

沉箱式碼頭基礎工程

港灣結構物中除棧橋式或鋼板樁式繫船碼頭等將外力直接傳遞至地盤外，皆為重力式結構物，須基礎承載，結構物由本體與基礎共同構成，基礎功能是将本體安定設置於海底地盤上。就力學上而言就是将基礎上本體垂直載重，分散傳達至海底地盤。碼頭及護岸承受土壓，並防止圓弧滑動引起破壞。

構築沉箱式碼頭，海底為預期有充分承載力的良質砂地盤時，通常採用基礎拋石(拋石堤基)。由軟弱黏土或厚泥層構成，無充分承載力時，利用各種海上地盤改良工法改良海底地盤強度後，再進行基礎拋石施工，將結構物垂直載重直接傳遞至海底地盤深處的承載地盤。

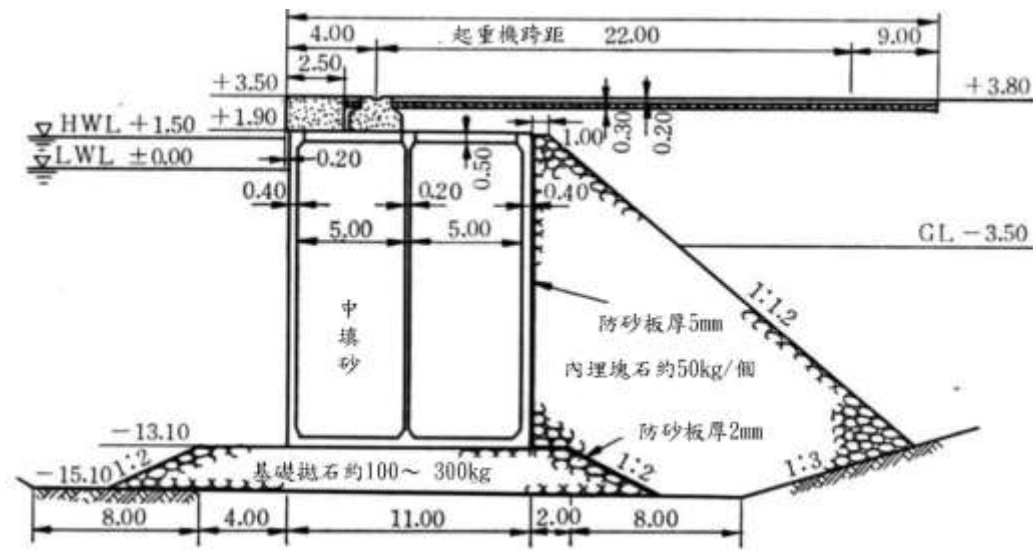
不論採用那一種形式基礎，應依海底地盤條件作最適設計，必要進行前置鑽探調查了解海底地盤狀況，海底地盤強度隨地質而異，基礎地盤承載力可參照下表。

地盤種類	地盤地質狀態	承載力(kN/m ²)
岩盤	① 極硬花崗岩、閃綠岩、安山岩、片麻岩	1000~400
	② 黏板岩、片岩等硬盤	400~200
	③ 硬質砂岩、石灰岩	150
	④ 軟砂岩、頁岩、硬土丹(hardpan)	100~60
砂礫層	① 緊密砂礫、卵石或含砂礫石	100~60
	② 鬆砂礫、含砂礫石，緊含礫石砂	60~40
砂層	① 密細砂、鬆粗砂	40
	② 含黏土緊密砂	40~30
	③ 鬆粗砂	30~20
	④ 鬆細砂	20~10
黏土層	① 乾固黏土	50
	② 極緊密黏土	40~30
	③ 硬黏土	30~20
	④ 軟黏土	20~10
	⑤ 極軟黏土	10 以下

1. 施工流程

沉箱式碼頭基礎施工順序如下

- 1) 防止淘刷工
- 2) 基礎拋石工
- 3) 拋石整平工



2. 基礎拋石工

拋石應具有材質為，因拋石直接承受本體及上部工載重，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，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，除暫設性結構物外應慎用。

各部分的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。

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)

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，使用大卡車載運的石材，首先搬運至水際線儲存場暫時存放，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，並考量石材搬運船停泊水域。

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「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，其間隔如沉箱設置，若需要平坦潤飾 (finish) 時，一般間隔為 5m 左右。

② 補拋

第 2 階段的石材拋放是為使下階段的「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分散，水深越深分散越大，若潮流強時會產生偏離，故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。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。

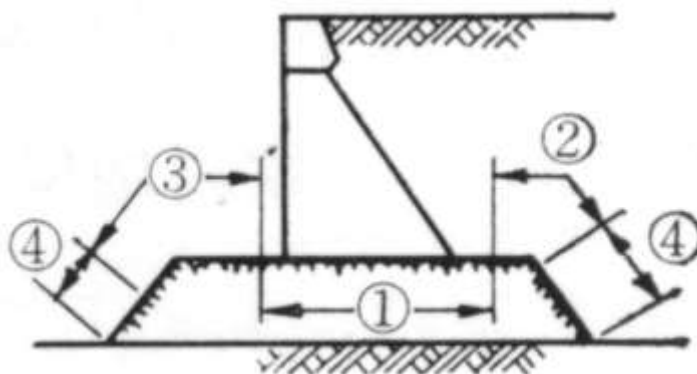
被覆層石材拋放與後續整平作業有密切關係，不從海面直接拋放而由基礎面附近直接拋放者為多。

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。

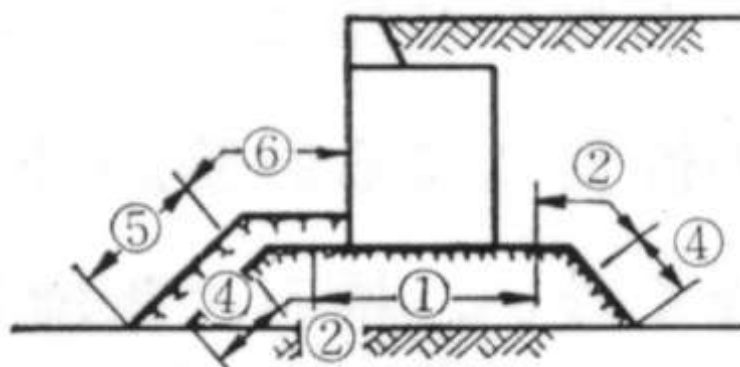
3) 拋石整平工

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。



2011 埃及無被覆石之旅



有被覆石

名稱		容許範圍
基礎拋石		
①	細整平	±5cm
②	粗整平	±3cm
③	粗整平	±10cm
④	坡面	±50cm
被覆石		
⑤	被覆整平	±50cm
⑥	被覆整平	±10cm

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，但沉箱的重新設置費時費力，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載力，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±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，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

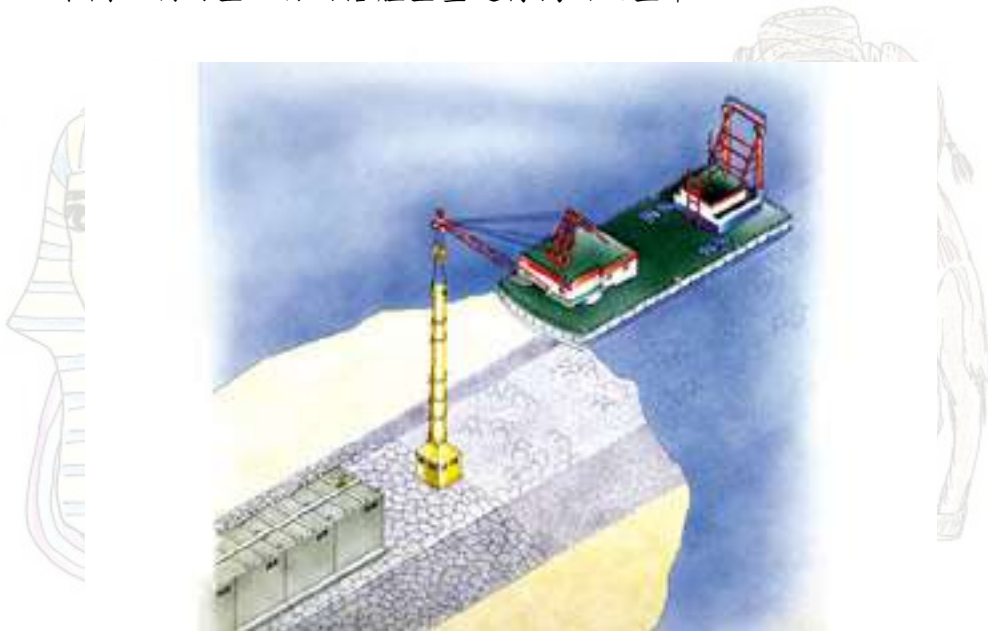
2011 埃及尼羅河之旅

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。



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>

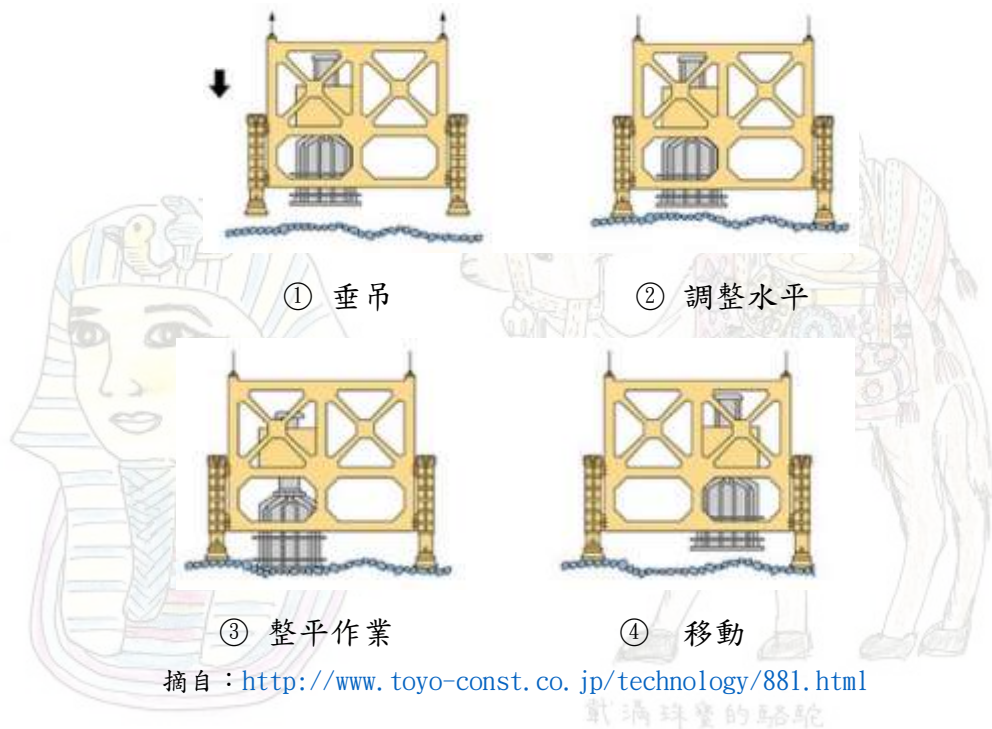
③ 著底起振式拋石整平機 2011 埃及尼羅河之旅

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



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。

3. 施工法及施工上應特別注意事項

- ① 從海上拋放堆積如山的拋石，應使用潛水夫手動或水中鏟斗機、或步行整平機加以鋪整平，將堤基造形成預定的梯形斷面，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碼頭堤體。
- 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。
- ④ 碼頭前基礎拋石整平作業，因船舶吃水，不容許拋石突出，整平精度取+0~-20cm。檢測結果發現有水深不足時，補正非常困難，應特別注意。

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