

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology


Nanhua University

Master Thesis

台灣中部地區地下水觀測井回填濾料設計

Filtering Material Design of Groundwater Monitoring

Wells in the West of Taiwan



陳茂誠

Mao-Cheng Chen

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 108 年 6 月

June 2019

南華大學

永續綠色科技碩士學位學程

碩士學位論文

論文中文題目：台灣中部地區地下水觀測井回填濾料設計

論文英文題目：Filtering Material Design of Groundwater
Monitoring Wells in the west of Taiwan

研究生：連茂綱

經考試合格特此證明

口試委員：楊昱森
廖琦
洪耀明

指導教授：洪耀明

系主任(所長)：洪耀明

口試日期：中華民國 108 年 6 月 24 日

誌謝

茲於此感謝洪耀明博士及諸多授課老師，在這兩年半時間，不斷的諄諄教誨，將田間操作農夫的我帶入這浩瀚的水土保持殿堂，在這短暫的時間之內雖然學到了不少，但對於各位老師們來說只是皮毛，往後有機遇會再努力深入學習。

亦感謝唐琦博士、楊旻森博士，在百忙之中不厭其煩的指導學生完成此論文。對此段學習之旅眾多夥伴，清煥、謀顯、俊丞、建丞、威霖、美如……等，不斷相互扶持相助，致上敬意。最後感謝我摯愛的家人，這段期間默默支持，在此對他們說「愛你」。



中文摘要

本研究收集台灣中部不同類型土壤，進行地下水監測井設計回填濾料設計。首先收集台灣中部 10 處之表層土壤，計算土壤粒徑 d_{10} 、 d_{60} 及 d_{90} 。再透過 Hong (2012) 之濾料設計方法，推算濾料粒徑 D_{15} ，並以線性假設，推算濾料 D_{10} 和 D_{100} 。然後進行壓密試驗，推算最大乾密度，以模擬土壤受壓之情況，隨後以無沖蝕濾料試驗，以高壓測試測試過濾料管湧情況。測試的結果據以修正過濾料設計，預計提供台灣中部地區不同類型土壤之濾料設計依據。

關鍵詞：回填濾料、無沖蝕濾料試驗、管湧

ABSTRACT

This study designed the backfill filter for groundwater monitoring well (GMW) under the different types of soil from the middle area of Taiwan. Firstly, 10 soil samples were collected, and the grain size of soil sample d_{10} , d_{60} , d_{90} were calculated. The distribution range of filter grain size D_{15} is initially estimated based on the typical design criteria. D_{10} and D_{100} can be obtained by linearity assumption. The design method of backfill filter is then tested by a practical example. The first test will be the proctor compaction test, which will be used to simulate the pressure condition of base soil under the ground. The second test is the no erosion filter test, which is adopted to deploy filter grains to prevent piping when the high groundwater pressure applies on the crack. And results of these test can be referred for backfilling filters design method into the groundwater monitoring well. The validation and appropriate upper and lower limits of D_{15} will be observed. Outcome can also supply the design criteria for the various soil types in the middle area of Taiwan.

Keywords: filtering material, no erosion filter test, piping erosion

目錄

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	V
表目錄.....	VI
符號說明.....	VII
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 本文架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 美國水土保持局濾料粒徑設計.....	4
2.2 濾料粒徑分佈設計方法改善.....	7
第三章 土壤採養基礎分析.....	16
3.1 採樣地點及採樣.....	16
3.2 粒徑分析.....	19
第四章 回填濾料設計.....	25
4.1 基礎土壤分類.....	25
4.2 過濾料 D_{15} 上下限.....	26
4.3 $Cu=6$ 之粒徑分佈.....	27
4.4 $Cu=20$ 之粒徑分佈.....	31
第五章 結論與建議.....	33
參考文獻.....	34
附件 1 採樣篩分析.....	35

圖目錄

圖 2-1 過濾機制圖(Taylor 1948).....	3
圖 2-2 D_{10} 與 D_{90} 之建議值上下限範圍	10
圖 2-3 $D_{10} \leq 0.5\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議值	12
圖 2-4 $0.5\text{mm} \leq D_{10} \leq 1\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈	13
圖 2-5 $1\text{mm} \leq D_{10} \leq 2\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議值	13
圖 2-6 $2\text{mm} < D_{10} < 5\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議	14
圖 2-7 $5\text{mm} < D_{10} < 10\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議	14
圖 2-8 $10\text{mm} < D_{10} < 50\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議	15
圖 3-1 採樣點位置圖	16
圖 3-2 No.1 篩分析成果.....	19
圖 3-3 No.2 篩分析成果.....	20
圖 3-4 No.3 篩分析成果.....	20
圖 3-5 No.4 篩分析成果.....	21
圖 3-6 No.5 篩分析成果.....	21
圖 3-7 No.6 篩分析成果.....	22
圖 3-8 No.7 篩分析成果.....	22
圖 3-9 No.8 篩分析成果.....	23
圖 3-10 No.9 篩分析成果.....	23
圖 3-11 No.10 篩分析成果.....	24

表目錄

表 2-1 基礎土壤的分類.....	4
表 2-2 濾料的規範方法.....	5
表 2-3 D_{10} 及 D_{90} 的建議值.....	6
表 3-1 採樣點經緯度座標.....	17
表 4-1 基礎土壤分類	25
表 4-2 過濾料 D_{15} 上下限計算.....	26
表 4-3 $C_u=6$ 之過濾料粒徑分佈	28
表 4-4 $C_u=20$ 之過濾料粒徑分佈	31
附表 1 採樣篩分析數據.....	35

符號說明

d : 濾料粒徑大小

D : 濾料顆粒間之開口大小

d_{15} : 基礎土壤篩分析時，通過重量百分比 15%之粒徑值

d_{90} : 基礎土壤篩分析時，通過重量百分比 90%之粒徑值

C_u : 均勻係數 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ 最好等於 1

D_I : 具代表性的濾料粒徑 D_I 表示開口大小



第一章 前言

1.1 研究動機

地下水觀測井可量測地下水深度、孔隙水壓力及地下水質，為得到良好觀測資料，觀測井需具有良好的地下水通透性及低水頭損失。而回填濾料之級配分佈為影響觀測井性能優劣的重要因子。觀測井之回填濾料為鑽孔中設置井管後的回填材料，作為地層材料與井管之中間介質，其特性不僅影響水流通的能力，關係著對現地地層材料保護的功能。若設置不當，保護功能沒有發揮，地層材料可能產生流失而流入觀測井中，不但影響觀測水位的準確性，亦會增加觀測井維護的負擔。一般而言，回填濾料需考慮防止管湧(piping)發生的功能：管湧為水流時把周圍泥砂帶走的土壤內部沖蝕的現象；設置適當的濾料，做為現地地層材料的保護，期能安全的讓水通過觀測井的井壁開孔，不致產生土砂流失現象，其粒徑分佈與工程特性應妥善設計，方能發揮其功效。此外若濾層的滲透能力不佳，或易生流失阻塞現象，則可能造成水位變化反應太慢，甚或無法反應，無法發揮觀測井之功能。

1.2 研究目的

因地下水回填濾料，將決定地下水觀測井能否發揮功效之主要因素，本研究透過收集相關規範及辦法，建立濾料設計流程，以提供地下水觀測井回填濾料設計之用。

1.3 本文架構

依研究重點將本文分成五章，各章內容簡述如下：

第一章為前言，說明研究背景、動機及研究目的，並概述論文架構。

第二章為文獻回顧，內容包括相關規範及辦法，濾料設計流程。

第三章為研究方法，說明採樣地點、試驗設計、試驗流程及量測方法。

第四章為結果與討論，應用收集模式結果進行分析，推得各材料試驗濾料，進行綜合比較分析。

第五章為結論與建議，主要將上述各章之結果綜合歸納，並提出未來可以繼續研究之方向。

第二章 文獻回顧

濾料設計的基本原理，就是讓基礎土壤細顆粒停留在濾料開口表面。因此，濾料開口尺寸 O_F 必須小於基礎土壤之代表粒徑 (indicative particle size) d_I 。

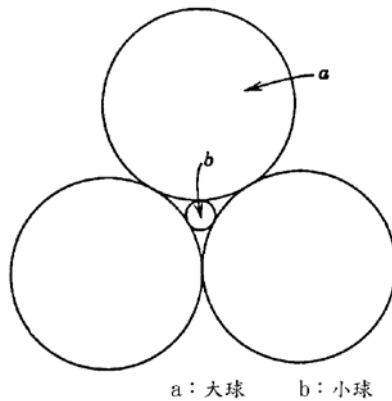


圖 2-1 過濾機制圖(Taylor 1948)

Taylor(1948)指出，如果三個完美球體的直徑大於小球直徑 6.5 倍，則小球將通過三球所圍成的孔隙(圖 2-1)。換句話說，三個球體的直徑，必須小於或等於小球直徑的 6.5 倍，始能防止小球移動。但是，對一般非均勻濾料而言，無法直接以濾料直徑來表示開口大小；只能以某一具有代表性的濾料粒徑 D_I 來表示開口大小。因此，一般規範大都以 D_I 及 d_I 作為濾料研究的主要參數。並以容許停留比 (allowable retention ratio) R_R 作為評估濾料試驗成功與失敗的指標。以下整理前人關於濾料試驗之成果。

2.1 美國水土保持局濾料粒徑設計

Soil Conservation Service (1986)對濾料的要求，從 1980~1985 年進行一系列的試驗而訂出濾料設計規範，經整理如下：

以下步驟建議可用來做適當濾料的粒徑分佈設計方法

1、首先決定現地土壤的粒徑分佈曲線，儘量使用可取得的最多的土壤樣品，採用規範所規定最小的 D_{15} 。

2、如果土壤含大於#4 篩的材料，亦即大於 4.75mm 的顆粒。

(1)以 100 除以通過#4 篩的百分比得一修正係數；

(2)將#4 篩以下各篩號停留比乘以上項的修正係數；

(3)用上項修正過的百分比繪製新的粒徑分佈曲線；

(4)用上項修正過的曲線決定通過#200 篩(0.075mm)的比例。

3、由表 2-1 中依通過#200 篩的比例查出基礎土壤所屬的分類

表 2-1 基礎土壤的分類

分類	通過#200 篩的比例
1	>85
2	40~85
3	15~39
4	<15

資料來源：Soil Conservation Service (1986)

4、由表 2-2 決定通濾料允許最大 D_{15} ，(注意 D_{15} 不一定要小於 0.20mm)。

表 2-2 濾料的規範方法

基礎土壤分類	基礎土壤的概況 ^{註 1}	濾料規範 ^{註 2}
1	細粉土及粘土	$D_{15} \leq 9 \times d_{85}$ ^{註 3}
2	砂、粉土、粘土及粉土質砂、粘土質砂等	$D_{15} \leq 0.7\text{mm}$
3	粉土質砂、粘土質砂、礫質土	$D_{15} \leq \frac{40-A}{40-15}$ ^{註 4} ($4 \times d_{85}$ ^{註 5} - 0.7mm) + 0.7mm
4	砂、礫石	$D_{15} \leq 4 \times d_{85}$ ^{註 6}

註

(1)本表依(2)步驟調整，通過#4 以下材料為 100%。

(2)濾料最大顆粒徑為 75mm，通過#200 號篩比例為最多 5%，其 PI(塑性指數，PL-LL)需為零。PI 使用通過#40 篩依 ASTM-D-4318 規範試驗。為保證足夠的滲透性 D_{15} 應大於或等於 $4 \times d_{15}$ ，且不小於 0.1mm。

(3)當 $9 \times d_{85}$ 小於 0.2mm，採用 0.2mm。

(4)當 A=調整後的粒徑分佈中，通過#200 篩的百分比。

(5)當 $4 \times d_{85}$ 小於 0.7mm，採用 0.7mm。

(6)本類土壤之 d_{85} 使用未調整前之粒徑分佈。

5、由表 2 決定了濾料粒徑的最大最小值，應儘量選擇粒徑分佈均勻的優良級配曲線，以減少分離及相關效應，曲線應平滑不可有

跳躍的情形，顯示缺乏某些特別的粒徑顆粒，表 3 為避免分離，建議採用的極限值。

表 2-3 D_{10} 及 D_{90} 的建議值

最小 D_{10} (mm)	最大 D_{90} (mm)
<0.5	20
0.5~1.0	25
1.0~2.0	30
2.0~5.0	40
5.0~10	50
10~50	60

6、濾料在接近開縫管時，其 d_{85} 應不小於開孔的直徑或縫的寬度，當特殊情況逆向流(由開孔流向土壤)可能發生時，開孔大小應大於濾料之 d_{15} 。

2.2 濾料粒徑分佈設計方法改善

洪耀明等(2011)及 Hong et. al. (2013)進一步收集了包括 Bertram(1940)、U.S. Army Corps of Engineers(1955)、U.S. Army et al.(1971)、U.S. Bureau of Reclamation 及 U.S. Soil Conservation Service(1985)等相關研究，將各家規範加以歸納，利用圖表方式說明，以便相關單位參考，並按濾料尺寸決定步驟最適宜的方法作成建議說明如下：

1、濾料允許最大 D_{15}

可由表 2-2 決定最大 D_{15} ，由於表中之基礎土壤分類中 1、2、3 類均屬粉土顆粒以下之土壤，不易抽水，或視為非含水層，因此以分類 4 的砂、礫石為觀測井抽水的主要對象，即 $D_{15} \leq 4d_{85}$ 。而以下的討論亦以分類 4 的現地土壤為討論對象。

2、濾料允許最小 D_{15}

由 Bertran(1940)以 Terzaghi 和 Casagrande 學說為基礎所做的結論如下：

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 \sim 5 < \frac{D_{15}}{d_{15}}$$

其中 d_{85} 及 d_{15} 代表基礎土壤做篩分析時，通過重量百分比為 85% 及 15% 之粒徑值，上式可寫成

$$D_{15} < 4 \text{ 或 } 5 d_{85} \text{ 及 } D_{15} > 4 \text{ 或 } 5 d_{15}$$

或統一寫成

$$4d_{15} \leq D_{15} \leq 4d_{85} \quad (2-1)$$

上式中 $D_{15} \leq 4d_{85}$ 之結論與前節相同，加入 $4d_{15} \leq D_{15}$ 以規範 D_{15} 之最小值，此上下限值可以試驗進行初步驗證。

3、 D_{10} 與 D_{60} 之決定

均勻係數 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ 最好等於 1，以減少濾料因沉降速度不同而產生顆粒分離現象，但均勻顆粒的濾料成本可能較高，因此 C_u 之最大值成為值得關注的問題。

由 U.S. Army Corps of Engineers(1955) 以及 U.S. Army et al.(1971)提出濾料 $C_u \leq 20$ ，將暫時定為 C_u 之上限值，同時由 Sherard (1984)經數次試驗後認為，實務上濾料大於#4 篩以上粗粒料不得大於 60%;故另以 $C_u = 6$ 作為比較用，未來可以試驗驗證。同時假設 D_{10} 至 D_{60} 之間之粒徑呈對數直線分佈，若 D_{15} 已知，可推得

$$\frac{\log D_{15} - \log D_{10}}{5} = \frac{\log D_{60} - \log D_{15}}{45}$$

經化簡得

$$D_{60} = \frac{D_{15}^{10}}{D_{10}^9}$$

已知 $D_{60} = D_{10} \cdot C_u$ 代入上式，得

$$D_{10} = \frac{D_{15}}{C_u^{0.1}} \quad (2-2)$$

$$D_{60} = C_u^{0.9} D_{15} \quad (2-3)$$

4、 D_{90} 之決定

避免濾料產生分離現象，亦可以如表 2-3 中所列 D_{10} 與 D_{90} 之關係表示，可以以特表 2-3 之 D_{90} 為橫座標， D_{10} 為縱座標繪如圖 2-2 所示，圖中斜線區域部份為極端值，較不建議採用，而 D_{10} 與 D_{90} 之關係落於灰色區域部份則較佳。

若假設 D_{10} 至 D_{90} 之間，其粒徑分佈亦為對數直線分佈，則

$$\frac{\log D_{15} - \log D_{10}}{5} = \frac{\log D_{90} - \log D_{15}}{75}$$

或

$$D_{90} = C_u^{1.5} D_{15} \quad (2-4)$$

若以(2-4)式計算 D_{90} ，且計算值滿足圖 2-2 之需求，則其 D_{90} 之值可以接受。

5、 D_0 與 D_{100} 之決定

由直線外插假設推算得下式，需注意 $D_0 \geq 0$ ，

$$\frac{D_{10} - D_0}{10} = \frac{D_{15} - D_{10}}{5} \quad \text{可推得}$$

$$D_0 = 3D_{10} - 2D_{15} \quad (2-5)$$

$$\frac{D_{100} - D_{90}}{10} = \frac{D_{90} - D_{60}}{30} \quad \text{可推得}$$

$$D_{100} = \frac{1}{3}(4D_{90} - D_{60}) \quad (2-6)$$

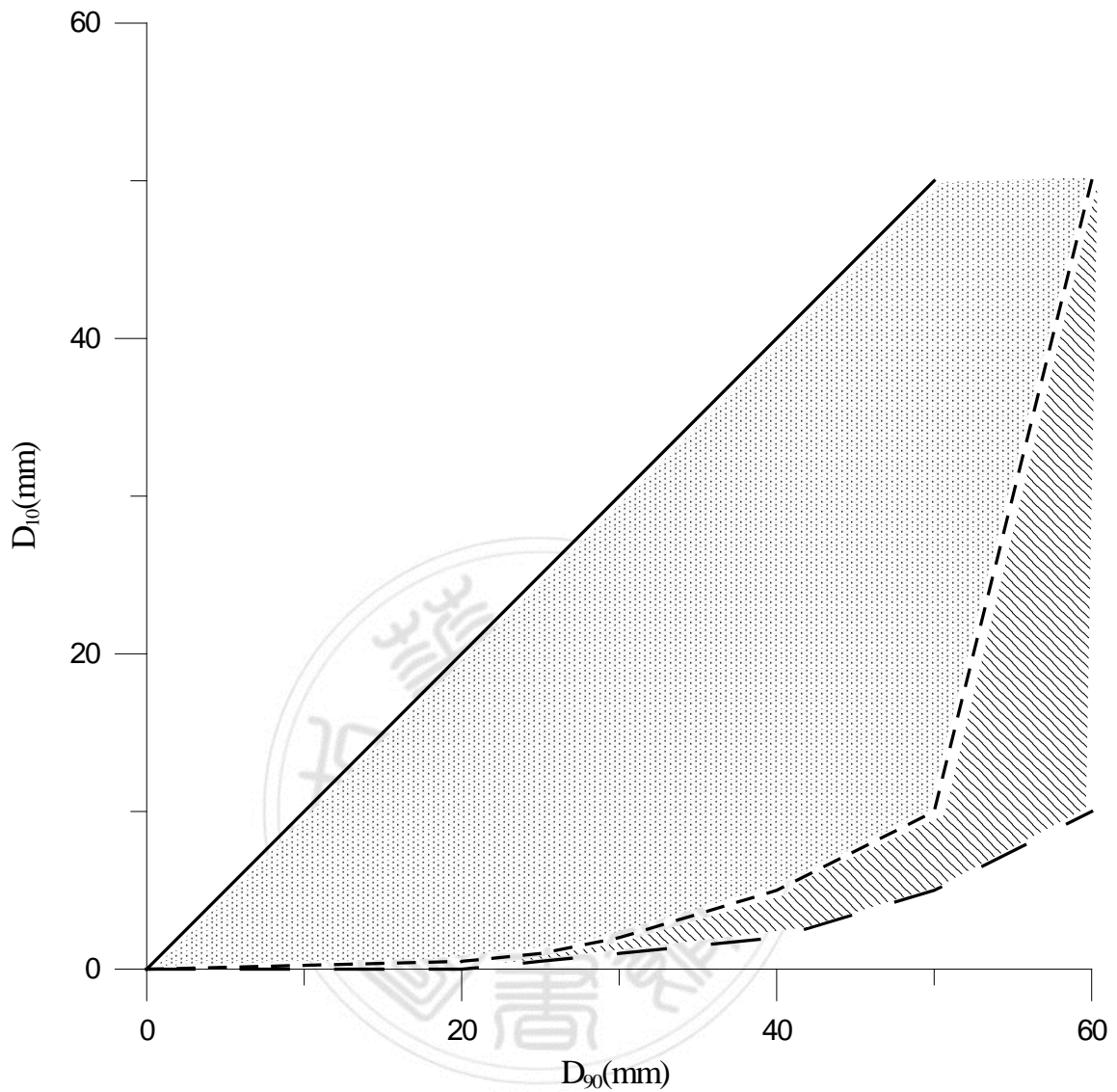


圖 2-2 D_{10} 與 D_{90} 之建議值上下限範圍

(資料來源：Hong et. al., 2011)

6、濾料無因次粒徑分佈建議值

由上述五個程序，可依序決定 D_{15} 、 D_{10} 、 D_{60} 、 D_{90} 、 D_0 、

D_{100} 之值，就可以有充份的資料決定濾料粒徑分佈曲線，今以將各粒徑均除以 D_{15} ，以無因次化方式表示粒徑分佈曲線，並按照表 2-2

對於 D_{10} 之分類，將濾料無因次粒徑分佈建議值繪如圖 2-3 至圖 2-8，其中 $C_u = 1$ 代表均勻粒徑，可以避免顆粒分離現象，但成本較高，而 $C_u = 20$ 為其上限值，可能會因分離現象而將基礎土壤帶入濾料或觀測井中，導致水井阻塞現象， $C_u = 6$ 則為較保守之估計值。此外，由於圖 2-2 限定了 D_{90} 之上限值，(2-4) 式計算所得之 D_{90} 有許多已經超出上限值，需將 D_{90} 修正為上限值，因此如圖 2-4， $C_u = 20$ 於 D_{60} 至 D_{100} 間有兩條線，右側線可視為圖 2-2 中灰色區域之上限值，左側線為斜線區域之上限值，而圖 2-5 至 2-8 有以 $C_u = 20$ 計算之 D_{90} 已大於圖 2-2 之上限 D_{90} ，需適當降低 C_u 值以符合規定，其中以圖 2-8，表示 $C_u = 5.5$ 為上限。

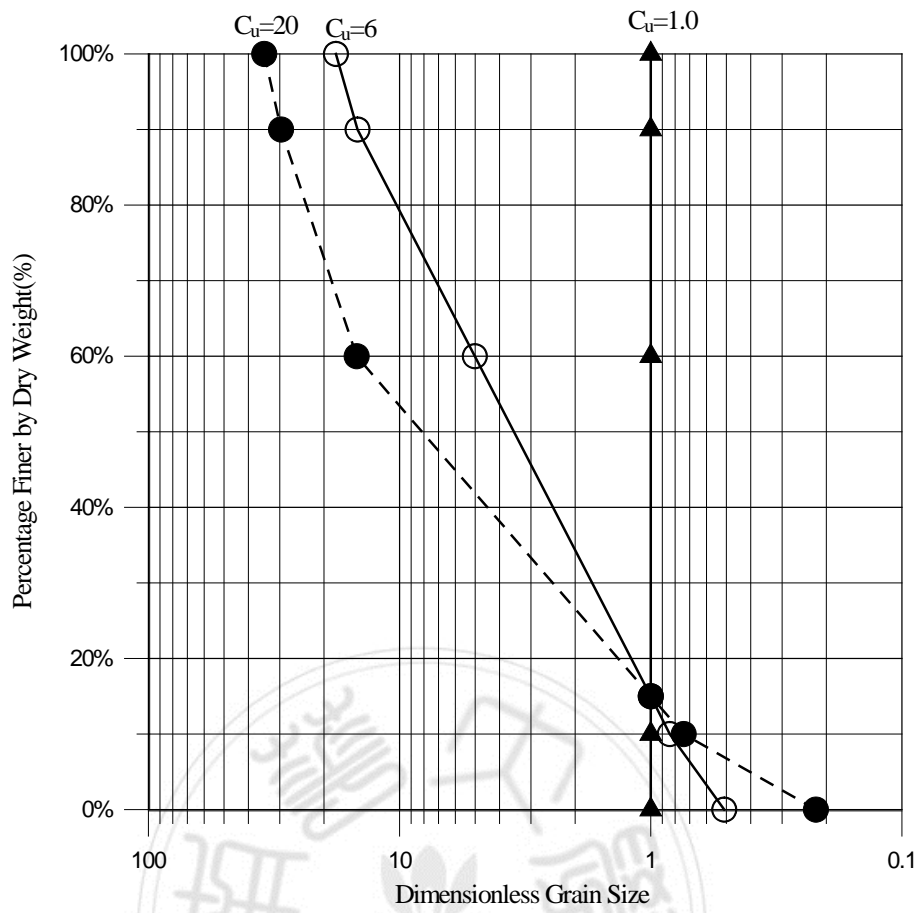


圖 2-3 $D_{10} \leq 0.5\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議值
 (資料來源：Hong et. al., 2011)

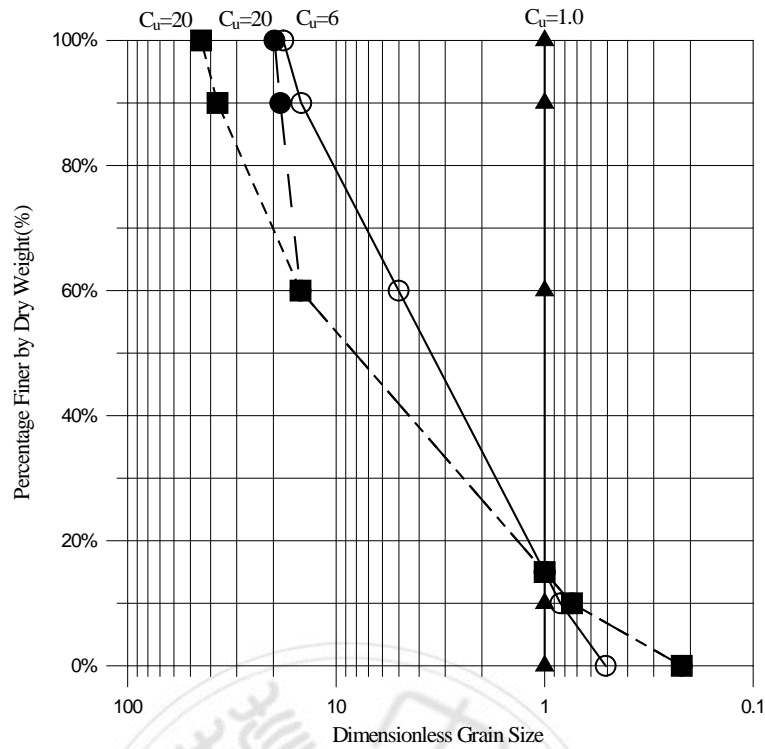


圖 2-4 $0.5\text{mm} \leq D_{10} \leq 1\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈
(資料來源：Hong et. al., 2011)

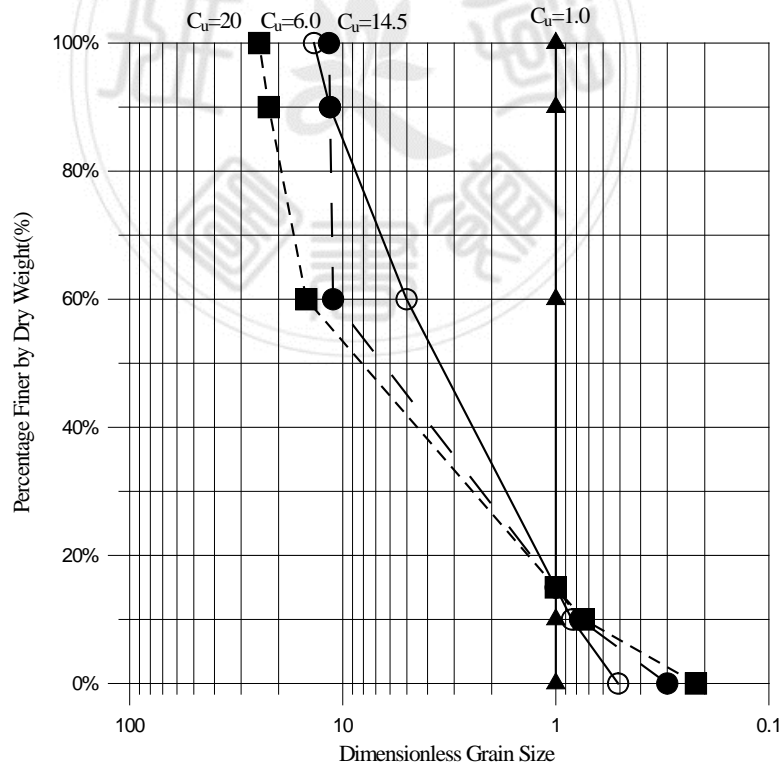


圖 2-5 $1\text{mm} \leq D_{10} \leq 2\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議值
(資料來源：Hong et. al., 2011)

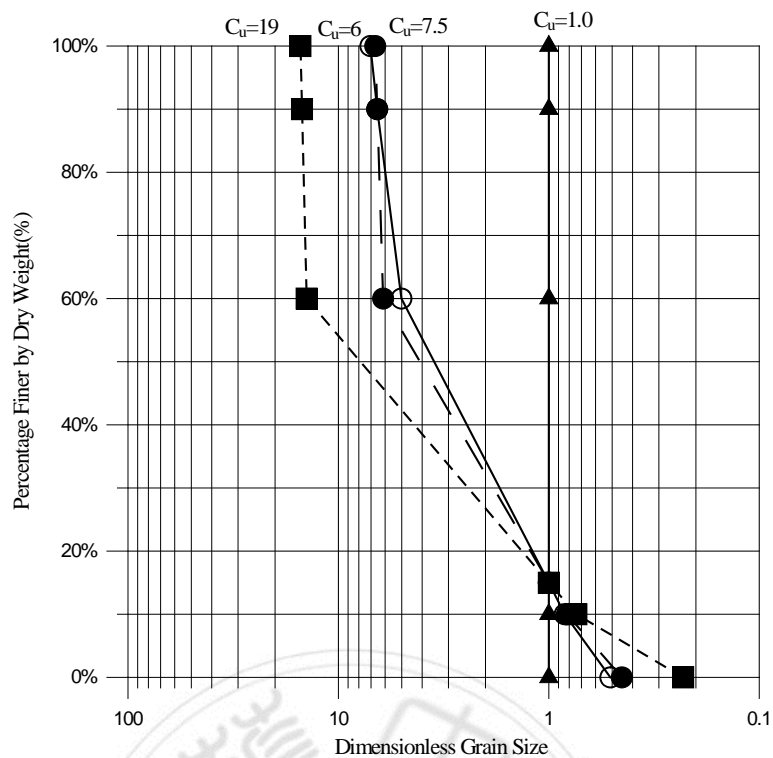


圖 2-6 $2\text{mm} < D_{10} < 5\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議

(資料來源：Hong et. al., 2011)

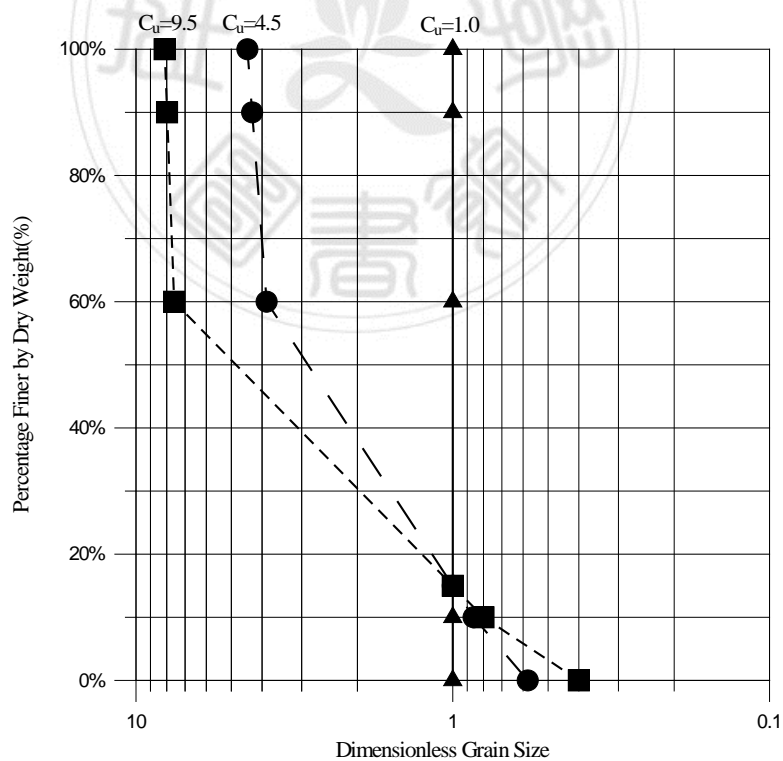


圖 2-7 $5\text{mm} < D_{10} < 10\text{mm}$ 濾料無因次粒徑分佈建議

(資料來源：Hong et. al., 2011)

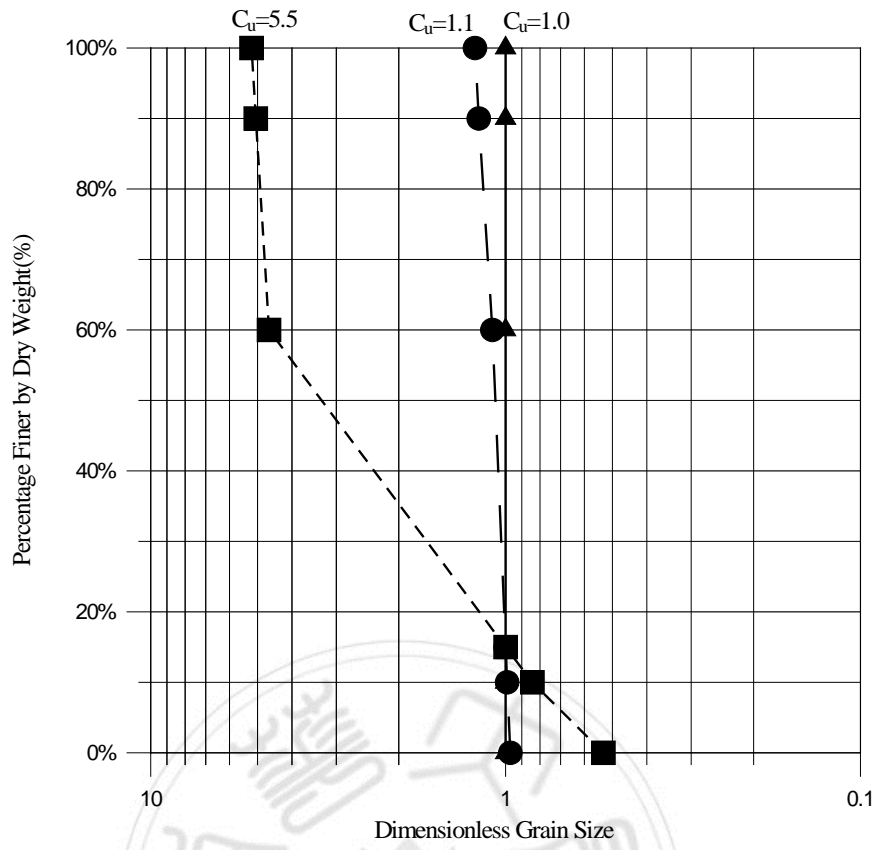


圖 2-8 10mm<D₁₀<50mm 濾料無因次粒徑分佈建議
(資料來源：Hong et. al., 2011)

第三章 土壤採養基礎分析

3.1 採樣地點及採樣

1、採樣地點

本研究選取台灣中部地區，涵蓋區域從彰化縣北斗鎮至嘉義縣中埔鄉，共選取 10 點進行研究。如圖 3-1 所示。採樣資料座標如表 3-1 所示。

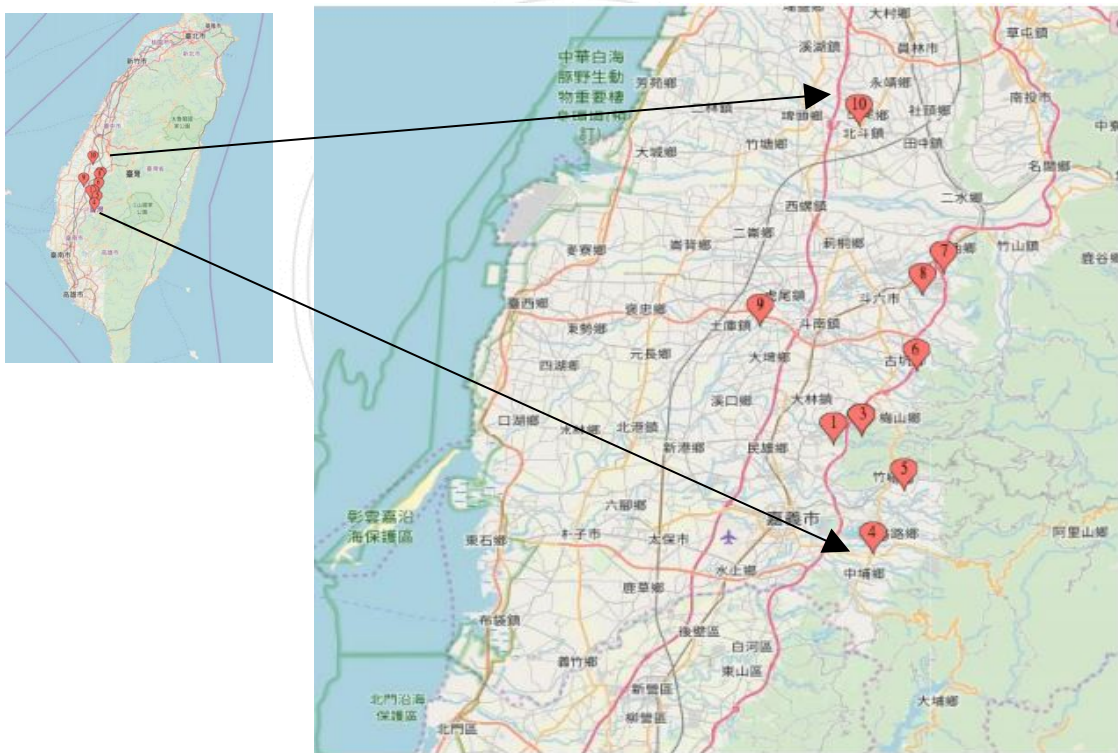


圖 3-1 採樣點位置圖

表 3-1 採樣點經緯度座標

採樣 編號 No	緯度 latitude	經度 longitude	採樣日期 Date
1	23°34'19' ,	120°29'32 ”	2019/01/09 08:10
2	23°34'50' ,	120°31'10 ”	2019/01/09 09:23
3	23°34'51' ,	120°31'10 ”	2019/01/09 09:50
4	23°27'38' ,	120°31'51 ”	2019/01/09 10:24
5	23°31'30' ,	120°33'38 ”	2019/01/09 11:09
6	23°38'47' ,	120°34'27 ”	2019/01/09 12:34
7	23°44'43' ,	120°35'58 ”	2019/01/09 13:12
8	23°43'23' ,	120°34'47 ”	2019/01/09 13:37
9	23°41'27' ,	120°25'15 ”	2019/01/09 15:32
10	23°41'27' ,	120°25'15 ”	2019/01/09 15:32

2、採樣方式



(1)取樣



(2)篩分析



(3)壓密試驗

3.2 粒徑分析

依據文獻回顧，第一步驟先了解土壤分類，篩分析數值如附表 1 至 10 所示如圖 3-2 至 3-11 所示。

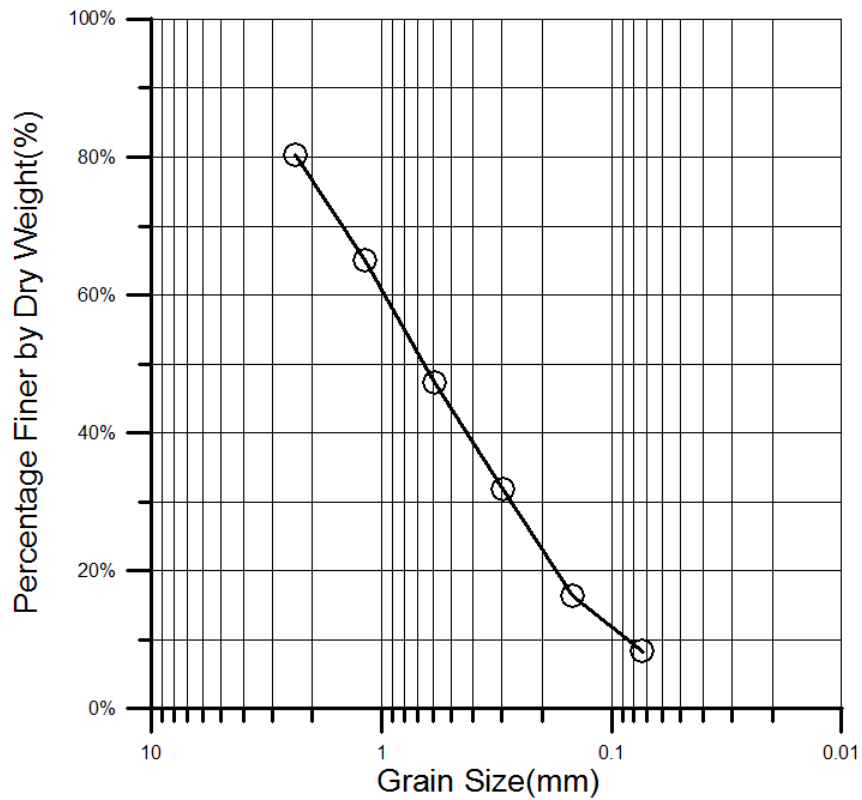


圖 3-2 No.1 篩分析成果

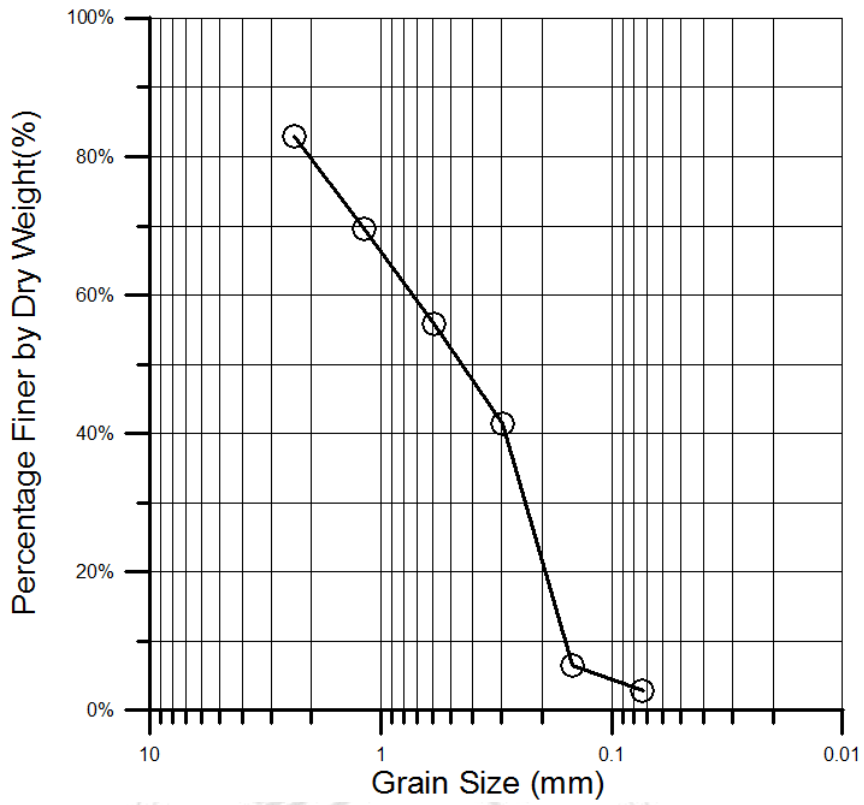


圖 3-3 No.2 篩分析成果

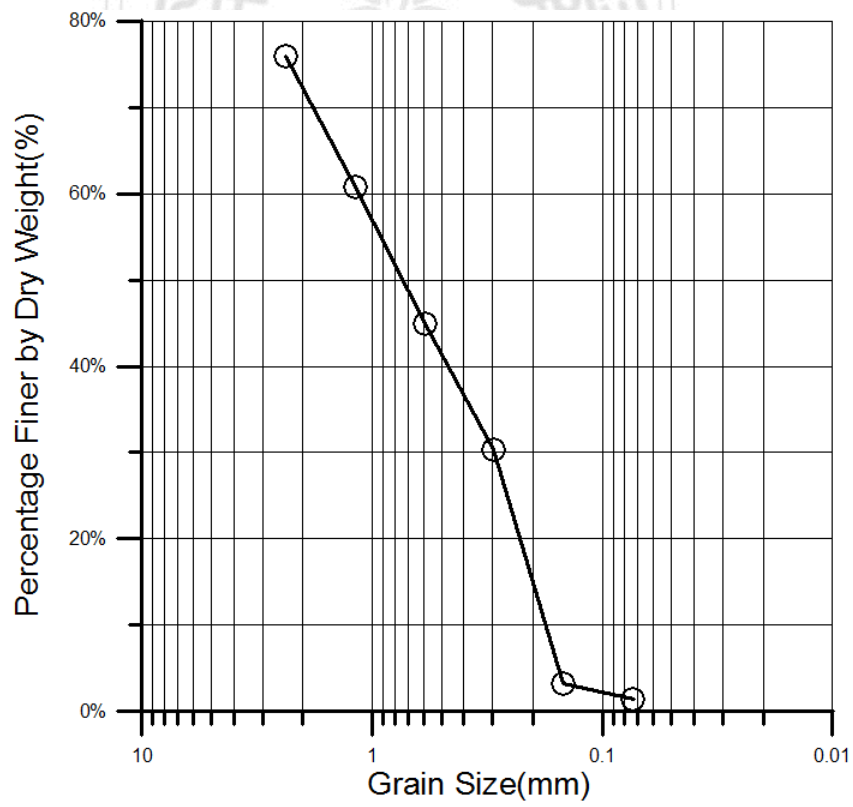


圖 3-4 No.3 篩分析成果

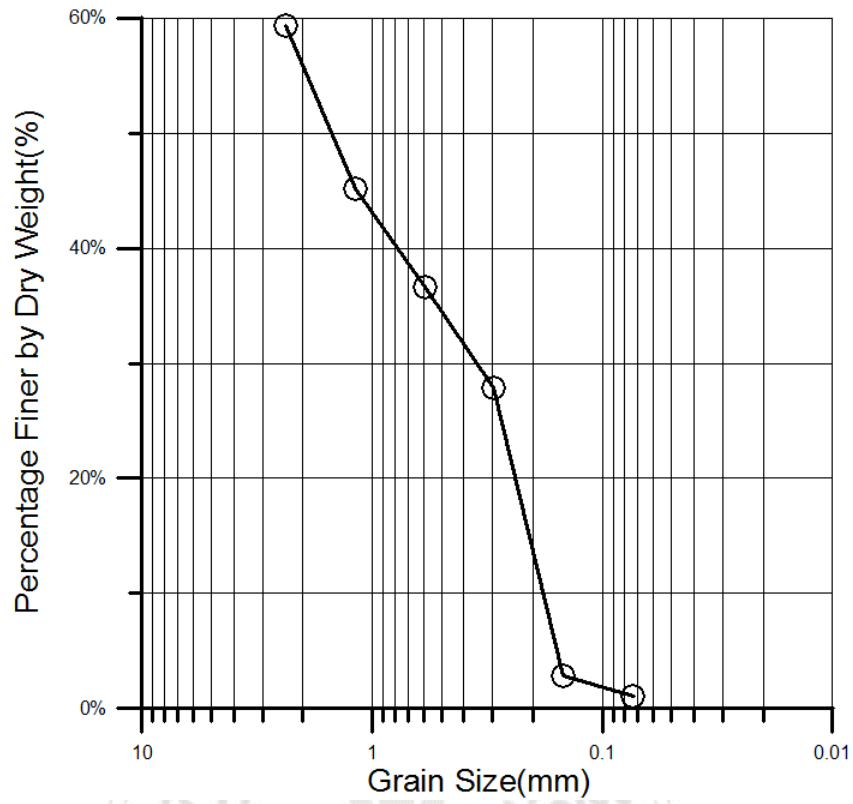


圖 3-5 No.4 篩分析成果

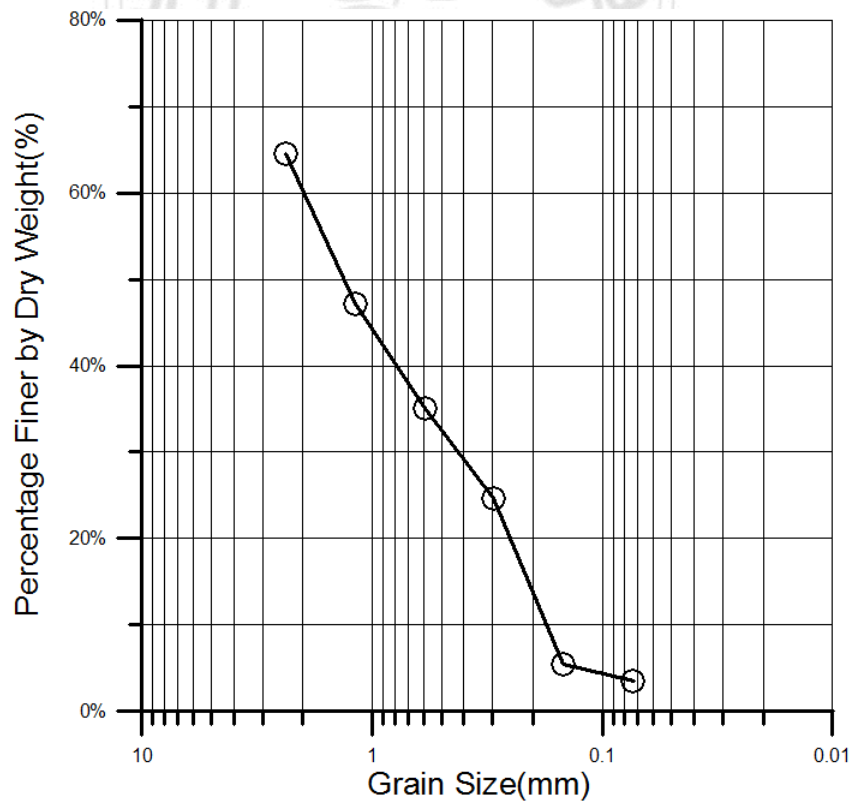


圖 3-6 No.5 篩分析成果

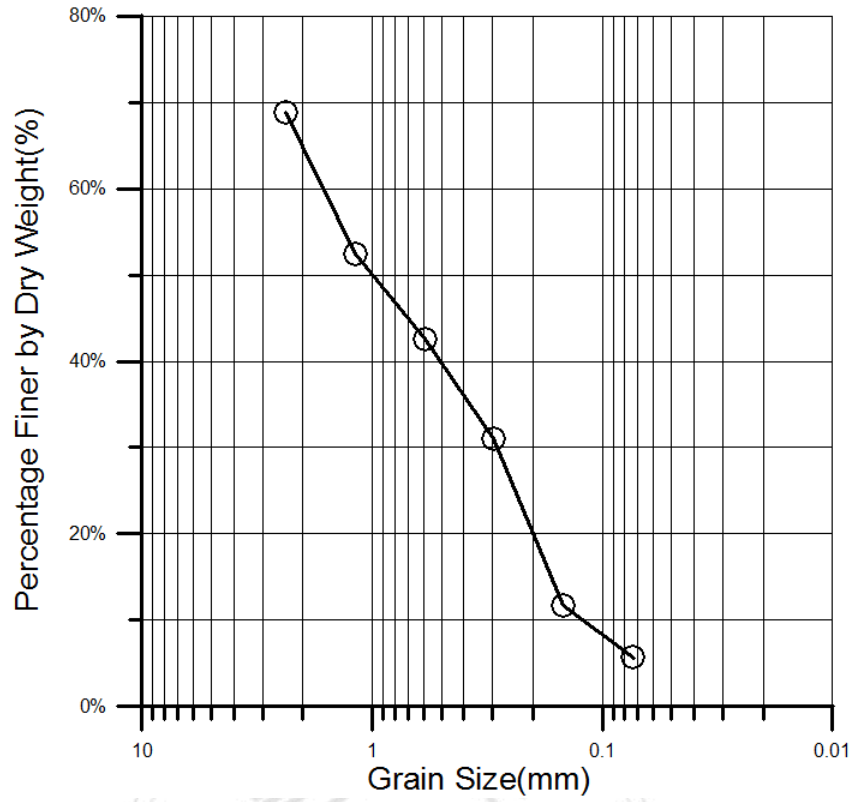


圖 3-7 No.6 篩分析成果

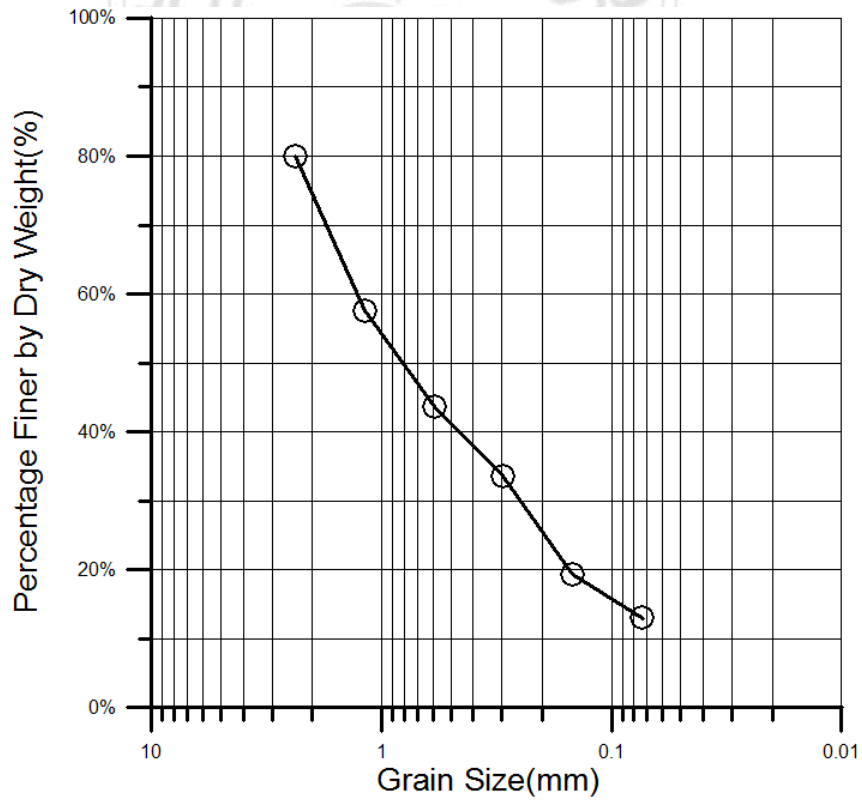


圖 3-8 No.7 篩分析成果

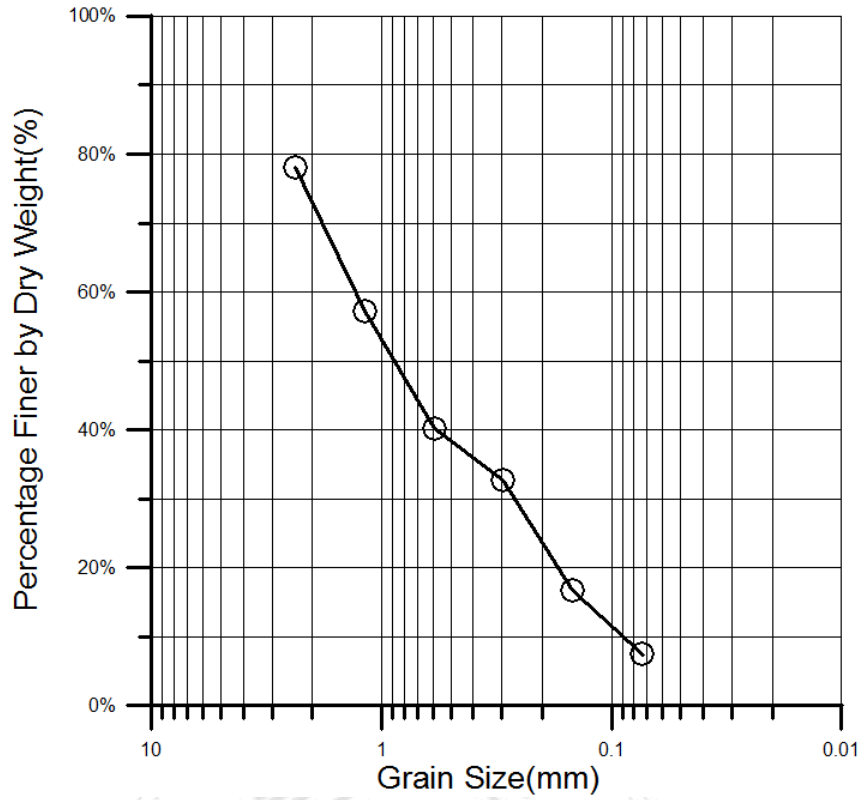


圖 3-9 No.8 篩分析成果

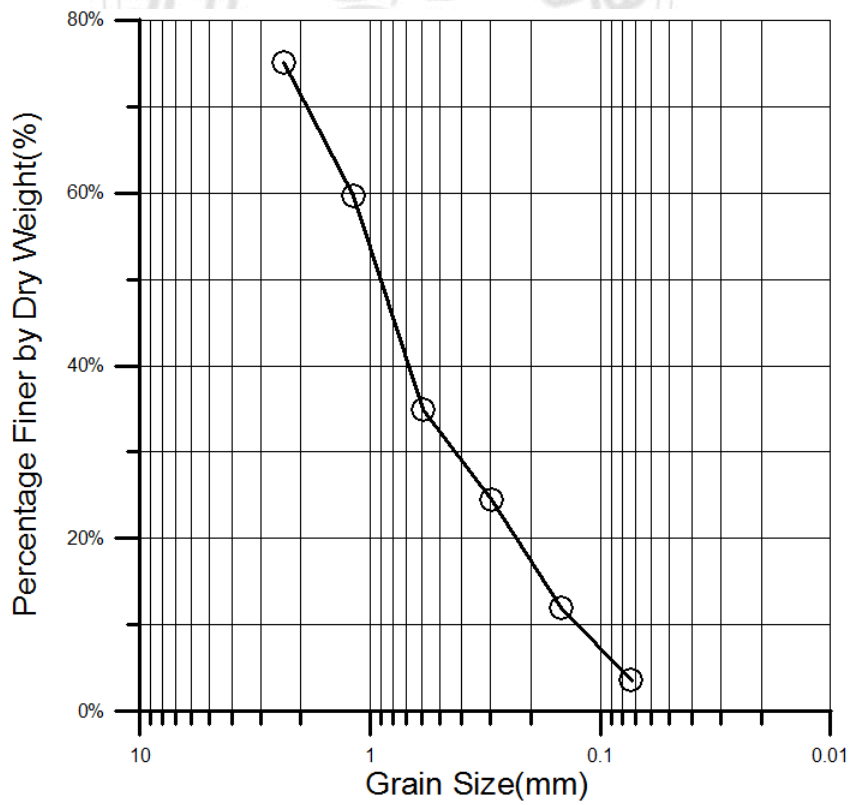


圖 3-10 No.9 篩分析成果

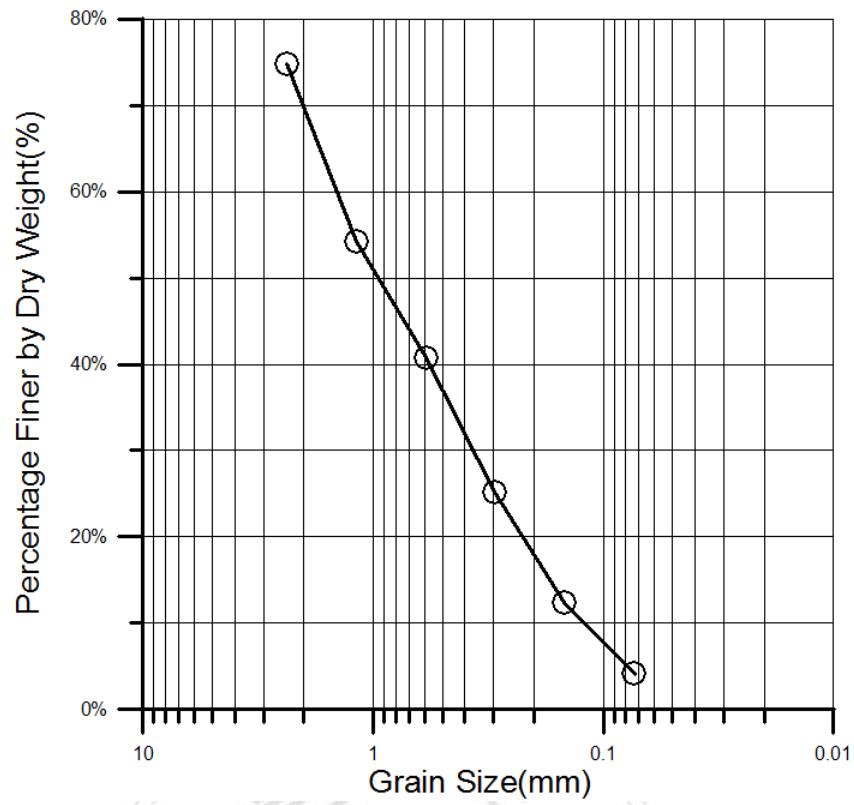


圖 3-11 No.10 篩分析成果

第四章 回填濾料設計

依據設計方法，依序說明如下：

4.1 基礎土壤分類

將環密封在路面上，並使用恆定水頭供水，然後將水的流量除以環的橫截面積，每鋪面均進行五重複，計算平均滲透率，以計算滲透率結果如表 4-1，所有土壤通過#200 篩的比例均小於 15%，根據表 2-1，屬屬於第四類土壤，以砂、礫為主。

表 4-1 基礎土壤分類

採樣編	通過#200 篩的比例 (%)	土壤分類
1	8.3	4
2	2.9	4
3	1.4	4
4	1.0	4
5	3.5	4
6	5.7	4
7	13.1	4
8	7.4	4
9	3.6	4
10	4.3	4

4.2 過濾料 D_{15} 上下限

濾料設計中，會用到基礎土壤之 d_{15} 及 d_{85} ，並帶入(2-1)式，計算過濾料 D_{15} 上下限值，採用內插法，求得 d_{15} 、 d_{85} ，分析如表 4-2 所示， d_{15} 介於 0.135mm 至 0.179mm， d_{85} 介於 3.126mm 至 3.875mm，顯示區域差異性不大。

表 4-2 過濾料 D_{15} 上下限計算

No	d_{15}	d_{85}	Minimum D_{15}	Maximum D_{15}	Average D_{15}
1	0.136	2.949	0.545	11.797	6.171
2	0.185	2.669	0.741	10.675	5.708
3	0.213	3.272	0.853	13.089	6.971
4	0.221	3.875	0.884	15.501	8.192
5	0.222	3.746	0.890	14.983	7.937
6	0.174	3.607	0.697	14.429	7.563
7	0.097	2.969	0.386	11.875	6.131
8	0.135	3.126	0.539	12.504	6.522
9	0.185	3.323	0.738	13.292	7.015
10	0.179	3.339	0.715	13.357	7.036

單位：mm

4.3 Cu=6 之粒徑分佈

均勻係數 $Cu=D_{60}/D_{10}$ ， $Cu=1$ 為均勻值，所有顆粒大小均相同， $Cu=6$ 較保守值， $Cu=20$ 為上限值，可根據(2-2)式計算 D_{10} ，(2-3)式計算 D_{60} ，(2-4)式計算 D_{90} ，(2-5)計算 D_0 ，及(2-6)式計算 D_{100} ，各公式計算如下：

$$D_{10} = \frac{D_{15}}{C_u^{0.1}} \quad (2-2)$$

$$D_{60} = C_u^{0.9} D_{15} \quad (2-3)$$

$$D_{90} = C_u^{1.5} D_{15} \quad (2-4)$$

$$D_0 = 3D_{10} - 2D_{15} \quad (2-5)$$

$$D_{100} = \frac{1}{3}(4D_{90} - D_{60}) \quad (2-6)$$

根據以上公式，以最小值、最大值及平均值 D_{15} 計算粒徑分佈如表 4-3 所示。

表 4-3 Cu=6 之過濾料粒徑分佈

(A)最小值

No	Minimum D ₁₅	D ₀	D ₁₀	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₀₀
1	0.545	0.28	0.46	2.73	8.01	9.77
2	0.741	0.38	0.62	3.72	10.89	13.29
3	0.853	0.43	0.71	4.28	12.53	15.29
4	0.884	0.45	0.74	4.43	12.99	15.85
5	0.890	0.45	0.74	4.46	13.08	15.95
6	0.697	0.35	0.58	3.50	10.24	12.49
7	0.386	0.20	0.32	1.94	5.67	6.92
8	0.539	0.27	0.45	2.71	7.93	9.67
9	0.738	0.37	0.62	3.70	10.85	13.23
10	0.715	0.36	0.60	3.59	10.51	12.81

(B)平均值

No	Average D_{15}	D_0	D_{10}	D_{60}	D_{90}	D_{100}
1	6.171	3.13	5.16	30.95	90.69	110.60
2	5.708	2.90	4.77	28.63	83.89	102.31
3	6.971	3.54	5.83	34.96	102.45	124.95
4	8.192	4.16	6.85	41.09	120.40	146.84
5	7.937	4.03	6.63	39.81	116.64	142.25
6	7.563	3.84	6.32	37.93	111.15	135.56
7	6.131	3.11	5.12	30.75	90.10	109.88
8	6.522	3.31	5.45	32.71	95.85	116.89
9	7.015	3.56	5.86	35.19	103.10	125.74
10	7.036	3.57	5.88	35.29	103.41	126.11

(C)最大值

No	Maximum D ₁₅	D ₀	D ₁₀	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₀₀
1	11.797	5.99	9.86	59.17	173.37	211.44
2	10.675	5.42	8.92	53.54	156.89	191.34
3	13.089	6.65	10.94	65.65	192.37	234.61
4	15.501	7.87	12.96	77.75	227.81	277.83
5	14.983	7.61	12.53	75.15	220.21	268.56
6	14.429	7.33	12.06	72.37	212.07	258.63
7	11.875	6.03	9.93	59.56	174.53	212.85
8	12.504	6.35	10.45	62.72	183.77	224.12
9	13.292	6.75	11.11	66.67	195.35	238.25
10	13.357	6.78	11.17	67.00	196.31	239.41

單位：mm

4.4 Cu=20 之粒徑分佈

如果 $Cu > 20$ ，將會造成粒料分離現象，因此可將 $Cu=20$ 視為上限值，各值計算如下表。

表 4-4 Cu=20 之過濾料粒徑分佈

(A)最小值

No	Minimum D_{15}	D_0	D_{10}	D_{60}	D_{90}	D_{100}
1	0.545	0.12	0.40	8.08	48.74	62.29
2	0.741	0.17	0.55	10.99	66.30	84.74
3	0.853	0.19	0.63	12.64	76.28	97.49
4	0.884	0.20	0.66	13.11	79.08	101.07
5	0.890	0.20	0.66	13.19	79.60	101.73
6	0.697	0.16	0.52	10.33	62.33	79.67
7	0.386	0.09	0.29	5.72	34.52	44.13
8	0.539	0.12	0.40	7.99	48.24	61.66
9	0.738	0.16	0.55	10.94	66.02	84.37
10	0.715	0.16	0.53	10.60	63.94	81.73

(B)平均值

No	Average D ₁₅	D ₀	D ₁₀	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₀₀
1	6.171	1.38	4.57	91.47	551.93	705.42
2	5.708	1.28	4.23	84.61	510.55	652.53
3	6.971	1.56	5.17	103.33	623.50	796.89
4	8.192	1.83	6.07	121.43	732.75	936.52
5	7.937	1.77	5.88	117.64	709.86	907.27
6	7.563	1.69	5.61	112.11	676.46	864.58
7	6.131	1.37	4.54	90.87	548.33	700.82
8	6.522	1.46	4.83	96.67	583.31	745.52
9	7.015	1.57	5.20	103.98	627.45	801.94
10	7.036	1.57	5.21	104.29	629.31	804.32

(C)最大值

No	Maximum D ₁₅	D ₀	D ₁₀	D ₆₀	D ₉₀	D ₁₀₀
1	11.797	2.64	8.74	174.86	1055.12	1348.54
2	10.675	2.38	7.91	158.23	954.80	1220.32
3	13.089	2.92	9.70	194.01	1170.72	1496.29
4	15.501	3.46	11.49	229.76	1386.42	1771.97
5	14.983	3.35	11.10	222.09	1340.13	1712.82
6	14.429	3.22	10.69	213.88	1290.59	1649.50
7	11.875	2.65	8.80	176.02	1062.14	1357.52
8	12.504	2.79	9.27	185.34	1118.37	1429.38
9	13.292	2.97	9.85	197.03	1188.89	1519.51
10	13.357	2.98	9.90	197.99	1194.68	1526.91

單位：mm

第五章 結論與建議

本研究經本第三至四章之試驗結果與分析探討後，可以得到下列各項結論及建議：

- 1、收集十處中部地區地表土壤，分析發現均屬於第四類土壤，以砂為主。
- 2、基礎土壤 d_{15} 介於 0.135mm 至 0.179mm， d_{85} 介於 3.126mm 至 3.875mm，顯示區域差異性不大。
- 3、經由計算，可推得 $Cu=6$ 及 $Cu=20$ 之過濾料粒徑分佈。
- 4、過濾料粒徑是否能夠符合所需，仍需進一步進行無沖蝕濾料試驗驗證。



參考文獻

洪耀明、蘇苗彬、謝雲植(2010)，「應用無沖蝕濾料試驗進行地下水觀測井回填濾料配置之研究」，水保技術，5(1)，35-47。

Bertram, G. E. (1940). An experimental investigation of protective filters.

Hong, Y. M., Yun-Chih, H., Lin, H. C., Sung, W. P., & Kan, Y. C. (2013). The Design and Experiment of Backfill Filter for Groundwater Monitoring Well. DISASTER ADVANCES, 6, 381-391.

Sherard, J. L., L., P. Dunnigan, and J. R. tablbot. (1984). Filters for silts and clays, J. Geotech. Eng, 110. 6: 701-718.

Soil Conservation Service (1986), Guide for determining the gradation of sand and Gravel Filters, Water Resources Publication, U.S.,

Taylor, D. W. (1948). Fundamentals of soil mechanics (Vol. 66, No. 2, p. 161). LWW.

Terzaghi, K. 1922. Der grundbruch and stauwerken und seine verhutung, Forcheimer-Nummer der Wasserkraft, 17, 445-449.

U. S. Department of the Army, Corps of Engineers (1955), Drainage and erosion control-subsurface drainage facilities for airfields, Part XII, Chapter 2, Engineering manual, Military construction, Washington, D.C., 13-15.

U. S. Army, U.S. navy, and U.S. Air Force (1971), Dewatering and groundwater control for deep excavations, TM 5-818-5, NAVFAC P-418, AFM 88-5, Chapter 6, 39.

附件 1 採樣篩分析

附表 1 採樣篩分析數據

(a)No.1

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	342.5	19.74	19.7	80.3
16	1.19	265	15.27	35.0	65.0
30	0.59	307	17.69	52.7	47.3
50	0.297	267	15.39	68.1	31.9
100	0.149	269.5	15.53	83.6	16.4
200	0.074	139.5	8.04	91.7	8.3
Receiving pan	0	145	8.36	100.0	0.0

(b)No.2

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	371	17.08	17.1	82.9
16	1.19	288.5	13.28	30.4	69.6
30	0.59	299.5	13.79	44.2	55.8
50	0.297	314.5	14.48	58.6	41.4
100	0.149	759	34.94	93.6	6.4
200	0.074	77	3.55	97.1	2.9
Receiving pan	0	62.5	2.88	100.0	0.0

(c)No.3

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	523	24.06	24.1	75.9
16	1.19	328	15.09	39.1	60.9
30	0.59	346	15.92	55.1	44.9
50	0.297	316	14.54	69.6	30.4
100	0.149	591.5	27.21	96.8	3.2
200	0.074	40	1.84	98.6	1.4
Receiving pan	0	29.5	1.36	100.0	0.0

(d)No.4

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	786.5	40.64	40.6	59.4
16	1.19	275	14.21	54.8	45.2
30	0.59	166	8.58	63.4	36.6
50	0.297	168.5	8.71	72.1	27.9
100	0.149	485.5	25.08	97.2	2.8
200	0.074	34	1.76	99.0	1.0
Receiving pan	0	20	1.03	100.0	0.0

(e)No. 5

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	585	35.40	35.4	64.6
16	1.19	288.5	17.46	52.9	47.1
30	0.59	200.5	12.13	65.0	35.0
50	0.297	170.5	10.32	75.3	24.7
100	0.149	318	19.24	94.6	5.4
200	0.074	31.5	1.91	96.5	3.5
Receiving pan	0	58.5	3.54	100.0	0.0

(f)No. 6

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	462	31.11	31.1	68.9
16	1.19	244	16.43	47.5	52.5
30	0.59	146	9.83	57.4	42.6
50	0.297	173	11.65	69.0	31.0
100	0.149	286	19.26	88.3	11.7
200	0.074	89	5.99	94.3	5.7
Receiving pan	0	85	5.72	100.0	0.0

(g)No.7

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	287	19.96	20.0	80.0
16	1.19	324	22.53	42.5	57.5
30	0.59	198	13.77	56.3	43.7
50	0.297	146	10.15	66.4	33.6
100	0.149	205	14.26	80.7	19.3
200	0.074	89	6.19	86.9	13.1
Receiving pan	0	189	13.14	100.0	0.0

(h)No.8

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	256	21.89	21.9	78.1
16	1.19	245	20.95	42.8	57.2
30	0.59	198.5	16.97	59.8	40.2
50	0.297	87	7.44	67.3	32.7
100	0.149	187	15.99	83.2	16.8
200	0.074	109	9.32	92.6	7.4
Receiving pan	0	87	7.44	100.0	0.0

(i)No.9

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	287	24.91	24.9	75.1
16	1.19	178	15.45	40.4	59.6
30	0.59	285	24.74	65.1	34.9
50	0.297	119	10.33	75.4	24.6
100	0.149	145	12.59	88.0	12.0
200	0.074	96	8.33	96.4	3.6
Receiving pan	0	42	3.65	100.0	0.0

(j)No.10

Sieve no.	Sieve size(mm)	Mass of Soil retained(g)	Percentage retained on each soil	Cumulative percentage retained	Percent finer
8	2.38	348	25.20	25.2	74.8
16	1.19	284	20.56	45.8	54.2
30	0.59	186	13.47	59.2	40.8
50	0.297	216	15.64	74.9	25.1
100	0.149	175	12.67	87.5	12.5
200	0.074	113	8.18	95.7	4.3
Receiving pan	0	59	4.27	100.0	0.0