中華水土保持學報, 46(3): 158-170 (2015)
Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 46 (3)*: 158-170* (2015)

陳有蘭溪集水區災後山坡地土地可利用限度查定快速評估之研究

張庭瑜　王湘閔　林昭遠*

摘　要　臺灣水土保持工作最早乃由農林邊際土地調查開始，針對有關土地可利用限度進行查定，隨著山坡地開發面積逐漸增加，在極端降雨事件下，崩塌所影響之面積亦逐年上升，依據「山坡地土地可利用限度分類標準」，地籍之土地特性為崩塌或地滑時需判定為加強保育地，待邊坡穩定植生恢復後，方可重新耕作，然水土保持局之查定工作人員有限，面對大面積之崩塌事件，無法一一至現地進行查定工作，因此山坡地土地可利用限度如何於災後進行快速查定檢討乃水土保持局重要之議題。本研究以南投縣信義鄉之陳有蘭溪集水區為樣區，應用遙測技術配合地理資訊系統分析平均坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質等四項查定因子，據此成果建置災後山坡地土地可利用限度分類快速檢討。研究中利用數值高程模型分析平均坡度；以地形濕度指數推估土壤有效深度；土壤沖蝕程度則採用通用土壤流失公式進行評估；母岩性質則採預設值，套疊上述因子所得分類結果與水保局原始查定結果為 78%之符合率，但經現場取樣調查判釋，本研究方法之分類結果無誤。此外藉由 SPOT-5 衛星影像萃取莫拉克颱風 (編號：200908) 之崩塌區位，可作為山坡地土地可利用限度查定即時更新之依據。

關鍵詞：山坡地土地可利用限度查定、地形濕度指數、地理資訊系統。

GIS-based Rapid Assessment for Classification of Utilizable Slopeland Limitation following a Disaster Event in the Chen-You-Lan Watershed

Ting-Yu Chang　Siang-Min Wang　Chao-Yuan Lin*

ABSTRACT　At an early stage, the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) conducted a field survey to delimit marginal agroforestry land. In 1976, the "Slopeland Conservation and Utilization Act" was promulgated as well as the classification of slopeland utilization limitations becoming standardized. In the last decade, due to extreme rainfall events, numerous landslides frequently occurred in mountainous areas. According to the act, the land damaged by the disaster must be categorized as conservation land where rehabilitation is required. Nevertheless, large-scale disasters on slope land are under the constraint of field investigation by SWCB officers. A rapid post-disaster procedure for slopeland suitability evaluation should be initiated. Chen-You-Lan Watershed was selected as a case study. The slopeland classification criteria parameters, i.e., average slope, effective soil depth and degree of soil erosion for a given cadaster unit were derived and/or calculated from the Digital Elevation Model (DEM), Topographic Wetness Index (TWI) and Universal Soil Loss Equation (USLE), respectively, using Geographic Information Systems (GIS). The parent rock criterion was assumed to be soft rock. The result showed the concordance of slopeland suitability classification between the SWCB field survey and GIS-based rapid assessment give an overall consistency of 78%. However, the classification method in this study is correct according to the field survey. In addition, the post-disaster areas of Typhoon Morakot in 2009 were interpreted using SPOT-5 satellite imageries. It was found satellite based real time disaster mapping technology can be used to specify the intensive conservation areas.

Key Words : Assessment for classification on slopeland utilizable limitation, topographic wetness Index, geographic information system.

一、前　　言

臺灣位處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊擠壓帶，山坡地約占全島面積之 73%，且地質脆弱、坡度陡峭、川短流急 (林俊全，2002)，於 1999 年之 921 地震後，颱風、豪雨頻繁，時常造成水土流失、崩塌、土石流等災害；另外，臺灣地狹人稠，

國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan.
* Corresponding Author. E-mail : cylin@water.nchu.edu.tw

農地資源有限，使農業開墾不得不往山坡地移動，然開發過度易產生水土保持問題。為加強山坡地管理及永續利用，政府於公元 1961 年成立「山地農牧局」，即現今之「水土保持局」(謝秀萍，2007)，並於公元 1976 年頒布「山坡地保育利用條例」，據此法規進行全臺山坡地土地可利用限度查定及分類，而山坡地土地可利用限度查定因子當中包含平均坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質等四項。

平均坡度乃是評估坡地開發眾多因素中極重要的一項，最理想的情況則是能夠考量所有因素及依據實際的山坡狀態來判斷，而常見用來抽樣地表資料以產生地形模型的方式有等高線、規則方格網、不規則三角網等三類 (賴進貴，1996)。其中規則方格與不規則三角網乃是最常被用來作為平均坡度計算時地表取樣的基地分割單元。儘管依據後者所得到的平均坡度分析結果要比前者來得更接近實際地形 (Cromley, 1992)，由於後者所需處理資料量相對地比較多且計算過程複雜，因此關於坡地規劃、設計、開發及管理工作所涉及的平均坡度計算，實務上仍以規則方格網為主 (邱景升，2008)。

國內為瞭解集水區土壤有效深度之空間分布，多半利用有限之野外資料以估測土壤有效深度，而土壤深度常被認為與地形有最直接密切的關連性 (Krezoner et al., 1989; Moore et al., 1986)，因此不少學者利用現地調查或地形指標進行推估 (Lee and Ho, 2009; Ziadat, 2010; Ho et al., 2012)。

土壤沖蝕是指土壤受外力如雨水、逕流、風力等之沖蝕作用及地震、海浪、重力、溫度等衝擊後，自固結之土體分離、搬移與沉積之現象 (劉淑芳，2013)。其推估模式簡單的區分成經驗模式及物理模式兩大類，經驗式包含有 Universal Soil Loss Equation (Wischmeier and Smith, 1978)、Revised Universal Soil Loss Equation 等 (Renard et al., 1991)；物理模式如 Water Erosion Prediction Project (Laflen et al., 1991)、Agricultural Non-point Source Model (Young et al., 1987)，由於這些模式乃針對不同時、空間尺度及沖蝕問題而發展建立，有其適用範圍及限制 (Young and Onstad, 1987)。

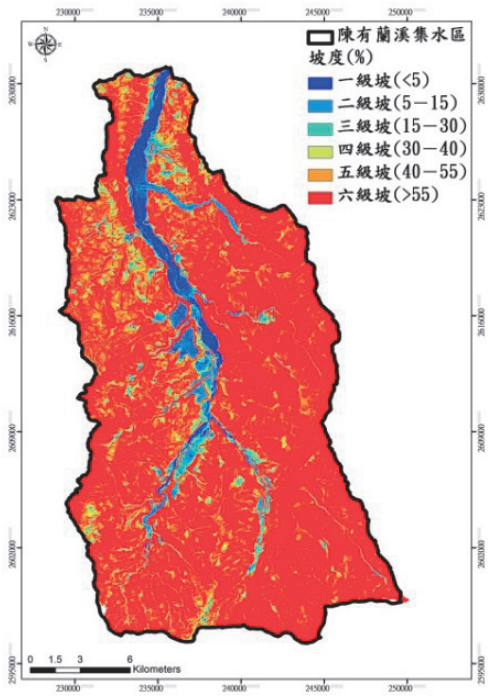


圖 1 陳有蘭溪集水區平均坡度之空間分布

Fig.1 Average slope (percentage) map in the Chen-You-Lan Watershed

目前母岩調查多採用地質鑽探 (洪詮斌等，2008)，部分地區受限於地形變化則採用地電阻法 (李正兆，2009) 或地震波 (彭文飛等，2007) 等進行探測，然其所測得之岩性屬工程地質，在山坡地土地可利用限度查定中之母岩性質，主要為農業應用，與農機具運作或植物生長有關，但此方面文獻不多，僅能以現地調查進行判釋，一般有植生生長之區位多判定為軟質母岩。

本研究考量重大災害後無足夠人力、物力逐一清查地籍，因此以陳有蘭溪集水區為研究區域，利用數位高程模型及衛星影像等圖資，配合地理資訊系統與數值地籍圖套疊，並以統計方法量化套疊結果，藉以簡化查定之方法，提升工作效率，最後輔以現場調查進行佐證。

二、材料與方法

1. 研究試區

陳有蘭溪集水區位於南投縣信義鄉，為濁水溪之支流，集水區面積約 44,791.2 公頃，山坡地則約 6,170.2 公頃 (表 1)。集水區內匯集玉山北坡面、阿里山脈東坡面與郡大山脈西坡面之水朝北流，為一斷層線縱谷 (林昭遠等，2004)。流域呈狹長形，主流由南向北流，坡降達 6.1%；支流分別由東、西兩側山地平行注入主流。全區坡地平均坡度 71.34%，其中六級坡面積佔集水區之 53.1%為最多，七級坡 17.2%次之，而全區僅有少布分坡度小於 15%，如圖 1 所示。土地利用類別主要以森林使用土地為主，佔全區 75%，其次為農業使用土地佔 11%，其餘交通、建築、公共設施、遊憩及礦業等使用土地均未達 1%(表 2)。

表 1 陳有蘭溪集水區土地權屬之空間分布

Table 1 Cadasters map in the Chen-You-Lan Watershed

土地權屬	百分比 (%)
山坡地	36.93
林班地	63.07

表 2 陳有蘭溪集水區土地利用之空間分布

Table 2 Land use map in the Chen-You-Lan Watershed

土地使用分類	百分比 (%)
農業使用土地	11.02
森林使用土地	75.25
交通使用土地	0.71
水利使用土地	5.68
建築使用土地	0.42
公共設施使用土地	0.04
遊憩使用土地	0.01
礦業使用土地	0.06
其他使用土地	6.08

由所蒐集地籍圖之土地可利用限度分類結果 (表 3) 可知，陳有蘭溪集水區內已查定之地籍約 8,298 筆 (圖 2)，其他未查定或不屬查定範圍之筆數約 7,081 筆，主要為台大試驗林區或林務局之土地。

2. 研究材料

研究材料主要分為四部分，(1) 以數位高程模型計算平均坡度及地形濕度指數，作為平均坡度及土壤有效深度之評估。(2) 利用衛星影像計算 C 值再搭配數位高程模型計算土壤沖蝕量，作為土壤沖蝕程度之評估。(3) 利用莫拉克風災前、後衛星影像以萃取新增崩塌地區位。(4) 對於土壤有效深度部分，以土地利用為農地者作為修正。

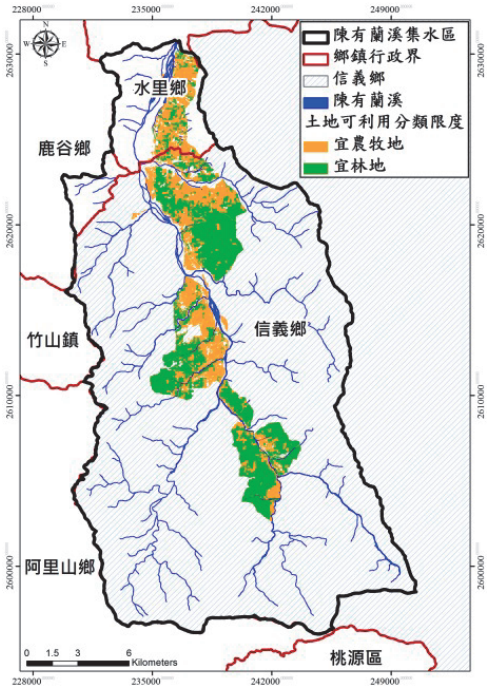


圖 2 陳有蘭溪集水區地籍查定結果之空間分布

Fig.2 Slopeland utilizable limitation classification map in the Chen-You-Lan Watershed

3. 研究流程

研究流程 (圖 3) 主要分為三大部分，室內操作之查定工作以數位高程模型計算平均坡度、地形濕度指數，並搭配衛星影像推估土壤沖蝕深度；另利用衛星影像進行萃取崩塌地。將計算出來的結果進行套疊即可分出宜農牧地、宜林地、加強保育地，最後與原始查定結果進行比對，並配合現地調查進行驗證，探討方法之適用性。

4. 研究方法

(1) 山坡地土地可利用限度查定分類

① 平均坡度

依「山坡地土地可利用限度分類標準」之規定，平均坡度指一坵塊土地之平均傾斜比，以百分比表示之，其分級如表 5。本研究應用地理資訊系統以網格為單位計算平均坡度，其網格大小為配合衛星影像之解析度而採用 20m，將計算後之各網格平均坡度在計算地籍之平均坡度，以作為後續查定分類之用。

地理資訊系統之平均坡度分析乃採用 Wilson and Gallant (2000) 之方法，計算公式如下：定義座

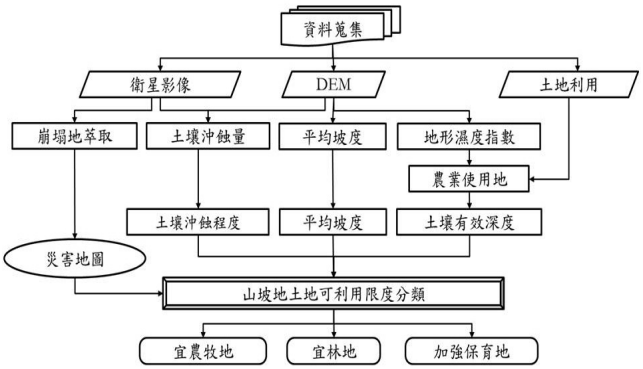


圖 3 研究流程

Fig.3 Procedure followed in generating land use suitability map

表 3 山坡地土地可利用限度查定結果統計

Table 3 Classification of slopeland utilizable limitation

查定分類結果	地段									
	郡坑	信義	內茅埔	望美	豐丘	東埔	沙里仙	明德	羅娜	總筆數
宜農牧地	1,071	5	36	988	704	915	253	626	985	8,298
宜林地	256	3	0	442	277	494	242	406	565	
不屬查定範圍	512	0	496	325	298	363	8	786	665	7,081
未查定範圍	1,888	529	54	241	193	191	54	219	259	
總筆數	3,727	537	586	1,996	1,472	1,963	557	2,037	2,474	15,379

表 4 相關圖資彙整

Table 4 Materials

圖資	解析度	年代	來源
衛星影像	20x20m	2009	中央大學航遙測中心
航照圖	0.25x0.25m	2012	農林航測所
土地利用	1/5000	2008	國土測繪中心
數值高程模型	20x20m	2004	內政部地政司
地籍圖	--	2005	內政部地政司

表 5 山坡地土地可利用限度之平均坡度分級標準

Table 5 Average slope criteria of slopeland utilizable limitation

級別	分級範圍	級別	分級範圍
一級坡	5%以下	四級坡	30%～40%
二級坡	5%～15%	五級坡	40%～55%
三級坡	15%～30%	六級坡	55%

標原點 $z_5(0, 0)$ 為一 3×3 視窗之中心點如圖 4，其相鄰之八點座標分別為 $z_1(-1, 1)$，$z_2(0, 1)$，$z_3(1, 1)$，$z_4(-1, 0)$，$z_6(1, 0)$，$z_7(-1, -1)$，$z_8(0, -1)$，$z_9(1, -1)$ 則：

$$\begin{cases} z_{x1}=\dfrac{\partial z}{\partial x}\approx\dfrac{Z_3-Z_1}{2h_1} \\ z_{x2}=\dfrac{\partial z}{\partial x}\approx\dfrac{Z_6-Z_4}{2h_1} \\ z_{x3}=\dfrac{\partial z}{\partial x}\approx\dfrac{Z_9-Z_7}{2h_1} \end{cases} \quad \begin{cases} z_{y1}=\dfrac{\partial z}{\partial y}\approx\dfrac{Z_1-Z_7}{2h_2} \\ z_{y2}=\dfrac{\partial z}{\partial y}\approx\dfrac{Z_2-Z_8}{2h_2} \\ z_{y3}=\dfrac{\partial z}{\partial y}\approx\dfrac{Z_3-Z_9}{2h_2} \end{cases} \tag{1}$$

$$\bar{x}=\frac{(z_{x1}+z_{x2}+z_{x3})}{3} \quad \bar{y}=\frac{(z_{y1}+z_{y2}+z_{y3})}{3}$$

其中，h_1 和 h_2 分別為 x 軸與 y 軸間距，因此可以得到中心點 Z_5 之平均坡度 θ 為：

$$\theta=\tan^{-1}\sqrt{(\bar{x})^2+(\bar{y})^2} \tag{2}$$

② 土壤有效深度

地形濕度指數 (topographic wetness index, TWI) 最早為 Kirkby and Weyman (1974) 所提出，其概念乃坡度較陡時，逕流流速較快，使得入滲量變低，降低土壤中含水量；而於低平的地方時，由於坡度趨於平緩，使逕流於地表時間拉長而逐漸入滲，因此土壤中含水量相對較高，故坡度較緩，集水區面積較大土壤化育及堆積亦較多，其土壤有效深度亦較深。TWI 之公式如下：

$$\omega=\ln\left(\frac{A_s}{\tan\theta}\right) \tag{3}$$

式中：

A_s：特定集水區面積該網格之集水區面積

θ：該網格平均坡度。

依「山坡地土地可利用限度分類標準」之規定，土壤有效深度指從土地表面至有礙植物根系伸展之土層深度，以公分表示之，共分為四級 (表 6)，為將 TWI 之值與分類標準進行對應，本研究計算地籍之平均 TWI 後，再以非階層式分群法中之 K-means 群集法分為四群。

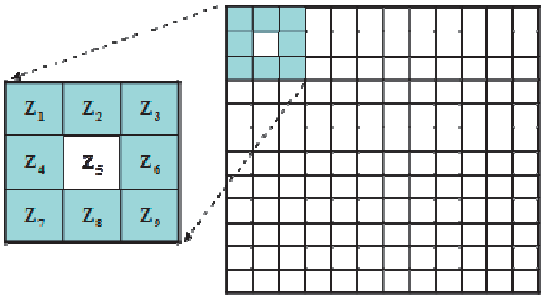


圖 4 3×3 網格資料格式平面示意圖

Fig.4 Schematic diagram of 3×3 moving window

③ K-means 群集法

K 平均數集群 (K-means method)，應用於「集群」來「分群」的分析方法，其分類原理係以空間中的 k 個點為中心進行分類，對最靠近某點的對象進行歸類 (楊志堅、張家榮，2000)。

a. 預先設定樣本資料集群數，分為 3 個群集，每個群集透過 SPSS 計算依照數值高、中、低分類樣本數。

b. 計算樣本資料歐基里德距離測度矩陣

$$\mu_{ij}=\begin{cases} 1, \text{if} \left\|X_j-C_i\right\|^2 \le \left\|X_j-C_k\right\|^2, \text{for each k} \ne 1 \\ 0, \text{otherwise} \end{cases} \tag{4}$$

式中：

μ_{ij}：空間中第 i 個樣本資料向量之第 j 個數據；

X_j：某一群集中第 j 個數據；

C_i：群集 i 之中心點；

C_k：群集 k 之中心點；

其中，1 代表在歐基里德距離測度矩陣中，假如第 i 個樣本資料向量 X_j 屬於群集 i，而 0 表示第 i 個向量 X_j 不屬於群集 i。

c. 重新計算每個群集樣本資料向量之中心點

$$C_i=\frac{1}{|G_i|}\sum_{k,X_k\in G_i}X_k \tag{5}$$

式中：

C_i：群集 i 之中心點；

X_k：群集 k 中某一數據；

$|G_i|$：各個樣本資料集群所包含之樣本函數大小。

d. 其計算過程乃先給定每個群集樣本資料向量之中心點，並重複計算歐基里德距離來進行歸群，直到各群集沒有樣本資料向量，被重新分派的情形出現為止。

④ 土壤沖蝕程度

依「山坡地土地可利用限度分類標準」之規定，土壤沖蝕程度依土地表面所呈現之沖蝕徵狀與土壤流失量決定之，其分級如表 7。然土地沖蝕徵狀及土壤流失量判斷較為主觀且測量不易，因此本研究試應用地理資訊系統以通用土壤流失公式 (USLE) 計算土壤流失量 (Lin *et al*., 2002)，在計算地籍之總土壤流失量後，除以地籍面積即為平均沖蝕深度，並以 K-means (K-means method) 群集法分為三群，由於

表 6 山坡地土地可利用限度之土壤有效深度分級標準

Table 6 Effective soil depth criteria of slopeland utilizable limitation

級別	分級範圍	級別	分級範圍
甚深層	超過90公分	淺層	超過20公分～50公分
深層	超過50公分～90公分	甚淺層	20公分以下

「極嚴重」之級別於現地判定上即指崩塌地，因此可藉由災害目錄進行更新。

依據水土保持技術規範 (2003) 第 35 條第一款之規定，山坡地土壤流失量之估算，得採用通用土壤流失公式 (USLE)，其公式為 $A_m=R_m\times K_m\times L\times S\times C\times P$，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。

以通用土壤流失公式 (USLE) 計算之土壤沖蝕量時，衛星影像進行萃取之 C 值 (Lin *et al*., 2002) 亦因四季而產生變化，然災後土地可利用限度查定結果分類檢討需針對災害發生後之土地現況進行分析，因此 C 值乃採用離災害發生後最近且清晰無雲之衛星影像。

⑤ 母岩性質

依「山坡地土地可利用限度分類標準」之規定，母岩性質依土壤下接母岩之性質對植物根系伸展及農機具施工難易決定之，其分級如表 8。但地質圖為深層之工程地質，而實務上，查定之判定原則只要農機具可操作中耕除草之區位即為軟質母岩，而硬質母岩則多以崩塌地為主，因此亦可藉由災害目錄進行更新。

⑥ 符合度評估

本研究利用整體精確度來量化分類結果之良窳，然 GIS 及原查定分類結果皆非真正正確之結果，故在此將整體精確度一詞修正為符合度，表示兩種分類方式之符合程度，其計算方式為計算方式為對角線元素總和除以所有元素之總和，公式如下，式中 *n* 為分類矩陣之列數，X_{ii} 為分類矩陣中欄列對角之樣點數目，X_{ij} 為分類矩陣中第 i 列第 j 行之樣點數目。

$$\text{符合度}=\frac{\sum_{i=1}^{n}X_{ii}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}X_{ij}}\times 100\% \quad (6)$$

(2) 崩塌區位萃取

① 影像相減法

影像相減法萃取新增崩塌地之過程，即利用崩塌前、後兩期衛星影像之常態化差異植生指標 (NDVI) 有所差異，據此計算影像變遷百分比 (林文賜等，2007)。其公式為 $DIF=NDVI_2-NDVI_1$，式中 DIF：前後期影像之差值，$NDVI_1$：前期影像之 NDVI 光譜值，$NDVI_2$：後期影像之 NDVI 光譜值。而影像變遷百分比 (T_i)，其計算式如下：

$$T_i=\frac{DIF}{DIF_{max}-DIF_{min}}\times 100\% \quad (7)$$

式中

DIF_{max}：影像差值之最大值；

DIF_{min}：影像差值之最小值。

最後給定門檻值萃取崩塌區位，並與崩塌後之航照圖進行精確度評估，以確認崩塌地萃取結果之可用性。

② 疊代 Kappa 分類法

為一種改良式監督性自動分類演算法，透過少量崩塌地評估樣點，以 Kappa 統計量結合電腦之疊代演算法重覆地計算不同變遷門檻值之崩塌地及其分類準確度 (Kappa 值)，一直到計算最大 Kappa 值為止，即可獲得最佳準確度之崩塌地門檻值、區位分布及面積。

而 Kappa 為影像分類後準確度評估之統計量，不同於其他之準確度評估方法如總體精確度、使用者精度及生產者精度，公式中納入漏授及誤授之計算，使得公式之計算結果較能反應實地狀況 (Congalton, 1991)。其公式如下：

$$\text{Kappa}=\frac{N\sum_{i=1}^{r}X_{ii}-\sum_{i=1}^{r}\left(X_{i+}+X_{+i}\right)}{N^2-\sum_{i=1}^{r}\left(X_{i+}\times X_{+i}\right)} \quad (8)$$

式中

r：分類矩陣之列數；

x_{ii}：分類矩陣中欄列對角之樣點數目；

x_{i+}, x_{+i}：分類矩陣中各欄及各列之樣點數目；

N：全部樣點數目。

三、結果與討論

1. 坡度

比較 DEM 計算之平均坡度及原查定結果顯示，符合度達 42.53% (圖 5-a、圖 5-b 及表 9)，多數平均坡度分類錯誤僅一個

表 7 山坡地土地可利用限度之土壤沖蝕程度分級標準

Table 7 Degree of soil erosion criteria of slopeland utilizable limitation

級別	土地沖蝕徵狀及土壤流失量	級別	土地沖蝕徵狀及土壤流失量
輕微	地面無小沖蝕溝跡象，表土流失量在25%以下。	嚴重	地面沖蝕溝甚多，片狀沖蝕活躍，土石顏色鮮明，礫石、碎石含量超過20～40%，底土流失量在50%以下。
中等	地面有蝕溝系統之跡象，礫石、碎石含量在20%以下，表土流失量超過25～75%。	極嚴重	掌狀蝕溝分歧交錯，含石量超過40%，底土流失量超過50%，甚至母岩裸露，局部有崩塌現象。

表 8 山坡地土地可利用限度之母岩性質分級標準

Table 8 Parent rock criteria of slopeland utilizable limitation

母岩性質類別	母岩特性
軟質母岩	母岩鬆軟或呈碎礫狀，部分植物根系可伸入其間，農機具施工無大礙者。
硬質母岩	母岩堅固連接，植物根系無法伸入其間，農機具施工有礙者。

等級之誤差，分類等級相差越多者，筆數則越少。分類錯誤僅一個等級者主要因現場測量時，乃先針對地籍內自然排水方向進行劃分，並計算其面積加權平均坡度；而以 DEM 計算平均坡度時，乃以規則網格進行運算，且不同圖資之解析度其結果亦有所差異，因此不同計算方式為此結果之誤差來源。另農地區位整地之結果，使地籍已非原地形，為分類等級相差較多之主因。

2. 土壤有效深度

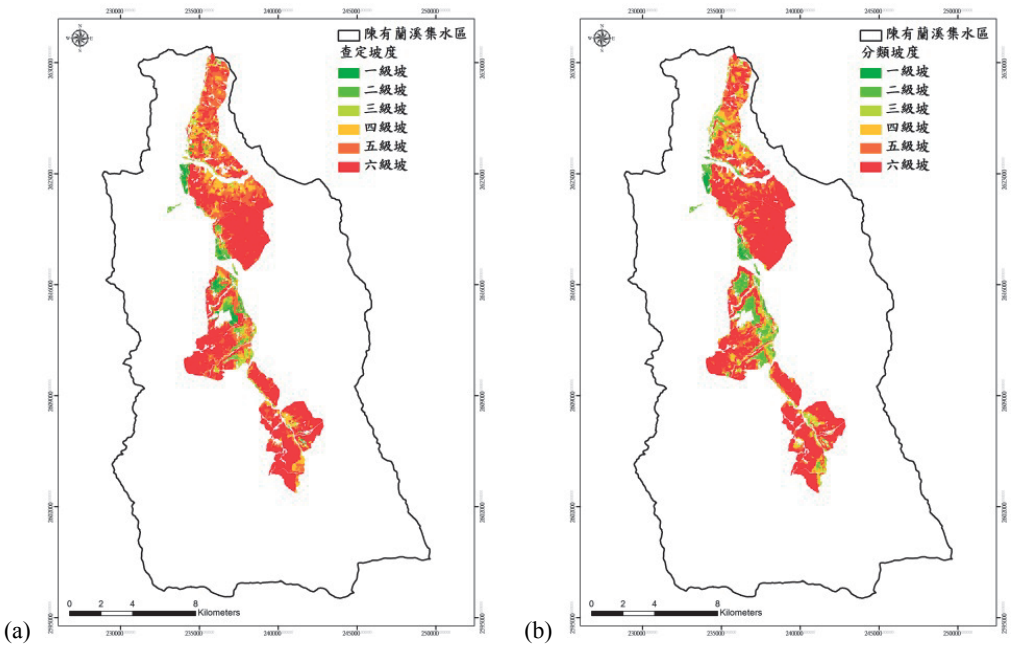
比較地形濕度指數所推估之土壤有效深度與原查定之結果顯示 (圖 6-a、圖 6-b)，符合度僅 28.38% (表 10)，其不符原

表 9 平均坡度之分類結果矩陣

Table 9 Error matrix of average slope classification

類別		原查定結果					
		I	II	III	IV	V	VI
分類結果	I	232	166	35	13	4	4
	II	600	635	333	187	115	25
	III	101	184	201	198	229	82
	IV	39	85	117	233	346	271
	V	10	37	35	157	332	430
	VI	1	39	60	228	638	1,896
符合度=42.53%							

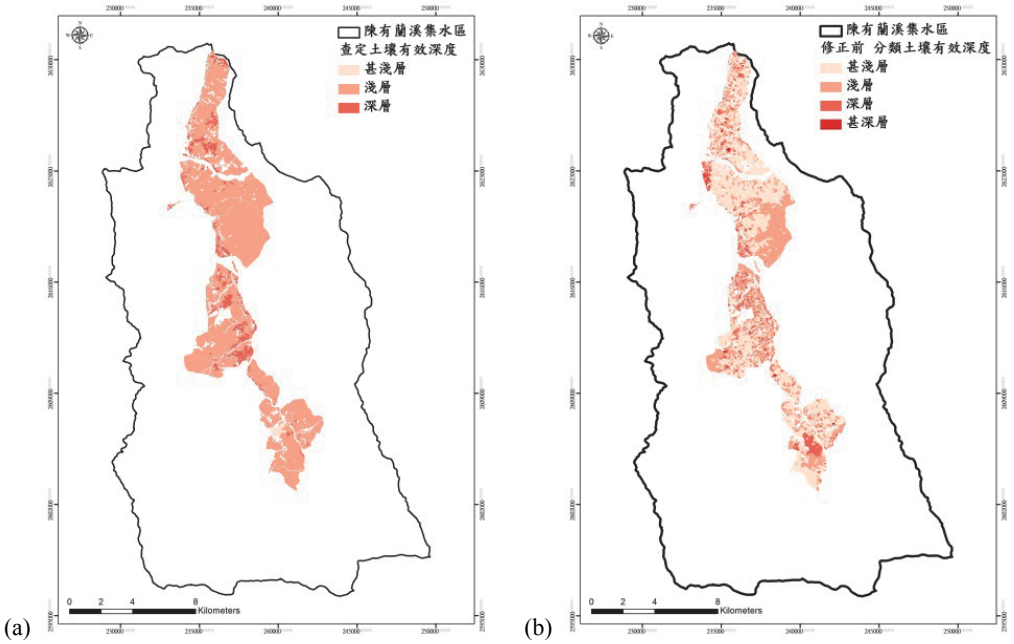
註：I 為一級坡、II 為二級坡、III 為三級坡、IV 為四級坡、V 為五級坡、VI 為六級坡



(a) (b)

圖 5 平均坡度之原始現場查定 (a) 及 GIS 評估 (b) 結果

Fig.5 Average slope classification (a) SWCB field survey and (b) GIS-based derivation



(a) (b)

圖 6 土壤有效深度之原始現場查定 (a) 及 GIS 評估 (b) 結果

Fig.6 Effective soil depth classification (a) SWCB field survey and (b) GIS-based derivation

因除與原現地調查結果之取樣點代表性有關外，由於多數地籍多已開發整地為農地區位，因此針對地籍中有農地面積者，將甚淺層修正為淺層，修正方法如圖 7，據此結果再進行分類 (圖 8)，結果顯示符合度提升至 57.08% (表 11)，可見農地之開發整地對土壤有效深度查定結果有其影響。

3. 土壤沖蝕程度

由圖 9-a 及圖 9-b 可知，土壤沖蝕程度之分類符合度達為 55.41% (表 12)，其誤差來源主要為現場調查與衛星影像所計算之 C 值有所不同，以農地而言，衛星影像在乾、濕兩季計算之 C 值，易因作物收割或生長期所影響 (陳建同，2009)，故推估之土壤流失量差異較大，然實際上農地之土壤沖蝕程度通常較為輕微，惟少數較陡坡之宜農區位，沖蝕情形可能較嚴重。

4. 土地可利用限度分類

水土保持局前身為山地農牧局，為管理山坡地農、牧業之開發，在考量稅收之差異下，根據「山坡地土地可利用限度分類標準」需分為多個級別 (圖 10)，然現今農、牧開發漸少，水土保持局之業務逐漸轉為坡地災害管理，為此僅將地籍分為宜農或宜林地即可。

表 10 土壤有效深度之分類結果矩陣

Table 10 Error matrix of effective soil depth classification

類別		查定結果			
		甚淺層	淺層	深層	甚深層
分類結果	甚淺層	34	1,928	760	0
	淺層	15	3,443	837	0
	深層	3	919	220	0
	甚深層	0	106	33	0
符合度=28.38%					

表 11 土壤有效深度修正之分類結果矩陣

Table 11 Error matrix of modified effective soil depth classification

類別	查定結果			
	甚淺層	淺層	深層	甚深層
甚淺層	23	1,387	99	0
淺層	26	4,242	1,234	0
深層	3	672	472	0
甚深層	0	95	45	0
符合度=57.08%				

表 12 土壤沖蝕程度之分類結果矩陣

Table 12 Error matrix of degree of soil erosion classification

分類結果	原查定結果		
	輕微	中等	嚴重
輕微	3,351	3,417	83
中等	178	1247	18
嚴重	1	3	0
符合度=55.41%			

在此假設下，將前述之三個查定指標套疊，依「山坡地土地可利用限度分類標準」分為宜林、宜農牧地，其分類符合度可達 76.95% (圖 11-a、圖 11-b 及表 13)，若採用修正之土壤有效深度進行分類，符合度僅提升至 78.60% (圖 11-c 及表 13)，可見土壤有效深度指標之正確與否，對整體符合度影響不大。

表 13 山坡地土地可利用限度之分類結果矩陣

Table 13 Error matrix of Classification of slopeland utilizable limitation

原查定結果	修正前查定結果		修正後查定結果	
	宜農牧地	宜林地	宜農牧地	宜林地
宜農牧地	4,218	1,429	4,562	1,085
宜林地	484	2,167	690	1,961
	符合度=76.95%		符合度=78.60%	

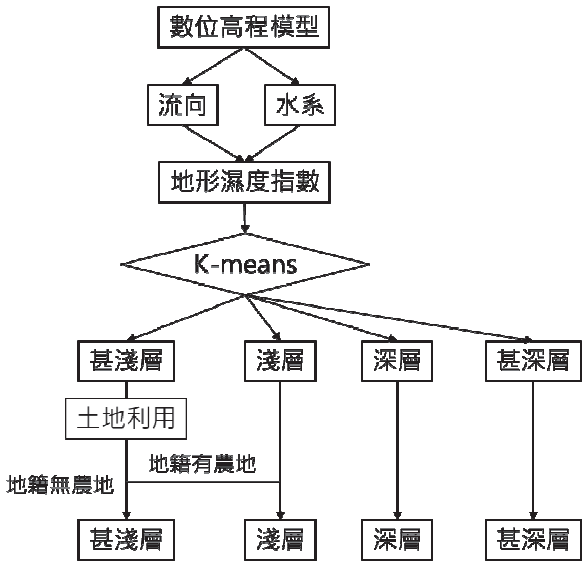


圖 7 土壤有效深度修正方法

Fig.7 Effective soil depth modified method

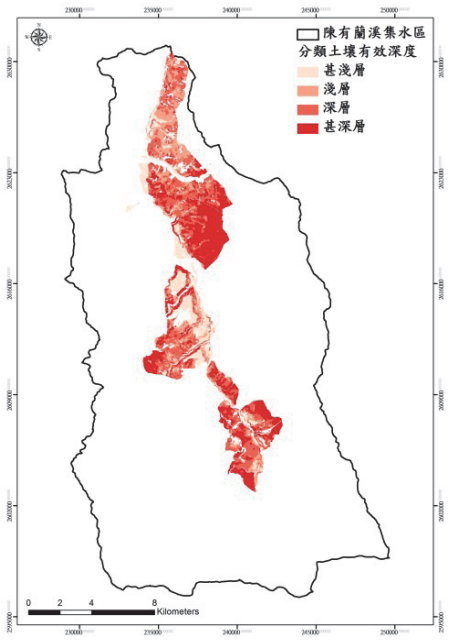


圖 8 土壤有效深度之修正結果

Fig.8 Modified effective soil depth map

由表 14 可知，分類不符者主要為平均坡度，共達 1,637 筆；而因平均坡度及土壤有效深度共同造成分類不符者，僅 86 筆；另有原始查定結果為誤植者，共 52 筆，可見多數分類不符之因子來自於平均坡度，依據山坡地土地可利用限度查定要點，一旦平均坡度被判定為六級坡及為宜林地，因此本研究挑選平均坡度之分類結果為一級坡高估為六級坡者，或原為六級坡而分類結果卻低估為一級坡者，依道路可及性篩選數筆地籍進行現場調查，其判定結果皆顯示本研究方法之結果無誤，其原因可能為過去調查結果誤植，抑或是早期之鼓勵造林政策使部分民眾願意查定為宜林地，致使本研究與原查定結果不符(表 15 及圖 12)。

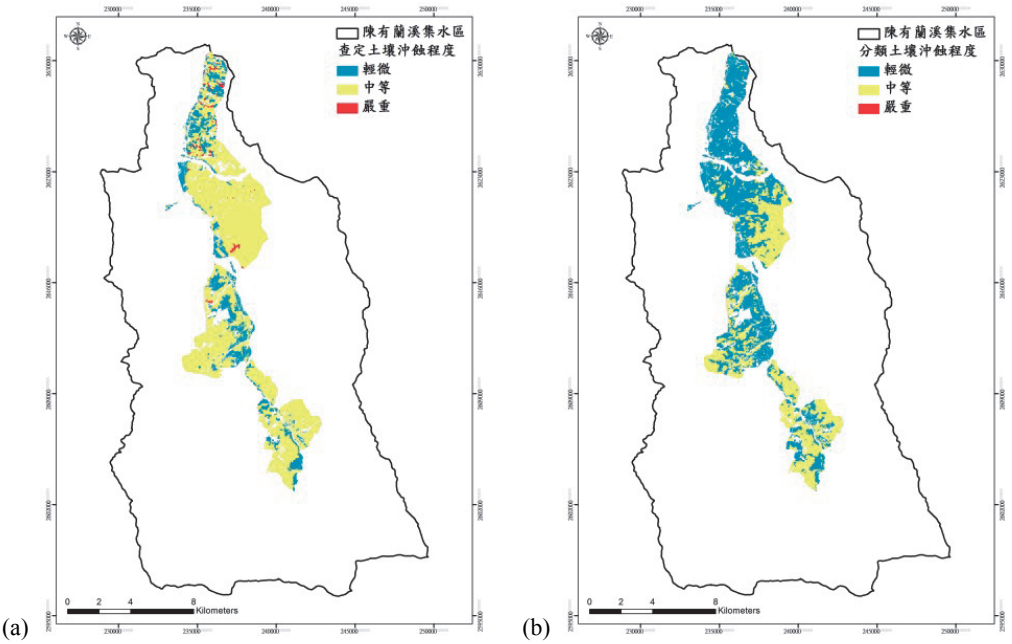
表 14 分類錯誤因子統計

Table 14 Statistic results of classification error factors

原查定結果	分類結果	錯誤因子	地籍個數	小計
宜農牧地	宜林地	平均坡度	684	680
		平均坡度+土壤有效深度	4	
宜林地	宜農牧地	平均坡度	953	1,035
		平均坡度+土壤有效深度	82	
原查定結果誤植			52	
總計共8,298筆				

5. 查定結果之災害即時更新

將莫拉克風災前、後衛星影像所萃取之災害地圖即時更新於現有查定結果，經影像相減後，莫拉克颱風造成之新增崩塌崩塌約 465.36 公頃，其 Kappa 精確度約 0.86 (圖 13)，屬良好



(a) (b)

圖 9 土壤沖蝕程度之原始現場查定 (a) 及 GIS 評估 (b) 結果

Fig.9 Degree of soil erosion classification (a) SWCB field survey and (b) GIS-based derivation

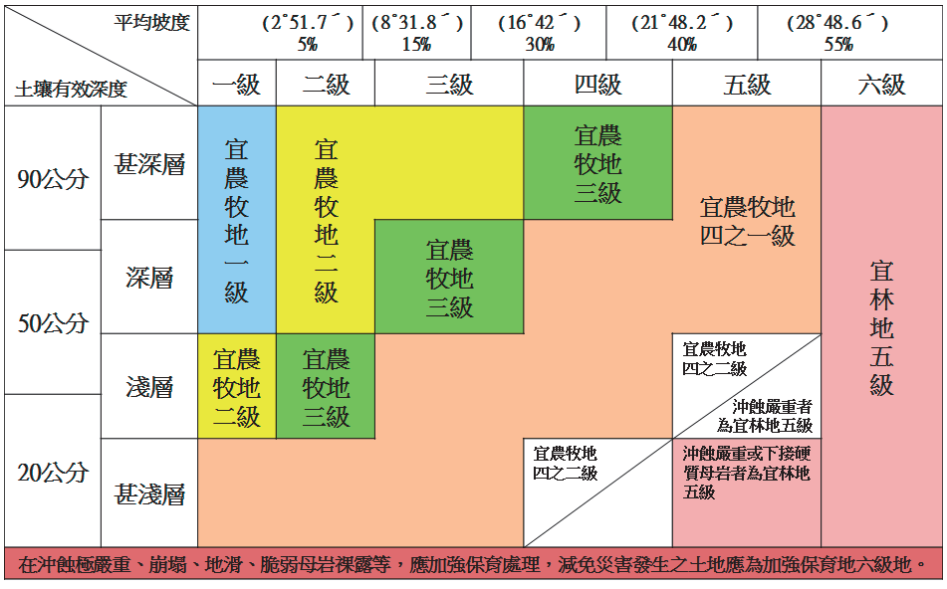
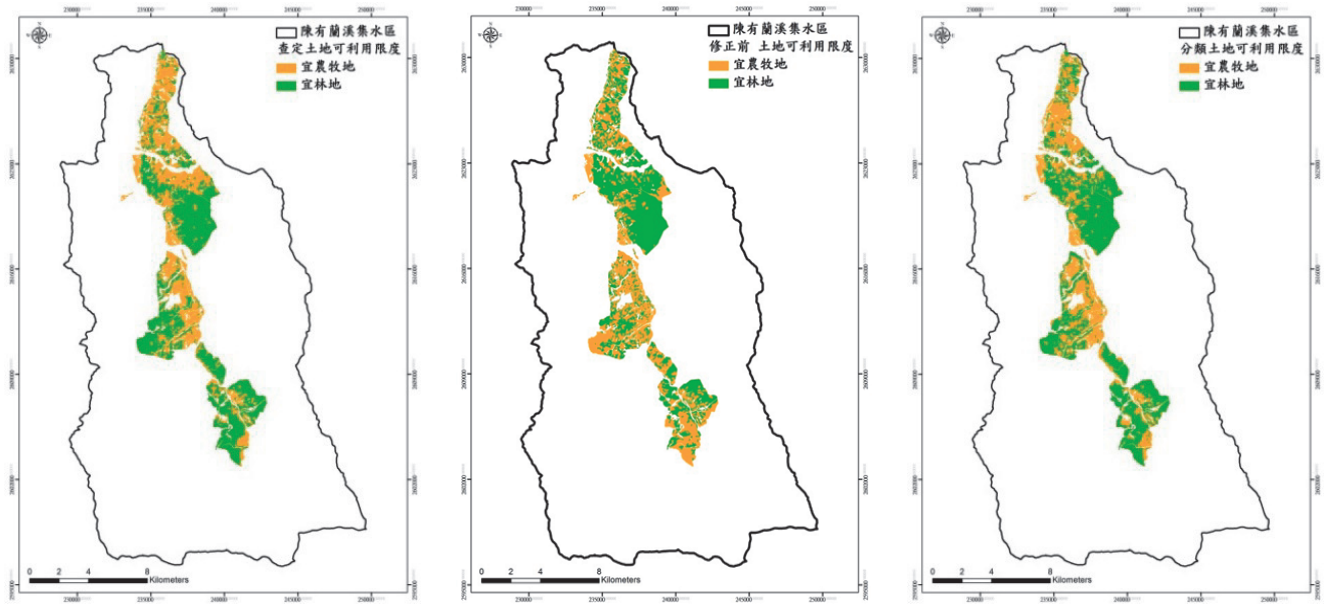


圖 10 山坡地土地可利用限度分類標準

Fig.10 Classification criteria of slopeland utilizable limitation

等級，依山坡地土地可利用限度分類標準若有發生崩塌時，須將地籍之查定結果查定或變更為加強保育地 (圖 14)。本研究亦依據地籍之崩塌率與道路可及性篩選數個地籍進行現場勘查 (表 16)，以驗證變更加強保育地之必要性，結果顯示，以滑落區而言，部分地籍已恢復植生，但因坡度較陡，地籍內仍有部分區位為裸露之土壤或岩層，管理上建議維持加強保育地，且因查定及分類結果之坡度皆屬六級坡，為不宜開發之宜林地，因此對民眾權益影響較小；以堆積區之地籍而言，多鄰近於河道且平均坡度較平緩，查定及分類結果皆為宜農牧地，此類地籍皆因於災後河道拓寬而土砂淤積於農地，因此災後皆須判定為加強保育地，如今，風災後已過五年，淤積土砂皆以清除，因此以可恢復宜農牧地使用 (圖 15)。



(a) (b) (c)

圖 11 山坡地土地可利用限度之原始現場查定 (a) 及 GIS 評估 (b) 修正前結果 (c) 修正後結果

Fig.11 Classification of slopeland utilizable limitation (a) SWCB field survey, (b) GIS-based derivation and (c) GIS-based derivation with modified effective soil depth

表 15 平均坡度之現地調查結果與室內查定結果比較

Table 15 Comparison of ground truth sampling and average slope classification

地段	地號	面積 (m^2)	查定結果 → 分類結果				現場查定坡度分級
			坡度分級	深度分級	沖蝕程度	土地可利用限度類別	
豐丘	822-4	535	6->1	2->1	2->1	林→農	2(農)
豐丘	467-1	1,597	6->1	2->1	2->1	林→農	1(農)
明德	909	1,390	6->1	2->1	2->1	林→農	1(農)
明德	909-1	1,561	6->1	2->1	2->1	林→農	1(農)
明德	909-2	2,278	6->1	2->1	2->1	林→農	1(農)
東埔	596-1	726	1->6	2->3	1->2	農→林	6(林)

註：坡度分級：1~6 分別為一至六級坡；深度分級：1~4 分別為甚淺層、淺層、深層、甚深層；沖蝕程度：1~4 分別為輕微、中等、嚴重、極嚴重；農：宜農牧地；林：宜林地。

表 16 崩塌區位之現地調查結果與室內查定結果比較

Table 16 Comparison of ground truth sampling and classification of landslide area

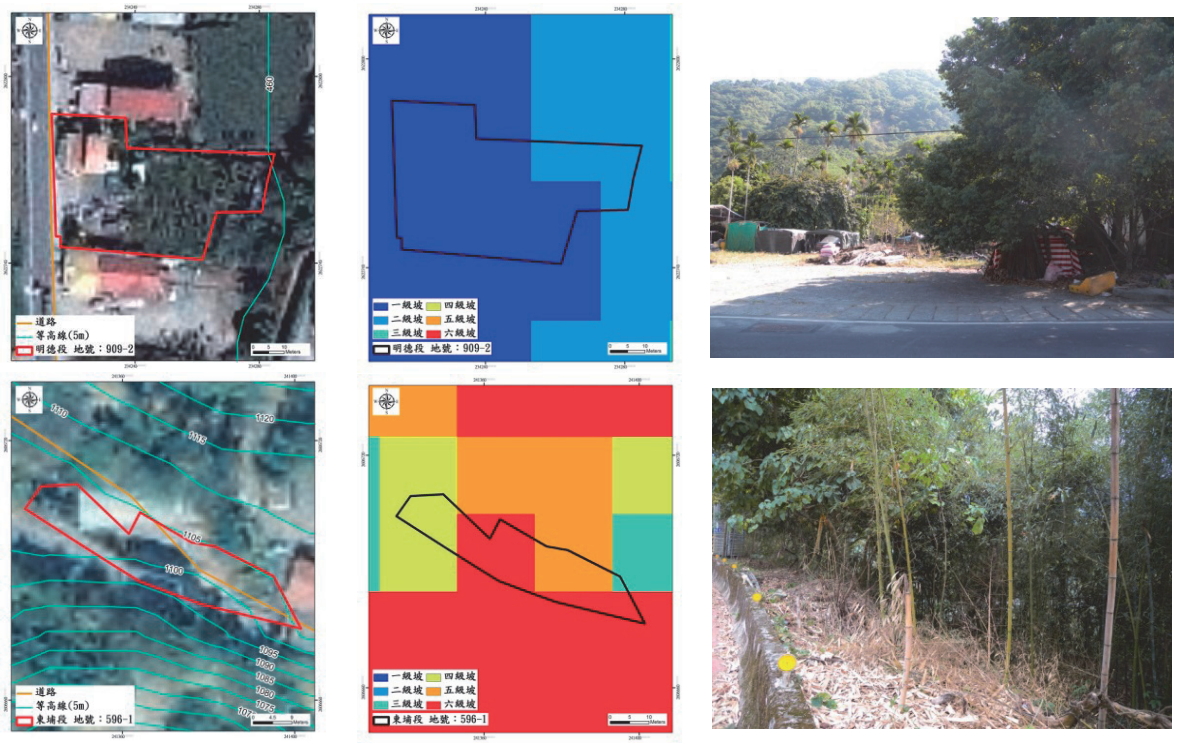
地段	地號	面積 (m^2)	查定結果 → 分類結果				崩塌率 (%)	滑落/堆積	現場查定結果
			坡度分級	深度分級	沖蝕程度	土地可利用限度類別			
望美	1197	2,016	6->6	2->4	2->2	林	75.8	滑落	加強
沙里仙	282	4,997	6->6	2->3	2->2	林	90.8	滑落	加強
望美	16-1	2,005	2->2	3->1	1->1	農	100	堆積	農
明德	403	2,620	1->1	2->1	1->1	農	100	堆積	農

註：坡度分級：1~6 分別為一至六級坡；深度分級：1~4 分別為甚淺層、淺層、深層、甚深層；沖蝕程度：1~4 分別為輕微、中等、嚴重、極嚴重；農：宜農牧地；林：宜林地；加強：加強保育地。

四、結論與建議

臺灣自公元 1964 年成立「山地農牧局」後即開始進行山坡地土地可利用限度查定之工作，且隨山坡地保育利用條例頒布，查定工作更有其執行之必要，然臺灣山坡地約 98 萬公頃，在有限之人力物力下難以一一現場調查，更別說災害發生後之查定結果更新，為此本研究應用遙測技術可大範圍監測之特性，配合地理資訊系統 (GIS) 系統建置災後山坡地土地可利用限度查定檢討機制，其結論與建議如下：

1. 建置災後查定結果之滾動式檢討機制，地籍之災害目錄建置有其必要性，為此本研究應用衛星影像萃取莫拉克颱風事件之新增崩塌範圍，經套疊現有地籍圖層，即可知宜查定為加強保育地之地籍。



等高線及航照圖　　坡度圖　　現地照片

圖 12　現場勘查情形 (明德段 909-2 號及東埔段 596-1 號)

Fig.12　Ground truth of Mingder Section NO. 909-2 and Donpu Section NO. 596-1

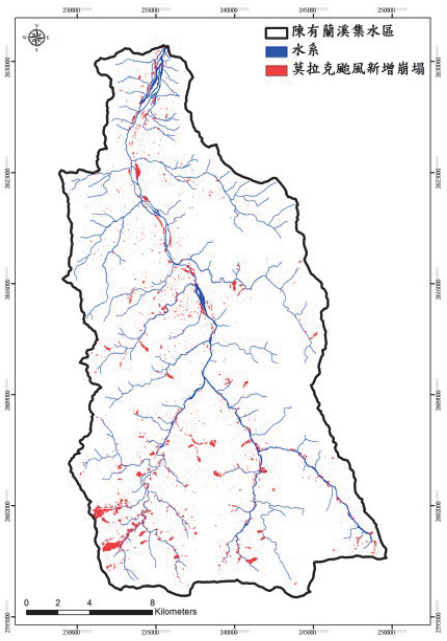


圖 13　莫拉克颱風新增崩塌

Fig.13　Landslide area after Typhoon Morakot

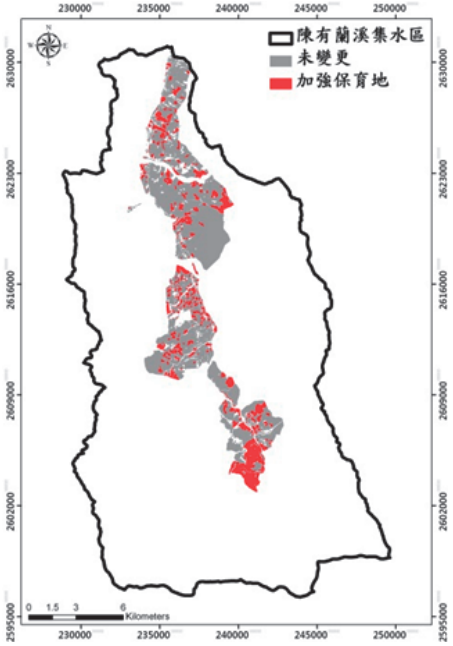


圖 14　災後變更為加強保育地之地籍

Fig.14　The cadasters which should be categorized to the conservation land after disaster

2. 運用 GIS 系統進行查定因子之分析套疊可滾動式檢討災後之查定結果，為此本研究以數值高程模型 (DEM) 分析平均坡度；以地形濕度指數推估土壤有效深度；應用 USLE 運用 GIS 系統進行查定因子之分析套疊可滾動式檢討災後之查定結果，為此本研究以數值高程模型 (DEM) 分析平均坡度；以地形濕度指數推估土壤有效深度；應用 USLE 推估土壤沖蝕情形；母岩性質則因集水區之原查定結果皆為軟岩，因此採預設值為軟岩，套疊上述因子所得分類結果與水保局原始查定結果為 78%之符合率，但經現場調查結果發現，本研究方法之分類結果無誤。
3. 四種查定因子檢討機制建置過程中，由於現場查定之取樣代表性問題，致使各查定因子之 GIS 圖資分析方法符合度僅達 50%，此外，平均坡度與土壤有效深度易受農地開墾整地之影響，地籍之現況地形已改變，致使分析結果不符；而土壤沖蝕情形則因農地之作物覆蓋因子 (C 值) 易受四季變化影響，因此衛星影像之選用日期代表性極為重要。
4. 為配合災後滾動式檢討，相關 GIS 圖資如 DEM、衛星影像及航照圖須隨災害發生而更新，藉此取得即時之災害地圖。

誌　　謝

本研究承蒙農業委員會水土保持局「建立災後土地之可利用制度查定分類結果檢討機制」(SWCB-103-194) 計畫之經費補助，特於此敬上誠摯的感謝。

參考文獻

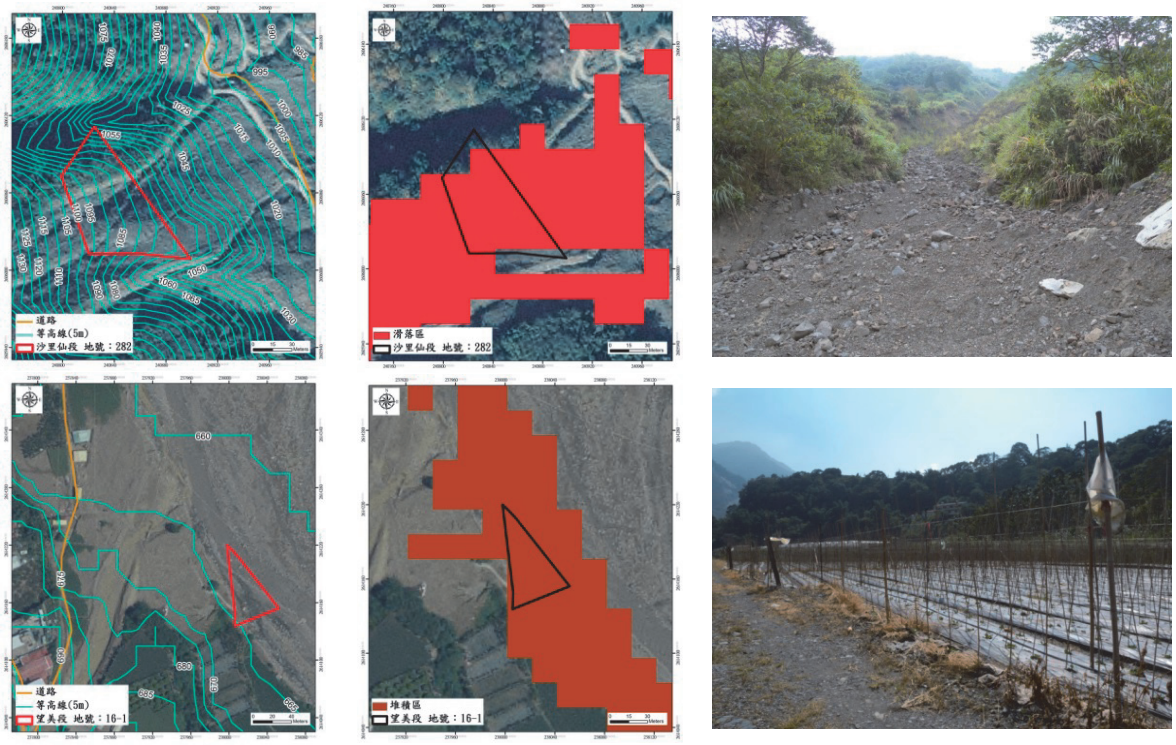
[1] 行政院農業委員會水土保持局編印 (2012)，「水土保持技術規範」，第 25 條。(Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, (2012). “Technical Regulations for Soil and Water Conservation.”§25. (in Chinese))

[2] 何春蓀 (1981)，「普通地質學」，國立編譯館。(He, C.S. (1981). *physical geology*. National Translation and Compilation Center, Taiwan. (in Chinese))

[3] 林文賜、林昭遠、周文杰、黃碧慧 (2007)，「921 震災崩塌地景變遷監測之研究-以九九峰為例」，明道學術論壇，3(1)，189-200。(Lin, W.C., Lin, C.Y., Zhou, W.J., and Huang, B.H. (2007). “Extracting topographic information and monitoring landscape change for the landslide caused by the 921 Earthquake- in Jiou-Jiou Peaks Natural Reserve.” *Mingdao Journal*, 3(1), 189-200. (in Chinese))

[4] 林俊全 (2002)，「台灣地區山坡地的土砂災害」，國立臺灣大學。(Lin, J.Q. (2002). *Sediment disaster on the slopeland in Taiwan*, National Taiwan University, Taiwan. (in Chinese))

[5] 林昭遠、林鶴儒、劉昌文 (2004)，「陳有蘭溪集水區降雨-逕流模式動態分析系統建置之研究」，水土保持學報，36(3)，243-258。(Lin, C.Y., Lin, H.R., and Liu, W.C. (2004). “Establishment of a dynamic analysis system for rainfall-runoff hydrograph analysis in Chenyulan Creek Watershed.” *Journal of Soil and Water Conservation*, 36(3)，243-258. (in Chinese))



等高線及航照圖　　崩塌區位　　現地照片

圖 15　現場勘查情形 (沙里仙段 282 號及望美段 16-1 號)

Fig.15　Ground truth of Shalixian Section NO. 282 and Wangmei Section NO. 16-1

[6] 邱景升 (2008)，「應用多元方格網模式比較坡度計算法差異之研究」，地理學報，51，47-63。(Qiu, J.S. (2008). "Applying a multifactor gridded network model to compare the difference of gradient calculating techniques." *Journal of Geographical Science*, 51, 47-63. (in Chinese))

[7] 洪詮斌、鄭皆達、黃晴曉、黃育珍 (2008)，「山坡地潛在地滑區土地利用可行性研究-以臺中市大坑地區為例」，水土保持學報 40(2)，247-268。(Hung, C.P., Cheng J.D., Huang, G.X., and Huang, Y.C. (2008). "A study on landuse feasibilities of areas with landslide potential in the Taken Region, Taichung City." *Journal of Soil and Water Conservation*, 40(2), 247-268. (in Chinese))

[8] 陳建同 (2009)，「應用影像分段技術與多時段衛星影像於崩塌地植生復育成效分析研究」，國立成功大學資源工程學系碩士論文。(Chen, J.T. (2009). *Studying the effectness of plantation recovery at areas of landslide using image segmentation technique with multi-temporal satellite images*, Master thesis, National Cheng Kung University, Taiwan, ROC. (in Chinese))

[9] 彭文飛、王建力、陳時祖、李馨慈 (2007)，「考慮地震波之地形放大效應製作山崩潛勢圖」，礦冶雜誌，52(1) ，112-119。(Peng, W.F., Wang, C.L., Chen, S.T., and Lee, S.T. (2007). "Incorporation of seismic topographic effects enhances seismic landslide hazard analysis." *Journal of mining*, 52(1), 112-119. (in Chinese))

[10] 楊志堅、張家榮 (2000)，「群集分析介紹」，進修通訊年刊，6，42-49。(Yang, Z.J., and Zhang, J.R. (2000). "Introduction of cluster analysis." *Journal of Advanced Communication*, 6, 42-49. (in Chinese))

[11] 劉淑芳 (2013)，「坡面綠覆及保水研究—以竹坑溪子集水區為例」，高苑科技大學土木工程研究所碩士論文。(Liu, S.F. (2013). *The study of slope green cover and water conservation – an example at Zhu-keng River Sub-Catchment*, Master Thesis, Kao Yuan University, Taiwan, ROC. (in Chinese))

[12] 賴進貴 (1996)，「數值高度模型與地形計測研究資料解析度問題」，地理學報 20，61-73。(Lay, J.G. (1996). "Digital elevation model (dem) and geomorphometry: issues of data resolution." *Journal of Geographical Science*, 20, 61-73. (in Chinese))

[13] 謝秀萍 (2007)，「行政院農業委員會水土保持局第二工程所所志」，行政院農業委員會水土保持局第二工程所。(Xie, X.P. (2007). *The history of Taichung Bureau, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan*, Taichung Bureau, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan. (in Chinese))

[14] Congalton, R.G. (1991) "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data." *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.

[15] Cromley, R. (1992). *Digital Cartography*, Prentice-Hal, New York.

[16] Dietrich, W.E., Hus, M.L., and Montgomery, D.R. (1995). "A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data." *Hydrological Process*, 9, 383-400.

[17] Delmonaco, G., Leoni, G., Margottini, C., Puglisi, C., and Spizzichino, D. (2003). "Large scale debris-flow hazard assessment: a geotechnical approach and GIS modelling." *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 3, 443-455.

[18] Heimsath, A.M., Dietrich, W.E., Nishiizumi, K., and Finkel, R.C. (1997). "The soil production and landscape equilibrium." *Nature*, 388, 358-361.

[19] Ho, J.Y., Kwan, T.L., Chang, T.C., Wang, Z.Y., and Liao, Y.H. (2012). "Influences of spatial distribution of soil thickness on shallow landslide prediction." *Engineering Geology,* 124, 38-46.

[20] Krezoner, W.R., Olson, K.R., Banwart, W.L., and Johnson, D.L. (1989). "Soil, landscape, and erosion relationships in northwest Illinois watershed." *Soil Science Society American Journal*, 53, 1763-1711.

[21] Kirkby, M.J., and Weyman, D.R. (1974). *Measurement of contributing area in very small drainage basins*, Seminar Paper Series B, No. 3, Department of Geography, University of Bristol.

[22] Laflen, J.M., Lane, L.J., and Foster, G.R. (1991). "WEPP—a next generation of erosion prediction technology." *Journal of Soil Water Conservation*, 46(1), 34-38.

[23] Lee, K.T., and Ho, J.Y. (2009). "Prediction of landslide occurrence based on slope-instability analysis and hydrological model simulation." *Journal of Hydrology*, 375, 489-497.

[24] Lin, C.Y., Lin, W.T., and Chou, W.C. (2002). "Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience." *Soil & Tillage Research*, 68, 143-152.

[25] Moore, I.D., and Burch, J.R. (1986). "Sediment transport capacity of sheet and rill flow: Application of unit stream power theory." *Water Resource Research*, 22, 1350-1360.

[26] Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., and Porter J.P. (1991). "RUSLE: revised universal soil loss equation." *Journal of Soil and Water Conservation*, 46(1), 30-33.

[27] Wilson, J.P., and Gallant, J.C. (2000). *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley and Sons, New York, p.479.

[28] Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses*, Agricultural Handbook No. 537 USDA, Washington, DC.

[29] Young, R.A., and Onstad, C.A. (1987). "Soil erosion: measurement and prediction." In: Harlin, J.M. and Berardi, C.M.(eds.) Agricultural Soil Loss: Process, and Pros Pects, Boulder, Colorado: Westview, 91-111.

[30] Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D., and Anderson, W.P. (1987). *Agricultural non-point source pollution model (AGNPS)*, A Watershed Analysis Tool. USDA Conservation Research Report 35.

[31] Ziadat, F.M. (2010). "Prediction of Soil Depth from Digital Terrain Data by Integrating Statistical and Visual Approaches." *Pedosphere,* 20(3), 361–367.

2015 年03 月 13 日　收稿
2015 年04 月 14 日　修正
2015 年05 月 26 日　接受
(本文開放討論至 2016 年 3 月 31 日)