

土石流透水柵篩分因子之研究

段錦浩⁽¹⁾ 謝宗憲⁽²⁾ 張繼儒⁽³⁾

摘要

透水柵，為利用脫水的作用，使土石流失去流動之主要動力，進而達到使土石流停止流動之目的，防災功能與一般直立式透過性防砂壩相同，由兩座相距很近的防砂壩上面再架設平行於流心線而有間距的數十根 H 型鋼所組成，具有一般透過性壩體之特性。透水柵分離之土石與水基本上仍在同一個河道上，僅靠透水柵分為上下兩段，在大流量之土石流災害中，分離之土石與水有再度混合之可能，使土石流再流動。本研究則於主流河道旁另設一分流河道，使分離之粗礫石經主流河道至預計沉積處，水與細顆粒土砂由分流河道流至下游，確實做到分離之效果。

本試驗藉改變上下游壩高調整篩分裝置之設置坡度，H 型鋼長度及河床坡度，了解在不同的設置，對土石流流動之停止及沉積有何影響。結果有以下幾點：

1. 當透水柵之坡度小時，土石流流經三種鋼棒長度均會發生流動、停積、再流動、再停積之重複現象，而此種現象在鋼棒越長時越明顯。

2. 當裝置坡度介於 30 度至 40 度之間時，所得之土砂分流比介於 1~2 之間。

3. 當土砂滯留因子集中於 5-10 之間時，其土砂分流比和預計之分流狀況相符，也就是可藉由調整裝置之坡度及鋼棒長度，而使得土砂滯留因子為所需之值，以達到預計之土砂分離效果。

(關鍵字：土石流，篩分裝置)

Determination Factors for Debris Flow Screening Device Design

Ching-Hao Tuan

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

Tsung-Hsien Hsieh

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系教授
(2) 國立中興大學水土保持學系碩士班研究生
(3) 國立中興大學水土保持學系碩士

Chi-ju Chang

M. Sc. Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung Hsing University

ABSTRACT

The screening device makes the debris flow stop through dehydration. The role of screening devices is the same as that of the open dam. It is composed of two close dams that simply support several I-beams paralleled to water flow with proper spacing. There is the possibility of mixing up the separated debris and water again under large amounts of debris flow because those of screening device are basically on the same channel in different elevation. As for screening device, we set another by-pass beside main channel to make separated coarse cobbles flowing go to estimated dumping place through main channel and have water and fine particles flowing go to downstream through by-pass. Thus it fulfills the effect of separation.

This experiment is focused on understanding the influences on debris flow under different circumstances by changing the height of upstream dam and adjusting setting slopes of screening device, lengths of I-beam and slopes of bed. The results are in the following.

1. There is a repeated phenomenon of moving and stopping in three I-beam lengths, when the debris flow moves through the device with a gentle slope. The phenomenon is more obvious when the length of I-beam is longer.

2. When the slope of the I-beam is between 30 and 40 degrees, the rate of separating coarse cobble is between 1 and 2.

3. When the soil halting factor is between 5 and 10, the rate of separating coarse cobble is also confirmed to the expected condition.

(**Keywords** : debris flow, screening device)

一、前言

有鑑於以往對透水柵的相關研究中，對於停積於柵上之土石，若受後方推擠越過柵面，而與已分離之水混合再度形成土石流之危險並未加以提及。為避免此種情況發生，本研究設置改良之透水柵，分為主流河道及分流河道，使越過篩分裝置後之土砂經主流河道至預計沉積處，過篩之土砂與水則由分流河道流到下游，不至有分離後之土水再度混合之虞，此為透水柵篩分裝置之主要考

量。而且由於此篩分裝置是順著土石流之流向設置，故不會直接承受土石流之巨大衝擊力，並於下游設計沉積處，提供大量土砂沉積之場所，可解決以往透過性防砂壩之上游貯砂空間不足及易受土石流撞擊而損壞等之缺點。

本研究於土石流發生開始，觀察篩分裝置對於土石流之分離效應，以及土石之沉積狀況。並探討於不同之設置坡度下，篩分裝置對土石流之粗細土砂分離情況與土砂通過分流的效果。

二、相關研究

(一) 土石流的發生型態

蘆田等(1983)提出土石流發生型態可分為三種，如圖 1 所示，三種型態中以 (a) 與 (b) 情形較易根據理論來分析。

1. 較密之堆積層因地表逕流而發生飽和，使土體受水流之分散作用引發土石流，如圖 1(a) 所示。

2. 疏鬆之堆積層因水流滲透作用，使土體破壞而流動形成土石流，如圖 1(b) 所示。

3. 崩落而滑動中之土塊因水流之供給而發生土石流，如圖 1(c) 所示。

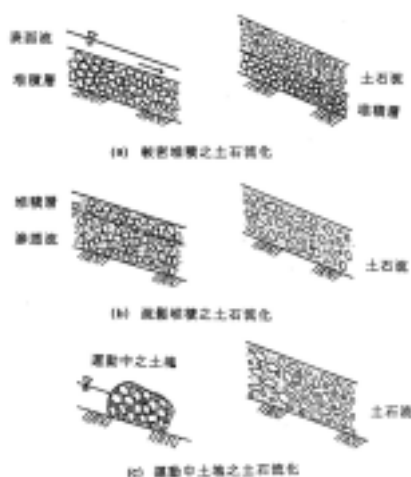


圖 1. 土石流發生形態示意圖 (蘆田等, 1983)

Figure 1. The forms of debris flow.

(二) 土石流的發生坡度

1. 游繁結、陳重光(1987)調查南投縣信義鄉豐丘村發生之兩次土石流災害，其發生坡度分別為 17 度與 23 度。

(三) 土石流防治工法之效能評估

1. 渡邊正幸等(1980)首先提出抑制土石流之防治設施，必須具備下列功能：

- (1)減少土石流之洪峰流量
- (2)延遲土石流之到達時間
- (3)減少土石流之總流出量
- (4)將粗大礫石由土石流中分離

2. 游繁結(1993)提出設計土石流防治工程時，應考慮下述之原則：

- (1)防止土石流發生
- (2)消滅土石流之流動能量
- (3)土石流轉變成土砂流
- (4)土石流之脫水
- (5)土石流之停止
- (6)土石流之土砂收容
- (7)土石流之分散

(四) 透過性防砂壩的特點

1. 段錦浩等(2001)指出，透過性防砂壩普遍具有的特點包括：

(1)具有遲滯洪水或蓄積土石流所挾帶大量砂石之能力，有效降低土石流之土砂總流出量。

(2)水流可以自由穿過壩體開口處，故可利用常水流量將被壩體停積之泥砂顆粒，以個別方式輸往下游，保持壩體之上游部份儲砂空間。

(3)因土砂和水體可以自由穿越壩體，對溪流魚類之生態和土砂輸移之平衡影響較小。

2. 江永哲等(1993)指出，開放式防砂壩主要功效為積蓄洪水或土石流挾帶之大量砂石亦可利用枯水時期之常水流量，將泥砂顆粒由淤積區以個別搬運方式輸往下游。

(五) 透水柵之相關研究

本實驗之篩分裝置係由透水柵原理基礎改良而來，與透水柵有許多相似性質，茲將透水柵之相關研究分列如下：

1.清野等(1986)指出透水柵為一種與河床平行或水平設置，用來停止、堆積土石流或減殺土石流巨大能量之工法。於日本燒岳現場施工透水柵(如圖2，圖3所示)，其特性如下：

- (1)可分離土石流先端之巨礫與泥水。
- (2)土石流先端停止後，堆積往上游回溯，橫向有溢流現象。
- (3)設計時不須考慮土石流衝擊力。



圖 2. 日本燒岳透水柵

Figure 2. The permeable debris flow screening in Japan.



圖 3. 日本燒岳透水柵經土石流後淤滿情形

Figure 3. Accumulation of sediment on permeable screening device after occurrence of debris flow.

2.矢澤等(1986)針對透水柵所做了室內試驗，其所得之結果如下：

- (1)透水柵柵面間距之改變對土石流先端部流下距並無太大影響。

- (2)逆坡透水柵之堆積長度小於順坡透水柵。

- (3)透水柵上之堆砂形態，在柵上之堆積角度約為土石流材料之安息角；而透水柵上游側之角度則約與一般壩體角度相同。

3.黃怡仁(1991)研究透水柵防治土石流功效之試驗，得出以下結果：(其中，順坡透水柵為柵面與渠槽坡度平行，緩坡透水柵為柵面與渠槽成7.5度夾角)

- (1)在同軌距、同供水流量條件下，緩坡透水柵對降低土石流尖峰流出濃度之效果，較順坡透水柵為佳。

- (2)在同軌距、同供水流量條件下，緩坡透水柵有較順坡透水柵高的貯砂率〔貯砂率=柵上堆積土砂量/(柵上堆積土砂量+流出土砂量)〕。

- (3)在小軌距時，緩坡透水柵分離粗大礫石之效果不如順坡透水柵；在大軌距時，緩坡透水柵分離粗大礫石之效果較順坡透水柵為佳。

4.林忠義(1999)經由其試驗指出，透水柵之土砂分流比(S)，與壩體相對開口寬度(b/d_{95} ； b 為鋼棒間距寬， d_{95} 為通過率為95%之粒徑)、狹縫密度(b/B ； B 為透水柵之總寬度)及土砂滯留時間(T)等因子之間，有以下結果：

- (1)土砂分流比隨相對開口寬度增大而遞減，兩者成反比例相關。

- (2)狹縫密度愈高，柵體通透性佳，攔阻功效減弱，土砂分流比隨之減小。

- (3)柵體長度加長或土石流所處坡度較小時，透水柵作用於土石流之時間會加長，使大量土砂穿過柵體流出，降低土砂分流比。

- (4)土石流之土砂粒徑越不均勻，受透水柵幾何尺寸之影響程度降低，使土砂分流比提高。

$S = VS_1 / VS_2$ (VS_1 ：土石流越過透水柵總土砂量， VS_2 ：土石流穿過透水柵總土砂量)。

5.陳虹合(2002)由試驗觀察得知，土石流流經平面篩分裝置時，受其作用力而產生之流動情形有以下幾點：

(1)藉由平面篩分裝置能有效將細顆粒土砂與水從土石流中分離出來，使其失去流動之主要動力達到停止之目的。

(2)土石流受平面篩分裝置之作用，會產生流動、停止、再流動、再停積等重複現象。尤其在裝置斜率小時較為明顯，斜率大時不明顯或延後發生。

(3)分離後之細顆粒土砂與水流至下游，可補充下游遭沖刷之河道的泥沙。

(4)實驗結果，平面篩分裝置之設置坡度介於與水平夾角 22.57~24.58 度之間，可達較加之分離效果且較為經濟。

三、材料與方法

本試驗是在國立中興大學水土保持學系坡地工程研究室之玻璃渠槽進行試驗，利用渠槽鋪砂並供水以人造產生土石流，觀察土石流流經透水柵篩分裝置時，其被篩分及停止堆積之情形，並分析土砂分流比(S)及土砂滯留因子(T)及各篩分因子之間的關係，再者討論篩分坡度()對土砂篩分因子(S')影響關係。

(一)土石流的形成方式

某些試驗是將預先拌好的土砂試體於試驗前傾倒入流槽中，而於試驗時打開洩放閘使土砂試體形成土石流流入渠槽試驗段中，此方式只適用於粘度高的泥石流試驗，對於粘度偏低的土砂試體(如礫石型土石流)時，產生粗顆粒與流體之分離現象便難以克服。考慮台灣地區發生之土石流型態，多屬高含砂之礫石型土石流類型，故本研究之對象選定為礫石型土石流，惟其液相漿體濃度和粘度皆低，不適於以上述方式進行土石流生成試驗。因此本研究採用方式為於試驗渠槽中

堆積一厚度均勻之飽和堆積土層，並於其上加鋪一層結構鬆散之土石，自上游供給已知流量的表面逕流，藉由表面逕流所具備強勁的沖刷能力，沖刷推移土層中的泥砂礫石以模擬土石流的形成。

(二)渠槽裝置

(1) 渠槽幾何尺寸

1. 供水裝置：長 1.5m，寬 1.2m，深 2.5m 之供水箱以定水頭方式穩定供水。

2. 渠槽主體：長 800cm，寬 100cm，高 60cm，只取 40cm 之寬度，將其分為主流河道與分流河道，分別為 20cm 寬，渠底以鋼板鋪成。

3. 採集裝置：於下游處設置兩回收箱，各長 0.8m，寬 0.6m，深 0.4m，重 3.5kg 分別收集由主流河道流下之大粒徑砂石及由分流河道流下之細顆粒土砂秤重並記錄。



圖 4. 渠槽試驗之正視圖

Figure 4. The top view of the channel.

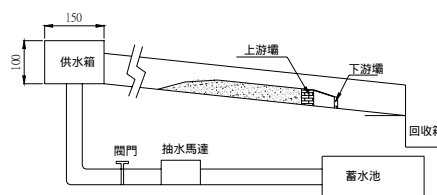


圖 5. 渠槽試驗之側視圖

Figure 5. An side view of the channel.

(2) 床質材料

實驗之床質材料以混合粒徑之砂石所組成，粒徑選用通過 US 標準篩為準 0.59mm (#30)、1.19mm (#16)、2.38mm (#8)、4.76mm (#4)、6.35 (1/4')、9.5mm (3/8')、12.7mm (1/2')、15.8mm (5/8') 及 19.05mm (3/4') 等幾種粒徑。中值粒徑為 6.35mm，最大粒徑為 19.05mm。篩分裝置設計上為考慮能夠使一半以上顆粒之土砂礫石能由平面篩分裝置上方通過，並且預期至少二分之一的土砂能通過鋼棒篩分析出與土石分流，因此平面篩分裝置在計算土砂材料粒徑分佈後，鋼棒間距採用 1cm。表 1 為本試驗土砂材料的重量分佈與累計重量百分比之紀錄。

表 1. 粒徑分佈表

Table 1. The grain size distribution.

篩號	粒徑(mm)	重量百分比 (%)	累計重量百分比 (%)
#30	0.59	14	14
#16	1.19	16	30
#8	2.38	6	36
#4	4.76	6	42
1/4'	6.35	5	47
3/8'	9.5	10	57
1/2'	12.7	11	68
5/8'	15.8	12	80
3/4'	19.05	20	100

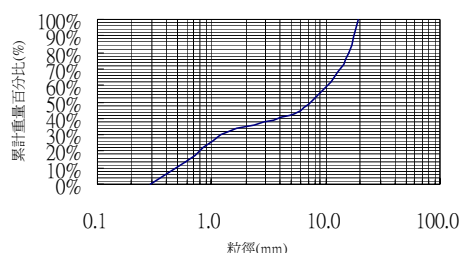


圖 6. 粒徑分佈圖

Figure 6. The grain size distribution.

(3) 試驗條件

設置之河床坡度為符合土石流動，取 13 度、15 度及 17 度三種坡度，供水量為 0.029cms 穩定流量供水；平面篩分裝置之鋼棒間距固定為 1cm；下游壩高固定為 10cm，上游壩高則於實驗中控制變因使其介於 10~25cm，每隔 3cm 設置一種上游壩高，藉由改變上游壩高來變動篩分裝置的坡度，使篩分裝置之坡度平行於渠槽作為對照組；鋼棒之長度為 30cm、40cm 及 50cm 三種長度變因來進行試驗。試驗條件於表 2 整理如下：

表 2. 試驗條件

Table 2. The experiment conditions.

河床坡度 (α)	13°15°17°
水量 (cms)	0.029
柵棒間距 (cm)	1
下游壩高 (cm)	10
上游壩高 (cm)	10、13、16、19、22、25
透水閘長 (cm)	30、40、50

(三) 試驗步驟

1. 於主流渠槽上設置上、下游壩，兩壩高為 10cm、10cm，將鋼棒架設於兩壩之間。
2. 將 30cm 之鋼棒架設上下游壩間。
3. 調整渠槽坡度為 13 度。

4.於上游壩之上游面開始鋪砂，高度與上游壩同高，鋪砂坡面與河床相同，鋪砂長度由上游壩之上游面算起，長 170 公分。

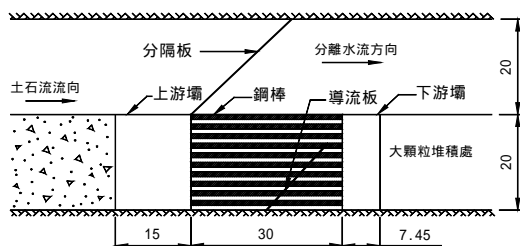


圖 7. 篩分裝置之正視圖

Figure 7. The top view of the screening device.

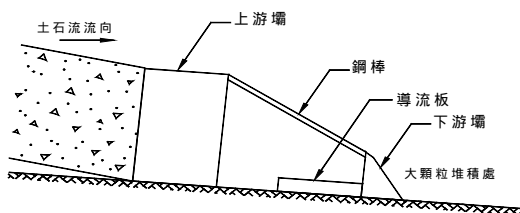


圖 8. 篩分裝置之側視圖

Figure 8. An side view of the screening device.

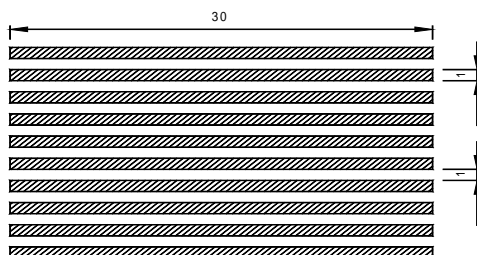


圖 9. 鋼棒配置圖

Figure 9. The layout of steel bars.



圖 10. 篩分裝置圖

Figure 10. The picture of screening device.

5.下游設回收箱，分主流河道及分流河道兩部分收集，分別收集粗顆粒砂石及細顆粒土砂。

6.充分澆水使土石約達飽和狀態。

7.打開閘門，固定水量為 0.029cms 穩定供水。直至土石流發生過後，當上游不再沖刷土石，即關閉供水閘門。

8.分別量測回收箱中粗粒砂石及細粒砂石之未烘乾重量。

9.改變渠槽坡度為 15 度，重複步驟 4~8。

10.改變渠槽坡度為 17 度，重複步驟 4~8。

11.將長 40cm 之鋼棒架於兩壩之間，重複步驟 3~10。

12.將長 50cm 之鋼棒架於兩壩之間，重複步驟 3~10。

實驗之流程圖如圖 11 所示

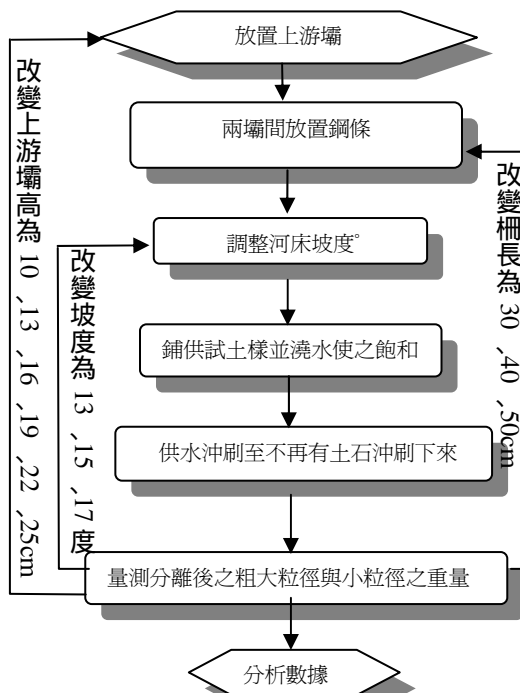


圖 11. 實驗流程圖

Figure 11. The flow chart of the experiment.

四、實驗結果分析

茲將實驗運用之各項符號整理如表 3 所示：

表 3. 符號說明

Table 3. The symbol explanation.

符號	說明
VS1	過篩後未烘乾之細粒重量(kg)
VS2	越流後未烘乾之粗粒重量(kg)
S	分流比(VS2/VS1)
S'	篩分比 $S' = VS1 / (VS1 + VS2)$
b	柵棒間的距離(cm)
L	設置柵棒的長度(cm)
	柵棒與水平交角(°)
T	滯留因子 $T = L / (b * \sin \theta)$

本研究主要探討透水柵篩分裝置所設置之坡度、柵棒長度、篩分坡度對土石流的停止及分離之作用，針對土砂分流比(S)及土砂滯留因子(T)之關係作探討並評論於何種土砂滯留因子時平面柵對土石流有較佳預期分流功效，所得結果分析如下：

(一)土砂分流比(S)與篩分坡度(°)之關係

1.柵棒長 30cm

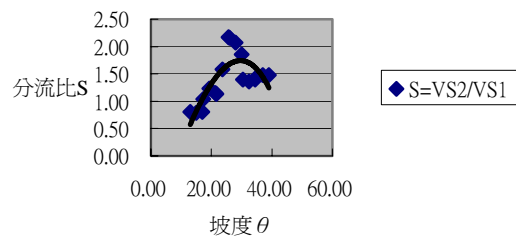


圖 12. 篩分坡度與分流比之關係圖 (篩分長度為 30cm)

Figure 12. The relationship between the slope of screen and the rate of debris separation. (L=30cm)

篩分坡度介於 30 度~40 度之間為具有最佳之篩分效果。

2. 柵棒長 40cm

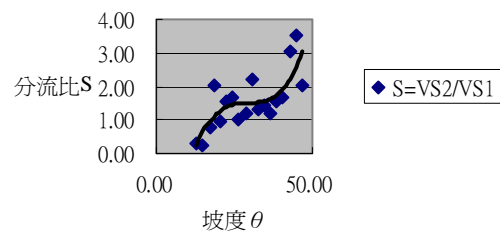


圖 13. 篩分坡度與分流比之關係圖 (篩分長度為 40cm)

Figure 13. The relationship between the slope of screen and the rate of debris separation. (L=40cm)

其土砂分流比之趨勢線如圖 13 所示。其方程式為：

$$S = -0.0046 \theta^2 + 0.2662 \theta - 2.1567$$

$$R^2 = 0.6126$$

3. 柵棒長 50cm

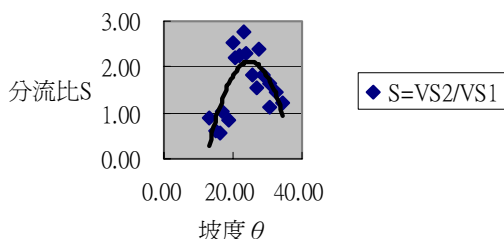


圖 14. 篩分坡度與分流比之關係圖 (篩分長度為 50cm)

Figure 14. The relationship between the slope of screen and the rate of debris separation. (L=50cm)

篩分坡度在 25 度以後，此時分流比慢慢隨著坡度之增加而降低，因此當裝置坡度越大時，分流比也越接近最佳值。而經由回歸分析得知其趨勢線亦呈現一拋物線型態，其方程式為：

$$S = -0.0128 \theta^2 + 0.6393 \theta - 5.8432$$

$$R^2 = 0.5582$$

上列圖 12~14 回歸現型之差異，探究其原因初步判斷，乃因土砂分流比 S 除篩分鋼棒長度影響外尚與其他隨鋼棒長度應變因子相關，尚待深入研究。

(二)土砂分流比(S)與土砂滯留因子(T)之關係
 最後將三種不同鋼棒長度之土砂分流比(S)與分流坡度()和土砂滯留因子(T=L/(b*sin))做回歸分析可得下列方程式：

1.當鋼棒長度 30cm 時：

$$S = 1.65 \times T^{-0.044} \theta^{0.045}$$

$$R^2 = 0.50$$

2. 當鋼棒長度 40cm 時：

$$S = 183.63 \times T^{-0.224} \theta^{-0.06}$$

$$R^2 = 0.53$$

3. 當鋼棒長度 50cm 時：

$$S = 4972.44 \times T^{-0.292} \theta^{-0.13}$$

$$R^2 = 0.35$$

上述三回歸式相關係數偏低，原因在於土砂滯留因子 T=L/(b*sin)與坡度並非獨立變數，而針對本實驗之變因，只對土砂分流比(S)與土砂滯留因子(T)之關係回歸，可得：

1.當鋼棒長度 30cm 時：

$$S = 20.65 \times T^{-1.4762}$$

$$R^2 = 0.61$$

2. 當鋼棒長度 40cm 時：

$$S = 0.03 \times T^{-1.8554}$$

$$R^2 = 0.79$$

3. 當鋼棒長度 50cm 時：

$$S = 6.13 \times T^{-0.7128}$$

$$R^2 = 0.59$$

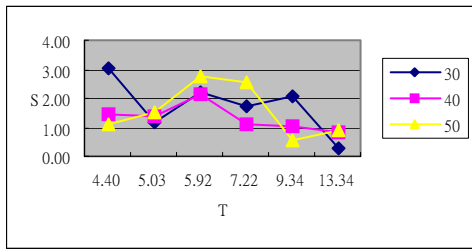


圖 15. 滯留因子與分流比之關係圖

Figure 15. The relationship between the slope of screen and the soil halting factor.

(二) 土砂篩分比(S')與篩分裝置角度(θ)之關係定義土砂篩分比 $S' = VS1 / (VS1 + VS2)$ ，即土砂篩分比為篩分析出之細顆粒土砂重與總土砂重比值：

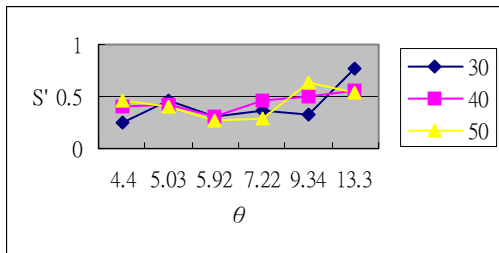


圖 16. 篩分坡度與土砂篩分比之關係圖

Figure 16. The relationship between the slope of screen and the rate of screening.

1. 當鋼棒長度 30cm 時：

$$S' = 0.0288 \times \theta^2 - 0.1355 \theta + 0.4524$$

$$R^2 = 0.59$$

2. 當鋼棒長度 40cm 時：

$$S' = 0.0137 \times \theta^2 - 0.0646 \theta + 0.4605$$

$$R^2 = 0.732$$

3. 當鋼棒長度 50cm 時：

$$S' = 0.0316 \times \theta^2 - 0.1899 \theta + 0.6177$$

$$R^2 = 0.5043$$

由圖 16 回歸分析所示土砂篩分比與篩分角度並非成線性關係，若僅以規律上而言，值變大時篩分比 S' 有隨其值向上漸大的趨勢。

五、結論與建議

(一) 結論

篩分裝置由於順著土石流之流向設置，並於下游設計沉積處，提供大量土砂沉積之場所，可解決以往透過性防砂壩之上游貯砂空間不足問題。唯其貯砂空間之選定需大於土砂來量二分之一設計，且緩衝距離需概算分流後土石動能之消弭。

本研究於土石流發生開始，觀察篩分裝置對於土石流之分離效應，以及土石之沉積狀況。並探討於不同之設置坡度下，篩分裝置對土石流之粗細土砂分離會有較佳的效果，茲將試驗所得之結果及可再改良之部分羅列如下：

1. 由試驗觀察得知，土石流流經篩分裝置時，受其作用而產生之流動情形有以下幾點：

(1) 當篩分裝置之坡度較小時，土石流流經不同鋼棒長度之透水柵時，均會發生流動、停積、再流動、再停積等之重複現象，此現象在鋼棒長度為 50cm 時尤為明顯。而此等流動現象在篩分坡度較大時，則不明顯或延後發生。

(2) 土石流受篩分裝置之作用，會產生流動、停積、再流動、再停積等之重覆現象。此等現象在設置坡度低時尤為明顯，在設置坡度高時，此等流動現象則較不明顯或延後發生。

(3) 分離出之細顆粒土砂可藉分離出之水流帶至下游，平時則可藉常流量將細粒砂帶到下游，匯流至原河道，以補充下游冲刷之泥砂。

(4)淤積於篩分裝置上之鬆散土石，若來不及清淤，又發生土石流，則可藉其強大之沖刷力，將淤積土石帶至預計沉積處，使平面篩分裝置再度發揮其功用。

(5)土石於篩分裝置上及預計沉積處之堆積狀態，皆呈現粒徑由下至上漸小之情況。此與巨礫集中於土石流之先端部有關，並且大顆粒土砂會先阻塞鋼棒間距，因此造成此種粒徑分布狀況。

2.由量測分離後之粗細土砂重量所得之數據，經分析後得到之結果有以下幾點：

(1) 當上游壩高小於 19cm 時，越過篩分裝置土砂 (S_1) 之重量百分比呈現較大之起伏，此種情況與鋼棒間距受阻塞之時間先後有關，而鋼棒間距受阻塞之時間先後則隨土石卡在鋼棒間距之隨機性變動。

(2) 當上游壩高大於 19cm 時，越過及穿過平面篩分裝置之土砂重量百分比之曲線呈現較穩定之分布。

(3) 當上游壩高為 25cm 時，因設置坡度過大，使得土石流較易越過平面篩分裝置，致使細顆粒土砂無足夠時間通過鋼棒間距，因此越過平面篩分裝置土砂 (S_1) 之重量百分比曲線又上揚。

(4)鋼棒平行渠槽之裝置所得之穿過平面篩分裝置土砂之重量百分比最小，顯示出水平組對土石流之停積作用佳，但其篩分效果則差，對下游泥砂補充之效果不彰。

(5)由分離土砂重量百分比圖 12、13、14 可得知，在上游壩高大於 19cm 時，平面篩分裝置對土石流的篩分效果趨於穩定，由實驗所得之結果，平面篩分裝置之設置坡度於 22.57 度~24.58 度之間，除可達較佳之分離效果，亦不致使上游壩過高而造成浪費，可作為將來工程設計之參考。

(二)建議

1. 鋼棒之間距作用如同以往透過性防砂壩之開口間距，因此鋼棒之間距與預計分離

土砂之重量百分比有關，若間距過小，平面柵容易淤滿而無篩分之效果，如間距過大，落下之砂石便無法以常水流量將之帶往下游，因而淤積於分流河道上，造成分流河道之堵塞。然而土石流之粒徑組成係由現場之溪床坡度、地形、地質等條件決定，因此間距之大小決定宜於現場粒徑調查後再行設計。

2. 當平面柵之坡度較大時，雖然其分離效果較佳且不易在柵上形成堆積，但停滯時間較小，粗粒徑之土砂越流後動能相對加大，故在工程設計時，地點的配置選定更應謹慎，並設置一定空間的緩衝距離，如此得以阻擋並減緩土石流之流勢，又可利用分流含細顆粒水流補充下游之泥沙，以減少河床之滔刷。

3. 篩分坡度影響土石顆粒篩分結果顯著，尤以略斜於河床坡度為佳，設計時考慮以順緩坡之形式之篩分裝置可避免土石淤積鋼棒上並能達較佳篩分效果。

4. 回歸之經驗式相關係數(R^2)略偏低，原因可能來自實驗誤差，建議增加實驗之次數以提高數據精確度，藉以改進經驗式之相關係數值。

六、參考文獻

1. 江永哲、連惠邦、林裕益、李明晃、吳道煦 (1993)「開放式防砂壩對土石流防治功效之探討」，中華水土保持學報第 24 卷第 1 期，P.37~43。
2. 李三畏 (1986)「奧地利與台灣地區之防砂工程」，中華水土保持學報第 17 卷第 2 期，P.15~26。
3. 李明晃 (1989)「立體格子型壩防治土石流功效之試驗」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
4. 林忠義 (1999)「透水柵調節土石流之機制研究」，逢甲大學土木及水利工程研究

所碩士論文。

5. 段錦浩、蘇國振、張曉康 (2001)「梳子壩與廢輪胎應用於台灣土石流治理工程」, 兩岸土石流與洪水災害防治研討會, P.233~239。
6. 張敬昌 (2003)「防砂壩溢壩水舌經透水柵阻擾後對下游底床泥砂淘刷之研究」, 中華水土保持學報第 34 卷第 1 期, P.15~24。
7. 張繼儒 (2003)「土石流平面柵分流效率之試驗研究」, 國立中興大學水土保持學系碩士論文。
8. 陳虹合 (2002)「土石流平面篩分之試驗」, 國立中興大學水土保持學系碩士論文。
9. 詹錢登 (2002)「土石流概論」, 科技圖書。
10. 游繁結 (1993)「土石流之防治工法」, 水土保持學報第 25 卷第 1 期, P.21~28。
11. 游繁結, 連惠邦 (2001)「台灣土石流研究之進展」, 兩岸土石流與洪水災害防治研討會, P.37~45。
12. 游繁結、陳重光 (1987)「豐丘土石流災害之探討」, 中華水土保持學報第 18 卷第 1 期, P.76~92。
13. 黃怡仁 (1991)「透水柵防治土石流功效之試驗」, 國立中興大學水土保持學研究
14. 謝金德、葉振男 (1993)「奧地利水土保持工程」, 他山之石-水土保持系列(1), P.3-1-1~3-1-10。
15. 矢澤昭夫、水山高久、森田昭宏 (1986)「土石流を制御する構造物に関する實驗」, 土木技術資料, Vol.28-8, P.403~408。
16. 池谷 浩、上原信司 (1980)「スソコト砂防ダムの土石調節効果に関する實驗的研究」, 新砂防第 114 號, P.37~44。
17. 清野雅雄、宮越英紀、上原信司、水山高久 (1986)「底面水抜きスクリーンの現地實驗」, 新砂防第 146 號, P.15-19。
18. 渡邊正幸、水山高久、上原信司 (1980)「土石流對策砂防設施に関する検討」, 新砂防第 115 號, P.40~45。
19. 蘆田和男、高橋 保、道上正規 (1983)「河川の土砂災害と對策」, 森北出版株式會社, 第 55~75 頁。

92 年 7 月 11 日收稿

92 年 9 月 08 日修改

92 年 9 月 15 日接受