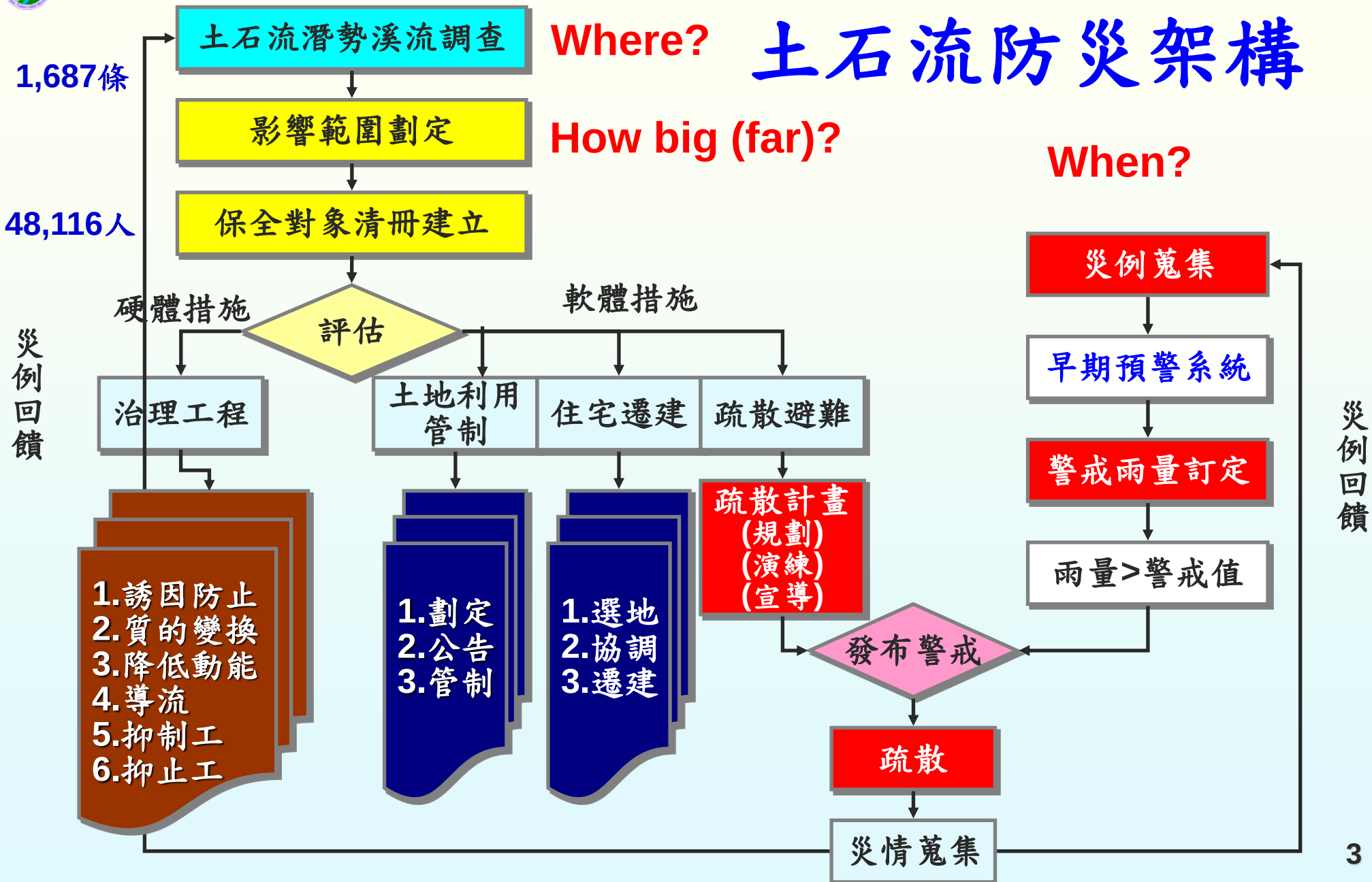
105年度土石流防災預警機制與精進作為

行政院農業委員會水土保持局
土石流防災中心主任 尹孝元

2011南瑪都颱風屏東縣
滿州鄉土石流災害
發生區
流動區
堆積區

土石流防災架構


土石流潛勢溪流調查
Where?
1,687條
影響範圍劃定
How big (far)?
48,116人
保全對象清冊建立
When?
硬體措施
評估
軟體措施
災例回饋
治理工程
土地利用管制
住宅遷建
疏散避難
1.誘因防止
2.質的變換
3.降低動能
4.導流
5.抑制工
6.抑止工
1.劃定
2.公告
3.管制
1.選地
2.協調
3.遷建
疏散計畫
(規劃)
(演練)
(宣導)
發布警戒
疏散
災情蒐集
災例蒐集
早期預警系統
警戒雨量訂定
雨量>警戒值
災例回饋

壹、土石流警戒機制

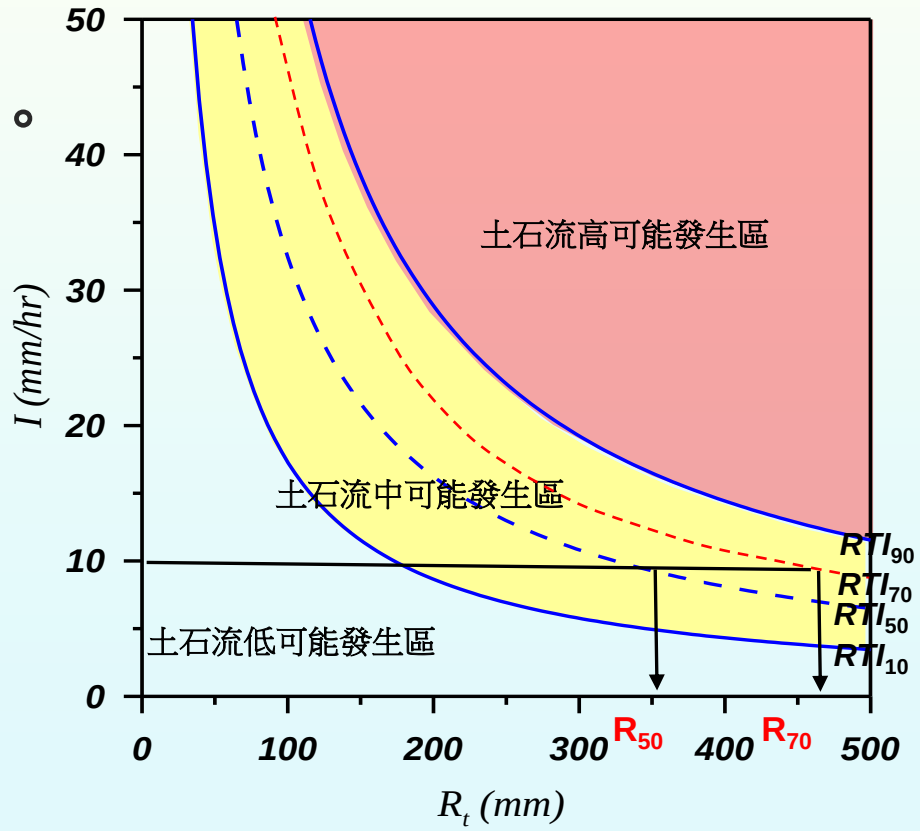
土石流警戒基準值訂定

$$RTI = I \times R_t$$

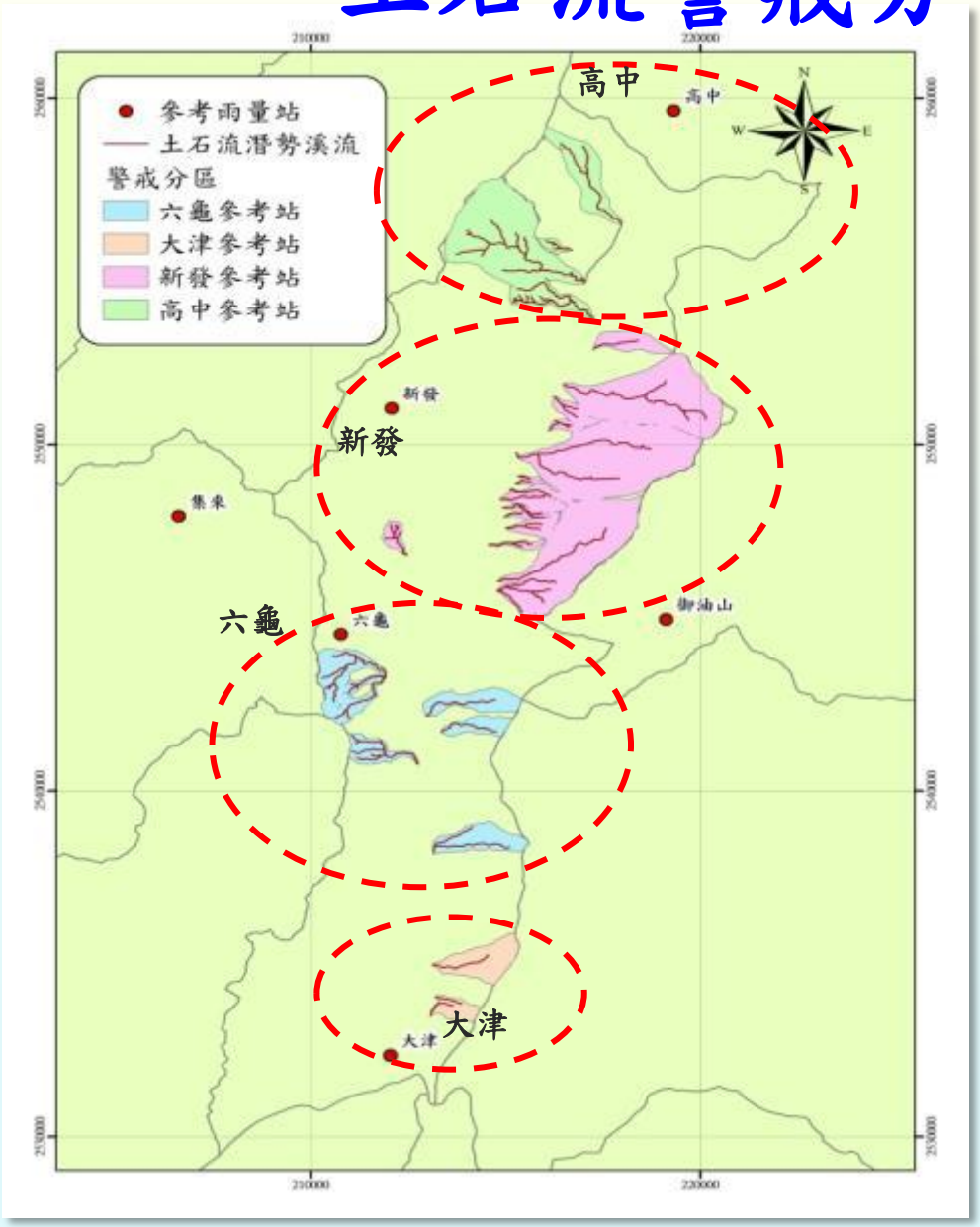
有效累積雨量：$R_t = R_0 + \sum_{i=1}^{7} 0.7^i \times R_i$

本次降雨量+前7天有效累積雨量

- 依據歷史雨場事件計算RTI值，以RTI_{70}(70%)作為基準。
- 降雨強度 I=10 mm/hr，由降雨警戒基準值RTI_{70}推求土石流警戒基準值R_{70}。
- 以50mm為1級距，設定土石流警戒基準值範圍以200mm為下限、600mm為上限(共9個級距)。



土石流警戒分區與參考雨量站

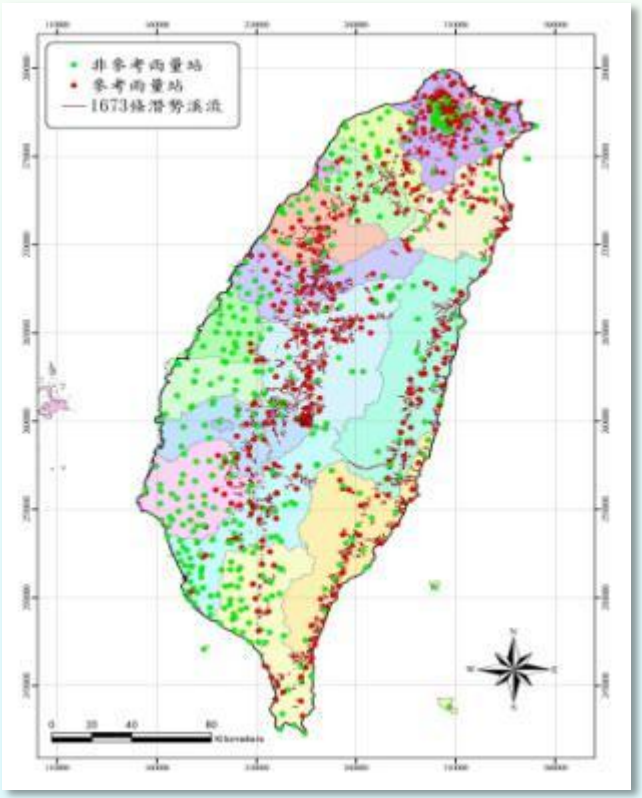


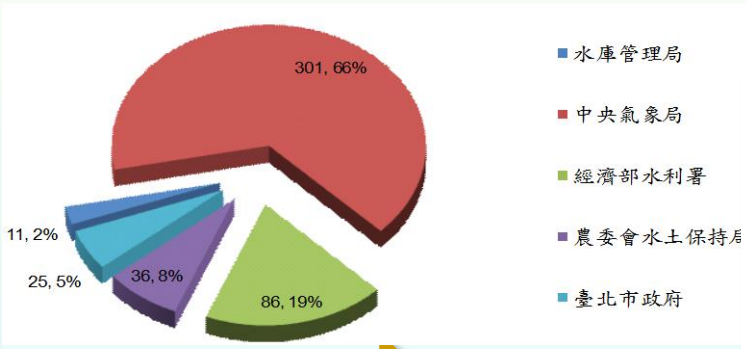
- 一鄉鎮劃分為數個警戒分區
  - ✓集水區
  - ✓行政區(村里)
  - ✓土石流潛勢溪流分布
  - ✓雨量站位置
- 全台**1687條**土石流潛勢溪流分布於17縣市159鄉鎮**685村里**
  - ✓分成**457個警戒分區**

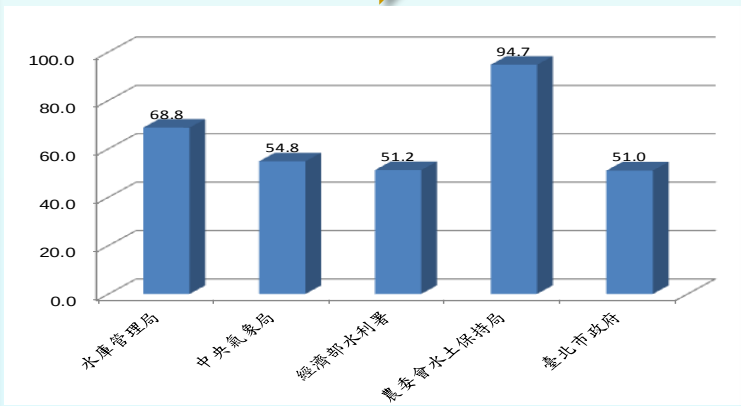
參考雨量站異動與調整-105年3月調整結果

104年雨量觀測網納入水利署雨量站(計143站)以及水保局新建15站，使得全台雨量站數量與密度有明顯提升，經檢討後進行較大幅度調整。統計調整後氣象局雨量站採用比例，由原本84%降至66%，而水利署雨量站與水保局雨量站採用比例提升至19%與8%，而參考雨量站數量也由371站提高至459站。

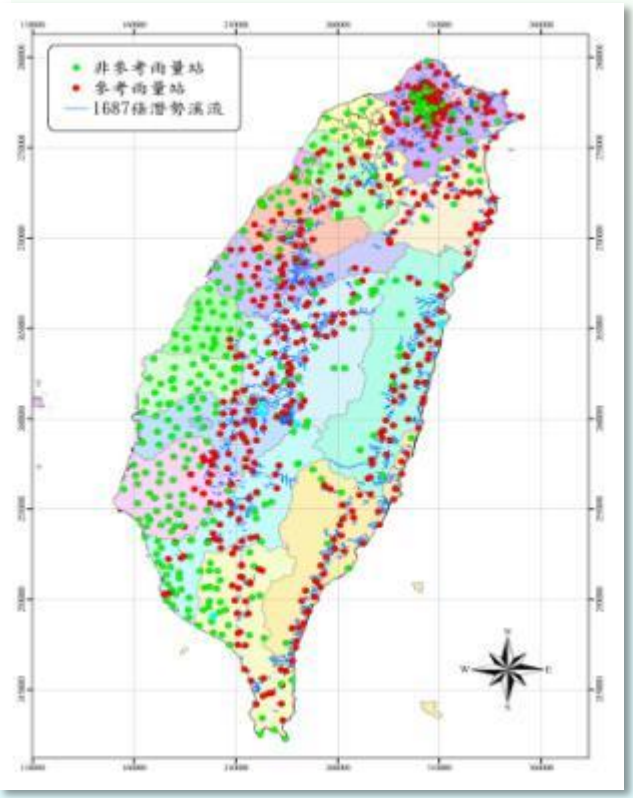
調整前







調整後



105年土石流警戒基準值明細表

105.03修訂

縣市	鄉鎮	警戒區範圍		土石流警戒基準值(mm)	參考雨量站	
		警戒區座落村里(土石流潛勢溪流總數)	土石流潛勢溪流數(條)		代表站1	代表站2
	蘇澳鎮	永春里(2)	2	500	蘇澳	東澳嶺
		永樂里(7)	7		東澳嶺	蘇澳
		朝陽里(4)	4		南澳	烏石鼻
		南建里(1)、長安里(1)、蘇北里(1)、聖湖里(1)、聖愛里(3)	7		蘇澳	冬山
	三星鄉	集慶村(1)、拱照村(3)、天山村(1)	5	600	三星	寒溪
	大同鄉	太平村(2)	2	500*	土場[W]	池端[ST]
		茂安村(8)	8		留茂安[W]	土場[W]
		寒溪村(2)	2		寒溪[S]	寒溪
		崙埤村(3)、松羅村(4)	7		玉蘭	牛鬥
		四季村(6)	6		四季[W]	思源
		南山村(7)	7		南山	思源
		英士村(2)	2		梵梵(2)[W]	樂水分校[S]
		樂水村(3)	3		樂水分校[S]	梵梵(2)[W]
		復興村(4)	4		清水[W]	牛鬥
		復興村(宜縣DF143)	1	450	牛鬥	玉蘭
		中山村(6)、得安村(1)	7		新寮	新寮(1)[W]

土石流警戒發布時機及因應作為

黃色警戒

■土石流警戒雨量
200～600mm

- 發布時機：預測雨量 ＞土石流警戒雨量
- 因應作為：地方政府應進行疏散避難勸告。

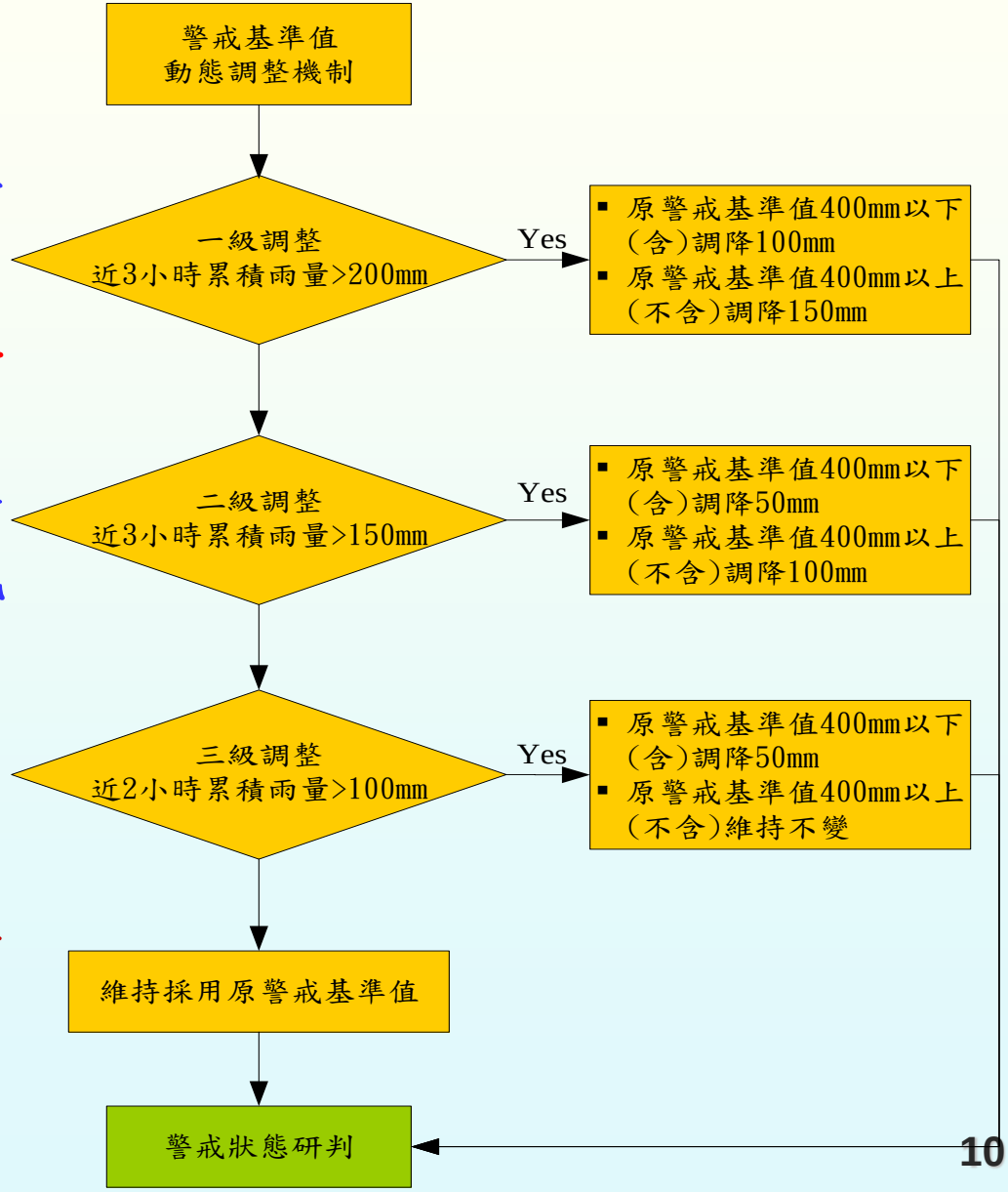
紅色警戒

- 發布時機：實際雨量 ＞土石流警戒雨量
- 因應作為：地方政府應勸告或強制其撤離，並作適當之安置。

地方政府可依當地雨量及實際狀況，自行發布局部地區為黃色或紅色土石流警戒區

短延時強降雨開設與警戒值動態調整

- **三級開設時機：**
  - 3小時雨量大於150毫米，且豪雨特報持續 發布。
  - 24小時雨量達該區域土石流警戒基準值70%。
  - 氣象局發布豪雨(200mm)特報，其預測雨量大於該區域最低之土石流警戒基準值。
- **二級開設時機：已發布土石流紅色警戒。**
- **一級開設時機：災情有擴大之虞時。**



定量降水預報輔助黃色警戒發布

定量降水預報(QPF, 2.5km網格)，相較於傳統風雨預報(縣市為單元)，大幅提昇土石流黃色警戒空間精度

過去警戒發布方式- 人工判斷

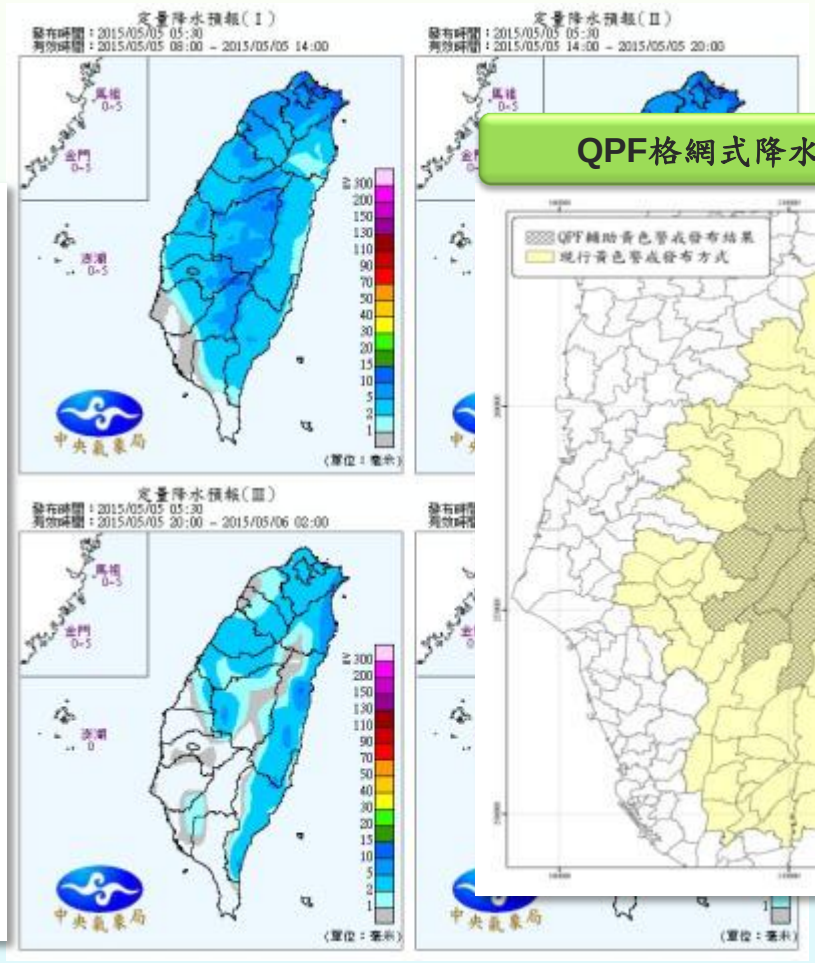
103年第10號颱風各地區24小時雨量預測

中央氣象局發布

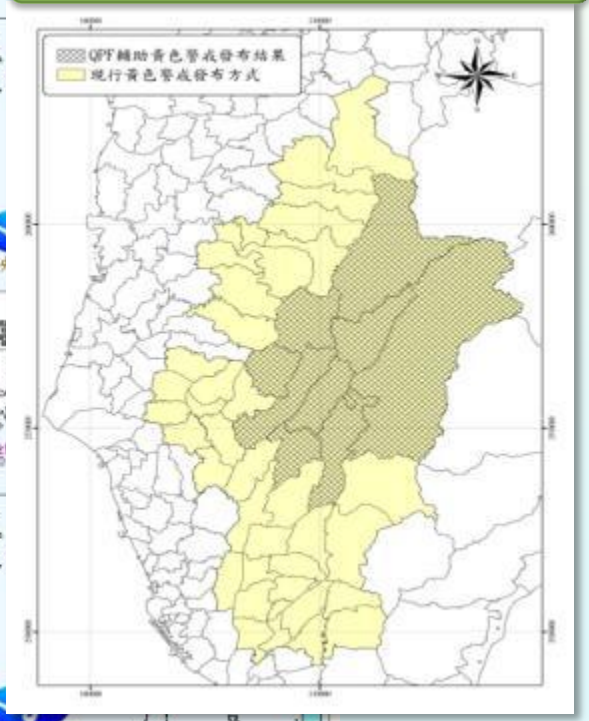
發布時間：103年07月22日19時00分(加報)

分區	24小時雨量(毫米) 有效時間：22日20時至23日20時 平地	山區
基隆市	200-300	
臺北市	200-300	300-500
新北市	200-300	300-500
桃園縣	100-200	300-500
新竹市	100-200	
新竹縣	200-300	300-500
苗栗縣	200-300	300-500
臺中市	150-300	300-500
彰化縣	150-300	
南投縣	150-300	300-500
雲林縣	150-300	200-400
嘉義市	150-300	
嘉義縣	150-300	300-500
臺南市	150-300	300-500
高雄市	150-300	300-500
屏東縣	150-300	300-500
恆春半島	100-200	
宜蘭縣	200-400	500-700
花蓮縣	200-400	400-600
臺東縣	100-200	200-400
蘭嶼綠島	100-200	
連江縣	50-100	
金門縣	50-100	
澎湖縣	80-150	

註：此預測將根據最新氣象資料而做調整。
預定下次發布時間：103年07月22日22時00分



QPF格網式降水預報型式



定量降水預報輔助黃色警戒發布

✓目前作法：採用參考雨量站與該處之QPF網格資料

黃色：(ETR2 + 24h QPF)/土石流警戒值 ≧100%

ETR2=本次降雨量+前7天有效累積雨量($R_t = R_0 + P = \sum_{i=0}^{7} \alpha^i R_i$)

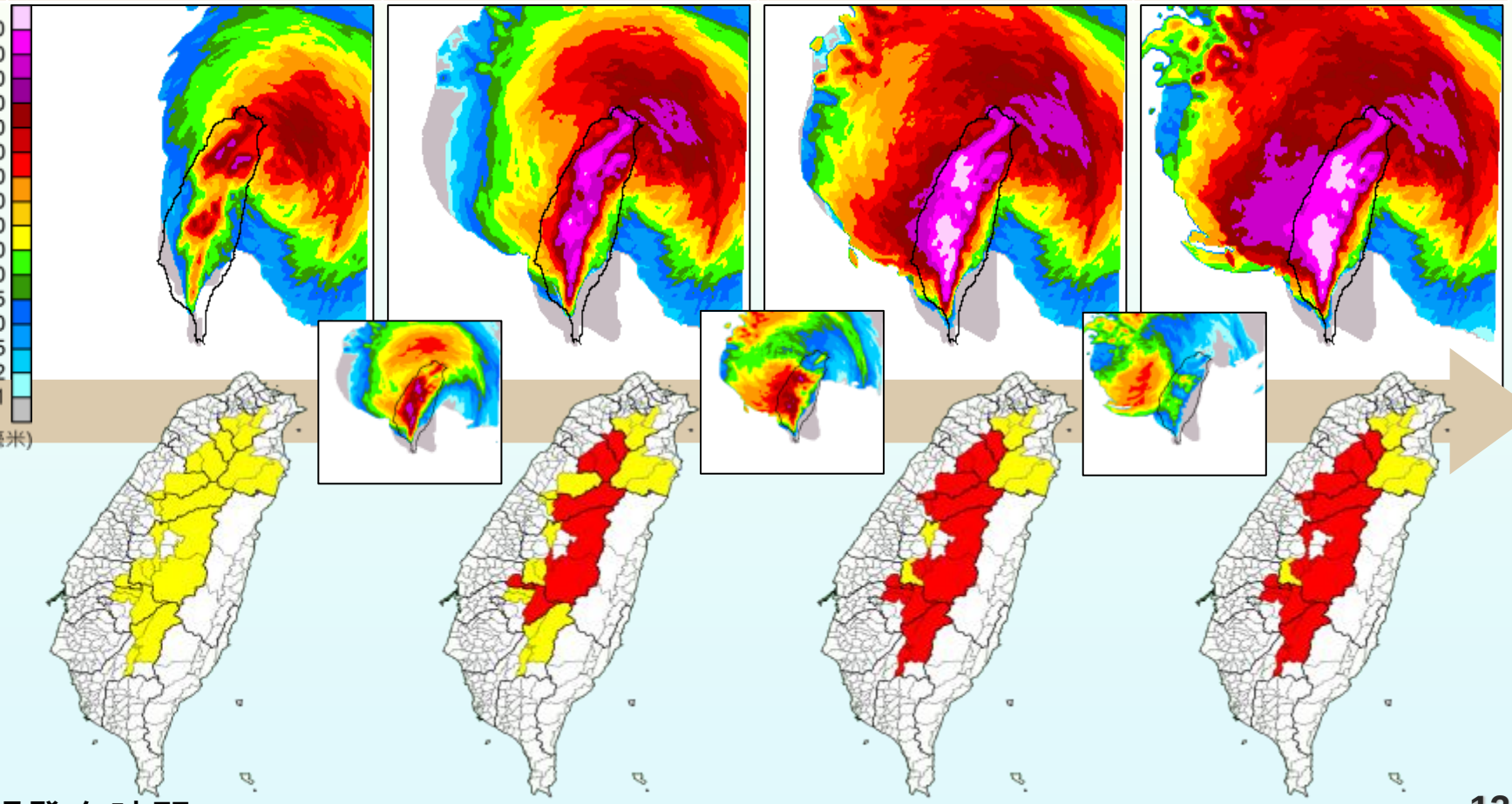
推估未來警戒發布趨勢

	28日20時	29日02時	29日08時	29日14時
黃色警戒	27	18	9	8
紅色警戒	0	9	18	19

定量降水預報累積雨量

每6小時預測雨量 (單位:毫米)

≧300 200 150 130 110 90 70 50 40 30 20 15 10 5 2 1



紅黃警戒鄉鎮分布圖

定量降水預報發布時間:2015/09/28 11:30

土石流警戒區預報單發布時間調整

中央氣象局定量降水預報發布時間與雨量預報範圍一覽表

註：*表示為颱風期間增加之報次

定量降水預報發布時間	雨量預報範圍
05:30	本日08:00~14:00、本日14:00~20:00、本日20:00~隔日02:00、隔日02:00~隔日08:00
11:30*	本日14:00~20:00、本日20:00~隔日02:00、隔日02:00~隔日08:00、隔日08:00~隔日14:00
17:30	本日20:00~隔日02:00、隔日02:00~隔日08:00、隔日08:00~隔日14:00、隔日14:00~隔日20:00
23:30*	隔日02:00~隔日08:00、隔日08:00~隔日14:00、隔日14:00~隔日20:00、隔日20:00~隔2日02:00

- 配合**定量降水預報發布時間**，擬將現行警戒發布時段05:00、11:00、17:00、20:00與23:00(正報)，修正為**06:30、12:30、15:30、18:30、21:30、00:30等6個時段發布**

※ 特急文件　勝請優先處理

行政院農業委員會土石流災害緊急應變小組
○○颱風土石流警戒預報

預報時間：○○○年○○月○○日○○時○○分　　報別：第○報

三、土石流警戒明細及完整預報單請自土石流防災資訊網下載(http://246.swcb.gov.tw)。

四、依據災害防救法第二十四條，除貴府所轄區域內之土石流潛勢溪流外，同時應注意其它有災害發生之虞的地區，必要時請提早進行預防性疏散。

五、依據中央氣象局預測雨量，入夜後○○市○○區、○○縣○○鄉等○鄉(鎮、市、區)可能達紅色警戒發布標準，建請提早進行預防性疏散。

六、部分紅色警戒地區，24小時累積雨量已逾50年或200年重現期距(詳土石流警戒明細表註記)，請加強警戒。

副本：詳附件。

土石流災害緊急應變小組 http://246.swcb.gov.tw
電話：049-2394234　傳真：049-2394309
EMAIL:swcbfesa@mail.swcb.gov.tw

下次預定發布時間：○○○年○○月○○日○○時○○分

1

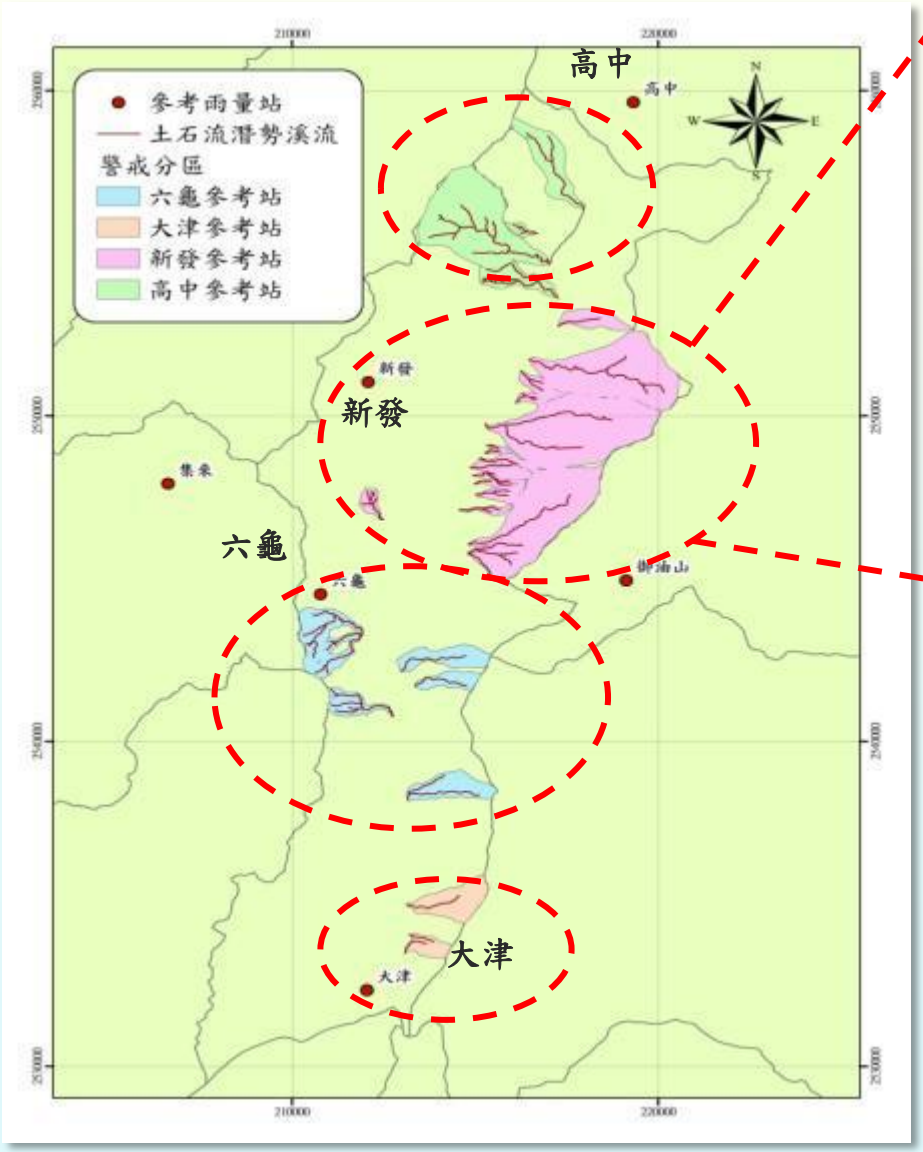
	礁溪鄉	500	12	紅色	二結村**(5)、大忠村** (2)、 玉石村** (2)、匏崙村(2)、德陽村(1)	
小計	2		52			
	復興鄉	350	2	黃色	三民村(桃縣DF022)、 義盛村(桃縣DF049)	
			28	紅色	三民村*(2)、三光村*(2)、長興村*(2)、 奎輝村*(1)、高義村*(2)、華陵村*(6)、 義盛村*(4)、澤仁村(2)、霞雲村(2)、 羅浮村(5)	
小計						
合計						

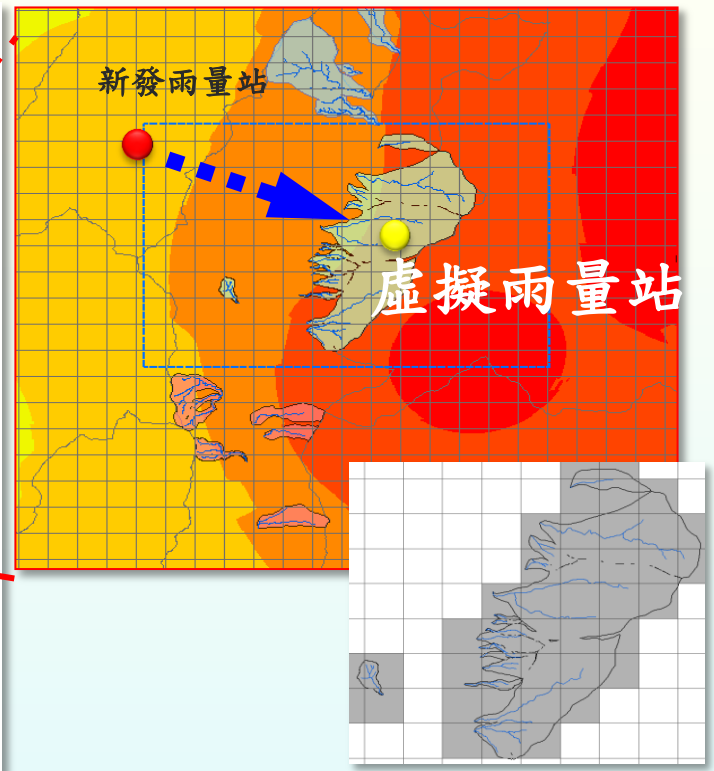
一、地方政府可以依各地區當地雨量及實際狀況，自行發布局部地區為黃色警戒或紅色警戒。

二、村里有底線符號者表此次新發布紅色警戒。

三、紅色警戒座落村里加註「*」者，代表其24小時之累積雨量已逾50年降雨重現期距；加註「**」者代表其24小時之累積雨量已逾200年降雨重現期距。(各重現期距係依「水土保持技術規範」所建議之無因次降雨強度公式計算)

雷達降水估計(QPE, 1.3km網格)提升紅色警戒空間精度





以土石流警戒分區為單元，想像其內有一虛擬雨量站

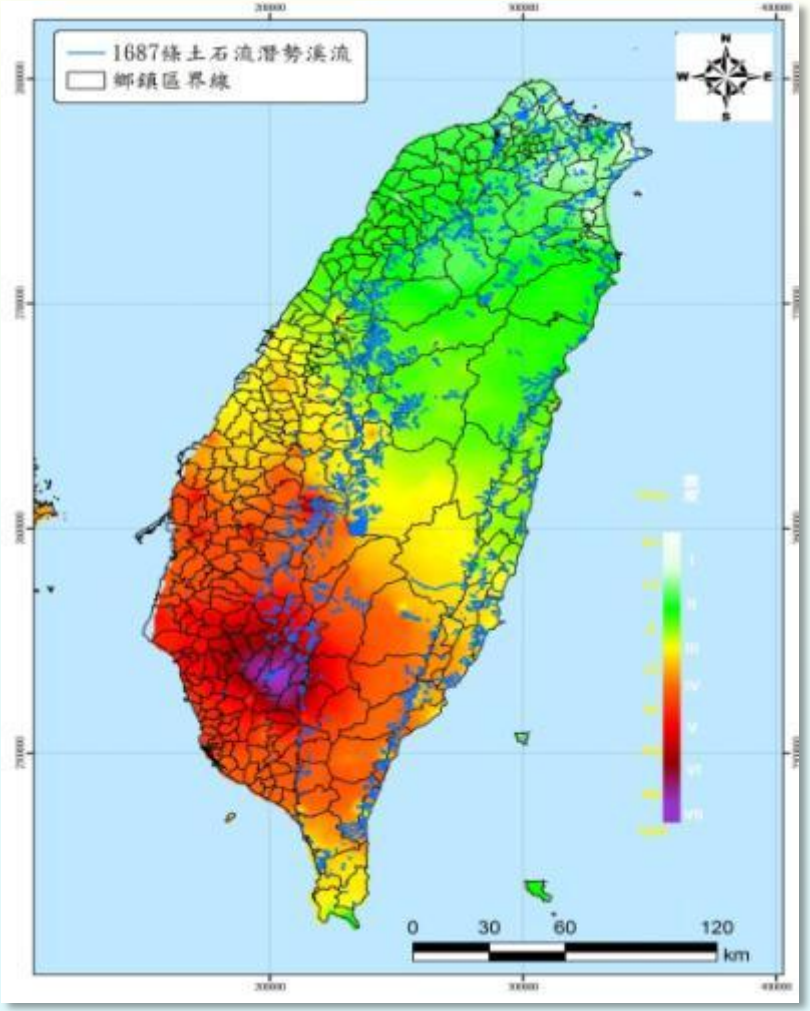
將警戒分區之格網雨量統計排序

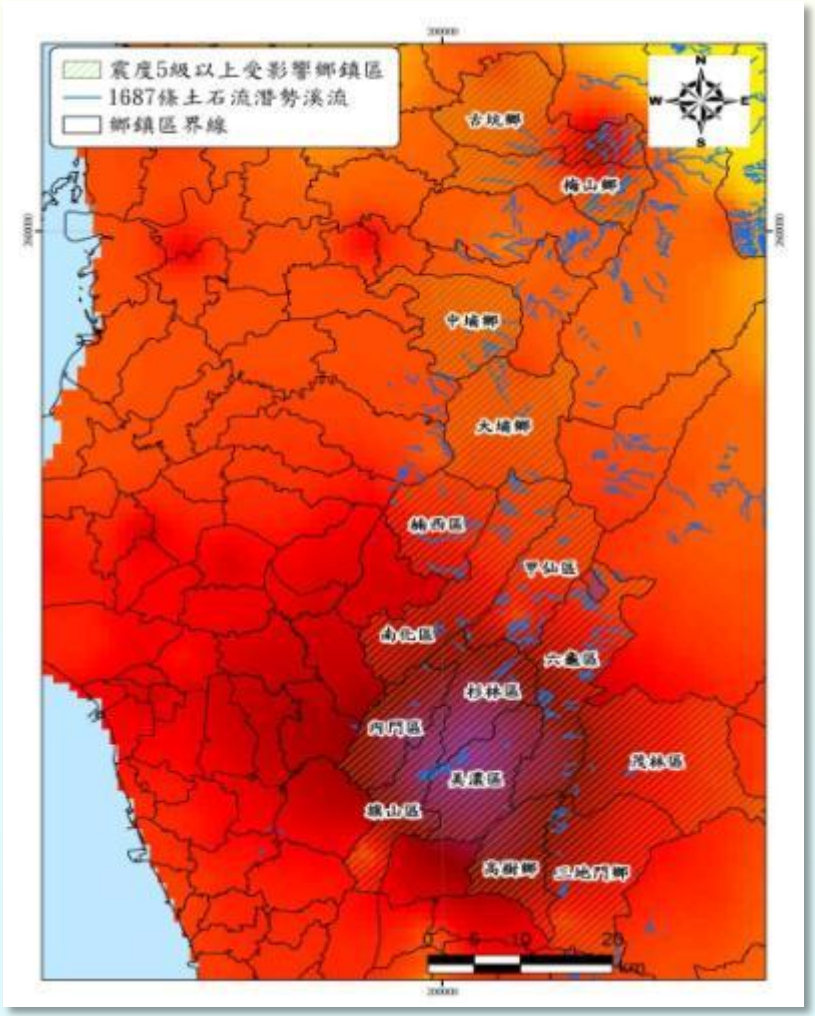
以三四分位數(75%)為該區域(虛擬雨量站)代表雨量

✓ 採用虛擬雨量站之作法，現有之土石流警戒發布程式與流程幾乎不需改變

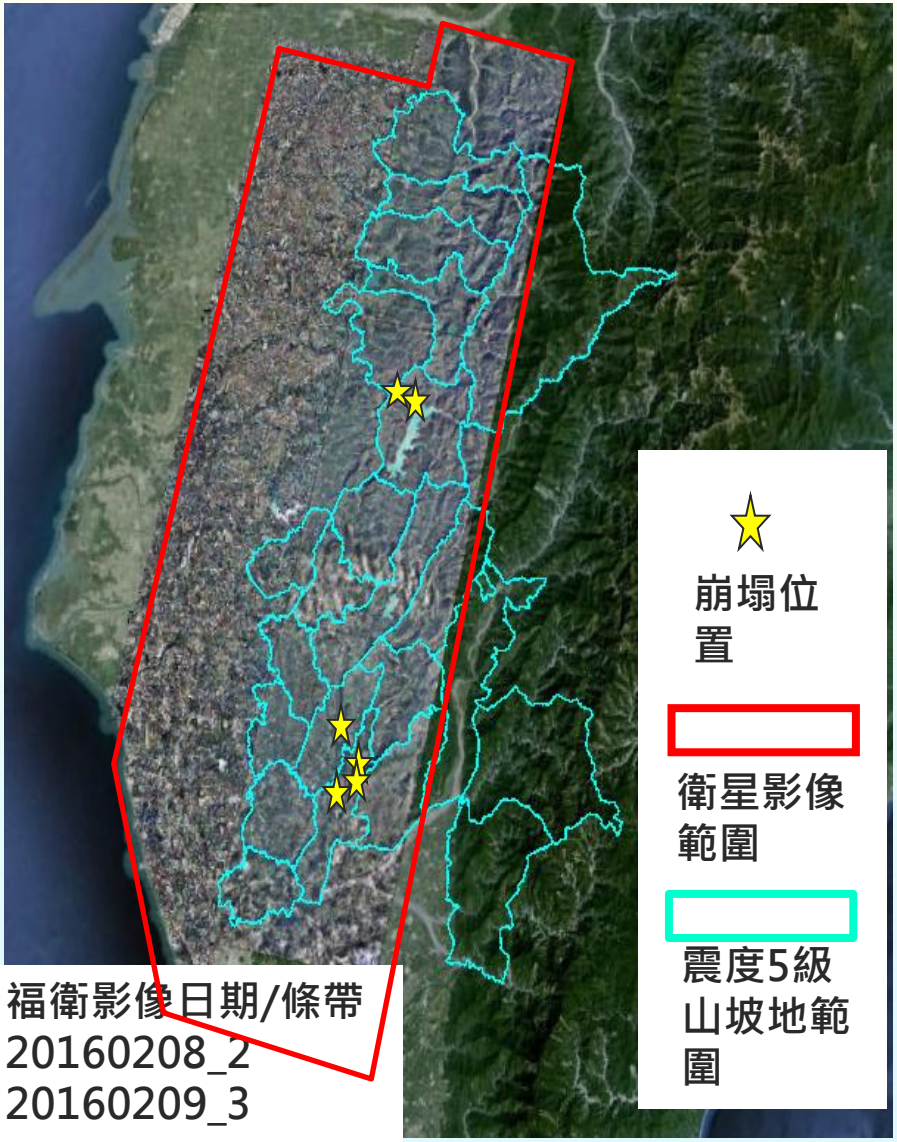
貳、因應0206地震警戒值調整

0206地震等震分布圖與主要受影響區域



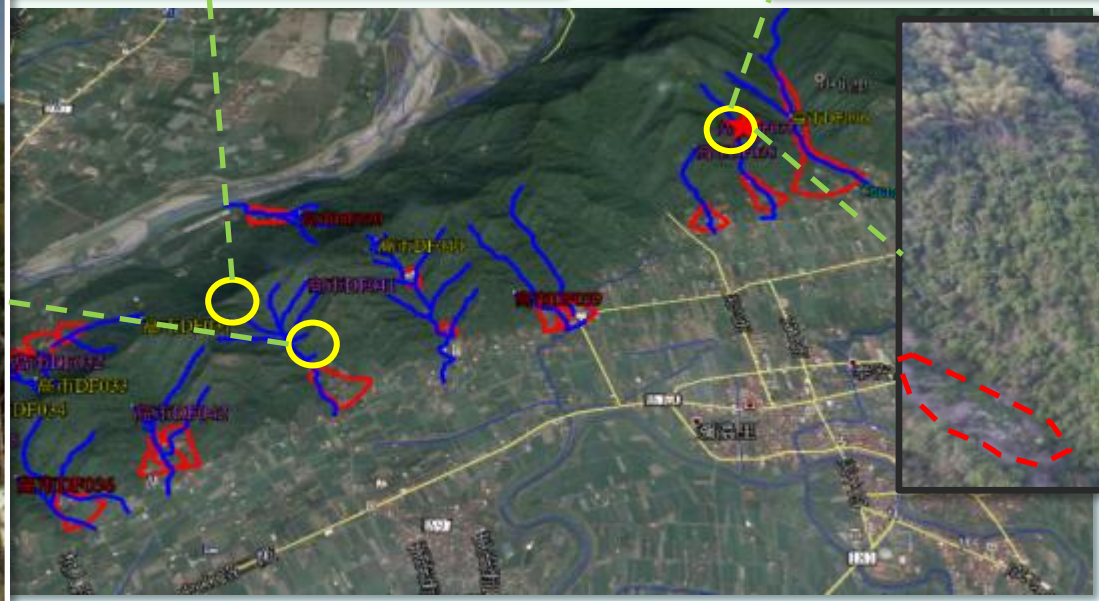


水土保持局福衛影像判釋結果



- 至2/13止水土保持局已進行衛星影像判釋山坡地範圍共5,428平方公里，包含嘉義，台南及高雄3縣市18鄉鎮市區，發現6處崩塌地，各處面積皆小於0.4公頃，初步研判無立即危險，後續將持續監測關注。
- 崩塌位置
  - 嘉義縣中埔鄉中崙村2處 (0.23公頃、0.37公頃)
  - 台南市龍崎區楠坑里(0.17頃)
  - 台南市龍崎區崎頂里(0.23公頃)
  - 台南市龍崎區崎頂里(0.19公頃)
  - 台南市左鎮區光和里(0.24公頃)

震後無人載具空拍情況



土石流警戒基準值調整更新

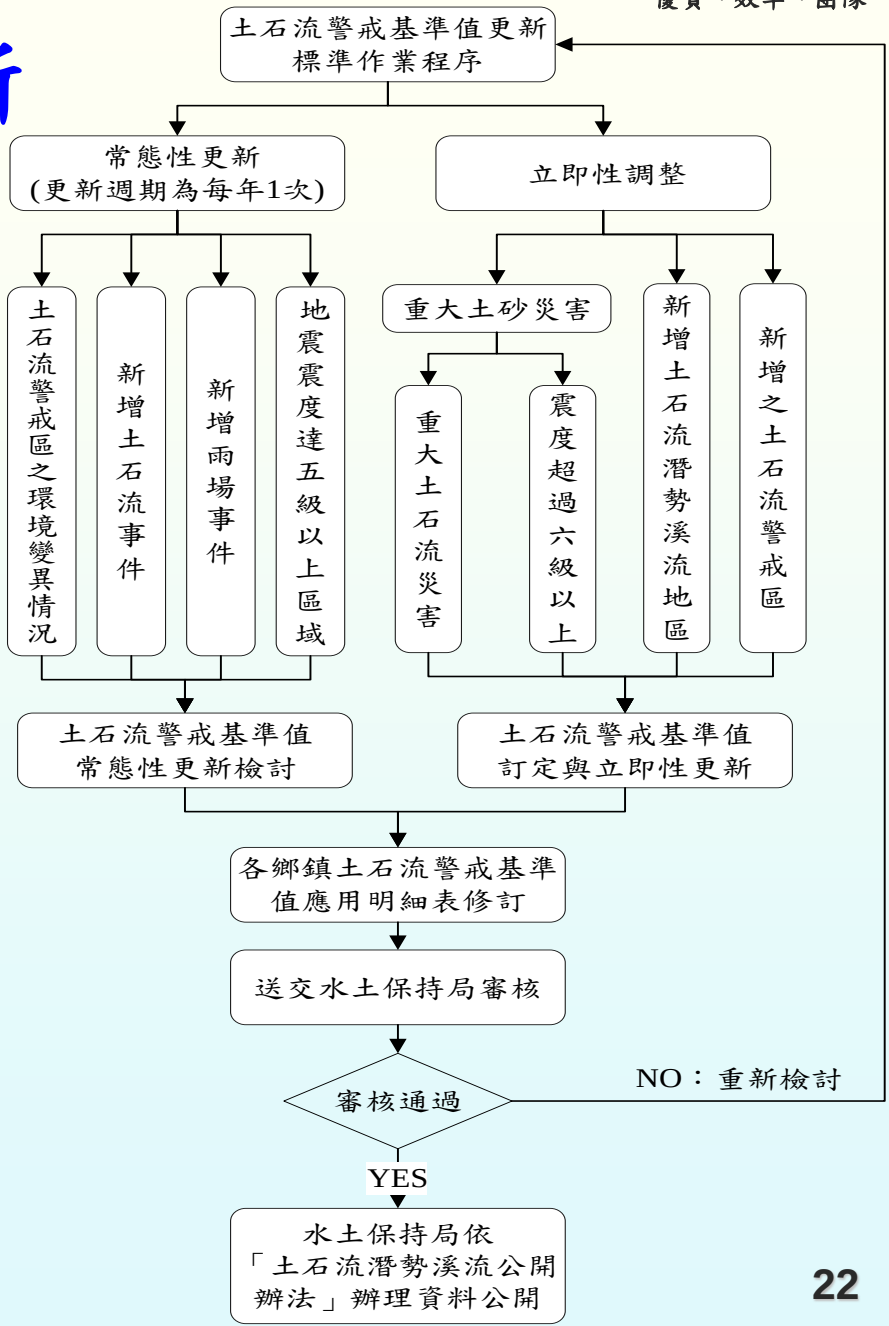
常態性更新

1. 更新週期為每年一次。
2. 更新之考量為新增雨量事件、新增土石流事件、震度達5級以上之地震事件(未達6級)及近年土石流警戒基準值調整警戒區之環境變異情況。

立即性調整

1. 重大土石流災害及重大地震事件(震度6級以上)屬之，應依據各災區情勢對土石流警戒基準值提出調整建議。
2. 新增土石流潛勢溪流地區(位於既有土石流警戒區內)，應檢討現行土石流警戒基準值有無更新之需要，若有應即檢討更新
3. 新增之土石流警戒區(新增的土石流潛勢溪流，不屬於既有警戒區而需新增者)，應根據歷年降雨資料、土石流發生事件及其地文資料等，以訂定土石流警戒基準值。

上述土石流警戒基準值建議提出後，應經水土保持局評估並修訂各警戒區土石流警戒基準值明細表後，交付審核。



地震影響之土石流警戒基準值調整機制

1. 調降地震震度達5級以上之鄉鎮區之土石流警戒基準值至R_{50}。

2. 調降至R_{50}之區域，其環境經自然或人為復育後，其土石流潛勢溪流警戒基準值調昇方式為：

(1)地震震度為5級者，集水區震後二年內無重大災情，歷經至少3起颱風豪雨事件之累積雨量皆超過警戒基準值並無發生土石流事件且環境無明顯變異者，調昇至原警戒值。

(2)地震震度大地震震度大於或等於6級者，集水區震後二年內無重大災情，歷經至少3起颱風豪雨事件之累積雨量皆超過警戒基準值並無發生土石流事件且環境無明顯變異者，向上調升警戒值50mm，第三年再歷經2場颱風豪雨事件後，環境若無明顯變異者，調昇至原警戒值。

土石流警戒基準值更新-立即性調整

✓土石流警戒基準值調整建議

縣市	鄉鎮	警戒區域	原警戒值(mm)	警戒值R_{50}(mm)	建議調整警戒值(mm)	震度
高雄市	美濃區	獅山里(1)、 中圳里(3)、福安里(4)、廣林里(1)	500	315	400	6
	旗山區	東平里(8)	500	365	400	6
	內門區	永吉里(1)、永富里(1)、金竹里(1)	550	390	500	5
雲林縣	古坑鄉	桂林村(1)、華山村(2)、草嶺村(8)、樟湖村(1)	350	250	300	6
屏東縣	高樹鄉	新豐村(4)	550	335	500	5
	三地門鄉	青山村(1)、青葉村(1)、安坡村(1)、口社村(3)、達來村(1)	450	350	400	5
嘉義縣	大埔鄉	永樂村(1)、和平村(1)、大埔村(1)、茄苳村(1)	450	290	400	5
	中埔鄉	東興村(3)、中崙村(2)、瑞豐村(1)、石硼村(2)	400	300	350	5
臺南市	楠西區	龜丹里(1)、灣丘里(2)、密枝里(2)、照興里(2)	450	290	400	5
	南化區	關山里(6)、玉山里(5)	350	310	300	5

土石流警戒基準值更新-警戒值各級距統計表

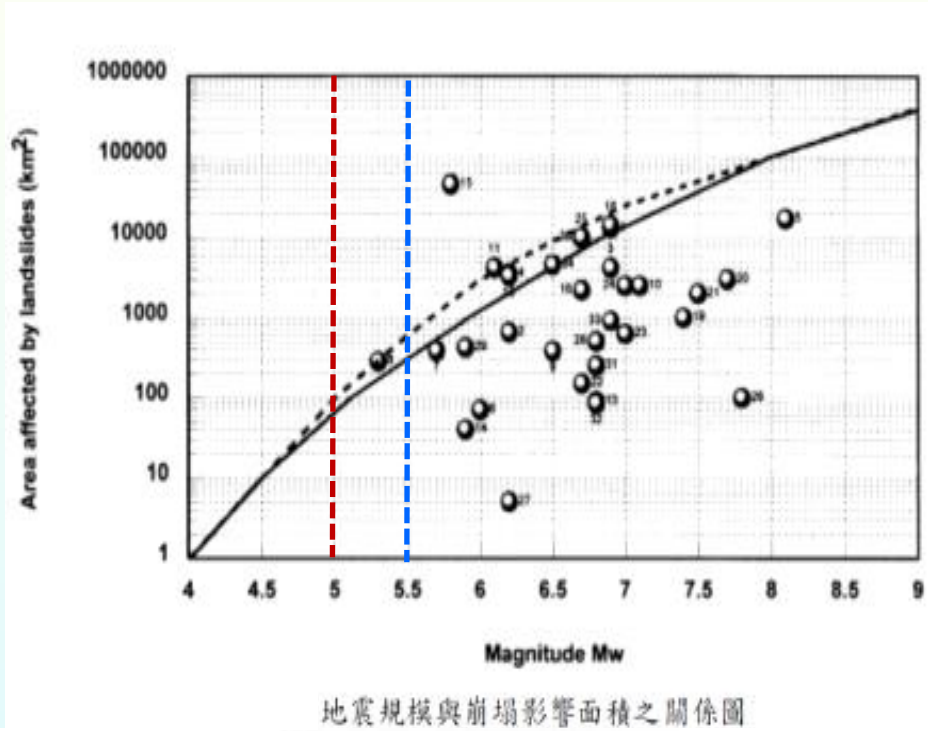
200 mm(0)	350mm(10)	450mm(14)	550mm(36)	600mm(24)
	甲仙區、來義鄉、卓蘭鎮竹山鎮、魚池鄉、中寮鄉新社區、竹崎鄉、東山區**中埔鄉**	北屯區、番路鄉、達仁鄉、秀林鄉、大武鄉、南澳鄉、鳳林鎮、草屯鎮、太平區、杉林區、三峽區、新店區、烏來區、太麻里鄉、大同鄉復興村(宜縣DF143)	吉安鄉、員山鄉、頭城鎮、七堵區、八里區、平溪區土城區、中和區、坪林區、池上鄉、新莊區、萬里區雙溪區、大溪區、桃園區、龜山區、北埔鄉、芎林鄉苑裡鎮、通霄鎮、竹南鎮、外埔區、潭子區、田中鎮龍崎區、六甲區、鼓山區、枋山鄉、春日鄉、泰武鄉、臺東市、中山區、暖暖區、壽豐鄉、基隆中正區、基隆中山區	三星鄉、冬山鄉、仁愛區、安樂區、南港區、貢寮區樹林區、峨眉鄉、沙鹿區、社頭鄉、田寮區、岡山區阿蓮區、牡丹鄉、萬巒鄉、信義區、海端鄉、鹿野鄉關山鎮、玉里鎮、卓溪鄉、花蓮市、富里鄉、基隆信義區
250mm(6)	**400mm(13)**	**500mm(44)**		
仁愛鄉、水里鄉、信義鄉、桃源區、阿里山鄉那瑪夏區	豐濱鄉、光復鄉、金峰鄉滿州鄉、茂林區、瑪家鄉泰安鄉、霧台鄉、**美濃區旗山區、大埔鄉、楠西區三地門鄉**	蘇澳鎮、礁溪鄉、士林區內湖區、文山區、北投區三芝區、大同鄉、石門區石碇區、汐止區、金山區淡水區、深坑區、東河鄉瑞芳區、五股區、泰山區鶯歌區、竹東鎮、新埔鎮橫山鄉、關西鎮、三灣鄉大湖鄉、公館鄉、南庄鄉獅潭鄉、集集鎮、霧峰區二水鄉、白河區、獅子鄉萬榮鄉、玉井區、延平鄉名間鄉、長濱鄉、成功鎮卑南鄉、瑞穗鄉、銅鑼鄉、、**內門區、高樹鄉**、南澳鄉東岳村		
300mm(11)				
東勢區、五峰鄉 尖石鄉國姓鄉、和平區、梅山鄉、埔里鎮、**古坑鄉**、六龜區、復興區、**南化區**				

更新時間105年3月

地震規模與崩塌發生之關聯性

Earthquake magnitude range	Number of earthquakes	Number of LTE	% of LTE
4.5≦M<5	49301	6	0.01
5≦M<6	17588	46	0.26
6≦M<7	1670	51	3.1
7≦M<8	160	27	16.9
8≦M<9	13	5	38.5
M≧	1	1	100

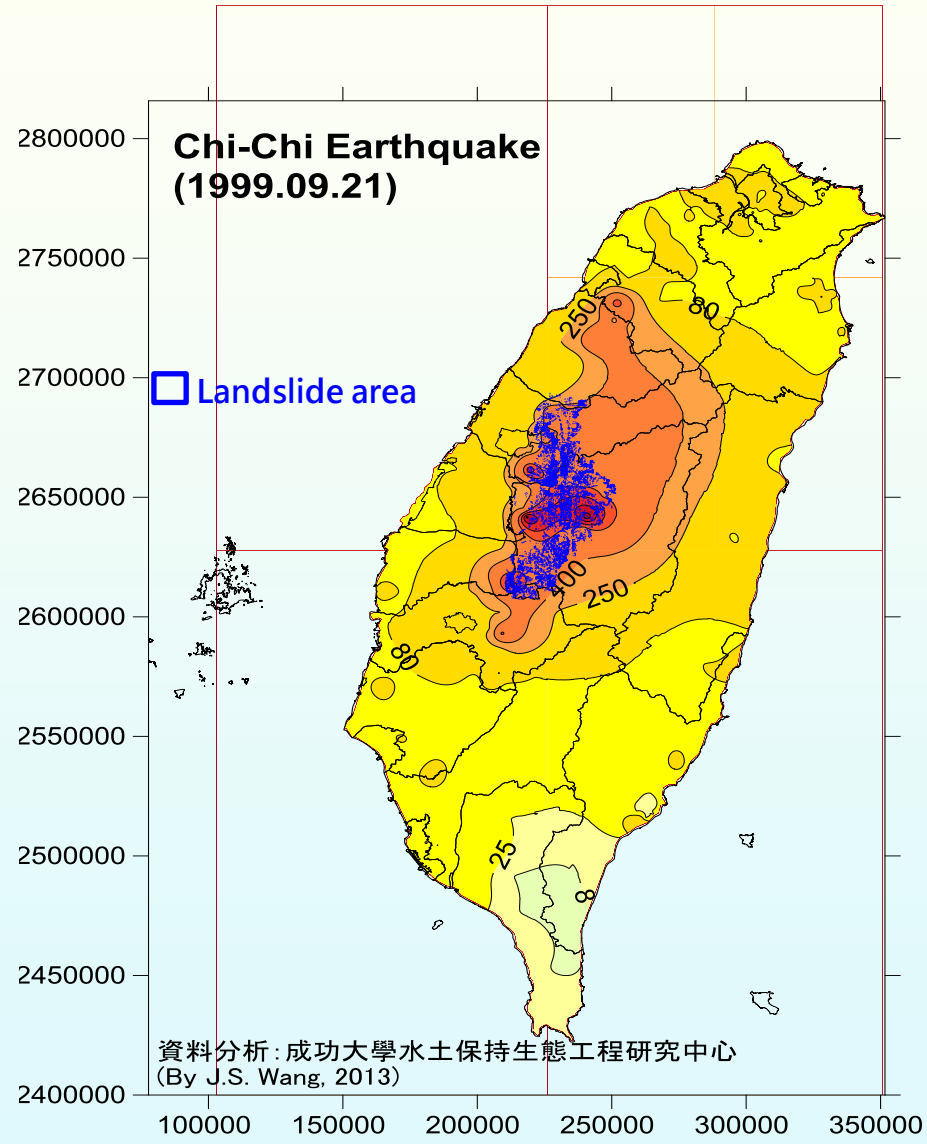
引自Masoumeh Ghahramani (2012)



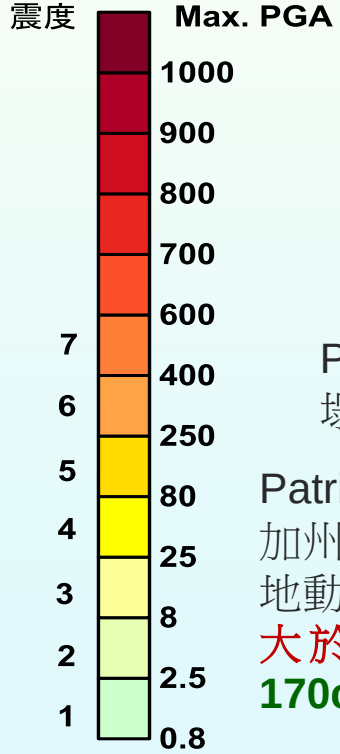
地震規模與崩塌影響面積之關係圖

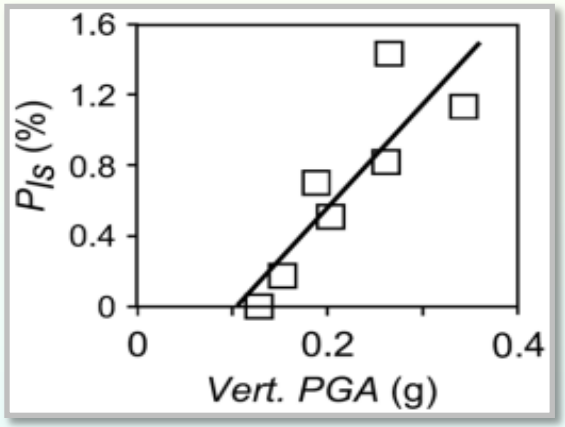
(實線：Keefer 1811-1980；虛線：Rodriguez 1980-1997，引自 Rodriguez (1999))

地震震度對坡面崩塌之影響



左圖為921 地震中全台各測站最大PGA值之等震線，與921地震所造成塌崩地之分佈圖，崩塌地集中在震度6級以上之區域。

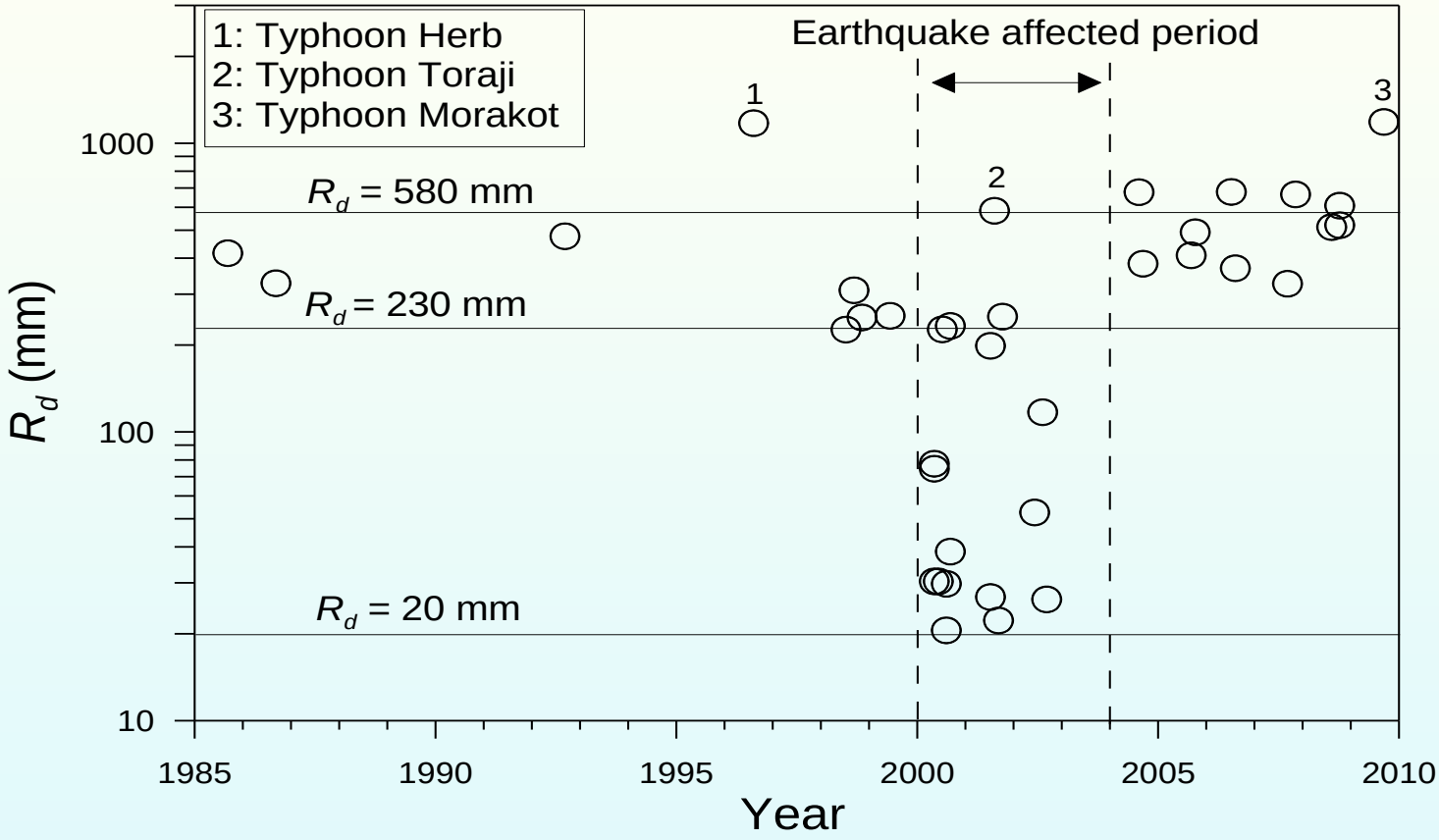




Pls崩塌密度=在某一PGA下之崩塌地面積/在某一PGA下之總面積

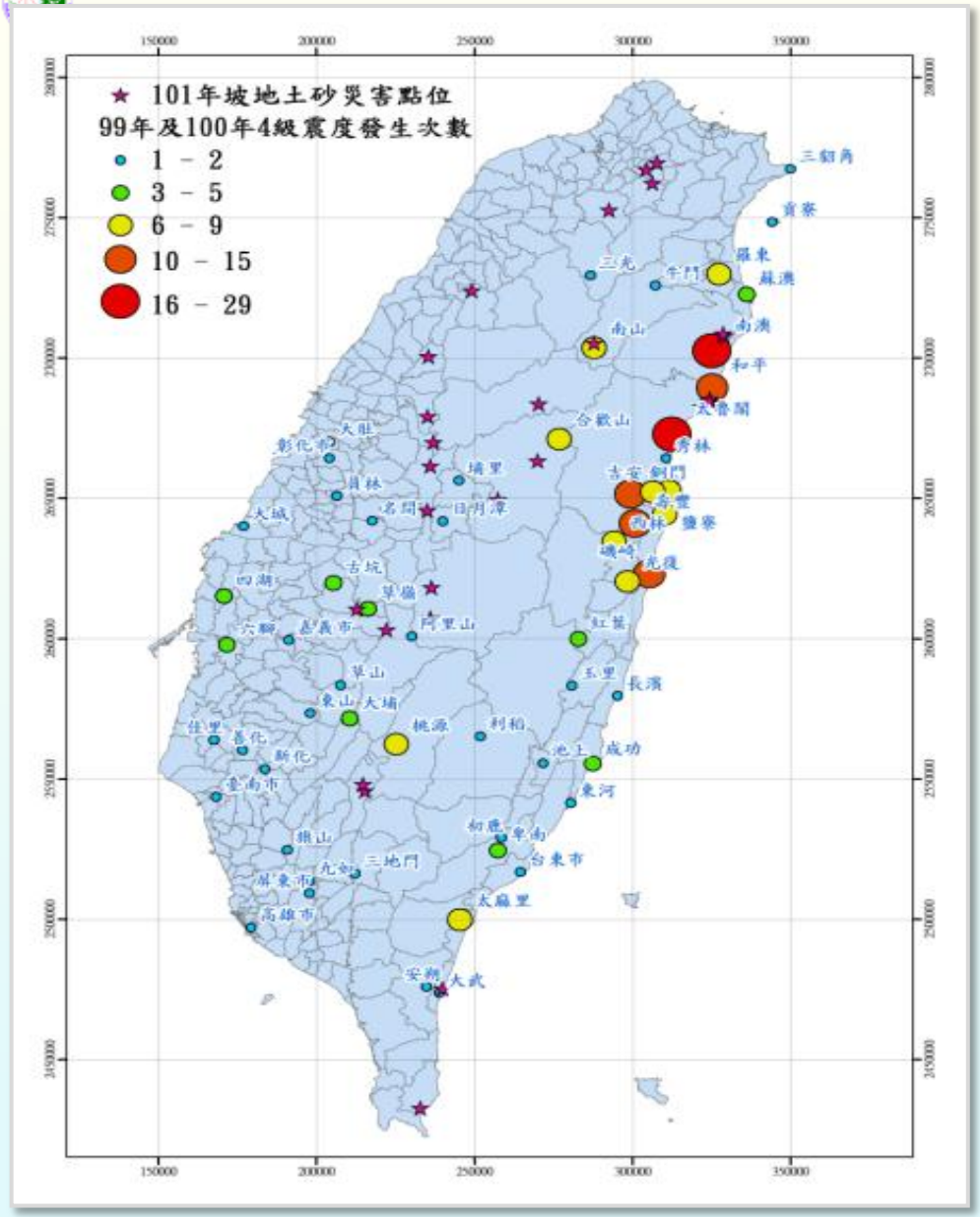
Patrick Meunier(2007)分析921地震、加州北嶺地震與巴布亞紐幾內亞地震之地動加速度(PGA)，發現**垂直向加速度大於100cm/s²**或**水平向加速度大於170cm/s²**，地表將可能出現坡面崩塌。

強震對陳有蘭溪土砂災害發生之影響

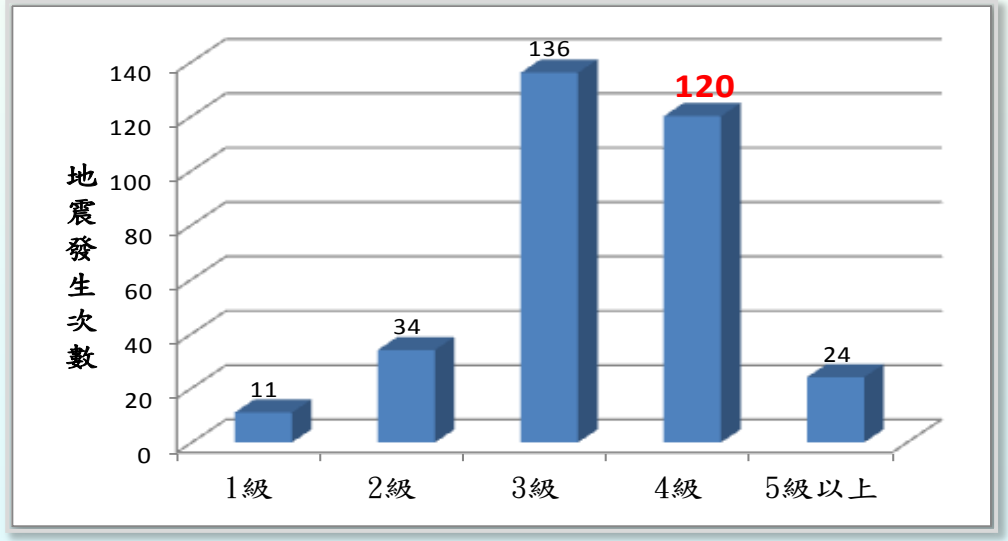


註：**921**大地震最大加速度達**980 gal**，一般七級地震的加速度約為**400 gal**　　資料來源：陳晉琪

4級震度次數與土砂災害事件分析



4級震度發生次數與土砂災害空間分布



99年及100年有感地震震度統計

(區域型之小型地震未列入計算)

日本與臺灣因應地震影響之警戒值調整作為

日本			臺灣		
震度	地動加速度 (cm^2/s，gal)	震後暫定基準	震度	地動加速度 (cm^2/s，gal)	震後暫定基準
0級	<0.8	維持原基準值	0級	<0.8	維持原基準值
1級	0.8~2.5		1級	0.8~2.5	
2級	2.5~8		2級	2.5~8	
3級	8~25		3級	8~25	
4級	25~80		4級	25~80	
5弱	80~140		5級	80~250	原警戒值調降約 50mm
5強	140~250	原基準值的 7~8折			
6弱	250~315	原基準值的 5~6折	6級	250~400	原基準值調降約 100mm~150mm
6強	315~400				
7級	>400		7級	>400	

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

気象庁、熊本県、大分県、福岡県、
佐賀県、長崎県、宮崎県同時発表

平成28年4月16日
水管理・国土保全局砂防部
気象庁

平成28年4月16日1時25分頃の熊本県熊本地方の地震に伴う土砂災害警戒情報発表基準の暫定的な運用について

平成28年4月16日1時25分頃の熊本県熊本地方の地震による地盤の緩みを考慮し、揺れの大きかった熊本県、大分県、福岡県、佐賀県、長崎県、宮崎県の市町村については、土砂災害警戒情報の発表基準を引き下げて運用します。

平成28年4月16日1時25分頃の熊本県熊本地方の地震により、熊本県で最大震度6強を観測し、大分県や福岡県、佐賀県、長崎県、宮崎県でも震度5強以上を観測しました。

これらの地域では、地盤が脆弱になっている可能性が高いため、雨による土砂災害の危険性が通常より高いと考えられます。

このため、熊本県、大分県、福岡県、佐賀県、長崎県、宮崎県のうち震度5強以上を観測した市町村については、当分の間、各県と各気象台が共同で発表する土砂災害警戒情報の発表基準を通常基準より引き下げた暫定基準を設けて運用します。

【熊本県】

通常基準の7割の暫定基準を設ける市町村

南阿蘇村、産山村、八代市西部、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、合志市、阿蘇市、菊陽町、御船町、美里町、山都町西部、和水町、上天草市、天草市東部

（参考：平成28年4月15日より既に通常基準の7割の暫定基準で運用している市町村）
益城町、宇城市、玉名市、西原村、熊本市、氷川町

通常基準の8割の暫定基準を設ける市町村

南小国町、小国町、高森町、山鹿市、甲佐町、芦北町、玉東町、長州町

【大分県】

通常基準の7割の暫定基準を設ける市町村

別府市、由布市

通常基準の8割の暫定基準を設ける市町村

豊後大野市、日田市、竹田市、九重町

（参考：平成27年7月13日より既に通常基準の8割の暫定基準で運用している市町村）
佐伯市

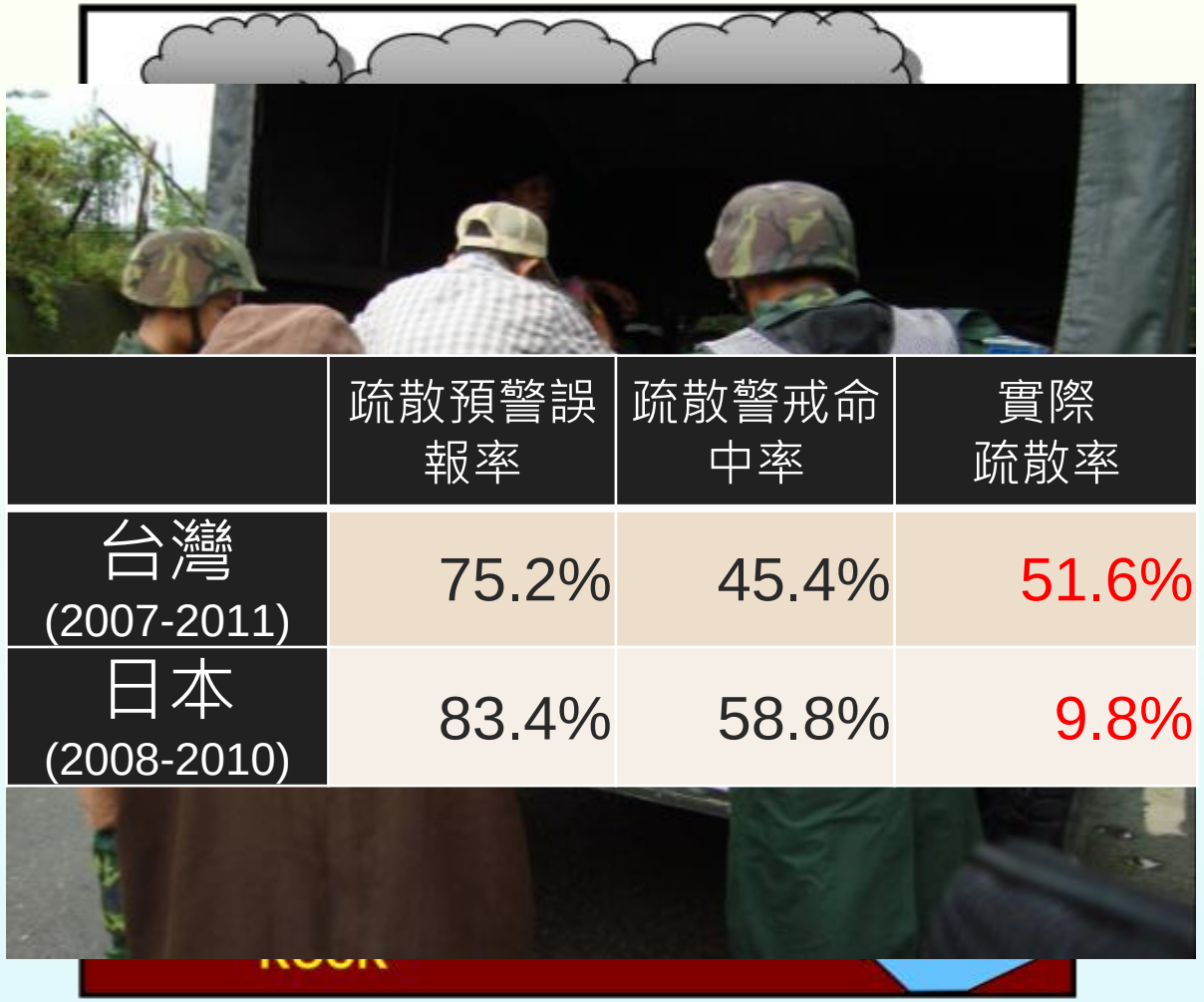
參、土石流自主防災

發布警戒是目標? 還是手段?

徵兆
- 雨量觀測
- 災害前兆

警戒
- 警戒發布
- 訊息傳遞

疏散
- 接收訊息
- 決定避難



	疏散預警誤報率	疏散警戒命中率	實際疏散率
台灣 (2007-2011)	75.2%	45.4%	51.6%
日本 (2008-2010)	83.4%	58.8%	9.8%

發布警戒只是手段，民眾疏散才是目標

社區及民眾自主防災才是核心目標

徵兆
- 雨量觀測
- 災害前兆

警戒
- 警戒發布
- 訊息傳遞

疏散
- 接收訊息
- 決定避難

提高民眾自主防災意識，強化社區自主防災能力

緣起-93年七二水災松鶴部落的經驗

- 土石淹沒60戶
- 1人死亡

93/7/7

親送簡易雨量筒
(93/5/24)

日本阪神大地震生還者

自助:互助:公助=7:2:1

2505位土石流防災專員
協助自主雨量觀測、災情通報
警戒訊息傳遞、協助疏散避難
覆蓋率99%
300
200
100
防災資訊生產者及傳遞者
自主防災工作的靈魂人物

建構土石流自主防災社區

訪視說明

透過防災專員引薦與社區進行說明討論，兵推流程重點提示

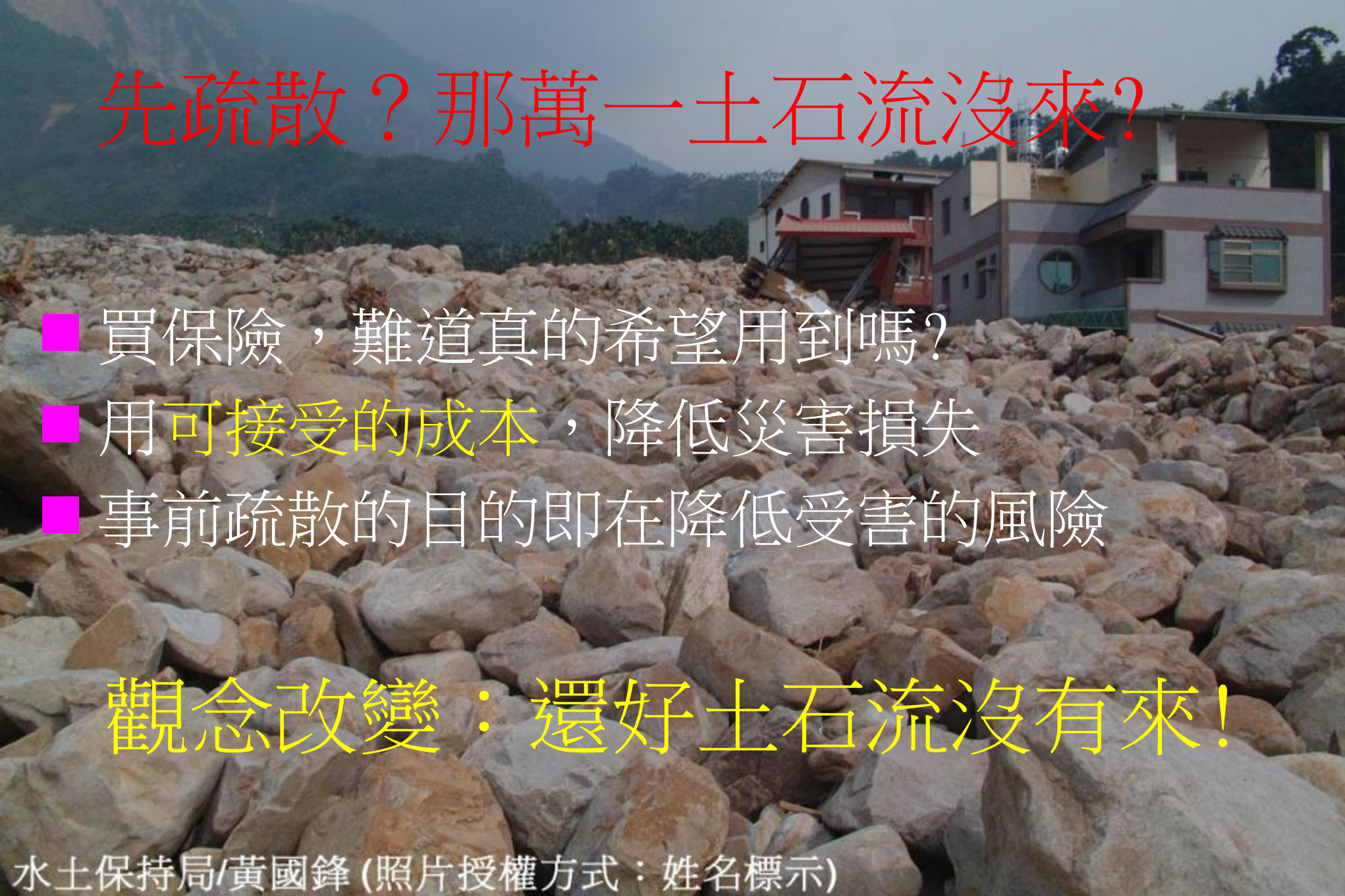
踏勘編組

地圖描繪與標示，認識社區自然環境，居民防災任務編組

兵棋推演

兵棋推演風災情況，演練自主應變作為，產製防災計畫及地圖

學習處理周遭環境問題能力
自主避災減災
透過社區居民參與
513/594個防災社區萌芽



先疏散？那萬一土石流沒來?

- 買保險，難道真的希望用到嗎?
- 用可接受的成本，降低災害損失
- 事前疏散的目的即在降低受害的風險

觀念改變：還好土石流沒有來!

水土保持局/黃國鋒 (照片授權方式：姓名標示)

數據會說話

神木村近十年警戒與疏散天數

年度	疏散天數(自黃色警戒起)	疏散天數(自紅色警戒起)
104	4	1.5
103	3.5	1
102	5.5	2
101	10	7
100	1	0
99	0.5	0
98	4	3.5
97	7	6
96	7	6
95	3	3
94	9	9
小計(天)	54.5	39
平均(天/年)	5.0	3.5

- 明天與意外，那一個會先到?
- 您願意為安全付出多少成本?

- 如果能用3-5天的不便，換來一輩子的平安
- 如果能用3-5天的不便，避免一輩子的遺憾

還有什麼比這個更划算的事!

謝金德 (照片授權方式：姓名標示)

神木國際土砂災害觀測研究中心規劃

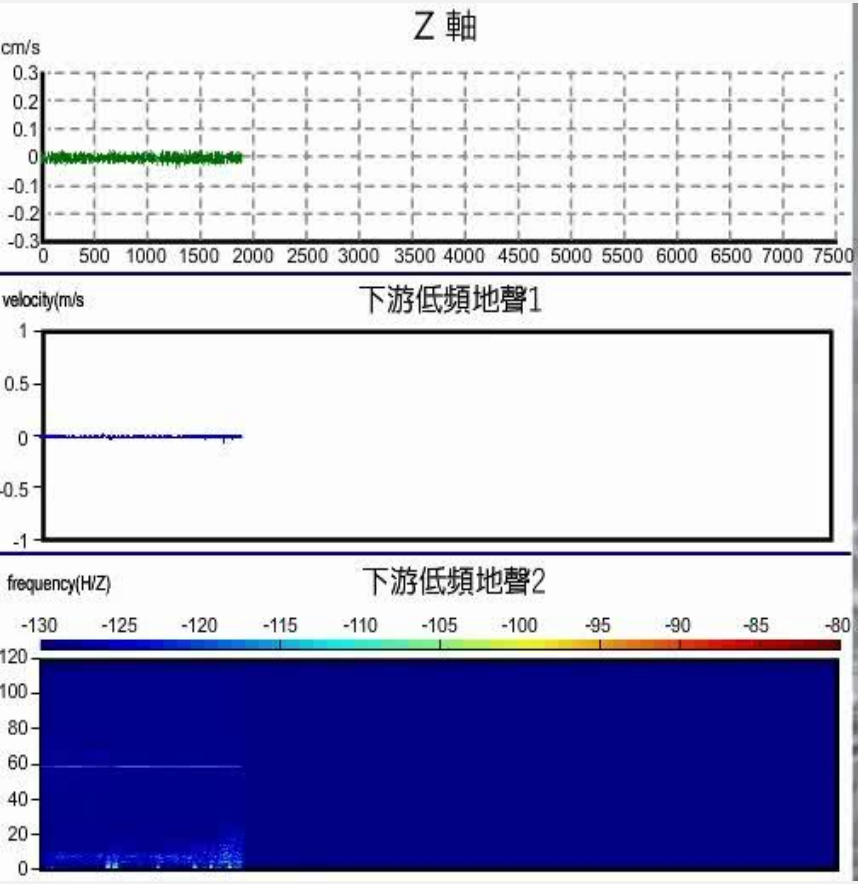
觀測站名	土石流事件名稱
神木觀測站	2004年0520豪雨
	2004年0521豪雨
	2004年0529豪雨
	2004年敏督利颱風
	2009年莫拉克颱風
	2011年0713豪雨
	2011年0719豪雨
	2011年1110豪雨
	2012年0504豪雨
	2012年0610豪雨
	2013年蘇力颱風
	2014年0520豪雨
豐丘觀測站	2012年0503豪雨
集來觀測站	2012年泰利颱風

2002年土石流觀測站建置以來，觀測到14場土石流事件，神木監測站占了

12次

土石流觀測資料上傳YouTube分享國際

YouTube TW 台灣土石流觀測



【2014.05.20豪雨_台灣土石流觀測事件_ Debris Flow Events in Taiwan_台湾土石流観測事例】

與世界接軌-中、英、日三語說明

246swcb

桃園市復興區羅浮里合流部落
104年蘇迪勒颱風

桃園市復興區羅浮里合流部落於98年完成土石流自主防災社區訓練

防災工作是條孤獨寂寞的長路
沒有響亮的掌聲、只有默默的耕耘
沒有華麗的外表、只有無私的奉獻

羅浮里王國治里長
(土石流防災專員)