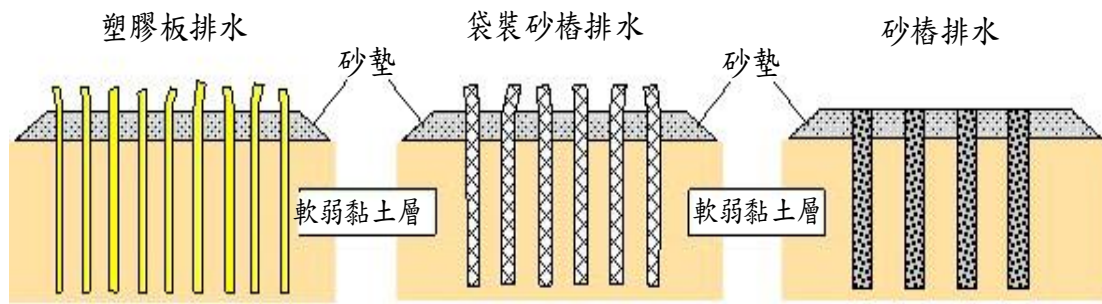


壓密排水法

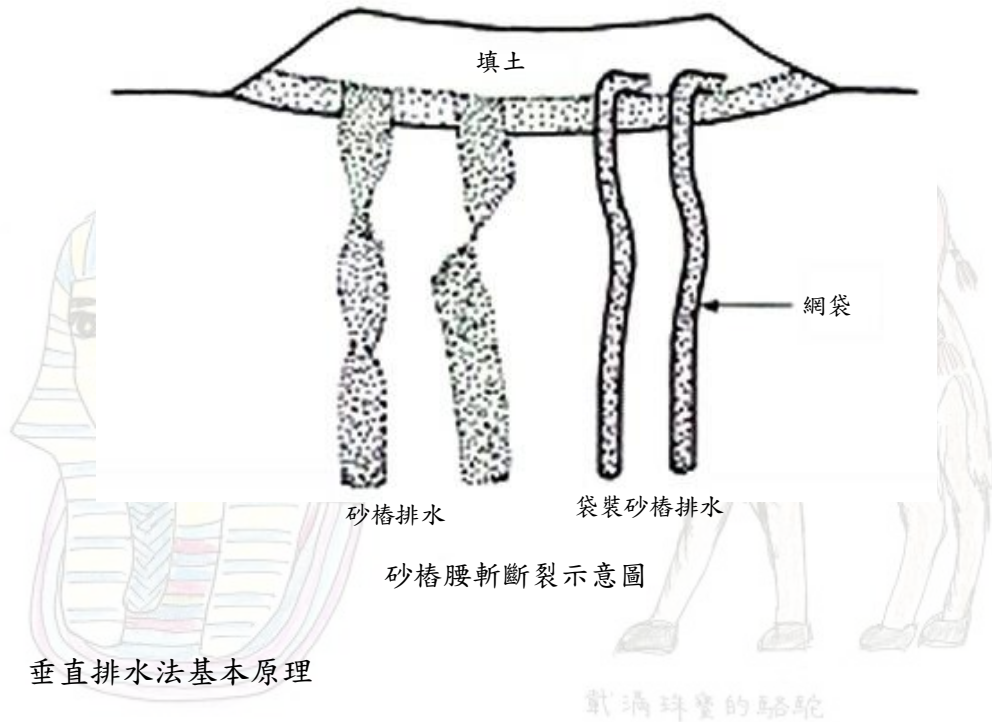
壓密排水法又稱垂直排水法如下圖，可分成砂樁排水法、袋裝砂樁排水法、塑膠板排水法等 3 大類。



摘自：<http://www.taiyo-kiso.co.jp/old/nwd012.gif>

各種排水法特徵如下表

砂樁排水法	袋裝砂樁排水法	塑膠板排水法
將直徑 40~50cm 的砂樁設置於黏性土地盤中，促成壓密排水改良軟弱黏性土地盤	強韌袋中充填砂的排水體，陸上採用直徑 12~25cm，海上 25~40cm	高分子材料特殊加工製成紙板般的板，寬 10cm 厚 1.6~3.0mm，大致可換算成 5 公分徑的砂樁
<ol style="list-style-type: none"> 業績良好 部份換砂可增加強度 直徑大可使用排水係數大的砂，排水能力大 陸上、海上均可 施工管理比較難(砂樁腰斬斷裂) 超軟弱地盤砂樁自立困難 施工機具重需地耐力 	<ol style="list-style-type: none"> 業績近年來逐漸增多 不會像砂樁腰斬斷裂，確保排水樁連續 施工管理容易，袋子露出地上容易確認 陸上、海上均可 小口徑者砂使用量少 1 次可打設根數較多，施工速度快 超軟弱地盤砂樁亦可自立 	<ol style="list-style-type: none"> 業績多 重量輕容易搬運 排水材品質一樣 可小間距施工縮短壓密時間 施工速度快 海上業績較少 改良層中有硬砂層時無法打設



1. 垂直排水法基本原理

垂直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，增強地盤強度。依 Terzaghi 的 1 維壓密理論，黏性土壓密必要時間與排水距離自乘成正比，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垂直排水法。本工法可在軟弱地盤中置入砂樁、袋裝砂樁或塑膠板，使之成為排水通路，在上方加載將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载力，防止下陷為其目的。

2. 垂直排水法設計流程

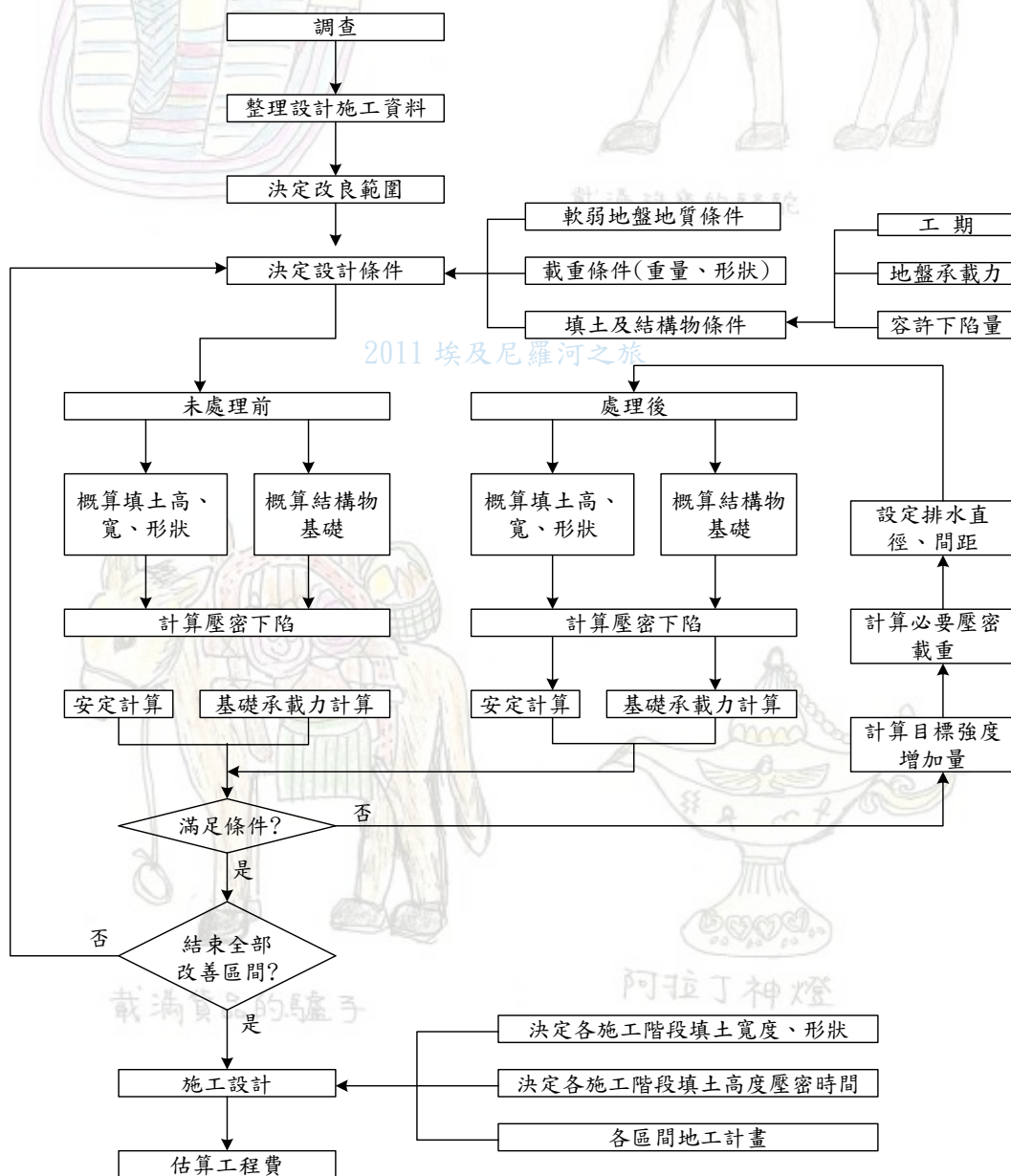
垂直排水法設計與其他工法同樣，必須與結構物本身設計同為一體，不可分離單獨設計，設計時應假定下列事項進行設計。

- 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

上述因素必須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，原地盤的非排水強度、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，詳細請參考土壤。

垂直排水法設計流程如下



砂樁排水法設計流程

(1) 土壤試驗

設計垂直排水法時，必要土壤試驗如下

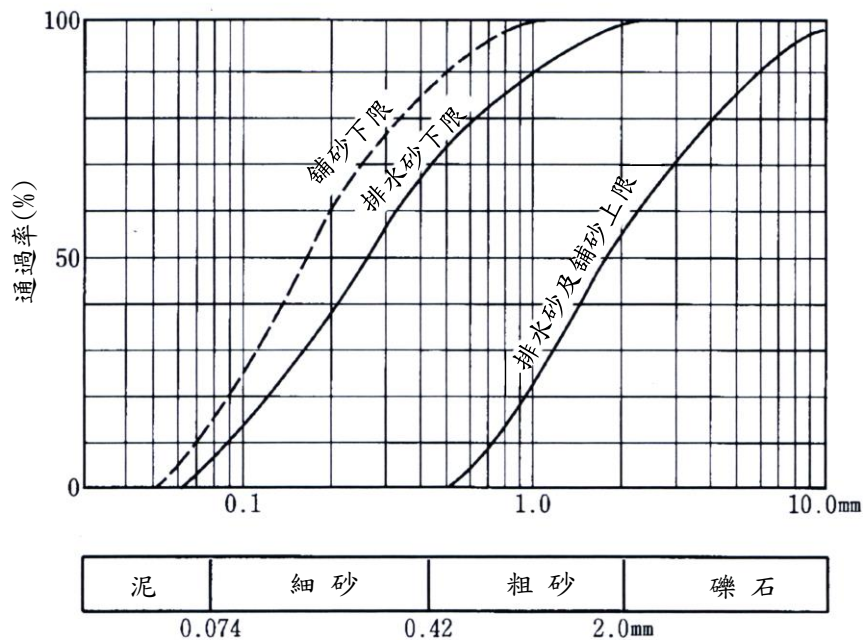
目的	試驗	項目
確認黏土層及透水性厚度	標準貫入試驗	
了解地盤性質	物理試驗	天然含水比，空隙比、液性臨界、塑性臨界、土粒子比重、飽和度、單位體積重量、粒度分佈
推估壓密下陷量及壓密必要時間	壓密試驗	壓縮指數、體積壓縮指數、壓密降伏應力、壓密係數、透水係數
地盤改良範圍 檢討對載重重量的安定性	剪力試驗 3軸試驗	單軸壓縮強度、黏著力 壓密非排水
排水材或墊材的透水性	透水試驗	

(2) 排水材及鋪砂的透水性

① 砂排水

2011 埃及尼羅河之旅

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就可斷判，下圖表示適宜粒度。



砂排水用砂及鋪砂適宜粒度

② 塑膠材排水

最先被開發的是排水紙(paper drain)，一種具有孔的紙板製成的卡板(card board)，用來取代排水砂，由於耐久性不佳，鮮被採用。近來有單張不織布，以合成樹脂為蕊的不織布作成的袋狀濾布複合結構，或將保麗龍特殊加工製成的多孔單一結構等。

③ 袋裝砂排水

直徑 12cm 的合成纖維製成網裝內填充砂，改善砂樁腰斬或切斷等缺點，適用於超軟弱地盤。

④ 鋪砂

鋪砂厚度海中通常為 1 公尺，陸上為 0.5 公尺。鋪砂排水能力小時，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的材料。

(3) 排水樁間隔

2011 埃及尼羅河之旅

垂直排水間隔，依欲在工期內得到預定壓密度決定。垂直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的圓換算，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。

$$3 \text{ 角形配置時 } d_e = 1.05D$$

$$\text{正方形配置時 } d_e = 1.13D$$

對特定打設間隔，平均壓密度 U 可由下圖求得。

$$n = \frac{d_e}{d_u}, \quad T_h = \frac{c_h T}{d_e^2}$$

載滿貨品的驢子

d_u : 排水樁直徑(m)

d_e : 等值有效圓直徑(m)

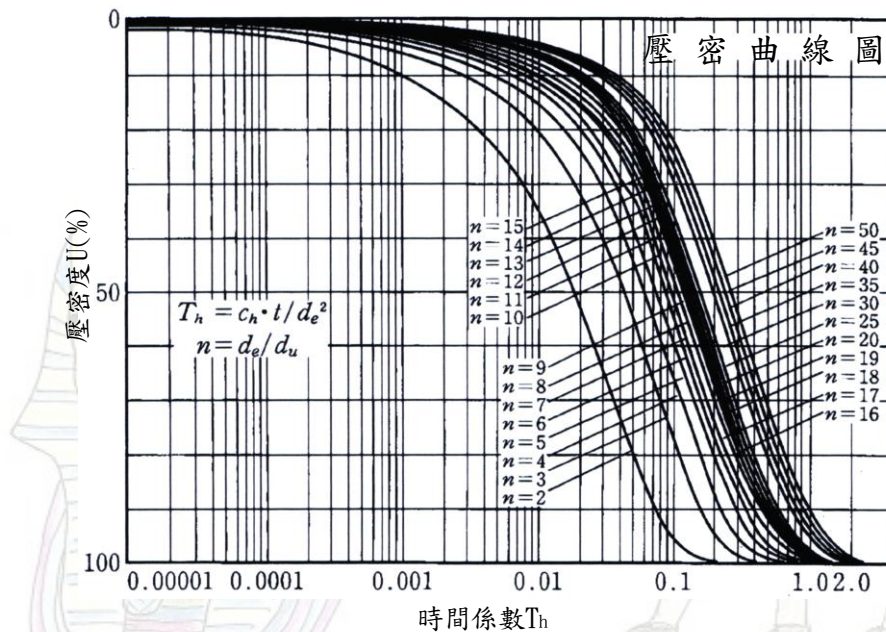
c_h : 水平方向壓密係數(cm^2/min)

T_h : 水平壓密時間係數

T : 壓密開始後的時間(day)



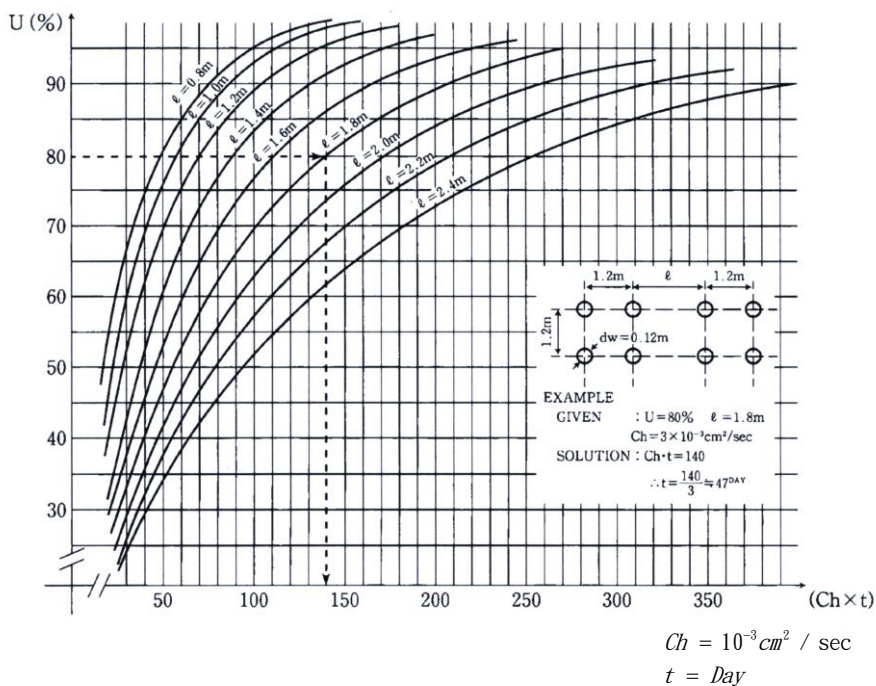
阿拉丁神燈



打設間隔速算圖

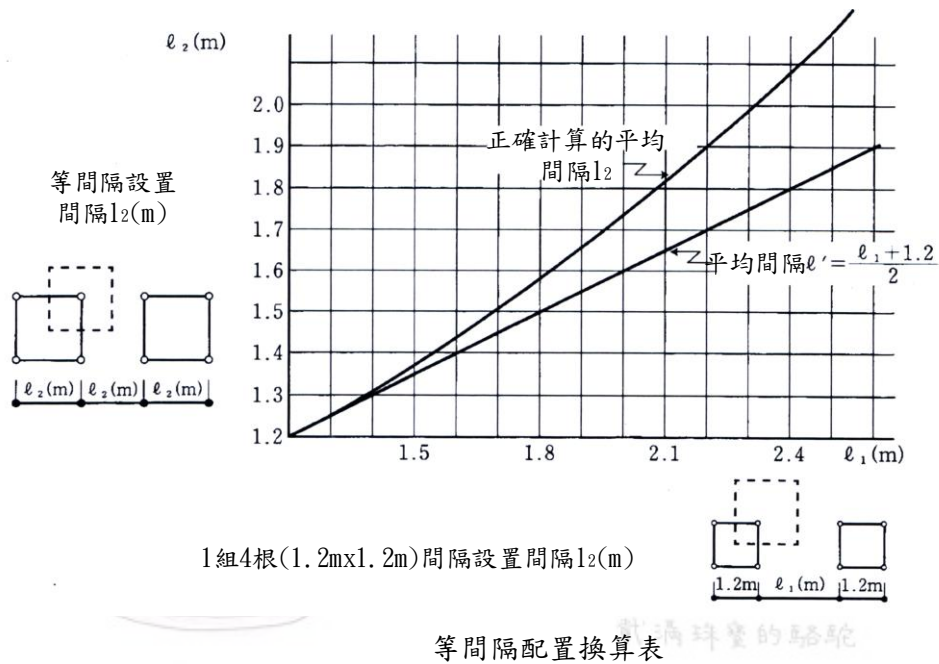
(4) 袋裝砂排水樁間隔

袋裝砂排水樁間隔同如上述砂排水樁設計，通常打設裝置為 1.2 公尺正方形，可同時打設 4 根。砂排水樁是以等間隔施工，袋裝砂排水樁間隔為不等間隔，因此考量每根樁所負擔集中面積而計算平均壓密度。實際設計時，可依下表推算。



打設間隔速算圖

但是間隔超過 2 公尺以上時，因與嚴密計算所得平均間隔有些誤差，必須利用下圖作修正。



(5) 塑膠板排水樁間隔

2011 埃及尼羅河之旅

塑膠板排水樁間隔，基本上如同砂排水樁設計，因其形狀為矩形，依下式將其換算成圓形斷面。

$$d_w = \frac{2(a + b)}{\pi}$$

a: 排水材寬(約 10~19cm)

b: 排水材厚(約 4mm)

d_w : 使用排水材的假想直徑

(6) 改良後下陷量

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

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

(7) 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

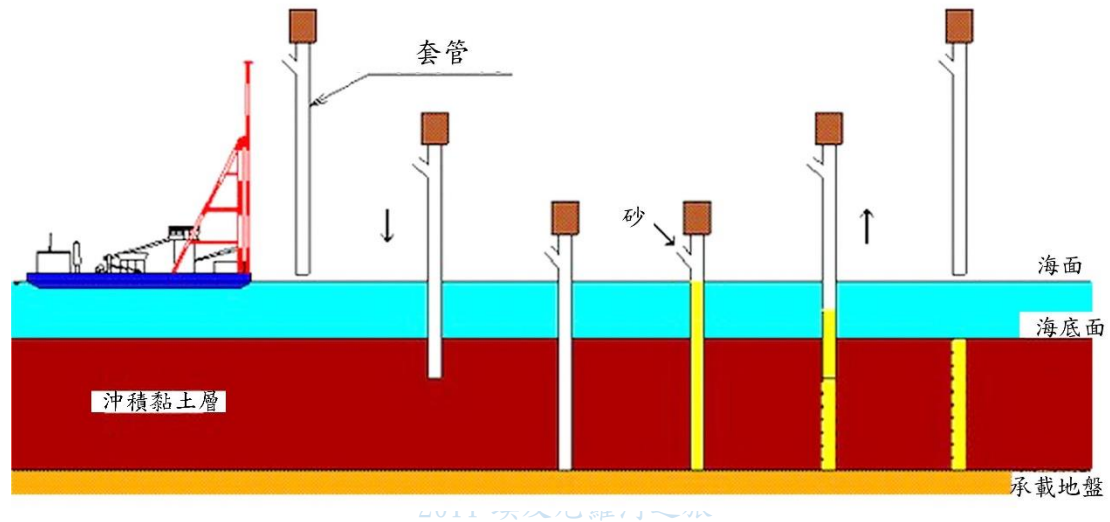
所述下列壓密引起粘性土強度增加公式計算。

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

3. 砂樁排水法

砂樁打設順序

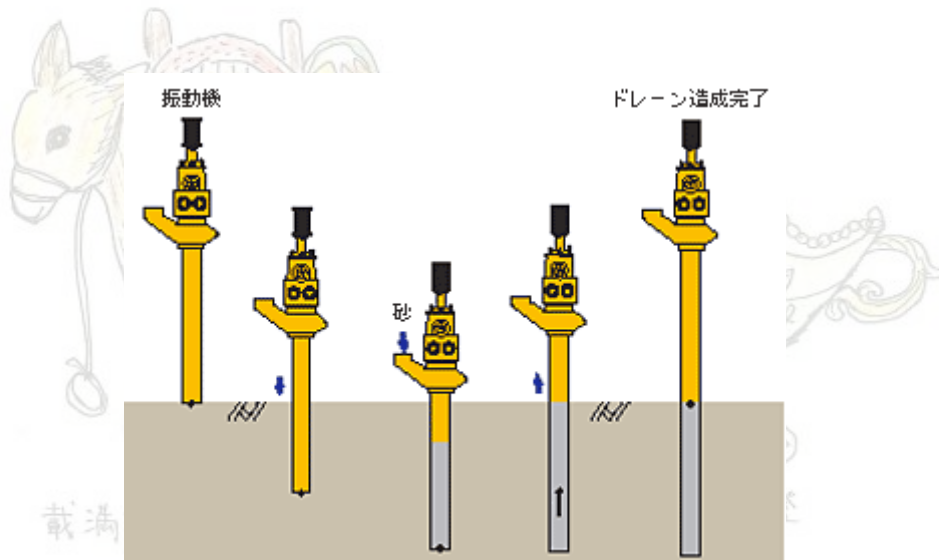
①設定 → ②打入 → ③打設完成 → ④投入砂 → ⑤拔出 → ⑥完工



摘譯自：

http://www.yorigami.co.jp/communication/structures/structure1_1.html

砂樁排水法海上施工示意圖



砂樁排水法陸上施工示意圖

摘自：

http://www.fudotetra.co.jp/geo/kouhou/atsumitsu_sokushin/sanddrain/index.html

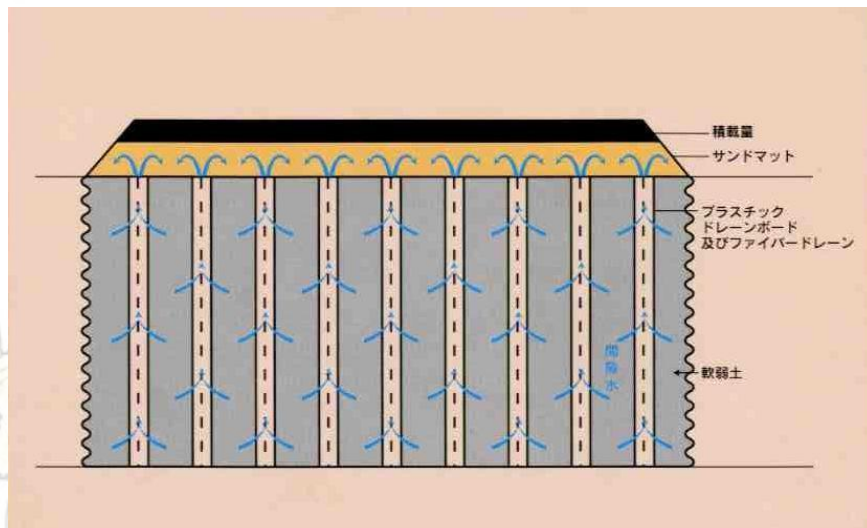


袋裝砂樁排水法

摘自：

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

載滿珠寶的駱駝

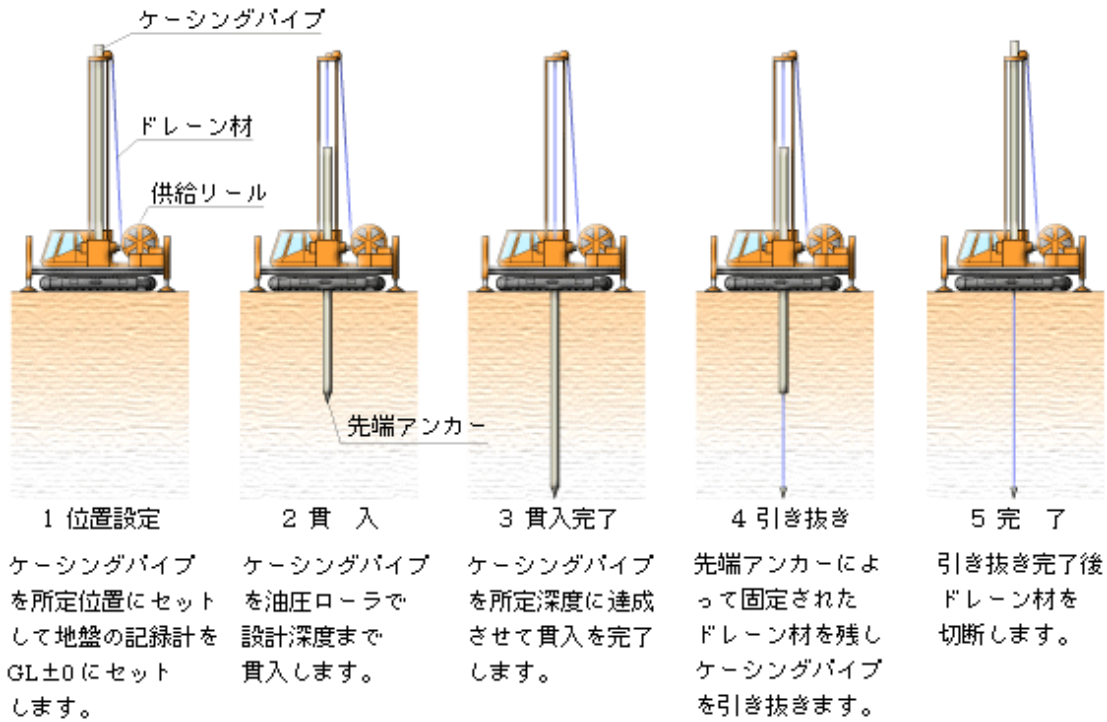


塑膠板排水法示意圖

摘自：<http://www.cad-tech.co.jp/contents/pvd/html/pvd-kouhou.htm>

載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈



塑膠板排水法示意圖

摘自：<http://www.aomi.co.jp/tech/ground/pbd.html>

2011 埃及尼羅河之旅

各種垂直排水法的海上作業船如下圖



(a)砂樁排水船



2011(b) 砂壓密船之旅



(c) 深層混合處理船

摘自：<http://www.umeshunkyo.or.jp/108/prom/235/page.html>



載滿貨品的驢子 袋裝砂樁排水法 阿拉丁神燈

摘自：http://www.taiyo-kiso.co.jp/business/improvement/method_1_1.html