

# 山坡地社區疏散避難解除雨量基準制定初探 - 以臺北市 老舊聚落為例

紀柏全<sup>[1\*]</sup> 沈哲緯<sup>[2]</sup> 冀樹勇<sup>[3]</sup> 黃立遠<sup>[4]</sup> 林士淵<sup>[5]</sup> 潘信元<sup>[6]</sup>

**摘 要** 臺北市政府工務局大地工程處率地方政府之先，訂有山坡地老舊聚落警戒雨量解除原則，然實務操作上仍相當程度仰賴人為經驗判斷，本研究利用 2005 年後 6 場颱風事件及期間崩塌案例進行驗證，發現目前訂定之警戒解除基準尚有調整空間。參考土石流警報解除基準，建議將警戒解除基準調整為：已發布紅色警戒之聚落，6 小時內累積雨量低於 10 mm；已發布黃色警戒之聚落，3 小時內累積雨量低於 10 mm；經過驗證，初步證明可滿足警戒解除之安全考量。另外，應用臺北市「住宅邊坡崩塌潛感評估模式」及上述崩塌案例，反算求取警戒解除之機率門檻值，並據以研提警戒解除基準之優化流程，期降低人為經驗判斷成分，期使臺北市山坡地老舊聚落疏散避難警戒基準更臻完備。

**關鍵詞**：山坡地社區、警戒雨量基準、疏散避難解除。

## Rainfall Threshold Value for Landslide Warning Lifting: A Case Study of Hillside Resident Community in Taipei City

Po-Chuan Chi<sup>[1\*]</sup> Che-Wei Shen<sup>[1]</sup> Shu-Yeong Chi<sup>[1]</sup>  
Li-Yuan Huang<sup>[2]</sup> Shih-Yuan Lin<sup>[2]</sup> Sin-Yuan Pan<sup>[2]</sup>

**ABSTRACT** The rainfall threshold value for landslide warning lifting is very difficult to be formulated since the effects of rainfall uncertainty and infiltration hysteresis. The landslides happened in Taipei city during 6 typhoon events after 2005 were used as the verification sample in this study. The verification concluded that the threshold values preliminarily formulated by the Geotechnical Engineering Office, Public Works Department, Taipei City Government seem not conservative enough. Hence, the threshold value for debris-flow warning lifting established by Soil and Water Conservation Bureau (Council of Agriculture, Executive Yuan), is referred to draft a new threshold for landslide warning lifting: 6-hours accumulated rainfall less than 10 mm for Red Alert and 3-hours accumulated rainfall less than 10 mm for Yellow Alert. The landslide events mentioned above as well as those occurred in May 2014 were used and preliminarily evidence that the new threshold values meet the safety concerns on hillside resident communities. In addition, a set of probability threshold values was also derived from the Landslide Susceptibility Model on Urban Area (LSMUA), in order to assist the decision making of warning lifting for slopeland communities.

**Key Words:** Hillside resident community, rainfall threshold value for landslide, landslide warning lifting.

---

[1] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心  
Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taiwan  
[2] 臺北市政府工務局大地工程處  
Geotechnical Engineering Office, Public Works Department, Taipei City Government, Taiwan  
\* Corresponding Author. E-mail: pcchi@sinotech.org.tw

## 一、前言

國內各中央及地方防災執行單位例如農委會水土保持局、經濟部水利署、交通部公路總局、臺北市政府工務局大地工程處等，針對降雨引致之土石流、淹水、橋梁道路阻斷或坡地災害均制定有相對完善之疏散避難警戒基準。然而，基於降雨之不確定性(uncertainty)及水流入滲之遲滯效應(infiltration hysteresis)，對於制定疏散避難解除雨量之基準值存在非常高之挑戰，國內外亦罕有相關研究足供參考。臺北市政府工務局大地工程處率全國地方政府之先，訂有山坡地老舊聚落警戒雨量解除原則，然實務操作上仍相當程度仰賴人為經驗判斷，若過早下達警戒解除而不幸發生災害，後果不堪設想；反之，過遲解除避難警戒又易遭遇民怨，因此，亟需深入探討上述警戒解除基準之適切性。

以往針對警戒雨量基準，大多將焦點放在發生坡地災害前，土壤含水量隨降雨入滲而增加的部分，或探討前期降雨量消退係數的訂定，例如詹佳彬(2001)探討集水區坡面土壤體積含水率對降雨之反應，發現淺層土壤因孔隙較大，降雨時入滲及排水迅速，故淺層土壤體積含水率於降雨期間之變化非常明顯；而深層土壤因孔隙較小，故土壤水分變化不若淺層土壤明顯。另一方面，經由探討發現而影響入滲的因子包括降雨特徵(例如降雨強度)、土壤種類、土壤含水量本身、土壤前期水文條件(antecedent moisture condition, AMC)以及地表覆蓋、地形等，若要導致坡地發生災害，其中最重要的即需符合前期水文條件，例如前期降雨能讓土壤表層充滿水分，令水分能在土壤中更容易流動。另外根據林俐玲等人(2007)研究顯示，土壤初始含水量的不同將影響入滲量和逕流量，初始含水量越低，入滲能力越高。

然而在降雨結束後，飽和土壤中之水分消退至原來的背景值或安全的範圍內所需時間，則少有相關之研究。吳怡瑩等人(2013)為了解降雨結束後，邊坡表層土壤含水量隨時間衰退的情形，首先篩選出18處資料較完整的水保局土石流觀測站(以中部為主)，由土石流觀測站的降雨量及土壤含水量資料中，挑選六場降雨事件進行分析，在定性分析方面，主要針對不同土壤含水量的背景值，探討其消退曲線的表现；定量分析方面，則以固

定時距觀察單一測站在不同降雨事件的土壤含水量消散趨勢。結果顯示前期之土壤含水量多寡影響後續土壤排水的難易，低含水量背景值者呈現陡升陡降之趨勢，相對高含水量背景值者為陡升緩降；低背景值者在不同雨場降雨結束12小時後，土壤含水量普遍差異在3%之間，顯示達到穩定狀態，高背景值者則需數天不等才會消退至原背景值。

綜觀上述研究，受限於廣域土壤條件之變異性及詳細參數取得之困難，多僅能透過現地及實驗室試驗，探討土壤入滲及排水之速率特性，仍難以用於佐證或訂定適用於廣域條件之警戒雨量門檻，特別是影響因素更為複雜、不確定性更高的警戒解除雨量。針對警戒解除雨量門檻，本研究將以臺北市山坡地老舊聚落為範圍，利用臺北市政府工務局大地工程處完整之歷史災害紀錄及雨量紀錄，驗證現行山坡地老舊聚落警戒雨量解除原則是否適切。再輔以臺北市「住宅邊坡崩塌潛感評估模式」(Landslide Susceptibility Model on Urban Area, 簡稱 LSM-UA) (黃立遠等人, 2013; 中興工程顧問社, 2014; 紀柏全等人, 2014)，反算求取警戒解除之潛感門檻值，期降低人為經驗判斷成分，期使臺北市山坡地老舊聚落疏散避難警戒基準更臻完備。

## 二、臺北市山坡地老舊聚落防災疏散應變標準作業流程

臺北市政府工務局大地工程處針對 50 條土石流潛勢溪流、119 處溪溝集水區、24 處老舊聚落、130 處山坡地集合住宅、65 條產業道路、130 條登山步道、3 處風景區及 2 處露營場等對象，訂定山坡地災害防救業務計畫，依「平時防災」、「災前整備」、「災中緊急應變」及「災後復建」4 階段，分別訂定工作執行事項，期於坡地災害發生後，能迅速執行災害搶修及災後復舊處理，減輕災害損失。

其中，針對「災中緊急應變」訂定之工作執行事項包括：

- (1) 成立山坡地災害緊急應變小組進行應變作業，並透過山坡地防災資訊系統監測颱風豪雨情形。

(2) 依據「山坡地災害緊急應變小組開設期間災情通報標準作業流程」、「土石流防災疏散應變標準作業流程」、「山坡地老舊聚落防災疏散應變標準作業流程」、「列管坡地防災疏散應變標準作業流程」等規定進行搶災及回報。

「災中緊急應變」工作執行事項中最重要亦最直接關乎人命財產安全之「山坡地老舊聚落防災疏散應變標準作業流程」示於圖 1，大地工程處於山坡地災害緊急應變小組開設期間，將持續監視所有老舊聚落對應雨量站之降雨紀錄，針對 24 小時累積雨量達到 300 mm 之聚落將先發布疏散避難勸告命令(黃色警戒)；當累積雨量達到 400 mm 時則發布強制預防撤離命令(紅色警戒)。上述疏散避難警戒發布基準業經中興工程顧問社(2014)應用臺北市「住宅邊坡崩塌潛感評估模式」，分別就時間域(針對聚落週緣發生歷史災害之臨界雨量)，及空間域(反算聚落週緣未發生災害但具有高崩塌潛勢斜坡單元之臨界雨量)進行驗證，結果均顯示現行警戒發布基準之適切性頗佳。

另一方面，大地工程處針對發布警戒之老舊聚落亦訂有對應之解除基準：針對發布紅色警戒之聚落，當連續 6 小時內之時雨量為 10 mm 以下且觀察未來降雨趨勢減緩，評估可解散時建議市級災害應變中心下達解除命令；而針對發布黃色警戒之聚落，警戒解散基準則訂定為連續 3 小時內之時雨量為 10 mm 以下。然前述解除基準尚未經適切性驗證，故僅作為參考建議之用。

### 三、現行疏散避難雨量警戒值適切性檢討與修訂建議

為探討上述聚落警戒基準之適切性，本研究利用 2005 年後雨量紀錄較完整之 6 場颱風事件：海棠、馬莎、科羅莎、辛樂克、薔蜜與蘇拉颱風，及各颱風降雨引致之崩塌案例進行驗證，驗證流程如圖 2，首先彙整各颱風事件之降雨歷線及災害紀錄，並將上述 6 場颱風依據其最大 24 小時雨量區分為黃色警戒(雨量達 300 mm)及紅色警戒(雨量達 400 mm)，並以最後一起災害通報紀錄為基準，確認是否 6 場颱風事件之災害皆發生於下達解除命令之前，避免解除命令發布後仍有災害產

生，進而波及山坡地社區或聚落。

圖 3 為上揭 6 場驗證颱風事件之最後一起災害通報紀錄發生時間 ( $T_{FL}$ )，及災害位置對應雨量

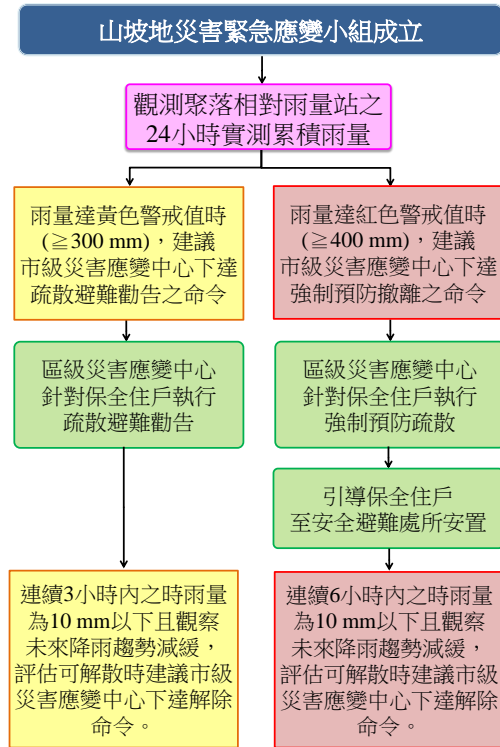


圖 1 臺北市山坡地老舊聚落防災疏散應變標準作業流程

Fig.1 The standard operating procedure of evacuation for hillside resident in Taipei City.

站之雨量歷線，兩場起始與結束之定義係依據 Yu et al. (2006)提出之基準。可以發現大部分  $T_{FL}$  發生於尖峰降雨之後，甚至遲至該兩場結束前才發生崩塌，時雨量極低時仍有可能出現災害事件。將圖中資料彙整如表 1，由表可見，雨量達黃色警戒之馬莎颱風，及雨量達紅色警戒之辛樂克與薔蜜颱風，最後一起災害通報紀錄發生時間  $T_{FL}$  前 3 及 6 小時之最大時雨量皆低於 10 mm 之操作基準(詳見表 1 中 A 及 B 欄陰影標示處)，顯示目前訂定之警戒解除基準有偏於不保守之情況，有可能出現解除命令下達後仍有災害發生之情況，實有調整之必要。

參考農委會水土保持局所訂定之土石流警報解除基準：黃色警戒 6 小時累積雨量低於 4 mm、紅色警戒 12 小時累積雨量低於 10 mm，本研究建

議將現行臺北市山坡地老舊聚落警戒解除雨量調整為：發布紅色警戒(強制預防撤離)之聚落，6小時內之累積雨量為 10 mm 以下且觀察未來降雨趨勢減緩，評估可解散時建議市級災害應變中心下達解除命令；而針對發布黃色警戒之聚落，警戒

解散基準則訂定為連續 3 小時內之時雨量為 10 mm 以下。經過驗證(如表 1 中 C 及 D 欄)，可見 6 場颱風事件中之最後一起災害雨量皆高於上述建議調整之解除基準，應較適於大地工程處操作使用。

表 1 臺北市山坡地老舊聚落疏散避難警戒解除雨量驗證結果

Table 1 The verifying result on the rainfall threshold for landslide warning lifting.

歷史災害紀錄	颱風事件	最大 24 小時累積雨量(mm)	最後崩塌發生時間	(A)	(B)	(C)	(D)
				$T_{FL}$ 前 3 小時最大時雨量	$T_{FL}$ 前 6 小時最大時雨量	$T_{FL}$ 前 3 小時累積雨量	$T_{FL}$ 前 6 小時累積雨量
20050718-0004	海棠	373 (黃色警戒)	07:50	34.0	-	37.0	-
20050805-0007	馬莎	320 (黃色警戒)	17:40	8.5	-	22.0	-
20071007-0023	科羅莎	488 (紅色警戒)	11:28	-	16.0	-	42.5
20080915-0018	辛樂克	510 (紅色警戒)	11:30	-	8.5	-	22.0
20080929-0002	薔蜜	414 (紅色警戒)	09:00	-	4.5	-	11.5
20120802-0051	蘇拉	443 (紅色警戒)	13:51	-	35.5	-	81.0

老舊聚落疏散避難警戒解除雨量值分析流程



圖 2 疏散避難警戒解除雨量驗證流程

Fig.2 The verifying process on the rainfall threshold for landslide warning lifting.

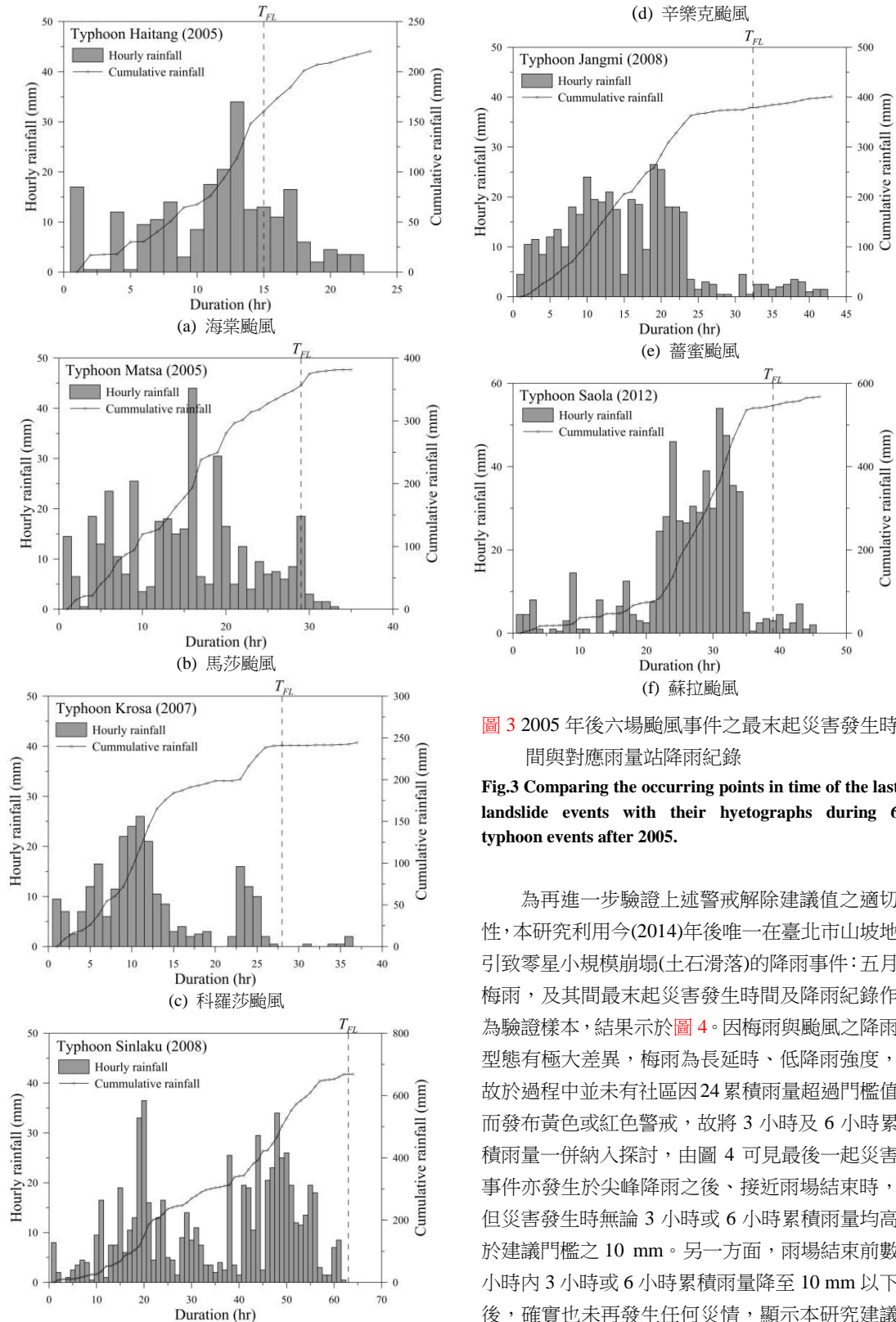


圖 3 2005 年後六場颱風事件之最末起災害發生時間與對應雨量站降雨紀錄

Fig.3 Comparing the occurring points in time of the last landslide events with their hyetographs during 6 typhoon events after 2005.

為再進一步驗證上述警戒解除建議值之適切性，本研究利用今(2014)年後唯一在臺北市山坡地引致零星小規模崩塌(土石滑落)的降雨事件：五月梅雨，及其間最末起災害發生時間及降雨紀錄作為驗證樣本，結果示於圖 4。因梅雨與颱風之降雨型態有極大差異，梅雨為長延時、低降雨強度，故於過程中並未有社區因 24 累積雨量超過門檻值而發布黃色或紅色警戒，故將 3 小時及 6 小時累積雨量一併納入探討，由圖 4 可見最後一起災害事件亦發生於尖峰降雨之後、接近雨場結束時，但災害發生時無論 3 小時或 6 小時累積雨量均高於建議門檻之 10 mm。另一方面，雨場結束前數小時內 3 小時或 6 小時累積雨量降至 10 mm 以下後，確實也未再發生任何災情，顯示本研究建議

調整之警戒解除基準具有一定之適切性。

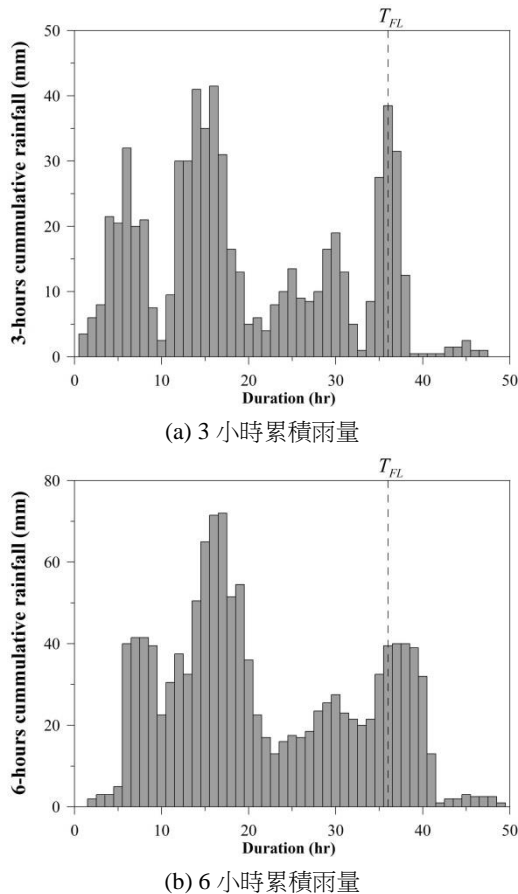


圖 4 2014 年五月梅雨引致之最末起災害發生時間與對應雨量站降雨紀錄

Fig.4 Comparing the occurring time of the last landslide event with its hyetographs during the plum rains in May 2014.

#### 四、由崩塌潛感模式研提警戒解除基準參考值

表 2 老舊聚落疏散避難警戒解除崩塌潛感值分析結果

Table2 Landslide probability values for formulating the threshold of warning-lifting.

歷史災害紀錄	颱風事件	斜坡單元編號	災害發生前 24 小時累積雨量(mm)	崩塌潛感值
20050718-0004	海棠	災害紀錄非位於斜坡單元上	-	-
20050805-0007	馬莎	slpUnit-4260-01	322.0	0.92
20071007-0023	科羅莎	slpUnit-4438-16	215.0	0.94

由前述內容雖已初步研提具有實際案例佐證之警戒解除基準，然而僅透過案例分析獲得之門檻值較缺乏合理之學理依據，鑒於相關研究亦相當缺乏，故本研究以臺北市「住宅邊坡崩塌潛感評估模式」(黃立遠等人, 2013; 中興工程顧問社, 2014; 紀柏全等人, 2014)，藉由上述災害案例之雨量紀錄求取對應之斜坡單元崩塌潛感，並彙整研提一崩塌潛感門檻值，以作為機關發布警戒解除決策之參考依據。

「都會區住宅邊坡崩塌潛感評估模式」(LSM-UA)係以臺北市山坡地為研究範圍，採用極端降雨事件(2001 年納莉颱風)，並納入人工邊坡不利條件機率之考量所建立。分析方法以納莉颱風事件為模式建立基礎，輔以納莉颱風雨量分布，透過二元迴歸進行分析，經比較模式正確率可得一組最佳結果。依據其分析，可得 24 小時累積雨量住宅邊坡崩塌潛感評估模式經驗公式：

$$P = \frac{1}{1 + \exp \left\{ \begin{array}{l} -0.011 * (Slopep\_25) + 0.327 * (Cur\_plan) + 2.626 * (Cur\_pro) \\ -1.657 * (Asp\_std) + (Geo) + 6.376 * (B\_density) + 1.846 * (MMS\_pm) \\ + 0.004(Rm_{24}) \end{array} \right\}} \quad (1)$$

上式  $P$  為崩塌潛感； $Slopep\_25$  為前百分之 25 平均坡度； $Cur\_plan$  為平面曲率； $Cur\_pro$  為剖面曲率； $Asp\_std$  為地形侵蝕程度(坡向標準差)； $Geo$  為地質岩性因子； $B\_density$  為建築物密度； $road\_density$  為道路密度； $MMS\_pm$  為人工邊坡不利條件機率； $Rm_{24}$  為 24 小時累積雨量。其中，各項因子皆為斜坡單元基礎，據公式(1)輸入各因子之參數值，即可推求出斜坡單元之崩塌潛感。

表 2 為前述 2005 年至 2012 年 6 場颱風事件中，最末筆災害紀錄之累積雨量及斜坡單元崩塌潛感值。其中因災害紀錄 20050718-0004 及 20080929-0002 非位於斜坡單元上，因此無法計算崩塌潛感值，另外 4 筆災害紀錄若以二元迴歸常

20080915-0018	辛樂克	slpUnit-4834-29	327.0	<b>0.80</b>
20080929-0002	薈蜜	災害紀錄非位於斜坡單元上	-	-
20120802-0051	蘇拉	slpUnit-3863-04	502.5	0.97

用之門檻值 0.5 作為區分，均可視為易發生崩塌之條件，且其中有 3 筆潛感值高於 0.9，依據紀柏全等人(2014)建立之潛勢分級門檻，係屬於中高及高潛感。然而若為了研提警戒解除基準參考值，則需保守考量，因此選用由災害紀錄 20080915-0018 求得之潛感值 0.8 作為警戒解除之參考，應為較適當之門檻值。

若同樣以 2014 年五月梅雨其間最末起災害作為驗證樣本，發生災害時之 24 小時累積雨量為 135 mm，代入式(1)可求得發生災害時之潛感值為 0.89，高於前述建議之門檻值 0.8，初步佐證該門檻值具有一定之適切性。因此，未來機關操作「災中緊急應變」工作時，解除警戒之基準除了 3 小時及 6 小時累積雨量外，可考量納入崩塌潛感值 0.8 作為決策輔助之參考，以量化參數降低人為主觀或經驗判斷之成分，優化決策流程。

## 五、結論與建議

### 1. 結論

- (1) 基於臺北市政府工務局大地工程處所建置完整之歷史災害紀錄，本研究採用 2005 年至今雨量到達發布疏散避難警戒之 6 場颱風事件中，期間最末筆災害案例作為驗證，發現目前訂定之警戒解除基準有適度調整之空間。
- (2) 經由災害時間與降雨延時之比對分析，本研究建議將現行將現行臺北市山坡地老舊聚落警戒解除雨量調整為：發布紅色警戒(強制預防撤離)之聚落，6 小時內之累積雨量為 10 mm 以下，評估可解散時建議市級災害應變中心下達解除命令；而針對發布黃色警戒之聚落，警戒解散基準則訂定為連續 3 小時內之時雨量為 10 mm 以下。上述調整建議經驗證具有不錯之適切性。
- (3) 為優化警戒解除決策流程，本研究採用臺北市「住宅邊坡崩塌潛感評估模式」研提警戒解除潛感門檻值 0.8 以輔助決策，期使機關發布解除命令時更具科學參考依據。

### 2. 建議

- (1) 因 2012 年蘇拉颱風後，臺北市山坡地即未再發生颱風事件豪雨引致之崩塌案例，本研究用以驗證之 2014 年案例因致災型態不同，且崩塌規模小，對於佐證本研究提建議是否適切尚有不足之處，建議後續應納入新增災害案例持續進行驗證。
- (2) 本研究研提之警戒疏散基準係以臺北市山坡地為範圍，且 LSM-UA 模式之建立係以淺層崩塌為主，並考量人工邊坡效應，雖可作為其他地區之參考，但不完全適用於其他崩塌類型及地區。臺北市以外地區建議應先建立完整災害紀錄，考量地區地形、地質、水文及災害類型，獨立研提操作基準。

## 參考文獻

1. 吳怡瑩、劉哲欣、張志新 (2013)，「降雨量與表層土壤含水量關係之研究」，102 年度中華水土保持學會年會暨學術研討會，論文編號 5-3。(Wu, Y. Y., Liu, C. H., and Chang, C. H. (2013). "The study on relationship between rainfall and surface soil water content." *Proceedings of 2013 Soil and Water Conservation Society Annual Conference*, 5-3.(in Chinese))
2. 林俐玲、蔡義誌、王永琦 (2007)，「室內模擬降雨觀測土壤始含水量對入滲與逕流之影響」，水土保持學報，第 39 期，第 4 卷，第 453-466 頁。(Lin, L. L., Tsai, Y. Z., and Wang, Y. C. (2007). "Effects of antecedent soil moisture on infiltration and runoff with simulated rainfall in the laboratory." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 39 (4), 453-466. (in Chinese))
3. 紀柏全、沈哲緯、冀樹勇、黃立遠、林士淵、潘信元 (2014)，「都會區住宅邊坡崩塌潛感評估模式初探—以臺北市為例」，中華水土保持學報，第 45 期，第 4 卷，第 217-224 頁。(Chi, P. C., Shen, C. W., Chi, S. Y., Huang, L.

- Y., Lin, S. Y., and Pan, S. Y. (2014). 153-167.  
“Establishing a New Susceptibility Model of Landslide on Urban Area: A Case Study of Taipei City.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 45(4), 217-224.(in Chinese))
4. 財團法人中興工程顧問社 (2014), 「極端降雨對本市山坡地住宅邊坡崩塌潛感評估及聚落警戒雨量驗證委託專業服務研究案」, 臺北市政府工務局大地工程處成果報告。(Sinotech Engineering Consultants, INC. (2014). “Study on establishing a susceptibility model of landslide under extreme rainfall and verification on rainfall threshold for landslide warning.” *Geotechnical Engineering Office, Public Works Department, Taipei City Government.* (in Chinese))
  5. 黃立遠、林士淵、潘信元、鄧嘉薇、沈哲緯、紀柏全、冀樹勇 (2013), 「都會區住宅邊坡崩塌潛感評估模式初探－以臺北市為例」, 102 年度中華水土保持學會年會暨學術研討會, 論文編號 2-12。(Huang, L. Y., Lin, S. Y., Pan, S. Y., Teng, C. W., Shen, C. W., Chi, P. C. and Chi, S. Y. (2013). “Establishing a New Susceptibility Model of Landslide on Urban Area: A Case Study of Taipei City.” *Proceedings of 2013 Soil and Water Conservation Society Annual Conference*, 2-12.(in Chinese))
  6. 詹佳彬 (2001), 「應用時域反射儀觀測福山地區坡面土壤水分反應之研究」, 國立台灣大學碩士論文。(Chan, C. P. (2001). *Study on the variation of soil water content using time-domain reflectometry instruments in Fushan experimental watershed*, Master thesis, National Taiwan University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
  7. 李錫堤、潘國樑、林銘郎 (2003), 「山崩潛感分析之研究(1/3)」, 經濟部中央地質調查所。(Lee, C. T., Pan, L. L., and Lin, M. L. (2003). “The study of landslide susceptibility analysis (1/3).” Central Geological Survey, MOEA.(in Chinese))
  8. Yu, F. C., Chen, T. C., Lin, M. L., Chen, C. Y., and Yu, W. H. (2006). “Landslides and rainfall characteristics analysis in Taipei City during the Typhoon Nari event.” *Natural Hazards*, 37,