

# 山崩之地質與水文特性

譚志豪<sup>1</sup>、鍾明劍<sup>1</sup>、許世孟<sup>1</sup>、蘇泰維<sup>2</sup>、陳勉銘<sup>2</sup>、費立沅<sup>2</sup>

1 財團法人中興工程顧問社

2 經濟部中央地質調查所

## 摘要

根據歷年地質災害調查成果顯示，山崩與土石流的發生易受地質、地形與水文等因素影響，具有強烈的地域性及重複性。其中尤以坡地之地質與水文特性為是否引發山崩之關鍵因素，實有必要進行詳細的調查與評估。本計畫自民國96年起逐年針對台灣各主要流域之中、上游集水區進行一系列的水文地質調查試驗。整合各項調查成果並應用定率式分析模式，評估流域各邊坡於特定地質與降雨條件下穩定性隨時間之變化。另針對其中降雨促崩較高潛勢的地區挑選具保全對象之特定重點坡地進行更進詳盡的現地調查、試驗、監測與模式分析，探究各項地質與水文因子對降雨促崩行為之影響。研究成果為後續山崩預警準則研擬及保全對策擬訂奠定良好的基礎。

關鍵詞：山崩、地質、水文、水文地質、監測

## Abstract

The objective of the project is on the investigation of the hydrogeology affecting slope stability in the midstream and upstream areas of the watersheds. An effective assessment of regional rainfall-induced landslides using GIS-based deterministic model was presented to investigate the shallow landslides. For the high-potential landslide areas, a series of hydrogeologic investigation, field tests, monitoring and a site-specific deterministic model was also applied to investigate the relationship between rainfall and slope stability. Our preliminary results appear to be useful for rainfall-induced landslide hazard assessments. The results can be as a good reference for the authority to scheme out an early warning system in the future.

Keywords：Landslide, Geology, Hydrology, Hydrogeology, Monitoring

## 一、前言

近年來全球氣候異常，水文極端現象明顯，加上台灣地形陡峻、地質破碎，致使每有重大颱風或豪雨侵襲即常造成大規模的地質災害。因暴雨導致的山崩、土石流，除造成山區道路中斷與房舍掩埋等災害之外，亦造成流域下游地區的水患問題，嚴重危害到民眾生命與財產之安全。過去國內在流域中、上游山區所進行之水文地質調查與評估工作甚少，自民國96年起，本計畫逐年針對全台各主要流域集水區中、上游地區進行一系列水文地質對坡地穩定性影響之調查及評估工作，除累積相當多的現地與室內試驗資料提供各界參考外，調查評估所獲之經驗與成果亦可提供相關單位研擬減災、治災對策之參考及國土管理之依據。

## 二、計畫範圍及工作內容

財團法人中興工程顧問社承接經濟部中央地質調查所委辦之「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置-集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫」，自民國96年6月至今，按年度分流域（詳圖1）已陸續針對大漢溪、大甲溪、

濁水溪、虎尾溪與朴子溪等流域 (第1期96年度)；鳳山溪、頭前溪、中港溪、後龍溪與烏溪等流域 (第2期97年度)；高屏溪、東港溪與知本溪等流域 (第2期98年度)；淡水河、蘭陽溪與南崁溪等流域 (第2期99年度)；大安溪、北港溪與曾文溪等流域 (第3期100年度)，進行廣泛且全面水文地質特性對坡地穩定性影響之相關調查、試驗、分析與評估工作。

綜觀各年度已執行之工作內容，工作團隊已針對上述19個主要流域區域進行大尺度流域水文地質調查與山崩關聯性分析，並於其中挑選共計18處重點崩塌地 (圖1星號標示處)，進行小尺度重點崩塌地水文地質監測與模式分析工作，相關成果極為豐碩。因受限於篇幅，本文將著重於調查成果及其應用層面介紹，茲將數項重要工作成果摘述於後，其餘細節可參考本計畫成果報告及相關文獻。

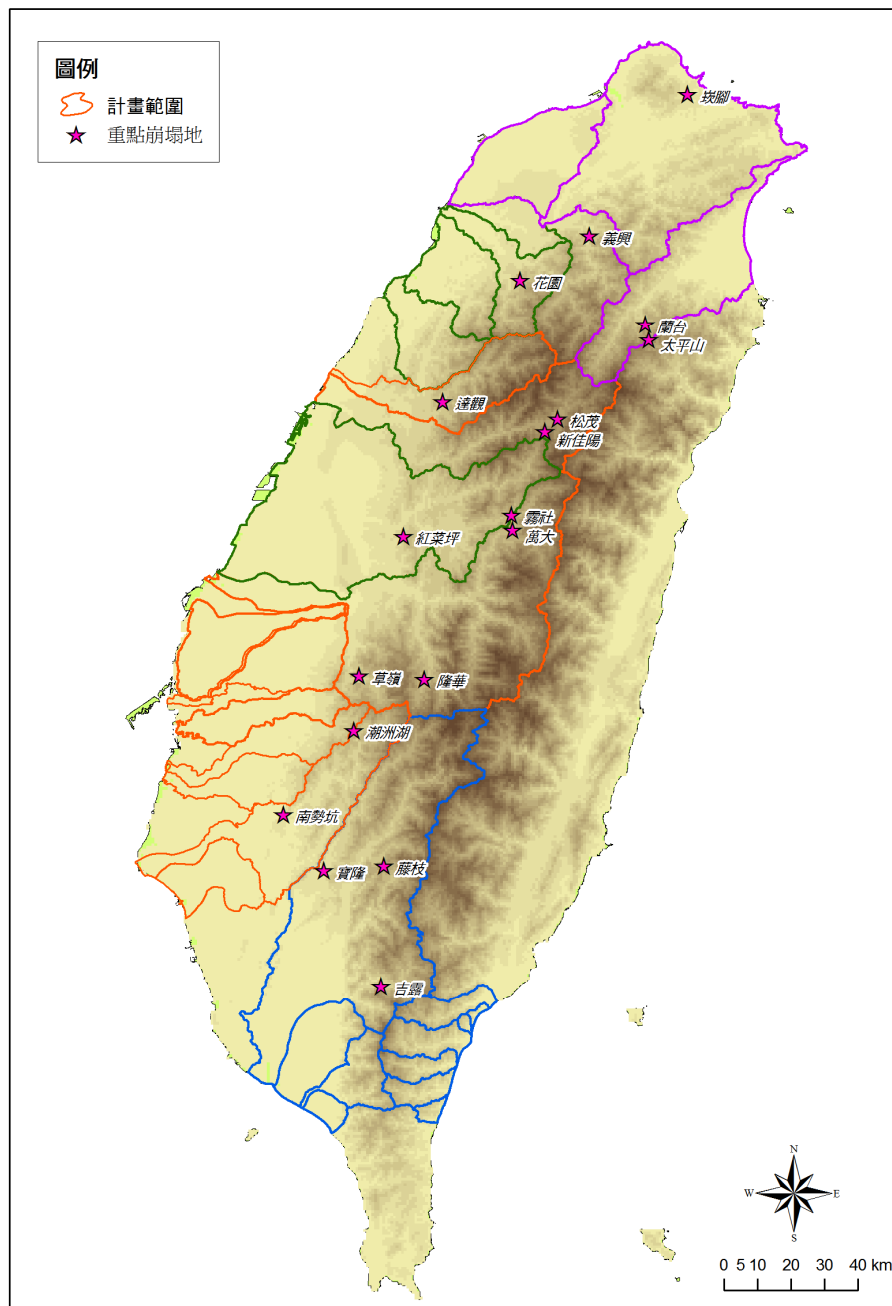


圖 1 本計畫各年度流域範圍與重點崩塌地位置

### 三、大尺度流域水文地質調查成果

#### (一) 流域水文地質調查

##### 1. 山區淺層地下水位觀測成果

本計畫於各流域中、上游山區陸續設置計有 74 孔水位觀測井，各觀測井隨季節之豐、枯變化及短期暴雨影響，地下水位均有所起伏。經初步迴歸分析後，可獲得井內地下水位高程  $z_w$  與井口高程  $z$  之關係，呈現良好的線性關係 (如圖 2 所示)，即：

$$z_w = 0.987z - 6.11 \quad (r^2 = 0.99) \quad (\text{單位:公尺}) \quad (1)$$

圖中數據點以誤差棒 (error bar) 方式呈現。除顯示常時水位外，另顯示量測期間之最高與最低水位值。惟本文未再針對豐、枯期季節差異、側向補注量及颱風事件對地下水位之影響進行進一步處理，統計成果可提供作為山區淺層地下水位分布之初步參考。對於後續計畫若需於山區布設地下水位觀測井、或是建置水文地質概念模型給定初始地下水位，均提供初步的研判資訊。

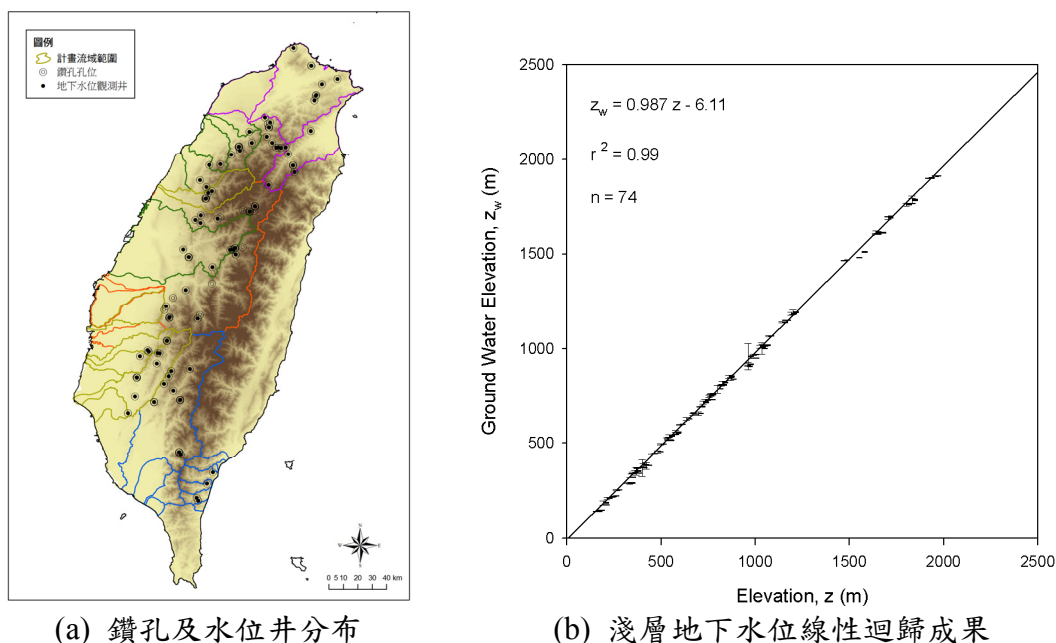


圖 2 台灣山區淺層地下水位與井口高程之迴歸關係

##### 2. 土壤厚度調查

本計畫於 96~100 年度已累積執行 820 處調查點位，點位分布於各流域中、上游山區，調查點位詳圖 3(a)所示。由過去相關研究得知，影響自然邊坡土壤厚度之因素主要有坡度、岩性、坡向等。調查成果經初步的相關係數與變異係數分析後得知，坡向、地層對土壤厚度之關聯性屬輕度關聯，而土壤厚度與坡度具有較強烈的關聯性。

圖 3(b)為本計畫各年度執行之土壤厚度調查與其調查點位所對應坡度之迴歸關係曲線。顯示土壤厚度與坡度可透過自然對數建立較佳的關

係，而坡度越小土壤厚度越大。惟各年度所執行之調查成果迴歸曲線仍存在著差異，顯示各流域自然邊坡之土壤仍受其他地質與水文等因子影響而具略有差異，此部分仍將持續加以研究探討。

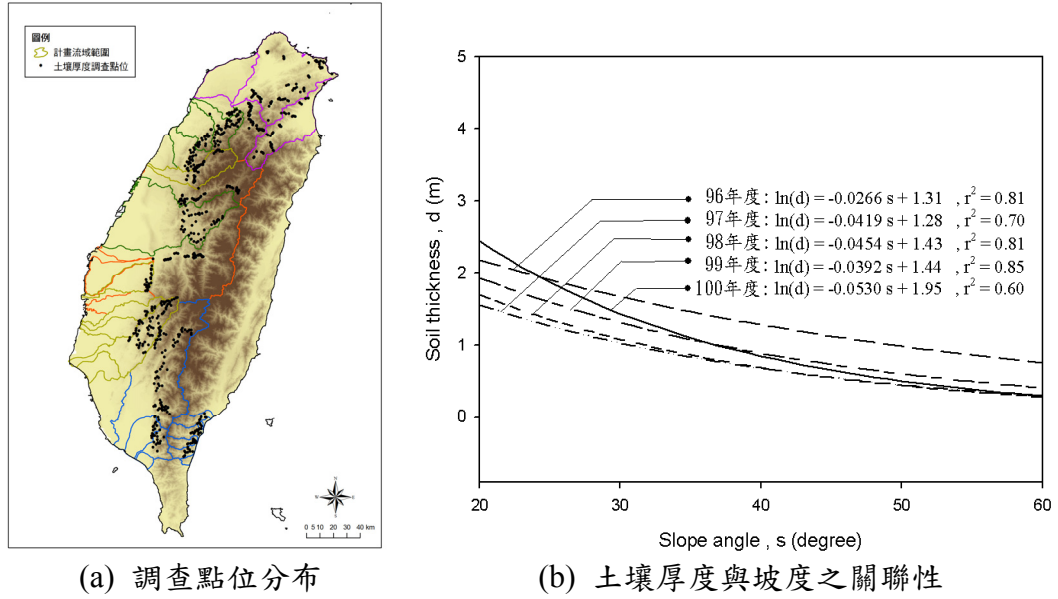


圖 3 台灣山區土壤厚度調查成果

## (二) 流域降雨促崩潛勢與水文地質因子關聯探討

本文針對各流域進行降雨引發岩屑崩滑型山崩（費立沅，2009）之潛勢分析。模式分析採用美國地質調查所（USGS）所開發之廣域降雨入滲邊坡穩定分析模式 TRIGRS (Baum et al., 2002)。該模式乃基於 Iverson (2000) 之研究成果，先將分析區域離散成眾多網格單元，而各網格單元之初始地下水位、幾何特性（如：坡度、土層厚度）、水文地質與力學特性（如：地表入滲率、透水係數、擴散係數及剪力強度參數等）及降雨強度延時等參數值均可隨空間或時間設定成不同分布型態，再透過求解未飽和流動方程式（Richards equation）評估降雨入滲對坡地淺層孔隙水壓之影響，即：

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} \frac{d\theta}{d\phi} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ K_x(\phi) \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} - \sin \alpha \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_y(\phi) \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_z(\phi) \left( \frac{\partial \phi}{\partial z} - \cos \alpha \right) \right] \quad (2)$$

式中， $\phi$  為地下水壓力水頭； $\theta$  為含水量； $t$  為時間； $\alpha$  為坡角； $K_x$ 、 $K_y$ 、 $K_z$  分別為  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三方向之透水係數。

待求得暫態地下水位分布後，再透過極限平衡法之無限邊坡穩定性分析理論，代入坡角  $\alpha$ 、土與水之單位重  $\gamma_s$ 、 $\gamma_w$ 、暫態地下水壓力水頭  $\phi(Z, t)$  及風化土壤剪力強度參數  $c$  與  $\phi$  後，解得各網格單元之崩塌安全係數為：

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} + \frac{c - \phi(Z, t) \gamma_w \tan \phi}{\gamma_s Z \sin \alpha \cos \alpha} \quad (3)$$

透過式(2)至式(3)即可獲得降雨入滲期間各邊坡單元網格之穩定性變化。



自96年起，針對各流域進行流域降雨促崩潛勢評估，初步已針對19個主要流域上游集水區進行模式評估，並透過多次的颱風降雨促崩事件予以率定與驗證。該成果可進一步探討各項因子對山崩發生之影響。惟因各流域水文地質條件不同，降雨分布特性亦不盡相同，故各流域邊坡可能發生岩屑崩滑之潛在可能性亦不相同。為進一步釐清，以下則舉各流域200年重現期24小時延時累積降雨條件下，透過TRIGRS模式分析獲得之降雨促崩潛勢評估成果為例 (如圖4所示)，針對流域分布、坡度及地層岩性等差異進行探討。

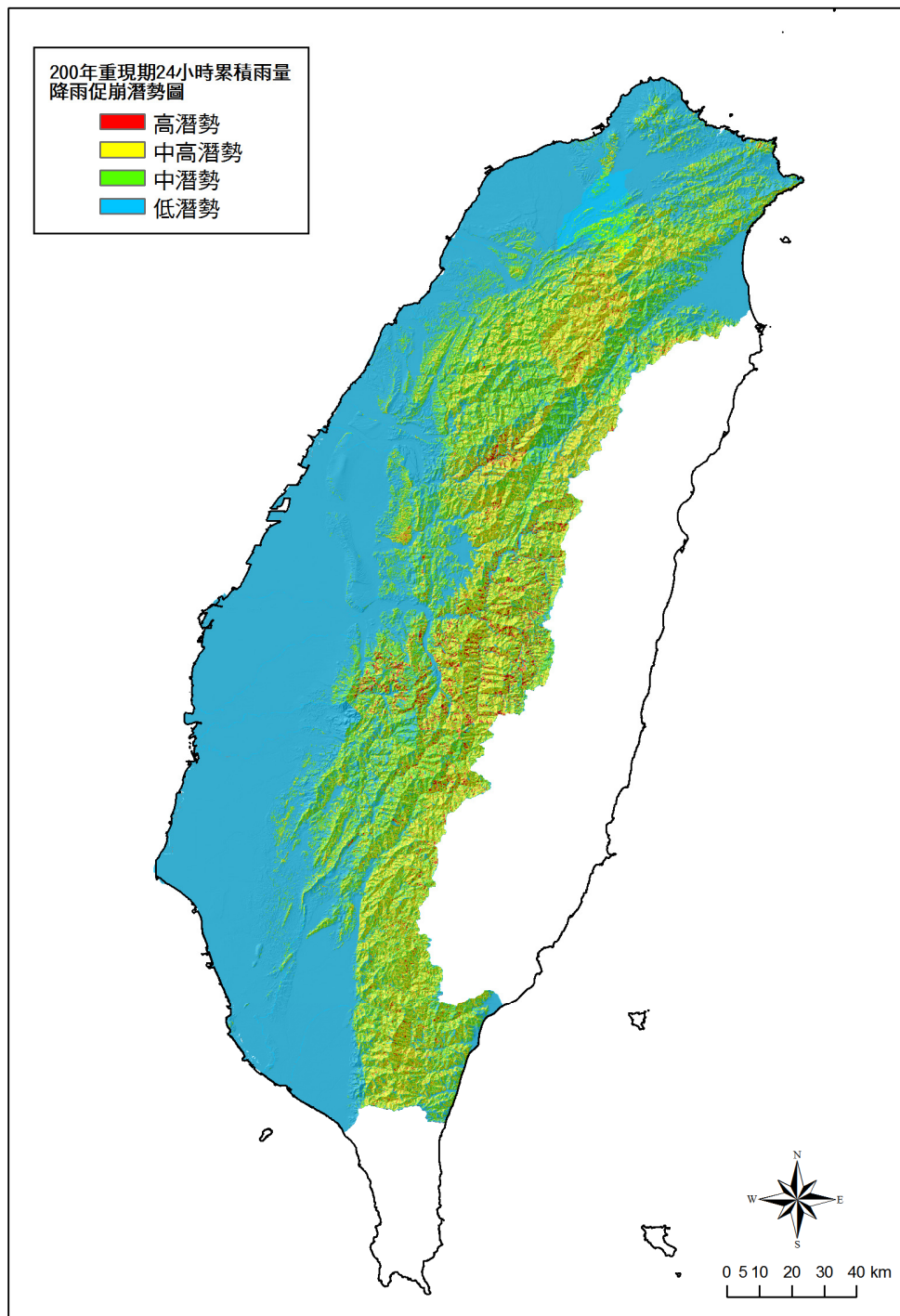


圖 4 研究範圍之降雨促崩潛勢分布 (200 年重現期 24 小時累積雨量)

### 1. 流域差異探討

另比較各流域山崩高潛勢區域占該流域總面積之比例關係 (如圖 5 所示)。截至目前研究範圍之成果顯示，台灣山區山崩高潛勢區域以濁水溪、大漢溪及大甲溪等流域所占比例較高。此外，知本溪、高屏溪流域之高潛勢區域所占比率亦相對較大，此結果在莫拉克颱風事件亦獲得驗證。

需特別說明的，此結果並未對各流域之坡地面積作正規化權重調整，亦即各流域坡地面積比例不相同，並未對山坡地面積作正規化處理。此種呈現方式較能凸顯各流域發生土砂災害時，所可能產生的土砂量體對該流域整體所造成影響的嚴重程度，亦即提醒該流域之相關業管單位更需備妥相關減災及保全對策因應。

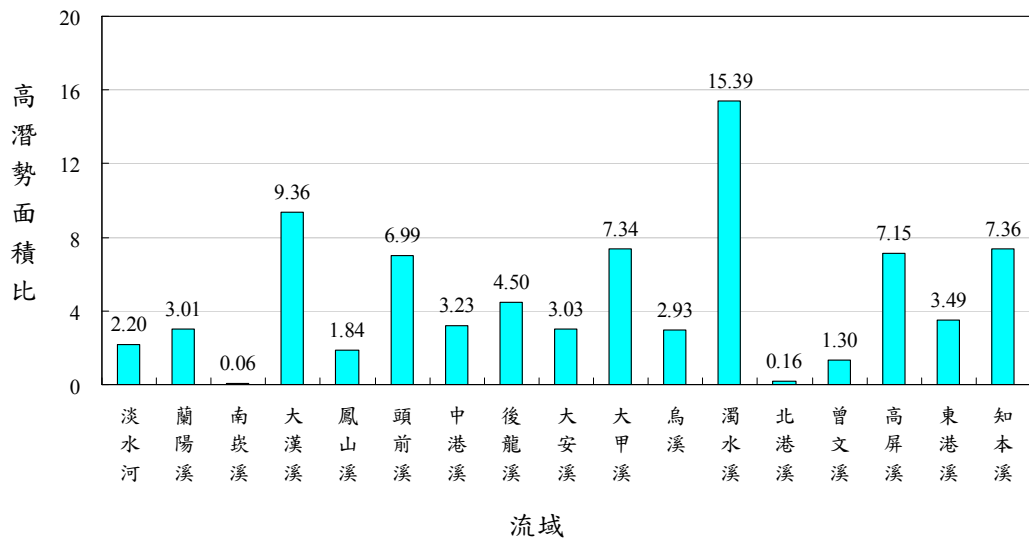
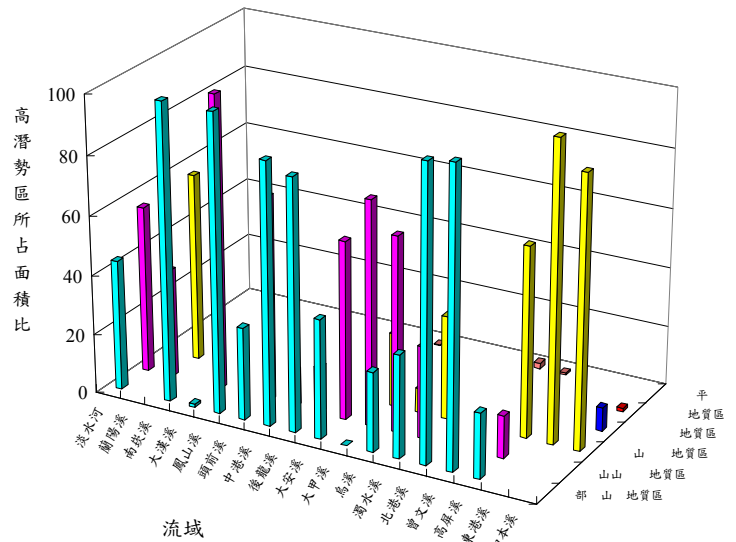
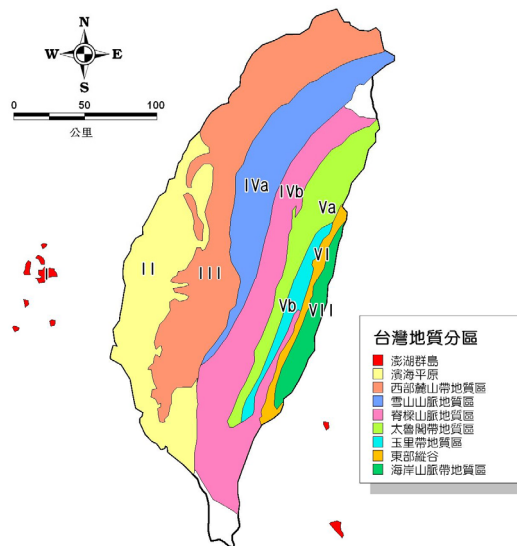


圖 5 各流域山崩高潛勢區域占流域總面積之比率

### 2. 地質分區差異探討

由於台灣地質條件相當複雜多變，各流域數個地層單元。為方便呈現崩塌與地層特性之關係，本文採何 (1986) 建立之個地質分區本進行統計，以呈現高山崩潛勢區域於不同地質分區之分布差異。

圖 6 為各流域範圍內各地質分區之高潛勢面積占流域內所有高潛勢面積之比例。初步獲知中央山側之北部流域上游，以部山地質區之高潛勢面積比最高；中部流域則以山山地質區高潛勢面積比較高；南部流域則以部山地質區較高；南部流域則以山地質區較高。其中，以濁水溪流域部山、山山及山三個地質區，其高潛勢區域分布較為平均。



(a) 台灣地質分區 (何，1986) (b) 各流域不同地質分區之高潛勢區域面積比

圖 6 不同地質分區之山崩高潛勢區域所占面積比率之比較

### 3. 坡度差異探討

進一步針對各流域之地形坡度進行分析，各流域內高潛勢區域之坡度分布如圖 7 所示。結果顯示最易發生岩屑崩滑型山崩多集中在 30~45 度邊坡 ( 坡)，其次為 23~29 度邊坡 ( 坡)。

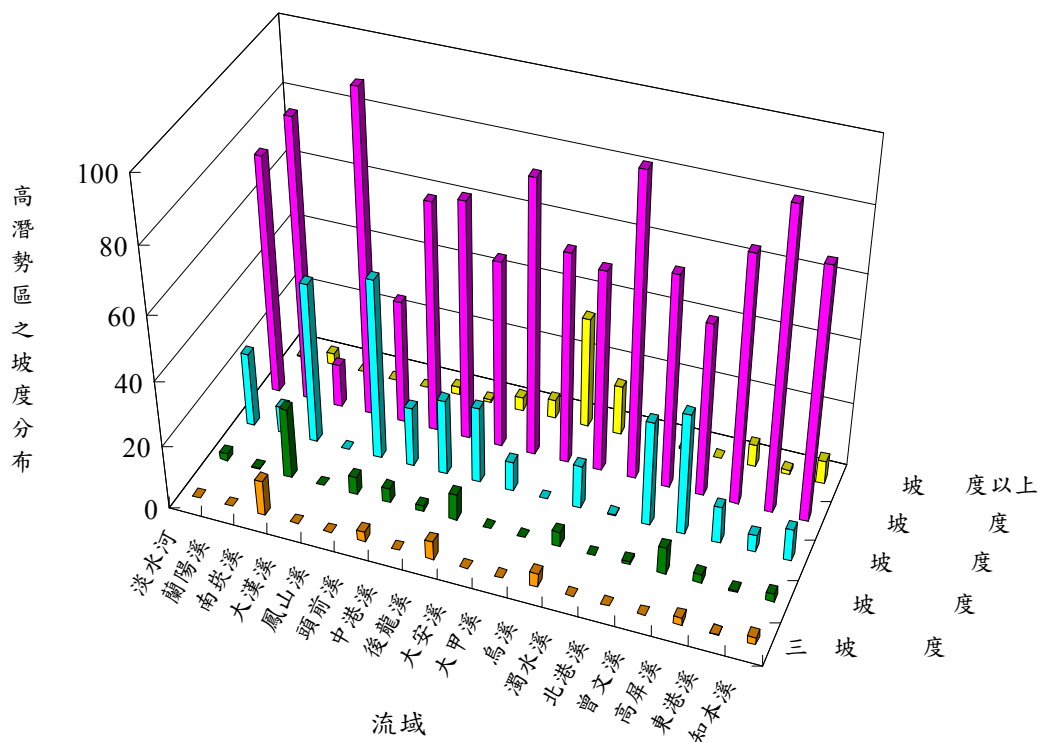


圖 7 各流域山崩高潛勢區域之坡度分布

#### 4. 地層差異探討

進一步針對各流域之地層特性進行分析，各流域高潛勢區域之主要分布地層整理如表 1 所示。表中，地層占流域面積比係該地層在流域內之分布面積占流域總面積之比例；至於高潛勢相對面積比則該地層之高潛勢區域面積占該流域內所有高潛勢區域總面積之比例。

表 1 各流域山崩高潛勢區域之主要分布地層及相對面積比

| 流域  | 高潛勢區域<br>主要分布地層 | 地層占流域面積比 | 高潛勢相對面積比 |
|-----|-----------------|----------|----------|
| 淡水河 | 層               | 6.29     | 27.03    |
| 蘭陽溪 | 山層清水            | 24.77    | 50.32    |
| 大漢溪 | 層               | 36.77    | 51.25    |
| 鳳山溪 | 大 岩             | 18.39    | 39.05    |
| 頭前溪 | 層               | 29.23    | 40.76    |
| 中港溪 | 石 層             | 7.28     | 23.20    |
| 後龍溪 | 南 層             | 19.16    | 18.51    |
| 大安溪 | 層               | 30.56    | 40.85    |
| 大甲溪 | 層中              | 18.15    | 37.07    |
| 烏 溪 | 層               | 8.68     | 28.46    |
| 濁水溪 | 大 層             | 10.56    | 16.47    |
| 北港溪 | 頭 山層 山          | 6.51     | 75.07    |
| 曾文溪 | 山砂岩             | 3.74     | 16.42    |
| 高屏溪 | 層               | 22.71    | 33.60    |
| 東港溪 | 層               | 28.13    | 90.25    |
| 知本溪 | 層               | 79.16    | 82.65    |

#### (三) 流域降雨促崩成果之預警應用

應用上述流域降雨促崩調查成果及分析模式，可評估各流域集水區在不同降雨條件下之崩塌潛勢及其空間分布。若進一步路線或重要位置圖層，即可研判要或重要之岩屑崩滑型山崩潛勢等，並選具高崩塌潛勢之危進行細部評估，提因應以災、減災之。

由於本年度計畫範圍截至目前為並未有實破例，故以下列舉本年度研究範圍之調查範圍為例，說明前述流域降雨促崩成果之應用形。

調查範圍位於路公，台18線山公路56~57公處過其上邊坡，代表位置之二度分TWD97標為(215705, 2592611)，接近路與山的界。初步之調查範圍440公尺，720公尺，面積31.7公。保全對象地區之果、等以及上邊坡之台18線山公路。圖8為曾文溪流域降雨促崩潛勢評估結果，並大至地區(自圖4)。範圍內具有高潛勢及中高潛勢範圍。莫拉克颱風後，地區亦多處崩塌(圖9)。之降雨促崩潛勢分析成果在莫拉克颱風事件中可獲初步驗證。



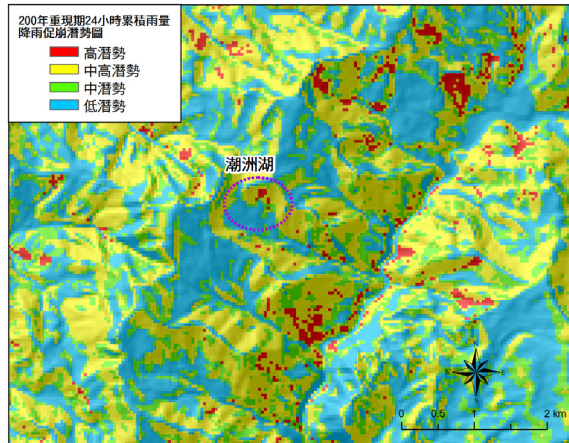


圖 8 地區降雨促崩潛勢分布圖



圖 9 地區莫拉克颱風引發之山崩

### 、小尺度降雨 發崩塌潛勢評估

經由上述大尺度降雨促崩潛勢評估成果 (如圖4所示) 重要公共設施、重要或山區等保全對象之地理位置後，可選具較高崩塌潛勢之危險區域 (如圖8所示)。針對該特定區域可再進行進一步水文地質細部調查，並建立更細的數值模型以進行小尺度模式分析，以細部評估邊坡因降雨入滲引致地下水水位變動，進而導致邊坡變形或產生滑動之行為。

以下則舉本年度進行調查與監測之南勢調查範圍為例，說明小尺度降雨發山崩模式分析之應用情形。

#### (一) 概述

南勢調查範圍位於台南甲區大，道174線50K+650處，本計畫畫之調查範圍含道174線的路面、公路上邊坡以及公路下邊坡，如圖10所示。公路總局工處 (2006) 調查報告此道路自1980年開闢後，歷年來每遇颱風豪雨，常有路面嚴重下陷及上下邊坡滑動之情形，自1986年起即開始產生明顯路基下滑動現象，至今經略統計災害達10次以上，投入之人力及經費難以估量。多年來路基、邊坡、土、路線變更及2000年作土、基、預力岩、水平水管及集水井等大規模整治工法保固路基，均未能達到穩定路基成效，至今仍持續地層滑動。管理單位正積極辦理治理規劃及設計，本計畫研究成果除易淹水整體計畫需求外，可提供治理規劃與設計之補地質鑽探調查、治理前水位及變形監測數據等成果，發極大貢獻，圖10為前期計畫及本計畫鑽探位置圖。

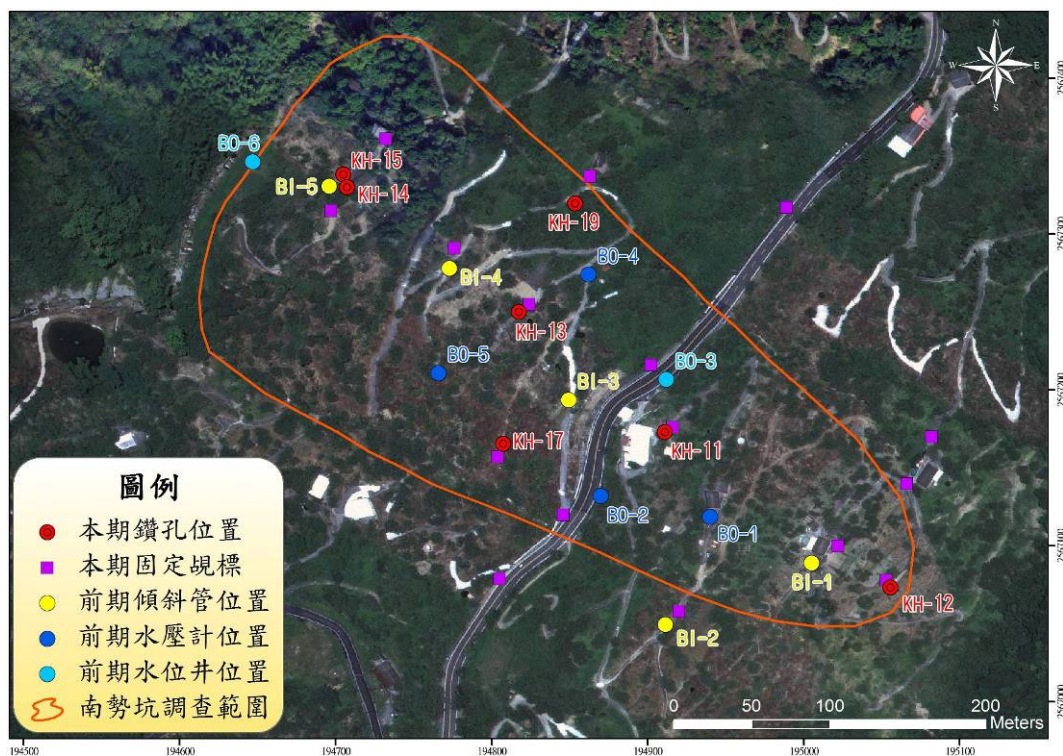


圖10 南勢調查範圍及歷年鑽探置圖

## (二) 地形及地質概述

南勢 調查範圍位於 烏山 山列的 側山 ， 側為南勢 溪上游河  
，地勢東南高 北低，坡面 向 北方，平均坡度 20度， 高度範圍自  
140m至330 m。調查範圍 地層屬於第三 上 世 期到第 更 世 期  
的 重溪層，岩性以厚層 岩、砂質或 砂質 岩為主。本區域地層之主要層  
面位態 為N15°E/41°E，與坡面面向 (N40°W/N) 大體呈 向坡。由區域地質  
圖 (圖11) 可知調查範圍東側以烏山頭斷層為不整合面與中 世 期之  
山砂岩相 ， 側則為中 斷層， 均為 斷層且呈東北 南 向。



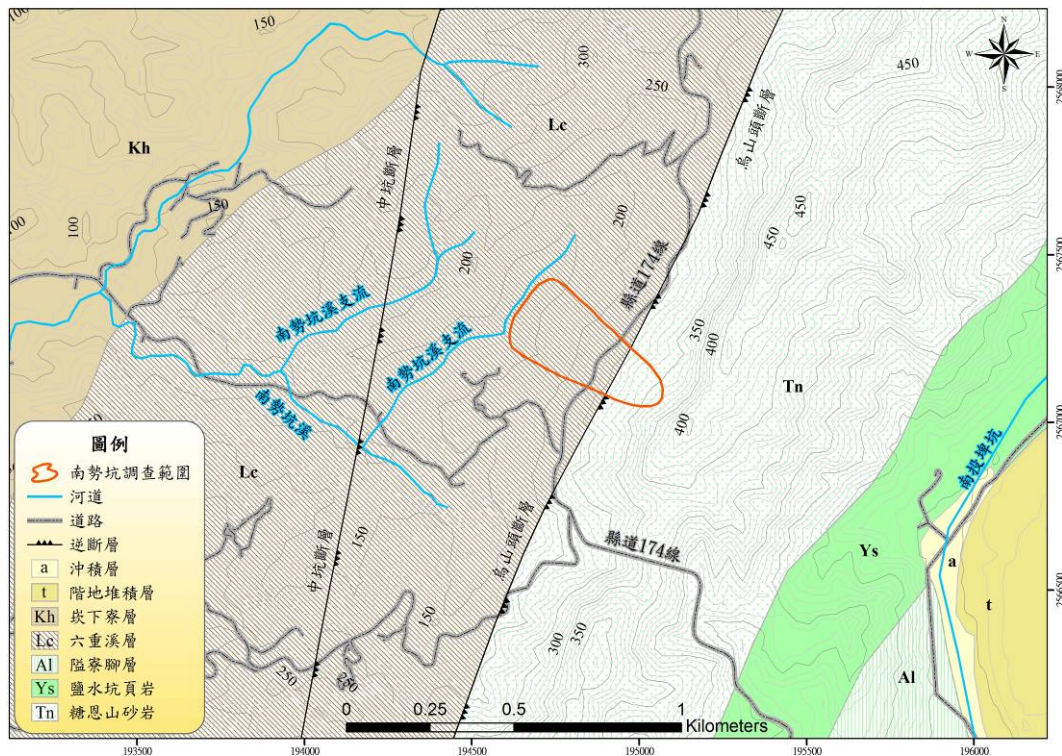


圖11 南勢 調查範圍區域地質圖

### (三) 現地調查及監測成果

本計畫於南勢 調查範圍執行一系列之現地調查與監測工作，調查工作含有地表地質調查、地質鑽探（計5孔，鑽探總進尺 350 m）、 入滲試驗、地 影 探測、孔內水文地質調查（含孔內 影、水力試驗、 井測、地下水流 等）、室內土壤與岩石力學試驗等，相關成果用於建置水文地質概念模型及數值模擬；此外，同步於此地區進行降雨量、地下水位、地中變形及地表變形等監測工作，相關 置如圖12所示。

監測期間（2011/7/1 今）因7月中、下 累積 過300 mm的 雨勢，導致 道174線下邊坡區域產生50至250 mm不等之滑 量，而 道174線上邊坡區域 少於10 mm。此滑 量導致KH-15 觀測管於地表下5~6 m處 地層 而剪斷，無法持續量測地中變形。本計畫團隊為獲 更多變形資料，於同年9月6 成 鑽孔KH-14持續監測 今。由圖13的地中變形量測成果可發現KH-11、KH-13及KH-14 觀測管分別於地表下 5 m、26 m及9.5 m處具有較明顯的滑動面。水文觀測部分， 整 南 颱風降雨歷線，監測 今之單 最大降雨發生於南 颱風期間（8月30 單 降雨量為138 mm），導致KH-11及KH-15觀測井水位分別 0.8及8.4 m，顯示 道174線下邊坡水位 幅度較大，證實下邊坡變形潛勢與水位變化具有 關聯性。

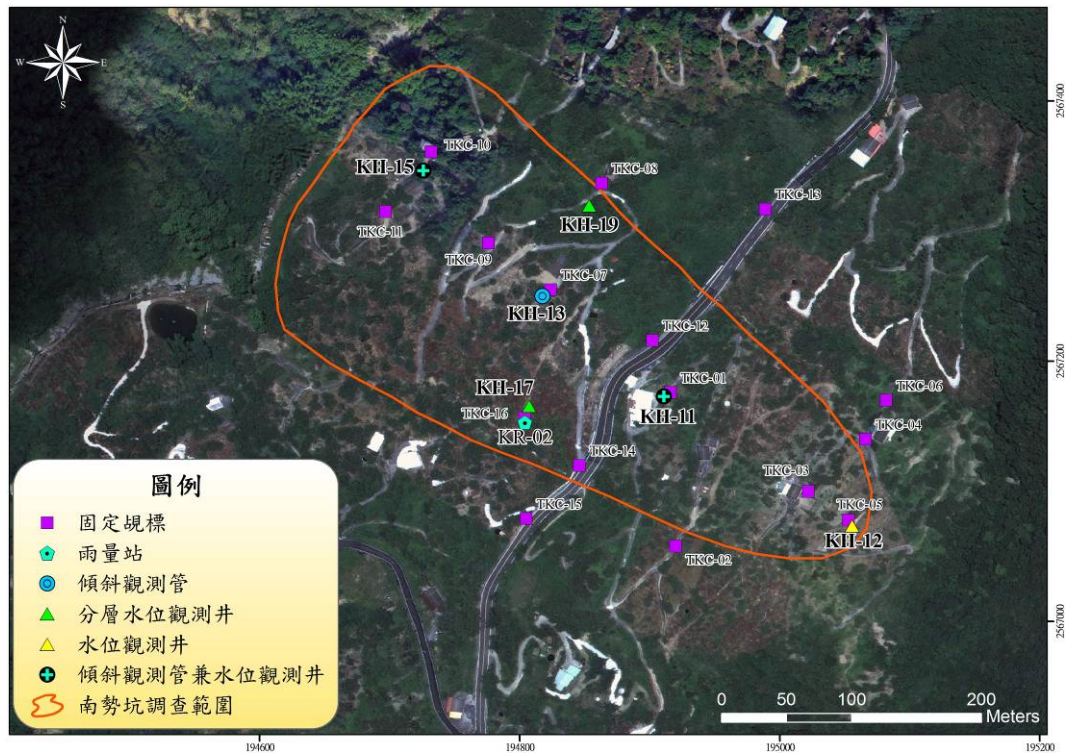


圖12 南勢 調查範圍監測 布置圖 (影 年 : 2010)

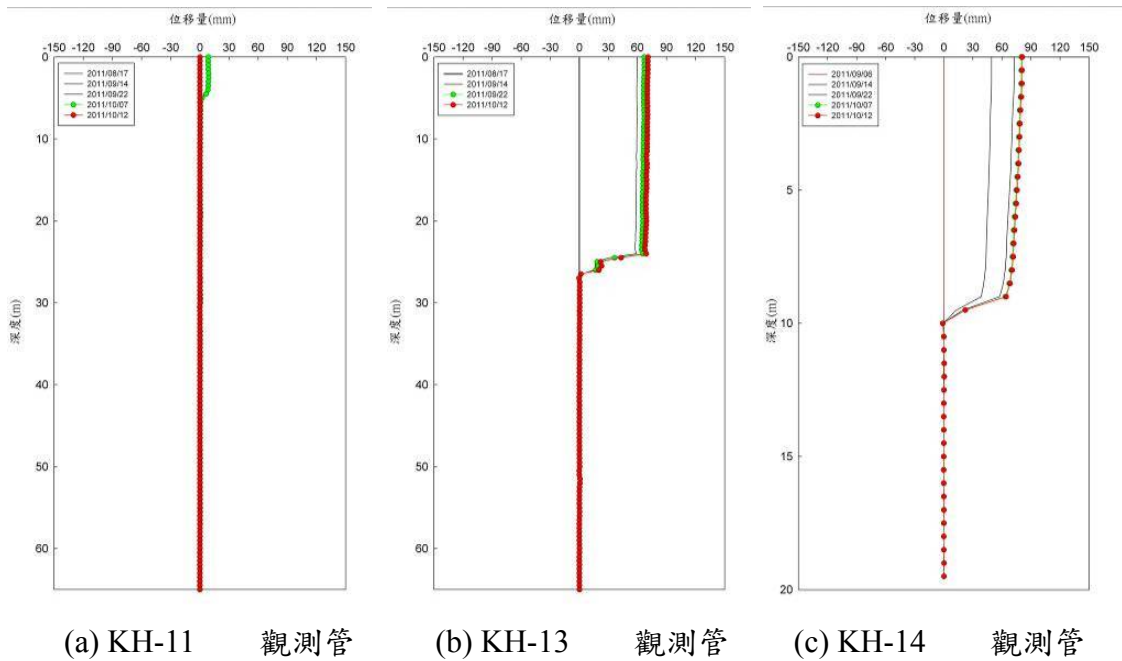


圖13 南勢 調查範圍地中變形量測成果

### ( ) 水文地質概念模型

南勢 調查範圍的數值地形係採5m 5m DEM數值資料建置而成，此分析面始自烏山頭斷層線經KH-12、KH-11、KH-13、KH-15等鑽孔至南勢 溪流溪 為 。透過Surfer或ArcGIS程式可建立分析 面的高程，再依 鑽孔岩 及現地調查成果 定各水文地質單元之地層 度及地下水位。研究區域之



水文地質單元可分為：(1) 崩積層、(2) 破碎岩層及(3) 基岩層等三層，其水文地質概念模型面如圖14所示。

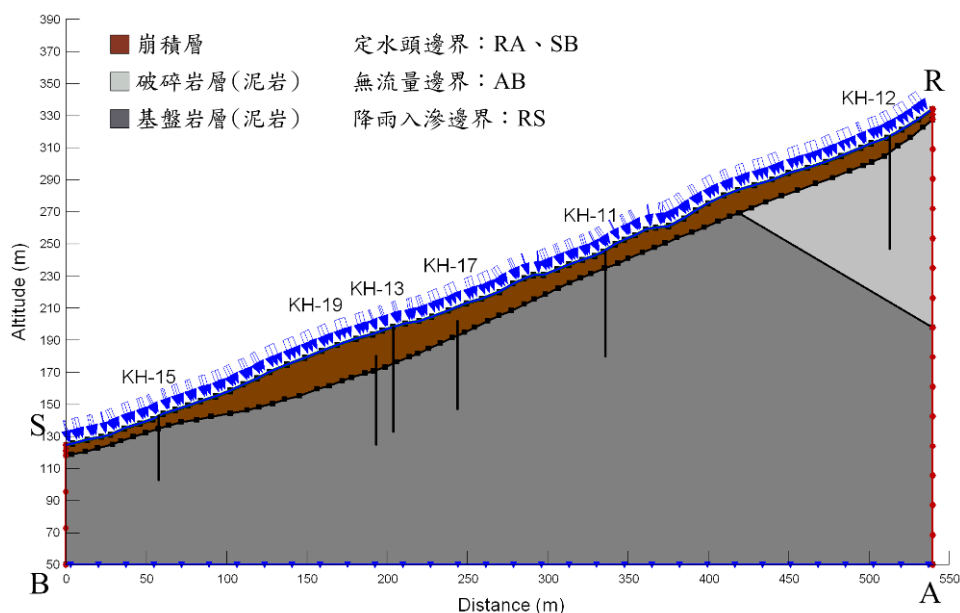


圖14 南勢 調查範圍水文地質概念模型 面圖

進行降雨入滲及滲流分析時，將側邊界 (RA)則設定為定水頭邊界，其值參考KH-12觀測井水位；側邊界 (SB)設定為定水頭邊界，其值等於坡處南勢溪流的水位高程；模型部 (AB) 設定為無流量邊界；坡面 (SR) 則設定為降雨入滲邊界。穩態滲流分析時係參考年平均雨量作設定，暫態滲流分析時則設定為設降雨條件或監測所得之降雨量。

#### ( ) 降雨 發崩塌潛勢評估及驗證

為說明及驗證本計畫所採分析模式之程及用性，本計畫採2011/7/1至2011/10/11間之現地監測資料進行分析與驗證 (南 颱風事件)，降雨資料如圖15(a)所示。圖15(b)為KH-15觀測井水位，監測資料顯示水位觀測井建置後水位於地表下13~14 m間 (設定為常時水位)；圖15(c)為KH-19觀測井水位，監測資料顯示南 颱風前之地下水位於地表下13.8 m (設定為常時水位)。圖15(b)分析成果顯示模擬水位與監測水位相當一致，而圖15(c)分析成果顯示模擬水位變化幅度小於監測水位。整體而言，本模式已可良好應南 颱風期間之水位變化。

圖15(d)為將前述不同時下水位變動所得的邊坡穩定分析成果，由圖15(d)可知南勢 調查範圍於颱風前之常時安全係數為1.38，其最小安全係數之滑動體位於道174線及下邊坡區域 (KH-13及KH-15鑽孔) 且滑動大體著崩積層部 (詳圖16)，其度與各觀測管量測成果相合。綜合研判南勢 調查範圍常時處於相對穩定態，惟仍低於常時安全係數高於1.5之要求，需持續注。南 颱風造成南勢 調查範圍地下水，惟



其 幅度對滑動 影響不大，其安全係數略降至1.35，如圖17所示。

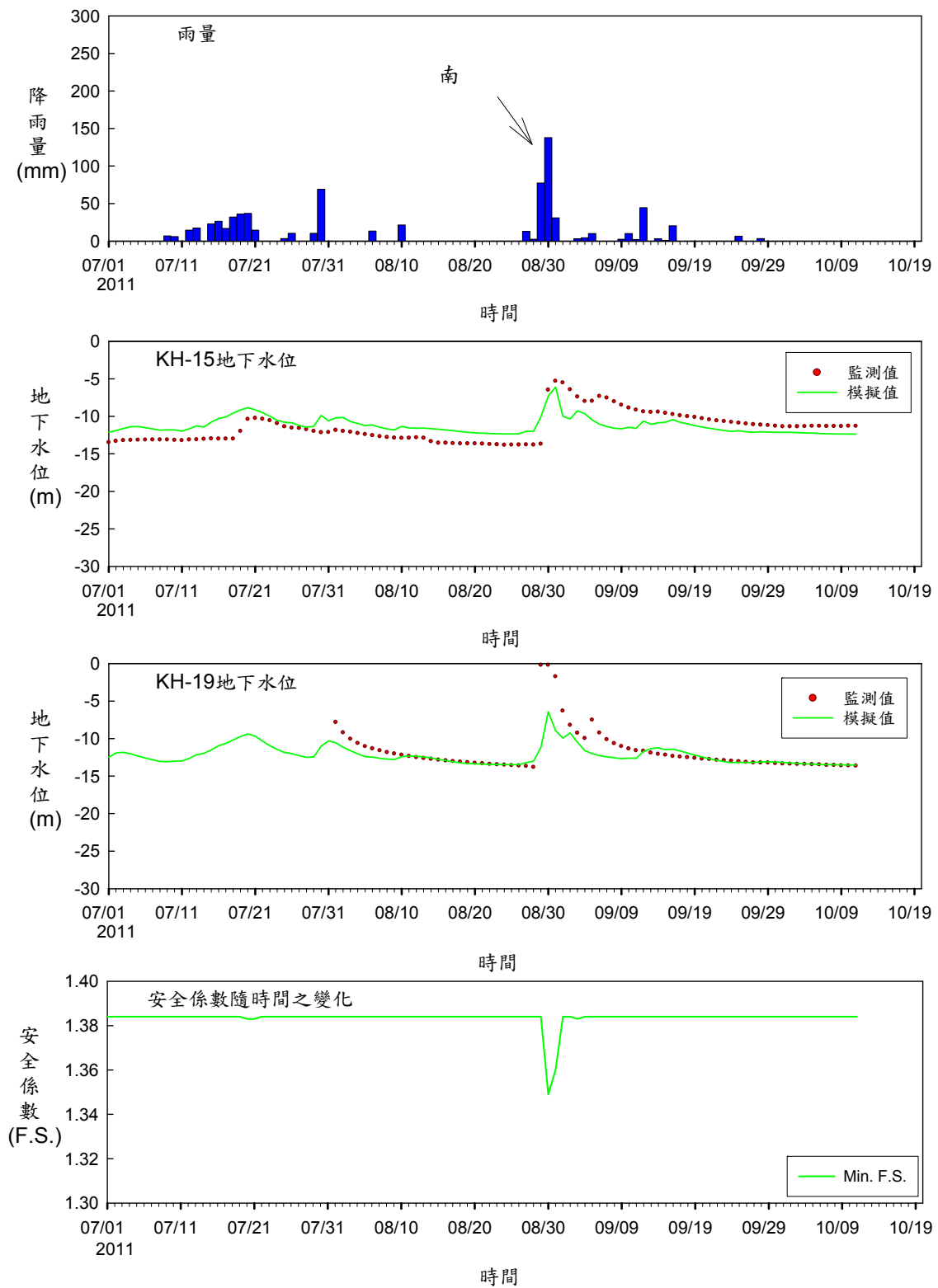


圖15 南勢 調查範圍降雨 發崩塌潛勢評估成果

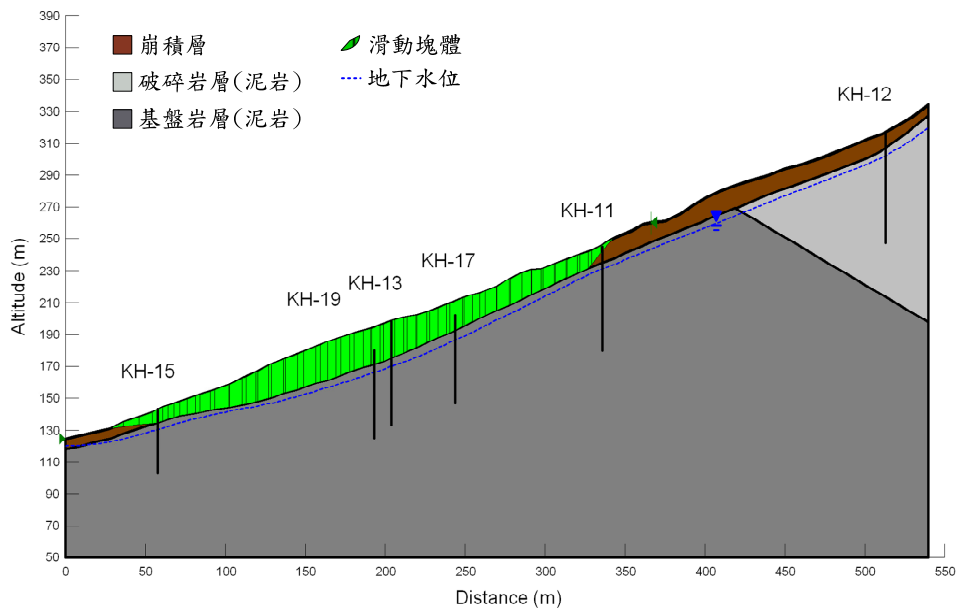


圖16 南勢 調查範圍於常時水位之穩定性評估

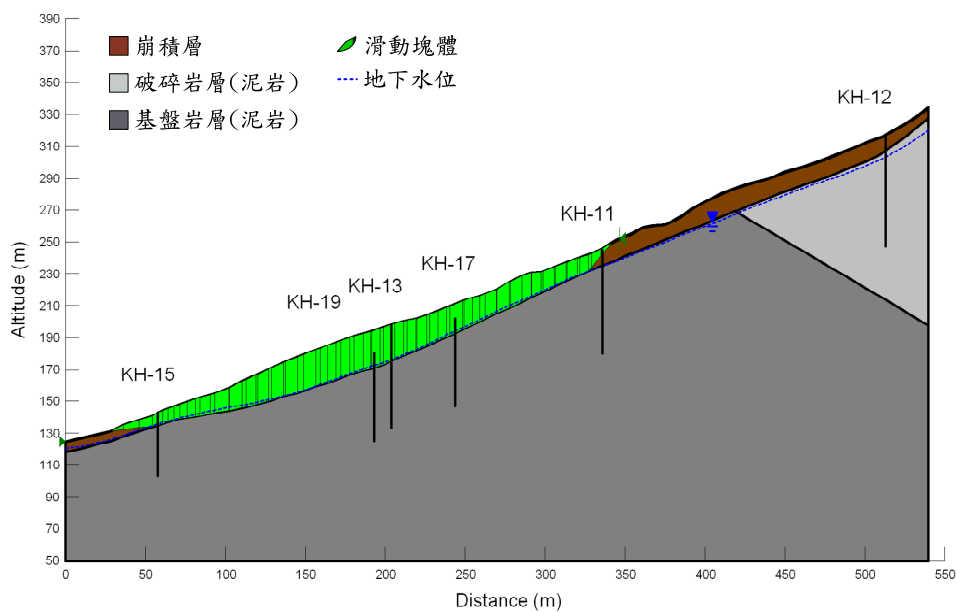


圖17 南勢 調查範圍於南 颱風期間之穩定性評估

### (三) 水文地質關聯性研究

成分析模式的初步率定與驗證後，本計畫進而探討不同降雨條件對崩塌地安全性之關聯性分析，其成果可應用於當預估特定降雨事件（如颱風或豪雨）之總降雨量後，可地由關聯圖表估降雨事件期間之安全係數變化。分析採用之設計雨型係集雨量（號：C10920）自1989年至2010年之雨量資料，採用位法計其設計雨型，並透過降雨率分析所得各重現期降雨量（詳表2），本計畫以72小時降雨延時為例進行說明。

表2 雨量 各重現期降雨量分析結果 (單位：mm)

| 重現期<br>降雨延時 | 1.01 年 | 2 年 | 5 年 | 10 年 | 20 年 | 50 年 | 100 年 |
|-------------|--------|-----|-----|------|------|------|-------|
| 72 小時       | 205    | 409 | 631 | 824  | 1050 | 1413 | 1750  |

用表2中各降雨強度條件雨量進行邊坡穩定分析，即可 南勢 調查範圍於不同降雨事件預估總雨量時之安全係數變化，如圖18所示。由圖18可知當72小時降雨延時且總雨量高於 465 mm後，其安全係數將降低至1.10以下，即已低於暴雨時安全係數要高於1.10的規定，顯示南勢 調查範圍於此條件下即呈現不穩定 態，易受降雨導致邊坡產生變形之現象。

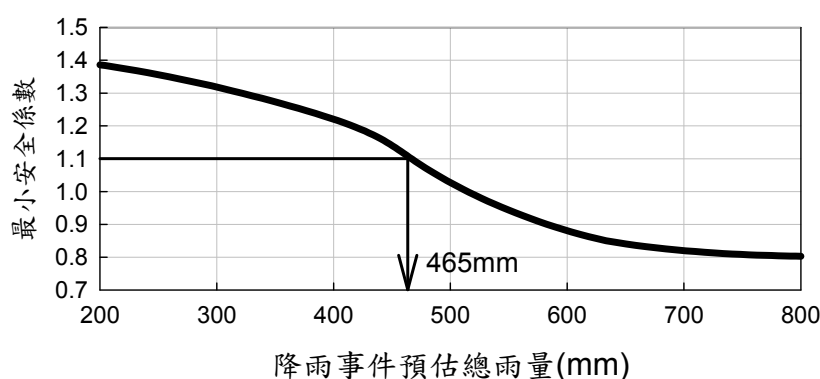


圖18 南勢 調查範圍安全係數與降雨量關聯性分析成果

## 、結論與建

根據前述研究成果可歸 以下結論與建：

1. 本研究分年度針對不同流域山區進行一系列地質及水文因子對坡地穩定性影響之調查評估工作，目前 明、後年的 東地區即可 成全台灣所有主要流域範圍之調查與評估工作，特別是獲 流域上游集水區內相關地質與水文參數，成果豐碩，可提供各界參考 用。
2. 本文採TRIGRS程式進行大尺度降雨促崩潛勢評估，透過多 降雨促崩事件進行模式率定與驗證，其山崩正 率 可 70%以上。另舉本年度 地區之實 分析 例驗證，顯示模式具良好的成 。
3. 本文另採GeoStudio程式進行小尺度降雨 發崩塌潛勢評估，探討各項地質及水文因子對坡地穩定性之影響。透過南勢 調查及監測 例驗證此模式能有 評估邊坡內地下水位及安全係數隨南 颱風降雨歷時之變化，並針對該區域進行降雨與崩塌潛勢之關聯性評估， 估該區域之山崩 界雨量。
4. 本研究成果後續可結合即時預報雨量，應用於 選 特定降雨條件下具高崩塌潛勢之 要 及危 ，並可進一步模擬該區域邊坡因降雨入滲引致地下水位變動進而導致邊坡位 或滑動之行為。模式分析所獲得



之 界雨量及變形量值亦可提供相關單位於後續擬訂相關準則或整治設計時之參考。

5. 本文所建 之定率式模式，目前針對河 引致上方邊坡崩塌此 複合型山崩 無法有 模擬，仍有待後續進一步 討 。

經濟部中央地質調查所提供計畫經費及 得使本文  
成，特此 。對於工作期間提供 的相關單位及中興工程顧問社工作同  
，亦一 位之 與 力。

## 參考文獻

1. 財團法人中興工程顧問社 (2007-2011)，易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置(第1期96年度至第3期100年度) 集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫，計畫成果報告，經濟部中央地質調查所研究報告。
2. 譚志豪、 、 、費立沅 (2011)，「集水區降雨促崩潛勢分析」，地工，第129期，第77-88 。
3. 譚志豪、陳 、 (2009)，「以定率法評估集水區山崩 界雨量」，中興工程季，第105期，第5-16 。
4. 譚志豪、鍾明劍、 、蘇泰維、陳勉銘、費立沅 (2009)，「流域水文地質特性調查及降雨 發山崩模式分析」，2009流域地質與坡地災害研討 。
5. 鍾明劍、 山、 成、 、蘇泰維、 發、費立沅 (2009)，「颱風引致山崩之調查、監測與模式分析」，2009流域地質與坡地災害研討，台北。
6. 費立沅 (2009)，「台灣坡地災害與地質 區的關係」，地質，第二，第一期，第16~22 。
7. Baum, R. L., Savage, W. Z., and Godt J. W. (2002), "TRIGRS - A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-stability Analysis", U.S. Geological Survey Open-File Report 02-0424.
8. Iverson, R. M. (2000), "Landslide Triggering by Rain Infiltration", Water Resour Res., 36(7), pp. 1897-1910.
9. GEO-SLOPE International Ltd. (2007), Seepage Modeling with SEEP/W 2007: An Engineering Methodology, User's Guide.
10. GEO-SLOPE International Ltd. (2007), Stability Modeling with SLOPE/W 2007: An Engineering Methodology, User's Guide.
11. Salciarini, D., Godt, J. W., Savage, W. Z., Conversini, P., Baum, R. L., and Michael, J. A. (2006), "Modeling Regional Initiation of Rainfall-induced Shallow Landslides in the Eastern Umbria Region of Central Italy", Landslides, 3, pp. 181-194.

