

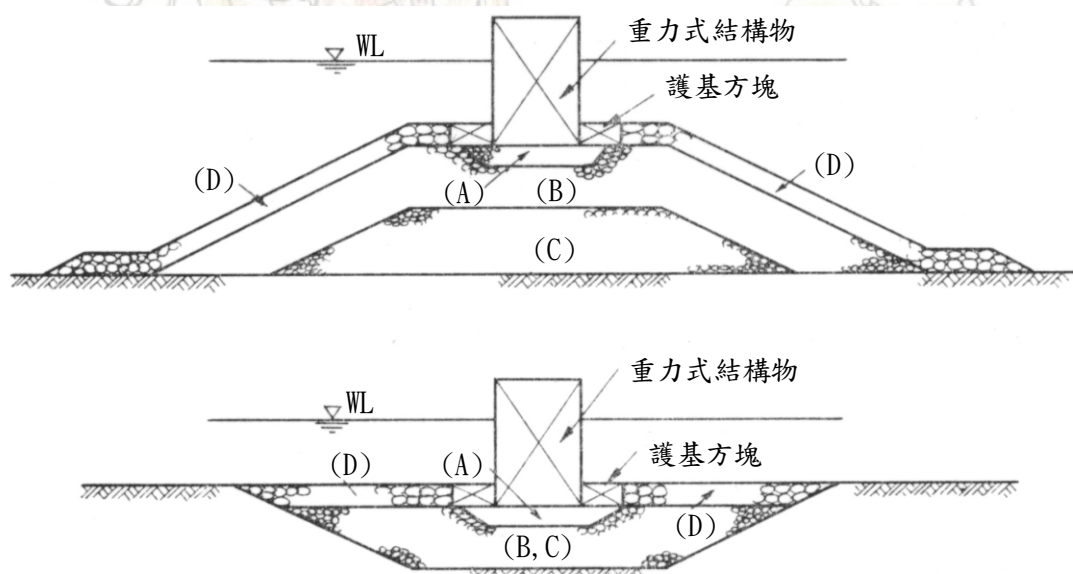
## 基礎拋石工

基礎拋石(rubble mound foundation)是碼頭及防波堤等港灣工程中，至今最為廣泛使用的基礎形式，即由石材堆積成梯形的基礎。目的如下：

- ① 補正基礎地盤的凹凸起伏，以期安定結構物。
- ② 利用基礎地盤與基礎拋石內部間的摩擦力吸收作用於結構物的波力。
- ③ 將結構物堤體定安且經濟設置於預定水深。所謂安定是指包含防止防波堤因波流引起淘刷或碼頭因船舶推進器淘刷碼頭基部。經濟性設置是指基礎拋石的適切高度，使結構物堤體不會過大，堤體與基礎拋石一體建造成最經濟斷面。
- ④ 將結構物堤體重量分散於拋石層中，避免過大載重集中作用於部份海底地盤。
- ⑤ 防止圓弧滑動危險破壞面發生。當滑動面通過拋石層時，因拋石的咬合會產生摩擦抵抗力而防止滑動發生。故亦可設計成基礎拋石寬超過滑動面趾部。

當海底地盤無因波流被淘刷顧慮，且為良質平坦地盤時，可考量直接將基礎施工於海底地盤。海底地盤表面堆積軟泥、或有岩盤突出，或海底地形凹凸起伏無法建造同一基礎時，先依各種海上地盤改良工法改善地盤強度後再進行基礎拋石施工為主流。

基礎拋石呈梯形，其高度依波高、海域水深、沉箱製作場的製作尺寸限制及整體工程費等而定。在浪大處，港外側拋石寬是5m以上，港內側約為港外側的2/3。港外側坡面坡度在1:2~1:3間，港內側則為1:1.5~1:2左右。



基礎拋石的標準示意斷面如上圖，A層為直接承受上部結構物，A層載重傳遞至B、C層，D層為承受波力的被覆層。

A層直接承受載重需強度大者，B、C層次之，拋石粒徑依序減小，D層為被覆層，接觸D層的B層為避免被吸出，其重量應為D層拋石重量的1/10左右。

面對外海的防波堤被覆層(D層)通常採用800~2000kg左右的石材，過大的塊石雖可增本身抵抗性，但可能會影響全體咬合度，反而降低整體抵抗力，故必要採用在容許範圍內的拋石，通常容許範圍為 $\pm 20\%$ 。

波浪大重量不足時可於被覆層表面被覆混凝土消波塊，為被覆層塊石避免被吸出，被覆層塊石應為混凝土消波塊重量的1/10~1/20左右。

防波堤基礎拋石中心部A層塊石重量通常約在10~500kg，B、C層約為100~200kg。碼頭、護岸的基礎拋石重量以使用10~200kg為多。

拋石應具有材質為，因拋石直接承受堤本體及上部工的載重，不可有因載重導致起拋石龜裂或破碎狀況發生，宜採用十分堅硬且具韌性者，通常使用10kg以上的塊石，扁平細長易風化者不適宜，花崗岩、安山岩等比重大於2.5以上者最佳，近年來因良質石材不足，基礎拋石中心部，即B、C層比較不會受波流影響，可考慮用石灰石、砂岩、礦渣、硬質土(hardpan)等代替。但砂岩、硬質土容易促成基礎破壞或上部結構物下陷，除臨時性結構物外應慎用。

各部分基礎拋石大小依設計決定，但應充分考量採石場條件，太過細分會致使取得困難，即使可取得，分類費時不符經濟原則，實際施工時採用同一尺寸的案例不少。

拋石粒徑應求均勻分佈，不宜偏靠上限或下限，驗收時以超過規定重量上限為50%以內，下限以運石船1艘容量的5%以內為基準，但在工地現場斷判不易。

面海防波堤直接承受波浪，為防止拋石被淘刷流失，通常採用1噸以上的被覆石保護拋石，無法取得時，可使用被覆混凝土塊取代。

被覆石或被覆混凝土塊必要重量隨來襲波高、水深、基礎坡面坡度而定，一般使用Hudson公式計算(線上計算)。港內碼頭或護岸的基礎拋石，因不受大波作用，只要有足夠承载力即可。

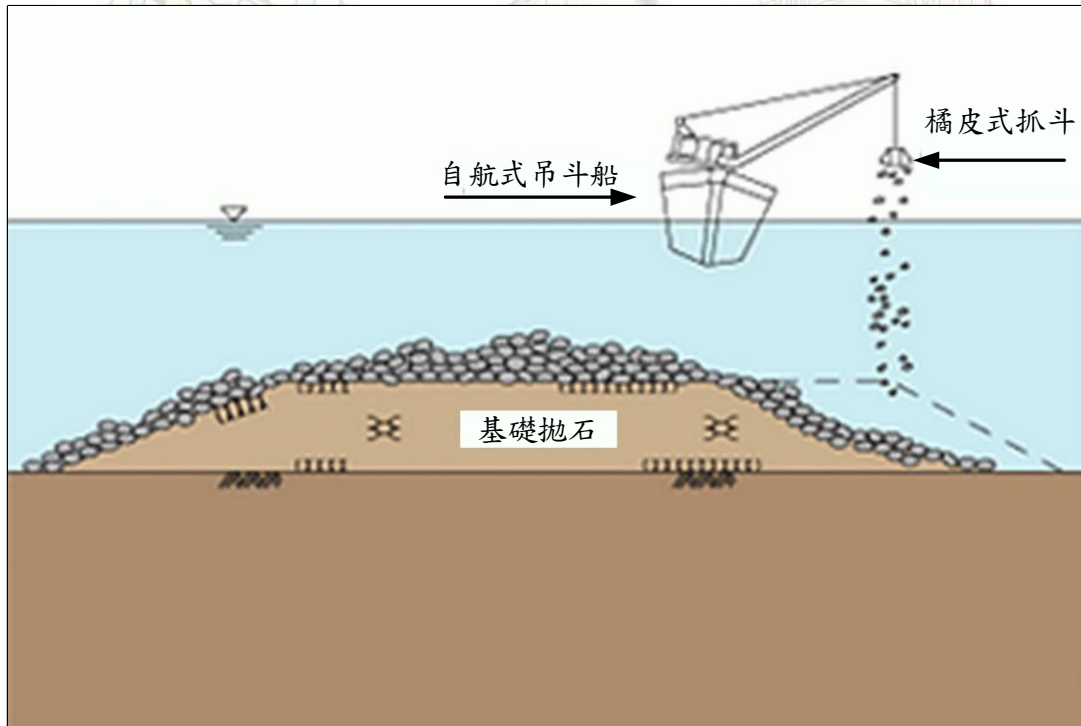
基礎拋石施工程序如下：

#### 1) 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，必要進行海氣象預測，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>

## 2) 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、坡肩位置設置竹桿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，必要時指示石材拋放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。

通常石材拋放分成初拋及補拋 2 個階段施工。

### ① 初拋

初拋是石材拋放，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，必要正確設置，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，其間隔如沉箱設置，若需要平坦潤飾(finish)時，通常間隔為5m左右。

## ② 補拋

第2階段的石材拋放「補拋」目的，是為使下階段的「整平」作業能順利執行。放樣依潛水夫指示仔細作業，包含利用拋石船的抓斗，將已拋放的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階段的初拋作業。

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，必要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。另外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。 2011 埃及尼羅河之旅

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。

## 3) 拋石整平

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平整平。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(前圖B、C層)的整平作業，細整平是將拋石最上層(前圖A、D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。

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，本體工或上部工施工時，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，換置土等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(允收)形狀有必要確保正確頂高時，可放置沉箱或方塊等加載，或長時間放置等其下陷，但沉箱或方塊的重新設置費時費力，通常下陷量的最終調整以上部工的打設厚度為之，此時上部工的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的承載力，依塊石材質、搗固程度而異，通常可期待有 30~50kN/m<sup>2</sup>。

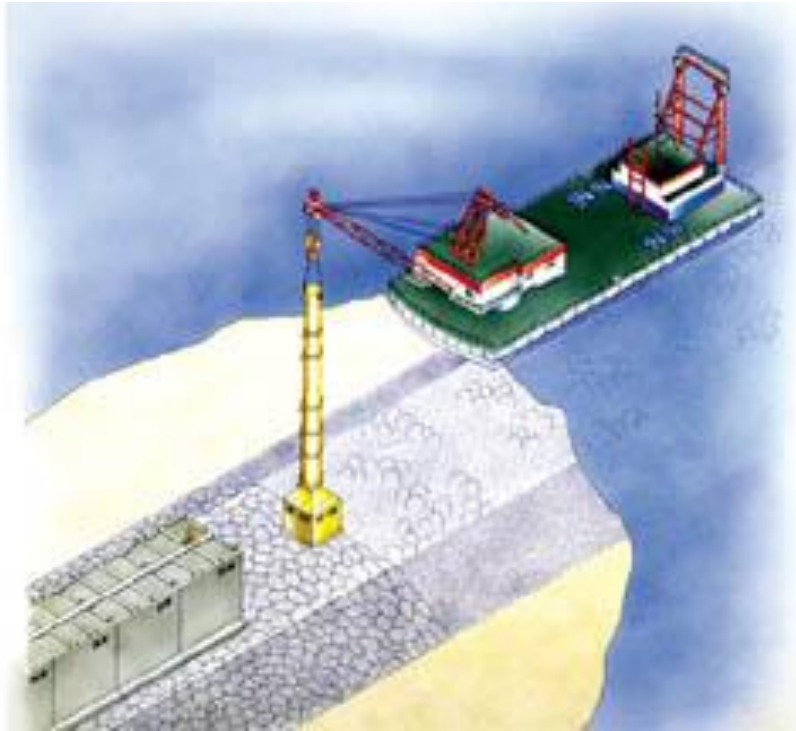
海底整平作業通常是由潛水夫使用尺或軌作業，整平精度因受細整平為±5cm、粗整平為±50cm 的容許範圍限制，為保持高施工精度須人工協助作業。近年來，需要深水深、海況嚴峻外海處的快速施工的案例增多，海中作業機械化，整平作業逐漸有由機械取代人力的趨勢。

目前主要拋石整平機如下：

- ① 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。埃及尼羅河之旅



- ② 如下圖，利用重錘自由落體的重量進行搗固及整平。



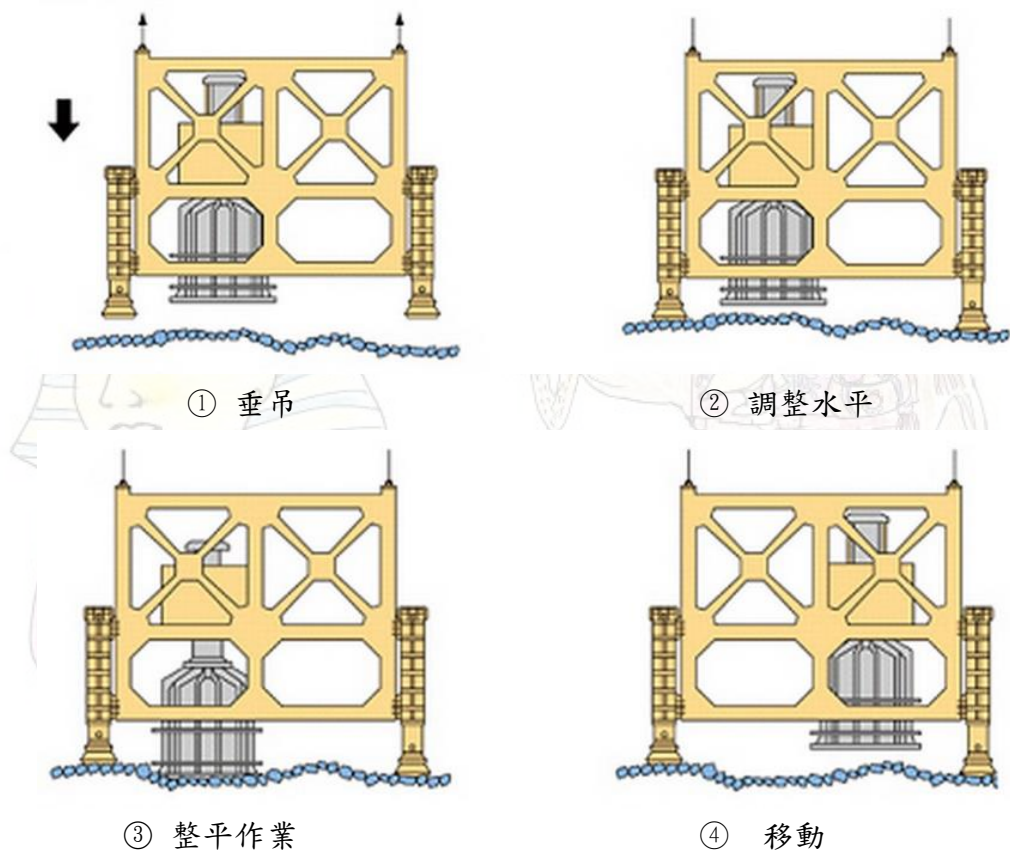
摘自：<http://www.umeshunkyo.or.jp/108/prom/237/page.html>

- ③ 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



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>

© 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，海水作業機械的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。



回港灣工程施工



回海洋工作站

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