

泥岩及紅土之內部沖蝕防止

蘇苗彬^[1]

張雲竹^[2]

陳旺志^[3]

關鍵詞：泥岩、紅土、過濾、內部沖蝕

摘 要

當水從土石結構物排放出或從較細粒徑土壤中流至較粗粒徑土壤時，滲流的水可能導致土壤中細粒土料流失而產生土壤沖蝕和管湧現象，因此需要使用過濾材料來防止其發生，在泥岩與紅土地區常發現有嚴重之沖蝕問題，因此本文以泥岩與紅土為基礎土壤，建立一套過濾材料選定過程作為沖蝕防止的方法，並加以分析及討論其結果。研究中進行(1)土壤之基本性質試驗，作為分析土壤所需之過濾材料之用。(2)過濾材料之理論探討與試驗，參考 Sherard (1984) 之細溝試驗，求取土壤之適當過濾料。(3)試驗結果分析探討，討論細溝試驗中通過過濾料之水量、排出水之污濁程度、排出土壤顆粒重量及試體裂縫大小等判定過濾材料之適用性。

試驗所得泥岩的過濾料適當之 $D_{15} = 0.71\text{mm}$ ，紅土的過濾料適當之 $D_{15} = 0.77\text{mm}$ ，和其土壤本身之 D_{85} 比較為 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{泥岩}) = 10.6$ 及 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{紅土}) = 15.4$ 與 Sherard (1984) 提出之 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土壤})$ 大於 9 皆相符。另外與 Bertram (1940) 等人之規範 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土壤}) \leq 5$ 相較，顯然研究結果中泥岩及紅土之適當過濾材料有較大的粒徑範圍選擇空間。本試驗方法亦適用於其他土壤之保護，且使用之細溝試驗具有可信賴且可重現的結果，相當可靠。

Prevention of Internal Erosion for Mudrock and Laterite

Miau-Bin Su

Associate Professor, Department of Civil Engineering,
National Chung Hsing University,
Taichung, Taiwan 40227, R. O. C.

Yun-Chu Chang

Master, Department of Civil Engineering,
National Chung Hsing University,
Taichung, Taiwan 40227, R. O. C.

[1] 國立中興大學土木工程學研究所副教授

[2] 國立中興大學土木工程碩士

[3] 國立屏東技術學院土木工程技術系講師

Wang-Jyh Chen

Instructor, Department of Civil Engineering,
National Pingtung Polytechnic Institute,
Pingtung, Taiwan 90002, R. O. C.

Key Words: Mudrock, Laterite, Filtering, Internal Erosion

ABSTRACT

The objective of this study is to select the appropriate filter material for protecting mudrock and laterite. Methods suggested herein are based on basic soil property together with Pinhole test suggested by USCS (1976) and Slot Test suggested by Sherard (1984).

The work done in this study can be divided into three parts:

- (1) Field investigation of in-situ soil erosion condition.
- (2) Lab and field studies of soil properties.
- (3) Slot tests to decide on an appropriate filter material, on the basis of erosion quantity and drainage.

Results of Pinhole test show that the weathered mudrock belongs to medium dispersive soil, and that laterite is not belong to dispersive soil. The results of Slot Test reveal that the best filter material for mudrock should have its $D_{15} = 0.71\text{mm}$, whereas $D_{15} = 0.77\text{mm}$ for laterite.

In this study, new methods to choose proper filter material are developed. The test results of which are shown to be reliable and reproducible. The method suggested herein should be applicable to other soil materials in filtering design.

一、前言

本省泥岩與紅土地區，範圍相當遼闊。山坡地的開發及不合理的土地利用常使泥岩與紅土裸露出來，加上夏季多豪雨，在降雨之作用下常產生土壤流失、坡面滑動及崩壞之現象，如此不僅無法維持山坡地之合理利用，並常帶來嚴重的生命財產損失。

保護性濾料 (protective filter)，可以用來防止土壤之侵蝕和管湧的發生，並且可減少潛在危險性的上舉壓力。Hazen (1911) 約在本世紀初左右就開始研究濾料的處理，他發現濾料的有效粒徑是 D_{10} ，亦即此粒徑影響濾料的功能與其餘的 90% 大約相同。在 1922 年，Terzaghi 基於濾料與被保護材料之粒徑分佈，而對於濾料提出了一些要求，這些要求經過美國陸軍

工兵團 (U. S. Army Corps of Engineers) 及美國墾務局 (U. S. Bureau of Reclamation) 的實驗略作一些修正，總合對於保護性濾料的四個要求是：

- (1) 濾料應較基礎材料更具透水性，如此才不致造成水壓力蓄積而使濾料和相鄰結構分離。
- (2) 濾料的孔隙必須小到能防止基礎材料顆粒穿過濾層，而造成保護濾料系統之破壞。
- (3) 濾料必須足夠厚，使得整個濾層能提供一個所有粒徑的良好分佈。
- (4) 濾料可以用小的狹縫或開口，或額外的較粗濾層區等方法來防止其顆粒進入排水管。

Bertram (1940) 根據 Terzaghi 的建議和 Casagrande 學說為基礎做了過濾料之實驗研究並建立了下列過濾料之有效準則：

$$\frac{D_{15}(\text{過濾料})}{D_{85}(\text{土壤})} < 4 \sim 5 < \frac{D_{15}(\text{過濾料})}{D_{15}(\text{土壤})}$$

上式左半邊之要求為防止土壤被沖蝕之要求，而過濾料的 D_{15} 和土壤的 D_{85} 之比率稱為管湧比率 (piping ratio)。上式右半邊之要求則為保證滲流之要求，可預防在過濾層和排水管道中製造出大的滲流。

Taylor (1948) 指出：阻止顆粒由基礎土壤移動進入濾層，如果顆粒是完美的球形，則對於疏鬆填料，濾料的粒徑應為基礎材料之 6.5 倍，如果濾料粒徑大於基礎材料的 6.5 倍，小顆粒將能通過濾料。然而實驗室試驗證明均勻濾層材料的粒徑為均勻基礎土壤粒徑的 10 倍時，仍能防止顆粒移動。顯然顆粒形狀和濾料的孔隙率亦會影響此極限粒徑。

美國陸軍工兵團 (U. S. Army Corps of Engineers, 1955) 和美國陸軍 (U. S. Army et al., 1971) 為防止土壤顆粒進入過濾層，也建立下列準則：

$$\frac{D_{15}(\text{過濾料})}{D_{85}(\text{土壤})} \leq 5 \text{ 和 } \frac{D_{15}(\text{過濾料})}{D_{15}(\text{土壤})} \leq 25$$

Sherard 等 (1972) 指出管湧破壞常發生在某種特定黏土，其沖蝕之過程稱為擴散，如果水流通過時其擴散之顆粒將會被帶走並沖蝕成一通道或管湧快速形成。在澳洲、美國和其它國家中的一些均質小土壩發現其破壞過程屬於此類。Sherard 等 (1976) 指出，使用“孔隙水溶解鹽” (soluble salts in pore water) 化學分析法可檢驗土壤是否為擴散性黏土，他指出擴散性黏土含鈉鹽之成份高於一般黏土，而含鈉多寡正是分別擴散性黏土和普通黏土之關鍵所在。另一種分辨擴散性黏土的方法是美國土壤保護協會 (USCS) 於 1976 年發展出來的針孔試驗 (Pinhole Test)，此試驗之主要精神，即在於實際模擬當水在土體中之裂縫內流動的情形，觀察流出水之清晰程度，並在試驗後將

試體剖開，觀察針孔被擴大的程度，以判定土壤是否具有擴散性。

Sherard 等人 (1984) 利用高的水壓力 (4 kg/cm^2) 實驗出沉泥和黏土的過濾料，並提出了砂和礫石過濾料之基本性質。Sherard 等利用細溝試驗 (Slot Test) 及泥漿試驗 (Slurry Test) 試驗沉泥與黏土的過濾材料。這些試驗只考慮過濾料之過濾行為，也就是過濾料之特性需防止任何基礎土壤顆粒貫穿進入過濾料，而不考慮其排水的滲透需求。Sherard 等指出細顆粒的黏土其過濾料 (砂) 的 D_{15} 為 0.5 mm 是保守的，砂性黏土和沉泥的過濾料基準 $D_{15}(\text{過濾料})/D_{85}(\text{土壤}) \leq 5$ 是保守和適當的。當擴散性和非擴散性黏土有相似粒徑分佈時，其過濾料之級配是相同的，而且決定於過濾料的 D_{15} 大小。

本文嘗試以泥岩與紅土作為基礎土壤，並藉由細溝試驗 (Slot Test) 提出一套過濾材料選定過程之方法，並加以分析及討論其結果，以期達到過濾材料之應用推廣，並期能提供工程界日後處理泥岩與紅土之沖蝕問題時之參考。

二、土壤與過濾料

在進行過濾材料選定試驗之前，必須先得到試驗土壤基本性質之資料，以做為過濾材料選定試驗之用，以明挖法取回台南縣山上鄉之風化泥岩與台中縣大肚鄉之紅土，進行室內試驗。並取用大肚鄉之天然河砂作為過濾料，其為黃灰色中細砂，呈次角狀。

1. 土壤的基本性質

試驗用泥岩與紅土的基本性質與分類如下：

表一 土壤一般物理性質試驗結果

試驗項目 土樣	比 重 # 10 以上	阿太堡試驗 (%)			顆粒分析 (%)			土壤分類	
		液限 LL	塑限 PL	塑性指數	砂	粉土	粘土	AASHTO	USCS
風化泥岩	2.718	24	15	9	10	68	22	A-4	CL
風化泥岩	2.728	25	17	8	9	65	26	A-4	CL
風化泥岩	2.720	24	16	8	9	69	23	A-4	CL
風化泥岩	2.723	26	17	9	8	67	25	A-4	CL
紅 土	2.725	34	20	14	10	46	44	A-6	CL
紅 土	2.734	36	22	14	9	44	47	A-6	CL
紅 土	2.721	32	17	15	9	48	43	A-6	CL
紅 土	2.724	31	18	13	11	47	42	A-6	CL

2. 過濾料的基本性質

試驗用的過濾料取材自大肚溪的天然河砂，其性質如下：

表二 試驗用大肚溪河砂基本性質表

大肚溪河砂	
比重 G_s	2.68
最大乾密度 ρ_{max}	1.77 g/cm ³
最小乾密度 ρ_{min}	1.50 g/cm ³
D_{10}	0.21 mm
D_{30}	0.40 mm
D_{50}	0.59 mm
D_{60}	0.72 mm
均勻係數 C_u	3.4
統一土壤分類	SP
顆粒形狀	次角狀

3. 針孔試驗

試驗中使用美國土壤保護協會 (USCS) 1976 年發展的針孔試驗法來檢驗土壤是否具有擴散性。針孔試驗儀器如圖 1 所示，儀器包括：

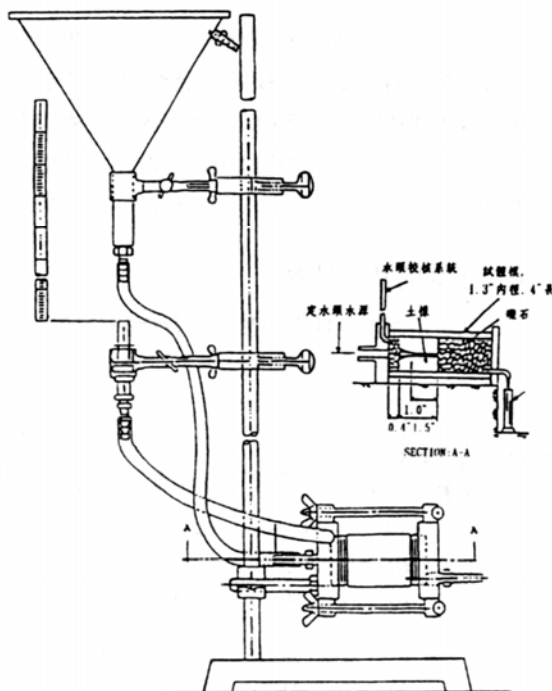


圖 1 針孔試驗器之示意圖 (USCS, 1979)

- (1) 具有中間孔洞的容器。
- (2) 導管及定水頭試驗裝備。
- (3) $\phi \geq 2$ mm 之洗淨礫石約 1kg。
- (4) 鋼針 $\phi = 1$ mm，長 5cm。
- (5) 量筒及 #10 篩一個。

其試驗步驟見葉向陽 (1985)。針孔試驗用的重模土樣，美國土壤保護協會建議土壤以塑性限度 (PL) 的含水量進行試驗。但若土壤含水量在 PL 時其重模試體很難成型，則本試驗以 $W_{omc} \pm 2\%$ 之含水量與 ρ_{max} 之土壤進行針孔試驗。針孔試驗進行完畢後，可用表三來判定土壤是否屬於擴散性土壤。

試驗結果根據表三針孔試驗中判定粘土是否具有擴散性之原則來判定，紅土屬於 ND1 之非擴散性土壤；而風化泥岩則屬於 ND3 之中度擴散性土壤。

表三 針孔試驗之結果判定原則 (Sherard 等人 1976)

分類	水頭 (公分)	試驗時間 (分鐘)	水流通過速度 (毫升/秒)	流出水清晰程度	針孔擴大的程度
D1	5.0	5	> 1.5	極混濁	2 倍
D2	5.0	10	> 1.0	混濁至稍微混濁	2 倍
ND4	5.0	10	> 0.8	稍微混濁且極易看出	1.5 倍
ND3	18 ~ 38	5	< 2.5	稍微混濁且極易看出	2 倍
ND2	100	5	< 3.5	不易看出混濁或清晰	2 倍
ND1	100	5	< 5.0	清晰	無

[註]: D1 及 D2 屬高擴散性粘土
ND4 及 ND3 屬中等擴散性粘土
ND2 及 ND1 屬非擴散性粘土

三、過濾材料選定試驗

1. 過濾材料之選取

試驗所用之過濾料採用沖積溪砂及砂和礫石之混合，其級配組合是由小心的混合已知重量的過篩溪砂和礫石，且經篩分析來確知過濾料級配之 D_{15} 大小。

首先混合已知重量之不同篩號之砂和礫石，進行定性之過濾料試驗，根據觀察試體底端之排出水量、水質之污濁程度及試驗後試體之細溝大小等，可初步判斷出適當過濾料之 D_{15} 範圍從 0.3mm ~ 4.0mm。

根據定性之觀察後, 可得土壤之適當過濾料其 D_{15} 界限之約略範圍, 之後再根據此範圍混合已知重量之不同篩號之砂和礫石進行定量之過濾料試驗。根據實際量測試體底端之排出水量、土壤顆粒排出量以及試驗後之細溝大小與水質混濁程度之觀察, 可判定土壤適當過濾料其 D_{15} 之界限。此部份中泥岩進行十二種不同級配料之過濾料試驗, 見圖 2 風化泥岩之過濾材料級配圖, 過濾料 D_{15} 範圍從 0.46mm ~ 1.19mm, 紅土亦進行十二種不同級配料之過濾料試驗, 見圖 3 紅土之過濾材料級配圖, 過濾料 D_{15} 範圍從 0.297mm ~ 1.10 mm。

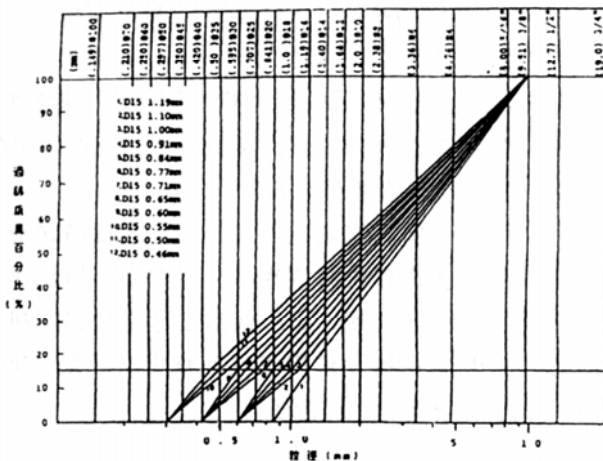


圖 2 泥岩試驗之過濾材料級配圖

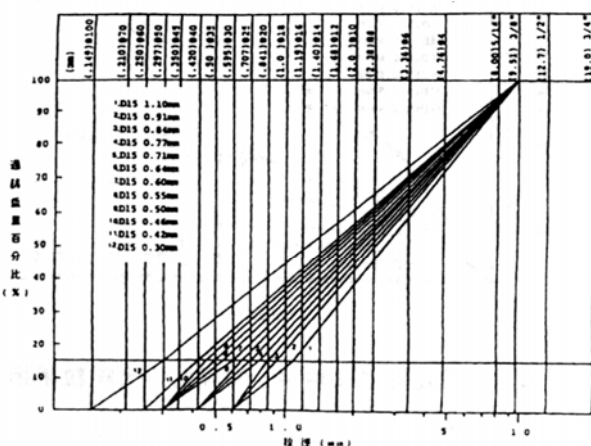


圖 3 紅土試驗之過濾材料級配圖

2. 細溝試驗 (Slot Test)

以細溝試驗進行過濾材料之試驗, 此試驗為一種

更直接的試驗, 並能與傳統過濾料試驗得到相同的結果, 而它較之傳統過濾料試驗有以下三項優點 (1) 裂縫可控制在試體中央並經過過濾料之中央部份; (2) 可以使用較大的基礎土壤試體; (3) 裂縫可事先做成並可在每次試驗時控制其大小。

(1) 試驗儀器

細溝試驗儀器為參考 Sherard (1984) 之規範來設計, 其儀器介紹如下:

- ① 立臥兩用壓克力容器: 為便於過濾層與土壤試體之夯製與觀察, 使用兩截式之高強度壓克力容器。當製作過濾層時使用第一截尺寸為 $\phi 10.4\text{cm} \times 10.2\text{cm}$ 之壓克力圓筒置於底板, 並以螺帽鎖於四支可調整高度的腳架上, 夯製基層土壤試體時使用第二截尺寸為 $\phi 10.4\text{cm} \times 17.8\text{cm}$ 之壓克力圓筒, 置於第一截圓筒上。在上下壓克力圓筒間, 設置四支具有螺紋之鋁棒連結在腳架, 並以螺帽固定圓筒。最後將頂板置於第二截圓筒上以螺帽固定, 再以 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 之高水壓測試 24 小時無漏水與破裂。上下頂底板分別有二孔用以進水、排水及排氣。
- ② 不銹鋼水箱: 不銹鋼水箱為提供細溝試驗之供水容器。

(2) 試體製作與試驗步驟

細溝試驗試體的裝置是將過濾料與基層土壤垂直的放入準備好的壓克力容器中, 試體的製作為:

- ① 先放入約 1.3cm 高之 #4-3/8" 之礫石, 再放入約 6.4cm 高之過濾級配料並加以飽和, 之後再以夯鎚夯實。
- ② 用模型粘土搓成條狀置在 7.7cm 高之過濾料旁之管壁一圈, 並壓緊於管壁。
- ③ 最後 2.5cm 高之級配過濾料放入, 加以飽和後以夯鎚夯實, 如此一來懸浮土壤顆粒及水有沿著管壁中較大孔隙管道移動傾向者, 會轉移至濾料中心。
- ④ 一長條的金屬片寬 1.3cm, 厚 0.15cm, 放入過濾料中心, 然後基礎土壤分六層夯實入容器, 使土壤夯實高度為 16.5cm, 再抽出長條金屬片形成初始裂縫, 接著放入 1.3cm 高之 #4-3/8" 之礫石, 蓋上頂板。

細溝試驗試體之夯製, 採定體積方式, 不計夯實

能量，將基礎土壤分六層夯實至壓克力容器內，各層間以長起子割割，以利上下層之粘結。試體製作之控制條件為過濾料之相對密度為 70%，基層土壤含水量與乾密度為標準夯實試驗之最佳含水量與 95% 最大乾密度。

試驗步驟：

試體夯製完成，將壓克力容器水平放置，突然打開水流，水壓以 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 通過試體的初始裂縫並通入過濾層，且在試驗期間內控制施加之氣壓在 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 。試驗進行五分鐘，在開始排水進行之初與 1、2、3、4、5 分鐘時以量筒在底板兩管盛接排水，加以烘乾後計算其排出土壤顆粒重量，並在每 30 秒時記錄排出之水量。

(3) 泥岩之細溝試驗

- 過濾料之配製：首先以不同級配過濾料作初步之定性觀察，根據排水量與排出水之污濁程度等可判斷適當過濾料之大致範圍。再依此範圍內細分十二種不同級配過濾料見圖 2，進行排出顆粒重量與排水量之量測。
- 泥岩試體之配製：泥岩試體採用研磨之過 #40 篩者，試體控制之乾密度為 $1.79\text{g}/\text{cm}^3$ ($0.95 \rho_{\max}$)，含水量為 11.6% (O.M.C.)。根據泥岩試體之乾密度和容器之體積推算出泥岩所需之乾重，噴加 O.M.C. 之水量，再分六層夯入容器內進行試驗。

(4) 紅土之細溝試驗

- 過濾料的配置：過濾料的級配如圖 3 所示，共採用十二種不同級配過濾料直接進行排出顆粒重量及排水量之量測。
- 紅土試體之配置：紅土試體亦採用研磨之過 #40 篩者，試體控制之乾密度為 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ($0.95 \rho_{\max}$)，含水量為 20.4% (O.M.C.)。根據試體之乾密度和容器之體積推算出紅土所需之乾重，噴加 O.M.C. 之水量後，再分六層夯入容器內進行試驗。

(5) 長時間之細溝試驗

細溝試驗中另外進行長時間之量測，此階段之量測時間進行 20 分鐘，主要目的在於與試驗時間為 5

分鐘時做一比較，並瞭解較長試驗時間內試驗之變化情形。共採用三種不同級配過濾料直接進行排出顆粒重量及排水量之試驗量測。試體製作與試驗步驟之程序與試驗時間為 5 分鐘時相同。由六組試驗所得之結果中得知，試驗量測時間為 20 分鐘時與試驗時間為 5 分鐘時有相同之趨勢，故在分析時採用量測時間為 5 分鐘時之試驗。

四、分析與探討

1. 泥岩之試驗

- 泥岩之試驗結果分析在泥岩之細溝試驗中，過濾料粒徑最大尺寸皆採用 9.5mm，並以改變過濾料之 D_{15} 大小作為級配過濾料之變化，同時亦以過濾料之 D_{15} 作為過濾料之適當與否的判定標準。

① 排出顆粒重量之分析

對於適當之過濾材料，在細溝試驗中其排出之顆粒會逐漸減少至微量，排出水之顏色會變清澈；而不適當之過濾材料之排出顆粒會持續大量排出且無減少之現象，排出水之顏色則始終混濁。

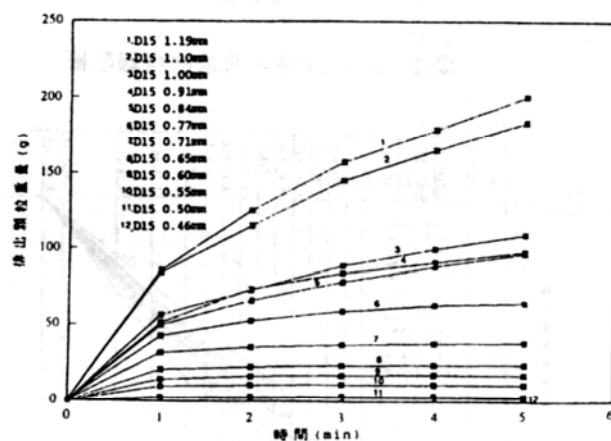


圖 4 風化泥岩試驗中，時間對排出顆粒累積重量圖

在 2 分鐘時，於圖 4 風化泥岩之時間對累積排出顆粒重量圖中可以明顯看出，第七組以下 ($D_{15} \leq 0.71\text{mm}$) 之過濾料其排出顆粒重量與第六組以上 ($D_{15} \geq 0.77\text{mm}$) 之過濾料有明顯之差距。第六組 ($D_{15} = 0.77\text{mm}$)

之累積排出顆粒重量,在五分鐘時近乎為第七組 ($D_{15} = 0.71 \text{ mm}$) 之兩倍,故在排出顆粒重量上判定適當過濾材料界限之 ($D_{15}(\text{過}) = 0.71 \text{ mm}$)

② 排水量之分析

對於適當過濾材料,在細溝試驗中其排水量會減少至小流量,而不適當之過濾材料則持續大排水量並攜帶土壤顆粒。然而在排水量方面,良好之過濾料須具足夠之排水能力,故在排水量分析時採取攜帶最少排出顆粒重量時其排水量仍大之過濾料。綜合排出顆粒重量上之探討,在適當之過濾料中(第七組~第十二組),以第七組之排水量最大,故在排水量方面判定適當過濾材料界限之 ($D_{15} = 0.71 \text{ mm}$)。

再以過濾料之 D_{15} 與排水量作圖,可得圖5風化泥岩之過濾料粒徑 D_{15} 對累積排水量圖,更能明顯的知道排水量與排出顆粒對過濾料粒徑之變化關係。最後在觀察排出水之混濁程度時可見, $D_{15} = 0.71 \text{ mm}$ 時排出水之顏色清澈,過濾料 $D_{15} = 0.77 \text{ mm}$ 時排出水之顏色則為混濁,故判定風化泥岩的適當過濾料界限之 $D_{15} = 0.71 \text{ mm}$ 。

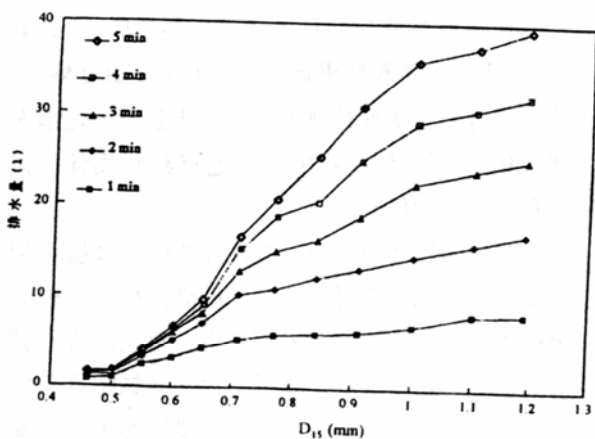


圖5 風化泥岩之過濾材料粒徑 D_{15} 與累積排水量關係圖

(2) 泥岩之試驗結果討論

- ① 依試驗所得適當過濾料界限之 $D_{15} = 0.71 \text{ mm}$ 與泥岩之 D_{85} 比較,可得知適當之過濾料範圍為

$D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{泥岩}) \leq 0.71/0.067 \leq 10.6$, 取 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{泥岩}) \leq 10.6$ 與 Bertram (1940)、U. S. Army Corps of Engineers (1955) 與 U. S. Army et al. (1971) 之準則 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土}) \leq 5$ 比較,本試驗中對泥岩之適當過濾料範圍有較大之選擇空間。

- ② 試驗結果顯示適當過濾料界限 D_{15} 與泥岩 D_{85} 之比值: $D_{15}/D_{85}(\text{泥岩}) = 10.6$, 與 Sherard (1984) 提出適當過濾料之界限之 D_{15} 與土壤之 D_{85} 比值: $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土})$ 皆大於9相符合。

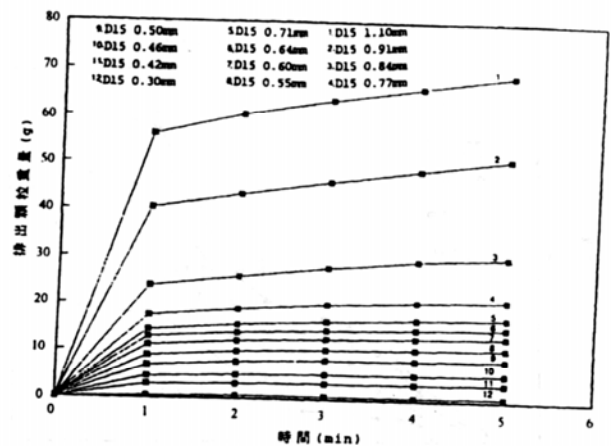


圖6 紅土試驗中,時間對排出顆粒累積重量圖

2. 紅土之試驗

(1) 紅土之試驗結果分析

紅土之細溝試驗中,過濾料之最大尺寸亦採用 9.5 mm ,而過濾料級配共有十二種,同時亦以過濾料之 D_{15} 作為適當過濾料之判定標準。

① 排出顆粒重量的分析

紅土排出顆粒重量之分析判斷亦如同泥岩之分析判斷。在圖6紅土之時間對累積排出顆粒重量圖中可看出,第四組過濾料以下 ($D_{15} \leq 0.77 \text{ mm}$) 時,其排出顆粒在五分鐘處已減少至微量。並發現第四組 ($D_{15} = 0.77 \text{ mm}$) 之累積排出顆粒在五分鐘後與第三組 ($D_{15} = 0.84 \text{ mm}$) 已有相當之差距,而第四組以下之各組差距變小,且只有微量之顆粒排出,故在排出顆粒重量上判定適當之過濾料界限之 $D_{15} = 0.77 \text{ mm}$ 。

② 排水量分析

紅土在排水量上分析判斷亦如同泥岩之分析判斷。在排水量方面，由於適當之過濾料中（第四組～第十二組），以第四組之排水量最大，故在排水量方面判定適當過濾料界限之 $D_{15} = 0.77 \text{ mm}$ 。

另外以過濾料之 D_{15} 與排水量作圖，可得圖 7 紅土之過濾料粒徑與累積排水量圖。最後觀察排出水之顏色，在過濾料 $D_{15} = 0.77 \text{ mm}$ 時排出水之顏色清澈，而在 $D_{15} = 0.84 \text{ mm}$ 時排出水之顏色混濁，故判定紅土之適當過濾料界限之 $D_{15} = 0.77 \text{ mm}$ 。

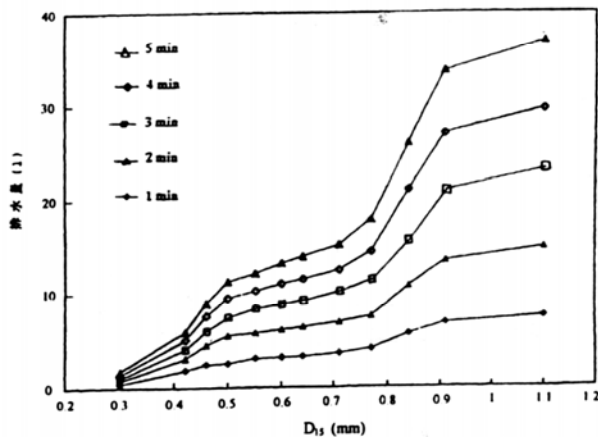


圖 7 紅土之過濾材料粒徑 D_{15} 與累積排水量關係圖

(2) 紅土之試驗結果討論

- ① 依試驗所得適當過濾料界限之 $D_{15} = 0.77 \text{ mm}$ 與紅土之 D_{85} 比較，其適當之過濾料範圍取 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{紅土}) \leq 0.77/0.05 \leq 15.4$ 與準則 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土}) \leq 5$ 比較，試驗結果之紅土有較大之過濾料範圍之選擇。
- ② 試驗結果顯示適當之過濾料界限 D_{15} 與紅土之 D_{85} 比值 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{紅土}) = 15.4$ ，亦與 Sherard (1984) 所提出的適當過濾料界限之 D_{15} 與土壤之 D_{85} 比值： $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土})$ 皆大於 9 相符。

3. 過濾材料選定方法之綜合檢討

本文對土壤之過濾材料選定，乃參考 Sherard (1984) 提出之細溝試驗，進行泥岩與紅土之過濾材

料選定試驗，本節就細溝試驗之過濾材料選定的儀器、過程及結果做一綜合分析檢討。

(1) 過濾材料選定方法之討論

本文過濾材料選定方法中所採用之細溝試驗，其儀器與方法較之傳統過濾料試驗之儀器與方法有三項優點：

- ① 可用較大之試體進行試驗。
- ② 模擬現地有裂縫之情況，且裂縫（細溝）可事先做成。
- ③ 裂縫（細溝）可控制在試體中央，在每次試驗中並可控制其大小。

基於上述考慮，採用細溝試驗進行土壤之過濾材料試驗而捨去傳統之過濾料試驗。

試驗中泥岩與紅土之適當過濾材料之選定，並無一標準之量化規範來判定，故本文就試驗數據中排出顆粒重量上由大至小變化最大之處，並參照排水量、初始裂縫變化情形與排出水質之污濁與否，作為適當過濾材料選定之界限。並取適當的過濾界限之 D_{15b} 作為判定標準，亦即過濾材料之 $D_{15} > D_{15b}$ 為不適當（排出顆粒多）， $D_{15} \leq D_{15b}$ 為適當（排出顆粒少）。在過濾材料選定方法中，所選定之適當過濾材料界限 D_{15b} ，主要基於防止土壤顆粒被帶走之過濾觀念，故在適當過濾材料範圍中（ $D_{15} \leq D_{15b}$ ），其 D_{15} 愈小，排出土壤顆粒重量愈小，但排水量亦變小。在同時考慮排出土壤顆粒量須小、排水量須大之情況下，建議實際應用時採取 D_{15b} 之過濾材料為佳（排出顆粒量小排水尚佳）。

共以泥岩與紅土進行 33 次細溝試驗，試驗中另進行三組同樣級配過濾材料之紅土細溝試驗。比較相同過濾料級配之二次試驗結果中發現，量測之排出顆粒重量與排水量相當接近，故可認定細溝試驗具有再現之能力。另經由針孔試驗後可知：擴散性土壤（風化泥岩）與非擴散性土壤（紅土），皆可由細溝試驗選定其適當過濾材料，且適當之過濾材料皆能達到防止土壤顆粒排出來之過濾效果。唯在試驗中發現其在適當之過濾材料範圍中，風化泥岩之排出顆粒重量較紅土大，且排水效果較差，但基本上適當之過濾材料皆能達到其保護土壤防止內部沖刷的效果。

在所有的試驗過程中開始時水流都是高度混濁的，且攜帶大量之基礎土壤。在所有的適當過濾料試

驗中, 水流速度會快速降低, 且水逐漸澄清, 最後封閉細溝或以穩定之小流量流過清水。在不適當的過濾料試驗中, 水流量持續而無減低之現象, 這些現象通常在 2 或 3 分鐘內就能判定。試驗結束後檢查試體內預留之初始細溝發現, 適當的過濾料試驗中, 預留之細溝內幾乎充滿土壤顆粒, 而在不適當的過濾料試驗中, 預留之細溝被冲刷成開放的孔洞, 其直徑可達 10-15mm 或更大。

本文過濾料選定試驗方法中, 採用高水壓 (4kg/cm²) 之控制條件, 其產生的高速水流對土壤的沖蝕能量較諸一般沖蝕為大。此高水壓、高梯度的流況, 可模擬土壩壩心產生裂縫時之沖蝕作用, 故本過濾材料試驗為相當實用及嚴格之試驗。並且試驗中之儀器製造及試體製作之花費並不昂貴, 只要取得所須試驗之土壤及過濾材料, 並得到土壤之一般物理試驗、土壤夯實試驗、針孔試驗及過濾料一般性質之資料後, 即可進行土壤之適當過濾料選定, 故本文之過濾料選定方法不失為一經濟且實用之方法。

根據試驗過程、試驗結果與分析討論, 定出圖 8 之過濾材料選定方法之示意流程圖。根據此流程圖並參照上節中過濾材料選定方法之分析, 可進行其他土壤之過濾材料選定。

五、結 論

本研究目的在應用細溝試驗對泥岩與紅土進行適當之過濾材料選定, 並對此種過濾材料選定方法作一分析與討論。經試驗及分析、討論後, 獲得以下結論與建議。

過濾材料選定之流程中進行土壤之一般物理試驗、夯實試驗、針孔試驗、過濾料之一般性質試驗, 並由上述試驗得到土壤之分類、粒徑分佈、最佳含水量、最大乾密度、是否為擴散性土壤及過濾料最大、最小乾密度之基本資料, 應用這些基本資料並由改變過濾料級配中重複進行細溝試驗, 最後由細溝試驗之排水量、沖蝕量與試體內部細溝大小變化中判定土壤之適當過濾料。本文之過濾料選定方法、過程與分析, 不僅僅只限於泥岩與紅土, 對於其它種類土壤之過濾材料亦可適用。

研究結果中適當過濾料範圍 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{泥岩}) \leq 10.6$ 與 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{紅土}) \leq 15.4$, 與 Bertram、

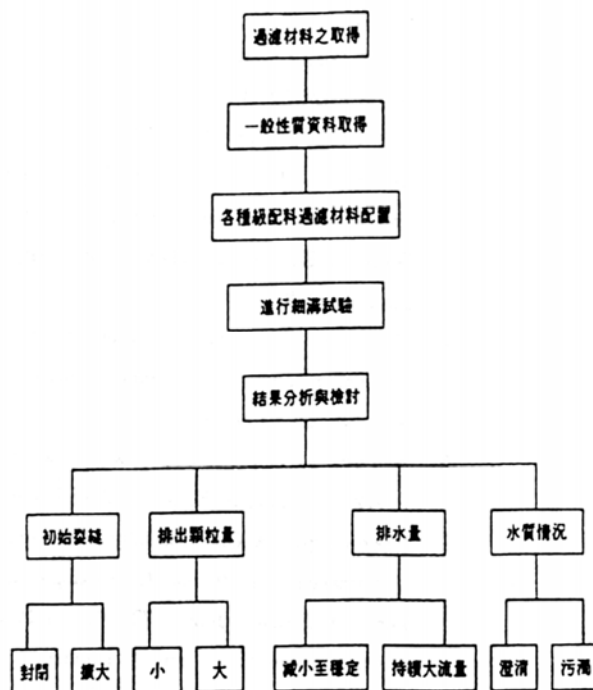


圖 8 過濾材料選定方法之示意流程圖

U. S. Army Corps of Engineers (1955)、U. S. Army et al. (1971) 所提出之準則 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土壤}) \leq 5$ 相較, 泥岩與紅土之適當過濾料有較大的粒徑範圍之選定空間。另外適當過濾料界限, 其 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{泥岩}) = 10.6$ 與 $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{紅土}) = 15.4$ 之試驗結果, 與 Sherard (1984) 提出適當過濾料界限 D_{15} 與土壤之 D_{85} 比值: $D_{15}(\text{過})/D_{85}(\text{土壤})$ 皆大於 9 相符。

擴散性土壤 (風化泥岩) 與非擴散性土壤 (紅土) 皆可由細溝試驗選定其適當過濾材料, 而適當之過濾材料皆能達到其保護土壤防止內部沖蝕之效果。本文之過濾料選定試驗與方法頗為經濟與實用, 不僅適用於一般要求下之過濾料選定, 其具有高水壓與高梯度之試驗條件, 應可真實模擬出土壩壩心下游面之過濾料是否能封閉通過壩心不透水層之接觸裂縫之能力。

參考文獻

1. 葉向陽 (1985), 「擴散性黏土及其處理方法」, 地下工程實務, pp. 38-44.
2. ASTM (1984), "Annual Book of ASTM Standards sec. 4 construction," Vol. 04. 08 Soil and Rock, Building

- Stones.
ASTM D423-66, p. 127
ASTM D424-59, P. 128
ASTM D84-83, pp. 211-213
3. Bertram, G. E. (1940), "An Experimental Investigation of Protective Filters," Publications of the Graduate School of Engineering, Harvard University, No. 267, January, 1940.
 4. Hazen, A. (1911), Discussion of "Dams on Sand Foundation", by A. C. Koenig, *Transactions, ASCE*, Vol. 73, pp. 199-203.
 5. Sherard, J. L., R. S. Decker, and N. L. Ryker (1972), "Piping in Earth Dams of Dispersive Clay," Proceedings, ASCE Specialty Conference on the Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Purdue University, June 1972, Vol. 1 Part 1.
 6. Sherard, James L., Lorn P. Dunnigan, and Rey S. Decker (1976), "Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils," *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, January, 1976, pp. 69-85.
 7. Sherard, James L., Lorn P. Dunnigan, and James R. Tabot (1984), "Filters for Silts and Clays," *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 110, No. 6, pp. 701-71
 8. Taylor, D. W. (1948), *Fundamental of Soil Mechanics*, Wiley, New York, pp. 134-135.
 9. Thanikachalam, V. R., and R. Sakthivadivel (1974), "Rational Design Criteria for Protective Filters," *Canadian Geotechnical Journal*, Ottawa, Vol. 11, No. 2, pp. 309-314.
 10. U. S. Army Corps of Engineers (1955), "Drainage and Erosion Control-subsurface Drainage Facilities for Airfields," Chapter 2, *Engineering Manual, Military Construction*, Washington, D. C., June 1955 p. 13, p. 15.
 11. U. S. Army, U. S. Navy, and U. S. Air Force (1971), "Dewatering and Groundwater Control for Deep Excavations," TM5-815-5, NAVFAVP-418, Chapter 6, April 1971, p. 39.
 12. USCS. (1986), *Guide for Determining the Gradation of Sand and Gravel Filters*, U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service Engineering Division, p. 6.

85年 8月16日 收稿
85年 9月 5日 修正
85年 9月27日 接受