

第九章 砂濱と河口の防波堤其他

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、河川の流砂に対する工事は、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、専ら之れが防止の方法に關して論ずる。

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、漂砂の流れ來る方向へ、向けざる事
- (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、流れ來る漂砂を、其の所でなるべく喰止むる事

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。

此等の工法と注意とを以てするも、猶且つ港内に土砂の滯積する場合には、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、ジープリウダや、エムイデンにては、其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、簡單であるから其説明を省き、其他の

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、其附近に散布する砂礫の粒は比較的大きい、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量を減ずる、例へば水深約 10 米の海底に至れば、砂の移動は殆んど之を認めない、如斯く砂の移動なき水深線を、平衡水深線 (Neutral-line) と呼ぶ人がある。

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、漂砂が其堤頭を廻つて、港内へ侵入し來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、之に反し堤頭が浅ければ危険である。而て其境界は、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 米以上の水深なれば安全であつて、約 5 米以下の浅い所では危険である。

(註) G. Hagen 氏の説に依れば、一般に海岸附近に於ては、岸へ打ち寄る波と、岸から返へす波とが、互に平衡を保つ境界線が存在して、其境界線内のみにて砂が移動し其線より外では、砂の移動を見ないと言つた。

Cornaglia 氏は、地中海の沿岸地方に於ける、平衡水深線が水深約 10 米の所に在ることを確めた。

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 は潮流を遮ぎる事最も少なく、好く之に順應する者であるが故に、島堤内には堆積土砂が比較的少ない。

但し之が効果の有る場合は、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。

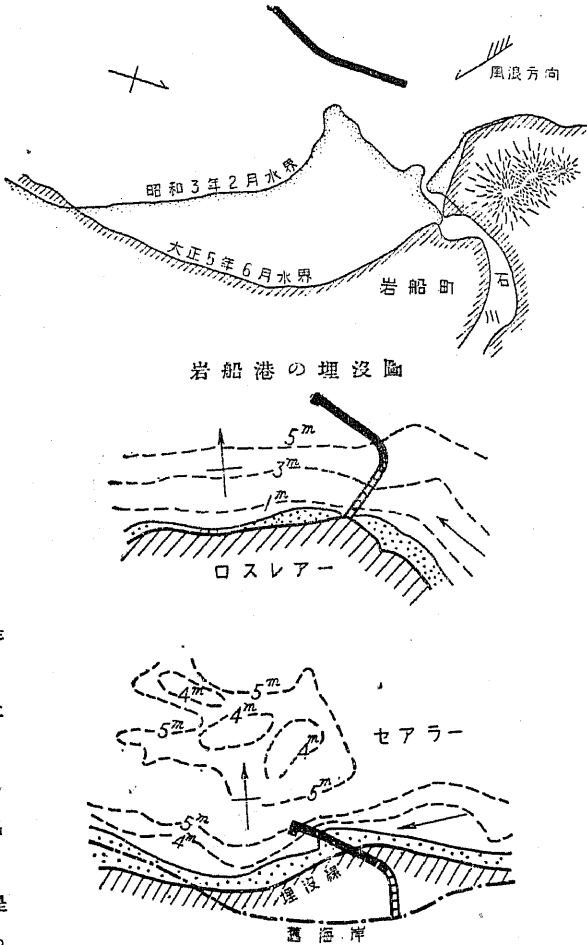
(圖参照)

〔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が、互に衝突して、其所に土砂を堆積するので在る、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。

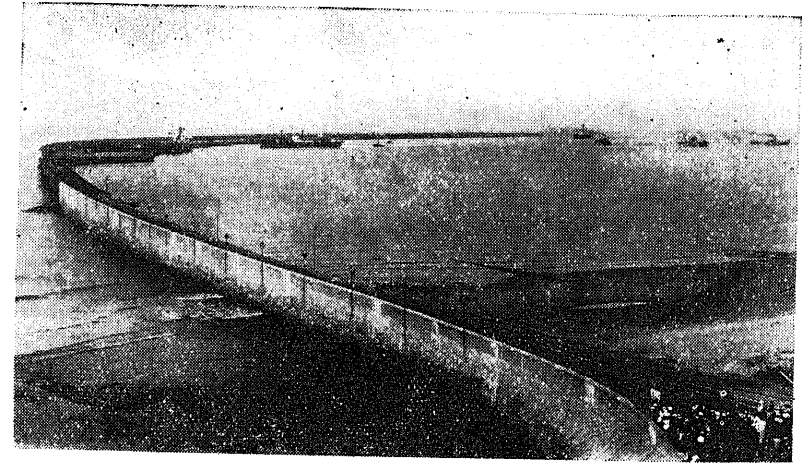
岩船港に於ける、島堤の計畫延長は245米であつて、大正9年に着手したが、其進捗に従つて、著しく港内埋没し、遂ひに昭和2年の調査に依れば、埋没面積6.5ヘクタール、其土量約14.萬立方米に及んだ。

半島堤は一般に潮流を遮ぎる爲めに、之が内外に土砂の堆積を見る、其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た者が多い。

例へば、ロスレアー港(Rasslare)の防波堤の根元は270米ほど開切して在つて



成功せるロスレアーと埋没せるセアラー



ジープリュウゲ防波堤 (黒く見える所が開切箇所)

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爲め、其結果は極めて良好であつた。

尙ほ防波堤の根元を開切した實例には、大泊、小名濱、ジープリュウゲ、等がある。

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

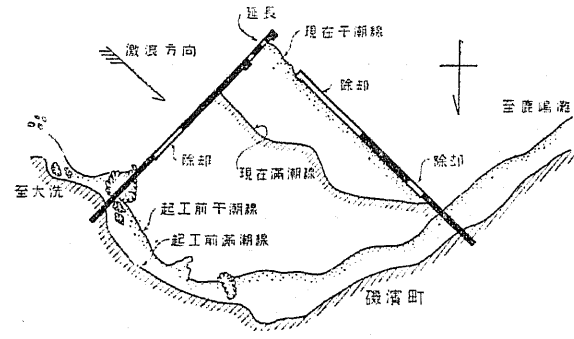
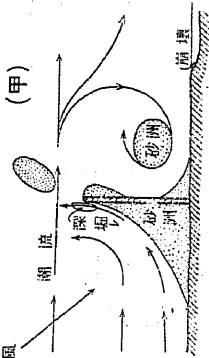
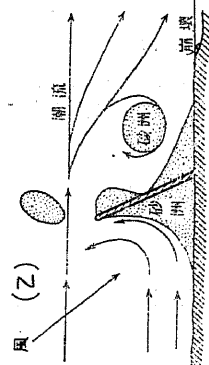
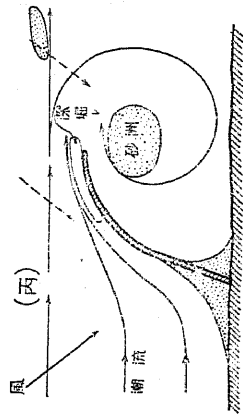
大泊の開切は200米、Zeebruggeは300米である、Zeebruggeの附近は、漂砂甚だ多き爲め、此開切にも關はらず、港内には相當の堆積を見る。

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、遂ひに廢港となつた。

次に半島堤の 出し方 に就て述べる、言ふ迄でも無く、其形状は最も潮流に順應した者でなければならぬ。

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者、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、更に其前端に



磯濱港の埋没圖

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者にあつては、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、防波堤の配置宜しく、尙ほ其堤端附近の水深は11米に及ぶが爲め、漂砂の捲込みは殆ど無い。(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浅い爲めに、其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、而て此砂洲は更に春の北東風の爲めに、堤端の内側に散亂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、潮流の逃道が無い爲めに、漂砂は港内に沈澱する。

例へば、磯濱の埋没の如きは、其適例である。(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。

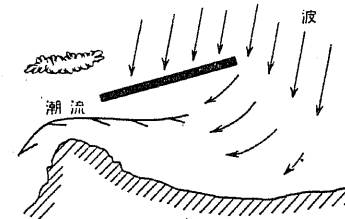
例へば、エムイデン港の堤頭は、約10米の水深線まで突出してある。

(註) 茨城縣の磯濱港は、港湾外郭分類圖、B₂の如き港形をなすものであつて、其港内面積は約7.6ヘクタール港口の水深は當初2.3米、港口の幅は當初65米、後變更して182米であつたが、漂砂が左右の防波堤の脚部を傳はつて港口に達し、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300米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、只た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)

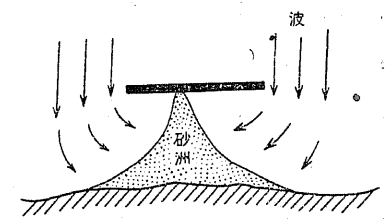
發生潮流の利用 以上述べ來つた所は、沿岸潮流との順應に関する問題であつたが、茲には、越波と打込波とに依つて、局部的に發生する、潮流の力を利用して漂砂を拂ふ工法を述べる。

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)に於て述べた、而て此發生潮流の力を、巧に誘導して、漂砂堆積の量を軽減せしむる事は、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、之に依て發生した局部的の潮流を、常に港口へ向つて流さしめ、其力に依つて漂砂を拂ひ濯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

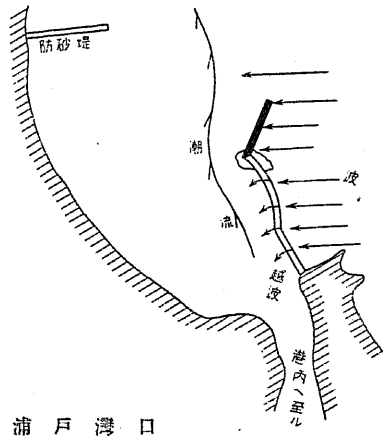
(2) 打込波を利用するには、或は防波堤を開切して、港口を二つ以上設け、更に其港口の方向と幅員、或ひは防波堤の配置等を適當に定めて、次の如く成る様に設計する。

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、著しく他を凌駕するが如く、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。

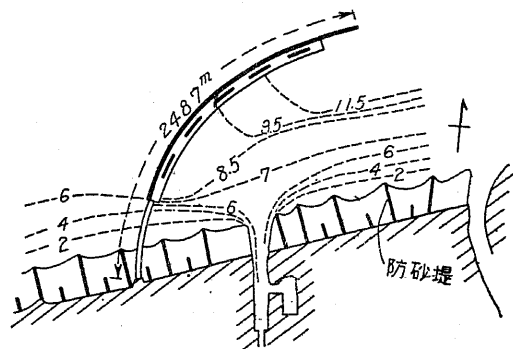
例へば、著者が豫算要求の際に設計した、浦戸港の修築計畫にては、其港口附近に於ける、濬筋の水深を維持する爲め、特に低い防波堤を造り、以て越波に依つて、發生する局部的の潮流の力を利用するに努めた。

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者と思ふ、されば若し此平衡を破つて、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埋没は稍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



浦戸灣口



ジープリユージュ沿岸の防砂堤

突堤である。

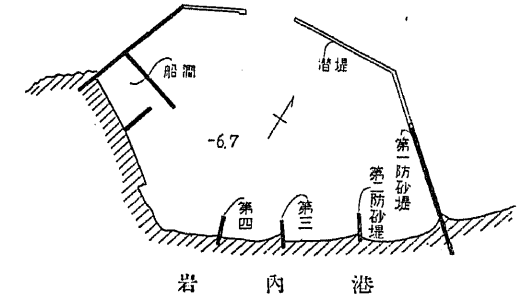
即ち其目的が漂砂の停止に在るから、堤の左右には、成るべく多量の堆積土が生ずるのを望む、例へば前に掲げた(甲)圖の如く、陸岸から直角の方向へ出した者が有効である。又其設置の場所が、漂砂の流れ來る方の側へ置かるべきは言ふ迄でもない。

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、然し砂止の効果は、後者の大防砂堤式の方が勝る。

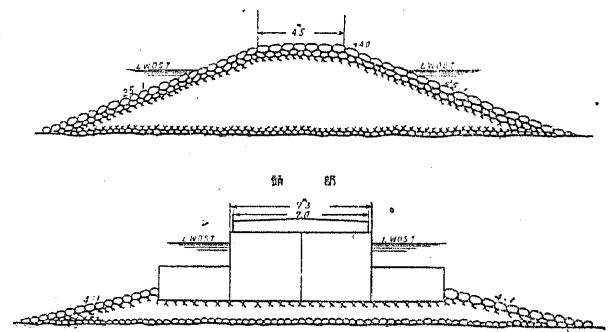
小防砂堤式の實例は、和蘭の漁港スケベニンゲン (Skeveningen) の防砂堤である、即ち其沿岸には、水深約 2.5 米に達する小突堤が數十本並んでゐる、又ジープリユージュの海濱にも圖に示すが如く多數の小防砂堤が並んでゐる。



岩内港

大防砂堤式の實例には稚内の防砂堤がある、又浦戸港の設計には圖に見るが如き一本の大防砂堤をして、水深約 6 米まで到達せしめた。

次に前記の兩者を並用した實例がある、即ち岩



稚内の防砂堤の断面圖

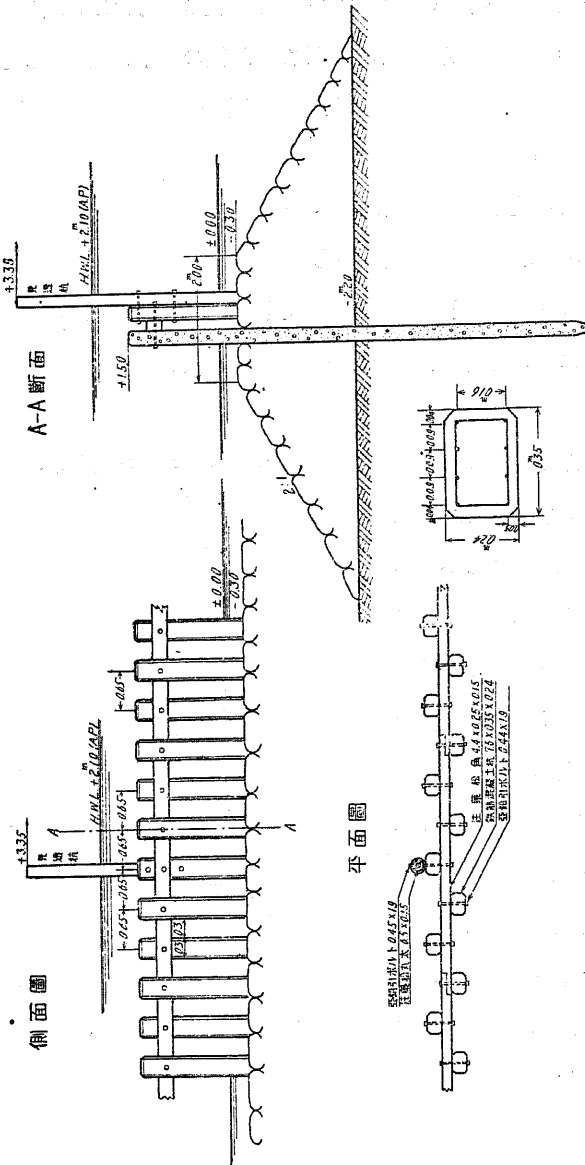
内には圖の如く、一本の大防波堤の中に三本の小突堤を持つ。

〔註〕 稚内の防砂堤の長さは約550米である、又漂砂特に著しき小名濱の計畫に際しても、大防砂堤を一本設置する事にした函館には其長さ400乃至500米の大防砂堤三本を水深5乃至6米の所迄で突出せしめてある。

岩内は漂砂の烈しき港であつて之が防砂堤の形状は特種のものである。

其三本の小防砂堤の長さは109乃至136米一本の大防砂堤は455米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



砂止堤 東京港航路西側

如く、主として港内に来る土砂を喰止めるに在つたが、其外に東京港に於けるが如く航路の埋没せざる爲に、其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、此砂止堤を深山突出せしめて、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、便宜こゝで簡単に述べる。

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

されば防砂堤の構造は、防波堤の構造に比して多少簡單である、例へば防砂堤として屢しば用ゐらるゝ者は、捨石堤、石張堤、石柵堤（第十一章以下参照）などであつて、其頭部だけへ方塊を用ゐる、(稚内防砂堤圖参照)但し大防砂堤の中には、方塊を多く用ゐた場合も勿論ある。

次の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乗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、捨石堤等も勿論用ゐらるゝが、波の特に小さい所には、簡單なる柵を用ゐる、即ち東京灣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。

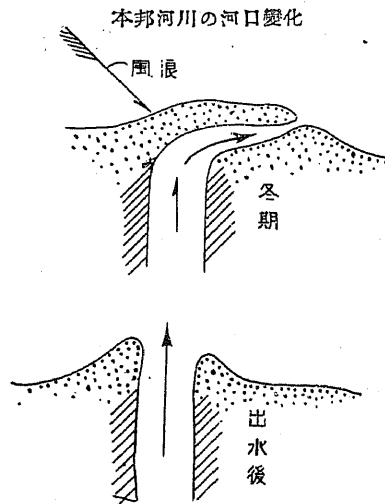
この如く河口を淺くする、主なる原因を調査すれば大略次の三つとなる。

(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。

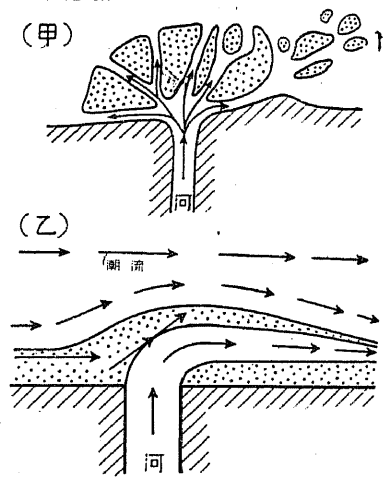
(2) 河口より侵入する風浪が、河水と衝突して、河水の流勢を弱め、以つて其の搬出し來れる土砂を、河口附近に沈澱するもの。

(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、而も其期間は、海濱の荒るゝこと多きが爲め、其河口は、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、河口の閉塞を洗掃するのである。(圖参照)

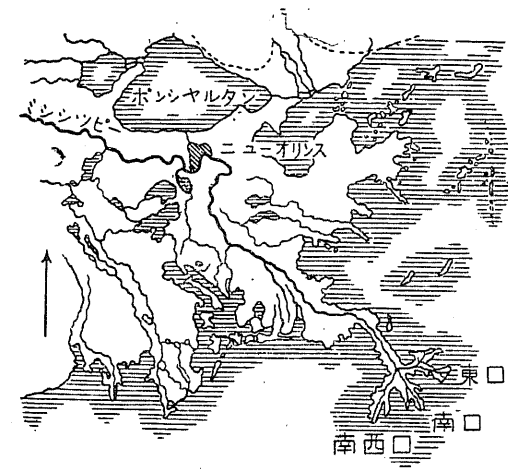


【註】 以上は、單に河口を直接埋没する状態を論じたのであるが、尙ほ廣く河口附近の變遷の一般狀況を考察したい。即ち沿岸潮流の著しく無い所、或は涸水期と荒天期と重ならざる所等に於ては、其河口は恰も手の指を開けた如く、多くの派川を分流して、其間に砂洲を残し、之が三角洲に發達する(甲圖参照)即ちミシシッピ、ナイルの河口に於ける、沖積地方は其顯著の實例である。然るに、横より烈しき沿岸潮流の來る所では、其河口は次第に潮流の下向へ曲る(乙圖参照)之も亦洪水の時に抜けて、再び眞直の滯筋を取る、但し其水量と流速とが不足する場合に、永久に下向へ延びる。

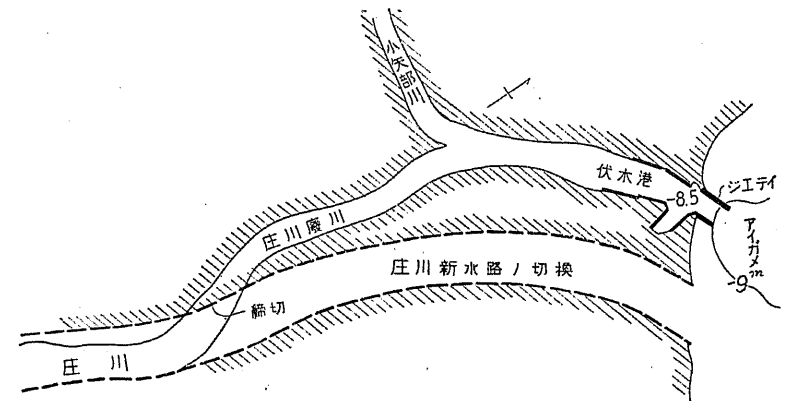


又既述の本邦河川の如く、涸水期と荒天時と重なる所では、風浪の進行線と海岸線と挟む角度が、鈍角をなす方へ向つて、其河口が曲るのは言ふ迄でも無い。

河口の水深増加 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



ミシシッピ河口



伏木港に於ける庄川の切换

深度を常に保たすには、次の如き工法を採る。

- (1) 河川を切换へて、土砂を港外へ放流する事
- (2) 導水堤を設けて、河口を固定せしむる事
- (3) 浚渫に依る事

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、或ひは新潟の信濃分水など、本邦に其例は乏しくない。

〔註〕昔の伏木港は、庄川と小矢部とが合流せるものゝ河口に在つた、而て庄川は流砂多く、小矢部川は流砂少きため、先づ庄川の河口を、他へ切換へ、尙ほ後に述ぶるが如く、其港口に導水堤即ちジエテイを設け、其前端を、俗に藍甕と稱する、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。

第二項の導水堤は、河口が一定せざる所、

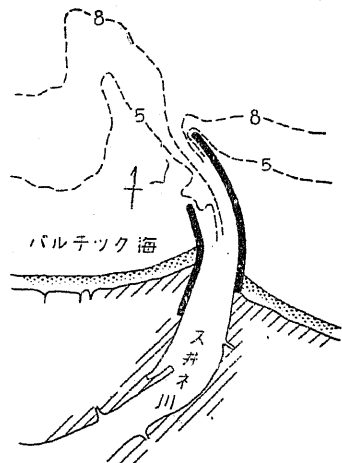
或ひは浅い所に於て、河口の兩側より之を突出して、その河口を固定し、其濶筋の深度を保たしむる者であつて、大略次の工法に依る。

(イ) 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もの。

(ロ) 導水堤の挟む口を、成るべく狭窄して、流水を之に集中せしめ、之が流勢を利用するもの。

前者の實例は、伏木、東岩瀬などの港口に之を見る、又後者の實例にはミシシッピ河の南口がある。

〔註〕Mississippi 南口は、長大なる導水堤に依つて、其河口を狭窄し、其流勢の洗掘力の増大に因つて、水深約10米の濶筋を保ち、上流のニウオリンズ港に至る、大船の通



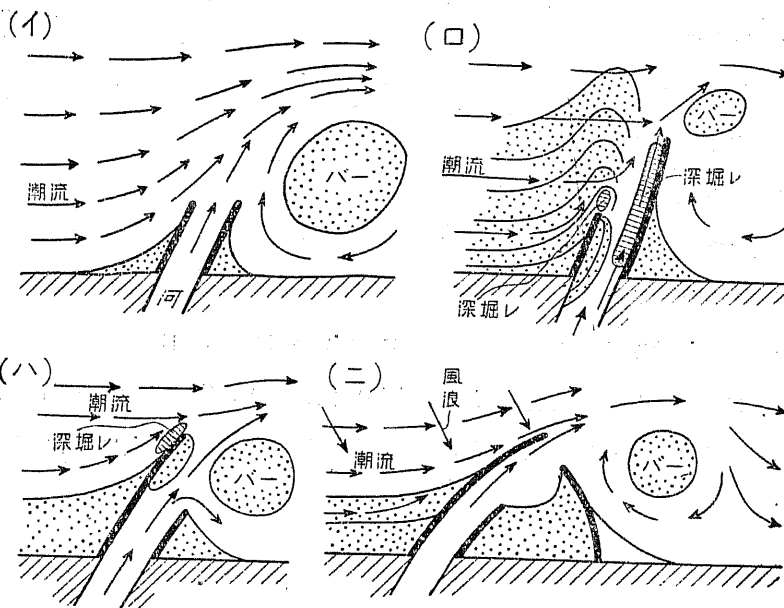
スギネ川河口の導水堤

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。

既述の記事に依つて、導水堤に依る工法の大體方針を知つたが、更に導水堤を出す場合に於ける、其方向に關して之を附記したい。

導水堤の方向を定むるには、深淺、潮流、風波、將來の延長等を考へて適當に定むるのである、即ち

- (a) 導水堤は、なるべく深みの近い方へ向けて出す
- (b) 沿岸潮流の激しき所では、其潮流に多少順應して下向に曲げ、且つ之を孤形の曲線状にするがよい。
- (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、多少傾けて出すがよい、其際に入港船舶をして、一刻も早く横波から免がれしむる爲めに、既述の如く風上の導水堤を長く延ばす。
- (d) 一般に河口の水深は、年々淺くなるを以て、導水堤の前端を將來更に延ばす



導水堤並に潮流と砂洲及び深掘れ等の關係

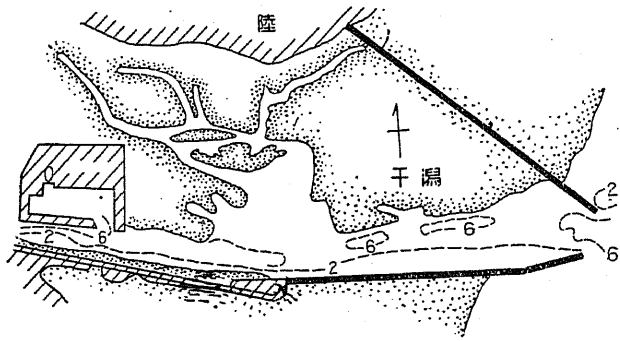
際に、都合よき形状に豫め突出せしむる。

尙ほ参考として、河口に於ける導水堤設置の結果生じたる、砂洲(Bar)と深掘れ等の種々なる關係を、圖に依つて示せば(1)(ロ)(ハ)(ニ)の如くなる。

次に第三項の浚渫は、河口工事に缺くべからざる者であつて、尙ほ一度河口が竣功した後も、亦之が濶筋の維持のために、常に浚渫船を用意するの必要がある、例へば新潟港の如きは、其著しき實例である。

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、尙ほ且ローン河口の如く、屢々失敗に終るものが多く、寧ろ其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、其入口の水深を保つ事が出来る、其際には導水堤等に依つて、或は水路を狭め、或は深み迄之をで突出して其潮流の力を助長せしむる工法を採る事は、



ダブリン港の潟口

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、リドー潟口(Lido)、又高知に達する浦戸灣の入口などがある。