
基於不同情境條件之
震後坡地崩塌影響評估研究

**Influence Assessment of Post-earthquake
Landslide base on Different Scenario
Conditions**

執行單位：逢甲大學

執行期間：110年01月27日至110年12月31日

計畫主持人：逢甲大學營建及防災研究中心謝孟勳研究副教授

共同主持人：逢甲大學土木工程學系林正紋教授

逢甲大學土木工程學系李秉乾教授

逢甲大學營建及防災研究中心林秉賢研究助理教授

國立中央大學地球科學系馬國鳳教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 110 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

基於不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估研究

摘 要

臺灣地區平均每 2.5 年發生一次規模達到 7 以上的地震，具有很高的地震危害度。本計畫的研究目的是建立可有效應用於減災規劃及緊急應變用途的坡地崩塌系統性評估方法、模式和架構，並進一步發展成為能在地震前可靠地進行全臺崩塌模擬預估，地震後能夠有效地掌握可能嚴重區域。此評估方法能夠評估坡地災害發生的規模、大小、機率和位置，進而據以擬定減災策略和降低災害造成的損失。因此，本計畫的研究目標為因應新制地震震度分級表，發展以地表速度 (PGV) 為誘發因子的坡地易損性模式，建立全台之震後坡地崩塌評估系統架構。同時，基於區域型坡地崩塌評估基礎資料庫，本研究進行 12 個不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估。研究成果可進一步應用於不同之防災需求，作為未來地震引致崩塌災害集水區之防減災策略之參考。

關鍵字：地震引致崩塌、坡地易損性曲線、地震危害度分析、崩塌機率、情境模擬

Influence Assessment of Post-earthquake Landslide base on Different Scenario Conditions

Abstract

Taiwan area has a very high seismic hazard due to an earthquakes of more than 7 magnitude (M_w) once occur every 2.5 years. The purpose of the study is to develop a systematic method, model and framework that can be effectively applied to prevention and emergency planning. The study is expected to be further developed to be able to reliably predict the pre-earthquake landslides estimation of Taiwan, and to be able to effectively estimated the post-earthquake probability landslides area of Taiwan. The evaluation method can evaluate the landslides scale, size, probability and location, and then draw up a disaster reduction strategies and reduce the losses caused by disasters. Thus, the objective of the study is developed landslide fragility model that uses PGV as the inducing factor corresponding to the new earthquake intensity classification. This work established a assessment system framework of post-earthquake landslides. Furthermore, the study involved in 12 different scenario conditions to evaluate post-earthquake landslide influence base on the regional landslide assessment database. The results of the study show that the assessment framework can be used for different disaster prevention needs as a reference for future earthquake-induced landslide prevention and mitigation strategies.

Keywords: earthquake-induced landslide, landslide fragility curve, seismic hazard analysis, landslide probability, scenario analysis

目次

目次	III
表次	V
圖次	VII
 第一章 前言	1
第一節 計畫緣起與目的	1
第二節 工作項目與內容	3
第三節 計畫執行流程	5
第二章 國內外相關文獻回顧	7
第一節 災害風險分析	7
第二節 地震易損性分析	9
第三章 高震度區之坡地易損性模式精進	15
第一節 易損性模式的發展	15
第二節 坡地易損性曲線建立	22
第三節 坡地易損性曲線精進	23
第四節 研究材料	26
第五節 環境因子資料庫	38
第六節 坡面單元分類	44
第七節 坡地易損性分析	51
第四章 坡地崩塌評估基礎資料庫擴充	56
第一節 全台坡面單元資料庫	57
第二節 坡面單元資料庫編碼	64
第三節 坡面單元屬性分析方法	65
第五章 未知斷層情境下之坡地崩塌評估資料庫研析	120

第一節	坡地崩塌評估資料庫之震源分區	122
第二節	地震引致之崩塌評估	126
第三節	20180206 花蓮地震事件	129
第四節	20210418 花蓮地震事件	132
第六章	不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估	139
第一節	特定斷層之地震引致崩塌分析	139
第二節	編號 CGS01-70 山腳斷層情境	142
第三節	編號 CGS02-68 湖口斷層情境	148
第四節	編號 CGS04-66 新城斷層情境	152
第五節	編號 CGS10-76 彰化斷層情境	156
第六節	編號 CGS11-76 車籠埔斷層情境	162
第七節	編號 CGS12-70 大茅埔-雙冬斷層情境	168
第八節	編號 CGS13-69 九芎坑斷層情境	174
第九節	編號 CGS24-70 潮州斷層情境	178
第十節	編號 TEM22-68 木屐寮-六甲斷層情境	184
第十一節	編號 CGS26-64 米崙斷層情境	188
第十二節	編號 CGS32-62 鹿野斷層情境	192
第十三節	編號 TEM33-75 花東縱谷斷層情境	196
第七章	結論與建議	203
附錄一	計畫書審查意見回復	i
附錄二	期初審查意見回復	ii
附錄三	期中審查意見回復	v
附錄四	期末聯合審查意見回復	vii

表 次

表 1-1	研究工作執行進度表.....	6
表 2-1	易損性曲線常見之機率分布函數	12
表 2-2	易損性曲線其它常見之分布函數	13
表 3-1	中央氣象局地震震度階級對照表(2020 年新制).....	24
表 3-2	研究地區裸露地統計.....	27
表 3-3	研究地區新增崩塌地統計	30
表 3-4	環境資料庫之類型和檔案格式	38
表 3-5	李錫堤教授提出之台灣地區地質分類	39
表 3-6	地質分類統計(以研究區為例).....	44
表 3-7	坡向敏感因子分類統計(以研究區為例).....	46
表 3-8	坡度分類統計(以研究區為例).....	47
表 3-9	以 PGA 為致災因子之 12 類坡地易損性參數表	51
表 3-10	以 PGV 為致災因子之 12 類坡地易損性參數表	53
表 4-1	中央地質調查所產製之全台坡面單元資料庫	57
表 4-2	全國各河川流域坡面單元劃定基礎資料	58
表 4-3	坡面單元編碼.....	64
表 4-4	全國各河川流域坡面單元地質分類之數量統計	66
表 4-5	全國各河川流域坡面單元坡向因子之數量統計	72
表 4-6	全國各河川流域坡面單元山腳斷層方位角之數量統計	77
表 4-7	全國各河川流域坡面單元山腳斷層夾角之數量統計	82
表 4-8	全國各河川流域坡面單元順向坡之數量統計	88
表 4-9	全國各河川流域坡面單元對山腳斷層坡向敏感因子之數量統計 ..	93
表 4-10	全國各河川流域坡面單元坡度分類之數量統計	99
表 4-11	全國各河川流域坡面單元有效數量統計	105

表 4-12	山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G1 類	108
表 4-13	山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G2 類	113
表 5-1	20180206 花蓮地震事件 ($M_w=6.4$) 坡面崩塌評估	130
表 5-2	20210418 花蓮地震事件 ($M_w=6.2$) 坡面崩塌評估 (PGA)	134
表 5-3	20210418 花蓮地震 ($M_w=6.2$) 坡面崩塌評估 (PGV)	135
表 6-1	本計畫 12 場模擬情境	141
表 6-2	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGA)	144
表 6-3	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGV)	146
表 6-4	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 坡面崩塌評估 (PGA)	150
表 6-5	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 坡面崩塌評估 (PGA)	154
表 6-6	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGA)	158
表 6-7	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGV)	160
表 6-8	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGA)	164
表 6-9	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGV)	166
表 6-10	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGA)	170
表 6-11	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGV)	172
表 6-12	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 坡面崩塌評估 (PGA)	176
表 6-13	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGA)	180
表 6-14	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGV)	182
表 6-15	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 坡面崩塌評估 (PGA)	186
表 6-16	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 坡面崩塌評估 (PGA)	190
表 6-17	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 坡面崩塌評估 (PGA)	194
表 6-18	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 坡面崩塌評估 (PGA)	198
表 6-19	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 坡面崩塌評估 (PGV)	200

圖 次

圖 1-1	研究流程圖.....	5
圖 2-1	不同損害分級之易損性曲線關係	9
圖 3-1	坡地易損性模式建立流程	26
圖 3-2	研究區域.....	27
圖 3-3	九二一地震前後期裸露地分布	28
圖 3-4	崩塌地變遷及分類示意.....	29
圖 3-5	坡面資料套疊網格示意圖	30
圖 3-6	921 新增崩塌地.....	30
圖 3-7	自由場強地動測觀測網(TSMIP)測站分布.....	32
圖 3-8	區域趨勢值與空間中隨機變動值之關係	35
圖 3-9	尖峰地表加速度分布.....	37
圖 3-10	尖峰地表速度分布.....	37
圖 3-11	李錫堤教授分類之地質圖	40
圖 3-12	坡向圖(以研究區為例).....	41
圖 3-13	坡度圖(以研究區為例).....	42
圖 3-14	順向坡分布圖(以研究區為例).....	43
圖 3-15	坡面單元地質分類(以研究區為例).....	44
圖 3-16	坡面方位角和震波方位角的關係	45
圖 3-17	坡向敏感因子定義.....	46
圖 3-18	坡面單元坡向敏感因子分類(以研究區為例).....	46
圖 3-19	坡面單元坡度分類(以研究區為例).....	47
圖 3-20	研究區崩塌坡面分佈.....	50
圖 3-21	G1A1S1 易損性曲線(PGA).....	52
圖 3-22	G1A1S2 易損性曲線(PGA).....	52

圖 3-23	G1A1S3 易損性曲線(PGA).....	52
圖 3-24	G1A2S1 易損性曲線(PGA).....	52
圖 3-25	G1A2S2 易損性曲線(PGA).....	52
圖 3-26	G1A2S3 易損性曲線(PGA).....	52
圖 3-27	G2A1S1 易損性曲線(PGA).....	52
圖 3-28	G2A1S2 易損性曲線(PGA).....	52
圖 3-29	G2A1S3 易損性曲線(PGA).....	53
圖 3-30	G2A2S1 易損性曲線(PGA).....	53
圖 3-31	G2A2S2 易損性曲線(PGA).....	53
圖 3-32	G2A2S3 易損性曲線(PGA).....	53
圖 3-33	G1A1S1 易損性曲線 (PGV).....	54
圖 3-34	G1A1S2 易損性曲線 (PGV).....	54
圖 3-35	G1A1S3 易損性曲線 (PGV).....	54
圖 3-36	G1A2S1 易損性曲線 (PGV).....	54
圖 3-37	G1A2S2 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 3-38	G1A2S3 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 3-39	G2A1S1 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 3-40	G2A1S2 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 3-41	G2A1S3 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 3-42	G2A2S1 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 3-43	G2A2S2 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 3-44	G2A2S3 易損性曲線 (PGV).....	55
圖 4-1	地調所繪製之全臺各河川流域坡面單元分布圖	63
圖 4-2	全臺順向坡分布圖	87
圖 4-3	淡水河流域之山腳斷層坡 面單元分類	118

圖 4-4	烏溪流域之山腳斷層坡面單元分類	118
圖 4-5	濁水溪流域之山腳斷層坡面單元分類	118
圖 4-6	高屏溪流域之山腳斷層坡面單元分類	118
圖 5-1	地震評估模式.....	120
圖 5-2	未知斷層情境下之坡地崩塌評估模式	122
圖 5-3	根據坡面單元距斷層距離進行震源分區	123
圖 5-4	不合適的集水區區劃示意	124
圖 5-5	根據集水區範圍進行震源分區修正	124
圖 5-6	根據斷層位置及風險進行震源分區編修	125
圖 5-7	20180206 花蓮地震中央氣象局地震報告	129
圖 5-8	20180206 花蓮地震事件地表震度 PGA 分布	130
圖 5-9	20180206 花蓮地震事件地表震度 PGV 分布	130
圖 5-10	20180206 花蓮地震事件之集水區最小崩塌量 (PGA).....	131
圖 5-11	20180206 花蓮地震事件之集水區最大崩塌量 (PGA).....	131
圖 5-12	20180206 花蓮地震事件之集水區最小崩塌率 (PGA).....	131
圖 5-13	20180206 花蓮地震事件之集水區最大崩塌率 (PGA).....	131
圖 5-14	20210418 花蓮地震中央氣象局地震報告	133
圖 5-15	20210418 花蓮地震事件地表震度 PGA 分布	133
圖 5-16	20210418 花蓮地震事件地表震度 PGV 分布	133
圖 5-17	20210418 花蓮地震事件之集水區最小崩塌量 (PGA).....	136
圖 5-18	20210418 花蓮地震事件之集水區最大崩塌量 (PGA).....	136
圖 5-19	20210418 花蓮地震事件之集水區最小崩塌率 (PGA).....	136
圖 5-20	20210418 花蓮地震事件之集水區最大崩塌率 (PGA).....	136
圖 5-21	20210418 花蓮地震事件之新增崩塌地	137
圖 5-22	20210418 花蓮地震事件之集水區實際崩塌量	137

圖 6-1	未來 50 年台灣孕震構造發震機率	140
圖 6-2	特定活斷層之地震引致崩塌風險分析流程	141
圖 6-3	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGA 分布	143
圖 6-4	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGV 分布	143
圖 6-5	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	143
圖 6-6	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)	143
圖 6-7	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)	145
圖 6-8	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)	145
圖 6-9	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)	145
圖 6-10	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)	145
圖 6-11	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)	147
圖 6-12	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)	147
圖 6-13	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)	147
圖 6-14	山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)	147
圖 6-15	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGA 分布	149
圖 6-16	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGV 分布	149
圖 6-17	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	149
圖 6-18	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)	149
圖 6-19	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)	151
圖 6-20	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)	151
圖 6-21	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)	151
圖 6-22	湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)	151
圖 6-23	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之地表震度 PGA 分布	153
圖 6-24	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之地表震度 PGV 分布	153
圖 6-25	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	153

圖 6-26	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV).....	153
圖 6-27	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGA).....	155
圖 6-28	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGA).....	155
圖 6-29	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGA).....	155
圖 6-30	新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGA).....	155
圖 6-31	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGA 分布	157
圖 6-32	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGV 分布	157
圖 6-33	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA).....	157
圖 6-34	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV).....	157
圖 6-35	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGA).....	159
圖 6-36	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGA).....	159
圖 6-37	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGA).....	159
圖 6-38	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGA).....	159
圖 6-39	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGV).....	161
圖 6-40	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGV).....	161
圖 6-41	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGV).....	161
圖 6-42	彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGV).....	161
圖 6-43	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGA 分布	163
圖 6-44	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGV 分布	163
圖 6-45	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA).....	163
圖 6-46	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV).....	163
圖 6-47	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGA).....	165
圖 6-48	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGA).....	165
圖 6-49	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGA).....	165
圖 6-50	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGA).....	165

圖 6-51	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)	167
圖 6-52	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)	167
圖 6-53	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)	167
圖 6-54	車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)	167
圖 6-55	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGA 分布	169
圖 6-56	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGV 分布	169
圖 6-57	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA).169	
圖 6-58	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV).169	
圖 6-59	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGA).171	
圖 6-60	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGA).171	
圖 6-61	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGA).171	
圖 6-62	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGA).171	
圖 6-63	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGV).173	
圖 6-64	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGV).173	
圖 6-65	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGV).173	
圖 6-66	大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGV).173	
圖 6-67	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之地表震度 PGA 分布	175
圖 6-68	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之地表震度 PGV 分布	175
圖 6-69	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	175
圖 6-70	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)	175
圖 6-71	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)	177
圖 6-72	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)	177
圖 6-73	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)	177
圖 6-74	九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)	177
圖 6-75	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGA 分布	179

圖 6-76	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGV 分布	179
圖 6-77	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	179
圖 6-78	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)	179
圖 6-79	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)	181
圖 6-80	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)	181
圖 6-81	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)	181
圖 6-82	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)	181
圖 6-83	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)	183
圖 6-84	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)	183
圖 6-85	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)	183
圖 6-86	潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)	183
圖 6-87	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGA 分布	185
圖 6-88	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGV 分布	185
圖 6-89	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA).185	
圖 6-90	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV).185	
圖 6-91	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌量 (PGA).187	
圖 6-92	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌量 (PGA).187	
圖 6-93	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌率 (PGA).187	
圖 6-94	木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌率 (PGA).187	
圖 6-95	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之地表震度 PGA 分布	189
圖 6-96	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之地表震度 PGV 分布	189
圖 6-97	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	189
圖 6-98	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)	189
圖 6-99	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)	191
圖 6-100	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)	191

圖 6-101	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)	191
圖 6-102	米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)	191
圖 6-103	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之地表震度 PGA 分布	193
圖 6-104	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之地表震度 PGV 分布	193
圖 6-105	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	193
圖 6-106	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)	193
圖 6-107	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)	195
圖 6-108	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)	195
圖 6-109	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)	195
圖 6-110	鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)	195
圖 6-111	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之地表震度 PGA 分布	197
圖 6-112	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之地表震度 PGV 分布	197
圖 6-113	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)	197
圖 6-114	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)	197
圖 6-115	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)	199
圖 6-116	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)	199
圖 6-117	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)	199
圖 6-118	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)	199
圖 6-119	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)	201
圖 6-120	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)	201
圖 6-121	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)	201
圖 6-122	花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)	201

第一章 前言

第一節 計畫緣起與目的

台灣位處於環太平洋地震帶上，經常性的地殼變動造成土質鬆軟且不穩定，本島和鄰近海域平均每 2.5 年就發生一次規模達到 7 以上的地震，具有很高的地震危害度。強烈地震時除了常見的建物損害，山坡地的崩塌也是地震可能的危害，對於位處菲律賓板塊和太平洋板塊交接處且山坡地佔 74% 的台灣，全國山坡地的管理就必須重視地震引致坡地災害的風險，例如坡地崩塌造成的生命財產損失、山區道路因崩塌造成的阻斷等。此外，震後坡地產生的鬆軟土石、崩塌堆積在河道的土方若在尚未復育期間遭受颱風、豪雨等的侵襲，也極易引起二次崩塌、地滑、土石流等土砂災害的發生。例如 1999 年發生的 921 大地震，引發車籠埔斷層與雙冬斷層發生劇烈錯動，造成極為嚴重的建物倒塌、崩塌災害以及往後數年間的土石流災害。近期則有 2018 年 9 月 6 日發生的日本北海道胆振東部地震中，規模 6.7 的地震引發大規模崩塌災害亦是這類災害的重要案例。

由於現今科技對於地震仍難以準確預測，誘發坡地崩塌的物理機制又極為複雜，導致地震直接誘發及引起的廣域坡地災害難以預測、預警及評估。過去相關研究中多以理論法發展局部崩塌為主的工程模式，這類方法蒐集崩塌案例及地震觀測紀錄再輔以地質調查進行分析。然而這類方法要進行大規模地震時的廣域崩塌評估仍有侷限。此外，地震誘發之坡地災害潛勢，無法如颱風或豪雨般利用即時監測系統進行災害預警 (pre-disaster prevention)，造成突發性地震事件中對於坡地崩塌狀況無法掌握，後續緊急應變方案及災害管理策略將難以順利進行。反之，若能在地震前或地震中能夠可靠地掌握地震發生可能引致的災害或嚴重災害發生的區域，對於地震引起的坡地災害將可有效地擬定集水區土砂減災策略進而降低災害造成的損失。

本研究在先期的研究中已建立了地震引致崩塌的坡地易損性曲線 (Landslide Fragility Curves, LFA) 分析模式，並結合台灣地震模型 (Taiwan Earthquake Model, TEM) 團隊的機率式地震危害度分析 (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA) 研究成果，完成地震引致崩塌危害評估模式之發展，對於地震引致的崩塌危害評估建立良好的基礎。而在 109 年度的創新研究計畫中，完成全台之坡面單元資料庫建立及編碼工作，並建立全台之震後坡地崩塌評估架構，完成車籠埔斷層、九芎坑斷層和花東縱谷斷層之全台坡面單元評估示範研究。而本計畫將解決二個應用層面的問題：首要即是中央氣象局基於過去災損經驗，為了使高震度級區域的地震災害特徵能夠更符合實際災害狀況，將高震度級（五弱級以上）改以尖峰地表速度 (PGV) 定義，此一改版使本研究以尖峰地表加速度 (PGA) 為基礎之評估模式果在未來高震度區應用時可能有疑義。其二，震後坡地崩塌評估基礎資料庫與斷層位置相關，然而在實際地震初期並無法確切知道誘發斷層位置，而僅是根據全台地震測站定位出震央位置並進行震度推估，因此如何在未知斷層的地震初期進行震後坡地崩塌評估，即是本研究所要解決的課題。

本計畫之研究目的，是建立可有效應用於減災規劃及緊急應變用途的系統性坡地崩塌評估方法、模式和架構，並進一步發展成為能在地震前可靠地進行崩塌模擬預估，地震後能夠有效地掌握可能嚴重區域，進而據以擬定減災策略和降低災害造成的損失。因此，本計畫整合應用坡地易損性分析模式、地震危害度分析模式以及地震引致崩塌危害評估模式，建立全台之震後坡地崩塌評估架構，能夠在早期進行全台不同震度下之崩塌評估。主要的工作目標為因應新制地震震度分級表，發展以地表速度 (PGV) 為誘發因子的坡地易損性模式。此外，針對地震初期未知斷層之情形，基於震源位置劃分區域型坡地崩塌評估基礎資料庫。計畫成果預期可應用於震後集水區坡地崩塌之快速評估，做為坡地災害減災管理以及治理對策的參據。

第二節 工作項目與內容

本計畫基於前期研究成果，整合坡地易損性模式、機率式地震危害度分析和地震引致崩塌危害評估等方法，將進行不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估研究。主要工作項目如下：

一、高震度區之坡地易損性模式精進

中央氣象局 109 年 1 月 1 日起施行之新制地震震度分級表，將原 8 級距擴增為 10 級距。同時，為使細分之震度和地震災害的嚴重程度有更大相關性，新制震度級定義修正為 5 弱級以上改以尖峰地表速度 (PGV) 決定。本項工作即針對此一問題，將建立以地表速度 (PGV) 為誘發因子的坡地易損性模式，進行不同地文條件下之坡地易損性分析，進一步建立適於高震度區之 12 類坡地易損性曲線。

二、坡地崩塌評估基礎資料庫擴充

震後坡地崩塌評估係基於合適之評估單元及坡地分類資料庫，坡面單元屬性係結合各因子資料及斷層特性描述坡面單元之易損特徵，各斷層由於對坡面單元的坡向敏感度不同，因此要建立對應的系統化評估基礎資料庫。本項工作即根據 TEM 地震危害度分析結果，針對台灣北部地區新增一條代表斷層進行坡地崩塌評估基礎資料庫建置，建置內容包括地質、坡度、坡向、順向坡、斷層方位等必要之地文條件屬性，並針對選定斷層進行全台坡面單元分類工作。

三、未知斷層情境下之坡地崩塌評估資料庫研析

目前 TEM 已完成地震危害度分析的全台斷層數量共計 38 條，然而要針對各斷層建立對應之坡地崩塌評估基礎資料庫需要較長時間建置。然而，地震發生初期對於誘發斷層尚未確知，因此更適合以大尺度震源分區的概念發展區域型的坡地崩塌評估資料庫，亦即將全台劃分為數個震源分區，於地震早期評估中可根據震央位置先確定震源分區所屬，再以此震源分區之

坡地崩塌評估資料庫進行坡地評估。本項工作將根據前項工作項目中完成之北部地區代表斷層，結合本研究已建置完成之三條斷層資料庫（包括中部車籠埔斷層、南部九芎坑斷層以及東部花東縱谷斷層），整合為北中南東四個震源分區資料庫，並基於地震崩塌風險進一步研析震源分區劃分方式，完成地震初期未知斷層情況下之震源分區資料庫劃分工作。

四、不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估

震後坡地崩塌之早期評估須基於系統性的評估方法、模式和架構，使在震後早期能夠快速地提供有效的崩塌評估資料，可靠地做為減災規劃及緊急應變之參考依據，而災前預先建置適當的情境模擬資料庫是可行且可靠的方式，也可加快地震早期評估工作的進行。本項工作將基於建置完成之區域型坡地崩塌評估基礎資料庫，模擬不同情境條件下震後坡地崩塌之影響，針對北中南東不同震源參數進行情境模擬，各分區將依據 TEM 地震危害度分析成果分別設定三個不同規模情境之地震資料庫（總計 12 個模擬資料庫），並進行地震誘發崩塌危害評估，包括震度推估 (PGA、PGV)、崩塌機率、崩塌分布等。

第三節 計畫執行流程

依研究工作項目及內容，本研究整體工作執行架構包括高震度區之坡地易損性模式精進、坡地崩塌評估基礎資料庫擴充、未知斷層情境下之坡地崩塌評估資料庫研析、不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估，整體流程如圖 1-1 所示，研究工作執行進度如表 1-1。

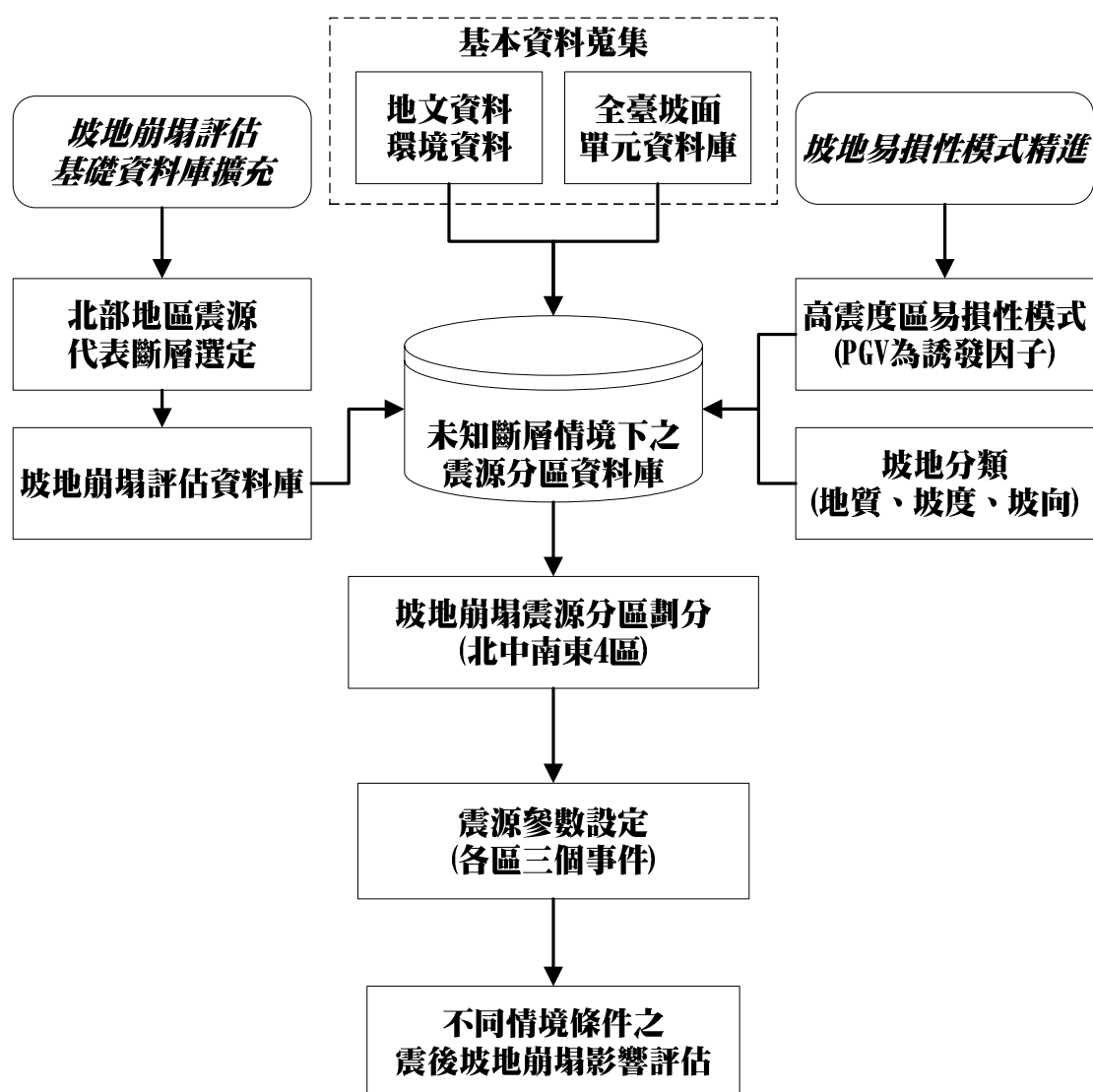


圖 1-1 研究流程圖

表 1-1 研究工作執行進度表

工作項目	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
國內外相關文獻探討	■	■	■	■	■	■	■			
高震度區之坡地易損性模式精進	■	■	■	■	■	■	■			
坡地崩塌評估基礎資料庫擴充		■	■	■	■	■	■			
未知斷層情境下之坡地崩塌評估資料庫研析			■	■	■	■	■	■	■	
不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估				■	■	■	■	■	■	
期中/期末報告					■					■

■ 已完成進度；□ 預期進度

第二章 國內外相關文獻回顧

第一節 災害風險分析

風險管理最早應用於 19 世紀末經濟課題探討，近代已廣泛應用於不同領域中。風險評鑑係風險管理中最為重要的一環，決定了面對可能風險時之指導、管制、計畫與政策。風險評鑑包含風險鑑別、風險分析和風險評估三個過程。根據中華民國國家標準 (2012) 「風險管理—詞彙」(CNS 14889, Z 4066) 所述，本研究以災害管理的觀點將此三個過程分別說明如下：

一、風險鑑別

係發現、認知及描述災害風險之過程，包括風險緣由、事件、大小、其原因及潛在結果（後果）之鑑別，可經由歷史數據、理論分析、已知現象與專家判斷描述災害風險之需求。災害風險鑑別之目的即為瞭解致災環境可能的危害因子，並鑑別災害風險可能造成的衝擊及影響。

二、風險分析

係理解災害風險的本質並決定風險等級之過程，包括頻率分析、脆弱度分析、暴露分析及後果分析。頻率分析即災害事件發生之可能性或週期。脆弱度分析即風險緣由的致災性，表示導致危害後果的本質。暴露分析為針對曝險對象估計或評價其涉入災害風險之程度，描述災害風險實質的危害程度，所以視評價之對象又常稱為暴露度或暴露量。後果分析則為估計災害風險可能造成的損失大小，作為風險對策的成本及效益的基準，例如損失金額或其它損失量。前二者為風險分析中最為關鍵的工作。

三、風險評估

係將風險分析之結果與風險準則相比較，以決定災害風險及／或其後果是否可接受或可容忍的過程。風險準則係依評估災害風險之顯著性所定義。風險準則可定義自標準作業程序、防救災計畫、防救災對策或其它需求。

在上述三個過程中，風險鑑別即是所謂的災害潛勢分析，可藉由災害特性、過去發生事件、理論分析來描述；通常也和風險分析過程中的災害頻率分析共同討論，而形成所謂的危害度分析，例如地震災害的 PGA 推估、水災的淹水深度模擬等。共通特性就是風險鑑別必須基於某個災害規模的想定，作為後續風險管理的基準，一般稱之為災害規模設定或災害防護規模 (defense magnitude)。第二個過程－風險分析，涵蓋的數理層次極廣，可應用的元素包括機率 (probability)、頻率 (frequency)、脆弱度 (vulnerability)、易損性 (fragility)、風險矩陣 (risk matrix)、風險等級 (level of risk) 等。因此不同類型的災害延生出許多不同的分析方法。一般而言，風險分析皆以危險事件發生的機率與其後果的組合來描述，並根據問題的清楚描述 (即災害頻率分析、脆弱度分析、暴露分析及後果分析) 建立複雜問題的分析模式。United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO) (1979) 曾針對風險問題中的災害風險分析提出一個定量的風險計算模式，表示如下：

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} \times \text{Exposure} \quad (2-1)$$

上式中的 **R** 代表風險；**H** 為危害度，包含災害潛勢的頻率或規模，係風險鑑別和頻率分析的結果；**V** 為脆弱度或易損性，表示在災害潛勢的頻率或規模下風險問題發生的性質、程度或機率；**E** 為暴露度或暴露量，表示曝險對象 (保全對象) 涉入風險問題之程度 (損失)。式(2-1)完整表現災害風險分析的定義和組合特性，因此廣為研究者所採用，亦適於作為災害風險管理課題的基礎。因此亦被許多學者稱為風險三要素(risk triangle, Crichton, 1999)。

對於第三個過程－風險評估，則係依據風險分析之結果與定義自標準作業程序、防救災計畫、防救災對策或其它防救災需求之準則比較。藉以界定災害風險後果是否超過可接受或可容忍的範圍，其中包括防救災物資、機具、人力、資源等需求評估，並據以改進及改善防救災對策。在風險評估過程使用的元素，則包括風險之對策、度量、裕度、迴避、彙整及接受。

第二節 地震易損性分析

工程上易損性曲線 (fragility curve) 的概念最早被地震工程專家應用於描述地震中橋梁或建築物之損害可能性評估 (Ang and Tang, 1975; Rossetto and Elnashai, 2003; Rota *et al.*, 2008; Shinozuka *et al.*, 2000; 李秉乾等, 2005)。在探討地震導致結構物破壞之問題上，可利用結構分析的方式來進行目標結構的耐震分析，不論利用靜力分析或動力分析，皆可輕易得到所設計結構的耐震評估結果，但事實上土木工程未必能夠完全依照結構設計的期望來建造理想的建築物，肇因於工程上具有相當多的不確定性因子，諸如施工技術、品質管理、材料品質變異、地質條件、設計規範等等。因此就巨觀而言，對於建築物遭致地震侵襲時的破壞，就可被描述成一個高度複雜因子的統計問題。而針對這樣的問題，統計學家及地震工程學家即提出以建築物易損性曲線描述建築物受震時可能的破壞機率。近年來，由於越來越重視地震災害的威脅，建築物易損性曲線已成為地震災損評估及風險分析必要的工具之一 (Whitman, *et al.* 1997; Yamazaki, 2001; Shibata, 2006)。而所謂建築物易損性曲線，即是描述在不同的強地表因子下 (如尖峰地表加速度、尖峰地表速度、地表最大位移等) 建築物產生不同損害狀況的機率值；如圖 2-1 所示，不同損害程度可藉由累積機率分布曲線各別描述，可應用於評估建築物在地震後的可能損壞情形 (功能性與經濟性) 及修復所需的成本 (金錢與時間)，並廣泛地應用於地震早期災損評估及減災規劃上，提供評估經濟損失、災後緊急動員參考、耐震需求分析與工程參數研究之用。

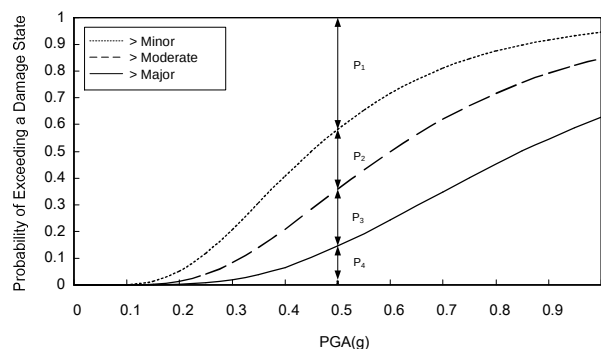


圖 2-1 不同損害分級之易損性曲線關係

一、易損性曲線的求取方法

對於外力引致損害的問題常使用損害機率矩陣 (damage probability matrices; DPMs) 或是易損性曲線來表示致災因子與災害的關係。損害機率矩陣係將損害程度與致災因子以矩陣型式描述其關係，藉由矩陣關係可以進一步求取特定因子與損害程度的機率關係 (例如 Basöz *et al.*, 1999; Sarabandi *et al.*, 2004; Muñoz *et al.*, 2007)。由於自然災害現象之致災原因有時不只一個，例如降雨引致坡地崩塌之原因可能來自於短時最大降雨、長時累積降雨、地下水…等，又或地震引致的崩塌可能原因來自地質、地層弱面、坡度、震波強度、頻率等，因此易損性曲線描述受災本體在災害侵襲時的易致災特性，並表達特定致災因子對於受災本體達到或超過某種損害狀態的超越機率。在地震引致建築物損害的領域，易損性曲線的分析方法非常多元，藉由可取得的致災資料 (vulnerability data) 可細分五類方法求取 (謝孟勳，2013)，包括專家判斷法、靜力分析法、動力分析法、經驗分析法及混合法等。易損性曲線發展迄今專家判斷法仍是不可或缺的重要基準，其它方法亦是建立於專家判斷法的基礎上而發展。而一般認為經驗分析法最為詳實可靠。即藉由過去發生的災害事件取得致災資料，經由假定機率分布配合統計推論方法來決定模式之機率分布。以下分述之：

(一)專家判斷法

基於專家們主觀的經驗及判斷，建立對於損害紀錄的損害等級、致災因子和機率分布的專家共識發展易損性曲線。早期對於易損性評價模式尚未完全瞭解前，對於災害紀錄須借助工程專家評價受災本體的損害情形，進而了解受災本體對於災害的損害特性。專家判斷法係基於專家團隊主觀的經驗及判斷，建立對於調查紀錄的損害分級、致災因子大小和機率分布的專家共識來發展易損性曲線。

(二)理論分析法

不同自然災害事件可發展不同之理論分析方法。例如建築物可發展靜力或動力分析理論。經由建立結構分析模型及定義損害分級，再以設計規範之靜力分析及選定的設計地震力發展易損性曲線。或是再基於地震結構反應譜之動態數值模擬及選定的模擬地震發展易損性曲線。

(三)經驗分析法

基於過去某個災害性事件或是數個事件後的真實損害事件資料，利用統計推論法發展易損性曲線。利用災害性事件後由專家及學者進行損害調查資料，將所調查之資料予以分類再利用統計方法或其它資料訓練方法建立易損性曲線。經驗分析法的發展在於自然災害的可能因素複雜具不確定性，理論分析法不全然能驗證真實的損害機率。其優點在於實際的損害紀錄可真實地表現許多不確定因素對於損害的影響。經驗分析法建立易損性曲線受限於資料不易取得。因此，經驗分析法的缺點在於必須取得足夠的樣本資料才足以掌握受災本體的損害特性，有時還需要進行適當的分類或分級。經驗分析法可利用某個災害地震或是數個地震後的真實損害資料庫進行分析。可將其歸納為三類損害資料庫：

1. 第 1 類：基於單一地區單一事件之損害紀錄。
2. 第 2 類：基於不同地區多個事件之損害紀錄。
3. 第 3 類：基於單一地區多個事件之損害紀錄。

(四)混合法

混合法的原理係結合經驗法和理論法的優點，將經驗資料混合其它方法（例如專家判斷法或理論分析法）的修正結果來提升易損性曲線的可靠度，試圖彌補經驗調查資料的不足、專家判斷法的主觀性和理論分析法的模型缺陷（例如 Penelis, Kappos and Stylianidis, 2003; Kappos *et al.*, 2006; Kappos and Panagopoulos, 2010）。

二、經驗易損性曲線之分析模式

易損性曲線表達特定致災因子對於受災本體達到或超過某種損害狀態的超越機率。為了合理表現這個關係必須假定事件機率分布函數以可靠地描述災害發生之特性。這個合理可靠的機率分布函數有兩種求取方式，第一種方式為假定事件發生的機率密度函數 (f : probability density function; PDF)，再利用統計學的分析方法進行參數推估 (parameter estimates) 進而繪製累積分布函數 (F : cumulative distribution function; CDF) 以表達易損性曲線，例如最小平方估計 (least squares estimation; LSE) 或最大概似估計 (maximum likelihood estimation; MLE)。既有的易損性曲線相關研究在機率密度函數上常見採用常態分布 (normal distribution)、對數常態分布 (lognormal distribution) 或 β 分布 (Beta distribution) 來描述致災因子與災害發生之關係。以地震為例，大部份學者普遍認為對數常態分布較能夠符合自然災害引致之外力與受災本體損害之關係。相關論證如 Onose (1982) 以鋼筋混凝土建築物遭受地震後之實際損害率探討損害分布的關係，發現致災力與損害發生之關係皆接近對數常態分布。本研究將過去文獻使用之機率密度函數列表整理於表 2-1。

表 2-1 易損性曲線常見之機率分布函數

機率分布	機率密度函數
常態分布	$f(x) = \frac{1}{\zeta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\zeta^2}} \quad (2-2)$
對數常態分布	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta x} e^{-\frac{(\log x - c)^2}{2\zeta^2}} \quad (2-3)$
β 分布	$f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad (2-4)$

資料來源：本研究整理

第二種方式為假定一個因變量在 0 至 1 間簡單連續且嚴格遞增的函數來表達易損性曲線。此類方法決定分布函數的型式後利用線性或非線性之曲線擬合 (curve fitting) 求取易損性曲線，因此不受機率密度函數的限制。就定義而言，表 2-1 所述之機率分布亦可以此類方法求取其累積分布函數。過去文獻曾使用之其它分布函數整理於表 2-2，而常見曲線擬合的方法可應用最小平方迴歸估計其待定係數。

表 2-2 易損性曲線其它常見之分布函數

概述	分布函數型式
指數式	$F(x) = ae^{bx}$ (2-5)
對數式	$F(x) = e^{a \log x + b}$ (2-6)
擬羅吉斯	$F(x) = \frac{100}{1 + (x/a)^{-b}}$ (2-7)

資料來源：本研究整理

在經驗分析法中損害調查紀錄的可用性是影響易損性曲線可靠度的重要關鍵。損害調查紀錄需要獲取可用的致災資料並確保適用於災害評估。因此，為了發展可靠的經驗易損性曲線，應儘可能要求損害調查紀錄的完整性，其中包括必須具備「損害分級」、「損害與否」及「致災因子」三個明確的資訊。「損害分級」通常係經由專家決定損害判定標準，這個判定標準可根據事件前的防災需求或應變計畫來訂定。「損害與否」即藉由事件後完整詳細的調查得到。藉由完整的事件後調查紀錄所建構之致災資料及假定之機率分布函數，即可經由參數推估方法建立易損性曲線。目前對於經驗分析法已發展出許多有用的致災資料產生方法。本研究將這些方法分為二大類，分別為「地域單元法」和「完全調查樣本法」，以下即針對致災資料產生的方法分別介紹其概念和原理。

(一)地域單元法

在大部分的文獻中，基於某區域(例如行政區、集水區等)為單元之損害紀錄可以利用集群分析 (cluster analysis) 產生數個資料集 (dataset) 來作為致災資料，並估算每筆致災資料的損害率和致災因子。這些致災資料通常是數個基於地域型損害紀錄所形成的資料集。有了這類百分比型態的致災資料，即可利用機率分布函數的最小平方曲線擬合得到最佳的易損性曲線參數。最小平方估計法最不易控制的變異在於致災資料空間尺度的大小不易掌握，不同空間尺度資料可能求得不同的易損性分析結果，因此實務上需進行易損性曲線的可靠度分析及驗證。

(二)完全調查樣本法

完全調查樣本法係基於最大概似估計法為核心所發展。最大概似估計法之原理是使觀測的樣本發生機率為最大以評估機率分布函數的估計參數。所謂樣本發生機率即概似函數 (L : likelihood function)，係可觀察的隨機變量之聯合機率密度函數 (joint probability density function; JPDF)。利用最大概似估計法求取易損性曲線的相關研究雖不多，但已成功地應用於建立橋梁易損性曲線。例如 Shinozuka(1998)和 Shinozuka *et al.*(2000, 2003)利用 1994 年北嶺地震後 Caltrans 及阪神地震後 Hanshin Expressway Public Corporation's 的高速公路橋梁損害調查記錄，將橋梁分為無損、輕度、中度、重度及全倒等五種損害程度，再以最大概似估計法對假定之機率分布函數進行參數推計，分別建立兩個地區的橋梁易損性曲線。在 Shinozuka *et al.*(2003)的研究中採用具有雙估計參數之對數常態分布表示第 j 類損害程度之易損性曲線 F_j ，分別為中位數 (C_j : median) 和對數標準差 (ζ_j : log-standard deviation)；而概似函數被假定以伯努利試驗 (Bernoulli experiment) 描述，即 1 代表發生而 0 代表不發生的二元型式，並用來求取各類橋梁之各類損害分級的易損性曲線。

第三章 高震度區之坡地易損性模式精進

第一節 易損性模式的發展

由於自然災害現象之致災原因有時不只一個，例如降雨引致坡地崩塌之原因可能來自於短時最大降雨、長時累積降雨、地下水...等，因此易損性曲線描述受災本體在災害侵襲時的易致災特性，並表達特定致災因子對於受災本體達到或超過某種損害狀態的超越機率。在地震領域發展易損性曲線的分析方法非常多元，藉由可取得的致災資料 (vulnerability data) 可細分專家判斷法、靜力分析法、動力分析法、經驗分析法及混合法等。易損性曲線發展迄今專家判斷法仍是不可或缺的重要基準，其它方法亦是建立於專家判斷法的基礎上而發展。而一般認為經驗分析法最為詳實可靠，即藉由過去發生之災害事件資料取得致災資料，再假定機率分布配合統計推論來決定模式。

事件發生可能性 (例如本研究探討之崩塌) 與地震因子之關係，可藉由易損性分析原理建立特定地震因子下某類坡地對於致災因子可能引致崩塌發生之機率，這個關係建立在有良好致災資料所建置之災損資料庫。對於廣域崩塌評估即可依據不同之地文分類及驅動力指標建立不同類別之坡地易損性曲線。以坡地崩塌而言，可用來進行坡地分類之地文因子例如地質、坡度、坡向、斷層距...等。

目前對於經驗分析法已發展出許多有用的致災資料產生方法，例如「地域單元法」和「完全調查樣本法」。本研究主要以完全調查樣本法來發展坡地易損性模式，完全調查樣本法係基於最大概似估計法為核心所發展，其原理是使觀測的樣本發生機率為最大以評估機率分布函數的估計參數。所謂樣本發生機率即概似函數 (L : likelihood function)，係可觀察的隨機變量之聯合機率密度函數 (joint probability density function; JPDF)。最大概似估計法

是將每個調查樣本可能存在的損害分級是「發生」或「沒有發生」的紀錄納入易損性分析中，因此不會有樣本空間尺度變異的問題。某損害程度之伯努利試驗概似函數可表示如式(3-1)所示：

$$L_j(c_j, \zeta_j) = \prod_{i=1}^N [F_j]^{n_i} [1 - F_j]^{1-n_i} \quad (3-1)$$

上式中， N 為調查之受災本體總數； c_j 和 ζ_j 分別為第 j 類損害程度之中位數及標準差； n_i 為伯努利隨機變數指標 (Bernoulli random variable)，表示在致災因子下，若第 n 個受災本體達到第 j 類損害程度， $n_i = 1$ ；否則， $n_i = 0$ 。對於對數常態分布之之中位數及標準差，可經由求取式(3-1)概似函數之最大值而得。

易損性分析係對於發生之災害達到或超越某個程度的超越機率。為了合理表現這個關係必須假定事件機率分布函數以可靠地描述災害發生之特性。這個合理可靠的機率分布函數有兩種求取方式，第一種方式為假定事件發生的機率密度函數，再利用統計學的分析方法進行參數推估進而繪製累積分布函數以表達易損性，例如最小平方估計或最大概似估計 (maximum likelihood estimation; MLE)。既有的易損性分析相關研究在機率密度函數上常見採用常態分布、對數常態分布或 β 分布來描述致災因子與災害發生之關係。由於易損性模式係表達崩塌發生之隨機變量 x 之分布函數 $F(x)$ 模型，基於假定 (或觀察) 的自然災害發生分布模式，通常採用對數常態分布表達發生之頻率分布。所謂隨機變量即為致災因子對於事件的機率分配數學方程式，而機率分配數學方程式由中位數及標準差決定 (Shinozuka *et al.*, 2000；李秉乾等人，2005；謝孟勳，2013)，稱為雙估計參數。如式(3-2)所示：

$$f_j(x; c_j, \zeta_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_j x} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x/c_j)}{\zeta_j} \right)^2} \quad (3-2)$$

其中， f_j 為對數常態分布之機率密度函數； c_j 為中位數 (median)； ζ_j 為標準

差 (log-standard deviation)； x 為隨機變量。雙估計參數之機率分配數學方程式即為隨致災因子變化而引致受災本體發生之機率密度函數。其累積分布即為易損性曲線。對數常態累積分布函數解析式表示為：

$$F_j(x; c_j, \zeta_j) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(x/c_j)}{\zeta_j \sqrt{2}} \right] \quad (3-3)$$

上式中，即為第 j 類損害程度之累積分布函數； erf 為高斯誤差函數，其解析式為：

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (3-4)$$

當其中雙估計參數決定後，即可利用「標準常態累積分布函數」推求損害機率與累積分布函數，也就是第 j 類損害程度之易損性曲線 (fragility curve)。中位數和標準差之決定可透過最大概似法進行求解。傳統的最大概似估計法將具隨機特性的每次事件發生 (樣本) 的概似值皆納入分析之中，進而得到事件發生與否的概似函數。以最大概似估計法評估對數常態累積分布之雙估計參數可依致災資料之事件分布型態建立其概似函數。然而，因探勘資料型態的不一致性及隨機特性，亦可結合集群分析 (clustering analysis) 得到一致性之致災資料。所謂一致性即包含空間影響及權重大小的一致性，這類一致性的致災資料可透過網格分析結合集群分析來達到並得以進行最大概似估計，此即網格集群最大概似法 (謝孟勳，2013)，而若無資料集群的需求，則可直接以樣本致災資料求取。此外，依據易損性曲線分析原理，亦可發展多種損害狀態之易損性曲線，以下分別以網格集群最大概似法介紹二項分布型以及多項分布型的原理。

一、二項分布型

當損害資料為巨量的網格資料時，通常可將資料予以適當的分類或分群，所以對於第 k 個集群內假定有 J 個可能損害分類，二項分布型之聯合機率分布表達了每次試驗（受災本體）僅有一個可能的損害結果，且每次試驗是獨立且互斥的。對於第 j 個損害分級，在第 k 個集群內 X 次試驗中達到之次數表示為 x_k 。因此機率分布的聯合機率質量函數 (join probability mass function; JPMF) 可用典型二項分布定義如下：

$$f_{kj}(X) = \binom{X}{x_k} [F_j]^{x_k} [1 - F_j]^{X - x_k} \quad (3-5)$$

因此，基於此聯合機率質量函數，對於被分成 K_g 個集群的所有事件資料，第 j 類損害程度之概似函數 L_j^B 可表示為：

$$L_j^B(c_j, \zeta_j) = \prod_{k=1}^{K_g} \binom{X}{x_k} [F_j]^{x_k} [1 - F_j]^{X - x_k} \quad (3-6)$$

上式中， K_g 為致災資料數量； X 為每個致災資料的坡地總面積， x_k 為第 k 個資料點之崩塌面積。式(3-6)中，二項函式分別代表發生（左項）與未發生（右項）之崩塌機率。因此，對於崩塌易損性曲線之中位數和標準差，式(3-6)可經由求取概似函數之最大值進行估計。藉由取對數後一階偏導函數求解雙估計參數，聯立方程表示如下：

$$\frac{\partial \ln L_j^B(c_j, \zeta_j)}{\partial c_j} = \frac{\partial \ln L_j^B(c_j, \zeta_j)}{\partial \zeta_j} = 0 \quad (3-7)$$

上式之推導須引入標準化參數 λ_{kj} ，即

$$\lambda_{kj} = \ln(x / c_j) / \zeta_j \quad (3-8)$$

即可導出第 j 個損害分級之非線性聯立方程式如下：

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{k=1}^{K_g} R_{kj} \left\{ \frac{-e^{-\frac{1}{2}\lambda_{kj}^2}}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\lambda_{kj}}{\sqrt{2}}\right)} \right\} + \sum_{k=1}^{K_g} (1 - R_{kj}) \left\{ \frac{e^{-\frac{1}{2}\lambda_{kj}^2}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\lambda_{kj}}{\sqrt{2}}\right)} \right\} &= 0 \\ \sum_{k=1}^{K_g} R_{kj} \left\{ \frac{-\lambda_{kj} e^{-\frac{1}{2}\lambda_{kj}^2}}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\lambda_{kj}}{\sqrt{2}}\right)} \right\} + \sum_{k=1}^{K_g} (1 - R_{kj}) \left\{ \frac{\lambda_{kj} e^{-\frac{1}{2}\lambda_{kj}^2}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\lambda_{kj}}{\sqrt{2}}\right)} \right\} &= 0 \end{aligned} \right. \quad (3-9)$$

其中：

$$R_{kj} = x_{kj} / X_k \quad (3-10)$$

上式中， x_{kj} 表示第 k 個群組中第 j 個損害分級之崩塌面積； X_k 表示第 k 個群組之總面積。式(3-10)即為以第 k 個集群內之崩塌率表示之最大概似估計聯立方程。若每個集群之致災資料可得到，包含集群之 PGA 值和崩塌率或建物倒塌率，則易損性曲線之 c_j 和 ζ_j 即可以求解。另一方面，由式(3-10)亦可知，當資料不需要進行集群分析時，直接消除方程式中每個集群總數 X_k 求解即可。

二項分布型的特徵是，各類損害狀態 j 並無關聯性，也就是說各類損害之易損性曲線是分別求取的，這對於某些具連續性的物理現象可能並不適用，例如建築物自無損、半倒到全倒是逐步累積下的連續過程，不同損害狀態並非獨立，因此若是資料不足則可能在繪製不同損害狀態的易損性曲線時產生不合理的交錯，這表示產生無法避免統計樣本不足而產生的誤差。因此，二項分布型方法適用於受災本體僅有發生與不發生二種情況，或是其受災情況為不連續的情況時，否則必須採用多項型分布方法。

二、多項分布型

同樣地，當損害資料為巨量的網格資料時，通常可將資料予以適當的分類或分群，所以對於第 k 筆試驗資料，多項分布型之聯合機率分布表達每次試驗皆有 J 個可能的損害程度，且每次試驗是獨立且互斥的。因此，在 X 次試驗中，發生第 j 個損害分級之結果可被表示為 x_{kj} ，若發生則為 $x_{kj}=1$ ，若不發生則為 $x_{kj}=0$ 。因此機率分布的聯合機率質量函數可以多項分布定義：

$$f_k(X; P_0, P_1, \dots, P_J) = \binom{X}{x_{k0}, x_{k1}, \dots, x_{kJ}} \prod_{j=0}^J [P_j]^{x_{kj}} \quad (3-11)$$

其中；

$$\sum_{j=0}^J x_{kj} = X \quad (3-12)$$

式(3-11)中， P_j 為第 j 個損害程度至第 $j+1$ 個損害程度的區間機率，即：

$$P_j = F_j(x; c_j, \zeta_j) - F_{j+1}(x; c_{j+1}, \zeta_{j+1}) \quad (3-13)$$

且；

$$\sum_{j=0}^J P_j = 1 \quad (3-14)$$

其中 $F_0=1$ 且 $F_{J+1}=0$ 。對於 X 次試驗中所有損害程度之聯合機率分布，可以式(3-11)之聯合機率質量函數來表達。因此，概似函數 L^M 則可表示為：

$$L^M(c_1, c_2, \dots, c_J, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_J) = \prod_{k=1}^K \binom{X}{x_{k0}, x_{k1}, \dots, x_{kJ}} \prod_{j=0}^J [P_j]^{x_{kj}} \quad (3-15)$$

其中 K 為資料數量。對於不同損害分級易損性曲線之 c_j 和 ζ_j ，即可經由求取概似函數之最大值進行評估。其聯立方程式表示如下：

$$\frac{\partial \ln L^M(c_1, c_2, \dots, c_j, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_j)}{\partial c_j} = \frac{\partial \ln L^M(c_1, c_2, \dots, c_j, \zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_j)}{\partial \zeta_j} = 0 \quad (3-16)$$

本研究中損害程度分為二類，即 $J=2$ ，包含未崩塌 ($j=0$) 及崩塌 ($j=1$)。若坡面之致災資料可以得到，包含坡面之震度值 x 和是否發生崩塌，則易損性曲線之 c_j 和 ζ_j 即可以式(3-16)求其數值解。當參數決定後，即可繪製依據強地動因子之崩塌發生機率密度函數的累積機率分布函數。需要說明的是，當 $J=2$ 時式(3-16)之解析解與二項式相同，其表示的是在此情況下僅有一條曲線，因此無需考慮不同損害狀態的易損性曲線的交錯。

本研究將致災因子與事件發生的關係假設為對數常態分佈，其隨機變量即為震度指標 PGA 或 PGV。對於坡地易損性分析利用二項分布型建立坡地受地震引致崩塌之概似函數。對於某個受災事件，二項分布型表達在致災因子作用下僅有二個可能的損害結果，即發生與不發生的二元模式，且每次試驗皆是獨立且互斥的，所表達之涵義為某震度指標下災害發生有多少可能性。因此對於崩塌機率評估之結果，指的是某個坡面單元在某震度指標下有多少機率可能會發生崩塌。多項分布型則表達在致災因子作用下坡地有多個可能的損害狀態，由於災害狀態是逐步累積下的連續過程，所描述損害機率之意義，係指在某震度指標下達到或超越某種損害狀態的機率，其物理意義係指某類型坡地在某震度指標下發生崩塌的可能性。因此在本研究中崩塌機率評估之結果，指的是某個坡面單元在某地震下有多少機率可能會發生崩塌，進而推估集水區之崩塌情形。上述兩種模式，所有的事件資料皆可利用網格分析來定義致災資料的崩塌。以資料取樣觀點，所有致災資料被災害發生與不發生所定義，由此兩元素來推論事件機率分布情形。因此致災資料可用連續型或不連續型資料表示，連續型資料可用發生率(例如崩塌率)表示，不連續型則可用 0/1 定義是否發生；前者即可用網格法推求崩塌率，後者可用坡面法評估是否發生崩塌。

第二節 坡地易損性曲線建立

地震引致崩塌現象通常要在一定震度以上才會出現，例如 921 地震事件中震級 6 區域開始出現零星事件，震級 7 以上區域才有明顯的大量事件(王文能、尹承遠等人，2000)，然而有時即使震度很高卻不發生崩塌，這表示地震引致崩塌現象除了具有臨界現象，也具不確定性，這些不確定來自局部的非均質的地文條件，例如地質、坡度、坡向...等。因此就巨觀而言，藉由統計機率方法評估地震誘發崩塌的可能性，就可作為有效地進行廣域崩塌的評估方法之一。

由於地震誘發崩塌具有一定地域性，發展基於經驗統計法的坡地易損性模式需要充分且客觀的災損資料和地震紀錄，由於重大地震事件之地震紀錄並不多，本研究對於坡地易損性模式的精進仍採用基於 921 之地震資料建立地震誘發坡地崩塌之坡地易損性曲線，可適當表現台灣地文環境特性。以 921 地震中高震度地區為例，除針對研究地區的基本資料蒐集外，亦蒐集其範圍內的相關資料，包括河川流域範圍、集水區範圍、5m 數值高程模型、水系、地質、岩性等；以及事件資料，包括地震歷時紀錄、921 地震前後期衛星影像等。藉由地震危害度分析和衛星影像判釋崩塌地等技術，將環境及崩塌資料建置成網格式崩塌資料庫。另一方面，藉由 DEM 進行坡面單元分析，提供坡面崩塌評估資訊。再利用網格集群最大概似分析法，可將各類坡地分類資料進行坡地易損性分析，進而繪製易損性曲線。

在進行坡地易損性分析中，必須要考量的另一特性即是坡地崩塌的幾何特性。對於網格崩塌資訊，目前已可藉由高精度衛星影像判釋得到，但此資訊未必完全符合地形特性，同時具有一定的不確定性。因此，本研究考量地形特徵單元與評估合理性引入坡面單元分析，坡面單元因具有符合地形特徵之特點，此特點有利於未來進一步的坡面評估分析，相較網格單元更可靠及合理可行，將有助於釐清空間上坡地之影響範圍及應用評估。

第三節 坡地易損性曲線精進

坡地崩塌發生可能性與地震因子之關係，可藉由易損性分析原理建立特定地震因子下某類坡地對於致災因子可能引致崩塌發生之機率，即可建立坡地易損性曲線。這個關係建立在有良好致災資料所建置之崩塌資料庫或崩塌目錄。對於廣域崩塌評估可依據不同之地文分類及誘發指標建立不同類別之坡地易損性曲線，而可用來進行坡地分類之地文因子例如坡度、地質、坡向…等，而引致崩塌之誘發指標則可採用地震之 PGA、PGV、SI…等，建立其與崩塌可能性的易崩特性關係。

過去研究中囿於真實地震紀錄可得資訊有限，調查報告大多以中央氣象局地震分級作為概略的描述，而我國因地震儀器布建越來越精密，舊制震度分級偶爾會出現小規模地震但震度很高的極端情形，這是因為地震在一瞬間發生了很大的加速度，然而這類型的地震由於動量不足通常不足以產生災害，也因此常見震度達烈震以上等級，但卻沒有任何災情傳出的情形。因此，經過專家學者的建議，中央氣象局為了使震級劃分和實際災害的嚴重程度有更好的相關性，於 109 年 1 月起發布新制震度階級表（震度階級以下簡稱震級），如表 3-1，將震級 4 以下和震級 5 以上切分為二部分，震級 4 以下依原分級標準不改動以 PGA 定義，震級 5 以上則改以 PGV 定義，並給予新的分級標準。此外，將原 8 區震級擴增為 10 區震級，其中震級 5 和震級 6 分別劃分為震級 5 強和 5 弱、震級 6 強和 6 弱。實際評估的過程是，當地震測站測量到地震歷時後，首先將計算各測站之 PGA 和 PGV，再經由空間內插推估（採用 IDW）得到全域之震度分布，根據震度分布依表 3-1 標準 PGV 達 15 cm/s 以上（震級 5 弱）以 PGV 定義，PGV 在 15 cm/s 以下（震級 4）以 PGA 定義，由此評估全國之震級劃分，而震級 5 弱以上之 PGA 值則做為參考。如此細化之震級劃分更有利於防災實務運用，不致因震級的震度值範圍過大而產生應用上的不便。

表 3-1 中央氣象局地震震度階級對照表(2020 年新制)

震度階級		PGA(gal=cm/s ²)	PGV(cm/s)
0 級	無感	0.8 以下	0.2 以下
1 級	微震	0.8~2.5	0.2~2.7
2 級	輕震	2.5~8.0	0.7~1.9
3 級	弱震	8~25	1.9~5.7
4 級	中震	25~80	5.7~15
5 弱	強震	80~140	15~30
5 強		140~250	30~50
6 弱	烈震	250~440	50~80
6 強		440~800	80~140
7 級	劇震	800 以上	140 以上

資料來源：中央氣象局，2020

本計畫在前期計畫中已完成以 PGA 為誘發因子的 12 類坡地易損性曲線，然而未來若以 PGA 因子進行後續坡地崩塌評估，依現行震級定義在高震度區 (5 弱級以上) 即可能無法對應。主要原因是表 3-1 中 5 弱級以上 PGV 對應之 PGA 範圍為估計值，實際震級分區是以測站推估之結果為準，因此有可能因實際震度所對應的震級不一致，而在未來評估不同震級之崩塌機率或崩塌率時產生偏差之情形，例如本模式評估結果是震級 6 弱，實際上中央氣象局公布是震級 5 強。此偏差理論上雖應不大，但在本模式未來應用尚，卻可能對於後續防災策略擬定或應變作為上產生影響，進而造成誤判或失準。本研究為降低實務上以 PGA 為震度指標在高震度區可能造成的偏差，因此發展以 PGV 為誘發因子的坡地易損性分析，建立適於高震度區之坡地易損性曲線。

此外，本研究為降低實際地震中低震度區域零星崩塌的影響，使研究成果未來能適用於研究範圍的應用。基於中央氣象局新制地震震度階級對照

表，並考慮實際上震級 5 以下區域多為零星崩塌，與前期計畫中 PGA 分析方式相同以震級 6 以上區域的崩塌致災資料分析，也就是不考慮震級 5 以下區域之致災資料之影響，建立適於震級 6 以上地區 ($PGV \geq 50 \text{ cm/s}$) 之坡地易損性曲線。對於坡地易損性曲線建立及優化流程如圖 3-1 所示。

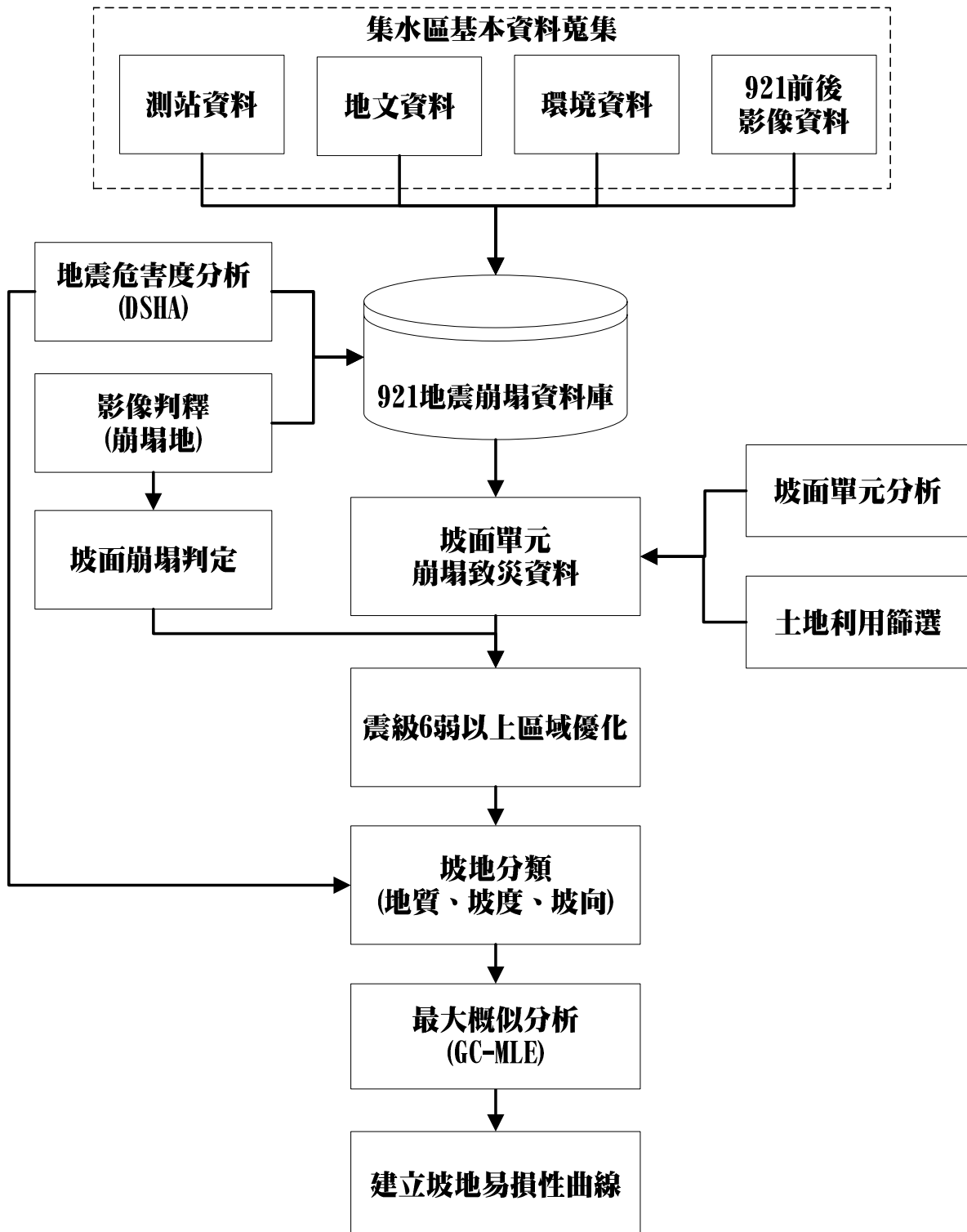
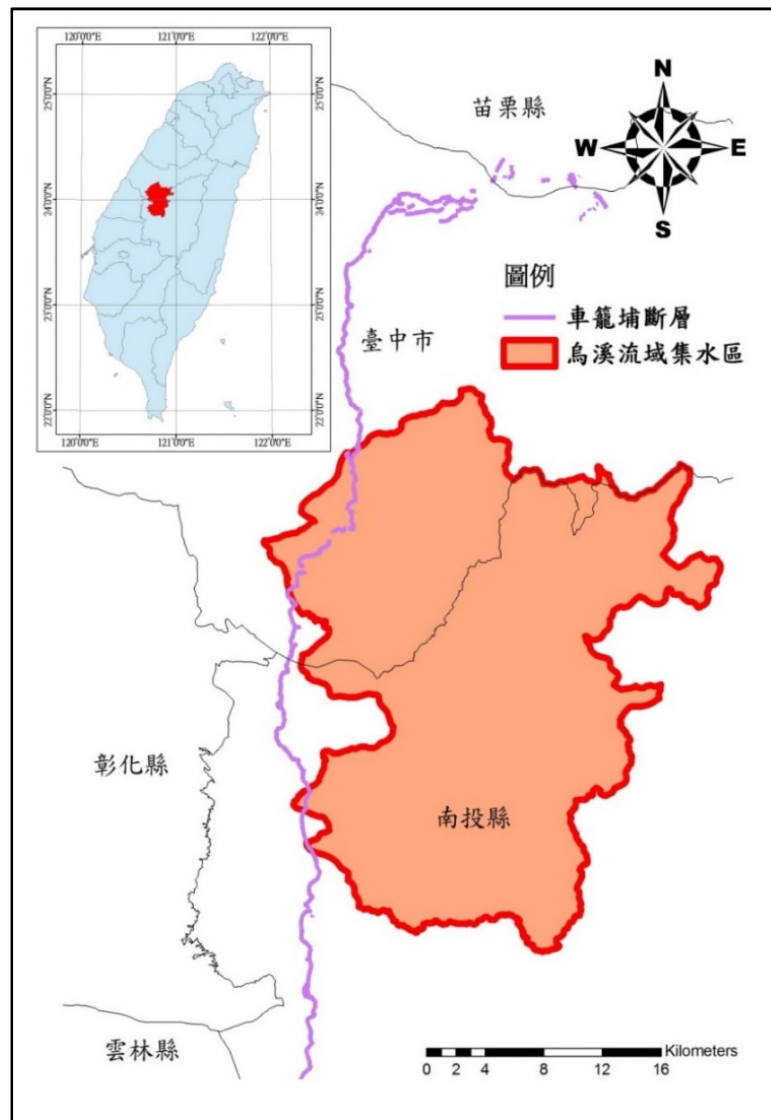


圖 3-1 坡地易損性模式建立流程

第四節 研究材料

一、基本資料

本研究以具代表性的 921 地震為對象，作為本研究建立坡地易損性曲線的研究地區，優選具高潛勢危害地區，也就是選擇車籠埔斷層鄰近範圍，所選地區同時也是在地震中的高災損地區。同時，由於 921 地震的逆衝斷層效應，上盤（斷層東側）遠比下盤（斷層西側）嚴重，地表加速度和災損相對較高。因此，本計畫研究區選擇烏溪流域集水區周邊範圍，行政區域隸屬於台中及南投，由大里、北港、烏溪、貓羅溪、南港溪、水里溪，六個集水區所組成，劃定之集水區面積 658.34 平方公里，如圖 3-2 所示。



二、事件前後期裸露地

本研究以各期事件衛星影像可進行裸露地判釋，初步瞭解可能崩塌地位置。所使用必要之原始影像資料為自中央大學太空及遙測研究中心購買之 SPOT 衛星多波段 (XS) 影像資料。前後期裸露地之狀況如圖 3-3 所示。裸露地面積統計如表 3-2。

表 3-2 研究地區裸露地統計

事件名稱	集水區有效面積	裸露地面積	裸露比例
921 地震前期	38,446.00ha	236.04ha	0.61%
921 地震後期		1688.40ha	4.39%

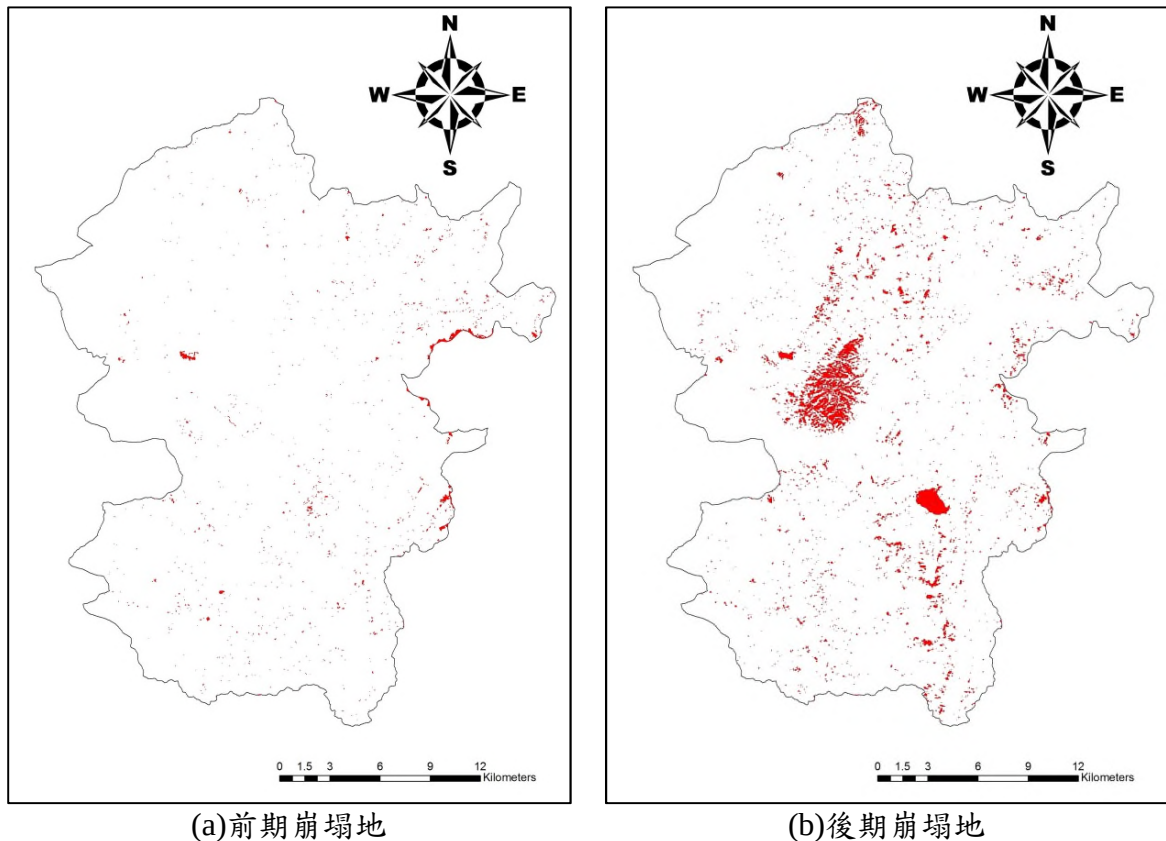


圖 3-3 九二一地震前後期裸露地分布

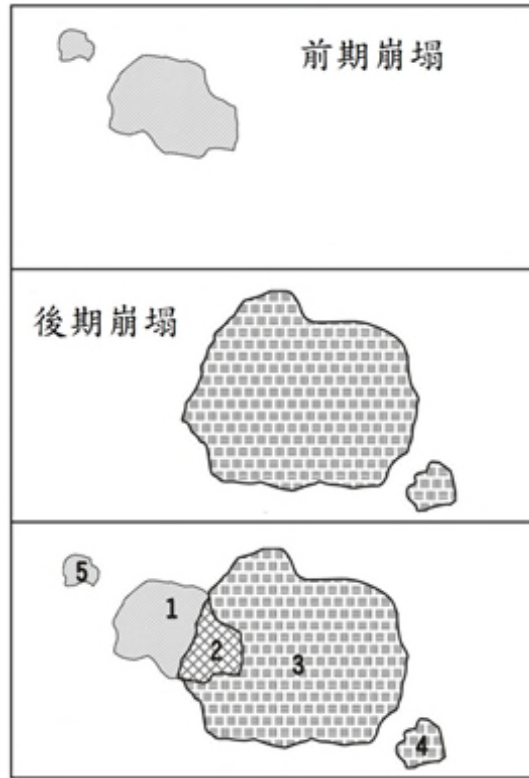
三、新增崩塌地

事件崩塌地之變遷狀況，可藉由前後時期之裸露地變異情形獲得。賴志強 (2007)、陳俞旭 (2008) 等人對於地震及降雨引致之崩塌地分類，考慮植被復育之影響，將崩塌地分類為四類。如圖 3-4 所示，包括：

- (一) 崩塌復育：(1) 與 (5)
- (二) 舊有崩塌地：(2)
- (三) 舊有崩塌地擴大：(3)
- (四) 新生崩塌地：(4)

而其定義「新增崩塌地」，則為「舊有崩塌地擴大」加上「新生崩塌地」的部分，即 (3) 與 (4)。上述之分類方法，對於前後期崩塌地變遷情形，在技術層面上具有清晰的定義，可由此判定某區塊是否確實發生崩塌。然而，雖然在大部份的情形下，舊有崩塌地地的擴大確實與事件相關，但並無法確切知道舊有崩塌地也在該次事件產生崩塌。尤其擴大有時並非只是往外擴增，

也可能有內部加深之情形；然而此狀況並不能以空間區位判別而獲得，且其內部是否真的發生加深情形，須進行現地勘查才可能得知。根據上述崩塌地之分類，本研究將各颱風事件前後時期之崩塌地圖資進行套疊，由此獲得崩塌地變遷資訊。



資料來源：修改自賴志強(2007)；陳俞旭(2008)

圖 3-4 崩塌地變遷及分類示意

新增崩塌地關聯性查詢可直接針對裸露地進行網格套疊，即可顯示出崩塌地相對應位置的集水區網格，再將顯示出崩塌地之網格標記成數字 1，表示該網格發生崩塌，未發生崩塌之網格則標記為數字 0，如圖 3-5 所示，藉由前後期裸露地得到之崩塌地，即為 921 地震後所造成之崩塌，如表 3-3 及圖 3-6 所示。

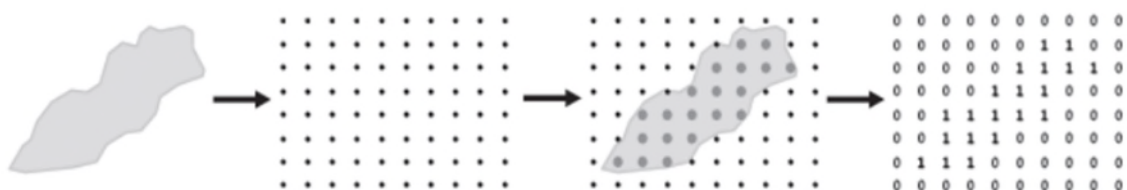


圖 3-5 坡面資料套疊網格示意圖

表 3-3 研究地區新增崩塌地統計

崩塌類別	921 地震
集水區有效面積	38,446.00ha
新增崩塌地面積	965.84ha
新增崩塌率	2.51%

資料來源：本研究整理

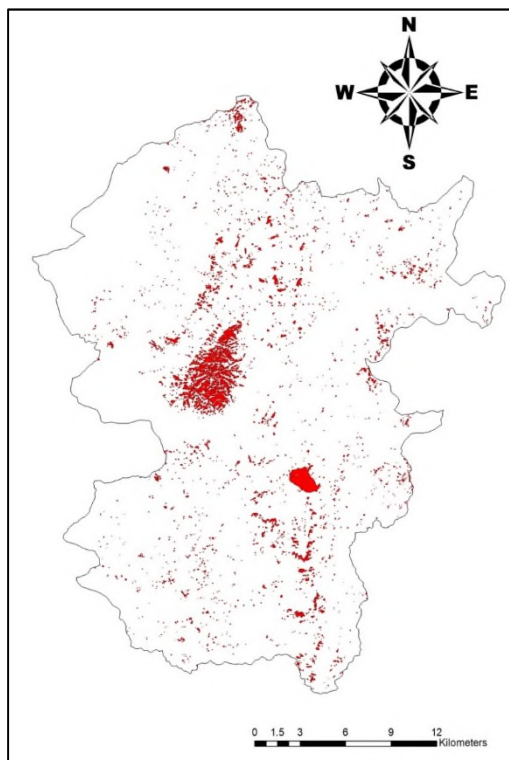


圖 3-6 921 新增崩塌地

四、地震誘發崩塌之地表震度

地震災害潛勢分析之目的在於瞭解地震發生後可能造成區域潛在威脅之程度，通常可利用尖峰地表加速度 (Peak Ground Acceleration, PGA) 或尖峰地表速度 (Peak Ground Velocity, PGV) 表達潛勢分析的物理量 (即震度)。地震潛勢分析可經由區域鄰近之活動斷層分布，考量適合之震源參數 (包括活斷層帶、地震規模及深度) 及震度衰減率來推估尖峰地表震度值，此種方法亦稱為定量地震危害度分析 (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA)。

為了進行地表震度之空間分布，本研究自 TSMIP 中蒐集經中央氣象局校正且可信度較高之 444 個臺灣本島強地動測站紀錄，測站分布與車籠埔斷層帶之關係如圖 3-7 所示，其中有十數筆的資料是位於近斷層處，將有利於描述斷層特性 (溫國樑與柴駿甫，1999)。

本研究以上述 444 個強地動測站所得 921 地震主震之三軸向地表震度歷時記錄，分別取歷時記錄中最大值做為該測站之場址三軸向震度值。然而，對於地震引致損害主要係水平向地震力所造成，因此某測站之場址震度值多以較為重要之雙軸水平向震度進行探討。過去許多研究曾採用雙軸水平向震度之幾何平均值 (geomean)、最大值 (maximum value) 或算術平均值 (average) 等作為某測站之場址震度值，本研究則採用其中的幾何平均值定義之，可表示如下：

$$S_{site} = \sqrt{S_x S_y} \quad (3-17)$$

上式中， S_{site} 為某測站之場址震度值； S_x 及 S_y 分別為測站之東西向及南北向震度值。此測站之場址震度值可作為未設測站場址推估震度空間分布之基準值。

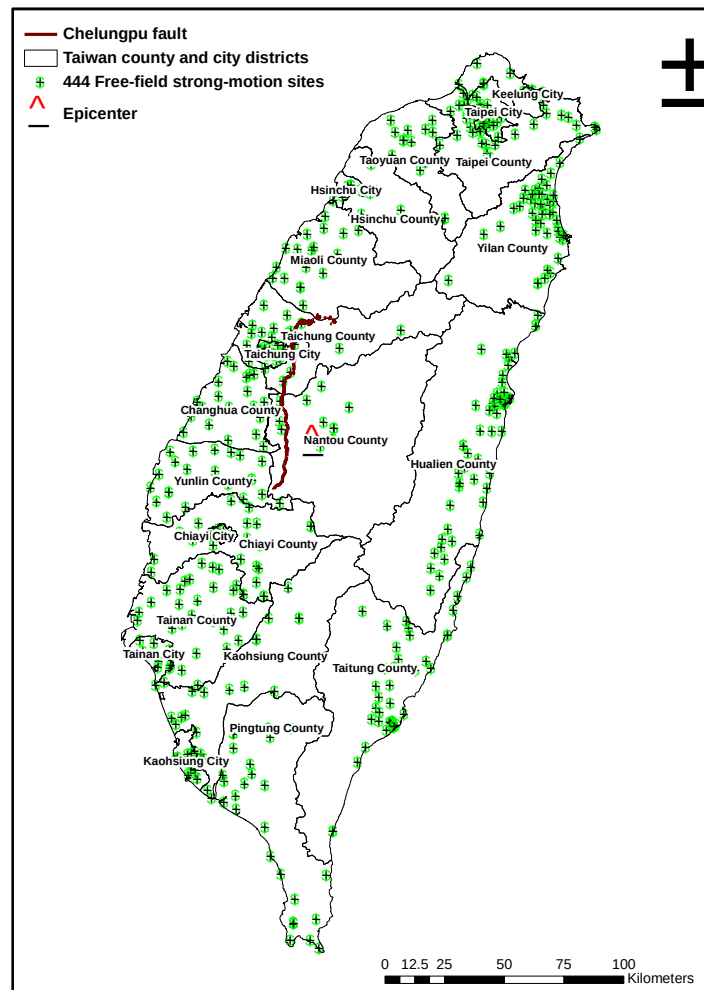


圖 3-7 自由場強地動測觀測網(TSMIP)測站分布

(一)地表震度衰減率

根據以往地震學家對於地震的觀察，場址地表震度的大小與斷層之距離呈負相關。地表震度衰減率被用以描述場址隨著震源距離遠近導致地表震度衰減之關係。全世界對於地表震度衰減率之研究相當多，主要是以歷史地震資料為基礎，依據不同的地質條件，提出許多不同型式之衰減公式，再透過統計回歸的方式求得。早期較為著名的學者有 Campell (1977)、Boore and Joyner (1997)、Sadigh *et al.* (1997)等人所提出之地表震度衰減公式。對於本研究採用之誘發因子—PGA 及 PGV，地表震度之衰減關係則分別採用學者吳逸民等人對於臺灣地區之衰減率研究成果 (Wu *et al.*, 2001，以下簡稱 Wu 衰減率)。吳逸民等人針對 1995—1999 年臺灣地區發生之 60 筆地震事件記錄進行統計回歸，其所得之水平向地表震度衰減率表示為：

$$\log_{10}(S_h) = 0.00215 + 0.581M_w - \log_{10}(R + 0.00871 \times 10^{0.5M_w}) - 0.00414R \quad (3-18)$$

$$\log_{10}(V_h) = -2.49 + 0.810M_w - \log_{10}(R + 0.00871 \times 10^{0.5M_w}) - 0.00268R \quad (3-19)$$

式(3-18)中， S_h 為雙軸水平向 PGA 之幾何平均值，單位為 cm/s^2 ；式(3-19)中， V_h 為雙軸水平向 PGV 之幾何平均值，單位為 cm/s ； M_w 為地震之震矩規模； R 為場址至震央之距離，單位為 km ，定義為斷層帶至場址最短距離。

地表震度衰減率是蒐集多次地震實測記錄後之回歸結果，實際上不完全能夠適用 921 地震實測資料，因此必須對地表震度衰減率進行修正以反應衰減率之函數特性。地表震度衰減率修正之方法係將震矩規模 M_w 與場址至斷層帶之最短距離 R 分別帶入衰減率中，得到震度之推估值後再乘上一個修正係數，並使測站實測值與修正後推估值間之誤差絕對和為最小，即可分別求取修正係數。修正之模型如下式：

$$\min \Delta = \sum_{m=1}^M |(S_m)_T - \alpha (S_m)_E| \quad (3-20)$$

上式中 $(S_m)_T$ 為第 m 個強地動測站之實測資料； $(S_m)_E$ 為第 m 個強地動測站以地表震度衰減率推估之結果； M 為測站數量； α 為修正係數。曾有文獻提出 921 地震之衰減趨勢與全世界資料相差不多，但加速度值較小約 0.4—0.7 倍 (溫國樑與柴駿甫, 1999)。本研究利用 444 個測站進行地表震度衰減率之修正，所得到之家速度與速度之修正係數分別為 0.568 和 0.520。

(二)強地動因子空間推估

由於自然界中的諸多現象多具有時間或空間上之變異，因此對於散佈在空間中的自然變量，經常利用地理統計之區域化變數理論表現其性質。區域化變數理論為學者 Matheron (1971) 所提出，其理論之基礎係假定散佈在空間結構中之自然變量存在一定的分布特性。若這些現象僅針對時間或空間上的不連續點表述，則這些物理量之變異則可用隨機變數描述，而不同時

間或空間不連續點上之隨機變數未必相同，因此在空間中之隨機變數即形成一個隨機變域。區域化變數通常被以 $Z(x)$ 表示，其中 x 代表空間中的位置向量。區域化變數理論之核心即在於如何分析及建構 $Z(x)$ 之空間隨機變域模型，並利用此空間隨機變域模型進行空間資料之推估。自然界的許多現象均可視為隨機變域的表現，例如降雨量、溫度等。由於在空間中不同區域之各隨機變數並不非完全獨立，而是可能具有不同程度的相關性，隨機變域之表現值即被稱為區域化變數 (regionalized variable)。

散佈在空間中的自然變量若存在明確的空間結構特性即可稱之為區域化 (regionalization)，而所謂區域化變數通常包含能夠明確以數學關係式表示的確定性資料與具隨機特性的非確定性資料，也稱之為非統計問題和統計問題這兩種類別。對於地震所引致之地表震度分布問題而言，確定性資料即所謂的地表震度衰減率，代表由任意震源引發的地表震度在空間中之分布模式；但對於非確定性資料，則係時間與空間之不同而產生之隨機變異，由於無法使用明確的數學關係式來表達，而且每次觀測的結果也可能不同。因此，基於地理統計理論之觀點，空間中任意區域之地表震度 $Z(x)$ 即具有隨機變域的特性，其係由區域化趨勢值 $M(x)$ 和殘差分量 $R(x)$ 所組成。對於空間中之地表震度，震度分布即可滿足下式 (Journel, 1983)：

$$Z(x) = M(x) + R(x) \quad (3-21)$$

上式中 $Z(x)$ 為位於 x 處之地表震度之區域化隨機變數值； $M(x)$ 為區域趨勢值，可表示為在 x 處的一個緩慢變化的定率函數 (deterministic function)，即所謂的地表震度衰減率，其值等於 $Z(x)$ 在 x 處之期望值，滿足：

$$M(x) = E[Z(x)] \quad (3-22)$$

$R(x)$ 為殘差分量，即為空間中隨機變動值 (erratic fluctuations)，期望值為零，滿足：

$$E[R(x)] = 0 \quad (3-23)$$

殘差分量定義為在 x 處之地表震度值與對應區域趨勢值之差，其表達隨機變數的空間變異 (Yamazaki, Onishi & Tayama, 1999; Yamazaki, Motomura & Hamada, 2000)。因此，此殘差分量即符合區域化變數理論之假設，可應用克利金方法進行空間中隨機變動值推估。如圖 3-8 所示，完成隨機變動值的推估後再將任意 x 處之區域趨勢值與推估結果相加，即為空間全域推估。

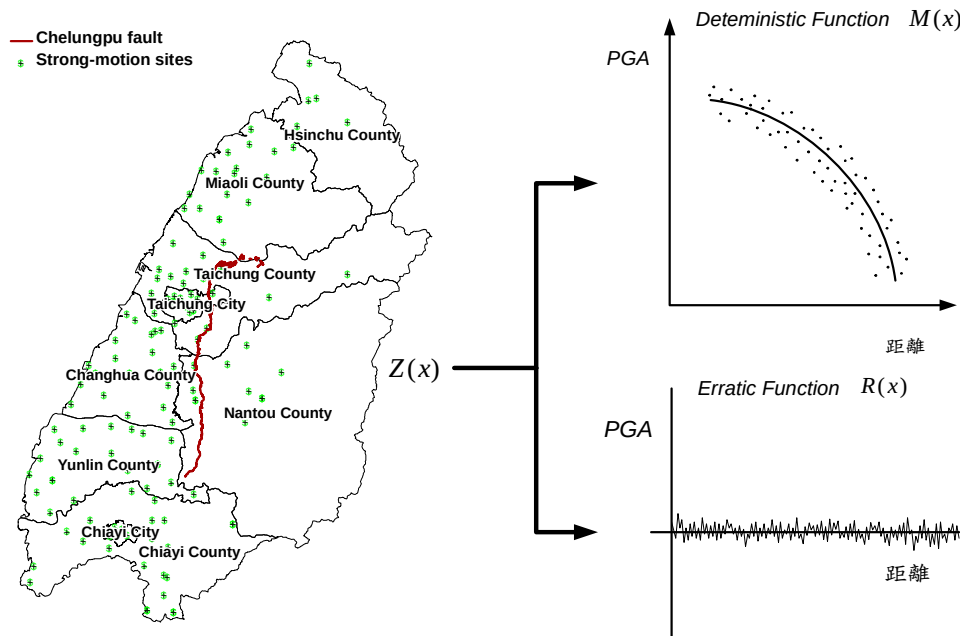


圖 3-8 區域趨勢值與空間中隨機變動值之關係

進行空間中隨機變動值推估前必須對空間資料進行空間結構分析，而以克利金空間內插方法進行地表震度之空間結構分析，其核心即須進行所謂的半變異數分析 (semivariogram analysis)。半變異數代表觀測資料之空間變異，係描述區域變數 (regionalized variable) 沿著某一特定方向的變化率值，以此估計已知觀測資料的空間變異度。

對於地表震度之空間分布，本研究採用克利金空間內插方法。克利金空間內插方法係利用已知位置之觀測資料，藉由地理統計技術推估空間中未觀測位置之隨機變數的內插方法 (即在任意 x 處之區域化隨機變數值 $Z(x)$) (Matheron, 1971; Journel, 1983; Journel & Rossi, 1989; Cressie, 1993)。克利金

空間內插方法使用變異函數 (variogram model) 表達隨機變數的空間變異，而其估計原理係使分布於空間中已知位置之觀測資料的誤差預估值為最小 (Cressie, 1993)。因此，克利金空間內插方法係建立在線性回歸的基本假定上，使假定之共分散模型 (covariance model) 的估計變異為最小 (Journel, 1983)。過去已有許多研究已成功地應用克利金空間內插方法在地表震度之推估及模擬，並進一步地應用於地震危害評估 (例如 Carr, 1983; Carr & Glass, 1984; Maruyama *et al.*, 2010; Shabestari *et al.*, 2004; Wu, Hsiao & Teng, 2004; Yamazaki, Onishi & Tayama, 1999; Yamazaki, Motomura & Hamada, 2000)。

本研究利用 921 地震 444 個強地動測站之場址震度值，採用震度衰減率做為定率函數分別以一般克利金系統方程式推估未設測站之全域 PGA 空間分布，並以 100 m×100 m 之網格做為空間全域推估之尺度。藉由殘差分量套配之最佳半變異數模式及參數，利用地理資訊系統軟體 Arc GIS 內建之空間分析克立金內插模組推估空間中之隨機變動值。如式(3-21)，空間推估之隨機變動值 $R(x)$ 再與區域趨勢值 $M(x)$ 相加，即可完成地表震度之全域推估 $Z(x)$ 。

震度衰減率所得之殘差分量套配之最佳半變異數模式為指數模式，藉由克立金空間內插方法先針對已知測站之推估值比較，實測值 (PGA_T) 與推估值 (PGA_E) 之比較結果平均絕對誤差 (mean absolute error) 為 1.87%，此準確度已可作為推估全域地表震度之有效基準。PGA 和 PGV 之空間推估結果分別圖 3-9 如圖 3-10，由圖 3-9 中顯示在車籠埔斷層帶沿線之推估結果較高，最大 PGA 值為 815.07 cm/s^2 (舊制為 7 級)，由圖 3-10 中顯示最大 PGV 值為 130 cm/s (新制為 6 強級)，結果亦顯示出 PGA 和 PGV 在空間分布上的不同，最高震度區在不同的地理空間位置。

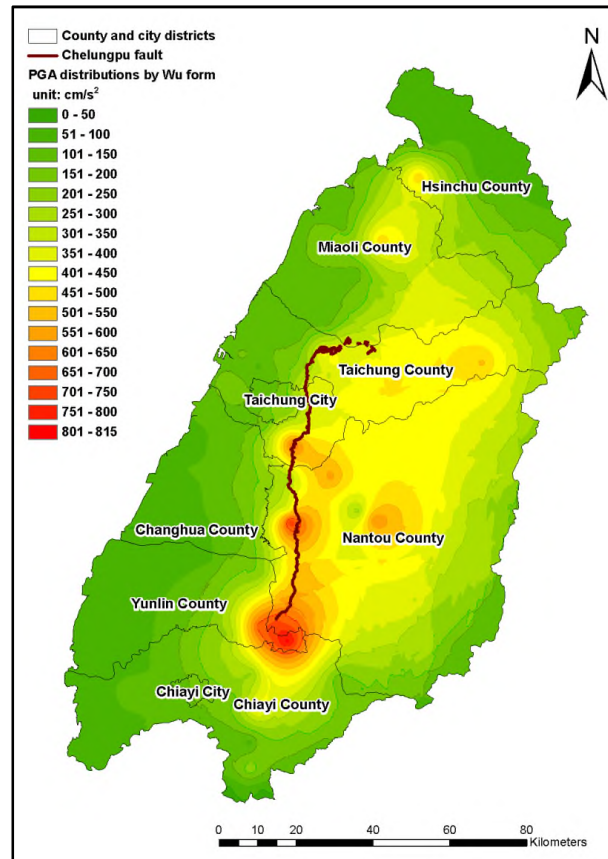


圖 3-9 尖峰地表加速度分布

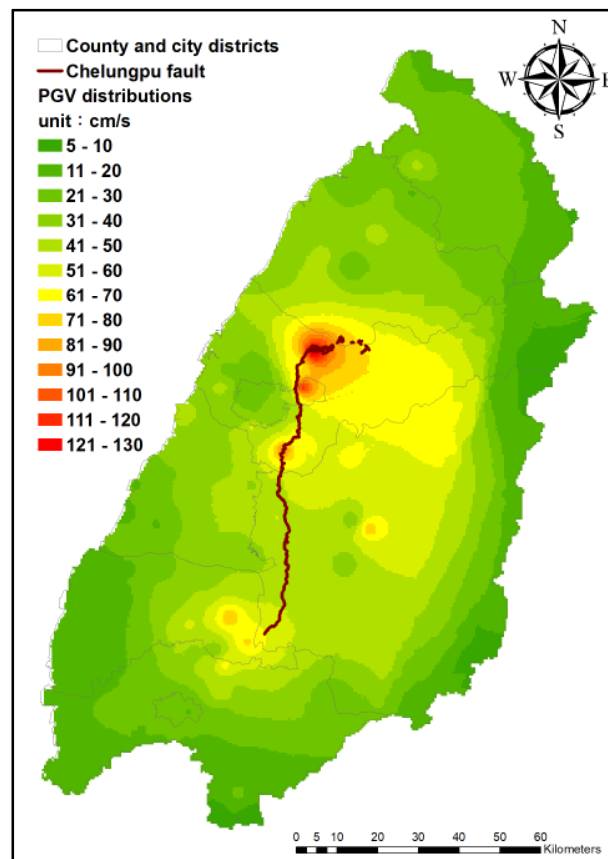


圖 3-10 尖峰地表速度分布

第五節 環境因子資料庫

進行坡地易損性分析前須建立河川流域各類環境因子資料，集水區資料蒐集自林務局農林航測所以及水土保持局全國集水區圖層，資料範圍包括烏溪流域集水區及鄰近集水區之相關地文、水文地理資訊圖資，採用圖層範圍包括集水區範圍圖、河系圖等地理資訊基礎圖資。在集水區環境因子方面，本研究藉由網格資料庫建置各類環境因子屬性及其崩塌事件等資訊。環境資料庫將以 20m×20m 之網格尺度將不同集水區範圍內所有屬性因子鏈結，資料庫細分為三個部分：(1) 地文因子；(2) 篩選因子及 (3) 崩塌資訊。資料庫基礎為調查蒐集之基本資料，例如集水區基本圖資、事件衛星影像、數值高程模型 (5m×5m)、五萬分之一地質圖、國土利用圖等基本共通資料，並且須進一步處理各類資訊，例如坡度、坡向、高程、順向坡、事件陰影、崩塌地資訊等。此外，篩選因子中部份不適用區域被剔除，例如無法判釋區 (陰影區塊)、已開發地區 (建物、農地、行水區)、河系 (河流、湖泊)、地質 (沖積層)、較緩坡度區 (1~3 級坡) 等。環境資料庫之類型和檔案格式如表 3-4 所示。

表 3-4 環境資料庫之類型和檔案格式

類型	資料名稱	檔案形式
地文因子	地質	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	坡度	影像檔案(Raster，解析度：5m)
	坡向	影像檔案(Raster，解析度：5m)
	順向坡	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	距斷層遠近	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
篩選因子	高程(1500 以上)	影像檔案(Raster，解析度：5m)
	河系圖	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	國土利用	向量檔案(Shapfile，類型：Ploygon)
	921 地震後期陰影	向量檔案(Raster，解析度：20m)
崩塌資訊	921 地震前期裸露地	影像檔案(Raster，解析度：20m)
	921 地震後期裸露地	影像檔案(Raster，解析度：20m)

資料來源：本研究整理

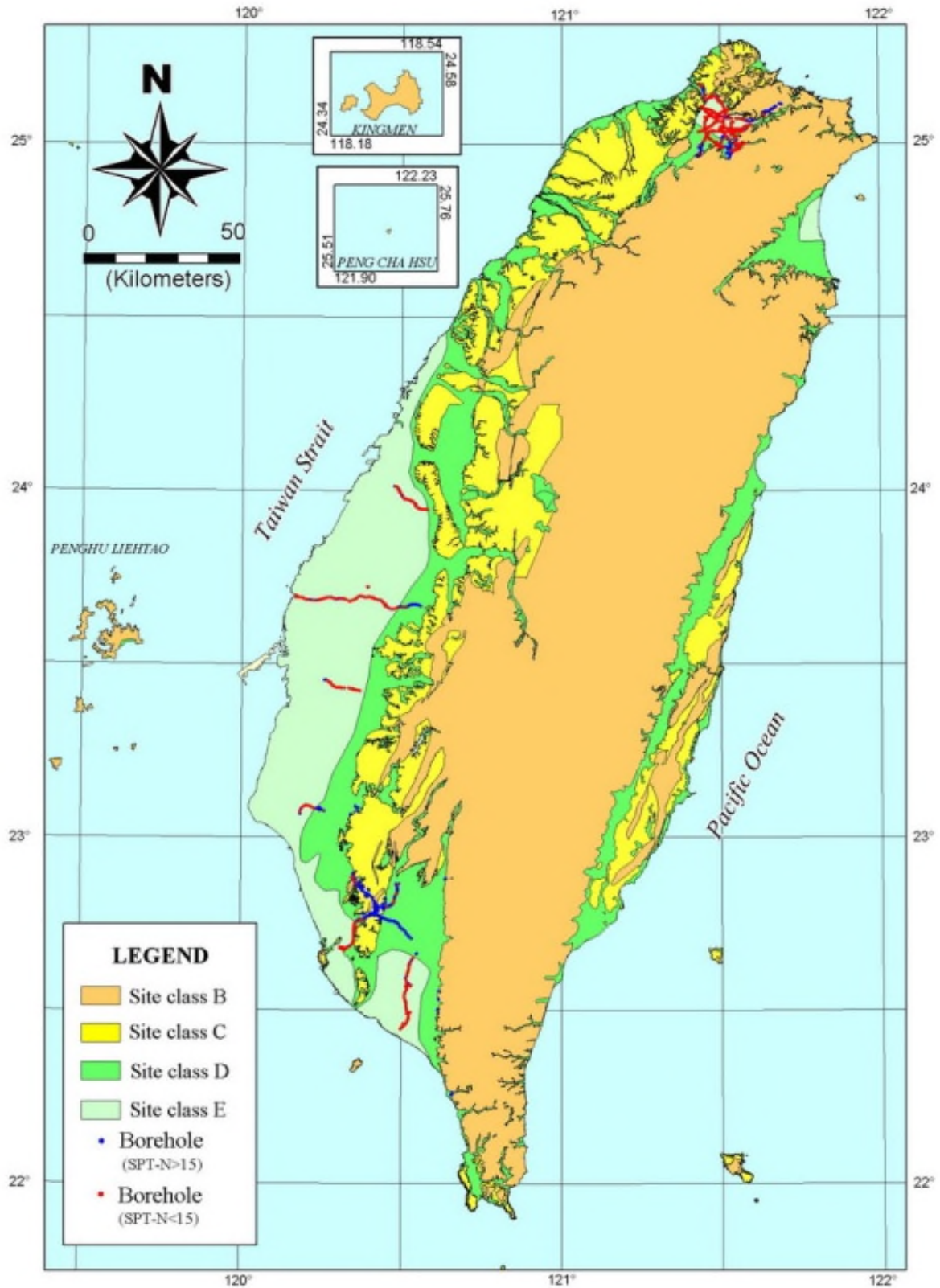
一、地質資料

根據過去研究，地震引致的崩塌與年代、岩性、地層的相關性較不易確認，而與地震引致的振動、加速度與波速更為直接相關。以地震工程學的角度，地震波的傳遞與岩土硬度具有較大關係，影響地振動的大小，通常堅硬的岩盤傳遞更多能量至地表，也引致更高的震度。李錫堤等人 (Lee *et al.*, 2001) 將全台灣地區的地震測站所在之場址，由硬至軟依序分為 B、C、D、E 四類如表 3-5 及圖 3-11 所示，本研究依據該研究之分類將地質圖資套疊至集水區網格內。此分類模式將適於作為地震崩塌評估的地質參數。

表 3-5 李錫堤教授提出之台灣地區地質分類

分類	1997 UBC 分類準則	台灣地區分類準則
B	Rock, shear velocity is from 760 to 1500 m/s	中新世或較老的地層, 包含石灰岩、火成岩及變質岩等
C	Very dense soil and soft rock, shear velocity is from 360 to 760 m/s, Undrained shear strength $u_s \geq 2000$ psf ($u_s \geq 100$ kPa) or $N \geq 50$ blows/ft	上新世及更新世地層，包含礫石層、火山角礫岩、火山碎屑岩...等，以及紅土台地
D	Stiff soils, shear velocity is from 180 to 360 m/s, Stiff soil with undrained shear strength $1000 \text{ psf} \leq u_s \leq 2000 \text{ psf}$ ($50 \text{ kPa} \leq u_s \leq 100 \text{ kPa}$), or $15 \leq N \leq 50$ blows/ft	更新世晚期與全新世地層，低位河階地, 以及緻密的黏土層或砂泥層平均地表 30m 內 SPT N 值 ≥ 15
E	Soft soils, Profile with more than 10ft (3m) of soft clay defined as soil with plasticity index $PI > 20$, moisture content $w > 40\%$ and undrained shear strength $u_s < 1000 \text{ psf}$ (50kPa), or $N < 15$ blows/ft	全新世沈積物及回填物等，平均地表 30m 內 SPT N 值 < 15

資料來源：Lee *et al.*, 2001



資料來源：Lee et al., 2001

圖 3-11 李錫堤教授分類之地質圖

二、坡向資料

回顧過去大多數地震和降雨引致崩塌的相關文獻中皆顯示 (Pearce and O'loughlin, 1985)，坡向與崩塌具有一定的相關性，但無法有一個定性的關係，主因在於降雨或地震與坡向的關係是變動的相對關係，因此難以掌握其定性關係。坡向是指坡面的朝向，它表示表面某處最陡的傾斜方向。它可以被認為是山體所面向的坡向或指南針的方向。在計算坡向的過程中，坡向以度為單位按逆時針方向從 0 度 (正北方向) 至 360 度來度量，可分為九方向，包含平坡及北向、東北向、東向、東南向、南向、西南向、西向、西北向等。坡向圖中的每個網格單元的值表示此網格單元所在坡的面向。水平的坡沒有面向，均被賦予「-1」值。本研究將坡向納入環境因子之分析考量，並考慮其與地震波方向的相關性。坡向可以研究區 DEM 之資料計算各網格坡向，如圖 3-12 所示。

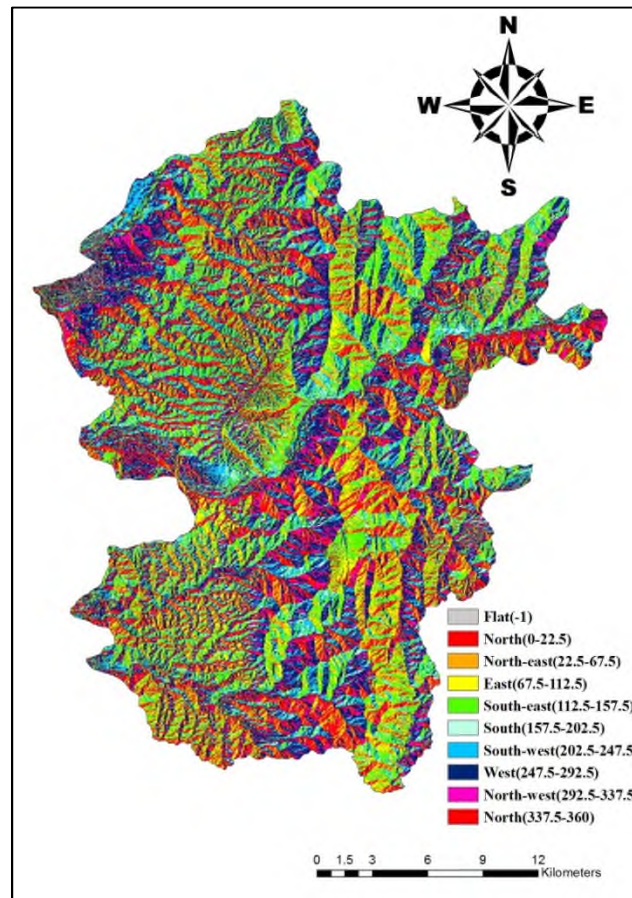


圖 3-12 坡向圖(以研究區為例)

三、坡度資料

某地形的斜度即為坡度，常用於標記丘陵的傾斜程度，一般坡度的數值是以角度 (degree) 表示 (三角函數的正切函數)，亦有以百分比表示，即為「高程增量除以水平增量再乘以 100」。而水土保持技術規範 (2012) 第 23 條指出：「山坡地坡度係指一坵塊土地之平均傾斜比」。本研究坡度亦以此定義，其計算方式係以 DEM 資料利用 ArcGIS 軟體輔助計算集水區 5m 網格之平均傾斜比。ArcGIS 預設坡度計算係採用「坵塊法」，為水土保持技術規範內二種容許方法之一 (另一為等高線法)。如圖 3-13 所示，研究區以 10° 為級距分析各網格之坡度值，所得數值可為度數 ($^\circ$) 或是百分比型式 (%)。

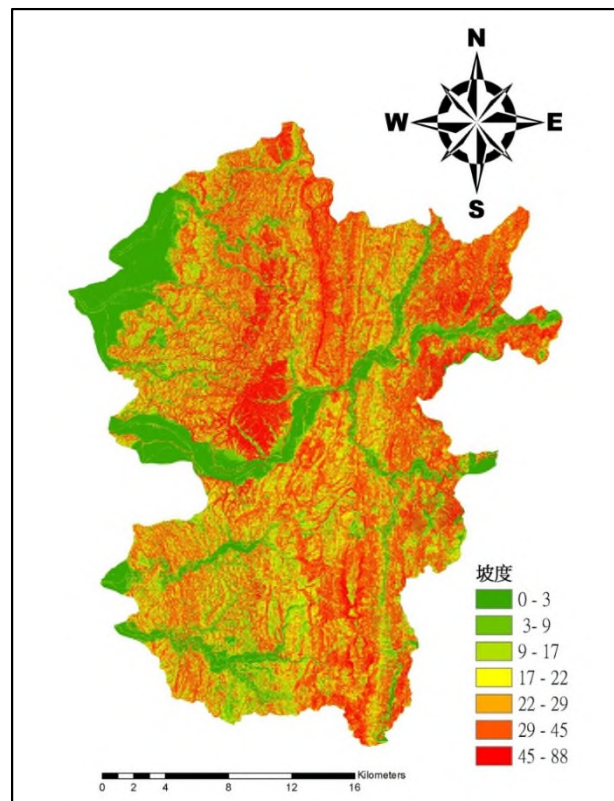


圖 3-13 坡度圖(以研究區為例)

四、土地利用資料

為探討集水區流域內坡地潛在之自然崩塌，須刪除無崩塌潛勢區域或經人為擾動之非自然崩塌區域；前者如河流、河道、湖泊等，後者如建物、農地、利用地等。尤其是後者區域於崩塌地判釋時，在崩塌地、河谷、建地

的光譜值會相當接近，造成影像判釋上容易混淆與誤判。本研究採用內政部國土測繪中心所繪製 95 年土地利用調查圖資，濾除 921 地震時期無崩塌潛勢或非自然崩塌區域。

五、順向坡資料

順向坡是與岩層面或其他規則而具延續性之不連續面大致同向之坡面，在地質上表示一個坡面的沈積堆疊方向，因其地層走向與坡面相同，地勢影響下較逆向坡容易發生崩塌，在防災工程中屬危險山坡，必須要嚴謹處理。在台灣過去的災例中，1997 年 8 月的林肯大郡災變、2009 年 8 月的小林村災變以及 2010 年 4 月的福爾摩沙高速公路崩塌災變，皆是順向坡地滑崩塌所造成。順向坡的崩塌大多半隨著地滑機制呈現，因此對於地震而言，順向坡地勢更容易產生崩塌，而順向坡地勢因地質條件的不同，有些非常容易崩塌，輕微的振動可能就會造成崩塌，因此也更難評估。本研究針對順向坡資料，蒐集中央地質調查所已公布的順向坡調查資料，作為本研究坡向敏感因子資料選取的參考依據，如圖 3-14 所示。

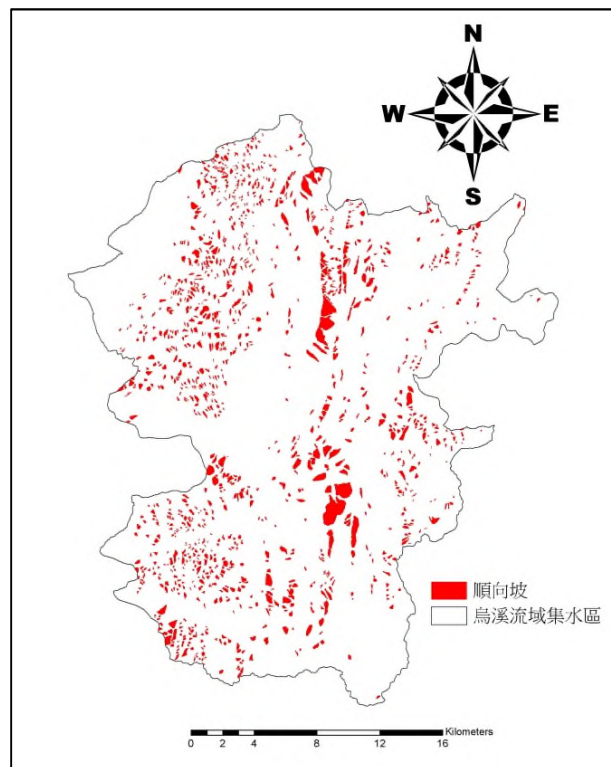


圖 3-14 順向坡分布圖(以研究區為例)

第六節 坡面單元分類

一、坡面之地質分類(G)

地質因子採用李錫堤教授之分類，依照網格法計算以佔較多面積的分類為依據分出兩種類別，site class B 為堅硬且脆性的岩石為地質分級一、site class C 為密集的土壤和軟岩為地質分級二。以研究區為例，地質分類完成之崩塌地統計如表 3-6 和圖 3-15 所示。

表 3-6 地質分類統計(以研究區為例)

級序	地質	坡面數	崩塌地		非崩塌地		崩塌比
			個數	%	個數	%	
G1	Site B	1,039	125	12.03%	914	88%	12.03%
G2	Site C	5,294	896	16.92%	4,398	83%	16.92%
總和		6,333	1,021	100.00%	5,312	100.00%	16.12%

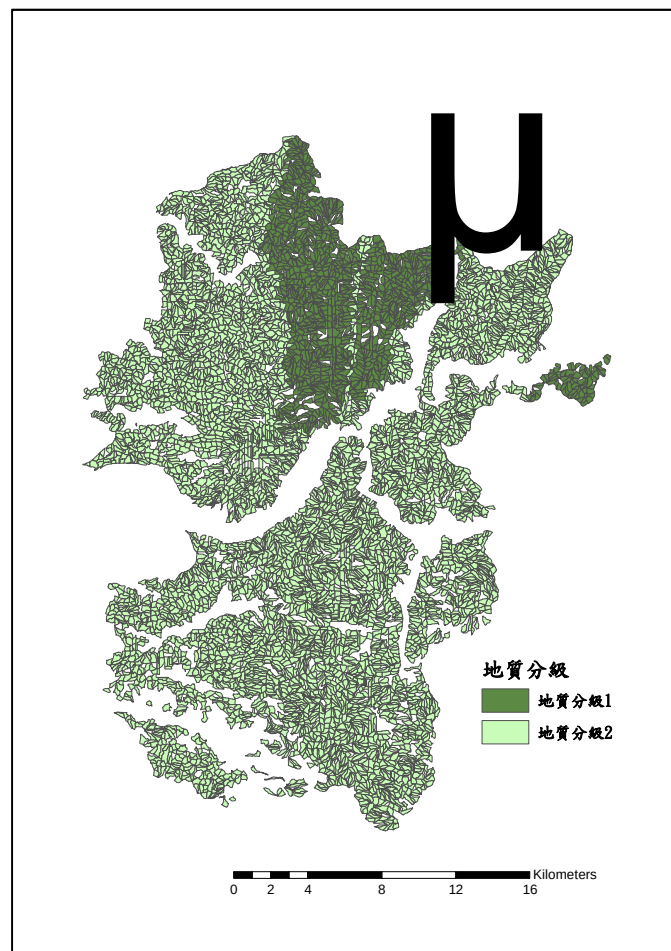


圖 3-15 坡面單元地質分類(以研究區為例)

二、坡面之坡向敏感因子(A)

由於坡面崩塌受地震波方向的影響極大，震波衝擊的方向是否與坡面呈正向或平行關係影響是否容易崩塌，因此本研究考慮坡面法線方向與地震波方向的關係，如圖 3-16，將坡向分為弱面與強面兩類。弱面 (A1) 表示該坡面法線方向與震波方向平行或接近平行利於崩塌狀態，強面 (A2) 表示該坡面法線方向與震波方向垂直或接近垂直的不利崩塌的狀態，此即坡向敏感因子。

為簡化分類過程，本研究假定地震可能發生在斷層面上的任一處，即任一處之地震波係沿著斷層線任一點切線向外傳遞 (即線斷層模式)，因此地震發生後任一個坡面單元受衝擊的震波方向，即可定義為坡面形心距斷層線的最短距離所指的方向，稱之為震波方位角。其次，再以坡面單元最高點至最低點的反函數計算出坡面方位角，此坡面方位角和震波方位角所夾的角度越小則越有利於崩塌，也就是傾向於弱面的情況。如圖 3-17 所示，本研究以 30° 為強面與弱面之分界評估某坡面單元之坡向敏感分類，也就是當所夾角度為 $-30^\circ \sim 30^\circ$ 以及 $150^\circ \sim 210^\circ$ 時定義為弱面，。此外，本研究考慮順向坡的影響，當坡面為順向坡時則保守地直接定義為弱面。以研究區為例，坡向敏感因子分類完成之崩塌地統計如表 3-7 和圖 3-18 所示。

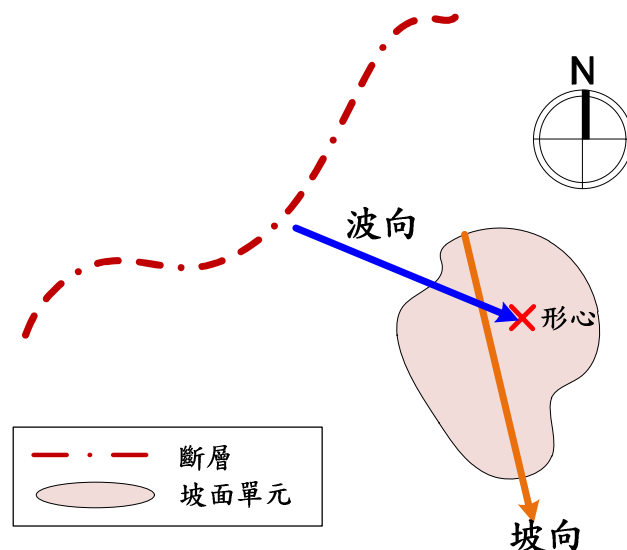


圖 3-16 坡面方位角和震波方位角的關係

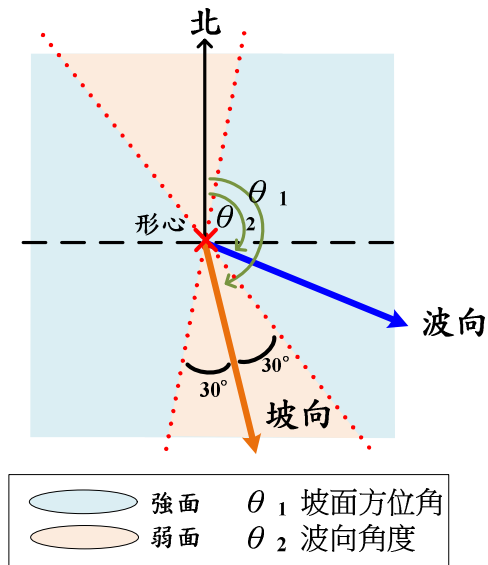


圖 3-17 坡向敏感因子定義

表 3-7 坡向敏感因子分類統計(以研究區為例)

級序	坡向	坡面數	崩塌地		非崩塌地		崩塌比
			個數	%	個數	%	
A1	弱面	3,188	492	48.19%	2,696	50.75%	15.43%
A2	強面	3,145	529	51.81%	2,616	49.25%	16.82%
總和		6,333	1,021	100.00%	5,312	100.00%	16.12%

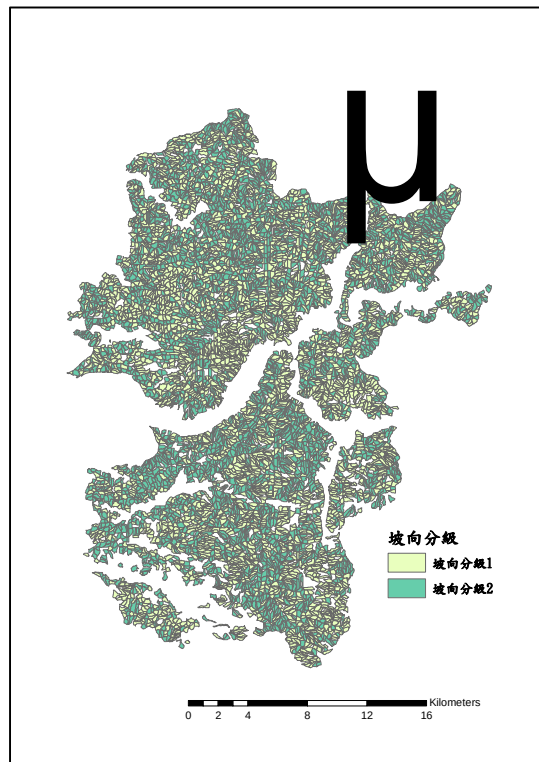


圖 3-18 坡面單元坡向敏感因子分類(以研究區為例)

三、坡面之坡度分級(S)

坡面單元的坡度分級參考水土保持技術規範 (2013) 坡度分級定義，將坡度自五級坡之上下界簡化為三個分類，定義為 S1(緩坡)、S2(中坡) 以及 S3(陡坡)，如表 3-8 所示。坡面單元採用坡面斜率法來計算坡面單元坡度，計算方式是以坡面單元最高點至最低點的高程差作為坡高，及最高點至最低點水平投影下的水平距離作為坡長，計算該坡面單元之斜率即求得坡度分級。以研究區為例，坡度分類完成之崩塌地統計如圖 3-19 所示。

表 3-8 坡度分類統計(以研究區為例)

級序	坡度	坡面數	崩塌地		非崩塌地		崩塌比
			個數	%	個數	%	
S1	三、四級坡	3,605	570	55.83%	3,035	57.13%	15.81%
S2	五級坡	1,400	212	20.76%	1,188	22.36%	15.14%
S3	六、七級坡	1,328	239	23.41%	1,089	20.50%	18.00%
總和		6,333	1,021	100.00%	5,312	100.00%	16.12%

註：一、二級坡在網格資料庫中已刪除，但坡面單元計算仍可能有三級坡坡度值。

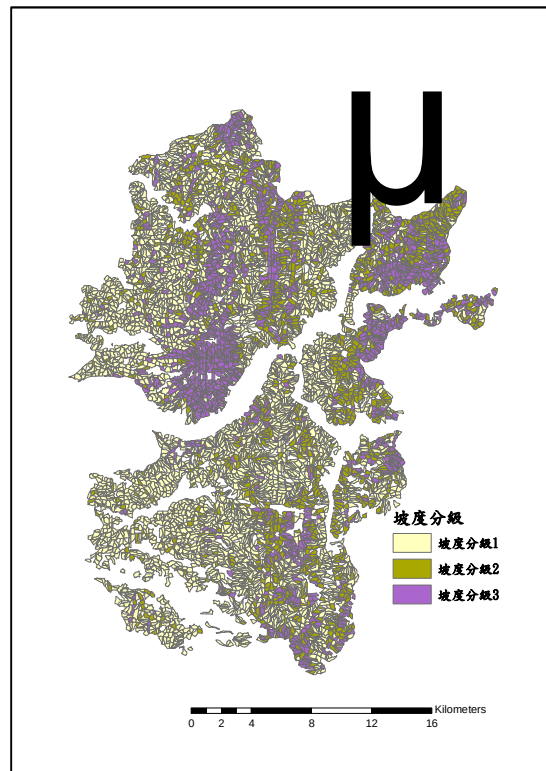


圖 3-19 坡面單元坡度分類(以研究區為例)

四、坡面單元崩塌定義

坡地易損性曲線係描述單一坡面單元在某震度下之崩塌機率，換句話說，就是不論坡面單元的實際大小，以崩塌機率的方式表達某坡面單元的崩塌可能性，因此首先必須探討此可能性所表示的物理意涵。以統計而言，崩塌機率所描述的是某個崩塌狀態發生的可能性，也就是必須針對坡面定義某種崩塌狀態是否發生，再根據定義進行機率分析，通常對崩塌現象而言最簡單直接的作法，是以訂定崩塌門檻值作為某種崩塌狀態，因此採取合理的崩塌定義與程度即相當重要。此外，以衛星影像判釋崩塌地實際上並不能考慮地形與深度的影響，因此必要考慮崩塌量體和崩塌表面積的相關性，並將判釋所得的崩塌水平投影與實際崩塌量體之關係量化修正。這個修正概念在過去已有許多研究者針對崩塌斜面積、體積與深度的關係作過相關研究(例如 Evans and DeGraff, 2002; Imaizumi et al., 2008; Guzzettiet et al., 2009; 經濟部水利署, 2006, 2010, 2011)。

過去研究結果顯示，理論上崩塌深度與坡度具有一定相關性，因此崩塌地斜面積、崩塌體積與深度亦有關係，理論上若崩塌體積與斜面積關係式成立，就可以進一步利用崩塌體積推算不同坡度下之崩塌斜面積，再計算崩塌水平投影面積，這也就是影像判釋所得之近似崩塌面積。也就是說，同樣可經由推估的方法，由崩塌水平投影面積及坡度進一步推估可能的斜面積與體積。然而，由於地層條件的不穩定性，要藉由崩塌深度推估適於任意坡地的關係式是相當困難的，這也是崩塌現象具有高度不確定性的原因。因此，通常的作法是藉由過去的經驗以較定性的方式建立坡度與深度相關性(例如 Khazai and Sitar, 2000、國家災害防救科技中心)。

根據上述，本研究針對坡面單元之崩塌定義，參考水利署曾於 2010 至 2011 年間執行之「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例」，該計畫針對高屏溪流域以野外量測之崩塌地斜面積與產砂量迴歸

崩塌體積與斜面積關係式，由於是經驗公式，因此將深度因子消除，得到：

$$V=0.2 \times A^{1.3} \quad (3-24)$$

式中 V 為崩塌體積 (立方公尺)； A 為崩塌斜面積 (平方公尺)；相關係數為 0.84。

本研究利用式(3-24)推估崩塌體積期望值下產生之崩塌斜面積，再由已知坡度計算可能的崩塌水平投影面積。因此將坡面單元的崩塌狀態，參考該計畫所調查崩塌地中，屬中高嚴重程度崩塌地之平均崩塌體積約 $V=5,692$ 立方公尺來估算，將崩塌體積期望值概取整數為 $V=6,000$ 立方公尺，藉由反推崩塌斜面積並估計不同坡度分類下的崩塌水平投影面積門檻。在 $S1 \sim S3$ 的坡度分類下，各類坡度取平均值計算可能的崩塌水平投影面積，並結合崩塌率(崩塌水平投影面積/坡面單元水平投影面積)和判識所得之崩塌水平投影面積以試誤法得到較佳門檻值組合，定義如下：

1. $S1$ 類坡度：坡面單元崩塌率達 5%，或崩塌水平投影面積達 0.28 ha 者為崩塌(7 個網格以上)；其餘為未發生崩塌。
2. $S2$ 類坡度：坡面單元崩塌率達 5%，或崩塌水平投影面積達 0.24 ha 者判定坡面單元為崩塌(6 個網格以上)；其餘為未發生崩塌。
3. $S3$ 類坡度：坡面單元崩塌率達 5%，或崩塌水平投影面積達 0.22 ha 者判定坡面單元為崩塌(5 個網格以上)；其餘為未發生崩塌。

上述崩塌率 5%門檻值的設定，主要是考量當坡面單元過小時，僅考慮崩塌水平投影面積可能無法定義崩塌坡面的情形，例如當坡面單元 3ha 時，5%的崩塌率約僅 4 個網格。經反覆試算，本研究採用的坡面單元崩塌定義與狀態具有較佳的分析結果，也能夠合理地修正影像判釋為水平投影面積的不足。最後，研究區所得到之各坡面單元崩塌評估結果如圖 3-20 所示。

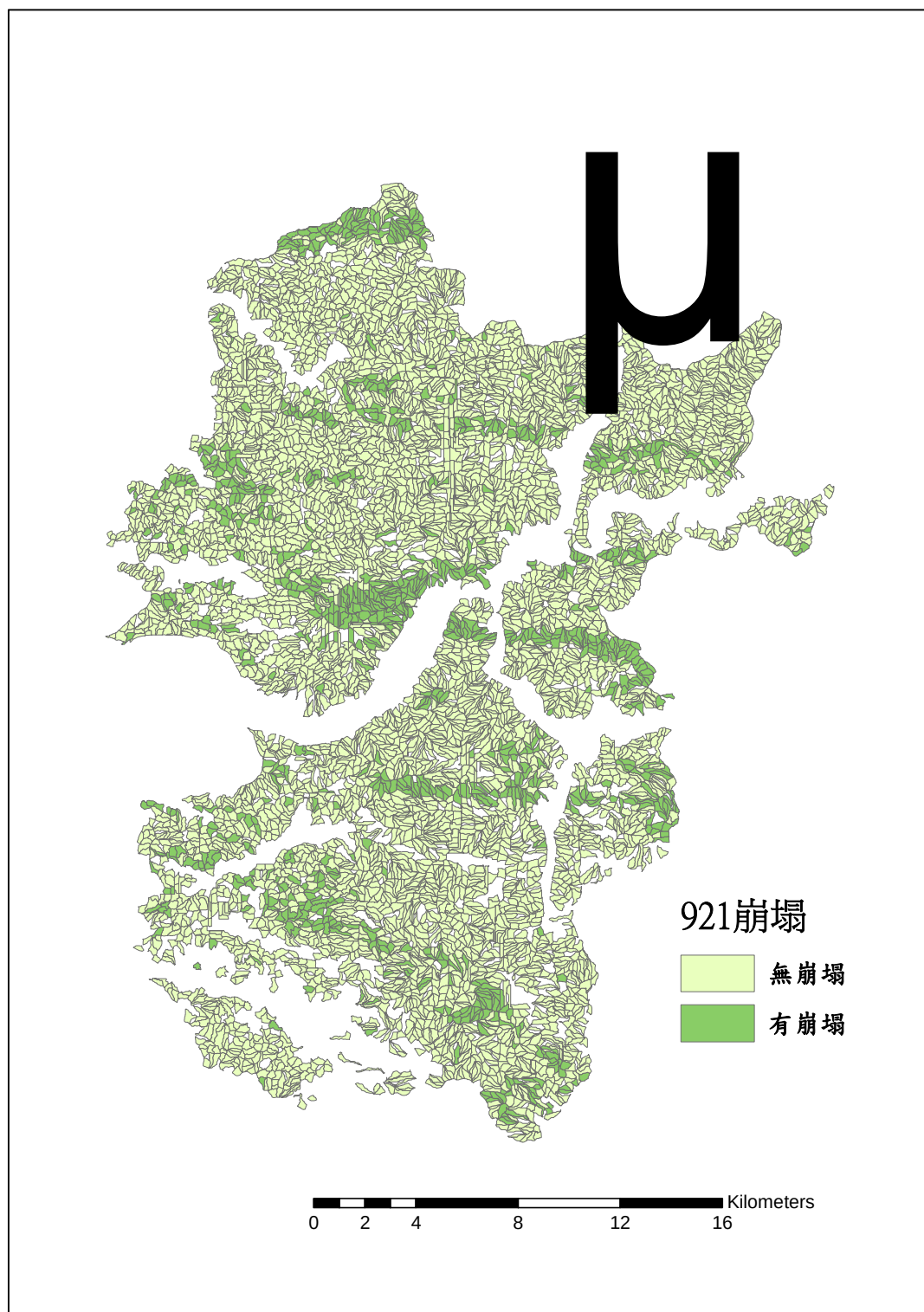


圖 3-20 研究區崩塌坡面分佈

第七節 坡地易損性分析

本研究利用前述 921 地震崩塌資料以坡地易損性分析方法進行各類型坡地之易損性分析。根據前述因子定義之分類將坡面環境因子分類屬性賦予固定編碼以顯示其環境特徵，分別建立 G(地質)、A(坡向敏感)、S(坡度)之編號順序組合，其中包括地質二類、坡向敏感二類以及坡度三類，共計 12 種類型坡地組合。

本計畫依據新制地震震度階級表優化篩選，其中包括每個坡面在 921 地震中之 PGA 及 PGV 震度值，以及該坡面是否發生崩塌 (有崩為 1，未崩為 0)，各類坡地之崩塌致災資料數量如表 3-9 所示，經由易損性分析各類坡地即可根據崩塌致災資料求解其中位數及標準差等易損性參數。前期成果中以 PGA 為致災因子分析所得之坡地易損性參數結果如表 3-9 所示。各類坡地易損性曲線如圖 3-21 至圖 3-32 所示。根據機率曲線對應的 PGA 關係，可計算該類坡地在某 PGA 震度下的崩塌機率，估計地震下之崩塌可能性。

表 3-9 以 PGA 為致災因子之 12 類坡地易損性參數表

分類編號	數量	中位數	標準差	適用範圍(cm/s^2)	
G1A1S1	261	0.952	0.681	250.00	474.48
G1A1S2	131	0.771	0.581	250.00	476.34
G1A1S3	116	0.683	0.498	250.00	480.94
G1A2S1	262	1.035	0.734	250.00	473.17
G1A2S2	67	0.878	0.662	250.00	462.68
G1A2S3	63	0.789	0.598	250.00	484.24
G2A1S1	1498	0.496	0.128	250.00	592.74
G2A1S2	553	0.482	0.118	250.00	573.98
G2A1S3	552	0.486	0.112	250.00	558.90
G2A2S1	1354	0.525	0.164	250.00	601.62
G2A2S2	474	0.521	0.152	250.00	595.41
G2A2S3	543	0.518	0.139	250.00	585.77

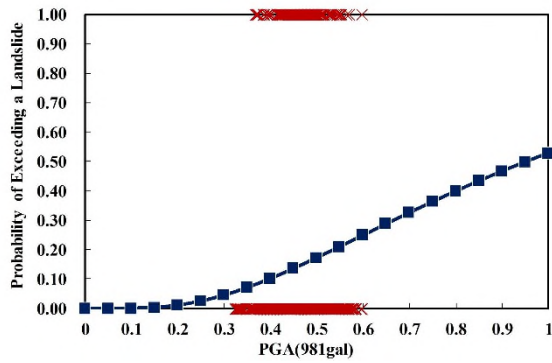


圖 3-21 G1A1S1 易損性曲線(PGA)

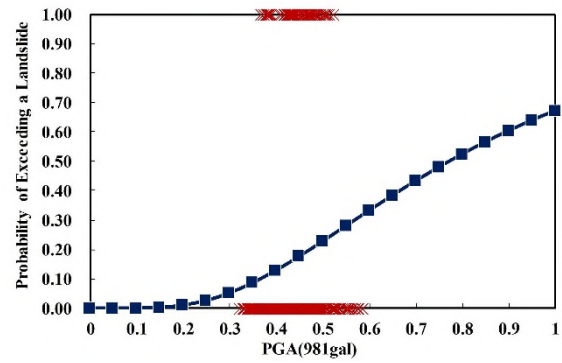


圖 3-22 G1A1S2 易損性曲線(PGA)

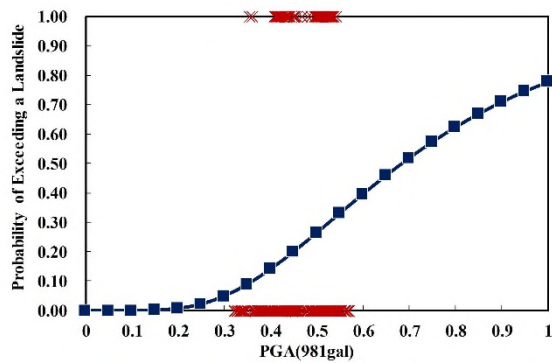


圖 3-23 G1A1S3 易損性曲線(PGA)

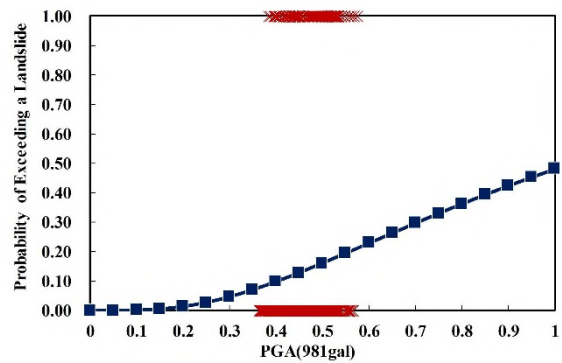


圖 3-24 G1A2S1 易損性曲線(PGA)

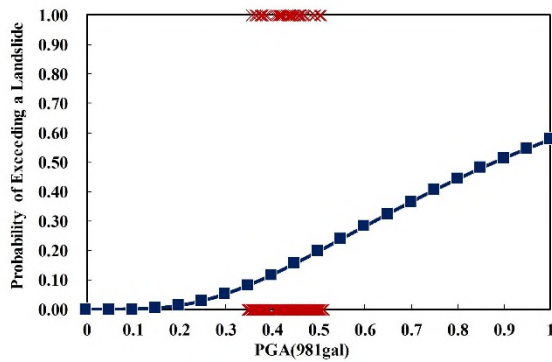


圖 3-25 G1A2S2 易損性曲線(PGA)

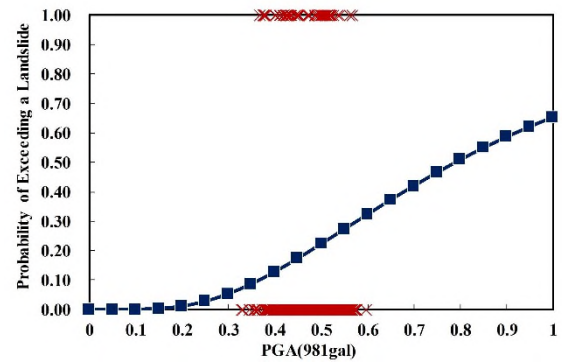


圖 3-26 G1A2S3 易損性曲線(PGA)

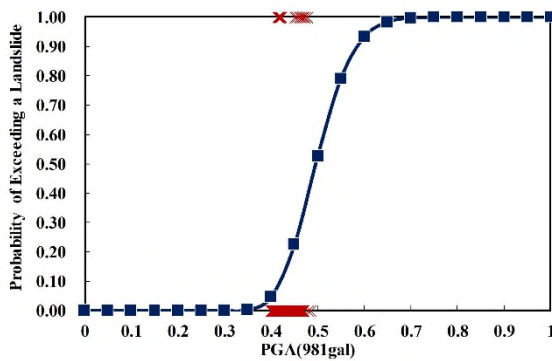


圖 3-27 G2A1S1 易損性曲線(PGA)

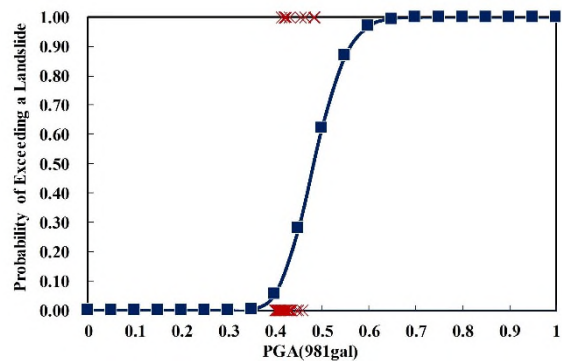


圖 3-28 G2A1S2 易損性曲線(PGA)

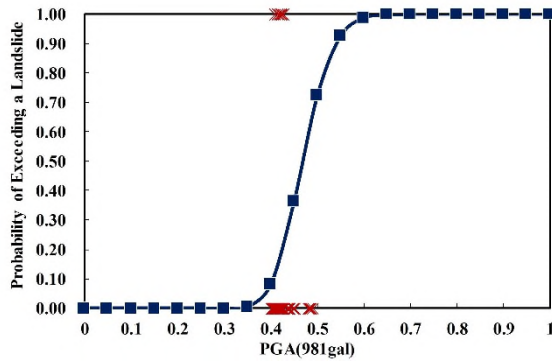


圖 3-29 G2A1S3 易損性曲線(PGA)

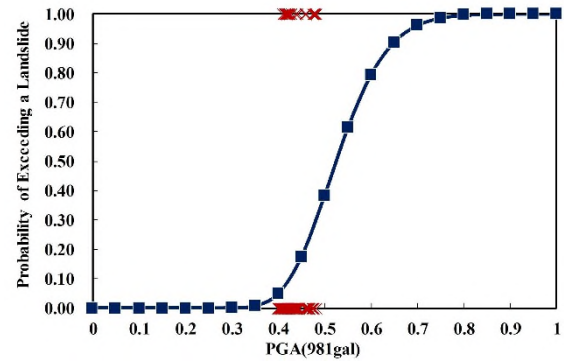


圖 3-30 G2A2S1 易損性曲線(PGA)

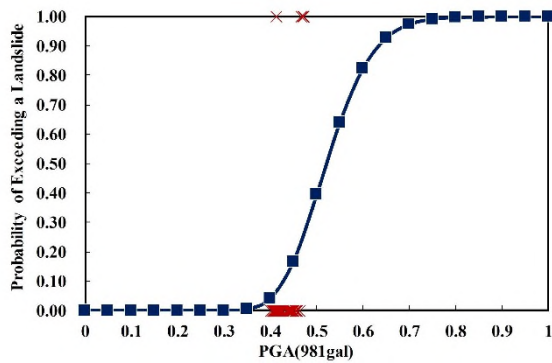


圖 3-31 G2A2S2 易損性曲線(PGA)

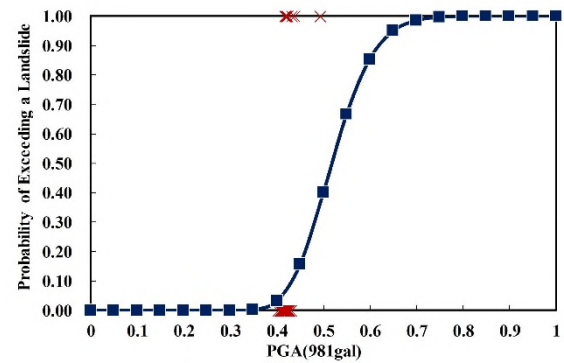


圖 3-32 G2A2S3 易損性曲線(PGA)

表 3-10 以 PGV 為致災因子之 12 類坡地易損性參數表

分類編號	數量	中位數	標準差	適用範圍(cm/s)	
G1A1S1	261	0.836	0.644	50.00	88.75
G1A1S2	131	0.700	0.559	50.00	94.73
G1A1S3	116	0.573	0.487	50.00	101.50
G1A2S1	262	1.061	0.750	50.00	88.51
G1A2S2	67	0.926	0.686	50.00	92.02
G1A2S3	63	0.855	0.629	50.00	102.20
G2A1S1	1498	0.431	0.120	50.00	108.59
G2A1S2	553	0.418	0.111	50.00	111.87
G2A1S3	552	0.406	0.105	50.00	115.67
G2A2S1	1354	0.456	0.154	50.00	110.21
G2A2S2	474	0.452	0.143	50.00	116.04
G2A2S3	543	0.450	0.131	50.00	121.23

在 PGV 方面，本計畫以 PGA 為致災因子分析所得之坡地易損性參數結果如表 3-10 所示。各類坡地易損性曲線如圖 3-33 至圖 3-44 所示。根據機率曲線對應的 PGV 關係，可計算該類坡地在某 PGV 震度下的崩塌機率，估計地震下之崩塌可能性。

上述 PGA 或 PGV 反應的是這二種物理量引致崩塌的各別機率，由於 PGA 與 PGV 二者為時間積分關係，因此瞬間的震度延時有很大的影響，也就是說，較高的 PGA 若僅是在極短的時間內出現，經過時間積分後不一定會是較高的 PGV，反之亦然，較高的 PGV 不一定會有較高的 PGA，也就是說，PGA 或 PGV 之易損性曲線並不會一致。目前研究多認為地震延時可能對災害的發生相較加速度更為重要，易因累積足夠的能量而導致災害發生，這也是中央氣象局將高震度區改以 PGV 定義的主因，因此可以預期以 PGA 為致災因子之易損性曲線所得崩塌評估結果，相較 PGV 為致災因子所得崩塌評估結果會較保守，所得崩塌機率和崩塌估計會較高。

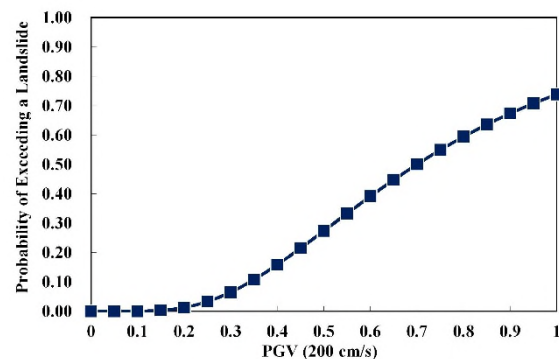
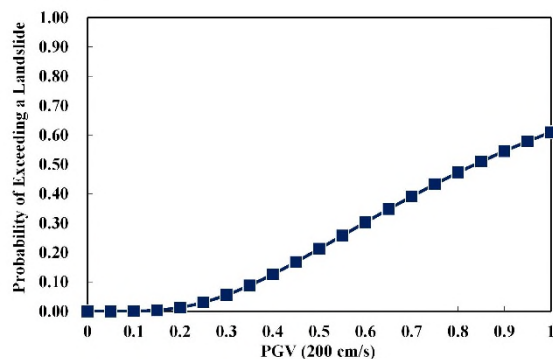


圖 3-33 G1A1S1 易損性曲線 (PGV) 圖 3-34 G1A1S2 易損性曲線 (PGV)

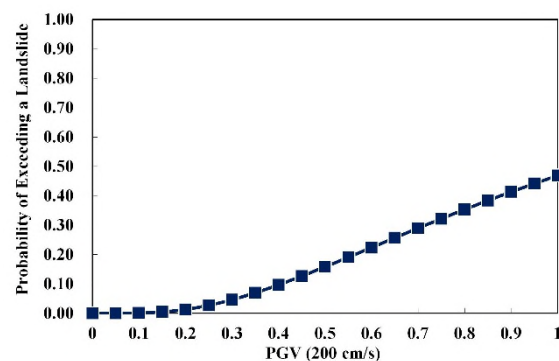
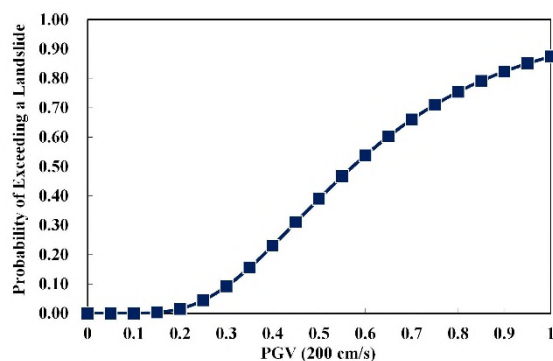


圖 3-35 G1A1S3 易損性曲線 (PGV) 圖 3-36 G1A2S1 易損性曲線 (PGV)

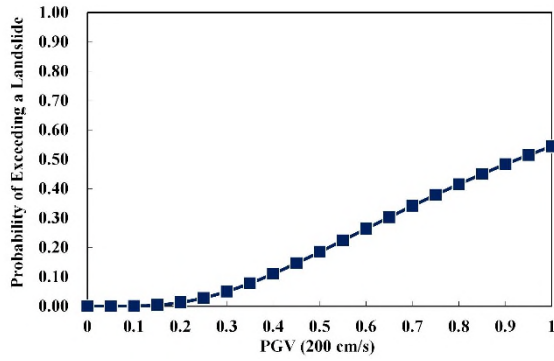


圖 3-37 G1A2S2 易損性曲線 (PGV)

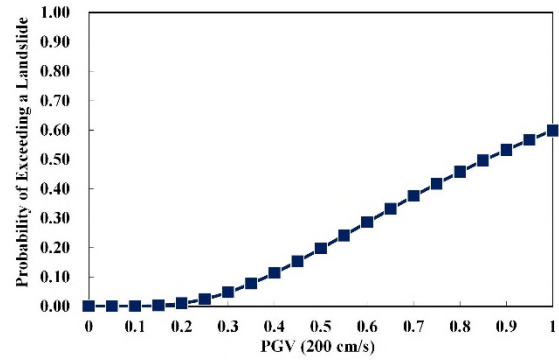


圖 3-38 G1A2S3 易損性曲線 (PGV)

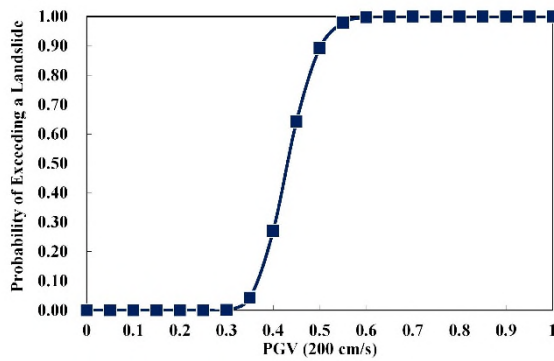


圖 3-39 G2A1S1 易損性曲線 (PGV)

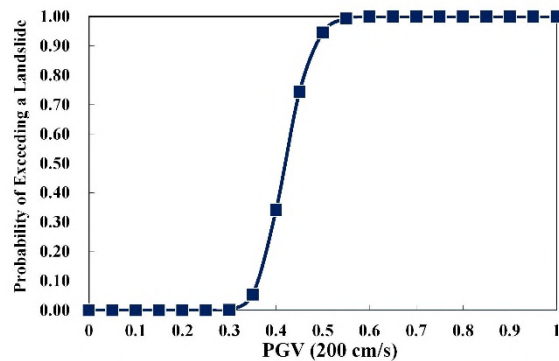


圖 3-40 G2A1S2 易損性曲線 (PGV)

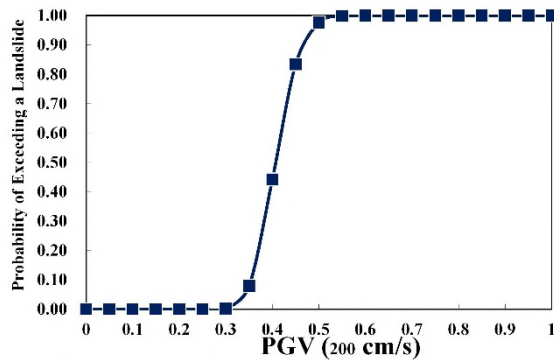


圖 3-41 G2A1S3 易損性曲線 (PGV)

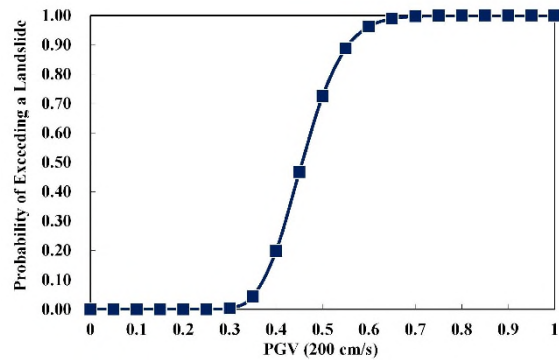


圖 3-42 G2A2S1 易損性曲線 (PGV)

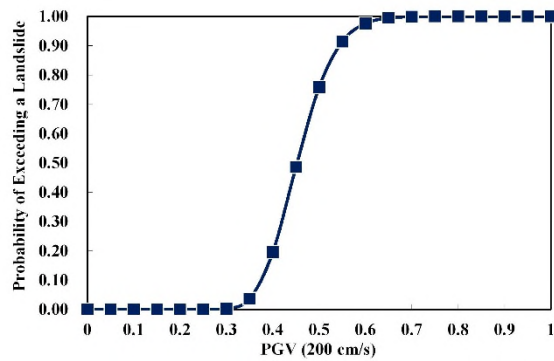


圖 3-43 G2A2S2 易損性曲線 (PGV)

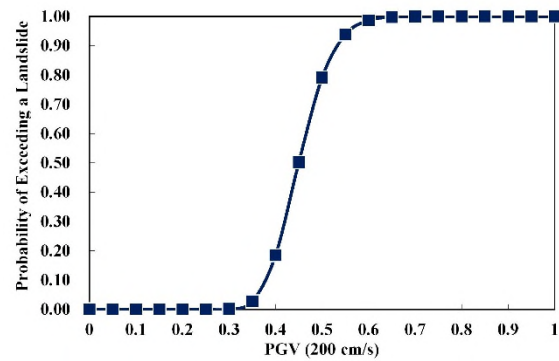


圖 3-44 G2A2S3 易損性曲線 (PGV)

第四章 坡地崩塌評估基礎資料庫擴充

崩塌危害評估模式係以坡面單元為評估單元，對於坡面單元劃定的一致性、坡面分類的系統性必須確保，才能在應用於崩塌評估時得到可靠的應用成果。為了能夠有效地進行坡地崩塌評估工作，本模式即需要建置全台之坡面單元及完整的地文因子資料庫，以坡面單元為基礎的資料庫須考慮地文因子、致災因子等，由於各式資料乃至於震度資料通常都是網格式資料(庫)，因此還需將網格資料庫與坡面單元資料庫予以介接，固定編碼及位置。

本研究採用中央地質調查所已繪製完成的全台坡面單元成果作為資料庫建置基礎，並以此為基礎進行坡面單元之地文分類屬性定義。各式地文因子所需基礎資料如下概述：

1. 地質因子：地質分類 (100m × 100m)；
2. 高程因子：數值高程模型 DEM (20m × 20m)；
3. 坡度因子：數值高程模型 DEM (20m × 20m)；
4. 坡向因子：數值高程模型 DEM (20m × 20m)；
5. 斷層因子：全台斷層圖資；
6. 順向坡因子：全台順向坡圖資。

上述 1~4 的基礎資料皆是以網格型資料建立，可基於這些資料計算坡面單元之地質分類 (G)、坡向敏感因子 (A)、坡度分類 (S)。此外，坡地崩塌評估基礎資料庫與斷層帶相關，不同斷層對坡面之方位不同因此其影響不同，必須逐一建置對應斷層之坡地崩塌評估基礎資料庫。本計畫在前期研究中已建置完成之三條斷層坡地崩塌評估基礎資料庫，包括中部車籠埔斷層、南部九芎坑斷層以及東部花東縱谷斷層。本年度計畫則考量未來 50 年發生最大可能規模、機率與代表性，擴充山腳斷層(最大規模 7.0，發生機率 4%)作為北部崩塌評估基礎資料庫之代表斷層。

第一節 全台坡面單元資料庫

本計畫以中央地質調查所所繪製之全台坡面單元圖資為依據，該圖資係建置更新於民國 108 年，係根據 20m-DEM 所劃定，並以全台縣市為區塊獨立劃分坡面單元後再行整併，如表 4-1 所示。本計畫根據各縣市之坡面單元資料，重新整併為以河川主流為單元的坡面單元資料庫，集水區則更新為民國 110 年水保局發布之新版集水區界。如所圖 4-1 示，可知坡面單元涵蓋全台 136 個河川流域中的 127 個主要流域，其中未劃定坡面單元的河川流域有 9 個，分別是富林溪流域、大堀溪流域、觀音溪流域、新屋溪流域、福興溪排水流域、萬興排水幹線流域、新虎尾溪流域、舊虎尾溪流域以及龍宮溪流域，主因為屬平原地帶，因此沒有繪製坡面單元的需求。

如所表 4-2 示，經河川主流逐一校對查驗，全台主要流域共計 143819 個坡面單元，佔全台面積 68.21%；數量最多的前三個分別是濁水溪流域 (15773 個，佔流域面積 85.26%)、淡水河流域 (14907 個，佔流域面積 83.07%)、高屏溪流域 (14788 個，佔流域面積 75.60%)；數量最少的前三個分別是埔心溪流域 (1 個，佔流域面積 0.04%)、後州溪流域 (6 個，佔流域面積 11.20%)、將軍溪排水流域 (8 個，佔流域面積 0.18%)。如表 4-2 所示，可知全台坡面單元主要分布在山坡地，可作為震後坡地崩塌評估之基礎。

表 4-1 中央地質調查所產製之全台坡面單元資料庫

編號	縣市	編號	縣市
01	108 年度北北基坡面單元	10	108 年度雲林縣市坡面單元
02	108 年度宜蘭縣市坡面單元	11	108 年度新北市坡面單元
03	108 年度花蓮縣市坡面單元	12	108 年度新竹縣市坡面單元
04	108 年度南投縣市坡面單元	13	108 年度嘉義縣市坡面單元
05	108 年度屏東縣市坡面單元	14	108 年度彰化縣市坡面單元
06	108 年度苗栗縣市坡面單元	15	108 年度臺中市坡面單元
07	108 年度桃園市坡面單元	16	108 年度臺北市坡面單元
08	108 年度高雄市坡面單元	17	108 年度臺東縣市坡面單元
09	108 年度基隆市坡面單元	18	108 年度臺南市坡面單元

表 4-2 全國各河川流域坡面單元劃定基礎資料

編號	主流名稱	主流總面積 (km ²)	坡面單元總面積 (km ²)	坡面單元面積 占比(%)	坡面單元數量
1	礮溪	49.490	42.035	84.94	162
2	小坑溪	15.544	13.809	88.83	49
3	乾華溪	11.512	10.382	90.18	37
4	石門溪	8.760	8.096	92.42	31
5	老梅溪	19.331	17.675	91.43	84
6	楓林溪	9.911	6.915	69.77	44
7	埔坪溪	14.813	9.415	63.56	47
8	八蓮溪	15.171	10.911	71.92	44
9	大屯溪	28.384	18.372	64.73	93
10	後州溪	7.173	0.803	11.20	6
11	興仁溪	13.651	3.672	26.90	21
12	林子溪	25.857	11.848	45.82	50
13	淡水河	2734.058	2271.191	83.07	14907
14	水仙溪	35.812	22.604	63.12	132
15	寶斗溪	9.288	6.422	69.15	48
16	林口溪	22.202	11.056	49.80	62
17	南崁溪	197.559	46.599	23.59	463
18	埔心溪	131.397	0.056	0.04	1
19	老街溪	115.245	5.426	4.71	31
20	富林溪	20.427	0.00	0.00	0.00
21	大堀溪	54.158	0.00	0.00	0.00
22	觀音溪	32.544	0.00	0.00	0.00
23	新屋溪	23.521	0.00	0.00	0.00
24	社子溪	98.388	10.451	10.62	77
25	福興溪排水	41.397	0.00	0.00	0.00
26	新豐溪	98.450	15.467	15.71	115
27	鳳山溪	256.325	174.553	68.10	1358
28	頭前溪	567.478	451.619	79.58	2250

表 4-2 全國各河川流域坡面單元劃定基礎資料

編號	主流名稱	主流總面積 (km ²)	坡面單元總面積 (km ²)	坡面單元面積 占比(%)	坡面單元數量
29	客雅溪排水	62.015	30.681	49.47	347
30	鹽港溪排水	64.723	41.175	63.62	510
31	新港溪	13.989	1.019	7.29	27
32	中港溪	450.285	357.024	79.29	2660
33	後龍溪	558.160	438.477	78.56	3111
34	西湖溪	121.248	81.039	66.84	704
35	通霄溪	96.108	61.726	64.23	584
36	苑裡溪	41.483	21.510	51.85	230
37	房裡溪	57.409	9.111	15.87	91
38	大安溪	769.192	669.532	87.04	3458
39	溫寮溪	63.848	1.778	2.79	23
40	大甲溪	1404.333	1088.772	77.53	6552
41	烏溪	2054.711	1378.491	67.09	9001
42	洋仔厝溪	248.795	33.802	13.59	440
43	員林大排水	226.915	24.131	10.63	214
44	萬興排水幹線	428.877	0.00	0.00	0.00
45	濁水溪	3167.481	2700.600	85.26	15773
46	新虎尾溪	237.484	0.00	0.00	0.00
47	舊虎尾溪	449.025	0.00	0.00	0.00
48	北港溪	773.386	123.157	15.92	1178
49	朴子溪	418.973	96.799	23.10	1171
50	龍宮溪	121.574	0.00	0.00	0.00
51	八掌溪	463.433	187.784	40.52	1937
52	急水溪	410.720	127.073	30.94	1845
53	將軍溪排水	372.706	0.667	0.18	8
54	曾文溪	1253.720	917.366	73.17	8473
55	鹽水溪	404.471	64.070	15.84	1103
56	二仁溪	413.212	144.348	34.93	2317

表 4-2 全國各河川流域坡面單元劃定基礎資料

編號	主流名稱	主流總面積 (km ²)	坡面單元總面積 (km ²)	坡面單元面積 占比(%)	坡面單元數量
57	阿公店溪	155.405	24.463	15.74	409
58	典寶溪排水	83.717	12.059	14.40	221
59	後勁溪	85.754	19.110	22.28	381
60	愛河	85.686	12.694	14.81	55
61	前鎮河	45.534	1.614	3.54	42
62	鹽水港溪	26.331	1.630	6.19	27
63	高屏溪	3318.393	2508.579	75.60	14788
64	東港溪	477.238	81.899	17.16	465
65	林邊溪	316.326	267.464	84.55	1048
66	北勢溪	95.057	15.372	16.17	84
67	率芒溪	91.742	86.192	93.95	400
68	南湖溪	31.976	26.966	84.33	158
69	十里溪	11.221	10.606	94.52	52
70	枋山溪	144.250	136.179	94.40	681
71	楓港溪	110.554	102.537	92.75	606
72	石盤溪	29.581	25.515	86.26	162
73	四重溪	130.660	112.492	86.10	721
74	保力溪	125.346	65.408	52.18	498
75	港口溪	179.165	148.684	82.99	898
76	九棚溪	24.214	21.130	87.26	131
77	港子溪	17.170	15.940	92.84	102
78	旭海溪	22.976	20.740	90.27	180
79	乾溪	9.090	8.754	96.30	52
80	塔瓦溪	4.906	4.782	97.47	27
81	達仁溪	14.939	14.058	94.10	105
82	安朔溪	58.361	54.951	94.16	328
83	朝庸溪	21.053	18.385	87.33	101
84	大武溪	110.258	104.883	95.13	533

表 4-2 全國各河川流域坡面單元劃定基礎資料

編號	主流名稱	主流總面積 (km ²)	坡面單元總面積 (km ²)	坡面單元面積 占比(%)	坡面單元數量
85	烏萬溪	21.319	20.283	95.14	116
86	津林溪	22.241	21.577	97.01	92
87	大竹溪	145.152	137.934	95.03	591
88	金崙溪	152.134	147.978	97.27	559
89	太麻里溪	230.215	216.297	93.95	844
90	文里溪	35.080	27.660	78.85	72
91	知本溪	199.463	179.988	90.24	748
92	利嘉溪	182.112	148.067	81.31	550
93	太平溪	109.955	48.303	43.93	197
94	卑南溪	1605.222	1430.746	89.13	5717
95	都蘭溪	94.354	69.101	73.24	404
96	馬武溪	191.746	171.960	89.68	1070
97	成功溪	23.283	19.153	82.26	111
98	富家溪	33.857	27.828	82.19	147
99	都威溪	30.133	25.975	86.20	147
100	沙灣溪	23.494	21.267	90.52	165
101	寧埔溪	14.057	12.908	91.83	91
102	竹湖溪	19.848	16.597	83.62	108
103	大德溪	19.860	18.836	94.85	114
104	長濱溪	11.123	6.130	55.11	41
105	城埔溪	7.342	4.771	64.98	26
106	馬海溪	5.305	3.599	67.84	21
107	山間溪	14.665	10.986	74.91	53
108	水母溪	42.109	42.069	99.91	192
109	三富溪	5.374	3.769	70.12	21
110	秀姑巒溪	1795.278	1571.635	87.54	5891
111	豐濱溪	101.595	95.403	93.91	607
112	加蘭溪	35.165	33.039	93.96	118

表 4-2 全國各河川流域坡面單元劃定基礎資料

編號	主流名稱	主流總面積 (km ²)	坡面單元總面積 (km ²)	坡面單元面積 占比(%)	坡面單元數量
113	蕃寮溪	16.259	15.717	96.67	77
114	水璉溪	54.195	49.945	92.16	227
115	花蓮溪	1551.298	1248.159	80.46	4947
116	美崙溪	92.080	47.518	51.61	154
117	三棧溪	136.310	125.698	92.21	467
118	立霧溪	633.108	614.112	97.00	2722
119	石公溪	24.201	23.090	95.41	70
120	大清水溪	62.867	59.089	93.99	240
121	和平溪	587.437	572.611	97.48	2256
122	南澳溪	328.618	310.438	94.47	1138
123	東澳溪	40.894	36.876	90.17	144
124	蘇澳溪	35.094	28.074	79.99	231
125	新城溪	58.480	44.666	76.38	303
126	冬山河	93.230	24.990	26.80	151
127	蘭陽溪	1014.986	767.069	75.57	4063
128	得子口溪	87.387	32.617	37.32	237
129	金面溪	7.998	6.005	75.08	43
130	福德溪	10.778	8.548	79.31	57
131	頭城溪	10.791	6.473	59.99	53
132	大溪川	58.219	52.057	89.42	343
133	雙溪	143.828	131.445	91.39	1024
134	尖山腳溪	61.278	53.279	86.95	487
135	瑪鍊溪	58.353	49.907	85.53	357
136	員潭溪	31.517	22.936	72.77	91
合計		36003.707	24557.766	68.21	143819

資料來源：本研究整理

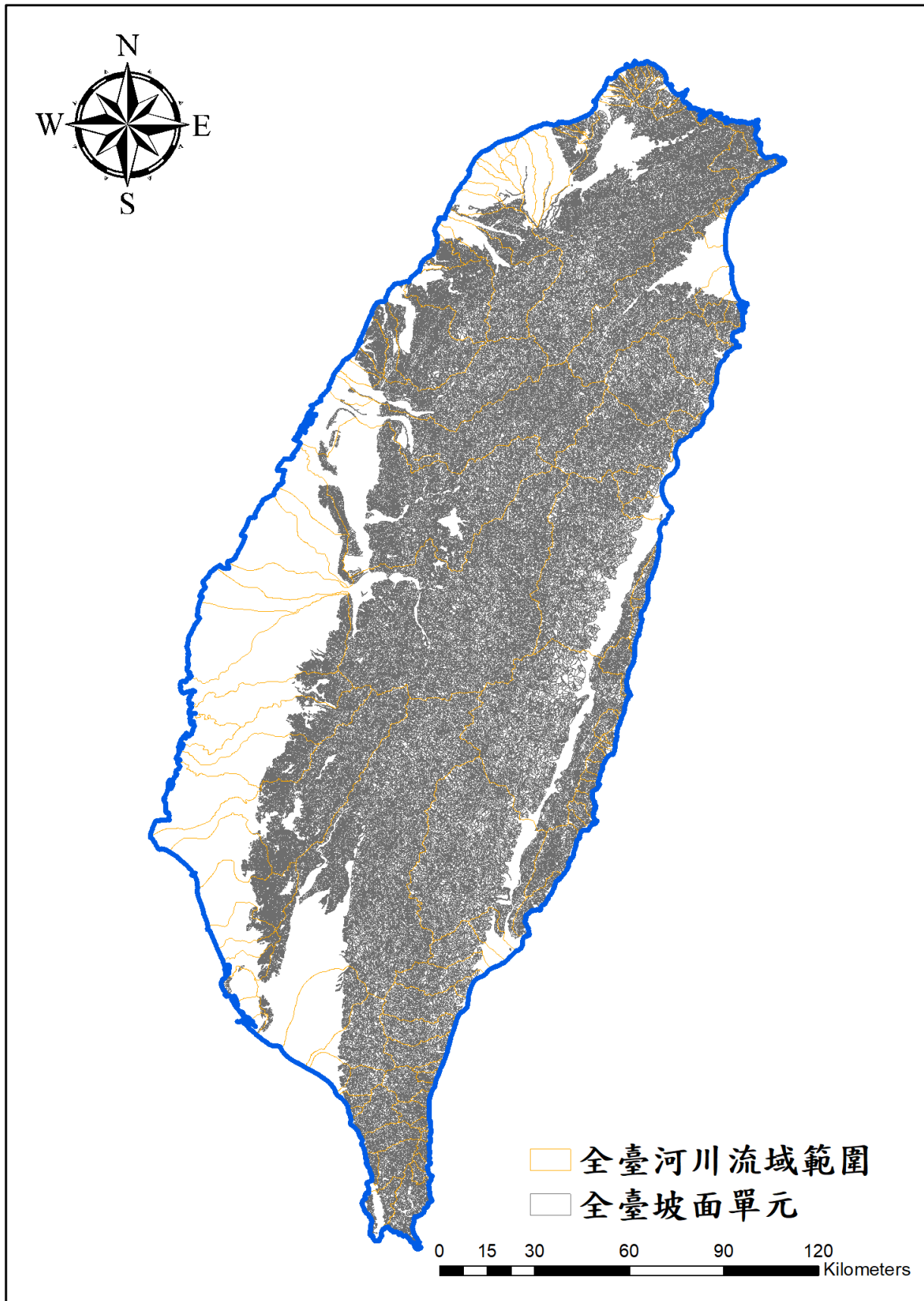


圖 4-1 地調所繪製之全臺各河川流域坡面單元分布圖

第二節 坡面單元資料庫編碼

坡面單元資料庫的一個重要目的，即是便於未來能夠進行系統化的資料庫運算；同時，也必須是一個具有穩定的資料庫結構型態的數值資料。為了能夠達到這個目的，本研究將全台坡面單元重新進行資料庫分類整理，並賦予固定編碼和因子定義，以便於後續應用流通。此外，未來在系統的整合中，借助固定編碼資料，將可利於資料庫的運算及製圖。此外，本年度水保局發布新版集水區，新版集水區與過去以主次子集水區的分級方式有極大不同，改以河川主流為劃分依據，因此也必須將所有坡面單元編碼予以更新，目前本計畫已完成既有成果的坡面單元資料庫更新工作，說明如下。

如表 4-3 所示，坡面單元編碼為 12 位 string 格式，其中包含河川主流、集水區、坡面單元等資訊，其中河川主流和集水區依全國統一規定編碼，坡面單元編碼由本研究自行依序編定。坡面單元完整編碼以【河川主流】+【子集水區】+【坡面單元】的方式組合成 12 位之 string 格式。坡面單元編碼是坡面具集水區資訊的且是唯一的身分標識，未來將可依此編碼進行相關資料庫關聯運算，並可便於相關單位的資料流通使用。

表 4-3 坡面單元編碼

欄位名稱	定義
【BASIN ID】	河川代碼 4 碼
【BASIN NAME】	主流完整中文名
【WS ID】	河川代碼 4 碼+集水區 3 碼
【WS NAME】	集水區完整中文名
【SLOPE ID】	坡面單元 5 碼
【SLOPECODE】	坡面單元完整編碼，共 12 碼

資料來源：本研究整理

第三節 坡面單元屬性分析方法

坡面單元屬性係結合各因子資料及斷層特性描述坡面單元之易損特徵，各斷層由於對坡面單元的坡向敏感度不同，因此須要建立對應的評估基礎資料庫。根據本計畫工作內容，以北部山腳斷層（最大規模 7.0，發生機率 4%）建置坡地崩塌評估基礎資料庫。以下分別說明山腳斷層資料庫之坡面單元屬性中各因子之分析結果，因篇幅有限，前期計畫中已完成之中部車籠埔斷層、南部九芎坑斷層以及東部花東縱谷斷層不再贅述。

一、地質因子

地質因子分析方法如前節所述，全台坡面單元地質因子係以李錫堤等人(Lee et al., 2001)之地質分類，由硬至軟依序分為 B、C、D、E 四類。各集水區坡面單元地質因子以比例法決定（多數法則），少數坡面單元地質無法以比例法決定時則採用參考地質，即是以相鄰坡面單元地質來決定，其中 B、C 類地質為較主要之地質，D 類地質則較少，E 類地質則無。

進一步地，坡面單元地質分類即依據前述之分類方法予以決定，各河流域坡面單元地質分類如表 4-4 所示，各類坡面之地質被分類為 G1、G2 二類，其中 G1 類 99548 個坡面，G2 類 42139 個坡面，共計 141687 個坡面。由於目前坡地易損性曲線並無 D 類地質，因此坡面單元地質因子屬 D 類地質則被歸屬於不適用地質(N/A)，共計有 2132 個坡面。在後續分析中將不作評估。由表 4-4 中可知，大部分坡面單元仍屬有效地質，僅少數坡面單元不適用，對整體坡面評估影響較小。

表 4-4 全國各河川流域坡面單元地質分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	G1	G2	N/A
1	礮溪	162	77	84	1
2	小坑溪	49	5	44	0
3	乾華溪	37	5	32	0
4	石門溪	31	0	31	0
5	老梅溪	84	43	41	0
6	楓林溪	44	18	26	0
7	埔坪溪	47	36	11	0
8	八蓮溪	44	30	12	2
9	大屯溪	93	24	65	4
10	後州溪	6	0	6	0
11	興仁溪	21	4	17	0
12	林子溪	50	18	32	0
13	淡水河	14907	13500	1307	100
14	水仙溪	132	3	120	9
15	寶斗溪	48	0	36	12
16	林口溪	62	0	41	21
17	南崁溪	463	4	424	35
18	埔心溪	1	0	1	0
19	老街溪	31	0	31	0
20	富林溪	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-
24	社子溪	77	0	77	0
25	福興溪排水	-	-	-	-
26	新豐溪	115	0	115	0
27	鳳山溪	1358	493	827	38
28	頭前溪	2250	1732	493	25

表 4-4 全國各河川流域坡面單元地質分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	G1	G2	N/A
29	客雅溪排水	347	0	347	0
30	鹽港溪排水	510	0	504	6
31	新港溪	27	0	27	0
32	中港溪	2660	1073	1543	44
33	後龍溪	3111	1907	1135	69
34	西湖溪	704	115	543	46
35	通霄溪	584	0	577	7
36	苑裡溪	230	0	203	27
37	房裡溪	91	0	91	0
38	大安溪	3458	2808	627	23
39	溫寮溪	23	0	23	0
40	大甲溪	6552	5307	1224	21
41	烏溪	9001	3489	5306	206
42	洋仔厝溪	440	0	437	3
43	員林大排水	214	0	214	0
44	萬興排水幹線	-	-	-	-
45	濁水溪	15773	13558	2109	106
46	新虎尾溪	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-
48	北港溪	1178	128	1044	6
49	朴子溪	1171	295	851	25
50	龍宮溪	-	-	-	-
51	八掌溪	1937	843	1014	80
52	急水溪	1845	332	1491	22
53	將軍溪排水	8	0	8	0
54	曾文溪	8473	3509	4891	73
55	鹽水溪	1103	0	1095	8
56	二仁溪	2317	137	2175	5

表 4-4 全國各河川流域坡面單元地質分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	G1	G2	N/A
57	阿公店溪	409	44	362	3
58	典寶溪排水	221	7	206	8
59	後勁溪	381	0	381	0
60	愛河	55	1	54	0
61	前鎮河	42	0	42	0
62	鹽水港溪	27	0	27	0
63	高屏溪	14788	12823	1707	258
64	東港溪	465	428	22	15
65	林邊溪	1048	1019	29	0
66	北勢溪	84	63	21	0
67	率芒溪	400	394	6	0
68	南湖溪	158	158	0	0
69	十里溪	52	51	1	0
70	枋山溪	681	638	41	2
71	楓港溪	606	522	80	4
72	石盤溪	162	143	17	2
73	四重溪	721	586	128	7
74	保力溪	498	183	276	39
75	港口溪	898	507	372	19
76	九棚溪	131	119	12	0
77	巷子溪	102	82	16	4
78	旭海溪	180	147	33	0
79	乾溪	52	36	16	0
80	塔瓦溪	27	23	4	0
81	達仁溪	105	86	19	0
82	安朔溪	328	255	72	1
83	朝庸溪	101	63	38	0
84	大武溪	533	473	59	1

表 4-4 全國各河川流域坡面單元地質分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	G1	G2	N/A
85	烏萬溪	116	103	13	0
86	津林溪	92	84	8	0
87	大竹溪	591	539	51	1
88	金崙溪	559	543	10	6
89	太麻里溪	844	823	16	5
90	文里溪	72	60	7	5
91	知本溪	748	729	13	6
92	利嘉溪	550	542	6	2
93	太平溪	197	111	74	12
94	卑南溪	5717	4995	618	104
95	都蘭溪	404	86	287	31
96	馬武溪	1070	218	789	63
97	成功溪	111	32	53	26
98	富家溪	147	56	77	14
99	都威溪	147	68	78	1
100	沙灣溪	165	17	143	5
101	寧埔溪	91	6	84	1
102	竹湖溪	108	0	108	0
103	大德溪	114	9	100	5
104	長濱溪	41	5	34	2
105	城埔溪	26	4	10	12
106	馬海溪	21	5	12	4
107	山間溪	53	4	39	10
108	水母溪	192	101	91	0
109	三富溪	21	2	19	0
110	秀姑巒溪	5891	4768	994	129
111	豐濱溪	607	70	537	0
112	加蘭溪	118	8	110	0

表 4-4 全國各河川流域坡面單元地質分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	G1	G2	N/A
113	蕃寮溪	77	7	70	0
114	水璉溪	227	3	224	0
115	花蓮溪	4947	4428	460	59
116	美崙溪	154	135	9	10
117	三棧溪	467	456	7	4
118	立霧溪	2722	2703	7	12
119	石公溪	70	39	30	1
120	大清水溪	240	205	34	1
121	和平溪	2256	2210	41	5
122	南澳溪	1138	1032	103	3
123	東澳溪	144	98	43	3
124	蘇澳溪	231	125	106	0
125	新城溪	303	261	38	4
126	冬山河	151	82	52	17
127	蘭陽溪	4063	3539	386	138
128	得子口溪	237	177	31	29
129	金面溪	43	35	3	5
130	福德溪	57	54	2	1
131	頭城溪	53	27	26	0
132	大溪川	343	244	99	0
133	雙溪	1024	845	171	8
134	尖山腳溪	487	278	208	1
135	瑪鍊溪	357	201	156	0
136	員潭溪	91	32	59	0
合計		143819	99548	42139	2132

資料來源：本研究整理

二、坡向敏感度

在坡向敏感度分析方面，由於本因子與斷層方位相關，根據坡面單元對各斷層帶的方位不同將具有不同的坡向敏感度。坡向敏感度分析方法如前述，其中包括幾個重要因子，包括坡向因子、斷層方位角、順向坡因子等綜合考量。首先，各河川流域坡面單元坡向因子利用 DEM 資料套取坡面單元最高最低點座標後予以計算坡面方向，各河川流域坡面單元坡向如表 4-5 所示；斷層方位角則選取山腳斷層計算各坡面單元到斷層的最短距離相應位置，並計算山腳斷層方位角，各河川流域坡面單元斷層方位角如表 4-6 所示；坡面方位角(坡向)與斷層方位角之夾角即為山腳斷層夾角，表達坡面方位角和震波方位角之關係，各河川流域坡面單元山腳斷層夾角計算如表 4-7 所示。

坡向敏感度還須考量順向坡因子，本計畫以坡面單元套疊分析全國順向坡圖資，如圖 4-2 所示。坡面單元屬順向坡則被歸類為 A1 類弱面，套疊結果如表 4-8 所示，共計 28864 個面，佔總體坡面約 20.07%。坡面單元坡向敏感度依據前述之分類方法予以決定，各河川流域坡面單元坡向敏感度如表 4-9 所示，各類坡面之坡向敏感度被分類為 A1、A2 二類，其中 A1 類 50582 個坡面，A2 類 93230 個坡面。由於存在平坡坡面，因此坡面單元坡向敏感度存在不適用坡面(N/A)，在後續分析中將不作評估。由表 4-9 中可知，大部分坡面單元仍屬有效地質，僅烏溪流域 4 個、濁水溪流域 2 個和曾文溪流域 1 個等 7 個坡面單元不適用，對整體評估影響不大。

表 4-5 全國各河川流域坡面單元坡向因子之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北	平坡
1	礪溪	11	4	1	10	31	44	29	32	0
2	小坑溪	3	0	1	13	20	6	4	2	0
3	乾華溪	1	0	0	6	16	11	2	1	0
4	石門溪	0	0	0	7	24	0	0	0	0
5	老梅溪	0	2	2	30	36	11	1	2	0
6	楓林溪	2	0	2	14	21	5	0	0	0
7	埔坪溪	0	0	5	32	9	1	0	0	0
8	八蓮溪	0	1	10	21	11	1	0	0	0
9	大屯溪	0	2	14	62	12	2	1	0	0
10	後州溪	0	0	1	5	0	0	0	0	0
11	興仁溪	0	0	9	8	1	2	1	0	0
12	林子溪	2	3	12	22	9	0	0	2	0
13	淡水河	1895	1765	1238	2489	2649	1886	1146	1839	0
14	水仙溪	4	10	10	52	29	18	5	4	0
15	寶斗溪	0	0	4	17	15	10	2	0	0
16	林口溪	6	3	11	16	18	5	2	1	0
17	南崁溪	85	102	86	93	34	9	15	39	0
18	埔心溪	0	0	0	0	1	0	0	0	0
19	老街溪	1	0	0	2	9	9	5	5	0
20	富林溪	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	社子溪	1	4	8	26	26	9	1	2	0
25	福興溪排水	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	新豐溪	3	24	15	34	19	14	3	3	0
27	鳳山溪	213	249	153	229	227	100	61	126	0
28	頭前溪	222	315	277	458	405	333	123	117	0

表 4-5 全國各河川流域坡面單元坡向因子之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北	平坡
29	客雅溪排水	40	30	42	79	59	60	22	15	0
30	鹽港溪排水	65	88	46	89	115	60	13	34	0
31	新港溪	7	6	4	3	3	1	2	1	0
32	中港溪	253	326	319	676	486	295	121	184	0
33	後龍溪	242	433	440	743	464	343	241	205	0
34	西湖溪	41	95	93	153	120	132	47	23	0
35	通霄溪	57	92	96	181	97	32	11	18	0
36	苑裡溪	8	53	38	82	38	5	4	2	0
37	房裡溪	4	8	20	49	6	1	3	0	0
38	大安溪	441	564	489	725	527	303	149	260	0
39	溫寮溪	1	9	3	5	2	0	3	0	0
40	大甲溪	864	971	832	1009	743	724	562	847	0
41	烏溪	1237	1467	1099	1411	948	1138	653	1044	4
42	洋仔厝溪	42	132	125	99	22	2	8	10	0
43	員林大排水	11	67	97	34	2	0	3	0	0
44	萬興排水幹線	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	濁水溪	1369	2060	1914	2718	2211	2304	1548	1647	2
46	新虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	北港溪	72	191	251	398	149	64	24	29	0
49	朴子溪	121	326	205	217	105	70	36	91	0
50	龍宮溪	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	八掌溪	187	375	324	447	270	159	83	92	0
52	急水溪	148	319	380	437	223	150	99	89	0
53	將軍溪排水	2	2	3	0	0	0	1	0	0
54	曾文溪	1079	1490	1297	1532	861	657	589	967	1
55	鹽水溪	107	226	221	211	110	84	55	89	0
56	二仁溪	323	492	347	356	256	131	145	267	0

表 4-5 全國各河川流域坡面單元坡向因子之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北	平坡
57	阿公店溪	41	89	55	81	52	39	21	31	0
58	典寶溪排水	48	51	24	28	23	12	8	27	0
59	後勁溪	62	84	60	63	38	18	15	41	0
60	愛河	7	9	4	2	5	16	7	5	0
61	前鎮河	2	14	12	8	3	0	3	0	0
62	鹽水港溪	4	2	2	9	8	0	1	1	0
63	高屏溪	2264	2453	1872	2188	1598	1219	1068	2126	0
64	東港溪	70	98	69	88	89	16	9	26	0
65	林邊溪	174	200	132	193	172	49	26	102	0
66	北勢溪	3	38	27	9	5	0	1	1	0
67	率芒溪	60	70	43	79	58	29	11	50	0
68	南湖溪	27	51	33	27	12	2	1	5	0
69	十里溪	11	19	6	10	3	1	0	2	0
70	枋山溪	118	108	83	95	98	35	31	113	0
71	楓港溪	85	99	51	116	99	38	20	98	0
72	石盤溪	14	63	54	18	6	0	7	0	0
73	四重溪	129	99	73	102	67	33	81	137	0
74	保力溪	77	78	66	67	62	70	38	40	0
75	港口溪	196	102	49	64	79	94	110	204	0
76	九棚溪	19	10	2	14	23	25	19	19	0
77	港子溪	19	5	4	1	6	24	19	24	0
78	旭海溪	22	4	9	5	23	35	32	50	0
79	乾溪	5	2	1	1	3	12	16	12	0
80	塔瓦溪	0	0	0	1	6	8	7	5	0
81	達仁溪	12	2	3	10	18	22	22	16	0
82	安朔溪	40	19	7	21	47	71	38	85	0
83	朝庸溪	9	2	1	1	17	22	28	21	0
84	大武溪	89	33	11	24	67	106	67	136	0

表 4-5 全國各河川流域坡面單元坡向因子之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北	平坡
85	烏萬溪	19	4	2	2	3	28	22	36	0
86	津林溪	10	2	0	2	5	16	20	37	0
87	大竹溪	113	51	13	24	81	106	73	130	0
88	金崙溪	108	46	15	41	57	107	74	111	0
89	太麻里溪	120	99	54	62	65	115	125	204	0
90	文里溪	11	4	1	0	1	9	14	32	0
91	知本溪	107	110	34	76	84	99	92	146	0
92	利嘉溪	100	65	23	48	61	79	64	110	0
93	太平溪	34	30	12	6	4	18	38	55	0
94	卑南溪	814	742	448	634	632	705	614	1128	0
95	都蘭溪	84	16	7	5	15	52	55	170	0
96	馬武溪	162	104	75	90	80	145	174	240	0
97	成功溪	14	3	3	0	4	9	22	56	0
98	富家溪	30	9	2	1	2	27	27	49	0
99	都威溪	14	0	1	5	12	41	27	47	0
100	沙灣溪	29	3	1	1	6	32	40	53	0
101	寧埔溪	9	2	2	0	1	11	25	41	0
102	竹湖溪	15	4	1	0	3	22	35	28	0
103	大德溪	18	2	4	1	4	13	30	42	0
104	長濱溪	11	1	1	0	1	5	7	15	0
105	城埔溪	5	0	0	0	1	1	5	14	0
106	馬海溪	6	0	0	0	1	3	5	6	0
107	山間溪	7	0	0	0	1	7	14	24	0
108	水母溪	20	14	4	13	27	39	29	46	0
109	三富溪	2	0	0	0	1	1	7	10	0
110	秀姑巒溪	751	776	562	774	775	771	606	876	0
111	豐濱溪	86	23	16	44	86	117	83	152	0
112	加蘭溪	15	3	1	0	5	20	36	38	0

表 4-5 全國各河川流域坡面單元坡向因子之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北	平坡
113	蕃寮溪	8	5	4	0	7	16	14	23	0
114	水璉溪	39	12	1	11	19	52	29	64	0
115	花蓮溪	624	639	405	662	631	684	505	797	0
116	美崙溪	31	17	2	4	13	28	22	37	0
117	三棧溪	84	37	14	37	90	76	55	74	0
118	立霧溪	412	364	220	334	326	385	257	424	0
119	石公溪	21	13	1	0	1	6	5	23	0
120	大清水溪	39	35	7	10	32	47	34	36	0
121	和平溪	345	270	144	239	360	373	193	332	0
122	南澳溪	197	127	70	111	187	183	87	176	0
123	東澳溪	35	11	2	1	15	26	23	31	0
124	蘇澳溪	18	14	10	30	51	53	31	24	0
125	新城溪	28	13	16	52	59	75	29	31	0
126	冬山河	2	3	6	44	32	31	8	25	0
127	蘭陽溪	563	322	275	528	596	649	425	705	0
128	得子口溪	54	10	2	1	19	27	29	95	0
129	金面溪	17	2	0	0	1	6	7	10	0
130	福德溪	6	7	3	2	1	1	6	31	0
131	頭城溪	12	3	1	1	3	1	8	24	0
132	大溪川	60	26	8	17	42	51	31	108	0
133	雙溪	116	87	79	157	177	158	92	158	0
134	尖山腳溪	43	11	17	65	115	105	56	75	0
135	瑪鍊溪	40	21	14	39	74	53	54	62	0
136	員潭溪	2	5	2	9	17	39	13	4	0
合計		18287	20277	15882	22808	19012	16910	11905	18731	7

資料來源：本研究整理

表 4-6 全國各河川流域坡面單元山腳斷層方位角之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北
1	礮溪	1	0	0	120	5	0	0	36
2	小坑溪	12	1	0	0	0	0	0	36
3	乾華溪	0	0	0	0	0	0	0	37
4	石門溪	0	0	0	0	0	0	0	31
5	老梅溪	4	0	0	0	0	0	0	80
6	楓林溪	0	0	0	0	0	0	0	44
7	埔坪溪	0	0	0	0	0	0	0	47
8	八蓮溪	0	0	0	0	0	0	0	44
9	大屯溪	0	0	0	0	0	0	0	93
10	後州溪	0	0	0	0	0	0	0	6
11	興仁溪	0	0	0	0	0	0	0	21
12	林子溪	0	0	0	2	0	0	0	48
13	淡水河	3	0	1266	7549	4733	1020	173	163
14	水仙溪	0	0	0	0	0	0	17	115
15	寶斗溪	0	0	0	0	0	0	43	5
16	林口溪	0	0	0	0	0	0	62	0
17	南崁溪	6	0	0	0	0	6	347	104
18	埔心溪	0	0	0	0	0	1	0	0
19	老街溪	0	0	0	0	0	26	5	0
20	富林溪	-	-	-	-	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-	-	-	-	-
24	社子溪	0	0	0	0	0	57	20	0
25	福興溪排水	-	-	-	-	-	-	-	-
26	新豐溪	0	0	0	0	0	65	50	0
27	鳳山溪	0	0	0	0	0	1351	7	0
28	頭前溪	0	0	0	0	180	2070	0	0

表 4-6 全國各河川流域坡面單元山腳斷層方位角之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北
29	客雅溪排水	0	0	0	0	0	347	0	0
30	鹽港溪排水	0	0	0	0	0	510	0	0
31	新港溪	0	0	0	0	0	27	0	0
32	中港溪	0	0	0	0	0	2660	0	0
33	後龍溪	0	0	0	0	0	3111	0	0
34	西湖溪	0	0	0	0	0	704	0	0
35	通霄溪	0	0	0	0	0	584	0	0
36	苑裡溪	0	0	0	0	0	230	0	0
37	房裡溪	0	0	0	0	0	91	0	0
38	大安溪	0	0	0	0	732	2726	0	0
39	溫寮溪	0	0	0	0	0	23	0	0
40	大甲溪	0	0	0	0	4191	2361	0	0
41	烏溪	0	0	0	0	3085	5916	0	0
42	洋仔厝溪	0	0	0	0	0	440	0	0
43	員林大排水	0	0	0	0	0	214	0	0
44	萬興排水幹線	-	-	-	-	-	-	-	-
45	濁水溪	0	0	0	0	12127	3646	0	0
46	新虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-	-
48	北港溪	0	0	0	0	0	1178	0	0
49	朴子溪	0	0	0	0	0	1171	0	0
50	龍宮溪	-	-	-	-	-	-	-	-
51	八掌溪	0	0	0	0	0	1937	0	0
52	急水溪	0	0	0	0	0	1845	0	0
53	將軍溪排水	0	0	0	0	0	8	0	0
54	曾文溪	0	0	0	0	2360	6113	0	0
55	鹽水溪	0	0	0	0	0	1103	0	0
56	二仁溪	0	0	0	0	129	2188	0	0

表 4-6 全國各河川流域坡面單元山腳斷層方位角之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北
57	阿公店溪	0	0	0	0	0	409	0	0
58	典寶溪排水	0	0	0	0	101	120	0	0
59	後勁溪	0	0	0	0	267	114	0	0
60	愛河	0	0	0	0	0	55	0	0
61	前鎮河	0	0	0	0	42	0	0	0
62	鹽水港溪	0	0	0	0	27	0	0	0
63	高屏溪	0	0	0	0	14662	126	0	0
64	東港溪	0	0	0	0	465	0	0	0
65	林邊溪	0	0	0	0	1048	0	0	0
66	北勢溪	0	0	0	0	84	0	0	0
67	率芒溪	0	0	0	0	400	0	0	0
68	南湖溪	0	0	0	0	158	0	0	0
69	十里溪	0	0	0	0	52	0	0	0
70	枋山溪	0	0	0	0	681	0	0	0
71	楓港溪	0	0	0	0	606	0	0	0
72	石盤溪	0	0	0	0	162	0	0	0
73	四重溪	0	0	0	0	721	0	0	0
74	保力溪	0	0	0	0	498	0	0	0
75	港口溪	0	0	0	0	898	0	0	0
76	九棚溪	0	0	0	0	131	0	0	0
77	巷子溪	0	0	0	0	102	0	0	0
78	旭海溪	0	0	0	0	180	0	0	0
79	乾溪	0	0	0	0	52	0	0	0
80	塔瓦溪	0	0	0	0	27	0	0	0
81	達仁溪	0	0	0	0	105	0	0	0
82	安朔溪	0	0	0	0	328	0	0	0
83	朝庸溪	0	0	0	0	101	0	0	0
84	大武溪	0	0	0	0	533	0	0	0

表 4-6 全國各河川流域坡面單元山腳斷層方位角之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北
85	烏萬溪	0	0	0	0	116	0	0	0
86	津林溪	0	0	0	0	92	0	0	0
87	大竹溪	0	0	0	0	591	0	0	0
88	金崙溪	0	0	0	0	559	0	0	0
89	太麻里溪	0	0	0	0	844	0	0	0
90	文里溪	0	0	0	0	72	0	0	0
91	知本溪	0	0	0	0	748	0	0	0
92	利嘉溪	0	0	0	0	550	0	0	0
93	太平溪	0	0	0	0	197	0	0	0
94	卑南溪	0	0	0	0	5717	0	0	0
95	都蘭溪	0	0	0	0	404	0	0	0
96	馬武溪	0	0	0	0	1070	0	0	0
97	成功溪	0	0	0	0	111	0	0	0
98	富家溪	0	0	0	0	147	0	0	0
99	都威溪	0	0	0	0	147	0	0	0
100	沙灣溪	0	0	0	0	165	0	0	0
101	寧埔溪	0	0	0	0	91	0	0	0
102	竹湖溪	0	0	0	0	108	0	0	0
103	大德溪	0	0	0	0	114	0	0	0
104	長濱溪	0	0	0	0	41	0	0	0
105	城埔溪	0	0	0	0	26	0	0	0
106	馬海溪	0	0	0	0	21	0	0	0
107	山間溪	0	0	0	0	53	0	0	0
108	水母溪	0	0	0	0	192	0	0	0
109	三富溪	0	0	0	0	21	0	0	0
110	秀姑巒溪	0	0	0	0	5891	0	0	0
111	豐濱溪	0	0	0	0	607	0	0	0
112	加蘭溪	0	0	0	0	118	0	0	0

表 4-6 全國各河川流域坡面單元山腳斷層方位角之數量統計

編號	主流名稱	北	東北	東	東南	南	西南	西	西北
113	蕃寮溪	0	0	0	0	77	0	0	0
114	水璉溪	0	0	0	0	227	0	0	0
115	花蓮溪	0	0	0	0	4947	0	0	0
116	美崙溪	0	0	0	0	154	0	0	0
117	三棧溪	0	0	0	0	467	0	0	0
118	立霧溪	0	0	0	0	2722	0	0	0
119	石公溪	0	0	0	0	70	0	0	0
120	大清水溪	0	0	0	9	231	0	0	0
121	和平溪	0	0	0	169	2087	0	0	0
122	南澳溪	0	0	0	1039	99	0	0	0
123	東澳溪	0	0	0	144	0	0	0	0
124	蘇澳溪	0	0	0	231	0	0	0	0
125	新城溪	0	0	0	303	0	0	0	0
126	冬山河	0	0	0	151	0	0	0	0
127	蘭陽溪	0	0	0	1886	2177	0	0	0
128	得子口溪	0	0	1	236	0	0	0	0
129	金面溪	0	0	39	4	0	0	0	0
130	福德溪	0	0	35	22	0	0	0	0
131	頭城溪	0	0	14	39	0	0	0	0
132	大溪川	0	0	0	343	0	0	0	0
133	雙溪	0	0	0	1024	0	0	0	0
134	尖山腳溪	0	0	1	486	0	0	0	0
135	瑪鍊溪	0	0	0	357	0	0	0	0
136	員潭溪	0	0	0	91	0	0	0	0
合計		26	1	1356	14205	82044	44553	724	910

資料來源：本研究整理

表 4-7 全國各河川流域坡面單元山腳斷層夾角之數量統計

編號	主流名稱	-30°~30°	30°~150°	150°~210°	210°~330°
1	磺溪	26	30	27	79
2	小坑溪	2	28	16	3
3	乾華溪	1	19	16	1
4	石門溪	0	12	19	0
5	老梅溪	2	27	48	7
6	楓林溪	2	7	34	1
7	埔坪溪	0	4	38	5
8	八蓮溪	0	5	29	10
9	大屯溪	0	6	69	18
10	後州溪	0	0	4	2
11	興仁溪	0	4	10	7
12	林子溪	3	10	24	13
13	淡水河	3283	4775	2204	4645
14	水仙溪	3	60	52	17
15	寶斗溪	2	31	15	0
16	林口溪	3	31	18	10
17	南崁溪	25	83	123	232
18	埔心溪	0	1	0	0
19	老街溪	12	11	0	8
20	富林溪	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-
24	社子溪	2	65	5	5
25	福興溪排水	-	-	-	-
26	新豐溪	7	71	21	16
27	鳳山溪	149	536	282	391
28	頭前溪	477	1020	359	394

表 4-7 全國各河川流域坡面單元山腳斷層夾角之數量統計

編號	主流名稱	-30°~30°	30°~150°	150°~210°	210°~330°
29	客雅溪排水	63	162	47	75
30	鹽港溪排水	56	244	88	122
31	新港溪	1	8	8	10
32	中港溪	389	1374	396	501
33	後龍溪	439	1539	529	604
34	西湖溪	164	325	125	90
35	通霄溪	33	346	120	85
36	苑裡溪	7	152	58	13
37	房裡溪	1	74	10	6
38	大安溪	526	1565	706	661
39	溫寮溪	0	9	10	4
40	大甲溪	1000	2368	1235	1949
41	烏溪	1447	3280	1854	2420
42	洋仔厝溪	6	243	158	33
43	員林大排水	0	143	66	5
44	萬興排水幹線	-	-	-	-
45	濁水溪	3089	6106	2192	4386
46	新虎尾溪	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-
48	北港溪	112	794	189	83
49	朴子溪	113	551	323	184
50	龍宮溪	-	-	-	-
51	八掌溪	286	1004	383	264
52	急水溪	229	1030	319	267
53	將軍溪排水	0	4	3	1
54	曾文溪	976	3624	1730	2143
55	鹽水溪	115	558	224	206
56	二仁溪	264	944	569	540

表 4-7 全國各河川流域坡面單元山腳斷層夾角之數量統計

編號	主流名稱	-30°~30°	30°~150°	150°~210°	210°~330°
57	阿公店溪	61	182	93	73
58	典寶溪排水	27	64	76	54
59	後勁溪	42	162	98	79
60	愛河	15	10	10	20
61	前鎮河	2	26	11	3
62	鹽水港溪	5	15	5	2
63	高屏溪	1955	5496	3115	4222
64	東港溪	80	228	114	43
65	林邊溪	172	452	254	170
66	北勢溪	4	62	16	2
67	率芒溪	62	171	91	76
68	南湖溪	11	92	42	13
69	十里溪	3	31	15	3
70	枋山溪	105	240	149	187
71	楓港溪	105	242	114	145
72	石盤溪	5	113	37	7
73	四重溪	76	239	157	249
74	保力溪	81	193	93	131
75	港口溪	106	160	241	391
76	九棚溪	28	23	21	59
77	港子溪	13	6	22	61
78	旭海溪	35	18	22	105
79	乾溪	3	4	4	41
80	塔瓦溪	12	1	0	14
81	達仁溪	26	15	13	51
82	安朔溪	71	43	43	171
83	朝庸溪	24	3	10	64
84	大武溪	100	52	104	277

表 4-7 全國各河川流域坡面單元山腳斷層夾角之數量統計

編號	主流名稱	-30°~30°	30°~150°	150°~210°	210°~330°
85	烏萬溪	14	5	19	78
86	津林溪	15	3	11	63
87	大竹溪	118	60	126	287
88	金崙溪	92	85	120	262
89	太麻里溪	113	178	150	403
90	文里溪	4	1	15	52
91	知本溪	119	175	147	307
92	利嘉溪	89	103	132	226
93	太平溪	6	31	48	112
94	卑南溪	897	1535	1082	2203
95	都蘭溪	25	21	96	262
96	馬武溪	124	231	209	506
97	成功溪	8	4	21	78
98	富家溪	5	8	41	93
99	都威溪	17	4	16	110
100	沙灣溪	10	4	34	117
101	寧埔溪	1	3	13	74
102	竹湖溪	5	3	21	79
103	大德溪	4	7	28	75
104	長濱溪	2	2	15	22
105	城埔溪	1	0	6	19
106	馬海溪	2	0	7	12
107	山間溪	1	0	9	43
108	水母溪	34	25	28	105
109	三富溪	1	0	4	16
110	秀姑巒溪	1090	1821	996	1984
111	豐濱溪	111	63	120	313
112	加蘭溪	5	4	28	81

表 4-7 全國各河川流域坡面單元山腳斷層夾角之數量統計

編號	主流名稱	-30°~30°	30°~150°	150°~210°	210°~330°
113	蕃寮溪	8	8	10	51
114	水璉溪	22	21	57	127
115	花蓮溪	894	1481	846	1726
116	美崙溪	14	21	45	74
117	三棧溪	113	67	111	176
118	立霧溪	466	806	524	926
119	石公溪	1	20	31	18
120	大清水溪	28	59	42	111
121	和平溪	468	557	451	780
122	南澳溪	187	299	240	412
123	東澳溪	8	34	45	57
124	蘇澳溪	43	34	37	117
125	新城溪	81	48	40	134
126	冬山河	56	9	26	60
127	蘭陽溪	743	1069	820	1431
128	得子口溪	3	81	95	58
129	金面溪	0	26	9	8
130	福德溪	3	20	29	5
131	頭城溪	1	13	28	11
132	大溪川	24	74	128	117
133	雙溪	204	246	192	382
134	尖山腳溪	51	64	97	275
135	瑪鍊溪	66	58	75	158
136	員潭溪	14	9	6	62
合計		22955	51126	27251	42487

資料來源：本研究整理

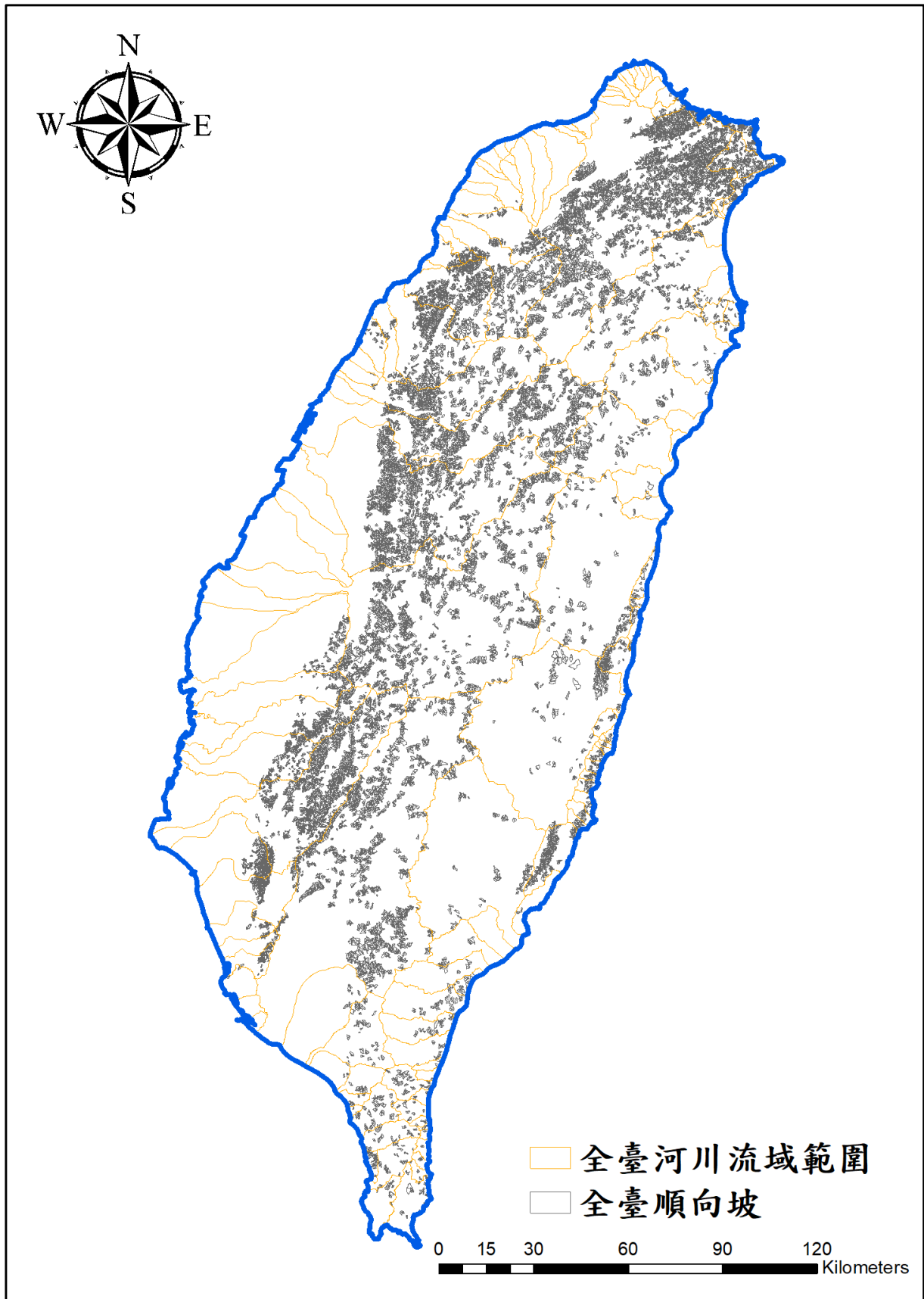


圖 4-2 全臺順向坡分布圖

表 4-8 全國各河川流域坡面單元順向坡之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	非順向坡	順向坡	百分比
1	礪溪	162	160	2	1.23%
2	小坑溪	49	49	0	0.00%
3	乾華溪	37	37	0	0.00%
4	石門溪	31	29	2	6.45%
5	老梅溪	84	84	0	0.00%
6	楓林溪	44	44	0	0.00%
7	埔坪溪	47	47	0	0.00%
8	八蓮溪	44	39	5	11.36%
9	大屯溪	93	84	9	9.68%
10	後州溪	6	6	0	0.00%
11	興仁溪	21	21	0	0.00%
12	林子溪	50	46	4	8.00%
13	淡水河	14907	10996	3911	26.24%
14	水仙溪	132	64	68	51.52%
15	寶斗溪	48	18	30	62.50%
16	林口溪	62	23	39	62.90%
17	南崁溪	463	191	272	58.75%
18	埔心溪	1	1	0	0.00%
19	老街溪	31	25	6	19.35%
20	富林溪	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-
24	社子溪	77	34	43	55.84%
25	福興溪排水	-	-	-	-
26	新豐溪	115	26	89	77.39%
27	鳳山溪	1358	618	740	54.49%
28	頭前溪	2250	1345	905	40.22%

表 4-8 全國各河川流域坡面單元順向坡之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	非順向坡	順向坡	百分比
29	客雅溪排水	347	194	153	44.09%
30	鹽港溪排水	510	478	32	6.27%
31	新港溪	27	27	0	0.00%
32	中港溪	2660	2011	649	24.40%
33	後龍溪	3111	1902	1209	38.86%
34	西湖溪	704	616	88	12.50%
35	通霄溪	584	462	122	20.89%
36	苑裡溪	230	144	86	37.39%
37	房裡溪	91	83	8	8.79%
38	大安溪	3458	2611	847	24.49%
39	溫寮溪	23	22	1	4.35%
40	大甲溪	6552	4563	1989	30.36%
41	烏溪	9001	6202	2799	31.10%
42	洋仔厝溪	440	236	204	46.36%
43	員林大排水	214	178	36	16.82%
44	萬興排水幹線	-	-	-	-
45	濁水溪	15773	12990	2783	17.64%
46	新虎尾溪	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-
48	北港溪	1178	967	211	17.91%
49	朴子溪	1171	1011	160	13.66%
50	龍宮溪	-	-	-	-
51	八掌溪	1937	1320	617	31.85%
52	急水溪	1845	1299	546	29.59%
53	將軍溪排水	8	7	1	12.50%
54	曾文溪	8473	5833	2640	31.16%
55	鹽水溪	1103	591	512	46.42%
56	二仁溪	2317	1958	359	15.49%

表 4-8 全國各河川流域坡面單元順向坡之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	非順向坡	順向坡	百分比
57	阿公店溪	409	285	124	30.32%
58	典寶溪排水	221	179	42	19.00%
59	後勁溪	381	338	43	11.29%
60	愛河	55	50	5	9.09%
61	前鎮河	42	42	0	0.00%
62	鹽水港溪	27	25	2	7.41%
63	高屏溪	14788	12412	2376	16.07%
64	東港溪	465	434	31	6.67%
65	林邊溪	1048	1038	10	0.95%
66	北勢溪	84	83	1	1.19%
67	率芒溪	400	389	11	2.75%
68	南湖溪	158	158	0	0.00%
69	十里溪	52	52	0	0.00%
70	枋山溪	681	667	14	2.06%
71	楓港溪	606	562	44	7.26%
72	石盤溪	162	149	13	8.02%
73	四重溪	721	699	22	3.05%
74	保力溪	498	484	14	2.81%
75	港口溪	898	893	5	0.56%
76	九棚溪	131	130	1	0.76%
77	港子溪	102	102	0	0.00%
78	旭海溪	180	171	9	5.00%
79	乾溪	52	52	0	0.00%
80	塔瓦溪	27	27	0	0.00%
81	達仁溪	105	105	0	0.00%
82	安朔溪	328	319	9	2.74%
83	朝庸溪	101	101	0	0.00%
84	大武溪	533	524	9	1.69%

表 4-8 全國各河川流域坡面單元順向坡之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	非順向坡	順向坡	百分比
85	烏萬溪	116	115	1	0.86%
86	津林溪	92	89	3	3.26%
87	大竹溪	591	571	20	3.38%
88	金崙溪	559	475	84	15.03%
89	太麻里溪	844	834	10	1.18%
90	文里溪	72	72	0	0.00%
91	知本溪	748	742	6	0.80%
92	利嘉溪	550	545	5	0.91%
93	太平溪	197	186	11	5.58%
94	卑南溪	5717	5364	353	6.17%
95	都蘭溪	404	398	6	1.49%
96	馬武溪	1070	984	86	8.04%
97	成功溪	111	100	11	9.91%
98	富家溪	147	135	12	8.16%
99	都威溪	147	130	17	11.56%
100	沙灣溪	165	152	13	7.88%
101	寧埔溪	91	91	0	0.00%
102	竹湖溪	108	108	0	0.00%
103	大德溪	114	114	0	0.00%
104	長濱溪	41	41	0	0.00%
105	城埔溪	26	26	0	0.00%
106	馬海溪	21	21	0	0.00%
107	山間溪	53	53	0	0.00%
108	水母溪	192	179	13	6.77%
109	三富溪	21	20	1	4.76%
110	秀姑巒溪	5891	4858	1033	17.54%
111	豐濱溪	607	534	73	12.03%
112	加蘭溪	118	107	11	9.32%

表 4-8 全國各河川流域坡面單元順向坡之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	非順向坡	順向坡	百分比
113	蕃寮溪	77	72	5	6.49%
114	水璉溪	227	221	6	2.64%
115	花蓮溪	4947	4440	507	10.25%
116	美崙溪	154	142	12	7.79%
117	三棧溪	467	448	19	4.07%
118	立霧溪	2722	2603	119	4.37%
119	石公溪	70	62	8	11.43%
120	大清水溪	240	234	6	2.50%
121	和平溪	2256	2108	148	6.56%
122	南澳溪	1138	1022	116	10.19%
123	東澳溪	144	104	40	27.78%
124	蘇澳溪	231	175	56	24.24%
125	新城溪	303	259	44	14.52%
126	冬山河	151	115	36	23.84%
127	蘭陽溪	4063	3393	670	16.49%
128	得子口溪	237	221	16	6.75%
129	金面溪	43	42	1	2.33%
130	福德溪	57	49	8	14.04%
131	頭城溪	53	48	5	9.43%
132	大溪川	343	315	28	8.16%
133	雙溪	1024	921	103	10.06%
134	尖山腳溪	487	391	96	19.71%
135	瑪鍊溪	357	278	79	22.13%
136	員潭溪	91	86	5	5.49%
合計		143819	114955	28864	20.07%

資料來源：本研究整理

表 4-9 全國各河川流域坡面單元對山腳斷層坡向敏感因子之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	A1	A2	N/A
1	礪溪	162	53	109	0
2	小坑溪	49	18	31	0
3	乾華溪	37	17	20	0
4	石門溪	31	19	12	0
5	老梅溪	84	50	34	0
6	楓林溪	44	36	8	0
7	埔坪溪	47	38	9	0
8	八蓮溪	44	29	15	0
9	大屯溪	93	69	24	0
10	後州溪	6	4	2	0
11	興仁溪	21	10	11	0
12	林子溪	50	27	23	0
13	淡水河	14907	5487	9420	0
14	水仙溪	132	55	77	0
15	寶斗溪	48	17	31	0
16	林口溪	62	21	41	0
17	南崁溪	463	148	315	0
18	埔心溪	1	0	1	0
19	老街溪	31	12	19	0
20	富林溪	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-
24	社子溪	77	7	70	0
25	福興溪排水	-	-	-	-
26	新豐溪	115	28	87	0
27	鳳山溪	1358	431	927	0
28	頭前溪	2250	836	1414	0

表 4-9 全國各河川流域坡面單元對山腳斷層坡向敏感因子之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	A1	A2	N/A
29	客雅溪排水	347	110	237	0
30	鹽港溪排水	510	144	366	0
31	新港溪	27	9	18	0
32	中港溪	2660	785	1875	0
33	後龍溪	3111	968	2143	0
34	西湖溪	704	289	415	0
35	通霄溪	584	153	431	0
36	苑裡溪	230	65	165	0
37	房裡溪	91	11	80	0
38	大安溪	3458	1233	2225	0
39	溫寮溪	23	10	13	0
40	大甲溪	6552	2234	4318	0
41	烏溪	9001	3297	5700	4
42	洋仔厝溪	440	164	276	0
43	員林大排水	214	66	148	0
44	萬興排水幹線	-	-	-	-
45	濁水溪	15773	5279	10492	2
46	新虎尾溪	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-
48	北港溪	1178	301	877	0
49	朴子溪	1171	436	735	0
50	龍宮溪	-	-	-	-
51	八掌溪	1937	669	1268	0
52	急水溪	1845	548	1297	0
53	將軍溪排水	8	3	5	0
54	曾文溪	8473	2705	5767	1
55	鹽水溪	1103	339	764	0
56	二仁溪	2317	833	1484	0

表 4-9 全國各河川流域坡面單元對山腳斷層坡向敏感因子之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	A1	A2	N/A
57	阿公店溪	409	154	255	0
58	典寶溪排水	221	103	118	0
59	後勁溪	381	140	241	0
60	愛河	55	25	30	0
61	前鎮河	42	13	29	0
62	鹽水港溪	27	10	17	0
63	高屏溪	14788	5070	9718	0
64	東港溪	465	194	271	0
65	林邊溪	1048	426	622	0
66	北勢溪	84	20	64	0
67	率芒溪	400	153	247	0
68	南湖溪	158	53	105	0
69	十里溪	52	18	34	0
70	枋山溪	681	254	427	0
71	楓港溪	606	219	387	0
72	石盤溪	162	42	120	0
73	四重溪	721	262	459	0
74	保力溪	498	174	324	0
75	港口溪	898	347	551	0
76	九棚溪	131	49	82	0
77	巷子溪	102	35	67	0
78	旭海溪	180	57	123	0
79	乾溪	52	7	45	0
80	塔瓦溪	27	12	15	0
81	達仁溪	105	39	66	0
82	安朔溪	328	114	214	0
83	朝庸溪	101	34	67	0
84	大武溪	533	204	329	0

表 4-9 全國各河川流域坡面單元對山腳斷層坡向敏感因子之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	A1	A2	N/A
85	烏萬溪	116	33	83	0
86	津林溪	92	26	66	0
87	大竹溪	591	244	347	0
88	金崙溪	559	212	347	0
89	太麻里溪	844	263	581	0
90	文里溪	72	19	53	0
91	知本溪	748	266	482	0
92	利嘉溪	550	221	329	0
93	太平溪	197	54	143	0
94	卑南溪	5717	1979	3738	0
95	都蘭溪	404	121	283	0
96	馬武溪	1070	333	737	0
97	成功溪	111	29	82	0
98	富家溪	147	46	101	0
99	都威溪	147	33	114	0
100	沙灣溪	165	44	121	0
101	寧埔溪	91	14	77	0
102	竹湖溪	108	26	82	0
103	大德溪	114	32	82	0
104	長濱溪	41	17	24	0
105	城埔溪	26	7	19	0
106	馬海溪	21	9	12	0
107	山間溪	53	10	43	0
108	水母溪	192	62	130	0
109	三富溪	21	5	16	0
110	秀姑巒溪	5891	2086	3805	0
111	豐濱溪	607	231	376	0
112	加蘭溪	118	33	85	0

表 4-9 全國各河川流域坡面單元對山腳斷層坡向敏感因子之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	A1	A2	N/A
113	蕃寮溪	77	18	59	0
114	水璉溪	227	79	148	0
115	花蓮溪	4947	1740	3207	0
116	美崙溪	154	59	95	0
117	三棧溪	467	224	243	0
118	立霧溪	2722	990	1732	0
119	石公溪	70	32	38	0
120	大清水溪	240	70	170	0
121	和平溪	2256	919	1337	0
122	南澳溪	1138	427	711	0
123	東澳溪	144	53	91	0
124	蘇澳溪	231	94	137	0
125	新城溪	303	139	164	0
126	冬山河	151	93	58	0
127	蘭陽溪	4063	1874	2189	0
128	得子口溪	237	98	139	0
129	金面溪	43	9	34	0
130	福德溪	57	32	25	0
131	頭城溪	53	29	24	0
132	大溪川	343	152	191	0
133	雙溪	1024	396	628	0
134	尖山腳溪	487	148	339	0
135	瑪鍊溪	357	141	216	0
136	員潭溪	91	20	71	0
合計		143819	50582	93230	7

資料來源：本研究整理

三、坡度分級

坡度分級分類方法如前節所述，坡面單元的坡度分級參考水土保持技術規範 (2013) 坡度分級定義，將坡度自五級坡之上下界簡化為三個分類，定義為 S1(緩坡)、S2(中坡) 以及 S3(陡坡)。各河川流域坡面單元坡度分級以坡面斜率法決定，利用 DEM 套取高程後與以計算。進一步地，坡面單元坡度分類即依據前述之分類方法予以決定，各河川流域坡面單元坡度分類如表 4-10 所示，各類坡面之坡度被分類為 S1、S2、S3 二類，其中 S1 類 53619 個坡面，S2 類 35111 個坡面，S3 類 43387 個坡面。由於目前坡地易損性曲線僅涵蓋水土保持技術規範三~七級坡，一、二級坡和平坡坡面則被歸屬於不適用地質 (N/A)，共計有 11702 個坡面。在後續分析中將不作評估。由表 4-10 中可知，大部分坡面單元仍屬有效地質，僅少數坡面單元不適用，約佔 8%。

表 4-10 全國各河川流域坡面單元坡度分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	S1	S2	S3	N/A
1	磺溪	162	100	40	12	10
2	小坑溪	49	27	0	0	22
3	乾華溪	37	23	2	0	12
4	石門溪	31	8	0	0	23
5	老梅溪	84	47	11	2	24
6	楓林溪	44	9	0	0	35
7	埔坪溪	47	15	0	0	32
8	八蓮溪	44	22	7	0	15
9	大屯溪	93	22	12	2	57
10	後州溪	6	0	0	0	6
11	興仁溪	21	7	0	0	14
12	林子溪	50	23	13	2	12
13	淡水河	14907	7218	4348	2819	522
14	水仙溪	132	95	5	0	32
15	寶斗溪	48	33	1	0	14
16	林口溪	62	32	0	0	30
17	南崁溪	463	222	6	1	234
18	埔心溪	1	0	0	0	1
19	老街溪	31	16	0	0	15
20	富林溪	-	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-	-
24	社子溪	77	26	1	0	50
25	福興溪排水	-	-	-	-	-
26	新豐溪	115	61	1	0	53
27	鳳山溪	1358	909	99	26	324
28	頭前溪	2250	759	770	596	125

表 4-10 全國各河川流域坡面單元坡度分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	S1	S2	S3	N/A
29	客雅溪排水	347	201	9	0	137
30	鹽港溪排水	510	200	6	1	303
31	新港溪	27	6	0	0	21
32	中港溪	2660	1560	399	211	490
33	後龍溪	3111	1789	653	361	308
34	西湖溪	704	383	33	5	283
35	通霄溪	584	294	6	1	283
36	苑裡溪	230	88	1	0	141
37	房裡溪	91	73	3	1	14
38	大安溪	3458	970	804	1617	67
39	溫寮溪	23	18	2	0	3
40	大甲溪	6552	1175	1548	3637	192
41	烏溪	9001	4154	1918	2052	877
42	洋仔厝溪	440	216	4	2	218
43	員林大排水	214	202	3	1	8
44	萬興排水幹線	-	-	-	-	-
45	濁水溪	15773	3349	4364	7736	324
46	新虎尾溪	-	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-	-
48	北港溪	1178	804	67	42	265
49	朴子溪	1171	708	119	104	240
50	龍宮溪	-	-	-	-	-
51	八掌溪	1937	1051	403	229	254
52	急水溪	1845	1293	184	67	301
53	將軍溪排水	8	5	0	0	3
54	曾文溪	8473	4478	1841	981	1173
55	鹽水溪	1103	520	27	9	547
56	二仁溪	2317	1358	149	19	791

表 4-10 全國各河川流域坡面單元坡度分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	S1	S2	S3	N/A
57	阿公店溪	409	231	21	5	152
58	典寶溪排水	221	149	11	0	61
59	後勁溪	381	231	20	5	125
60	愛河	55	38	2	0	15
61	前鎮河	42	12	0	0	30
62	鹽水港溪	27	13	1	0	13
63	高屏溪	14788	3772	3991	6113	912
64	東港溪	465	176	169	94	26
65	林邊溪	1048	219	382	421	26
66	北勢溪	84	58	7	1	18
67	率芒溪	400	105	152	141	2
68	南湖溪	158	72	59	24	3
69	十里溪	52	35	15	2	0
70	枋山溪	681	260	303	109	9
71	楓港溪	606	413	143	29	21
72	石盤溪	162	101	39	11	11
73	四重溪	721	558	108	23	32
74	保力溪	498	262	19	0	217
75	港口溪	898	623	41	3	231
76	九棚溪	131	115	11	0	5
77	港子溪	102	84	5	1	12
78	旭海溪	180	155	12	2	11
79	乾溪	52	38	6	3	5
80	塔瓦溪	27	21	5	1	0
81	達仁溪	105	91	12	1	1
82	安朔溪	328	256	57	9	6
83	朝庸溪	101	86	6	0	9
84	大武溪	533	209	214	102	8

表 4-10 全國各河川流域坡面單元坡度分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	S1	S2	S3	N/A
85	烏萬溪	116	96	15	2	3
86	津林溪	92	54	33	5	0
87	大竹溪	591	178	260	151	2
88	金崙溪	559	110	212	236	1
89	太麻里溪	844	171	337	333	3
90	文里溪	72	39	26	5	2
91	知本溪	748	179	323	241	5
92	利嘉溪	550	83	193	269	5
93	太平溪	197	95	67	19	16
94	卑南溪	5717	1193	1844	2575	105
95	都蘭溪	404	156	41	114	93
96	馬武溪	1070	592	249	152	77
97	成功溪	111	56	17	31	7
98	富家溪	147	68	28	43	8
99	都威溪	147	62	39	43	3
100	沙灣溪	165	106	7	45	7
101	寧埔溪	91	55	8	17	11
102	竹湖溪	108	70	22	8	8
103	大德溪	114	72	12	24	6
104	長濱溪	41	14	1	13	13
105	城埔溪	26	9	3	6	8
106	馬海溪	21	6	1	7	7
107	山間溪	53	20	8	16	9
108	水母溪	192	72	58	58	4
109	三富溪	21	16	3	1	1
110	秀姑巒溪	5891	1493	1657	2573	168
111	豐濱溪	607	366	155	81	5
112	加蘭溪	118	85	21	7	5

表 4-10 全國各河川流域坡面單元坡度分類之數量統計

編號	主流名稱	坡面單元總數	S1	S2	S3	N/A
113	蕃寮溪	77	65	5	4	3
114	水璉溪	227	133	48	38	8
115	花蓮溪	4947	876	1311	2710	50
116	美崙溪	154	12	33	107	2
117	三棧溪	467	14	86	367	0
118	立霧溪	2722	178	676	1865	3
119	石公溪	70	0	3	67	0
120	大清水溪	240	1	14	224	1
121	和平溪	2256	346	787	1118	5
122	南澳溪	1138	234	466	436	2
123	東澳溪	144	18	43	81	2
124	蘇澳溪	231	92	92	41	6
125	新城溪	303	78	129	96	0
126	冬山河	151	80	49	19	3
127	蘭陽溪	4063	1191	1507	1335	30
128	得子口溪	237	139	71	22	5
129	金面溪	43	24	15	4	0
130	福德溪	57	23	24	10	0
131	頭城溪	53	45	7	1	0
132	大溪川	343	168	127	40	8
133	雙溪	1024	733	177	53	61
134	尖山腳溪	487	333	86	36	32
135	瑪鍊溪	357	297	39	2	19
136	員潭溪	91	71	6	0	14
合計		143819	53619	35111	43387	11702

資料來源：本研究整理

四、坡面單元分類

完成前述地質、坡向敏感度、坡度等坡面單元屬性分析後，即可據以進行坡面單元分類，根據前述因子定義之分類將坡面環境因子分類屬性賦予固定編碼，以 G(地質)、A(坡向敏感)、S(坡度)之編號順序組合，其中包括地質二類、坡向敏感二類以及坡度三類，共計 12 種類型坡地組合。

由於坡面屬性分析中具有不適用坡面 (N/A)，這些坡面屬性組合後將形成無效坡面，經綜合分析後各河川流域坡面單元統計如表 4-11 所示，在 143819 個坡面中，有效坡面為 130619 個坡面，無效坡面數量為 13200 個坡面，有效坡面比例達 90.82%。少數的有效坡面比例較低，例如後州溪流域、埔心溪流域、楓林溪流域等低於 50%，主要原因是該類坡面原本的有效坡面數量較少，因此比例較低。綜上所述，後續坡面單元評估實際數量為 130619 個坡面，選定之斷層帶不影響坡面單元評估之數量，各區之崩塌評估基礎資料庫亦不影響坡面單元評估之數量。

以山腳斷層為例，全台河川流域坡面分類結果表 4-12 及表 4-13 所示，各河川流域中各類坡面單元總計 130619 個，其中 G1 類型的坡面共 98061 個，其中 G1A1S1 類 9491 個、G1A1S2 類 10638 個、G1A1S3 類 14820 個、G1A2S1 類 17160 個、G1A2S2 類 19663 個、G1A2S3 類 26289 個；G2 類型的坡面共 32558 個，其中 G2A1S1 類 8514 個、G2A1S2 類 1478 個、G2A1S3 類 730 個、G2A2S1 類 17268 個、G2A2S2 類 3116 個、G2A2S3 類 1452 個；前述以 G1A2S3 最多，G2A1S3 最少，僅 730 個。各類坡面數量總合如表 4-13 最後一列所示。

由於全台坡面單元涵蓋 127 個河川流域，篇幅有限無法全部呈現山腳斷層分類結果，選取較具代表性之淡水河流域 (編號 13)、烏溪流域 (編號 41)、濁水溪流域 (編號 45)、高屏溪流域 (編號 63) 為範例，呈現各集水區坡地崩塌評估基礎資料庫建立成果，如圖 4-3~圖 4-6 所示。

表 4-11 全國各河川流域坡面單元有效數量統計

主流編號	有效數量	無效數量	有效比例	主流編號	有效數量	無效數量	有效比例
1	151	11	93.21%	25	-	-	-
2	27	22	55.10%	26	62	53	53.91%
3	25	12	67.57%	27	1005	353	74.01%
4	8	23	25.81%	28	2107	143	93.64%
5	60	24	71.43%	29	210	137	60.52%
6	9	35	20.45%	30	207	303	40.59%
7	15	32	31.91%	31	6	21	22.22%
8	29	15	65.91%	32	2147	513	80.71%
9	36	57	38.71%	33	2764	347	88.85%
10	0	6	0.00%	34	392	312	55.68%
11	7	14	33.33%	35	297	287	50.86%
12	38	12	76.00%	36	75	155	32.61%
13	14300	607	95.93%	37	77	14	84.62%
14	94	38	71.21%	38	3376	82	97.63%
15	25	23	52.08%	39	20	3	86.96%
16	20	42	32.26%	40	6346	206	96.86%
17	222	241	47.95%	41	7995	1006	88.82%
18	0	1	0.00%	42	219	221	49.77%
19	16	15	51.61%	43	206	8	96.26%
20	-	-	-	44	-	-	-
21	-	-	-	45	15352	421	97.33%
22	-	-	-	46	-	-	-
23	-	-	-	47	-	-	-
24	27	50	35.06%	48	910	268	77.25%

表 4-11 全國各河川流域坡面單元有效數量統計

主流編號	有效數量	無效數量	有效比例	主流編號	有效數量	無效數量	有效比例
49	914	257	78.05%	70	670	11	98.38%
50	-	-	-	71	581	25	95.87%
51	1636	301	84.46%	72	149	13	91.98%
52	1530	315	82.93%	73	683	38	94.73%
53	5	3	62.50%	74	275	223	55.22%
54	7265	1208	85.74%	75	660	238	73.50%
55	553	550	50.14%	76	126	5	96.18%
56	1525	792	65.82%	77	87	15	85.29%
57	255	154	62.35%	78	169	11	93.89%
58	152	69	68.78%	79	47	5	90.38%
59	256	125	67.19%	80	27	0	100.00%
60	40	15	72.73%	81	104	1	99.05%
61	12	30	28.57%	82	321	7	97.87%
62	14	13	51.85%	83	92	9	91.09%
63	13708	1080	92.70%	84	524	9	98.31%
64	436	29	93.76%	85	113	3	97.41%
65	1022	26	97.52%	86	92	0	100.00%
66	66	18	78.57%	87	588	3	99.49%
67	398	2	99.50%	88	552	7	98.75%
68	155	3	98.10%	89	837	7	99.17%
69	52	0	100.00%	90	66	6	91.67%
91	739	9	98.80%	112	113	5	95.76%
92	544	6	98.91%	113	74	3	96.10%
93	171	26	86.80%	114	219	8	96.48%

表 4-11 全國各河川流域坡面單元有效數量統計

主流編號	有效數量	無效數量	有效比例	主流編號	有效數量	無效數量	有效比例
94	5536	181	96.83%	115	4841	106	97.86%
95	304	100	75.25%	116	143	11	92.86%
96	931	139	87.01%	117	463	4	99.14%
97	80	31	72.07%	118	2707	15	99.45%
98	128	19	87.07%	119	69	1	98.57%
99	143	4	97.28%	120	238	2	99.17%
100	154	11	93.33%	121	2246	10	99.56%
101	79	12	86.81%	122	1133	5	99.56%
102	100	8	92.59%	123	139	5	96.53%
103	103	11	90.35%	124	225	6	97.40%
104	27	14	65.85%	125	299	4	98.68%
105	10	16	38.46%	126	133	18	88.08%
106	12	9	57.14%	127	3900	163	95.99%
107	38	15	71.70%	128	207	30	87.34%
108	188	4	97.92%	129	38	5	88.37%
109	20	1	95.24%	130	56	1	98.25%
110	5612	279	95.26%	131	53	0	100.00%
111	602	5	99.18%	132	335	8	97.67%
133	959	65	93.65%	135	338	19	94.68%
134	454	33	93.22%	136	77	14	84.62%
				合計	130619	13200	90.82%

資料來源：本研究整理

表 4-12 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G1 類

編號	主流名稱	G1A1S1	G1A1S2	G1A1S3	G1A2S1	G1A2S2	G1A2S3	合計
1	磺溪	11	10	4	37	9	4	75
2	小坑溪	1	0	0	1	0	0	2
3	乾華溪	0	1	0	3	1	0	5
4	石門溪	0	0	0	0	0	0	0
5	老梅溪	18	5	1	10	4	1	39
6	楓林溪	4	0	0	0	0	0	4
7	埔坪溪	9	0	0	6	0	0	15
8	八蓮溪	11	3	0	11	4	0	29
9	大屯溪	6	10	0	4	1	2	23
10	後州溪	0	0	0	0	0	0	0
11	興仁溪	1	0	0	2	0	0	3
12	林子溪	6	4	0	3	5	0	18
13	淡水河	2283	1519	1075	3877	2717	1715	13186
14	水仙溪	2	0	0	1	0	0	3
15	寶斗溪	0	0	0	0	0	0	0
16	林口溪	0	0	0	0	0	0	0
17	南崁溪	0	0	0	4	0	0	4
18	埔心溪	0	0	0	0	0	0	0
19	老街溪	0	0	0	0	0	0	0
20	富林溪	-	-	-	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-	-	-	-
24	社子溪	0	0	0	0	0	0	0
25	福興溪排水	-	-	-	-	-	-	-
26	新豐溪	0	0	0	0	0	0	0
27	鳳山溪	121	22	6	215	66	16	446
28	頭前溪	161	272	216	246	454	375	1724

表 4-12 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G1 類

編號	主流名稱	G1A1S1	G1A1S2	G1A1S3	G1A2S1	G1A2S2	G1A2S3	合計
29	客雅溪排水	0	0	0	0	0	0	0
30	鹽港溪排水	0	0	0	0	0	0	0
31	新港溪	0	0	0	0	0	0	0
32	中港溪	149	100	51	372	238	144	1054
33	後龍溪	259	184	120	725	376	209	1873
34	西湖溪	27	3	1	54	18	1	104
35	通霄溪	0	0	0	0	0	0	0
36	苑裡溪	0	0	0	0	0	0	0
37	房裡溪	0	0	0	0	0	0	0
38	大安溪	160	258	568	348	461	1003	2798
39	溫寮溪	0	0	0	0	0	0	0
40	大甲溪	252	453	1098	448	840	2168	5259
41	烏溪	239	355	579	419	673	1169	3434
42	洋仔厝溪	0	0	0	0	0	0	0
43	員林大排水	0	0	0	0	0	0	0
44	萬興排水幹線	-	-	-	-	-	-	-
45	濁水溪	680	1267	2492	1424	2626	4930	13419
46	新虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-
48	北港溪	14	7	6	45	29	24	125
49	朴子溪	35	37	32	74	57	56	291
50	龍宮溪	-	-	-	-	-	-	-
51	八掌溪	143	107	48	205	199	128	830
52	急水溪	59	20	13	149	52	31	324
53	將軍溪排水	0	0	0	0	0	0	0
54	曾文溪	416	355	278	812	994	594	3449
55	鹽水溪	0	0	0	0	0	0	0
56	二仁溪	23	4	1	64	23	3	118

表 4-12 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G1 類

編號	主流名稱	G1A1S1	G1A1S2	G1A1S3	G1A2S1	G1A2S2	G1A2S3	合計
57	阿公店溪	8	0	0	22	0	1	31
58	典寶溪排水	4	0	0	0	0	0	4
59	後勁溪	0	0	0	0	0	0	0
60	愛河	0	0	0	1	0	0	1
61	前鎮河	0	0	0	0	0	0	0
62	鹽水港溪	0	0	0	0	0	0	0
63	高屏溪	909	1373	2055	1762	2455	4008	12562
64	東港溪	71	70	32	90	95	62	420
65	林邊溪	74	155	181	132	223	235	1000
66	北勢溪	12	1	0	36	6	1	56
67	率芒溪	29	73	47	70	79	94	392
68	南湖溪	21	20	9	51	39	15	155
69	十里溪	11	5	2	24	9	0	51
70	枋山溪	84	107	42	146	186	65	630
71	楓港溪	121	48	12	232	79	14	506
72	石盤溪	15	9	5	73	30	5	137
73	四重溪	170	31	6	287	60	13	567
74	保力溪	57	5	0	92	9	0	163
75	港口溪	154	8	1	254	20	1	438
76	九棚溪	37	4	0	70	3	0	114
77	港子溪	22	0	0	49	3	1	75
78	旭海溪	48	1	0	79	8	1	137
79	乾溪	2	1	0	24	2	2	31
80	塔瓦溪	9	3	0	9	2	0	23
81	達仁溪	23	6	0	52	4	1	86
82	安朔溪	73	22	0	119	30	7	251
83	朝庸溪	21	2	0	37	2	0	62
84	大武溪	68	75	50	108	122	46	469

表 4-12 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G1 類

編號	主流名稱	G1A1S1	G1A1S2	G1A1S3	G1A2S1	G1A2S2	G1A2S3	合計
85	烏萬溪	20	4	2	65	9	0	100
86	津林溪	9	15	2	43	12	3	84
87	大竹溪	69	80	75	88	157	68	537
88	金崙溪	43	67	94	62	139	138	543
89	太麻里溪	57	95	104	108	230	228	822
90	文里溪	11	3	1	19	21	4	59
91	知本溪	54	101	103	115	220	135	728
92	利嘉溪	28	78	111	52	111	158	538
93	太平溪	5	13	7	24	48	11	108
94	卑南溪	174	521	1070	504	1233	1486	4988
95	都蘭溪	6	1	15	6	10	47	85
96	馬武溪	33	21	17	68	35	41	215
97	成功溪	0	1	5	3	3	20	32
98	富家溪	1	4	16	7	10	17	55
99	都威溪	0	11	10	6	15	26	68
100	沙灣溪	0	0	3	0	1	13	17
101	寧埔溪	0	0	1	0	0	5	6
102	竹湖溪	0	0	0	0	0	0	0
103	大德溪	0	0	5	0	0	4	9
104	長濱溪	0	0	2	0	0	3	5
105	城埔溪	0	0	0	0	0	4	4
106	馬海溪	0	0	2	0	0	3	5
107	山間溪	0	0	0	0	0	4	4
108	水母溪	9	15	13	23	14	26	100
109	三富溪	0	0	0	2	0	0	2
110	秀姑巒溪	306	510	892	519	924	1591	4742
111	豐濱溪	20	8	7	20	7	6	68
112	加蘭溪	4	0	0	4	0	0	8

表 4-12 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G1 類

編號	主流名稱	G1A1S1	G1A1S2	G1A1S3	G1A2S1	G1A2S2	G1A2S3	合計
113	蕃寮溪	2	0	0	4	0	1	7
114	水璉溪	1	2	0	0	0	0	3
115	花蓮溪	166	431	990	356	774	1702	4419
116	美崙溪	3	10	37	2	19	64	135
117	三棧溪	6	53	163	4	32	198	456
118	立霧溪	57	189	735	120	480	1119	2700
119	石公溪	0	0	20	0	1	18	39
120	大清水溪	0	4	60	0	5	136	205
121	和平溪	178	323	403	168	452	681	2205
122	南澳溪	93	158	136	106	270	267	1030
123	東澳溪	6	13	18	5	17	39	98
124	蘇澳溪	19	27	9	23	32	13	123
125	新城溪	27	50	45	23	67	49	261
126	冬山河	16	26	8	10	14	7	81
127	蘭陽溪	433	625	547	456	713	746	3520
128	得子口溪	50	16	7	54	39	11	177
129	金面溪	2	3	1	18	9	2	35
130	福德溪	14	13	5	8	10	4	54
131	頭城溪	20	0	0	5	2	0	27
132	大溪川	56	45	16	56	52	14	239
133	雙溪	230	61	23	371	103	27	815
134	尖山腳溪	48	11	7	142	51	5	264
135	瑪鍊溪	72	13	2	97	8	0	192
136	員潭溪	10	2	0	16	1	0	29
合計		9491	10638	14820	17160	19663	26289	98061

資料來源：本研究整理

表 4-13 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G2 類

編號	主流名稱	G2A1S1	G2A1S2	G2A1S3	G2A2S1	G2A2S2	G2A2S3	合計
1	礮溪	15	6	3	36	15	1	76
2	小坑溪	8	0	0	17	0	0	25
3	乾華溪	8	0	0	12	0	0	20
4	石門溪	2	0	0	6	0	0	8
5	老梅溪	9	1	0	10	1	0	21
6	楓林溪	3	0	0	2	0	0	5
7	埔坪溪	0	0	0	0	0	0	0
8	八蓮溪	0	0	0	0	0	0	0
9	大屯溪	5	0	0	7	1	0	13
10	後州溪	0	0	0	0	0	0	0
11	興仁溪	1	0	0	3	0	0	4
12	林子溪	9	3	0	5	1	2	20
13	淡水河	332	29	10	648	76	19	1114
14	水仙溪	34	3	0	52	2	0	91
15	寶斗溪	6	0	0	18	1	0	25
16	林口溪	3	0	0	17	0	0	20
17	南崁溪	70	2	0	141	4	1	218
18	埔心溪	0	0	0	0	0	0	0
19	老街溪	9	0	0	7	0	0	16
20	富林溪	-	-	-	-	-	-	-
21	大堀溪	-	-	-	-	-	-	-
22	觀音溪	-	-	-	-	-	-	-
23	新屋溪	-	-	-	-	-	-	-
24	社子溪	3	0	0	23	1	0	27
25	福興溪排水	-	-	-	-	-	-	-
26	新豐溪	15	0	0	46	1	0	62
27	鳳山溪	159	2	2	387	8	1	559
28	頭前溪	111	17	1	225	26	3	383

表 4-13 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G2 類

編號	主流名稱	G2A1S1	G2A1S2	G2A1S3	G2A2S1	G2A2S2	G2A2S3	合計
29	客雅溪排水	73	3	0	128	6	0	210
30	鹽港溪排水	60	0	0	140	6	1	207
31	新港溪	0	0	0	6	0	0	6
32	中港溪	294	15	6	724	44	10	1093
33	後龍溪	243	21	8	525	72	22	891
34	西湖溪	92	3	1	183	7	2	288
35	通霄溪	73	3	1	217	3	0	297
36	苑裡溪	27	0	0	47	1	0	75
37	房裡溪	11	0	0	62	3	1	77
38	大安溪	170	32	18	284	48	26	578
39	溫寮溪	9	0	0	9	2	0	20
40	大甲溪	145	94	125	317	160	246	1087
41	烏溪	1281	314	104	2102	563	197	4561
42	洋仔厝溪	67	2	1	146	2	1	219
43	員林大排水	64	0	0	138	3	1	206
44	萬興排水幹線	-	-	-	-	-	-	-
45	濁水溪	448	139	96	730	318	202	1933
46	新虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-
47	舊虎尾溪	-	-	-	-	-	-	-
48	北港溪	200	10	2	542	21	10	785
49	朴子溪	200	10	6	383	14	10	623
50	龍宮溪	-	-	-	-	-	-	-
51	八掌溪	213	41	21	451	49	31	806
52	急水溪	322	29	7	751	81	16	1206
53	將軍溪排水	1	0	0	4	0	0	5
54	曾文溪	993	135	34	2226	355	73	3816
55	鹽水溪	162	5	2	355	22	7	553
56	二仁溪	412	47	4	858	75	11	1407

表 4-13 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G2 類

編號	主流名稱	G2A1S1	G2A1S2	G2A1S3	G2A2S1	G2A2S2	G2A2S3	合計
57	阿公店溪	69	5	0	130	16	4	224
58	典寶溪排水	49	6	0	89	4	0	148
59	後勁溪	82	3	3	149	17	2	256
60	愛河	15	2	0	22	0	0	39
61	前鎮河	4	0	0	8	0	0	12
62	鹽水港溪	5	0	0	8	1	0	14
63	高屏溪	343	35	9	624	106	29	1146
64	東港溪	6	1	0	6	3	0	16
65	林邊溪	5	1	4	8	3	1	22
66	北勢溪	2	0	0	8	0	0	10
67	率芒溪	4	0	0	2	0	0	6
68	南湖溪	0	0	0	0	0	0	0
69	十里溪	0	0	0	0	1	0	1
70	枋山溪	9	9	1	19	1	1	40
71	楓港溪	22	7	1	34	9	2	75
72	石盤溪	6	0	0	5	0	1	12
73	四重溪	38	5	1	58	11	3	116
74	保力溪	45	1	0	62	4	0	112
75	港口溪	74	2	1	134	11	0	222
76	九棚溪	4	1	0	4	3	0	12
77	港子溪	3	0	0	7	2	0	12
78	旭海溪	6	0	0	22	3	1	32
79	乾溪	3	0	0	9	3	1	16
80	塔瓦溪	0	0	0	3	0	1	4
81	達仁溪	8	1	0	8	1	0	18
82	安朔溪	16	0	2	47	5	0	70
83	朝庸溪	9	0	0	19	2	0	30
84	大武溪	2	2	5	30	15	1	55

表 4-13 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G2 類

編號	主流名稱	G2A1S1	G2A1S2	G2A1S3	G2A2S1	G2A2S2	G2A2S3	合計
85	烏萬溪	4	1	0	7	1	0	13
86	津林溪	0	0	0	2	6	0	8
87	大竹溪	8	6	4	13	17	3	51
88	金崙溪	1	3	0	1	2	2	9
89	太麻里溪	2	2	0	2	8	1	15
90	文里溪	0	1	0	6	0	0	7
91	知本溪	1	2	2	5	0	1	11
92	利嘉溪	0	2	0	3	1	0	6
93	太平溪	16	0	0	42	4	1	63
94	卑南溪	130	21	2	327	56	12	548
95	都蘭溪	48	7	18	91	22	33	219
96	馬武溪	146	46	26	308	135	55	716
97	成功溪	6	6	1	26	6	3	48
98	富家溪	14	5	2	36	9	7	73
99	都威溪	9	1	2	46	12	5	75
100	沙灣溪	26	1	8	76	5	21	137
101	寧埔溪	5	4	1	49	4	10	73
102	竹湖溪	17	8	1	53	14	7	100
103	大德溪	14	3	6	53	9	9	94
104	長濱溪	8	0	1	5	1	7	22
105	城埔溪	0	1	0	1	2	2	6
106	馬海溪	1	0	2	3	1	0	7
107	山間溪	1	1	4	14	6	8	34
108	水母溪	15	6	2	25	23	17	88
109	三富溪	4	0	0	10	3	1	18
110	秀姑巒溪	188	71	26	391	130	64	870
111	豐濱溪	125	49	22	201	91	46	534
112	加蘭溪	21	3	3	56	18	4	105

表 4-13 山腳斷層各河川流域坡面單元類型之數量統計-G2 類

編號	主流名稱	G2A1S1	G2A1S2	G2A1S3	G2A2S1	G2A2S2	G2A2S3	合計
113	蕃寮溪	13	1	2	46	4	1	67
114	水璉溪	41	16	14	91	30	24	216
115	花蓮溪	94	22	8	220	68	10	422
116	美崙溪	1	1	2	2	1	1	8
117	三棧溪	0	0	0	1	1	5	7
118	立霧溪	0	3	1	0	1	2	7
119	石公溪	0	1	11	0	1	17	30
120	大清水溪	0	0	5	1	5	22	33
121	和平溪	0	5	7	0	7	22	41
122	南澳溪	16	11	13	18	26	19	103
123	東澳溪	1	7	8	4	6	15	41
124	蘇澳溪	18	13	7	32	20	12	102
125	新城溪	8	5	2	17	6	0	38
126	冬山河	29	2	3	12	5	1	52
127	蘭陽溪	103	61	19	111	69	17	380
128	得子口溪	11	3	0	12	2	2	30
129	金面溪	1	0	0	1	1	0	3
130	福德溪	0	0	0	1	1	0	2
131	頭城溪	6	3	0	14	2	1	26
132	大溪川	14	12	8	42	18	2	96
133	雙溪	52	7	2	76	6	1	144
134	尖山腳溪	53	4	6	89	20	18	190
135	瑪鍊溪	44	4	0	84	14	0	146
136	員潭溪	8	0	0	37	3	0	48
合計		8514	1478	730	17268	3116	1452	32558
G1/G2 總計		18005	12116	15550	34428	22779	27741	130619

資料來源：本研究整理

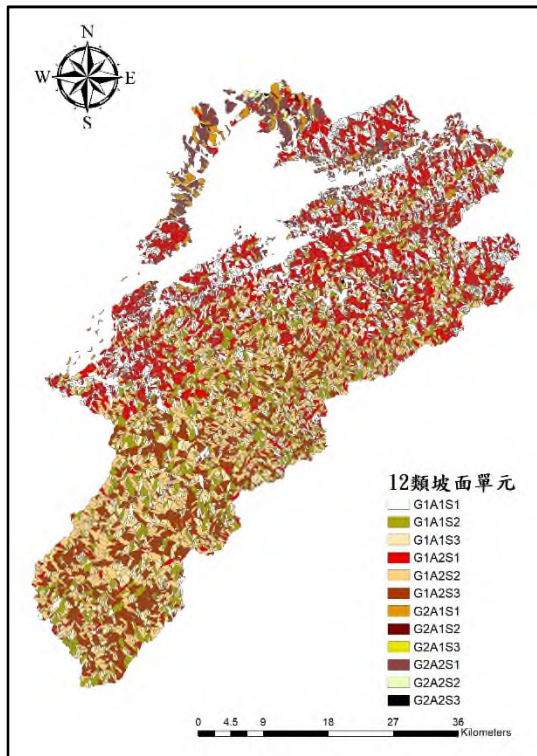


圖 4-3 淡水河流域之山腳斷層坡面單元分類

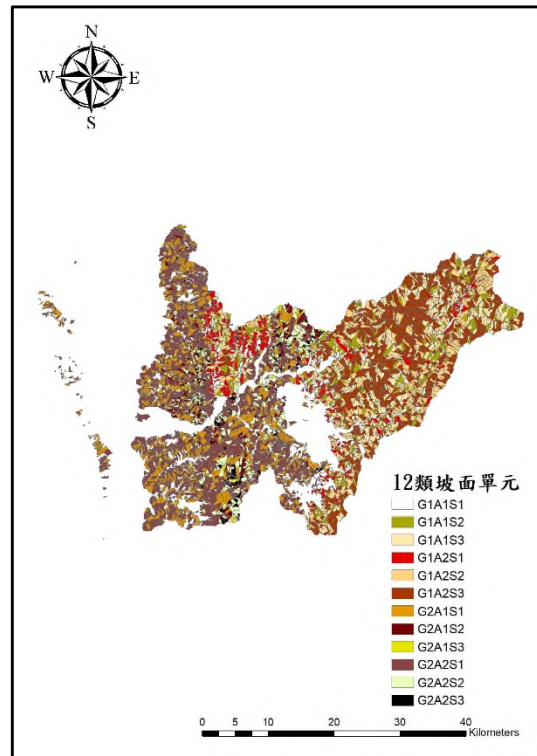


圖 4-4 烏溪流域之山腳斷層坡面單元分類

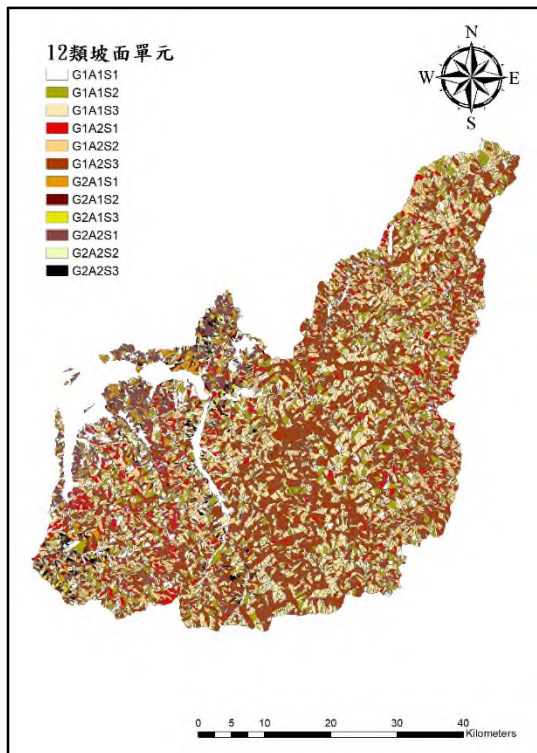


圖 4-5 濁水溪流域之山腳斷層坡面單元分類

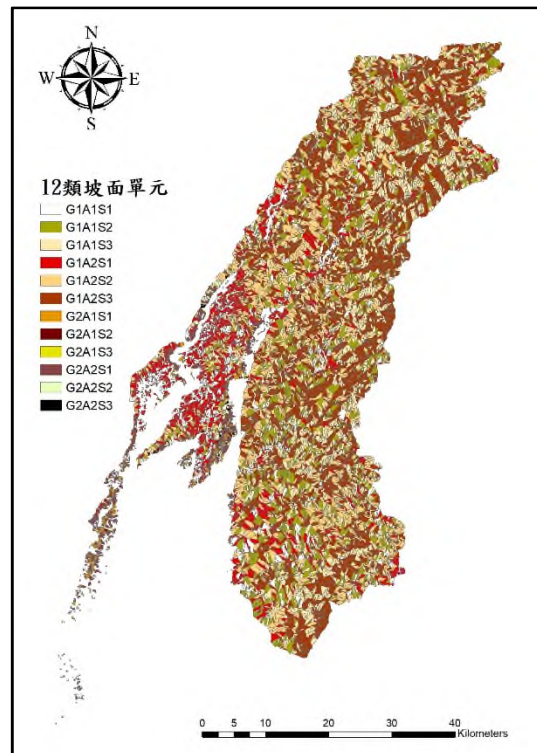


圖 4-6 高屏溪流域之山腳斷層坡面單元分類

第五章 未知斷層情境下之坡地崩塌評估資料庫研析

建立震後坡地崩塌評估模式的目的是，主要是為了在地震後的短時間內進行地震損失評估，即地震早期評估。而對於震後坡地崩塌評估模式首要考量實際地震發生的二種情況，其一是已知斷層的地震，其二則是未知斷層的地震。前者由於斷層已知，故可由明確的斷層系統推估震度分布，進而評估可能災情，詳如第六章所述可針對不同情境條件進行模擬，而未知斷層的地震則須依據即時地震速報的震度資料據以進行災害評估。雖然可利用地震情境模擬作為災前準備的方案，但在面臨實際地震發生時對於未知斷層的地震評估模式，則有賴於地震早期評估的手段。在一般情況下，地震初期對於誘發斷層通常是未知的，甚至大多是盲斷層發生地震，因此地震早期評估通常是未知斷層的地震評估模式，待接收到更為明確的地震資料後確定誘發斷層，再進行已知斷層地震評估模式，如圖 5-1 所示。

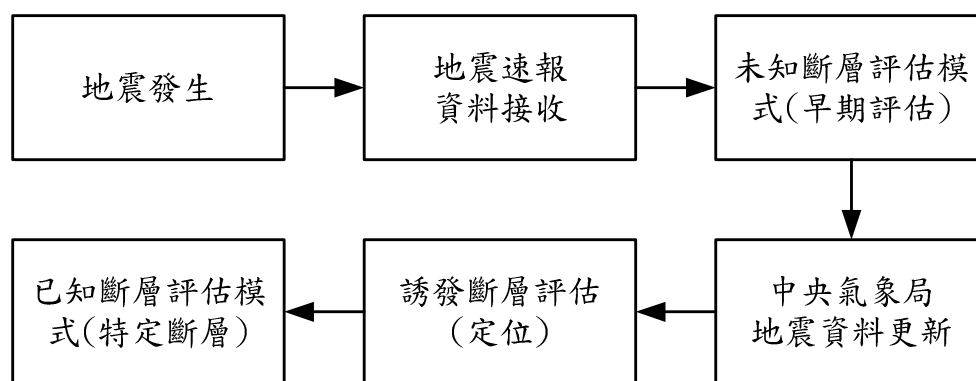


圖 5-1 地震評估模式

因此，要建立地震早期評估的關鍵要素，是建立在良好的地震速報體系和觀測系統，透過現今高速電腦及資通科技應用，在實際災情不可得的情況下，達到短時間內進行災損評估的目的。台灣具有全球密度最高的強地動觀測網（平均每 5 平方公里一個測站），在震後數分鐘內即可估算出全國各地震度，並藉由測量定位出地震震央位置及深度，再配合先進的資通訊技術，這樣的地震速報體系使得我國發展地震早期評估模式具有良好的基礎條件。

震後坡地崩塌評估模式的核心是藉由建立致災誘因與崩塌的簡易關係，能夠快速地評估出災害的大致情況，所期待的並非精確地計算出崩塌量體大小或是具體位置，而是在重大災害性地震後快速地得到可能發生災害的高風險地區或相對嚴重地區，使能夠在災害早期進行應變作為和救災資源有效地利用。在這個前提下，坡地易損性模式提供了對於地震誘發坡地災害能夠及時評估的解決方法。而本研究發展的震後坡地崩塌評估模式的核心技術即是坡地易損性分析，由於易損性分析屬於災害機率化評估，因此在實際應用層面可進行災損評估、風險估計等分析。在平常整備時期，已知斷層模式仍可做為災前減災規劃或情境模擬的工具，了解斷層可能帶來的危害與風險，及早進行相關震前準備和預估可能的防救災資源。也就是說，對於災害的平時減災、前期整備、災中應變皆可利用這個模式，提供一個具備學理基礎的可靠依據。

由於本計畫在全台坡面單元資料庫中，坡面屬性資料是與斷層位置相關的，對應不同目標斷層時坡面類型可能不同，這也將影響崩塌機率分析與評估的結果。這也表示在進行震後坡地崩塌評估時，需逐一計算各集水區中各坡面單元與各活斷層之相對位置及關係，這使得坡面單元分類因子中的坡向敏感度因子具備了變動條件，各已知斷層所對應的坡面單元分類也將不同，這是本模式最重要的特點。若已知斷層及其對應之坡面崩塌評估資料庫，即可得知對應的坡面單元分類進行分析，然而，對於實際地震斷層未知的情況，如何決定坡面是何種類型的坡地即成了關鍵問題。對於此一問題，震源分區是可行且便捷的方式，在大多數的情況下，一個有限的區域內坡面分類不會因震源不同而有太大的變動，因此本計畫利用震源分區的概念建立坡地崩塌評估資料庫取用準則，建立區域型坡地崩塌評估基礎資料庫，也就能夠快速地決定坡面是何種類型的坡地，這將有利於未來應用時可直接利用中央氣象局之震央位置快速進行坡地崩塌評估。

第一節 坡地崩塌評估資料庫之震源分區

在地震初期，藉由全國之地震測站資料，可快速推估包括震央位置、地震規模和深度等震源參數，然而此時由於還需要調取地質相關資訊，因此對於該地震所屬斷層判定則是尚未明確的，同時全國之詳細全域震度資料也尚未計算完成。因此中央氣象局之地震速報通常僅就震央位置、地震規模、深度和震區（由測站判定）予以公告。因此，在全域震度資料計算完成之前即須針對坡地崩塌評估資料庫的取用進行判斷，本計畫針對震源分區資料庫的取用係基於目前所建置之北中南東四個坡地崩塌資料庫，階段性地以較大震源分區的方式，針對坡面單元所在之距斷層距離、集水區屬性與斷層位置及風險等因子，綜合進行震源分區之劃分研析，未知斷層情境下之坡地崩塌評估模式如圖 5-2 所示，震源分區規劃過程如下述。

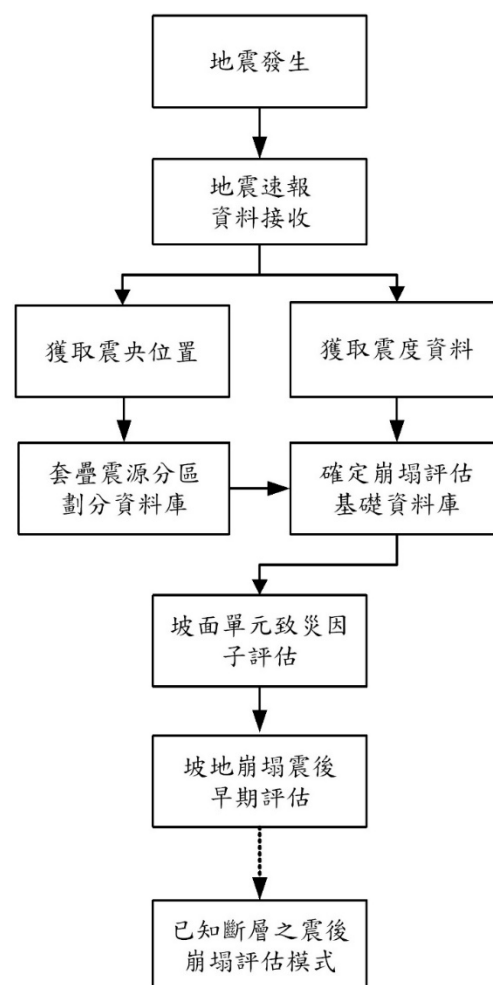


圖 5-2 未知斷層情境下之坡地崩塌評估模式

一、坡面單元距斷層距離分析

地表震度大小與地震規模和距離直接相關，因此首先計算各坡面單元距四條斷層資料庫距離，以坡面單元（場址）距四條斷層遠近劃分，可初步規劃出四個分區，如圖 5-3 所示。

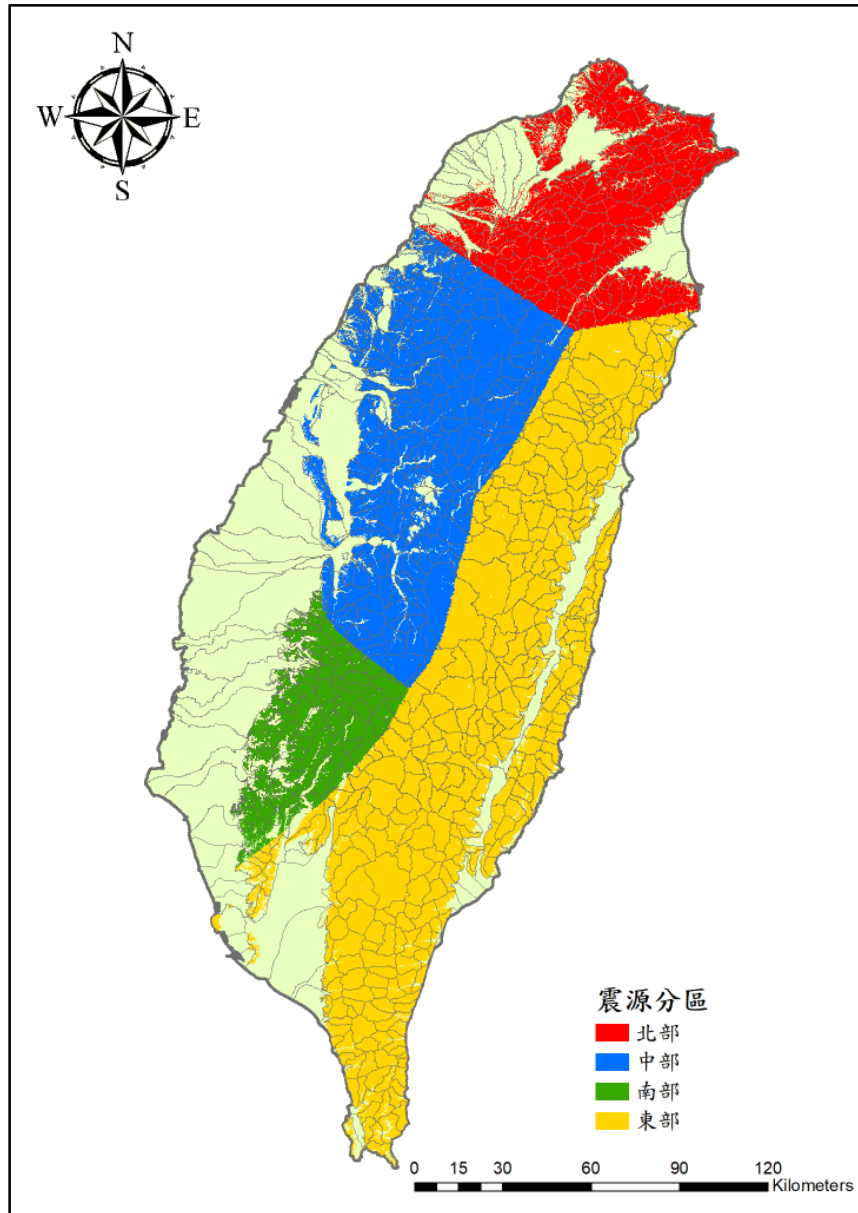


圖 5-3 根據坡面單元距斷層距離進行震源分區

二、坡面單元之集水區屬性

僅根據距離劃分的震源分區，同一集水區之坡面單元可能會有被劃分到不同分區資料庫的現象，如圖 5-4 所示，這會影響到後續集水區崩塌率評估的合理性，因此根據所占面積比例決定分區所屬後整併，如圖 5-5 所示。

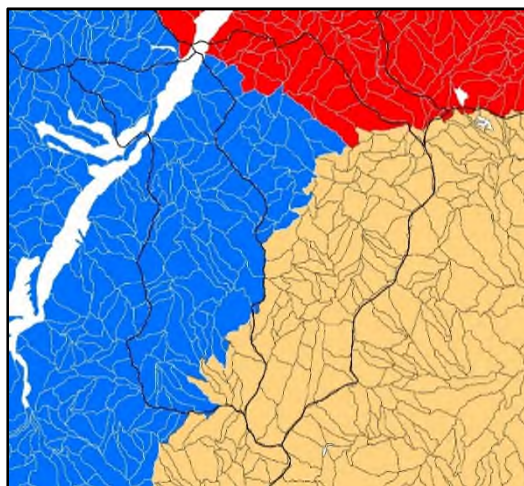


圖 5-4 不合適的集水區區劃示意

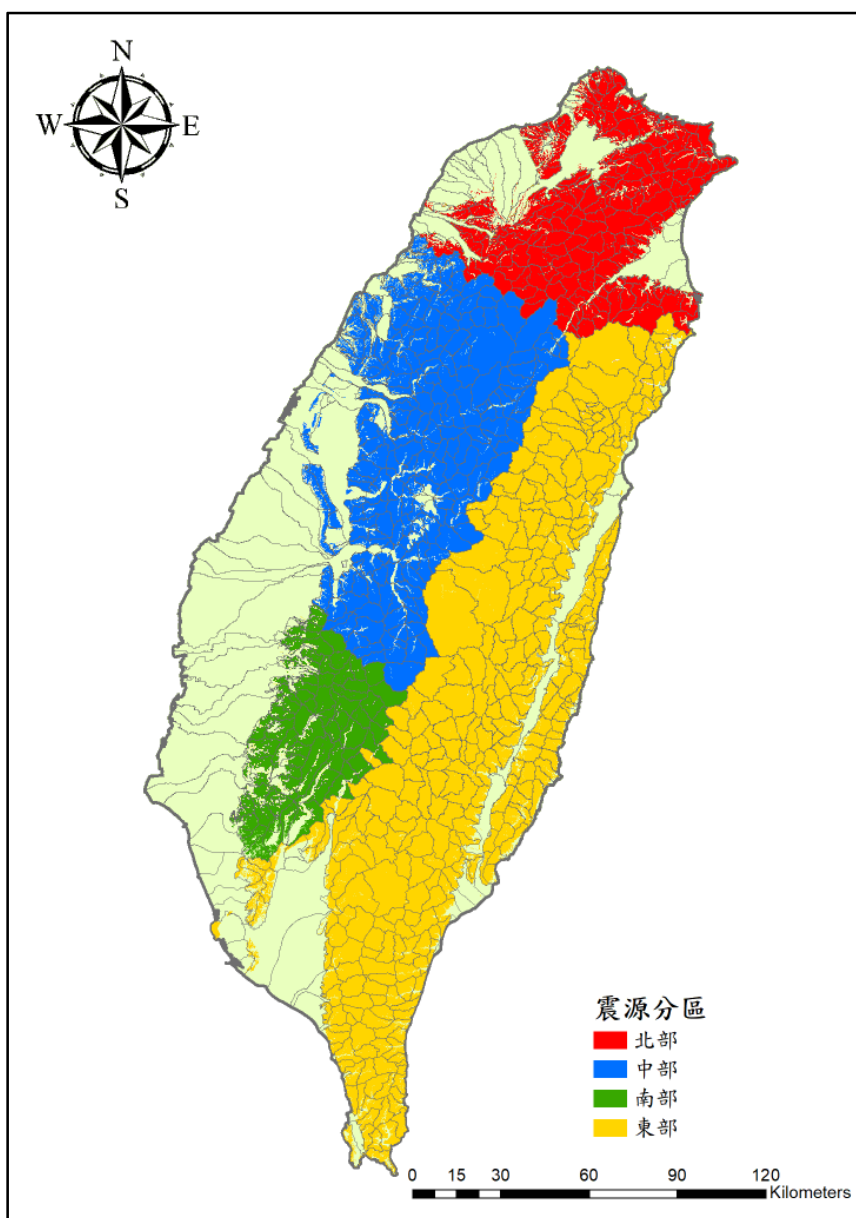


圖 5-5 根據集水區範圍進行震源分區修正

三、鄰近斷層位置及風險合理性

實際地震係發生在斷層面上，因此考慮斷層可能跨越震源分區必須予以調整。此外，根據台灣地震模型 (TEM) 斷層分區考慮集水區鄰近斷層風險合理性，進一步進行震源分區的編修，最終劃定坡地崩塌評估資料庫之震源分區，如圖 5-6 所示。為瞭解地震引致崩塌評估模式效果，下節以 2018 年花蓮地震與 2021 年花蓮地震為例進行測試，以下分述之。

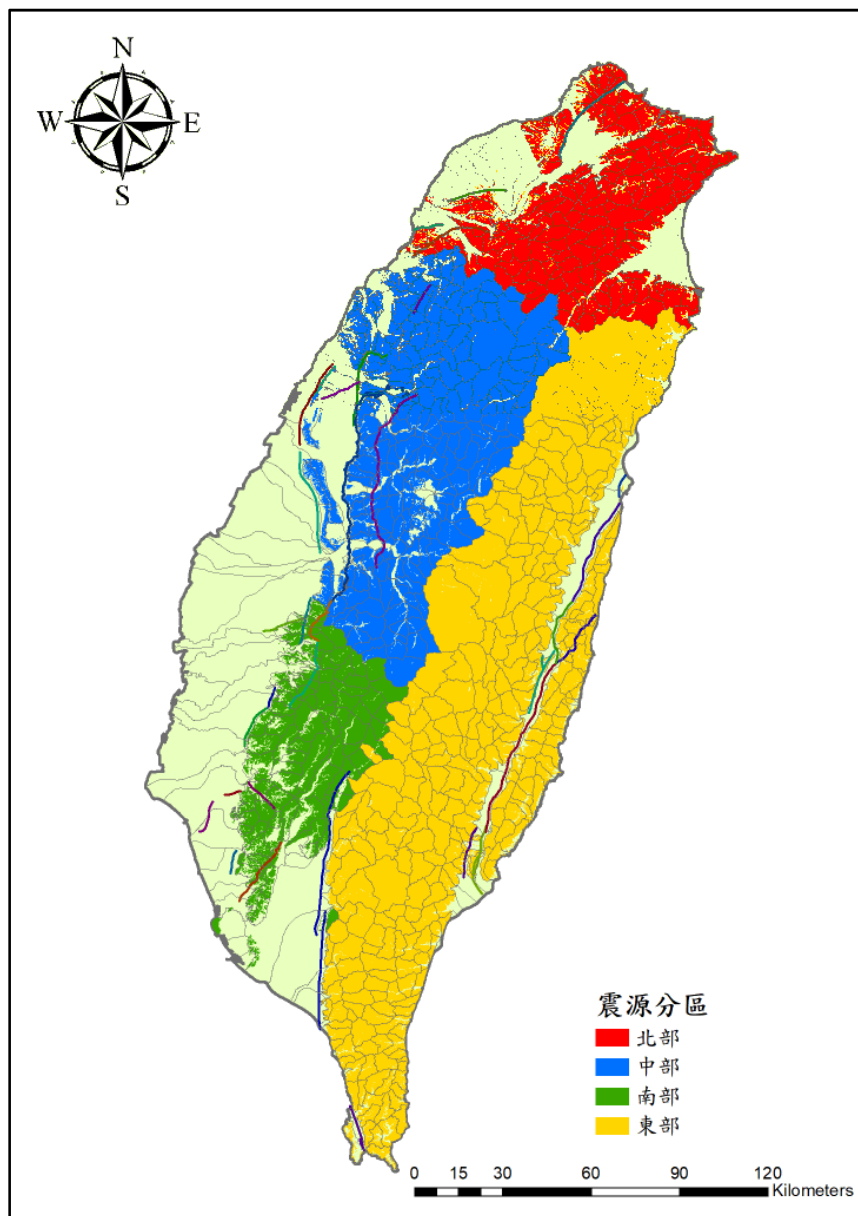


圖 5-6 根據斷層位置及風險進行震源分區編修

第二節 地震引致之崩塌評估

尚未發生的可能事件即為風險事件，本研究對於可能地震情境下之崩塌推估是基於定量風險計算模式來考量，風險管理之方法可應用於災害管理的各個階段，不僅可定量地分析危害可能之風險，亦可由其結果回應擬定或改善危害可能造成損失的策略。在自然災害的應用中，由於災害風險的不確定因素來自許多不同層面，各種應用領域皆有其特定的風險描述或定義，例如以脆弱度為例，Ezell (2007)列舉出至少 14 種脆弱度之定義，並認為對於風險評估的定義模糊不清，會導致使用時誤解風險分析的結果；或是以暴露量為例，必須牽涉到具體的社會經濟評價、價值、金額或損失等物理量。因此，聯合國在 2000 年成立的組織 International Strategy for Disaster Reduction (ISDR)建議在災害管理領域上災害風險應更具體與一致，並建議：

$$R = H \times V \quad (5-1)$$

上式形成一無因次的量值，對於不同災損問題成因的暴露量，則建議於後果分析中因應風險評價問題的不同而調整。式(5-1)在風險理論上雖僅係定量風險分析中的其中一種形式，然而對於災害風險分析卻是較為適用的方法，因此本研究採用式(5-1)建立地震引致崩塌風險分析之計算式。對於暴露量則可利用本研究之風險分析結果，進一步基於實際暴露對象或保全對象進行廣域崩塌定量風險評估和後果分析。

式(5-1)中之危害度 H 即地震致災因子的發生頻率或規模，於本研究中即為地震災害潛勢，例如經風險鑑別和頻率分析所得到的地表振動強度發生機率、斷層發震機率等；脆弱度 V 即地震引致崩塌風險問題發生的性質、程度或機率，即坡地崩塌的脆弱度，於本研究中即為地震引致坡地崩塌發生的機率，其與坡地類型、地表振動強度大小相關，可經由坡地易損性曲線分析求得。因此，地震引致崩塌機率分析的計算式可表示如下：

$$V = I \times F \quad (5-2)$$

上式中， I 為地表振動強度， F 為坡地易損性。實際上，坡地易損性曲線是以地表振動強度 x 為變量的函式，因此，式(5-2)可改寫為：

$$V = F(x) \quad (5-3)$$

因此，對於地震引致崩塌風險，式(5-1)則可改寫為：

$$R = H \times F(x) \quad (5-4)$$

上式中， H 與 F 皆為機率值，因此其乘積 R 為一無因次的量值，範圍介於 0~1 之間，此風險值表達的是：在地震發生的特定頻率或特定規模下，某類坡地因致災因子導致坡地發生某種程度以上崩塌之風險。

本計畫坡地崩塌評估模式係以式(5-3)計算某類型坡面在某震度下之崩塌機率值，該機率值表達了崩塌的可能性。如第三章第六節所述，依照本研究對於坡面單元之崩塌定義，即表示崩塌率達 5 % 以上或崩塌達到一定的水平投影面積之超越機率（隨坡度不同面積不同）。在此條件下，即可以將崩塌損失期望值界定在一定範圍。若地表震度達門檻值 ($PGA \geq 250 \text{ cm/s}^2$; $PGV \geq 50 \text{ cm/s}$)，則坡面單元最小可能崩塌面積 ($AL_{su,min}$) 即：

$$AL_{su,min} = 0.05 \times A_{su} \quad (5-5)$$

上式中， A_{su} 為坡面單元之有效面積。而最大可能崩塌面積 ($AL_{su,max}$) 即：

$$AL_{su,max} = V \times A_{su} \quad (5-6)$$

進一步地可計算某集水區之最小和最大可能崩塌範圍 (AL_{ws}) 估計，分別為：

$$AL_{ws,min} = \sum AL_{su,min} \quad (5-7)$$

$$AL_{ws,max} = \sum AL_{su,max} \quad (5-8)$$

第三節 20180206 花蓮地震事件

2018 年花蓮地震，主震發生於 2018 年 2 月 6 日 23 時 50 分，其震央位於臺灣花蓮縣近海，地震規模為 $M_L = 6.2$ ($M_w = 6.4$)，震源深度 6.3 公里，中央氣象局地震報告如圖 5-7 所示。本次地震前後發生了多次芮氏規模 5 以上之地震，其中最大前震發生於 2018 年 2 月 4 日 21 時 56 分，震央位於花蓮縣近海，地震規模為 $M_L = 5.8$ ，震源深度 10.6 公里。

本計畫依震度衰減率以該地震震央位置及地震規模進行地震引致崩塌評估，評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 5-8 和圖 5-9 所示，PGA 最大值為 348.93 gal 達到評估門檻，PGV 最大值為 32.94 cm/s 則未達評估門檻。震央鄰近可能崩塌評估分析結果如表 5-1 所示，包括各河川集水區中坡面單元震度，各河川集水區中坡面單元崩塌機率 (PL)、各河川集水區之可能總崩塌面積估計值範圍以及各河川集水區中可能崩塌率 (RL)。經評估可能總崩塌面積為 0.00 ~ 26.25 ha，僅在四個河川集水區可能發生崩塌，包括美崙溪/美侖溪集水區 (0.00 ~ 18.37 ha，集水區崩塌率 1.0%)、三棧溪/三棧北溪集水區 (0.31 ~ 3.87 ha，集水區崩塌率 0.1%)、美崙溪/美侖溪上游集水區 (0.00 ~ 3.43 ha，集水區崩塌率 0.1%) 和花蓮溪/花蓮溪集水區 (0.00 ~ 0.58 ha，集水區最大崩塌率 0.5%)。集水區崩塌範圍分布如圖 5-10 及圖 5-11 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 5-12 及圖 5-13 所示。

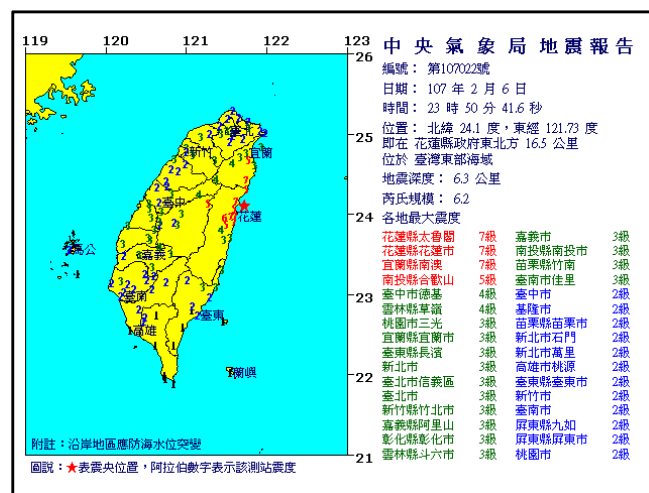


圖 5-7 20180206 花蓮地震中央氣象局地震報告

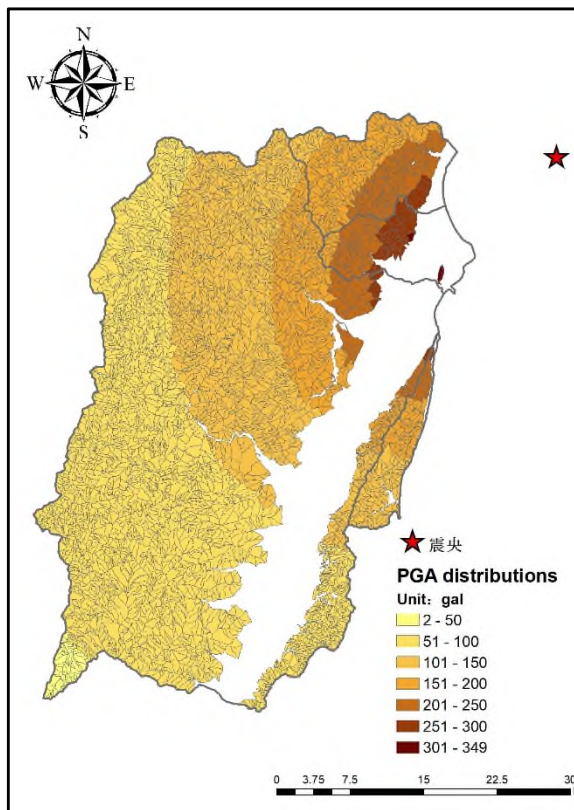


圖 5-8 20180206 花蓮地震事件地表震度 PGA 分布

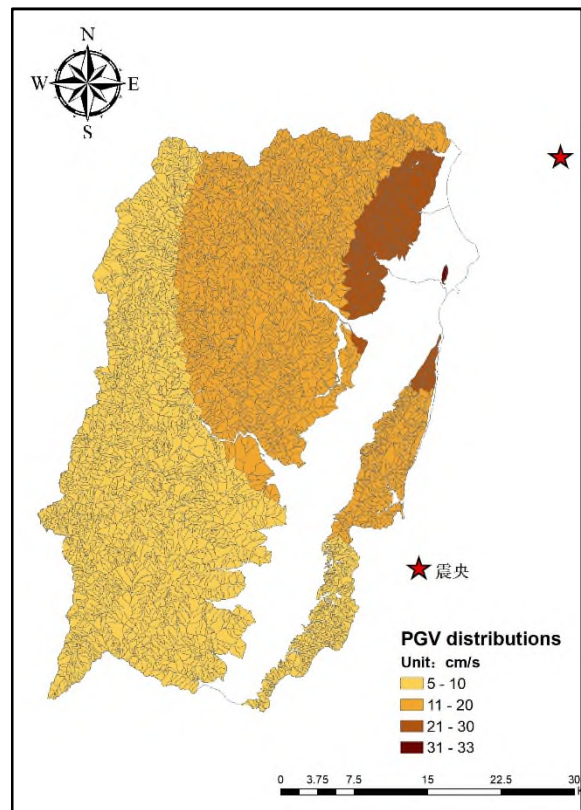


圖 5-9 20180206 花蓮地震事件地表震度 PGV 分布

表 5-1 20180206 花蓮地震事件 ($M_w=6.4$) 坡面崩塌評估

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	美崙溪/美崙溪	302	234	0.046	0.000	0.00 ~ 18.37	0.010	0.000
2	三棧溪/三棧北溪	270	164	0.038	0.000	0.31 ~ 3.87	0.001	<0.001
3	美崙溪/美崙溪上游	261	188	0.034	0.000	0.00 ~ 3.43	0.001	0.000
4	花蓮溪/花蓮溪	284	120	0.047	0.000	0.00 ~ 0.58	0.005	0.000
	合計					0.31 ~ 26.25		

資料來源：本研究整理

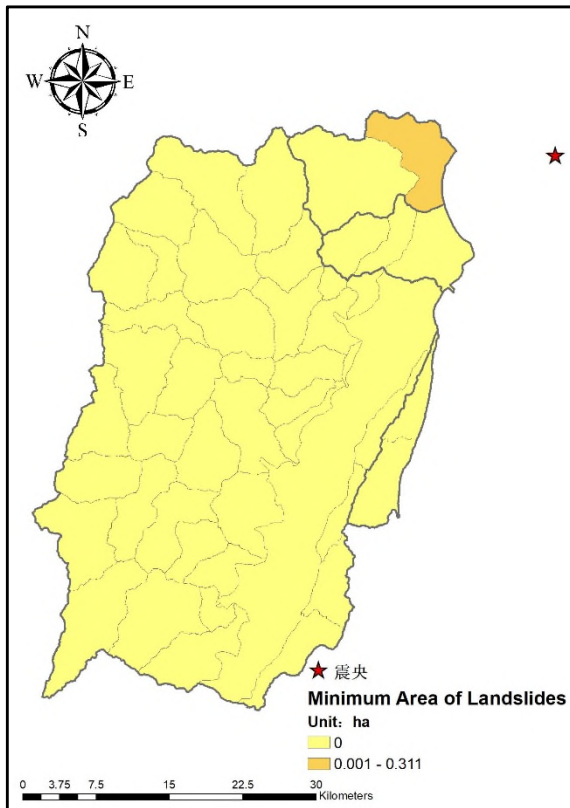


圖 5-10 20180206 花蓮地震事件之集水區最小崩塌量 (PGA)

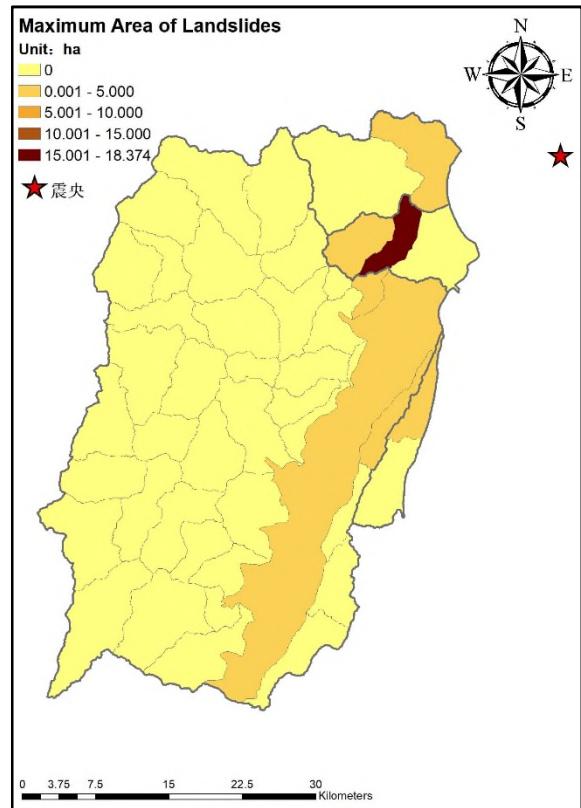


圖 5-11 20180206 花蓮地震事件之集水區最大崩塌量 (PGA)

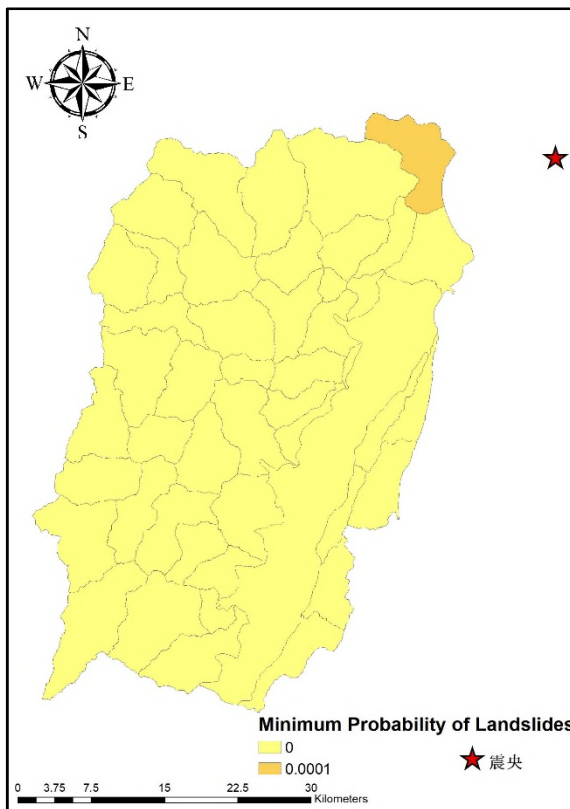


圖 5-12 20180206 花蓮地震事件之集水區最小崩塌率 (PGA)

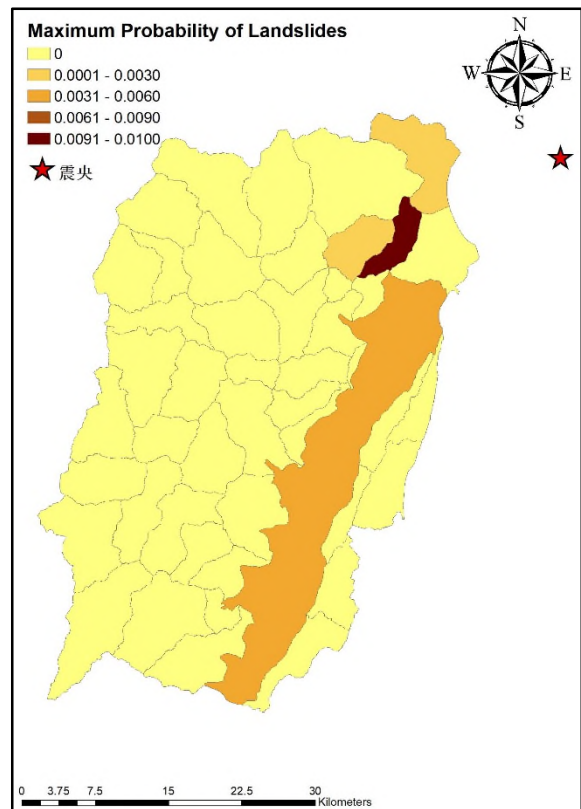


圖 5-13 20180206 花蓮地震事件之集水區最大崩塌率 (PGA)

第四節 20210418 花蓮地震事件

2018 年花蓮地震，主震發生於 2021 年 4 月 18 日 22 時 14 分，其震央位於花蓮縣壽豐鄉，地震規模為 $M_L=6.2$ ，震源深度 14.4 公里，中央氣象局地震報告如圖 5-14 所示。該次主震發生前，同區域內也發生一次較大前震，地震規模為 $M_L=5.8$ ，此次地震是台灣使用新震度分級以來，首次觀測震度達到 6 弱級的地震。

本計畫以中央氣象局地震觀測站實際之 PGA 及 PGV 量測值進行震度空間內插，評估花蓮流域內各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 5-15 和圖 5-16。PGA 最大值為 564.91gal 達到評估門檻。花蓮流域可能崩塌評估分析結果如表 5-2 所示。經評估可能總崩塌面積為 118.65 ~ 2820.01 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：花蓮溪/壽豐溪集水區 (25.81 ~ 378.67 ha，集水區崩塌率 9.0 %)、花蓮溪/鳳林溪集水區 (24.32 ~ 281.19 ha，集水區崩塌率 7.1 %)、花蓮溪/怡堪溪集水區 (17.06 ~ 272.86 ha，集水區崩塌率 7.1 %)、花蓮溪/大觀集水區 (4.47 ~ 158.17 ha，集水區崩塌率 4.0 %) 和花蓮溪/壽豐溪上游集水區 (3.95 ~ 134.14 ha，集水區崩塌率 3.7 %)。集水區崩塌範圍分布如圖 5-17 及圖 5-18 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 5-19 及圖 5-20 所示。

PGV 最大值為 61.70 cm/s 達評估門檻。各河川流域可能崩塌評估分析結果如表 5-3 所示。經評估可能總崩塌面積為 0.00 ~ 13.16 ha，主要發生在花蓮溪/米棧集水區 (0.00 ~ 9.55 ha，集水區崩塌率 0.8 %)和花蓮溪/朝保集水區 (0.00 ~ 3.61 ha，集水區崩塌率 0.2 %)。

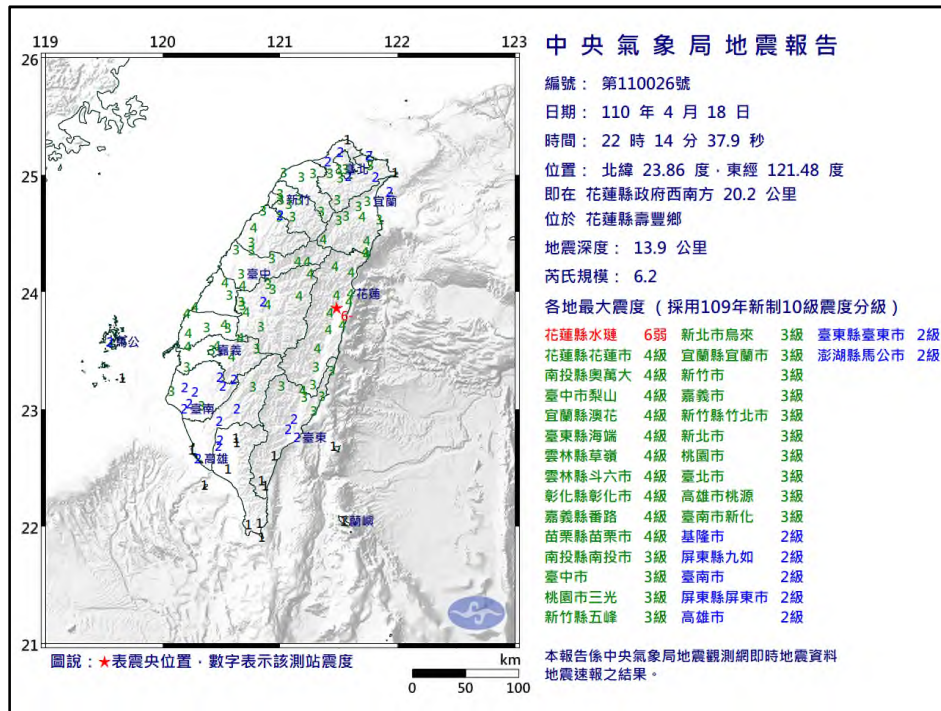


圖 5-14 20210418 花蓮地震中央氣象局地震報告

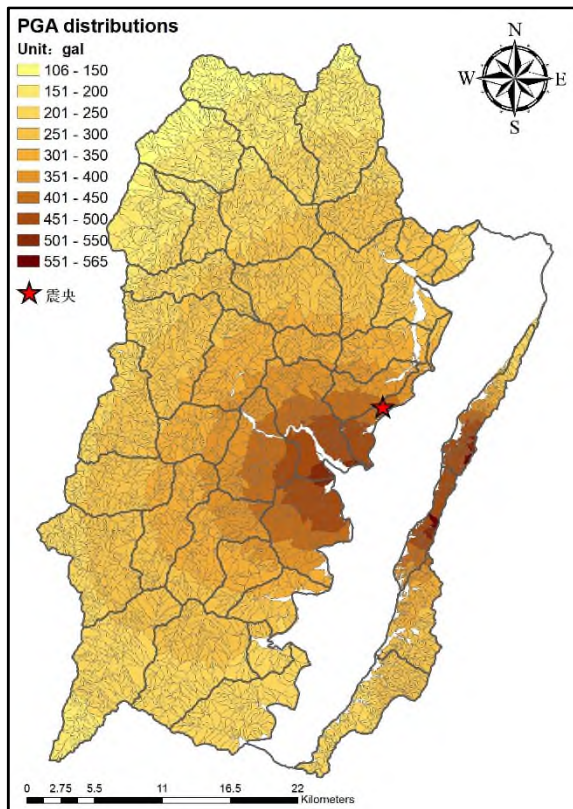


圖 5-15 20210418 花蓮地震事件地表震度 PGA 分布

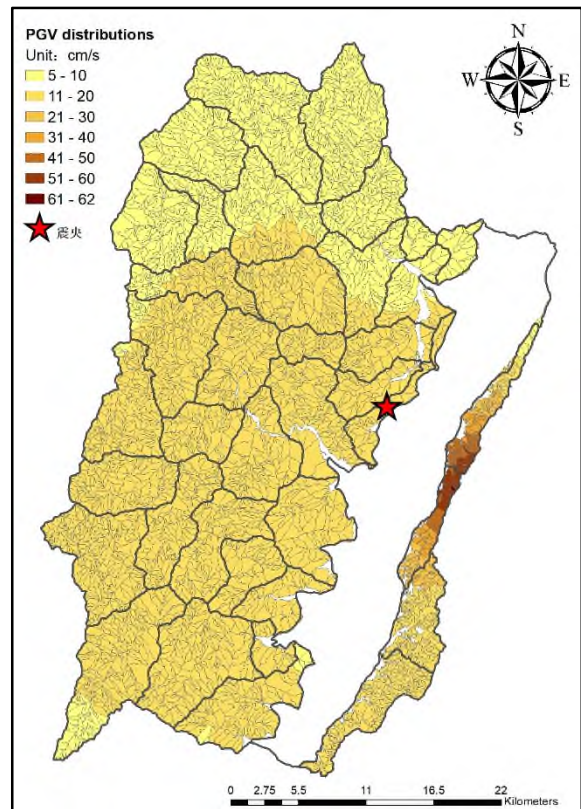


圖 5-16 20210418 花蓮地震事件地表震度 PGV 分布

表 5-2 20210418 花蓮地震事件 ($M_w=6.2$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 RL _{max}	坡面單元 RL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	花蓮溪/壽豐溪	293	216	519	343	25.81 ~ 378.67	0.090	0.006
2	花蓮溪/鳳林溪	283	157	516	327	24.32 ~ 281.19	0.071	0.006
3	花蓮溪/怡堪溪	302	215	467	370	17.06 ~ 272.86	0.071	0.004
4	花蓮溪/大觀	323	234	421	285	4.47 ~ 158.17	0.040	0.001
5	花蓮溪/壽豐溪上游	225	131	365	283	3.95 ~ 134.14	0.037	0.001
6	花蓮溪/米棧	309	194	565	353	8.92 ~ 134.06	0.106	0.007
7	花蓮溪/清水嶺	369	278	369	278	1.62 ~ 120.45	0.034	<0.001
8	花蓮溪/朝保	203	117	563	217	4.87 ~ 115.62	0.065	0.003
9	花蓮溪/白鮑溪	302	192	445	333	7.58 ~ 108.37	0.059	0.004
10	花蓮溪/大安山	232	162	374	297	3.15 ~ 106.68	0.042	0.001
11	花蓮溪/大清水溪	284	205	314	258	1.21 ~ 104.31	0.024	<0.001
12	花蓮溪/壽山	374	297	499	327	7.71 ~ 95.46	0.076	0.006
13	花蓮溪/萬里橋溪	421	285	374	279	3.35 ~ 86.27	0.039	0.002
14	花蓮溪/荖溪	365	283	375	289	2.30 ~ 78.69	0.034	0.001
15	花蓮溪/安來溪	239	204	309	194	0.25 ~ 78.31	0.015	<0.001
16	花蓮溪/銅門	374	279	315	264	0.00 ~ 73.82	0.022	0.000
17	花蓮溪/草山	243	106	323	234	0.24 ~ 69.08	0.020	<0.001
18	花蓮溪/北丹大山	467	370	293	216	0.00 ~ 56.39	0.011	0.000
19	花蓮溪/清昌溪上游	267	220	359	315	0.94 ~ 54.10	0.039	0.001
20	花蓮溪/馬大鞍溪中 游	267	188	284	205	0.00 ~ 45.34	0.008	0.000
21	花蓮溪/安東軍山	339	250	302	215	0.00 ~ 44.67	0.011	0.000
22	花蓮溪/木瓜溪中游	314	258	272	219	0.00 ~ 36.50	0.012	0.000
23	花蓮溪/萬榮	516	327	339	250	0.30 ~ 35.32	0.018	<0.001
24	花蓮溪/榕樹	359	315	300	263	0.00 ~ 32.36	0.016	0.000
25	花蓮溪/木瓜溪	519	343	267	188	0.00 ~ 29.56	0.006	0.000
26	花蓮溪/馬大鞍溪上 游	250	124	283	157	0.60 ~ 26.97	0.004	<0.001

表 5-2 20210418 花蓮地震事件 ($M_w=6.2$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 RL _{max}	坡面單元 RL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
27	花蓮溪/大清水溪上游	315	264	302	192	0.00 ~ 19.50	0.007	0.000
28	花蓮溪/翡翠谷	272	219	277	264	0.00 ~ 13.34	0.019	0.000
29	花蓮溪/山興	284	213	420	269	0.00 ~ 12.48	0.005	0.000
30	花蓮溪/阿羅朗	445	333	284	213	0.00 ~ 7.87	0.003	0.000
31	花蓮溪/吉安溪	499	327	266	215	0.00 ~ 5.92	0.006	0.000
32	花蓮溪/馬大鞍溪	375	289	267	220	0.00 ~ 3.53	0.004	0.000
33	花蓮溪/檜溪	420	269	225	131	0.00 ~ 0.00	0.000	0.000
34	花蓮溪/天長溪	300	263	203	117	0.00 ~ 0.00	0.000	0.000
35	花蓮溪/丸田溪	277	264	232	162	0.00 ~ 0.00	0.000	0.000
36	花蓮溪/南清水溪	565	353	239	204	0.00 ~ 0.00	0.000	0.000
37	花蓮溪/龍溪	319	274	243	106	0.00 ~ 0.00	0.000	0.000
38	花蓮溪/巴托魯溪	266	215	250	124	0.00 ~ 0.00	0.000	0.000
39	花蓮溪/鯉魚山	563	217	319	274	0.00 ~ 0.00	0.000	0.000
	合計					118.65 ~ 2820.01		

資料來源：本研究整理

表 5-3 20210418 花蓮地震 ($M_w=6.2$) 坡面崩塌評估 (PGV)

編號	河川/集水區	PGV _{max} (cm/s)	PGV _{min} (cm/s)	坡面單元 RL _{max}	坡面單元 RL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	花蓮溪/米棧	62	22	0.068	0.000	0.00 ~ 9.55	0.008	0.000
2	花蓮溪/朝保	59	9	0.051	0.000	0.00 ~ 3.61	0.002	0.000
	合計					0.00 ~ 13.16		

資料來源：本研究整理

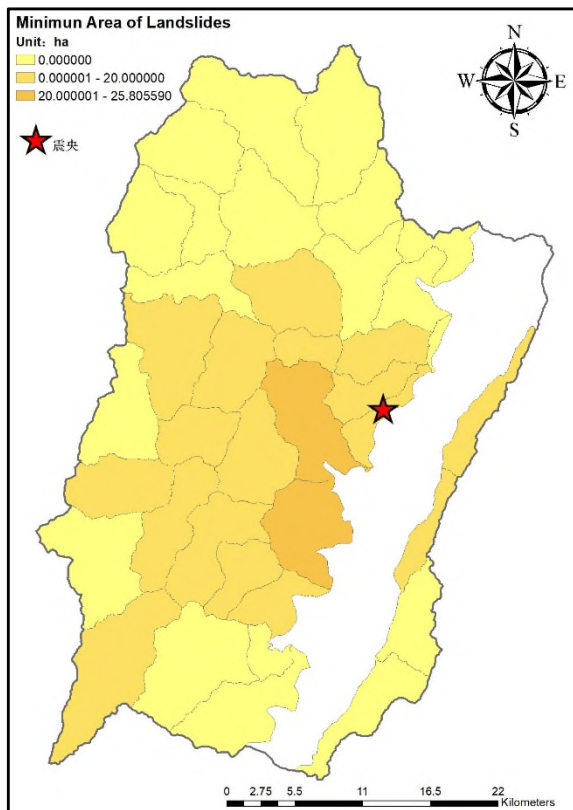


圖 5-17 20210418 花蓮地震事件之集水區最小崩塌量 (PGA)

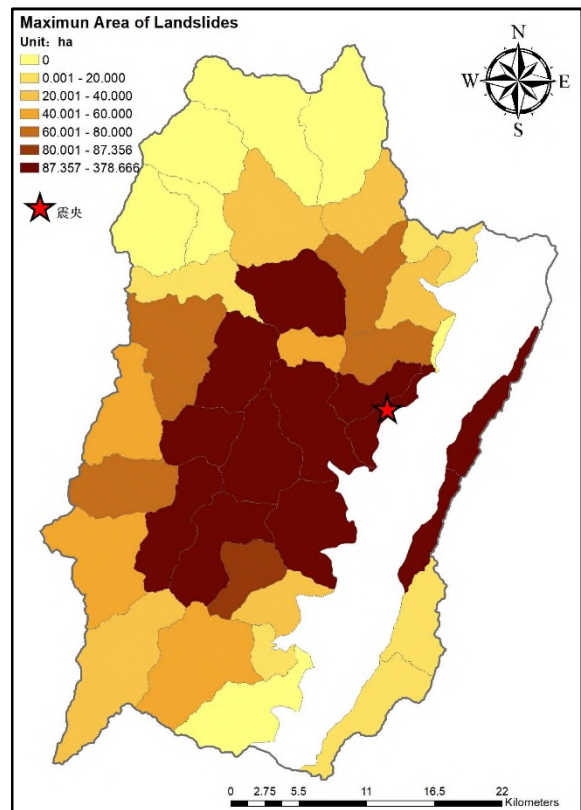


圖 5-18 20210418 花蓮地震事件之集水區最大崩塌量 (PGA)

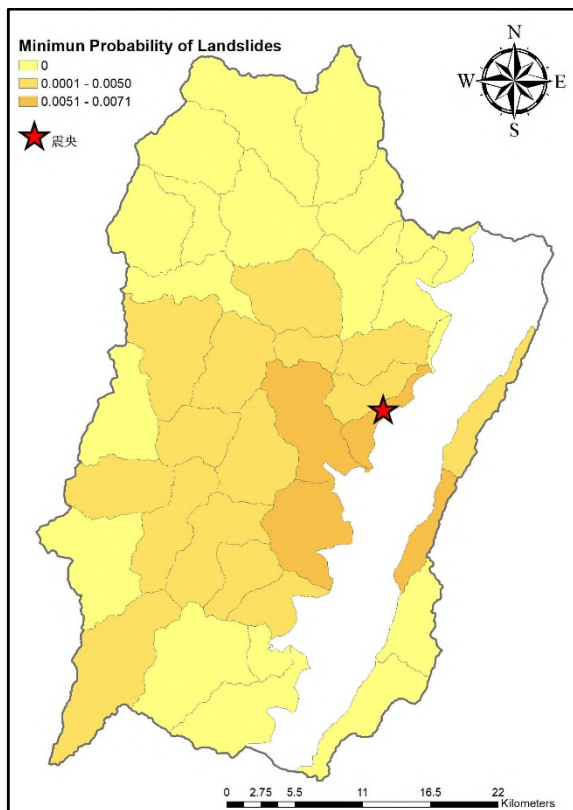


圖 5-19 20210418 花蓮地震事件之集水區最小崩塌率 (PGA)

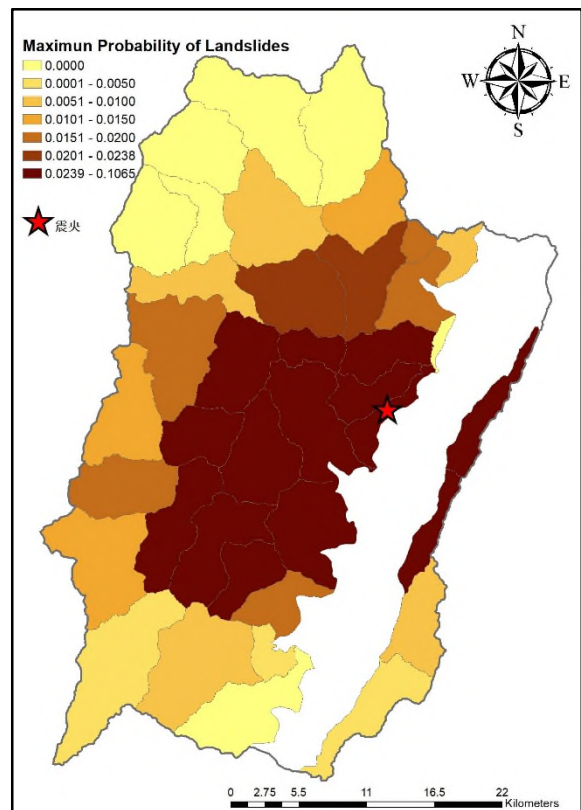


圖 5-20 20210418 花蓮地震事件之集水區最大崩塌率 (PGA)

為驗證坡地崩塌評估模式成效，本計畫針對 20180418 花蓮地震進行花蓮溪流域新增崩塌地判釋，以震度門檻值選定震央鄰近 39 個集水區利用 BigGIS 系統之新增崩塌地判釋功能，評估本次花蓮地震之新增崩塌地如圖 5-21 所示，並進一步計算驗證範圍內各集水區實際崩塌量如圖 5-22 所示。

驗證方式係以集水區實際之崩塌量 ($AL_{ws,true}$) 與集水區崩塌範圍期望值 (AL_{ws}) 進行比對，則有下列三種情形：

1. 若 $AL_{ws,true}$ 小於 AL_{ws} ，則為誤判。
2. 若 $AL_{ws,true}$ 大於 AL_{ws} ，則為漏判。
3. 若 $AL_{ws,true}$ 落於 AL_{ws} 間，則為正判。

計算結果正判為 28 個，正判率為 71.80 %；誤判為 9 個，誤判率為 23.08 %；漏判為 2 個，漏判率為 5.12 %，結果顯示本研究之坡地崩塌評估模式雖趨保守，但正判仍達到 70% 以上，對於可能崩塌範圍已具備可靠度，應用於地震早期評估可作為震後坡地防災應變之參考。

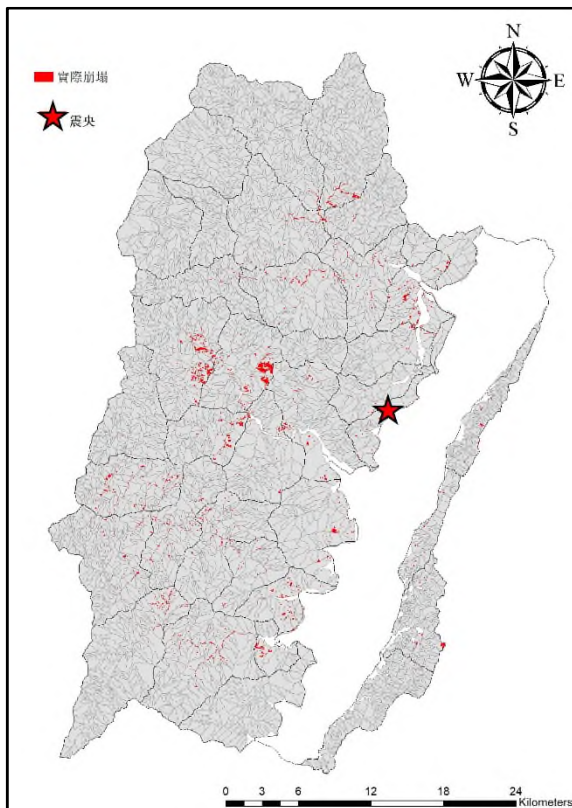


圖 5-21 20210418 花蓮地震事件之新增崩塌地

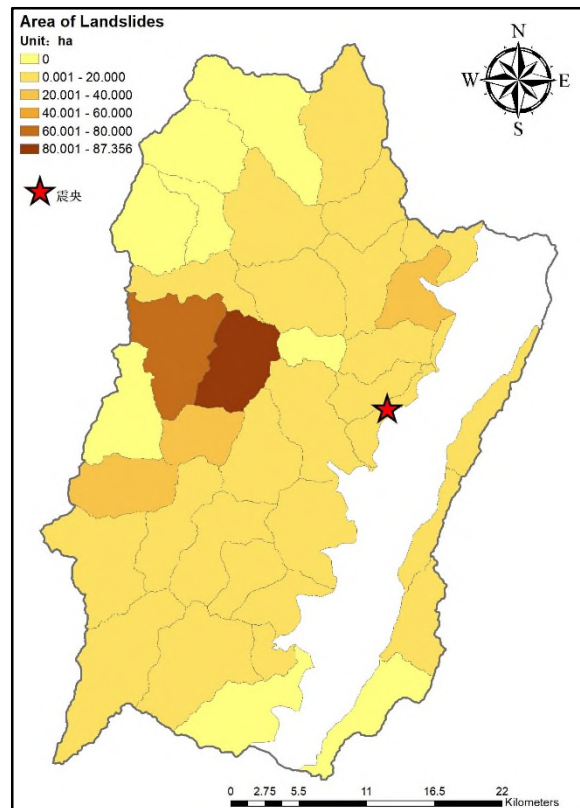


圖 5-22 20210418 花蓮地震事件之集水區實際崩塌量

第六章 不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估

震後坡地崩塌之早期評估係基於系統性的評估方法、模式和資料庫架構，使在震後早期能夠快速地提供有效的崩塌評估資料，可靠地做為減災規劃或緊急應變之參考依據，而災前預先建置適當的情境模擬資料庫是必要的方式，亦可加速地震早期評估工作的進行。本章基於建置完成之區域型坡地崩塌評估基礎資料庫，針對不同情境條件模擬震後坡地崩塌之影響程度。

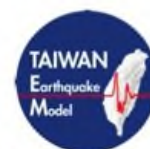
第一節 特定斷層之地震引致崩塌分析

特定活斷層之地震引致崩塌風險，可利用未來 50 年特定活斷層發震機率設定其震源參數，再以此震源參數推估之地表振動強度分布，所得結果結合各類坡地易損性曲線計算地震引致崩塌機率，再計算未來 50 年特定活斷層之地震引致崩塌損失。台灣地震模型 (TEM) 中未來 50 年台灣孕震構造發震機率，如圖 6-1 所示，係針對全台 38 條重要活斷層可能發生之最大規模與其發生機率進行分析，評估未來 50 年全台發生規模大於 6.5、6.7 和 7.0 的機率，分別是 97%、94%和 55%。在這樣的條件下，進一步估計 38 條活斷層可能最大規模與其發生機率，顯示不同斷層的孕震特性及發震可能性，作為地震防護規模選定的參考。

本研究根據各分區 TEM 地震危害度分析成果，針對北中南東不同震源參數進行情境模擬，分別設定三個不同規模情境之地震資料庫（總計 12 個模擬資料庫），並進行地震誘發崩塌分析，包括震度推估、崩塌機率、可能崩塌範圍等。特定斷層之地震引致崩塌風險分析流程如圖 6-2 所示，分析過程首先利用未來 50 年台灣孕震構造發震機率選定情境斷層，參考 TEM 最大可能地震和規模，再以此震源參數推估研究地區坡面單元之地表振動強度 (PGV 和 PGA)，所得結果代入各類坡地易損性曲線 $F(x)$ 進行坡面單元之地震引致崩塌機率分析，並進一步計算各坡面單元可能崩塌面積(AL_{su})。



紅色標示各孕震構造可能發生之最大規模與其發震機率。
此計算參考台灣地震模型所提供之孕震構造參數。
孕震構造13,15,16,17,20,22,24,32,33採用布朗過程時間模型(BPT)，其餘孕震構造使用泊松模型(Poisson)估算。



基準日2015年1月1日

資料來源：國立中央大學地震災害鍊風險評估與管理研究中心提供 (2019)

圖 6-1 未來 50 年台灣孕震構造發震機率

本研究根據未來 50 年台灣孕震構造發震機率圖，參考本研究各分區中各斷層可能最大規模與其發生機率，針對北中南東分別選定三個不同斷層

之規模情境進行地震引致崩塌模擬評估，並進行特定斷層發震時全台坡面單元崩塌機率及各集水區崩塌量評估，呈現本模式之成果並作為未來防減災之參考。選定之 12 場事件如所表 6-1 示，模擬評估結果於後節分述之。

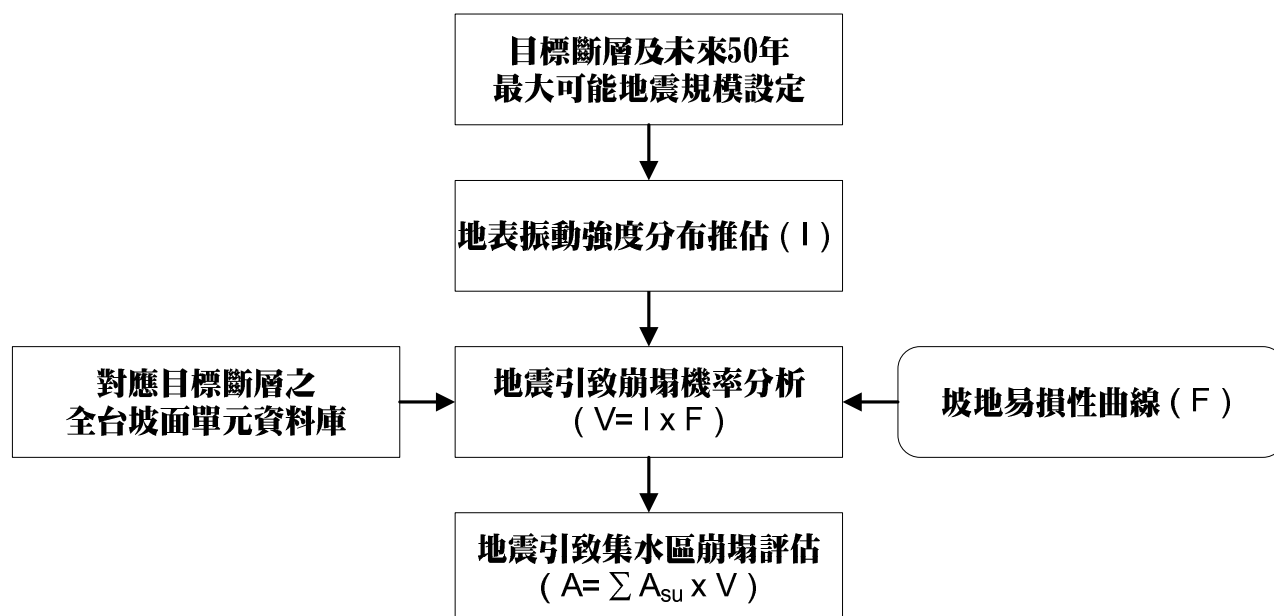


圖 6-2 特定活斷層之地震引致崩塌風險分析流程

表 6-1 本計畫 12 場模擬情境

區域	編號	斷層	規模	發生機率
北部	CGS01-70	山腳斷層	$M_w=7.0$	7 %
北部	CGS02-68	湖口斷層	$M_w=6.8$	5 %
北部	CGS04-66	新城斷層	$M_w=6.6$	9 %
中部	CGS10-76	彰化斷層	$M_w=7.6$	6 %
中部	CGS11-76	車籠埔斷層	$M_w=7.6$	1 %
中部	CGS12-70	大茅埔-雙冬斷層	$M_w=7.0$	7 %
南部	CGS13-69	九芎坑斷層	$M_w=6.9$	23 %
南部	CGS24-70	潮州斷層	$M_w=7.0$	6 %
南部	TEM22-68	木屐寮-六甲斷層	$M_w=6.8$	32 %
東部	CGS26-64	米崙斷層	$M_w=6.4$	42 %
東部	CGS32-62	鹿野斷層	$M_w=6.2$	37 %
東部	TEM33-75	花東縱谷斷層	$M_w=7.5$	17 %

資料來源：本研究整理，斷層編號分別依據中央地調所 (CGS) 和 TEM 之斷層帶編號。

第二節 編號 CGS01-70 山腳斷層情境

以北部山腳斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。山腳斷層最大可能規模 7.0，未來 50 年發生機率 7 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 分布分別如圖 6-3 和圖 6-4 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-5 和圖 6-6 所示。各河川流域崩塌評估分析包括集水區中坡面單元震度之最大及最小值，集水區中坡面單元崩塌機率之最大及最小值、集水區之可能總崩塌面積估計值範圍及集水區中可能崩塌率之最大及最小值。

以 PGA 為因子之評估結果如表 6-2 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 17.32 ~ 1156.67 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：磺溪/重光集水區 (2.19 ~ 144.71 ha，集水區最大崩塌率 3.3 %)、淡水河/口坑溪集水區 (1.10 ~ 88.50 ha，集水區最大崩塌率 2.3 %)、淡水河/關渡集水區 (1.10 ~ 77.93 ha，集水區最大崩塌率 2.2 %)、淡水河/鶯歌溪集水區 (0.50 ~ 62.31 ha，集水區最大崩塌率 2.3 %)、淡水河/青源山集水區 (0.00 ~ 56.40 ha，集水區最大崩塌率 2.5 %)，表中可見淡水河為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-7 及圖 6-8 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-9 及圖 6-10 所示。

以 PGV 為因子之評估結果如表 6-3 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.00 ~ 60.66 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：磺溪/重光集水區 (0.00 ~ 15.42 ha，集水區最大崩塌率 0.4 %)、大屯溪/大屯溪集水區 (0.00 ~ 9.19 ha，集水區最大崩塌率 0.3 %)、八連溪/八連溪集水區 (0.00 ~ 8.89 ha，集水區最大崩塌率 0.6 %)、林子溪/社厝坑圳集水區 (0.00 ~ 7.16 ha，集水區最大崩塌率 0.3 %)、淡水河/關渡集水區 (0.00 ~ 5.71 ha，集水區最大崩塌率 0.2 %)。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-11 及圖 6-12 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-13 及圖 6-14 所示。

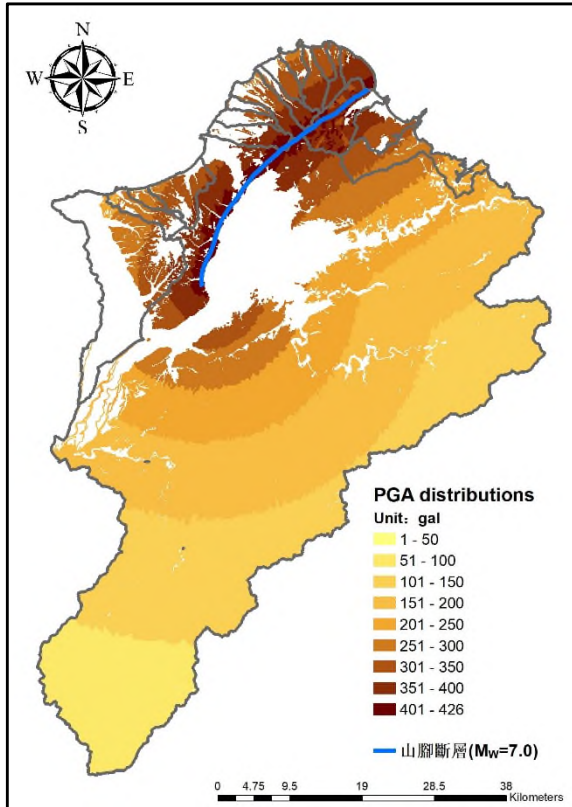


圖 6-3 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGA 分布

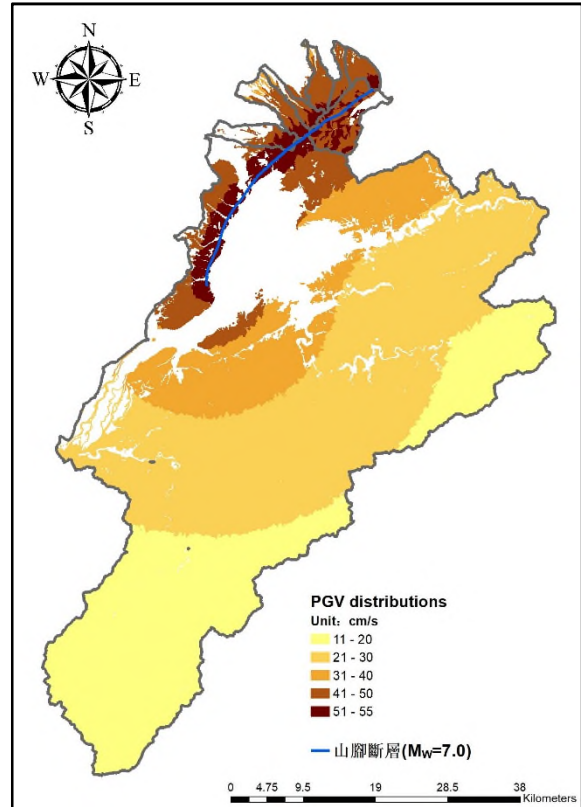


圖 6-4 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGV 分布

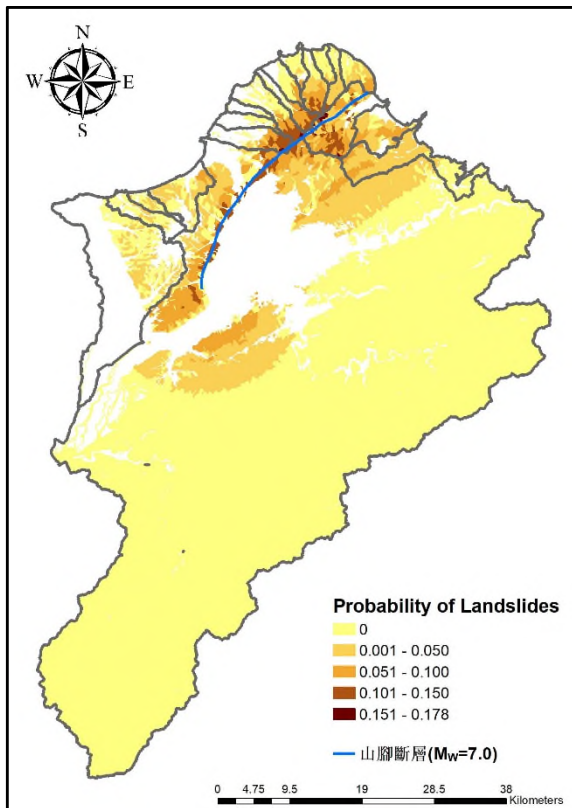


圖 6-5 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

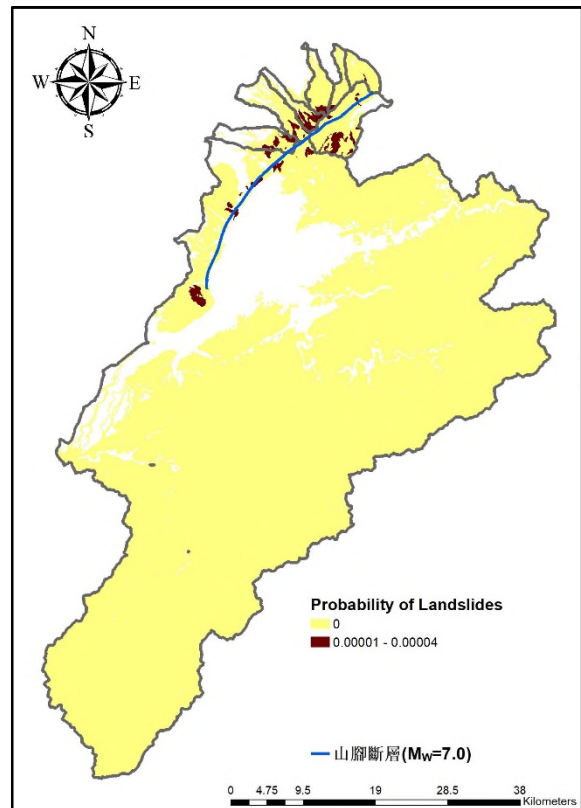


圖 6-6 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-2 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	磺溪/重光	426	343	0.178	0.000	2.19 ~ 144.71	0.033	0.001
2	淡水河/口坑溪	425	351	0.147	0.000	1.10 ~ 88.50	0.023	<0.001
3	淡水河/關渡	425	351	0.135	0.000	1.10 ~ 77.93	0.022	<0.001
4	淡水河/鶯歌溪	398	267	0.107	0.000	0.50 ~ 62.31	0.023	<0.001
5	淡水河/青源山	333	273	0.069	0.000	0.00 ~ 56.40	0.025	0.000
6	淡水河/觀音山	425	339	0.147	0.000	2.07 ~ 53.78	0.016	0.001
7	瑪鍊溪/瑪鍊溪	346	277	0.081	0.000	0.00 ~ 52.88	0.014	0.000
8	林子溪/社厝坑圳	425	307	0.171	0.000	2.75 ~ 51.80	0.021	0.001
9	淡水河/橫溪	312	232	0.058	0.000	0.00 ~ 49.59	0.015	0.000
10	淡水河/烘內	291	223	0.046	0.000	0.00 ~ 48.40	0.011	0.000
11	淡水河/天母	419	315	0.119	0.000	1.41 ~ 45.59	0.018	0.001
12	淡水河/外雙溪	371	286	0.095	0.000	0.00 ~ 44.64	0.013	0.000
13	大屯溪/大屯溪	422	285	0.157	0.000	2.05 ~ 43.73	0.015	0.001
14	八蓮溪/八連溪	419	293	0.140	0.000	1.93 ~ 42.44	0.028	0.001
15	老梅溪/老大溪	398	283	0.132	0.000	0.00 ~ 40.90	0.021	0.000
16	員潭溪/萬里磺溪	389	310	0.084	0.000	0.78 ~ 34.77	0.011	<0.001
17	淡水河/豬肚山	299	238	0.055	0.000	0.00 ~ 30.84	0.014	0.000
18	淡水河/安坑	300	234	0.055	0.000	0.00 ~ 28.82	0.015	0.000
19	淡水河/三峽溪	294	235	0.048	0.000	0.00 ~ 28.33	0.009	0.000
20	淡水河/碧山	303	239	0.051	0.000	0.00 ~ 27.76	0.010	0.000
	全台合計					17.32 ~ 1156.67		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

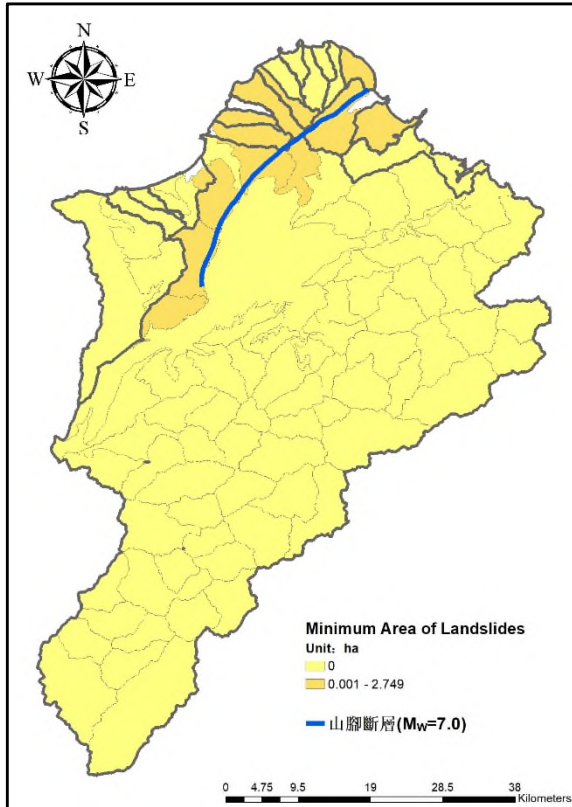


圖 6-7 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

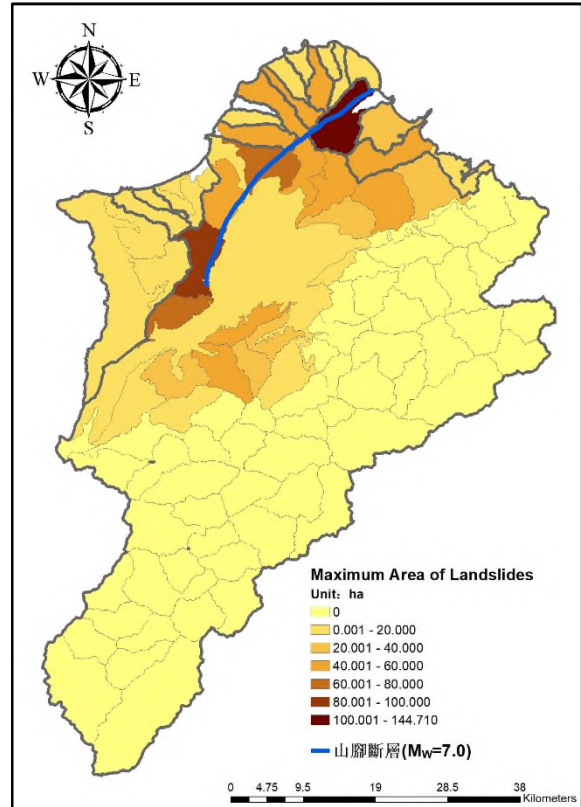


圖 6-8 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

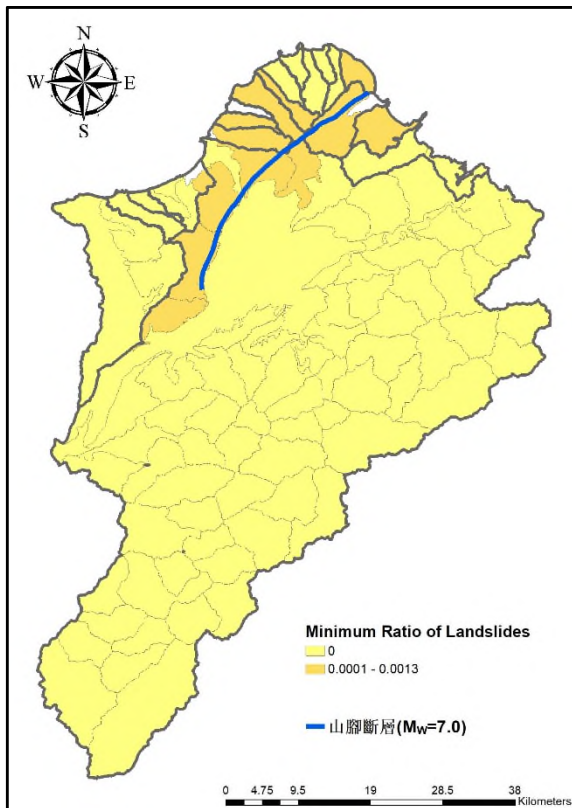


圖 6-9 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

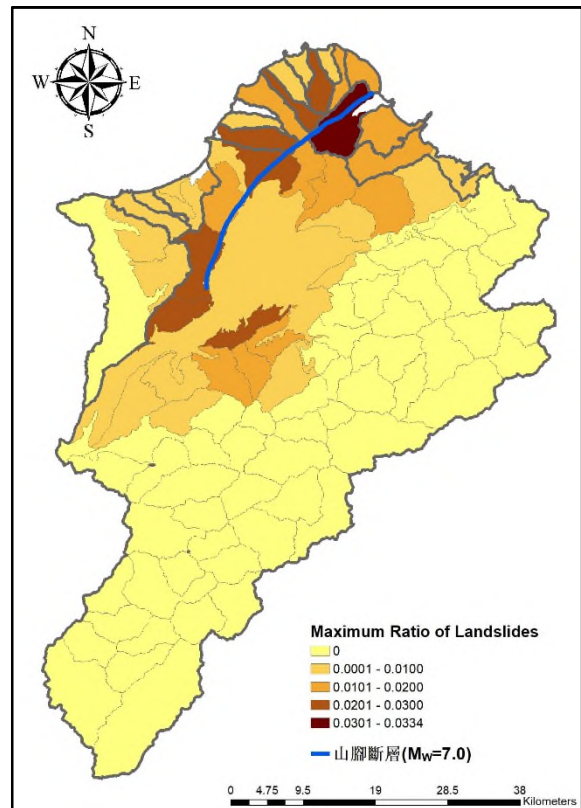


圖 6-10 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

表 6-3 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGV)

編號	河川/集水區	PGV _{max} (cm/s)	PGV _{min} (cm/s)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	磺溪/重光	55	45	0.061	0.000	0.00 ~ 15.42	0.004	0.000
2	大屯溪/大屯溪	54	38	0.046	0.000	0.00 ~ 9.19	0.003	0.000
3	八蓮溪/八連溪	54	39	0.039	0.000	0.00 ~ 8.89	0.006	0.000
4	林子溪/社厝坑圳	55	41	0.039	0.000	0.00 ~ 7.16	0.003	0.000
5	淡水河/關渡	55	46	0.042	0.000	0.00 ~ 5.71	0.002	0.000
6	淡水河/口坑溪	55	46	0.037	0.000	0.00 ~ 4.08	0.001	0.000
7	老梅溪/老大溪	52	38	0.036	0.000	0.00 ~ 2.70	0.001	0.000
8	淡水河/觀音山	55	45	0.037	0.000	0.00 ~ 2.67	0.001	0.000
9	淡水河/鶯歌溪	52	36	0.030	0.000	0.00 ~ 1.62	0.001	0.000
10	淡水河/天母	54	42	0.033	0.000	0.00 ~ 1.61	0.001	0.000
11	乾華溪/阿里磅溪	52	41	0.034	0.000	0.00 ~ 1.12	0.001	0.000
12	小坑溪/小坑溪	54	43	0.027	0.000	0.00 ~ 0.50	<0.001	0.000
	全台合計					0.00 ~ 60.66		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

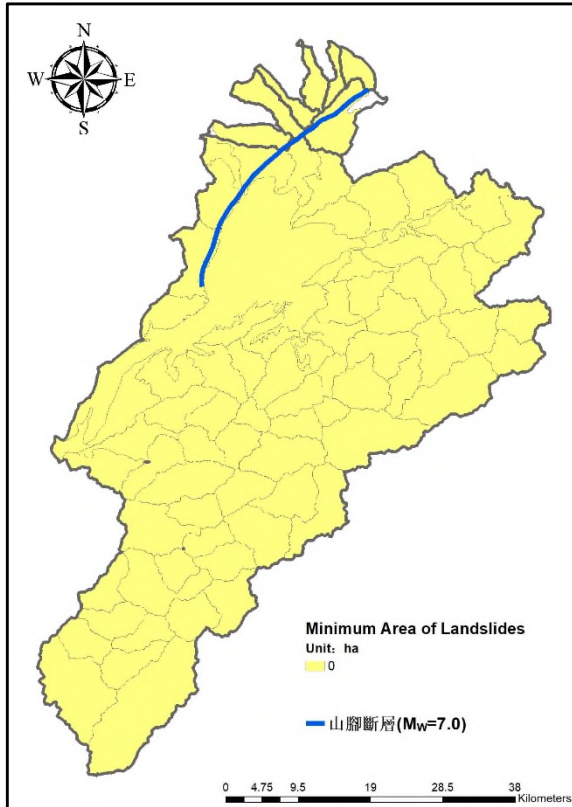


圖 6-11 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)

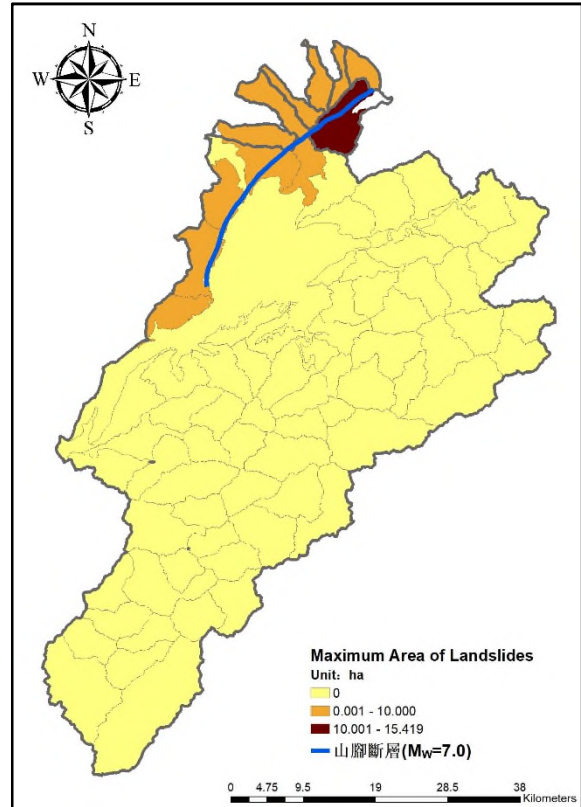


圖 6-12 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)

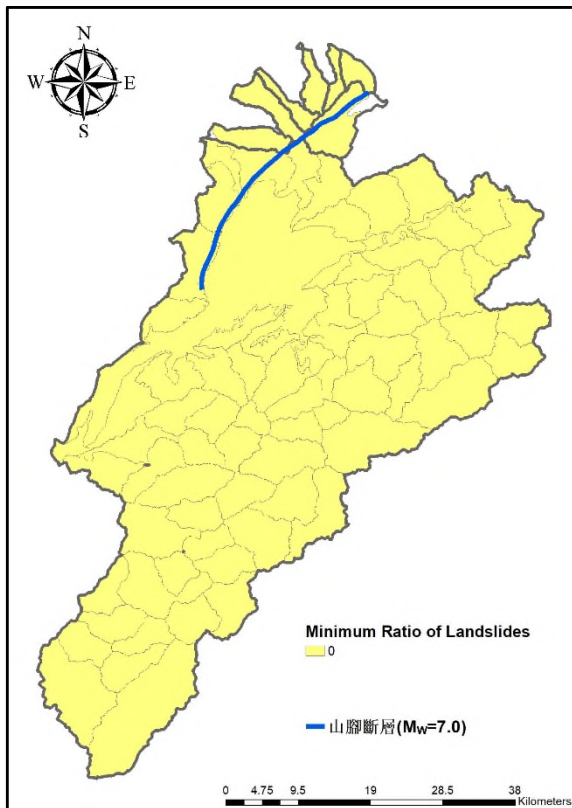


圖 6-13 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)

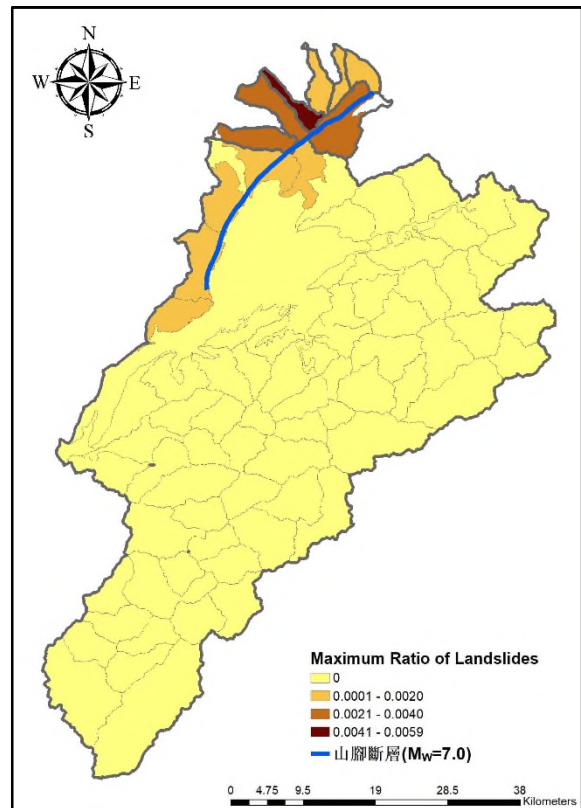


圖 6-14 山腳斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)

第三節 編號 CGS02-68 湖口斷層情境

以北部湖口斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。湖口斷層最大可能規模 6.8，未來 50 年發生機率 5 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-15 和圖 6-16 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-17 和圖 6-18 所示。

以 PGA 為因子之各河川流域可能崩塌評估分析結果如表 6-4 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.00 ~ 30.90 ha，依最大可能崩塌面積排序前五崩塌集水區分別為：淡水河/草嶺溪集水區 (0.00 ~ 20.11 ha，集水區最大崩塌率 0.5 %)、新豐溪/波羅溪集水區 (0.00 ~ 4.45 ha，集水區最大崩塌率 0.3 %)、淡水河/石門集水區 (0.00 ~ 1.73 ha，集水區最大崩塌率 0.1 %)、淡水河/三峽溪集水區 (0.00 ~ 0.63 ha，集水區最大崩塌率 < 0.1 %)、老街溪/大稻埕集水區 (0.00 ~ 0.44 ha，集水區最大崩塌率 < 0.1 %)，表中可見僅 7 個集水區發生崩塌，地震規模不大並未造成嚴重崩塌。集水區崩塌範圍分布如圖 6-19 及圖 6-20 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-21 及圖 6-22 所示。

如圖 6-16 和圖 6-18 所示，以各坡面單元 PGV 之震度皆未超過震級 6 弱，因此未達評估門檻值 ($PGV \geq 50 \text{ cm/s}$)，坡面單元之崩塌機率為零。

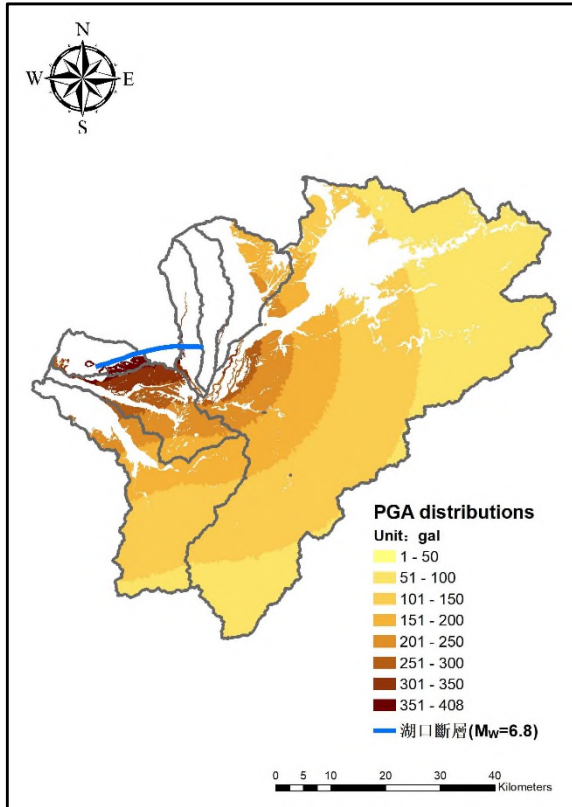


圖 6-15 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGA 分布

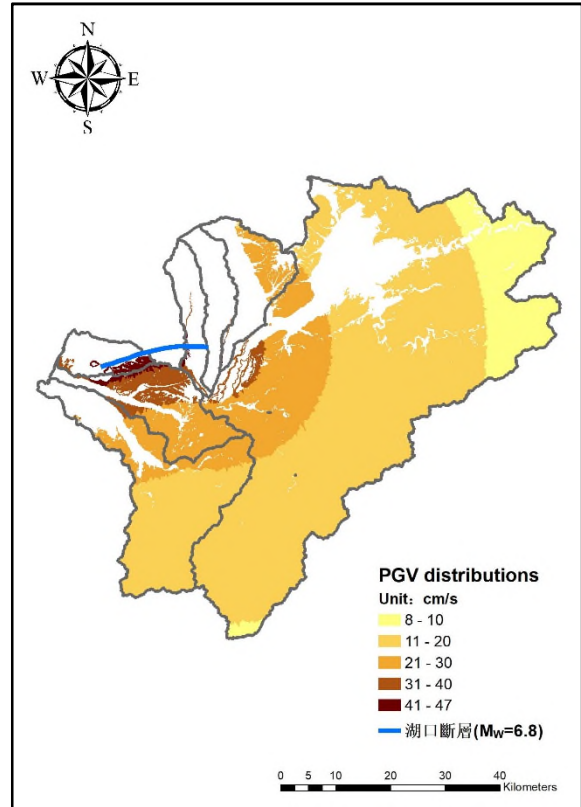


圖 6-16 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGV 分布

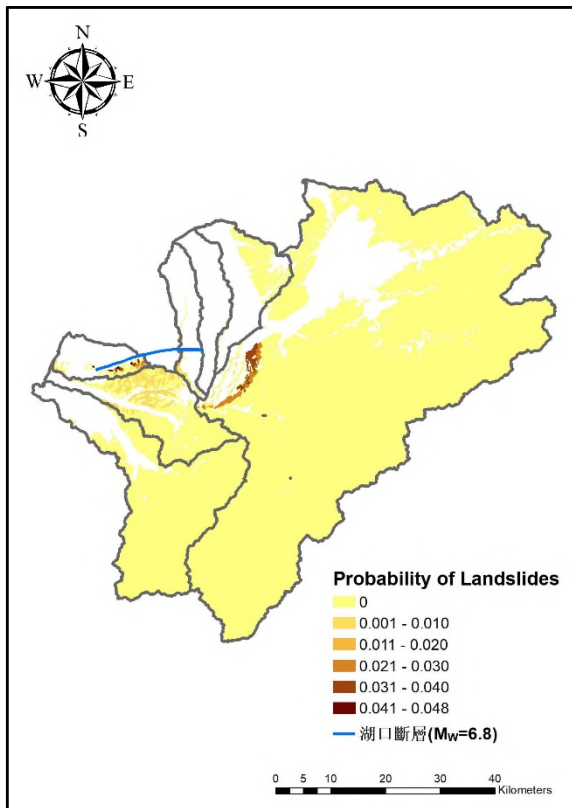


圖 6-17 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

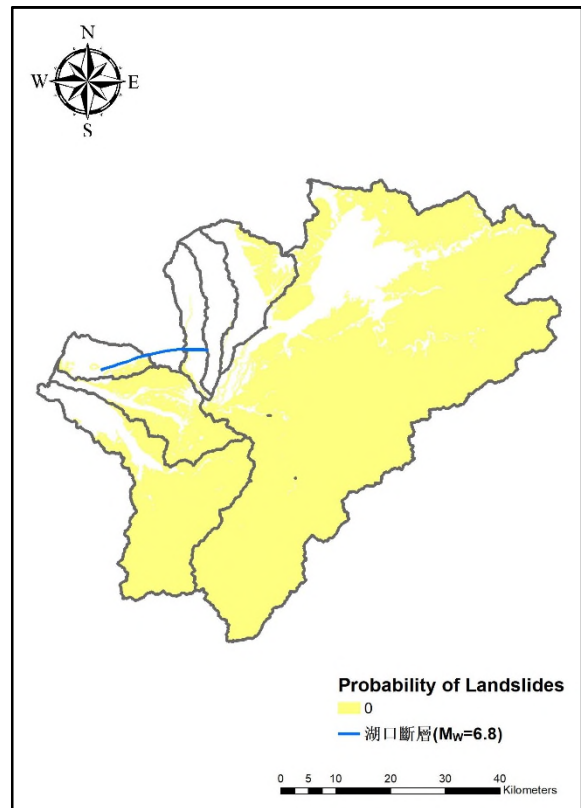


圖 6-18 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-4 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	淡水河/草嶺溪	281	217	0.045	0.000	0.00 ~ 20.11	0.005	0.000
2	新豐溪/波羅溪	394	355	0.048	0.000	0.00 ~ 4.45	0.003	0.000
3	淡水河/石門	301	238	0.029	0.000	0.00 ~ 1.73	0.001	0.000
4	淡水河/三峽溪	260	186	0.031	0.000	0.00 ~ 0.63	<0.001	0.000
5	老街溪/大稻埕	405	272	0.020	0.000	0.00 ~ 0.44	<0.001	0.000
6	鳳山溪/燒炭窩溪	361	300	0.011	0.000	0.00 ~ 0.15	<0.001	0.000
7	鳳山溪/三洽水	361	266	0.015	0.000	0.00 ~ 0.14	<0.001	0.000
	全台合計					0.00 ~ 30.90		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

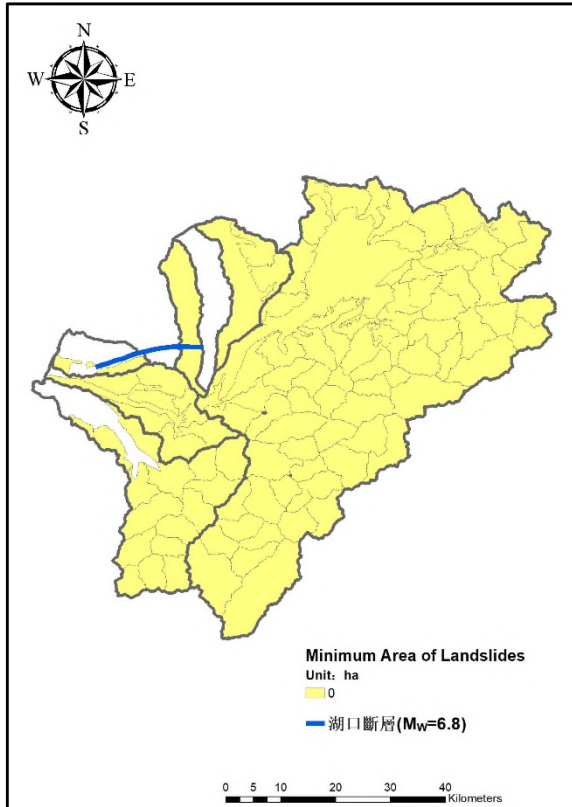


圖 6-19 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

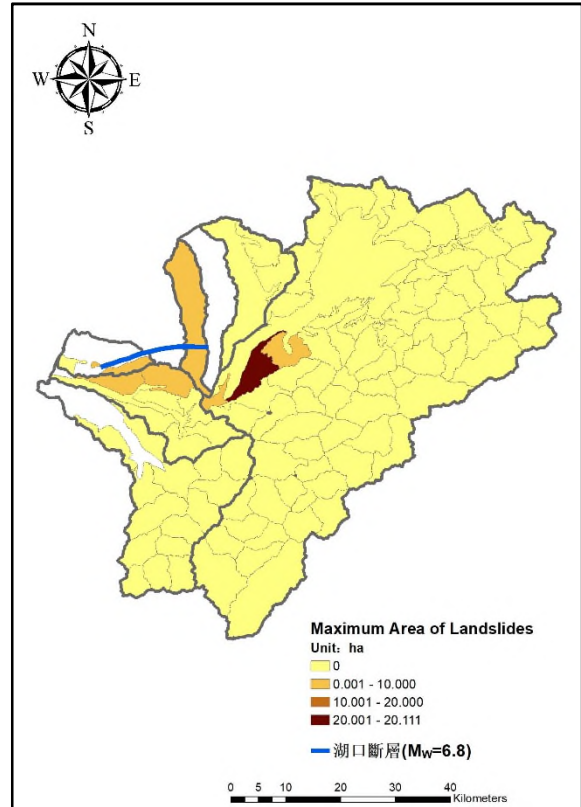


圖 6-20 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

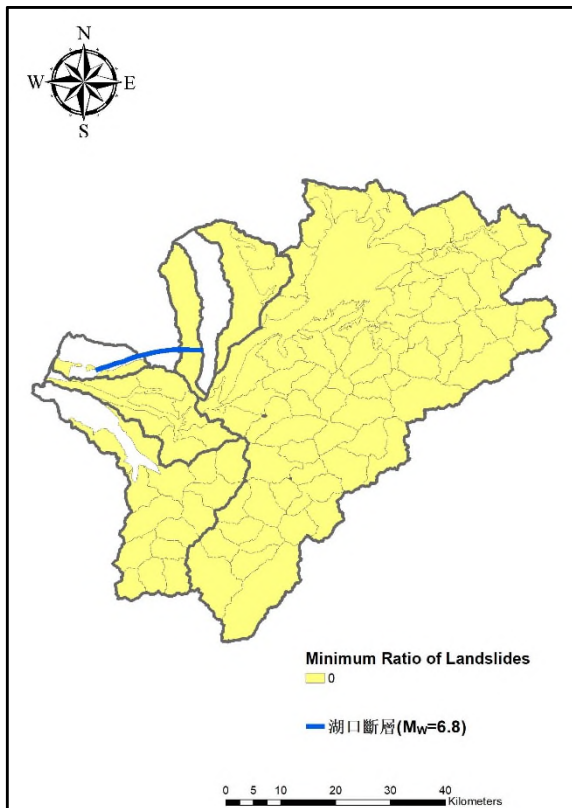


圖 6-21 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

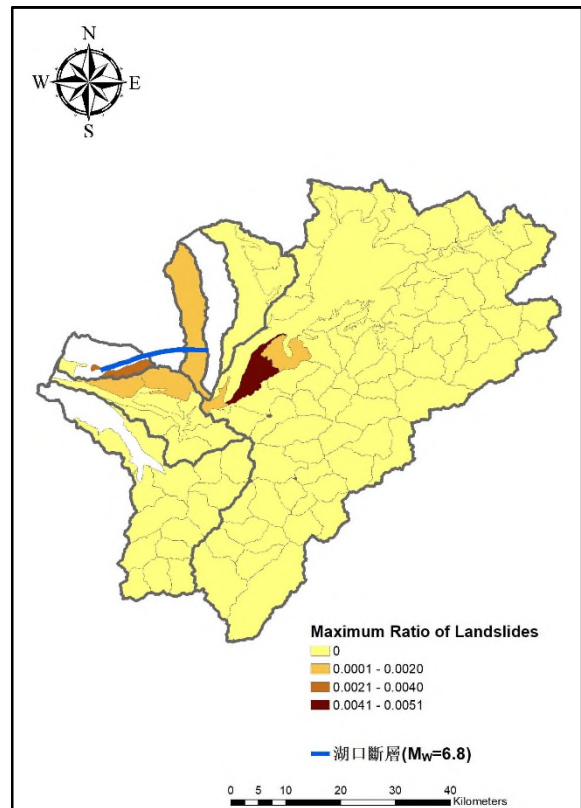


圖 6-22 湖口斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

第四節 編號 CGS04-66 新城斷層情境

以北部新城斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。新城斷層最大可能規模 6.6，未來 50 年發生機率 9 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-23 和圖 6-24 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-25 和圖 6-26 所示。

以 PGA 為因子之各河川流域可能崩塌評估分析結果如表 6-5 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.00 ~ 131.46 ha，依最大可能崩塌面積排序前五崩塌集水區分別為：鳳山溪/新城圳集水區 (0.00 ~ 43.29 ha，集水區最大崩塌率 1.1 %)、鳳山溪/錦山集水區 (0.00 ~ 24.83 ha，集水區最大崩塌率 0.8 %)、鳳山溪/新城溪集水區 (0.00 ~ 21.96 ha，集水區最大崩塌率 0.9 %)、鳳山溪/內立集水區 (0.00 ~ 16.62 ha，集水區最大崩塌率 0.6 %)、頭前溪/那羅溪集水區 (0.00 ~ 8.4 ha，集水區最大崩塌率 0.2 %)，表中可見僅 13 個集水區發生崩塌，鳳山溪為主要崩塌河川。集水區崩塌範圍分布如圖 6-27 及圖 6-28 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-29 及圖 6-30 所示。

如圖 6-24 和圖 6-26 所示，以各坡面單元 PGV 之震度皆未超過震級 6 弱，因此未達評估門檻值 ($PGV \geq 50$ cm/s)，坡面單元之崩塌機率為零。

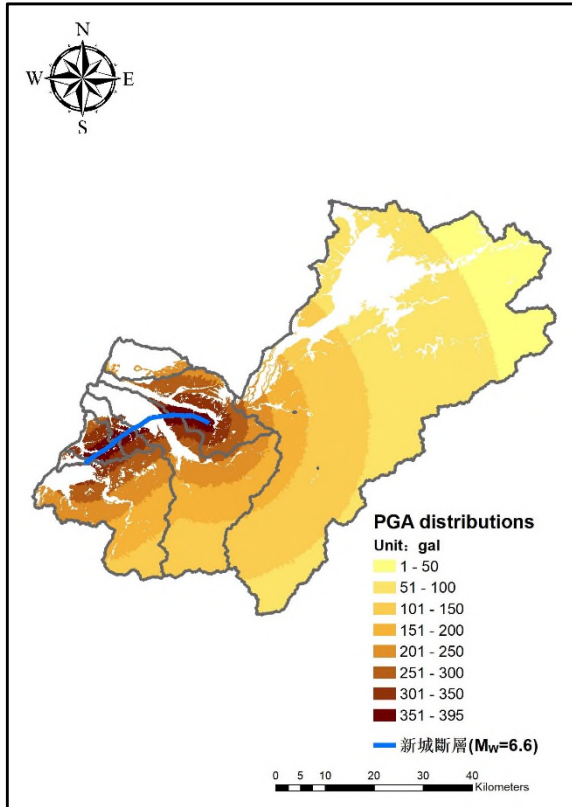


圖 6-23 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之地表震度 PGA 分布

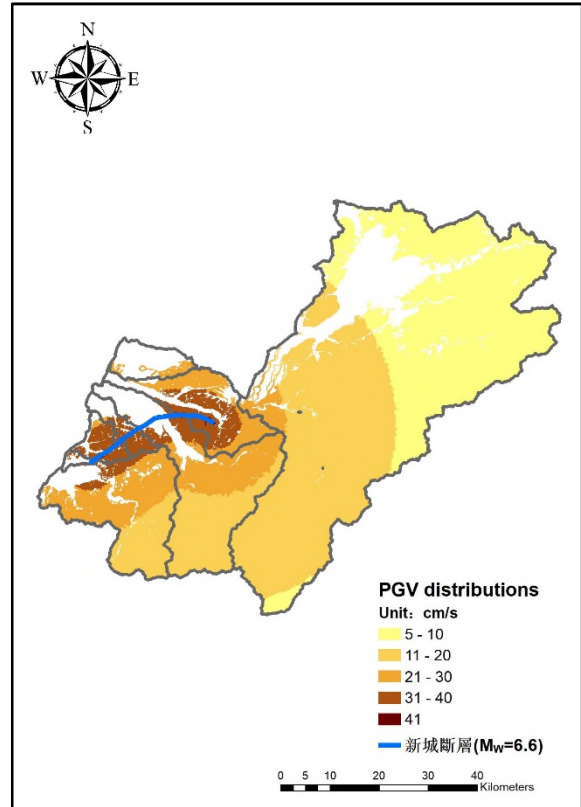


圖 6-24 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之地表震度 PGV 分布

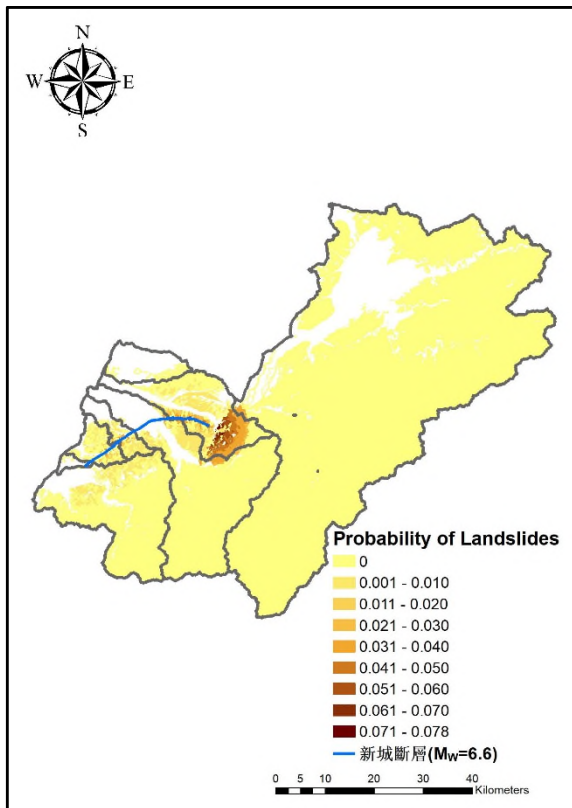


圖 6-25 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

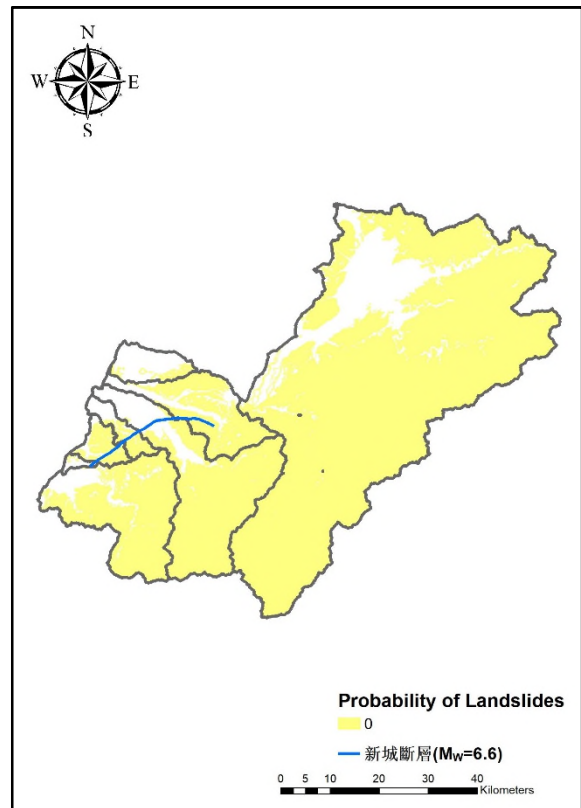


圖 6-26 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-5 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	鳳山溪/新城圳	393	254	0.066	0.000	0.00 ~ 43.29	0.011	0.000
2	鳳山溪/錦山	348	202	0.075	0.000	0.00 ~ 24.83	0.008	0.000
3	鳳山溪/新城溪	350	262	0.074	0.000	0.00 ~ 21.96	0.009	0.000
4	鳳山溪/內立	395	312	0.051	0.000	0.00 ~ 16.62	0.006	0.000
5	頭前溪/那羅溪	274	188	0.036	0.000	0.00 ~ 8.40	0.002	0.000
6	頭前溪/華興	394	264	0.051	0.000	0.00 ~ 3.94	0.001	0.000
7	淡水河/高遠坪	261	171	0.034	0.000	0.00 ~ 2.69	0.001	0.000
8	客雅溪排水/青草湖	395	278	0.053	0.000	0.00 ~ 2.67	0.001	0.000
9	淡水河/石門	276	194	0.040	0.000	0.00 ~ 2.67	0.002	0.000
10	頭前溪/尖石山	256	206	0.029	0.000	0.00 ~ 2.09	0.001	0.000
11	鹽港溪排水/山頂	395	301	0.052	0.000	0.00 ~ 1.73	0.001	0.000
12	鳳山溪/竹北	375	285	0.078	0.000	0.00 ~ 0.24	<0.001	0.000
13	頭前溪/新竹市	376	232	0.015	0.000	0.00 ~ 0.12	<0.001	0.000
	全台合計					0.00 ~ 131.46		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

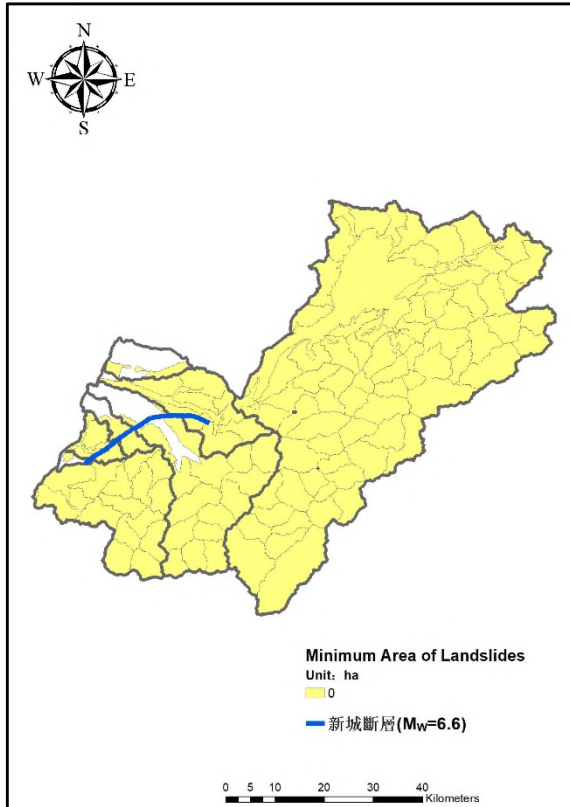


圖 6-27 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

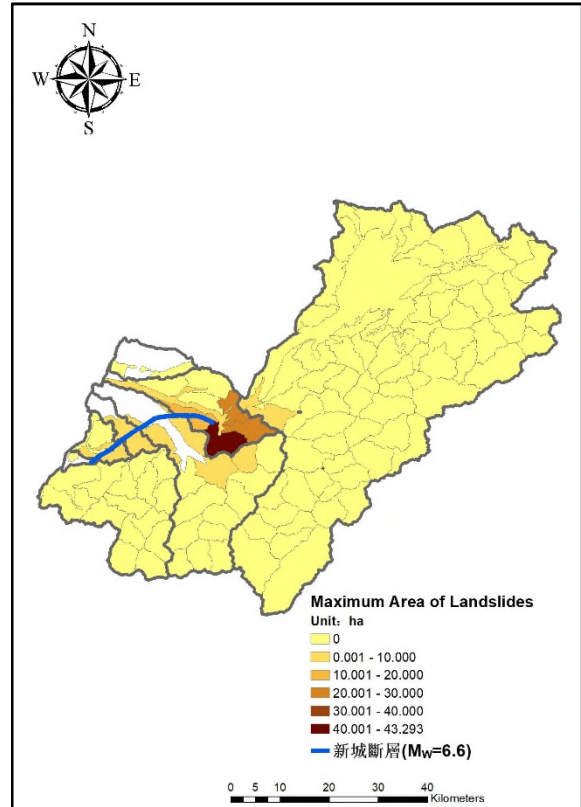


圖 6-28 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

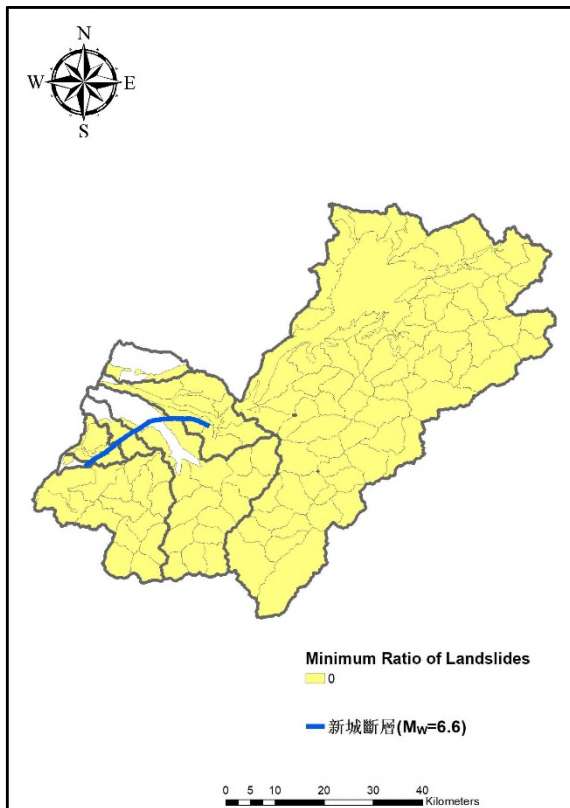


圖 6-29 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

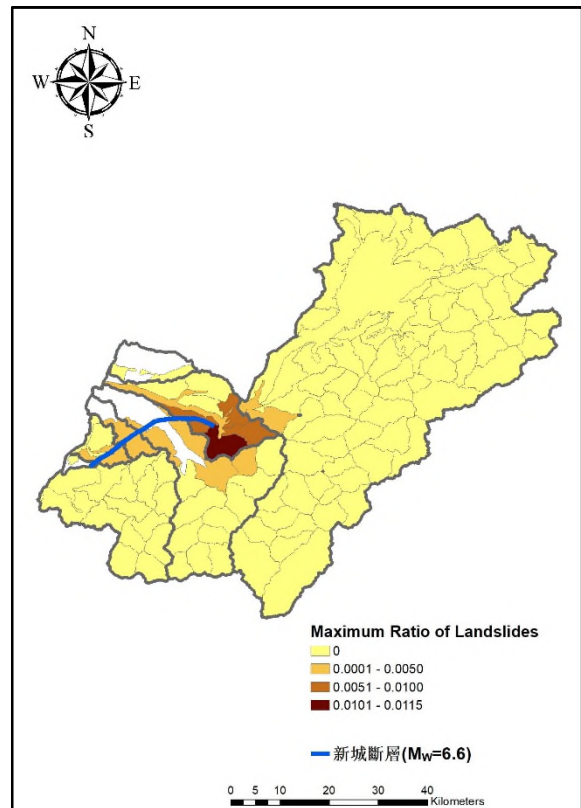


圖 6-30 新城斷層情境 ($M_w=6.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

第五節 編號 CGS10-76 彰化斷層情境

以中部彰化斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。彰化斷層最大可能規模 7.6，未來 50 年發生機率 6 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-31 和圖 6-32 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-33 和圖 6-34 所示。

以 PGA 為因子之評估結果如表 6-6 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 9.12 ~ 1110.70 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：員林大排水/湳雅集水區 (6.70 ~ 253.35 ha，集水區最大崩塌率 6.1 %)、洋仔厝溪/大村集水區 (0.26 ~ 123.39 ha，集水區最大崩塌率 2.7 %)、濁水溪/加走寮溪集水區 (0.00 ~ 101.87 ha，集水區最大崩塌率 2.4 %)、濁水溪/東埔蚋溪集水區 (0.31 ~ 62.60 ha，集水區最大崩塌率 1.4 %)、濁水溪/桶頭集水區 (0.00 ~ 62.52 ha，集水區最大崩塌率 1.6 %)，表中可見濁水溪為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-35 及圖 6-36 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-37 及圖 6-38 所示。

以 PGV 為因子之評估結果如表 6-7 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.00 ~ 1000.03 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：員林大排水/湳雅集水區 (7.09 ~ 259.90 ha，集水區最大崩塌率 6.3 %)、洋仔厝溪/大村集水區 (0.27 ~ 127.30 ha，集水區最大崩塌率 2.8 %)、濁水溪/加走寮溪集水區 (0.00 ~ 89.91 ha，集水區最大崩塌率 2.1 %)、濁水溪/東埔蚋溪集水區 (0.00 ~ 54.78 ha，集水區最大崩塌率 1.3 %)、濁水溪/桶頭集水區 (0.00 ~ 53.47 ha，集水區最大崩塌率 1.4 %)，表中可見濁水溪為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-39 及圖 6-40 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-41 及圖 6-42 所示。

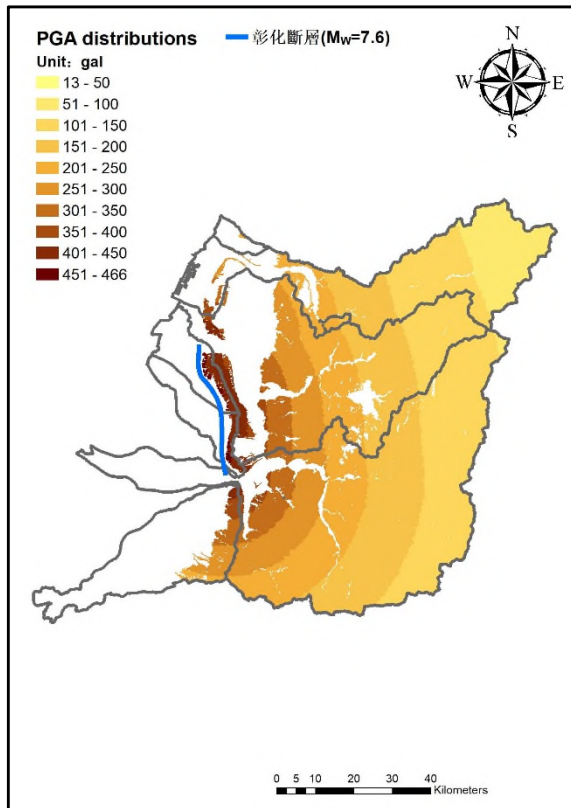


圖 6-31 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGA 分布

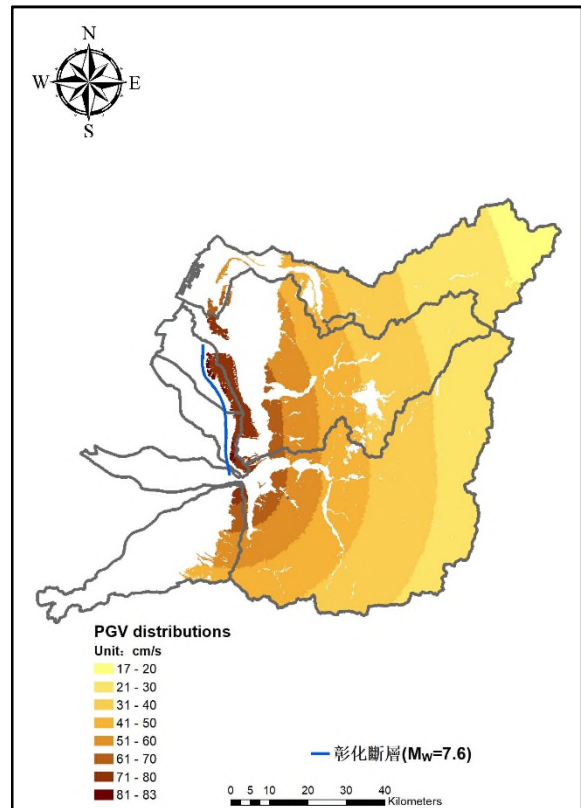


圖 6-32 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGV 分布

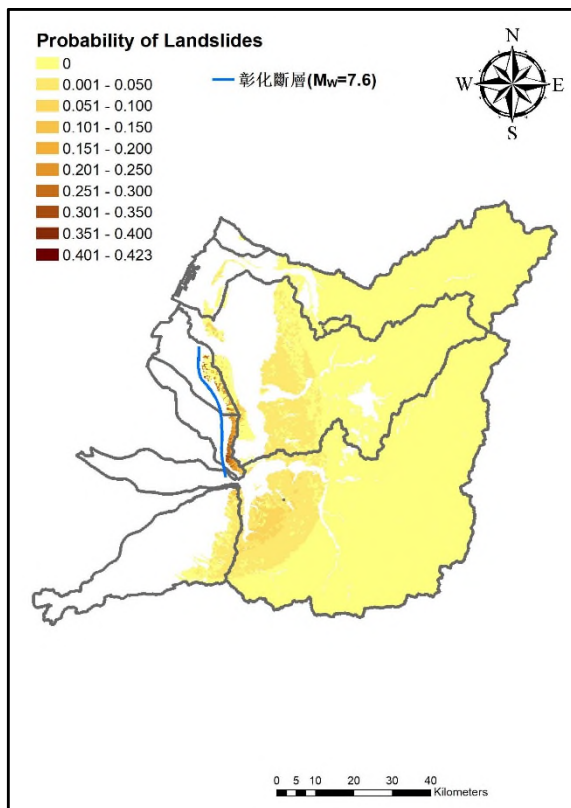


圖 6-33 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

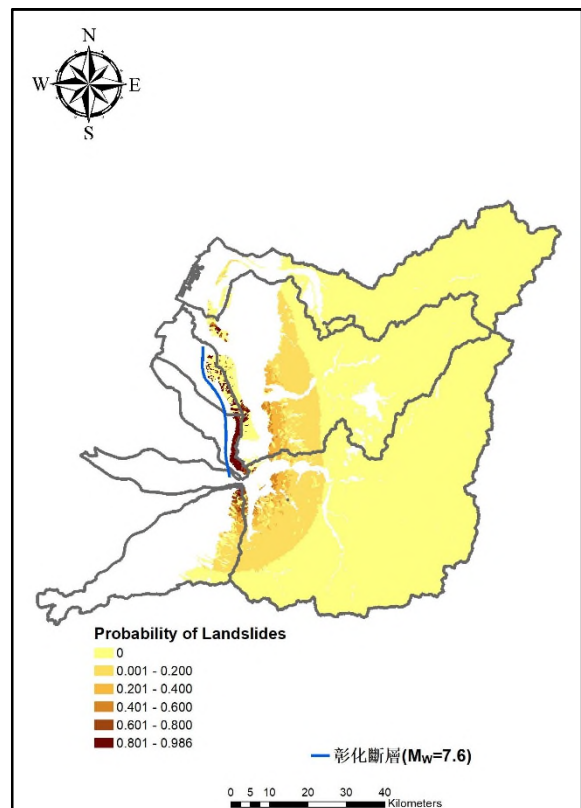


圖 6-34 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-6 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	員林大排水/湳雅	461	418	0.386	0.000	6.70 ~ 253.35	0.061	0.002
2	洋仔厝溪/大村	464	419	0.423	0.000	0.26 ~ 123.39	0.027	<0.001
3	濁水溪/加走寮溪	323	274	0.072	0.000	0.00 ~ 101.87	0.024	0.000
4	濁水溪/東埔蚋溪	352	285	0.085	0.000	0.31 ~ 62.60	0.014	<0.001
5	濁水溪/桶頭	329	275	0.076	0.000	0.00 ~ 62.52	0.016	0.000
6	濁水溪/大坑	371	321	0.111	0.000	0.00 ~ 49.58	0.016	0.000
7	濁水溪/溪頭	326	254	0.073	0.000	0.00 ~ 49.19	0.013	0.000
8	濁水溪/南清水溝 溪上游	295	264	0.052	0.000	0.29 ~ 43.65	0.018	<0.001
9	濁水溪/杉林溪	280	231	0.044	0.000	0.00 ~ 42.20	0.009	0.000
10	烏溪/芬園	432	384	0.174	0.000	0.60 ~ 42.16	0.010	<0.001
11	濁水溪/草嶺	277	230	0.042	0.000	0.42 ~ 32.79	0.008	<0.001
12	濁水溪/石鰻坑	283	259	0.046	0.000	0.00 ~ 31.62	0.014	0.000
13	濁水溪/內茅埔	272	231	0.041	0.000	0.00 ~ 25.74	0.006	0.000
14	北港溪/黃德坑溪	414	290	0.097	0.000	0.00 ~ 19.94	0.004	0.000
15	北港溪/竹尾子	428	411	0.158	0.000	0.24 ~ 18.11	0.006	<0.001
16	烏溪/坎子腳	428	385	0.111	0.000	0.00 ~ 17.80	0.011	0.000
17	烏溪/山茶鍋坑	284	247	0.038	0.000	0.00 ~ 14.92	0.004	0.000
18	濁水溪/南清水溝 溪	360	279	0.059	0.000	0.00 ~ 14.00	0.003	0.000
19	濁水溪/鯉魚尾	420	321	0.156	0.000	0.00 ~ 12.59	0.005	0.000
20	濁水溪/玉峰	290	256	0.046	0.000	0.00 ~ 11.80	0.005	0.000
	全台合計					9.12 ~ 1110.70		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

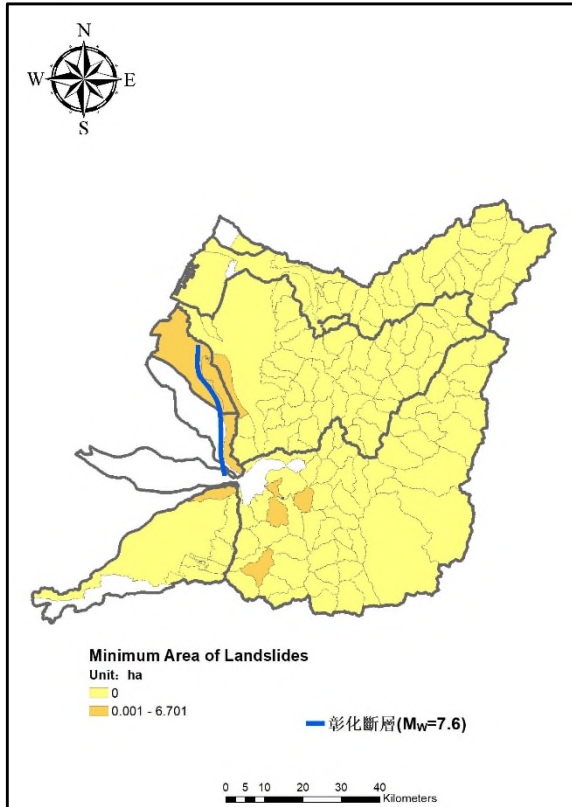


圖 6-35 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

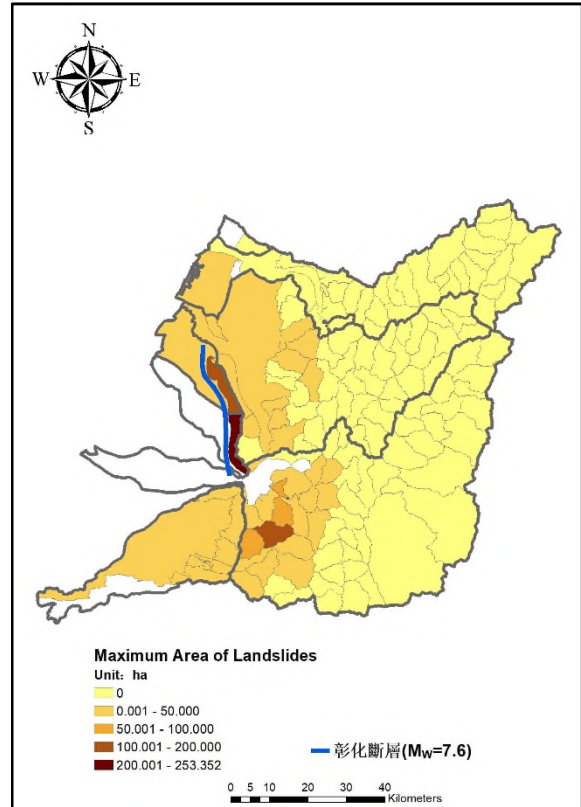


圖 6-36 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

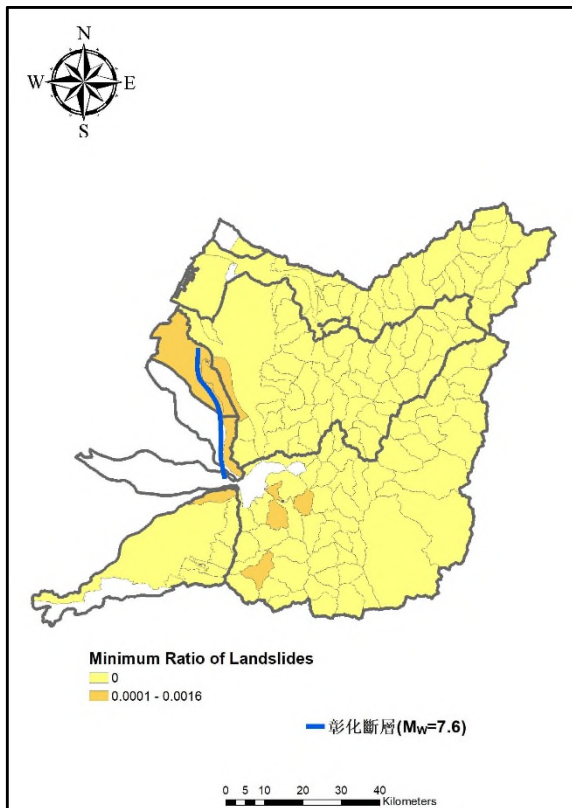


圖 6-37 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

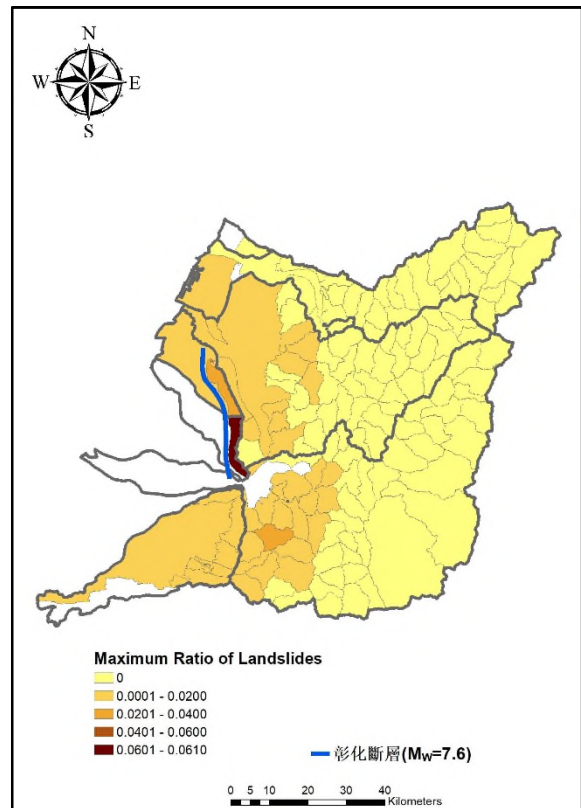


圖 6-38 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

表 6-7 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGV)

編號	河川/集水區	PGV _{max} (cm/s)	PGV _{min} (cm/s)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	員林大排水/湳雅	82	75	0.402	0.000	7.09 ~ 259.90	0.063	0.002
2	洋仔厝溪/大村	83	75	0.437	0.000	0.27 ~ 127.30	0.028	<0.001
3	濁水溪/加走寮溪	60	52	0.087	0.000	0.00 ~ 89.91	0.021	0.000
4	濁水溪/東埔蚶溪	65	54	0.107	0.000	0.00 ~ 54.78	0.013	0.000
5	濁水溪/桶頭	61	53	0.081	0.000	0.00 ~ 53.47	0.014	0.000
6	烏溪/芬園	77	70	0.184	0.000	0.66 ~ 45.48	0.010	<0.001
7	濁水溪/溪頭	61	49	0.095	0.000	0.00 ~ 44.77	0.012	0.000
8	濁水溪/大坑	68	60	0.134	0.000	0.00 ~ 42.08	0.013	0.000
9	濁水溪/南清水溝 溪上游	56	51	0.067	0.000	0.41 ~ 40.47	0.016	<0.001
10	濁水溪/杉林溪	53	45	0.056	0.000	0.00 ~ 30.05	0.007	0.000
11	濁水溪/石鰻坑	54	50	0.056	0.000	0.00 ~ 26.66	0.012	0.000
12	北港溪/黃德坑溪	75	55	0.108	0.000	0.00 ~ 23.70	0.005	0.000
13	濁水溪/草嶺	53	45	0.056	0.000	0.34 ~ 21.79	0.006	<0.001
14	北港溪/竹尾子	77	74	0.168	0.000	0.26 ~ 19.43	0.006	<0.001
15	烏溪/炭子腳	77	70	0.115	0.000	0.00 ~ 19.40	0.012	0.000
16	濁水溪/鯉魚尾	76	60	0.179	0.000	0.00 ~ 14.17	0.005	0.000
17	濁水溪/南清水溝 溪	66	53	0.078	0.000	0.00 ~ 13.74	0.003	0.000
18	洋仔厝溪/彰化沿 海	83	77	0.364	0.000	0.31 ~ 9.95	<0.001	<0.001
19	濁水溪/玉峰	55	49	0.061	0.000	0.00 ~ 9.81	0.004	0.000
20	濁水溪/內茅埔	52	45	0.045	0.000	0.00 ~ 8.38	0.002	0.000
	全台合計					9.32 ~ 1000.03		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

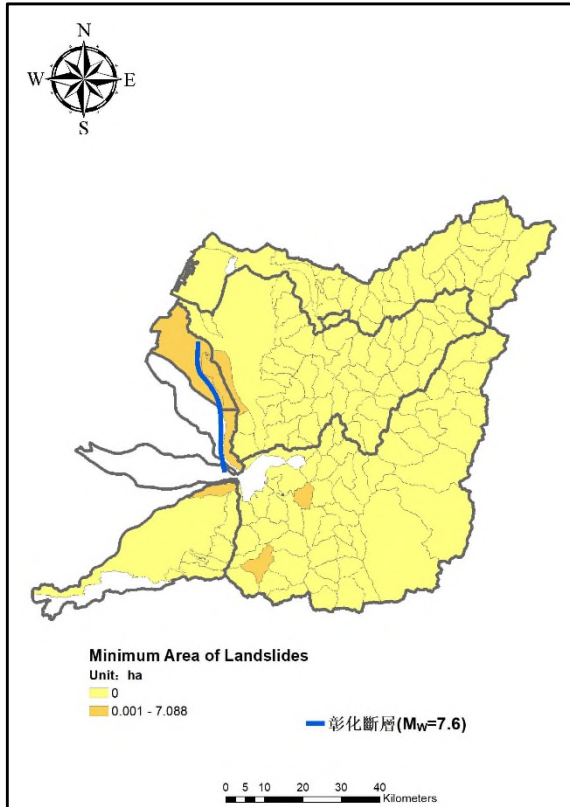


圖 6-39 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)

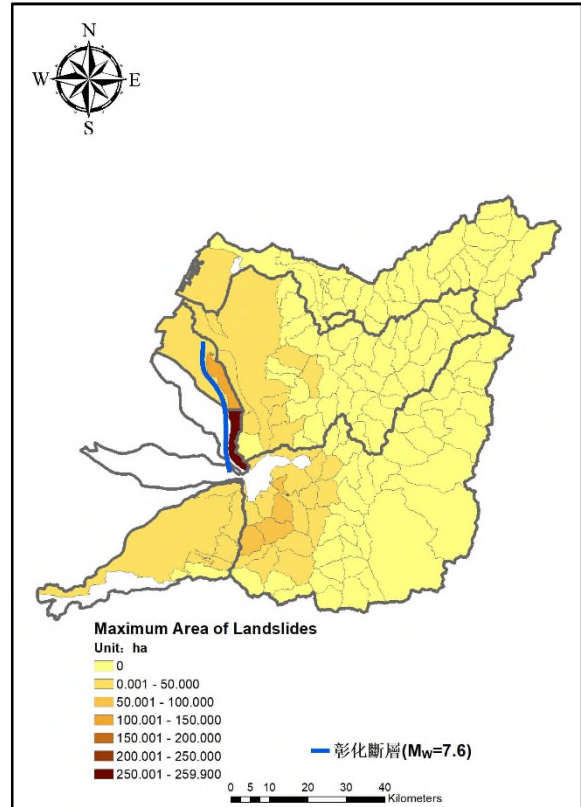


圖 6-40 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)

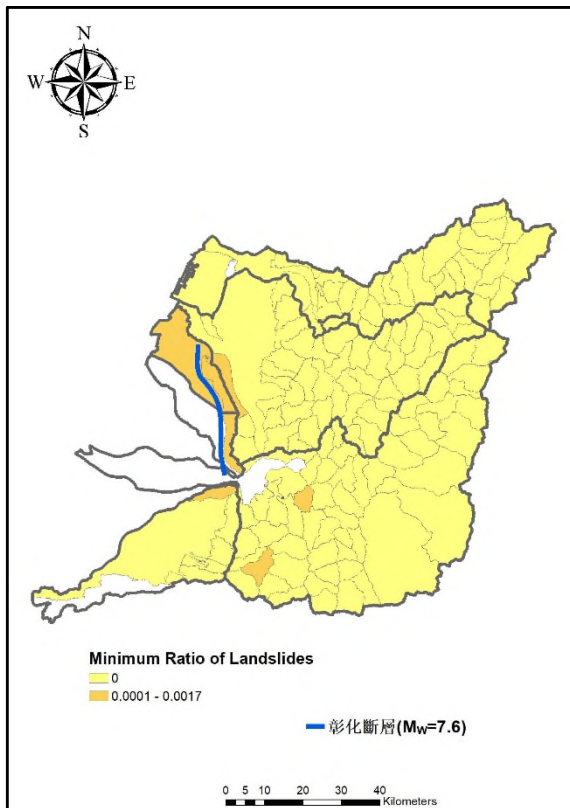


圖 6-41 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)

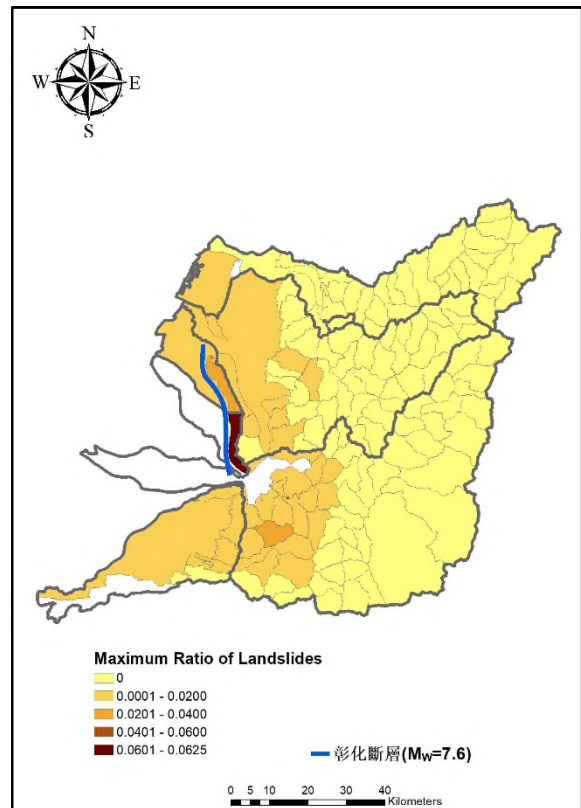


圖 6-42 彰化斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)

第六節 編號 CGS11-76 車籠埔斷層情境

以中部車籠埔斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。車籠埔斷層最大可能規模 7.6，未來 50 年發生機率 1 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-43 和圖 6-44 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-45 和圖 6-46 所示。

以 PGA 為因子之評估結果如表 6-8 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 215.10 ~ 11989.39 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：烏溪/三角埔集水區 (9.80 ~ 326.49 ha，集水區最大崩塌率 7.7 %)、濁水溪/加走寮溪集水區 (8.50 ~ 309.11 ha，集水區最大崩塌率 7.3 %)、烏溪/草湖溪集水區 (7.29 ~ 304.71 ha，集水區最大崩塌率 7.5 %)、烏溪/烏牛欄溪集水區 (8.69 ~ 293.50 ha，集水區最大崩塌率 10.7 %)、烏溪/東勢閣坑集水區 (10.90 ~ 287.15 ha，集水區最大崩塌率 6.1 %)，表中可見烏溪為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-47 及圖 6-48 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-49 及圖 6-50 所示。

以 PGV 為因子之評估結果如表 6-9 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 168.08 ~ 11088.14 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：烏溪/三角埔集水區 (9.99 ~ 340.31 ha，集水區最大崩塌率 8.1 %)、烏溪/草湖溪集水區 (8.32 ~ 329.21 ha，集水區最大崩塌率 8.1 %)、烏溪/東勢閣坑集水區 (10.92 ~ 298.53 ha，集水區最大崩塌率 6.3 %)、烏溪/烏牛欄溪集水區 (8.68 ~ 296.38 ha，集水區最大崩塌率 10.8 %)、烏溪/茄苳寮集水區 (6.40 ~ 287.25 ha，集水區最大崩塌率 7.7 %)，表中可見烏溪為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-51 及圖 6-52 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-53 及圖 6-54 所示。

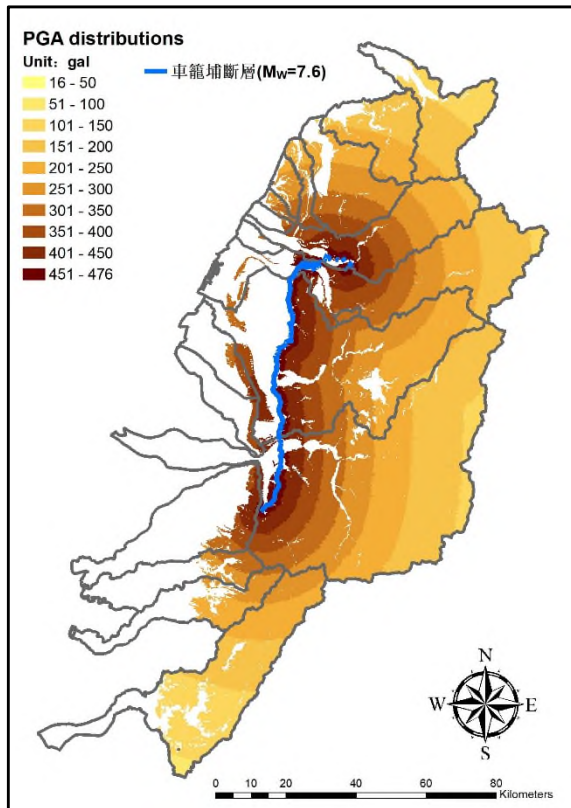


圖 6-43 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGA 分布

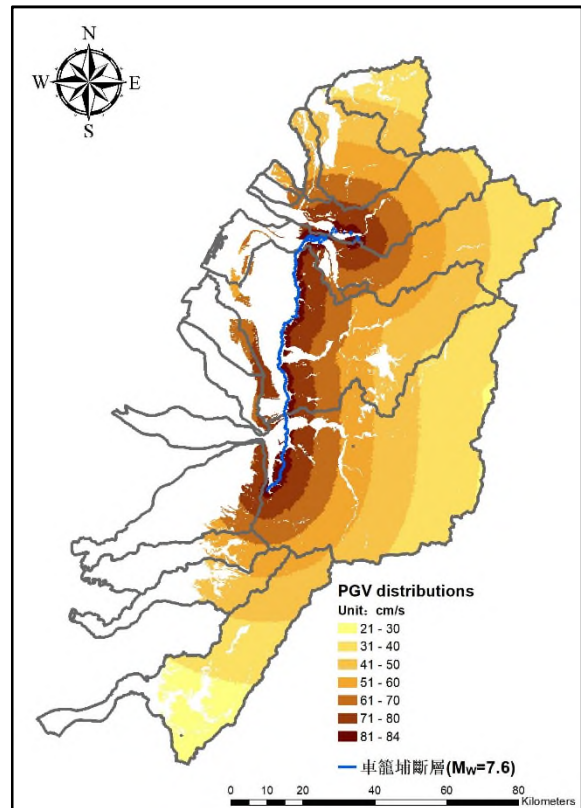


圖 6-44 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之地表震度 PGV 分布

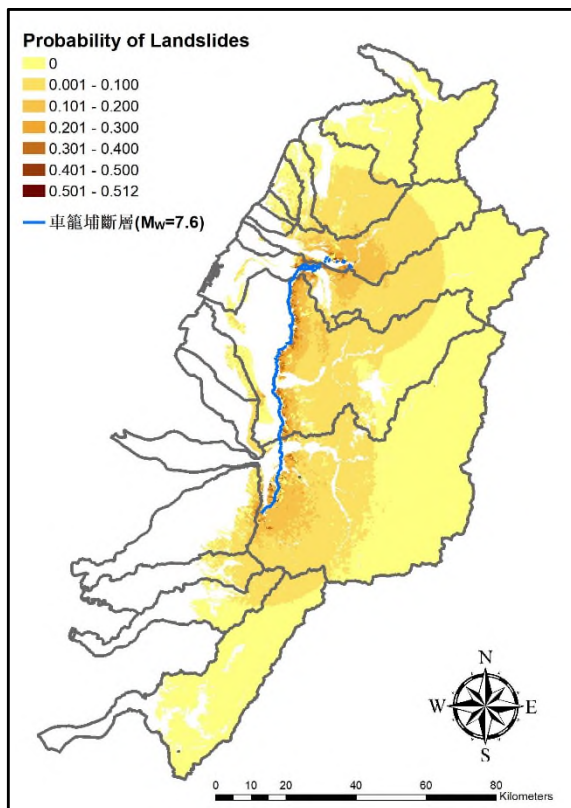


圖 6-45 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

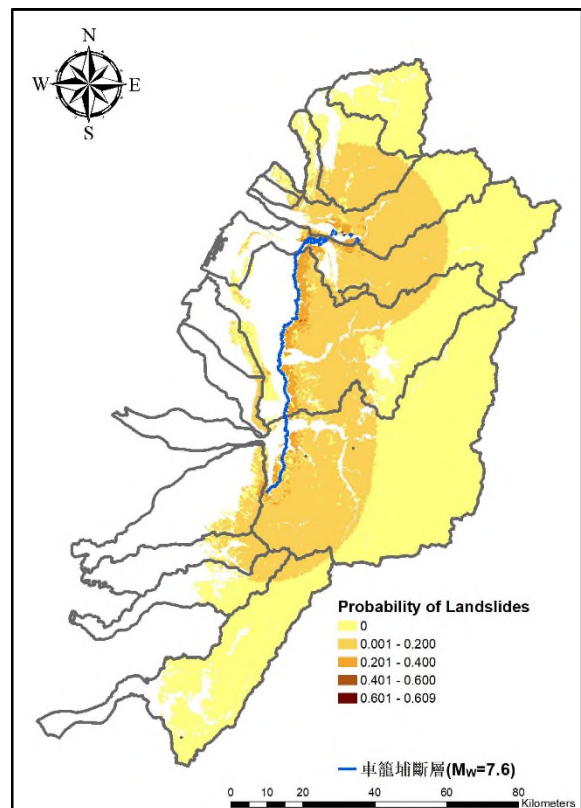


圖 6-46 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-8 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	烏溪/三角埔	473	390	0.440	0.000	9.80 ~ 326.49	0.077	0.002
2	濁水溪/加走寮溪	476	377	0.308	0.000	8.50 ~ 309.11	0.073	0.002
3	烏溪/草湖溪	469	380	0.414	0.000	7.29 ~ 304.71	0.075	0.002
4	烏溪/烏牛欄溪	474	417	0.481	0.000	8.69 ~ 293.50	0.107	0.003
5	烏溪/東勢閣坑	472	366	0.404	0.000	10.90 ~ 287.15	0.061	0.002
6	烏溪/茄苳寮	474	379	0.390	0.000	6.36 ~ 283.16	0.076	0.002
7	濁水溪/桶頭	475	411	0.471	0.000	7.30 ~ 280.07	0.071	0.002
8	濁水溪/東埔蚋溪	455	385	0.343	0.000	5.39 ~ 272.79	0.063	0.001
9	大安溪/大安溪中 游	476	417	0.523	0.000	6.90 ~ 267.75	0.103	0.003
10	大甲溪/大崎	476	425	0.501	0.000	7.91 ~ 233.77	0.090	0.003
11	大安溪/乾溪	443	374	0.195	0.021	10.00 ~ 228.15	0.066	0.003
12	大安溪/老莊溪	476	411	0.502	0.000	10.33 ~ 227.70	0.091	0.004
13	濁水溪/南清水溝 溪	464	353	0.387	0.000	4.27 ~ 218.62	0.043	0.001
14	濁水溪/石鼓盤溪	376	288	0.122	0.000	0.26 ~ 217.72	0.034	<0.001
15	北港溪/黃德坑溪	456	382	0.339	0.000	2.94 ~ 215.32	0.044	0.001
16	大甲溪/中崙溪	472	396	0.405	0.000	5.36 ~ 213.88	0.087	0.002
17	烏溪/頭汴坑溪	454	362	0.294	0.000	1.83 ~ 213.43	0.051	<0.001
18	大安溪/景山溪	455	399	0.301	0.000	1.15 ~ 212.12	0.062	<0.001
19	濁水溪/大坑	476	434	0.499	0.000	3.48 ~ 207.07	0.066	0.001
20	濁水溪/杉林溪	402	315	0.150	0.000	1.51 ~ 198.03	0.044	<0.001
	全台合計					215.10 ~ 11989.34		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

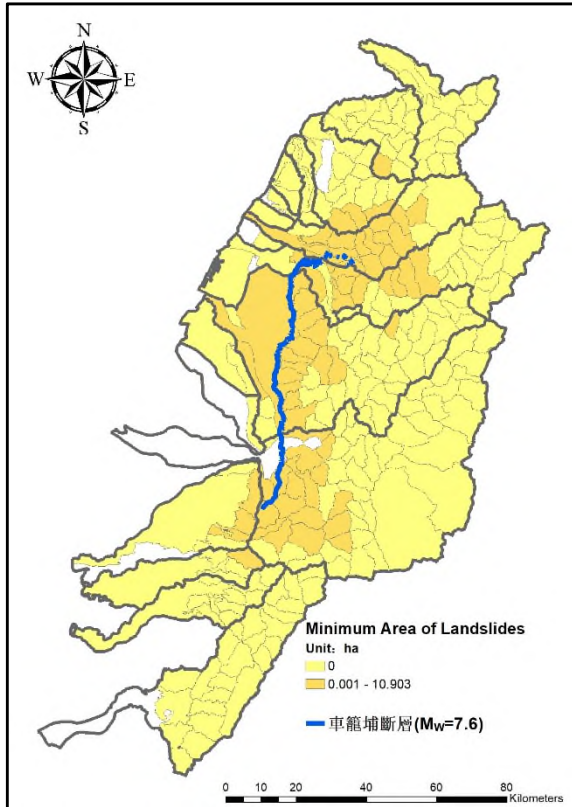


圖 6-47 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

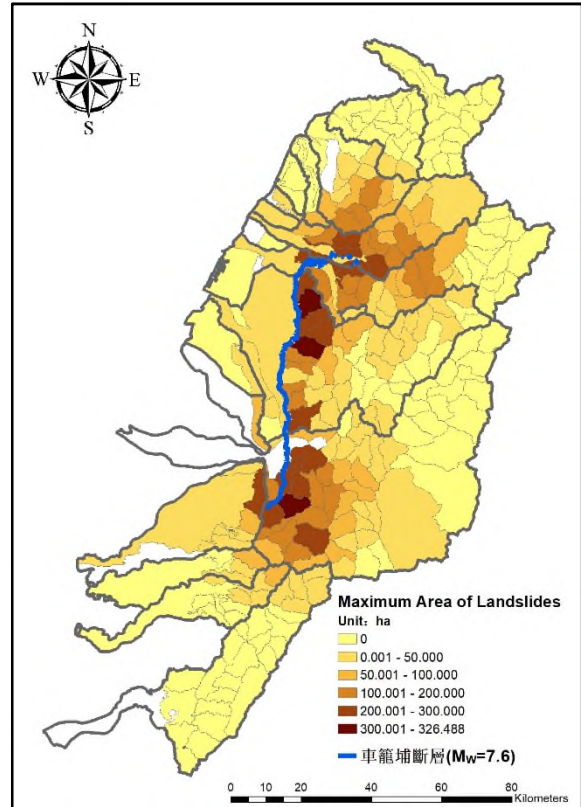


圖 6-48 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

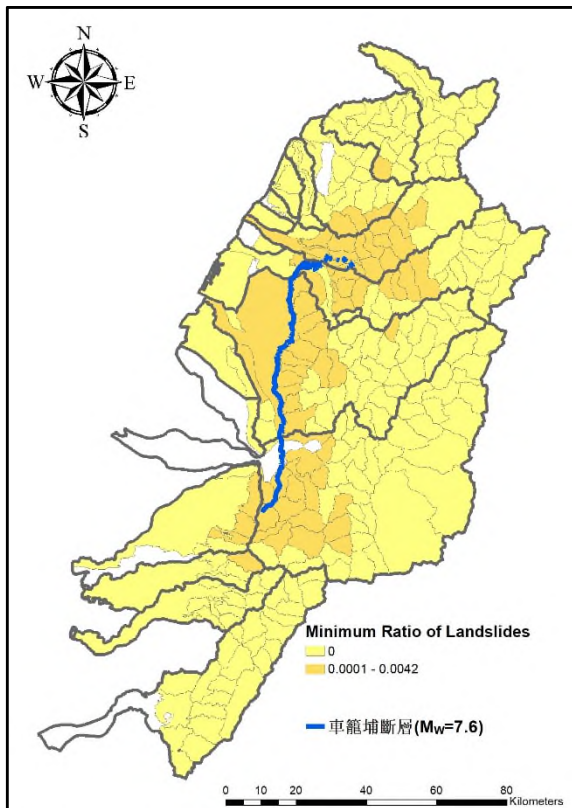


圖 6-49 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

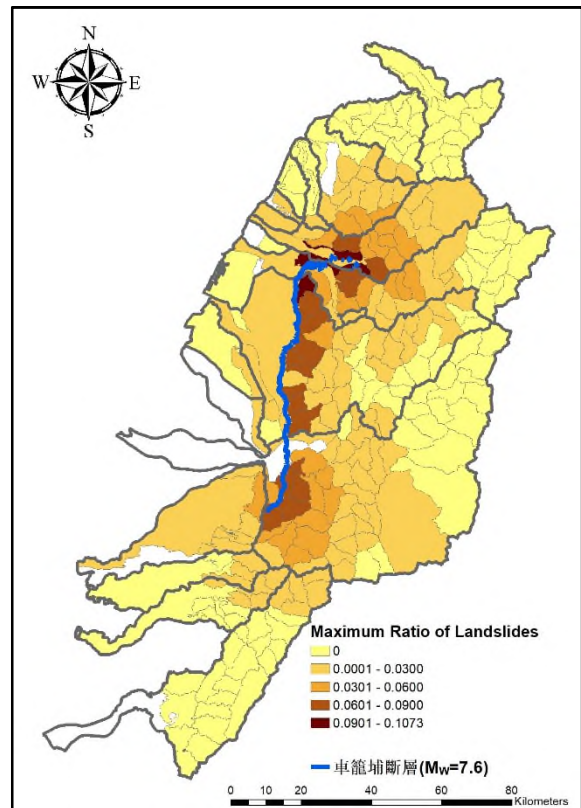


圖 6-50 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

表 6-9 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 坡面崩塌評估 (PGV)

編號	河川/集水區	PGV _{max} (cm/s)	PGV _{min} (cm/s)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	烏溪/三角埔	84	71	0.453	0.000	9.99 ~ 340.34	0.081	0.002
2	烏溪/草湖溪	83	69	0.436	0.000	8.32 ~ 329.21	0.081	0.002
3	烏溪/東勢閣坑	84	67	0.401	0.000	10.92 ~ 298.53	0.063	0.002
4	烏溪/烏牛欄溪	84	75	0.491	0.000	8.68 ~ 296.38	0.108	0.003
5	烏溪/茄荖寮	84	69	0.393	0.000	6.40 ~ 287.25	0.077	0.002
6	大安溪/大安溪中 游	84	75	0.531	0.000	6.57 ~ 256.93	0.099	0.003
7	濁水溪/東埔蚋溪	81	70	0.362	0.000	4.48 ~ 251.78	0.058	0.001
8	濁水溪/加走寮溪	84	69	0.298	0.000	4.37 ~ 247.86	0.058	0.001
9	濁水溪/桶頭	84	74	0.483	0.000	6.45 ~ 240.18	0.061	0.002
10	濁水溪/南清水溝 溪	82	65	0.403	0.000	4.74 ~ 231.17	0.045	0.001
11	大甲溪/大崎	84	76	0.609	0.000	7.90 ~ 228.57	0.088	0.003
12	北港溪/黃德坑溪	81	70	0.358	0.000	3.50 ~ 226.37	0.047	0.001
13	大安溪/老莊溪	84	74	0.511	0.000	10.29 ~ 219.29	0.088	0.004
14	烏溪/頭汴坑溪	81	66	0.350	0.000	1.64 ~ 204.83	0.049	<0.001
15	大甲溪/中崙溪	84	72	0.429	0.000	4.71 ~ 203.31	0.082	0.002
16	大安溪/乾溪	79	68	0.216	0.031	7.51 ~ 201.94	0.058	0.002
17	濁水溪/石鼓盤溪	69	55	0.145	0.000	0.77 ~ 198.59	0.031	<0.001
18	大安溪/景山溪	81	72	0.316	0.000	0.65 ~ 195.27	0.058	<0.001
19	烏溪/樟平溪	83	73	0.374	0.000	4.94 ~ 194.00	0.089	0.002
20	烏溪/北坑	83	69	0.498	0.000	3.81 ~ 182.09	0.078	0.002
	全台合計					168.08 ~ 11088.14		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

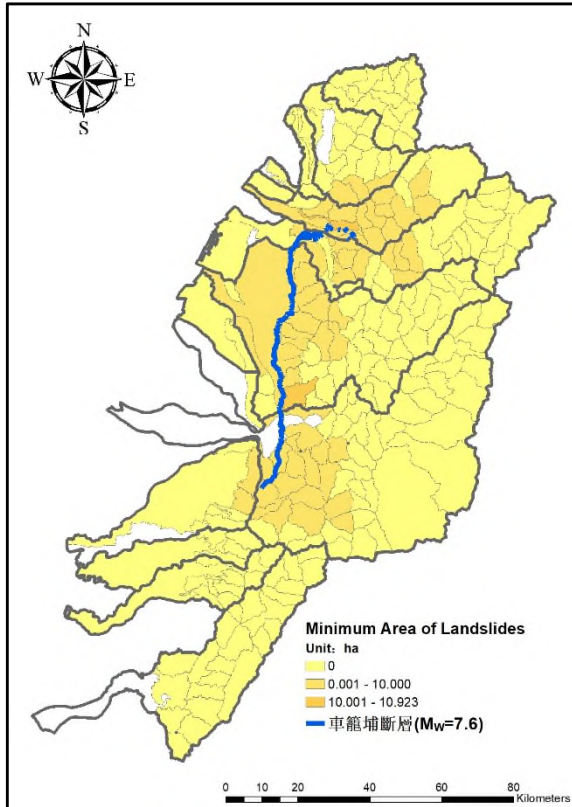


圖 6-51 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)

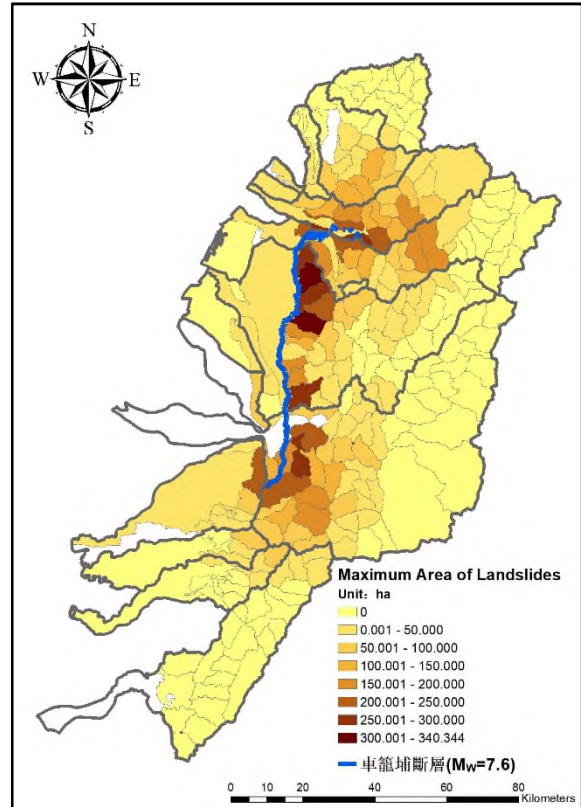


圖 6-52 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)

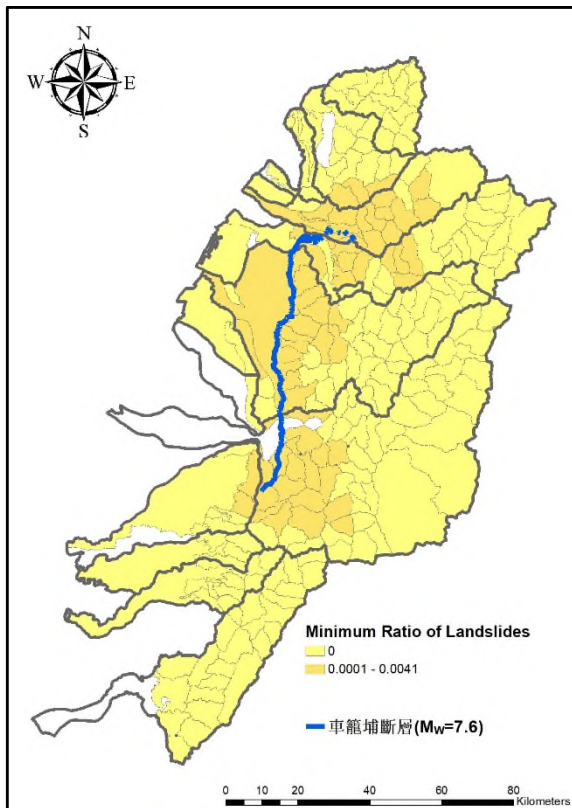


圖 6-53 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)

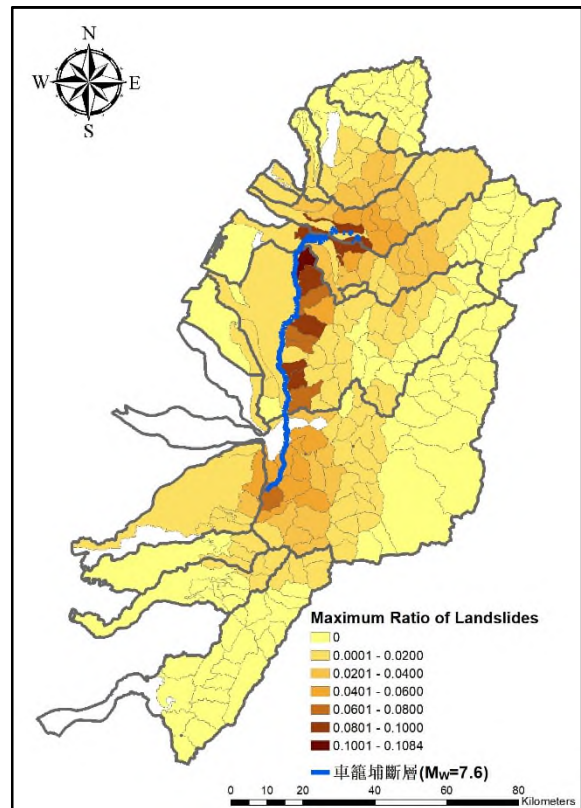


圖 6-54 車籠埔斷層情境 ($M_w=7.6$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)

第七節 編號 CGS12-70 大茅埔-雙冬斷層情境

以中部大茅埔-雙冬斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。大茅埔-雙冬斷層最大可能規模 7.0，未來 50 年發生機率 7%。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-55 和圖 6-56 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-57 和圖 6-58 所示。

以 PGA 為因子之評估結果如表 6-10 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 22.41 ~ 3173.18 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：烏溪/頭汴坑溪集水區 (1.41 ~ 192.57 ha，集水區最大崩塌率 4.6%)、大安溪/乾溪集水區 (4.37 ~ 163.81 ha，集水區最大崩塌率 4.7%)、濁水溪/南清水溝溪上游集水區 (2.02 ~ 126.50 ha，集水區最大崩塌率 5.1%)、大甲溪/石角溪集水區 (0.82 ~ 119.54 ha，集水區最大崩塌率 5.3%)、烏溪/山茶鍋坑集水區 (2.54 ~ 113.73 ha，集水區最大崩塌率 2.9%)，表中可見烏溪、大安溪、濁水溪、大甲溪等為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-59 及圖 6-60 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-61 及圖 6-62 所示。

以 PGV 為因子之評估結果如表 6-11 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.29 ~ 158.75 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：烏溪/頭汴坑溪集水區 (0.00 ~ 21.26 ha，集水區最大崩塌率 0.5%)、大甲溪/石角溪集水區 (0.00 ~ 17.60 ha，集水區最大崩塌率 0.8%)、大甲溪/中崙溪集水區 (0.00 ~ 16.36 ha，集水區最大崩塌率 0.7%)、大安溪/大安溪中游集水區 (0.00 ~ 15.77 ha，集水區最大崩塌率 0.6%)、濁水溪/南清水溝溪上游集水區 (0.29 ~ 15.49 ha，集水區最大崩塌率 0.6%)，表中可見僅 17 個集水區發生崩塌，烏溪、大安溪、濁水溪、大甲溪等為主要崩塌河川。集水區崩塌範圍分布如圖 6-63 及圖 6-64 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-65 及圖 6-66 所示。

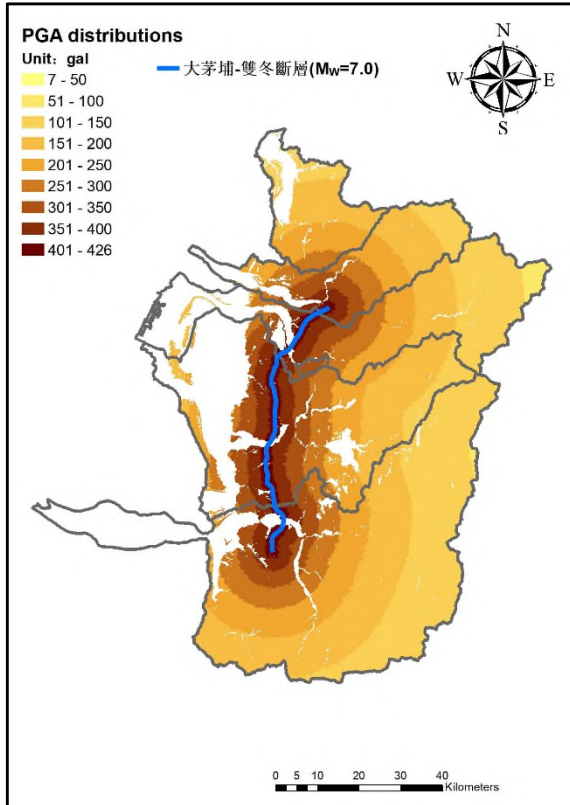


圖 6-55 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGA 分布

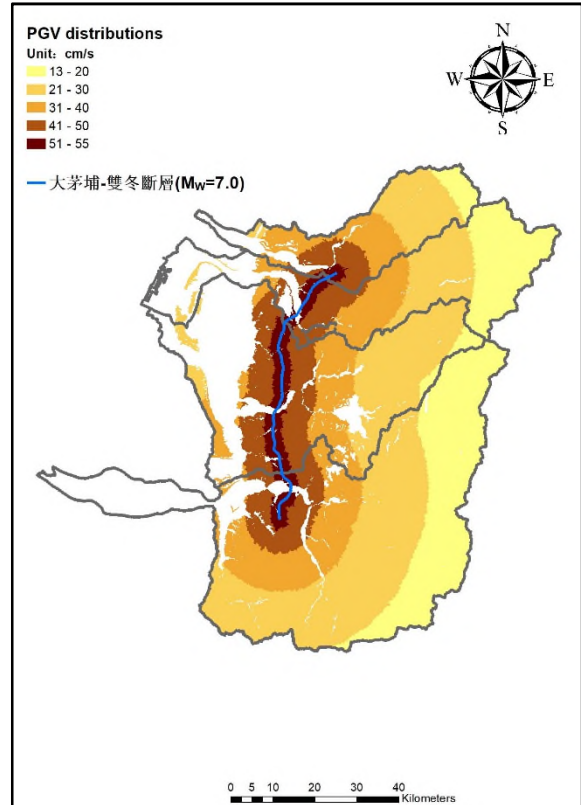


圖 6-56 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGV 分布

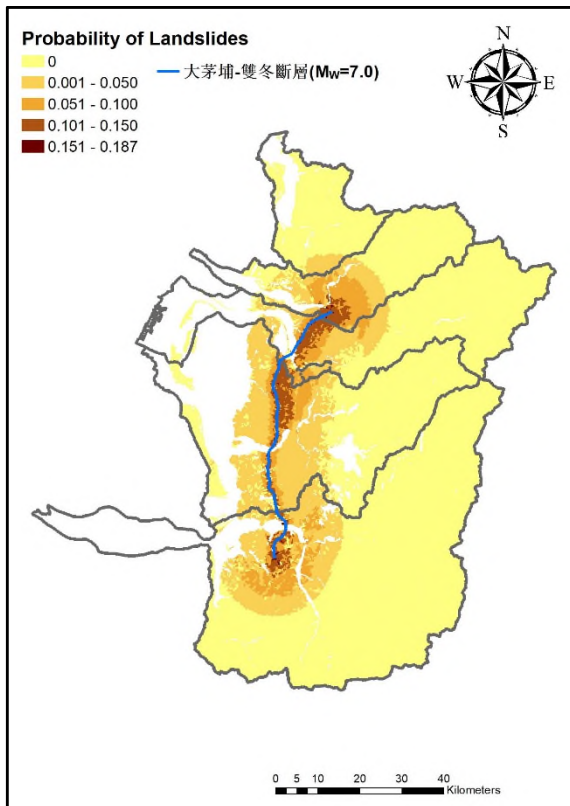


圖 6-57 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

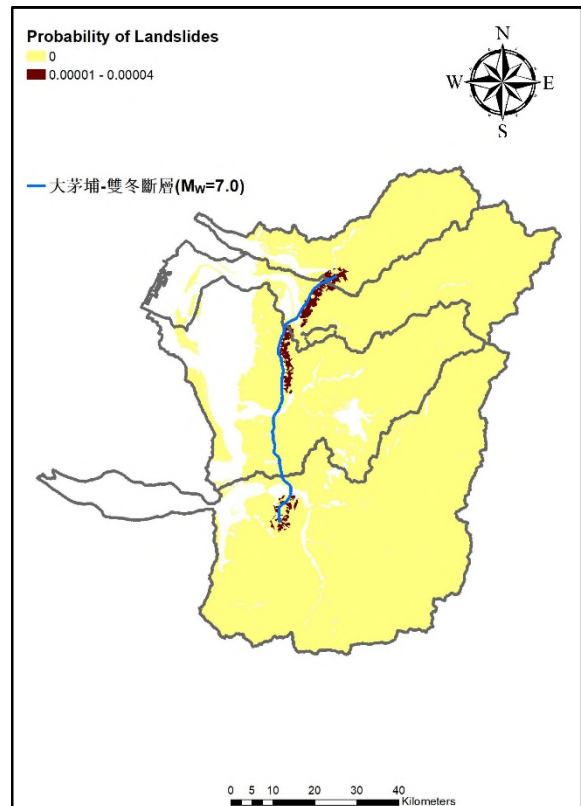


圖 6-58 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-10 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	烏溪/頭汴坑溪	426	353	0.187	0.000	1.41 ~ 192.57	0.046	<0.001
2	大安溪/乾溪	421	323	0.155	0.000	4.37 ~ 163.81	0.047	0.001
3	濁水溪/南清水溝 溪上游	424	339	0.176	0.000	2.02 ~ 126.50	0.051	0.001
4	大甲溪/石角溪	425	352	0.173	0.000	0.82 ~ 119.54	0.053	<0.001
5	烏溪/山茶鍋坑	425	347	0.164	0.004	2.54 ~ 113.73	0.029	0.001
6	大甲溪/和平	425	311	0.153	0.000	1.25 ~ 111.62	0.039	<0.001
7	大甲溪/中崙溪	425	373	0.172	0.000	0.27 ~ 106.49	0.043	<0.001
8	烏溪/茄苳寮	425	327	0.160	0.000	0.90 ~ 104.30	0.028	<0.001
9	濁水溪/南清水溝 溪	425	303	0.170	0.000	1.23 ~ 95.24	0.019	<0.001
10	濁水溪/溪頭	394	273	0.138	0.000	0.23 ~ 84.20	0.022	<0.001
11	大安溪/百川山	338	274	0.085	0.000	0.00 ~ 82.94	0.029	0.000
12	濁水溪/內茅埔	344	236	0.087	0.000	0.00 ~ 80.59	0.020	0.000
13	大安溪/雪山坑	356	279	0.097	0.000	0.26 ~ 74.04	0.030	<0.001
14	烏溪/食水坑	426	376	0.184	0.000	0.26 ~ 71.36	0.028	<0.001
15	大安溪/大安溪中 游	425	228	0.168	0.000	0.57 ~ 70.24	0.027	<0.001
16	烏溪/內城	426	340	0.168	0.000	0.24 ~ 68.16	0.019	<0.001
17	濁水溪/玉峰	424	367	0.170	0.000	2.13 ~ 68.08	0.029	0.001
18	大甲溪/抽藤坑溪	425	325	0.143	0.000	0.22 ~ 65.76	0.034	<0.001
19	烏溪/草湖溪	426	287	0.184	0.000	0.51 ~ 62.67	0.015	<0.001
20	濁水溪/東埔蚋溪	356	278	0.083	0.000	0.36 ~ 61.87	0.014	<0.001
	全台合計					22.41 ~ 3173.18		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

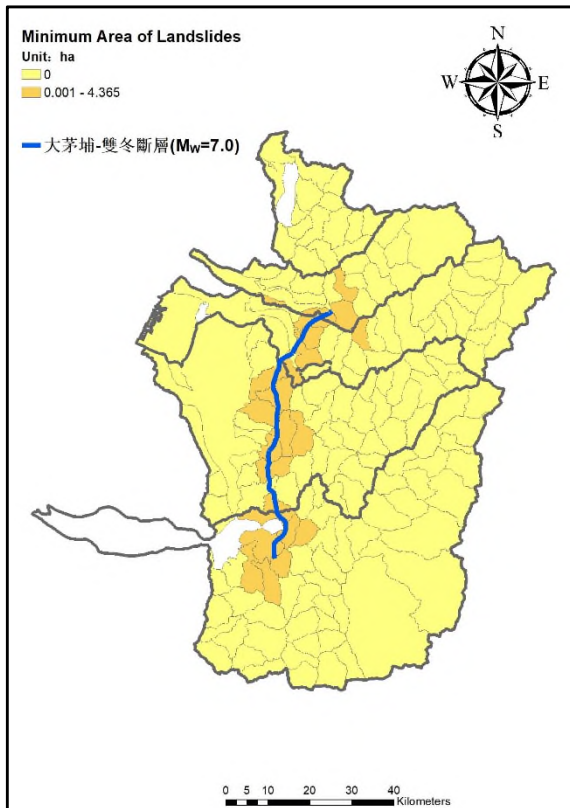


圖 6-59 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

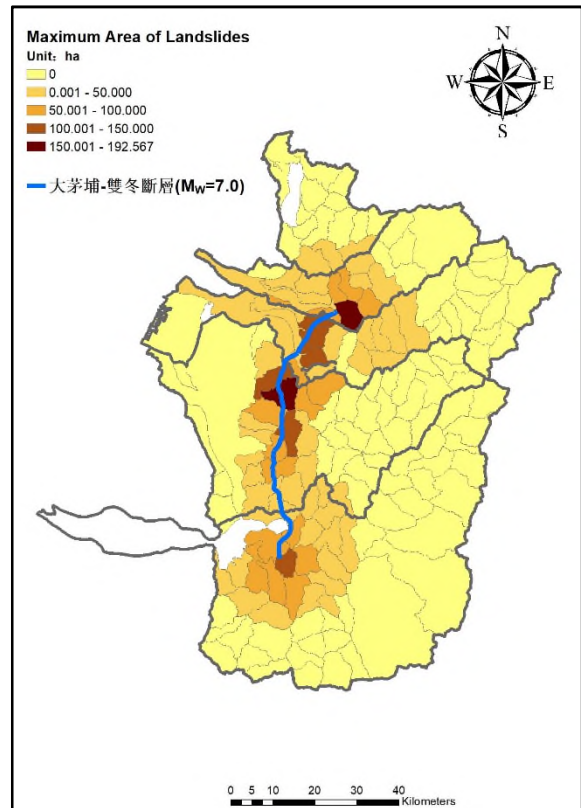


圖 6-60 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

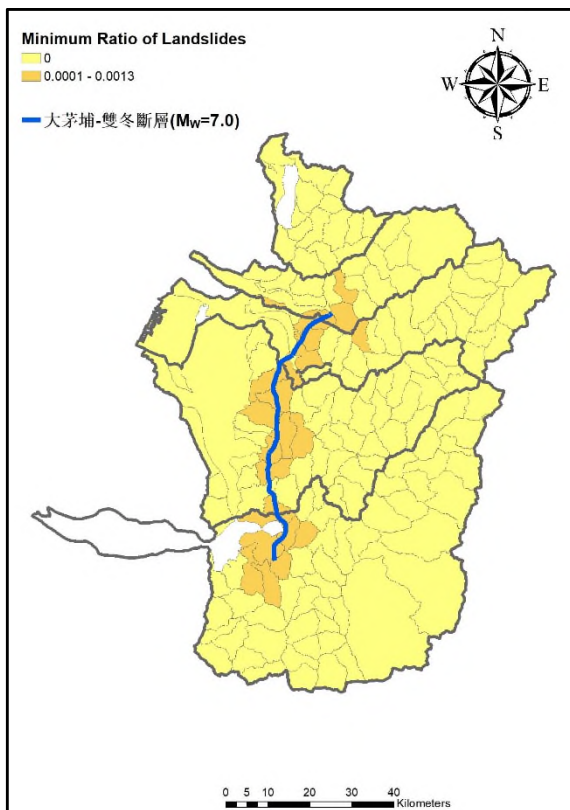


圖 6-61 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

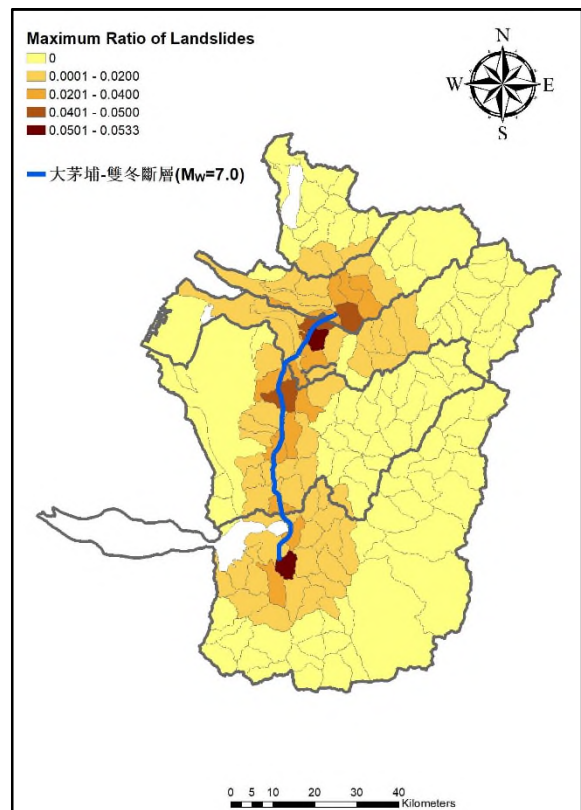


圖 6-62 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

表 6-11 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGV)

編號	河川/集水區	PGV _{max} (cm/s)	PGV _{min} (cm/s)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	烏溪/頭汴坑溪	55	46	0.058	0.000	0.00 ~ 21.26	0.005	0.000
2	大甲溪/石角溪	55	46	0.062	0.000	0.00 ~ 17.60	0.008	0.000
3	大甲溪/中崙溪	55	49	0.061	0.000	0.00 ~ 16.36	0.007	0.000
4	大安溪/大安溪中 游	55	31	0.060	0.000	0.00 ~ 15.77	0.006	0.000
5	濁水溪/南清水溝 溪上游	55	45	0.063	0.000	0.29 ~ 15.49	0.006	<0.001
6	大甲溪/和平	55	41	0.050	0.000	0.00 ~ 12.19	0.004	0.000
7	大安溪/乾溪	54	43	0.054	0.000	0.00 ~ 11.60	0.003	0.000
8	烏溪/茄苳寮	55	43	0.053	0.000	0.00 ~ 11.55	0.003	0.000
9	烏溪/山茶鍋坑	55	45	0.041	0.000	0.00 ~ 9.93	0.003	0.000
10	濁水溪/南清水溝 溪	55	40	0.060	0.000	0.00 ~ 9.41	0.002	0.000
11	濁水溪/玉峰	55	48	0.061	0.000	0.00 ~ 8.26	0.003	0.000
12	大甲溪/抽藤坑溪	55	43	0.040	0.000	0.00 ~ 2.73	0.001	0.000
13	濁水溪/溪頭	51	37	0.047	0.000	0.00 ~ 2.26	0.001	0.000
14	大安溪/大安溪下 游	53	25	0.058	0.000	0.00 ~ 2.13	<0.001	0.000
15	烏溪/草湖溪	55	38	0.041	0.000	0.00 ~ 1.69	<0.001	0.000
16	大安溪/蟾蜍石	51	39	0.044	0.000	0.00 ~ 0.27	<0.001	0.000
17	大甲溪/大甲溪下 游	53	24	0.038	0.000	0.00 ~ 0.25	<0.001	0.000
	全台合計					0.29 ~ 158.75		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

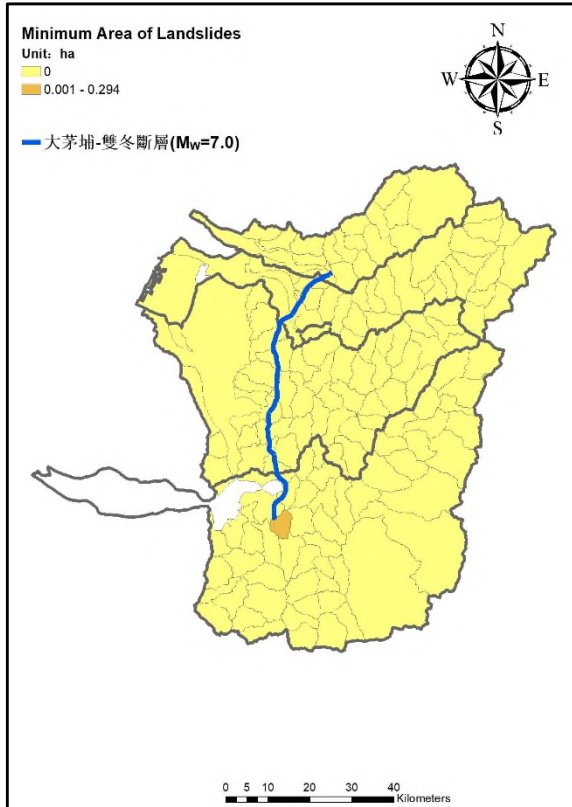


圖 6-63 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)

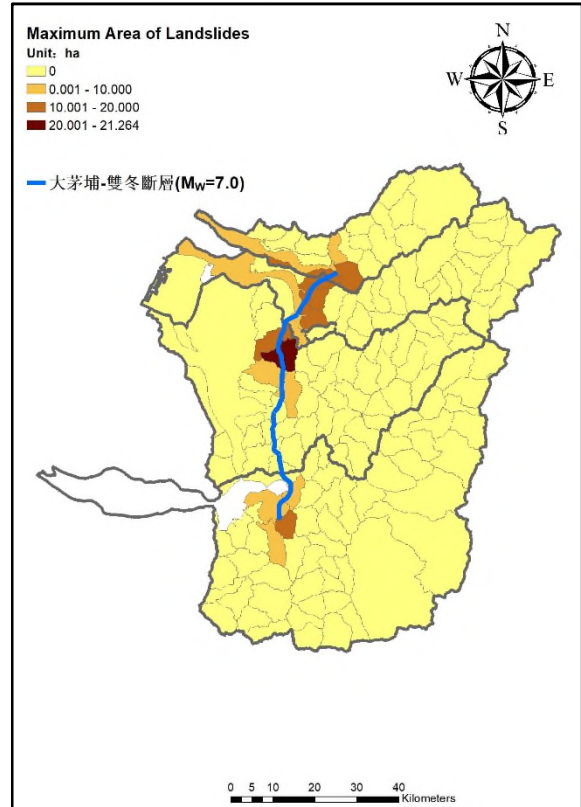


圖 6-64 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)

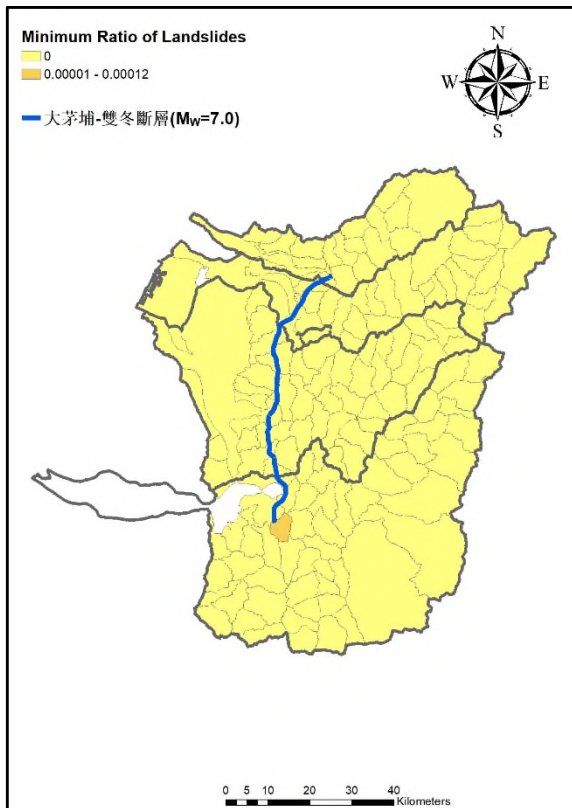


圖 6-65 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)

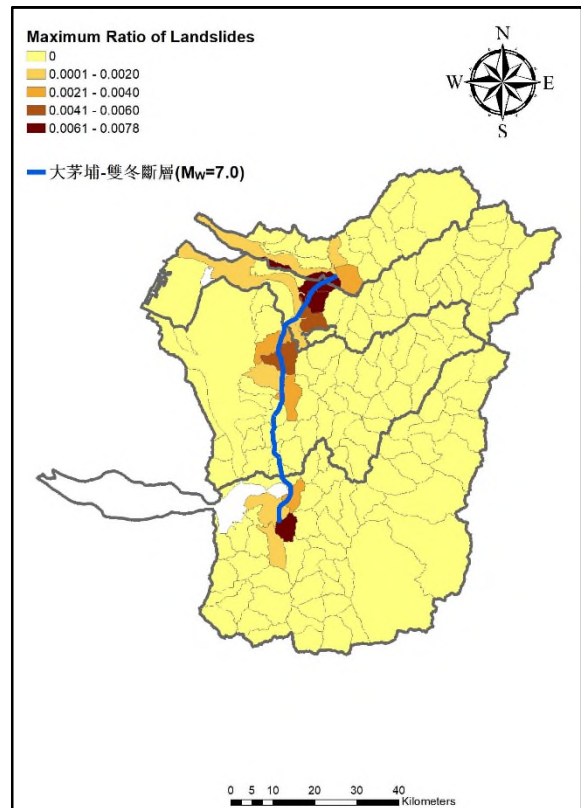


圖 6-66 大茅埔-雙冬斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)

第八節 編號 CGS13-69 九芎坑斷層情境

以南部九芎坑斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。九芎坑斷層最大可能規模 6.9，未來 50 年發生機率 23 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-67 和圖 6-68 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-69 和圖 6-70 所示。

以 PGA 為因子之評估結果如表 6-12 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.00 ~ 409.88 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：朴子溪/樟腦寮集水區 (0.00 ~ 79.30 ha，集水區最大崩塌率 1.9 %)、北港溪/葉子寮溪集水區 (0.00 ~ 56.39 ha，集水區最大崩塌率 1.2 %)、濁水溪/桶頭集水區 (0.00 ~ 52.82 ha，集水區最大崩塌率 1.3 %)、北港溪/中林溪集水區 (0.00 ~ 36.03 ha，集水區最大崩塌率 1.2 %)、北港溪/嵌頂溪集水區 (0.00 ~ 30.77 ha，集水區最大崩塌率 0.9 %)，表中可見朴子溪、北港溪、八掌溪等為主要崩塌河川。集水區崩塌範圍分布如圖 6-71 及圖 6-72 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-73 及圖 6-74 所示。

如圖 6-68 和圖 6-70 所示，各坡面單元 PGV 之震度甚小因此坡面單元之崩塌機率趨近於零。

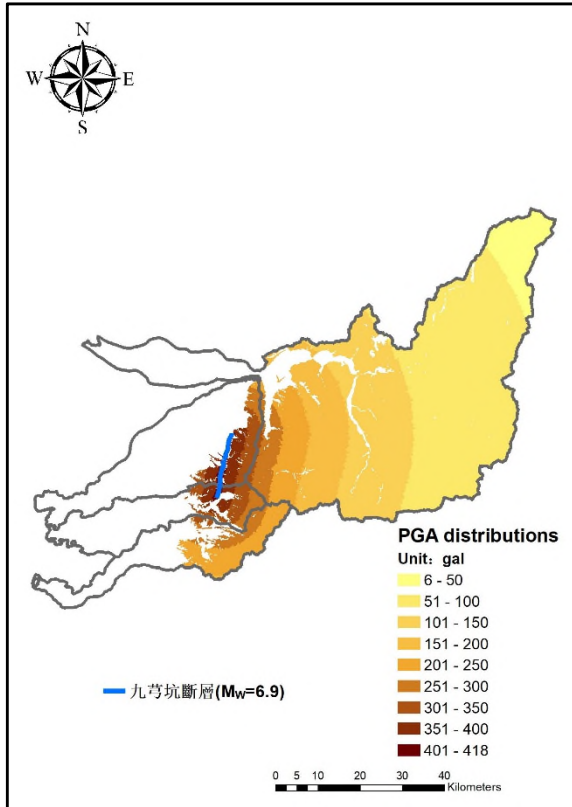


圖 6-67 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之地表震度 PGA 分布

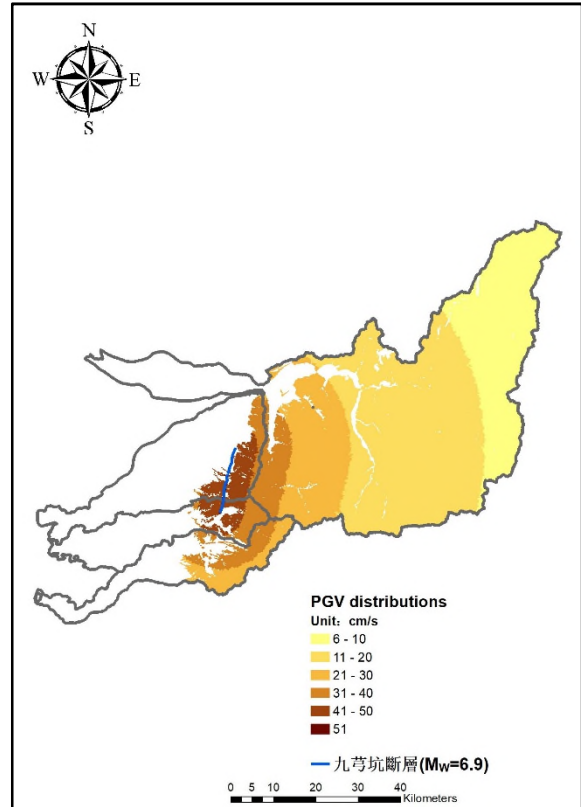


圖 6-68 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之地表震度 PGV 分布

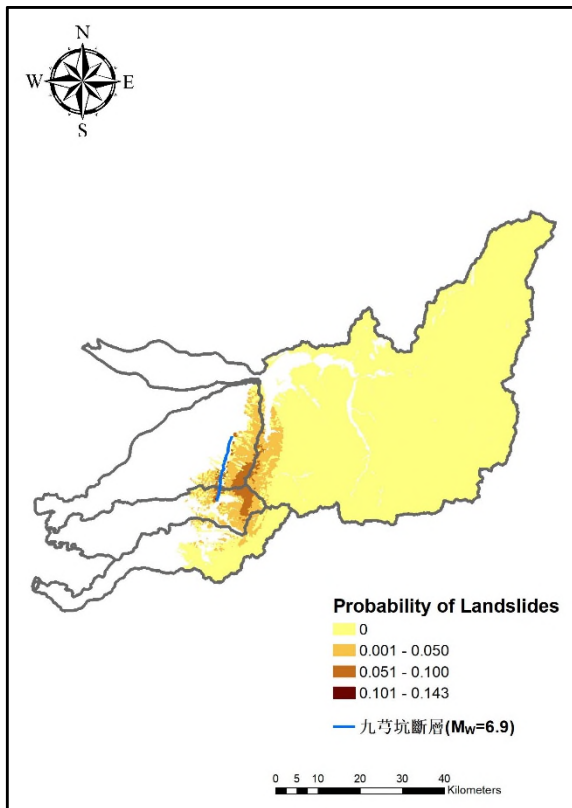


圖 6-69 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

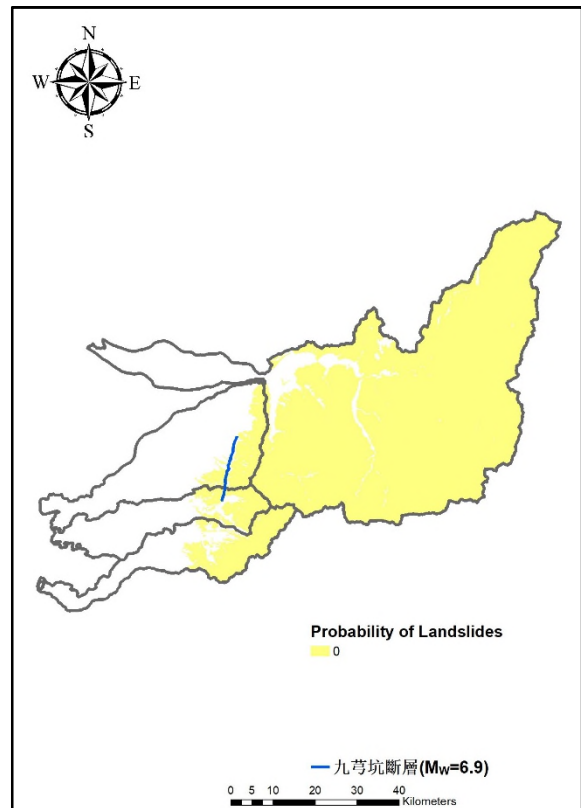


圖 6-70 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-12 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	朴子溪/樟腦寮	409	257	0.092	0.000	0.00 ~ 79.30	0.019	0.000
2	北港溪/葉子寮溪	417	305	0.143	0.000	0.00 ~ 56.39	0.012	0.000
3	濁水溪/桶頭	315	249	0.065	0.000	0.00 ~ 52.82	0.013	0.000
4	北港溪/中林溪	418	316	0.115	0.000	0.00 ~ 36.03	0.012	0.000
5	北港溪/嵌頂溪	405	309	0.072	0.000	0.00 ~ 30.77	0.009	0.000
6	朴子溪/大竹圍	418	306	0.115	0.000	0.00 ~ 27.50	0.009	0.000
7	濁水溪/石鰻坑	311	229	0.063	0.000	0.00 ~ 24.78	0.011	0.000
8	朴子溪/塘下寮	395	285	0.063	0.000	0.00 ~ 23.45	0.010	0.000
9	濁水溪/生毛樹溪	320	224	0.061	0.000	0.00 ~ 21.61	0.005	0.000
10	八掌溪/板仔龍	282	220	0.045	0.000	0.00 ~ 21.14	0.009	0.000
11	朴子溪/清水溪	362	269	0.051	0.000	0.00 ~ 9.37	0.003	0.000
12	濁水溪/加走寮溪	269	192	0.038	0.000	0.00 ~ 7.04	0.002	0.000
13	北港溪/黃德坑溪	399	251	0.061	0.000	0.00 ~ 6.51	0.001	0.000
14	濁水溪/草嶺	277	209	0.040	0.000	0.00 ~ 4.78	0.001	0.000
15	八掌溪/蘭潭水庫	331	253	0.039	0.000	0.00 ~ 2.33	0.001	0.000
16	八掌溪/石卓	263	206	0.031	0.000	0.00 ~ 1.82	0.001	0.000
17	濁水溪/鯉魚尾	295	230	0.037	0.000	0.00 ~ 1.30	<0.001	0.000
18	八掌溪/內湖	289	234	0.031	0.000	0.00 ~ 1.25	0.001	0.000
19	八掌溪/內腦寮	259	214	0.031	0.000	0.00 ~ 0.10	0.001	0.000
20	北港溪/虎尾溪	408	277	0.072	0.000	0.00 ~ 0.61	<0.001	0.000
	全台合計					0.00 ~ 409.88		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

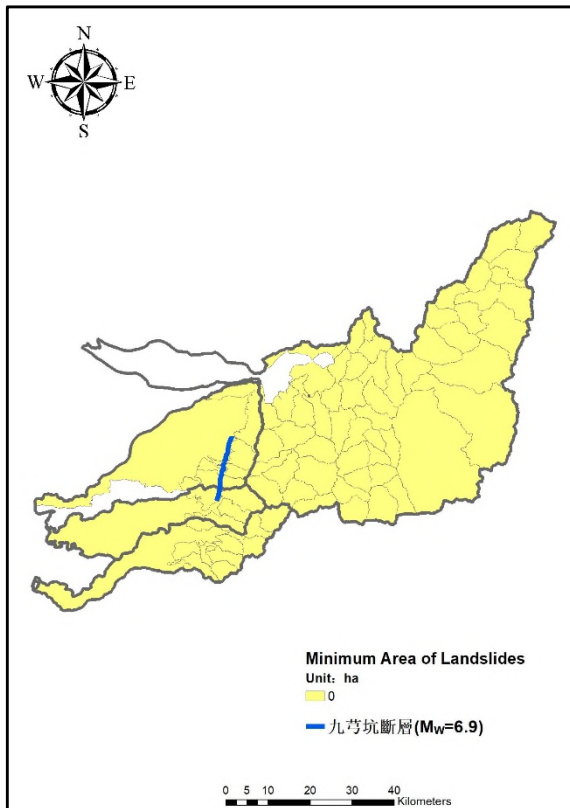


圖 6-71 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

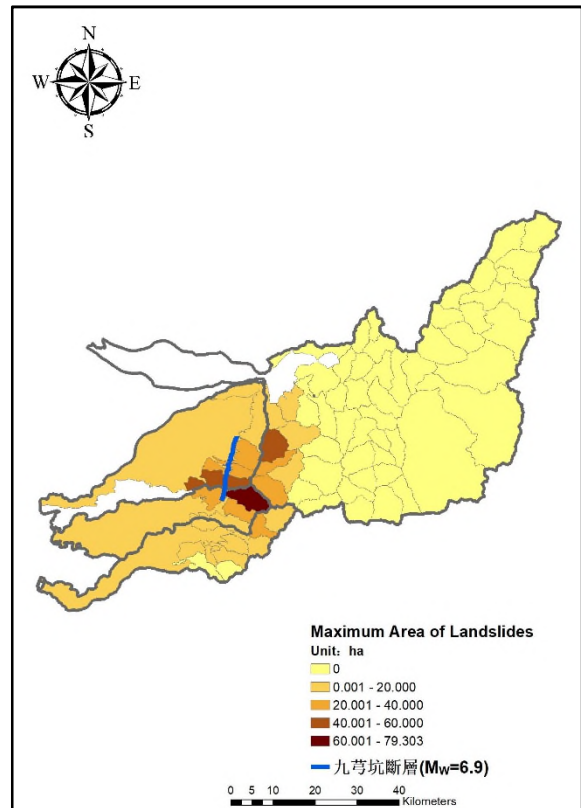


圖 6-72 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

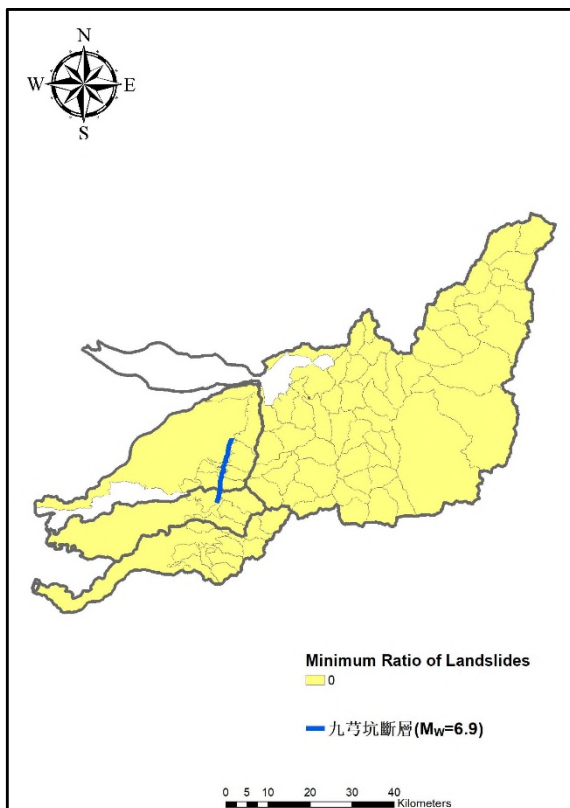


圖 6-73 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

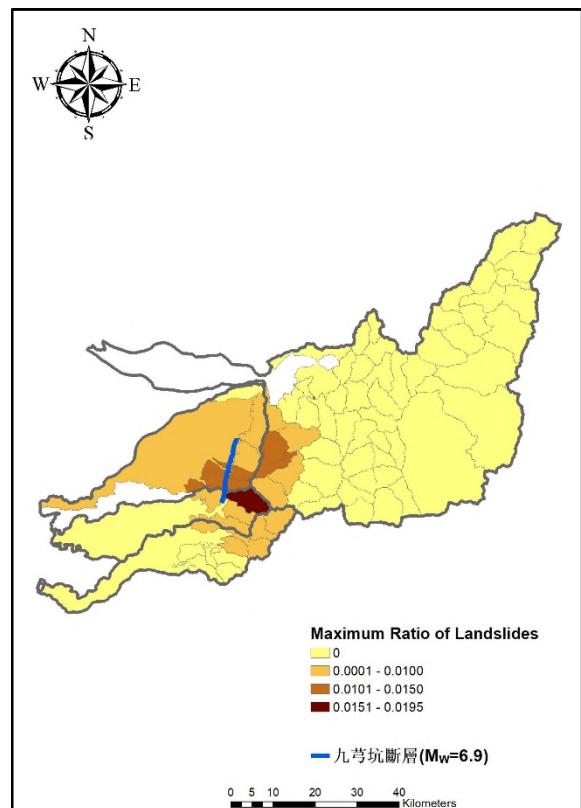


圖 6-74 九芎坑斷層情境 ($M_w=6.9$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

第九節 編號 CGS24-70 潮州斷層情境

以南部潮州斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。潮州斷層最大可能規模 7.0，未來 50 年發生機率 6 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-75 和圖 6-76 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-77 和圖 6-78 所示。

以 PGA 為因子之評估結果如表 6-13 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 37.98 ~ 5037.88 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：高屏溪/口社溪集水區 (3.10 ~ 256.87 ha，集水區最大崩塌率 2.8 %)、高屏溪/甲仙集水區 (0.27 ~ 215.38 ha，集水區最大崩塌率 2.3 %)、高屏溪/荖濃集水區 (2.08 ~ 212.10 ha，集水區最大崩塌率 4.6 %)、高屏溪/扇平集水區 (5.82 ~ 196.32 ha，集水區最大崩塌率 5.2 %)、林邊溪/瓦魯斯溪集水區 (2.07 ~ 179.67 ha，集水區最大崩塌率 2.5 %)，表中可見高屏溪為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-79 及圖 6-80 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-81 及圖 6-82 所示。

以 PGV 為因子之評估結果如表 6-14 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.00 ~ 145.56 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：高屏溪/荖濃集水區 (0.00 ~ 30.16 ha，集水區最大崩塌率 0.7 %)、高屏溪/扇平集水區 (0.25 ~ 22.56 ha，集水區最大崩塌率 0.6 %)、高屏溪/寶來集水區 (0.00 ~ 20.29 ha，集水區最大崩塌率 0.7 %)、高屏溪/新發集水區 (0.00 ~ 14.01 ha，集水區最大崩塌率 0.4 %)、高屏溪/牛角灣溪集水區 (0.00 ~ 12.66 ha，集水區最大崩塌率 0.4 %)，表中可見僅 15 個集水區發生崩塌，高屏溪為主要崩塌河川。集水區崩塌範圍分布如圖 6-83 及圖 6-84 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-85 及圖 6-86 所示。

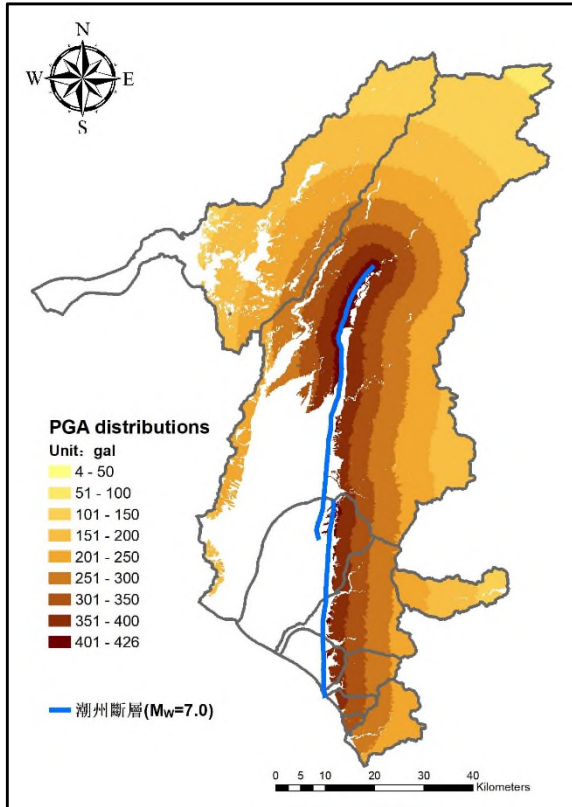


圖 6-75 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGA 分布

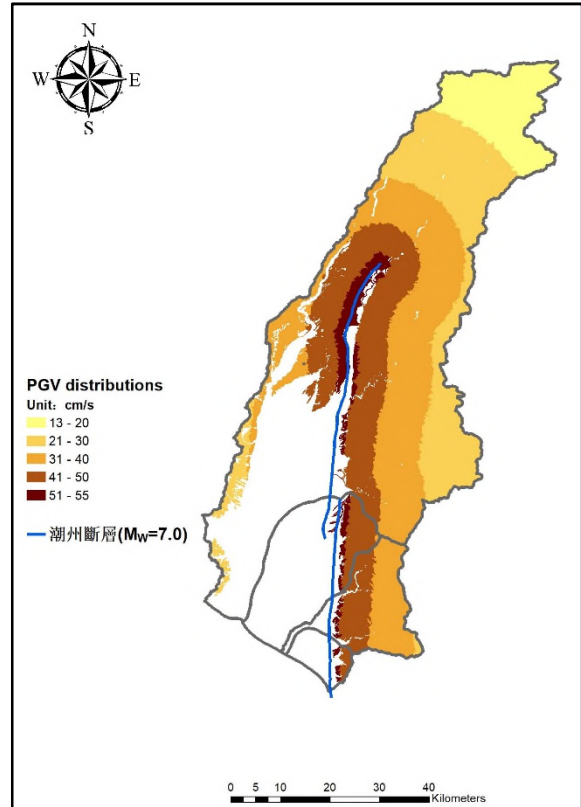


圖 6-76 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之地表震度 PGV 分布

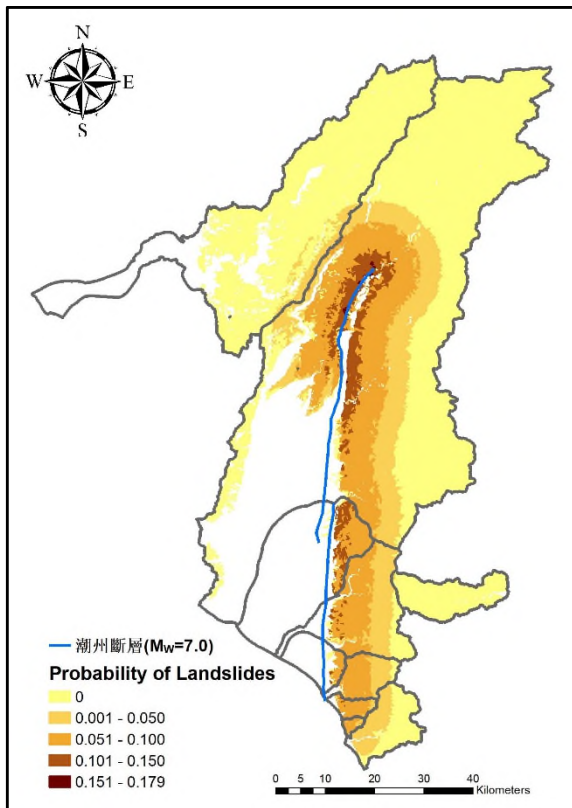


圖 6-77 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

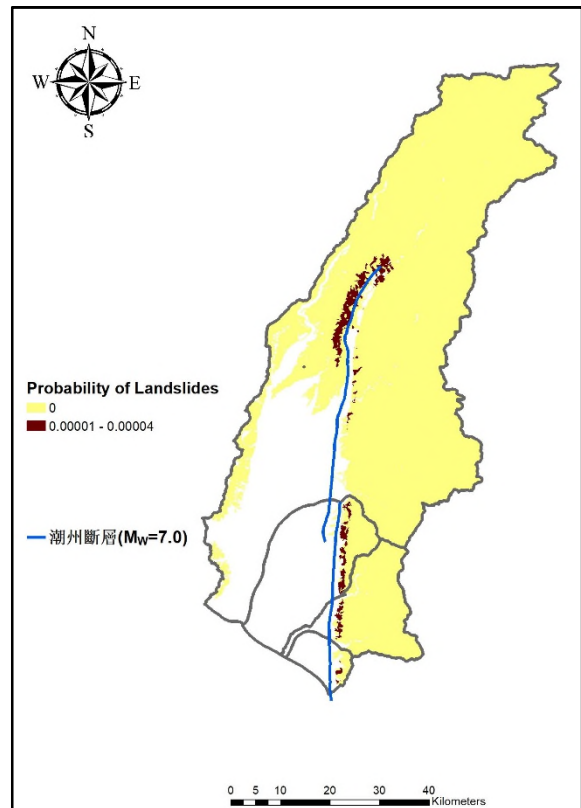


圖 6-78 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-13 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	高屏溪/口社溪	370	239	0.108	0.000	3.10 ~ 256.87	0.028	<0.001
2	高屏溪/甲仙	382	261	0.122	0.000	0.27 ~ 215.38	0.023	<0.001
3	高屏溪/荖濃	425	330	0.172	0.000	2.08 ~ 212.10	0.046	<0.001
4	高屏溪/扇平	403	304	0.154	0.053	5.82 ~ 196.32	0.052	0.002
5	林邊溪/瓦魯斯溪	361	244	0.088	0.000	2.07 ~ 179.67	0.025	<0.001
6	東港溪/萬安	398	298	0.132	0.000	1.13 ~ 168.95	0.040	<0.001
7	高屏溪/杉林	398	249	0.134	0.000	0.31 ~ 162.22	0.015	<0.001
8	高屏溪/新發	426	332	0.179	0.000	1.93 ~ 157.90	0.043	0.001
9	高屏溪/桃源	377	292	0.115	0.000	1.48 ~ 155.31	0.038	<0.001
10	高屏溪/寶來	424	343	0.159	0.000	1.58 ~ 151.72	0.053	0.001
11	高屏溪/隘寮北溪	339	213	0.085	0.000	1.57 ~ 151.05	0.013	<0.001
12	林邊溪/來義	409	307	0.125	0.000	1.97 ~ 145.96	0.039	0.001
13	高屏溪/多納	369	260	0.111	0.030	1.21 ~ 140.46	0.031	<0.001
14	高屏溪/高樹	407	333	0.138	0.000	4.06 ~ 135.96	0.036	0.001
15	高屏溪/寶來溪	402	297	0.117	0.047	0.22 ~ 131.40	0.039	<0.001
16	高屏溪/雙溪	399	300	0.132	0.000	0.00 ~ 129.99	0.031	0.000
17	高屏溪/六龜	426	362	0.170	0.000	0.00 ~ 129.89	0.032	0.000
18	高屏溪/錫安山	372	261	0.111	0.000	1.21 ~ 123.08	0.029	<0.001
19	高屏溪/茂林	395	299	0.129	0.020	0.57 ~ 121.73	0.039	<0.001
20	高屏溪/邦復溪	385	294	0.123	0.046	0.63 ~ 112.07	0.036	<0.001
	全台合計					37.98 ~ 5037.88		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

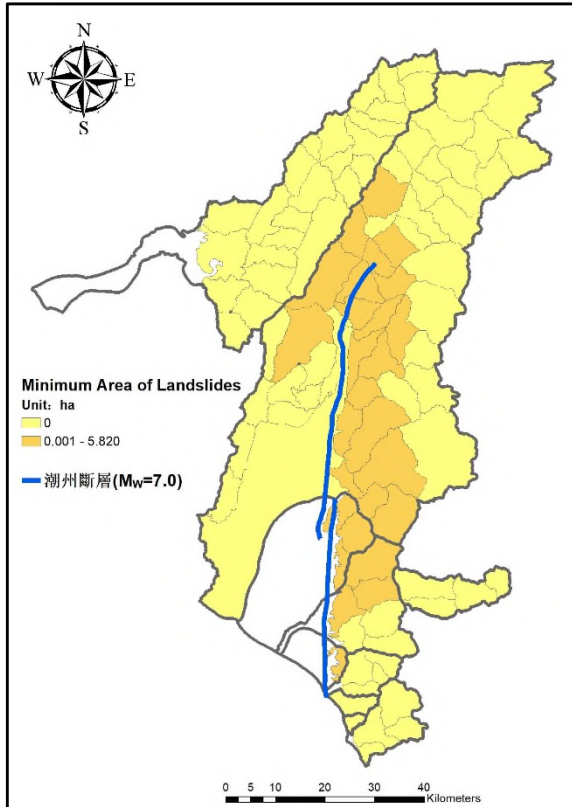


圖 6-79 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

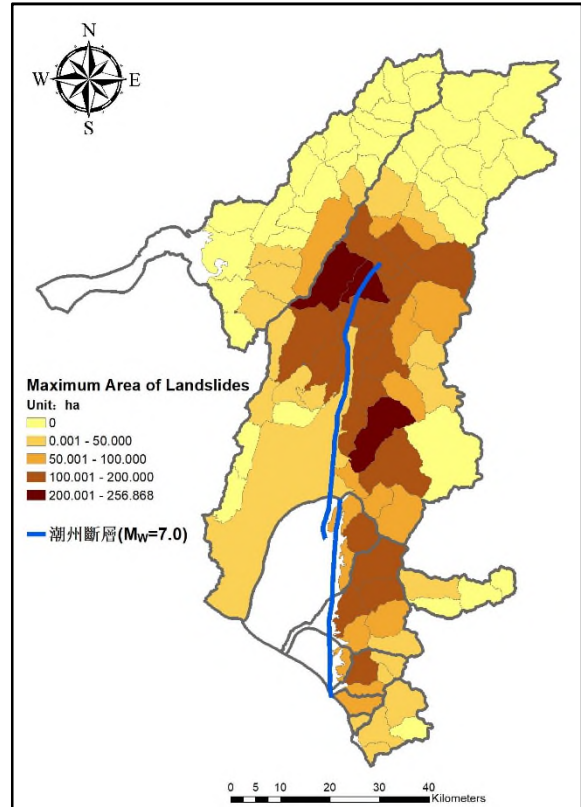


圖 6-80 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

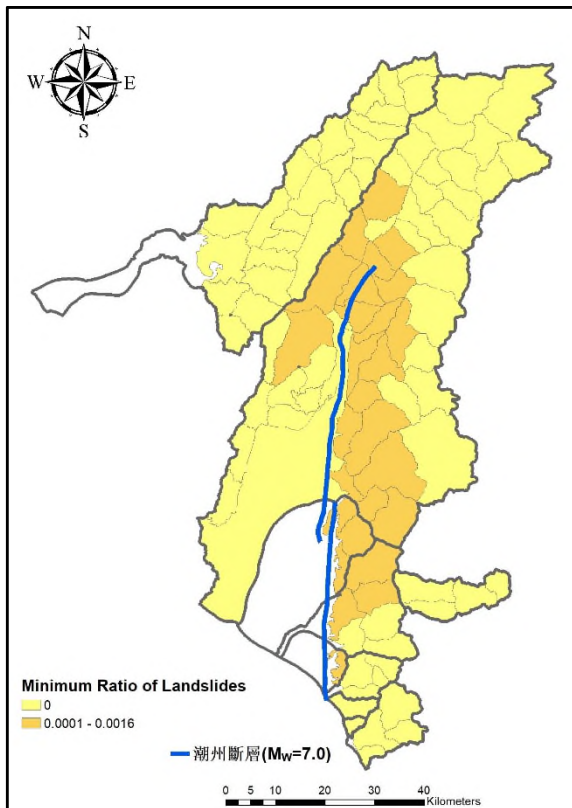


圖 6-81 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

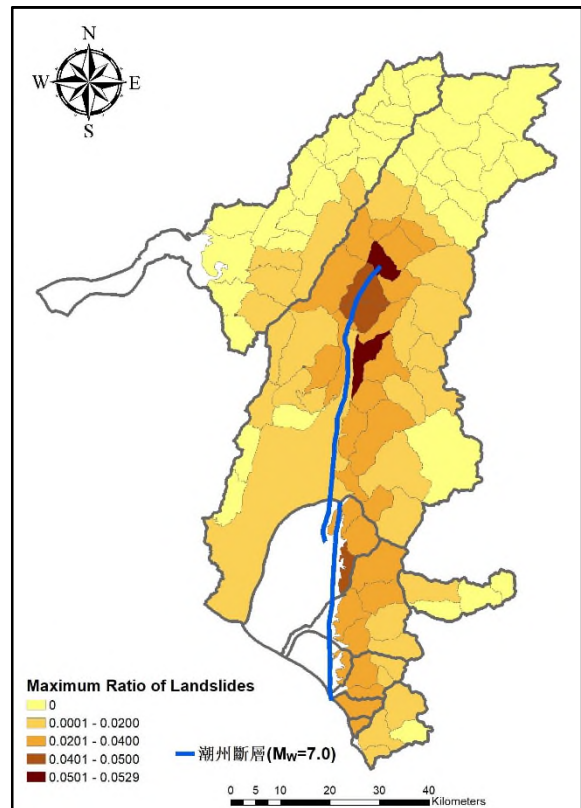
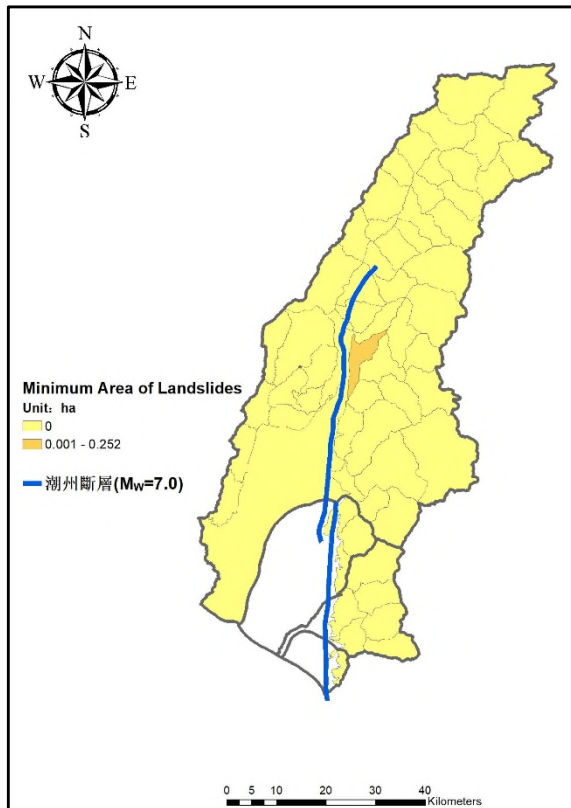
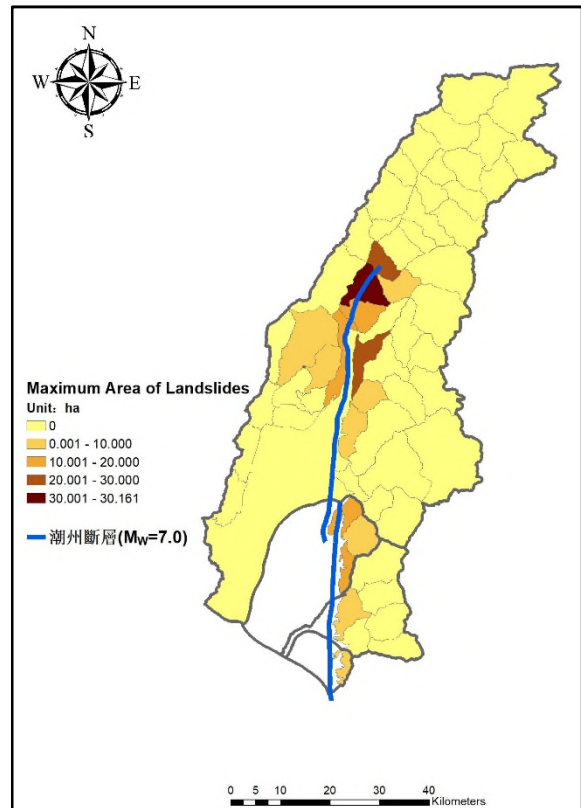
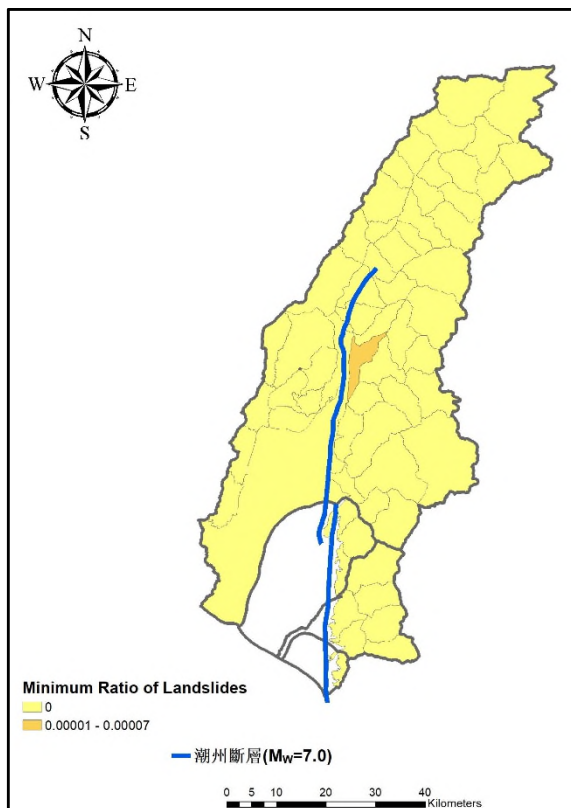
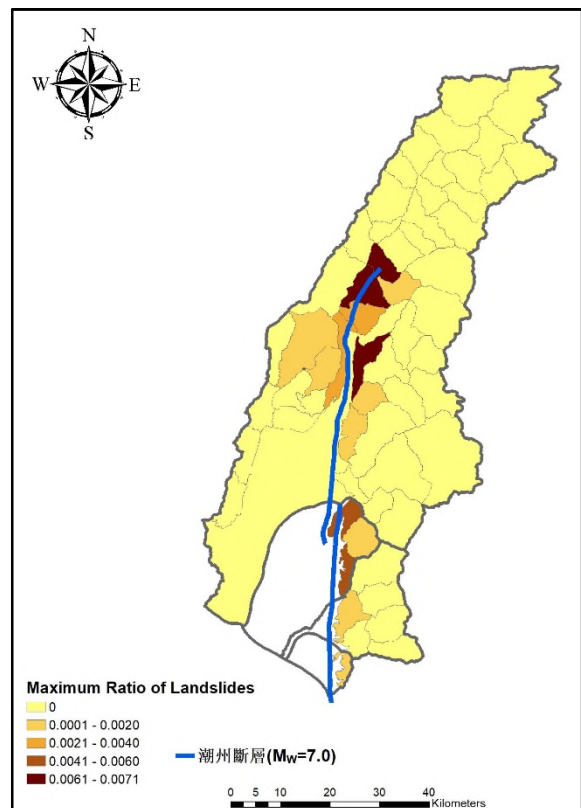


圖 6-82 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

表 6-14 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 坡面崩塌評估 (PGV)

編號	河川/集水區	PGV _{max} (cm/s)	PGV _{min} (cm/s)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	高屏溪/荖濃	55	44	0.061	0.000	0.00 ~ 30.16	0.007	0.000
2	高屏溪/扇平	52	40	0.053	0.000	0.25 ~ 22.56	0.006	<0.001
3	高屏溪/寶來	55	45	0.055	0.000	0.00 ~ 20.29	0.007	0.000
4	高屏溪/新發	55	44	0.064	0.000	0.00 ~ 14.01	0.004	0.000
5	高屏溪/牛角灣溪	55	46	0.048	0.000	0.00 ~ 12.66	0.004	0.000
6	高屏溪/六龜	55	47	0.042	0.000	0.00 ~ 10.57	0.003	0.000
7	高屏溪/泰武	52	47	0.045	0.000	0.00 ~ 10.13	0.005	0.000
8	高屏溪/來義	53	41	0.035	0.000	0.00 ~ 7.46	0.002	0.000
9	高屏溪/杉林	52	34	0.037	0.000	0.00 ~ 4.45	<0.001	0.000
10	高屏溪/雙溪	52	40	0.036	0.000	0.00 ~ 4.09	0.001	0.000
11	高屏溪/高樹	53	44	0.047	0.000	0.00 ~ 2.21	0.001	0.000
12	高屏溪/萬安	52	40	0.032	0.000	0.00 ~ 1.93	<0.001	0.000
13	高屏溪/春日	53	46	0.034	0.000	0.00 ~ 1.84	0.001	0.000
14	高屏溪/寶來溪	52	40	0.035	0.000	0.00 ~ 1.78	0.001	0.000
15	高屏溪/茂林	51	40	0.035	0.000	0.00 ~ 1.43	<0.001	0.000
	全台合計					0.252 ~ 145.56		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

圖 6-83 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)圖 6-84 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)圖 6-85 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)圖 6-86 潮州斷層情境 ($M_w=7.0$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)

第十節 編號 TEM22-68 木屐寮-六甲斷層情境

以南部木屐寮-六甲斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。木屐寮-六甲斷層最大可能規模 6.8，未來 50 年發生機率 32 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-87 和圖 6-88 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-89 和圖 6-90 所示。

以 PGA 為因子之各河川流域可能崩塌評估分析結果如表 6-15 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.00 ~ 98.78 ha，依最大可能崩塌面積排序前五崩塌集水區分別為：急水溪/白河水庫集水區 (0.00 ~ 25.91 ha，集水區最大崩塌率 0.8 %)、急水溪/東原集水區 (0.00 ~ 19.78 ha，集水區最大崩塌率 0.4 %)、急水溪/六重溪集水區 (0.00 ~ 14.04 ha，集水區最大崩塌率 0.5 %)、八掌溪/中崙集水區 (0.00 ~ 10.09 ha，集水區最大崩塌率 0.5 %)、曾文溪/曾文水庫西岸集水區 (0.00 ~ 9.76 ha，集水區最大崩塌率 0.2 %)，表中可見僅 11 個集水區發生崩塌，急水溪、曾文溪為主要崩塌河川。集水區崩塌範圍分布如圖 6-91 及圖 6-92 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-93 及圖 6-94 所示。

如圖 6-88 和圖 6-90 所示，以各坡面單元 PGV 之震度皆未超過震級 6 弱，因此未達評估門檻值 ($PGV \geq 50$ cm/s)，坡面單元之崩塌機率為零。

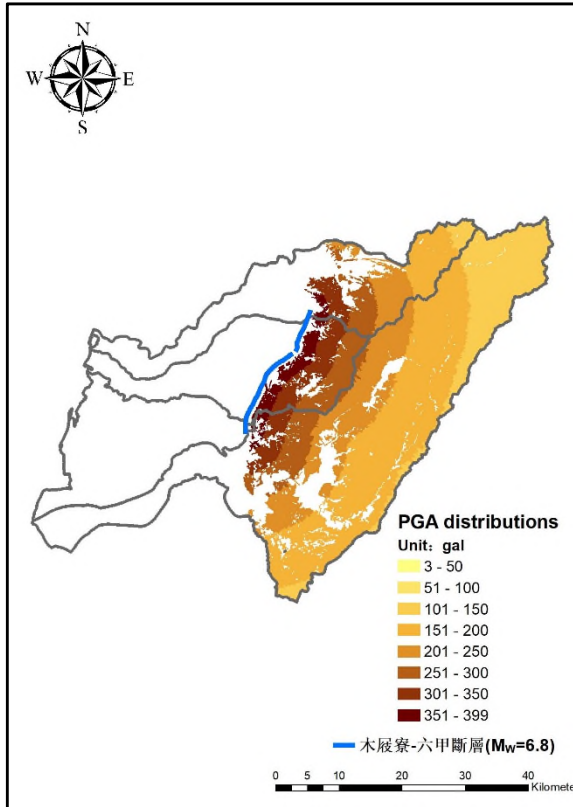


圖 6-87 木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGA 分布

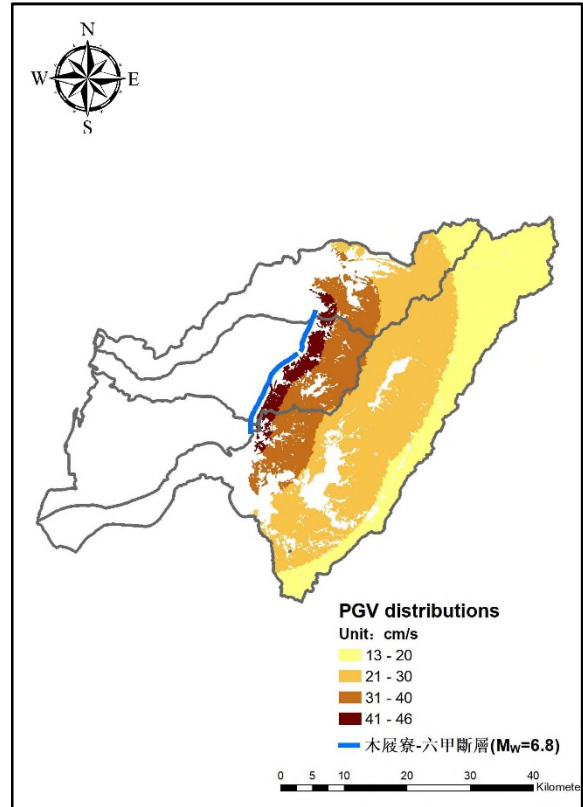


圖 6-88 木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之地表震度 PGV 分布

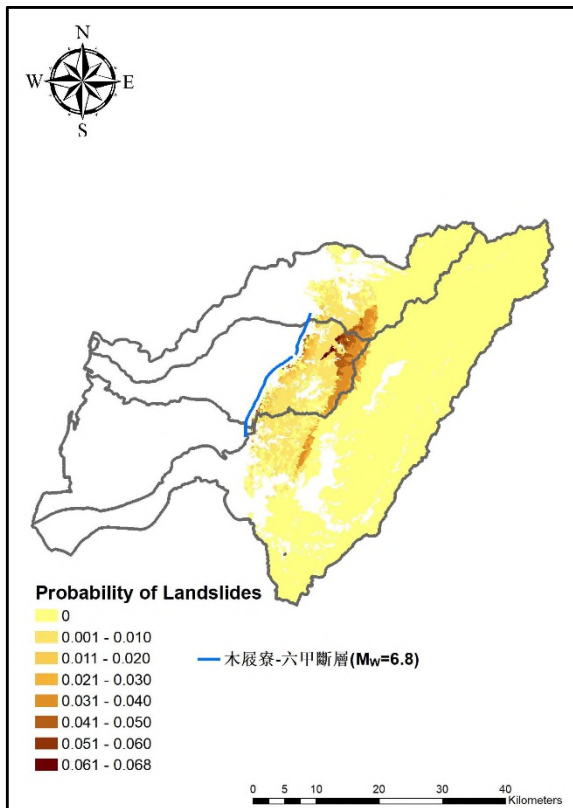


圖 6-89 木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

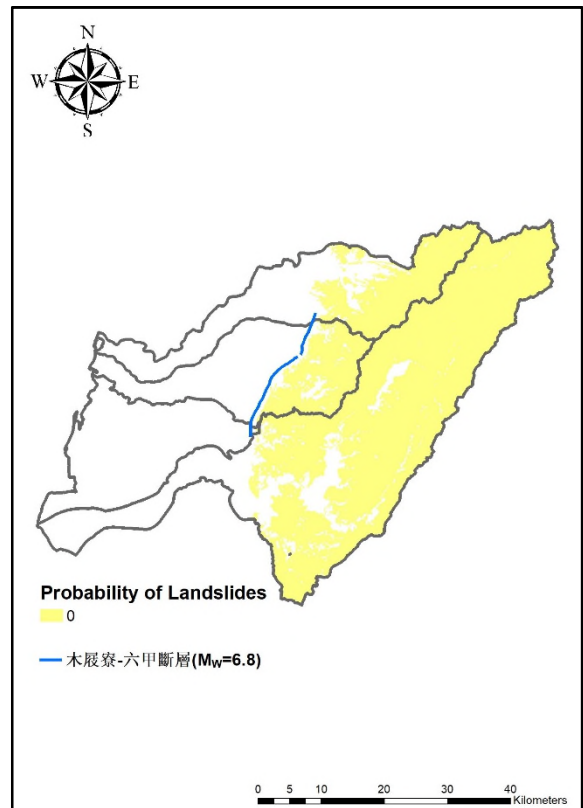


圖 6-90 木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-15 木屐寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	急水溪/白河水庫	392	255	0.068	0.000	0.00 ~ 25.91	0.008	0.000
2	急水溪/東原	334	250	0.044	0.000	0.00 ~ 19.78	0.004	0.000
3	急水溪/六重溪	394	264	0.068	0.000	0.00 ~ 14.04	0.005	0.000
4	八掌溪/中崙	286	221	0.042	0.000	0.00 ~ 10.09	0.005	0.000
5	曾文溪/曾文水庫 西岸	265	210	0.032	0.000	0.00 ~ 9.76	0.002	0.000
6	八掌溪/鹿寮水庫	387	259	0.048	0.000	0.00 ~ 6.26	0.002	0.000
7	曾文溪/楠西	261	203	0.032	0.000	0.00 ~ 4.23	0.001	0.000
8	曾文溪/烏山頭水 庫	386	247	0.034	0.000	0.00 ~ 4.19	0.001	0.000
9	曾文溪/大內	377	214	0.036	0.000	0.00 ~ 3.00	<0.001	0.000
10	急水溪/龜重溪中 游	395	310	0.050	0.000	0.00 ~ 0.70	<0.001	0.000
11	八掌溪/中埔	299	212	0.032	0.000	0.00 ~ 0.36	<0.001	0.000
	全台合計					0.00 ~ 98.76		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

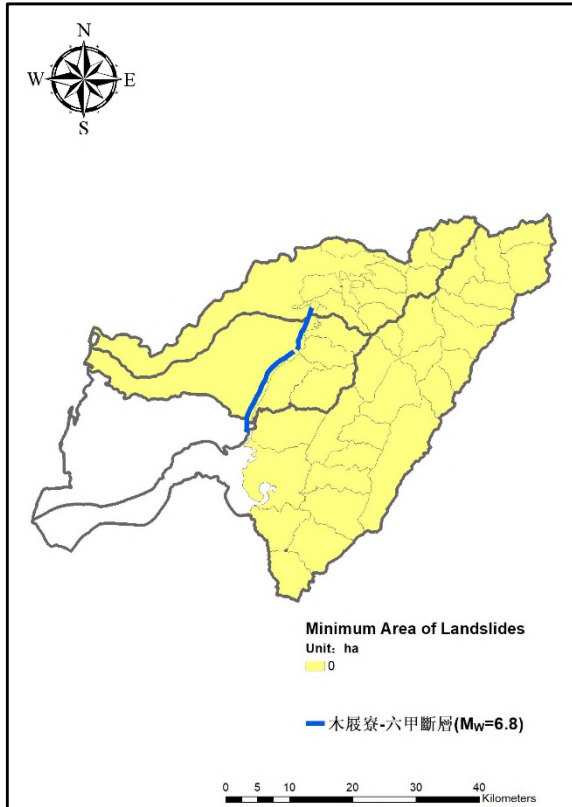


圖 6-91 木展寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

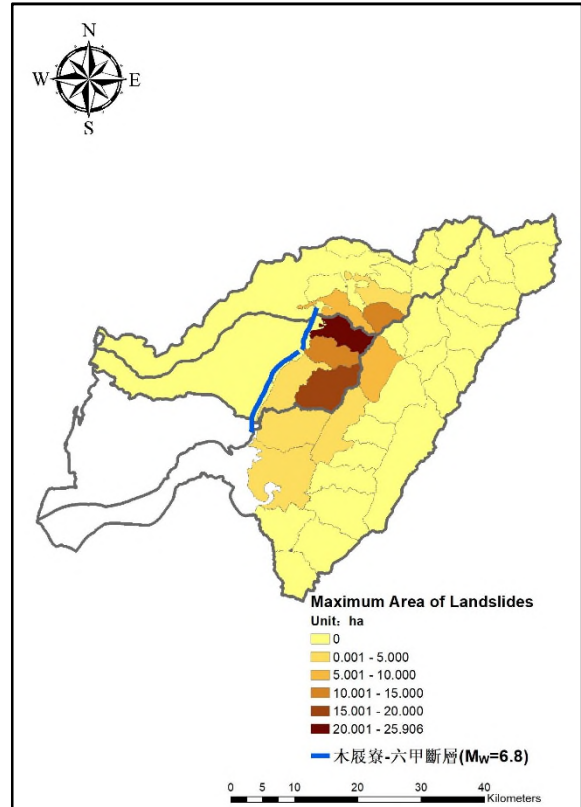


圖 6-92 木展寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

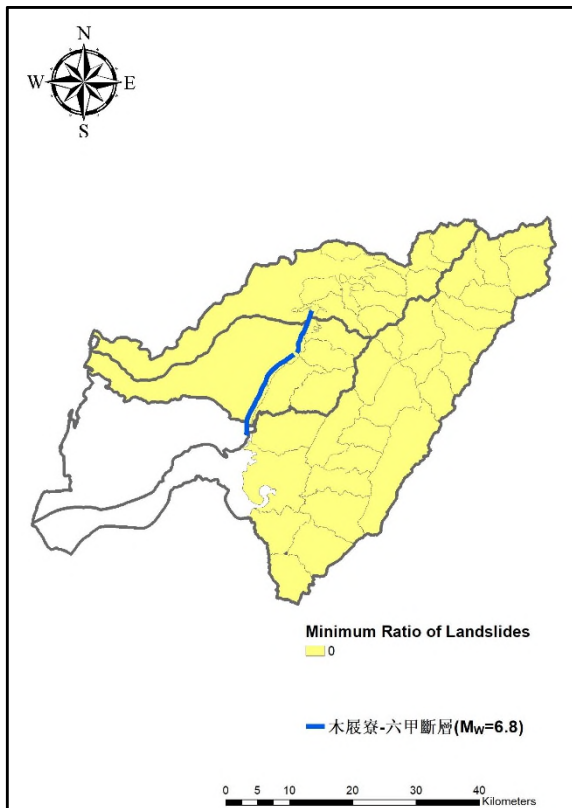


圖 6-93 木展寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

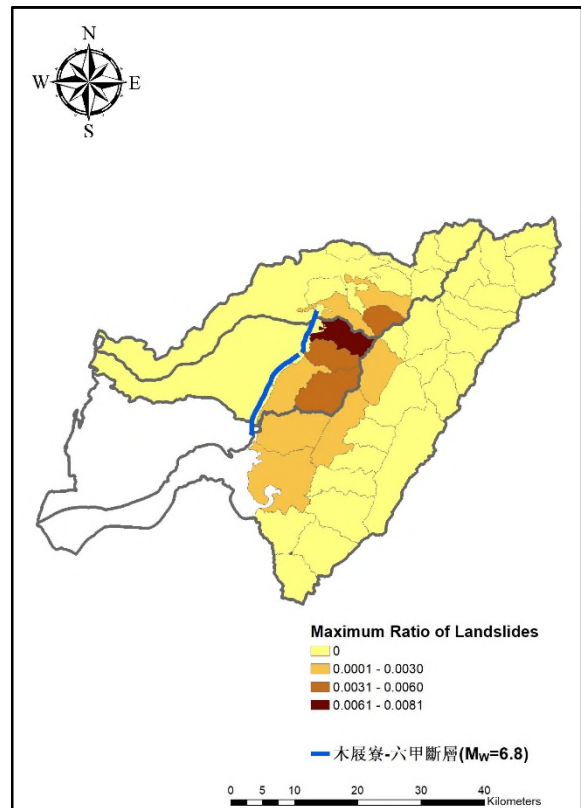


圖 6-94 木展寮-六甲斷層情境 ($M_w=6.8$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

第十一節 編號 CGS26-64 米崙斷層情境

以東部米崙斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。米崙斷層最大可能規模 6.4，未來 50 年發生機率 42 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-95 和圖 6-96 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-97 和圖 6-98 所示。

以 PGA 為因子之各河川流域可能崩塌評估分析結果如表 6-16 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 0.31~25.16 ha，有可能崩塌之集水區分別為：美崙溪/美崙溪集水區 (0.00~17.49 ha，集水區最大崩塌率 0.9 %)、三棧溪/三棧北溪集水區(0.31~3.85 ha，集水區最大崩塌率 0.1 %)和美崙溪/美崙溪上游集水區 (0.00~3.27 ha，集水區最大崩塌率 0.1 %)等三個集水區。集水區崩塌範圍分布如圖 6-99 及圖 6-100 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-101 及圖 6-102 所示。

如圖 6-96 和圖 6-98 所示，以各坡面單元 PGV 之震度皆未超過震級 6 弱，因此未達評估門檻值 ($PGV \geq 50$ cm/s)，坡面單元之崩塌機率為零。

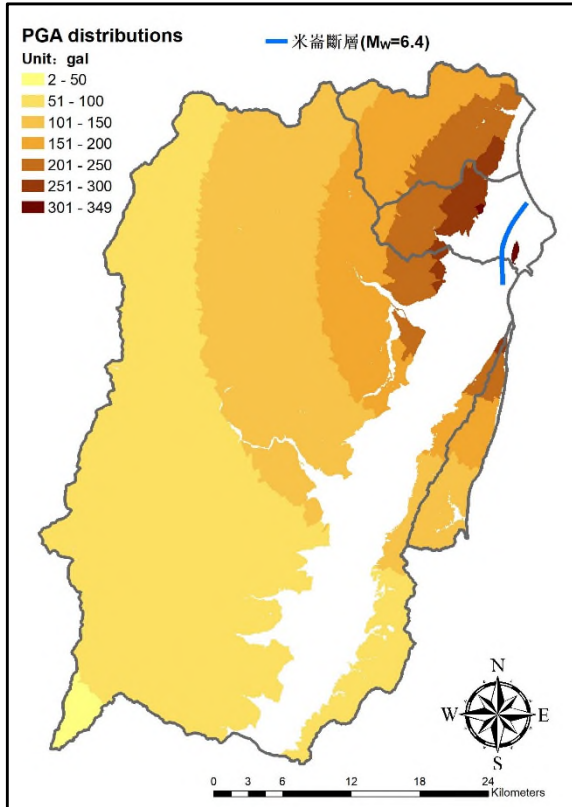


圖 6-95 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之地表震度 PGA 分布

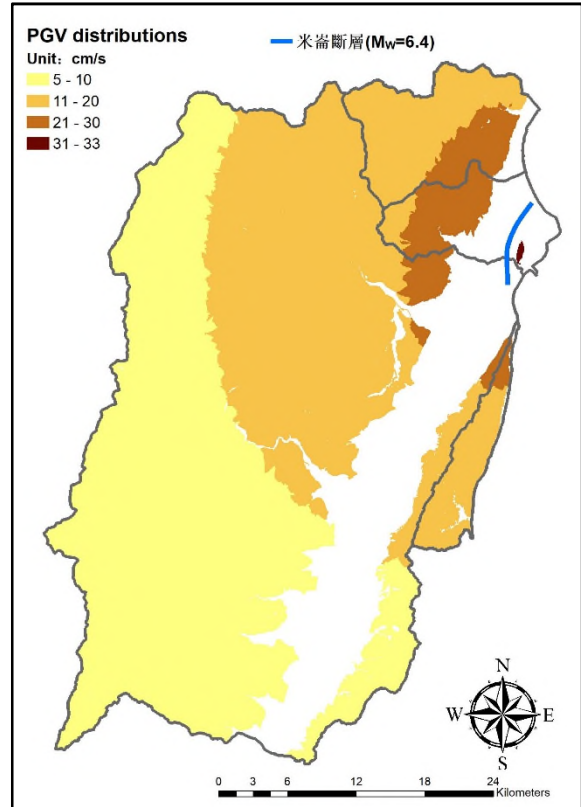


圖 6-96 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之地表震度 PGV 分布

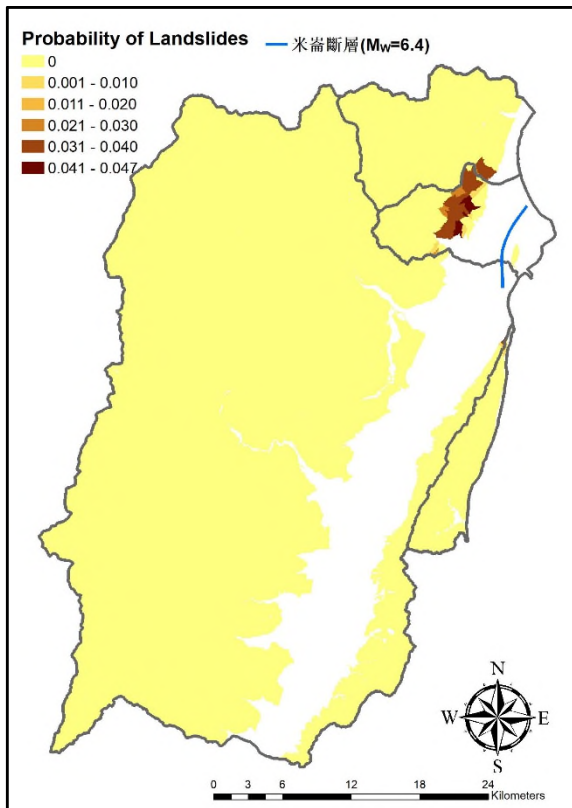


圖 6-97 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

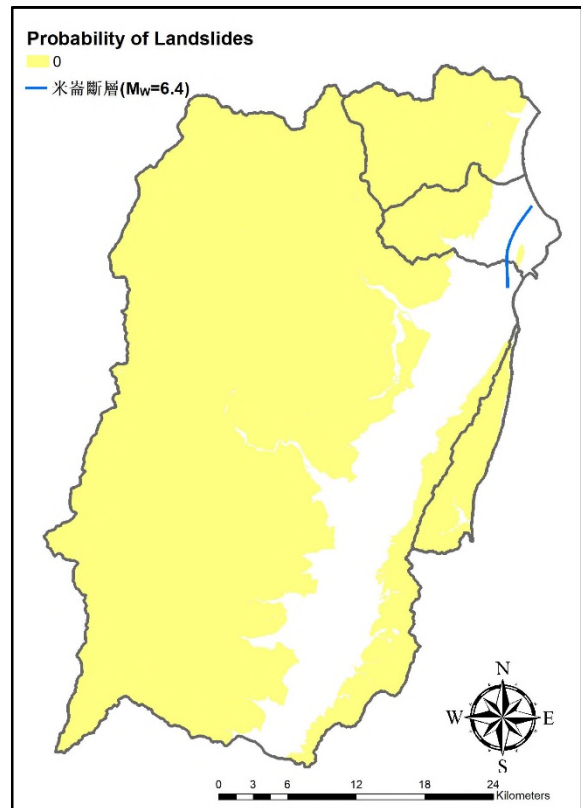


圖 6-98 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-16 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA_{max} (gal)	PGA_{min} (gal)	坡面單元 PL_{max}	坡面單元 PL_{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL_{max}	集水區 RL_{min}
1	美崙溪/美侖溪	302	234	0.046	0.000	0.00 ~ 17.49	0.009	0.000
2	三棧溪/三棧北溪	270	164	0.038	0.000	0.31 ~ 3.85	0.001	<0.001
3	美崙溪/美侖溪上游	261	188	0.034	0.000	0.00 ~ 3.27	0.001	0.000
	全台合計					0.31 ~ 25.16		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

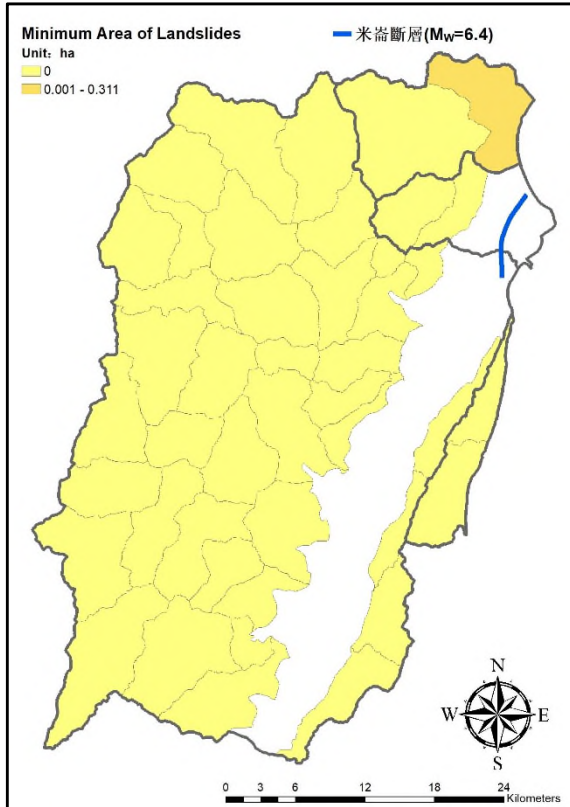


圖 6-99 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

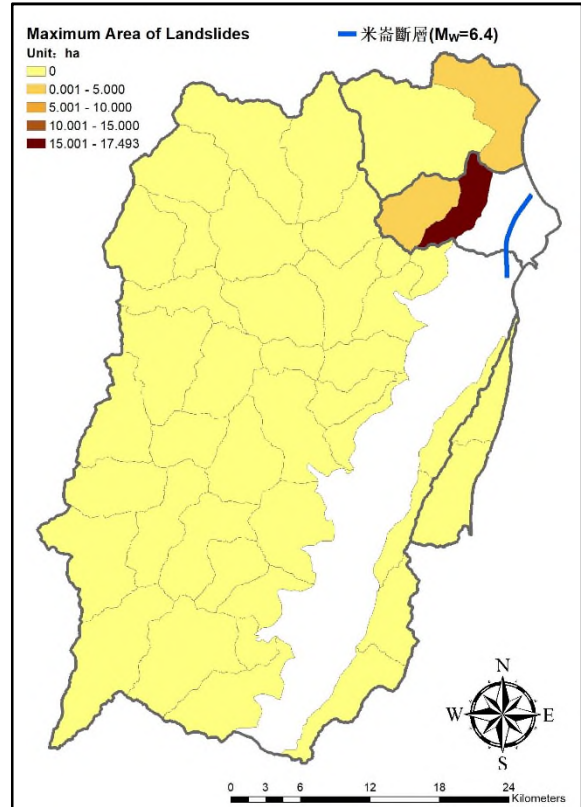


圖 6-100 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

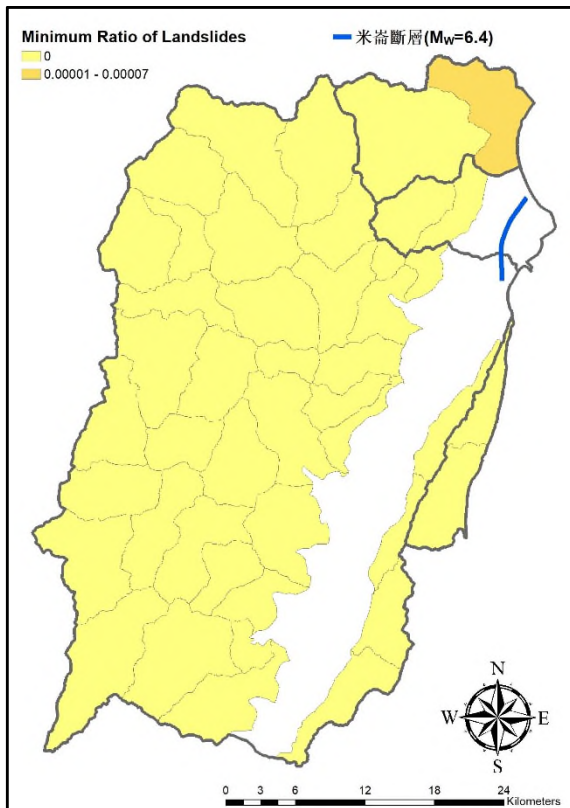


圖 6-101 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

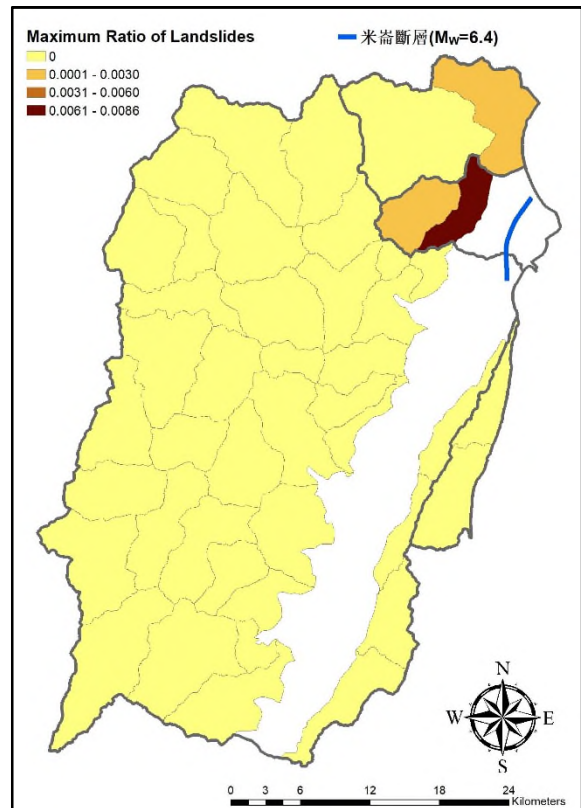


圖 6-102 米崙斷層情境 ($M_w=6.4$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

第十二節 編號 CGS32-62 鹿野斷層情境

以東部鹿野斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。鹿野斷層最大可能規模 6.2，未來 50 年發生機率 37 %。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-103 和圖 6-104 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-105 和圖 6-106 所示。

以 PGA 為因子之各河川流域可能崩塌評估分析結果如表 6-17 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 1.07 ~ 159.95 ha，依最大可能崩塌面積排序前五崩塌集水區分別為：卑南溪/鹿寮溪集水區 (0.00 ~ 36.39 ha，集水區最大崩塌率 0.7 %)、卑南溪/鹿鳴集水區 (0.78 ~ 34.83 ha，集水區最大崩塌率 1.0 %)、太平溪/萬萬集水區 (0.00 ~ 28.56 ha，集水區最大崩塌率 1.0 %)、卑南溪/紅葉集水區 (0.28 ~ 26.66 ha，集水區最大崩塌率 0.8 %)、太平溪/大巴六九溪集水區 (0.00 ~ 25.81 ha，集水區最大崩塌率 0.1 %)，表中可見僅 7 個集水區發生崩塌，卑南溪、太平溪為主要崩塌河川。集水區崩塌範圍分布如圖 6-107 及圖 6-108 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-109 及圖 6-110 所示。

如圖 6-104 和圖 6-106 所示，以各坡面單元 PGV 之震度皆未超過震級 6 弱，因此未達評估門檻值 ($PGV \geq 50$ cm/s)，坡面單元之崩塌機率為零。

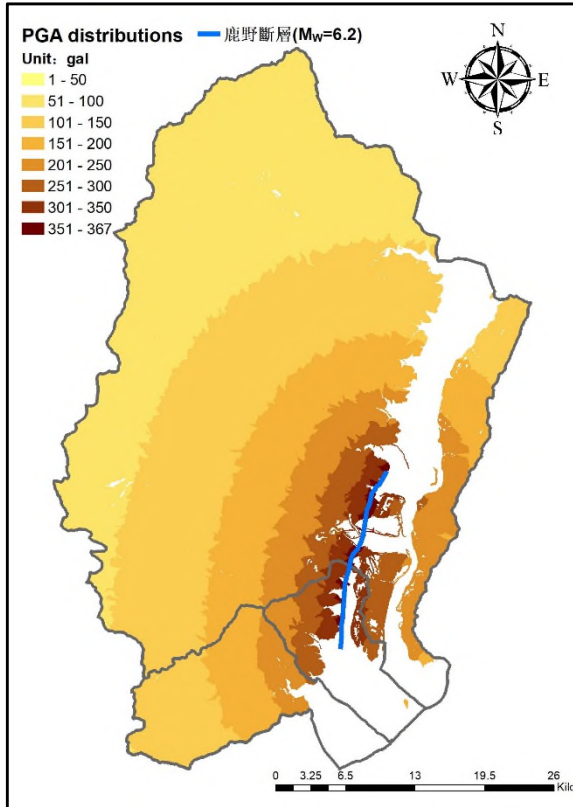


圖 6-103 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之地表震度 PGA 分布

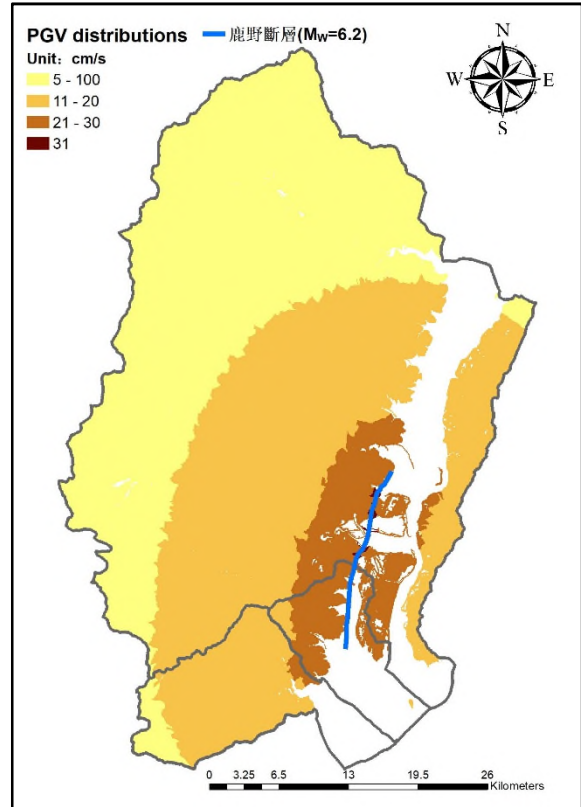


圖 6-104 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之地表震度 PGV 分布

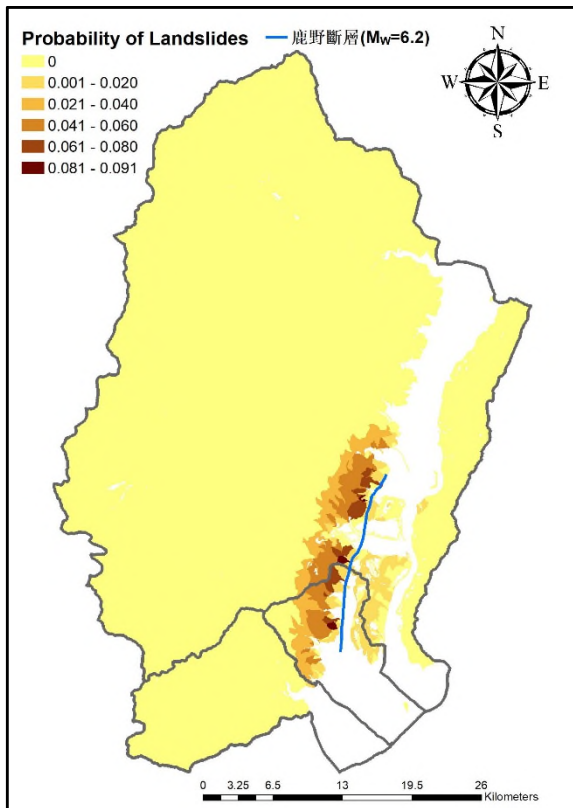


圖 6-105 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

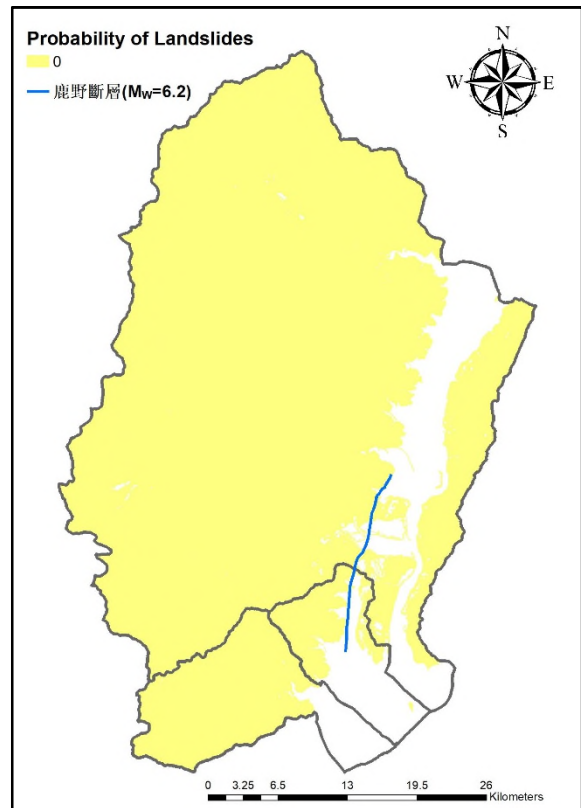


圖 6-106 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-17 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	卑南溪/鹿寮溪	365	189	0.091	0.000	0.00 ~ 36.39	0.007	0.000
2	卑南溪/鹿鳴	366	234	0.082	0.000	0.78 ~ 34.83	0.010	<0.001
3	太平溪/萬萬	358	260	0.081	0.000	0.00 ~ 28.56	0.010	0.000
4	卑南溪/紅葉	317	207	0.065	0.000	0.28 ~ 26.67	0.008	<0.001
5	太平溪/大巴六九溪	323	212	0.057	0.000	0.00 ~ 25.81	0.010	0.000
6	卑南溪/松風溪	283	205	0.047	0.000	0.00 ~ 5.38	0.004	0.000
7	卑南溪/加拿溪	273	178	0.037	0.000	0.00 ~ 2.33	0.001	0.000
	全台合計					1.07 ~ 159.95		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

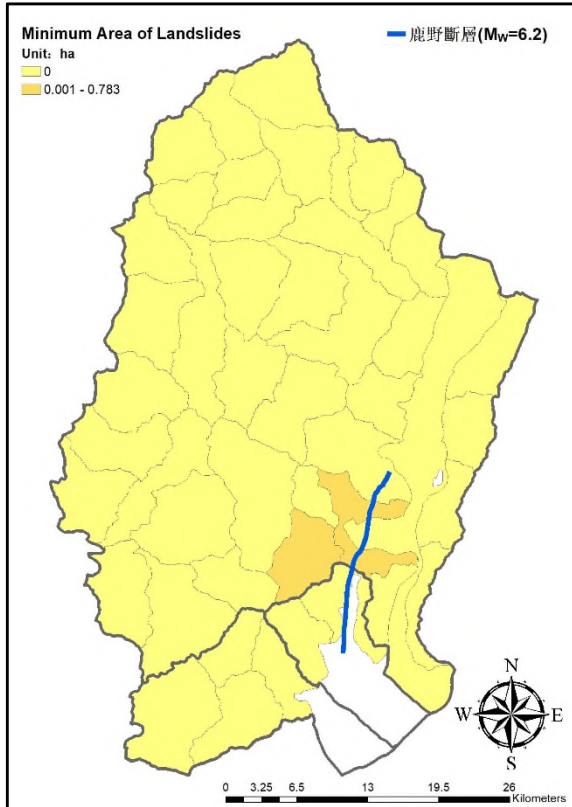


圖 6-107 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

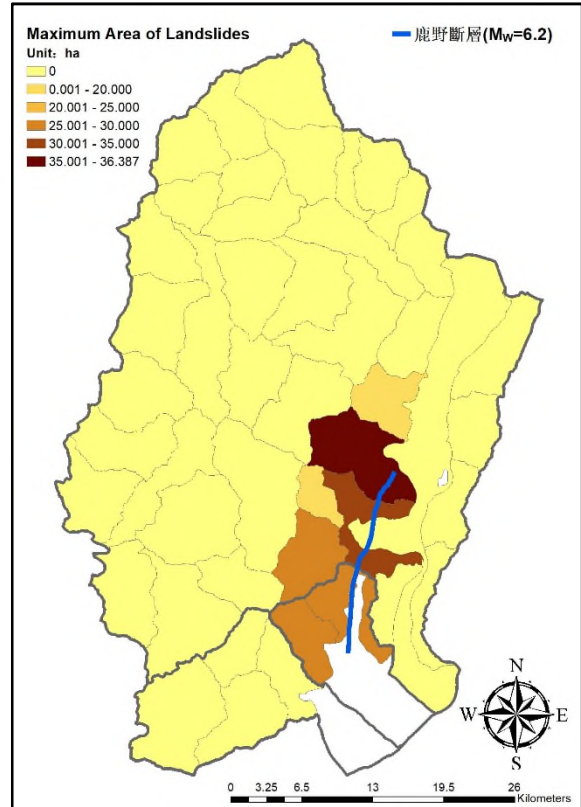


圖 6-108 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

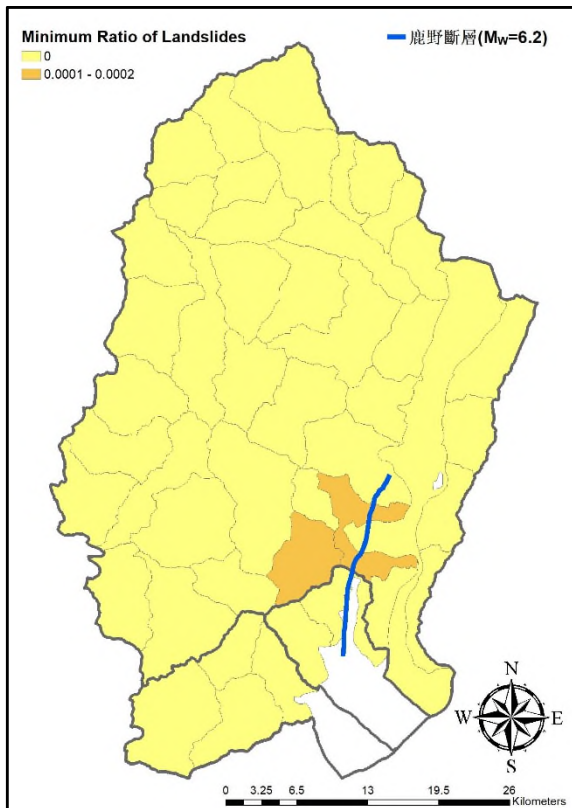


圖 6-109 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

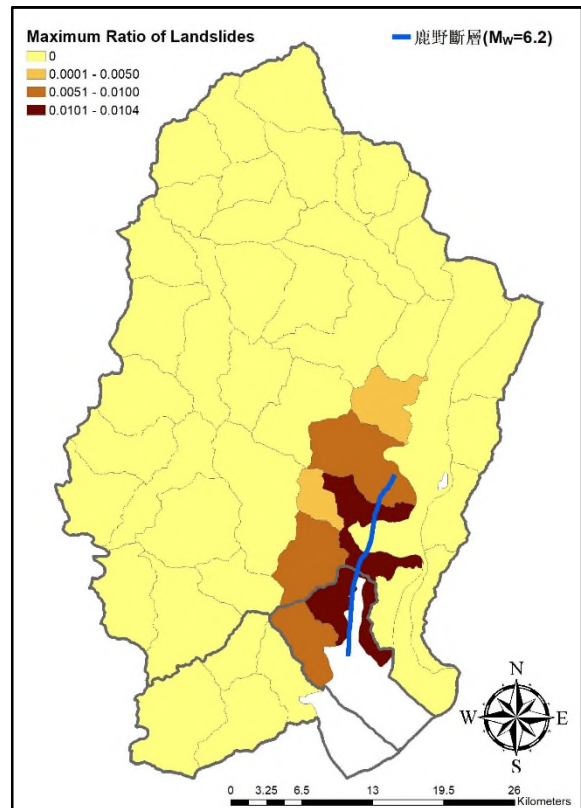


圖 6-110 鹿野斷層情境 ($M_w=6.2$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

第十三節 編號 TEM33-75 花東縱谷斷層情境

以東部花東縱谷斷層及其最大可能規模作為地震引致崩塌評估之震源參數，並基於崩塌評估基礎資料庫進行坡面單元評估。花東縱谷斷層最大可能規模 7.5，未來 50 年發生機率 17%。依震度衰減率評估各坡面單元 PGA 和 PGV 震度分布分別如圖 6-111 和圖 6-112 所示，各坡面單元 PGA 和 PGV 之崩塌機率分布分別如圖 6-113 和圖 6-114 所示。

以 PGA 為因子之評估結果如表 6-18 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 601.13 ~ 17964.70 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：秀姑巒溪/富源溪上游集水區 (15.24~ 303.88 ha，集水區最大崩塌率 4.5%)、卑南溪/大崙溪集水區 (9.48~ 284.19 ha，集水區最大崩塌率 4.8%)、卑南溪/泥水溪集水區 (9.42 ~ 266.95 ha，集水區最大崩塌率 7.2%)、花蓮溪/馬大鞍溪中游集水區 (10.73 ~ 262.23 ha，集水區最大崩塌率 4.5%)、花蓮溪/阿羅朗集水區 (7.13 ~ 257.01 ha，集水區最大崩塌率 8.3%)，表中可見秀姑巒溪、卑南溪、花蓮溪等為主要崩塌河川。高震度區之集水區崩塌範圍分布如圖 6-115 及圖 6-116 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-117 及圖 6-118 所示。

以 PGV 為因子之評估結果如表 6-19 所示，經評估全台可能總崩塌面積為 200.43 ~ 10603.10 ha，依最大可能崩塌面積排序前五集水區分別為：秀姑巒溪/富源溪上游集水區 (8.27~ 205.46 ha，集水區最大崩塌率 3.0%)、卑南溪/大崙溪集水區 (3.30~ 185.00 ha，集水區最大崩塌率 3.2%)、花蓮溪/馬大鞍溪中游集水區 (3.47~ 179.87 ha，集水區最大崩塌率 3.1%)、秀姑巒溪/石平溪集水區 (5.87 ~ 169.23 ha，集水區最大崩塌率 5.0%)、卑南溪/美奈田集水區 (1.02 ~ 167.78 ha，集水區最大崩塌率 2.4%)，表中可見秀姑巒溪、卑南溪、花蓮溪等為主要崩塌河川。集水區崩塌範圍分布如圖 6-119 及圖 6-120 所示；集水區崩塌率範圍分布如圖 6-121 及圖 6-122 所示。

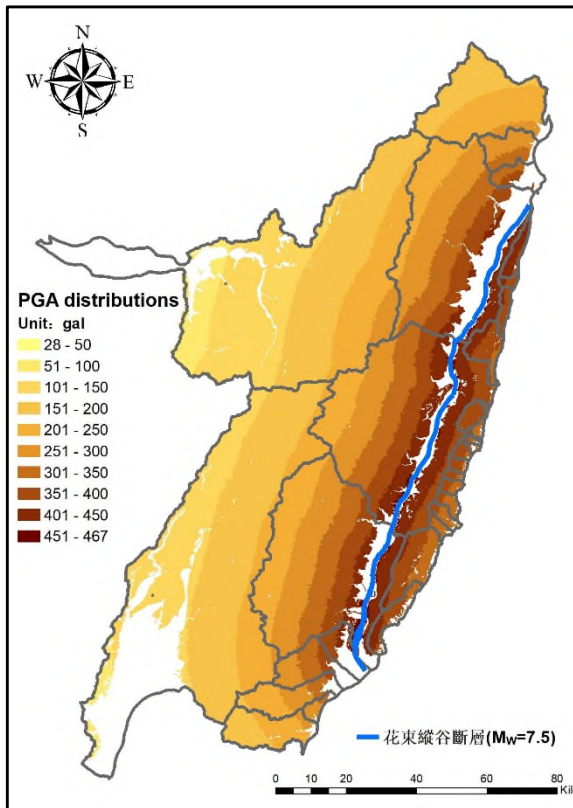


圖 6-111 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之地表震度 PGA 分布

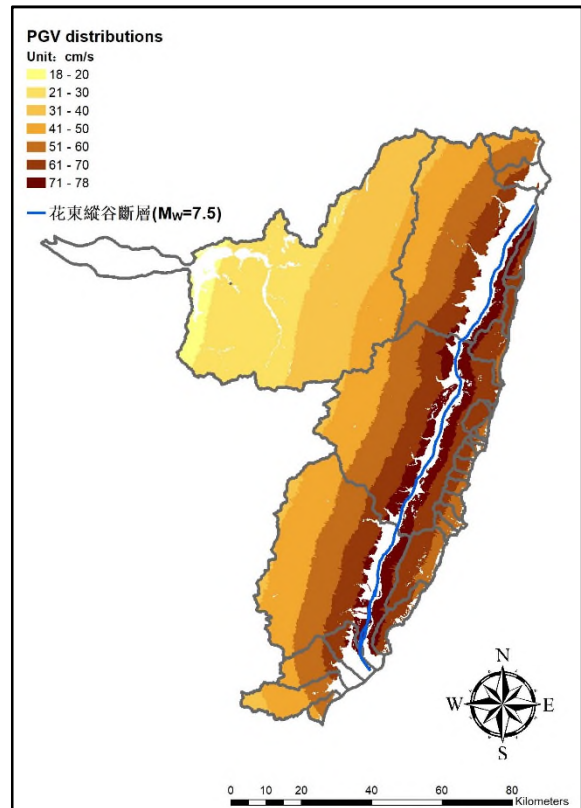


圖 6-112 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之地表震度 PGV 分布

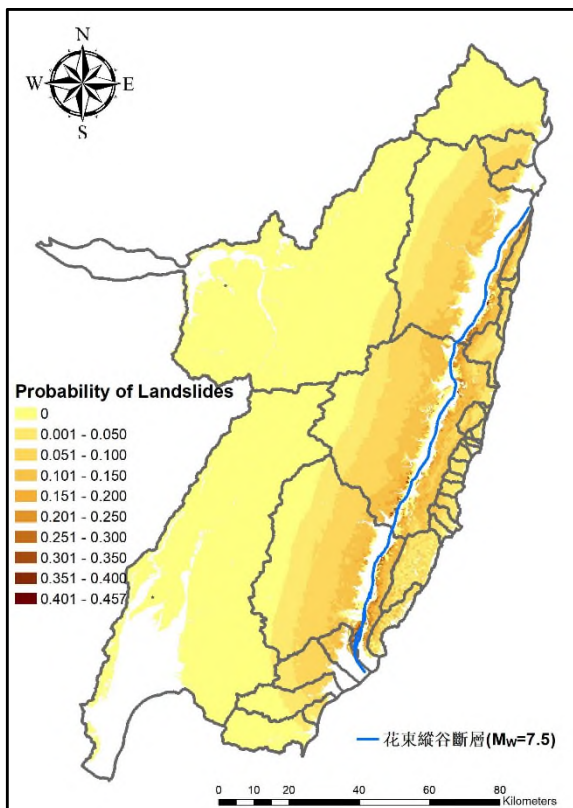


圖 6-113 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之坡面單元崩塌機率 (PGA)

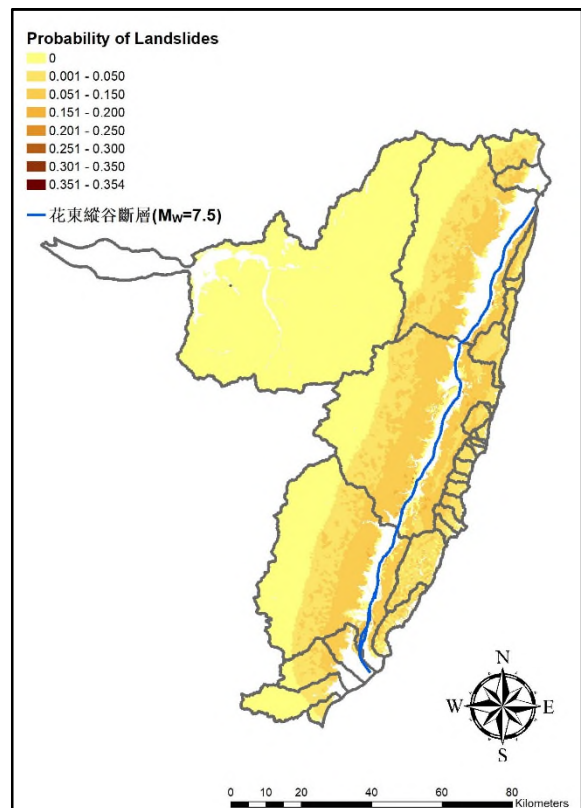


圖 6-114 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之坡面單元崩塌機率 (PGV)

表 6-18 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 坡面崩塌評估 (PGA)

編號	河川/集水區	PGA _{max} (gal)	PGA _{min} (gal)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	秀姑巒溪/富源溪上游	381	311	0.118	0.060	15.24 ~ 303.88	0.045	0.002
2	卑南溪/大崙溪	384	305	0.120	0.059	9.48 ~ 284.19	0.048	0.002
3	卑南溪/泥水溪	455	404	0.291	0.000	9.42 ~ 266.95	0.072	0.003
4	花蓮溪/馬大鞍溪中游	388	310	0.110	0.061	10.73 ~ 262.23	0.045	0.002
5	花蓮溪/阿羅朗	456	402	0.307	0.000	7.13 ~ 257.01	0.083	0.002
6	秀姑巒溪/樂樂溪	435	329	0.166	0.000	17.96 ~ 252.69	0.051	0.004
7	卑南溪/美奈田	347	279	0.093	0.000	2.52 ~ 244.70	0.035	<0.001
8	秀姑巒溪/石平溪	465	385	0.388	0.000	17.02 ~ 244.38	0.072	0.005
9	三棧溪/三棧溪	333	253	0.079	0.026	1.62 ~ 241.69	0.027	<0.001
10	花蓮溪/南清水溪	432	364	0.179	0.000	15.09 ~ 237.29	0.057	0.004
11	卑南溪/鹿寮溪	461	339	0.168	0.000	10.30 ~ 232.69	0.047	0.002
12	秀姑巒溪/柏南山	380	293	0.122	0.021	9.38 ~ 227.85	0.044	0.002
13	秀姑巒溪/馬西桑	438	344	0.199	0.071	14.96 ~ 220.10	0.059	0.004
14	秀姑巒溪/龍泉	443	368	0.181	0.085	13.35 ~ 214.72	0.062	0.004
15	秀姑巒溪/卓溪	446	358	0.227	0.000	8.95 ~ 213.40	0.054	0.002
16	秀姑巒溪/崙山	449	353	0.247	0.000	10.75 ~ 208.00	0.044	0.002
17	卑南溪/鹿野	456	412	0.317	0.000	8.08 ~ 202.18	0.083	0.003
18	秀姑巒溪/苓雅溪	454	396	0.363	0.000	4.19 ~ 198.33	0.059	0.001
19	卑南溪/鹿寮溪中游	369	300	0.107	0.052	4.28 ~ 198.27	0.041	0.001
20	秀姑巒溪/豐坪溪	359	302	0.101	0.056	9.24 ~ 197.40	0.039	0.002
	全台合計					601.13 ~ 17964.70		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

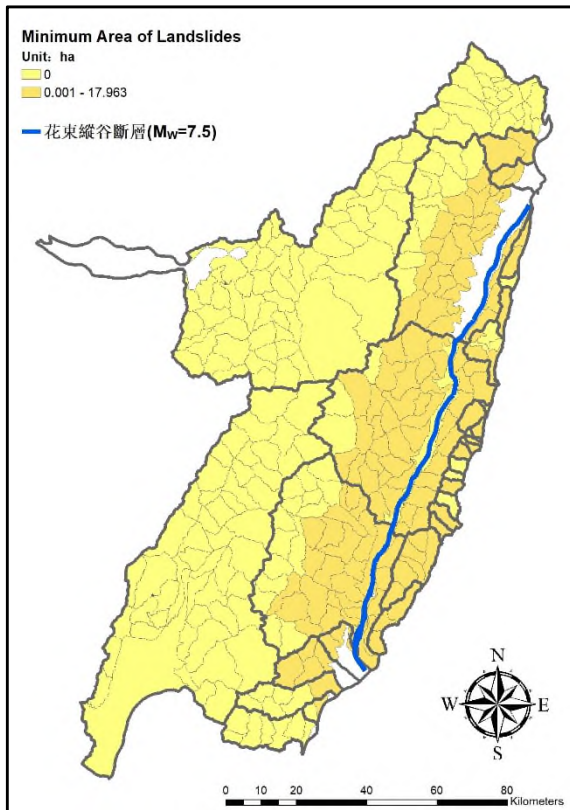


圖 6-115 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌量 (PGA)

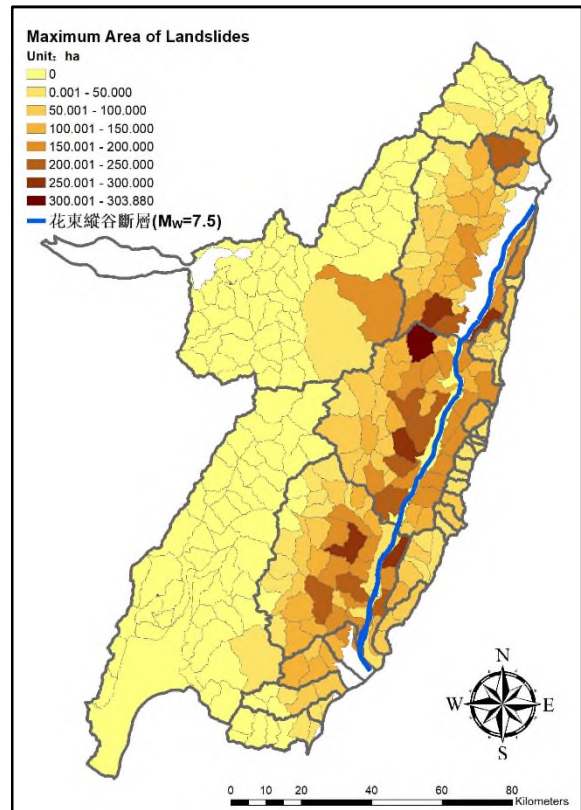


圖 6-116 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌量 (PGA)

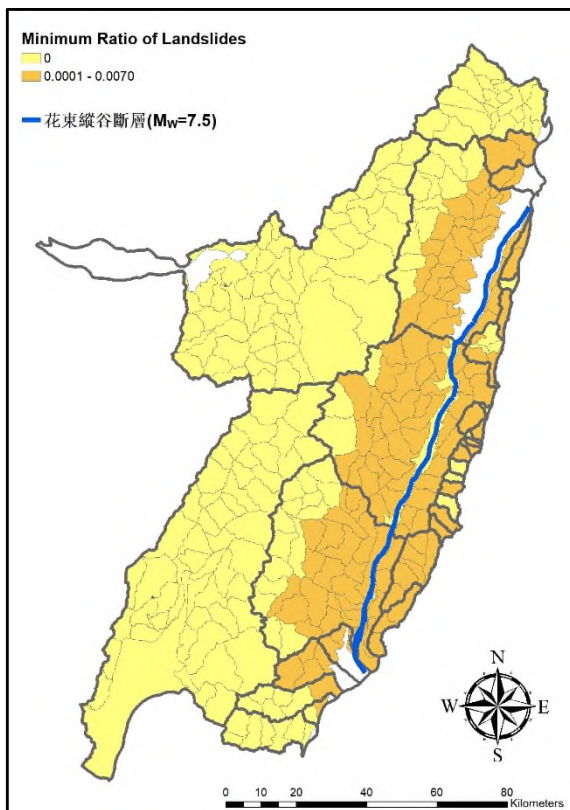


圖 6-117 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌率 (PGA)

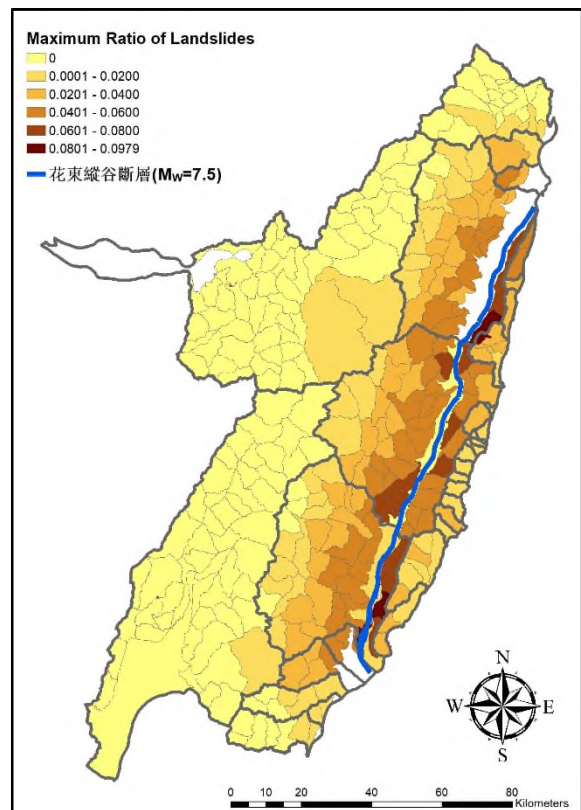


圖 6-118 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌率 (PGA)

表 6-19 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 坡面崩塌評估 (PGV)

編號	河川/集水區	PGV _{max} (cm/s)	PGV _{min} (cm/s)	坡面單元 PL _{max}	坡面單元 PL _{min}	集水區崩塌面積 估計值(ha)	集水區 RL _{max}	集水區 RL _{min}
1	秀姑巒溪/富源溪 上游	66	55	0.099	0.036	8.27 ~ 205.46	0.030	0.001
2	卑南溪/大崙溪	66	54	0.115	0.036	3.30 ~ 185.01	0.032	0.001
3	花蓮溪/馬大鞍溪 中游	67	55	0.110	0.035	3.47 ~ 179.87	0.031	0.001
4	秀姑巒溪/石平溪	78	66	0.230	0.000	5.87 ~ 169.23	0.050	0.002
5	卑南溪/美奈田	60	50	0.094	0.000	1.02 ~ 167.78	0.024	<0.001
6	卑南溪/泥水溪	77	69	0.161	0.000	2.47 ~ 166.01	0.061	0.001
7	花蓮溪/南清水溪	73	63	0.155	0.000	4.70 ~ 157.98	0.038	0.001
8	秀姑巒溪/樂樂溪	74	58	0.133	0.000	6.20 ~ 153.43	0.031	0.001
9	秀姑巒溪/龍泉	75	64	0.147	0.044	5.85 ~ 149.12	0.043	0.002
10	秀姑巒溪/柏南山	65	52	0.120	0.019	3.39 ~ 149.07	0.029	0.001
11	卑南溪/鹿寮溪	78	59	0.161	0.000	2.31 ~ 146.90	0.030	<0.001
12	秀姑巒溪/馬西桑	74	60	0.168	0.032	7.38 ~ 145.85	0.039	0.002
13	花蓮溪/馬大鞍溪 上游	57	50	0.074	0.027	1.42 ~ 144.77	0.023	<0.001
14	三棧溪/三棧溪	58	46	0.073	0.000	0.75 ~ 144.57	0.016	<0.001
15	花蓮溪/阿羅朗	77	69	0.206	0.000	1.49 ~ 142.65	0.046	<0.001
16	秀姑巒溪/卓溪	75	62	0.133	0.000	2.91 ~ 140.33	0.035	0.001
17	秀姑巒溪/豐坪溪	62	53	0.101	0.032	3.81 ~ 137.44	0.027	0.001
18	秀姑巒溪/苓雅溪	76	68	0.211	0.000	1.86 ~ 136.37	0.041	0.001
19	秀姑巒溪/九岸溪	76	65	0.162	0.000	2.77 ~ 134.53	0.034	0.001
20	秀姑巒溪/崙山	76	61	0.132	0.000	3.75 ~ 132.61	0.028	0.001
	全台合計					200.43 ~ 10603.10		

資料來源：本研究整理。因篇幅有限，至多僅表列前 20 個集水區，合計值為全台資料。

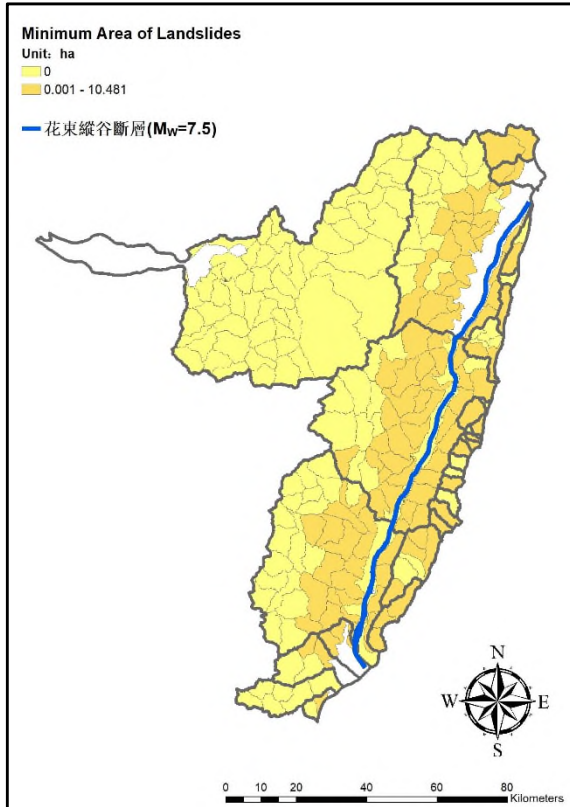


圖 6-119 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌量 (PGV)

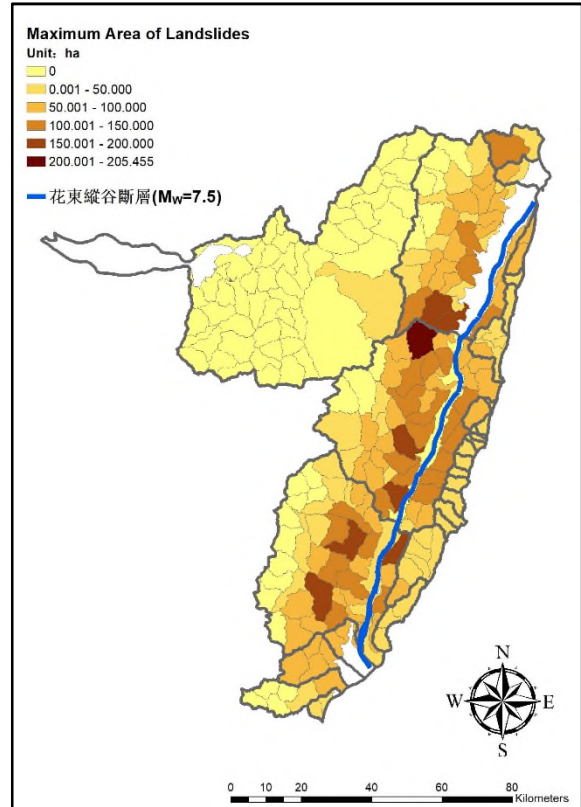


圖 6-120 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌量 (PGV)

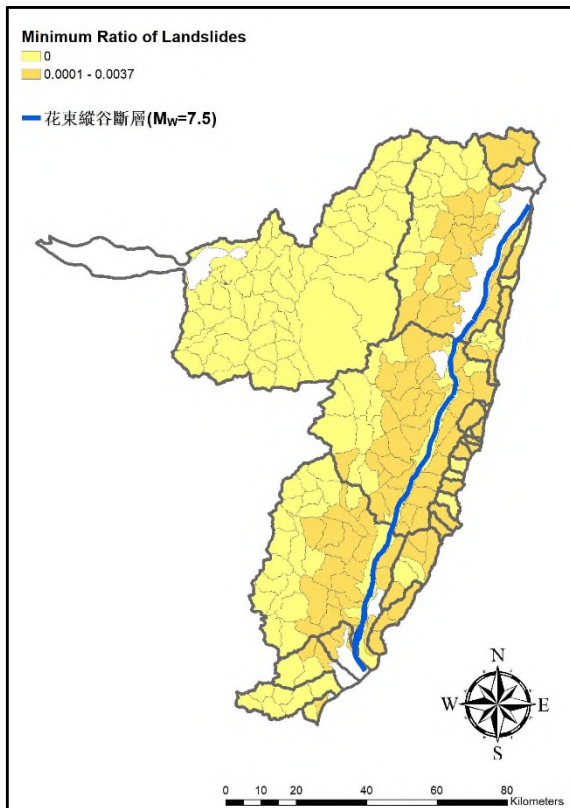


圖 6-121 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最小崩塌率 (PGV)

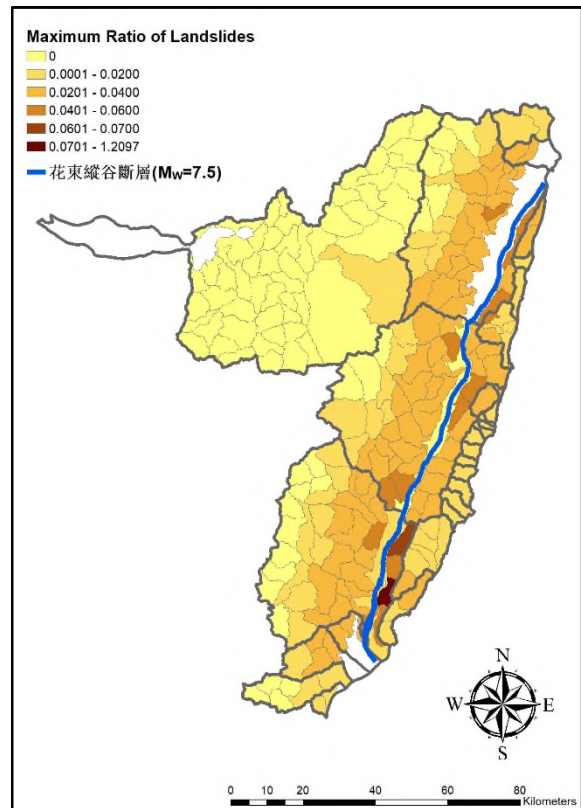


圖 6-122 花東縱谷斷層情境 ($M_w=7.5$) 之集水區最大崩塌率 (PGV)

第七章 結論與建議

- 一、在建立高震度區之坡地易損性模式方面，本計畫基於新制地震震度階級表，以及 921 地震崩塌資料庫之致災因子資料，完成 PGV 震度資料更新，建立其震度 6 弱級以上之 12 類坡地易損性曲線。基於 PGA 和 PGV 為致災誘因之坡地易損性曲線，將可作為未來震後坡地崩塌早期評估模式基礎。
- 二、在崩塌評估基礎資料庫擴充方面，考量未來 50 年發生最大可能規模、機率與代表性，本計畫選定以山腳斷層（最大規模 7.0，發生機率 4%）作為北部崩塌評估基礎資料庫之代表斷層，並完成坡面單元分類資料庫建置工作。
- 三、依據水保局新版之 839 集水區圖資更新，本計畫依據新的集水區屬性定義重新進行坡面單元編碼，並已完成全部資料庫更新作業，更新範圍除北部山腳斷層，亦包括前期計畫中已建置之中部車籠埔斷層資料庫、南部九芎坑斷層資料庫和東部花東縱谷斷層資料庫。
- 四、在未知斷層情況下之崩塌評估資料庫研析方面，本計畫考慮坡面單元所在之距斷層距離、集水區屬性與斷層位置及風險等因子完成震源分區劃分。以震源分區的概念建立坡地崩塌評估資料庫取用準則，形成區域型坡地崩塌評估資料庫，應用於即時評估時可快速利用震央位置及震度資料完成早期評估。
- 五、本計畫以 2018 年 0206 花蓮地震與 2021 年 0418 花蓮地震分別進行各河川流域可能崩塌評估測試，評估內容包括各河川集水區中坡面單元震度之最大及最小值，各河川集水區中坡面單元崩塌機率之最大及最小值、各河川集水區之可能總崩塌面積估計值範圍以及各河川集水區中可能崩塌率之最大及最小值。

- 六、本計畫以 2021 年 0418 花蓮地震事件進行模式驗證，利用 BigGIS 新增崩塌地評估功能進行事件花蓮溪流流域崩塌地判釋，經比對正判率為 71.80 %；誤判率為 23.08 %；漏判率為 5.12 %。結果顯示坡地崩塌評估模式趨保守，但正判仍達到 70 % 以上，對於可能崩塌範圍已具可靠度，應用於地震早期評估可作為震後坡地防災應變之參考。
- 七、在不同情境條件之震後坡地崩塌評估方面，依據 TEM 台灣孕震構造發震機率成果分別設定三個不同規模情境之 12 個模擬事件。評估結果顯示在台灣孕震構造發震機率中，部分斷層發震機率雖高，但最大可能地震規模並不大，因此地表震度並不高，使得坡面單元震度未達評估門檻或是崩塌機率不高，地震崩塌影響程度較小，這也顯示地震崩塌須具一定地震規模引發的高震度才會發生。
- 八、根據情境模擬結果，顯示致災因子 PGA 和 PGV 在震度衰減率評估下具有不同的尺度特性，由於 PGA 門檻值為 250 gal，大多數一定規模下的地震較易達到此震度值；而 PGV 門檻值為 50 cm/s，能夠達到此一門檻值通常需要較大規模地震，因此以 PGA 為致災因子相對於 PGV 而言保守得多。若僅以 PGV 評估可能漏判風險較高，建議未來二者可相互輔助，皆應做為坡地易損性模式的震度指標。
- 九、本研究中情境模擬之地表震度推估皆是依據地震衰減率回歸公式，經分析經驗與實際地震有所差異，這亦是誤差產生的原因，尤其在高震度區更為明顯，建議未來可適當放大模擬之地震規模，或是根據實際經驗修正模擬之震度值，以降低可能誤差。
- 十、震後坡地崩塌評估模式整合坡地易損性分析、地震害度分析以及地震崩塌風險分析，本計畫成果將整合至水保局 BigGIS 系統中，基於系統即時接收中央氣象局地震速報資料，以實際地震後之評估結果作為相關單位震後災後初期決策參考。

行政院農業委員會水土保持局
基於不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估研究
附錄一 計畫書審查意見回復

委員意見	意見回復
1. 研究擬選定斷層，依氣象局新震度分級納入 PGV 評估易損模式，其 PGV 之評估，目前無案例。	感謝委員建議，在分析上 PGA 與 PGV 之評估僅表達震度之地震物理量不同，二者互為積分關係，可經由 921 地震資料重新進行 PGV 推估分析即可。
2. 未知斷層以點震源分區，則無法定義未知斷層區帶。	感謝委員建議，未知確切斷層為地震初期的情況，此時可藉由中央氣象局即時地震資料推估震度分布，即不需經由斷層帶位置進行推估，直接以中央氣象局地震資料進行分析。
3. 前期成果有採 PGA 分級(50 年超越)，再現 475 年，車籠埔斷層等，各項成果差異甚大，並無統一解說，於實用價值上應用困難。	感謝委員建議，本計畫地震評估模式的核心為風險評估方法，風險問題不同會有不同的結果，在實務應用上也會有不同的面向，例如未來 50 年之地震機率與未來 50 年之地震強度即為不同的風險問題。
4. 車籠埔斷層成果，於斷層以東至埔里盆地間崩機率均為 0，與實際發生崩塌區位差異極大。	感謝委員建議，經查該處區域崩塌機率約在 0.00~0.48 之間，烏溪流域整體的崩塌面積評估為 2060.09 ha。
5. 各項分析以個別斷層震源，呈現不同圖幅，則在單一行政區之整體易損情形為何？	感謝委員建議，本計畫以個別河川流域來呈現相關成果，詳期末報告書。
6. 本研究前期成果有具體可行性，建議可持續針對多種情境加以測試，俾應用以震後早期快速評估。	感謝委員建議，本年度計畫已完成針對 12 個不同情境條件之震後坡地崩塌評估進行測試，以利評估震後早期快速評估可行性。
7. 計畫目標欠缺具體，對地震之時間、點位、規模均無可預知之前題下對崩塌機率作預測，似不切實際。	感謝委員建議，本計畫目標是利用地震早期氣象局之地震資料進行崩塌機率評估，主要目的是發展能在地震後能有效地掌握可能嚴重區域的系統性方法，應用於震後早期快速評估。

行政院農業委員會水土保持局
基於不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估研究

附錄二 期初審查意見回復

委員意見	意見回復
1. 請併行研究模擬預估、掌握可能嚴重區域等之可靠度分析。	遵照辦理，本計畫已完成針對 12 個不同情境條件之情境模擬預估，掌握可能嚴重區域。
2. 除 921 地震數據研究外，請再以 2016.02.06 美濃地震(規模 6.6) 及 2018.02.06 花蓮地震(規模 6.2)之地震資料，予以輔助驗證。	遵照辦理，本地震引致崩塌模式需達震級 6 弱以上才適用，經坡面單元震度評估，2016 美濃地震(規模 6.6)未達震度 6 以上，是故未達評估門檻。2018 花蓮地震(規模 6.2)中部分區域達震度 6 以上(舊制震級表)，崩塌評估結果詳見報告第五章第二節。
3. 蒐集之 95 年土地利用調查圖資老舊，請運用收集最新資料。	感謝委員建議，土地利用資料係用於易損性分析時濾除無崩塌潛勢或非自然崩塌區域，因此採用 921 地震前之 95 年土地利用調查圖資。
4. 山腳斷層之 50 年發生機率為 0%？(規模 7.0)，何以選該斷層為代表性(P89)。	感謝委員建議，山腳斷層之 50 年發生機率為 4%，是故本計畫選該斷層為代表性斷層。
5. 採震源分區概念建立坡度崩塌評估之概念，早年國震中心亦曾以之預測災害可能發生之地區與對象，似未相當實務可用，是否妥適，宜再深入檢討。	感謝委員指教，全面進行斷層資料庫所需資源較龐大，因此本計畫目前僅以四條斷層資料庫作為基礎，因此階段性地採用震源分區的概念，實務層面更妥適的做法應是進行各斷層評估資料庫建置，實務上應能更為準確地評估可能崩塌。
6. 本研究以震後坡地崩塌影響評估，而震後之可能災害已發生，此等評估有何意義。	感謝委員指教，震後坡地崩塌評估主要是解決大規模地震發生後，初期可能有資訊中斷、災情資訊不足的問題，而本研究發展的評估方法，即以震後早期之評估結果，提供主管機關應變指揮決策之參考，掌握可能發生災害之區域。

7. 4 月 18 日花東地震資料至今尚在分析，如何應用在震後之災害即時推估？	感謝委員指教，0418 震後坡地崩塌評估囿於地震資料仍須向相關單位取得，目前已取得並完成評估測試。未來將與水保局協調更即時取得地震資料的方式和來源，根據 0416 地震經驗，取得地震資料後一日內即可完成人工計算分析。
8. 以坡面單元為對象，似乎欠缺其坡面高程差之地形效應，如何代表坡面之受力中心點推估？	感謝委員建議，坡面分類中坡向因子已可涵蓋坡面地形效應，雖無法代表單一坡面之受力中心點，但可由統計分析評估大致的影響。
9. 地震發生之運動力似有方向性，如何掌握之？	感謝委員建議，地震波的方向性表現在坡向敏感因子中，該因子經由計算坡向與斷層方向的角度，掌握地震波與坡面的關係。
10. 第二章 P7~P33 之右上角章別錯置，請修正。	遵照辦理，已修正之。
11. P22 地震事件之 PGA 或 PGV，氣象局應有全臺之網格資料，是否尚需自行由 444 個強地動站測得之資料去計算？	感謝委員指教，蒐集強地震資料係進行震度推估之用，與氣象局全臺網格資料不衝突。
12. P47 有關水保局之 839 集水區圖資已更新完竣並公開於水保局資料平台，請配合更新資料。	遵照辦理，目前已取得 839 集水區圖資，並已完成全部資料庫更新。
13. 建議本年度先將前幾年度之成果建置於 BigGIS 上，以測試其運作機制，並逐年依研究資料之完整性，逐步提高資料品質。	遵照辦理。
14. 109 及 110 年創研計畫「近即時震波式同震山崩潛感圈」計畫，或可提供更多實際地震引起崩塌之案例供本計畫分析。	遵照辦理。
15. 震級 5 即屬強震，本計畫以震級 6 以上區域的崩塌致災資料作為分析對象，是否會漏掉一些有用的資訊。(P16)	感謝委員建議，由於震級 5 發生崩塌的資料仍不多見且多為零星崩塌，根據 921 地震的相關研究文獻亦指出崩塌多發生在 400gal 以上區域(烈震區)，因此考慮以震級 6 以上區域作為分析資料。

16. 環境因子資料庫分四個部分，除地文因子、篩選因子、崩塌資料外第四部分為何？若已知全台環境因子，未來是否輸入震級參數，即可知該地區可能崩塌機率？震後坡地崩塌快速評估可縮短多少時間？(P29)	感謝委員建議，環境因子資料庫應為三個部分，已修正文字錯誤。另震後坡地崩塌評估模式係藉由地震震度評估地區可能崩塌機率，因此若確定地震參數或是地震震度，即可進行機率分析。而目前震後坡地崩塌快速評估以人工計算分析約一日即可完成。
17. 本計畫已進行多年，今年最主要預期成果(或效益)為何？	為了測試過去研究成果的運作效果，本年度主要預期成果為更新、擴充全國資料庫，劃定震源分區資料庫，並完成震後坡地崩塌影響評估測試。
18. P51，第一段倒數第二行，「車籠埔斷層」應為「山腳斷層」。P51，順向坡歸類為 A1 弱面，與 P41 之 A1 為強面，前後矛盾。	遵照辦理，已修正。
19. P35，計畫依新制地震震度階級表將「震級 6 弱分界以下刪除」進行篩選，惟在 P16 說明，PGA 分析以震級 6 以上區域作為對象，說明不一致。(以下、以上、震度、震級等文字請再確認)	遵照辦理，已修正。

行政院農業委員會水土保持局
基於不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估研究

附錄三 期中審查意見回復

委員意見	意見回復
1. 應在封面或內頁裡註明計畫執行人及單位。	遵照辦理，已補充。
2. P.26，第 6 行，文中以斷層右側、左側名之，不妥，宜以東側、西側…等方向性註明之。	遵照辦理，已修正。
3. P.29，表 3-3 之新增崩塌地是單純 921 地震所生成，亦或包括颱風豪雨所致，應釐清。	感謝委員意見，表 3-3 是研究地區地震引致之新增崩塌地，經查前後期衛星影像之期間無嚴重侵襲颱風事件，汛期期間之衛星影像亦無重大變化。
4. P.51~P.53，改以 PGV 換算後之易損性曲線所呈現之超越機率有變大或變小之情形，原因為何？	感謝委員意見，PGV 與 PGA 之易損性參數係以致災資料分別獨立求得，反應的是這二種物理量的各別機率，非以物理量換算求得。此外，二者為積分關係，因此瞬間的震度延時有很大的影響，相對較高 PGA 不一定有相對較高的 PGV，反之亦然，因此易損性曲線就會有變大或變小之情形。
5. P.122~P.123，坡面單元之集水區屬性根據震源分區有可能劃分為不同資料庫，但集水區是地表地形分區，而斷層則是地表下地質構造現象，兩者是否有關？應以地表分區為主或是地表下斷層分布為主？請斟酌。（所謂不合理現象如何解釋？）	感謝委員建議，震源分區對於斷層和集水區分區皆有可慮，但二者是獨立因子所以不相關，已補充於期末報告中。
6. P.125，以 20180206 花蓮地震事件為例，惟該地震震央在外海，非為台東谷之震源分區，是否具代表性？	感謝委員意見，2016 美濃地震依中央大學報告以震源機制來判斷係米崙斷層錯動引致，其震源構造延伸至外海，因此地震震央在外海，但仍屬米崙斷層，不影響其震度評估。

7. P.132，以 20210418 花蓮地震事件推估之崩塌面積是與實際相符？	感謝委員意見，本計畫利用 BigGIS 新增崩塌地評估功能評估事件崩塌地，經比對正判率為 71.80 %；誤判率為 23.08 %；漏判率為 5.12 %。
8. 本研究成果建議儘速整合至本局 BigGIS，並以實際地震後之預測結果提供本局災後初期決策參考。	遵照辦理，將與開發廠商商議儘快完成。
9. 俟 PGV 完成 G2 類坡地易損性分析後，請綜整說明 PGA、PGV 為致災因子之坡地易損性分析結果，及 12 類坡地易損性參數之易損性曲線代表意義。(P50-53)	遵照辦理，詳見期末報告 P51。
10. 已完成 PGV 震度推估更新，並完成 G2 類坡面之坡地易損性曲線，後續將持續完成 G2 類坡地易損性曲線。文字是否有誤？請釐清。(P185 第三行)	遵照辦理，已修正。
11. 部分圖表以灰度值無法看出差異性，建議成果報告時以彩色圖表呈現。	遵照辦理，已修正。
12. P.97，第 6 行，各類坡面之「地質」，應為「坡度」。	遵照辦理，已修正。
13. 以震源分區作為快速評估方式，對於坡面單元之坡向，如何區分強面或弱面。目前震源分區初步分為 4 個，對於崩塌評估上是否足夠。可否以過去之地震與崩塌來驗證。	感謝委員意見，震源分區意指事先將震央位置予以分區，並套入已建置之坡面分類資料庫，因此已知震源分區即可知坡面單元之坡向。惟目前初步分為 4 個的確仍不足，目前實為階段性作法。
14. 報告書格式請依本局委辦計畫報告印製範本製作。	遵照辦理，已修正。
15. 封面計畫編號請修正為 SWCB-110-033。	遵照辦理，已修正。
16. 封底本局官網網址請修正為 https://www.swcb.gov.tw/	遵照辦理，已修正。
17. 請補充報告書內頁。	遵照辦理，已補充。

行政院農業委員會水土保持局
基於不同情境條件之震後坡地崩塌影響評估研究

附錄四 期末聯合審查意見回復

委員意見	意見回復
1. 研究成果豐富，具有決策支援參考價值，期望未來的實際應用。	感謝委員肯定。
2. 後續可考慮如何增加其他相關促崩因子進行分析，以提升預測準確程度。	感謝委員建議，未來將持續考量其它相關促崩因子進行分析。
3. PGV 和 PGA 易損性分析結果是否有嘗試結合。如何根據邊坡單元的崩塌機率推估崩塌體積。	感謝委員指教，研究團隊曾思考 PGV 與 PGA 分析結果合併評估，但考量二者物理量仍有其獨立性決定分開評估，在後續計畫中將針對雙指標坡地易損管理模式來整合二者。此外，本研究對於坡面單元之崩塌係以崩塌面積定義，因此對於崩塌體積的推估仍待進一步研究，或可參考目前較廣泛採用的面積-體積經驗公式來計算，例如國家災害防救科技中心所採用的面積-體積轉換公式。