97-12-7300
MOTC-IOT-96-H1DB010

山區道路坡地災害防治技術整合研究 (1/4)

交 通 部 運 輸 研 究 所

中華民國 97 年 3 月

97-12-7300
MOTC-IOT-96-H1DB010

山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

著者：蘇吉立、廖洪鈞、陳天健、何應璋
卿建業、魏佳韻、陳韋志

交通部運輸研究所
中華民國 97 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

山區道路坡地災害防治技術整合研究.（1/4）/
蘇吉立等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部
運研所, 民97.03
面 ; 公分
參考書目:面
ISBN 978-986-01-3805-4(平裝)

1. 防災工程 2. 坡地開發

445.5 97006160

山區道路坡地災害防治技術整合研究 (1/4)

著　　者：蘇吉立、廖洪鈞、陳天健、何應璋、卿建業、魏佳韻、陳韋志
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04) 26587176
出版年月：中華民國 97 年 3 月
印 刷 者：承亞興企業有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價： 300 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
五南文化廣場：臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009700708　　ISBN：978-986-01-3805-4（平裝）

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究（1/4）</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-01-3805-4(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1009700708</td><td>運輸研究所出版品編號
97-12-7300</td><td>計畫編號
96-H1DB010</td></tr>
<tr><td colspan="2">本所主辦單位：港研中心
主管：邱永芳
計畫主持人：蘇吉立
研究人員：蘇吉立
參與人員：陳毓清
聯絡電話：04-26587114
傳真號碼：04-26564418</td><td colspan="2">合作研究單位：國立臺灣科技大學生態與防災工程研究中心
計畫主持人：廖洪鈞
研究人員：陳天健、何應璋、卿建業
魏佳韻、陳韋志
地址：臺北市基隆路 4 段 43 號
聯絡電話：02-2727-6583</td><td>研究期間
自 96 年 01 月
至 96 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：防治技術、預警系統、降雨量</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：
為確保整合之效果，山區道路邊坡災害之防治必須對事前之防範、災中之應變和災後之復建工作，加以有系統地整合，方能降低坡地災害之發生機率，減少對用路人生命財產之威脅。

有鑑於此，本案將延續交通部運輸研究所過去之道路坡地防災研究成果，分四年期，分別對台 18、台 21、台 8、台 16 和台 9 線等山區道路進行以下研究工作：道路邊坡崩塌判定和預警基準值研擬、擴充既有道路邊坡管理系統（SMS）之資料庫、建立區域性之道路邊坡崩塌機率之評估模式，以及建立預估崩塌土方量和降雨引致邊坡崩塌時間之預測模式等，最後將前述之研究成果編定成淺顯易懂之作業手冊，供現場工程人員參考，以落實本研究成果於山區道路邊坡之維護工作上，提昇臺灣山區道路之維護管理效率與防災整合技術。</td></tr>
</table>

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
97 年 3 月	240	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：

□密□機密 □極機密 □絕對機密

（解密條件：□　年　月　日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，

□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）

■普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Integrated Study on Remedial Measures for Slopes along Mountain Roads (1/4)

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN978-986-01-3805-4 (pbk)	1009700708	97-12-7300	96-H1DB010

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Su Ch-Li
PROJECT STAFF: Su Ch-Li
PHONE: (04) 26587114
FAX: (04) 26564418

PROJECT PERIOD
FROM January 2007
TO December 2007

RESEARCH AGENCY: National Taiwan University of Science and Technology
Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Liao Hung-Jiun
PROJECT STAFF: Chen T. C., Ho Y. C., Ching J., Wei C. Y., Chen W. C.
ADDRESS: 43, Keelung Road, Section 4, Taipei, Taiwan
PHONE: (02) 27376583

KEY WORDS: Remedial Measures, Pre-warning System,Rainfall

ABSTRACT:

To enhance the effectiveness of slope protection practice, the measures taken at different stages of slope management need to be systematically integrated, including: evaluating the failure probability, monitoring the stability of the slope, keeping the road open to traffic during a roadside slope failure, and rehabilitating the long-term stability of the slope. Without such integration, the failure probability of road slopes and the threat to the traffic and persons during a landslide cannot be effectively reduced.

To do so, this four-year research project will follow the research, which has been done by the Institute of Transportation, MOTC. Some mountain roads will be chosen as the subjects of this research including: T-18, T-21, T-8, T-16, and T-9. The contents of the work will be covered as follows: 1. Propose slope failure criteria and warning values for slope stability. 2. Expand the slope management system database (SMS). 3. Establish failure probability models for slopes on different mountain roads. 4. Establish a model for estimating the volume of landslide debris. 5. Establish a model for estimating the failure time of rainfall-induced landslide. Finally, concise manuals of the above mentioned work items would be provided for the use of field engineers to carry out the slope protection work. After establishing the integrated remedial measures for the roadside slopes protection, the efficiency and effectiveness of slope maintenance will be significantly improved, and the safety of people and vehicles will be better secured, as well.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
March 2008	240	300	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

山區道路坡地災害防治技術整合研究（1/4）

目　錄

表目錄

圖目錄

第一章 緒論

道路建設佔我國交通工程建設之大宗，亦為國家重要施政項目，其所提供的服務品質對促進整體經濟成長、保障社會安全、提昇文化發展，甚至確保國防安全均有關鍵性的影響。然國內道路建設在過去多因考量地形之故，為維護人車安全而大量運用邊坡穩定工法，惟仍常因遭逢天然或人為災害而導致崩塌，造成情節不等之災害、交通服務水準降低，甚至道路癱瘓的情形發生，因此，實有必要針對道路邊坡崩塌發生機制、防治效益評估方法與應用之研究課題投入心力，藉以提昇防、救災作業之效能，並延展公路營運之服務年限，進而達成公路建設「永續經營」之政策。

有鑑於此，交通部在配合國家型防救災研究計畫執行之同時，於民國 89 年起至今，即有系統的規劃一系列「交通土木建設安全科技」相關領域之研究，期間除進行地質調查與自動化監測規劃工作、佈設先進光電式邊坡監測儀器進行本土式驗證、設置緊急即時衛星網路防災監視系統等相關之豐碩研究成果外，交通部運輸研究所亦於民國 94 年起逐步針對相關研究資源進行整合，目前已完成之初步成果包括：道路邊坡管理系統之建置、道路邊坡崩塌潛勢之分析與預測、道路邊坡崩塌防治對策與操作手冊等，並將整合研究之成果逐步落實移轉至工程基層單位，期望經由成果之落實應用，提昇臺灣山區道路之維護管理效能與防災技術。

除此之外，目前中央氣象局業已完成臺灣地區四座氣象雷達的佈設，再配合分佈於全臺的四百餘座氣象站，雨量預報之準確度已大為提高。本計畫於過去之相關研究中，認為要建立適合區域性之正確崩塌因應對策與系統，與更妥善掌握道路邊坡之狀況，應將進一步預測道路沿線邊坡崩塌機率之機制、氣象局之雨量預報，以及現地之雨量計進行點線面之結合，如此將可於颱風豪雨期間提供動態之區域性道路邊坡崩塌機率，並透過發佈預警通報，提高道路養護單位防救災效率和維修資訊。

因此，期擬透過本四年期研究案件之執行成果，除能將相關研究資

源透過整合，實際落實應用至工程基層單位，達到提升臺灣山區道路之維護管理效能與防災技術外，更期透過適合區域性之正確崩塌因應對策與系統之建立，確實提高道路養護單位防救災之效率與建立完整之道路維修資訊系統。

本研究案件之主要目的，除了整合既有之相關研究資源，進而研發道路邊坡崩塌監測預警自動化系統、不斷提升邊坡整治技術能力、研提適合區域性之邊坡崩塌預測方式與可行之因應對策外，並將持續落實應用相關研究成果至工程基層單位。期望透過本研究案之執行，可以充分利用國內防救災方面現有之有限資源，搭配最適切之因應對策與有效之執行技術，確實將臺灣山區道路邊坡之崩塌災害減少之最低外，若能確實將此計畫之研究成果落實應用，將可大大地提升山區道路之管理效能，延展道路之服務年限，並期能達到維護國土保安與水土資源永續利用之目標。

本計畫整體研究共為期四年，第一年的研究理念主要為透過資料蒐集與現地調查作業，研提適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警基準之標準，並依據蒐集彙整來之道路邊坡相關資料，擴建既有之道路邊坡管理系統。本年度預期完成之工作項目如下所述：

1. **研提適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警基準之標準；**
2. **道路邊坡現地崩塌事件及相關資料之蒐集彙整、建置與分析；**
3. **道路邊坡致災因子（雨量、地下水）空間分析。**

第二、三年研究除延續前一年之研究成果，並期擬透過氣象局之雨量資料和現地之監測作業，研發道路邊坡崩塌之預警自動化系統，且選定一區域性道路為示範路段，進行相關成果驗證作業。97、98 年度預期完成之工作項目規劃如下所述：

1. **研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統；**
2. **持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析；**
3. **持續道路邊坡致災因子（雨量、地下水）空間分析；**

研究團隊因考量研究成果之完整性，除合約規定上述之三項內容外，特增列以下二項研究重點：

1. 建立崩塌土方量之預估模式；

2. 從降雨特性預測淺層邊坡滑動時間。

綜合前述三年期之計畫成果,除透過示範路段進行相關成果之驗證與編修作業外，並期擬將相關研究成果落實應用至工程基層單位，故針對第四年之研究重點規劃如下：

1. 編定道路邊坡安全監測與預警作業手冊；

2. 編定崩塌災害處理作業手冊；

3. 編定道路邊坡崩塌潛勢制定流程；

4. 建置全國道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫，架構於既有之道路邊坡管理系統下；

5. 持續充實道路邊坡管理系統之基本、工程、災損、監測、雨量與地下水等資料；

6. 辦理山區道路邊坡崩塌防治及監測預警研討會。

綜觀上述各年度規劃之研究重點可知,針對臺灣山區道路坡地災害防治進行技術整合研究，並編定「道路邊坡安全監測與預警作業手冊」、「崩塌災害處理作業手冊」與「道路邊坡崩塌潛勢制定流程」等研究成果，對於我國交通土木工程建設安全科技之提昇與強化具前導作用，面對意涵如此重要之研究課題，為期能有效達成計畫目標，以期有益於我國於二十一世紀初期於交通土木工程建設科技研發推動工作，本四年期之研究計畫執行內容與步驟均應深入思考，並做整體性之規劃考量。

縱合上述各年度之工作項目,研究團隊考量全國各山區道路皆有其特殊之自然環境、地質條件、水文特性、交通運輸、人文特性等條件因素，且其各特性因素對山區道路邊坡之穩定狀況皆有其影響之情況下，實在無法建置一套全國山區道路邊坡通用之道路邊坡崩塌監測預警自動化系統，以及適合各地區應用之邊坡崩塌預測方式與可行之因

應對策等。有鑑於此，研究團隊擬將整合歷年交通部相關部會委託辦理之山區道路坡地災害防治技術研究成果，並重新檢討其合理性與適用性，同時依循過去以省道臺 18 線（阿里山公路）為研究資源整合案例之相關經驗，持續應用此路段既有之相關監測資源，將此路段設立為臺灣山區之示範監測試驗道路，並期許在本研究案四年期執行期間，能陸續將研究成果應用於其他山區道路上，使確實將本研究成果落實至工程基層單位。

圖 1-1 所示為本研究團隊針對本研究計畫全期四年（96～99 年度）之規劃流程，係針對前述各年度之工作項目進行規劃。第一年規劃之執行步驟為先透過相關資料之蒐集彙整與現地調查作業，將相關資料予以建檔，並持續擴充至既有之道路邊坡管理系統，利用已建檔之相關資料，協助提擬適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警參考基準值。於計畫執行之第二、三年間，擬透過上述相關文獻與現地調查資料之蒐集彙整，並結合現地降雨量、土壤含水量與地下水位等監測工作執行，研發道路邊坡崩塌預警自動化系統；除此之外，將依據不同區域道路邊坡之崩塌模式，調整其輸入參數與數量，從現地降雨之特性預測其淺層滑動時間，並建立道路邊坡崩塌土方量之預測模式，最後，透過選定之研究對象進行相關成果之驗證作業，並依據驗證結果予以修正。在計畫執行之最後一年度，期擬透過「山區道路邊坡崩塌防治及監測預警研討會」之辦理，確實推廣本案編定之道路邊坡安全監測與預警作業手冊、崩塌災害處理作業手冊、道路邊坡崩塌潛勢制定流程，以及開發建置全國道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫系統等相關研究成果。

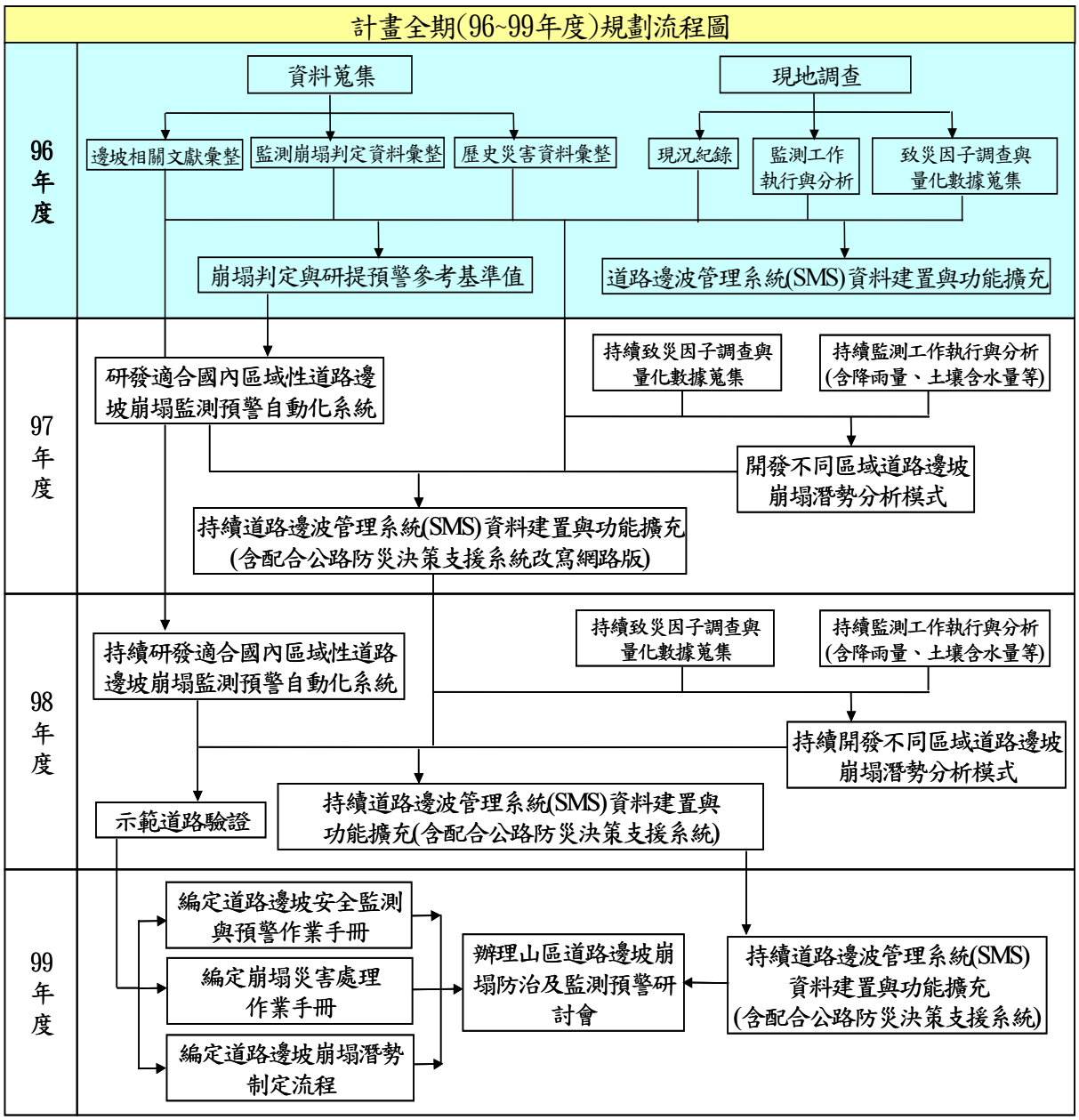


圖 1-1　研究流程圖

本計畫 96 年執行期限自 1 月 1 日起至 12 月 31 日止共計八個月期間，相關執行進度規劃如圖 1-2 所示。

工作項目	1-3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11-12月	備　註
1.研提適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警基準之標準	━	━	━	━	━					
1.1 蒐集彙整國內道路邊坡歷年研究成果之相關資料。	━	━	━							
1.2 蒐集彙整國外道路邊坡相關監測儀器之崩塌判定標準資料。		━	━	━						
1.3 國內外預警基準值制訂之差異分析，並提出適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警參考基準值。			━	━	━					
2.道路邊坡現地崩塌事件及相關資料之蒐集彙整、建置與分析		━	━	━	━	━	━	━		
2.1 選定歷史崩塌路段進行資料搜集與現地調查。		━	━	━	━	━	━	━		
2.2 蒐集彙整、分類與建置歷史崩塌事件與災害資料。			━	━	━	━	━	━	━	
2.3 將適當資料建置於既有之道路邊坡管理系統。		━	━	━	━	━	━	━		
3.道路邊坡致災因子（雨量、地下水）空間分析			━	━	━	━	━	━		
3.1 蒐集彙整近年來颱風豪雨期間於歷史崩塌路段沿線之降雨、地下水位、地質狀況與滑動面。			━	━	━	━	━	━		
3.2 於蒐集調查過之歷史崩塌路段選定適當路段適當補充觀測現地降雨量與地下水位資料。				━	━	━	━	━		
3.3 統計分析崩塌事件與雨量特性之關係、崩塌機率與現地降雨、地下水位之關係以及滑動面與現地降雨、地下水位之關係，藉以修正或開發不同區域道路邊坡崩塌潛勢分析既有模式或新模式。				━	━	━	━	━		
期中報告				※						
期末報告(含審查修訂)								※	━	
工作進度估計百分比(累積數)	15	25	35	55	70	85	90	100		
預定查核點	第 1 季：無									
	第 2 季：期中報告									
	第 3 季：期末報告									

說明:(1)工作項目請視計畫性質及需要或依研究計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。
(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。
(3)每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。

圖 1-2　本年度預定進度甘特圖

第二章 國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警基準之研提

道路建設為國家重要之基礎建設，經過多年努力，臺灣交通網已逐漸成型，然而於路工建設技術水準已有長足進步之際，道路安全管理繼公路建設後，儼然成為極為重要之課題。源於臺灣多山地，公路建設不可避免的常需穿越山坡地，部份道路邊坡遇大雨侵襲即產生坍方之問題，對於用路人行車安全構成極大之威脅，合宜地應用大地監測系統，為道路邊坡安全管理之重要參考依據。然因各危害地之崩塌機制皆不盡相同，故監測系統規劃亦應有不同之考量，為充分獲得監測規劃時所需之相關資料進行分析作業，本研究擬透過國內道路邊坡歷年研究成果與國外相關監測儀器之崩塌判定標準等相關資料彙整，並進行國內外預警基準值制訂之差異分析，進而研提適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警參考基準值。

2.1 歷年監測規劃與預警研究成果彙整

交通部自民國 91 年度起，分別委託國立交通大學、逢甲大學、國立臺灣科技大學，以及財團法人臺灣營建研究院進行先進邊坡監測系統研發、自動化傳輸系統之開發、邊坡崩塌防治最佳化，以及擋土構造物災損評估等研究，並已完成道路邊坡崩塌監測手冊之撰寫。除此之外，交通部整合上述研究資源，共同於省道臺 18 線阿里山公路沿線以及五彎仔路段，進行邊坡自動化監測、傳輸與預警，上述研究成果對於道路安全管理極具正面之意義。本節將彙整上述交通部委託計畫中相關監測規劃、預警之研究成果進行以下之說明。

監測規劃涵蓋不同專業領域之整合，專業人士之意見實屬重要，工程人員必須依照其規劃之特性與內容，諮詢專業顧問機構或學術機關之建議，以發揮預期之成效。監測系統規劃程序包括先期規劃與監測規劃：經由專業顧問機構或學術機關針對特定路段實施整體性之調查

與評估，提出監測先期規劃報告，工程人員可參考其建議，進行後續之監測規劃。工程人員可依照其對象與特性，參考下列要項之部份或全部程序進行規劃，然而對於委外事項，仍須具備相關程序之基本概念（監測規劃之流程詳見圖 2-1）。

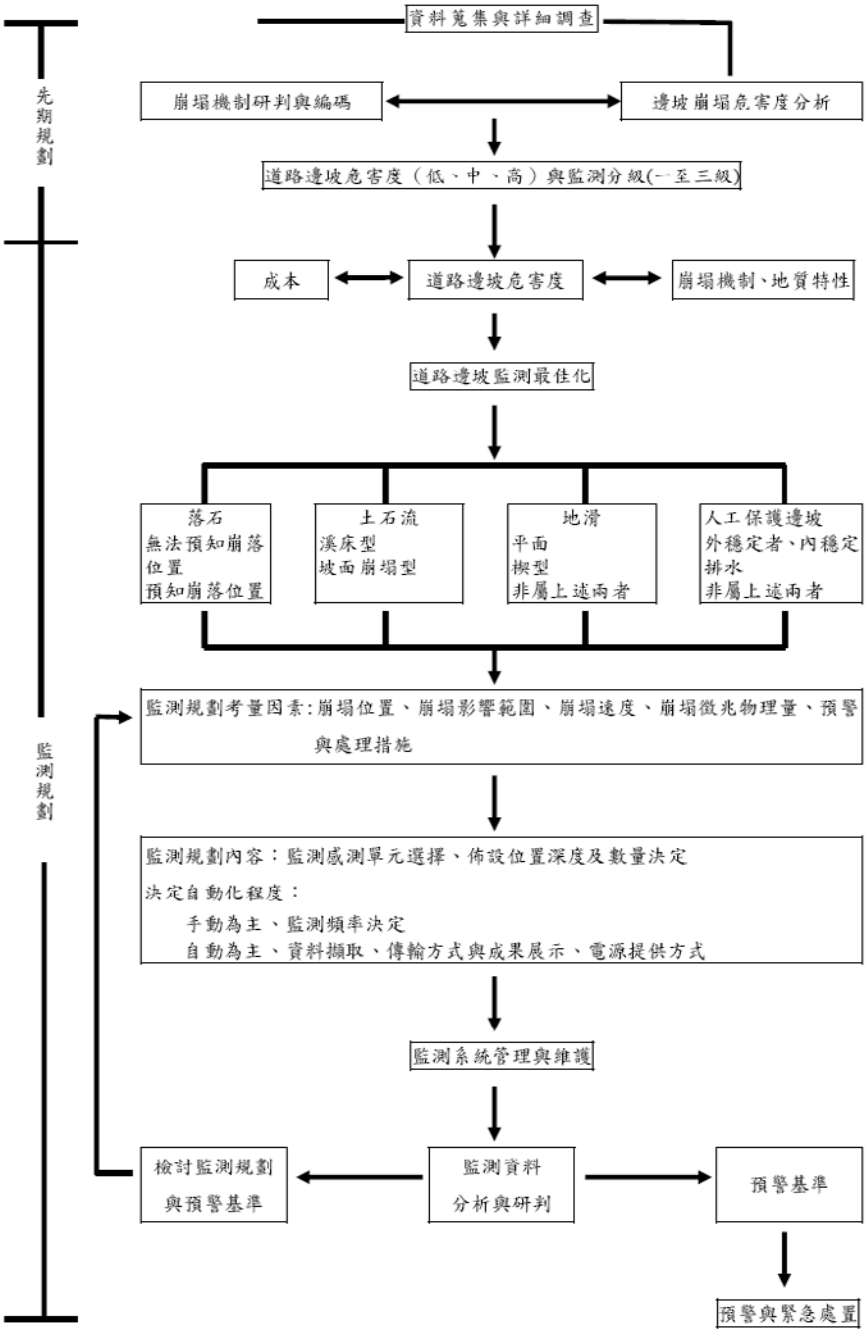


圖 2-1　監測規劃流程圖

不同崩塌機制監測物理量即有所不同，根據主要監測物理量之不同，道路邊坡監測物理量規劃分類如表 2-1 所示。

表 2-1　道路邊坡監測分類以及預警方法建議

項次	崩塌模式	材料破壞機制	監測徵兆物理量	感測器選擇	主要預警方法
I	落石	張力破壞為主，剪力破壞為次	岩塊墜落(位移、旋轉)、張力裂縫產生之聲射、降雨特性	位置確定危險浮石：傾斜計、伸張計、裂縫計、聲射感知器、位移影像放大盒、鋼索感知器、全測站經緯儀、攝影儀 位置不明確之落石：雨量計、攝影儀	位移與聲射變化率預警、臨界雨量線預警模式、事發後預警
II	土石流	流動至摩擦類型之剪力破壞為主	土石流運動(位移、流速)、土石堆積物孔隙水壓、運動時之聲射、降雨特性	事發前：雨量計、水壓計、聲射感知器 事發後：光遮斷感知器、鋼索感知器、旋轉感知器、加速度感知器、磁簧感知器 觀測：流速計、水位計、攝影儀	臨界雨量線預警模式、事發後預警
III	地滑	摩擦類型之剪力破壞為主，張力破壞為次	地滑運動(地表與地下位移與旋轉)、地下水位或水壓、降雨特性	地表位移：裂縫計(可用LVDT)、地滑計、地表傾斜計(僅適用於旋滑)、全測站經緯儀與反射菱鏡、3-D 紅外線掃描儀、DGPS、攝影儀 地下位移：伸張計、傾斜觀測管、管式應變計 地下水及雨量：水壓計、觀測井與雨量計	位移速率、降雨特性與地下水相互搭配解釋之綜合性預警模式、根據監測資料配合潛變模式進行即時崩塌時間預測與即時預警、事發後預警
IV	人工保護邊坡	視構造物受力變形條件而定	構造物之位移與應力	位移計、應變計、荷重計	工程設計條件
		—	地下水位或水壓	水壓計與觀測井	工程設計條件
		—	與自然邊坡考慮相同	與自然邊坡考慮相同	與自然邊坡考慮相同

至於道路邊坡危害度等級劃分部份，由於不同運動型態之邊坡，其可能有不同之危害度分析邏輯，以下將依落石、土石流、地滑以及人

工保護邊坡之四大危害度等級提出分項說明。

1. 落石邊坡危害度等級劃分

道路所屬管理單位根據落石風險性評估結果，將具有落石災害潛能之邊坡區分為數個危害度之等級，不同分析方式等級之區分即應有所不同。然而仍建議根據不同來源之危害度分析分級方式，將落石邊坡危害度等級，簡併區分對應於以下三類邊坡：(1)低危害度落石邊坡，(2)中危害度落石邊坡，以及(3)高危害度落石邊坡。

以吳傳威(1999)落石邊坡崩塌危害度分析法為例，可考慮將其評分結果於 219 分以下者，列為低危害度落石邊坡；220～329 分者，列為中危害度落石邊坡；330 分以上者則列為高危害度落石邊坡。

2. 土石流邊坡危害度等級劃分

根據農委會公告，土石流危險溪流之潛勢可分為低、中、高，此一潛勢劃分已將保全對象納入考慮，故屬危害度分級。因此，道路邊坡崩塌機制屬土石流者，可參考此一分級方式，將危害度等級劃分對應於以下三等級：(1)低危害度土石流危險溪流，(2)中危害度土石流危險溪流，(3)高危害度土石流危險溪流。另外，Morgan 等人(1992)採取所謂的整體風險觀念（total risk concept）來評估土石流對人命損失的威脅，此觀念亦可作為土石流對於道路危害度分級之依據。

3. 地滑邊坡危害度等級劃分

運動型態屬地滑之道路邊坡危害度等級劃分，建議可參考亞新工程顧問公司(1987)依據監測案例，所制定之危害度得分分級表，將 1、2 級（得分＜35）簡併，與第 3 級（35≦得分＜45）、第 4 級（得分＞45）對應於以下三等級：(1)低危害度地滑邊坡，(2)中危害度地滑邊坡，(3)高危害度地滑邊坡。

除了根據上述利用邊坡危害度，進行運動型態屬地滑之邊坡

崩塌危害度等級劃分外，緣於地滑地之徵兆明顯以及運動緩慢，亦可考慮以下三種情況之邊坡進行監測規劃：

(1) 地形、地質條件研判具邊坡滑動潛勢之邊坡。

(2) 有地表徵兆之邊坡。

(3) 根據定性或定量評估達地滑標準之邊坡。

其中關於邊坡是否滑動的定性和定量標準，可考慮根據日本高速道路調查會（1988）提供之判斷標準（如表 2-2 所示）。

表 2-2　日本高速道路調查會地滑之判定基準（1988）

監測方法	監　測　管　理　基　準		
	注　意	警　戒	危　險
地表伸縮計	0.5~10 ㎜/day	＞10 ㎜/day	＞50 ㎜/day
地表傾斜儀	5~10″ /day	—	10~50″ /day
管內傾斜儀	0.5~1 ㎜/day	2~3 ㎜/day	—
降雨強度 （累積降雨強度）	—	10~20 ㎜/h (50 ㎜)	＞20 ㎜/h (100 ㎜)
地表現象	● 頭部出現裂隙或下陷。 ●電桿、圍牆等發生變形。 ●開挖面上出露層面或滑動面。 ●邊坡出現湧水。	●邊坡上緣之張力裂縫互相連通，且裂隙寬度與錯動不斷增大。 ●滑動體趾部出現隆起、放射狀壓力裂隙、小規模塌方等。 ●趾部突然出現湧泉，或是已有之泉水變濁或乾涸等。 ●地體震動、地鳴、沒颱風但樹林的枝葉卻沙沙作響、電桿搖動等動物異常反應等。 以上各種前兆一般多與不正常的集中降雨量有關。	

4. 人工保護邊坡危害度分級劃分

對於人工保護邊坡危害度等級劃分，可依據邊坡保護措施之成效作為重要參考。建議將人工保護邊坡危害度等級劃分可對應於以下三類：(1)工程措施分析設計時不確定性較高之邊坡，(2)有保護措施效能降低跡象之邊坡，以及(3)保護措施效能明顯降低

之邊坡。

監測之規劃與預警應考慮邊坡之危害度，建議根據邊坡危害度之低、中、高，將監測規劃劃分為三個等級：

1. 第一等級規劃（低危害度邊坡）

此一等級監測以巡查為主，觀察邊坡之變化，必要時可設置簡易之監測設施，並加強注意其各項徵兆，其環境因素徵兆物理量常為此一階段監測之預警基準。

2. 第二等級規劃（中危害度邊坡）

此一等級監測以設置手動或半自動監測系統為主，必要時方可設置全自動化監測系統。

3. 第三等級規劃（高危害度邊坡）

此一等級監測以自動化監測系統為主，預警基準之發布通常需要更有把握，因此，反應時間通常較短，故自動化監測、傳輸，以及監測資料即時分析與即時預警之先期規劃相當重要。

若監測結果發現徵兆往有利方向發展且對於道路危害程度較預期為低時，應考慮降低監測等級，反之，則應提升監測等級。

2.1.1 落石之監測規劃與預警（圖 2-2）

1. 無法預知崩落位置之落石邊坡

落石邊坡崩塌速度一般較快，且大多數發生時間與地點具有較高之不可預測性，應以廣域路段為目標，透過降雨特性作為徵兆物理量以及預警之基準。此類落石邊坡三個等級監測之規劃建議如下：

(1) 監測第一等級

以定期巡查為主，除非有明顯之崩塌徵兆，不特別針對此類邊坡進行預警。

(2) 監測第二等級

應於各該路段設置固定式落石警告標誌，且 監測物理量以最近或最具代表性之雨量站降雨特性為主，並以臨界降雨線作為預警基準。

預警之對象以廣域路段為主，且以長期而非即時預報為主。然因各道路地形地質水文條件各有不同，因此作為預警參考之臨界雨量線，應事前根據各路段之崩塌以及降雨特性間之相關性，進行統計分析後訂定之。

(3) 監測第三等級

應於各該路段設置固定式落石警告標誌，並另行於適當位置設置自動化警告系統。監測物理量則建議以降雨特性以及監控崩塌是否已發生為主。

至於降雨特性監測部份，若現有雨量站之雨量資料不足以反應該路段之降雨特性時，建議考慮設置自動化雨量計，並以臨界降雨線作為預警基準，預警將以固定路段為對象。

於崩塌是否已發生之監測部份，建議設置鋼索感知器或其他類似原理之自動化感測單元，以偵測某一可能危及行車安全之坍方量，並適時警告通行車輛停止。

監測第三等級之落石邊坡，預警可包括三階段：①根據雨量預測進行長期預報。②根據自動化雨量監測結果，進行短期預報，並即時啟動該路段之自動警告系統之預警功能，警告來往車輛。③根據事發結果，即時啟動該路段之自動警告系統之遮斷功能，並禁止車輛通行。

然而，考量臺灣山區降雨具有明顯地形效應之關係，對於第三階段之預警臨界雨量線，建議先以既有雨量站資料分析結果訂定之臨界降雨線為預警基準，於該路段設置自動化雨量站後，應根據該路段崩塌情況以及自動化雨量計監測成果，進行該路段之統計分析，並逐步修正為該路段之預警基準值之臨界降雨線。

2. 預知崩落位置之落石邊坡

針對巨大孤石，應考量是否可以直接移除，若無法移除但為了避免因為墜落而造成災損，可以運用定點監測與崩落預測之技術，如：伸張儀、裂縫計、測傾儀、聲射感知器、CCD 影像擷取等，對於偵測孤石之墜落應屬有效。孤石之監測可由低至高不同之危害度，分為經常性檢視、以影像分析為主，以及完整佈設位移監測設施。

此類邊坡之預警，可分為三階段：(1)路段設置固定警告標誌。(2)根據位移與聲射資料，進行即時分析與短期預報，並即時啟動該路段之自動警告系統之預警功能，警告來往車輛或禁止車輛通行。(3)根據事發結果，即時啟動該路段之自動警告系統之遮斷功能，並禁止車輛通行。

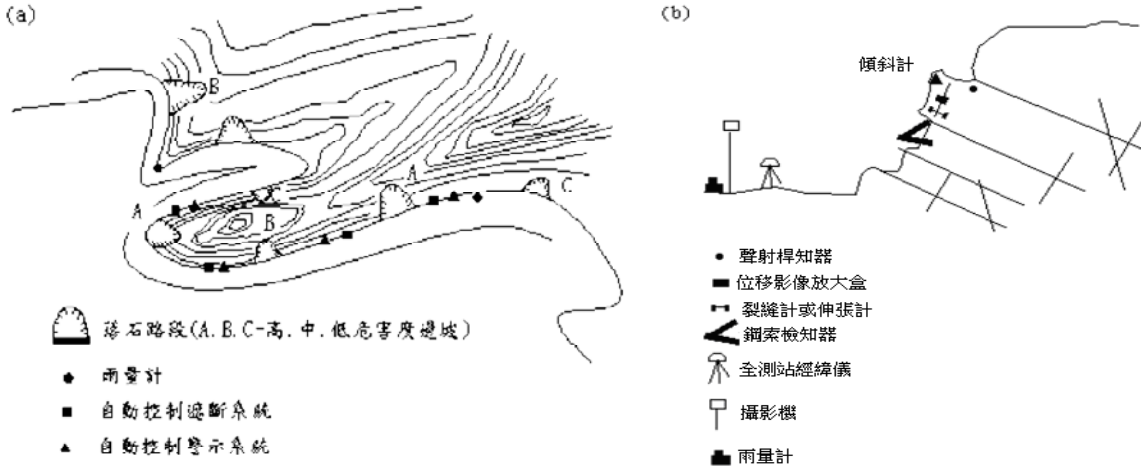


圖 2-2　落石邊坡崩塌監測規劃示意圖

2.1.2 土石流之監測規劃與預警（圖 2-3）

1. 溪床型土石流

土石流監測可分為長、中、短期之監測與預警，不同潛勢之土石流危險溪流之監測與預警，應有不同之考量，各級考量原則分述如下：

(1)監測第一等級（低潛勢土石流危險溪流）

以加強巡視為主，巡視重點為危險溪流集水區上游堆積區土砂材料堆積情況。除非有明顯之徵兆或跡象，不特別針對此類道路路段進行預警。

(2)監測第二等級（中潛勢土石流危險溪流）

應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，必要時可於臨道路側設置簡易雨量監測設備或其他簡易偵測土石流流動之設施。以最近或最具代表性之雨量站降雨特性為預警基準，預警以長期、非即時預報為主。

長期監測與預警多以降雨特性代表土石流發生誘因作為預警方法，因各道路地形地質水文條件各有不同，因此作為預警參考之臨界雨量線，建議應事前根據各路段之崩塌與降雨特性間之相關性，進行統計分析後訂定之。

(3)監測第三等級（高潛勢土石流危險溪流）

應全面設置土石流監測與監視系統，並視需要規劃自動化監測與監視系統。

長期監測與預警：①以降雨特性代表土石流發生誘因作為預警，預警方法如「監測第二等級」所述。②應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，並於適當位置設置自動化警告系統。③若現有雨量站之雨量資料不足以反應該路段之降雨特性時，建議考慮設置自動化雨量計。④長期預報初期將根據雨量站雨量資料分析所得臨界雨量線為預警基準，然而隨著自計式雨量站監測資料之累積，應逐步修正預警基準值。

中期監測與預警：①因溪床型土石流發生之條件與堆積區土石材料流動逐漸發展較為相關，故以土石流發生流動前之徵兆作為主要對象，如堆積區之孔隙水壓激增或聲射特徵均可成為徵兆物理量。②可於堆積區設置水壓計或於其附近設置聲射感知器，另外可偵測堆積區土砂材料移動徵兆之感

測器均可選用。③應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，並於適當位置設置自動化警告系統。

短期監測與預警：①以土石流發生之實際物理現象作為監測對象，如鋼索檢知器、光遮斷感知器、立桿式旋轉感知器、加速度感知器以及磁簧式感知器均可佈設於適當位置以偵測土石流之移動。②應於各該路段設置固定式土石流警告標誌，且於適當位置設置自動化警告系統，並於適當時機啟動該路段之遮斷功能，禁止車輛通行。

2. 坡面崩塌型土石流

對於崩塌型土石流而言，因為觸發機制與溪床型土石流極為不同，因此利用降雨特性以及臨界雨量線作為監測對象與預警基準有其適用性上之困難。以及，觸發地點難以掌握，故以土石流發生流動前之徵兆作為監測對象之中期監測亦有困難。因此，對於坡面崩塌型土石流，監測與預警均以短期土石流發生之實際物理現象作為監測對象。由於坡面崩塌型土石流觸發地點難以掌握，類似無法預知崩落位置之落石邊坡，其監測規劃亦可參考前述「無法預知崩落位置之落石邊坡」之規劃建議。不同監測等級之監測規劃建議如下：

(1)監測第一等級（低潛勢土石流危險溪流）

以加強巡視為主，巡視重點為土石流危險溪流集水區之坡面是否有崩塌跡象。除非有明顯之徵兆或跡象，不特別針對此類道路路段進行預警。

(2)監測第二等級（中潛勢土石流危險溪流）

仍以降雨特性作為長期監測與預警之重要參考，惟訂定預警基準時，應特別注意不可使用溪床型土石流為資料基礎，以求得臨界降雨線。簡易且易於維護之土石流發生感知器可考慮酌予佈設於溪床附近，以彌補坡面崩塌型土石流對於以雨量特性作為預警相關知識之不足。應於各該路段設置

固定式土石流警告標誌，預警以長期配合短期偵測土石移動之預報為主。

(3)監測第三等級（高潛勢土石流危險溪流）

應全面設置土石流監測與監視系統，並視需要規劃自動化監測與監視系統。以短期偵測土石流之移動作為監測規劃與預警之重要基礎，此一部份之說明參閱溪床型土石流之短期監測部份。

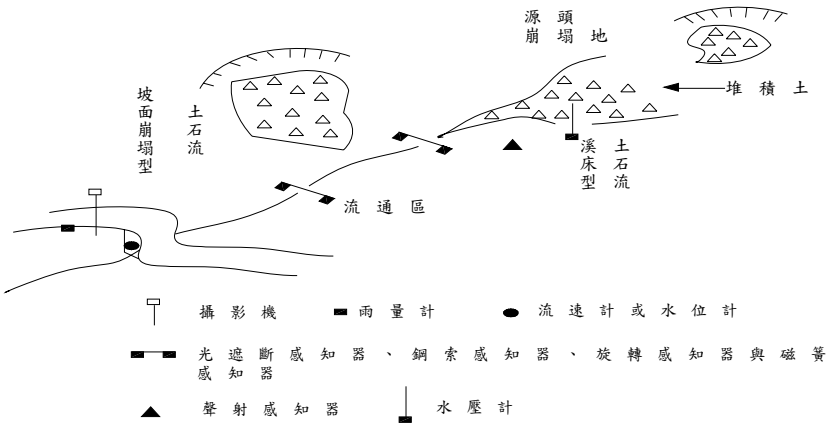


圖 2-3　土石流監測規劃示意圖

2.1.3 地滑之監測規劃與預警（圖 2-4）

1. 平面型或楔型岩層滑動

平面型之順向岩層邊坡崩塌與楔型破壞，相較於其他旋滑型之地層滑動，速度明顯較快。此類邊坡破壞主要控制條件為地質構造，尤其是不連續面，因此不連續面之詳細調查最為重要。

(1)監測第一等級

以持續觀察並檢視地表徵兆為主，巡視重點為邊坡坡趾之地質作用營力（如河岸或向源侵蝕）或人為開發，是否有逐漸造成弱面或弱面交線「見光」(daylight）之情況。此類道路邊坡原則上不進行預警，然若有明顯之徵兆或跡象時，

則應立即提升監測等級。

(2)監測第二等級

以半自動化搭配自動化監測設備為主，監測目標與預警若欲依據位移作為徵兆物理量，應選擇自動化監測設備。若監測目標擬利用崩塌誘因（如雨量）作為搭配之預警基準，將可有效增加預警反應時間。監測過程中若發現邊坡活動性不高，應考慮逐漸降低監測需求，若發現活動性偏高，則應考慮提升監測等級，甚至應考慮進行邊坡整治。

(3)監測第三等級之地滑邊坡

以自動化監測設備為主。監測可依據位移或利用崩塌誘因（如雨量）作為搭配之預警基準徵兆物理量。監測過程中若發現活動性偏高，則應考慮進行邊坡整治，此類邊坡縱使經過整治，仍建議繼續監測。

2. 非屬上述型態之地層滑動

崩積層與填土構成之邊坡為本類典型之破壞運動型態，因其多屬旋滑型，一般移動速度較為緩慢。因徵兆明顯，此類地滑之監測多屬定點監測，監測物理量應以地表位移、地下位移與地下水位、水壓監測為主，雨量監測為輔。此類邊坡，尤其是崩積層與填土邊坡，不同材料介面深度為其調查之重點。

(1)監測第一等級

以加強巡視為主要方法。因此類邊坡之滑動，常伴隨明顯之地表現象，需特別注意之地表現象包括：滑動體頭部出現裂隙或下陷、電桿與圍牆等發生變形、邊坡出現湧水、擋土構造物產生裂縫、邊坡上緣之張力裂隙互相連通，且裂隙寬度與錯動不斷增大、滑動體趾部出現隆起、放射狀壓力裂隙等，以及趾部突然出現湧泉，或是已有之泉水變濁或乾涸等、擋土構造物牆面裂縫穩定發展等。

(2)監測第二等級

一旦地表有滑動之徵兆，應儘量利用各類調查方法決定地滑範圍與深度。　監測可以地表位移或旋轉監測為主，若有必要可搭配少數之地下位移監測。地下水條件嚴重影響此類地滑之發生，手動記錄之水位觀測井或立管式水壓計，為適當之監測設備選擇。預警應以位移為主。

(3)監測第三等級

應完整包括地表與地下位移監測、地下水位與水壓監測，以及雨量監測。地表位移監測可利用伸張計、地滑計、地表傾斜計、全測站經緯儀等進行自動化監測。地下位移則可利用應變管或傾斜觀測管配合自記式傾斜計（IPI）進行自動化監測，惟應變管應注意其耐久性與穩定性。地下水位或水壓則可利用電子或機械式水壓計進行自動化監測，惟應注意電子式水壓計之耐久性。雨量計則應以自計式為主。

此類邊坡崩塌與地下水位或水壓相關性甚高，因此建立地下水位或水壓與安全之相關性作為監測目標與預警亦為有效。若能長期監測建立位移監測資料，利用以日本為主之位移速度預警經驗值作為預警基準具有可行性。根據潛變模式進行破壞時間預測，對於重要路段之預警亦屬可行（惟需依賴自動化監測資料方屬可行）。對於不確定崩塌位置之大規模崩積層，廣域路段利用降雨特性預警較為可行，適當之模式選擇應以誘發崩積層位移之間接物理量為主，如降雨特性，臨界降雨線之模式經實例驗證具可行性，唯適量之位移監測（地表或地下位移）與地下水位或水壓監測對於現象之詮釋仍屬必要。

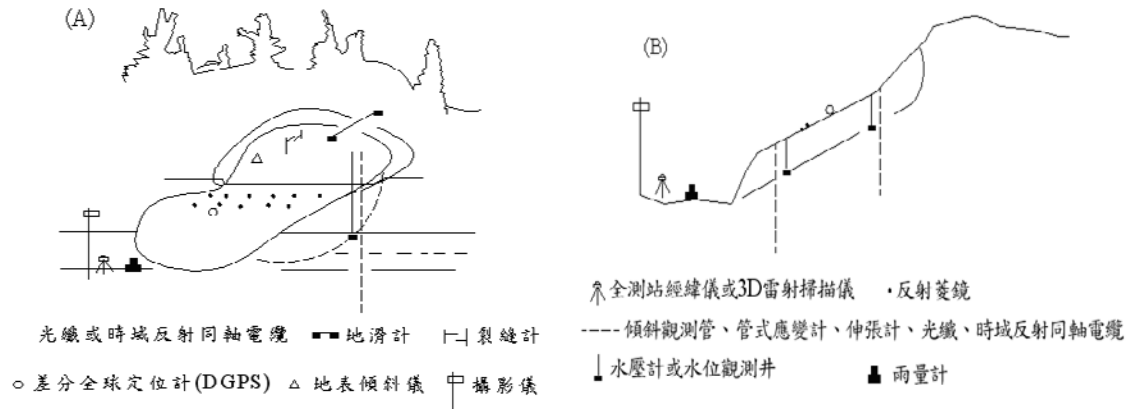


圖 2-4　地滑邊坡監測規劃示意圖

2.1.4 人工保護邊坡監測與預警

將人工保護邊坡監測與預警概分穩定工法與排水工法兩大類進行敘述：

1. 穩定工法

邊坡監測預警應以工程設計條件為主，並綜合構造物之位移與應力作為預警之徵兆物理量。屬坡面保護措施者，以其坡面保護功能性（防沖蝕或降低入滲量）檢測為主，尤其是目視檢視更形重要。剛性擋土措施者，如重力式或懸臂式擋土牆，則可考慮邊坡之重要性，規劃設置傾度盤，並定時以傾斜計量測或自動記錄構造物傾斜量。屬半剛性或柔性擋土牆或構造物深埋地下者（如擋土排樁與土釘），地盤位移速率（或地盤與地下構造物複合體）仍為主要監測對象，並作為主要預警基準。

內穩定之保護措施中，地錨為相當特殊之結構原件，其監測重點為地錨之預力損失情況，故地錨荷重計為必要之監測設施，而預警則應以地錨設計條件為主。因人工構造物可能造成邊坡崩塌之發生加速、加劇，因此地盤位移速度或旋轉之預警標準應適度考慮此一效應。設計條件中凡包括假設地下水位或水壓者，亦可考慮監測地下水位，以作為預警之輔助徵兆物理量。

2. 排水工法

地下水位監測為重要監測方法，且監測結果除作為預警目的外，並應列為排水成效評估之重要依據。

2.2 國內外預警基準訂定案例資料彙整

為了使監測系統能發揮預警防災功能，有必要訂定管理基準值，邊坡管理基準值之訂定應視個案風險危害程度、監測設備及構造物種類不同等有所不同考量。

一般邊坡監測其管理基準值可區分為注意、警戒及行動等三個等級，以直接（位移及傾斜等）或間接（降雨或水位）現象之觀測值，加以研判與分級，並依各設定管理階段之處理對策進行處理。

1. 注意等級

由於豪大雨或地震等因素，使邊坡破壞之風險明顯增加，當監測值超過注意值表示邊坡發生災害的可能性已有明顯增加之可能，提醒使用者或管理者，應加強注意。

2. 警戒等級

當監測值大於警戒值，表示已超過設計標準，邊坡已略有不穩定現象，應增加監測率頻，並密切注意其監測值之變化趨勢。

3. 行動等級

到達行動值表示邊坡已有明確不穩定現象或瀕臨破壞，除更密集之監測頻率外，對於邊坡需立即進行緊急補強及長期整治規劃，若其監測值仍呈加速變化，則人員應強制撤離。

在國內道路邊坡監測儀器預警基準值之訂定，內政部營建署、中華水土保持學會(1999)、廖瑞堂(2001)等都曾提出相關建議；而在國外部份，日本地滑對策技術協會(1978)、日本高速道路調查會(1986)、日本道路公團(1992)，日本藤原(1976)皆針對相關監測儀器明定預警基準值，惟在香港與歐美等西方國家，其邊坡滑動預警皆以雨量資料與邊坡滑動案例進行統計分析所制定，鮮少直接制定監測儀器之預警基準

值。以下內容則將針對國內外道路邊坡預警基準定訂案例彙整進行說明。

2.2.1 國內預警基準訂定案例

中華水土保持學會(1999)整理日本預警基準值相關資料與國內相關案例，建議各類監測儀器於地滑狀況之基準值如表 2-3 所述，可發現預警基準值之範圍相當廣泛，原因是此預警基準值是累積不論汛期或平時之實測資料所建立的，故僅適用於與統計資料條件相同之邊坡。至於內政部營建署所建議之山坡地工程監測參考管理值（表 2-4），與廖瑞堂(2001)有關山坡地工程穩定判斷之建議管理值（表 2-5），其制定方式同樣是以綜合相關案例資料及參考國外相關文獻所建立而成。

表 2-3　邊坡維護階段管理基準（中華水土保持學會，1999）

監測方法	管理區分		
	注　意	警　戒	疏　散
地表伸縮計 地表變位速度	0.5~25 ㎜/日	5~100 ㎜/日	50~500 ㎜/日
地盤傾斜計 地表面傾斜速度	5~10 秒/日	—	10~50 秒/日
管內傾斜計管內變位速度	0.5~1 ㎜/日	2~5 ㎜/日	＞10 ㎜/日
地中伸縮計 地盤變位速度	1~10 ㎜/日	10~100 ㎜/日	＞100 ㎜/日
降雨量 (累積降雨量)	—	10~20 ㎜/hr 10~50 ㎜	20 ㎜/hr 100 ㎜

表 2-4　山坡地工程監測參考管理值（內政部營建署）

觀測項目	需考量之因素	預警值	警戒值	行動值
地層移動	1.位移量 2.位移速度	2.0 ㎜/月 (有一定位移傾向)	2.0~10.0 ㎜/月 (有一定位移傾向)	＞10.0 ㎜/月 (有一定位移傾向)
地下水位	設計地下水位	設計水位	—	—
地下水壓	設計地下水壓	設計水壓	—	—
建物傾斜量	容許傾斜量	1/500	1/360	1/250
裂縫增量	容許裂縫寬度	1 ㎜	—	—
地面沉陷	容許沉陷量	沉陷量不影響結構之使用性	—	—
建物（鄰房）沉陷	1.容許沉陷量 2.差異沉陷量	沉陷量不影響結構之使用性 1/500	1/360	1/250
擋土牆及抗滑樁變位	位移量	—	—	—
地錨荷重	1.設計拉力 2.鋼腱容許拉力	設計拉力×1	±設計拉力×1.2	鋼腱容許拉力
擋土牆鋼筋應力	1.鋼筋降伏應力 2.鋼筋容許應力	設計應力	容許應力 (考慮臨時結構短期應力可提昇1.2 或 1.5 倍)	降伏應力

註：
1.不同之坡地依其特性訂定管理值。
2.各觀測值必須已排除誤差及干擾因素後再用作判讀。

表 2-5　邊坡穩定判斷建議之管理值（廖瑞堂，2001）

觀測項目	考量之因素	預警值	警戒值	行動值
地層移動	1.位移傾向 2.位移速率	略有位移傾向 0.5mm/月	有一定位移傾向 2.0mm/月	有一定位移傾向 ＞10.0mm/月
地下水位及水壓	設計地下水位及水壓	設計水壓	—	—
地面沉陷	容許沉陷量	不影響使用性	—	—

註：
1.不同之坡地須依其地層種類及檔土型式等特性訂定管理值，本表僅供參考。
2.各觀測值必需已排除誤差及干擾因素後再用作判讀。

針對國內區域性道路邊坡預警基準值之制定，中華水土保持學會(1999)曾針對中橫公路臺 8 線與宜蘭支線（臺 7 甲線）交會處之梨山村地滑區，進行降雨與地下水位之關係分析，該研究採用多變量回歸分

析與類神經網路建立二者間關係模式。結果發現地下水位的上升量、累積雨量與實效雨量的相關性較高，平均降雨強度次之，降雨前的地下水位最低且為負相關，亦即降雨前的地下水位愈高愈不利於地下水位上升。利用動態模式擬合與轉換函數模擬地下水位變化，由各監測站所測得之一小時降雨量及一小時地下水位資料，對各監測站之資料選取多場代表性降雨，並建構其時間序列之 ARIMA 模式，接著再與地下水位變化建立輸入（降雨量）－輸出（地下水位變化）間關係之轉換函數。根據邊坡穩定分析所得之安全係數，可訂定出地下水位危險值之範圍。如此一來，考量某一場降雨，將觀測資料輸入轉換函數可於較早之時間得知地下水位變化量，便可提早預估邊坡之穩定性。梨山地滑地不同位置危險地下水位如表 2-6，透過危險地下水位可反推危險雨量。另一方面，利用降雨頻率分析，可得 10 年頻率之 1、2、3 日累積降雨為注意等級之預警指標，注意等級之預警指標則列於表 2-7。

表 2-6 梨山各監測站危險地下水位高程表（中華水土保持學會，1999）

監測站	B1		B4	B5	B9		B13	C1
危險區分	注意	警戒	注意	注意	注意	警戒	注意	注意
地下水位高程(m)	1885	1900	1900	1948	1900	1904	2042	1878

表 2-7　梨山地區注意等級累積降雨量表（中華水土保持學會，1999）

累積降雨量	1 日	2 日	3 日
注意等級預警值	260mm	380mm	433mm

對於梨山地區除上述利用降雨量以及地下水位作為預警值訂定之物理量以外，中華水土持學會(1999)同時建議針對變形量較緩慢的邊坡，利用地層作為預警物理量，地表伸縮計、地表傾斜儀、孔中傾斜儀等監測值訂定之基準如表 2-8 所示。

表 2-8　梨山地滑地位移警戒基準值（中華水土保持學會，1999）

儀器	靈敏度	精度	記錄每日最大變化	注意	警戒	疏散
地表伸縮儀	0.025mm	1mm	1cm	1mm/小時	1cm/日	加速變形
地表傾斜儀	9”	0.01°；36”	0.1°	0.01°/小時	0.1°/日	加速變形
孔內傾斜儀	0.01°；36”	0.05°；180”	無法明確判釋	無建議值	無建議值	無建議值

2.2.2 國外預警基準訂定案例

針對以道路邊坡監測儀器訂定預警基準值，在國外案例中，以日本為最多，如日本地滑對策技術協會(1978)以地表位移速率與邊坡滑動活動性訂定坡地滑動預警值之參考，根據不同監測儀器觀測所得之位移速度，分類所代表之地滑活動性及滑動型態，如表 2-9 所示，此亦為國內邊坡滑動預警值訂定之重要參考依據。另外，日本藤原(1976)研究統計傾斜管所觀測到之變動量與不同活動性地盤之相關性制定地盤動性之判定基準，如表 2-10 所示。而日本高速道路調查會(1988)提供判斷坡地是否滑動的定性和定量標準，如表 2-2 所示。表 2-11 則為日本道路公團統計應用於道路邊坡之監測儀器資料所建議之地滑動態之管理基準表。

表 2-9　位移速率與邊坡穩定性判斷建議表（日本地滑協會，1978）

變動種別	日變位量 (mm)	月變位量 (mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	摘　要
緊急變動	20 以上	500 以上	非常的顯著	急速崩壞	崩壞型 泥流型
確定變動	1 以上	10 以上	顯　著	活潑運動中	崩積土滑動 深層滑動
準確定變動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動中	粘土滑動 回填土滑動
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	有待繼續觀測	粘土滑動 崖錐滑動

表 2-10　傾斜變動種別（藤原，1976）

變動總別	日平均變動量（秒）	累積變動值（秒/月）	傾斜量的累積傾向	傾斜運動方向與定型之相關性	總合判定	
					變動判定	活動性
變動 A	5 以上	100 以上	顯著	有	確定	活潑運動中
變動 B	1~5	20~100	稍顯著	有	準確定	活潑運動中
變動 C	1 以下	20 以下	略有	有	潛在	繼續觀測必要
變動 D	3 以上	無（斷續變動）	略有	無	異常	局部地盤變動或其他

表 2-11　地滑動態之管理基準值表

（日本道路公團之土質地質調查要領，1992）

計測儀器及種類	應變區分	重點檢查及加強觀測	對策之檢討	警戒緊急對策之檢討	嚴重警戒疏散或禁止通行
伸縮計 地中伸縮計 光波測距儀	地表面之變位速度	10 ㎜以上/30 日	5~50 ㎜/5 日	10~100 ㎜/1 日	100 ㎜以上
埋入型傾斜觀測管	滑動面附近之變位速度	1 ㎜以上/10 日	5~50 ㎜/5 日	—	—
管式應變計	累積值	100 μm 以上	1000~5000 μm	—	—
傾斜計	累積值	10~50 秒/10 日	—	—	—

不同於上述以長期監測資料統計所制定之預警基準值，日本高速道路調查會(1988)直接根據位移之預測訂定預警基準值，圖 2-5 為邊坡位移速度與邊坡破壞時間關係圖，由位移速度與緊急處理所需反應時間提供訂定預警基準值之中重要參考。使用圖設定警戒值可考慮道路邊坡問題分析評估所需時間及邊坡補強或其他處置所需之反應時間（一般約需一週至一個月）來制定。若採取緊急應變設施所需時間約 1 個月，應於位移速率達 5mm/day 前預警；若採取緊急應變措施所需時間約 1 週，應於位移速率達 30mm/day 前預警，並採取行動。惟透過經驗建立之模式，其變異性相當高，可能之誤差範圍亦相當大。

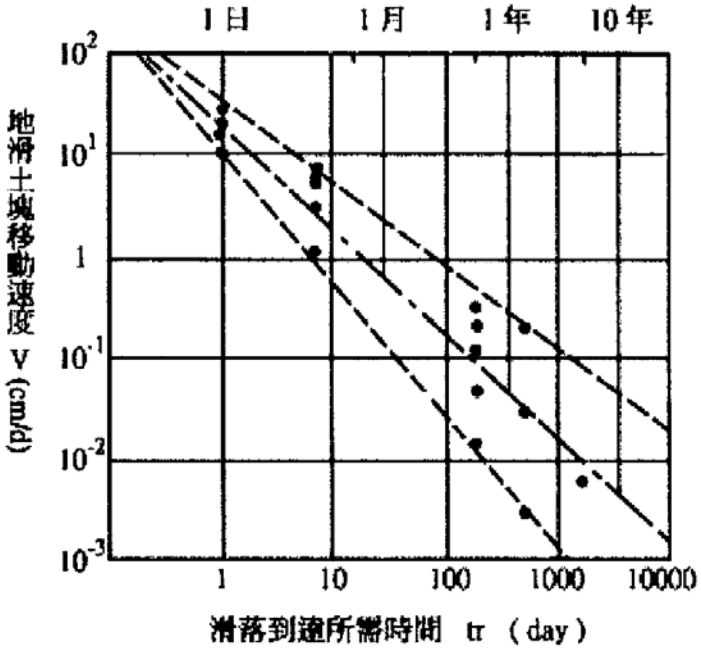


圖 2-5　邊坡位移速度與破壞時間關係圖（日本高速道路調查會，1988）

在歐美及澳洲等西方國家,其邊坡崩塌預警大都以雨量估計為其判定基準。Alan F. Chlebord(2004)蒐集美國西雅圖華盛頓地區 2000~2003 年雨季之雨量資料與崩塌事件進行統計分析，估算出引至邊坡滑動發生之臨界降雨量，據此用以預警華盛頓當地之邊坡滑動。Phil Flcntjc & Robin Chowdhury(2002)根據 24 小時、7 日、30 日、60 日、90 日以及 120 日的累積降雨量,並與傾斜儀監測的資料相結合,決定澳洲 Illawarta 地區 Wollongong 城市附近觸發邊坡崩塌的降雨量門檻如圖 2-6 所示。該區域崩積層主要以潛移型的滑動為主，滑動大多皆在豪雨後發生，主要滑動面為崩積層與岩盤之介面，滑動深度約為 1.5~8 公尺，平均滑動速率為 0.1~15.6mm/日以下。傾斜觀測管內之位移速率平時約為 0.0002~0.07mm/日，汛期變形速率約為 0.0036~2.09mm/日。依據上述訂定之參考基準值，此一區域於邊坡崩塌發生前 12 小時成功的發揮預警作用，撤離了共約 130 位居民。

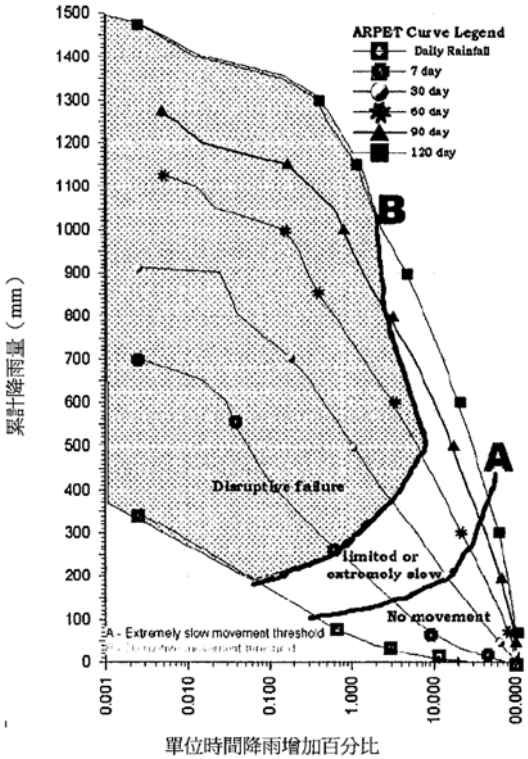


圖 2-6　澳洲 Illawarta 地區 Wollongong 城市附近地滑活動處發之降雨（Phil Flcntjc & Robin Chowdhury，2002）

2.3 針對國內「區域性」道路邊坡預警基準之訂定方向

依據彙整歷年相關監測規劃與預警之研究計畫成果,初擬邊坡崩塌監測管理值之制定程序為：(1)前置決策；(2)邊坡調查與評估；(3)資料蒐集；(4)監測資料分析與評估；(5)監測管理基準值訂定；(6)監測管理基準值之調整，建議制定流程如圖 2-7 所示。

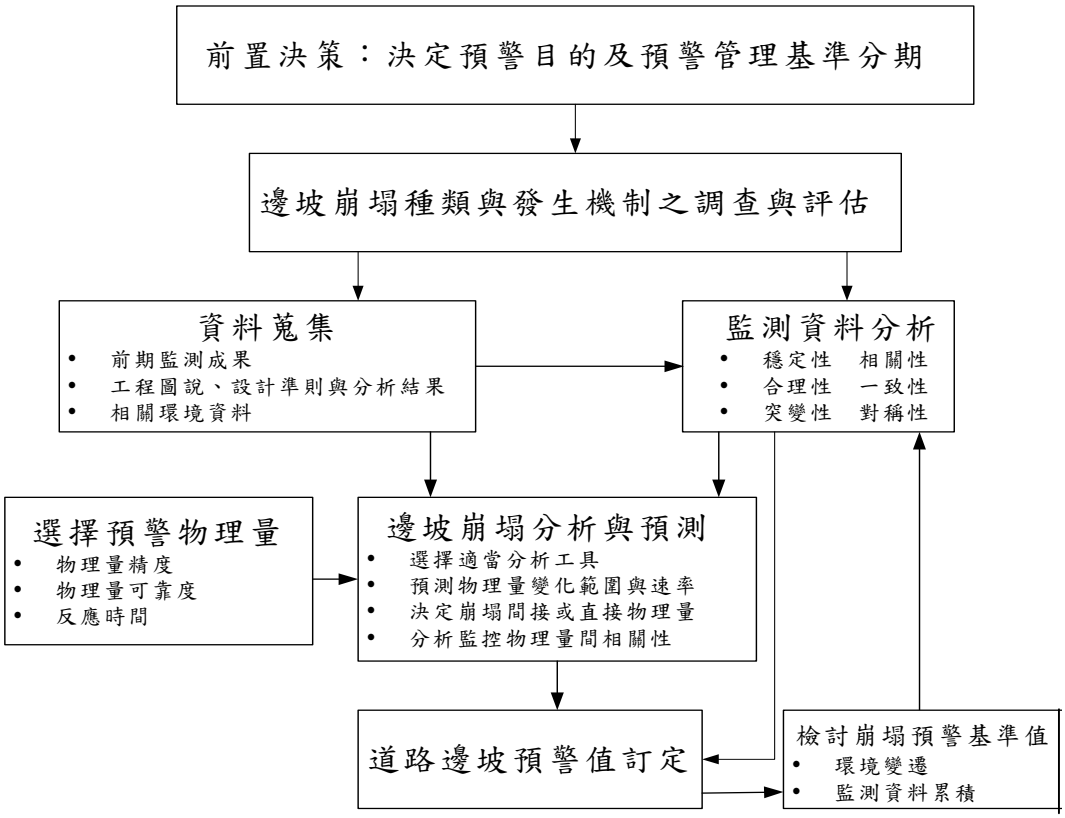


圖 2-7　道路邊坡崩塌監測管理值制定建議程序

另外，歸納所收集國內外相關道路邊坡監測儀器制定案例，並分析其差異性，可將制定方法分類為：：(1)經驗法則；(2)根據長期監測資料統計分析；(3)現象模擬與預測－直接根據位移之預測訂定預警基準；(4)現象模擬與預測－間接根據與位移或崩壞相關之物理量訂定預警基準；(5)多項徵兆物理量組合制定預警基準。茲將說明如下：

1. 經驗法則

由過去經驗或案例作為預警基準訂定之參考，臺灣傳統之邊坡崩塌預警基準主要多透過此一方式制定。一般預警基準值可以位移量、位移速度以及位移加速度為訂定標的。臺灣過去長期監測資料累積案例有限，若欲透過經驗法則訂定監測預警基準時，應特別注意其適用性。未來應將持續累積本土化之監測經驗，以作為預警基準制定之之參考標準。

2. 根據長期監測資料統計分析法

由以往監測資料之統計變動範圍，找出合理、正常之監測曲線包絡線，可作為預警基準訂定之參考。監測資料統計分析主要係根據各項監測值所繪過程曲線之穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性加以研判評估。

(1)穩定性

當監測量過程曲線變化之規律與趨勢成穩定狀態，則屬正常；若原因量不變而效應量之趨勢隨時間不斷向不利方向增長，則屬不穩定之異常狀態。

(2)相關性

平常監測值中原因量與效應量都會成一定之相關性，如其相關性較以往有所改變，則屬異常。

(3)合理性

監測量之變化趨勢符合自然界之物理現象則屬正常，否則屬異常。

(4)一致性

在相同條件下（即原因量相同），效應量之變化形態應為一致或相似；同一位置使用不同儀器所量測之同一物理量亦應符合一致性，則屬正常，否則屬異常。

(5)突變性

監測量之變化過程中，如有不符合預期中或不按規律之突變，則屬異常。如為單一之突變，則可能屬人為之錯誤；如為重複或連續之突變，則可能屬儀器或系統之故障或結構已有異常現象。

(6)對稱性

如監測儀器埋設於具對稱之位置，則其監測量之變化亦應具對稱性，否則應為異常。

3. 直接根據位移之預測訂定預警基準

(1)趨勢預測法

透過經驗統計或由潛變模式計算位移之趨勢，預測崩壞發生之時間歷程，可作為預警基準訂定之參考，此一方法定出之預警值多為地盤之位移速率或累積位移值，由位移速度與崩壞時間之相關性即可提供作預警基準訂定參考，預警基準訂定應同時考慮各管理值對應之處理手段及處理手段對應之所需時間。

(2)建立力學模式預測變位量

確知變形特性掌握將使得此一方法變為可能，對於屬於漸進式破壞控制之邊坡而言，位移之增加將伴隨安全係數之降低，因此變形量即可望成為預警基準訂定之徵兆物理量。有限元素法或有限差分法等數值方式可作為變位預測之有效工具，若有滲流問題時，亦應一併分析。此一力學分析模式亦可考慮材料之不確定性、地下水位高低不確定性，以及其他內、外在因素之不確定性。

4. 間接根據與位移或崩壞相關之物理量訂定預警基準

(1)孔隙水壓或地下水位

邊坡破壞屬於地質材料受剪破壞，因此地質材料受剪膨脹或收縮時，孔隙水壓將可能有急遽變化，所以孔隙水壓急遽變化可視為邊坡崩壞之重要徵兆。根據實驗室與現場紀錄發現，崩壞發生前 10~20 分鐘將有孔隙水壓急遽上升之情況（日本高速道路調查會，1988）。此一現象對於不排水條件下施工階段之路堤填築預警有相當之適合性，且廣泛應用於水壩填築過程中施工品質及安全監控之指標之一。然一般而言，此一現象發生後，距離崩壞之剩餘反應時間則相對較短。

另一方面，孔隙水壓上升將造成有效應力下降，因而誘發位移或崩塌。利用物理模式之建構（如極限平衡法、有限

元素法或有限差分法），可適度建立地下水位或水壓與崩壞之相關性，另外，累積大量邊坡崩壞或位移資料與水位間之相關性，亦可提供作為預警基準訂定之參考。原因為降雨後地下水位未必能即時表現，因此降雨量亦未必能即時表現地下水位提升，所以由地下水訂定滑動預警基準值較為準確，往後，便可由地下水位高程，得知安全係數，進而求得各個基準值。此類模式受限於地下水文條件之瞭解相當不易，水壓或水位資料之可靠度應注意與檢核。再者，以孔隙水壓作為預警基準訂定標準時，應特別注意水壓觀測系統之反應時間。

(2)累積降雨量或降雨強度

邊坡崩塌與降雨息息相關，此一影響基於地表逕流之沖刷以及雨水入滲增加水壓力、降低有應力。此一方面預警基準訂定可分為兩個層次，一乃利用經驗值統計迴歸降雨量與邊坡崩塌之關係，藉以訂定預警基準，惟此一方法需累積地區性經驗，且與監測邊坡之地質、水文、氣象等條件相當有關。另一方式為建立該邊坡降雨與地下水壓或水位上升之物理模式，再利用水位或水壓與邊坡崩塌之相關性，訂定預警基準。

(3)建立降雨、水位與道路邊坡崩塌間相關性模式制定預警基準

建立降雨與地下水位上升間之相關性，以及地下水位上升與邊坡安全性相關性，可利用降雨作為預警基準。依前人之研究，以水壓、位移量測值以及降雨資料，確定區域性之崩積層滑動區地下水位與邊坡穩定之變化，皆與降雨有極密切之關係。

5. 多項徵兆物理量組合之預警基準制定

預警基準可由降雨、地下水位與各種變形量等單項或多項組合來訂定。

綜合上述研擬之管理值制定程序及制定方法,針對國內區域性道路邊坡預警基準之制定，若以埋設監測儀器，如伸縮計、傾斜儀及應變計等直接監測其變位與應力之直接方法制定，其所制定之預警管理值僅侷限於儀器所埋設之點位，難以縱觀整條山區道路邊坡之變化，因此，本研究考慮節省人力、物力與經費，對於預警基準之研究，擬採以「雨量」資料統計分析之間接方法，進行預警基準之制訂，並規劃相關之研究項目，如裝設雨量計並自動回傳計讀資料（詳見 5.2 節）、雨量空間分析(詳見 5.1 節)與雨量入滲行為對邊坡滑動模式之建立(詳見 6.2)，以期後續能制訂預警基準進而建立邊坡崩塌之自動化預警系統。

第三章 道路邊坡現地崩塌事件及相關資料之蒐集彙整、建置與分析

進行道路邊坡現地崩塌事件相關資料彙整、建置與分析之研究，其目的是為進行道路邊坡管理系統資料庫擴充作業與正確量化致災因子，以利崩塌潛勢分析之研究，因此本研究於今年度選定一崩塌路段，針對歷史崩塌事件進行資料蒐集、彙整與量化分析，並建置於既有之道路邊坡管理系統中。另外，本研究主要以邊坡淺層滑動破壞之崩塌型態為主要研究對象，而此種破壞型態也為臺灣常見之崩塌型態，因此在歷史崩塌事件之資料蒐集也以此破壞型態為主；以下就針對所選取定研究路段之基本資料及因子量化方法作一介紹說明。

3.1 選定崩塌路段之基本資料概述

省道臺 18 線阿里山公路為交通部歷年相關研究資源整合之示範道路，其研究資料已屬完備，但缺乏整合，因此為使本路段成為臺灣山區道路邊坡災害防治之示範道路，本研究計畫今年度仍配合其他相關案件之執行，選定此路段為研究對象，進行資源整合與研究，以期達到有效預測此區域道路邊坡崩塌災害之發生。以下各小節將針對此路段之地理位置、氣候概況、沿線地形、沿線地質構造及地層特性作一概述。

3.1.1 地理位置

阿里山公路為臺 18 號公路之俗稱，位於臺灣新中橫公路西段，由嘉義市循東北方向蜿蜒而上至南投縣信義鄉之塔塔加鞍部為止，全長共約 95 公里。由觸口（臺 18 線 20.4K）開始進入山區，沿途經瀨頭（36.5K）、石桌（49.05K）、十字路（63.7K），阿里山（75.0K），往東至嘉義市與南投縣界的自忠（83.2K），橫跨嘉南與中部兩大地理區域。公路沿線地形起伏變化頗大，觸口至公田間公路沿八掌溪逆流而上。公田至瀨頭間，改沿稜線向東爬升後南行，經過瀨頭，再行北折沿稜

線直至石桌。自石桌以東又降至曾文溪支流溪谷、切溪谷向南迴繞，繞過關刀山砂岩造成的陡峻山稜，而後則沿東西向分水嶺南側向東前進。在經過阿里山後沿日據時代運木鐵道遺跡而築，最後行至稜線處之塔塔加鞍部為止（其後接臺 21 線公路至水里）。總共經過嘉義縣中埔鄉、番路鄉、竹崎鄉、阿里山鄉及南投縣信義鄉等行政區。阿里山公路於民國 72 年初完工通車，迄今不過二十餘年，其間坍方落石災害頻傳，其相關位置與周邊公路網如圖 3-1 所示。

圖 3-1　阿里山公路位置圖

3.1.2 氣候概況

根據中央氣象局阿里山氣象站之民國 73 至 93 年降雨量統計資料得知，其年平均降雨量達 3,559 mm（如圖 3-2 所示），較臺灣地區之年平均降雨量 2,515 mm（經濟部水利處，2001）高出甚多，此結果顯示阿里山地區之降雨量相當豐沛。而在月平均降雨量方面，以 8 月份的 745.3 mm 為最高，最低值則為 11 月份的 35.84 mm，圖 3-3 為一整年之月平均降雨量分布情形，其可看出雨量分布有明顯的季節性，降雨主要集中在每年的 4 月到 9 月之間，乾季則從每年的 10 月起至隔年的 3 月左右。

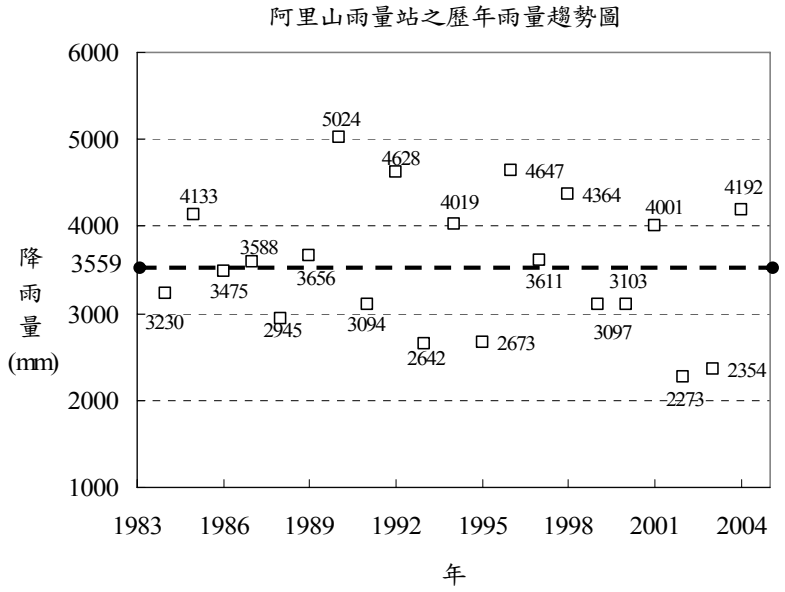


圖 3-2　阿里山雨量站之歷年雨量趨勢圖（修改自中央氣象局）

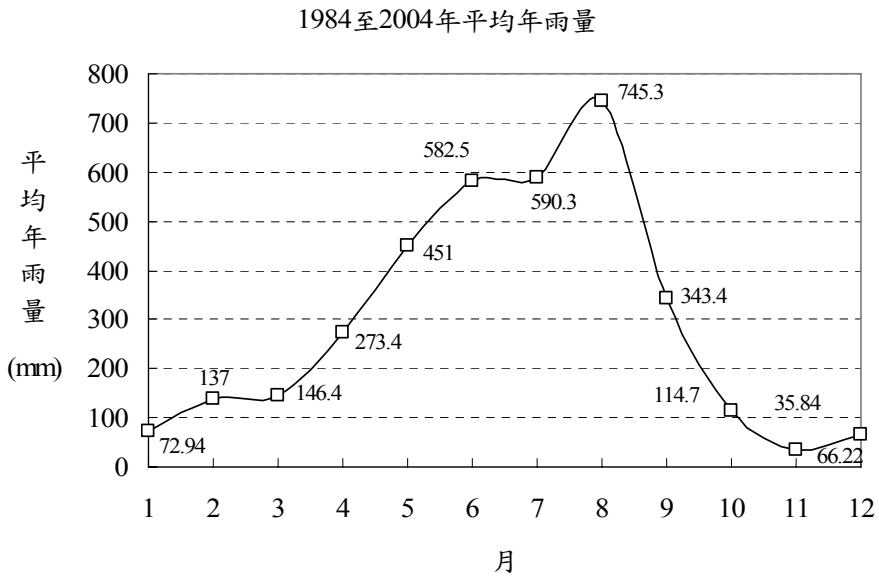


圖 3-3　阿里山雨量站之月平均雨量趨勢圖（修改自中央氣象局）

3.1.3 沿線地形

根據王鑫等（1989）對阿里山公路沿線地形進行之研究資料顯示，由觸口到公田間之路段，公路沿八掌溪支流而行，路線大致與山稜之走向平行，因此大型蝕谷較多。而公田到瀨頭間路段，公路沿稜線西坡爬升南行，沿途有小型蝕谷。公路經瀨頭後，北折沿稜附近彎曲前進至石桌。本段路線方向與地層構造線之走向近似平行，因此地質上之變化也較單純。石桌以東，公路降到曾文溪支流溪谷，過溪谷後經過關刀山砂岩之山脊，當達十字村後，公路呈之字形盤旋上山，而後沿平緩之稜線直達阿里山。阿里山東西向稜線之北部屬八掌溪流域，稜線以南則屬曾文溪流域，此外，在阿里山東北部另有陳有蘭溪及其支流通過。

3.1.4 沿線地質構造及地層特性

畢慶昌（1969）研究阿里山公路沿線地質構造，指出本路段公田斷層以東到樟山斷層間，構造以褶皺為主，大多為不對稱褶皺，其軸面向東或向西傾斜，褶皺軸之走向亦不甚規則，除了芙蓉山向斜軸部出露之地層為關刀山砂岩外，其他各背斜或向斜軸部所出露的岩層皆為南莊層，而觸口斷層與樟山斷層為區內較重要之逆衝斷層。瀨頭斷層呈北北西走向，通過本路段西緣瀨頭附近，鹿窟斷層位於觸口斷層東方，呈北東走向，畢慶昌（1969）認為此斷層為阿里山岩幕之西界。在地層特性方面，依據劉桓吉等（1998）的調查顯示，調查區附近之地層主要是為第三紀與第四紀地層。岩性則是以砂岩、頁岩與泥質砂岩為主。本區出露的地層由老至新依序為南莊層（厚層砂岩為主，夾薄頁岩互層）、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層（粉砂岩為主，間有砂頁岩互層）與頭嵙山層，其中，頭嵙山層又分為火炎山相（礫石層）和香山相（砂岩）。

3.2 歷史崩塌事件致災因子資料調查收集

歷史崩塌事件資料調查除用於擴充道路邊坡管理系統資料庫外，將其量化後，另可提供道路邊坡崩塌機率、崩塌規模等研究使用，因此

規劃選定之致災因子種類便極為重要。然因子之量化方法依各因子之特性而有所不同，除可利用地理資訊系統及數值圖籍等資料外，現地勘查作業更是避免不了，然將本研究各分析所需調查之崩塌事件影響因子量化範圍列於表 3-1，並將其定義與量化方法說明如下。另外，將所彙整臺 18 現地崩塌事件量化資料列於附錄 III。

表 3-1　影響因子量化範圍

<table>
<tr><th colspan="3">類別</th><th>影響因子</th><th>單位</th><th>範圍</th></tr>
<tr><td rowspan="16">潛在因子</td><td rowspan="13">自然因子</td><td rowspan="4">地形</td><td>坡向</td><td>°</td><td>0~360</td></tr>
<tr><td>坡度</td><td>°</td><td>0~90</td></tr>
<tr><td>坡高</td><td>m</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td>坡形</td><td>°</td><td>-360~+360</td></tr>
<tr><td>地質</td><td>地層種類</td><td>-</td><td>1~5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">岩層位態</td><td>坡向與傾向夾角</td><td>°</td><td>0~180</td></tr>
<tr><td>坡度與傾角夾角</td><td>°</td><td>-90~+90</td></tr>
<tr><td rowspan="2">風化及破碎程度</td><td>岩塊規模</td><td>m</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td>岩塊體積百分比</td><td>%</td><td>0~100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">植被</td><td>植被覆蓋面積百分比</td><td>%</td><td>0~100</td></tr>
<tr><td>植被覆蓋厚度</td><td>m</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td>水系</td><td>集水區面積</td><td>m2</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td>921 地震力</td><td>最大水平地表加速度</td><td>gal</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">人為因子</td><td rowspan="2">道路開闢</td><td>坡趾開挖高度</td><td>m</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td>坡度改變量</td><td>°</td><td>0~90</td></tr>
<tr><td colspan="2">誘發因子</td><td>降雨</td><td>颱風累積降雨量</td><td>mm</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">針對崩塌規模新加入因子</td><td colspan="2" rowspan="4">自然因子</td><td>可能崩塌面長度</td><td>m</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td>可能崩塌面寬度</td><td>m</td><td>≧0</td></tr>
<tr><td>植被種類</td><td>%,m</td><td>0~100</td></tr>
<tr><td>累積崩塌量</td><td>m^3</td><td>≧0</td></tr>
</table>

3.2.1 潛在因子

地形是地質表現於外的形狀，然地形本身會影響地表水的流向，因而影響坡地的侵蝕與沈積。潛在因子主要調查的項目為坡向、坡度、坡高及坡形（曲率），分述如下：

3.2.1.1 地形

1. 坡向

坡面的朝向，關係著迎風面的位置及地震力的作用方向，因此為可間接反應降雨及地震影響之因子，此值主要經由地質羅盤現場量得，記錄方法同方位角，以北方為 0°，順時針旋轉遞增，範圍介於 0~360°。

2. 坡度

坡度為邊坡坡面與道路銜接處之角度，如圖 3-4 所示，此因子會影響到地區的穩定度及水流速度，坡度愈陡，造成下滑之趨動力愈大，發生崩塌的機率也愈高。一般常用的表示方法有百分比法、度數法、密位法和分數法等，本研究則是藉由地質羅盤於現場量得，範圍為 0~90°。

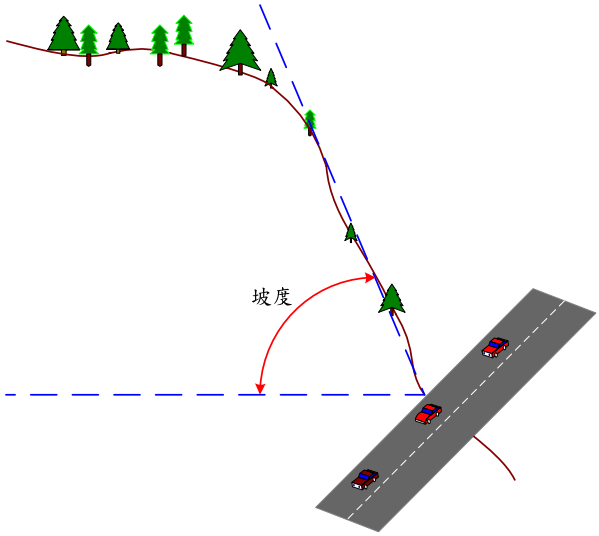


圖 3-4　坡度量化示意圖

3. 坡高

指該邊坡最高點與最低點（道路銜接處）之高差，由路面為基準起算之高度，單位為 m，如圖 3-5 所示，係由現場目測估計得到。依據日本國內邊坡調查（1985），坡高只要高於 20 公尺以上，如果有 50mm 的連續降雨，即會造成約 26%的災害率，故

理論上坡高愈高，則愈易造成崩塌。

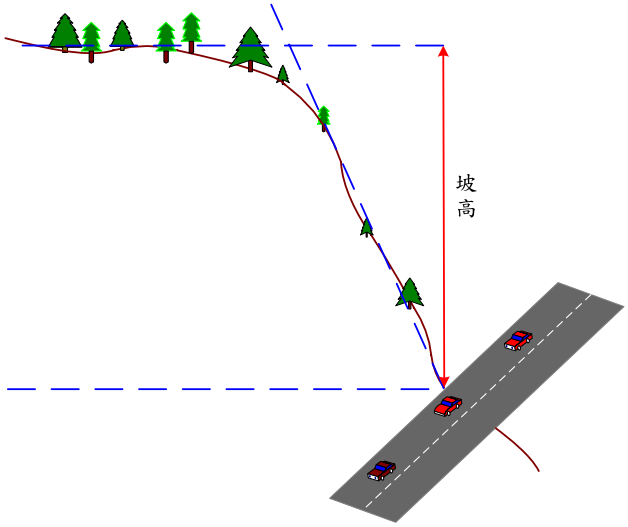


圖 3-5　坡高量化示意圖

4. 坡形

為邊坡的外觀形狀（曲率），一般分為凸坡、平坡及凹坡等三種坡形。主要受板塊推擠及河流切蝕等內外營力作用下而形成，故可間接反應地質構造，以及降雨時地表水及地下水之流動情形。李德河等（2004）曾發現在 921 地震發生時及發生後一年內，以凸型邊坡發生崩塌之比例最高。

一般山區道路係沿山壁開鑿，故為表達邊坡屬凸坡或凹坡，可以道路之曲度來表達此因子，而其量化作法為：先藉由 ArcView（GIS）軟體中之繪圖工具畫出正圓，再移動圓並調整其大小，以疊合調查點前後約 50m 之路線線形，求出圓之直徑作為記錄值（凸坡為正，凹坡為負），取其值之半即為道路曲率半徑 R，接著再利用曲度 Δ＝(弧長 L/曲率半徑 R)×(180°/π)計算曲度，期中弧長 L 取整弧 20m。例如：量得一凹坡調查點之疊合圓直徑 400m（凸坡為正），則其曲率半徑 R=200m，即可計算其曲度 Δ＝(20/200) ×(180°/π) = 5.73°。

3.2.1.2 地質（地層種類）

以劉桓吉等人(1989)所製作之阿里山公路沿線地質圖作為地層分類之依據，本研究路線所經過之地層種類整理如表 3-2 所示。由於該地層之岩性差異不大，主要為砂岩、頁岩及其互層，故量化方法為依其地層形成之先後給予不同的分數，一般而言，年代較久遠的地層其岩質較堅硬，岩體強度也較高，故給予較高之分數，因此沿線之地層種類依其形成年代由近至遠可給予 1~5 的量化分數。

表 3-2　調查路段地層種類及量化方式

地層年代		地層		岩性特徵	量化分數
紀	世	種類	代碼		
第三紀	上新世	卓蘭層	Cl	粉砂質砂岩為主，間有砂頁岩互層	1
		錦水頁岩	Cs	青灰色頁岩為主，間夾砂岩	2
		大窩砂岩	Kct	細粒至粉砂質砂岩	3
	中新世	關刀山砂岩	Kck	厚層泥質砂岩為主，夾薄層砂質頁岩之薄互層	4
		南莊層	Nc	青灰色砂岩及砂岩與薄頁岩互層為主	5

3.2.1.3 岩層位態

一般在進行山區道路選線時,除風化嚴重之土層邊坡或高度破碎之岩層邊坡外，皆需考慮岩層與道路邊坡之斜交情況，考慮是否會構成順向坡滑動及逆向坡傾覆之條件，其判別要件為岩層位態（岩層傾向及傾角，如圖 3-6 所示)，與道路邊坡之坡向及坡度。量化方式說明如下：

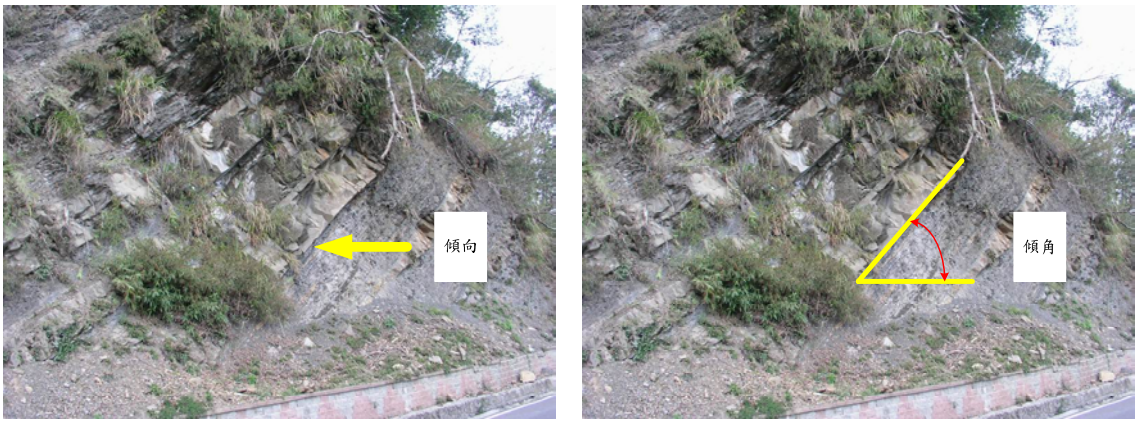


圖 3-6　岩層位態量化示意圖

1. 坡向與傾向交角

此因子之量化值＝|坡向－傾向|（岩層傾向係由現場觀察露頭再以地質羅盤量得），一般順向坡之值＜20˚，逆向坡則＞160˚ (Hoek and Bray, 1977)，故此因子可反映邊坡是否為順向或逆向坡，而一般土層或破碎岩層邊坡則以 90˚（直交坡）為其量化值。

2. 坡度與傾角交角

當坡面之坡度＞岩層之傾角時，層面即會在坡面出露，若邊坡為順向坡時，則構成順向坡滑動之條件。此因子之量化方法為：坡度－傾角。一般土層及破碎岩層邊坡以水平岩層（傾角為 0˚）視之，其值等同於坡度。

3.2.1.4 風化及破碎程度

破碎與風化使岩石或土壤的孔隙率及透水率增加，不但強度降低、含水量增加，亦同時降低了邊坡的穩定性。輕度節理之岩體由於受表面風化的作用，一般較常發生墜落型崩塌；而具一定厚度之嚴重風化土層及高度破碎岩層，則易產生圓弧形滑動，為描述此一岩層之風化及破碎程度，選擇以岩塊規模及岩塊體積百分比兩項因子來表示（圖 3-7），其說明如下。

圖 3-7　風化及破碎程度量化示意圖

1. 岩塊規模

主要用以描述岩層之破碎及節理程度，以地層中大多數尺寸相近岩塊的平均直徑作為此因子之量化值。

2. 岩塊體積百分比

以岩塊在整體邊坡中所佔之體積百分比（%）為其量化值，用以表達邊坡地層之風化程度。

3.2.1.5 植被

植生的陰影會使基地的氣溫降低、阻擋吹風，而且因蒸散作用而改變溫度與溼度。山區道路邊坡常因豪大雨而造成崩塌，而邊坡表面之植被可減緩降雨對坡面之直接襲擊，並可減少逕流量，對於深根植物而言，還可提高地層之穩定性，故植被較完整之邊坡，理論上應具較低之崩塌潛能及機率。故本研究選取下列二因子用以描述邊坡表面植被之情況：

1. 植被覆蓋面積百分比

以樹蔭可有效覆蓋坡面之面積佔整體坡面面積之百分比

（%）作為其量化值，用以表示植被覆蓋程度，相反地，亦反應坡面之裸露程度。

2. 植被覆蓋厚度

係指植被可有效覆蓋之厚度，單位為 m。植生覆蓋對侵蝕的控制扮演著重要的角色。枝葉及落葉不但可以抵擋雨點對土壤的沖擊，而且還會減少土壤的滲透性。以檳榔樹為例，雖其普遍具有 5~6m 以上之高度，但其樹冠之厚度僅 0.5m 左右，故不能有效抵抗雨水直接襲擊坡面，故檳榔樹之有效覆蓋厚度僅 0.5m。

3.2.1.6 水系（集水區面積）

本研究主要探討之邊坡崩塌問題皆是由降雨所引致，故水為主要之影響因素，為反應降雨時實際滙流於邊坡上方之水量，集水區面積乃是一較佳的表達因子。其量化方式為將欲量化區域之 DTM 資料（X,Y,Z），透過 GIS 之空間分析模組產生之暈渲效果及等高線來判別邊坡之集水區範圍，如圖 3-8 所示

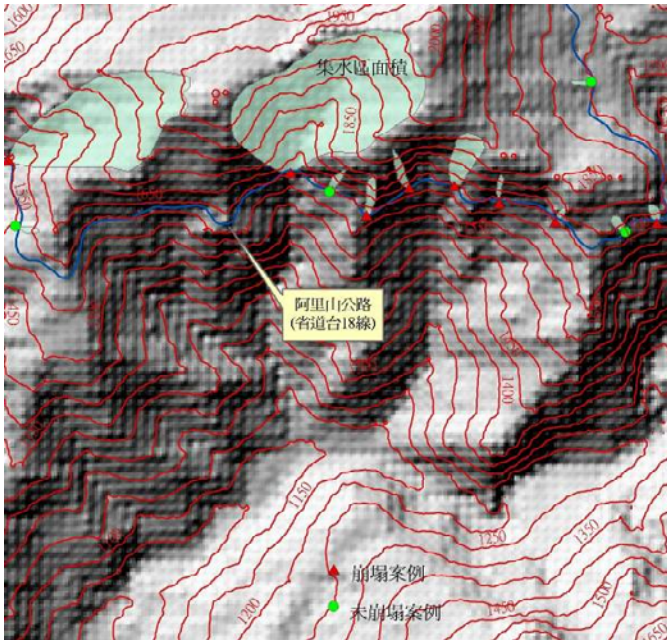


圖 3-8　GIS 建置之集水區面積圖

3.2.1.7 地震力（最大水平地表加速度）

為能量化及表達 921 地震對阿里山沿線地表地質之影響，本研究選擇以較具代表性之水平地表加速度作為此因子之量化值，主要以中央氣象局在沿線附近的 21 個測站所量測到之地表加速度，使用 ArcView（GIS）軟體之空間分析模組，將空間分佈之各點地表加速度值進行內插，即可得阿里山公路沿線之最大水平地表加速度分佈圖（如圖 3-9 所示）。

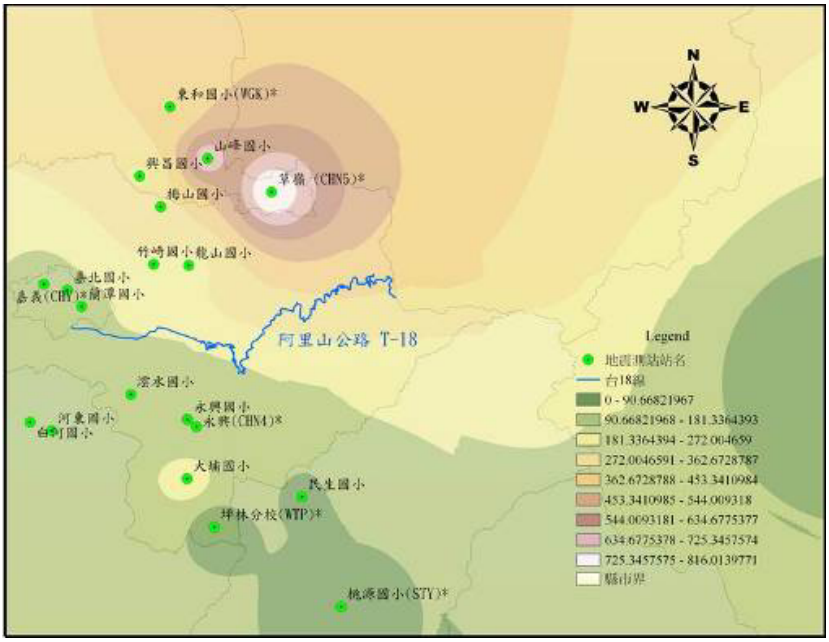


圖 3-9　921 集集地震之最大水平地表加速度分佈圖

3.2.1.7 坡地開發

山區道路之開闢將影響其原有邊坡之穩定性，因此道路開闢為影響邊坡崩塌之主要人為影響因子。本研究選取以坡趾開挖高度及坡度改變量作為評估道路開闢對原有邊坡影響程度之兩項因子（如圖 3-10 所示）。

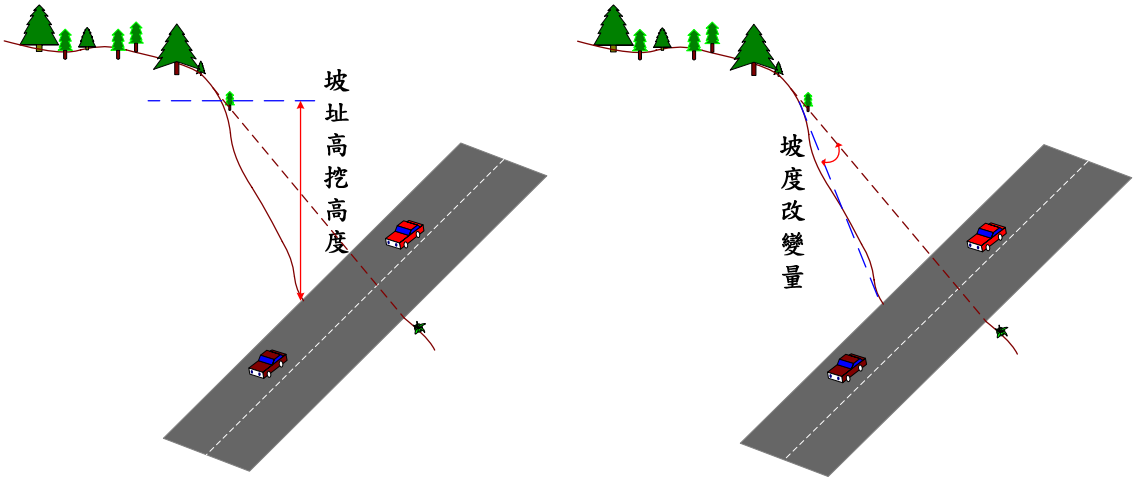


圖 3-10　坡地開發量化示意圖

1. 坡趾開挖高度

坡趾開挖高度之定義係指坡趾開挖之垂直高度，由道路面為基準，起算至開挖面最頂端之高度，單位為 m。其量化方法由現場測高杆量取，超過測高杆部份則依比例估算。一般來說，若道路開闢未切割原有邊坡而興築，其坡趾開挖高度應維持 0。

2. 坡度改變量

坡度改變量 $\Delta\theta$ ＝開挖後坡度－原有邊坡坡度，若道路開闢未切割原有邊坡而改變其邊坡坡度，其坡度改變量亦應維持為 0。

3.2.2 誘發因子

誘發因子為誘使邊坡發生崩塌之影響因子，若排除人為造成崩塌之因素，一般所探討之誘發因子為降雨，且本研究所蒐集之崩塌案例皆為颱風時期所造成之邊坡崩塌，故選用颱風時之累積降雨量作為誘發邊坡崩塌之誘發因子。另外，為配合雨量分佈空間分析之研究，雨量資料除調查臺 18 線路段外，更完整的蒐集臺灣中部地區颱風期間之雨量站資料（詳見 5.1.1 節），而雨量因子量化請參見 5.1 節。

3.2.3 分析崩塌規模所另需加入之因子

於崩塌潛勢分析研究中，如欲進行邊坡崩塌規模之預測分析，則考

量需加入覆蓋土層厚度、坡面寬度、坡面高度與坡面長度（本節所述之坡面為原始崩塌面）等影響因子，以使預測更具準確性。其量化方式說明如下：

3.2.3.1 覆蓋土層厚度

一般來說，覆蓋土層厚度較厚時，崩塌發生之土方量也較多，因此選擇覆蓋土層厚度為崩塌規模預測之影響因子。而本研究之量化方法，以各種植被根部生長深淺度之不同，將植被分為四類：短草%（根部長度<1m）、長草%（根部長度>1m）、灌木%（根部長度<1.5m）和喬木%（根部長度>1.5m），再根據此欲量化之區域植被所佔百分比進行量化。

3.2.3.2 坡面（原始崩塌面）寬度（W）

本因子量化方式是根據災損照片找出概略之崩塌面範圍，然後回到現地現場直接以標竿或是捲尺量得。

3.2.3.3 坡面（原始崩塌面）高度（h）

根據災損資料之崩塌照片，針對已崩塌案例判斷出崩塌面之高度，然後回到現地現場直接以前人所量化之坡高值以比例方式作為估算的量化依據。

3.2.3.4 坡面（原始崩塌面）長度（L）

此因子量化方式是藉由崩塌面高度量得之後，利用與坡度的三角函數關係（$L=h/\sin\theta$）量化之，式中 h 為崩塌面高度（m），L 為崩塌面長度（m），θ 為坡度（°），圖 3-11 所示為崩塌面寬度、崩塌面高度與崩塌面長度量化示意圖。

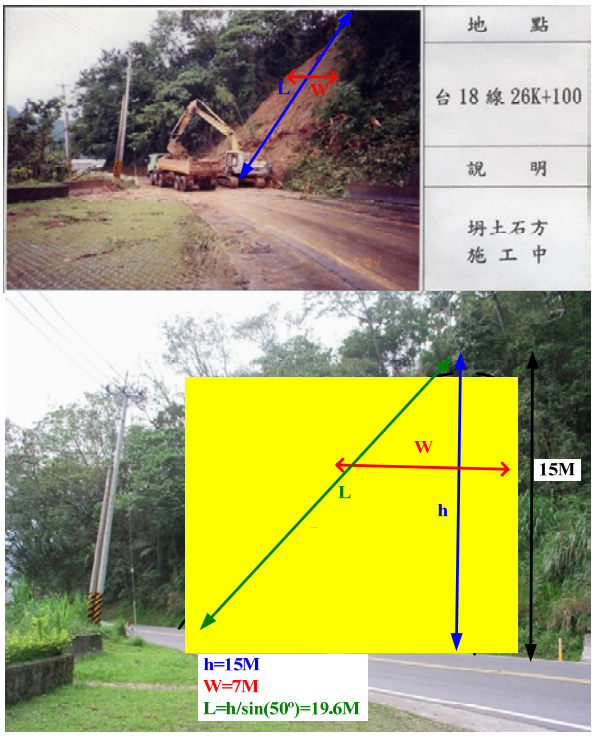


圖 3-11　坡面（原始崩塌面）寬度 W、高度 h 和長度 L 量化示意圖

第四章 道路邊坡維護管理系統改版與擴充規劃

配合交通部運輸研究所之公路防救災系統整合計畫，本研究將 94 年開始建置至今之單機版道路邊坡管理系統，擬規劃改版為網路版，並持續擴充相關資料與欄位需求。而改版之系統架構，不同於原系統之處，主要係依去年「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一案之研究成果，將系統規劃分為災前預防、災中搶修與災後復建三階段（如圖 4-1 所示）。另外，亦將原系統結合地理資訊系統之查詢功能，配合橋樑系統統一建置於 GIS 資料管理界面中，如圖 4-2 所示，以下本章內容將針對上述功能之規劃進行說明。

圖 4-1　道路邊坡管理系統模組

圖 4-2　GIS 資料管理界面

4.1 災前預防階段

道路邊坡崩塌災害發生前,可透過基層人員平日之道路養護巡查作業，以及基本環境、巡查記錄、歷年災害等相關資料之累積作業，針對未來可能發生之災損狀況進行預測，如此一來，除用以瞭解後續災害防治之重點外，並可回饋防救災工作規劃調整，達到災害預防之效能，因此本系統規劃在此階段應包含有道路邊坡資料管理、邊坡報表輸出與邊坡統計分析等功能。

4.1.1 道路邊坡資料管理

於道路基本資料管理部份，主要為建立道路本身之相關資料，例如：公路編號、公路等級、公路別名、管理單位、起訖里程、里程樁間隔距離，以及道路所座落之縣市等資料（詳見圖 4-3）。而本研究規劃道路基本資料管理功能之目的，除提供前導關係資料之搜尋外，亦便於公路養護單位進行道路資料之確認與控管。

圖 4-3　道路基本資料管理界面

4.1.2 邊坡報表輸出

報表輸出功能主要係針對災後復建階段之巡檢維護、災損、工程等資料庫（詳見 3.3 節），進行匯出之表格設計，利用各表單之勾選查詢項目，可查詢欲輸出之表單，如圖 4-4 所示。將此功能規劃於此災前預防，其目的是希望提供平日巡檢之基層工程師能簡單獲得欲巡檢路段之相關歷史資料，始於現場能快速判斷相較於歷史資料有無異常之情形，以確實達到災前預防之目的。

圖 4-4　報表輸出管理界面

4.1.3 邊坡統計分析

邊坡統計分析功能，目前先期規劃係依據所填報自然環境資料中之水文、地形、地質與現況等相關資料欄位，依圖 4-5 所示之勾選條件，進行數據統計並繪製其統計圖表，而後續將視系統使用者之需求，再增置其他資料庫欄位之統計分析功能。

圖 4-5　統計分析管理界面

4.2 災中搶修階段

目前臺灣道路管理單位對道路崩塌之緊急搶修階段，其整治重點在於減少交通阻斷時間、維持交通順暢。然災害發生過程中，若能確實掌控災情，進行合宜之搶救災工作，則可降低災害之擴大，發揮搶修工程之效能。因此針對災中搶修階段，系統規劃將去年研究成果「道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊」中簡易之目視調查表單予以數位化，並在開發過程中建置適合之相關欄位，以提供現地工程人員於第一時間前往現場勘災時，可以確實記錄災況現場之相關資料。圖 4-6~圖 4-12 為簡易目視檢查表單目前規劃可供填報之相關欄位資料。

圖 4-6　基本資料調查欄位

圖 4-7　災害狀況調查欄位

圖 4-8　地形地質及植披與土地利用狀況調查欄位

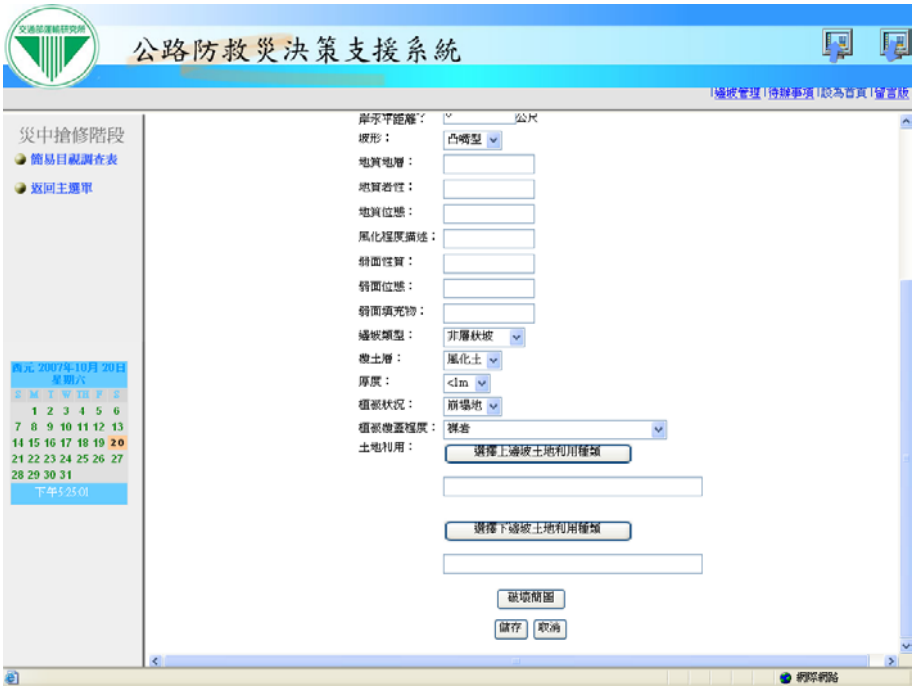


圖 4-9　地形地質及植披與土地利用狀況調查欄位（續）

圖 4-10　保全對象調查欄位

圖 4-11　災害簡述及建議欄位

圖 4-12　照片及說明欄位

4.3 災後復建階段

傳統上，道路邊坡崩塌防治之考量，在復建工程方面，大多以經濟成本為主要考量因素，但近幾年來社會意識與環境生態觀念逐受重視的情況下，不但對於提升用路人安全、增加環境景觀、減少交通阻斷時間，以及國土永續利用等考量，已有凌駕經濟因素之趨勢。有鑑於此，本研究團隊於去年「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一案，提擬災後復建工作應包含：系統化勘災、既存抗災能力評估、復建工作規劃執行，以及研擬監測預警規劃等。而為配合此研究成果，系統規劃在此階段之資料庫系統包含有：邊坡巡檢表單、邊坡整治工法、邊坡災損資料、邊坡自然資料、邊坡監測儀器等資料庫。期擬此功能規劃有助於基層工程師與決策管理者於災後復建工作規劃執行時，能有系統且完整的相關資料之供參考。以下針對本階段所規劃之各項功能作一說明。

4.3.1 邊坡巡檢表單資料庫

公路養護單位平時須定期進行道路巡檢作業，以便隨時瞭解道路狀況，並填具巡檢報告表，倘若遇有重大特殊情況，則應即時進行緊急處理，以確保道路各項設施之完善、行車駕駛舒暢安全及維持道路基本功能。有鑑於此，本研究團隊將基層工程師需針對道路邊坡狀況進行定期巡檢作業之程序納入資料庫系統中，建立符合現地實際狀況需求之邊坡巡檢表單資料庫，以方便工程師定期針對所管轄範圍內之邊坡進行檢視作業。

在巡檢資料庫之起始界面，目前規劃可利用管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、填報日期、巡檢人員、巡檢種類，以及結構物種類等相關欄位資料進行搜索，再針對擬查詢之巡檢紀錄資料進行編修作業，然或者規劃可透過「新增巡檢資料」按鈕，來進行新增紀錄資料（詳圖 4-13）。

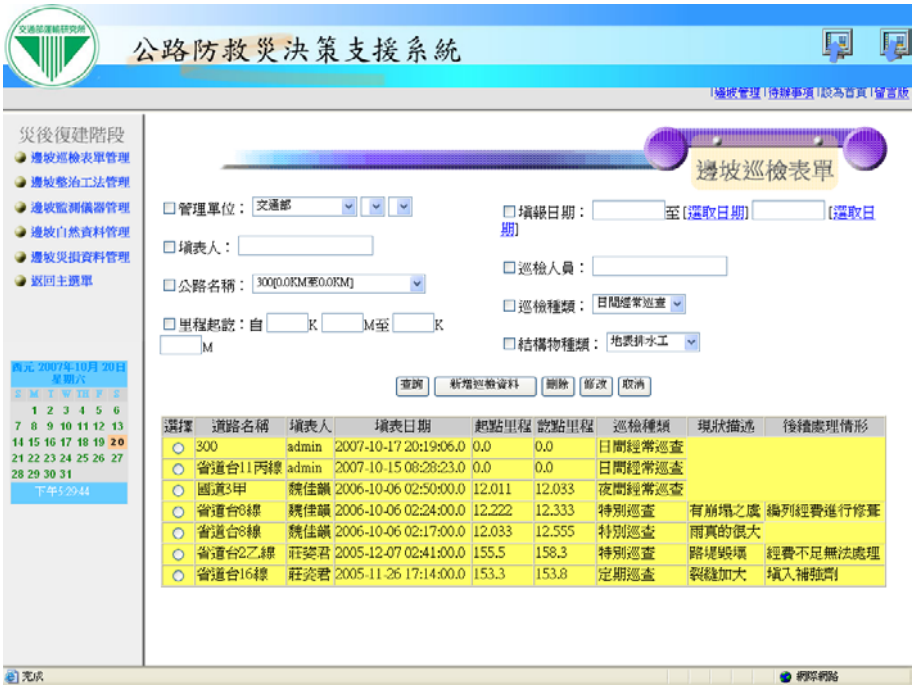


圖 4-13　巡檢資料庫之搜尋與新增功能界面

關於巡檢資料庫之填報界面，目前系統規劃包括基本資料、自然環境資料、結構物檢查表與巡檢種類與照片等夾頁資料。其中基本資料與自然環境資料之夾頁內容規劃同於邊坡自然資料庫資料（詳見 3.3.4

節)，而結構物檢查表又分為擋土、護坡與排水等三類，其建置規劃是參考交通部研究成果所研擬之「道路邊坡擋土結構物功能檢查表」相關內容予以數位化，如圖 4-14、圖 4-15、圖 4-16 與圖 4-17 所示，規劃上先將結構物檢查分為擋土、護坡與排水三大設施種類，再依據各項工程設施給予巡檢之細項：以擋土設施為例，於巡查作業時，應先選定巡查之擋土種類，再針對擬訂之檢查項目逐條審視、勾選。因此，此項功能之規劃，將可協助工程師有效且迅速地評估現地結構物災損狀況，必要時可提出預警作用，達到降低用路風險之功效。

圖 4-14　巡檢資料庫之擋土結構物檢查界面

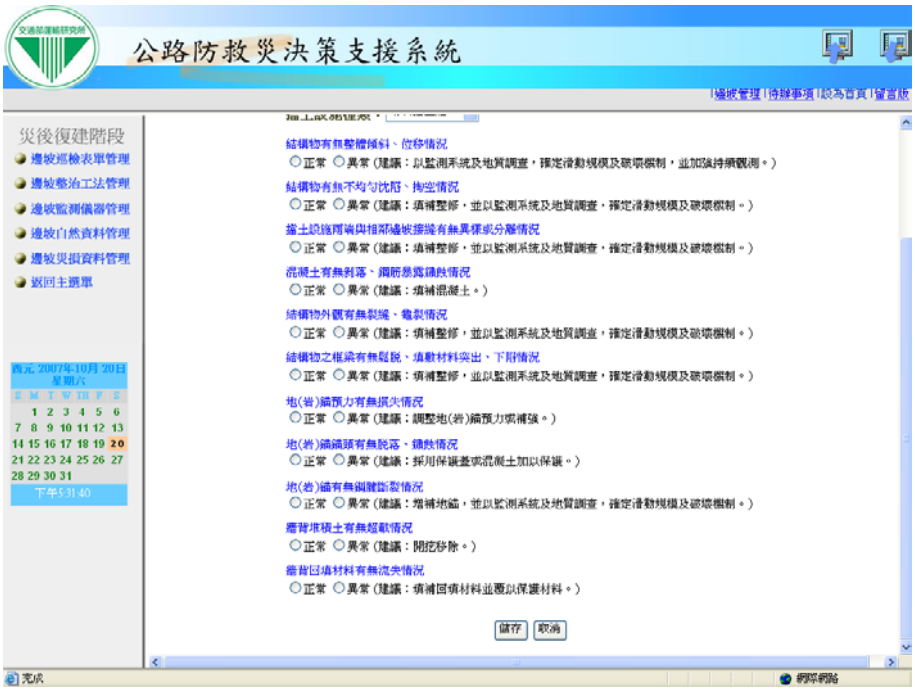


圖 4-15　巡檢資料庫之擋土結構物檢查界面（續）

圖 4-16　巡檢資料庫之護坡設施檢查界面

圖 4-17　巡檢資料庫之排水設施檢查界面

巡檢種類與照片之夾頁資料規劃如圖 4-18 所示，目前規劃可載入前期或當下巡檢所拍攝下之現況照片，並記錄巡檢種類、事件類型、現況描述，以及後續處理情形等。而後續將再嘗試開發，可在載入之照片上，利用圈選的方式標註結構物之裂縫、滲水、崩落、毀壞或其他狀況，再由資料庫系統針對圈選出之區塊範圍依據填報日期給予自動編碼，以提供後續進行維修、修復與定期巡查作業之參考依據。

圖 4-18　巡檢資料庫之巡檢種類與照片載入界面

4.3.2 邊坡整治工法資料庫

在邊坡整治工法資料庫中，規劃可以先透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、工程名稱、承辦人、工程起訖、整治工法，以及發包執行年度等欄位資料進行交叉搜索作業，以針對擬查詢之維護工程資料進行編修作業，亦或可透過「新增工程資料」按鈕，進行新增填報作業（詳見圖 4-19）。

圖 4-19　邊坡整治工法資料庫之搜尋與新增功能界面

關於工程資料庫之填報界面，考量系統資料之完整性與連貫性，於整治工法資料庫系統下規劃開發基本資料、自然環境資料，以及維護工程紀錄等三大類資料。其中，關於基本資料與自然環境資料夾頁內規劃之相關欄位，則相同於 3.3.4 節所述之邊坡自然資料庫。至於維護工程紀錄之相關欄位資料，規劃除了依據工程名稱、工程起訖、承辦人、發包執行年度、總工程經費等記錄邊坡整治基本資料外，此資料庫擬亦記錄邊坡整治工程資料、工程明細資料、施工照片等。其中邊坡整治工程資料之相關欄位，包括：工程種類（分為：新建工程、災變緊急搶修與修復工程、經常性維護工程、永久性維護工程及道路拓建維護工程等）、道路等級、道路寬度、車道數、上下邊坡之土地利用情形、整治工法及其整治成果、整治維持時間、整治不良原因，以及整治工程之修復範圍（長、寬、高）等（詳圖 4-20 與圖 4-21）。

圖 4-20　整治工法資料庫之維護工程界面

圖 4-21　整治工法資料庫之維護工程界面（續）

關於資料欄位中之整治工法部份，預計將結合交通部相關研究成果中之工法分類系統，採用統一編碼方式，將工法分為外穩定（編碼－E）、內穩定（編碼－I）、排水（編碼－D）、避險（編碼－A）與植生（編碼－V）五大類，並同時將較為典型之示範案例照片，結合「交通部公路總局標準圖說」建置於系統中（如圖 4-22 所示）。如此一來，除可便於現地使用之工程人員進行判釋與填報外，亦可透過統一編碼的功能，檢討各項工法之整治成效，提供後續進行緊急搶修與復建技術整合之決策參考依據。

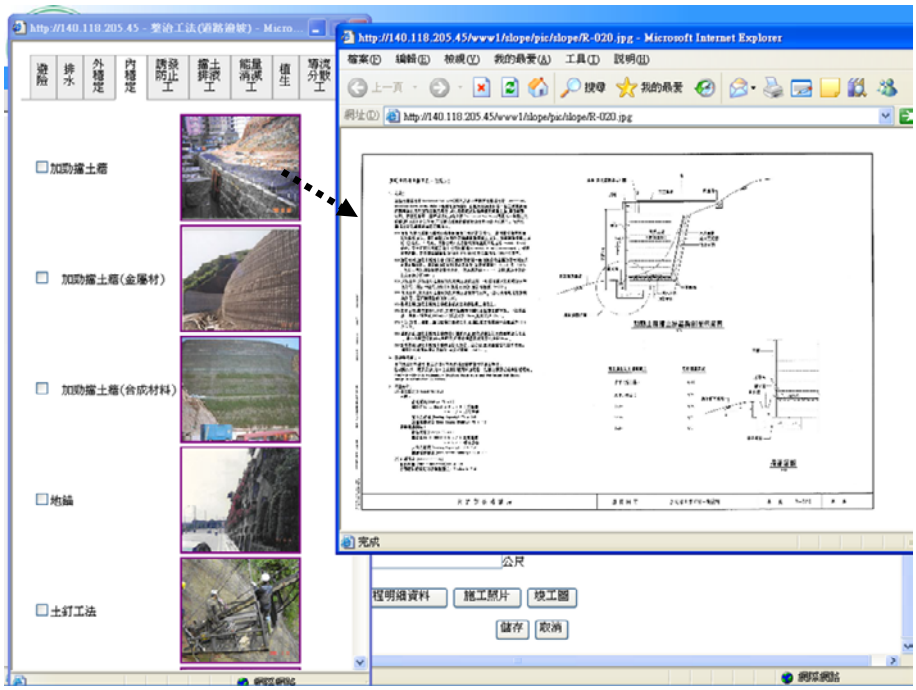


圖 4-22　整治工法資料庫結合交通部公路總局標準圖說界面

另外，有關工程明細資料部分，預計主要依據公路養護單位規劃之報表與預算內容進行設計。而施工照片部分則是規劃採用夾檔方式彙整工程整治前之現地照片，施工過程之記錄照片及完工後之驗收成果照片，並將彙編進來之各階段照片，依據整治點位所屬之道路工程基本碼進行分類與儲存。除此之外，為考量基層人員彙集相關之工程整治資料，本系統亦規劃提供竣工圖之彙編作業功能，此功能界面除可提供基層工程人員完整保留相關之整治工程資料外，亦可提供其他路段使用者後續之參考與下載作業。

4.3.3 監測儀器資料庫

監測儀器資料庫規劃可透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、安裝日期、儀器種類與安裝單位等欄位資料進行交叉搜索作業，以針對擬查詢之監測儀器資料進行編修作業，亦可透過「新增監測儀器資料」按鈕，進行資料新增填報作業（詳見圖 4-23）。

圖 4-23　監測儀器資料庫之搜尋與新增功能界面

至於監測儀器資料庫之填報界面，為了考量確實建置完整之邊坡資料，於此資料庫系統下預計建置基本資料、自然環境資料與監測儀器資料等三大類，其中，關於基本資料與自然環境資料夾頁內規劃之相關欄位，則同於 4.3.4 節之邊坡自然資料庫。而監測儀器資料庫之相關欄位，則擬含括安裝單位、安裝日期、安裝經費、量測單位、初始量測日期，以及監測儀器種類與即時監測資料等（詳圖 4-24）。

圖 4-24　監測儀器資料庫之搜尋與新增功能界面

其中監測儀器種類之欄位架構，主要參考整治工法資料庫之整治工法分類系統，採以統一編碼方式，依據監測儀器量測對象之不同，將監測儀器分為「應變、傾斜或位移監測」、「雨量、水位與水壓監測」，以及「應力監測」三大類，並擬於資料庫中建置安裝照片、示意圖，以及載錄相關之定義敘述等資料；如此一來，除可方便現地使用之工程人員進行判釋與填報作業外，統一編碼之功能，亦可提供作為檢核各項監測儀器功能成效之參考依據。至於即時監測資料部分之資料來源，目前由於考量使用權限問題，預計採以網路連線方式進行瀏覽。

4.3.4 邊坡自然資料庫

邊坡自然資料庫可透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、填報日期、岩盤種類、地盤材料與崩塌情形等欄位資料進行資料之交叉搜索作業，以針對擬查詢之自然環境資料進行編修作業，亦可透過「新增自然環境資料」按鈕，進行新增作業（詳見圖 4-25）。

圖 4-25　邊坡自然資料庫之搜尋與新增功能界面

而於此資料庫之填報界面，考量為確實建置完整之邊坡資料，故於此系統下規劃建置基本資料與自然環境資料等二大資料填報界面。以基本資料而言，主要規劃之欄位包括了所屬單位、填表人、填報日期、公路名稱、里程起訖等，其中，所屬單位、填表人以及填報日期等三項資料欄位系統將規劃採以自動擷取功能，使用者在填報作業時，無需自行進行填報輸入作業（詳見圖 4-26）。

圖 4-26　自然資料庫內之基本資料填報界面

至於自然環境資料庫這部分，主要可以分為地質、地形、座標、邊坡現況、水文、崩塌型態，以及圖說影像資訊等七項，其中，地質部分主要彙整記錄了岩盤層態、岩層種類、覆蓋層情形、地質構造等；地形則記錄有主要坡向、上方坡度、區位與坡形等；座標欄位則是採用 TM67 二度座標，記錄現地之 X、Y，以及高程 Z 之座標值；至於邊坡現況部分，則分別記錄了挖填方情形、坡面風化程度、坡趾開挖、邊坡維護、坡頂荷重等現況資料；水文部分則規劃有年度降雨量、地面排水與地下水滲流等相關資料欄位（詳見圖 4-27 及圖 4-28）。至於圖說影像資訊部分，目前考量利用夾檔方式彙整入等高線圖、航照圖、地質圖、監視影像攝影等相關圖資。

圖 4-27　自然環境資料庫之填報界面

圖 4-28　自然環境資料庫之填報界面（續）

綜上所述，利用圖說影像資訊所彙整之相關圖層，除可確實完整記

錄邊坡各時期之自然環境相關資訊外，更可以透過各時期建立之圖層進行套疊分析作用，將可提供後續進行加權、評估作業，以作為提供建立道路邊坡專屬之維護、災害搶修與復建決策系統之參考依據。

4.3.5 邊坡災損資料庫

災損資料庫可透過管理單位、填表人、公路名稱、里程起訖、工程名稱、承辦人、工程起訖、發包執行年度、災害名稱、災害種類，以及承包商等欄位資料進行交叉搜索作業，再針對擬查詢之災損資料進行編修作業，除此之外，亦可透過「新增災損資料」按鈕，進行新增作業（詳見圖 4-29）。

圖 4-29　災損資料庫之搜尋與新增功能界面

關於災損資料庫所建置之填報界面，考量各系統間資料之完整，於災損資料庫系統下共開發了基本資料、自然環境資料、通報紀錄，以及搶修工程紀錄等四大類。其中，基本資料與自然環境資料內規劃之相關欄位，詳見前述之邊坡自然資料庫（圖 4-26、圖 4-27 與圖 4-28）。而通報紀錄規劃開發之相關欄位，考量災害發生除需確實記錄災害造成之工程損壞與相關配套之搶修作業外，亦應將災害造成之災情現況予以記載，故預計建置欄位有：通報人、通報時間、災害發生時間、

災害程度、交通阻斷情形、傷亡與失蹤人數、發送簡訊通知、現場狀況描述，以及其他之備註說明等資料欄位（詳見圖 4-30），其中發送簡訊通知功能為不同舊版單機系統所增設之功能，可使填報人員於災害發生期間，能及時通報目前現地所處狀況。

圖 4-30　邊坡災損資料庫之通報紀錄界面

搶修工程紀錄之架構，目前系統規劃建置欄位，除涵蓋了配合災害發生所進行之工程名稱、工程起訖、總工程經費、承辦人、發包執行年度與承包商資料外，亦記錄了災害名稱、災害種類（含颱風、豪雨、地震、其他等）、災損地點補述、損壞情形、災損原因、工程種類，工程資料以及相關之災損照片（詳圖 4-31），其中工程資料之填報則將再細分為施工項目、數量、單位、單價、折減、複價等項目。然目前規劃之搶修工程資料，除可以依據災害類型與災害發生之時間，確實記錄道路邊坡災情外，相關資料之完整填報亦可提供進行相關路段歷次災損情形與經費使用狀況之統計分析。

圖 4-31　邊坡災損資料庫之搶修工程紀錄界面

4.4 邊坡 GIS 資料庫

系統改版規劃擬延續原系統結合地理資訊系統之構想，提供填報資料查詢功能，並以空間化方式進行展示，然為使 GIS 資料庫之查詢功能提供使用者更簡便且正確的操作界面，系統改版規劃於此資料庫提供之功能包含：災損金額統計、縣市屬性查詢、資料屬性查詢、編碼屬性查詢與點位查詢等（如圖 4-32 所示），以下茲就上述功能之規劃作一說明。

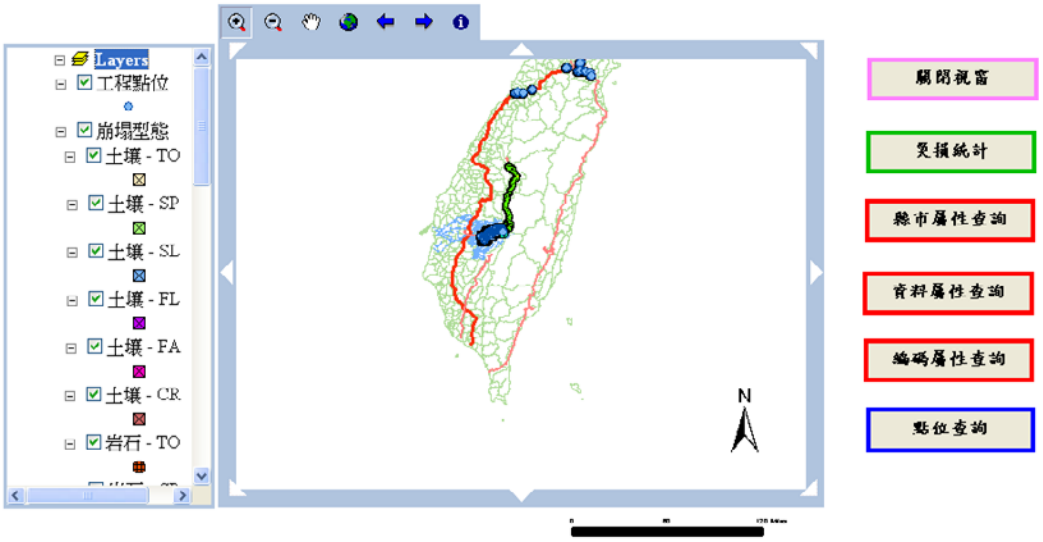


圖 4-32　邊坡 GIS 資料庫管理界面

4.4.1 災損金額統計

災損金額統計功能，可利用目前規劃如圖 4-33 所示之搜尋條件(道路名稱、災害名稱、災害種類、工程種類與發包執行年度等)，將歷年災害來襲造成道路損壞所花費之搶救經費進行統計，並利用圖資方式予以展示。除此之外，更規劃將來能在圖面上，可將統計分析結果以紅、黃、綠三種色塊進行展示，以明確地顯示各地因災害而投入之實際搶救資源。

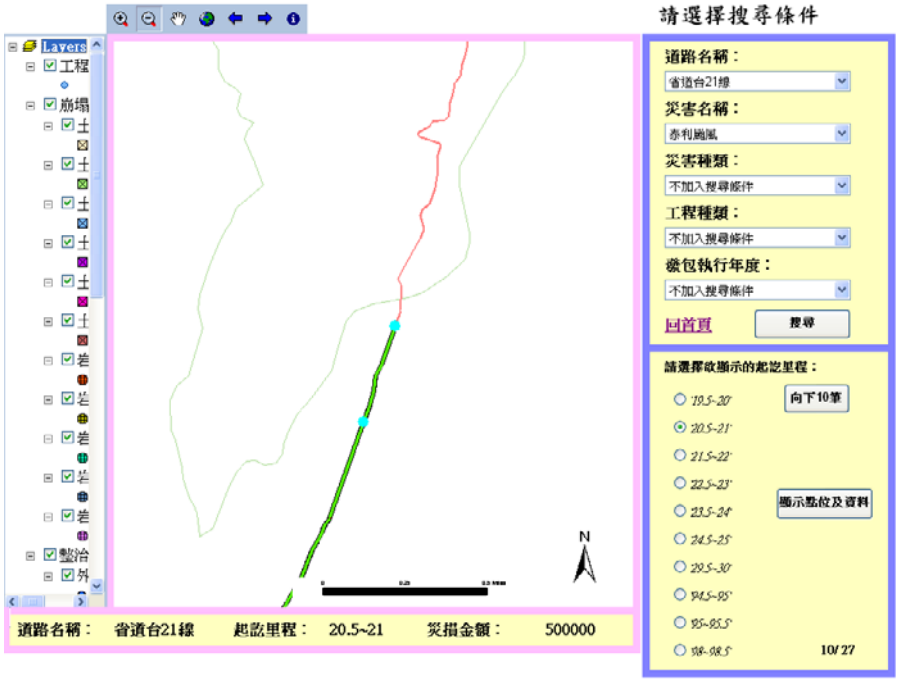


圖 4-33　災損金額統計管理界面

4.4.2 縣市屬性查詢

縣市屬性查詢功能主要在於可以搜尋已填報過位於全省各縣市、鄉鎮歷年整治之道路基本資料、工程資料及自然環境資料等，並可在圖層資料中顯示所查詢之點位位置。圖 4-34 所示為目前規劃縣市屬性查詢功能界面，可利用選取之年度、縣市與鄉鎮搜尋所欲查詢之道路，再勾取工程基本碼後，即可利用下方之屬性按鈕進行相關資料之查詢。

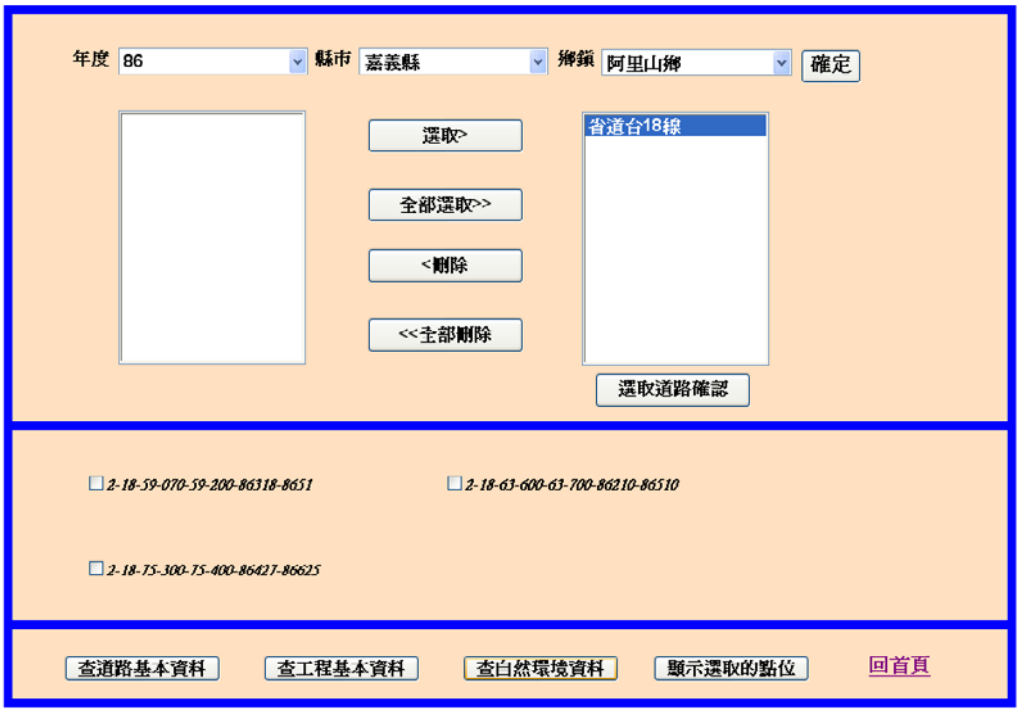


圖 4-34　縣市屬性查詢界面

4.4.3 資料屬性查詢

「資料屬性查詢」功能之規劃方向，主要依據道路基本資料、工程基本資料及自然環境資料等三大分類，輸入欲搜尋之條件因子，資料庫會自動將符合條件之所有相關案例編碼顯示出來，點選任一編碼，進行語法測試後，再利用下方之屬性按鈕，則可方便搜尋出欲得知之相關整治資料。同理，也可以利用資料庫查詢點位功能，於圖層中明顯找出搜尋點位之所在位置，然其資料屬性查詢界面如圖 4-35 所示。

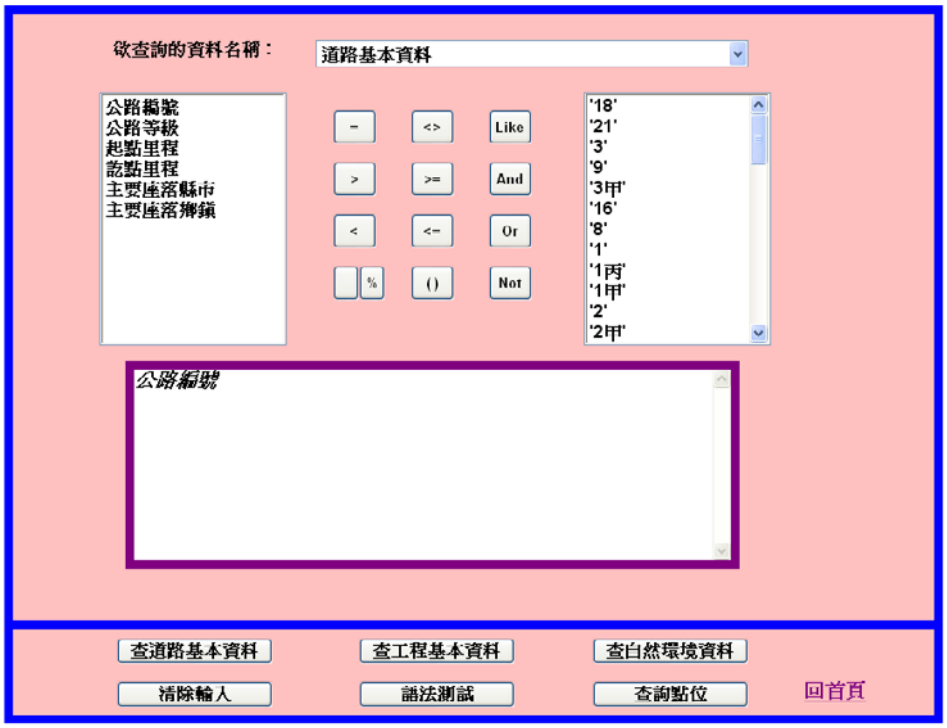


圖 4-35　資料屬性查詢界面

4.4.4 編碼屬性查詢

編碼屬性查詢之規劃目的，主要是欲結合邊坡崩塌型態及防治工法編碼分類系統建置之查詢界面，於此項搜尋功能界面下，利用點選方式可以進行相關之崩塌類型或防治工法之工程資料搜尋，目前規劃於此功能之界面如圖 4-36 與圖 4-37 所示。

圖 4-36　編碼屬性查詢界面(下續圖 4-37)

圖 4-37　編碼屬性查詢界面(上接圖 4-36)

4.4.5 點位查詢

圖 4-38 所示為目前所規劃之點位查詢界面，主要是透過時間排序之方式，將各時間點之整治工程資料展示於地理資訊系統上。

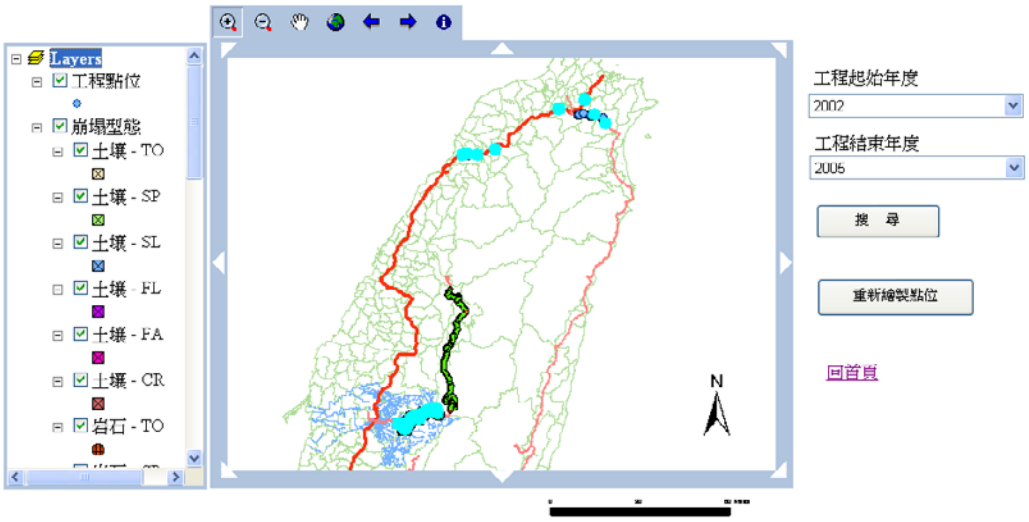


圖 4-38　點位查詢界面

第五章 道路邊坡致災因子（雨量、地下水）空間分析

目前國內外對道路邊坡崩塌之預測方式，已逐漸捨棄「是與否」之預測觀念，取而代之的是以機率的概念來做邊坡崩塌的預測，採用新近發展較為成熟之理論，推演定量化之描述模式，因應崩塌型式之不同，求得適切之影響因子與描述方法，作為考量邊坡防治設計時之應用。而計算邊坡崩塌機率所需之影響因子中，地質、地形等類的因子，屬於靜態性的因子，在短期內不會有明顯的變化；至於雨量因子以及和其相關之地下水文因子等，則屬於動態性的因子，其在短時間內可能會產生明顯的變化，因此如何正確量化雨量及地下水文因子，在預測崩塌機率之正確性上，則有著關鍵性的影響。

雨量因子之量化，因山區雨量變化大，隨著地形、坡向、高程等的改變，山區道路在短距離內可能就有顯著之降雨變化，因此不易以內差方式，藉由現有氣象局雨量測站測得之雨量資料，來準確地預測某山區道路之降雨量。有鑑於此，針對本研究蒐集近年來颱風豪雨期間雨量站之雨量資料，將利用高斯過程，分析颱風造成山區道路邊坡的降雨空間分佈，用以估算降雨空間中未知點之颱風降雨量。同時，為能更密集地蒐集某一區域山區路段之雨量資料，本研究團隊亦將配合於省道臺 18 線部份路段裝設雨量計，並運用格網技術回傳雨量資料，再利用此資料驗證量化因子常用方法（反距離權重法）之正確性，以期提供雨量致災因子量化時之參考依據。

而關於地下水文因子之量化，本研究之研究對象以淺層滑動邊坡為主，而引起淺層滑動破壞之主因，為降雨入滲所致，因此對於地下水文因子之量化，將以降雨所引起之地下滲流水為主，建立地下滲流水與邊坡滑動之關係，探討地下滲流水對邊坡淺層滑動之影響，同時為蒐集地下滲流水之相關資料，本研究擬於明年度於臺 18 線裝設含水量計，相關敘述與初步研究成果，詳述於 6.2 節。而本章節之敘述以雨量空間分析為主。

5.1 颱風降雨量空間分佈回歸分析—以中部山區為例

颱風降雨會因其結構與地形而影響,因此針對颱風降雨量空間分佈回歸分析部份，本研究依颱風結構所造成之豪大雨類型，選取過去十個侵臺颱風，利用中部山區氣象局所設雨量站之雨量資料，以高斯過程進行空間分佈分析，藉以估算空間中未知點之降雨量，並將分析結果與目前常用之分析方法（克利京法與反距離權重法）進行比較。以下將針對分析資料、分析模式建立，以及分析結果分述於以下各節中。

5.1.1 近年來颱風豪雨期間雨量資料蒐集彙整

本研究目的是為得知颱風侵臺時，在山區道路可能產生的降雨分佈，以便能考慮其降雨對山區道路邊坡的影響；因此雨量資料之蒐集，以中部地區之雨量站為主，其分佈之縣市分別為苗栗縣、臺中縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣市、臺南縣及高雄縣，如圖 5-1 所示，而圖 5-2 所示為臺 18 線附近雨量站分佈圖。另外，為能更確定地形對雨量的影響，所選取之雨量站則大多以靠近中央山脈為主，倘若太靠近西部平原，其附近地形幾乎為平地，在本研究中，將不予以納入考慮。

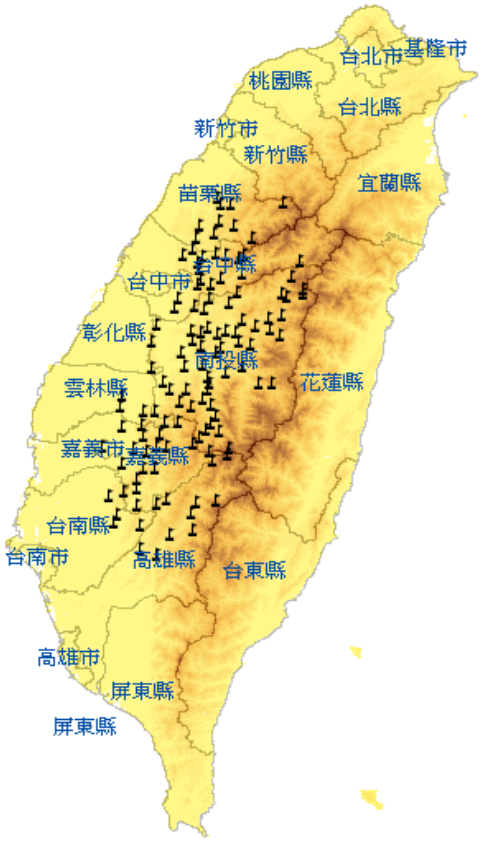


圖 5-1　研究範圍選取雨量站分佈圖

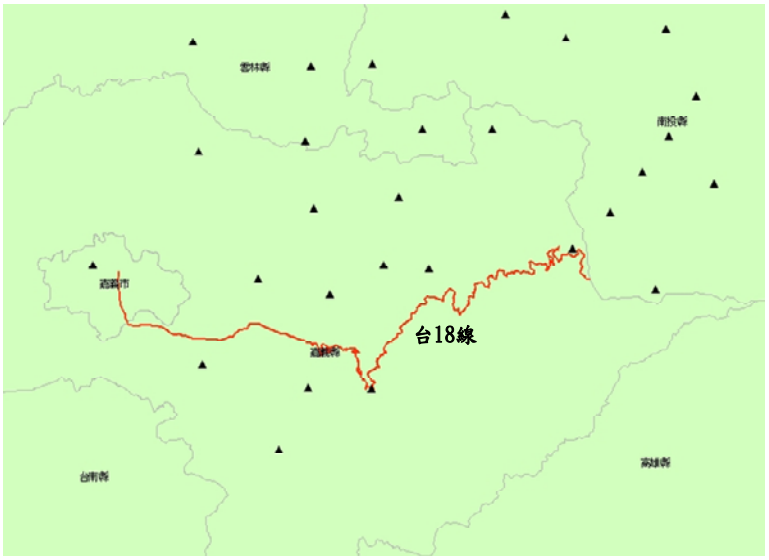


圖 5-2　臺 18 線附近雨量站分佈圖

而在颱風選定方面，當颱風侵臺時，受到地形強迫作用產生之降雨結構模式，由於移動及颱風中心跳躍的緣故，會在各地產生不同的降雨中心，降雨分佈也會因此而截然不同。中央氣象局將颱風侵臺時之降雨分佈，歸納出九種豪大雨類型，如圖 5-3 所示，而考慮本研究所選定之雨量站範圍，決定選取類型 C、D 及 H 的暴雨分佈，再尋找產生此種降雨分佈之颱風，並從中選出曾對臺灣造成重大傷亡的颱風作為研究對象，然依此方式篩選出之 10 個颱風及其發生日期，列於表 5-1 中。

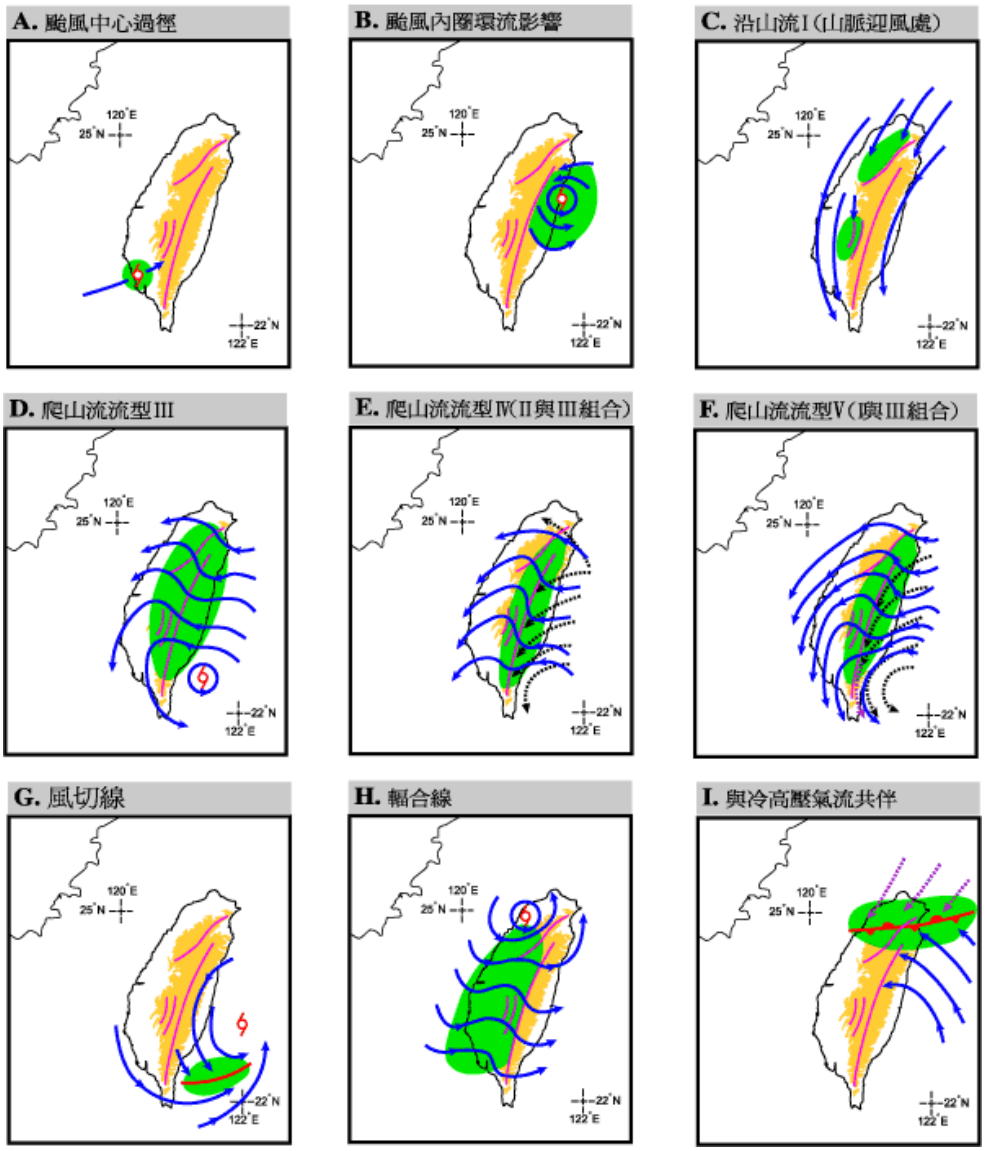


圖 5-3　颱風侵臺時九種豪大雨類型

表 5-1　研究範圍選取颱風列表

編號	颱風名稱	日期	強度
1	賀伯(Herb)	1996.07.31	強烈
2	瑞伯(Zeb)	1998.10.16	強烈
3	桃芝(Toraji)	2001.07.30	中度
4	納莉(Nari)	2001.09.17	中度
5	娜克莉(Nakri)	2002.07.10	輕度
6	敏督利(Mindulle)	2004.07.02	中度
7	艾利(Aere)	2004.08.25	中度
8	海棠(Haitang)	2005.07.19	強烈
9	馬莎(Matsa)	2005.08.05	中度
10	泰利(Tailim)	2005.09.01	強烈

依上述研究範圍之選定，本研究選取共 119 個雨量站，但因數據資料龐大，故將雨量站的基本資料彙整於附錄 IV，而所選取各颱風侵臺時雨量站之降雨量，則分別列於附錄 V，其表中所列之降雨量為日雨量資料，是以單小時累積雨量記錄累計而成，可看出，各颱風選取的雨量站數目不盡相同，這是因為全臺雨量站設站日期不一，尤其是南投縣大部份的雨量站幾乎都於民國 91 年才設置，因此較早期的颱風可選取的雨量站就少了很多。另外，在中央氣象局提供的時雨量資料中，有時會有錯誤代碼，將其歸納分類為三種情形：(1)-9996 表示資料累計於後，(2)-9997 表示因不明原因故障或無資料，(3)-9999 表示未觀測而無資料。由於日雨量資料是經由時雨量累計而成，因此當遇到-9996 的代碼，我們會預設該時雨量值為 0，但當遇到-9997 及-9999 的代碼時，我們會採用[5-1]公式來計算出合理的日累積雨量值，以期能更接近實際的日雨量值。

$$\text{單日累積雨量值} = \frac{24}{24-n}\sum_{i=1}^{24-n} H_i \qquad [5\text{-}1]$$

其中 n 表示有錯誤代碼的數目。

5.1.2 運用降雨資料進行空間分佈回歸分析

目前應用於降雨空間分佈預測颱風降雨量之方法，以反距離權重法

（Inverse Distance Weighted Method, IDW）及克利京法（The Kriging Method）為最常使用。然 IDW 法在使用時有只能輸入兩個影響因子之限制，而 Kriging 法雖可輸入任意數目的因子，但卻無法對因子重要度進行排序，因此本研究利用能做機率分佈之高斯過程建立雨量空間分佈模式，進行降雨量預測分析，期擬將來能與崩塌潛勢分析互相配合應用。

5.1.2.1 高斯過程回歸分析模式建立

本研究根據雨量站資料，藉由貝氏分析及高斯過程模型估算未知位置降雨量之機率密度函數（probability density function）。整體架構首先假定雨量站資料為 $D=\left\{z_i,\hat{Y}(z_i),i=1\cdots n\right\}$，其中 $z_i\in R^5$ 為第 i 筆資料的因子，在本研究中，R^5 前三個維度為地形因子(x_i,y_i,z_i)，後兩個維度為圖資因子(mZ_i,mS_i)；另再加入颱風因子(L_i,G_i)，維度將會提高到七個。而 $\hat{Y}(z_i)$ 為在該資料點量測到之雨量值，n 為總資料點數。

確認雨量站資料 D 集合後，便以量測資料 D 利用高過程分析，更新整個降雨量之機率密度函數 g。假設 D 為包含雨量站的雨量及因子，g 為雨量值的空間函數，$f(g|D)$ 為更新過後的雨量值空間機率分布函數，三者之關係可定義為：

$$f(g|D)=\frac{f(D|g)\cdot f(g)}{f(D)} \qquad [5\text{-}2]$$

其中 $f(g)$ 為不確定函數 g 之事先（prior）機率分佈（在沒有資料的情況下，g 的機率分布）；$f(g|D)$ 為 g 之事後（posterior）機率分佈（根據資料更新過後之 g 的機率分佈）；$f(D|g)$ 稱為可能性函數（likelihood function），其意義為當 g 已知的情況下，資料為 D 的可能性；$f(D)$ 為資料 D 的可能性，是一個常數。另外，式[5-3]中 $f(D|g)$ 可表示為

$$f(D|g)=\prod_{i=1}^{n}f\left(\hat{Y}(z_i)|g(z_i)\right)\propto\prod_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{\delta}\right)\cdot e^{-\frac{1}{2}\cdot\frac{\left(\hat{Y}(z_i)-g(z_i)\right)^2}{\delta^2}} \qquad [5\text{-}3]$$

為求得 $f(g|D)$ 更新過後的雨量值空間機率分佈函數，依據式[5-3]

了解需先建立 g 函數之事先機率分佈模型；本研究採用高斯過程模型進行 g 函數的事先機率分佈。而採用高斯過程模型作為 g 函數的事先機率分佈之原因為：(1)根據最大亂度（maximum entropy）原則，在已知某不確定數字之期望值及變異數並非無限大時，高斯分佈是最客觀的選擇（高斯分佈提供的主觀資訊最少）。同樣地，當我們只知道不確定函數 g 的期望值及變異數並非無限大，高斯過程模型是最客觀的選擇；(2)高斯過程模型的定義非常方便，我們僅需定義其期望值及共變異數便可完整表示此一機率模型，然許多函數機率模型並不具備此特性。

根據高斯過程定義：如果 g 函數為不確定函數，且任意有限位置的結合 $\{g(z_1), g(z_2), \cdots, g(z_m)\}$ 為聯合高斯分佈（Jointly Gaussian），則此不確定的 g 函數為一個高斯過程。高斯過程模型可由 g 函數的期望值與 g 函數的共變異數定義之，其中 $g(z)$ 的期望值為 $E[g(z)]$，而 $g(z_i)$ 與 $g(z_i)$ 的共變異數為 $E([g(z_i)-E(g(z_i))]\cdot[g(z_j)-E(g(z_j))]) \equiv C(z_i, z_j)$ 。

前人常用的高斯過程模型假定 $E[g(z)]=0$ ，且 $g(z_i)$ 與 $g(z_j)$ 之相關程度隨著 z_i 與 z_j 距離增加而下降：

$$C(z_i, z_j) = \theta_1^2 \cdot e^{-\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{3}\frac{(z_{i,k}-z_{j,k})^2}{(\gamma_k)^2}} + \theta_2^2 \qquad [5\text{-}4]$$

其中 $\theta_1, \theta_2, \gamma$ 皆為未定參數，稱為超參數；$z_{i,k}$ 為第 i 筆資料在第 k 維度之因子值。在這個共變異數模型的假設之下，當 z_i 與 z_j 距離靠近時，$g(z_i)$ 與 $g(z_j)$ 的關聯性高，反之則關聯性低。也就是說在這個機率模型之下，當沒有任何資料的情況下，較平滑的 g 函數比不平滑的 g 函數可能性高。雖然這是一個假設，但我們預期相近點之空間雨量分佈是類似的。

給定雨量資料 D 及 g 函數事先機率模型後，便可由下式估算 $f(g|D)$ 及 $E[r(g)|D]$，其中 $r(g)$ 為我們所關心與 g 相關之物理量。

$$E[r(g)|D] = \int r(g)\cdot f(g|D)dg = \int r(g)\cdot\frac{f(D|g)\cdot f(g)}{f(D)}dg \qquad [5\text{-}5]$$

然而直接求得$f(g|D)$及估算$E\left[r(g)|D\right]$是不可行的，這是因為

$$f(D)=\int f(D|g)\cdot f(g)dg \qquad [5\text{-}6]$$

因此$f(D)$之求取需要極高維度的積分（g是一個函數，因此其維度是無限大）。就算$f(D)$可以求出，直接利用式[5-5]估算$E\left[r(g)|D\right]$仍需要極高維度的積分，而且最大的困難是在於H是不確定的，因此本研究利用大數法則（Law of Large Number），將$E\left[r(g)|D\right]$簡化為下式：

$$E\left[r(g)|D\right]=\int E\left[r(g)|D,H\right]\cdot f(H|D)dH\approx\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}E\left[r(g)|D,H^{(i)}\right] \qquad [5\text{-}7]$$

其中$\left\{H^{(i)}:i=1,\cdots,N\right\}$是從$f(H|D)$隨機取樣出的$N$個樣本，如此$H$的不確定所造成的困難可藉由隨機取樣的技術解決。而隨機取樣之方法，本研究採用 Gibbs sampler 配合 Hybrid Monte Carlo 的技術來有效地自$f(H|D)$中取樣。

而在式[5-7]中，$E\left[r(g)|D,H^{(i)}\right]$的估算似乎仍相當地困難，原因為$E\left[r(g)|D,H^{(i)}\right]=\int r(g)\cdot f\left(g|D,H^{(i)}\right)dg$，仍須進行高維度的積分，但若$H$為已知，依據高斯推斷理論（Gaussian inference theorem），得知$f\left(g|D,H^{(i)}\right)$仍為高斯過程，則其期望值與共變異方程式可描述如下：讓$z_1^{new},z_2^{new},\cdots,z_p^{new}$為空間中$p$個位置之座標，而上標$new$是要突顯這些座標點與量測資料之座標可以不同；

若定義$g_{new}=\left[g\left(z_1^{new}\right)\quad g\left(z_2^{new}\right)\quad\cdots\quad g\left(z_p^{new}\right)\right]^T$，則

$$E\left[g_{new}|D,H^{(i)}\right]=E\left[g_{new}|H^{(i)}\right]+Cov\left[g_{new},Y|H^{(i)}\right]\cdot Var\left[Y|H^{(i)}\right]^{-1}\cdot\left(\hat{Y}-E\left[Y|H^{(i)}\right]\right) \qquad [5\text{-}8]$$

$$Var\left[g_{new}|D,H^{(i)}\right]=Var\left[g_{new}|H^{(i)}\right]+Cov\left[g_{new},Y|H^{(i)}\right]\cdot Var\left[Y|H^{(i)}\right]^{-1}\cdot Cov\left[g_{new},Y|H^{(i)}\right]^T \qquad [5\text{-}9]$$

其中 $Y=\left[Y(z_1)\ \cdots\ Y(z_n)\right]^T$，$\hat{Y}=\left[\hat{Y}(z_1)\ \cdots\ \hat{Y}(z_n)\right]^T$；在此，因為 $E\left[g\,|\,H^{(i)}\right]$=0，因此 $E\left[g_{new}\,|\,H^{(i)}\right]$ 與 $E\left[Y\,|\,H^{(i)}\right]$ 是零向量；$Cov\left[g_{new},Y\middle|H^{(i)}\right]$ 為 g_{new} 與 Y 的共變異矩陣，$Var\left[Y\,|\,H^{(i)}\right]$ 為 Y 的變異數矩陣，$Var\left[g_{new}\,|\,H^{(i)}\right]$ 為 g_{new} 的變異數矩陣：

$$Cov\left[g_{new},Y\middle|H^{(i)}\right]=\begin{bmatrix} C\left(z_1^{new},z_1\right) & C\left(z_1^{new},z_2\right) & \cdots & C\left(z_1^{new},z_n\right) \\ C\left(z_2^{new},z_1\right) & C\left(z_2^{new},z_2\right) & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & C\left(z_{p-1}^{new},z_n\right) \\ C\left(z_p^{new},z_1\right) & \cdots & C\left(z_p^{new},z_{n-1}\right) & C\left(z_p^{new},z_n\right) \end{bmatrix}$$

$$Var\left[Y\,|\,H^{(i)}\right]=\begin{bmatrix} C(z_1,z_1)+\delta^2 & C(z_1,z_2) & \cdots & C(z_1,z_n) \\ & C(z_2,z_2)+\delta^2 & & \vdots \\ & & \ddots & C(z_{n-1},z_n) \\ symmetry & & & C(z_n,z_n)+\delta^2 \end{bmatrix}$$

$$Var\left[g_{new}\,|\,H^{(i)}\right]=\begin{bmatrix} C\left(z_1^{new},z_1^{new}\right)+\delta^2 & C\left(z_1^{new},z_2^{new}\right) & \cdots & C\left(z_1^{new},z_p^{new}\right) \\ & C\left(z_2^{new},z_2^{new}\right)+\delta^2 & & \vdots \\ & & \ddots & C\left(z_{p-1}^{new},z_p^{new}\right) \\ symmetry & & & C\left(z_p^{new},z_p^{new}\right)+\delta^2 \end{bmatrix}$$

[5-10]

因此對 $f\left(g\,|\,D,H^{(i)}\right)$ 這個高斯過程而言，其在 z_j^{new} 的期望值為 $E\left[g_{new}\,|\,D,H^{(i)}\right]$ 向量的第 j 個數字，而其在 z_j^{new} 與 z_k^{new} 的共變異數為 $Var\left[g_{new}\,|\,D,H^{(i)}\right]$ 矩陣的第 (j,k) 個數字。

然而事實上，H 通常為未知的情況，只能根據資料(D)估算出 $E\left[g_{new}\,|\,D\right]$ 及 $Var\left[g_{new}\,|\,D\right]$。在此情況下，本研究估算方法為：首先定義兩組 r 函數，分別為 $r_1(g)$=g_{new} 與 $r_2(g)$=$g_{new}\cdot g_{new}^T$。我們可根據式[5-7]估算 $E\left[r_1(g)\,|\,D\right]$ 及 $E\left[r_2(g)\,|\,D\right]$，在式[5-7]中需要的 $E\left[r_1(g)\,|\,D,H^{(i)}\right]$ 及 $E\left[r_2(g)\,|\,D,H^{(i)}\right]$ 則可以利用上節的方法求出，其中 $E\left[r_1(g)\,|\,D\right]$ 即為 $E\left[g_{new}\,|\,D\right]$。進一步根據以下恆等式

$$Var[X] = E\left[X \cdot X^T\right] - E[X] \cdot E[X]^T \qquad [5\text{-}11]$$

我們可以求得$Var[g_{new} \mid D]$。若我們只想知道在z_j^{new}位置之雨量值期望值與變異數，則$E\left[g\left(z_j^{new}\right) \mid D\right]$就是$E[g_{new} \mid D]$之第$j$個數字，而$Var\left[g\left(z_j^{new}\right) \mid D\right]$就是$Var[g_{new} \mid D]$之第$(j,j)$個數字。

5.1.2.2 影響因子量化與選定

輸入回歸分析模型之影響因子，考慮颱風在侵臺時，降雨結構的分佈會受到臺灣地形、颱風移動速度、颱風結構改變及環境氣流等原因所影響，且在此眾多影響因素中，又以地形因素影響最鉅，考量如此，訂定五個基本輸入因子。此五個基本因子主要可分為地形與圖資因子兩類，然為了考量颱風的影響，也額外增定出了兩個颱風因子來測試對於模型的改進程度；各因子之定義及量化方法詳述如後。另外，各因子量化後，其因子相互間的數值比例相差頗大，例如經緯度可以至七位數，某些雨量站高程卻只有個位數，因此，在輸入高斯過程回歸分析之前，會先將因子正規化（Normalize），此舉是為了讓每一個維度的標準差（Standard deviation）等於 1，對因子取樣的時候就會比較均勻。

1. 地形因子

(1)經度（Longitude，X）

將各雨量站的 TWD67 經度值，轉換成 TWD67 二度分帶 X 座標值，例如經度值為 120˚8’21”，二度分帶值為 161785.719，單位是公尺（m）。

(2)緯度（Latitude，Y）

同經度，將各雨量站的 TWD67 緯度值，轉換成 TWD67 二度分帶 Y 座標值，例如緯度值為 23˚3’10”，二度分帶值為 2550395.701，單位是公尺（m）。

(3)高程（Height，Z）

各雨量站的海拔高，單位亦為公尺（m）。

2. 圖資因子

圖資因子的量化，主要是使用 GIS 系統之 ArcView 軟體建置，分析圖層則是依據臺灣地區數值地形模型資料庫（Digital Terrain Model, DTM ），DTM 乃是行政院農業委員會委託林務局農林航空測量所測製，採用解析航測法在航照立體相對上數化高程點，以每 40×40 公尺等間距的規則網格取樣。此 DTM 之平面坐標系統採用 TWD67 二度分帶橫麥卡脫投影。平面坐標單位為公尺，高程亦為公尺。因子量化如下：

(1)平均高程（Average Height，mZ）

以雨量站為中心，方圓 5 公里以內 DTM 點位之平均高程。作法是使用 ArcView 軟體裡編輯工具（Editor Toolbar）的 Buffer 功能，以雨量站為中心畫出半徑 5 公里的圓（polygon 物件），如圖 5-4 所示；再使用 Clip 功能擷取圓內的 DTM 點位（約 5 萬點），將這些點位的高程取平均即可。

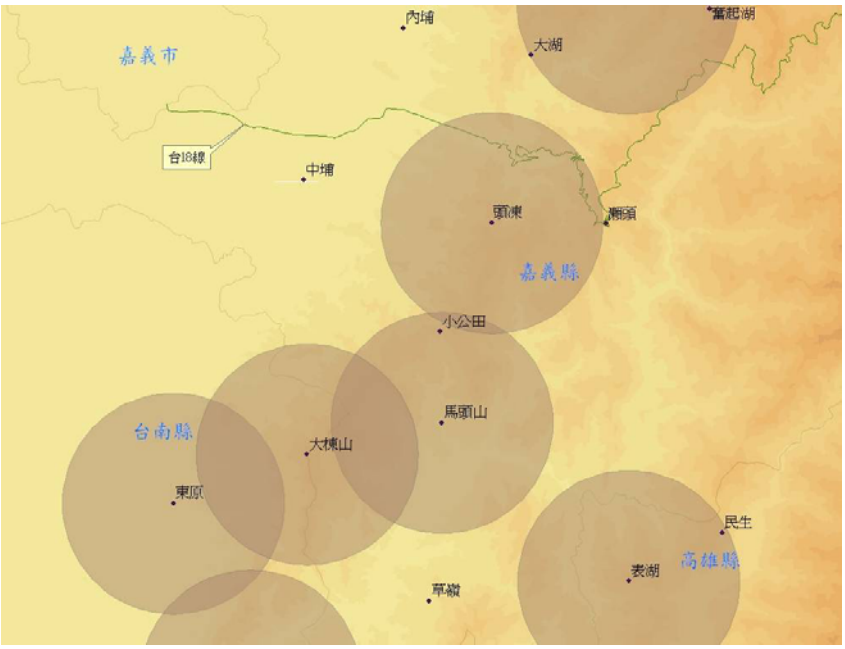


圖 5-4　平均高程示意圖

(2)平均坡度（Average slope，mS）

以雨量站為中心，方圓 5 公里以內 DTM 點位之平均坡度。作法是使用 ArcView 軟體裡空間分析模組（Spatial Analyst）下的 Interpolate to Raster 功能，將 DTM 圖層化為格柵影像檔(Raster)，再使用 Surface Analysis 功能中的 Slope 來輸出坡度影像，如圖 5-5 所示；Spatial Analyst 下的 convert 可將坡地影像轉換為點資料；同樣地，選取被半徑 5 公里的圓覆蓋的點資料（約 5 萬點），計算平均坡度即為所求。

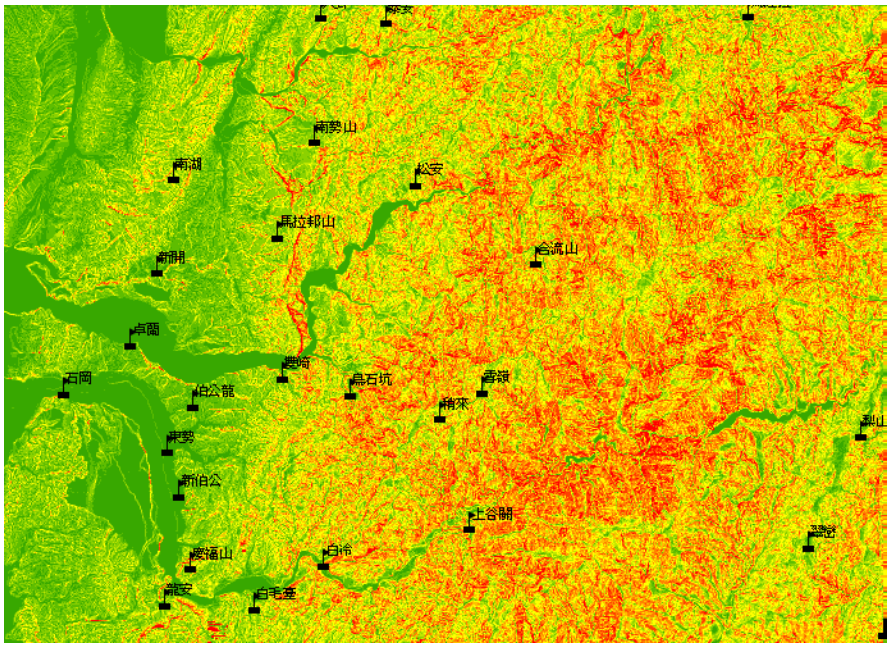


圖 5-5　平均坡度示意圖

如果我們使用空間分析模組(Spatial Analyst)下 Surface Analysis 的 Hillshade 功能，將 DTM 的格柵影像顯示為地面粗糙起伏影像，可以觀察雨量站周圍的自然地形，如圖 5-6 所示；選取半徑為 5 公里的原因，是由於 5 公里內的範圍能涵蓋到雨量站周圍較大的地形起伏，以圖中的新開雨量站為例，位於類似河谷開口處，一般來說，當颱風之強勁氣流進入河谷，會因為地形強迫舉升氣流之作用造成降雨，圖中的箭頭分別代表半徑 1 公里、3 公里及 5 公里，可以看出半徑

5 公里較能涵蓋周圍的河谷地形，對其餘的雨量站來說，也是在 5 公里之內較有代表性，因此定之。

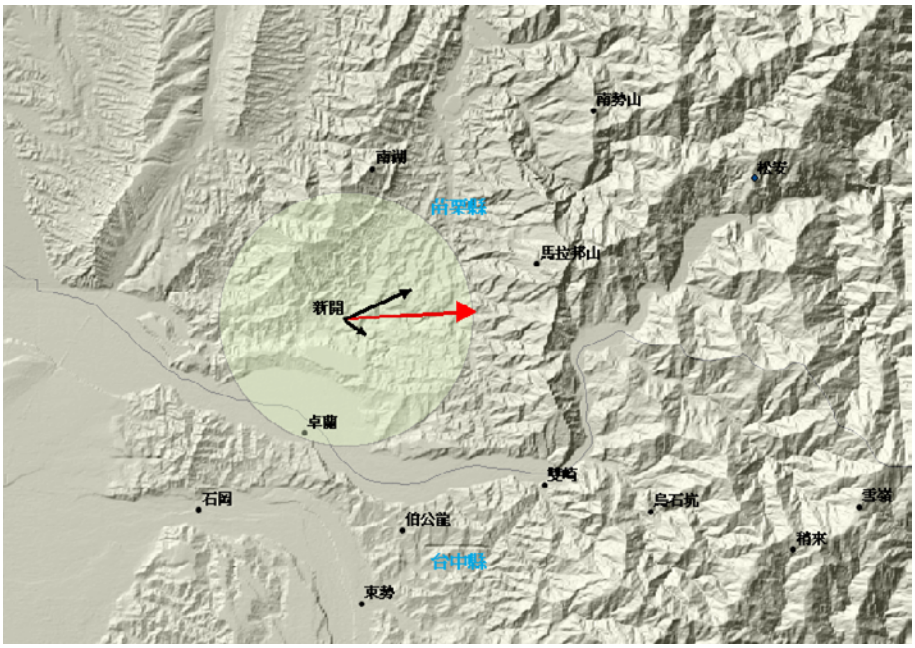


圖 5-6　平均坡度示意圖

3. 颱風因子

(1)相對距離（Ralative distance，L）

指颱風中心與雨量站的距離，以颱風中心的二度分帶 XY 座標與雨量站之二度分帶 XY 座標計算而得，圖 5-7 所示則為桃芝颱風中心與翠巒雨量站之距離，單位為公尺（m）。

(2)相對角度（Ralative degree，G）

指以雨量站為圓心，正東為 0 度，逆時針轉至颱風中心的角度，如圖 5-7 所示，單位為度（°）。

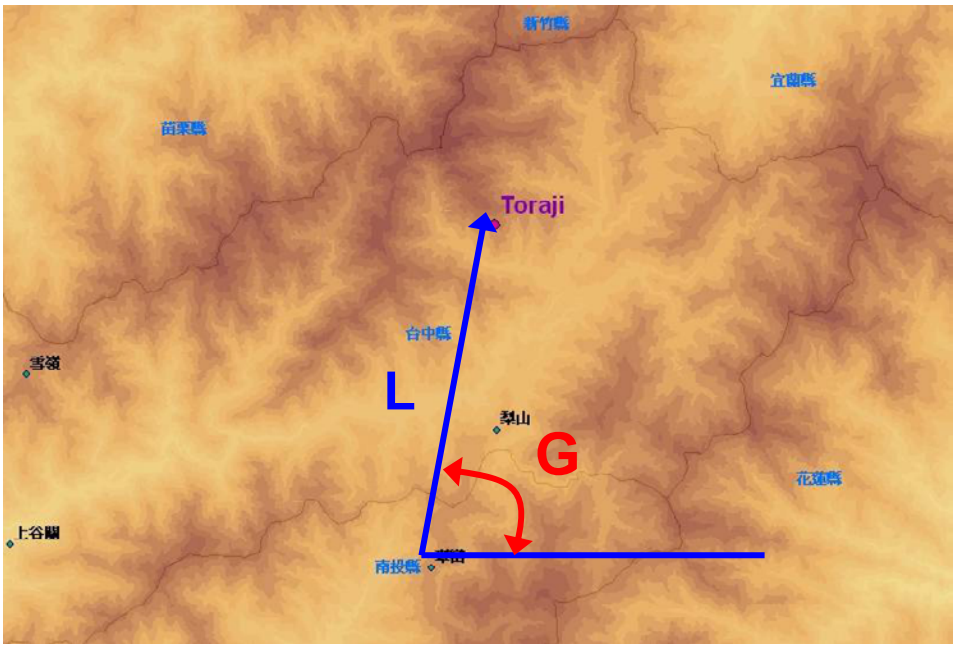


圖 5-7　颱風因子示意圖

5.1.2.3 分析結果驗證

對於分析之結果，本研究使用 LOO 法（Leave One Out）進行驗證，其原理為一次移除一筆雨量站資料，再以其餘的雨量站資料作為訓練資料，來回歸被移除的雨量站雨量；假設此雨量站的真實雨量為 P_0，回歸出來之推估雨量為 P^*，那麼單雨量站之回歸誤差為 $|P_0 - P^*|$，以 LOO 法做完所有的雨量站之後，加總所有的回歸誤差取平均，再除以所有雨量站真實雨量的平均值，即為預測誤差（Prediction Error），其計算式如下所示：

$$Prediction\ Error = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|P_0 - P^*\right|}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}P_0} \times 100\% \qquad [5\text{-}12]$$

而本研究分析之結果，除進行影響因子重要度之檢定外，並與反距離權重法（Inverse Distance Weighted method）、克利京法（The Kriging method）之回歸結果進行比較。其中反距離權重法是由眾多不規則分佈之離散點群，內插出指定位置函數值之最簡單常用方法，距離未知

點最近的已知點資料對於未知點值貢獻最大，其貢獻與距離成反比。而克利京法屬於空間統計內插的一種方法，即可以使用鄰近區域的已知觀察點來預測未知點，其主要目的在於利用已知點觀測值，找出隨機變量域中其他任意未知點之最佳線性不偏估的估計（Best Linear Unbiased Estimate, BLUE）。現將分析結果說明於下：

1. 因子重要性檢定

高斯過程中，根據參數 γ 的有效樣本的平均值，可以辨別各因子的重要性，如果一個因子的 γ 越小，該因子的重要度便愈高，本研究首先對於 5.1.2.2 節中所提及之地形與圖資因子作重要性檢定，之後再加入颱風因子進行檢定分析。表 5-2~表 5-4 為未加入颱風因子前，取桃芝、敏督利及艾利作為分析案例之結果。由表可知，不同颱風的因子重要度也不盡相同，但可以確定的一點是，五次剔除因子的分析過程中，地形因子中的經度 X 及緯度 Y，在此三個颱風分析中都在前三名，由此可見，雨量站的地理位置似乎比雨量站之地形起伏來的更為重要。至於預測誤差方面，桃芝與敏督利颱風都是在這三個因子時誤差最小，而艾利則是在四個因子時表現最好。又由於五個因子在三個颱風中都表現出不同的排序，表示其個別因子之重要度需視不同颱風而定。

表 5-2　桃芝颱風之因子重要度及預測誤差

颱風 / 因子	桃芝颱風 (2001.07.30 / 81 個雨量站)									
	5f		4f		3f		2f		1f	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	0.5776	2	0.1337	2	1.3291	1	1.2217	1	2.0541	1
Y	0.6104	1	0.0463	3	1.639	2	0.9143	2	---	---
Z	0.4514	3	0.0343	4	---	---	---	---	---	---
mZ	0.0151	5	0.1633	1	0.446	3	---	---	---	---
mS	0.058	4	---	---	---	---	---	---	---	---
預測誤差(%)	20.56		19.66		19.11		20.13		23.44	

表 5-3　敏督莉颱風之因子重要度及預測誤差

颱風 / 因子	敏督利颱風 (2004.07.02 / 119 個雨量站)									
	5f		4f		3f		2f		1f	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	0.5561	2	0.7054	2	0.6619	2	1.1821	2	---	---
Y	1.6367	1	1.5495	1	1.5027	1	2.102	1	1.2679	1
Z	0.0004	5	---	---	---	---	---	---	---	---
mZ	0.0818	3	0.0612	3	0.2689	3	---	---	---	---
mS	0.0437	4	-0.0008	4	---	---	---	---	---	---
預測誤差(%)	16.15		19.83		15.95		17.26		21.76	

表 5-4　艾莉颱風之因子重要度及預測誤差

因子＼颱風	艾利颱風 (2004.08.25 / 116 個雨量站)									
	5f		4f		3f		2f		1f	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	0.7907	2	0.8277	2	1.1072	2	1.8432	1	1.7127	1
Y	0.9625	1	0.872	1	1.1489	1	1.6069	2	---	---
Z	0.0094	4	---	---	---	---	---	---	---	---
mZ	0.0199	3	0.0181	4	---	---	---	---	---	---
mS	0.0035	5	0.0149	3	0.185	3	---	---	---	---
預測誤差(%)	21.56		20.6		21.16		20.83		33.64	

而加入颱風因子後，分析之結果列於表 5-5，由其可發現預測誤差不但沒有下降，反而約略的升高，但是颱風因子（L、G）的重要度卻躍升為前三名，再由表中的三個分析結果可知，剔除 L 與 G 因子後之預測誤差與未剔除前相差不多，顯示所建立之預測模式，不會因為加入 L、G 因子而使預測準確度有太大的改變，據此，後續之分析便不再加入颱風致災因子。

表 5-5　桃芝颱風加入颱風因子之重要度及模型誤差

因子 \ 颱風	桃芝颱風 (2001.07.30 / 81 個雨量站)					
	7f		6f		5f	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	1.0592	4	1.0893	2	0.5776	2
Y	1.3603	2	1.3163	1	0.6104	1
Z	1.0197	5	0.9444	4	0.4514	3
mZ	0.9184	6	0.7993	5	0.0151	5
mS	0.6046	7	0.5640	6	0.058	4
L	1.1862	3	1.0532	3	---	---
G	1.8193	1	---	---	---	---
預測誤差(%)	21.56		21.75		20.56	

2. 高斯過程與 IDW 法、Kriging 法分析比較結果

高斯過程分析結果彙整如表 5-6、表 5-7 所示，其中預測誤差最高為 36.32%，最低為 14.47%，而預測誤差偏高之幾個颱風，如賀伯、瑞伯、納莉、納克莉，其原因可能為分析的雨量站較少（例如賀伯、瑞伯、納莉），或是輸入的五個基本因子並不能代表其颱風之降雨型態。將高斯過程、IDW 法、Kriging 法之分析結果彙整於表 5-8 與表 5-9，由表可看出，此三法的分析結果相近，對同一個颱風而言，其分析誤差約略在同一個區間，而在十個颱風的分析中，高斯過程整體誤差較低。

表 5-6　高斯過程分析結果（一）

因子＼颱風	賀伯 1996.07.31 76 個雨量站		瑞伯 1998.10.16 79 個雨量站		桃芝 2001.07.30 80 個雨量站		納莉 2001.09.17 81 個雨量站		娜克莉 2002.07.10 117 個雨量站	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	1.0796	3	0.1531	3	0.5776	2	1.0916	2	0.7928	2
Y	2.6178	1	1.542	1	0.6104	1	1.3753	1	1.8287	1
Z	1.0171	4	0.237	2	0.4514	3	0.2744	4	0.0486	4
mZ	0.6115	5	0.0305	5	0.0151	4	0.2856	3	0.0053	5
mS	1.2324	2	0.0485	4	0.058	5	0.2361	5	0.0693	3
預測誤差(%)	36.32		23.66		20.05		25.55		25.66	

表 5-7　高斯過程分析結果（二）

因子＼颱風	敏督利 2004.07.02 116 個雨量站		艾利 2004.08.25 115 個雨量站		海棠 2005.07.19 116 個雨量站		馬莎 2005.08.05 113 個雨量站		泰利 2005.09.01 113 個雨量站	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	0.5561	2	0.7907	2	0.6949	2	0.6351	1	0.0901	2
Y	1.6367	1	0.9625	1	2.1378	1	0.5469	2	0.9825	1
Z	0.0004	5	0.0094	4	0.0263	4	0.0091	5	0.0009	5
mZ	0.0818	3	0.0199	3	0.2294	3	0.4665	3	0.0111	3
mS	0.0437	4	0.0035	5	0.0186	5	0.018	4	0.007	4
預測誤差(%)	14.47		20.45		17.84		20.68		19.91	

表 5-8　高斯過程、IDW 法與 Kriging 法之預測誤差比較（一）

颱風 方法	賀伯 1996.07.31 76 個雨量站	瑞伯 1998.10.16 79 個雨量站	桃芝 2001.07.30 80 個雨量站	納莉 2001.09.17 81 個雨量站	娜克莉 2002.07.10 117 個雨量站
高斯過程	36.32	23.66	20.05	25.55	25.66
IDW	34.76	26.71	18.59	26.59	24.92
Kriging	35.36	27.8	18.77	24.45	22.97

表 5-9　高斯過程、IDW 法與 Kriging 法之預測誤差比較（二）

颱風 方法	敏督利 2004.07.02 116 個雨量站	艾利 2004.08.25 115 個雨量站	海棠 2005.07.19 116 個雨量站	馬莎 2005.08.05 113 個雨量站	泰利 2005.09.01 113 個雨量站
高斯過程	14.47	20.45	17.84	20.68	19.91
IDW	16.17	22.59	19	23.63	20.5
Kriging	16.8	22.42	20.67	23.17	22.08

5.2 運用格網技術補充觀測降雨資料

本研究為能更密集的蒐集雨量資料，以供後續雨量空間分析與崩塌潛勢分析有更準確之雨量量化數據參考，於是在省道臺 18 線阿里山公

路沿線邊坡佈設雨量站，並利用格網技術，以 GPRS 方法將雨量資料即時回傳至伺服器，其整體架構規劃如圖 5-8 所示。

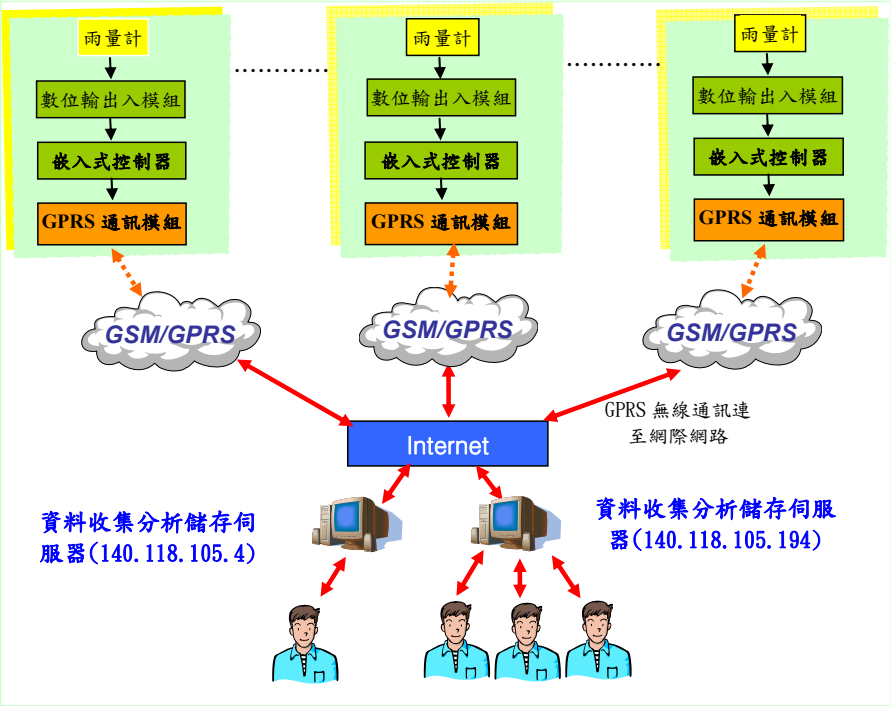


圖 5-8　臺 18 線雨量監測格網架構

5.2.1 雨量計安裝成果

本研究團隊於民國 94 年開始便陸續於臺 18 線進行雨量計設置，截至今年度為止，已設置共九個雨量計，分別埋設於 25K+100、27K+200、40K+500、56K+200、64K+800、68K+500、76K+300、78K+020、82K+500 等處，而另外於國立臺灣科技大學工程Ⅱ館屋頂（NTUST-E2）設置一雨量計，以供雨量資料傳輸驗證用。雨量計裝設位置及時間等相關資料詳列於表 5-10，現場裝設狀況則彙整如圖 5-9~圖 5-18 所示。而雨量計佈設地點之考量因素列述如下：

1. **鄰近崩塌地。**
2. **設置地點開闊，附近無高大喬木生長。**
3. **雨量計設置於圍牆或紐澤西護欄時，雨量計開口應高出圍牆或紐澤西護欄。**

4. 設置地點宜避開持續崩塌地或易遭崩落物掩埋處。

5. 附近有適當掩避地點，研究設備便於藏匿。

然雨量計裝設考量現地之隱蔽姓，本研究依據現場環境，將部份雨量計裝設於圍牆之後，使其略低於圍牆，以避免遭受破壞與偷取。

表 5-10　裝設雨量計基本資料

站名	高程(m)	二度分帶座標		設站日期
		X（m）	Y（m）	
R-T18-39K+300	466	209746	2592843	2006/6/17 無線傳輸
R-T18-41K+700	534	211548	2592561	2005/3/31 Datalogger 2006/5/06 無線傳輸
R-T18-54K+100	1232	214457	2591343	2006/6/17 無線傳輸
R-T18-69K+900	1455	221501	2596053	2005/3/31 Datalogger 2006/6/17 無線傳輸
R-T18-78K+600	1617	225331	2598781	2005/3/31 Datalogger 2006/6/17 無線傳輸
NTUST-E2	49	303599	2767535	2006/5/06 無線傳輸
R-T18-82K+300	1858	227035	2599508	2007/4/27 Datalogger
R-T18-90K+200	2278	229116	2599954	2007/4/27 Datalogger
R-T18-91K+300	2171	230281	2600208	2007/4/28 Datalogger
R-T18-95K+900	2275	231351	2598271	2007/4/28 Datalogger

圖 5-9　R-T18-39K+300 雨量站安裝情形


圖 5-10　R-T18-41K+700 雨量站安裝情形


圖 5-11　R-T18-54K+100 雨量站安裝情形

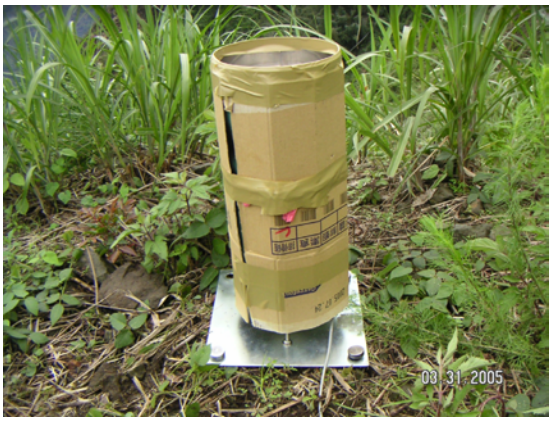


圖 5-12　R-T18-69K+900 雨量站安裝情形

圖 5-13　R-T18-78K+600 雨量站安裝情形

圖 5-14　R-T18-82K+300 雨量站安裝情形

圖 5-15　R-T18-90K+200 雨量站安裝情形

5.2.2 即時雨量資料展示方式

本研究即時雨量資料主要收集於兩個伺服器上，並分別利用 VB6.0 程式語言及 JAVA 語言撰寫收集雨量資料及展示程式，展示結果如圖 5-19、圖 5-20 與圖 5-21 所示。而利用前述國立臺灣科技大學工程Ⅱ館屋頂裝設之雨量計（NTUST-E2）驗證資料傳輸之正確性，並以人工方式引起雨量計發生轉倒，記錄其發生次數，以及採用人工觀測降雨時，雨量資料能否正常回傳，然其結果顯示，功能無誤並能即時回傳雨量資料。而在現場端，以臺 18 線 64K+800 於 95 年 7 月 19 日之雨量記錄器所紀錄之雨量（圖 5-22），與 GPRS 無線即時回傳伺服器之雨量（圖 5-23）相互比較，發現兩者並無不同，顯示以 GPRS 進行雨量資料收集之構架實為可行（將今年度所蒐集之雨量資料彙於於附錄 VI）。

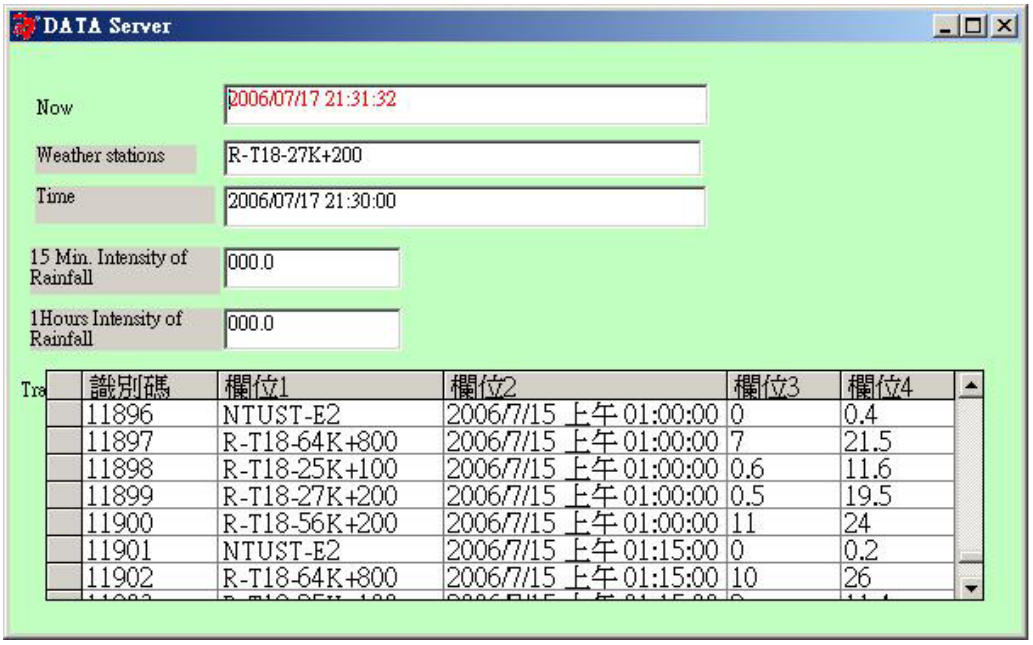


圖 5-19　以 VB6.0 程式撰寫之伺服器雨量資料收集情形

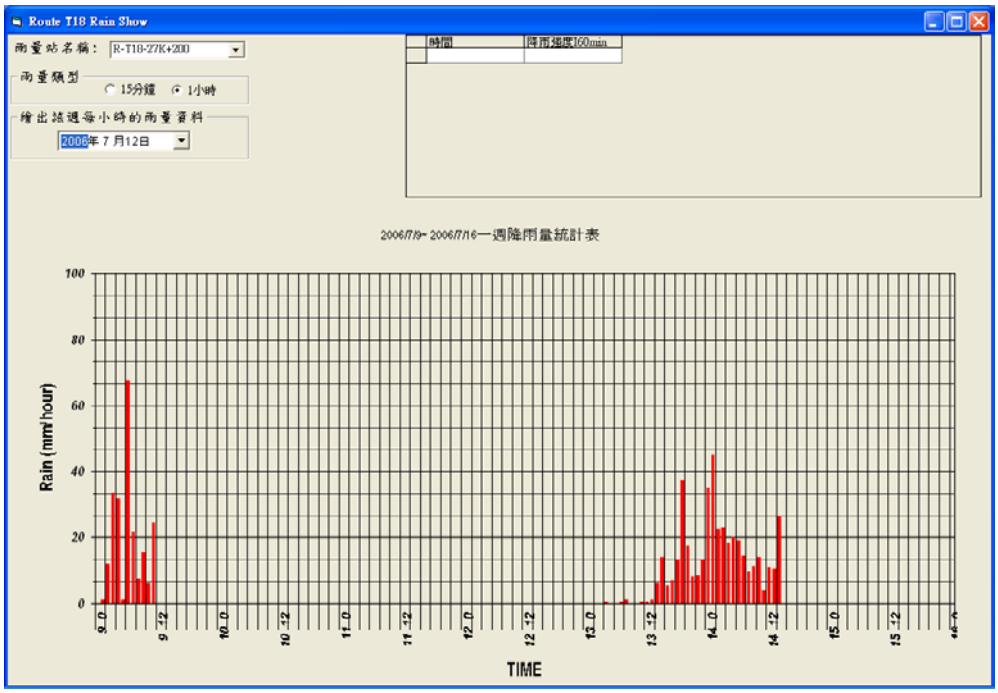


圖 5-20　以 VB6.0 程式撰寫之伺服器雨量資料（一週內每小時雨量）

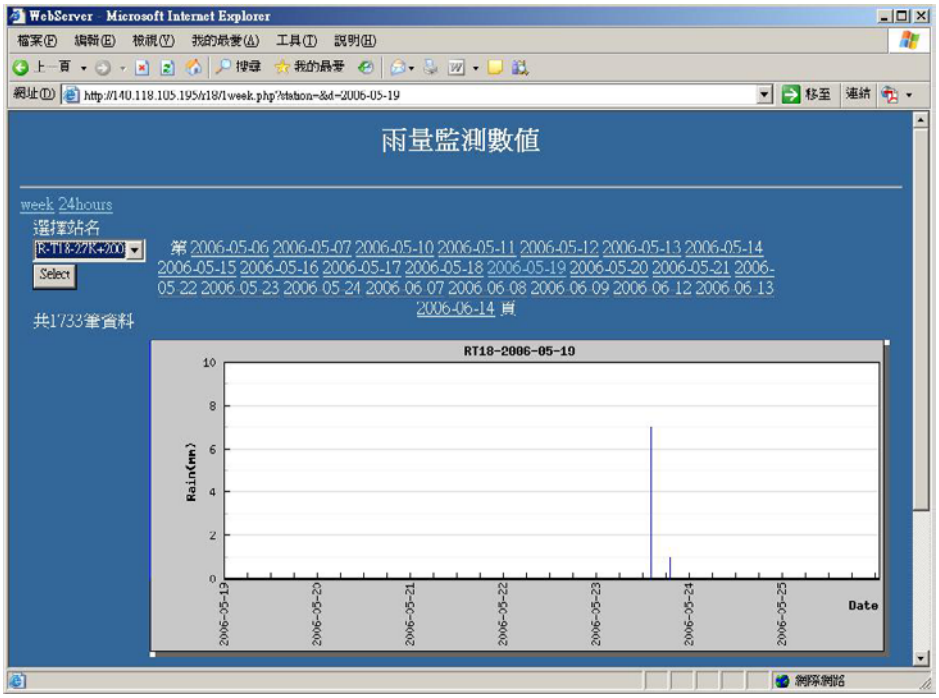


圖 5-21　以 JAVA 程式撰寫之伺服器雨量資料收集情形

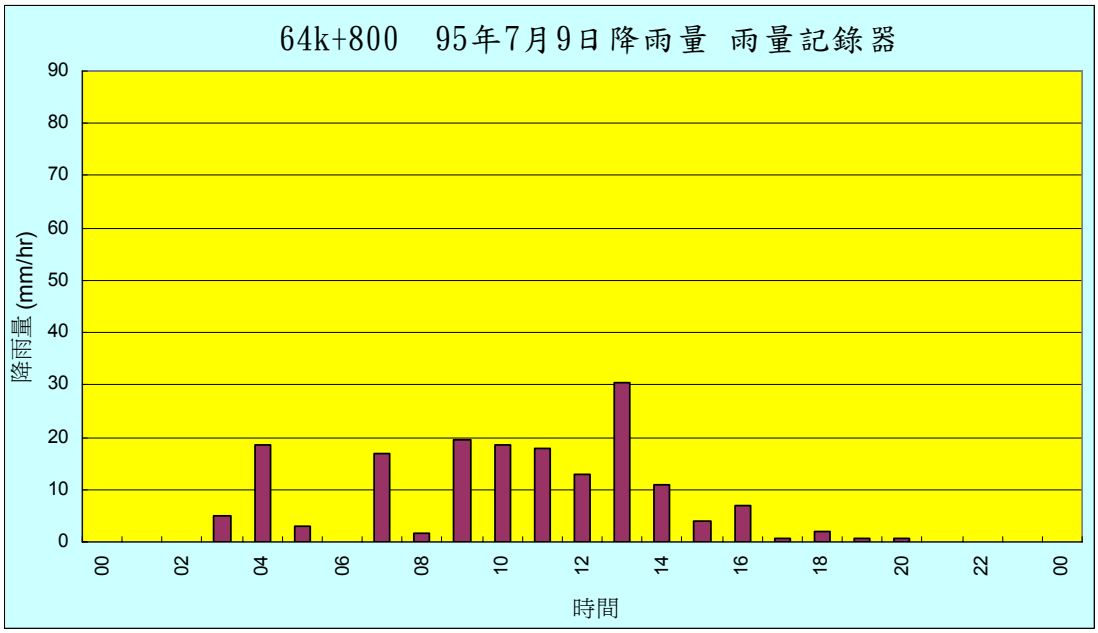


圖 5-22　臺 18 線 64K+800 於 7 月 19 日之降雨量（雨量記錄器）

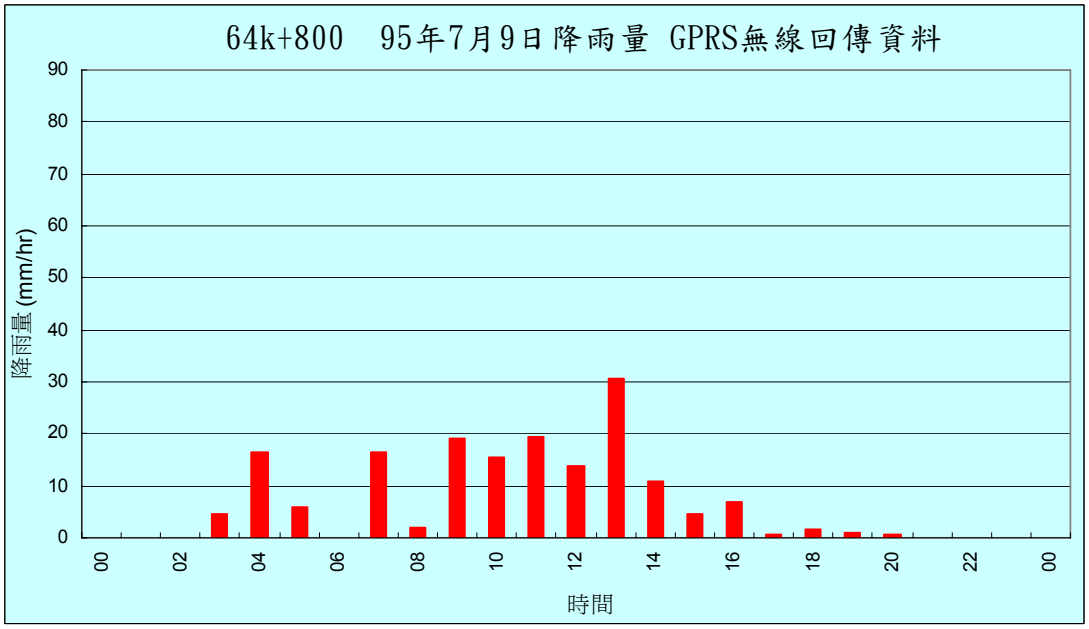


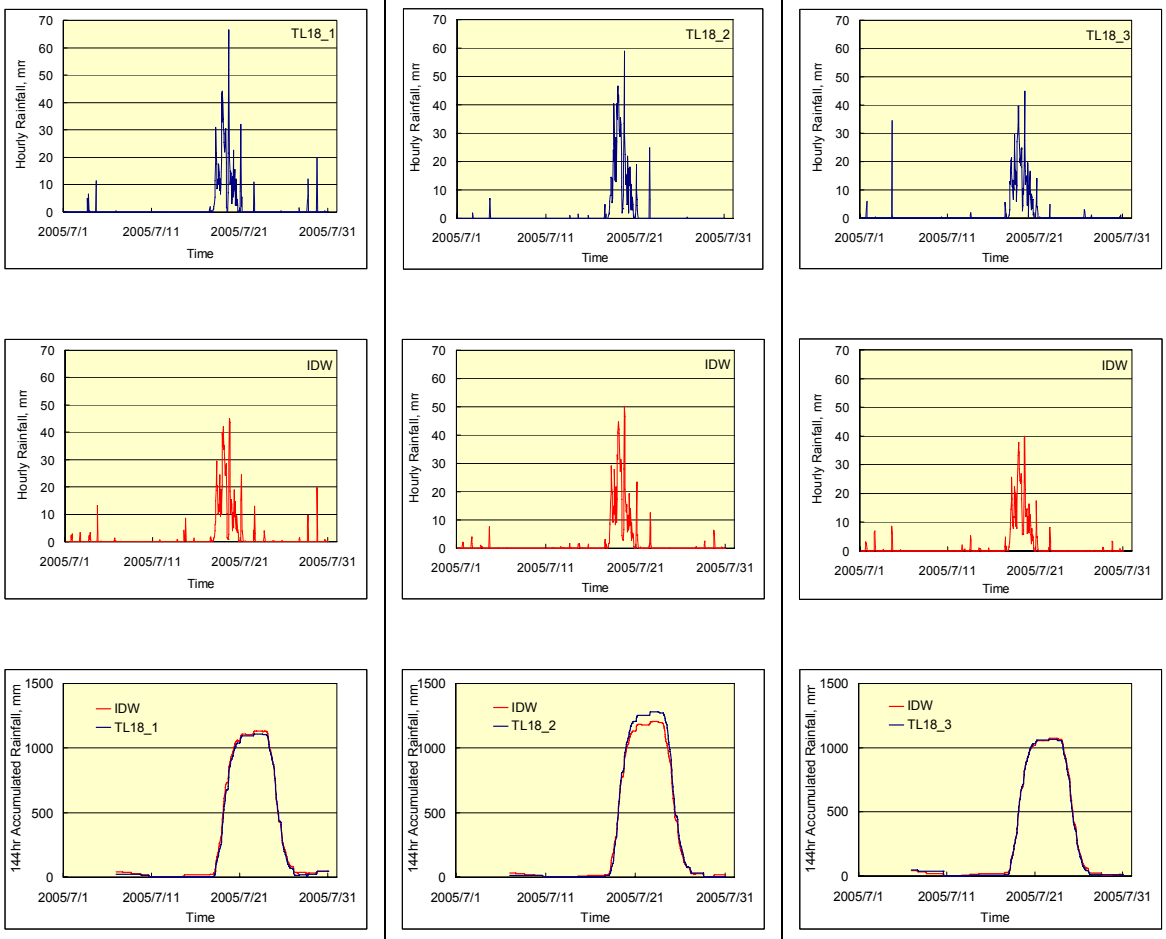
圖 5-23 臺 18 線 64K+800 於 7 月 19 日 降雨量（GPRS 無線回傳）

5.3 驗證反距離權種法(IDW)所估算之降雨量

本研究以高斯過程進行一系列之邊坡崩塌潛感分析,分析進行需輸入相關之影響因子，而其中驅動因子（雨量）之量化最常以反距離權重法（IDW）進行法，因此實有必要對此法所量化之雨量正確性進行驗證。

於驗證 IDW 法所估算之降雨量之前，為了解累積降雨時數之影響，本研究針對 12 小時、24 小時、48 小時、72 小時及 144 小時累積雨量進行交互分析, 其對應之正判率分別為 72%、82%、78% 、76%及 87%，顯示當累積雨量時間為 144 小時時，各雨量計所量測時間誤差為最小，因此於驗證 IDW 法所估算之降雨量時，採用對應於最大降雨強度時之 144 小時累積雨量，作為破壞機率模式之累積雨量因子。

而驗證 IDW 法所估算之降雨量，本研究利用 R-T18-41K+700、R-T18-69K+900 與 R-T18-78K+600 三個雨量計之十二個氣象局雨量站所測得之每小時雨量資料，以 IDW 法求得此三個雨量計所在位置之時雨量與 144 小時累積雨量，最後再將所分析求得之雨量與實測雨量進行比較，而其中所選取分析之雨量資料時間為 94（西元 2005）年 7 月間之雨量資料，包含颱風（海棠）期間與非颱風期間之雨量資料，分析結果如圖 5-24 所示，顯示無論是時雨量或 144 小時累積雨量之分析結果，由 IDW 法所估算之降雨量跟實際測得之降雨量結果相當一致。



(a) R-T18-41K+200 (b) R-T18-69K+900 (c) R-T18-78K+600

圖 5-24 IDW 法計算結果與實測雨量值比較圖

第六章 道路邊坡崩塌規模評估與崩塌時間之預測

山區道路邊坡崩塌之研究重點在於維護用路人車之安全,因此山區道路邊坡崩塌之發生地點、時間、和崩落土方量之預測便成為道路邊坡防災之主要研究課題。而本研究團隊於民國 94 年度承接「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一案，即已建立分階式邊坡崩塌預測模式，其中包含：潛在崩塌類型、崩塌潛能、降雨時崩塌機率及可能發生之崩塌規模等四階段。其中崩塌類型、崩塌潛能與降雨時崩塌機率之發展已漸趨成熟，唯崩塌規模之研究尚屬發展階段，因此為延續過去之研究成果，本研究特利用統計分析方式進行崩塌規模之分析研究。另外，為能預測邊坡崩塌之可能發生時間，本研究也利用建立降雨入滲行為與邊坡崩塌之關係，分析驅動邊坡滑動之可能連續降雨量，進而預測邊坡崩塌之時間，本章節將針對上述研究方法、內容與成果，進行敘述。

6.1 崩塌土方量之統計分析

針對崩塌土方量之統計分析方面，本研究仍以臺 18 線為研究對象，嘗試建立崩塌土方量之簡化估算公式（如式[6-1]），然此式中之 V 並不能直接代表實際崩塌量，僅是間接反應與實際崩塌量之關連性，因此需要再利用統計方法建立實際崩塌量與公式估算崩塌量間之關係。

$$V = L \times W \times (A \times a + B \times b + C \times c + D \times d) \qquad [6\text{-}1]$$

其中，L(m)：崩塌面長度；

W(m)：崩塌面寬度；

A(%)：短草比例；

A(m)：短草平均根長；

B(%)：長草比例；

b(m)：長草平均根長；

C(%)：喬木比例；

c(m)：喬木平均根長；

D (%)：灌木比例；

d(m)：灌木平均根長。

因此要以此式估算邊坡崩塌量，則需對根系之深度進行量化，根系類型主要有主根、側根、不定根、直根系、鬚根系、軸根系、散根系及板根系等，可以見得其複雜性。但是，本研究為了找出能夠反應出土層厚度的外部因子，對於根系的橫向生長和其它較複雜之生長特性則先不多做考慮，而是直接以 T-18 線常見之草本及木本植物作為量化代表。

首先，草本植物以五節芒為量化依據，根據黃瀚瑱(2006)坡面草株基本資料（表 6-1），並且根據權重比例的概念給予量化，量化結果為短草：0.28m；長草：0.66m。另外，由於灌木目前無可引用之平均根長，因此先自行假設平均根深為 1.5m 量化之。以一株樹齡 40 年生的相思樹為例，樹高 7m、胸高直徑 14cm，其根系最大深度達 240cm，其量化結果為喬木：2.4m。最後將量化結果整理如表 6-2 所示，將表 6-2 之量化結果與附錄 II 中淺層破壞案例之崩塌面長度(L)、崩塌面寬度(W)與植被種類，帶入[6-1]式估算崩塌量，估算結果與實際崩塌量比較於表 6-3。公式估算與實際崩塌量可用一函數 logY=0.7logV+1.26 表示兩者間之關係（R^2=0.773，其中 Y 和 V 分別代表實際崩塌量和公式估算所得之值），並且嘗試訂出其上下邊界：logY=2.25logV 與 logY=0.95logV（如圖 6-1）。再者，式[6-1]除可用來估算崩塌規模外，若將其等號兩邊同除以 L 及 W，則此式可用來估算崩塌土層厚度，如此在公式使用上，便更具邏輯性與符合相關參數之因果關係。

表 6-1　草株基本資料（坡面）（黃瀚瑱，2006）

株高 H(cm)	根深 h(cm)	株高 H(cm)	根深 h(cm)
10	6	44	27
19	11	56	33
20	14	70	34
37	13	72	31
40	14	134.5	60
41	18		

表 6-2　植被種類深度量化表

植被種類		根長量化值	備註
草本植物	短草	0.28(m)	五節芒
	長草	0.66(m)	
木本植物	灌木	1.5(m)	假設值
	喬木	2.4(m)	相思樹

表 6-3　崩塌規模公式估算結果

崩塌案例（里程）	公式估算崩塌量（m^3）	實際崩塌量（m^3）	崩塌案例（里程）	公式估算崩塌量（m^3）	實際崩塌量（m^3）	崩塌案例（里程）	公式估算崩塌量（m^3）	實際崩塌量（m^3）
20k+750	1746	2300	22k+850	429	2880	43k+150	1388	3453
21K+100	10	70	22k+850	31	319	45k+180	25	195
21k+400	88	125	22k+950	127	510	56k+450	19	450
21k+500	37	290	24k+700	405	1134	57k+050	376	1500
21k+555	31	200	24k+750	16	125	58k+000	2054	2640
21k+650	106	788	26k+100	156	400	59k+500	108	440
21k+900	30	500	26k+800	68	360	59k+550	32	146
22k+050	11	120	28k+100	3316	2930	63k+400	303	2115
22k+250	46	105	31k+500	20	30	66k+700	50	500
22k+350	102	1386	40k+400	1287	2310	69k+300	240	1375
22k+350	25	180	42k+700	8	30	73k+400	51	280

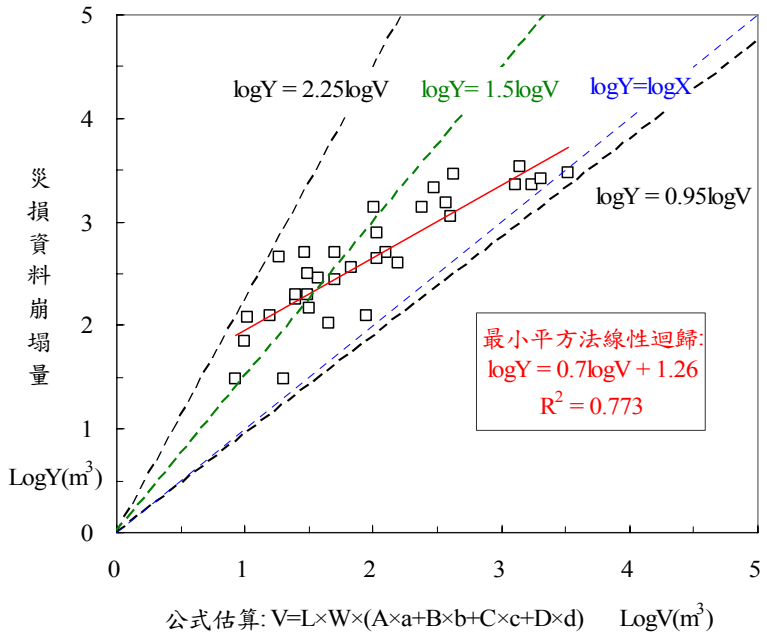


圖 6-1　崩塌量公式估算與實際崩塌量關係圖

另外，本研究也嘗試將所蒐集分類之臺 18 線淺層破壞案例，進行崩塌規模分級與崩塌頻率統計分析，分析結果如表 6-4 與圖 6-2 所示，而由圖 6-2 可知臺 18 線邊坡崩塌最常發生之崩塌規模為 $10m^3$。至此，利用上述崩塌量簡化估算公式與崩塌規模發生頻率統計圖，便可簡單的預測崩塌規模大小，而其中簡化估算公式因須先概估其可能之崩塌面長度與寬度，才能計算出 V，因此本預測模式算是有條件之預測方式。

表 6-4　33 筆崩塌案例之崩塌量分級結果

崩塌量分級 (m3)	案例數 (共 33 筆)	崩塌頻率
>0	33	100%
>10	33	100%
>50	31	94%
>100	30	91%
>250	22	67%
>500	15	45%
>1000	11	33%
>1500	8	24%
>2000	7	21%
>2500	4	12%
>3000	1	3%
>3500	0	0%

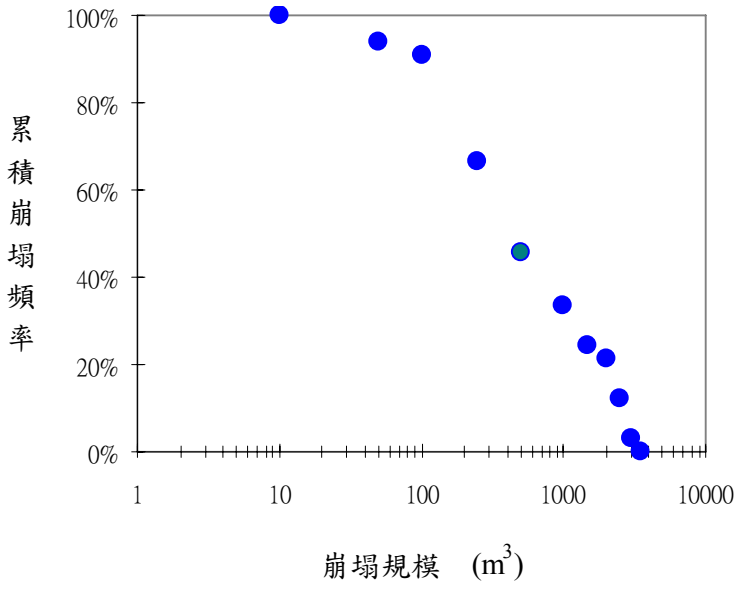


圖 6-2　崩塌規模與累積崩塌頻率關係圖

6.2 由降雨入滲行為預測淺層邊坡破壞時間

如第五章所述，近年來邊坡崩塌之研究大多以潛感分析為主，然於目前眾多研究中，大多以雨量資料（降雨量及累積降雨量）為進行崩塌機率分析之主要驅動因子，鮮少以建立降雨入滲與邊坡穩定間之相互關係模式進行研究，然邊坡淺層滑動破壞又與降雨後雨水滲透土壤之難易度、滲透量與滲透深度有著密切的關係，因此本研究結合降雨滲透模式與無限邊坡理論，同樣以降雨量與累積降雨量為基礎，針對降雨入滲與邊坡穩定間之相互關係進行探討，藉以了解雨水入滲對於邊坡穩定之影響，建立降雨量、雨水入滲、水力參數及邊坡穩定等四者之關係，並用來估算道路邊坡之崩塌發生時間。

6.2.1 分析模式建立

6.2.1.1 Green-Ampt 滲流模式

本研究採用「Green-Ampt」滲流模式進行滲流與邊坡穩定關係之研究。Geen-Ampt 模式為一一維（one dimension）雨水入滲模式，其最初發展是用於地面積水入滲於水平地表面之分析，因此若要將其應用於傾斜地表面之滲流，則勢必需予以修正，式[6-2]及式[6-3]為 Chen & Yung (2006)針對地表傾斜之邊坡將 Green-Ampt 模式修正後之方程式：

$$f(t) = k\left[\cos\beta + \frac{(\psi_f \cdot \Delta\theta)}{F(t)}\right] \qquad [6\text{-}2]$$

$$F(t) - \frac{(\psi_f \cdot \Delta\theta)}{\cos\beta}\ln\left[1 + \frac{F(t)\cos\beta}{(\psi_f \cdot \Delta\theta)}\right] = k_y \cdot t \qquad [6\text{-}3]$$

其中，$f(t)$：滲流速率；

$F(t)$：累積滲流速率；

ψ_f：溼潤界面（wetting front）之吸附水頭；

$\Delta\theta$：體積含水量差$(=\theta_s - \theta_i)$；

β：坡角（若為水平地表β=0）；

k：滲透係數。

另外，本研究將結合$\Delta\theta$及ψ_f，並稱$\psi_f\,\Delta\theta$為「溼潤吸附參數」。而滲透係數及濕潤吸附參數為土壤本身內在性質，可由室內試驗求得，另將 Green-Ampt 滲流模式中所需輸入之參數列於表 6-5。

表 6-5　Green-Ampt 滲流模式所需輸入參數（Chow 等人，1988）

土壤	孔隙率之範圍η	含水量之範圍θ_e	吸附水頭之範圍ψ_f(mm)	滲透係數k(mm/h)	吸附水頭ψ_f(mm)	飽和滲透係數$k_s(=2k)$(mm/h)
砂	0.374~0.5	0.354~0.48	9.7~253.6	117.8	49.5	235.6
壤土質砂	0.363~0.506	0.329~0.473	13.5~279.4	29.9	61.3	59.8
砂質壤土	0.351~0.555	0.283~0.541	26.7~454.7	10.9	110.1	21.8
壤土	0.375~0.551	0.334~0.534	13.3~593.8	3.4	88.9	6.8
粉質壤土	0.42~0.582	0.394~0.578	29.2~953.9	6.5	466.8	13
砂黏土質壤土	0.332~0.464	0.235~0.425	44.2~1080	1.5	218.5	3
黏土質壤土	0.409~0.519	0.279~0.501	47.9~911	1	208.8	2
粉質粘土質壤土	0.418~0.524	0.347~0.517	56.7~1315	1	273	2
砂質粘土	0.37~0.49	0.207~0.435	40.8~1402	0.6	239	1.2
粉質粘土	0.425~0.533	0.334~0.512	61.3~1394	0.5	292.2	1
黏土	0.427~0.523	0.269~0.501	63.9~1565	0.3	316.3	0.6

Green-Ampt 滲流模式之建立有其假設條件為：(1)濕潤界面之吸附水頭為常數；(2)土壤濕潤前與濕潤後之體積含水量差應為一致（如圖 6-3 所示）；(3)滲流係數為一常數且相等於飽和滲流係數(k_{sat})。另外，土壤在 Green-Ampt 模式中，假設其在滲流期間於濕潤面深度是為完全飽和，而在溼潤面下則保持其為初始飽和狀態，其中濕潤面垂直深渡可利用式[6-4]計算得之。

$$z_w = \frac{F(t)}{(\theta_s - \theta_i)\cos\beta} \qquad [6\text{-}4]$$

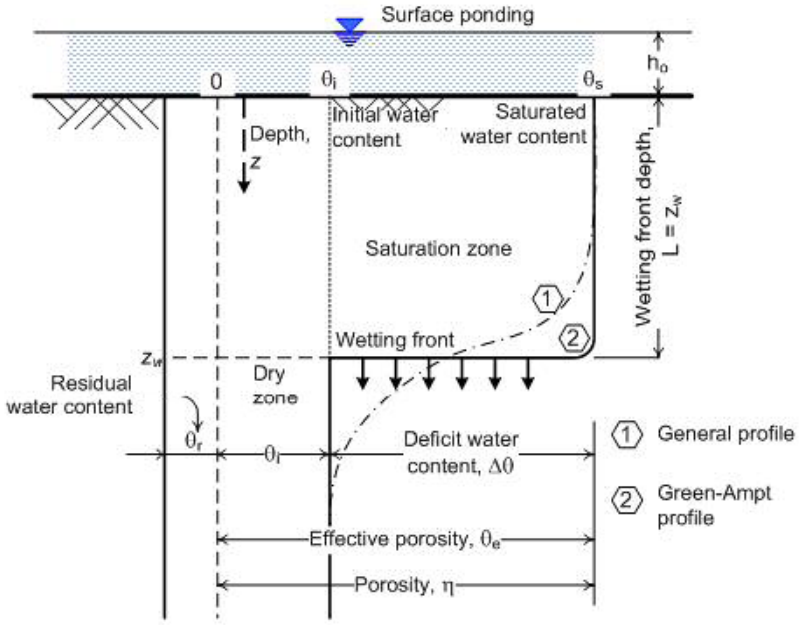


圖 6-3　Green-Amp 入滲剖面示意圖

Green-Ampt 滲流模式可適用於穩態與非穩態降雨量，且於降雨元素驅動下，存在三種雨水滲流模式（如圖 6-4 所示）：(1)降雨量大於滲流速率，且地表為飽和狀態（case1）；(2)於初始狀態，降雨量小於滲流速率，但隨後即轉變為降雨量大於滲流速率，此時地表由不飽和狀態轉換為飽和狀態（case2）；(3)降雨量小於滲流速度，此時地表並無任何飽和狀態土壤（case3）。第三種滲流狀態時，所有降雨量皆入滲至土壤，但地表並未達飽和狀態，除非滲流速度小於降雨量，才可能使地表達飽和狀態，而在此滲流型態下，可利用式[6-5]估算出滲流雨量，然在此狀態發生時間區段外，其餘增加之降雨量將轉變為地表逕流水。

$$F(t+\Delta t)-F(t)-\frac{(\psi_f\cdot\Delta\theta)}{\cos\beta}\cdot\ln\left[\frac{(F(t+\Delta t)\cos\beta+\psi_f\cdot\Delta\theta)}{(F(t)\cos\beta+\psi_f\cdot\Delta\theta)}\right]=k_y\cdot\Delta t \qquad [6\text{-}5]$$

另外，上述狀態（case2）之滲流雨量可以利用下式求得：

$$F(t'_p)=\frac{k_{sat}\cdot(\psi_f\cdot\Delta\theta)}{I(t)-k_{sat}\cos\beta} \qquad [6\text{-}6]$$

而其達到飽和所需時間為：

$$t'_p = \frac{F\left|t'_p\right| - F(t)}{I(t)} \qquad [6\text{-}7]$$

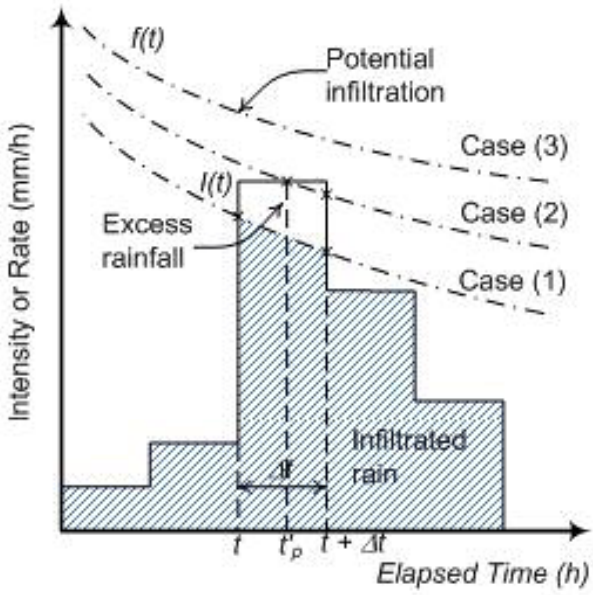


圖 6-4　降雨量與滲流速率關係圖

6.2.1.2 邊坡穩定模式

當雨水滲流進入地表下不飽和土壤中，將造成靠近地表面產生淺層濕潤面，若是降雨持續一段時間，便會引起邊坡破壞，而此種邊坡破壞類型經常為淺層邊坡滑動破壞，因此本研究採用無限邊坡模式（如圖 6-5 所示），考慮未飽和土壤之行為，並利用莫爾庫倫破壞準則估算無限邊坡滑動安全係數：

$$FS = \frac{c' + (\sigma_n - u_n)\tan\phi' + (u_a - u_w)\tan\phi^b}{\gamma_t z_w \sin\beta\cos\beta} \qquad [6\text{-}8]$$

式[6-8]中，吸附水壓 $(u_a - u_w)$將隨著含水量之增加而減少，而當土壤為飽和時$u_a - u_w$=0；另外，ϕ^b與吸附水壓有著一定的關係，當土壤為低吸附水時，ϕ^b相當接近於有效摩擦角ϕ'；於本研究中，則假設ϕ^b=ϕ'，u_a為大氣壓力，則$u_a - u_w$=$(-\psi_f)\cdot\gamma_w$，而垂直應力$\sigma_n = \gamma_t z_w \cos^2\beta$，至此可將式[6-8]改寫為：

$$FS = \frac{c' + \gamma_t z_w \tan\phi' - \psi_f \cdot \gamma_w \tan\phi'}{\gamma_t z_w \sin\beta\cos\beta} = \frac{\tan\phi'}{\tan\beta} + \frac{c' - \psi_f \cdot \gamma_w \tan\phi'}{\gamma_t z_w \sin\beta\cos\beta} \qquad [6\text{-}9]$$

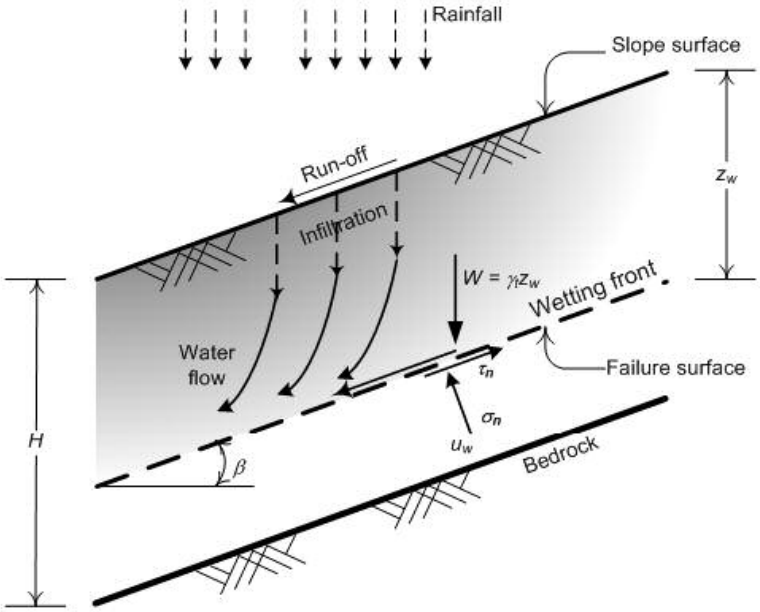


圖 6-5　無限邊坡滲流模式

6.2.2 臺 18 線分析結果

本研究選取以中部山區道路省道臺 18 線為所建立模式之分析研究對象，此地區之邊坡坡角約為 40˚~80˚（平均角度為 60˚），且根據交通部(2005)之鑽探調查（圖 6-6），此區域以礫石、砂質與粉土混合或砂質與粉土混合之土壤為主，其粒徑分佈曲線如圖 6-7 所示；另外，此區域之土壤孔隙率 η=0.1~0.34(平均孔隙率為 0.26)。而依據 Arya & Paris's (1981)建議之方法，建立此區域之土讓含水量與吸附水頭特徵曲線圖，如圖 6-8 所示，依據粒徑分佈曲線之土壤性質，參照此圖可估算出此區域之吸附水頭變化。其他針對所選取之分析區域所需輸入之土壤基本參數為：有效凝聚力 c'=0~50kpa （平均有效應力為 22kpa）；有效摩擦角 ϕ'=17˚~31˚（平均有效摩擦角為 20˚）；而土壤之剪應力則以室內實驗求得。另外，對於曾經破壞過之邊坡，其透水係數於曝露區為 36~360mm/h，植披覆蓋區則為 0.36~3.6mm/h，相關分析所輸入之參數彙整於表 6-6 所示。

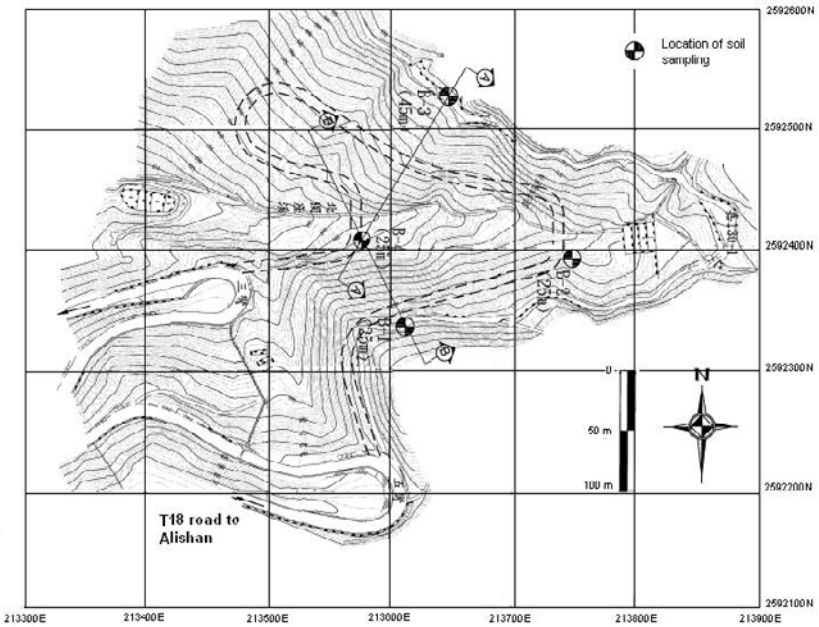


圖 6-6　交通部於臺 18 線阿里山公路進行地質調查之鑽探孔位圖

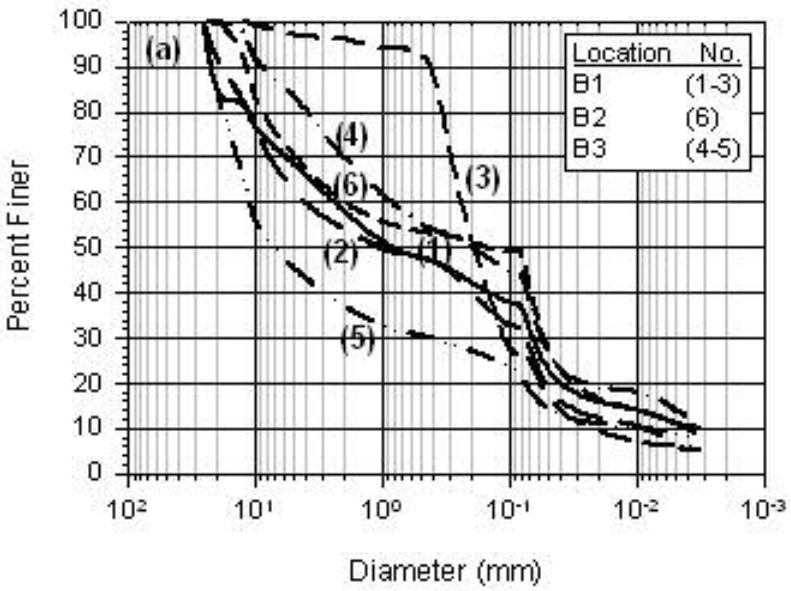


圖 6-7　研究區域之粒徑分佈曲線

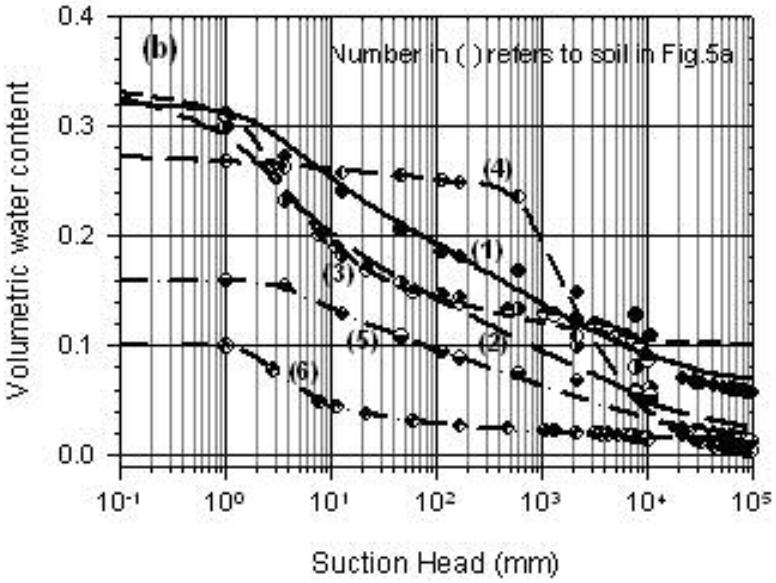


圖 6-8　土壤含水量與吸附水頭關係曲線

表 6-6 分析進行所輸入之參數

參數	數值大小
飽和滲透係數(k_{sat})	邊坡 1：360mm/h 邊坡 2：36mm/h 邊坡 3：3.6mm/h 邊坡 4：0.36mm/h
初始含水量(θ_i)	7~18.6%(13.1)
含水量差($\Delta\theta$)	0.029~0.191(0.123)
濕潤面吸附水頭(ψ_f)	1~800mm
土壤凝聚力(c')	0~50(22)kpa
土壤摩擦角(ϕ')	17°~31°(20°)
單位重(γ_t)	19.7~24.8(21.8)kn/m^3

另外，雨量資料之分析範圍，以本研究團隊於臺 18 線 41K+700 處

所裝設之雨量計（如圖 6-9），於 2006 年 7 月期間侵襲臺灣之颱風（艾維尼、碧利絲、凱米）降雨量為主。圖 6-10 所示為選取颱風之時雨量與累積降雨量紀錄圖，圖中顯示艾維尼颱風在開始紀錄降雨 17 個小時後，開始有大量的降雨產生，並持續 19 個小時，在此期間其累積降雨量總計為 400mm ，最大降雨量為 68mm/h；而碧利斯颱風則帶來較大量的降雨，其累積降雨量於 7 月 14 日至 7 月 16 日共累積有 900mm，而在降雨開始之 15~16 小時後則有最大降雨量發生，其值為 44.5mm/h；最後，凱米颱風帶來將近持續 24 小時之降雨，其累積降雨量達 190mm，最大降雨量發生於降雨開始後 12 至 13 小時之間，爾後雨量持續記錄直到颱風離開臺灣。

圖 6-9　取得雨量資料之雨量計裝設位置

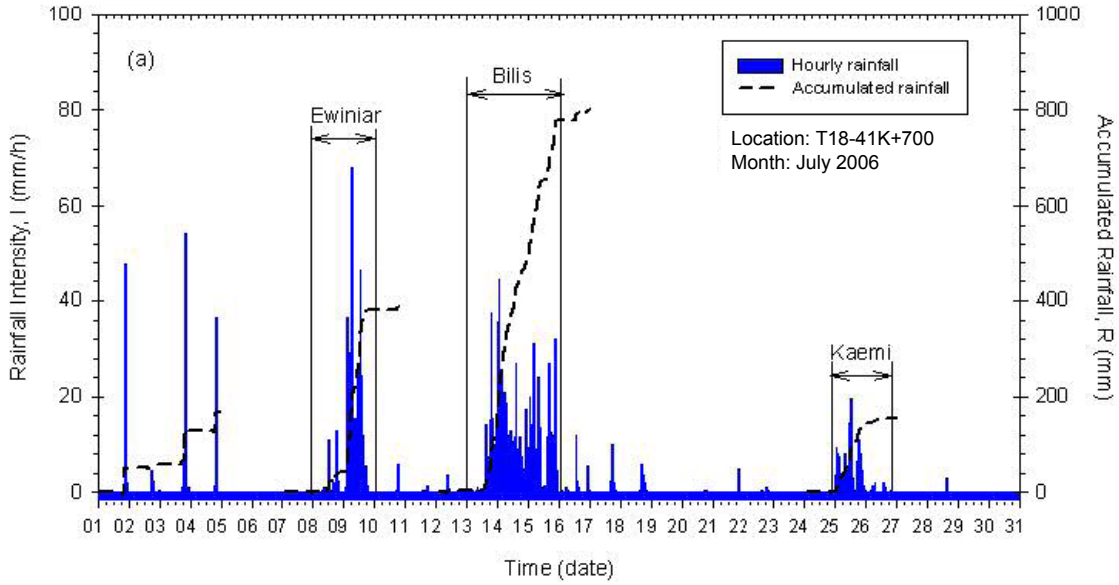


圖 6-10　T18-41K+700 雨量計所搜集之雨量資料

6.2.2.1 滲流對於邊坡穩定之影響

圖 6-11~圖 6-13 為不同颱風之降雨量下，濕潤面深度與邊坡穩定之分析結果，其中安全係數之計算是利用以下之邊坡基本資料求得：$\beta = 60°$；$\psi_f = 800\text{mm}$；$\Delta\theta = 0.123$；$c' = 22\text{kpa}$；$\phi' = 20°$；$\gamma_t = 21.8\text{KN/m}^3$。由圖 6-11~圖 6-13 中可知，在一般情況下，邊坡之穩定度隨著濕潤面深度之增加而減少，而濕潤面之深度又隨著降雨持續時間之增加而增加。另外，圖中邊坡[1]與邊坡[2]之 k 值分別為 360mm/h 及 36mm/h，屬於高滲透性土壤，其降雨入滲深度較深，至於邊坡[3]與邊坡[4]之 k 值則分別為 3.6mm/h 及 0.36/h，屬低滲透性土壤，其降雨入滲深度較淺，比對其濕潤面深度與安全係數可發現，滲透性較高之邊坡相較於滲透性較低之邊坡，其破壞發生傾向於深度較深處，然依據本研究之分析結果，只有滲透性較高之邊坡才有發生破壞的現象(FS<1)，故邊坡[4]經此三個颱風之降雨侵襲，皆無破壞情況產生。

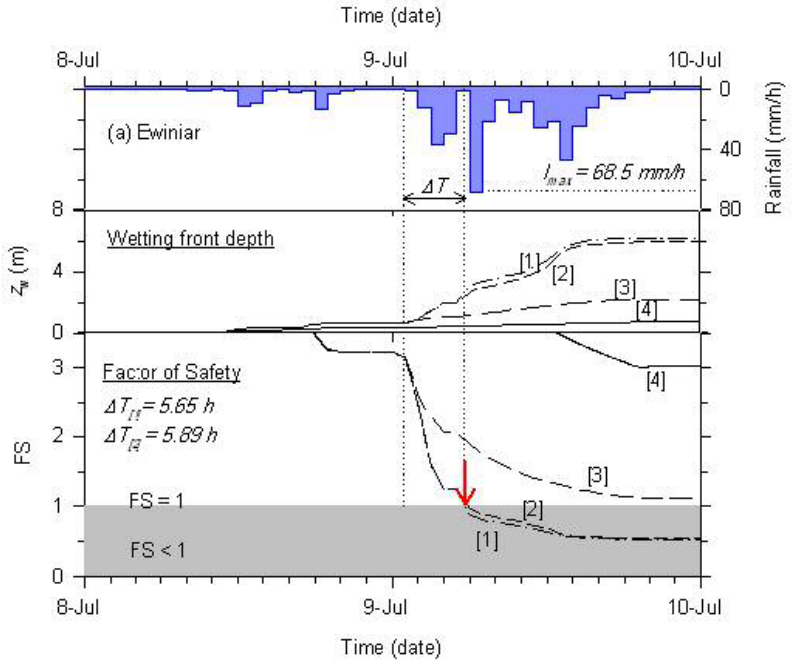


圖 6-11 艾維尼颱風之分析結果

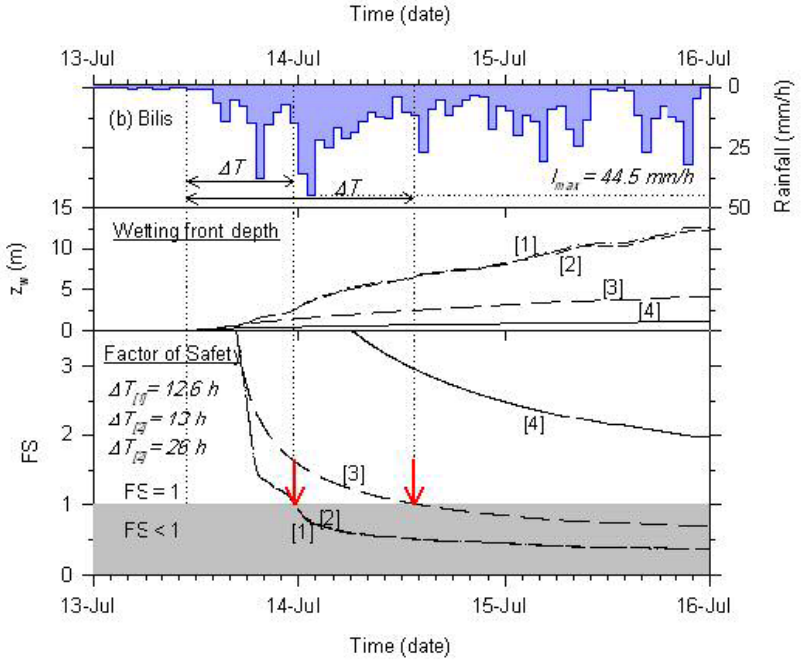


圖 6-12 碧利絲颱風之分析結果

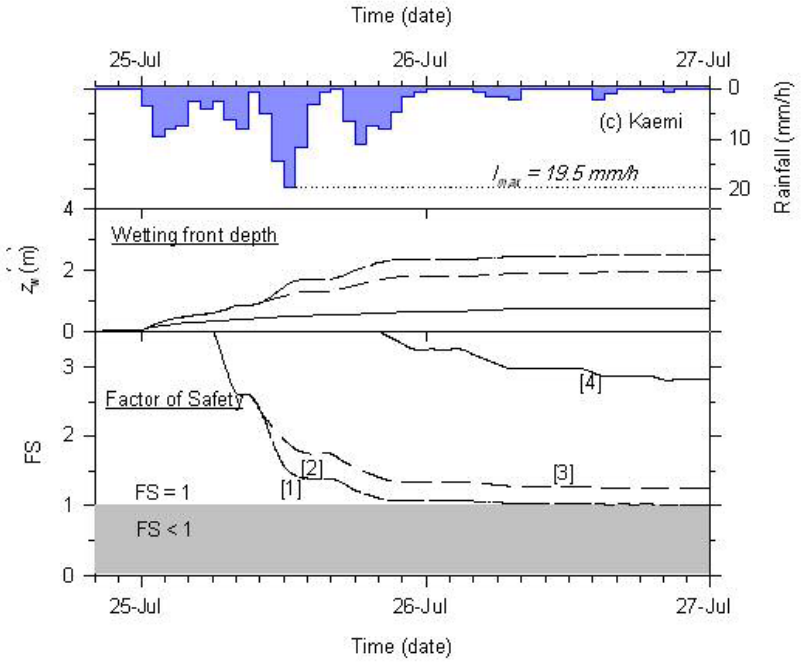


圖 6-13　凱米颱風之分析結果

另外，由圖中不難發現，高滲透性邊坡破壞時間發生於最大降雨量發生之前，而低滲透性邊坡破壞時間則發生於最大降雨量發生之後，因此，劇烈的降雨將使高滲透性邊坡加速滲流而達到較深層的飽和，進而加速產生破壞，相反地，低滲透性之邊坡由於滲流速率緩慢且土壤飽和深度較淺，因此需要更劇烈之降雨與更長之滲流時間才有可能驅使邊坡產生滑動。圖 6-11 及圖 6-12 顯示，在 ΔT 時間內之持續劇烈降雨量為驅使邊坡破壞之降雨量，因此，若能得知劇烈降雨之開始發生時間，便能計算出邊坡滑動發生時間 （T_f）。

再由艾維尼颱風之降雨分析結果（圖 6-11），高滲透性邊坡在劇烈降雨開始持續 5.65~5.89 小時後，邊坡之安全係數減少至 1，隨後便發生破壞（FS<1），此期間之降雨量為 165~181mm。而碧利絲颱風也有同樣的情形發生（圖 6-12），在劇烈降雨 13.6 小時後與最大降雨量發生前 3 小時，高滲透性邊坡開始發生破壞，此期間之累積降雨量達 160mm，而低滲透性之邊坡（邊坡[3]），其破壞發生於劇烈降雨發生後之 28 小時及最大降雨量發生前 12 小時，此期間之累積降雨量為

427mm。值得注意的是，此邊坡並未在前一個颱風（艾維尼）侵臺時發生破壞，但在颱風離臺後，此邊坡之安全係數已接近 1，由此可知，低滲透性邊坡需要較長之劇烈降雨及滲透時間才可驅使其發生破壞。最後，凱米颱風侵臺所造成之累積降雨量為 150mm，主要降雨量為 2.9mm/hr，相較於前述兩個颱風，其降雨量小於碧利絲之 160mm 及艾維妮之 165~181mm，因此並未致使任何邊坡發生破壞情形。

至於驅動山區道路邊坡滑動之降雨量依區域性之差異而有所不同，然 Chen 等人(2005)依現場監測結果，認為臺灣山區邊坡在累積降雨量超過 200mm 及降雨量超過 20mm/h 之情況下，將造成邊坡破壞，但此監測結果並未考慮邊坡本身之滲流與力學性質，因此下節內容將針對邊坡之臨界降雨量進行探討。

6.2.2.1 臨界降雨量

依據極限平衡理論，當致使邊坡滑動之驅動力大於抵抗邊坡滑動力時（FS<1），邊坡將發生破壞，而當驅動力與抵抗力近乎相等時，邊坡將處於崩與不崩之臨界狀態，因此，依據圖 6-11~圖 6-13 之分析結果，可將降雨對邊坡之影響分為兩類：(1)邊坡從開始降雨到結束皆處於穩定狀態，如圖 6-13 所示；(2)邊坡於降雨開始為穩定狀態，但降雨持續經過某段時間後，邊坡則發生破壞，如圖 6-11 及圖 6-12 所示。據此，本研究將對邊坡將發生破壞之臨界狀態做較深入之探討，將邊坡崩塌潛勢與降雨量之關係繪製如圖 6-14 所示。圖中所示當，FS<1 時，代表邊坡已破壞；當 FS=1 時，代表邊坡正處於臨界狀態，而此時所對應之時間便為邊坡發生破壞之臨界時間，將之定義為T_f，在T_f時間內所產生之降雨量定義為臨界降雨量(I_c)與累積臨界降雨量(R_c)，本研究考慮在發生臨界降雨量前之降雨量是為驅使邊坡破壞之驅動降雨量，當驅動降雨量持續發生超過臨界降雨時間，則邊坡將發生破壞。另外，邊坡穩定性不只為降雨量所影響，其他如邊坡土壤之透水係數及力學性質也與其穩定性有著密切的關係，因此這些參數都將納入用來建立降雨與邊坡滑動之關係式：

$$NAR = \frac{R(t)}{k_{sat} \cdot \cos\beta \cdot \psi_f \Delta\theta} \qquad [6\text{-}10]$$

$$NRI = \frac{I(t)}{k_{sat} \cdot \cos\beta \cdot \psi_f \Delta\theta} \qquad [6\text{-}11]$$

其中 NAR 為量化後之累積降雨量，單位為 mm^{-1}.h；NRI 為量化後之降雨量，單位為 mm^{-1}；$R(t)$ 及 $I(t)$ 為在時間 t 下之累積降雨量與降雨量。

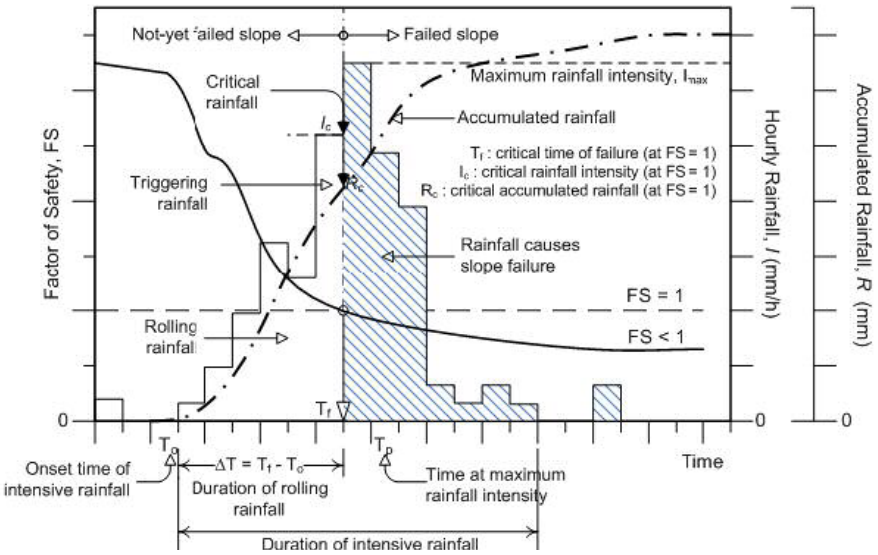


圖 6-14　邊坡崩塌潛勢與降雨量之關係圖

將已崩塌及未崩塌邊坡案例繪製於 NRI - NAR 之座標圖上，如圖 6-15 所示，而圖中之直線為「最佳分隔線」，其方程式為：

$$NAR = 8.17(NRI)^{0.9446} \qquad [6\text{-}12]$$

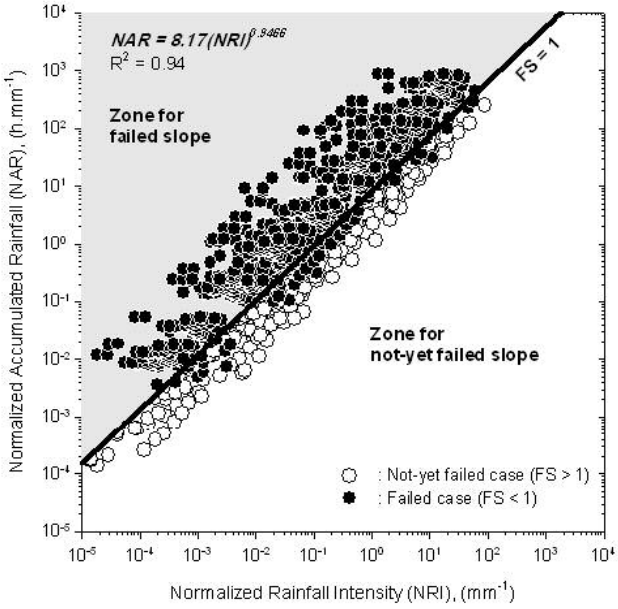


圖 6-15　崩塌與未崩塌邊坡案例分佈圖

最佳分隔線又可視為臨界線（FS=1），其分隔未崩塌邊坡（白點）與已崩塌邊坡（黑點），假設降雨量落在直線上方，則邊坡為破壞情形；若降雨量落在直線下方，則邊坡為穩定或未破壞狀態。換句話說，若實際累積降雨量大於由式[6-10]所計算出之累積降雨量，則邊坡將發生破壞。另外，由式[6-12]可知，圖 6-15 中最佳分隔線之斜率($\Delta y/\Delta x$)等於持續劇烈降雨時間(ΔT)，其方程式為

$$\Delta T = 7.734(NRI)^{-0.0534} \qquad [6\text{-}13]$$

又$\Delta T = T_f - T_0$則

$$T_f = T_0 + 7.734(NRI)^{-0.0543} \qquad [6\text{-}14]$$

因此若能得知劇烈降雨之起始時間，則可利用式[6-13]計算出邊坡破壞之臨界時間。嘗試將圖 6-15 中之最小降雨量（NRI=10^{-5}mm^{-1}）與最大降雨量（NRI=10^{2}mm^{-1}）代入式[6-14]，可得其降雨持續時間為 6 小時與 14 小時。

第七章 結論與建議

本研究主要結合國內交通、道路、邊坡、土木、大地等工程建設科技方面之產、官、學各類專家與學者共同投入執行，以促使整體研發成果朝向落實應用之目標邁進。本期計畫自 96 年 3 月 1 日簽約執行至今，共歷時八個月。總結今年（96 年）研究工作重點，主要結論與後續執行建議彙整於後述各節中。

7.1 結論

今年度本研究選定以臺 18 線阿里山公路為研究對象，完成現地歷史崩塌事件相關資料蒐集，並利用地理資訊系統、數值圖籍資料與現地勘查，進行資料分類與致災因子量化作業，且將其建置於道路邊坡維護管理系統中，可提高系統之實用性與正確性。

道路邊坡維護管理系統擬改版之規劃，主要延續原系統與地理資訊系統結合之架構，提供填報資料查詢並以空間化方式進行展示之功能，系統改版後能提供使用者更簡便且直覺式之操作介面，故未來資料庫之功能架構規劃擬修改為災損金額統計、縣市屬性查詢、資料屬性查詢、編碼屬性查詢與點位查詢等。另外，改版後之系統將於災中搶修階段特規劃建置簡易之目視檢查表單，可使現場工程人員前往現場勘災時，簡易且確實記錄災況現場之相關資料，並提升系統之實用性。

本研究彙整歷年監測規劃與預警之研究成果，與蒐集國內外預警基準之訂定案例，初擬邊坡崩塌監測預警值之制定程序為：(1)前置決策；(2)邊坡調查與評估；(3)資料蒐集；(4)監測資料分析與評估；(5)監測管理基準值訂定；(6)監測管理基準值之調整。而歸納分析製定之方法可分類為：(1)經驗法則；(2)根據長期監測資料統計分析；(3)現象模擬與預測－直接根據位移之預測訂定預警基準；(4)現象模擬與預測－間接根據與位移或崩壞相關之物理量訂定預警基準；(5)多項徵兆物理量組

合制定預警基準。可為國內區域性道路邊坡監測儀器預警基準制訂之原則與參考依據。

本研究分析國內外預警基準訂定案例,認為國內與日本等國預警基準訂定以直接量測地表位移或傾斜量之直接方法制定，而在歐美等西方國家則以分析降雨資料之間接方法制定。而本研究針對國內區域性道路邊坡預警基準之制定，考慮縱觀整條山區道路邊坡之變化，節省人力、物力與經費，對於預警基準之研究，擬採以「雨量」資料統計分析之間接方法，進行預警基準之制訂，並規劃相關之研究。

本研究選取十個侵臺颱風,利用中部雨量站之雨量資料以高斯過程進行雨量空間分佈回歸分析，分析結果顯示所預測之十個颱風降雨量準確率有達 60%以上，且與一般常用方法（克利京法與反距離權重法）比較，以高斯過程分析之準確率普遍較高。而在因子重要度方面，經度、緯度、平均高程因子分別位居三名，表示雨量站的平面地理位置比地形起伏更具有顯著性，而平均高程比雨量站本身的高程更有代表性。

本研究為能更完整地蒐集雨量資料，已於臺 18 線設置九個雨量計，並利用格網技術進行雨量資料自動回傳之研究。而將回傳之雨量資料用以驗證反距離權重法（IDW）所估算之降雨量，發現由 IDW 法所估算之降雨量與實測之降雨量兩者結果相當一致。

本研究嘗試建立崩塌規模估算之簡化公式：
$V=L\times W\times(A\times a+B\times b+C\times c+D\times d)$此公式所推算之值與實際崩塌量可用一函數 $\log Y=0.7\log V+1.26$ 表示兩者間之關係（$R^2=0.773$，其中 Y 和 V 分別代表實際崩塌量和公式估算所得之值)，並且嘗試訂出其上下邊界：$\log Y=2.25\log V$ 與 $\log Y=0.95\log V$。

降雨入滲模式之建立，探討降雨入滲對邊坡之影響，進而計算驅動邊坡崩塌之臨界降雨量，繪製邊坡崩塌與否與降雨量之關係圖，並建立邊坡崩塌時間與降雨量之關係式，而利用相關研究結果則可初步估算臺 18 線邊坡崩塌為連續降雨量發生後 6 至 14 個小時較易發生邊坡崩塌災害。

7.2 後續執行建議

依據本年度之研究成果，彙整出後續計畫之執行重點建議：

1. 道路邊坡現地歷史崩塌事件之相關資料蒐集，實為發展崩塌潛勢分析、崩塌規模評估與崩塌時間預測等研究不可或缺之基本工作項目，因此後續計畫之執行仍應持續蒐集臺灣各山區路段之崩塌資料，並予以分類建置於道路邊坡管理系統中，以供後續各階段研究執行時所需資料之參考，並持續提升系統之充實性與實用性。

2. 依據去年度所編定之「道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊」，今年道路邊坡管理系統已進行系統改版規劃，建議明年度應落實建置重新規劃之道路邊坡管理系統，除將系統由單機版修改為網路版外，更應持續將崩塌機率與崩塌時間預測等研究成果，建置於系統中，以利國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統之開發。

3. 預警基準之訂定，本研究擬定後續研究方向以雨量因子為基礎，進行相關分析之制定研究，然為得到較完整之雨量資料，目前已於臺 18 線設置共計有九個雨量計，但各山區路段之降雨特性差異甚大，因此為使研究更為嚴謹且更具完整性，建議應於後續於其他山區道路逐年建置雨量計，以其能準確的掌控臺灣山區道路之降雨資料。

4. 以高斯過程進行颱風降雨量空間分佈回歸分析，本研究最終建立之模型，是以日雨量分析模式，輸入 X、Y、Z、mZ、mS 五個基本因子來作分析，準確度約略八成，但若能尋找更具有代表性的因子加入，相信可以更提高分析的準確度。

5. 山區道路邊坡崩塌規模依目前之研究實難以準確預測，而本研究所建立之簡易崩塌量估算公式，僅能在崩塌發生時，簡易估算其崩塌量，但崩塌量估算公式並未對崩塌形狀進行深入探

討，而崩塌面的形狀往往種類眾多，因此往後若能加入形狀因子，應可提高評估崩塌土方量之準確率。

6. 本研究首度採用 Green-Ampt 模式，建立降雨入滲與邊坡滑動之關係，並可用於邊坡崩塌時間之預測，然本模式之建立還未經過實測之現地資料進行驗證，因此本研究建議應於明年度於臺 18 線埋設土壤含水量計，用以量測降雨入滲後對土壤含水量之影響，進而驗證或修正所建立之模式正確性。

參考文獻

[1] Arya L M, Paris J F (1981) A physical-empirical model to predict the soil moisturecharacteristic from particle size distribution and bulk density data. Soil ScienceSociety of American Journal 45: 1023-1030.

[2] Chen C-Y, Chen T-C, Yu F-C, Yu W-H, Tseng C-C (2005a) Rainfall duration and debrisflowinitiated studied for real-time monitoring. Environmental Geology 47: 715-724.

[3] Chen C-Y, Chen T-C, Yu W-H, Lin S-C (2005b) Analysis of time-varying rainfall infiltrationinduced landslide. Environmental Geology 48: 466-479.

[4] Chen L, Young M H (2006) Green-Ampt infiltration model for sloping surface. WaterResources Research, Vol. 42: 1-9 (doi 10.1029/2005WR104468)

[5] Chow V-T, Maidment D R, Mays L W (1988) Applied hydrology. Mc. Graw-Hill New York,Ch. 4:110-116.

[6] Barber, D. and Williams, C. (1997). Gaussian processes for Bayesian classification via hybrid Monte Carlo. NIPS 9.

[7] Jaynes, E.T. (1957). “Information theory and statistical mechanics.” Physical Review, 106, 620-630.

[8] Mackay, D. J. (1997). Gaussian processes - a replacement for supervised neural networks? Lecture notes for a tutorial at NIPS 1997. Available at http://wol.ra.phy.cam.ac.uk/mackay.

[9] MacKay, D.J. (1992). A practical Bayesian framework for back-propagation networks. Neural Computation, 4, 448-472.

[10] Morgan, G.C., Rawlings, G.E. and Sobkowicz, J.C. 1992 “Evaluating total risk to communities from large debris flows”, In Geotechnicque and natural hazards, pp.225-236.

[11] Neal, R. M. (1997). Monte Carlo implementation of Gaussian process models for Bayesian regression and classification. Technical Report CRG-TR-97-2, Dept. of Computer Science, University of Toronto.

[12] Williams, C.K.I. and Barber, D., (1998). Bayesian Classification with Gaussian Processes, IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20, 1342-1351.

[13] Williams, C. K. I. and Rasmussen, C. E. (1996). Gaussian processes for regression. In Advances in Neural Information Processing Systems 8th ed. by D. S. Touretzky, M. C. Mozer, and M. E. Hasselmo.

[14] 中國土木水利工程學會(2004)，「七二水災災區調查與復建策略研擬」，行政院經濟建設委員會。

[15] 日本高速道路調查會(1986)，「危險地動態觀測施工相關研究（3）報告書」，日本道路公團。

[16] 王智仁(2001)，「以現場調查方式分析影響公路岩石邊坡穩定性之工程地質因子--以南橫公路梅山至啞口段為例」，碩士論文，國立成功大學資源工程學系。

[17] 行政院經濟建設委員會(2004)，敏督利颱風災情統計報告。

[18] 李維峰、張睦雄、劉桓吉、顏召宜，山區道路邊坡崩塌防治最佳化研究（一），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 92 年。

[19] 李維峰、張睦雄、董家鈞、劉桓吉、顏召宜，山區道路邊坡崩塌防治最佳化研究（二），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 93 年。

[20] 李秉乾、許盈松、董家鈞、李維聰、連惠邦、周天穎，山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發（一），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 92 年。

[21] 李秉乾、許盈松、許懷後、李維聰、連惠邦、周天穎，山區道路邊坡監測系統自動化及緊急臨時通報系統研發（二），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 93 年。

[22] 李德河、方世杰、林宏明(2004)，「颱風引致公路邊坡之破壞特性探討-以阿里山公路為例」，防災與國土永續發展研討會論文集，國科會工程處工程科技推展中心，第 115～136 頁。

[23] 李豐博、蘇吉立、廖洪鈞、李維峰、董家鈞、卿建業、魏佳韻、趙衛君，坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究（1/2），交通部運輸研究所研究計畫成果報告，中華民國 94 年。

[24] 吳傳威、范正成、鄭大偉、吳銘塘、陳嘉明、王玉瑞、翁祖炘、歐辰雄(1999),「台灣區道路落石坍方危險度資訊系統建構(二)」,交通部科技顧問室。

[25] 林美聆等(2003)「坡地開發技術之研究」，財團法人台灣營建研究院，政院院公共工程委員會。

[26] 周晏勤、藍世欽、陳時祖(2001)，「工程地質特性對道路邊坡穩定性影響」，第九屆大地工程學術研討會論文集，桃園。

[27] 張舜孔(2003),「類神經網路應用在阿里山公路邊坡破壞因子之分析研究」，碩士論文，國立成功大學土木工程學系。

[28] 莊光澤(1993),「阿里山地區道路邊坡穩定性因子之探討」，國立成功大學資源工程研究所，碩士論文。

[29] 陳崇華(2004),「臺十一線海岸公路邊坡崩塌災害分析」，碩士論文，國立東華大學自然資源管理研究所。

[30] 陳榮河(1984)，「坍方類型之現地研判」，地工技術雜誌，第 7 期，第 13-19 頁。

[31] 黃瀚瑱 (2006)，「芒草根系力學之碎形分析」，碩士論文，私立淡江大學土木工程研究所。

[32] 黃安斌、廖志中、潘以文、林志平、董家鈞，道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定（一），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 91 年。

[33] 黃安斌、林志平，道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定（二），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 92 年。

[34] 廖洪鈞、游行健、郭瑞柏(2002)「邊坡擋土工法選定之研究」，地工技術雜誌，第 94 期，第 81-92 頁。

[35] 廖洪鈞、林郁欽(2001)「鑑別分析法應用於坡地社區邊坡崩塌機率之評估研究」，地工技術雜誌，第 87 期，第 59-72 頁。

[36] 廖洪鈞、梁樾、林三賢、李維峰、廖瑞堂，台灣地區道路邊坡崩塌發生機制及防治效益評估方法研究與應用（一），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 91 年。

[37] 廖洪鈞、梁樾、林三賢、李維峰、廖瑞堂，台灣地區道路邊坡崩塌發生機制及防治效益評估方法研究與應用（二），交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 92 年。

[38] 廖洪鈞、廖瑞堂、董家鈞、李維峰，台灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構功能評估—現有破壞案例統計、分析，交通部科技顧問室研究計畫成果報告，中華民國 93 年。

[39] 廖洪鈞、蘇吉立、李維峰、陳天健、何應璋、董家鈞、魏佳韻，坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究（2/2），交通部運輸研究所研究計畫成果報告，中華民國 95 年。

[40] 廖瑞堂(2001)，「山坡地護坡工程設計」，科技圖書。

[41] 廖志中(1999),「山區道路災害危險度分級及預報系統建立工作」，台灣省政府交通處。

[42] 董家鈞(2003)，「台灣山區道路工程地質特性與邊坡監測規劃」，道路邊坡安全管理與監測研討會，臺北、台灣科技大學。

[43] 國立成功大學防災研究中心(1998)，「地質危險區公路及河川橋樑之維護管理與防救災對策之研擬~以臺十一線及二十一線為例」，台灣省交通處公路局。

[44] 陳崇華(2004)，「臺十一線海岸公路邊坡崩塌災害分析」，碩士論文，國立東華大學自然資源管理研究所。

[45] 陳榮河(1984)，「坍方類型之現地研判」，地工技術雜誌，第7期，第13-19頁。

[46] 葉昭雄、何鴻文(2002)，山區公路、橋樑遭受重大土石災害修復對策與實例，公共工程土石災害防治對策研討會，臺北。

[47] 劉桓吉、方中權、莊德永(1989)，「台灣新中橫公路嘉義觸口至塔塔加鞍部沿線地質」，經濟部中央地質調查所彙刊，第五號，第19-29頁。

[48] 賴季鋒(1999)，「山坡地災害防治評估系統之研究」，碩士論文，國立成功大學都市計劃學系。

附錄 I

期中審查委員意見暨辦理狀況

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)**

合作研究單位：**國立臺灣科技大學**

參與審查人員 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
逢甲大學交通工程與管理學系 **林教授　大傑：** 1. 執行團隊在執行進度及成果方面值得肯定。	
2. 請說明：為何於分析結果驗證時使用 LOO 法(P.3-56) ？而非其它。	LOO（Leave-one-out）法之原理為一次移除一筆案例後，利用所剩下之案例來預測所移除的那一筆案例，此法可用於比較分析預測誤差。由於研究團隊曾嘗試其他常見之分析方法，因 LOO 法之成果較佳，故本研究中採用此法進行相關分析。
3. 在歷史崩塌事件資料收集時請說明：如何來使用歷史等修復相關資料？	遵照辦理，本研究主要透過歷年災害修復資料取得致災因子相關數據，故將於期末報告中予以補述歷史崩塌事件蒐集之目的與使用方法。
4. 2 & 3 項之建議請於期末報告中補述。	遵照辦理，將於期末報告予以補述。
交通大學土木工程學系 **廖教授　志中：(不克參加)**	
中興大學土木工程學系 **林教授　炳森：(不克參加)**	
本所港研中心 **朱科長　金元：** 1. 自然環境資料庫更新是由誰來執行？未來如何持續維持最新最正確之資料？	由於目前系統尚處擴建開發階段，故其更新與擴建工作暫擬由本研究團隊持續進行，為使系統更臻完備，後續之維護作業擬落實應用至基層使用單位，故研究團隊目前正規劃由公路總局相

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)**

合作研究單位：**國立臺灣科技大學**

參與審查人員 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
	關單位進行接管。
2. 整條道路很長，臨界雨量之多寡與邊坡之地質特性有關，因此在決定臨界雨量前對於邊坡是否須先研究，而且整體道路地質特性不一定一致，如何分段？	同一區域之山區道路各路段之地質、水文等自然因子皆不相同，且相關資料不足，故無法將道路作明確分段，因此目前研究利用歷史災損記錄與現地調查資料，以高斯過程，加入雨量因子，進行邊坡崩塌機率之預測，並以崩塌機率對沿線邊坡分級。
3. 利用颱風路徑，距離中心位置距離，來預估降雨量，導致預測結果並不是很理想，是否建議加以考量颱風強度、降雨量預測值(氣象局)。	同一颱風強度且同一侵台路徑之颱風將造成不同區域之降雨量，因此颱風強度與預測降雨量不易量化，故未考慮加入此兩項因子進行分析。
本所港研中心 **謝研究員　明志：** 1. P.1-5 之四年計畫，目標集中在崩塌，但 P.3-3 所提到的監測對象都是落石、土石流、地滑及人工邊坡等四項，未含崩塌，本計畫若有針對特定項目，作目標修正時，請於期末報告內容上修正妥當，可使計畫流程及目標獲得一致性。	遵照辦理，本研究主要針對淺層滑動為主之崩塌類型進行分析探討，相關敘述將於期末報告中予以補充說明，以使計畫流程與目標一致性。
2. 不同的坡地災害類型，因災害面積、應變速度會有很大的差異，所需用的監測儀器其量測範圍及精度會有不同的考慮，本計畫因有規劃儀器的測試選用，請針對不同災變來設計。	遵照辦理，本研究已依不同之邊坡崩塌類型，分類規劃監測儀器之設置。
3. 災害潛在因子的自然因子項，是否須考慮增列『地下水』？	參酌辦理，山區邊坡地下水位高程變化大且需配合鑽孔設置才

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)**

合作研究單位：**國立臺灣科技大學**

參與審查人員 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
	可取得明確之數據資料，故以其為分析基礎有其困難性，然地下水高程變化又為雨量所影響，因此本研究才選取以雨量分析為預警制定與崩塌機率預測之研究方向。
4.因子量化，空間分析內插，為何選用 IDW 法？請說明。	由於邊坡管理系統之圖層展示主要是採以 Arc GIS 為主，考量後續研究中系統與分析成果之結合，故因子量化方面採以 Arc GIS 系統中內建之 IDW 法之相關功能，且本研究分析過程中不以人工方式調整因子權重，並已利用現地雨量計進行驗證，驗證結果極具正確率，因此採用此方法進行分析。
5.高司過程分析的結果，緯度 Y 成為最大影響因子，反而平均坡度 mS、平均高度 mZ 的影響最小，與平常所見不太一樣，請說明。	依高斯過程因子檢定結果，並無有那個因子為絕對最大之影響因子，僅能得知經度 X、緯度 Y 相較於其他因子排名前三名所佔之比例最大。
本所運工組 **邱副研究員　雅莉：(不克參加)**	
本所港研中心計畫承辦人 **蘇副研究員　吉立：** 1.針對 P3-24 頁所述之各項監測曲線特性，請補圖例加強說明。	參酌辦理，本報告所述之各項曲線特性為分析眾多案例之結果，難以以一或兩張圖例代表說明，然本團隊仍將盡量收集相關圖例資料。
2.3-64 頁表 3-23 中 R-T18-64K+800 之既有雨量計對應於 3-66 頁之圖	遵照辦理，將於期末報告予以修正。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)**

合作研究單位：**國立臺灣科技大學**

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
3-36 與 3-67 頁之圖 3-38 有錯誤，請予更正。	
3. 3-64 頁之表 3-23 中之 NTUST-E2 之既有雨量計，請補測站照片。	遵照辦理，將於期末報告予以補正。
4. 3-64 頁之表 3-23 中之所有雨量站之遠觀照片應儘量含蓋全景，請重新再於現地校核取照。	遵照辦理，將於期末報告予以修正。
5. 報告中所提『水量計』，是否有誤？是否應改為水位計或水壓計？	遵照辦理，修改其名稱為「含水量計」，此監測儀器主要用於土壤含水量之量測。
6. 3-64 頁之表 3-23 中之所有雨量站，為何尚沒有 96 年之雨量監測資料？	遵照辦理，將於期末報告納入相關之雨量監測資料。
7. 請將蒐集之臺 18 道路邊坡歷史崩塌事件彙整列表，表中資料建議含蓋項目如下：(請自行檢討彙整，下列僅供參考) A. 誘發崩塌事件主因(地震、颱風、下雨、人為)。 B. 誘發力：地震強度、颱風強度、累積雨量、最大瞬間雨量、風向、開發面、破壞面。 C. 同一區段崩塌事件之再發率。 D. 地層種類、岩態。 E. 事件前或後之基本資料：坡度、風化及破碎程度、植被、排水狀況或能力。 F. 崩塌前後之坡面長、寬、高。	遵照辦理，擬於期末報告中補列此表格資料。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)**

合作研究單位：**國立臺灣科技大學**

參與審查人員 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
8. 彙整列表蒐集之臺 18 道路邊坡歷史崩塌事件後再整合出 3-31 頁表 3-12 之影響因子。	遵照辦理，將於期末報告予以修正。
9. 3-31 頁表 3-12 之地震力是否歸納為誘發因子較適當(雖然本研究目前蒐集之事件並無地震之誘發例)。	本研究雨量量化資料為選取 921 地震後之颱風雨量資料，因此地震力之使用僅輸入 921 之地震力，視為自然因子，為此，於後續期末報告擬將「地震力」修改為「921 地震力」。
10. 3-40 頁之 3.2.2.3 節所述,於崩塌規預測分析考慮之加入因子中，為何引用崩塌面？而不是坡面？	本研究主要針對已崩塌之坡面預測其崩塌規模與機率，故崩塌規模預測模型之建立，是採以崩塌面而非原始坡面。
11. 3-45 頁之圖 3-25 請放大置於整頁，並另加一張只有臺 18 線上之分佈圖。	遵照辦理，將於期末報告予以修正。
12. 請將臺 18 道路之邊坡資料依邊坡之座向、岩層種類、岩態、植被或護被率、植被或護被種類、排水能力或狀況等彙整表列。	遵照辦理，擬於期末報告中補列此表格資料。

附錄 II

期末審查委員意見暨辦理狀況

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
公路總局養路組 **吳**組長　**鎮封** (共 4 點) 1. 本防救災決策管理系統所需填入地質資料頗多，可否整合擷取利用其它已開發完成調查之資料庫，以免日後實務運用時，重複調查與填寫輸入(如臺科大預警系統開發軟體代理人網頁欄位擷取 TBMS 欄位資料)。	遵照辦理，本研究將於後續系統擴充規劃中，將此點審查意見納入考量。	同意處理情形。
2. 本研究管理系統致災量化因子頗多(P2-5)，日後交由公務單位實務運用時，有無能力填寫，以免影響日後預警功能之準確性。	致災因子選定部份，由於尚屬於研究階段，故因子數量繁多，本研究未來將透過案例驗證來簡化因子數量。除此之外，本研究於執行最後一年度中規劃舉辦相關教育訓練課程，期擬透過此訓練課程來促使公務單位能確實填報相關因子資料。	同意處理情形。
3. 邊坡管理系統中有關維修工法及監測儀器費用之成本資料庫，建議增加。	參酌辦理，由於維修工法與監測儀器之相關成本費用皆因區域之不同而有所差異，故僅於後續系統擴充時考量納入部份欄位資料。	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
4. 邊坡坍滑預警功能開發可否了解易致災路段為何？並事先提出該路段預防工法已減少災害產生可能性。	本研究之主要目的即為降低道路邊坡崩塌災害，故期擬本研究後續之成果可以確實達到邊坡坍滑之預警功能。	同意處理情形。
臺灣大學土木工程學系 陳教授 正興 (共 3 點) 1. 本年度所執行之工作內容與預定工作項目符合，完成預期工作。	感謝肯定。	
2. 本研究擬以雨量資料之分析作為預警之基準之一，建議雨量資料應包含總雨量與降雨強度。	本研究所分析之雨量資料即包含總雨量與降雨強度。	同意處理情形。
3. 崩塌時間之預測為一相當困難之工作，表示邊坡安全係數隨時間之變化關係，可能應結合觀測資料與模擬分析一併評估，方可獲得較佳之預結果。	參酌辦理，由於監測儀器無法完全裝設於路段全線，因此分析模式預測與觀測資料一起評估之方式僅能侷限於部份路段，但觀測資料卻可用於模式之驗證與改進，因此本計畫後續研究擬盡量增加預測資料之準確性。	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
中興大學土木工程學系 林教授 炳森 (共 9 點) 1. 本計畫整合山區道路坡地災害治技術，具有實用價值；但應依不同山區道路坡地災害防治技術加以說明。	遵照辦理，本研究今年度主要針對台 18 線為案例對象進行研究，由於災害類型種類較少，故未來除將案例對象擴增至至其他路段(台 8、9、21 線）外，並擬將各路段之災害防治技術進行分類與說明。	同意處理情形。
2. P2-8(1)圖 2-6 不清楚，應修正。(2)資料引用為 1989，是否可引用較新資料。	阿里山公路沿線地質圖於 1989 年後即無更新改版資料，故考量本報告整體版面問題，建議將此圖予刪除。	同意處理情形。
3. P3-2，道路邊坡資料管理，應有帳號密碼管制，並分不同層級。	本系統於開發建置時，已將單位層級納入考量，並於系統登入時，利用個人帳號與密碼進行管制。	同意處理情形。
4. (1)P4-4，邊坡危害等級，亞新工程評分方式依據應說明。(2)P4-21，4.3 預警值，應依不同地質發展模式。	(1)遵照辦理，將說明評分依據。(2)參酌辦理，由於各山區路段地質變異性大且缺乏完整之地質鑽探資料，因此依據目前之研究成	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	果恐難依不同地質訂定預警值。	
5.P4-7，自動警告系統應加強(1)自動連線系統與(2)緊急通報處理系統之建立。	遵照辦理，研究團隊後續擬參考此審查意見，配合相關研究案之成果，進行預警自動化系統之研發作業。	同意處理情形。
6.P5-15，表 5-2~5-4 中雨量數量不同(81,119,116)應說明。	針對所選取之颱風進行雨量空間分析時，因颱風侵台路徑之不同，及雨量站設站日期不一，而造成有資料之雨量站數量皆不盡相同，已詳述於 5.1.1 節。	同意處理情形。
7.P5-20，雨量計設置於圍牆時，出口應高出圍牆，但 P5-21 之後，部份照片未高出圍牆，應修正。	由於現地雨量計安裝需考量裝設於圍牆上之雨量計有被破壞偷竊之虞，然為達隱蔽目的，進而造成部份雨量計需裝設於圍牆後。針對此點意見，將於本報告中補修正相關敘述。	同意處理情形。
8.P6-1(1)崩塌量推估公式之參數應注意其因果關係、是否易測定、物理意義。(2)表 6.2 應列出公式之所有相關參數。	(1)若將估算公式等號左右兩邊同時除以 L 及 W，便可估算崩塌土層厚度，如此便符合其因果關係與物理意義。(2)由於相關參數之	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	數據資料頗多，考慮報告版面問題，已列於附錄 II。	
9. P7-1(1)結論 2，單機系統改版為網路版，不能當結論。(2)結論 3，報告中應附上目視檢查表單。	(1)遵照辦理，擬將此點結論予以删除。(2)系統中規劃之目視檢查表填報欄位介面，詳見報告 3.2 節。	同意處理情形。
逢甲大學交通工程與管理學系 林教授　大傑 (共 5 點) 1. 因子分析之探討詳實。	感謝肯定。	
2. 國內外案例蒐集完整。	感謝肯定。	
3. 是否災害之發展預測可在 GIS 平台上展示。	參酌辦理，目前預測模式是採以高斯過程分析，尚無法與 Arc View 結合，故無法於 GIS 平台上展示，後續擬將此建議列為研究目標。	同意處理情形。
4. 災損金額預估之模型，請說明如何建構。	資料庫系統中之災損金額為公路總局提供之實際災害搶救經費，而非分析模式所估算之數據資料。	同意處理情形。
5. 預測模式之 independent variables 請說明。	預測模式所需輸入之相關參數已詳列於表 6-6。	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
本所港研中心 朱科長 金元 (共 5 點) 1. 坡地災害有那些？欲整合之相關防治技術有那些？在報告中應有完整之敘述。	參酌辦理，在過去之相關研究成果中，已將常見之坡地災害分為落石、土石流與地滑三大類，本研究報告中已依據此三大分類進行監測預警規劃分析探討，後續亦擬將依據此分類整合相關防治技術。	同意處理情形。
2. 本研究進行之標的為全線之分析，報告中所述新設雨量站蒐集之雨量與使用中央氣象局雨量站內插所得雨量在144小時累積雨量很穩合，是否全線都如此？否則會以偏蓋全。而且144小時之時間是否太長，因為邊坡土壤在這之前都已經飽和。	本研究嘗試以不同之累積降雨時間（24小時、48小時、72小時及144小時）驗證IDW法所估算之降雨量，研究結果顯示，以IDW法所估算之144小時累積降雨量，最能反應實際降雨量，因此可以此法預估空間中未知點之降雨量。然為了解台18線全線是否都可適用，本研究擬於後續將針對沿線之雨量站進行更多相關案例驗證，以了解全線之降雨行為。	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
3. 降雨量及崩塌量預測模式所採用之影響因子，必須先確定因果關係。	遵照辦理，將針對影響因子之因果關係進行修訂。	同意處理情形。
4. 致災因子其中之地下水空間分析報告中均未提，應該有所補充。	本研究所指地下水為降雨後所造成之入滲水流，為引起邊坡淺層滑動之主因，而針對此入滲水流，研究團隊也已著手建立入滲水流與淺層邊坡滑動關係模式之相關研究。	同意處理情形。
5. 五灣仔相關邊坡滑動研究，青山顧問公司已完成期末報告，其相關內容應可加以參考。	遵照辦理，將於後續研究納入參考資料。	同意處理情形。
本所港研中心 謝研究員 明志 （共 2 點） 1. 道路邊坡管理系統今年改版，分為災前預防、災中搶修、災後復建、一般防救災處理，調查通常是災後，搶修也可預做規畫，最難的是災前的預防及整備。但災前應最重要，預防做得好，可把致災因子減少。影響程度降低。這個計畫總共有 4 年執行期，建議往後能朝災前的	遵照辦理，將於後續研究針對災前預防多作考量。	同意處理情形。

交通部運輸研究所合作研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-96-H1DB010

計畫名稱：山區道路坡地災害防治技術整合研究(1/4)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
預防多做規畫，資料分析與防治處理。		
2. 高斯分析找出的影響因子，重要度依序為雨量站的經度、緯度、平均高程等，經緯度感覺上與降雨量應是不相依，但推算出來會有這些結果，可能跟母群分佈會有影響，建議列出調查資料，以供更詳細的討論。	雨量空間分析以中部山區之雨量站為研究對象，其母群分佈涵蓋整個中部山區，無侷限於某個特定區域。而就本研究針對桃芝、敏督利、艾莉等颱風之分析結果顯示，颱風降雨量受雨量站經緯度影響甚鉅，而經緯度又反應中部山區之地形起伏，因此顯示颱風降雨量受台灣山脈地形起伏影響頗大。	同意處理情形。

附錄 III

彙整臺 18 線崩塌事件量化資料

淺層破壞 33 筆案例各因子量化表

項次	里程	座標		高程	坡向	坡度	坡高	坡形	地層種類	坡向與傾向交角	坡度與傾角交角	岩塊規模	岩塊體積百分比	植被覆蓋面積百	植被覆蓋厚度	集水區面積	坡趾開挖高度	坡度改變量	最大水平地表加速度	颱風累積雨量	植被種類				原始崩塌面高度	原始崩塌面長度	原始崩塌面寬度	原始里程	實際崩塌規模	致災颱風
		X(m)	Y(m)	(m)	(°)	(°)	(m)	(°)		(°)	(°)	(m)	(%)	(%)	(m)	(m^2)	(m)	(°)	(gal)	(mm)	(%)				(m)				(m^3)	
																					A 短草	B 長草	C 灌木	D 喬木	h	L	W			
1	20k+750	208953	2592930	257	330	70	45	-55.4	3	90	70	0.3	65	90	2.5	27332	2	0	201.3	958.7	15	15	20	50	40.0	42.6	25.0	20k+750	2300	納莉
2	21k+100	209166	2593090	274	30	80	30	-9.6	3	90	70	0.2	75	50	1.5	2845	12	20	204.8	384.6	50	0	10	5	8.0	8.1	3.0	21k+100	70	桃芝
3	21k+400	209322	2592928	284	100	40	25	-7.5	3	50	0	0.3	70	80	3.5	15343	2	0	202.2	967.9	10	10	20	60	10.0	15.6	3.1	21k+400	125	納莉
4	21k+500	209376	2592848	295	40	60	30	-6.6	3	90	60	0.3	60	80	2	3353	5	10	202.2	967.9	50	10	10	30	11.0	12.7	2.7	21k+500	290	納莉
5	21k+555	209427	2592827	296	30	60	20	-4.8	3	90	60	0.3	65	80	2	2134	5	10	202.2	967.9	10	60	20	10	10.0	11.5	2.8	21k+555	200	納莉
6	21k+650	209449	2592715	311	120	60	20	1.5	3	0	10	0.3	65	80	2	12396	5	0	0	952.4	10	50	10	30	15.0	17.3	5.0	21k+650	788	賀伯
7	21k+900	209449	2592532	326	40	50	20	-9.8	3	90	50	0.35	65	80	2	20118	4	0	0	942.4	20	40	20	10	11.0	14.4	2.4	21k+900	500	賀伯
8	22k+050	209572	2592435	334	35	65	25	-5.2	3	90	65	0.2	55	75	1.5	3150	15	15	0	950.6	30	30	20	20	5.0	5.5	1.8	22k+050	120	賀伯
9	22k+250	209603	2592307	316	110	60	25	-8.6	3	10	10	0.5	90	80	2.5	9754	3	0	0	941.1	10	20	20	50	7.0	8.1	3.4	22k+250	105	賀伯
10	22k+350	209515	2592219	400	175	60	25	-29.4	3	50	10	0.25	50	80	2	11380	7	0	196.1	949.2	20	20	20	40	17.0	19.6	3.6	22k+350	1386	納莉
11	22k+350	209515	2592219	400	175	60	25	-29.4	3	50	10	0.25	50	30	2	11380	7	0	196.1	716.7	20	20	20	40	5.0	5.8	3.0	22k+350	180	敏督利

12	22k+850	209852	2592323	338	0	60	25	2.3	2	90	60	0.15	50	85	3.5	7925	8	0	194.8	953.5	10	30	20	40	25.0	28.9	10.0	22k+850	2880	納莉
13	22k+850	209852	2592323	338	0	60	25	2.3	2	90	60	0.2	50	20	3.5	7925	8	0	194.8	721.8	10	30	20	40	6.0	6.9	3.0	22k+850	319	敏督利
14	22k+950	209952	2592343	343	340	50	20	-1.9	2	90	50	0.15	50	85	3.5	48873	8	0	194.8	384.8	5	15	10	70	10.0	13.1	5.0	22k+950	510	桃芝
15	24k+700	209995	2592559	422	145	60	40	-20.5	2	35	0	0.2	40	80	3.5	4369	2	0	197.4	721.1	10	40	10	40	20.0	23.1	12.5	24k+700	1134	敏督利
16	24k+750	209917	2592528	438	175	75	15	13.4	2	90	75	0.15	25	60	3	406	8	15	197.4	721.1	30	10	20	20	7.5	7.8	2.2	24k+750	125	敏督利
17	26k+100	210384	2592738	476	130	50	15	-9.4	1	90	50	0.2	20	50	2.5	19102	5	0	202.6	726.4	10	10	20	50	15.0	19.6	7.0	26k+100	400	敏督利
18	26k+800	210930	2592949	502	215	45	30	-26	3	90	45	0.15	60	15	1	80574	6	0	225.5	737	10	30	10	40	8.0	11.3	4.5	26k+800	360	敏督利
19	28k+100	211955	2592761	562	150	50	40	-18.5	5	90	50	0.15	40	20	2	47552	3	0	203.4	987.7	5	5	10	80	40.0	52.2	30.0	28k+100	2930	納莉
20	31k+500	212533	2592177	786	265	60	18	4.1	5	170	55	0.4	80	75	0.5	11685	8	20	198.2	777.9	70	0	5	25	10.0	11.5	2.0	31k+500	30	敏督利
21	40k+400	214341	2591188	1261	155	60	35	-4.8	5	45	10	0.3	55	75	1.5	1422	5	0	191.4	827.5	20	30	20	30	35.0	40.4	25.0	40k+500	2310	敏督利
22	42k+700	214752	2592668	1230	90	75	25	2.6	5	130	60	0.1	70	60	2	3556	6	0	233.6	800.8	10	15	15	60	3.0	3.1	1.5	42k+700	30	敏督利
23	43k+150	214927	2593040	1254	130	55	50	3.2	5	0	10	0.2	70	70	2	15343	3	0	237.5	420	50	20	20	10	35.0	42.7	40.0	43k+150	3453	桃芝
24	45k+180	216149	2594231	1242	95	65	40	-2.5	5	90	15	0.25	75	70	1.5	12599	5	0	269.1	817.6	20	20	30	20	10.0	11.0	2.0	45k+180	195	敏督利
25	56k+450	221603	2596185	1472	120	60	20	12.6	4	100	25	0.45	80	70	1	3963	7	10	321.5	526.2	60	10	10	0	10.0	11.5	4.2	56k+450	450	桃芝
26	57k+050	221664	2596905	1481	140	75	40	-36.4	4	135	70	0.25	70	70	2	183534	7	0	330.8	534.3	20	10	20	50	40.0	41.4	5.6	57k+050	1500	桃芝
27	58k+000	221951	2597180	1520	140	65	100	-19.4	5	95	15	0.2	75	15	0.5	43966	15	10	336.2	891.9	20	10	20	30	50.0	55.2	32.6	58k+000	2640	敏督利
28	59k+500	222674	2598017	1567	155	60	28	-19.1	5	90	60	0.25	50	75	2	30380	8	15	351.9	891.8	20	10	20	30	10.0	11.5	8.2	59k+500	440	敏督利
29	59k+550	222674	2598017	1567	155	60	10	-19.1	5	90	60	0.12	50	85	2.5	30380	0	15	351.9	891.8	20	10	20	30	8.0	9.2	3.0	59k+500	146	敏督利
30	63k+400	224464	2598986	1579	240	60	25	-44.1	5	90	45	0.25	50	50	1	166635	6	10	380.3	561.9	10	0	20	30	25.0	28.9	10.0	63k+400	2115	桃芝
31	66k+700	226896	2598750	1748	185	80	23	19.4	5	100	70	0.3	70	50	1	2134	16	20	371.4	617.3	10	20	20	30	7.0	7.1	6.0	66k+700	500	桃芝
32	69k+300	227486	2599582	1864	200	65	20	-4.4	5	90	65	0.9	50	75	2	29118	8	20	382.1	643.4	30	20	10	40	20.0	22.1	8.2	69k+300	1375	桃芝
33	73k+400	228059	2600173	2192	210	60	15	3.8	5	90	50	0.25	60	80	3	4674	6	20	388	662	20	5	15	60	5.0	5.8	5.0	73k+400	280	桃芝

大崩塌 4 筆案例各因子量化表

項次	里程	座標		高程	坡向	坡度	坡高	坡形	地層種類	坡向與傾向交	坡度與傾角交	岩塊規模	岩塊體積百分	植被覆蓋面積	植被覆蓋厚度	集水區面積	坡趾開挖高度	坡度改變量	最大水平表速加度	颱風累積雨量	植被種類				原始崩塌面高	原始崩塌面長	原始崩塌面寬	原始里程	實際崩塌規模	致災颱風
		X(m)	Y(m)	(m)	(°)	(°)	(m)	(°)		(°)	(°)	(m)	(%)	(%)	(m)	(m^2)	(m)	(°)	(gal)	(mm)	(%) A 短草	B 長草	C 灌木	D 喬木	(m) h	L	W		(m^3)	
1	26k+800	210930	2592949	502	215	45	30	-26	3	90	45	0.2	20	20	1.5	80574	6	0	225.5	987.8	10	30	10	40				26+600	14785	納莉
2	58k+950	222161	2597874	1548	160	50	50	-13.2	5	90	50	0.2	50	80	3.5	74797	5	0	0	1393.8	10	10	10	60				59+210	12150	賀伯
3	69k+400	227895	2599545	1902	240	40	25	-22	5	90	40	0.6	50	90	4	97373	4	0	0	1733	15	5	20	60				69+450~700	22500	賀伯
4	74k+800	228882	2600704	2211	0	70	25	-26.6	5	90	70	0.7	60	80	3	112682	9	30	0	1918.8	10	10	10	70				75+320	20475	賀伯

落石型 12 筆案例各因子量化表

項次	里程	座標		高程	坡向	坡度	坡高	坡形	地層種類	坡向與傾向交	坡度與傾角交	岩塊規模	岩塊體積百分	植被覆蓋面積	植被覆蓋厚度	集水區面積	坡趾開挖高度	坡度改變量	最大水平表地加速度	颱風累積雨量	植被種類				原始崩塌面高	原始崩塌面長	原始崩塌面寬	原始里程	實際崩塌規模	致災颱風
		X(m)	Y(m)	(m)	(°)	(°)	(m)	(°)		(°)	(°)	(m)	(%)	(%)	(m)	(m^2)	(m)	(°)	(gal)	(mm)	(%) A 短草	B 長草	C 灌木	D 喬木	(m) h	L	W		(m^3)	
1	24k+860	209802	2592649	462	170	80	25	-27.6	3	90	60	0.25	50	75	1.5	1118	12	10	200.9	386.4	20	10	20	10				24+950	120	桃芝
2	24k+900	209763	2592636	466	165	70	20	16.3	3	60	20	0.3	70	25	1.5	406	12	10	197.4	717.5	30	10	10	30				24+800	300	敏督利
3	24k+900	209763	2592636	466	165	70	20	16.3	3	60	20	0.25	40	75	1.5	406	12	10	0	968	30	10	10	30				24+830	160	賀伯
4	45k+200	216129	2594254	1243	95	70	45	-6.3	5	170	60	0.25	65	60	1	12599	8	5	0	1153	20	20	30	20				45+400	450	賀伯
5	45k+200	216129	2594254	1243	95	70	45	-6.3	5	170	60	0.25	75	40	1	12599	8	5	269.1	452.1	20	20	30	20				45+300	495	桃芝
6	45k+950	216483	2594801	1219	135	65	20	2.3	5	80	45	0.4	90	80	2	5182	12	20	278.5	827	10	10	20	60				45+900	1473	敏督利
7	53k+250	220410	2596706	1430	245	55	60	-8.2	5	80	45	0.9	75	60	3	16765	6	0	327.6	535.4	10	20	20	50				53+250	550	桃芝
8	58k+500	222218	2597528	1517	135	75	25	23.6	5	95	35	0.5	75	70	1	1422	10	25	341.6	893.5	10	10	10	50				58+500	75	敏督利
9	65k+750	226137	2598888	1675	235	70	50	-37	5	90	70	0.4	40	10	0.5	16460	35	10	373.2	948.4	10	0	20	60				65+700	128	敏督利
10	66k+000	226305	2598822	1691	190	70	50	-3	5	90	65	0.3	75	60	1	1626	30	10	0	1505.7	30	10	30	20				66+040	900	賀伯
11	66k+200	226515	2598754	1718	215	85	25	7.6	5	90	85	0.35	75	60	1	1016	23	20	372	607.7	30	10	20	20				66+100	180	桃芝
12	77k+050	229502	2600252	2267	185	80	23	15	5	180	55	0.65	80	5	0.5	3048	14	20	0	1947.3	20	0	20	40				77+900	320	賀伯

土石流案例 4 筆案例各因子量化表

項次	里程	座標		高程	坡向	坡度	坡高	坡形	地層種類	坡向與傾向交	坡度與傾角交	岩塊規模	岩塊體積百分	植被覆蓋面積	植被覆蓋厚度	集水區面積	坡趾開挖高度	坡度改變量	最大水平表加速度	颱風累積雨量	植被種類				原始崩塌面高	原始崩塌面長	原始崩塌面寬	原始里程	實際崩塌規模	致災颱風
		X(m)	Y(m)	(m)	(°)	(°)	(m)	(°)		(°)	(°)	(m)	(%)	(%)	(m)	(m^2)	(m)	(°)	(gal)	(mm)	(%) A 短草	B 長草	C 灌木	D 喬木	(m) h	L	W		(m^3)	
1	31k+700	212623	2591862	767	275	40	20	-13.2	5	90	40	0.6	75	80	3	132901	4	0	195.8	984.8	10	20	10	60				31+700	2500	納莉
2	58k+400	222113	2597485	1533	95	75	60	-44.9	5	120	55	0.25	60	30	1	55695	13	0	0	1383.9	10	10	20	50				58+530	1000	賀伯
3	58k+400	222113	2597485	1533	95	75	60	-44.9	5	120	55	0.25	60	20	1	55695	13	0	341.1	538.2	10	10	20	50				58+650	1600	桃芝
4	65k+000	225522	2598938	1635	170	70	55	-17.2	5	100	50	0.25	75	10	0.5	255743	50	10	374.2	586.8	10	10	10	60				65+600	1200	桃芝

註：1.第二欄中之「里程」為本研究現地調查時記載之里程數，而「原記載里程」係原始資料（阿里山工務段提供）中所記載之里程數。

2.「座標（X,Y）」及「高程」為使用 GPS 於現地進行接收直接得到，採用之大地座標系統為 TWD67，平面座標採用橫麥卡脫 2 度分帶投影。

3.「崩塌規模」之量化資料來源為阿里山工務段於災後現地勘查時所記錄之清除坍土石方量（m^3）。

附錄 IV

119 個雨量站之基本資料

站號	站名	海拔高度(m)	經度	緯度	城市	設站日期
467480	嘉義	26.9	120°5'28.21"E	23°9'51.81"N	嘉義市	1968/09
467530	阿里山	2413.4	120°8'18.39"E	23°0'37.42"N	嘉義縣	1933/
467550	玉山	3844.8	120°7'06.26"E	23°9'21.49"N	嘉義縣	1943/
467650	日月潭	1014.8	120°3'59.62"E	23°2'58.78"N	南投縣	1941/
C0F860	梨山	1980	121°15'04"E	24°15'25"N	臺中縣	1990/07
C0F900	雙崎	49	120°53'47"E	24°17'25"N	臺中縣	1990/07
C0F950	合歡山	3292	121°15'52"E	24°08'43"N	南投縣	1990/07
C0H990	昆陽	3235	121°15'55"E	24°07'22"N	南投縣	1992/05
C0H9A0	神木村	1595	120°50'05"E	23°32'10"N	南投縣	1999/2/1
C0I010	廬山	1562	121°10'24"E	24°02'06"N	南投縣	1992/07
C0I090	鳳凰	878	120°46'45"E	23°43'47"N	南投縣	1992/07
C0I110	竹山	151	120°40'40"E	23°45'53"N	南投縣	1992/07
C0K240	草嶺 h	1138	120°41'07"E	23°35'50"N	雲林縣	1993/3/1
C0K300	大埔	369	120°35'50"E	23°38'35"N	雲林縣	1993/3/1
C0M410	馬頭山	245	120°34'25"E	23°19'35"N	嘉義縣	1988/12/1
C0M530	奮起湖	1385	120°41'28"E	23°29'45"N	嘉義縣	1993/3/1
C0O810	曾文	207	120°29'23"E	23°13'15"N	臺南縣	1988/12
C0V150	表湖	1163	120°39'22"E	23°15'43"N	高雄縣	1992/5/1
C0V250	甲仙	270	120°34'57"E	23°04'54"N	高雄縣	1992/5/1
C1E460	松安	1400	120°58'40"E	24°23'58"N	苗栗縣	1990/07
C1E470	馬達拉	1800	121°10'56"E	24°29'39"N	苗栗縣	1990/07
C1E500	卓蘭	345	120°48'11"E	24°18'32"N	苗栗縣	1990/07
C1E510	新開	350	120°49'08"E	24°20'58"N	苗栗縣	1990/07
C1E560	和興	392	120°54'25"E	24°30'57"N	苗栗縣	1990/7/1
C1E680	南勢山	949	120°54'56"E	24°25'25"N	苗栗縣	2002/8/1
C1E690	南湖	770	120°49'46"E	24°24'10"N	苗栗縣	2002/8/1
C1E700	八卦	749	120°55'10"E	24°29'37"N	苗栗縣	2002/8/1
C1E710	馬拉邦山	959	120°53'36"E	24°22'09"N	苗栗縣	2002/8/1
C1E720	泰安	1333	120°57'34"E	24°29'26"N	苗栗縣	2002/8/1
C1F850	東勢	320	120°49'31"E	24°14'53"N	臺中縣	1990/7/1
C1F870	上谷關	1045	121°00'39"E	24°12'18"N	臺中縣	1990/7/1
C1F880	阿眉	1677	120°59'10"E	24°07'40"N	臺中縣	1990/7/1

C1F890	稍來	2010	120°59'35"E	24°16'03"N	臺中縣	1990/7/1
C1F910	新伯公	440	120°49'58"E	24°13'24"N	臺中縣	1990/7/1
C1F920	石岡	280	120°45'44"E	24°16'53"N	臺中縣	1990/7/1
C1F940	雪嶺	2605	121°01'07"E	24°16'57"N	臺中縣	1990/7/1
C1F9A0	中竹林	425	120°44'36"E	24°06'20"N	臺中縣	2002/8/1
C1F9B0	桐林	124	120°43'38"E	24°04'05"N	臺中縣	2002/8/1
C1F9C0	白冷	619	120°55'18"E	24°11'04"N	臺中縣	2002/8/1
C1F9D0	白毛臺	613	120°52'44"E	24°09'36"N	臺中縣	2002/8/1
C1F9E0	龍安	537	120°49'26"E	24°09'43"N	臺中縣	2002/8/1
C1F9F0	伯公龍	504	120°50'28"E	24°16'27"N	臺中縣	2002/8/1
C1F9G0	慶福山	782	120°50'23"E	24°10'58"N	臺中縣	2002/8/1
C1F9H0	烏石坑	886	120°56'15"E	24°16'51"N	臺中縣	2002/8/1
C1H000	翠峰	1655	121°11'48"E	24°06'39"N	南投縣	1992/05
C1H850	翠巒	2297	121°13'07"E	24°11'40"N	南投縣	1992/05
C1H860	瑞岩	1676	121°10'30"E	24°07'32"N	南投縣	1992/05
C1H870	仁愛	1113	121°07'22"E	24°01'14"N	南投縣	1992/05
C1H880	凌霄	1318	121°00'24"E	24°01'08"N	南投縣	1992/05
C1H890	大肚城	451	120°56'39"E	23°58'20"N	南投縣	1992/05
C1H900	清流	934	120°57'17"E	24°04'58"N	南投縣	1992/05
C1H910	魚池	724	120°55'14"E	23°54'10"N	南投縣	1992/07
C1H920	長福	736	120°52'18"E	24°06'14"N	南投縣	1992/07
C1H930	北山	393	120°51'59"E	23°59'14"N	南投縣	1992/07
C1H940	雙冬	600	120°47'39"E	23°58'09"N	南投縣	1992/07
C1H950	中寮	180	120°45'30"E	23°53'10"N	南投縣	1992/07
C1H960	草屯	75	120°39'17"E	23°59'56"N	南投縣	1992/07
C1H970	六分寮	425	120°37'48"E	23°55'38"N	南投縣	1992/07
C1I020	萬大	1555	121°07'25"E	23°58'53"N	南投縣	1992/07
C1I030	武界	948	121°02'39"E	23°54'53"N	南投縣	1992/07
C1I040	文文社	1693	121°00'46"E	23°49'36"N	南投縣	1992/07
C1I050	丹大	2568	121°07'58"E	23°45'20"N	南投縣	1992/7/1
C1I060	望鄉	2403	120°54'10"E	23°37'16"N	南投縣	1992/7/1
C1I070	和社	825	120°52'51"E	23°35'33"N	南投縣	1992/7/1
C1I080	信義	536	120°50'34"E	23°41'29"N	南投縣	1992/7/1
C1I100	溪頭	1771	120°47'57"E	23°39'47"N	南投縣	1992/7/1

C1I120	大鞍	1528	120°45'06"E	23°40'49"N	南投縣	1992/7/1
C1I130	桶頭	307	120°38'44"E	23°38'39"N	南投縣	1992/7/1
C1I140	卡奈托灣	1700	121°04'47"E	23°45'22"N	南投縣	1993/3/1
C1I150	青雲	393	120°56'28"E	23°48'03"N	南投縣	1993/3/1
C1I160	龍神橋	339	120°51'49"E	23°46'54"N	南投縣	1993/3/1
C1I170	集集	235	120°46'01"E	23°49'42"N	南投縣	1992/5/1
C1I180	清水林	723	120°48'44"E	24°04'24"N	臺中縣	2002/8/1
C1I190	水長流	660	120°51'09"E	24°03'49"N	南投縣	2002/8/1
C1I200	中心倫	661	120°42'15"E	23°43'49"N	南投縣	2002/8/1
C1I210	蘆竹湳	566	120°48'14"E	23°56'09"N	南投縣	2002/8/1
C1I220	樟湖	1098	120°50'21"E	23°54'25"N	南投縣	2002/8/1
C1I230	九份二山	917	120°50'14"E	23°57'50"N	南投縣	2002/8/1
C1I240	外大坪	725	120°54'35"E	23°57'38"N	南投縣	2002/8/1
C1I250	埔里	732	120°58'59"E	23°57'50"N	南投縣	2002/8/1
C1I260	北坑	601	120°59'56"E	23°55'35"N	南投縣	2002/8/1
C1I270	水里	593	120°50'45"E	23°50'02"N	南投縣	2002/8/1
C1I280	埔中	439	120°38'05"E	23°49'21"N	南投縣	2002/8/1
C1I290	豐丘	1151	120°52'44"E	23°40'12"N	南投縣	2002/8/1
C1I300	上安橋	781	120°51'57"E	23°43'49"N	南投縣	2002/8/1
C1I310	西巒	1001	120°52'32"E	23°45'23"N	南投縣	2002/8/1
C1I320	奧萬大	1275	121°10'14"E	23°57'17"N	南投縣	2002/8/1
C1I330	楓樹林	1266	121°04'05"E	23°59'19"N	南投縣	2002/8/1
C1I340	新興橋	897	120°51'35"E	23°33'57"N	南投縣	2002/8/1
C1I350	東埔	887	120°55'00"E	23°33'29"N	南投縣	2002/8/1
C1K310	斗六	40	120°30'29"E	23°42'26"N	雲林縣	1993/3/1
C1K320	阿丹	51	120°30'13"E	23°39'35"N	雲林縣	1993/3/1
C1K380	山豬湖	649	120°35'35"E	23°35'19"N	雲林縣	2002/8/1
C1M390	瀨頭	1090	120°38'45"E	23°24'28"N	嘉義縣	1988/12/1
C1M400	草嶺	369	120°34'06"E	23°15'13"N	嘉義縣	1993/05
C1M440	新高口	2540	120°52'13"E	23°28'51"N	嘉義縣	1992/5/1
C1M450	中坑	132	120°30'29"E	23°34'51"N	嘉義縣	1993/3/1
C1M480	樟腦寮	798	120°35'58"E	23°32'19"N	嘉義縣	1993/3/1
C1M490	內埔	130	120°33'22"E	23°29'15"N	嘉義縣	1993/3/1
C1M540	小公田	768	120°34'22"E	23°21'49"N	嘉義縣	1993/3/1

C1M550	中埔	110	120°30'44"E	23°25'31"N	嘉義縣	1993/3/1
C1M570	大湖	722	120°36'45"E	23°28'36"N	嘉義縣	1993/3/1
C1M600	頭凍	986	120°35'43"E	23°24'29"N	嘉義縣	2002/8/1
C1M610	石磐龍	1083	120°39'18"E	23°29'53"N	嘉義縣	2002/8/1
C1M620	瑞里	1252	120°40'01"E	23°32'49"N	嘉義縣	2202/8/1
C1M630	豐山	1052	120°44'27"E	23°35'49"N	嘉義縣	2002/8/1
C1O870	大棟山	1246	120°30'51"E	23°18'48"N	臺南縣	1988/12
C1O880	關山	223	120°35'09"E	23°10'30"N	臺南縣	1988/12
C1O920	楠西	150	120°28'35"E	23°11'06"N	臺南縣	1988/12
C1V160	民生	1040	120°41'50"E	23°16'54"N	高雄縣	1992/5/1
C1V170	排雲	3340	120°56'47"E	23°27'55"N	高雄縣	1992/5/1
C1V190	南天池	2700	120°54'13"E	23°16'33"N	高雄縣	1992/05
C1V200	梅山	860	120°48'55"E	23°16'08"N	高雄縣	1992/05
C1V210	復興	700	120°47'52"E	23°13'27"N	高雄縣	1992/05
C1V220	小關山	1781	120°48'19"E	23°09'21"N	高雄縣	1992/05
C1V230	高中	760	120°42'32"E	23°08'12"N	高雄縣	1992/05
C1V240	新發	470	120°39'09"E	23°03'13"N	高雄縣	1992/05
C1V460	楠溪	1949	120°53'04"E	23°26'17"N	高雄縣	1993/3/1
C1X040	東原	232	120°27'19"E	23°17'35"N	臺南縣	1993/3/1

附錄 V

所選取颱風侵臺時各雨量站之降雨資料

表 1　賀伯颱風輸入之 76 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	18.00	文文社	262.00	排雲	495.50	中埔	174.50
昆陽	131.50	丹大	276.50	南天池	240.00	大湖	756.00
廬山	157.00	望鄉	631.00	梅山	323.00	梨山	127.76
鳳凰	119.25	和社	328.00	復興	346.50	雙崎	254.25
竹山	101.25	信義	412.00	小關山	349.50	上谷關	202.50
翠峰	160.00	溪頭	322.50	高中	353.50	阿眉	150.35
翠巒	185.00	大鞍	138.75	新發	313.00	稍來	139.76
瑞岩	95.00	桶頭	211.50	楠溪	454.00	新伯公	134.25
仁愛	147.00	青雲	258.50	草嶺 h	546.75	石岡	300.00
凌霄	258.00	龍神橋	126.50	大埔	233.50	雪嶺	413.25
大肚城	121.00	集集	176.00	斗六	130.00	曾文	434.00
魚池	152.50	松安	381.88	阿丹	122.50	大棟山	171.50
長福	164.00	馬達拉	514.50	馬頭山	567.50	關山	382.50
北山	187.50	卓蘭	283.50	奮起湖	776.00	楠西	323.00
中寮	67.50	新開	290.25	瀨頭	595.00	東原	140.50
草屯	145.50	和興	352.94	草嶺	387.50	日月潭	193.80
六分寮	202.50	表湖	276.50	新高口	377.00	嘉義	122.50
萬大	114.00	甲仙	436.00	樟腦寮	706.50	阿里山	1094.50
武界	224.50	民生	185.22	內埔	310.50	玉山	448.20

表 2　瑞伯颱風輸入之 79 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	56.50	文文社	204.00	排雲	208.00	大湖	193.50
昆陽	88.00	丹大	199.50	南天池	59.00	梨山	106.00
廬山	103.50	望鄉	325.50	梅山	84.50	雙崎	169.50
鳳凰	192.50	和社	212.00	復興	94.50	東勢	114.50
竹山	98.50	信義	249.50	小關山	127.50	上谷關	116.50
翠峰	76.00	溪頭	311.50	高中	130.00	阿眉	77.00
翠巒	105.50	大鞍	205.00	新發	100.50	稍來	204.50
瑞岩	43.00	桶頭	147.50	楠溪	140.50	新伯公	118.00
仁愛	88.00	卡奈托灣	300.00	草嶺 h	360.00	石岡	130.00
凌霄	109.00	青雲	154.00	大埔	107.50	雪嶺	220.50
大肚城	66.50	龍神橋	137.50	斗六	61.50	曾文	199.50
魚池	82.50	集集	165.00	阿丹	65.00	大棟山	255.00
長福	86.50	松安	252.50	馬頭山	232.00	關山	150.00
北山	108.00	馬達拉	437.00	奮起湖	282.50	楠西	146.00
雙冬	112.00	卓蘭	190.00	瀨頭	167.00	東原	101.50
中寮	133.00	新開	230.50	草嶺	147.50	日月潭	102.40
草屯	61.00	和興	383.00	新高口	169.50	嘉義	78.00
六分寮	109.50	表湖	108.50	樟腦寮	294.50	阿里山	225.00
萬大	108.00	甲仙	129.50	內埔	155.00	玉山	204.70
武界	179.00	民生	152.00	中埔	88.00	---	193.50

表 3　桃芝颱風輸入之 80 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	349.00	萬大	343.00	排雲	387.00	中埔	307.50
昆陽	245.00	武界	353.00	南天池	601.50	大湖	444.50
神木村	604.00	文文社	433.00	梅山	594.00	梨山	224.00
廬山	327.00	丹大	313.04	復興	574.96	雙崎	307.00
鳳凰	606.50	望鄉	560.50	小關山	757.09	東勢	272.00
竹山	369.50	和社	400.50	高中	411.13	上谷關	362.50
翠峰	250.00	信義	461.00	新發	381.14	阿眉	424.50
翠巒	316.70	溪頭	371.00	草嶺 h	409.04	稍來	414.00
瑞岩	221.00	桶頭	399.13	大埔	183.50	新伯公	274.00
仁愛	334.50	卡奈托灣	469.50	斗六	238.50	石岡	414.50
凌霄	307.00	青雲	448.00	阿丹	235.50	雪嶺	478.00
大肚城	285.50	龍神橋	478.00	馬頭山	639.43	曾文	285.50
清流	298.00	集集	348.50	奮起湖	586.00	大棟山	182.00
魚池	367.00	松安	402.55	瀨頭	393.00	關山	263.50
長福	281.00	卓蘭	382.00	草嶺	334.00	楠西	212.50
北山	357.50	新開	443.00	新高口	558.00	東原	163.50
雙冬	212.35	和興	340.50	中坑	193.00	日月潭	332.90
中寮	259.00	表湖	192.00	樟腦寮	305.50	嘉義	286.50
草屯	278.50	甲仙	245.74	內埔	422.12	阿里山	714.50
六分寮	303.27	民生	407.00	小公田	277.50	玉山	400.00

表 4　納莉颱風輸入之 81 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	121.00	文文社	91.43	南天池	141.50	梨山	94.50
昆陽	119.50	丹大	72.00	梅山	216.00	雙崎	101.00
神木村	199.00	望鄉	277.50	復興	211.30	東勢	101.50
廬山	57.00	和社	175.50	小關山	186.55	上谷關	80.50
鳳凰	254.61	信義	164.50	高中	195.65	阿眉	91.50
竹山	206.50	溪頭	244.00	新發	124.00	稍來	105.50
翠峰	102.50	大鞍	192.50	草嶺 h	504.00	新伯公	92.00
翠巒	109.50	桶頭	481.00	大埔	389.50	石岡	240.50
瑞岩	94.50	卡奈托灣	65.22	斗六	322.00	雪嶺	105.50
仁愛	73.64	青雲	106.50	阿丹	270.00	曾文	218.50
凌霄	111.65	龍神橋	103.00	馬頭山	470.61	大棟山	180.50
大肚城	45.71	集集	100.17	奮起湖	508.50	關山	237.50
清流	66.50	松安	122.09	瀨頭	521.50	楠西	126.50
魚池	53.00	馬達拉	135.00	草嶺	195.00	東原	242.12
北山	48.50	卓蘭	142.50	新高口	174.00	日月潭	49.50
雙冬	86.50	新開	159.65	中坑	247.50	嘉義	288.00
中寮	83.00	和興	352.50	樟腦寮	629.50	阿里山	319.00
草屯	219.00	表湖	51.13	內埔	514.50	玉山	218.50
六分寮	262.00	甲仙	174.00	小公田	268.57	---	---
萬大	56.18	民生	340.00	中埔	218.40	---	---
武界	65.74	排雲	186.50	大湖	532.50	---	---

表 5　娜克莉颱風輸入之 117 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	126.50	青雲	55.50	甲仙	66.50	梨山	42.00
神木村	81.50	龍神橋	56.00	民生	119.00	雙崎	90.00
廬山	125.50	集集	60.00	排雲	54.00	東勢	86.00
鳳凰	56.00	水長流	118.00	南天池	86.09	上谷關	124.00
竹山	78.00	中心倫	85.50	梅山	72.00	阿眉	179.50
翠峰	70.50	蘆竹湳	150.50	復興	57.50	稍來	165.00
翠巒	99.50	樟湖	154.50	小關山	77.00	新伯公	82.00
瑞岩	72.00	九份二山	158.00	高中	75.00	石岡	101.50
仁愛	125.50	外大坪	69.50	新發	79.00	雪嶺	183.50
凌霄	177.00	埔里	55.83	楠溪	74.50	中竹林	81.50
大肚城	64.50	北坑	58.00	草嶺 h	103.50	桐林	98.50
清流	132.00	水里	64.50	大埔	61.00	白冷	145.50
魚池	55.50	埔中	113.50	斗六	78.78	白毛臺	101.00
長福	100.57	豐丘	22.50	阿丹	77.00	龍安	109.00
北山	101.00	上安橋	33.91	山豬湖	146.00	伯公龍	71.00
雙冬	111.00	西巒	48.50	馬頭山	92.50	慶福山	84.00
中寮	74.00	奧萬大	50.00	奮起湖	205.50	烏石坑	114.00
草屯	90.78	楓樹林	129.50	瀨頭	169.00	清水林	122.50
六分寮	117.00	新興橋	31.00	草嶺	80.87	曾文	113.00
萬大	71.50	東埔	17.50	新高口	24.55	大棟山	167.50
武界	54.55	松安	91.50	中坑	95.50	關山	76.50
文文社	114.50	馬達拉	64.00	樟腦寮	218.00	楠西	76.70
丹大	35.50	卓蘭	97.00	內埔	99.50	東原	95.00
望鄉	33.50	新開	93.50	小公田	144.00	日月潭	16.40
和社	16.50	和興	150.78	中埔	82.00	嘉義	17.80
信義	28.00	南勢山	109.14	大湖	198.00	阿里山	18.00
溪頭	63.00	南湖	96.00	頭凍	191.00	玉山	21.00
大鞍	73.50	八卦	137.00	石磐龍	205.00	---	---
桶頭	90.00	馬拉邦山	108.50	瑞里	119.00	---	---
卡奈托灣	29.00	泰安	132.00	豐山	99.00	---	---

表 6　敏督利颱風輸入之 116 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	329.50	青雲	167.50	表湖	255.00	瑞里	393.50
神木村	384.00	龍神橋	183.00	甲仙	306.00	豐山	361.50
廬山	219.65	集集	185.00	民生	376.50	梨山	268.00
鳳凰	214.50	水長流	257.50	排雲	256.00	雙崎	246.50
竹山	208.00	中心倫	218.50	南天池	578.00	東勢	259.00
翠峰	187.00	蘆竹湳	257.50	梅山	404.00	上谷關	350.00
翠巒	358.00	樟湖	305.45	復興	413.50	阿眉	480.00
瑞岩	234.50	九份二山	330.00	小關山	518.50	稍來	401.50
仁愛	214.50	外大坪	214.00	高中	467.00	新伯公	265.50
凌霄	296.50	埔里	194.50	新發	584.50	石岡	309.50
大肚城	205.57	北坑	188.73	楠溪	355.50	雪嶺	457.00
清流	308.00	水里	175.00	草嶺 h	307.00	中竹林	258.50
魚池	224.00	埔中	195.65	大埔	182.50	桐林	223.50
長福	203.50	豐丘	145.00	斗六	234.00	白冷	310.00
北山	278.00	上安橋	141.00	阿丹	235.00	白毛臺	299.50
中寮	209.50	西巒	159.00	山豬湖	289.00	龍安	353.50
草屯	242.50	奧萬大	176.50	馬頭山	502.50	伯公龍	187.50
六分寮	250.00	楓樹林	217.00	奮起湖	504.00	慶福山	217.57
萬大	178.50	新興橋	250.50	瀨頭	503.50	烏石坑	328.70
武界	146.50	東埔	174.00	草嶺	402.78	清水林	306.00
文文社	214.00	松安	250.50	新高口	428.00	曾文	460.00
丹大	100.50	卓蘭	266.50	中坑	257.50	大棟山	425.50
望鄉	166.50	新開	270.50	樟腦寮	313.50	關山	296.50
和社	187.00	和興	196.70	內埔	235.00	楠西	312.00
信義	161.50	南勢山	186.00	小公田	439.50	東原	305.50
溪頭	244.00	南湖	246.00	中埔	264.50	日月潭	230.50
大鞍	191.48	八卦	213.14	大湖	391.00	嘉義	253.50
桶頭	284.87	馬拉邦山	275.00	頭凍	438.50	阿里山	555.50
卡奈托灣	108.50	泰安	134.00	石磐龍	527.00	玉山	307.40

表 7　艾利颱風輸入之 115 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
神木村	293.50	青雲	224.50	泰安	474.50	豐山	372.50
廬山	189.50	龍神橋	181.50	表湖	112.50	梨山	151.00
鳳凰	205.50	集集	191.50	甲仙	71.50	雙崎	363.50
竹山	174.00	水長流	397.50	民生	99.50	東勢	221.50
翠峰	182.00	中心倫	185.50	排雲	135.00	上谷關	504.50
翠巒	206.00	蘆竹湳	349.50	南天池	221.00	阿眉	311.00
瑞岩	116.00	樟湖	426.50	梅山	287.50	稍來	711.00
仁愛	230.00	九份二山	430.00	復興	206.00	新伯公	255.00
凌霄	447.50	外大坪	193.50	小關山	221.00	石岡	263.00
大肚城	150.50	埔里	141.00	高中	167.50	雪嶺	626.50
清流	222.00	北坑	162.00	新發	93.00	中竹林	229.50
魚池	207.00	水里	314.00	楠溪	241.50	桐林	210.50
長福	268.50	埔中	182.00	草嶺 h	253.50	白冷	398.00
北山	235.00	豐丘	145.50	大埔	165.00	白毛臺	286.00
雙冬	220.50	上安橋	197.50	斗六	130.50	龍安	451.50
中寮	218.50	西巒	196.50	阿丹	130.00	伯公龍	221.50
草屯	170.50	奧萬大	151.50	山豬湖	68.00	慶福山	224.00
六分寮	215.50	楓樹林	331.50	馬頭山	182.50	烏石坑	572.00
萬大	196.00	新興橋	191.50	奮起湖	402.50	清水林	345.00
武界	250.00	東埔	128.00	瀨頭	302.50	曾文	133.50
文文社	283.00	松安	630.00	草嶺	152.50	大棟山	105.50
丹大	161.50	馬達拉	455.50	新高口	249.00	關山	172.50
望鄉	207.50	卓蘭	298.50	中坑	123.00	楠西	83.00
和社	151.00	新開	331.50	內埔	135.00	東原	79.50
信義	179.00	和興	385.50	中埔	99.50	日月潭	293.50
溪頭	192.00	南勢山	354.00	大湖	279.00	嘉義	98.50
大鞍	278.00	南湖	325.50	頭凍	248.00	阿里山	415.00
桶頭	208.00	八卦	412.50	石磐龍	185.00	玉山	185.00
卡奈托灣	166.00	馬拉邦山	280.00	瑞里	303.50	---	---

表 8　海棠颱風輸入之 114 個雨量站日雨量（單位：mm）

名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	376.50	龍神橋	208.00	甲仙	403.50	豐山	462.50
神木村	479.00	集集	238.00	民生	520.00	梨山	355.50
廬山	239.50	水長流	265.00	排雲	318.50	雙崎	280.00
鳳凰	306.50	中心倫	292.00	南天池	725.00	東勢	318.50
竹山	255.50	蘆竹湳	296.50	梅山	482.50	上谷關	342.00
翠峰	186.50	樟湖	320.00	復興	509.00	阿眉	493.00
翠巒	338.00	九份二山	411.50	小關山	729.00	稍來	441.50
瑞岩	232.50	外大坪	232.50	高中	542.00	新伯公	349.50
仁愛	237.50	埔里	204.00	新發	616.00	石岡	247.50
凌霄	299.50	北坑	222.00	楠溪	0.50	雪嶺	657.00
大肚城	203.50	水里	214.50	草嶺 h	440.00	中竹林	332.50
清流	302.50	埔中	258.00	大埔	193.50	桐林	286.00
魚池	250.00	豐丘	181.50	斗六	233.50	白冷	476.00
長福	227.00	上安橋	183.00	阿丹	223.00	白毛臺	373.50
北山	357.00	西巒	210.50	山豬湖	376.00	龍安	456.00
中寮	244.00	奧萬大	185.50	馬頭山	545.00	伯公龍	224.00
草屯	237.50	楓樹林	253.00	奮起湖	667.00	烏石坑	367.00
六分寮	234.50	新興橋	319.00	瀨頭	496.00	清水林	352.50
萬大	205.50	東埔	206.00	草嶺	473.50	曾文	431.50
武界	192.50	松安	247.50	新高口	437.00	大棟山	451.50
文文社	274.50	卓蘭	200.50	中坑	269.50	關山	392.50
望鄉	201.50	新開	200.50	樟腦寮	429.00	楠西	300.50
和社	216.50	和興	131.00	內埔	345.00	東原	403.00
信義	198.50	南勢山	178.50	小公田	494.00	日月潭	293.00
溪頭	293.50	南湖	179.50	中埔	354.00	嘉義	237.00
大鞍	202.50	八卦	162.00	大湖	547.00	阿里山	663.00
桶頭	378.50	馬拉邦山	262.50	頭凍	534.00	玉山	462.00
卡奈托灣	127.50	泰安	97.00	石磐龍	688.00	---	---
青雲	200.00	表湖	388.00	瑞里	535.50	---	---

表 9　馬莎颱風輸入之 113 個雨量站日雨量（單位：mm）

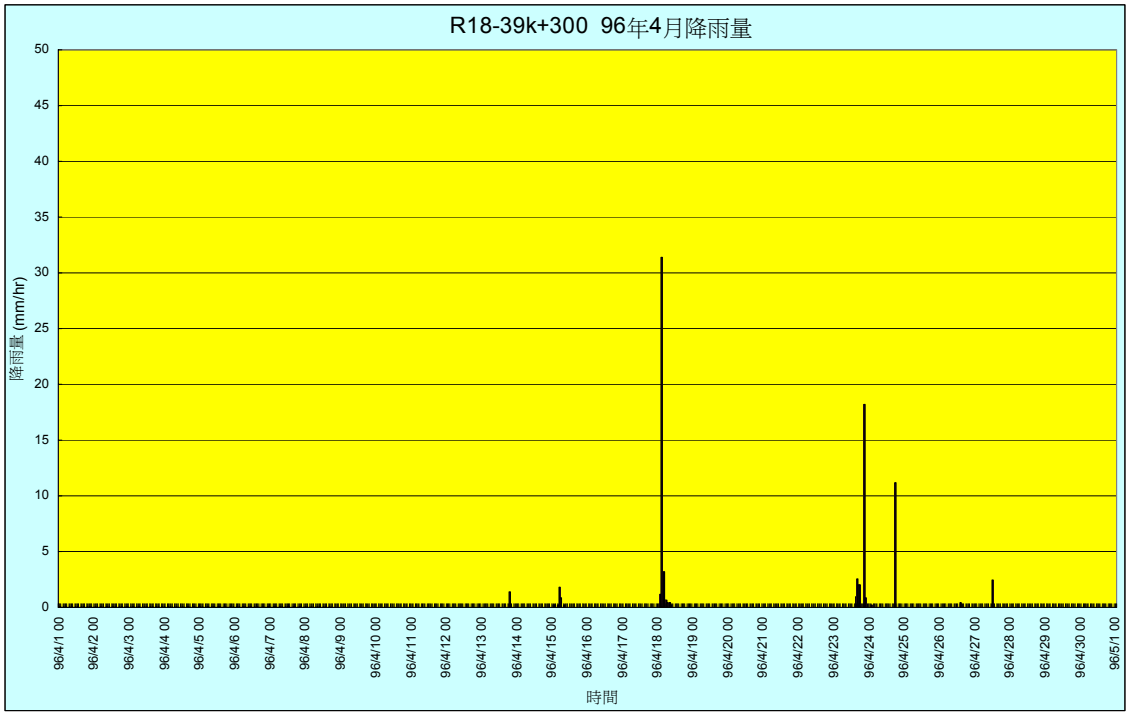
名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	346.50	卡奈托灣	343.50	馬拉邦山	310.50	梨山	225.50
神木村	205.50	青雲	251.00	泰安	559.50	雙崎	422.50
廬山	401.00	龍神橋	95.50	表湖	127.50	東勢	189.50
鳳凰	74.00	集集	56.00	甲仙	57.00	上谷關	595.00
竹山	25.00	水長流	237.00	民生	108.00	阿眉	298.00
翠峰	383.50	中心倫	31.00	排雲	112.00	稍來	843.00
翠巒	281.00	蘆竹湳	117.50	南天池	169.00	新伯公	194.00
瑞岩	291.50	樟湖	174.00	梅山	286.00	石岡	157.50
仁愛	436.00	九份二山	182.00	復興	216.50	雪嶺	708.00
凌霄	444.50	外大坪	162.00	小關山	325.00	中竹林	64.00
大肚城	172.00	埔里	184.50	高中	261.50	桐林	68.50
清流	239.00	北坑	211.00	新發	61.00	白冷	317.50
魚池	222.00	水里	158.00	草嶺 h	58.00	白毛臺	241.50
長福	201.50	埔中	42.00	大埔	15.50	龍安	207.50
北山	164.50	豐丘	124.50	山豬湖	37.50	伯公龍	213.00
雙冬	116.50	上安橋	176.50	馬頭山	26.00	慶福山	128.00
中寮	77.50	西巒	172.50	奮起湖	199.00	烏石坑	556.50
草屯	22.50	奧萬大	326.50	瀨頭	85.00	清水林	130.00
六分寮	36.50	楓樹林	442.00	草嶺	28.50	曾文	39.50
萬大	392.50	新興橋	131.50	新高口	138.50	大棟山	16.50
武界	349.00	東埔	107.00	中坑	9.50	關山	40.00
文文社	282.00	松安	577.50	樟腦寮	48.50	楠西	16.00
丹大	243.50	馬達拉	545.50	內埔	15.00	東原	21.00
望鄉	202.00	卓蘭	197.50	中埔	9.50	日月潭	243.50
和社	113.50	新開	270.00	大湖	54.00	阿里山	233.00
信義	101.00	和興	369.50	頭凍	29.00	玉山	180.00
溪頭	78.50	南勢山	384.00	石磐龍	169.50	---	---
大鞍	87.50	南湖	227.00	瑞里	95.50	---	---
桶頭	27.00	八卦	430.50	豐山	145.50	---	---

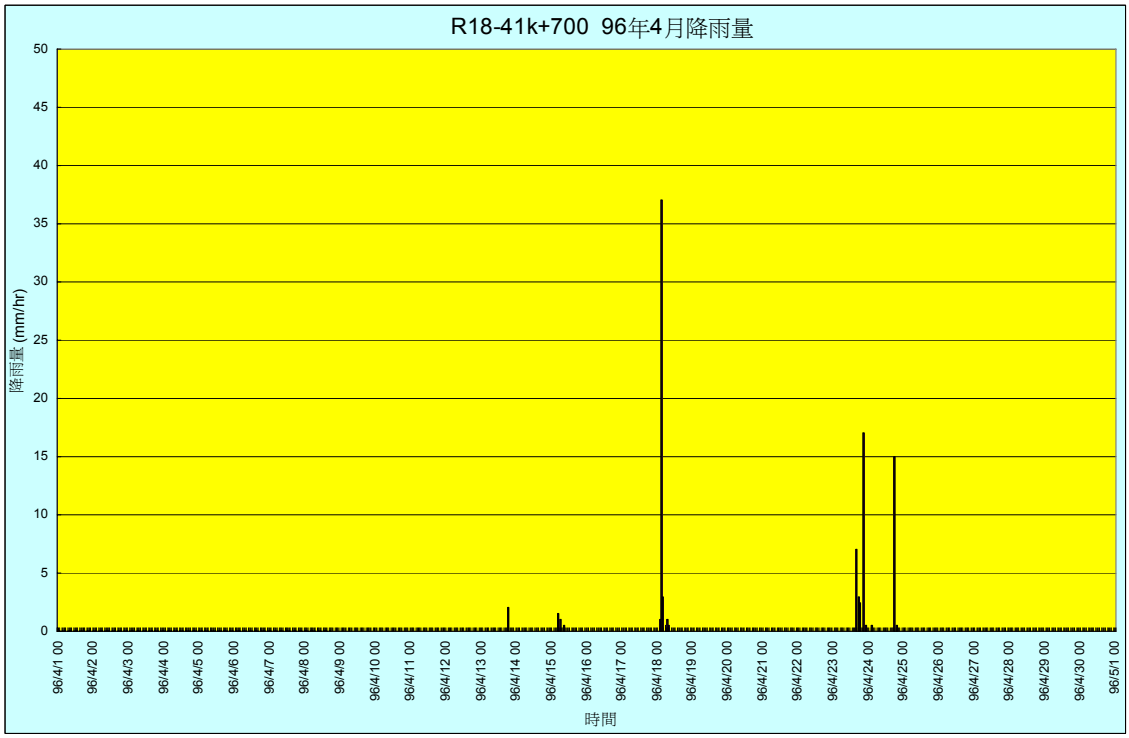
表 10　泰利颱風輸入之 113 個雨量站日雨量（單位：mm）

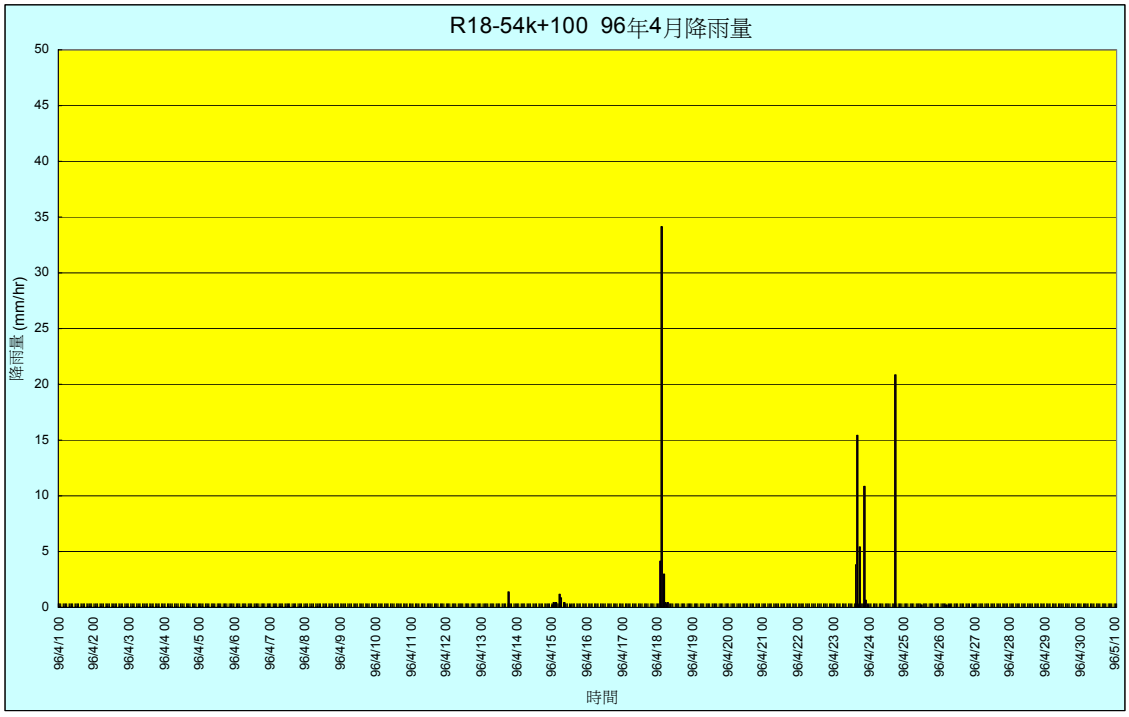
名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量	名稱	雨量
合歡山	113.00	青雲	67.00	表湖	298.50	豐山	329.50
神木村	339.50	龍神橋	66.00	甲仙	529.50	梨山	143.50
廬山	94.00	集集	94.00	民生	484.50	雙崎	87.00
鳳凰	172.50	水長流	96.50	排雲	280.50	東勢	96.00
竹山	155.00	中心倫	165.50	南天池	442.50	上谷關	130.50
翠峰	101.00	蘆竹湳	110.50	梅山	518.00	稍來	113.00
翠巒	183.00	樟湖	27.50	復興	543.50	新伯公	112.50
瑞岩	94.00	九份二山	122.50	小關山	584.00	石岡	105.50
仁愛	80.00	外大坪	95.00	高中	600.50	雪嶺	143.50
凌霄	92.50	埔里	75.00	新發	559.50	中竹林	90.00
大肚城	76.50	北坑	74.00	楠溪	380.00	桐林	83.00
清流	75.00	水里	88.00	草嶺 h	373.00	白冷	148.00
魚池	67.50	埔中	66.50	大埔	51.00	白毛臺	153.50
長福	68.50	豐丘	140.00	斗六	166.00	龍安	140.50
北山	114.00	上安橋	92.50	阿丹	186.50	伯公龍	52.00
雙冬	62.50	西巒	93.00	山豬湖	254.50	慶福山	37.00
中寮	90.50	奧萬大	118.50	馬頭山	307.50	烏石坑	133.00
草屯	80.50	楓樹林	80.50	奮起湖	537.00	清水林	97.00
六分寮	119.00	新興橋	234.00	瀨頭	545.00	曾文	502.00
萬大	92.00	東埔	184.50	草嶺	516.00	大棟山	322.00
武界	85.50	松安	39.50	新高口	413.00	楠西	242.00
文文社	89.50	卓蘭	87.50	中坑	160.00	東原	310.00
望鄉	213.50	新開	90.50	樟腦寮	336.00	日月潭	78.30
和社	162.50	和興	46.50	內埔	282.50	嘉義	250.50
信義	144.00	南勢山	48.00	小公田	293.50	阿里山	488.50
溪頭	205.50	南湖	31.00	大湖	446.00	玉山	270.10
大鞍	126.50	八卦	56.50	頭凍	495.00	---	------
桶頭	321.00	馬拉邦山	60.50	石磐龍	498.50	---	---
卡奈托灣	111.50	泰安	33.00	瑞里	367.00	---	---

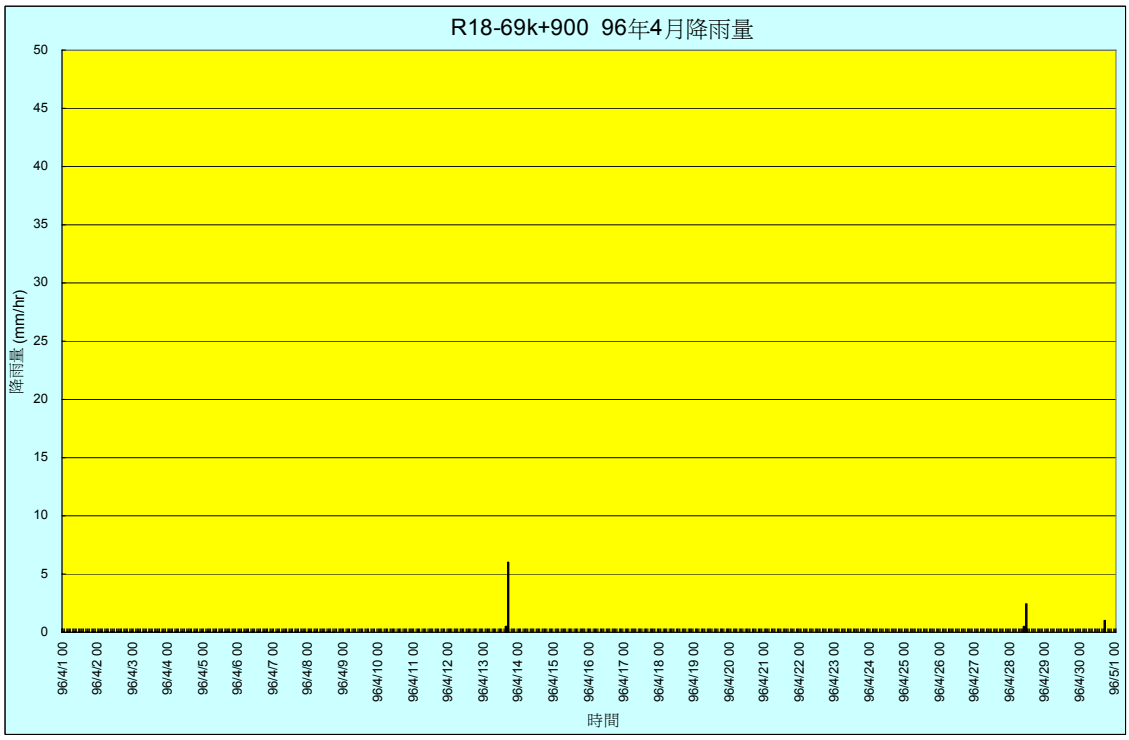
附錄 VI

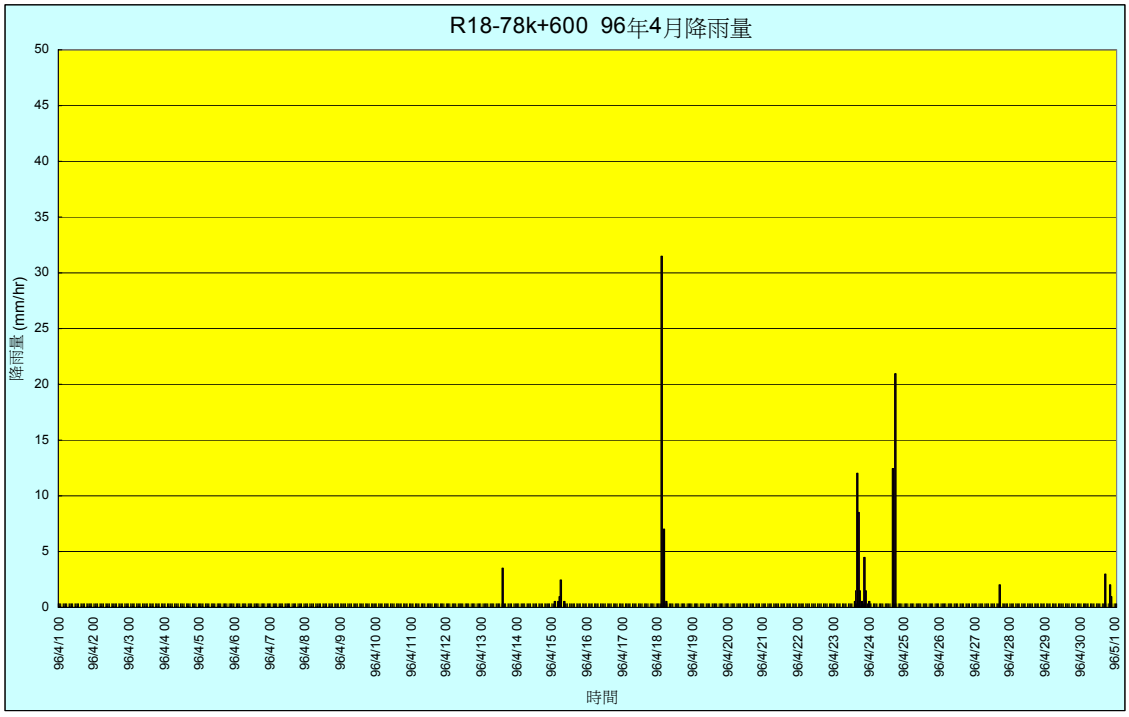
96 年雨量監測資料

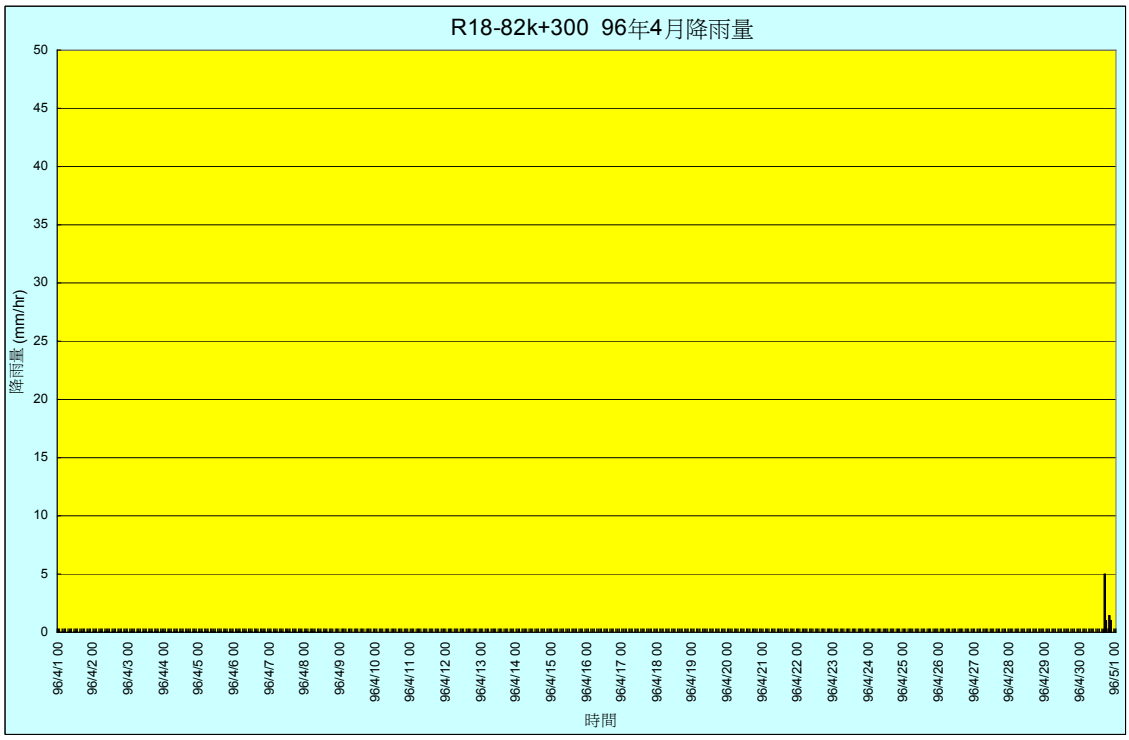

R18-39k+300 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

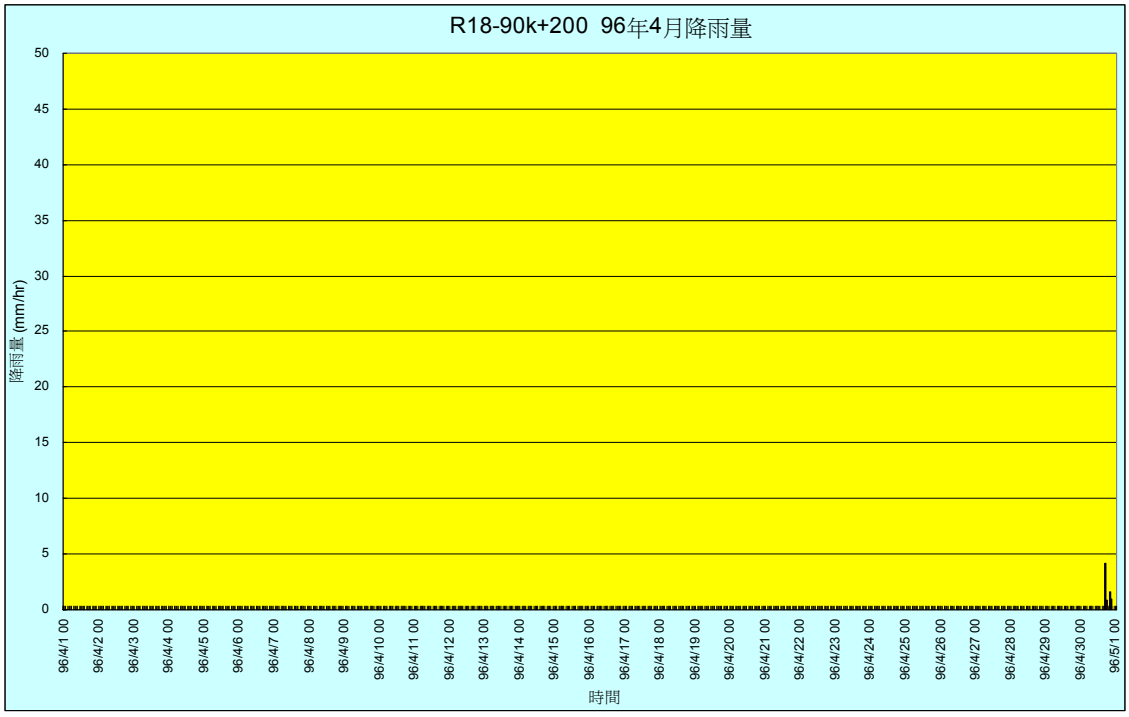

R18-41k+700 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

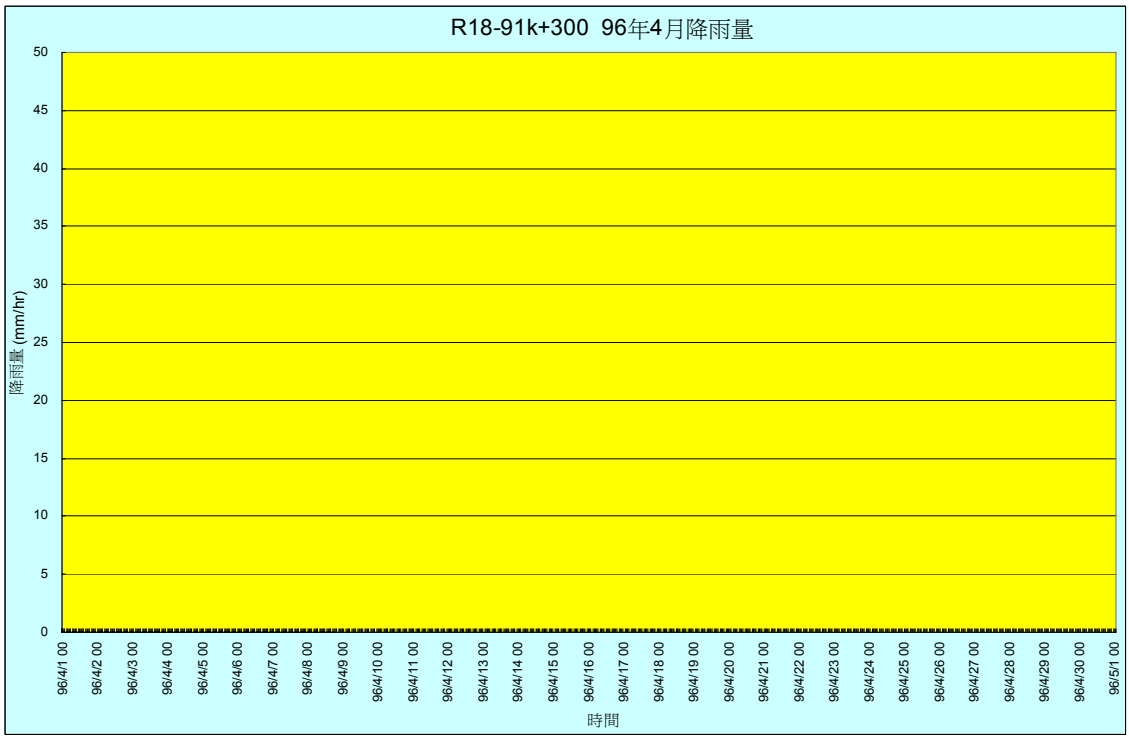

R18-54k+100 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

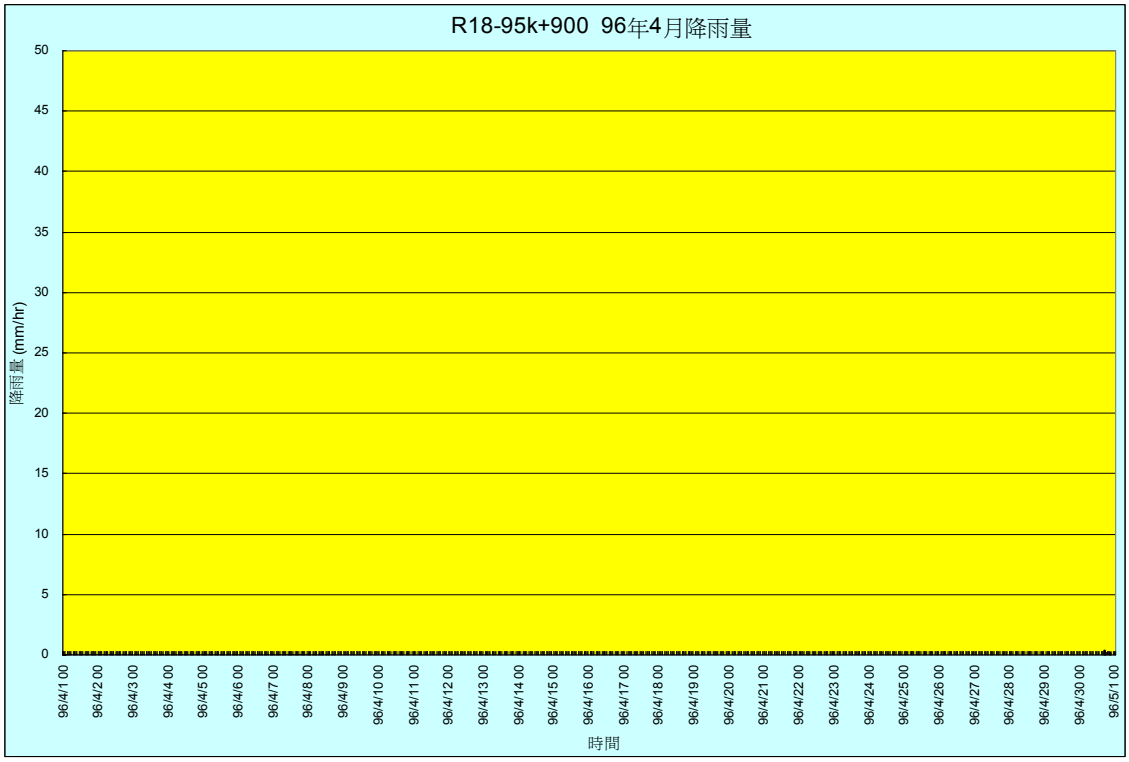

R18-69k+900 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

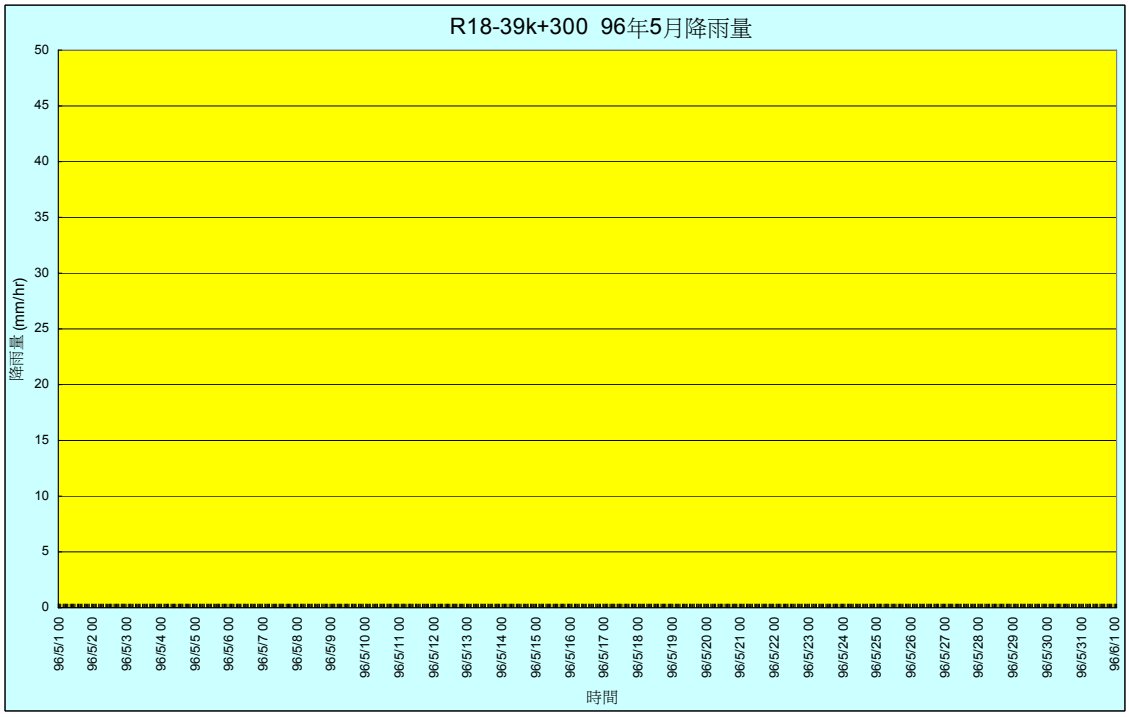

R18-78k+600 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

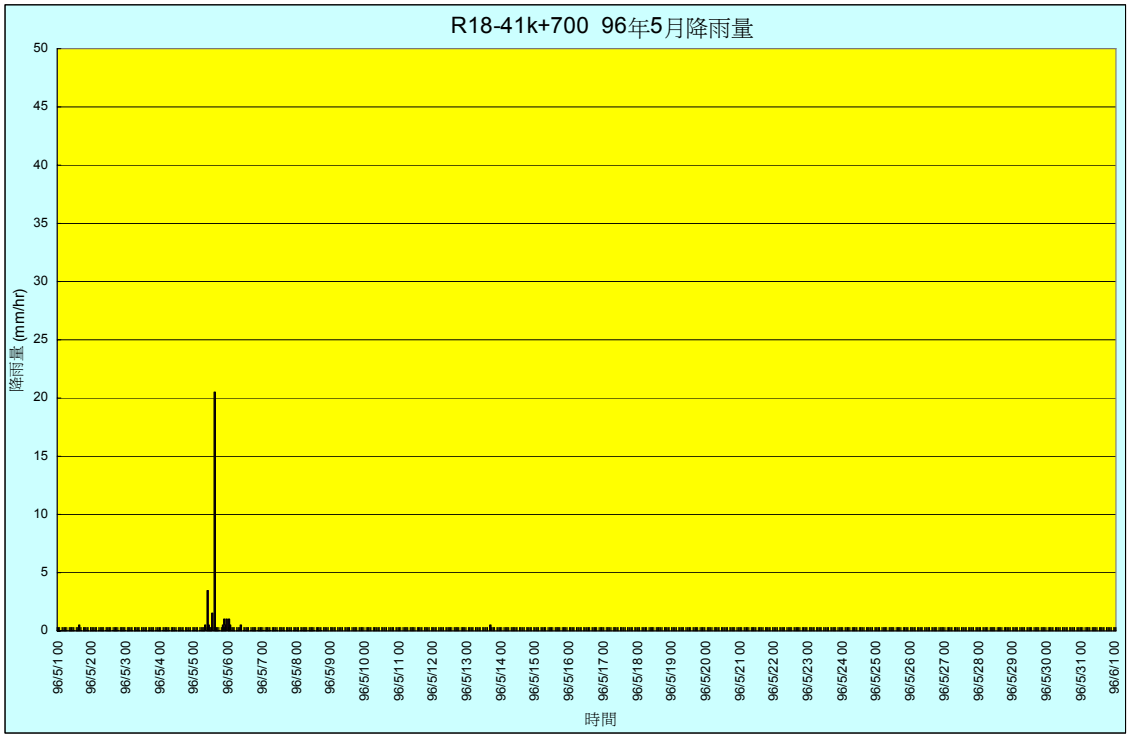

R18-82k+300 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

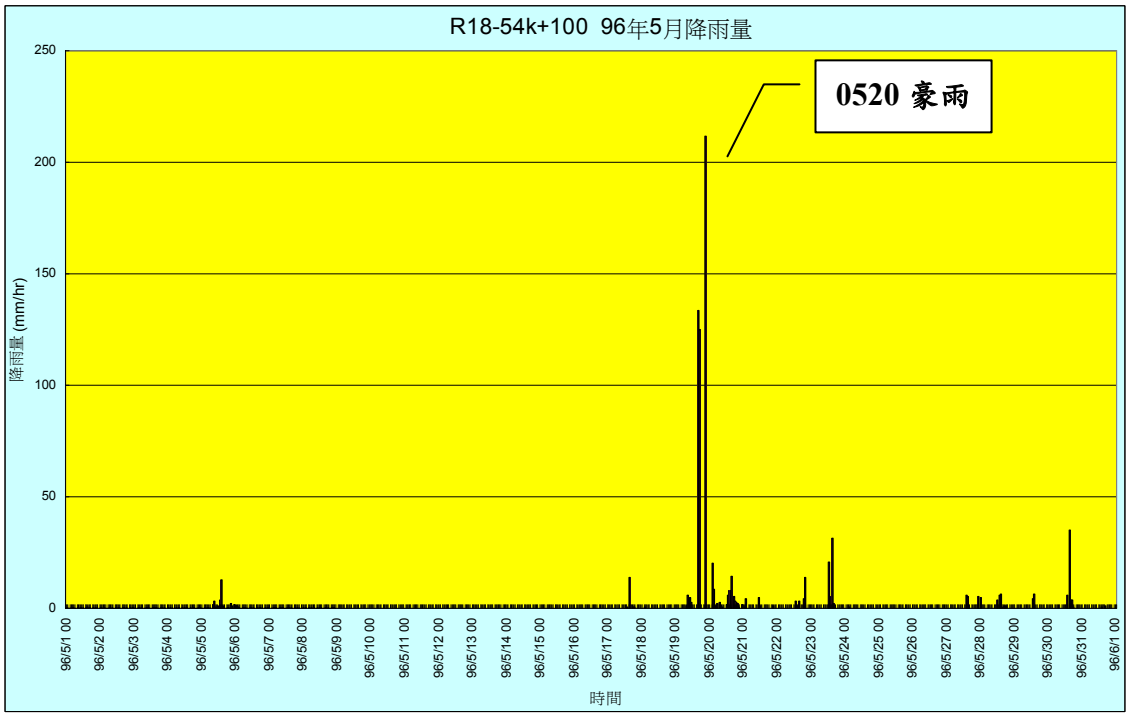

R18-90k+200 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/4/1 00
96/4/2 00
96/4/3 00
96/4/4 00
96/4/5 00
96/4/6 00
96/4/7 00
96/4/8 00
96/4/9 00
96/4/10 00
96/4/11 00
96/4/12 00
96/4/13 00
96/4/14 00
96/4/15 00
96/4/16 00
96/4/17 00
96/4/18 00
96/4/19 00
96/4/20 00
96/4/21 00
96/4/22 00
96/4/23 00
96/4/24 00
96/4/25 00
96/4/26 00
96/4/27 00
96/4/28 00
96/4/29 00
96/4/30 00
96/5/1 00
時間

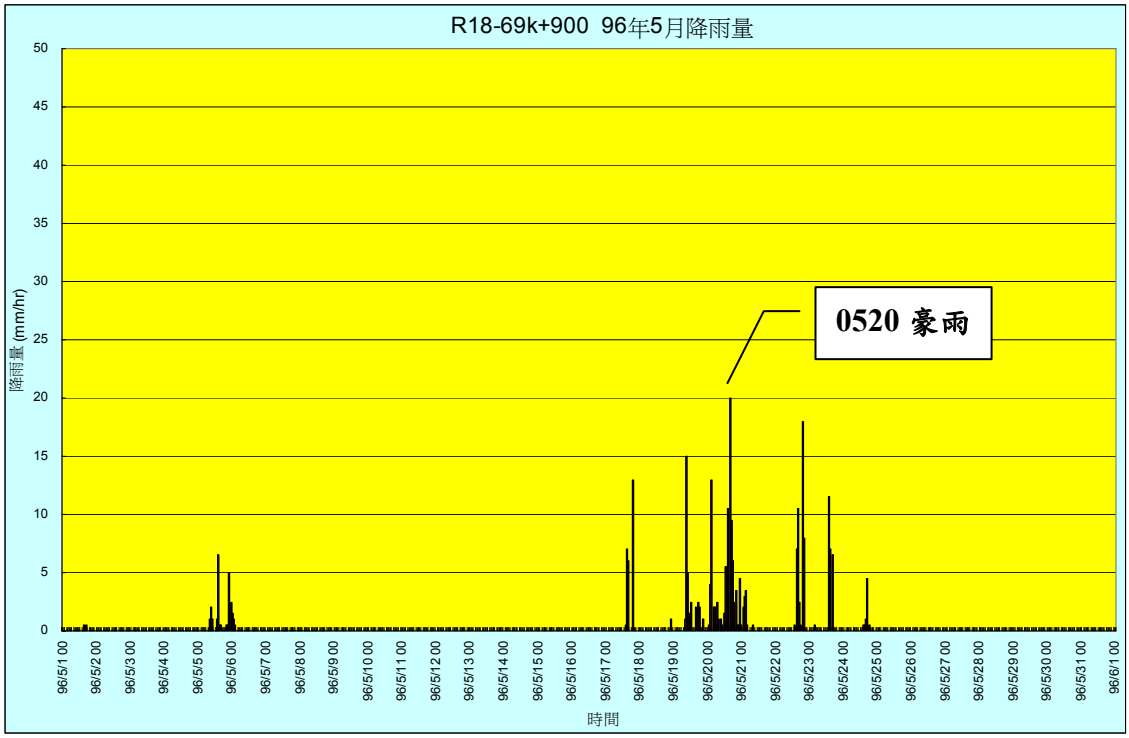

R18-91k+300 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/4/1 00
96/4/2 00
96/4/3 00
96/4/4 00
96/4/5 00
96/4/6 00
96/4/7 00
96/4/8 00
96/4/9 00
96/4/10 00
96/4/11 00
96/4/12 00
96/4/13 00
96/4/14 00
96/4/15 00
96/4/16 00
96/4/17 00
96/4/18 00
96/4/19 00
96/4/20 00
96/4/21 00
96/4/22 00
96/4/23 00
96/4/24 00
96/4/25 00
96/4/26 00
96/4/27 00
96/4/28 00
96/4/29 00
96/4/30 00
96/5/1 00
時間

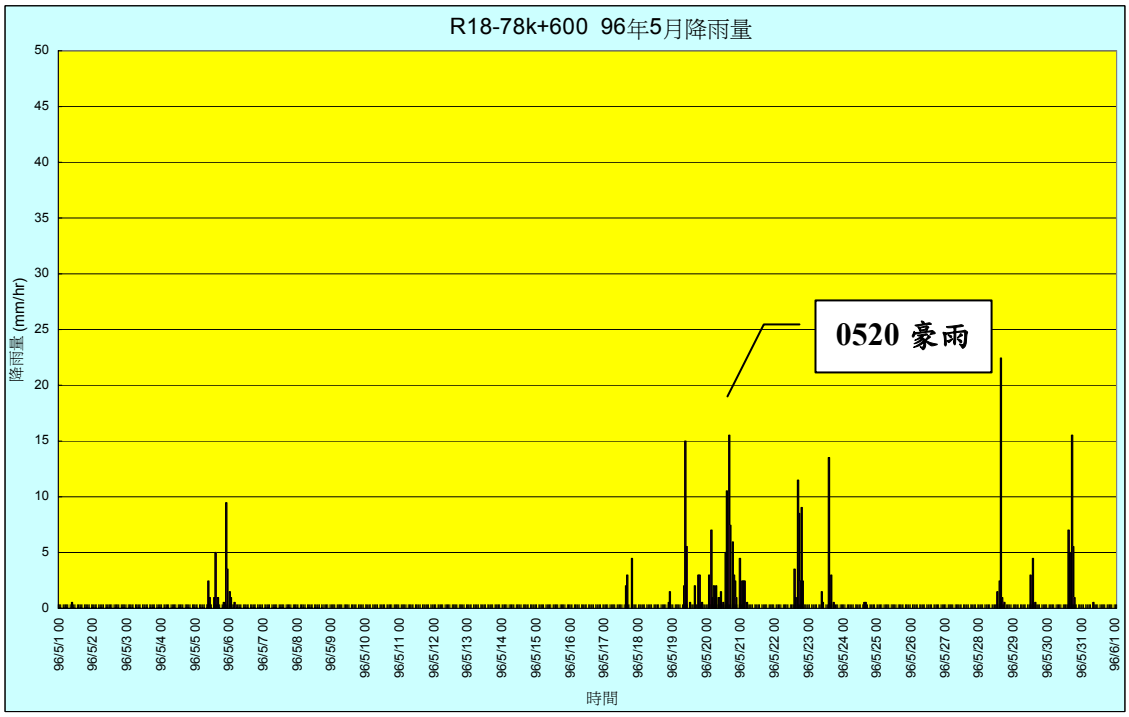

R18-95k+900 96年4月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/4/1 00
96/4/2 00
96/4/3 00
96/4/4 00
96/4/5 00
96/4/6 00
96/4/7 00
96/4/8 00
96/4/9 00
96/4/10 00
96/4/11 00
96/4/12 00
96/4/13 00
96/4/14 00
96/4/15 00
96/4/16 00
96/4/17 00
96/4/18 00
96/4/19 00
96/4/20 00
96/4/21 00
96/4/22 00
96/4/23 00
96/4/24 00
96/4/25 00
96/4/26 00
96/4/27 00
96/4/28 00
96/4/29 00
96/4/30 00
96/5/1 00
時間

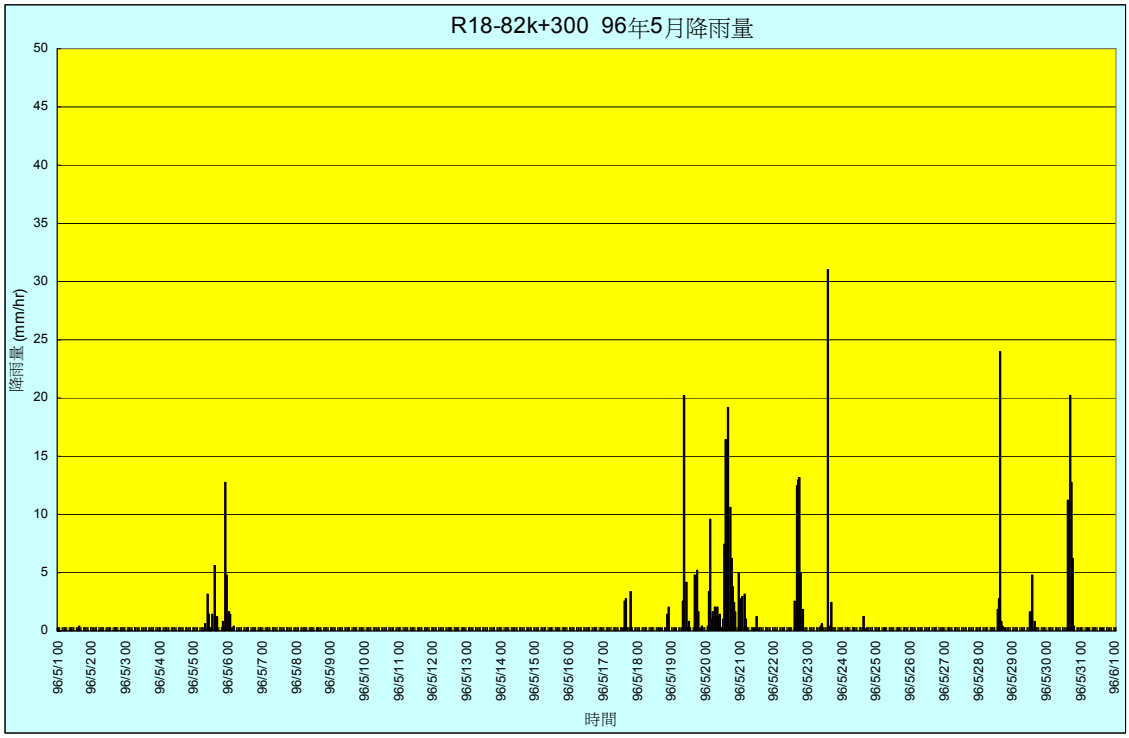

R18-39k+300 96年5月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/5/1 00
96/5/2 00
96/5/3 00
96/5/4 00
96/5/5 00
96/5/6 00
96/5/7 00
96/5/8 00
96/5/9 00
96/5/10 00
96/5/11 00
96/5/12 00
96/5/13 00
96/5/14 00
96/5/15 00
96/5/16 00
96/5/17 00
96/5/18 00
96/5/19 00
96/5/20 00
96/5/21 00
96/5/22 00
96/5/23 00
96/5/24 00
96/5/25 00
96/5/26 00
96/5/27 00
96/5/28 00
96/5/29 00
96/5/30 00
96/5/31 00
96/6/1 00
時間

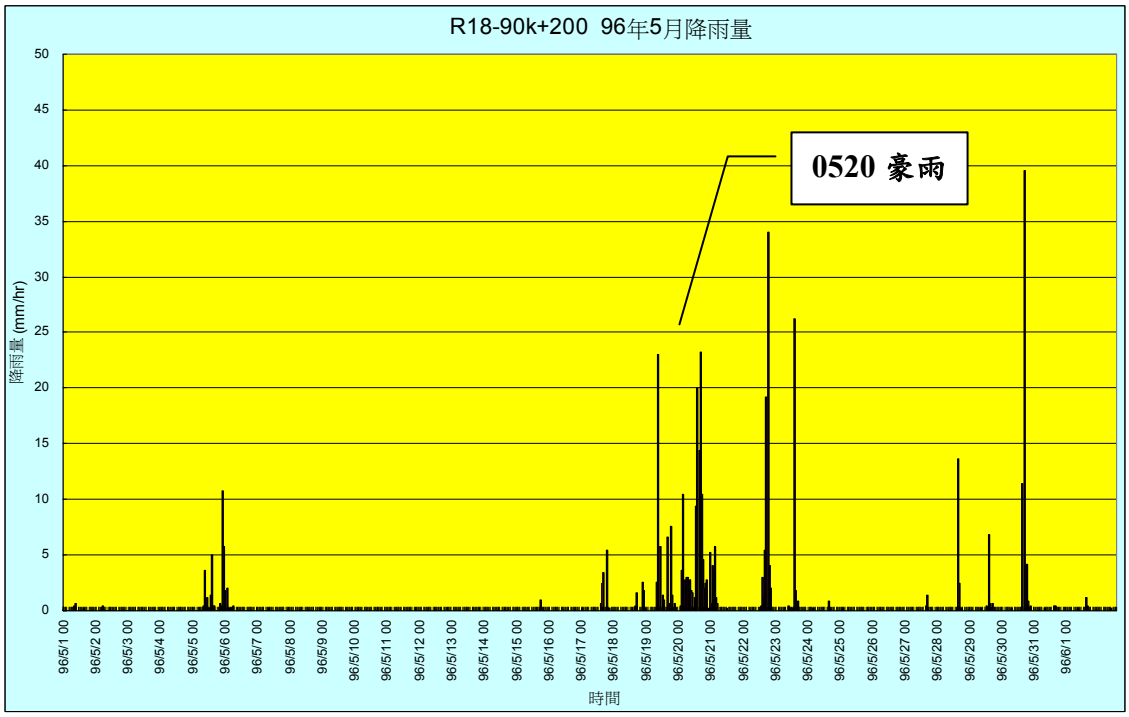

R18-41k+700 96年5月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

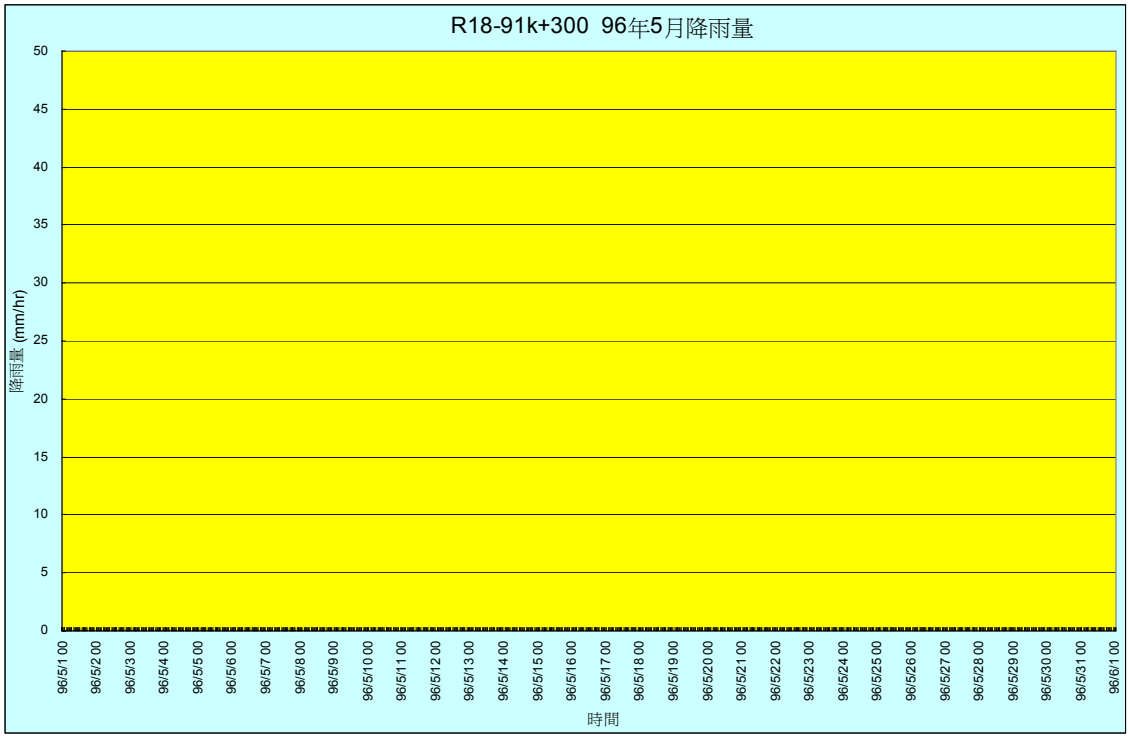

R18-54k+100 96年5月降雨量
0520 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

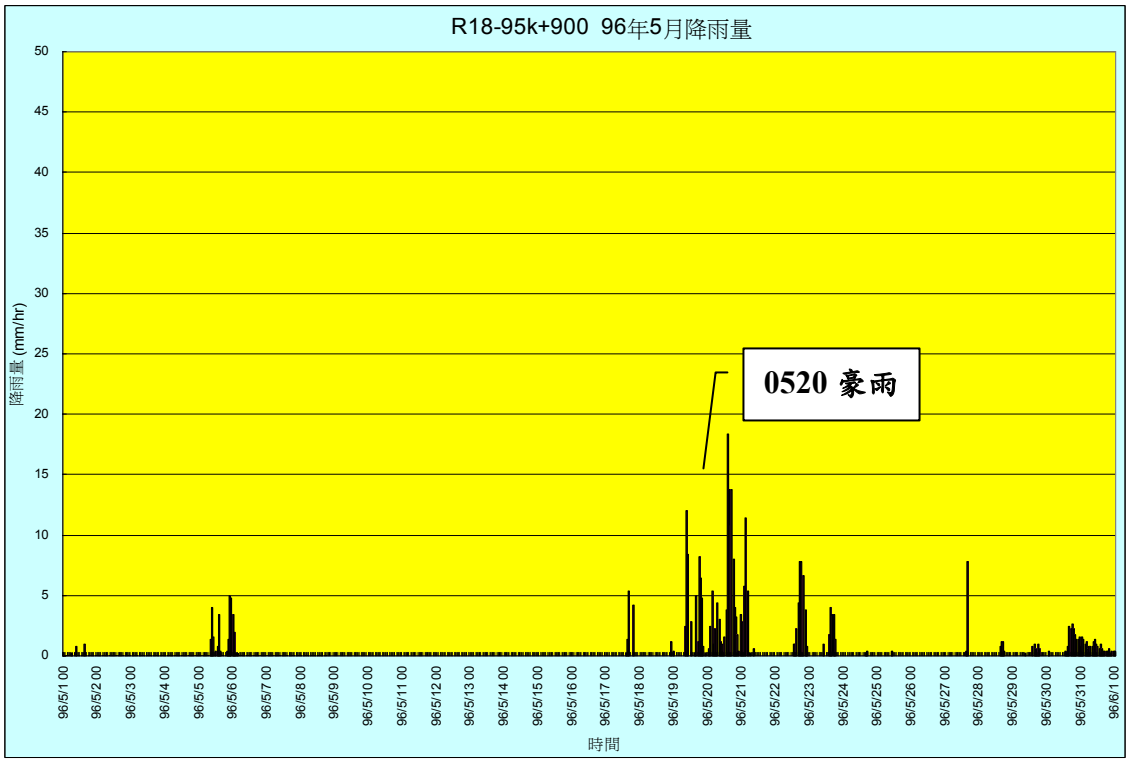

R18-69k+900 96年5月降雨量
降雨量 (mm/hr)
0520 豪雨
時間

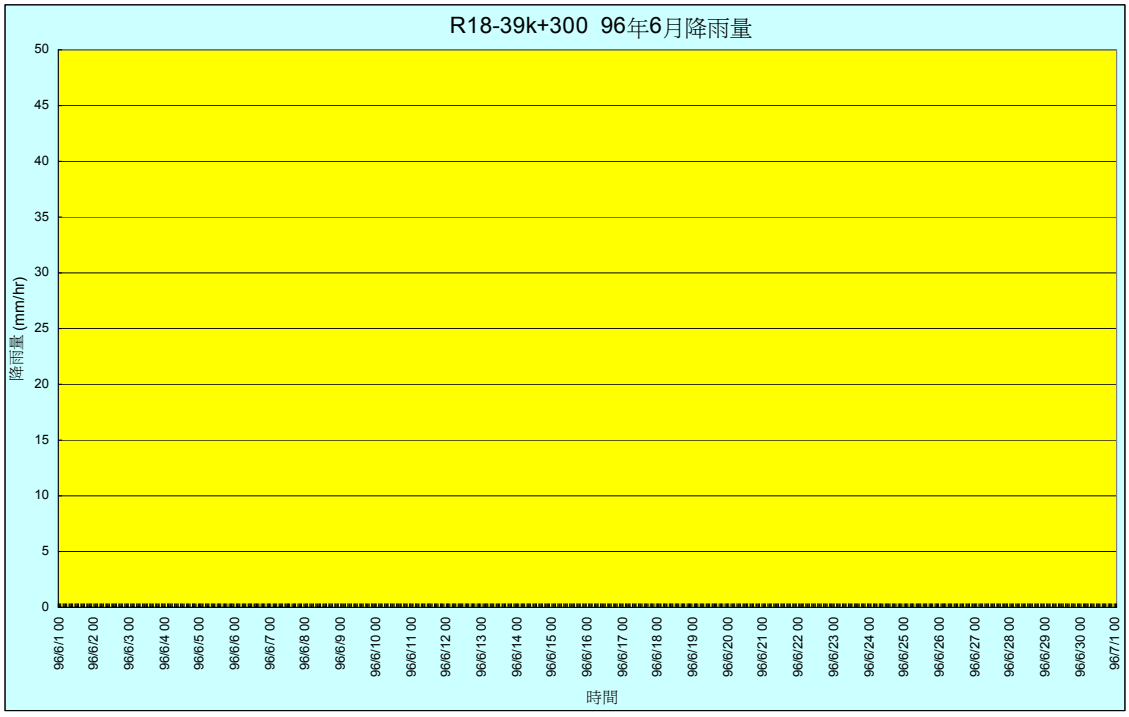

R18-78k+600 96年5月降雨量
降雨量 (mm/hr)
0520 豪雨
時間

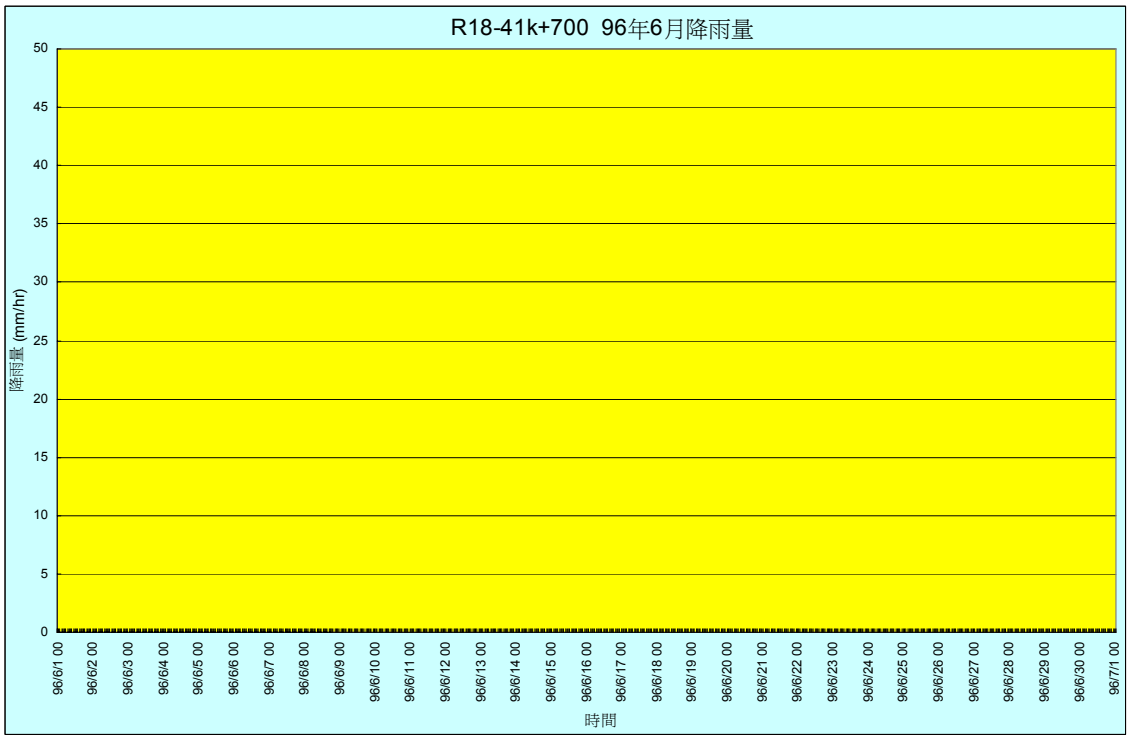

R18-82k+300 96年5月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

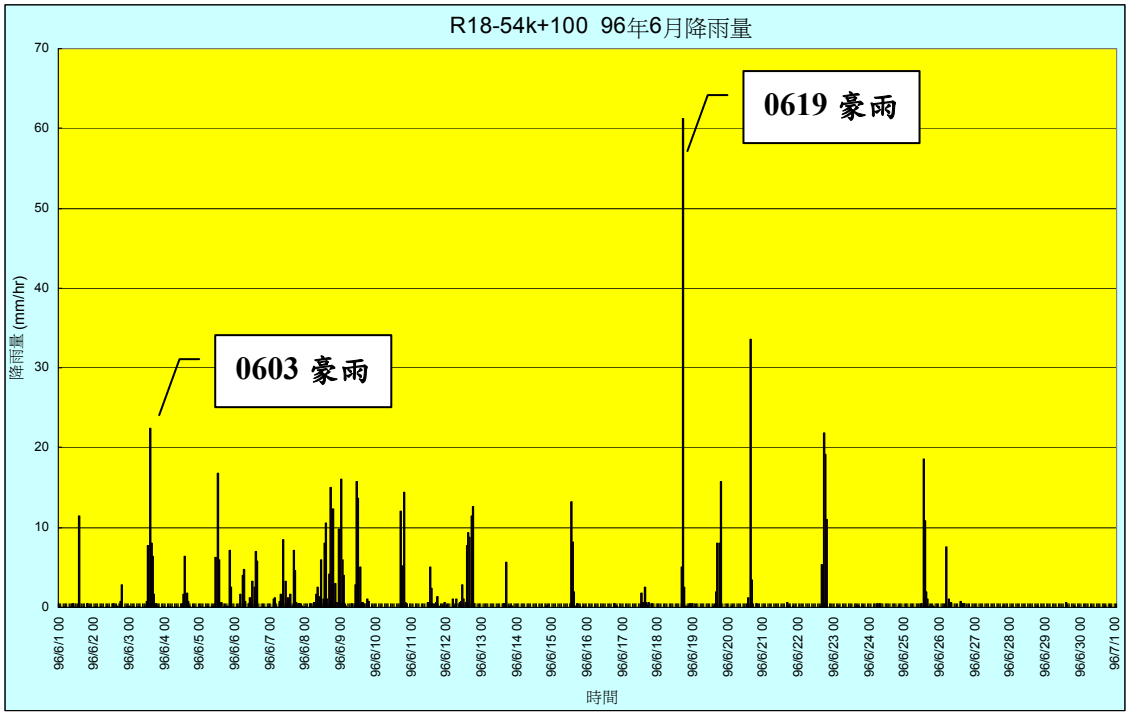

R18-90k+200 96年5月降雨量
0520 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

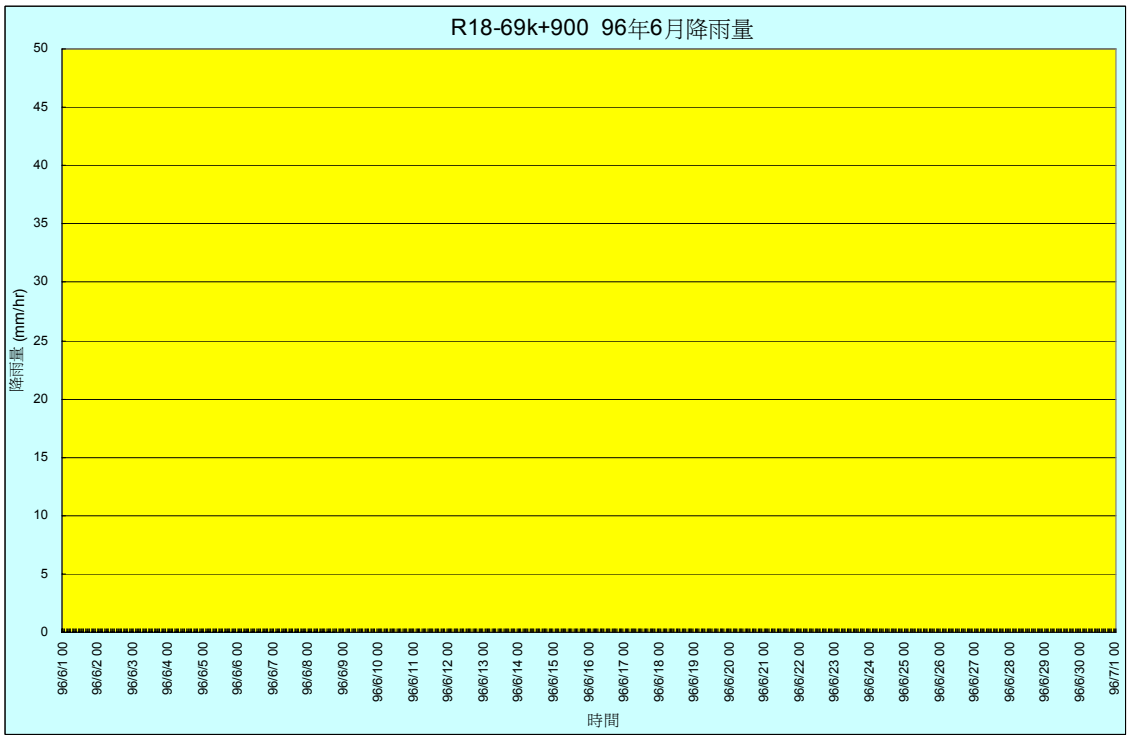

R18-91k+300 96年5月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

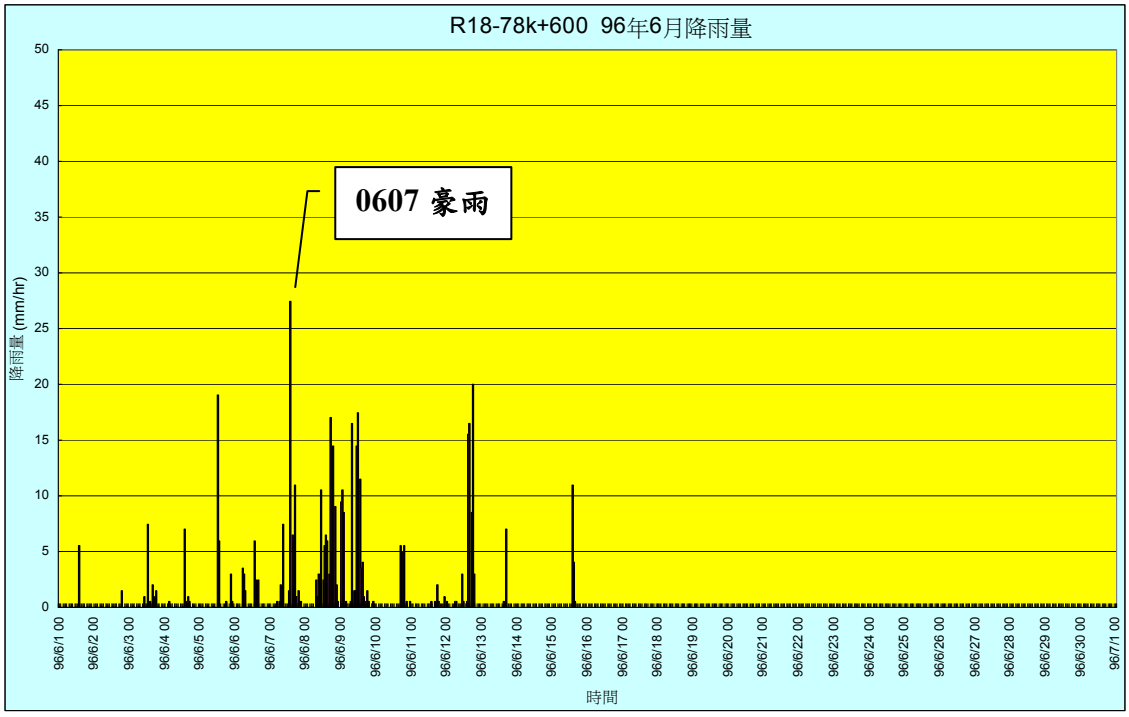

R18-95k+900 96年5月降雨量
降雨量 (mm/hr)
0520 豪雨
時間

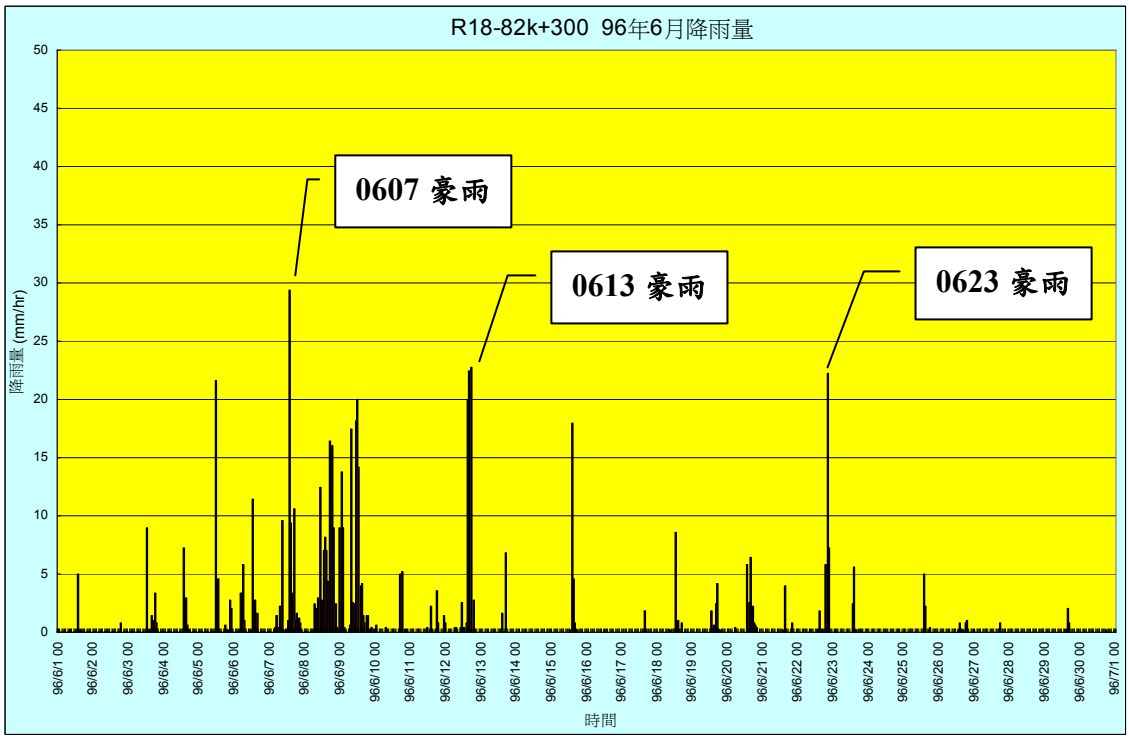

R18-39k+300 96年6月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/6/1 00
96/6/2 00
96/6/3 00
96/6/4 00
96/6/5 00
96/6/6 00
96/6/7 00
96/6/8 00
96/6/9 00
96/6/10 00
96/6/11 00
96/6/12 00
96/6/13 00
96/6/14 00
96/6/15 00
96/6/16 00
96/6/17 00
96/6/18 00
96/6/19 00
96/6/20 00
96/6/21 00
96/6/22 00
96/6/23 00
96/6/24 00
96/6/25 00
96/6/26 00
96/6/27 00
96/6/28 00
96/6/29 00
96/6/30 00
96/7/1 00
時間

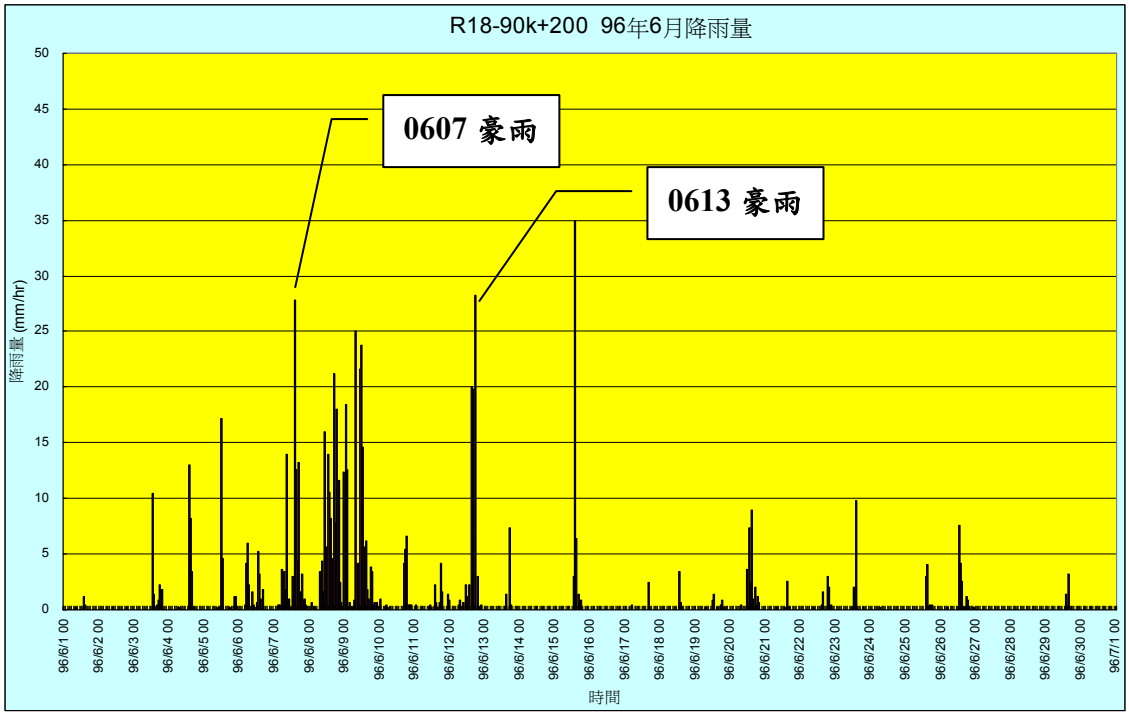

R18-41k+700 96年6月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/6/1 00
96/6/2 00
96/6/3 00
96/6/4 00
96/6/5 00
96/6/6 00
96/6/7 00
96/6/8 00
96/6/9 00
96/6/10 00
96/6/11 00
96/6/12 00
96/6/13 00
96/6/14 00
96/6/15 00
96/6/16 00
96/6/17 00
96/6/18 00
96/6/19 00
96/6/20 00
96/6/21 00
96/6/22 00
96/6/23 00
96/6/24 00
96/6/25 00
96/6/26 00
96/6/27 00
96/6/28 00
96/6/29 00
96/6/30 00
96/7/1 00
時間

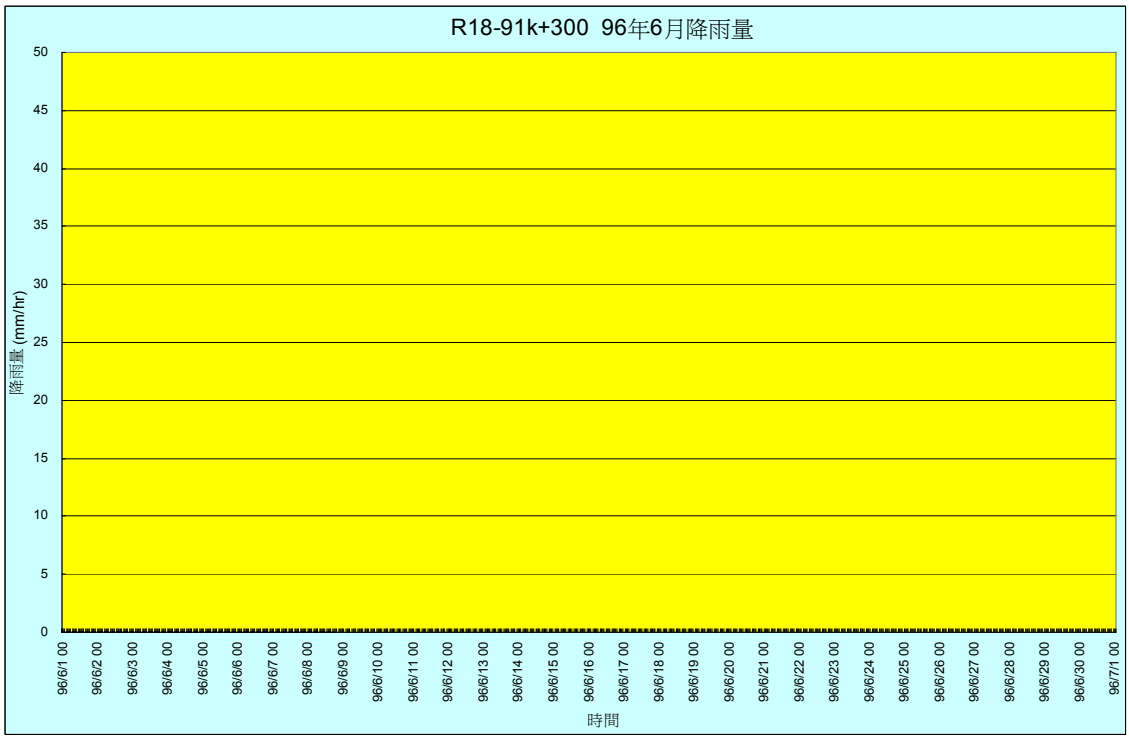

R18-54k+100 96年6月降雨量
0619 豪雨
0603 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

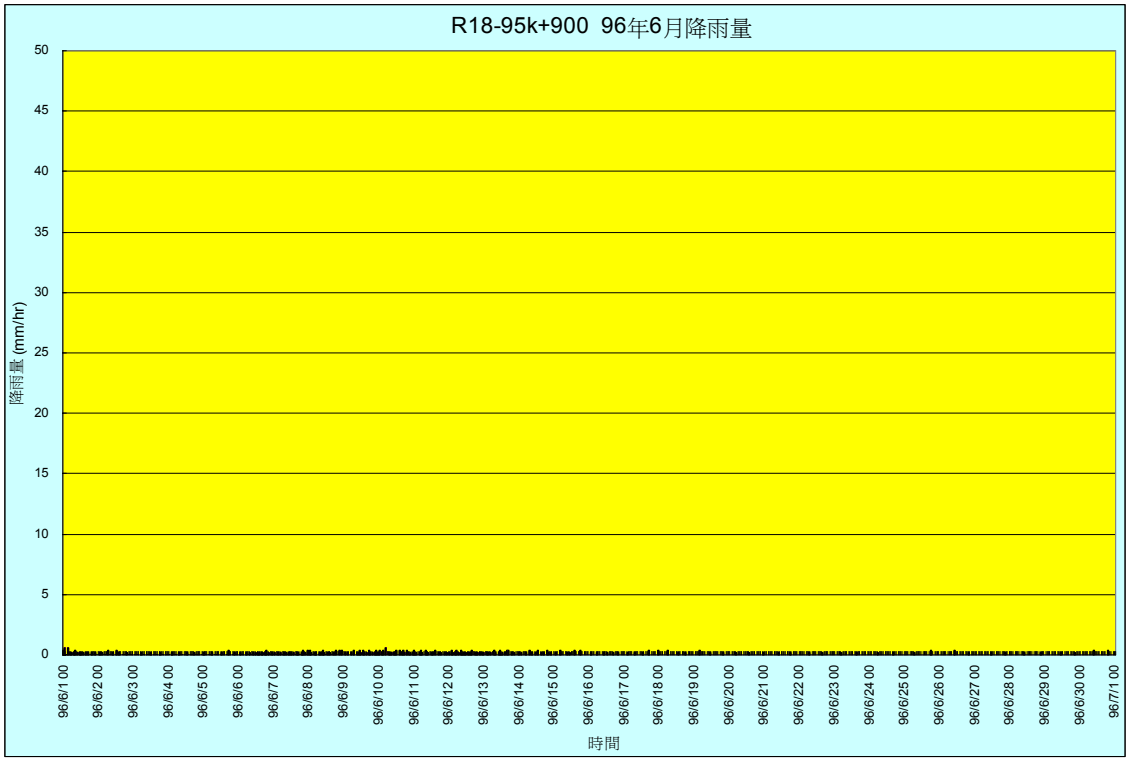

R18-69k+900 96年6月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

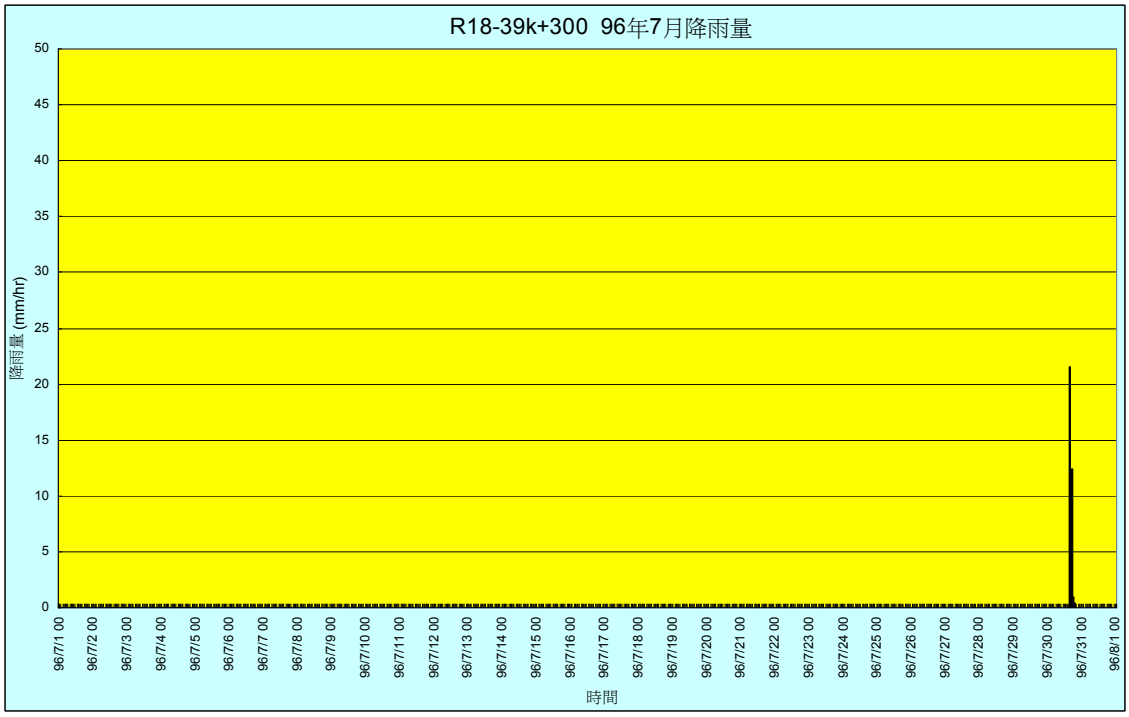

R18-78k+600 96年6月降雨量
0607 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

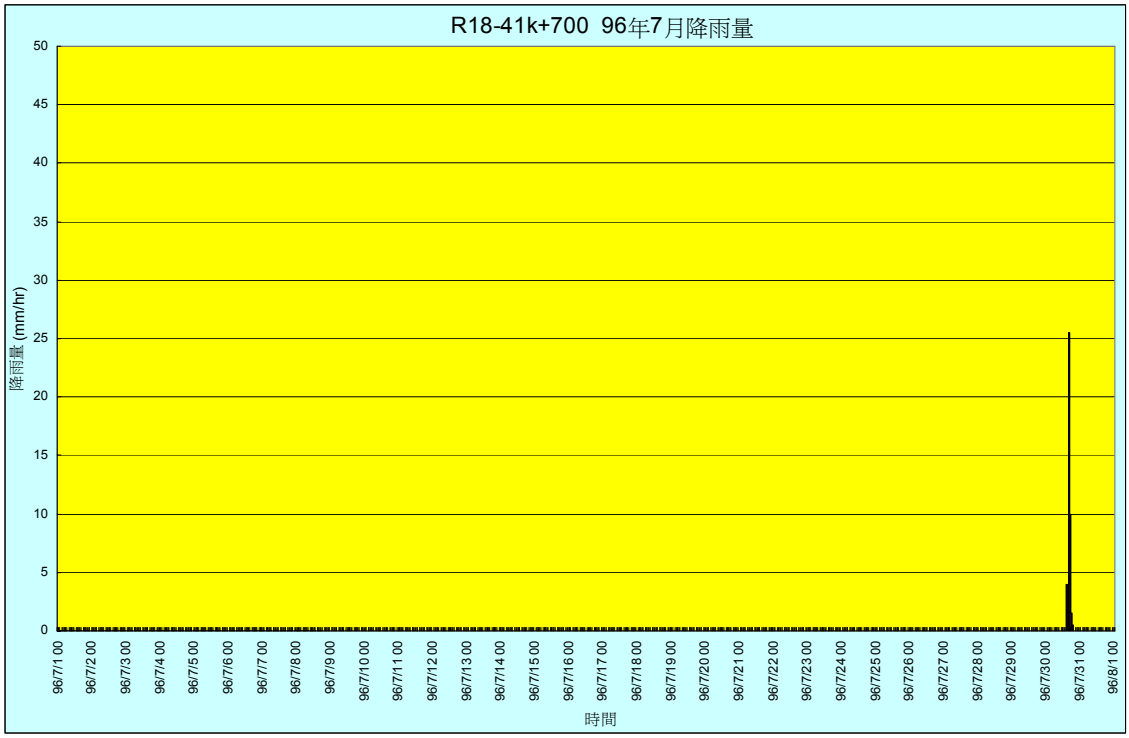

R18-82k+300 96年6月降雨量
0607 豪雨
0613 豪雨
0623 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

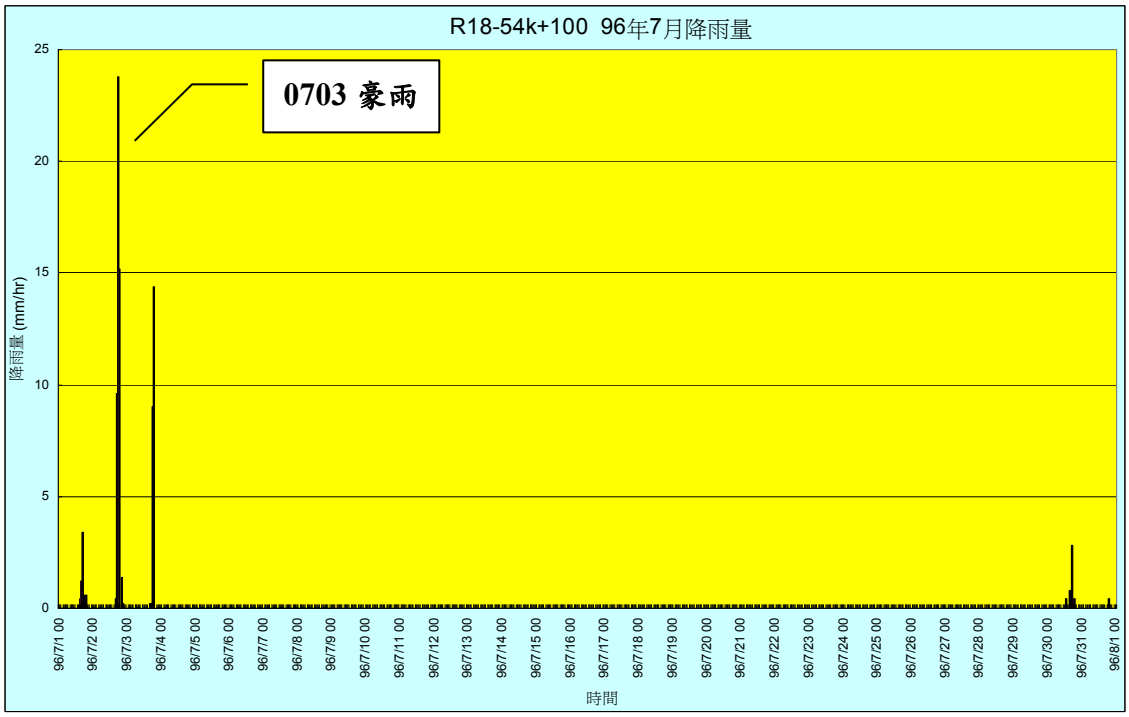

R18-90k+200 96年6月降雨量
0607 豪雨
0613 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

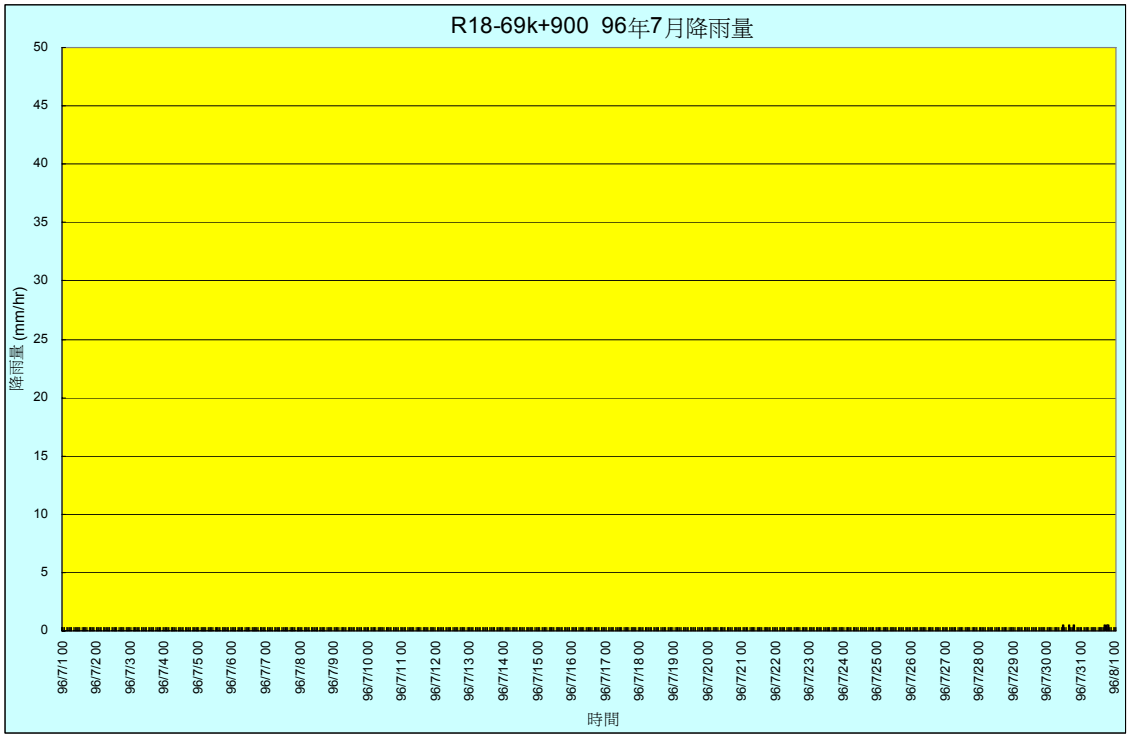

R18-91k+300 96年6月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

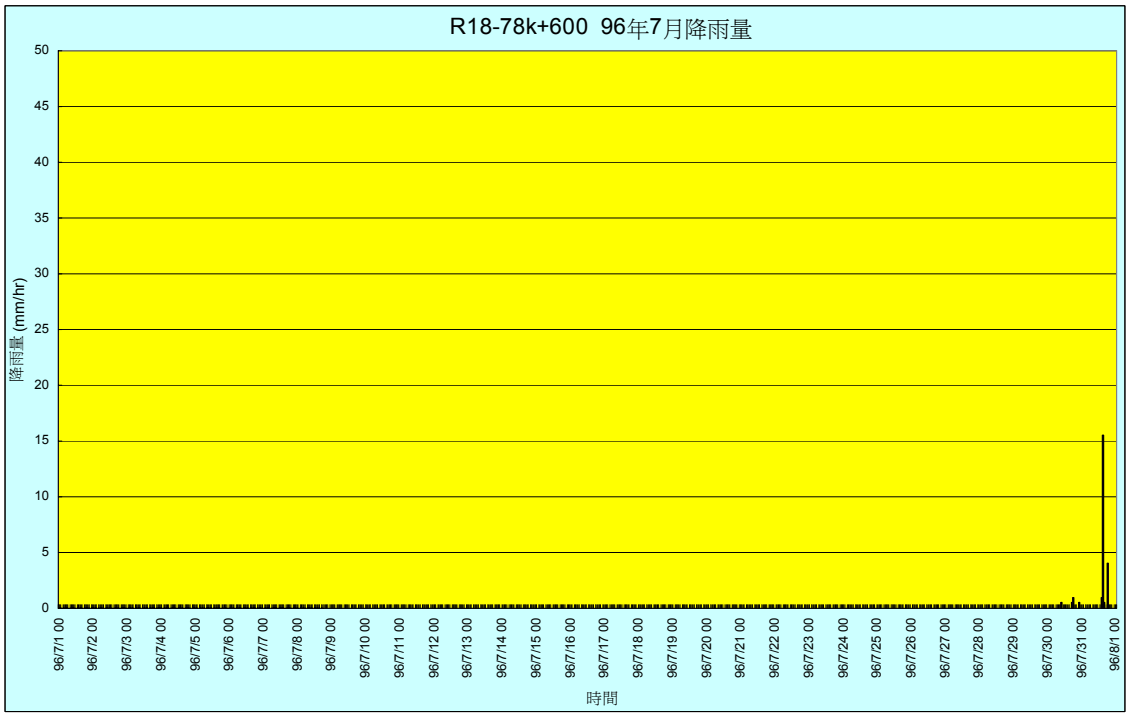

R18-95k+900 96年6月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/6/1 00
96/6/2 00
96/6/3 00
96/6/4 00
96/6/5 00
96/6/6 00
96/6/7 00
96/6/8 00
96/6/9 00
96/6/10 00
96/6/11 00
96/6/12 00
96/6/13 00
96/6/14 00
96/6/15 00
96/6/16 00
96/6/17 00
96/6/18 00
96/6/19 00
96/6/20 00
96/6/21 00
96/6/22 00
96/6/23 00
96/6/24 00
96/6/25 00
96/6/26 00
96/6/27 00
96/6/28 00
96/6/29 00
96/6/30 00
96/7/1 00
時間

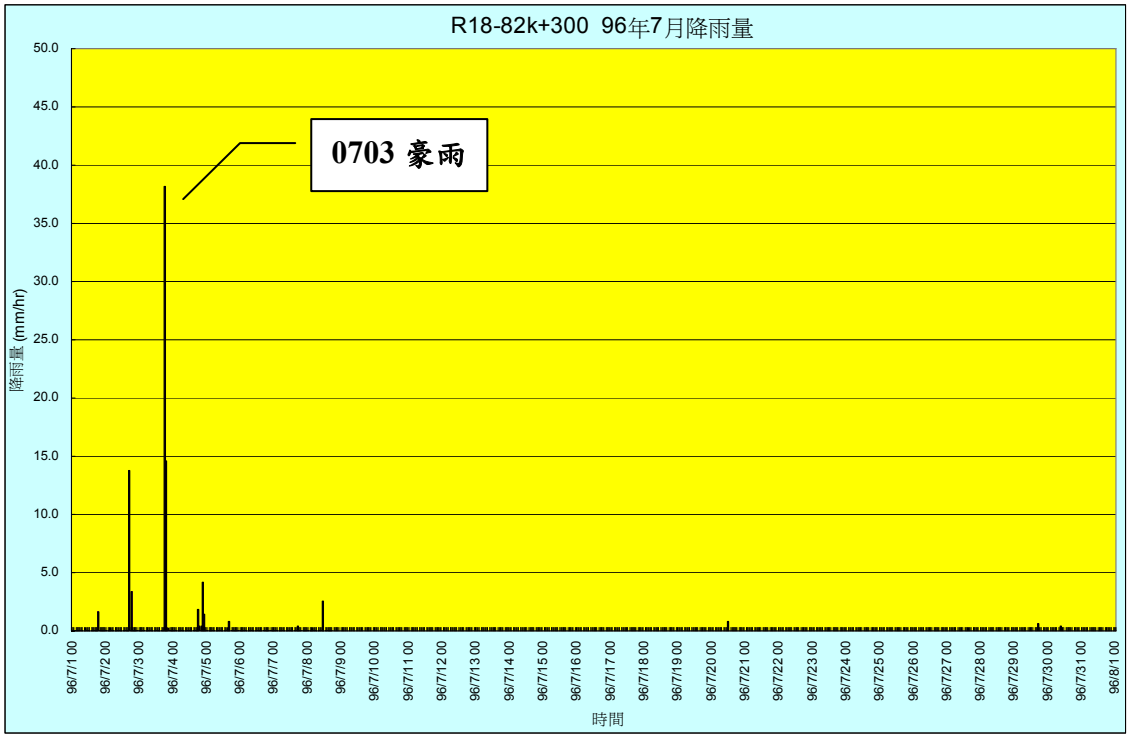

R18-39k+300 96年7月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/7/1 00
96/7/2 00
96/7/3 00
96/7/4 00
96/7/5 00
96/7/6 00
96/7/7 00
96/7/8 00
96/7/9 00
96/7/10 00
96/7/11 00
96/7/12 00
96/7/13 00
96/7/14 00
96/7/15 00
96/7/16 00
96/7/17 00
96/7/18 00
96/7/19 00
96/7/20 00
96/7/21 00
96/7/22 00
96/7/23 00
96/7/24 00
96/7/25 00
96/7/26 00
96/7/27 00
96/7/28 00
96/7/29 00
96/7/30 00
96/7/31 00
96/8/1 00
時間

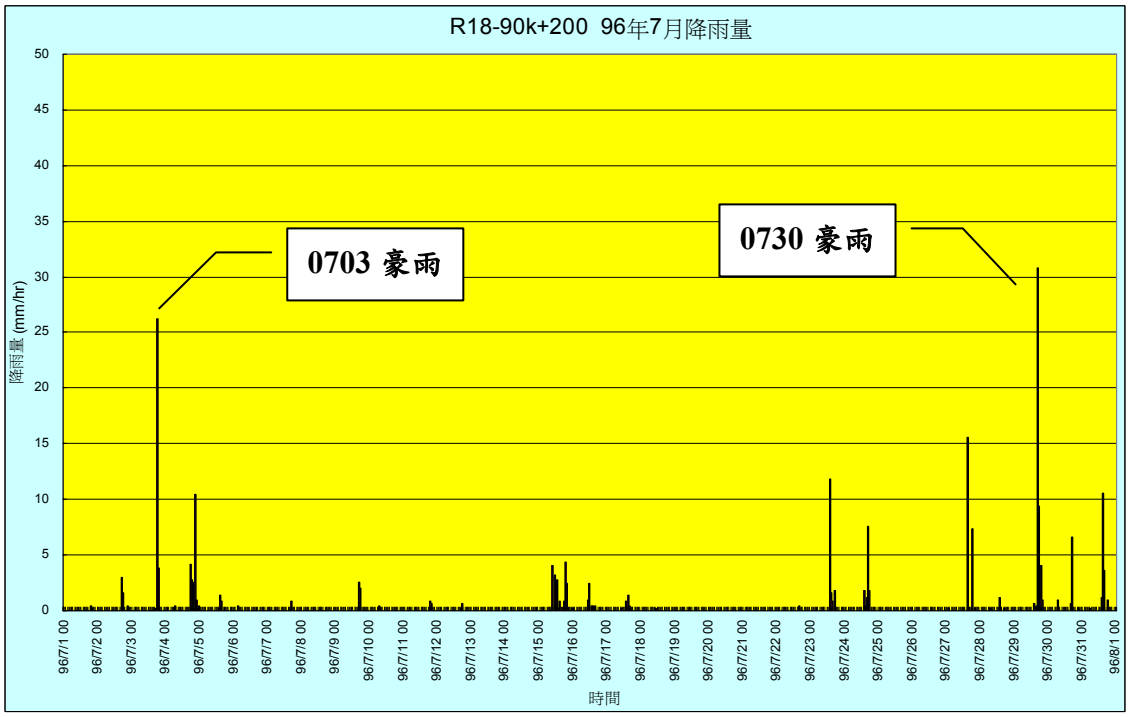

R18-41k+700 96年7月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

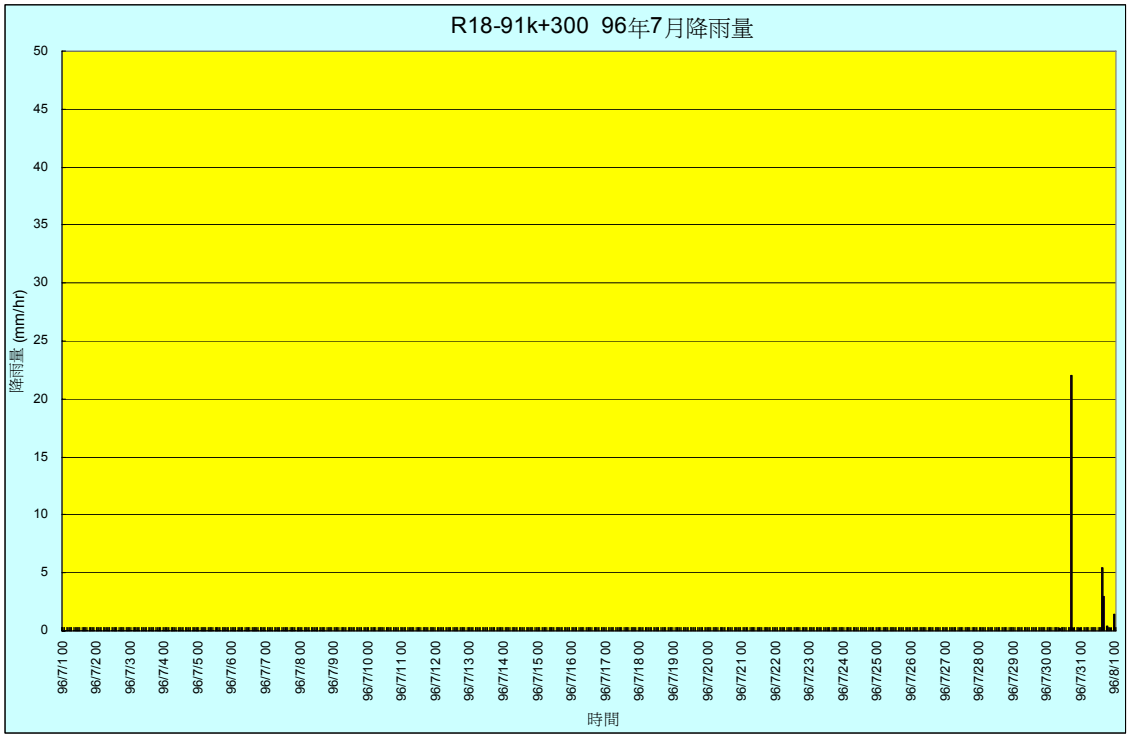

R18-54k+100 96年7月降雨量
0703 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

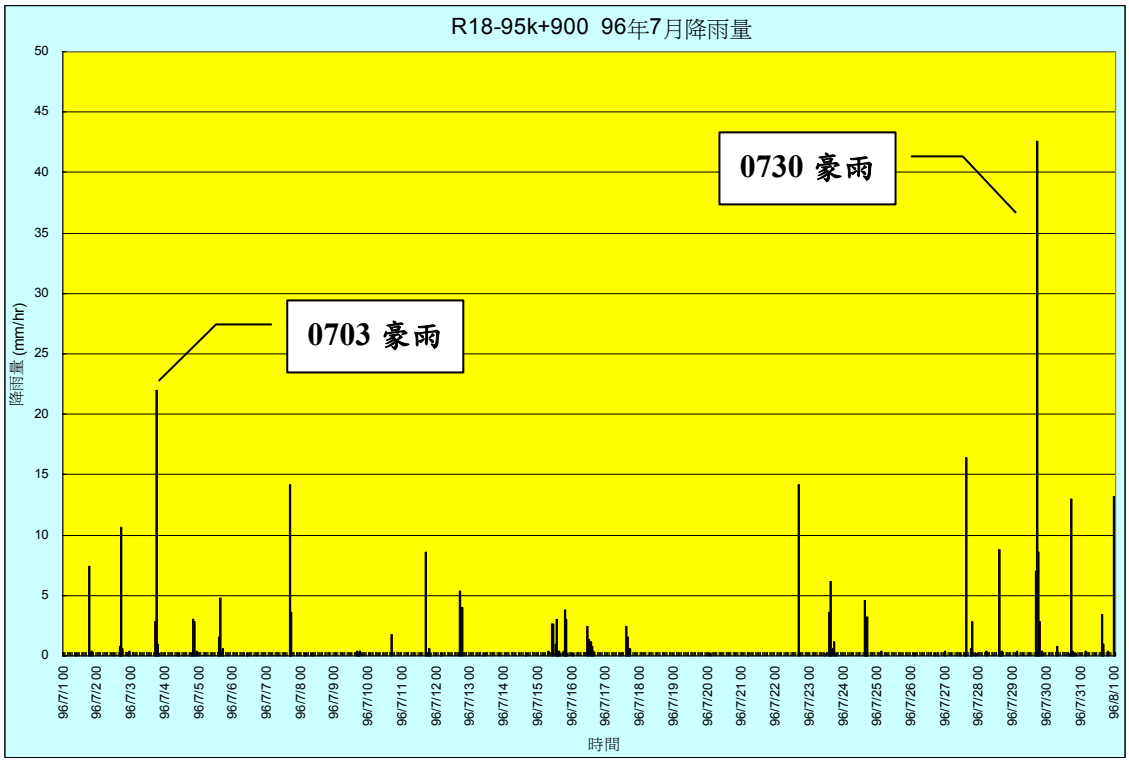

R18-69k+900 96年7月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/7/1 00
96/7/2 00
96/7/3 00
96/7/4 00
96/7/5 00
96/7/6 00
96/7/7 00
96/7/8 00
96/7/9 00
96/7/10 00
96/7/11 00
96/7/12 00
96/7/13 00
96/7/14 00
96/7/15 00
96/7/16 00
96/7/17 00
96/7/18 00
96/7/19 00
96/7/20 00
96/7/21 00
96/7/22 00
96/7/23 00
96/7/24 00
96/7/25 00
96/7/26 00
96/7/27 00
96/7/28 00
96/7/29 00
96/7/30 00
96/7/31 00
96/8/1 00
時間

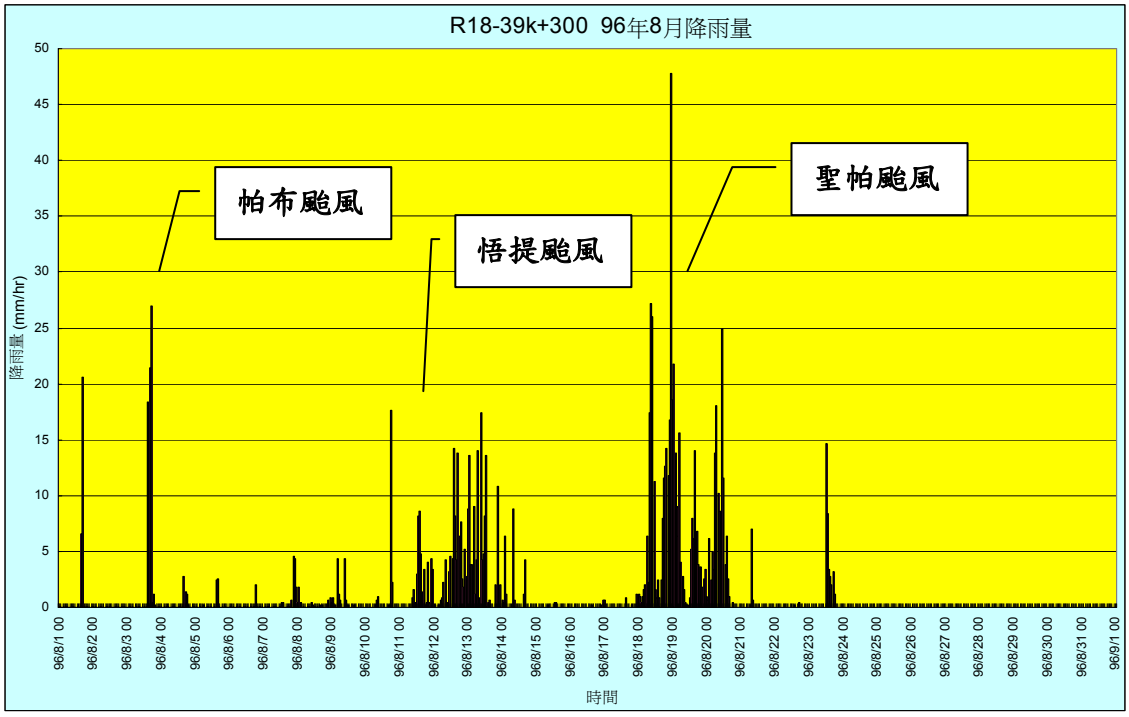

R18-78k+600 96年7月降雨量
降雨量 (mm/hr)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
96/7/1 00
96/7/2 00
96/7/3 00
96/7/4 00
96/7/5 00
96/7/6 00
96/7/7 00
96/7/8 00
96/7/9 00
96/7/10 00
96/7/11 00
96/7/12 00
96/7/13 00
96/7/14 00
96/7/15 00
96/7/16 00
96/7/17 00
96/7/18 00
96/7/19 00
96/7/20 00
96/7/21 00
96/7/22 00
96/7/23 00
96/7/24 00
96/7/25 00
96/7/26 00
96/7/27 00
96/7/28 00
96/7/29 00
96/7/30 00
96/7/31 00
96/8/1 00
時間


R18-82k+300 96年7月降雨量
0703 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

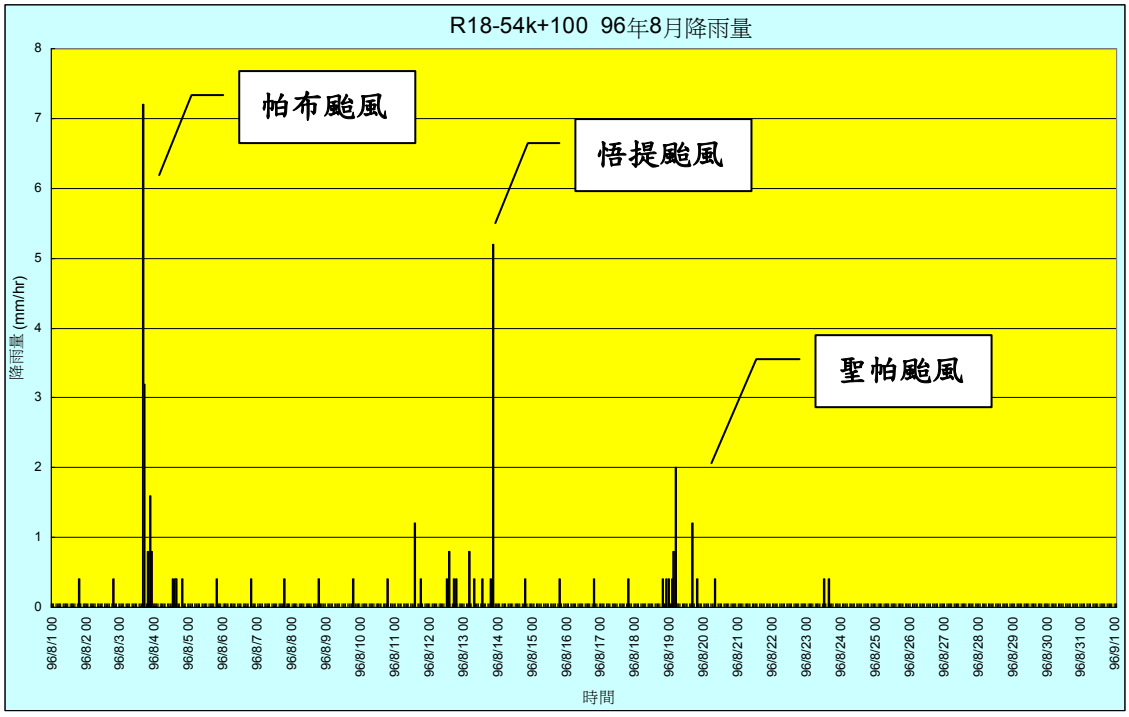

R18-90k+200 96年7月降雨量
0703 豪雨
0730 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

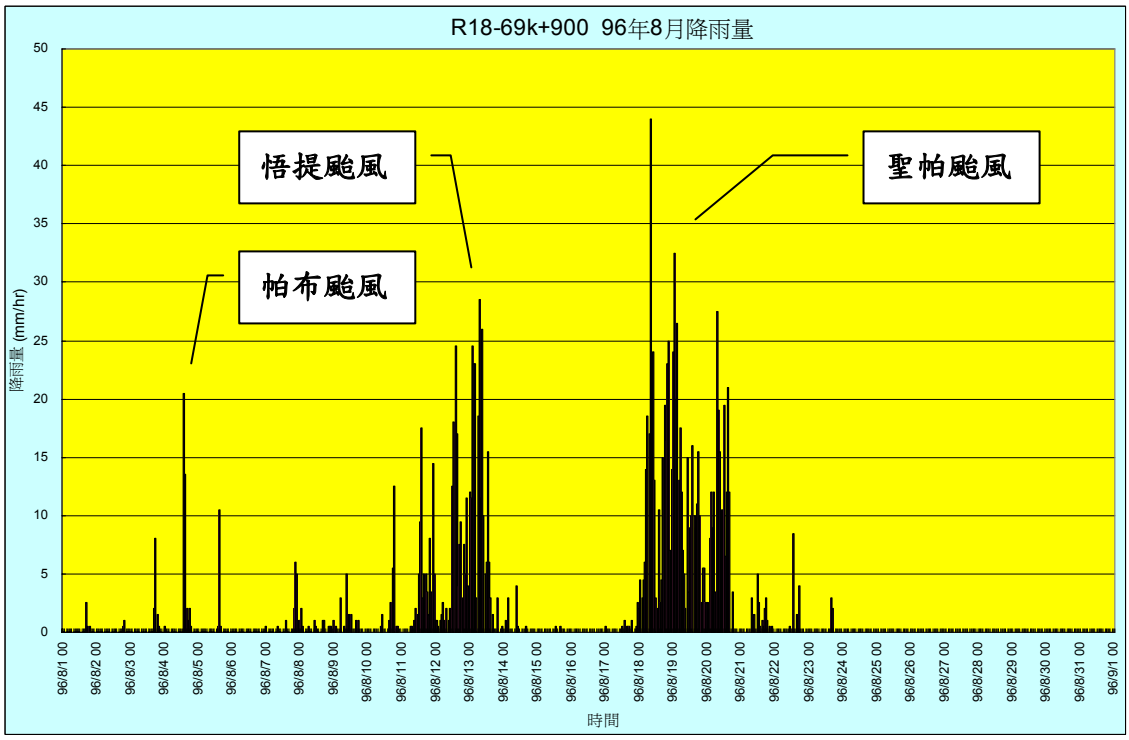

R18-91k+300 96年7月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

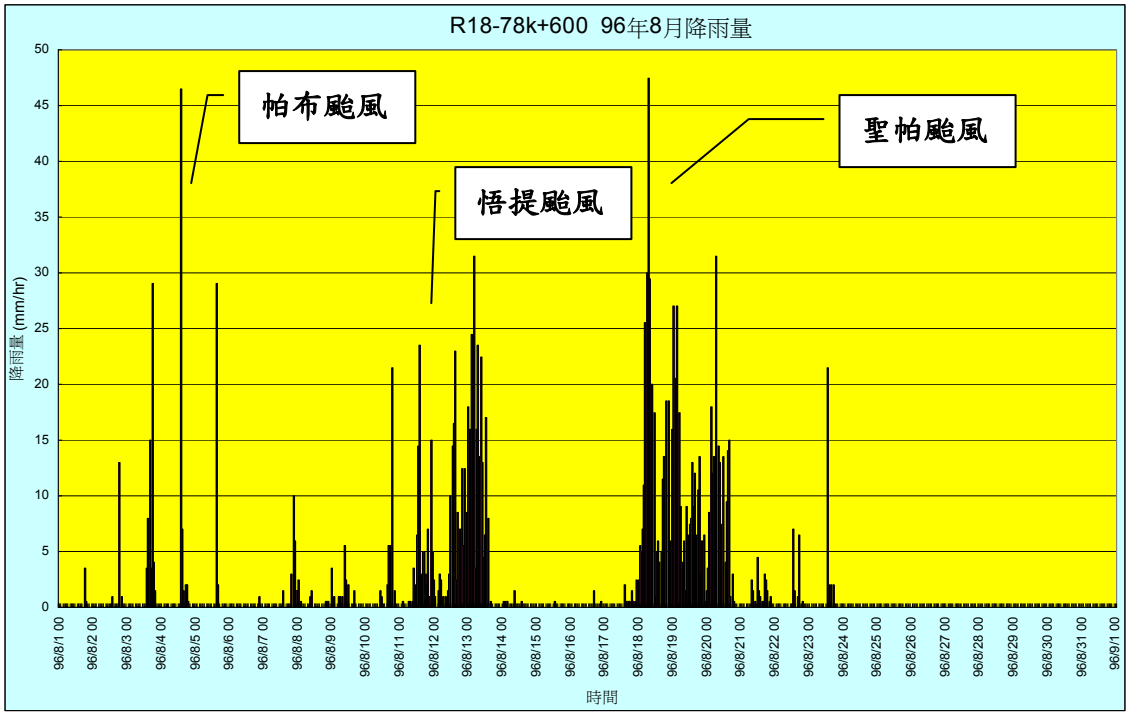

R18-95k+900 96年7月降雨量
0730 豪雨
0703 豪雨
降雨量 (mm/hr)
時間

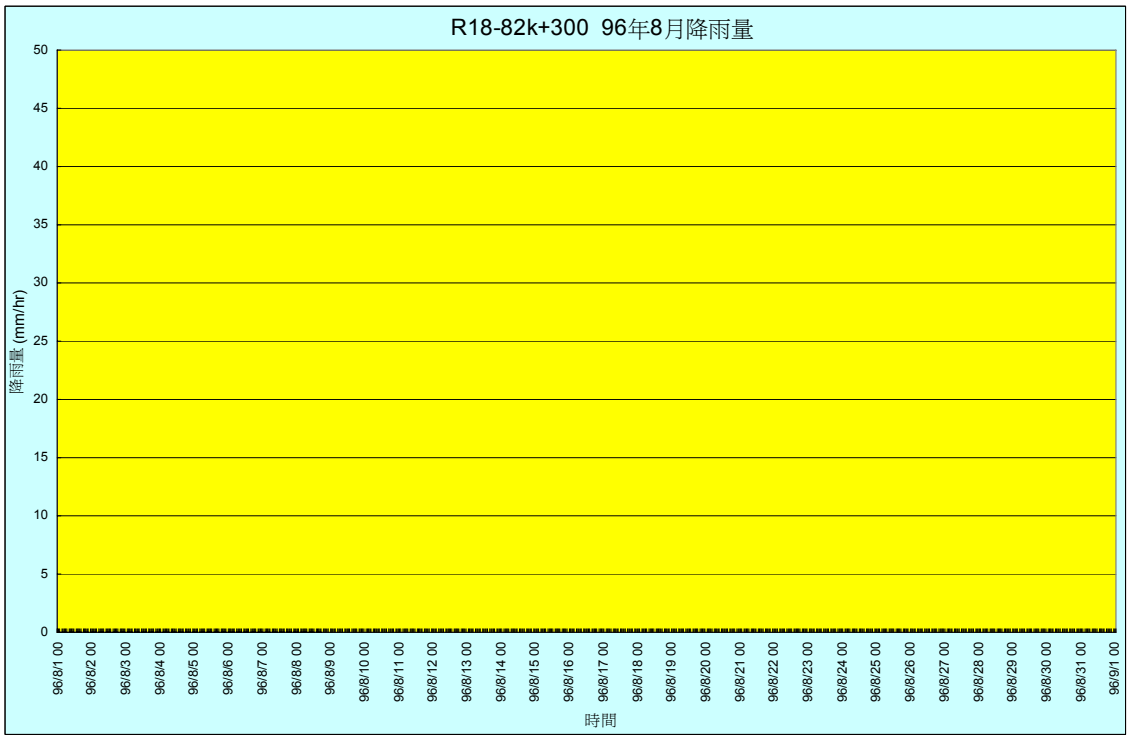

R18-39k+300 96年8月降雨量
帕布颱風
悟提颱風
聖帕颱風
降雨量 (mm/hr)
時間

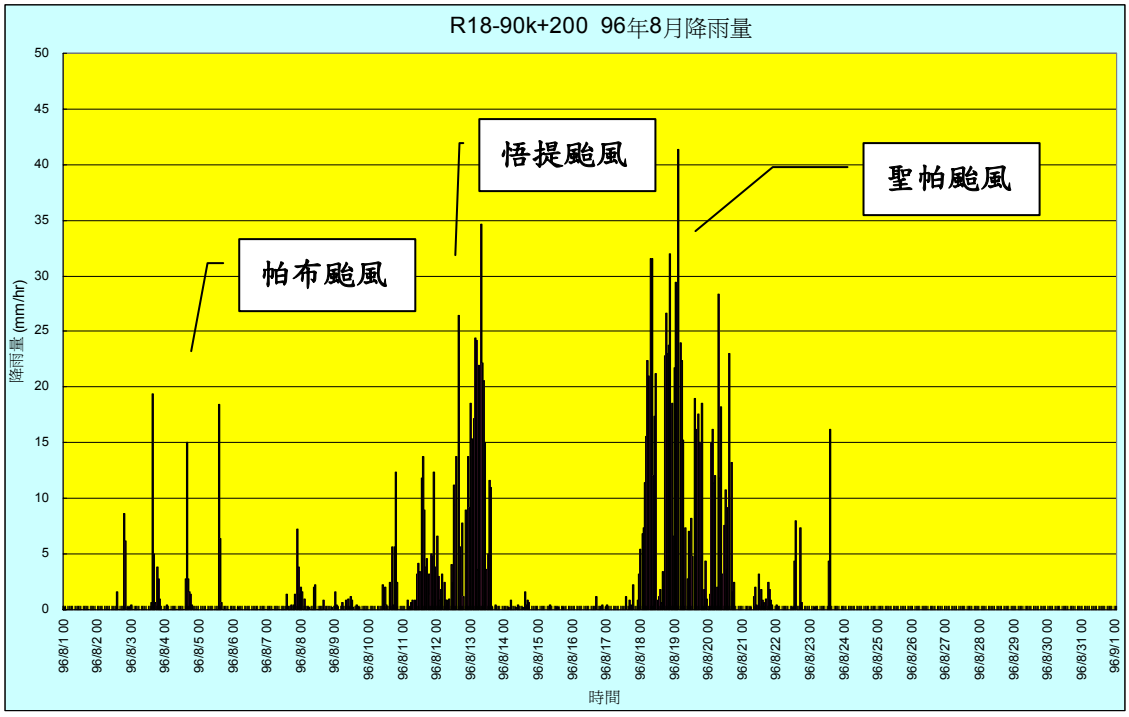

R18-41k+700 96年8月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間

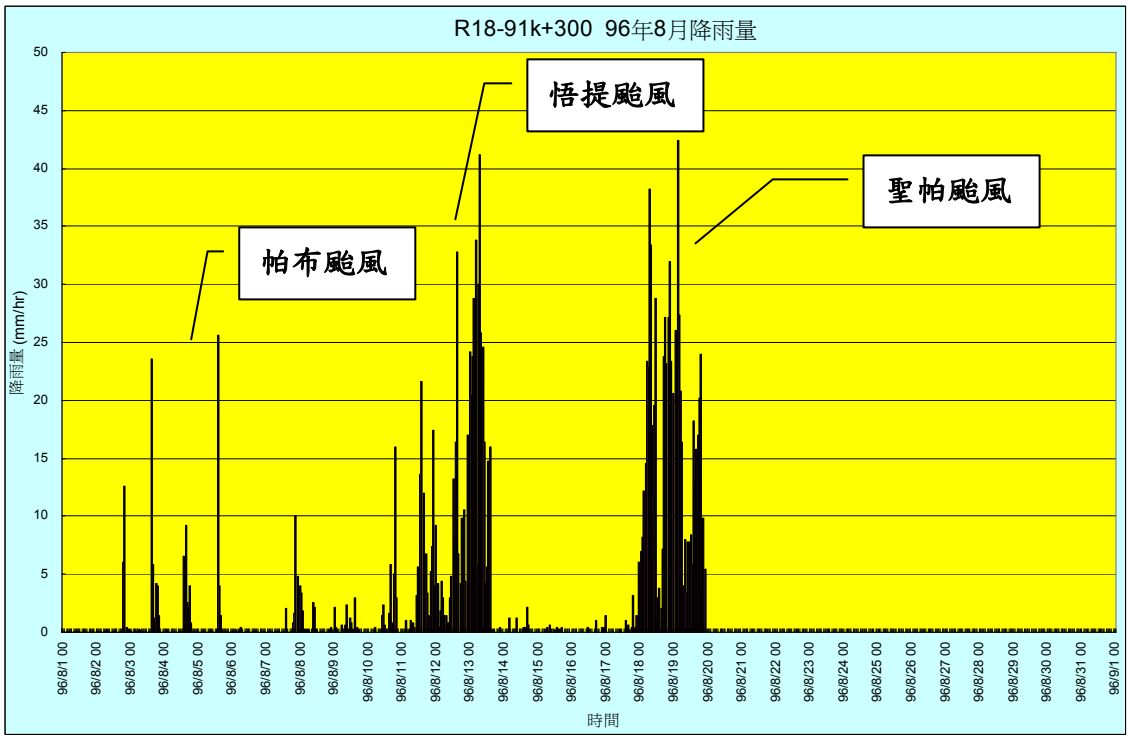

R18-54k+100 96年8月降雨量
帕布颱風
悟提颱風
聖帕颱風
降雨量 (mm/hr)
時間

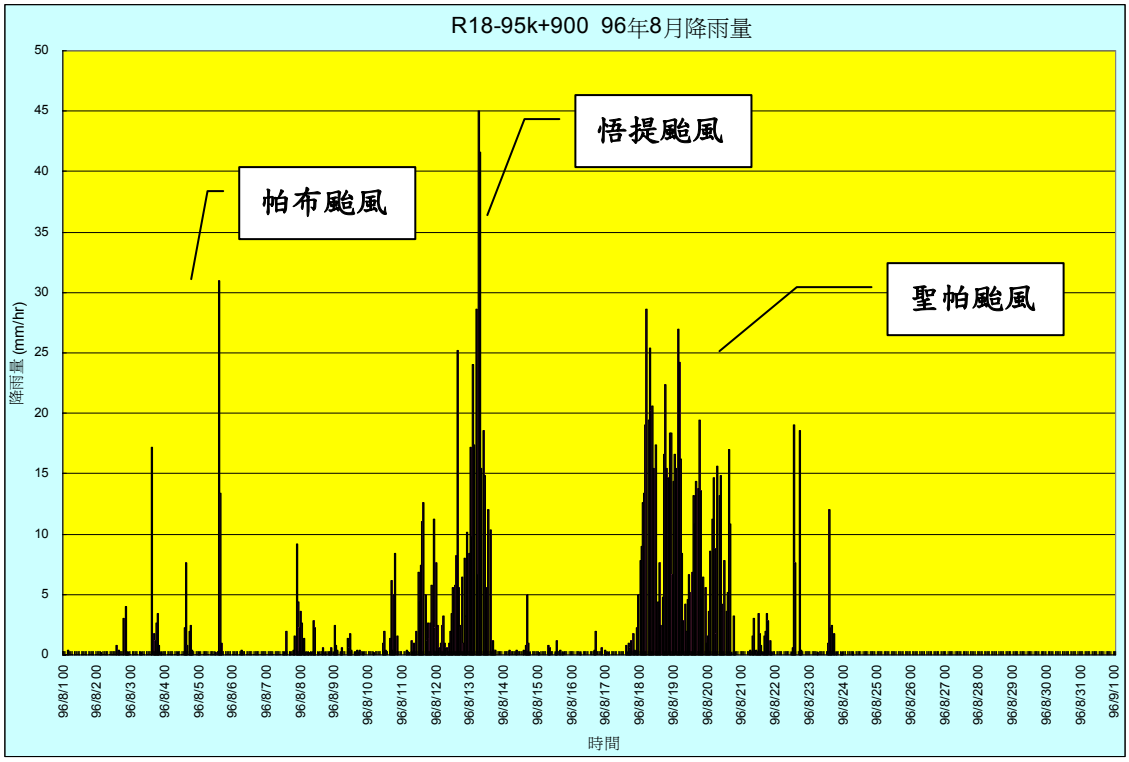

R18-69k+900 96年8月降雨量
悟提颱風
聖帕颱風
帕布颱風
降雨量 (mm/hr)
時間


R18-78k+600 96年8月降雨量
帕布颱風
悟提颱風
聖帕颱風
降雨量 (mm/hr)
時間


R18-82k+300 96年8月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間


R18-90k+200 96年8月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間
帕布颱風
悟提颱風
聖帕颱風


R18-91k+300 96年8月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間
帕布颱風
悟提颱風
聖帕颱風


R18-95k+900 96年8月降雨量
降雨量 (mm/hr)
時間
帕布颱風
悟提颱風
聖帕颱風

附錄 VII

簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

山區道路坡地災害防治技術整合研究（1/4）

簡報者：廖洪鈞 教授

研究團隊：蘇吉立 副研究員

卿建業 助理教授

何應璋 協理

陳天健 助理教授

合作單位：國立台灣科技大學生態與防災工程研究中心

中華民國九十六年十一月十四日

簡報大綱

- 簡報內容A 計畫緣起
- 簡報內容B 工作項目內容
- 簡報內容C 研究成果
- 簡報內容D 結論與建議

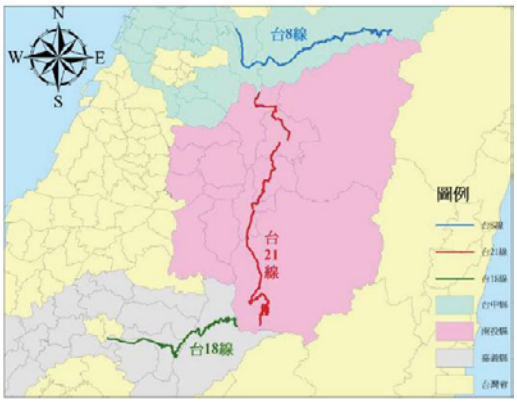
Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center 1

計畫緣起

計畫緣起

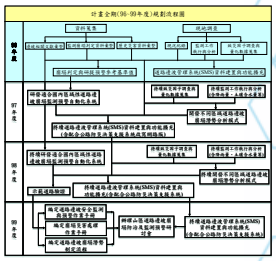
- 延續「交通土木建設安全科技」相關研究
  - 交通部（民國89年）
    - 地質調查與自動化監測規劃工作
    - 佈設先進光電式邊坡監測儀器進行本土式驗證
    - 設置緊急即時衛星網路防災監視系統
  - 交通部運輸研究所（民國94年）
    - 道路邊坡管理系統之建置
    - 道路邊坡崩塌潛勢之分析與預測
    - 道路邊坡崩塌防治對策與操作手冊
- 發展「區域性之道路邊坡崩塌潛勢分析模式」
  - 「面」與「線」之結合考量
    - 道路沿線邊坡崩塌機率之預測
    - 氣象局雨量預報資料
    - 現地雨量、地下水位資料

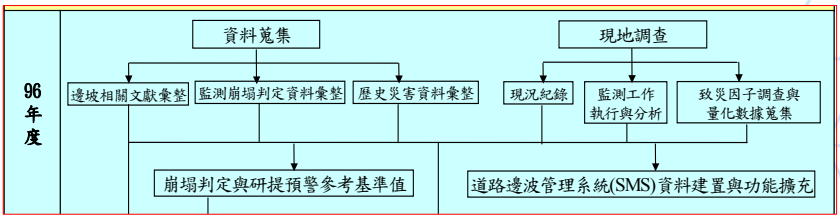
工作項目內容



工作內容與執行方式（1/2）

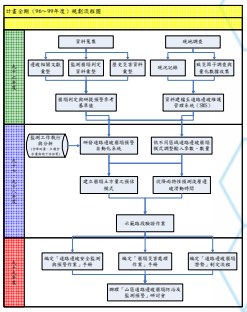
- 第一年期
  - 研提適合國內區域性道路邊坡監測儀器之崩塌判定與預警基準之標準
  - 道路邊坡現地崩塌事件及相關資料之蒐集彙整、建置與分析
  - 道路邊坡致災因子（雨量、地下水）空間分析





工作內容與執行方式（2/2）

- 第二三年期
  - 研發適合國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統
  - 持續道路邊坡現地崩塌事件蒐集彙整、建置與分析
  - 持續道路邊坡致災因子（雨量、地下水）空間分析
  - 建立崩塌土方量之預估模式
  - 從降雨特性預測淺層邊坡滑動時間
- 第四年期
  - 編訂道路邊坡安全監測與預警作業手冊
  - 編訂崩塌災害處理作業手冊
  - 編訂道路邊坡崩塌潛勢制定流程
  - 建置全國道路邊坡災損與主要山區道路致災因子資料庫
  - 持續充實道路邊坡管理系統資料庫
  - 辦理山區道路邊坡崩塌防治及監測預警研討會



研究成果

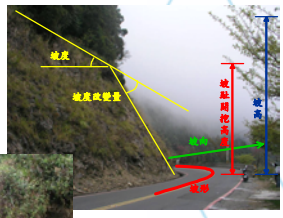
- 崩塌事件資料彙整、建置分析
- 道路邊坡維護管理系統改版規劃
- 崩塌判定與預警基準之研擬
- 道路邊坡雨量致災因子空間分析
- 崩塌規模評估與崩塌時間預測

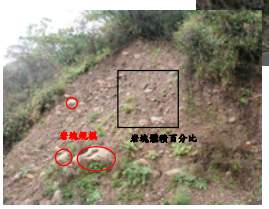
歷史崩塌事件致災因子資料調查收集

- 目的
  - 擴充道路邊坡管理系統資料庫（建置95年全國災損資料）
  - 進行道路邊坡崩塌機率及崩塌規模之研究
- 選定路段
  - 台18線阿里山公路
    - 歷年研究資源整合之山區道路
    - 研究資料完備但缺乏整合
    - 成為台灣山區道路邊坡災害防治之示範道路
- 調查量化方法
  - 地理資訊系統
  - 數值圖籍資料
  - 現地勘察
- 規劃選定調查之致災因子
  - 潛在因子
  - 誘發因子
  - 針對崩塌規模預測所需之因子數據

潛在因子

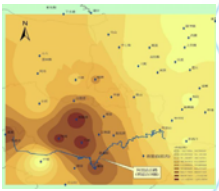
- 定義
  - 邊坡本身既有之不穩定性因子
    - 影響或造成邊坡破壞
- 分類
  - 自然因子（7個）
    - 地形、地質、岩層位態、風化及破碎程度、植被、水系、地震力
  - 人為因子（1個）
    - 坡地開發





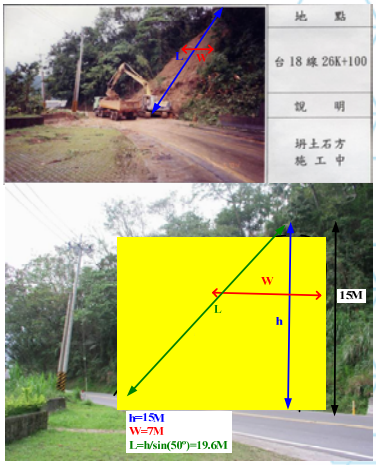
誘發因子－降雨

- 資料來源
  - 颱風累積降雨量
  - 阿里山公路沿線雨量站資料
- 量化方式
  - 利用GIS空間分析模組內插功能



針對崩塌規模預測所需之因子

- 覆蓋土層厚度
  - 以各種植被根部生長深淺度進行量化
- 崩塌面寬度（W）
  - 根據災損照片找出崩塌面的範圍
  - 至現場直接以標竿或是筆尺測量
- 崩塌面高度（h）
  - 根據災損資料之崩塌照片
  - 至現場直接估算
- 崩塌面長度（L）
  - L＝h/sin θ



研究成果

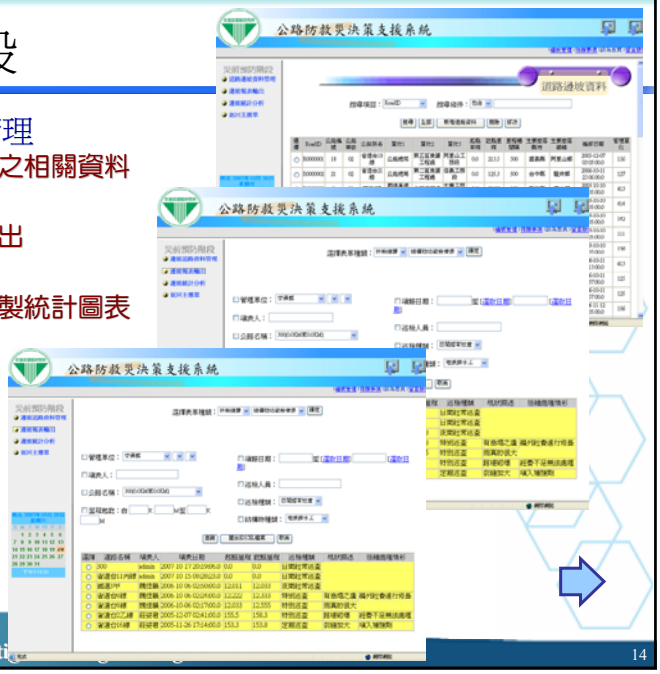
- 崩塌事件資料彙整、建置分析
- 道路邊坡維護管理系統改版規劃
- 崩塌判定與預警基準之研擬
- 道路邊坡兩量致災因子空間分析
- 崩塌規模評估與崩塌時間預測

道路邊坡維護管理系統改版與擴充規劃

- 目的
  - 配合交通部運輸研究所之公路防救災系統整合計畫
  - 單機版 ➡ 網路版
- 規劃構想
  - 依據去年「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」一案之研究成果
    - 災前預防階段
    - 災中搶修階段
    - 災後復建階段
    - GIS資料管理界面

災前預防階段

- 道路邊坡資料管理
  - 建立道路本身之相關資料
- 邊坡報表輸出
  - 資料庫表格匯出
- 邊坡統計分析
  - 數據統計與繪製統計圖表

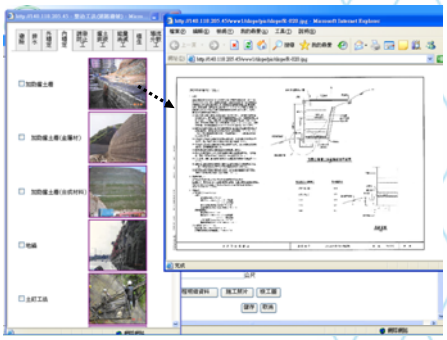


災中搶修階段

- 目的
  - 確實記錄災況現場之相關資料
- 目視調查表單數位化
  - 基本資料
  - 災害狀況
  - 地形與地質及植被與土地利用狀況
  - 保全對象
  - 災害簡述及建議
  - 照片及說明

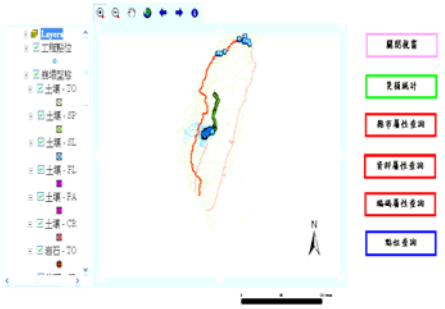
災後復建階段

- 目的
  - 災後復建工作規劃執行時能有系統且完整的參考資料
- 規劃之資料庫
  - 邊坡巡檢表單資料庫
  - 邊坡整治工法資料庫
    - 結合公路總局標準圖說
  - 監測儀器資料庫
  - 邊坡自然資料庫
  - 邊坡災損資料庫



邊坡GIS資料庫

- 規劃構想
  - 延續原系統結合地理資訊系統之構想
    - 提供填報資料查詢功能
    - 以空間化方式進行展示
- 功能
  - 災損金額統計
  - 縣市屬性查詢
  - 資料屬性查詢
  - 編碼屬性查詢
  - 點位查詢



研究成果

- 崩塌事件資料彙整、建置分析
- 道路邊坡維護管理系統改版規劃
- 崩塌判定與預警基準之標準
- 道路邊坡兩量致災因子空間分析
- 崩塌規模評估與崩塌時間預測

計畫緣起 | 工作項目內容 | 研究成果 | 結論與建議

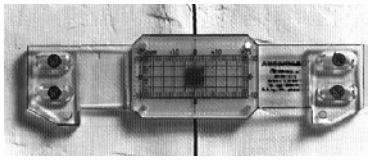
歷年監測規劃與預警研究成果彙整

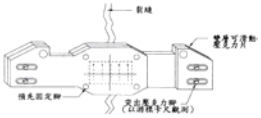
- 落石
  - 張力破壞為主
  - 傾斜計、伸張計、裂縫計…
  - 位移、聲射變化率預警、臨界雨量線預警模式、事發後預警
- 土石流
  - 流動至摩擦類型之剪力破壞
  - 雨量計、水壓計、鋼索檢知器、流速計…
  - 臨界雨量線預警模式、事發後預警
- 地滑
  - 摩擦類型之剪力破壞
  - 裂縫計、地滑計、傾斜觀測管、管式應變計…
  - 位移速率、降雨特性與地下水相互搭配解釋之綜合性預警模式
- 人工保護邊坡
  - 視構造物受力變形條件而定
  - 位移計、應變計、荷重計…
  - 預警依工程設計條件

Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center 19

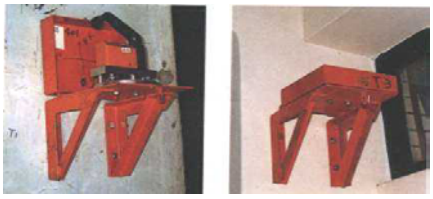
落石邊坡常用監測儀器

裂縫計





全測站經緯儀

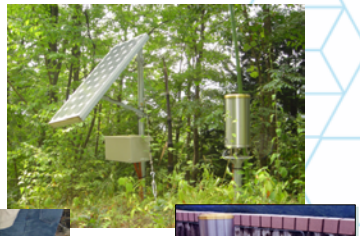


傾度盤

土石流邊坡常用監測儀器

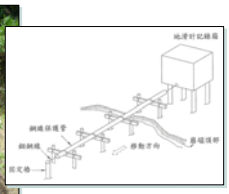
水壓計

水位觀測井



雨量計

地滑邊坡常用監測儀器

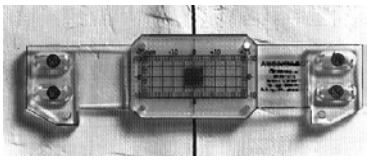


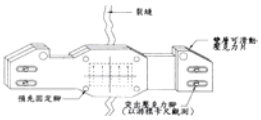
地滑計

全測站經緯儀

地中傾斜管

人工保護邊坡常用監測儀器





裂縫計

地錨荷重計

國內預警基準訂定案例

- 制定案例
  - 內政部營建署
  - 中華水土保持學會（1999）
  - 廖瑞堂（2001）
- 制定方式
  - 累積國內相關實測案例資料
  - 參考國外預警基準值制訂文獻
    - 以日本為主
- 預警基準值範圍相當廣泛
- 注意適用性
  - 僅適用於與統計資料條件相同之邊坡
- 隨監測資料累積檢討修正

監測方法	管理區分		
	注 意	警 戒	疏 散
地表伸縮計 地表變位速度	0.5~25㎜/日	5~100㎜/日	50~500㎜/日
地盤傾斜計 地表面傾斜速度	5~10秒/日	–	10~50秒/日
管內傾斜計管 內變位速度	0.5~1㎜/日	2~5㎜/日	＞10㎜/日
地中伸縮計 地盤變位速度	1~10㎜/日	10~100㎜/日	＞100㎜/日
降雨量 (累積降雨量)	–	10~20㎜/hr 10~50㎜	20㎜/hr 100㎜

針對國內區域性道路邊坡預警基準值之制定（1/2）

- 制定單位
  - 中華水土保持學會（1999）
- 區域位置
  - 中橫公路台8線與宜蘭支線（台7甲線）交會處
- 分析關係
  - 降雨與地下水位
    - 以多變量回歸分析與類神經網路建立關係模式
    - 可將降雨資料經轉換而得知較早時間之地下水位變化

監測站	B1		B4	B5	B9		B13	C1
危險區分	注意	警戒	注意	注意	注意	警戒	注意	注意
地下水位高程 (m)	1885	1900	1900	1948	1900	1904	2042	1878

累積降雨量	1日	2日	3日
注意等級預警值	260mm	380mm	433mm

針對國內區域性道路邊坡預警基準值之制定（2/2）

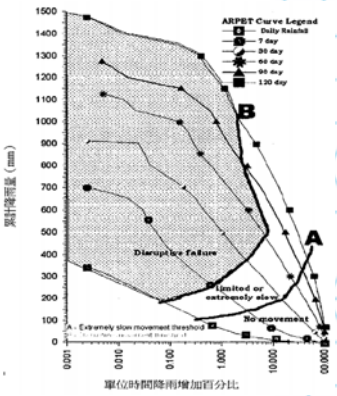
- 淺層地滑多因降雨入滲所致
- 因地質構造（如節裡、層面等）所導致之滑動則和地下水位之上升有關
  - 降雨與地下水位關係複雜
  - 需針對當地之地質條件作長期觀察方可得知

國外預警基準訂定案例－日本

- 日本地滑對策技術協會(1978)
  - 以地表位移速率與邊坡滑動活動性訂定
  - 分類地滑活動性及滑動型態
  - 國內邊坡滑動預警值訂定之重要參考依據
- 日本藤原(1976)
  - 制定地盤活動性之判定基準
- 日本高速道路調查會(1988)
  - 提供邊坡是否滑動的定性和定量標準
- 日本道路公團（1992）
  - 統計應用於道路邊坡之監測儀器資料
  - 建議地滑動態之管理基準

國外預警基準訂定案例－歐美、澳洲

- Alan F. Chlebord(2004)
  - 美國西雅圖華盛頓地區
  - 統計分析
    - 2000~2003年雨季之雨量資料與崩塌事件
  - 邊坡滑動發生之臨界降雨量
- Phil Flcntjc & Robin Chowdhury(2002)
  - 澳洲Illawarta地區Wollongong城市
  - 結合累積降雨量與傾斜儀監測資料
    - 觸發邊坡崩塌的降雨量門檻



區域性道路邊坡預警基準訂定方向

- 直接方法（位移及傾斜等）➡ 針對位置確定之滑動區
  - 針對相關監測儀器明定預警基準值
  - 國內、日本
- 間接方法（降雨或水位）➡ 針對位置確定或不確定之滑動區
  - 統計分析雨量資料與邊坡滑動案例
  - 歐美、澳洲等西方國家

針對國內區域性道路邊坡預警基準訂定

➡ 以分析雨量資料方法進行預警

- 規劃相關研究項目
  - 雨量空間分析
  - 雨量計裝設並自動回傳資料
  - 雨量入滲行為對淺層邊坡滑動影響模式建立

研究成果

- 崩塌事件資料彙整、建置分析
- 道路邊坡維護管理系統改版規劃
- 崩塌判定與預警基準之標準
- 道路邊坡雨量致災因子空間分析
- 崩塌規模評估與崩塌時間預測

計畫緣起 | 工作項目內容 | 研究成果 | 結論與建議

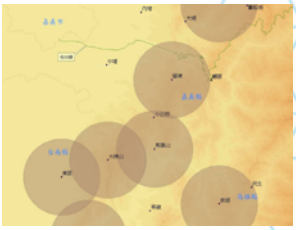
颱風降雨量空間分析—以中部山區為例

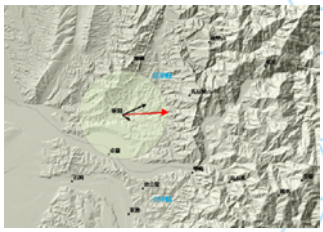
- 研究目的
  - 估算降雨空間中未知點之颱風降雨量
  - 正確量化雨量因子用於邊坡崩塌潛勢分析
    - 以現有內差方式不易準確預測某山區道路之降雨量
- 研究方法
  - 高斯過程
- 雨量資料蒐集
  - 為得知颱風侵台時山區道路可能的降雨分佈
    - 選取119個中部地區雨量站
  - 依雨量站位置與颱風侵台時之降雨分佈篩選出10個颱風
    - 賀伯、瑞伯、桃芝、納莉、娜克莉、敏督利、艾利、海棠、馬莎、泰利

Ecological and Hazard Mitigation Engineering Research Center 31

影響因子量化與選定－基本因子

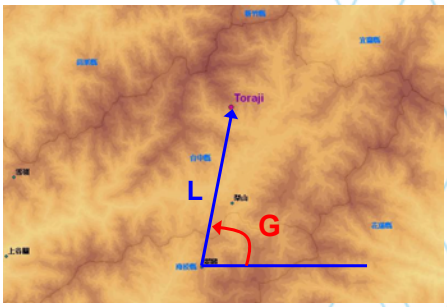
- 地形因子
  - 經度（X）
  - 緯度（Y）
  - 高程（Z）
- 圖資因子
  - 平均高程（mZ）
    - 雨量站為中心方圓5公里以內DEM點位之平均高程
  - 平均坡度（mS）
    - 雨量站為中心方圓5公里以內DEM點位之平均坡度





影響因子量化與選定－颱風因子

- 用途
  - 用於模型測試改進
- 分類
  - 相對距離（L）
    - 颱風中心與雨量站的距離
  - 相對角度（G）
    - 由正東逆時針轉至颱風中心的角度



高斯過程分析結果

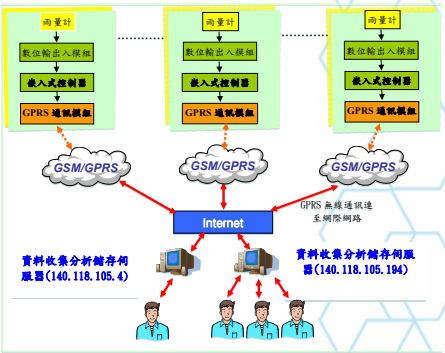
- 因子重要度
  - 經度X、緯度Y
- 預測誤差
  - 最高36.32%（賀伯）
  - 最低14.47%（敏督利）
- 預測誤差偏高之颱風
  - 賀伯、瑞伯、納利
    - 分析的雨量站較少
  - 娜克莉
    - 輸入之因子不能代表其降雨型態

因子 \ 颱風	賀伯 76個雨量站		瑞伯 79個雨量站		桃芝 80個雨量站		納莉 81個雨量站		娜克莉 117個雨量站	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	1.0796	3	0.1531	3	0.5776	2	1.0916	2	0.7928	2
Y	2.6178	1	1.542	1	0.6104	1	1.3753	1	1.8287	1
Z	1.0171	4	0.237	2	0.4514	3	0.2744	4	0.0486	4
mZ	0.6115	5	0.0305	5	0.0151	4	0.2856	3	0.0053	5
mS	1.2324	2	0.0485	4	0.058	5	0.2361	5	0.0693	3
預測誤差(%)	36.32		23.66		20.05		25.55		25.66	

因子 \ 颱風	敏督利 116個雨量站		艾利 115個雨量站		海棠 116個雨量站		馬莎 113個雨量站		泰利 113個雨量站	
	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序	γ	排序
X	0.5561	2	0.7907	2	0.6949	2	0.6351	1	0.0901	2
Y	1.6367	1	0.9625	1	2.1378	1	0.5469	2	0.9825	1
Z	0.0004	5	0.0094	4	0.0263	4	0.0091	5	0.0009	5
mZ	0.0818	3	0.0199	3	0.2294	3	0.4665	3	0.0111	3
mS	0.0437	4	0.0035	5	0.0186	5	0.018	4	0.007	4
預測誤差(%)	14.47		20.45		17.84		20.68		19.91	

運用格網技術補充觀測降雨資料

- 目的
  - 更密集的搜集雨量資料
  - 提供更準確之雨量量化數據
    - 雨量空間分析
    - 崩塌潛勢分析
- 雨量資料即時回傳
  - 目的
    - 降低監測成本
    - 減少人力
  - 回傳方法
    - GPRS

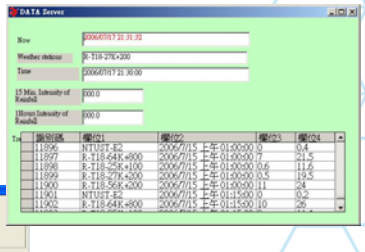


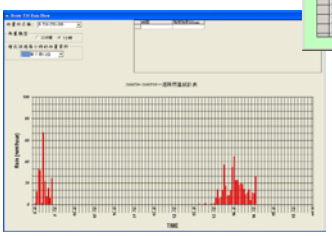
雨量計安裝成果

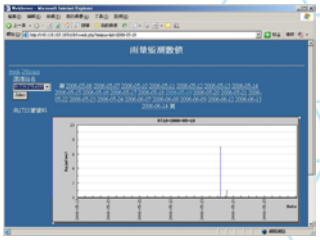
站名	高程(m)	二度分帶座標		設站日期
		X（m）	Y（m）	
R-T18-39K+300	466	209746	2592843	2006/6/17無線傳輸
R-T18-41K+700	534	211548	2592561	2005/3/31 Datalogger 2006/5/06無線傳輸
R-T18-54K+100	1232	214457	2591343	2006/6/17無線傳輸
R-T18-69K+900	1455	221501	2596053	2005/3/31 Datalogger 2006/6/17無線傳輸
R-T18-78K+600	1617	225331	2598781	2005/3/31 Datalogger 2006/6/17無線傳輸
NTUST-E2	49	303599	2767535	2006/5/06無線傳輸
R-T18-82K+300	1858	227035	2599508	2007/4/27 Datalogger
R-T18-90K+200	2278	229116	2599954	2007/4/27 Datalogger
R-T18-91K+300	2171	230281	2600208	2007/4/28 Datalogger
R-T18-95K+900	2275	231351	2598271	2007/4/28 Datalogger

即時雨量資料展示方式

- 收集於兩個伺服器上
  - VB6.0程式語言
  - JAVA語言

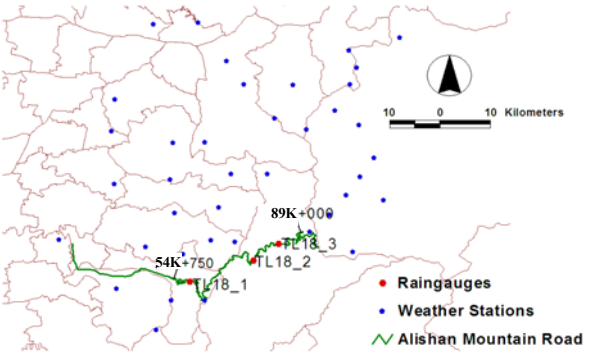






驗證反距離權種法(IDW)所估算之降雨量（1/2）

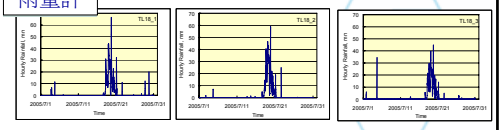
- 驗證用雨量計與氣象局雨量站之關係位置



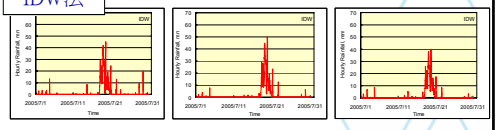
驗證反距離權種法(IDW)所估算之降雨量（2/2）

- 目的
  - 影響因子量化方法常以反距離權重法（IDW）進行
- 驗證方法
  - 利用41K+700、69K+900與78K+600三個雨量計鄰近之氣象局雨量站所測得之時雨量資料
  - 以IDW法求得此三個雨量計所在位置之時雨量與144小時累積雨量
- 結果
  - 由IDW法所估算之降雨量跟實際測得之降雨量結果相當一致

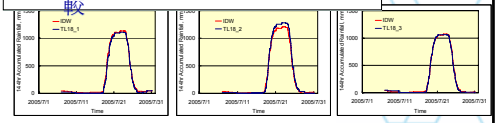
雨量計



IDW法



144小時累積雨量之IDW和雨量計比較



R-T18-41K+200 R-T18-69K+900 R-T18-78K+600

研究成果

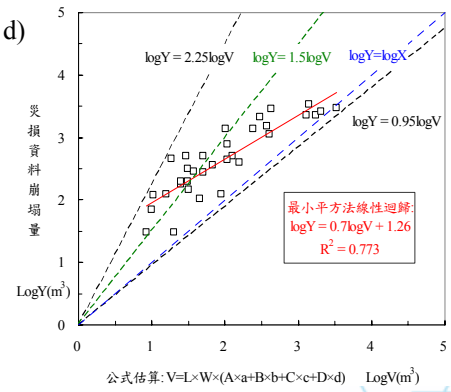
- 崩塌事件資料彙整、建置分析
- 道路邊坡維護管理系統改版規劃
- 崩塌判定與預警基準之標準
- 道路邊坡兩量致災因子空間分析
- 崩塌規模評估與崩塌時間預測

崩塌土方量之統計分析（1/3）

- 崩塌土方量簡化估算公式

$$V = L \times W \times (A \times a + B \times b + C \times c + D \times d)$$

  - L(m)：崩塌面長度
  - W(m)：崩塌面寬度
  - A(%)：短草比例
  - a(m)：短草平均根長
  - B(%)：長草比例
  - b(m)：長草平均根長
  - C(%)：喬木比例
  - c(m)：喬木平均根長
  - D (%)：灌木比例
  - d(m)：灌木平均根長

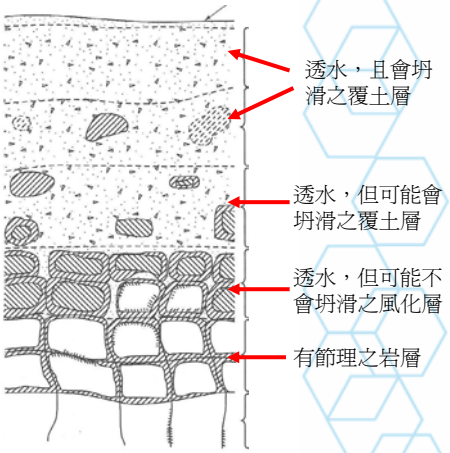


- 推估值與實際值之關係式

  logY=0.7logV+1.26

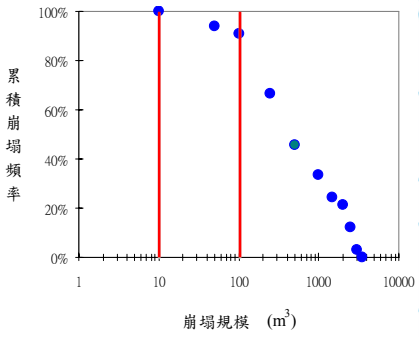
崩塌土方量之統計分析（2/3）

- 困難點
  - 無法確知「會滑落土層厚度」
  - 崩塌面之長度與寬度也不易事先預知（除非是再發型之滑坡）
- 解決辦法
  - 嘗試採用地球物理探測方式
    - 估計地形、地貌與覆土厚度之關係
    - 必要時以統計工具進行相關建置



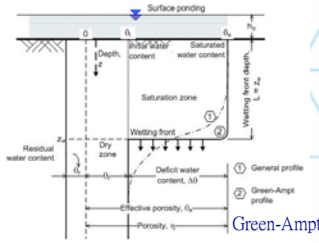
崩塌土方量之統計分析（3/3）

- 崩塌規模分級與崩塌頻率統計分析
  - 台18線統計筆數33筆
  - 崩塌規模分12級
    - >0m³, >10m³, >50m³, >100m³, >250m³, …., >3500m³
  - 累積崩塌頻率=各分級案例數÷總案例數
  - 最常發生之崩塌規模 10m³~100m³

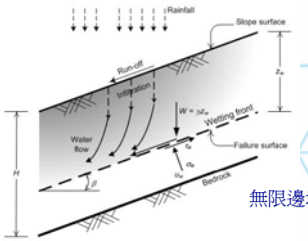


由降雨入滲行爲預測淺層邊坡破壞時間

- 分析模式建立
  - Green-Ampt滲流模式
  - 無限邊坡模式
- 以台18線之已崩邊坡作爲分析對象
- 雨量資料
  - 41K+700 之雨量計
  - 艾維尼、碧利絲、凱米颱風降雨量



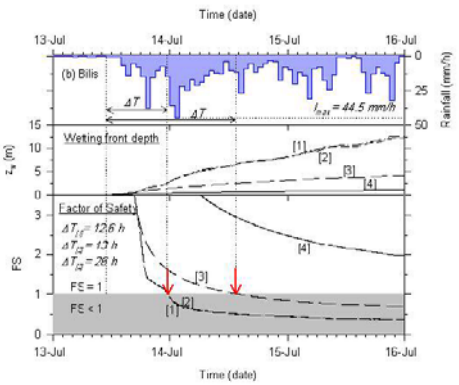
Green-Ampt滲流模式



無限邊坡模式

滲流對邊坡穩定之影響

- 高滲透性邊坡
  - 對象
    - 邊坡[1](k=360mm/h)
      邊坡[2](k=36mm/h)
  - 分析結果
    - 濕潤面深度較深
      - 破壞發生傾向於深度較深處
    - 破壞時間發生於最大降雨量發生之前
- 低滲透性邊坡
  - 對象
    - 邊坡[3](k=3.6mm/h)
      邊坡[4](k=0.36mm/h)
  - 分析結果
    - 濕潤面深度較淺
    - 破壞時間發生於最大降雨量發生之後
- ΔT時間內之持續降雨量爲驅動邊坡破壞之降雨量



臨界降雨量

- 在T_f時間之降雨量與累積降雨量
  - 臨界降雨量(Ic)
  - 累積臨界降雨量(Rc)
- 量化降雨量與累積降雨量

$$NAR = \frac{R(t)}{k_{sat} \cdot \cos\beta \cdot \psi_f \Delta\theta}$$ R(t)：累積降雨量

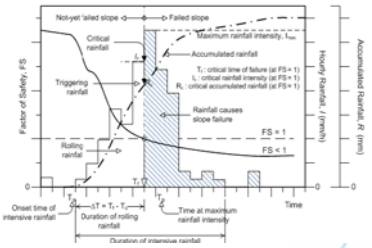
$$NRI = \frac{I(t)}{k_{sat} \cdot \cos\beta \cdot \psi_f \Delta\theta}$$ I(t)：降雨強度

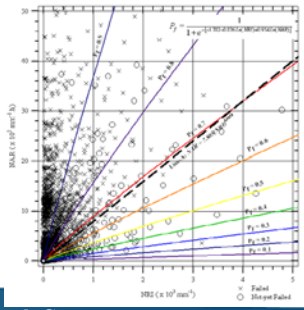
- 崩塌機率預測
  - 崩塌機率

$$P_f = \frac{1}{1+e^{-[-1.782-0.876\ln(NRI)+0.954\ln(NAR)]}}$$

  - 臨界雨量線(line-A)

$$NAR = 7.805(NRI)^{0.9875}$$





結論與建議

結論（1/2）

- 崩塌事件資料蒐集彙整
  - 完成台18線阿里山公路現地崩塌事件資料蒐集
    - 資料分類、致災因子量化作業
    - 建置於道路邊坡維護管理系統
  - 重新規劃改版道路邊坡維護管理系統架構
- 崩塌判定與預警基準之標準
  - 彙整歷年來交通部委託研究成果
    - 監測規劃與預警
  - 蒐集國內外預警基準訂定案例
    - 國內、日本、美國、澳洲
  - 採以「雨量」資料分析之間接方法進行預警基準之制訂
- 雨量致災因子空間分析
  - 高斯過程回歸分析颱風降雨量之空間分佈
    - 預測準確率有達60%以上
  - 裝設雨量計
    - 目前至今合計裝設共10個
    - 台18線39K+300、41K+700、54K+100…
    - 驗證IDW法所估算之降雨量
- 崩塌規模評估與崩塌時間預測
  - 建立崩塌規模簡化估算公式
    - 建立公式估算崩塌量與實際崩塌量之關係
  - 建立降雨入滲模式
    - 探討降雨入滲對邊坡之影響
    - 進一步預測邊坡崩塌時間

結論（2/2）

- 道路邊坡維修原則
  - 勿傷及用路人車
    - 上邊坡處理
  - 勿造成道路中斷
    - 上邊坡所致較易處理
    - 下邊坡所致較難處理
  - 預作準備
    - 排定維修順序、逐年維修
  - 盡量恢復道路暢通
    - 復舊工法研發

後續執行建議

- 道路邊坡現地歷史崩塌事件之相關資料蒐集，實為道路邊坡災害防治研究不可或缺之基本工作項目，因此後續計畫之執行仍應持續蒐集台灣各山區路段之崩塌資料。
- 建議明年度應落實建置重新規劃之道路邊坡管理系統，且持續將崩塌機率與崩塌時間預測等研究成果，建置於系統中，以利國內區域性道路邊坡崩塌監測預警自動化系統之開發。
- 本研究擬定後續研究方向以雨量因子為基礎，然為得到較完整之雨量資料，建議後續除台18線外，應於其他山區道路逐年建置雨量計，以期能準確的掌控台灣山區道路之降雨資料。
- 建議應於明年度於台18線埋設土壤含水量計，用以量測降雨入滲後對土壤含水量之影響，進而驗證或修正所建立之模式正確性。

簡報完畢
敬請指教
Nov. 14, 2007