

朴子溪義仁橋集水區道路沿線窪蓄區位萃取及應用之研究

林昭遠⁽¹⁾ 賴臆心⁽²⁾ 林政侑⁽³⁾

摘 要

在全球氣候變遷影響下，強降雨事件頻率增加，致使坡地災害數量與規模提高，當山區雨量過大，道路所截流之地表逕流易沖刷邊坡造成崩塌，嚴重危及道路安全。本研究以朴子溪義仁橋集水區為例，分析集水區上邊坡崩塌潛勢、源頭集水區崩塌潛勢、及地形溼度指數，另將其與道路圖資套疊，萃取道路沿線之脆弱潛勢；再以數值高程模型萃取窪蓄區位，針對鄰近高脆弱潛勢路段之窪蓄區位輔以 CN 值分析，優選窪蓄配置順序，供營造沉砂滯洪設施之參考。

(**關鍵詞**：脆弱度分析、窪蓄區位、CN 值)

Extraction and application of topographic depressions along the roads in the Yizen bridge watershed located at the upstream of the Puzih River

Chao-Yuan Lin⁽¹⁾ *Yi-Shin Lai*⁽²⁾ *Cheng-Yu Lin*⁽³⁾

Professor⁽¹⁾, Graduate student⁽²⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

ABSTRACT

Due to climate change, increasing frequent high-intensity rainfall causes large amount and scale of disaster in the slope land. The surface runoff intercepted by the roads is easily to erode the nearby slope land and severely affects the road safety in case of non-adequate treatments while encountering heavy rains. This study is focusing on the effects of disaster prevention measures on the landslides along the roads. A case study of Yizen bridge watershed located at the upstream of the Puzih River is used to extract and classify the sites of potential vulnerability along the roads for evaluating the high risk rank of the tested roads. The potential landslide on the upper slope, potential landslide in headwater watershed and topographic wetness index were analyzed and overlaid with the roads to

(1)國立中興大學水土保持學系教授(通訊作者 e-mail: cylin@water.nchu.edu.tw)

(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

extract the potential vulnerability along the roads. In addition, topographic depressions were extracted using DEM and then the depressions nearby the roads with highly potential vulnerability coupled with the analysis of CN were used to priority screen the placement of depression for the reference of constructing the detention and/or sedimentation ponds.

(**keywords** : Vulnerability analysis, Depression storage area, Curve Number)

前言

在全球氣候變遷影響下，強降雨致使坡地災害與水患發生機會大幅提高。以臺灣地區 2009 年 8 月發生的莫拉克颱風為例，連日暴雨事件引發大規模山崩、土石流、洪水等災害。國科會於莫拉克颱風後，對嘉義地區朴子溪流域進行災情勘查與分析，經研究報告指出，朴子溪流域平均雨量為 1150mm，山區累積雨量更高達 1700mm，造成嘉義縣竹崎鄉嘉 162 線、嘉 122 線、嘉 169 線崩塌，可見極端氣候型態儼然已嚴重威脅到吾人之生活環境。

山區道路因降雨造成崩塌之主要原因乃邊坡破壞而影響周邊道路，而邊坡崩塌除本身之地形與外在降雨，人為之不當開發亦為重要因子之一(胡逸舟、廖洪鈞，2011)。張忠俊(2007)指出，將坡地之地面水或地下水導引至下游之安全地點對穩定邊坡極為重要，其目的在於防止逕流快速集中至河道。歐陽嶠暉(2001)提出在降雨地點至河川間之範圍，可提供作為雨水「滲透」及「貯留」的場所很多，藉由設置措施方式，可有效抑制地表逕流發生率。

水資源再利用有利水與治水之效益，而農塘或窪蓄地區即係以直接開挖地面或利用地面較為低窪處貯蓄水源，不但能提供農業灌溉用水，也可增加土地利用價值；若農

塘與窪地可持續維持少量的水位，不僅有沉砂與滯洪功效亦能提供生態系統的穩定性，於河川基流量的確保上也將有所助益(林昭遠等，2010)

集水區內道路開闢若無完善的水土保持措施保護，將導致坡地土壤沖蝕，進而破壞原有天然排水系統，導致逕流集中，若未妥善導引至安全地帶易造成蝕溝或崩塌，嚴重影響下游保全對象的安全，故防治坡地災害，乃是當前刻不容緩之重要問題。

本研究以朴子溪義仁橋集水區為案例，以地形濕度指數、源頭集水區崩塌潛勢及上邊坡崩塌潛勢，作為山坡地道路沿線之崩塌潛勢因子，據此繪製道路沿線之崩塌潛勢圖，再針對高潛勢區位，利用數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 萃取天然窪蓄區位，抑制雨水逕流量的快速排放，並以 CN 值比對分析窪蓄區位優先配置順序，此結果可供坡地保育規劃及管理之參考。

材料與方法

1. 研究樣區

(1)地理環境概述

朴子溪義仁橋集水區位於嘉義縣竹崎鄉，東鄰嘉義市，西接阿里山鄉，北鄰梅山鄉，南接番路鄉，境內有朴子溪貫流而過，

呈東北往西南走向，發源自阿里山脈西麓海拔 1,421 公尺的四天王山之芋菜坑，義仁橋集水區面積為 97.87 平方公里，如圖 1 所示。

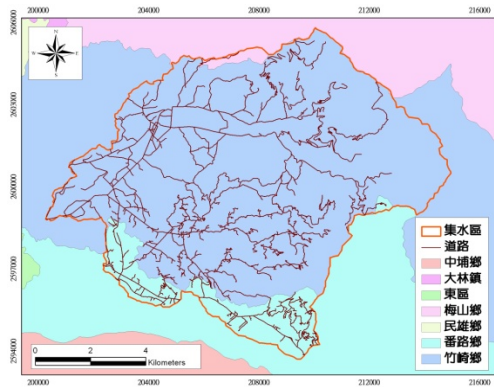


圖 1 地理位置圖
Fig. 1 Location map

(2) 土地利用

根據國土測繪中心之土地利用資料顯示，農業用地(農作、畜牧、農業附帶設施)使用為最多，占總面積 60.62%，其次為林業用地部分，占總面積 28.17%，如圖 2 及表 1。

表 1 土地利用類別
Table 1 Types of land use

土地利用	面積(ha)	比例(%)
農業用地	5932.73	60.62
林業用地	2757.53	28.17
交通用地	202.32	2.07
水利用地	217.78	2.23
建築用地	355.88	3.64
公共用地	30.92	0.32
其他使用	290.12	2.95
總計	9787.29	100

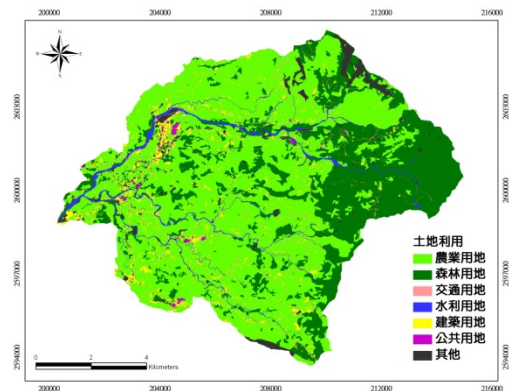


圖 2 土地利用圖
Fig. 2 Land use map

(3) 土壤

朴子溪流經嘉南平原，故大部分流域地質為沖積層，自朴子溪河口東石至竹崎間皆為此種地層。竹崎鄉境內多屬丘陵地，位於阿里山山脈西麓，全境山巒起伏，高低懸殊。以崩積土、砂頁岩新沖積土及石質土為主，部分為砂頁岩老沖積土及黃壤。酸鹼度在 4.3~5.8 之間，呈酸性至微酸性。

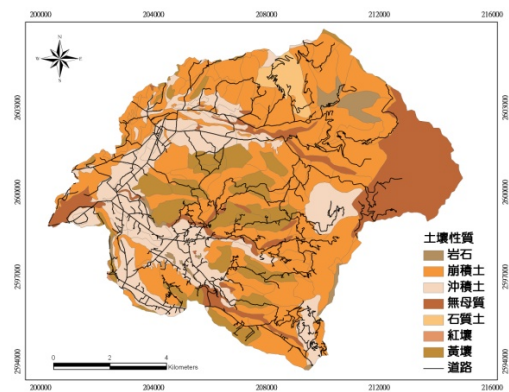


圖 3 土壤圖
Fig. 3 Soil map

2. 研究材料

本研究所採用之數值高程模型，為內政部所提供解析度 40m×40m 網格大小，分析水系、集水區與窪蓄區位 (表 2)。道路採用交通部運輸研究所提供之道路測量圖資，並萃取集水區內之主要道路，計算道路沿線崩塌潛勢。

表 2 研究圖層資訊
Table 2 Information of the used maps

類型	來源	年份
DEM	內政部	2003
道路	交通部運輸研究所	2006
土地利用	國土測繪中心	2008
衛星影像	中央大學太空及遙測中心	2012

3.研究方法

結合土地利用及地形資料，運用各類環境指標(林昭遠等，2013)，探討不同脆弱類型與道路崩壞之相關性，將各類潛勢因子套疊後，以高、中、低潛勢區域分類，標出危險路段之區位，可供重點維護管理之用。

(1)地形濕度指數

Wilson et al. (2000)指出地形濕潤指數(Topographic Wetness Index, TWI)又稱濕度指數(wetness index)、地形指數(topographic index)、複合地形指數(compound topographic index)。此指數說明地形對土壤濕度的控制能力，其概念為坡度較陡時，逕流因流速較快，使其入滲量變低，降低了土壤中含水量；若於低平的地方時，由於集水區面積較大且坡度較為平緩，使逕流停留於地表時間拉長逐漸向下入滲，因此土壤中

含水量相對的較高，換句話說，若網格中所佔的土壤中含水量越低，則代表該網格具較佳之排水性。地形濕度指數的公式如下：

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

式中：

A_s ：網格集水區面積

θ ：網格坡度

暴雨發生時，道路排水多沿低窪處排放，可用 DEM 計算地形濕度指數之空間分布，地形濕度指數高之區位為水分易匯集之處，若雨量過大，此區為易因土壤累積過多水分而造成崩塌。

(2)源頭崩塌潛勢

源頭集水區大部分位於人為干擾較少之區位，除維持良好植生覆蓋，集水區土壤沖蝕情形相對也較輕微，極端暴雨時可能導致河床向下刷深，造成源頭集水區崩塌而影響道路安全。本研究以 Straler 河川級序之概念，將野溪級序 1 之集水區定義為源頭集水區(圖 4)。

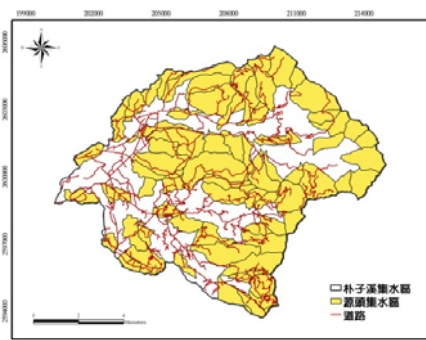


圖 4 源頭集水區之空間分佈

Fig. 4 Spatial distribution of headwater

$$\text{源頭崩塌潛勢} = \frac{1}{\text{土壤流失量}} \times \frac{P}{P_t}$$

P：單場事件雨量

P_t：年平均雨量

集水區之坡面土壤流失量推估部分，使用通用之土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)，為現今世界各國最被廣泛利用之土壤沖蝕推估公式。其中所應用的方法及學理，是依據水土保持技術規範第三十五條第一項之規定，山坡地土壤流失估算，得採用通用土壤流失公式，其公式如下：

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

A_m：土壤流失量(公噸/公頃/年)

R_m：降雨侵蝕指數(百萬焦耳·公釐/公頃·小時·年)

K_m：土壤沖蝕指數(公噸·公頃·年/公頃·百萬焦耳·公釐)

L：坡長因子

S：坡度因子

C：覆蓋與管理因子

P：水土保持處理因子

(3)上邊坡崩塌潛勢

上邊坡農地等開發地不當之排水，易造成下邊坡坡面淘刷崩塌，會影響下邊坡道路之安全，因此為反映下方保全對象受上邊坡崩塌之致災潛勢，以保全對象與上邊坡開發區位之緩衝距離為重要考量因子之一，此外當上邊坡墾地與保全對象間之退縮距離相同時，高程差若越大，相對的也提高了保全對象之致災潛勢，故集水區保全對象之上邊坡崩塌潛勢計算如下：

$$\text{上邊坡崩塌潛勢} = \frac{\text{保全對象與開發地之高程差}}{\text{保全對象距開發地之水平距離}}$$

(4)窪蓄區位萃取

本研究利用高差法(Jenson and Domingue,1988)、斜面法結合 PROMETHEE 理論計算集水區初始流向，再以源頭追蹤法萃取水系網，計算中下游網格高程大於上游網格者，視為河道或是坡面之窪地區位(圖5)。可搭配所萃取之水系網，加以區分窪地分屬河道或坡面，其窪地因所在區位不同而有不同之設施功能；例如：河道窪地將會是攔河堰、防砂壩或是其他橫向構造物自然的優良場址，而坡面窪地則可提供有效窪蓄貯水或滯洪沉砂設施的位置。

窪蓄區位集水區之萃取係利用動態萃取集水區概念，以遞迴演算法配合流向資料向上游自動追跡流經該窪蓄區位之所有排水區位(圖6)。藉由農林航測所之 40m x 40m DEM 資料萃取義仁橋集水區窪蓄區位，可得各區位位置、面積、深度、集水面積及類型等資料。

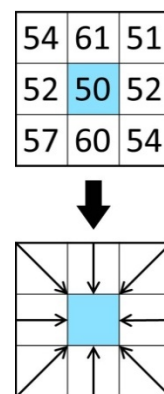


圖 5 窪蓄區位萃取示意圖

Fig. 5 Illustration of topographic depressions extracted.

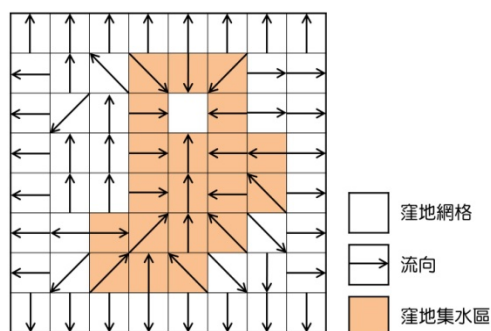


圖 6 窪蓄區位集水區萃取示意圖

Fig. 6 Illustration of watershed of the topographic depression

(5)SCS方法—曲線值

旨在尋找集水區水源涵養區位優選之分析探討，採用土地利用與土壤類別之關係建立曲線值法之 CN 值(褚思穎, 2008)，並萃取相關窪蓄區位作為水源涵養，本研究採用 SCS 法之曲線值。為求得集水區 CN 值之空間分布，並篩選出重點區位，首先利用流向及遞迴演算法圈繪集水區範圍，必需先行在此範圍區裡藉由地理資訊系統 GIS 之整合套疊技術建立土壤質地與土地利用等相關資料，配合查表即可得集水區 CN 值之空間分布。

結果與討論

1.道路沿線脆弱度分析

1.1 地形濕度指數

集水區內坡面水體移動之趨勢為由高至低，因此道路邊坡排水主要沿著坡面之凹地往下游排除，坡面水分容易匯集於地形凹地，故坡地地形溼度指數高之區域，主要分

布於坡面凹地，因土壤含水量較多；平時植物生長較為茂盛，若逢極端降雨時，極易因孔隙水壓及植物荷重造成邊坡崩塌，故地形濕度指數為極端暴雨時，坡面崩塌之良好指標。圖 7 為集水區道路區位地形溼度指數之空間分布，顯示道路區位地形溼度指數值較高之區位主要分布於毗鄰集水區出口處，與地形流向有極大之關係。

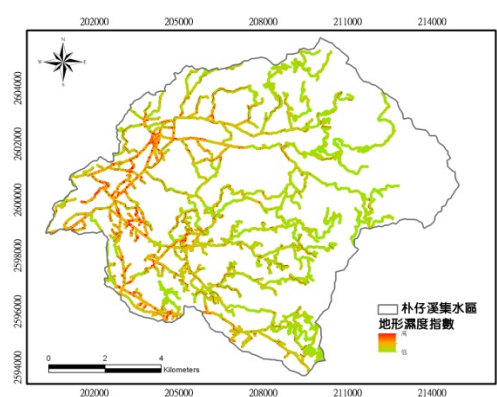


圖 7 道路之地形濕度指數

Fig. 7 Topographic wetness index extracted along the roads

1.2源頭集水區崩塌潛勢

植物生長較為茂盛的地方，因固砂能力極佳，土砂經年保蓄的結果，與防砂構造物相同，易產生零存整付之現象，形成週期性大規模崩塌，以風險理論而言，災害事件發生的頻率與災損規模成反比，週期性大規模輸砂現象即為集水區土砂蓄積能量之釋放，故源頭集水區崩塌潛勢為極端暴雨時；集水區源頭坡面崩塌之重要指標。圖 8 為源頭集水區內道路之崩塌潛勢，該潛勢主要是由土壤流失量間接推算而得，其中土壤流失量較高之區位，代表該區為平時已有相當數

量的土壤流失，極端暴雨發生時便不會有足夠之土砂造成大規模崩塌；土壤流失量較低之區位因平時輸送至毗臨河道之土砂較少，極端暴雨事件發生時易造成河道向源侵蝕，形成大規模崩塌。通過源頭集水區之道路可藉此評估道路之崩塌潛勢。

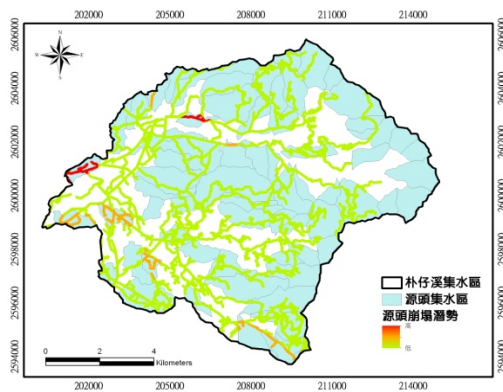


圖 8 源頭集水區道路崩塌潛勢

Fig. 8 Potential landslide of the roads in the headwater watershed

1.3 上邊坡崩塌潛勢

坡度為山崩發生之重要影響因子，坡度越大，導致崩塌發生之機率也越高；而道路沿線上邊坡開發為影響邊坡崩塌主因之一。圖 9 為道路沿線上邊坡崩塌潛勢之空間分布，顯示高潛勢區位主要分布於上游，造成此現象之原因為上游坡度較下游坡度大，具有較高之上邊坡崩塌潛勢，下游開發度雖高，但因坡度平坦，因此上邊坡崩塌潛勢並不高。

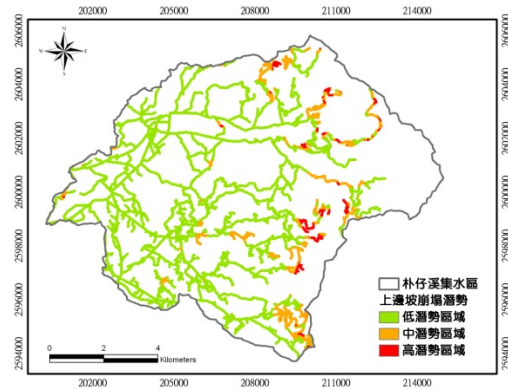


圖 9 道路上邊坡崩塌潛勢

Fig. 9 Potential landslide on the upper slope of the roads

2. 道路沿線脆弱度潛勢分級

為進一步了解集水區道路沿線之脆弱度潛勢，運用上邊坡崩塌潛勢、源頭集水區崩塌潛勢、及地形溼度指數，將所計算之結果，進行道路各脆弱因子之套疊，並依其等級劃分為高潛勢區域、中潛勢區域及低潛勢區域等三級，如圖 10 所示。結果顯示，上游區位土壤流失量較高，土砂不易累積，因此多為低潛勢崩塌區位(圖 8)；由地形溼度指數分析結果(圖 7)，下游地區易因排水不當，造成邊坡破壞進而影響道路安全；有鑒於此道路沿線萃取適當窪蓄區位，將道路所截之逕流引流至道路滯洪設施，藉此減緩其流速，避免邊坡坡腳嚴重冲刷有其必要。可以先篩選道路沿線脆弱度潛勢較高之區位，進一步優選毗鄰高潛勢路段之窪蓄區位，加以整體營造。

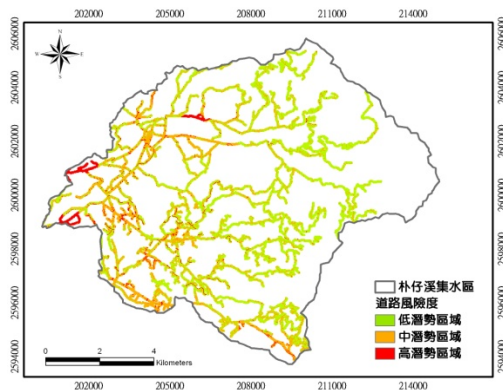


圖 10 道路沿線脆弱度潛勢分級圖
Fig. 10 Grading map of potential vulnerability along the roads

3. 窪蓄區位之萃取及優選

經 DEM 萃取之窪蓄區位結果顯示，集水區內含 817 處天然低窪點位(圖 11)，可分為坡面型及河道型兩種窪蓄區位類型，平均深度約為 1~2m。本研究優先考慮營造坡面型窪蓄區位，藉此將道路所匯集之流量導入其中，防止道路所截流之逕流過大而致道路坡腳沖刷，造成邊坡破壞，進而影響道路安全。

坡面窪蓄區位篩選結果顯示，高潛勢區位之窪蓄區為共 14 處(圖 12)，其窪蓄平均深度為 1m (表 4)，然為節省資源並發揮最大效益，14 處窪蓄區位之配置及營造宜進行優選順序探討。以各窪蓄區位之面積、集水面積及 CN 值優選窪蓄區位；因入滲能力較差之區位，其產生之逕流量較大，故窪蓄區位之

面積、集水面積及 CN 值越大，所蓄積之水量越多，為重點之配置區位，應優先配置避免道路邊坡受到逕流破壞，篩選結果(表 4)可知，前五名需優先營造之窪蓄區位分別為編號 11、12、2、4、及 3。

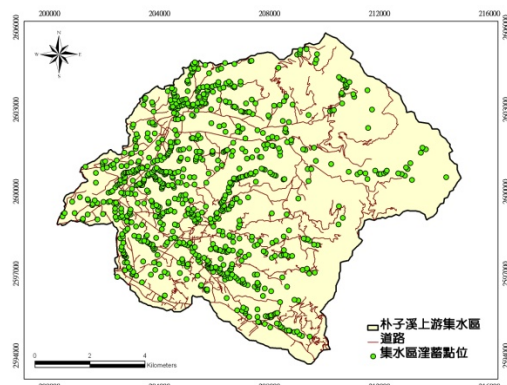


圖 11 窪蓄區位空間分布
Fig. 11 Spatial distribution of topographic depressions

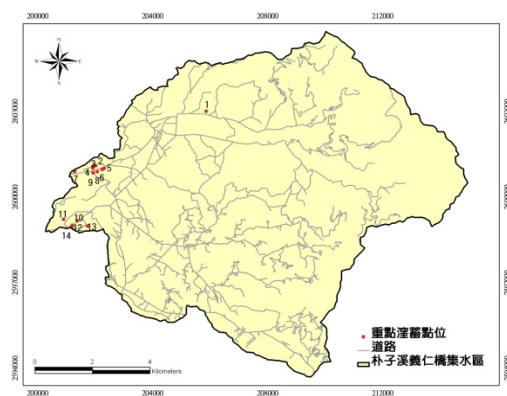


圖 12 鄰近道路高潛勢崩塌之窪蓄區位
Fig. 12 Depressions nearby roads with highly potential landslide

表 4 窪蓄區位優選

Table 5 Priority screening of the topographic depressions

窪蓄 編號	窪蓄 面積 (m ²)	窪蓄 面積 排序	窪蓄 深度 (m)	集水區 面積 (ha)	集水區 面積排序	CN 值	CN值 排序	排序加總 (窪蓄面積排序 +集水區面積排 序+ CN值排序)	優選 順序
1	800	3	1	12.44	7	72	13	23	9
2	1600	1	1	19.56	5	77	6	12	3
3	400	7	1	22.04	4	79	4	15	5
4	800	3	1	26.24	3	77	6	12	3
5	400	7	1	1.6	12	77	6	25	11
6	800	3	1	2.44	11	81	3	17	6
7	400	7	1	1.44	13	74	12	32	14
8	400	7	1	4.48	10	79	6	23	9
9	400	7	1	6.68	9	77	6	22	8
10	400	7	1	7.56	8	83	2	17	7
11	1200	2	1	62.16	1	84	1	4	1
12	800	3	1	39.4	2	79	4	9	2
13	400	7	1	14	6	70	14	27	12
14	400	7	1	0.32	14	77	6	27	12

結論與建議

透過道路沿線脆弱度潛勢之分析，可萃取出高潛勢區位，針對高潛勢區位配置窪蓄空間，為發揮資源最大效益，以各窪蓄區位之面積、集水區面積及 CN 值大之各窪蓄區位，作為窪蓄區位配置及營造之優選順序。窪蓄區位營造後，可穩定坡面，減低逕流集中對道路沿線坡腳造成之沖刷，並發揮減緩洪峰到達下游之時間以及沉砂效果，亦可成為水資源再利用之保水設施，作為坡地保育規劃之參考；目前僅以地形現況自動萃取蓄之配置區位，未來可進一步模擬窪蓄區位之配置效益。

謝誌

本文承行政院農業委員會水土保持

局「因應氣候變遷重點集水區保育策略之研究(1/2)」(案號：1010306019B)計畫經費補助。

參考文獻

1. 行政院國家科學委員會(2010)，「莫拉克颱風災情勘查與綜整分析之結果」。
2. 行政院農業發展委員會(2003)，「水土保持技術規範」。
3. 行政院農業發展委員會(2010)，「水土保持手冊」。
4. 行政院農業委員會水土保持局(2008)，「山坡地窪蓄區位水資源監測及保蓄效益評估成果報告書」，SWCB-97-178
5. 張忠俊(2007)，「山坡地開發實務」，

高立圖書有限公司。

6. 歐陽嶠暉(2001)，「都市環境學」，詹氏書局。
7. 林昭遠、林文賜(2000)，「集水區地水文因子自動萃取之研究」，中華水土保持學報，31(3)：247-256。
8. 林昭遠、黃凱君、莊智瑋、林家榮(2008)，「地形指標與集水區地文因子關係之研究」，中華水土保持學報，39(2)：183-194。
9. 林昭遠、張嘉琪、鄭旭涵(2010)，「集水區窪蓄區位自動萃取之研究」，中華水土保持學報，42(2)：137-150。
10. 蔡秉諭、李錦浚、鄭皆達 (2008)，「集水區內道路闢建對坡地崩壞與溪流環境影響之探討」，水土保持學報 40(1)：119-1
11. 胡逸舟、廖洪鈞(2011)，「降雨引致山區道路邊坡崩塌潛勢之研究－以阿里山公路為例」。
12. 褚思穎 (2008)，「逕流係數與 SCS 曲線值關係之研究」，國立中興大學水保研究所碩士論文。
13. 林昭遠、張鑫崑、傅桂霖(2013)，「阿里山溪集水區源頭崩塌機制之探討」，水土保持學報，45(2)：653-662。
14. Chou, T. Y., W. T. Lin, C. Y. Lin, W. C. Chou and P. H. Huang (2004), Application of the PROMETHEE technique to determine depression outlet location and flow direction in DEM. Journal of Hydrology. 287:49-61.
15. Lin, W. T., W.C. Chou, C.Y. Lin, P.H. Huang and J. S. Tsai, (2008), WinBasin: Using Improved Algorithms and the GIS Technique for Automated Watershed Modeling Analysis from Digital Elevation Models. International Journal of Geographical Information. 22(1): 47-69.
16. Jenson, S. K. and J. O. Dominique (1988), Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 54(11): 1593-1600.
17. Crosby, B. T. and K. X. Whipple (2006), "Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River", North Island, New Zealand, Geomorphology, in press.
18. Wilson, J. P. and J. C. Gallant (2000), "Digital terrain analysis". In: Wilson, J. P., Gallant, J. C. (Eds.), Terrain Analysis. John Wiley & Sons, New York, pp. 1-27.
19. Watanabe, S. (1995), Study on storm water control by permeable pavement and infiltration pipes. Technology Reports of Kansai University, 32(1)

102 年 06 月 10 日收稿

102 年 06 月 13 日修改

102 年 06 月 20 日接受