

土砂災害與深層崩塌機制探討

陳樹群 國立中興大學水土保持系特聘教授
國立中興大學農業與自然資源學院副院長
國家災害防救科技中心坡地組召集人

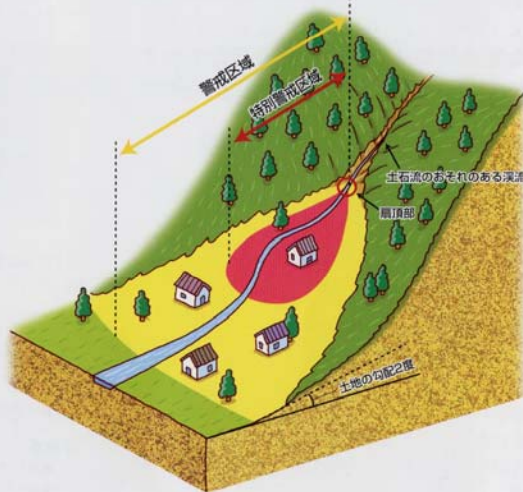
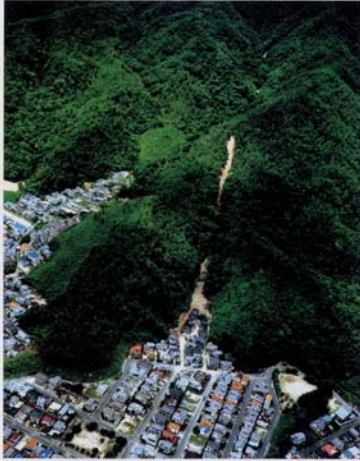
2010 / 12 / 08

簡報內容

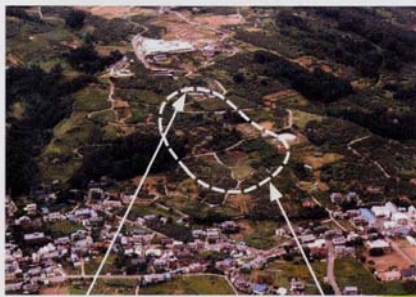
- 一. 何謂土砂災害
- 二. 大規模坡地災害定義
- 三. 大規模崩塌與激發因子及後果
- 四. 大規模坡地災害歷史案例
- 五. 大規模崩塌研發現況與執行情形
- 六. 未來建議

一. 何謂土砂災害

■土石流 ※山腹が崩壊して生じた土石等又は渓流の土石等が水と一体となって流下する自然現象



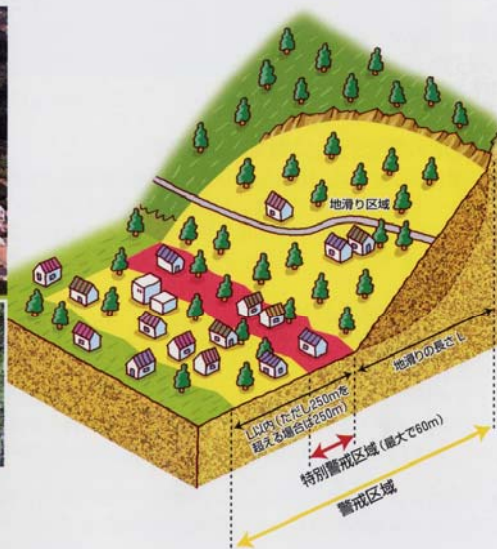
■地滑り ※土地の一部が地下水等に起因して滑る自然現象又はこれに伴って移動する自然現象



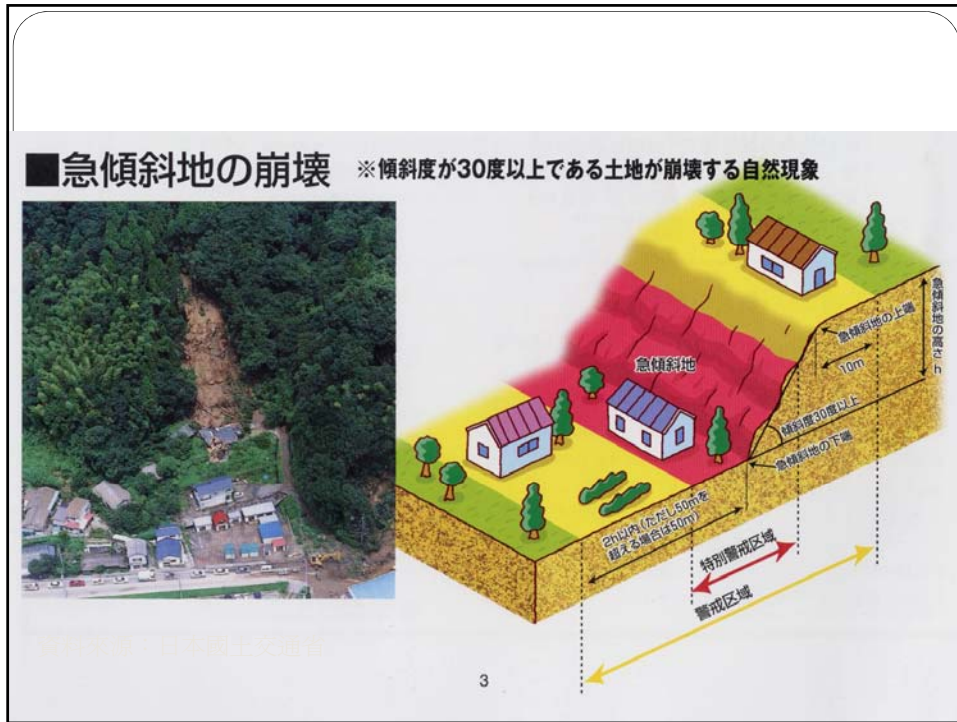
頭部滑落崖



末端部隆起



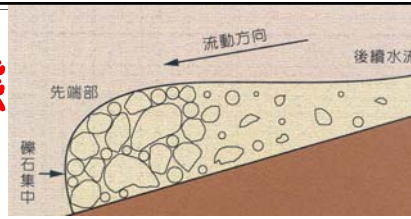
資料来源: 日本



土石流發生前徵兆

徵兆發生時間				徵兆	原因
●	●	●	●	1. 附近山崩或土石流發生	因其他的地地斜面或崩塌不安定
●	●	●	●	2. 野溪流量突然增加	因上游地帶崩塌
●	●	●	●	3. 有異常的山嘯	因山崩地帶崩塌
	●	●	●	4. 泉水停止	因斜面變形、水路閉塞
	●	●	●	5. 溪水中有漂流木	因發生山崩或溪岸沖蝕
	●	●	●	6. 溪水異常混濁	因發生山崩或溪岸沖蝕
	●	●	●	7. 溪流中有石頭摩擦聲音	因溪流流量增加
	●	●	●	8. 有怪臭味	因上游發生山崩，為上游崩塌層之臭味
	●	●	●	9. 有樹木裂開之聲音	因上游已發生土石流
	●	●	●	10. 動物有異常行為	因發生人無法感受到的異常事情
	●	●	●	11. 溪水流量急遽減少	因上游之野溪閉塞
	●	●	●	12. 有「Go」聲音	因土石流發生
	●	●	●	13. 見到像雷光的閃電	因土石流發生
	●	●	●	14. 有水柱	因土石流發生
發小時前	一小時前	幾分鐘前	發生土石流	標示符號：必定發生 ● 發生可能性高 ● 有發生可能 ●	

土石流的型態



- ❖ 泥流型：流速約2~20m/s (72km/hr)
- ❖ 礫石型：流速約3~10m/s(36km/hr)



泥流型土石流



礫石型土石流

7

Debris flow disasters in Taiwan

2001



1996



2004



2004



二、大規模坡地災害定義

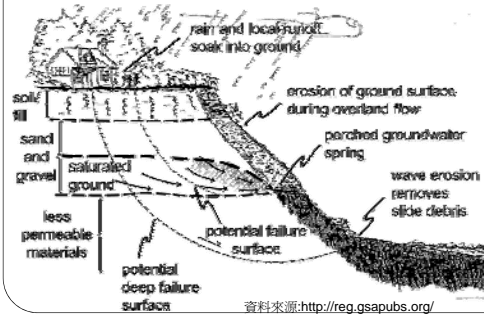
	地調所	水保局	日本	美國
示意圖				
移動物質	基岩	不考慮移動物質	岩盤	高密度崩積土/ 獨立岩石移動
坡地災害名稱 (法規) (深層)	山崩、地滑、土石流 (地質法草案) (岩體滑動)	崩塌/地滑/土石流 (水土保持法)	急傾斜地の崩壊、土石流、地すべり、河道閉塞による湛水 (土砂災害防止法) (深層崩壊)	Landslide (deep-seated landslide)
大規模定義	<ul style="list-style-type: none"> • 滑動面積常在1公頃以上。 • 平均厚度約5~10m以上。 • 規模滑動面深度較深的山崩・滑動面常深入岩層內。 	<ul style="list-style-type: none"> • 土地之一部分受地下水與重力等作用而產生滑動。 	<ul style="list-style-type: none"> • 大面積崩落・寬100m・坡面長100m的斜面崩落。 • 深度約在5m以上 • 崩塌土砂量約10,000m³。 	<ul style="list-style-type: none"> • 深度大於6~10ft (1.8~3.0m)的滑動 • 範圍從不到1 (acre) 到超過1 (mile) 海岸線。

三、大規模坡地災害激發因子

大規模崩塌發生機制

- 地質構造、材料或環境改變
 - 冠部張裂縫
 - 高孔隙地質材料
 - 長時間滑動體變形
 - 坡趾淘刷
 - 加重承載
- 持續降雨
 - 使雨水可滲入地層
 - 地下水位變化
 - 土體含水量增加
 - 水壓上舉與側推力量增加
 - 土壤剪力強度下降
 - 伏流水致使滲流力 (seepage force) 增加
- 地震
 - 孔隙水壓激發
 - 地質材料、構造變化

邊坡穩定性之變化



M.E. Popescu, 2002. Keynote Lecture, Proceedings 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and Safety of Infra-Structures, Singapore, p 61-81.

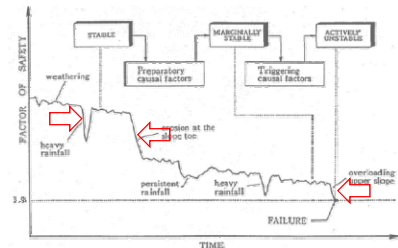


Figure 4—An example of changes in the factor of safety with time

三、大規模坡地災害及後果

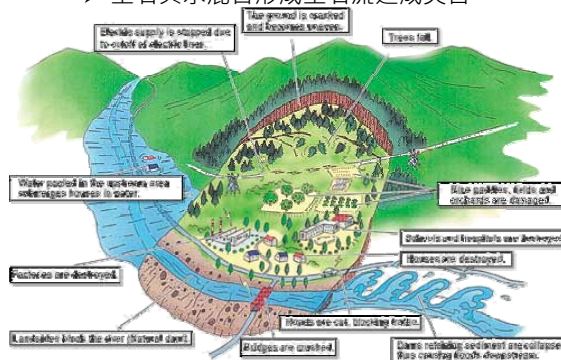
大規模坡地災害致人命、財產損失、環境破壞型態

● 發生徵兆

- 主崩崖：呈馬蹄狀或直線狀之陡崖、崖坡面色調光亮、冠部有時具有弧狀裂縫、崩崖下方有時具有窪地或水池。
- 滑動體：外觀呈畚箕狀凹陷地形、植生林相改變與周圍林相不一致、滑動體上段呈現下陷地形，中段呈緩坡狀，下段則呈隆起地形。
- 側翼：滑動體的兩側有時發育有蝕溝，兩側蝕溝源頭有逐漸往主崩崖處相連的水系特徵。
- 趾部：趾部有河岸侵蝕現象、趾部突出河道致使河道變窄或轉彎、趾部阻斷溪流形成堰塞湖。

● 致災型態

- 地表破壞造成農作物毀損
- 建物毀損(龜裂或遭土石掩埋等)
- 道路、橋梁、維生管線因崩塌位移中斷
- 崩塌土石阻江形成堰塞湖水位上升、溢/潰堤引致山洪暴發淹水等災害
- 土石與水混合形成土石流造成災害



資料來源：http://www.mlit.go.jp/river/sabo/pantfj_sabo/english/16-17.pdf

四、大規模坡地災害歷史案例

災害歷史告訴我們所面對的問題！

- 2006年2月17日菲律賓雷尹泰島坡地災害
- 2009年8月9日台灣莫拉克颱風小林村坡地災害
- 2010年8月8日中國大陸甘肅省舟曲坡地災害

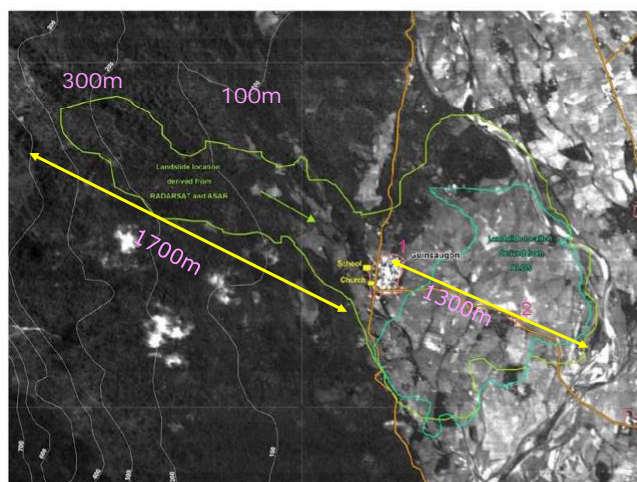
2006年02月17日菲律賓雷伊泰島坡地災害

☐ 異常劇烈降雨
與複合性災害



Main Statistics	
Estimated death toll	980 missing as of Tuesday (February 28)
Bodies recovered	152 (83 identified)
Survivors	580 (registered)
Population of affected area(s):	Between 1,500 to 2,000 people in St. Bernard municipality, Southern Leyte province Up to 1,860+ in worst affected Guinsaugon village

2006年02月17日菲律賓雷伊泰島坡地災害規模



坡度：8°左右

崩塌面積：
250公頃

- 崩塌範圍
- 聚落位置
- 道路
- 地標



圖來源：DLR

2006年02月17日菲律賓雷伊泰島坡地災害



菲律賓雷伊泰島重大坡地災害致災原因

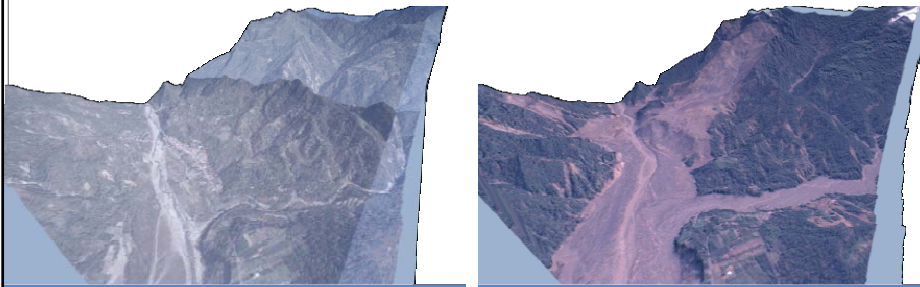
- **地質與斷層之影響：**當地火山灰表土受連日降雨影響，充沛的水分飽和浸濕的火山灰表土及鬆軟的火山凝灰岩，增加邊坡的不穩定。此外，由於斷層經過該島南部地區，崩塌所在地與斷層位置相近，造成該地區地質材料破碎。
- **地震觸發崩塌：**此外雖然崩塌發生前之M2.6地震規模不大，但在土壤飽和，邊坡瀕臨失衡之狀態下，此次地震恰好提供坡地崩塌的推力。
- **氣候降雨因素：**崩塌災害發生時總累積降雨量已達500 mm，遠超過該區之年平均降雨量127 mm。
- **地形與植生因素：**大部分的南雷伊泰島鄉鎮位於環山的陡坡地上，部分地區則位於海平面800 m以上山區。這些陡坡地常種植淺根的椰子樹，不利於深層土層之團結。
- **生態瀕臨失衡：**菲國官員指出，從1970年代開始雷伊泰島南部即開始砍伐坡地上的原生林，造成山區土壤貧瘠，環境與生態瀕臨失衡。

2009年8月9日小林村坡地災害

崩塌、土石流、堰塞湖、淹水、潰壩、山洪暴發等複合型災害

災前農林航測所影像

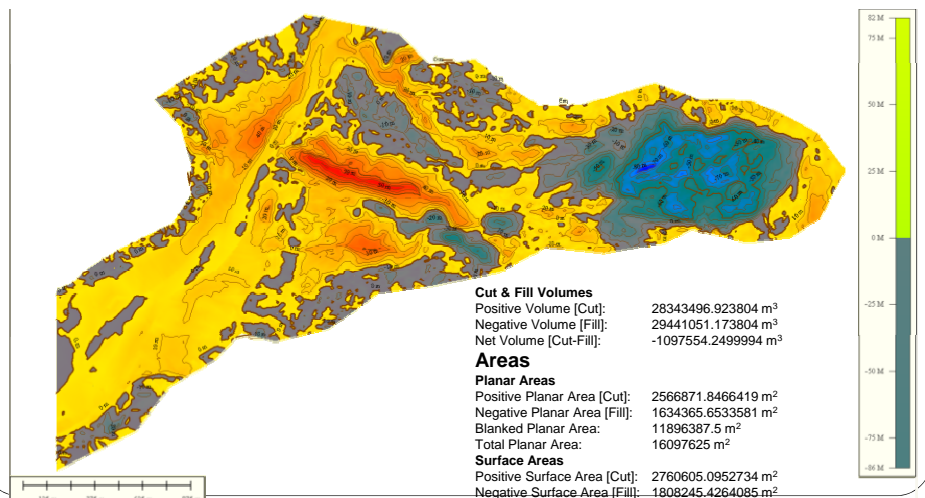
災後福衛二號衛星影像(2009年)

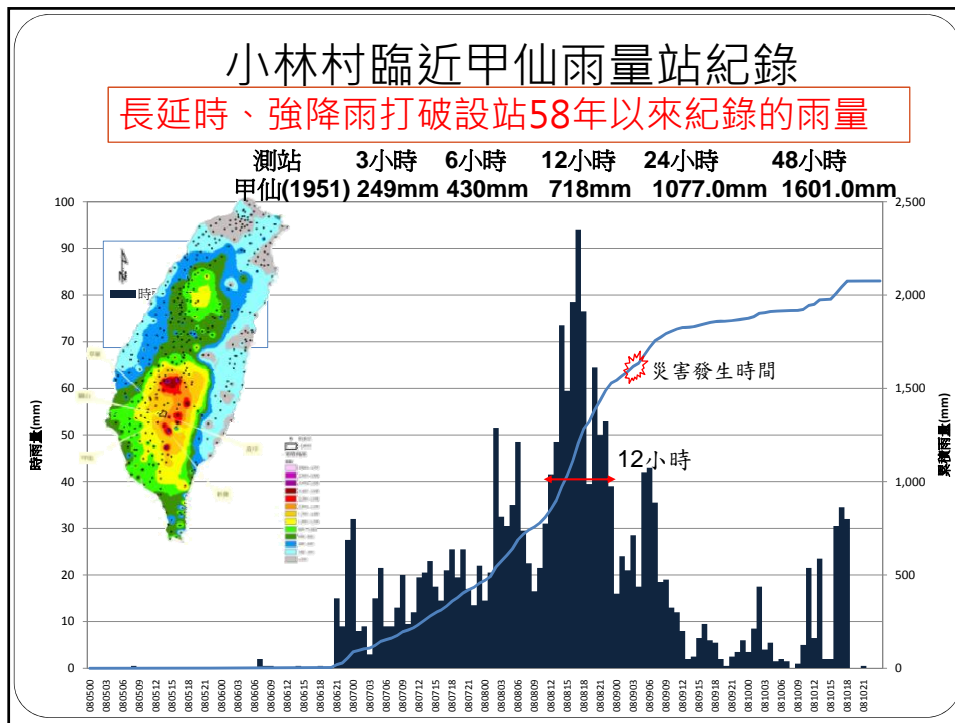


小林村重大坡地災害造成169戶掩埋，超過400人遇難，災前災後影像初步分析得知，位於楠梓仙溪(旗山溪)左岸及右岸之山坡地區崩塌，左岸土砂掩埋聚落並衝至右岸堆積，推測可能阻斷楠梓仙溪形成堰塞湖，並已潰決造成山洪暴發影響下游地區。

2009年8月9日小林村坡地災害規模

崩塌區長約3.2公里、寬約1.6公里，影響範圍約350公頃，崩塌最深超過80公尺(深藍色區)，土砂堆積區最厚亦超過80公尺(深紅色區)，崩塌土方量達2500萬立方公尺，崩塌區平均坡度約22度，屬一深層之崩塌。



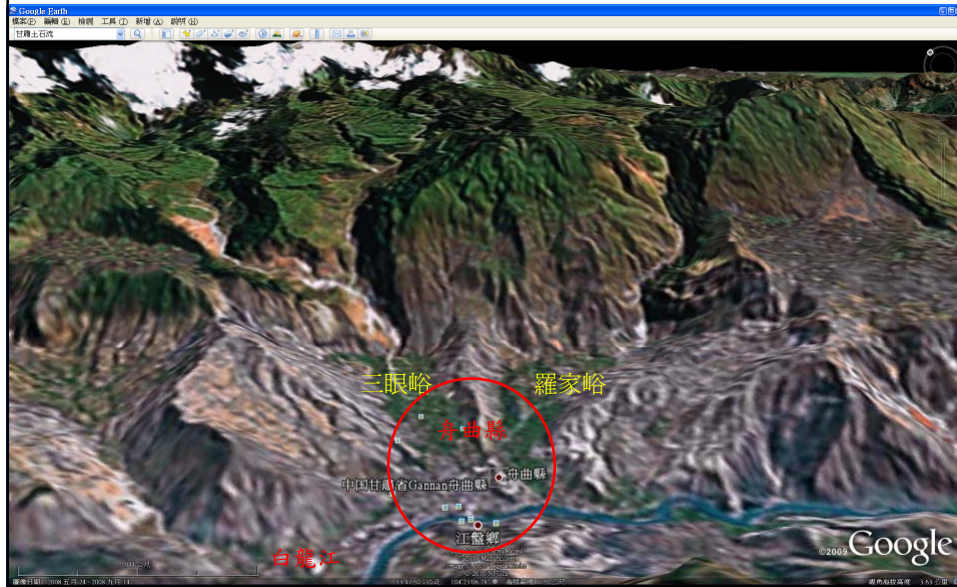


小林村主要致災因子

- 地質條件與斷層：小林村位於砂岩、頁岩、順向坡的地質條件與鄰近甲仙、旗山斷層，易造成地質破碎與敏感。
- 長延時、強降雨：莫拉克颱風長延時與強降雨打破於臨近甲仙雨量站設站58年雨量紀錄，引致觸發大規模坡地災害之主因。
- 複合型災害：崩塌引致阻斷旗山溪形成堰塞湖造成淹水，不久堰塞壩體潰決山洪暴發再次沖刷崩塌堆積土石造成二次災害。

甘肅省甘南州舟曲縣地形圖

明顯位於兩溪谷出口之扇狀沖積平原



災情涉及2個鄉鎮10個行政村，其中重災村6個。





專家初步分析:四原因致舟曲特大山洪地質災害發生

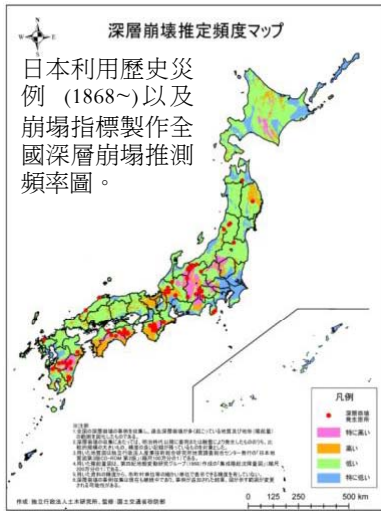
新華網甘肅舟曲8月9日電(記者宋常青)記者9日凌晨2時許從舟曲縣指揮部召開的會議上瞭解到,經中國大陸國土資源部、甘肅國土資源部門等專家現場查看和綜合分析,初步認為四因素導致舟曲特大山洪地質災害發生。

- 1.是舟曲當地地形地貌和特殊地質構造,是導致災害發生的重要原因。專家分析認為,舟曲縣城附近的地質構造岩性鬆軟、比較破碎,風化程度也很厲害,比較容易發生滑坡、崩塌和泥石流災害。
- 2.是汶川地震的影響是重要因素之一。舟曲縣是汶川地震的重災區之一,地震導致舟曲縣城周邊山體鬆動、岩層破碎。因地震造成的山體鬆動等需要3到5年時間才能消除,但目前距離汶川地震發生僅2年多時間。
- 3.是舟曲去年四季度到今年上半年的持續乾旱,造成城區周邊岩石解體,部分山體、岩石裂縫暴露在外,使雨水容易進入,導致滑坡。
- 4.是遭遇強降雨。8月7日晚舟曲縣城東北部山區突降特大暴雨,持續40多分鐘,降雨量達到90多毫米,形成了泥石流,直接造成特大山洪地質災害發生。

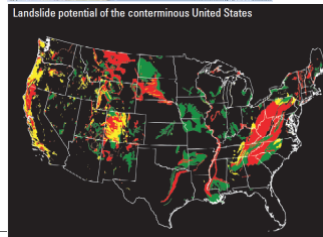
五、大規模崩塌研發現況與執行情形

國外相關措施1/2

潛勢調查 製作防災地圖



義大利建立不同山崩目錄圖，推算不同規模崩塌的危險分布。



美國建立崩塌目錄資料庫。

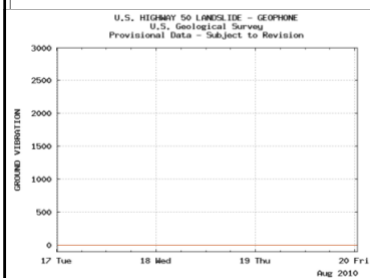
五、大規模崩塌研發現況與執行情形

國外相關措施2/2

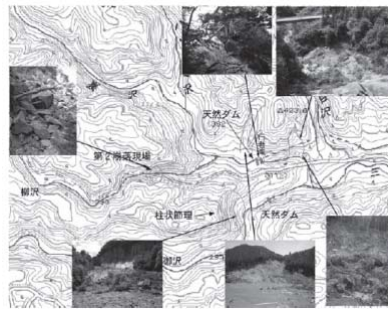
監測和管理



美國USGS 在加州的 Highway 50 設置量測雨量、地下水、邊坡穩定監測器、深淺層水壓計、地聲器等。



量測的訊息隨時在網站上更新。展示資料分為四週與四個月區間。



現象	可能性	起きたときの影響	経緯
行車道のせき止めのからの土砂流出	ありうる	小さい (困難がある)	行車道に川原いに接近しない、側方からの流の落ち口の整理
土石流	非常に大	大きい	土石流発生の恐れがある下に入らない、対策を要する
亀裂と変状のある斜面	小さい	小さい (困難がある)	その下に人を入らない、対策から監視、継続的な監視
緑河上流のせき止めの決壊	不明	甚大	自衛隊による定期的な状況確認、高い情報提供体制
節理のせき止めの決壊	ありうる	小さい	監視に近づかない

日本調査發生過大規模崩塌區域可能危害的住戶及區域，並分別制定避免發生災害的措施。

五、大規模崩塌研發現況與執行情形

重大崩塌災害之防治對策

1.災害調查	2.潛勢評估	3.現地監測	4.災後整治
<ul style="list-style-type: none"> • 地形測量 • 地質調查 • 滑動記錄 • 剖面繪製 • 航照判釋 • 範圍圈繪 • 地質鑽探 • 其他 	<ul style="list-style-type: none"> • 境況模擬 • 力學分析 • 地震力分析 • 風險評估模式 • 山崩潛勢圖 • 其他 	<ul style="list-style-type: none"> • 雨量計 • 地下水水位及水壓計 • 傾斜儀 • 孔內伸縮計 • 張力計 • 光纖變位計 • 電磁波時域反射 • 地表位移觀測樁 • 其他 	<ul style="list-style-type: none"> • 地表防水 • 排水溝 • 削坡 • 壓腳 • 排水孔 • 擋土牆 • 岩栓 • 岩錨 • 排水廊道 • 集水井 • 其他



整合歷年航空照片判釋崩塌地現況



地質鑽探



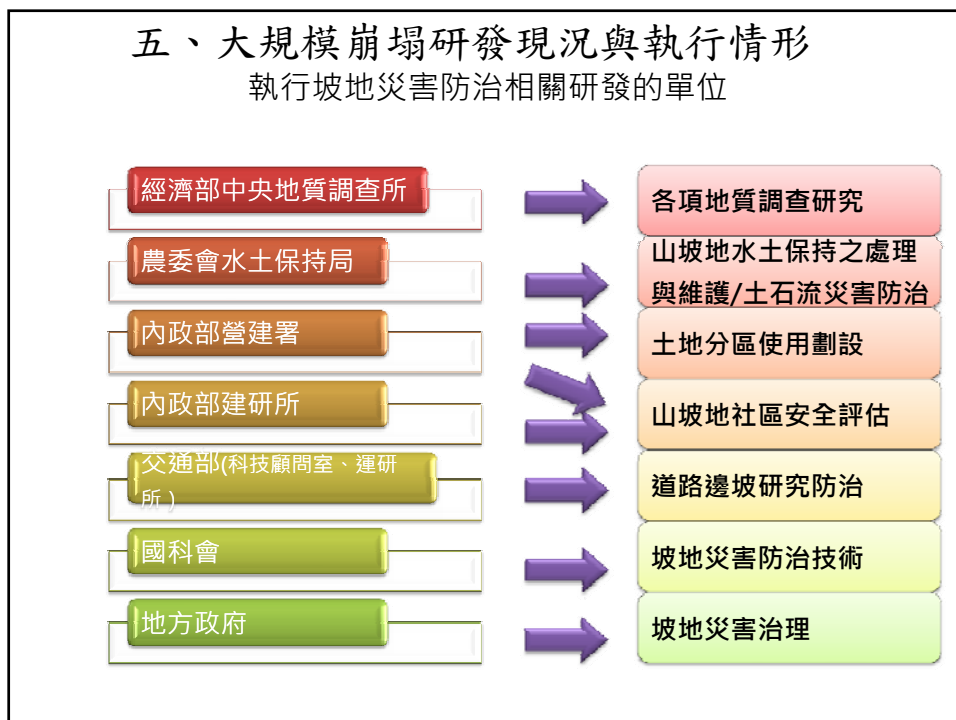
全台灣基本圖幅查詢

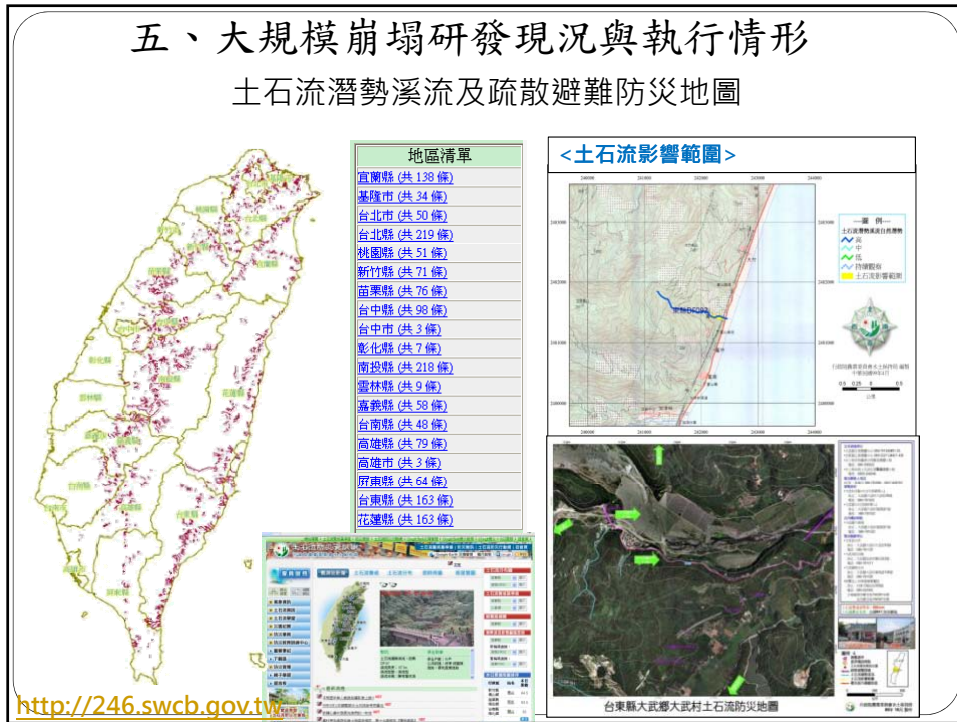
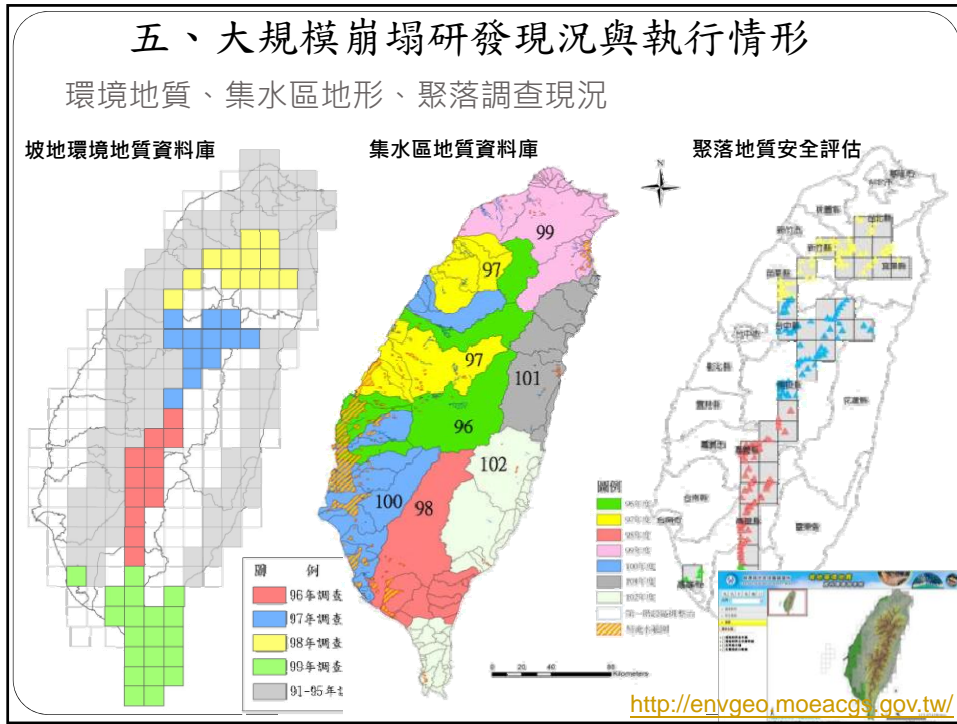


監測儀器位置圖



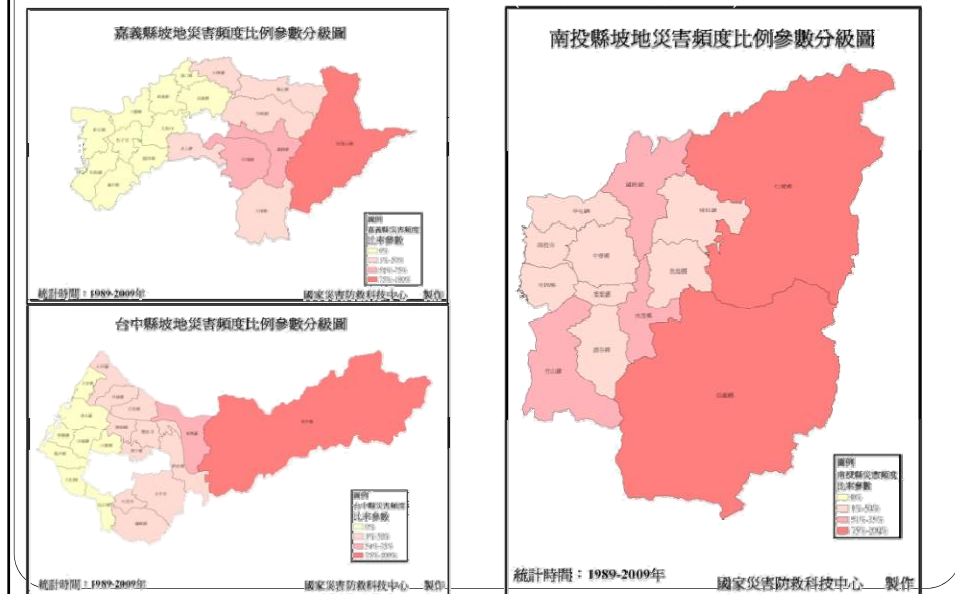
林肯大郡整治前(民國86年)
整治後





五、大規模崩塌研發現況與執行情形

各縣市坡地災害頻度分佈圖



五、大規模崩塌研發現況與執行情形

莫拉克災後推動坡地災害防治相關調查研究

- 國科會/經濟部/農委會/工程會等-莫拉克災後坡地災害調查。
- 經建會/原民會/經濟部/農委會/內政部/國科會等-莫拉克風災後山地聚(部)落安全評估工作。
- 教育部-學校災害潛勢資料更新及平台維運計畫-進行校園坡地安全評估。
- 國科會-災害防救應用科技方案-針對崩塌災害整合部會署能量推動1.坡地歷史災害資料建置與維護更新、2.坡地崩塌警戒基準研究、3.重點區域崩塌災害情境模擬等相關研發工作。
- 國科會/農委會/經濟部/內政部等-極端天氣的坡地災害相關研究。

六、未來建議

- 大規模坡地災害發生機制複雜，不易預測，建議可應用新而有效之科技(如衛星或空載之雷達影像「光達LiDAR」(Light Detection And Ranging)及「紅外線波段之衛星影像」等技術提昇調查效能，優先找出大規模坡地災害潛勢區域。
- 針對大規模坡地災害可能致災區域，加強監測預警與防減災措施，降低災害可能發生之衝擊。
- 公開大規模坡地災害潛勢資訊，提供土地利用管理參考，降低災害衝擊。
- 因應發生複合型災害之可能，整合評估與規劃收容安置場所之容量及疏散避難處所之安全。
- 強化大規模坡地災害防災教育，落實社區自主防災與疏散避難等防災措施。
- 建立協調整合機制，負責統合相關部會署坡地防災能量與資源，落實坡地災害管理工作。

謝謝聆聽
敬請指教