

# 神木集水區易致災區域崩塌歷程 與關聯性分析

何幸娟\* 林伯勳\*\*

## 摘要

本文透過遙測技術配合歷年衛星影像崩場地圖資，以神木村境內出水溪及愛玉子溪集水區為研究範圍，根據每期災害事件引致崩場地所屬地文條件，以及鄰近道路、斷層、褶皺線、水系發育相對距離作為相交影響範圍，探討其崩塌致災因子關聯性。於時間尺度發現，出水溪與愛玉子溪集水區崩塌誘發外力主控於颱風豪雨事件，且愛玉子溪崩塌規模係為出水溪之 2.2 至 2.3 倍。於空間尺度發現，出水溪以及愛玉子溪集水區崩塌相對較高之貢獻度，主要位於高海拔、坡面坡度大於 28 度、與水系相交 25m 範圍內；另近年崩塌多好發於河道坡面兩側，屬臨溪崩塌，直接供應河道砂源，故建議後續應定期或於重大事件發生後，利用衛星影像進行崩場地變遷監測，並於汛期加強防災避難演練及教育宣導，深化在地居民防災意識，更能助於減少土砂災害及生命財產損失。

關鍵字：神木集水區、莫拉克颱風、土砂災害

## 一、前言

自民國 85 年賀伯颱風起，神木集水區歷經集集地震、桃芝颱風、敏督利颱風與莫拉克颱風等多場事件，致使集水區內歷年來崩塌地面積有增無減，產砂量對下游保全對象影響甚鉅。透過衛星影像崩塌地判釋成果，探究崩塌歷程與關聯性分析，其優點在於廣域監測長時性地形、地貌變化（周天穎，2003），如遇災害有發生徵兆，可於事發前提出預警，減少災害致災風險。1980 年代起，國際間已有諸多學者均透過此等遙測技術，研究崩塌地變遷、崩塌致災因子關聯性、崩塌潛勢與發生機率等課題（Carrara, 1983、

1991、1992、1999；Montgomery and Dietrich, 1994；Chung *et al.*, 1995；Gorsevski *et al.*, 2000；何幸娟等人，2012）。Kääb（2002）透過遙測技術產製不同時期之 DEM 高程資訊，藉以分析地形、地貌變遷與變動速率；Chau *et al.*（2004）以高程、坡度、岩性、土石沉積物、人口分布、氣候與降雨等致災因子量化崩塌潛勢圖，供以估算崩塌地影響範圍與人口分布之風險；Metternicht *et al.*（2005）以瑞典地區為例，進行崩塌災害長期監測管理，建置崩塌地資料庫，探討致災因子關聯性；Barlow *et al.*（2006）透過常態化差異植生指標及地形坡度，以量化塊體移動判釋特徵，說明崩塌與地文因子關聯性；Bai *et al.*（2009）

\* 中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員

\*\* 中興工程顧問社防災科技研究中心環境資源監測組組長

運用崩場地以及崩塌致災因子，評估並繪製長江流域三峽水庫區域之崩塌潛勢圖；Mehrnoosh *et al.* (2009) 建立定性崩塌潛勢圖，結果顯示主要崩塌致災因子為地質岩性，土壤以及人為開發等次之。

國內陳文福、鄭新興（1997）利用三期 SPOT 鳳山溪集水區衛星影像結合 GIS 資料，擷取集水區內大型坡地開發之快速變遷資訊，以有效地監測集水區內土地利用及植生覆蓋變遷情形。國家災害防救科技中心（2004）運用艾利颱風過後衛星影像，數化並統計石門水庫集水區之新增崩場地面積，進行崩場地與土地分區、人為開發、降雨量等關聯性研究。蕭震洋等人（2009）曾蒐集賀伯颱風至薔蜜颱風後，共 14 期石門水庫集水區崩場地圖層，搭配定性崩塌屬性資料，分析石門水庫集水區崩場地致災特性。壽克堅等人（2010）探討濁水溪與烏溪上游崩塌致災因子。陳聯光（2010）探討莫拉克崩塌特性與推估漂流木總量，發現累積雨量於 400mm 及 900mm 分別為 3,000m 高山及 600 至 2,000m 山丘地帶之臨界雨量指標，並且有 75% 崩場地集中於 200m 至 2,000m，尤以 600m 至 1,600m 為主。水保局（2010）針對石門水庫全區崩場地致災因子進行關聯性分析研究，指出石門水庫集水區易致災區，集中於 1,000m~1,500m 之間，尤以坡度大於六級坡以上之區域為鉅，主要集中於大寮層。

由前人研究可知，目前運用遙測技術分析崩塌歷程與致災關聯性，蔚為趨勢；故本文以神木集水區境內易致災區為主要研究區域，應用蒐集歷年衛星影像以及崩場地，先探討崩場地變遷歷程，再分析崩塌致災因子關聯性，供以相關權責單位進行災害防治及防災應變參考。

## 二、研究區域

神木集水區位於南投縣信義鄉西南方角落，

主要聯絡道路為台 21 線，往北通往水里鄉。神木集水區境內多山地且坡度陡峭，陳有蘭溪貫穿其中，居民多沿台 21 線分布，緊鄰土石流潛勢溪流下游兩側及陳有蘭溪。該區首次傳出坡地災害源於民國 85 年賀伯颱風侵襲期間，當時 3 日總累積雨量高達 714mm，神木集水區上游出水溪與愛玉子溪等兩溪流產出大量土砂，並匯集往和社溪中、下游而去，於匯流處附近神木國小即遭土石掩埋，入山檢查哨、神和橋等均遭沖毀，所幸時值暑假，未釀成重大人員傷亡，約計流出總土石量為 45 萬 m<sup>3</sup>；民國 87 年 5 月，神木國小前霍薩溪橋，因出水溪再次發生土石流，而遭土石衝擊破壞，致使 39 戶共 155 人受困，引發社會大眾對土石流災害之恐慌；翌年 5 月，因梅雨季挾帶大量豪雨使得霍薩溪橋慘遭土石流沖毀，共有百餘位村民受困；民國 90 年桃芝颱風肆虐，累積雨量達 517mm，復建後之霍薩溪橋再度遭受土石流沖毀，對外交通中斷，居民房舍、農田毀損；民國 93 年 5~6 月間神木集水區降雨不斷，共爆發 4 場土石流事件，先後導致原林務局新建之愛玉子溪上游固床工程結構物招致土砂掩埋，並使河岸兩側土砂淤積嚴重；同年 7 月，於敏督利颱風侵台期間（總累積雨量 1,254mm），豪大雨誘發愛玉子溪上游產生大規模崩塌，大量土砂淤積於溪流河道中；民國 95 年 6 月，連續兩日的豪大雨，為神木集水區帶來 1,332mm 累積雨量，使得出水溪再次爆發土石流與大規模崩塌等坡地災害，農作物亦有災損。

民國 98 年 8 月 6 日，中度颱風莫拉克暴風圈逐漸進入臺灣東部近海，強度持續增強並繼續向西移動；由於莫拉克颱風結構完整，移動速度緩慢，滯留於臺灣本島時間過長，累積降雨時間長達 5 天（98/08/05~98/08/10），全臺籠罩於颱風環流中，遭遇強風且降下超大豪雨，尤其降雨強度更是歷年罕見。神木集水區 8 月 8 日晚間累積雨量高達 900mm，超過當地 200 年降雨重現

期，造成溪水暴漲，河道兩岸淘刷嚴重，大量土砂挾帶而下，沖斷下游愛玉子橋，並且造成多處道路坍方，災況慘重，神木集水區於莫拉克颱風期間宛如一座孤島，對外聯繫中斷，直至民國 98 年 9 月 5 日當地道路始能全面搶通。水保局（2010）曾於民國 98 莫拉克颱風前後，針對神木集水區進行現地勘查，發現災害點位多集中於出水溪以及愛玉子溪集水區，災害發生點位整理如圖 1 所示。

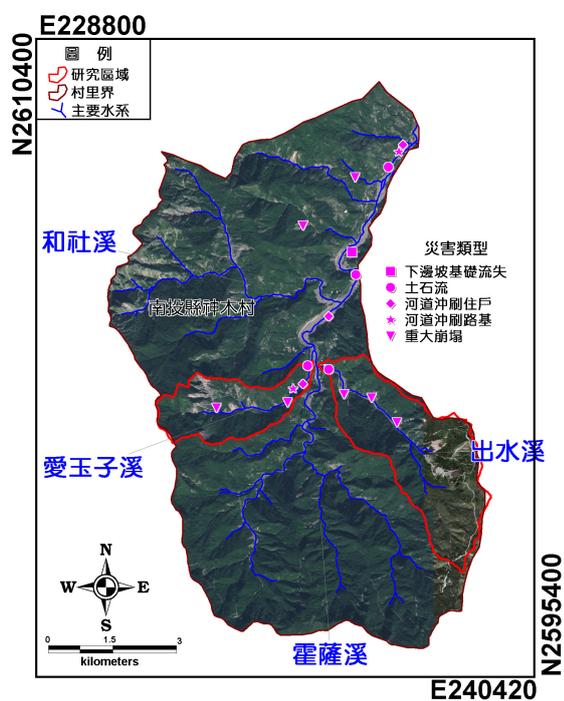


圖 1 神木集水區莫拉克颱風災害據點分布圖

茲針對圖 1 中，災害狀況摘述如下：

(一) 神木林道沖毀

神木林道位於出水溪集水區境內，為主要觀光景點之一。民國 85 年賀伯颱風肆虐，造成該區通往阿里山銜接台 21 線（新中橫）之神木林道交通阻斷，至今仍尚未通行。本區原河道寬約 0.5m，莫拉克後藉由正射影像判釋結果顯示河道約計拓寬 1 倍達 1.1m；神木林道亦全數遭土砂沖毀（如圖 2），僅有溪床便道可供車行。

(二) 愛玉子橋沖毀、道路中斷

愛玉子橋位於神木集水區源頭處，地理位置鄰近神木國小以及神木大橋，係為當地聯外交通要道。此次風災中，愛玉子溪上游發生大規模崩塌，豐富料源順沿暴漲溪水運送至下游，導致防砂設施毀壞，並沖斷愛玉子橋（如圖 3），聯外交通中斷，神木村宛如一座孤島，直至民國 98 年 9 月 5 日當地道路始被全面搶通。



(a) 莫拉克前 (98/04/11) (b) 莫拉克後 (98/09/16)

圖 2 莫拉克颱風前後神木林道照片



(a) 莫拉克前 (98/06/20) (b) 莫拉克後 (98/08/26)

圖 3 莫拉克颱風前後愛玉子橋照片

由前述可知，神木集水區崩塌事件頻仍，且發生頻率可稱全國最高地區之一；於歷次颱風豪雨事件後，主要易致災區域多集中於源頭處出水溪與愛玉子溪集水區，故為瞭解此兩易致災區域歷年崩塌歷程，以及災害事件崩塌因子關聯性，本文以出水溪與愛玉子溪集水區為主要研究區域，探討此兩易致災區崩塌歷程與致災因子關聯性分析，供作災害防治策略參考。

### 三、崩塌歷程分析

為有效掌握出水溪與愛玉子溪集水區，致災事件引致崩塌歷程與關聯性變化，本文蒐集民國85年賀伯颱風至98年芭瑪颱風共12期歷史災害事件衛星影像（如表1），以自動化判釋技術，建立災害事件前與災害事件後崩塌地變異點，並經由人工品管，濾除及編修易誤判區域，完成各期災害前後之衛星影像崩塌地判釋，供作探討集水區歷年崩塌歷程。

崩塌歷程變遷探討係統計各期崩塌地判釋成果之崩塌地面積、新增崩塌地面積及其相對應集水區崩壞比與新增崩壞比，有關各項名詞定義與解釋，如圖4及式(1)至式(4)。另有關神木集水區、出水溪集水區、愛玉子溪集水區等之面積，彙整如表2所示。

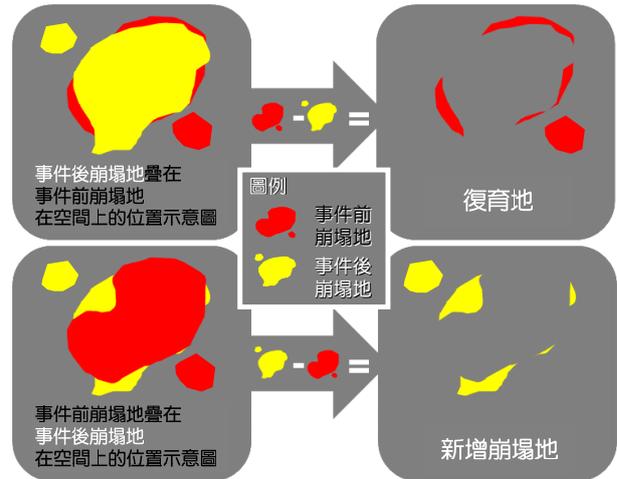


圖4 新增崩塌地與崩塌復育地示意圖

表2 集水區面積彙整表

集水區	面積	相對神木集水區面積權重值(%)
神木	7,216.45	100.00
出水溪	861.56	11.94
愛玉子溪	400.64	5.55

表1 歷史災害事件及對應衛星影像彙整表

項次	災害事件與災害期間	選購事件前後日期
1	賀伯颱風 (85/7/29~8/1)	賀伯颱風前拍攝(85/04/17)
		賀伯颱風後拍攝(85/11/08)
2	民國87年59豪雨 (87/5/9)	59豪雨前拍攝(87/01/10)
		59豪雨後拍攝(87/10/29)
3	民國88年528豪雨 (87/5/28)	528豪雨前拍攝(88/03/26)
		528豪雨後拍攝(88/07/24)
4	民國88年921地震 (88/9/21)	921地震前拍攝(88/07/24)
		921地震後拍攝(88/10/31)
5	桃芝颱風 (90/7/28~31)	桃芝颱風前拍攝(90/01/20)
		桃芝颱風後拍攝(90/10/22)
6	敏督利颱風 (93/6/28~7/3)	敏督利颱風前拍攝(93/02/10)
		敏督利颱風後拍攝(93/07/10)
7	卡玫基颱風 (97/7/16~7/18)	卡玫基颱風前拍攝(97/07/05)
		卡玫基颱風後拍攝(97/07/23)
8	鳳凰颱風 (97/7/26~7/29)	鳳凰颱風前拍攝(97/07/23)
		鳳凰颱風後拍攝(97/08/26)
9	辛樂克颱風 (97/9/11~9/16)	辛樂克颱風前拍攝(97/08/26)
		辛樂克颱風後拍攝(97/09/21)
10	蕃蜜颱風 (97/9/26~9/29)	蕃蜜颱風前拍攝(97/09/21)
		蕃蜜颱風後拍攝(97/11/12)
11	莫拉克颱風 (98/08/5~08/10)	莫拉克颱風前拍攝(98/08/05)
		莫拉克颱風後拍攝(98/09/04)
12	芭瑪颱風 (98/10/3~10/06)	芭瑪颱風後拍攝(98/10/21)

(摘自：水保局，2010)

崩塌地：衛星影像經判釋為發生崩塌之範圍。(1)

$$\text{崩壞比}(\%) = \frac{\text{事件後集水區崩塌面積}}{\text{集水區面積}} \times 100 \quad (2)$$

新增崩塌地：後期衛星影像發生崩塌之範圍。(3)

$$\text{新增崩壞比}(\%) = \frac{\text{事件後集水區新發生崩塌面積}}{\text{集水區面積}} \times 100 \quad (4)$$

本研究依據前述式(1)至式(4)，完成分析出水溪以及愛玉子溪集水區之崩塌地、崩壞比、新增崩塌地、新增崩壞比；茲將各項分析結果說明如下。

#### (一) 崩塌地與崩壞比

##### 1. 出水溪集水區

出水溪集水區主要以民國90年桃芝颱風造成影響較大(如圖5)；桃芝颱風前崩塌地面積約介於3ha至18ha之間，桃芝後升高至36ha；

隨之民國 93 年敏督利及民國 98 年莫拉克颱風崩塌地面積亦明顯增加，其中以莫拉克颱風後造成之崩塌地面積最多，計有 72ha；其崩壞比約為 8%。

## 2. 愛玉子溪集水區

愛玉子溪集水區之崩塌面積於民國 88 年集集地震後明顯增多，集集地震前崩塌地面積約介於 10ha 至 17ha 之間；集集地震後增加至 32ha，崩壞比約為 8%。另集集地震後至民國 98 年莫拉克前崩塌面積，介於 32ha 至 57ha 之間，有漸增趨勢。莫拉克颱風後，愛玉子溪集水區發生大規模崩塌，總崩塌地面積為 133ha，其崩壞比增加至 33%。

### (二) 新增崩塌地與新增崩壞比

#### 1. 出水溪集水區

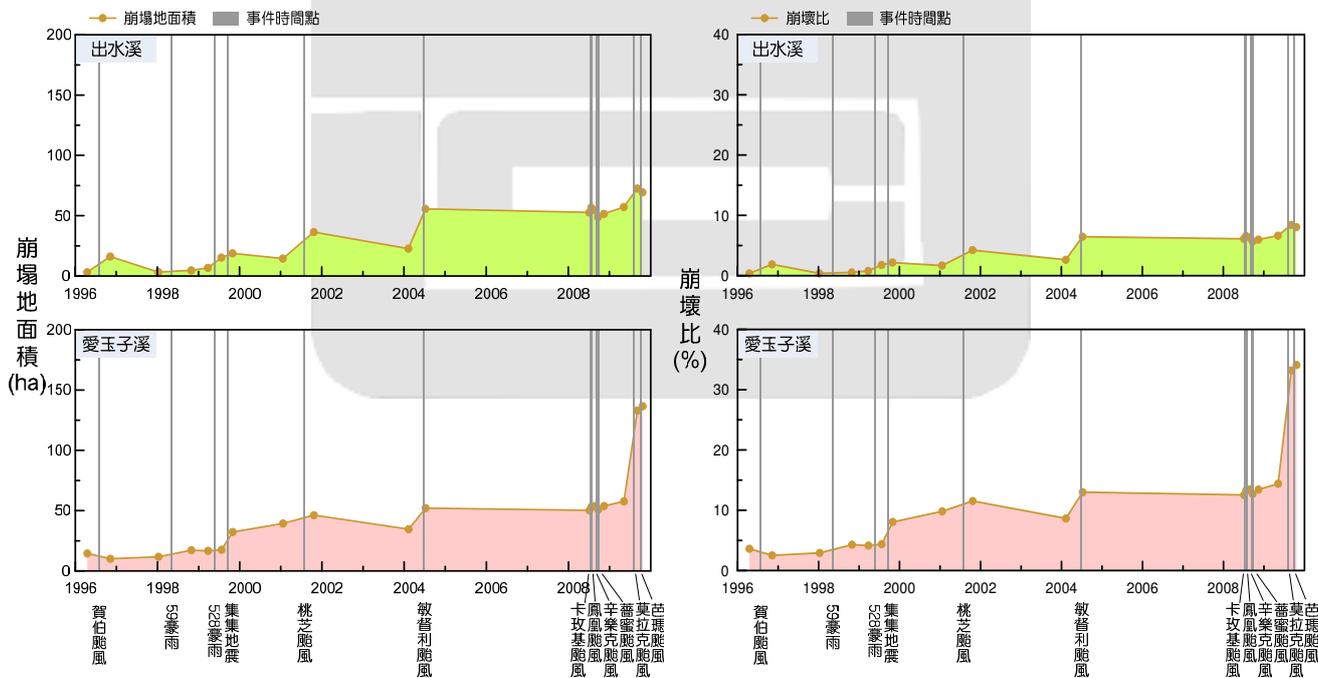
出水溪集水區歷年新增崩塌地可以民國 90 年桃芝颱風為災害歷程分界點，桃芝颱風前以民國 85 年賀伯颱風影響最大，其新增崩塌地面積

為 14ha（如圖 6），新增崩壞比約 2%。民國 90 年桃芝、民國 93 年敏督利，以及民國 98 年莫拉克等三場颱風事件之新增崩塌地面積，分別為 26ha、36ha 及 31ha，其相對新增崩壞比各為 3%、4% 及 4%。

#### 2. 愛玉子溪集水區

愛玉子溪集水區各期災害事件新增崩塌地面積與新增崩壞比歷程，以民國 88 年集集地震為分界點，在集集地震前新增崩塌地介於 5ha 至 11ha 間；集集地震後、桃芝颱風與敏督利颱風造成之新增崩塌地面積皆超過 20ha 以上，分別為 22ha、20ha 及 25ha，相對之新增崩壞比為 6%、5% 及 6%。民國 98 年莫拉克颱風則造成該集水區新增 87ha 之新增崩塌地面積，其新增崩壞比高達 22%。

由上述成果發現歷年崩塌面積，以愛玉子溪集水區較出水溪集水區高，並且崩塌地面積與新增崩塌地面積遞增時間點，與颱風豪雨事件密切相關。



(a) 崩塌地面積統計歷程圖

(b) 崩壞比統計歷程圖

圖 5 出水溪及愛玉子溪集水區崩塌地面積及崩壞比歷程圖



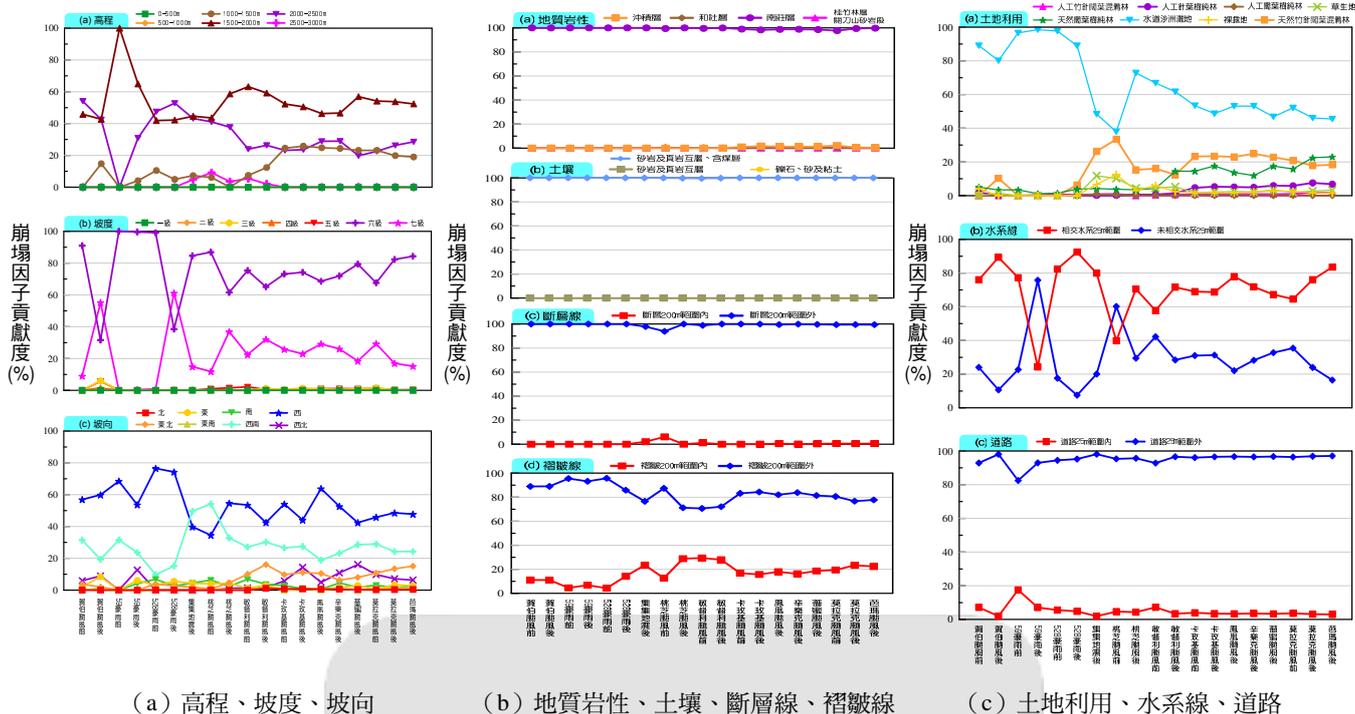


圖 7 不同致災事件下出水溪集水區關聯性分析圖

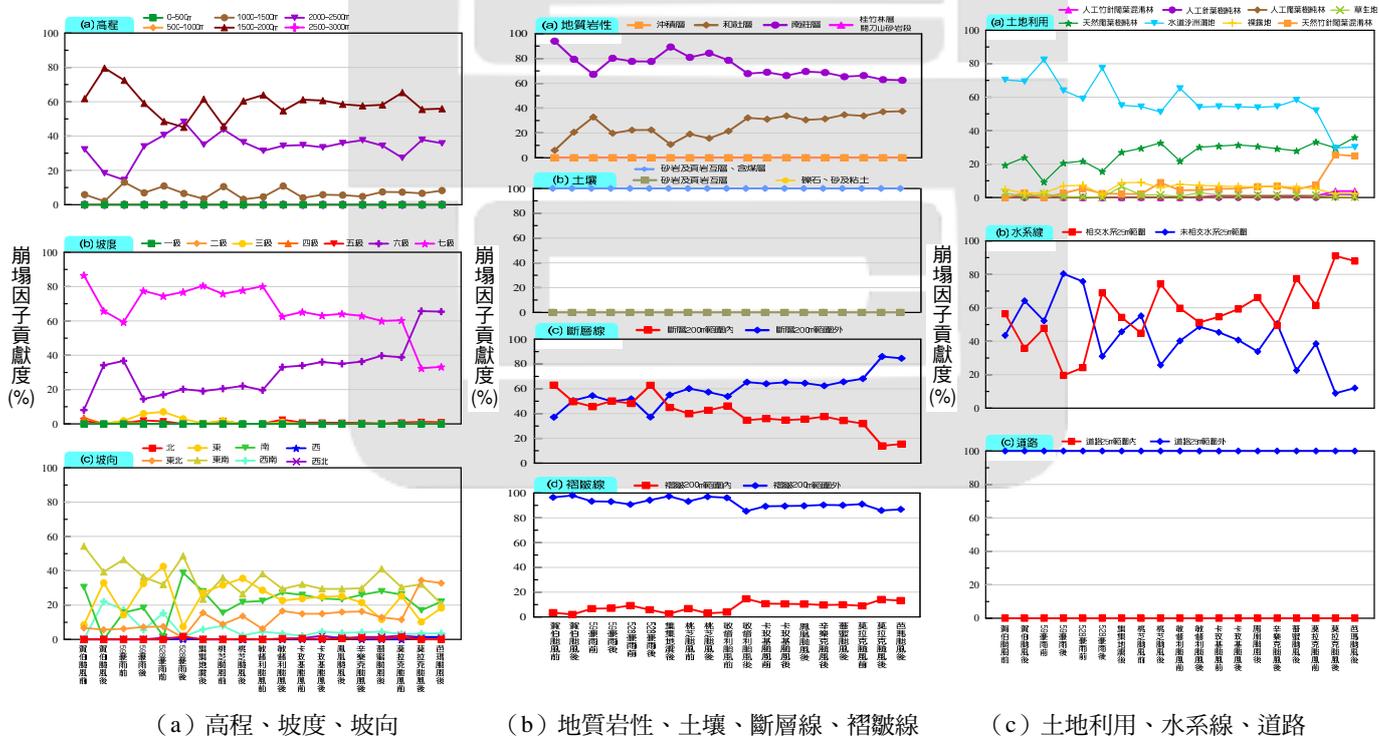


圖 8 不同致災事件下愛玉子溪集水區關聯性分析圖

表 3 出水溪及愛玉子溪集水區採用崩塌關聯性致災因子分類表

致災因子	分 級		
高度(m)	0 ≤ x < 500 500 ≤ x < 1,000 1,000 ≤ x < 1,500	1,500 ≤ x < 2,000 2,000 ≤ x < 2,500 2,500 ≤ x < 3,000	
坡度(%)	一級: 0 ≤ x < 5% 二級: 5% ≤ x < 15% 三級: 15% ≤ x < 30% 四級: 30% ≤ x < 40%	五級: 40% ≤ x < 55% 六級: 55% ≤ x < 100% 七級: ≥ 100%	
坡向(°)	北: 337.5 ≤ x, x < 22.5 東北: 22.5 ≤ x < 67.5 東: 67.5 ≤ x < 112.5 東南: 112.5 ≤ x < 157.5	南: 157.5 ≤ x < 202.5 西南: 202.5 ≤ x < 247.5 西: 247.5 ≤ x < 292.5 西北: 292.5 ≤ x < 337.5	
地質岩性	1. 沖積層 2. 和社層	3. 南莊層 4. 桂竹林層關刀山砂岩段	
土壤	1. 礫石、砂及黏土 2. 砂岩及頁岩互層，含煤層 3. 砂岩及頁岩互層		
斷層線、褶皺	設定外擴 200m 為影響範圍，統計落於內外之崩塌地面積。		
水系、道路	設定其周圍 25m 為影響範圍，統計與其相交之崩塌地面積。		
土地利用	天然竹林 天然竹針闊葉混淆林 天然針葉樹純林 天然闊葉樹純林 人工竹林 人工竹針闊葉混淆林 人工針葉樹純林 人工闊葉樹純林	水道沙洲灘地 河川 旱作 草生地 崩塌地 果樹 省道、快速道路 一般道路	純住宅 灌木荒地 廢耕地 一般鐵路 小學 災害地 其他蓄水池 未使用地

如圖 7 (b) 及圖 8 (b)。愛玉子溪集水區上游屬於南莊層，占集水區總面積 54%，下游屬於和社層，占集水區面積 45%。由各期災害事件歷程趨勢，可看出南莊層內之崩塌貢獻度最高，平均達 74.09%，和社層崩塌貢獻度占 25.91%。自桃芝颱風過後，南莊層之崩塌貢獻度呈現下降趨勢，和社層比例漸次增高，至芭瑪颱風後逐漸升高至 37.52%。

(四) 土壤類別

出水溪及愛玉子溪集水區內土壤種類單純，除和社溪以下有礫石、砂及黏土分布外，其餘土壤皆屬於砂岩及頁岩互層且含煤層之分布帶；因此，歷年災害事件崩塌地與土壤之關聯性分析結果，如圖 7 (b) 及圖 8 (b)，皆以砂岩及頁岩

互層、含煤層所占之崩塌貢獻較高，出水溪及愛玉子溪集水區內皆占 99% 以上。

(五) 斷層

以斷層線外擴兩側 200m 範圍內之崩塌地，判定其崩塌與斷層活動有關，分析崩塌與斷層活動之相關性。出水溪集水區內僅於北方邊界有神木斷層經過，斷層影響範圍極小，故無法顯現斷層線之關聯性。由圖 7 (b) 及圖 8 (b) 可知，愛玉子溪集水區於民國 93 年敏督利颱風前，災害事件斷層影響範圍內崩塌貢獻度較高，將近一半崩塌貢獻度來自於斷層線附近之崩塌地；民國 93 年敏督利颱風後，斷層線附近之崩塌貢獻度逐漸下降，至民國 98 年莫拉克颱風事件後，崩塌貢獻比降至 15.44%。

### (六) 褶皺線

以褶皺線外擴兩側 200m 範圍內之崩場地，判定其崩塌與褶皺活動有關，用以分析崩塌與褶皺分布之相關性。由分析結果顯示，出水溪與愛玉子溪集水區，歷年崩塌貢獻度皆以褶皺線外擴 200m 範圍外較高如圖 7 (b) 及圖 8 (b)，尤以民國 87 年 528 豪雨前至 88 年集集地震後為鉅。顯示兩集水區崩場地多好發於褶皺線外擴 200m 範圍之外。

### (七) 水系環域

以民國 90 年桃芝颱風為分界點，在桃芝颱風前，兩集水區之崩場地分布與水系關聯性不明顯，崩塌貢獻度互有消長如圖 7 (c) 及圖 8 (c)；桃芝颱風過後，與水系相交之崩場地其貢獻比明顯提升且有逐年升高趨勢，並於民國 98 年莫拉克颱風後達到最高值，顯見近年來兩集水區崩塌好發於河道周緣。

### (八) 土地利用

由圖 7 (c) 及圖 8 (c) 可知，出水溪集水區於民國 87 年 59 豪雨前，水道沙洲灘地土地利用崩塌貢獻度達到最高，隨後崩塌貢獻度有逐年減少趨勢，於民國 90 年桃芝颱風前降至最低。愛玉子溪集水區崩塌貢獻度亦以水道沙洲灘地土地利用較高，尤以民國 87 年 59 豪雨前為鉅；於民國 98 年莫拉克颱風後，愛玉子溪集水區崩塌貢獻度改以天然闊葉樹純林為鉅，水道沙洲灘地及天然竹闊葉混淆林次之。

### (九) 道路線

採用省及鄉道，以道路線外擴兩側 25m 範圍內之崩場地，判定其崩塌可能受道路開發擾動，用以分析崩塌與道路分布之相關性。愛玉子溪集水區內無道路經過，故崩塌貢獻度為零，如圖 7 (c) 及圖 8 (c)。另外，出水溪集水區由

於南方有台 18 線通過，其貢獻比相對較高，平均達 4.89%。在民國 87 年 59 豪雨前有最大值 17.54%；之後漸次下降，至民國 98 年芭瑪颱風後之 2.96%。

## 五、綜合討論

綜合出水溪及愛玉子溪集水區崩塌關聯性分析結果，計算歷年災害事件，將各因子分級與各期災害事件崩塌貢獻度之平均值，繪製如圖 9 所示；圖中橫坐標係為各因子貢獻度百分比，由圖發現，出水溪及愛玉子溪集水區，以高程、坡度、及水系為最主要貢獻因子；另從整體趨勢來看，人為活動之道路或土地利用崩塌貢獻度則相對較低。由於集水區崩場地在時間、空間的變化量，以及崩場地分布之地文、地貌的特性，出水溪與愛玉子溪集水區崩塌持續增加，兩集水區仍處於相對不穩定之狀況；故本文引用國內廣為應用之打荻珠男 (1971) 經驗公式 (如式 6)，並按照表 4 所列歷史水文事件之累積雨量 and 新增崩壞比，描述出水溪與愛玉子溪集水區隨著事件型累積雨量變化，相對應之新增崩壞比關係；分析結果如圖 10 所示。

$$Y = C + K \times 10^{-6} (RI - r)^2 \quad RI \geq r \quad (6)$$

上式中， $Y$  (%) 為新增崩壞比； $C$  為係數，為決定超過臨界雨量之初始新增崩壞比； $RI$  (mm) 為配合崩場地判釋颱風事件所蒐集之事件累積雨量； $K$  為回歸係數； $r$  (mm) 為促崩之臨界雨量，本文假定為 200mm。

由圖 10 可見兩集水區隨著累積雨量增加，新增崩壞比亦隨之增大，顯見颱風事件引致累積降雨量，確為誘發崩塌主因；若於兩者交集之累積降雨量下 (380~2,200mm)，新增崩壞比以愛玉子溪較出水溪集水區高，約為 2.2 至 2.3 倍，再由圖 9 出水溪及愛玉子溪集水區崩塌易致災因

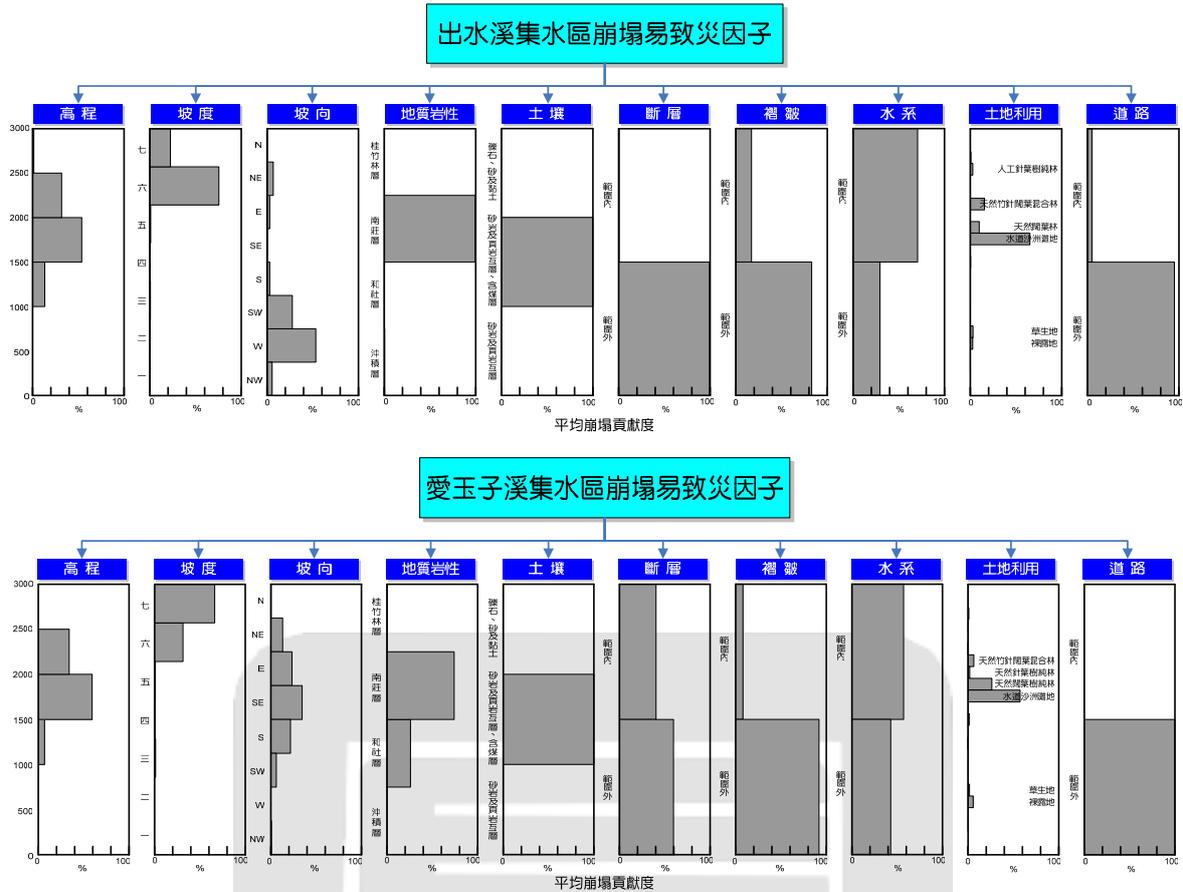


圖 9 出水溪及愛玉子溪集水區崩塌易致災因子貢獻度之分布柱狀圖

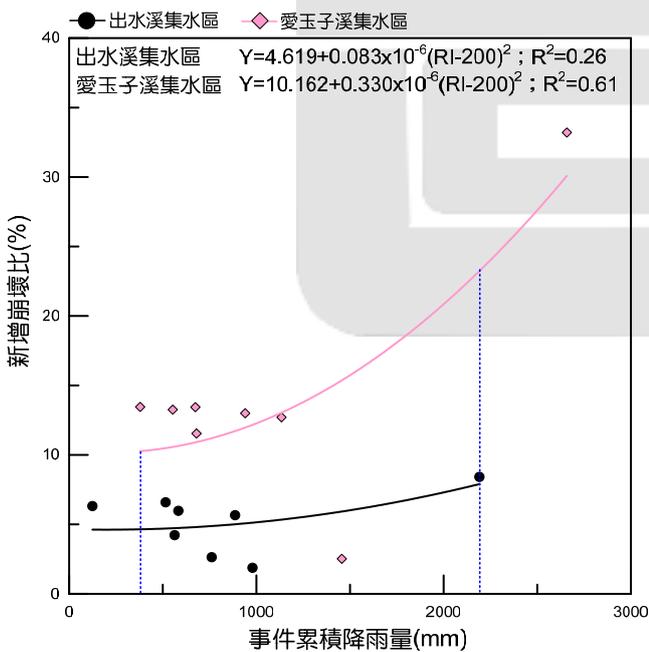


圖 10 出水溪與愛玉子溪集水區打荻氏分析成果

子貢獻度之分布柱狀圖，發現除斷層因子外，其他因子對於兩集水區發生崩塌影響程度相似，亦即愛玉子溪集水區相較於出水溪，受到斷層活動較為顯著，故推測兩集水區遭受同一颱風事件影響下，以愛玉子溪集水區新增崩塌率較大。

表 4 分析區域事件累積雨量與新增崩塌比彙整表

颱風事件	出水溪集水區		愛玉子溪集水區	
	累積雨量 (mm)	新增崩塌比 (%)	累積雨量 (mm)	新增崩塌比 (%)
賀伯颱風	979	1.876	1,456	2.519
桃芝颱風	563	4.227	680	11.543
敏督利颱風	761	2.637	940	13.002
卡玫基颱風	515	6.59	553	13.26
鳳凰颱風	124	6.318	379	13.452
辛樂克颱風	886	5.661	1,134	12.704
薔蜜颱風	583	5.978	674	13.438
莫拉克颱風	2,191	8.418	2,658	33.206

## 六、結 論

本文透過遙測技術配合神木村歷年衛星影像崩場地判釋圖資，根據每期災害事件引致崩場地所屬地文條件，以及鄰近道路、斷層及褶皺線、水系發育相對距離作為相交影響範圍，探討其崩塌致災因子關係。於時間尺度發現，出水溪與愛玉子溪集水區崩塌誘發外力，主要以颱風豪雨事件為主，尤以民國 98 年莫拉克颱風最為顯著，且崩塌規模以愛玉子溪較出水溪集水區高，約為 2.2 至 2.3 倍；於空間尺度上，發現出水溪及愛玉子溪集水區境內，高海拔區域、坡度 28 度以上之崩塌貢獻度，有逐年漸增情況，尤以民國 93 年敏督利颱風後，攀升趨勢更為顯著；且與水系相交 25m 範圍內崩塌貢獻度有漸增趨勢，顯示近年崩塌多沿河道水系周緣發展，屬於臨溪崩塌。建議未來可定期或於重大事件發生後，針對河道堆積物以及臨溪崩場地辦理監測。此外，本研究易致災區域位居交通不易到達之處，且境內鮮少人為開發，且考量工程治理有其限度，建議應以非工程手段配合自然復育，於汛期加強防災避難演練及教育宣導，以深化在地居民防災意識，更能助於減少土砂災害及生命財產損失。

## 謝 誌

感謝水土保持局提供分析資訊，使本文更臻完善，作者謹申謝忱。

## 參考文獻

- 周天穎 (2003) 地理資訊系統理論與實務
- Carrara, A. (1983) Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation, *Mathematical Geology*, 15 (3), pp. 403-427
- Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, and F. Guzzetti. (1991) GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard: *Earth Surface Process, Landform*, 16 (5), pp. 427-445
- Carrara, A., M. Cardinali, F. Guzzetti. (1992) Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk, *ITC Journal*, 2, pp. 172-183
- 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, pp. 117-135
- Montgomery, D. R. and W. E. Dietrich (1994) A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding, *Water Resources Research*, 30 (4), pp. 1153-1171
- Chung, Sandra, William Ladusaw, and James McCloskey (1995) Sluicing and Logical Form, *Natural Language Semantics*, 3, pp. 1-44
- Gorsevski P.V., P.E. Gessler, and R.B. Foltz (2000) Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Logistic Regression and GIS, 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada, September, pp. 2-8
- Kääb, A. (2002) Monitoring High-Mountain Terrain Deformation from Repeated Air and Spaceborne Optical Data: Examples Using Digital Aerial Imagery and ASTER Data, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 57, pp. 39-52
- Chau, K. T. and Lo, K. H. (2004) Hazard Assessment of Debris Flows for Leung King Estate of Hong Kong by Incorporating GIS with Numerical Solutions, *Nat. Haz. Earth Sys. Sc.*, 4, pp. 103-116
- Metternicht G., Hurni L., Gogu R. (2005) Remote Sensing of Landslides: An Analysis of the Potential Contribution to Geo-Spatial Systems for Hazard Assessment in Mountainous Environments, *Remote Sensing of Environment*, 98 (2-3), pp. 284-303
- Barlow, J., Franklin, S. and Martin, Y. (2006) High Spatial Resolution Satellite Imagery, DEM Derivatives, and Image Segmentation for the Detection of Mass Wasting Processes, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72 (6), pp. 687-692
- Bai, S. B., Wang, J., Lu, G. N., Zhou, P. G., Hou, S. S., and S. N. Xu (2009) GIS-Based and Data-Driven Bivariate Landslide-Susceptibility Mapping in the Three Gorges Area, China, *Pedosphere*, 19 (1), pp. 14-20
- Mehrnoosh, J., Helmi, Z. M., Shafri, Mansor, S. B., Mohammad, S., S. Pirasteh (2009) Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model, *European Journal of Scientific Research*, 33 (4), pp. 654-668
- 何幸娟、林伯勳、冀樹勇、鍾啟榮、邱世宜 (2012) 石門水庫集水區崩塌時空變遷與保育治理成效探討，*水土保持技術*，第 7 卷，第 3 期，第 174-188 頁

陳文福、鄭新興（1997）遙測與 GIS 應用於集水區大型坡地開發之變遷分析，水土保持學報，第 29 卷，第 1 期，第 41-59 頁  
 國家災害防救科技中心（2004）石門水庫土砂災害問題分析  
 蕭震洋、謝寶珊、林伯勳、鄭錦桐（2009）遙測影像之物件導向自動化判釋崩塌地於石門水庫集水區的應用實例，中國地球物理學會與中華民國地質學會 98 年年會暨學術研討會，論文摘要集，嘉義，第 HZ46 頁  
 壽克堅、吳秋靜（2010）以 GIS 探討台灣濁水溪與烏溪

上游崩塌地之影響因子，2010 全國岩盤工程研討會論文集，第 743-752 頁  
 陳聯光、林祺岳、張志新、陳韻如、林聖琪、王俞婷、林又青（2010）莫拉克颱風崩塌特性與漂流木推估探討，2010 年中華水土保持學會及水術研討會論文集  
 水保局（2010）石門水庫集水區豪雨誘發土砂災害之變化歷程與機制探討  
 水保局（2010）南投縣信義鄉神木地區土砂災害機制歷程調查及潛勢評估分析



財團法人中興工程顧問社歷年之研發成果，已開發下列電腦程式，對相關工程問題之掌握與分析精度之提升，有很大助益。若有需要，歡迎洽購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 473 馬小姐

E-MAIL：[pony@sinotech.org.tw](mailto:pony@sinotech.org.tw)

網址：<http://www.sinotech.org.tw>

序號	程式名稱	版次
1	泛用型非線性靜動態平面結構分析程式	V1.0
2	深開挖土層參數回饋分析 (DEXC-OPT) 深開挖土層參數回饋分析 (RUIP)	V1.0
3	進出港操船模擬分析程式	V1.0
4	預力混凝土中空矩形斷面橋墩重力應變關係分析程式	V1.0
5	單目標多座水庫系統運轉程式 (ORES)	V1.0
6	區域流量延時曲線分析程式	V1.0
7	台灣地區水庫資訊系統	V1.0
8	台灣電子地圖網站	V1.0
9	岩盤隧道施工資料自動化處理	V1.0
10	預力預鑄混凝土橋柱分析	V1.0
11	非線性混凝土結構分析系統	V1.0
12	加長型單肋板補強梁柱接頭設計輔助程式	V1.0
13	區域水資源系統即時操作模式建立	V1.0
14	結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式	V2.0
15	混凝土非破壞檢測儀 (Sino-NDT-IE) 之改良	V1.0
16	SinoPad 中興現地調查系統	V1.0
17	隧道支撐設計整合系統	V2005 1.0
18	二維污染值傳輸、輸砂及颱風暴潮模式發展 (註)	V2.5
19	柔性加勁擋土牆之設計參數與數值分析方法研究	V1.0
20	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立 (一)	V1.0
21	RFID 設施巡檢系統、RFID 設備盤點系統、RFID 主動式監測系統	V1.0
22	隧道 (1) 輸進資料、(2) 地質資料、(3) 監測資料等處理系統及 (4) 隧道施工資料查詢系統	V2.0

(註)：序號 18 之程式現階段僅開放政府機關申購。