

第十二章 捨石部詳論

第一節 粗石堤

本章にては、捨石堤並に混成堤の捨石部に關し、之を用材別に分離して、各その特長、形狀、等を述ぶるものである。

既述の如く、捨石堤を其の使用せる材料に依つて分てば、粗石堤、捨方塊堤、土砂堤となる、又混成堤下部の捨石部も同様の種類がある。

粗石堤 Rubble-mound-breakwater とは、粗石 (Rubble-stone) を山形に盛り上げた防波堤であつて、防波堤の構造としては、最も簡単なものである。

〔註〕 方塊が多少用ひられたものは、假令粗石を多量に混用して居つても、便宜之を次節の捨方塊堤の方へ編入する事とした。

特長 粗石堤の特長は、前章第二節に掲げた捨石堤の一般的長短の各三項を、何れも兼ねるものであつて、殊に施工と設備との簡易の爲め、古來廣く行はれた様式である。然し多量の粗石を要する爲め、附近に好適の石切場を有する場合でなければ、此様式は實行できない。

又波に依つて、粗石が分散する傾向を持つ事と、粗石の大きさに限りある爲めとに依つて、此様式は、波力強大の所には不適當である、即ち最大波高が大略 4 m 以下の所に用ふべきものと思ふ。

形狀 粗石堤斷面の形狀、即ち上幅、頂面高、側面勾配、等に關しては、前章第三節に於て之を述べたが、尙ほ其の詳細は、後に掲ぐる實例に就て知られたい。

堆積の種類 一般に捨石堤の堆積法には、佛蘭西式と英吉利式との二種がある、即ち波力が影響する強弱に應じ、塊の大きさを大小種々に細分して、上部と表面には大塊を用ひ、下部と内部へは小塊を捨てるものを、佛蘭西式の堆積法と言ふ(圖参照)。之に反して塊の大小に頗著せず、均一に堆積するを、英吉利式と呼

ぶ。前者は理論的であるが其の施工は多少複雑となる。

本邦の捨石堤は、純

佛蘭西式の如く詳細に分類しないが、普通その大小を二種乃至三種ほどに區別して堆積する。

粗石の大きさ 粗石の塊の大きさは、勿論波力の強弱に應じて一様でない、今之を波高大略 4m までの、外海に近い所と、波高約 2m 以下の内海とに依つて、粗石の大小を分類した大凡の標準を記す。

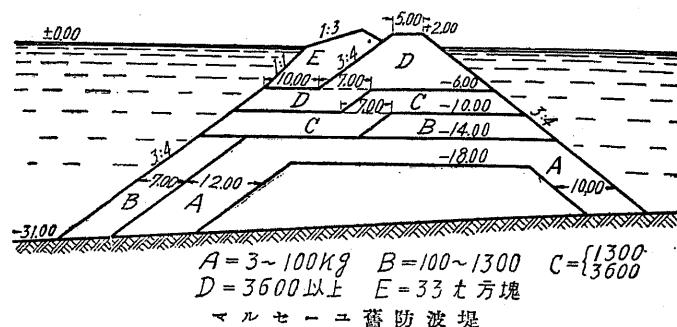
波高 4~2m {
表面 5,000~1,000 kg
内部 1,000~100 kg

波高 2m 以下 {
表面 1,000~200 kg
内部 100~40 kg

波高 4m までは、粗石堤の適する大略の範囲であるが、若し夫れ以上の荒海へ之を用ふる時には、勿論前記の 5 塵よりも更に大なる粗石を用ひる、例へば、三國港にては 10 塵までの大石を使用した、又地中海の諸港でも 10 塵までの大石は屢々用ひらるゝ、然し最も多い石は 2~5 塵であると言ふ。尙ほパナマのコロン港にては 15 塵の大石が使用された。

之と反対に小さい實例には、前記の 40 kg より小なるものもある。即ち波が特に静かなる内海の粗石堤、或は水深大なる大粗石堤等の下の内部へは、時として 5 kg の小石をも用ひる。

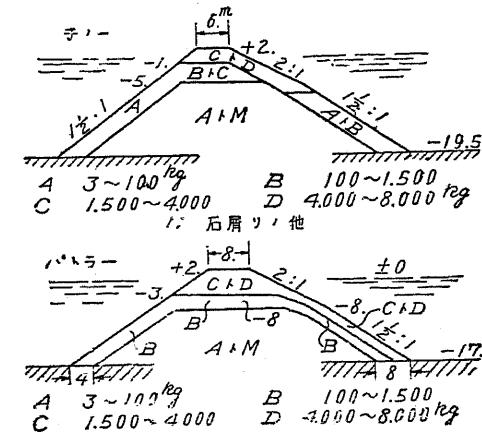
〔註〕 以上の粗石大小の分類は、各部に於ける主要なる粗石に就て言ふものであつて、



其の石の間には、勿論若干の小石が挟まれて居る、即ち全部同一の塊のみ揃へる意味ではない、蓋し大石の間隙に、小石が挟まる方が波力に對して強くなる。

〔註〕 粗石の大きさを表はすに、以前は貫を以てしたが、漸次 脊或は 鮎で表はす様になる、又立方メートルで表はす事もある。

1,000 kg、即ち 1 鮎は約 266.7 贫、或は約 0.98 噸である、又粗石 1 m³ の重量は、第五章第三節に記した如く、硬質の粗石ならば大略 1.6 鮎に當る。



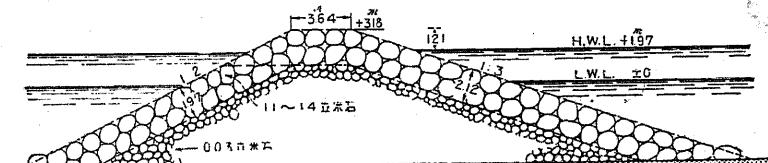
チノー港とバトラ港との粗石堤

品質 粗石の品質は、第五章第三節に述べた如く、比重大にして、硬度強く、崩壊せざるもののがよい、例へば安山岩、花崗石、等は最も上等である。

尙ほ又なるべく角張つたものの方が、各の嚙合せよく波にも強い、例へば石山から切出した粗石は、海濱の轉石よりも、波に對して結果がよい。

已むを得ずして、土丹岩の如き柔質の石を用ひる場合には、堤の内部或は下部へ置き、表面へは硬質のものを被せる。

施工 粗石堤の施工に於て、基礎、運搬投下、仕上等に分けて順次説明する、その中で先づ 基礎 の事から記す、但し茲に述べる基礎の問題は、獨り粗石堤ばかりでなく、總ての捨石堤と混成堤との基礎に當てはまる。



伊東の捨石堤

基礎の地質が、例へば良質の砂地の如く、其の耐支力が充分の場所に於ては、地盤の上へ直に粗石を投下するのである。

然るに柔弱なる泥土の所に於ては、地盤の改良と底部の擴大とに依つて、耐支力の不足を補ふ。

その中で、地盤改良 の工法としては、例へば神戸の混成堤に於けるが如く、良質の荒砂を以て、柔弱の泥土と置き換ふるのが、最も有效である、如斯き地盤改良を行はず、泥土そのまゝの所へ粗石を投下する時は、徒に泥土の中へめり込んで、多量の石材を要し甚だ不經濟である、其の適例は大阪の捨石堤に見る。

前記の置換砂の厚さは、厚薄様々であるが、普通5m前後のものが多い。

次に底部を特に擴大して、單位荷重を低減せしむるには、例へば四日市の捨石堤に於けるが如く、高價の粗石の量を省く爲めに、堤體下部の中詰の材料に砂、砂利の類を大に用ひる、又名古屋、キール港の如く粗朶沈床を敷く事もある、但し上記の如く中詰に砂や砂利を用ひ、或は粗朶沈床を用ひ得る場所は、一般に波高の小なる内海の港に限られる。

〔註〕置砂を施す工法としては、地盤の泥土を多少浚渫して、其の凹所へ砂を投ずるものがある、然し水深大なる海底を、更に深く掘る事は、容易でない爲め、地盤その



粗石取扱の状況

まゝの上へ、單に盛砂をなし、其の自重に依つて、沈下せしむる工法を取る事もある、尚ほ奇抜のものには、盛砂を火薬爆破に依つて沈下せしめたり、或は巨大なる噴射水に依つて注入するものなどある。

以上の説明に依つて、基礎施工に關する記事を終つたから、次に粗石の取扱、運搬投下、石均し等の施工に就て記す、尙ほ切出に就ては、既に第五章第三節に於て之を述べた。

一般に粗石の取扱に於て、一箇の目方約 100 kg までは、人手に依つて動かし得るが、それ以上になると起重機を利用する、但し此起重機は、普通木造の簡易構造のものである(寫真参照)。

次に石山より防波堤の位置へ運搬するには、陸上、海上の二種ある。

前者は、臺車へ載せてレールの上を運び、後者は、運搬船へ入れて運ぶ。

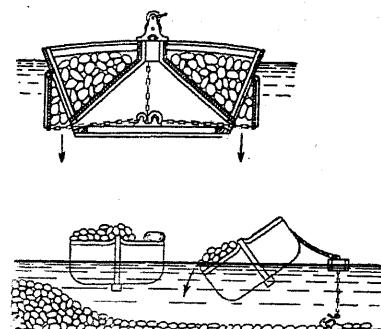
粗石用の運搬船としては、普通の帆船を使用する場合もあるが、多くは圖の如き底開船、若くは甲板張船へ積んで、曳船にて曳送する。

此底開船のホッパーの周囲には、木を張り、石に依つて、破損されない様にしてある。

底開船に依つて運ばれたものは、其の底を開いて所定の位置へ投下すれば足りる、又甲板張船にては、船を傾けて片側から落し、或は起重機の力を借りて投下する。

次に粗石堤の仕上施工の説明に先だつて、粗石投下後に起る堤體沈下の原因に就て記す、即ち其の原因は、次の三つとなる。

- (1) 地質柔弱のため、地中へめり込むもの
- (2) 波浪に依つて、散亂するもの



粗石運搬船

(3) 水の動搖に依つて、粗石間の隙間が少くなる爲め

以上の中で(1)の地質柔弱に關しては、既に之を記した、尙ほ此沈下の多き所にては、堤體斷面積の二倍以上の粗石を要する事が稀でない、次に(2)の散亂は、荒天時に積上げた上部の粗石が崩れて、下部へ廣がるものである、從て荒海の粗石堤では、堤體立積より5割以上も多き粗石を要する事がある。

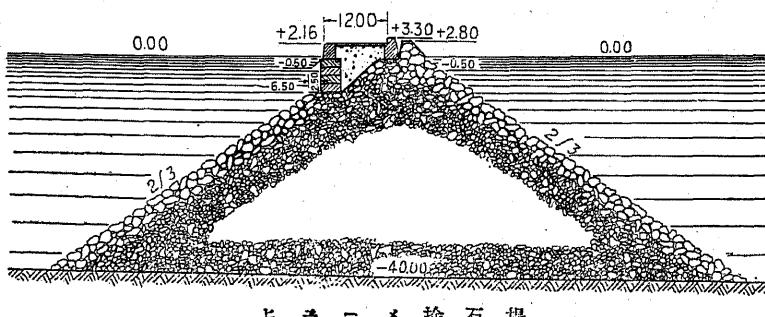
この如く波浪に依て散亂されなくとも、粗石積を暫らく放置する時は、(3)の如く多少の波の動搖等に依つて、次第に落著き間隙が詰まつて小さくなる、其の爲に堤體は1~2割ほど收縮する。即ち是等の沈下收縮を當初より考慮して、粗石の使用數量を見込むべきは、言ふ迄もない。

尙ほ又表面最後の仕上げは、粗石投下後に相當の期間を置き、充分沈下收縮したる後に行ふがよい。例へば本邦の荒天期は冬であるが故に、捨石堤の仕上は、少くも一冬越した後に行ふべきである。

水中の石均しが潜水夫に依るは言ふ迄でもない、又水上にては、起重機等の力を借りて均らす、是等の均し方は、各塊が互に噛み合ふ様に並べる事が肝要で



プリマウス捨石堤



ヒューム捨石堤

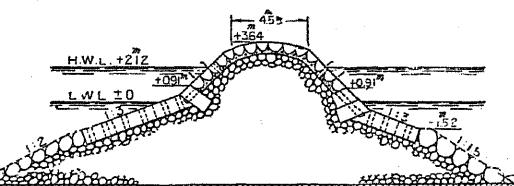
ある。

殊に頂面の噛合せは最も注意する、尙ほ此頂面へは、嘗て述べた如く、時として割石を張り詰めたもの、又は場所詰コンクリートを施し、或は方塊を置いたもの等がある。

伊東の捨石堤の頂面は、單に大石の噛合せに止めてあるが、プリマウス港とヒューロン河口等の捨石堤では、其の干潮面上の表面を、全體割石を以て張り詰めた(圖参照)。又三國港の捨石堤は、修繕の際に、其の頂面の粗石間へコンクリートを詰めた、尙ほ場所詰コンクリート、或は方塊を頂面へ載せた粗石堤の實例には、ヒューム港、キングストン港を始め相當に多い。

又油津の捨石堤は、其の上部に石張を施し、後に述ぶる混成堤に稍々似たる形狀を呈する(圖参照)。

〔註〕粗石の價格、即ち火薬代、穿孔、積出、運搬、投下、等の大略の費用は、第五章第三節の註に於て、之を記した。



油津の防波堤

次に石均しの費用は、 $1 m^2$ の表面を均すに、約5~6圓ほどかる。即ち潜水夫一組と人夫一人とにて、一日約 $3.3 m^2$ 、即ち面一坪を仕上げる。

第二節 捨方塊堤

捨方塊堤とは、粗石の代りに、混擬土塊(Concrete block)即ち方塊を堆積した防波堤である。

特長 捨方塊堤の特長が、前章第二節に掲げた捨石堤の一般的長短を有するは、言を俟たない、然し同じく捨石堤に屬する前記の粗石堤と比較すれば、多少異なる所がある。即ち方塊は、粗石と異なつて、塊の大きさを任意に大きくなし得る

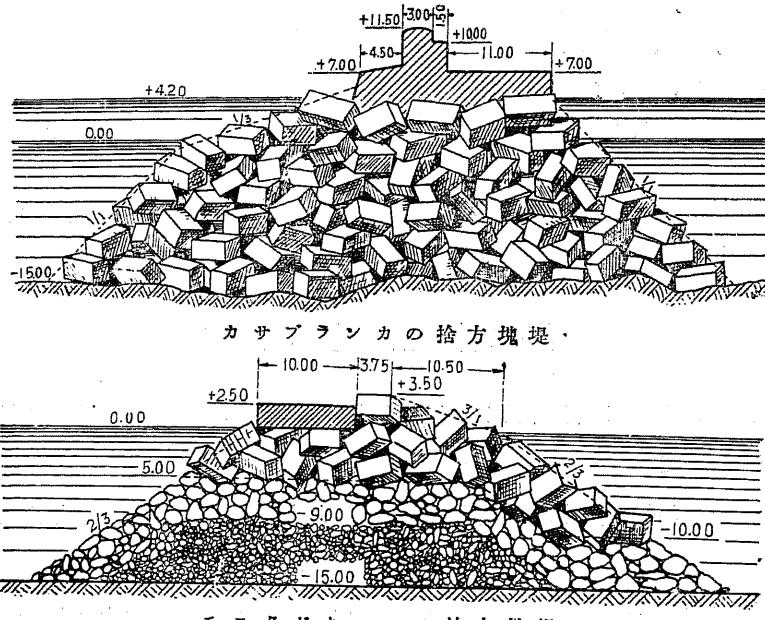
が爲めに、此捨方塊堤は、粗石堤よりも、更に強大なる波力の所へも適合せしめる事、又側面の法勾配を急にして、堤體の立積を節減し得る事、尙ほ石切場が無くても、施工し得ること等の長所を有する。

然し粗石堤に比して劣る點を擧げれば、其の工費一般に高き事、施工用の設備複雑なる事、比重小さく大塊を要すること等である。

〔註〕 粗石堤の場合の如く、石切場を必要としないが、砂、砂利の供給潤澤なるを要する、但し砂利が無ければ、碎石を用ひる。

方塊と粗石との比重の比は 2:3 であるを以て、水中に於ける重量の比は 1:2 となつて、其の點は甚だ不利であるが、然し一方に於て、塊の大きさを、自由に大きくなし得る爲めに、其の缺點を補つて餘りある。

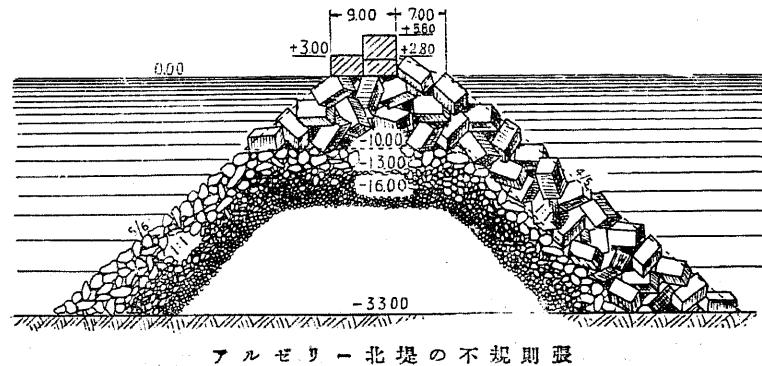
形狀 捨方塊堤の断面の形は、前章第三節に述べた如く、側面の法勾配は、約一割ほどの急勾配を用ひ、又其の頂面の上幅は、普通 7m 前後のものが多い、然し是等には勿論例外も少くない。



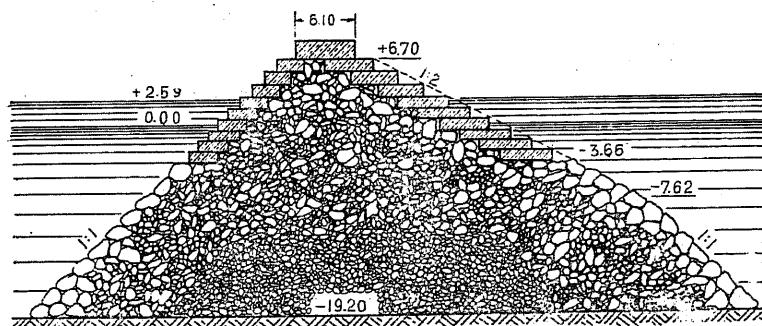
堆積の種類 捨方塊堤の堆積方法は、之を二種に大別し得る。即ち、堤體の中から殆んど全部を方塊で堆積したもの、又上部の表面だけを方塊にて被覆したものとである。

前者の實例としてはカサブランカ、リボオ等の防波堤がある、又後者には、大阪、四日市、マルセーユ、アルゼリー、モスタガネーム等その實例は頗る多い。

尙ほ後者の上部表面だけを方塊で覆ふものに於て、更に其の並べ方を細分すれば、不規則に堆積するものと、規則正しく並べるものとの二つとなる、而して規則正しく並べものは、之を階段形となす場合が最も多い。



アルゼリー北堤の不規則張

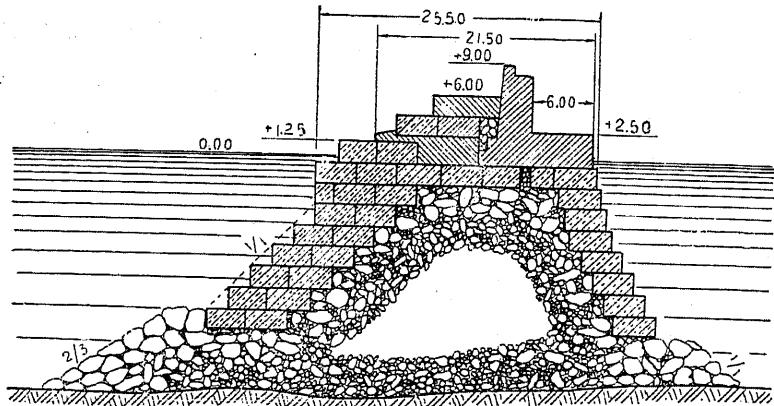


サンディベーの階段張

不規則張の實例は、オラノ、アルゼリー等、又階段形に規則正しく並べたもの

には、サンディベー、シビタベキア等である(圖参照)。元來此階段形の實例は、伊太利に最も多く、従つて之を伊太利式と呼ぶ事がある。

本邦に於て、方塊を階段形に積み、中へ粗石を詰めた所謂伊太利式に稍々似たる防波堤は、大分、敦賀舊堤等決して少なくないが、其の上部が直立體の形狀に近く成つて居るが爲めに、是等は捨石堤よりも寧ろ混成堤へ編入すべきものと思ふ。

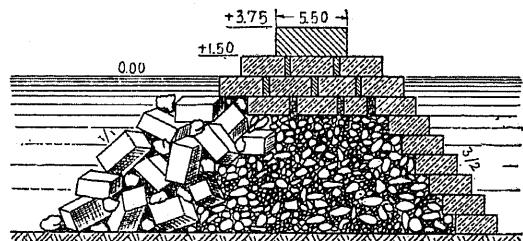


シビタベキアの階段張(伊太利式)

四日市の防波堤に於ける方塊の張方は、規則正しきもの一種であるが、其の置き方に特異の點がある、即ち法面へ方塊を各々傾けて据えた、従つて其の表面は鋸状の規則正しき凹凸を呈して居る。

リボオの防波堤は、不規則と規則正しきものとの混用の實例である(圖参照)、即ち外海へ面する方は、不規則堆積となし、港内へ面する方は、階段形となした。

方塊の大さ 既に述べた如く方塊の水中重量は、粗石の約半分に過ぎない爲めに、



リボオの階段と不規則張との混用

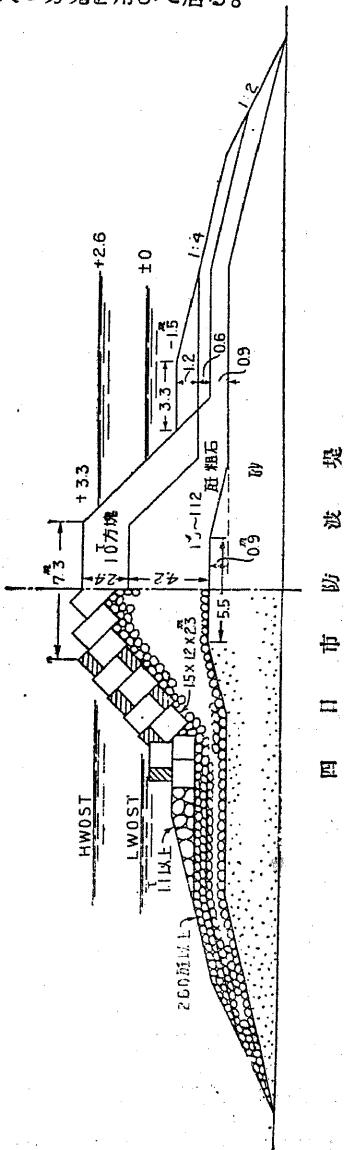
方塊の大さは、粗石に比して、二倍以上大きくすべき理窟である、然し實際は、其の製造が容易の爲めに、それよりも遙かに巨大の方塊を用ひて居る。

而して此方塊の大さの決定は、勿論波力の大小に應じて定むべきであるが、今茲に捨石堤表面に用ひる方塊に就て、波高と共に重量との大略の標準を次に示す。

波 高	方塊重量
2~3 m	10噸
3~4	15
4~5	25
5~6	40
6 m 以上	60

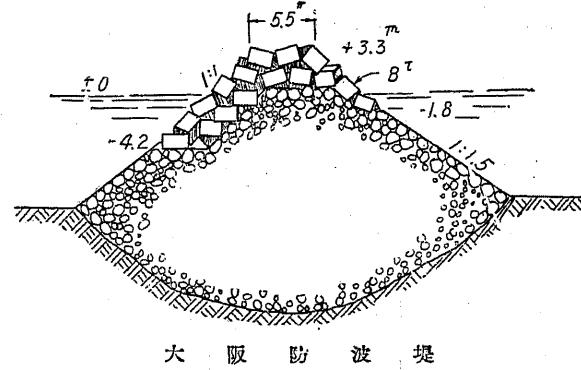
〔註〕 本邦の實例に依れば、大阪 8 塚、四日市 10 塚の方塊であつた、尙ほ又外國の實例を次に列舉する、即ち全部方塊堆積のリボオの方塊は 24 塚であつた、また表面へ不規則に堆積した實例を記せば、マルセーユ 33 塚、アルジール 35 塚、ゼノアのガリーラ堤 35~40 塚、アレキサンドリア東堤 40 塚、サンアントニオ 40 塚、レキシス 45 塚、バルセロナ 60 塚。

次に表面を規則正しく階段形に張つた實例には、サンディベイ表法 8 塚、裏法 3 塚、アレキサンドリア西堤 20 塚、モナコ 33 塚、シビタベキア 35~40 塚、セト 47 塚。



四日市防波堤

〔註〕方塊の大きさを表はすに、前記の如く重量を以てするの外に、立積即ち立方米を以て表はす事がある、而して方塊 1t は、約 2.35 立方メートルに當る。又若し之から水中の浮力を引けば $1m^3$ 約 1.35 立方メートルとなる。



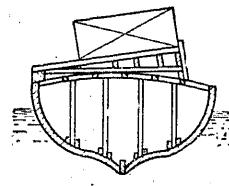
大阪防波堤

施工 方塊の製造と積出との施工に就ては、第七章第二節に詳しく述べた、次に方塊の運搬には、粗石に於けるが如く、陸上と水上との二通りある、陸上に依るものは、臺車に載せて現場に送り、タイタン等にて投下する。

次に水上運搬のやり方には種々の工法がある。例へば方塊を先づ甲板張船へ載せ現場へ送つて、其の船を多少傾けて滑り下ろすもの、或は其の甲板張船上の方塊を、浮起重機の力に依つて下ろすもの、又直接に大なる浮起重機の上へ、澤山の方塊を積んで、現場に至つて吊り下ろすもの、又相並ぶ浮函の間に吊つて運ぶもの等種々ある。其の際に必要な塊釣器(Lewis)に就ては、第六章第三節に之を記してある。

起重機にて吊り下ろす時には、普通は潜水夫の手を借りて、適當の位置に積ましむる。又方塊間の隙間に粗石をなるべく詰めるがよい。

次に頂面の仕上は、粗石堤に於けるものと略々同じである、例へば場所詰コンクリートの上置を施すものが多い、若しそこに胸壁を置く際には、胸壁前に於ける捨方塊との隙間の填充を、忘れない様にする。



方塊運搬船

尙ほ捨方塊より下層の粗石部、或は基礎等の施工は、前に述べた粗石堤と勿論同様である。

〔註〕四日市の方塊張の作業には 20 噸揚浮起重機 1 台、甲板張の運搬船 4 艘、曳船 2 艘、潜水夫 3 組を以て、10 立方メートルを一日に平均約 50 箱積んだ、而して其の作業費は一箱當り約 5 円ほどであった。

第三節 土砂堤

こゝに土砂堤とは、堤體の大部分を、土砂の堆積より形め造る防波堤である。特長 波力に依つて崩壊され易い爲めに、波の静なる所、例へば波高約 1m 以下の所に用ひらるゝに止まる。然し土砂の単價が安價のため、其の築造費は低廉である、又浚渫の土砂を之に利用し得る等の利益もある。

要するに土砂堤は、波に對し甚だ弱き爲めに、粗石の單價の高き所などの特別の場合に限つて、稀に實施せらるゝに過ぎない。

形状 土砂堤は、特に之を廣く造るのが普通である。

例へばキールの防波堤の上幅は 35m 東京の上幅は 36m ある。

次に頂面の高さは、一般に之を高く造つて、越波に依る洗流しを防ぐ、例へばハーリンゲン(和蘭)の頂面高は、満潮面上約 4.2m に及び、東京は約 2.5m である。兩側の法勾配は、波高の小なる爲め、案外急である、例へば東京 1.5 割、キール 1~3 割、ハーリンゲン 2~4 割である。

次に兩側法面の保護工事としては、干潮面以下に、捨石、或は粗朶を用ひ、干潮面上へは、普通割石或は間知石を張る、東京にては 75~110 kg の割石を張り、其の下に厚 0.9m の割栗層と、厚 18cm の砂利層とを置いて、土砂の流出を防いで居る、ハーリンゲン等の和蘭の土砂堤に於ては、石張の下に、煉瓦屑、粘土、藁包柴などの層を幾重にも敷く、又干潮面以下には、其の兩側に粗朶沈床を積み重ねてある、又キールにては、干潮面以上に粗朶を施した。

〔註〕幅狭き和蘭の土砂堤に於ける頂面は、全部石張にて被覆するが、幅廣き土砂堤に於ては、僅にその法肩の4~5mを張るに止むる。

施工 土砂堤築造の工法は、埋立と浚渫との應用である。即ち土砂を陸上より搬出するもの、土運船に入れて運ぶもの、ポンプ船にて送るものなどの施工方法がある。

此中でポンプを用ひる時は、其の施工費は最も安く、工程も亦迅速に進捗する、然し兩側から土砂が流失して、之が對策には相當の苦心を要する。

施工中の土砂流失を防止するには、工事の進むに従つて、兩側へ或は側板を假に立て、或は粗朶、粗石等を利用して圍を造り、其の中へ土砂を送り、次第に上層に及ぶのである。

〔註〕東京の土砂堤は、浚渫土を主としてポンプで送つて築造した、其の工費は、大略 1m 550 圓ほどであるが、其の中で石張と捨石との工費が 6 割以上を占むる。

