

## 集水區崩塌地治理優先順序之研究

吳輝龍<sup>(1)</sup> 施純富<sup>(2)</sup> 蔡真珍<sup>(3)</sup> 劉昌文<sup>(4)</sup>

### 摘要

921大地震除造成人員大量傷亡與許多房屋毀損之外，亦導致台灣中部地區多處山坡地發生崩塌。由於崩塌區位分佈遼闊且零散不易調查，利用遙測衛星影像能快速地監測、評估大範圍崩塌區位之植生復育情形。分析結果顯示，地震一年半後，烏石坑崩塌區位之植生復育率約為15.2%，顯示其植被生長恢復情況不甚理想，施做崩塌地植生復育工程有其必要。以林務局所劃分林班地為分析單元，其中126、121、120林班之沖蝕深度分別為3.56、3.32、2.94 cm/yr較為嚴重；為防止土砂沖刷造成災害，有必要對上述地區優先治理，並以衛星遙測技術進行監測與評估，利用植生復育率作為量化指標，探討監測區位植生覆蓋之變遷，即時掌握各分析區位植生之復育狀況。

（關鍵詞：崩塌地、植生覆蓋率）

## Priority Ranking for Landslide Treatment in Watersheds

*H.C. Wu*

Director-General, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou, Taiwan.

*Chun-Fu Shih, Jen-Jen Tsai*

Graduate Students, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C

*Chung-Wen Liu*

Instructor, National Chin Yi Institute of Technology, Taichung, Taiwan 411, R.O.C

### ABSTRACT

The 921 earthquake caused not only heavy casualties and extensive damage to building, but also a large number of landslides in Central Taiwan. Due to scattered distribution of the landslides, satellite

---

(1) 行政院農業委員會水土保持局局長

(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博士班研究生

(4) 國立勤益技術學院景觀設計與管理科講師

images were applied to on time monitoring and evaluate the vegetation recovery of large-scale landslides. Results indicate that the vegetation recovery rate of Wu-shih Con landslide area is merely -15.2% in average. The poor recovery rate implies the emergency and necessity of countermeasure for soil and water conservation. The erosion depth of the landslides are 3.56, 3.32, 2.94 cm/yr at the areas of 126, 121 and 120 forest compartments respective which are in worse condition and should be managed at high rank of priority.

(**Keywords**: landslide, vegetation recovery rate.)

## 前言

民國八十八年九月二十一日凌晨，台灣中部發生芮氏規模 7.3 強烈地震，除造成人員大量傷亡與許多房屋毀損之外，其強大之震撼力，亦導致台灣中部地區多處山坡地發生山崩，由於崩塌區位分佈遼闊且零散，若採用現地調查或航照判釋不但費時費力，且難以監測及評估大範圍崩塌區位之植生復育情形，而衛星影像具有多時攝像、大面積涵蓋及快速分析等優點，並可與舊有影像比對，進而得知其變遷過程，對 921 地震崩塌區位植生復育之監測與評估助益極大。

本研究以烏石坑溪集水區為對象，利用 921 地震前後期 SPOT 衛星影像進行崩塌區位判釋，再以地震一年半後之衛星影像進行崩塌區位植生復育率分析，並利用通用土壤流失公式，配合坡面泥沙遞移率分析，評估坡面泥沙產量及平均沖蝕深度，再據以排定集水區崩塌地治理之優先順序。

## 研究材料、項目與方法

### (1) 研究試區概況

烏石坑溪集水區位於和平鄉西北方，行政區域屬於自由村一部份，地理位置（如圖 1 所示）介於北緯 24。14'37" 24。18'34"，及東經 120。54'40" 120。59'57"間，主流長度為 9.31 公里，集水區面積 3,496 公頃，集水區內大小支流及坑溝密佈，地勢東南較高，漸向西北傾斜形成溪谷，土地利用大部分為林班

地，少部分為果園。

據台中縣山坡地土壤調查報告，本集水區

東部大部分土壤未調查，已調查區位之土壤類

型計有黃壤、石質土、暗灰色崩積土、沖積土、雜地及未調查土六類（表 1）。地質分佈由東向西分別為（1）漸新世石墨質頁岩、板岩、石英質砂岩（2）漸新世硬砂岩、硬頁岩、板岩（3）中新世中期砂岩、頁岩（4）中新世早期砂岩、頁岩。本區地質多屬頁岩及板岩（圖 2）。土壤構造屬於石質土及暗灰色崩積土，因經過地震、颱風使得土質鬆動且膠結性差，易造成河岸沖刷及崩塌，故每逢豪雨即造成河床兩岸沖刷及大量砂石淤積，威脅居民生命財產安全甚鉅，亟需擬定完善之治理對策，以作為分年分期治理依據。

### (2) 研究材料

衛星影像係購自中央大學太空及遙測中心，其解像力為 12.5m x 12.5m。拍攝日期分別為 88 年 4 月 1 日、88 年 9 月 27 日以及 90 年 3 月 5 日（圖 3）。利用綠色植物會吸收藍光、紅光，強烈反射近紅外光的特性，計算衛星影像的 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 值再經過線性反轉可以得出植生覆蓋指數 C' 值 (C' 值愈大植生覆蓋度愈差；0 < C' < 1)，進而分析植生覆蓋的變遷，以及後期植物復育情形。

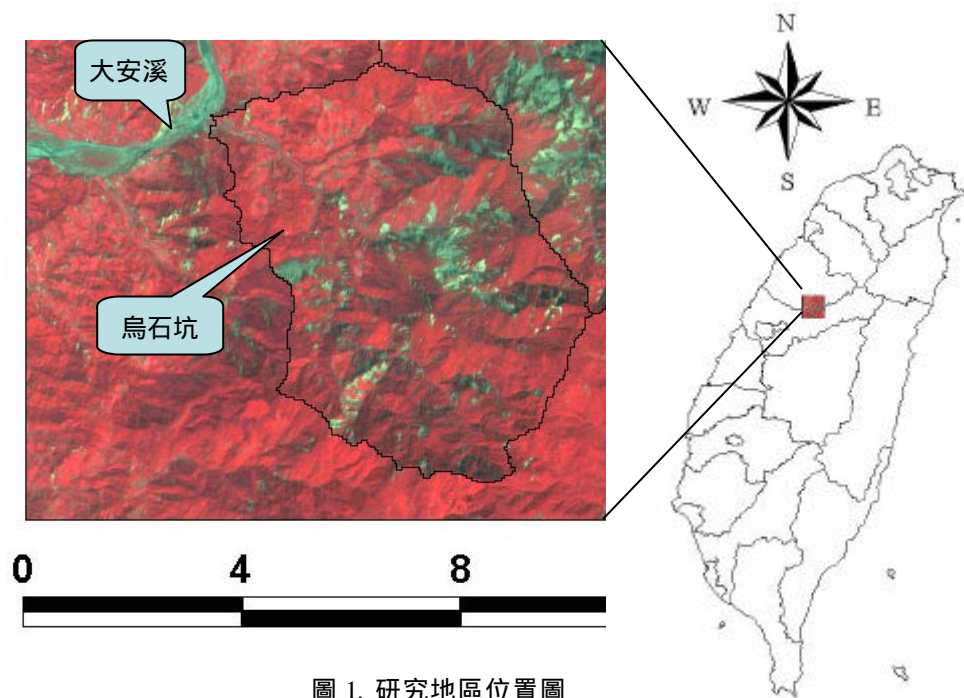


圖 1. 研究地區位置圖  
Figure 1. Site of the study area.

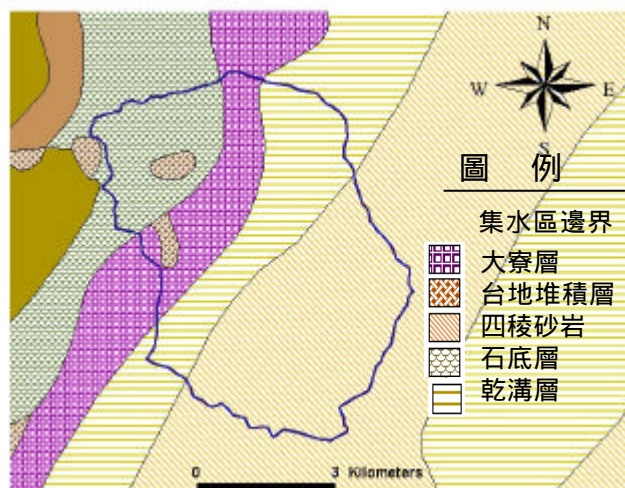
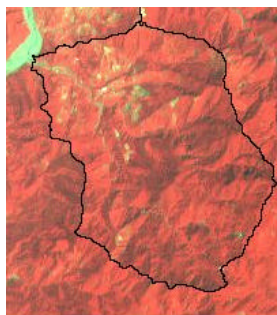


圖 2. 地質分佈圖  
Figure 2. Geologic map of the study area.

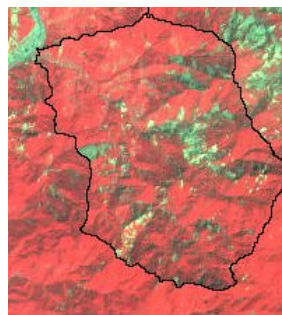
表 1. 崩塌區位土壤類型

Table 1. Soil type of the landslides.

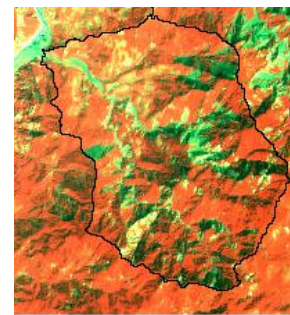
土壤	沖積土	黃壤	雜地	崩積土	未調查區	石質土	合計
崩塌地面積(ha)	4.08	11.56	83.41	33.09	106.98	1.36	240.48



地震前衛星影像圖  
(1999, 4, 1)



地震後衛星影像圖  
(1999, 9/27)



評估期衛星影像圖  
(2001, 3, 5)

圖 3. 研究地區 SPOT 衛星影像

Figure 3. SPOT images of the study area.

### (3) 研究流程

本研究流程如圖 4 所示，先運用電子地圖蒐集周邊地理環境及交通狀況，再利用 921 地震前後期 SPOT 衛星影像進行崩塌區位判釋，配合數位地形模型（DEM，Digital Elevation Model）對崩塌區位之地形進行分析，以地震一年半後之衛星影像分析崩塌區位植生復育率，並利用通用土壤流失公式，配合坡面泥沙遞移率，來推估崩塌區位坡面泥沙產量，最後再針對土壤沖蝕量深度之推估進行探討，俾排定優先治理區位。

## 研究方法

### 1. 植生覆蓋因子（C'）分析

常態化差異植生指標（NDVI）係利用綠色植生有吸收紅光及強烈反射近紅外光之原

理，依二者波段之相差與和的比值計算而得：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

式中之 NIR 為近紅外光、R 為紅光，所求得之 NDVI，值越大顯示綠色植生量越多、植物生長越旺盛、植被覆蓋越好。利用程式計算衛星影像之 NDVI 值，由於 NDVI 值介於-1 1 之間，可將各期之 NDVI 標準化，經由下式將其線性反向轉換成介於 0 1 的植生覆蓋因子（C'）。

$$C' = \frac{1 - NDVI}{2}$$

C'值越小表示植物生長越旺盛、植生覆蓋越好，C'值越大則植生覆蓋越差，以此計算 921

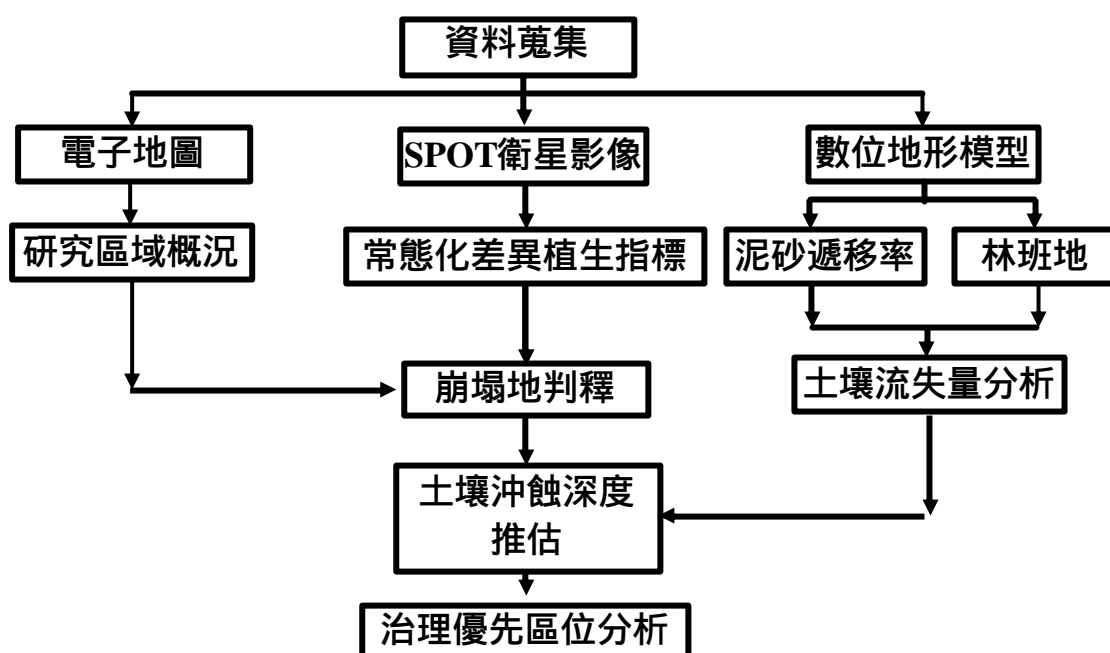


圖 4. 研究流程圖

Figure 4. Flow chart of the study.

地震前後兩期衛星影像植生覆蓋因子之差值（地震後之 C 值-地震前之 C 值），再將相減後 C 值增高部分歸類，進行崩塌區位之判釋。以往之變遷偵測常採人工判釋航照圖以界定出變遷區域，然而利用人工分析變遷資料為一項艱難之工作（Adeniny, 1980），且易受人為經驗及主觀因素之影響。由資源衛星所獲得之遙測影像資料因具有數值化特性，而使得變遷偵測成為其主要應用之一（Nelson, 1983），本研究亦採用衛星影像資料來判釋崩塌區位。植物對近紅外光的反射較裸露土石強，其影像光譜與崩塌裸露坡面的光譜資訊成明顯對比，因此，地震前植被生育良好，C 值較小，地震後大量土方滑落、植被嚴重被破壞，C 值明顯增高之處即為崩塌區位，故計算 921 地震前後兩期衛星影像植生覆蓋因子之差值（地震後之 C 值-地震前之 C 值），以進行崩塌區位

之判釋。分析結果顯示因地震所引發之崩塌地面積約為 240.48 公頃（圖 5）。又在一年半後的桃芝颱風根據水保局資料區內崩塌地更達到 454.88 公頃。（圖 6）

## 2. 崩塌地泥砂產量

### 1. 土壤沖蝕量計算

集水區坡面土壤經沖蝕後，經過搬運及堆積等作用運移至下游某一斷面處之泥砂量，稱為集水區泥砂產量，崩塌地所產生的泥沙產量，不僅會使水質惡化，溝蝕更會使得地力衰退。而在某一時期內通過溝渠或河流某一斷面之輸砂量與該斷面以上之集水區土壤流失量之比，稱為泥砂遞移率（SDR, Sediment Delivery Ratio）。Walling（1994）指出集水區泥砂遞移率，依其運移路徑，可分為坡面泥砂遞移率及河道泥砂遞移率。林昭遠及林文賜（1999）提出一簡易計算坡面泥砂遞移率之方

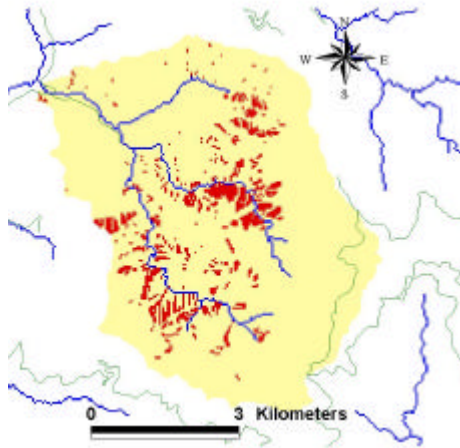


圖 5. 921 震災後崩塌區位分佈圖

Figure 5. Spatial distribution of the landslides caused by 921 earthquake.



圖 6. 桃芝颱風後崩塌區位分佈圖

Figure 6. Spatial distribution of the landslides caused by tauz typhoon.

式，並利用 USLE 所求得之土壤流失量配合泥砂遞移率分析以推估集水區之坡面泥砂產量。結果顯示其推估所得之坡面泥砂產量與實測值差異不大。所以藉由土壤流失公式以及泥砂遞移率推算，並且以集水區內各林班地泥砂產量多寡，以各林班面積為分母除上泥砂產量換算成各林班沖蝕深度後，作為水土保持處理優先順序。計算方式如下所述：

土壤流失量依據行政院農業委員會（2000）編印之水土保持技術規範第 62 條之規定，採用通用土壤流失公式（USLE）估算。土壤沖蝕是指地表土壤受到外力之作用，自一地搬移至另一地之現象，而通用土壤流失公式（Universal Soil Loss Equation）為目前最常被用來估算土壤流失量之公式，如下所示：

$$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$$

式中： $A_m$  為土壤流失量（tons/ha/yr）

$R_m$  為降雨沖蝕指數（Mj-mm/ha-hr-yr）

$K_m$  為土壤沖蝕指數

（tons-ha-hr-yr/Mj-mm-ha-yr）

$L$  為坡長因子

$S$  為坡度因子

$C$  為覆蓋與管理因子

$P$  為水土保持處理因子

（1）降雨沖蝕指數（ $R_m$ ）

降雨沖蝕指數係採用黃俊德（1979）建立之台灣降雨沖蝕指數資料推估而得。

（2）土壤沖蝕指數（ $K_m$ ）

係採用萬鑫森及黃俊義（1989）調查所得之台灣坡地土壤沖蝕指數，利用地理統計方法建立台灣地區土壤沖蝕指數等值圖（林昭遠及林文賜，1999）以求算之。

（3）坡長因子（ $L$ ）

坡長因子（ $L$ ）係採用 Wischmeier and Smith（1965）提出公式求算之。

林昭遠及林文賜（1999）於研究中指出，坡長因子之計算，除了田間小規模樣區試驗可直接量測之外，若以集水區為考量，可將漫地流之流長視為坡長，而由於集水區坡面受到地面窪蓄、入滲等作用及山溝、道路排水側溝等之截流，使得地表漫地流之流長甚少超過 100 m，因此假設



地表漫地流之流長若超過 100 m 時，則視為渠道流，又因所採用之 DEM 解析度為 40 m×40 m，故地表漫地流之流長累計超過兩個網格時，即視為渠道流。利用程式先進行集水區內漫地流及渠道流之萃取，再藉此計算集水區之坡長因子。

#### (4) 坡度因子 (S)

坡度因子係先計算各網格之平均坡度 ( )，再以 Wischmeier and Smith (1978) 所提出之坡度因子公式求算之。

#### (5) 覆蓋與管理因子 (C)

由於目前台灣地區之覆蓋與管理因子尚無資料庫可資利用，故採用林文賜 (2002) 所提出之計算方法求算之，如下示：

$$C = \left( \frac{1 - NDVI}{2} \right)^{1 + NDVI}$$

#### (6) 水土保持處理因子 (P)

水土保持處理因子則假設集水區在無水土保持處理之情形下，設定其值為 1。

### 2. 坡面泥砂遞移率 (SDR) 分析

由於坡面泥砂遞移率會受到降雨、土壤、地形、植生及人為等因子之影響，實用上並無法逐一考量，故為簡易計算坡面泥砂遞移率 (圖 7)，本研究採用林昭遠及林文賜 (1999) 所提出之坡面泥砂遞移率計算方法求算之，即假設坡面泥砂主要係由坡面地表水所帶動，運移至渠道 (常流水) 而流失，則集水區坡面上任一網格之泥砂遞移率可定義為流入該網格之地表水流長度 (Lu) 與流經該網格之總地表水流長度 (Lt) 之比值 (即  $SDR = Lu / Lt$ )，其值介於 0 ~ 1 之間，越接近渠道之區位，其坡面沖蝕之泥砂越容易進入渠道，故泥砂遞移率越高。而集水區坡面泥砂產量 (Ys) 可由集水區坡面土壤流失量 (Am) 與坡面泥砂遞移率之乘積來推算，如下式所示：

$$Y_s = A_m \times SDR$$

由於烏石坑集水區全區皆為林班地，治理優先順序可以摒除其他因素，僅考慮各個林班地沖刷深度，作為分析依據，由表 2 可明顯看出 126、121、120 號林班是較迫切需處理的區位。

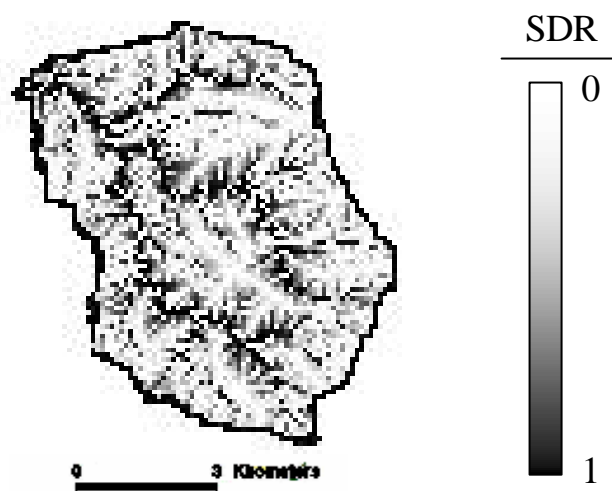


圖 7. 坡面泥砂遞移率 (SDR) 分佈圖

Figure 7. Spatial distribution of SDR.

## 結果與討論

### 一、崩塌區位地形分析

921 震災後烏石坑溪集水區崩塌地為 240.48 公頃，經過桃芝颱風更擴大為 454.88 公頃，坡面泥砂產量最多的區域在 126、121、120 號林班地，為集水區優先治理之區位。地震崩塌地常集中分佈在某些地方，表示地震崩塌地之發生，除了與地震發生機制有關外，亦受邊坡之地形環境影響 (川邊洋等，1997)，中村浩之 (2000) 認為地震崩塌地大多發生在 30° ~ 50° 之邊坡上。為瞭解崩塌區位分佈情況與地形間之關係，利用 DEM 對崩塌區位進行坡度及坡向分析 (表 3、表 4)。在坡度方面，研

表 2. 崩塌區位平均沖蝕深度之分析  
Table 2. Erosion depth of the landslides.

林班碼	88.04.01 沖刷深度 (cm/yr)	88.09.27 沖 刷深度 (cm/yr)	90.03.05 沖 刷深度 (cm/yr)	最大沖刷 深度差值 (cm/yr)
117	0.36	0.51	0.86	0.58±0.28
118	0.44	0.36	1.02	0.61±0.41
119	0.16	0.92	1.03	0.70±0.54
120	0.51	2.87	3.45	2.28±1.77
121	1.02	3.96	4.30	3.09±2.07
122	0.69	1.70	2.91	1.77±1.14
123	0.50	1.00	1.59	1.03±0.51
124	0.61	1.46	2.18	1.42±0.79
125	0.48	1.17	1.89	1.18±0.71
126	1.16	3.27	4.72	3.05±1.89
127	0.33	0.83	1.53	0.90±0.63
128	0.87	0.90	2.14	1.30±0.84

表 3. 烏石坑崩塌區位之坡度分佈  
Table 3. Slope distribution of Wu-shih Ken landslides.

坡度(%)	全區面積(ha)	崩塌地面積(ha)	崩塌面積百分比(%)	崩壞比(%)
< 5	10.24	0.00	0	0
5~15	104	1.24	0.52	1.1923
15~30	279.04	7.20	2.99	2.5803
30~40	249.6	6.88	2.86	2.7564
40~55	395.52	16.96	7.05	4.2880
55~100	2012.8	126.92	52.78	6.3056
> 100	400.48	81.28	33.80	20.2956
合計	3451.68	240.48	100	6.9670



表 4. 烏石坑崩塌區位之坡向分佈  
Table 4. Aspect distribution of Wu-shih Ken landslides

坡向	全區面積(ha)	崩塌地面積(ha)	崩塌面積百分比(%)	崩壞比(%)
東北	393.76	38.4	15.97	9.7521
東	249.28	22.08	9.18	8.8575
東南	149.76	6.4	2.66	4.2735
南	385.6	16.32	6.79	4.2324
西南	543.68	19.04	7.92	3.5021
西	689.92	29.44	12.24	4.2672
西北	493.92	34.56	14.37	6.9971
北	545.76	74.24	30.87	13.6030
合計	3451.68	240.48	100	6.9670

究地區之崩塌區位有 52.78% 分佈於坡度 55 100% 之間。在坡向方面，烏石坑溪集水區崩塌區位主要分佈在北坡向，約佔 30.87%。

## 二、植生復育分析

植生復育率 (VRR) 係以崩塌區位地震前之植生覆蓋因子 ( $C_0$ ) 為參考值，計算任一評估期之植生覆蓋因子 ( $C_2'$ ) 恢復至地震前之百分比，其計算式如下式 (林昭遠等，2001)：

$$VRR(\%) = \frac{C_1' - C_2'}{C_1' - C_0} \times 100\%$$

式中之  $C_0'$  為地震崩塌前 (1999/4/1) 之植生覆蓋因子， $C_1'$  為崩塌初期 (1999/9/27) 之植生覆蓋因子， $C_2'$  為評估期 (2001/3/5) 之植生覆蓋因子。圖 8 為未崩塌前植生覆蓋指數頻度圖，平均  $C'$  值為 0.22，顯示地震前植生狀況相當好；發生大地震後，產生山崩地滑使得裸露地大幅增加，這種情形直接反映在  $C'$  值上， $C'$  值暴增為 0.54。在地震經過一年後植生狀況也沒有變好的跡象， $C'$  值又是小幅變壞為 0.59。植生覆蓋指數曲線逐漸向右偏移，其平

均植生復育率 VRR 為負成長 -15.2%。(圖 8)

## 三、崩塌區位坡面泥砂產量分析

本研究中所考慮土壤流失因素有 USLE 公式裡的  $R_m$ 、 $K_m$ 、坡長因子、坡度因子、覆蓋與管理因子 (水土保持處理因子則假設集水區在無水土保持處理之情形下，設定其值為 1，在此不考慮) 以及泥砂遞移率。本區各林班地面積大小不一，最大的為編號 117 號林班面積達 5.32 公頃，面積最小的是 125 號林班只有 0.95 公頃，故將土壤流失量換算成坡面泥砂產量算出土壤沖蝕深度，再以土壤沖蝕深度與上述因子進行單變項多重回歸分析 (表 5)，結果顯示坡面泥砂產量與植生覆蓋因子及泥砂遞移率的相關性最高，相關係數分別為 0.883 跟 0.880 呈正相關。優先治理區位 126、121、120 林班崩塌區位皆沿河流分佈，不但土壤容易被雨水、逕流冲刷而進入河道，每逢大雨還會造成河床兩岸冲刷及大量砂石淤積造成災害，對環境及週遭生態恐造成極大的威脅。土壤環境不良以及植生覆蓋率差、泥砂遞移率過高為 126、120、121 林班土壤沖蝕嚴重

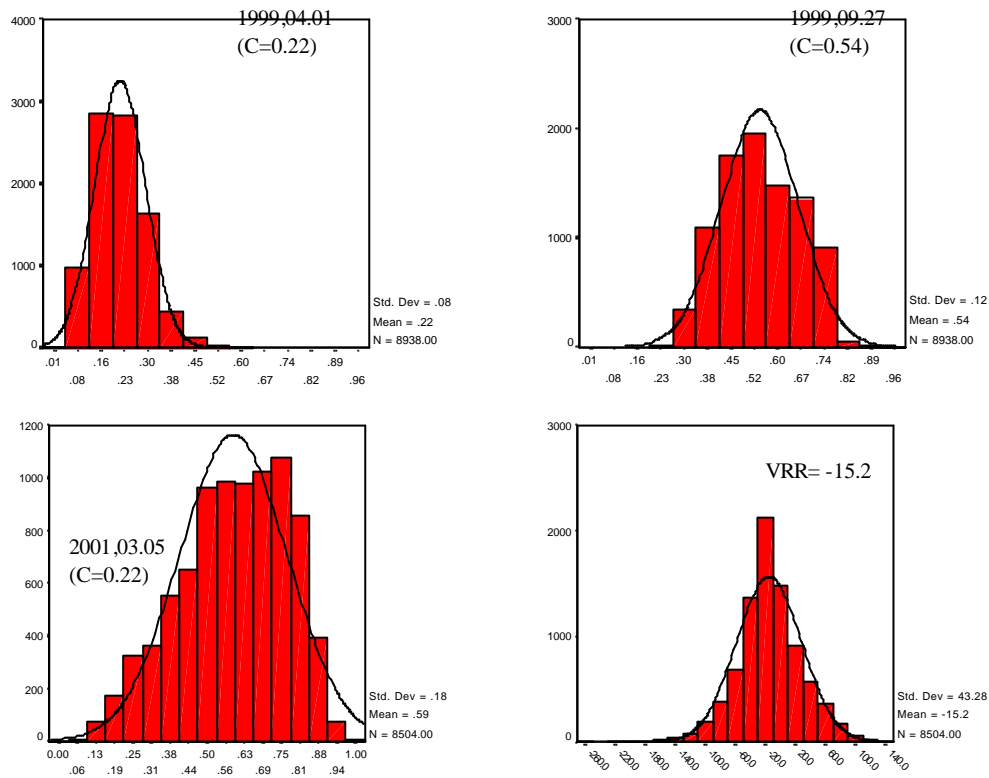


圖 8. 崩塌區位 C' 值及 VRR 頻度分佈圖

Figure 8. Histogram of C' value and VRR for the landslides at the Wu-Shi Ken Watershed area.

表 5. 單變項多重迴歸分析

Table 5. Univariate multiple regression analysis

迴歸統計	Rm	Km	坡長因子	坡度因子	植生覆蓋因子	遞移率
相關係數	0.07308	0.06347	0.21943	0.48175	0.88321	0.88009
判斷係數	0.00534	0.00403	0.04815	0.23208	0.78005	0.77455
標準誤差	0.63690	0.63732	0.61447	0.55962	0.29950	0.29905
觀察值個數	12	12	12	12	12	12

的主要原因。烏石坑溪集水區地域單純，全區皆為原始林班，故在評斷治理優先順序僅考慮土壤沖蝕量與泥沙遞移率的關係，倘若往後有居民及其他保全對象出現，則應視其保全對象依權重關係來選擇治理優先順序。

## 參考文獻

1. 行政院農業委員會 (2000)，水土保持技術規範，pp. 36-58。
2. 林昭遠、林文賜 (1999)，集水區坡長因子自動萃取之研究，中華水土保持學報，30(4)：313-320。
3. 林昭遠、林文賜、張力仁(1999)，「數值地形模型應用於集水區規劃與整治之研究」，中華水土保持學報，30(2)：149-155。
4. 林昭遠、林文賜(2000)，「集水區水文因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，31(3)：247-256。
5. 林昭遠、林文賜、王清賢、陳素珠(2000)，「專家系統應用於土壤沖蝕推估之研究」，中華水土保持學報，31(4)：291-300。
6. 林昭遠、吳瑞鵬、林文賜(2001)，「921震災崩塌地植生復育監測與評估」，中華水土保持學報，32(1)：59-66。
7. 林昭遠、蔡真珍、林文賜(2001)，「集水區水系門檻值界定之研究」，中華水土保持學報，32(2)：133-140。
8. 林文賜 (2002)，集水區空間資訊萃取及坡面泥砂產量推估之研究，國立中興大學水土保持研究所博士論文。
9. 胡婷雅(2002)，921地震崩塌地植生復育與坡面泥砂產量之研究，中興大學水土保持學研究所碩士論文。
10. 許銘峰(2002)，九份二山崩塌區位植生復育與堰塞湖淤滿年限之研究，中興大學水土保持學研究所碩士論文。
11. 唐莎莉、梁隆鑫(1991)，「多光譜影像資料分類與地理資訊系統—蘭嶼實例」，遙感探測，14：1-17。
12. 陳文福、鄭新興(1996)，「迴歸模式應用於 SPOT 衛星影像地形效應之修正」，水土保持學報，28(4)：101-115。
13. 陳朝圳(1999)，「南仁山森林生態系植生綠度之季節性變化」，中華林學季刊，32(1)：53-66。
14. 萬鑫森、黃俊義 (1989)，臺灣坡地土壤沖蝕，中華水土保持學報，20(2)：17-45。
15. 黃俊德 (1979)，臺灣降雨沖蝕指數之研究，中華水土保持學報，10(1)：127-144。
16. 蕭國鑫、劉治中、李惠容、李元炎(1994)，SPOT 衛星資料應用於集水區土地利用/覆蓋變遷分析—以有勝溪及七家灣溪流域為例，一九九四年國際遙測技術研討會論文集，pp. 393-404。
17. 川邊洋、本文武、林拙郎 (1997)，兵庫縣南部地震による六甲山地の崩壊分布，砂防學會誌，49(5)：12-19。
18. 中村浩之 (2000)，地震による崩壊發生，地震砂防，pp. 14-27。
19. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1965), Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains - Guide for selection of practices for soil and water conservation, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook NO. 282.
20. Walling, D. E. (1994), Measuring sediment yield from river basins, In: Soil Erosion Research Methods, R. Lai, (ed.), 2nd edition, Soil and Water Conservation Society.
21. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978), Predicting rainfall erosion losses - A guide

to conservation planning, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook NO. 537.