

地震後坡地災害風險與因應對策 - 以台灣及日本為例

水土保持局
副總工程司 陳振宇

2018/07/17



思考一下

- 地震對於坡地或集水區之衝擊與影響為何？
- 地震無法預測，但能否事前先作好準備？
- 1999年九二一地震後，水保局因應對策為何？
- 2016年熊本地震後，日本砂防部因應對策為何？
- 如何藉由國內外的經驗，擬訂未來的對策？



簡報綱要

- 壹、地震引致之土砂災害
- 貳、1999年九二一地震經驗
- 參、2016年日本熊本地震經驗
- 肆、地震後短中長期因應對策



壹、地震引致之土砂災害





那一夜的天崩地裂－1999年九二一大地震

- 1999/9/21 01:47，車籠埔斷層錯動，持續長達102秒，造成2,444人死亡失蹤，11,305人受傷，51,711間房屋全倒，53,768間房屋半倒，並震毀許多鐵公路、橋樑、學校、維生管線等公共設施



- 斷層沿線地震抬昇路面造成超過1.5公尺以上之高低落差(黃國鋒提供)



謝金德 (照片授權方式：姓名標示)

- 斷層帶上的石岡壩斷裂(謝金德提供)



公共設施毀損



□ 南投縣名間鄉鐵軌嚴重變形(黃國鋒提供)



□ 斷層切過台中縣石岡鄉埤豐橋南側，河床隆起造成埤豐橋斷裂，卡車墜落翻覆(羅正義提供)



謝金德 (照片授權方式：姓名標示)

□ 水土保持局第三工程所倒塌(謝金德提供)



地震誘發大規模的崩塌



□ 南投九九峰受地震影響形成一夜白頭的景觀(黃國鋒提供)



謝金德 (照片授權方式：姓名標示)

□ 台中縣和平鄉自由村雙崎部落崩塌，房屋岌岌可危(謝金德)

□ 台中市太平區東和里北側坡地開發案，因地震造成大規模邊坡滑動(李世瑜)



謝金德 (照片授權方式：姓名標示)



地震誘發土壤液化致災

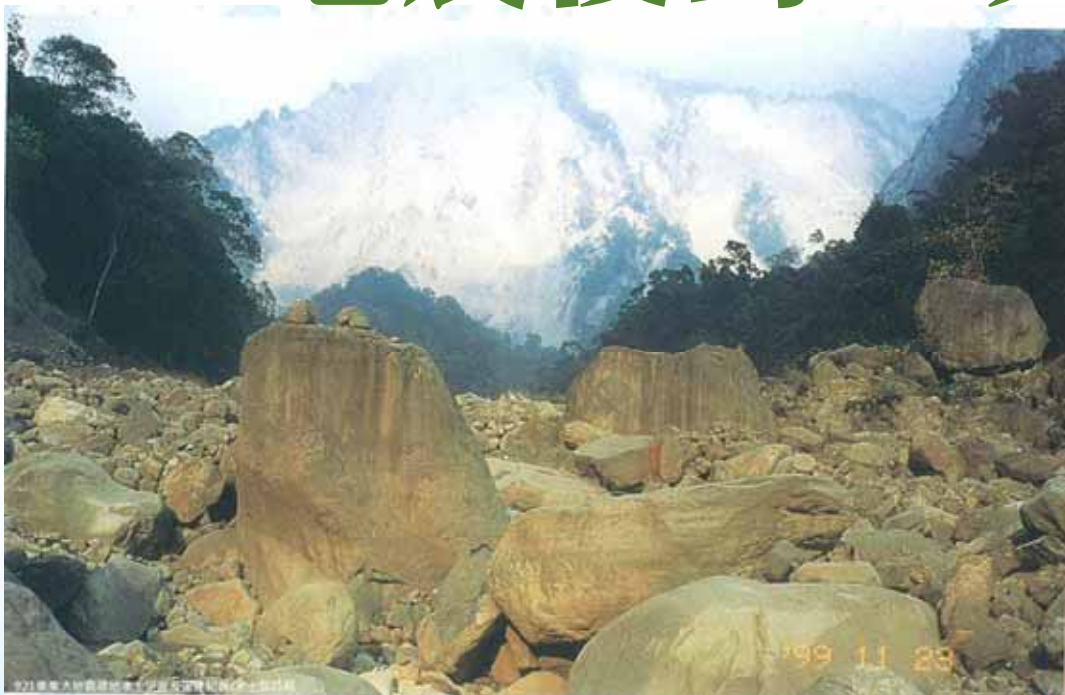


謝金德 (照片授權方式：姓名標示)

□ 霧峰鄉牛欄貢溪堤防因土壤液化造成基礎沈陷而破裂(謝金德提供)



地震後的二次災害－土石流



- 嘉義縣阿里山鄉豐山村乾溪上游地區崩塌，河谷堆滿土石，並於2000年2至4月豪雨期間暴發嚴重土石流(水土保持局)



- 台中縣和平鄉博愛村松鶴房舍隨坡地崩塌下移，於2000年豪雨及2004年七二水災造成土石流(水土保持局)

地震後的二次災害 - 堰塞湖

草嶺潭堰塞湖



時間：1999
成因：地震
型態：I
現況：已疏通





貳、1999年九二一地震經驗





921地震後水土保持緊急對策

■ 除了緊急搶通修工程外，為全面掌握地震所造成的影響，並評估後續颱風豪雨期間可能帶來的二次災害，水土保持局當時擬訂多項對策：

- ✓ 衛星影像判識新增裸露地
- ✓ 崩塌地調查與治理規劃
- ✓ 高危險潛在危險聚落調查
- ✓ 崩塌地植生復育
- ✓ 土石流潛勢溪流現況檢視與調查
- ✓ 治山防災構造物總體檢
- ✓ 農路災害調查及GIS圖資建置
- ✓ 防災宣導及避難演練



衛星影像判識新增裸露地

表4-1 921集集大地震新增衛星影像變異點分布情形及崩塌面積

縣市別	衛星影像 變異點	一般山坡地 (含保留地)		林地 (含林班地、實 驗林地、保安林地)		面 積 (公 頃)
		點 數	面 積 (公頃)	點 數	面 積 (公頃)	
苗栗縣	255	141	118.72	114	756.33	875.05
台中縣	540	446	672.62	94	7,143.94	7,816.56
南投縣	1,401	1,290	1,505.10	111	2,769.25	4,274.35
彰化縣	17	7	1.90	10	71.36	73.26
雲林縣	20	19	116.69	1	698.00	814.69
嘉義縣	132	100	124.63	32	368.46	493.09
總 計	2,365	2,003	2,539.66	362	11,807.34	14,347.00

■ 南投草屯九九峰地震前後SPOT衛星影像



崩塌地調查與治理規劃

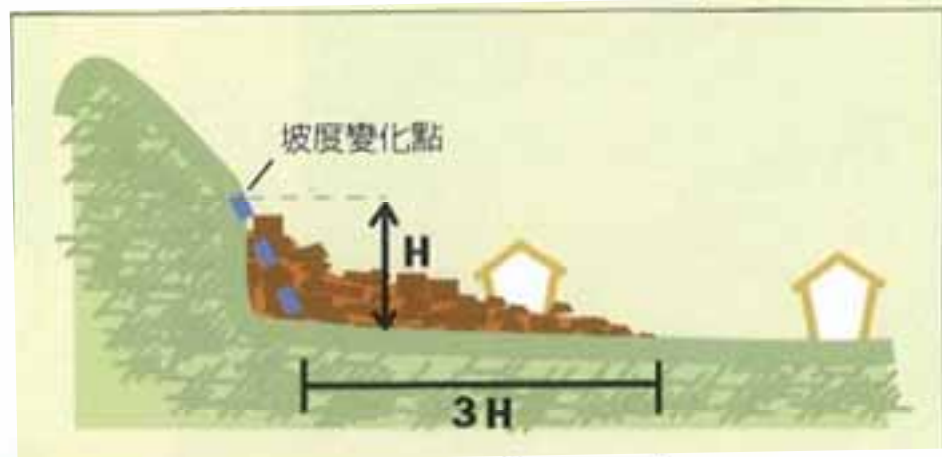


表4-14 山崩地滑面積分級之崩塌面積統計表

面積分級 (公頃)	山 崩		地 滑	
	面積 (公頃)	比例 (%)	面積 (公頃)	比例 (%)
<1	2,550.87	22.58	9.71	0.09
1~10	2,739.61	24.25	481.36	4.26
10~50	1,067.90	9.45	1,834.79	16.24
50~100	224.90	1.99	834.35	7.39
>100	0.00	0.00	1,553.95	13.75
合計	6,583.28	58.27	4,714.16	41.73

表4-11 崩塌地之危險度分級準則

與崩塌距離		設施種類			
		公共設施 (或聚落)		一般建築	其他
下邊坡	上邊坡	有立即危險	無立即危險		
< 3H	< 1H	A	B	C	D
3H~5H	1H~3H	—	C	D	D

表4-12 山崩地滑面積分級之崩塌數量統計表

面積分級 (公頃)	山 崩		地 滑	
	崩塌數量	比 例 (%)	崩塌數量	比 例 (%)
<1	20,596	93.76	20	0.09
1~10	1,073	4.88	116	0.53
10~50	60	0.27	82	0.37
50~100	4	0.02	12	0.05
>100	0	0.00	6	0.03
合計	21,733	98.92	236	1.07



潛在危險聚落調查

團隊

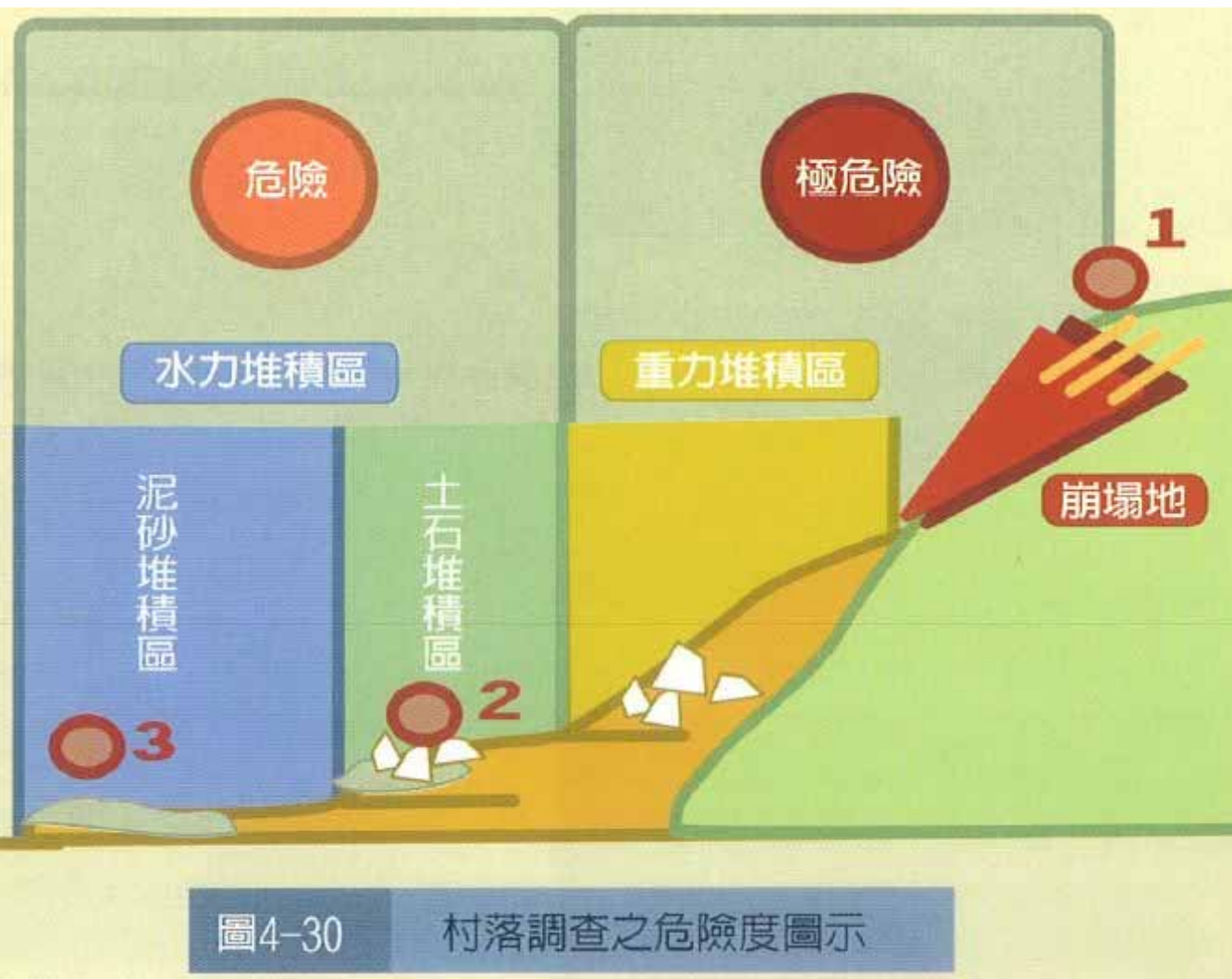


圖4-29 崖崩地形作用 台中縣和平鄉自由村雙榮



圖4-31 土石流動危險村落 台中縣和平鄉博愛村



潛在危險聚落調查

表4-4 中部災區縣市高危險潛在危險村落數量統計表



圖4-32 泥沙堆積危險村落 台中縣和平鄉烏石坑

縣市	苗栗縣	台中市	台中縣
散戶	1	0	2
聚莊	0	3	3
村莊	1	0	8
個案數	2	3	13
百分比	3.1%	4.6%	20.0%

縣市	南投縣	雲林縣	嘉義縣
散戶	14	1	1
聚莊	14	3	0
村莊	14	0	0
個案數	42	4	1
百分比	64.6%	6.2%	1.5%



崩塌地植生復育



□ 中寮鄉清水
村月桃巷鋪
網植生



□ 和平鄉雙崎
部落鋪網植
生成果

□ 新社鄉中興嶺
打樁編柵及鋪
網植生成果



土石流潛勢溪流現況檢視與調查

- 九二一震災後，重建區土石流潛勢溪流由133條增加237條成為 370 條，全台共計722條

發生度

- 有效集水面積： 3 公頃
- 集水區之地質岩性
- 集水區之植生情形
- 上游之崩塌面積
- 溪床材料破碎情形

(921震災前為10公頃)

保全度

- 保全對象：房舍、學校、公共設施等
- 坡度10度至淤積範圍內之保全對象

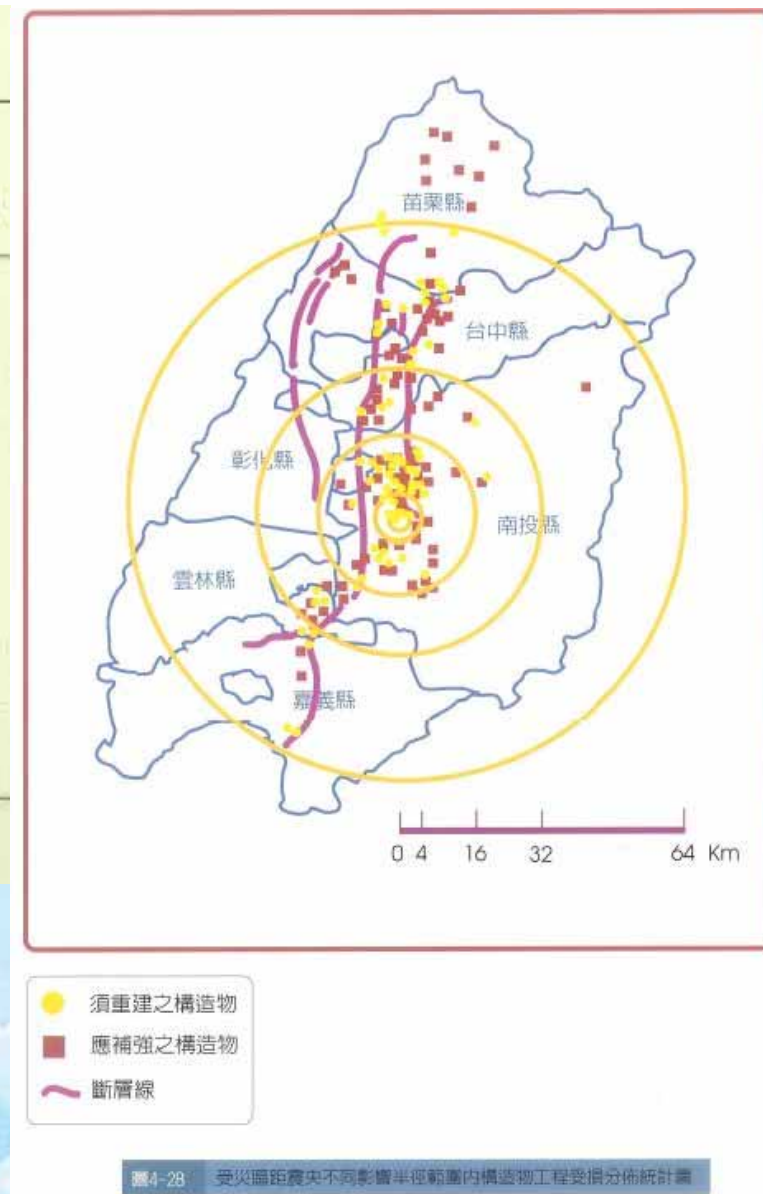




治山防災構造物總體檢

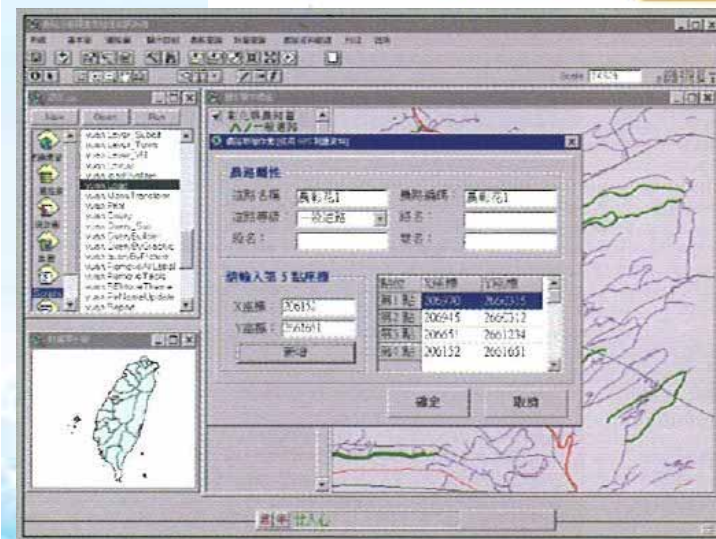
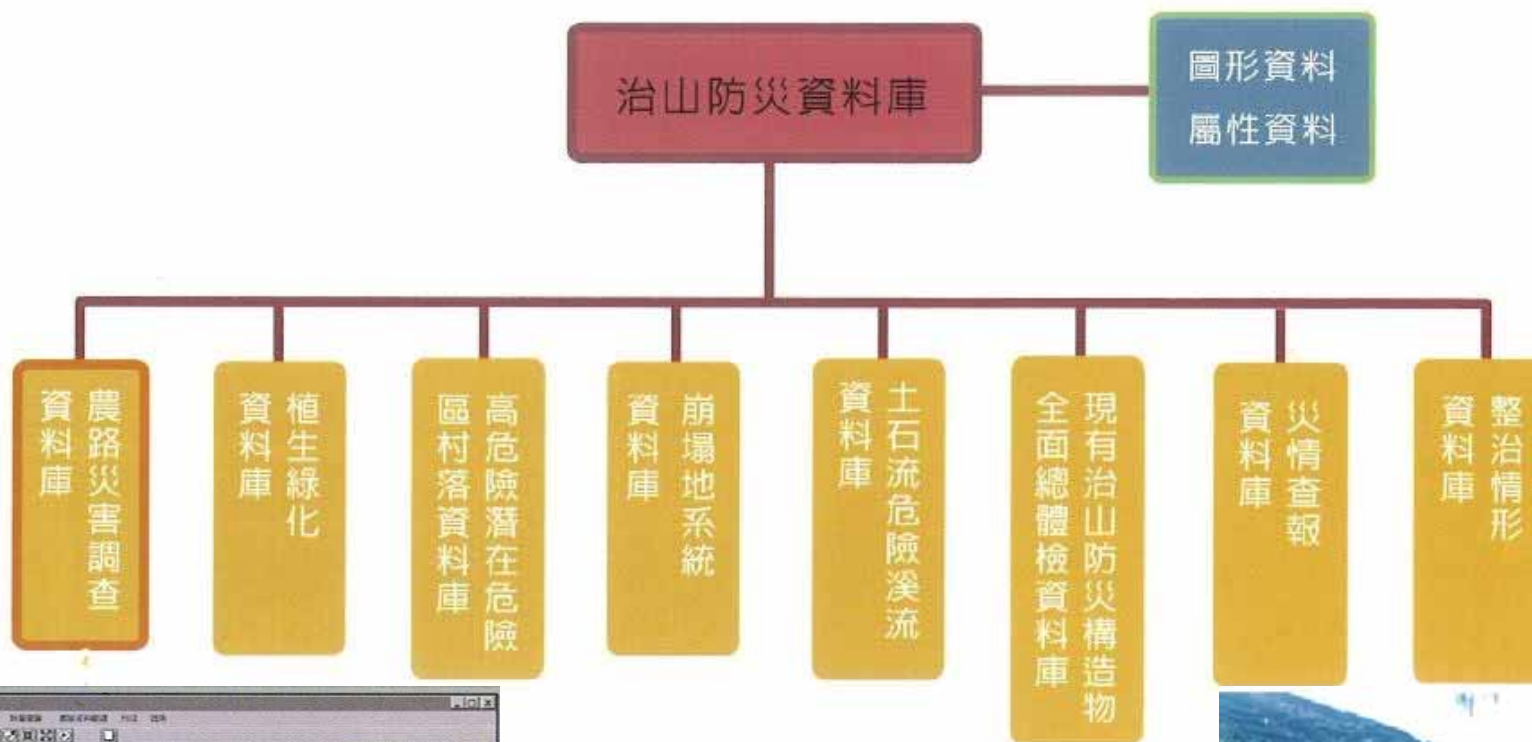
表4-3 中部災區縣市治山防災構造物檢查表

縣市別	無需補強部分			需補強部分		合計	損壞率 (%)
	安全	繼續觀察	其他	應補強	需重建		
苗栗縣	287	64	11	23	9	394	8.12
台中縣市	341	67	98	60	8	574	11.85
南投縣	591	356	17	66	51	1,081	10.82
彰化縣	124	0	2	0	0	126	0.00
雲林縣	272	23	27	8	4	334	3.59
嘉義縣	405	15	49	6	5	480	2.29
合計	2,020	525	204	163	77	2,989	8.03





農路災害調查及GIS圖資建置





防災宣導及避難演練

- 89年4月7日及12日分別召開全國土石流防範會議及重建區土石流防範會議
- 分送前揭調查成果予各縣市鄉鎮，進行保全對象清冊建檔
- 辦理防災宣導及避難演練





參、2016年日本熊本地震經驗





2016年日本熊本地震



あそ おおはし みなみあそむら
阿蘇大橋地区（南阿蘇村）



たてのがわ
立野川地区（南阿蘇村） ※国土交通省が
ドローンにより撮影



たかのだい
高野台地区（南阿蘇村） ※国土交通省が
ドローンにより撮影

熊本地震の概要および土砂災害の発生状況

■地震の概要

○前震

発生日時:4月14日21時26分

震源地:熊本県熊本地方

(北緯32.7度、東経130.8度)

震源の深さ:11km

規模:マグニチュード6.5

各地の震度(震度6弱以上)

【熊本県】

震度7 益城町宮園

震度6弱

玉名市天水町 西原村小森 宇城市松橋町 宇城市不知火町
宇城市小川町 宇城市豊野町 熊本東区佐土原
熊本西区春日 熊本南区城南町 熊本南区富合町

○本震

発生日時:4月16日01時25分

震源地:熊本県熊本地方

(北緯32.8度、東経130.8度)

震源の深さ:12km

規模:マグニチュード7.3

各地の震度(震度6強以上)

【熊本県】

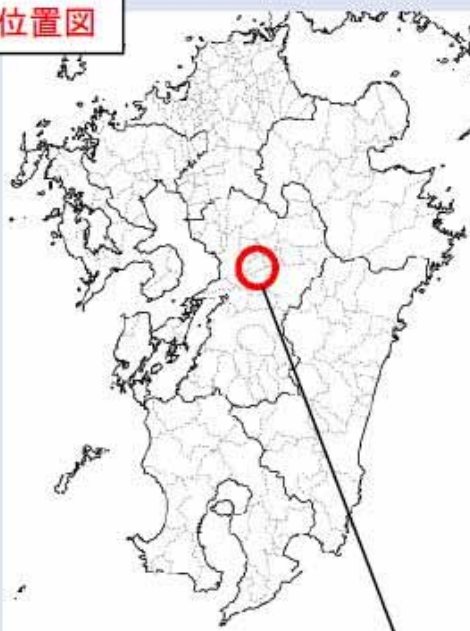
震度7 益城町宮園 西原村小森

震度6強

南阿蘇村河陽 菊池市旭志 宇土市浦田町 大津町大津
嘉島町上島 宇城市松橋町 宇城市小川町 宇城市豊野町
合志市竹迫 熊本中央区大江 熊本東区佐土原
熊本西区春日 (気象庁発表より)

- 主震發生於2016年4月16日，地震規模為7.3，深度僅12km，部份地區震度達7級
- 特別的是該地區前二日亦有規模達到6.5的前震，且震度亦達到7。

位置図



○土砂災害発生件数 190件

- ・土石流等57件(熊本県54件、大分県3件)
- ・地すべり10件(熊本県10件)
- ・がけ崩れ123件(熊本県94件、大分県15件、宮崎県11件、佐賀県1件、長崎県1件、鹿児島県1件)

○土砂災害による人的被害

- ・死者15名

(6月の梅雨前線豪雨の土砂災害による関連死5名を含む)

国土交通省調べ(8月15日時点)

阿蘇大橋地区全景

阿蘇大橋地区



無人機械による土留盛土工実施中



あそおおし
(1)阿蘇大橋地区(南阿蘇村)
【死者1名】
直轄砂防事業により斜面对策を
実施(土留盛土工)

【 凡例 】
● : 土石流等
● : 地すべり
● : がけ崩れ
● : 豪雨災害

ひのとろおんせん
(2)火の鳥温泉地区(南阿蘇村)
【死者2名】
土のう設置による被害拡大防止

火の鳥温泉地区全景



土のう設置作業中



たてのがわ
(3)立野川地区(南阿蘇村)
【死者2名】
土のう設置による被害拡大防止



たかのだい
(4)高野台地区 (南阿蘇村)
【死者5名】
土のう設置による被害拡大防止



さんのうだにかわ
(5)山王谷川地区(南阿蘇村)
土砂で埋まった河川の土砂掘削
土のう設置による被害拡大防止



特に被害が著しい南阿蘇村周辺の主な土砂災害と応急対策状況

災害発生直後の二次災害防止への対応状況

①土砂災害警戒情報発表基準の引き下げ

・地震による地盤の緩みを考慮し、6県45市町村で発表基準を引き下げて運用

②避難を要する範囲の南阿蘇村長への緊急の情報提供

大雨が予想された前日の20日に直接村長へ説明

【1】山王谷川地区



参考情報についてリエゾンから村長等へ説明

③緊急度の高い危険箇所1,155箇所をTEC-FORCEが点検完了 応急対策や警戒が必要な131箇所を抽出し熊本県及び13市町村へ報告



④土砂災害対策アドバイザー班の設置

各自治体や関係機関の要請に応じて、現地で助言することにより、警戒避難体制の強化や捜索活動の安全確保を支援(4月22日～)



緊急消防援助隊との打合せ状況



現地調査実施状況

災害関連緊急急傾斜地崩壊対策事業(事業主体:都道府県)

風水害、震災等により新たに崩壊が生じ、放置すれば次期降雨等により被害を与えるおそれがある場合に、緊急的に崩壊防止工事を実施するもの

災害関連地域防災がけ崩れ対策事業(事業主体:市町村)

激甚災害に伴い崩壊等が生じ、放置すれば次期降雨等により被害を与えるおそれがある場合に、緊急的に崩壊防止工事を実施するもの

【被災状況】



【事業実施後】



東日本大震災における災害関連地域防災がけ崩れ対策事業(特例) 実施事例

現 行

災害関連緊急急傾斜地崩壊対策事業

- ①斜面: 自然斜面を対象
- ②がけ高: 10m(人家に被害があった箇所は5m) 以上
- ③保全対象: 人家5戸以上

災害関連地域防災がけ崩れ対策事業

- ①斜面: 自然斜面を対象
- ②がけ高: 5m以上
- ③保全対象: 人家2戸以上

特例措置

災害関連緊急急傾斜地崩壊対策事業

- ①斜面: 人工斜面(宅地擁壁等)も対象
- ②がけ高: 人家に被害があり、更に周辺住民に二次的被害を生じるおそれがある場合は、3m以上
- ③保全対象: 人家5戸以上
- ④その他: ライフライン等の公共施設等に被害のおそれがあること

災害関連地域防災がけ崩れ対策事業

- ①斜面: 人工斜面(宅地擁壁等)も対象
- ②がけ高: 人家に被害があり、更に周辺住民に二次的被害を生じるおそれがある場合は、3m以上
- ③保全対象: 人家2戸以上
- ④その他: ライフライン等の公共施設等に被害のおそれがあること





平成28年熊本地震に伴い発生した土砂災害に対する災害関連緊急事業

位置図



(平成28年9月13日現在)

直轄	1箇所	約20億円
補助	44箇所	約171億円
<県別>		
熊本県	36箇所	約182億円
大分県	5箇所	約8億円
宮崎県	4箇所	約1億円



- ### 凡例
- 砂防事業(直轄)
 - 砂防事業(補助)
 - ▲ 地すべり対策事業(補助)
 - 急傾斜地崩壊対策事業(補助)
 - 急傾斜地崩壊対策事業【特例】(補助)
 - ◆ 地域防災がけ崩れ対策事業(補助)
 - ◆ 地域防災がけ崩れ対策事業【特例】(補助)

阿蘇大橋地区における直轄砂防災害関連緊急事業の実施

阿蘇大橋地区において発生した大規模な斜面崩壊について、斜面上部に残る多量の不安定土砂の崩落による二次災害を防ぐための緊急的な対策工事を実施



工事経緯	
H28.4.30	国による緊急的な砂防事業の実施
H28.5.5	緊急対策工事に着手
H28.5.5～現在	無人化施工機械による工事用道路等造成



阿蘇大橋地区の現場を視察する石井大臣（平成28年4月29日）



6月の梅雨前線豪雨による土砂災害

がけ崩れ(熊本市北区津浦町) 2名死亡



がけ崩れ(宇土市住吉町) 1名死亡



がけ崩れ(上天草市大矢野町登立) 1名死亡



がけ崩れ(宇土市椿原町) 1名死亡



平成28年 8月1日現在
土砂災害発生件数
(熊本県)

65件

〔 土石流等 : 17件
がけ崩れ : 48件 〕

【被害状況】

人的被害 : 死 者 5 名
人家被害 : 全 壊 2 戸
一部損壊 23 戸

率、團隊



(国土地理院HPより(<http://maps.gsi.go.jp/>))



【施設効果事例①】^{ひがし しも だ}東下田2砂防堰堤（熊本県阿蘇郡南阿蘇村）

熊本県南阿蘇村中松では、地震で崩壊した土砂が下流へ流下したが、既設砂防堰堤が土砂を捕捉し、被害軽減に効果を発揮。



平成28年4月16日撮影
(国土地理院HPより(<http://maps.gsi.go.jp/>))

堰堤名：東下田2砂防堰堤
堰堤高：8.5m 堰堤長：58.7m



地震直後は砂防堰堤まで土砂が到達していない



平成28年4月21日
日雨量113mm
最大時間雨量
24.5mm/h



4月21日の
降雨により
土石流が
が発生



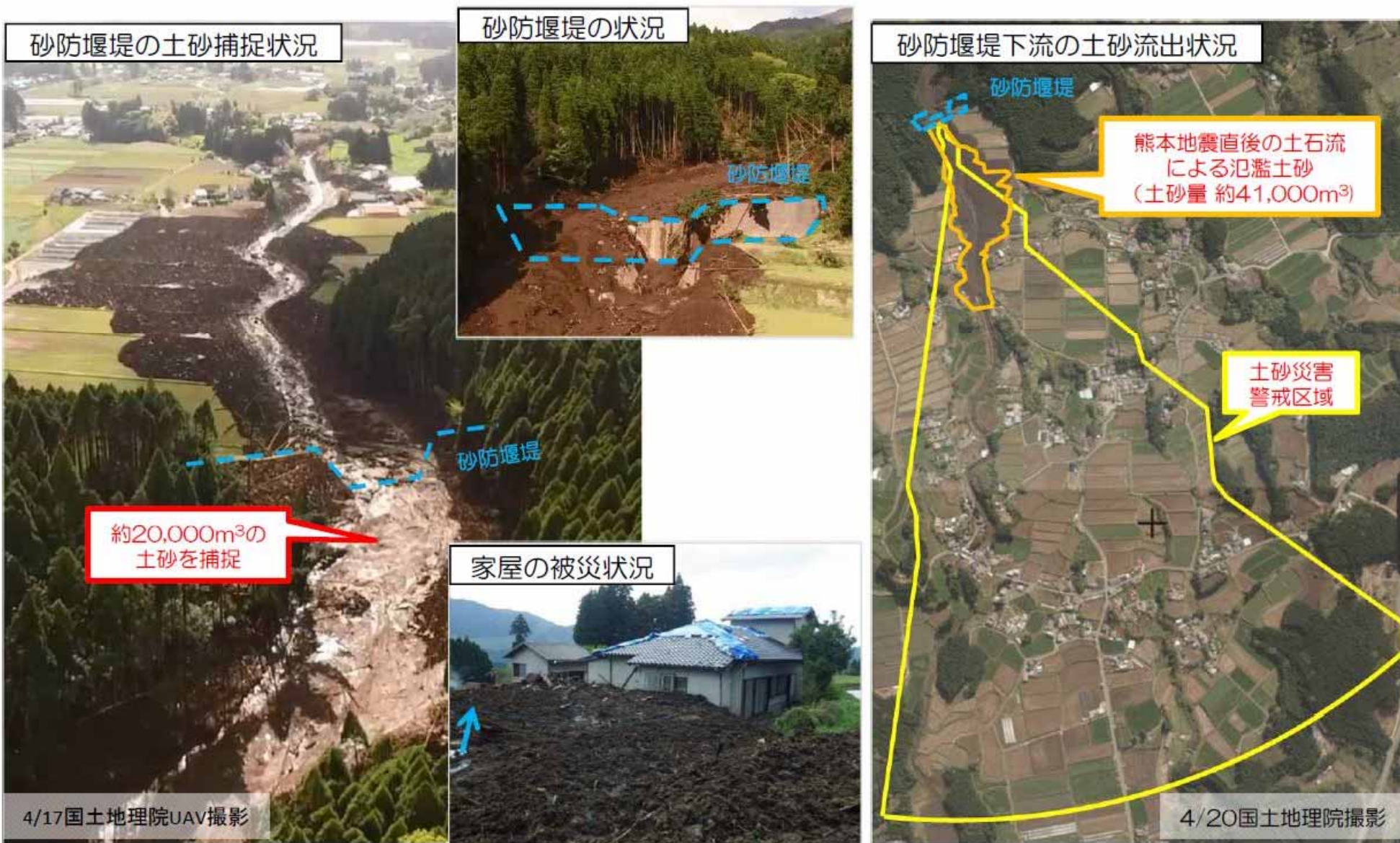
土砂・流木の捕捉状況
(右岸袖部より撮影)



土砂・流木が捕捉されている
(下流より撮影)

【施設効果事例②】山王谷川砂防堰堤（熊本県阿蘇郡南阿蘇村）

- 熊本地震により山王谷川では土石流が発生。（全壊家屋2戸、一部損壊家屋1戸）
- 砂防堰堤が約20,000m³の土砂を捕捉し、被害を軽減(土砂災害警戒区域の人家93戸、国道325号)



九州地方 特に熊本県の住民の皆様へ緊急のお知らせ (TwitterやHPを 活用して周知)

効率、團隊

熊本県をはじめとする一連の地震により、かつてないほど地盤が揺れ、土砂災害が発生しやすい状態になっています。土砂災害から身を守るために、降雨の際は、土砂災害に注意してください。

＜注意すべき3つの事項＞

◎土砂災害警戒区域はもちろん、勾配が緩い斜面や溪流でもわずかな降雨で土砂災害のおそれがあります。危険なところに近づかないようお願いします。

○大雨注意報、大雨警報や土砂災害警戒情報に十分注意をお願いします。

○早めに避難所などの安全な場所に避難をお願いします。



地震のあとは
土砂災害に注意 



地震によって地盤が緩み、土砂災害警戒区域だけでなく、勾配が緩い斜面や溪流でもわずかな降雨で土砂災害の恐れがあります。



熊本地震後土砂災害緊急對策建言

(by日本砂防學會)

(一)災後緊急面臨的課題

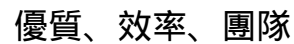
- ✓ 大規模土砂災害發生處所後續危險性之評估
- ✓ 減緩二次災害之必要緊急措施

(二)短期面臨的課題

- ✓ 現有設施功能性之評估
- ✓ 後續必要之調查、研究及因應對策之檢討

(三)中長期面臨的課題

- ✓ 地震引起之土砂災害潛勢區之掌握
- ✓ 火山地區地震後之土砂災害潛勢圖製作方式研發
- ✓ 其他地區地震後之土砂災害潛勢圖製作
- ✓ 加強推動前揭相關研究與體系的建議





熊本地震後土砂災害緊急對策建言

(by日本砂防學會)

三、減輕二次災害或新生災害之對策

- ✓ 二次災害或可能新生災害地點之掌握
- ✓ 既有災害潛勢區及範圍之重新檢視
- ✓ 建立監測機制並儘早避難
- ✓ 應用高精度X-band電達降雨資料及短期預測雨量資料
- ✓ 移除既有防砂設施淤積之土砂
- ✓ 不穩定地區之緊急處理工程儘量採無人化施工機具

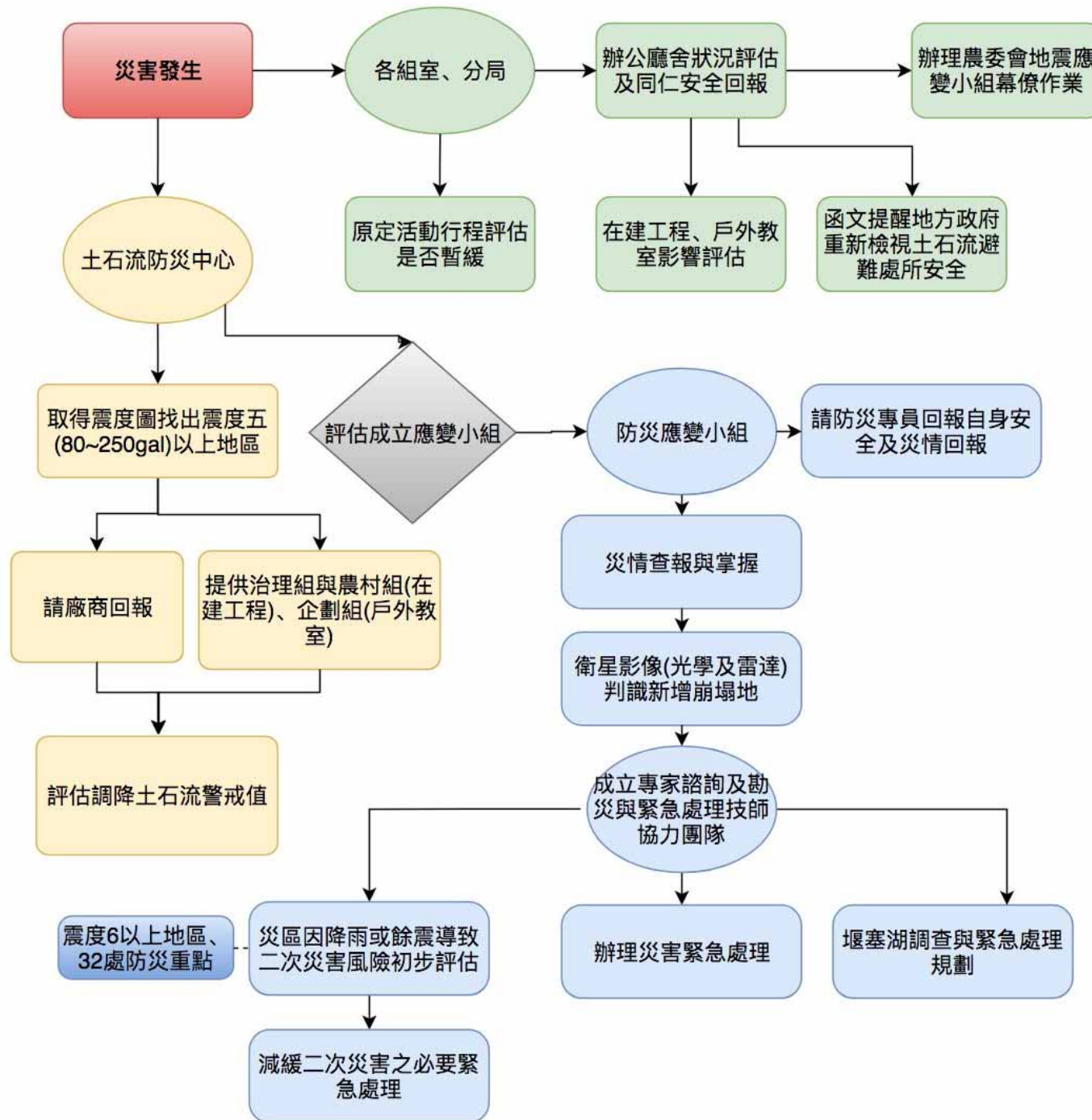
四、建議後續調查與研究的方向

- ✓ 探明地震引發之土砂移動現象之發生、流動及堆積氾濫情形
- ✓ 加強以火山灰為代表之地質、地下水、地形、地表震動、降雨等之關聯性的調查與研究
- ✓ 研究已發生龜裂地區與後續降雨、地震引發之土砂移動現象之相互影響
- ✓ 龜裂分布情形與已龜裂坡面之土壤強度之變化
- ✓ 地震引起之土砂災害潛勢區之調查評估方法



肆、地震後短中長期因應對策

- 如何快速評估地震造成之衝擊及影響
- 如何快速掌握地震受災地區
- 如何推估後續二次災害及其影響
- 如何建立震災因應對策與SOP
- 後續尚有那些不足待加強基礎研究之方向



地震後緊急應變階段措施

- 2018年0206花蓮地震後，水保局參考台日歷年經驗，研擬地震後SOP
- 後續將納入水保局應變小組手冊



水保局地震後緊急應變階段措施自主檢查表

項次	階段	編號	檢查內容	已完成	經評估後 無迫切需要	主政單位
1	地震發生後 (震度5級以上)	1.1	取得震央及各地震度等相關資訊，於本局與情小組通報(line)			土石流防災中心
		1.2	辦公廳舍狀況評估及同仁安全回報			本局秘書室及各分局
		1.3	震度5級以上地區，本局及各分局初步狀況回報農委會秘書室			土石流防災中心
		1.4	取得震度圖之數位圖層檔，套疊震度5級以上地區，提供各組及分局			土石流防災中心
		1.5	通知主政單位，震度5級以上地區之在建工程檢查及影響評估			保育治理組、農村建設組
		1.6	評估土石流警戒值之調降			土石流防災中心
		1.7	啟動衛星影像(光學/雷達)判識新增崩塌地機制			土石流防災中心
		1.8	通知主政單位，震度5以上地區戶外教室檢查及影響評估			綜合企劃組
		1.9	評估農委會是否配合中央災害應變中心開設			土石流防災中心
2	本會應變小組或中央災害應變中心成立	2.1	災情查報與掌握，災情及照片即時上傳fema系統			本局及各分局應變小組
		2.2	辦理災害緊急處理			保育治理組及各分局
		2.3	通知防災專員、農村大專生洄游人員、本局相關計畫人員注意自身安全			相關組室(中心)及分局
		2.4	原定活動行程評估是否暫緩			相關組室(中心)及分局
		2.5	重點災區UAV空拍及上傳本局UAV成果上傳平台(http://uavp.geodac.tw/)			各組(中心、小組)及分局
		2.6	重點災區UAV空拍成果3D建模及上傳3D建模成果平台(https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsUAV2D)			技研小組及分局
		2.7	辦理農委會地震應變小組幕僚作業			土石流防災中心
		2.8	函文提醒地方政府重新檢視土石流疏散避難處所安全(震度6級以上地區)			土石流防災中心
		2.9	緊急處理土方堆置計畫			各分局
		2.10	堰塞湖調查與緊急處理規劃			各組(中心、小組)及分局
		2.11	震度6級以上有保全對象地區或土石流潛勢溪流上游集水區UAV空拍			各組(中心、小組)及分局
		2.12	震度6級以上地區(32處防災重點區)因降雨或餘震導致二次災害風險初步評估			保育治理組及各分局
		2.13	評估是否成立專家諮詢及勘災與緊急處理技師協力團隊			保育治理組



地震後短期復原階段措施

短期階段(震後半年內)

震度6以上地區，地震後之土砂災害風險地圖製作(易損性曲線)

有保全對象或潛勢
溪流之上游地區
UAV空拍

重要防砂設施構造
物體檢

土石流潛勢溪流現
況調查與影響範圍
重新評估

現有大規模崩塌潛
勢區現況調查與風
險重新評估

二次災害或可能新
生災害地點之掌握
及其風險評估

既有防砂設施之崩
塌土砂清淤

減緩二次災害之必
要緊急處理



建立地震引致崩塌之坡地易損性曲線(FC)

崩塌因子

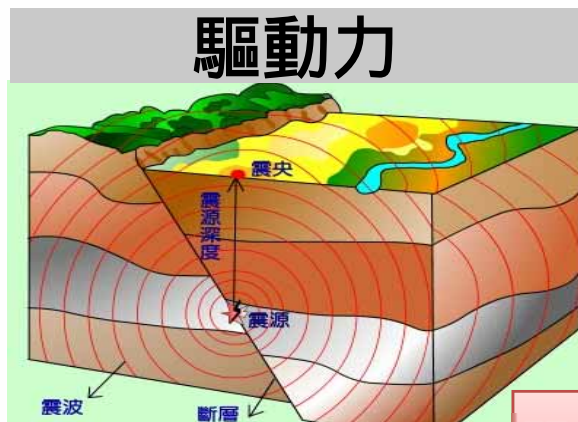


坡地分類

以地質、坡度、坡向、高程等四類因子將坡地易損特性區分。

表示以多條坡地易損性曲線表示坡面遇地震時的易崩特性。

驅動力



最大地表加速度

單變量

對數常態分布

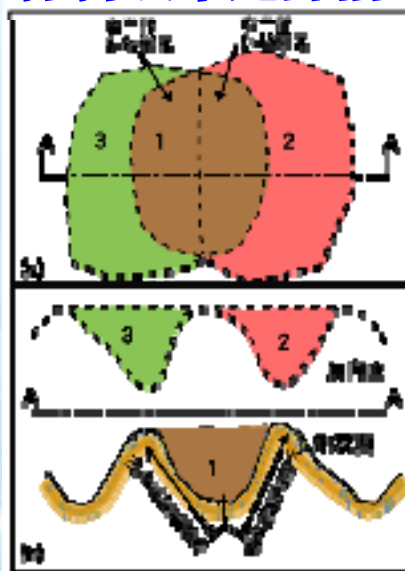
崩塌機率

$1-F$ (未發生)

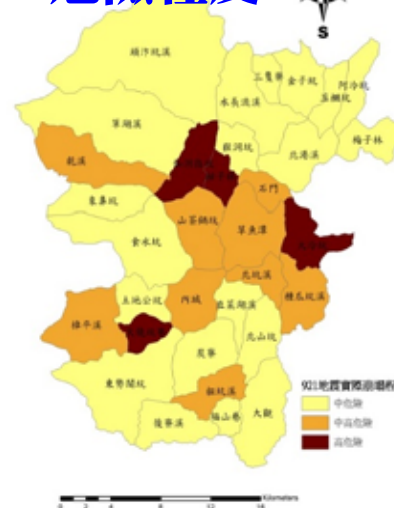
F (發生)

致災因子

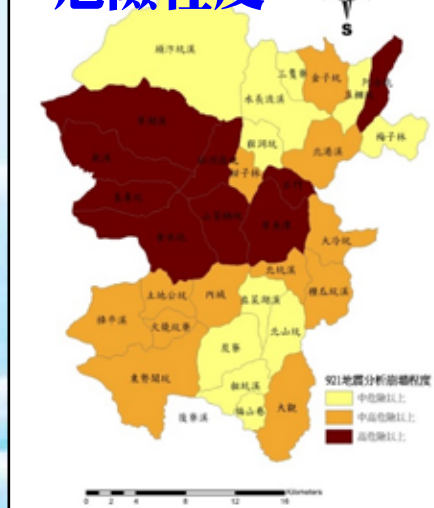
採斜坡單元評估

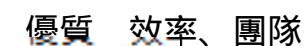


實際的崩塌危險程度

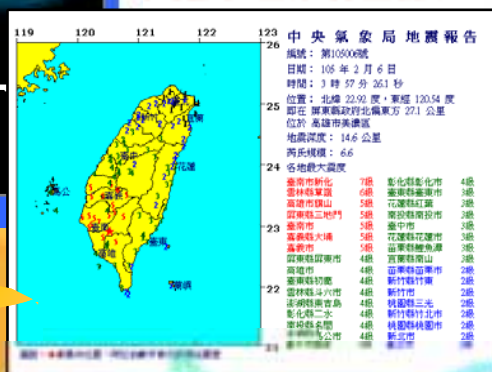


評估的崩塌危險程度





震後地震速報

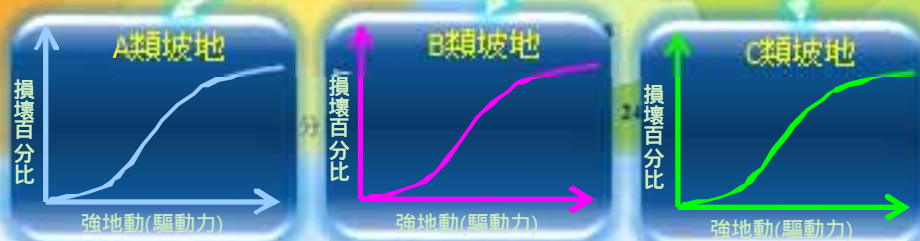


地震災害具不可預測性
因此早期評估相當重要



評估高災
損地區以
利於早期
應變作為

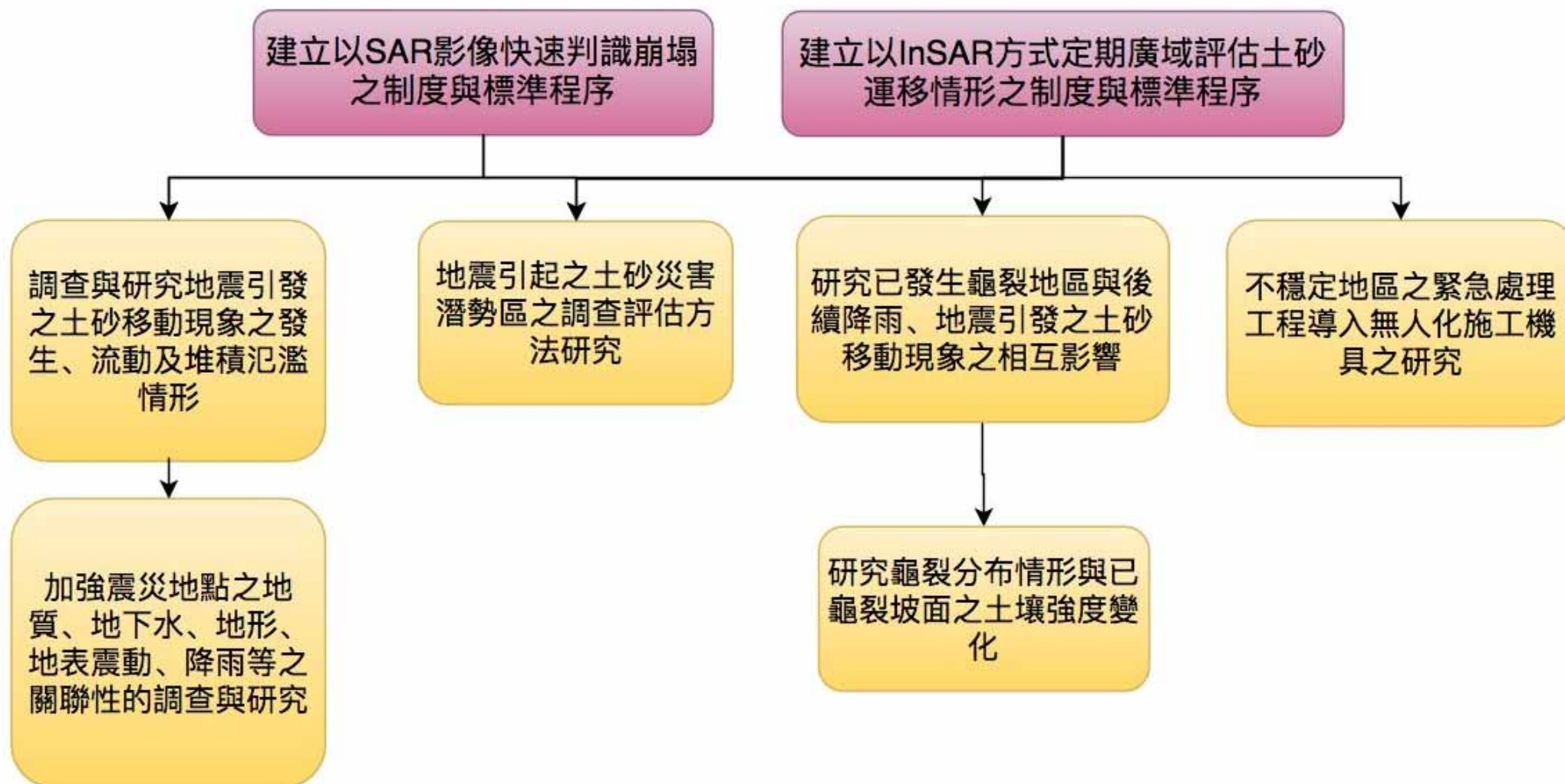
中 潛 勢
中 高 潛 勢
高 潛 勢





地震引致坡地災害中長期研究發展方向

長期階段(震後三~五年內)



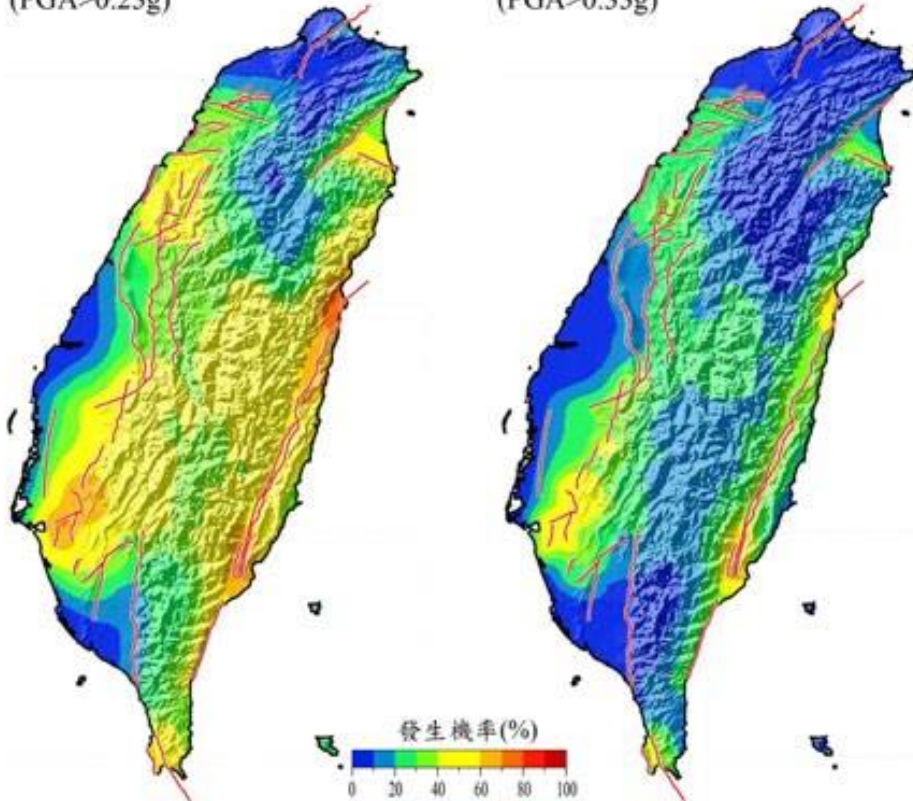
建立未來集水區規劃情境模式



地表振動強度機率分布圖

地表震度達到五級以上
(PGA>0.23g)

地表震度達到六級以上
(PGA>0.33g)



本圖表示地表振動強度PGA達0.23g以上及PGA達0.33g以上之機率分布圖。

*PGA(peak ground acceleration):最大地表加速度值

(台灣地震模型團隊, 2015)

未來50年地
表振動強度
機率分布圖



地震引致崩
塌之坡地易
損性曲線



未來50年地
震引致坡面崩
塌機率分布圖



未來50年集水區土砂生產量化評估
未來50年集水區保育治理規劃資料

:



結語

- 坡地災害之自然誘因包含降水、震動、火災、風化等
- 國內外多僅針對降雨型坡地災害建立防災機災
- 地震引致之山區複合型災害為未來必須優先解決的問題
- 台灣震度5範圍太大(80~250gal)，建議區分為5強及5弱
- 易損性曲線似有潛力發展為地震後快速評估災損的方法
- 日本中央Tec-Force支援地方之機制值得學習



RTDT

技術研究發展小組

Research and Technology Development Team

Thank you for your attention