

第十一章 防波堤構造一般

第一節 防波堤構造の大別

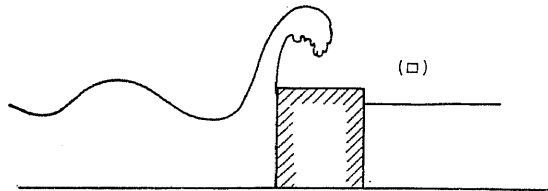
對波作用 既述の如く防波堤は、波浪の侵入を防止して、港内の靜穩を期するを以て其目的とする。

然らば如何なる構造を以て此目的を達するかと言ふに、先ず防波堤が強大なる波力に對抗し得べき構造たるは勿論であつて、更に其形状と波浪との關係は、次の二種類に分ち得る。

(1) 波浪を堤體の傾斜面へ奔流せしめて、波勢を減殺するもの (1圖参照)



(2) 波浪を直立の堤壁面へ衝突せしめて、波の進行を沮止するもの。(2圖参照)



防波堤の對波關係

即ち次に述ぶる捨石堤は第一の場合、直立堤は第二の場合、混成堤は其兩者を兼ねる。

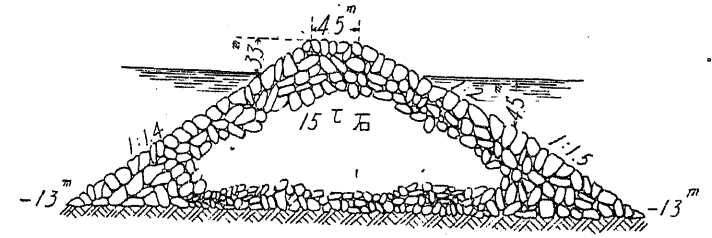
第一の傾斜面へ奔流せしむる者は、越波の傾向が多い、然し堤體に及ぼす波力は小さい、又第二の直立面にて沮止する者は、越波の影響を少くし得るが、堤體に及ぼす波力は、激發されて大くなる、尙ほ詳細の長短は後に説明する。

構造の大別 防波堤を其構造の形状より大別すれば、次の三様式となる。

- (1) 捨石防波堤 (Mound breakwater)
- (2) 直立防波堤 (Upright breakwater)
- (3) 混成防波堤 (Composite breakwater)

混成堤は之を更に高基と低基との二つに分ち得る。

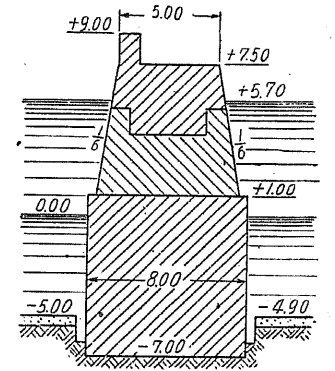
捨石堤とは粗石、方塊等



捨石防波堤 (巴馬コロン港)

を堆高く山形に盛り上げた者であつて、此堤體の兩側は傾斜面をなす。

直立堤とは、方塊、石砕、函塊或ひは石材などを以て、其の兩側を殆ど鉛直に近く築き上げたものである。

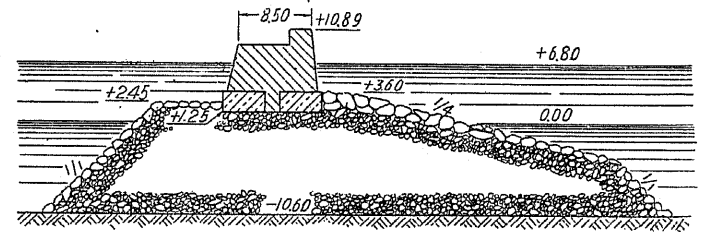


直立防波堤 (サンナザール港)

混成堤とは、下部が捨石式で、上部が直立式の者であつて、其直立部の基礎が、干潮面より上に在るを高基と言ひ、下にあるを低基と稱する。

以上の三種の防波堤と對波の關係は、既に述べた如く、捨石

堤は波を傾斜面に奔流させて、其波勢を減殺するものである、又直

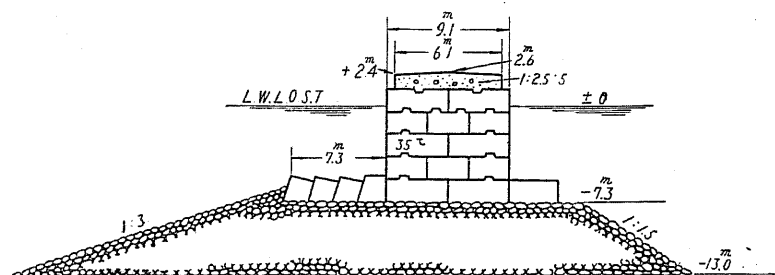


高基混成堤 (シエルプール新堤)

立堤は波を直立面へ衝突せしめて、之が進行を沮止するものである。

次に高基混成堤に於ては、下部の傾斜面にて、先づ波勢の大半が減殺せられ、其殘餘の波勢が、上部の直立堤にて防止せらるゝのである。

然るに低基混成堤に於ては、波勢の大部分を、其直立部にて沮止せしむる者で

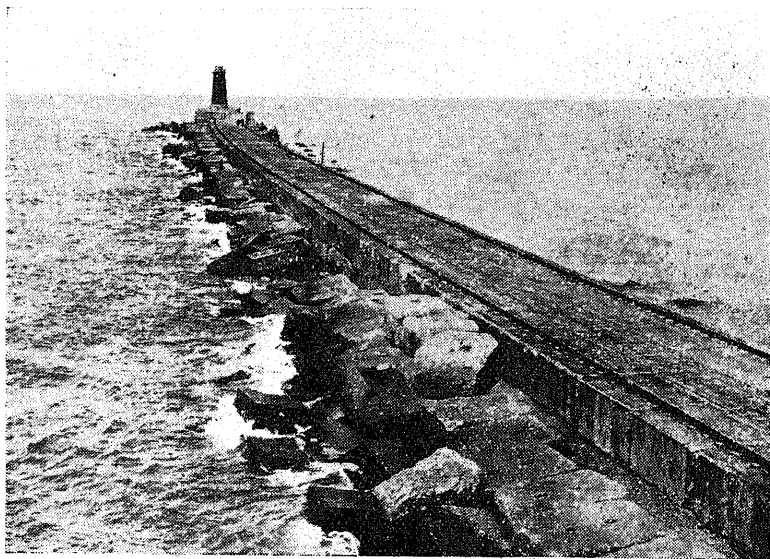


低基混成堤(釧路港)

あつて、前記の直立堤の作用に近い、即ち下に置かれた捨石部は、単に直立部の堤高等を節約する爲め、或は地質堅固ならざる所の基礎工としての意味を有するに過ぎない。

(註) 尚ほ低基混成堤に於ける對波の關係を詳しく記せば、直立部へ衝突した波勢は、或は上方へ、或は下方へ向ひ、前者は跳波と成つて天に沖し、之が落下して堤頂面と背後の堤基を侵す、而て下方へ向ふ波勢は堤脚を洗掘せんとする。

用材種類 堤體を構成する使用材料に依つて分けた、防波堤の名稱を記す。



捨方塊上に方塊積を置ける新潟防波堤(工事中の寫眞)

捨石堤には、粗石堤、捨方塊堤、土砂堤などがある。

直立堤には、石張堤、石枠堤、方塊積堤、函塊堤などがあり、又稀に矢板堤、單塊堤等もある。

混成堤に於ては、前掲各種を組合せて出来ただけの種類が有り得るのである。然し其中で最も多いものは、粗石或は捨方塊の上部へ方塊積堤、函塊堤、石張堤等を置いたものである。

第二節 各様式の長短

前節に記した、防波堤の三大別に就て、各の長所と短所とを記す

捨石堤 の長所及び短所の中にて、その主なるものを次に述べる。

長所

- (1) 海底地質の柔弱なる所にも、適應せしめ得る事
- (2) 施工容易にして、其設備も簡單なる事
- (3) 補修の容易なる事

短所

- (1) 堤體の斷面積大なる爲め、多量の材料を要する事
- (2) 波力強大の所にては、箇々の石が分散して、常に修繕を要する事
- (3) 越波の多き事

直立堤 の長所及び短所の中にて、之が主なる者のみを記す。

長所

- (1) 堤體の斷面積小なるを以て、用材が比較的少なき事
- (2) 堤體内の各部の結合が稍々堅固なる事
- (3) 防波堤の内側を、繫船岸壁に利用し得る事

短所

- (1) 之が施工は海底地質の強固の所に限る事

(2) 水中の施工困難にして、其設備も複雑なる事

混成堤 は前兩者の組合せに依つて、各の長短を相補ふ者であつて、之が長所と短所の主なるものを記せば、次の如くである。

長所

(1) 地質柔弱の所にも、適應せしめ得る事

(2) 上部堤體の押す力に依つて、下部捨石の散逸を防ぐ事

尙ほ、高基混成堤ならば、上部の直立部は、之を水上にて施工し得る爲め、其作業が容易である。

又海底に深淺の差異多き所に於ても、單に捨石層の厚さを加減する事に依つて上部直立部の高さを一定になし得るが爲め、例へば函塊の如く、同一寸法を便とする場合には、好都合の事もある。

短所

(1) 施工と設備とが複雑なる事

(2) 直立部に依り、波力が激増されて、或は堤脚洗掘の虞ある事

適否 之を要するに、波力著しく大ならざる所、例へば波高約3米以下の港にして、石材の運搬供給の便多き場合、若くは地質柔弱の所等には、捨石堤を有利とする。

之に反し、海底が岩盤なるか、或は石材高價なる所、又は波力強大なる港等にては、直立堤を選ぶがよい。

次に水深大なる所、或は波力大なる所、又は地質柔弱の所等にては、混成堤を可とする。

然し茲に注意すべきは、水深淺き岩盤の所にて、下部捨石層の厚さ僅少なきときは、強暴なる波力が其捨石層へ潛入して、直立堤を下より持ち上ぐる力となつて、甚だ危険である、如斯き箇所は須らく岩盤より直に直立堤を築くべきである。

第三節 防波堤の断面概略

本節にては各様式の断面形に就て、その一般的の概略を記すに止め、詳細の形状に就ては、之が用材の種類に依つて、其趣を異にするを以て、之を次章の實例に譲る。

捨石断面 頂面の高さは、満潮(大潮平均満潮)面上2米前後を以て普通とする。但し稀には、満潮面と略等しき低いもの、或ひは満潮面上4米以上も高くする場合もある、言ふ迄でもなく、之を高くすれば、越波が少なくなるが、材料を多く要する。

頂面の幅は、粗石捨石堤にて、普通4米或は5米前後のものが多く、又方塊捨石堤では7米前後のものが多い、但し之には勿論例外もあつて、ブリアウスの如きは上幅17米に及ぶ。

尙ほ頂面の形状は、粗石或ひは方塊を捨て、單に此等を嚙合せる程度に仕上げもの、或ひは此頂面にコンクリートを敷き、又は割石、方塊等を以て頂面を張詰めたもの等がある、何れも散逸を防ぐ爲めである、詳細は次章の實例を見られたい。

次に捨石堤の兩側面の勾配の緩急を定むるには、次の如き事情を考へる。

(イ) 波力の大小に依つて緩急を定める

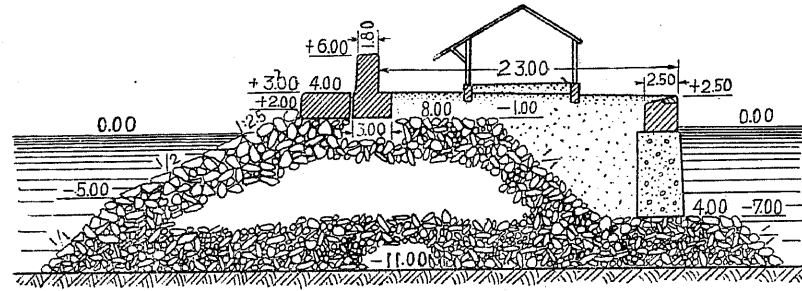
(ロ) 外海へ面する外側の勾配は一般に緩にし、港内へ向ふ内側の勾配は之を急にす。

(ハ) 上部は緩にし、下部を急にす、但し淺い所では上下に依つて緩急を分つことなく、一樣にする。

尙ほ、用材の大小に依つて、緩急を加減する事がある、例へば捨方塊の場合には普通1割の如き急勾配を用ゐる。

外側の勾配は實例に依れば、普通上部が3乃至4割に始まり、下部に至るに従

て、之を急にし、約1割5分に止める、但し深海の所では、其最下部の勾配を1割とする場合がある。



防波堤の内側を埠頭に利用せる實例（アンチパリー港）

次に内側の勾配は、普通2割前後で始まり、下部へ行くに従て急にす、即ち最下部では1.5割或は1割となる。

側面の形状は散逸を防ぐために、各塊がなるべく噛合ふ様に置く、殊に其頂面は入念に仕上げる、尚ほ此頂面へ時として割石を張込むもの或は場所諸コンクリートを施し、或は方塊を置くものがある、之は捨石の散逸を防ぐ外に、或は之に依つて越波を防ぐ胸壁となし、或は内側を埠頭に利用する等の目的をも兼ねしむる事がある。但しこの如く頂面に置ける構造物の形が大きくなれば捨石堤よりも寧ろ高基混成堤に近づく事となる。

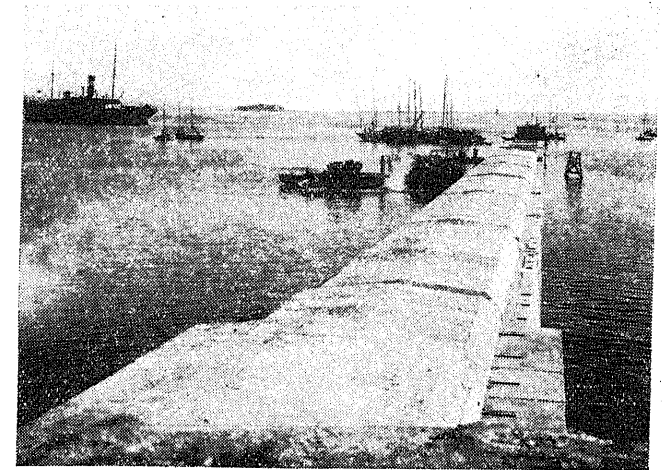
次に捨石堤體の外部と上部とに大塊を用ゐる、内部及び下部になるに従つて小塊を用ゐる、尚ほ此等の形状及び塊の大小に就ては、次章に詳しく述べる。

〔註〕 表法に於て、上部の緩勾配より急勾配に變はる所は、干潮面より下へ、最大波の波高の數より稍々深い所で變へる、例へば最高波3米の所ならば、干潮面下約4米の所で勾配を變へる、又最高波2米の所ならば干潮面下約3米の所で變へるがよい。

直立堤断面 頂面の高さは、満潮面上普通1米乃至1.5米であるが、稀には満潮面と略々等しくした低いものがあり、又防波堤の内側を岸壁埠頭に兼用する場合などには、頂面に高い胸壁(Parapet)を置く、例へばゼノアの胸壁は頂面上4.4米に及ぶ。

之を要するに、頂面を低くすれば越波が多く、高くすれば波力を激發するの傾向を持つ。

頂面の形状は平面よりも稍々中高に仕上げるがよい。(寫眞参照) 又跳波の墜落に依つて破壊せられざる様に特に上等の混凝土を用ゐる、尚ほ所々に継目



鹿兒嶋防波堤の頂面

(Expansion-joint) を置く。

直立堤の幅は、一般に波力の大小に依つて算出するのである、従て内海では、上幅4米乃至5米前後のものが多く、又外海では6米乃至10米のものが多く、但し高雄の如く15米に及ぶものもある、又反對に港内の小防波堤では2米に過ぎない例もある。

尚ほ此堤體の幅は、上幅と下幅と同じもの、即ち兩側が鉛直をなす者もあるが、普通は下部に及ぶに従て其幅を大きくする、然る時は波力に對し轉倒と耐支とに就て有利になる。

方塊積に於て之を階段形に積む場合、或は石張堤などにては、著しく其下幅が大きい、然し函塊堤に於ては、函塊製造の便よりして、上下の幅員の差を大きくしない場合が多い。

〔註〕 頂面の中高の勾配は、普通1:10位である、又 Expansion-joint の間隔は約20米毎であつて、其隙間は約3程ほどである、次に頂面の混凝土の配合は1:2:4(セメント334 瓦)となし、火山灰を混合しない方がよい。

直立體の兩側の勾配を附するに當り、前後を對稱形に傾けるのが普通である、然し稀には前面を垂直に近くし、後面を著しく傾ける事がある、蓋し越波を少くし、又基礎面の耐支力を均等に近からしむる爲である。

混成堤断面 混成堤に於ける直立部と捨石部との境界に高基と低基とのある事は既に之を述べた。

即ち高基に於ける直立部の基礎面は、干潮面より高くする、然る時は其施工が容易である。

低基混成堤に於ける直立部の基礎の水深は、なるべく深くする、其理由は、直立部の前面に於ける洗掘力に對するクッションを厚く

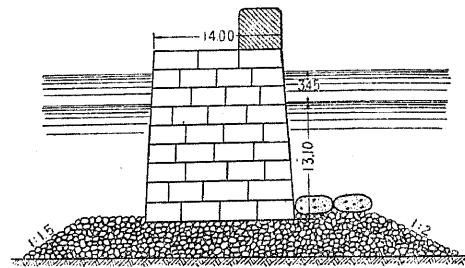
する爲めである、又時として碎波を起させない爲めに深くする事もある。

即ち低基の基礎の水深は、なるべく干潮（大潮平均）面下6米より大なるがよい、然し實際は之より浅い例も多い、蓋し波高の小さい所では、さほど深くする必要がない。

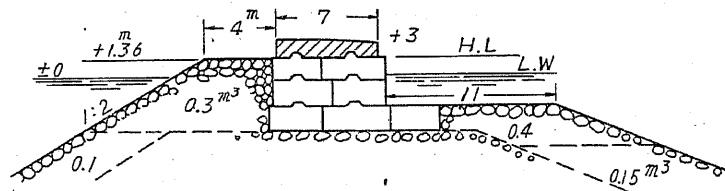
又此直立部と捨石部との境界を定むるに、主として工費上の經濟断面として計算する事が稀にある。

直立部基礎の根入りは、成るべく深くする、荒海に面する所では、普通2米以上入れて洗掘を防ぐ、尙ほ其前面には塊の大なる粗石或は方塊を置いて、直立部の根元を保護せしむる。

一般に
直立部の



直立部の基礎を特に深くせる實例



釜山の防波堤

前後に當る、捨石部の上面は恰も小段の如く平にする、其幅は普通8米乃至8米であるが、更に廣いもの、或は狭いものもある。

又直立部の滑出を防ぐために釜山の如く、背後の捨石を高くして、直立部を深く覆ふ實例がある。（圖参照）

直立部に於ける、頂面の高さ、幅員、側面その他の形状は、前に記した直立堤の場合と同様である。

又捨石部の形状も、既述の捨石堤の場合と略々同じであるが、低基混成堤の如く基面の水深が深い時には、捨石部の側面勾配は勿論急にする、殊に深海の低基堤に於て、碎波を起さしめ無い爲めに、外國では捨石部の側面を1割の如き急勾配とする事もある。

〔註〕 混成堤に於ける、直立部と捨石部との境を何所に置けば、最も經濟的であるかを計算するには、次の如き要領に依る、即ち先づ、捨石部の厚さを x として、各部の斷面積を此 x の函數にて表はし、其各部に各の單價を乘じて總工費 y の算式を作る、此 y が最小の値をなす様に x を決定すればよい、換言すれば此 y を x にて微分して之を0と置けば簡単に所要の x を求むる事が出来る。（廣井博士築港前編 362頁参照）

第四節 防波堤の工費概要

防波堤の築造に要する工費には、其形状、用材、環境、時期等に依つて著しき差異があつて、之を一様に律する事が出来ないが故に、本節にては單に常識的の概念を語るに止める。

單價の算出 防波堤に於ける長さ一米當りの工費を計算するには、先づ其横斷面に就て、各部分に用られたる材料の數量と勞力の員數とを詳細に調べ、此等の數量員數へそれぞれの單價を乘じたるものを加算して求むべきは言ふ迄でもない。

元來防波堤の形状構造は主として、波力、潮差、水深、地質、並に用材の問題等から決定せらるゝ者であるが故に、此等環境の事情如何は、防波堤の單價に至大の關係を持つ、從て此單價が港毎に著しく異なるは已むを得ないのである。

工費實例 今こゝに世界著名の港と本邦港灣に於ける、防波堤の工費に就て、其長さ一米當りの單價を列記すれば、次の如くなる、但し金額の單位は圓である。

ドーバー 9050 圓、サンジュニアリツツ 6400、シエルアール 5600、ブリマウス 5200、ナポリ 5000、セノア 3800、エムイテン 3700、ポートランド 3300、マルセーユ 2800、コロombo 2700、ブローニ 2300、アバデーシ 1900、ニウヘフ ン 1800、室蘭 2100、小樽 1600、敦賀(舊) 1500、今治 1200、函館 990、横濱 250 圓。

以上は築造の年代を異にするが故に、直に之を参考とする事が出来ないから、試に時價に換算せる本邦防波堤の築造費の見込額を次に記す。

即ち、高松港の間知石張堤は一米につき約 160 圓、名古屋の矢板堤は約 500 圓、四日市の方塊捨石堤は約 2000 圓、船川の下部捨石上部方塊積にて 2000 圓、神戸の下部捨石上部函塊にて約 1400 圓、敦賀の下部捨石上部函塊の新堤は 3100 圓、小名濱の方塊積直立堤は 1900 圓である。又留萌の直立堤に至つては約 4000 圓、更に清津、高雄にては 5000 圓以上に及ぶ。

上記の如く本邦にては、防波堤の單價は大小種々の差があるが、之を要するに大略の見當としては、水深 10 米の所にて一米當り約 2500 圓、水深 7 米程の所ならば約 1500 圓、又水深が更に小なる所に於て鐵矢板堤ならば約 500 圓、尙ほ間知石張堤の小堤ならば 200 圓以下であらう。