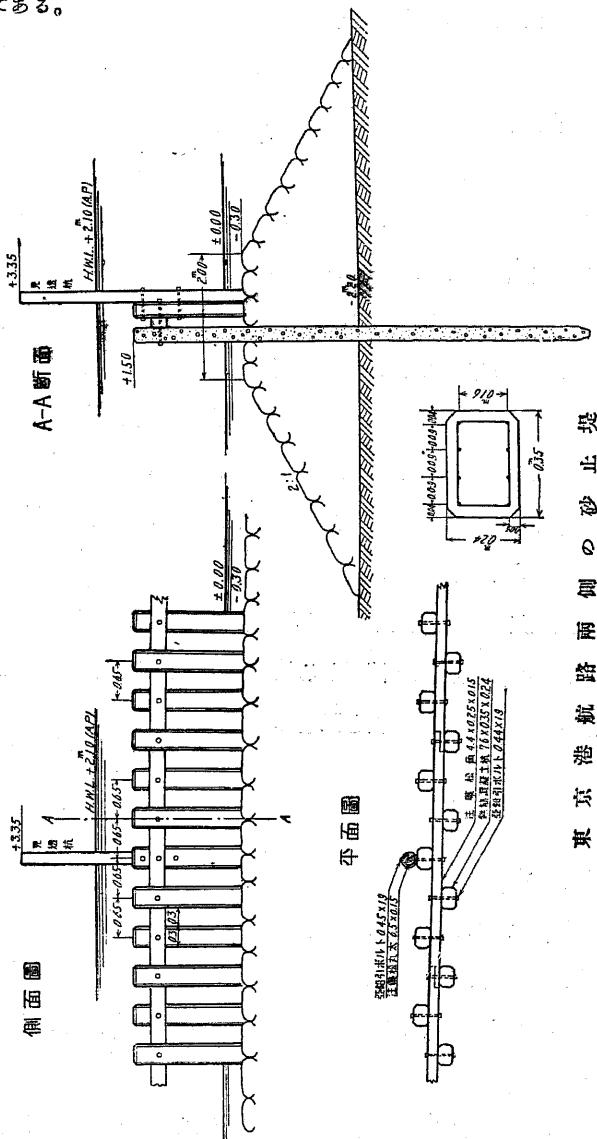
〔註〕 稚内の防砂堤の長さは、約550mである、又漂砂特に著しき小名浜の計畫に際しても、大防砂堤を1

本設置する事にした、函館には、其の長さ400~500mの大防砂堤3本を水深5~6mの所迄突出せしめてある。

岩内は、漂砂の烈しき港であつて、之が防砂堤の形狀は特殊のものである。

其の3本の小防砂堤の長さは109~136m、又1本の大防砂堤は455mである、尙ほ此大防砂堤の延長に、水面下に没したる潜堤が曲折して設置された。

〔註〕 砂止堤の目的は、既述の如く、主として港内に来る土砂を喰止めるに在つたが、其の外に東京港に於けるが如く航路の埋没せざる爲に、其の兩側に砂止堤を設くる場合もある。猶ほ又海岸の侵蝕を防ぐ爲めに、此砂止堤を澤山突出せしめて、之に砂を堆積させ、以て海岸防禦に應用する場合がある、之に就



ては第十五章第四節に再び記述する。

本章では、専ら防波堤等の配置に就て論じ、之が構造に關しては後章へ譲る考であるが、只だ此防砂堤の構造だけは、便宜として簡単に述べる。

一般に防砂堤は防波堤に比して、其の水深淺く、又之に受くる波力も小さい、殊に其の方向が海岸より鉛直に突出する爲め、其の堤心線と波の方向と交はる角度が小ひさく、従つて其の頭部へは、相當の波力を受くるが、其の他に及ぼす波力は、防波堤より遙かに小さい。

されば防砂堤の構造は、防波堤の構造に比して多少簡単である、例へば防砂堤として屢々用ひらるゝものは、捨石堤、石張堤、石柱堤（第十一章以下参照）などであつて、其の頭部だけへ方塊を用ひる（稚内防砂堤圖参照）、但し大防砂堤の中には、方塊を多く用ひた場合も勿論ある。

次に防砂堤の根元だけを特に高く造つて、波或ひは風に依つて、砂が之を乘越す事を防ぐ場合もある。

又航路の兩側に設くる砂止堤の構造には、捨石堤等も勿論用ひらるゝが、波の特に小さい所には、簡単なる柵を用ひる、即ち東京港にては圖に示すが如き、鐵筋コンクリート造の柵を設置した。

第二節 河口工事

河口の埋没 流出土砂の多量なる河川に於ては、其の河口附近が埋没せられて、之が水深は次第に淺くなつて、所々に砂洲（Bar）を生じて、航路の障害となる。

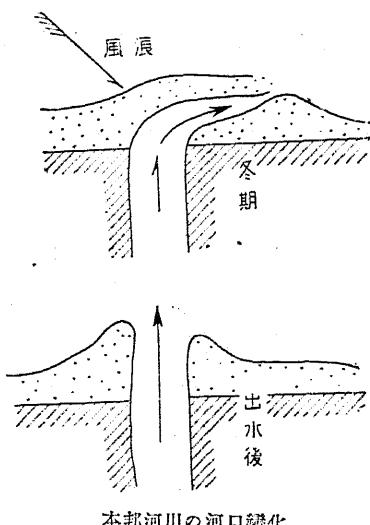
斯の如く河口を淺くする主なる原因を調査すれば、大略次の三つとなる。

(1) 河水が海に廣く散布する爲め、流速を減じ、土砂運搬の力を失つて沈澱するもの

(2) 河口より侵入する風浪が、河水と衝突して、河水の流勢を弱め、以つて其の搬出される土砂を、河口附近に沈澱するもの

(3) 荒天時の風浪に依つて、砂洲と砂嘴との移動を生じて、河口附近を閉塞するもの

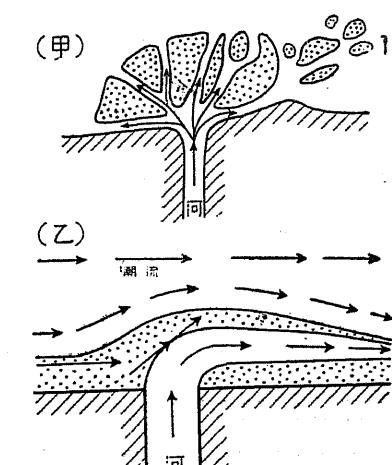
一般に本邦の河川は、冬期に涸水し、而も其の期間は、海藻の荒ること多きが爲め、其の河口は、砂洲と砂嘴とに因て、次第に閉塞せらるゝを例とす、但し夏期の洪水期に至れば、之が流量と流速の増大に依つて、河口の閉塞を洗掘するのである（圖参照）。



本邦河川の河口變化

〔註〕以上は、單に河口を直接埋没する状態を論じたのであるが、尚ほ廣く河口附近の變遷の一般状況を考察したい。即ち沿岸潮流の著しく無い所、或は涸水期と荒天期と重ならざる所等に於ては、其の河口は恰も手の指を開けた如く、多くの派川を分流して、其の間に砂洲を残し、之が三角洲に發達する（甲圖参照）即ちミシシッピー、ナイルの河口に於ける、沖積地方は其の顯著の實例である。然るに、横より烈しき沿岸潮流の来る所では、其の河口は次第に潮流の下向へ曲る（乙圖参照）之も亦洪水の時に抜けて、再び真直の深筋を取る、但し其の水量と流速とが不足する場合に、永久に下向へ延びる。

又既述の本邦河川の如く、涸水期と荒天期と重なる所では、風浪の進行線と海岸線と挾む角度が、鈍角をなす方へ向つて、其の河口が曲るのは言ふまでも無い。



河口の水深增加 河口に於ける、土砂の堆積を防ぎ、以て船舶の出入に可能なる

深度を常に保たすには、次の如き工法を探る。

(1) 河川を切換へて、

土砂を港外へ放流する事

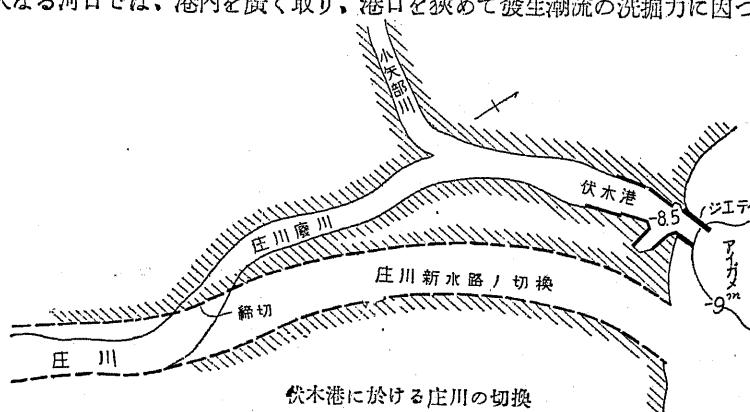
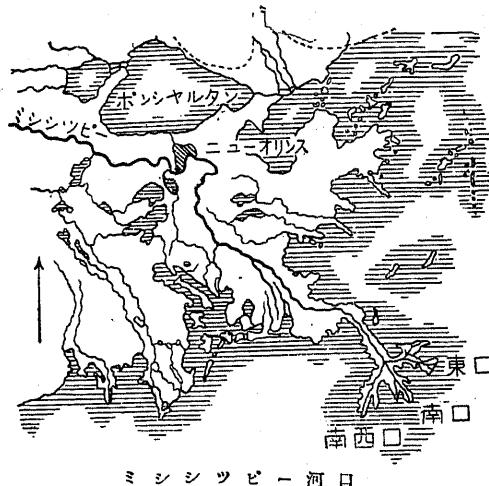
(2) 導水堤を設けて、

濾筋を保たしむる事

(3) 浅瀬に依る事

以上の外に、或ひは河の上流に於て、砂防、砂止の工事を施して、流砂を減少せしめた場合もある。尙ほ又潮差

大なる河口では、港内を廣く取り、港口を狭めて發生潮流の洗掘力に因つて、水



深を保たす場合もある。

第一項の河川の切換は、單に河口の水深増加ばかりでなく、港内一般の埋没を防ぐ爲めに行ふ事も勿論ある。

河口港に於て、河川切換の實例には、伏木の庄川、酒田の最上川、東岩瀬の神通川、土崎の雄物川、或ひは新潟の信濃川分水など、本邦に其の例は乏しくな

い。

〔註〕昔の伏木港は、庄川と小矢部川とが合流せるものゝ河口に在つた、而して庄川は流砂多く、小矢部川は流砂少きため、先づ庄川の河口を、他へ切換へ、尙ほ後に逃ぶるが如く、其の港口に導水堤即ちジエティを設け、其の前端を、俗に藍鰐と稱する海中の深潭まで突出せしめた爲め、河口水深の維持は極めて良好であつて、其の昔僅に500噸の小船を容るゝに過ぎなかつた港が、今や數千噸の大船を吞吐し得るに至つた。

〔註〕港内に注入する河川にして、流砂多き場合、之を他へ切替へた實例には、東京港の荒川、大阪の淀川などがある。

第二項の導水堤を設けて、濾筋を保たしむる工法は、更に内譯すれば次の如くなる。

(イ) 兩側の導水堤の前端を、深度の大なる所まで突出せしめて、土砂を深海へ送り出するもの

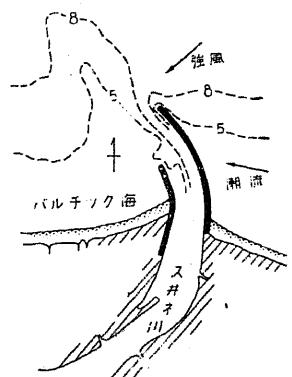
(ロ) 兩側の導水堤の挟む口を、成るべく狹窄して、流れを之に集中せしめ、之が流勢に依る洗掘力を利用するもの

(ハ) 片側の導水堤を特に長くして、其の内側に沿つて生ずる、深掘れを濾筋となすもの

以上の實例には、(イ)に於て伏木、東岩瀬の港口、又(ロ)に於てミシシッピー河の南口等がある、又(ハ)の實例は狩野川河口の沼津港、スチネミュンデ等がある。

次に導水堤の方向は、將來の延長、深浅、風波、潮流、等を考慮して適當に定むるものであつて、其の詳細は〔註〕を見られたい。

〔註〕以上の記事に依つて、導水堤に依る工法の大體方針を知つたが、更に其の導水堤を出す場合に於ける、之が方向に就て説明する。既述の如く導水堤の方向を定むる



スチネミュンデの導水堤

には、(a) 将來の延長、(b) 深淺、(c) 風波、(d) 潮流などの關係を慎重に考慮する、即ち

(a) 一般に河口の水深は、年々浅くなるを以て、導水堤の前端を將來更に延ばす際に、都合よき形狀に豫め突出せしむる。

(b) 導水堤は、なるべく深いコンターラインに近い方へ向けて出す。

(c) 荒天時の風波に對し、河口を之に眞直に向はしめざる様に、多少傾けて出すが良い、其の際に入港船舶をして、一刻も早く横波から免かれしむる爲めに、既述の如く風上の導水堤を長く延ばして、被覆せしむる。

尚ほ又次に述べる導水堤に依つて、快通せしむる目的の場合に當つては、風波の押し寄する方向が、長い方の導水堤の背後に来る方が都合がよい、特に上圖の如く、導水堤の前端附近に於て、波向が前端へ向つて、鈍角に交はるものがよい。

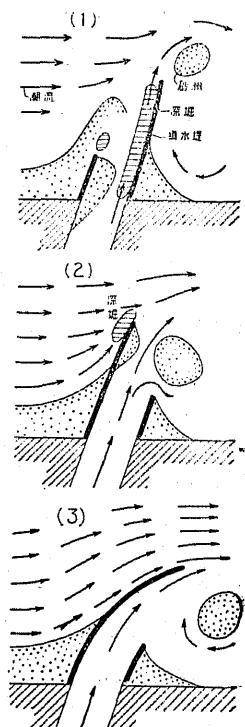
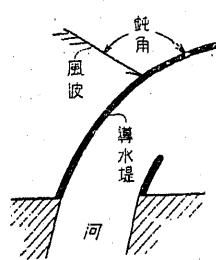
若し風波を、港口に向つて眞直に侵入せしむる時は、流水の快通を阻害して、中に砂洲が出来る。

(d) 一方の導水堤を長くして、流水を快通し以て浮筋を保たしむる(八)の工法に於て、潮流と長い導水堤との關係は複雑である。

その場合に、潮流の下手の方の導水堤を長くするものと、上手の方を長くするものとの二つの工法がある(圖参照)。

(1) 圖の如く下手の方を長くする時は、其の導水堤の内側に接近して、著しい深掘れを生じて浮筋を保ち得る、然し導水堤の外に出た所で、浮筋の屈折を生じ易く、又附近に砂洲の發達も多い。

次に上手の方を長くして、潮流を背後から受け場合に於ては、其の導水堤の方向の形狀に依つて、異なる結果を得る、即ち(2) 圖の如く略直状



に近く突出せしむる時は、浮筋は中央に出來、又砂洲が長い導水堤の前端近くに生じて、航路の支障となる、然るに(3)圖の如く曲狀にして、前端をなるべく潮流に順應せしむる時は、浮筋は長い方の導水堤の内側に近づき、又前端附近に砂洲を生じない。之を要するに、砂の比較的に少い所では、(1)圖の如く潮流の下手を長くし、砂の多い所では(3)圖の如く、潮流の上手を長くし、然も成るべく潮流に順應せしむるがよい。

【註】 Mississippi 南口は、長大なる導水堤に依つて、其の河口を狭窄し、其の流勢の洗掘力の増大に因つて、水深約 10m の浮筋を保ち、上流のニウォリス港に至る大船の通航を可能ならしめた、但し河口の水流は頗る速く、時々船舶の遭難を見る。

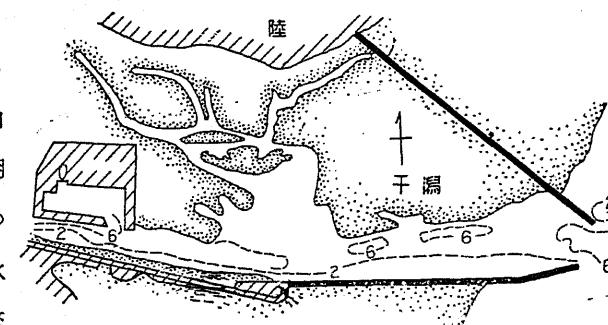
次に獨逸の Swinemünde に於ては、東方より來る沿岸潮流に順應して、右岸の導水堤を前々頁の圖の如く、長く突出せしめた。而して水深約 8m の浮筋は、此右岸導水堤に沿つて、保たれ、以てステテン港へ至る大船を通ずるに至つた。

次に第三項の 浪濶 は、河口工事に缺くべからざるものであつて、尚ほ一度河口が竣工した後にも、亦之が浮筋の維持のために、常に浪濶船を用意するの必要がある、例へば新潟港の如きは、其の著しき實例である。

一般に河口の工事は、以上述べ來つた種々の工法に依つても、尚ほ且つローン河口の如く、屢々失敗に終るものが多く、寧ろ其の成功の實例は稀であるから、河口に於ける築港は、成るべく之を避けたがよいと思ふ。

潟口の水深維持 潟或ひは入江の狭い入口も、亦河口と同じく之が水深の維持は頗る困難である。

只だ潮差の大なる所に限つて、潟内に吞吐する發生潮流の洗掘力に依つて、其の入口の水深を保つ事が出來る、其の際には導



ダブリン港の潟口

水堤等に依つて、或は水路を狭め、或は深みまで之を突出して、其の潮流の力を助長せしむる工法を探る事は、河口に於けるものと同様である、實例にはダブリン (Dublin) 港の潟口、或はベニスに達する リドー (Lido) の潟口、又高知に達する 浦戸灣の入口などがある。