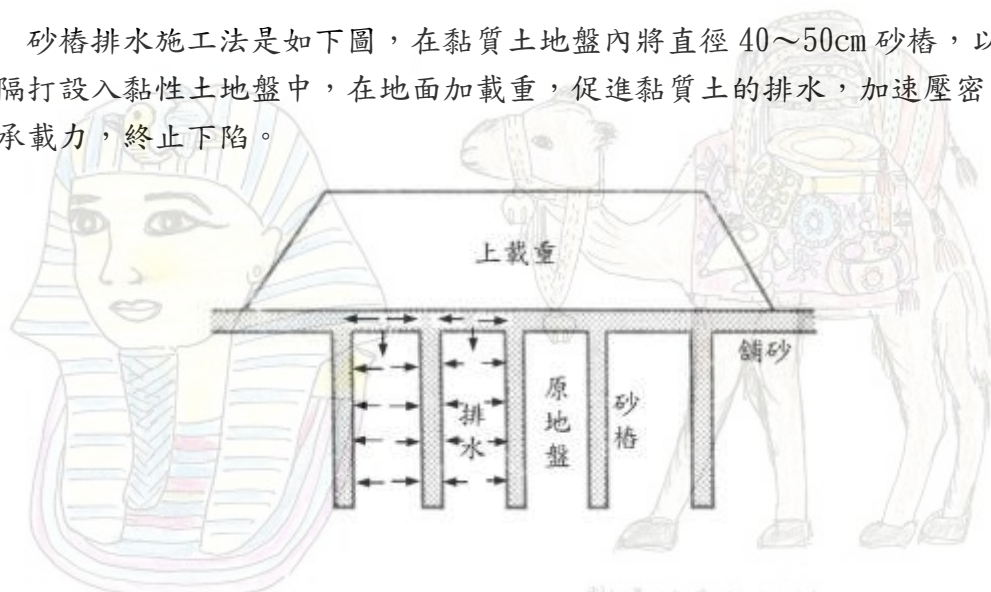


海上地盤改良工砂樁排水施工法

砂樁排水施工法是如下圖，在黏質土地盤內將直徑 40~50cm 砂樁，以必要間隔打設入黏性土地盤中，在地面加載重，促進黏質土的排水，加速壓密，增強承載力，終止下陷。



本工法不論在海上或陸上，均不需要特殊機械或裝置，具有經濟性，施工簡便，特徵如下：

- ① 過往業績良好 2011 埃及尼羅河之旅
- ② 部份換砂可增加強度
- ③ 直徑大可使用大排水係數砂，排水能力強
- ④ 陸上、海上均可
- ⑤ 施工管理比較複雜
- ⑥ 超軟弱地盤砂樁自立困難

1. 砂樁排水法

砂樁排水是加載不會破壞地盤程度的載重，承受載重壓力，促進軟弱層壓密，會增強地盤強度。依 Terzaghi 的 1 維壓密理論，黏性土的壓密必要時間與排水距離的自乘成正比，欲縮短壓密時間，可利用縮短排水路。

壓密時間與排水距離的關係可以下式表示

$$t = \frac{D^2 T_v}{C_v}$$

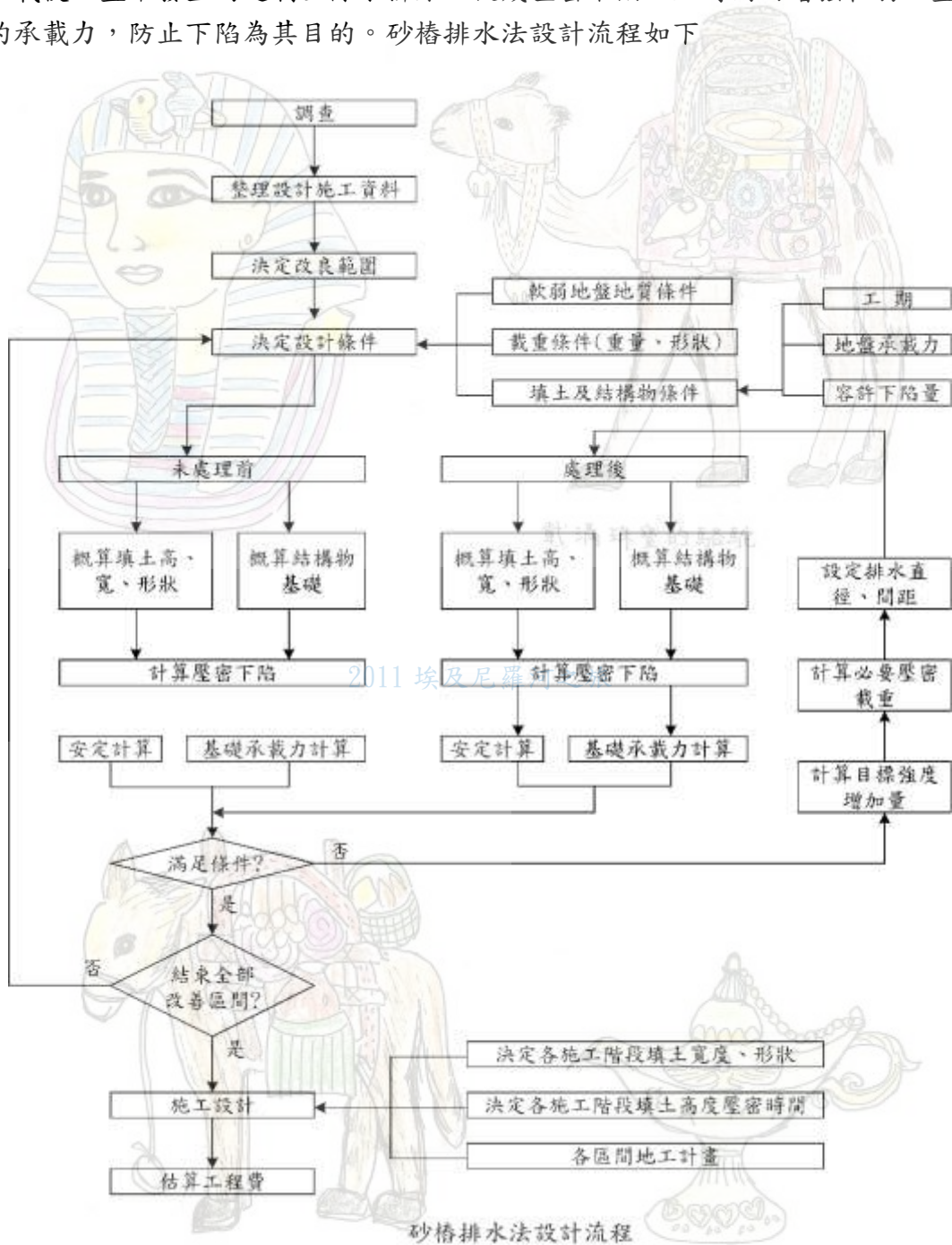
t：壓密必要時間(day)

D：排水距離(m)

C_v ：壓密係數(cm^2/day)

T_v ：依壓密度(U)求得時間係數

即縮短排水距離 D 就可加速壓密時間，利用此原理改良強化軟弱地盤的工法稱為砂樁排水法。本工法可在軟弱地盤中置入砂樁，使之成為排水通路，在上方加載使地盤中發生的過剩空隙水排除，促成壓密下陷，短時間內增強軟弱地盤的承載力，防止下陷為其目的。砂樁排水法設計流程如下



砂樁排水法設計與其他工法同樣，必須與結構物本體設計同為一體，不可分制單獨設計，設計時應假定下列事項進行設計。

- ① 目標強度增加量
- ② 容許下陷量(容許結構物未來下陷量)
- ③ 施工範圍

上述因素必要充分考量結構物安定、作用於結構物土壓、地盤承载力、容許結構物下陷量等作決定。

與本工法設計有關地質條件為原地盤非排水強度、強度增加率、單位體積重量、壓密係數、體積壓縮係數、過壓密載重、壓密層厚度、填土剪應力強度及單位體積重量等，參考土壤。

1) 土壤試驗

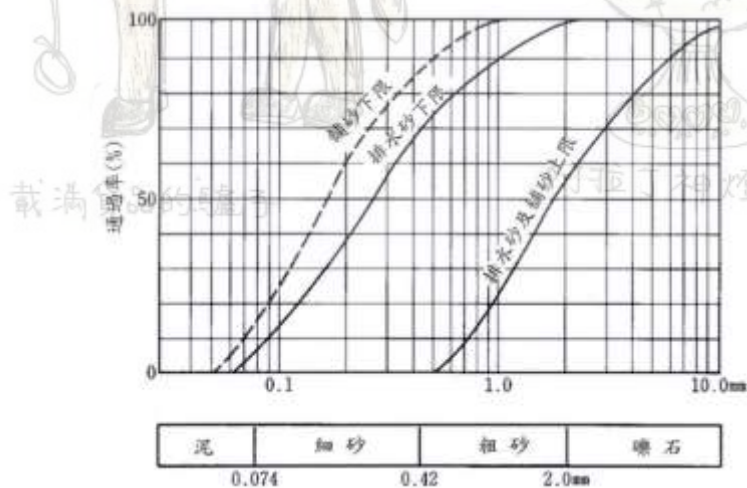
設計砂樁排水法時，必要土壤試驗如下表

目的	試驗	項目
確認黏土層及透水性厚度	標準貫入試驗	
了解地盤性質	物理試驗	天然含水比、空隙比、液性臨界、塑性臨界、土粒子比重、飽和度、單位體積重量、粒度分佈
推估壓密下陷量及壓密所需時間	壓密試驗	壓縮指數、體積壓縮指數、壓密降伏應力、壓密係數、透水係數
地盤改良範圍 檢討對載重重量的安定性	剪力試驗 3軸試驗	單軸壓縮強度、黏著力 壓密非排水
排水材或墊材的透水性	透水試驗	

2) 排水材及鋪砂透水性

① 排水材

排水砂及鋪砂的透水性可利用透水試驗取得，但是通常依粒徑分佈即可斷判，下圖表示適宜粒徑。



② 鋪砂

鋪砂厚度，海中一般為 1 公尺，陸上為 0.5 公尺。鋪砂排水能力小，會因水頭損失導致壓密時間變長，尤其是中央部份，因此必須選用排水性良好材料。

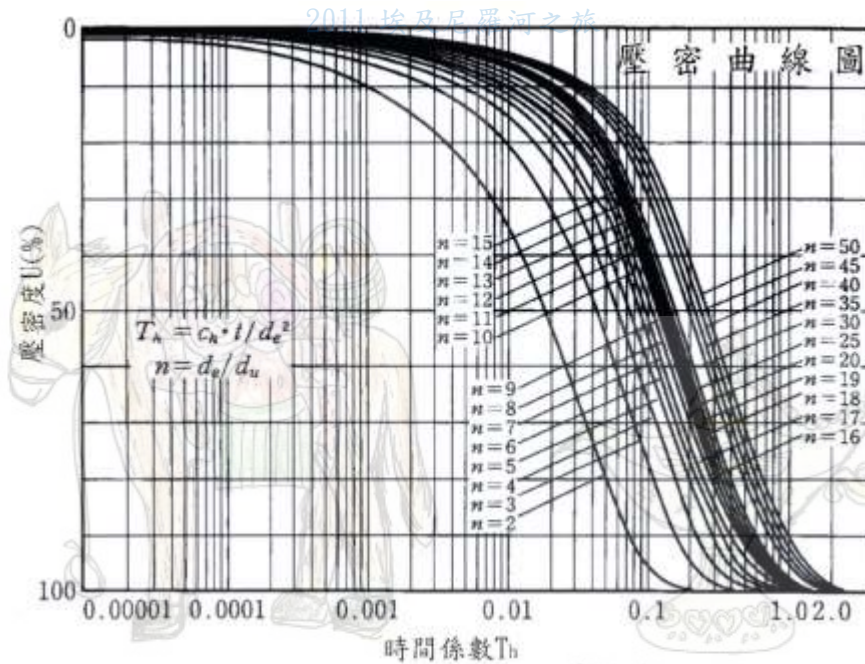
3) 排水樁間隔

砂樁排水間隔，由在工期內得到預定壓密度決定。砂樁排水通常以三角形或正方形配置打設。空隙水壓流入排水樁內的範圍為對各排水樁為等距離的面所涵蓋，可為 6 角形或正方形，為解析方便通常以等面積圓換算，稱為等值有效圓，其直徑 d_e 稱為等值有效直徑，與打設間隔 D 有下列關係。

3 角形配置時 $d_e = 1.05D$

正方形配置時 $d_e = 1.13D$

對特定打設間隔，平均壓密度 U 可由下圖求得。



載滿貨品的驢子 打設間隔速算圖 阿拉丁神燈

$$n = \frac{d_e}{d_u} \quad , \quad T_h = \frac{c_v t}{d_e^2}$$

d_u : 排水樁直徑(m)

- d_e : 等值有效圓直徑(m)
 C_h : 水平方向壓密係數(cm^2/min)
 T_h : 水平壓密時間係數
 T : 壓密開始後的時間(day)

4) 改良後下陷量

改良後下陷量可利用上述各種排水材間隔求得的平均壓密度 U ，依基礎地盤陷所述下式估算

$$S_{ti} = U_i(T_{vi})S_i$$

5) 改良後地盤強度

改良後地盤強度可利用上述各種排水材間隔求得的平均壓密度 U ，依土壤所述下列壓密引起粘性土強度增加公式計算。

$$\Delta c_u = \Delta p(c_u / p)U$$

2011 埃及尼羅河之旅

2. 施工

1) 鋪砂

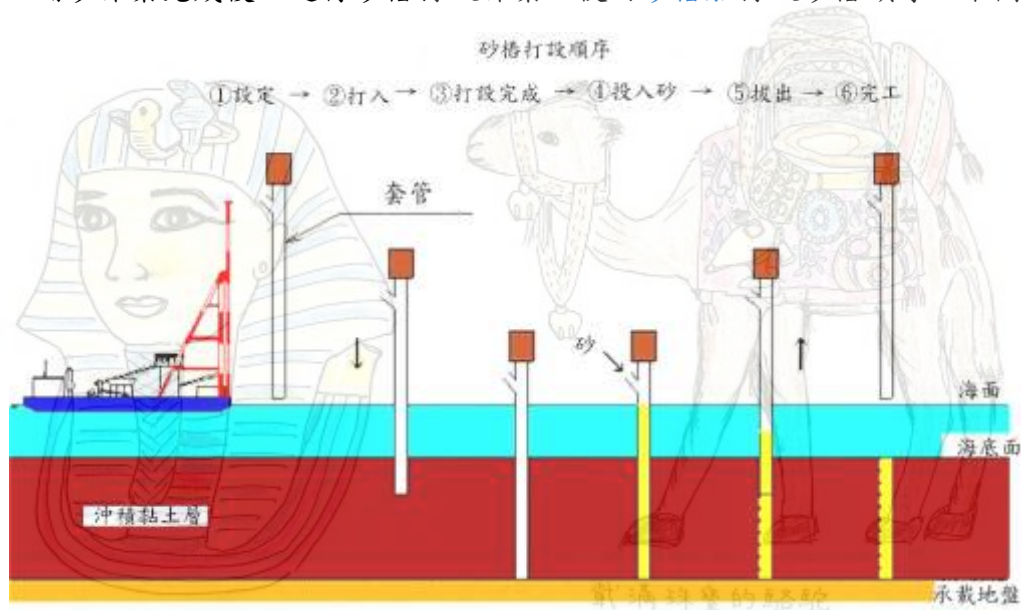
鋪砂目的有 2:

- ① 避免砂樁打設時擾動原地盤。
- ② 防止砂樁打設後從砂樁湧上間隙水向側邊逸散，作為透水層必須與砂樁連結。

鋪砂是投入軟弱地盤上，鋪砂厚度太薄時，會擾動海底面的軟弱地盤，致使黏土混入砂內，應注意。鋪砂厚度太厚時，會增加打樁困難度。應考量施工方法及地質狀況決定鋪砂厚度，通常海中為 1 公尺，陸上為 0.5 公尺。施工機械可使用吊斗船、運砂船或撒砂船，通常撒砂船的撒砂均勻度優於使用抓斗撒砂，同時滲入現地盤的砂量亦較少。滲入現地盤的砂與黏土的混合厚度，依抓斗投入約為 10~30cm，撒砂船為 5~10cm。鋪砂整平可利用潛水夫、吊斗船、整平用駁船等施工，凹凸起伏的容許差一般約為 $\pm 30\text{cm}$ 。

2) 砂樁打設

鋪砂作業完成後，進行砂樁打設作業，使用**砂樁船**打設砂樁順序如下圖



摘譯自：http://www.fudotetra.co.jp/geo/kouhou/atsumitsu_sokushin/cfdrain/index.html

砂樁打設方法如下表所示²⁰¹¹ 埃及尼羅河之旅

鑽孔法		砂樁設定法	
有套管	閉端	振動打入 打入 壓入	振動拉拔 靜拉拔
	開端	噴水槍排土 地螺鑽排土	靜拉拔
有套管	回轉冷却固化 打擊冷却固化		飽和沈降

港灣工程通常使用閉端套管用振動錘將砂樁振動打入，目前**砂樁船**最多為12連裝，最大打設深度可達50m。

打設作業時，應注意不可給套管過大打設力，到達預定深度時，如上圖，將砂從上部投入，將套管底端打開，緩緩拔出套管。此時為防止砂樁產生斷點，應灌水或利用壓縮空氣加壓。同時在砂面利用砂面計一邊記錄一邊調整套管拉拔速度。為加速砂的落下可灌水或加壓，砂樁不宜傾斜盡可能保持垂直，確認每根砂樁的投入砂量，砂樁位置誤差容許範圍約為 $\pm 20 \sim 30$ cm，砂樁打設完成後進行載重作業。

載重量應注意堆土材料的單位體積重量、事先預定載重期間，觀測下陷

量，利用下述監測鑽探或水壓計觀測確認強度。

3. 施工管理

施工時，施工管理應注意下列事項：

① 鋪砂及砂樁用砂品質

依 Terzaghi，砂的 15% 粒徑 (D_{15}) 宜在為黏土層 (D_{15}) 4 倍以上及黏土層 85% 粒徑 (D_{85}) 4 倍以下間。

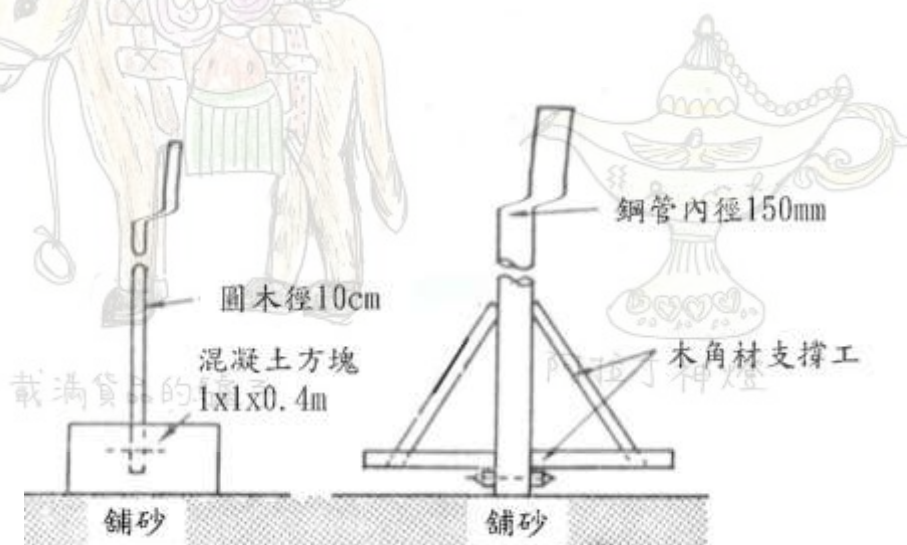
② 砂樁成形(允收)狀態

砂樁不宜傾斜盡可能保持垂直，應每根精確施工。

③ 下陷觀測

將實測下陷量與理論結果比較，推估強度增加量及壓密度，必要時可設置探測異常狀況的觀測裝置。 2011 埃及尼羅河之旅

觀測點越多越好，一般依工程重要度、軟弱地盤強度及地盤下陷狀況決定。在設置監測鑽探處一定要觀測，延長方向重點設置即可。對橫斷面，含監測鑽探及間隙水壓測定點等施工管理觀測點，宜在砂樁施工區域內外設置觀測點。有可能的話，宜對各層別觀測其下陷，這是件難事，觀測方法是使用如下圖所示下陷板或方塊，其設置及設置後的管理必須小心，否則會發生下陷板傾斜或損害。



下陷板

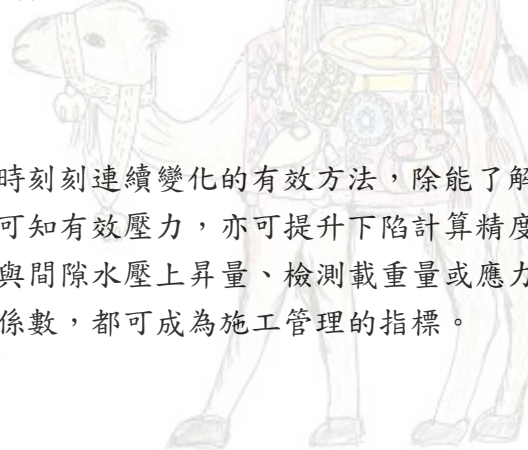
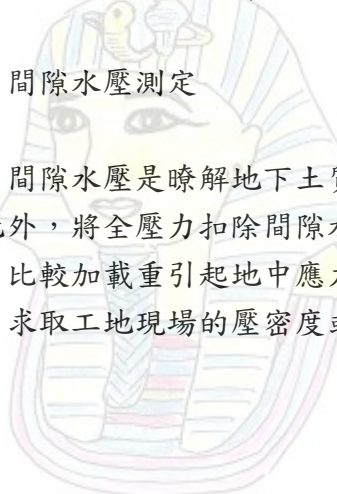
④ 監測鑽探

下陷觀測及下述間隙水壓測定確實可信賴時，可不用進行監測鑽探檢測。否則同一地質狀態同一設計施工狀態的區間至少要選定1個觀測點，對同一地質的區間宜設置於先行施工處，以期盡快確認地盤強度盡快施工。

⑤ 間隙水壓測定

間隙水壓是瞭解地下土質內時時刻刻連續變化的有效方法，除能了解壓密變化外，將全壓力扣除間隙水壓就可知有效壓力，亦可提升下陷計算精度。

比較加載重引起地中應力增量與間隙水壓上昇量、檢測載重量或應力分佈、求取工地現場的壓密度或壓密係數，都可成為施工管理的指標。



載滿珠寶的駱駝

回海洋工作站 回港灣工程施工

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈