斜坡單元進行山坡地土壤流失量之推估

林俐玲(1)　林可薇(2)*　陳品岡(2)　沈哲緯(3,4)

摘　要

本研究以斜坡單元為基礎，運用 ArcGIS 中空間分析工具(Spatial analyst tool)擷取通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)各個因子，推估平均土壤流失量，可釐清邊坡年平均土壤流失量，精進網格單元結果不易於現地進行查核及比對之缺點。本研究以南投縣竹山鎮為試區，分析結果顯示以斜坡單元為製圖單元推估 USLE 之年平均土壤流失量為 98.7ton/ha-yr，與使用網格單元推估之年平均土壤流失量為 66.5ton/ha-yr 相比較，兩種單元計算結果相差約 1.48 倍，主要原因係斜坡單元擷取符合地形邊界之坡度及坡長平均值，可減少網格單元固定坡長與坡度極端值造成 USLE 運算上謬誤。此外，斜坡單元年平均土壤流失量結果，除可提供未來山坡地土地可利用限度分類方法研修之外，亦可作為加強保育地更新及查核單元，對未來山坡地土地可利用限度分類、管理與保育應有所助益。

(**關鍵詞：**通用土壤流失公式(USLE)、斜坡單元、網格單元、土壤流失量式)

Application of Slope Unit in Soil Loss Estimation

***Li-LingLin*(1)　*Ke-Wei Lin*(2)*　*Pin-Gang Chen*(2)　*Che-Wei Shen*(3,4)**

Professor(1), Graduate Student(2*) and Master(2), Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

Associate Researcher(3), Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.　PH.D.Student(4), Department of Civil Engineering, National Taiwan University.

ABSTRACT

Slope unit method is used in this study, with the help of spatial analyst tool which in ArcGIS to obtain factors of Universal Soil Loss Equation(USLE). The factors can be used to estimate average

(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研究生 (通訊作者 e-mail：gillgirl38@hotmail.com)
(3)財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心副研究員
(4)國立台灣大學土木工程學系博士

annual soil loss for each slope unit and improve the shortcomings of grid cells whose results are not easy to check and compare from the field. The study area is located on Jhushan township, Nantou country. The results showed that the average annual soil loss estimated by using slope unit as mapping unit is 98.7ton/ha-yr and 66.5ton/ha-yr by grid cells. The differences between computations of both approaches can approximately arrive 1.48 times. The main reason is that the average values of slope and slope length gained from slope unit can match topographic boundary. Slope unit also can reduce calculation error caused by fitting extreme values of slope and slope length from grid cells. In addition, average annual soil loss from slope unit not only can provide a approach to revise the utilization limitation classification standard of the slopeland but also can be the unit of renewal and investigation of enhancing conserved land. It will be helpful for the classification of slopeland utilization limitation,management and conservation in the future.

(**Keywords**：USLE, Slope unit, Grid cells, Soil loss)

前言

臺灣山坡地面積占總面積約三分之二，山脈陡峭丘陵廣布，隨著經濟發展日趨上升，平地空間不敷使用，人民開始朝山坡地進行開發與農墾等人為活動。近年來，山坡地開發及管理問題日益嚴重，其中土壤沖蝕造成之水土保持失衡問題亦備受關注。

通用土壤流失公式(USLE)為目前土壤沖蝕估算中應用最廣泛之經驗公式，臺灣於民國八十五年行政院農業委員會公告發布之水土保持技術規範第三十五條規定:「山坡地土壤流失量之估算得採用通用土壤流失公式」為之。一般運用 USLE 公式進行土壤流失量推估之研究，多數使用網格單元(grid cells)作為計算單元，但網格單元結果不易於現地進行查核及比對，且會有網格跨越山脊線或河道等不符合地形邊界條件之情況，使同一網格內會有多種水流方向等情況，造成土壤流失量推估不甚合理。

在眾多製圖單元中，斜坡單元為具有地形地貌控制之分析單元，可將其鄰近且相近地形歸為同一分析單元，因有地形邊界控制，單元不會跨越山脊線與河道，因此能將每個斜坡單元視為類似地形均勻單元，據此估算斜坡單元年平均土壤流失量更具地形連續性意義及易於管理追蹤之優勢。

綜合上述，本研究擬以斜坡單元為基礎，推估斜坡單元年平均土壤流失量，初步釐清邊坡年平均土壤流失量，與網格單元推估結果之差異，提供易於現地進行查核及比對之成果，減少網格單元固定坡長與坡度極端值造成 USLE 運算上謬誤等問題，以南投縣竹山鎮為研究區，綜合歸納斜坡單元應用於土壤流失量估算之優劣點，供各界參考。此外，結果除可提供未來山坡地土地可利用限度分類方法研修之外，亦可作為加強保育地更新及查核單元，對未來山坡地土地可利用限度分類、管理與保育會應有所助益。

文獻回顧

斜坡單元(slope unit)綜觀有兩種不同的

定義：一是指在斜坡縱斷面上可由變坡點(slope break)分割為最小的單元，另一是指侵蝕基準以上的整個斜坡系統(Jackson, 1997)。第一種定義較常被地理學者用來區分一個斜坡上的各個小單元，例如：崩崖、崖錐等(Giles and Franklin, 1998)。第二種定義較常被運用在坡地災害研究上，一個集水區的水系兩側斜坡各被視為一個斜坡單元(Carrara et al., 1991; Guzzetti et al., 1999; Xie et al., 2004)。如圖 1 所示，若以第一種定義來劃分，則會被劃分為三個斜坡單元，而以第二種定義則視為一個斜坡單元。本研究採用第二種定義劃設而成之斜坡單元作為土壤流失量推估之依據。

斜坡單元可做為山崩潛勢分析及土壤流失量及流失深度推估需求之基本單元，斜坡單元一般須先利用數值地形劃分水系與稜線後，找出適當大小的集水區，以供切割。適當的集水區大小宜採用一級河(Strahler, 1952)，再以主流將集水區切割為二，此兩多邊形即為斜坡單元(slope unit)。實際的坡地災害分析上，一級河的左右兩斜坡單元有時面積會過大，另須依據坡度、坡向與水系進行適當劃分，對於大型的順向坡及岩體滑動型崩塌地則有時面積會過小，若地形均勻則需合併成一斜坡單元進行後續分析較為合理(紀宗吉等人，2007)。

斜坡單元屬於製圖單元(mapping unit)的一種，而製圖單元為一個經定義的地理區域圖徵，與其屬性資料相互連結，係繪圖的基本單元。例如一筆土地、一個戶口普查區塊、一個縣或一個國家等。每一個製圖單元應盡可能顯示最大的同質性及各單元間之異質性，即不同的製圖單元間應顯示不同的地表特性，使單元彼此間具明顯之界線分隔(Carrara et al., 1995)。山崩潛勢分析研究中，常用於劃設製圖單元之方法如下所述：

1.網格單元法(Grid cells)
2.斜坡單元法(Slope units)
3.地域單元法(Geomorphological, Terrain units)
4.特別條件單元法(Unique condition units)
5.行政單元法(Political units)
6.地貌單元法(Topographic units)

不同製圖單元劃設方法之優缺點整理如表 1 所示(摘自地調所，2009)。坡地災害之相關分析，普遍使用網格單元與斜坡單元作為分析單元，網格單元係直接將所需範圍分割成等大小之正方形網格，故單元與地形特徵及邊界條件無關；斜坡單元則是將鄰近相似地形劃為同一單元，故單元受邊界條件及微地形影響，可視為一個類似均勻地形單元，網格單元與斜坡單元之比較示意如圖 2。在山崩潛勢分析以及地質敏感區劃設的研究上，斜坡單元可做為所需之基本單元，義大利學者 Carrara et al.(1991, 1999)即以斜坡單元為基礎配合判別分析法，進行義大利 Umbria 地區山崩潛勢之分析與繪製；Guzzeti et al.(1999)同樣使用判別分析法比較五種不同劃設單元對於山崩潛勢分析之效果，發現斜坡單元最適用。

Kronvang et al.(2000)以斜坡單元為研究單位，選定 140 個屬可耕地之斜坡單元，每個單元內皆含有紋溝沖蝕調查資料、土地利用情形、作物種類、土壤質地及坡度坡向等基本地形特性，探討丹麥紋溝沖蝕對於農業土壤、磷流失之重要性，並分析緩衝帶寬度

對於減少土壤、磷流失之影響力，發現年平均土壤沖蝕量為 0.31m3ha-1，磷流失量為 0.29kgPha-1，若以四種不同管理方法做分類(草地、未處理之殘株、耕犁地及冬季穀物)，年平均土壤流失量最低為草地(0.003m3)，最高為冬季穀物(0.36m3)。

表 1 不同製圖單元劃設之優缺點比較表(譯自 Guzzeti et al., 1999)

Table 1 Comparison of different mapping unit (Guzzeti et al., 1999)

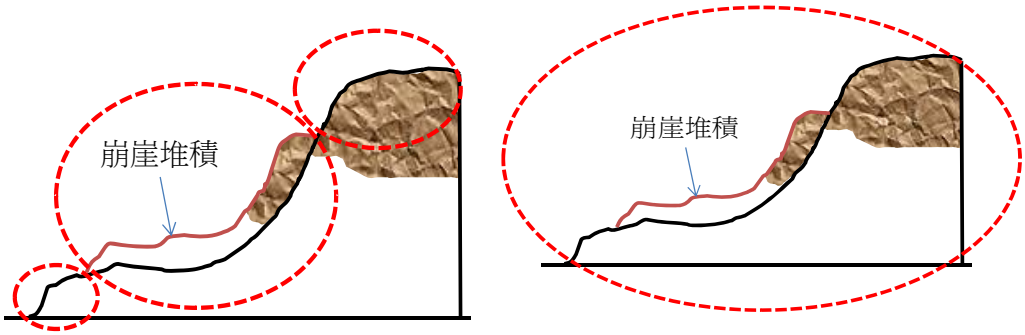
方法	優點	缺點
網格單元法	1.結構單，容易使用。 2.製作簡單快速，大小一致。 3.可依使用者需求決定網格大小。	無法詳細呈現連續之地形面，須有足夠的記憶體和處理速度，才能處理廣域及大量的分析單元。
斜坡單元法	所得之參數代表整個地形單元，較具地形上的連續意義，極適於山崩潛勢的研究。	小型岩屑山崩難以呈現，流域界線不一定符合地貌地質或土地利用分界。
地域單元法	單元內地形與地質特性皆相近，單元與單元間特性有所區別。	要以斜坡單元進一步依照岩性劃分出水文、地形、岩性一致的地域單元，需要大量時間與精確的地質資料，僅能針對小範圍執行。
特別條件單元法	特別適用於向量型態的資料，易懂且易於上手。	容易產生大量的製圖單元，造成分析困難。
行政單元法	特別應用於區域性和全國的尺度上，使行政人員和決策者易於應用。	不能反應地形、水文或岩性的界線。
地貌單元法	土地系統劃分的基礎，曾被大量應用在土地資源的調查。	較具主觀性，較適合小比例尺有限範圍的評估。

研究區概述

研究區域位於南投縣竹山鎮大鞍段、大坑段及筍子林段，屬清水溪集水區，面積約為 3,241 公頃，海拔高度最高為 1,300 公尺，最低約為 200 公尺，多屬山坡地，坡度 55%以上者佔 44.9%，其次為 40~55%佔 32.35%，其餘坡度佔 22.75%。土地利用之情形，林地面積約佔 62.1%，果園佔 21.4%及旱作佔 6.9%，其他土地利用佔 9.6%。年平均降雨量約為 2,200 公釐(竹山氣象站)。

研究區域內屬山坡地土地可利用限度查定範圍內之地籍坵塊共有 4,733 塊，在山坡地可利用限度分類查定中，將沖蝕等級分為四類：輕微沖蝕、中等沖蝕、嚴重沖蝕、極嚴重沖蝕，其中輕微沖蝕佔 18.9%、中等沖蝕佔 65.2%、嚴重沖蝕佔 15.6%與極嚴重沖蝕佔 0.3%，查定結果分布情形如表 2 所示。

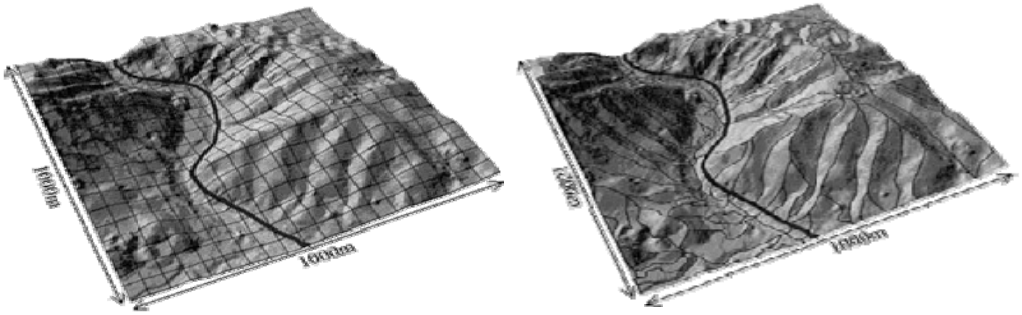
研究方法



(a)斜坡縱斷面上可由變坡點(slope break)分割的最小單元
(a)The smallest unit which can be cut from the slope longitudinal section

(b)侵蝕基準以上的整個斜坡系統
(b)All of the slope system above erosion benchmark

圖 1 斜坡單元兩種定義示意圖(摘自地調所，2009)
Figure 1 Tow definitions of slope unit (Central Geological Survey MOEA, 2009)



(a)網格單元
(a)grid cells

(b)斜坡單元
(b)slope unit

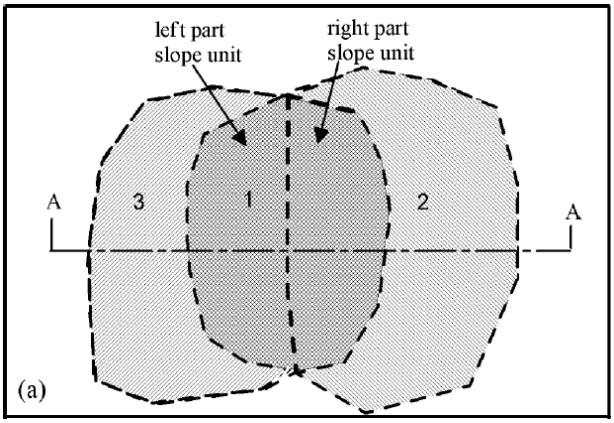
圖 2 網格單元與斜坡單元示意圖(摘自 Xie et al., 2004)
Figure 2 Diagram of slope unit and grid cells (Xie et al., 2004)

1.資料蒐集

本研究蒐集整理之基本資料包括：5m×5m 數位高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、1/5,000 斜坡單元圖、1/5,000 地籍圖、2008 莫拉克前後衛星影像圖、1/5,000 土地利用現況圖、降雨沖蝕指數圖、土壤沖蝕性指數圖。

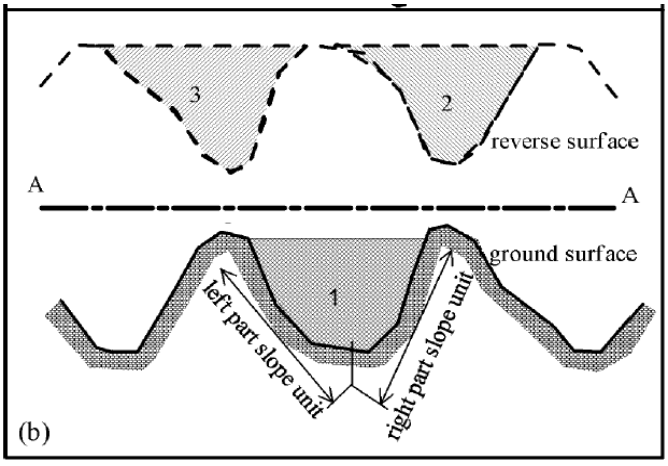
本研究蒐集 USLE 公式中各因子所需資

料，運用地理資訊系統 ArcGIS 軟體，編撰 python 程式批次進行資料統計與擷取程序，以面積加權平均的方式求得每個斜坡單元平均值，完成斜坡單元因子萃取成果圖資，包含降雨沖蝕指數Rm、土壤沖蝕性指數Km、坡長因子 L、坡度因子 S、土地覆蓋及管理



(a)深灰色(範圍 1)表示原集水區，淡灰色(範圍 2)表示反轉數值地形之集水區，利用範圍 2 將範圍 1 切割為左右兩半，即獲致兩斜坡單元

(a)The dark gray area(range 1)represents original watershed, and the light gray area(range 2) represents the watershed obtained by reversing DEM. Using the range 2 cut range 1 into two halves(two slope units).



(b)剖面 A-A

(b)Profile A-A

圖 3 集水區重疊法劃分示意圖(Xie et al., 2004)

Figure 3 The diagram of watershed division by overlap method (Xie et al., 2004)

表 2 查定沖蝕等級分布百分比
Table 2 The distribution of soil erosion classes

沖蝕等級	地籍坵塊數	百分比(%)
輕微沖蝕	895	18.9
中等沖蝕	3,087	65.2
嚴重沖蝕	739	15.6
極嚴重沖蝕	12	0.3

因子 C、水土保持處理因子 P，其中研究區域多數為宜林或宜農牧地，水土保持設施甚少，故 P 值均設為 1。

2.斜坡單元原理與產製流程

斜坡單元劃分及編修工作通常須以人工為之，相當耗費時間，本研究以財團法人中興工程顧問社發展的「斜坡單元電腦自動劃分程式」架構主體，依據此架構編撰 python 程式自動進行運算，自動產生合適且客觀的斜坡單元。此劃分程式係參考「集水區重疊法」(Xie et al., 2004)，以 ArcGIS 的 Hydrology 模組，制定一套斜坡單元自動劃分流程(地調所,2009)，集水區重疊法劃分示意圖如圖 3。

3.斜坡單元編修

運用 ArcGIS Hydrology 模組完成斜坡單元劃設，依據山脊線、水系為地形邊界，劃分邊界線內類似均勻地形之單元，謂之斜坡單元。但由於自動劃分成果尚無法精確描繪出地形均勻邊坡，仍須仰賴人工編修補足坡向、坡度變化等項均勻性稍嫌不足之問題，才能劃分出一類似地形均勻區的單元，以供運用於圖資套疊及分析評估使用。本研究之人工編修過程分成兩部分，簡述說明如下：

(1)地形合理性校正

①陰影圖(hillshade)輔助

以 5m 數值高程模型製作陰影圖(方位角 315 度與日照入射角 45 度)，可由斜坡單元內陰影色彩進行辨別坡向、蝕溝(較大的沖蝕溝)、山脊線、山谷線及河道，藉此調整編修斜坡單元邊界線，套疊示意如圖 4 所示。

②坡向圖(aspect)輔助

坡向圖(aspect)可分辨斜坡之方向，確認初步劃分後斜坡單元是否橫跨多種坡向，本研究以八方向坡向圖進行編修，並定義坡向變量不得超過 45 度者，即視為類似均勻斜坡。編修示意如圖 5 所示。

③坡度圖(slope)輔助

推估複合坡面之土壤流失量，USLE 公式有其對應的計算方式。斜坡單元是將同一相似坡度劃分為同一斜坡單元，本研究定義斜坡單元內坡度變量 30 度以上者不得超過 50%面積，即可視為一均勻斜坡，再據此進行土壤流失量估算能較合理推算邊坡土壤流失量。斜坡單元搭配坡度與水系圖進行人工編修示意如圖 6 所示。

④水系圖(river)輔助

在河流的兩側，斜坡單元屬不同坡度與坡向，故其邊界不可超過河流中心線，因圖層產製年份不同，僅能以不同區塊劃分鄰近河流之斜坡單元，套疊示意如圖 5 所示。

⑤衛星影像輔助

將數值高程模型產生出坡度圖後，會出現如圖 7 中標示的 A 與 B 處區域，此區形狀細長且比鄰近地形平緩，對照 2008 年莫拉克颱風前後期衛星影像後，發現為道路所造成之人為地形平緩現象。有鑑於邊坡土壤流失量評估上下邊坡須分開，雖其坡向單一且坡度變化也相當，但仍必須將其分為兩個斜

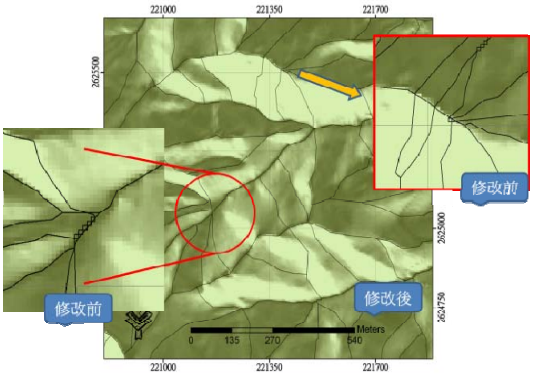


圖 4 運用陰影圖進行人工編修示意圖
(陰影圖方位角 315°、仰角 45°)
Figure 4 Diagram of artificial editing by using the hillshade map(Azimuth 315°、Elevation angle 45°)

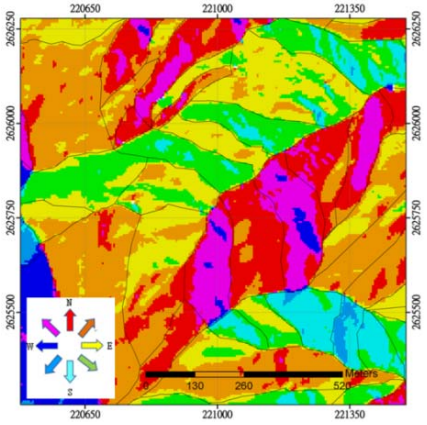


圖 5 運用坡向圖進行人工編修示意圖
(採八方向坡向圖進行套疊)
Figure 5 Diagram of artificial editing by using the aspect map(Eight directions)

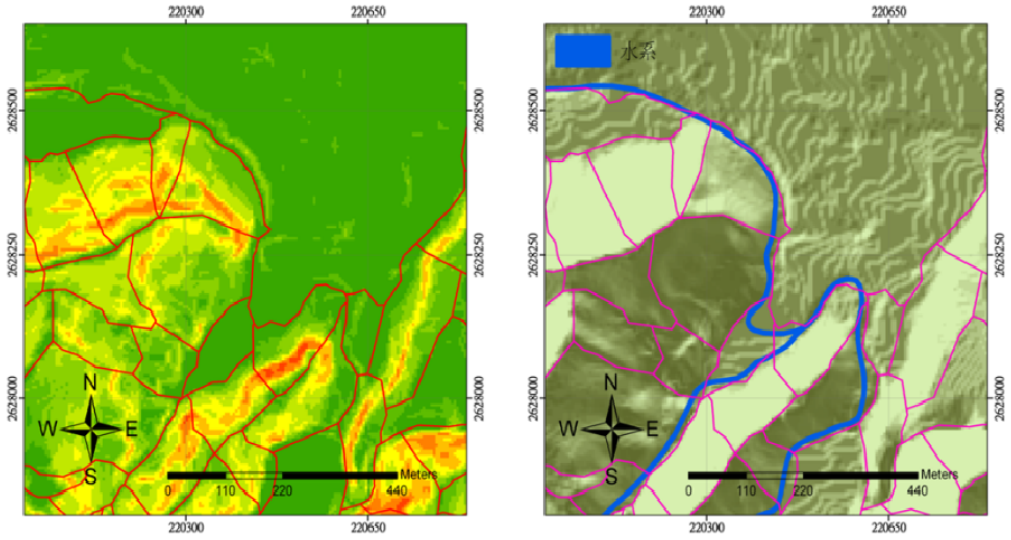


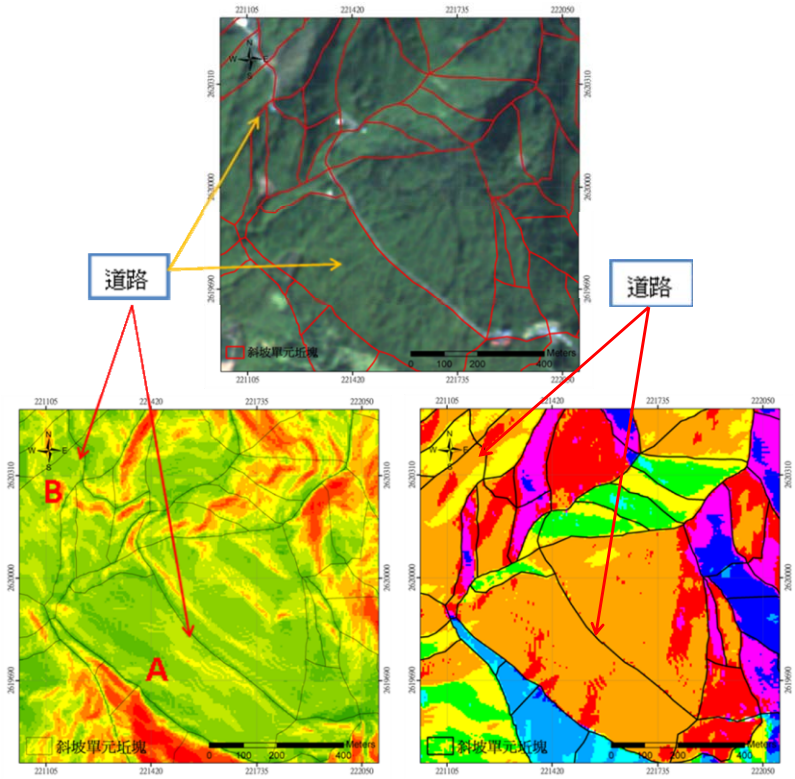
圖 6 斜坡單元搭配坡度與水系圖進行人工編修示意圖
Figure 6 Diagram of editing slope unit by cooperating with slope and river system

坡單元，就土壤流失量評估及邊坡沖蝕管理上較為合理。

(2)面積合理性校正

①面積校正

運用 ArcGIS 軟體內建計算功能，將每個斜坡單元面積求出後由小到大排序，再將面積異常之斜坡單元挑出，將其刪除、修正或與周邊斜坡單元進行合併，使其符合地形



(a)衛星影像輔助示意圖(上)、(b)坡度輔助示意圖(左下)、(c)坡向輔助示意圖(右下)
(a)Diagram of satellite images ,(b)Diagram of slope map,(c)Diagram of aspect map

圖 7 衛星影像判釋路網輔助人工編修示意圖
Figure 7 Diagram of editing roadsystem according the satellite images

邊界為止。

②缺漏與未密合補正

運用 ArcGIS 軟體進行篩選，檢驗斜坡單元間是否有未接合好或缺漏的斜坡單元，若有則將其與周邊斜坡單元進行合併，使其符合地形邊界為止。

4.斜坡單元 USLE 各項因子萃取

斜坡單元內 USLE 各因子取得方式，除坡度因子參考適用於斜坡地形之坡度因子公式外，其它皆以吳嘉俊等(1996)所發表的土壤流失量估算手冊內公式為主，降雨沖蝕指數 Rm、土壤沖蝕性指數 Km 參考吳藝昀(2004)及林俐玲、陳錦嫣(2000)數化之 GIS 圖資；坡度、坡長因子使用 5m 數值高程模型(DEM)，以 ArcGIS 軟體產生後計算各斜坡單元平均值；土地覆蓋及管理因子則使用吳嘉俊等(1996)研究成果，將土地利用現況轉換成 C 值，各因子分布如圖 8 至圖 12。

USLE 坡度因子計算公式中，以 Wischmeierand Smith(1978)所推導之公式較

常使用，此公式在坡度 3%~18%最為接近實測值，然本研究區坡度超過 18%者高達 93% ，故採用 McCool et al.(1987)所建議之公式較適用於陡坡地形計算，公式如式(1)所示，研究區坡度換算坡度因子之對照表如表 3 所示。

[緩坡使用]

$S=10.8\sin\theta+0.03, \theta < 9\%$

[陡坡使用]

$S=(\sin\theta/0.0896)^{0.6}, \theta \geq 9\%$ (公式 1)

表 3 研究區 McCool et al.,1987 之坡度因子對照表(百分比)

Table 3 Slope factor(McCool et al.,1987) in study area

坡度(%)	坡度因子(S) McCool et al.(1987)
1%	0.29
5%	0.57
9%	1.00
18%	1.51
27%	1.90
36%	2.22
45%	2.49
54%	2.72
139%	3.75

結果與討論

1.USLE 土壤流失量估算

本研究係以斜坡單元為基礎推估 USLE 土壤流失量，並與網格單元之 USLE 結果進行作為比較，綜合歸納兩者差異及特性。

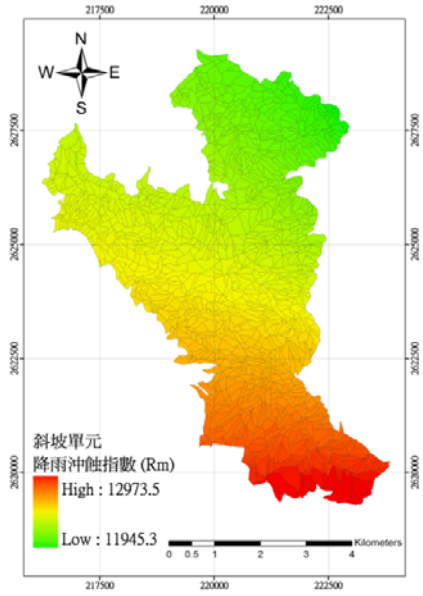


圖 8 斜坡單元降雨沖蝕指數圖

Figure 8 Rm distribution of the study by slope unit

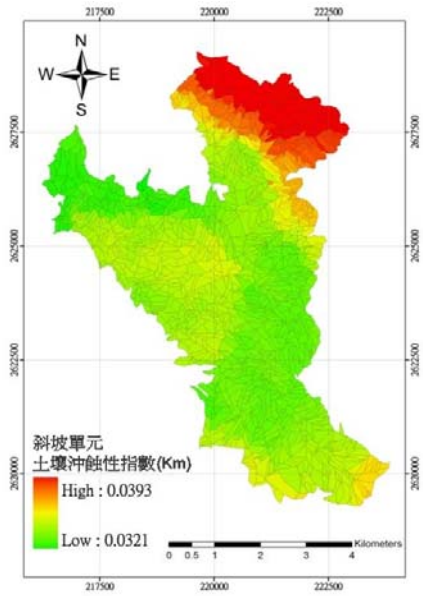


圖 9 斜坡單元土壤沖蝕性指數圖

Figure 9 Km distribution of the study by slope unit

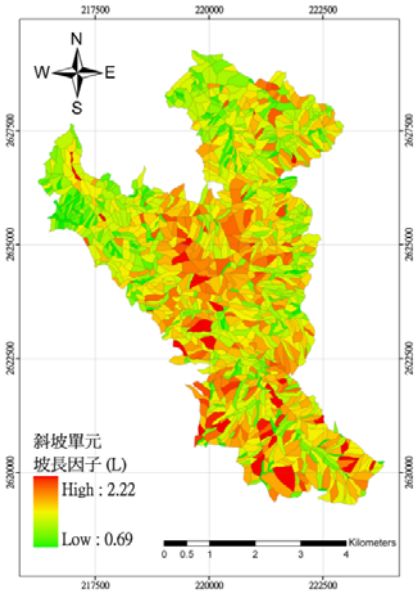


圖 10 斜坡單元坡長因子圖

Figure 10 L distribution of the study by slope unit

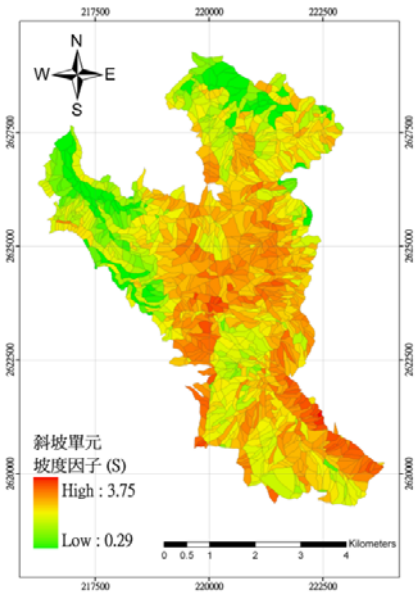


圖 11 斜坡單元坡度因子圖

Figure 11 S distribution of the study by slope unit

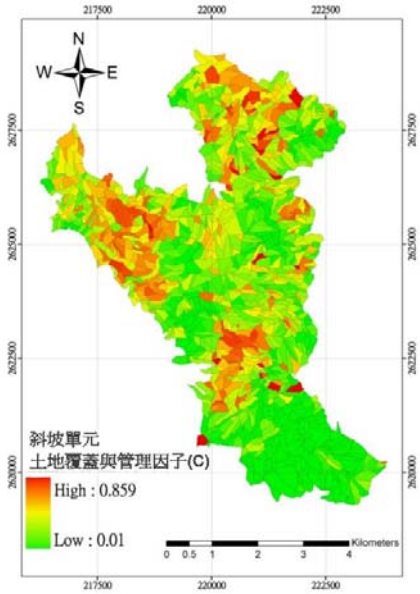


圖 12 斜坡單元土地覆蓋與管理因子圖

Figure 12 C values distribution of the study by slope unit

本研究劃分之斜坡單元共有 1,373 塊，總面積為 3,241 ha，平均面積為 2.36 ha，最大面積 17 ha、最小面積 0.20 ha。斜坡單元內各個因子之極值如表 4；網格單元內各個因子之極值如表 5 所示。

本研究參考吳岳霖(2007)建議設定為 20 公尺×20 公尺網格進行分析。執行上，將計算獲致的 USLE 各項因子值，代入 USLE 公式中運算，研究區域多數為宜林或宜農牧地，水土保持設施甚少，故 P 值均設為 1。

由表 6 結果顯示，本研究運用斜坡單元得知研究區之年平均土壤流失量為 98.7ton/ha-yr，前 50%年平均土壤流失量為 30.8ton/ha-yr，後 50%年平均土壤流失量為 165.2ton/ha-yr，主要原因係該斜坡單元 87%

面積被歷史崩塌地涵蓋，因此推估之年平均土壤流失量才會較大；以網格單元為基礎推估 USLE 年平均土壤流失量 66.5ton/ha-yr，前 50%年平均土壤流失量 5.91ton/ha-yr，後 50%之年平均土壤流失量 127.12ton/ha-yr，崩塌地 C 值為 1，據此所得之年平均土壤流失量最大。

表 4 斜坡單元內 USLE 因子極值表
Table 4 Extreme values of USLE factors in slope unit

USLE 因子	最大值	最小值
降雨沖蝕指數	12,973	11,945
土壤沖蝕性指數	0.0393	0.0321
坡長因子	2.22	0.69
坡度因子	3.75	0.29
土地覆蓋及管理因子	0.86	0.01
水土保持處理因子	1	1

表 5 網格單元內 USLE 因子極值表
Table 5 Extreme values of USLE factors in grid cells

USLE 因子	最大值	最小值
降雨沖蝕指數	12,988	11,937
土壤沖蝕性指數	0.0393	0.0321
坡長因子	2.35	0.21
坡度因子	4.08	0.11
土地覆蓋及管理因子	1	0.01
水土保持處理因子	1	1

2.網格單元法與斜坡單元法比較

使用網格單元為基礎估算 USLE 年平均土壤流失量為 66.5 ton/ha-yr，以斜坡單元為基礎估算之年平均土壤流失量為 98.7 ton/ha-yr，兩種單元結果相差 1.48 倍，主要原因為斜坡單元在坡度與坡長計算方面，是以加權平均取得每一斜坡單元之平均坡度與坡長，在斜坡單元地形邊界控制下，坡長與坡度能有較合理性推估；而網格單元則是將坡度與坡長圖製作為 20m×20m 網格資料，再加以進行分析土壤流失量及流失深度計算，部分坡度會有極端值，且多數為偏小的極端值，故部分土壤流失量推算結果不甚合理。此外，網格單元分析時坡長受分析網格尺寸控制(即為 20m)，無法反應各邊坡逕流坡長差異，故本研究採用斜坡單元進行平均土壤流失量之推算，期望精進坡長因子，提升因坡長增加而造成土壤分離能力(detach capability)及輸送沖蝕土壤容量(transport capacity)情況。此外，依據 McCool et al.(1987)建議方式(坡度超過 9%)，本研究區多屬陡坡地形，LS 因子將導致預測值偏高(林俐玲，2010)。

結論與建議

綜合以上論述，以斜坡單元進行土壤流失量之推估其優點如下：

(1)符合地形邊界的分析單元：斜坡單元較符

表 6 斜坡單元與網格單元應用於 USLE 估算之土壤流失量
Table 6 Application of slope unit and grid cells in USLE soil loss

	年平均土壤流失量 (斜坡單元) (ton/ha-yr)	年平均土壤流失量 (網格單元) (ton/ha-yr)
全研究區	98.7	66.50
前 50%平均	30.8	5.91
後 50%平均	165.2	127.12

合地形條件，可視單一斜坡為地形均勻單元，因有地形邊界控制，故斜坡單元不會跨越山脊線與水系。

(2)利於沖蝕管理與沖蝕查定作業：可避免邊坡上中下段有極端值出現，而衍生管理配套不一致的問題。若以斜坡單元做為管理單元，在查定方面較易有統一的規範及依循依據。

(3)解決網格單元進行 USLE 推估之限制：USLE 因子計算係運用面積加權平均，能減少網格單元造成坡長受分析網格尺寸控制不易反應土壤分離能力及輸送沖蝕土壤容量情況。此外，坡度計算上常會有極端值，造成高估或低估情形。

(4)易建立沖蝕管理資料庫：斜坡單元更可透過 GIS 軟體進行編輯與管理，將每個斜坡單元分別登入各自獨立編號，便於分類管理，在於 GIS 軟體中登錄圖層屬性，屬性可包括 USLE 各因子、土壤流失推估值及可容許流失量、內部因子(地形、地文、土地利用因子等)與外部因子(雨量因子)等相關資訊，可做為政府落實沖蝕查定管理資料庫建置基礎，亦可提供未來土壤可利用限度分類研修參考。

研擬建議內容如下：

單一網格無地形概念，若未來之研究使用網格單元為劃分基礎，應配合周邊網格之地形特性一併做計算，其研究才具有地形連續性之意義。

期望未來能將此成果建置成資料庫，每個斜坡單元都將有其個別資料，如獨立編號、年平均降雨量、平均坡度、坡向、C 值及 USLE 推估土壤流失量等，輔助運用在山坡地土地可利用查定作業，查定人員現場判定時，以衛星定位坐標查詢地籍上多個斜坡單元資料，經由現場調查結合電腦分析，給予該地籍單元較客觀分析之專業答案，利於土地可利用分類作業、提供區域水土保持計畫土壤流失數據，除可提升效率亦可提高查定精度。此外，期望能應用推估一坡面在特定的土地利用與管理狀況下之年土壤流失量，甚至推展建立斜坡單元不同土地利用修正因子，期望提升不同土地利用情況(例如：建築基地、草原、森林和遊樂區)之土壤流失量推估準確性。

參考文獻

1. 林俐玲、陳錦嫣(2000)，「臺灣西部地區集水區農業土壤資料庫之建立與應用」集水區土砂災害防治與資料庫技術應用研討會，第 32-43 頁。

2. 林俐玲(2010)，「通用土壤流失公式(USLE)之應用與誤用」，水保技術，第五卷，第二期，第 119-121 頁。

3. 吳嘉俊、盧光輝、林俐玲(1996)，「土壤流失量估算手冊」，屏東縣：國立屏東技術學院。

4. 吳藝昀(2004)，「臺灣天然雨滴粒徑分佈及年等降雨沖蝕指數圖之修訂」，國立中興大學土木工程研究所碩士論文。

5. 吳岳霖(2007)，「土壤沖蝕指標模式應用於石門水庫集水區土砂流失量推估之研究，」國立中興大學水土保持學系碩士論文。

6. 紀宗吉、林錫宏、蘇品如、張閔翔、周稟珊(2007)，「山崩敏感區評估之製圖地形單元製作研究」，經濟部報告書編號：95008，第 39 頁。

7. 經濟部中央地質調查所(2009)，「地質敏感區災害潛勢評估與監測─都會區周緣坡地山崩潛勢評估(3/4)」，經濟部中央地質調查所委託研究計畫報告。

8. 盧光輝(1995)，「臺灣容許土壤流失量之訂定」，中美陡坡土壤流失量推估技術研討會論文輯。

9. 謝兆申、王明果(1991)，「臺灣地區主要土類圖輯」，臺灣。

10. Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui, and P. Reichenbach (1991), "GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard, Earth Surface Processes and Landforms," 16(5): 427-445.

11. Carrara, A., F. Guzzetti, M. Cardinali, and P. Reichenbach (1999), "Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard," Natural Hazards, 20: 117-135.

12. Guzzetti F., A. Carrara, M. Cardinali and P. Reichenbach (1999), "Landslide hazard evaluation: an aid to a sustainable development," Geomorphology, 31: 181-216.

13. Kronvang B., A. Laubel, SE. Larsen, and HL. Iversen (2000), "Soil erosion and sediment delivery through buffer zone in Danish slope units," IAHS Publ. No. 263, 2000.

14. McCool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer (1987), "Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation," Trans. ASAE 30:1387-1396.

15. Strahler, A. N. (1952), "Dynamic basis of geomorphology," Bull. Geol. Soc.American, 63(9): 923-938.

16. United States department of agriculture (1978), "Predicting Rainfall Erosion Losses–A Guide to Conservation Planning," United States.

17. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith (1978), “Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planting,” U.S. Department of Agriculture handbook, NO.537.

18. Xie, M., Esaki, T., and G. Zhou (2004), “GIS-based probabilistic mapping of landslide hazard using a three-dimensional deterministic model,” Natural Hazards, 33: 265-282.

100 年 12 月 27 日收稿
101 年 01 月 02 日修改
101 年 01 月 06 日接受