行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處

降雨特性對阿里山森林鐵路邊坡崩塌影響之研究

成果報告書



國立中興大學

中華民國一百年十二月

摘要

阿里山森林鐵路乃文建會推舉為台灣的世界遺產潛力點，為台灣重要的文化資產之一，也肩負著阿里山區觀光旅遊運輸與山區對外連絡的重要責任，近年來因為邊坡自然災害導致阿里山森林鐵路中斷之事件時有所聞，為確保鐵路運輸旅客安全，建立阿里山森林鐵路邊坡災害預警機制，為目前當務所需。

阿里山地區歷年颱風造成之崩塌災害，以桃芝颱風、敏督利颱風及莫拉克颱風等三場颱風造成研究區崩塌災害最為顯著、分佈最廣，本計畫收集這三場颱風崩塌災害資料進行分析，其中莫拉克颱風為歷年來造成阿里山森林鐵路沿線總崩塌面積最高者，且以屏遮那及二萬坪之間造成的邊坡崩塌災害，為歷年來崩塌地規模最嚴重且崩塌面積最大的；三場颱風豪雨造成之崩塌於阿里山森林鐵路沿線崩塌地大多發生於 4 級坡以上，且以 4 級坡居多，亦即 4 級坡在本區之發生崩塌的可能性較大；以坡向而言，阿里山森林鐵路沿線以北向坡、西北向坡及西向坡具有較大之崩塌潛勢；根據高程分析結果，阿里山森林鐵路沿線之崩塌與高程分佈之關聯性似乎不高。

本研究更應用多變量統計中的羅吉斯迴歸方法進行山崩潛勢評估研究，並繪製山崩潛感圖。山崩潛感圖繪製所需之山崩目錄，由中央地質調查所蒐集歷年崩塌資料而得，數值地形資料的解析度為 5 公尺，利用地理資訊系統將選用的因子處理成網格式的資料，分為山崩組與非山崩組，其中使用的潛在因子包括坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、岩性及距鐵路距等因子；促崩因子則使用總雨量及最大降雨強度。對於山崩組及非山崩組資料，以亂數取樣的方式選取相同的網格數目，進行羅吉斯迴歸分析並建置迴歸模型。驗證結果顯示迴歸模式有良好的預測準確性，因此將全區資料代入羅吉斯迴歸模型計算出各格網之山崩潛感值，並繪製山崩潛感圖。

為了解不同降雨條件下之坡地崩塌機率，本研究將研究區各雨量站不同重現期距的時雨量及三日雨量帶入迴歸模型，雨量重現期距包括 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年。根據不同頻率年之模擬結果，將崩塌潛勢分為高潛勢、中高潛勢、中潛勢及低潛勢四個等級，標示出阿里山森林鐵路沿線中高崩塌潛勢及高崩塌潛勢地區之鐵路里程，以供主辦單位作為後續防災管理之參考。

降雨特性對阿里山森林鐵路
邊坡崩塌影響之研究
期末報告書
目　　錄

第一章　前言 1
1.1 計畫緣起 1
1.2 工作項目及內容 1
1.3 工作進度 2
1.4 工作執行構想 3
第二章　基本資料蒐集與彙整 5
2.1 降雨 5
2.2 阿里山森林鐵路災修紀錄 8
2.3 土地利用型態 13
2.4 土地權屬 15
2.5 地文 17
2.5.1 坡度 17
2.5.2 坡向 18
2.5.3 高程 20
2.6 水文 21
2.7 人文 22
2.7.1 行政區域 22
2.7.2 人口 23
2.7.3 交通 28
2.7.4 產業發展 29
2.8 地質 30
2.9 土壤 32
第三章　歷年崩塌資料彙整與分析 34
3.1 歷史災害情形 34
3.2 歷年崩塌資料彙整與分析 35
3.2.1 位置 37
3.2.2 面積 45
3.2.3 坡度 52
3.2.4 坡向 56
3.2.5 高程 60
3.2.6 土地權屬 63
3.3 莫拉克颱風於鐵路沿線重大災害 72

3.4 莫拉克颱風於鐵路沿線重大崩塌地.....75
第四章 降雨崩塌情境模擬及潛勢評估 80
4.1 山崩潛勢分析方法概述.....80
4.2 羅吉斯迴歸方法.....85
4.2.1 羅吉斯迴歸理論基礎.....85
4.2.2 山崩潛感模式驗證方式.....89
4.3 山崩潛勢分析模式建立.....92
4.3.1 山崩潛勢基本資料蒐集.....92
4.3.2 雨量資料處理與分析.....93
4.3.3 山崩潛勢因子製作與篩選.....102
4.3.4 山崩潛勢分析模式檢定與驗證.....118
4.4 不同降雨條件之坡地崩塌機率.....123
第五章 降雨高崩塌潛勢地區特性分析 142
5.1 不同降雨條件下阿里山森林鐵路邊坡崩塌機率模擬結果.....142
5.2 不同降雨條件下阿里山森林鐵路土石流潛勢區邊坡崩塌機率模擬結果
.....173
第六章 降雨特性對鐵路 23 公里與二萬坪邊坡崩塌之影響 182
6.1 降雨特性對鐵路 23 公里處邊坡崩塌之影響.....182
6.2 降雨特性對鐵路二萬坪處邊坡崩塌之影響.....186
第七章 結論與建議..... 191
7.1 結論.....191
7.2 建議.....196
參考文獻..... 198
附錄一 阿里山森林鐵路相關雨量站雨場切割圖 200
附錄二 期初評選審查會議審查意見回覆 213
附錄三 期中簡報暨工作執行計畫書審查意見回覆 221
附錄四 期中簡報暨工作執行計畫書審查意見回覆 227
附錄五 期末報告書暨簡報審查會議意見回覆 232

表目錄

表 1.1 本計畫相關工作進度 3
表 2.1 阿里山雨量站之降雨資料 1999～2010 年各月平均累積降雨量 7
表 2.2 奮起湖雨量站之降雨資料 1999～2010 年各月平均累積降雨量 7
表 2.3 歷年阿里山森林鐵路沿線重大工程 9
表 2.4 民國 96 年阿里山森林鐵路沿線出勤災害修復紀錄 11
表 2.5 土地利用各類別所佔之比例 14
表 2.6 土地權屬分析結果表 16
表 2.7 研究區坡度分析結果表 18
表 2.8 研究區坡向分析結果表 19
表 2.9 研究區高程分析結果表 20
表 2.10 阿里山鄉人口統計表民國 100 年 8 月底人口數 24
表 2.11 竹崎鄉人口統計表民國 100 年 9 月底人口數 24
表 2.12 梅山鄉人口統計表民國 100 年 10 月底人口數 26
表 2.13 阿里山森林鐵路沿線村里之人口統計 27
表 2.14 土系重要特徵 33
表 3.1 莫拉克颱風崩塌地座標及鐵路里程 38
表 3.2 敏督利颱風崩塌地座標及鐵路里程 40
表 3.3 桃芝颱風崩塌地座標及鐵路里程 43
表 3.4 莫拉克颱風崩塌地面積 46
表 3.5 敏督利颱風崩塌地面積 48
表 3.6 桃芝颱風崩塌地面積 50
表 3.7 三場颱風總面積比較表 52
表 3.8 莫拉克颱風崩塌地坡度分級統計表 54
表 3.9 敏督利颱風崩塌地坡度分級統計表 55
表 3.10 桃芝颱風崩塌地坡度分級統計表 56
表 3.11 莫拉克颱風崩塌地坡向統計表 59
表 3.12 敏督利颱風崩塌地坡向統計表 59
表 3.13 桃芝颱風崩塌地坡向統計表 60
表 3.14 三場颱風崩塌地高程統計表 63
表 3.15 莫拉克颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料 64
表 3.16 敏督利颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料 66
表 3.17 桃芝颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料 68
表 3.18 崩塌地地籍資料統計表 71
表 3.19 阿里山森林鐵路莫拉克颱風後紀錄照片 72
表 3.20 阿里山森林鐵路於莫拉克颱風之崩塌地資料整理 79
表 4.1 山崩潛勢分析方法比較表 84

表 4.2　分類誤差矩陣表 90
表 4.3　不同研究者所使用的雨場分割方法 96
表 4.4　莫拉克颱風雨場切割後之雨量資料 99
表 4.5　以往研究曾探討之促崩因子 106
表 4.6　各因子崩壞比 114
表 4.7　各因子山崩與非山崩次數分佈 116
表 4.8　山崩潛感分析因子係數值 122
表 4.9　山崩潛感模式正確率 123
表 4.10 各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量 124
表 4.11 各頻率年時雨量及三日雨量於計畫區內之平均值 138
表 5.1　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程 144
表 5.2　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程 148
表 5.3　頻率年 10 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程 152
表 5.4　頻率年 25 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程 156
表 5.5　頻率年 50 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程 160
表 5.6　頻率年 100 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程 164
表 5.7　頻率年 200 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程 169
表 5.8　鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流資料 174
表 7.1　不同重現期距雨量 193
表 7.2　模式預測之高崩塌潛感區鐵路路段 194
表 7.3　模式預測之高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流 195

圖目錄

圖 1.1　本計畫之工作流程 4
圖 2.1　阿里山地區月平均氣溫統計結果 6
圖 2.2　阿里山地區月平均相對溼度統計結果 6
圖 2.3　本計畫將研究區域內土地利分佈 14
圖 2.4　計畫區域內土地權屬分佈 16
圖 2.5　研究區坡度分佈圖 17
圖 2.6　研究區坡向分佈圖 19
圖 2.7　研究區高程分佈圖 20
圖 2.8　研究區水系分佈圖 21
圖 2.9　計畫區詳細村里圖 22
圖 2.10 阿里山交通網 28
圖 2.11 研究區之地質分佈 32
圖 3.1　莫拉克颱風之崩塌地圖 35
圖 3.2　敏督利颱風之崩塌地圖 36
圖 3.3　桃芝颱風之崩塌地圖 36
圖 3.4　莫拉克颱風鄰近阿里山森林鐵路崩塌地分布圖 37
圖 3.5　敏督利颱風鄰近阿里山森林鐵路崩塌地分布圖 40
圖 3.6　桃芝颱風鄰近阿里山森林鐵路崩塌地分布圖 42
圖 3.7　莫拉克颱風各崩塌地平均坡度統計圖 53
圖 3.8　敏督利颱風各崩塌地平均坡度統計圖 54
圖 3.9　桃芝颱風各崩塌地平均坡度統計圖 55
圖 3.10 莫拉克颱風各崩塌地平均坡向圖 57
圖 3.11 敏督利颱風各崩塌地平均坡向圖 58
圖 3.12 桃芝颱風各崩塌地平均坡向圖 58
圖 3.13 莫拉克颱風各崩塌地平均高程圖 61
圖 3.14 敏督利颱風各崩塌地平均高程圖 62
圖 3.15 桃芝颱風各崩塌地平均高程圖 62
圖 3.16　A 區崩塌地崩塌現況 76
圖 3.17　B 區崩塌地崩塌現況 77
圖 3.18　C 區崩塌地崩塌位置圖 77
圖 3.19　D 區東側崩塌地崩塌位置圖 77
圖 3.20　D 區西側崩塌地崩塌位置圖 78
圖 4.1　各雨量站空間位置分布圖 94
圖 4.2　莫拉克颱風總雨量空間分佈與崩塌區分佈 101
圖 4.3　莫拉克颱風最大降雨強度空間分佈與崩塌區分佈 102
圖 4.4　岩性因子圖 107

圖 4.5　坡度因子圖 108
圖 4.6　坡向因子圖 108
圖 4.7　地形粗糙度因子圖 109
圖 4.8　坡度粗糙度因子圖 109
圖 4.9　剖面曲率因子圖 110
圖 4.10 平面曲率因子圖 110
圖 4.11 總曲率因子圖 111
圖 4.12 道路距因子圖 111
圖 4.13 鐵路距因子圖 112
圖 4.14 水系距因子圖 112
圖 4.15 羅吉斯迴歸模式預測崩塌區域與實際崩塌區域比較 121
圖 4.16 頻率年兩年計畫區之時雨量圖 131
圖 4.17 頻率年兩年計畫區之三日雨量圖 131
圖 4.18 頻率年五年計畫區之時雨量圖 132
圖 4.19 頻率年五年計畫區之三日雨量圖 132
圖 4.20 頻率年十年計畫區之時雨量圖 133
圖 4.21 頻率年十年計畫區之三日雨量圖 133
圖 4.22 頻率年二十五年計畫區之時雨量圖 134
圖 4.23 頻率年二十五年計畫區之三日雨量圖 134
圖 4.24 頻率年五十年計畫區之時雨量圖 135
圖 4.25 頻率年五十年計畫區之三日雨量圖 135
圖 4.26 頻率年一百年計畫區之時雨量圖 136
圖 4.27 頻率年一百年計畫區之三日雨量圖 136
圖 4.28 頻率年兩百年計畫區之時雨量圖 137
圖 4.29 頻率年兩百年計畫區之三日雨量圖 137
圖 4.30 頻率年兩年之山崩機率圖 138
圖 4.31 頻率年五年之山崩機率圖 139
圖 4.32 頻率年十年之山崩機率圖 139
圖 4.33 頻率年二十五年之山崩機率圖 140
圖 4.34 頻率年五十年之山崩機率圖 140
圖 4.35 頻率年一百年之山崩機率圖 141
圖 4.36 頻率年兩百年之山崩機率圖 141
圖 5.1　頻率年 2 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區 145
圖 5.2　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅰ 145
圖 5.3　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ 146
圖 5.4　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ 146
圖 5.5　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ 147
圖 5.6　頻率年 5 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區 149

圖 5.7　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅰ 149
圖 5.8　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ 150
圖 5.9　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ 150
圖 5.10 頻率年 10 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區 153
圖 5.11 頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅰ 153
圖 5.12 頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ 154
圖 5.13 頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ 154
圖 5.14 頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ 155
圖 5.15 頻率年 25 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區 157
圖 5.16 頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅰ 157
圖 5.17 頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ 158
圖 5.18 頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ 158
圖 5.19 頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ 159
圖 5.20 頻率年 50 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區 161
圖 5.21 頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅰ 161
圖 5.22 頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ 162
圖 5.23 頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ 162
圖 5.24 頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ 163
圖 5.25 頻率年 100 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區 165
圖 5.26 頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅰ 165
圖 5.27 頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ 166
圖 5.28 頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ 166
圖 5.29 頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ 167
圖 5.30 頻率年 200 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區 170
圖 5.31 頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅰ 170
圖 5.32 頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ 171
圖 5.33 頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ 171
圖 5.34 頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ 172
圖 5.35 鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 173
圖 5.36 頻率年 2 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 175
圖 5.37 頻率年 5 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 176
圖 5.38 頻率年 10 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 177
圖 5.39 頻率年 25 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 178
圖 5.40 頻率年 50 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 179
圖 5.41 頻率年 100 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 180
圖 5.42 頻率年 200 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流 181
圖 6.1　23 公里附近處屬於土石流潛勢溪流..... 182
圖 6.2　頻率年 2 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區 183

圖 6.3　頻率年 5 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區 183
圖 6.4　頻率年 10 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區 ..184
圖 6.5　頻率年 25 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區 ..184
圖 6.6　頻率年 50 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區 ..185
圖 6.7　頻率年 100 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區 185
圖 6.8　頻率年 200 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區 186
圖 6.9　森林鐵路災害區之二萬坪崩塌地.....187
圖 6.10 頻率年 2 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區 187
圖 6.11 頻率年 5 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區 188
圖 6.12 頻率年 10 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區 188
圖 6.13 頻率年 25 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區 189
圖 6.14 頻率年 50 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區 189
圖 6.15 頻率年 100 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區 190
圖 6.16 頻率年 200 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區 190

第一章　前言

1.1 計畫緣起

阿里山森林鐵路乃文建會推舉為台灣的世界遺產潛力點，為台灣重要的文化資產之一，也肩負著阿里山區觀光旅遊運輸與山區對外連絡的重要責任，近年來因為邊坡自然災害導致阿里山森林鐵路中斷之事件時有所聞，為確保鐵路運輸旅客安全，如何建立阿里山森林鐵路邊坡災害預警機制，為目前當務所需。台灣地區的年平均降雨量約 2,500 公釐，為世界平均值的三倍，雖降雨量豐沛，但各月份分配不均，降雨往往造成邊坡的破壞，尤以山區交通運輸系統最為嚴重，一旦發生崩塌災害，經常造成交通阻礙或人車傷亡的事件，是一項急需重視及改善的問題。

本研究選擇阿里山森林鐵路沿線邊坡作為研究對象，利用觸發邊坡崩塌最直接的誘因：降雨因素為代表，針對豪雨與崩塌之關係進行探究，藉由收集近年阿里山森林鐵路邊坡坍方災害修復記錄及降雨資料，探討降雨與鐵路邊坡崩塌的關係，分析不同降雨參數對研究區崩塌的影響，以降雨與鐵路邊坡崩塌發生與否的關係，利用統計方法建立山崩潛感模式，以作為防災預警的參考。

1.2 工作項目及內容

本計畫以委託方式辦理，工作項目與內容包括：

1. 基本資料蒐集與彙整。
2. 歷年崩塌資料彙整與分析。
3. 降雨崩塌情境模擬及潛勢評估。
4. 降雨高崩塌潛勢地區特性分析：

A. 阿里山森林鐵路邊坡崩塌根據不同降雨條件下之坡地

崩塌機率模擬結果，以鐵路里程為單位標示降雨高崩塌潛勢區域，並與航照資料套疊比對分析。

B. 阿里山森林鐵路沿線土石流潛勢區按照評估不同降雨條件下對於森林鐵路崩塌機率模擬結果，以鐵路里程為單位標示降雨高崩塌潛勢區域，並與航照資料套疊比對分析。

5. 針對森林鐵路這些災害地區及二萬坪等處提供降雨特性邊坡崩塌之影響。

1.3 工作進度

本計畫工作執行進度為簽約後立即進行基本資料收集，以國內外書報文獻中降雨與邊坡崩塌關係為主進行整理，除了收集選定之歷年雨量站雨量資料及阿里山森林鐵路災修紀錄後，考量計畫期間包括今年汛期，故將資料收集之期限延長至計畫中段，以收集今年可能之災害資料，研究過程選用不同雨型投入山崩潛感模式作為崩塌情境模擬，同時進行歷年崩塌資料彙整與分析，了解降雨高崩塌潛勢地區特性之分析，最後探討降雨特性與邊坡崩塌之影響。相關工作與進度規劃如表 1.1 所示。

表1.1　本計畫相關工作進度

進度甘特圖	民國100年							
工　作　項　目	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
一、基本資料收集								
二、歷年崩塌資料彙整與分析								
三、降雨崩塌情境模擬及潛勢評估								
四、降雨高崩塌潛勢地區特性分析								
五、降雨特性邊坡崩塌之影響								
六、成果報告編撰								
預計進度累計百分比%	5	15	25	40	65	85	90	100

工作執行計畫　期中報告　期末報告　成果報告

圖例：工作項目　已完成項目　未完成項目

1.4 工作執行構想

本計畫之工作項目包括基本資料蒐集與彙整、歷年崩塌資料彙整與分析、降雨崩塌情境模擬及潛勢評估、降雨高崩塌潛勢地區特性分析及降雨特性邊坡崩塌之影響等五項。依據本計畫之工作項目，本團隊擬定之工作流程如圖 1.1 所示。首先，針對阿里山鐵路沿線之集水區為計畫範圍，蒐集研究區內之降雨、阿里山森林鐵路災修紀錄、土地利用型態、土地權屬、地文、人文、水文、地質土壤等基本資料，以提供後續分析和參考之用。接下來彙整計畫區內歷年崩塌資料，包括位置、面積、坡度、坡向及高程等資料，以進行崩塌特性分析。再利用羅吉斯迴歸建立事件型山崩潛感模式，並藉由莫拉克颱風資料評估模式之準確性，以模擬不

同重現期之降雨崩塌情境。最後根據崩塌潛勢之評估結果繪製山崩潛感圖，進行降雨高崩塌潛勢區之特性分析，以提供阿里山森林鐵路復建工程之參考。

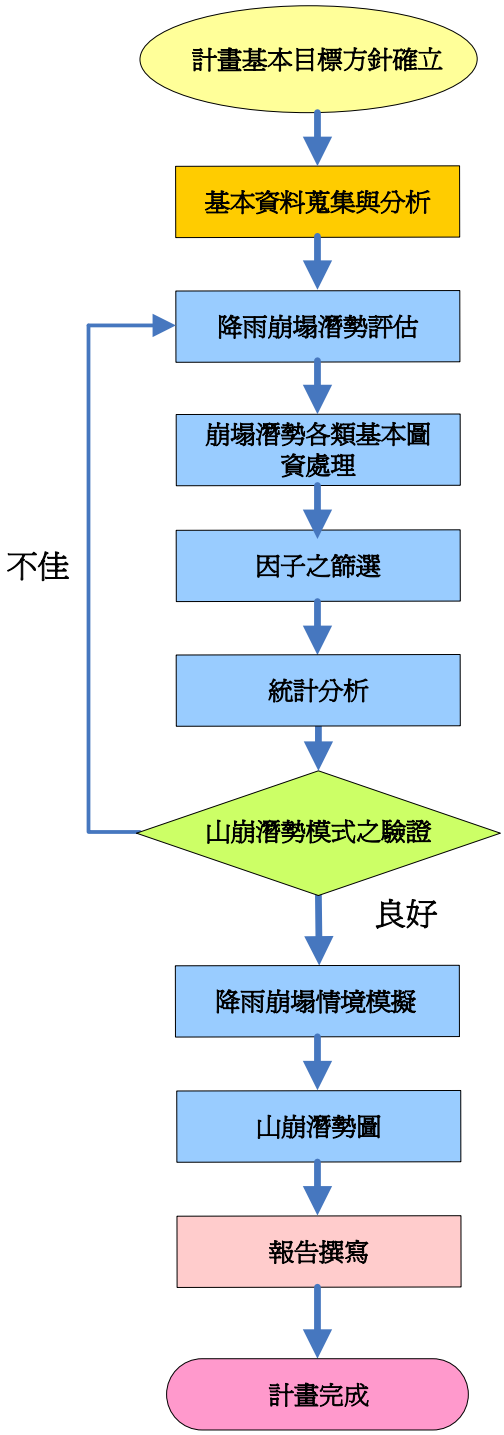


圖1.1　本計畫之工作流程

第二章　基本資料蒐集與彙整

本計畫之基本資料部分共蒐集計畫區域歷年來之降雨、阿里山森林鐵路災修紀錄、土地利用型態、土地權屬、地文、人文、水文、地質土壤等資料之蒐集等八大項資料，已分別依據資料庫格式，依照資料類別彙整建檔，供後續分析所需，針對基本資料蒐集與彙整分析相關成果詳述如後。

2.1 降雨

氣候為長時間天氣變化的綜合現象。氣候因子，如：降雨量、氣壓、溫度、溼度、風力、雲量、能見度、日照等，則為表示氣候之物理量。針對邊坡穩定而言，區域性的氣候型態乃是控制該地的地形發育、土壤化育、植生生長與災害類型的主要因素，以往之研究報告顯示，所有氣候因子中，以降雨量對邊坡崩塌影響最大。

本計畫之阿里山地區屬東亞之亞熱帶氣候區，地勢依山臨海，東側濱臨太平洋，颱風季節阿里山山脈常為暴雨迎風面，冬季東北季風盛行，挾帶大量水氣受阻於山脈，夏季則因雷雨及颱風侵襲雨量較多，故形成夏季炎熱而冬季陰濕的氣候現象。根據中央氣象局氣象資料統計阿里山地區月平均氣溫與相對溼度如圖 2.1 與 2.2 所示，顯示阿里山地區每年 6 月至 9 月為高溫期，12 月至翌年 2 月為低溫期，各月平均氣溫以 7 月最高，1 月最低。相對濕度隨溫度而異，每年 6 至 8 月較高，在 89%至 95%之間，11 月至翌年 1 月較低，在 78%至 89%之間。

中央氣象局所設立之阿里山雨量站之降雨資料，1999～2010 年間各月平均累積降雨量如表 2.1 所示，奮起湖雨量站之降雨資料為 1999～2010 年間各月平均累積降雨量如表 2.2 所示，阿里山站

年平均累積降雨量高達 4,150mm，奮起湖站年平均累積雨量亦高達 3,913mm，均高於臺灣年平均降雨量 2,500mm，降雨量相當豐沛，由各月平均累積降雨量可知，阿里山森林鐵路沿線主要降雨集中夏季，以 5、6 月滯留鋒梅雨期及 7、8 月颱風豪雨期為主，4 月至 9 月防汛期間累積雨量占全年總降雨量 83.78%。

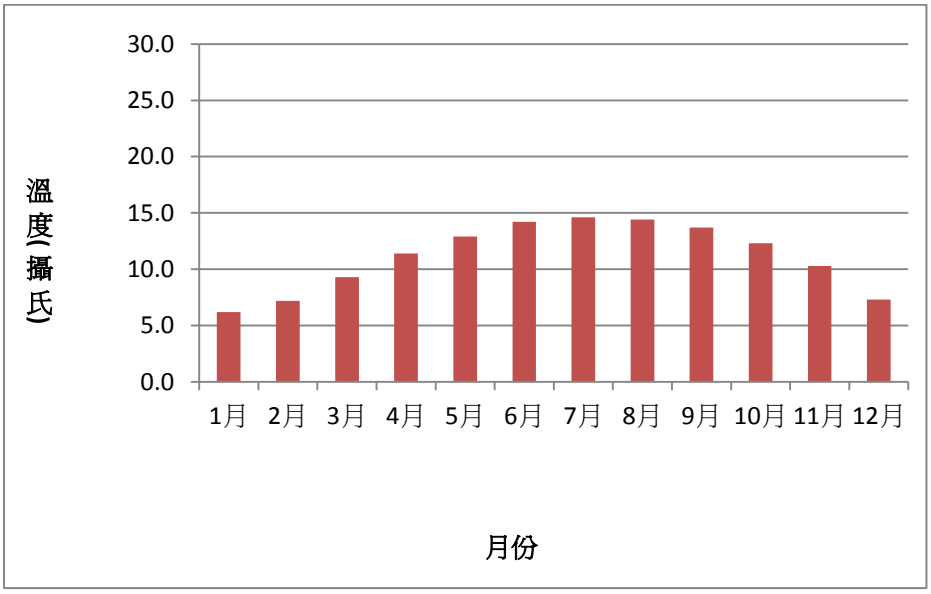


圖2.1　阿里山地區月平均氣溫統計結果

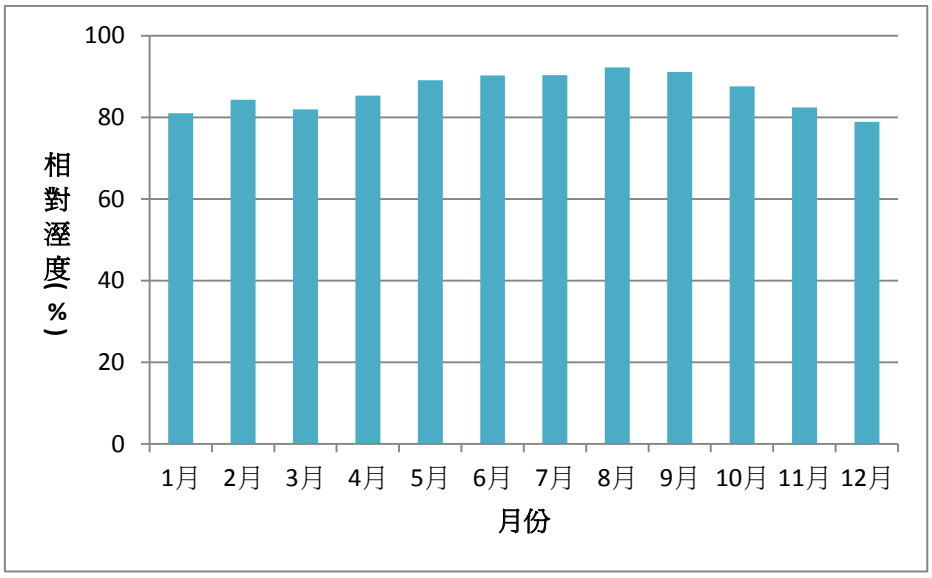


圖2.2　阿里山地區月平均相對溼度統計結果

表 2.1　阿里山雨量站之降雨資料 1999～2010 年各月平均累積降雨量

月 年	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總計
1999	64.6	0.0	59.5	109.0	661.5	244.7	679.0	723.8	244.9	102.5	46.5	138.9	3074.9
2000	43.8	217.7	111.7	427.5	164.1	535.2	551.0	641.5	110.5	123.3	99.5	67.6	3093.4
2001	146.4	12.6	144.0	220.7	670.8	503.2	1031.0	222.3	951.8	29.5	64.0	21.0	4017.3
2002	92.0	7.0	45.5	4.5	382.3	225.9	591.9	477.5	154.0	52.0	29.0	134.9	2196.5
2003	42.5	18.5	54.1	288.5	136.0	828.5	180.0	330.5	250.0	105.5	64.2	0.5	2298.8
2004	40.5	133.2	108.7	131.4	377.4	94.5	1925.0	1015.5	261.0	9.0	0.0	96.2	4192.4
2005	45.1	249.3	385.5	95.5	707.7	839.7	1362.5	1199.7	590.5	226.5	48.0	50.5	5800.5
2006	48.0	8.5	232.2	319.3	703.5	1876.8	1247.0	296.3	346.9	44.8	155.8	51.7	5330.8
2007	149.3	49.5	56.5	241.5	358.4	633.8	179.2	1625.1	539.4	1157.6	47.4	5.1	5042.8
2008	103.2	90.2	64.8	135.3	377.8	496.4	1573.1	276.5	2525.8	118.5	100.1	25.0	5886.7
2009	0.2	3.4	253.6	352.7	95.2	612.6	140.3	3346.0	146.4	170.4	27.5	73.7	5222.0
2010	52.7	199.2	33.8	224.1	522.7	457.5	858.8	366.3	592.4	194.4	87.8	64.9	3654.6
平均	69.0	82.4	129.2	212.5	429.8	612.4	859.9	876.8	559.5	194.5	64.2	60.8	4150.9

單位：mm

表2.2　奮起湖雨量站之降雨資料1999～2010年各月平均累積降雨量

月 年	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總計
1999	35	1	50.5	96.5	382	258.5	729.5	951.5	154	106.5	39	78	2882
2000	20.5	122	60	294	176	416.5	527	764.5	129	128.5	74.5	45.5	2758
2001	94.5	3.5	99.5	153	716	656.5	860	247	1185	47.5	27	15	4104.5
2002	72	3	34.5	4.5	351.5	380.5	668	464.5	200.5	38	4.5	98.5	2320
2003	40	15	70.5	250.5	168	866	153	283.5	295.5	146	20	0.5	2308.5
2004	15	46	73.5	104	282	96.5	1600	1074	202.5	43	1	78.5	3616
2005	18.5	168	253	90.5	708.5	1009	1360	1140.5	655	207.5	30	22.5	5663
2006	23	3.5	132.5	254	557	1520	1344.5	318.5	337.5	13	106	39.5	4649
2007	124	28.5	45	128	386	597.5	185.5	1446	623	1167.5	36.5	5.5	4773
2008	55	52.5	52	161.5	477	489	1661	162	2676.5	96	46.5	10.5	5939.5
2009	0	8	162.5	263	91	587	147	3144.5	188	48	34.5	43.5	4717
2010	39	116.5	28	209.5	346.5	539.5	732.5	434	554.5	107	63.5	56	3226.5
平均	44.7	47.3	88.5	167.4	386.8	618.0	830.7	869.2	600.1	179.0	40.3	41.1	3913.1

單位：mm

2.2 阿里山森林鐵路災修紀錄

根據行政院農業委員會嘉義林區管理處鐵路管理課歷年阿里山森林鐵路沿線重大工程及民國 96 年阿里山森林鐵路出勤災害修復紀錄，阿里山鐵路除一般維護性之路基、橋樑與隧道改善工程外，崩坍地處理、邊坡坍方修復與邊坡穩定等災害修護工程亦佔有相當大之工程數量，分析這一些災害修護工程進行之時間點可以發現，重大的災害修護工程又集中於颱風豪雨發生後之期間，表 2.3 歷年阿里山森林鐵路沿線重大工程與表 2.4 民國 96 年阿里山森林鐵路沿線出勤災害修復紀錄顯示，民國 90 年之納莉與桃芝颱風、94 年泰利颱風、96 年聖帕與柯羅莎颱風及 98 年莫拉克颱風皆曾對阿里山森林鐵路沿線造成重大災情。

表2.3　歷年阿里山森林鐵路沿線重大工程

時間	工程名稱
民國 90 年	阿里山區 5 林班崩坍地處理工程
	阿里山區 141 林班第二期邊坡穩定工程
	森林鐵路竹崎段內梨園寮至 33k
	森林鐵路 36k+101 邊坡坍方修復工程
	森林鐵路第 29 號隧道西口修復工程
	森林鐵路 17k+100 納莉颱災路基流失修復工程
	森林鐵路 17k+100 路基流失修復工程
	森林鐵路阿里山段內桃芝颱災修復工程
	森林鐵路 58k+852~992m 邊坡穩定工程
	森林鐵路第 23 號橋下方邊坡穩定工程
民國 91 年	森林鐵路 42k~44k 崩坍地處理工程
	森林鐵路 19k+750m 上方崩坍地處理工程
	奮起湖段內 16 號隧道口等整建工程
	森林鐵路竹崎段內邊坡穩定處理工程
民國 92 年	森林鐵路第 10~14 號隧道復建工程
	森林鐵路奮起湖段內橋樑改善工程
	森林鐵路奮起湖段內隧道改善工程
	森林鐵路 70k+842~870m 橋樑復建工程
	森林鐵路第 45 號隧道改善工程
	森林鐵路第 34 號橋樑改善工程
	森林鐵路 37k+500~38k+500 邊坡穩定工程
	森林鐵路竹崎段 25k+220~280 邊坡穩定工程
	森林鐵路阿里山鐵路 40k+350m 處上游崩坍
	竹崎段內橋樑改善
	竹崎段內隧道改善
	奮起湖段內橋樑改善
	奮起湖段內隧道改善
	阿里山段內隧道改善
	森林鐵路第 44、45 號橋修復改善工程
	森林鐵路竹崎段 12~13k 邊坡穩定工程

表2.3　歷年阿里山森林鐵路沿線重大工程(續)

時間	工程名稱
民國 93 年	森林鐵路 23k+571~23k+618 路段
	奮起湖段內橋樑改善
	奮起湖段內隧道改善
	阿里山段內隧道改善
	森林鐵路第 32 號隧道修復工程
	森林鐵路竹崎段內 2~11 號隧道改善工程
	森林鐵路第 9 號橋樑改善工程
	森林鐵路竹崎段內路基改善工程
	森林鐵路 2k+760~3k+300m 環境整修工程
民國 94 年	森林鐵路 29k+500m 崩塌地穩定處理工程
	森林鐵路第 10 號隧道東口整修工程
	森林鐵路 20k+450m 泰利颱災搶修
	森林鐵路木屐寮段崩塌地處理工程
民國 95 年	森林鐵路 15k+590~655m 路基改善工程
	阿里山區 130 林班第二期崩塌地處理工程
	阿里山區 130 林班崩塌地處理工程
	森林鐵路 15k+590~655m 豪雨災害緊急搶修工程
民國 96 年	森林鐵路竹崎段內邊坡穩定處理工程
	森林鐵路第 13 號橋樑改建工程
	森林鐵路第 32 號隧道改善工程
民國 97 年	森林鐵路第 14 號橋搶修工程
民國 98 年	森林鐵路 60k+130 等地段邊坡穩定工程
	莫拉克颱風災害搶修工程
	祝山林道災害復建工程
	腦寮溪主支流崩塌地復育第二期工程
	樟腦寮地區地層滑動調查監測分析及治理對策規劃
	阿里山區 213 林班野溪治理工程
民國 99 年	森林鐵路 20k+080m~22k+418 災害搶修
	森林鐵路 43k+711~48k+532 災害修復工程
民國 100 年	森林鐵路 47k+185 上方崩塌地處理工程
	阿里山區 149 林班崩塌地處理工程
	阿區 150 林班多林崩塌地治理一期工程

表2.4　民國96年阿里山森林鐵路沿線出勤災害修復紀錄

日期	工作內容	鐵路里程
森林鐵路竹崎監工區第一道班		
96.08.12	災害搶修	竹崎監工區 1k+940m
96.08.19	災害搶修砍除樹枝	2k+500m 3k+100m 3k+400m-500m
96.10.08	搶修災害砍除樹枝	北門構內-5k+600m
96.10.09	搶修災害砍除樹枝	北門才尾巴內-7k+100m
森林鐵路竹崎監工區第二道班		
96.08.19	颱風災害搶修	18k+800m~ 14k+300m 33k+700m(奮起湖段內)
96.10.7	災害搶修 砍樹	18k+800m-14k+300m 9k+500m
96.10.8	災害搶修 砍樹	第三班段內
96.10.9	災害搶修 砍樹	竹崎-樟腦寮
96.10.10	災害搶修	樟腦寮-獨立山
森林鐵路竹崎監工區第三道班		
96.08.19	颱風災害搶修	21k+300m-19k (協助第二道班搶修災害)
96.10.08	颱風搶修災害	24k+850m- 960m
96.10.09	颱風搶修災害	22k+300m-320m 24k+280m-290m 26k+580m
96.10.10	搶修災害	23k+020m- 24k+960m 26k+900m-31k+300m
森林鐵路奮起湖監工區第四道班		
96.08.08	坍方搶修	40k+000m
96.08.09	坍方搶修	40k+000m
96.08.19	災害坍方搶修	33k+740m 35k+130m
96.08.20	災害坍方搶修	35k+130m 35k+150m

表2.4　民國96年阿里山森林鐵路沿線出勤災害修復紀錄(續)

日期	工作內容	鐵路里程
森林鐵路奮起湖監工區第五道班		
96.08.13	災害搶修(坍方)	40k+750m
96.08.14	災害搶修(坍方)	40k+000m
96.08.15	災害搶修(坍方)	50k+000m 50k+050m
96.08.17	災害搶修(坍方)	50k+070m 50k+130m
96.08.19	災害搶修(坍方)	34k+130m
96.10.11	災害搶修坍方清除	43k+750m-43k+600m
96.10.12	災害搶修坍方清除	41k+810m-41k-830m
96.10.16	災害搶修坍方清除	41k+100m-40k+780m
森林鐵路奮起湖監工區第六道班		
96.08.14	災害坍方	54k+050m
96.08.15	災害搶修(坍方)	50k+000m-50k+050m
96.08.17	災害搶修(坍方)	50k+070m-50k+130m
96.10.08	災害砍竹子 樹	52k+000m-55k+000m
96.10.09	災害砍竹子 樹	50k+000m-52k+000m
96.10.10	災害砍竹子 樹	54k+900m-55k+300m
森林鐵路阿里山監工區第七道班		
96.08.14	災害搶修	61k+100m
96.08.15	災害搶修	61k+100m
96.08.16	颱風警報 水溝清理	二萬平~屏遮那
96.10.15	災害搶修	61k+050m-61k+100m
96.10.16	災害搶修	61k+065m-61k+100m
森林鐵路阿里山監工區第八道班		
96.06.24	搶修災害	支援奮起湖
96.10.08	颱風	鐵路搶修
96.10.09	颱風	鐵路搶修
96.10.10	颱風	鐵路搶修
96.10.11	颱風	鐵路搶修

2.3 土地利用型態

人類活動是影響土地利用型態最大的主要因素，農業耕種技術的進步，使得土地遭到大量的開發，改變了地表最原始的面貌，機械的利用使得人類可以用更輕鬆的方式進行開發，而交通運輸工具的進步也使得人類遷徙能力提昇，改變人類經濟活動方式。技術的進步、機械的發達，導致土地利用型態遭受一次又一次不同的改變，轉換了地表原有的土地利用型態。從土地利用型態，可以理解人類依據當地自然地理特性，以及人類本身的需求，對土地進行改造，也因此每個地區的土地利用方式型態與空間分佈特性都大不相同；此外，土地利用型態也有可能受到外來的影響，而有所改變。總而言之，土地利用為人類有目的的開發利用土地資源，而土地利用型態的轉變，則可反映當地的歷史發展，以及空間和環境的變遷。

本計畫將研究區域內之土地利用依據利用之型式、類別與開發之差異，將土地利用細分為 14 類，包含旱田、闊葉林、針葉林、竹林、建築區、檳榔、茶園、果園、草生地、墓地、崩塌地、河流、道路及荒地等，其土地利用分佈如圖 2.3 所示，研究區內各類別所佔之土地利用比例如表 2.5 所示。研究區內人為開發後之土地利用型態主要以建築區、檳榔及茶園為主，所占比例分別為 17.6%、16%及 14.1%，由土地利用型態分佈可以發現，本區人口可能相當集中在部份住宅區，或者居住在非住宅區的使用分區，由此可知民眾對於公共設施的使用可能發生過於擁擠或閒置的狀況。而研究區內之阿里山森林鐵路沿線土地利用主要多為未開發之林班地，所包含的事業區有：阿里山及部分大埔事業區，林班地占整個研究區總面積約 77%。

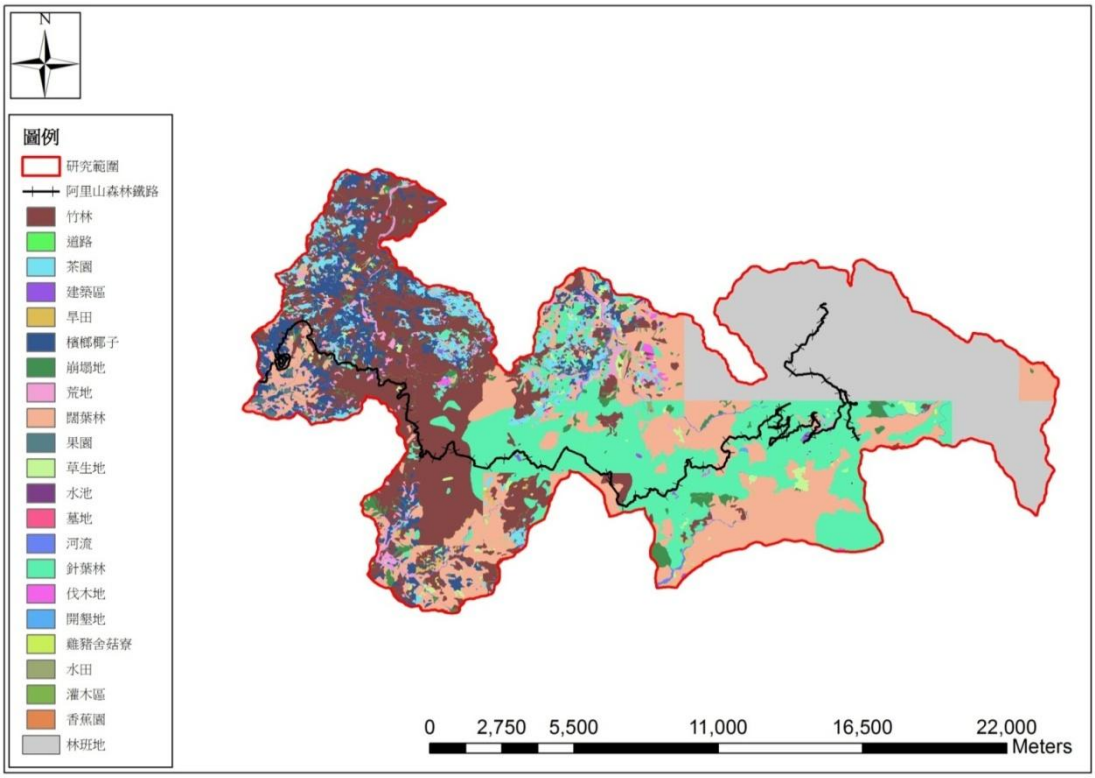


圖2.3　本計畫將研究區域內土地利分佈

表2.5　土地利用各類別所佔之比例

類別	比例	類別	比例
旱田	1.8%	果園	1.15%
闊葉林	8.2%	草生地	3.6%
針葉林	5.5%	墓地	0.02%
竹林	12.2%	崩塌地	4.5%
建築區	17.6%	河流	1.03%
檳榔	16%	道路	3.3%
茶園	14.1%	荒地	9.6%

2.4 土地權屬

土地權屬之調查乃透過嘉義市地政事務所與嘉義縣竹崎地政事務所,購買地籍圖進行計畫區內私有土地資料進行收集與彙整，阿里山森林鐵路沿線所經過嘉義市地政事務所與竹崎地政事務所所轄之土地地籍段名分別為：

1. 嘉義市地政事務所：

   檜段一小段、二小段、盧厝段、太平段、崎頂段、後庄段。

2. 竹崎地政事務所：

   竹崎鄉有緞厝寮段、金獅寮段、糞箕湖段、公園段、真武段、和平段、溪心段、鹿滿段、頂茄苳段、烏土掘段、灣北段、灣中段、五間厝段、崎腳段。梅山鄉有大坪段、科子林段、石濁溪段。阿里山鄉有阿里山段、平遮段、多林段。

另外，搭配嘉義林區管理處林班圖(第三次森林資源調查)，進行計畫區內林班地彙整,並藉由本計畫收集之地理資訊系統圖資，包括：原住民保留地與公有地等資料進行彙整，相關資料彙整後並建立資料庫供後續分析使用。計畫區內之土地以林班地所佔之面積最大為 25370 公頃，私有地所佔之面積次之為 3869.82 公頃，研究區土地權屬分析結果詳表 2.6，土地權屬分佈如圖 2.4 所示。

表2.6　土地權屬分析結果表

土地權屬	面積(公頃)
原住民保留地	624.09
公有地	824.475
私有地	3869.82
林班地	25370
山坡地	6876.7733

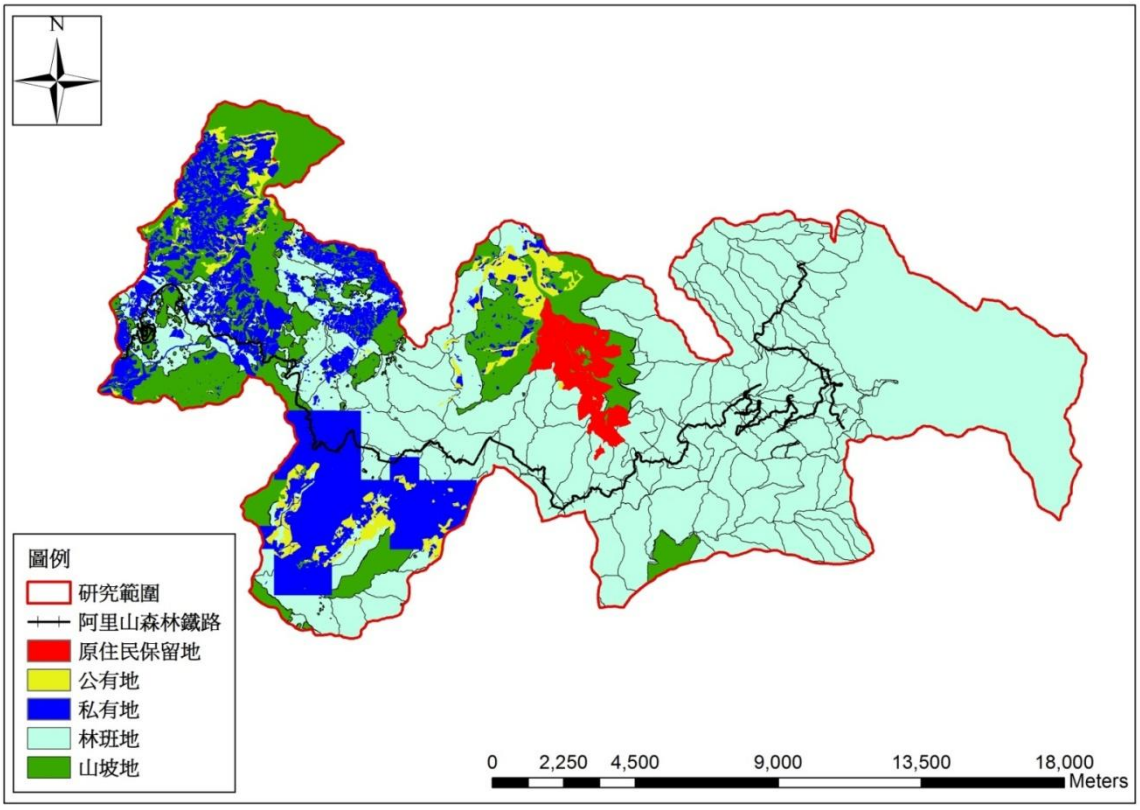


圖2.4　計畫區域內土地權屬分佈

2.5 地文

本研究利用 Arcview 軟體對計畫研究區之 DTM 資料進行地文之坡度、坡向及高程分析。

2.5.1 坡度

按「水土保持技術規範」規定之坡度分類標準，研究區坡度分析結果詳表 2.7，坡度分佈如圖 2.5 所示。研究範圍的坡度分析結果顯示，坡度介於 30%~55%之四級坡及五級坡約佔全區面積之一半(百分比為 60.94%)，且以四級坡為主，可見計畫區內地形相當險峻。本地區不同坡度範圍所佔之百分比分別為：一級坡佔 0.31%、二級坡佔 2.09%、三級坡佔 8.63%、四級坡佔 30.57%、五級坡佔 30.37%、六級坡佔 23.63%及七級坡佔 4.41%。

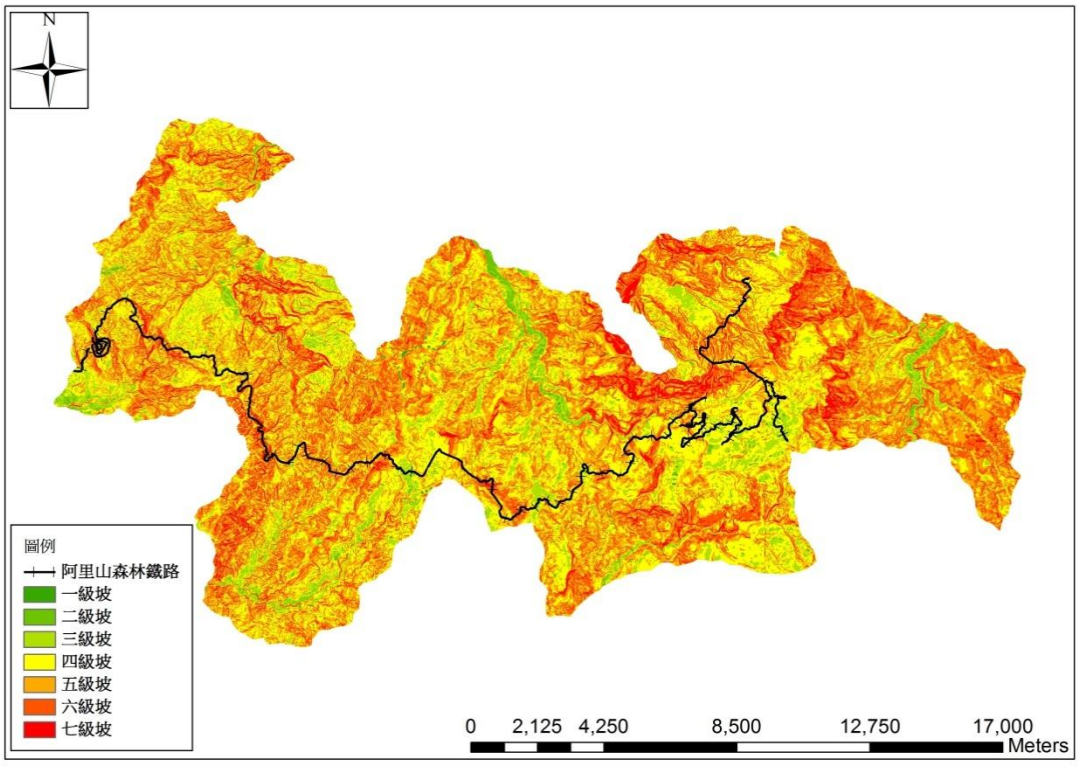


圖2.5 研究區坡度分佈圖

表2.7　研究區坡度分析結果表

坡度分級	坡度範圍	面積(公頃)	百分比
一級坡	S≦5%	78.57	0.31%
二級坡	5%<S≦15%	531.37	2.09%
三級坡	15%<S≦30%	2189.26	8.63%
四級坡	30%<S≦40%	7756.33	30.57%
五級坡	40%<S≦55%	7706.12	30.37%
六級坡	55%<S≦100%	5994.76	23.63%
七級坡	100%<S	1117.82	4.41%
總面積		25374.22	100%

2.5.2 坡向

在坡向分析方面，由分析結果顯示，研究區之坡向主要集中於西北、北、西及西南四個方向，分別佔了總面積的 15.30%、14.42%、13.97%、12.07%，詳細研究區坡向分析結果與坡度向分佈如表 2.8 與圖 2.6 所示。

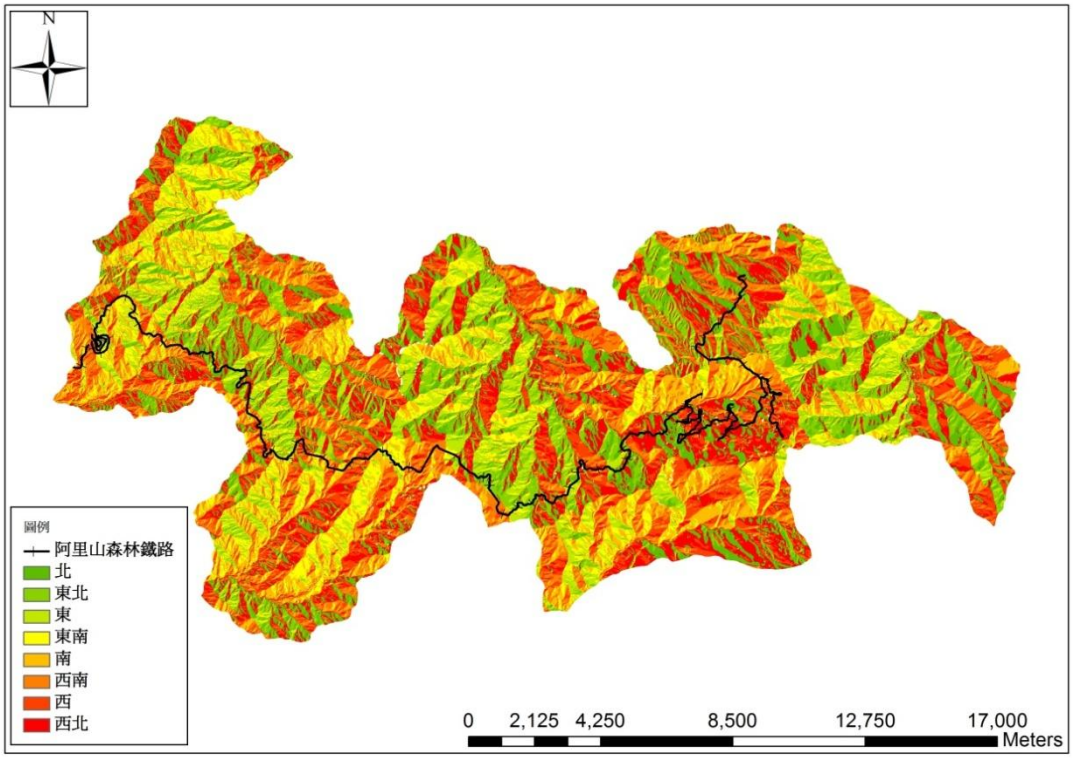


圖2.6　研究區坡向分佈圖

表2.8　研究區坡向分析結果表

坡向分類	面積(公頃)	百分比
北	3659.83	14.42%
東北	2815.20	11.09%
東	2735.60	10.78%
東南	2816.07	11.10%
南	2860.14	11.27%
西南	3061.71	12.07%
西	3543.96	13.97%
西北	3881.69	15.30%
總面積	25374.22	100%

2.5.3 高程

計畫區域最高高程為 2,658.8 公尺，平均高程為 1,476.8 公尺，高程分布主要分布在 1,000 公尺～1,500 公尺。茲將高程之分析結果彙整表 2.9 與圖 2.7 所示。

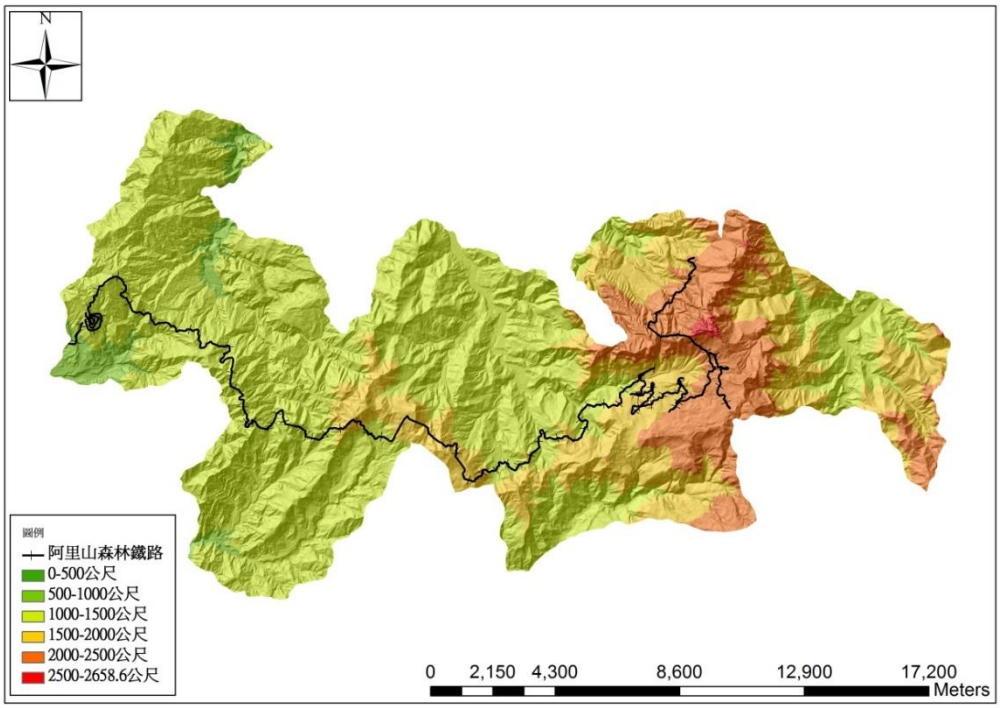


圖2.7　研究區高程分佈圖

表2.9　研究區高程分析結果表

高程 (公尺)	面積 (公頃)	百分比 (%)
0-500	813.13	3.20%
500-1000	7230.98	28.50%
1000-1500	8680.11	34.21%
1500-2000	5281.10	20.81%
2000-2500	3304.16	13.02%
2500-2658.8	64.76	0.26%
總面積	25374.22	100%

2.6 水文

研究區的水系分佈如圖 2.8 所示，包含曾文溪、陳有蘭溪、清水溪、朴子溪及八掌溪等集水區。阿里山山脈是清水溪、曾文溪的分水嶺，區內東部有由北流至南投的和社溪，另外有三大條向西流的水系，分別是清水溪、八掌溪和曾文溪。清水溪為濁水溪支流，清水溪和其上游的阿里山溪、石鼓盤溪、生毛樹溪，流經梅山鄉的瑞里、太和與阿里山鄉的豐山、來吉等地。八掌溪水系，主要有八掌溪、赤蘭溪，發源於嘉義縣海拔 1940 公尺的大凍山，流經番路鄉、中埔鄉。曾文溪水系主要包括有曾文溪、烏其哈溪、達娜伊谷溪等，發源於阿里山山脈的水山，流經嘉義縣阿里山、番路、大埔三個鄉。

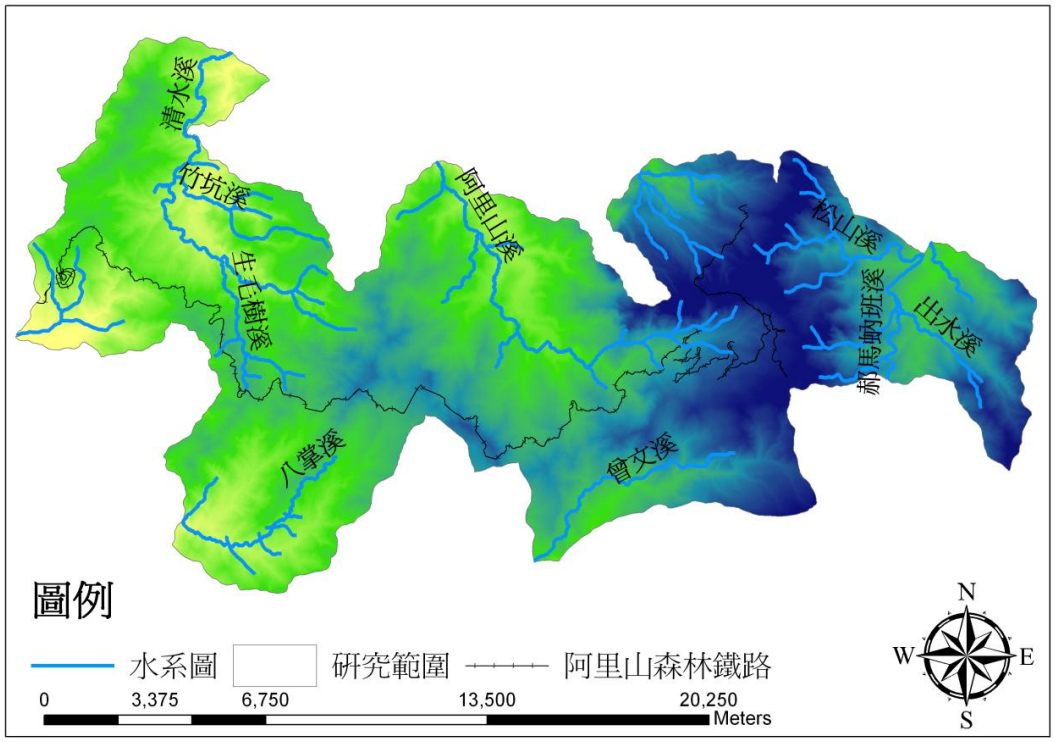


圖2.8　研究區水系分佈圖

2.7 人文

2.7.1 行政區域

計畫區各鄉鎮之村里詳圖如圖 2.9 所示，於計畫區內阿里山森林鐵路沿線經過地 12 個村里包括：嘉義縣竹崎鄉的緞繻、仁壽、中和、光華等四村，嘉義縣梅山鄉的太興、太平、太和等三村，嘉義縣阿里山鄉的十字、香林、中正、中山等四村，及南投縣信義鄉的神木村。

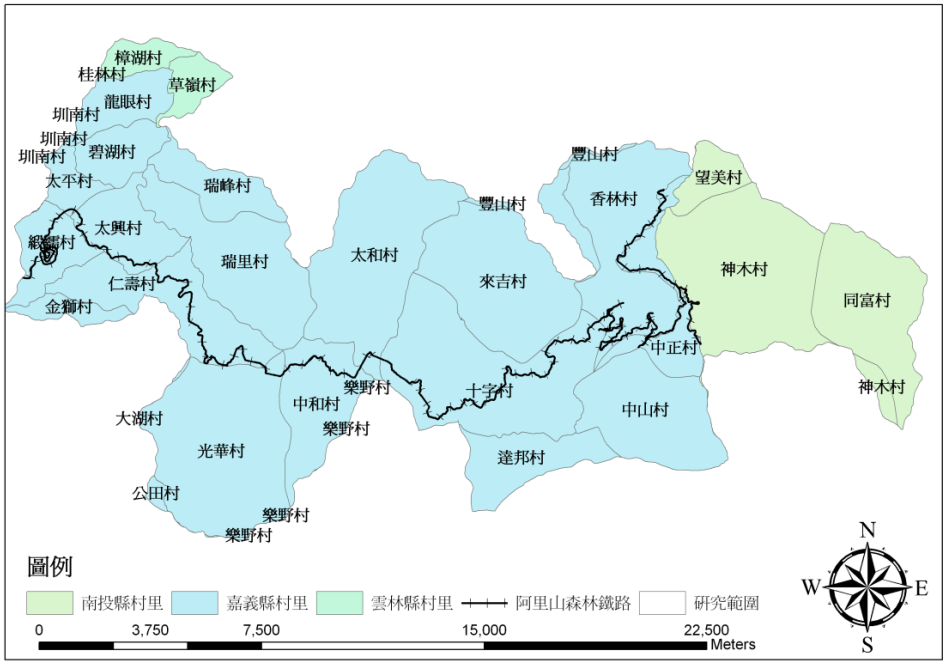


圖2.9　計畫區詳細村里圖

2.7.2 人口

阿里山鄉民國 72 年時人口為 6,124 人，至 100 年時略為增加成 6198 人，民國 100 年阿里山鄉人口統計表詳如表 2.10 所示，其 28 年間之人口平均成長率僅 0.04%，可見該鄉人口變化極微。主要是因為阿里山鄉的位置、地形較為獨立，預估未來人口數，亦不會有相當大的變動。

竹崎鄉是個座落於阿里山山麓的中型鄉鎮，目前計有 24 個村落，民國 100 年竹崎鄉人口統計表詳如表 2.11 所示，人口數約略有 38,301 人，管轄區域從百來公尺的平原、丘陵逐漸陡向崇山峻嶺，最高地標的大凍山頂幾乎達海拔 2,000 公尺，總面積約 243 平方公里。竹崎鄉因鄰近嘉義市，且為山區產業道路的匯集點，加上阿里山鐵路的中途點－奮起湖即位於該鄉境內，因此人口數為嘉義縣諸鄉鎮中人口較多者。

梅山鄉位在嘉義縣的東北角，東鄰阿里山鄉、南鄰竹崎鄉、北與雲林縣古坑鄉為鄰，西界是民雄鄉和大林鎮的東邊。全鄉面積約一百二十四平方公里多，共分 18 村，其中梅北、梅東、梅南村三個村所形成的城鎮是鄉公所、戶政所及其他機關的所在地，也是全鄉文化、交通中心，其餘 15 個村均分布偏僻山區。民國 100 年梅山鄉人口統計表詳如表 2.12 所示，人口數約略有 21,373 人。

根據各鄉鎮戶政事務所統計資料，彙整研究區內阿里山森林鐵路沿線之村里人口統計，詳如表 2.13 所示，顯示鐵路沿線經過村里之人口約略有 7,027 人。

表2.10　阿里山鄉人口統計表民國100年8月底人口數

村里名稱	鄰數	戶數	男	女	合計	公民數
十字村	6	118	211	152	363	300
山美村	7	214	376	339	715	505
中山村	6	164	238	208	446	379
中正村	5	93	119	109	228	198
里佳村	4	106	192	139	331	258
來吉村	5	154	239	226	465	364
香林村	9	94	125	108	233	211
茶山村	5	156	245	196	441	327
新美村	5	130	210	188	398	305
達邦村	12	365	578	537	1115	856
樂野村	9	354	558	515	1073	791
豐山村	5	128	221	169	390	298
總　　計	78	2076	3312	2886	6198	4792

資料來源：嘉義縣阿里山鄉戶政事戶所

表2.11　竹崎鄉人口統計表民國100年9月底人口數

村里名稱	鄰數	戶數	男	女	公民	合計
中和村	21	361	566	431	813	997
仁壽村	12	119	171	118	253	289
內埔村	17	587	1,042	1,002	1,627	2,044
文峰村	18	272	438	384	685	822

表 2.11　竹崎鄉人口統計表民國 100 年 9 月底人口數(續)

村里名稱	鄰數	戶數	男	女	公民	合計
白杞村	12	253	438	391	704	829
光華村	14	297	513	372	732	885
竹崎村	31	953	1,578	1,514	2,425	3,092
坑頭村	12	277	508	448	782	956
沙坑村	12	293	544	486	858	1,030
和平村	16	776	1,430	1,289	2,123	2,719
昇平村	19	603	1,171	1,061	1,792	2,232
金獅村	12	212	309	238	457	547
桃源村	20	369	695	558	1,019	1,253
鹿滿村	16	486	973	817	1,442	1,790
復金村	24	629	1,276	1,075	1,916	2,351
紫雲村	16	475	936	823	1,401	1,759
塘興村	16	281	586	491	867	1,077
獅埕村	15	433	823	694	1,248	1,517
義仁村	13	385	706	616	1,065	1,322
義和村	6	204	380	317	577	697
義隆村	12	206	395	327	568	722
緞繻村	20	375	605	527	958	1,132
龍山村	22	589	1,150	1,039	1,731	2,189
灣橋村	31	1,975	3,171	2,879	4,956	6,050
總計	407	11,410	20,404	17,897	30,999	38,301

資料來源：嘉義縣竹崎鄉戶政事戶所

表 2.12　梅山鄉人口統計表民國 100 年 10 月底人口數

村　　里	鄰數	戶數	男	女	公民數	合計
大南村	12	605	1,134	940	1,715	2,074
太平村	10	203	356	254	501	610
太和村	12	381	721	594	1,022	1,315
太興村	10	155	290	239	427	529
半天村	8	156	246	243	420	489
永興村	9	196	329	304	513	633
圳北村	8	219	410	356	639	766
圳南村	12	174	300	233	441	533
安靖村	11	316	600	480	913	1,080
梅北村	15	1,685	2,720	2,589	4,222	5,309
梅東村	27	1,001	1,478	1,400	2,368	2,878
梅南村	15	405	594	578	968	1,172
瑞里村	8	234	429	391	647	820
瑞峯村	9	256	507	410	745	917
過山村	7	221	366	326	580	692
碧湖村	9	113	185	154	283	339
龍眼村	10	181	268	233	428	501
双溪村	8	216	396	320	598	716
總計	200	6,717	11,329	10,044	17,430	21,373

資料來源：嘉義縣梅山鄉戶政事戶所

表 2.13　阿里山森林鐵路沿線村里之人口統計

村里名稱	鄰數	戶數	男	女	公民數	合計
緞繻村	20	375	605	527	958	1,132
中和村	21	361	566	431	813	997
仁壽村	12	119	171	118	253	289
光華村	14	297	513	372	732	885
太平村	10	203	356	254	501	610
太和村	12	381	721	594	1,022	1,315
太興村	10	155	290	239	427	529
十字村	6	118	211	152	300	363
香林村	9	94	125	108	211	233
中山村	6	164	238	208	379	446
中正村	5	93	119	109	198	228
總計	125	2360	3915	3112	5794	7,027

2.7.3 交通

阿里山森林鐵路鄰近之道路以台 18 線及台 3 線為主要路線，而台 18 線俗稱阿里山公路。其支線尚有 149 甲縣道、159 甲縣道、162 甲縣道、149 縣道、159 縣道、169 縣道、166 縣道、嘉 122 鄉道、嘉 126 鄉道、嘉 128 鄉道、嘉 129 鄉道、嘉 154 鄉道、嘉 155 鄉道。上述道路及阿里山森林鐵路構成計畫區的主要交通網，詳圖見圖 2.10 所示，與阿里山森林鐵路相交之主要道路有嘉義縣道 166、169，以及嘉義鄉道 122、154、155。



資料來源：阿里山國家風景區管理處

圖2.10　阿里山交通網

2.7.4 產業發展

阿里山曾為台灣三大林場之一，1895 年起日本政府開始有計畫的發展林業，並於 1896 年發現阿里山地區有完整的檜木森林，因此在 1911 年起，陸續完成嘉義至二萬坪間、二萬坪至阿里山間的鐵路線，正式開啟了阿里山地區的伐木產業。阿里山的伐木歷史持續了 30 年後，已造成原始檜木林的砍伐殆盡；如今，隨著世界環境發展的潮流，阿里山地區的森林經營已漸漸轉換為環境保育及森林遊樂，並於 1995 年 11 月成立面積約 1,400 公頃的阿里山國家森林遊樂區，提供遊客更完善的森林遊樂服務。

目前阿里山鄉一級產業為農業，農業人口約 2,000 人，約佔全鄉總就業人口的 80%，而臺灣地區之農業人口約佔全省總就業人口的 23%，可見阿里山鄉在一級產業人口比重遠高於臺灣省。在農業方面，全鄉土地總面積約 427 平方公里，因境內以山地為主，因此農業耕地面積約佔全鄉土地面積 3.3%，其中水田佔耕地約 10%，旱田約 90%。早年除了森林、伐木外，阿里山以各種杉林和竹筍為最大宗產業，竹筍包括了桂竹、麻竹、石筒竹、孟宗竹等。此外，還有香菇、木耳、李子等，後來則發展出茶葉、愛玉、甜柿等特產。晚近更積極以精緻農業為重點，明日葉、石蓮、香水百合、蝴蝶蘭等園藝花卉也成為重要的產業。

竹崎鄉接於嘉南平原的東端，亦以農業為主要產業，全鄉約78%的就業人口務農維生。一年四季皆有新鮮美味的蔬果，如：十月龍眼、高接梨、高山茶、四號鳳梨、荔枝、柑桔、金龍蜜棗、石蓮花…等。

梅山鄉是一個沒有工業喧囂的山域，由於地勢的高低不一，造成多種多彩的生產品目，產業以農林並營為主。光復前山園間作物以杉木、麻竹、桂竹、水果為主，筍乾、造紙、薪炭是居民的

重要副業。光復後，逐漸增加茶、柑橘、檳榔、蓮霧的種植，是目前本鄉重要的物產。隨著社會的變遷，過去曾鼎盛一時的桶筍、造紙、竹編、木器、薪炭等加工產業，已漸漸被推廣的精緻農業取代，隨之而起的梅山高山茶、蓮霧、蘭花、愛玉子、甜柿、梅果等農特產品及觀光果園已深受全國民眾的喜愛。

2.8 地質

根據中央地質調查所資料，研究區沿線所出露之岩層主要以第三紀中新世中期至第四紀更新世為主，由老至新依序為中新世之達邦層、南莊層，中新世至上新世之桂竹林層關刀山砂岩、十六份頁岩、大窩砂岩，上新世至更新世之錦水頁岩、卓蘭層等，研究區之地質分佈如圖 2.11 所示，區內地質狀況以桂竹林層與南莊層分佈最廣，接著為卓蘭層、錦水頁岩等地層。以下乃針對不同岩層特性分別敘述。

1. 南莊層(Nc)

   南莊層以白色及白灰色層狀細粒至粗粒砂岩及砂岩和頁岩之薄葉狀互層為主，夾有深灰色頁岩及薄煤層，砂岩與頁岩之薄葉紋層為本層之另一特徵。砂岩膠結疏鬆，易沿層理或節理等弱面，產生坡體破壞。而砂頁岩互層部分，砂岩較抗風化，易沿砂頁岩交界面之層理弱化，若配合節理發育，則易形成岩楔，造成崩塌。

2. 桂竹林層(Kc)

   桂竹林層依岩性可細分為三個岩段，由下而上依序為關刀山砂岩段(Kck)、十六份頁岩段(Kcs)及大窩砂岩段(Kcw)。關刀山砂岩段由細至中粒淡青灰色塊狀泥質砂岩組成，間夾少許頁岩，岩質堅緻耐蝕，常形成陡崖或嶺線地形。十六份頁岩之岩性屬砂質頁岩，在台灣中部地區厚度一般僅

在 50 公尺以下，野外出露狀況並不顯著。大窩砂岩以青灰色或黑灰色厚層泥質砂岩為主,岩質較疏鬆,夾有頁岩、粉砂岩或砂岩頁岩薄互層。

3. 錦水頁岩(Cs)

錦水頁岩主要為厚層暗灰色頁岩或砂質頁岩，常夾不規則狀之薄砂岩層，偶含粉砂岩、泥岩薄互層。頁岩岩質極為軟弱，易被侵蝕成地形上的低凹處。乾燥破碎之錦水頁岩呈不規則岩片，風化面多呈洋蔥狀構造。厚層頁岩風化後常見球狀或鉛筆狀構造，局部可見頗為發達之頁理及層理，故易剝落形成岩屑堆積於坡腳。

4. 卓蘭層(Cl)

卓蘭層岩性係由砂岩、粉砂岩、泥岩、及頁岩之互層組成，岩性單調重覆。砂岩多呈青灰色，以細粒為主，膠結佳，層厚多在數十公分至一、二公尺之間，亦有 2~5 公尺之厚層砂岩。夾於砂岩中之泥岩或頁岩呈灰黑色，層厚多在 20~50 公分間，但亦常呈厚層夾於塊狀砂岩之中。砂岩抗侵蝕力高於頁岩，故砂岩出露處構成隆起山脊，頁岩則多形成地形低凹帶，常造成顯著之單面山地形。

5. 階地堆積層(t)

主要分佈於溪流之沿岸,由未經膠結之礫石、砂、泥為主，未受紅土化作用，推估屬晚期更新世，礫石大小不一，由砂岩、少量頁岩或炭質頁岩等所組成。

6. 沖積層(a)

沖積層分佈在計畫區內溪谷兩岸，由河流夾帶之泥沙、礫石堆積而成，尚未固結，厚度變化大，約在數公尺至數十公尺以內。

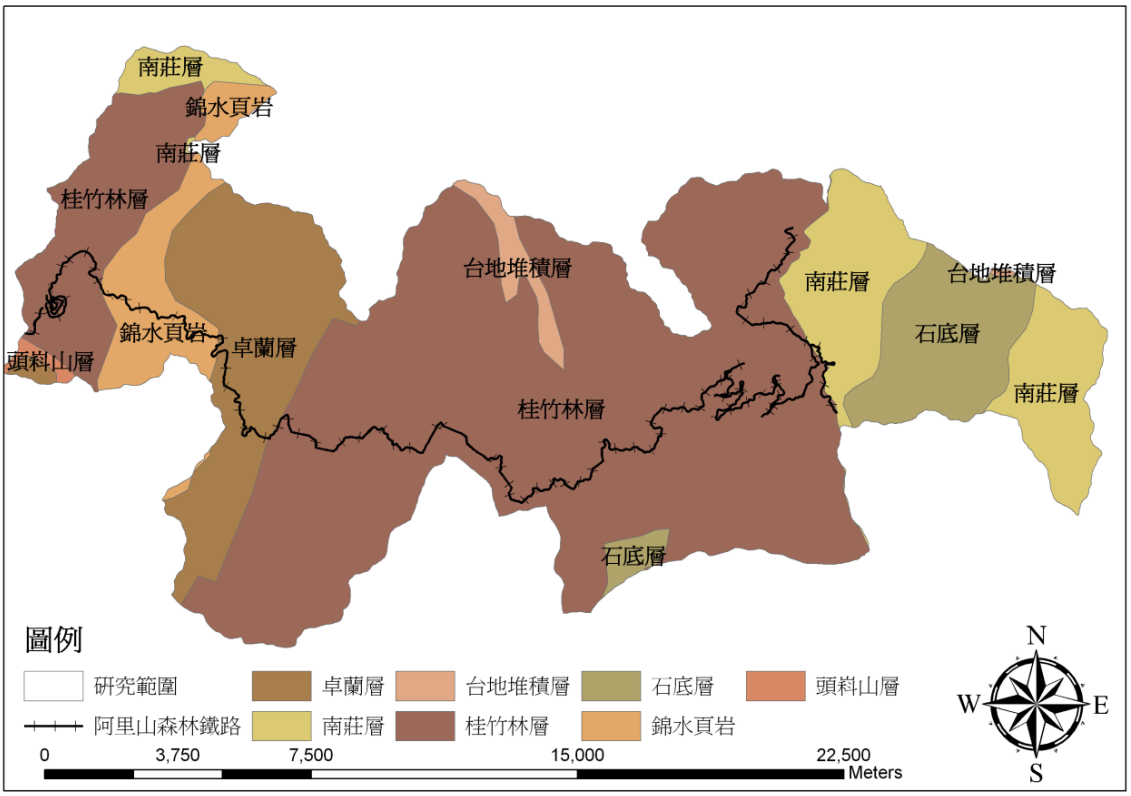


圖2.11　研究區之地質分佈

2.9 土壤

研究區內的土系有車埕系、國姓系、和社系、哮貓系、南富系、暗坑系、竹崎系及古亭笨系等，其中土壤類別包含有黃棕色土、暗色綳土、石質土、灰黃色綳土及黃紅色土。茲將各土系特徵說明於表 2.14 中。

表2.14　土系重要特徵

土系名稱	特徵描述
哮貓系	哮貓系乃由砂岩頁岩母質風化形成的黃棕色土壤，土層厚度達120公分，剖面質地為坋質壤土至壤土。
和社系	和社系為砂頁岩石質土，土層深度約達50公分，其剖面質地為坋質壤土至壤土，呈暗棕色，含石量約達60%。
古亭笨系	古亭笨系為砂頁岩母質風化形成的灰黃色崩積土，剖面質地為壤土至坋質壤土，土層厚度在30～50公分之間。
南富系	南富系是由砂頁岩風化物崩積而成的淺層灰黃色崩積土，發育程度微弱，剖面中常含有半風化母岩碎塊，剖面質地為壤土，土層厚度20～30公分，多分布於較陡坡地。
國姓系	國姓系為砂頁岩母質風化而成的崩積土，剖面厚度在60～90公分之間，質地為粘質壤土或坋質粘壤土，或為壤土覆於粘質壤土至坋質粘土之上。
車埕系	車埕系為砂頁岩母質風化形成的灰黃色崩積土，剖面質地為坋質粘壤土，土層厚度約60公分左右。本系與古亭笨系相近，唯古亭笨系質地為壤土至坋質壤土。
竹崎系	竹崎系為砂岩頁岩風化沖積物形成之黃棕色土壤，分佈於臺地，排水良好，剖面質地上部為坋質壤土，下部為極細砂質壤土。
暗坑系	暗坑系為砂頁岩母質風化形成的黃棕色崩積土，土層厚度約60～90公分，剖面質地以坋質壤土至壤土為主，排水良好。

第三章　歷年崩塌資料彙整與分析

3.1 歷史災害情形

阿里山美麗的風景聞名國際是台灣熱門的旅遊區，然近年來自然災害頻傳，如地震、山崩、颱風、土石流和森林火災等均有發生紀錄，其影響不可輕忽。而各項災害中，以颱風帶來的災害分佈範圍最為廣大，每年七、八月颱風季節對阿里山所造成的傷害，往往在短時間難以修復，民國 98 年莫拉克颱風更是重創阿里山地區，阿里山鄉、梅山鄉的太和村、瑞峰村和瑞里村，以及竹崎鄉奮起湖等地區亦遭受重創，對外橋樑、道路中斷，阿里山森林鐵路亦受創嚴重，迄今復建工程仍有部分在進行當中。

另外，地震也是造成阿里山地區災害之一大影響因子，歷年的地震災害以民國 88 年 921 大地震造成之影響最為嚴重，山區許多道路中斷和住宅倒塌。由於颱風及地震造成土石堆積，進而引發土石流，阿里山之豐山、來吉等地區，每遇豪雨就容易有土石流的發生，目前於豐山支線村口還設有土石流公園，來見證這個地區的大自然力量。另外，發生於西元 1941 年 12 月 17 日清晨的大地震，造成屏遮那大崩塌，根據歷史紀錄，日本人於西元 1910 年間開發二萬坪車站區，其工程被視為可能是造成大面積地滑及崩陷的原因之一。

3.2 歷年崩塌資料彙整與分析

本計畫蒐集中央地質調查所蒐集歷年崩塌資料，其中以民國 98 年 8 月的莫拉克颱風、民國 93 年 7 月的敏督利颱風及民國 90 年 7 月的桃芝颱風等三場颱風，造成阿里山地區崩塌災害最為顯著、分佈最廣，乃針對這三場颱風之崩塌進行分析。其資料型態為 ArcMap 的 GIS 圖資，圖 3.1、3.2 和 3.3 分別分析得到前述三場颱風之崩塌地圖，利用 GIS 中之空間分析功能，可計算歷年來鄰近阿里山森林鐵路沿線邊坡崩塌地之資料，包括位置、面積、坡度、坡向及高程等的資訊，針對歷年崩塌資料彙整與分析之結果分述如後：

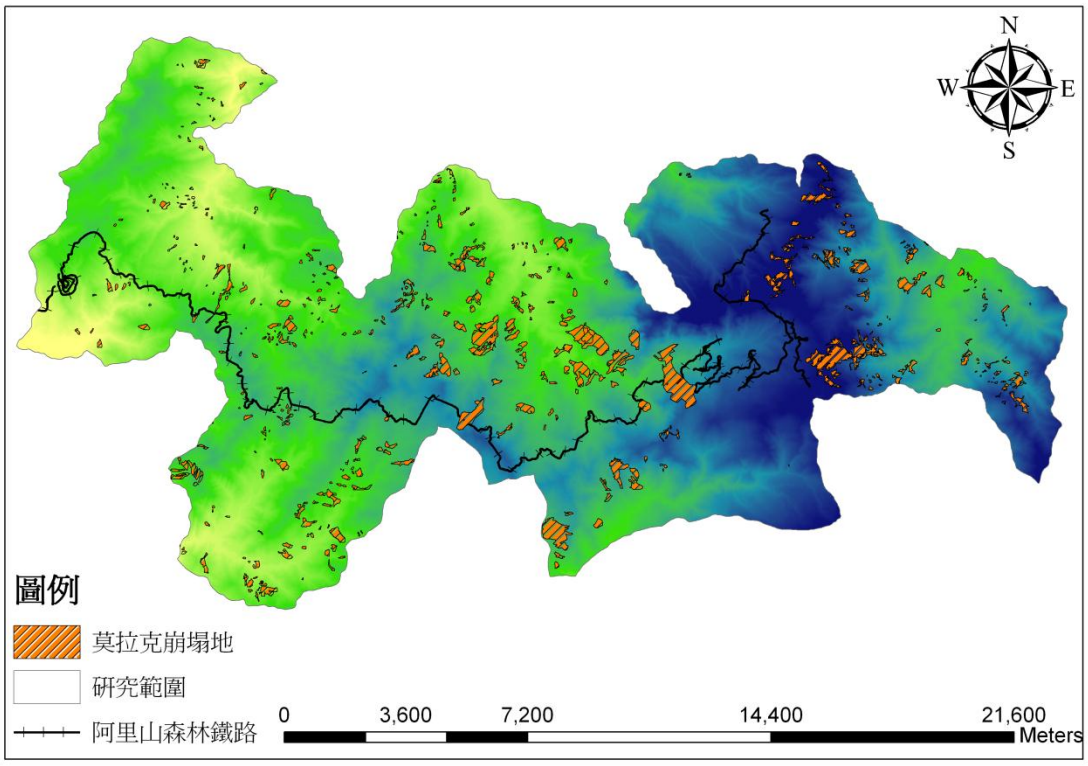


圖3.1　莫拉克颱風之崩塌地圖

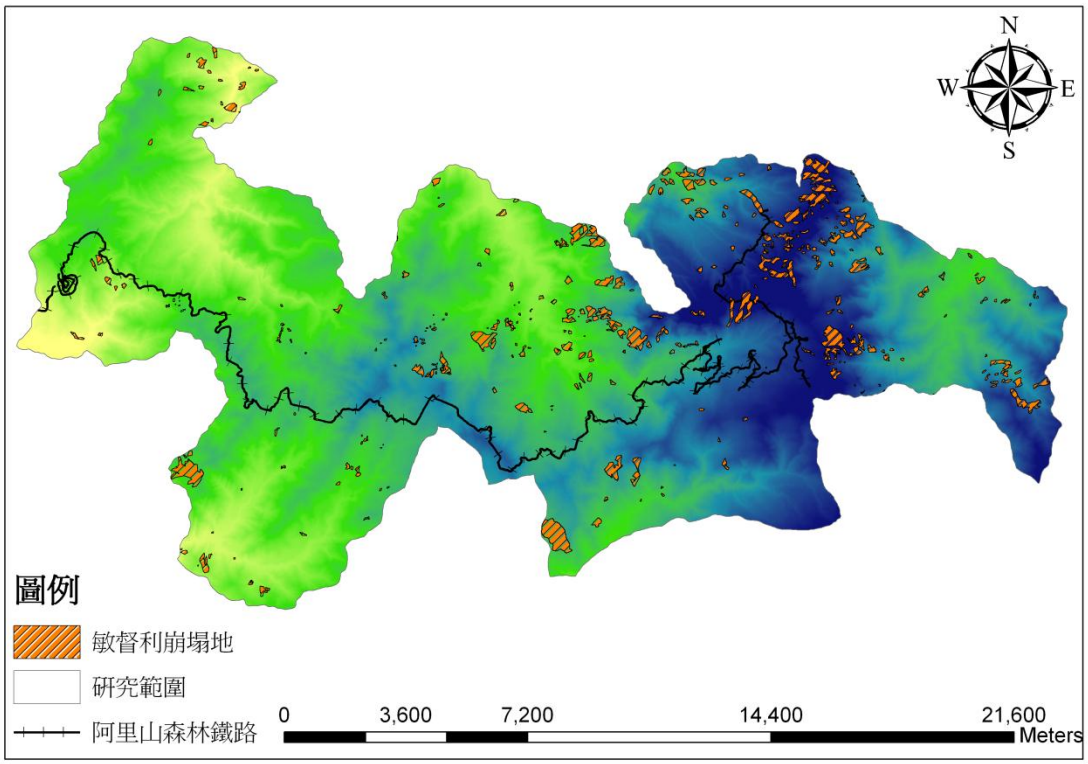


圖3.2　敏督利颱風之崩塌地圖

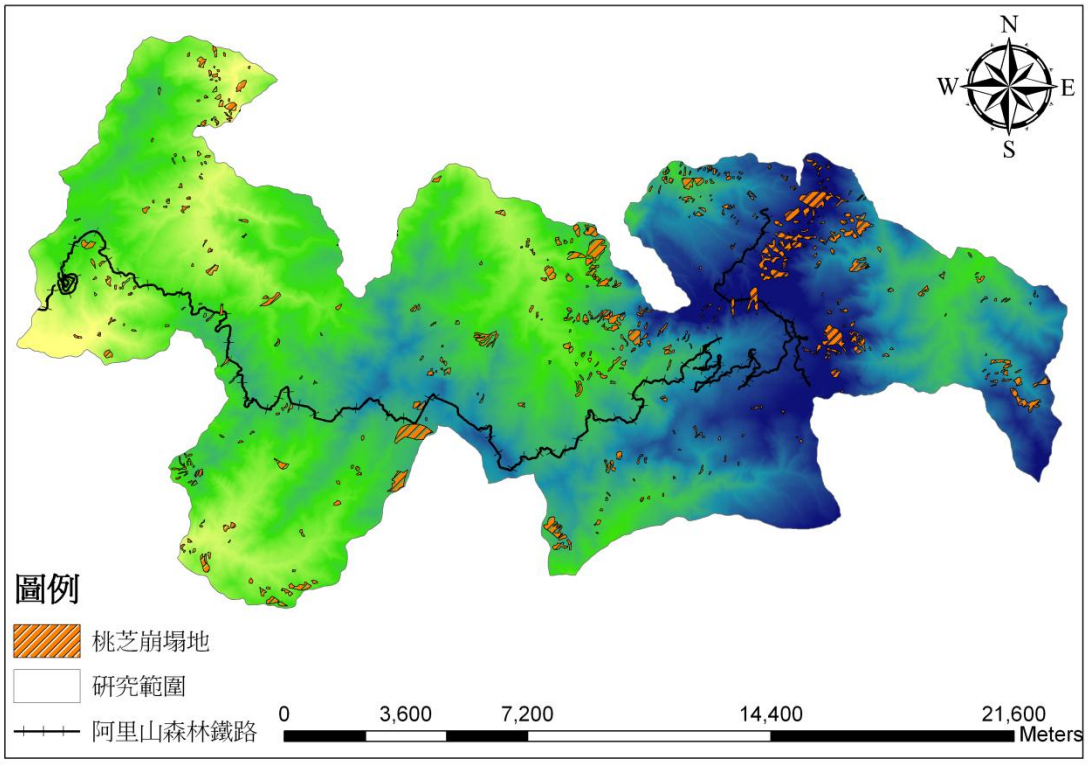


圖3.3　桃芝颱風之崩塌地圖

3.2.1 位置

民國 98 年 8 月莫拉克颱風新增的崩塌地資料，鄰近阿里山森林鐵路沿線共有三十三處的崩塌地，其相對位置分布如圖 3.4 所示，並將各崩塌地的二度分帶座標 TWD97 整理於表 3.1，崩塌地與鐵路相交可能影響鐵路安全者亦詳列鐵路里程於表 3.1 中。分析結果顯示，有影響到阿里山森林鐵路的崩塌地編號為 2、3、4、14、15、18、19、31、33，這些崩塌地均緊鄰鐵路周遭，崩塌地大多分布於鐵路里程 35k~40k、50k 附近、58k~59k 與 66k~67k，最主要的兩大崩塌地為圖 3.4 中編號 2 和 3 的崩塌地。

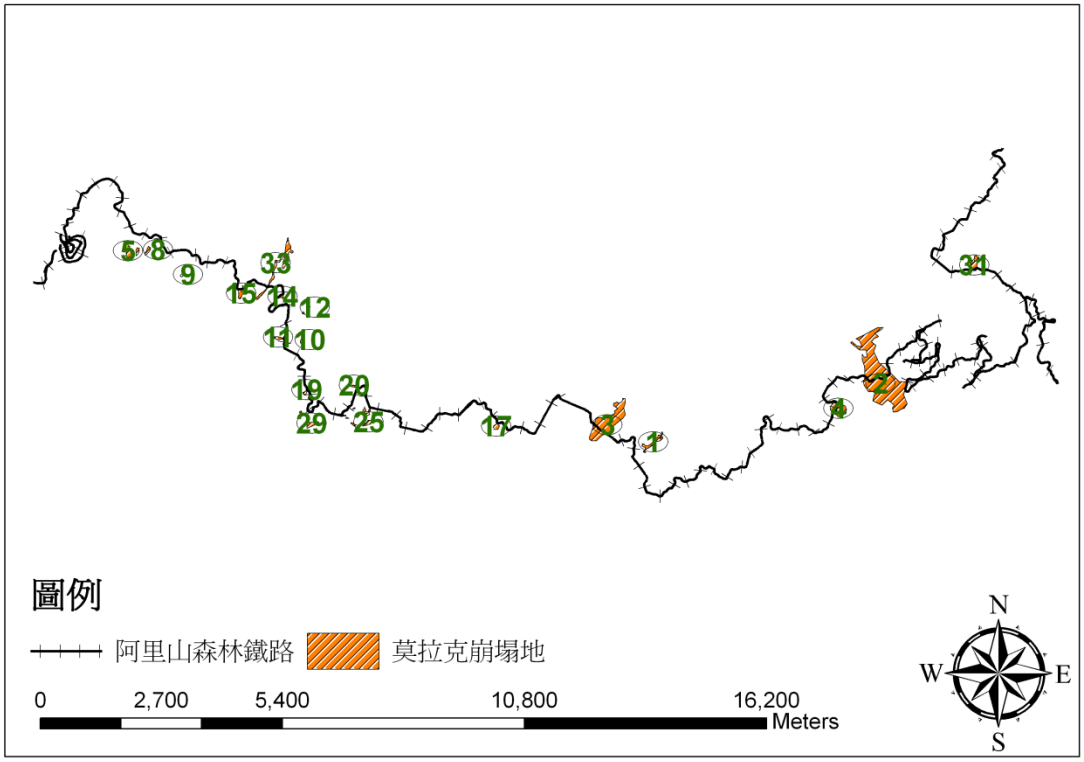


圖3.4　莫拉克颱風鄰近阿里山森林鐵路崩塌地分布圖

表3.1　莫拉克颱風崩塌地座標及鐵路里程

編號	x 座標(97)	y 座標(97)	鐵路里程
1	222102	2599631	
2	227168	2601106	66k+950~67k+050
3	221086	2600074	49k+780~50k+100
4	226231	2600363	58k+804~59k+81.75
5	210396	2603890	
6	210991	2603972	
7	210603	2603879	
8	210834	2603895	
9	211593	2603345	
10	214270	2601892	
11	213738	2601945	
12	214301	2602501	
13	214441	2602657	
14	213839	2602851	36k+571~36k+600
15	212917	2602965	35k+216~278&330~374.5
16	213868	2603558	
17	218603	2599969	
18	215387	2600533	41k+956.17~41k+962.57
19	214379	2600779	39k973.23+~40k+6.27
20	215434	2600880	
21	215504	2600229	
22	215218	2600220	

表3.1　莫拉克颱風崩塌地座標及鐵路里程(續)

編號	x 座標(97)	y 座標(97)	鐵路里程
23	215274	2600169	
24	215432	2600380	
25	215743	2600059	
26	215658	2600340	
27	215453	2599999	
28	215900	2600228	
29	214487	2600029	
30	214239	2600298	
31	229259	2603596	眠月線 4k+128.86~4k+460.51
32	215728	2600254	
33	213771	2603618	36k+17.7~36k+57.804

民國 93 年的敏督利颱風亦造成阿里山森林鐵路邊坡崩塌災害，雖然造成的崩塌範圍不如莫拉克颱風驚人，但仍有多處較大規模的邊坡崩塌災害，敏督利颱風所造成之崩塌鄰近阿里山森林鐵路的崩塌地分布詳圖如圖 3.5 所示，共有三十三處崩塌地，圖中編號 26、27 位於眠月線的崩塌地其面積最大，敏督利颱風造成的崩塌地大多集中於眠月線及位於鐵路里程 50k~60k 處，各崩塌地的二度分帶座標 TWD97 與鄰近阿里山森林鐵路的崩塌地其鐵路里程整理於表 3.2。

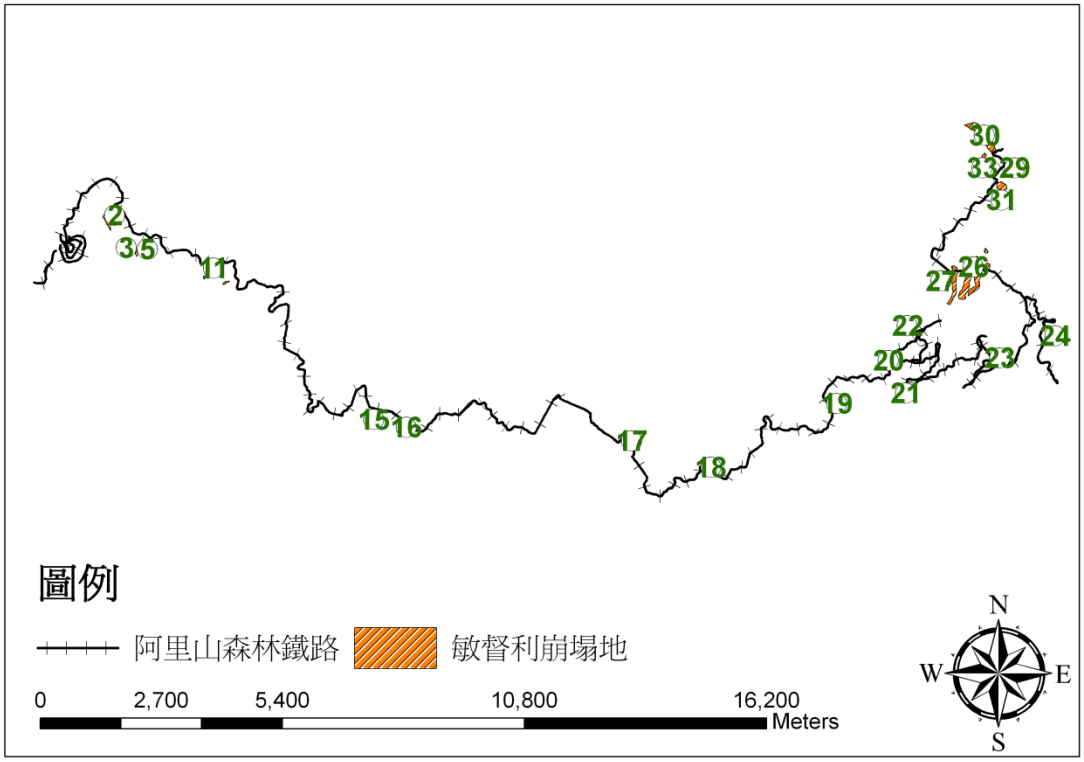


圖3.5　敏督利颱風鄰近阿里山森林鐵路崩塌地分布圖

表3.2　敏督利颱風崩塌地座標及鐵路里程

項目	x 座標(97)	y 座標(97)	鐵路里程
1	209926	2604547	
2	210104	2604674	
3	210362	2604063	
4	210590	2603849	
5	210831	2603913	
6	212091	2603300	
7	212155	2603303	

表3.2　敏督利颱風崩塌地座標及鐵路里程(續)

項目	x 座標(97)	y 座標(97)	鐵路里程
8	212166	2603355	
9	212361	2603360	
10	212471	2603460	
11	212307	2603485	
12	212469	2603322	
13	212636	2603205	
14	212555	2603171	
15	215882	2600119	
16	216540	2599946	43k+925~43k+965
17	221641	2599644	50k+900~50k+963
18	223391	2599055	54k+300~54k+340
19	226198	2600473	59k+6.2~59k+47.64
20	227345	2601136	61k+354~61k405.5
21	227737	2600717	
22	227768	2602195	
23	229829	2601487	
24	231064	2601968	
25	229536	2603501	眠月線 4k+063~4k+143.85
26	229194	2603279	眠月線 4k+283.11~4k+503
27	228802	2603157	眠月線 4k+758.52~4k+863.09
28	229522	2603883	
29	230161	2605738	
30	229447	2606445	眠月線 8k+931.72~9k+6.37
31	229868	2605320	
32	229771	2605108	
33	229472.84	2605994.5	

中央地質調查所民國 93 年 7 月桃芝颱風新增的崩塌地資料，鄰近阿里山森林鐵路沿線的崩塌地共有五十處，其相對位置分布如圖 3.6 所示，顯示崩塌地大多分布於鐵路里程 20k、30k、60k 附近及眠月線，最主要的兩大崩塌地為圖 3.6 中編號為 23 和 38 的崩塌地。除了崩塌地的相對位置分佈圖外，並將各崩塌地的二度分帶座標 TWD97 整理如下表 3.3，表中亦詳列影響阿里山森林鐵路的崩塌地其鐵路里程。

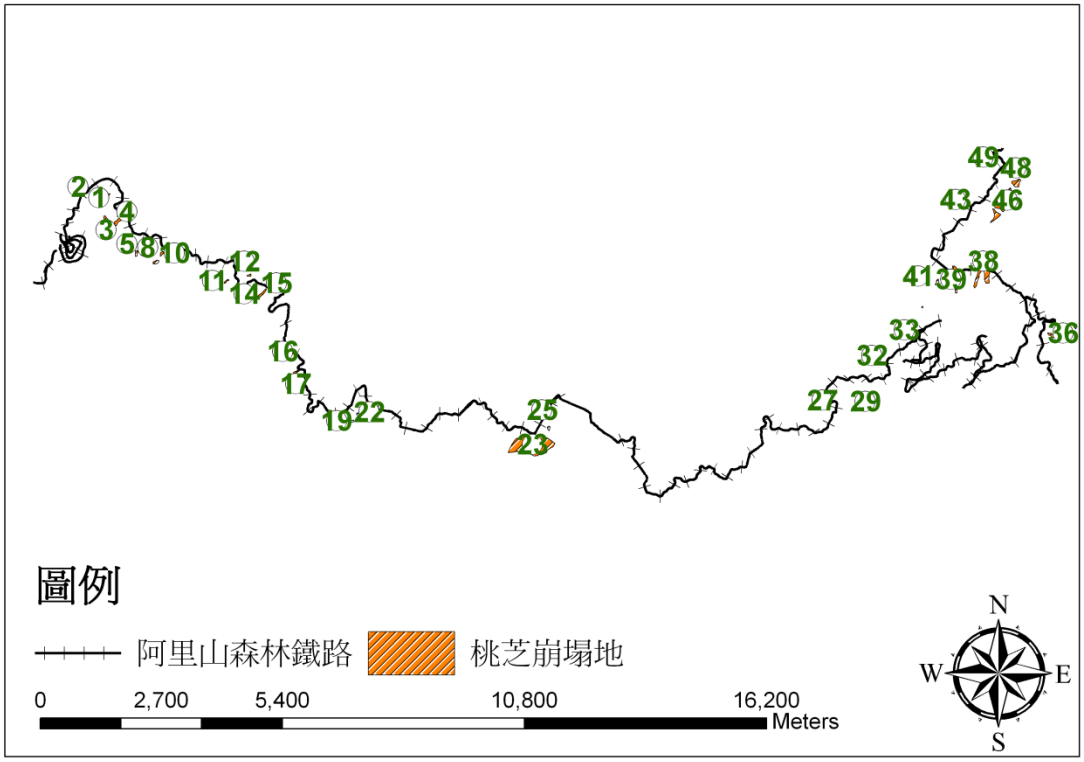


圖3.6　桃芝颱風鄰近阿里山森林鐵路崩塌地分布圖

表3.3　桃芝颱風崩塌地座標及鐵路里程

項目	x 座標(97)	y 座標(97)	鐵路里程
1	209749	2605098	
2	209376	2605304	
3	209918	2604547	
4	210161	2604541	
5	210372	2604023	
6	210579	2603839	
7	210707	2603813	
8	210854	2603951	
9	211018	2603639	
10	211144	2603828	
11	212579	2603210	
12	213096	2603343	
13	213223	2603009	
14	213364	2602925	
15	213713	2603161	36k+207.7~36k+298.35
16	213837	2601636	38k+637.97~38k+690.12
17	214136	2601188	
18	214010	2601054	
19	215376	2600093	
20	215522	2600238	
21	215630	2600330	
22	215760	2600287	

表3.3　桃芝颱風崩塌地座標及鐵路里程(續)

項目	x 座標(97)	y 座標(97)	鐵路里程
23	219397	2599565	
24	219769	2599942	
25	219632	2600332	
26	219476	2600370	
27	225872	2600548	
28	226766	2600582	
29	226834	2600522	
30	227308	2601336	61k+445~61k+510.39
31	227353	2601262	61k+326.84~61k+427.14
32	226966	2601546	
33	227608	2602099	
34	228098	2602634	
35	231060	2601970	
36	231382	2602046	
37	231514	2602205	
38	229461	2603500	眠月線
39	228838	2603274	眠月線 4k+751.67~4k+840.58
40	228432	2603191	
41	228152	2603316	
42	228799	2605060	
43	228848	2605033	

表3.3　桃芝颱風崩塌地座標及鐵路里程(續)

項目	x 座標(97)	y 座標(97)	鐵路里程
44	229733	2604675	
45	229824	2604902	
46	230000	2605094	
47	230196	2605394	
48	230192	2605722	
49	229467	2605963	
50	229557	2605900	

3.2.2 面積

利用上述三個颱風鄰近阿里山森林鐵路的崩塌地資料，可分別計算每個颱風造成的崩塌地面積與其占總崩塌地面積的百分比(列於表 3.4、3.5 及 3.6 中)，其中莫拉克、敏督利及桃芝三場颱風中造成的總崩塌地面積分別為 160.70、69.67 及 107.26 公頃(如表 3.7 所示)，以莫拉克颱風為三場颱風中造成阿里山森林鐵路沿線總崩塌面積最高者，占歷年總崩塌地面積百分比為 47.60%。而歷年來各個颱風所造成的崩塌地規模大小不一，莫拉克颱風於屏遮那及二萬坪之間造成的邊坡崩塌災害，為歷年來崩塌地規模最嚴重且崩塌面積最大的，此處崩塌地面積約 87.5 公頃，占莫拉克颱風於阿里山森林鐵路沿線總崩塌地面積 54.47%。

表3.4　莫拉克颱風崩塌地面積

項目	崩塌地面積 (公頃)	占總崩塌地面積百分比 (%)
1	3.39	2.11
2	87.53	54.47
3	28.93	18.00
4	8.00	4.98
5	3.01	1.88
6	0.40	0.25
7	0.99	0.61
8	1.06	0.66
9	0.32	0.20
10	0.59	0.37
11	0.90	0.56
12	0.17	0.10
13	0.05	0.03
14	0.57	0.36
15	2.13	1.33
16	0.61	0.38
17	1.22	0.76
18	0.14	0.09
19	0.85	0.53
20	0.62	0.38
21	0.38	0.23

表 3.4　莫拉克颱風崩塌地面積(續)

項目	崩塌地面積 (公頃)	占總崩塌地面積百分比 (%)
22	0.15	0.09
23	0.12	0.07
24	0.12	0.08
25	1.30	0.81
26	0.47	0.29
27	0.66	0.41
28	0.22	0.14
29	1.96	1.22
30	0.18	0.11
31	3.81	2.37
32	1.01	0.63
33	8.85	5.51
總和	160.70	100

表3.5　敏督利颱風崩塌地面積

項目	崩塌地面積 (公頃)	占總崩塌地面積百分比 (%)
1	2.07	2.97
2	3.70	5.31
3	2.75	3.95
4	0.72	1.03
5	1.32	1.90
6	0.22	0.32
7	0.20	0.29
8	0.06	0.09
9	0.06	0.08
10	0.06	0.09
11	0.46	0.66
12	0.16	0.23
13	0.06	0.09
14	0.40	0.58
15	0.33	0.47
16	0.15	0.22
17	0.63	0.90
18	0.14	0.20
19	0.30	0.43
20	0.11	0.16
21	0.41	0.59

表3.5 敏督利颱風崩塌地面積(續)

項目	崩塌地面積 (公頃)	占總崩塌地面積百分比 (%)
22	0.86	1.24
23	0.12	0.17
24	1.84	2.65
25	1.95	2.80
26	21.84	31.35
27	7.20	10.33
28	0.53	0.76
29	3.75	5.38
30	12.79	18.36
31	3.18	4.57
32	0.51	0.73
33	0.77	1.11
總和	69.67	100.00

表3.6　桃芝颱風崩塌地面積

項目	崩塌地面積(公頃)	占總崩塌面積百分比(%)
1	6.76	6.31
2	0.30	0.28
3	1.69	1.58
4	1.07	1.00
5	2.91	2.72
6	0.63	0.59
7	0.26	0.24
8	1.89	1.76
9	0.74	0.69
10	0.48	0.45
11	0.34	0.32
12	0.32	0.30
13	0.74	0.69
14	1.22	1.13
15	2.35	2.19
16	1.61	1.50
17	0.64	0.60
18	0.54	0.50
19	0.42	0.39
20	0.35	0.33
21	0.58	0.54
22	1.49	1.39

表3.6　桃芝颱風崩塌地面積(續)

項目	崩塌地面積(公頃)	占總崩塌面積百分比(%)
23	32.67	30.46
24	0.37	0.34
25	3.11	2.90
26	2.48	2.31
27	0.20	0.18
28	0.68	0.63
29	0.77	0.72
30	0.18	0.17
31	0.29	0.27
32	1.09	1.02
33	0.31	0.29
34	0.08	0.08
35	1.52	1.42
36	1.80	1.68
37	0.35	0.33
38	12.53	11.69
39	4.47	4.17
40	0.48	0.45
41	0.63	0.58
42	0.21	0.19
43	0.65	0.60
44	2.08	1.94

表3.6　桃芝颱風崩塌地面積(續)

項目	崩塌地面積(公頃)	占總崩塌面積百分比(%)
45	3.71	3.46
46	3.86	3.60
47	2.19	2.05
48	2.54	2.37
49	0.38	0.36
50	0.28	0.26
總和	107.26	100.00

表3.7　三場颱風總面積比較表

颱風	侵臺時間	總崩塌地面積(公頃)	占歷年崩塌面積百分比(%)
莫拉克颱風	民國 98 年 8 月	160.70	47.60
敏督利颱風	民國 93 年 7 月	69.67	20.63
桃芝颱風	民國 90 年 7 月	107.26	31.77

3.2.3 坡度

莫拉克、敏督利及桃芝颱風於阿里山森林鐵路沿線各個崩塌地的平均坡度，如圖 3.7、3.8 及 3.9 所示。以莫拉克颱風所導致的崩塌地平均坡度最高，其次為敏督利颱風，最後是桃芝颱風。為了解歷年颱風與崩塌地坡度之關聯性，分別統計三場颱風不同坡度所占的比例，如表 3.8、3.9、3.10 所示，莫拉克颱風所造成的崩塌地以 4、5、6 級坡所占比例最高，分別為 50.44%、22.12%、14.68%；而敏督利颱風所引致的崩塌地亦為 4、5、6 級坡所占比例最高，分別為 31.52%、25.86%、28.64%；桃芝颱風所導致的崩塌地也是

4、5、6 級坡所占比例最高，分別為 42.38%、20.12%、15.04%；由此可知莫拉克颱風崩塌地大部分發生在 4 級坡，而桃芝颱風亦屬於大多崩塌地發生在 4 級坡上，敏督利颱風崩塌地坡度分布則較平均在 4、5、6 級坡間，其所占比例差距不大。由上述分析可知，由於颱風豪雨造成之崩塌於阿里山森林鐵路沿線崩塌地大多發生於 4 級坡以上，以 4 級坡 30%至 40%居多，亦即 4 級坡在本區之發生崩塌可能性較高。

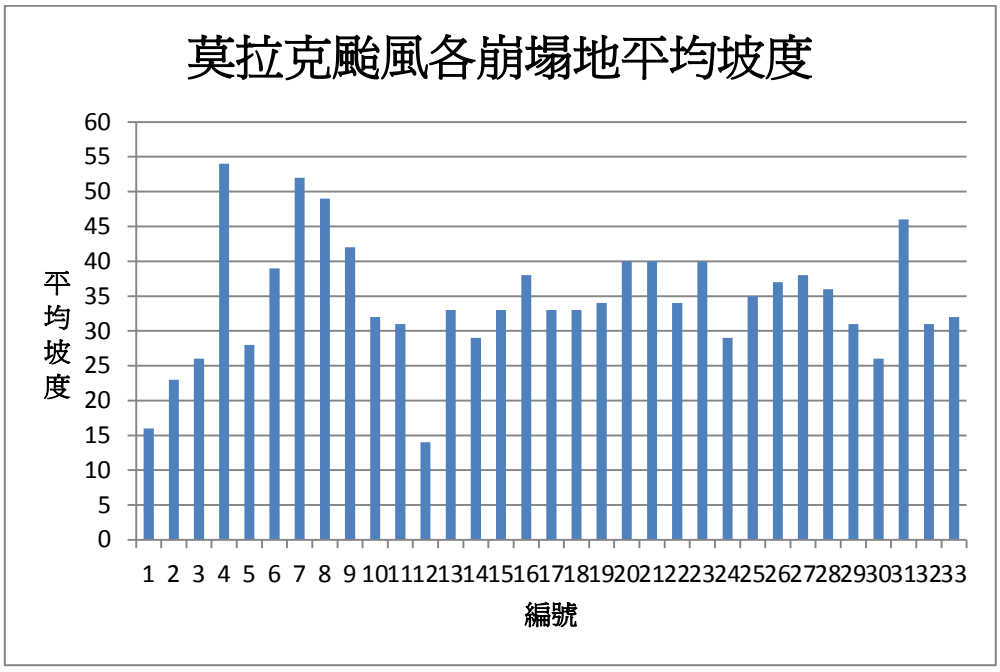


圖3.7　莫拉克颱風各崩塌地平均坡度統計圖

表3.8　莫拉克颱風崩塌地坡度分級統計表

坡度	坡度範圍	網格數	百分比
1 級坡	S≦5%	292	0.45%
2 級坡	5%<S≦15%	751	1.17%
3 級坡	15%<S≦30%	5295	8.24%
4 級坡	30%<S≦40%	32423	50.44%
5 級坡	40%<S≦55%	14223	22.12%
6 級坡	55%<S≦100%	9434	14.68%
7 級坡	100%<S	1868	2.91%

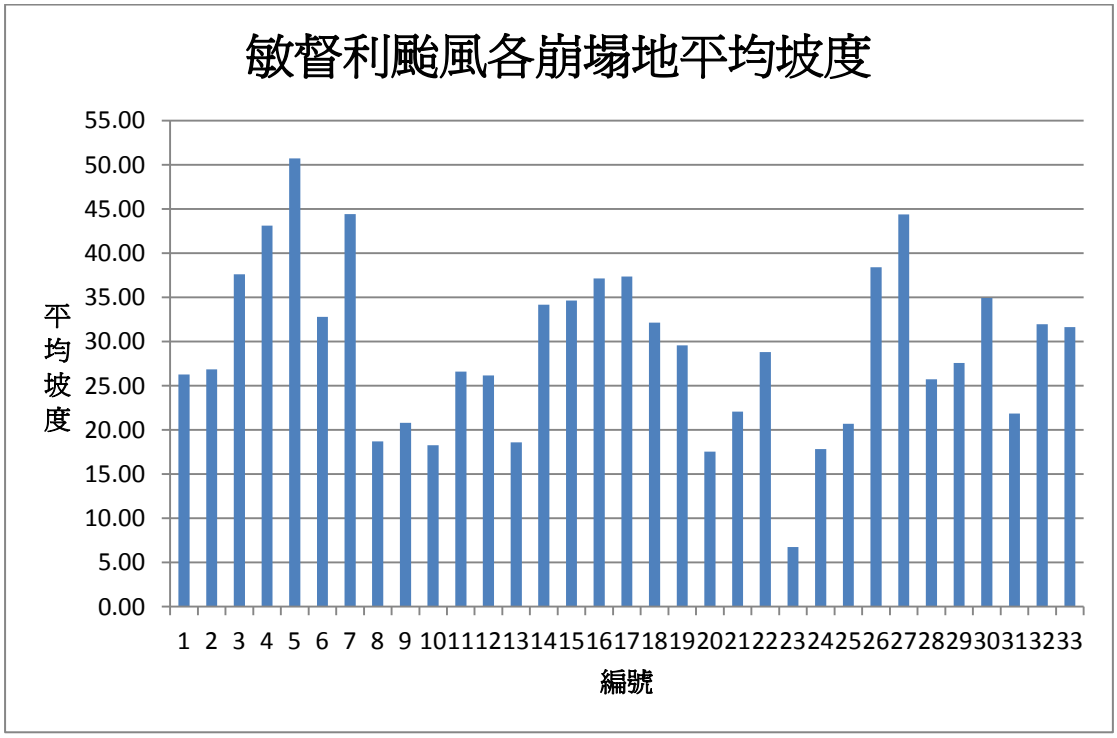


圖3.8　敏督利颱風各崩塌地平均坡度統計圖

表3.9　敏督利颱風崩塌地坡度分級統計表

坡度	坡度範圍	網格數	百分比
1 級坡	S≦5%	4	0.01%
2 級坡	5%<S≦15%	236	0.85%
3 級坡	15%<S≦30%	1738	6.24%
4 級坡	30%<S≦40%	8779	31.52%
5 級坡	40%<S≦55%	7204	25.86%
6 級坡	55%<S≦100%	7977	28.64%
7 級坡	100%<S	1918	6.89%

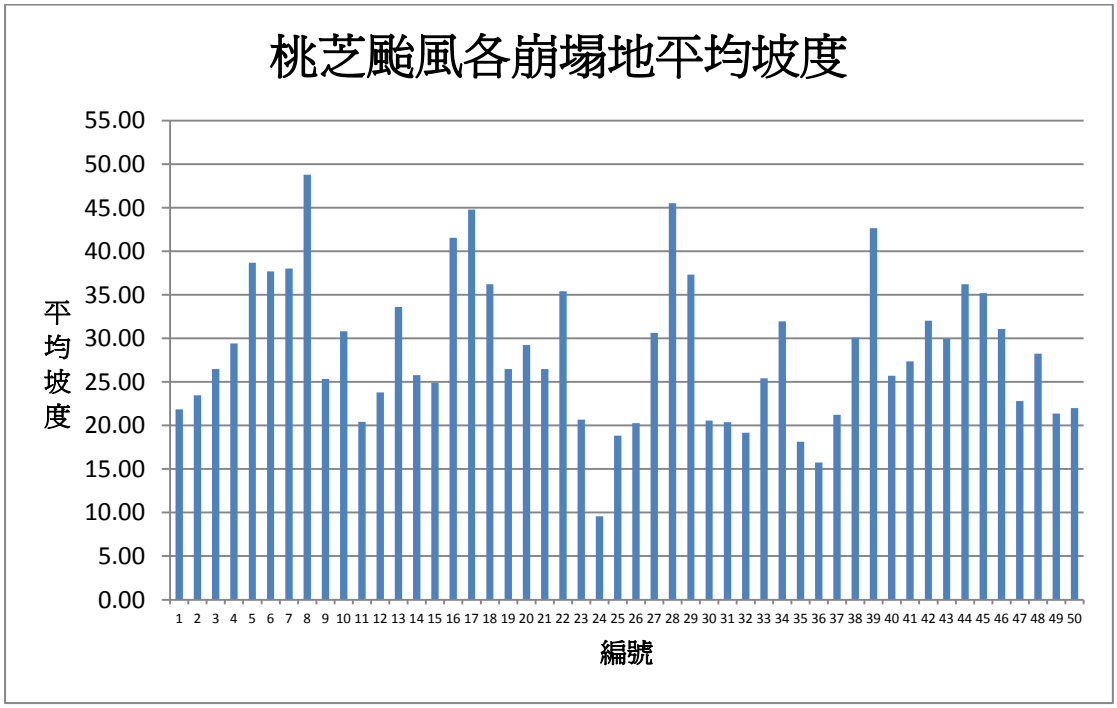


圖3.9　桃芝颱風各崩塌地平均坡度統計圖

表3.10　桃芝颱風崩塌地坡度分級統計表

坡度	坡度範圍	網格數	百分比
1 級坡	S≦5%	263	0.61%
2 級坡	5%<S≦15%	1004	2.34%
3 級坡	15%<S≦30%	7248	16.91%
4 級坡	30%<S≦40%	18164	42.38%
5 級坡	40%<S≦55%	8622	20.12%
6 級坡	55%<S≦100%	6448	15.04%
7 級坡	100%<S	1113	2.60%

3.2.4 坡向

將歷年颱風崩塌地資料以 GIS 分析出各崩塌地之坡向，如圖 3.10、3.11、3.12 所示，並分類為下列幾類：平地、北、東北、東南、南、西南、西、西北等。莫拉克颱風所造成的各崩塌地其平均坡向為南向坡，而三十三處的崩塌地平均坡向大多以北向、東向、東南向、南以及西南向坡分布最多；敏督利颱風所導致的各崩塌地其平均坡向屬於西南向坡，其中三十三處的崩塌地平均坡向大部分為東南、南、西南、西以及西北向坡；最後桃芝颱風所引致的各崩塌地其平均坡向亦為西南向坡，當中五十處崩塌地平均坡向大都為東南、南、西南、西以及西北向坡所占比例最高。由上述可知歷年颱風所引發的崩塌地其平均坡向大多屬於東南、南以及西南向坡居多。為了解歷年颱風與崩塌地坡向之關聯性，分別統計三場颱風不同坡向所占的比例，利用 GIS 統計出歷年颱風總崩塌地各坡向所佔的百分比，如表 3.11、3.12、3.13 所示。莫拉克颱風以北和西北向坡的網格數所占比例最高；敏督利颱風則

為西南和西向坡所占的網格數比例最高；而桃芝颱風雖然以西南和西向坡所占比例較高，但不及莫拉克及敏督利颱風較集中於某幾個坡向，各坡向均有發生崩塌地之可能。以三場颱風所占網格數比例而言，北向坡 28.39%、西北向坡 26.72%及西向坡 20.66%具有較大之崩塌可能性，換而言之，阿里山森林鐵路沿線以北向坡、西北向坡及西向坡具有較大之崩塌潛勢。

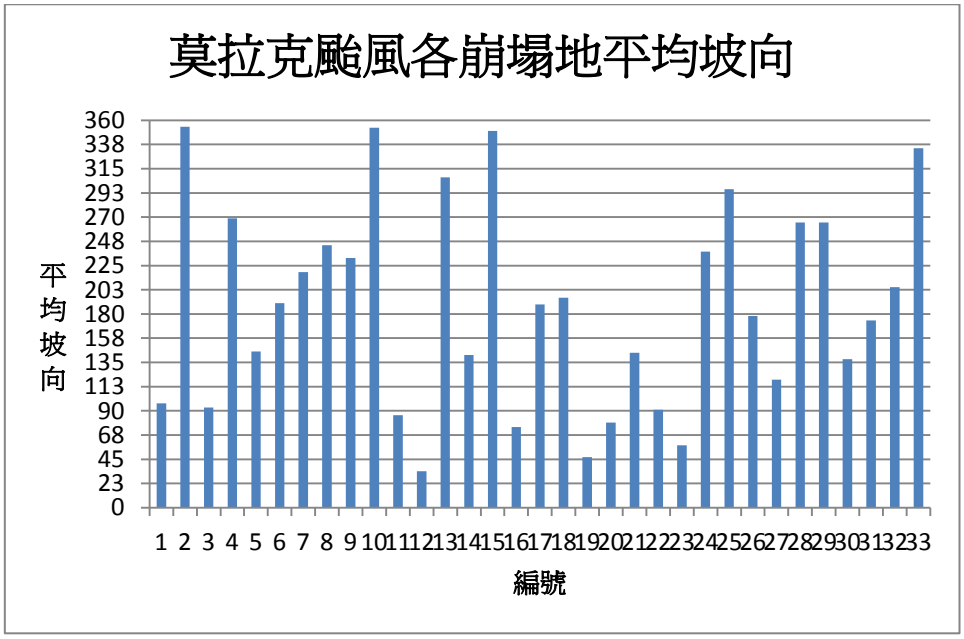


圖3.10　莫拉克颱風各崩塌地平均坡向圖

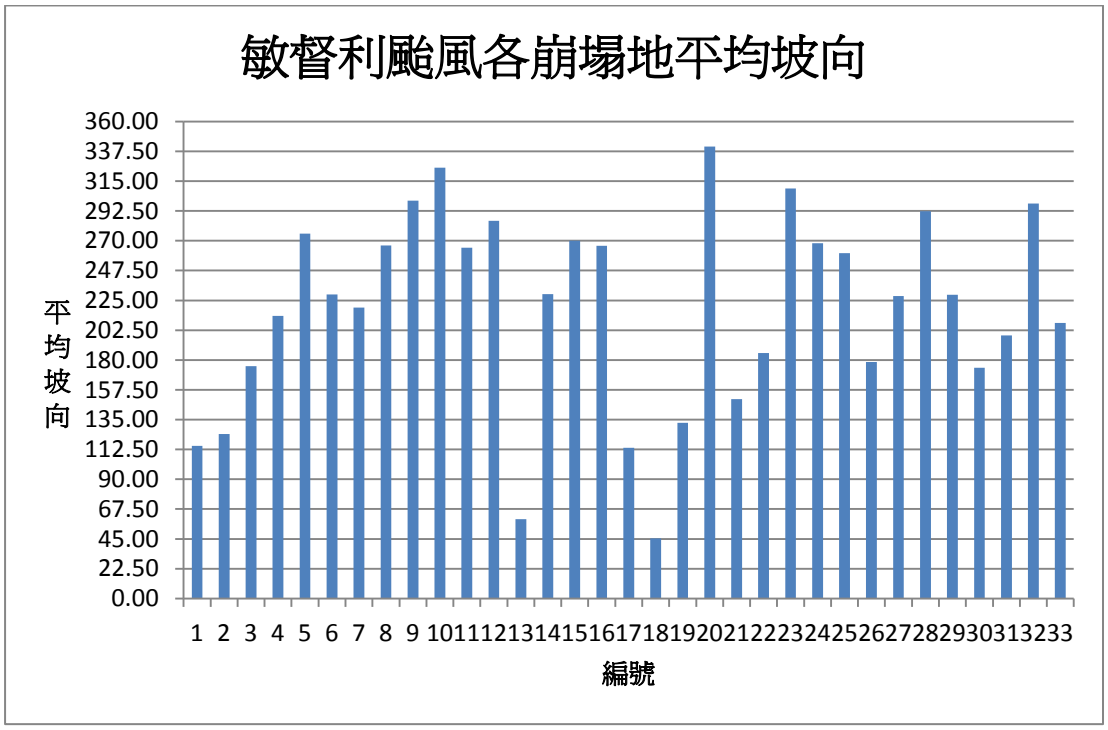


圖3.11　敏督利颱風各崩塌地平均坡向圖

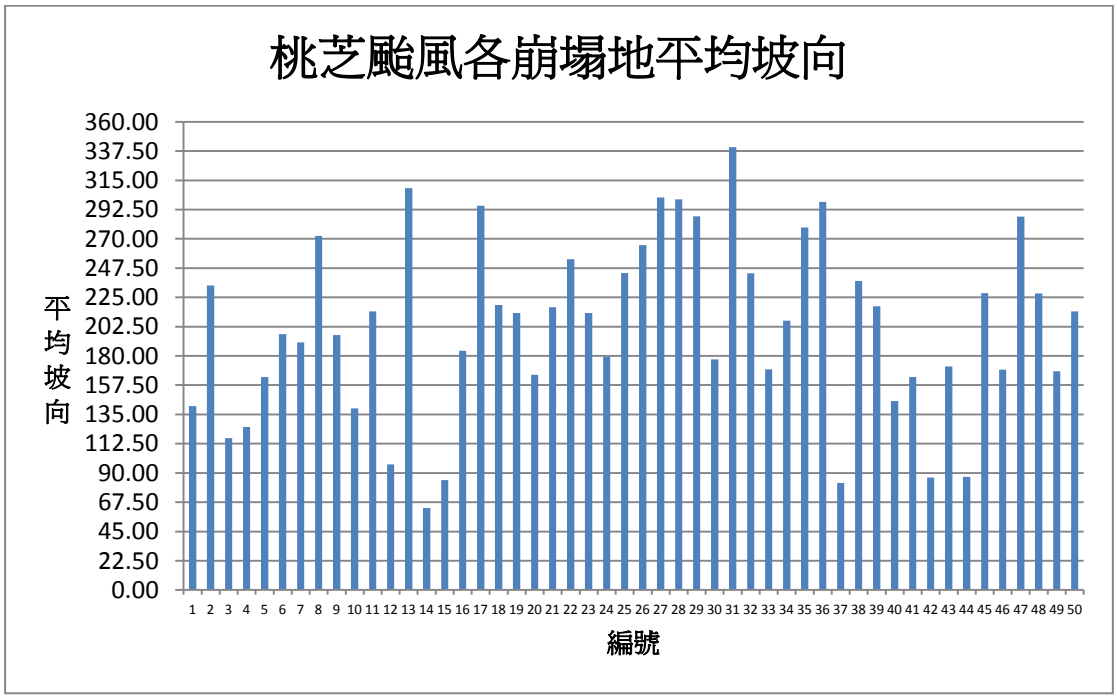


圖3.12　桃芝颱風各崩塌地平均坡向圖

表3.11　莫拉克颱風崩塌地坡向統計表

坡向	坡向範圍	網格數	百分比
平地	-1	410	0.64%
北	337.5~22.5	18248	28.39%
東北	22.5~67.5	7502	11.67%
東	67.5~112.5	5913	9.20%
東南	112.5~157.5	2561	3.98%
南	157.5~202.5	2728	4.24%
西南	202.5~247.5	2918	4.54%
西	247.5~292.5	6826	10.62%
西北	292.5~337.5	17180	26.72%

表3.12　敏督利颱風崩塌地坡向統計表

坡向	坡向範圍	網格數	百分比
平地	-1	4	0.01%
北	337.5~22.5	4535	16.28%
東北	22.5~67.5	2635	9.46%
東	67.5~112.5	1721	6.18%
東南	112.5~157.5	1616	5.80%
南	157.5~202.5	3742	13.43%
西南	202.5~247.5	5386	19.34%
西	247.5~292.5	5755	20.66%
西北	292.5~337.5	2462	8.84%

表 3.13　桃芝颱風崩塌地坡向統計表

坡向	坡向範圍	網格數	百分比
平地	-1	263	0.61%
北	337.5~22.5	3952	9.22%
東北	22.5~67.5	2860	6.67%
東	67.5~112.5	2327	5.43%
東南	112.5~157.5	4664	10.88%
南	157.5~202.5	6513	15.20%
西南	202.5~247.5	8395	19.59%
西	247.5~292.5	7697	17.96%
西北	292.5~337.5	6191	14.44%

3.2.5 高程

三場颱風各崩塌地平均高程統計結果如圖 3.12、3.13、3.14 所示，莫拉克颱風所引發的各崩塌地其平均高程為 1160 公尺，鐵路沿線三十三處的崩塌地海拔以 1000 至 1375 公尺居多；敏督利颱風所造成的各崩塌地其平均高程為 1450 公尺，鐵路沿線三十三處的崩塌地平均分布於海拔 500 至 2500 公尺之間；桃芝颱風所導致的各崩塌地其平均高程為 1500 公尺，鐵路沿線五十處的崩塌地則大多分布於海拔 1000 至 1500 公尺和海拔 2000 公尺以上。表 3.14 詳列三場颱風造成崩塌地之高程在不同海拔所占的比例，莫拉克颱風所引發的崩塌地大多分布於海拔 1500 至 2500 公尺之間，占

總崩塌地網格數的比例為 89.07%；敏督利颱風所造成的崩塌地大多分布於海拔 2000 至 3000 公尺之間，占總崩塌地網格數的比例為 81.15%;而桃芝颱風所引致的崩塌地則分布於海拔 1000 至 1500 公尺和海拔 2000 至 2500 公尺之間，分別占總崩塌地網格數的比例為 44.93%及 34.03%。表 3.14 顯示，不同颱風造成之崩塌地之高程分佈變異極大，阿里山森林鐵路沿線之崩塌與高程分佈之關聯性似乎不高。

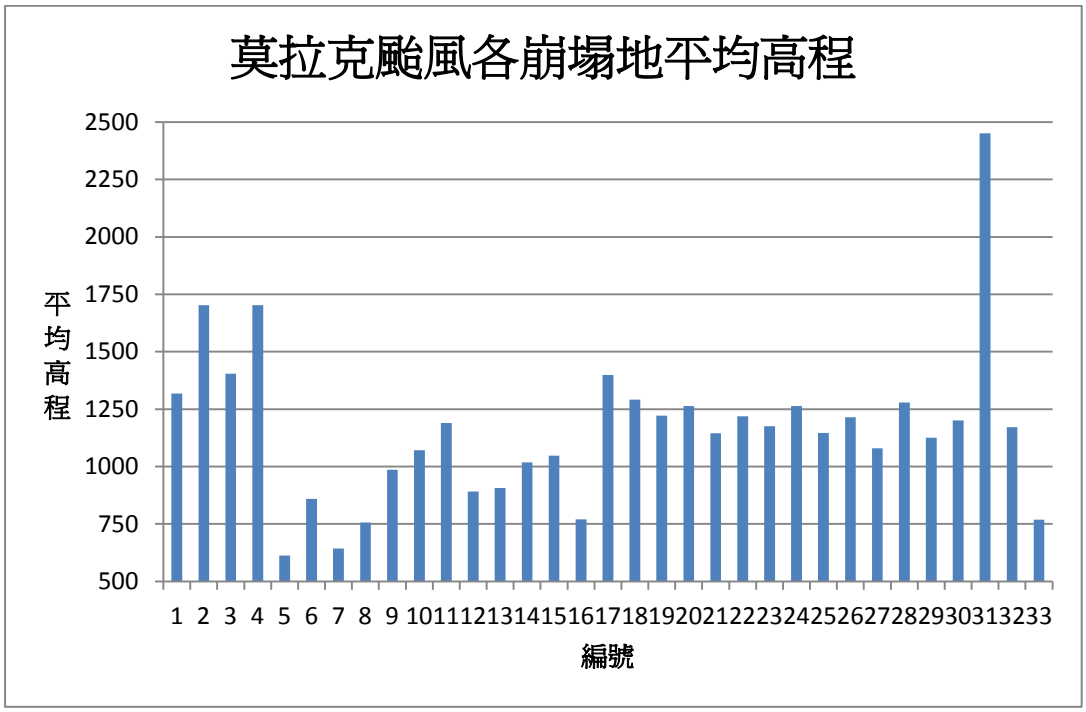


圖3.13　莫拉克颱風各崩塌地平均高程圖

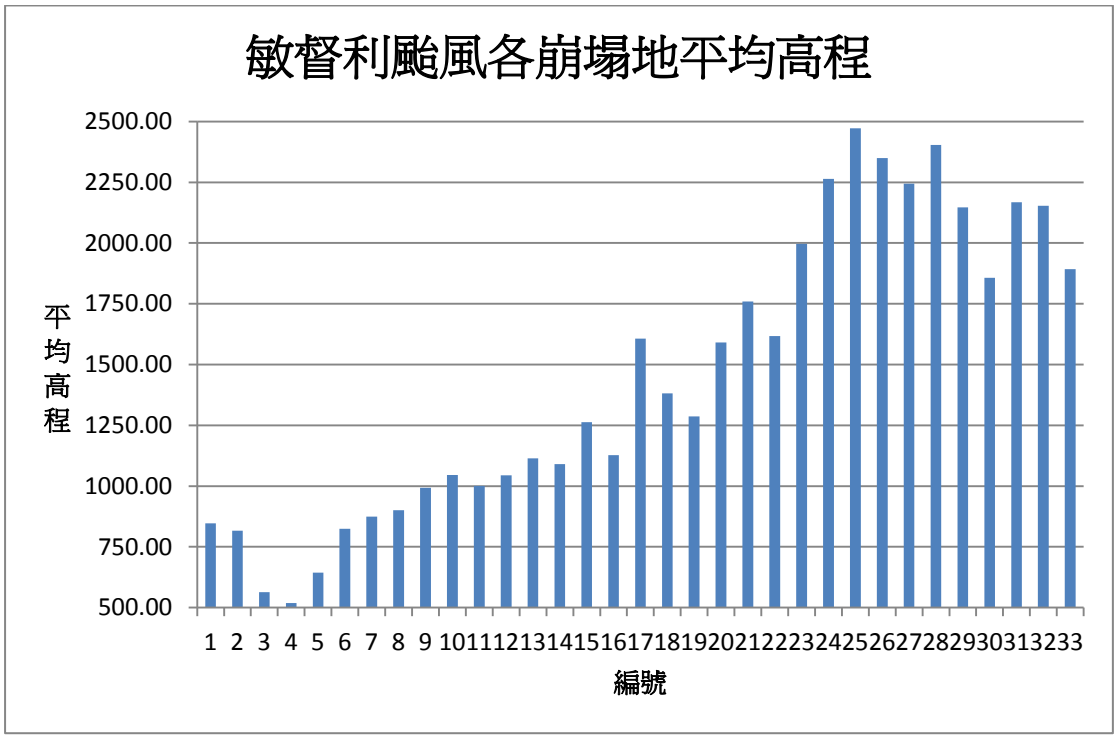


圖3.14　敏督利颱風各崩塌地平均高程圖

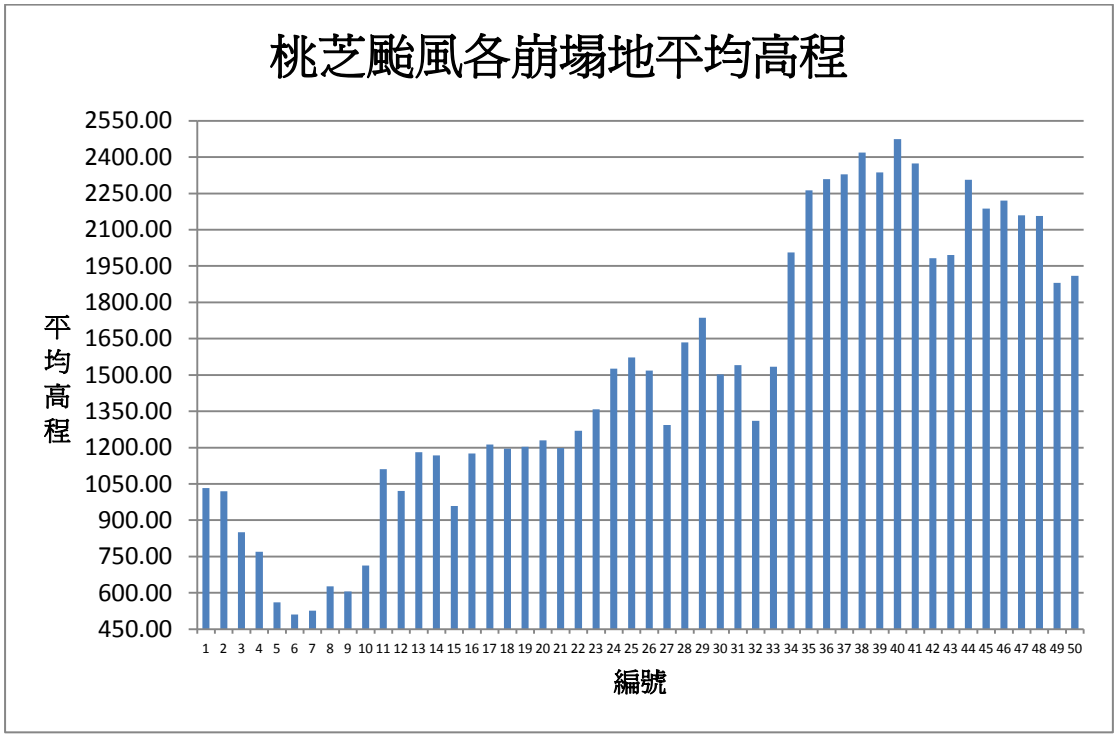


圖3.15　桃芝颱風各崩塌地平均高程圖

表3.14　三場颱風崩塌地高程統計表

颱風	莫拉克颱風		敏督利颱風		桃芝颱風	
高程 (m)	網格數	百分比 (%)	網格數	百分比 (%)	網格數	百分比 (%)
0-500	1	0.002	1	0.004	85	0.20
500-1000	30	0.05	53	0.19	5278	12.31
1000-1500	5466	8.50	4445	15.96	19259	44.93
1500-2000	23116	35.96	753	2.70	3627	8.46
2000-2500	34144	53.11	5924	21.27	14587	34.03
2500-3000	1529	2.38	16680	59.88	26	0.06

3.2.6 土地權屬

三場颱風鐵路沿線崩塌地土地權屬分析，利用本計畫收集之地籍圖與鐵路沿線崩塌地資料之圖層資料，套疊比對後加以分析，三場颱風鐵路沿線崩塌地土地權屬詳列於表 3.15 至表 3.17，並統計三場颱風崩塌地之土地權屬，結果如表 3.18 所示，顯示以屬行政院農業委員會森林區林業用地佔 78.38%、屬私人地之山坡地保育區農牧林與木用地佔 12.61%及屬行政院農業委員會森林區交通用地佔 7.21%所佔比例較高。

表3.15　莫拉克颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料

項目	地段	地號	土地權屬	用地
1	多林段	71	行政院農業委員會	森林區林業用
2	阿里山段	111	行政院農業委員會	森林區林業用
	平遮段	72、85、97、99、104、106、113		
3	多林段	42、52-3、39、52	行政院農業委員會	森林區林業用
		52-4	行政院農業委員會	交通用地
4	平遮段	135	行政院農業委員會	森林區林業用
5	緞厝寮	799、805	行政院農業委員會	森林區林業用
6	緞厝寮	793	行政院農業委員會	森林區林業用
7	緞厝寮	793	行政院農業委員會	森林區林業用
8	緞厝寮	793	行政院農業委員會	森林區林業用
9	緞厝寮	793	行政院農業委員會	森林區林業用
10	金獅寮	456、438	行政院農業委員會	森林區林業用
11	金獅寮	462	行政院農業委員會	森林區林業用
12	金獅寮	448	行政院農業委員會	森林區林業用
13	金獅寮	452、447	行政院農業委員會	森林區林業用
14	金獅寮	434	行政院農業委員會	森林區林業用
15	金獅寮	409	行政院農業委員會	森林區林業用

表3.15　莫拉克颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料(續)

項目	地段	地號	土地權屬	用地
16	金獅寮	434	行政院農業委員會	森林區林業用
17	—			
18	糞箕湖	629	行政院農業委員會	交通用
19	金獅寮	477、487、490、499	行政院農業委員會	森林區林業用
20	頂茄苳	7、16	行政院農業委員會	森林區林業用
30	糞箕湖	71	王日德	森林區丙種建築用地
31	塔山段	1、5、6、7、8、9	行政院農業委員會	森林區林業用
32	—			
33	金獅寮	461、420、422、427、428、423、434、431、379	行政院農業委員會	森林區林業用

表3.16　敏督利颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料

項目	地段	地號	土地權屬	用地
1	緞厝寮段	724、793	行政院農業委員會	森林區林業用
2	緞厝寮段	721	行政院農業委員會	森林區林業用
3	緞厝寮段	151	行政院農業委員會	農牧用地
4	緞厝寮段	724、793	行政院農業委員會	森林區林業用
5	緞厝寮段	724、793	行政院農業委員會	森林區林業用
6	金獅寮段	12-30、9004-1	劉連勳	山坡地保育區農牧用地
	大坪段	42-21、42-6	葉簡香梅、財政部國有財產	山坡地保育區農牧用地、林用
7	大坪段	42-6、42-7	財政部國有財產、葉簡香梅	山坡地保育區林用、農牧用地
8	大坪段	42-6	財政部國有財產	山坡地保育區林用
9	金獅寮段	12-17	劉勝輝	山坡地保育區農牧用地
10	金獅寮段	12-44、12-21	黃啟明、黃崇明	山坡地保育區農牧用地
11	大坪段	42-26		山坡地保育區農牧用地
12	金獅寮段	12-20、12-22	黃銘修、黃明和	山坡地保育區農牧用地
13	金獅寮段	12-26	劉文雄	山坡地保育區農牧用地
14	金獅寮段	12-26、12-49	劉文雄、黃幼森	山坡地保育區農牧用地

表3.16　敏督利颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料(續)

項目	地段	地號	土地權屬	用地
16	頂茄苳段	42	行政院農業委員會	森林區林業用
17	多林段	54~56、58	行政院農業委員會	森林區林業用
		39-3、55-2		森林區交通用
18	多林段	93、93-1	行政院農業委員會	森林區林業用
		93-2		森林區交通用
19	平遮段	128、128-4、135	行政院農業委員會	森林區林業用
		128-5		森林區交通用
20	平遮段	100	行政院農業委員會	森林區林業用
		79-2、81-1、85-5、100-3		森林區交通用
21	阿里山段 平遮段	111、112、85	行政院農業委員會	森林區林業用
22	平遮段	15、17	行政院農業委員會	森林區林業用
23	阿里山段	67-21	行政院農業委員會	風景區遊憩用地
24	神木段	225、387	國立台灣大學	森林區
25	塔山段	1、2	行政院農業委員會	森林區林業用
26	塔山段	1、4、5、6、7、8、9、10、11、14	行政院農業委員會	森林區林業用
27	塔山段	1、7、8、9、16、18	行政院農業委員會	森林區林業用

表 3.16　敏督利颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料(續)

項目	地段	地號	土地權屬	用地
28	石夢谷	25、30	行政院農業委員會	森林區林業用
29	眠猴段	124、125	行政院農業委員會	森林區林業用
30	眠猴段	107~110	行政院農業委員會	森林區林業用
31	眠猴段	126	行政院農業委員會	森林區林業用
32	眠猴段	149	行政院農業委員會	森林區林業用
33	眠猴段	127	行政院農業委員會	森林區林業用

表3.17　桃芝颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料

項目	地段	地號	土地權屬	用地
1	緞厝寮段	715~716、710	行政院農業委員會	森林區林業用
2	緞厝寮段	155 、 155-10 、 155-11、156	行政院農業委員會	山坡地保育區農牧用地
3	緞厝寮段	721、793	行政院農業委員會	森林區林業用
4	緞厝寮段	793	行政院農業委員會	森林區林業用
5	緞厝寮段	793、799	行政院農業委員會	森林區林業用
6	緞厝寮段	793、805	行政院農業委員會	森林區林業用
7	緞厝寮段	793	行政院農業委員會	森林區林業用
8	緞厝寮段	793、803、808~809	行政院農業委員會	森林區林業用、國土保安用地

表3.17　桃芝颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料(續)

項目	地段	地號	土地權屬	用地
9	緞厝寮段	807、793	行政院農業委員會	森林區林業用、國土保安用地
	金獅寮段	9007-6、398		
10	緞厝寮段	810	行政院農業委員會	國土保安用地
11	金獅寮段	12-26	劉文雄	山坡地保育區農牧用地
		12-49	黃幼森	
12	金獅寮段	9-15	黃明振	山坡地保育區農牧用地
		9-16	黃明和	
13	金獅寮段	411	行政院農業委員會	森林區林業用
14	金獅寮段	411、461	行政院農業委員會	森林區林業用
15	金獅寮段	434、461	行政院農業委員會	森林區林業用
16	金獅寮段	462、448	行政院農業委員會	森林區林業用
17	金獅寮段	475	行政院農業委員會	森林區林業用
18	金獅寮段	475	行政院農業委員會	森林區林業用
23	烏土崛	2-5、8、13	行政院農業委員會	森林區林業用
24	烏土崛	12、20、83、90~92、121	行政院農業委員會	森林區林業用
25	石濁溪	6-6、9-1	行政院農業委員會	森林區林業用
26	石濁溪	6-6、3	行政院農業委員會	森林區林業用
27	平遮段	112、128	行政院農業委員會	森林區林業用
28	平遮段	88、98	行政院農業委員會	森林區林業用

表 3.17　桃芝颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料(續)

項目	地段	地號	土地權屬	用地
29	雪峰北段	211	行政院農業委員會	森林區林業用
	平遮段	88		
30	平遮段	72-5、79-7	行政院農業委員會	森林區交通用
		72-6、79-6、		森林區林業用
31	平遮段	72-2	行政院農業委員會	森林區交通用
		72、72-3、72-4、79		森林區林業用
32	平遮段	102~104、113	行政院.農業委員會	森林區林業用
33	平遮段	67	行政院農業委員會	森林區林業用
34	塔山段	18	行政院農業委員會	森林區林業用
35	神木段	387、255	國立台灣大學	森林區
36	神木段	387、255	國立台灣大學	森林區
37	神木段	256	國立台灣大學	森林區
38	塔山段	1~3、5	行政院農業委員會	森林區林業用
39	塔山段	7~9	行政院農業委員會	森林區林業用
40	塔山段	19	行政院農業委員會	森林區林業用
41	塔山段	19~20	行政院農業委員會	森林區林業用
42	眠猴段	145	行政院農業委員會	森林區林業用

表3.17　桃芝颱風鐵路沿線崩塌地地籍資料(續)

項目	地段	地號	土地權屬	用地
43	眠猴段	145、152	行政院農業委員會	森林區林業用
44	松山段	40~41	國立台灣大學	森林區
45	松山段	37、40	國立台灣大學	森林區
46	松山段	37、40	國立台灣大學	森林區
47	松山段	36~37	國立台灣大學	森林區
48	眠猴段	124、126	行政院農業委員會	森林區林業用
49	眠猴段	127	行政院農業委員會	森林區林業用
50	眠猴段	127	行政院農業委員會	森林區林業用

表3.18　崩塌地地籍資料統計表

土地權屬	用地	比例
行政院農業委員會	森林區林業用	78.38%
行政院農業委員會	森林區交通用	7.21%
行政院農業委員會	風景區遊憩用地	0.9%
私人地	山坡地保育區農牧用地及林用地	12.6%
私人地	森林區丙種建築用地	0.9%

3.3 莫拉克颱風於鐵路沿線重大災害

由前節之分析可知，阿里山鐵路沿線歷年因颱風產生之崩塌災害，以民國 98 年因受莫拉克颱風最為嚴重。本計畫乃根據行政院農業委員會嘉義林區管理處所提供之資料，整理阿里山森林鐵路沿線勘災紀錄照片，如表 3.19 所示，莫拉克颱風造成阿里山鐵路主要災害類型為邊坡崩塌，進而導致路基流失(鐵路里程：20k+085~105、22K+150~170、22K+120~140、22K+210~250、23K+320~420、34K+925~960、36K+650~708、41K+740~794、59k+170、62k+895~937、66k+950~67k+050)及隧道土石堆積(21k+793~843、38K+958~973)，阿里山森林鐵路於民國 98 年因則受莫拉克颱風重創，導致森林鐵路停駛無法供遊客使用。

表3.19　阿里山森林鐵路莫拉克颱風後紀錄照片

 鐵路里程：4k+260m	 鐵路里程：20k+085~105	 鐵路里程：20K+440~480
 鐵路里程：21k+793~843	 鐵路里程：22K+120~140	 鐵路里程：22K+150~170

表3.19　阿里山森林鐵路莫拉克颱風後紀錄照片(續)

 鐵路里程：22K+210~250	 鐵路里程：23K+320~420	 鐵路里程：25k+210~285
 鐵路里程：33k+320~340	 鐵路里程：33k+762~795	 鐵路里程：34k+160
 鐵路里程：34k+335~340	 鐵路里程：34K+925~960	 鐵路里程：35k+200~450
 鐵路里程：36k+650~708	 鐵路里程：36k+745~808	 鐵路里程：38K+958~973

表3.19　阿里山森林鐵路莫拉克颱風後紀錄照片(續)

 鐵路里程：40K+030~072	 鐵路里程：40k+080~100	 鐵路里程：41K+740~794
 鐵路里程：43k+711~761	 鐵路里程：54k+270~290	 鐵路里程：56k+427~452.5
 鐵路里程：59k+170	 鐵路里程：走山 60k+500~61k+300	 鐵路里程：62k+895~937
 鐵路里程： 66k+950~67k+050	 鐵路里程：68k+850	

(資料來源:嘉義林區管理處)

3.4 莫拉克颱風於鐵路沿線重大崩塌地

民國 98 年 8 月 8 日之莫拉克颱風造成阿里山森林鐵路數十處路段之上、下邊坡坡體崩滑，鐵道路基流失，迫使森林鐵路中斷行駛。嘉義林區管理處於 99 年度曾委託中興工程顧問股份有限公司進行「阿里山森林鐵路災害路段地質調查及復建規劃」，報告中調查莫拉克颱風造成阿里山森林鐵路邊坡重大崩塌地，指出莫拉克颱風造成之崩塌地主要有四處崩塌區，本計畫團隊工作人員數度至崩塌區進行現場踏勘，進行現場資料收集，茲將崩塌區相關資料整理詳述如下，並將四處主要崩坍區之崩塌位置、土地權屬、面積、坡度、坡向及高程等資料其歸納整理於表 3.20。

1. 崩塌位置：

A 崩塌區：本崩坍區縱向長度水平投影達 2 公里，最大橫向寬度達 800 公尺，邊坡坍滑造成進入阿里山青年活動中心道路中斷。崩坍區可依鐵道所在位置高程區分為下線及上線兩段，下線位於屏遮那車站附近，鐵道高程約為標高 1,710 公尺，屏遮那車站之後崩坍區範圍內鐵道，里程 60K+500~61K+300 路基全數流失，現況如圖 3.15。

B 崩塌區：崩坍區上邊坡距鐵道位置水平投影長約 400 公尺，下邊坡堆積土石幾達溪谷位置，最大橫向寬度約 550 公尺，現況如圖 3.16。

C 崩塌區：本區位於鐵道里程 47K+300~47K+500 之間，根據現場勘查於里程 47K+365 及 47K+500 處路基下陷，其中前者下陷達 1 公尺； 47K+420

處上邊坡土石崩落阻斷鐵道;47K+500 處路堤發生裂縫，裂縫寬度達 50cm，綜合前述現象推測，本區曾發生大範圍地層滑動，潛在滑動面寬度達 140 公尺，現況如圖 3.17。

D 崩塌區：本區崩坍位置有兩處，分別位於鐵道里程 36K+066~150 及 36K+650~708，現況說明如下：

(1) 鐵道里程 36K+066~150：本處崩塌範圍縱向長度水平投影,於鐵道上邊坡達 300 公尺，下方達瑞水公路處,鐵道路基流失約 52 公尺,邊坡坍滑後造成 17 號隧道東口 32 公尺結構損壞，現況如圖 3.18。

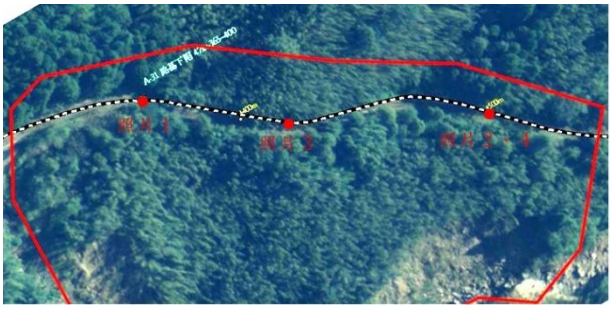
(2) 鐵道里程 36K+650~708：本處崩坍規模較前者小，主要是鐵路下方路基滑動流失，崩坍範圍縱向長度水平投影長約 120 公尺，橫向寬度約 60 公尺,鐵道路基流失約 52 公尺，現況如圖 3.19。



圖 3.16　A 區崩塌地崩塌現況




圖 3.17　B 區崩塌地崩塌現況




資料來源：阿里山森林鐵路災害路段地質調查及復建規劃

圖 3.18　C 區崩塌地崩塌位置圖




圖 3.19　D 區東側崩塌地崩塌位置圖

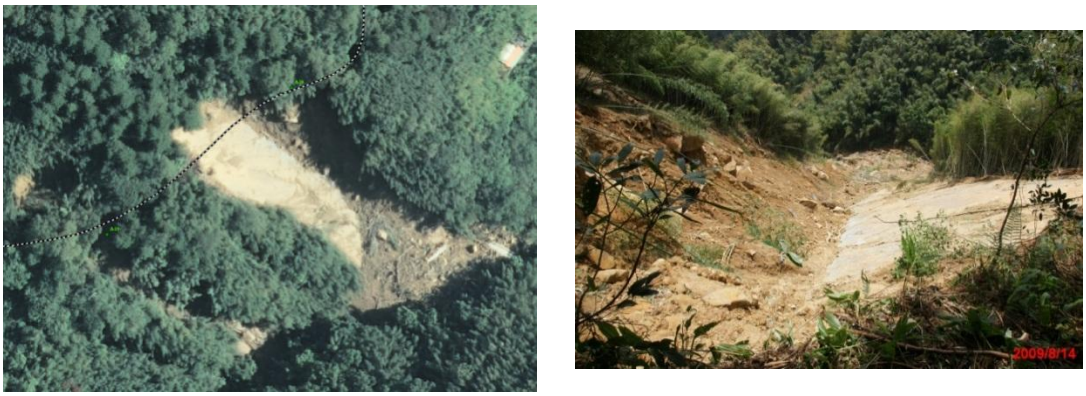


圖 3.20　D 區西側崩塌地崩塌位置圖

2. 土地權屬：

將前述四個主要崩塌地位置匯入本計畫建置之資料庫，比對地籍資料、國有林班地、原住民保留地與公有地分佈，A、B、C 及 D 崩塌區均位於國有林班地中，其土地之權屬機關均為行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處。

3. 地形資料與高程：

A 崩塌區：行政區屬嘉義縣阿里山鄉，位於計畫區之最東側，崩坍區所在高程約 1,300 公尺~2,200 公尺，坡向為西北向，坡度介於 30°~40°，地勢由東南方山脊向西北方阿里山溪谷下降。

B 崩塌區： 行政區屬嘉義縣阿里山鄉，位於計畫區內中間位置，崩塌區所在高程約 1,400 公尺~1,800 公尺，坡向為東北向，坡度介於 60°~70°，地勢由西南方畚箕山(標高 1976 公尺)向東北方谷地下降。

C 崩塌區： 行政區屬嘉義縣竹崎鄉，本區位於 B 區西側約 1,800 公尺處，滑動區位於一東西向山溝北側，所在高程約 1,400 公尺~1,500 公尺，坡向

為西南向，坡度介於 70°~80°，地勢由東北向西南山溝下降。

D 崩塌區： 行政區屬嘉義縣竹崎鄉，位於計畫區內最西側位置，此區崩塌區有兩處，分別位於一薄山脊兩側，所在高程約 900 公尺~1,100 公尺，東側崩塌區坡向為東南，坡度介於 50°~60°，地勢由西北向東南側谷地下降;西側崩塌區坡向為東北，地勢由西南向東北側谷地下降。

表 3.20 阿里山森林鐵路於莫拉克颱風之崩塌地資料理

	A 崩塌區	B 崩塌區	C 崩塌區	D 崩塌區
崩塌位置	66k+950m~67k+050m 60k+500m~61k+300m	49k+780m~50k+100m	47k+365m~47k+400m	36k+066m~36k+150m 36k+650m~36k+708m
土地權屬	行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處			
面積	130 公頃	28 公頃	3 公頃	東側:8 公頃 西側:2 公頃
坡度	30°~ 40°	60°~ 70°	70°~ 80°	50°~ 60°
坡向	西北向	東北向	西南向	東側：東南向 西側：東北向
高程(m)	1,300~2,200	1,400~1,800	1,400~1,500	900~1,100

第四章　降雨崩塌情境模擬及潛勢評估

由於台灣地區地形險峻且交通不便，使得現場調查困難且有不易到達導致無法進行調查之處，近年來崩塌潛勢分析為利用航照或衛星影像資料結合地理資訊系統，配合數值地形模型可以建立一個經濟且有效率之調查方法。藉由崩塌潛勢之計算產生之崩塌潛勢圖，可用來解釋過去發生崩塌之原因，亦可作為未來再發生崩塌之預測。影響崩塌發生的原因可分為潛在因子與促崩因子，前者包括現地的海拔高、坡度、土地利用狀況、坡向、岩性、地質狀況、順向坡與否、離鐵路或水系距離等；而促崩因子多為地震規模與降雨強度所造成的。

本計畫參考地質敏感區災害潛勢評估與監測期末報告(經濟部中央地質調查所，2009)，將山崩潛勢流程分為三階段，茲將分析流程敘述如下：

一、 山崩潛勢因子處理與分析階段：包含因子萃取與篩選。

二、 山崩潛勢分析模式建立與驗證階段：包含樣本選取、潛勢分析、以敏督利颱風作為模式之驗證及潛勢圖製作。

三、 情境模擬階段：投入不同雨型預測其崩塌潛勢，並繪製成崩塌潛勢圖。

4.1 山崩潛勢分析方法概述

大地工程及相關領域進行特定場址之邊坡穩定分析，常使用極限平衡法(Limit Equilibrium Method, LEM)進行特定邊坡之安全係數分析。另一方面，環境地質領域的專家及學者探討廣泛區域之坡地災害評估時，常進行山崩潛勢分析(Landslide Susceptibility Analysis, LSA)。山崩潛勢分析須聯合多種能鑑別山崩的地形、地質、區位、水文與雨量等因子，尋找一組能區別山崩與非山崩因

子權重組合的方程式，並計算山崩潛勢值及繪製山崩潛勢圖，以供區域規劃、工程選址及防災決策制定使用。

近年來,隨著經濟發展及人口增加,土地利用逐漸向山區發展,因而產生許多地質災害問題，區域性邊坡穩定分析也逐漸受到重視。由於電腦高速運算與地理資訊系統應用發達，利用各種不同的理論方法分析區域之山崩潛勢值，為目前學術界重要的探討議題。常用的理論方法包括人為主觀的專家評分法、統計學中的多變量分析、人工智慧的類神經網路及定量分析法等四種。以下簡述各項方法學之優劣，並列表比較如表 4.1 所示：

一、 專家評分法

專家評分法是由專家依照經驗，就現場調查之崩塌情形選取山崩因子，就每一因子給予分級及評定每一級的分數，再就每一因子對山崩貢獻的程度做相對的排序及給予權重，最後將各因子疊合，計算權重累計評分求得 LSI (Stevenson, 1977; Ives and Bovis, 1978; Sidle,1985) 。專家評分法的優點為權重給定容易，且可利用地理資訊系統進行資料處理，但其缺點是以人為方式給予之評分及權重仍帶有強烈的主觀意識，且因地質及地形條件之區域性差異，一特定地區之權重組合不能適用於其他區域，故在實際應用上有其困難之處。

二、 統計分析法

目前各項山崩潛勢分析研究多以統計分析方法為主，統計分析以多變量分析(multivariate Analysis)中的羅吉斯迴歸(logistic regression)、判別分析(discriminant analysis)及因素分析(factor analysis)等方法較為常見。三種方法皆可獲得一組由山崩潛勢因子組成的線性組合，以及代表各

因子貢獻程度的迴歸係數。多變量分析方法相較於定性或定量分析法複雜，同時對於資料量的需求也較大，但多變量模式係透過統計歸納方式獲致具有鑑別山崩與非山崩的經驗式，對於因子迴歸係數之決定亦具有相當程度之鑑別優勢。

三、 類神經網路法

類神經網路方法雖然相較其他方法能獲致較佳的分析結果，然因子間權重具有許多不確定性，雖能得到較佳的準確率，但因運算過程中難以了解學習後各神經元之相互關係，且必須以試誤法方式得到最佳的網路架構，故試誤過程需消耗較多時間。此外，同樣的架構每次的學習結果也不完全相同，不易具體探討各因子與山崩問題之間的關聯性，但類神經網路方法之模式建立較統計分析方法耗費時間，且有時會有過度訓練之現象出現(Lee, 2006; Chung, C.F. personal communication)。另一方面，採用類神經網路方法不容易歸納各年度研究區範圍之山崩潛勢成果。

四、 定量分析法

定量分析法中的無限邊坡理論及 Newmark 位移法理論基礎雖佳，但因分析所需之工程性質參數，例如凝聚力(cohesion)、摩擦角(friction angle)、滑動深度、地下水位深度及土層深度等參數甚難取得廣域的資料，故成效不如統計方法及人工智慧方法(Lee, 2006)。

本團隊經文獻回顧比較後，發現目前較成熟的山崩潛勢分析方法，仍屬多變量分析方法為主，因此本計畫乃選用多變量統計分析方法進行山崩潛勢分析，研究過程選用的山崩潛勢因子考量不

同類別尺度變數(nominal scale variable)的影響，包括岩性類別、坡向類別及鐵路距類別等類別尺度變數。應用多變量統計分析方法，若將各類別尺度變數置入判別分析或因素分析之中，其分析成果恐因輸入變數與理論假設不同而造成結果上的偏差，由於羅吉斯迴歸並無因子必須連續值的限制，因此本計畫決定採用多變量統計分析方法中的羅吉斯迴歸進行後續山崩潛勢分析。

表4.1　山崩潛勢分析方法比較表

分析方法	優點	缺點	適用性
專家評分法	1.方便易操作。 2.評分項目中可納入不易量化的項目。 3.評分快速。	1.人為主觀。 2.評分結果因人而異。 3.成果不易整合。	1.小範圍使用。 2.適用性差。 3.成果不易整合。
統計法	1.客觀且具理論基礎。 2.能綜合評斷各項因子影響獲致一組線性方程式。 3.分析結果穩定與唯一,且易歸納各年度計畫成果。	1.僅能找出一組因子的線性組合計算潛勢值,實際上是否另有一組非線性組合能求得更合理的山崩潛勢值,仍未可知。 2.統計法比以往定性法為複雜。	1.廣域分析時最常採用。 2.適用性佳。 3.成果容易整合。
類神經網路法	1.訓練獲致最佳的網路結構,待訓練完成後可藉由神經元相互關係回想獲得較佳之分析成果。 2.具有高度非線性之學習能力,相較一般線性方程擬合結果佳。	1.試誤過程需消耗較多時間。不同隱藏層與神經元配置獲致成果不同。 2.相同隱藏層與神經元配置,每次分析獲得之結果亦略有不同。 3.運算過程為黑盒子，甚難拆解。	1.近年來，廣域分析時偶爾採用進行研究。 2.適用性尚可。 3.分析成果無法統整合併。
定量法	1.可將現地地工參數引入力學分析之模式,以安全係數描述邊坡之穩定。 2.對於較大比例尺之精準需求的分析時可以採用。	無法廣域的獲得地工參數,故無法獲得區域之整體趨勢。	適用於工程局部區域的地質狀況。

4.2 羅吉斯迴歸方法

本計畫採用羅吉斯迴歸建立山崩潛勢分析模式，以下簡述羅吉斯迴歸方法基本理論與統計檢定方法，以利後續山崩潛勢分析成果解讀參用。

4.2.1 羅吉斯迴歸理論基礎

實際研究之中，線性迴歸模型（linear regression model）為定量分析中最常使用的統計分析方法，而在許多情況下，線性迴歸並不適用。如應變數是分類變數（categorical variable）而非連續變數（continuous variable）的情形，線性迴歸就不適用。

對數線性模型（log-linear model）為分析分類變數時常採用的一種統計方法。羅吉斯迴歸模型（logistic regression model）為對數線性模型中的一種特殊形式（Feinberg, 1985；Agresti, 2002）。當對數線性模型中的一個二元變數被當作應變數並定義為一系列自變數的函數時，對數線性模型就變成羅吉斯迴歸模型。

羅吉斯分布（logistic distribution）為二元應變數分析中最常使用的分布函數。其值域在 0 與 1 之間擁有 S 形狀的曲線，此種曲線類似於一個隨機變數的累積分布曲線。

假設有一理論上存在之連續反應變數代表著事件發生之可能性，其值域為負無窮至正無窮。當該變數的值跨越了一個臨界點 c（比如 $c=0$），便會導致事件發生。於是當時，$y_i^* > 0$ 時，$y_i = 1$，而在其他情況下，$y_i = 0$，其中y_i是實際觀察到的反應變數，$y_i=1$ 代表事件發生，$y_i = 0$ 代表事件未發生。如果假設在反應變數和自變數之間存在著一種線性關係：

$$y_i^* = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \qquad (4.1)$$

由公式(4.1)，我們可得到

$$\begin{aligned} \mathrm{P}(y_i = 1|x_i) &= \mathrm{P}[(\alpha + \beta x_i + \varepsilon_i) > 0] \\ &= \mathrm{P}[\varepsilon_i > (-\alpha - \beta x_i)] \end{aligned} \quad (4.2)$$

通常，假設公式(4.1)中的誤差項ε_i有羅吉斯分布或標準常態分布，為了取得一個累積分布函數（cumulative distribution function），一個變數的機率需要小於一個特定值，因此我們必須改變公式(4.2)中不等號的方向，由於羅吉斯分布和常態分布都是對稱的，公式(4.2)可以改寫為：

$$\begin{aligned} \mathrm{P}(y_i = 1|x_i) &= \mathrm{P}[\varepsilon_i \leq (\alpha + \beta x_i)] \\ &= F(\alpha + \beta x_i) \end{aligned} \quad (4.3)$$

其中 F 為ε_{i} 的累積分布函數。分布函數的形式決定於公式(4.1)中ε_{i}的假設分布，如果假設ε_{i}為羅吉斯分布，就得到羅吉斯迴歸模型；如果假設ε_{i}為標準常態分布，就得到 probit 模型（Long, 1997）。因為y_{i} 不能直接觀察，其量度既不能由羅吉斯迴歸模型來決定，也不能由 probit 模型來決定。在 probit 模型中，誤差項ε_{i}之變異數為 1；在羅吉斯迴歸模型中，誤差項ε_{i}的變異數為$\pi^2/3 \approx 3.29$，而羅吉斯迴歸模型可使累積分布函數取得一個較簡單的公式如下：

$$\begin{aligned} \mathrm{P}(y_i = 1|x_i) &= \mathrm{P}[\varepsilon_i \leq (\alpha + \beta x_i)] \\ &= \frac{1}{1+e^{-\varepsilon_{\mathrm{i}}}} \end{aligned} \quad (4.4)$$

這一函數稱之為羅吉斯函數，其具有 S 型的分布，其中ε_{i}的值域為負無窮至正無窮，而當ε_{i}趨近於負無窮時，羅吉斯函數為：

$$\begin{aligned} \mathrm{P}(y_i = 1|x_i) &= \frac{1}{1+e^{-(-\infty)}} \\ &= \frac{1}{1+e^{\infty}} = 0 \end{aligned} \quad (4.5)$$

當ε_{i}趨近於正無窮時，羅吉斯函數為：

$$\begin{aligned} \mathrm{P}(y_i = 1|x_i) &= \frac{1}{1+e^{-(\infty)}} \\ &= \frac{1}{1+e^{-\infty}} = 1 \end{aligned} \quad (4.6)$$

在羅吉斯函數曲線中，ε_{i}的值域範圍在負無窮到正無窮之間，而羅吉斯函數 P 的值域範圍均在 0 至 1 之間，代表由羅吉斯模型估計

的機率也會界於 0 和 1 之間。當ε_i為負無窮大時，羅吉斯函數 P=0，曲線則向右移動，ε_i增大，而到最後當ε_i趨近於正無窮大時，羅吉斯函數 P= 1。

為了根據羅吉斯函數取得羅吉斯迴歸模型，將公式(4.4)改寫為：

$$P(y_i = 1|x_i) = \frac{1}{1+e^{-(Z)}} \quad (4.7)$$

$$Z = \alpha + \beta x_i \quad (4.8)$$

Z 為一影響事件發生機率因子的線性多項式，為了簡化，這裡以一元迴歸為例，同樣的原則也適用於多元迴歸，其中 x_i為自變數，α和β分別為迴歸截距和迴歸係數。

將事件發生的條件機率定為 P（y_i 1| x_i） P_i，我們就能得到下列羅吉斯迴歸模型：

$$P_i = \frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta x_i)}} = \frac{e^{(\alpha+\beta x_i)}}{1+e^{(\alpha+\beta x_i)}} \quad (4.9)$$

其中，P_i為第 i 個案例發生事件的機率，並且是一個由變數 x_i構成的非線性函數（non-linear function），此非線性函數是可以被轉換為線性函數的。首先，定義不發生事件的條件機率為：

$$1 - P_i = 1 - \left(\frac{e^{(\alpha+\beta x_i)}}{1+e^{(\alpha+\beta x_i)}}\right) = \frac{1}{1+e^{(\alpha+\beta x_i)}} \quad (4.10)$$

則事件發生機率與事件不發生機率之比為：

$$\frac{P_i}{1-P_i} = e^{\alpha+\beta x_i} \quad (4.11)$$

這個比值被稱之為事件的發生比（the odds of experiencing an event），簡稱為 odds，其一定為正值，因為 $0<P_i<1$，而且沒有上界。將 odds 取自然對數就能夠得到一個線性函數：

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha + \beta x_i \quad (4.12)$$

公式(4.12)將羅吉斯函數做自然對數轉換，這稱為 logit 形式（logit form），也稱為 y 的 logit，即 logit(y)。這一轉換的重要性在於，logit(y)有許多可利用的線性迴歸模型的性質。logit(y)對於其參數而言是線性的，並且與 x 的值有關，它的值域為負無窮至正無窮。從公式(4.12)中可以看出，當 odds 從 1 減少到 0 時，logit(y)為負值且絕對值越來越大；當 odds 從 1 增加到正無窮時，它為正值且值越來越大，因此我們就不用因為機率估計值會超過機率值域的問題所困。一個變數的作用如果是增加對數發生比(log odds)，也就是增加事件發生的機率，反之亦然。

儘管線性迴歸分析的原則也應用於羅吉斯迴歸模型，但必須注意的是羅吉斯迴歸與線性迴歸是完全不同的。首先，線性迴歸的應變數與其自變數之間的關係是線性的，但是羅吉斯迴歸中應變數與自變數之間的關係是非線性的，儘管非線性關係可以被轉換為線性關係；其次，我們在線性迴歸中通常假設，對應自變數 x_i 的某個值，變數 y_i 的測量值結果為常態分布。但是在羅吉斯迴歸中，變數的測量值 y_i 結果卻是二項分布；最後，羅吉斯迴歸模型中，在線性迴歸模型中的殘差項在此並不存在，即公式(4.12)。當有 k 個自變數時，公式(4.9)可擴展為：

$$P_i = \frac{e^{\alpha+\sum_{i=1}^{k}\beta_k x_{ki}}}{1+e^{\alpha+\sum_{i=1}^{k}\beta_k x_{ki}}} \tag{4.13}$$

則相應的羅吉斯迴歸模型將有下列形式：

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \alpha + \sum_{i=1}^{k}\beta_k x_{ki} \tag{4.14}$$

其中，$P_i = P(y_i = 1|x_{1i}x_{2i},\ldots,x_{ki})$ 為在給定一系列自變數 $x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{ki}$ 值時的事件發生機率。而在本計畫中，羅吉斯迴歸分析式可寫為：

$$y_i = \alpha + \sum_{i=1}^{k} \beta_k x_{ki} \quad (4.15)$$

其中，y_i代表著各網格單元羅吉斯函數值，x_{ki}為各項山崩潛勢因子值，β_k為各因子之迴歸係數。將各網格單元的羅吉斯函數值代入(4.7)式中計算出潛勢值，依據羅吉斯指標(cut off)來做分類，於羅吉斯迴歸中，其指標值(cut off)預設為 0.5，若山崩潛勢值大於 0.5，可被歸類為山崩組，反之，則被歸類為非山崩組。接著即可依據山崩潛勢分級原則劃分山崩潛勢值成不同山崩潛勢等級，以不同山崩潛勢等級繪製山崩潛勢圖。

4.2.2 山崩潛感模式驗證方式

山崩潛感分析的結果須驗證之，以了解分析成果之品質。模式驗證的方法分別有：分類誤差矩陣、ROC 曲線及成功率曲線與預測率曲線，以下茲將分述之。

一、 分類誤差矩陣表

分類誤差矩陣（classification error matrix）為一種表現真實情況與不同地表類型於分類結果之間的關係，所常用的表示方法。研究中將總網格劃分成山崩與非山崩的網格，依據山崩與非山崩網格數所佔總網格數的比例，可分別計算出總體正確率（overall accuracy）、生產者正確率（producer’s accuracy）和使用者正確率（user’s accuracy），羅吉斯回歸的預測準確性則可藉由計算出之分類誤差矩陣表來檢驗。建置迴歸模型的優劣則以訓練資料的分類誤差矩陣表示，而迴歸模型的穩定性則以驗證資料的分類誤差矩陣來表示。

正確率的計算方式可由分類誤差矩陣表來表示(如表

4.2)，其計算方式如下：

山崩組生產者正確率= N1/(N1+ N3) (4.16)
山崩組使用者正確率= N1/(N1+ N2) (4.17)
非山崩組生產者正確率= N4/(N2+ N4) (4.18)
非山崩組使用者正確率= N4/(N3+ N4) (4.19)
總體正確率= (N1+ N4)/(N1+ N2+ N3+ N4) (4.20)

表4.2 分類誤差矩陣表

		全區資料網格數	
		山崩組	非山崩組
分類結果網格數	山崩組	N1	N2
	非山崩組	N3	N4

二、 ROC

曲線在過去的模型驗證方法中，除了較常被使用的分類誤差矩陣法以外，ROC（Relative Operating Characteristic）曲線在醫學及生物方面也常被用來評估分析成果的好壞，當 ROC 曲線下面積 A 越大時，通常表示此方法表現出較好的結果（Swets, 1988）。ROC 曲線是於 1988 年由 Swets 所提出，ROC 曲線的主要意義為表示分析模式的好壞，由分類誤差矩陣表中判釋錯誤所佔的比例與判釋正確所佔的比例分別為 X 軸與 Y 軸所繪出的曲線。若判釋正確的比例越高且判釋錯誤的比例越低，則曲線的切線斜率則越高，即曲線下的面積亦越大，表示此分析模式呈現了較佳的結果。

三、 成功率曲線與預測率曲線

將山崩潛感值切割為若干等間距之區間，由大到小採用累加的方式計算各區間山崩面積佔總山崩面積的比例

與各區間面積佔總面積的比例，最後可繪製一圓弧形曲線。使用訓練資料繪製的曲線稱為成功率曲線（success rate curve）（Chung and Fabbri, 1999)，而使用驗證資料所繪製的曲線稱為預測率曲線（prediction rate curve）（Chung and Fabbri, 2003)，此法使用連續的數值表示各區間所包含的山崩面積比例，當比例越小的區間（即高潛感地區）能包含越大的山崩面積比例，表示此分析方法或分析結果越好。

在成功率曲線圖中，曲線下的面積總和（the area under the curve, 簡稱為 AUC）的大小，為判定該方法或結果好壞的依據。AUC 的值域是介於 0～1 之間，當面積為 1 時表示極少的高潛感地區就可以 100%包含山崩面積，反之，當面積為 0 時表示整個都沒有包含山崩面積。總而言之，AUC 的值越大越好，當面積越接近中間值 0.5 左右，則表示該結果不會比隨機的結果好（Chung and Fabbri, 2003），當 AUC 低於 0.5 時表示此結果不值得使用。

4.3 山崩潛勢分析模式建立

4.3.1 山崩潛勢基本資料蒐集

本研究所使用的資料分述如後：

1. 基本地形圖：

   主要包括研究區域內之 1/5,000 與 1/10,000 像片基本圖及 1/25,000 與 1/50,000 之地形圖。提供崩塌地檢核、產業道路數化及地形地貌判釋之用。

2. 數值地形資料：

   採用內政部「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」所建立之 5 公尺高精度數值地形進行分析工作，經除錯及適當的濾波後繪製成間距 5 公尺之網格。

3. 地質圖：

   包括研究區域內之 1/250,000 地質圖（地調所）、1/50,000 地質圖（地調所）及 1/100,000 地質圖（中國石油公司）。

4. 研究區特定颱風事件之降雨量資料：

   本計畫根據近年造成阿里山森林鐵路沿線重大山崩之不同颱風事件，蒐集該事件之時雨量及累積雨量等資料。蒐集包括 93 年敏督利颱風及民國 98 年莫拉克颱風之雨量資料做為山崩潛感分析訓練及驗證之用。資料來源包括：中央氣象局、經濟部水利署等相關單位。

5. 歷年山崩目錄資料：

   蒐集研究區域內由水土保持局所建置之山崩目錄資料，包括敏督利颱風及莫拉克颱風兩次事件之山崩目錄。本研究利用地理資訊系統 MapInfo＆ArcGIS 及遙感影像處理系統 Erdas Imagine 將所蒐集到的資料皆轉換成解析度為 5

公尺x5 公尺的格網式（raster cell）資料，以供進一步分析計算。

4.3.2 雨量資料處理與分析

一、 雨量資料

由於計畫區內雨量站分佈稀疏，僅阿里山、奮起湖、樟腦寮、石磐龍、瑞里、神木村等六站，考慮進行雨量空間分佈推求時易產生較大之誤差，為增加雨量空間分佈推估之精度，本計畫選用計畫區鄰近之雨量站，選用過程並考慮空間高程變異之影響，以阿里山、奮起湖、樟腦寮、石磐龍、瑞里、神木村、望鄉、和社、新興橋、東埔、新高口、楠溪、豐山、草嶺、山豬湖、馬頭山及大湖等雨量站之資料進行雨量空間分佈推估，採用雨量站之分佈位置如圖 4.1 所示。

由於民國 98 年 8 月莫拉克颱風重創阿里山森林鐵路，因此以該颱風為促崩事件，建立山崩潛勢預測模型。山崩潛勢預測模型之建立，首先收集各雨量站的時雨量資料，整理出莫拉克颱風時之總雨量及最大降雨強度資料，再利用克利金內插方法推估流域雨量空間分佈。

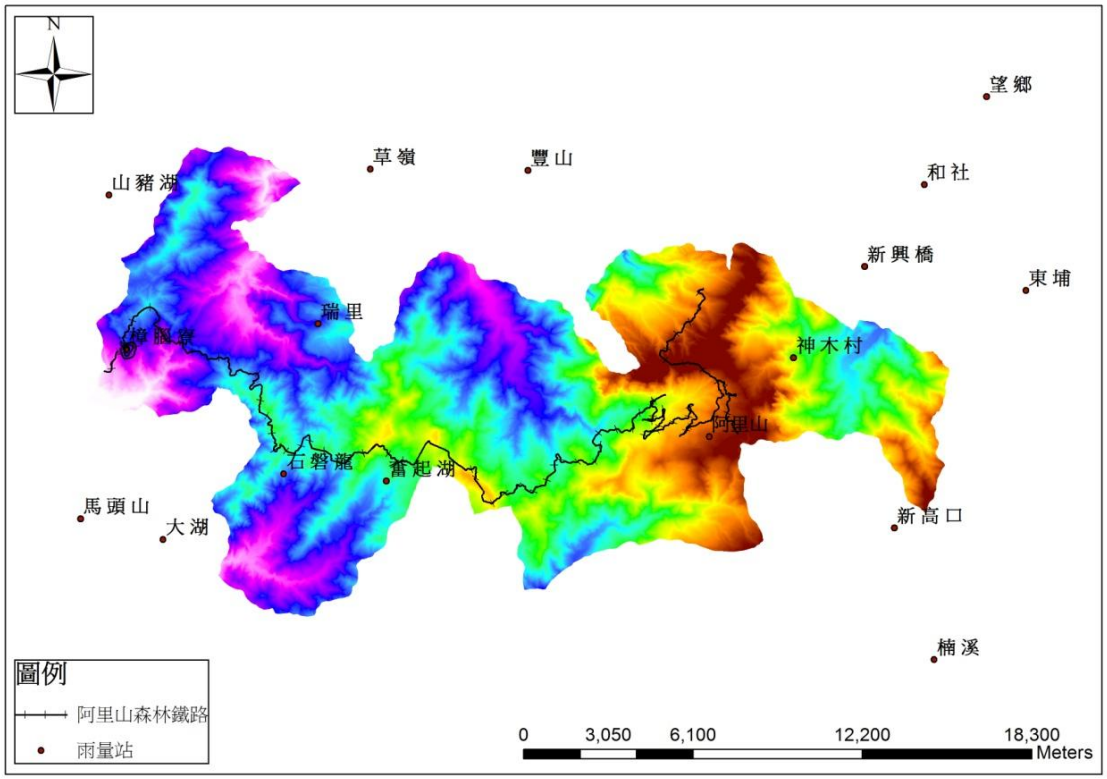


圖4.1　各雨量站空間位置分布圖

二、　雨量資料處理與分析

1.　雨場分割之方法

雨場是由大大小小不連續的時序列所組成的事件。降雨在其降雨延時內任一時段之雨量圖稱之為降雨歷線，通常以柱狀圖表示，又稱為降雨組體圖或雨型。而雨型會因當時氣象狀況有所改變，由於降雨方式的不同而其整場降雨的雨型也會有所差異。為能正確的建立崩塌預警模式，首先須選定一場雨場的切割方法，做為一場連續降雨的定義，才能統計出鐵路邊坡崩塌和降雨之間的關係。回顧過去研究者對於邊坡崩塌與土石流均有不同的雨場切割方法，並將其整理歸納成八種類型(如表 4.3)：

(1) 第一種：一場連續降雨過程，其前後 24 小時以上皆無雨量記錄。

(2) 第二種：一場連續降雨過程，其前後 12 小時以上皆無雨量記錄。

(3) 第三種：一場連續降雨過程，其前後 6 小時以上皆無雨量記錄。

(4) 第四種：一場連續降雨過程，以其時雨量大於 4mm 之時為有效降雨時間開始，而以時雨量連續 3 小時均小於 4mm 之時為有效降雨時間結束。

(5) 第五種：一場連續降雨過程，以其時雨量大於 4mm 之時為有效降雨時間開始，而以時雨量連續 6 小時均小於 4mm 之時為有效降雨時間結束。

(6) 第六種：一場連續降雨過程，以其時雨量大於 4mm 之時為有效降雨時間開始，而以時雨量連續 24 小時均小於 4mm 之時為有效降雨時間結束。

(7) 第七種：一場連續降雨過程，以前 12 小時累積雨量達 10mm 之時為有效降雨時間開始，而以後 12 小時累積雨量不足 10mm 之時為有效降雨時間結束。

(8) 第八種：一場連續降雨過程，以前 24 小時累積雨量大於 10mm 之時為有效降雨時間開始，而以後 24 小時累積雨量小於 10mm 之時為有效降雨時間結束。

表 4.3　不同研究者所使用的雨場分割方法

類型	研究者	研究對象
第一種	陳慶秋（1995）、吳傳威等人（1999）	邊坡災害
	謝正倫等人（1993、1995）、陸源忠（1995）、陳晉琪（2000）	土石流災害
第二種	譚萬沛（1999）	土石流災害
第三種	田坤國（2000）、謝玉興（2003）	邊坡災害
第四種	瀨尾克美、船崎昌繼（1973）、江永哲、林啟源（1991）、謝正倫（1993、1995）、陸源忠（1995）、詹錢登等人（2001）	土石流災害
第五種	黃婷卉（2002）、詹錢登、李明熹（2004）	土石流災害
第六種	曾炫學（2003）	土石流災害
第七種	吳秉晃（2002）、曾志豪（2004）	邊坡災害
	詹錢登等人（2003）	土石流災害
第八種	范正成等人（1999、2001）	土石流災害

2. 颱風暴雨雨場之定義

過去討論邊坡崩塌與降雨關係之研究時，大都以崩塌發生時所對應之雨場，以標定出崩塌發生臨界線，進而界定觸發崩塌發生時之最大降雨強度或累積降雨量之門檻。然而，每一場降雨之雨量多寡、延長及降雨強度大小，都不盡相同；邊坡崩塌發生之時間點，一般而言於降雨過程中，不一定於降雨結束後；因此，若以整場雨場降雨資料分析邊坡崩塌之關係，對於崩塌預警之研究確有不夠周嚴

之慮。再者，鐵路養路機關所提供之邊坡崩塌資料，多為崩塌後一段時間之紀錄，真正崩塌發生時間無法得知。

回顧八種不同雨場切割之方式，對於颱風暴雨之雨場切割而言，倘切割條件過細，則無法完整涵蓋整場連續雨場事件，致使影響邊坡崩塌時間的推定；反之，若切割條件過寬，導致主雨場前後的次雨場涵蓋太多，而影響雨場降雨參數的確定。

3. 雨場切割

以往學者(李明君，2008)在研究以降雨特性進行阿里山公路邊坡崩塌預警管理時，曾指出所選用之雨場切割方式需符合兩個條件：第一為主雨場需為連續降雨過程，中間時雨量紀錄不得有零紀錄，則視為整場雨場；第二為時雨量紀錄如有斷續過程，則沿用成功大學土木工程學系岩石力學試驗研究室（吳秉晃，2002、曾志豪，2004），所研究雨場切割之定義，係一場連續降雨過程，以前 12 小時累積雨量達 10mm 之時為有效降雨時間開始，而以後 12 小時累積雨量不足 10mm 之時為有效降雨時間結束。由於前述雨場切割方式之研究成效良好，且該研究區域與本計畫研究區域地域相近，因此本計畫乃採上述第七種之雨場切割方法進行後續雨量資料處理。

莫拉克颱風經上述方法雨場切割後，各雨量站之總雨量及最大降雨強度將列表說明如表 4.4 所示，各雨量站之總降雨量約介於 1000~3000mm 之間、最大降雨強度約介 50~120mm/hr 之間，然鄰近鐵路之奮起湖、石磐龍與阿里山雨量站總雨量超過 2500mm、最大降雨強度超過 100

mm/hr，所有雨量站以阿里山雨量站之降雨量最為驚人，總雨量達 3043mm、最大降雨強度為 123 mm/hr；另外，比較各雨量站之分析結果可以發現，降雨量有由平原往山區遞增之趨勢，顯示莫拉克颱風之降雨在本區域受地形之影響。

表4.4　莫拉克颱風雨場切割後之雨量資料

雨量站名	X 座標 (97)	Y 座標 (97)	總雨量(mm)	最大降雨強度 I (mm/hr)
新高口	237577	2597337	2106	72
神木村	233953	2603462	1968	95
草嶺	218709	2610255	1981.5	88
和社	238666	2609702	1144	63.5
望鄉	240908	2612869	1489.5	49
樟腦寮	209930	2603786	1671	58
大湖	211245	2596923	2312.5	77
楠溪	239021	2592598	2100	77
奮起湖	219280	2599026	2859	110.5
馬頭山	208268	2597669	2261.5	103.5
新興橋	236508	2606751	1597.5	96
東埔	242321	2605885	1191	53.5
山豬湖	209294	2609326	1177.5	65
石磐龍	215592	2599280	2727	106
瑞里	216825	2604691	1928.5	105
豐山	224378	2610213	1909.5	121.5
阿里山	230913	2600630	3043	123

4. 雨量資料空間分布推估

豪雨誘發山崩的研究中，須利用雨量資料進行分析，故雨量的準確性甚為重要。得到降雨量最直接的方法為雨量站觀測，然而受限於經費及維護所需的人力，雨量觀測網的密度往往不足。一個雨量站所觀測的降雨資料，僅能代表該點的雨量，並不能代表其他未知點的雨量值。為得全區雨量的空間分佈，以往之研究常使用單變量內插方法 Kriging 以及多變量的 Kriging with varying local means 推估莫拉克雨量。其推估原理如下：

(1) Kriging

克利金法（Kriging）具有最佳線性不偏估（best linear unbiased estimator）特性，其原理為未知點的值會與周圍已知點的值呈一線性組合，利用各資料點間的變異數（Variance）推求最佳線性組合的權重值。其特色在於不僅能提供一個最小估計誤差的預測值，更可明確指出誤差值的大小。

(2) Kriging with varying local means

此方法適用於非定常性（non-stationary）資料。當一區域有一與主要變數間具相關性之輔助變數存在時，即可利用此一輔助變數或多個輔助變數來找出主要變數的漂移（drift），再以主要變數扣除漂移的殘餘值進行 Kriging 後，加回漂移即完成推估。此漂移實際上是以超曲面分析求得。超曲面（hyper-trend）分析為多元高次的迴歸分析，也就是包含多個自變數的多元迴歸模式（multiple regression），並使用最小平方法以面方程式的型態來擬合所觀測的數據，獲得整體的趨勢。

本計畫利用各雨量站之總雨量及最大降雨強度，配合克利金法推估莫拉克颱風之總雨量及最大降雨強度分佈，莫拉克颱風雨量分佈推估結果與崩塌區分佈如圖 4.2 與 4.3 所示。由圖 4.2 與 4.3 可知，莫拉克颱風所造成的兩處重大崩塌地總雨量都大於 2700mm 以上，且最大降雨強度每小時也都大於 110mm 以上；另外，颱風之總雨量及最大降雨強度與崩塌地亦具有關聯性，總雨量及最大降雨強度越大崩塌有增大趨勢，顯示崩塌潛勢的可能性越大。

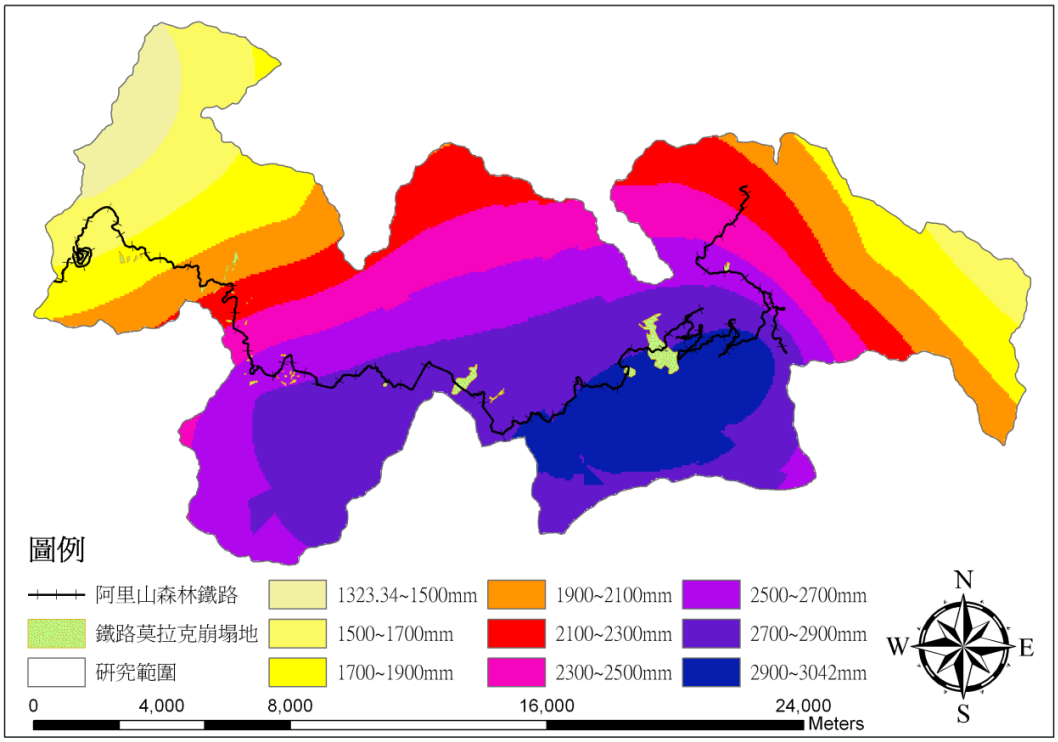


圖4.2　莫拉克颱風總雨量空間分佈與崩塌區分佈

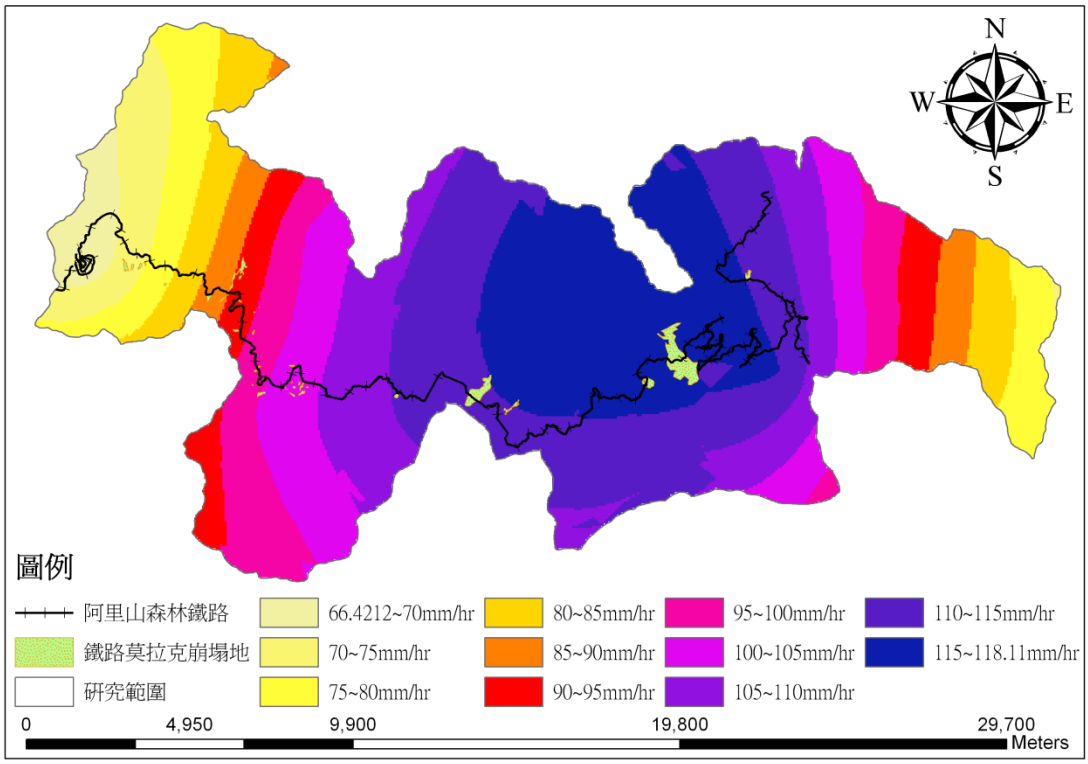


圖4.3　莫拉克颱風最大降雨強度空間分佈與崩塌區分佈

4.3.3 山崩潛勢因子製作與篩選

一、　山崩潛勢因子製作

陳盈頡(2007)進行「曾文水庫集水區之地形幾何特性與山崩分佈關係之研究」時，將前人研究探討之山崩因子整理如表4.5所示，探究山崩因子可以發現曾被考慮或使用過的山崩潛感因子超過五十種，然如此多樣的因子進行分析並非絕對必要，因其中尚有許多是無法量化的因子，其在分析上難度也較高，參考中央地質調查所「山崩潛感分析之研究」計畫及96年度「集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫」之經驗，本計畫研選出岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、地形曲率、道路距、最大時雨量、總雨量等因子為促崩因子，另外考慮計畫鐵路建構

對邊坡穩定產生之影響與地表逕流流動距離影響地下水入滲增列鐵路距與水系距兩因子為促崩因子，以下針對各因子之特性加以說明。

1. 岩性因子

對於區域尺度之山崩潛感研究，很難蒐集到全面性的地層材料強度與水文參數資料，而僅能由岩性（lithology）做評估。本計畫利用較中央地質調查所之地質圖，進行岩性分佈資料之萃取，一般而言地層年代越老，岩石較為堅硬，抗風化能力也較強；而地年代較年輕的地層，抗風化能力也較弱。本計畫分析完成之岩性因子圖層，如圖 4.4 所示。

2. 坡度因子

坡度為最直接影響邊坡力學的地形條件，坡度愈陡，愈容易發生崩塌，從力學的觀點來看，坡度愈陡造成土層或是岩層往下移動的作用力更大，然而岩層的強度愈高才能存在於陡峻的坡面，因此產生崩塌的機率較低。。本計畫利用研究區 5 公尺高精度數值地形資料，以 3x3 網格按 Wilson 和 Gallant（2000）之坡度（slope）定義進行坡度計算。本計畫分析完成之坡度因子圖，如圖 4.5 所示。

3. 坡向因子

坡向（slope aspect）即為坡面的傾向，某些特定之坡向常受到暴雨之侵襲而造成其坡面之邊坡塊體容易有膠結不良或是高度風化的情況，容易引致崩塌。坡向之計算方式亦採用 3x3 網格，按 Wilson 和 Gallant（2000）之坡向定義進行坡度計算，本計畫分析完成之坡向因子圖，如圖 4.6 所示。

4. 地形粗糙度因子

地形粗糙度（terrain roughness）之定義為描述一區域內的地形變化程度，Wilson 和 Gallant (2000)提出利用圓形的視窗內的高度標準差，作為區域內高度變化程度的計測方式。為了更確切的表現地形局部起伏的狀況，本計畫以空間域濾波的方式，將數值地形以半徑 13x13 進行平滑化，去除地表起伏較為劇烈的部分，僅留下大範圍的地勢的起伏，再將原始地形面扣除平滑化後的地形，即可得到地表起伏較為劇烈的高頻特徵，然後計算半徑 13x13 之某一圓形區域範圍內的標準值來代表此區域地形之粗糙度。本計畫分析完成之地形粗糙度因子圖，如圖 4.7。

5. 坡度粗糙度因子

坡度粗糙度（slope roughness）可反應一區域內之坡度變化程度。坡度粗糙度的計算方式與地形粗糙度的計算方式相同，其差異之處是把原先輸入的濾波後地形資料轉為坡度資料進行運算。藉由坡度粗糙度的計算，可以反映出區域範圍內坡度變化的程度。本計畫分析完成之坡度粗糙度因子圖，如圖 4.8 所示。

6. 地形曲率

地形曲率（curvature）即是地形的二次微分，所代表的是坡度或坡向的改變率，本計畫所探討的曲率包括剖面曲率(profile curvature)、平面曲率(plane curvature)及總曲率。本計畫將數值地形以半徑 13x13 進行平滑化後，根據 Wilson 和 Gallant(2000)定義以 3x3 格網之相對關係運算各項曲率值。本計畫分析完成之剖面曲率因子圖、平面曲率因子圖及總曲率因子圖分別如圖 4.9、圖 4.10 及圖 4.11 所

示。

7. 道路距因子

道路距（distance to road）即任一點與現有道路之距離，本研究利用利用地理資訊系統環域分析之功能，設定以 40 公尺為間隔之環域範圍，依序增加至 200 公尺為界線共分為五個等級。經由計算各分區等級內山崩面積及其崩壞比，了解道路的開發對山崩的影響。本計畫分析完成之道路距因子圖，如圖 4.12 所示。

8. 鐵路距因子

鐵路距（distance to railroad）即任一點與鐵路線的距離。利用地理資訊系統環域分析之功能，設定以 40 公尺為間隔之環域範圍，依序增加至 200 公尺為界線共分為五個等級。經由計算各距離區間內山崩面積及其崩壞比，了解鐵路與山崩分佈的關係，並據以做因子評分。本計畫分析完成之鐵路距因子圖，如圖 4.13 所示。

9. 水系距因子

水系距（distance to river system）即任一點與水系線的距離。利用地理資訊系統環域分析之功能，設定以 40 公尺為間隔之環域範圍，依序增加至 200 公尺為界線共分為五個等級。經由計算各距離區間內山崩面積及其崩壞比，了解鐵路與山崩分佈的關係，並據以做因子評分。本計畫分析完成之水系距因子圖，如圖 4.14 所示。

表4.5　以往研究曾探討之促崩因子

分析單元	作者	年代	促崩因子
地形(cell)	蘇苗彬 蔡顯修 簡李濱	1998	坡度、坡向、坡型、岩性、距斷層、距褶皺、距侵蝕溝、距道路。
	廖軒吾	2000	震央距離、斷層、加速度、岩性、水系、道路、坡度、坡向。
	康恬慎	2001	崩塌面積、崩塌位置、海拔高、坡度、坡向、崩塌種類、安定度、誘因、地質、土壤、土地利用、植生度與活動性。
	林淑媛	2003	標高、坡度、坡向、岩性、植生蓋率指數、縱向曲率、平面曲率、切線曲率、總曲率、坡頂標高、坡趾標高、坡高、坡趾距、坡頂高、坡頂距、全坡高、全坡長、地形濕度指數、集水面積、距河流距離、比高、水系密度、地形粗糙度、坡度粗糙度、坡向粗糙度、距平均高度離差、高度百分位數、距平均高度差值、距平均坡度差值、愛氏震度。
	林家榮	2004	地質、道路遠近、溪流遠近、斷層遠近、高程、坡度及坡向。
	李錫堤	2005	岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、植生覆蓋指數、總曲率、全坡高、距斷層、距道路、河彎距、源頭距。
	莊緯璉	2005	岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、總曲率、全坡高、常態化差異植生指數、最大時雨量以及愛氏震度。

(「曾文水庫集水區之地形幾何特性與山崩分佈關係之研究」，2007)

表4.5　以往研究曾探討之促崩因子(續)

分析單元	作者	年代	促崩因子
小集水區	游繁結 林親義	1983	集水面積、周長、主流長度、總溪流長度、平均寬度、形狀係數、密集度、排水密度、平均高度、平均坡度、起伏量比、起伏量、殘土率。
	李錦育	1988	集水區面積、平均坡度、平均起伏度、年雨量、最大日雨量、森林率、崩塌面積、地質生產指標。
	魏秀珍	2006	平均高度、平均坡度、平均高度粗糙度、平均坡度粗糙度、地層、建地密度、農地密度、雨量。

(「曾文水庫集水區之地形幾何特性與山崩分佈關係之研究」，2007)

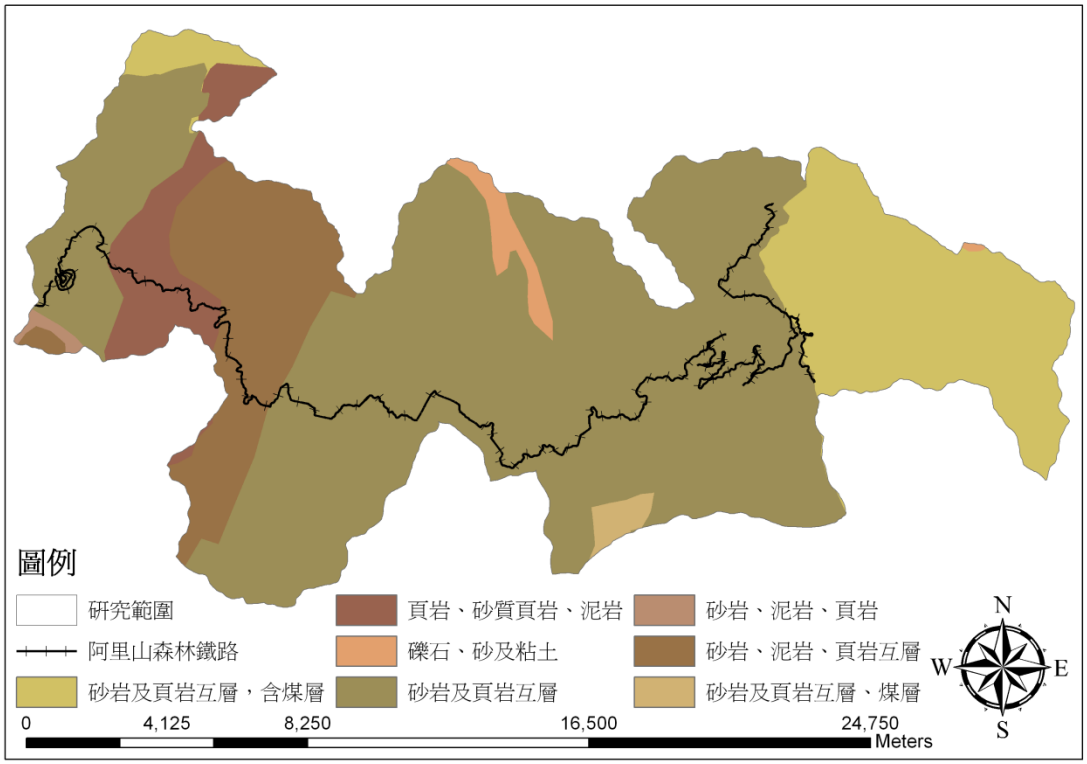


圖4.4　岩性因子圖

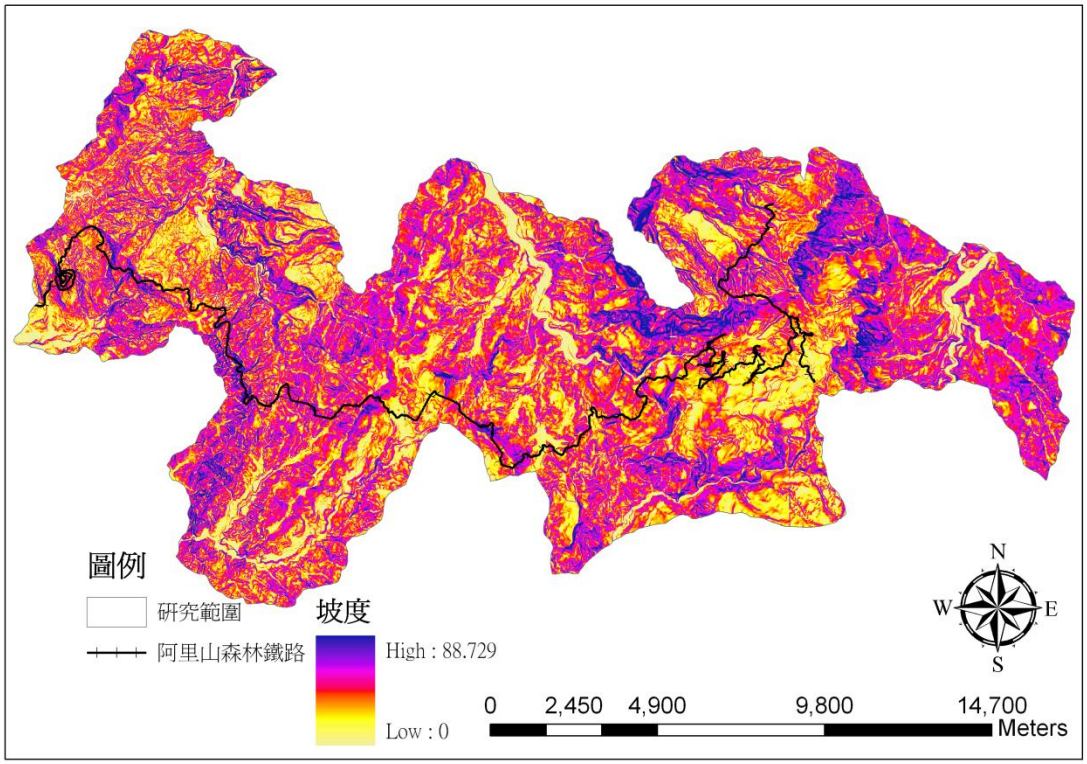


圖4.5　坡度因子圖

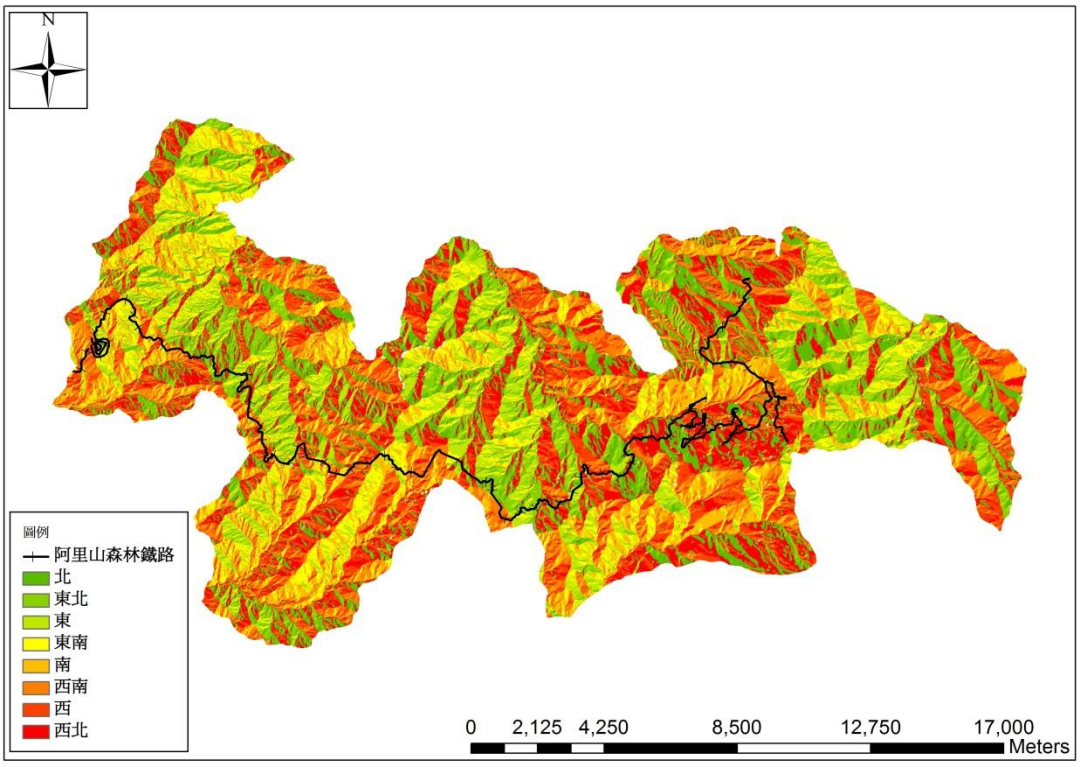


圖4.6　坡向因子圖

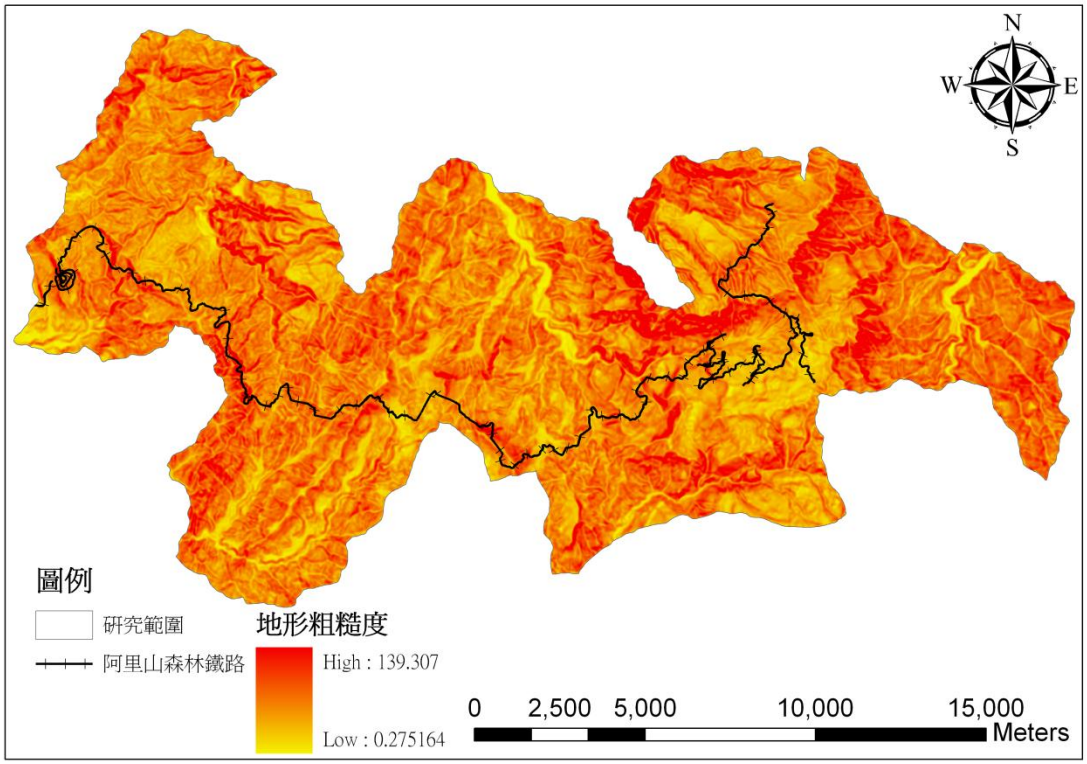


圖4.7　地形粗糙度因子圖

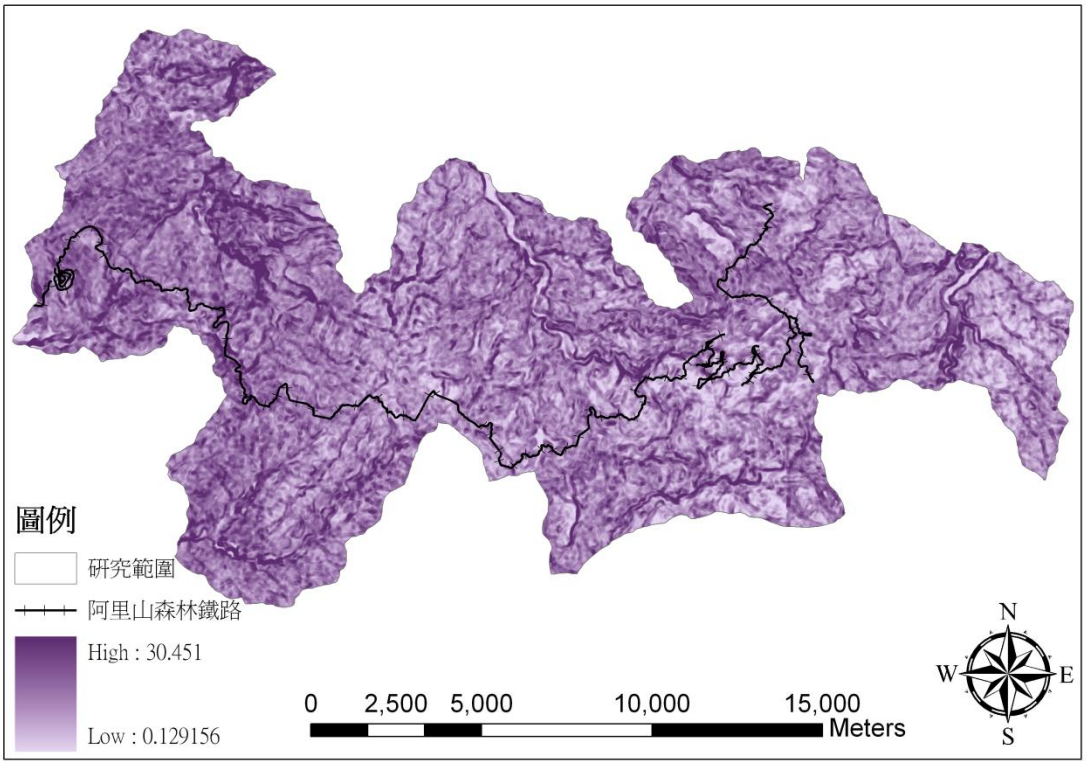


圖4.8　坡度粗糙度因子圖

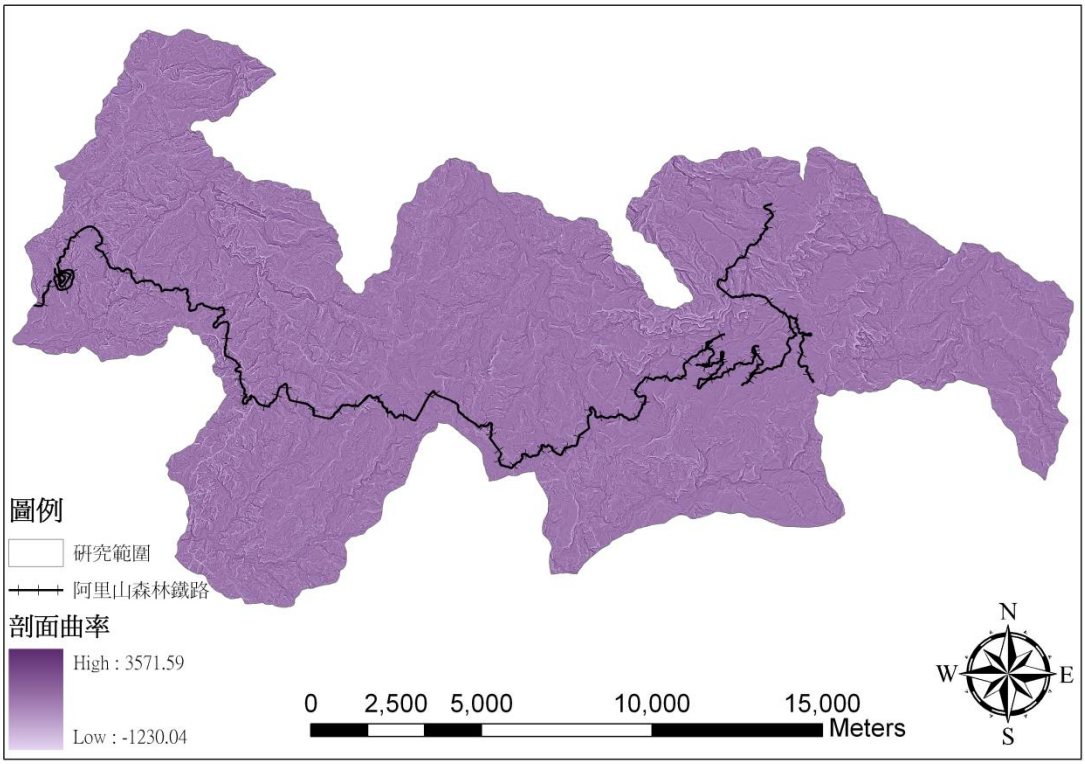


圖4.9　剖面曲率因子圖

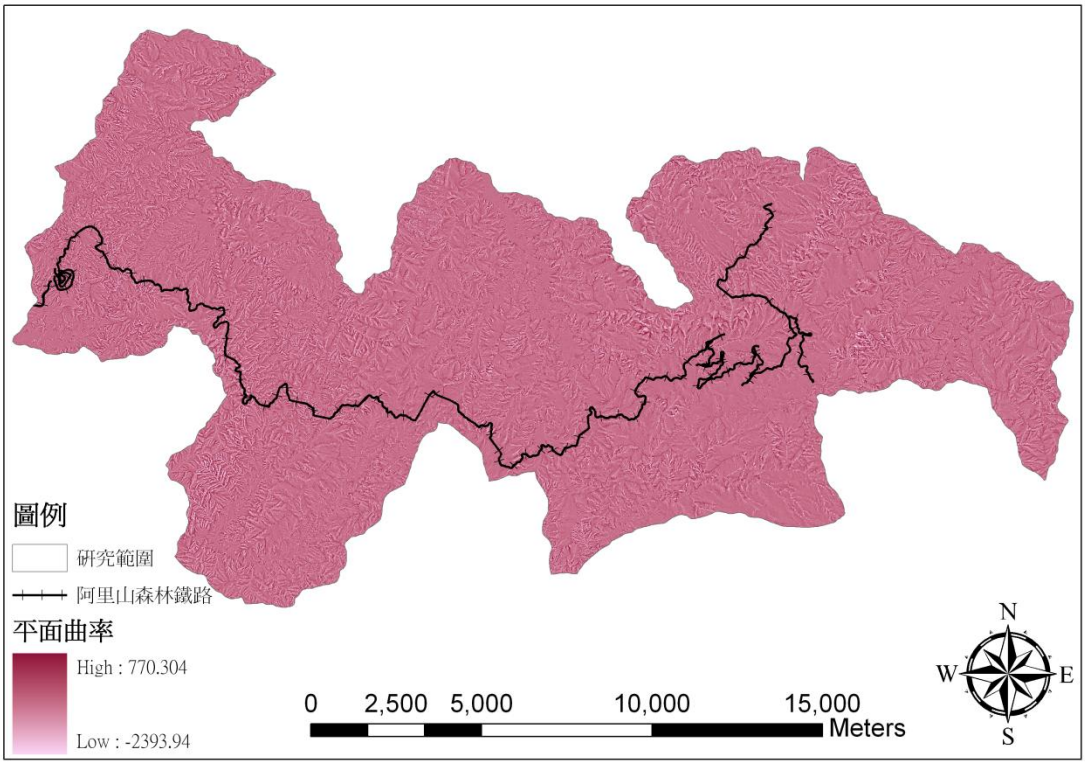


圖4.10　平面曲率因子圖

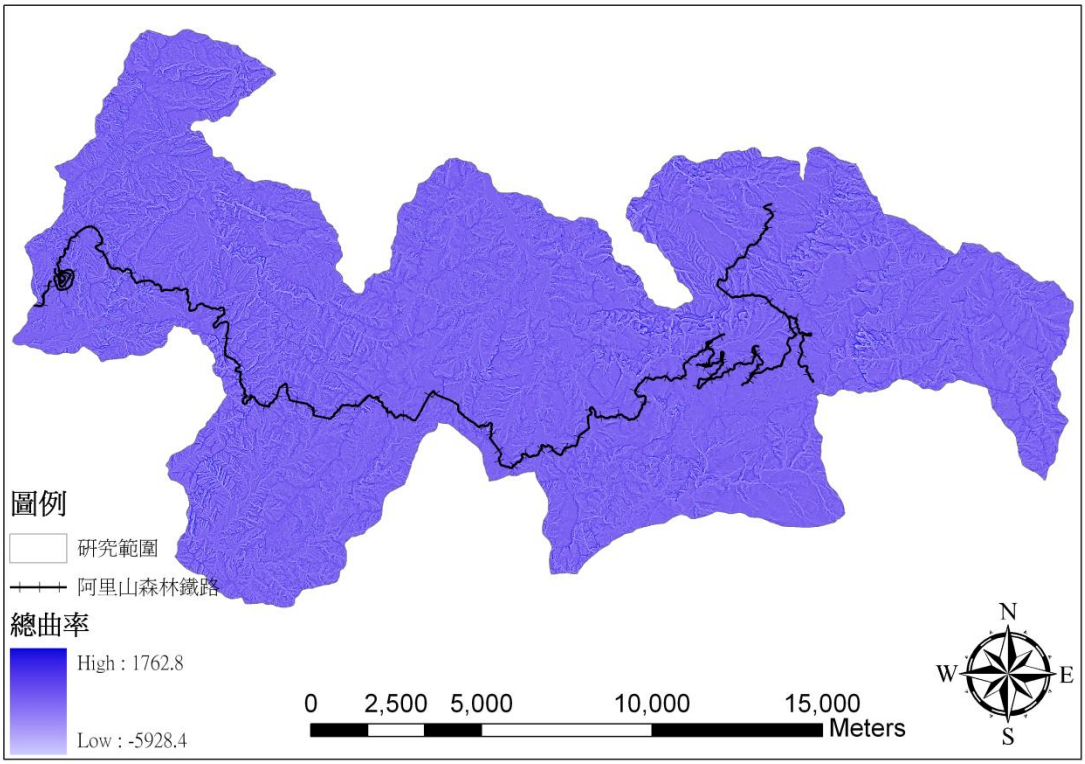


圖4.11　總曲率因子圖

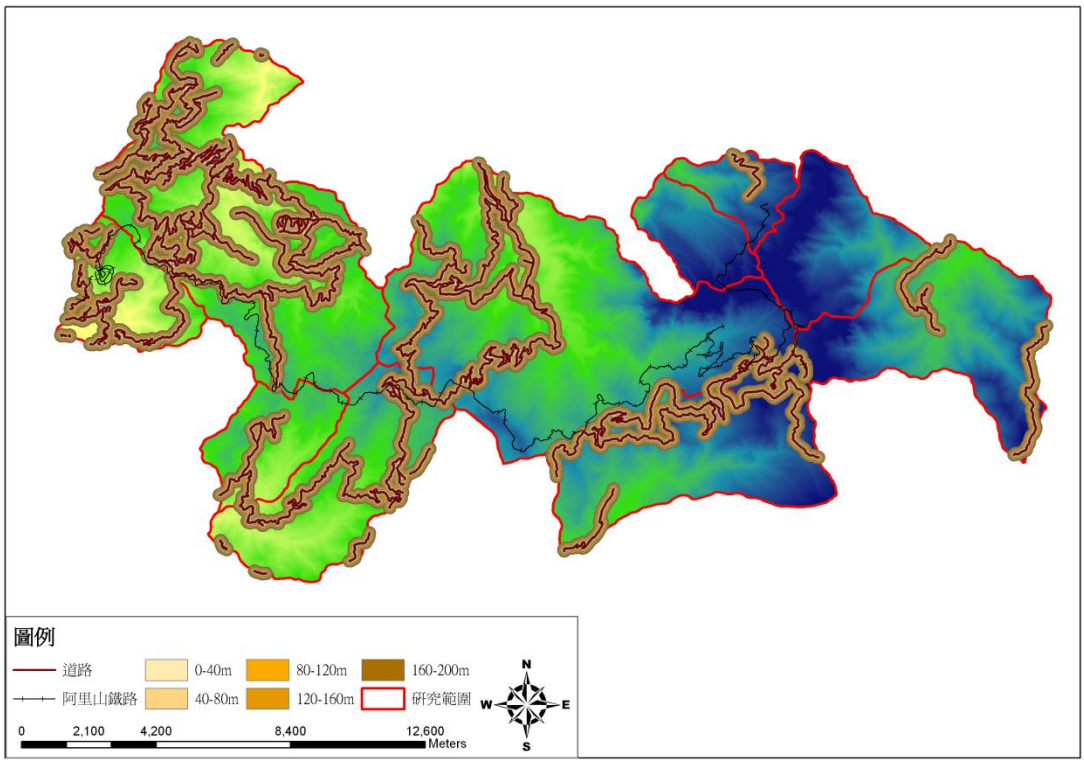


圖4.12　道路距因子圖

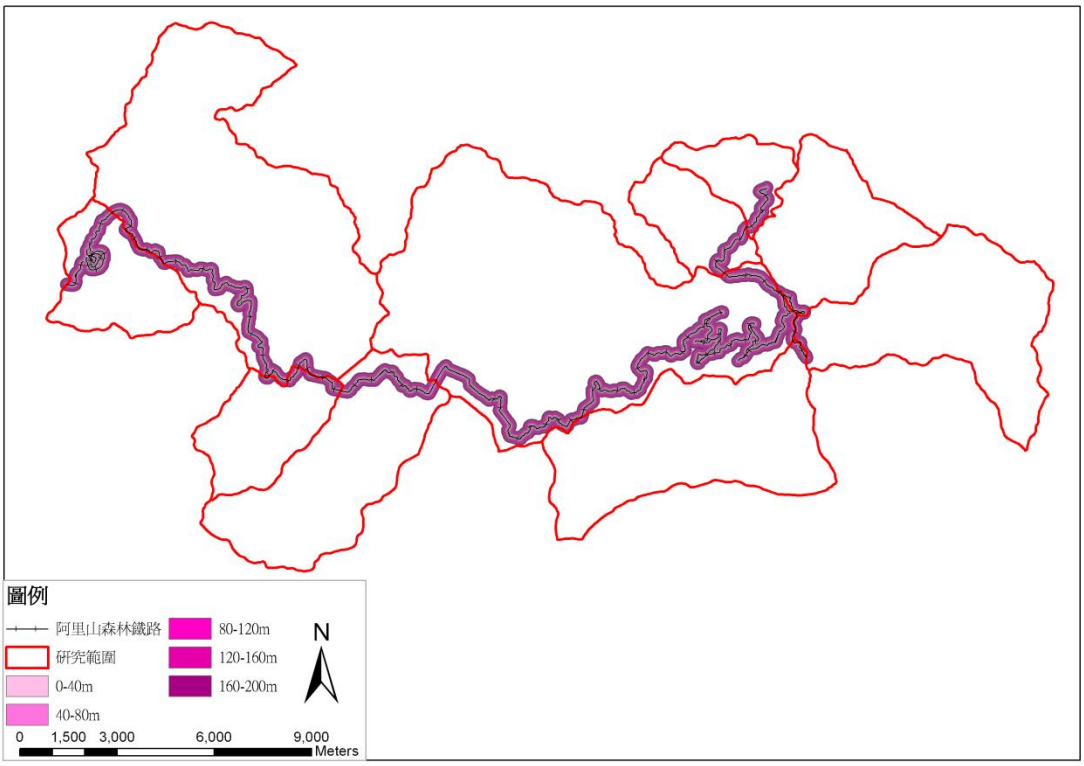


圖4.13　鐵路距因子圖

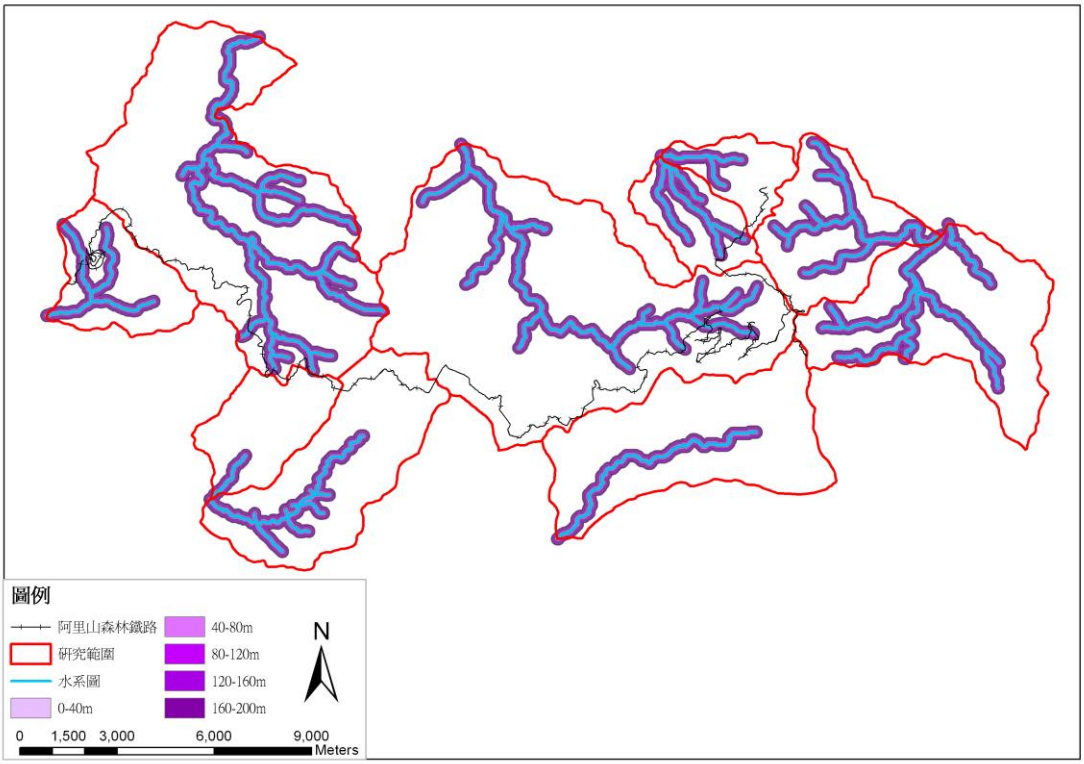


圖4.14　水系距因子圖

二、 山崩潛勢因子篩選

為了有效挑選山崩潛感因子，本計畫對各因子進行檢定，並根據檢定的結果，進行因子的篩選。

首先將各因子值以及其崩壞比繪製成圖，供檢視崩壞比是否隨因子值改變而呈現某一趨勢之改變。崩壞比計算方式為，該等級的山崩組網格數，除以該等級山崩與非山崩組的網格數。各因子崩壞比圖如表 4.6，顯示坡度、地形粗糙度、剖面曲率、平面曲率及總曲率大致上呈現值越大崩壞比亦隨之增加的趨勢；坡向以北向及東北向坡崩壞比最大。

再來根據各因子山崩與非山崩次數分佈圖，選取山崩與非山崩群組差異性較大之因子，當山崩與非山崩組資料差異越大，代表此因子越能有效區分出山崩組與非山崩組。各因子山崩與非山崩次數分佈圖如表 4.7 所示，顯示平面曲率、剖面曲率及總曲率的山崩與非山崩次數分佈圖幾乎一致，表示這些因子無法有效辨別山崩與非山崩組，因此後續羅吉斯迴歸法將不納入分析。另外，本研究主題為降雨特性對阿里山森林鐵路沿線邊坡崩塌之影響，道路距與水系距雖能有效分出山崩與非山崩組之差異，但檢視資料可以發現道路距與水系距兩因子與鐵路距相依，道路距高則鐵路距低、水系距高則鐵路距低。

在所選定的因子中，距鐵路距此因子雖然具有鑑別是否距離鐵路之遠近會影響邊坡崩塌之潛勢，但距鐵路距不為全面性之因子，加上鐵路對邊坡之影響最大範圍約為上下邊坡 200 公尺之內，而莫拉克颱風所造成的大崩塌地幾乎都超過鐵路上下邊坡 200 公尺，因此本計畫使用莫拉克颱風事件之坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、岩性、最大時雨量與總雨量等因子，以羅吉斯迴歸進行山崩潛感分析。

表4.6　各因子崩壞比

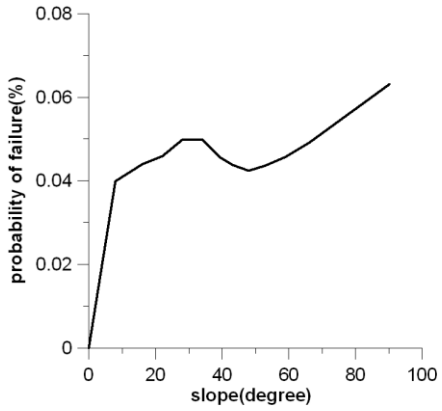
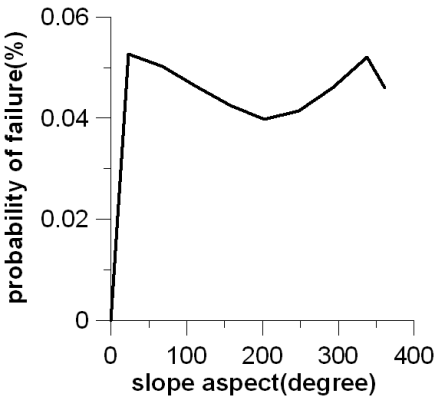
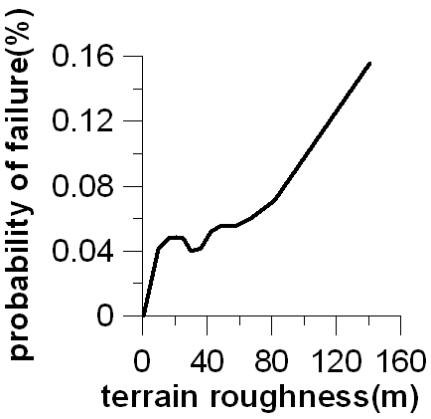
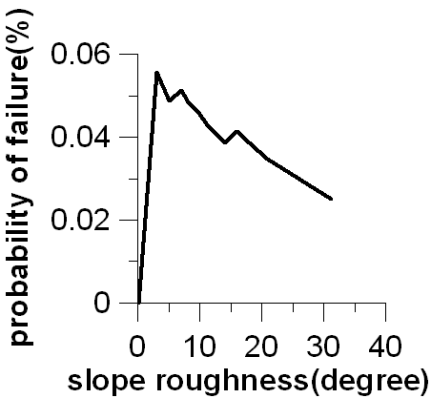
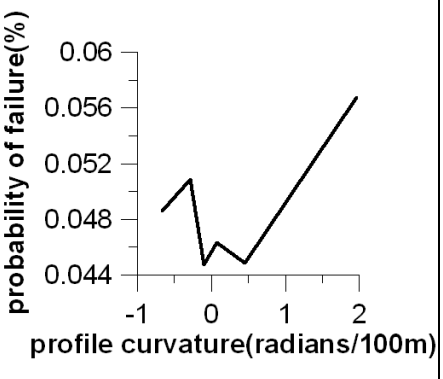
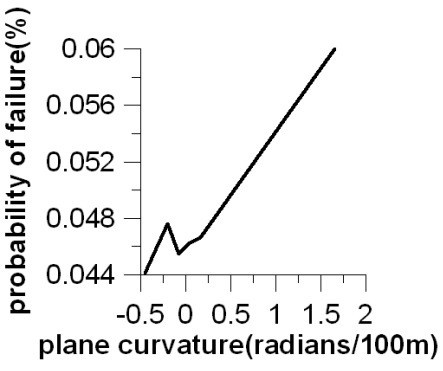
因子	崩壞比	因子	崩壞比
坡度		坡向	
地形粗糙度		坡度粗糙度	
剖面曲率		平面曲率	

表4.6　各因子崩壞比(續)

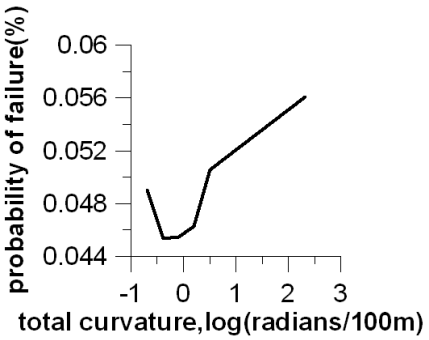
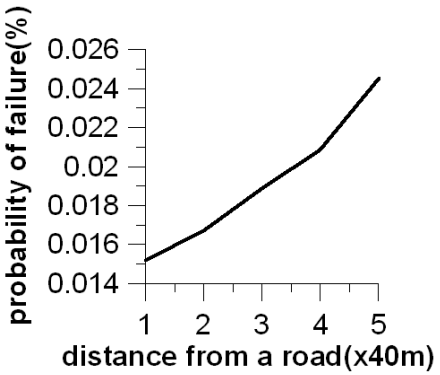
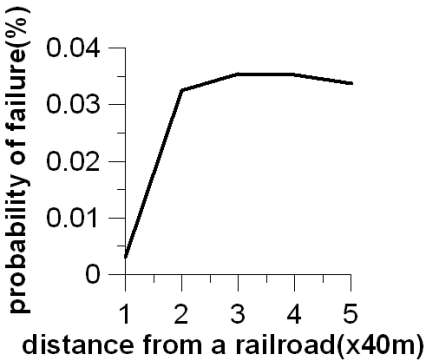
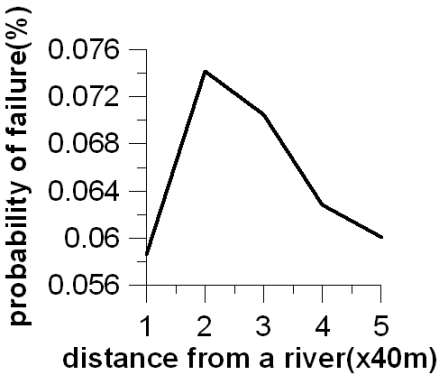
因子	崩壞比	因子	崩壞比
總曲率		道路距	
鐵路距		水系距	

表4.7　各因子山崩與非山崩次數分佈

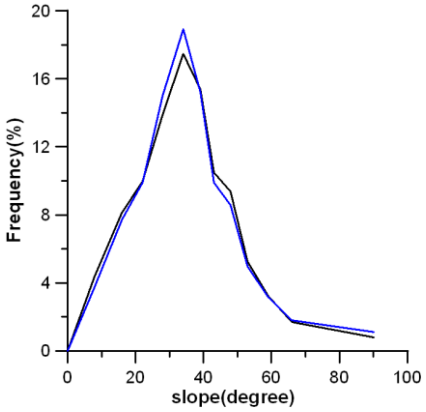
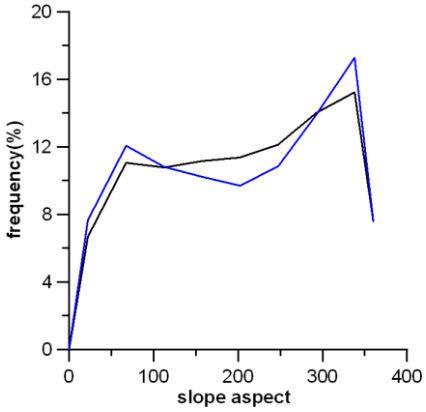
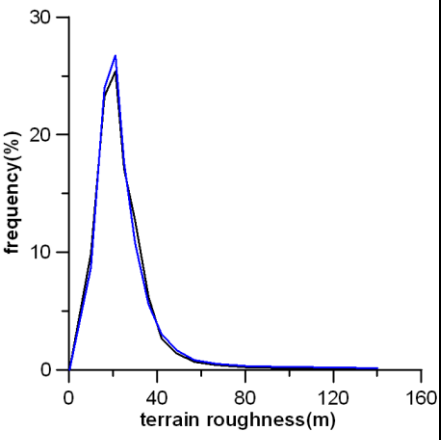
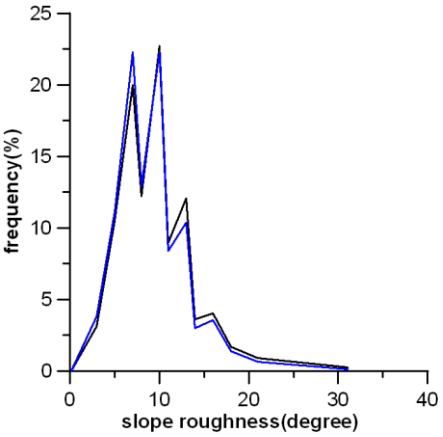
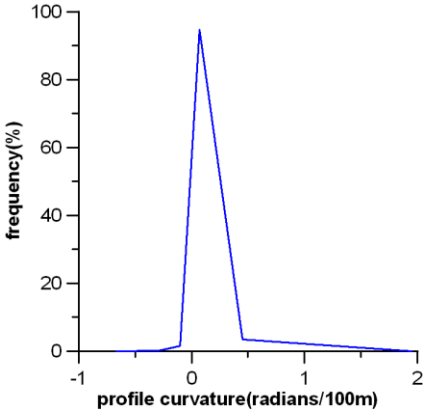
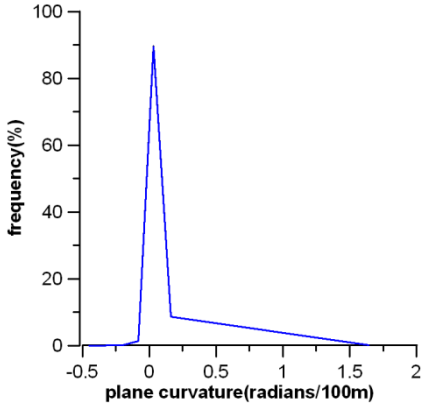
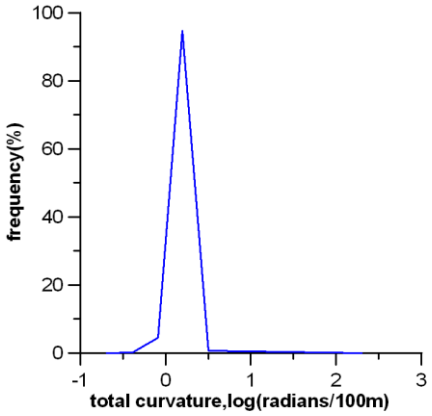
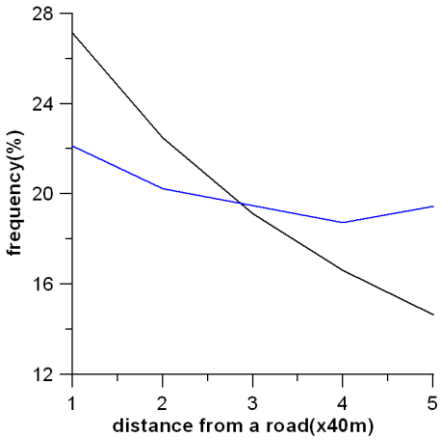
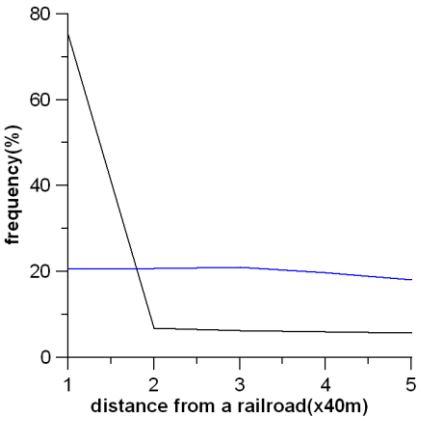
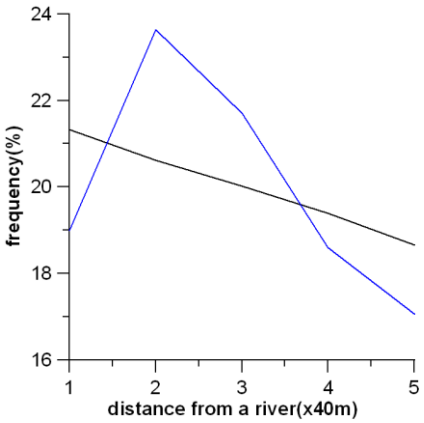
因子	次數分佈圖	因子	次數分佈圖
坡度		坡向	
地形粗糙度		坡度粗糙度	
剖面曲率		平面曲率	

表4.7　各因子山崩與非山崩次數分佈(續)

因子	次數分佈圖	因子	次數分佈圖
總曲率		道路距	
鐵路距		水系距	

山崩組次數分布　　非山崩組次數分布

4.3.4 山崩潛勢分析模式檢定與驗證

一、 山崩潛感分析模式

山崩潛感分析模式分析所用因子均為標準化因子。由於各因子的單位及值域分布不盡相同，不同因子數值大小會使模式分析結果產生誤差，一般會對因子進行正規化，但若因子有異常大或異常小的資料，則正規化後的資料會因異常值的關係過於集中某個區段，而影響分析結果。為了避免上述情況，本計畫在進行分析所選取的樣本資料，皆為標準化後的因子資料，雖然標準化後的值域亦不盡相同，但集中於幾個標準差之內，可降低單位與值域對潛感分析的影響。

另外，在訓練樣本的選取上為避免分析結果的偏差，分析的兩組變數樣本數要相近。由於山崩組與非山崩組的網格數量差異很大，所以本計畫選取所有鄰近阿里山森林鐵路沿線山崩組資料，而非山崩組資料則以亂數選取的方式選擇與山崩組相同的網格數量做為訓練樣本，避免人為選取之主觀印象產生誤差。

為了降低分析的誤差，統計分析常會對分析資料進行最佳化的動作，將影響結果的雜訊去除。本計畫亦對山崩組與非山崩組資料進行優化，首先，將穩定區剔除，穩定區發生山崩的機會微乎其微，對於非山崩組的分析卻有良好的加成效果，為了避免穩定區的特性影響非山崩組分析的結果，故穩定區不納入分析。

本計畫所採用的山崩組資料為比對事件前後期的衛星影像，挑選該事件所事件誘發之山崩目錄，整個研究區扣除穩定區、山崩區與無資料區剩下的區域，即為非山崩組的資料。為了提升非山崩資料的純粹性且減低誤差產生，圍繞事件後山崩周圍 20m 的部分、過去曾發生山崩現已復育或尚未復育的區塊與坡度 55 度以上容易發生落石的區域，由非山崩資料中剔除。最後剩下的即為非山崩組

的資料。經以上述步驟篩選後的山崩組與非山崩組資料進行山崩潛感分析，能夠突顯促崩因子，也就是本計畫所選出的最大時雨量與總雨量的重要性，讓分析模式對於資料預測的準確度能更進一步的提升。

二、 山崩潛感分析模式檢定與驗證

本計畫的取樣方式為將所有鄰近阿里山森林鐵路的山崩網格全部選至訓練組做分析，而非山崩組的部分則是亂數選取與山崩相同數量的網格進行分析，全選山崩網格數的目的在於讓山崩潛感分析的迴歸結果更穩定，也可提升預測山崩的正確率。

根據以上方式將岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、最大時雨量與總雨量等因子，以羅吉斯迴歸進行山崩潛感分析，可得到以下迴歸式：

$$P = \frac{1}{1+e^{-\lambda}} \tag{4.21}$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^{m} W_i L_i + \sum_{j=1}^{n} W_{m+j} D_j + \sum_{k=1}^{o} W_{m+n+k} F_k + C \tag{4.22}$$

其中，P 為山崩潛感值，4.22 式中 L 代表不同之岩性因子、D 代表不同之坡向因子、不同之 F 分別代表坡度、地形粗糙度、坡度粗糙度、總雨量及最大降雨強度因子，W 為迴歸式係數，羅吉斯迴歸成果如表 4.8 所示。羅吉斯迴歸中的羅吉斯指標(cut off)之預設值為 0.5，表示在阿里山森林鐵路中潛感值 P 大於 0.5 者，在與模型雨量事件相同的狀況下，有可能發生山崩；反之小於 0.5 者，山崩發生之可能性相對較低，可視為非山崩之情況。

表 4.8 顯示坡度粗糙度因子於在迴歸式中顯著性低，代表此因子不能有效判別山崩與否，在建模過程羅吉斯迴歸將其自動剔除；由迴歸式中的係數 W 也可知道岩性、坡度、坡向、總雨量及最大

降雨強度佔了大部分的權重，說明了這些因子在阿里山森林鐵路沿線中可視為重要因子。

根據前述之輸入因子，藉由莫拉克颱風崩塌資料，進行因子之率定，因子率定之原則，可依據式(4-17)、(4-19)與(4-20) 加以量化山崩組正確率、非山崩組正確率與總體平均正確率。圖 4.15 為羅吉斯迴歸模式在莫拉克颱風預測之崩塌區域與實際崩塌區域之比較，利用崩塌模擬結果與實際崩塌資料之圖層資料，套疊比對計算山崩組判釋正確率與非山崩組正確率，正確率之結果詳列於表 4.9 中。本計畫利用鄰近阿里山森林鐵路沿線全部的山崩網格數所訓練出來的迴歸式，在全區山崩組判釋正確率約為 78.5%，非山崩組正確率則為 72.5%，總體平均亦有 75.5%，顯示本計畫選用之岩性、坡度、坡向、總雨量及最大降雨強度等因子，對莫拉克颱風實際崩塌發生處及利用定模式崩塌模擬結果良好，莫拉克颱風誘發之山崩多數落於羅吉斯迴歸分析結果預估之範圍內，位於計畫區之北部、東北部與鐵路沿線之崩塌區模式皆能有效預測，但然仍有少部分落於高潛感以外者，如位於計畫區西南部與少部分南部之崩塌區(竹崎鄉光華村與阿里山鄉達邦村)，可能之原因為統計學上不可完全分離者、可能資料誤差或是山崩判釋錯誤之故。

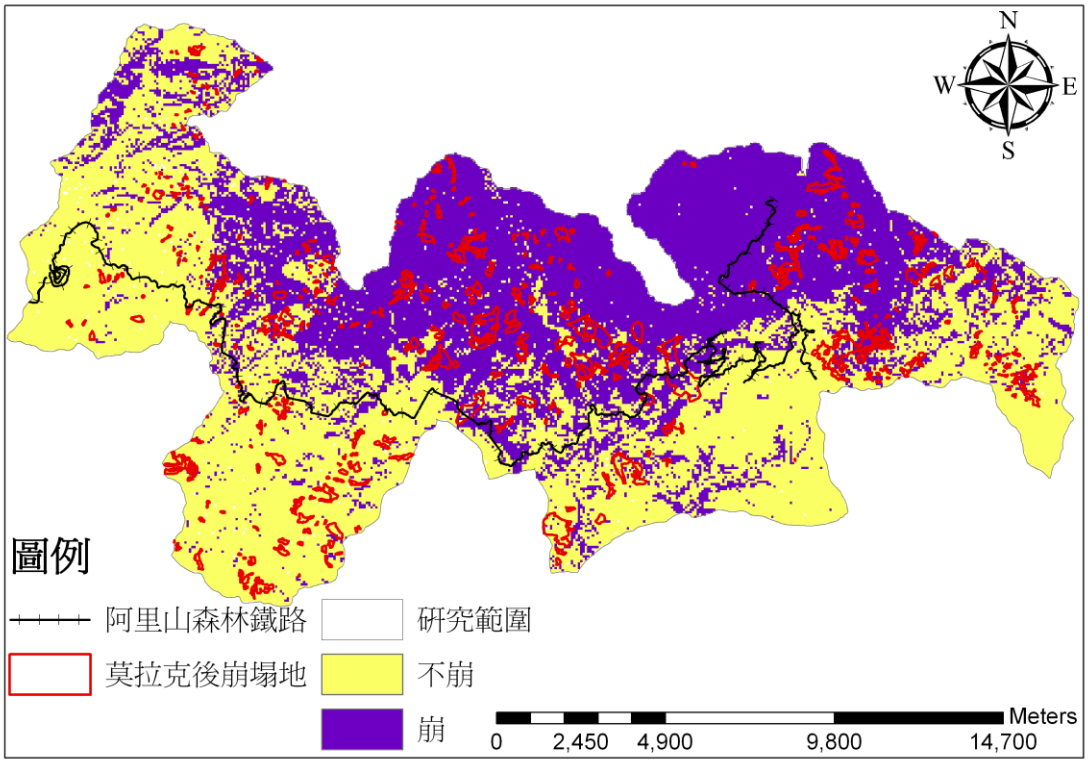


圖4.15 羅吉斯迴歸模式於莫拉克颱風預測崩塌區域與實際崩塌區域比較

表4.8　山崩潛感分析因子係數值

代號	因子	係數	係數值
L_1	岩性 01	W_1	—
L_2	岩性 02	W_2	—
L_3	岩性 03	W_3	0.911
L_4	岩性 04	W_4	—
L_5	岩性 05	W_5	0.319
D_1	坡向 01	W_6	0.511
D_2	坡向 02	W_7	-0.283
D_3	坡向 03	W_8	-0.534
D_4	坡向 04	W_9	-1.536
D_5	坡向 05	W_{10}	-1.494
D_6	坡向 06	W_{11}	-1.674
D_7	坡向 07	W_{12}	-0.803
D_8	坡向 08	W_{13}	—
F_1	坡度	W_{14}	1.021
F_2	地形粗糙度	W_{15}	0.74
F_3	坡度粗糙度	W_{16}	—
F_4	總雨量	W_{17}	-3.328
F_5	最大降雨強度	W_{18}	3.856

表4.9　山崩潛感模式正確率

項目	正確率 (%)
山崩組	78.5
非山崩組	72.5
總體平均	75.5

4.4 不同降雨條件之坡地崩塌機率

台灣地區地表大部分覆蓋著崩積土，地下水位常於遭遇豪雨時在短時間內迅速升高，使土壤凝聚力下降，進而造成崩塌。本計畫重點為降雨特性對阿里山森林鐵路邊坡崩塌影響之研究，故使用之促崩因子為事件總雨量以及降雨強度。為了解不同降雨條件下之坡地崩塌機率，本計畫帶入各雨量站不同重現期距之時雨量及三日雨量，詳細雨量資料如表 4.10 所示，重現期距包含 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年。不同重現期距下不同小時之雨量資料帶入 GIS 中，使用克利金法推估研究範圍內空間上的雨量分佈情況，如圖 4.16 至圖 4.29 所示，計畫範圍內不同重現期距下不同時雨量之雨量平均值，整理如表 4.11。

模式設計之促崩因子採用最大時雨量與總雨量，其主要目的在於推求各種再現期(return period)之下，山崩潛感機率對雨量空間分布的反映，故將重現期距的時雨量及三日雨量代入山崩潛感模型，即可計算各個重現期距的降雨誘發山崩潛感值，經由迴歸式轉換為山崩機率並繪製山崩機率圖。本計畫繪製 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年重現期距降雨量之山崩機率圖，如圖 4.30 至圖 4.36，由各重現期距之山崩機率圖顯示，高山崩潛感區面積隨重現期距之增加而有擴大之趨勢。

表 4.10　各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量

頻率年 2 年		
雨量站名	72hr	1hr
新高口	272.7	36.9
神木村	483.3	45.6
草嶺	316.3	56.4
和社	199.6	38.4
望鄉	291.6	36.4
樟腦寮	348.1	63.8
大湖	352.4	65.4
楠溪	294.4	38.8
奮起湖	453.7	58.4
馬頭山	367.6	55
新興橋	309.8	33
東埔	309.8	33
山豬湖	377	66.6
石磐龍	430.8	71.2
瑞里	477.6	85.9
豐山	477.6	85.9
阿里山	466.3	63

表 4.10　各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量(續)

頻率年 5 年		
雨量站名	72hr	1hr
新高口	614.5	51.8
神木村	778.9	60.4
草嶺	577	74.8
和社	476.7	50.7
望鄉	542.4	51.1
樟腦寮	628.2	81.1
大湖	710.5	84
楠溪	629.2	55.8
奮起湖	802	85.2
馬頭山	688.3	71.9
新興橋	481	46.5
東埔	481	46.5
山豬湖	607.1	85.8
石磐龍	764.1	92.5
瑞里	726.5	111.8
豐山	726.5	111.8
阿里山	829.6	90

表 4.10　各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量(續)

頻率年 10 年		
雨量站名	72hr	1hr
新高口	856.3	60.9
神木村	971.7	69.4
草嶺	752.4	86.6
和社	673.9	58.5
望鄉	698.1	63
樟腦寮	871.7	91.7
大湖	966	94.7
楠溪	946.2	66.4
奮起湖	1050.4	104
馬頭山	910.5	80.9
新興橋	592	56.1
東埔	592	56.1
山豬湖	780.8	99.6
石磐龍	982.8	102.9
瑞里	884.8	163
豐山	884.8	163
阿里山	1100	110

表 4.10　各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量(續)

頻率年 25 年		
雨量站名	72hr	1hr
新高口	1168.3	71.8
神木村	1208.9	80
草嶺	972.1	101.1
和社	929.3	67.8
望鄉	884.2	79.3
樟腦寮	1253.7	104.2
大湖	1297.2	106.8
楠溪	1473.9	78.8
奮起湖	1372.5	128.1
馬頭山	1185.9	90.5
新興橋	728.3	68.4
東埔	728.3	68.4
山豬湖	1022.8	118.2
石磐龍	1242.8	112.9
瑞里	1076.6	265.2
豐山	1076.6	265.2
阿里山	1430	135

表 4.10　各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量(續)

頻率年 50 年		
雨量站名	72hr	1hr
新高口	1402	79.5
神木村	1380.7	87.4
草嶺	1133.3	111.6
和社	1121.1	74.5
望鄉	1015.8	92.2
樟腦寮	1598.3	112.9
大湖	1546.3	115
楠溪	1971.3	87.5
奮起湖	1614.6	146.1
馬頭山	1382.2	96.5
新興橋	826.7	77.6
東埔	826.7	77.6
山豬湖	1218.8	133.1
石磐龍	1421.4	118.6
瑞里	1214	364.6
豐山	1214	364.6
阿里山	1710	150

表 4.10　各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量(續)

頻率年 100 年		
雨量站名	72hr	1hr
新高口	1635.3	86.9
神木村	1548.2	94.5
草嶺	1291.9	121.7
和社	1312.9	80.9
望鄉	1142.3	105.4
樟腦寮	1999.1	121.3
大湖	1795.4	122.7
楠溪	2568.4	95.6
奮起湖	1856.8	164
馬頭山	1568.5	101.8
新興橋	922.5	86.8
東埔	922.5	86.8
山豬湖	1427.9	148.7
石磐龍	1586.4	123.2
瑞里	1346.9	480.5
豐山	1346.9	480.5
阿里山	1940	170

表 4.10　各雨量站不同重現期距時雨量及三日雨量(續)

頻率年 200 年		
雨量站名	72hr	1hr
新高口	1868.9	94
神木村	1712.7	101.4
草嶺	1449	131.6
和社	1505.2	87.1
望鄉	1265	119
樟腦寮	2464.8	129.5
大湖	2045.4	129.9
楠溪	3280.3	103.4
奮起湖	2099.7	181.9
馬頭山	1745.3	106.4
新興橋	1016.4	96
東埔	1016.4	96
山豬湖	1651.5	165.4
石磐龍	1738.8	127
瑞里	1476.6	611.3
豐山	1476.6	611.3
阿里山	2150	185

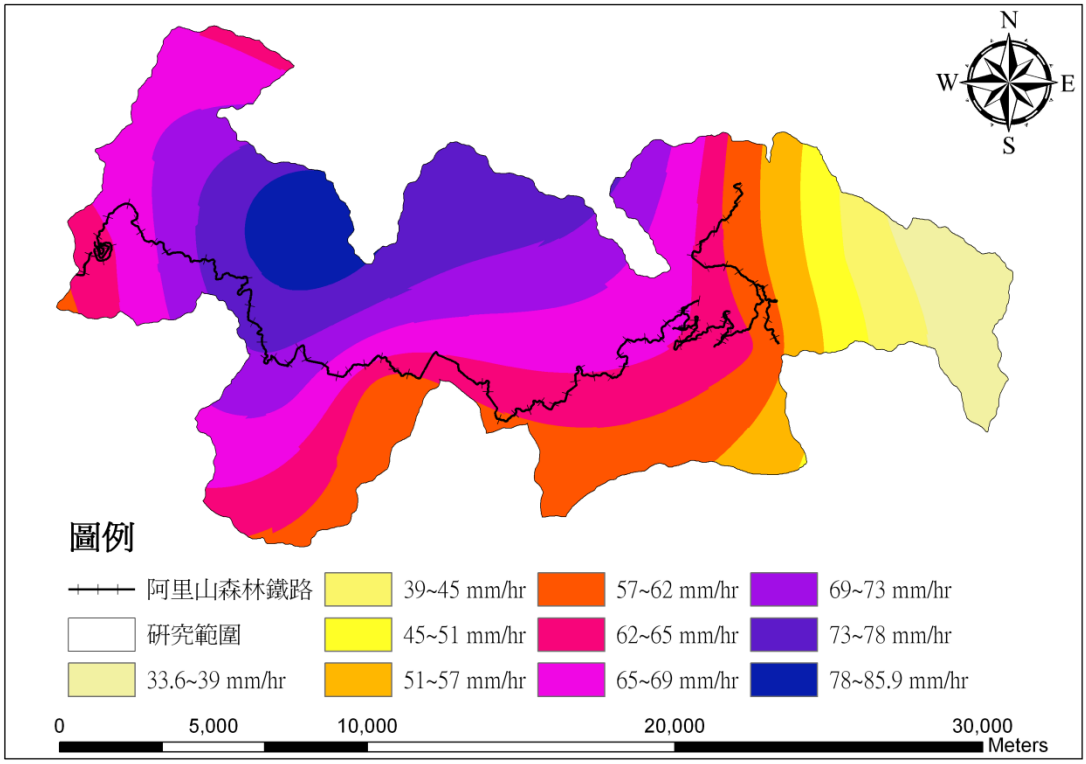


圖4.16　頻率年兩年計畫區之時雨量圖

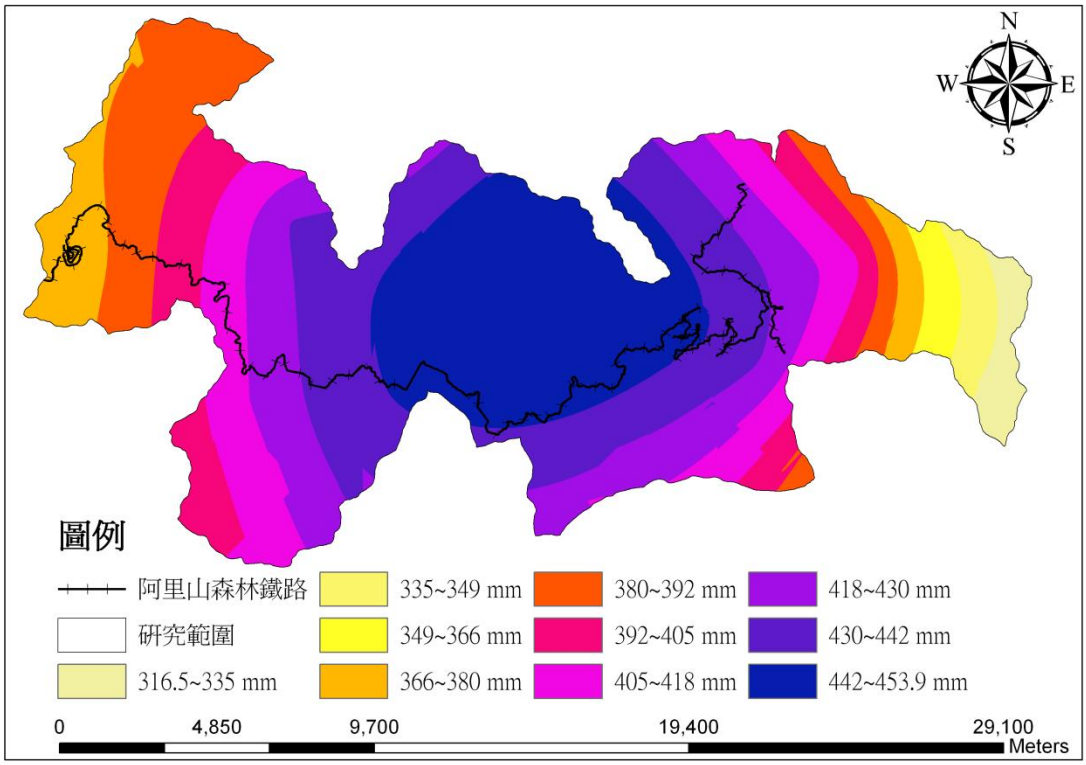


圖4.17　頻率年兩年計畫區之三日雨量圖

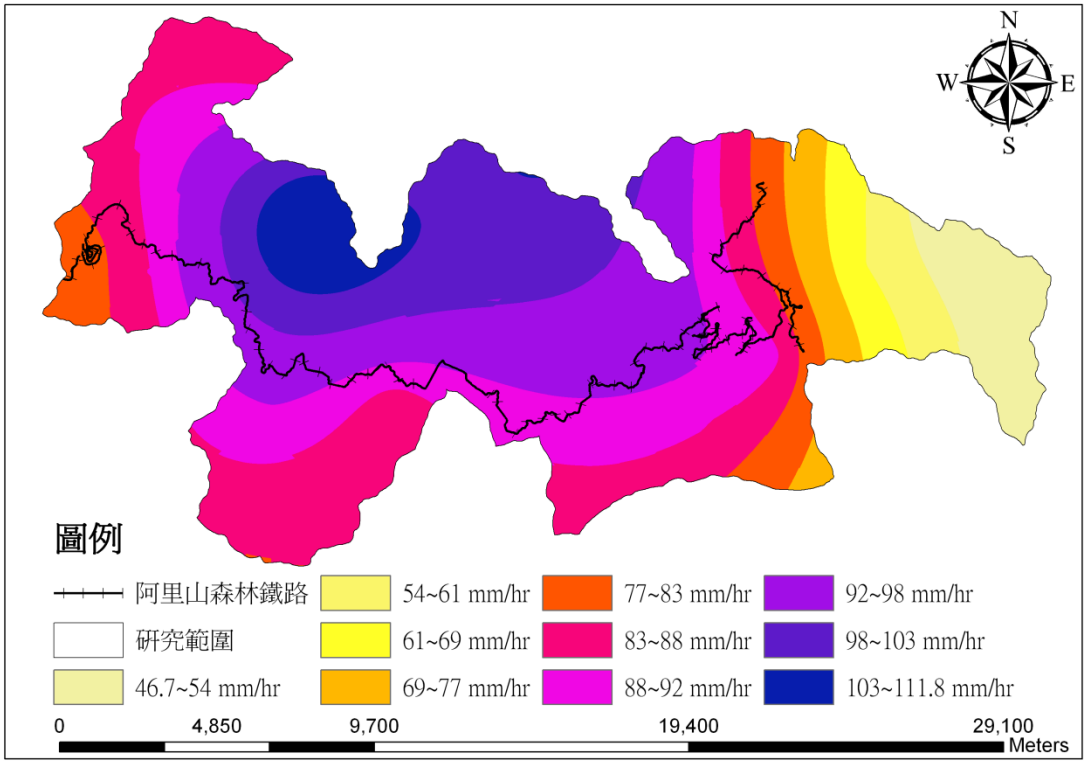


圖4.18　頻率年五年計畫區之時雨量圖

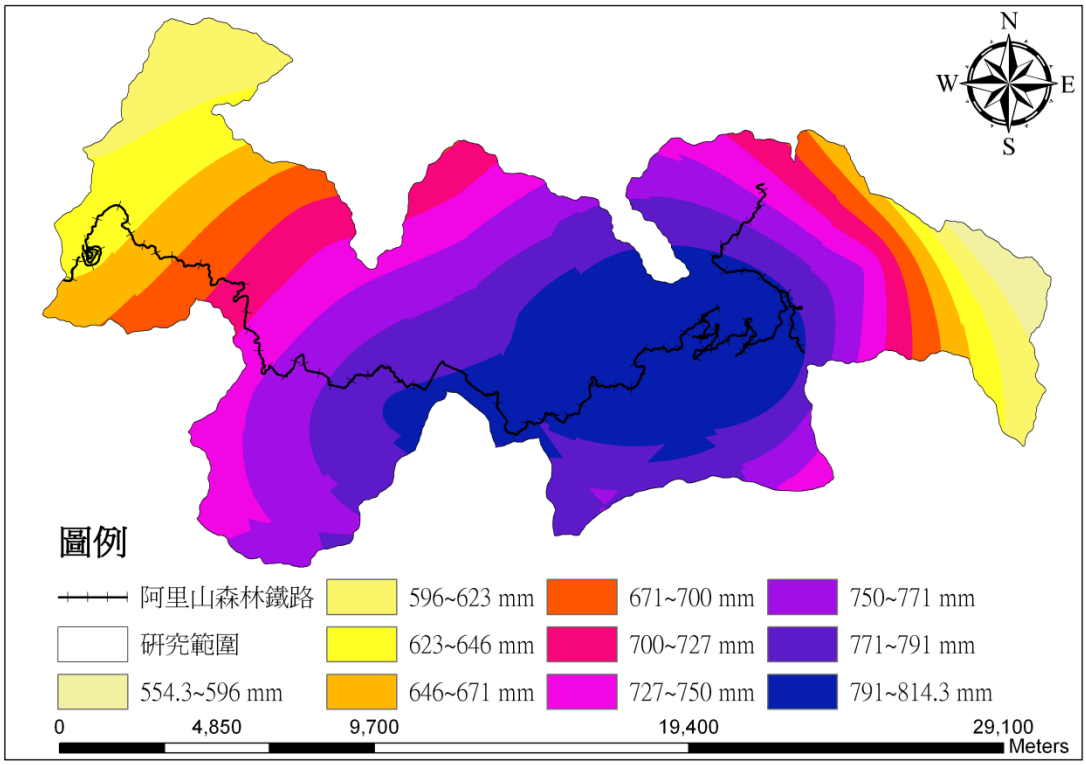


圖4.19　頻率年五年計畫區之三日雨量圖

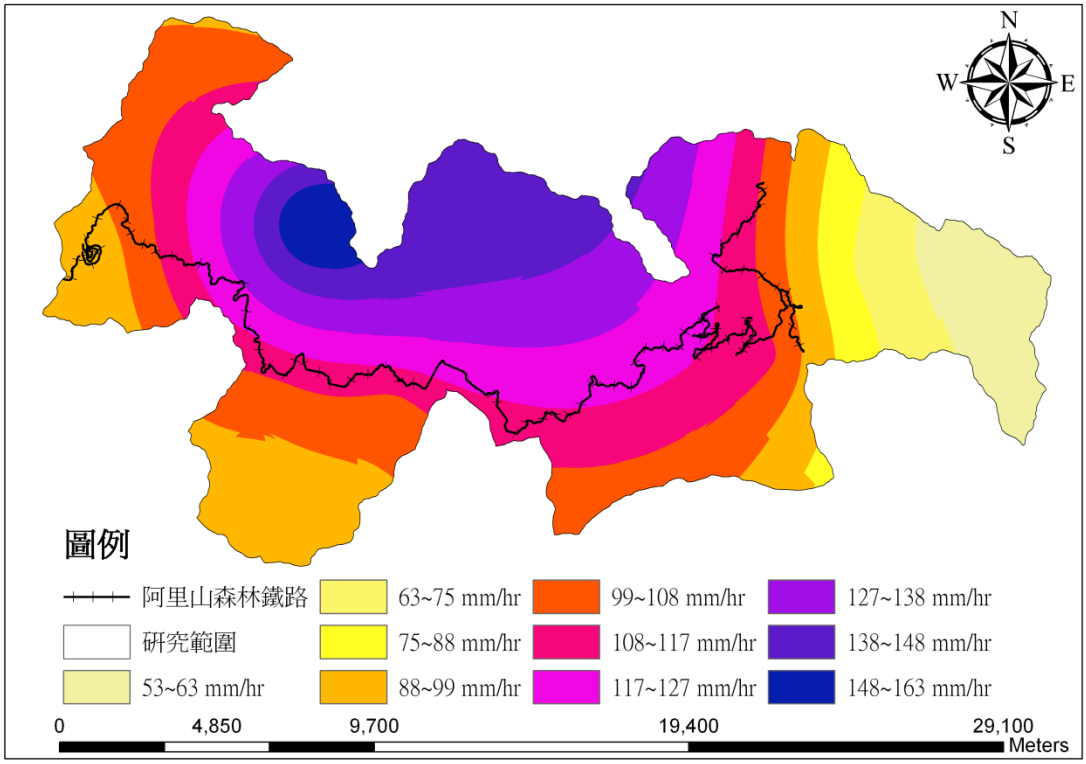


圖4.20　頻率年十年計畫區之時雨量圖

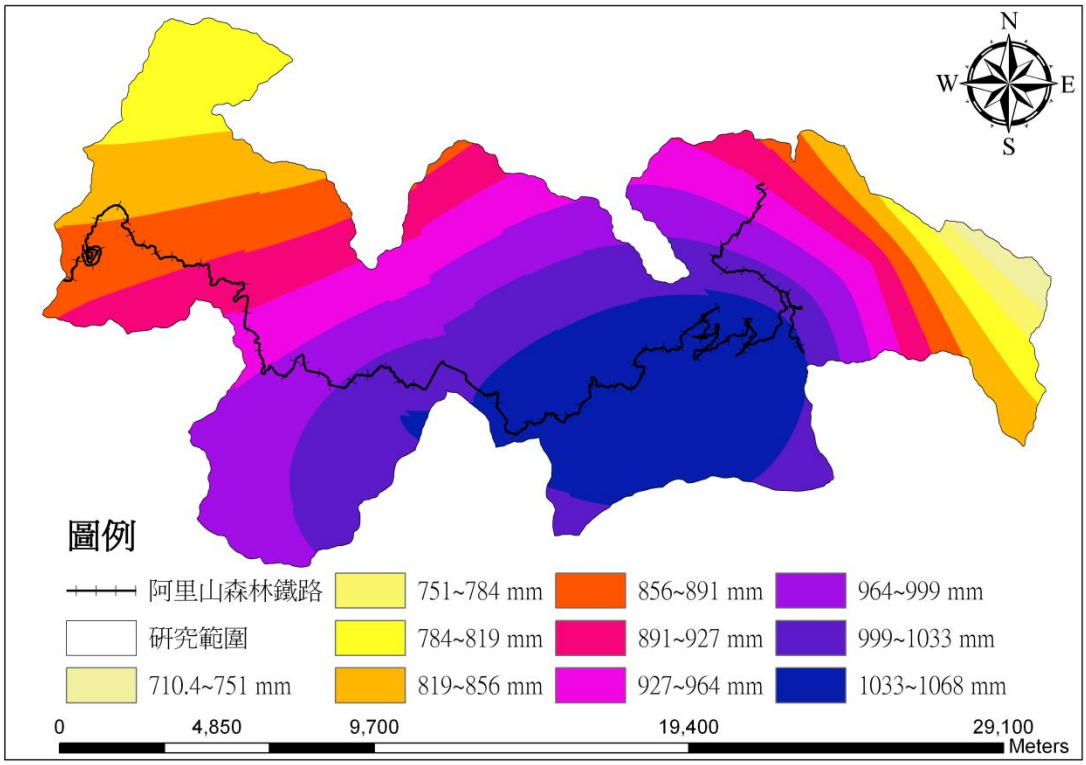


圖4.21　頻率年十年計畫區之三日雨量圖

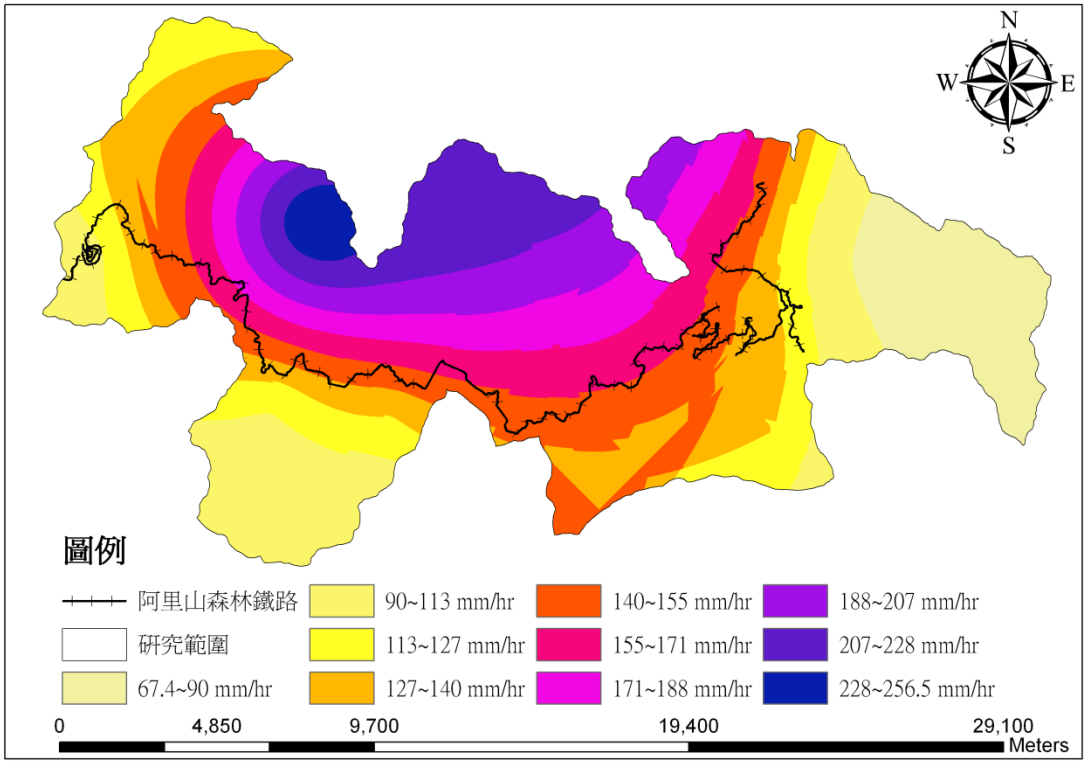


圖4.22　頻率年二十五年計畫區之時雨量圖

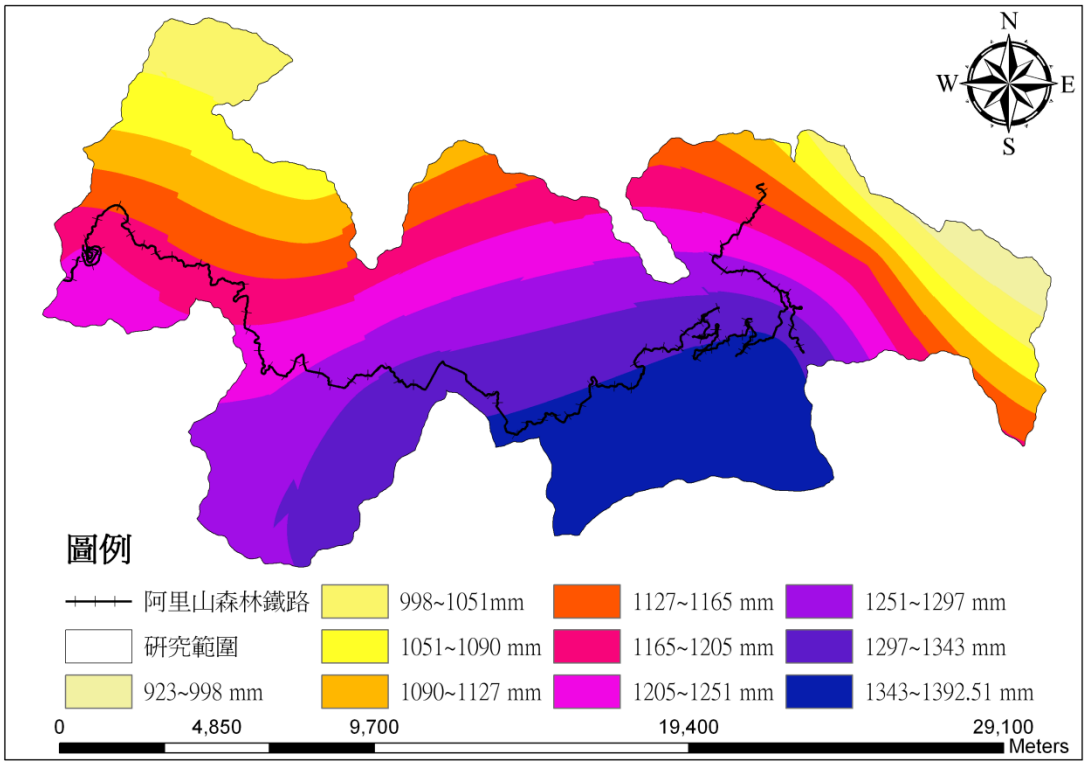


圖4.23　頻率年二十五年計畫區之三日雨量圖

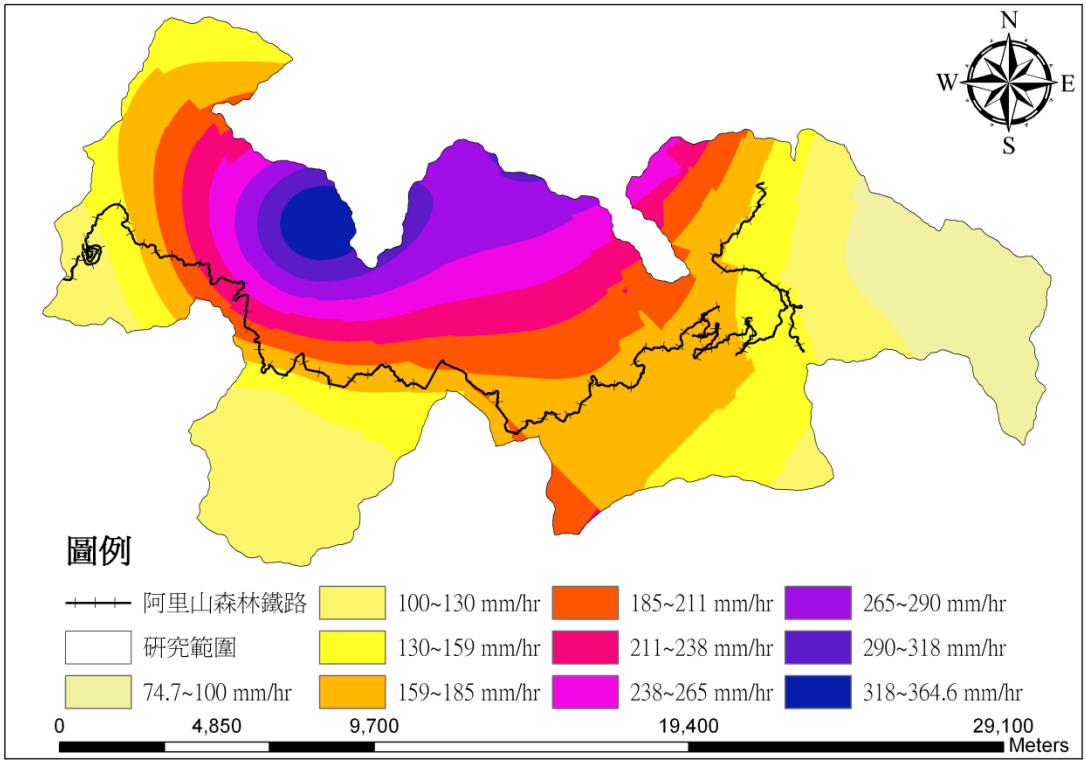


圖4.24　頻率年五十年計畫區之時雨量圖

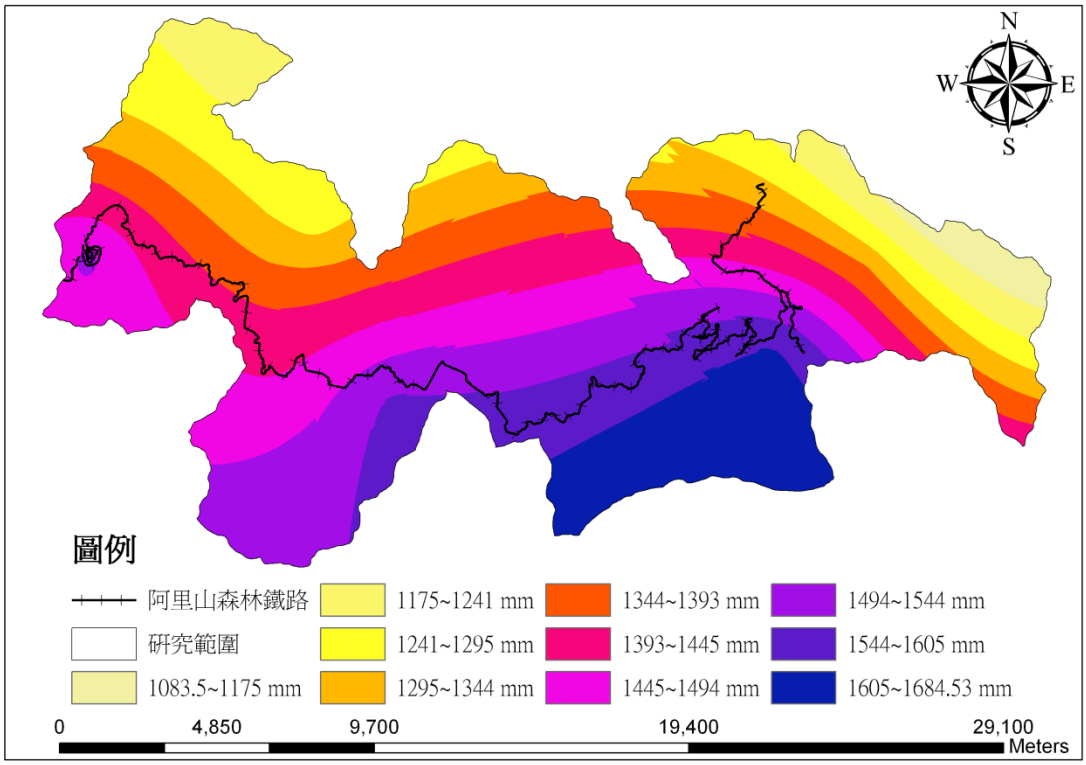


圖4.25　頻率年五十年計畫區之三日雨量圖

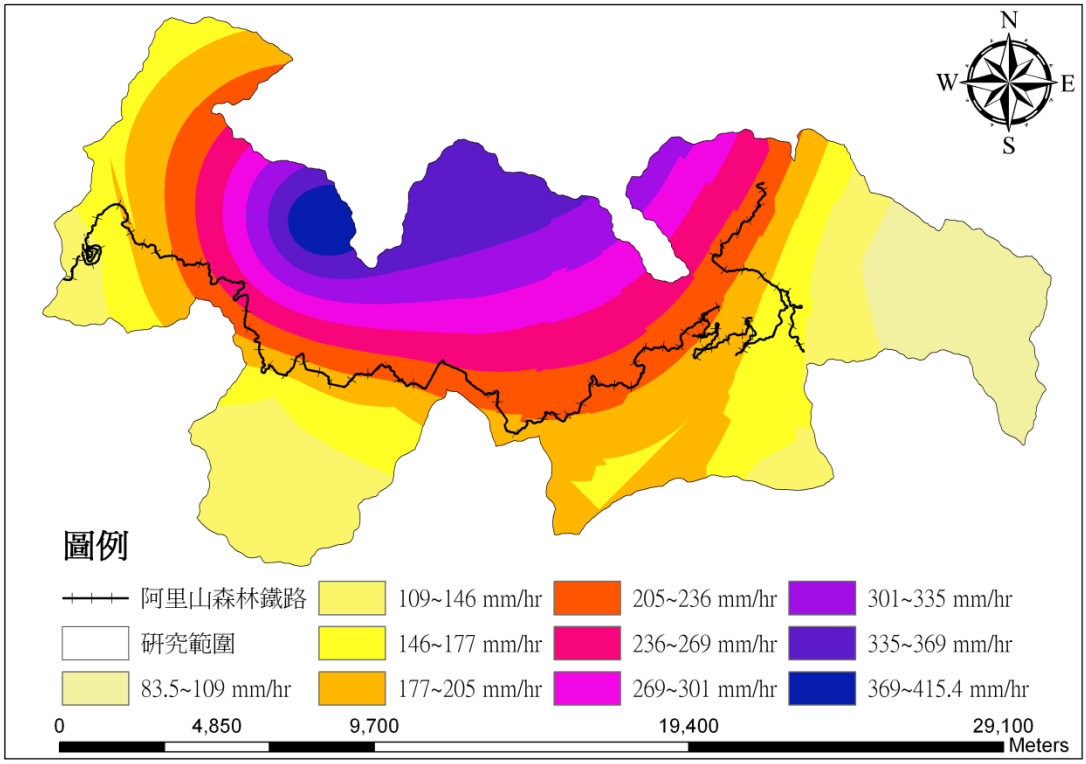


圖4.26　頻率年一百年計畫區之時雨量圖

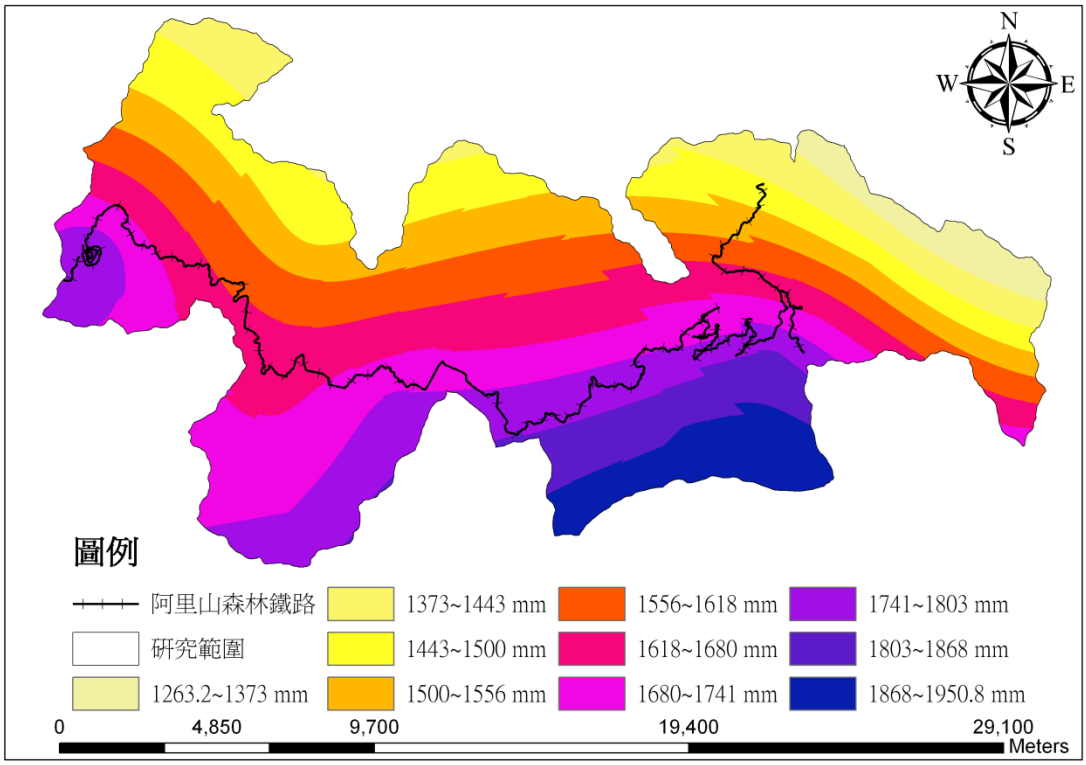


圖4.27　頻率年一百年計畫區之三日雨量圖

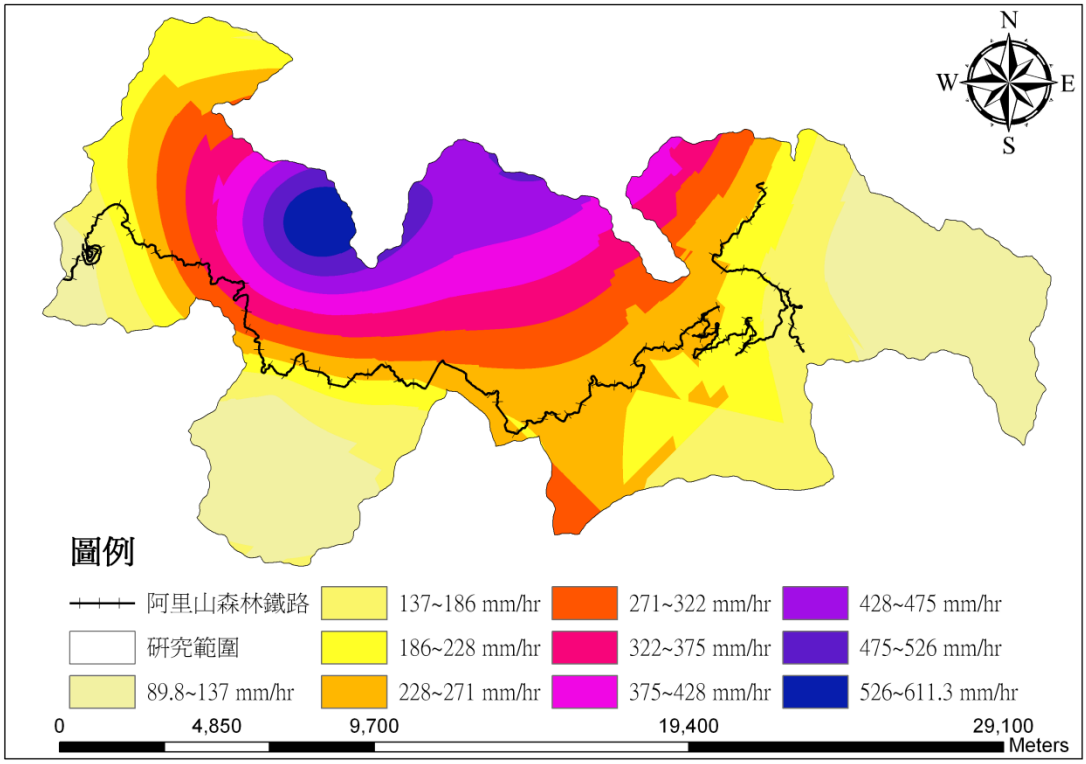


圖4.28　頻率年兩百年計畫區之時雨量圖

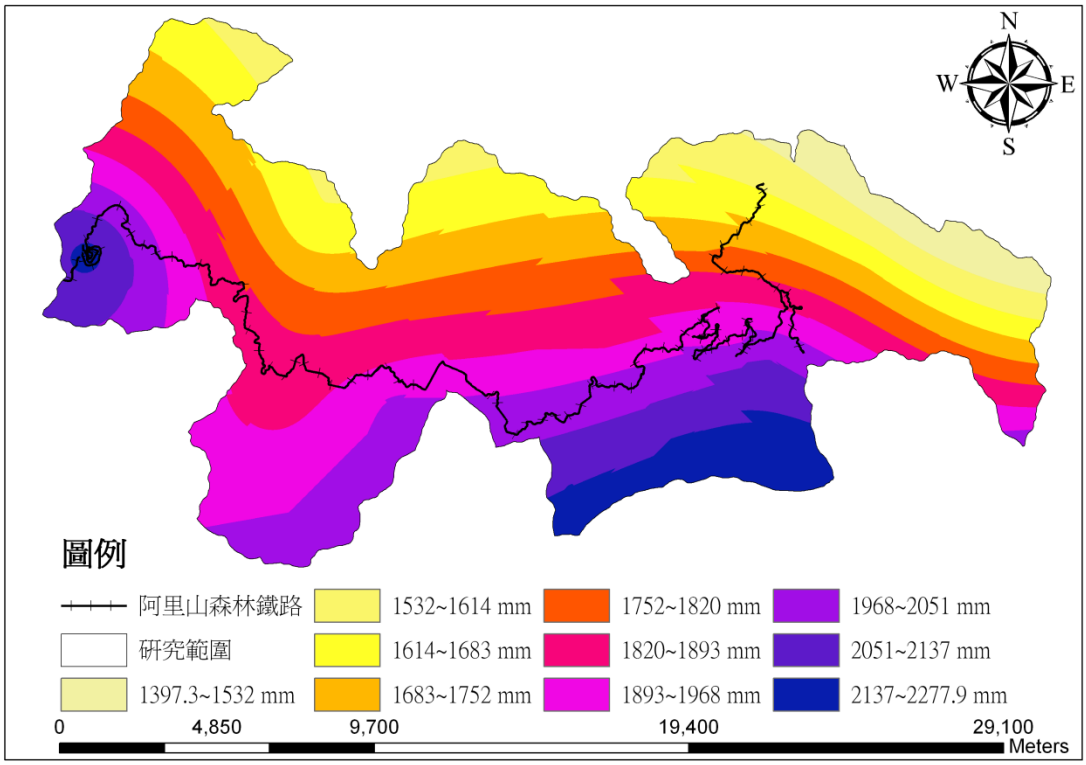


圖4.29　頻率年兩百年計畫區之三日雨量圖

表 4.11　各頻率年時雨量及三日雨量於計畫區內之平均值

頻率年 / 小時	頻率年 2 年	頻率年 5 年	頻率年 10 年	頻率年 25 年	頻率年 50 年	頻率年 100 年	頻率年 200 年
1hr	63.7	86.6	109.4	144.7	173.7	206	245.6
72hr	415.8	734.0	949.0	1218.9	1426.1	1628.6	1837.5

單位：mm

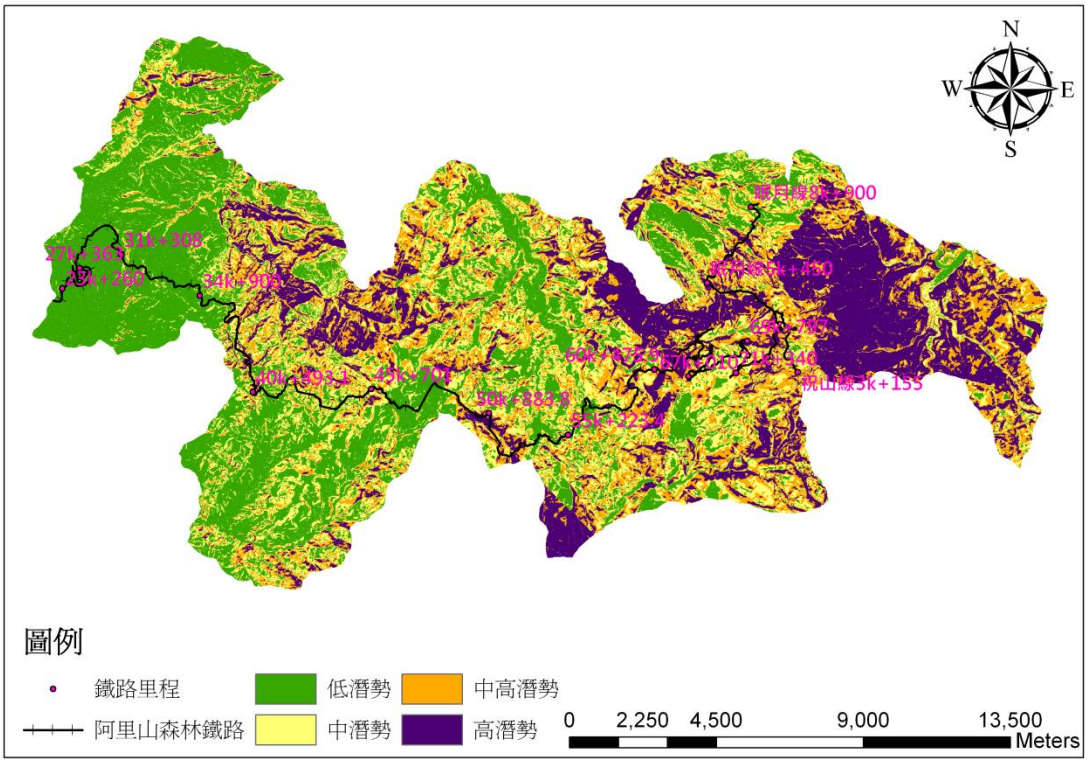


圖4.30　頻率年兩年之山崩機率圖

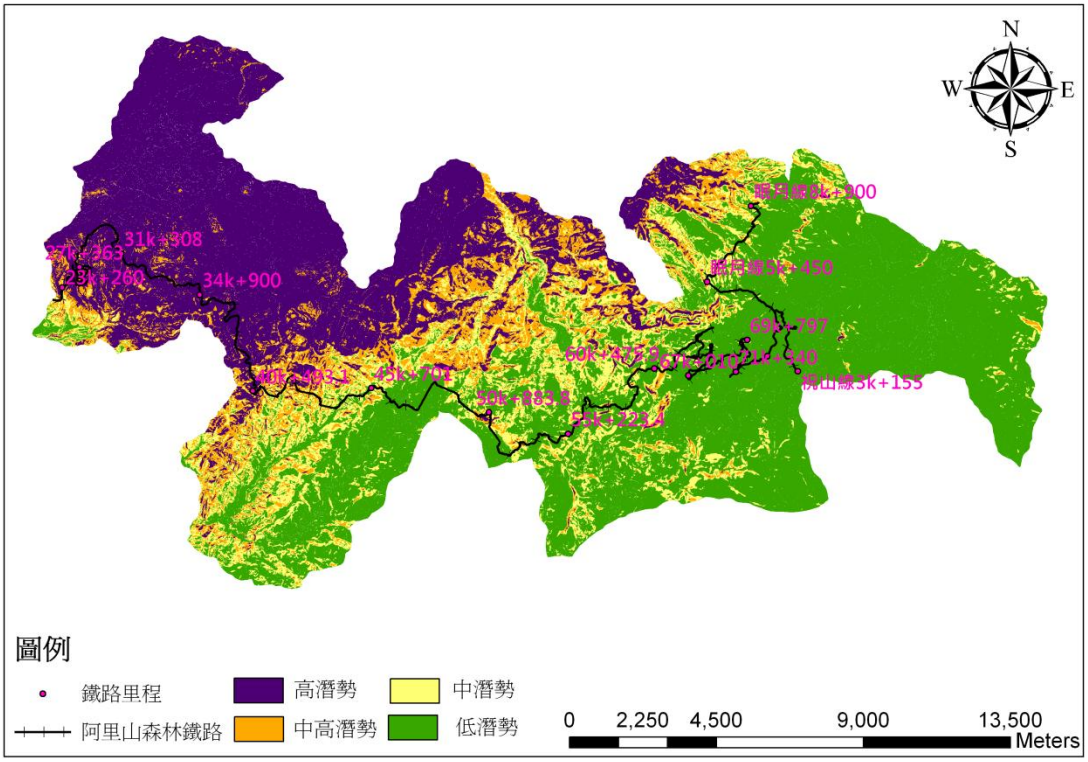


圖4.31　頻率年五年之山崩機率圖

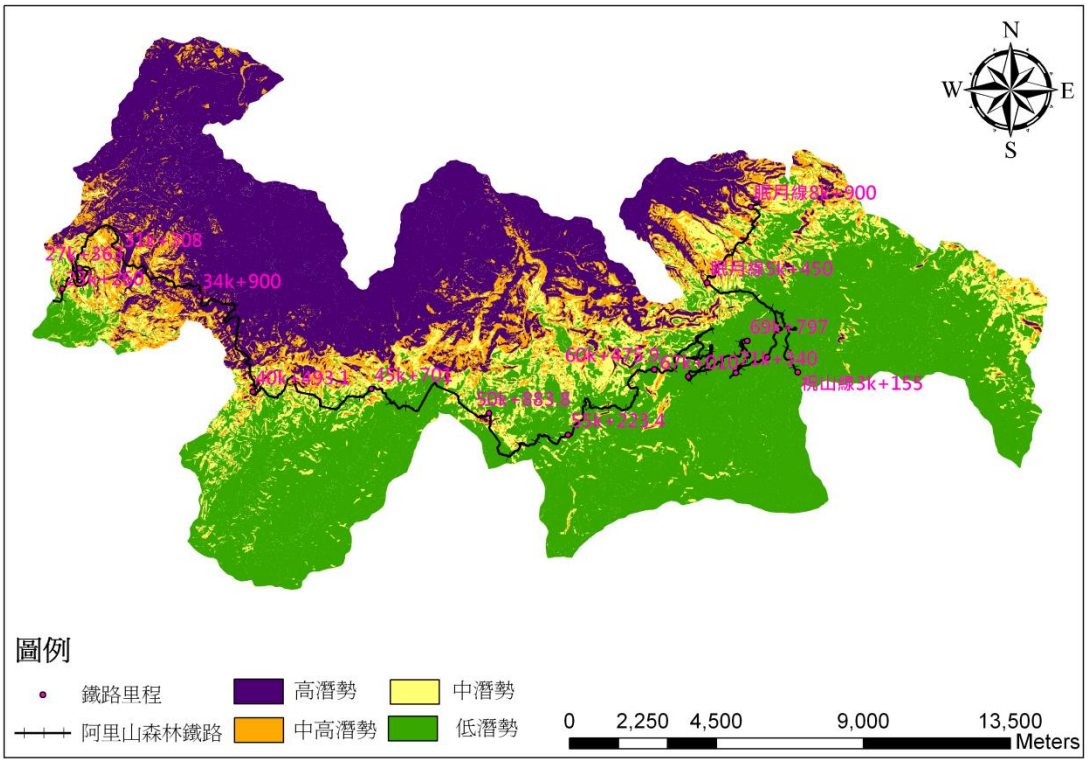


圖4.32　頻率年十年之山崩機率圖

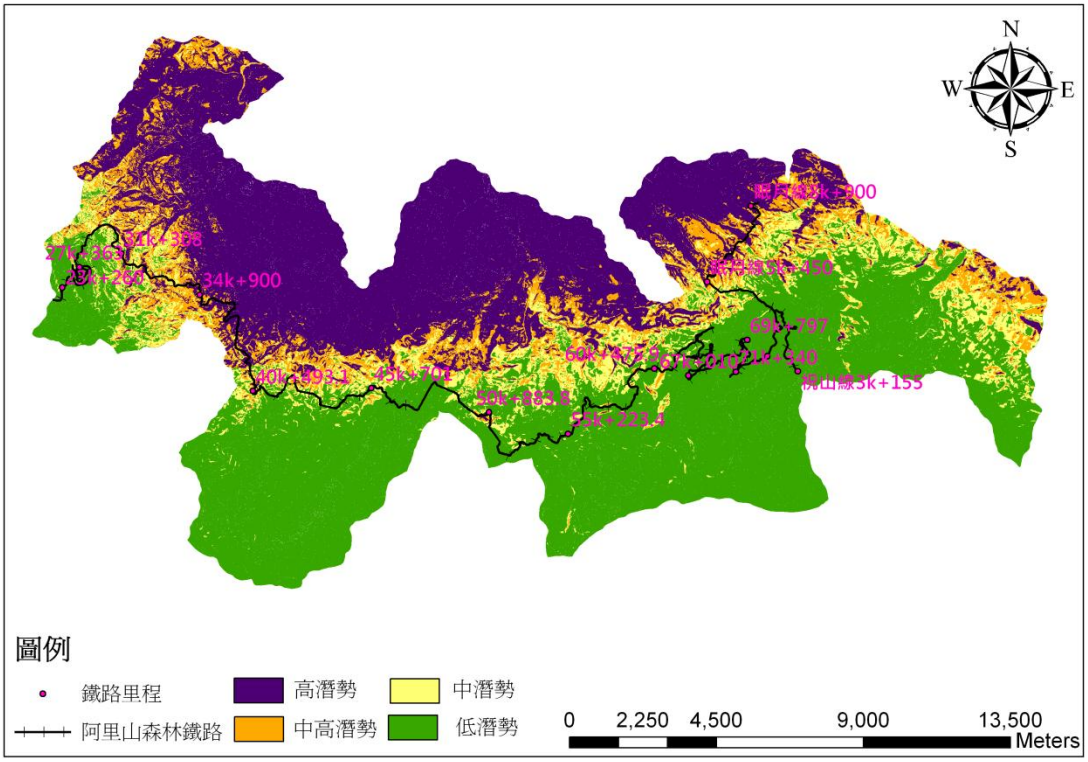


圖4.33　頻率年二十五年之山崩機率圖

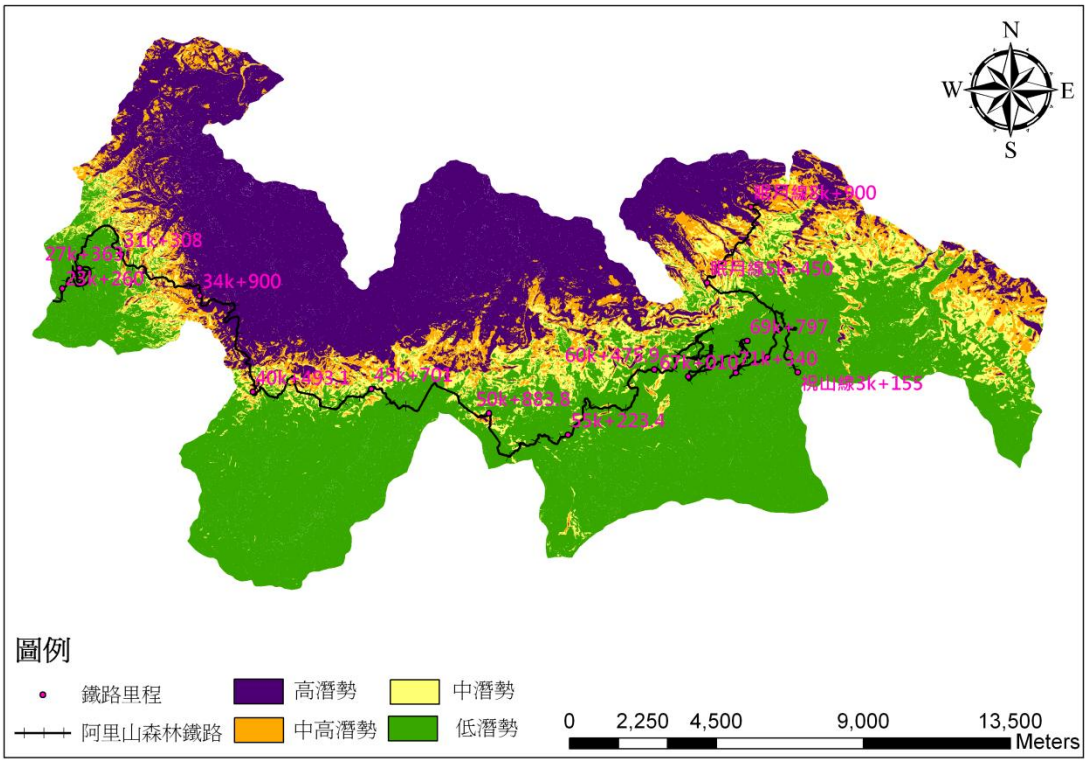


圖4.34　頻率年五十年之山崩機率圖

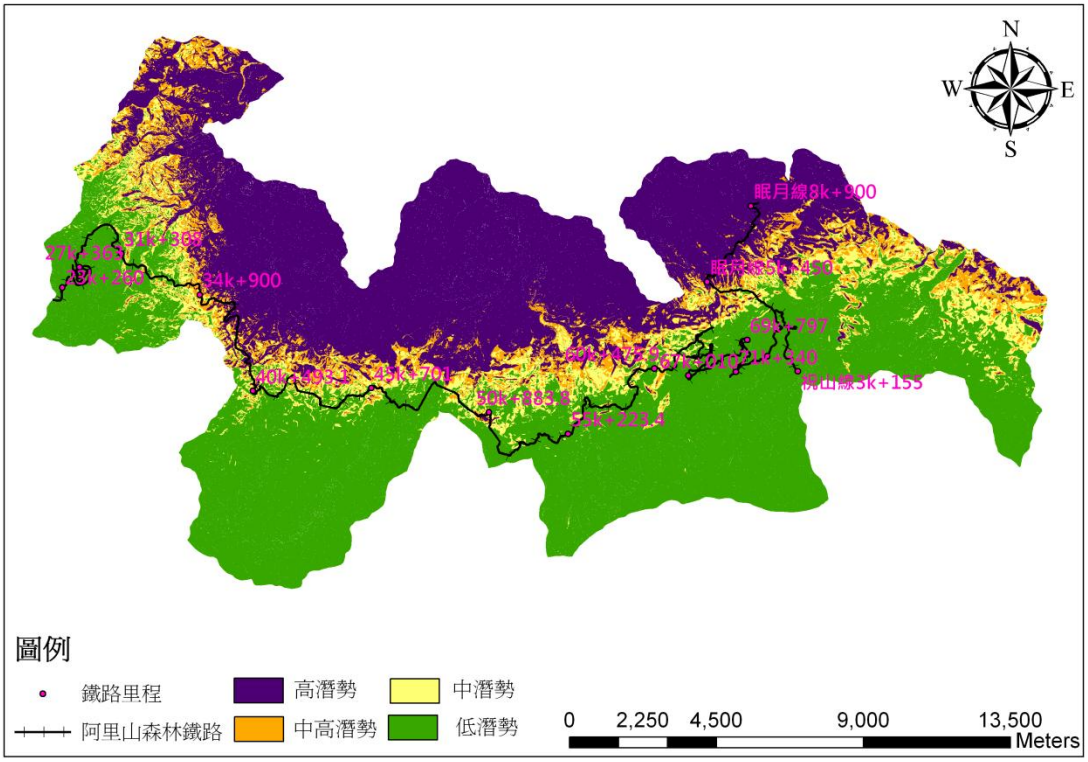


圖4.35　頻率年一百年之山崩機率圖

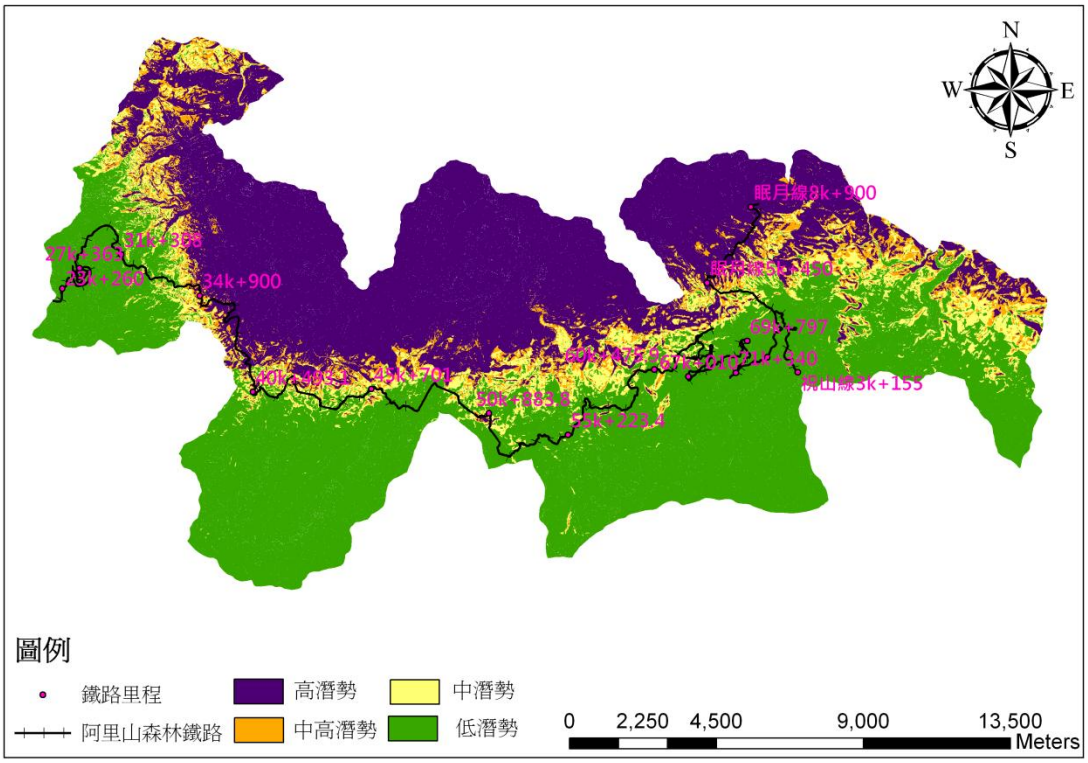


圖4.36　頻率年兩百年之山崩機率圖

第五章　降雨高崩塌潛勢地區特性分析

5.1 不同降雨條件下阿里山森林鐵路邊坡崩塌機率模擬結果

本計畫繪 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年重現期距雨量之山崩機率圖，本章節根據不同重現期距之山崩機率圖，標示出高崩塌潛勢區之阿里山森林鐵路里程，以供主辦單位作為後續防災管理之參考，茲分述如下：

雨量頻率年 2 年之高崩塌潛感區與航照資料套疊分析比對鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區，如圖 5.1 所示，鐵路里程局部放大圖Ⅰ至Ⅳ，如圖 5.2 至 5.5 所示，將詳細鐵路里程整理如下，並歸納整理如表 5.1 所示。

高崩塌潛勢區鐵路里程：36k+480~36k+500、36k+557~36k+659、37k+185.5~37k+199.6、37k+253.1~37k+257.3、37k+376.6~459.7、38k+101.4~38k+173、38k+213.7~38k+227.7、38k+461.5~483.9、38k+889.4~38k+951.6、39k+38.2~39k+252.2、39k+639.2~39k+803.2、40k+187.6~40k+287.3、40k+801.7~40k+824.6、42k+624~42k+683、42k+939.6~42k+992、43k+668~43k+686、43k+709~43k+723、44k+173~44k+199.6、45k+985.7~46k+047.5、46k+134.4~46k+270.5、49k+588.8~49k+665.9、50k+149.2~50k+752.2、50k+952.4~51k+394.2、51k+955.6~52k+051.6、52k+318.4~52k+413.5、52k+678.2~52k+784.1、57k+450.8~57k+549.9、57k+748.8~57k+785、59k+201.3~59k+231.3、59k+306.1~59k+401.3、59k+766.3~60k+194.3、60k+576.9~60k+615.9、60k+682.8~60k+922.6、61k+132.6~61k+879.6、62k+214.9~62k+947.6、63k+607.2~63k+370.4、64k+106~64k+792.3、66k+440.2~66k+506.8、66k+696.8~66k+717.3、67k+107.6~67k+147.2、67k+269.9~67k+308、69k+456.1~70k+127、70k+375~75k+466、71k+412~71k+462、眠月

線 1k+93~1k+200、眠月線 1k+391~1k+408、眠月線 1k+517~1k+877、眠月線 1k+959~1k+989、眠月線 2k+161.5~2k+408.5、眠月線 2k+504.5~2k+517.5、眠月線 2k+622.5~2k+675.5、眠月線 2k+824.5~2k+993.5、眠月線 3k+77.5~3k+157.5、眠月線 3k+315.5~3k+894.5、眠月線 4k+328.5~4k+428.5、眠月線 4k+463.5~4k+705.5、眠月線 4k+897.5~4k+956.5、眠月線 5k+296~5k+450、眠月線 5k+450~5k+525、眠月線 5k+646~5k+681、眠月線 5k+706~5k+779、眠月線 5k+722~5k+867、眠月線 5k+967~6k+74、眠月線 6k+181~6k+199、眠月線 6k+434.4~6k+709.4、眠月線 6k+732.4~6k+836.4、眠月線 6k+983.4~7k+145.4、眠月線 7k+471~7k+652、眠月線 7k+680~7k+706、眠月線 8k+285~8k+338。

表 5.1　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程

公里數	詳細阿里山森林鐵路里程
36k	480~500，557~659
37k	185.5~199.6，253.1~257.3，376.6~459.7
38k	101.4~173，213.7~227.7，461.5~483.9，889.4~951.6
39k	38.2~252.2，639.2~803.2
40k	187.6~287.3，801.7~824.6
42k	624~683，939.6~992
43k	668~686，709~723
44k	173~199.6
45k	985.7~999.99
46k	0~047.5，134.4~270.5
49k	588.8~665.9
50k	149.2~752.2，952.4~999.99
51k	0~394.2，955.6~999.99
52k	0~051.6，318.4~413.5，678.2~784.1
57k	450.8~549.9，748.8~785
59k	201.3~231.3，306.1~401.3，766.3~999.99
60k	0~194.30，576.9~615.9，682.8~922.6
61k	132.6~879.6
62k	214.9~947.6
63k	607.2~370.4
64k	106~792.3
66k	440.2~506.8，696.8~717.3
67k	107.6~147.2，269.9~308
69k	456.1~999.99
70k	0~127，375~999.99
71k	0~999.99，412~462
72k	0~999.99
73k	0~999.99
74k	0~999.99
75k	0~466
眠月線 1k	93~200，391~408，517~877，959~989
眠月線 2k	161.5~408.5，504.5~517.5，622.5~675.5，824.5~993.5
眠月線 3k	77.5~157.5，315.5~894.5
眠月線 4k	328.5~428.5，463.5~705.5，897.5~956.5

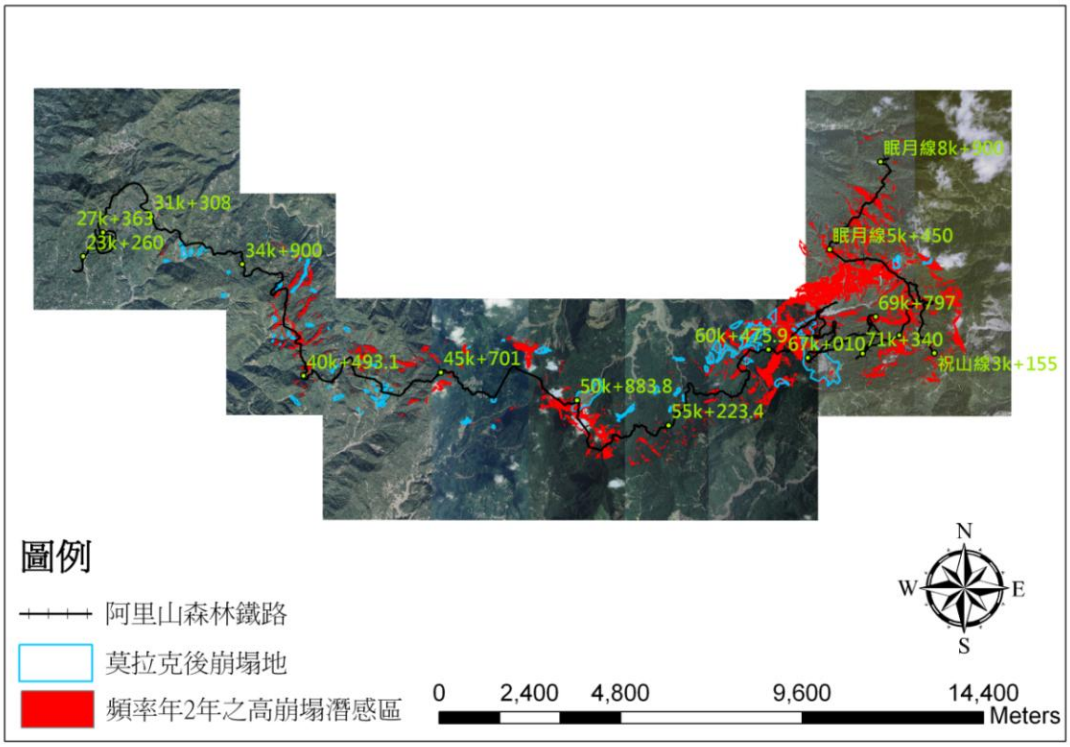


圖 5.1　頻率年 2 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區

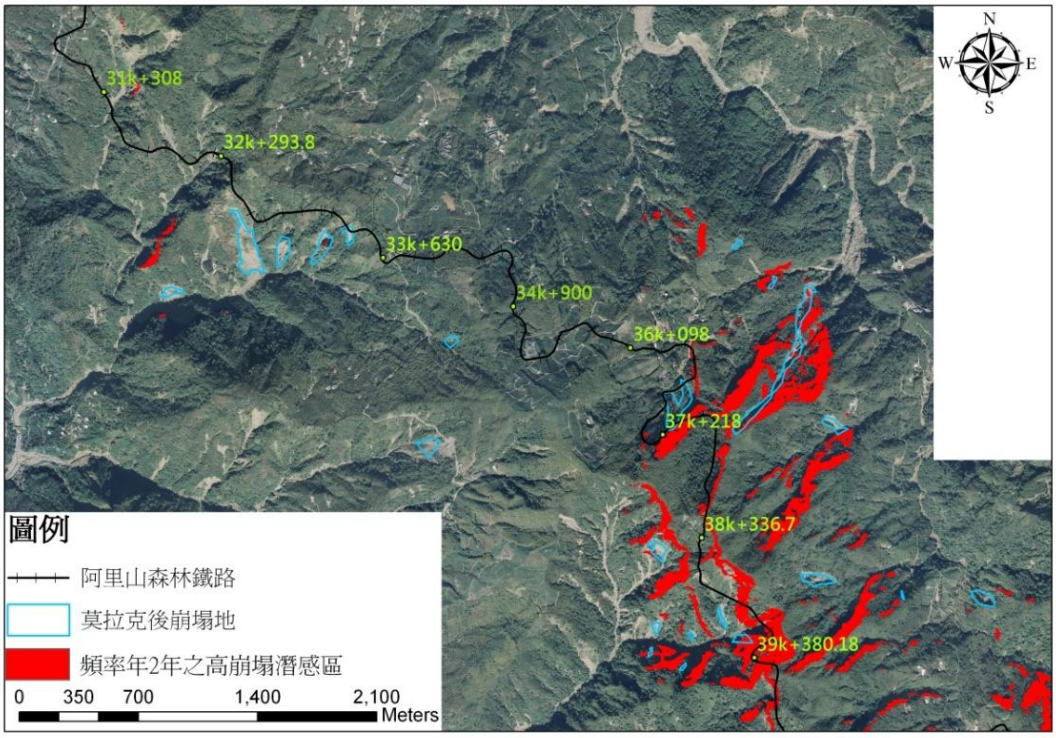


圖 5.2　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 I

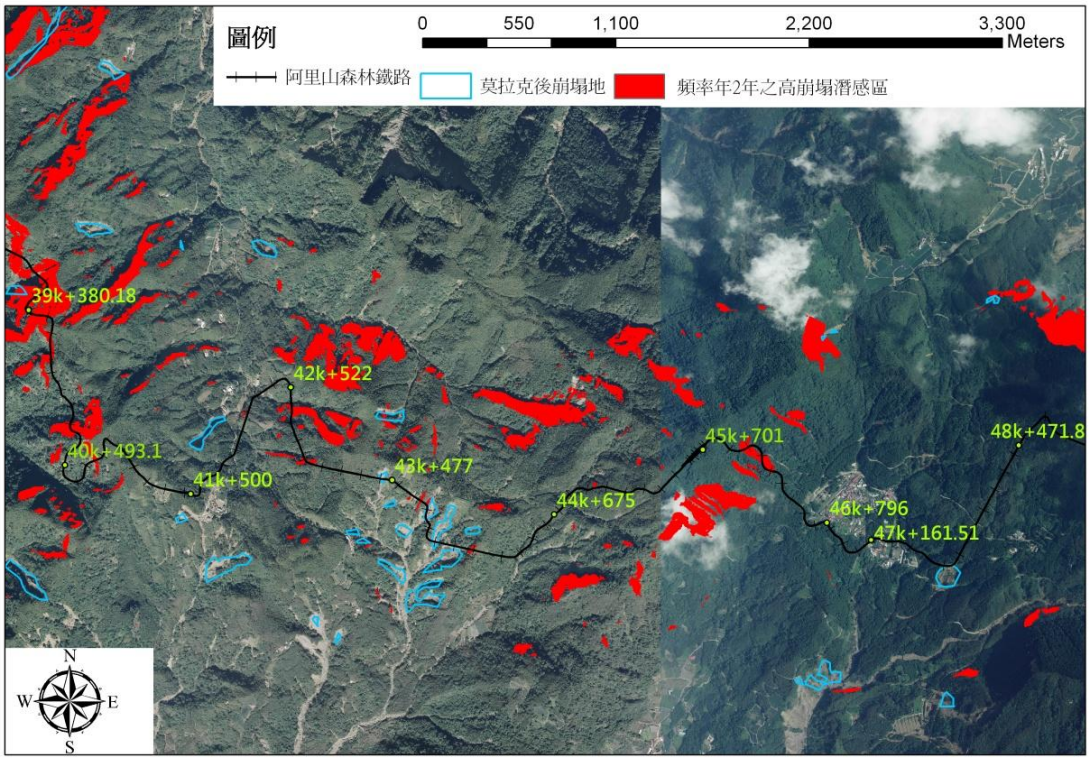


圖 5.3　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 II

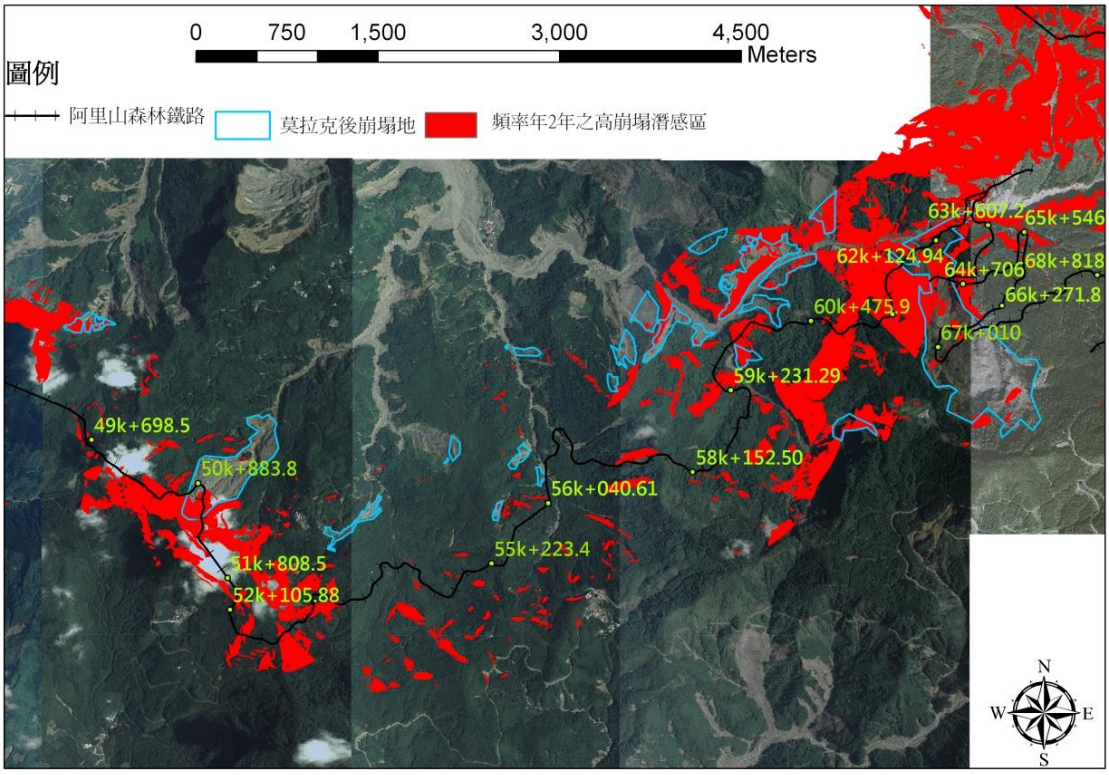


圖 5.4　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 III

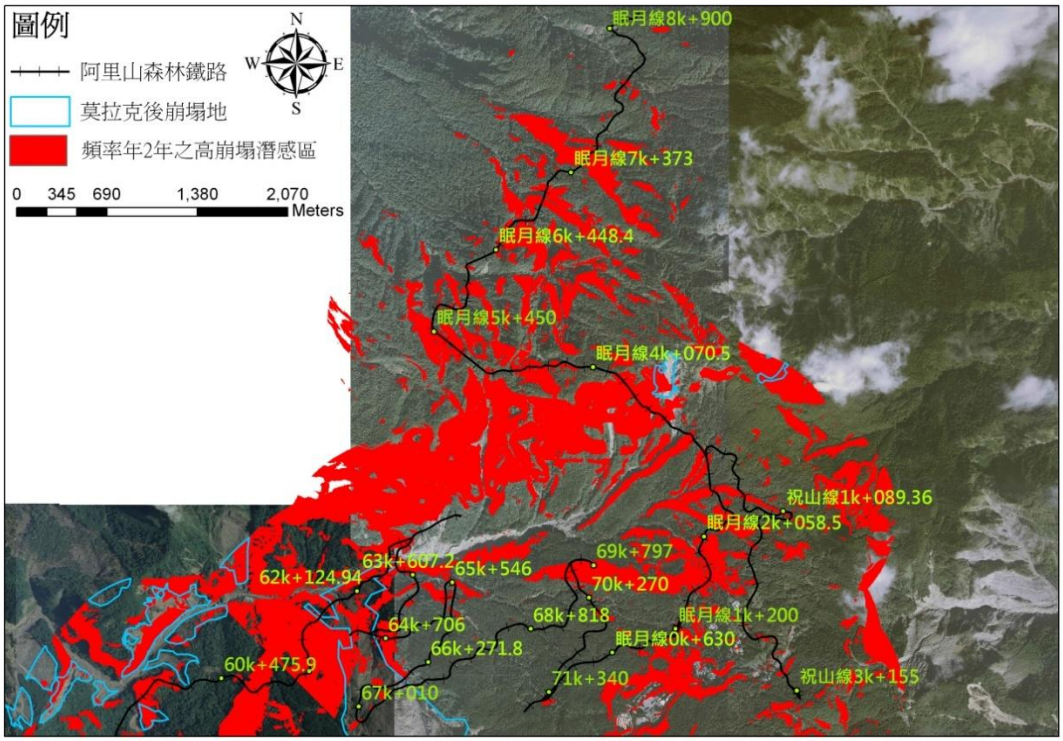


圖 5.5　頻率年 2 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ

雨量頻率年 5 年之高崩塌潛感區與航照資料套疊分析比對鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區，如圖 5.6 所示，鐵路里程局部放大圖Ⅰ至Ⅲ，如圖 5.7 至 5.9 所示，將詳細鐵路里程整理如下，並歸納整理如表 5.2 所示。

高崩塌潛勢區鐵路里程：22k+755~40k+507、40k+785~40k+875、41k+057.1~41k+076.1、41k+119.9~41k+138.3、41k+159.1~41k+186.6、41k+434.9~41k+484.1、41k+745~41k+761.6、41k+840~41k+867、42k+085~42k+213、42k+309~42k+337、42k+475.3~42k+538.7、42k+631~42k+780、42k+925~43k+023、43k+626~43k+640、43k+680~43k+895、43k+712~43k+737、44k+172.9~44k+197、50k+554.8~50k+530.8、51k+131.8~51k+172.8、51k+206.8~51k+237.8、57k+483.5~57k+539.5、59k+882.3~59k+907.3、59k+948.3~60k+021.3、60k+043.29~60k+057.29。

表 5.2　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程

公里數	詳細阿里山森林鐵路里程
22k	755~999.99
23k	0~999.99
24k	0~999.99
25k	0~999.99
26k	0~999.99
27k	0~999.99
28k	0~999.99
29k	0~999.99
30k	0~999.99
31k	0~999.99
32k	0~999.99
33k	0~999.99
34k	0~999.99
35k	0~999.99
36k	0~999.99
37k	0~999.99
38k	0~999.99
39k	0~999.99
40k	0~507，785~875
41k	057.1~076.1，119.9~138.3，159.1~186.6 434.9~484.1，745~761.6，840~867
42k	085~213，309~337，475.3~538.7，631~780，925~999.99
43k	0~023，626~640，680~895，712~737
44k	172.9~197
50k	530.8~554.8
51k	131.8~172.8，206.8~237.8
57k	483.5~539.5
59k	882.3~907.3，948.3~999.99
60k	0~021.3，043.29~057.29

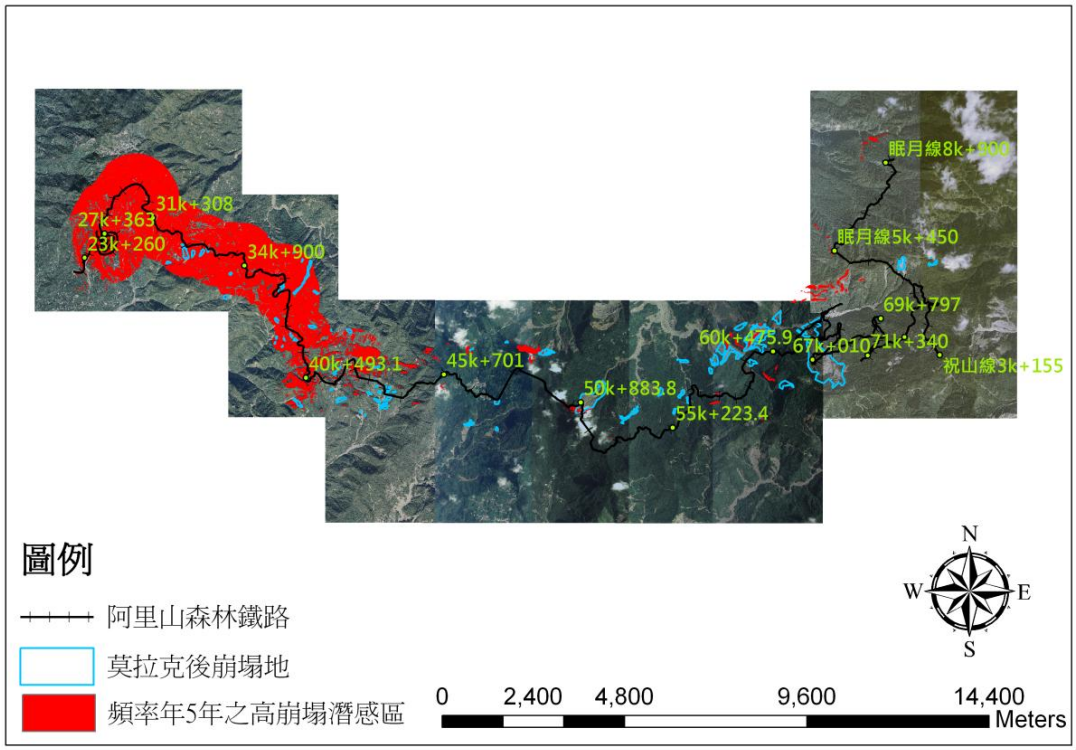


圖 5.6　頻率年 5 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區

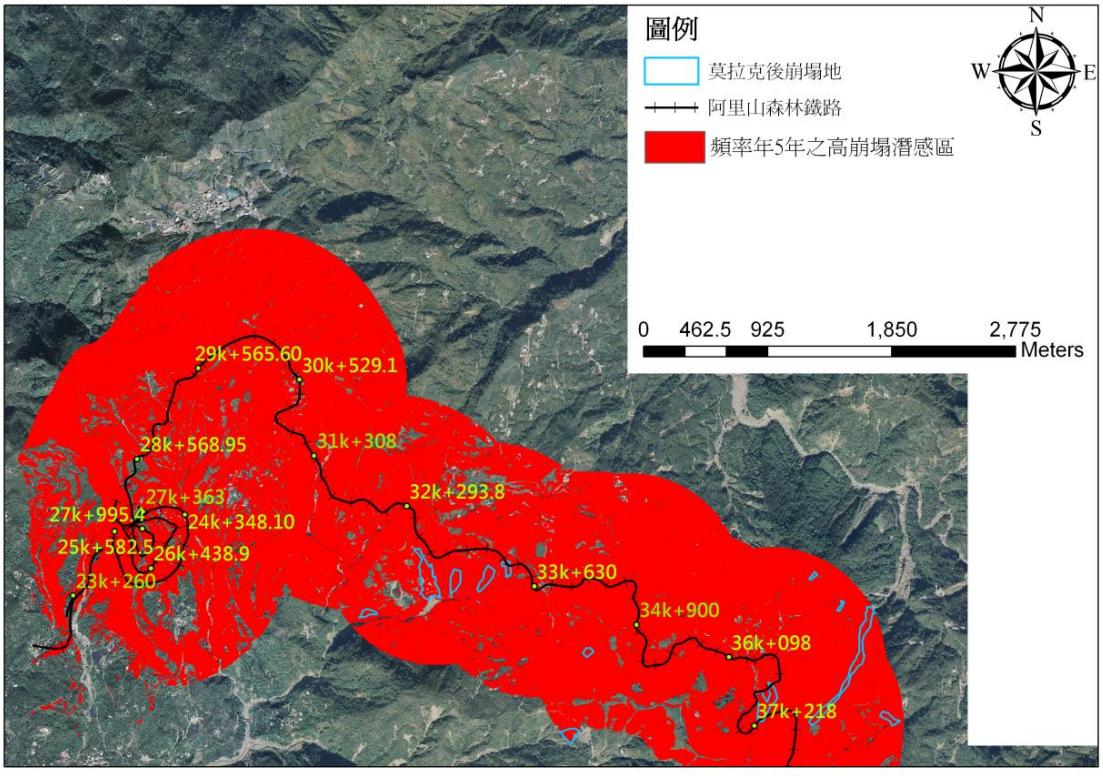


圖 5.7　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 I

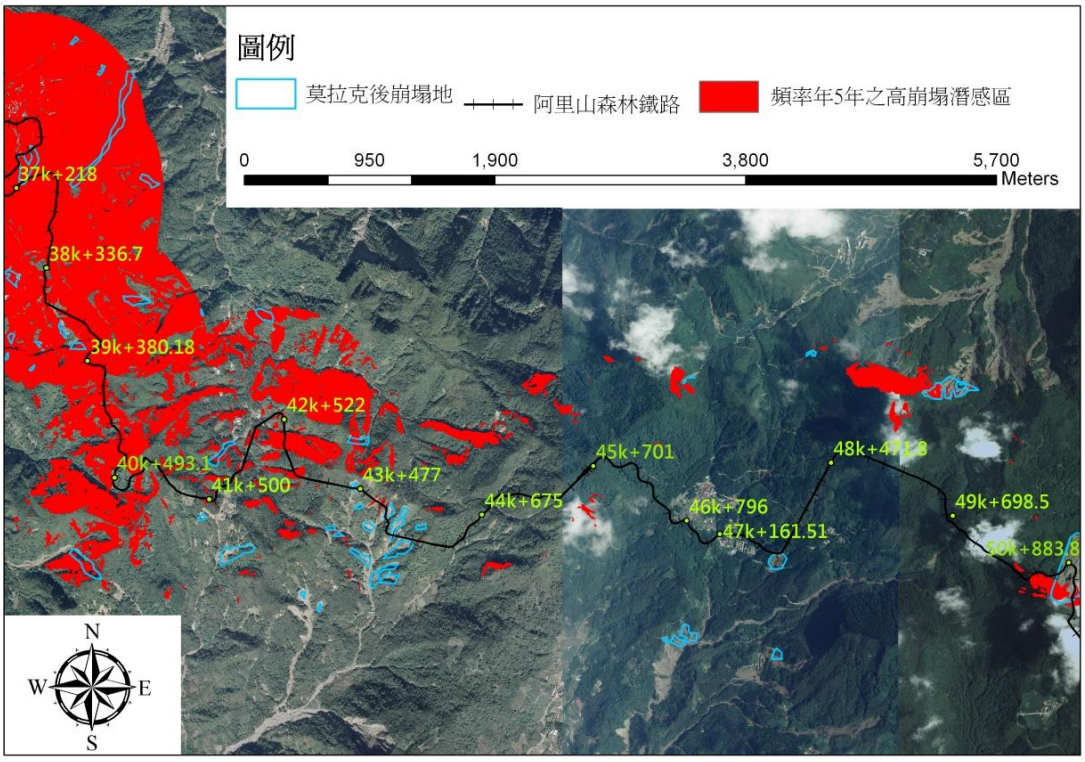


圖 5.8　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 II

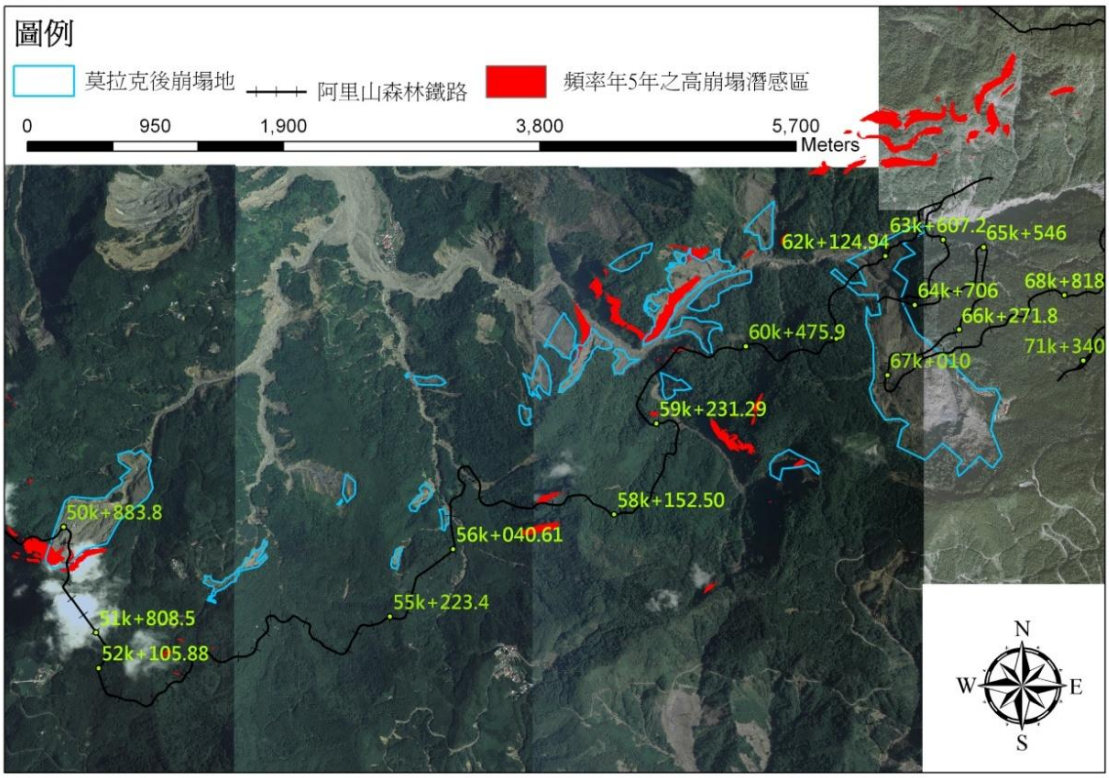


圖 5.9　頻率年 5 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 III

雨量頻率年 10 年之高崩塌潛感區與航照資料套疊分析比對鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區，如圖 5.10 所示，鐵路里程局部放大圖Ⅰ至Ⅳ，如圖 5.11 至 5.14 所示，將詳細鐵路里程整理如下，並歸納整理如表 5.3 所示。

高崩塌潛勢區鐵路里程：25k+169.5~25k+221.6、26k+606.9~26k+691.9、26k+768.9~26k+811.9、26k+883.9~26k+991.9、27k+517~27k+605、28k+630.85~28k+648.65、29k+559.5~29k+789.8、29k+967.6~29k+989.6、30k+029.6~30k+457.6、30k+768~30k+782、30k+867~30k+883、30k+941~30k+959、31k+056~31k+092、31k+164.9~31k+185.1、31k+213.1~31k+228.1、31k+274.1~31k+327.1、31k+350.6~31k+371、31k+462~31k+486、31k+572~31k+722、31k+942~31k+999、32k+096~32k+119、32k+331.8~32k+641.8、32k+742.8~32k+810.8、32k+844.8~32k+937.8、33k+087.8~33k+555.8、33k+567~33k+693、33k+816~38k+285.7、38k+246.3~38k+595.7、38k+751.7~39k+859.5、40k+288.1~40k+151.1、40k+799.1~40k+833.1、42k+616~42k+694、42k+933~42k+956、51k+132.8~51k+245.8、59k+889.29~59k+905.29、59k+954.29~60k+079.29、眠月線 5k+385.1~眠月線 5k+362、眠月線 5k+721~眠月線 5k+773、眠月線 5k+973~眠月線 6k+029、眠月線 6k+541.4~眠月線 6k+608.4、眠月線 6k+655.4~眠月線 6k+689.4、眠月線 6k+991.4~眠月線 7k+045.4、眠月線 7k+512~眠月線 7k+571、眠月線 8k+206~眠月線 8k+345、眠月線 9k+110~眠月線 9k+176。

表 5.3　頻率年 10 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程

公里數	詳細阿里山森林鐵路里程
25k	169.5~221.6
26k	606.9~691.9，768.9~811.9，883.9~991.9
27k	517~605
28k	630.85~648.65
29k	559.5~789.8，967.6~989.6
30k	029.6~457.6，768~782，867~883，941~959
31k	056~092 ， 164.9~185.1 ， 213.1~228.1 ， 274.1~327.1 ，350.6~371，462~486，572~722，942~999
32k	096~119，331.8~641.8，742.8~810.8，844.8~937.8
33k	087.8~555.8，567~693，816~999.99
38k	0~285.7，246.3~595.7，751.7~999.99
39k	0~859.5
40k	288.1~151.1，799.1~833.1
42k	616~694，933~956
51k	132.8~245.8
59k	889.29~905.29，954.29~999.99
60k	0~079.29
眠月線 5k	385.1~362，721~773，973~999.99
眠月線 6k	0~029，541.4~608.4，655.4~689.4，991.4~999.99
眠月線 7k	0~045.4，512~571
眠月線 8k	206~345
眠月線 9k	110~176

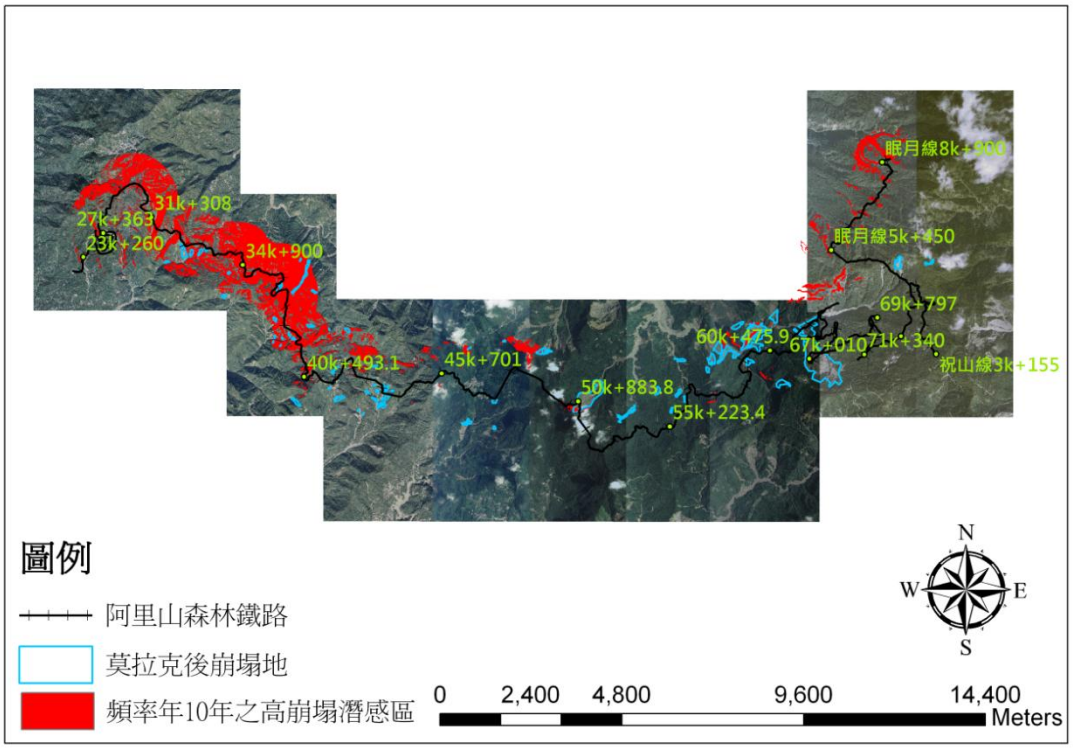


圖 5.10　頻率年 10 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區

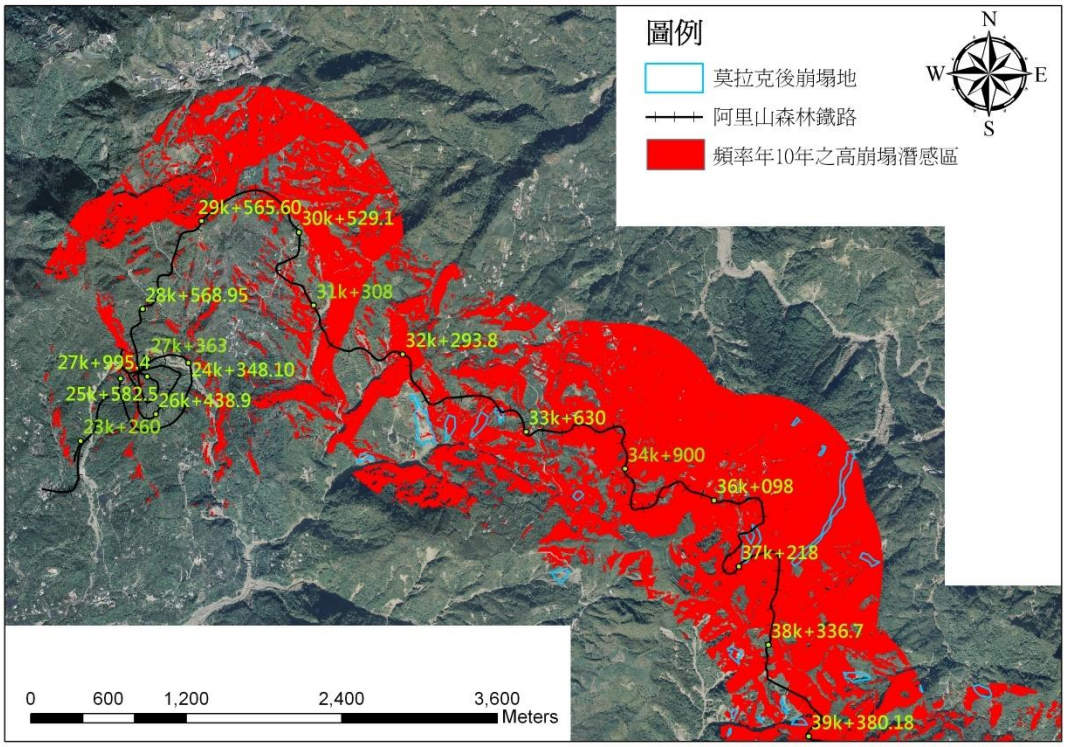


圖 5.11　頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 I

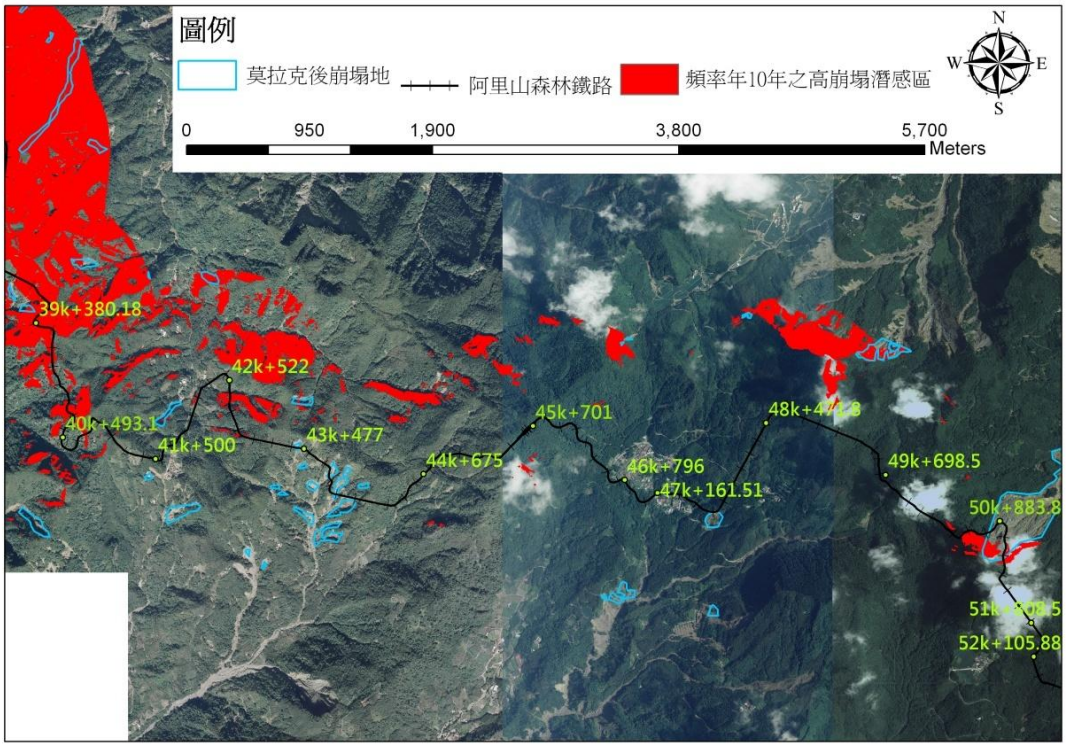


圖 5.12　頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ

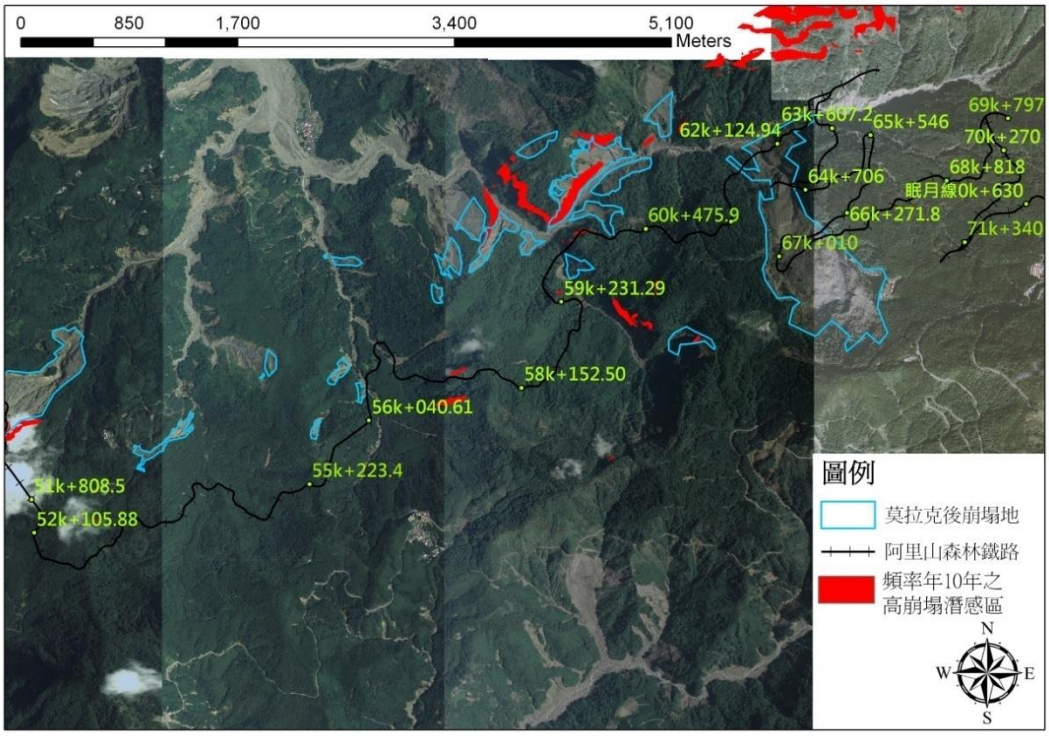


圖 5.13　頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ

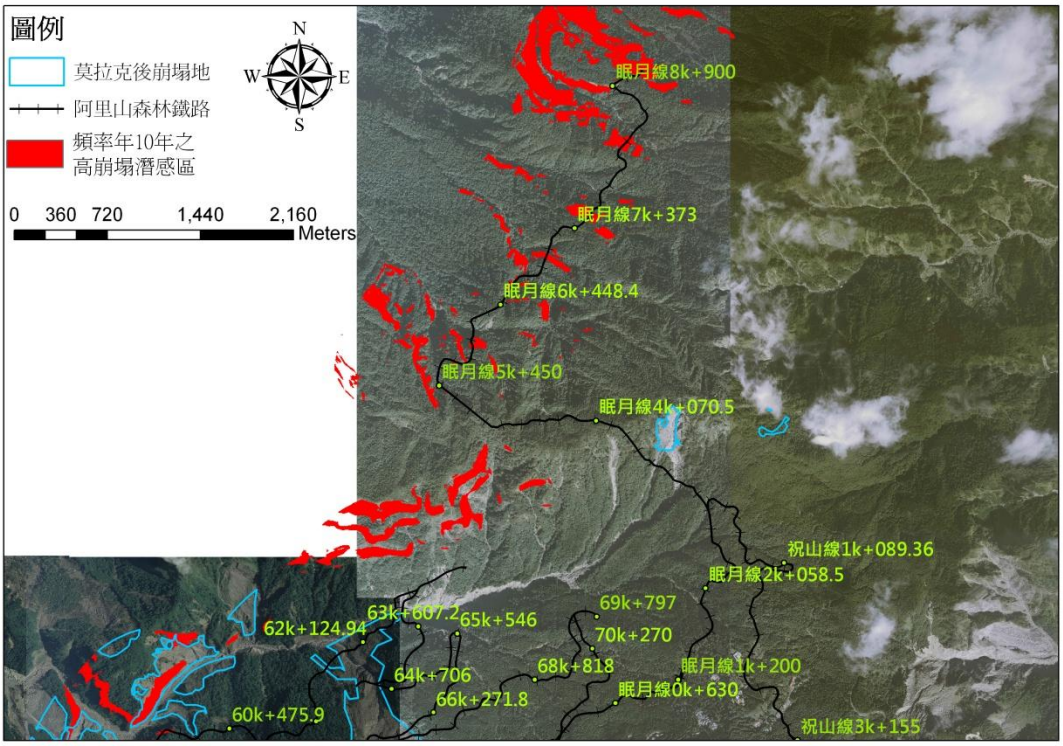


圖 5.14　頻率年 10 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ

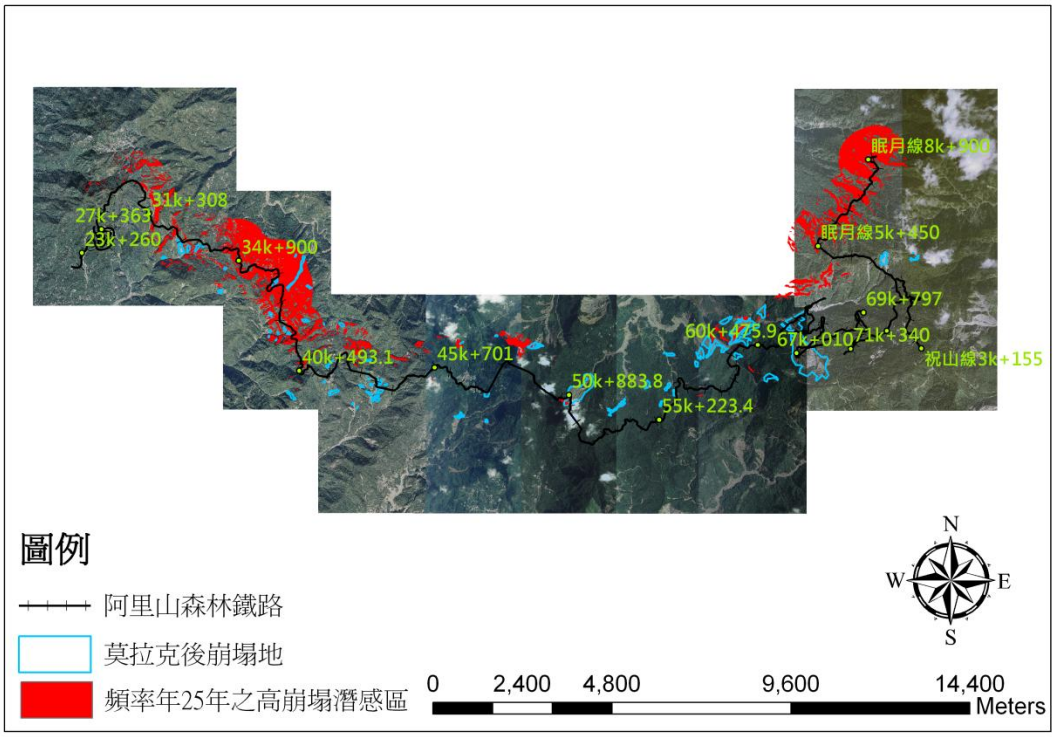
雨量頻率年 25 年之高崩塌潛感區與航照資料套疊分析比對鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區，如圖 5.15 所示，鐵路里程局部放大圖Ⅰ至Ⅳ，如圖 5.16 至 5.19 所示，將詳細鐵路里程整理如下，並歸納整理如表 5.4 所示。

高崩塌潛勢區鐵路里程：30k+215.6~30k+301.6、31k+553~31k+697、32k+257.8~32k+506.8、32k+616.8~32k+643.8、32k+772.8~32k+795.8、32k+909.8~32k+931.8、33k+293.8~33k+486.8、33k+926~34k+050、34k+165~34k+456、34k+617~38k+270.7、38k+459.7~38k+516.7、38k+803.7~38k+945.7、39k+11.2~39k+782.2、40k+180.18~40k+251.18、40k+796~40k+819.1、42k+632~42k+687、51k+208.7~51k+233.8、59k+887.3~59k+906.3、59k+942.3~60k+060.3、眠月線 5k+405.3~眠月線 5k+330.1、眠月線 5k+637~眠月線 5k+867、眠月線 5k+949~眠月線 6k+086、眠月線 6k+168~眠月線 6k+208、

眠月線 6k+433.4~眠月線 6k+847.4、眠月線 6k+979.4~眠月線 7k+211.4、眠月線 7k+448~眠月線 7k+713、眠月線 7k+772~眠月線 7k+802、眠月線 8k+148~眠月線 8k+592、眠月線 8k+651~眠月線 9k+157。

表 5.4 頻率年 25 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程

公里數	詳細阿里山森林鐵路里程
30k	215.6~301.6
31k	553~697
32k	257.8~506.8，616.8~643.8，772.8~795.8，909.8~931.8
33k	293.8~486.8，926~999.99
34k	0~050，165~456，617~999.99
35k	0~999.99
36k	0~999.99
37k	0~999.99
38k	0~270.7，459.7~516.7，803.7~945.7
39k	11.2~782.2
40k	180.18~251.18，796~819.1
42k	632~687
51k	208.7~233.8
59k	887.3~906.3，942.3~999.99
60k	0~060.3
眠月線 5k	405.3~330.1，637~867，949~999.99
眠月線 6k	0~086，168~208，433.4~847.4，979.4~999.99
眠月線 7k	0~211.4，448~713，772~802
眠月線 8k	148~592，651~999.99
眠月線 9k	0~157



圖

5.15　頻率年 25 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區

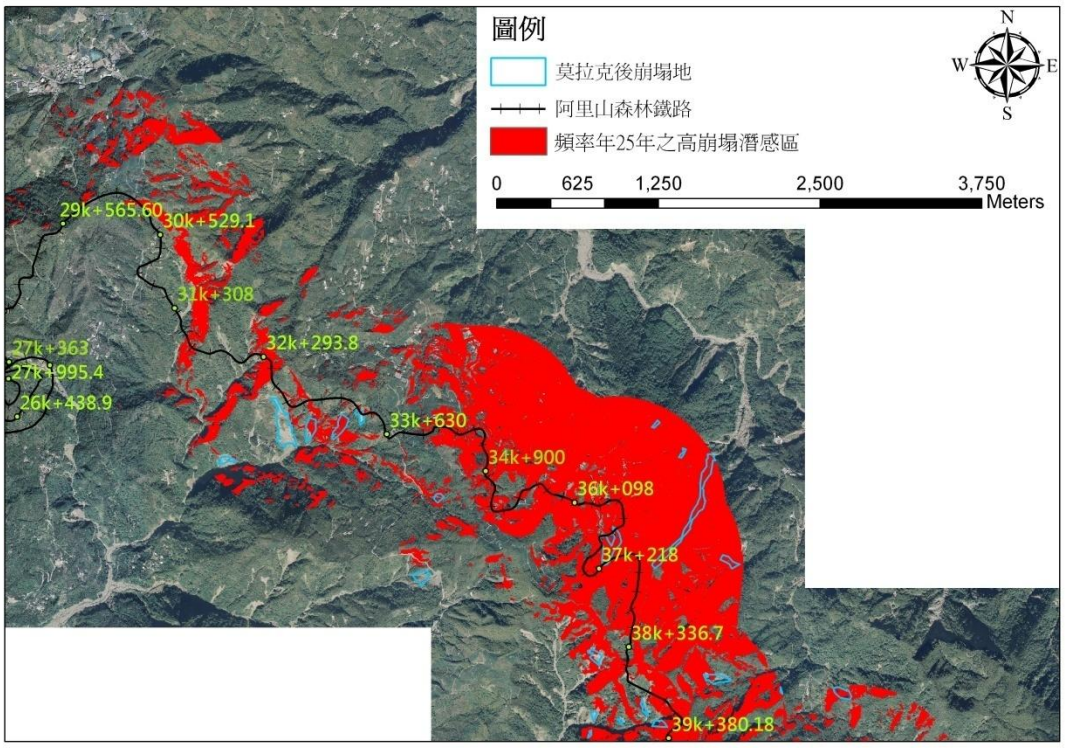


圖 5.16　頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 I

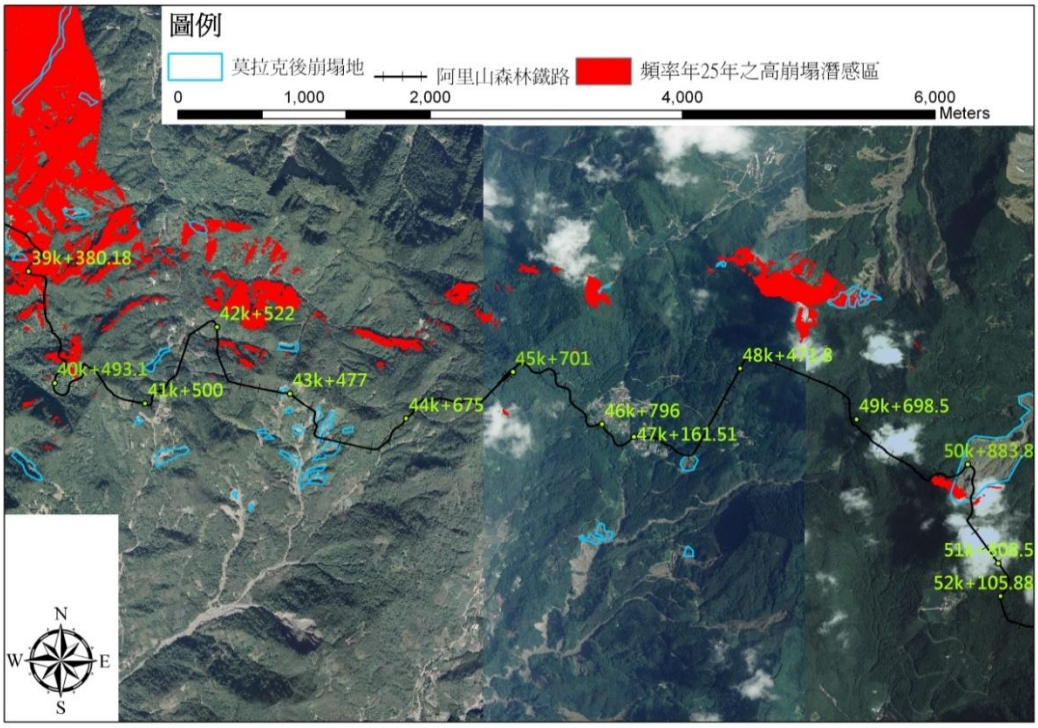


圖 5.17　頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅱ

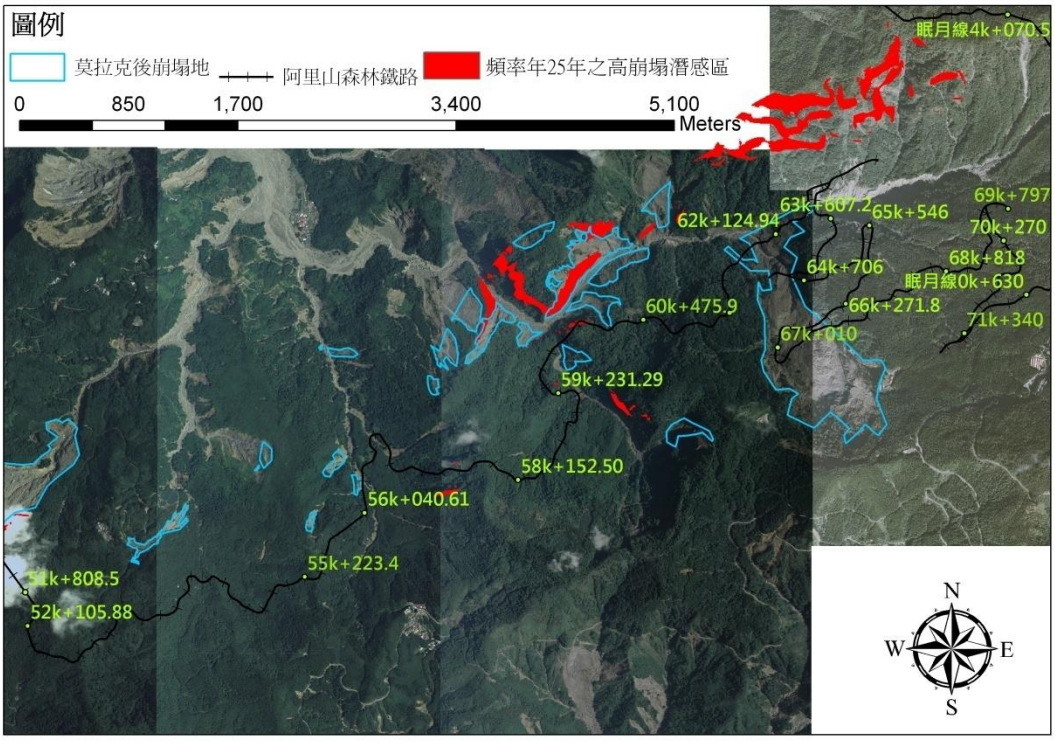


圖 5.18　頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅲ

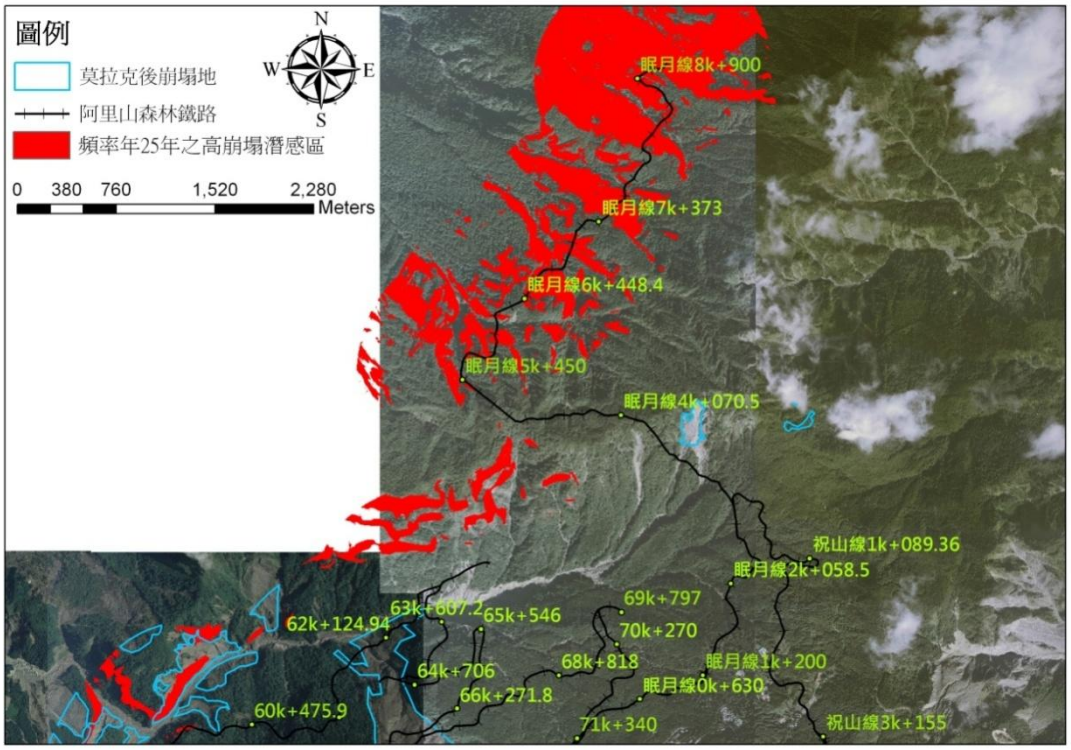


圖 5.19　頻率年 25 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ

雨量頻率年 50 年之高崩塌潛感區與航照資料套疊分析比對鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區，如圖 5.20 所示，鐵路里程局部放大圖Ⅰ至Ⅳ，如圖 5.20 至 5.24 所示，將詳細鐵路里程整理如下，並歸納整理如表 5.5 所示。

高崩塌潛勢區鐵路里程：29k+220.6~29k+289.6、31k+563~31k+580、32k+269.8~32k+493.8、32k+619.8~32k+638.8、32k+775.8~32k+991.8、33k+195~33k+490.8、33k+866~38k+304.7、38k+417.7~38k+580.7、38k+783.2~39k+545.2、39k+619.2~39k+792.2、40k+184.1~40k+260.1、40k+811.1~40k+831.1、42k+625~42k+690、51k+213.8~51k+234.8、眠月線 5k+345~5k+405、眠月線 5k+719~5k+764、眠月線 5k+972~6k+24、眠月線 6k+448.4~6k+490.4、眠月線 6k+531.4~6k+710.4、眠月線 6k+763.4~6k+784.4、眠月線 6k+996.4~7k+52.4、眠月線 7k+119.4~7k+131.4、眠月線

7k+475~7k+643、眠月線 7k+683~7k+707、眠月線 8k+195~8k+371、眠月線 8k+461~8k+502、眠月線 8k+667~8k+989、眠月線 9k+67~9k+171。

表 5.5 頻率年 50 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程

公里數	詳細阿里山森林鐵路里程
29k	220.6~289.6
31k	563~580
32k	269.8~493.8，619.8~638.8，775.8~991.8
33k	195~490.8，866~999.99
34k	0~999.99
35k	0~999.99
36k	0~999.99
37k	0~999.99
38k	0~304.7，417.7~580.7，783.2~999.99
39k	0~545.2，619.2~792.2
40k	184.1~260.1，811.1~831.1
42k	625~690
51k	213.8~234.8
眠月線 5k	345~405，719~764，972~999.99
眠月線 6k	0~24，448.4~490.4，531.4~710.4，763.4~784.4，996.4~999.99
眠月線 7k	0~52.4，119.4~131.4，475~643，683~707
眠月線 8k	195~371，461~502，667~989
眠月線 9k	67~171

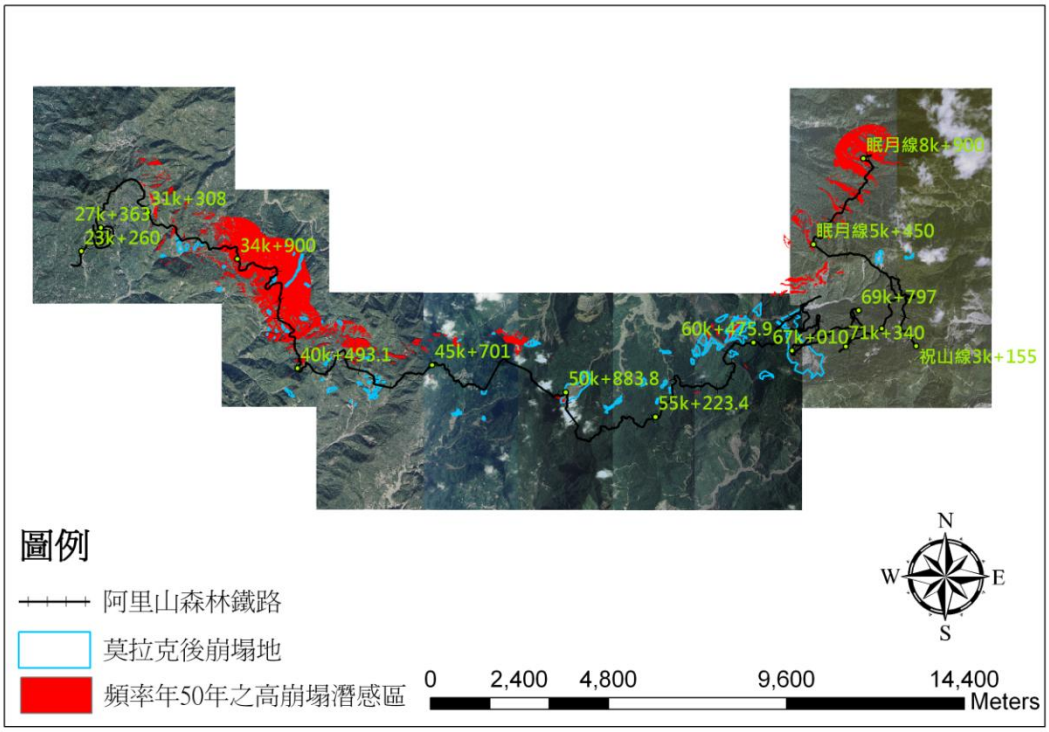


圖 5.20　頻率年 50 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區

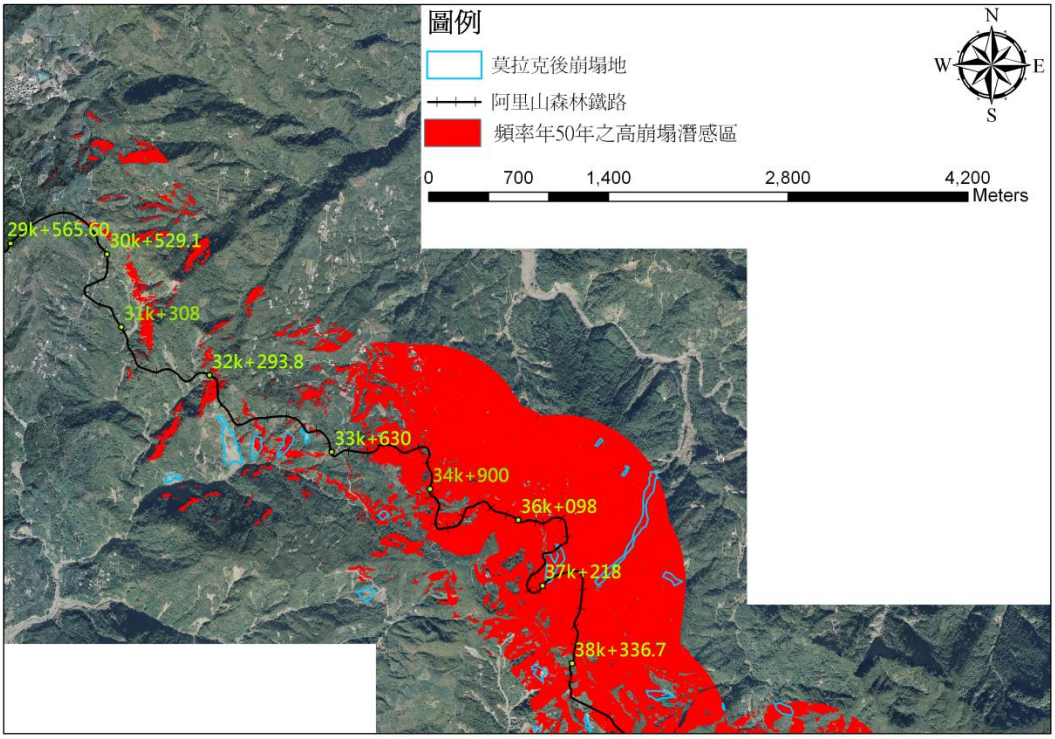


圖 5.21　頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 I

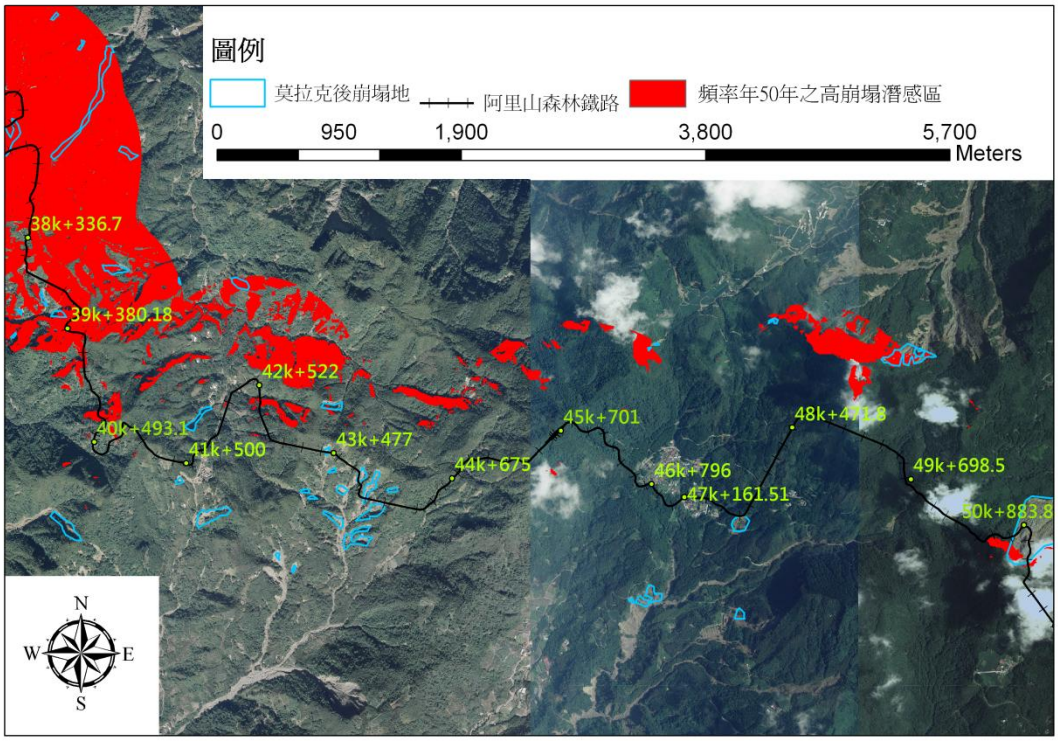


圖 5.22　頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 II

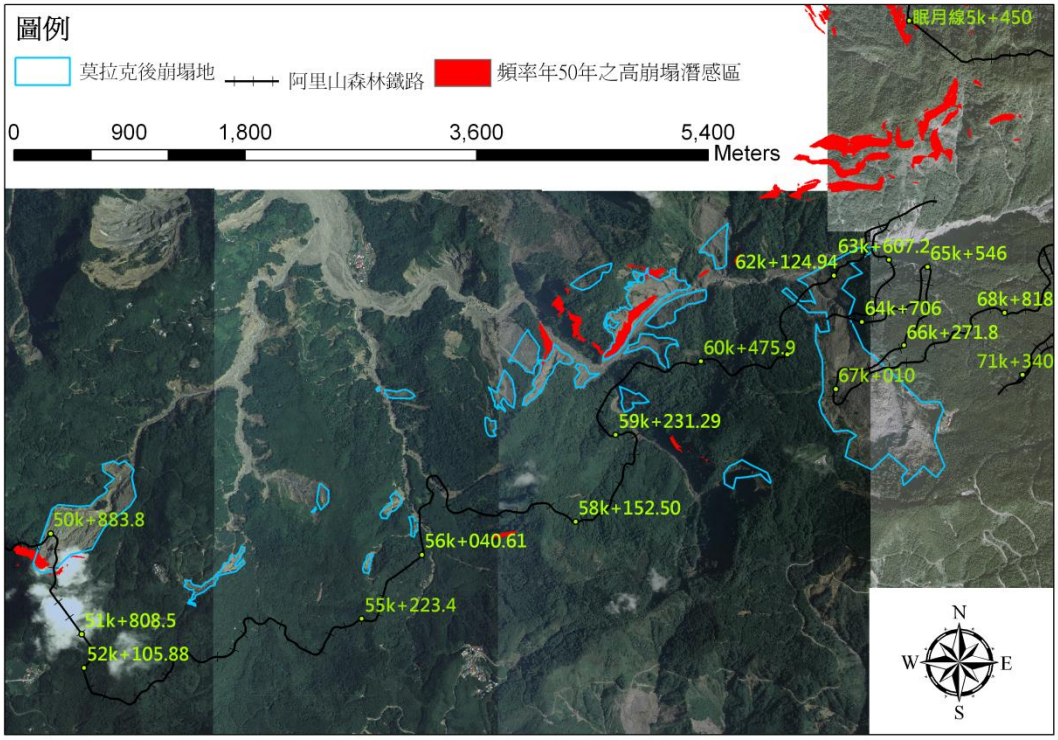


圖 5.23　頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 III

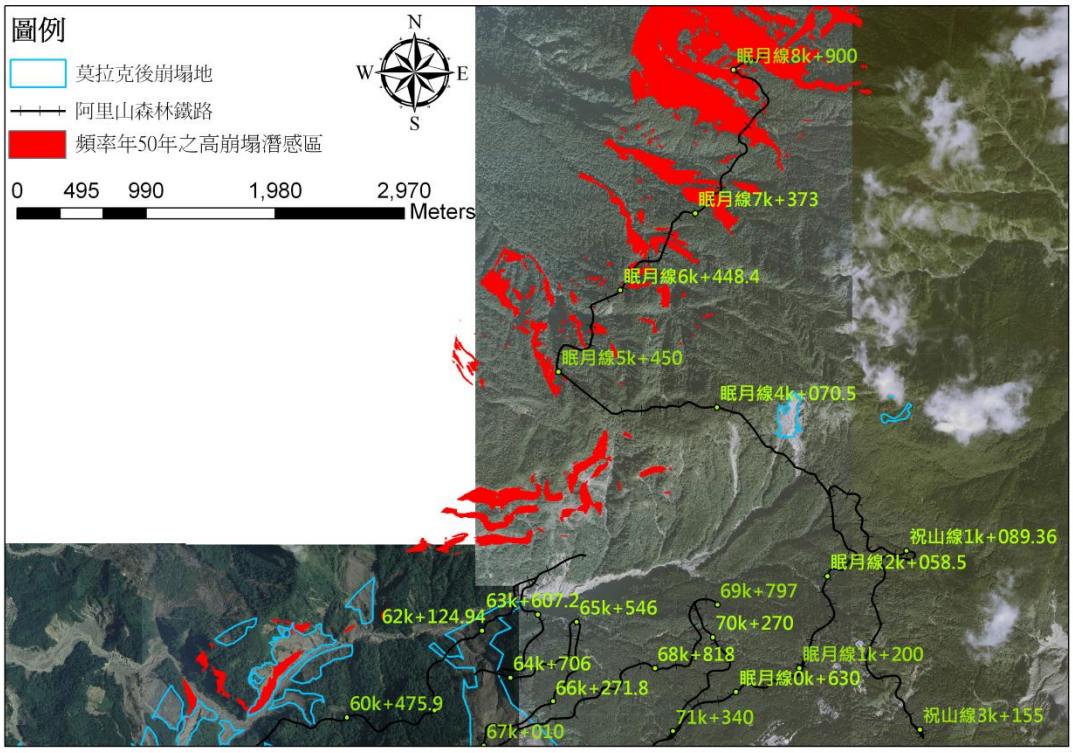


圖 5.24　頻率年 50 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ

雨量頻率年 100 年之高崩塌潛感與航照資料套疊分析比對鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區，如圖 5.25 所示，鐵路里程局部放大圖Ⅰ至Ⅳ，如圖 5.26 至 5.29 所示，將詳細鐵路里程整理如下，並歸納整理如表 5.6 所示。

高崩塌潛勢區鐵路里程：32k+379.8~32k+396.8、34k+397~34k+408、34k+499~34k+526、34k+689~34k+717、34k+754~34k+900、34k+951~34k+979、35k+192~35k+203、35k+498~35k+551、35k+596~35k+615、35k+737~35k+822、35k+944~35k+972、36k+81~36k+131、36k+182~38k+251.7、38k+463.7~38k+503.7、38k+802.7~38k+826.7、38k+843.7~38k+935.7、38k+991.7~39k+47.7、39k+95.2~39k+388.2、39k+409.2~39k+534.2、39k+624.2~39k+794.2、40k+185.4~40k+256.1、40k+804.1~40k+820.1、42k+630~42k+684、45k+994~46k+45、46k+159~46k+169、

50k+508.8~50k+604.8、51k+125.8~51k+168.8、51k+206.8~51k+238.8、59k+797.3~59k+827.3 、 59k+873.3~60k+78.3 、 眠 月 線 4k+507.5~4k+571.5 、 眠 月 線 4k+676.5~4k+691.5 、 眠 月 線 5k+172~9k+163。

表 5.6 頻率年 100 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程

公里數	詳細阿里山森林鐵路里程
32k	379.8~396.8
34k	397~408，499~526，689~717，754~900，951~979
35k	192~203，498~551，596~615，737~822，944~972
36k	81~131，182~999.99
37k	0~999.99
38k	0~251.7，463.7~503.7，802.7~826.7 843.7~935.7，991.7~999.99
39k	0~47.7，95.2~388.2，409.2~534.2，624.2~794.2
40k	185.4~256.1，804.1~820.1
42k	630~684
45k	45k+994~999.99
46k	0~45，159~169
50k	508.8~604.8
51k	125.8~168.8，206.8~238.8
59k	797.3~827.3，873.3~999.99
60k	0~78.3
眠月線 4k	507.5~571.5，676.5~691.5
眠月線 5k	172~999.99
眠月線 6k	0~999.99
眠月線 7k	0~999.99
眠月線 8k	0~999.99
眠月線 9k	0~163

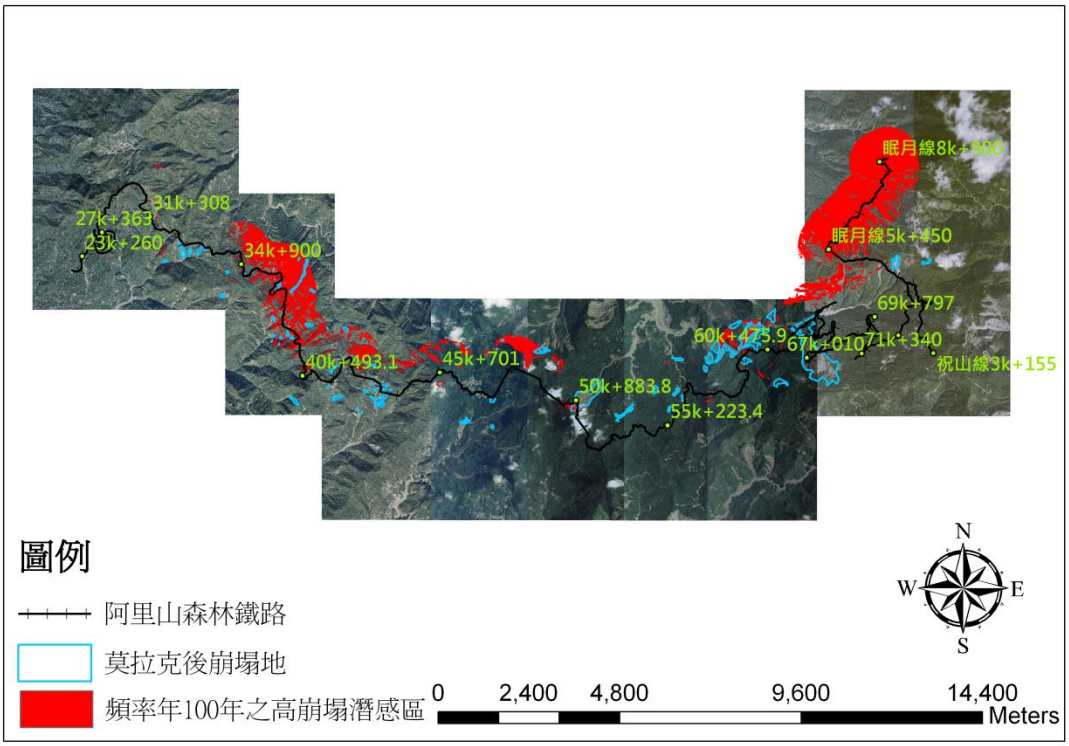


圖 5.25　頻率年 100 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區

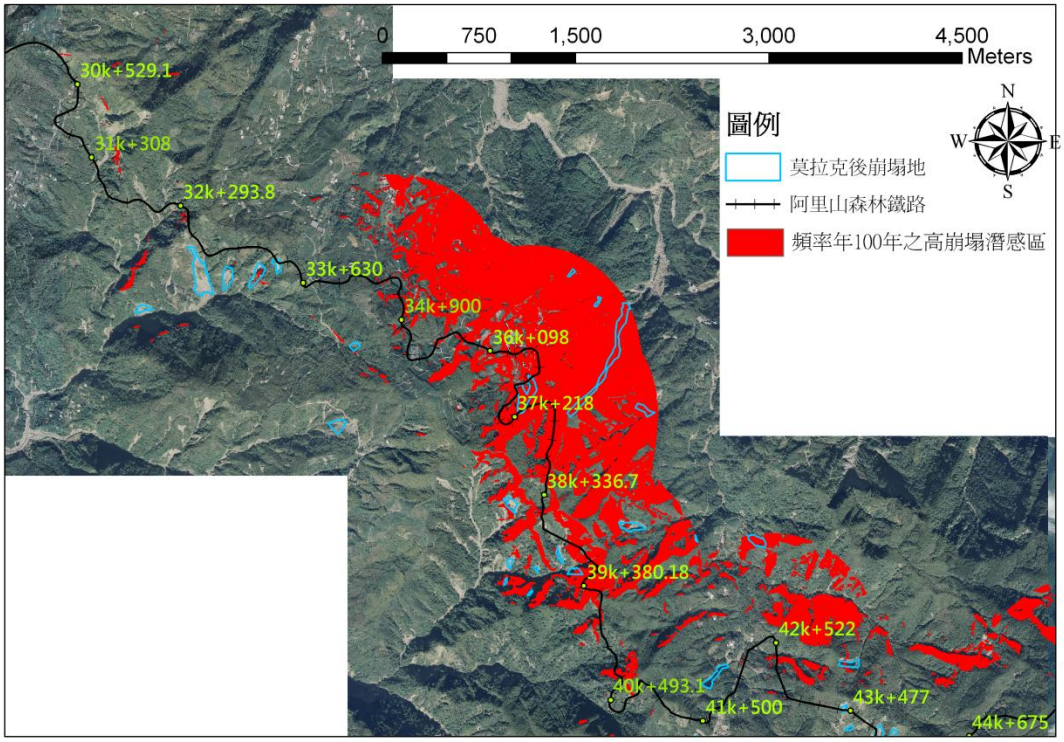


圖 5.26　頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 I

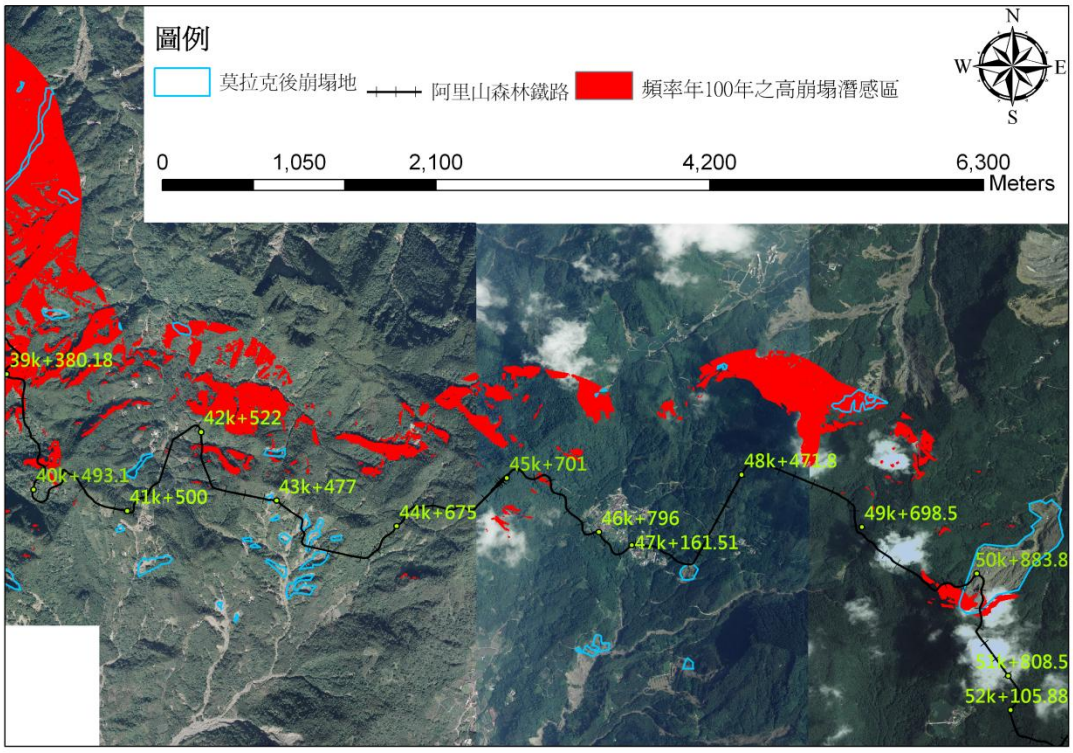


圖 5.27　頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 II

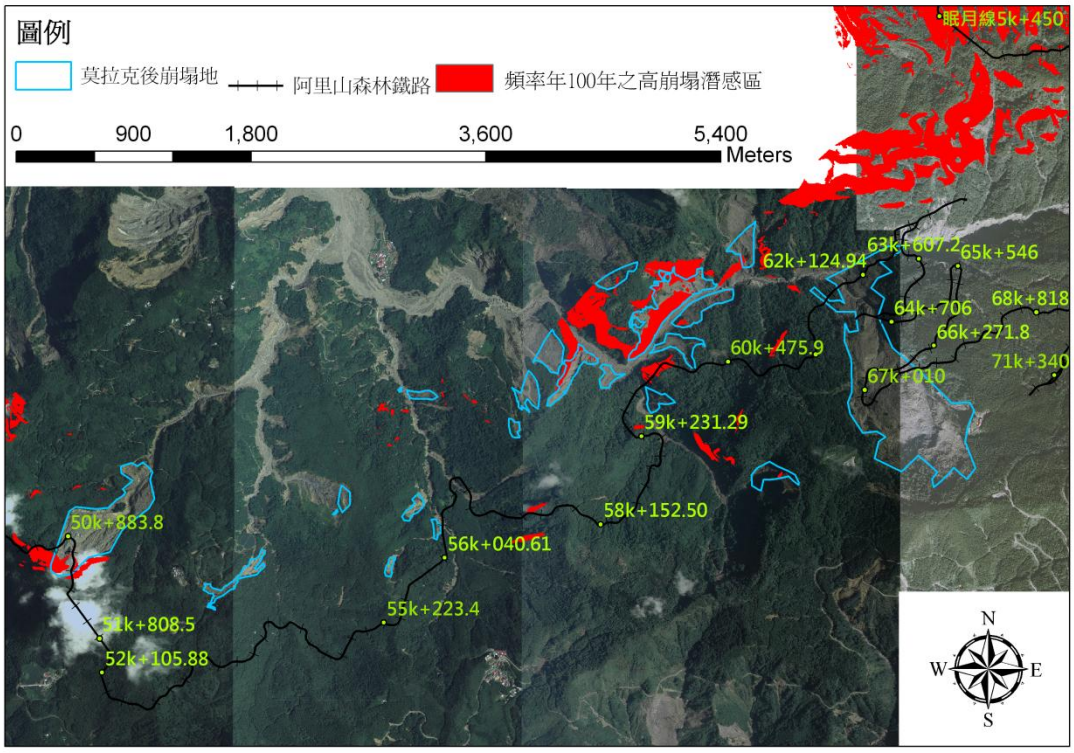


圖 5.28　頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 III

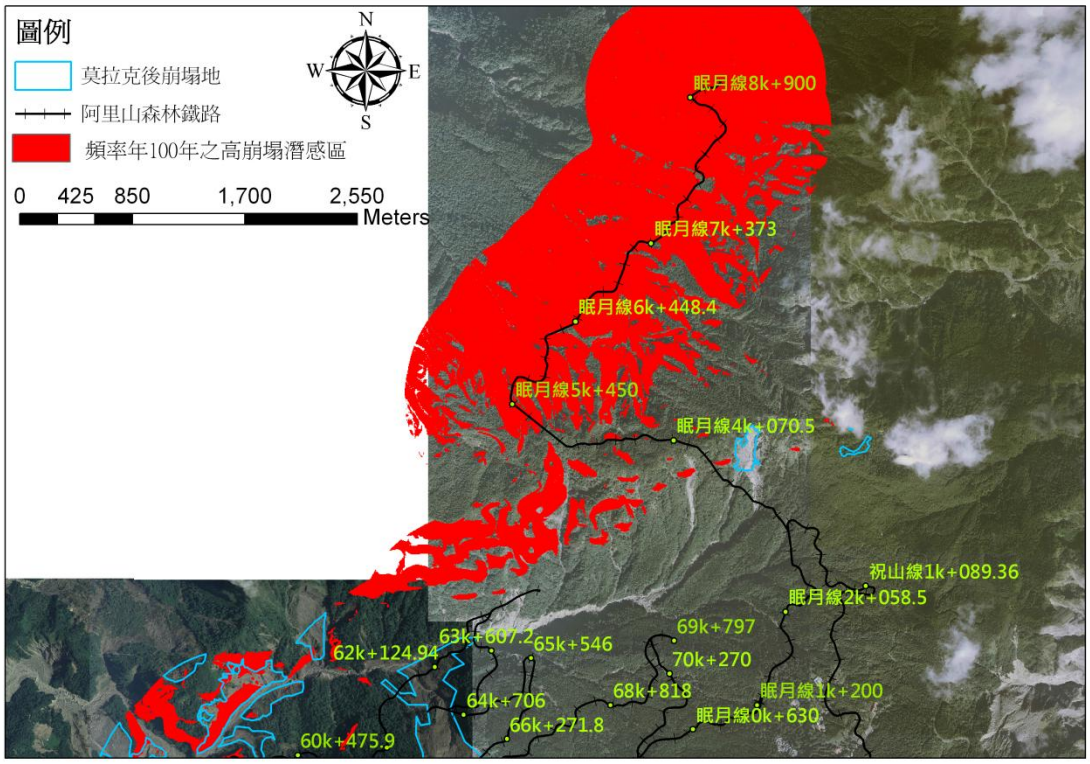


圖 5.29　頻率年 100 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ

雨量頻率年 200 年之高崩塌潛感區與航照資料套疊分析比對鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區，如圖 5.30 所示，鐵路里程局部放大圖Ⅰ至Ⅳ，如圖 5.31 至 5.34 所示，將詳細鐵路里程整理如下，並歸納整理如表 5.7 所示。

高崩塌潛勢區鐵路里程：34k+202~34k+219、34k+268~34k+273、34k+297~34k+316、34k+331~34k+344、34k+391~34k+453、34k+920~35k+123、34k+953~34k+988、35k+78~35k+99、35k+124~35k+151、35k+185~35k+222、35k+281~35k+342、35k+357~35k+401、35k+476~35k+634、35k+750~38k+292.7、38k+446.7~38k+516.7、38k+534.7~38k+557.7、38k+794.2~39k+535.2、39k+613.2~39k+792.2、40k+182.1~40k+288.1、40k+804.1~40k+827.1、

42k+504~42k+540 、 42k+620~42k+710 、 42k+722~42k+732 、 42k+940~42k+964 、 42k+980~42k+997 、 43k+676~43k+684 、 45k+988~46k+041 、 46k+147~46k+168 、 50k+565.8~51k+521.8 、 51k+126.8~51k+172.8、51k+206.8~51k+238.8、57k+535.5~57k+495.5、 59k+804.29~59k+821.29 、 59k+875.29~60k+58.29 、 眠 月 線 4k+538.5~4k+583.5、眠月線 5k+184~眠 5k+533、眠月線 5k+604~眠 6k+107、眠月線 6k+143~ 6k+251、眠月線 6k+332~ 6k+342、眠月線 6k+409.4~ 7k+153.4、眠月線 7k+234.4~ 7k+313.4、眠月線 7k+426~ 7k+979、眠月線 8k+038~ 9k+166。

表 5.7　頻率年 200 年高崩塌潛勢區之詳細鐵路里程

公里數	詳細阿里山森林鐵路里程
34k	202~219，268~273，297~316，331~344，391~453，953~988 920~999.99
35k	0~123，78~99，124~151，185~222，281~342，357~401 476~634，750~999.99
36k	0~999.99
37k	0~999.100
38k	0~292.7，446.7~516.7，534.7~557.7，794.2~999.99
39k	0~35.2，613.2~792.2
40k	182.1~288.1，804.1~827.1
42k	504~540，620~710，722~732，940~964，980~997
43k	676~684
45k	988~999.99
46k	0~041，147~168
50k	565.8~999.99
51k	0~521.8，126.8~172.8，206.8~238.8
57k	495.5~535.5
59k	804.29~821.29，875.29~999.99
60k	0~58.29
眠月線 4k	538.5~583.5
眠月線 5k	184~533，604~999.99
眠月線 6k	0~107，143~251，332~342，409.4~999.99
眠月線 7k	0~153.4，234.4~313.4，426~979
眠月線 8k	038~999.99
眠月線 9k	0~166

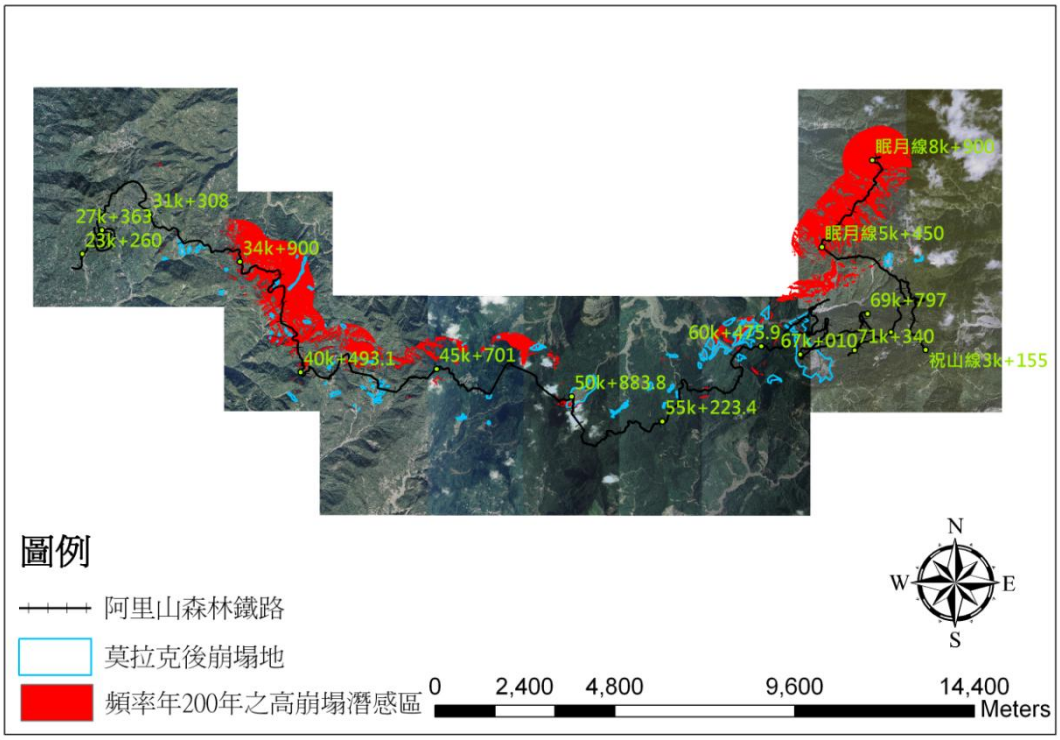


圖 5.30　頻率年 200 年鄰近阿里山森林鐵路之高崩塌潛勢區

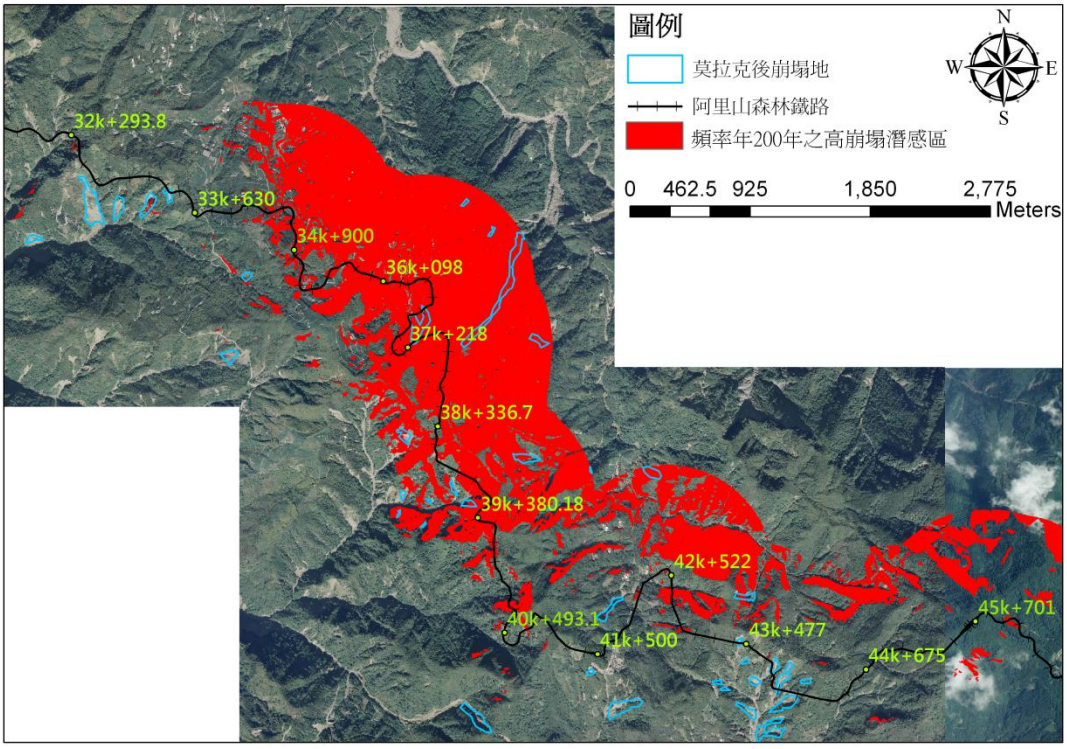


圖 5.31　頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 I

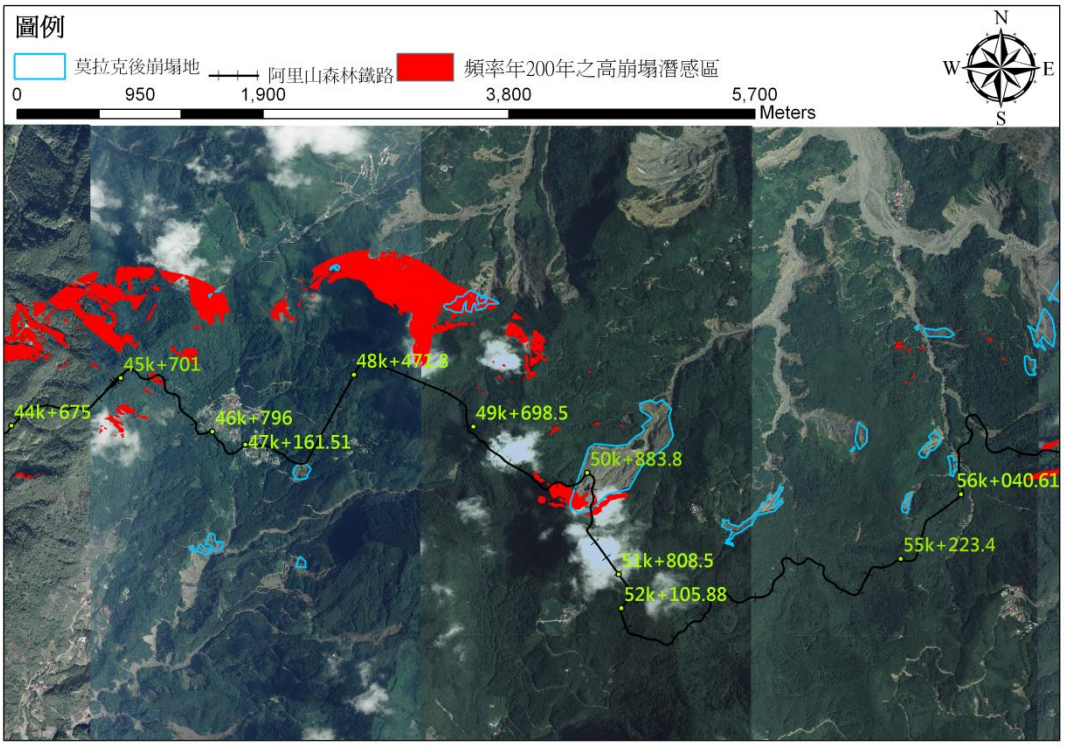


圖 5.32　頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 II

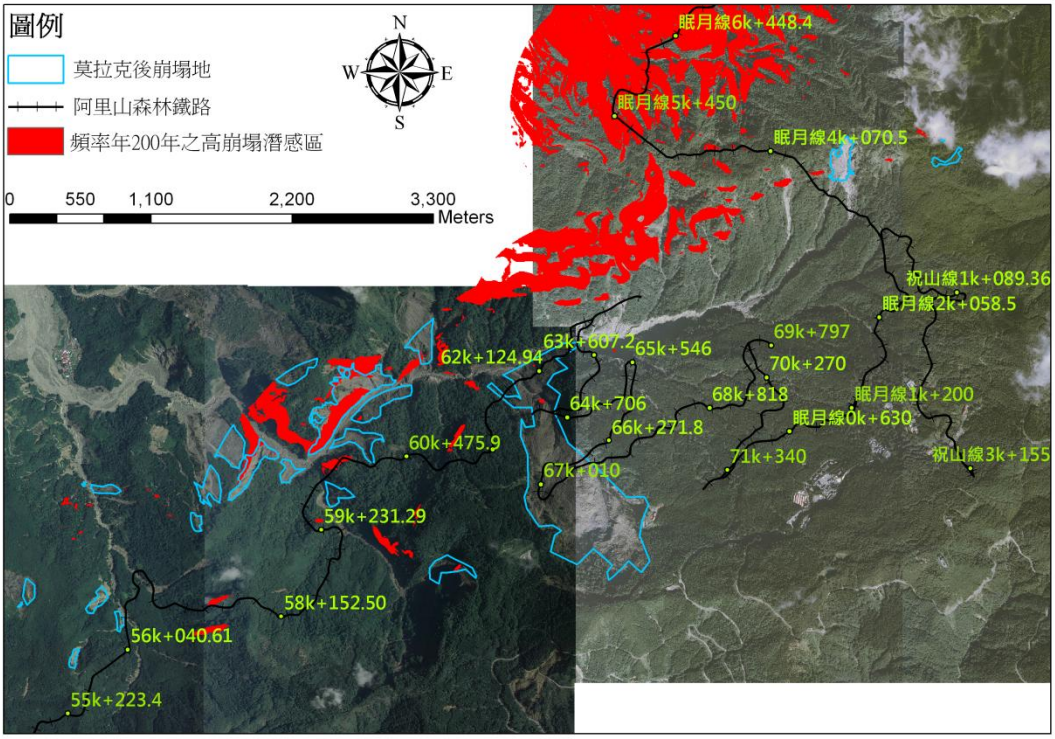


圖 5.33　頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖 III

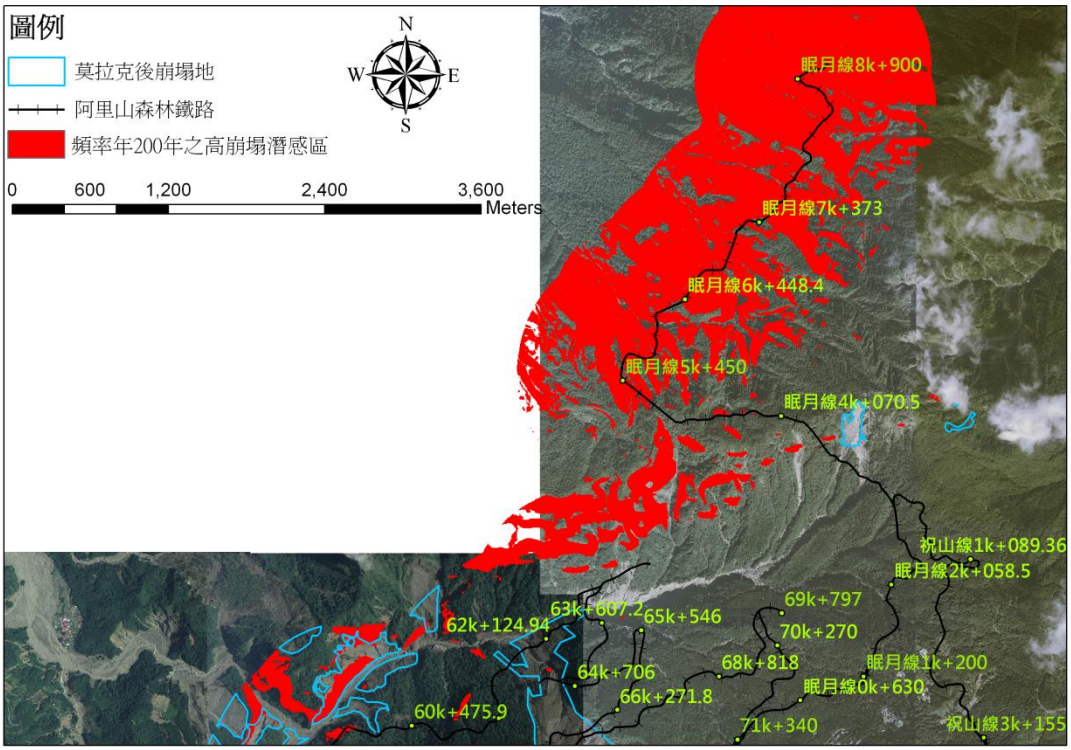


圖 5.34　頻率年 200 年高崩塌潛勢區之局部放大圖Ⅳ

5.2 不同降雨條件下阿里山森林鐵路土石流潛勢區邊坡崩塌機率模擬結果

鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流包括：嘉縣 DF020、嘉縣 DF021、嘉縣 DF023、嘉縣 DF026、嘉縣 DF012、嘉縣 DF013、嘉縣 DF043、嘉縣 DF040 及嘉縣 DF03，如圖 5.35 所示；並將詳細的土石流潛勢溪流資料彙整如表 5.8 所示。不同降雨條件下，阿里山森林鐵路沿線土石流潛勢區邊坡崩塌機率模擬評估，其結果及詳細高崩塌潛勢區之鐵路里程，已詳述於上節，本節根據邊坡崩塌機率模擬結果，彙整不同頻率年下高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流，茲分述如下：

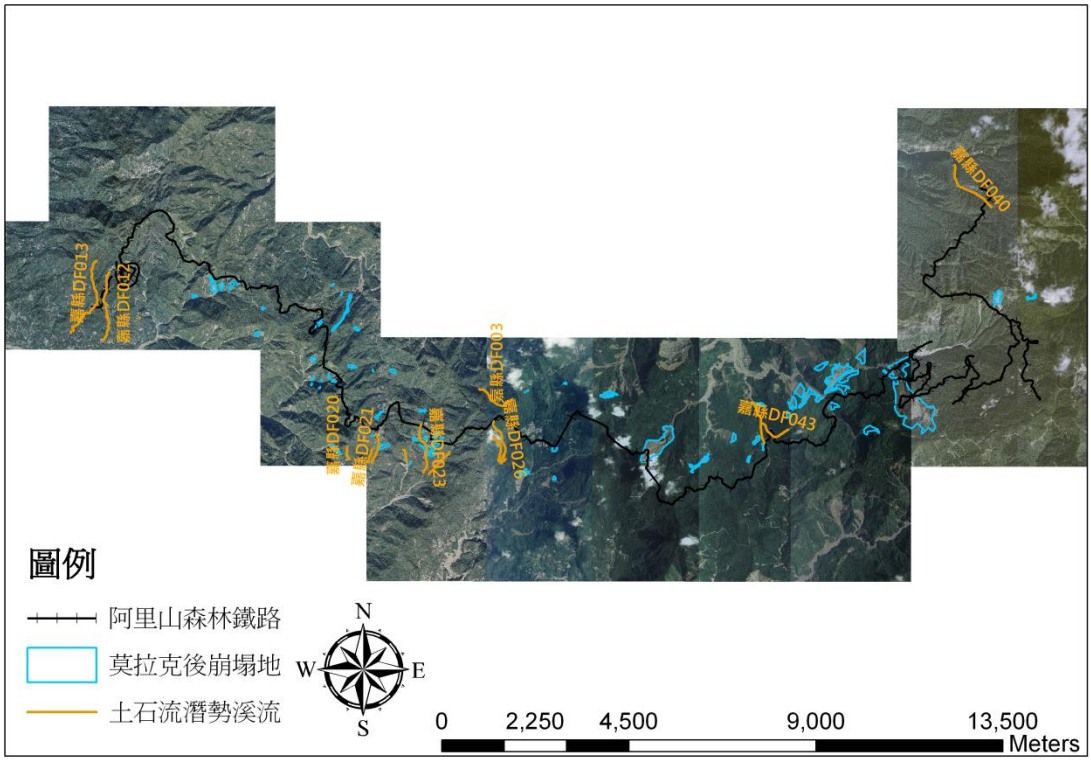


圖 5.35　鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

表 5.8　鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流資料

縣市	鄉鎮	村里	水系	土石流潛勢溪流
嘉義縣	竹崎鄉	緞繻村	大庭	嘉縣 DF013
嘉義縣	竹崎鄉	緞繻村	科尾野溪	嘉縣 DF012
嘉義縣	竹崎鄉	光華村	八掌溪支流	嘉縣 DF020
嘉義縣	竹崎鄉	光華村	八掌溪支流	嘉縣 DF021
嘉義縣	竹崎鄉	光華村	八掌溪支流	嘉縣 DF023
嘉義縣	竹崎鄉	光華村	八掌溪支流	嘉縣 DF026
嘉義縣	梅山鄉	瑞里村	清水溪支流	嘉縣 DF003
嘉義縣	阿里山鄉	來吉村	阿里山溪支流	嘉縣 DF043
嘉義縣	阿里山鄉	豐山村	豐山溪	嘉縣 DF040

雨量頻率年 2 年之高崩塌潛勢區模擬結果，結合土石流潛勢溪流，如圖 5.36 所示，顯示高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流由左至右包括：嘉縣 DF020、嘉縣 DF021、嘉縣 DF023、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003、嘉縣 DF043 及嘉縣 DF040。

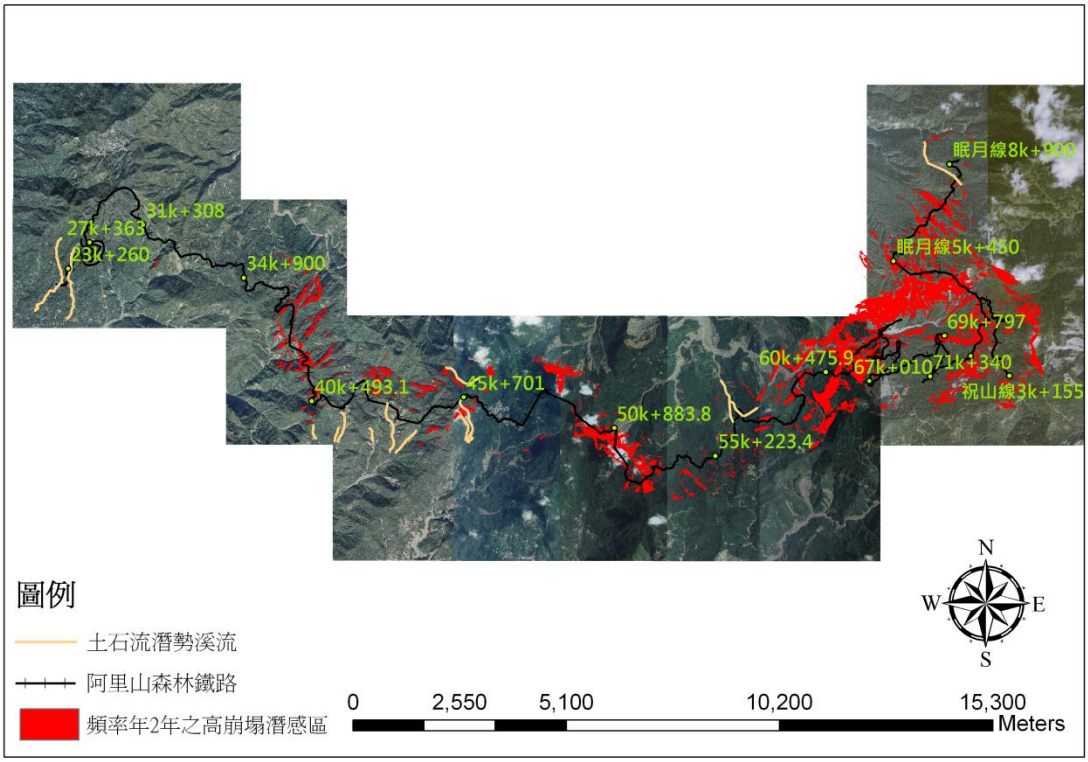


圖 5.36　頻率年 2 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

雨量頻率年 5 年之高崩塌潛勢區模擬結果，結合土石流潛勢溪流，如圖 5.37 所示，顯示高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流由左至右包括：嘉縣 DF013、嘉縣 DF012、嘉縣 DF020、嘉縣 DF021、嘉縣 DF023、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040。

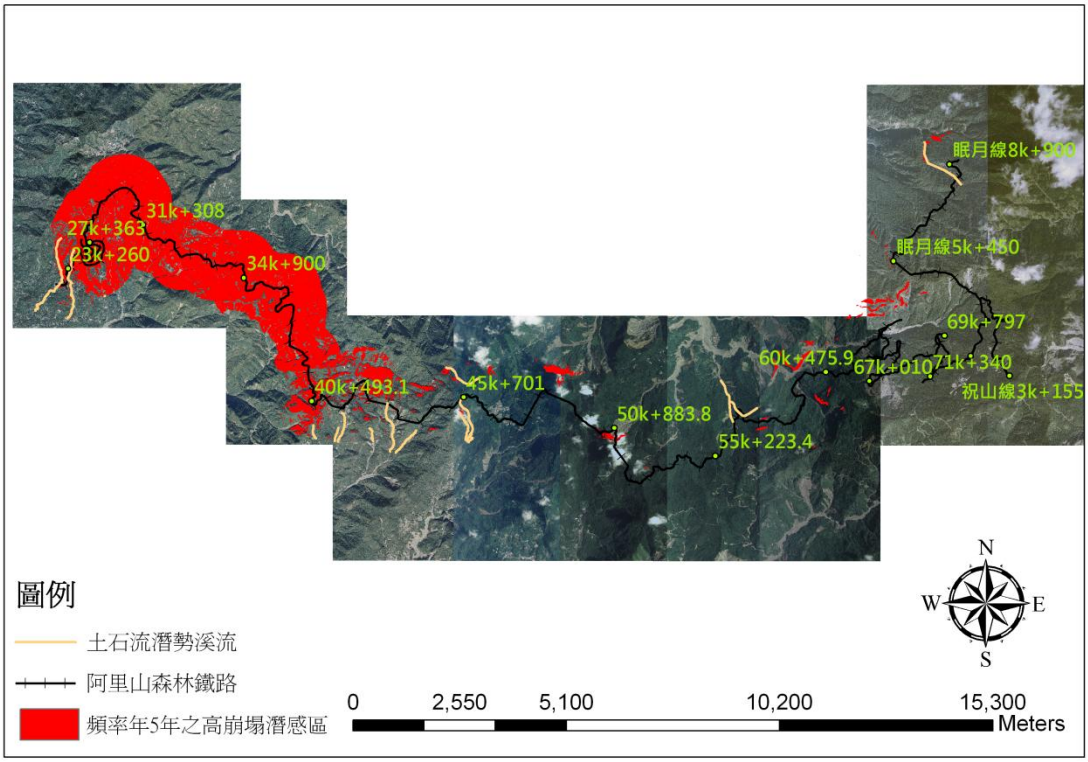


圖 5.37　頻率年 5 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

雨量頻率年 10 年之高崩塌潛勢區模擬結果，結合土石流潛勢溪流，如圖 5.38 所示，顯示高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流由左至右包括：嘉縣 DF013、嘉縣 DF012、嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040。

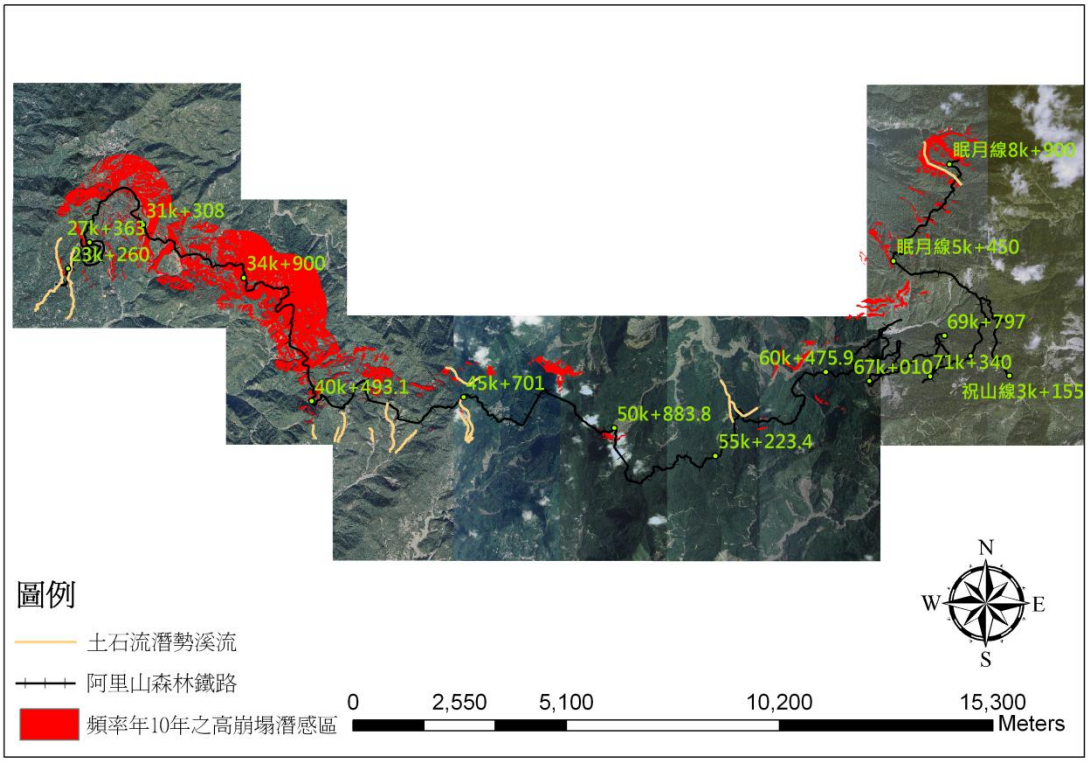


圖 5.38　頻率年 10 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

雨量頻率年 25 年之高崩塌潛勢區模擬結果，結合土石流潛勢溪流，如圖 5.39 所示，顯示高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流由左至右包括：嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040。

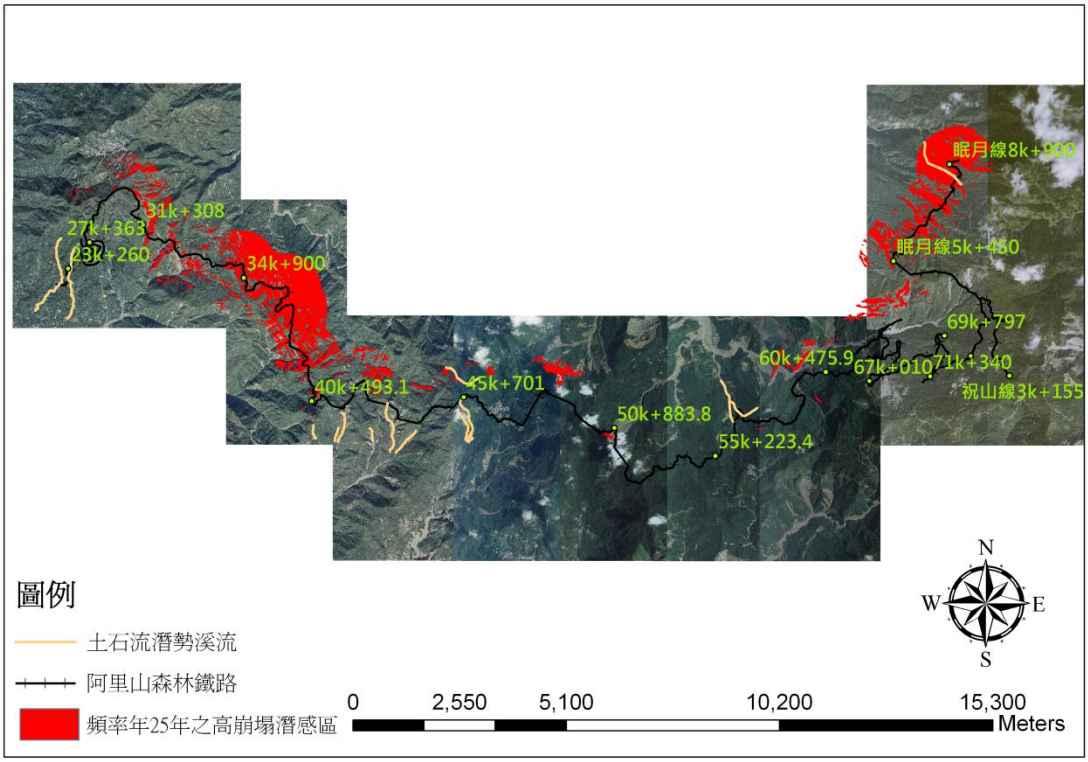


圖 5.39　頻率年 25 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

雨量頻率年 50 年之高崩塌潛勢區模擬結果，結合土石流潛勢溪流，如圖 5.40 所示，顯示高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流由左至右包括：嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040。

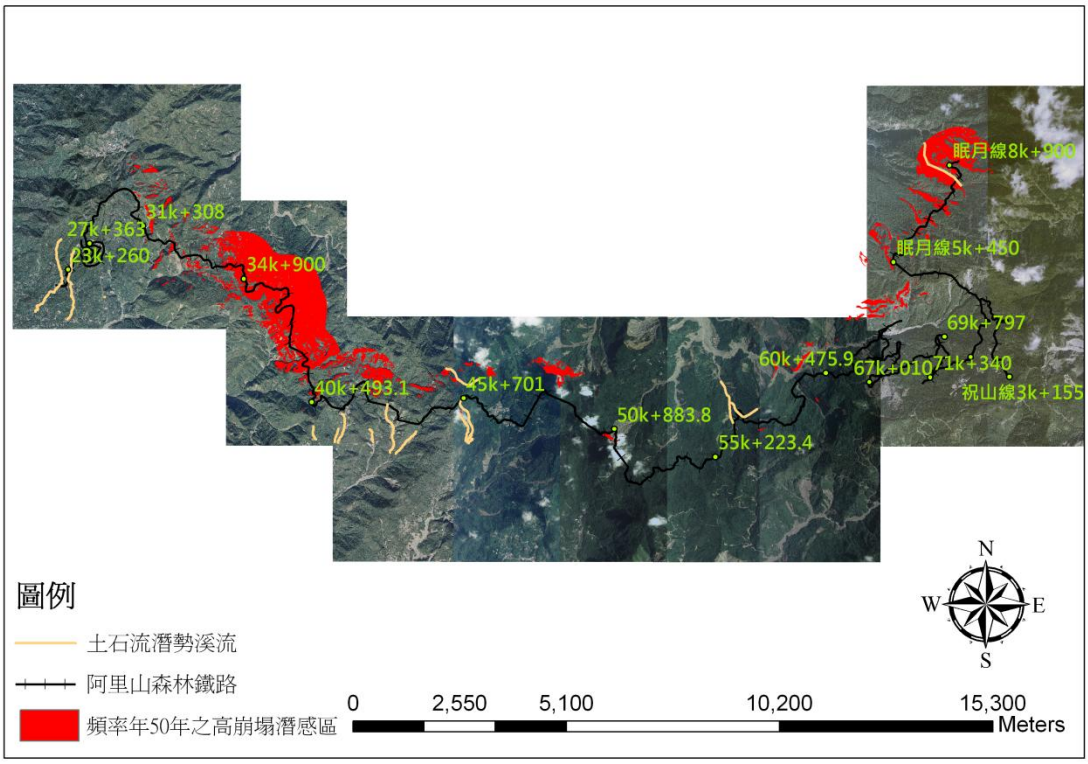


圖 5.40　頻率年 50 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

雨量頻率年 100 年之高崩塌潛勢區模擬結果，結合土石流潛勢溪流，如圖 5.41 所示，顯示高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流由左至右包括：嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003、嘉縣 DF043 及嘉縣 DF040。

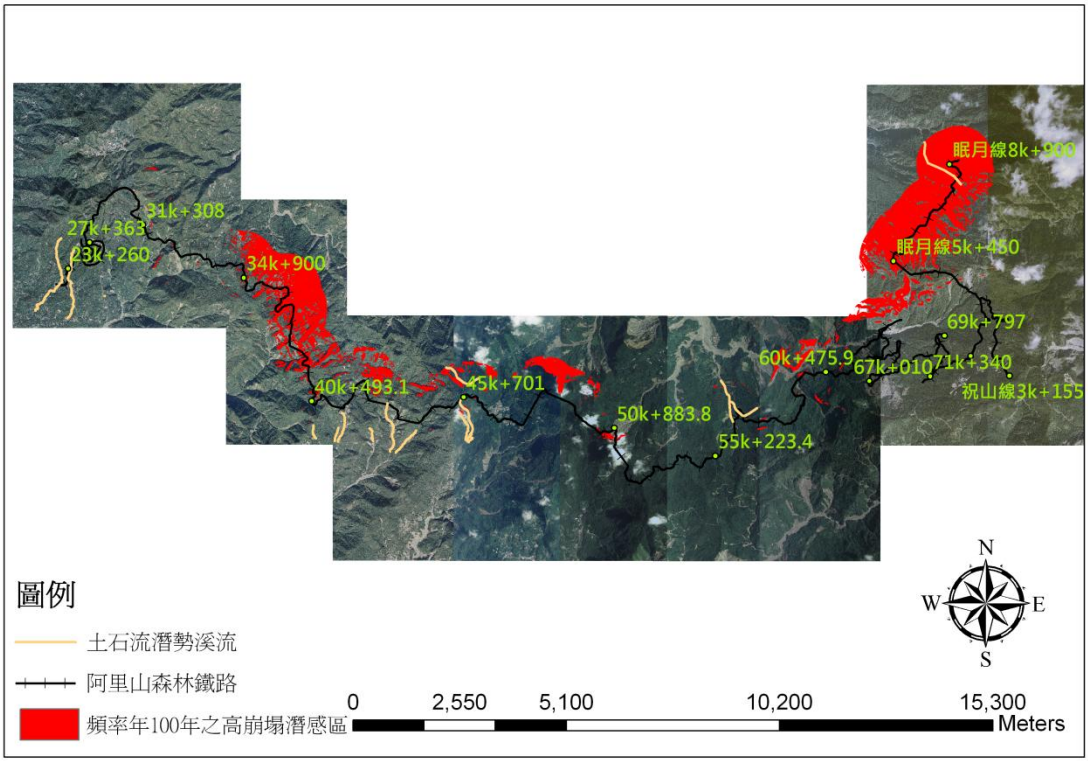


圖 5.41　頻率年 100 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

雨量頻率年 200 年之高崩塌潛勢區模擬結果，結合土石流潛勢溪流，如圖 5.42 所示，顯示高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流由左至右包括：嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003、嘉縣 DF043 及嘉縣 DF040。

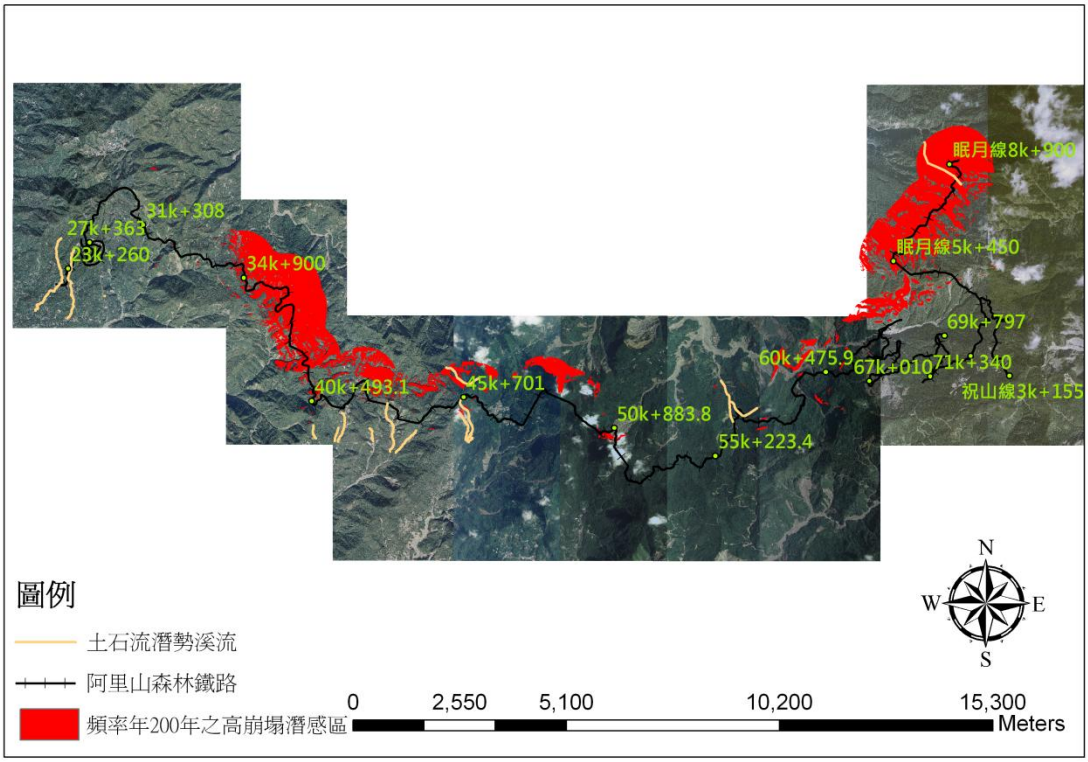


圖 5.42　頻率年 200 年鄰近阿里山森林鐵路之土石流潛勢溪流

第六章　降雨特性對鐵路 23 公里與二萬坪邊坡崩塌之影響

6.1 降雨特性對鐵路 23 公里處邊坡崩塌之影響

23 公里附近處屬於土石流潛勢溪流，分別為嘉縣 DF012 及嘉縣 DF013，如圖 6.1 所示，其平均坡度分別為 8.09 及 9.21 度，平均坡向均屬於南向坡，平均高程分別約為 413.6 及 416.2 公尺，地層方面屬於三峽群，岩性以砂岩及頁岩為主。為探討不同降雨特性對邊坡崩塌之影響，以不同重現期距之時雨量與三日雨量帶入模式中，求得二萬坪崩塌地與不同降雨特性之影響，茲分述如下：

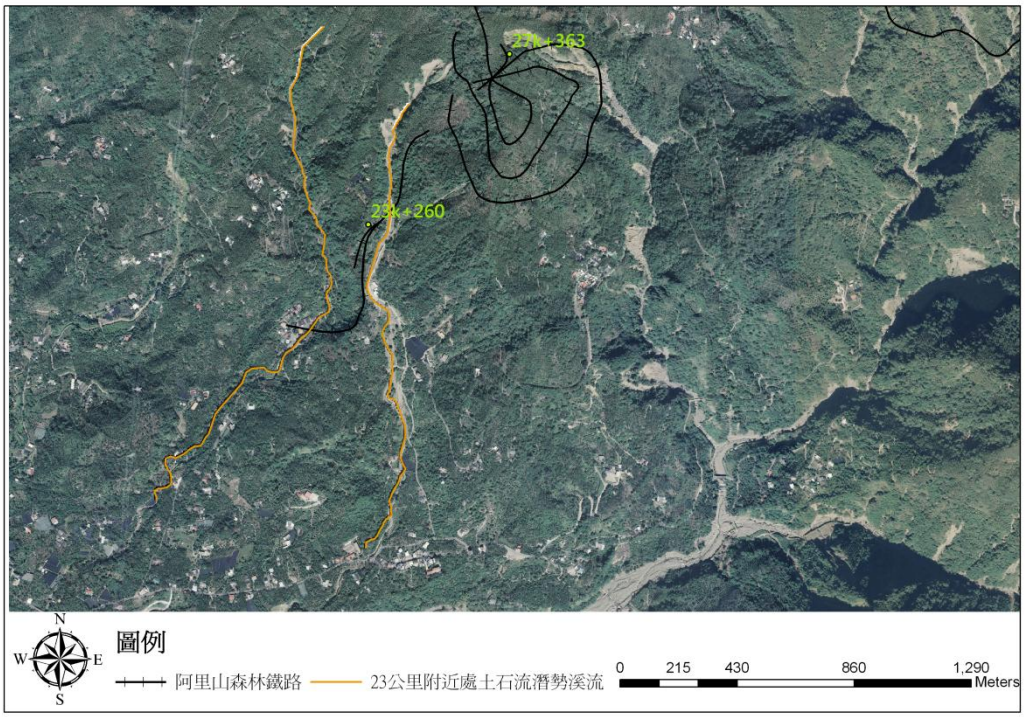


圖 6.1　23 公里附近處屬於土石流潛勢溪流

當 2 年頻率年之時雨量介於 57~65mm/hr 及三日雨量範圍介於 366~380mm 時，23 公里附近兩處之土石流潛勢溪流並無位於高崩塌潛感區，如圖 6.2 所示。

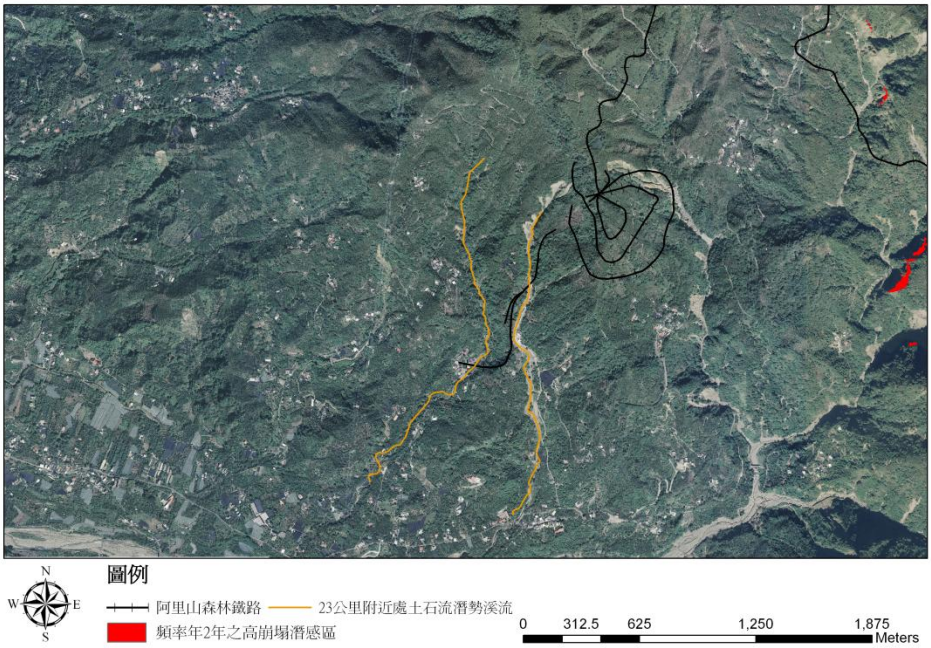


圖 6.2　頻率年 2 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區

當 5 年頻率年之時雨量介於 77~83mm/hr 及三日雨量範圍介於 623~671mm 時，23 公里附近兩處之土石流潛勢溪均位於高崩塌潛感區，如圖 6.3 所示。

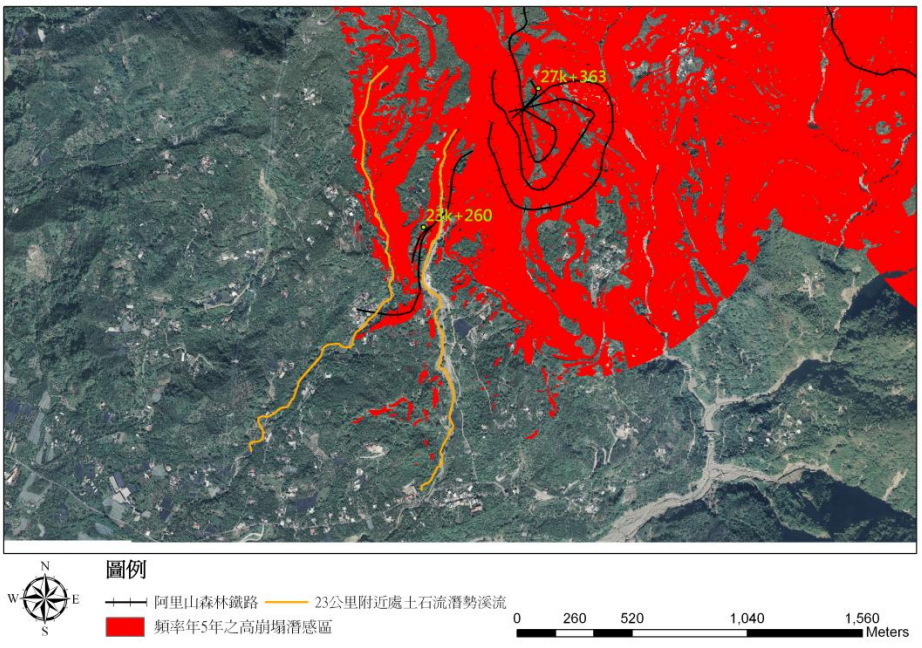


圖 6.3　頻率年 5 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區

當 10 年頻率年之時雨量介於 88~99mm/hr 及三日雨量範圍介於 856~891mm 時，23 公里附近兩處之土石流潛勢溪，左側之嘉縣 DF013 北部位於高崩塌潛感區，如圖 6.4 所示。

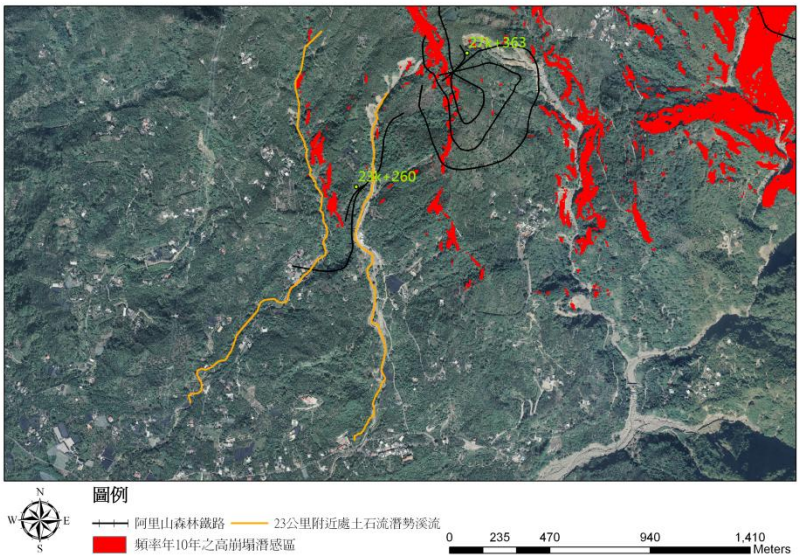


圖 6.4　頻率年 10 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區

當 25 年頻率年之時雨量介於 90~113mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,165~1,251mm 時，23 公里附近兩處之土石流潛勢溪流並無位於高崩塌潛感區，如圖 6.5 所示。

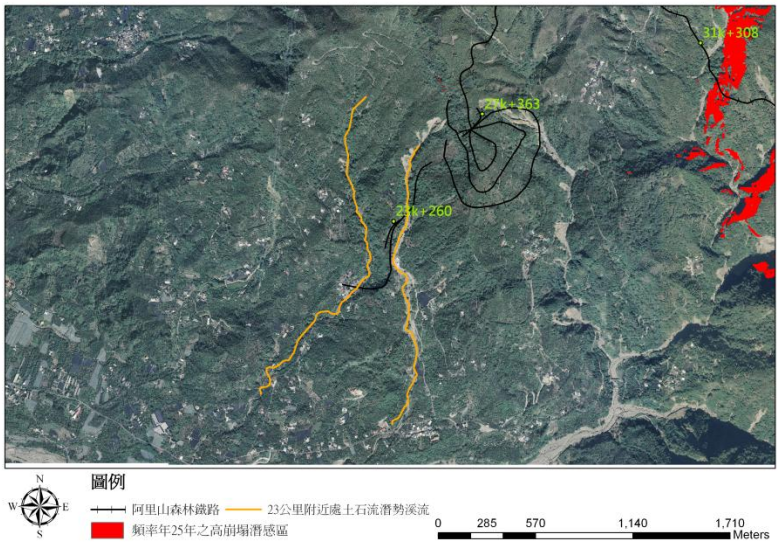


圖 6.5　頻率年 25 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區

當 50 年頻率年之時雨量介於 100~130mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,445~1,494mm 時，23 公里附近兩處之土石流潛勢溪流並無位於高崩塌潛感區，如圖 6.6 所示。

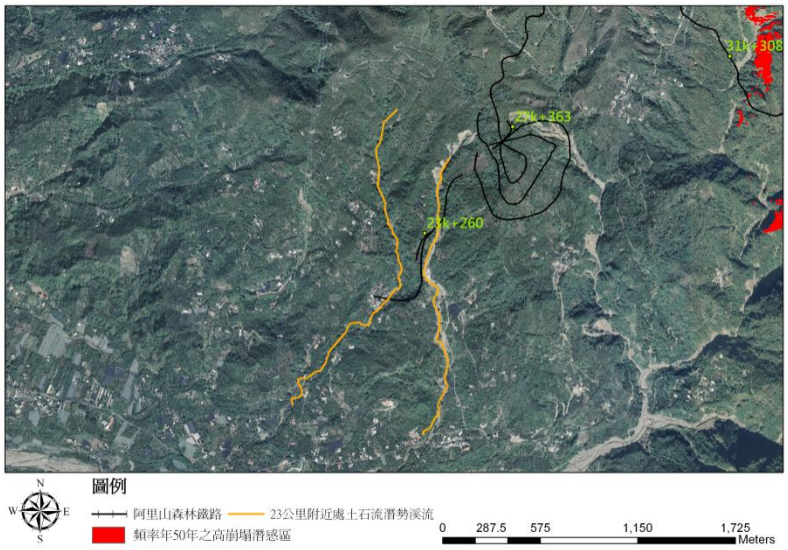


圖 6.6　頻率年 50 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區

當 100 年頻率年之時雨量介於 109~146mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,741~1,803mm 時，23 公里附近兩處之土石流潛勢溪流並無位於高崩塌潛感區，如圖 6.7 所示。

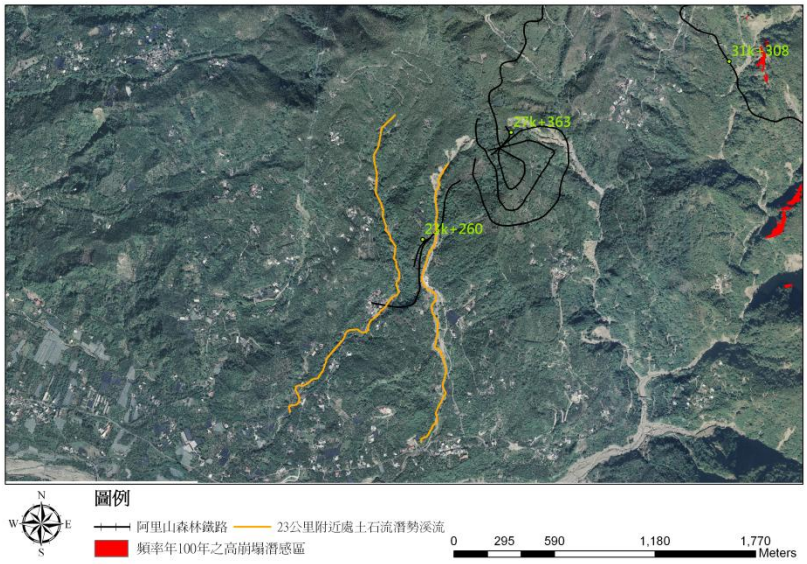


圖 6.7　頻率年 100 年 23 公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區

當200年頻率年之時雨量介於89.8~137mm/hr及三日雨量範圍介於2,051~2,137mm時，23公里附近兩處之土石流潛勢溪流並無位於高崩塌潛感區，如圖6.8所示。

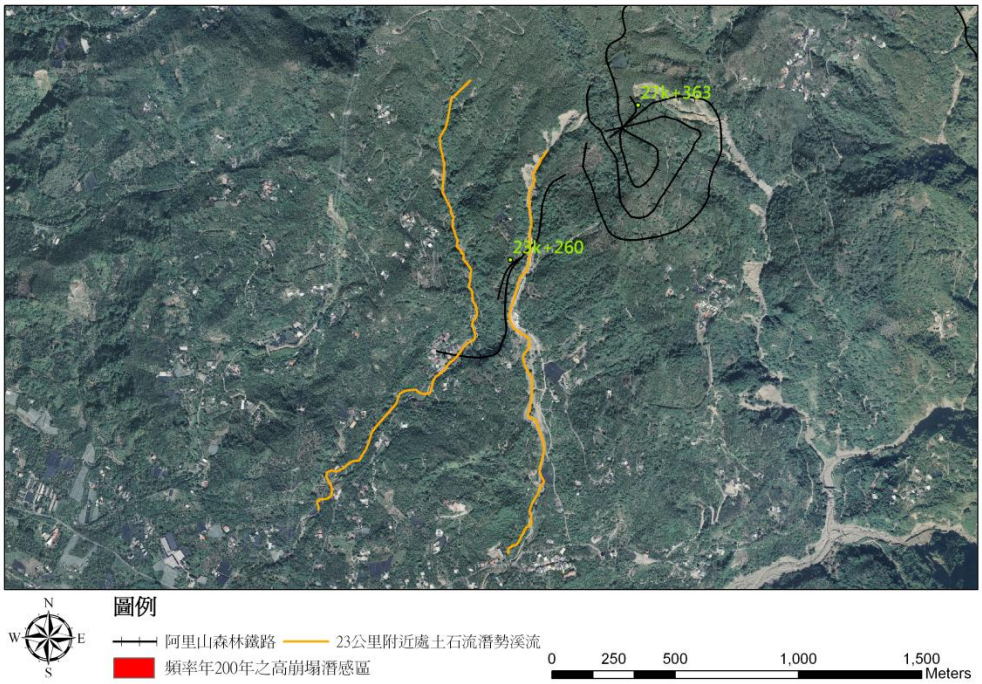


圖 6.8　頻率年200年23公里附近處土石流潛勢溪流之高崩塌潛感區

6.2 降雨特性對鐵路二萬坪處邊坡崩塌之影響

二萬坪崩塌地位於屏遮那車站與二萬坪車站之間，為阿里山溪上游，如圖6.9所示，崩塌面積高達87.5公頃，其平均坡度為23度，平均坡向屬於北向坡，平均高程約為1703公尺，地層方面屬於三峽群，岩性以砂岩及頁岩為主。為探討不同降雨特性對邊坡崩塌之影響，以不同重現期距之時雨量與三日雨量帶入模式中，求得二萬坪崩塌地與不同降雨特性之影響，茲分述如下：

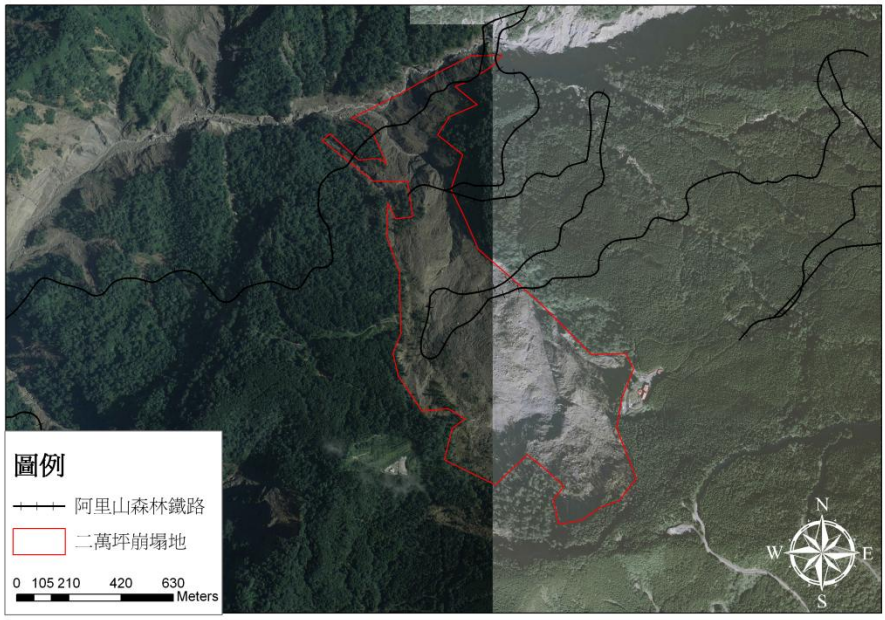


圖 6.9　森林鐵路災害區之二萬坪崩塌地

當 2 年頻率年之時雨量介於 62~69mm/hr 及三日雨量範圍介於 442~453.9mm 時，二萬坪崩塌地內北部幾乎都屬於高崩塌潛勢區，崩塌地內中部及南部有少數幾處屬於高崩塌潛勢區，如圖 6.10 所示。

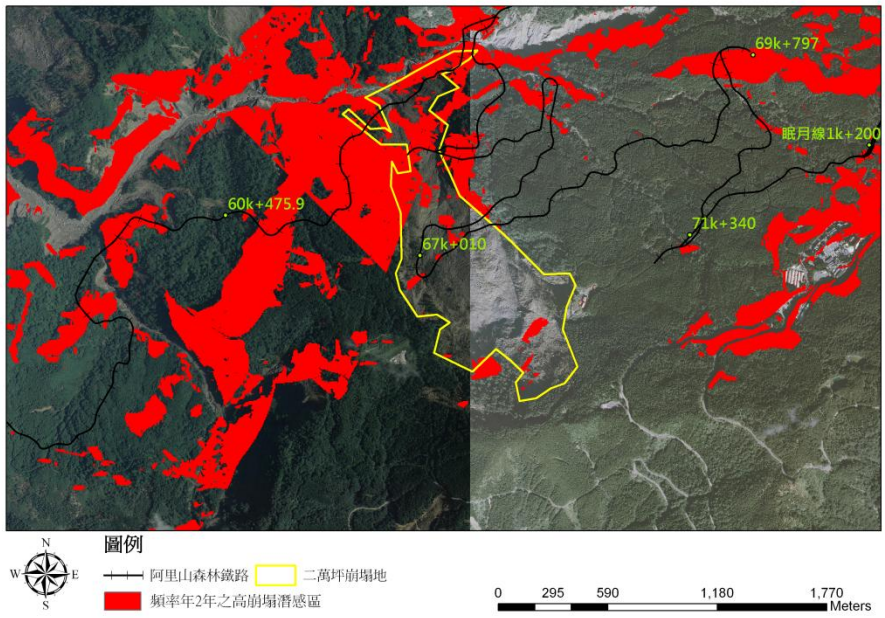


圖 6.10　頻率年 2 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區

當 5 年頻率年之時雨量介於 92~98mm/hr 及三日雨量範圍介於 791~814.3mm 時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，崩塌地內亦不屬於高崩塌潛勢區，如圖 6.11 所示。

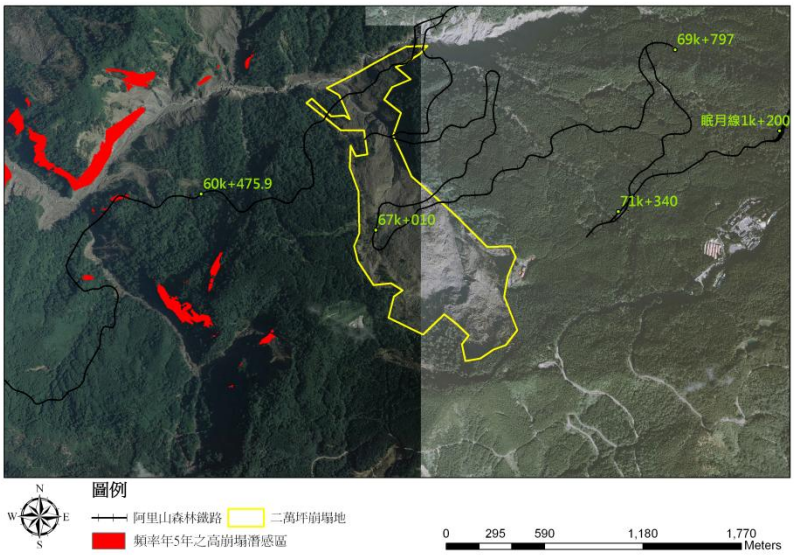


圖 6.11　頻率年 5 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區

當 10 年頻率年之時雨量介於 117~127mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,033~1,068mm 時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，崩塌地內亦不屬於高崩塌潛勢區，如圖 6.12 所示。

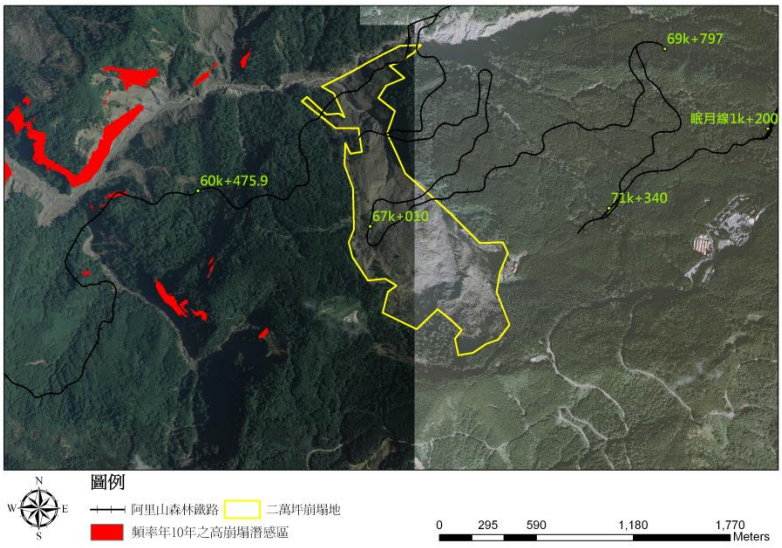


圖 6.12　頻率年 10 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區

當 25 年頻率年之時雨量介於 140~171mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,297~1,392.51mm 時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，崩塌地內亦不屬於高崩塌潛勢區，如圖 6.13 所示。

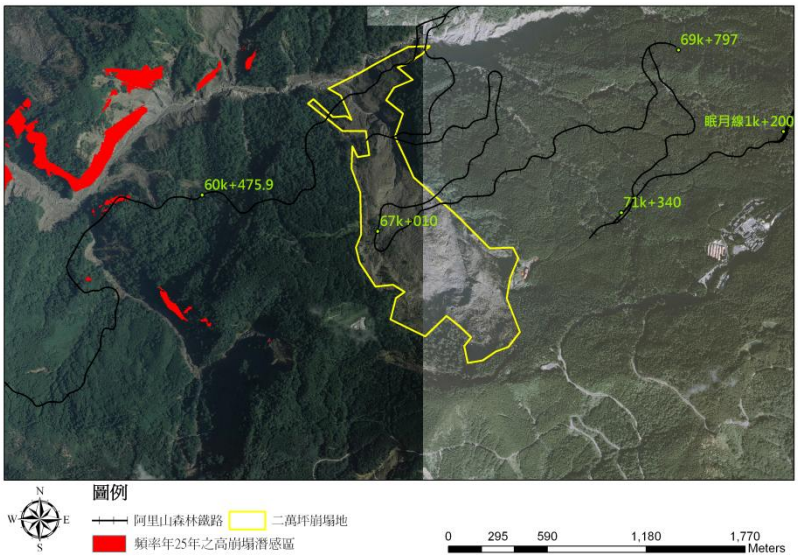


圖 6.13　頻率年 25 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區

當 50 年頻率年之時雨量介於 159~185mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,494~1,605mm 時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，崩塌地內亦不屬於高崩塌潛勢區，如圖 6.14 所示。

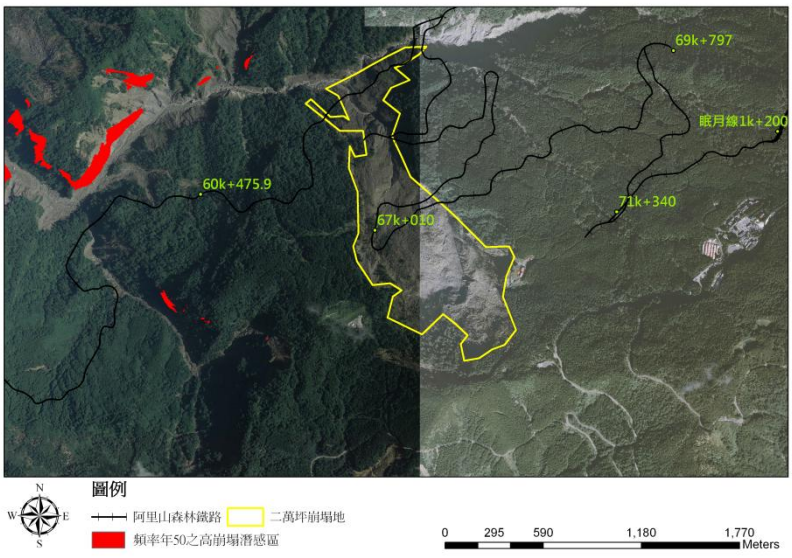


圖 6.14　頻率年 50 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區

當 100 年頻率年之時雨量介於 177~236mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,680~1,803mm 時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，崩塌地內僅有一小處屬於高崩塌潛勢區，如圖 6.15 所示。

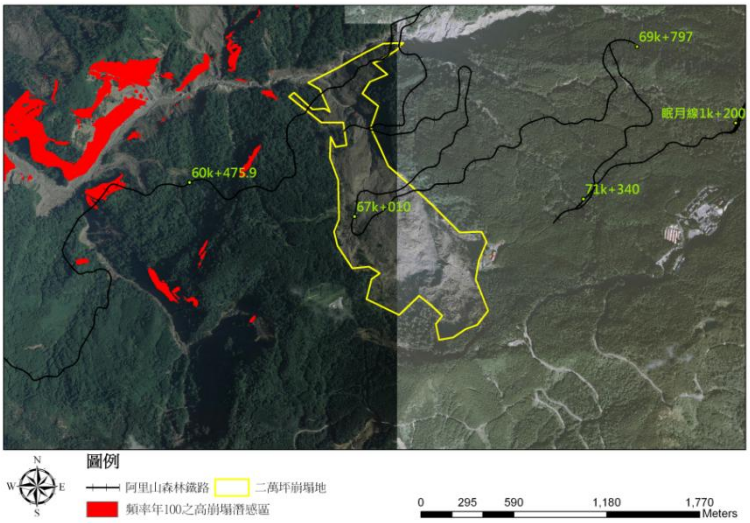


圖 6.15　頻率年 100 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區

當 200 年頻率年之時雨量介於 186~271mm/hr 及三日雨量範圍介於 1,893~2,051mm 時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，崩塌地內僅二處屬於高崩塌潛勢區，如圖 6.16 所示。

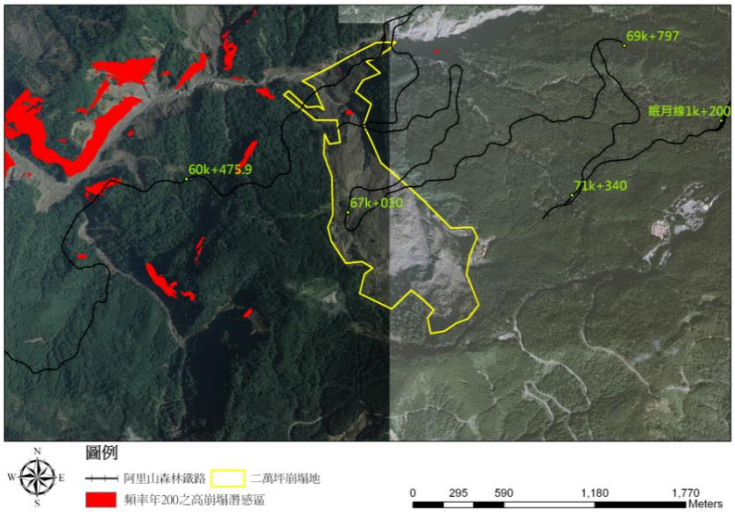


圖 6.16　頻率年 200 年二萬坪崩塌地之高崩塌潛感區

第七章　結論與建議

7.1 結論

本研究以阿里山森林鐵路沿線邊坡作為研究對象,利用降雨因素為代表,針對豪雨與崩塌之關係進行探究,藉由收集近年阿里山森林鐵路邊坡坍方災害修復記錄及降雨資料,探討降雨與鐵路邊坡崩塌的關係,分析不同降雨參數對研究區崩塌的影響,以降雨與鐵路邊坡崩塌發生與否的關係,建立山崩潛感模式,預測高崩塌潛感區。茲就本計畫完成的各項工作項目摘錄重要結論,具體成果說明如下:

一、基本資料收集

蒐集與彙整研究區內之歷年來之降雨、阿里山森林鐵路災修紀錄、土地利用型態、土地權屬、地文、人文、水文、地質土壤等資料之蒐集等八大項資料。綜合雨量與歷年災害修復紀錄發現,阿里山鐵路崩坍地處理、邊坡坍方修復與邊坡穩定等災害修護工程佔有相當大之工程數量,這一些災害修護工程進行之時間點又集中於颱風豪雨發生後之期間,顯示本地區易因豪雨而致災;區內地質又以南莊層分佈較廣,南莊層屬砂岩和頁岩之互層,砂頁岩互層部分,砂岩較抗風化,易沿砂頁岩交界面之層理弱化,若配合節理發育,則易形成岩楔,造成崩塌。

二、歷年崩塌資料彙整與分析

分析莫拉克颱風、敏督利颱風及桃芝颱風等三場颱風崩塌區域特性,三場中以莫拉克颱風為歷年來造成阿里山森林鐵路沿線總崩塌面積最高者。颱風豪雨造成之崩塌於阿里山森林鐵路沿線崩塌地大多發生於 4 級坡以上,以 4 級坡居多,亦即 4 級坡在本區發生崩塌的可能性較高;以坡向而言,阿里山森林

鐵路沿線以北向坡、西北向坡及西向坡發生崩塌的可能性較高；高程分析結果顯示，阿里山森林鐵路沿線之崩塌與高程分佈之關聯性似乎不高。

三、降雨崩塌情境模擬及潛勢評估

以岩性、坡度、坡向、地形粗糙度、最大時雨量與總雨量為崩塌因子，建立羅吉斯迴歸之山崩潛感分析模式，以莫拉克颱風崩塌資料，完成模式之檢定驗證工作，山崩組判釋正確率約為78.5%，非山崩組正確率則為72.5%，總體平均亦有75.5%，羅吉斯迴歸之山崩潛感分析模式可合理預測計畫區莫拉克颱風誘發之山崩；山崩潛感分析模式所採用之崩塌因子以岩性、坡度、坡向、總雨量及最大降雨強度佔了大部分的權重，說明了這些因子對阿里山森林鐵路沿線崩塌預測可視為重要因子。

四、降雨高崩塌潛勢地區特性分析

鐵路沿線以羅吉斯迴歸之山崩潛感分析模式，搭配 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年重現期距雨量分析，模式預測之高崩塌潛感區鐵路路段及高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流，分別彙整如表 7.1、7.2 及 7.3 所示：

表 7.1 不同重現期距雨量

重現期距	雨量	
	時雨量	三日雨量
2 年	63.7	415.8
5 年	86.6	734
10 年	109.4	949
25 年	144.7	1218.9
50 年	173.7	1426.1
100 年	206	1628.6
200 年	245.6	1837.5

表 7.2　模式預測之高崩塌潛感區鐵路路段

重現期距	崩塌高崩塌潛感區鐵路路段
2 年	36k+480~40k+824.6、42k+624~44k+199.6、45k+985.7~46k+270.5、49k+588.8~~52k+784.1、57k+450.8~57k+785、59k+201.3~64k+792.3、66k+440.2~67k+308、69k+456.1~71k+462、眠月線 1k+93~眠月線 8k+338。
5 年	22k+755~40k+507、40k+785~44k+197、50k+554.8~51k+237.8、57k+483.5~57k+539.5、59k+882.3~60k+057.29。
10 年	25k+169.5~27k+605、28k+630.85~33k+693、33k+816~39k+859.5、40k+288.1~40k+833.1、42k+616~42k+956、51k+132.8~51k+245.8、59k+889.3~60k+079.3、眠月線 5k+385.1~ 9k+176。
25 年	30k+215.6~34k+456、34k+617~40k+819.1、42k+632~42k+687、51k+208.7~51k+233.8、59k+887.3~60k+060.3、眠月線 5k+405.3~9k+157。
50 年	29k+220.6~29k+289.6、31k+563~33k+490.8、33k+866~40k+831.1、42k+625~42k+690、51k+213.8~51k+234.8、眠月線 5k+345~9k+171。
100 年	32k+379.8~32k+396.8、34k+397~40k+820.1、42k+630~42k+684、45k+994~46k+169、50k+508.8~51k+238.8、59k+797.3~60k+78.3、眠月線 4k+507.5~4k+691.5、眠月線 5k+172~9k+163。
200 年	34k+202~38k+292.7、38k+446.7~40k+827.1、42k+504~43k+684、45k+988~46k+168、50k+565.8~51k+238.8、57k+535.5~57k+495.5、59k+804.29~60k+58.29、眠月線 4k+538.5~9k+166。

表 7.3　模式預測之高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流

重現期距	高崩塌潛感區可能影響之土石流潛勢溪流
2 年	嘉縣 DF020、嘉縣 DF021、嘉縣 DF023、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003、嘉縣 DF043 及嘉縣 DF040
5 年	嘉縣 DF013、嘉縣 DF012、嘉縣 DF020、嘉縣 DF021、嘉縣 DF023、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040
10 年	嘉縣 DF013、嘉縣 DF012、嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040
25 年	嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040
50 年	嘉縣 DF026、嘉縣 DF003 及嘉縣 DF040
100 年	嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003、嘉縣 DF043 及嘉縣 DF040
200 年	嘉縣 DF020、嘉縣 DF026、嘉縣 DF003、嘉縣 DF043 及嘉縣 DF040

五、降雨特性對森林鐵路災害地區之 23 公里、二萬坪等處邊坡崩塌之影響

森林鐵路 23 公里附近處屬於土石流潛勢溪流影響區域，土石流潛勢溪流為嘉縣 DF012 及嘉縣 DF013，由於羅吉斯迴歸之山崩潛感分析模式分析結果，與各重現期距之時雨量及三日雨量之分布型態有關，當降雨達到重現期距 5 年之雨量時，23 公里附近兩處之土石流潛勢溪均位於高崩塌潛感區；當降雨達到重現期距 10 年之雨量時，23 公里左側之嘉縣 DF013 北部位於高崩塌潛感區。暴雨時土石流潛勢溪位於高崩塌潛感區，可能危及附近森林鐵路安全。

降雨特性對二萬坪崩塌地邊坡崩塌影響分析之結果顯示，重現期距 2 年之雨量發生時，二萬坪崩塌地內北部幾乎都屬於高崩塌潛勢區，崩塌地內中部及南部有少數幾處屬於高崩塌潛

勢區，與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區。重現期距 5、10、25、50 之雨量發生時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，二萬坪崩塌地內亦不屬於高崩塌潛勢區；重現期距 100 年之雨量發生時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，崩塌地內僅有中北部一小處屬於高崩塌潛勢區；重現期距 200 年之雨量發生時，二萬坪崩塌地與鐵路相交處並無高崩塌潛勢區，僅崩塌地內北部及中北部二小處，屬於高崩塌潛勢區。

7.2 建議

以下主要建議計畫成果可精進改善事項：

1. 對於未劃入高潛感區之山崩資料，需進一步確認是否具有人為誤判或數化之疏失導致資料有誤，若資料有誤需進行更正或刪除；另外，為使模式更加完善，未來亦可嘗試於模式中加入本研究未考慮之因子，如：植生指數、濕度指數、坡高類因子及距離因子等，進行探討。
2. 由於本研究之岩性因子分析採用二十五萬分之一地質圖，未來若有更高解析度之地質圖或完整之岩體工程特性圖，則有助於提高山崩潛感分析結果之精確度。
3. 本計畫僅採用莫拉克颱風作為山崩目錄建置羅吉斯迴歸模型，由分析結果顯示，因莫拉克颱風總雨量較高，會使得分析結果有過度預測之傾向，未來可納入多次颱風事件，以提高模式之適用性與準確性。
4. 本研究採用計畫區內外共 17 個雨量站，但位於計畫區南部缺乏雨量資料，僅能由計畫區外之雨量站，進行克利金法推估空間之雨量分布，因此可能造成雨量資料之誤差，

進而影響山崩潛感模式之準確性。未來若可增設雨量站並有詳細之雨量紀錄，將有助於阿里山森林鐵路邊坡崩塌之預警。

參考文獻

1. 高申錡(1993)，「阿里山公路沿線公路邊坡崩塌與雨量關係之研究」，國立成功大學資源管理研究所碩士論文。
2. 陳慶秋(1994)，「降雨與邊坡崩塌關係之研究－以阿里山公路邊坡為例」，國立成功大學資源工程研究所碩士論文。
3. 黃婷卉(2002)，「土石流發生降雨特性之研究-以陳有蘭溪流域為主」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
4. 吳俊鋐(2004)，「崩塌潛勢預測方法於台灣適用性之初探」，水土保持學報 36(4)：295-306。
5. 陳蕙華(2004)，「遙測衛星影像於南清公路崩塌地潛感分析之應用」，逢甲大學環境資訊科技研究所碩士論文。
6. 陳紫娥(2004)，「颱風降雨對海岸山脈北段公路邊坡崩塌影響之研究」，國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
7. 張弼超(2005)，「運用羅吉斯迴歸法進行山崩潛感分析-以台灣中部國姓地區為例」，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
8. 陳樹群、馮智偉(2005)，「應用 Logist 迴歸繪製崩塌潛感圖-以濁水溪流域為例」，水土保持學報 36(2)：191-206。
9. 陳世敏(2005)，「山區道路降雨量推估模式建立之研究－以阿里山公路為例」，國立臺灣科技大學營建工程學系碩士學位論文。
10. 李明熹(2006)，「土石流發生降雨警戒分析及其應用」，國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
11. 經濟部中央地質調查所 (2007) ，「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置第 1 階段實施計畫-集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估總報告書, 共 620 頁」。
12. 蔡明君(2007)，「以降雨特性研究阿里山公路邊坡崩塌預警管理」，國立成功大學土木工程研究所在職專班碩士論文。
13. 林智勇(2009)，「應用衛星影像探析土地利用型態與崩塌之關聯性－以臺北地區為個案研究」，國立台灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
14. 李彥良、朱偉嘉、李錦發(2009)，「阿里山森林鐵路沿線勘災紀實」，地質新聞。

15. 財團法人中興顧問社(2009)，「地質敏感區災害潛勢評估與監測都會區周緣坡地山崩潛勢評估（3/4）期末報告」，經濟部中央地質調查所。
16. 羅昱婷(2009)，「證據權重法運用於預測崩塌地潛勢之研究--以大漢溪集水區為例」，國立成功大學地球科學系專班碩士論文。
17. 鐘意晴(2009)，「區域性山崩潛感分析方法探討-以石門水庫集水區為例」，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
18. 中興工程顧問股份有限公司(2010)，「阿里山森林鐵路災害路段地質調查及復健規劃」，行政院農業委員會林務局嘉義林管處。
19. 銳俤科技股份更限公司(2010)，「土石流致災潛勢分析與資料庫建置期末報告書」，行政院農業委員會水土保持局。
20. 經濟部中央地質調查所 (2010) ，「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置（第 2 期 99 年度）－集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫(3/3)總報告書，共 460 頁」。
21. 鄭錦桐等人(2010)，「都會區周緣坡地山崩潛勢評估(4/4)計畫」，經濟部中央地質調查所。
22. 王金山、鐘明劍、冀樹勇(2011)，「降雨誘發崩塌地滑之監測回饋分析與預警應用探討」，中興工程季刊 110：27-40。

附錄一

阿里山森林鐵路相關雨量站雨場切割圖

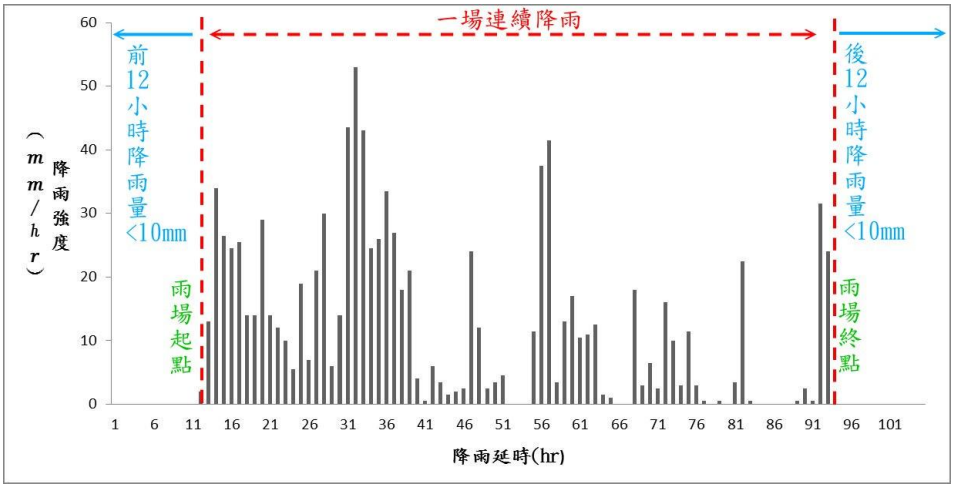


圖 A.1　2004 敏督利 草嶺雨量站雨場切割圖

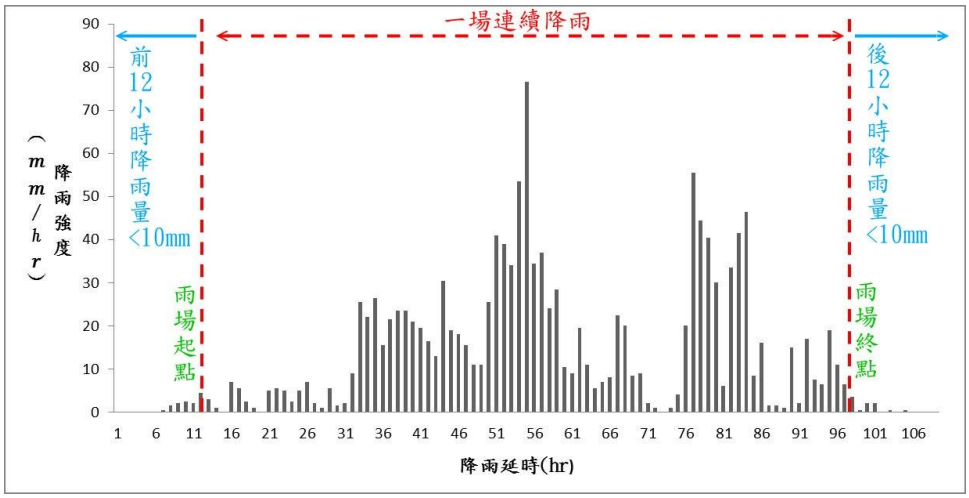


圖 A.2　2004 敏督利 楠溪雨量站雨場切割圖

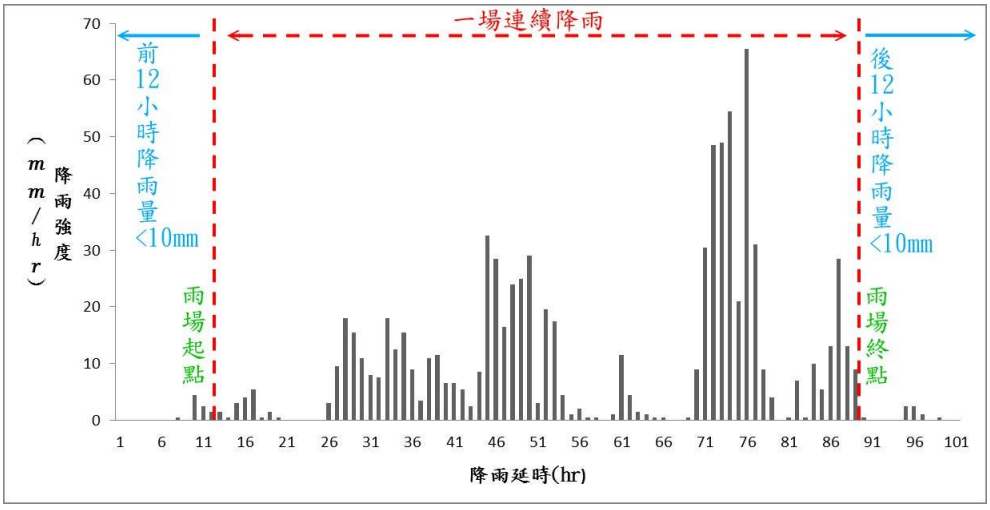


圖 A.3　2004 敏督利 東埔雨量站雨場切割圖

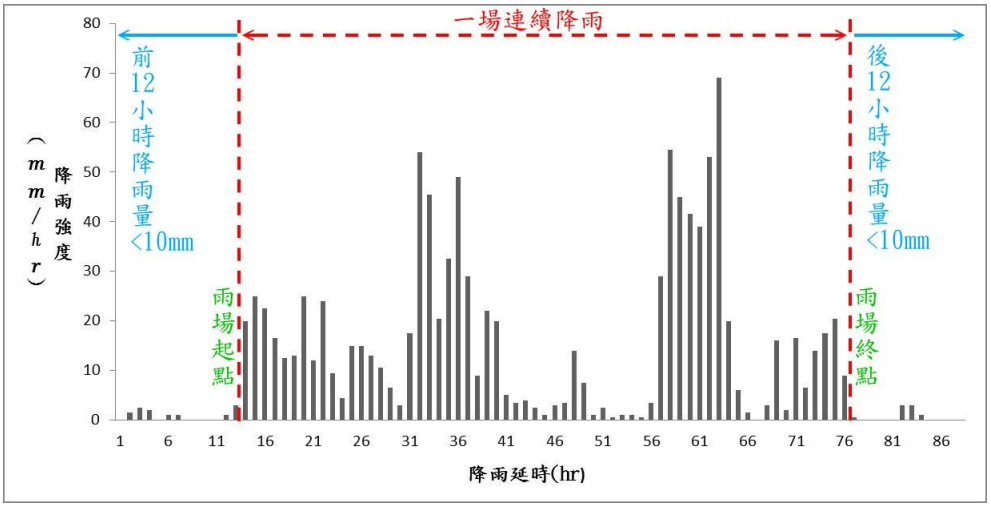


圖 A.4　2004 敏督利 新興橋雨量站雨場切割圖

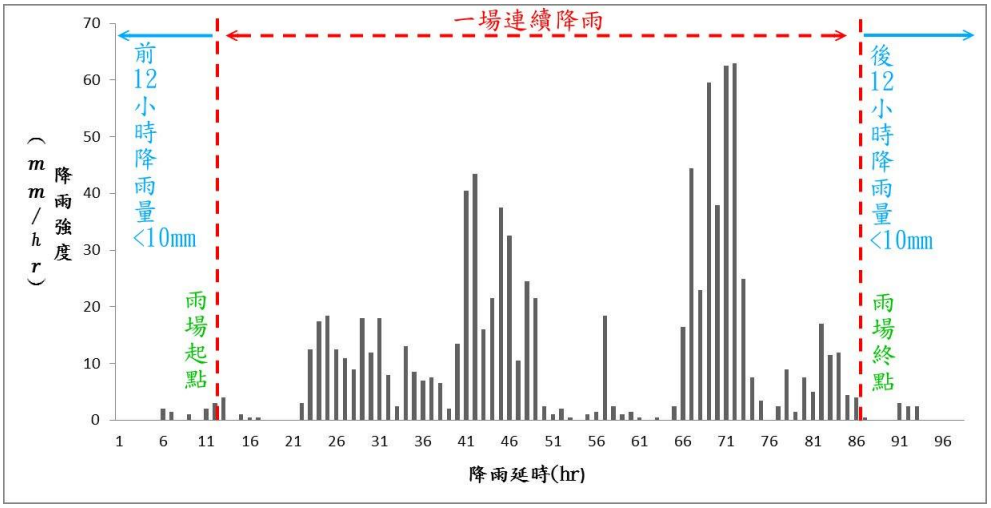


圖 A.5　2004 敏督利 和社雨量站雨場切割圖

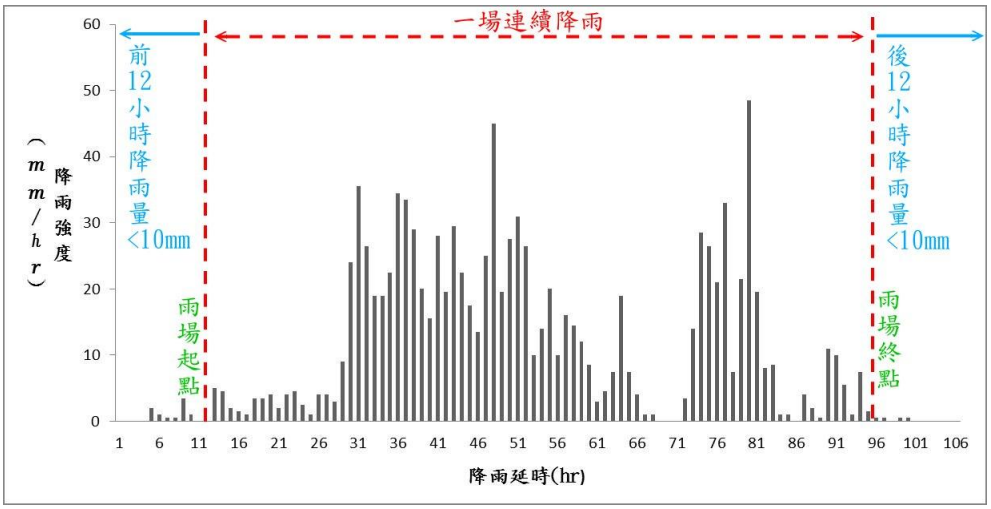


圖 A.6　2004 敏督利 新高口雨量站雨場切割圖

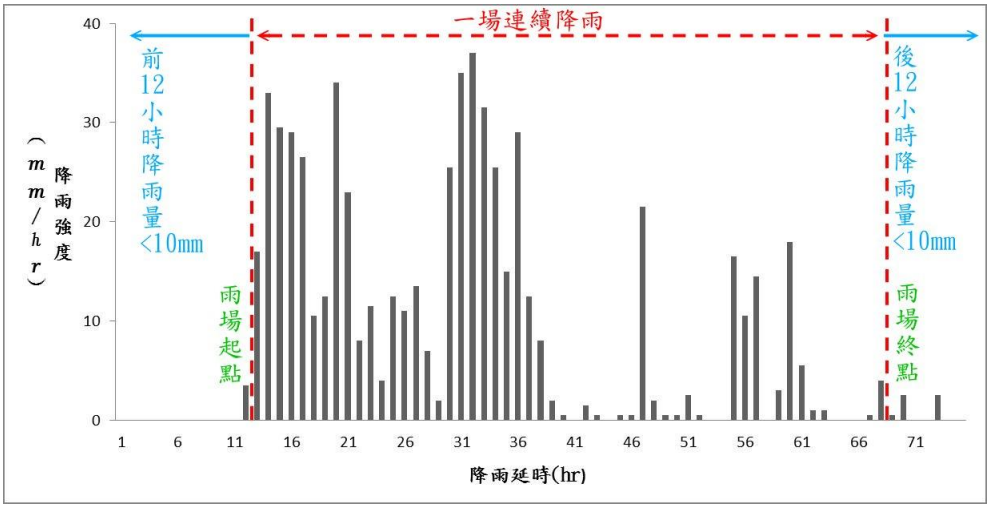


圖 A.7　2004 敏督利 山豬湖雨量站雨場切割圖

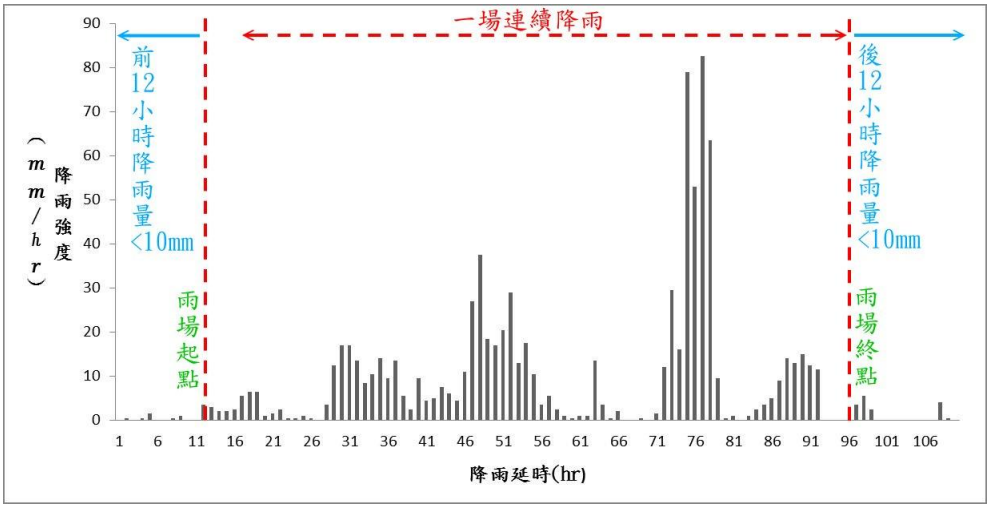


圖 A.8　2004 敏督利 望鄉雨量站雨場切割圖

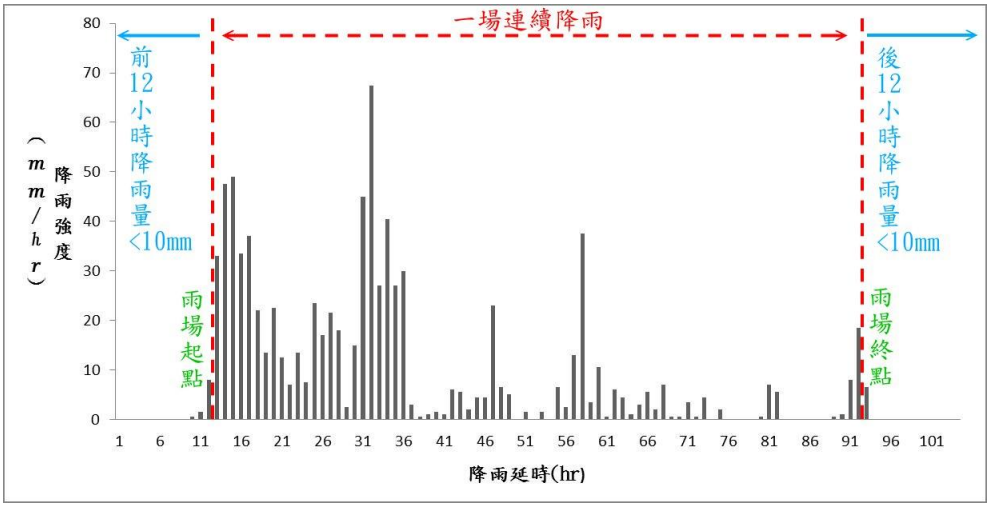


圖 A.9　2004 敏督利 大湖雨量站雨場切割圖

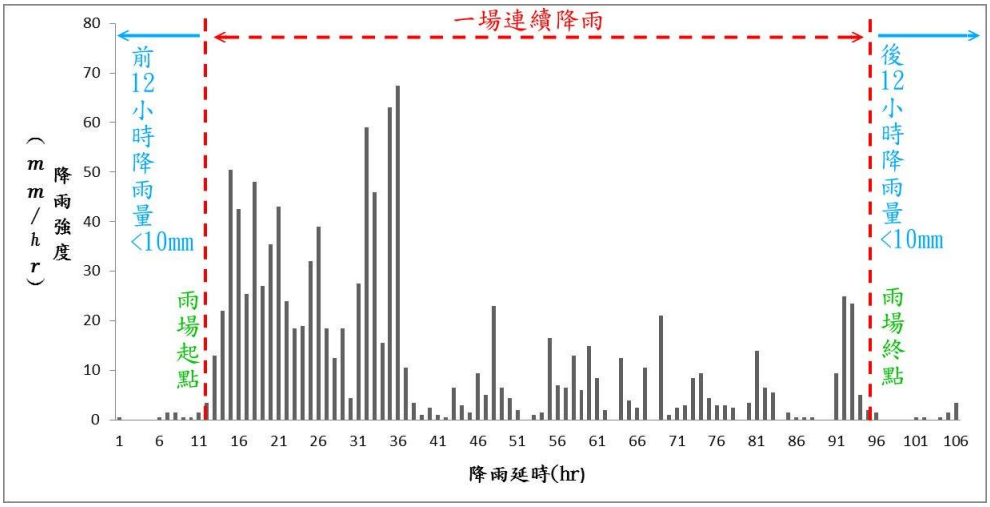


圖 A.10　2004 敏督利 馬頭山雨量站雨場切割圖

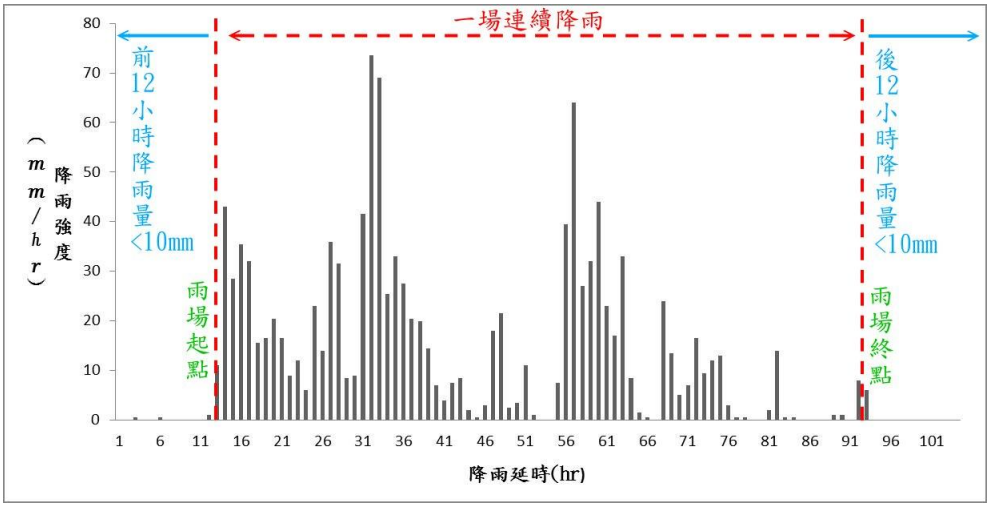


圖 A.11　2004 敏督利 豐山雨量站雨場切割圖

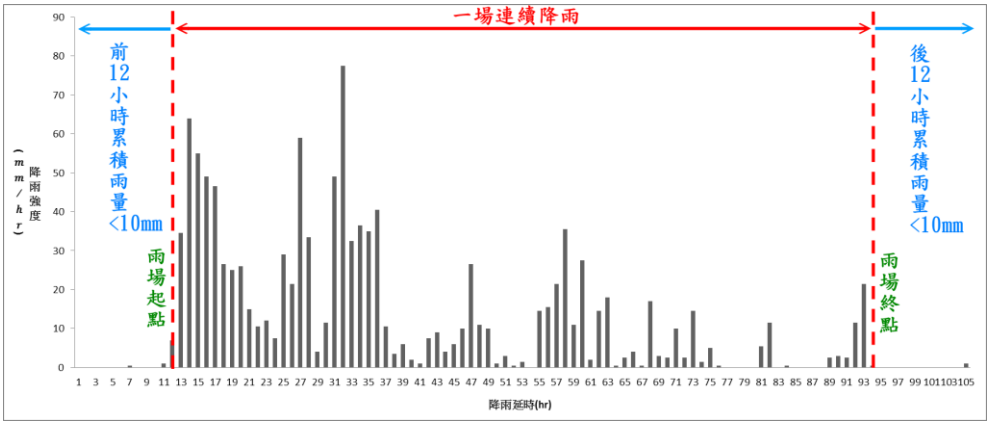


圖 A.12　2004 敏督利 石磐龍雨量站雨場切割圖

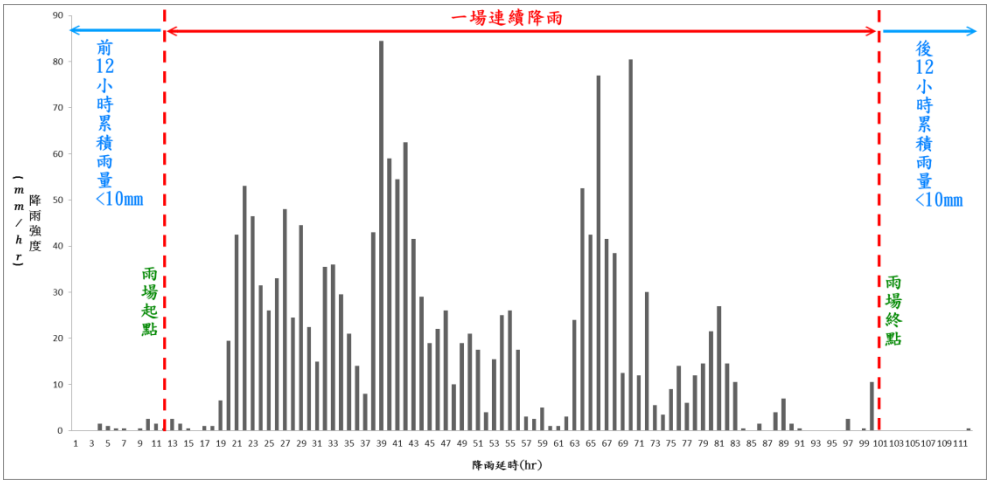


圖 A.13　2004 敏督利 阿里山雨量站雨場切割圖

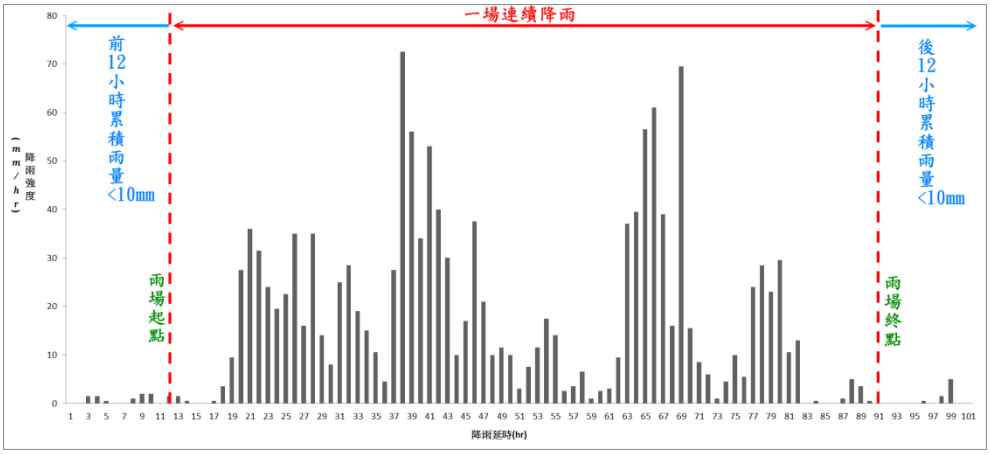


圖 A.14　2004 敏督利 神木村雨量站雨場切割圖

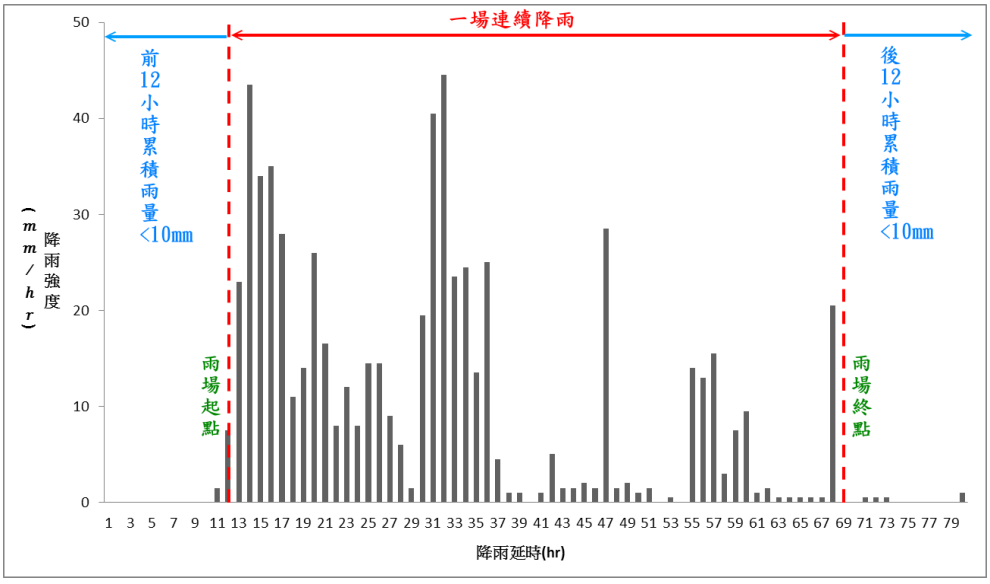


圖 A.15　2004 敏督利 樟腦寮雨量站雨場切割圖

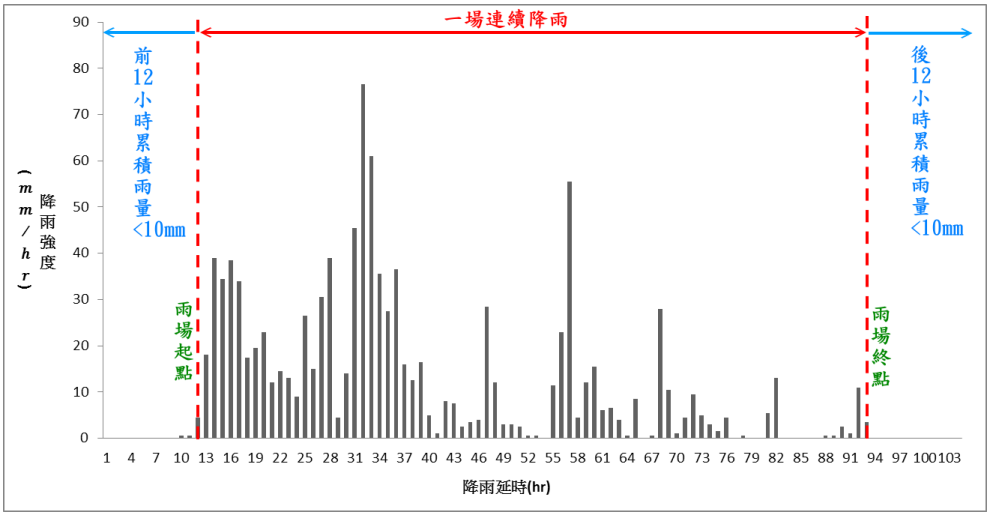


圖 A.16　2004 敏督利 瑞里雨量站雨場切割圖

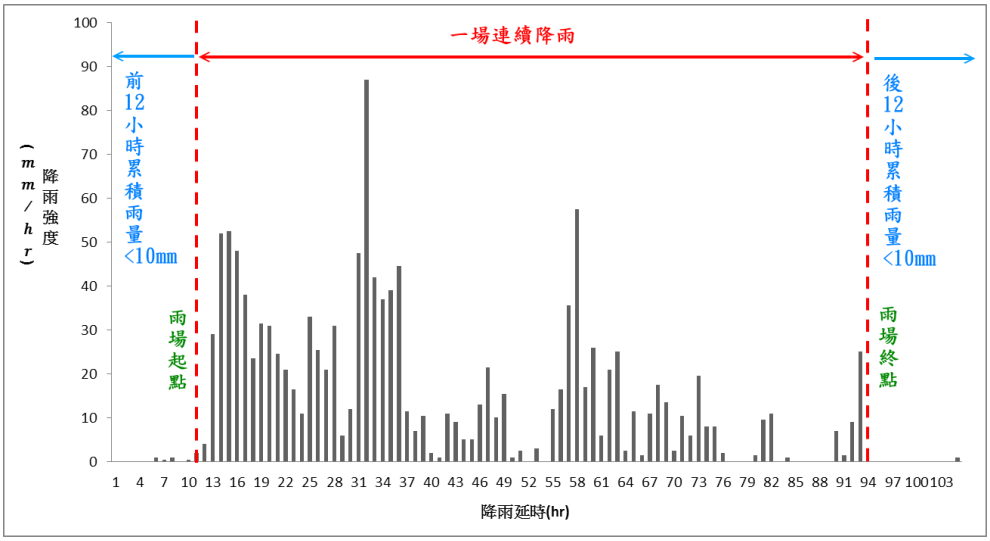


圖 A.17　2004 敏督利 奮起湖雨量站雨場切割圖

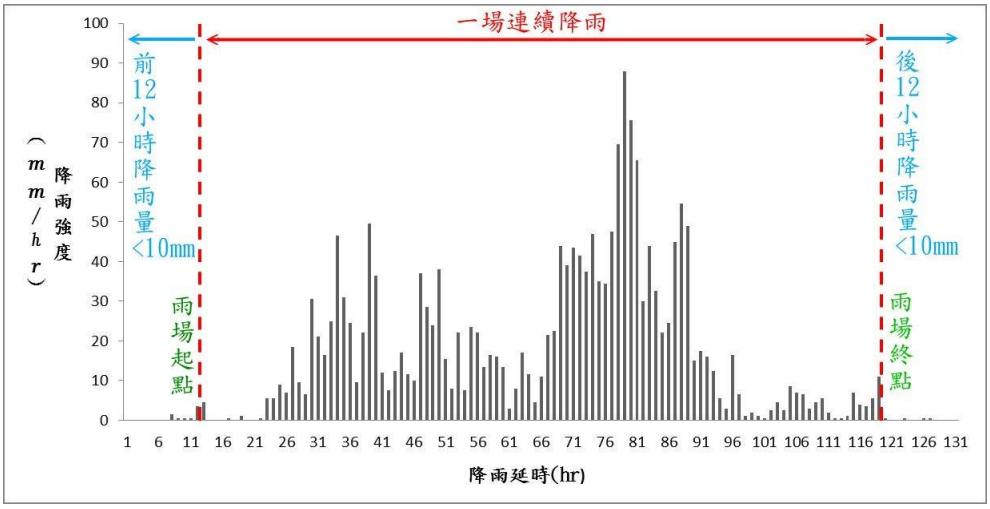


圖 A.18　2009 莫拉克 草嶺雨量站雨場切割圖

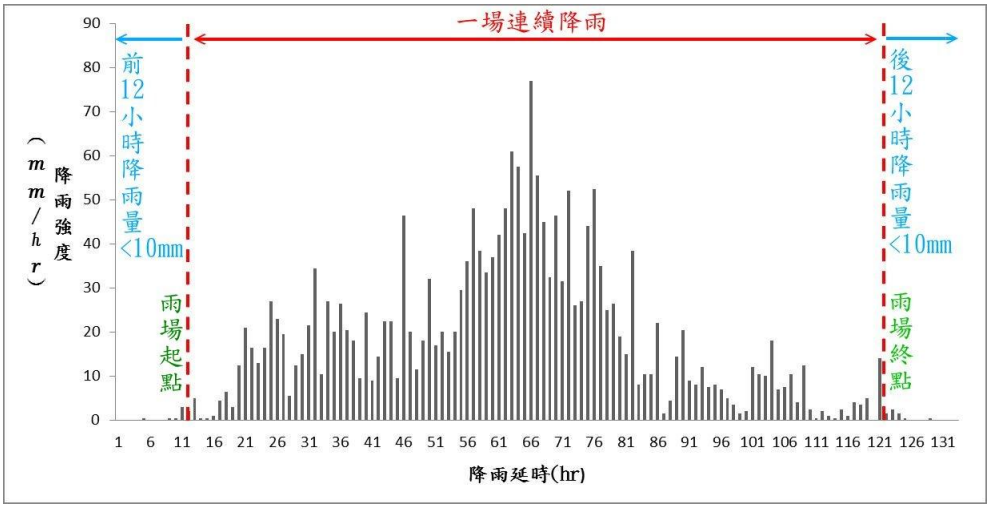


圖 A.19　2009 莫拉克 楠溪雨量站雨場切割圖

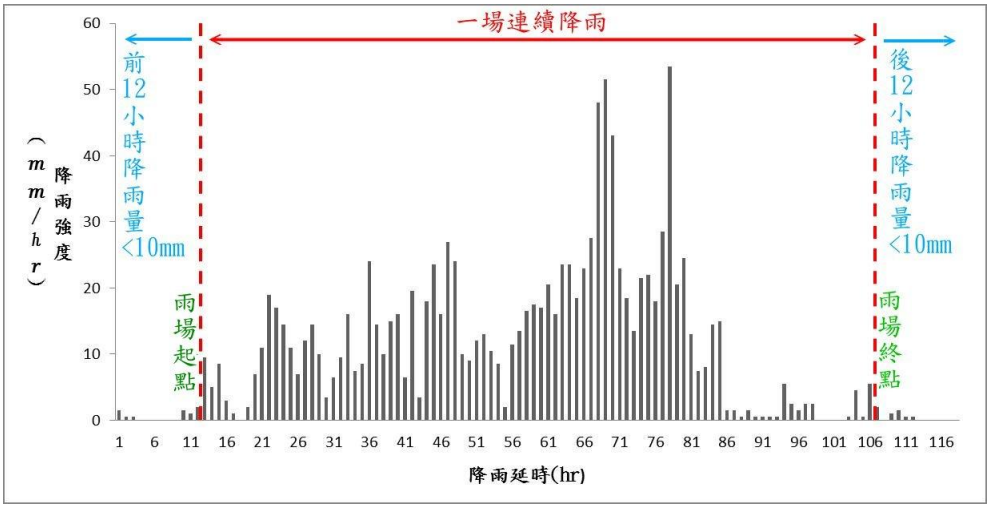


圖 A.20　2009 莫拉克 東埔雨量站雨場切割圖

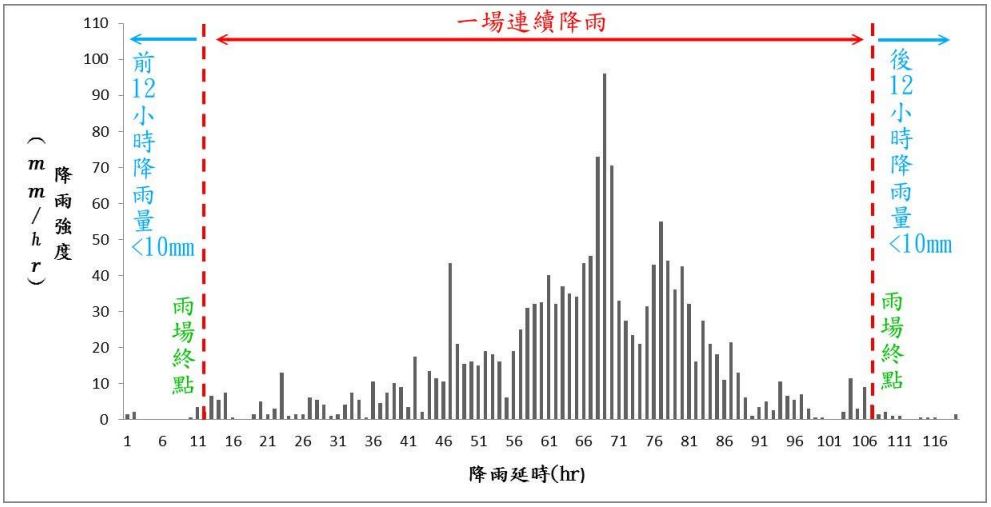


圖 A.21　2009 莫拉克 新興橋雨量站雨場切割圖

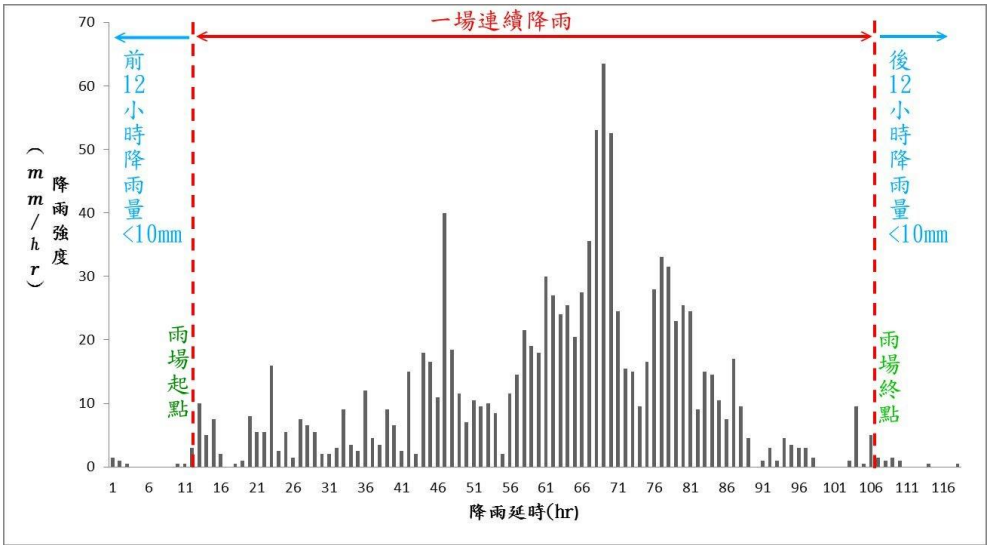


圖 A.22　2009 莫拉克 和社雨量站雨場切割圖

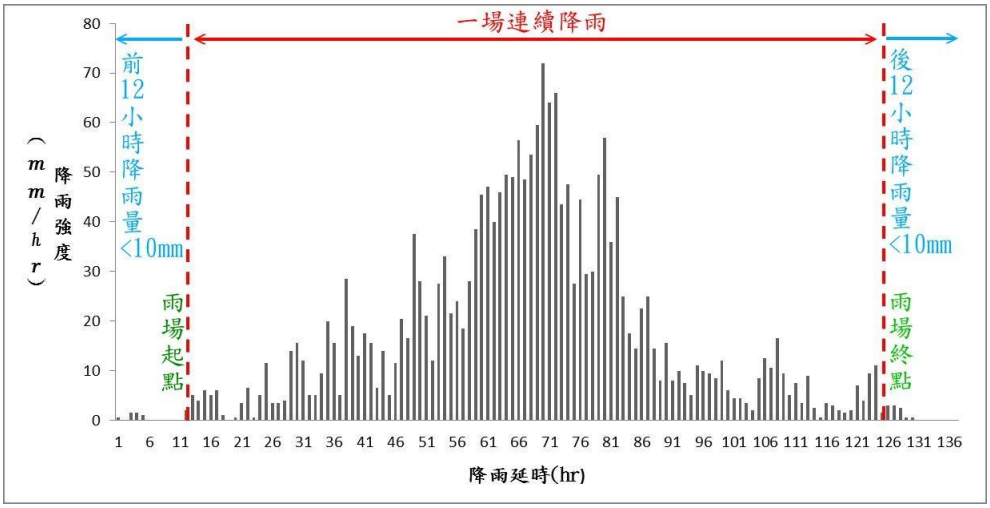


圖 A.23　2009 莫拉克 新高口雨量站雨場切割圖

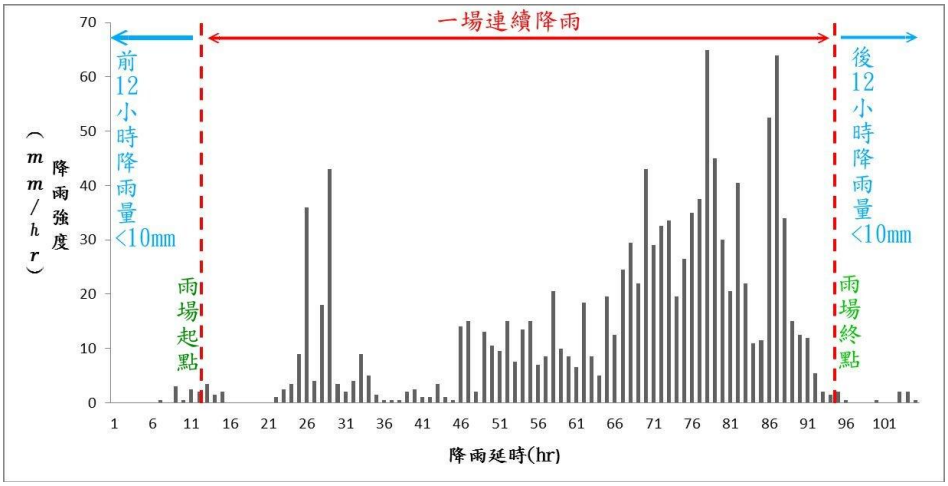


圖 A.24　2009 莫拉克 山豬湖雨量站雨場切割圖

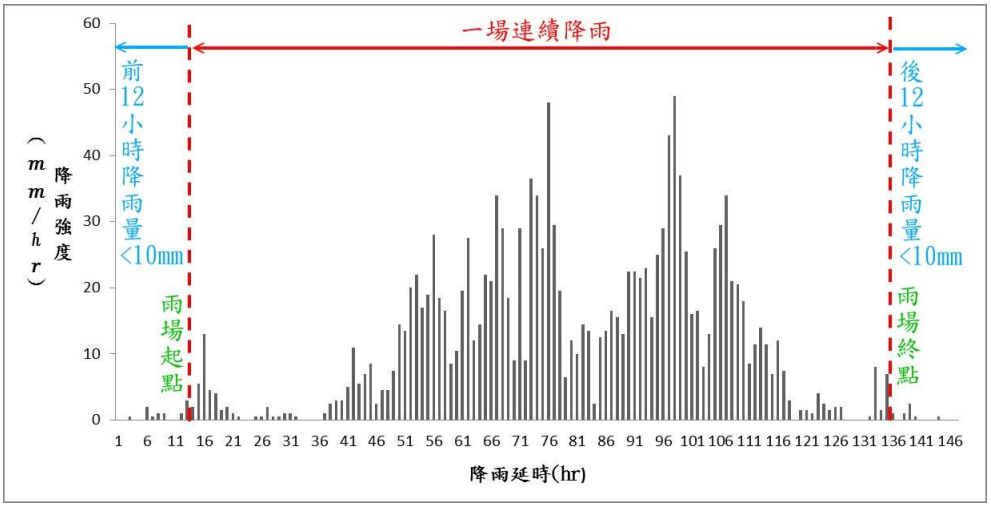


圖 A.25　2009 莫拉克 望鄉雨量站雨場切割圖

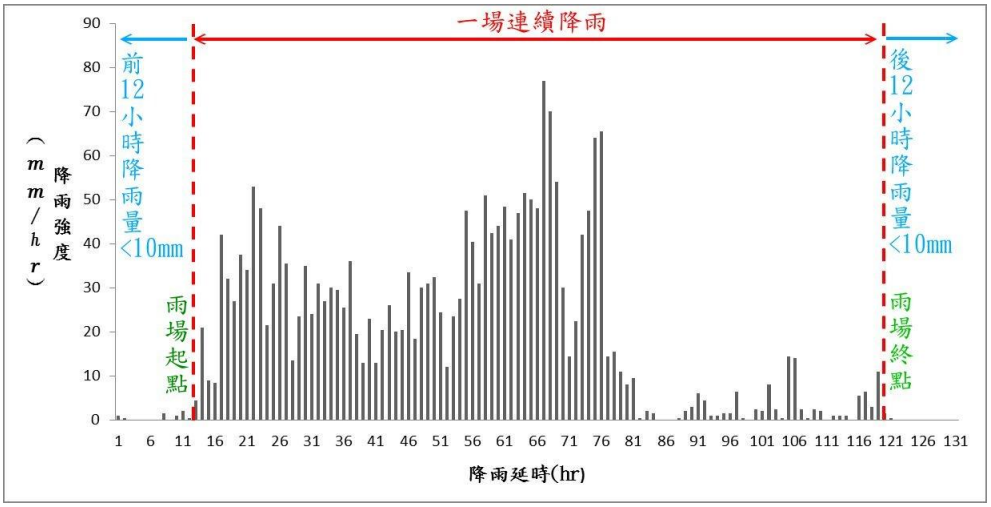


圖 A.26　2009 莫拉克 大湖雨量站雨場切割圖

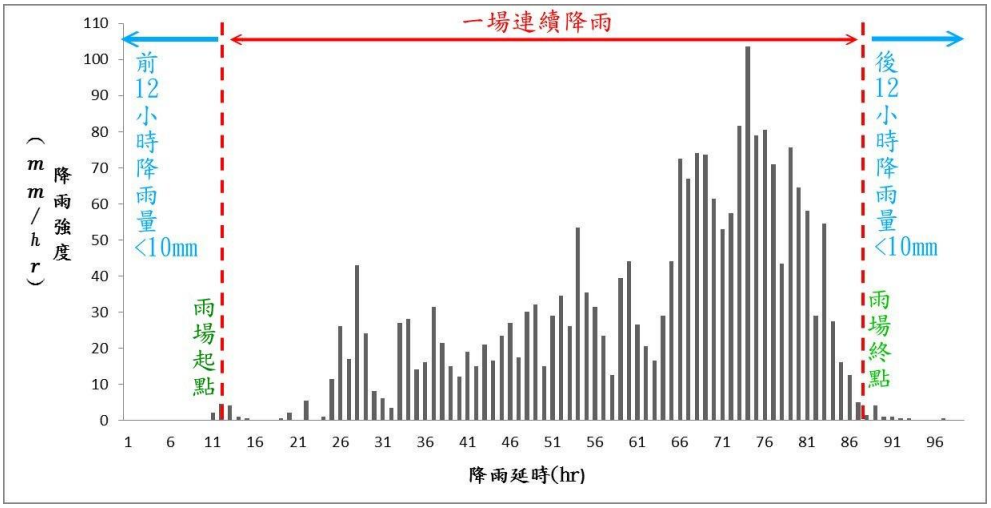


圖 A.27　2009 莫拉克 馬頭山雨量站雨場切割圖

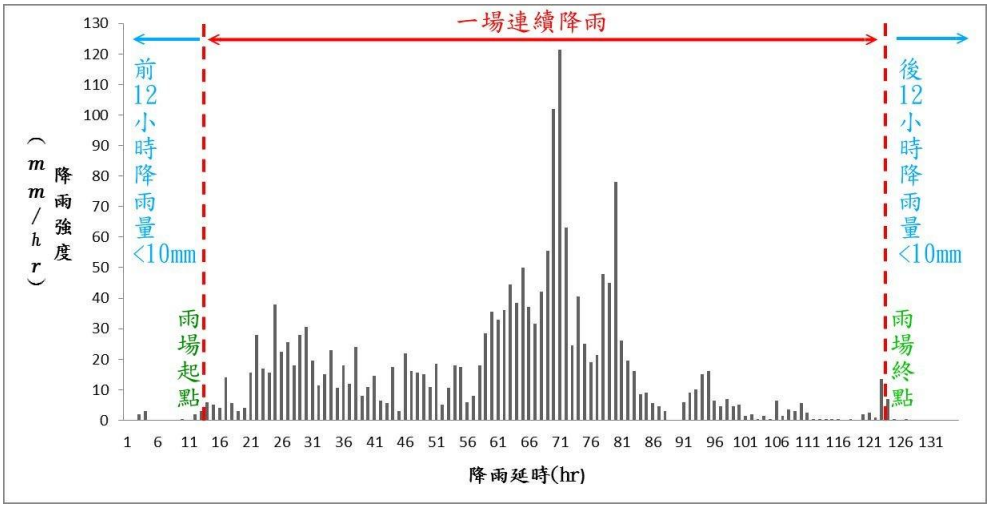


圖 A.28　2009 莫拉克 豐山雨量站雨場切割圖

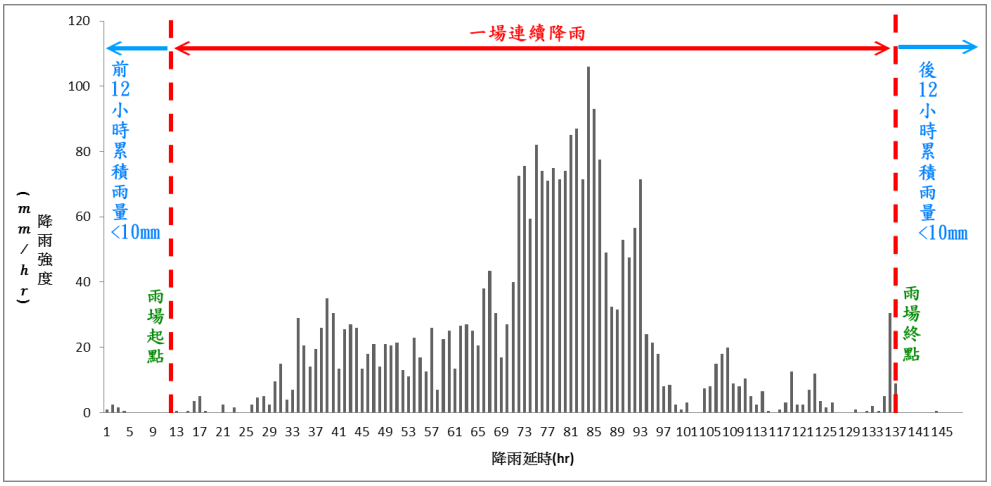


圖 A.29　2009 莫拉克 石磐龍雨量站雨場切割圖

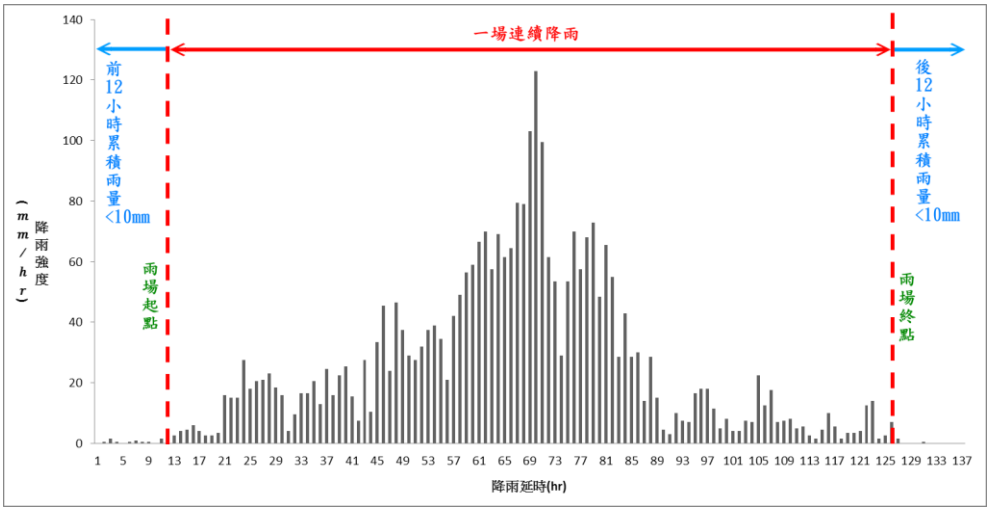


圖 A.30　2009 莫拉克 阿里山雨量站雨場切割圖

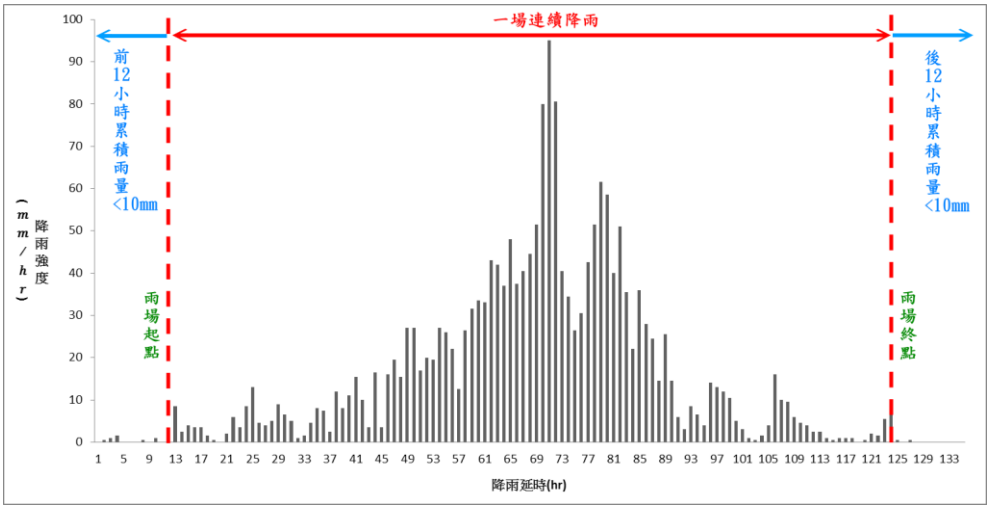


圖 A.31　2009 莫拉克 神木村雨量站雨場切割圖

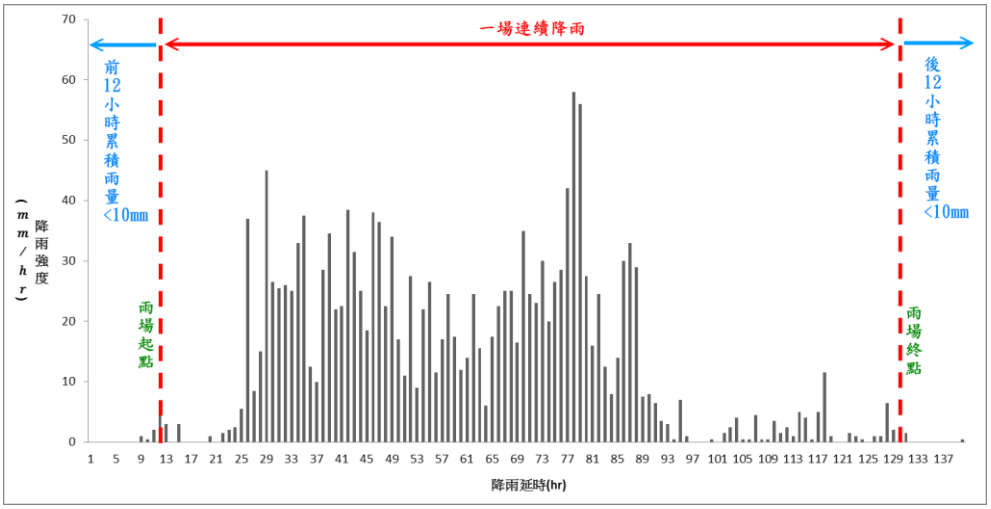


圖 A.32　2009 莫拉克 樟腦寮雨量站雨場切割圖

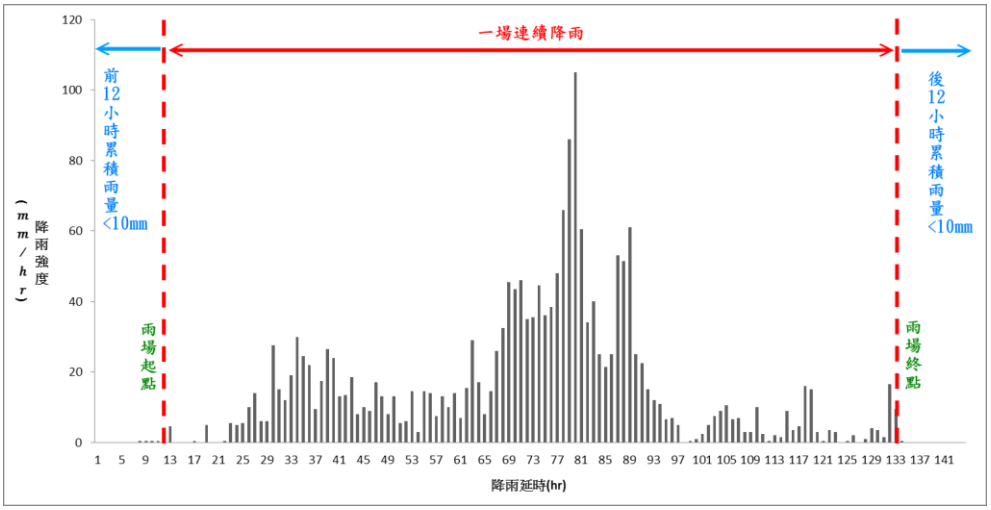


圖 A.33　2009 莫拉克 瑞里雨量站雨場切割圖

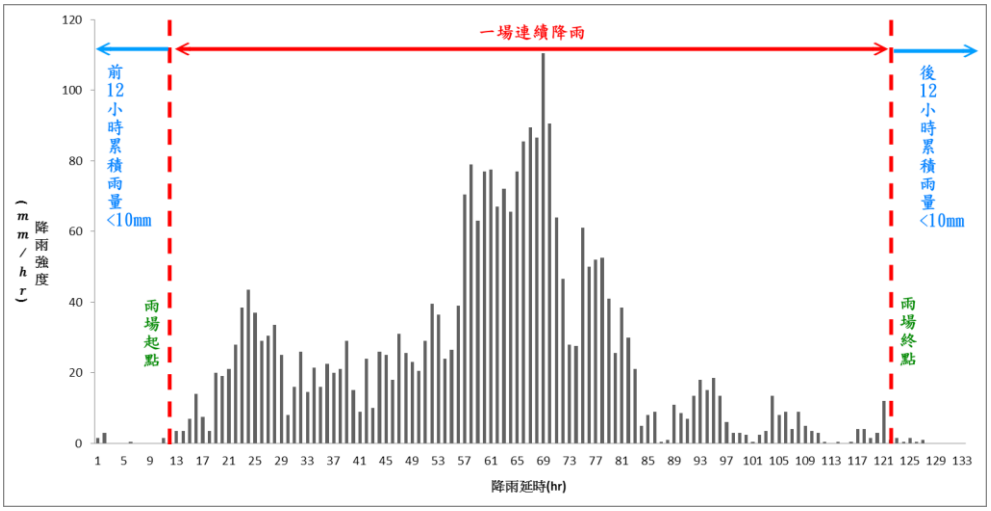


圖 A.34　2009 莫拉克 奮起湖雨量站雨場切割圖

附錄二

期初評選審查會議審查意見回覆

期初評選審查會議審查意見回覆

一、開會時間：民國 100 年 8 月 5 日上午 10:00

二、開會地點：嘉義林區管理處二樓 204 會議室

三、主 持 人：張副處長岱

四、 審查意見辦理情形，如下表。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
張委員文詔		
1.	本計劃分析使用之資料或數據，請儘量使用第一手數據。	感謝委員指正。已於期中報告前至嘉義林區管理處，親自索取阿里山森林鐵路沿線工程資料。
2.	臨界雨量及山崩潛勢因子分析需考量其週延性及代表性，才能取得一致性成果。	感謝委員指正。後續工作將會考量山崩潛勢因子分析之週延性及代表性。
3.	合約工作項目之執行需確保能如期如質完成合約需求。	感謝委員指正。
林委員冠洲		
1.	1.2 工作範圍(P2)工作範圍建議於圖中用顏色或線條加以區分。	感謝委員指正。已根據水土保持局劃分之子集水區結合阿里山森林鐵路作為研究範圍。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
2.	1.3 工作目標(P3)由過去許多的調查及研究案列資料顯示，大多數發生邊坡崩塌的原因，實是相當多且非常複雜，因此若僅對單一影響因子－降雨特性來探討鐵路邊坡崩塌關係，則其所獲得果－臨界降雨線，恐難以作為防災預警的參考。因此建議除了考慮降雨特性外，尚必需將可能影響的因子全面納入考慮，其中含人為的干擾因子，如此一來方能獲得較可行之臨界降雨線。另外尚須考慮現地所有有關影響崩塌條件，皆會受到內外在環境等改變與作用(諸如受到地震、人為破壞)，而隨時間引起之變化。	感謝委員指正。於後續臨界雨量之分析時將會考量加入潛在因素。
3.	2.1 工作項目及內容(P4~P5) 1. 1.及 2.之工作內容皆僅於蒐集與彙整資料，實無法掌握現地之實際情況，滿足探討分析之需求。故建議配合實施現地勘查、物探及鑽探等之調查與試驗，獲取完整的資料以利探討及分析。 2. 請以範例說明 4A、4B 之分析方法。 3. 本研究以鐵路里程作為單位標示降雨高崩塌潛勢區域，故除了可以利用鐵路沿線鄰近既設雨量站過去之既有監測資料外，對於無雨量站可供利用區域，建議應於該區適當位置，設置雨量站進行至少一年以上(實際必須持續一段很長時間)之雨量監測資料，提供分析使用，以建立較完整之雨量資料。 4. 5.「23 公里」所指為何意？	1. 感謝委員指正。已於期中報告前至二萬坪崩塌地現勘。 2. 感謝委員指正。分析方法將會於日後報告中呈現。 3. 感謝委員指正。 4. 感謝委員指正。已將錯誤更正。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
4.	2.2 預期成果(P5) 1. 於期中出報告中記述本研究成果尚包括(一).....進行相關治理工程? 2.(二)降雨崩塌值警戒值可提供本處參考.....。此「本處參考」所指為合意？ 3.整體計畫預期成果分述如下；實際僅條列並未分述。 4.「降雨高崩塌潛勢地區特性分析降雨特性邊坡崩塌之影響」之句，為何意?	1. 感謝委員指正。已將錯誤更正。 2. 感謝委員指正。已修正錯誤用字。 3. 感謝委員指正。將會在後續報告中提出。 4. 感謝委員指正。已修正錯誤用句。
5.	1.P24 請補遺漏之文字 2.請以範圍整合說明本研究之工作方法及流程。	1.感謝委員指正。已將遺漏文字加入。 2.感謝委員指正。後續工作中將會考量以範圍整合說明本研究之工作方法。
6.	第五章(P36)於表 5.1 所是工作項目一、基本資料收集期限至 10 月底，及工作項目二、歷年崩塌資料彙整與分析至 9 月底，已近本計畫執行截止日。請說明其後所收集資料內容為何?又作何利用?	感謝委員指正。由於考量加入本年度汛期之資料，基本資料收集期限才會至 10 月底。
施委員彰樹		
1.	一、P31 雨場切割方法據表列出 8 種，本計畫擬採用何種方式?其理由為何?將來應詳細說明。	感謝委員指正。將於期中報告中說明。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
2.	二、降雨崩塌警戒值之擬訂，因崩塌之發生，同樣雨量在不在地理條件（地形、地貌、地況、地質、土地利用.....）其災害（崩塌）情形不一定相同，故建議就以往災害地點先蒐集及調查各地點之上述相關資料，分析其關聯性，以供參考。	感謝委員指正。於後續工作中將會考量蒐集及調查以往災害地點之地理條件資料。
3.	三、本案計畫之目的最主要應為高潛勢評估及降雨崩塌警戒值之擬訂等，將來提出成果與建議，宜以能供主辦單位實務執行上之參考及應用。	感謝委員指正。高崩塌潛勢評估最終會以崩塌潛感圖呈現，以利未來主辦單位了解阿里山森林鐵路何處為高崩塌潛感區。
4.	四、P36 工作預定進度，依規定應於 100 年 10 月 25 日前提出，有部分項目所列預定進度，係在 11 月份始能完成，請檢討。	感謝委員指正。
5.	五、P10 歷年崩塌災害，其相關資料建議林管處提供以往相關調查規劃之報告供參議，以充實資料內容。	感謝委員指正。以至嘉義林區管理處鐵路課蒐集相關工程資料。
許委員中立		
1.	本案配合復建工程進行，建立降雨預警機制實有必要且目前已進入颱風季節，研究若有成果應儘早提供管理單位應用。	感謝委員指正。若有成果將會盡早提供主辦單位應用。
2.	計劃選定目標區域因多係有災害發生地區，其災前與災後的容受能力可能略有不同，是否僅由災前資料分析結果套用，而忽略邊坡已以呈殘餘強度下之易致災可能。	感謝委員指正。後續工作考量加入災後的容受能力。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
3.	採用地形因子要詳細評估，因部分因子可能與降雨間有相互關係， 建請可予簡化或刪除。	感謝委員指正。後續工作於篩選因子時，將會進行相關係數分析，刪除相關性過高之因子。
4.	接近雨量站法亦是選項之一，但要如何說明其他方法不若此法之便利與精確，請多加補充說明。	感謝委員指正。後續分析將會考量說明此法之便利與精確之處。
5.	統計上、下限定區間如何考量，實務上考量應有一定之論述力佳。	感謝委員指正。後續工作將會考量統計上、下限定區間之問題。
6.	災後紀錄是否會分災後類型與規模?此與訂定分析防災預警有關。	感謝委員指正。將會考量分災後類型及規模。
賴委員龍輝		
1.	簡報中提及研究範圍以鐵路 200 公尺為範圍，惟鐵路上下邊坡崩塌地有許多是大於 200 公尺，研究範圍請在酌。	感謝委員指正。已根據水土保持局劃分之子集水區結合阿里山森林鐵路作為研究範圍。
2.	第 12 頁 3.3.2「阿里山森林鐵路沿線勘災紀錄」標題下的很大，但內容僅侷限於李彥良等人 98 年勘查資料，查引用資料內容與現況已有所差別，資料收集後除引述外，應將資料消化做進一步分析。	感謝委員指正。
3.	第 18 頁 3.3.3「莫拉克颱風於阿里山森林鐵路崩塌地資地」，僅列 4 處，與實際情況不符，請補正。	感謝委員指正。已於期中報告加入阿里山森林鐵路沿線之崩塌地資料。
4.	第 20 頁土地利用型態，應就鐵路沿線之土地的利用型態，收集資料加以分析。	感謝委員指正。日後工作將會考量呈現鐵路沿線之土地利用型態資料。
5.	第 21 頁土地權屬，應就鐵路沿線之土地權屬收集資料加以分析，非只針對崩塌地。	感謝委員指正。日後工作將會考量呈現鐵路沿線之土地權屬資料。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
6.	工作執行計畫書中有多處錯字、贅字、詞句不通順，請確實就全文校正。 1. 第 8 頁內文第 2 行…僅有「得」一個…，應為「的」。同頁倒數第 2 行…阿里山山區的木材搬運「縣」所構成…，應為「線」。 2. 第 8 頁最後一行…一條早期搬運的「眠月線」和一條…，詞句不通順。 3. 第 10 頁第 2 行…列車行駛能然不用齒輪輔助…，詞句不通順。 4. 第 10 頁倒數第 4 行……也是自然災害相當著名的景點…，詞意表達不恰當。 5. 第 11 頁第 6 行最後一字「於」…，贅字。同頁倒數第 7 行…因大量砍伐二萬坪的檜木林，造成大面積之地滑及崩陷…，查造成崩塌的原因很多，此一論述過於武斷，請再酌。 6. 第 25 頁內文第 2 行…計畫「來」來可否順…，應為「未」。同頁倒數第 4 行…「唯」過度耗費…，應為「惟」。	感謝委員指正。已將錯字、贅字、詞句不通順處，予以校正。
7.	本研究冀望於後續的實務運用，非定位在學術研究理論的驗證，有關山崩潛勢評估系統以及雨量警戒值的設定，如何發揮預測、預警的效果，如何運用在實務上，這是主辦單位希望得到的成果。	感謝委員指正。後續工作將會考量雨量警戒值與實務運用之結合。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
沈委員宜慶		
1.	請確認工作範圍。(page 2 僅一張圖示較不完整)。	感謝委員指正。已根據水土保持局劃分之子集水區結合阿里山森林鐵路作為研究範圍。
2.	針對鐵路 23K 樟腦寮地區及二萬坪地區將於履約內容提供降雨特性邊坡崩塌之影響，如何與本處 98 年及 99 年已辦理之相同區域調查規劃案區別，請於下階段報告中說明。	感謝委員指正。
3.	page12 表 3.3.1，100.04.27 災害非坍方落石，請修正。	感謝委員指正。已修正錯誤處。
4.	page12 鐵道沿線勘災紀錄參考資料應更新（與目前資料不符)。	感謝委員指正。已將錯誤更正。
5.	降雨臨界值如何應用，是否實務上有執行之困擾或困難，或因地域、地形、地質、坡度、水文等影響而造成臨界值難以界定，請詳細思考未來本案方向。	感謝委員指正。後續工作將會考量降雨臨界值之應用問題。

附錄三

期中簡報暨工作執行計畫書審查意見回覆

期中簡報暨工作執行計畫書審查意見回覆

一、開會時間：民國 100 年 9 月 7 日

二、開會地點：嘉義林區管理處二樓 204 會議室

三、主 持 人：張副處長岱

四、 審查意見辦理情形，如下表。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
一、林委員冠洲		
1.	基本資料蒐集與彙整 (1) 請附本研究區域「阿里山森林鐵路位置圖」。 (2) 請附本研究區域各雨量站位置圖及過去降雨量資料並說明其降雨特性。 (3) 圖 2.4 模糊不清，無法辨識。 (4) 構造概述請附本研究區域之地質圖，並請說明與阿里山森林鐵路邊坡崩塌之關聯性，及其影響於後續分析中如何加以考慮。 (5) 阿里山森林鐵路沿線上、下邊坡各集水區特性與雨水流向特性之資料。	(1) 計畫書中各章節之圖層都已附上阿里山森林鐵路位置圖。 (2) 研究區域各雨量站位置圖以附於第四章 4.3.2 節圖 4.1 中，並詳細說明過去降雨資料。 (3) 已將圖 2.4 修正解析度。 (4) 本研究區域之地質圖已附於第二章 2.8 節中，且於第四章 4.3.4 節中說明岩性 3(砂岩及頁岩互層)和岩性 5(砂岩、泥岩、頁岩)對於阿里山森林鐵路邊坡崩塌有較大崩塌潛勢。 (5) 集水區特性以子集水區結合阿里山森林鐵路加以考量；雨水流向特性之考量含於水系距因子中。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
2.	歷年崩塌資料彙整與分析 (1) 歷史災害資料請增加88年921大地震之前資料，以利探討921大地震對本研究區域崩塌之影響。資料記錄請詳加整理力求完整。 (2) 現場災害情形說明請標示位置及附上照片。 (3) P.27請說明A、B、C、D區位於何處?請附圖說明。	(1) 歷年崩塌資料彙整與分析最近之災害為主，於第三章3.2節中完整說明，包含莫拉克、敏督利及桃芝等颱風造成之災害。 (2) 已於第三章3.3節中檢附現場災害情形並以鐵路里程標示位置及附上照片。 (3) 已於第三章3.4節中檢附A、B、C、D四區的位置及災害情形照片。
3.	降雨崩塌情境模擬及潛勢評估 (1) P.55圖5.14及其後之圖編號全錯誤。 (2) P.58「段」層值誤植。 (3) 請說明山崩潛感處理中岩性歸納內容。 (4) 請說明如何篩選崩塌潛感因子?為何未納入相對坡高、全坡高、常態植被指數(NDVI)、斷層距…等因子。	(1) 已將錯誤改正。 (2) 已修正錯誤。 (3) 已於第四章4.3.3節P.112岩性因子中說明。 (4) 本計畫參考中央地質調查所「山崩潛感分析之研究」計畫及96年度「集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫」之經驗選取山崩潛感因子，詳細說明於第四章4.3.3節中。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
4.	(5) 請說明重現期距為何?	(5) 本計畫採用歷年颱風暴雨之降雨量平均值進行雨型設計,見第四章 4.4 節中說明。
	(6) 請說明衛星影像的選取與利用原則(方法)。	(6) 本計畫並無購買衛星影像。
	(7) 降雨崩塌情境模擬與潛勢評估部分說明不清楚。	(7) 山崩潛勢評估及降雨崩塌情境模擬分別於第四章 4.3 節及 4.4 節中詳細說明。
	(8) 請說明研究區內共選定幾個(選樣)供作分析及驗證。	(8) 已於第四章 4.3.4 節中說明。
	(9) 預定判釋幾個不同時間點的山崩目錄。	(9) 本計畫利用莫拉克颱風山崩目錄進行模式之檢定與驗證。
二、許委員中立		
1.	有沒有再對一場降雨之區分不同而會對臨界雨量造成影響之可能。	不同雨場切割分法計算出來之總雨量及降雨強度確實會有不同，而本研究選擇的雨場切割方法詳細內容說明於第四章 4.3.2 節 P.106。
2.	水系不同常與降雨會進行討論，本計劃由於對臨界雨量值將深入討論研發，故是否有受不同水系之影響應再補充說明。	本計畫工作項目三為崩塌潛勢及降雨崩塌情項模擬評估，後續不同降雨條件之坡地崩塌機率分析將總雨量分為 1000、1500、2000、2500 及 3000 等五個級距，搭配前鋒型及中間型之雨型分佈進行分析，詳見第四章 4.4 節說明。
3.	表 3.3 中地質條件與岩性不同,描述上請注意，又請補充明顯之四區區分圖。	已修正圖與描述不同之錯誤。四區之位置圖與災害現場形況圖已檢附於第三章 3.4 節 P.82-83

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
4.	討論用克利金法時對目前採用如此少的測站，其空間變異應如何克服?又模擬曲線(面)之模式如何決定亦請補充。	為使克利金法能順利推求雨量空間分佈，本計畫總共用 17 個雨量站進行雨量空間推估，詳細內容說明於第四章 4.3.2 節中 P.109-110。
5.	目前工作已有敏督利和莫拉克颱風之雨量進行切割，將來應會進行雨量、雨型、機率等分析，請確定掌握進度與工作項目辦理。	各項工作進度已確實掌握，相信能如期完成各項工作項目之工作內容。
三、張委員文詔		
1.	期中報告宜有初步成果、結論已供討論，並提供後續處置方向，如此才能如期如質完成計畫(因為只有一次期中報告)。	已將初步成果至於報告書中第四章 4.3.4 節中。
2.	降雨崩塌情境模擬及潛勢評估之初步成果(架構)宜在期中報告提出討論。	降雨崩塌情境模擬及潛勢評估初步成果檢附於第四章 4.3.4 節及 4.4 節中。
四、賴委員龍輝		
1.	關於 P.6 研究區的界定，其行政區域包括之範圍，請再詳查釐清。	研究區域中行政區域詳細範圍圖檢附於第二章 2.7.1 節圖 2.9 中。
2.	P.27 崩塌資料無明確的位置座標,請補充資料、圖示說明。	崩塌資料明確位置座標詳細資料已附於第三章 3.2.1 節中。
3.	文字錯誤，如 P.48 第六行周「嚴」，應為周延，報告內容請全部再校正。	已將錯誤改正。
4.	本報告未提出土地權屬、土地利用型態等資料。	土地權屬及土地利用型態等資料已附於第三章 3.2.6 節中。
5.	期中報告內容應有初步的研究成果、討論、建議，以及後續工作方向。依計畫期距除資料收集彙整仍須進一步分析並提出降雨崩塌情境模擬及潛勢評估初步成果。	已將初步成果於報告書第四章 4.3.4 節及 4.4 節中說明。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
6.	地層構造概述,在P.12敘述內容與P.15~P.17敘述內容不一,請修正,其與研究區之關聯與影響請補充說明。	已修正地質圖與描述不同之錯誤。且於第四章 4.3.4 節中說明岩性 3(砂岩及頁岩互層)和岩性 5(砂岩、泥岩、頁岩)對於阿里山森林鐵路邊坡崩塌有較大崩塌潛勢。
五、連委員祥益		
1.	P.2 降雨崩塌情境模擬及潛勢評估，所採用的參數為何?誤差值為何?是否可用於俟後邊坡整治的參考依據。	降雨崩塌情境模擬及潛勢評估採用之山崩潛感因子包括：坡度、坡向、岩性、地形粗糙度、坡度粗糙度、距鐵路距、距水系距、距道路距、總雨量及最大降雨強度等因子，依照上述因子建立山崩潛感模型,計算山崩潛感值，以供日後邊坡整治之參考依據。
2.	P.55 山崩潛感因子未參考地質參數,僅以岩性、坡度、坡向…等等判別促崩因子，是否具有參考價值?	由於研究區域廣大,很難蒐集到全面的地層材料強度與水文資料參數,因子以岩性做評估。
3.	P.55「岩性」僅係採中央地質調查所之地質圖進行岩性分布資料萃取,以地質年代判別堅硬、抗風化能力，是否客觀?	由於無法得到大區域之詳細的地質參數,目前山崩潛感分析方法大多以岩性取代地質參數進行評估。
4.	數值計算之公式、參數及成果建議專章表示。	採用多變量統計法中的羅吉斯迴歸,詳細內容、參數及成果於後續報告中說明。
5.	預測崩塌位置，請附現況照片俾利參酌。	預測結果將會與航照圖套疊分析，以利參酌。
6.	請附模擬成果之印證準確度資料。	模擬結果將會採用分類誤差矩陣進行驗證。
六、陳委員新發		
1.	降雨特性說明是針對降雨過程定義,但對降雨對崩塌之影響並無具體資料，包括雨型、強度、延時…。	降雨特性將會以總雨量及最大降雨強度代表。
2.	運用羅吉斯迴歸分析運用於本計畫與現況崩塌地對照精確度如何?應有相關數據及分析。	羅吉斯迴歸分析結果,會以分類誤差矩陣驗證其準確率。

附錄四

期中簡報暨工作執行計畫書審查意見回覆

期中簡報暨工作執行計畫書審查意見回覆

一、開會時間：民國 100 年 10 月 7 日(星期五)下午 2 時 0 分

二、開會地點：嘉義林區管理處二樓 204 會議室

三、主 持 人：張副處長岱

四、 審查意見辦理情形，如下表。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
一、 張委員文詔		
1.	期中報告修正可接受。	感謝委員。
2.	P.91 表 4.1 對所採用之方法宜納入比較。	感謝委員指正。表 4.1 乃針對不同的山崩潛勢分析方法進行比較，統計法包含多種分析法，本計畫所選用的羅吉斯迴歸法為統計法之一案例，故沒有納入表 4.1 中比較。統計法中為何選用羅吉斯迴歸法之原因詳細內容說明於第四章 4.1 節 P.82 頁中。
二、 林委員冠洲		
1.	簡報內容請再確認。	感謝委員指正，簡報內容文字誤植之已改正。
2.	期中報告修正情形可接受。	感謝委員認可。
三、 施委員彰樹		
1.	P.9 雨量資料僅列阿里山站資料，建議再增加重點區站附近之相關雨量站資料。	感謝委員建議，已加入奮起湖雨量站的歷年資料，詳細內容說明於第二章 2.1 節 P.7 頁中。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
2.	P.139 本計畫後續方向內第二項歷年崩塌資料繪整與分析乙節,請加強重點崩塌地發生原因之探討分析,以供將來所捏出之高潛勢崩塌區位之標定。	感謝委員建議，第三章歷年崩塌資料彙整與分析中，會加入崩塌地發生原因之探討，並提供高潛勢崩塌區位之標定。
3.	P.18 圖 2.3 土地利用分析圖及 P.19 表 2.4 土地利用各類別比例,如非研究團隊自行調查者外，應標示資料來源及發表日期。	感謝委員指正。P.14 圖 2.3 土地利用分析圖及表 2.4 土地利用各類別比例，為本研究團隊將購買的土地利用圖資，利用 GIS 中統計分析功能計算出來的各類別比例表，並匯出成土地利用分析圖。
4.	本計畫崩塌地之座標建議林務局採用之 TWD97 座標，俾資一致。	感謝委員建議，本計畫崩塌地之座標修改為林務局採用之 TWD97 座標。
5.	本計畫對於高潛勢崩塌地點之評估與標定，應屬重點工作之一，建議儘可能依不同降雨特性條件下，分別篩選與標定其點位。	對於高潛勢崩塌地點之評估與標定，依不同降雨特性條件分別篩選與標定其點位。
四、 許委員中立		
1.	內容已有增加改善，建議給予通過期中審查，進入期末審查程序。	感謝委員鼓勵。
2.	P.5 工作流程請依規定修正。	感謝委員指正,工作流程圖依照規定修改。
3.	P.8 表 2.1 右側及底側加統計值。	感謝委員指正，於期末報告中表 2.1 已加入右側及底側加統計值。
4.	全文橋”梁”請更正。	感謝委員指正，橋樑之文字誤植已改正。
5.	表 2.2 是否能看出類型與分佈區域。	表中歷年阿里山森林鐵路沿線重大工程中，可看出邊坡崩塌之鐵路里程分布位置，但對於邊坡崩塌之類型僅知道其為崩塌地之重大修復、處理工程。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
6.	P.13 列出 96 年森林鐵路沿線災害修復資料之目的為何?	沿線災害修復資料可以了解阿里山森林鐵路沿線詳細的災害修復紀錄。
7.	坡度因子與坡向因子均有入選，是否顯著。	入選建模的因子均為顯著之因子，不顯著之因子於建模時已將其剃除。
8.	P=0.5 區分山崩是否大絕對，可否就分析結果再加以探討。	感謝委員建議，期末報告將崩塌潛勢分為四類:高潛勢、中高潛勢、中潛勢及低潛勢，並依此進行分析結果之探討。
9.	P.134 坡向因子係數都是負值，僅 D1 是正值，是否補充說明。	坡向之係數值都是由 spss 統計軟體中計算出來，正值代表會增加崩塌潛感機率值，而負值則會降低崩塌潛感機率值。
五、 賴委員龍輝		
1.	期中報告 17 頁，研究區內……所包含的事業區有：阿里山、玉山及大埔事業區……是否正確，經過哪些林班？請再查明。	感謝委員指正，阿里山森林鐵路沿線經過的林班地為阿里山事業區，文字誤植部分已修正。
2.	第 20、49、56 等頁面積單位建議以公頃表示。	期末報告中面積單位改為公頃表示。
3.	第 28 頁行政區域，應針對本研究區所涵蓋之區域做敘述，請補正。	針對於阿里山森林鐵路沿線經過之行政區域之敘述，已更正為阿里山森林鐵路經過之行政區來敘述。
4.	第 29 頁人口資料增應以本研究即森林鐵路經過及鄰近曾依靠鐵路為主要交通之聚落為主；竹崎鄉人口部分請補列說明。	感謝委員建議，於期末報告第二章 2.7.2 節表 2.11 已增列竹崎鄉人口說明。
5.	第 31 頁交通，建議以森林鐵路為說明主體，可連接哪些道路與聚落？其與台 18 線的關係？與祝山林道同為森林遊樂區內主要交通路線。	期末報告中會說明森林鐵路可連接之道路與聚落。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
6.	第 140 頁崩塌機率分析，將以總雨量分為 1000、1500、2000、2500、3000 五個級距進行分析，建議 1000 以下增加分析級距。	感謝委員建議，期末報告中改以頻率年之時雨量及三日雨量作為情境模擬，頻率年 2 年、5 年及 10 年之平均總雨量均小於 1000，如 P.138 的表 4.11，詳細內容說明於第四章 4.4 節。
六、 陳委員新發		
1.	雨量以 1000mm 做分析似乎太高，以水保局降雨強度達 400mm 就有可能發生崩塌，建議重新劃分級距。	感謝委員建議，期末報告中改以頻率年之時雨量及三日雨量作為情境模擬，頻率年 2 年、5 年及 10 年之平均總雨量均小於 1000，如 P.138 的表 4.11，詳細內容說明於第四章 4.4 節。
2.	本研究案應於 100 年 10 月 25 日前提送成果報告初稿，請提出未來預定期程。	本計畫將按合約，於 100 年 10 月 25 日提送成果報告初稿。
3.	簡報第 16 頁檳榔椰子，建議把椰子刪除。	感謝委員指正，簡報與報告中已刪除椰子。
七、 阿里山及奮起湖工作站		
1.	請確認本研究成果未來如何實際運用，以作為工作站警戒預警效果。	本研究成果之崩塌潛感圖與鐵路里程結合，並標示出高崩塌潛勢之鐵路里程，供主辦單位參考。

附錄五

期末報告書暨簡報審查會議意見回覆

期末報告書暨簡報審查會議意見回覆

一、開會時間：民國 100 年 11 月 10 日(星期四)下午 2 時 0 分

二、開會地點：嘉義林區管理處二樓 205 會議室

三、主 持 人：張副處長岱

四、 審查意見辦理情形，如下表。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
一、張委員文詔		
1.	期中報告已確實修正完成。	感謝委員鼓勵。
2.	文字部分宜再確認（期末報告）。	感謝委員指正，文字誤植部分將會更正。
3.	”結論與建議”章節宜再加強論述，並已口語代述明降雨警戒值與崩塌潛勢之關聯，以利機關應用。	感謝委員建議，針對結論與建議此章節，會加強論述降雨與崩塌潛勢之關聯，以利機關應用。
二、林委員冠洲		
1.	各場颱風崩塌地之鐵路里程，請完整標示。	感謝委員指正，不同頻率年模擬之降雨高崩塌潛勢區之鐵路里程將會完整標示。
2.	各項分析資料請收錄於報告書之附錄中。	詳細分析資料將會收錄於附錄之中。
3.	本研究於分析中，未考慮之因子或是不足之處，應於結案報告中之建議作充分說明及提醒利用者應注意事項。其中例如本研究分析並未考慮鐵路沿線上下邊坡遭受人為干擾改變所帶來的影響，以及為深入瞭解地下環境條件等之影響因子。	感謝委員建議，於結案報告中之建議部份，對於未考慮之因子會充分說明並提醒利用者應注意事項。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
4.	請補充說明本計畫預期成果第二項提供崩塌警戒值之具體內容及其應用。	感謝委員指正，對於崩塌警戒值之具體內容及其應用，將會結合各頻率年之降雨強度與總雨量資料，提供參考。
三、施委員彰樹		
1.	P.7 表 2-2 奮起湖雨量站降雨量資料宜蒐集至 2010 年，另表格名稱 1999~1999 年似有誤，請查明。	感謝委員指正，表名稱誤植處將會更正；奮起湖雨量站降雨資料會蒐集至 2010 年。
2.	P.35　3.2.1 位置乙節文內有座標系統 TWD67，與表 3-1、表 3-2 等內之座標不一致，請查照改正。	感謝委員指正，3.2.1 節位置文內，座標系統誤植部分將會更正。
3.	本計畫工作項目中 4、內有 A、B 子項，即 A.阿里山森林鐵路邊坡崩塌與 B.土石流潛勢區兩項，報告第五章高崩塌..分析宜分別分析，以符合契約要求。	感謝委員建議，針對工作項目 4 中 A、B 兩項，會分別敘述以符合契約要求。
4.	上述兩項特性區分依鐵路里程除標示崩塌潛勢區域外，並應與航照資料套疊比對分析，並請查照補入。	感謝委員指正，除將鐵路里程標示高崩塌潛勢區外，將會補入行照資料套疊比對分析。
5.	P.141 降雨崩塌潛勢地特性分析，雖已依降雨量重現期距分別以表 5.1~5.3 依鐵路里程之高、中潛勢區之點位，惟各點位是否已經現勘查認，如有宜將其照片附入。另為期該等表能提供在實務上更有使用價值，建議如可能附各點位再多大雨量情況下有高、中危險（崩塌）之情形。	感謝委員建議，不同降雨重現期距之高崩塌潛勢區域鐵路里程已詳細標示，並結合不同重現期距之時雨量與三日雨量資料。

項次	參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形
6.	工作項目之6針對鐵路災害地區及二萬坪等處，提供降雨特性邊坡崩塌之影響乙項，再報告內宜有敘述。	感謝委員建議，工作項目之6將會加入於報告內第六章部份，說明鐵路災害地區23公里及二萬坪等處，降雨特性邊坡崩塌之影響。
四、賴委員龍輝		
1.	報告書內文字敘述、圖說及表格請依所附報告書內容修正。	感謝委員指正，報告書內文字敘述、圖說及表格會依所附報告書內容修正。
2.	鐵路各里程警戒值請事先與鐵路課確認，避免後續作業困難。	鐵路各里程警戒值將會先與鐵路課確認。
3.	第23頁人口，請加入梅山鄉人口說明。	成果報告於第2.7.2節表2.12中，已加入梅山鄉人口說明。
4.	第27頁產業發展，請加入梅山鄉之說明。	成果報告於第2.7.4節中，已加入梅山鄉產業發展說明。
5.	第 96 頁雨場切割，採用何種方法請說明之。	採用雨場切割方法為表 4.3 中第七種方法。
6.	第 104 頁距離因子分析級距依據為何?是否恰當?	距離因子分析級距為參考國內外文獻後，以40公尺為分析級距，為了解距道路、鐵路及水系之遠近是否對邊坡崩塌有影響。
7.	第五章請加入航照資料套疊標示分析，並標示臨界值與點位。	第五章將會加入航照資料套疊標示分析，並標示出各重現期距之時雨量與三日雨量資料。
8.	崩塌潛勢分析結果對照現況是否符合?	不同頻率年模擬之高崩塌潛勢結果，若雨量分布接進時，可做為參考依據。

項次	參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形
9.	請提供森林鐵路災害地區之 23 公里、二萬坪等處降雨特性邊坡崩塌之影響資料。	於報告內第六章部份，會說明鐵路災害地區 23 公里及二萬坪等處，降雨特性邊坡崩塌之影響。
10.	結論與建議部分，請說明較具體成果，以供實務上運用。	感謝委員指正，結論與建議部份，會改以較具體之成果說明，以供實務上之運用。
五、奮起湖工作站		
1.	結論與建議應再加強，並具體化。	感謝委員指正，結論與建議部份，會改以較具體之成果說明，以供實務上之運用。
六、作業課		
1.	P.26 台 18 線 36K 請修正為 50K，50K 修正為 64K。	感謝委員指正，台 18 線里程誤植部分會改為正確之里程數。
2.	P.70 22K+150~170 和 P.71 22K+120~140 照片相同請修正。	感謝委員指正，已修正照片相同處。
3.	P.27 就業人口 80%，78%等人口外流嚴重，就業人口應為現有人口，建議修正。	感謝委員建議，P.27 並無提到人口流失嚴重，採用的就業人口為現有的。
七、鐵路課		
1.	P.7 表 2.2 之表頭年份有誤。	感謝委員指正，已將表 2.2 之表頭改正。
2.	P.10 表 2.3 歷年阿里山森林鐵路沿線重大工程於 98 年莫拉克工程遺漏。	感謝委員指正，表 2.3 已加入民國 98 年莫拉克颱風災害搶修工程。
3.	P.36、P.37 表 3.1 莫拉克颱風崩塌地座標及鐵路里程，應補足鐵路里程。	感謝委員指正，表 3.1 為鄰近鐵路沿線之崩塌地，若無與鐵路相交之崩塌地，並無鐵路里程數。

項次	參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
4.	P.73、P.75 復”建”文字有誤。	感謝委員指正，文字誤植已更正。
5.	P.141~P.143 降雨高崩塌潛勢地區特性分析表 5.1 潛勢區，建議分別述明崩塌潛勢”點”里程及相對應照片。	感謝委員建議，各頻率年模擬之高崩塌潛勢區已標示詳細鐵路里程，若以點標示可能有失準確性。
6.	P.172~P.173 連委員祥益及陳委員新發意見未見回覆。	感謝委員指正，會加入連委員祥益及陳委員新發意見之回覆。
7.	P.144 第六章結論與建議，參考價值應再加強以利實務應用。	感謝委員建議，結論與建議部份，會改以較具體之成果說明，以利實務上之運用。
8.	P.137~P.140 圖 4.30~4.36 山崩機率面積似乎過大。	山崩潛感模式確實會有誤判之問題，加上以莫拉克颱風之總雨量及最大降雨強度建模，可能有過估的情形，但也是較保守之情況。
9.	P.15 面積有 6 點 2,537,000,000 平方公尺？	面積誤植部分已更正。