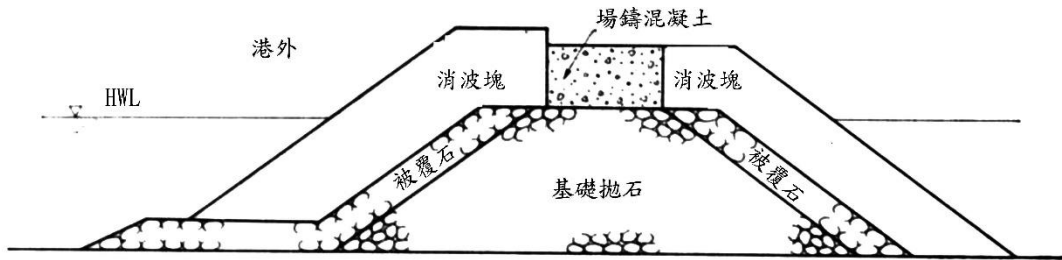


拋石堤堤體工

1. 堤 體

1) 堤體構成



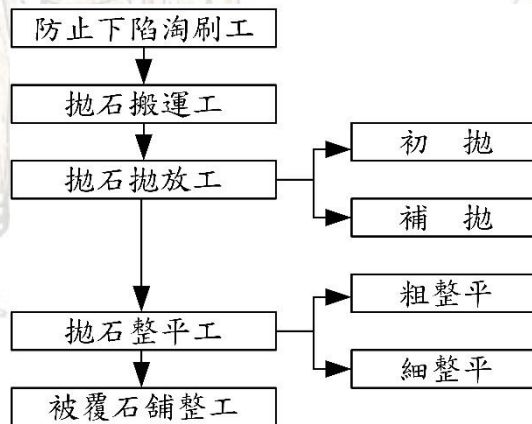
拋石堤標準斷面如上圖，係由各種不同粒徑石料構成。拋石堤設置於石塊容易流動砂床上時，石塊粒徑越大陷入砂層越深，因此鋪於海底表面拋石層石塊以粒徑較小者為宜。拋石堤通常以不同質量(粒徑)構成，粒徑最小者鋪於下層及內部，大者鋪於表層，尤其是承受波浪作用處。

最上層除抗波外還有保護體堤的目的，因此特別稱為被覆石，通常至少鋪設 2 層以上。

2011 埃及尼羅河之旅

由不同粒徑石料構成時，各相鄰層間粒徑不宜有極端差異。即被覆石層下面的拋石層拋石其重量宜在被覆石的 1/10~1/15 間，至少應在 1/20 以上，鋪設層數以 3 層以上為宜至少 2 層。再下一層拋石層拋石的重量應為上層重量的 1/20 以上。拋石不可為扁平、細長形狀，應為堅硬、緊密(比重大)、耐久且不會風化者。

拋石堤拋石堤基施工流程如下。



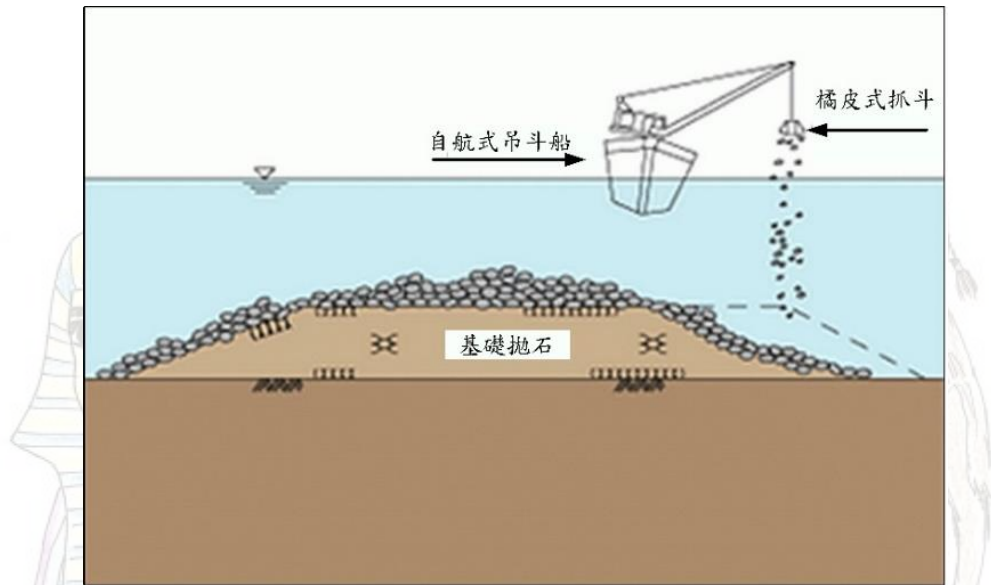
2) 防止下陷淘刷工

- ① 拋石堤基施工時最常遭遇問題是，在砂質海底當強風大浪時，海底變動激烈海岸線附近或碎波帶施工者，或在洪水發生時急流河口附近海底變化激烈處施工亦有同樣問題。即在上述位置直接拋石構築拋石堤基，會有大量拋石陷入地層、散亂、流失等，應極力避免在上述水域構築防波堤。不得已非構築不可時，使用直接拋石方法，若不計工期及龐大成本，或許有成功的一天。現今，在此狀況非構築防波堤不可，大致有下列 2 種解決構想。
 - ① 預測強浪來襲時海底地形的變化，將會發生變動海底全部挖掘，再拋放拋石構築堤基，並在防波堤底面及堤基坡趾處配置必要防止下陷及防止淘刷工。
 - ② 在原地盤直接構築拋石堤基，強浪來襲時當然會被淘刷下陷，但是應可期待保留部分，因此沿此構想，事先就將肩寬及坡面設計多餘長度，作為損耗用，此時當然要作好防止下陷及防止淘刷工。
- ② 近年來有各種防止下陷淘刷工被開發，可有效保護拋石堤基。
- ③ 拋石堤基淘刷不限於碎波帶。在海域構築新結構物會可能導致附近海底水理條件產生變化，局部形成強烈流而沖刷拋石堤基，尤其是在堤頭，此時可注入瀝青砂膠等，使拋石固結成一體。
- ④ 在洪水期河口附近海底及河底可能會發生極大變動處，構建防波堤或導流堤，有被破壞之虞應注意。

3) 石材搬運

港灣工程使用石材昔日是採用卵石，今日則是開採原石山的碎石。從採石場的石材搬運方法依採石場的地理位置、至工地現場距離等決定陸上運送或海上運送。港灣工程大部份為海上工程，除陸上施工外，使用大卡車載運石材，首先搬運至水際線的儲存場暫時存放，再由自航吊斗船或非自航吊斗駁船將石材搬運至拋放現場，使用自備抓斗拋放石材，亦有使用底開式或翻轉式運土船者。

規劃石材搬運計畫時，要規劃充裕的拋放時間，遠距離海上運送時，必須進行海氣象預測，並考量石材搬運船的停泊水域。



摘譯自：<http://www.umeshunkyo.or.jp/108/prom/237/page.html>

4) 石材拋放

石材拋放，首先應作水深測量確認海底狀況，海底地形與原設計比較有發生變化時，為確保基礎設計斷面應修正施工斷面。施工前必要確定海中基礎拋石的正確施工位置，即在基礎拋石的坡趾、坡肩位置設置竹竿或浮標以明示拋放位置。一般石材拋放是依上述標識進行，並由潛水夫在海中觀察拋放狀況，必要時指示拋石船拋放位置及拋放量。

近年來因 GPS 衛星高度發展，可進行高精度測量，GPS 與聲納接合可更正確掌握海底狀態。利用此系統取得的數據可供拋放模擬，立案短時間高效率的搬運船配船計畫。

通常石材拋放分成 2 個階段施工。

① 初拋

石材拋放，形成小於設計斷面約 1.0~1.5m 的雛型斷面，此時只要求大致平坦即可。在進行第 2 階段的「補拋」前，先規劃最終拋放計畫並放樣，放樣在整平階段亦會使用，必須正確設置，是在海面平穩日，使用水中標竿，由潛水夫一邊測量基礎計畫頂高一邊設置，放樣通常使用木材或輕質鋼材直接設置於海底或雛型基礎上，其間隔如方塊設置，若需要平坦潤飾(finish)時，一般間隔為 5m 左右。

② 補拋

第 2 階段石材拋放是為使下階段的「整平」作業能順利執行的前置作業。

放樣依潛水夫指示仔細作業，包含利用拋石船抓斗，將已拋放多餘拋石移至拋放量不足位置。

以上是一般拋放方法，基礎拋石由數層構成時，除最上層外，只作第 1 階段拋放作業。

石材拋放是由拋石船上的抓斗拋放，石材在海中自由落體落下，到達海底面時會有某些程度的分散，水深越深分散越大，若潮流強時會產生偏離，故必須事前規劃或進行實驗。為避免偏離可於搬運船配置料斗(hopper)，用導管(tremie pipe)拋放至施工位置。為避免施工時產生海水污濁，可從船上垂下污濁防制框，再拋放石材等考量環保的施工法被開發。被覆層石材拋放與後續整平作業有密切關係，不從海面直接拋放而由基礎面附近直接拋放者為多。

陸上拋放作業除機械為履帶式起重機及大卡車外，作業程序同海上拋放。

5) 拋石整平工

拋石拋放入海底是呈亂堆狀態，為安定基礎必須將這些拋石鋪整平。整平分成「粗整平」和「細整平」2種。粗整平是指不與被覆石、護基方塊或上部結構物直接接觸部份的整平作業，細整平是將拋石最上層的拋石鋪整、使之不會鬆動，變成堅固結構的作業。拋石整平區分如下表。

2011 埃及尼羅河之旅

整平區分	整平精度	水中整平	陸上整平	備註
細整平	±5cm	○	○	
	±5cm	○	-	已粗整平(±50cm)
粗整平	±10cm	○	-	
	±30cm	○	○	
	±30cm	○	○	

註 容許範圍+0、-20cm 時的粗整平能力，適用粗整平±10cm 能力

拋石拋放施工時，除應注意上述事項外，應注意基礎拋石下陷。一般拋石厚在 1.5m 以上，當拋石厚超過 3m 以上，上部工施工時，因其重量會使石材咬合變密，硬土質原地盤會有 10~20cm 的下陷，軟土質原地盤因石材擠壓會下陷約 40~60cm，故應預估頂部下陷作餘堆積。通常約加成 20~25%，下陷嚴重者加成 50%，被覆石亦應加成 20~25%。

基礎拋石的完工形狀有必要確保正確頂高時，可放置方塊或方塊等加載，或長時間放置等其下陷，通常下陷量最終調整以上部工打設厚度為之，上部工打設盡可能在工期容許期限前打設，以期減少下陷量。

經考量上述各項而得基礎拋石表面承载力，依塊石材質、搗固程度而異，通常可期待有 30~50kN/m²。

海底整平作業通常是由潛水夫使用標尺或軌條作業，整平精度因受細整平

為 $\pm 5\text{cm}$ 、粗整平為 $\pm 50\text{cm}$ 的容許範圍限制，為保持高施工精度須人工協助作業。近年來，需要深水深、海況嚴峻外海處的快速施工案例增多，海中作業機械化，整平作業逐漸有由機械取代人力的趨勢。

目前主要拋石整平機如下：

① 8腳(或4腳)步行整平機

如下圖，由海上支援駁船供給動力的8腳(或4腳)步行整平機，使用整平耙或整平滾筒進行整平作業。



摘自 <http://www.s-jwa.or.jp/index.html>

② 重錘

如下圖，利用重錘自由落體重量進行搗固及整平。



摘自：<http://www.umeshunkyo.or.jp/108/prom/237/page.html>

◎ 著底起振式拋石整平機

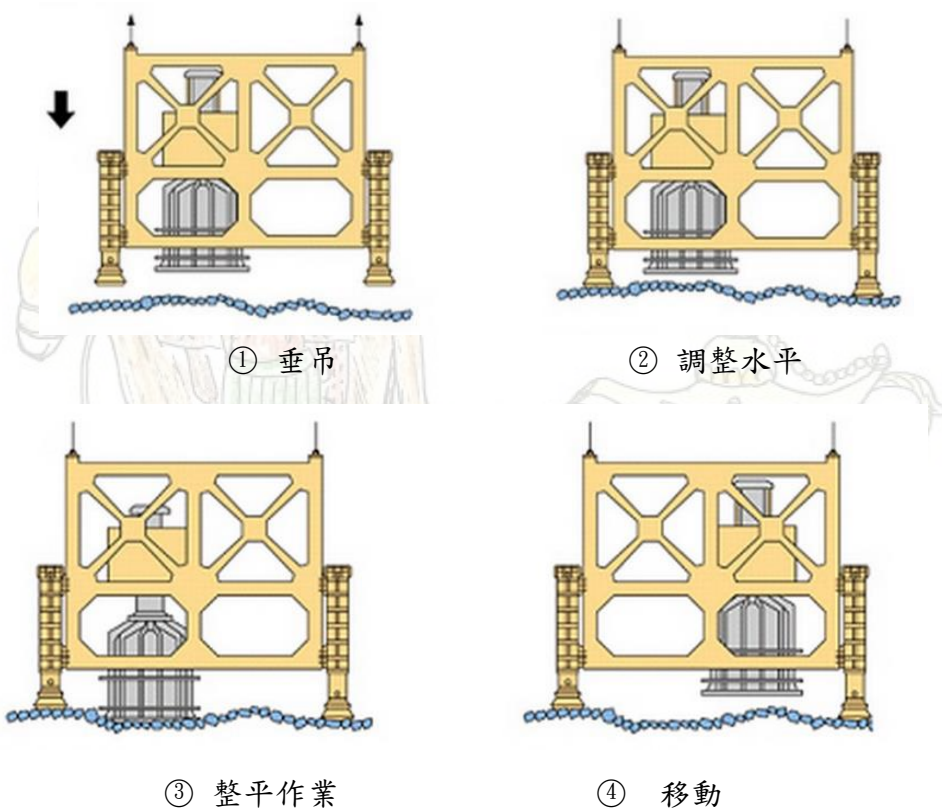
如下圖，著底起振式拋石整平機，進行整平作業時將4腳著底，使用配置有起振機的搗固機整平基礎拋石。



摘自：<http://www.toyo-const.co.jp/technology/881.html>

著底起振式拋石整平機施工順序如下

2011 埃及尼羅河之旅



摘自：<http://www.toyo-const.co.jp/technology/881.html>

④ 水中鏟斗機(underwater backhoe)



摘自 <http://www.s-jwa.or.jp/index.html>

⑤ 拋石拋放及整平同時連續作業方式

由於遠端遙控技術的急速發展，海水作業機械施工效果可比美人力，潛水夫作業困難的深水深處，亦可急速施工，並降低工程費。

6) 被覆石鋪整

被覆石目的是保護傾斜堤及拋石堤基免受波浪破壞，保持原有形狀，因此必須如石牆，仔細鋪整，相咬合不可有空隙。被覆石質量至少 1000kg 以上。

2. 施工法及施工上應特別注意事項如下

- ① 從海上拋放堆積如山的拋石，應使用潛水夫船手動或水中鏟斗機、或步行整平機加以鋪整平，將堤基造形成預定梯形斷面，但是隨著時間，受波浪作用或承受堤體，當然會產生壓縮下陷。構築於軟質砂地盤時，可能會發生陷入或被淘刷，導致堤體整個下陷的狀況。下陷程度隨設置水深、海底砂的比重及粒徑、波高、波長等而異，不能一概而論。
- ② 為盡可能防止下陷，通常會先行構築拋石堤基(基礎拋石)，經過 1 季的強風大浪作用，使堤基產生壓縮下陷，再行補充整平，待堤基呈安定狀態再設置堤體。
- ③ 基於上述理由，設計拋石堤基頂面高時，可預測下陷量，預先將頂面加高，稱為餘堆。應餘堆與否，應餘堆多少厚，目前無計算公式可循，只能

仰賴工程師經驗。

回港灣工程施工



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