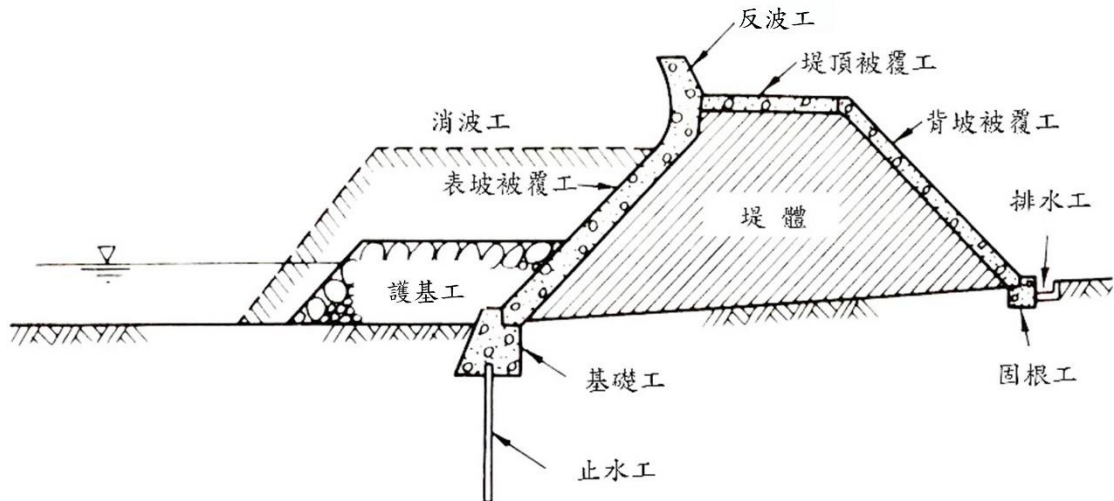


堤防設計

1. 設計條件

堤防是利用填土或混凝土將地盤墊高，防止暴潮、海嘯引起海水入侵或減少波浪引起越波，並防止陸域被侵蝕的設施，一般斷面如下圖所示。



設計時必要考量潮位、波、地質、海底地形及海灘地形等自然條件，堤後土地利用及重要度，鄰近海岸保育設施，海灘及水面利用狀況及施工條件等。

- ① 潮位及波浪
堤防高度及結構依越波量及溯上高，堤體安定性受波力影響，潮位及波浪為重要條件。
- ② 地質
堤防建造工址受限因素很多，不得已必要在軟弱地盤施工時，應考量地盤改良或採用十分堅固的填土材料。
- ③ 海底地形及海灘地形
海底坡度陡時，波在岸側碎波，碎波波高變大，產生較大波力，容易發生越波，若為砂灘海岸，暴潮來襲時會沖刷堤防前面，因此必須注意海底地形及海灘地形。
- ④ 地震力
堤體安全性有疑慮時，應考量地震力。

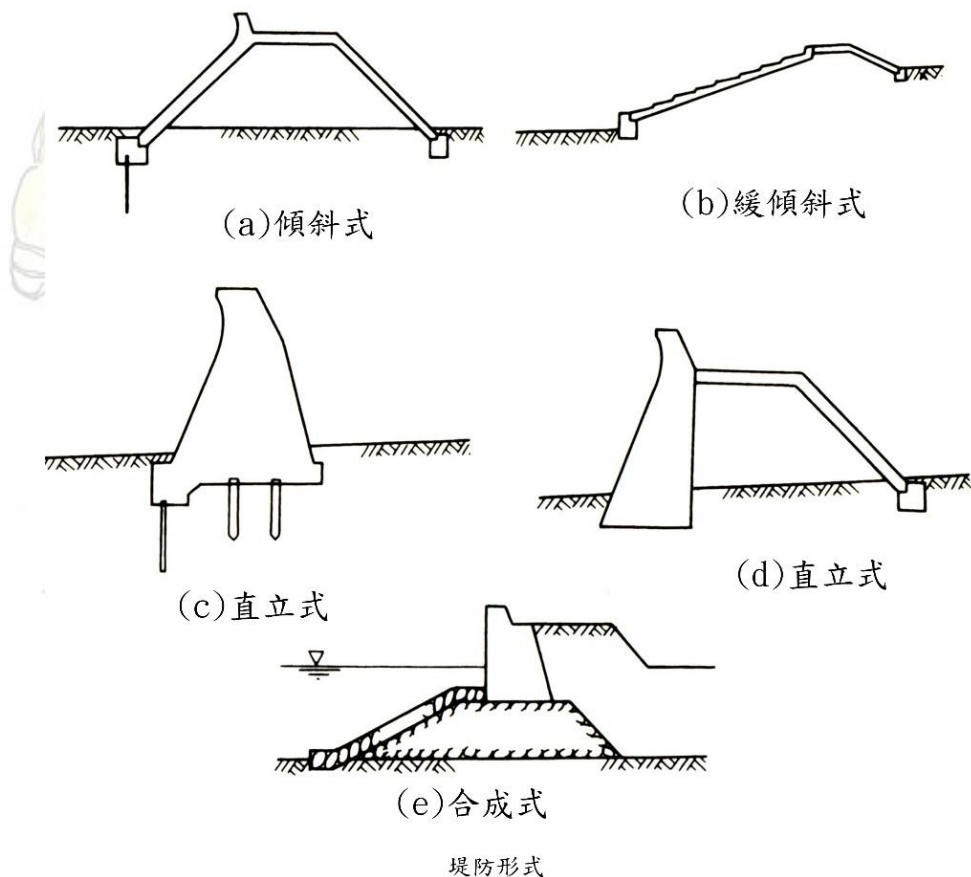
- ⑤ 堤後地重要度
隨著堤後地重要度不同，容許越波範圍亦不同，堤背地人口、資產集中時，應降低越波量。
- ⑥ 施工條件
進行海上施工時，應考量受波浪、潮汐、潮流影響大，作業時間受限，因施工引起海水混濁等施工條件。
- ⑦ 其他
考量海灘利用狀況，未來開發計畫，周邊環境、自然公園等進行設計。

2. 結構型式

設計堤防堤首先必要選定結構型式，應考量水理條件、基礎地盤地質、築堤材料、土地條件、利用狀況、施工期間等。堤防形式如下圖，大致可分類成傾斜式、緩傾斜式(階段式)、直立式及合成式等4種。

堤防坡度，坡度大於1:1以上者稱為直立式，未滿1:1者稱為傾斜式，坡度緩於1:3以下者為緩傾斜式。

2011 埃及尼羅河之旅



① 傾斜式

傾斜式堤防以堆土作為堤體，在表面被覆混凝土，其堤底較寬，單位面積載重較小，適於基礎地盤比較軟弱處。需要大量土石，適用於容易取得足夠堤防用地處，其親水性高。

② 直立式

直立式堤防堤體以混凝土製成，表坡坡度陡，堤寬較狹，適用於不易取得用地處，單位面積載重較大，適於基礎地盤比較堅硬處。

③ 合成式

擇取傾斜式及直立式優點，適用於水深較深，基礎地盤不十分堅硬處。

3. 基本斷面設計

依上述選定堤防結構形式，設計堤防表坡坡度，堤頂高，堤頂寬，內坡坡度等斷面尺寸。

① 表坡坡度

2011 埃及尼羅河之旅

表坡坡度可參考下表所示數據，由堤體安定，水理條件，海灘利用狀況，地質，地形條件等綜合判斷作最終決定。面對大水深海底坡度陡工址必要注意堤體安定及淘刷。作為海水浴場或觀光用時，可採用緩於 1:3 緩坡，此時越波量有增多可能，可採用階段式或砌混凝土塊等增加表坡面粗糙度、以減少越波量。

| 結構形式 | 坡 度 |
|-------------------------|-----------|
| 砌石式 砌混凝土塊式 混凝土被覆式 | 緩於 1:1 |
| 堆石式 | 1:0.3~1:1 |
| 重力式 扶牆式 | 垂直~1:1 |

② 堤頂高

堤頂高度必要足以防止暴潮、海嘯引起海水入侵，及防止波浪引起潮上或越波引起海水進入，對相同氣象、海象、地形及水理設計條件區間，宜採相同堤頂高，以便維護管理。堤頂高可依下式決定。

堤頂高 = 計畫潮位 + 對計畫波高必要高度 + 餘裕高

(a) 計畫潮位

(b) 對計畫波高必要高度

對計畫波高必要高度可由溯上高度及越波量兩方面檢討：

(i) 溯上高度檢討

對計畫波高必要高度=設計潮位時的有義波溯上高度

(ii) 越波量檢討

對計畫波高必要高度=設計潮位時不規則波越波量低於容許越波量。

(c) 餘裕高

視背後地重要度而異，以 1 公尺為最大值。

③ 堤頂寬

堤頂寬除能對抗外力外，考量維護管理，防水及作為施工用道路等，至少應為 3 公尺以上。

④ 內坡坡度

2011 埃及尼羅河之旅

內坡坡度可參考下表所示數據，堤高增大時，坡面變長，宜設置狹道(berm)，為便於維護管理等，狹道寬度宜大於 1.5 公尺。

| 結構形式 | 坡度 |
|--------|-----------|
| 砌石式 | 1:1~1:2.5 |
| 貼混凝土塊式 | |
| 堆石式 | 1:0.3~1:1 |
| 混凝土被覆式 | 1:1~1:2 |
| 瀝青被覆式 | 1:2~1:3 |

4. 結構細項

1) 堤體

堤體承受波力、上揚力等，將之傳遞至基礎地盤，並有防止透水機能。堤體設計，例如重力式或板樁式背後有填土時，必要檢討同時承受波力及土壓的堤體安定性。一般標準為 3 面被覆結構(表坡、頂面及背坡等 3 面)，對各結構細目決定其諸元即可，不會有堤體安定問題。

地震發生地域，考量危險度、地盤狀況、結構物力學特性、重要性等，必要時應檢討對地震力的堤體安定性。

設置於軟弱地盤，必要檢討堤體滑動安定性，可採用下列對策。

- i) 減少集中應力方法
- ii) 緩速施工方法
- iii) 改良基礎地盤方法

① 堤體填土及下陷

堤體通常由填土堆成，填土材料使用可搗固含部分黏土的砂質土或砂礫質土。利用海岸砂時，利用加水將砂充分搗固，然即使充分搗固填土，還是會因收縮及壓密致使下陷，必要考量堤高、堤體填土性質、基礎地盤狀況等實施餘填。

堤防受災，為將波及鄰近堤防的影響減至最小，堤體必要間隔某一定間隔設置隔牆。基礎必要深於附近地盤高，以免損壞。

② 基礎地盤剪力破壞

軟弱基礎地盤，堤體可能會發生滑動，必要檢討堤體安定性，主要外力有堤體自重、載重、水壓、地震力及波力等。檢討基礎地盤剪力破壞，通常針對圓弧滑動及直線滑動。

③ 堤體透水性

防止堤體土砂吸出及管湧(piping)，堤體必要為高耐水性結構。經由表坡被覆工、基礎工空隙或透水性拋石流出的堤體土砂，是堤防崩壞的主因。被覆工接頭間、被覆工與基礎工連接部不可有空隙或龜裂，必要為保持連續性結構。設置於背後地勢低窪堤防的填土，必要對外水滲透作用引起的浸潤線形狀、滲透量及管湧等檢討安定性。

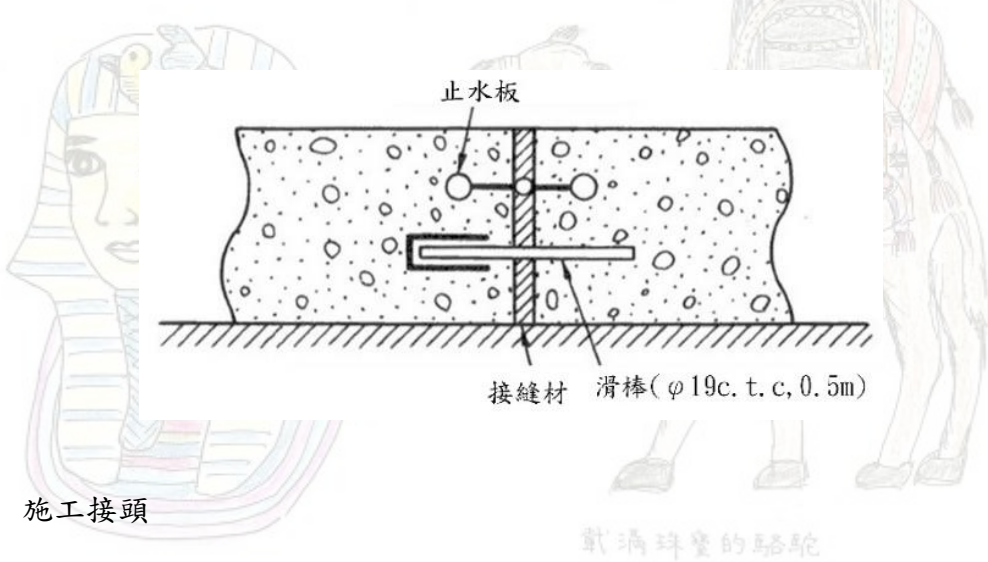
2) 表坡被覆工

表坡被覆工保護堤防，並具有與堤防一體對抗外力、防止波浪、暴潮入侵的機能，因此必要是耐波浪侵蝕、摩耗的堅固安全結構，為對抗波力及不均勻下陷，必要時可加入鋼筋。

表坡坡度急變處波力集中，為結構弱點，盡可能使坡面漸變。表坡上層與下層原則上採用相同結構，會造成不經濟時，可採用不同工法。使用相同被覆工時用漸變方法或異種被覆工時，必要留意不可使接續部成結構弱點。

① 伸縮縫

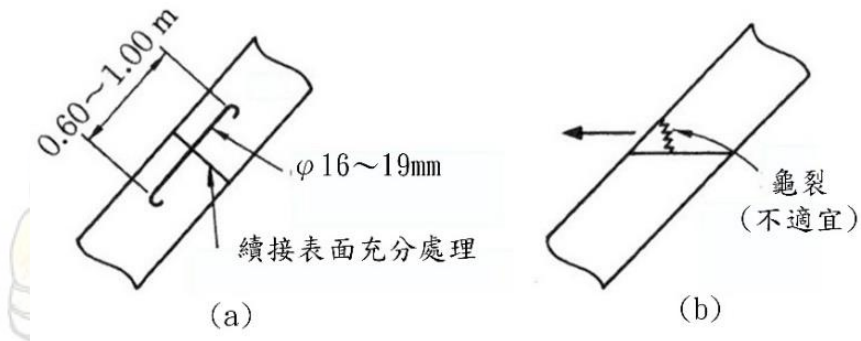
場鑄混凝土，為防止凝固收縮引起龜裂，設置伸縮縫，依過去實例其間隔約6~10m。為防止堤體土砂從伸縮縫流出，如下圖所示，配置止水板及滑棒。



② 施工接頭

場鑄混凝土，配置施工接頭必要如下圖(a)，將續接處成直角後，插入接頭鋼筋。如圖(b)水平打設時，會發生龜裂，造成災害。

2011 埃及尼羅河之旅



被覆工代表性標準結構如下表

| 型式 | | 標準結構 | |
|-----|--------|--------------------------------|---|
| 傾斜堤 | 砌石式 | 砌石代表長 35cm 以上，內埋厚 30cm 以上 | |
| | 砌混凝土塊式 | 塊厚 50cm 以上，重 2 噸以上，內埋厚 50cm 以上 | |
| | 混凝土被覆式 | 砌式 | 混凝土厚標準 50cm 以上，內埋混凝土施工 |
| | | 階梯式 | 最小混凝土厚 50cm 以上，梯高 20~30cm |
| | | 框式 | 鋼筋混凝土框寬 20~40cm，高 30~50cm，框間隔 1~3m 附托肩 中填混凝土塊或卵石草皮工 |

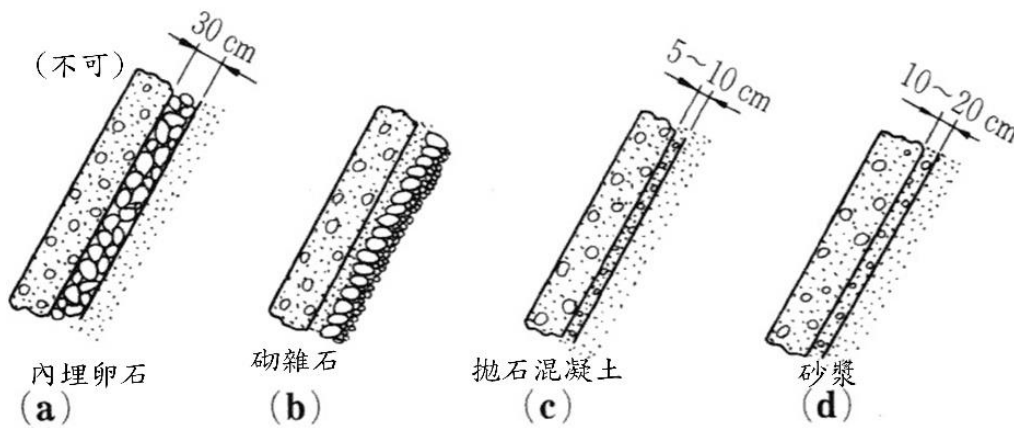
| | | |
|-----|--------|---|
| 直立堤 | 堆石式 | 原則採用砌石工法，堆石徑 35cm 以上，內埋混凝土厚 10cm 以上，內埋厚 50cm 以上 |
| | 堆混凝土塊式 | 比照堆石式 |
| | 重力式 | 比照堤防堤體 |
| | 扶牆式 | 牆體厚無筋混凝土 50cm 以上，鋼筋混凝土 30cm 以上，扶牆間隔 3m |

砌石式施工容易、可撓性強，適用於來襲波浪小處或可能發生不均勻下陷的軟弱地盤，其缺點是容易受波散落。

砌混凝土塊式過往用於可能發生不均勻下陷的軟弱地盤，由於其可減弱反射波、防止侵蝕，可適用於侵蝕性海岸的緩傾斜護岸。

混凝土被覆式(砌式)，在表坡面被覆混凝土，混凝土厚標準 50cm 以上，適用於砂礫海岸，坡面長超過 5m 者，必要加厚混凝土層。

表坡被覆工基層即所謂內埋，有如下圖所示幾種方法。



- i) 如圖(b)，鋪上卵石或雜石後，灑上混凝土並整平，在其上鋪設設計厚度的被覆工。
- ii) 如圖(c)，堤體由砂或小砂構成，將堤體整形後，表面上鋪設 5~10cm 拋石混凝土，再鋪設被覆工。
- iii) 如圖(d)，坡面鋪設砂漿或瀝青，再鋪設被覆工。

階梯混凝土被覆式，在表坡鋪設階梯狀被覆混凝土，坡度緩於 1:2，通常使用模板灌製，為確保強度加入鋼筋，階梯可減少溯上，防止堤趾淘刷，為方便使用，階梯高度宜為 20~30cm。

框混凝土被覆式設置於平時波不會到達的現有天然海岸砂丘或海崖處，發揮防止數年 1 次的大波引起越波、越流的效果。

堆石式是在潮差大海岸，利用退潮期間，不設置圍堰等暫設工，實施乾施工。本工法優點是無重做作業，缺點是波力大處容易發生落石造成堤體結構上弱點。

重力式比照堤體結構設計準則，最薄部分至少應厚 30cm 以上。

扶牆式，用於必要使被覆工本身質量減輕處，可視為將重力式堤防部分挖空形成扶牆，必要與被覆工同時打設混凝土，扶牆間隔 3m，扶牆表坡被覆工與底板續接部必要打設托肩。

3) 堤頂被覆工及背(內)坡被覆工

海岸堤防是設計成容許部分越波，為防止越波造成堤體土砂流失，甚至堤體損壞，會將堤防表面被覆，即所謂 3 面被覆結構。

被覆工分成混凝土被覆工、瀝青被覆工、砌混凝土塊被覆工、堆石被覆工、砌石被覆工等。堆石被覆工與砌石被覆工的區別在於坡面坡度，緩於 1:1 者為砌石式。

堤頂被覆工為便於排水，坡面應向陸側呈 2~5% 的坡度，堤頂原則必要為可承受管理或工程用車輛的結構，其標準結構如下表。

| 被覆工型式 | 標準結構 |
|---------|--|
| 堆石式、砌石式 | 砌石代表長 30cm 以上，內埋厚 30cm 以上 |
| 砌混凝土塊式 | 塊厚 10cm 以上，邊長 30cm 以上，內埋厚 50cm 以上 |
| 混凝土被覆式 | 混凝土厚標準 20cm 以上，內埋混凝土施工 |
| 瀝青被覆式 | 瀝青厚 6cm 以上，基礎碎石厚 20cm |
| 混凝土框式 | 框標準寬 20~40cm，高 30~50cm，框間隔標準 2~3m，中填材有混凝土、瀝青、石、塊等。 |

堆石式、砌石式，為防止越波帶走石塊，石塊代表長 30cm 以上為宜。砌混凝土塊式對堤體收縮雖具順應性，但是實際很少採用。混凝土被覆式強度或耐久性可靠度高，經常被採用。瀝青被覆順應堤體變形，價廉維修容易，適用於堤頂及背坡被覆工，瀝青必要充分搗固，被覆厚必要承受波力、上揚力、坡面坡度安定及車輛載重等外力，背坡長時宜採用框式。

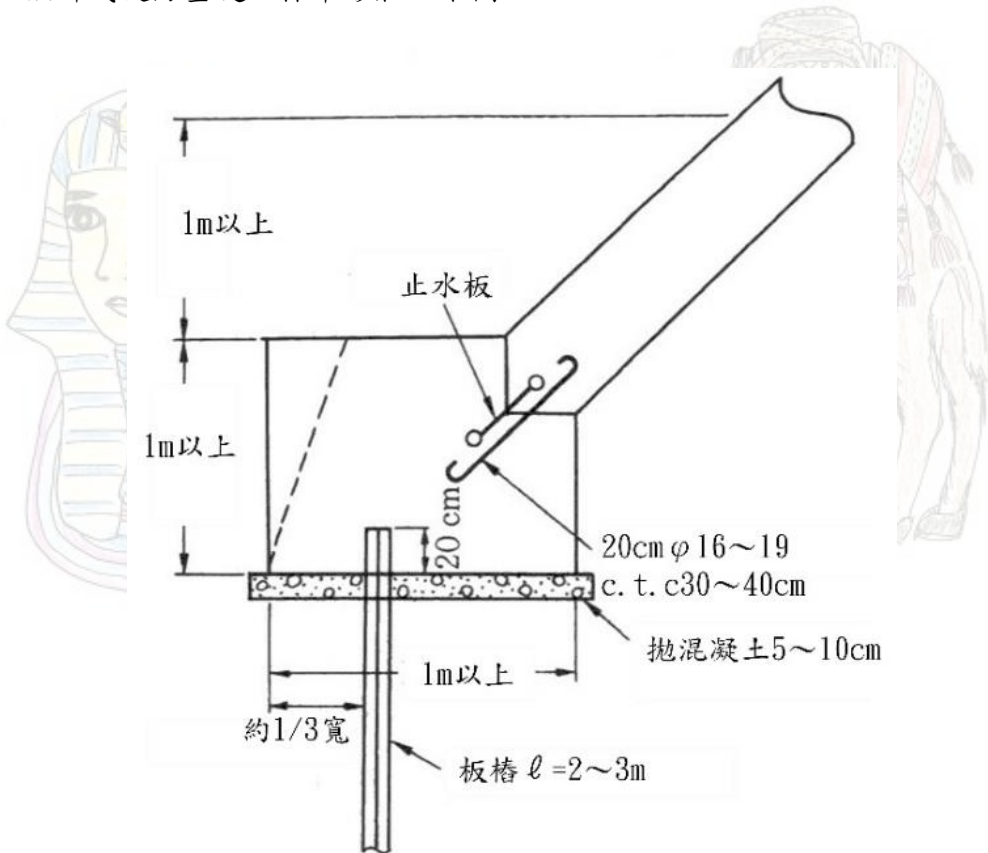
4) 基礎工

海岸堤防基礎工的作用是安全支撐上部結構物，防止滑動及下陷，並為能防止波浪引起前面淘刷的結構。基礎地盤透水性大時，可設置混凝土或板樁等止水工，防止從堤體或表坡被覆工下面的漏水。

防止堤腳淘刷，可將基礎板樁貫入深度加深，考量堤體整體安定性，與消波工、護基工併用。設於砂灘時，基礎板樁必要貫入低潮位以下，以深至基礎工下面 2~3m 處為宜。基礎工種類如下

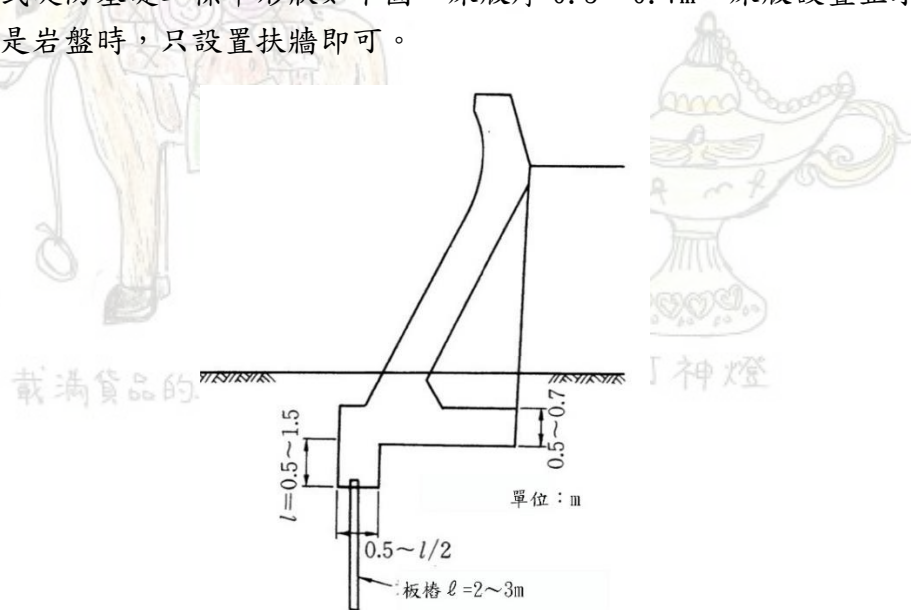
① 場鑄混凝土基礎工

傾斜式堤防基礎工標準形狀如下圖



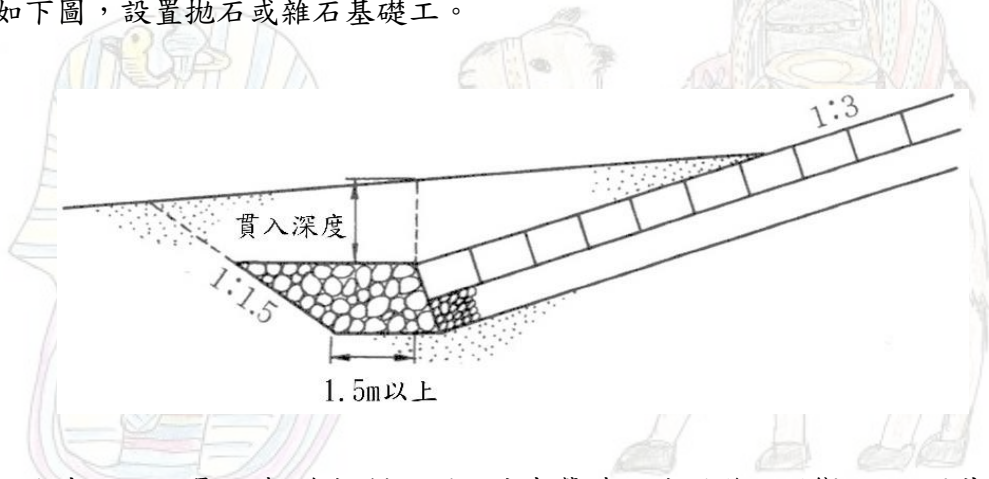
基礎工貫入深，在施工容許下，盡可能向下貫入，通常貫入1m以上，一般採高1m、寬1m以上長方形斷面，與表坡被覆工接點使用止水板及彎筋，必要時可併用樁或板樁基礎，伸縮接縫與上部結構物伸縮接縫一致。

扶牆式堤防基礎工標準形狀如下圖，床版厚0.5~0.7m，床版設置止水板。基礎地盤是岩盤時，只設置扶牆即可。

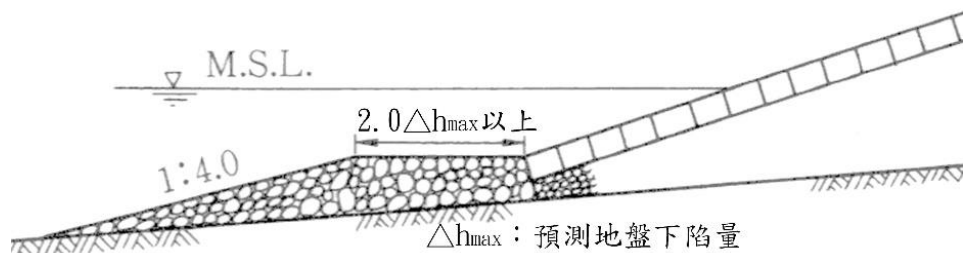


② 拋石或拋混凝土塊基礎工

拋混凝土塊表坡被覆堤防基礎工是由拋石、雜石層構成，若能確保可防止淘刷的貫入深度時，無設置大規模基礎工的必要，防止波作用引起混凝土塊下陷，可如下圖，設置拋石或雜石基礎工。



水中施工不貫入時，為抑制預測大波來襲時的地形變化影響，可設置基礎工，其諸元如下圖。



③ 樁基礎工

樁基礎工是包含板樁的廣義樁基礎，為避免腐蝕及海蟲災害，原則上採用混凝土結構。樁施工可能會破壞地質結構、減少支撐力，必要注意，樁基礎工通常會和其他基礎工併用。

5) 止水工

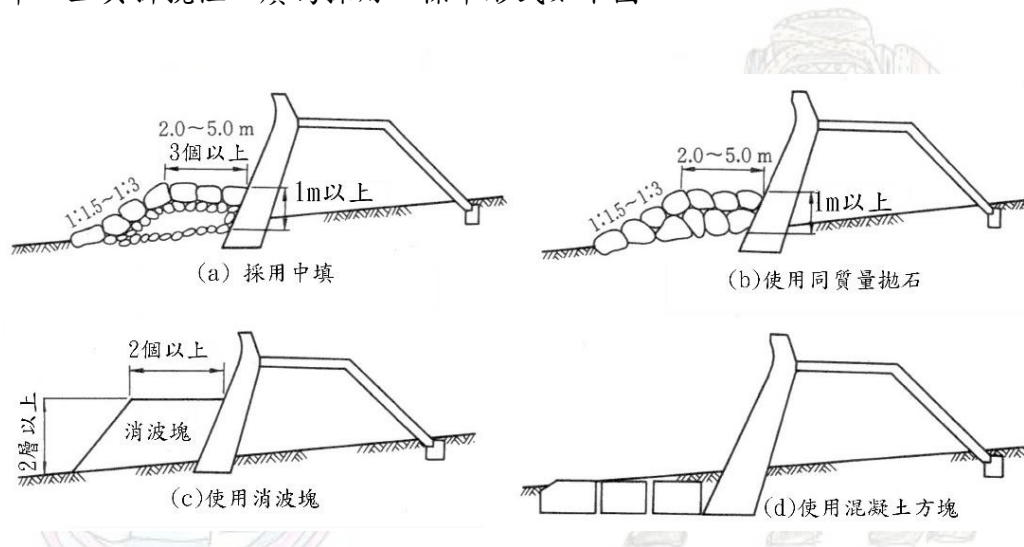
浸透路徑長與內外水位差比較相對短時，會因管湧膨脹致使基礎破壞，其對策為設置止水壁延長浸透路徑，或實施過濾工法防止管湧。

6) 護基工

護基工是為防止波浪淘刷前面，防護被覆工及基礎工者。接續設置於被覆工

坡趾或基礎工前面，是可單獨下陷、折撓，與被覆工或基礎工絕緣的結構。

護基工的結構及材質必要能對抗波力，拋石或拋混凝土塊因求得容易、施工簡單、且具折撓性，廣為採用，標準形式如下圖。



拋石或混凝土塊護基工，依過往實例經驗，拋放厚度 1m 以上，堤頂寬 2~5m 以上，表坡坡度約為 1:1.5~1:3，但是具有平衡力(counterweight)機能時不在此限。拋石或混凝土塊必要質量，依可對抗波力質量設計，顆粒大者舖於表層。

2011 埃及尼羅河之旅

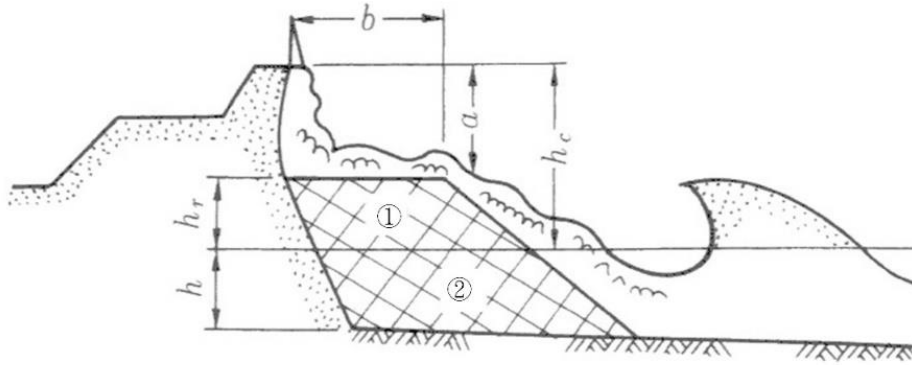
拋石護基工如上圖(a)，是將護基工混入堤腳地盤，吸收作用於坡趾地盤的波能，為防止吸出，中填質量約為表層的 1/10~1/20，頂層以 3 個以上並排。

近來因採石不易，如上圖(b)，混凝土塊護基工取而代之，通常使用異形塊，由於咬合度高，頂層以 2 個以上並列即可，層厚 2 層以上，亂拋時需達 2 層以上厚度。由於異形塊空隙大，為防止堤腳土砂被淘空，宜在異形塊層設置空隙小的拋石層。其他有如如上圖(d)，使用混凝土方塊或中空塊作為護基工。

7) 消波工

消波工是為減少波的溯上高、越波量及波力，設置於堤防前面者。通常由異形混凝土塊築成。消波工基本諸元設計比照波浪暴潮基本設計諸元，依過往施工案例經驗，採用下列消波工設計要點，可得到良好效果。

- ① 消波工堤頂寬為至少 2 個消波塊並排，大波高長週期波來襲或前面水深處，宜加寬堤頂寬，至少 3 個消波塊並排。
- ② 消波工水面上高度可依下表決定，但是 $a=(h_c-h_r)$ 至少 1m 以上。
- ③ 消波工表坡坡度宜在 1:1.3~1:1.5 間。
- ④ 消波塊必要質量依 Hudson 公式計算。



h ：堤防堤趾水深(m)

h_c ：堤防堤頂(返波工)至設置水深面高度(m)

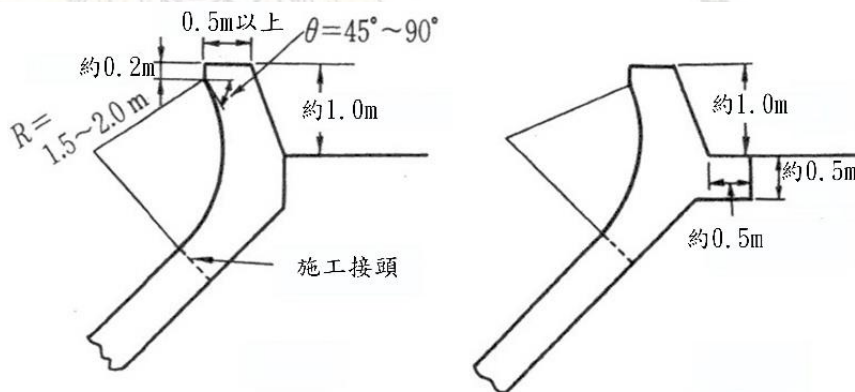
h_r ：消波工堤頂至設置水深面高度(m)

$a = h_c - h_r$

S ：消波工水面上面積①($S = h_r \times b$)

| 消波工高 \ 水深 | (1) $\frac{h_r}{H_0}$ | (2) $\frac{h_r + h_c}{H_0}$ | (3) $\frac{h_r + h_c}{h}$ | (4) $\frac{2\pi S}{H_0 L_0}$ |
|------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| $h/H_0=0$ | 0.5 | 1.0 | - | 0.0 |
| $h/H_0=0.5$ | 0.6 | 1.5 | 3.5 | 0.2 |
| $h/H_0=1.0$ | 0.8 | 2.0 | 2.5 | 0.4 |
| $h/H_0 \geq 2.0$ | 0.7 | 1.7 | 1.0 | 0.2 |

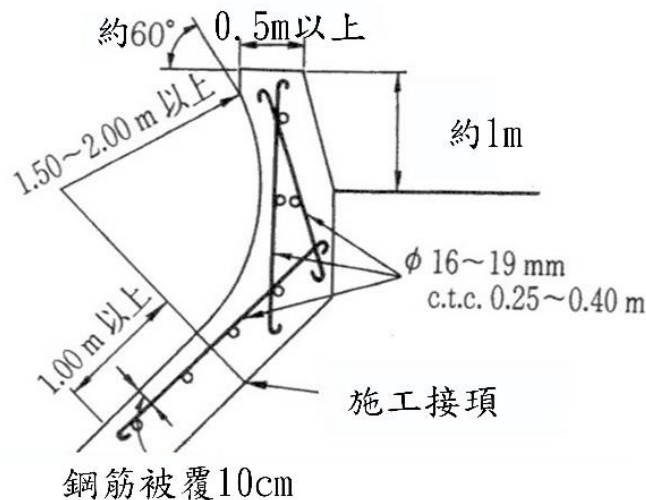
8) 返波工



返波工如上圖，主要目的是減少波或飛沫入侵堤內側，是堤防表坡被覆工的一部分，設置於堤防堤頂的結構物，必要與表坡被覆工堅固連接成一體，接續處不可造成不連續面，呈緩曲面將衝突水塊流向上方或海側。返波工突出堤防頂高

度原則 1m 以下。返波工必要考量海岸利用、景觀、環境需求、防災活動等因素，若堤頂作為交通道路時，必要考量駕駛的景觀、視距及視界等問題，高度以 0.5~0.8m 為多。

返波工曲線曲率半徑，依過往施工案例經驗，採用 1.5~2.0m，曲面在頂面與水平呈 45°~90°，以 60° 最具效果。長波來襲海岸，曲面曲率半徑大者效果佳，依過往施工案例，半徑小於 0.5m 者效果不佳。返波工伸縮縫與表坡被覆工伸縮縫一致，返波工堤頂寬原則以 50cm 以上為宜。返波工承受波浪作用，由於屬懸臂樑結構，必要配筋如下圖。



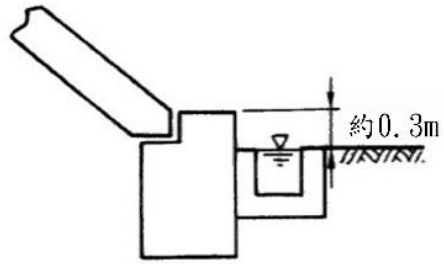
9) 固根工

固根工是防止背坡移動、下陷及保護坡腳為目的。背坡趾原則會設置場鑄混凝土固根工，固根工可視為背坡被覆工的基礎工，必要有足夠的貫入及尺寸，堤內地堤趾有排水路或儲洪池時，必要注意固根工頂部不可淹水，頂部應高於平時水位 0.3m 左右。必要使堤內排水順暢時，固根工原則使用堆石工，使用混凝土固根工時，必要設置排水孔並內埋卵石。

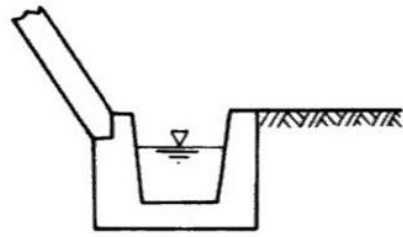
10) 排水工

排水工目的是將越入堤內的越波、飛沫排出，經由水閘排放至海為宜，因過多的小暗渠會弱化堤體。

決定排水工斷面，預測會有多量越波，必要有能確保排水順暢的斷面，排水斷面考量排水設施間隔、排水工坡度、越波量、越波頻率等決定。排水不宜設置於堤頂或背坡中間，因會造成結構上弱點，亦無助於海水排水。排水工不會造成結構上弱點時，可如下圖(b)，與固根工合用，但是原則上如下圖(a)，固根工與排水工宜分開設。



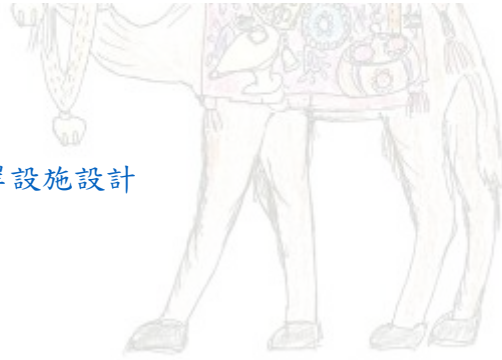
(a)排水工與固根工分開



(b)排水工與固根工一體



回海岸設施設計



載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈