

## 土木學會第1回年次學術講演會講演

(發電水力, 河川及港灣之部 No. 11)

## 漂砂の活躍する海岸に採用すべき築港方式に就て

(On Methods of Harbor-Construction on the Sand-drifting Coast.)

會員 北 澤 貞 吉\*

## 要 旨

漂砂には沿岸漂砂と直角漂砂と存するも、港灣等に特に被害を及ぼす沿岸漂砂と直角漂砂中の Sand Ridges に由るものなることを明にし、其の活躍する地に築港する方式を 4 系統 9 項目に分けて提示し、各の要件と思はるゝ事項を示したものである。

## 1. 總 説

漂砂は波浪並に海水流に因つて生ずるものにして、其の移動する方向は、海岸に直角に去來するものと、斜方向より襲來し引いて沿岸に移動するものとある。前者は主として直角波又は潮汐干満其の他の原因に由る水頭流等によりて生ずるものにして、唯々 Sand Ridges となりて來襲する土砂を除いては、築港工事に影響することは比較的少い。後者は斜波又は潮流に由つて生じ、其の促成せる沿岸流は漂砂を海岸に沿ふて遠く思はざるの地に運行移動するものなれば、一度之が江灣等の遮蔽裡に入らんか忽ちにして沈澱堆砂して其の水深を減じ、遂には港津・航路の死命を制するに到るものである。従つて之が防止は港灣工事に最も大切にして、又最も困難である。古來此の種の漂砂を漂砂の代表的のものとなし、漂砂と言はゞ此の種のものを指すが如き觀ありしは、誠に故なしとしないのである。近時之を“沿岸漂砂”として直角漂砂と辨別したのは事宜に適した名稱なりといふことが出来る。

以上の沿岸並に直角の兩種漂砂の活躍する深度の範圍は、波浪を成因とするものに於ては波動及達深度と見てよい。而して其の深度は擺波の理論より見るに、大体波長の 30~40% 内外を普通とする。従つて外海に於て生ずる最大波は先づ 波長  $L$  波高  $h=20$  内外なれば、波動及達深度  $d$  は

$$d=(0.3\sim 0.4)L=(0.3\times 0.4)\times 20h=6h\sim 8h \dots\dots\dots(1)$$

之を實地に就て見るに、大略 10m 内外の深度を其の範圍と見てよいやうで、伊太利の碩学 P. Cornaglia<sup>(1)</sup>氏は地中海に於ける觀測より 8.2~10.2m を適當とし、此處に中立線の存することを主張した。其の他 Engels<sup>(2)</sup>氏の記載する所にも之に合致する類例が多い。

斯くの如く漂砂中、沿岸漂砂と直角波に起因する Sand Ridges によるものとは、築港を計畫する上に於て慎重の考慮を要すべき對象にして、特に沿岸漂砂に依る危険は最も甚だしい。従つて斯る漂砂の活躍する地に築港する様式は、從來數多の先輩学徒によつて考究され、夫々に大いなる暗示を與へられるものが頗る多い。而して其の大方針は

\* 熊本高等工業学校教授 工学士 (昭和 12 年 4 月 10 日講演)

(1) Otto Schulze: Seehafenbau, I Bd., S. 266.

(2) H. Engels: Handbuch des Wasserbaues, 3 Auf. I Bd., S. 785~788.

- (イ) 自然力を利用して漂砂を他に運行又は防止するもの
- (ロ) 人工的構築物によつて防止するもの
- (ハ) 之等兩者を兼用するもの

に分たれる。著者は此の方針に従つてそれ等の方式に系統を樹て、自己の研究を織り交ぜて次節以下の4種となし、更に之を細別して其の要件と思はるゝ點を擧げて、御批判を仰がんとするものである。固より之等に對する可否の判定は實驗に據らなくては下し難いが、著者は適當な實驗設備を持たないので、遺憾ながら實例を以て實驗の代用と見做して戴きたい。

## 2. 防砂堤に依る様式

### (1) 港灣附近に群小防砂堤を設置し、防波の爲には別に他の外構を設くる方式

之は沿岸漂砂の成因が斜波な  
るにより、其の原因に遡つて之  
を扞止せんとするものである。

其の要件は

(イ) 相隣る防砂堤の堤頭と  
堤根とを結ぶ直線をして、**図-1**の如く斜波の方向と直角ならしむる様配  
置すること、

(ロ) 堤の間隔をして堤長の2~5倍たらしむること、  
である。

此の實例としては函館港であつて、廣井博士<sup>(3)</sup>は**図-2**の如く先づ第1  
防砂堤を突出し、15年後に第2,第3のを設けたるも、之等堤根及堤頭  
を結ぶ線をして、該港の恒風たるW及WSW風と略直角ならしめて成  
功した。

### (2) 一大防砂堤を突出して防波堤をも兼ねしむる方式

沿岸流の作用する範圍は(1)式に示した如く波高の6~8倍以内の海  
底であるから、防砂堤をして此の範圍外まで突出せしむれば漂砂を扞止  
することが出来る。其の突出に當つては**図-3**に示す如く、斜風成反流を  
して、斜風成沿岸流に打ち勝たしむるを要するものにして、其の之を満  
す爲の要件は

- (イ) 堤の方向の適切なること
- (ロ) 堤長の適當なること
- (ハ) 堤頭の充分なる水深箇所に在ること

である。

**實例：**天然の崎岬にして此の條件に叶ひたるものは多々あつて、廣井  
博士の誌すところに依れば<sup>(4)</sup>、犬吠岬より太平洋岸に於て犬吠岬・八幡岬



図-1. 斜波に由る漂砂を扞止する考案

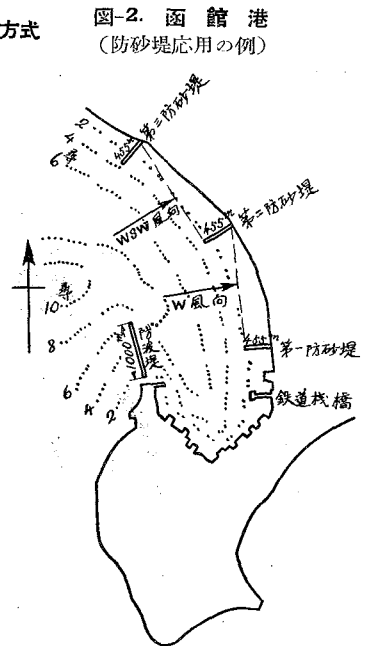
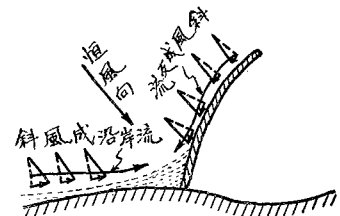


圖-2. 函館港  
(防砂堤応用の例)

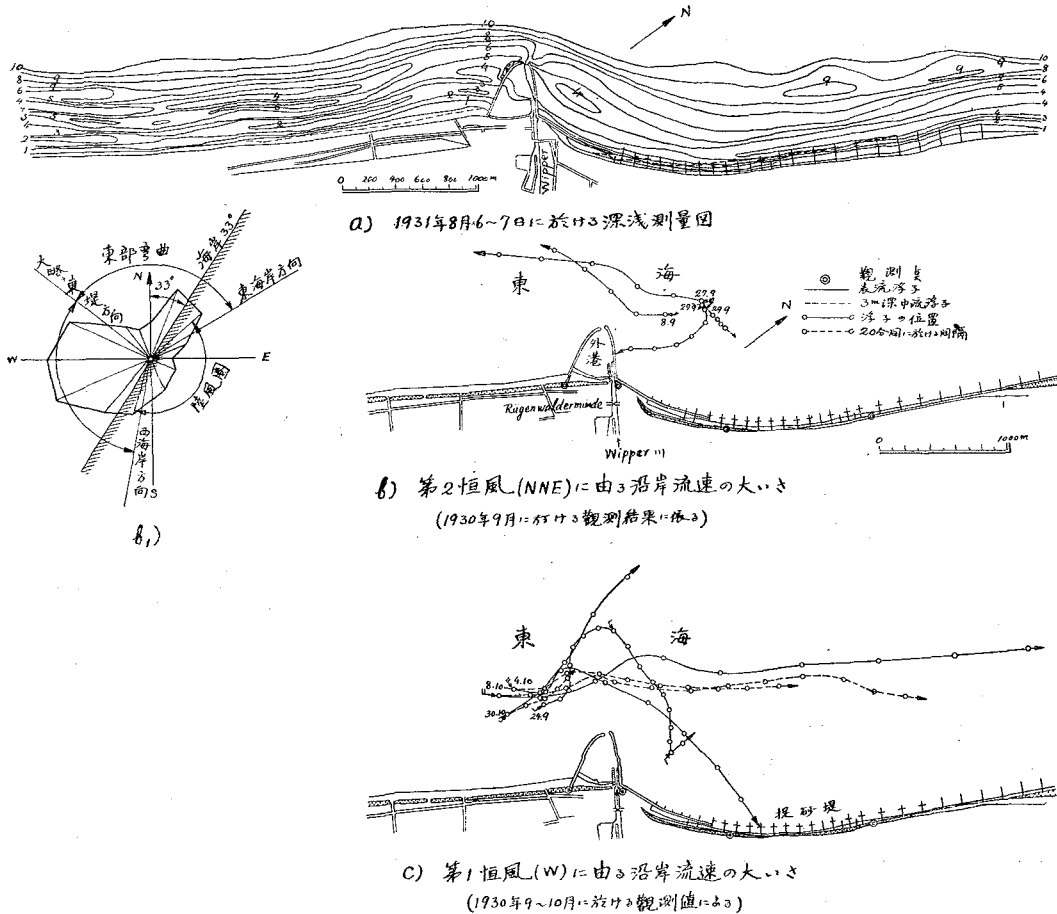
圖-3. 一大防砂堤を以て漂砂を  
扞止する方式圖



(3) I. Hiroi: On the Nature of Drifting Sands as affecting Harbor Construction on Sandy Coasts. 東大工学部紀要, 第11冊3號, p.p. 61~62. (4) I. Hiroi: (3) p.p. 55~60.

・鮫岬・金華山岬等は、何れも沿岸漂砂を阻止しつつある適例なりとされてある。又人工港としては獨逸の Rügenwaldermünde 港の突堤にして<sup>(5)</sup>、**図-4**の如く第1恒風向たるW風に對しては西突堤を前記條件に叶ふやうに設けて沿岸漂砂を防止し、第2恒風向たるNNE風に對しては東突堤をして之に對する様にしてある。即ちW風は海岸との傾角 $60^\circ$ 内外にして、之による沿岸流は同図cに依つて明かなる如く、約1.5km/hr(3knot)ともなりて漂砂の移動激しく、港の西部海岸は堆積をなして1918年の調査によれば、1870年頃即本突堤築設前より5m水深線は200mを、海岸線は65mを前進し、東部海岸は侵蝕を受けて1872年より1922年迄50年間に海岸線は50~100m後退したといふが、西突堤の適當なるがために該堤部に於ては大時化を除いては漂砂の平衡を保たしむるに成功して居るといふ。然るに東部海岸は同図b<sub>1</sub>に見る如く第1恒風となす角度 $30^\circ$ にて西海岸の其れより半減し、爲に漂砂の運行力大にして運行土砂を沈堆せしむること少く、加ふるに往々にして襲來する直角波のために海底及海岸は侵蝕さるゝこと甚しく、8m水深線は同図aに見る如く西部の夫れよりも100mだけ海岸に寄り居る状態なるを以て、護岸用捉砂堤を図の如く數多突出して、其の侵蝕を辛ふじて防止し居る有様なりといふ。

図-4. Rügenwaldermünde 港 (防砂堤兼防波堤)



(5) Erich Krause: Beitrag zur Frage des Hafens an sinkstoffführenden Küsten. Die Bautech., Heft 41, 24. Sept. 1935, S. 572~3.

### 3. 沿岸流を利用して漂砂を他に運行せしむる様式

#### (3) 防波堤をして沿岸流に順応せしむるやう配置する方式

(A) 島堤に依る方式 島堤をして図-5 の如く適當の深度に、適當にカーブして其の先端を可及的海岸に平行せしめ、以て沿岸流向に順応せしめて設置する。然らば漂砂の進路を遮ることがないから漂砂を他に運行せしむるに妙である。

**成功例：**白國 Zeebrügge 港<sup>(6)</sup>は距岸 300m の地點より、長さ 1715m の彎曲防波島堤を設け、之を開橋を以て陸地と接続せしめた。漲潮流、落潮流が其の間を通過し、堤に順応して漂砂を帶行し港内に沈澱することを少なからしめた。幸にして本港は漂砂量少きを以て、浚渫機の助けを借りて成功しつゝある。

又アイルランドの Rosslarebai 港<sup>(7)</sup>も同一理論を応用し、長さ 475m の彎曲島堤を沿岸流に順応せしめ、270m の開橋にて海岸に結んだ。築港前 1881 年と築港後 1907 年との水深図を比較するに、唯々橋梁の根元部の海岸が堆砂前進したのみで、港内は却つて深くなつてゐるのを見るのである。

**失敗例：**伯國の Cèara 港<sup>(8)</sup>、本港は長さ 520m の島堤を 230m の橋梁にて海岸に結びたるも、其の開敞の度太西洋に面して 1000km の大に及びたること、海岸の前方約 5km の所に水深 9m の暗礁あり、且つ図-6 に示す如く海岸を距る僅か 0.4km 地點に水深 4m の浅瀬をなしたる珊瑚礁ありて、堤をして之に至らしめ宛かも捉砂堤の作用をなさしめたる設計は、失敗の重大原因であつた。故に 1894 年起工、10 ヶ年の歳月と 400 萬円の工費を以て 1903 年竣工した曉には、堤は全然埋没して居たといふ。

之に依つて是を見ると本式成功の要件は次の如くであらう。

- (イ) 開敞の度大ならずして海底異動即ち漂砂量の少きこと、
- (ロ) 水深の相當に大なること。

図-5. Zeebrügge 港 (島堤を沿岸流に順応せしめた例)

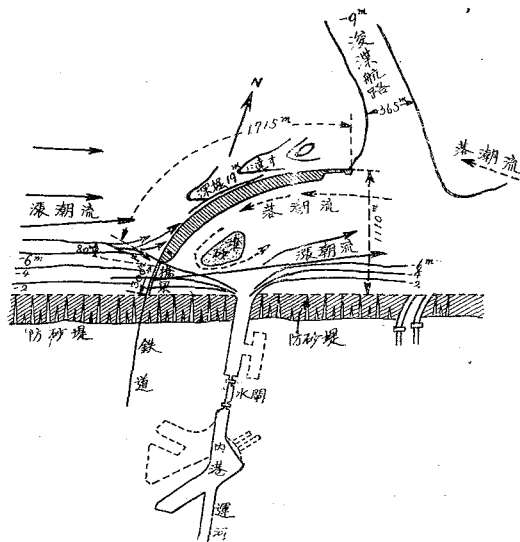
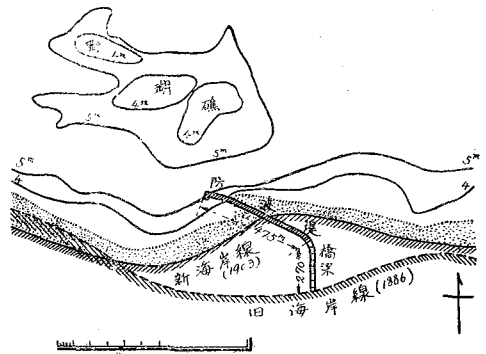


図-6. Cèara 港 (島堤式で失敗した例)



(6) Otto Schulze: (1), S. 284.

(7) Otto Schulze: (1), S. 282.

(8) Alfred E. Carey: Sanding-up of Tidal Harbors. M.P.I.C.E., Vol. 156, pp. 222~224.

(B) 半島堤に依る方式 (a) 単一堤による場合：単一直堤を或は直角に突出したり、或は傾斜して突出したり、又は矩に屈りたる突堤を出す等種々考へらるゝも、それ等は何れも養成するを得ず、須らく図-7の如く適當のカーブをなして、其の先端をして海岸に平行するやう所謂流線型となすを要する。

實例：今治港 本港は図-8に示す如く堤頭をして水深11mに迄突出せしめたること、沿岸流に順応せしめたること、相俟つて總社川より齶らす漂砂量多大なるにも拘らず成功してゐる。

(b) 2本の半島堤に頼る場合：沿岸漂砂は海岸より波高の6~8倍の水深に至る區域に互つて帶狀をなし、波向若くは潮流に順応して移動するものなれば、此の範圍内に築港する際は図-9(b)の如くに沿岸流に順応する様に半島堤を設けて、決して同図(a)の如くしてはならぬ。

此の種の好例は印度の Madras 港<sup>(9)</sup>であつて、同港は図-10の如く最初は図-9(a)其の儘の様式に築造したるも、漂砂量格別に大にして年額100萬ton(1919の調査)にも達し、年々海岸は20~30mを前進するといふ状態に在るため、港口を最初水深14.2mに置きたるものが11年後には9.1mに減じ、従つて港内の堆砂は次第に多く、遂に図-10の如くに改造し強力なる浚渫機の助力を得て、漸くに成功してゐるといふ状態である。

(4) 沿岸水流を促成せしめ、之に依つて漂砂を他に運任せしむる様式

(A) 越波を利用する方式 暗礁を其の儘利用するか、防波堤の一部を低く造り此處に來襲する波浪を越させ、

(9) F. J. Edward Spring: Coastal Sand Travel near Madras Harbor. M.P.I.C.E., Vol. 210., p. 27.

図-7. 単一突堤をして沿岸流に順応せしむる様突出したるもの

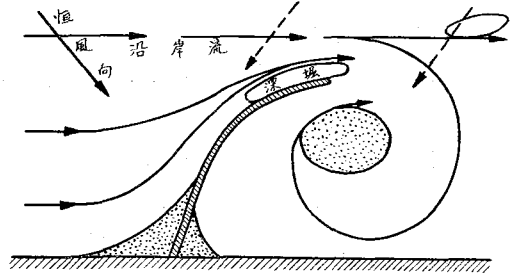


図-8. 今治港 (単一半島堤にて成功せる例)

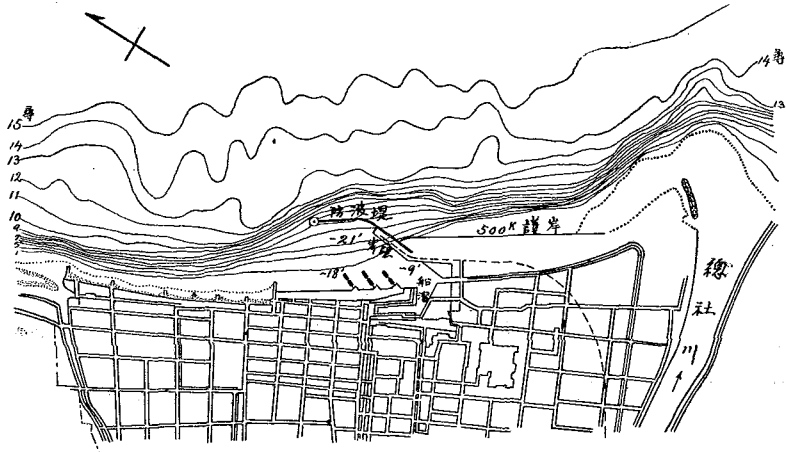


図-9. 2本の半島堤を以て沿岸漂砂に對する方式

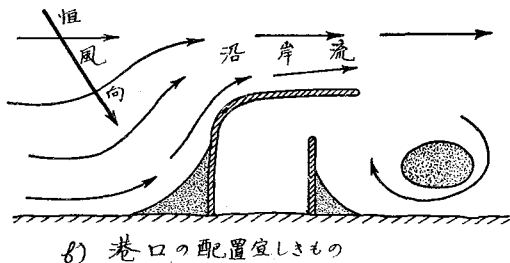
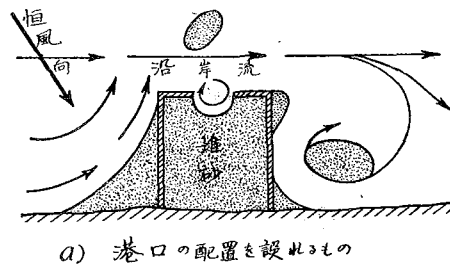
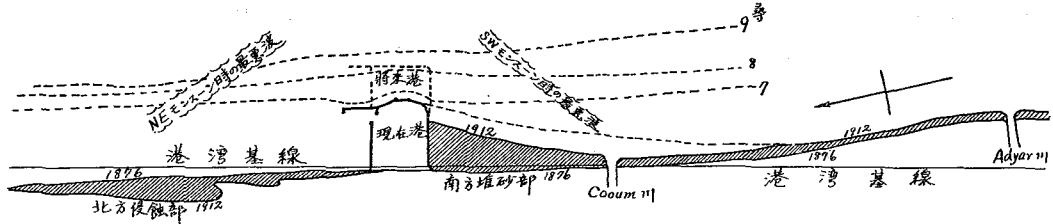


図-10. Madras 港 (1911 年改造したるもの)



それより後退せんとする波浪を遮ぎつて港内の水位を上昇せしめ、依つて生ずる水頭流を利用して漂砂の來積を防止する。此の種の例は鈴木博士<sup>(10)</sup>が図-11 に示す如く、浦戸灣口に設計した考案がある。

図-11. 越波を利用する浦戸灣口案 (鈴木博士案)

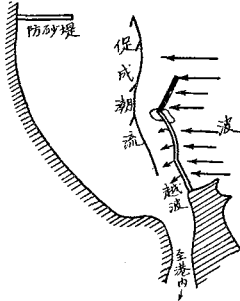
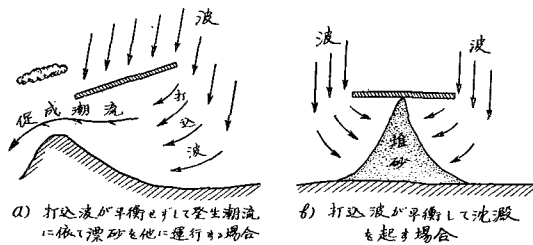


図-12. 打込波を利用して漂砂を他に運行せしむる方式



(B) 打込波を利用する方式 之は防波堤を開切して港口を 2 個以上設け、港口の方向及幅員又は配置等をして一港口より打込波の勢力が他口のそれよりも著しく卓越する様にして、依つて生じたる水頭流をして図-12 (a) の如く他方に通じ抜けしむるやうに工夫するを要する。

之を同図 (b) の如く兩方の打込波の勢力が平衡する様にするときは、港内に土砂の堆積を生ずる。其の失敗例は新潟縣岩船港<sup>(11)</sup>に求むることが出来る。同港は図-13 に示す如く長さ 245 m の島堤を以て港内を庇蔽する設計を樹て、大正 9 年起工したるも其の工事の進捗と共に港内は著しく埋没し、昭和 2 年の調査に依れば埋没面積 65 ha, 44 萬 m<sup>3</sup> に達したので遂に放棄したとある。

(5) 河口港に於て導流堤を設けて河水流を導き、以て砂の來積せるを洗掘し、沿岸流の協力に依つて之を他に運行せしむる方式

(A) 單一導流堤を突出する方式 之は河川の性質に適合する様に單一堤を突出する方式にして、此の河狀に適する様に設置することは仲々困難で、慎重の研究を要する。スペインの Nervion 河口に於て成功したものは有名で、我が三國港なども其の例に入れてよいであらう。目下内務省で築設中の浦戸灣口<sup>(12)</sup>のものは、図-14 の如く此の種の方式に則れるものである。

(10) 鈴木雅次：港工学，195 頁

(11) 川上國三郎：漂砂多き海岸築港に就て，港灣第 8 卷第 3 號，昭和 5 年 3 月，39 頁

(12) 山本將雄：浦戸灣口漂砂問題の研究及港口計畫論，土木學會誌第 22 卷第 4 號，447 頁

図-13. 打込波の勢力平衡して堆砂し失敗に歸した實例

岩船港漂砂移動状況圖 (新潟縣)  
(「港湾」第8巻第3号に依る)

防波堤施工状況圖

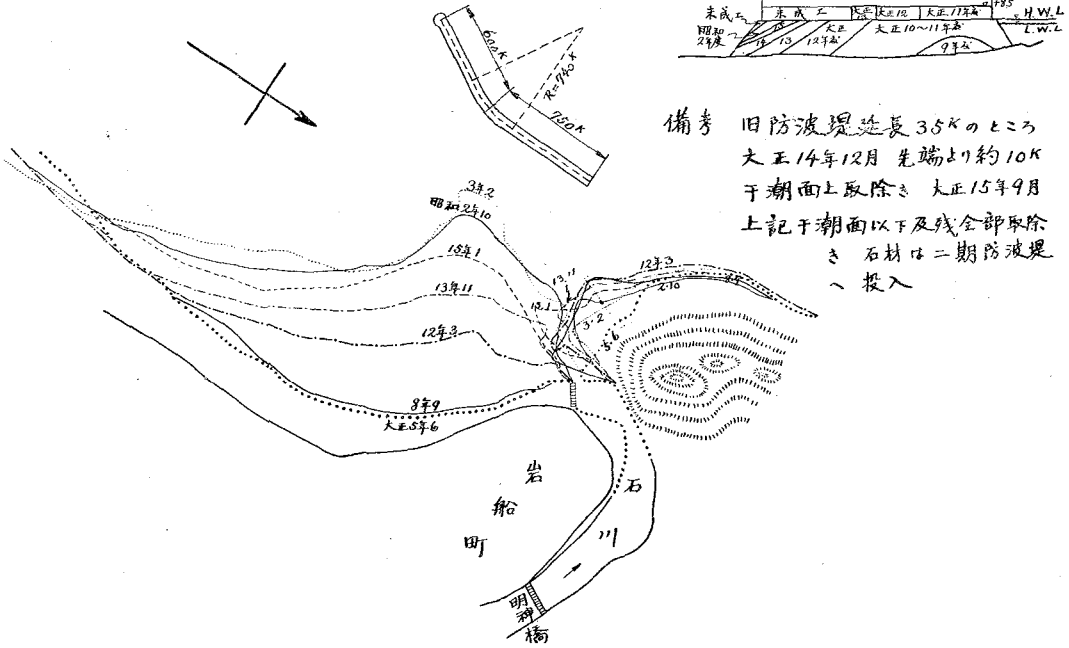


図-14. 浦戸港口に於ける単一突堤 (内務省修築工事)

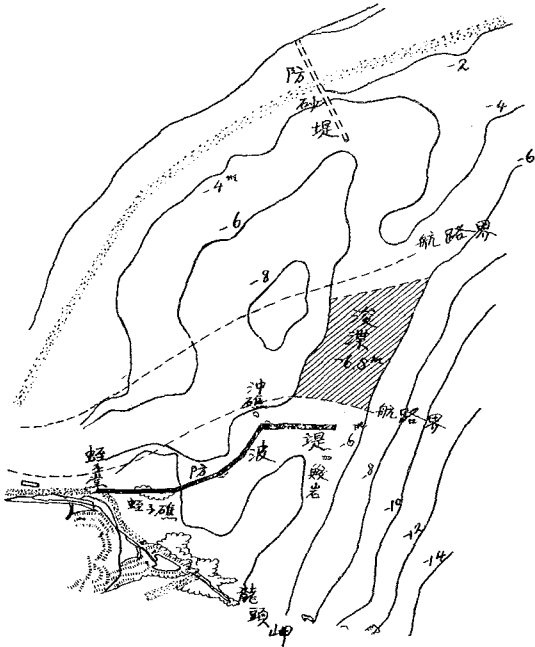
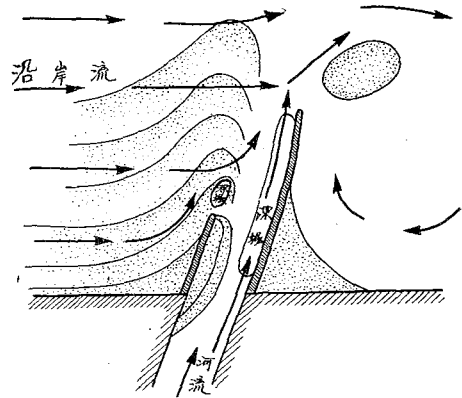


図-15. 河水量の大なるとき



(B) 等長の導流堤を2本突出する方式 之は相當に深い水深箇所まで突出するに非ざれば成功しない。

(C) 長短2本の導流堤を突出する方式 漂砂と恒風の方向によつては導流堤は必ずしも等長なるを要しない、否寧ろ有害なことすらある。本式は即ち之に對するもので、河水量の大なるときは図-15の如くにし、其の小なるときは図-16の如くに配置する。

4. 港口をして漂砂移動の限界線外に出して設置する様式

(6) 2本以上の防波堤を以て港内を抱擁して所謂 Enclosed Harbor となし、其の間に殘されたる港口をして中立線外に置く方式

此の方式を以て成功してゐる最初の大港は和蘭の Ymuiden 港<sup>(1)</sup>である。該港の恒風は南西及北西であつて、後者の方度数は少いが強烈である。而して沿岸漂砂は左迄大ならずして、相反する方向の漂砂は其の幾分を互に相殺し合ふが、全体としては南から北に向ふ。此の地に図-17の如く長さ各1500mの2突堤を以て水面105haを抱擁し、港口幅員260mを残して10m水深の地まで達してある。防波堤の外側海岸は其の後の調査に依れば40年間に300m、即ち年7.5mの割合の前進を見た。然るに本港は港口をして深水に達せしめると、漂砂の比較的少きと、潮差1.52mあつて漲潮流速0.75m/sec、落潮流速0.55m/secの促成潮流が防波堤内を洗掘するに因つて、浚渫機の助力と相俟つて幸に水深を維持しつゝある。前記 Madras 港は範を本港に取つたのであるが、漂砂量が豫想外に甚大であつた爲に失敗に終り、遂に改造するの止むなきに到つたのである。

図-16. 河水量の小なるとき

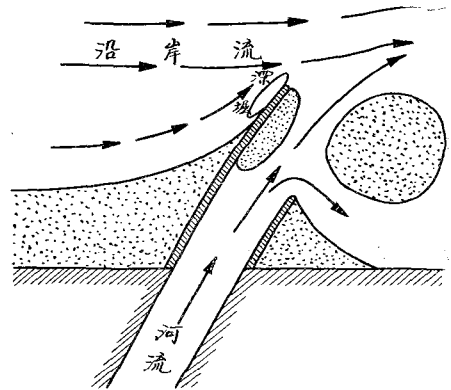


図-17. Ymuiden 港

(Enclosed Harbor として成功したる例)

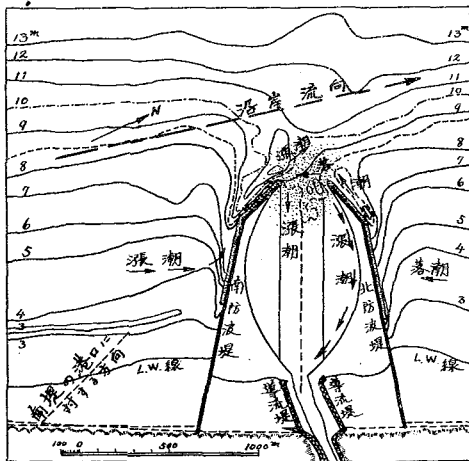
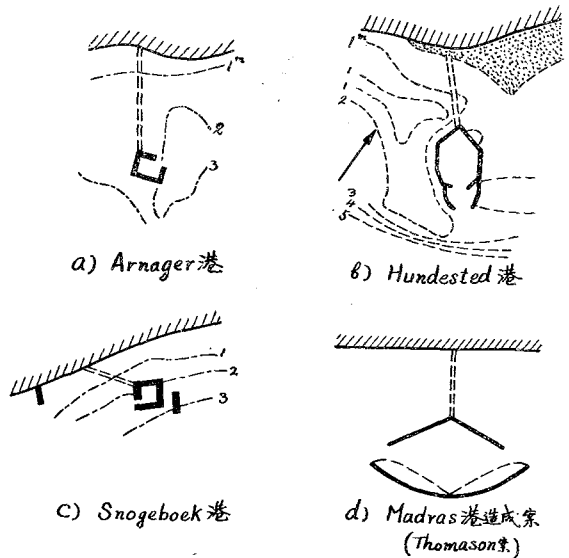


図-18. 島港と漂砂



(13) Otto Schulze: (1), S. 273~4.



本式成功の要件は

- (イ) 漂砂量の頃合なること、
- (ロ) 潮差の相當に存して堤内をして一種の滲水池の用を行はしめ得ること、

である。

(7) 島港を用ふる方式

之は陸地より孤立して 図-18 の如く漂砂の移動範圍外に港口を備ふる様に島港を設け、之を開橋を以て陸地と結合する方式である。

實例： 図-18 (a), (b), (c) の 3 港は丁抹國の漁港で、1893 年工師 H. Zahrtmann 氏が發案して成功したものとして有名である。後年記 Madras 港改築に際して英の Thomason 氏<sup>(14)</sup>が、同地に同圖 (d) の如き案を提唱したことがある。併し本式は大港には未だ応用されてゐない。

5. 浚渫機を利用する様式

(8) 港内面積を廣大に取つて侵入漂砂を廣く撒布せしめ以て水深の減ずるを少なからしめ時々之を浚渫する方式

上記 Enclosed Harbor に於て港口を波高の 8 倍以上の水深箇所に設くるか、又は Madras 港改造に用ひた方式を採用するにしても、早晚漂砂の來積は免れない。故に之等に對して標題の如き方式を応用するときは、港灣の命脈を保つことが出来る。而して Licata 港(シシリー島)、Ymuiden, Madras, 岩内, Empidoels (シシリー島) 及 Kingstown (愛蘭) 諸港の例を見るに、全く開敞せる砂濱に設けられたる港灣に於て、其の港口水深 10m に達せざるものに在つては、港口幅員 1m に對して少くも年々 1000m<sup>3</sup> 内外の堆砂を除去するに足る浚渫機を備へるを要する。

(9) 堆砂池を別に設け、之に漂砂を沈堆せしめて浚渫除去すると同時に、滲水の用を兼ねしむる様式

之は圖-19 の如く河口港に於て応用される方式で、導流堤に近接して堆砂池を設け、河流の齶らせる砂礫の大部分を此處に沈積して航路の水深を保たしめ、潮汐干満の存する地に於ては兼ねて滲水の用をなさしむると共に、堆砂は浚渫機にて除去するの趣旨に出でたる

圖-19. 導流堤と堆砂池とを応用せる方式

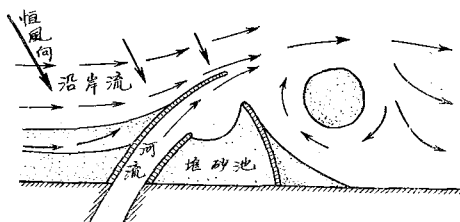
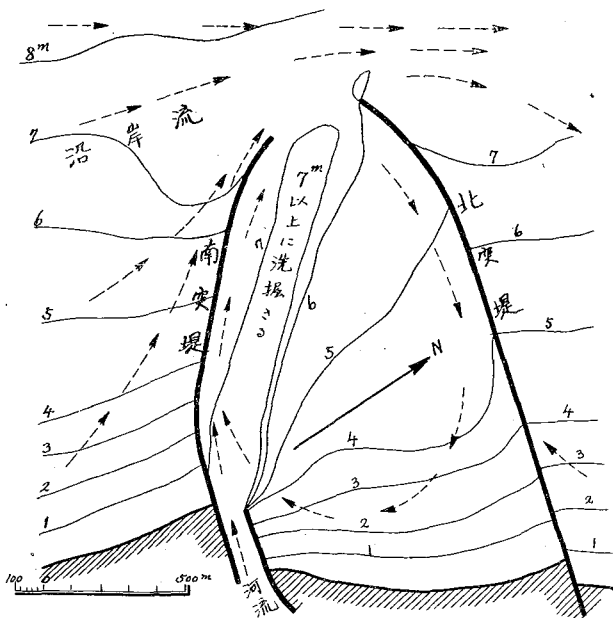


圖-20. Windau 港 (堆砂池応用例)



(14) A. Edward Carey: The Sanding-up of Tidal Harbor. M.P.I.C.E., Vol. 156, p. 227.

ものである。

**實例：** 図-4 に示したる Rügenwaldermünde 港 (獨) は本式に依り、L.W.L. 下 5m の水深を保持するに成功してゐる。又ラトビア國 Windau 港<sup>15)</sup>も本式に則り、水深 L.W.L. 下 7.5m を維持してゐる。図-20 は其の概形である。

## 6. 結 言

以上を要するに漂砂の存する地に築港するは仲々困難なれば、出来得る限り之を避けるがよい。而して如何にしても之を避け得ざる場合には、成るべく自然力を利用して漂砂を他に運行せしむるが得策にして、之を幫助するために人工を施すを要する場合が多い。然れども場合に依つては全然人工のみによりて、真正面より漂砂の防止を企てるの要あることもある。

之等の方法を大別して上記の如く 4 種となしたるも、其の方式は必ずしも單獨に應用するの要なく、數種を併用してもよい。唯、系統を樹てる上の便宜上著者は或範疇を定めたに過ぎない。内、島堤を應用する方式並に堆砂池を設置するの案は示唆に富む様式にして、將來考慮して面白からうと考へられる。又 Enclosed Harbor とする方式は、大港には屢々應用されるものにして實例も亦極めて多いが、浚渫機の援助を忘れることは出来ない。其の他何れの方式に於ても、漂砂の來積を全然防止することは殆ど不可能であるから、浚渫機を備へることは避け得られないと見なくてはならぬ。

---

(15) Leppik: Flussmündungen mit Barrenbildung an der baltischen Ostseeküste. Z. f. Bauwesen, 1927, Heft 1. bis 3