

# 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、港内の静穏を期するを以て其の目的とする。

然らば如何なる構造を以て、此目的を達するかと言ふに、先づ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、更に其の形狀と波浪との關係は、

次の二種類に分ち得る。

(1) 波浪を堤體の傾斜

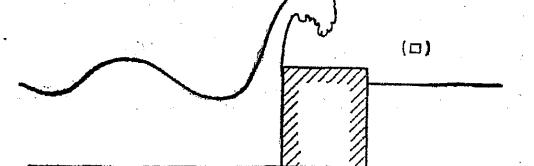
面へ奔流せしめて、波勢  
を減殺するもの(イ圖參  
照)。



(1)

(2) 波浪を直立の堤壁

面へ衝突せしめて、波  
進行を阻止するもの(ロ圖參照)。



(2)

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、混成堤は其の兩者を兼ねる。

第一の傾斜面へ奔流せしむるものは、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阻止するものは、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。

〔註〕 防波堤の使命は、既述の如く對波にあるが、更に防波堤と地震との關係に就て、附記したい。即ち防波堤が地震に依つて、受くる主なる影響は、次の二つである。

(1) 捨石部が地震のゆり込みの爲めに、其の體積を減少する事

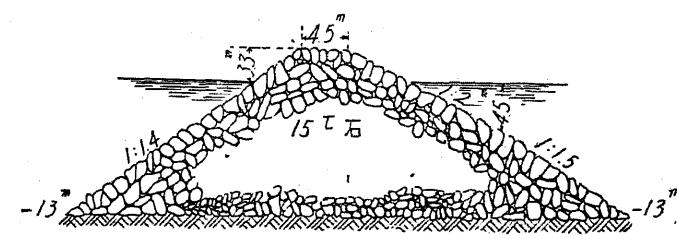
(2) 基礎地盤に於ける 抵抗土壓力の減少の爲めに、其の支持力が低下して、堤體の沈下を生ずる事

## 第一節 防波堤構造の大別

後に述ぶる捨石防波堤及び混成防波堤は、以上二つの影響を受け、又直立防波堤は、後者の影響のみを受ける。

然し防波堤本來の使命よりして、特に著しき沈下なき限り、其の機能は、之に依つて、致命的な影響を受くるものでないから、第二十章第五節に述ぶる岸壁に比して、防波堤の地震の被害は、割合に小さいものと言ひ得る。

因に本邦に於ける防波堤震害の實例は、横濱港防波堤が、大正十二年の關東大地震に於て、約 3 m の沈下を生じた、而して之が復舊工事としては、沈下箇所に於ける頂部へ場所詰コンクリートを施して、高さを補足せしめた。次に又昭和四年の丹那の大地震の際には、清水港内の貯木場防波堤に著しき沈下があつた。



捨石防波堤(巴馬コロン港)

**構造の大別** 防波堤を其の構造の形狀より大別すれば、次の三様式となる。

(イ) 捨石防波堤 (Mound breakwater)

(ロ) 直立防波堤 (Upright breakwater)

(ハ) 混成防波堤 (Composite breakwater)

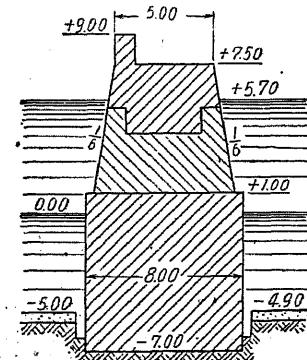
混成堤は、之を更に高基と低基との二つに分ち得る。

捨石堤とは、粗石、方塊、等を堆高く山形に盛り上げたものであつて、此堤體の兩側は、

傾斜面をなす。

直立堤とは、方塊、石柱、函塊、或ひは石材

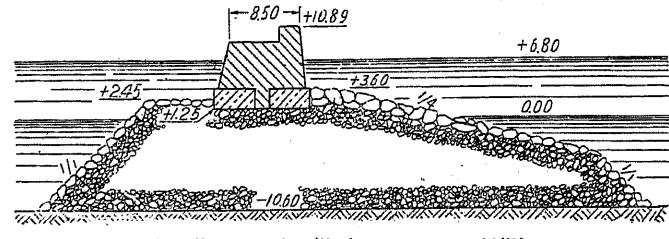
などを以て、其の兩側を殆ど鉛直に近く、築き



直立防波堤(サンザール港)

上げたものである。

混成堤とは、下部が捨石式で、上部が直立式のものであつて、其の直立部の



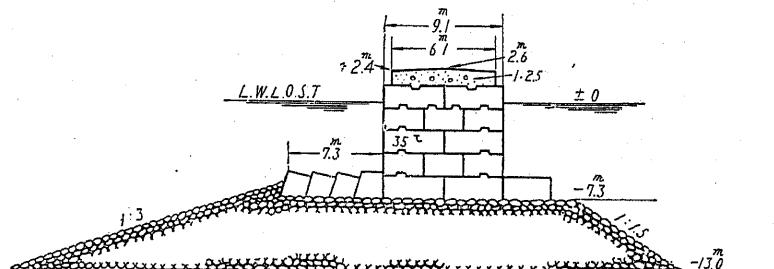
高基混成堤（シェルブルール新堤）

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、其の波勢を減殺するものである、又直立堤は、波を直立面へ衝突せしめて、之が進行を阻止するものである。

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、其の殘餘の波勢が、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、其の直立部にて阻止せしむるも



低基混成堤（釧路港）

のであつて、前記の直立堤の作用に近い、即ち下に置かれた捨石部は、單に直立部の提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】尙ほ低基混成堤に於ける對波の關係を詳しく述べば、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冲し、之が落下して、堤頂面と背後の堤基を使す、而して下方へ向ふ波勢は、堤脚を洗掘せんとする。

用材の種類 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（工事中の寫真）

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、石柱堤、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。

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、其の設備も簡単なる事
- (3) 補修の容易なる事

#### 短所

- (1) 堤體の断面積大なる爲め、多量の材料を要する事
- (2) 波力强大の所にては、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、之が主なるもののみを記す。

#### 長所

- (1) 堤體の断面積小なるを以て、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、直に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、其の設備も複雑なる事

**混成堤** は前兩者の組合せに依つて、各の長短を相補ふものであつて、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、其の作業が容易である。

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 3m 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、又は波力强大なる港等にては、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、水深浅き岩盤の所にて、下部捨石層の厚さ僅小なるときは、強暴なる波力が、其の捨石層へ潜入して、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、其の趣を異にするを以て、之を次章の實例に譲る。

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

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

尙ほ頂面の形狀は、粗石或ひは方塊を捨てゝ、單に此等を疊合せる程度に仕上げるもの、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。

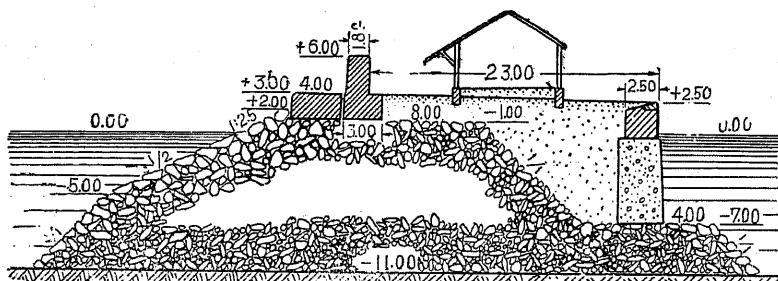
(イ) 波力の大小に依つて、緩急を定める

(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、之を急にする

(ハ) 上部は緩にし、下部を急にする、但し浅い所では、上下に依つて緩急を分つことなく、一様にする

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ひる。

外側の勾配は、實例に依れば、普通上部が3~4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、其の最下部の勾配を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（アンチバリー港）

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る、即ち最下部では1.5割或は1割となる。

側面の形狀は、散逸を防ぐために、各塊がなるべく噛合ふ様に置く、殊に其の頂面は、入念に仕上げる、尙ほ此頂面へ、時として割石を張込むもの、或は場所詰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、大塊を用ひ、内部及び下部になるに従つて、小塊を用ひる、尙ほ此等の形狀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3mの所ならば、干潮面下約4mの所で勾配を變へる、又最高波2mの所ならば、干潮面下約3m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1~1.5m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4.4m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化するの傾向を持つ。

頂面の形狀は平面よりも稍々中高に仕上げるがよい。又跳波の墜落に依つて破壊せられる様に、特に上等の混凝土を用ひる、尙ほ所々に縫目(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4~5m前後のものが多く、又外海では6~10mのものが多い、但し高雄の如く15mに及ぶものもある、又反対に港内の小防波堤では2mに過ぎない

例もある。

尙ほ此堤體の幅は、上幅と下幅と同じもの、即ち兩側が各々直立するものもあるが、普通は下部に及ぶに従て、其の幅を大きくする、然る時は、波力に對し轉倒と耐支とに就て有利になる。

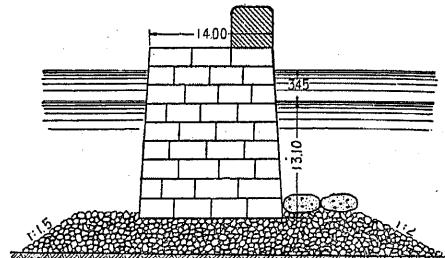
方塊積に於て之を階段形に積む場合、或は石張堤などにては、著しく其の下幅が大きい、然し函塊堤に於ては、函塊製造の便よりして、上下の幅員の差を大きくしない場合が多い。

〔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 m 每であつて、其の隙間は約 3 cm ほどである、次に頂面の混擬土の配合は 1:2:4(セメント 334 kg) 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、又基礎面への壓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、其の施工が容易である。



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、其の理由は、直立部の前面に於ける、洗掘力に對するクツシヨ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 m より大なるがよい、然し實際は、之より淺い例も多い、蓋し波高の小さい所では、さほど深く

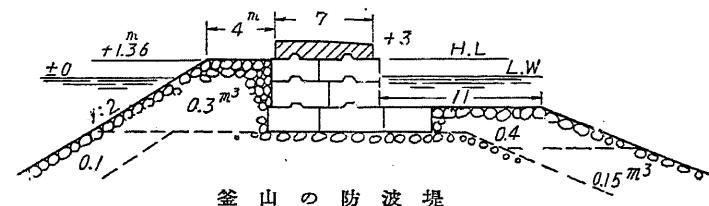
する必要がない。

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斷面として計算する事が稀にある（註と例題参照）。

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 m 以上入れて洗掘を防ぐ、尙ほ其の前面には、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。

一般に直立部の前後に當る捨石部の上面は、恰も小段の如く平にする、其の幅は、普通 3~8 m 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）。

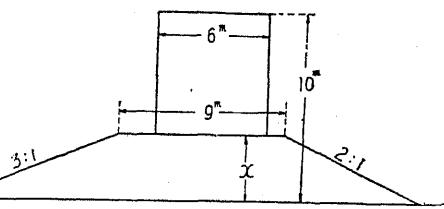
直立部に於ける、頂面の高さ、幅員、側面、その他の形狀は、前に記した直立堤の場合と同様である。

又捨石部の形狀も、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、碎波を起さしめる爲めに、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、次の例題に示すが如く、捨石部の厚さを  $x$  として、各部の断面積を此  $x$  の函数にて表はし、其の各部に各の單價を乗じて總工費  $y$  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)。

[例題 1] 直立部の断面の平均単価 ( $C$ ) を 22 圓と假定し、捨石部の断面の平均単価



( $r$ ) を 5 圓と假定せる

混成防波堤断面

場合に於て、圖に示すが如き形狀の混成防波堤をして、最も經濟的断面たらしむるには、之が捨石部の厚さ ( $x$ ) を何米となすべきや。尙ほ又其の際に於ける、全工費の単価 ( $y$ ) は何圓となるか。

$$\text{直立部断面積} = A = 6(10-x)$$

$$\text{捨石部断面積} = B = \frac{9+(9+3x+2x)}{2}x = 9x + \frac{5}{2}x^2$$

$$y = CA+rB = 22 \times 6(10-x) + 5\left(9x + \frac{5}{2}x^2\right) = 1,320 - 87x + \frac{25}{2}x^2$$

此  $y$  の値を最小ならしむる  $x$  を求むるには、 $\frac{dy}{dx} = 0$  として  $x$  を求むればよい。  
即ち

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d\left(1,320 - 87x + \frac{25}{2}x^2\right)}{dx} = -87 + 25x = 0$$

故に

$$x = \frac{87}{25} = 3.5 \text{ m}$$

即ち經濟的断面に於ける、捨石部の厚さは、3.5 m である事を知つた。

尙ほ其の際に全工費の単価は、次式に依つて 1,168.6 圓となる。

$$y = 1,320 - 87x + \frac{25}{2}x^2 = 1,320 - 87 \times 3.5 + \frac{25}{2} \times 3.5^2 = 1,168.60 \text{ 圓}$$

#### 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、其の形狀、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、單に常識的概念を語るに止める。

単價の算出 防波堤に於ける長さ 1 m 當りの工費を計算するには、先づ其の横断

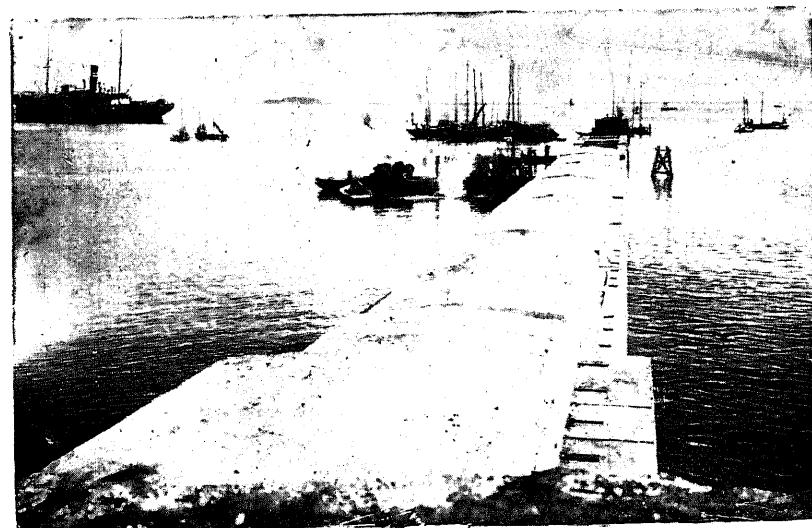
面に就て、各部分に用ひられた材料の數量と勞力の員數とを詳細に調べ、是等の數量員數へ、それぞれの単價を乗じたるもの、加算して求むべきは言ふまでもない。

元來防波堤の形狀構造は主として、波力、潮差、水深、地質、並に用材の問題等から決定せらるゝものであるが故に、是等環境の事情如何は、防波堤の単價に至大の關係を持つ、從て此単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、其の長さ 1 m 當りの単價を列記すれば、次の如くなる、但し金額の單位は、圓である。

ドーバー 9,050 圓、サンジニアントツ 6,400、シェルブル 5,600、ブリマウス 5,200、ナボリ 5,000、ゼノア 3,800、エムイデン 3,700、ポートランド 3,300、マルセー 2,800、コロンボ 2,700、ブローニ 2,300、アバデーン 1,900、ニューヘブン 1,800、宝蘭 2,100、小樽 1,600、敦賀（舊）1,500、今治 1,200、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、



工事中の鹿児島港防波堤

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 1m 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 2,000 圓、船川の下部捨石上部方塊積にて 2,000 圓、神戸の下部捨石上部函塊にて約 1,400 圓、敦賀の下部捨石上部函塊の新堤は 3,100 圓、小名濱の方塊積直立堤は 1,900 圓である。又留萌の直立堤に至つては約 4,000 圓、更に清津、高雄にては 5,000 圓以上に及ぶ。

上記の如く本邦にても、防波堤の単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 10m の所にて 1m 當り約 2,500 圓、水深 7m 程の所ならば約 1,500 圓、又水深が更に小なる所に於て鐵矢板堤ならば約 500 圓、尚ほ間知石張堤の小堤ならば 200 圓以下であらう。