96-20-7240
MOTC-IOT-95-H1DB004

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

中華民國 96 年 4 月

96-20-7240
MOTC-IOT-95-H1DB004

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

著者：蘇吉立、廖洪鈞、李維峰、陳天健
董家鈞、魏佳韻、何應璋

交 通 部 運 輸 研 究 所
中華民國 96 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究.（2/2）
/ 蘇吉立等著. -- 初版. -- 臺北市：交通
部運研所, 民96
面：　公分
參考書目:面
ISBN 978-986-00-9242-4（平裝）

1. 防災工程 - 管理 - 自動化

441.029　　96005987

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究 (2/2)

著　　者：蘇吉立、廖洪鈞、李維峰、陳天健、董家鈞、魏佳韻、何應璋
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96年4月
印 刷 者：福島實業有限公司
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：400 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組．電話：（02）23496880
國家書坊臺視總店：臺北市八德路3段10號B1．電話：（02）25781515
五南文化廣場：臺中市中山路6號．電話：（04）22260330

GPN：1009600750　　ISBN：978-986-00-9242-4（平裝）
著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

96 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

GPN：1009600750
定價　400 元

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究（2/2）</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
978-986-00-9242-4(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1009600750</td><td>運輸研究所出版品編號
96-20-7240</td><td>計畫編號
95-H1DB004</td></tr>
<tr><td>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
聯絡電話：04-26587114
傳真號碼：04-26564418</td><td colspan="2">合作研究單位：國立台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：李維峰、陳天健、董家鈞、魏佳韻、何應璋
地址：臺北市基隆路四段 43 號
聯絡電話：02-2727-6583</td><td>研究期間
自 95 年 01 月
至 95 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：坡地災害、緊急搶修、復建工程</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

臺灣地區道路邊坡崩塌災害之處置可分為緊急應變與復建兩階段，因社會意識與環境生態觀念逐漸受重視下，系統化的邊坡崩塌緊急搶修與災害復建技術發展，以及整體防治設計觀念，是必要的工具。

本計畫著重於建立崩塌潛勢分級觀念，並利用道路邊坡崩塌基本資料庫之建置，協助道路管理單位掌握各路段邊坡之崩塌特性，進而提供作為道路邊坡崩塌緊急搶修方案研究之基本資料。同時調查現有部分災損之擋土結構物案例，研擬災損擋土結構物功能評估準則與量化指標，以應即時搶修方案擬訂參考。此外，亦研發緊急搶修設計執行準則，將搶修方案延伸至復建階段方案，兼以考量交通、經濟、社會與生態因素，成為整體設計之崩塌防治對策。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>96 年 4 月</td><td>330</td><td>400</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">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</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

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

TITLE: **Integrated Short-Term Repairing and Long-Term Rehabilitation Measures for Road Slopes (2/2)**

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-00-9242-4 (pbk)	1009600750	96-20-7240	95-H1DB004

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 2006
TO December 2006

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

KEY WORDS:
Road slope failure, emergency repairing, rehabilitation engineering

ABSTRACT:

Typically, the remedial measures taken to deal with the road slope failures in Taiwan can be grouped into two categories: the short-term measures and the long-term measures. Quite often, both measures are not in line with each other. Consequently, one slope failure may be repeatedly treated for more than one time. Money is unnecessarily wasted. It is necessary to integrate the slope stabilization measures taken to secure short-term and long-term stability for a particular slope failure to meet the economical and ecological concerns.

The scopes of this research are as follows: 1. Establish a system for grading the road slope failure. 2. Use the slope database to assist the road maintenance departments to evaluate the stability status of slopes at different road sections and to generate possible measures for short-term slope stability. 3. Establish a system for evaluating the stabilization performance of existing slope structures and prepare a priority list for maintenance or repairing. 4. Set up guidelines for emergency repairing and the subsequent rehabilitation of failed road slopes with the considerations of traffic, economic, social, and ecological factors.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
April 2007	330	400	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ▨UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究（2/2）

目　錄

中文摘要表.....I
英文摘要表..... II
目錄..... III
表目錄.....VII
圖目錄.....IX
第一章　緒論 1-1
第二章　崩塌搶修至復建階段之系統化防治對策 2-1
第三章　災前預防階段..... 3-1
3.1 基本資料調查作業.....3-1
3.2 資料彙整建置.....3-3
3.2.1 道路邊坡維護管理系統架構.....3-4
3.2.1.1 使用者資料.....3-6
3.2.1.2 邊坡基本資料.....3-7
3.2.2 道路邊坡維護管理系統輸出功能成果展示 3-30
3.2.2.1 報表輸出功能.....3-31
3.2.2.2 統計分析功能.....3-34
3.2.3 道路邊坡維護管理系統查詢功能展示 3-35
3.2.3.1 代碼查詢功能.....3-35
3.2.3.2 地圖查詢功能.....3-37
3.3 道路邊坡崩塌潛勢分析.....3-44
3.3.1 檢討既有道路邊坡崩塌潛勢分析方法 3-44
3.3.1.1 高斯過程分析與其他方法之比較 3-44
3.3.1.2 高斯過程分析之細節.....3-45
3.3.2 崩塌因子量化與選定.....3-48

3.3.2.1 基本因子（詳圖 3-54） 3-50
3.3.2.2 變動因子 3-55
3.3.2.3 誘發因子 3-56
3.3.3 道路邊坡崩塌潛勢分析 3-59
3.3.3.1 各階段預測模式介紹 3-60
3.3.3.2 各階段預測模式建立 3-61
3.3.3.3 各階段預測模式之應用 3-63
第四章 災中搶修階段 4-1
4.1 搶修階段維護問題與現況 4-1
4.2 道路搶通作業階段 4-3
4.3 道路搶修作業階段 4-7
第五章 災後復建階段 5-1
5.1 既有擋土結構物功能評估 5-1
5.1.1 擋土結構物功能評估因子 5-1
5.1.1.1 噴漿護坡、打樁編柵工法 5-2
5.1.1.2 砌石擋土牆、重力式擋土牆及懸臂式擋土牆等工法 5-2
5.1.1.3 加勁擋土工法 5-3
5.1.1.4 地錨擋土牆工法 5-4
5.1.2 擋土結構功能分級評估模式 5-5
5.1.2.1 功能尚可 5-5
5.1.2.2 局部損壞 5-5
5.1.2.3 功能喪失 5-6
5.1.3 功能評估方 5-6
5.1.3.1 目視檢查法 5-6
5.1.3.2 調查分析法 5-7
5.1.3.3 儀器監測法 5-7
5.1.4 定量化道路邊坡災損擋土結構物功能評估方法 5-8
5.1.4.1 噴漿護坡工法 5-8

5.1.4.2 砌石、重力式、懸臂式等擋土工法 5-9
5.1.4.3 加勁擋土工法.....5-10
5.1.4.4 噴漿護坡工法.....5-11
5.1.5 災損擋土結構物處理對策研擬.....5-13
5.1.5.1 處理對策研擬前之調查分析 5-13
5.1.5.2 災害處理對策研擬.....5-17
5.2 復建工作規劃與執行.....5-23
5.2.1 邊坡整治考量因子.....5-23
5.2.1.1 邊坡穩定特性.....5-24
5.2.1.2 土地利用特性.....5-25
5.2.1.3 經濟特性.....5-28
5.2.1.4 其他設計限制.....5-30
5.2.2 道路邊坡崩塌二次災害類型分析.....5-32
5.2.2.1 噴凝土護坡邊界之破壞擴張 5-32
5.2.2.2 高邊坡滑坡之向上破壞擴張 5-33
5.2.2.3 河流之坡腳侵蝕.....5-34
5.2.2.4 明隧道兩端上邊坡之破壞擴張 5-36
5.2.3 邊坡崩塌致災因子分析.....5-37
5.2.4 道路邊坡崩塌復建整治需求評估模式 5-39
5.2.4.1 整治工法需求設計評量指標 5-39
5.2.4.2 整治工法需求設計評估模式 5-43
5.2.4.3 整治工法需求潛勢圖繪製.....5-49
5.2.5 道路邊坡崩塌及土石流復建技術之研究 5-52
5.2.5.1 道路邊坡崩塌整治工法.....5-52
5.2.5.2 土石流防治工法.....5-54
5.3 監測規劃與執行.....5-59
5.3.1 監測規劃與預警.....5-59
5.3.1.1 落石之監測規劃與預警（圖 5-26） 5-64

5.3.1.2 土石流之監測規劃與預警（圖 5-27）.....5-66
5.3.1.3 地滑之監測規劃與預警（圖 5-28）.....5-69
5.3.1.4 人工保護邊坡監測與預警.....5-72
5.3.1.5 道路邊坡監測預警管理值制定.....5-72
5.3.2 監測規劃考量因素與步驟.....5-74
第六章　道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研究.....6-1
第七章　研究成果應用講習會.....7-1
第八章　結論與建議.....8-1
8.1 結論.....8-1
8.2 建議.....8-3
期中審查委員意見暨辦理概況.....附錄 A
期末審查委員意見暨辦理概況.....附錄 B
專家座談會意見暨辦理概況.....附錄 C
道路邊坡崩塌防治工法介紹.....附錄 D
示範路段研究成果驗證.....附錄 E
道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊.....附錄 F
期末簡報.....附錄 G

表 目 錄

表 3-1 道路邊坡維護管理系統填報欄位彙整表 3-4
表 3-2 影響因子及量化範圍 3-59
表 3-3 各階段預測模式建立所使用之分析資料 3-63
表 5-1 國內常見護坡擋土結構物之主要功能評估因子 5-5
表 5-2 不同功能評估方法之優缺點比較（廖瑞堂，2001） 5-8
表 5-3 噴漿護坡工法功能評估與分級評分模式 5-9
表 5-4 砌石、重力式、懸臂式等擋土結構功能評估與分級評分模式 5-10
表 5-5 加勁擋土結構功能評估與分級評分模式 5-11
表 5-6 地錨擋土結構功能評估與分級評分模式 5-12
表 5-7 土壤邊坡穩定分析方法 5-14
表 5-8 岩石邊坡穩定分析方法 5-15
表 5-9 擋土壁穩定分析之安全係數建議表 5-16
表 5-10 常見的坡地災害與因應之處理對策 5-18
表 5-11 道路邊坡穩定研究選用因子之比較 5-38
表 5-12 環境基本條件評分表 5-40
表 5-13 調查區域點位之年平均崩塌次數分佈情形 5-43
表 5-14 穩定工法需求評分表 5-46
表 5-15 排水工法需求評分表 5-43
表 5-16 整治工法設計需求評分表 5-44
表 5-17 防治工法最佳化設計需求評分表（續） 5-45
表 5-18 整治工法處理對策建議表 5-46
表 5-19 臺 18 線 31.6k 環境基本條件評分表 5-46

表 5-20　臺 18 線 31.6k 穩定工法需求評分表 5-47
表 5-21　臺 18 線 31.6k 排水工法需求評分表 5-47
表 5-22　臺 18 線 31.6k 防治工法需求評分表 5-48
表 5-23　臺 18 線防治工法處理對策建議表 5-49
表 5-24　道路邊坡監測分類以及與預警方法建議 5-61
表 5-25　日本高速道路調查會地滑之判定基準(1986) 5-63
表 7-1　坡地及橋梁防救災研究系列之成果說明與應用訓練課程表 7-3

圖 目 錄

圖 3-1 道路邊坡維護管理系統畫面 3-5
圖 3-2 道路邊坡維護管理系統資料庫架構圖 3-5
圖 3-3 個人資料維護界面 3-6
圖 3-4 使用者資料搜尋與新增功能界面 3-7
圖 3-5 使用者權限管理界面 3-7
圖 3-6 道路基本資料管理界面 3-8
圖 3-7 邊坡資料管理架構圖 3-9
圖 3-8 自然環境資料庫之搜尋與新增功能界面 3-10
圖 3-9 自然環境資料庫內之基本資料填報界面 3-10
圖 3-10 自然環境資料填報界面 3-11
圖 3-11 圖說影像資訊界面 3-12
圖 3-12 岩石邊坡崩塌型態五大分類之系統界面 3-13
圖 3-13 岩石邊坡傾倒型態典型示意照片 3-13
圖 3-14 岩石邊坡岩屑傾覆相關示意圖及類型描述界面 3-14
圖 3-15 工程資料庫之搜尋與新增功能界面 3-15
圖 3-16 工程資料庫之維護工程紀錄界面 3-16
圖 3-17 整治工法五大分類之系統界面 3-17
圖 3-18 植生工法各項分類之典型示範案例 3-17
圖 3-19 噴凝土護坡工法定義及標準圖說界面 3-18
圖 3-20 工程資料庫中之工程明細資料界面 3-19
圖 3-21 工程資料庫中之施工照片填報界面 3-20
圖 3-22 災損資料庫之搜尋與新增功能界面 3-20
圖 3-23 災損資料庫之搶修工程紀錄界面 3-21

圖 3-24　災損資料庫之通報紀錄界面 3-22
圖 3-25　巡檢資料庫之搜尋與新增功能界面 3-23
圖 3-26　巡檢資料庫之巡檢種類與照片載入界面 3-24
圖 3-27　巡檢資料庫之擋土結構物檢查界面 3-25
圖 3-28　巡檢資料庫之護坡設施檢查界面 3-25
圖 3-29　巡檢資料庫之排水設施檢查界面 3-26
圖 3-30　監測儀器資料庫之搜尋與新增功能界面 3-27
圖 3-31　監測儀器資料庫填報界面 3-28
圖 3-32　監測儀器三大分類之系統界面 3-29
圖 3-33　應力監測之各項分類之安裝照片 3-29
圖 3-34　土壓力計之示意圖與定義界面 3-30
圖 3-35　監測儀器資料庫之即時監測資料瀏覽界面 3-30
圖 3-36　報表輸出之結構物功能檢查表界面 3-31
圖 3-37　結構物功能檢查表輸出畫面 3-32
圖 3-38　報表輸出之工程明細表界面 3-32
圖 3-39　工程明細表輸出畫面 3-33
圖 3-40　報表輸出之災損工程經費明細表界面 3-33
圖 3-41　災損工程經費明細表輸出畫面 3-34
圖 3-42　統計分析界面與坡向統計圖 3-35
圖 3-43　道路邊坡維護管理系統工具列之代碼查詢功能界面 3-36
圖 3-44　土石流整治工法四大分類之系統界面 3-36
圖 3-45　土石流整治工法之誘發防止工相關照片界面 3-37
圖 3-46　縣市屬性查圖搜尋界面 3-38
圖 3-47　特定點位道路工程資料查詢界面 3-39
圖 3-48　資料屬性查圖搜尋成果界面 3-40

圖 3-49　編碼屬性查詢界面 3-41
圖 3-50　特定防治工法搜尋成果界面 3-41
圖 3-51　邊坡路段產生與重繪功能查詢界面 3-42
圖 3-52　圖面查詢邊坡資料界面 3-43
圖 3-53　災損經費累積統計分佈圖 3-44
圖 3-54　基本因子示意圖 3-50
圖 3-55　坡度因子示意圖 3-51
圖 3-56　臺 18 線沿線地質圖 3-52
圖 3-57　臺 21 線沿線地質圖（改編自中央地調所） 3-52
圖 3-58　地質構造示意圖 3-53
圖 3-59　風化及破碎程度示意圖 3-54
圖 3-60　GIS 建置之集水區面積圖 3-55
圖 3-61　道路開闢因子示意圖 3-56
圖 3-62　GIS 建置之 PGA 分佈圖 3-57
圖 3-63　GIS 建置之區域雨量分佈圖 3-58
圖 3-64　分階式山區道路邊坡崩塌預測模式 3-60
圖 4-1　崩塌裸坡加蓋帆布防止二度沖刷 4-1
圖 4-2　崩塌坡面上方截排水設施 4-2
圖 4-3　簡易監測儀器－人工記讀裂縫計 4-3
圖 4-4　簡易監測儀器－地表沉陷觀測點 4-4
圖 4-5　基本資料調查欄位 4-4
圖 4-6　災害狀況調查欄位 4-5
圖 4-7　地形與地質及植被與土地利用狀況調查欄位 4-5
圖 4-8　保全對象調查欄位 4-6
圖 4-9　災害簡述及建議調查欄位 4-6

圖 4-10　照片及說明調查欄位 4-7
圖 5-1　擋土結構物功能性評估分級與災害處理對策流程圖 5-17
圖 5-2　道路位於斷層破碎帶而產生邊坡不穩定情形 5-19
圖 5-3　野溪爆發土石流而造成道路中斷 5-22
圖 5-4　道路改線採架橋方式通過野溪 5-23
圖 5-5　宜蘭縣市境內臺 9 線、等高線與水系圖之套疊 5-27
圖 5-6　宜蘭縣市境內臺 9 線、水系與地質圖圖之套疊 5-27
圖 5-7　臺 18 線 65k+000 處上邊坡照片 5-32
圖 5-8　臺 18 線 65k+000 處上邊坡坡趾照片 5-33
圖 5-9　高邊坡向上擴張破壞機制示意圖 5-33
圖 5-10　臺 18 線 28k+100 處上邊坡遠照 5-34
圖 5-11　臺 18 線 28k+100 處上邊坡近照 5-34
圖 5-12　臺 18 線 58k+100 處上邊坡照片 5-35
圖 5-13　臺 18 線 58k+100 處下邊坡照片 5-35
圖 5-14　臺 21 線 111k+500 處上邊坡照片 5-36
圖 5-15　臺 21 線 111k+500 處邊坡照片 5-37
圖 5-16　臺 21 線 111k~112k 處河床照片 5-37
圖 5-17　年平均崩塌次數柱狀圖 5-41
圖 5-18　臺 18 線穩定工法需求統計圖 5-48
圖 5-19　臺 18 線排水工法需求統計圖 5-49
圖 5-20　資料系統同時以空間及屬性資料呈現畫面 5-51
圖 5-21　臺 18 線山區道路排水整治工法需求潛勢圖 5-51
圖 5-22　邊坡穩定工法之分類 5-53
圖 5-23　土石流流動部之治理方法實例（雲林縣古坑鄉華山） ...5-57
圖 5-24　南投縣信義鄉豐丘之格子式壩 5-58

圖 5-25　監測規劃流程圖 5-60
圖 5-26　落石邊坡崩塌監測規劃示意圖 5-66
圖 5-27　土石流監測規劃示意圖 5-69
圖 5-28　地滑邊坡監測規劃示意圖 5-71
圖 5-29　道路邊坡崩塌監測管理值制定建議程序 5-73
圖 6-1　防治操作手冊規劃流程圖 6-1
圖 7-1　研究成果應用講習上課實況 7-1
圖 7-2　研究成果應用講習系統操作實況 7-1

第一章　緒論

道路建設為我國交通工程建設之主要項目，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，甚至確保國防安全等均有關鍵性之影響。

由於臺灣地區位於板塊活動劇烈之環西太平洋地震帶上，活躍的造山運動，造成臺灣有將近四分之三的土地為山地區域，因此，除山高水深且地質脆弱外，於颱風、豪雨與地震之侵襲下，道路邊坡崩塌之狀況頻繁。然而，由於經濟發展與人口成長，造成對於土地資源之需求日益迫切，都會區發展亦逐漸朝向山地區域，道路逐漸扮演重要維生系統之角色。道路邊坡之崩塌除造成交通阻斷與經濟損失外，若不妥善處置，極易引發社會問題與破壞環境生態，無形中導致國家及社會成本之浪費。

九二一地震後，中部山區道路邊坡損害極為嚴重，直至目前仍有部分路段尚未完全復原，令工程界深刻體認邊坡崩塌對道路運輸所造成的影響，同時，亦體認到提昇道路邊坡崩塌防治技術對維護道路運輸的重要性。有鑑於此，交通部於八十九年即針對交通、土木建設、安全科技等相關領域進行有系統的研究規劃，其中並包括「提昇臺灣地區道路邊坡崩塌防治技術」之中程研發課題，訂定四年期間之執行要務為：整理統計九二一地震中各類邊坡災害損失案例，以進行臺灣地區道路邊坡崩塌發生機制、相關因子、潛勢分析模式之建立與各類防治工法的效益評估等工作，同時也對大型邊坡及擋土設施的力學行為進行監測工作，以驗証邊坡破壞分析模式之適宜性，並予以必要之修正。此外，針對道路邊坡調查所得之統計分析結果，也將彙整至臺灣地區邊坡防治工法暨災害類型等資料庫，將道路之維修做時間和空間上之縱向彙整，俾使日後在規劃及設計道路邊坡整治工程能有所依據，達到節省時間、人力及物力等之效果。

傳統上，臺灣道路管理單位對於道路之崩塌災害處置可分為緊急搶修與復建兩個主要階段。在緊急搶修階段，其重點多以維持交通順暢

為主，而復建階段則多以民生和經濟成本為考慮因素。但近年來因社會意識與環境生態觀念之抬頭，對於提升用路人安全、增加環境景觀、減少交通阻斷時間，以及維護自然生態等考量，已有凌駕經濟因素之趨勢，也使得山區道路之維護變得日益複雜，因此，為確實減少道路闢建所可能產生之負面效應，有必要以整體防治設計之觀念來發展一套系統化的邊坡崩塌緊急搶修與災害復建技術。

另一方面，臺灣山區道路邊坡崩塌區域災害之復發性高，若能對現有山區道路邊坡崩塌狀況與其防治工法進行調查與整合，並詳細建置崩塌災害之基本資料、災害原因與災害規模等基本背景資料，即可於災害發生前掌握崩塌狀況，先行警戒保護用路人；災中可先預測災害規模及型態、評估既有擋土結構物擁有之擋土功能，以及降低對生態環境之衝擊等，亦能於短時間內即擬訂較為完善之搶修方案，遏阻崩塌災害蔓延；同時，也可提供復建階段之整治工程與監測預警規劃執行之參考依據，以降低復建工程之社會與經濟成本，此一崩塌防治觀念可稱為系統化之邊坡崩塌防治技術觀念。

基於上述之觀念，本研究計畫擬整合近年來之研究成果，研擬道路邊坡崩塌緊急搶修至復建整治階段一體考量之系統化防治對策與其防治操作手冊，其目的在於加強現場人員災變緊急處理能力、遏阻崩塌後之二次災害損失，以及維護用路人及現場工程師之安全，並進一步實施適當之工程處置，以有效降低邊坡崩塌或處置不當對環境之衝擊，以及社會、經濟與生態之損失。

第二章　崩塌搶修至復建階段之系統化防治對策

道路邊坡崩塌災害搶修、復建之防治對策研擬，除了需將國土永續發展、整治工程規劃執行，以及資源統合運用之外，防救災體系之調整也是一項重要的考量因素。崩塌災害發生之後，包括自然環境、人為防災設施，以及救災路線都會有明顯變動，例如七二水災後，各大河川受創流域河道的淤積、變動與坡地的崩塌、沖刷等自然環境的改變，各地防災設施如堤防的損毀，以及道路與橋梁的中斷與受損等。這些變動對後續防救災功能之影響，都應於往後復建工作的規劃中，予以審慎考量並回饋於防救災體系之調整。

政府防救災體系相關單位自九二一地震後即積極著手規劃建置颱風、土石流、洪氾與地震等大型天然災害之防救災體系，其中包括在軟、硬體上都投入相當可觀的人、物力與經費。然九二一地震後的桃芝、納莉，甚至敏督利等一連續的風災，對相關防救災體系的建置與運作給予相當嚴厲的考驗，但卻也是最佳的學習與調整經驗。以民國九十三年敏督利颱風所引致之七二水災而言，雖然在居民人命損失與危險區域的緊急疏散撤離工作上，現有之防救災體系確有發揮相當功效，但在面臨短時間內無法復原之自然環境與設計施工條件驟變的工程環境，反觀目前的防救災體系與災害防治對策實有其調整之必要性。

有鑑於此，道路邊坡崩塌緊急搶修至復建之系統防治對策規劃，主要應包含災前預防、災中搶修，以及災後復建等三階段：

1. 災前預防階段

災前階段主要之考量在於預防災害之發生，其主要之處理對策在於例行性之維護管理作業、既有資源整合管理，以及防治技術等，故此階段之執行，主要透過平日的調查作業，結合基本、巡查、災損等相關資料之記錄彙整，進行可能災害之預測，用以瞭解災害防治之重點，並回饋防救災工作規劃調整。

2. 災中搶修階段

災中階段之主要考量在於迅速維護或恢復交通，並防止二次災害之發生，故其主要之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，若能透過簡易之監測儀器配置，確實掌控災情，並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。

3. 災後復建階段

災後復建階段之對策考量，主要在於穩定邊坡，以及恢復道路原有之通車功能，故完整的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、評估、執行，以及研擬中、長期監測預警規劃等。

傳統上，臺灣道路管理單位對於道路之崩塌災害處置分為緊急搶修與復建兩個主要階段，其多以維持交通順暢與經濟成本為考慮因素。然在此兩大考量因素下，往往搶救災作業大多僅考量災情，以復原原有設施為整治標準，對於災後自然環境的改變與短時間內再有災害發生的抗災、救災功能皆無完善的考量，更遑論對國土保安進行整體通盤的規劃。

有鑑於此，擬訂較為完善之搶修復建方案，遏阻崩塌災害蔓延，同時於無形中降低復建之社會與經濟成本，實為當務之急。故本報告將依據上述三階段之作業流程，彙整納入交通部近幾年來之相關研究成果，研擬系統化之邊坡崩塌防治對策，期擬此項成果可降低現地二度災害之發生，並使現今有限之資源發揮其最大之效益。

第三章　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。本章節以下內容則將依據基本資料調查作業、資料彙整建置，以及崩塌潛勢分析等三大項，敘述災前預防階段應執行之項目。

3.1　基本資料調查作業

為了確保公路各項設施之完善, 行車駕駛舒暢安全及維持路容整潔美觀，交通部頒布之「公路養護手冊」中明訂各級公路之養護單位必須確實執行養路巡查工作，以隨時瞭解公路狀況，並填具巡查報告表進行陳報。其巡查之方式依據時效，主要分為：

1. 經常巡查

經常巡查可分為日間與夜間兩項，原則上以二人為一組，並攜備適當之器具，共乘一部巡查車，從車上以目力檢視公路各種狀況。若發現有疑惑時，應下車詳查。有關鋪面、橋面、伸縮縫等之檢查，可憑車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷公路之實況。

2. 定期巡查

定期巡查除利用巡查車輛外，必要時以徒步或攀登方式，盡可能接近公路設施，作較詳盡之檢查，以鑑定設施之安全情形。

3. 特別巡查

在颱風來臨前後，豪雨、洪水、地震或重大交通事故後，立即對公路構造物作詳細檢查。尤應注意河川橋梁基礎有無沖刷、淘空、產生裂縫或位移等情事，並應詳予記錄洪水位，作為日後

修復或改建工程之依據。

然除上述於公路養護手冊中訂定之養路巡查外，為確實記錄道路沿線邊坡之現況，亦擬建請工程人員於巡查作業時，同時記錄完整之道路相關資料。道路相關資料之蒐集除應包含各工程或管理單位現階段已建置之工程資料外，亦應蒐集相關災損搶救及歷年維護等相關工程資料。然相關資料欄位之擬定，主要參酌坡地災害基本資料蒐集調查表（國家災害防救科技中心)、山崩破壞災害風險評估表（農委會水土保持局－「治山防災績效及風險評估」）等相關表格，並依現地實際需求經適度擴充、整合與修正，俾便本項調查作業之執行。其相關資料與建置之欄位內容彙整說明如下：

1. 道路基本資料

包括：管理單位、道路編號、里程（樁號)、地點、道路等級及道路寬度等，可提供各等級道路易崩塌路段之基本資料。

2. 歷次維護防治及崩塌搶修狀況

記錄歷次道路邊坡維護整治及災損搶修復件之工程資料，包括：工程名稱、工程種類、工期、總經費、工程項目、數量、及工程經費（搶修費、修復及維護費、興建費）等。

3. 崩塌災害發生記錄

記錄造成道路邊坡崩塌發生之相關資料，包括：崩塌時間、發生當時天候、破壞前累積雨量、降雨強度、崩塌描述、可能原因、災害描述，與維護及災損復救照片等。

4. 現有防治工程概況

提供道路邊坡現有防治工程與建設及其周邊之概況資料，包括：工程名稱、工程種類、上下邊坡土地利用情形、防治工程種類及整治成效等。

5. 現有防治工程項目與經費

提供道路邊坡現有防治工程與設施項目及經費資料，包括：

數量、及工程經費（搶修費、修復及維護費、興建費）等。

6. 現址地形、地質、水文及工程狀況

提供道路邊坡現地相關環境資料，包括：GPS 座標、高程、鄰近氣象站名、地形資料、邊坡地質條件、邊坡水文條件、工程狀況及其他現地勘查記錄等。

3.2 資料彙整建置

由於道路邊坡崩塌狀況與其防治對策研擬，需調查建置詳細之道路邊坡自然環境、工程整治現況，以及崩塌災害之基本資料、成因與規模等相關背景資料，然為了彙整現地調查與蒐集所得龐雜的邊坡自然環境、道路整治工程、崩塌災害歷史等相關資料，特別針對了道路邊坡資料點位之空間分布特性與資料內容的複雜性，使用微軟 Access 資料庫系統與地理資訊系統之 Arc GIS 程式相互連結，開發建置了一套臺灣本土山區道路專屬之道路邊坡維護管理系統（Slope Management System, SMS）。其特色包括：

1. 資料建置格式化、數位化與系統化

應用崩塌型態與防治工法分類編碼系統，將現場調查成果格式化與數位化建置於電腦資料庫中，使調查資料的彙整與保存系統化。

2. 資料展示空間化

結合了資料庫系統與地理資訊系統（Geological Information System，GIS），將自然資料如坡度、地質、水系、崩塌地與地表調查成果以 GIS 程式展示，使資料庫的展示具空間，不再是單一點位的展示，而是涵蓋邊坡點、線、面的空間展示。此一特色可使邊坡各類災害潛勢與空間關係的分析更具效率。

3. 方便未來進行各種量化與統計分析

運用資料庫格式化功能將各點位資料自動編碼，將各項資料予以數位化，方便未來進行各種量化與統計分析。

4. 各類資料可以進行跨資料庫之橫向查詢

依據邊坡各項資料屬性，於資訊開放平臺上建置邊坡基本資料、工程建設、災損維護、工程巡檢以及監測儀器五項資料庫，各項資料庫的填報除力求使用者便利化（User Friendly）外，各類資料也可於開放平臺中進行連接，使道路邊坡維護管理系統可以進行跨資料庫之查詢。

此套系統主要規劃使用者資料、邊坡基本資料，以及輸出功能等三大部分。透過此系統可協助道路管理單位掌握山區道路邊坡之崩塌特性，進而提供作為道路邊坡崩塌緊急搶修方案研究之基本參考資料。

3.2.1 道路邊坡維護管理系統架構

目前系統所填報之相關欄位詳見表 3-1（系統工具列詳見圖 3-1），系統之架構如圖 3-2，依據各類資料屬性可以將系統架構分為使用者資料、邊坡基本資料，以及輸出功能等三大部分。

表 3-1 道路邊坡維護管理系統填報欄位彙整表

MIX_邊坡基本資料	NTR_自然環境資料	ENG_工程資料	DSS_災損資料	CHK_巡檢資料	MON_監測儀器資料
SlopeID	SlopeID	SlopeID	SlopeID	SlopeID	SlopeID
管理單位	GPS_X	承辦人	災害名稱	巡檢種類	安裝單位
填表人	GPS_Y	發包執行年度	災害種類	事件類型	安裝日期
填表日期	GPS_Z	總工程經費	損壞情形	事件類型其它備註	安裝經費
道路名稱	坡向	工程名稱	工程名稱	巡檢日期	量測單位
起點里程MIS	坡形	工程起日	工程起日	巡檢人員	初始量測日期
訖點里程MIS	坡度	工程訖日	工程訖日	現況描述	監測儀器
紀錄長度M	區位	工程種類	工程種類	後續處理情形	現場照片
起點里程GIS	地質構造	道路等級	發包執行年度	結構物種類 (擋土/護坡/排水)	
訖點里程GIS	地質構造其它備註	道路坐落	總工程經費	結構物檢查項目與結果	
資料種類	岩層層態	道路寬度M	承辦人	巡檢照片	
UpdateUser	岩層層態其它備註	車道數	承包商		
UpdateTime	岩盤種類	土地利用_上邊坡	災害地點補述		
	岩盤種類其它備註	上邊坡其它備註	原因		
	覆蓋層情形	土地利用_下邊坡	通報人		
	覆蓋層情形其它備註	下邊坡其它備註	發生時間日		
	年度降雨量	整治方法	發生時間時		
	地下水滲流	整治成果	發生時間分		
	地面排水	整治不良原因	通報時間日		
	地盤材料	整治維持時間	通報時間時		
	崩塌代碼	修護範圍_長M	通報時間分		
	坡面風化程度	修護範圍_寬M	災害程度		
	坡趾開挖	修護範圍_高M	交通阻斷情形		
	坡頂荷重	工程明細	傷		
	挖填方情形	施工照片	亡		
	邊坡維護		失蹤		
	圖說影像		現場狀況		
			備註		
			災損明細		
			災損照片		

圖 3-1　道路邊坡維護管理系統畫面

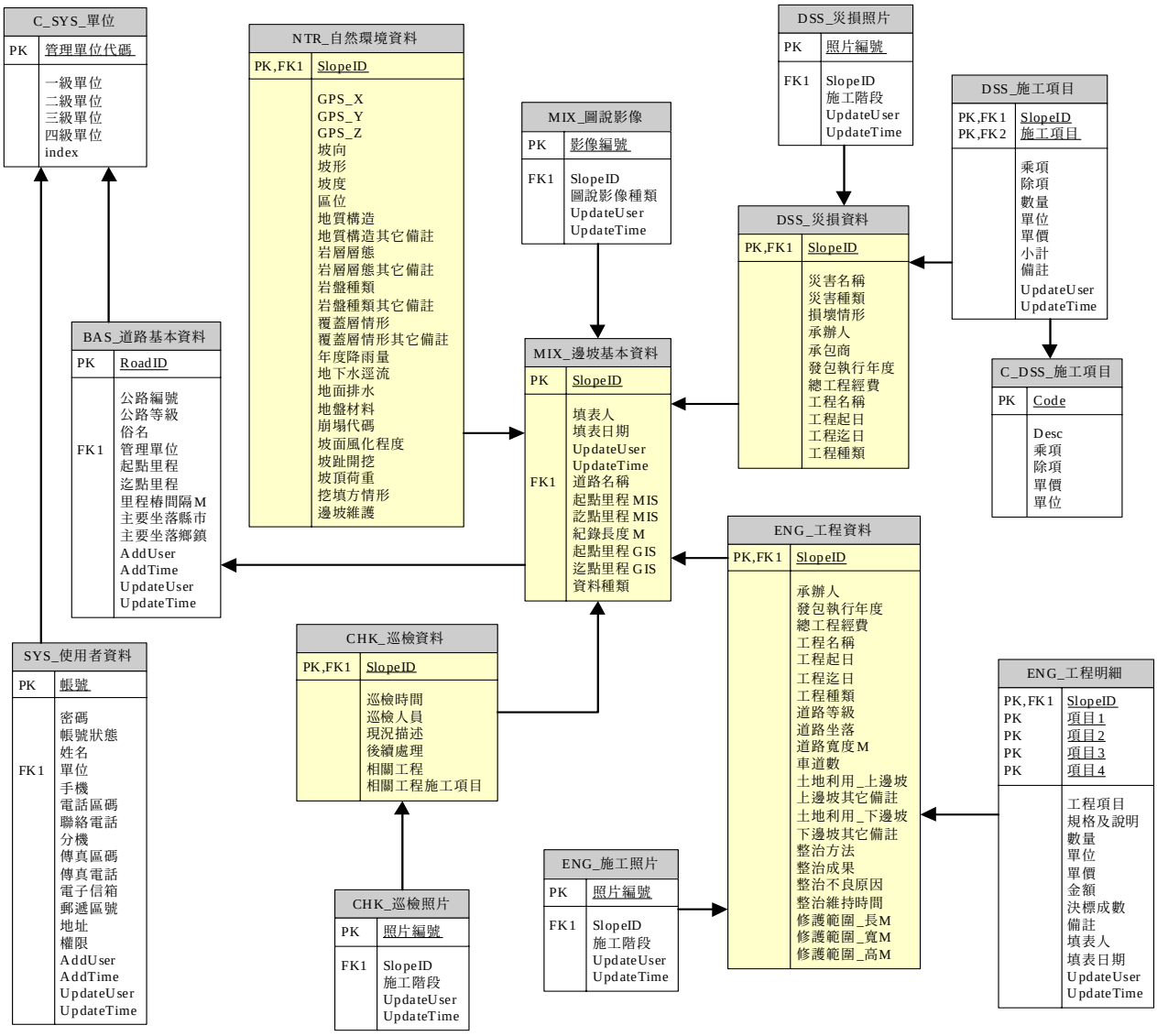


圖 3-2　道路邊坡維護管理系統資料庫架構圖

3.2.1.1 使用者資料

道路邊坡維護管理系統依據資料屬性, 建置於使用者資料下之內容主要包括個人資料維護與使用者權限管理二大類。其中，個人資料維護部分，主要是提供使用者在進入系統使用前，可針對系統管理者先前建置完成之使用者個人相關資料，如使用者之姓名、系統帳號、密碼、所屬單位資料、聯絡方式（如電話、傳真號碼、手機、E-mail、聯絡地址）等，進行確認與修改作業，詳見圖 3-3。

圖 3-3　個人資料維護界面

至於使用者權限管理部分，除可以進行新增使用者相關作業，以及瀏覽到系統現已建置完成之各使用單位之工程人員資料外，亦可透過搜尋功能，進行使用人員資料之查詢作業（詳圖 3-4）。然除此上述功能之外，使用者權限管理部分，主要亦是提供系統管理者本身依據建置使用者填報完成之個人資料給予使用權限之限制，目前規劃之權限身份分為系統管理者、單位主管與一般使用者三類，額外可賦予之使用功能則包括此套系統與 GIS 地圖功能停用與否，此功能開發主要供以確實掌控系統資料之完整與機密性（詳見圖 3-5）。

圖 3-4　使用者資料搜尋與新增功能界面

圖 3-5　使用者權限管理界面

3.2.1.2 邊坡基本資料

依據建置之資料欄位屬性, 可以將邊坡基本資料分為道路基本資料

管理與邊坡資料管理二部分。在道路基本資料管理部分，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 3-6)。然道路基本資料管理功能，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 3-6　道路基本資料管理界面

至於邊坡資料管理部分，系統主要依據道路之里程樁號進行建置，除統一建置邊坡基本資料外，更將資料庫架構分為自然環境資料、工程資料、災損資料、巡檢，以及監測儀器資料等五大資料庫（詳見圖 3-7)，而各資料庫間之亦開發橫向之搜尋功能，此功能之建置，主要目的則在於提供各系統資料庫間之查詢平臺，便於系統資料進行橫向交流。

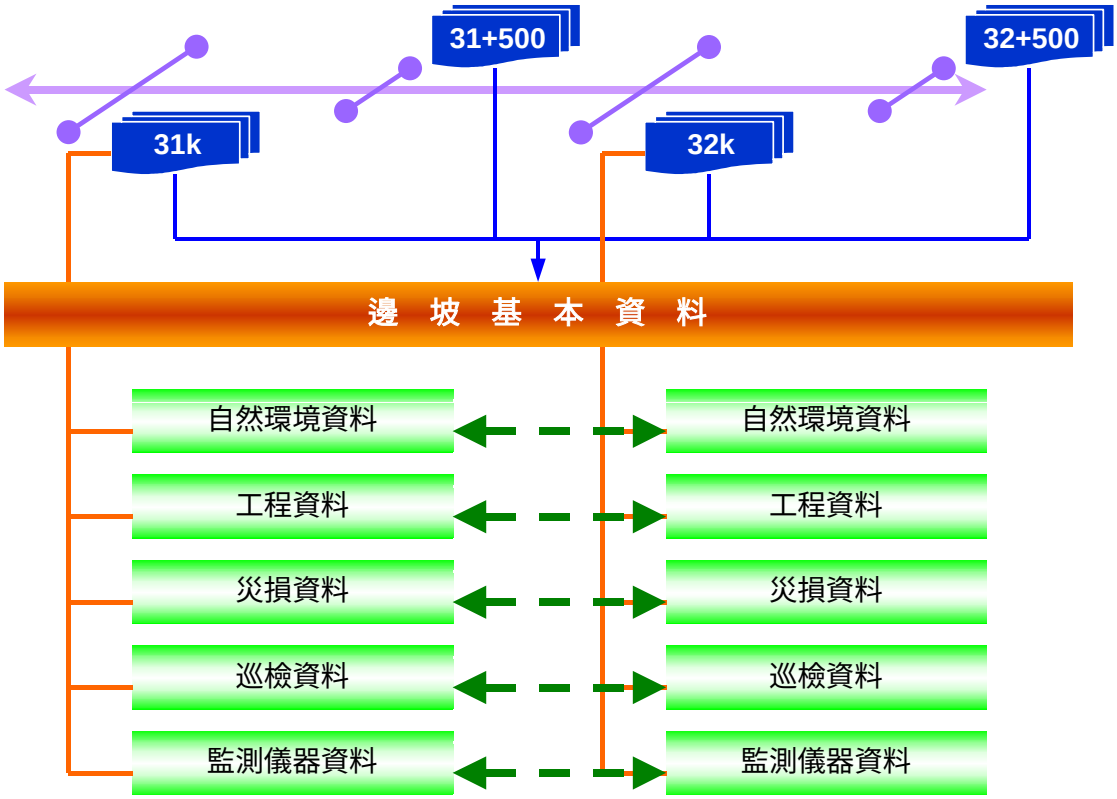


圖 3-7　邊坡資料管理架構圖

本節以下內容，則分別針對自然環境、工程、災損、巡檢與監測儀器等五大資料庫，進行相關欄位資料填報與界面之介紹。

1. 自然環境資料庫

在進入自然環境資料庫之後，可以透過管理單位、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，倘若無法查詢到符合條件之自然環境資料，亦可透過下方之「新增自然環境資料」按鈕，進行新增作業（詳見圖 3-8）。

圖 3-8　自然環境資料庫之搜尋與新增功能界面

於自然環境資料庫中, 所建置之資料包含基本資料與自然環境資料二大類。以基本資料而言，主要建置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採以自動擷取功能，使用者在填報作業時，無需自行進行輸入作業（詳見圖 3-9)。

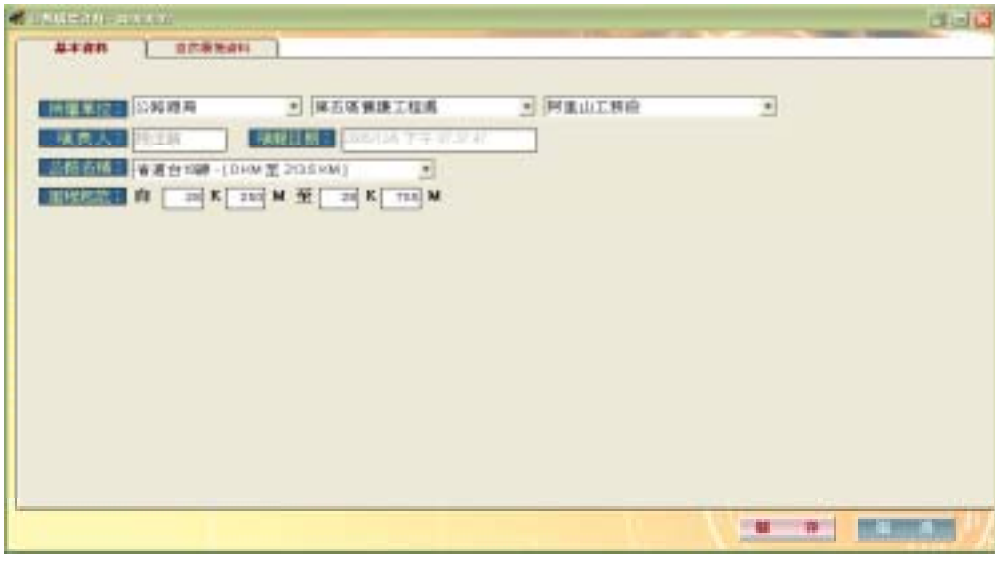


圖 3-9　自然環境資料庫內之基本資料填報界面

至於自然環境資料這部分的資料，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 TM 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 3-10）。

圖 3-10　自然環境資料填報界面

於圖說影像資訊部分，主要利用夾檔方式彙整入等高線圖、航照圖、地質圖、監視影像攝影等圖資（詳圖 3-11），而目前監視影像攝影部分之資料來源，由於考量使用權限問題，故目前則暫採以網路連線方式進行瀏覽。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套疊作用，提供後續進行加權、評估分析作業，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。

圖 3-11　圖說影像資訊界面

於自然環境資料庫中記錄之邊坡崩塌型態部分，系統主要是結合交通部道路邊坡相關之研究成果，先將地盤材料分為岩石（編碼－R）與土壤（編碼－S），再採用自動編碼方式，統一將崩塌型態分為墜落（編碼－FA）、傾倒（編碼－TO）、滑動（編碼－SL）、側移（編碼－SP）及流動（編碼－FL）等五大類（詳圖 3-12），並於資料庫中將臺灣本土化較為典型之示意照片（詳圖 3-13）、相關定義敘述及統一手法繪製之示意圖建置完成（詳圖 3-14），以提供使用之工程人員於資料填報時之參考，用以提高填報資料之正確性。綜合上述相關之欄位資料，由於系統所需填報之資料龐大，故系統開發大多規劃採以可勾選之下拉式選單方式進行填報作業，除可減少填報所需之時間外，選單內之選項亦可作為後續研究分析之加權考量因子。

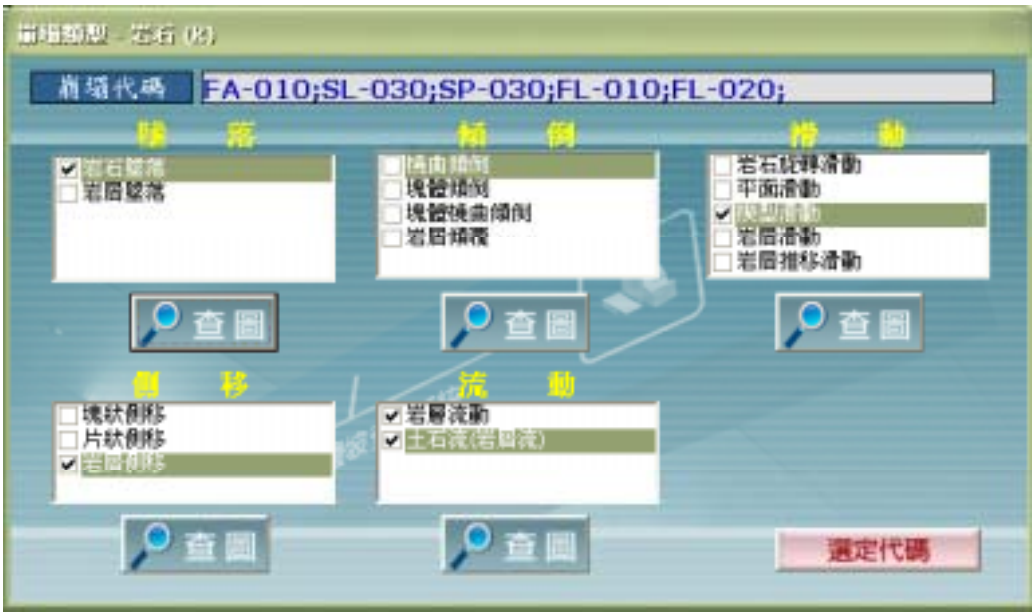


圖 3-12　岩石邊坡崩塌型態五大分類之系統界面

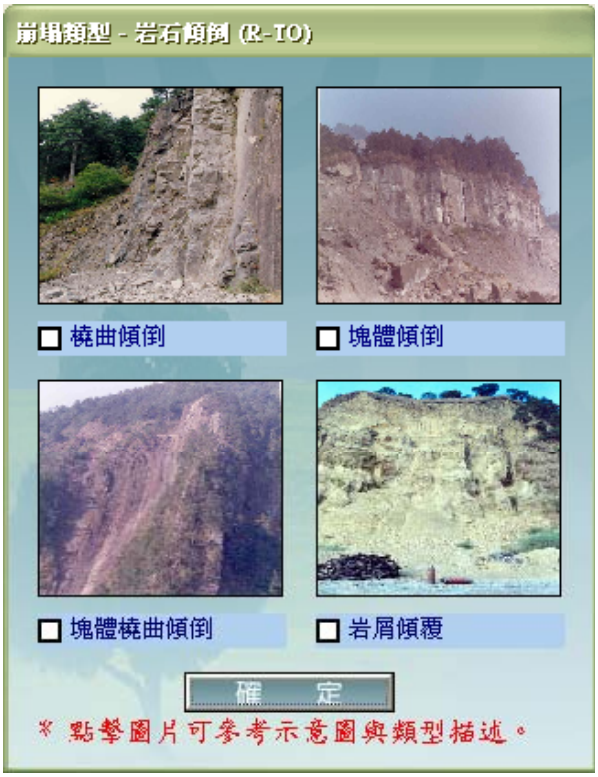


圖 3-13　岩石邊坡傾倒型態典型示意照片

圖 3-14　岩石邊坡岩屑傾覆相關示意圖及類型描述界面

2. 工程資料庫

在工程資料庫中，可以透過管理單位、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，亦或透過下方之「新增工程資料」按鈕，進行新增填報作業（詳見圖 3-15）。

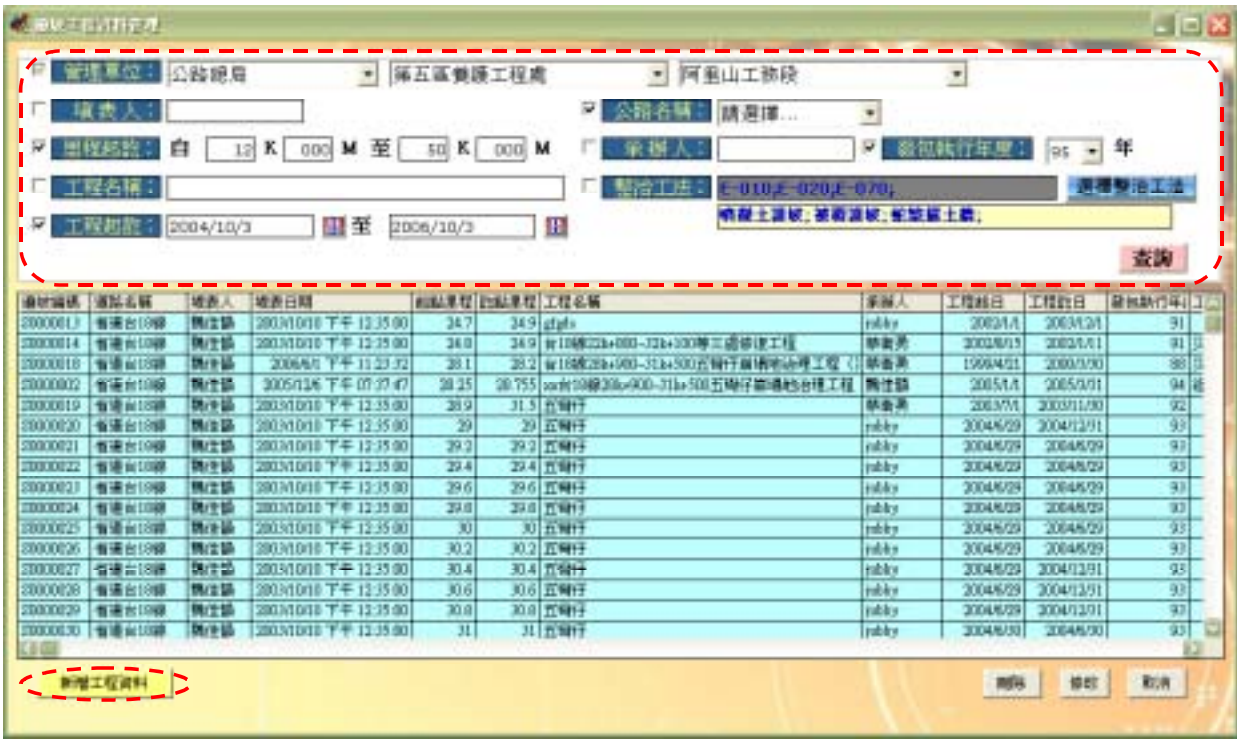


圖 3-15　工程資料庫之搜尋與新增功能界面

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，於工程資料庫系統下共開發了基本資料、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，則同前述之自然環境資料庫（詳圖 3-9、圖 3-10）。至於維護工程紀錄之相關欄位資料，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，此資料庫還記錄了邊坡整治工程資料、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 3-16）。

圖 3-16　工程資料庫之維護工程紀錄界面

關於資料欄位中之整治工法部分，則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（詳圖 3-17），同時並於資料庫系統中建置較為典型之示範案例照片（詳見圖 3-18）、相關定義敘述及道路工程參考圖說（詳圖 3-19），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 3-17　整治工法五大分類之系統界面

圖 3-18　植生工法各項分類之典型示範案例

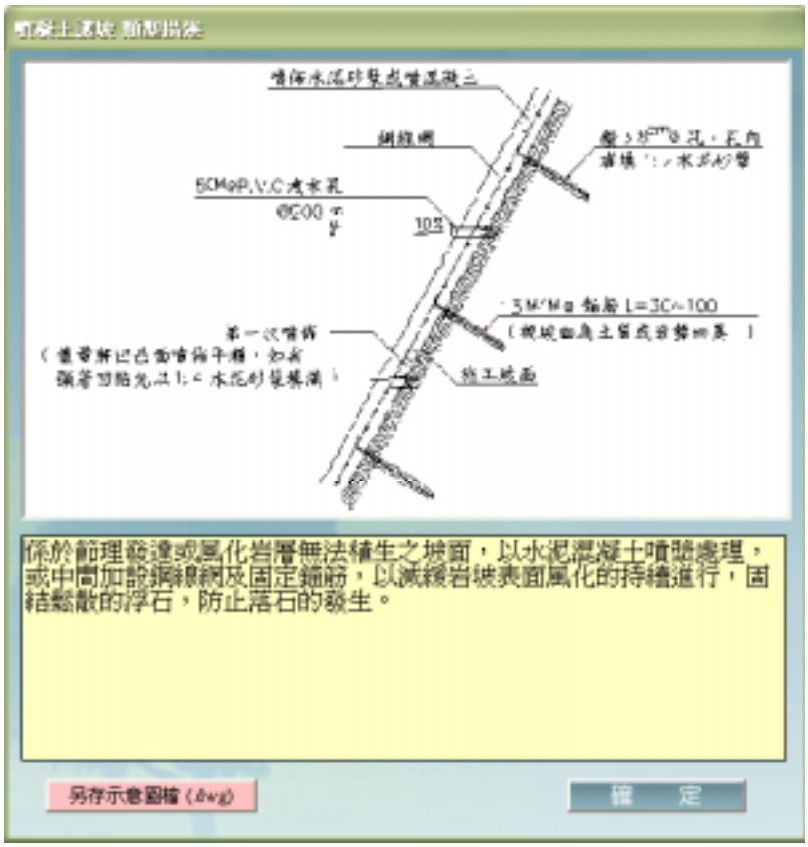


圖 3-19　噴凝土護坡工法定義及標準圖說界面

有關工程明細資料部分，主要則依據公路養護單位規劃之報表與預算內容進行設計，目前除已彙整記錄了項目根編號、工程項目名稱、規格及說明、數量、單價、單位、金額，以及附註外（詳圖 3-20)，資料庫系統亦已完成相關報表輸出功能（詳見 3.2.2 節），此功能之開發將可減少基層工程人員平日報表與相關預算作業之時間花費。

圖 3-20　工程資料庫中之工程明細資料界面

另外，施工照片主要則是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（詳圖3-21）。目前資料庫設計每一個施工時期共可容量二十張照片，後續可依各單位之需求再加以擴充或刪減；再者，彙編進來之各階段照片，資料庫系統也會依據整治點位所屬之道路工程基本碼進行分類與貯存。除此之外，為考量基層人員彙集相關之工程整治資料，本系統亦提供竣工圖之彙編作業，其與施工照片相同，皆是採用夾檔之方式進行貯存作業，然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。

圖 3-21　工程資料庫中之施工照片填報界面

3. 災損資料庫

於災損資料庫，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，亦可透過界面下方之「新增災損資料」按鈕，進行新增作業（詳見圖 3-22）。

圖 3-22　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、搶修工程紀錄，以及通報紀錄等四大類。其中，關於基本資料與自然環境資料內規劃之相關欄位，則詳見前述之自然環境資料庫（詳圖 3-9、圖 3-10）。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，以及搶修工程之施工項目、數量、單位、單價、折減、複價等，以及相關之災損照片（詳圖 3-23）。目前建置之搶修工程資料，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（請參閱 3.2.3 節）。

圖 3-23　災損資料庫之搶修工程紀錄界面

考量除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，有鑑於此，此系統

於災損資料庫系統中，亦開發建置通報紀錄等相關欄位，如：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、現場狀況描述，以及其他之備註說明等資料欄位（詳見圖 3-24），期許此項功能之開發，可確實掌控現場狀況，達到降低災情擴大之目的。

圖 3-24　災損資料庫之通報紀錄界面

4. 巡檢資料庫

為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，公路養護單位必須定期進行道路巡檢工作，以便隨時瞭解道路狀況，並填具巡檢報告表，然若遇有重大特殊情況，則應即時進行緊急處理，以確保行車安全。

綜上所述，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巡檢資料庫。故巡檢資料庫之建立，主要是方便工程師定期針對管轄範圍內之邊坡進行檢視作用。

在巡檢資料庫之起始界面，可先利用管理單位、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

種類等相關之欄位資料進行搜索，再針對擬查詢之巡檢紀錄資料進行編修作業，然或者可透過下方之「新增巡檢資料」按鈕，來進行新增紀錄資料（詳圖 3-25）。

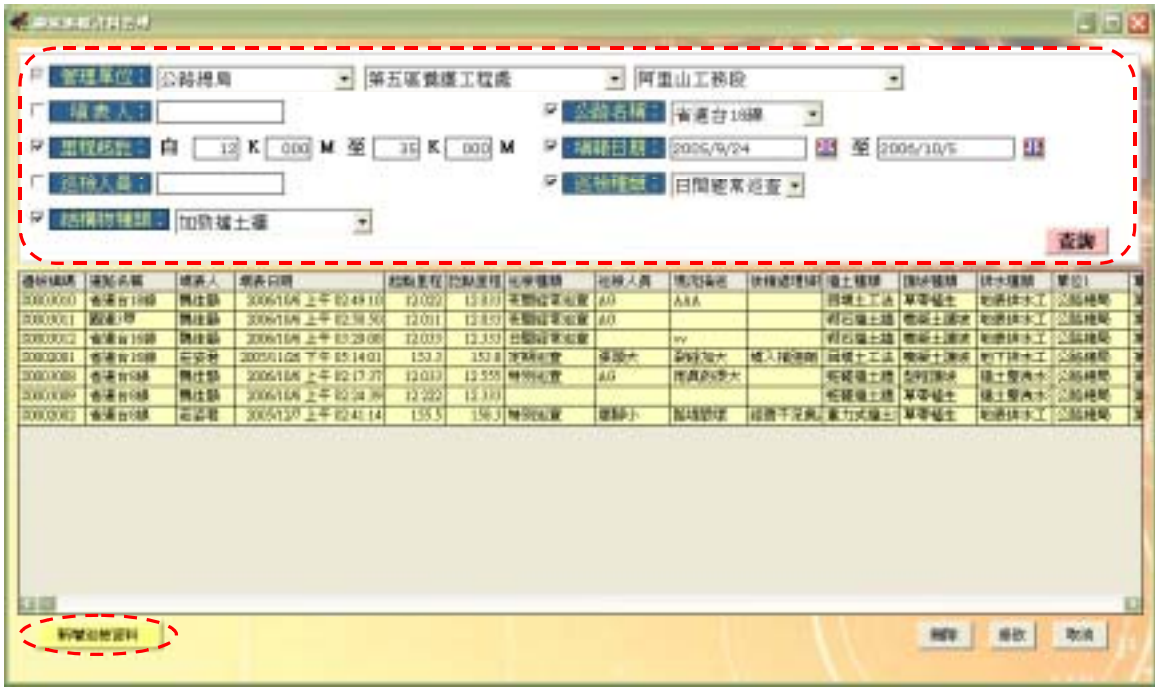


圖 3-25　巡檢資料庫之搜尋與新增功能界面

關於巡檢資料庫之填報界面，系統開發時考量資料完整與各子系統間之連貫，於災損資料庫除同前述各子資料庫開發了基本資料與自然環境資料二大類外，亦結合交通部道路邊坡擋土結構物相關之研究成果，建置結構物檢查表：擋土、護坡、排水等三類，以及巡檢種類與照片等夾頁資料。

以巡檢種類與照片之夾頁資料為例，除可載入前期或當下巡檢所拍攝下之現況照片，利用圈選的方式標註結構物之裂縫、滲水、崩落、毀壞或其他等狀況，並記錄巡檢種類、事件類型、現況描述，以及後續處理情形（詳見圖 3-26）等，資料庫系統將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（巡檢資料相關之報表匯出功能詳見 3.2.1 節）。

圖 3-26　巡檢資料庫之巡檢種類與照片載入界面

為了提供基層工程師在巡查作業時，可以更有效與確實的記錄現地結構物之功能狀況，此系統於系統建置時，亦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」相關內容並予以數位化。在此系統中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（詳見圖 3-27、圖 3-28 與圖 3-29），然期擬此項功能之開發建置，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。

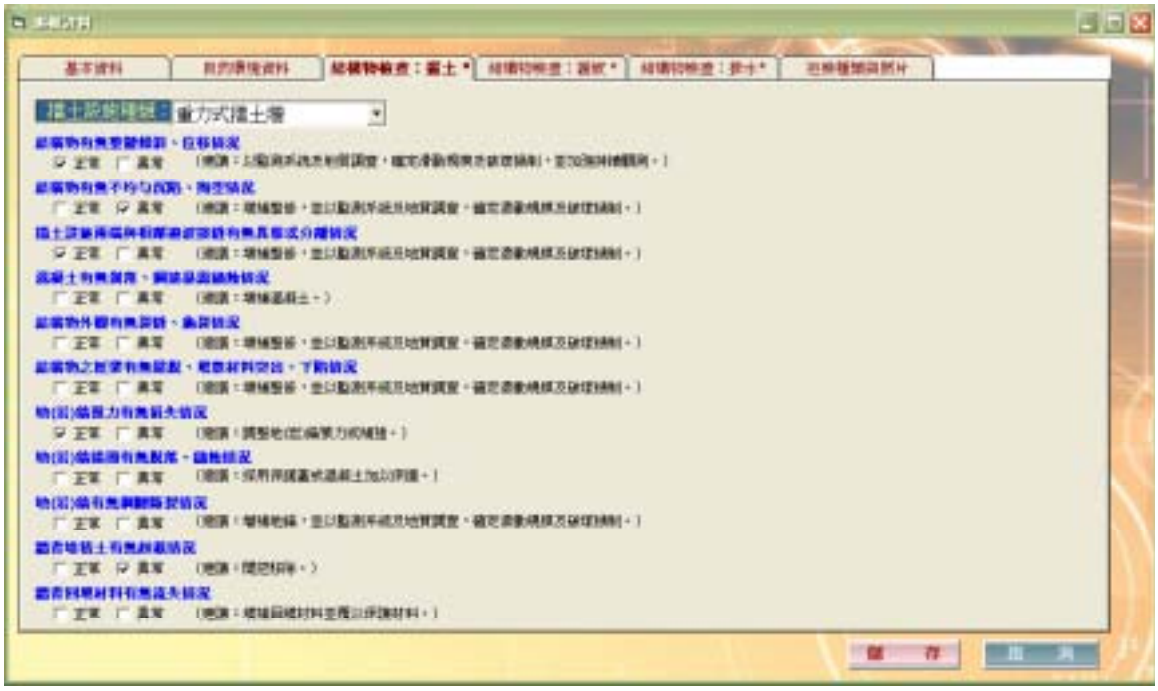


圖 3-27　巡檢資料庫之擋土結構物檢查界面

圖 3-28　巡檢資料庫之護坡設施檢查界面

圖 3-29　巡檢資料庫之排水設施檢查界面

5. 監測儀器資料庫

在進入監測儀器資料庫之後，可以透過管理單位、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，倘若無法查詢到符合條件之資料，亦可透過下方之「新增監測儀器資料」按鈕，進行資料新增作業（詳見圖 3-30）。

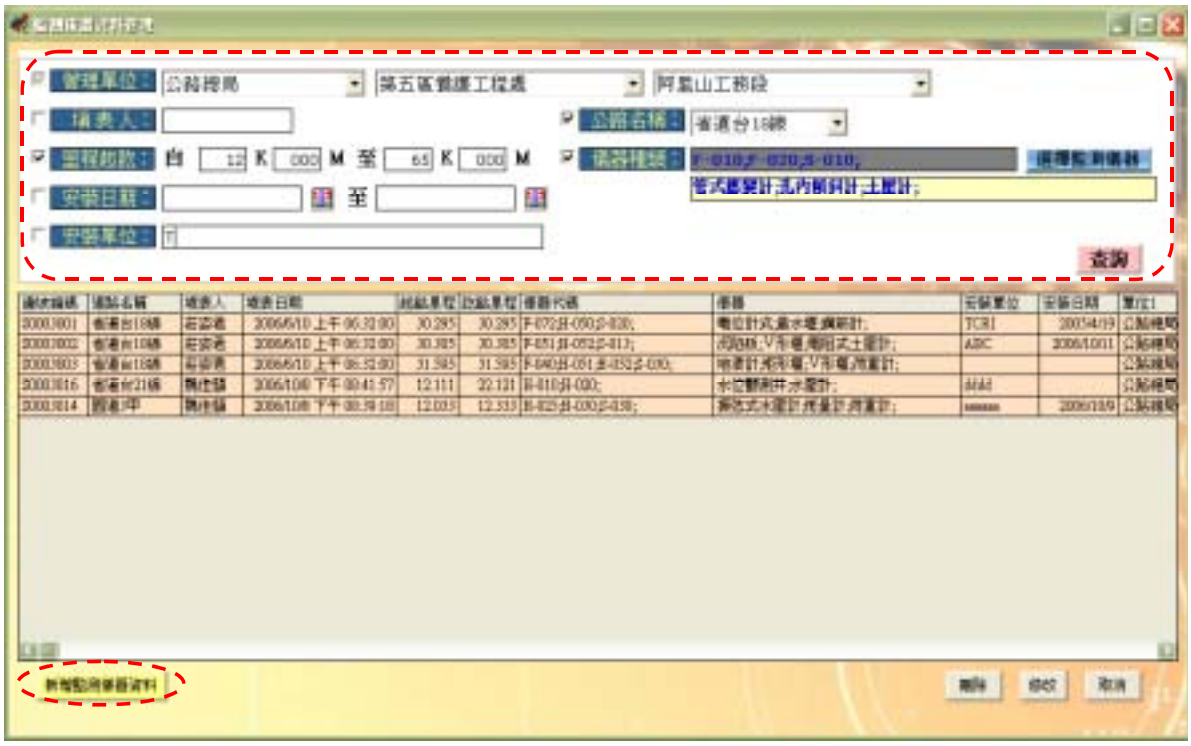


圖 3-30　監測儀器資料庫之搜尋與新增功能界面

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，於此資料庫系統下共開發了基本資料、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，則同前述之資料庫（詳圖 3-9、圖 3-10）。

而監測儀器資料之相關欄位，包括了安裝單位、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 3-31）。

圖 3-31　監測儀器資料庫填報界面

其中監測儀器種類之欄位架構，主要參考防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（詳圖 3-32），同時並於資料庫中建置安裝照片（詳圖 3-33）、示意圖，以及載錄相關之定義敘述（詳見圖 3-34）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，故僅採以網路連線方式進行瀏覽（詳見圖 3-35）。

圖 3-32　監測儀器三大分類之系統界面

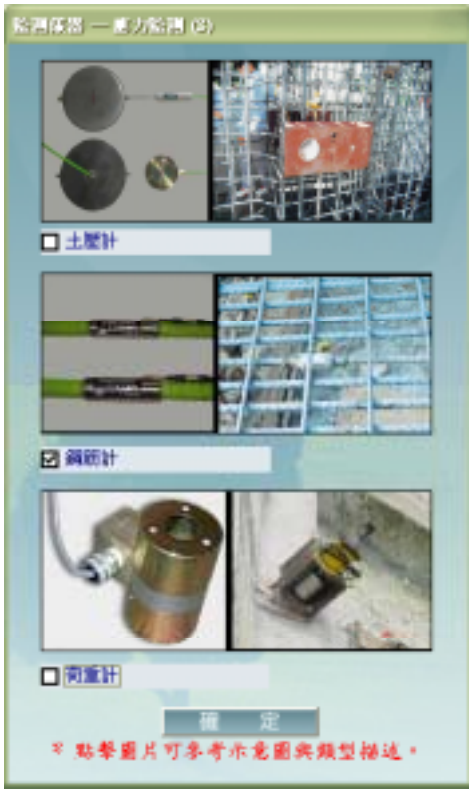


圖 3-33　應力監測之各項分類之安裝照片

圖 3-34 土壓力計之示意圖與定義界面

圖 3-35 監測儀器資料庫之即時監測資料瀏覽界面

3.2.2 道路邊坡維護管理系統輸出功能成果展示

由於道路邊坡維護管理系統係依據邊坡各項資料屬性,於資訊開放平臺上建置各項資料填報界面，然各項填報界面除力求使用者便利化

（User Friendly）外，各類填報資料也可以於開放平臺中進行連結，使邊坡管理系統可以進行跨資料庫之查詢。

然 3.1 節所述皆屬於系統之架構與資料填報欄位、界面，至於道路邊坡維護管理系統輸出功能方面，目前已完成報表輸出與統計分析二大項，本節則將針對此二大功能進行詳加敘述。

3.2.2.1 報表輸出功能

道路邊坡維護管理系統中，現已建置完成之報表輸出功能，主要係針對前述各子資料庫中建置之資料欄位，依據巡檢維護、災損、工程與邊坡資料彙整等四大類，進行匯出之表格設計，此項功能之開發，期擬將可減少基層工程師平日處理各式表單之行政作業時間。

以巡檢維護資料之結構物功能檢查表為例，點選擬輸出報表之資料進行資料匯出作業即可（詳圖 3-36、圖 3-37；工程明細表之輸出則參見圖 3-38、圖 3-39）。

圖 3-36　報表輸出之結構物功能檢查表界面

圖 3-37　結構物功能檢查表輸出畫面

圖 3-38 報表輸出之工程明細表界面

圖 3-39　工程明細表輸出畫面

至於災損工程經費明細表部分，考量資料彙整時大多以同一災害（如：敏督利颱風、艾利颱風、九二一地震等）為原則，故在報表輸出作業時，需先選擇擬輸出之災害名稱，再進行報表輸出作業（詳見圖 3-40、圖 3-41）。

圖 3-40 報表輸出之災損工程經費明細表界面

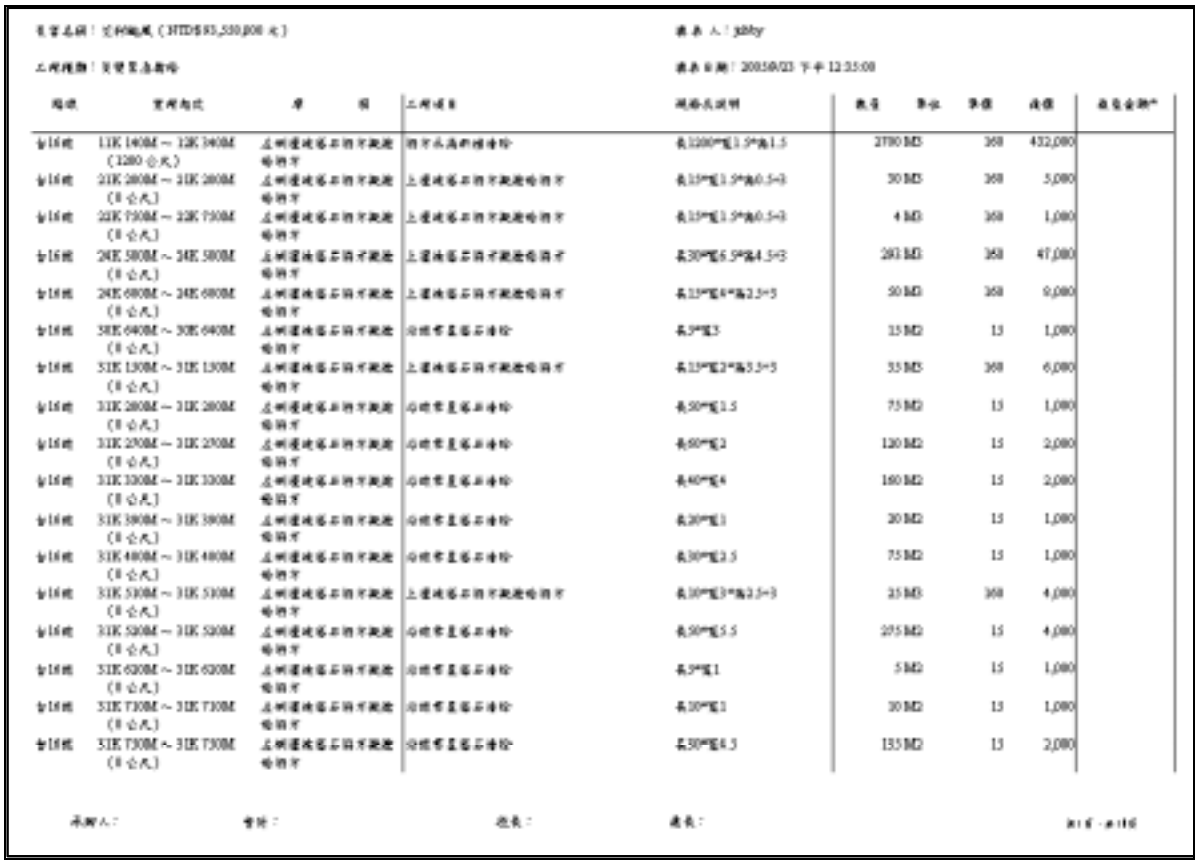


圖 3-41 災損工程經費明細表輸出畫面

3.2.2.2 統計分析功能

至於統計分析功能部分，系統目前於此功能界面下，僅依據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進行數據統計並繪製其統計圖表（詳見圖 3-42），後續則將視系統使用者之需求，增置其他資料庫欄位之統計分析功能。

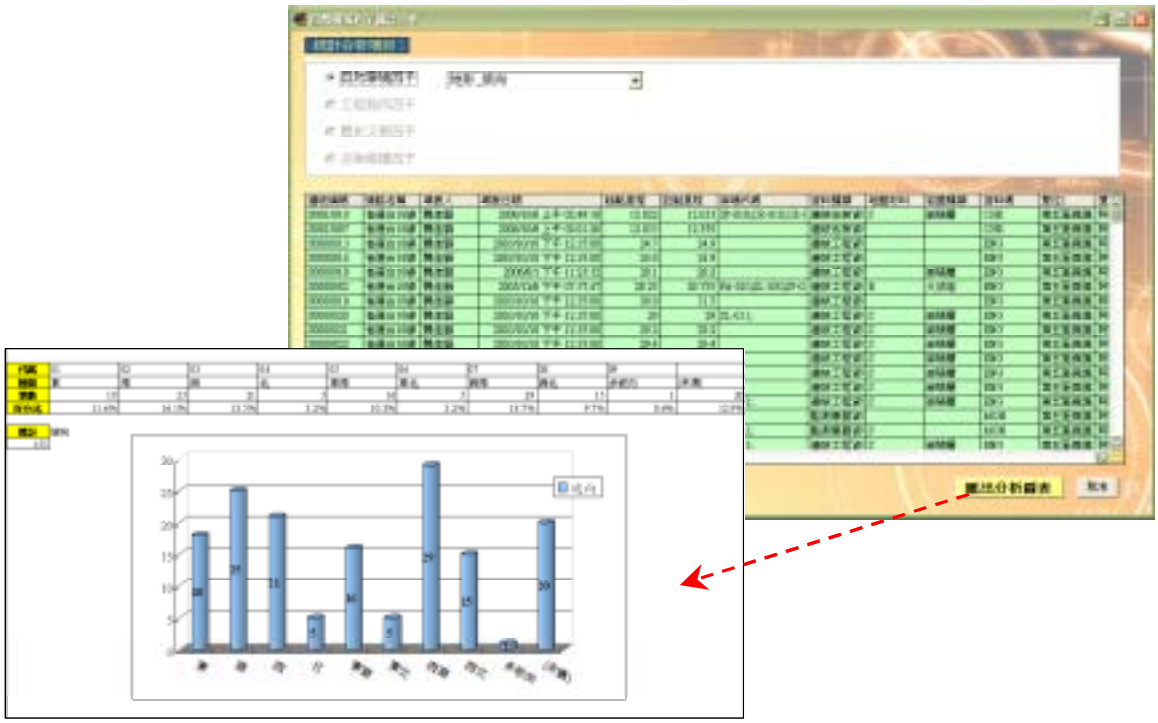


圖 3-42 統計分析界面與坡向統計圖

3.2.3 道路邊坡維護管理系統查詢功能展示

道路邊坡維護管理系統在使用功能開發建置方面，除 3.2.1 節所述之各項填報欄位與界面，以及於 3.2.2 節所述之報表輸出與統計分析二大功能外，在考量便於基層工程師查詢到所需之崩塌型態、整治工法（分為道路邊坡與土石流二大類），以及監測儀器種類等參考資料，系統亦於系統工具列上增設代碼查詢功能；不僅如此，系統亦將相關之填報資料與地理資訊系統結合，利用空間化方式進行展示。本節以下內容，則將針對代碼查詢與地圖查詢二大功能予以詳述。

3.2.3.1 代碼查詢功能

系統開發建置時，考量基層工程師之實用性，故於系統工具列上增設代碼查詢功能（詳圖 3-43），此項功能主要係作為工程人員針對現地崩塌型態之判釋、工法選用，以及監測儀器安裝等資料較便捷之查詢工具。

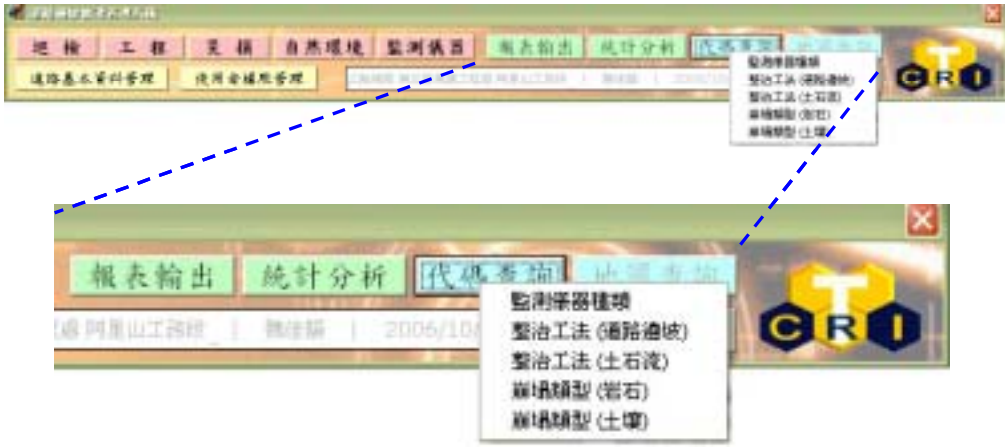


圖 3-43 道路邊坡維護管理系統工具列之代碼查詢功能界面

目前此項功能可提供之查詢資料，包括：崩塌型態（岩石、土壤邊坡二類）、整治工法（道路邊坡、土石流二類），以及監測儀器種類。以土石流整治工法為例，依據整治需求之不同，其共可分為誘發防止工、能量消減工、擋土排液工與導流分散工四類（詳圖 3-44），其建置之架構主要參考防治工法資料庫之整治工法分類系統，除採用統一自動編碼方式外，亦提供相關整治照片工查閱（詳圖 3-45）。

圖 3-44 土石流整治工法四大分類之系統界面

圖 3-45 土石流整治工法之誘發防止工相關照片界面

3.2.3.2 地圖查詢功能

系統提供之地圖查詢功能，其主要是將系統建置之相關資料，透過與地理資訊系統（目前系統開發採以 Arc GIS 9.0 版之軟體）串聯，利用空間化方式展示其統計分析之結果。目前系統針對此項功能之開發，其主要可分為點位查詢瀏覽與路段查詢瀏覽二部分，其細部之成果展示，如下所述：

1. 點位查詢瀏覽

地圖查詢功能界面下之點位查詢瀏覽，主要可分為縣市屬性查圖、資料屬性查圖與編碼屬性查詢三大項，其各項功能介紹敘述如下：

1-1 縣市屬性查圖

縣市屬性查圖之主要功能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，除此之外，資料庫會自動將符合搜尋條件之案例位置反白，便於在圖層資料中搜尋點位之所在位置，最後亦可利用匯出方式製作報表，以節省工程人員撰寫報表之時間。

以搜尋省道臺十八線於民國八十八年整治工程資料為例，此路段於當年度共填報了二筆資料，選取之案例點位以反白方式顯示於圖層中（圖 3-46），於顯示之工程基本碼中勾選欲查詢之工程案例，再點選下方各相關資料按鈕，即可搜尋出欲查詢屬之相關資料（圖 3-47）。

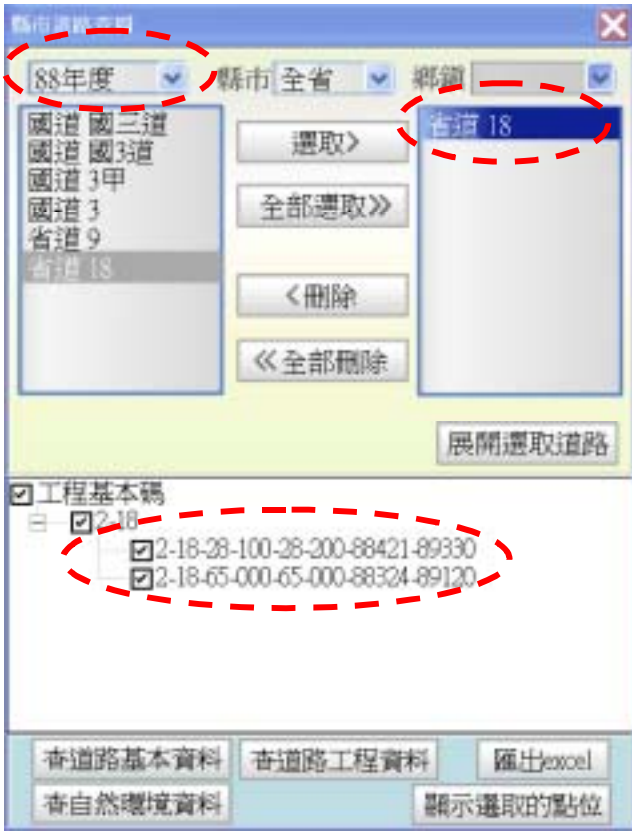


圖 3-46 縣市屬性查圖搜尋界面

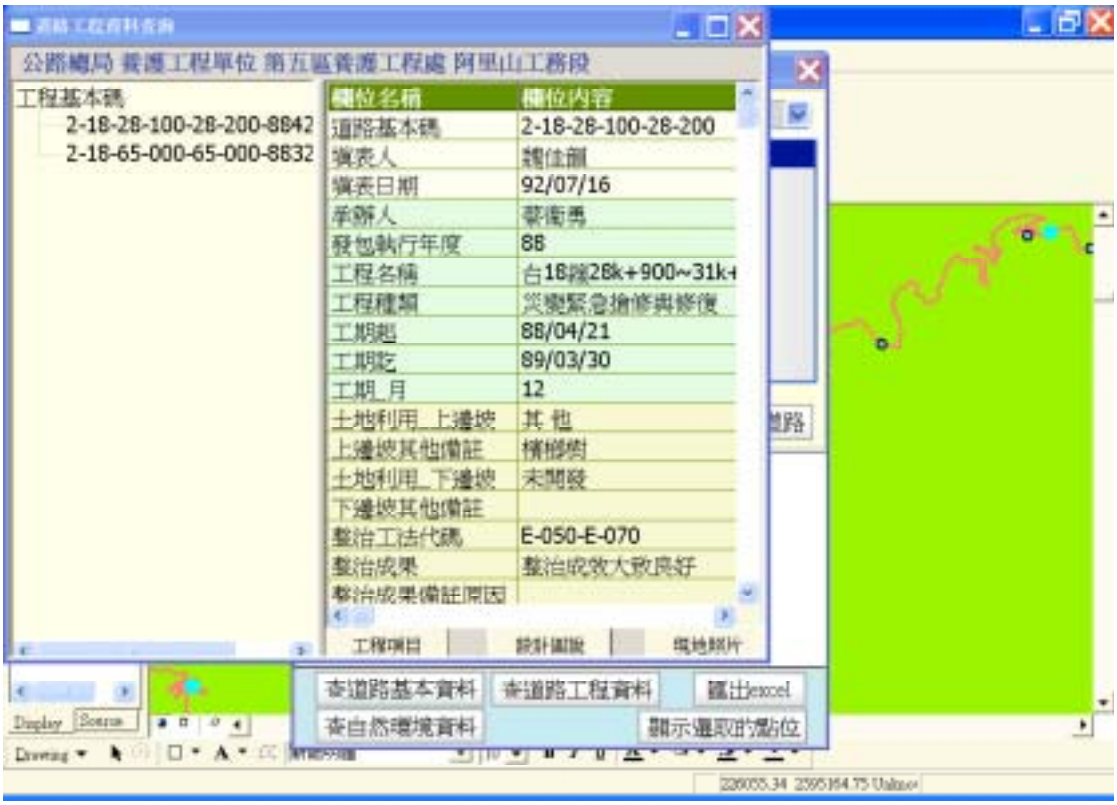


圖 3-47 特定點位道路工程資料查詢界面

1-2 資料屬性查圖

在「資料屬性查圖」之功能界面下，可依據道路基本資料、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，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，可以利用資料庫查詢點位之反白功能，於圖層中明顯找出搜尋點位之所在位置。

以搜尋道路基本資料中公路等級大於「1」，並且公路編號等於「18」的道路基本資料為例，於邏輯欄位中填入要進行搜尋的條件式，即可從圖層中搜尋出所屬資料之相關點位，再利用點選下方各相關資料按鈕，則可搜尋出所有欲搜尋之相關資料（詳圖 3-48）。

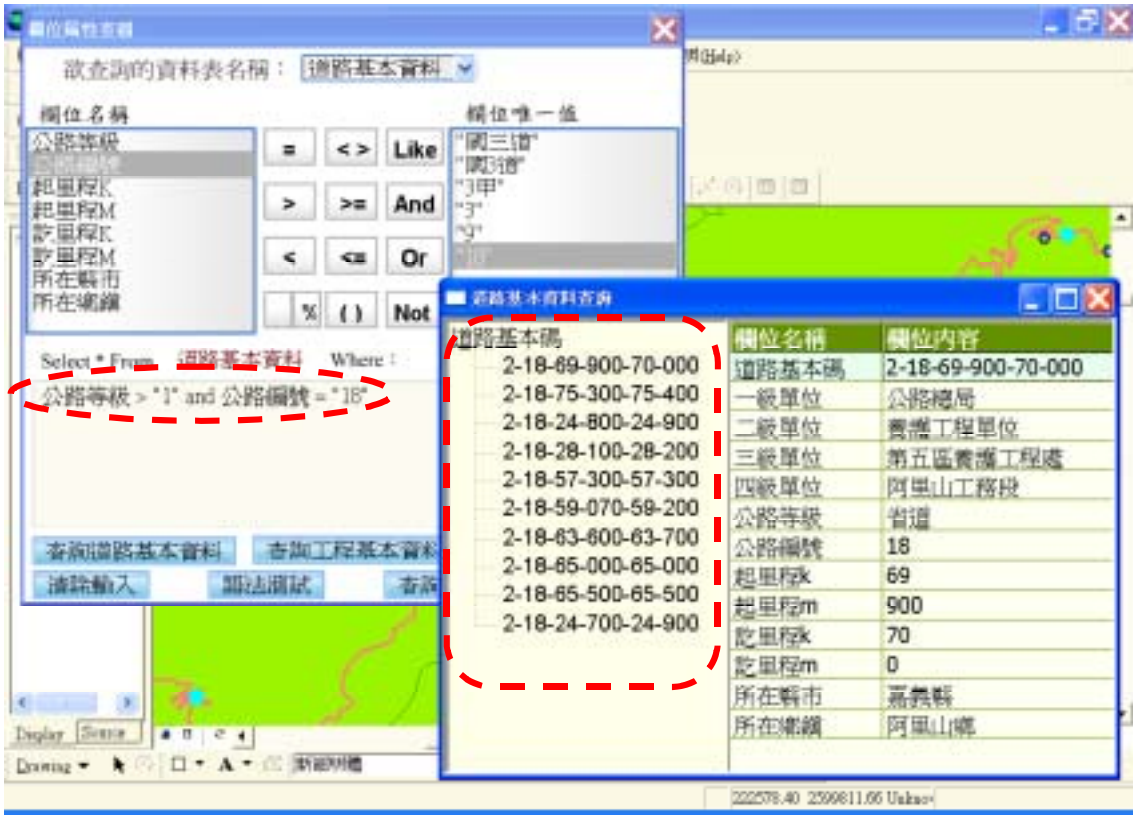


圖 3-48 資料屬性查圖搜尋成果界面

1-3 編碼屬性查詢

編碼屬性查詢主要是結合3.2.1節所述之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。

以搜尋同時使用「重力式擋土牆」及「地錨工法」之工程案件為例（詳圖 3-49），勾選欲查詢之工法項目，直接點選下方查詢按鈕即可得知已建置之資料中，同時採用此二工法進行整治之工程僅有省道臺十八線 69K+400～70K+000 及國道三號 81K+400～468 二筆資料（詳圖 3-50）。

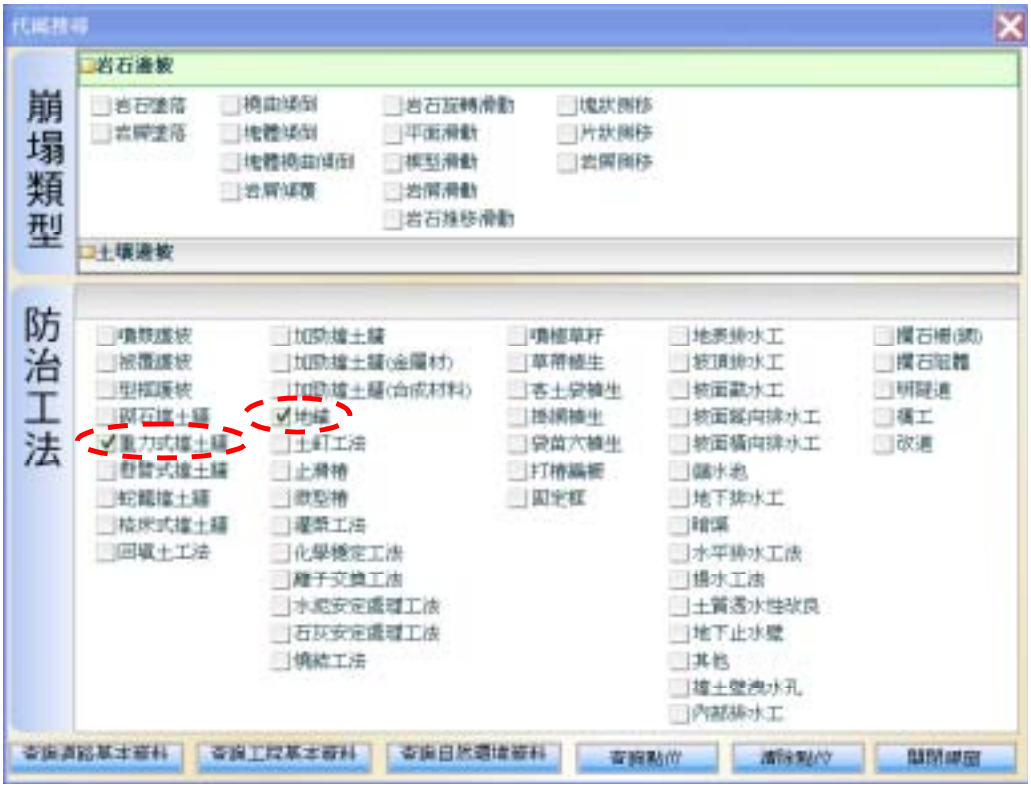


圖 3-49 編碼屬性查詢界面

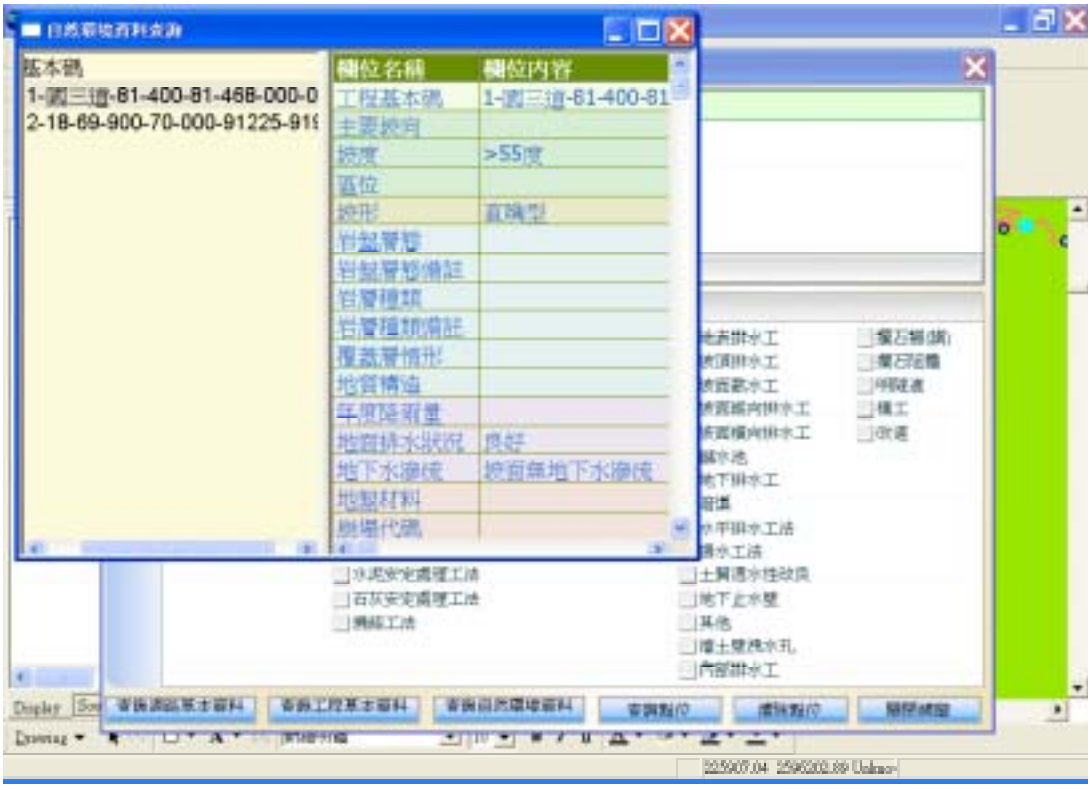


圖 3-50 特定防治工法搜尋成果界面

2. 路段查詢瀏覽

地圖查詢功能界面下之路段查詢瀏覽，主要可分為邊坡路段產生與重繪、圖面查詢邊坡資料，以及災損金額統計顯示三大項，其各項功能介紹敘述如下：

2-1 邊坡路段產生與重繪

地圖查詢之功能中，開發「邊坡路段產生與重繪」此項功能，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。以圖 3-51 為例，假定擬查詢民國九十四年九月二十三日至十二月八日間進行之整治工程，在資料日期區間下輸入相關期程，透過系統提供之路段產生與重繪功能，其搜尋之結果即以路段之方式顯示圖面上。

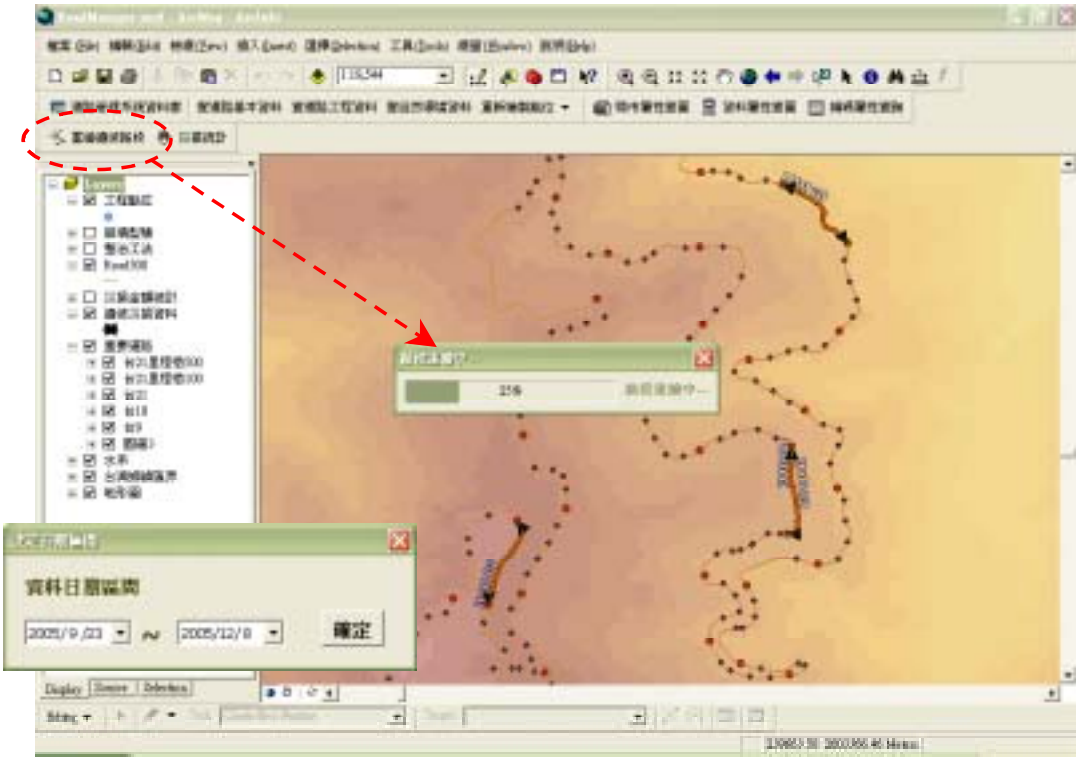


圖 3-51 邊坡路段產生與重繪功能查詢界面

2-2 圖面查詢邊坡資料

透過前述功能，系統可以依據時間排序方式，在圖資

上展示出符合條件之工程路段，針對篩選出來路段之細部資料查詢，則可透過「圖面查詢邊坡資料」此項功能，進行更細部之審閱作業，系統查詢界面詳見圖 3-52 所示。

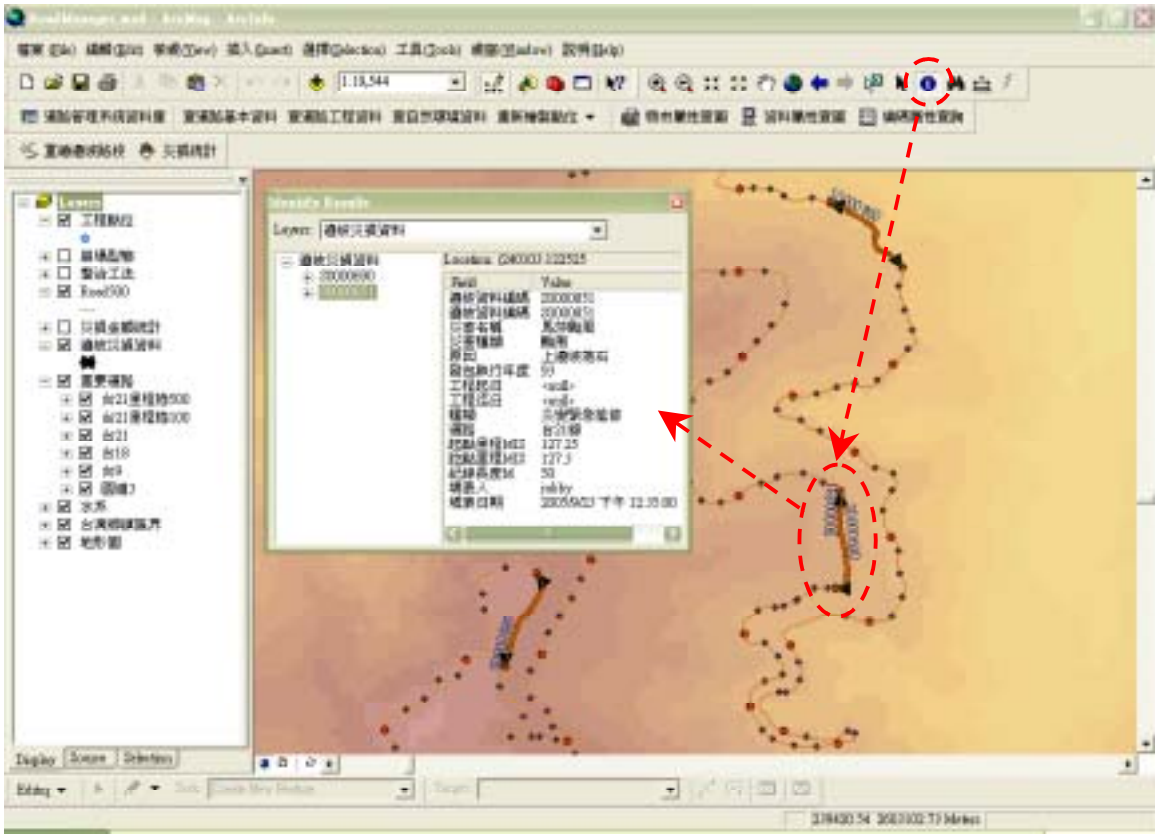


圖 3-52　圖面查詢邊坡資料界面

2-3 災損金額統計顯示

至於「災損金額統計顯示」之功能，主要是系統結合統計分析與空間化展示二大功能所開發之查詢工具，利用此項功能，可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，圖面上亦可將統計分析結果以紅、黃、綠三種色塊進行展示，明確地顯示各地因災害而投入之造成之實際搶救資源（詳見圖 3-53）。

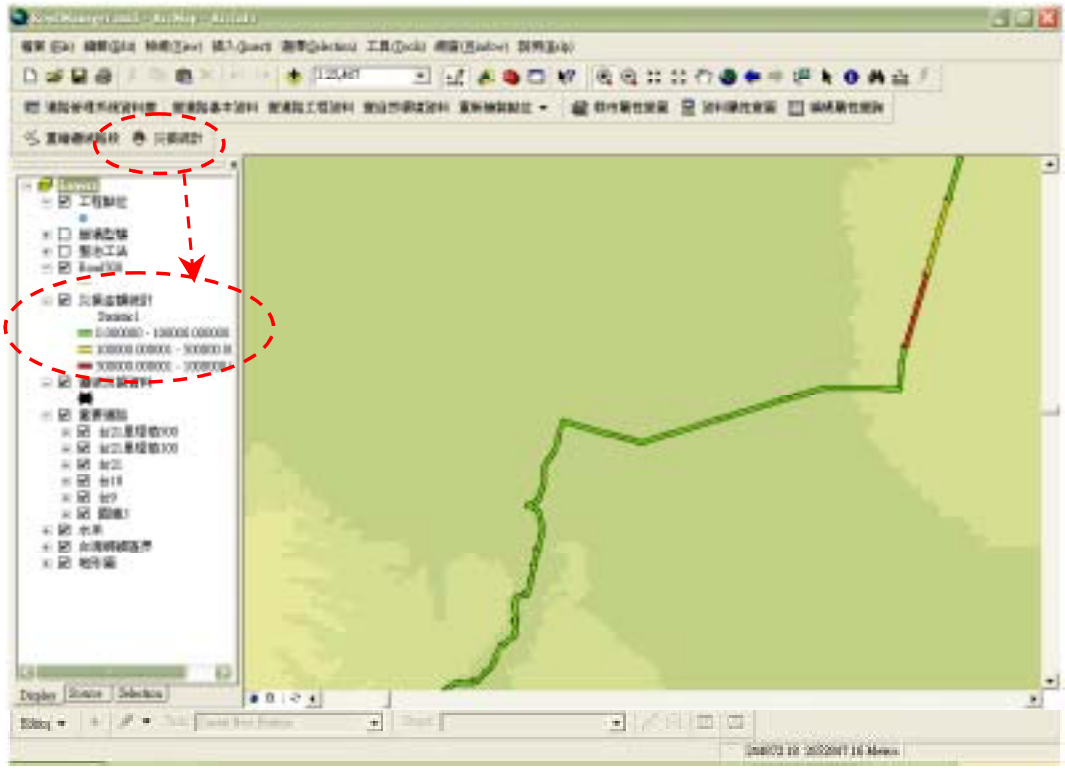


圖 3-53 災損經費累積統計分佈圖

3.3 道路邊坡崩塌潛勢分析

在道路邊坡崩塌潛勢分析方面，本研究將先檢討既有道路邊坡崩塌崩塌潛勢分析方法，再針對崩塌因子進行選定與量化，最後將採用高斯過程模型（MacKay 1998; William and Rasmussen 1996; Neal 1997; Gibbs 1997）來預測邊坡的崩塌潛能及機率（由於考量報告架構與篇幅關係，省道臺 21 線新中橫之案例驗證詳見附錄 C）。

3.3.1 檢討既有道路邊坡崩塌潛勢分析方法

3.3.1.1 高斯過程分析與其他方法之比較

基本上，分類（classification）分析模型大致可分為二類：參數模型（parametric model）及非參數模型（nonparametric model）。參數模型假設目標函數為一固定形式（如：具有未定係數之線性或二次式），

其未定係數可藉由量測的資料反算求得；而非參數模型則不假設目標函數為一固定形式。當資料點分布可以視覺化時，我們通常可以用目視判斷目標函數之形式，在此情形下，參數模型是較佳的選擇，因參數模型之分析結果通常較非參數模型穩定。然而當資料點是高維度時（即影響因子甚多時），資料便無法視覺化，若強行假設目標函數之形式，則可能帶來明顯的偏差，因此在影響因子甚多之情形下，非參數模型是較佳的選擇。

在先前研究中，鑑別分析（discriminant analysis）及類神經網路（neural network）常被用來估算邊坡之崩塌潛勢及機率，本研究則選擇以高斯過程進行分析。高斯過程是近年來由統計及人工智慧學者所發展的非參數模型，其目的在於處理非參數迴歸及分類問題。鑑別分析則屬於參數模型，由於本研究之資料維度相當高，無法視覺化，因此高斯過程是較佳之選擇。

另外一方面，類神經網路也是非參數模型，但因類神經網路常有無數個局部最佳解，因此計算相當的繁複。Neal(Neal 1996)曾證明高斯過程等同於無線多節點之隨機類神經網路，然而高斯過程之計算卻遠較類神經網路簡單，甚至有統計學者(MacKay 1997)討論是否可以考慮從此用高斯過程分析取代類神經網路，可以確定的是高斯過程分析可以處理類神經所處理之問題，且計算簡單許多，因此相較於類神經網路，高斯過程可能是較佳之選擇。

3.3.1.2 高斯過程分析之細節

以邊坡破壞潛勢為例：邊坡之破壞機率（P）應與邊坡本身之各項影響因子有關，因此可以下式表示：

$$P(t=1 \mid x) = g(x) \quad \text{.....[3-1]}$$

其中 x 為邊坡之影響因子（即報告中的崩塌因子），若邊坡破壞，則 t＝1，否則 t＝0； P(.|.)為條件機率。本研究假設：

$$g(x) = \frac{1}{1+e^{-Y(x)}} \equiv sig\left(Y(x)\right) \quad \text{..... .....[3-2]}$$

其中 $sig(\cdot)$ 是 sigmoid 函數。基本上，若 Y(x)函數之數學式為已知，則可以計算任一邊坡之破壞機率。然而，實際上 Y(x)卻是一未知函數，因此高斯過程分析假設 Y(x)是一個不確定函數，且其不確定性可以高斯隨機過程表示。高斯隨機過程之嚴謹定義如下：若一隨機函數上任意數點之值的集合為聯合高斯分佈（jointly Gaussian），則此函數即為一個高斯隨機過程。利用觀測到 p 個邊坡之資料 D = {(xi,ti): i = 1,⋯,p} 及高斯過程模型，可以更新 Y(x)之機率分布，此程序即稱為高斯過程分析。一旦對 Y(x)函數有更進一步之了解後，便可據以估算任一邊坡之破壞機率。

若我們允許 Y(x)可以是任意函數，很明顯的，以有限之資料 D 我們無法估算 Y(x)。然而若我們假設 Y(x)必須是一個平滑的函數，以有限之資料 D 則有可能可以估算 Y(x)。在高斯過程分析之架構下，此「平滑」之前提可以用以下式子來達成：

$$Cov\left[Y(x_i),Y(x_j)\middle|H\right]=\theta_1\cdot e^{\frac{-1}{2}\sum_{k=1}^{n}\frac{\left(x_i^{(k)}-x_j^{(k)}\right)^2}{r_k^2}}+\theta_2\equiv C(x_i,x_j) \quad \text{.....[3-3]}$$

上式規範 Y(x)函數在相鄰兩個位置 x_i 與 x_j 之關連性，其中 Cov(.,.) 是兩個不確定值之共變異數（covariance）；$x_i^{(k)}$ 是第 i 個邊坡的第 k 個因子（共有 n 個因子）；$\{\theta_1,\theta_2,r_1,r_2,...,r_n\}\equiv H$ 是高斯過程模型之參數，稱為超參數；Y(x)具有不確定平移量，其變異數（variance）為 θ_2 、θ_1 是除去不確定平移量後之變異數；r_k 越大表示第 k 個因子越不重要。注意在此模型之下，$Y(x_i)$ 與 $Y(x_j)$ 之相依性隨著 x_i 與 x_j 之距離增加而下降，因此，在此模型下，平滑的函數比不平滑之函數之可能性大。

若我們有直接量測 Y(x)函數之資料，{(xi,Y(xi)): i = 1,⋯,p}，且若超參數 H 已知，Y(x)函數之估算相當的容易；根據高斯推斷理論（Gaussian inference theorem），在 a1:p 及 H 已知之前提下（為了方便，我們定義 ai 為 Y(xi)之量測值，且定義 a1:p 為[a1 a2 ⋯ ap]T 向量，Y1:p 為[Y(x1) Y(x2) ⋯ Y(xp)]T 向量，t1:p 為[t1 t2 ⋯ tp]T 向量），Y(x)之機率密度函數（probability density function, PDF）仍為高斯分佈，其期

望值及變異數分別為：

$$E\left[Y(x)\,|\,H,a_{1:p}\right]\equiv\mu\left(H,a_{1:p}\right)=Cov\left(Y(x),Y_{1:p}\middle|H\right)Var\left(Y_{1:p}\middle|H\right)^{-1}a_{1:p}$$

$$Var\left[Y(x)\,|\,H,a_{1:p}\right]\equiv\tau\left(H,a_{1:p}\right)$$

$$=Var\left[Y(x)\,|\,H\right]-Cov\left(Y(x),Y_{1:p}\middle|H\right)Var\left(Y_{1:p}\middle|H\right)^{-1}Cov\left(Y(x),Y_{1:p}\middle|H\right)^{T}\quad\text{....[3-4]}$$

其中

$$Var\left[Y(x)\,|\,H\right]=C(x,x)=\theta_1+\theta_2$$

$$Cov\left(Y(x),Y_{1:p}\middle|H\right)=\left[C(x,x_1)\quad\cdots\quad C(x,x_p)\right]$$

$$Var\left(Y_{1:p}\middle|H\right)=\begin{bmatrix}\theta_1+\theta_2 & C(x_1,x_2) & \cdots & C(x_1,x_p)\\ & \theta_1+\theta_2 & & \vdots\\ & & \ddots & C(x_{p-1},x_p)\\ symmetry & & & \theta_1+\theta_2\end{bmatrix}\quad\text{.....[3-5]}$$

然而事實上，我們並未直接量測 Y(x)函數，我們只有崩塌與否{ti: i = 1,⋯,p}之資料。更甚者，超參數 H 事實上是未知的。高斯過程分析之目標是要利用 p 個邊坡之資料 D＝{(xi,ti): i = 1,⋯,p}，估算任意目標邊坡之崩塌機率。根據全機率理論（Theorem of Total Probability），我們知道

$$P(t_t=1\,|\,x_t,D)$$

$$=\int P(t_t=1\,|\,x_t,H,D,a_{1:p},Y(x_t))\,f(Y(x_t)\,|\,H,D,a_{1:p})\,f(a_{1:p},H\,|\,D)dY(x_t)da_{1:p}dH\quad\text{...[3-6]}$$

其中 $f(\cdot\,|\,\cdot)$ 是條件機率密度函數（conditional PDF）；xt 及 tt 分別是目標邊坡的因子（已知）及崩塌與否之指標（未知）。因為

$$P(t_t=1\,|\,x_t,H,D,a_{1:p},Y(x_t))=P(t_t=1\,|\,H,Y(x_t))=sig(Y(x_t))$$

$$f(Y(x_t)\,|\,H,D,a_{1:p})=f(Y(x_t)\,|\,H,a_{1:p})\quad\text{.....[3-7]}$$

式[3-6]可以寫成

$$P(t_t=1\,|\,x_t,D)=\int sig(Y(x_t))\,f(Y(x_t)\,|\,H,a_{1:p})\,f(a_{1:p},H\,|\,D)dY(x_t)da_{1:p}dH\quad\text{...[3-8]}$$

請注意 $f(Y(x_t)\,|\,H,a_{1:p})$ 是一個高斯 PDF，且其期望值與變異數如式[3-4]。根據 MacKay（1992）之結果，sigmoid 函數與高斯函數相乘之積分大約等於

$$\int sig(Y(x_t))\, f(Y(x_t)\,|\,H, a_{1:p})\, dY(x_t) \approx sig\left(-\mu(H, a_{1:p}) \Big/ \sqrt{1+\pi\cdot\tau(H, a_{1:p})/8}\right) \quad \ldots[3\text{-}9]$$

因此式[3-8]變成

$$P(t_t = 1\,|\,x_t, D) \approx \int sig\left(-\mu(H, a_{1:p}) \Big/ \sqrt{1+\pi\cdot\tau(H, a_{1:p})/8}\right)\cdot f(H, a_{1:p}\,|\,D)\, da_{1:p}\, dH \quad [3\text{-}10]$$

即使經過簡化，式[3-10]顯示 $P(t_t = 1\,|\,x_t, D)$ 的估算仍牽涉高維度之積分，是一件極為困難的計算。

在本研究中，我們利用大數法則（Law of Large Number）來估算此積分：

$$P(t_t = 1\,|\,x_t, D) \approx \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} sig\left(-\mu(\hat{H}^{(i)}, \hat{a}_{1:p}^{(i)}) \Big/ \sqrt{1+\pi\cdot\tau(\hat{H}^{(i)}, \hat{a}_{1:p}^{(i)})/8}\right) \quad \ldots\ldots [3\text{-}11]$$

其中 $\hat{a}_{1:p}^{(i)}$ 及 $\hat{H}^{(i)}$ 是第 i 個從 PDF $f(a_{1:p}, H\,|\,D)$ 取出之樣本對。請注意 $f(a_{1:p}, H\,|\,D)$ 可以表示如下：

$$f(a_{1:p}, H\,|\,D) = \frac{f(D\,|\,a_{1:p}, H)\, f(a_{1:p}\,|\,H)\, f(H)}{f(D)} \quad \ldots\ldots$$

$$\propto \left[\prod_{i=1}^{p}\left(\frac{1}{1+e^{-a_i}}\right)^{t_i}\left(\frac{e^{-a_i}}{1+e^{-a_i}}\right)^{1-t_i}\right]\cdot\frac{1}{\sqrt{\det\left(Var\left(Y_{1:p}\,\middle|\,H\right)\right)}}\cdot e^{-\frac{1}{2}a_{1:p}^{T}Var\left(Y_{1:p}\middle|H\right)^{-1}a_{1:p}}\cdot f(H) \quad \ldots[3\text{-}12]$$

從 $f(a_{1:p}, H\,|\,D)$ 取樣並非一件容易的工作，這是因為 $f(a_{1:p}, H\,|\,D)$ 並非標準 PDF 且其維度極高。在本研究中，我們採用 Gibbs sampler 配合 Hybrid Monte Carlo 的技術來有效的從 $f(a_{1:p}, H\,|\,D)$ 取樣。

3.3.2 崩塌因子量化與選定

早期之研究主要是由野外的現地調查，選定幾項因子作為評估參數，將各參數予以分級，並賦以數值，最後將這些因子組合而得到山崩潛感分析或環境敏感度分析準則。在這過程中不論因子之選定或分級評分皆以個人專業素養及主觀看法決定的，此類方法即稱為定性的專家評分法，由於此法需依賴經驗，且過於主觀，分析的結果易因人

而異，因此，近年來所採用之分析方法已轉變為定量的統計分析法，利用統計方式歸納各因子間之關係及對邊坡穩定之重要程度，再給予權重。

在前人之研究中，賴季鋒(1999)之分析結果顯示各因子依其影響程度大小順序為岩性、集水區面積、道路長度、雨量。周晏勤、藍世欽、陳時祖(2001)依現場調查所得到之最重要因子是坡高、岩石破碎程度、排水狀況，而由遙感探測方法得到的結果是坡度及地層種類等因子最重要。王智仁(2001)之研究成果以坡度及排水狀況兩因子為影響本研究區岩坡不穩定性的最主要因子。張舜孔(2003)之研究結果顯示前七天累積降雨量、當天降雨量和地層等是阿里山公路邊坡安全性的最大影響因子，而在地震後權重排序提升的因子有地層和坡形。陳崇華(2004)之研究結果顯示各因子相對重要性依序為：坡度、地層、坡度組合、坡向、構造、工程設施種類、坡趾開挖。

本計畫共計選取 16 項崩塌影響因子，其主要係配合本研究團隊過去所建置之邊坡管理系統中既有之基本資料項目（因子），並考慮前人研究成果中較具影響力之因子而進行選取，其中尚未建置於邊坡管理系統中之因子，將視其特性（是否具變動性）及重要性於未來加入至資料庫中，具變動性之因子將建置於自然環境資料庫中，作為經常性檢查時可更新的資料，以提高分析的準確度。依據上述各因子之特性可將所有因子分成基本因子、變動因子及誘發因子等三類，分別歸屬於自然環境資料庫及災損資料庫等二個資料庫。各因子的量化不同於過去常用的定性評分法，而是採用直接可量化之輸入值。

在高斯過程分析中，因子間若物理上有高度相依性，是不會有影響的。高斯過程之中心思想在於估算 Y(x)函數，因此儘管其中有部分因子有高度關聯性，也不會影響高斯過程之分析結果。例如，現在我們擁有某組資料，可利用一個因子(x)去估算產生此組資料的目標函數 Y(x)。如果我們令 x1=x，x2=2x，再使用此兩個因子(x1,x2)去估算 Y(x)，即使 x1 與 x2 彼此具有高度相依性，估算出來的 Y(x)仍然是一樣的。

3.3.2.1 基本因子

屬於基本因子者又分為：1.地形、2.地質、3.地質構造、4.風化破碎程度、5.水系等五項，其各項之因子分述於後：

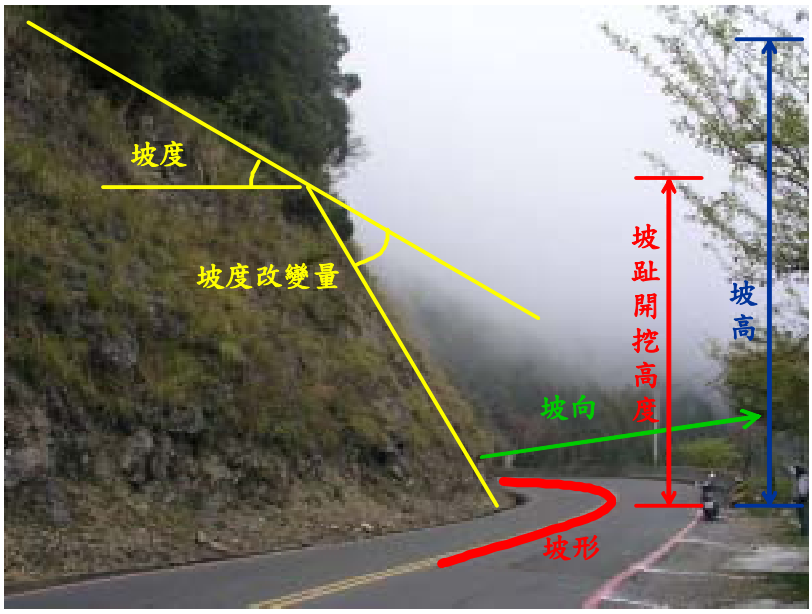


圖 3-54　基本因子(地形)示意圖

1. 地形

地形包刮：坡向、坡度、坡高與坡形等因子（詳圖 3-54 及 3-55）。

1-1 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，因此為可間接反映降雨及地震影響之因子之一，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 度，順時針旋轉遞增，範圍介於 0～360 度。

1-2 坡度

係指自然邊坡的角度，一般坡度越陡，造成下滑之趨動力越大，然此值須視坡度改變量（坡度改變量定義將於變動因子中說明）而定，若坡度改變量為 0，則坡度為 α 角；

否則為β角，如圖 3-55 所示。坡度亦經由地質羅盤於現場量得，範圍為 0～90 度。

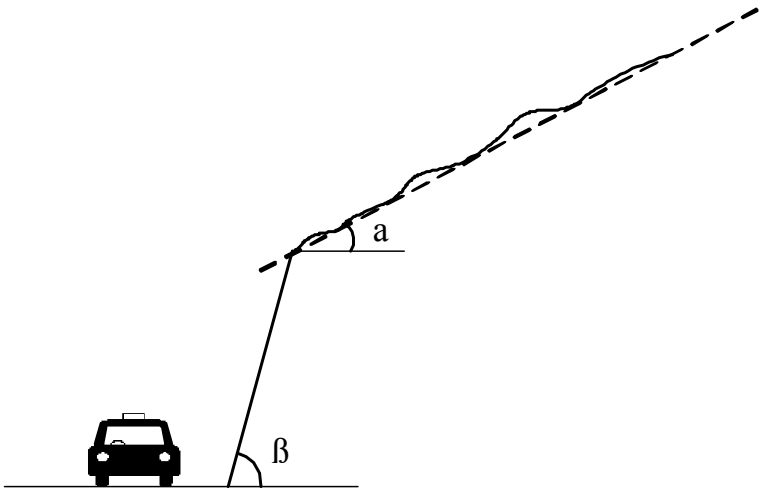


圖 3-55　坡度因子示意圖

1-3 坡高

係指與道路銜接之邊坡，由路面為基準起算之高度，單位為公尺，係由現場目測得到。

1-4 坡形

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值，先藉由 GIS 以繪圓套疊的方式量得道路曲率半徑，再以曲度來表示（曲度＝弧長/曲率半徑，取弧長為整弧 20 公尺），凸坡曲度為正，反之凹坡為負。

2. 地質

目前研究區域（臺 18 線、臺 21 線）之 1/5,000 數值地質圖仍未建置完成，故臺 18 線以劉桓吉等人(1989)所製作之阿里山公路沿線地質圖為依據，將沿線地質，依其地質年代之遠近，給予 5 個等級，分別為：1.卓蘭層、2.錦水頁岩、3.大窩砂岩或石灰岩、4.關刀山砂岩、5.南莊層（詳圖 3-56）；臺 21 線則以中央地質調查所製作 1/500,000 臺灣向量地質圖（2000 年版）為依據

（詳圖 3-57）。

圖 3-56　臺 18 線沿線地質圖

（摘自李德河等，2005；修改自劉桓吉等，1989）

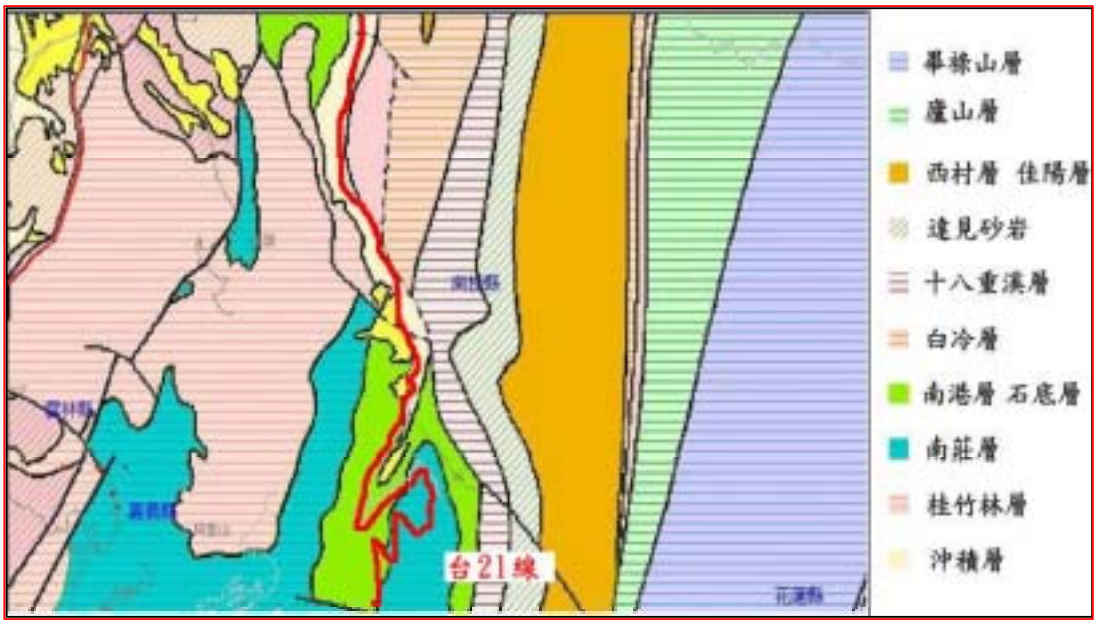


圖 3-57　臺 21 線沿線地質圖（改編自中央地調所）

3. 地質構造（圖 3-58）

地質包刮：岩層傾向與岩層傾角兩因子。

3-1 岩層傾向

量化值為｜坡向－岩層傾向｜（岩層傾向係由現場觀測露頭得到），一般順向坡＜22.5 度，逆向坡＞157.5 度。故此值可反映邊坡之順、逆向坡狀況。而一般土層或破碎岩層邊坡以直交坡（90 度）為輸入值。

3-2 岩層傾角

當坡面之坡度＞岩層之傾角時，層面會在坡面出露，此時若為順向坡，則構成順向坡滑動之條件。量化方法為坡角－傾角，一般土層及破碎岩層邊坡以水平岩層（傾角為 0）視之，則此項因子之值等於坡度。

圖 3-58　地質構造示意圖

4. 風化及破碎程度（詳圖 3-59）

4-1 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的岩塊之平均直徑為此因子之量化值。

4-2 岩塊體積百分比

以岩塊部份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。

圖 3-59　風化及破碎程度示意圖

5. 水系

5-1 集水區面積

本研究主要探討降雨所造成之邊坡崩塌。故水為主要之影響因素，而此因子即可反映滙流之水量，單位為平方公尺，此面積為垂直之投影面積，由該區域之 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集水區面積（詳圖 3-60）。

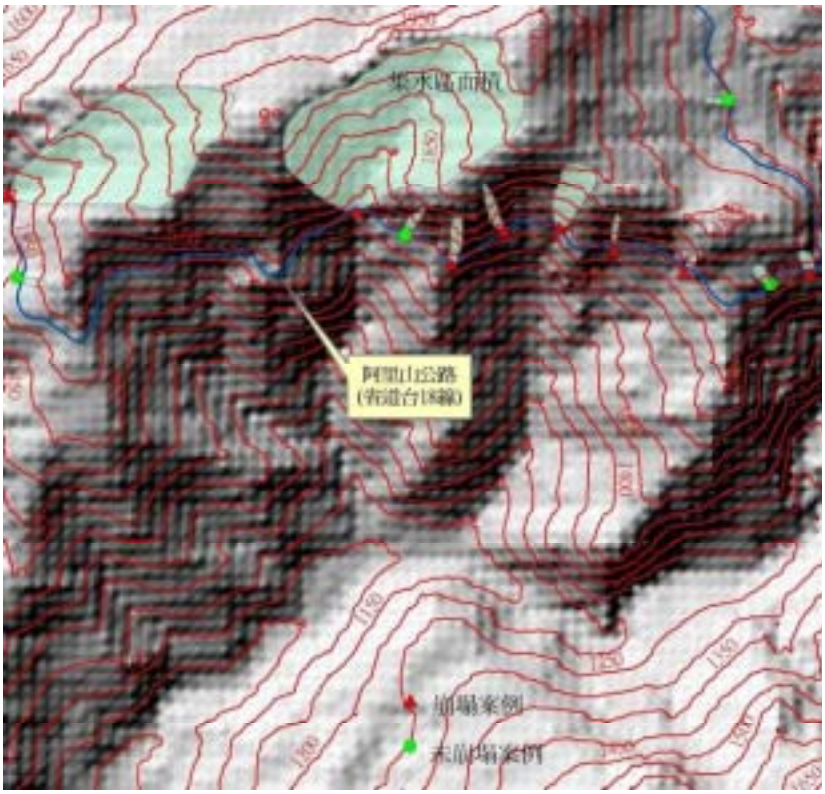


圖 3-60　GIS 建置之集水區面積圖

3.3.2.2 變動因子

1. 植被

1-1 植坡覆蓋面積百分比

以樹蔭可涵蓋之有效面積來計算，用以表示植被覆蓋程度，亦反映坡面之裸露程度。

1-2 植被覆蓋厚度

係指有效覆蓋厚度，單位為公尺。以檳榔樹為例，雖其普遍具 5～6 公尺以上之高度，但其樹冠之厚度僅 0.5 公尺左右，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 0.5 公尺。

2. 道路開闢

道路開闢為山區道路邊坡之主要人為影響因子，本研究選取坡址開挖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：

2-1 坡趾開挖

即指坡趾開挖之高度，如圖 3-61 中之 h，以公尺為單位。

2-2 坡度改變量

△θ=開挖後坡度-開挖前坡度。若崩塌範圍在開挖處上方，則此值為 0，如圖 3-61 所示。

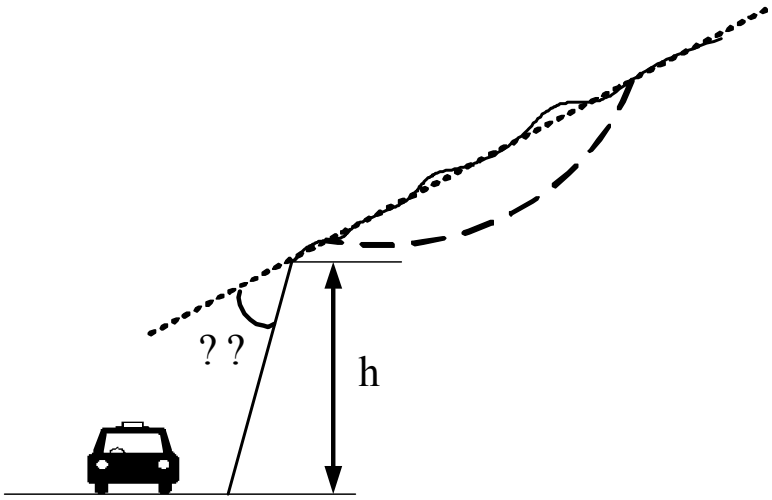


圖 3-61　道路開闢因子示意圖

3.3.2.3 誘發因子

1. 地震力－最大地表水平加速度

地震力一般皆被歸類為誘發因子，但本計畫主要探討的是降雨引致之邊坡崩塌，故地震力在本計畫中具有基本因子之特性。為能量化及表達九二一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，以中央氣象局在沿線附近的 21 個測站使用 GIS 之空間分析模組進行內插而得到（詳圖 3-62）。

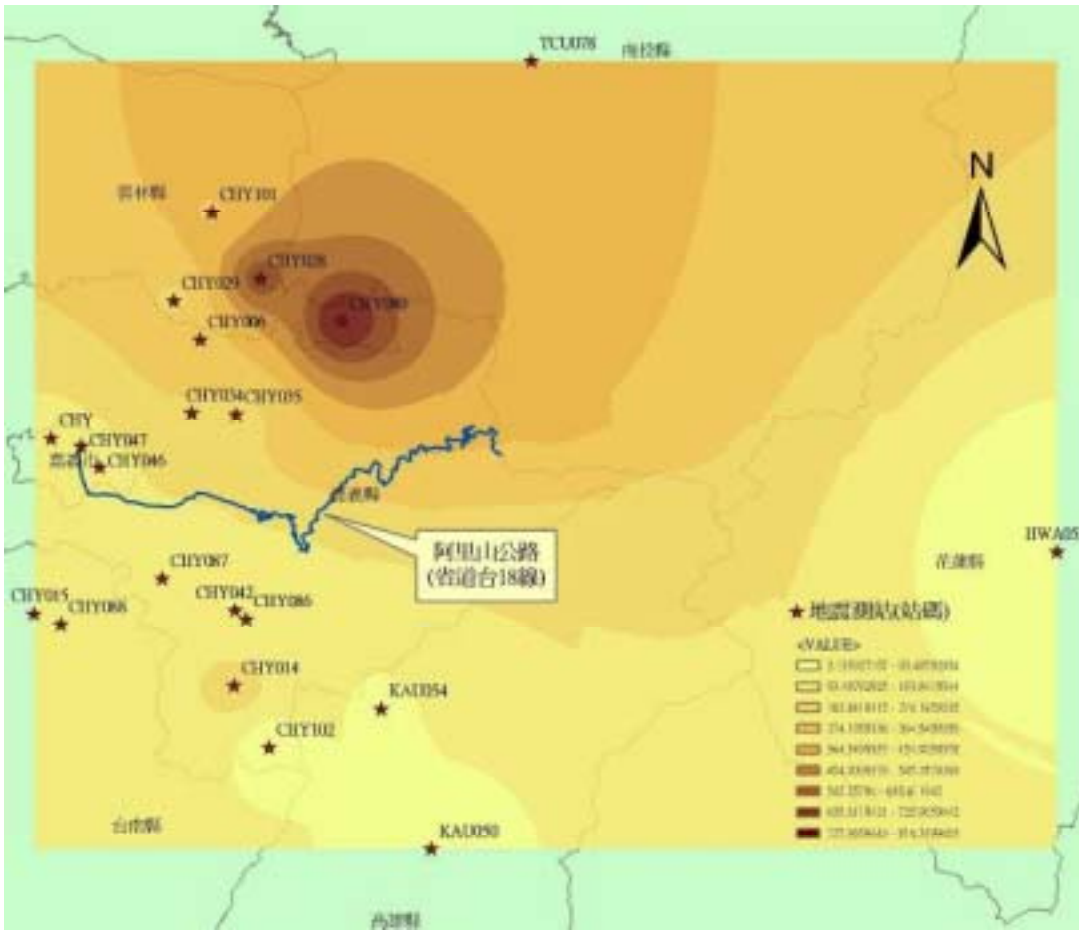


圖 3-62　GIS 建置之 PGA 分佈圖

2. 降雨－颱風累積降雨量

本研究所蒐集之崩塌案例皆為颱風時期所造成之崩塌，故選用颱風時之累積降雨量作為誘發邊坡崩塌之主要影響因子。此值之取得方式與最大地表加速度類似，係以阿里山公路沿線附近之 39 個雨量站（中央氣象局）量得之雨量進行 GIS 空間分析模組之內插功能，而得到空間分佈之區域雨量圖（詳圖 3-63）。需注意的是，由於降雨屬誘發因子，故在進行邊坡崩塌潛勢分析時並未考慮此因子。換句話說，在本計畫中邊坡崩塌潛勢僅與邊坡之基本因子及變動因子有關，而邊坡崩塌機率才與降雨量有關。

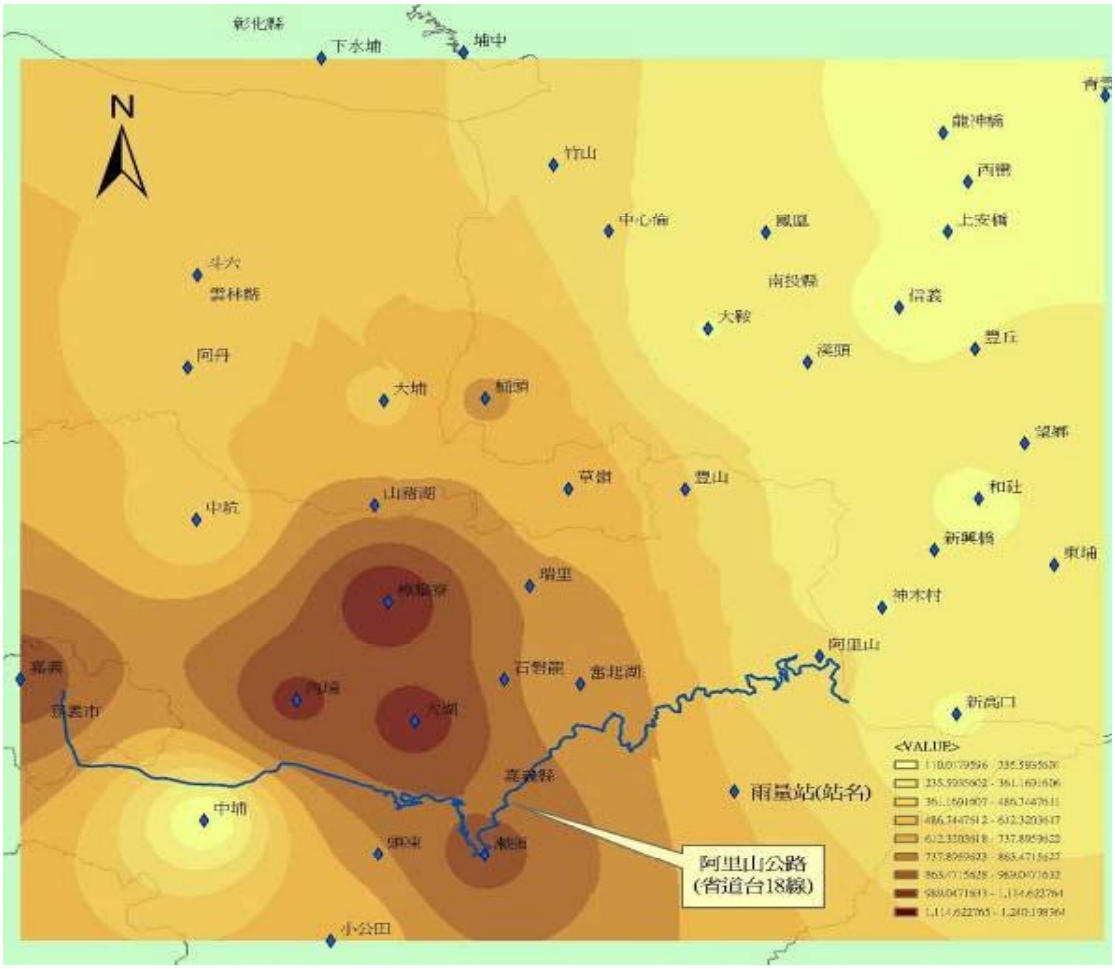


圖 3-63　GIS 建置之區域雨量分佈圖

綜合前述本計畫所選取之 10 個基本因子、4 個變動因子及 2 個誘發因子，可整理如表 3-2。由高斯過程分析結果我們可以得到既有崩塌影響因子之相對重要性，詳述如下：在超參數 H 中，　控制第 j 個解釋變數 x(j)的重要性：若 大，表示 x(j)是一個不重要之解釋變數，反之亦然。因此，若 估算值很大時意義如下：根據觀測到之資料 D，第 j 個崩塌影響因子 x(j)不重要，反之亦然。此結論將有助於辨別較具有影響力之崩塌影響因子。

表 3-2　影響因子及量化範圍

	資料庫	類別	影響因子	單位	範圍	來源	建置
基本因子	自然	地形	坡向	°	0~360	現勘	是
			坡度	°	0~90	現勘	是
			坡高	m	≧0	現勘	否
			坡形	°	-∞~+∞	圖資	是
		地質	地層種類	—	1~5	圖資	是
		地質構造	坡向與傾向	°	0~180	現勘	是
			坡度與傾角	°	-90~90	現勘	是
		風化及破碎程度	岩塊規模	m	≧0	現勘	是
			岩塊體積百分比	%	0~100	現勘	是
		水系	集水區面積	m^2	≧0	圖資	否
變動因子	自然	植被	植被覆蓋面積百分比	%	0~100	現勘	否
			植被覆蓋厚度	m	≧0	現勘	否
		道路開闢	坡趾開挖高度	m	≧0	現勘	是
			坡度改變量	°	0~90	現勘	否
誘發因子	災損	地震力	最大地表水平加速度	gal	≧0	圖資	是
		降雨	颱風累積降雨量	mm	≧0	圖資	是

3.3.3 道路邊坡崩塌潛勢分析

本研究進行之道路邊坡崩塌預測模式規劃如圖 3-64 所示，共分為崩塌類型預測模式、崩塌潛能預測模式、崩塌機率預測模式，以及崩塌規模預測模式等四階段，各階段之預測模式介紹、建立與應用則分述如後述各小節。

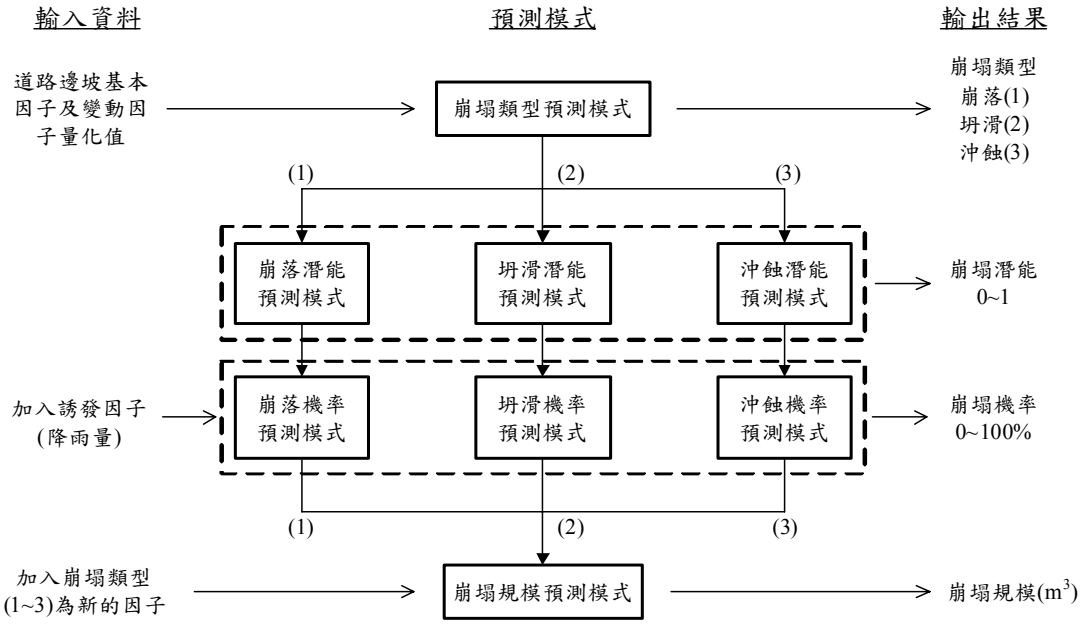


圖 3-64　分階式山區道路邊坡崩塌預測模式

3.3.3.1 各階段預測模式介紹

第一階段（崩塌類型預測模式）－第一階段首要作邊坡潛在崩塌類型之判別，崩塌類型可分為崩落、坍滑及沖蝕等三類。本階段所需輸入之資料為道路邊坡之基本因子及變動因子量化資料，輸出（預測）結果為崩塌類型（類型代號）：崩落（1）、坍滑（2）、沖蝕（3）。

第二階段（崩塌潛能預測模式）－依潛在崩塌類型之判別結果選擇不同崩塌類型之崩塌潛能預測模式進行第二階段之邊坡崩塌潛能（Potential）評估，故具有崩落、坍滑及沖蝕等三個崩塌潛能預測模式，崩塌潛能係以機率的方式來表示。而採用「潛能」一詞之原因，乃考量此階段之預測模式尚未考慮誘發因子，僅以基本因子及變動因子進行分析，其意義為邊坡在本身內在條件下可能發生崩塌之可能性，為避免與「潛勢」及「潛感」混淆，故採用一般大地工程所稱之液化潛能評估中之「潛能」一詞來表示，其意義與之相同。此階段需輸入資料同崩塌類型預測模式，而輸出（預測）值介於 0～1 之間。

第三階段（崩塌機率預測模式）－針對具有高崩塌潛能之邊坡，可

在加入誘發因子（降雨量）後，作降雨時邊坡崩塌機率（Probability）之預測，同一邊坡在不同降雨量時可得到不同之崩塌機率。此階段亦有崩落、坍滑及沖蝕等三個崩塌機率預測模式。此階段需輸入之資料為基本因子、變動因子及誘發因子（降雨量）之因子量化值，而輸出（預測）值以百分比（%）表示。

第四階段（崩塌規模預測模式）－最後一階段則為崩塌規模之預測。此階段所需輸入之資料除了以崩塌類型為新加入的因子外，其餘則與崩塌機率預測模式相同，輸出（預測）結果以坍土石方量（m3）來表示。

3.3.3.2 各階段預測模式建立

1. 崩塌類型預測模式

此模式屬統計上之多元分類（Classification）問題。建立此模式所使用之分析案例為本研究所蒐集之所有崩塌案例，所有崩塌案例依照崩塌照片進行研判可分為三種不同崩塌類型，分別為崩落、坍滑及沖蝕，有關崩塌類型之現地研判方法可參見第四章。各案例之輸入資料（Input Data）為基本因子及變動因子之量化值，輸出資料（Output Data）為崩塌類型，其目標值（Target）代表之意義為：1→崩落、2→坍滑、3→沖蝕。

2. 崩塌潛能預測模式

此模式屬二元（Binary）分類問題，即僅有二個類別（0＆1）之分類問題。在崩塌類型預測模式建立後，即可以該模式來判別所有本研究蒐集之未崩塌案例的潛在崩塌類型，依據其判別結果亦可將所有未崩塌案例分為三種崩塌類型。需注意的是，所有之未崩塌案例皆未發生過崩塌，判別之結果僅顯示若其未來發生崩塌時最有可能之崩塌類型為何。而將所有未崩塌案例分為三種崩塌類型之目的，是為了能將同一崩塌類型之崩塌案例及未崩塌案例一併進行分析，如此可建立各類型之崩塌潛能預測模式，並可找出各崩塌類型影響其崩塌潛能高低之重要性影響因子。

如上所述，若將各崩塌類型之崩塌案例及未崩塌案例歸為同一組資料，將可建立三組之分析資料，可分別用以建立崩落、坍滑及沖蝕等三個類型之崩塌潛能預測模式。其中各案例之輸入資料亦為基本因子及變動因子之量化值，輸出資料則為邊坡崩塌與否的資料，其目標值代表之意義為：0→未崩塌、1→崩塌。

3. 崩塌機率預測模式

此模式亦屬二元（Binary）分類問題。本研究所探討之崩塌問題皆由降雨所造成，故所有之崩塌案例在未降雨時皆為安全的，當雨量達到某一臨界值時才發生崩塌，故在建立此模式時，需加入之誘發因子為降雨量（邊坡崩塌時之累積降雨量）。同樣的，為能建立各崩塌類型之崩塌機率預測模式，各崩塌類型之分析資料除既有之崩塌案例外，仍須有未崩塌之案例，但本研究蒐集之未崩塌案例過去皆未曾發生過崩塌，因此無法得知在降雨量多少時才會使其發生崩塌，因此該蒐集之未崩塌案例僅能用以進行崩塌潛能預測模式之建立，而無法用於崩塌機率預測模式之建立。有鑑於此，本研究所採用之作法如下：

3-1 僅採用本研究所蒐集之崩塌案例為基本案例。

3-2 每一基本案例，皆有其不同之基本因子及變動因子量化值，當加入之誘發因子-降雨量為導致其崩塌之累積降雨量時，即成為一崩塌案例；而當此降雨量設為 0 時，則成為一未崩塌案例，而各崩塌類型皆有數量相同之崩塌案例及未崩塌案例。

3-3 各案例之輸入資料為基本因子、變動因子之量化值及誘發因子（降雨量），輸出資料為邊坡崩塌與否的資料，其目標值代表之意義亦為：0→未崩塌、1→崩塌。因此，崩塌案例及未崩塌案例兩者之差異僅在降雨量及輸出目標值之不同。

4. 崩塌規模預測模式

此模式屬統計上之迴歸（Regression）問題。此模式亦以本

研究所蒐集之所有崩塌案例進行迴歸分析來建立。分析時各案例之輸入資料為基本因子和變動因子之量化值、誘發因子(降雨量)及崩塌類型（代號)，輸出資料則為崩塌規模，即坍土石方量，其目標值之單位為 m3。由於此預測模式並不依崩塌類型而分成三個預測模式，故將崩塌類型視為一新的因子加入至輸入資料中。

綜合上述各預測模式建立之說明，各模式建立所使用之分析資料可整理如表 3-3 所示。

表 3-3　各階段預測模式建立所使用之分析資料

預測模式		統計問題	輸入資料	輸出資料	
				變數	目標值
崩塌類型		多元分類	基本因子及變動因子之量化值	崩塌類型	1→崩落 2→坍滑 3→沖蝕
崩塌潛能	崩落	二元分類	基本因子及變動因子之量化值	崩塌與否	0→未崩塌 1→崩塌
	坍滑				
	沖蝕				
崩塌機率	崩落	二元分類	基本因子+變動因子+誘發因子（降雨量）之量化值	崩塌與否	0→未崩塌 1→崩塌
	坍滑				
	沖蝕				
崩塌規模		迴歸	基本因子+變動因子+誘發因子（降雨量）+崩塌類型之量化值	崩塌規模	坍土石方量（m^3）

3.3.3.3 各階段預測模式之應用

1. 崩塌類型預測模式

不同的崩塌類型皆有其不同的發生機制，若可有效預測道路邊坡之潛在崩塌類型，將可針對不同潛在崩塌類型之道路邊坡選

擇合適的保護措施。

2. 崩塌潛能預測模式

主要用以進行崩塌「位置」的預測，此一結果將可提高相關單位進行道路邊坡養護及管理時之效率。此外，因子重要性檢定之結果可得到各不同類型崩塌潛能預測模式中之重要性影響因子，藉由改善邊坡的重要性影響因子，可達到降低其崩塌潛能的效果。

3. 崩塌機率預測模式

預測任一降雨量時邊坡發生崩塌之機率，主要係用以進行崩塌「時間」的預測。此模式可應用於即時監測降雨量之邊坡崩塌預警通報系統的建立。

4. 崩塌規模預測模式

若可有效預測崩塌規模，將可進行危害度（Hazard）分析。危害度為災害發生時可能造成之損失程度，災害損失包括人員傷亡、土地及財產的損失。若進一步與崩塌潛能或崩塌機率結合，則可進行風險（Risk）評估。

第四章　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。目前在災中緊急搶修階段之工作執行，主要可以分為搶通與搶修兩大作業，本章除針對此階段面臨之維護問題進行探討外，亦將分別針對此兩項作業，進行深入之敘述。

4.1　搶修階段維護問題與現況

當颱風過境、豪大雨來襲、地震過後或其他災害發生時，常使得山區道路發生崩塌甚至交通中斷的情形。一旦道路發生坍方或其他災害，影響道路的可行性及安全性，則需立即進行搶修工程。一般山區道路之緊急搶修工程主要針對崩塌坡面進行危木移除、裂縫尋填、人工整坡、橫縱向截排水等（如圖 4-1 及圖 4-2 所示），以穩定崩塌坡面。

圖 4-1　崩塌裸坡加蓋帆布防止二度沖刷

圖 4-2　崩塌裸坡加蓋帆布防止二度沖刷

道路之基本功能為提供安全、便利的運輸服務，因此當道路因發生災害導致中斷時，首要的目標即是以道路為保護對象，在最短的時間內搶修通車。由於搶通時間的迫切性，因此沒有足夠時間分析發生崩塌的致災因子，在穩定工法的選取上，往往無法針對邊坡的長久穩定性加以考量，而多採用常用之傳統工法。另一方面，也因時間的緊迫性未針對邊坡發生崩塌的機制進行考量，而忽略了道路本身上、下邊坡所需配合進行的整治，以及工程進行中，大量土石方清運可能對環境生態造成的影響。

在此階段所進行緊急搶修工程經費，與其他整治工程的經費相較下，花費較少；但因搶修時間的迫切性，未分析崩塌的致災因子，無法確實選取最適當之穩定工法，故反易造成後續復建工程經費之浪費。

另一方面，在道路搶修階段，礙於時間緊迫與經費有限，往往無法有充分的時間可以針對整治區域進行通盤監測系統設置考量，如此一來，不僅降低工程整治品質，有時更是引發其他災情發生。故建議於後續相關之整治工程搶修階段能視需要將監測系統列入工程評估考量，依監測成果長期追蹤整治區域之安全與品質。

4.2 道路搶通作業階段

道路搶通作業階段，其首要目標即是以道路為保護考量對象，在最短的時間內恢復道路通車之功能。故當邊坡坍方阻斷交通，基層巡查人員應於第一時間內前往現場進行勘查以瞭解實際災況外，亦可調閱災前預防階段所建置之歷次災害、巡檢、自然環境等相關資料，充分利用既有之資源，進行災害緊急處置作業。

緊急處置作業可分為工程處置與非工程處置兩大類，其中工程處置階段，礙於搶通時間的迫切性，沒有充足時間分析發生崩塌之致災因子，故即以快速、省時且簡易之工法，例如：打設鋼軌樁、落石清運、危木移除、裂縫填補、人工整坡、坡面排水設施等，進行崩塌坡面穩定之作業。至於非工程處置方面，除通報警察機關前往現場配合維持交通外，工程人員亦應設置標誌，協助進行疏導或封閉交通。

最後，為防止搶通作業之執行引發其他災情發生，故建議於搶通作業階段時，應隨時觀察邊坡之變化，必要時，可設置簡易之監測設施，如：人工記讀裂縫計（詳圖 4-3）、地表沉陷觀測點（圖 4-4）等，加強注意其各項徵兆、環境因素徵兆、物理量等。

圖 4-3　簡易監測儀器－人工記讀裂縫計

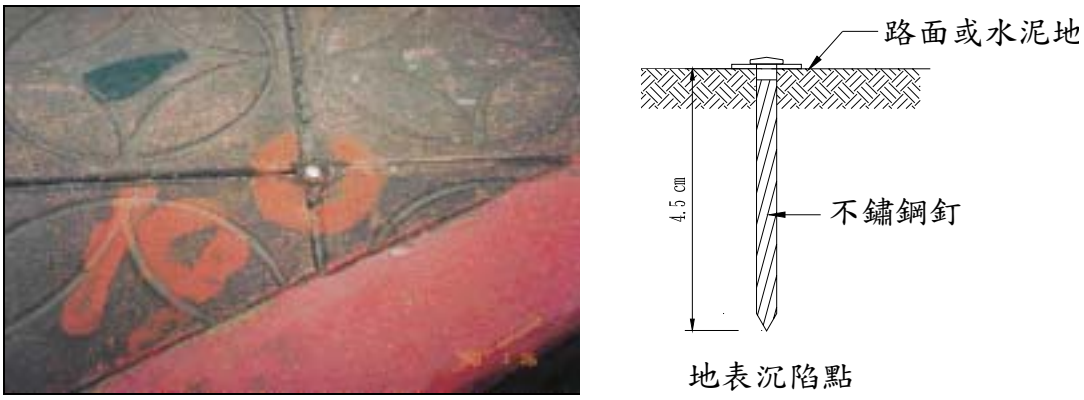


圖 4-4　簡易監測儀器－地表沉陷觀測點

除此之外，亦期許災況巡查記錄可與監測規劃予以結合，以充分發揮監測預警之成效，故研究團隊亦規劃簡易之目視調查表，以提供現地工程人員前往現場勘災時，可以確實記錄災況現場之相關資料。目前提擬之調查表規劃之分類共計：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、照片及說明等六大類，如圖 4-5～圖 4-10 所示。

圖 4-5　基本資料調查欄位

圖 4-6　災害狀況調查欄位

圖 4-7　地形與地質及植被與土地利用狀況調查欄位

圖 4-8　保全對象調查欄位

圖 4-9　災害簡述及建議調查欄位

圖 4-10　照片及說明調查欄位

4.3 道路搶修作業階段

至於道路搶修作業階段，其首要目標則是以防止災害擴大為原則。故在搶通階段之後，基層巡查人員，除應再前往現場，針對前期搶通作業進行評估，以瞭解現地穩定狀況外，同時可調閱歷年工程搶修與災損資料等，以作為搶修工程選定之參考依據。

至於搶修工程之執行，由於此階段道路已恢復基本通車功能，針對擬施作之搶修穩定措施，則應加以審慎評估與處理外，在考量維護道路長期的穩定性及安全性下，更需進一步將道路上、下邊坡與路基穩定狀況納入考量。

有關此階段之監測規劃，建議除針對搶通階段所設置之簡易監測設施進行持續量測作業外，亦需視現地穩定狀況提升監測等級，增設手動或半自動之監測儀器。然在搶修工程施做完工後，應透過現地工址調查與中、長期之監測規劃，進行復建需求之分析，以作為後續進行復建工程施做與否之參考。

第五章　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，本研究將審慎考量現地實際需求與有限資源，針對災後復建階段提擬一完整之執行規劃。

災後復建工作主要應包含：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。本章節則將彙整上述規劃，針對既有擋土結構功能評估、復建工作規劃與執行，以及監測預警規劃與執行等三方面進行詳述。

5.1 既有擋土結構物功能評估

臺灣地區在賀伯颱風、九二一地震、桃芝颱風，以及敏督利颱風等天然災害襲擊後，造成多數山區道路邊坡嚴重崩塌與擋土結構物損壞，然而由於損害數量極鉅，囿於養護修復之人力、物力有限，又加上現地自然環境變化難測，故至目前仍有部分路段尚未完全復原。同時，山區道路沿線多數擋土結構物亦遭程度不同之損壞，為瞭解相關災損邊坡擋土結構物之功能性，因此，在災後復建階段，建議需先針對災損擋土結構之功能性建立一評估方法，依據擬定之功能評估因子進行評估，再針對功能評估結果予以分級，而後依據功能等級之高低，便可施以重建或不同程度之處理對策。

5.1.1 擋土結構物功能評估因子

各類擋土結構物功能性評估可藉由現地勘查作業，以目視檢查法，針對道路邊坡擋土設施之現存功能作一概略性評估，並可利用儀器監測法由現地儀器之量測讀數，作為擋土結構物災損分級界定之依據。

本研究篩選國內較常使用之典型道路邊坡擋土防治工法，如：噴漿護坡、打樁編柵，以及重力式、懸臂式、加勁與地錨等擋土結構物，並依其結構物特性因子予以分類，進而選定功能評估因子(如表 5-1)進行分析。

各類護坡擋土結構物之功能評估因子內容分別說明如下各節。

5.1.1.1 噴漿護坡、打樁編柵工法

噴漿護坡及打樁編柵為常見之道路邊坡整治工法，主要以坊止坡面侵蝕、風化及表層崩落之局部穩定作用為主。主要功能評估因子如下：

1. 噴漿坡面龜裂、剝蝕

噴漿坡面若發生龜裂或剝蝕現象，其損壞原因可能為施工不當、噴漿厚度不足、邊坡內部排水不良、植物生長支撐或穿透水泥噴漿等。噴漿坡面損壞會導致雨水滲入裂縫致使坡面土層流失與沖刷，造成更大的剝蝕。

2. 坡面裸露、沖蝕

坡面若植生覆蓋效果不佳，岩、土層暴露於風化與侵蝕作用下，每當颱風豪雨來襲時，裸露之坡面易引發或大或小之沖蝕溝。

3. 邊坡滲水、湧水

坡面若有滲水或湧水情形，且流出之逕流水呈現混濁現象時，表示地表植被遭破壞或裸露，內部土壤顆粒隨逕流水流出，坡面容易被淘空而軟化或下陷。

5.1.1.2 砌石擋土牆、重力式擋土牆及懸臂式擋土牆等工法

此類為傳統剛性擋土牆工法，係以牆體本身之重量或配合鋼筋混凝土強度，提供抗滑、抗剪及抗傾倒之功能。其主要功能評估因子如下：

1. 牆體傾斜、外凸變形、鋼筋外露

擋土牆若經由目視檢查發現外觀有明顯傾斜、位移、鋼筋外露等現象，其損壞原因可能為受地震外力作用後之地層滑動、施工設計不良、填土壓力、地下水侵蝕或雨水沖蝕等，造成擋土牆可以承受的壓力超過抵抗強度，而失去擋土功能。

2. 牆面裂縫、龜裂

此類擋土工法之耐震能力較差，易因受地震所引發之動態土壓力作用，而使牆體受力不均，造成牆體位移而產生張力裂縫。

3. 擋土牆排水孔阻塞、排水混濁

擋土牆排水孔若無法順利排水，易產生滲透水壓過大，土壤吸水膨脹而使得擋土牆出現外凸變形或龜裂現象。另外，排水孔若流出混濁泥水，則可能因牆背回填土發生流失或淘空，即有潛在危險現象。

5.1.1.3 加勁擋土牆工法

加勁擋土工法係使用地工合成材料、鋼材或其他等加勁材料，與填築土壤結合成加勁土體，並利用土壤中埋設之加勁材料與土壤間所產生之摩擦力，彌補土壤中之剪力或張力強度不足，使得土體在受外力作用後不致產生側向位移，以保持土體結構之穩定。加勁擋土結構與傳統重力式擋土設施相較，其主要優勢為有耐震性佳、經濟性佳、較佳的因地制宜性，以及易於進行景觀綠美化等特點，故近年來已被大量被推行、採用，並取代部分之傳統剛性擋土牆。其主要功能評估因子如下：

1. 牆體沉陷、變形

加勁擋土牆一般係由面版、加勁材料及回填材料所組成。牆體外觀若有明顯沉陷、變形，其損壞原因可能為回填料之夯實不良或設計不當導致牆體承載力不足而發生沉陷與側向變形，若邊坡地質條件不良或侵蝕，更易造成擋土牆損毀。

2. 加勁材斷裂、拉出

一般加勁材料可分為金屬與非金屬兩大類：非金屬類主要以地工合成材料為主；金屬類則以鋼材較為普遍。與傳統剛性擋土牆比較，加勁擋土牆的施工簡單且快速，但其施工品管格外重要。若外牆面版有明顯外露或加勁材明顯斷裂、拉出等現象，其損壞原因可能為施工品管不良或保護不佳，導致加勁材料抗拉強度不足而發生破壞。

3. 截排水設施損壞、坡趾滲水

截水牆若發生錯動或折斷而造成排水不良，易導致雨水滲入加勁回填區內致使回填材料流失，即可能發生邊坡潛移、地盤不穩定等癥兆。此外，坡趾有滲水現象，易造成沖蝕致使邊坡趨於不穩定狀態。

5.1.1.4 地錨擋土牆工法

地錨擋土工法為近年來道路工程較為普遍使用之柔性擋土工法，此工法係藉由地錨本身提供之高抗滑力來穩定邊坡，常運用於滑動面較為深層或已發生破壞之坍滑邊坡。由於地錨擋土工法本身對於能否發揮預期成效有其決定性之影響，故於施工要求之品質及品管也較高。其主要功能評估因子如下：

1. 錨頭與面版龜裂、剝離

地錨與擋土牆面版外觀若有明顯龜裂、剝離或變形等損壞現象，其損壞原因可能為設計或施工品管不良、地震或地層滑動，易造成邊坡整體崩滑而失去錨定功能。

2. 錨頭、鋼腱銹蝕

地錨錨頭若開裂而外露，會因地下水滲入而使鋼腱產生銹蝕，即可能發生錨頭脫落或擋土牆面版開裂，降低抗拉強度而失去錨定功能。

3. 地錨預力損失、鋼腱斷裂

地錨錨定力會因時間增加而漸漸減少，可藉由地錨荷重計之裝設，隨時監測預力鋼腱之殘餘荷重，以便於掌控擋土邊坡之穩定性。

各類護坡擋土結構物之主要功能評估因子彙整如表 5-1。

表 5-1　國內常見護坡擋土結構物之主要功能評估因子

護坡擋土結構物型式	功能性評估因子
噴漿護坡 打樁編柵	噴漿坡面龜裂、剝蝕 坡面裸露、沖蝕 邊坡滲水、湧水
砌石擋土牆 重力式擋土牆 懸臂式擋土牆	牆體傾斜、外凸變形、鋼筋外露 牆面裂縫、龜裂 擋土牆排水孔阻塞、排水混濁
加勁擋土牆	牆體沉陷、變形 加勁材斷裂、拉出 截排水設施損壞、坡趾滲水
地錨擋土結構物	錨頭與面版龜裂、剝離 錨頭、鋼腱銹蝕 地錨預力損失、鋼腱斷裂

5.1.2 擋土結構功能分級評估模式

本研究主要將護坡擋土結構物之功能現況分為功能尚可、局部損壞及功能喪失等三大等級，各級分級原則分別說明如下各節。

5.1.2.1 功能尚可

護坡擋土結構物之外觀經由現地勘查目視檢測結果，若是：1.牆體本身無明顯傾斜、位移及變形，或僅有細微裂縫、小部分輕微之變形。2.地表或地下排水設施充足、排水狀況良好。3.坡面植生覆蓋情形完整。

上述目視檢測結果，可視為擋土結構物之功能尚可，此等級之工法仍可以發揮其穩定之功效。

5.1.2.2 局部損壞

護坡擋土結構物之外觀經由現地勘查目視檢測結果，若是：1.局部龜裂破壞、略有傾斜現象，或是地錨之錨頭與擋土牆面版有分離或錨

頭嚴重銹蝕之現象。2.擋土牆面之排水孔部分遭土石或異物堵塞；或排水設施不足，進而造成排水功能部分喪失。3.坡面已出現裸露、龜裂情形，但整體坡面保護功能仍存在。

上述目視檢測結果，可界定為擋土結構物之功能為局部損壞，此等級之工法安全性介於警戒值與觀察值之間。

5.1.2.3 功能喪失

護坡擋土結構物之外觀經由現地勘查目視檢測結果，若是：1.擋土牆體龜裂嚴重、完全崩壞，或者擋土牆可由肉眼看出明顯傾斜或位移時，則可將此狀況判定為擋土結構體功能喪失。在地錨工法方面，若地錨錨頭掉落或擋土牆面版嚴重開裂亦為功能喪失之明顯癥兆。2.在排水方面，坡面已產生大小不等之沖蝕溝、坡面流水混濁、現地排水設施不暢通。3..地表逕流流速過快導致排水設施嚴重損壞，致使排水設施未能發揮排除逕流及消能之功效等。

上述目視檢測結果，可界定為結構物功能喪失之分級，由於此等級之工法已喪失穩定邊坡之功能，屬於警戒值狀態。

為考量現地安全，建議針對此等級之工法應即時採取相關之處理對策。

5.1.3 功能評估方法

道路邊坡擋土結構物之功能評估方法依其工程特性與規模可分為目視檢查法、調查分析法及儀器監測法，分別概述如下各節。

5.1.3.1 目視檢查法

目視檢查法為山坡地最基本且最常使用的工法，當道路邊坡擋土結構物已發生不安全狀況時，常會在地表或擋土設施發現若干癥兆，諸如地形或地貌的不協調、地面出現連續性之張力裂縫、坡趾附近之土石被擠壓且出現大量鼓脹裂縫、擋土牆外凸或龜裂、地錨開裂或銹蝕、路面及排水系統損壞等異常現象，如能有具經驗之工程師加以檢查，大部分都能提前預知防範。

由於目視檢查法簡單易行，故山坡地水土保持設施自行檢查的方法大都以目視檢查為主，如果經由目視檢查發現異常現象時，為充份瞭解其真正的原因及行為，再進行必要之調查或監測。

5.1.3.2 調查分析法

由於目視檢查法僅能就其外觀檢查結果做初步判斷，但無法正確瞭解邊坡潛在之危險因子或區域，故需調查山坡地之地質及地下水狀況，就不同基地之地質狀況及地下水條件，繪製地質剖面圖，並參考室內試驗求得之地層強度參數 C、φ值，進行邊坡穩定分析，以求得安全係數。

設計者必須針對地質條件、地下水條件、滑動面、地層強度參等基本調查有充份的瞭解與掌握，並考量邊坡造成破壞時，可能造成生命財產損失之嚴重性，決定一合理的安全係數，以作為後續分析及設計之依據。

5.1.3.3 儀器監測法

由於目視檢查法僅藉由表面癥兆判斷其安全性，故有其侷限性及不足之處，在已出現危險癥兆或風險性較高之道路邊坡與擋土結構物，必須藉由精密儀器對地層穩定性、擋土設施、地下水進行監測，以充份掌握邊坡地層之穩定狀況，並由專業人員設定管理標準，在有安全疑慮時即適時發出預警訊息，以提供管理單位採取應變措施。

上述三種功能評估方法之優缺點比較，詳如表 5-2。

一般而言，在工程經濟、安全及時效之考量下，三種方法常混合或同時使用。若風險程度較高或已有不穩定癥兆發生之邊坡，則多同時採用此三種方法進行安全檢查。以山區道路邊坡而言，由於涵蓋的面積及範圍廣大，大都以目視檢查為主，然視其災害嚴重性之局部區域，再輔以調查分析或儀器監測等方法。

表 5-2　不同功能評估方法之優缺點比較（廖瑞堂，2001）

方法	目視檢查法	調查分析法	儀器監測法
工作方法	以目視檢查現場勘查記錄並加以研判。	1.藉由地質調查及基本資料蒐集，決定參數及地層狀況。 2.以水理分析及邊坡穩定分析加以評估分析。	採用精密儀器對邊坡穩定直接監測。
適用時機	1.基地面積甚廣。 2.初步現勘調查。	輔助目視檢查法及儀器監測法之不足。	1.設置於高危險性或風險性高的邊坡。 2.安全要求標準較高的坡地。
優點	1.快速、經濟。 2.可隨時檢視並加以保養維護。	1.可深入瞭解不同個案潛在的危險因子。 2.可充分瞭解邊坡安全性。 3.提供監測儀器佈設之依據。	可掌握地層或擋土設施實際之穩定狀況。
缺點	1.從坡地外觀無法掌握危險地區之危險因子。 2.無法瞭解其安全性。	1.與時間有關之特性，如地下水流向之改變無法充份掌握。 2.費用較昂貴。	無法瞭解邊坡之安全性。

5.1.4 定量化道路邊坡災損擋土結構物功能評估方法

綜合前述各類護坡擋土結構物之功能評估因子與分級模式，將國內道路邊坡常使用之護坡擋土結構物分為噴漿護坡、打樁編柵；砌石、重力式、懸臂式等擋土結構；加勁擋土結構；以及地錨等四類，依據其功能特性之不同，研擬各類擋土結構物之功能性評估與分級評分模式，如下述各節所述。

5.1.4.1 噴漿護坡工法

噴漿護坡主要之功能評估因子在於噴漿坡面龜裂、剝蝕；坡面裸露、沖蝕；以及邊坡滲水情形。若噴漿坡面外觀僅有細微裂縫；坡面

植生覆蓋情形大致良好且無小沖蝕溝跡象；排水設施充足且排水狀況良好時，則建議界定為功能尚可。

若噴漿坡面有局部龜裂；坡面裸露面積介於 20%　60%或有小型蝕溝正在發育中，但坡面整體保護功能仍存在；排水設施不足或有局部損壞等情形，則可界定評估等級為局部損壞。

倘若噴漿坡面外觀嚴重剝蝕；坡面裸露面積超過 60%或坡面已產生或大或小之沖蝕溝；坡面有嚴重滲水且流水出現混濁現象時，則界定此工法之功能等級為功能喪失（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳見表 5-3）。

表 5-3　噴漿護坡工法功能評估與分級評分模式

檢視項目 / 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1.噴漿坡面有輕微裂縫。 2.植生覆蓋效果大致良好。 3.排水設施充足且排水狀況良好。	1.裸露面積在 20%以下。 2.坡面無小沖蝕溝跡象。	1.定期目視檢查。 2.加強管理維護。
局部損壞	1.噴漿坡面有局部龜裂。 2.坡面已有明顯裸露，但整體坡面保護功能仍存在。 3.排水設施不足或局部損壞。	1.裸露面積介於 20%　60%。 2.坡面有蝕溝系統正在發育中。	1.採用表面修補或加強植生。 2.局部增加萌芽樁或其他穩定工法。 3.增設排水設施。
功能喪失	1.噴漿坡面嚴重剝蝕。 2.大部分坡面沖蝕或裸露。 3.邊坡嚴重滲水。	1.裸露面積超過 60%。 2.坡面已產生或大或小之沖蝕溝。	1.檢討工法之適用性。 2.工法如不適用，則改變工法。 3.如滑動範圍甚大，增設監測系統。

5.1.4.2 砌石、重力式、懸臂式等擋土工法

此類擋土結構物主要之功能評估因子在於牆體外觀之傾斜、位移與裂縫情形，以及結構體細部之平移量。擋土牆外觀無明顯傾斜及位

移，或僅有細微裂縫；現地量測擋土牆頂部或任一點所得之平移量小於 5 公分，或擋土牆傾斜增量＜1/100；排水設施充足及排水狀況良好時，則建議界定為功能尚可。

若擋土牆外觀有局部龜裂或牆體略有傾斜；現地量測擋土牆頂部或任一點所得之平移量介於 5　20 公分，或擋土牆傾斜增量介於 1/10　1/100；擋土牆部分排水孔遭異物或土石堵塞，或排水設施不足時，則可界定評估等級為局部損壞。

倘若牆體外觀嚴重龜裂或崩塌；現地量測擋土牆頂部或任一點所得之平移量超過 20 公分以上，或擋土牆傾斜增量界於＞1/10；排水設施不暢通時，則界定此工法之功能等級為功能喪失（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳見表 5-4）。

表 5-4　砌石、重力式、懸臂式等擋土結構功能評估與分級評分模式

檢視項目 / 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1.沒有明顯傾斜或位移。 2.細微裂縫。 3.排水設施充足且排水狀況良好。	1.擋土牆頂部或任一點之平移量小於 5 公分。 2.擋土牆傾斜增量＜1/100。	1.定期目視檢視。 2.表面局部修補。 3.加強管理維護。
局部損壞	1.局部龜裂。 2.略有傾斜，但肉眼不易感覺。 3.牆面排水孔部分堵塞，或排水設施不足。	1.擋土牆頂部或任一點之平移量小於 20 公分，但大於 5 公分。 2.1/10＜擋土牆傾斜增量＜1/100。	1.局部敲除重作。 2.加強監測。 3.定期清理排水孔。
功能喪失	1.龜裂嚴重或完整崩壞。 2.排水設施不暢通。	1.擋土牆頂部或任一點之平移量超過 20 公分以上。 2.擋土牆傾斜增量＞1/10。	1.檢討工法之適用性。 2.採行適用工法。

5.1.4.3 加勁擋土工法

加勁擋土工法屬一柔性工法，故可容許之變形較大，其主要之功能評估因子在於外觀之變形、位移、傾倒與地表沉陷量。加勁擋土牆

外觀若有無明顯變形或僅有細微變形，或者加勁材大致良好，僅小部分受損；現地量測所得之地表沉陷量小於 5%坡高；排水設施充足且排水狀況良好時，則建議界定為功能尚可。

若外牆面版外露或加勁材明顯外凸或斷裂、加勁材局部性瑕疵或破壞；現地量測所得之地表沉陷量大於 5%坡高；排水設施不足或局部損壞時，則可界定評估等級為局部損壞。

擋土牆若有產生明顯傾倒或位移；加勁材產生整體性的破壞，且現地量測所得之垂直或水平位移超過 1 公尺；或坡趾嚴重滲水時，則界定此工法之功能等級為功能喪失（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳見表 5-5）。

表 5-5　加勁擋土結構功能評估與分級評分模式

檢視項目 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1.外觀無明顯變形。 2.小部分輕微變形。 3.排水設施及排水狀況良好。	1. 大部分加勁材良好，僅有小部分受損。 2. 地表沉陷量小於 5%坡高。	1.定期目視檢測。 2.加強管理維護。
局部損壞	1.外牆面版或外露加勁材明顯外凸或破裂。 2.排水設施不足或局部損壞。	1.加勁材局部性瑕疵或破壞。 2. 地表地沉陷大於 5%坡高。	1.損壞部分之面版或地工織物拆除修復。 2.增設排水設施。 3.設置監測系統加強監測。
功能喪失	1.加勁擋土牆產生明顯傾倒或位移。 2.坡趾嚴重滲水。	1.整體性的破壞。 2.加勁擋土牆垂直或水平位移超過 1 公尺。	加勁擋土牆拆除重作或採其他擋土工法。

5.1.4.4 地錨擋土工法

地錨擋土工法主要之評估因子在於地錨擋土牆面版、錨頭與預力損失情形。地錨擋土牆面版有輕微龜裂現象或局部有銹水滲出、地錨本身功能大致正常，僅擋土牆面版或錨頭受損；或現地量測所得之預力損失或超過設計在 20%以內，則界定之分級為功能尚可。在細部構

造方面，為考量目前國內山區道路之施工條件，建議以 20%作為功能評估分級依據。

地錨錨頭與擋土牆面版若已分離或銹水滲出嚴重、地錨功能已有明顯受損；或者，現地量測所得之預力損失或超過設計大於 20%以上，但未達鋼腱降伏強度，且鋼腱已銹蝕嚴重，則建議界定為局部損壞。

倘若錨頭已經掉落或擋土牆面版嚴重開裂，抑或現地量測所得之預力完全損失或鋼腱斷裂，則此工法之穩定功能已經屬於完全喪失之等級（各級評分模式及相應之建議處理對策彙整詳表 5-6）。

表 5-6　地錨擋土結構功能評估與分級評分模式

檢視項目 / 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	1.地錨擋土牆面版有輕微龜裂現象或局部有銹水滲出。 2.地錨功能大致正常，僅擋土牆面版或錨頭受損。	預力損失或超過設計拉力 20%以內。	1.採用表面修補或錨頭防水措施。 2.加強管理維護。 3.配合其他儀器觀測變位。
局部損壞	1.錨頭與面版分離或銹水滲出嚴重。 2.地錨功能已有明顯受損。	1.預力損失或超過設計拉力 20%以上，但未達鋼腱降伏強度。 2.鋼腱銹蝕嚴重。	檢測地錨功能及銹蝕狀況，並做必要之補強。
功能喪失	地錨錨頭掉落或擋土面版嚴重開裂。	預力完全損失或鋼腱斷裂。	重新施作地錨或其他擋土工法。

綜合上述各類護坡擋土結構物之功能評估與分級評分模式，本研究除已於研究中研擬「道路邊坡擋土結構物檢查表」和「災損處理對策建議表」，同時亦將相關表格數位化，建置於建道路邊坡維護管理系統之巡檢資料庫中（詳見 3.2.1 節），期能提供專家學者或工程實務人員進行現地勘查目視檢測後，能立即評估護坡擋土結構物之功能現況，進而提供後續處理建議與改善處理對策，以使山區道路維持良好之服務水準。

5.1.5 災損擋土結構物處理對策研擬

災害處理對策之研擬主要係先針對道路邊坡災損擋土結構物進行完整之調查，並彙整各種不同致災因子進行評估分析後，再依據擋土結構物之功能性評估與分級，配合防治工法效益評估，研提所需處理之應變對策。故處理對策之研擬前，應先針對環境相關之資料進行調查分析，以供作為災損處理對策研擬之重要依據。

5.1.5.1 處理對策研擬前之調查分析

在研擬災害處理對策前之調查工作，主要為蒐集水系、地形、坡度、坡向、高程、地質、土石流危險溪流、邊坡崩塌地位置與道路等相關圖資，以進行圖層套疊分析工作。其中，高程、坡度與坡向等地形資料為道路邊坡穩定分析時之重要資料，故進行圖層套疊析時，建議應有適當精度之實測地形圖，以提高評估分析結果之精確性。除蒐集相關現地地形資料外，乃應對道路災害歷史資料、附近有無舊崩塌地或大規模崩塌區、地質鑽探調查報告、土地利用情形等人文資料進行彙集與分析，以作為災損處理對策研擬之重要依據。

至於分析方面，並先應確定邊坡破壞機制，其次即可依序進行邊坡穩定分析、水理分析、監測資料分析，以及反推分析，相關內容分述如下：

1. 邊坡穩定分析

邊坡擋土防治工程之穩定分析可分為邊坡整體穩定分析及牆體穩定分析。邊坡整體穩定分析主要探討破壞機制及穩定性為主，不同的邊坡破壞機制，選擇的分析模式亦不相同。當邊坡地層為崖錐堆積、崩積層或回填土時，較常見之破壞模式為圓弧型破壞，檢核弧型破壞可利用切片法進行極限平衡分析，但若有滲流問題時，即應於分析時特別加以考量，相關土壤邊坡適用之穩定分析方法詳表 5-7。

表 5-7　土壤邊坡穩定分析方法

分析方法	破壞面	基本假設	使用限制	作者	適用範圍及建議
無限邊坡	直線	每一垂直剖面均可代表整個邊坡、安全係數和坡高無關	滑動邊坡之長度及深度比例甚大時方能使用。	Lambe& Whitman (1969)	適用於長邊坡，或砂性土壤邊坡。
滑動塊體	二個或二個以上直線所組成	1.滑動塊能被分割成多個滑動體 2.考慮力平衡	滑動塊體之水平夾角影響安全係數甚大	Lambe & Whitman (1969)	適用於軟弱地層座落於一堅硬地層上。
Bishop	圓弧	1.XL=Xr=0 2.每一切片考慮彎矩及力之平衡	對於某些破壞面並非圓弧破壞時不太適用。	Bishop (1955)	當破壞面接近圓弧時。
Janbu	任意形狀	1.切片考慮彎矩及力之平衡。 2.假設推力線位置已知及不計切片剪力。	對均質材料較適用。當材料超過二種以上，會產生較大誤差。	Janbu (1972)	適用於一般邊坡分析用。
Morgenstern & Price	任意形狀	X/E=λf(x) (F.S)f=(F.s)m	必須使用電腦重複計算	Morgenstern & Price (1965)	適用於一般邊坡，尤其對反推分析更適用
Spencer	任意形狀	X/E=tanθ XL/Xr (F.S)f=(F.s)m	必須使用電腦重複計算	Spencer (1967)	適用於一般邊坡，較 Janbu 方法更精確。

至於岩石邊坡，其破壞模式大都屬平面破壞、楔形破壞或傾倒破壞，適用之岩坡穩定分析方法詳表 5-8。一般邊坡崩塌破壞案例多為岩坡，分析時可利用地質調查，以及現地不連續面位態調查進行岩楔破壞分析，並配合坡向與坡度調查所得之資料，再利用立體投影圖或邊坡穩定套裝程式，評估道路邊坡岩楔之穩定性。

表 5-8　岩石邊坡穩定分析方法

分析方法	破壞面	基本假設	使用限制	適用範圍及建議
平面破壞	單一平面有張力裂縫	1.滑動時兩側無側向阻抗。 2.張力裂縫和滑動面之走向均平行坡面走向。	1. 彎矩未考慮。 2. 太陡邊坡會高估其安全係數。	1. 層狀節理或不連續面出露時。 2. 不連續面之抗剪阻力較小，含泥縫等物質。
楔形破壞	兩組不連續面形成三向度之楔形塊	1.滑動時兩組節理交線之傾角較坡面傾角為平。 2.滑動時楔形仍然和兩組節理面維持接觸。	彎矩未考慮。	可用立體投影圖做初步判斷。
傾倒破壞	垂直節理	1.考慮有些滑動，有些傾倒。 2. 孔隙水壓未考慮。	僅適合用於些案例。	整體分析模式尚未建立。
圓弧破壞	破壞面接近圓弧形	以極限平衡分析考慮力平衡及彎矩平衡。	堅硬岩石或有明顯弱面存在時，不宜使用	岩石極為破碎或風化，性質近似土壤時。

上述邊坡整體穩定分析之安全係數必須大於最小安全係數要求外，不同擋土結構物仍須校核其牆體穩定性。牆體穩定分析主要為考慮擋土牆受側向土壓力或地層承載力不足之影響，造成擋土護坡產生牆體滑動傾覆以及支承力不足等三種破壞模式，並依所考慮之破壞模式、地下水狀況及地震情況，選擇適當的安全係數。邊坡擋土穩定之安全係數建議值，詳表 5-9。

表 5-9　擋土壁穩定分析之安全係數建議表

項目	破壞型態	最小安全係數需求
牆體穩定	滑動	長期載重：1.5 地震時：1.2
	傾覆	長期載重：2.0 地震時：1.5
	容許承載力	永久牆：3 臨時牆：2
整體穩定 （深層滑動）	邊坡滑動	平常時:1.5(即長期載重下) 地震時：1.2 最高水位時（無地震）：1.1

2. 水理分析

水理分析部分主要包括邊坡崩塌地所屬之集水區劃分、集水面積與集流時間計算、降雨強度分析以及設計逕流量分析等，分析結果可作為邊坡地表排水系統改善之參考依據。

3. 監測資料分析

邊坡安全監測可作為災損邊坡調查之重要參考工具, 其對於滑動面深度、滑動位移速率、滑動範圍，以及滑動範圍地下水壓之評估相當重要, 同時監測結果亦可作為災損擋上達坡工程處理對策研擬之重要指標。監測結果愈穩定，處理之優先吹序即愈低; 監測結果愈不穩定，處理之優先次序即愈高。再者，監測所測得災害影響範圍愈小，則以局部處理考量為主即可，但若影響範圍愈大、整治成本愈高，則愈應考慮予以改線。

4. 反推分析

邊坡破壞為一大型試驗，因此，應進行逆分析，以獲取相關地層參數及地下水條件，並作為災損處理對策研擬之重要依據。反推分析係假設災損邊坡破壞當時之安全係數略小於 1.0，然後進行逆分析，以推估滑動面之強度參數 C、φ的值或地下水條件。設計者可依不同滑動面性質，並參考試驗結果及相關經驗，以決定最適當之 C、φ的值與地下水條件。

5.1.5.2 災害處理對策研擬

本節擬彙整前述各節所述之現地環境因子、致災因子、擋土結構物特性因子及現有防治工程概況，藉由相關資料綜合分析，並依據擋土結構物之功能性評估與分級，透過功能性及經濟效益評估後，可研擬出不同等級所因應之改善處理對策（如圖 5-1）。

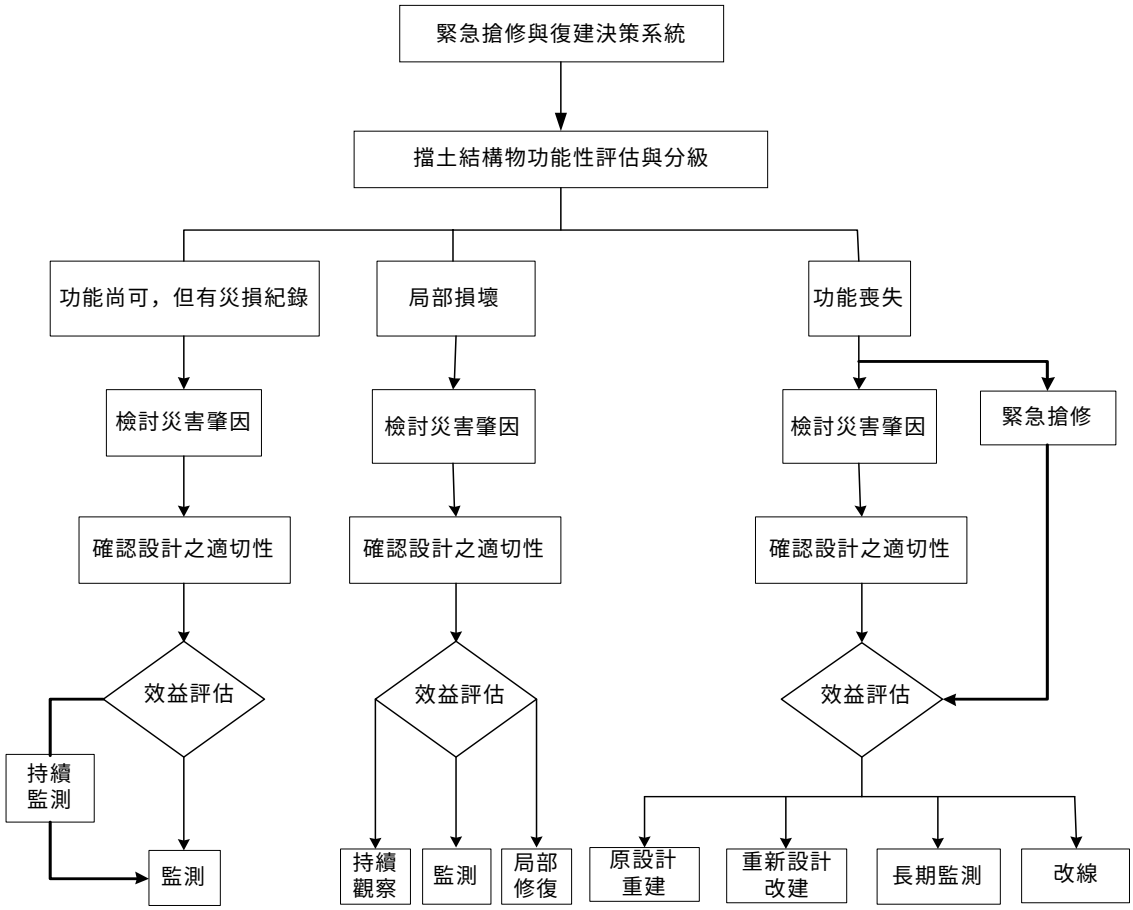


圖 5-1　擋土結構物功能性評估分級與災害處理對策流程圖

（資料來源：臺灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構評-現有破壞案例統計分析）

本研究將擋土結構物功能分為(1)功能尚可，但有災損紀錄；(2)局部損壞；(3)功能喪失三級。擋土結構物功能尚可，表示尚現況屬完善，但可能曾有災損紀錄，應檢討其災害肇因、確認設計之適切性及決定監測與否；至於屬於局部損壞者，則應增列修復對策；若屬於功能喪失者，除上述相關之建議處理對策外，另建議增列緊急搶修與否及長期修復之策略建議。茲針對研擬之各處理對策內容，分述如下：

1. 檢討災害肇因

檢討邊坡擋土結構物之災害肇因前，應先瞭解各項致災因子，然不同複合致災因子會造成不同類型之災害。坡地災害常見的破壞原因主要可分為六大類（廖瑞堂，2001），分別為：(1)地表及地下排水設施不良，造成規模大小不等之沖蝕溝或崩塌、擋土牆破壞或淘空、土石流等災害；(2)軟弱地盤區構築高填方擋土牆，造成填土區擋土牆龜裂破壞；(3)以建築物作為擋土構造，造成建築物破壞；(4)滑動機制及破壞規模判斷不當，造成邊坡整體崩塌破壞；(5)地錨施工品質不良或地錨錨錠力不足，造成邊坡整體破壞；(6)地錨施工程序不當，造成擋土結構物破壞。其中，就邊坡擋土災損案例而言，又以地表及地下水排水不良，以及滑動破壞機制與規模判斷不當之肇因最為常見。綜合上述，針對不同的災害肇因，應確認工程設計之適切性，給予必要之配套處理措施，詳表 5-10。

表 5-10　常見的坡地災害與因應之處理對策

災害原因	破壞情形	處理對策
地表排水措施不良	造成規模大小不等之沖蝕溝或崩坍	增設各種地表排水渠道，如截水溝、陡槽等。
地下排水措施不良	擋土牆破壞或淘空	以盲溝、集水井、永平集水或排水廊道宣洩地下水。
地下及地表排水措施不良	土石流	發生區加強地表及地下排水措施，中游以攔砂壩加以攔阻，下游則限制居住及活動。減少發生區鬆散之土石來源。
以建築物做為擋土牆構造	建築物破壞	儘量避免以建築物兼擋土構造。 如無法避免結構物做擋土設施，則應審慎分析設計。
軟弱地盤區構築高填方擋土牆	填方區擋土牆龜裂破壞	以地盤改良提高承載力及減少沉陷量牆基用樁基礎。
滑動規或破壞模式判斷不當	邊坡整體崩塌	以觀測系統及地質調查，確定滑動規模及破壞機制。
地錨施工品質不良或錨定力不足	邊坡整體崩塌	進行各種地錨品管試驗，並加強防蝕措施。
地錨施工程序不當	擋土結構破壞	由上而下施工，必要時採跳島式施工。

2. 確認工程設計之適切性

一般擋土護坡程工程之細部穩定分析及設計，主要包括：排水設計、邊坡整體穩定分析、以及牆體穩定分析。以排水設計而言，一般坡地社區開發或山區道路之興建，由於會造成地形地貌之大幅改變，原有之地下水及地表水路徑均會遭嚴重破壞或改變，故邊坡或擋土相關設施之破壞，與排水系統不良有絕對密切的關係。道路排水系統不良所造成之問題，包括：道路無設置排水溝或排水斷面不足、地表逕流嚴重破壞排水溝或路面、道路排水溝截流成效不彰、逕流未於適當地排放或放流口未能發揮消能功效等，以致造成下邊坡之沖蝕甚或崩塌。此類問題建議應採用集水分區之概念，計算道路排水集水面積，藉以設計安全之排洪斷面，若集水面積有過大之處，則應有適當之截排水處理，經匯集後排放至坑溝、野溪或下邊坡；但若道路坡度過陡，則應設置適當之消能措施，或採用抗沖刷能力較佳之工程材料；再都排放口設計必須避免坡面沖蝕或蝕溝加深。至於邊坡整體穩定分析，道路若所處邊坡之整體穩定性不足，將因整體滑移作用而造而成路基斷裂。最常見情形為路基位於崩塌地斷層錯動區（如圖 5-2），

圖 5-2　道路位於斷層破碎帶而產生邊坡不穩定情形

（資料來源：臺灣地區道路邊坡崩塌災損擋土結構評-現有破壞案例統計分析）

處理之對策則建議以避開為宜，尤其在大規模之崩塌地或斷層破碎帶，反之，若工程方式進行對抗，則常將面臨失敗之命運。

在牆體穩定分析方面，地震作用所引發之動態土壓力，常造成擋土結構物之滑動、傾倒或因牆趾支承力不足而導致沉陷破壞。牆體之穩定分析主要為檢核滑動、傾倒及容許承載力等三種破壞模式，並考慮地下水位及地震情況，選擇適當的安全係數 以確保擋土結構物各項細部尺寸及強度能達到設計標準

3. 效益評估

不同功能評估等級之擋土結構物經由功能性及經濟效益評估後，可依效益評估模式給予之因應之建議處理對策。例如功能評估等級屬功能喪失都，可視其效益評估之分析，分別給予原設計重建、重新設計改建、長期監測以及改線等改善處理對策。

3-1 持續觀察

護坡擋土結構物之功能評估屬於功能尚可者，針對噴漿坡面、砌石、重力式、懸臂式及加勁等類之擋土工法，建議定期派員持續觀察現況，並進行牆體表面修補及排水設施維護工作；若為地錨擋土工法，則建議需於地錨表面進行修補或於錨頭佈設相關之防蝕措施。

3-2 監測

就擋土護坡工程而言，監測之目的主要在於(1)設計條件之調查及確認，包括地下水位及滑動面的調查；(2)長期行為之驗證，包括擋土牆及地層長期之穩定性研判。一般而言，擋土護坡工程監測系統之主要監測項目及採用之監測儀器可以概分為水、地盤穩定性與擋土結構物穩定性等三項，分別說明如下：

A. 水的監測

邊坡地下水之分佈、變化，以及地表水之流向及流量等

對邊坡穩定性影響極大。因此，當邊坡地下水狀況不易掌控時，建議設置水壓計或水位井，以觀測地層中地下水分佈、變化狀況及水壓力大小，以作為設計、後續施工管理及長期維護之重要依據。

B. 地盤穩定性監測

邊坡若有滑動之癥兆或呈現不穩定狀況時（如滑動塊體向坡趾之明顯水平位移），監測系統的設置，對於邊坡及擋土結構物之穩定有十足的必要性。故建議可採用傾斜觀測管量測地層或擋土結構物之水平方向移量進行監測。

C. 擋土結構物穩定性監測

當擋土結構物有功能逐漸損失之現象時，為確保各種擋土結構物（如懸臂式擋土牆、加勁擋土牆、地錨等）承受之應力或應變仍在設計容許範圍內，常利用設置不同型式之觀測儀器，以進行應力及應變之監測。

3-3 局部修復

倘若護坡擋土結構物之功能評估屬於局部損壞者，對於噴漿坡面、砌石、重力式、懸臂式、加勁等之擋土結構物，建議針對牆體進行局部修復，並加強結構體監測作業或增設排水設施;若為地錨擋土工法，則建議需針對地錨功能及銹蝕狀況進行檢測，並搭配進行必要之補強措施。

3-4 緊急搶修

當山區道路因逢災害導致交通中斷時，為維持交通運輸暢通、當地產業發展及居民之便利性等因素，各級道路管理、維護單位則需進行相關之修建工程，在考量保全對象、經費預算、施工期程、修建效益等因素之影響下，評估災損道路是否採行緊急搶修之對策。

3-5 決定長期修復之策略

護坡擋土結構物之功能評估屬於功能喪失者，除應檢討災害肇因、確認設計之適切性、以及決定監測與否外，必須檢討工法設計之適用性，進而決定長期修復之策略，包括原設計重建、重新設計改建、長期監測以及改線等。

若道路橫跨土石流危險溪流，當野溪爆發土石流時，常因直接沖毀、淤埋道路路基或沖毀橋梁，造成道路中斷（圖 5-3）。面對此一問題，若無法採用主動保護邊坡的措施，最佳方法為適度之退讓，而非對抗，以避免災害一再重複發生，減少對居民生命及財產之危害。災害可能處理對策則包括道路改線（如改採架橋或隧道通過野溪，圖 5-4）；既有橋梁增加排洪斷面，以減少橋柱、增加跨距、增加淨高;明隧道架設頂棚遮蔽，或者透過土石流整治方法，以減少土石流對道路之危害程度。

圖 5-3　野溪爆發土石流而造成道路中斷

圖 5-4　道路改線採架橋方式通過野溪

5.2 復建工作規劃與執行

為考量因地制宜，以使復建整治工作可以發揮其應有之功效，關於復建工作規劃與執行部分，本研究建議應先針對邊坡整治考量因子進行分析，同時針對常見之道路邊坡二次災害類型予以瞭解後，依據研判之災害發生原因進行工法整治需求潛勢分析，最後依據分析之結果，參考選定適宜之復建整治工法，執行相關之復建整治工作。

5.2.1 邊坡整治考量因子

許多邊坡常是為了某些特定用途而設計，主要的目的則是在兼顧基本的維護性、經濟性及美觀性之上，提供使用時的安全性。完整的設計程序依序為如下五個階段：

1. **準備一份符合功能性需求的基本規劃圖。**
2. **考量所有能滿足功能性需求的解決方案。**
3. **整合規劃涵蓋所有合理解答之初步設計。**

4. **比較各解決方案在經濟性、功能性及美觀性上的優劣，選擇一個最佳解答。**

5. **制定最佳解決方案的細部設計內容。**

工程師的主要責任在於設計最佳的解決方案。而邊坡的幾何分析及對負荷的反應分析，正是評估各個可能方案的主要方法。因此，分析的每一項細節，都將是坡面設計程序中必須考量的重要因素。

邊坡的評估重點通常在於抗滑動的安全係數。設計團隊必須針對人造坡面及自然坡面皆定義出適當的安全係數，而定義適當的安全係數則在強度考量上成為一個關鍵性的問題。

在各種工程中，工程師可具體指定特定應力應變條件下較具精確性表現之原材料。此外，建造的程序亦可透過明確的說明，來預防組裝時構件的過量應力。通常，主要的變因與負載的估計有關，並將支配完成後的結構整體表現。這樣的困難，將可透過表格化的載重記錄來克服，這個方法可以表現出極端狀況，十分受到工程師的認可。以此方式，經濟化的設計便隨著適切的穩固特性因應而生。

相對而言，擔任坡面評估工作的大地工程的工程師及工程地質學家，面對的則是更難以預測情況。這是因為構成坡面的原物質常具有高度多變性且展現各種廣泛複雜的原物質屬性；而在原物質分布及屬性上固有的變異性與不確定性，使得對自然坡面做出適當的特性描述尤其棘手難行，而專注於精確地質學模式的需求。然而，即使在人造的堤岸上，這些不確定因素仍可造成坡面的不穩定。坡面的整體效果可能受到某些未被探測到的變因影響著，諸如原物質屬性的變異性以及外在環境變化，甚或是長期氣候轉變下造成的物質風化與腐蝕等不利影響。

5.2.1.1 邊坡穩定特性

氣候在邊坡設計扮演的重要角色可從以下三方面來看：首先，它對地下水的水位影響，對絕大多數坡面的穩定性構成關鍵因素。在某些情況中，降水量（precipitation）和逕流量（runoff）的估計常是預測邊坡破壞的潛在可能與頻率的重要依據。舉例而言，山谷地區發生土

石流的潛在可能性評估，就很容易受到這類因素的影響。其次，降水量與逕流量的估計，亦將影響到農業地區的灌溉系統或是城市地區雨水道（storm-water drains）的排水量估定。最後，溫溼度變化週期的預估，在某些情況下也是估算坡面穩定的依據。茲針對風向、雨量與逕流量分述如下：

1. 迎風面與背風面

山區道路因其線型的構造物使得沿線包含了迎風面與背風面，降雨情況受到不同區域、地形的影響，因此需要依據所處地形為迎風面或背風面之降雨、地下水及排水狀況需考量不同的排水設施。除了降雨情況受到地形的影響，風速也需列入施工、設計考量。在線型的開發中，不同地形、區段的雨量、風速等氣候狀況皆需分別加以規劃考量。

2. 降雨量及逕流量

降雨量和逕流量的預估，時常被作為評估設計適當尺寸的坡面排水收集系統的依據。而對於評估坡面穩固度分析而言，提供適當降雨量及逕流量參數最合理的方法，就是假設地下水深度較淺且暴雨重現間隔較短，以配合預防坡面壞損的經濟面需求。一般而言，降水量的值不應被作為預估坡面高流壓標準發生的可能性之依據。

坡面陡峭且降雨量高度集中的地區，可能會因為受到淺層土壤滑動的影響，進而帶來土石流的潛在危機。Dietrich et al. (1986) 確定了利於淺層土壤滑動並導致土石流的地質及地形條件；Keefer et al. (1987) 根據降雨密度及其持續性之間的關聯，發展了一套土石流警示系統。Kramer 及 Seed (1988) 亦曾討論靜態負載條件造成土壤液化（soil liquefaction）的問題。工程中毗鄰坡面產生有害土石流的潛在可能，必須要加以認定且併入設計條件中。

5.2.1.2 土地利用特性

在野外實地採集作為實驗室中測試用的原物質樣本，常被假設為能夠代表該地的地質狀況。然而，這樣的樣本顯然只能表現出本身具有的屬性，而非野外整體的岩石或泥土的特性－包括節理、斷層以及其他的瑕疵。這種「是否具代表性」的問題，對於無法採集樣本的原物質，甚或是沒有適合樣本可供做實驗用的原物質來說，就更加難以克服了。野外實驗的費用整體上或許比在實驗室中高得多，但野外實驗卻常常更能代表該地區的地質狀態。不過野外實驗還有個難題，就是如何將測試結果加以詮釋為能夠反映個別地質單位的屬性/特質，而不只是總合幾個地質單位的特點。茲針對土壤或岩石體的屬性辨識與土地狀態的工程分析分述如下：

1. 土壤或岩石體的屬性辨識

完整的地質特性描述必須涵蓋土地的土體特性（mass properties）描述，包括了本身的原物質屬性及缺陷。原物質屬性主要包括土壤或岩石紋理（紋理大小）、礦物性（包含有機物質）、風化程度、孔隙率（porosity）、含水量、比重、單位重及原始材料的強度（凝聚力及摩擦角）。土體特性則包括滲透性、熟化（slaking）、缺陷狀態（方位、間隔、粗糙度、開口及填入物）、土體強度（mass strength）及地下水狀態等。

2. 土地狀態的工程分析

坡面體的工程分析通常需要以下三項基本要素的相關資訊：地形測量，土表下狀態，及外部負載。多數的工程分析主要在評估簡化的坡面體二維模式。分析作業可以在現存的地形測量上著手，也可以從建造物的幾何學開始。在許多應用電腦協助分析的情況中，地形測量已被簡化且滑坡的橫向範圍條件亦被忽略；滑坡的縱向數據通常被認為較具代表性。由於自然環境因素複雜，且具備空間性與互相影響性，利用 GIS 地理資訊系統來進行空間評估分析，地形圖、地質圖、等高線圖及水系圖的套疊結果，可由圖中來判斷地質條件對道路邊坡崩塌的影響，用以評估自然環境條件在危險度分析中的權重，加以考量，使崩塌潛勢分

析能合理反應出現場的狀況。由於自然環境因素複雜，且具備空間性與互相影響性，圖 5-5、圖 5-6 所示為臺 9 線在宜蘭縣境內的地形圖、地質圖、等高線圖及水系圖的套疊結果，可由圖中來判斷地質條件對道路邊坡崩塌的影響，用以評估自然環境條件在危險度分析中的權重，加以考量，使崩塌潛勢分析能合理反應出現場的狀況。

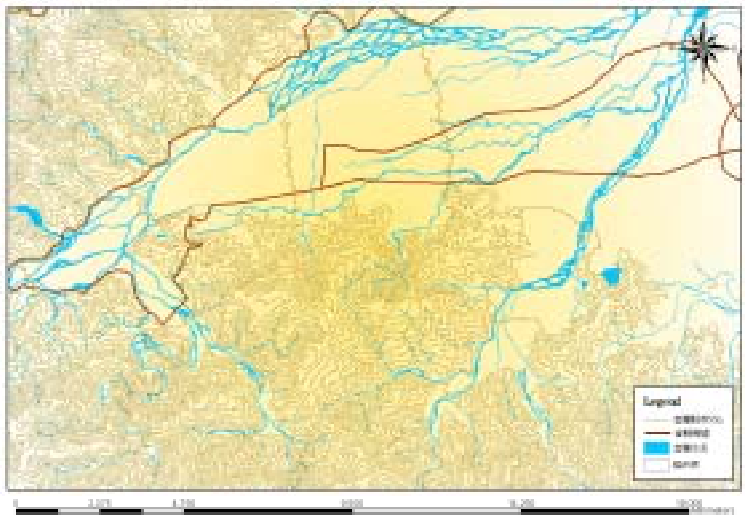


圖 5-5　宜蘭縣市境內臺 9 線、等高線與水系圖之套疊

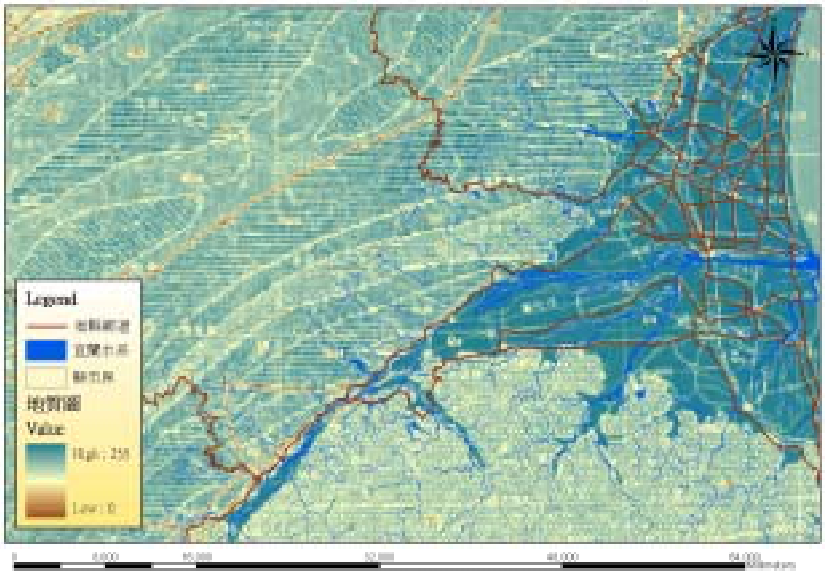


圖 5-6　宜蘭縣市境內臺 9 線、水系與地質圖圖之套疊

對於表土下狀態的精確評估，是工程分析的基礎要務。已崩壞或是具有滑動潛質土表的幾何數、表土下原物質單位的界限、壓力等級，連同地質單位的土體特性以及崩滑的表土，這些參數構成了對設計影響甚鉅的要素。崩壞土表的幾何數和地質單位的界限，是以表土圖像及表土下的研究為基礎而得。精確地質模式雖是用以支撐工程分析及坡面設計的基礎，但其重要性是不能被過分誇大的。壓力等級的設定應表示出坡面維持穩定的極限條件；而地質單位的土體特性設計則應合理但不宜過於保守。假設在各種可能性中選取最糟情況下的參數，且估算安全要素時過度保守，則可能因此導致壞損的預期風險。

5.2.1.3 經濟特性

設計參數的選定必須要在所謂的「設計條件」下才能反映該場地的特性。對於多數視坡面穩固性為基本要件的場地而言，設計的條件可包含挖方坡度（cut slope)、填方坡度（fill slopes)、土壤加勁材（earth reinforcement)、坡面的飽和度及地震震動力。特定土地的原物質土體特性必須依據該地的地質描述及野外/實驗室測試的結果而定；工程分析則必須反映地質內在的不確定因素、可接受的危險等級以及設計時適當的保守主義。茲針對地質的不確定因素與可接受的風險分述如下：

1. 地質的不確定因素

自然物質的重要特性之一便是多變性，尤其當山區公路開發跨越山谷時，地質狀況的差異更為明顯。地質評估的目的是為了描述該土地原物質呈現的本質及分佈情況。地質資訊是關於地面及岩床原物質、地質結構、土表水的特性，以及土表與土表下之間關聯性的觀測。地質的不確定因素包含了地質單位辨識的變異性、原物質屬性、分割各地質單位的界限位置，以及橫越整個場地或坡面的各地質單位間之關聯性。

地質學家利用多重假說（multiple working hypotheses）的原理，持續將獲得的地質資訊做綜合整理。但即使在大規模的資料蒐集之後，也可能存在數個同樣能解釋現有資訊的有效假說。這

種地質學研究的方向，時常令那些必須負責為複雜問題設計出解決方案的工程師們感到沮喪。然而，如果能夠取得足夠的資訊，就能夠以統計分析的方法就原物質屬性得出一個平均值及標準偏差數。

關於土表下的詳細狀況永遠難以被完整地了解；為了因應這個問題，地質學家選擇採用以下兩種製圖對策之一：有些地質學家將地質原物細分為大量的製圖單位；反之，其他人只將地質狀態分組歸類為少量的製圖單位。細分的大量單位可以表現出的差異十分細微，以致於它們之間的變化也很類似，且其所屬的原物質屬性的平均值將會小於一個標準差外的值。而分組歸類的單位也許會表現出較大的標準差，但它們的平均值卻可能恰當地代表原物質屬性。在依據原物質屬性歸類少量分組的方法中，工程師們也許能發現更多的實用性，並選擇去面對地質上安全要素的不確定性。

2. 可接受的風險

國家級或是地方性的風險標準，可以用設計年限、平均每年事故率，或是平均重現週期的形式來規範。一般而言，多數結構的設計年限約在 20　50 年之間，偶有多達 100 年的例子。設計年限之所以具有經濟上的重要意涵，是基於以下兩個理由：第一，這段時間長於資金支出可被逐期攤銷或是貸款償清所需的年限；第二，結構體於設計年限方面的可靠度，必須結合適當保守主義於反映於設計中。簡單地說，在設計年限上要求較短的結構體，也許可以考慮以適當且經濟的便捷方式設計之；而設計年限要求較長的結構，相對地就必須在各方面具備較堅固的構件。

對結構體而言，所謂「可接受的風險」或許可以定義為在設計年限內結構體抵抗合理事故發生的能力；而對於未必會發生的重大事故亦有能力承受其造成之損害。這就是「雙層設計」的概念，它可以作為經濟相關之決策議題的基本原理。若某些等級的損壞結果不在容忍範圍內，「可接受的風險」將會成為可容忍

損壞範圍的門檻。「可接受的風險」可以說是與設計年限的長短有直接相關性。舉例而言，一般為特定情況而設計的設備，它的平均重現週期常等同於設計年限的若干倍。因此，設計年限具有 50 年的設備，就事故造成可接受損壞所規劃的重現週期可訂為 500 年（設計年限的 10 倍）。

在完成風險評估分析後，可以由危險等級參考歷史經驗或損失紀錄，反推對應的安全係數，相關研究甚多，香港、美國及日本等諸多國家已將風險評估之概念及技術應用至山坡地開發工程，但此一方法對於安全係數無法充份反應風險的缺失，因此，值得進一步研究探討有效之技術。

5.2.1.4 其他設計限制

為修護壞損坡面的設計，參數選擇會受到一些其他原因影響，像是地點、規模、設計標準、生態、挖填方及廢棄土石處理；然使用的便利性與最大荷重亦是山區道路開發設計所需考量的重要因子。

1. 地點

山區道路的開發，考量道路所處地區與使用交通量以及荷重，如何設計有效的上、下邊坡以及道路路基並且經濟地建造此工程是一大挑戰。尤其以施工便利性為主要考量，施工期間材料的運送、施工範圍控制與減少重型機具使用皆是開發設計選用工法時需特別考量之因素。

2. 規模

因山區公路沿線崩塌規模不盡相同，且邊坡崩塌處呈「點」的分佈，因此需針對各崩塌點之崩塌機制選取適宜的防治工法。道路幾何學諸如坡度、曲率半徑、以及車道及路肩寬度等，是設計坡面損壞修護計劃時主要的控制因素。設計參數與防治方法時常受到該設備的規模以及現有或潛在坡面變動的規模所影響，經多方考量各崩塌點之崩塌發生機制及適合的防治方法以制定更詳盡的修護計劃。

3. 設計標準

公路開發設計除需考量其基本穩定性，因山區大雨易造成邊坡之不穩定，更須考量排水設計，對於耐震能力許多不同的指導方針常在設計運輸系統及其他設備時被廣泛的運用（例如：AASHTO 1990），尤以臺灣為一多地震之地區，耐震能力也須特別考量。採用之防治工法除能達到穩定性、排水、耐震設計要求，更能降低維修費用及延長使用年限。更重要的是，山區鐵公路開發的目的與其主要功能為提供民眾行的需求，因此，在邊坡及路基穩定設計標準需考量大型天然災害例如地震或颱風後仍能維持交通或可於短時間修復，安全無慮，才能進一步兼顧景觀美化。

4. 自然生態

近年來維護自然生態觀念廣泛的使用，生態工法應用在邊坡設計上，為維持自然景觀，充分利用現地石材、減少廢土輸出，以及減少混凝土的使用，加速植被的復育，若下邊坡之整治涉及溪流整治也應考量溪谷自然斷面以生態工法整治。

5. 平衡挖填方與廢棄土石處理

許多穩固性評估結果常建議利用邊坡的挖方棄土做為路基填築的回填材料。使用現地挖方棄土能減少廢土輸出、降低成本，再配合微型樁及基底層加勁、輕質骨材填充，使得鐵公路邊坡達到良好的工作性並兼顧生態景觀。

為維護自然生態，應多採用現地石材，當有廢棄土石產生時，可將其製成 CLSM（控制性低強度材料，Control Low Strength Material），CLSM 的主要用途是替代土石滾壓後作為結構填方或回填之用，由於 CLSM 具自平故不需滾壓，適用於狹小或機具無法進入的場所替代土石回填，對於無法承受大型機具之山區道路而言，是一有效減少廢土、免夯壓路基之回填工法。

5.2.2 道路邊坡崩塌二次災害類型分析

山區道路邊坡發生嚴重的崩塌破壞後，即使有施作擋土工法或護坡工法，還是很容易發生二次災害，甚或有災害現象更加擴大的情形，以下歸納出四種常見的二次災害類型如後。

5.2.2.1 噴凝土護坡邊界之破壞擴張

山區道路常有高度達百公尺之上邊坡，若噴漿坡面施作不完整或格樑工法的自由樑間沒有連續性，甚至礙於經費或現場施工的緣故，只在坍滑邊坡之範圍內施做護坡工法，則極有可能在不完整處或噴漿面與裸坡交界處發生二次災害。如圖 5-7 所示，為了保護道路，在坡面施作土釘格樑工法；後來又發生大規模的崩塌（圖 5-8 之坡趾），於是在道路下邊坡施打地錨外加排水箱涵；而在上邊坡坡頂處可見新施作的噴漿坡面，顯示該處曾發生二次崩塌。

圖 5-7　臺 18 線 65k+000 處上邊坡照片

圖 5-8　臺 18 線 65k+000 處上邊坡坡趾照片

5.2.2.2 高邊坡滑坡之向上破壞擴張

高邊坡由於坡度較陡，再加上時間或天災的影響，坡面容易發生滑動破壞，更上方的坡面由於下方出現凹陷，等同於挖除坡腳而更容易下滑；如圖 5-9 所示順序，這種破壞機制會一再重複發生，而使得坍滑破壞不斷向上擴張。圖 5-10、圖 5-11 之現勘照片可發現，其邊坡型態即為典型的向上擴張破壞，由剛鋪放的植生護坡可隱約看出多次坍滑的角度。

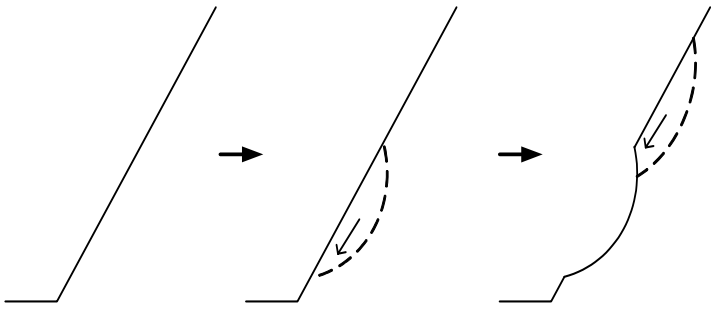


圖 5-9　高邊坡向上擴張破壞機制示意圖

圖 5-10　臺 18 線 28k+100 處上邊坡遠照

圖 5-11　台 18 線 28k+100 處上邊坡近照

5.2.2.3 河流之坡腳侵蝕

由於長期水流的沖刷，造成下邊坡發生類似河流之向源侵蝕的情況，路堤坡腳土石流失、基礎掏空後造成破壞，並逐漸向上游擴大。如圖 5-12 所示，上邊坡有明顯的兩條水路痕跡，可見豪雨時之水量豐沛；下邊坡（圖 5-13）可見排水箱涵出口處路基損壞的情形，並伴隨著大量的崩塌土石。

圖 5-12　臺 18 線 58k+100 處上邊坡照片

圖 5-13　臺 18 線 58k+100 處下邊坡照片

5.2.2.4 明隧道兩端上邊坡之破壞擴張

在經常發生大規模崩滑的邊坡，會設置明隧道防止土石崩坍，避免土石沖毀路面；但發生崩塌的原因通常源於岩層破碎或地質條件差，儘管已設置明隧道，但邊坡之地質條件並未改善，仍然會從兩端或上方一再發生崩塌破壞；而施工單位通常的處置是—繼續加長明隧道，此舉並無益於防止邊坡繼續崩塌。如圖 5-14、圖 5-15 所示，此處大崩塌地從九二一集集大地震迄今都尚未有完整的改善防治，圖中之明隧道已再次擴建過，但仍然被土石淹沒而無法行車，必須從河床改道通車（圖 5-16）。

圖 5-14　臺 21 線 111k+500 處上邊坡照片

圖 5-15　臺 21 線 111k+500 處邊坡照片

圖 5-16　臺 21 線 111k~112k 處河床照片

5.2.3 邊坡崩塌致災因子分析

實務上影響邊坡穩定之因素非常多，其中包括邊坡地形、地層特性、大地構造、地質災害、氣候、颱風、降雨、地震、河谷解壓風化與地表侵蝕等，都可能是直接或間接影響因素，表 5-11 為整理各研究對因子之選擇方式。一般而言，邊坡安全之影響因子分為自然因素與人為因素；其中自然因素包括邊坡地形條件、地質條件及水文條件。地形條件又細分坡度、坡向、位置等三項因素；地質條件包括岩性、

構造狀態、覆蓋情形；水文條件則可分為降雨量、排水設施、滲流。至於人為因素則有挖填方夯實度、坡趾開挖、邊坡整治等，但限於資料的獲得或分析的精度限制，此類因子常隨分析種類而有所改變。

表 5-11　道路邊坡穩定研究選用因子之比較

主因	次因子	日本國道 19 號 (1986)	日本高速道路 (1986)	Pierson (1992)	李德河 (1991)	江晏佃 (1999)	NAPHM 坡地災害調查系統	NAPHM 土石流災害調查系統
地形	坡高	ˇ		ˇ	ˇ	ˇ		
	坡度	ˇ	ˇ		ˇ	ˇ	ˇ	ˇ
	地形				ˇ		ˇ	
	坡形	ˇ	ˇ					
	位置				ˇ		ˇ	
	突懸					ˇ		
	坡向						ˇ	
地質	風化性節理發達度	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ	
	岩性	ˇ	ˇ				ˇ	ˇ
	岩石粗糙度			ˇ				
	地質原貌				ˇ			
	覆土層狀況						ˇ	
	表土	ˇ						
浮石	安定狀態	ˇ	ˇ			ˇ		
	形狀		ˇ					
	數目		ˇ					
	大小			ˇ				
環境	植生	ˇ	ˇ		ˇ	ˇ	ˇ	ˇ
	交通量	ˇ		ˇ				
	落石歷史	ˇ	ˇ	ˇ				
	土地利用		ˇ		ˇ		ˇ	ˇ
	落石坡面	ˇ	ˇ	ˇ				
	落石能量	ˇ	ˇ					
	防護設施	ˇ						
氣象	降雨、積雪	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ	ˇ		
	凍結、溶解	ˇ		ˇ				
	地下水滲出	ˇ				ˇ		
	集水面積	ˇ						
	風力	ˇ	ˇ					

【資料來源：水土保持局，治山防災績效及風險評估（87　89）年度，2002】

藉由相關文獻回顧與彙整，本研究將採用邊坡單元為研究範圍，結合 3.2 節介紹之道路邊坡維護管理系統，選定以邊坡管理系統建置完成之地質條件、年平均崩塌次數、年平均崩塌規模、土地利用（上、下邊坡）、主要坡向、坡度等七項因子為自然環境之主要影響因子；至於人為因素方面，本研究主要考量防治工法對現地狀況之需求情形，故選定之主要影響因子，包括：穩定工法整治現況、挖填方情形、坡面風化程度、坡趾開挖、坡頂荷重、排水工法設置與否、邊坡植被情形、坡趾排水狀況、坡面地下水滲流情形、豪大雨時之排水狀況等十項因子。

5.2.4 道路邊坡崩塌復建整治需求評估模式

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，而前述之各項因子對山區道路之穩定狀況皆有其影響性的情形下，實在無法建置一套全國山區道路邊坡通用之整治工法設計評估準則，甚至無法僅以一通用之評估準則模式針對邊坡防治工法之成效與設計評估進行預測。有鑑於此，研究單位建議山區道路邊坡工法設計之原則，應先針對山區道路之特性，建置其專屬之自然環境、工程整治、歷次災害等基本資料庫，透過資料之彙整與分析，瞭解各路段之整治效能以及工法需求潛勢，給予防治工法設計之最佳建議，並使基層人員於管理維護有所依循。

然國內常見之整治工法設計評估方法，包括：多變量分析、模糊集法、類神經網路、層級分析程序法、評分法等，然各種方法皆有其適用性及優缺點，本研究在評估養護基層工程師之接受度與後續執行之可行性後，於本節將採以工程師容易上手且接受度高之評分法進行評估，並參考陳榮河等(1997)依據 Wyllie(1987)提出之落石風險評分方法製作評分表格進行評分。

5.2.4.1 整治工法需求設計評量指標

在整治工法需求設計評量指標部分，本研究主要將 5.2.3 節選定之十七項邊坡崩塌致災影響因子，分為環境基本條件與工法需求考量兩大指標。本研究所提擬之評估方法中，每個評分項目採用 3n 作為級

距，依等級分為 3、9、27、81 分四個等級，採用 3 的冪次方作為級距的好處在於可凸顯其影響程度，評分越高，代表其工法需求性越高。

由於評分分級之真實且合理值應針對評估區域內蒐集足夠之相關數據資料後，以統計的方法訂定分級標準，然由於本計畫研究時程有限，本研究無法在有限的時間內，針對臺灣各山區道路皆進行現地調查作業，並蒐集足夠且完備的相關評估資料，故僅選定以臺 18 線山區道路為調查對象，作為本節評量指標分級之參考依據。

1. 環境基本條件指標

環境基本條件指標考量之影響因子，包括：地質條件、年平均崩塌次數、年平均崩塌規模、土地利用（上邊坡）、土地利用（下邊坡）、主要坡向與坡度七項。將調查區域內各調查點位相關此七項因子之點位資料彙整後，再依據統計方法進行分析，找出較為明顯之落差處作為分界點，將統計之結果分為四個等級，各項影響因子之分級結果彙整如表 5-12 所示。

表 5-12　環境基本條件評分表

分數 / 影響因子	3 分	9 分	27 分	81 分
地質條件	節理不連續，良好方位	節理不連續，任意方位	節理不連續，不利方位	連續性節理，不利方位
年平均崩塌次數 N（次）	N＜0.25	0.25≦N＜0.75	0.75≦N＜1.25	N≧1.25
年平均崩塌規模 A（m^3）	A＜100	100≦A＜500	500≦A＜2,000	A≧2,000
土地利用(上邊坡)	未開發	林班地	農田或果園	建築物
土地利用(下邊坡)	未開發	林班地	農田或果園	建築物
主要坡向	西南、南	東、西	東南、西北	東北、北
坡度 D（°）	D＜25	25≦D＜30	30≦D＜45	D≧45

其中，以年平均崩塌次數為例，其分級方式以 0.25 區分研究區域內所有調查點位，例如年平均崩塌次數大於 0.25 且小於 0.50 之點位歸為同一級距，調查區域點位之年平均崩塌次數分佈情形如表 5-13 所示。以年平均崩塌次數為橫軸，調查事件數為縱軸，繪製柱狀圖（詳圖 5-17），由柱狀圖找出較為明顯之落差

處作為分界點，分為四個等級，分級如表 5-12。

表 5-13　調查區域點位之年平均崩塌次數分佈情形

年平均崩塌次數 N（次）	調查點位（事件數）
0.00≦N＜0.25	34
0.25≦N＜0.50	29
0.50≦N＜0.75	26
0.75≦N＜1.00	14
1.00≦N＜1.25	6
1.25≦N＜1.50	3
1.50≦N＜1.75	2
1.75≦N＜2.00	3
N≧2.00	2

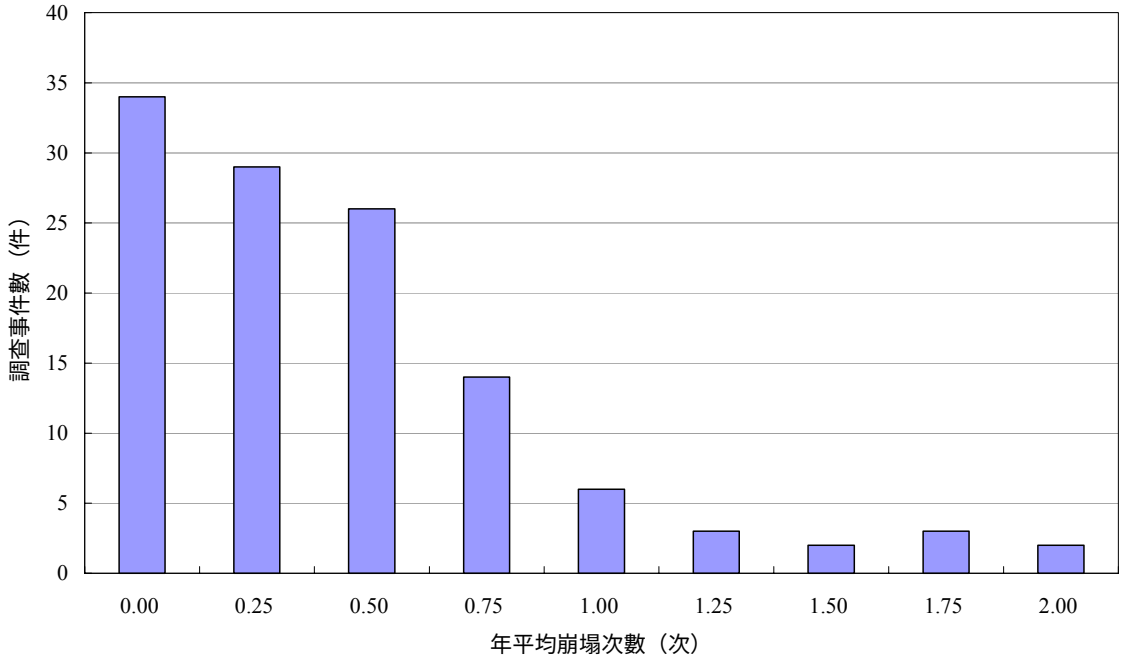


圖 5-17　年平均崩塌次數柱狀圖

2. 工法需求指標

國內崩塌整治工法主要分為外穩定、內穩定、植生、排水，以及避險五大類，其中避險工法雖然通常應用在坡度較大之破碎地質路段，但由於國內避險工法通常應用於一般工法整治多次仍

發生崩塌破壞之路段，且由於整治之後再發生破壞之機率較小，故其可提供分析之案例歷史資料不足；另外，植生整治工法是一般進行山區道路整治工程時皆會予以考量並與其他工法互相搭配使用的，故暫不將之列入防治工法需求潛勢分析中。綜合上述，本研究在防治工法考量指標部分僅針對邊坡穩定（含內、外穩定）與排水工法，進行防治工法行需求性評估。評估模式中，將穩定工法與排水工法分開評估之主要目的，則在於區分各防治工法之整治需求，以利使用之工程人員釐清防治之先後順序。但由於本研究執行期間建置之工程點位資料有限，僅針對山區道路常見之穩定與排水工法進行評估，建議相關使用單位在後續建置完整之相關資料後，可再針對穩定工法中之內穩定、外穩定進行更詳細之評估分析。

在 5.2.3 節中，選定之致災影響因子共計有十項，將此影響因子依其屬性予以分為穩定與排水兩類。其中，穩定工法之影響因子，包括：穩定工法整治現況、挖填方情形、坡面風化程度、坡趾開挖與坡頂荷重等五項。依據前述之統計分析方法，彙整調查區域內相關數據資料，進行五項影響因子之分級，分級結果詳表 5-14 所示；另外，排水工法之影響因子，則包含：排水工法設置與否、邊坡植被情形、坡趾排水狀況、坡面地下水滲流情形與豪大雨時之排水狀況等五項，各項影響因子之分級落距詳表 5-15。

表 5-14　穩定工法需求評分表

分數 影響因子	3 分	9 分	27 分	81 分
穩定工法整治現況	功能尚可	局部損壞	功能喪失	無穩定整治工法
挖填方情形	無 （H＜1m）	輕微 （1m≦H＜3m）	中等 （3m≦H＜6m）	嚴重 （H≧6m）
坡面風化程度	無 （新鮮岩石）	輕微 （輕度風化岩石）	中等 （中度風化岩石）	大量 （高度風化岩石或完全風化之殘留土）
坡趾開挖	無	少量 （H＜1m）	中等 （1m≦H＜3m）	大量 （H≧3m）
坡頂荷重	無	道路	住宅區	大量填土

表 5-15　排水工法需求評分表

分數 影響因子	3 分	9 分	27 分	81 分
排水工法設置與否	設置三種以上之排水工法	有，二種	有，一種	無設置排水工法
邊坡植被情形	坡面植被良好	坡面有輕微沖刷情形	坡面無植被保護	坡面沖刷嚴重，有明顯沖蝕溝
坡趾排水狀況	良好	好	普通	差
坡面地下水滲流情形	坡面無地下水滲流	降雨時坡面有少量地下水滲流	降雨時坡面有大量地下水滲流	平時有地下水滲出
豪大雨時之排水狀況	狀況良好，降雨可透過排水工法確實排除	降雨時偶有排水斷面滿管之現象	降雨時有部分水量溢流至路面	降雨時有大量水量溢流至路面

5.2.4.2 整治工法需求設計評估模式

本研究提擬之整治工法需求設計評估模式，主要是考量現地環境狀況對工法本身之需求性所研擬的，故整治工法需求評估模式除考量整治工法本身之需求性外，仍須將道路邊坡之環境基本條件外納入考量，故本節結合前述環境基本條件評分表（表 5-12）與防治工法需求評分表（表 5-14、表 5-15），針對穩定與排水兩大防治工法，建置工法設計評估所需之需求評分表（詳表 5-16、表 5-17）。

表 5-16　整治工法設計需求評分表

分數 / 影響因子	3 分		9 分		27 分		81 分	
Ⅰ.環境基本條件考量因子								
地質條件	節理不連續，良好方位		節理不連續，任意方位		節理不連續，不利方位		連續性節理，不利方位	
年平均崩塌次數 N（次）	N＜0.25		0.25≦N＜0.75		0.75≦N＜1.25		N≧1.25	
年平均崩塌規模 A（m^3）	A＜100		100≦A＜500		500≦A＜2,000		A≧2,000	
土地利用（上邊坡）	未開發		林班地		農田或果園		建築物	
土地利用（下邊坡）	未開發		林班地		農田或果園		建築物	
主要坡向	西南、南		東、西		東南、西北		東北、北	
坡度 D（°）	D＜25		25≦D＜30		30≦D＜45		D≧45	
項目數								
小計								
Ⅱ. 穩定工法考量因子								
穩定工法整治現況	功能尚可		局部損壞		功能喪失		無穩定整治工法	
挖填方情形	無 （H＜1m）		輕微 （1m≦H＜3m）		中等 （3m≦H＜6m）		嚴重 （H≧6m）	
坡面風化程度	無 （新鮮岩石）		輕微 （輕度風化岩石）		中等 （中度風化岩石）		大量 （高度風化岩石或完全風化之殘留土）	
坡趾開挖	無		少量 （H＜1m）		中等 （1m≦H＜3m）		大量 （H≧3m）	
坡頂荷重	無		道路		住宅區		大量填土	
項目數								
小計								

表 5-17　防治工法最佳化設計需求評分表（續）

分數 / 影響因子	3 分		9 分		27 分		81 分	
III. 排水工法考量因子								
排水工法設置與否	設置三種以上之排水工法		有，二種		有，一種		無設置排水工法	
邊坡植被情形	坡面植被良好		坡面有輕微沖刷情形		坡面無植被保護		坡面沖刷嚴重，有明顯沖蝕溝	
坡趾排水狀況	良好		好		普通		差	
坡面地下水滲流情形	坡面無地下水滲流		降雨時坡面有少量地下水滲流		降雨時坡面有大量地下水滲流		平時有地下水滲出	
豪大雨時之排水狀況	狀況良好，降雨可透過排水工法確實排除		降雨時偶有排水斷面滿管之現象		降雨時有部分水量溢流至路面		降雨時有大量水量溢流至路面	
項　目　數								
小　　計								
工法需求得分	I＋II（穩定工法）				I＋III（排水工法）			

利用此評分表即可針對道路邊坡崩塌復建整治工法需求進行評估，評估步驟如下：

1.於環境基本條件考量因子（I）欄位中，針對七項影響因子，逐項選擇符合現地環境之選項，並於適合之欄位上勾選。

2.針對穩定工法考量因子（II）與排水工法考量因子（III）兩大類之各評分細項，亦針對適合之資料數據欄位逐項進行勾選。

3.勾選完畢之後，加總各欄位之項目數，並填入所屬之「項目數」之欄位中。

4.將各項加總之項目數乘上所屬之項目分數，並將分數填入小計欄。

5.最後，將（I）欄之得分數，分別與（II）、（III）欄之得分相加，並填至下方欄位中，即可得到穩定工法整治需求值（I＋II）與排水工

法整治需求值（Ⅰ+Ⅲ)。透過上述評分步驟，將可計算出調查區域內，各調查點位之穩定與排水工法需求值，最後透過工法需求值之統計分析與座落區間，給予不同等級之處理對策建議（如表 5-18 所示)。

表 5-18　整治工法處理對策建議表

評分等級	處理對策建議
Ⅰ	邊坡穩定現況良好，建議僅需定期進行巡檢工作。
Ⅱ	邊坡稍有不穩定之徵兆，建議進行一般性之修復、補強工作。
Ⅲ	邊坡已處於不穩定狀態，原有整治工法可能已喪失功效，建議進行緊急搶修工作。

然以省道臺 18 線 31.6k 為案例，其環境條件得 237 分(詳表 5-19)、穩定工法得 105 分（表 5-20)、排水工法得 75 分（表 5-21)，故其穩定工法最佳化需求值為 342、排水工法最佳化需求值為 312 (詳表 5-22)，由需求值之大小可知，樁號 31.6k 對穩定工法的需求大於排水工法。

表 5-19　臺 18 線 31.6k 環境基本條件評分表

分數 / 影響因子	3 分		9 分		27 分		81 分	
Ⅰ.環境基本條件考量因子								
地質條件	節理不連續，良好方位		節理不連續，任意方位		節理不連續，不利方位		連續性節理，不利方位	ˇ
年平均崩塌次數 N（次）	N＜0.25		0.25≦N＜0.75	ˇ	0.75≦N＜1.25		N≧1.25	
年平均崩塌規模 A（m^3）	A＜100		100≦A＜500		500≦A＜2,000	ˇ	A≧2,000	
土地利用（上邊坡）	未開發		林班地	ˇ	農田或果園		建築物	
土地利用（下邊坡）	未開發	ˇ	林班地		農田或果園		建築物	
主要坡向	西南、南		東、西		東南、西北	ˇ	東北、北	
坡度 D（°）	D＜25		25≦D＜30		30≦D＜45°		D≧45°	ˇ
項　目　數	1		2		2		2	
小　　計	237							

表 5-20　臺 18 線 31.6k 穩定工法需求評分表

分數 / 影響因子	3 分		9 分		27 分		81 分	
Ⅱ. 穩定工法考量因子								
穩定工法整治現況	功能尚可	v	局部損壞		功能喪失		無穩定整治工法	
挖填方情形	無 （H＜1m）	v	輕微 （1m≦H＜3m）		中等 （3m≦H＜6m）		嚴重 （H≧6m）	
坡面風化程度	無 （新鮮岩石）		輕微 （輕度風化岩石）		中等 （中度風化岩石）		大量 （高度風化岩石或完全風化之殘留土）	v
坡趾開挖	無		少量 （H＜1m）	v	中等 （1m≦H＜3m）		大量 （H≧3m）	
坡頂荷重	無		道路	v	住宅區		大量填土	
項　目　數	2		2		0		1	
小　　計	105							

表 5-21　臺 18 線 31.6k 排水工法需求評分表

分數 / 影響因子	3 分		9 分		27 分		81 分	
Ⅲ. 排水工法考量因子								
排水工法設置與否	設置三種以上之排水工法		有，二種		有，一種	v	無設置排水工法	
邊坡植被情形	坡面植被良好	v	坡面有輕微沖刷情形		坡面無植被保護		坡面沖刷嚴重，有明顯沖蝕溝	
坡趾排水狀況	良好		好	v	普通		差	
坡面地下水滲流情形	坡面無地下水滲流		降雨時坡面有少量地下水滲流	v	降雨時坡面有大量地下水滲流		平時有地下水滲出	
豪大雨時之排水狀況	狀況良好，降雨可透過排水工法確實排除		降雨時偶有排水斷面滿管之現象		降雨時有部分水量溢流至路面	v	降雨時有大量水量溢流至路面	
項　目　數	1		2		2		0	
小　　計	75							

表 5-22　臺 18 線 31.6k 防治工法需求評分表

工法需求得分	Ⅰ+Ⅱ（穩定工法）	Ⅰ+Ⅲ（排水工法）
	342	312

參考上述之評分步驟，將省道臺 18 線山區道路 119 個資料點位之評分結果繪製統計柱狀圖（詳圖 5-18、圖 5-19），並針對統計圖之分佈予以座落區間之分級，以及相對之處理對策建議（詳表 5-23）。以穩定工法為例，防治工法最佳化需求值小於 150 分者，其評分等級為Ⅰ，此等級之現地邊坡穩定狀況良好，故建議僅需定期進行巡檢工作即可；評分結果介於 150　350 分者，則屬等級Ⅱ，由於現地邊坡已稍有不穩定之徵兆，建議可進行一般性之修復、補強工作；至於評分結果大於 350 分者，由於邊坡已處於不穩定狀態，原有整治工法可能已喪失功效，建議需進行緊急搶修工作，以避免造成大規模之崩塌災害。

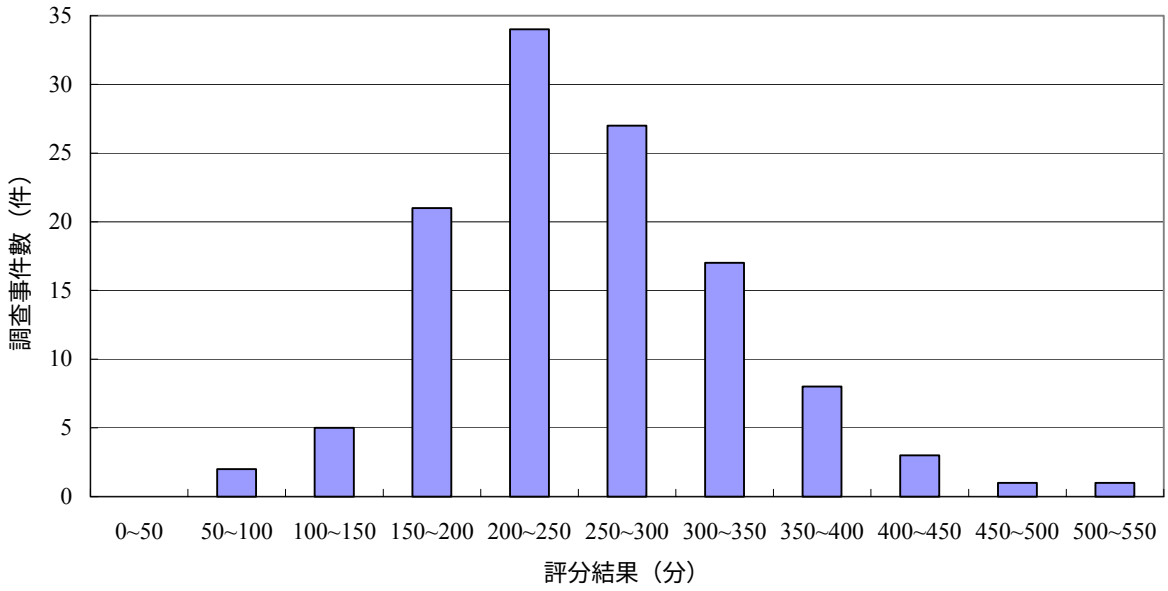


圖 5-18　臺 18 線穩定工法需求統計圖

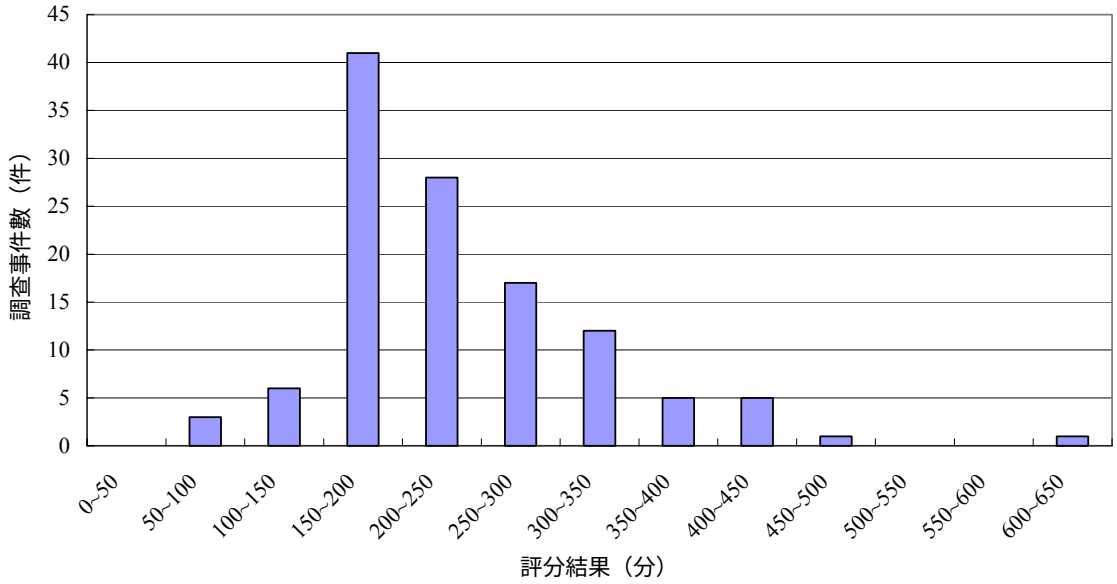


圖 5-19　臺 18 線排水工法需求統計圖

表 5-23　臺 18 線防治工法處理對策建議表

評分等級	防治工法評分需求值 X（分）		處理對策建議
	穩定工法	排水工法	
Ⅰ	0≦X＜150	0≦X＜150	邊坡穩定現況良好，建議僅需定期進行巡檢工作。
Ⅱ	150≦X＜350	150≦X＜350	邊坡稍有不穩定之徵兆，建議進行一般性之修復、補強工作。
Ⅲ	X≧350	X≧350	邊坡已處於不穩定狀態，原有整治工法可能已喪失功效，建議進行緊急搶修工作。

5.2.4.3 整治工法需求潛勢圖繪製

由於山區道路之復建整治影響範圍涵蓋了點、線、面等空間化，為方便工程人員針對所屬轄區內之道路邊坡進行有效之管控，本研究將針對上述之評估結果與道路邊坡維護管理系統結合，利用空間化之展示方式，繪製穩定與排水工法需求潛勢圖。道路邊坡整治工法需求潛勢圖之劃設工作，主要是透過現地資料調查與蒐集，針對選定之各項影響致災因子，進行調查資料彙整與轉入，並劃設出整治工法的需

求潛勢圖。

本小節以下之內容則將針對潛勢圖之劃設流程進行介紹。

1. 基礎單元設定

為了能有效將現地情況展示，且能作為後續計算的基礎單元，本研究參考過去相關之研究成果，將採用 40X40 公尺網格為基礎單元，主要原因乃是配合全臺灣目前現有數值地形資料庫的高程資料，且網格式資料具有適合統計分析、可有效表示空間變動性，資料結構簡單等優點較向量式資料更能符合本研究之需求。雖然目前已有許多地區已生產 4X4 公尺的網格資料，但考量研究範圍及特性，仍是採用 40X40 公尺網格。

2. 現地資料調查

透過全球衛星定位系統（Global Position System, GPS）與道路邊坡維護管理系統，進行現地調查作業，取得研究範圍內之各致災影響因子之相關數據資料，這些調查因子包括 5.2.3 節中介紹之七項環境基本條件老量因子與十項防治工法考量因子。

3. 調查資料轉入

藉由與邊坡管理系統結合之地理資訊系統軟體，將使用之全球衛星定位系統現地調查資料，以系統化方式轉入地理資訊系統軟體，使其資料可同時呈現空間及屬性資料（詳圖 5-20）。

4. 防治工法需求潛勢圖劃設

本研究最後將現地調查所得之環境影響致災資料，透過前節所述之評分方式進行加權轉換，並以分數分級結果展示工法需求潛勢分析結果（如圖 5-21）。

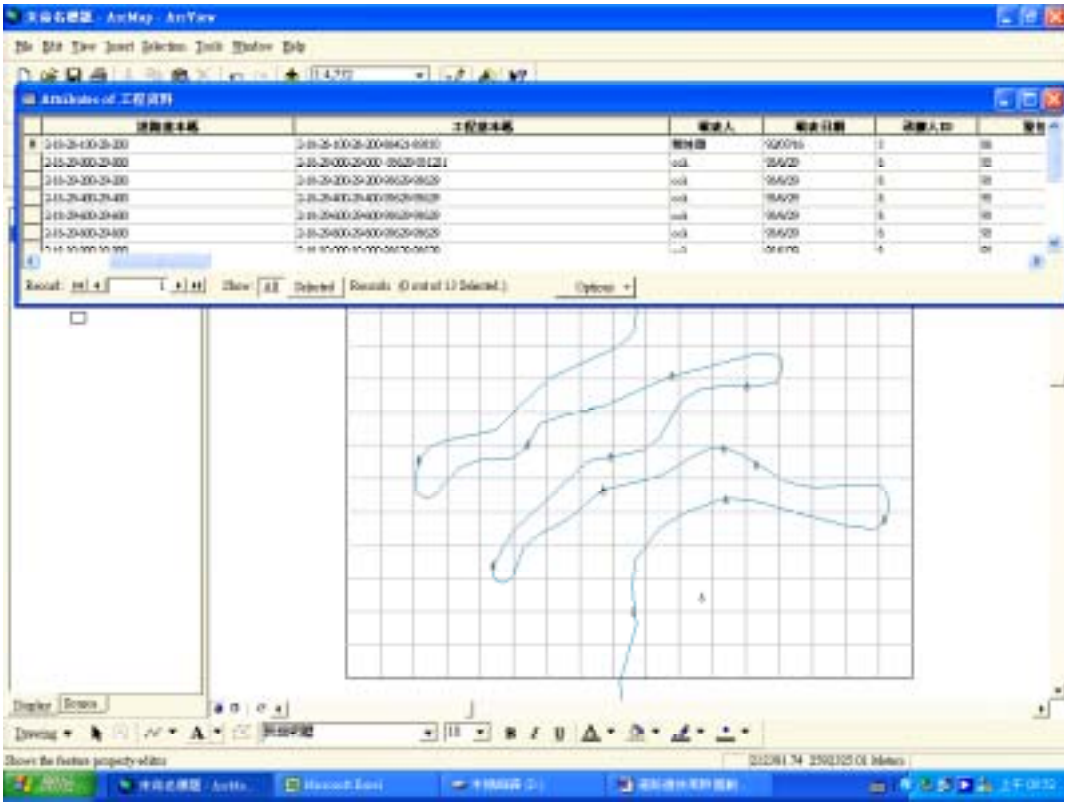


圖 5-20　資料系統同時以空間及屬性資料呈現畫面

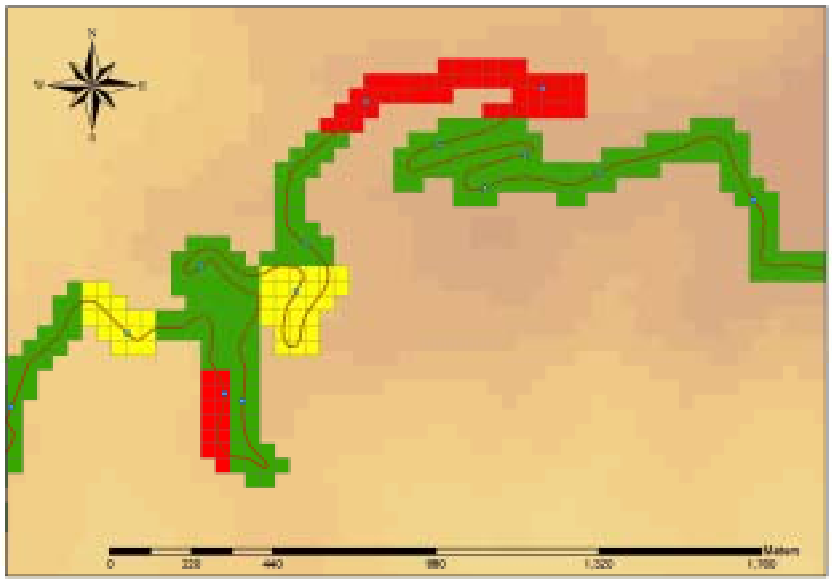


圖 5-21　臺 18 線山區道路排水整治工法需求潛勢圖

5.2.5 道路邊坡崩塌及土石流復建技術之研究

由於道路邊坡崩塌與土石流整治工法種類繁多，本節將分別針對邊坡崩塌與土石流兩大類之災害，彙整目前國內、外常見之整治工法，並根據工法所處理之區域與達成目的進行分類，分析整治考量因素，以提供前節所述之整治工法需求評估之採用參考。

5.2.5.1 道路邊坡崩塌整治工法

一般較常使用之穩定整治工法包括有修坡、擋土及排水等項目，其處理原理不外乎減少邊坡之下滑力及增加抗剪強力。故於進行道路邊坡崩塌整治前，需先適切了解引發崩塌作用力之大小、滑動規模、深度及滑動方向，亦即應先進行現地調查（氣象、水文、地形、地質、土地利用），依相關調查結果綜合評估其破壞模式、作用力大小及方向、擋土工之效益等決定整治工法與型式。邊坡穩定整治工法之適用時機可由崩塌經歷時程、邊坡自然狀況以及週邊人為環境等三大向度，進行綜合判斷與考量：

1. 崩塌經歷時間

與邊坡崩塌之時間歷程有關，如崩塌發生前之預防工法、崩塌發生中或發生後之處理工法，以及發生後二次崩塌之防止工法等。

2. 邊坡自然狀況

應考量邊坡之幾何構造（規模、坡度、高度）、組成成分（土壤、岩盤、填方、挖方）、以及週遭自然環境（雨、風、地下水）等因素選取適切工法。

3. 週邊人為狀況

應對於邊坡鄰近之人為環境、住宅、道路、鐵路等各種構造物與設施之影響，進行綜合評估考量。

圖 5-22 所示為邊坡穩定工法依照崩塌經歷時間所採用之分類示意，所列工法可區分為生物、物理及化學等三個基本穩定對策，並依

其適宜之坡面高度、邊坡表層深度等予以配置適當的整治工法。

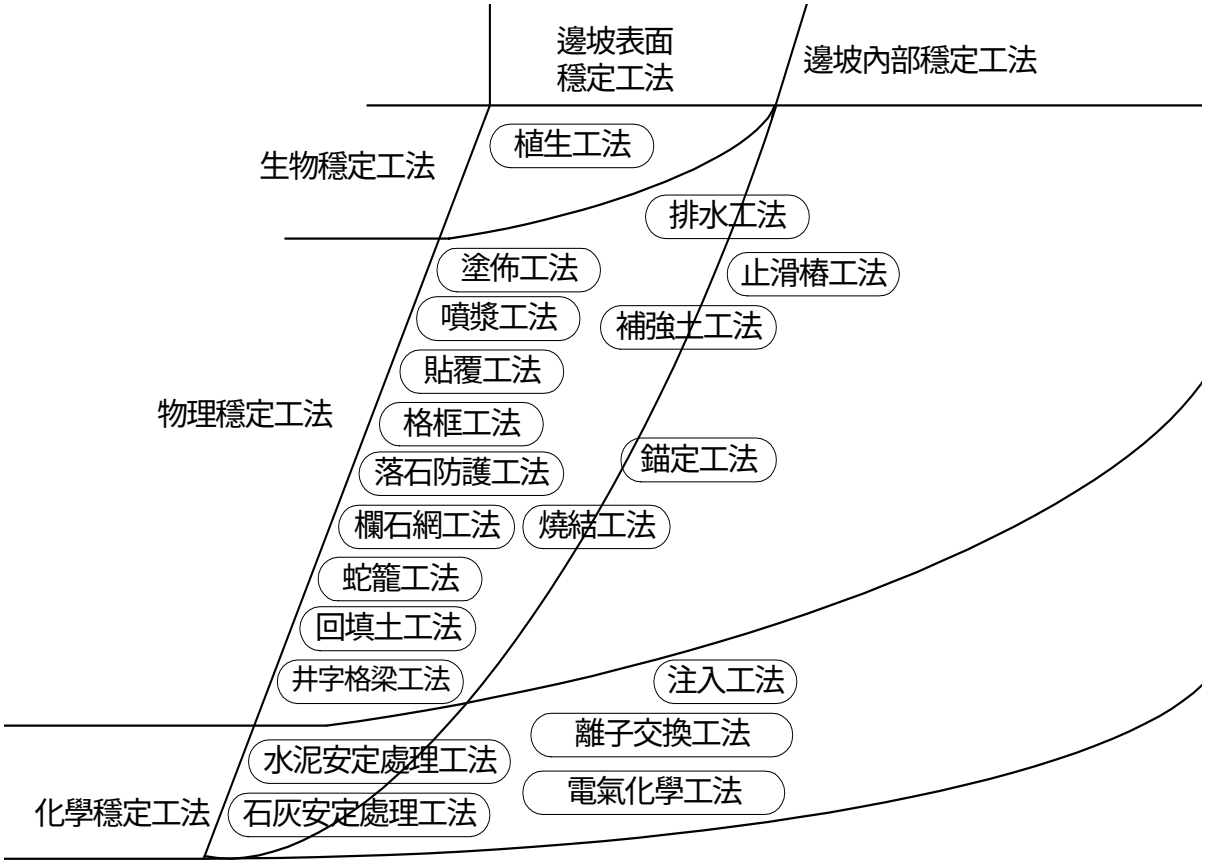


圖 5-22　邊坡穩定工法之分類

【資料來源：新稿斜面安定工法－指針と解說，昭和 46 年】

而一般邊坡崩塌整治解決方案，於穩定機制方面，可運用減少邊坡荷載、增加坡趾覆重、增設邊坡擋土工、設置坡面保護工及設置排水工等五種方式，以維護並增進邊坡之穩定平衡，防治崩塌之發生與再發。各種方式分述如下：

1. 減少邊坡荷載

通常運用挖除上緣不穩定土石，使用輕質回填以及修緩邊坡等方式減少載重，來達成降低崩塌下滑推力為目的，此為對於維持邊坡長期穩定最有效益之工法。

2. 增加坡趾覆重

邊坡坡趾如受河流沖刷或工程開挖等狀況，造成原有平衡系

統遭受到破壞，可運用增加坡趾覆重方式以回復邊坡穩定，此為適用於邊坡崩塌緊急搶修及長期穩定之方法。

3. 邊坡擋土工

依其力學機制可概分為外穩定與內穩定兩大類，本法可視需求規劃設置臨時擋土與永久擋土工，達成穩定邊坡之目的。其中，運用外加結構物方式提供邊坡穩定之額外平衡力與力矩之外穩定機制，包括擋土排樁工法、地錨護坡及混凝土擋土牆工法等。至於運用改良邊坡內部應力狀況達成穩定效果為內穩定機制，包括土質改良、噴凝土加岩栓工法、石籠及加勁擋土牆工法等。

4. 設置坡面保護工

運用提供邊坡坡面抗風化與抗沖蝕等坡面保護設施，減少風化加深、沖蝕擴大，進而影響邊坡之安全，包括噴凝土工法、自由格框工法、植生工法等。

5. 設置排水工

藉由設置排水設施，有效排除地表逕流，或降低地下水位以提高邊坡穩定安全係數。

為期達成邊坡崩塌之防治與整治工作之最佳防治效益，彙整綜合以上所述之穩定機制，以規劃設計相關整治工法，其最終之目標係穩定坡面，使植物（草木）能繁衍生產，以維護坡面生態系（目前運用於公路系統之主要工法彙整詳見附錄 D）。

5.2.5.2 土石流防治工法

本小節擬先介紹土石流災害防治設計規劃之思考對策，爾後再針對目前常見之現行工法進行簡介。

1. 土石流防治對策

臺灣所處環境存有抬昇、崩坍、土石流、洪水流、颱風、豪雨、淹水等各種動態的自然現象，以生態及環境的處理策略，即

是採「順應原則」。工法與措施在安全考量下，不以阻、擋為目的，而改以使土石順利運搬、無害通過為目的。同時應針對所處生態環境之特質，採用因應的開發、保育及復建作為。

土石流防治思考對策方面，依土石流生命歷程所呈現之不同運動特性，可區分為下述三類：

1-1 土石流誘發防止

土石流發生部之治理，以防止土石流誘發為主。其防止方法計有：

A. 低堆積物所受剪力

豐富土石來源為土石流之基本發生條件，若施工條件許可，可將溪谷中之堆積土石挖除。

B. 處理山腹崩塌地

山腹崩塌地常提供溪床豐富之堆積土石，因此，此類崩塌地應予以治理；溪谷亦應設置適當工程，以防止山腹崩塌之發生或擴大。

C. 控制地表逕流

堆積物表面於颱風或暴雨期間，所產生之全面性地表逕流為土石流發生之主要誘發因子。故應設置適當工程，以降低地表逕流量，防止土石流之觸發。

D. 降低堆積層內部孔隙水壓

水壓之激發，亦為土石流發生之主要誘發條件之一。故應於堆積層及山腹地帶設置排水設施，以排除滲流水，降低孔隙水壓，防止土石流之誘發。

E. 增加溪床抗沖刷阻抗

進行河道整治或打樁工程、穩固溪床，以增加堆積層之

沖刷阻抗。

1-2 土石流能量消減

土石流流動部之治理，以控制土石流發展為主。其防治方法有：

A. 降低土石流濃度

土石流之剪切力、撞擊力與土石流之濃度相關，消減其濃度可降低土石流之破壞力。工法之選擇，可採開放式壩、或林帶等。

B. 減緩土石流流速

減緩土石流流速，除可降低土石流破壞力外，亦可減少氾濫範圍、增加避難時間。工法之選擇，可採系列式攔砂壩或潛壩，除可穩固溪床外，並藉由溪床坡度之減緩，以降低土石流流速。

C. 降低土石流流量

依擋固排液或使土石流脫水之方法，以降低土石流流量。

1-3 土石流淤積、停止

土石流淤積、停止得越早，氾濫範圍則越小，災情嚴重性可望降低。工法選擇上，若無適當地點設置沉砂池、停淤場，或容量不足情況下，必須進行土石流分散、導流或種植林木以作為緩衝帶。

2. 防治工法

土石流之防治為根據其類型、運動特性、保全需求等，由上、中、下游為範圍，或以發生、流動與堆積部所需，採用數種措施進行綜合治理。防治工法形式如下：

2-1 土石流誘發防止工

土石流發生部之治理方法，可配合採用水土保持工程（工程措施、生物措施）、河道工程（固床工、護岸）等工法。

2-2 能量消減工

土石流流動部之治理方法，可綜合採用系列式防砂壩群（如圖 5-23 所示）、固床工、開放式壩與林木緩衝帶等工法。對於開放式壩之選擇，基於土石流災害發生於山區或溪谷，為便於運輸，易於施工與維護，縮短現地組合拼裝工期，可採用立體式金屬格子壩或更易於設置之柱狀梳子壩。

圖 5-23　土石流流動部之治理方法實例（雲林縣古坑鄉華山）

2-3 擋固排液工

結構物之規畫設計，應考量攔阻固體顆粒，排除水壓之功能，以消減土石流能量，平緩溪谷坡度，使壩區保持一定容量。擋固排液工，除了具備消減土石流能量外，亦能促使土石流淤積、停止。所採用工程包含開放式壩群、脫水工、

沉砂池與停淤場。

至於開放式壩之選擇，就種類而言，以幾何構造來分，可分為平面和立體的；由受力特性來分，有剛性和柔性的；從結構型式分，可分為梳子式、格子式（如圖 5-24 所示）、樑式、桁架式、格網式及樁林式等；依建築材料，又可區分為金屬的和鋼筋混凝土。因此，壩型之選擇，應依考量現地地理、地質、環境水文、保全對象之需求、經濟能力、運輸方便性及施工可行性，而作最佳之選擇。

圖 5-24　南投縣信義鄉豐丘之格子式壩

2-4 導流分散工

為減緩土石流流速、降低流量，有必要設置林木緩衝帶、導流堤與流路工等之導流分散工。

土石流防治工程，應視實際施工之可行性，考量誘發防止工、能量消減工、擋固排液工、導流分散工之結合設置，方可同時保全下游之公路、住家及農田。工程之配合實例如：

A. 於溪谷中設置能量消減工

如系列式防砂壩群、固床工、開放式壩或林木緩衝帶等工法時，由於土石流流量大，抑制工程只能削減土石流之能量、降低其規模，並不能使其完全停淤。因此，下游箱涵應配合整體之防治規模，使土石流能順利通過、排除。否則，因大量土石之堵塞，易造成下游土石流之氾濫。

B. 通過土石流流動區之明隧道

對公路之保全效果良好。可於公路之上邊坡設置誘發防止工，以降低土石流規模，減少破壞力，保護明隧道主體結構；公路之下邊坡，可構築能量消減工、擋固排液工或導流分散工，以縮小下游之氾濫區。

5.3 監測規劃與執行

為確實避免豪大雨引致道路邊坡崩塌，進而影響行車用路安全，災後復建階段除針對既有擋土結構物之功能進行審視與評估，再依據現地實際狀況進行復建工作之規劃與執行外，亦需合宜地應用大地監測與預警系統，以確實掌控現況、降低災害，故本節將針對監測預警規劃與執行步驟進行詳細敘述。

5.3.1 監測規劃與預警

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，參考下列要項之部分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 5-25）。

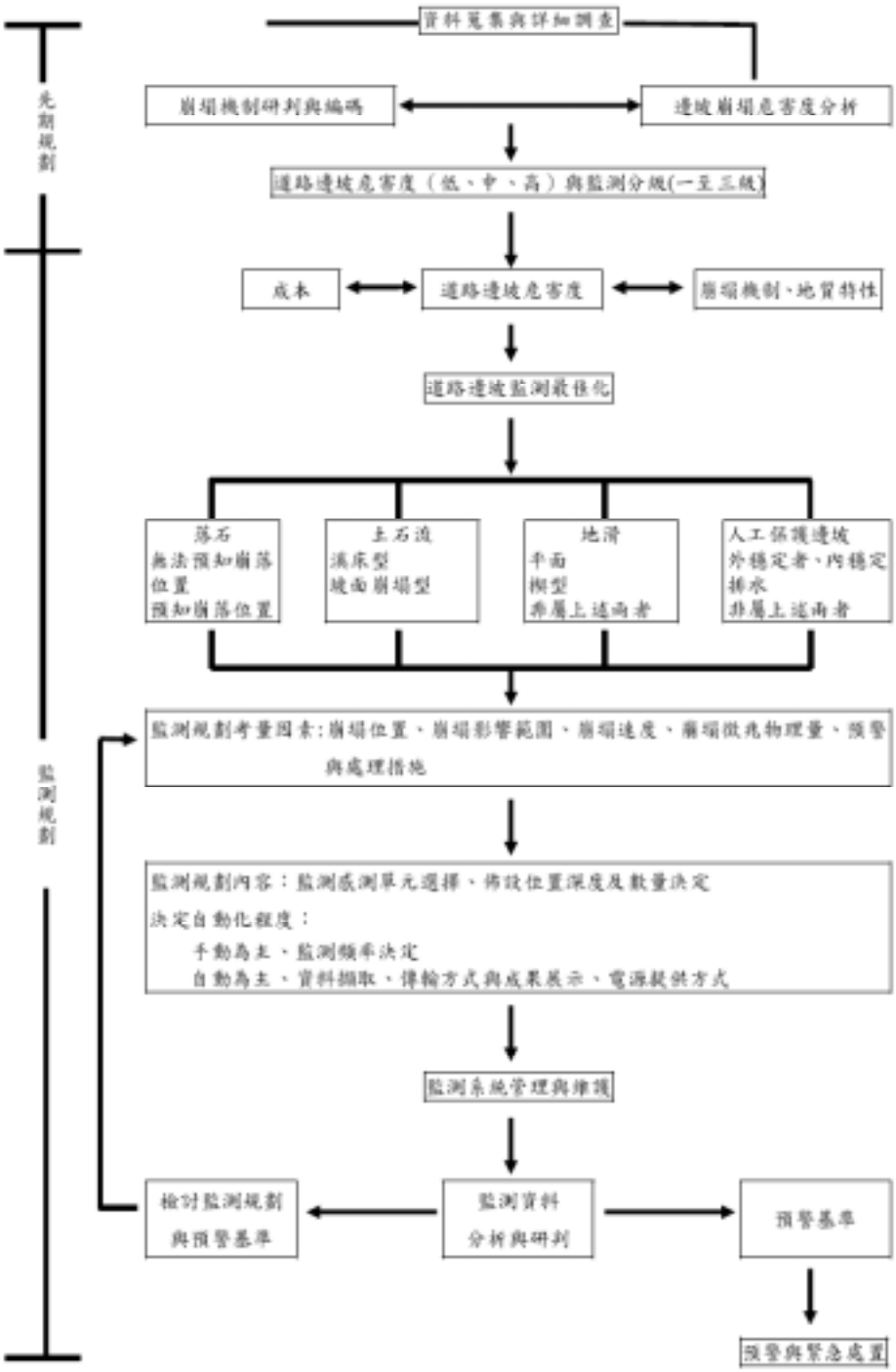


圖 5-25　監測規劃流程圖

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 5-24 所示，其相關彙整說明如所述後。

表 5-24　道路邊坡監測分類以及與預警方法建議

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分，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危害度等級劃分提出分項說明。

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)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：

3-1 地形、地質條件研判具邊坡滑動潛勢之邊坡。

3-2 有地表徵兆之邊坡。

3-3 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(1986)提供之判斷標準如表 5-25 所示。

表 5-25　日本高速道路調查會地滑之判定基準(1986)

監測儀器		定量的判定標準	定性的判定標準
地表伸縮儀		>0.5mm/日	1.觀測值隨時間而累積增加 2.多個監測儀器顯示同樣的地滑趨勢 3.與降雨、下雪有連動性之累積變化 4.觀測結果可確認地滑面
孔內伸縮儀		>0.5mm/日	
光波測距儀	固定式	>5mm/回	
	移動式	>10mm/回	
傾度盤		>10 秒/7 日	
管式應變計		>50　100μ/7 日	
孔內傾斜儀		>1mm/10m/回	

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，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、傳輸與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，則應提昇監測等級。

5.3.1.1 落石之監測規劃與預警（圖 5-26）

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：

1-1 監測第一等級

以定期巡視為主，除非有明顯之崩塌徵兆，不特別針對此類邊坡進行預警。

1-2 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，並以臨界降雨線做為預警基準。

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，因此做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相關性，進行統計分析後訂定之。

1-3 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。監測物理量建議以降雨特性以及

監控崩塌是否已發生為主。

於降雨特性監測部分，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，並以臨界降雨線做為預警基準，預警將以固定路段為對象。

於崩塌是否已發生之監測部分，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，並逐步修正該路段做為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。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。

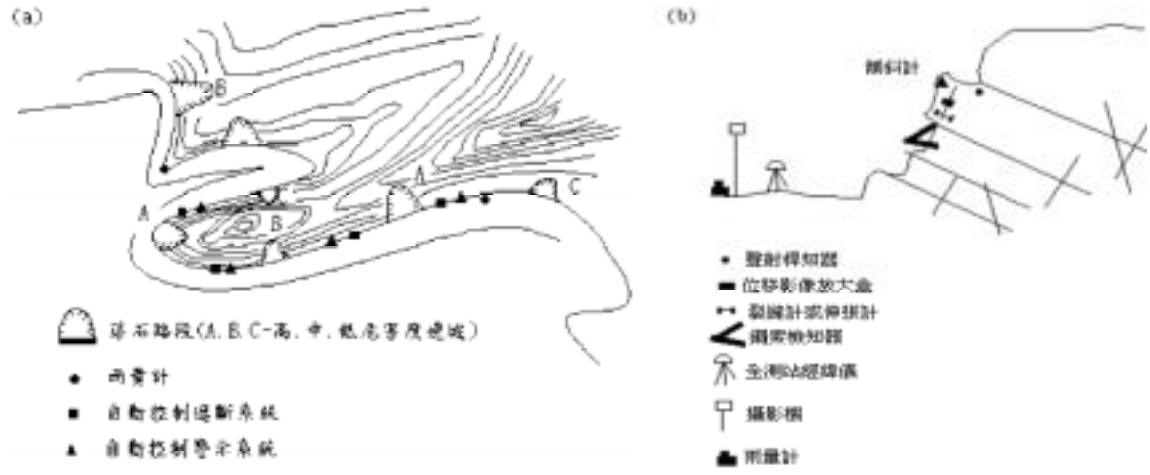


圖 5-26　落石邊坡崩塌監測規劃示意圖

5.3.1.2 土石流之監測規劃與預警（圖 5-27）

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：

1-1 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。

1-2 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，定值式與機率式之預警模式均已於特定路段（如新中橫公路，范正成，2002）完成建立，未制定之路段皆可仿照相同方式進行監測規劃與預警。因各道路地形地質水文條件各有不同，因此做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相關性，進行統計分析後訂定之。

1-3 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：(a)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。(b)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。(c)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。(d)長期預報初期將以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：(a)因溪床型土石流發生之條件與堆積區土石材料流動化逐漸發展較為相關，故以土石流發生流動前之徵兆做為主要對象，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。(b)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。(c)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：(a)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。(b)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：(1)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做為監測對象與預警基準有其適用性上之困難。(2)觸發地點難以掌握，故以土石流發生流動前之徵兆做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：

2-1 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。

2-2 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，惟制定預警基準時，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做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。

2-3 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做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分。

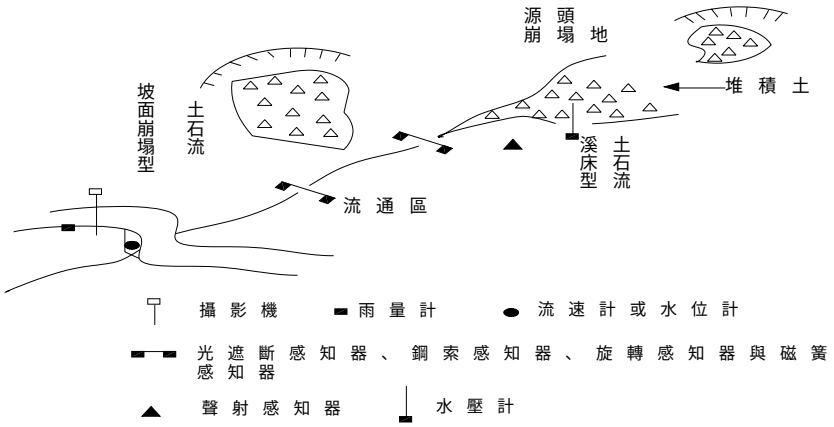


圖 5-27　土石流監測規劃示意圖

5.3.1.3 地滑之監測規劃與預警（圖 5-28）

1. 平面型或楔型岩層滑動

平面型之順向岩層邊坡崩塌以及楔型破壞，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。

1-1 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，應立即提昇監測等級。

1- 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，則應考慮提昇監測等級，甚至應考慮進行邊坡整治。

1-3 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調查重點。

2-1 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、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。

2-2 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，手動紀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。

2-3 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。

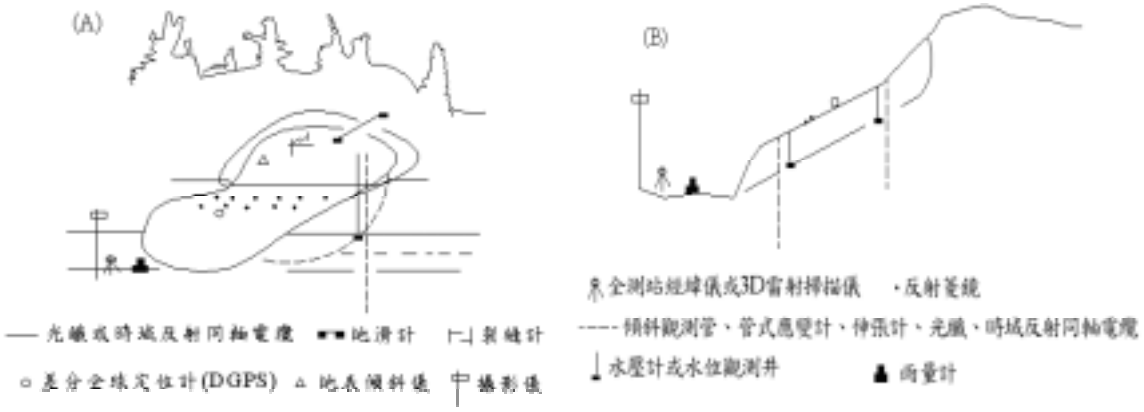


圖 5-28　地滑邊坡監測規劃示意圖

5.3.1.4 人工保護邊坡監測與預警

將人工保護邊坡監測與預警分穩定工法與排水工法分述如下：

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紀錄構造物傾斜量。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，做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，且監測結果除做為預警目的外，並應列為排水成效評估之重要依據。

5.3.1.5 道路邊坡監測預警管理值制定

因不同道路、不同路段、不同位置與不同影響程度，均將影響道路管理單位對於該邊坡崩塌風險之忍受程度，加上不同邊坡對於風險承受能力不同，因此監測管理值訂定之保守程度即應有所不同。道路邊坡崩塌監測管理值制定程序之建議如圖 5-29 所示。

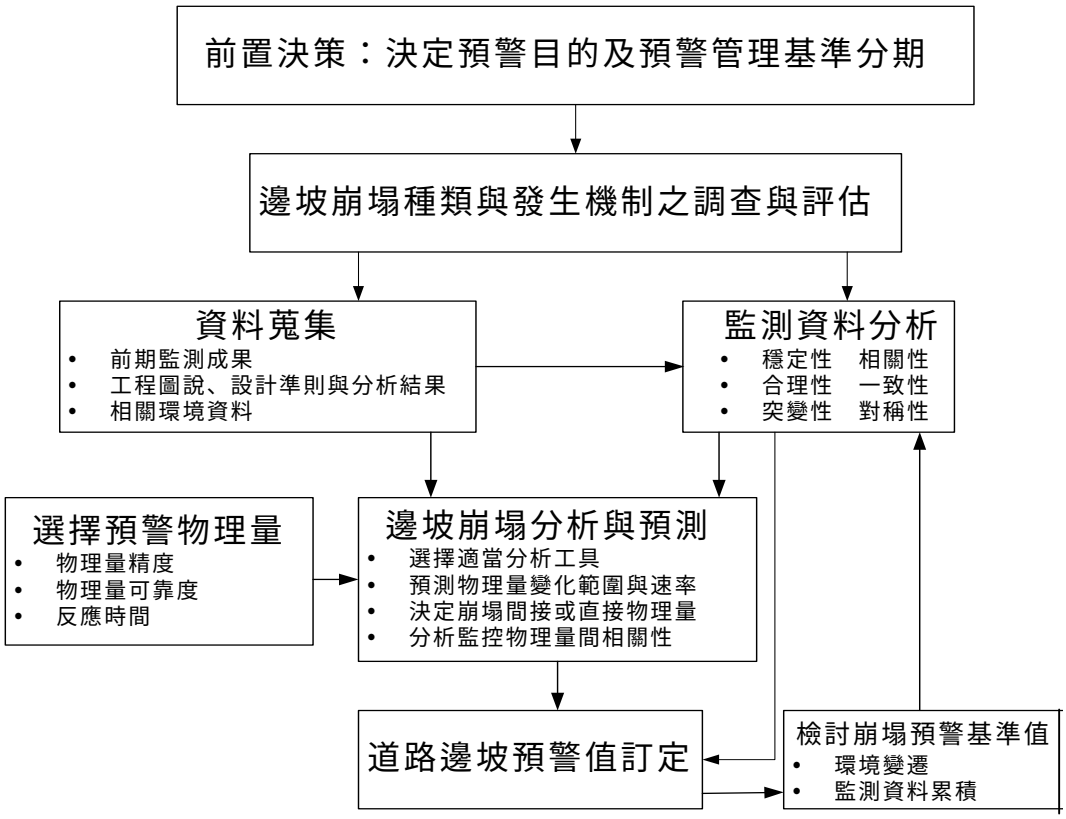


圖 5-29　道路邊坡崩塌監測管理值制定建議程序

根據圖 5-29，欲進行道路邊坡崩塌監測管理值之訂定，應循序進行以下步驟：(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。至於監測管理基準值之訂定，一般可採用決定模式分析法、統計模式分析法、混合模式分析法或包絡線圖示法等方法，分述如下：

1. 決定模式分析法

依據影響監測量之各項外界因素，以理論分析法如有限元素法等分析所得之關係式，以推估該監測量之預期值，一般此法較適用於危險值之推估。

2. 統計模式分析法

以監測儀器長期之觀測值，利用迴歸分析方式，建立監測量與影響該量之外在因素間之關係式，一般此法較適用於警戒值之

推估。

3. 混合模式分析法

以混合決定模式法與統計模式法來推估監測量之預期值或警戒值。其方法乃將決定模式分析法中較不易精確分析之分量，如溫度與時效影響等之分量，利用統計模式分析法計算，而可較精確分析之分量如水位仍利用決定模式分析法。

4. 包絡線圖示法

將各儀器歷年之監測值經校核篩選後，分別點繪於橫軸表示其他影響行為之主要外在因素，縱軸表示儀器監測值之方格紙上，並將其上下之最大及最小值連接成包絡線，此包絡線即為對應各該外在因素之警戒範圍。

5.3.2 監測規劃考量因素與步驟

監測規劃應遵循以下步驟進行(Dunnicliff,1988;1990)：

1. 預測控制邊坡行為之關鍵機制

根據現地條件與工程設計，應先了解影響邊坡行為的關鍵機制，並建立假說模型。所有監測皆應基於此一假說模型進行適當之規劃。

2. 定義監測目的

每一個監測儀器的裝設，都是為了要解答某一個疑惑，因此，監測規劃前，應條列所有有關於道路邊坡工程設計、施工與長期運轉所將面對之問題。

3. 定義面臨之邊坡工程問題

每一個監測儀器的裝設，都是為了要解答某一個疑惑，因此，監測規劃前，應條列所有有關於道路邊坡工程設計、施工與長期運轉所將面對之問題。

4. 選擇監測之關鍵物理量

邊坡工程問題典型的物理量包括水壓、變形、總應力、溫度、震動、滲流與降雨。監測規劃者應先界定其面臨之邊坡工程問題，上述物理量何者對於監測預計解釋之問題，是最顯著而應被監控。

5. 關鍵物理量變化範圍預測

預測關鍵物理量之變化範圍，對於選擇監測儀器的工作範圍（ranges）、精度（accuracies）以及敏感度（sensitivities）相當重要。關鍵物理量可能發生的最大值估計，有助於選擇儀器之工作範圍；關鍵物理量最小值估計，有助於選擇儀器之精度與敏感度。對於作為預警功能之監測，事先估計預警標準也很重要，監測儀器所量測得之物理量是否代表異常現象，將影響施工是否需要停工或採取必要之緊急措施。

6. 監測位置選擇

監測位置應與預計解釋之問題以及資料分析所需相結合（如邊坡分析斷面）。選擇監測位置之標準如下：(1)邊坡地質材料特別脆弱、高度最大或受力最強的位置；(2)具有代表性的位置；(3)邊坡工程設施最易產生問題之處；(4)選擇部份次要位置布設少量儀器。儀器位置選擇亦應考慮設置之施工性，以及與邊坡工程施工互不干擾之處，以降低儀器受到施工破壞之風險。

7. 儀器選擇

耐久性是儀器選擇最重要的因子，確保監測儀器於監測期間能持續提供穩定且可靠的資訊相當重要，若精度與耐久性無法同時兼顧時，通常犧牲的是精度。一般而言，愈簡單的儀器愈可靠。商品化的監測儀器應參考該型儀器過去於不同地區裝設與監測結果的表現。但是，簡單的儀器若無法達到監測目的時，也必須考慮採用較複雜或電子化的監測系統。舉例而言，開口式水壓計於無法進行垂直鑽孔處即無法使用。感應器的簡單性與耐久性順序如下：目視法（含測量）、機械式、水力式、氣壓式、電子式。

儀器本身費用常僅佔整體監測費用的一小部份，因此，初始儀器購置價格並不代表此一儀器整體性設置所需之費用。監測規劃者應對儀器有基本的認識，除此之外，監測儀器選擇前應與儀器商或製造商深入討論預計選用之儀器各種優、缺點與限制。

8. 決定是否自動化

自動化於即時（real time）獲取現地資料扮演不可獲缺之地位，特別是及時預警示有必要的情況下。然而自動化並不能取代所有簡單的儀器設備，自動化應視為監測整合系統之選項之一。

9. 決定是否自動化

監測資料分析時，需要整合所有影響監測值之相關資訊，因此，監測規劃應涵蓋相關資料蒐集計畫。需要搜集之資料包括：地形變遷、地質資料（特別是為裝設儀器所設置之鑽孔資料）、邊坡設計圖、施工細節與施工過程、地表現象紀錄、降雨或地震紀錄等。

10. 建立確保資料有效性的系統

監測儀器管理者，應負責儀器正常運作，並確認所測讀資料的有效性。儀器之正常運作以及資料之有效性通常需要經由儀器檢查或是經由輔助監測儀器加以確認。輔助監測儀器雖然精度可能較差，但是源於其穩定性較高，故可有效作為監測資料正常運作與否之重要指標。舉例而言，地表測量可確認傾斜觀測儀測讀資料之有效性、電子式或氣壓式水壓計可透過同時置入鑽孔中（雙管）之水力式水壓計加以驗證資料是否正常。監測儀器是否正常運作，有時可透過資料之一致性加以確認，如水壓是否隨降雨而增加或加載是否伴隨位移增加。資料的重現性有時亦將作為儀器是否正常運作的指標之一，為了確認測讀資料確實是有效的，有時會在一個很段時間內測讀多次。簡單的儀器量測與監測所得資料相互比較，常是確認監測資料有效性的不二法門。

11. 計算監測費用

監測儀器價格評估應考慮：初始價格、裝設費用、校正費用、維護費用、資料測讀費用、分析費用以及儀器重置費用。

12. 設置計畫

正確設置監測儀器是能獲致有效之監測資料之基本要項，因此，監測儀器裝設施工前，應擬定監測儀器設置計畫。此一設置計畫應基於該儀器製造商之儀器說明書以及監測規劃者對監測儀器設置地點之地形、地質特性之了解。設置計畫應包括設置過程中需要之材料、工具與施工步驟，設置儀器時應準備紀錄表，以記錄所有可能影響資料判讀所需之施工細節。

13. 長期保護計畫

設置位置選擇時即應將此一要項納入考慮，因此，設置位置應避免遭施工車輛、人員或機器破壞。有時地面保護是必要的（如蓋板），置於具保護效用之容器或埋深亦能有效保護設備，較偏僻處又時需要儀器小屋保護相關設備。

14. 定期校正與維護計畫

監測系統規劃應將定期校正與維護納入考量。校正與維護時機以及程序應加以建立。

15. 資料擷取與管理計畫

監測規劃時應考慮資料擷取與管理方式，資料的取得、儲存、分析與管理所需之工作量相當巨大，包括處理所需費用以及處理所需時間均不應被忽視。大量監測資料累積未被適當整理、分析的情形相當常見。電腦化可大量減少人力的需求，然而，由有經驗的工程師進行監測資料分析與現象研判，卻是電腦難以取代的。

16. 資源整合

監測規劃包括儀器校正、維護、設置、資料分析與管理，涉及問題相當龐雜。因此，使用監測資料者應即為監測計畫整體負

責者。涉及監測計畫的人應具有基礎大地工程的背景，同時應可靠、有耐心、細心且負責任。

17. 費用重估

一旦前述工作完成，監測整體費用應重新估算，特別是監測儀器的維護、資料擷取與分析的費用，應於監測設備運轉期間有充足的預算可支應。

第六章　道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研擬

針對道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研擬，考量系統化防治對策已針對災害前、中、後期進行概念性之敘述，同時，為使研究成果可確實提供現地工程人員於災害緊急搶救與復建工程執行時之參考依據，故防治操作手冊之架構則擬針對災中與災後兩階段進行較多之著墨。

本研究於計畫執行期間，除致力於道路邊坡崩塌及土石流整治工法，以及監測技術系統等相關文獻資料之蒐集彙整作業外，亦於 95 年 4 月 27 日召開座談會議，會中將所擬定操作手冊之具體研擬定方向與大綱，提交專家會議討論後，參考彙集相關專家學者之各方意見（詳見附錄 C）進行修正或補充後將「道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊」分為：「搶通作業」、「搶修作業」與「復建作業」等三個階段進行規劃（規劃流程圖詳見圖 6-1 所示）。

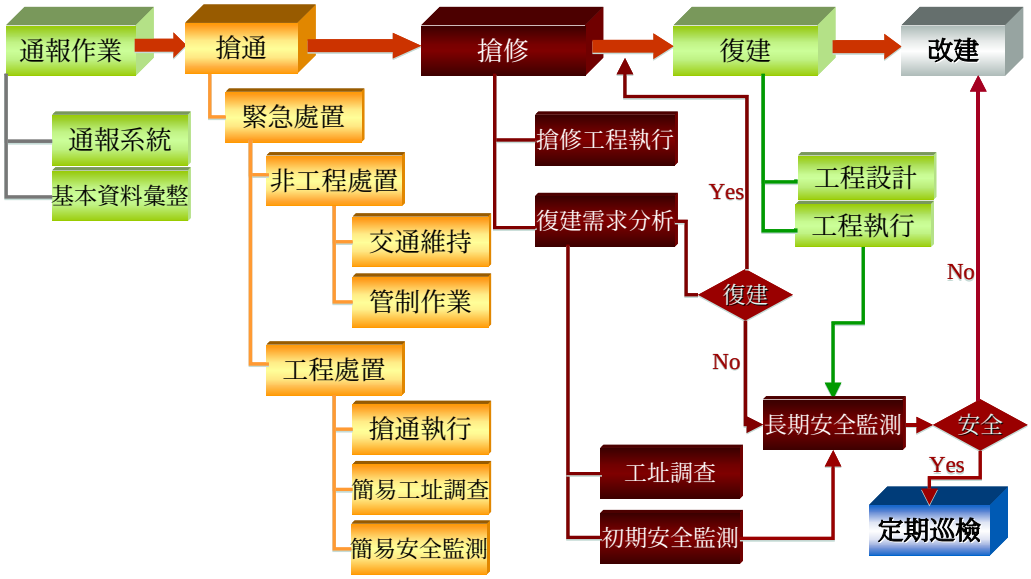


圖 6-1　防治操作手冊規劃流程圖

道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊內容之研擬，係參考圖 6-1 之流程架構，並依作業順續共分為：搶通作業(主要在快速恢復

通車為)、搶修作業(主要在防止災害擴大，即防止二次災害) 與復建作業(主要在恢復原有通行功能)等三章, 由於考量報告篇幅與基層人員之使用便利性，將完整之手冊內容附於報告附冊中，以下僅摘錄手冊內容大綱如下：

第一章、搶通作業

1.1 作業登錄（原資料調閱）

1.1.1 基本資料調閱（SMS 資料庫）

1.1.2 現場勘查（工址初步調查）與災況登錄

1.2 緊急處置作業

1.2.1 非工程處置

1.2.2 工程處置

1.3 簡易安全監測執行與分析

1.3.1 簡易監測儀器安裝

1.3.2 目視檢查表

1.4 工作成果回報

第二章、搶修作業

2.1 作業登錄

2.1.1 資料調閱

2.1.2 工址補充調查

2.2 搶通作業成果評估

2.3 搶修工程執行

2.4 復建需求分析

2.4.1 工址調查

2.4.2 初期安全監測

2.4.3 長期安全監測
2.5 工作成果回報
第三章、復建作業
3.1 作業登錄
3.2 復建工程
3.2.1 工程設計
3.2.2 工程執行
3.3 長期安全監測執行與分析
3.4 定期巡檢機制
3.5 工作成果回報

第七章　研究成果應用講習會

為確實將本案之研究成果與建置之「道路邊坡維護管理系統」推廣、應用至道路基層單位，本案透過舉辦講習會之方式，邀集交通部公路總局以及相關養護工程處之相關工程人員出席，並於 95 年 10 月 12 日在港灣技術研究中心辦理成果講習與教育訓練，講習與教育訓練上課實況如圖 7-1 與圖 7-2。

圖 7-1　研究成果應用講習上課實況-1

圖 7-2　研究成果應用講習上課實況-2

此次講習內容，主要包括了道路邊坡管理系統之應用、道路邊坡（含擋土牆）巡檢之相關要領與基本知識、道路邊坡監測系統於崩塌災害預警及通報系統之應用、道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊說明、崩塌搶修至復建階段一體考量之系統化防治對策說明等。

此次研究成果應用講習會之舉辦，除透過簡報方式進行本案之相關研究成果說明外，更透過系統實機操作方式與公路工程人員進行互動。在講習會議過程中，主講人與相關與會之工程人員互動熱絡，但在透過系統實機操作後，與會人員大都希望此系統後續能從現今之單機版升級至網路版，以符合基層人員之實際需求。有鑑於此，本研究考量使用者資料填報、系統擴充等作業需求外，亦考量公路總局轄屬各工程處間之資料交流，擬將此點意見納入至後續建議中，以供後續相關研究案件規劃、執行之參考。

除此之外，為考量與相關研究案之系統資源進行整合，此次講習會亦結合「交通工程防災預警系統建立之研究」與「臺灣區救災公路資訊整合系統建立之研究」等研究案，共同進行相關研究成果推廣（相關議程規劃詳見表 7-1 所示），期擬此次之「坡地及橋梁防救災研究系列之成果說明與應用訓練課程」之舉辦，可以確實達到成果應用推廣與訓練培養參與之工程人員。

表 7-1　坡地及橋梁防救災研究系列之成果說明與應用訓練課程表

時間	課程題目	主講人
09:00~09:30	報　　到	
09:30~10:30	坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究相關研究成果說明	魏佳韻 專案經理 臺灣營建研究院
10:30~11:00	休息及程式安裝	
11:00~11:50	道路邊坡維護管理系統之操作實作	魏佳韻 專案經理 臺灣營建研究院
11:50~13:30	午　　餐	
13:30~14:30	交通工程防災預警系統建立之研究相關研究成果說明	陳緯蒼、吳育偉、陳志偉 國立臺灣科技大學
14:30~14:40	休　　息	
14:40~15:20	交通工程防災預警系統之操作實作	吳育偉、陳志偉 國立臺灣科技大學
15:20~15:30	休　　息	
15:30~16:30	臺灣區救災公路資訊整合系統建立之研究相關研究成果說明	許秋玲 專案經理 臺灣營建研究院
16:30~16:40	休　　息	
16:40~17:20	救災公路資訊系統之操作實作	許秋玲 專案經理 臺灣營建研究院
課 程 結 束		

第八章　結論與建議

8.1 結論

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。本研究整體研究為期兩年，第一年（94 年）研究以現有道路崩塌災害基本資料庫建置與其災害潛勢之分析為主，主要研究成果如下所述：

1. 完成道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統之建置

完成 GIS 應用系統查詢界面與系統架構、進行省道臺 21 線實用性之現地驗證、資料庫系統擴建等。

2. 完成道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態研究

主要以高斯分析法建立之道路邊坡崩塌潛勢分析模式、高斯分析法與其它方法於實例驗證結果之比較、崩塌潛勢分級觀念之建立及二次災害型態之研究。

3. 完成道路邊坡崩塌災害預警及通報系統之檢討整合與規劃

重新檢討規劃整合交通部既有相關道路邊坡崩塌災害預警及通報系統之研究成果，並著重於實用性與可行性。

4. 完成道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估方法之研擬

重新檢討整合交通部既有相關道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估法之研究成果，並著重於簡易性、實用性與可行性。

第二年度（95 年）之研究理念主要為整合前一年（94 年）之研究成果，並進一步考量交通、經濟、社會與生態等因素，進行道路邊坡崩塌及土石流緊急搶修與復建技術之研究，完成道路邊坡崩塌及土石流緊急搶修與復建防治操作手冊之研訂，並擬訂一體考量之系統化防治對策。本年度（95 年）主要研究成果如下所述：

1. 完成道路邊坡崩塌及土石流緊急搶修與復建技術之研究

以文獻資料、圖資蒐集建置部分，已建置完成國內相關工法資料之蒐集作業；至於監測系統資料庫部分，已與既有之道路邊坡維護管理系統進行結合，目前主要依據量測對象不同而概分為「應變、傾斜或位移監測」、「雨量、水位與水壓監測」以及「應力監測」等三大類，相關照片、示意圖亦已建置於系統中。

2. 完成道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研擬

已於 95 年 4 月 27 日辦理座談會議（相關記錄詳見附錄 B），並依據座談會之相關意見，提擬規劃流程圖與手冊大綱，手冊內容主要依據「搶通階段」、「搶修階段」與「復建階段」三方向進行撰寫。同時在搶通階段，亦提擬一簡易之目視調查表，期擬透過巡檢機制之落實，確實記錄各階段之災況現場（相關內容詳見附冊）。

3. 完成崩塌搶修至復建階段一體考量之系統化防治對策之擬訂

已於 95 年 4 月 27 日辦理座談會議（相關記錄詳見附錄 B），並依據座談會之相關意見，提擬系統化防治對策具體方向，其內容主要依據「災前預防」、「災中搶修」與「災後復建」三階段分別進行撰寫（相關內容詳見本報告之三、四、五章節）。

4. 辦理相關研究成果之應用講習會。

已於 95 年 10 月 12 日舉辦。講習會之目的在成果應用推廣與訓練培養參與人員。講習內容包括道路邊坡管理系統之應用、道路邊坡（含擋土牆）巡檢之相關要領與基本知識、道路邊坡監測系統於崩塌災害預警及通報系統之應用、道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊說明、崩塌搶修至復建階段一體考量之系統化防治對策說明。

除綜合前述兩年期之工作項目外，本研究報告亦整合納入近五年來交通部於道路邊坡防災相關研究成果，以道路維修之時間與空間進行橫、縱向彙整，並依據「搶通階段」、「搶修階段」與「復建階段」

三階段，研擬道路邊坡崩塌緊急搶修至復建階段一體考量之系統化防治對策。期擬本研究成果可達到加強現場人員災變緊急處理能力、遏阻崩塌後之二次災害損失，以及維護用路人及現場工程師之安全，並進一步實施適當之工程處置，以有效降低邊坡崩塌或處置不當對環境之衝擊，以及社會、經濟與生態之損失等國土永續發展之目的。

8.2 建議

針對現已建置完成之道路邊坡維護管理系統，建議應持續充實並整合其它相關之研究成果，進一步再利用整合完成之道路邊坡維護管理系統，進行道路邊坡災害預防控制與維護管理之專家決策輔助系統。

針對系統之操作、應用與資料交流，建議於後續新興相關計畫中，可將既有之單機版系統升級至網路版(並採用網路版之 Arc GIS) ，使系統於資料庫之維護、整合、更新與擴充上更快速與務實。

為使研究成果更能落實應用，本研究於執行期間已針對省道臺 18 線、臺 21 線進行沿線之自然環境、災損狀況與既有擋土結構物功能完成調查作業，建議後續相關研究可針對臺灣山區其他路段進行調查，確實納入「一路線一評估系統」之觀念，以提高邊坡崩塌之預測與崩塌潛勢之分析之機率，並期擬相關成果亦可用於建立邊坡崩塌預警系統，提供道路邊坡分級管理機制之參考。

地下水與降雨為造成臺灣山區道路邊坡發生崩塌災害之主要原因，本研究礙於研究經費與時程，僅於研究過程中納入區域雨量之考量，建議應進一部研究探討現地實際雨量與水位變化，對現地崩塌潛勢分析之影響，以便建立適於當地崩塌潛勢之預測模式。此外，建議崩塌潛勢影響因子中之集水區域面積之考量，亦可納入水土保持局發佈之土石流危險潛勢溪流，應可獲得更精確之崩塌潛勢機率。

臺 21 線少部分路段，目前邊坡已有滑移之潛勢，建議應開始著手研擬加固措施或崩塌後復建對策，以避免災後規劃設計時程緊迫，無法將各項地形地質因素詳細考量於工程復建中。

參考文獻

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

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

[3] 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.

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

[5] 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.

[6] 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.

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

[8] 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.

[9] 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。

[10] 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。

[11] 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。

[12] 行政院經濟建設委員會（2004），敏督利颱風災情統計報告。

[13] 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。

[14] 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。

[15] 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。

[16] 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。

[17] 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。

[18] 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)，「臺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。

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

[20] 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。

[21] 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。

[22] 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。

[23] 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。

[24] 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。

[25] 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。

[26] 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。

[27] 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。

[28] 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。

[29] 廖洪鈞、梁樞、林三賢、李維峰、廖瑞堂，臺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。

[30] 廖洪鈞、梁樞、林三賢、李維峰、廖瑞堂，臺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。

[31] 廖洪鈞、廖瑞堂、董家鈞、李維峰，臺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。

[32] 廖瑞堂(2001)，「山坡地護坡工程設計」，科技圖書。

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

[34] 董家鈞(2003)，「臺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、臺灣科技大學。

[35] 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」，臺灣省交通處公路局。

[36] 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。

[37] 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。

[38] 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。

[39] 劉桓吉、方中權、莊德永(1989)，「臺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。

[40] 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 A

期中審查委員意見暨辦理概況

交通部運輸研究所九十五年度合作研究計畫

期中報告審查會議紀錄

壹、 計劃名稱：「**坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)**」

貳、 計劃編號： MOTC-IOT-95-H1DB004

參、 會議時間：民國九十五年七月二十日（星期四）上午十一時三十分

肆、 會議地點：本所港研中心一樓會議室

伍、 主持人：港研中心　朱金元科長

陸、 記錄：蘇吉立

柒、 出席單位及人員：

審查委員：		
成功大學土木系	**陳**教授　景文	陳景文
逢甲大學交通工程與管理學系	**林**教授　大傑	林大傑
公路總局養路組	**吳**組長　鎮封	吳鎮封
高速公路局	**張**總工程司　弘義	張弘義
本所港研中心	**朱**科長　金元	朱金元
本所港研中心	**賴**研究員　聖耀	賴聖耀
合作研究單位：國立臺灣科技大學		
(計劃主持人)	**廖**教授　洪鈞	
		何世瑋
		葉家銅

魏佳馨
陳天健

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
國立成功大學 **陳教授 景文** (共 1 點)	
1. 此計畫成果爾後將全面性應用，而在執行簡易安全監測及初期安全監測時都必須應用到儀器，且執行單位可能是基層單位，是否有足夠預算去執行，必須考量。	**遵照辦理**，本計畫規劃之各階段監測儀器已將基層實際狀況納入考量，相關預算部份將盡量不造成基層單位額外之經費困擾。
逢甲大學 **林助理教授 大傑** (共 4 點)	
1. 系統對於災後穩定工法選定與設計是否在操作上迅速便利？如 PDA 中之 database, 建議工法是否為搶救單位所熟悉與接受？	**遵照辦理**，防治工法資料庫系統，除既有之紀錄功能外，亦將提供較為便利之查詢功能；至於搶救階段之建議工法，亦將盡量採以基層熟悉且常用之工法。
2. 災中搶修階段之施工過程記錄與災後復原評估(feedback)給原系統，如工法之適用性等。	**參酌辦理**，本研究將於系統中建置相關之工法整治與災損資料，期擬相關資料之彙整、建置，可以提供作為災後復建評估之參考依據。
3. 建議增加不同類型之案例分析，提升手冊之實用性。	**遵照辦理**，研究團隊後續將以省道臺 18 線與臺 21 線進行案例驗證分析作業。

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
4. 期中報告內容完整，值得肯定。建議手冊須與使用者溝通以符合需求。	**遵照辦理**，手冊擬於九月底前完成，並提供公路總局轉至基層工程人員使用，後續再依據使用後之相關意見進行修正。
公路總局 **吳組長 鎮封：** (共 12 點)	
1. 手冊請先提供公路總局轉基層工程人員，就使用面做檢討後再提供納入期末報告或再延伸之研究。	**遵照辦理**，手冊擬於九月底前完成，並提供公路總局轉至基層工程人員使用，後續再依據使用後之相關意見進行修正。
2. 資料庫日後之管理及新資料之增填請做建議。	**遵照辦理**，將於期末報告中提擬相關建議。
3. 第 PI 頁第 20 行---3.3 道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研「究」，建議將「究」改為「訂」。	因「路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研究」為本案之合約規定之工作項目內容，為考量本案後續驗收程序，故**建議不做此修改**。
4. 第 PIII 頁第 4 行--圖 1.3　95「年」工作進度甘特圖，建議將「年」改為「年度」。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
第 P1 頁部分建議更正如下：	
5. 第 6~7 行--「因此，」都會區…，道路「也因此」扮演…。道路….外，「如」若不…。建議「因此，」刪除，「也因此」改為「逐漸」；「如」建議刪除。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。
6. 第 15 行--經濟…勢。「然」為…，建立，建議「然」刪除。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。
7. 第 23 行--，同時「於」無形…，建議「於」刪除。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。
8. 第 P2 頁第 5 行…，其中包括「了」…，建議「了」刪除。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。
9. 第 P3 頁部分建議更正如下：	
10. 7-1. 第 2 行…「以」完成之工作….，建議「以」改為「已」。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。
11. 7-2. 圖 1.1 中之「災害潛勢預測」建議改為「崩塌災害潛勢預測」。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。
12. 7-3. 第 8 行…「本年」(95 年)…應用「94 年」之研….建議「本年」改為「本年度」；「94 年度」。之決策參考。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
高速公路局 **張總工程司 弘義：** (共 4 點)	
1. 研究團隊已按 4 月 27 日在本中心之專家座談會各專家之建議加以補強。	
2. 對發生災害應變處置之三階段：搶通、搶修及復建等均詳細說明內容完整豐富，值得肯定。	
3. 提供公路工程司在災害發生後最短時間獲得其最需之工法，搶通、搶修及復建等資料之準則及流程步驟。	**參酌辦理**，由於工法選用部份因地制宜，故研究團隊僅能於期末成果之操作手冊中將相關流程所需之建議予以納入。
4. 工法資料庫能納入施工與材料規範。	**參酌辦理**，依據道路等級之不同，所採用之相關規範皆不盡相同，故研究團隊將於期末報告中提擬後續可行之建議作法。
本所港研中心 **朱科長 金元** (共 8 點)	
1. 第一年之研究成果在第二章以半頁敘述略嫌簡略，宜將第一年各項成果摘要描述並將其與第二年之研究項目關聯性作深入描述。	**遵照辦理**，將於期末報告中將第一年之相關研究成果彙整納入於相關或獨立之章節。

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
2. 臺 21 線及 18 線位置圖，並非所有人都知道。	**遵照辦理**，將於期末報告相關章節中，補繪此兩路段之位置圖。
3. 研究成果應用講習會進行方式為何？希望能將兩年之研究成果作完整之講習。未來系統如何維護及擴充應尋求使用單位之共識。	**遵照辦理**，研究成果講習會主要將以公路單位為辦理對象，並將此案兩年之成果予以落實至相關使用單位。
4. 在使用之系統轉體上，是否可能與「臺灣區救災公路資訊整合系統研究」及「交通工程防災預警系統建立之研究」配合。	**參酌辦理**，本案邊坡維護管理系統為沿用之前交通部科技顧問室之相關成果，為單機版之資料庫系統，故研究團隊擬將再針對各系統間之連結進行評估。
5. 第三章所述工法在緊急搶修階段之實用性？	由於搶通階段有其恢復通車之時效限制，可採用之工法有限，故本研究提擬之工法資料庫則**主要針對搶通與搶修階段**進行彙整。
6. 如何凸顯本研究完成可能達到的功效？（有與沒有之差別）最後加強說明。	本研究將**透過示範路段之驗證與研究成果應用講習會之舉辦**，凸顯本研究
7. 搶修工法宜與復建時之工法有連貫性。	**遵照辦理**，研究團隊擬將此點意見納入研究成果中。
8. 搶修與復建期之工法是否適合用“防治”。	本研究提擬之工法資料庫**主要針對搶通與搶修階段**進行彙

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
	整。
本所港研中心 **賴研究員 聖耀** (共 4 點)	
1. 本期中報告已搜集約二十種國內邊坡崩塌防治工法並有實例之照片說明，讓讀者很容易明瞭. 若每種工法皆能有如圖 3.16, 3.18 之設計示意圖，那將更為完善。	**遵照辦理**，針對工法示意圖部份，研究團隊擬加入公路總局標準參考圖之相關資料，以供使用者參考。
2. 本資料庫管理系統，已開發資料統計分析及跨資料庫之橫向地圖綜合查詢，使使用者更加便利，研究團隊之努力值得肯定。	
3. 土石流治理方法之實例僅搜集 2 案例，是否可增加案例搜集，以充實內容。	**遵照辦理**，將於期末報告中增加工法相關之實例資料。
4. 另本計畫之重點工作－防治操作手冊，目前進度僅有手冊大綱規劃，宜儘速進行。	**遵照辦理**，防治操作手冊擬於九月底前完成，並提供公路總局轉至基層工程人員使用，後續再依據使用後之相關意見進行修正。

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
本所港研中心計畫承辦人 **蘇副研究員 吉立** (共 8 點)	
1. 研究團隊今後報告之撰寫格式採用本所規定之格式，以利期末報告及成果應用講習會論文之撰寫。	**遵照辦理**，研究團隊將依據規定格式撰寫報告與手冊內容。
2. 請合作研究團隊儘早規劃成果應用講習會之相關事宜，本所擬於 10 月上旬會同交通工程防災預警系統之建立、臺灣區救災公路資訊整合系統之建立等相關研究計畫於本所港研中心舉辦，後續作業等相關協調事宜將由本中心饒正研究員主持。	**遵照辦理**，研究團隊將盡力配合相關事宜。
3. 91 頁之圖 3.84 與 93 頁之圖 3.85 請於期末報告時將規劃流程圖改為建議流程圖，防治操作手冊規劃流程圖建議改為防治操作建議流程圖。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修改。
4. 今後報告之圖說 No.No 請改為 No-No。	**遵照辦理**，將於期末報告中修改相關格式。
5. 操作手冊於期末報告時請註明為建議初稿。	**遵照辦理**，將於期末報告中加註相關字樣。

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：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
6. 防治操作建議流程圖之內容與順序應與操作手冊之內容與順序相對應。	**遵照辦理**，手冊內容將配合流程圖之順序予以修正。
7. 於 10 至 88 頁內容與新的道路邊坡管理系統畫面中為何未見整治工法資料庫建置狀況之述說與整治工法資料庫畫面？	**遵照辦理**，將於期末報告中加強相關內容之篇幅。
8. 若以本次期中報告 10 至 88 頁內容為例，建議於期末報告時應加強章節排序之分明與連貫性。	**遵照辦理**，將於期末報告中予以修正。

附錄 B

期末審查委員意見暨辦理概況

交通部運輸研究所九十五年度合作研究計畫

期末報告審查會議紀錄

壹、 計劃名稱：「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)」

貳、 計劃編號： MOTC-IOT-95-H1DB004

參、 會議時間：民國九十五年十一月十六日（星期四）下午一時三十分

肆、 會議地點：本所港研中心一樓會議室

伍、 主持人：

陸、 記錄：

柒、 出席單位及人員：

審查委員：			
功大學土木系	**陳**教授	景文	
逢甲大學交通工程與管理學系	**林**教授	大傑	
國道高速公路局	**張**總工程司	弘義	
公路總局養路組	**吳**組長	鎮封	
本所港研中心	**邱**主任	永芳	
本所港研中心	**朱**科長	金元	
本所港研中心	**饒**研究員	正	
本所港研中心	**賴**研究員	聖耀	
合作研究單位：國立臺灣科技大學			
(計劃主持人)	**廖**教授	洪鈞	

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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
國立成功大學 **陳教授　景文** (共 2 點)		
1. 道路邊坡崩塌潛勢中之影響因子有關地下水之影響，宜單獨列項。	**參酌辦理**，因為地下水位資料之取得，必須藉由水位觀測井等監測儀器，礙於本案執行期程過短與經費不足之考量，先行以降雨量之大小和強度來間接估計地下水對邊坡穩定之影響，至於直接量測地下水壓的工作，擬列於後續之研究計畫辦理。	**同意處理情形**，擬於新興計畫中視經費進一步加強研究。
2. 緊急處置作業在工程處置中之簡易工址調查宜列出細項, 以利方便使用。	**遵照辦理**，本研究擬將於成果報告中補增相關調查細項。	**同意處理情形**。
公路總局養路組 **吳組長　鎮封** (共 11 點)		

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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
1. 本局管轄路段之邊坡如能按照本管理系統所需資內容全面調查建置，將如橋梁管理系統一樣，各階層之管理者皆能對本局管轄路段之邊坡現況做一全盤了解。	**遵照辦理**，擬將此點意見彙整納入後續計畫中辦理。	**同意處理情形。**
2. 本管理系統所需建立之資料庫內容即所需之欄位名稱資料，請於第三章前言列一清單簡介(P3-11)，俾日後試行於本局推廣時，本局管理人員了解未來之工作調查內容。	**遵照辦理**，將於成果報告中補列系統需填報資料欄位之相關清單。	**同意處理情形。**
3. P5-86，P5-89 土石流、邊坡及地滑危害度低、中、高等級如何具體定義？將影響後續監測規劃之等級。	**遵照辦理**，擬於成果報告中補述邊坡危害度之等級定義。	**同意處理情形。**
4. 後續之研究範疇，建議應建立可靠之崩塌潛勢分析，俾做為本局平時坡地維修之優選依據；另也建議開發災時之通報機制。	**遵照辦理**，擬將此點意見彙整納入後續執行規劃中。	**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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
5. 崩塌之潛勢分析過程可否以一流程圖表示, 又各階段所應投入之分析資料為何？另附錄C示範路段成果之驗證所得之崩塌機率, 是否可於平時即建立在任一雨量、任一地震震度下, 求得一對應崩塌機率資料庫？俾做為本局平時坡地維修之優選依據。	**參酌辦理**，將於成果報告中納入研究團隊目前針對台 18 線納入雨量因子之崩塌潛勢分析結果，但由於此分析結果因地制宜，故擬將此點意見彙整納入後續計畫中辦理。	同意處理情形。**擬於新興計畫中進一步加強研究**。
6. 崩塌之潛勢分析是否可配合水保局發佈之潛勢溪流紅色警戒清冊所對應之土石流警戒區域做比對, 以獲得更精確之崩塌機率？	**參酌辦理**，本研究並未將土石流納入崩塌影響因子之一，故擬將此點意見彙整納入後續計畫中辦理。	**同意處理情形**。
7. 災中搶修階段之現地災害簡述及所調查資料有無即時傳輸至上級管理者知悉之機制。	本研究開發之系統雖為單機版，但於手冊中有將此點因素納入考量，**建議後續應針對本研究成果予以宣導，確實應用至基層人員**。	同意處理情形。**擬於相關新興計畫中加強整合研究**。
8. 台 18、台 21 邊坡災害資料建檔已完成, 希望能納入本局行政網站（請與本局延允中洽	**遵照辦理**。	**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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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
詢連絡)。		
9. 未來考量增加台 9 蘇花、台 9 南迴、台 20 南橫、台 8 中橫基本資料(自己做還是委託請運研所主導報部討論後續作業)。	**遵照辦理**，擬將此點意見彙整納入後續執行規劃中。	**同意處理情**形。
10. 資料庫內容增列各路線段之地質與地形類別以供參考用。	**遵照辦理**，目前已於自然環境資料庫中設計相關填報欄位，然由於地質狀況不同，其崩塌型態、頻率亦不相同，故後續執行規劃中擬將「一路線一評估系統」之觀念予以納入。	**同意處理情形**。
11. 日後，整合、更新與維護如何做？請提供建議，並納入報告。	**遵照辦理**，擬將此點意見彙整納入後續計畫中辦理。	**同意處理情形**。
逢甲大學 **林助理教授 大傑** (共 3 點)		
1. 高斯過程分析之結果是否可了解預測模式為 Location-Specific ? 亦即對任一個坡地都必須重新建構 model?	由於此分析方法因地制宜，故針對不同地質、地形環境之道路邊坡，需重新調查並調整其影響因子。	同意處理情形。擬於新興計畫中進一步加強研究。

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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
2. 建議將工法之“簡介”收錄於附錄。	**遵照辦理**。	**同意處理情形**。
3. 研究內容充實且符合工程人員需求, 期末審查建議予以通過。	謝謝肯定。	
高速公路局 **張總工程司 弘義** (共 5 點)		
1. 期末報告建立完整之邊坡維護管理系統架構及資料庫。	謝謝肯定。	
2. 分四階段建立預測模式 (類型、潛能、機率、規範) 內容完整。	謝謝肯定。	
3. 報告已針對(1)災前預防階段(2)災中搶修階段及防災後復建階段應辦理之應變策略敘述完整，值得肯定。	謝謝肯定。	
4. 報告中已研擬監測系統, 並對警戒值作詳細的研析。	謝謝肯定。	
5. P3-60，16 項影響因子「集水區面積」中建議增加「及地下水」，並加一節說明地下水對	**參酌辦理**，因為地下水位資料之取得，必須藉由水位觀測井等監測儀器，礙於本案執行期程	同意處理情形。**擬於新興計畫中視經費進一步加強研究**。

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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
邊坡穩定之影響。	過短與經費不足之考量，先行以降雨量之大小和強度來間接估計地下水對邊坡穩定之影響，至於直接量測地下水壓的工作，擬列於後續之研究計畫辦理。	
本所港研中心 **朱科長　金元** (共 3 點)		
1. 相關崩塌潛勢分析圖及防治潛勢機率圖請用彩色圖, 顏色使用建議潛勢越高的用越深之紅色。	遵照辦理。	同意處理情形。
2. 研究成果應用講習會, 學員之意見如何？	**遵照辦理**，將於成果報告中增述相關內容。	**同意處理情形**。
3. 操作手冊字型及圖建議放大。	遵照辦理。	
本所港研中心 **饒研究員　正** (共 4 點)		
1. 請將本管理系統之標頭改為本所。	遵照辦理。	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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
2. 附錄 C-11,圖 C.6 台 21 線沿線機率分佈圖是否能改為台 21 線沿線「邊坡崩塌」或「崩塌」...，圖 C.7、C.8、C.9 亦同。	**遵照辦理**，將於成果報告中予以修正。	**同意處理情形。**
3. 本研究成果已完成多次教育訓練, 但公路總局參訓人員提供之修正意見, 未見於報告書內，能否提供。	**遵照辦理**，將於成果報告中增述相關內容。	**同意處理情形。**
4. 目前本系統是單機版, 未來資料庫之維護或擴充成網路版, 所需之軟硬體及大約經費，請詳細建議。	**遵照辦理**，並將此點考量彙整納入後續執行規劃中。	**同意處理情形。**
本所港研中心 **賴研究員　聖耀** (共 5 點)		
1. 本期末報告書分災前預防、災中搶修及災後復建等章節分別論述，條理分明，內容豐富，值得肯定，其中災前預防及災後復建之內容相當詳實, 而災中搶修之內容則較少些。	謝謝肯定，但因現地搶修階段礙於其有時間限制之考量與壓力，本研究考量現地實際需求，故此階段之執行重點則僅針對現地實際作業重點進行著墨。	

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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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**
2. 附錄 C-11~C-15 分別以桃芝等 5 個颱風，模擬分析台 21 沿線各路段之崩塌機率，可提供各路段災前預防之重要資訊，例如某些路段崩塌機率較高，應進行災前整治或監測。另是否可將建置完成之崩塌機率模式列出。	由於高斯過程是歸類於非參數統計分析之方法，這類分析有一個共通的特性，預測式函數形式之複雜度隨著資料點數增加而增加，因此若要把高斯過程的預測式列出在本成果報告中，恐過為複雜。	暫時同意處理情形。**於後續相關研究中列為重點追蹤探討**。
3. 雖然第五章災後復建之內容已相當豐富，但某些章節仍需補充說明，例如 5.2.4 節，道路邊坡崩塌復建整治需求(P5-42~P5-51)，以簡易評分法評估邊坡需穩定工法或排水工法之需求，文中僅介紹如何以土填環境因子及十項防治工法考量因子，以 3^n 作為級距評分，但並未說明總評分幾分時需穩定工法或排水工法，請補充說明。	**遵照辦理**，由於此分析方法因地制宜，故僅將於成果報告中增述權重之選擇與概略性之處理對策。	**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

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

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. 報告書中有許多照片及色階圖, 建議正式報告能以彩色印刷較清晰。	報告書印製部分為港研中心負責，擬將此點意見轉達給承辦單位。	同意處理情形。
5. 整體而言, 本報告內容豐富且實用。	謝謝肯定。	

附錄 C

專家座談會意見暨辦理概況

國立臺灣科技大學生態與防災工程研究中心

「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)」案專家座談會

壹、會議時間：九十五年四月二十七日(星期四)下午 3:00

貳、會議地點：港灣技術研究中心　二樓簡報室

參、主 持 人：交通部運輸研究所港灣研究中心　邱主任永芳

肆、出席單位及人員：

出　席　單　位　及　人　員	簽　　到
國道高速公路局 張總工程司弘義	
國立成功大學土木系 陳教授景文	
逢甲大學交通工程與管理學系 林教授大傑	
公路總局養路組 吳組長鎮封	
公路總局養路組 陳副組長進發	
公路總局第二區養護工程處 高處長邦基	
信義工務段 陳段長紹釗	
新中橫監工站 曾站長偉林	
阿里山工務段 周段長玉熙	
阿里山工務段 蔡站長衛勇	
港灣技術研究中心 朱科長金元	
港灣技術研究中心 賴研究員聖耀	
港灣技術研究中心 饒研究員正	
港灣技術研究中心 蘇副研究員吉立	
臺灣科技大學本案研究團隊	

交通部運輸研究所合作研究計畫

20060427 專家座談會意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-95-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與會議專家 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
國道高速公路局 **張總工程司　弘義** (共六點)	
1. 簡報（第 18 頁），操作流程圖中「搶通」內請加列「緊急處置」之工作，如：封路與否…。	**遵照辦理**，將增列「緊急處置」之需求考量。
2. 第 19 頁「搶通工法決定」中提及之防治工法資料庫，請改列於搶修作業中。	**遵照辦理**。
3. 建議災損資料庫與防治工法資料庫間需相互接合，以提供工程人員易於做抉擇。	**遵照辦理**。
4. 監測系統之建置相當重要，如何抉擇事關經費與未來操作管理，建請有較具體之建議。	**遵照辦理**。
5. 搶修建議不規定經費上限。	**遵照辦理，**於研究報告中將不針對經費部份進行特別之著墨。
6. 針對新近工法中之纖維加勁土，中二高 18K 附近有整治成效良好之案例，可提供研究團隊之參考。	**遵照辦理，**研究團隊將針對此案例資料進行蒐集。
公路總局養路組 **吳組長　鎮封** (共二點)	

交通部運輸研究所合作研究計畫

20060427 專家座談會意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-95-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與會議專家 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
1. 建議研究團對將操作流程圖中之經費考量予以刪除，以避免造成基層人員於案件發包執行上之困難。	**遵照辦理，**擬將經費之考量予以移除。
2. 目前針對搶通、搶修與修復三階段之相關工程，皆規定需於災害發生隔年六月前完成，針對此點規定，提供給研究團隊於本案執行之參考。	為考量現地工程人員之實際需求，研究團隊**在手冊擬訂撰寫過程將會納入此點建議**。
公路總局養路組 **陳副組長　進發** (共一點)	
1. 建議研究團隊在系統化防治對策方面，可以針對「災害修復原則」進行撰寫；至於手冊方面，則建議多以執行面為考量，探討較為細部之內容。	**遵照辦理，**研究團隊將依據意見修改手冊內容。
公路總局第二區養護工程處 **高處長　邦基** (共二點)	
1. 針對研究團隊提擬的手冊大綱，可參考公路總局基層現地實際狀況之流程，期擬此手冊可確實落實應用至相關使用單位。	**遵照辦理，**手冊大綱將參考基層實際之流程作業。

交通部運輸研究所合作研究計畫

20060427 專家座談會意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-95-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與會議專家 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
2. 建議研究團隊可將災害成因納入考量，並衡量監測是否需納入搶修與復建之流程中。	**參酌辦理，**將盡可能的將災害成因納入考量。
公路總局信義工務段 **陳段長 紹釗** (共二點)	
1. 省道台 21 線現有里程樁號已有修正，提醒研究團隊針對已建置完成之資料進行修正。	**遵照辦理，**將修正已蒐集建置之相關資料。
2. 建議研究團隊在資料庫編碼部分，並納入點位座標之考量。	**遵照辦理，**既有之系統已開發點位座標欄位。
公路總局新中橫監工站 **曾站長 偉林** (共一點)	
1. 建議研究團隊在防治工法資料庫中，可考量新增之功能需求。	**遵照辦理，**將於系統中將此功能權限開發給系統管理者。
公路總局阿里山段 **周段長 玉熙** (共三點)	
1. 建議研究團隊於操作流程中，將「災害成因」列入考量。	**參酌辦理，**將盡可能的將災害成因納入考量。
2. 建議研究團隊在「監測規劃」考量時，可有規模、階級之分，以符合現地基層人員之實際使用。	**遵照辦理**。

交通部運輸研究所合作研究計畫

20060427 專家座談會意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-95-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與會議專家 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
3. 建議研究團隊在緊急處置方式考量時，可將災害發生時之替代道路納入考量。	**遵照辦理，**研究團隊將納入替代道路之相關考量因子。
公路總局阿里山站 **蔡站長 衛勇** (共二點)	
1. 建議研究團隊可針對既有之防治工法進行其功能之檢視與評估。	**參酌辦理，**研究團隊將盡可能針對既有之工程研提檢視功能需求表。
2. 建議研究團隊於案件執行期間，可選定部分路段為示範案例，以進行驗證作業。	**遵照辦理，**研究團隊將選定以台 18 線或台 21 線進行示範路段之驗證作業。
本所港研中心 **朱科長 金元** (共二點)	
1. 建議研究團隊可加強蒐集高速公路局、公路總局等單位之防治 SOP 相關資料。	**遵照辦理，**研究團隊將蒐集彙整各單位之相關資料。
2. 敬請研究團隊加強災害修復原則方面之著墨。	**遵照辦理。**

交通部運輸研究所合作研究計畫

20060427 專家座談會意見處理情形表

計劃編號：MOTC-IOT-95-H1DB004

計畫名稱：坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究(2/2)

合作研究單位：國立臺灣科技大學

參與會議專家 及其所提之意見	**合作研究單位 處理情形**
本所港研中心 **賴研究員　聖耀** (共一點)	
1. 建議研究團隊在手冊撰寫時，可以針對各種常見的崩塌型態給予直接之工法建議。	**參酌辦理**，針對此點建議，由於崩塌成因之影響因子過多，故無法給予直接之工法建議。
本所港研中心 **蘇副研究員　吉立** (共四點)	
1. 資料庫系統中之防治工法及監測資料如何使使用者快速查詢？	研究團隊於系統建置過程中，**將結合串連此兩系統，並提供兩者之間之快速查詢功能**。
2. 建請研究單位釐清操作流程圖中之各項定義與重新彙整流程內容。	**遵照辦理**。
3. 建請研究單位蒐集現有公路單位之標準作業程序，並加以檢討整合。	**遵照辦理**，手冊大綱亦將配合相關作業流程進行修改。
4. 建請研究單位蒐集現有相關習慣措施（非文件式之規定）。	**遵照辦理**。

附錄 D

道路邊坡崩塌防治工法介紹

附錄 D　道路邊坡崩塌防治工法介紹

道路邊坡崩塌防治工法之穩定機制主要可以區分為外穩定、內穩定、植生、排水與避險五大類，本章節主要針對此五大分類之各項工法定義、相關設計圖說及其實例照片進行概述。

D.1 外穩定防治工法

邊坡崩塌整治工法於外穩定機制方面，主要工法有護坡、擋土牆及回填土等工法，於此擇取我國常用之工法說明如下：

1. 噴凝土護坡工法

係於節理發達或風化岩層無法植生之坡面，以水泥混凝土噴漿處理，或中間加設鋼線網及固定錨筋，以減緩岩坡表面風化的持續進行，固結鬆散的浮石，防止落石的發生（詳見圖 D-1）。

2. 被覆護坡工法

係於崩積土或壤土質容易被地表逕流沖刷之坡面，運用液狀合成樹酯、合成纖維及高分子材料等，使其被覆於邊坡表層，以防止地表逕流入滲造成之沖刷及侵蝕作用。

3. 型框護坡工法

係於凹凸坡面鋪上立體鐵絲網後設置鋼筋並打入錨釘固定，沿鋼筋噴水泥砂漿形成格框，以矩形框之結構，使鬆散之土體或岩塊不致鬆脫崩落，並於框內噴植生基材混以草木種籽，達到綠化坡地、保護坡面之功能（詳圖 D-2）。

4. 砌石擋土牆工法

係以卵石、塊石或片石疊砌、其間或以水泥砂漿填充孔隙而成的擋土牆。利用牆背凹凸不平，產生消能作用，增加結構穩定，具有施工快速及經濟之優點（詳見圖 D-3）。

5. 重力式擋土牆工法

係以無筋混凝土澆置而成的擋土牆，主要藉牆身自重以抵抗土壓力及水壓力。本工法適用於較陡之坡面及現地需有效運用之場址等，若牆身過高則不符合經濟效益（詳圖 D-4）。

6. 懸臂式擋土牆工法

係由鋼筋混凝土牆面版與基礎版兩部分連結而成，外形為倒 T 字型的擋土牆，藉牆踵上方之土重，取代部分混凝土，加以鋼筋混凝土抗撓曲之特性，在需要較高牆高之場址，具有其經濟性（詳圖 D-5）。

7. 蛇籠擋土牆工法

係以鍍鋅鐵線或化學合成材料編織成籠狀，並以卵石或塊石堆砌在籠中，再疊砌而成之擋土牆。主要藉由卵塊石之自重及彼此間的摩擦與互鎖作用達到穩定的效果，透水性佳，具有較大撓曲性，適合各種地形（詳圖 D-6）。

8. 格床式擋土牆工法

由預鑄混凝土條、木條或金屬條疊成框形，並在框中堆砌卵石之擋土牆。具有撓曲性、透水性佳及景觀美之優點（詳圖 D-7）。

9. 回填土工法

於坡趾夯築土壤回填加載，改變預定滑動面提昇邊坡抗剪能力，降低崩塌發生之可能性，本法適用於腹地較有餘裕之場址。

圖 D-1　噴凝土護坡工法（臺 18 線阿里山公路）

圖 D-2　型框護坡工法（臺 18 線阿里山公路）

圖 D-3　砌石擋土牆工法（南投豐丘）

圖 D-4　重力式擋土牆工法（臺 9 線北宜公路）

圖 D-5　懸臂式擋土牆工法（臺北陽明山）

圖 D-6　蛇籠擋土牆工法（國道 3 號關西路段）

圖 D-7　格床式擋土牆工法（基隆市深澳坑路）

D.2 內穩定整治工法

1. 加勁擋土牆工法

係使用地工合成材料、鋼材或其他材料等加勁材料，與填築土壤結合成加勁土體，利用土壤中埋設之加勁材料與土壤間所產生之摩擦力，以保持土體結構之穩定，加勁結構在幾何形狀的塑造與外觀配置上均更有變化空間，與傳統之重力式擋土設施相較，其主要優勢為有耐震性佳、經濟性佳、較佳的因地制宜性、以及易於進行景觀美化等特點（詳圖 D-8）。由於加勁材料種類眾多，目前常見主要為金屬材及合成材兩種加勁材料。

2. 地錨工法

以高張力鋼材穿過可能產生滑動之土體或岩體，將其錨碇於穩定之地盤內，並對鋼材施加預力，使其能牢繫可能滑動之土體或岩體。錨頭端一般配合擋土面版承載於坡面並分散其荷載（詳

圖 D-9)。

3. 土釘工法

係利用鋼棒貫入土壤或先行鑽孔、放入鋼棒，再以水泥砂漿填充於孔中，與地層結合成一連貫之結構實體。過去土釘必須配合噴凝土作業，使噴凝土面與土釘結合，達到穩定坡面之目的(詳圖 D-10)。

4. 止滑樁工法

係將樁體貫入邊坡內，切斷假想滑動面，利用抗滑樁，提高邊坡抗剪能力，可視現地狀況使用木樁、混凝土樁或鋼樁等（詳圖 D-11)。

5. 微型樁工法

微型樁是現場澆製直徑較小的鋼筋混凝土樁，其中央嵌入物主要是由鋼條或鋼管構成，而直徑較大者可能需採螺旋箍筋加以圍束之鋼筋籠。微型樁系統在臨界破壞面的表土下，形成由加勁土壤延伸而成的龐大區塊（詳圖 D-12)。

6. 灌漿工法

邊坡有崩塌之虞時，可於坡面地盤內注入適當藥劑，改善其穩定。例如可對滑動面注入止水藥劑形成不透水層，以期阻止因水之有效應力降低而造成滑動之發生。另可進行裂縫填充、及止水等藥劑灌注以強化岩盤裂縫填充、及止水等藥劑灌注以強化岩盤（詳圖 D-13)。

7. 化學穩定工法

邊坡穩定工法中可藉由化學方法改良強化地盤，為化學穩定工法，其中包含離子交換工法、水泥安定處理工法、石灰安定處理工法、燒結工法，分述如下：

7-1 離子交換工法

主要係利用土壤之物理化學性質中，改變其所吸附之陽離

子種類與數量，將影響其力學行為，因此可運用離子交換工法強化濕潤狀態時邊坡之穩定機制。例如於邊坡上部注入含二價陽離子之鹽化物，利用地下水溶解並進行交換陽離子、或於邊坡下部打設石灰樁亦有固結周邊土體之效益。

7-2 水泥安定處理工法

係運用土壤與水泥系列之材料之添加、攪拌與混合後之固化作用，增進土壤抗剪強度以提昇邊坡穩定機制。施工時應考量固化材之添加方法、混合方法、改良深度以及改良形狀等因素，以確保改良效果之達成。

7-3 石灰安定處理工法

係於土壤中添加石灰，變更土壤之物理與化學性質，改良邊坡之穩定機制。主要運用在黏性土壤，並利用土壤中之黏土礦物與石灰間的化學反應改良其特性，保持良好的土壤狀況與耐久性。施工時可於填土邊坡之填土材料中混合石灰，或於邊坡坡面打設石灰樁等工法進行。

7-4 燒結工法

主要為黏性土壤之燒結處理，有強化地盤承載力、抑制沉陷、強化切削坡面、乾燥與強化填土邊坡，以及抑止地滑破壞等功效。實施工法主要有強制通風密閉式與自然通風煙道式兩大類，本工法之運用應先確立其技術性與經濟性之效益。

圖 D-8　格床式擋土牆工法（基隆市深澳坑路）

圖 D-9　地錨工法（臺 3 線大溪路段）

圖 D-10　土釘工法（臺北縣土城市石門路）

圖 D-11　止滑樁工法（中和圓通路）

圖 D-12　微型樁工法

圖 D-13　灌漿工法（汐止汐萬路）

D.3 植生整治工法

邊坡表面植被可防止邊坡受雨水侵蝕、緩地表溫度，使植物根系與土壤顆粒結合，有助於崩塌之抑制，並可達到綠美化之效益。本工法應視景觀需求、工程經費及生態保育等觀點，規劃植物使用種類、施工位置，以及施工期程等。主要工法有噴植草籽、客土袋植生、掛網植生及打設萌芽樁等，於此擇取我國常用之植生工法說明如下：

1. 噴植草籽工法

將種子、肥料、有機質肥料（或土壤）、粘著劑、保水材料與適量之水充分攪拌後，藉由鐵絲網及黏著劑，於軟岩及硬岩坡面，利用強力壓縮機噴植於坡面之植生方法（詳圖 D-14）。

2. 草帶植生工法

以纖維、稻草等材料製成內有植物種子之植生帶，鋪植於 45°以下土壤質整平施肥之坡面上，沿等高線方向橫鋪，迅速達成綠化（設計示意圖詳圖 D-15）。

3. 客土袋植生工法

於硬質、強酸性土層、強鹼性土層、礫石層或構築固定框基礎工程之坡面上，以內裝種子、肥料等之土壤袋客土，藉以改善邊坡生長條件，達到植生綠化之效果（詳圖 D-16）。

4. 掛網植生工法

在坡度較緩之崩積土層上鋪設鐵絲網，再噴以混合草木種籽及保水材料之植生基材，防止裸坡表面殘土浮石流失，並達到綠化之功效（詳圖 D-17）。

5. 袋苗穴植生工法

在特殊地區，無法挖溝植草時，先將植物材料置於育苗袋內培育後再穴植於坡面上之植生方法。適用於土層薄、礫石含量多、沖蝕嚴重、植物生長不易，及需迅速綠化或補植之坡面（設

計示意圖詳圖 D-18)。

6. 打樁編柵工法

依適當距離打樁，樁之材料包含萌芽或不萌芽之竹、木樁及其他材料作成之樁，並以竹片、PE 網、鐵絲網等材料編織成柵欄，以固定不安定之土石，改善坡度、防止沖刷，造成有利植物生長之環境（詳圖 D-19)。

7. 固定框工法

當邊坡之地質條件較差易崩坍, 且凹凸較少之坡面可採用預鑄水泥框或鐵製框。若邊坡起伏較大且不規則，表層呈風化、崩落現象, 坡度介於 45° 65°之間則可採用自由樑框(詳圖 D-20)。

圖 D-14 噴植草籽工法（宜蘭福山林道 2k+370）

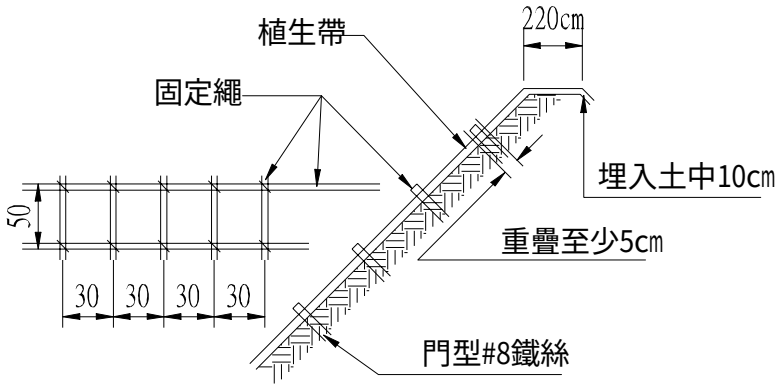


圖 D-15　草帶植生工法設計示意圖（單位：cm）

圖 D-16　客土袋植生工法

圖 D-17　掛網植生工法（德國 Helgoland）

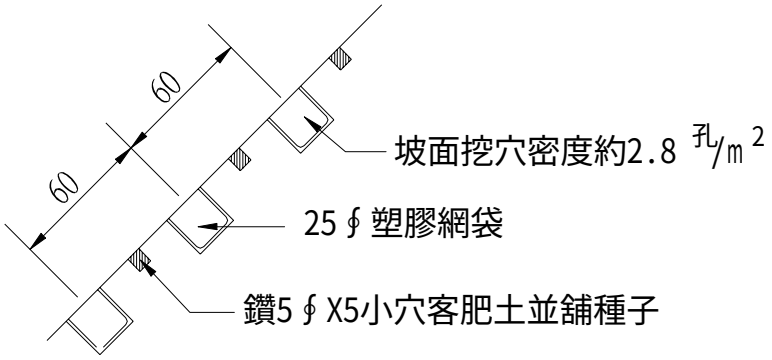


圖 D-18　袋苗穴植生工法設計示意圖（單位：cm）

圖 D-19　打樁編柵工法（南投縣水里鄉）

圖 D-20　固定框工法

D.4 排水整治工法

邊坡上之降水會形成地表逕流或入滲，為地下水，易造成坡面侵蝕或地層超額孔隙水壓增加，促使邊坡崩塌破壞。依現地地形、地質、氣象等自然條件確實規劃排水設施，可有效提升邊坡穩定機制。排水工法依整治區域可概分為地表排水工、地下排水工及其他等三類：

1. 地表排水工

雨水或坡面滲出的地下水，在坡面上形成地表逕流，沿著坡面加速流下，造成表層土壤的侵蝕及沖刷，或滲入滑動面裂縫，增加邊坡坍滑的潛勢。地表排水工的施設，即是將地表逕流有效地排出坍滑區外。此類工法如下：

1-1 坡頂排水工

於坡頂以塊石、紅磚、混凝土等襯砌之排水溝，渲洩逕流（詳圖 D-21）。

1-2 坡面截水工

沿近似等高方向，橫跨於被保護物之上方，以攔截逕流，並導至安全地點之溝渠（相關設計示意圖詳圖 D-22）。

1-3 坡面縱向排水工

於邊坡表面順著縱向方向（垂直方向）以塊石、紅磚、混凝土等襯砌之排水溝或植草土溝，集取橫向排水溝之水流，以迅速渲洩坡面逕流（詳圖 D-23）。

1-4 坡面橫向排水工

於邊坡表面順著橫方向（水平方向）以塊石、紅磚、混凝土等襯砌之排水溝或植草土溝，攔截坡面地表逕流，減低逕流加速度產生之坡面侵蝕作用（詳圖 D-24）。

2. 地下排水工

為有效排除地下水，減小孔隙水壓對邊坡或擋土結構物之不

利影響，必須施設地下排水工。此類工法如下：

2-1 暗渠

一般路堤工程建造前，常先將表面不穩定材料剝除，剝除後若有明顯的滲流，則可在路堤施工前預先於底層舖以透水材料，以利排水。而暗渠可以挖土機開挖 5　6 公尺深之溝渠，集中地下水並予以抽取排除（詳圖 D-25）。

2-2 水平排水工法

以水平或傾斜方式鑽孔，孔徑約 12　15 公分，內裝 6　10 公分直徑有孔洞之塑膠管，管外可以不織布包裹，以防止細顆粒土壤流失和阻塞，並將土體內之地下水導出（詳圖 D-26）。

2-3 揚水工法（工法相關照片及設計原理詳見圖 D-27）。

2-4 土質透水性改良

利用物理性及化學性改良，增加土壤透水性。例如於土壤中加入粒徑較大之砂等，或添加界面活性劑，減少土壤粒子表面之粘性摩擦，增加土壤透水性。

2-5 地下止水壁

當邊坡之地下水豐沛時，可於擋土結構物下方或邊坡內設置鋼筋混凝土壁體，防止地下水滲漏，確保周圍鐵公路的安全（詳圖 D-28）。

2-6 集水井

地下水滲流為造成邊坡滑動之主要原因之一，為有效降低地下水位，可以垂直方式挖井，再由井內施打水平排水管入坡體內，以收集地下水，並排放至崩塌地以外之安全區域。集水井之直徑有時可大到 2 公尺以上，深度更可達到 50 公尺（詳圖 D-29）。

3. 其他

此類工法如下：

3-1 擋土壁洩水孔

於擋土結構物壁上挖設洩水孔，以利擋土結構物排水（詳圖 D-30）。

3-2 內部排水孔。

圖 D-21　坡頂排水工

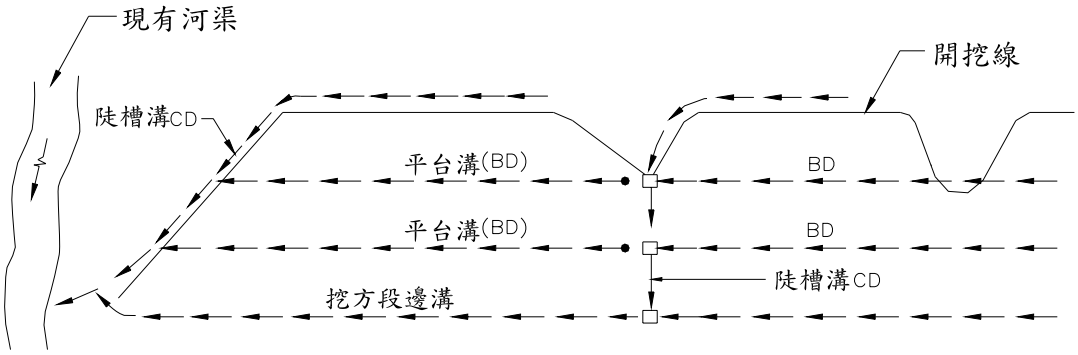


圖 D-22　坡面穩定及截、排水設計示意圖

圖 D-23　坡面縱向排水工（南投縣水里鄉）

圖 D-24　坡面橫向排水工（南投縣水里鄉）

圖 D-25　暗渠工法（資料來源：經濟部水利署）

圖 D-26　地下水平排水工（臺 18 線阿里山公路）

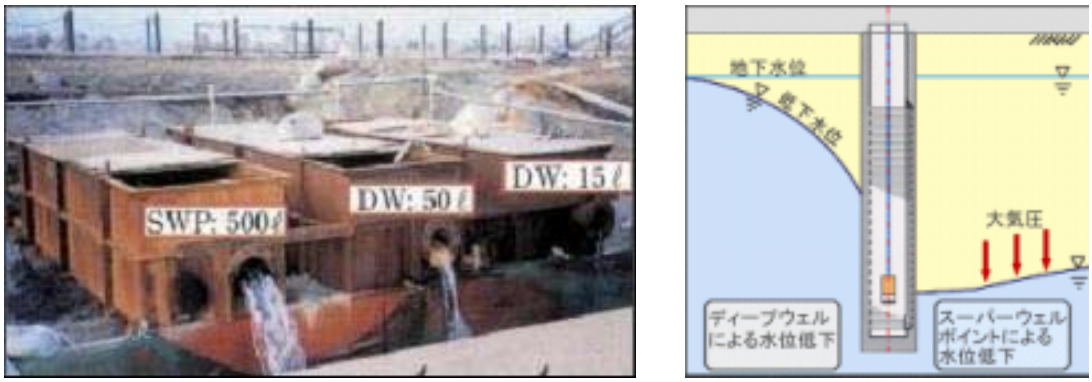


圖 D-27　揚水工法（含其設計原理）

圖 D-28　地下止水壁工法

圖 D-29　集水井工法（嘉義縣梅山安靖）

圖 D-30　擋土壁洩水孔

D.5 避險整治工法

避險工法主要用於坡度較大之破碎地質陡坡，因易受風化及豪雨等因素造成大規模之土石崩落，故於邊坡設置攔阻設施，以防止其崩落土石損壞坡趾，進而覆蓋路面影響交通。主要之避險工法為攔石柵（網）、攔石阻體、明隧道等設施，或直接採用橋工或改道方式避開危險路段。相關國內常見之避險工法敘述如下：

1. 攔石柵網

坡趾或路肩可使用攔石柵以防止落石傷害。立柱（line post）通常採以直徑 10 公分之鍍鋅鋼管或以 H 型鋼柱，攔石柵兩端裝設錨繫裝置（詳圖 D-31）。

2. 攔石阻體

有許多種牆可施築於公路與上邊坡坡腳之間，以攔阻落石滾落路面。典型設施包括蛇籠、混凝土塊砌牆、混凝土擋土牆、地工織物加勁牆、與上方設置欄石柵之重力牆。由經驗顯示，剛性牆易遭高衝擊力毀損，但類似地工織物加勁牆之柔性土工結構則有不錯之防護功能。護牆牆面最好採垂直面，如此岩塊撞擊後不致彈躍過牆，而牆前落石則應定期清除（詳圖 D-32）。

3. 明隧道工法

落石之災源區多在峭壁高處，若無迴避的路線，則在加建鋼筋混凝土頂棚以隔離落石的明隧道，是保護行車安全最為有效的辦法（詳圖 D-33）。

4. 橋工

當其他防治工法不適用時，於彎道處可採用橋樑或於直線段採連續高架橋來避開危險坡地（詳圖 D-34）。

5. 改道

當邊坡道路路基已流失或其他防治工法皆無法維持鐵公路

之暢通，則需選取符合安全、交通維持、經濟考量之替代道路，以避開危險路段（詳圖 D-35）。

圖 D-31　攔石柵網工法（臺 9 線北宜公路）

圖 D-32　攔石阻體工法（內湖碧山岩）

圖 D-33　明隧道工法（臺 18 線阿里山公路）

圖 D-34　橋工工法（臺 21 線新中橫公路）

圖 D-35　改道工法（臺 18 線五彎仔路段）

附錄 E

示範路段研究成果驗證

附錄 E　示範路段研究成果驗證

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，而考量前述之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道路邊坡通用之坡地崩塌災害緊急搶修與復建之整體設計防治對策。有鑑於此，本研究將依循過去以省道臺 18 線為研究資源整合案例之相關調查經驗，於本研究案件執行期間，選定自民國八十八年九二一集集大地震後，每每颱風豪雨侵襲即會引發重大坡地災害之省道臺 21 線（新中橫公路）為示範路段，進行本研究相關研究成果之驗證工作。

E.1 示範路段概述

臺 21 線新中橫公路位於南投縣水里鄉及信義鄉境內，北起水里鄉，經新山、郡坑、信義、豐丘、筆石、望美、同富和神木等村落，南至玉山主峰西側的塔塔加鞍部。而西側為阿里山森林遊樂區，東側以沙里仙溪為界，南側為鹿林前山。座落於玉山山脈與阿里山山脈之間，為南投縣水里鄉（臺 21 線 83k）通往塔塔加鞍部（臺 21 線 151k）的要道，如圖 E-1 所示。本研究則選定以此路段之 106k 至 151k（全長約 45 公里），進行調查與驗證作業（研究範圍及道路邊坡調查點位位置圖詳圖 E-2）。

E.1.1 氣候

在研究區域附近的氣象站有阿里山氣候測站（海拔 2,406 公尺）與和社氣象站（海拔 981 公尺）兩個氣象站。根據王鑫(1991)由中央氣象局 1933-1985 年間此兩個氣象站所蒐集的資料分析顯示：年均溫在阿里山站為 10.6°C，在和社站為 20°C；月均溫在阿里山站為 5-15°C，在和社站為 14-25°C。研究區域的年雨量平均為 1681mm（和社站）-4129mm（阿里山站）之間，且各月雨量皆在 30mm 以上，最高者可達 800mm 以上。雨量多極中在 5-9 月，其中 5、6 月為梅雨期，降雨強度雖不大，但降雨時間較長，可以連綿數日不斷，累積雨量仍相當可觀；7-9 月則

為颱風時期，可帶來高強度、高降雨量的雨水。

圖 E-1　臺 21 線新中橫公路位置圖（摘自 EbioTW-新中橫）

圖 E-2　研究範圍及現場調查點位置圖

E.1.2 地形與水文

本路段沿線之水系主要為和社溪和沙里仙溪，均為陳有蘭溪之支流，因地形陡峭，故河流多且急促，且由於坡降大，故仍處於侵蝕作用之幼年期河谷，河川向下切蝕之速率很快，由於下切劇烈，在中上游地段形成高深之縱谷地形，臺 21 線即蜿蜒沿此河谷而闢築，河谷地形單調，其間散布許多大小不一之沖積層及高達數十公尺之沖積階地，由氣象測站的雨量資料可以看出年降雨量相當大，水量充沛，故沖刷能力相當強。

E.1.3 地質

本路段位於同富至塔塔加沿線出露之地層，除少部分沖積層外皆層第三紀沈積岩，這些岩層以砂頁岩為主，同富至神和橋間之岩性以頁岩為主，偶夾薄砂岩，屬於南港層。自神和橋後，砂岩含量漸高，直至塔塔加附近則以厚砂岩為主，則屬南莊層，沿線地質如表 E-1 所示。

表 E-1　同富-塔塔加段地層岩石組成表（王豐仁，1994）

南港層（NK）	深灰色頁岩為主，夾有灰色薄層砂岩。	107k－117.1k 122k－127.2k 128k－133.8k 134.5k－135.7k
南莊層（NC）	淡灰色厚砂岩，偶夾薄層頁岩呈砂頁岩薄互層。	117.1k－122k 127.2k－128k 133.8k－134.5k 135.7k－151k

本路段所屬區域最重要之地質構造為陳有蘭溪斷層，陳有蘭溪斷層從白溪起，沿陳有蘭溪經望鄉東南再轉為西北走向，再東南延伸經父子斷崖至樂樂溫泉附近止。本斷層亦為之新第三紀地層與古第三紀地層相接觸，斷層性質為由東向西之逆斷層構造，此斷層係造成本路段鄰近區域之地層較為破碎之主因。影響本路段邊坡問題之褶皺構造包括同富山向斜以及和社背斜，同富山向斜位於同富山之東北，向斜軸呈西北一東南走向，因地形影響，其向東南延伸情形則不詳。和社

背斜位在和社村之西，背斜軸呈東北西南走向，背斜軸之西側頻出現小規模緊密褶皺，相反的在東側此種現象則未見到。和社背斜分別為十八折坑斷層與神木斷層切截。神木斷層為斷面向南之正斷層，少量之右移滑動，斷層走向呈東西方向，斷面傾角較陡。十八折坑斷層為具有走向滑移或斜滑移特性之高角度斷層。本路段於 109k、119k 和 124k 附近有神木斷層通過，另於 113k 附近有十八折坑斷層通過。沙里仙溪斷層由父子斷崖起，沿沙里仙溪之東側山腰間向南延伸，至塔塔加鞍部經過，本斷層亦為新第三紀地層與古第三紀地層相接觸。本斷層為由東向西之逆斷層構造，斷層傾角亦為高角度（約 80°），斷層通過之處多形成瀑布或形成峽谷。

中新世的南莊層，主要分佈於和社背斜東翼至同富山向斜兩翼，主要岩性為淺灰色厚砂岩、砂岩和頁岩所組成的條狀薄紋層、和深灰色頁岩（張麗旭，1960）。其中砂岩主要為細粒砂岩，成分以石英顆粒為主，顆粒大小在 0.1mm 左右，而膠結物則以黏土礦物和碳酸鹽類為主，並有少數的長石與板岩碎屑（劉景仁，1993）。本路段出露之南港層的岩性則以深灰色頁岩為主，夾有灰色薄層砂岩。未固結地層包括階地堆積與沖積層。階地堆積分佈在陳有蘭溪主流與主支流交會處，且大部份沿陳有蘭溪溪流之西側發育。階地堆積物來源主要為兩側山區山崩碎屑，經合流堆積作用形成，碎屑物顆粒大小不等，磨蝕程度有圓形、次圓形、角粒狀等多種。沖積層則分布於溪流兩側。本研究示範區附近之區域地質圖以及地形圖如圖 E-3、圖 E-4 所示。

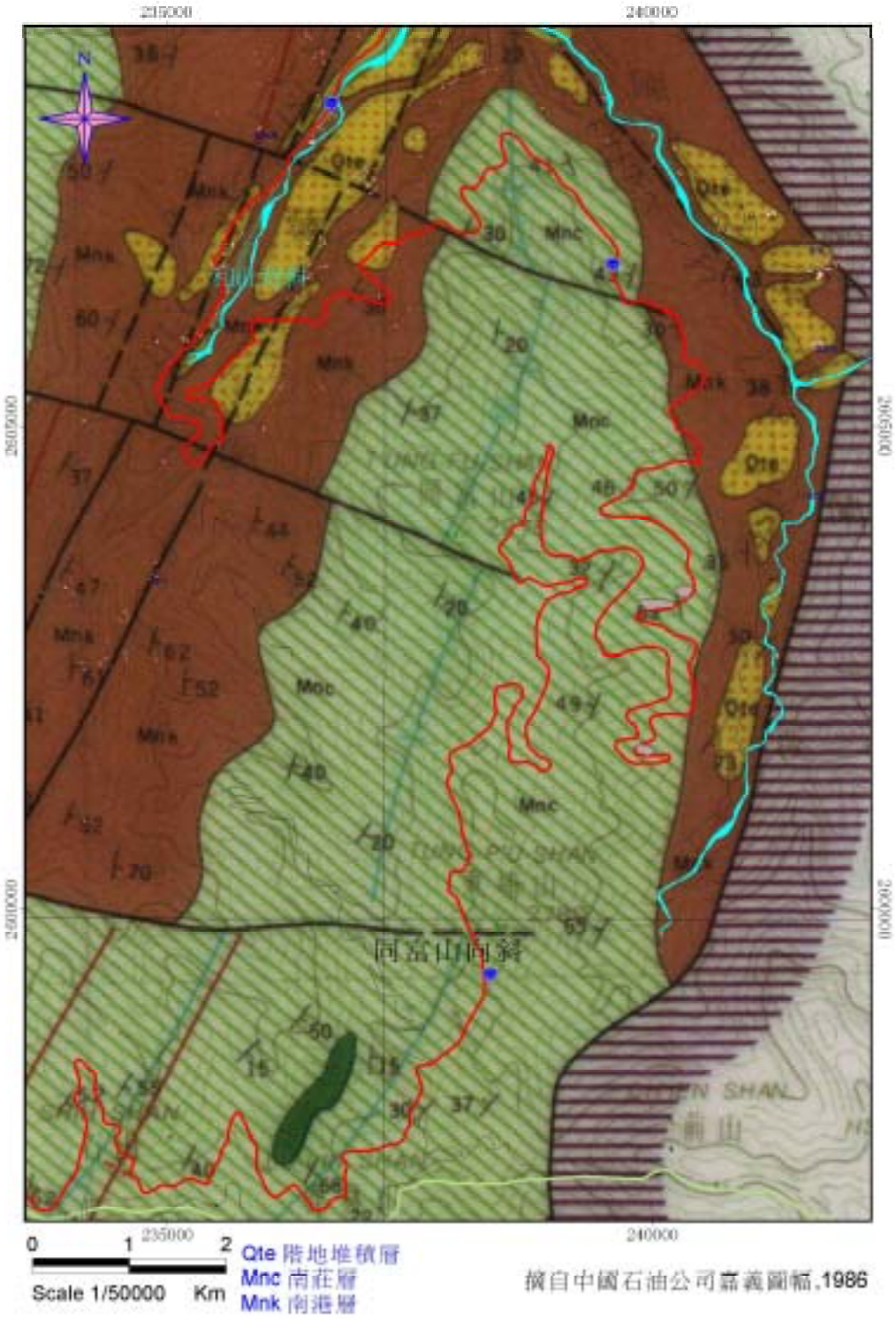

235000
240000
2605000
2600000
N
Qte
Mnc
Mnk
同富山向斜
0
1
2
Scale 1/50000
Km
Qte 階地堆積層
Mnc 南莊層
Mnk 南港層
摘自中國石油公司嘉義圖幅,1986

圖 E-3　示範區域地質圖

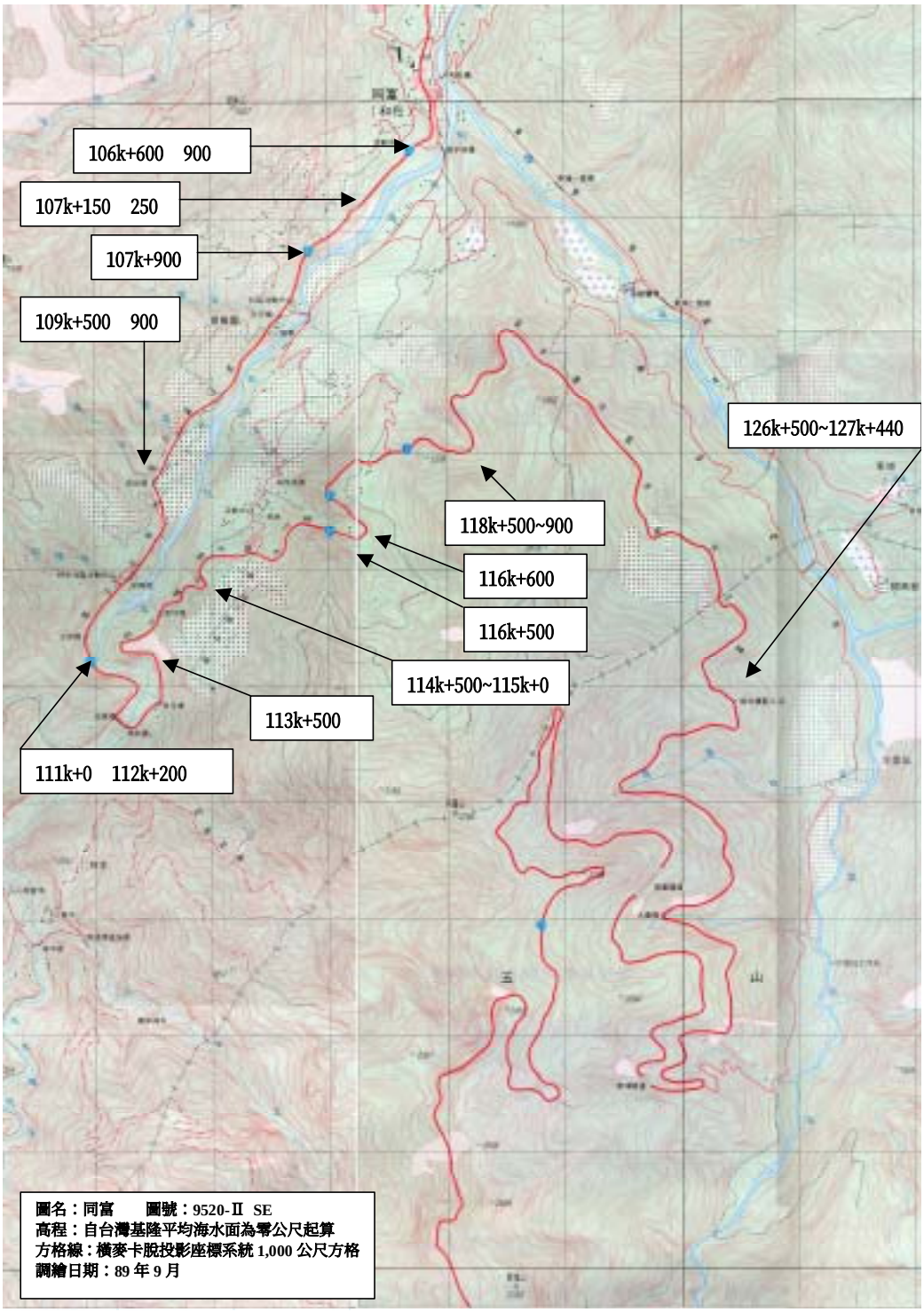


圖 E-4　示範區域地形圖以及重要路段里程位置

E.2 道路邊坡崩塌潛勢分析

針對崩塌潛勢分析之致災事件方面，本研究選擇在民國九十至九十四年間，對本研究區域造成災害的桃芝、敏督利、艾利、海棠和馬莎等五個颱風（表 E-2）作為研究之致災事件，針對邊坡在各颱風侵襲時所造成之崩塌進行研究。

表 E-2　颱風基本資料

颱風名稱(中文)	颱風名稱(英文)	警報期間	強度	侵臺颱風路徑(七類)
馬莎	MATSA	2005 08/03 08/06	中度	1
海棠	HAITANG	2005 07/16 07/20	強烈	1
艾利	AERE	2004 08/23 08/26	中度	1
敏督利	MINDULLE	2004 06/28 07/03	中度	4
桃芝	TORAJI	2001 07/28 07/31	中度	2
註：資料來源為中央氣象局				

崩塌點之調查主要先經由現場調查，再依據交通部公路總局第二區養護工程處信義工務段所提供之歷次颱風道路邊坡崩塌資料（以里程記錄）比對及篩選後，最後共選擇 50 處崩塌點作為本研究之崩塌案例。該 50 筆崩塌案例中，桃芝颱風之崩塌案例佔 19 筆、敏督利颱風佔 18 筆、艾利颱風佔 5 筆、海棠颱風則有 5 筆、海棠颱風則有 3 筆。由於桃芝跟敏督利颱風比後面三者對臺 21 線造成災情較嚴重，選取作為致災颱風所佔比例，如圖 E-5 所示。

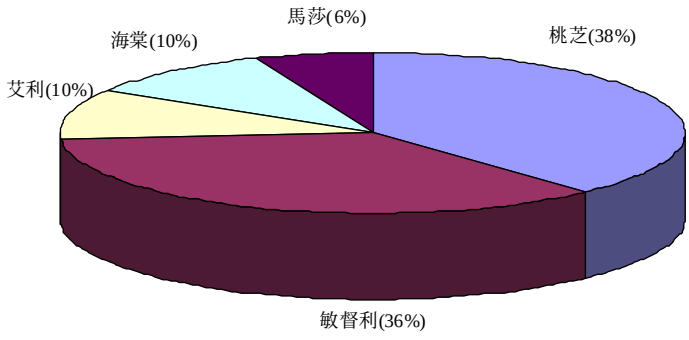


圖 E-5　各次颱風之崩塌案例佔全部崩塌案例之比例

未崩塌點之選擇，係以沿線每 500 公尺為一點。首先排除既有崩塌案例之地點，而後以現場邊坡之植生狀況及完整性作為研判過去有否崩塌之依據，在研究範圍內進行未崩塌點之調查，共計調查 53 個未崩塌點。

分析的致災颱風為桃芝、敏督利、艾利、海棠、馬莎，已崩塌案例為應用前述方法選取。真實未崩塌案例之降雨量則是加入經歷單一颱風的降雨量，分析案例為崩塌案例 50 筆，真實未崩塌案例 53 筆總共 103 筆，用集水區面積加上雨量分析，其雨量量化方法有 12 小時尖峰雨量、72 小時累積雨量和 72 小時累積雨量除以 72 再加上 12 小時雨量尖峰強度除以 12 之後兩個相加再平均，或利用崩塌潛能加上前述雨量量化方法進行分析，結果如表 E-3、表 E-4。

綜合表 E-3、表 E-4 之分析數據，由於崩塌機率中之一般崩塌潛能模式進行分析，其真實未崩塌案例僅以單一颱風分析，故不具可預測多個颱風性質之意義，而分析結果正判率介於 75%　98%左右。由於僅取一個颱風來分析其結果亦是如此，但由於只對單一颱風進行分析，故其分析結果可以 GIS 繪出各個颱風對臺 21 線之沿線崩塌機率分佈圖（詳圖 E-6　圖 E-10）。

表 E-3　臺 21 線崩塌機率分析結果（一般崩塌潛能）

高斯過程					
桃芝					
因子組合	測試案例	正判案例	誤判案例	誤判率	正判率
集水區面積+1hr	103	78	25	24.3%	75.7%
集水區面積 +M12	103	81	22	21.4%	78.6%
集水區面積+24hr	103	94	9	8.7%	91.3%
集水區面積+A72	103	85	18	17.5%	82.5%
崩塌潛能+1hr	103	95	8	7.8%	92.2%
崩塌潛能+M12	103	95	8	7.8%	92.2%
崩塌潛能 +24hr	103	94	9	8.7%	91.3%
崩塌潛能 +A72	103	96	7	6.8%	93.2%
敏督利					
集水區面積+1hr	103	79	24	23.3%	76.7%
集水區面積 +M12	103	85	18	17.5%	82.5%
集水區面積+24hr	103	78	25	24.3%	75.7%
集水區面積+A72	103	83	20	19.4%	80.6%
崩塌潛能+1hr	103	94	9	8.7%	91.3%
崩塌潛能+M12	103	97	6	5.8%	94.2%
崩塌潛能 +24hr	103	95	8	7.8%	92.2%
崩塌潛能 +A72	103	98	5	4.9%	95.1%
艾利					
集水區面積+1hr	103	95	8	7.8%	92.2%
集水區面積 +M12	103	93	10	9.7%	90.3%
集水區面積+24hr	103	94	9	8.7%	91.3%
集水區面積+A72	103	81	22	21.4%	78.6%
崩塌潛能+1hr	103	101	2	1.9%	98.1%
崩塌潛能+M12	103	101	2	1.9%	98.1%
崩塌潛能 +24hr	103	101	2	1.9%	98.1%
崩塌潛能 +A72	103	97	6	5.8%	94.2%
海棠					
集水區面積+1hr	103	90	13	12.6%	87.4%
集水區面積+M12	103	89	14	13.6%	86.4%
集水區面積+24hr	103	91	12	11.7%	88.3%
集水區面積+A72	103	82	21	20.4%	79.6%
崩塌潛能+1hr	103	99	4	3.9%	96.1%
崩塌潛能+M12	103	100	3	2.9%	97.1%
崩塌潛能 +24hr	103	100	3	2.9%	97.1%
崩塌潛能 +A72	103	97	6	5.8%	94.2%

表 E-4　臺 21 線崩塌機率分析結果（一般崩塌潛能）（續）

高斯過程					
馬莎					
因子組合	測試案例	正判案例	誤判案例	誤判率	正判率
集水區面積+1hr	103	94	9	8.7%	91.3%
集水區面積+M_{12}	103	89	14	13.6%	86.4%
集水區面積+24hr	103	94	9	8.7%	91.3%
集水區面積+A_{72}	103	84	19	18.4%	81.6%
崩塌潛能+1hr	103	101	2	1.9%	98.1%
崩塌潛能+M_{12}	103	101	2	1.9%	98.1%
崩塌潛能+24hr	103	101	2	1.9%	98.1%
崩塌潛能+A_{72}	103	98	5	4.9%	95.1%

註：1.1hr 為 72 小時累積雨量除以 72 再加上 12 小時雨量尖峰強度除以 12 之後兩個相加再平均。

2.M12 為颱風降雨期間 12 小時雨量尖峰強度

3.24hr 為 72 小時累積雨量除以 72 乘以 12 再加上 12 小時雨量尖峰強度

4.A72 為 72 小時累積雨量

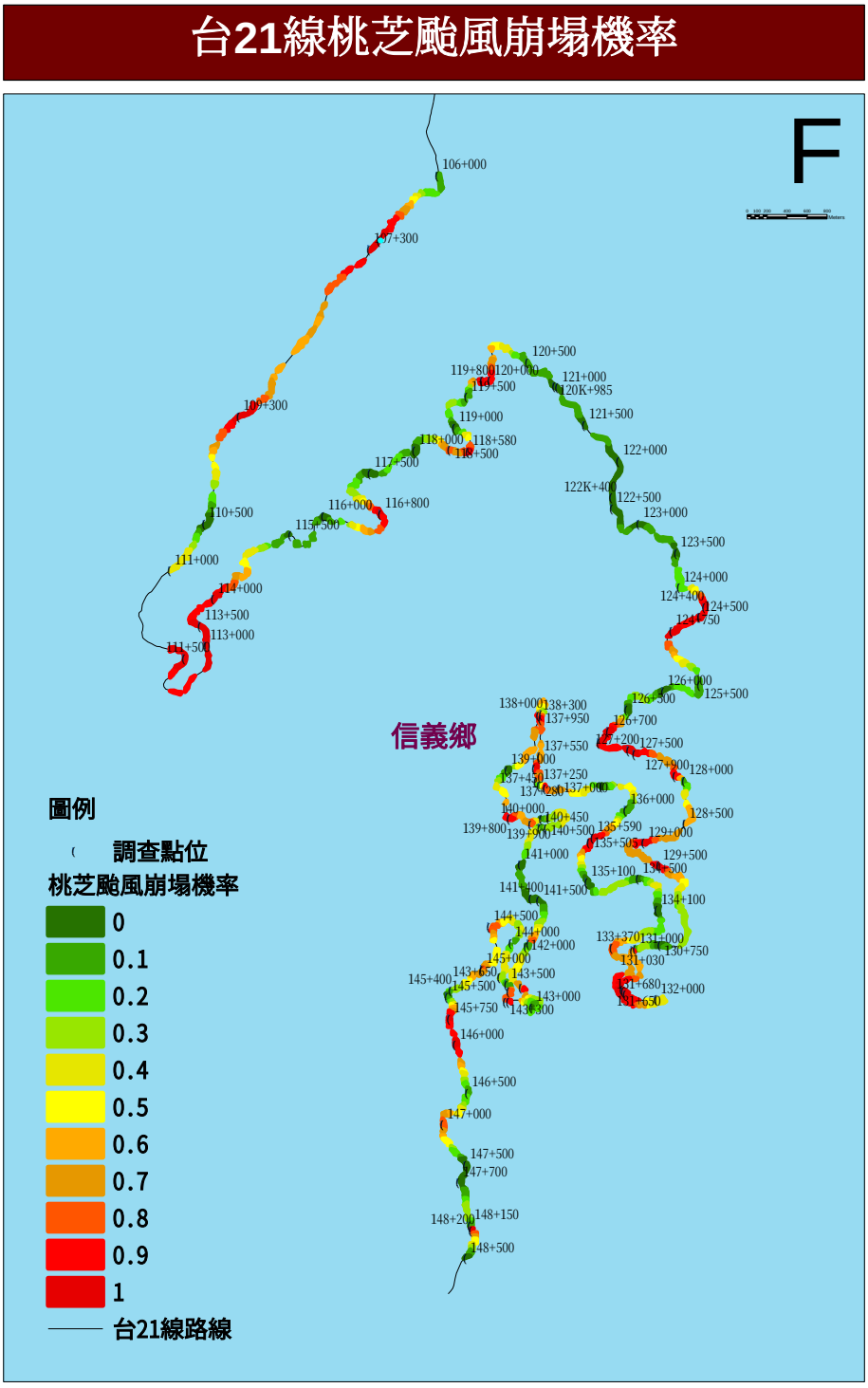


圖 E-6　桃芝颱風對臺 21 線沿線邊坡崩塌機率分佈圖

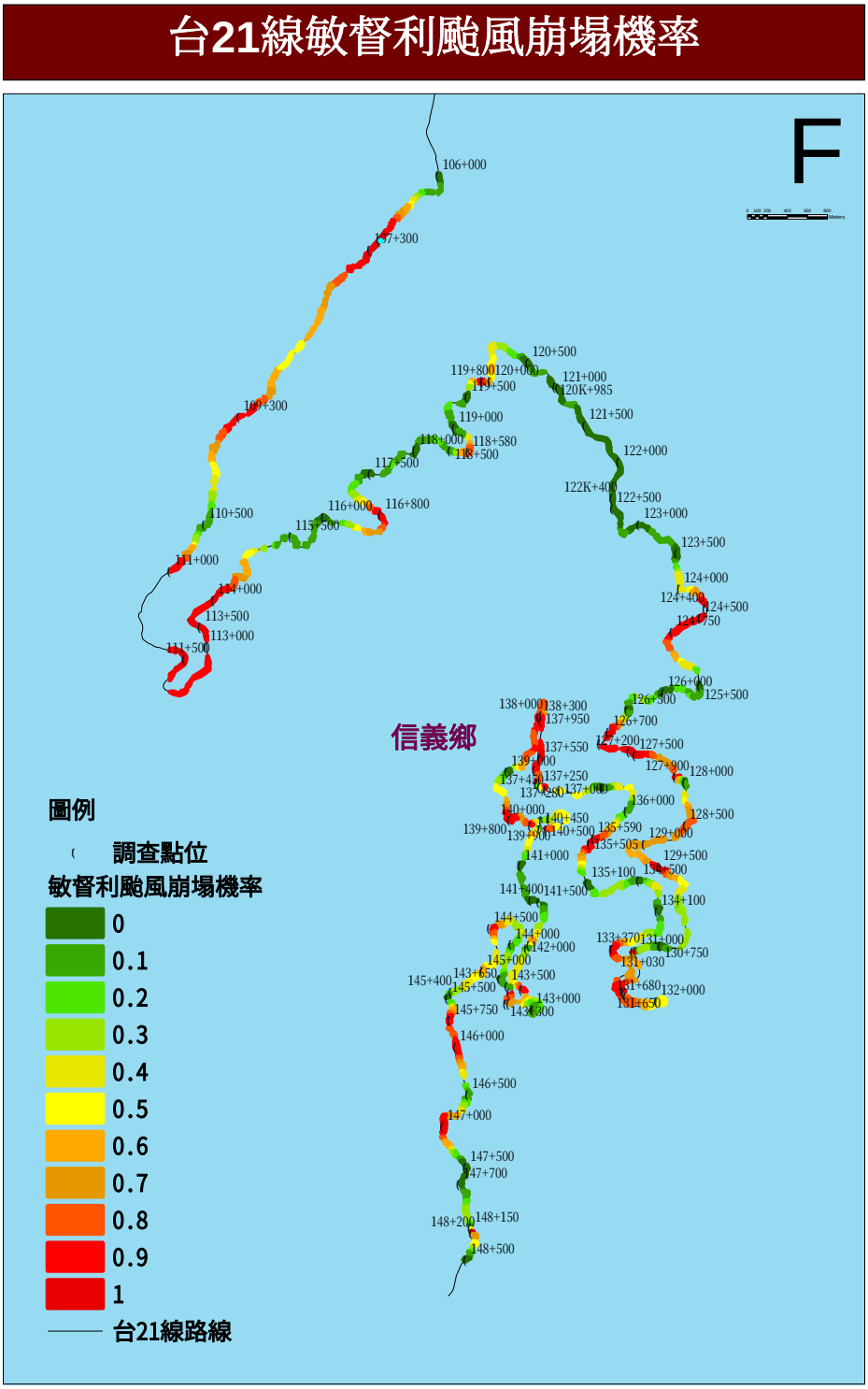


圖 E-7　敏督利颱風對臺 21 線沿線邊坡崩塌機率分佈圖

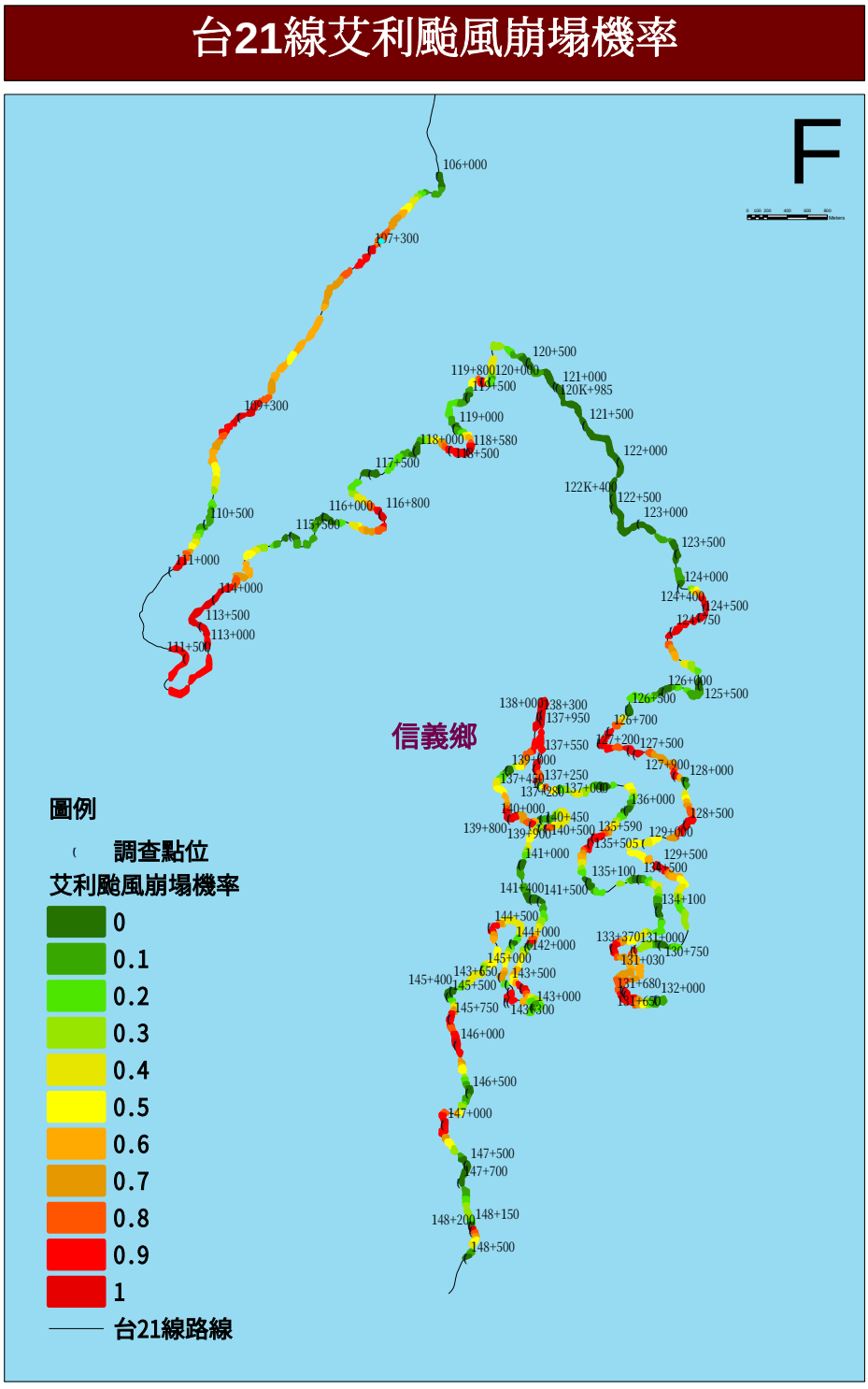


圖 E-8　艾利颱風對臺 21 線沿線邊坡崩塌機率分佈圖

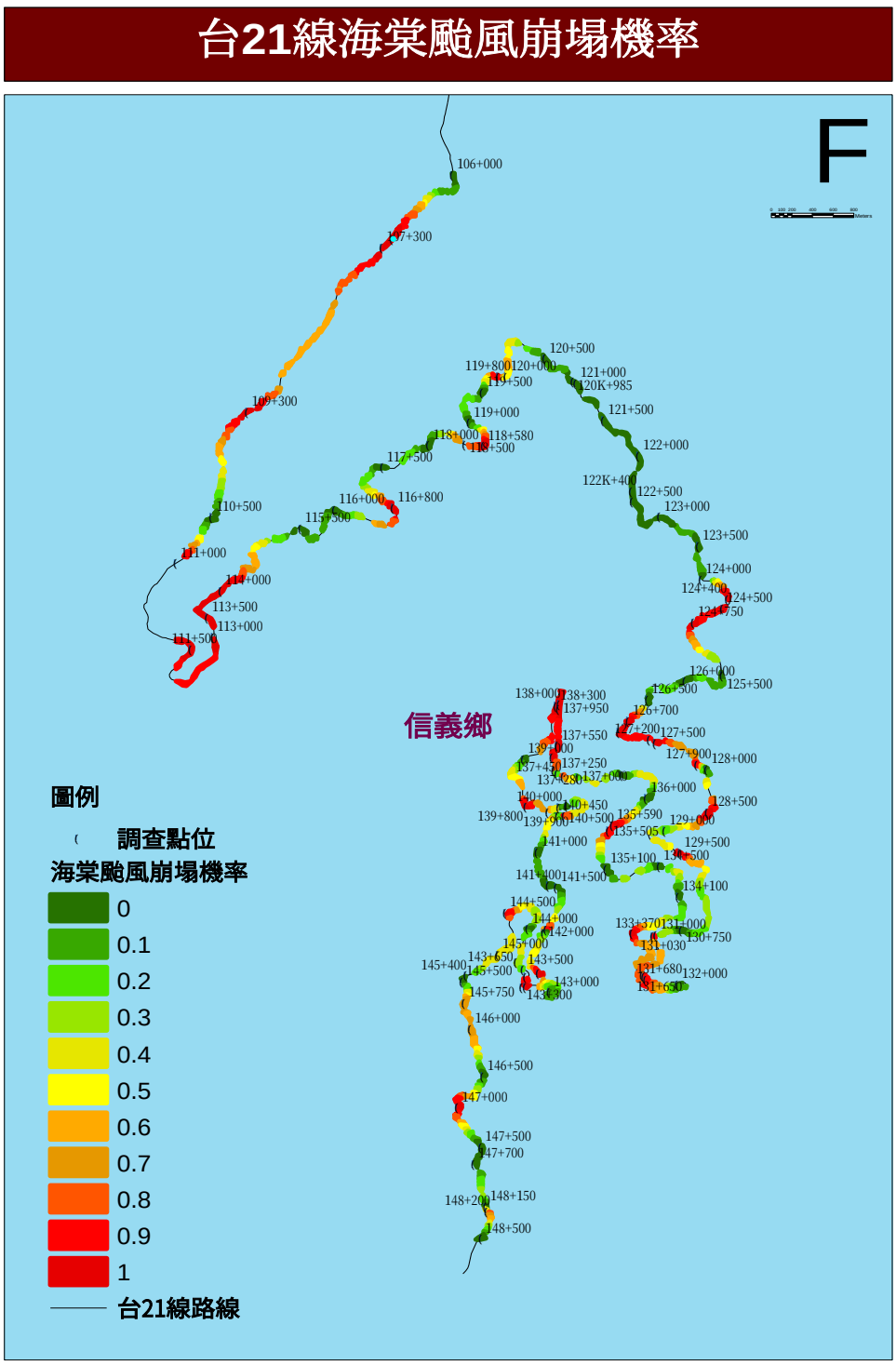


圖 E-9　海棠颱風對臺 21 線沿線邊坡崩塌機率分佈圖

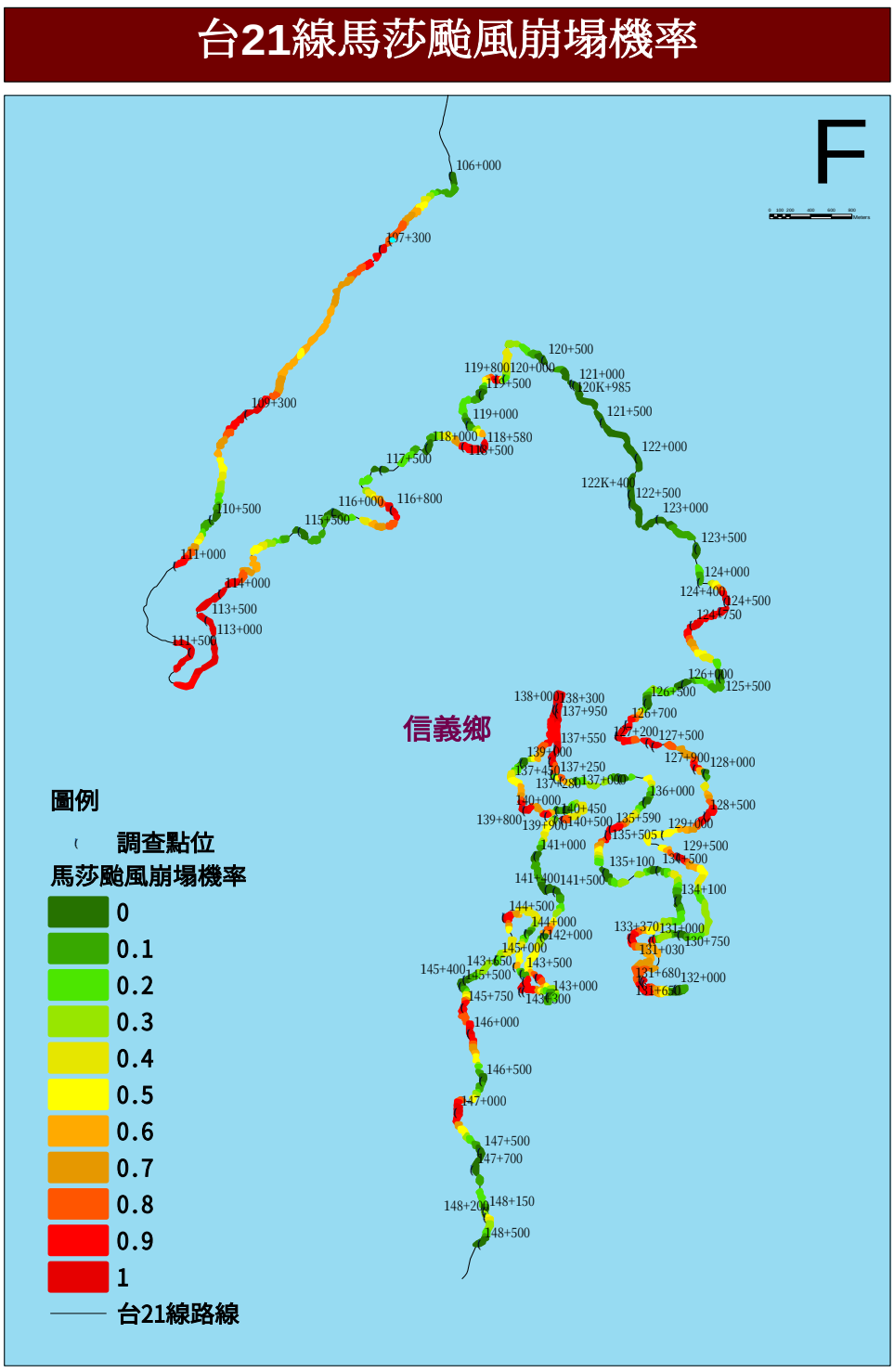


圖 E-10　馬莎颱風對臺 21 線沿線邊坡崩塌機率分佈圖

除了前述之崩塌潛勢分析外，本研究亦曾以省道臺 18 線為研究對象，將降雨參數納入崩塌機率分析模式中，探討降雨、集水區面積，以及道路邊坡崩塌之間之關係。在分析過程中，本研究暫以 12 小時雨量尖峰強度加上 12/72 的 72 小時累積雨量作為降雨指標（詳見圖 E-11），相關分析結果詳見圖 E-12 所示，由分析結果可初步得到以下三點結論：

1. **當降雨指標值＜500 ㎜時，道路之崩塌潛勢較低，且亦不受集水區面積大小所影響。**
2. **在降雨指標值介於 500　600 ㎜之間時，不論集水區面積或降雨指標，其皆對崩塌潛勢有所影響。**
3. **當降雨指標值＞600 ㎜時，集水區面積則為影響崩塌潛勢之主要原因。**

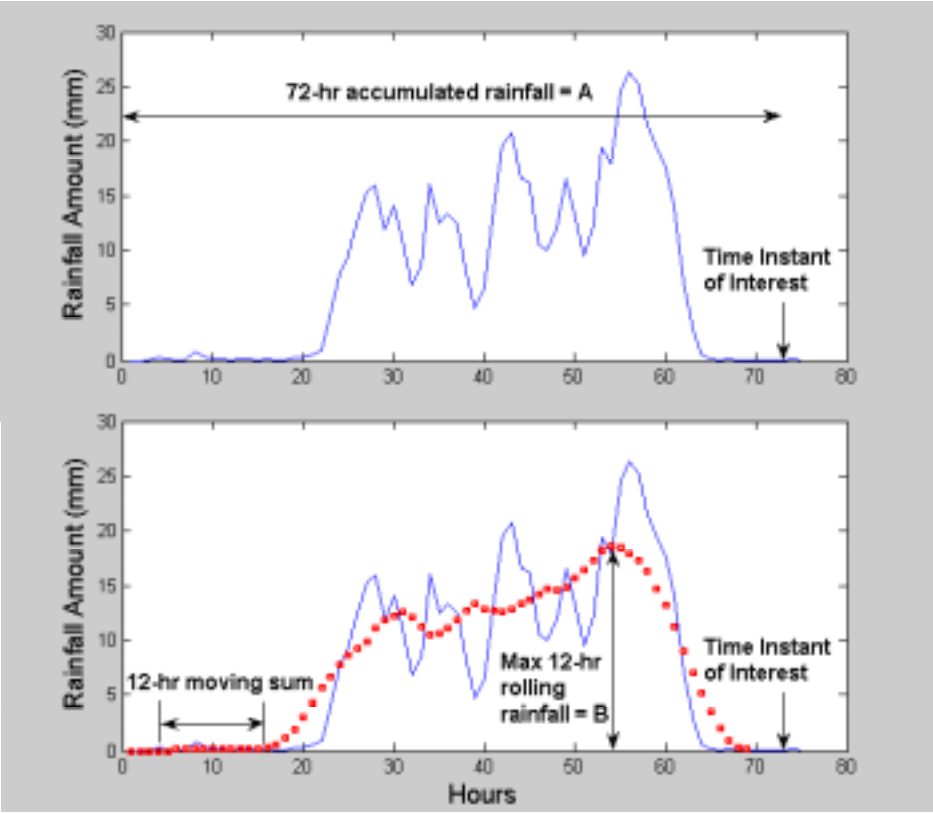


圖 E-11　降雨指標（Rainfall Index＝B+(12/72)A）

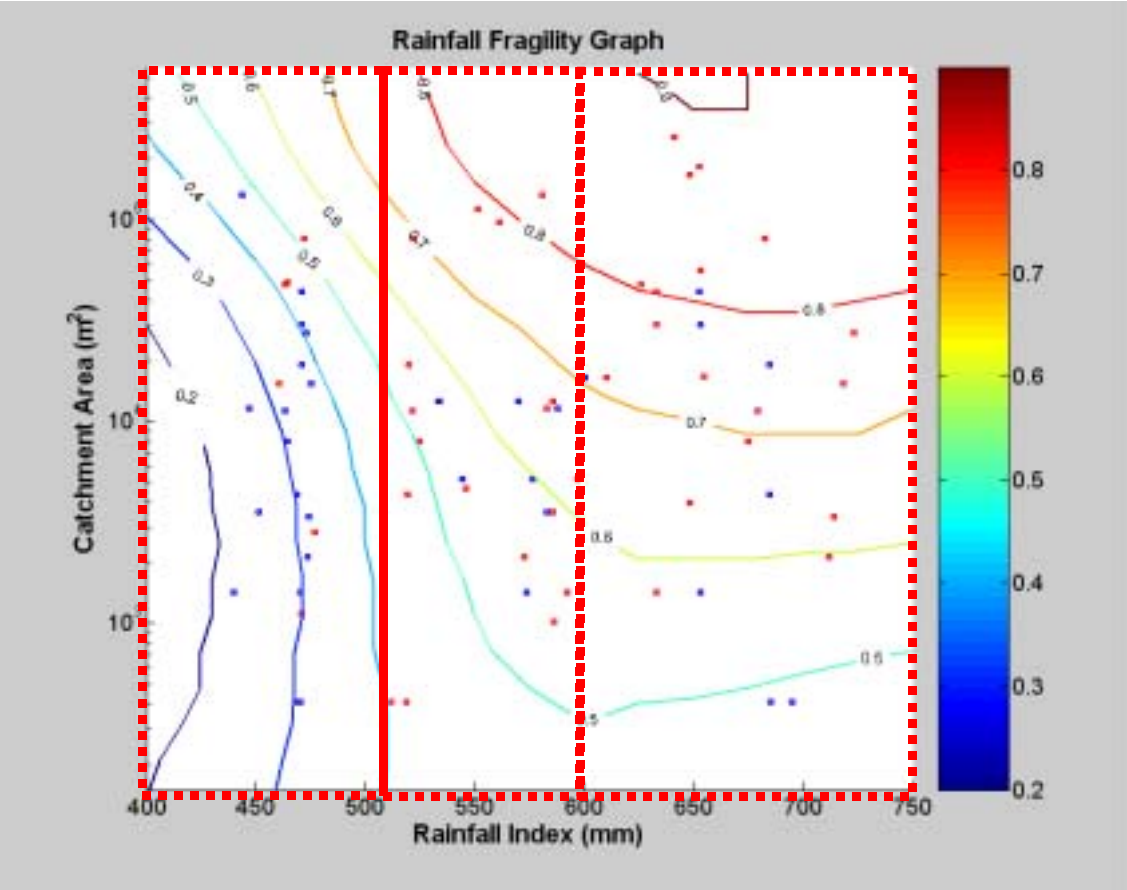


圖 E-12　降雨與崩塌潛勢關係圖

E.3 示範路段之二次災害類型分析

依據交通部公路總局第二區及第五區養工處提供之歷次颱風災損資料，可整理出臺 18 線及臺 21 線曾發生過二次災害之里程（詳見表 E-5、表 E-6）；這些里程至少發生過兩次甚或三次的崩塌，臺 18 線共 15 處，臺 21 線共 30 處。其中，臺 18 線之二次災害都屬落石坍方，而臺 21 線發生二次災害的種類則較具多樣性，包括落石坍方、上邊坡坍方、下邊坡坍方（路基缺口）等。基本上，除少數大型坍滑地外，經整治之邊坡在歷次之颱風侵襲期間均尚能維持穩定，災損資料所顯示之二次災害都是來自未經整治的邊坡範圍內，可歸因於自然的風化行為或是局部之邊坡不穩定，前者可以簡易的攔石網或是攔石柵處理

之，後者則需在進行穩定措施設計施工階段，即應考慮崩塌範圍向上和向兩側擴張之可能，而採取必要之配套措施。

表 E-5　臺 21 線二次災害統計表

路線樁號	災害情形	災害發生時間			
		桃芝颱風	敏督利颱風	艾利颱風	馬莎颱風
		2001.07	2004.07	2004.08	2005.08
臺 21 線 74k+0	落石坍方	v	v		
臺 21 線 79k+650	上邊坡坍方		v	v	
臺 21 線 81k+200	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 86k+300	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 94k+400	上邊坡坍方		v	v	
臺 21 線 94k+460	落石坍方	v			
臺 21 線 94k+500	落石坍方			v	v
臺 21 線 94k+900	落石坍方		v		
臺 21 線 94k+900	上邊坡坍方		v	v	
臺 21 線 94k+900	路基缺口 (下邊坡坍方)	v	v		
臺 21 線 95k+300	上邊坡坍方		v	v	
臺 21 線 95k+500	落石坍方	v			v
臺 21 線 96k+000	落石坍方	v		v	
臺 21 線 105k+100	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 111k+900	落石坍方	v			v
臺 21 線 115k+800	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 116k+700	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 117k+600	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 118k+600	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 120k+600	落石坍方			v	v
臺 21 線 120k+800	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 121k+400	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 126k+800	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 127k+000	路基缺口 (下邊坡坍方)	v	v		
臺 21 線 127k+200	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 127k+650	落石坍方	v			v
臺 21 線 129k+100	落石坍方	v		v	
臺 21 線 130k+300	上邊坡坍方	v	v		
臺 21 線 131k+100	上邊坡坍方	v	v		

表 E-6　臺 18 線二次災害統計表

路線樁號	災害情形	災害發生時間				
		賀伯颱風	921 地震	桃芝颱風	納莉颱風	敏督利颱風
		1996.07	1999.09	2001.07	2004.07	2005.08
臺 18 線 21k+400	落石坍方			v	v	
臺 18 線 26k+300	落石坍方	v			v	
臺 18 線 26k+700	落石坍方			v		v
臺 18 線 30k+900	落石坍方	v			v	
臺 18 線 36k+500	落石坍方			v	v	v
臺 18 線 36k+900	落石坍方	v			v	
臺 18 線 55k+000	落石坍方		v	v		
臺 18 線 56k+200	落石坍方		v	v		
臺 18 線 63k+600	落石坍方		v	v		
臺 18 線 63k+800	落石坍方	v	v			
臺 18 線 65k+600	落石坍方			v		v
臺 18 線 66k+150	落石坍方	v	v			
臺 18 線 69k+700	落石坍方			v		v
臺 18 線 76k+500	落石坍方		v	v		
臺 18 線 79k+400	落石坍方		v	v		

示範路段選取臺 21 線兩處邊坡做為二次災害示範案例，此兩處案例分屬於第一類─噴凝土護坡邊界之破壞擴張及第二類─明隧道兩端上邊坡之破壞擴張，如下所述：

E.3.1 噴凝土護坡邊界之破壞擴張（里程：113k+500）

此里程由現勘可觀察到，靠近坡頂處已有岩塊墜落而留下空洞，下方之噴凝土之護坡已快要無法承受破碎岩塊的張力而產生裂縫，十分危險（圖 E-13）；在相隔數公尺處，為一坡高約 15 公尺之裸坡（圖 E-14），可知整塊岩坡為砂頁岩互層，坡腳並有少量的崖錐堆積，可知此處邊坡地質十分破碎，並不斷的發生小型崩塌。

圖 E-13　臺 21 線 113k+500 處邊坡裂縫照片

圖 E-14　臺 21 線 113k+500 處邊坡裸露照片

E.3.2 明隧道兩端上邊坡之破壞擴張（里程：111k+500）

此處大崩塌地之形成是由於通過十八折坑斷層，地質屬於砂頁岩互層逆向坡加上平行坡面之節理，因此造成巨厚之崖錐堆積。此處崩塌地從九二一集集大地震迄今，都尚未有完整的改善防治，圖 E-15 中之明隧道之兩端已再次擴建增長，但仍然被二次崩塌的土石淹沒而無法行車，自里程 111k+000　112k+200 都必須從河床改道通車。

圖 E-15　臺 21 線 111k+500 處邊坡照片

E.4 監測與預警規劃建議

E.4.1 巡檢重點

E.4.1.1 臺 21 線 106k+600　900

此一路段海棠颱風來襲期間發生地錨擋土牆破壞、路基流失以及漿砌卵石擋土牆開裂，此一災害與和社溪河岸侵蝕、滔刷邊坡坡腳有關，破壞型態以岩屑至土壤之平滑至旋滑為主。緊急搶修以路基回填為主，預計進行之復建工程為坡腳護岸、地錨擋土牆、植生、水平透水管以及相關路面工程（圖 E-16）。

圖 E-16　臺 21 線 106k+600　900 路段災損狀況

雖然此一路段目前以路基流失為主，然由路面下陷、靠山側之漿砌卵石擋土牆開裂情況研判，滑動面有可能延伸至道路之上邊坡（圖 E-17）。

圖 E-17　臺 21 線 106k+600　900 路段路面下陷等災況

本路段附近（107k+100　500）於敏督利以及艾利颱風來襲期間，亦均曾發生路基流失現象，因此，屬於災害重覆發生之路段，災害重覆發生研判均與和社溪河岸侵蝕之地質營力有關，本路段邊坡主要由崩積層（或河階礫石）以及呈破碎狀之砂頁岩薄互層組成，亦為形成經常性崩塌之先天因素。

E.4.1.2 臺 21 線 107k+100　250

此一路段海棠颱風來襲期間發生上邊坡崩落以及路基流失，此一路基流失災害如同上一路段，皆與和社溪河岸侵蝕、滔刷邊坡坡腳有關，破壞型態以岩屑至土壤之平滑至旋滑為主。緊急搶修以路基回填為主，預計進行之復建工程以加勁擋土牆保護坡腳，配合地錨擋土牆與植生護坡提供坡面穩定保護，以及相關路面工程（圖 E-18）。至於上邊坡崩落，主要屬岩屑平滑，控制破壞發生之機制主要如下：此一地形上略為內凹的路段，研判為之前邊坡崩塌災害之崩崖頂，上邊坡裸坡岩盤已出露，主要是節理密集之砂頁岩薄互層，地層層面傾向為 N10°W/WS30°，因坡面位態約為 N60°E/ES60°，屬斜交至逆向坡，現地量測兩組節理面位態，分別為約略平行坡面之節理 N70°E/ES76°，以及約略垂直坡面的 N30°W/EN60°。上述密集存在的不連續面將岩盤

切割為破碎狀，使得岩石碎屑沿平行坡面之節理滑移、墜落。上邊坡崩落路段，雖砂頁岩薄互層之岩盤已出露，屬斜交至逆向，兩組分別平行與垂直坡向之節理，以及互層之層面將岩層切割呈破碎狀（圖E-19），但只要能防止坡面之風化以及壁面沖蝕溝的發育，並能作好坡面保護，大規模坍滑之機會較低，然而路基材料以崩積層（或河階礫石）為主，甚易發生沿岩盤面與崩積層交界面或於極度風化岩盤內平面至圓弧型滑動。

圖 E-18　臺 21 線 107k+100　250 災害路段全貌

圖 E-19　臺 21 線 107k+100　250 上邊坡崩落路段

本路段於敏督利以及艾利颱風來襲期間，地形凹陷之處亦曾發生路基流失現象（敏督利 107k+100；艾利 107k+100　500，詳圖 E-20），因此，屬於災害重覆發生之路段，如同前一路段，災害重覆發生研判與和社溪河岸侵蝕之地質營力有關，本災害路段下邊坡主要由崩積層（或河階堆積物）組成，亦為形成經常性崩塌之先天因素。

圖 E-20　臺 21 線 107k+100　250 地形狀況

本路段部份路基流失路段，正以砌大塊石方式回填路基，因下邊坡組成材料主要為土壤與岩屑，穩定性不佳，路基基礎之穩固相當關鍵（詳圖 E-21）。

圖 E-21　臺 21 線 107k+100　250 部分路基流失路段

E.4.1.3 臺 21 線 107k+900

此一路段原經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經坡面噴漿以及自由樑坡面保護（詳圖 E-22），目前穩定性尚可，惟巡檢時仍應將此一路段列為重點，注意噴漿坡面之完整性以及裂縫發生與裂縫發展趨勢，並列入巡檢紀錄以及邊坡管理系統。防落石柵後方岩塊應隨時清理，以維持防落石柵之功能（詳圖 E-23）。目前此一路段坡面植生狀況良好（詳圖 E-24），此一路段視巡檢情況可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意落石，若發現坡面保護工之功能漸趨喪失，則應進一步考慮設置事發型預警系統，如沿防落石柵設置鋼索檢知器，一旦發生鋼索檢知器斷裂，即可啟動事發型監測預警系統。

圖 E-22　臺 21 線 107k+900 路段坡面噴漿與自由格梁坡面保護現況

圖 E-23　臺 21 線 107k+900 路段防落石柵現況

圖 E-24　臺 21 線 107k+900 路段坡面植生現況

E.4.1.4 臺 21 線 109k+500　900

此一路段亦經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經坡面噴漿以及自由樑坡面保護，目前穩定性尚可，然而部分裸坡仍具落石潛勢。此一邊坡出露岩盤主要是砂頁岩薄至中層互層，地層層面傾向為 N35°E/WN35°，因坡面位態約為 N35°E/ES70°，屬斜交至逆向坡（詳圖 E-25）。現地量測兩組節理面位態，分別為約略平行坡面之節理 N35°E/ES60°，以及約略垂直坡面的 N35°W/EN85°（詳圖 E-26）。因此處節理未如 106k　107k 之岩盤密集，故崩落岩塊之尺寸相對較大，此處落石之發生，主要將受平行坡面之節理所控制，以岩屑崩落或平面型滑移為主。此路段經坡面噴漿以及自由樑坡面保護（圖 E-27），目前穩定性尚可，然而部分裸坡仍具落石潛勢，巡檢時應將此一路段列為重點，注意噴漿坡面以及自由樑之完整性以及裂縫發生與裂縫發展趨勢，並列入巡檢紀錄以及邊坡管理系統。此處建議可設置欄落石柵，惟落石柵後方岩塊應隨時清理，以維持防落石柵之功能。此一路段視巡檢情況，可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意落石，若發現坡面保護工之功能漸趨喪失，則應進一步考慮設置事發型預警系統，如沿防落石柵設置鋼索檢知器，一旦發生鋼索檢知器斷裂，即可啟動事發型監測預警系統。

圖 E-25　民和橋旁小溪溝

圖 E-26　臺 21 線 109k+500　900 路段節理面位態

圖 E-27　臺 21 線 109k+500　900 路段坡面保護現況

E.4.1.5 新興橋

新興橋位於陳有蘭溪主要支流和社溪的左岸，為臺 21 線跨越和社溪支流 3 號溪的橋樑，公路附近河道坡度約 8°，為土石流及崩落滑動共存區。賀伯颱風過境時，溪床嚴重淘刷，造成橋臺崩落及部份橋面版流失。經災後搶救重建的新興橋總長 101 公尺，上部結構為鋼製箱型樑，中央跨徑為 60 公尺，兩側跨徑則為 20 公尺，其中靠近兩側橋臺之橋孔已由護岸包住水流無法通行，因此實際淨跨距應為 61 公尺，橋底淨空為 7.5 公尺(謝正倫，1998)。就淨空跨距而言，重建後的新興

橋已具有較大的通水斷面，將有助於防止土石流於橋樑處淤積堵塞，賀伯風災後歷經多次土石流災害時，已能有效排除土石材料，但因地形因素及歷史資料顯示，土石流有攻擊南側橋臺的趨勢，必須特別留意。

E.1.4.6 玉泉橋

玉泉橋橫跨一野溪，野溪上游有一大型崩塌地，然上游溪床堆積情況不明（圖 E-28）。首先，此一野溪上游堆積情形應加以調查，並透過巡檢持續觀察其移動情況，紀錄結果應納入邊坡管理系統。若堆積情況嚴重，應建議目的事業主管機關進行野溪整治。

圖 E-28　玉泉橋上游崩塌地遠照

E.1.4.7 臺 21 線 111k+000　112k+200

此一路段共計有三處邊坡，曾為國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段。因路基流失，現況道路下切至河床通行。不計神木明隧道上方之崩塌，此一路段共計有三處大型崩塌地。海棠颱風來襲期間，造成此一路段之便道流失，經採砌大塊石後回填搶通。此一路段之三處大型崩塌（詳圖 E-29），主要發生在凹坡崩塌崖錐堆積材料中，部分區域因受和社溪河岸側蝕，已有岩盤出露（詳圖 E-30）。此路段坡向約略為南北向傾斜向東，層面走向為 N35°E/WN45°，屬逆向坡（詳圖 E-31）。現地量測得三個節理面位態，分別為 N15°W/EN50°、N30

°W/EN30°、N60°W/EN60°，三組節理均約略平行坡面，容易形成差異傾蝕之砂頁岩互層逆向坡加上平行坡面之節理，為此處形成巨厚之崖錐堆積主因（詳圖 E-32），此一路段路基流失也就是因為此處主要為崖錐堆積，加上河岸側蝕之地質營力所造成。

圖 E-29　臺 21 線 111k+00　112k+200 路段邊坡崩塌情形

圖 E-30　臺 21 線 111k+000　112k+200 路段凹坡遠照

圖 E-31　臺 21 線 111k+00　112k+200 路段邊坡傾角走向

圖 E-32　崩塌區坡腳出露之崖錐堆積材料

此一路段目前設置有溪水暴漲禁止通行之告示，同時亦設置有柵欄，神木隧道附近則設置有注意落石之告示。因此處為便道，長期監測可能以配合道路長期修復策略為宜，然目前仍應透過巡檢注意位於河床之便道其基礎沖刷情況，以及神木明隧道上方崩塌土體荷重對明隧道結構體之影響（圖 E-33），以及明隧道基礎岩盤破壞對明隧道結構體之影響。巡檢紀錄應納入邊坡管理系統。

圖 E-33　神木明隧道上方崩塌土體荷重對明隧道結構體之影響

E.4.1.8 臺 21 線 112k+300　500

此一路段經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經護坡工程處理加上道路配合橋樑工程改線，因此以巡檢注意其坡面保護措施之有效性為主，巡檢應加以紀錄其變化並納入邊坡管理系統。

E.4.1.9 臺 21 線 112k+950　113k

此一路段經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，後經護坡工程處理，現況尚稱穩定，因此以巡檢注意其坡面保護措施之有效性為主。另一方面，此一路段位於和社溪攻擊坡側，巡檢時亦應注意路基及溪床坡腳沖刷情況。巡檢應加以紀錄其變化並納入邊坡管理系統。

E.4.1.10 臺 21 線 113k+500

此處有一大型浮石（孤石），噴漿坡面已產生裂縫，浮石上方已有一岩塊墜落，並留下一空洞（詳圖 E-34）。此處出露岩盤為砂頁岩薄互層夾厚層砂岩（詳圖 E-35），此一浮石其兩側為層面，推測此一浮石應為一砂岩塊，其墜落受平行坡面之節理以及張力破壞持續進行所控制（圖 E-36）。巡檢時應將此一路段列為重點，注意噴漿坡面變化以及位移旋轉視覺放大器變形情形，並列入巡檢紀錄以及邊坡管理系統。

圖 E-34　113k+500 處之大型浮石與裂縫

圖 E-35　邊坡出露之岩盤與斷層面

圖 E-36　浮石之兩側層面

E.4.1.11 臺 21 線 114k+500　115k+000

此一路段共計有四個坡面經國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段，於敏督利颱風來襲期間，發生兩處路基缺口（114k+550 及 114k+800）以及部分土石崩落之災情。此一路基流失災害與此一谷地

為向源侵蝕旺盛之區域有關（詳圖 E-37）。緊急搶修與復建工程為清理土石、地錨擋土牆以及下邊坡坡面植生保護為主，現況尚稱穩定（詳圖 E-38）。

圖 E-37　此路段於敏督利颱風來襲期間路基流失災害

圖 E-38　敏督利颱風發生路基缺口以及土石崩落災情之復建工程

此一溪溝中堆積材料以老崩塌地之崩積層為主，破壞型態以岩屑至土壤之平滑至旋滑為主，受溪谷持續向源侵蝕作用劇烈之影響，目前已有部分岩盤出露（圖 E-39）。溪溝上游堆積土石大部分已下移，少部分仍為箱涵靠上邊坡處擋土牆上方鋼軌樁所攔阻（圖 E-40）。此路段已設置有警告標誌，目前建議加強巡檢，巡檢重點包括：下邊坡坡面保護之噴漿溝完整性、山溝箱涵靠山側之疊置擋土牆之接縫、擋

土牆上方鋼軌樁岩塊堆積量、新設路基擋土牆基礎以及道路靠下邊坡處張力裂縫之發展。上述巡檢所得之資訊應加以紀錄，並列於邊坡管理系統中。另外，箱涵上方鋼軌樁攔阻土石應定期清運。

圖 E-39　溪溝堆積材料受溪谷向源侵蝕影響目前有部分岩盤出露

圖 E-40　溪溝上游堆積土石下移且受阻於擋土牆上方鋼軌樁

E.4.1.13 臺 21 線 116k+500　600

此一路段目前設置有欄落石網，現況尚佳，惟仍應加強巡檢鋼網之功能，並注意攔阻落石對鋼網之影響，此類護坡工程若於巡檢後發現功能有疑慮，可考慮於鋼網上設置鋼筋計或鋼索檢知器。

E.4.1.14 頭坑橋

頭坑橋橫跨一野溪，上游溪床土石堆積情況不明（詳圖 E-41）。首先，此一野溪上游堆積情形應加以調查，並透過巡檢持續觀察其移動情況，紀錄結果應納入邊坡管理系統。若堆積情況嚴重，應建議目的事業主管機關進行野溪整治。

圖 E-41　頭坑橋橫上游溪床土石堆積情況

E.4.1.15 臺 21 線 116k+700、117k+900　118k、118k+000　500

此三處邊坡曾為國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段。目前植生狀況尚佳，建議透過巡檢注意邊坡保護措施之功能性，並將巡檢紀錄納入邊坡管理系統。

E.4.1.16 臺 21 線 118k+500　118k+900

此一路段於敏督利颱風來襲期間造成路基流失（圖 E-42），另外，此一路段於敏督利、艾利以及海棠颱風來襲期間均造成上邊坡土石崩

落災情。同時，此一路段亦為國立交通大學(2000)評估為高落石風險路段。此一路段為向源侵蝕劇烈之區域，高聳之上邊坡為砂頁岩互層之逆向坡，容易形成差異傾蝕，並形成風化岩石碎屑與大岩塊之墜落，此一凹坡坡趾有大量之崖錐堆積材料，堆積材料大小不一。崖錐堆積加上向源侵蝕之地質營力造成此一路段經常性之災害。

圖 E-42　118k+500　900 為向源侵蝕造成路基流失

因崖錐堆積物中有大岩塊鑲嵌於基質土壤或碎屑中，故此一上邊坡之崩塌對行車安全威脅仍大，因此，巡檢應特別注意此一路段鑲嵌於基質中大塊石之移動情形以及其下方土壤或碎屑沖刷之情況，巡檢紀錄應納入邊坡管理系統。此一路段未來道路改善可考慮設置擋土牆（基礎必須達堅實岩盤），並於其上方裝設防落石柵，欄落石柵上方則設置鋼索檢知器以及事發型預警系統。

E.4.1.17 臺 21 線 126k+500~127k+440

本路段共計有五個邊坡為國立交通大學(2000)評估為高落石風險

路段。此路段為向源侵蝕劇烈之區域，地層受擠壓而發生褶皺，因此邊坡災害重複發生。艾利颱風造成 126k+600~700 路基流失（圖 E-43），海棠颱風 126k+500~600 處路基流失，126k+600~700 上邊坡處擋土牆傾斜 。海棠颱風造成 126k+500~600 路基流失擬以地錨擋土牆、三層石籠以及下邊坡植生加以整治。路基流失破壞機制為邊坡殘餘表土、崩積層以及風化破碎岩屑以平面至圓弧型滑移。石籠基礎仍受向源侵蝕作用影響，巡檢時應留意石籠下方基礎以及邊坡坡趾沖刷情況。

圖 E-43　126k+500~127k+440 為發生多次發生地基流失

E.4.2 監測基準

E.4.2.1 臺 21 線 106k+600　900

本路段之監測，根據監測目的可分為兩方面：(1)確認破壞機制，以驗證地錨擋土牆設計之有效性以及確認設計條件是否恰當（如地錨長度）；(2)施工以及長期管理維護階段之安全預警。巡檢時，重點在於此一路段之邊坡坡腳受河岸侵蝕影響情況，以及路面之張力裂縫發展情形，上述巡檢所得之資訊應加以紀錄，並列於邊坡管理系統中。配合 8 公尺高之地錨擋土牆，可考慮設置地錨荷重計，以了解固定端位於破碎岩盤中之預力損失情況；另外，路面可考慮設置傾斜觀測管，以了解可能滑動面深度、確認地錨長度足夠以及作為邊坡位移情況之監控。至於坡腳護岸工，若為剛性混凝土擋土牆，則可考慮設置傾斜

盤。修復完成初期，可考慮以人工手動監測定期紀錄（約 1　3 個月紀錄一次，暴雨及地震過後觀測加密）。此一路段可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意路基狀況，若監測結果發現有不穩定之現象與趨勢時，則應進一步考慮設置事發型預警系統。

E.4.2.2 臺 21 線 107k+100　250

本路段之監測，根據監測目的可分為兩方面：(1)確認破壞機制，以驗證地錨擋土牆設計之有效性以及確認設計條件是否恰當（如地錨長度）；(2)施工以及長期管理維護階段之安全預警。巡檢時，重點在於此一路段之邊坡坡腳受河岸侵蝕影響情況，以及路面之張力裂縫發展情形，上述巡檢所得之資訊應加以紀錄，並列於邊坡管理系統中。配合 8 公尺高之地錨擋土牆，如同前一路段可考慮設置：(1)地錨荷重計，以了解固定端位於破碎岩盤中之預力損失情況；(2)坡趾加勁擋土牆後以及路基之傾斜觀測管，以了解可能滑動面深度、確認地錨長度是否足夠以及作為邊坡位移情況之監控。修復完成初期，可考慮以人工手動監測定期紀錄（約 1　3 個月紀錄一次，暴雨及地震過後觀測加密）。坡腳之傾斜觀測管管口需特別加以保護。此一路段可考慮設置警告標誌提醒用路人於通過前先留意路基狀況，若監測結果發現有不穩定之現象與趨勢時，則應進一步考慮設置自動化監測系統。

E.4.2.3 新興橋

此處之監測可考慮於南側橋臺設置自計式傾斜計，並考慮設置事發型預警系統。

E.4.2.4 玉泉橋

本路段之監測，可挑選適當之位置，設置鋼索檢知器或其他偵測土石移動現象之感測器，並考慮設置事發型預警系統。鋼索檢知器之位置選定，應距離橋面至少 100 公尺，以土石流流速 10m/sec 計，反應時間為 10sec，遮斷器位置距往同富側橋臺 20 公尺，距往神木側橋臺 10 公尺，至於煞車距離以 30 公尺計，警告燈示應距遮斷器 30 公尺。至於鋼索檢知器之位置選定，應距離橋面至少 100 公尺，遮斷器位置

距往同富側橋臺 20 公尺，距往神木側橋臺 10 公尺，警告燈示應距遮斷器 30 公尺（詳圖 E-44）。

圖 E-44　玉泉橋鋼索檢知器建議位置

E.4.2.5 臺 21 線 113k+500

適合監測浮石移動之感測器包括鋼索檢知器、傾斜計、伸張計、裂縫計、位移旋轉視覺放大器以及聲射感應器 ，此一浮石建議於裂縫處先裝設電子式裂縫計（自計式）以位移旋轉視覺放大器，若發現確有位移明顯趨勢，則應進一步考慮設置事發型預警系統，如鋼索檢知器，一旦發生鋼索檢知器斷裂，即可啟動事發型監測預警系統。

E.4.2.6 頭坑橋

挑選適當之位置，設置鋼索檢知器或其他偵測土石移動現象之感測器，並考慮設置事發型預警系統。鋼索檢知器位置選定，應距離橋面至少 100 公尺，以土石流流速 10m/sec 計，反應時間為 10sec，遮斷器位置距橋臺 20 公尺（此一距離應視土石流影響範圍酌與調整），至於煞車距離以 30 公尺計，警告燈示應距遮斷器 30 公尺。

E.4.2.7 臺 21 線 126k+500~127k+440

考慮設置傾斜觀測管，注意擋土牆傾斜情況之發展，邊坡滑動速度快速，監測建議以自動記錄為主，感應器裝設位置於目前兩處殘坡

見光線以 60°往下延伸處。

E.4.3 落石預警基準

國立交通大學(2000)結合雨量因子（累積雨量、日降雨量）與邊坡危險度評分跟落石災害之間關係，利用 1987　1997 年間臺 21 線 56 個造成落石災害之降雨事件作分析，針對研究區域內，將在某降雨情況下，發生落石的邊坡中，危險評估總分最小者 Rmin，對應不同的雨量因子做觀察。根據雙變數氣象因子與 Rmin 迴歸分析，最後得到最佳組合關係（見圖 E-45）：

$$Rmin = 159.41 - 9.23077 \times \ln(Cp) - 7.6923 \times \ln(Ir) \quad [E\text{-}1]$$

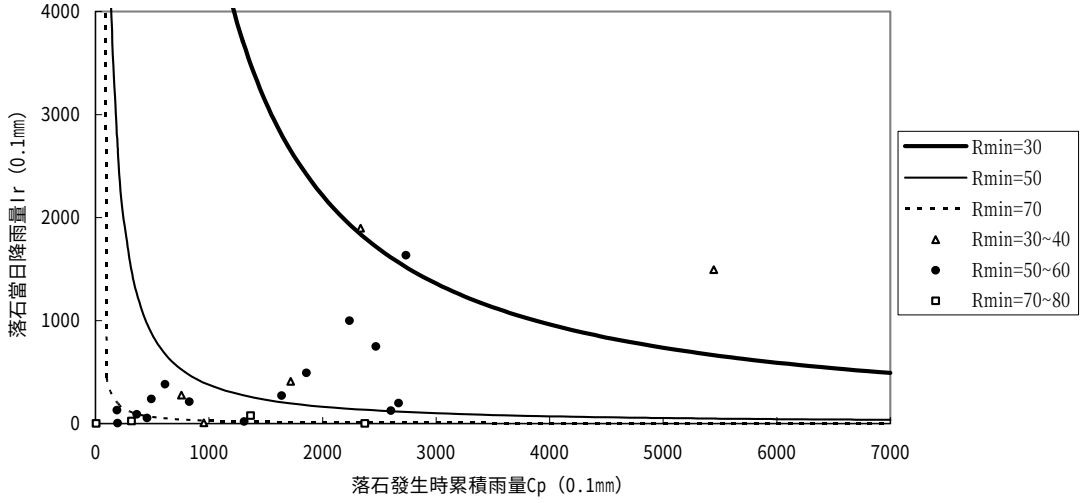


圖 E-45　落石發生時累積雨量、當日降雨量與 Rmin 關係圖

根據圖 E-45，每個不同邊坡會對應不同的臨界破壞線（式 E-1），當邊坡危險評估總分越小時（即代表岩體品質越佳），其所能承受的雨量衝擊能力會更強。由圖 E-46 的關係，可預測不同降雨情況下，某一邊坡發生落石的可能性。當某降雨情況（Cp*，Ir*）時，首先算出此情況臨界最小危險評估總分 $Rmin = 159.41 - 9.23077 \times \ln(Cp^*) - 7.6923 \times \ln(Ir^*)$，當所要預測的邊坡危險評估總分 R≧Rmin 時，表示危險，代表該邊坡在此降雨情況下會產生破壞而發生落石；若當 R＜Rmin 時，則為安全（見圖 E-46）。雖然 R＜Rmin 時，落在安全區域，但也有可能發生落石，只是機率比較小而已，為了顯示此情況發生落

石的可能性高低，國立交通大學(2000)定義一危險距離 S（見圖 E-47），當 S 越大時，表示越遠離臨界破壞線，則落石發生可能性越低。此處 S 為降雨情況點（Cp*, Ir*）到臨界破壞線 R = Rmin = 159.41－9.23077 ×ln(Cp)－7.6923 ×ln(Ir)的距離。根據降雨因子評分，可考慮暫以 S>30mm 為注意、S≦30mm 為警告、R≧Rmin 為危險。

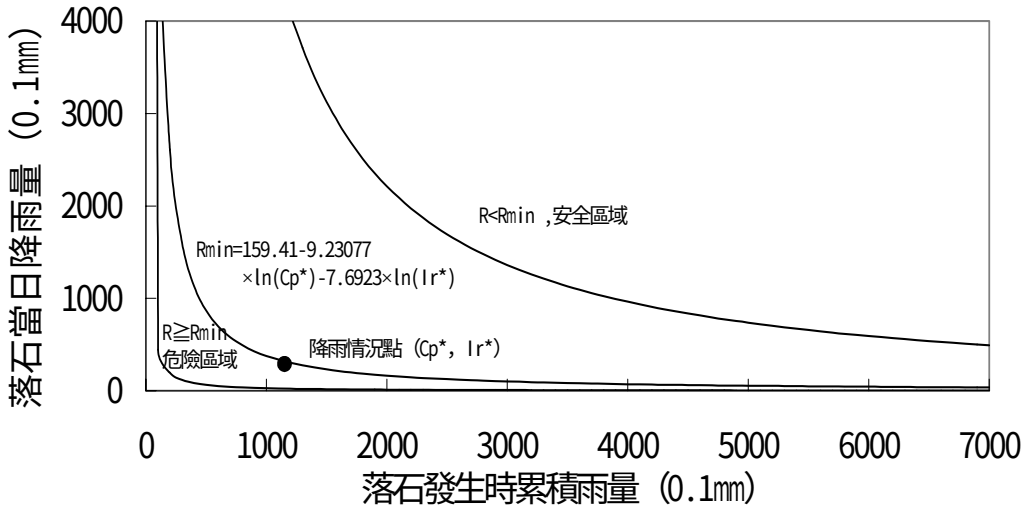


圖 E-46　不同危險評估總分 R，降雨情況落石預測

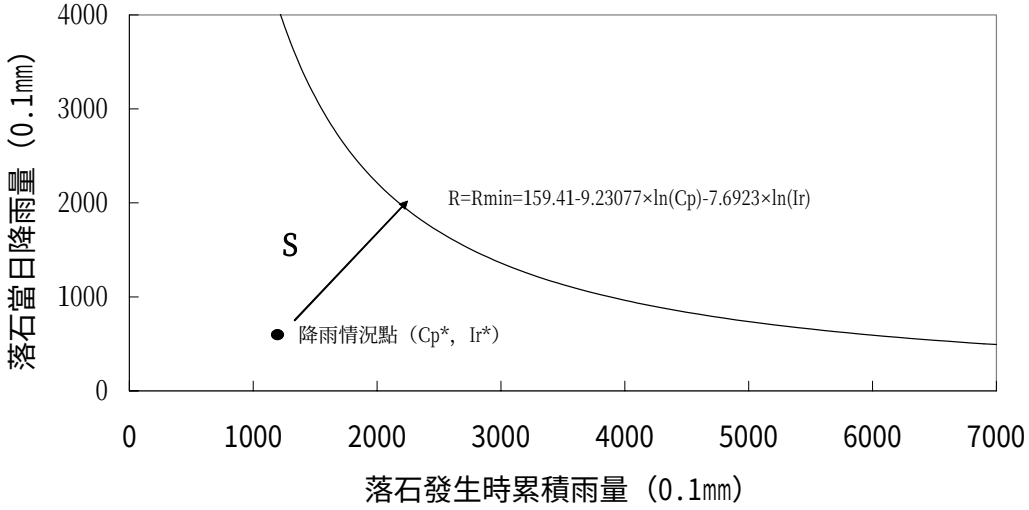


圖 E-47　降雨情況下，落石發生危險距離

E.4.4 土石流預警基準

土石流預警以新興橋為例，預警基準可分三階段。第一階段警示：一獨立雨場的定義為前 24 小時內累積降雨量達 10mm 之時間點，稱為一雨場之降雨開始時間，因此設定當降雨強度超過 10mm/24hr 時，由信號回傳機傳回一訊號做為第一階段之警示，表示研究區域正有一獨立雨場發生，讓土石流防災監測中心人員能有所警覺，並持續監控此雨場是否引發土石流。第二階段警示：以 25%之機率線作為第二階段之警示基準（如圖 E-48 以新興橋為例），其意義為當第一階段之警示回傳後，若降雨量持續增加，達到第二階段之臨界基準時，即發出第二階段之警示，同時自動回傳系統可將警示資訊傳回，提供有關單位參考並因應，如隨即亮起黃色警告燈誌並告知來往車輛注意安全，並通知當地居民及相關之行政機關適時的進行交通管制措施。第三階段警示：以 50%機率線做為第三階段之警示門檻值（如圖 E-48 示）。若雨量持續累積，達到第三階段之預警值時，除傳回相關之訊號至監測中心外，權責機關亦可以紅色燈誌警示，警告車輛人員禁止通行、當地居民隨時警戒或進行避難。

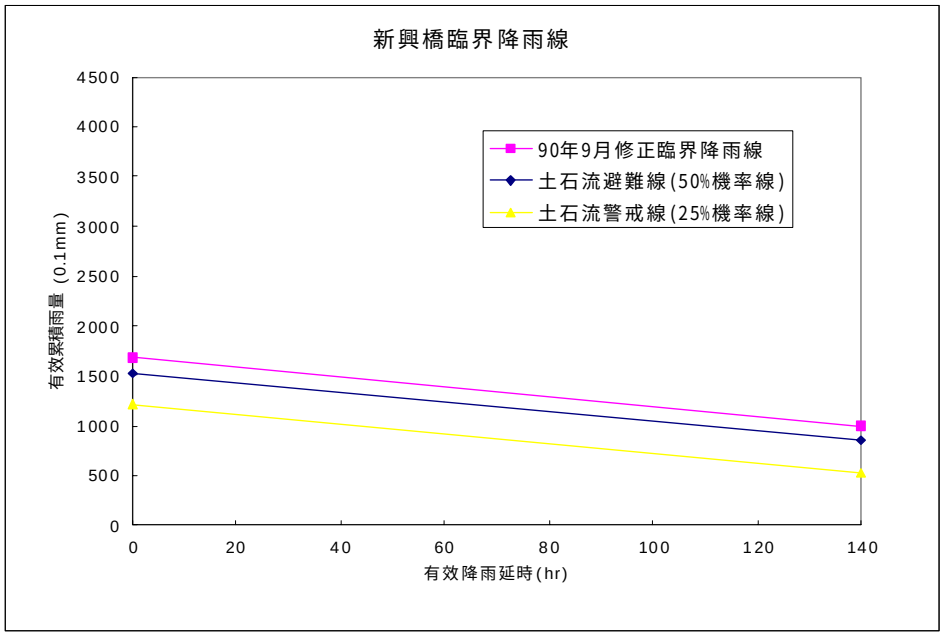


圖 E-48　新興橋土石流各階段預警基準（國立臺灣大學，2001）

附錄 F

道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊

道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊

目　錄

第一章　前言 F-3
第二章　搶通作業 F-4
2.1 作業登錄 F-4
2.1.1 基本資料調閱 F-4
2.1.2 現場勘查（工址初步調查）與災況登錄 F-8
2.2 緊急處置作業 F-9
2.2.1 工程處置 F-9
2.2.2 非工程處置 F-9
2.3 簡易安全監測執行與分析 F-9
2.3.1 簡易監測儀器安裝 F-9
2.3.2 目視檢查表 F-10
2.4 工作成果回報登錄 F-13
第三章　搶修作業 F-**14**
3.1 作業登錄 F-14
3.1.1 資料調閱 F-14
3.1.2 工址補充調查 F-18
3.2 搶通作業成果評估 F-19
3.3 搶修工程執行 F-19
3.4 復建需求分析 F-20
3.4.1 工址調查 F-20
3.4.2 初期安全監測 F-20
3.5 工作成果回報登錄 F-22
第四章　復建作業 F-23
4.1 作業登錄 F-23

4.2 復建工程 F-28
4.2.1 工程設計 F-28
4.2.2 工程執行 F-30
4.3 長期安全監測執行與分析 F-32
4.4 定期巡檢機制 F-33
4.5 工作成果回報登錄 F-34

第一章　前言

道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治之流程規劃主要可以分為通報、搶通、搶修、復建與改建等五大階段（詳圖 1-1 所示）。

針對此防治操作手冊之內容撰寫規劃，因考量系統化防治對策（詳見本案之成果報告）已針對災前、中、後期進行概念性之詳述，同時，為使研究成果可確實提供現地工程人員於災害緊急搶修與復建工程執行時之實質參考依據，故本防治操作手冊之架構則主要針對災中與災後階段涵蓋之「搶通作業」、「搶修作業」與「復建作業」等三階段進行著墨。

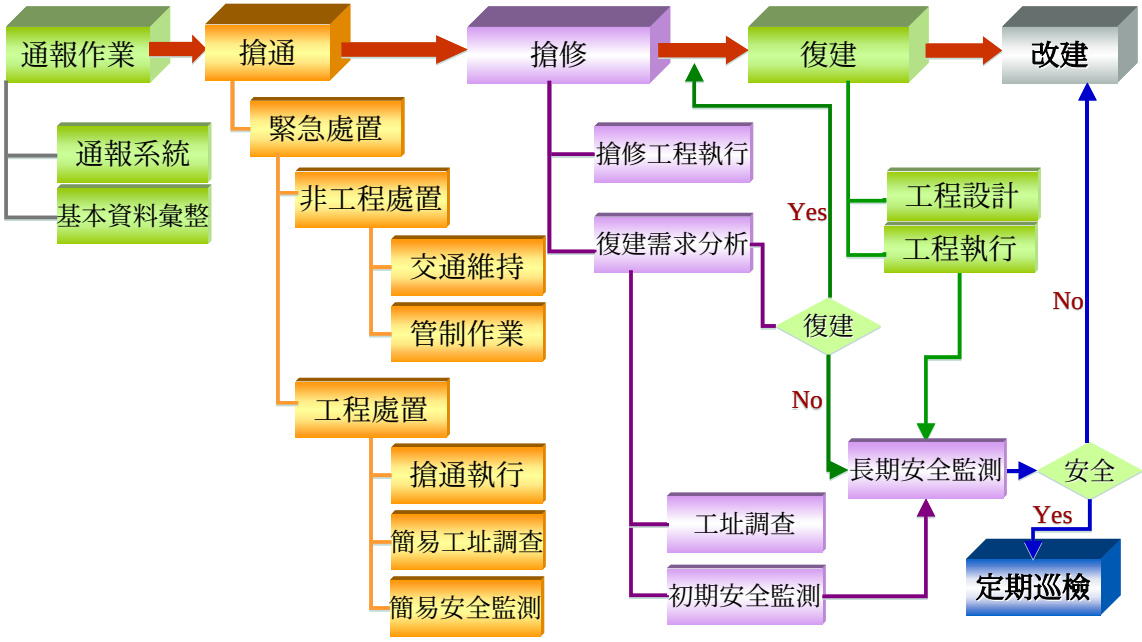


圖 1-1　道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治規劃流程圖

第二章　搶通作業

搶通作業階段之首要目標即是以道路為保護考量對象，在最短的時間內恢復道路通車之功能，針對此階段之整治執行重點，主要可分為作業登錄、緊急處置作業、簡易安全監測，以及工程成果回報等四階段（詳圖 2-1 所示），相關內容分述如後。

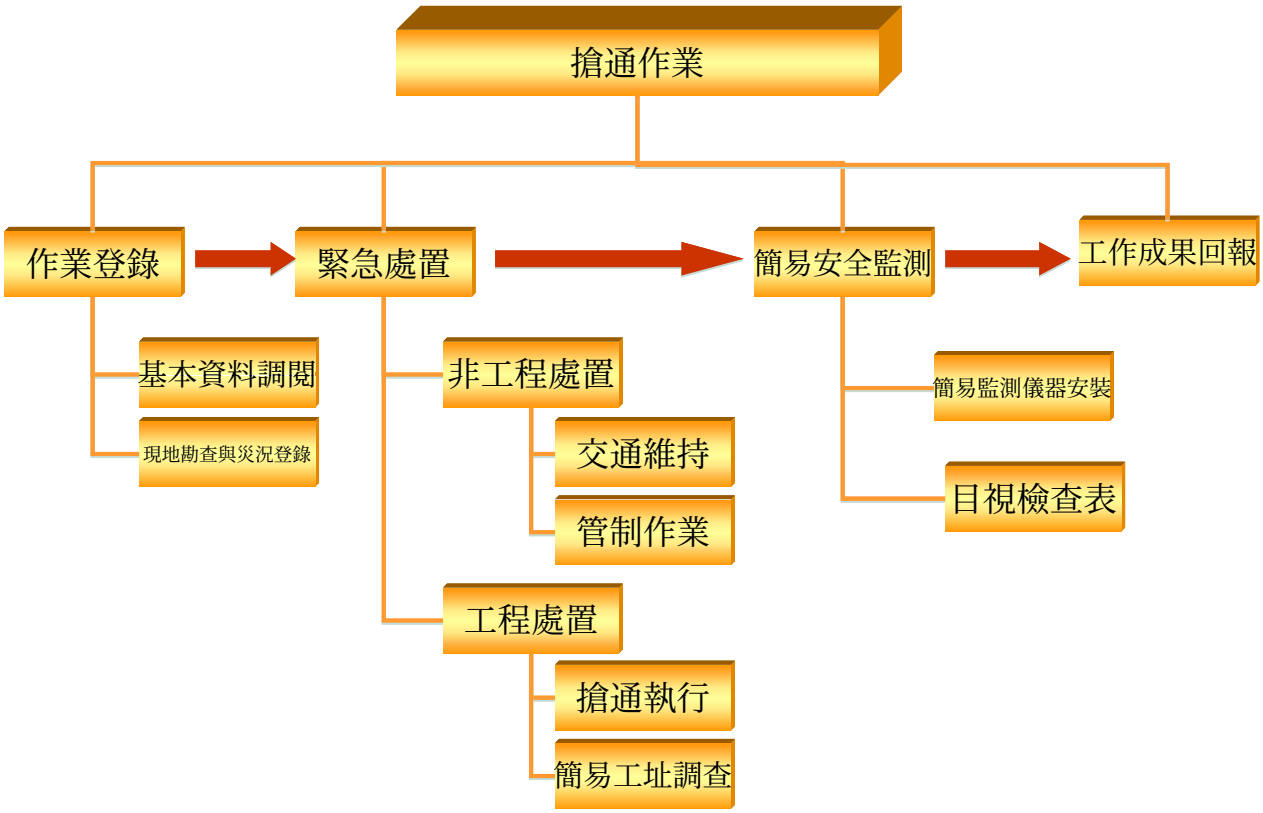


圖 2-1　搶通作業階段規劃流程圖

2.1 作業登錄

作業登錄包刮基本資料調閱與現場勘查（工址初步調查）與災況登錄。

2.1.1 基本資料調閱

透過開發之道路邊坡維護管理系統中之自然環境與工程資料庫，可

進行災害路段基本資料調閱作業，用以充分掌握現地相關之歷史資料。基本資料調閱操作流程如下：

1. 系統登入

進入系統即出現登入畫面如圖 2-2，輸入帳號及密碼後點選登入。

圖 2-2　系統登入畫面

2. 擬調閱資料庫之選取

登入系統即出現登入畫面如圖 2-3，於畫面中之表單點選擬調閱之資料庫，如：自然環境或工程，即出現圖 2-4 之畫面。

圖 2-3　資料庫之選取畫面

3. 自然環境資料庫查詢例

點選自然環境進入資料庫，即出現自然環境資料查詢表單如圖 2-4，於表單中點選需要之資料，如點取：邊坡編碼 S0003007 之資料即出現圖 2-5 之該筆資料顯示之第一層畫面。

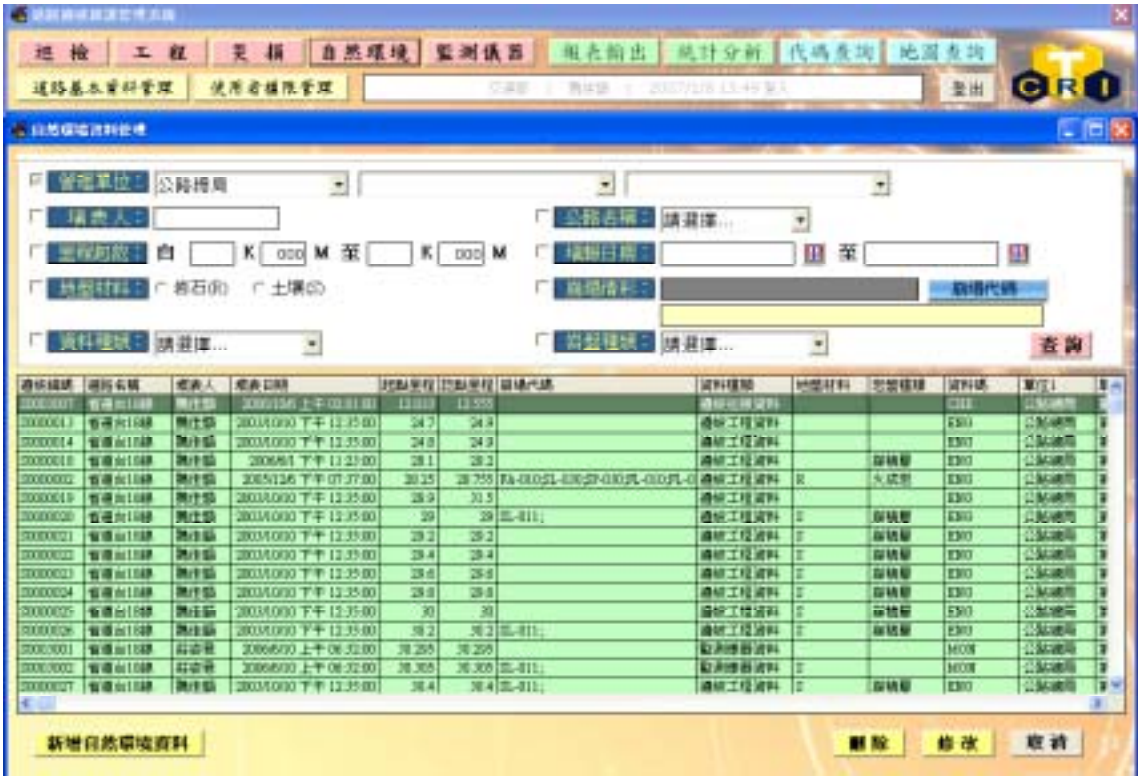


圖 2-4　自然環境資料查詢表單畫面

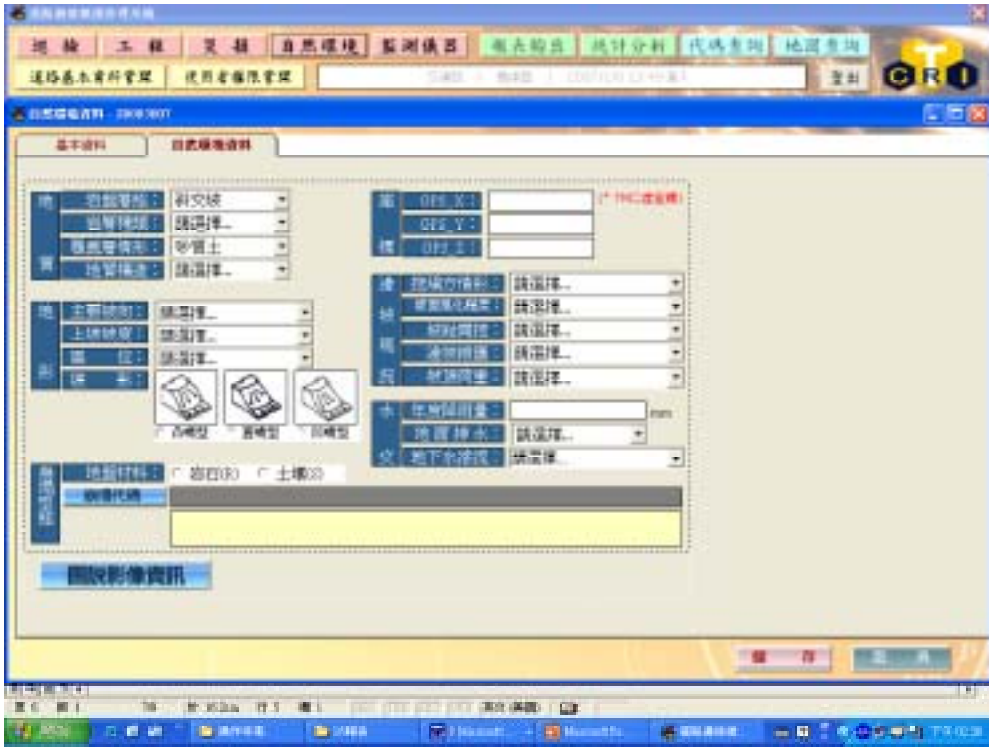


圖 2-5　每筆自然環境資料顯示第一層畫面

4. 工程資料庫查詢例

點選工程進入資料庫，即出現工程資料查詢表單如圖 2-6，於表單中點選需要之資料，如點取：邊坡編碼 S0000014 之資料即出現圖 2-7 該筆資料顯示之第一層畫面。

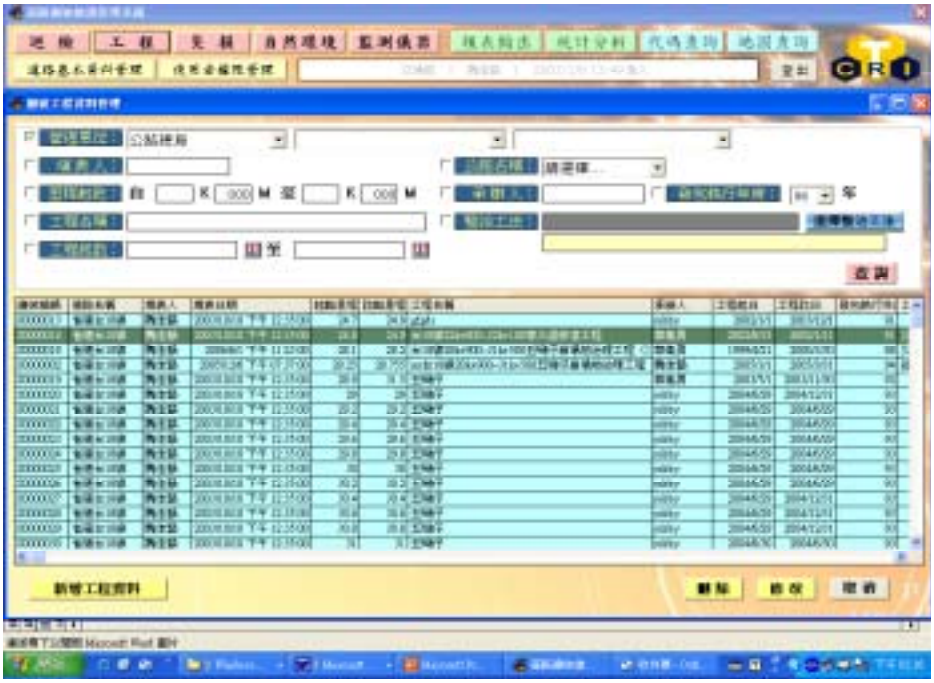


圖 2-6　工程資料查詢表單畫面

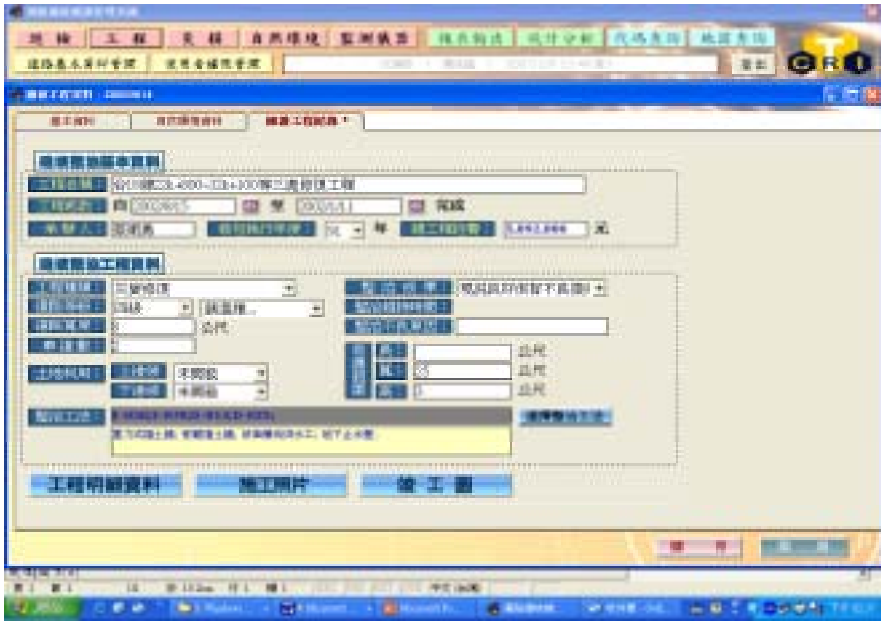


圖 2-7　每筆工程資料顯示第一層畫面

2.1.2 現場勘查（工址初步調查）與災況登錄

為確實掌控現地災況，基層巡查人員應於第一時間內前往災害現場進行勘查，透過勘查作業來瞭解工址之實際災況，並確實登錄災況資料。登錄作業如圖 2-8 與圖 2-9。

圖 2-8　災損資料查詢及新增災損資料登錄表單畫面

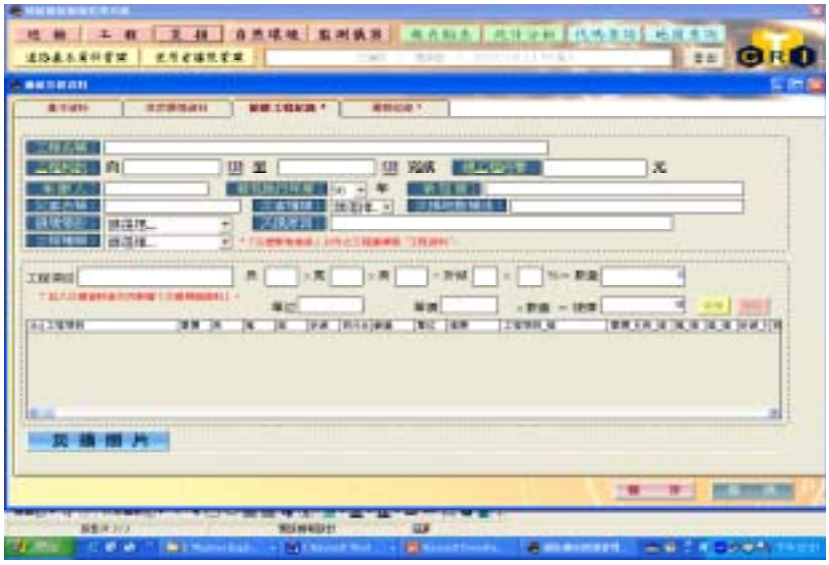


圖 2-9　每筆新增災損資料登錄第一層畫面

2.2 緊急處置作業

2.2.1 工程處置

礙於搶通時間之迫切性，沒有充足時間分析發生崩塌之致災因子，故建議現地採以快速、省時且簡易之工法，進行崩塌坡面穩定作業。

相關建議之搶通工程處置包刮：1.打設鋼軌樁 2.落石清運、危木移除 3.裂縫填補、人工整坡、坡面排水設施等。至於簡易工址調查作業，則建議參考交通部公路總局之災害搶通報告表 (詳表 2-1)，進行調查。

表 2-1　公路搶通災害報告表

災害程度：□重大　□中度　□輕微			填報時間：　年　月　日　時　分				
災害原因：□風災　□震災　□水災　□其他							
路線樁號	災害地點（包括縣、市、鄉、鎮）	受損狀況	阻斷時間	預計搶通時間	實際搶通時間	損失金額（千元）	復建及搶修概估經費（千元）

2.2.2 非工程處置

至於非工程處置方面，建議之處置為：1. 於第一時間通報轄屬警察機關，協請派員前往災害現場維持交通。2. 設置警告標誌，提醒用路人注意。3. 協助進行疏導或封閉交通。

2.3 簡易安全監測執行與分析

2.3.1 簡易監測儀器安裝

為防止搶通作業之執行而引發其他災情發生，應隨時觀察邊坡穩定變化，針對此階段之監測作業，建議可採用簡易之監測儀器（如：人工記讀裂縫計、地表沉陷觀測點…），透過各項徵兆來掌控現況。

以地表沉陷觀測點為例，其安裝簡便，亦可利用水準儀或經緯儀等量測儀器加以測讀，其安裝示意可參考圖 2-10。

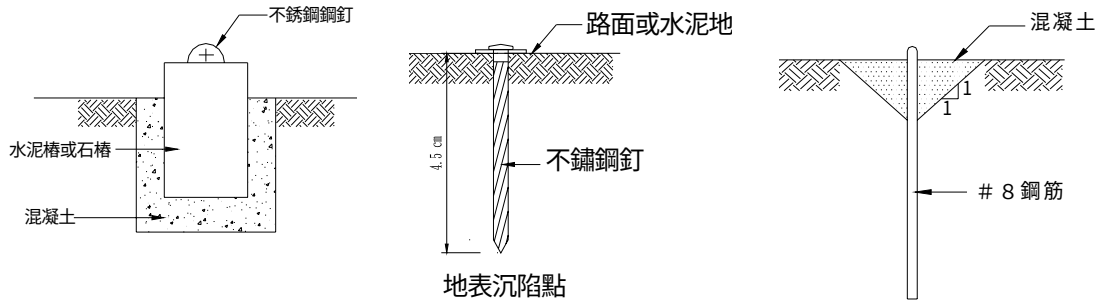


圖 2-10　地表沉陷簡易監測安裝參考例示意圖

2.3.2 目視檢查表

針對現地工程人員前往現場勘災時應紀錄之目視檢查表與內容，建議應包刮：基本資料(如圖 2-11)、災害狀況(如圖 2-12)、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、照片及說明等六項目視檢查表。目前此等檢查表尚於驗證與修正階段，將於日後重新更新建置於系統中。

圖 2-11　規劃中目視檢查基本資料表畫面

圖 2-12　規劃中災害狀況資料表畫面

圖 2-13　規劃中地形與地質及植被與土地利用狀況資料表畫面

圖 2-14　規劃中保全對象資料表畫面

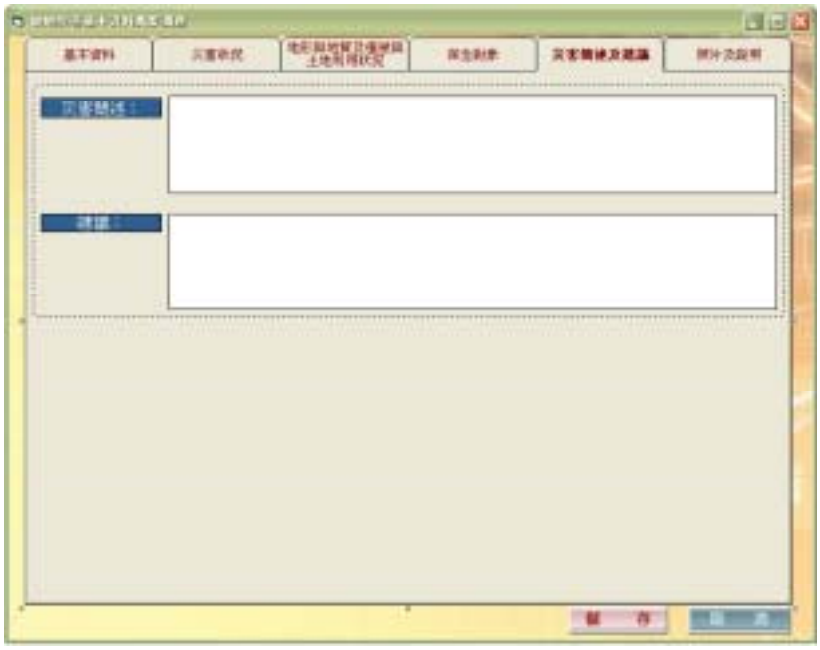


圖 2-15　規劃中災害簡述及建議資料表畫面

圖 2-16　規劃照片及說明資料表畫面

2.4 工作成果回報登錄

待搶通階段完成時，需進行此階段相關工作成果回報登錄，透過完整之災況記錄，以供後續搶修、復建作業之參考依據。

第三章　搶修作業

搶修作業階段之整治目標，主要是透過合宜之工程施作，達到防止災害擴大，發揮搶修工程之效能。此階段之執行重點，主要可分為作業登錄、搶通作業成果評估、搶修工程執行、復建需求分析、工作成果回報等五階段（詳見圖 3-1），相關細部內容分述如後。

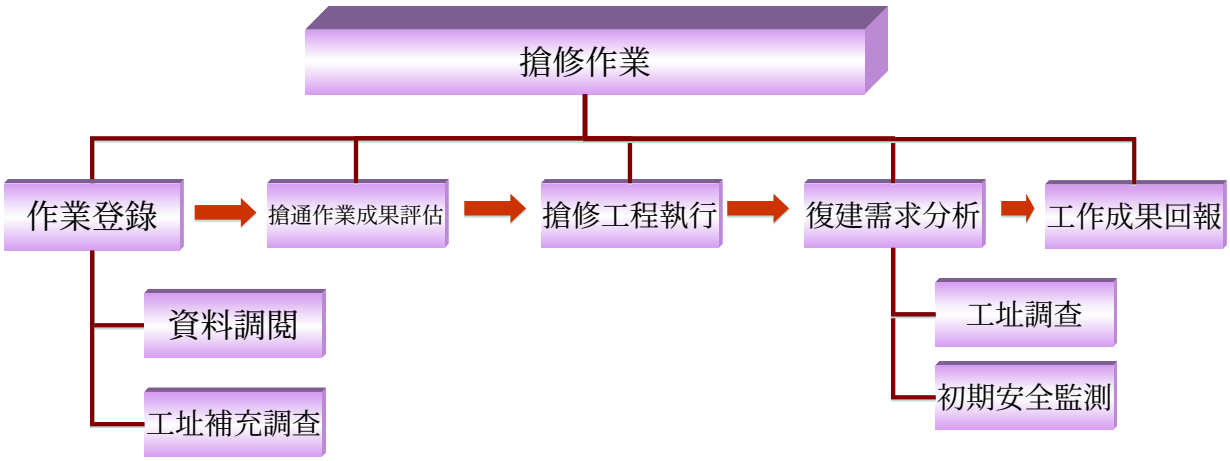


圖 3-1　搶修作業階段規劃流程圖

3.1 作業登錄

3.1.1 資料調閱與新增

透過道路邊坡維護管理系統中之自然環境與工程資料庫，可進行搶修作業路段之資料調閱或登錄作業，達到掌握、紀錄現地相關資料。操作流程如下：

1. 系統登入

進入系統即出現登入畫面如圖 3-2，輸入帳號及密碼後點選登入。

圖 3-2　系統登入畫面

2. 擬調閱資料庫之選取

登入系統即出現登入畫面如圖 3-3，於畫面中之表單點選擬調閱之資料庫，如：自然環境或工程，即出現圖 3-4 之畫面。

圖 3-3　資料庫之選取畫面

3. 自然環境資料庫查詢與新增例

點選自然環境進入資料庫，即出現自然環境資料查詢表單如圖 3-4，於表單中點選需要之資料，若點取邊坡編碼 S0003007 之資料即出現圖 3-5 之該筆既有資料顯示之第一層畫面，若點取新增自然環境資料即出現圖 3-6 之該筆擬新增自然環境資料之第一層建置畫面。

4. 工程資料庫查詢與新增例

點選工程進入資料庫，即出現工程資料查詢表單如圖 3-7，於表單中點選需要之資料，如點取：邊坡編碼 S0000014 之資料即出現圖 3-8 該筆既有資料顯示之第一層畫面。若點取新增工程資料即出現圖 3-9 每筆擬新增工程資料顯示第一層建置畫面。

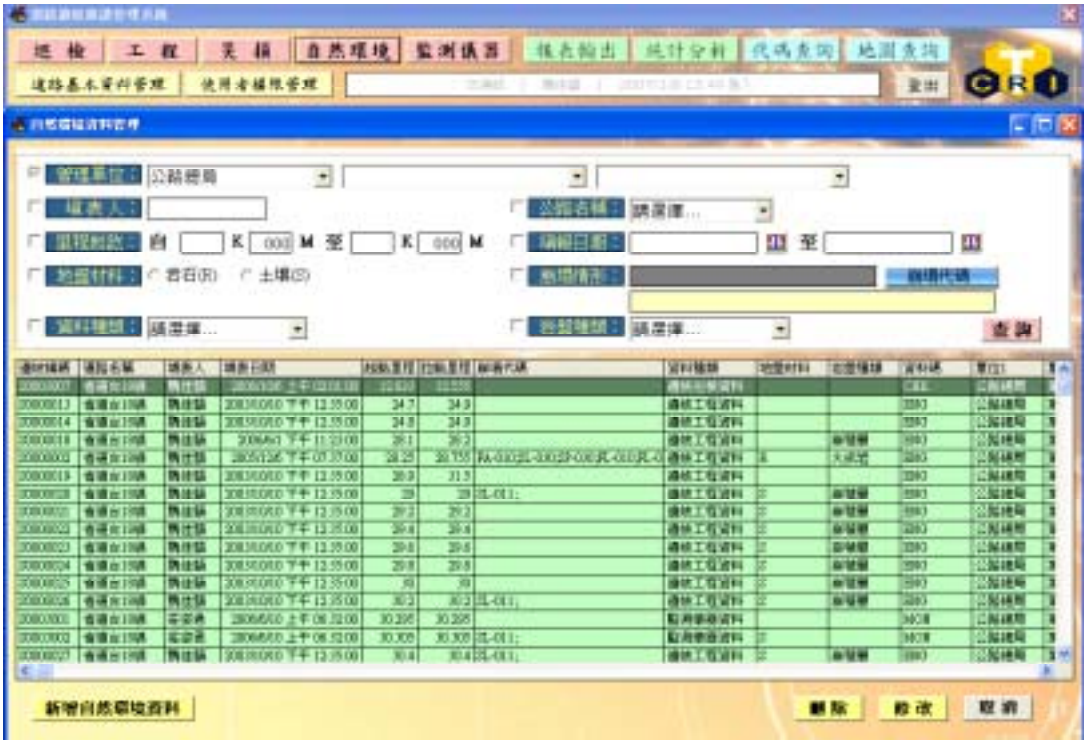


圖 3-4　自然環境資料查詢表單畫面

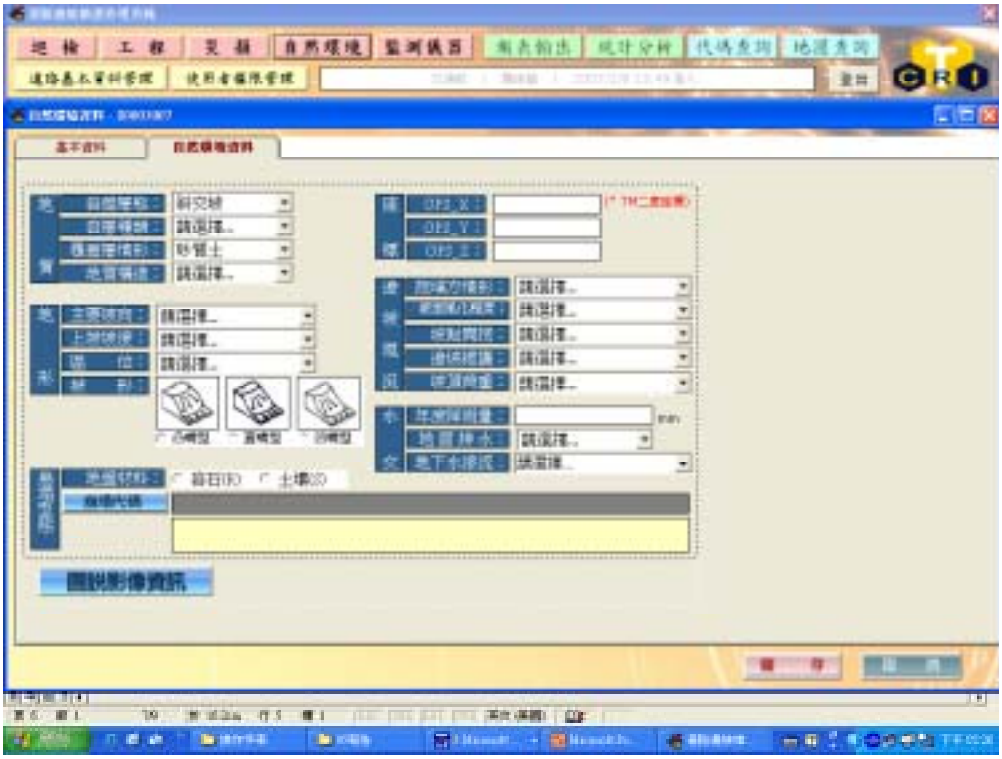


圖 3-5　每筆既有自然環境資料顯示第一層畫面

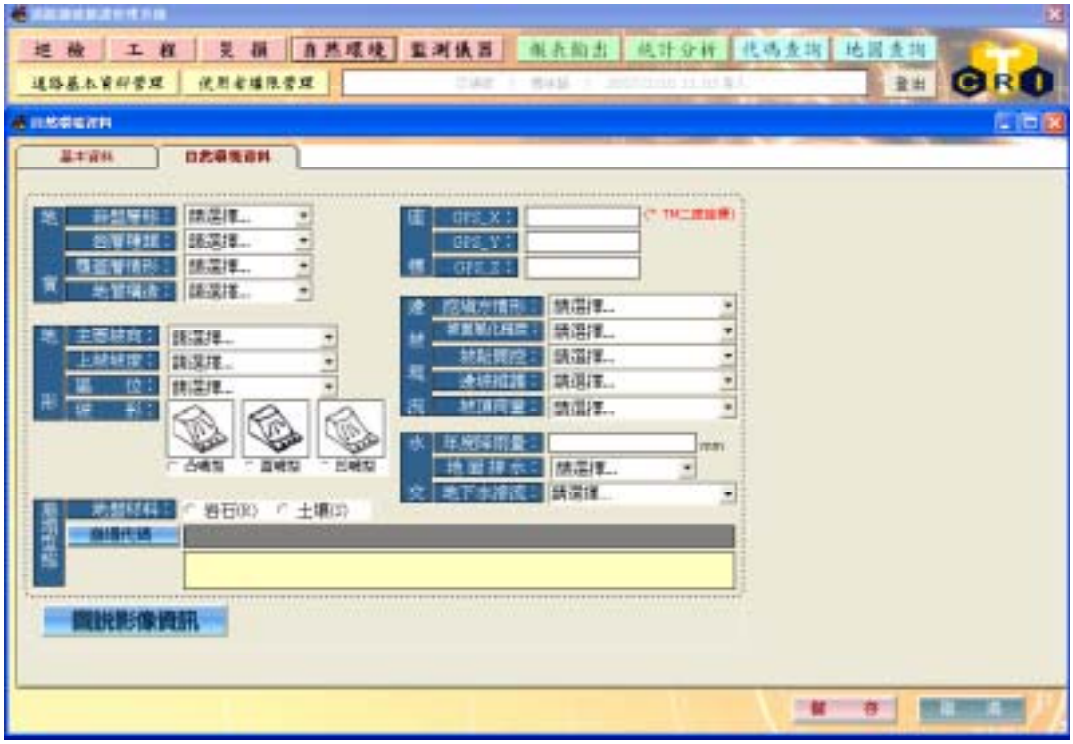


圖 3-6　每筆新增自然環境資料顯示第一層畫面

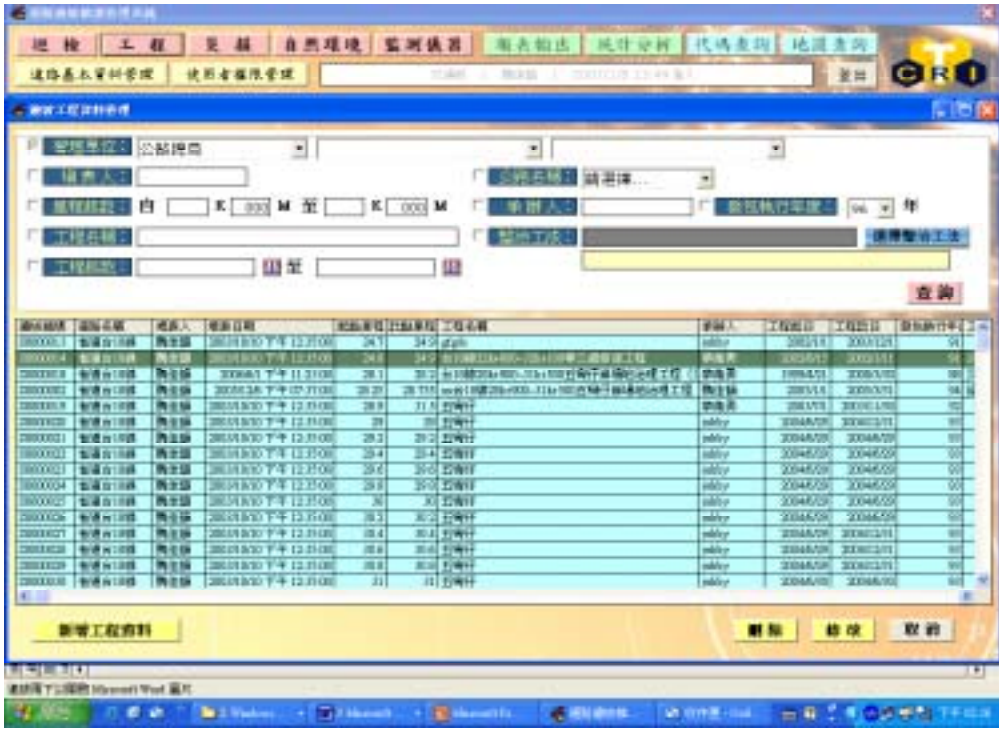


圖 3-7　工程資料查詢表單畫面

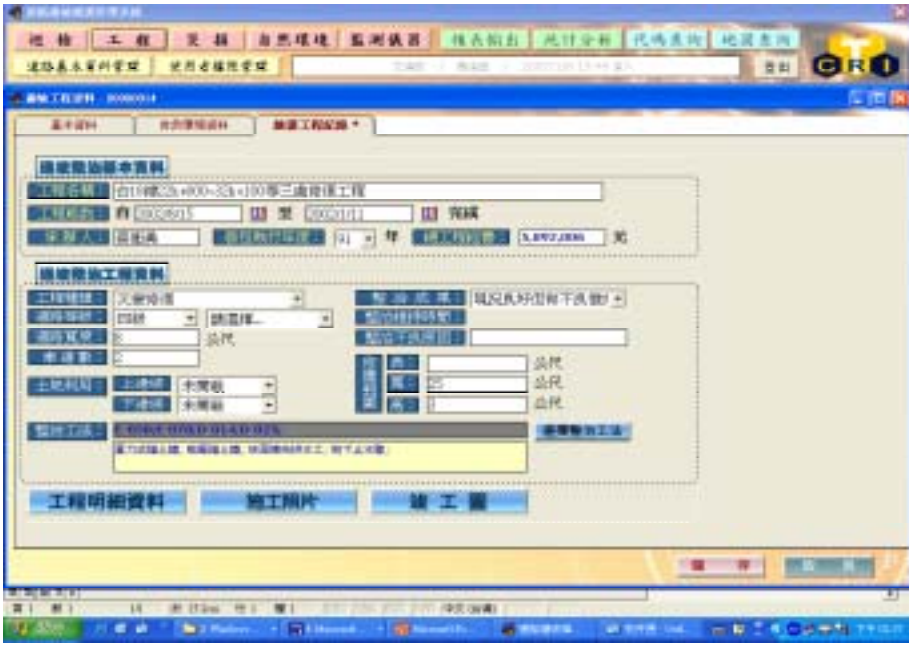


圖 3-8　每筆既有工程資料顯示第一層畫面

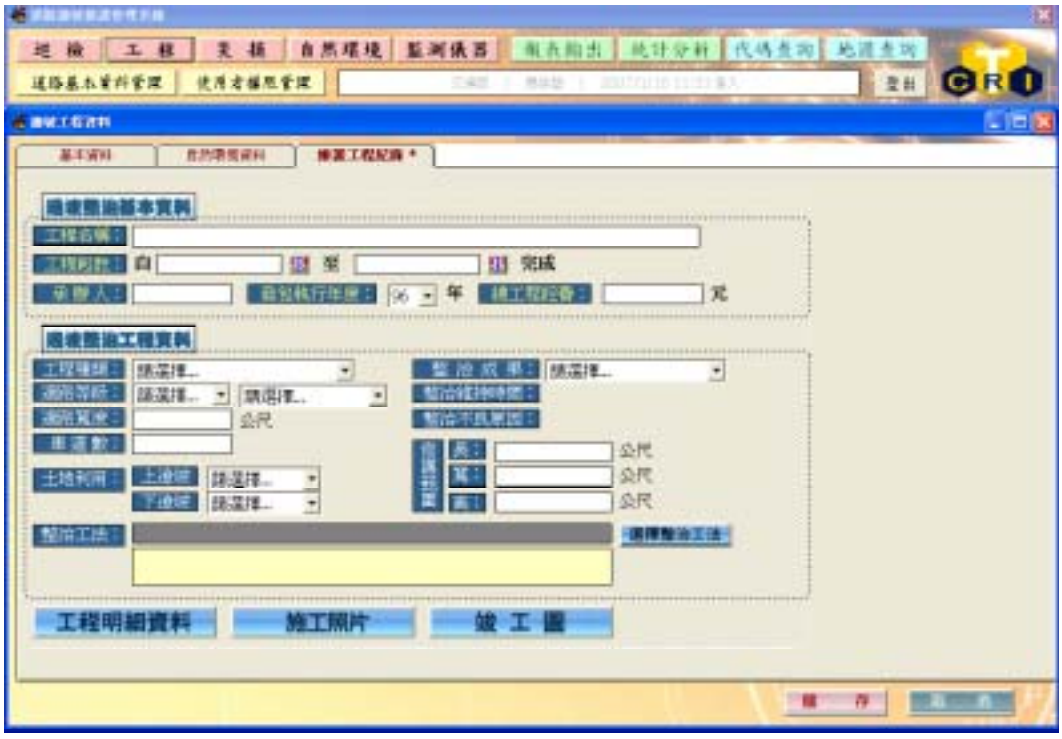


圖 3-9　每筆擬新增工程資料顯示第一層建置畫面

3.1.2 工址補充調查

為確實掌控現地狀況，基層巡查人員應於搶修作業之初期，前往現

場進行工址補充調查，並登錄現地實際狀況。

3.2 搶通作業成果評估

由於前階段搶通工程之執行，已恢復道路基本通車功能，但由於其施做期間時程緊迫，故應於搶修工程執行前，透過相關之記錄資料與現地狀況，評估其整治之穩定成效，以供作為後續搶修工程選定之參考依據。

3.3 搶修工程執行

至於搶修工程之執行，應考量維護道路長期穩定性與安全性，確實針對道路上、下邊坡與路基穩定狀況進行設計。除此之外，亦應確實將搶修工程之執行過程予以記錄，記錄程序如下：

點選災損進入資料庫，即出現災損資料查詢表單如圖 3-10，於表單中可直接點選需要之歷史災損資料，若點取新增災損資料即出現圖 3-11 之該筆擬新增自災損資料之第一層建置畫面。

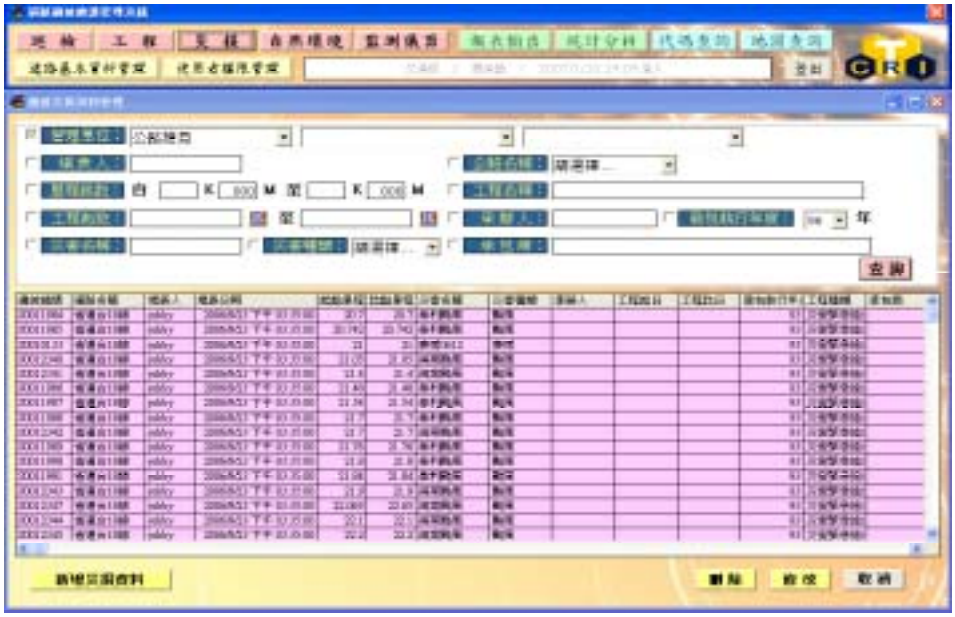


圖 3-10　災損資料查詢表單畫面

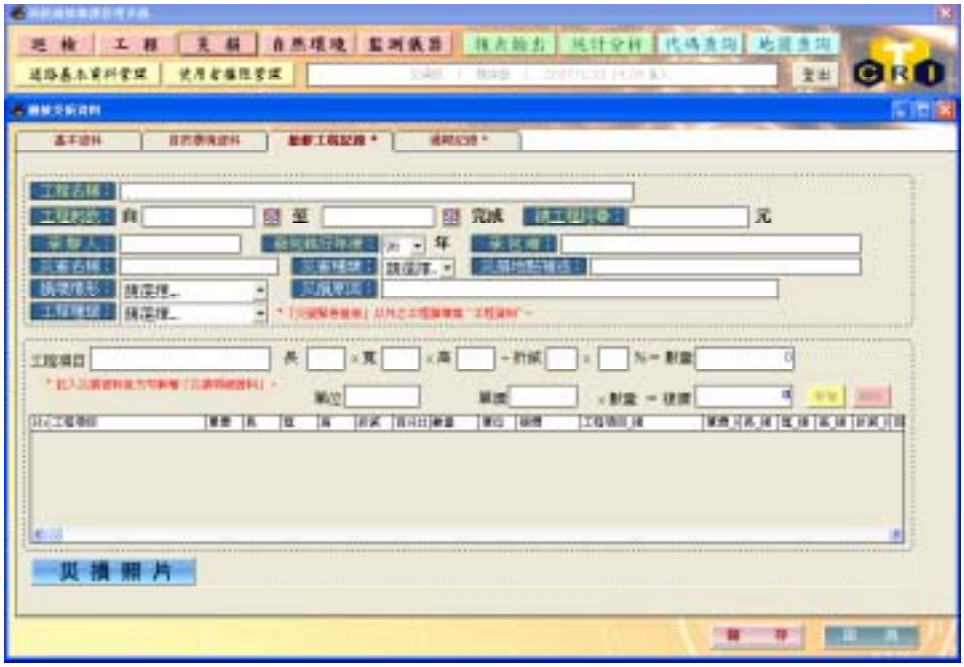


圖 3-11 每筆擬新增災損資料顯示第一層建置畫面

3.4 復建需求分析

3.4.1 工址調查

在一連串之搶通、搶修作業完成後，除相關之資料彙整登錄作業外，基層工程人員亦應透過工址調查作業，瞭解現地之穩定情形，並評估其進行復建工程之實際需求性。若需進行災後復建工程，其相關細節詳見本手冊之第四章內容；若無需進行相關之復建作業，則建議應搭配進行長期安全監測作業，其內容詳見 4.3 節。

3.4.2 初期安全監測

至於此階段監測作業之建議要領為：1.針對搶通階段設置之簡易監測設施進行持續量測作業。2.提升監測等級，增設手動或半自動之監測儀器，相關監測儀器建議，可參考監測儀器資料庫系統。3.確實記錄監測儀器裝設之相關資料。

於系統中搜尋參考與紀錄監測儀器資料方法如下：

1. 點選監測儀器進入資料庫查詢歷史使用案例資料。

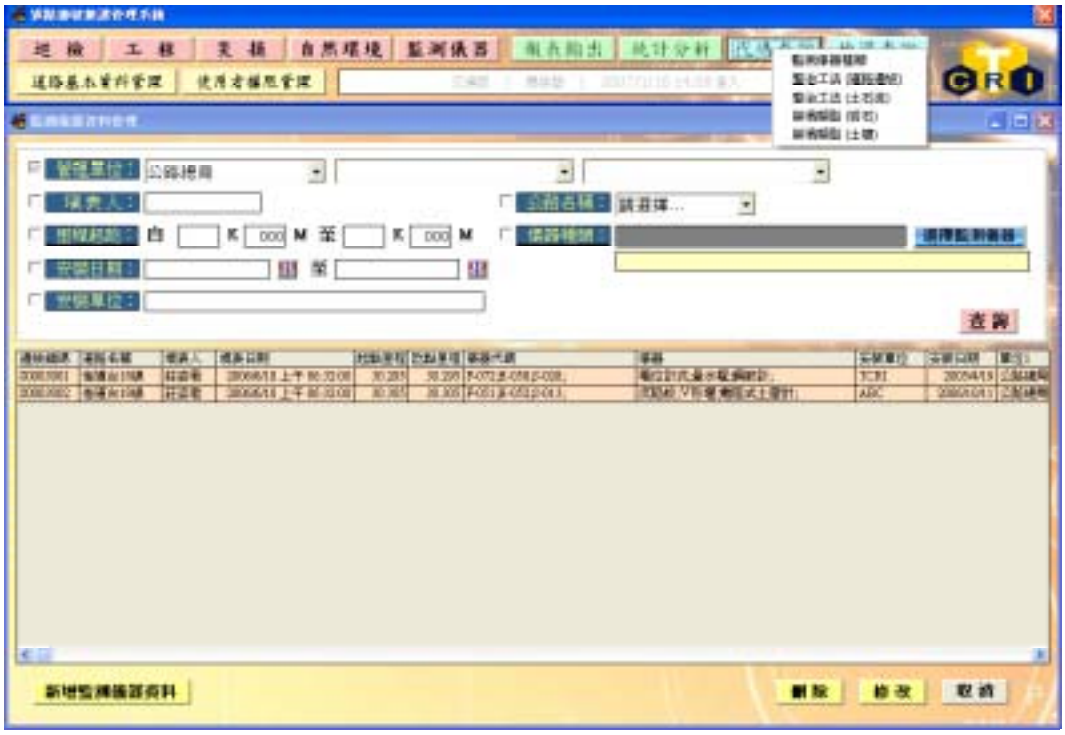


圖 3-12　監測儀器資料查詢表單畫面

2. 點選代碼查詢進入監測儀器分類資料庫選用適當之間測儀器。

圖 3-13　監測儀器分類資料查詢表單畫面

3. 點選歷史案例或新增監測儀器資料後出現之相關資料畫面

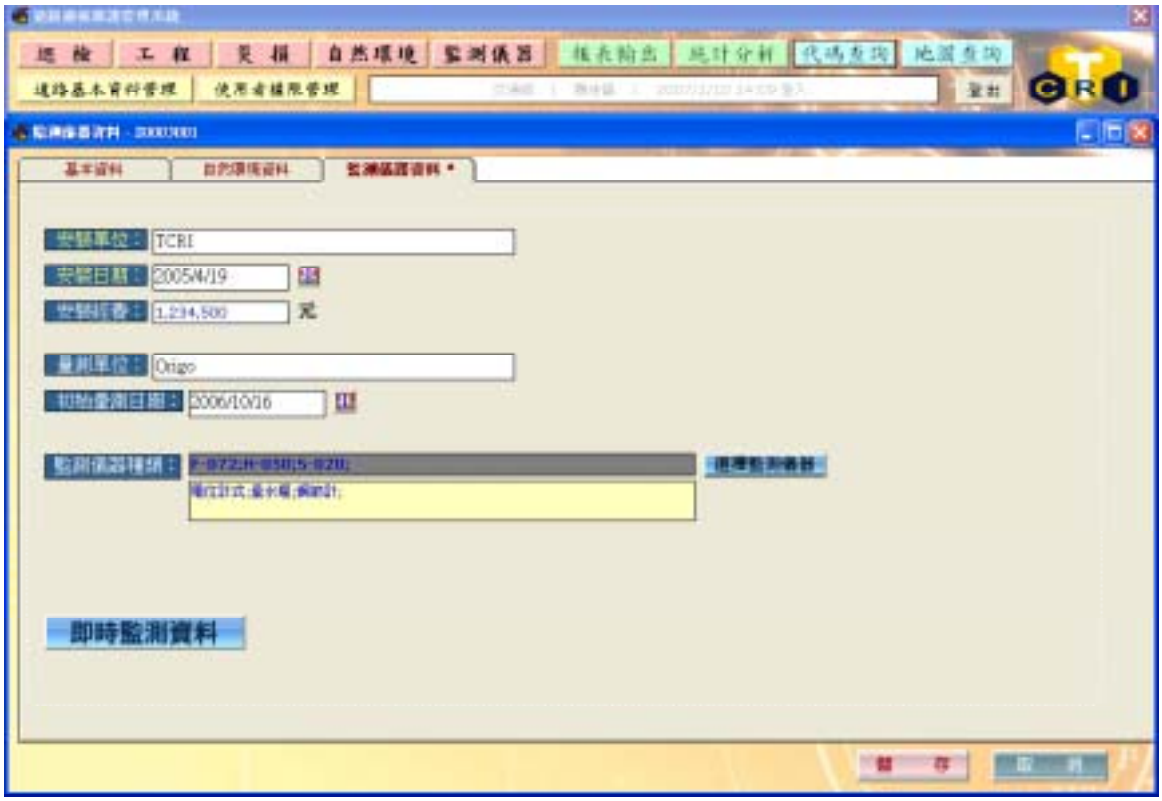


圖 3-14　新增或歷史監測儀器之相關資料畫面

3.5 工作成果回報登錄

待搶修階段完成時，需針對此階段進行之整治工程、監測等相關工作進行成果回報登錄作業，透過完整之災況記錄，以供後續復建作業之參考

第四章　復建作業

復建作業階段之整治目標，除達到邊坡穩定、防治災害擴大外，亦需恢復道路原有之通行功能。此階段之執行重點，主要可分為作業登錄、復建工程、長期安全監測執行與分析、定期巡查機制、工作成果回報等五階段（詳見圖 4-1），相關執行內容分述如後。

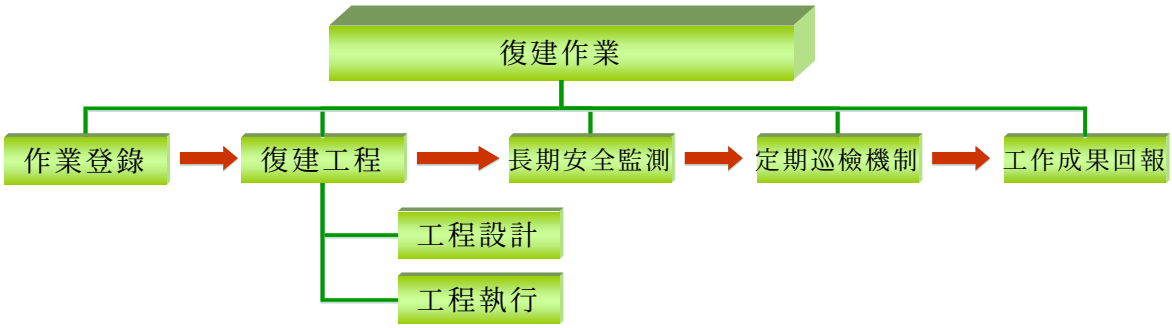


圖 4-1　搶修作業階段規劃流程圖

4.1 作業登錄

可透過開發之道路邊坡維護管理系統中之自然環境與工程資料庫，進行復建工程之資料登錄作業，以紀錄現地相關資料。操作流程如下：

1. 系統登入

系統登入如圖 4-2，方法程序如同搶修作業之登入。

圖 4-2　系統登入畫面

2. 擬調閱資料庫之選取

登入系統即出現登入畫面如圖 4-3，於畫面中之表單點選擬調閱之資料庫，如：自然環境或工程，即出現圖 4-4 之畫面。

圖 4-3　資料庫之選取畫面

3. 自然環境資料庫查詢與新增例

點選自然環境進入資料庫，即出現自然環境資料查詢表單如圖 4-4，於表單中點選需要之資料，若點取邊坡編碼 S0003007 之資料即出現圖 4-5 之該筆既有資料顯示之第一層畫面，若點取新增自然環境資料即出現圖 4-6 之該筆擬新增自然環境資料之第一層建置畫面。

4. 工程資料庫查詢與新增例

點選工程進入資料庫，即出現工程資料查詢表單如圖 4-7，於表單中點選需要之資料，如點取：邊坡編碼 S0000014 之資料即出現圖 4-8 該筆既有資料顯示之第一層畫面。若點取新增工程資料即出現圖 4-9 每筆擬新增工程資料顯示第一層建置畫面。

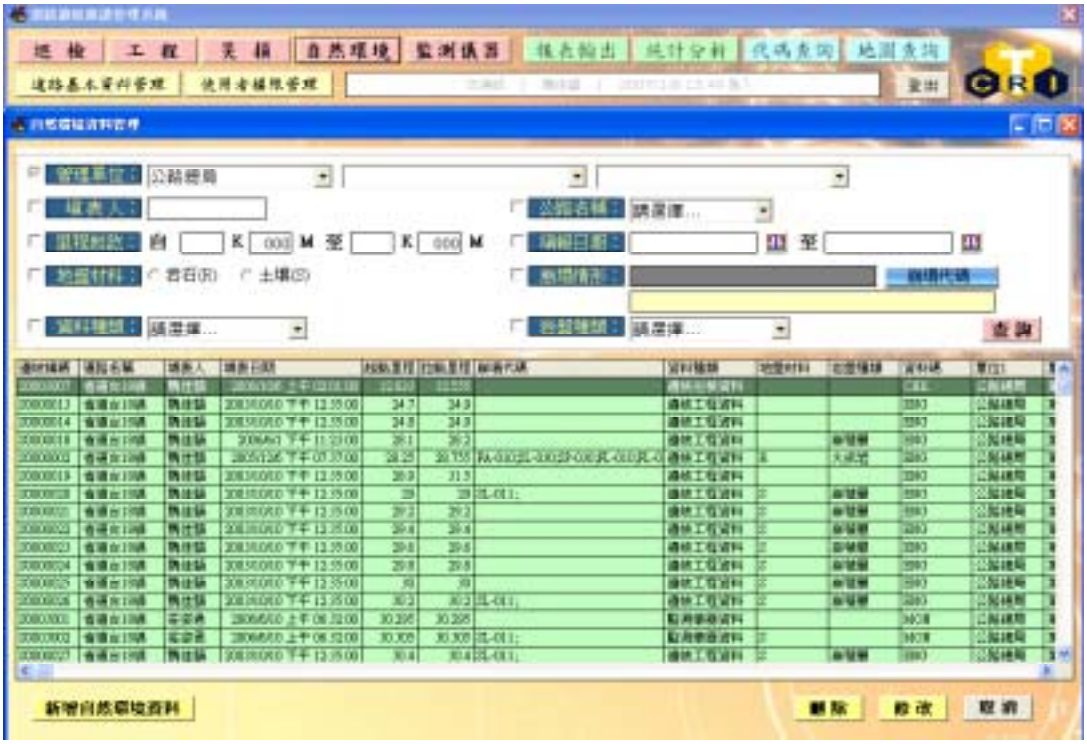


圖 4-4　自然環境資料查詢表單畫面

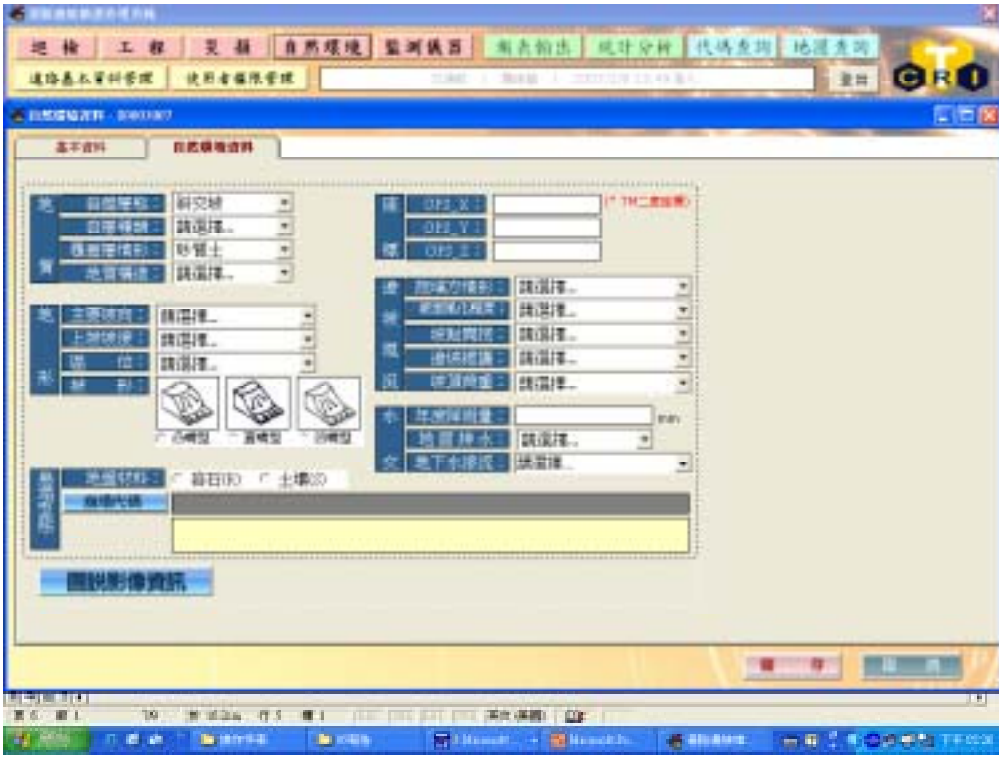


圖 4-5　每筆既有自然環境資料顯示第一層畫面

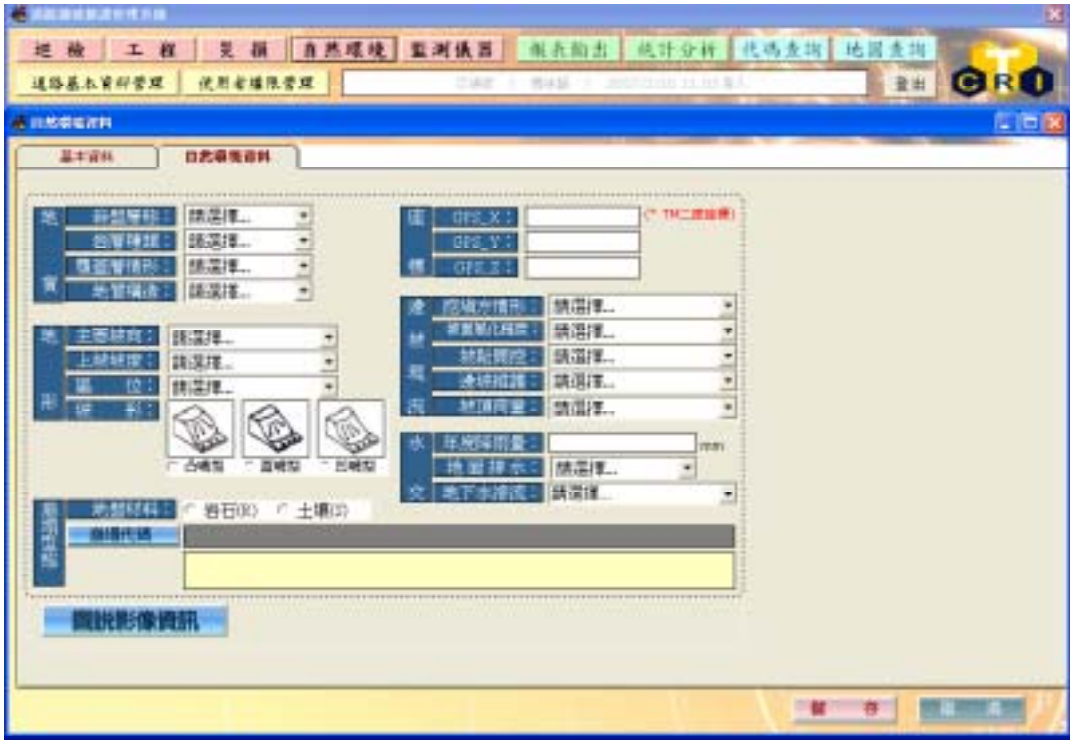


圖 4-6　每筆新增自然環境資料顯示第一層畫面

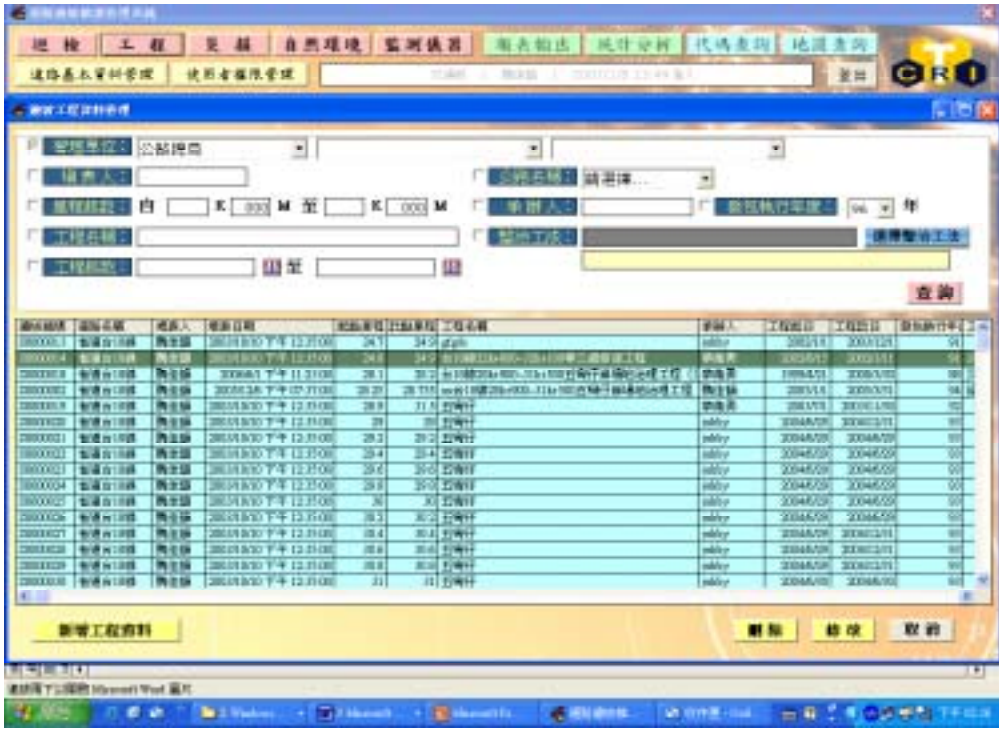


圖 4-7　工程資料查詢表單畫面

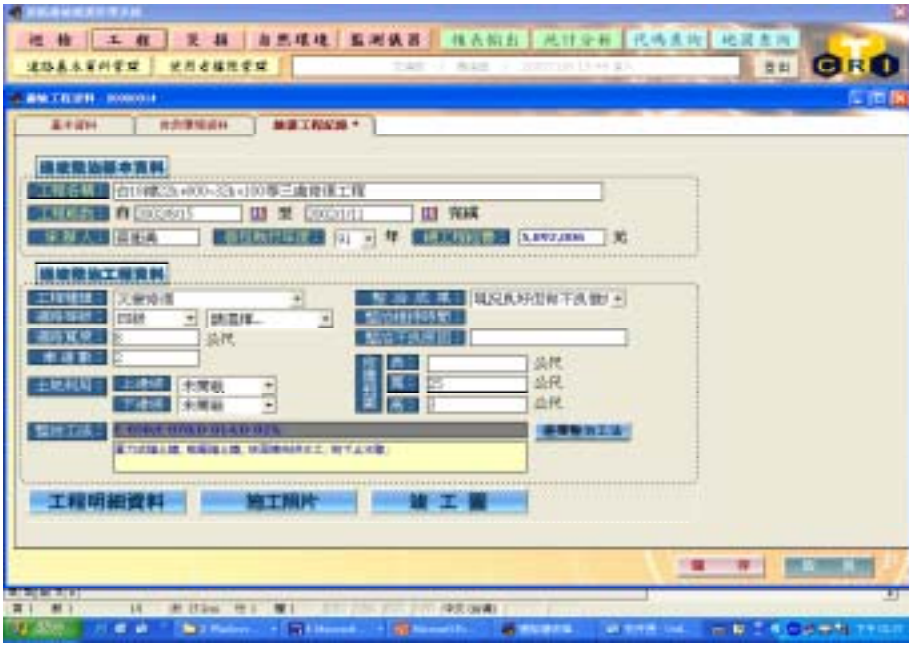


圖 4-8　每筆既有工程資料顯示第一層畫面

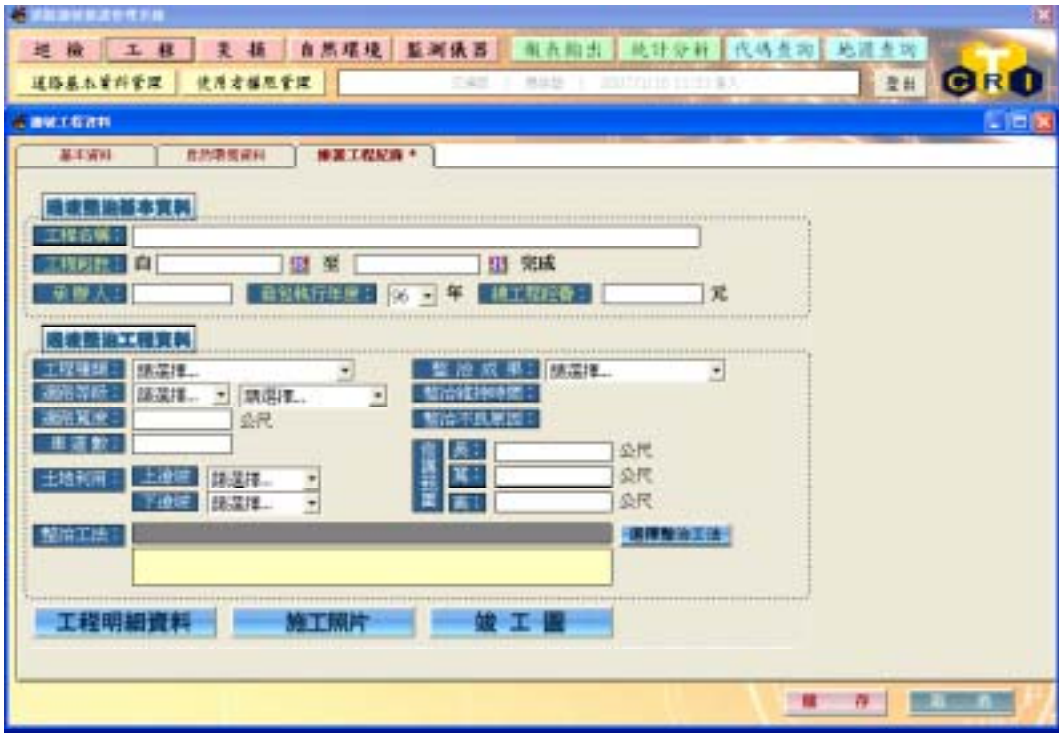


圖 4-9　每筆擬新增工程資料顯示第一層建置畫面

4.2 復建工程

4.2.1 工程設計

復建工程之設計可參考道路邊坡維護管理系統中之工程整治資料庫，依據外穩定、內穩定、植生、排水、避險等分類，選定擬施作之工程。系統查詢方式如下：

1. **可點選工程進入資料庫查詢歷史使用案例資料或點選代碼查詢直接由工法分類中選取適宜之工法(圖 4-10)。**

圖 4-10　工程與工法分類資料庫資料查詢表單畫面

2. **點選代碼查詢選擇土石流整治工法(圖 4-11)或道路邊坡整治工法(圖 4-12)。**

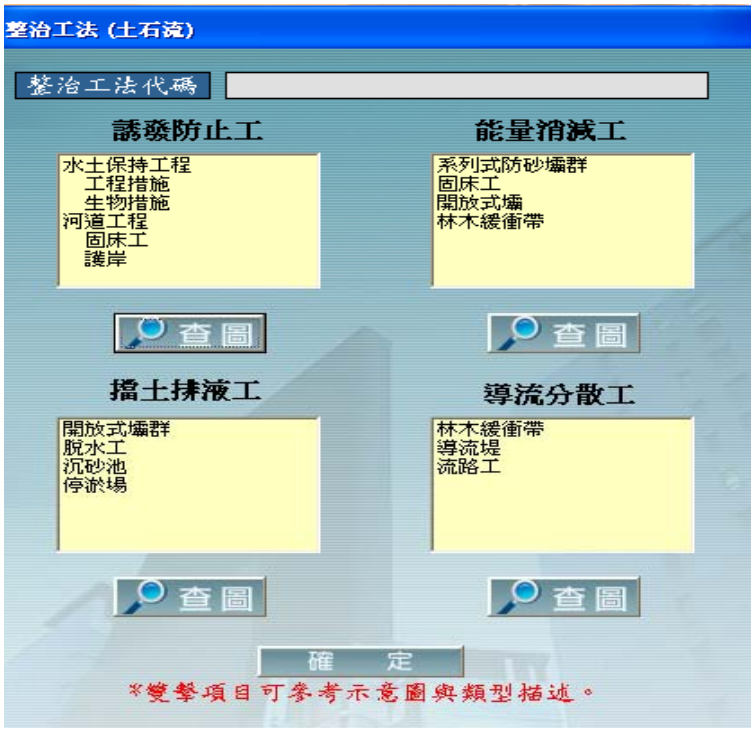


圖 4-11　土石流整治工法分類資料查詢表單畫面

圖 4-12　道路邊坡整治工法分類資料查詢表單畫面

4.2.2 工程執行

在復建工程執行階段，應確實記錄工程施作之相關過程，記錄程序如下：

1. **進入工程資料查詢表單後點選新增工程資料，進入第一層之基本資料建置表單(圖 4-13) 。**

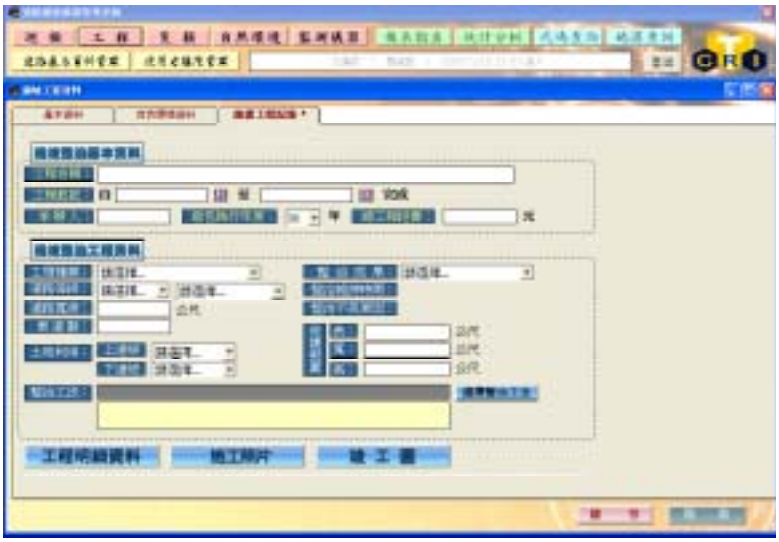


圖 4-13　新增工程資料第一層之建置表單畫面

2. **點選工程明細資料，進入第二層之工程明細建置表單(圖 4-14) 。**

圖 4-14　新增工程資料第二層工程明細資料之建置表單畫面

3. 點選施工照片資料，進入第二層之施工照片建置表單(圖 4-15) 。

圖 4-15　新增工程資料第二層施工照片之建置表單畫面

4. 點選工程明細資料，進入第二層竣工圖之建置表單(圖 4-16) 。

圖 4-16　新增工程資料第二層竣工圖之建置表單畫面

4.3 長期安全監測執行與分析

針對復建階段之監測作業，建議採以自動方式進行長期性之監測。針對落石、土石流、地滑等崩塌型態，其監測與預警建議方法詳見表4-1。

表 4-1　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

4.4 定期巡檢機制

除進行上述之整治工程與監測儀器配置等作業, 建議應配合工程人員平日之巡查作業，訂定完善之定期巡查機制。相關巡查作業登錄程序如下：

1. **進入系統後點選巡檢進入巡檢資料庫表單(圖 4-17)。**

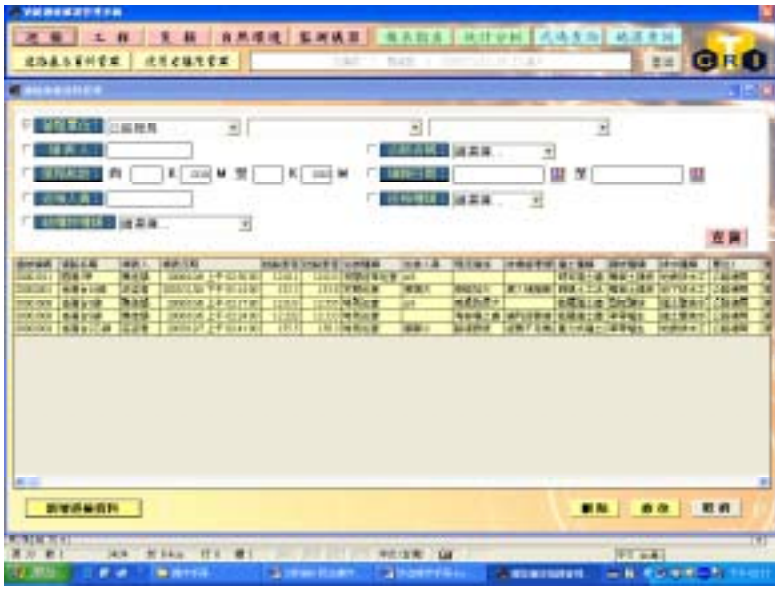


圖 4-17　巡檢資料庫表單畫面

2. **於圖 4-17 中點選新增巡檢資料或查詢既有巡檢資料。以新增巡檢資料為例可如圖 18 至圖 23 依序登錄各項資料。**

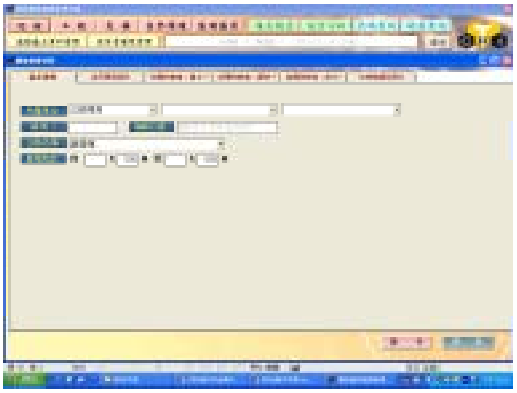


圖 4-18　基本資料表單畫面

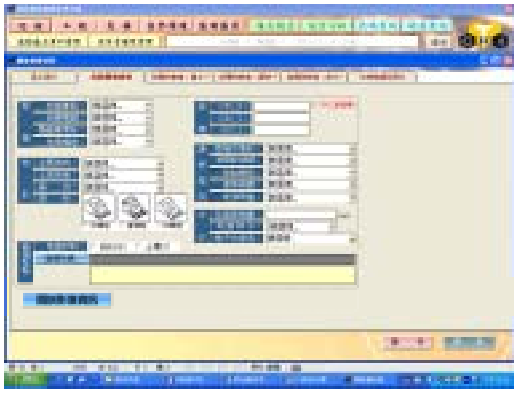


圖 4-19　自然環境資料表單畫面

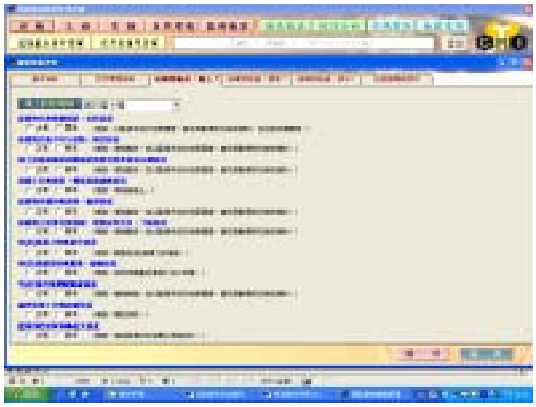


圖 4-20 檔土結構物檢查表單畫面

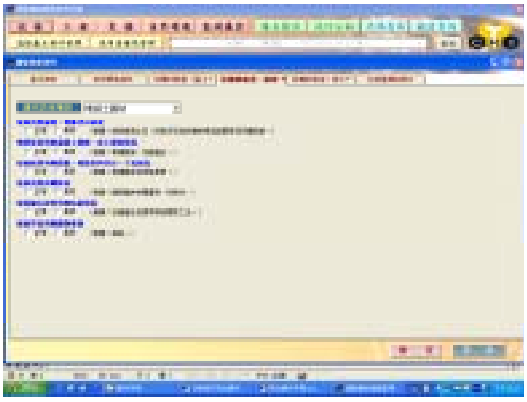


圖 4-21 護坡結構物檢查表單畫面

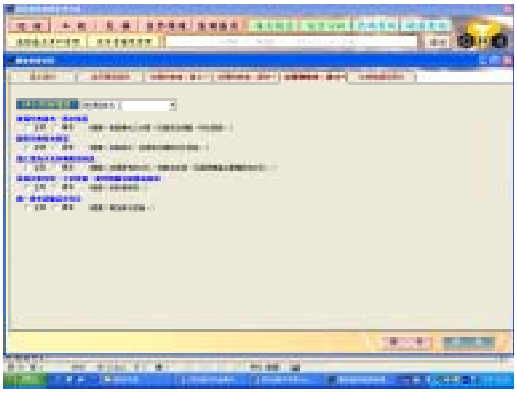


圖 4-22 排水檢查表單畫面

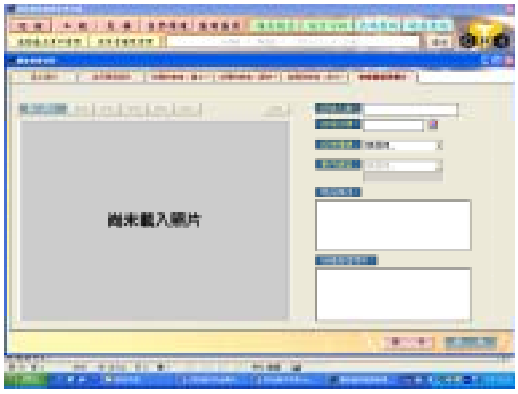


圖 4-23 巡檢種類與照片表單畫面

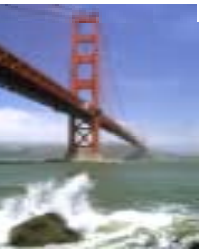
4.5 工作成果回報登錄

待復建階段完成時，需進行此階段進行之整治工程、監測、巡檢作業等相關工作成果回報登錄，透過完整之災況記錄，以供後續相關作業之參考依據。

附錄 G

期末簡報

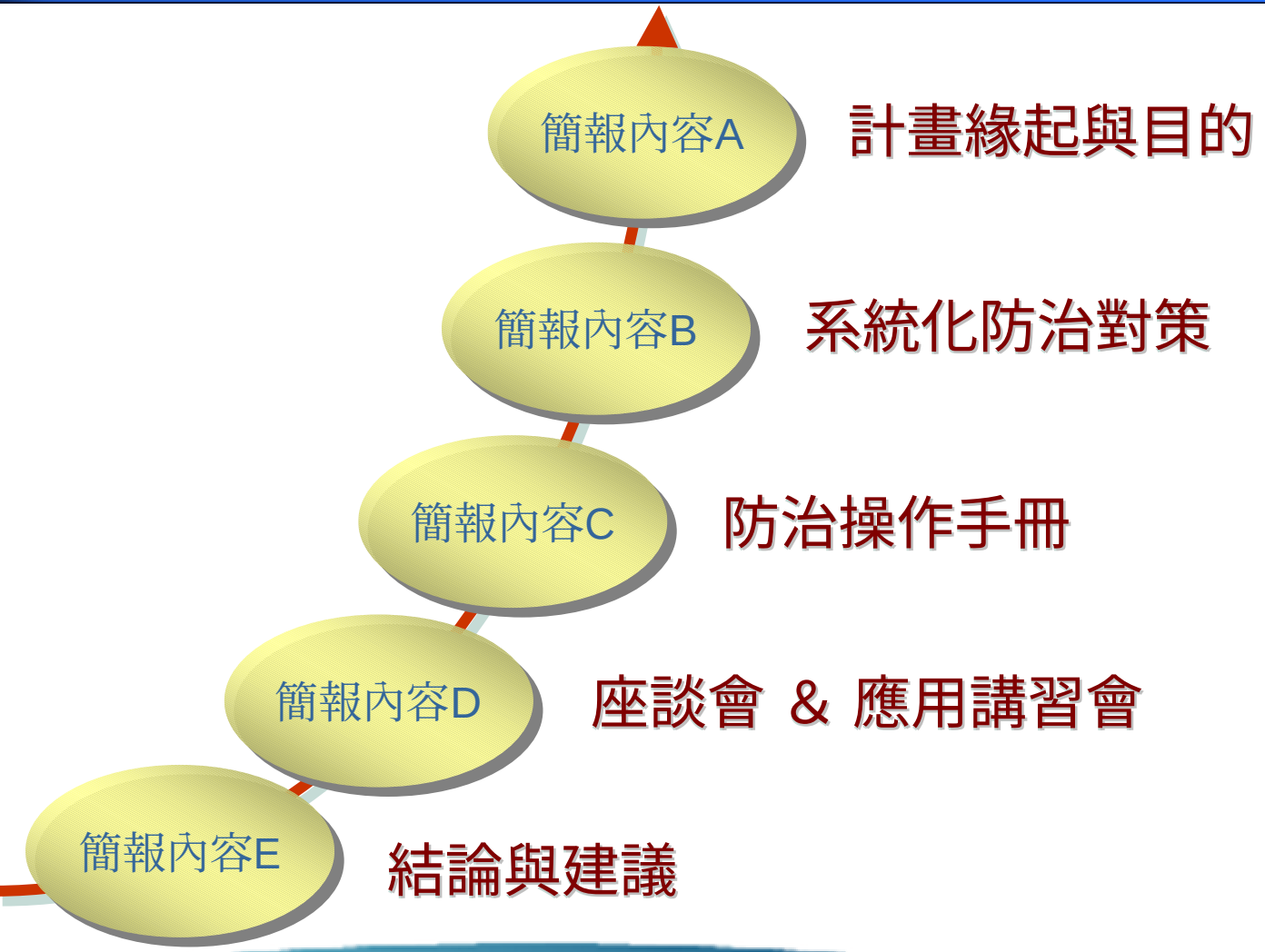
坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究（2/2）期末審查



簡報者 ：廖洪鈞 教授
研究人員：蘇吉立 副研究員
李維峰 博士
陳天健 助理教授
何應璋 協理
董家鈞 助理教授

國立台灣科技大學生態與防災工程研究中心

簡報大綱


簡報內容A
計畫緣起與目的
簡報內容B
系統化防治對策
簡報內容C
防治操作手冊
簡報內容D
座談會 & 應用講習會
簡報內容E
結論與建議

計畫緣起與目的

計畫緣起

- 道路崩塌災害處置
  - 緊急應變 → 維持交通順暢
  - 復建 → 經濟成本
- 道路邊坡崩塌區域災害具高復發性之特性
- Solution → 系統化之邊坡崩塌防治對策
  - 災前
    - 掌握崩塌狀況、警戒保護用路人
  - 災中
    - 掌握崩塌規模及類型、評估擋土結構物尚存功能、控制最小交通流量、降低對生態環境衝擊
  - 災後
    - 擬訂完善之搶修方案、抑止崩塌災害蔓延、降低復建之社會與經濟成本

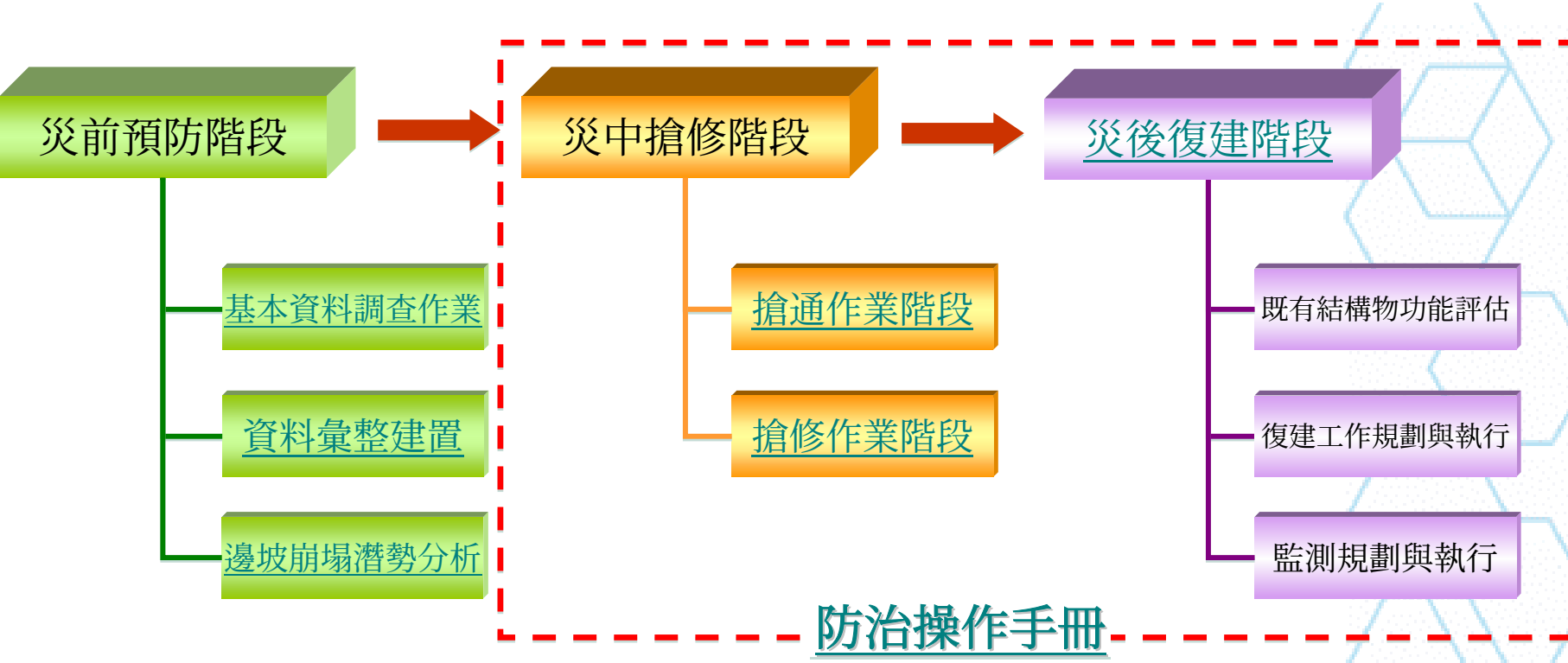
工作項目內容

- 第一年期
  - 研究道路邊坡基本與災害資料庫與地理資訊系統建置
  - 研究道路邊坡崩塌潛勢分析與二次災害型態
  - 研究規劃道路邊坡崩塌災害預警及通報系統
  - 研擬道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估之方法
- 第二年期
  - 道路邊坡崩塌及土石流緊急搶修與復建技術之研究
  - 道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治操作手冊之研究
  - 崩塌搶修至復建階段一體考量之系統化防治對策之擬訂
  - 辦理相關研究成果之應用講習會乙次
    - 已於10/12港灣研究中心召開
  - 本年度（95年）之成果報告內容應將94年之相關研究成果彙整納入於相關或獨立之章節
    - 相關研究成果已彙整分佈於期末報告相關章節中

系統化防治對策

- 內容B-1　災前預防
- 內容B-2　災中搶修
- 內容B-3　災後復建

系統化防治對策架構

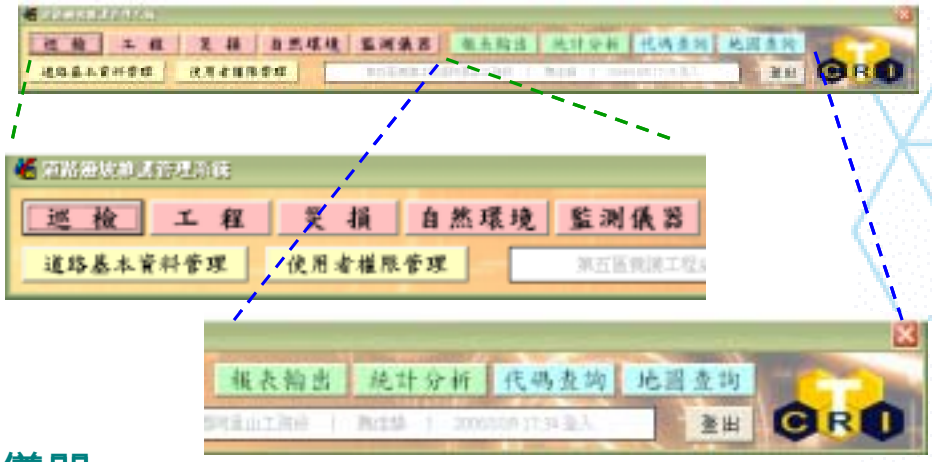

災前預防階段
災中搶修階段
災後復建階段
基本資料調查作業
資料彙整建置
邊坡崩塌潛勢分析
搶通作業階段
搶修作業階段
既有結構物功能評估
復建工作規劃與執行
監測規劃與執行
防治操作手冊

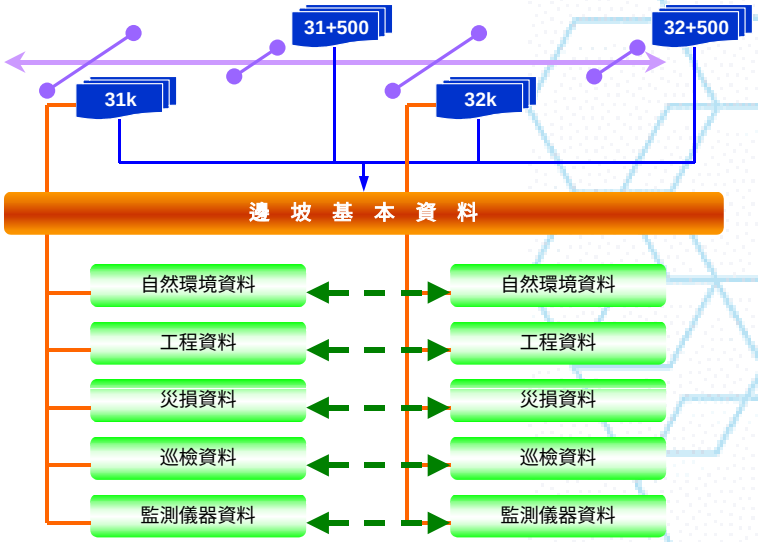
基本資料調查作業

- 養護巡查－公路養護手冊
  - 經常巡查（日間、夜間）
    - 從車上以目力檢視
    - 檢視重點
      - 鋪面、橋面、伸縮縫
  - 定期巡查
    - 行車＋徒步或攀登
    - 檢視重點→公路設施
  - 特別巡查
    - 時機
      - 颱風前後
      - 豪雨、洪水、地震或重大交通事故後
    - 檢視重點
      - 沖刷、淘空、裂縫產生、位移
- 道路基本資料－研究團隊
  - 道路基本資料
    - 管理單位、樁號、地點…
  - 歷次維護防治及崩塌搶修狀況
    - 工程種類、名稱、經費…
  - 崩塌災害發生記錄
    - 時間、降雨強度、原因…
  - 現有防治工程概況
    - 土地利用、整治成效…
  - 現有防治工程項目與經費
  - 現址地形、地質、水文及工程狀況

資料彙整建置－道路邊坡維護管理系統

- 使用者資料
  - 使用者權限管理
  - 個人資料維護
- 邊坡基本資料
  - 道路基本資料管理
  - 邊坡資料管理
    - 自然環境、工程
    - 災損、巡檢、監測儀器
- 輸出功能
  - 報表輸出
  - 統計分析
- 查詢功能
  - 代碼查詢
  - 地圖查詢





防治工法資料庫畫面

防治工法
整治工法代碼
E-010-1-030-1-040-040-V-060
外穩定
內穩定
排水
避險
植生
查圖
噴凝土護坡
被覆護坡
型框護坡
砌石擋土牆
重力
蛇籠擋土牆
~公路總局道路工程參考圖~

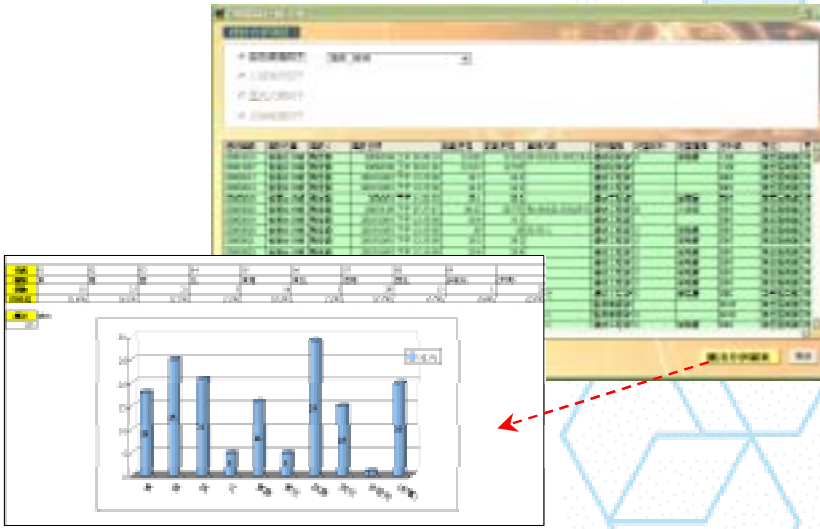
監測儀器資料庫畫面

監測儀器代碼
F-023-H-024-S-013
管式應變計
振弦式傾斜觀測管
伺服加速計
定置型傾斜觀測管
傾度盤
地滑計
沉陷板
磁感式連續沉陷計
裂縫計
應變計
DGPS

道路邊坡維護管理系統－輸出功能

- 報表輸出
  - 結構物功能檢查表
  - 災損工程經費明細表
  - 工程經費明細表

- 統計分析
  - 水文、地形、地質、現況…

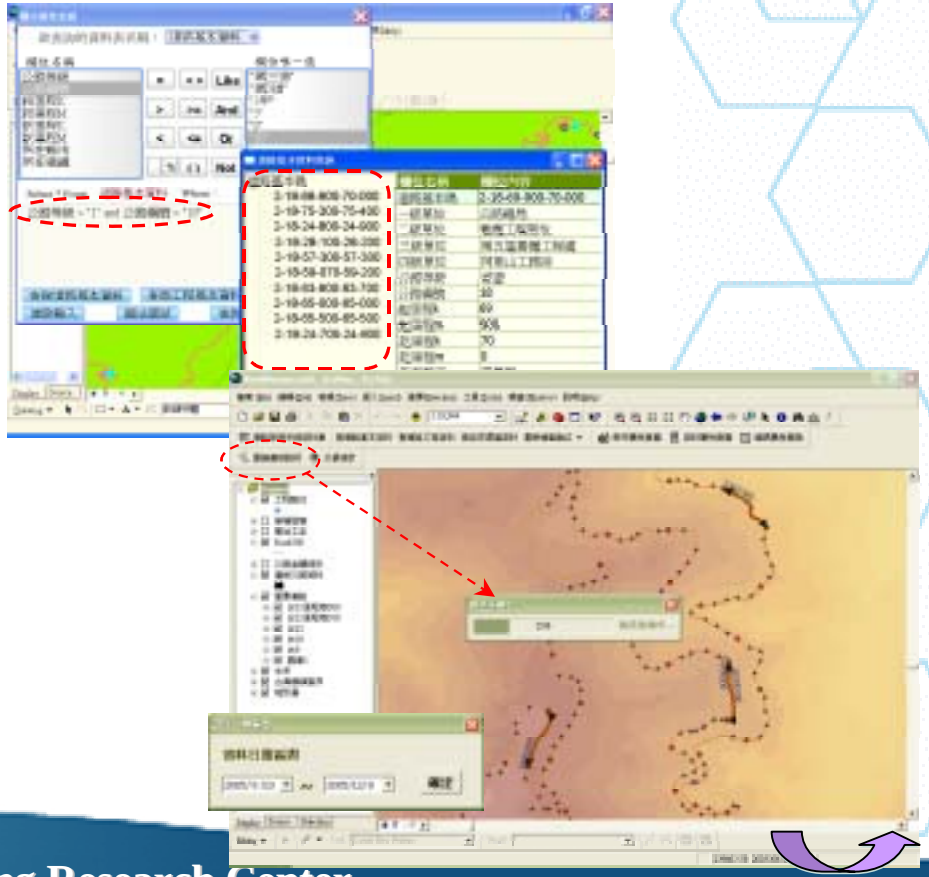


道路邊坡維護管理系統－查詢功能

代碼查詢

地圖查詢

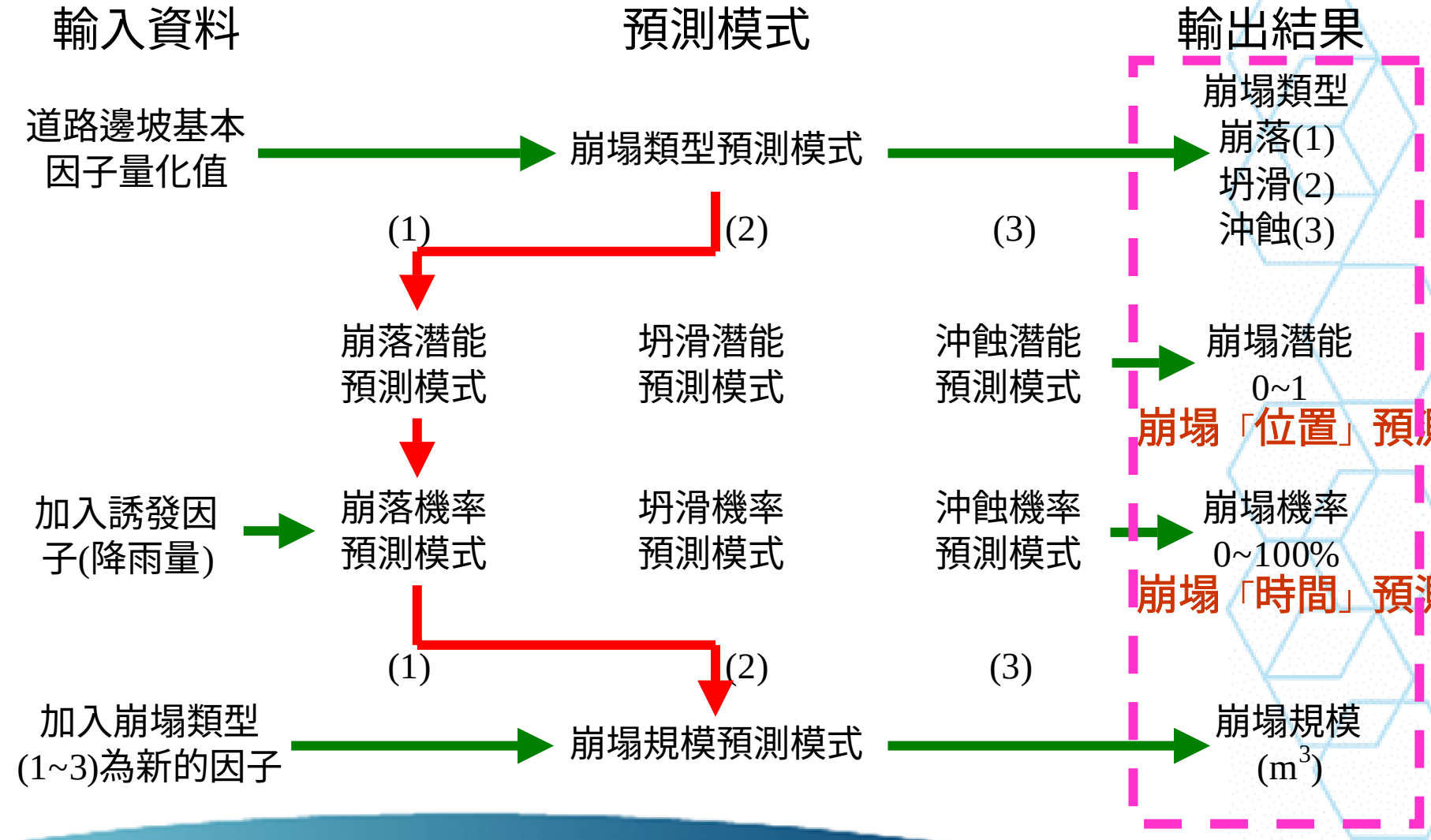
- 點位、路段



道路邊坡崩塌潛勢分析

- 研究目的
  - 利用台18線資料庫建立一可預測道路邊坡崩塌類型、潛能、機率及規模的分階式邊坡崩塌預測模式
  - 以台21線之案例驗證
- 研究對象
  - 台18線109筆案例
    - 崩塌55筆、未崩塌54筆
  - 台21線103筆案例
    - 崩塌50筆、未崩塌53筆
- 分析方法
  - 高斯過程
- 影響因子（16項）
  - 地形、地質、岩層位態
  - 風化及破碎程度、植被
  - 水系、地震力
  - 道路開闢及降雨等

分階式山區道路邊坡崩塌預測模式

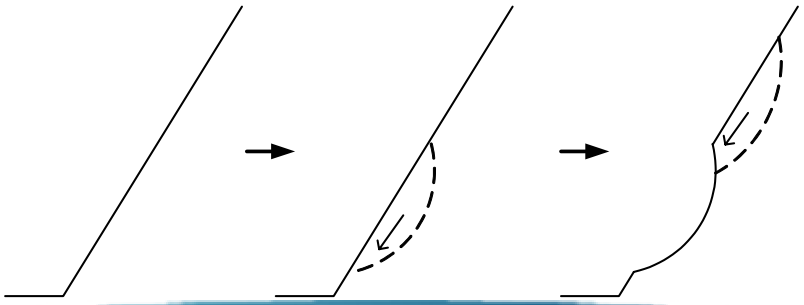


同一地方之邊坡滑動災害之復發性高

2006/11/11狀況

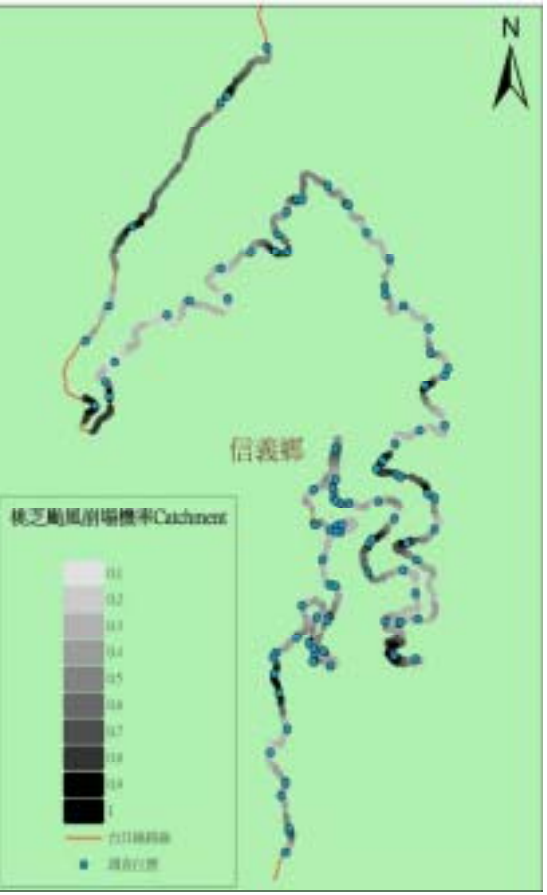
2005/11/22狀況

Landslide area grows outward



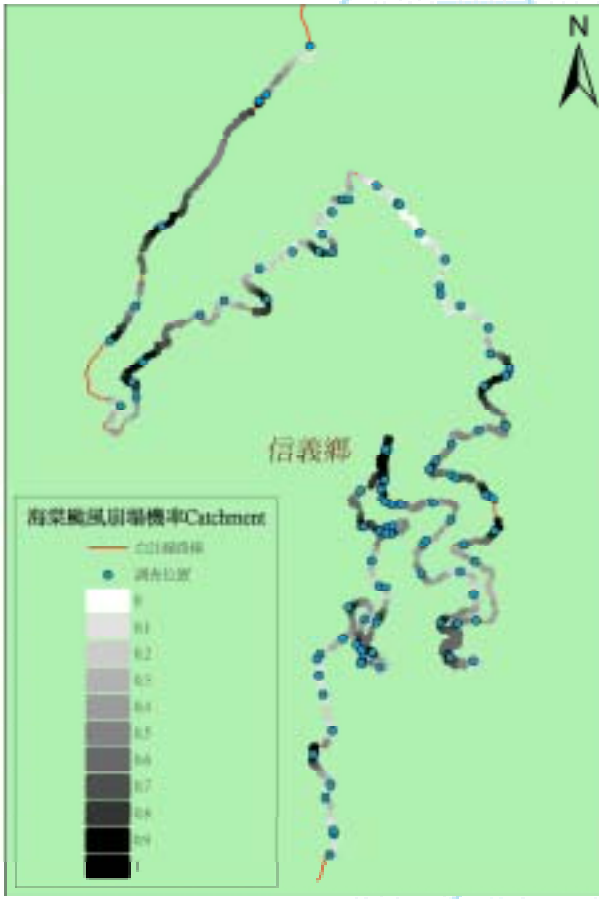
Mechanism of shallow landslide development

崩塌潛勢分析結果－台21線



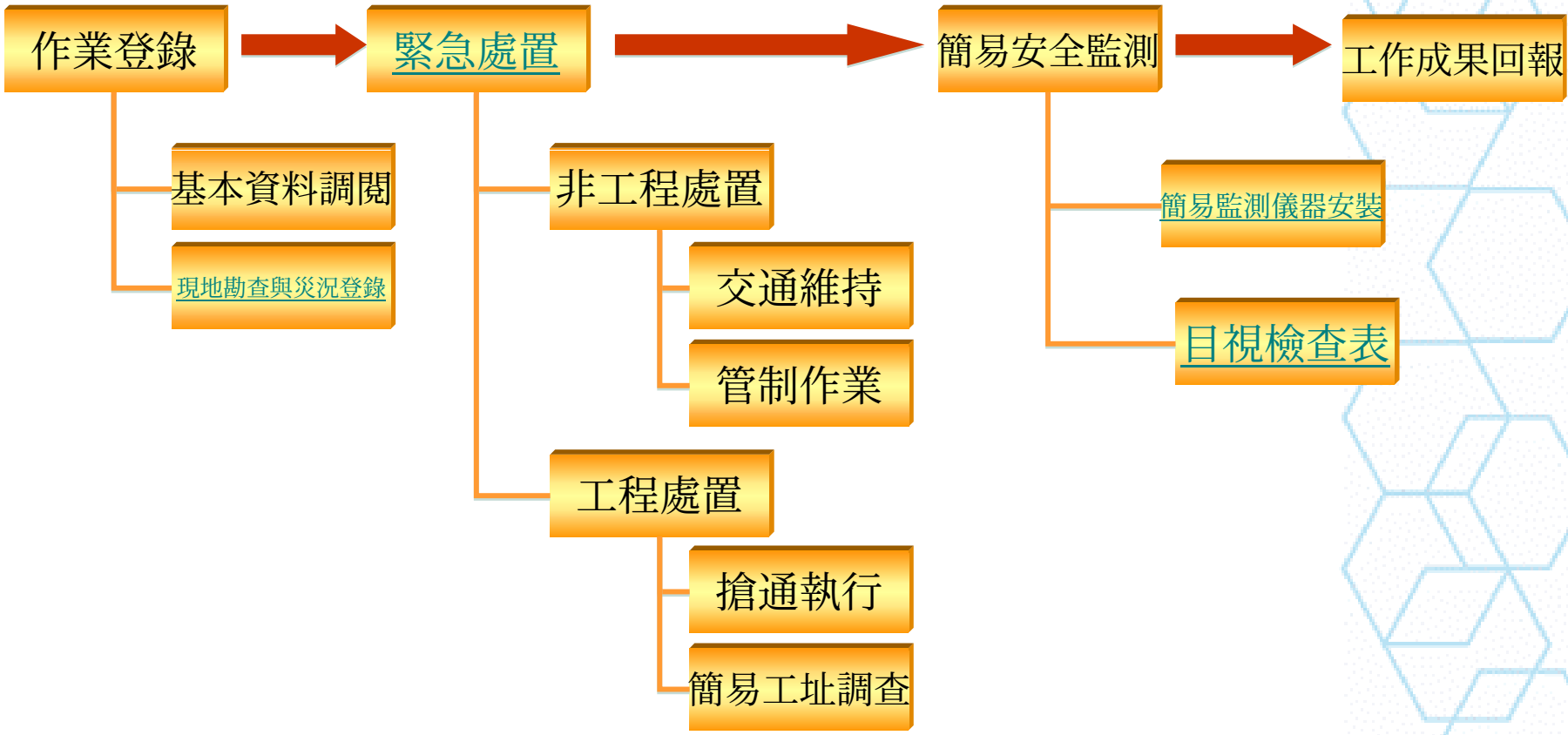
桃芝颱風

敏督利颱風



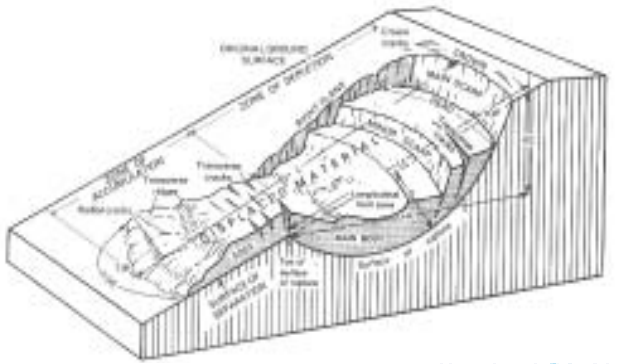
海棠颱風

搶通作業階段


作業登錄
基本資料調閱
現地勘查與災況登錄
緊急處置
非工程處置
交通維持
管制作業
工程處置
搶通執行
簡易工址調查
簡易安全監測
簡易監測儀器安裝
目視檢查表
工作成果回報

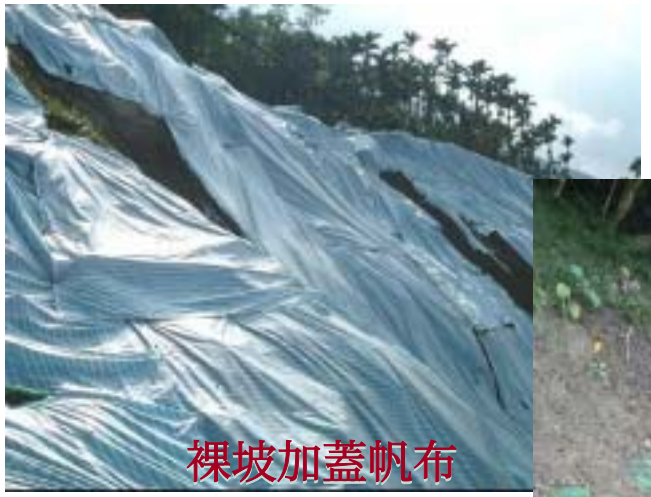
Topographic features of landslide - visible from the surface

- Tilting tress on slope
- Cracks and bulges
- Springs and seeps

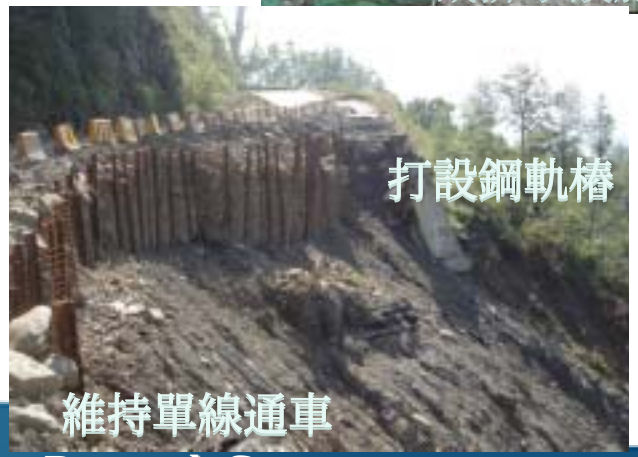


緊急處置作業

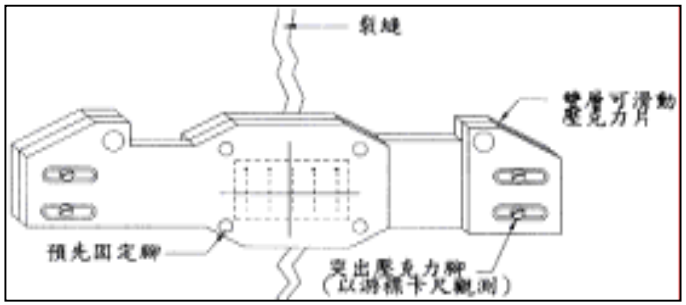
- 非工程處置
  - 交通維持
  - 管制作業
- 工程處置
  - 搶通執行
    - 打設鋼軌樁
    - 落石清運、危木移除
    - 裂縫填補、人工整坡、坡面排水設施
  - 簡易工址調查

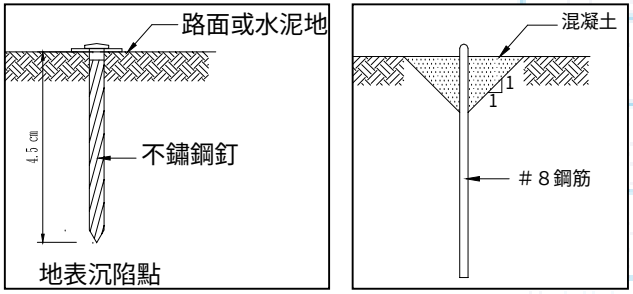

裸坡加蓋帆布

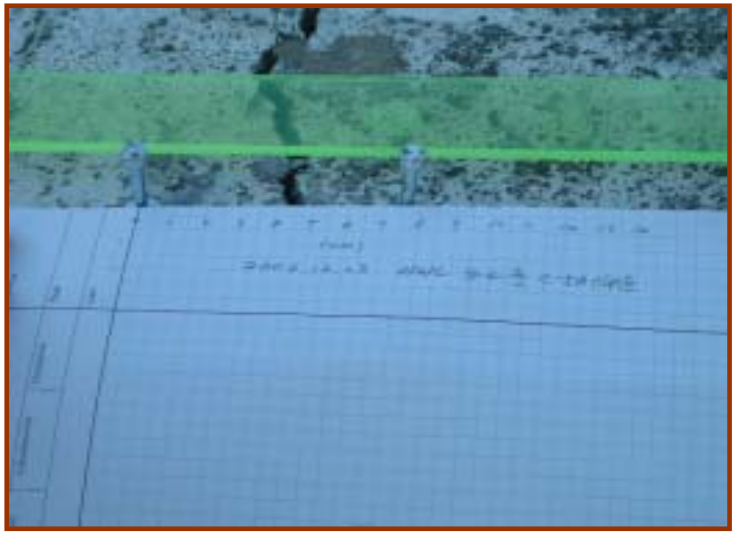
截排水設施



簡易監測儀器安裝







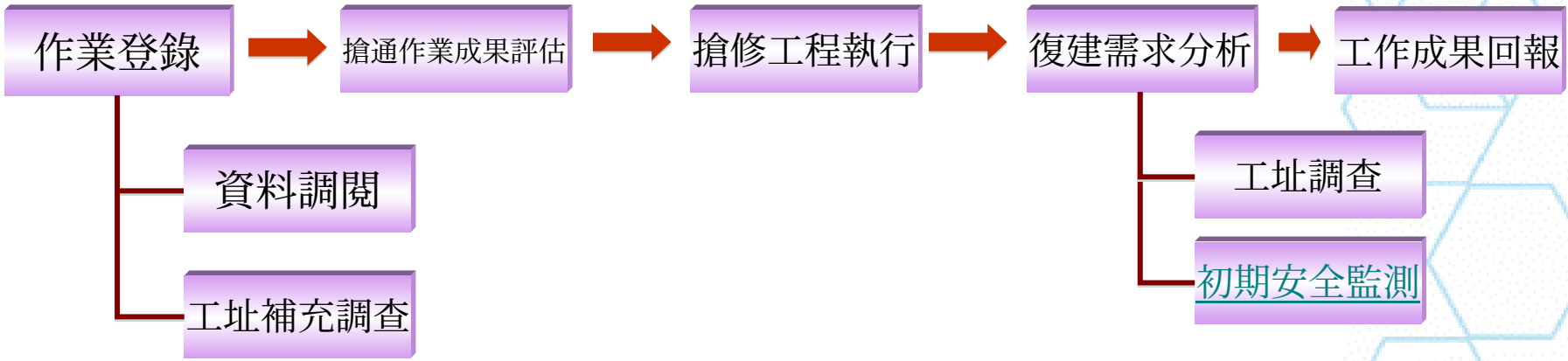
人工記讀裂縫計

地表沈陷觀測點

目視檢查表

- 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

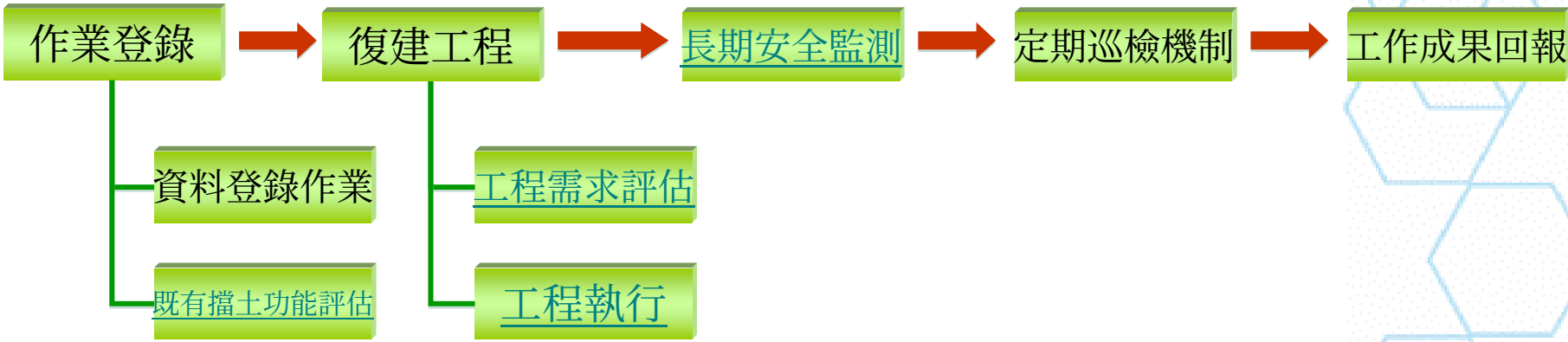
搶修作業階段


作業登錄
搶通作業成果評估
搶修工程執行
復建需求分析
工作成果回報
資料調閱
工址補充調查
工址調查
初期安全監測

初期安全監測

- 持續量測既有之簡易監測設施
- 增設手動或半自動之監測儀器

災後復建階段


作業登錄
復建工程
長期安全監測
定期巡檢機制
工作成果回報
資料登錄作業
既有擋土功能評估
工程需求評估
工程執行

擋土結構物功能評估方法

方法	目視檢查法	調查分析法	儀器監測法
工作方法	●以目視檢查現場勘查記錄並加以研判。	●藉由地質調查及基本資料蒐集，決定參數及地層狀況。 ●以水理分析及邊坡穩定分析加以評估分析。	●採用精密儀器對邊坡穩定直接監測。
適用時機	●基地面積甚廣。 ●初步現勘調查。	●輔助目視檢查法及儀器監測法之不足。	●設置於高危險性或風險性高的邊坡。 ●安全要求標準較高的坡地。
優點	●快速、經濟。 ●可隨時檢視並加以保養維護。	●可深入瞭解不同個案潛在的危險因子。 ●可充分瞭解邊坡安全性。 ●提供監測儀器佈設之依據。	●可掌握地層或擋土設施實際之穩定狀況。
缺點	●從坡地外觀無法掌握危險地區之危險因子。 ●無法瞭解其安全性。	●與時間有關之特性，如地下水流向之改變無法充份掌握。 ●費用較昂貴。	●無法瞭解邊坡之安全性

擋土結構物功能評估與分級模式

損壞程度如何?

- 功能尚可
  - 仍可發揮穩定功效
- 局部損壞
  - 工法安全性介於警戒值與觀察值之間
- 功能喪失
  - 工法本身已完全喪失穩定邊坡之功能
  - 處於警戒值狀態
  - 需即時採取相關之處理對策

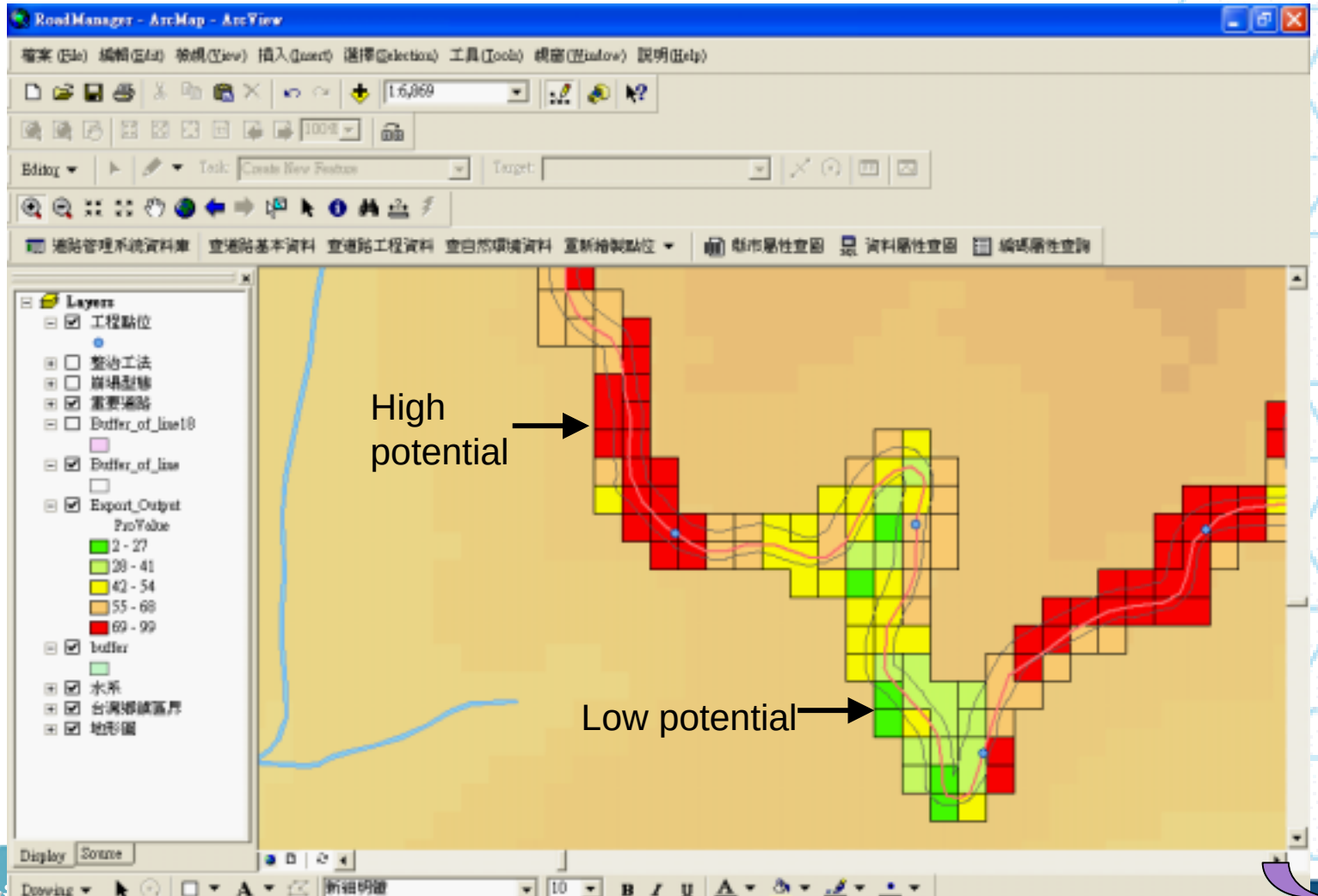
研擬災損擋土結構物功能評估與分級模式

重力式擋土結構

檢視項目 / 功能分級	外觀	細部構造	處理對策
功能尚可	●沒有明顯傾斜或位移 ●細微裂縫 ●排水情況良好	●擋土牆頂部或任一點之平移量<5cm ●擋土牆傾斜增量<1/100	●定期目視檢視 ●表面局部修補 ●加強管理維護
局部損壞	●局部龜裂 ●略有傾斜，但肉眼不易察覺 ●排水孔部份阻塞	●5 cm<擋土牆頂部或任一點之平移量<20cm ●1/10<擋土牆傾斜增量<1/100	●局部敲除重作 ●加強監測 ●定期清理排水孔
功能喪失	●龜裂嚴重或完整崩壞 ●排水孔不暢通	●擋土牆頂部或任一點之平移量>20cm ●擋土牆傾斜增量>1/10	●檢討工法之適用性 ●採行適用工法

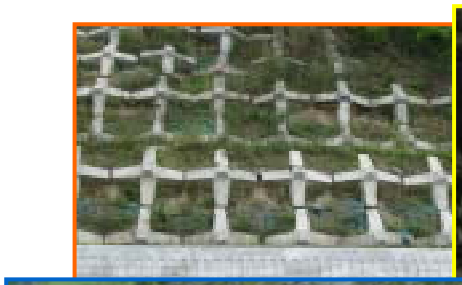
註：亦適用於砌石、懸臂式等擋土結構物

Potential need for surface protection based on probability



復建工程選定--系統搭配

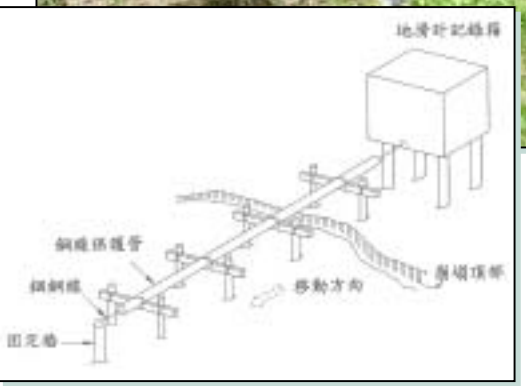
- 穩定機制
  - 外、內穩定工法
    - 護坡、 擋土牆、回填土
    - 地錨、土釘、微型樁、化學穩定工法
- 地表、地下水文處理
  - 排水工法
    - 地表排水工、地下排水工、其他
- 落石防護
  - 避險工法
    - 攔石柵網、明隧道、橋工、改道
- 土石流防治
  - 系列式防砂壩群、固床工、開放式壩、林木緩衝帶
  - 開放式壩群、脫水工、沉砂池、停淤場

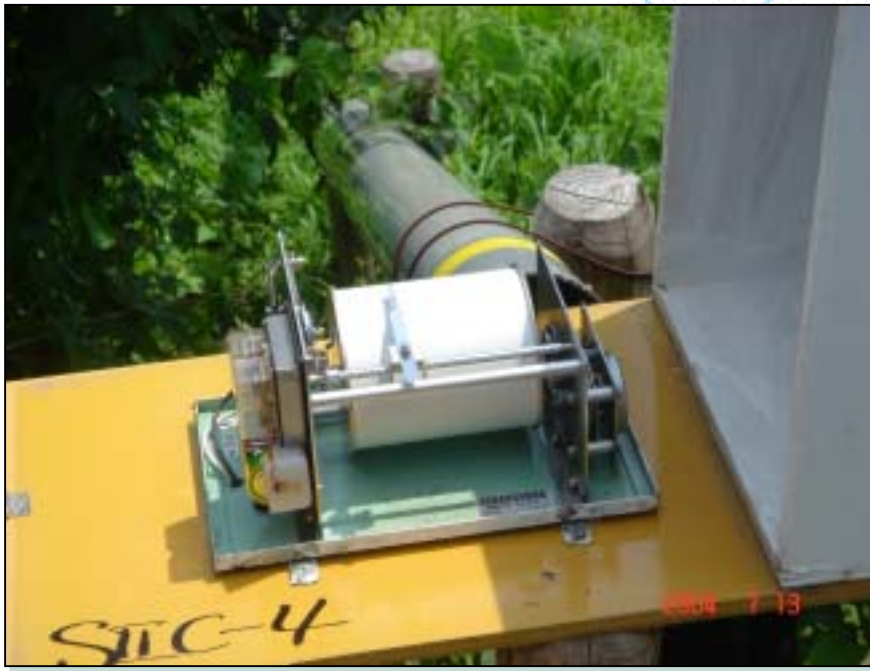


長期安全監測規劃

- 監測分級
  - 第一等級（低危害度邊坡）
    - 以「巡查」為主
    - 簡易型之監測設施
  - 第二等級（中危害度邊坡）
    - 以手動或半自動為主
    - 必要時設置「全自動化監測系統」
  - 第三等級（高危害度邊坡）
    - 以「自動化監測系統」為主
- 崩塌型態 VS 監測儀器
  - 落石
    - 傾斜計、伸張計、裂縫計…
  - 土石流
    - 雨量計、水壓計、鋼索檢知器、流速計…
  - 地滑
    - 裂縫計、地滑計、傾斜觀測管、管式應變計…
  - 人工保護邊坡
    - 位移計、應變計、荷重計…

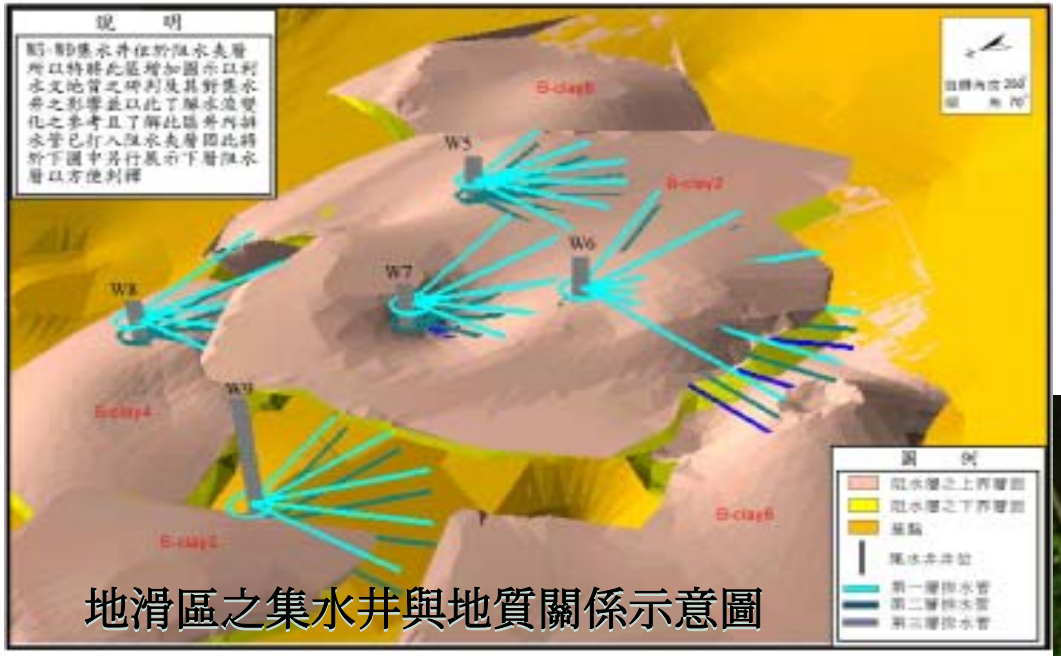
地表伸縮儀





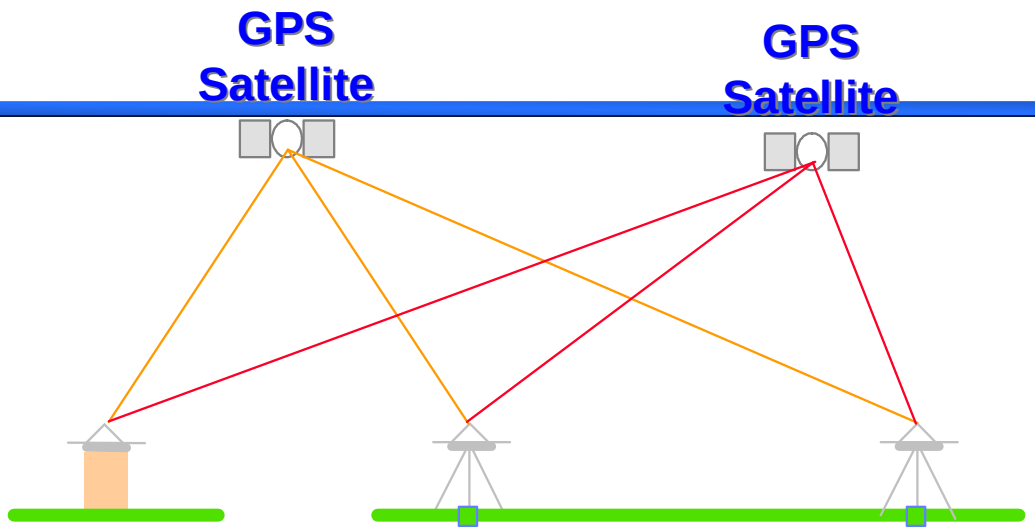
雨量計

集水井

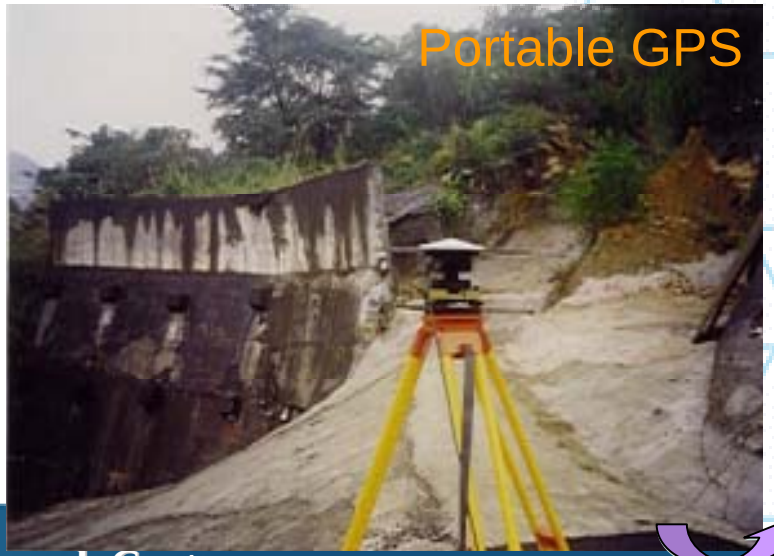


地滑區之集水井與地質關係示意圖

GPS


GPS Satellite
GPS Satellite
GPS Ground station
Portable GPS
Portable GPS

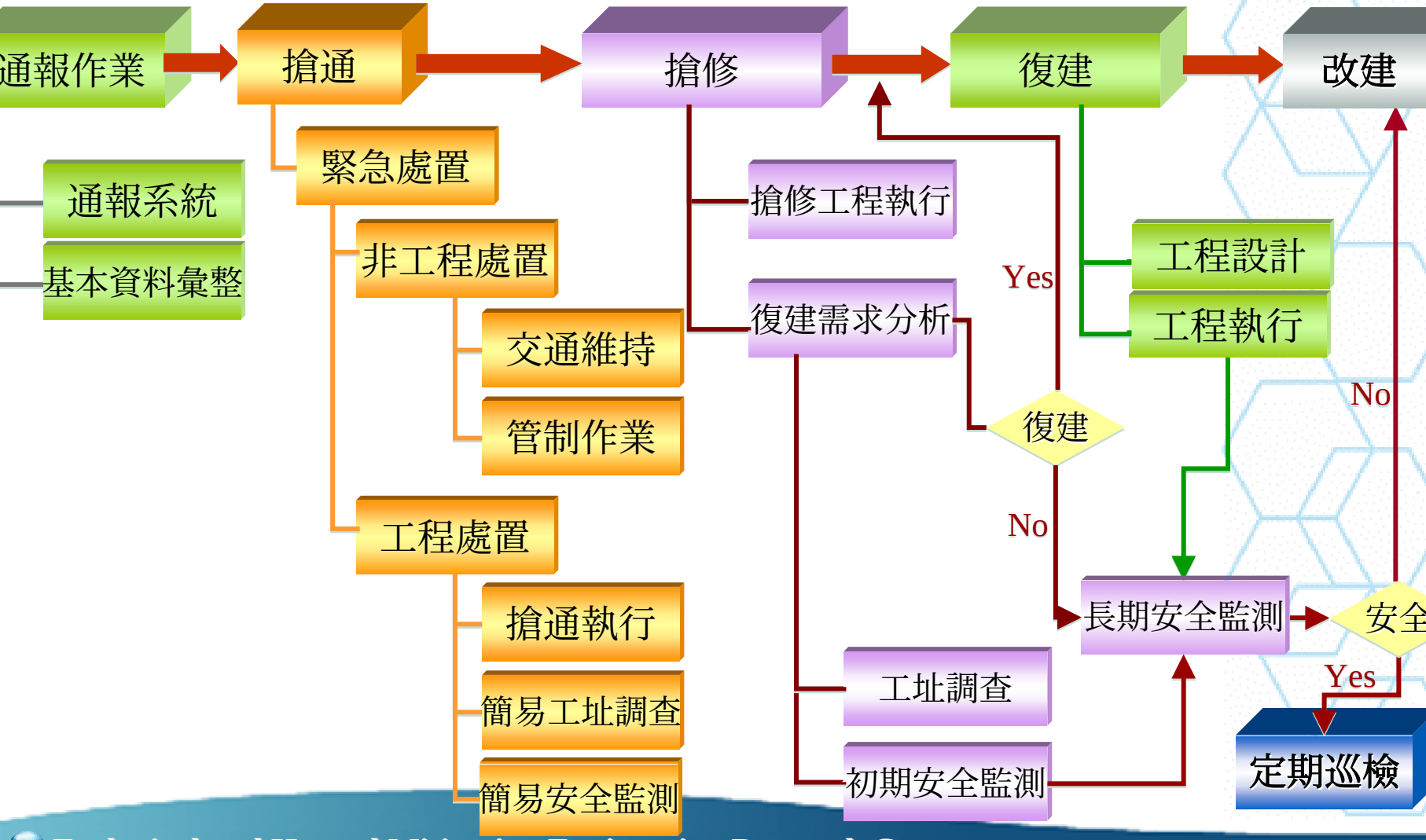
Stationary GPS


Portable GPS

防治操作手冊

- 內容C-1　搶通作業
- 內容C-2　搶修作業
- 內容C-3　復建作業

道路邊坡崩塌緊急搶修與復建防治規劃



研究成果應用講習會

研究成果應用講習會

- 課程時間
  - 95年10月12日
- 課程規劃
  - 研究成果說明（1hr）
    - 擋土結構物巡檢要領
    - 監測系統於災害預警及通報之應用
    - 防治操作手冊
    - 系統化防治對策
  - 系統實機操作（50min）

結論與建議

結論--94年度

- 系統建置
  - 完成GIS應用系統查詢介面與架構
  - 進行省道台21線實用性之現地驗證
  - 資料庫系統擴建等
- 崩塌潛勢分析與二次災害型態研究
  - 主要以高斯分析法建立之道路邊坡崩塌潛勢分析模式
  - 高斯分析法與其它方法於實例驗證結果之比較
  - 崩塌潛勢分級觀念之建立
  - 二次災害型態之研究
- 災害預警及通報系統之檢討整合與規劃
  - 重新檢討規劃整合交通部既有相關道路邊坡崩塌災害預警及通報系統之研究成果，並著重於實用性與可行性。
- 擋土結構物功能評估
  - 重新檢討整合交通部既有相關道路邊坡安全及災損擋土結構物功能評估法之研究成果，並著重於簡易性、實用性與可行性。

結論--95年度

- 緊急搶修與復建技術之研究
  - 整治工法資料庫
    - 結合土石流整治工法
    - 提供便捷之查詢作業
  - 監測系統資料庫
    - 與道路邊坡維護管理系統結合
    - 依據量測對象分類
      - 應變、傾斜或位移監測
      - 雨量、水位與水壓監測
      - 應力監測
- 防治操作手冊
  - 搶通階段
  - 搶修階段
  - 復建階段
- 系統化防治對策
  - 災前預防
  - 災中搶修
  - 災後復建
- 講習會議
  - 專家座談會（4/27）
  - 研究成果講習會（10/12）

建議

- 建議後續可整合各系統資料庫，利用整合完成之道路邊坡維護管理系統，開發災害預防控制與維護管理之專家決策輔助系統，以使道路邊坡之防災更有功效。
- 資料庫系統之維護更新，係為本資料庫系統能持續提供良好效能之重要關鍵，建請相關單位針對資料庫系統規劃短、中、長期發展策略逐步建置，以收整體之效。
- 本研究執行期間已針對近年來省道之災損狀況完成資料建置作業，建議後續相關研究可針對台灣山區其他路段進行自然環境與工程之調查與分析，期擬相關成果可提供道路邊坡分級管理機制之參考。
- 台21線少部分路段，目前邊坡已有滑移之潛勢，建議應開始著手研擬加固措施或崩塌後復建對策，以避免災後規劃設計時程緊迫，無法將各項地形地質因素詳細考量於工程復建中。

簡報完畢
敬請指教

Nov. 16, 2006