

斯里蘭卡 Aranayaka 崩塌事件探討

呂喬茵¹、傅懿漩¹、施虹如¹、李姿儀²、張志新¹

1. 國家災害防救科技中心坡地與洪旱組

2. 銘傳大學都市規劃與防災學系

摘要

從 2016 年 5 月 15 日開始，斯里蘭卡受到嚴重的熱帶風暴 Roanu 影響，造成大範圍的淹水以及多處崩塌，近 200 多人死亡與失蹤。其中最為嚴重的災害事件發生於 Kegalle 區境內 Aranayaka 鎮的 Samsara Kanda 山區，5 月 17 日下午發生大崩塌，三個村莊受到大量土石衝擊，至少 140 人死亡，大雨是觸發此次山崩的主要原因，但邊坡本身的地質環境條件不佳亦是原因之一，岩盤上覆蓋著過去舊崩塌所留下的厚崩積層，且崩塌冠部即位處國家建築研究組織(NBRO)所圈繪的高山崩潛勢範圍內。對於已知的災害潛勢分析與評估成果，如何落實與應用，是各國需正視的重要課題。

一、 環境背景

斯里蘭卡是亞洲南部印度東南方外海的島國，位處印度洋之中，東北邊是孟加拉灣，中部及南部地形以高原與山地為主，北部及沿海為平原地形。在氣候方面，斯里蘭卡北部屬於熱帶草原氣候，南部屬熱帶雨林氣候，全年高溫炎熱，西半部的年降雨量約 2,000-3,000mm，東北部則比較乾燥，年降雨量約 1,000mm。斯里蘭卡共劃分為 9 個省和 25 個行政區(圖 1)，經濟主要以寶石出口和農業為主，最重要的經濟作物為錫蘭紅茶，斯里蘭卡是世界三大產茶國家之一。

此次嚴重山崩災害發生在 Kegalle 區境內的 Aranayaka 鎮，Kegalle 區是斯里蘭卡 Sabaragamuwa 省的一個區，面積約 1,663 平方公里，位處中部高地及西南部平原的交接地帶，主要以橡膠樹的種植為主，配合著部份的小型出口經濟作物，如咖啡、可可、胡椒等等。

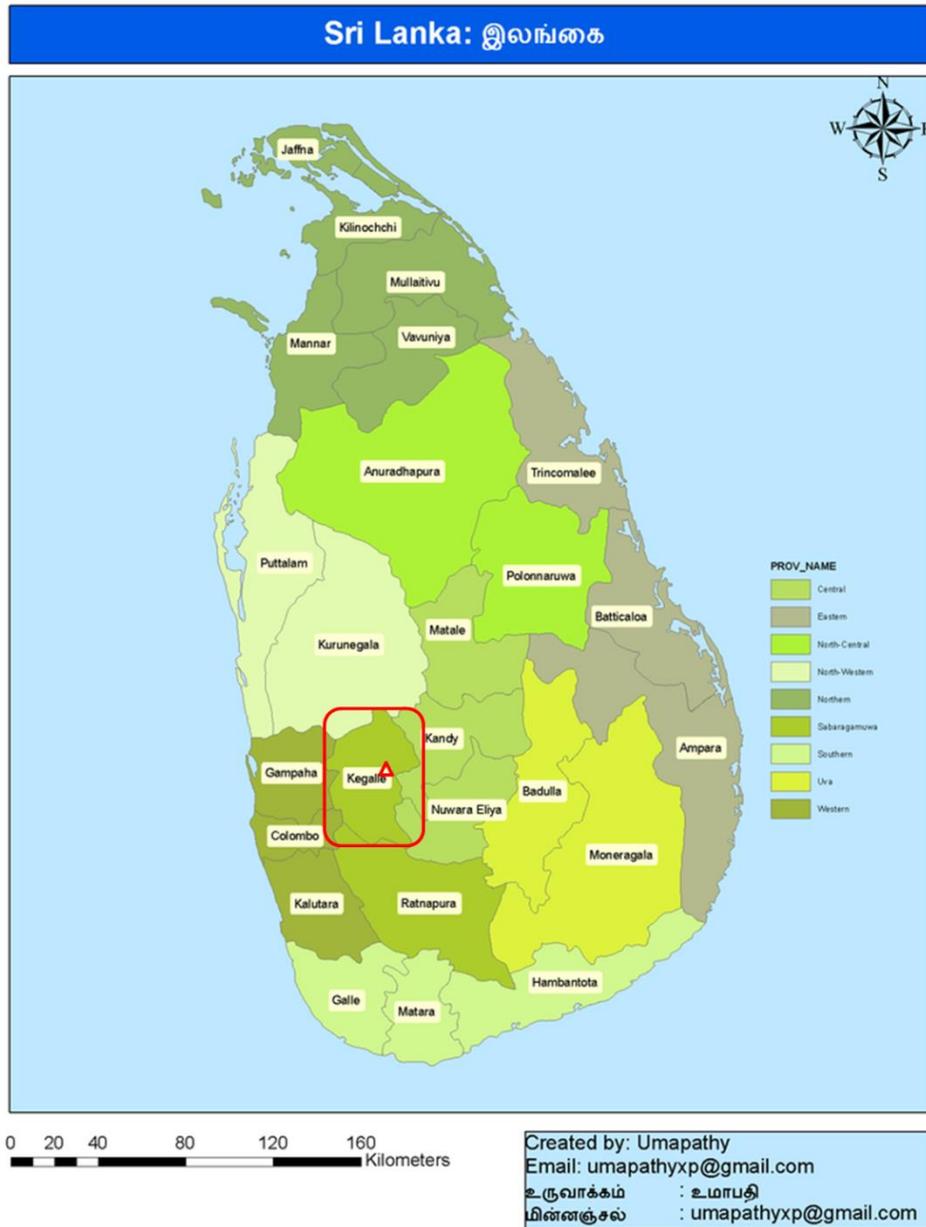


圖 1. 斯里蘭卡行政分區圖，紅框為 Kegalle 區位置，三角形為 Aranayaka 鎮位置(資料來源：維基百科)

二、災情概述

從 2016 年 5 月 15 日開始，斯里蘭卡受到嚴重的熱帶風暴 Roanu 影響，最大日雨量出現在 5 月 16 號的 Kilinochchi 地區達 373.3mm，

造成大範圍的淹水以及多處崩塌(圖 2)，此風暴的影響歷程與災情狀況整理如表 1 所示。截至 5 月 26 日止，UNOCHA 的統計顯示淹水與崩塌災情造成至少造成近 200 多人死亡與失蹤(104 人死亡 99 人失蹤)，估計約有 301,602 人受到影響，共計 623 間房子全毀，4,414 間房舍遭到破壞，許多山區都存在著崩塌的風險。斯里蘭卡政府佈署 1,500 名軍人及 71 名官員在各個嚴重受災區進行搜救，並調派飛機協助救援行動或是提供物資給災民(圖 3)，許多國家如澳洲、印度、日本、尼泊爾、巴基斯坦、新加坡、美國等也都伸出援手協助救災行動或是金錢上的幫助(Dailymirror、Sri Lanka Army)。

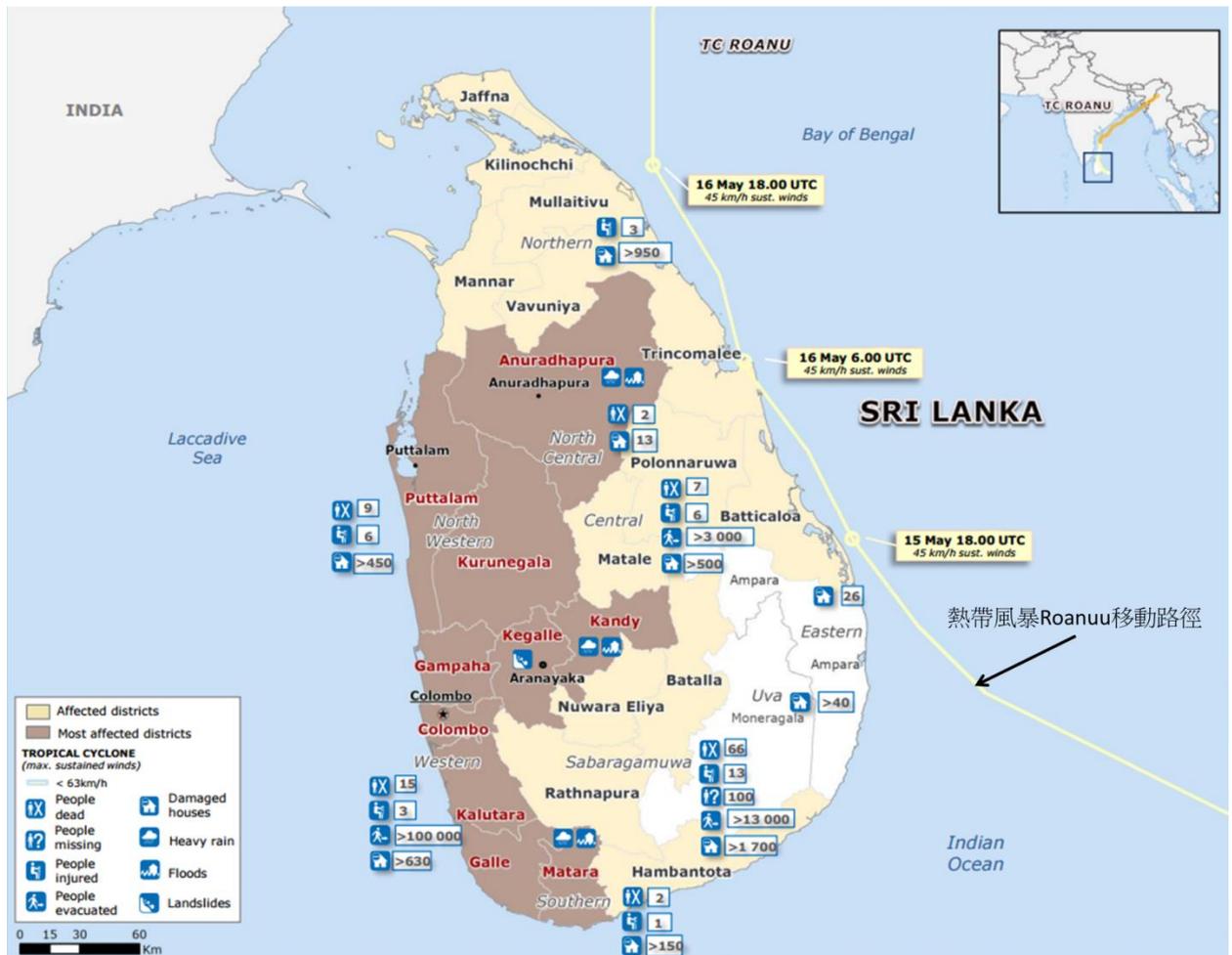


圖 2. 熱帶風暴 Roanu 移動路徑及斯里蘭卡災情與影響分布

(資料來源：ECHO(繪製時間 2016/5/25))

表 1. 熱帶風暴 Roanu 影響歷程與災情列表(NCDR 整理)

日期	狀況	災情
5/15	08:30-17:30 有 4 個城市的累積雨量超過 100mm 分別為：Katunayake、Trincomalee、Kurunegala、Colombo(首都)	1. 部分低窪地區開始淹水 2. Kegalle 區內的 Hattota 發生崩塌(至少 4 死 1 失蹤)
5/16	災害管理中心(Disaster Management Center, DMC)對居住於河岸和低窪地區的居民發出警告，約有 11,000 人受到影響	1. 多個地區發生淹水 2. 1 人遭到閃電擊中死亡
5/17	災害管理中心(Disaster	1. Kandy 區內的 Kadugannawa 發

	Management Center, DMC)表示約有200,000人受到淹水與山崩災害的衝擊影響	生山崩，7人死亡 2. Kegalle 區內發生兩起崩塌：Aranayaka崩塌(48人死亡96人失蹤)、Bulathkohupitiya (14人死亡2人失蹤)
5/18	Kelani 河水暴漲，DMC 警告沿岸居民須撤離。軍隊也連夜撤離了首都 (Colombo)內 26,000 名受洪水影響的人民	1. 2名男孩於 Wattala 的淹水中死亡
5/19	Kelani 河水位開始緩慢下降	
5/20		淹水區域翻船事件造成 2 人死亡
5/21		Kegalle 區內的 Aranayaka 又發生一新崩塌，死傷人數不明確。



圖 3. 水災與崩塌救援行動現場照片

(資料來源：Al Jazeera、Sri Lanka Army、Indian Navy)

其中最為嚴重的災害事件發生於 Kegalle 境內 Aranayaka 鎮的 Samsara Kanda 山區，在 5 月 17 日下午 4:30 至 5:00 之間邊坡發生大崩塌，塊體移動的最長距離約 2.26km，崩塌面積約 56 公頃，三個村莊 Siripura、Pallebage、Elagapitiya 受到影響，部分區域被大量土石夷為平地(圖 4、圖 5)，約 110 棟房舍全毀，17 號當天已證實 48 人死亡，尚有 96 人失蹤(Roar, The Sunday Times, BBC, NBR0)。



圖 4. Aranayaka 山崩事件示意圖

(資料來源：The Sunday Times)



圖 5. 災後空照圖

(資料來源：BBC)

目前此崩塌事件至少造成 140 人死亡，由現場事證觀察，本次崩塌有複雜的肇因。推測一開始時是在邊坡的高處先發生小範圍的崩塌，在大雨的侵襲使陡峭的下邊坡發生更大規模的崩塌災害。當地之地質是以厚層的崩積土壤為主要材料，鬆軟的土石沿著岩盤崩落(圖 6)，冠部寬約 345-350 公尺，深度約 50-75 公尺，整個崩塌最寬的區域約 600 公尺(圖 7)，影響 Siripura 和 Elagapitiya 村莊，由於熱帶風暴 Roanu 帶來的豪大雨，最後崩塌的大量材料轉變成快速流動的土石流、泥流(圖 8)，衝擊此邊坡下方東北側的 Pallebage 村落(AGU Landslide Blog、NBRO)



圖 6. 崩塌冠部的照片，可明顯看到岩盤上覆蓋著鬆軟的土石
 (資料來源：Al Jazeera、Sri Lanka Red Cross)

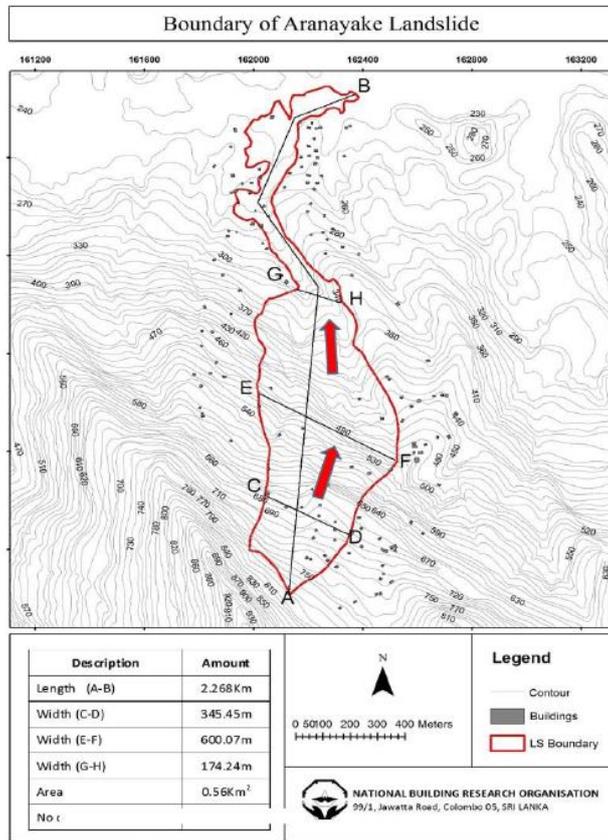


圖 7. Aranayake 山崩的幾何資訊
 (資料來源：NBRO)



圖 8. 崩塌材料因大雨轉變成快速流動的土石流衝擊下方村莊

(資料來源：Sri Lanka Red Cross)

三、致災原因

由熱帶風暴所帶來的大雨是觸發此山崩的主要原因，距離災點約 80 公里的首都可倫坡(Colombo)五月平均累積雨量為 392mm，而僅在四天內(5/14-5/17)自動雨量計測得的累積雨量高達 435mm，其中 14 日至 15 日兩天的累積雨量分布圖如圖 9 所示，山崩區域累積雨量約 250mm-300mm，快要達到當月的月平均累積雨量。

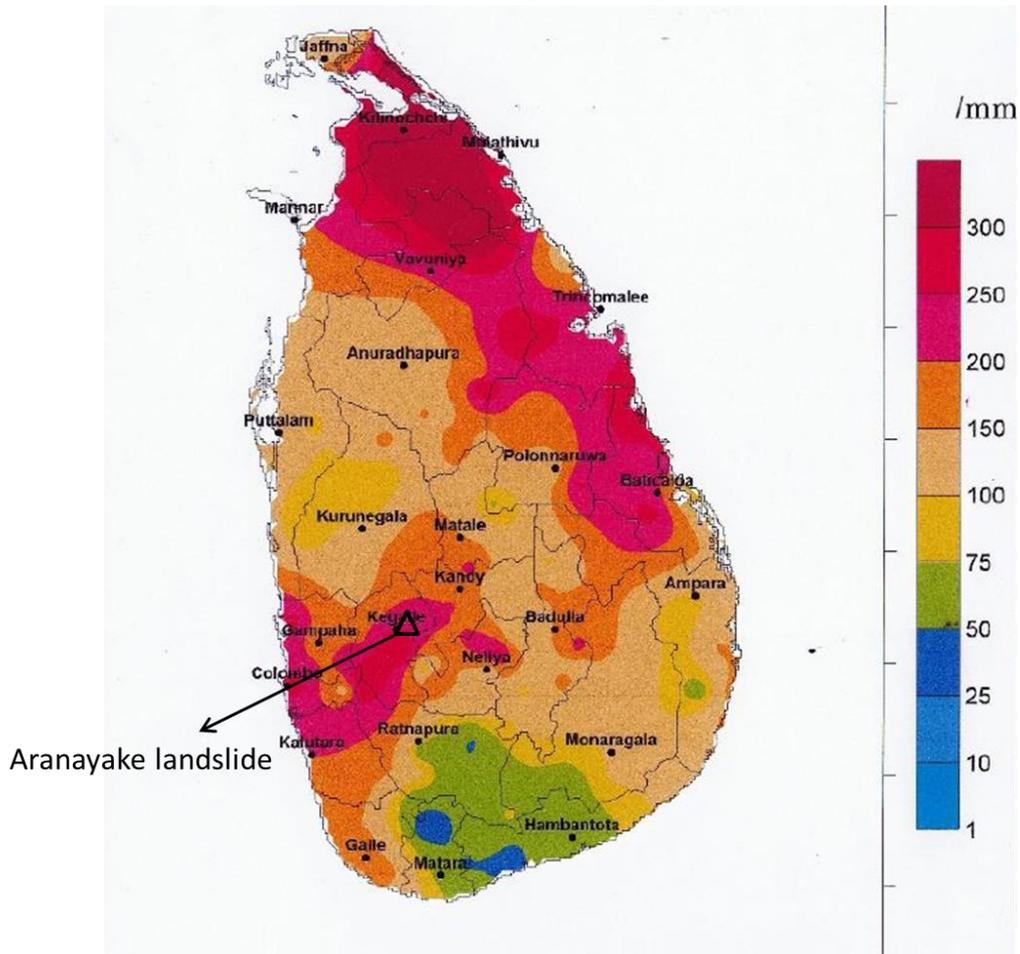


圖 9.5/14-5/15 斯里蘭卡累積雨量分布圖，三角形為此次嚴重山崩發生位置（資料來源：Department of Meteorology）

該邊坡本身的地質環境條件也不佳，曾為古山崩發生位置，根據災前國家建築研究組織(National Building Research Organisation, NBRO)的地質學家現場調查顯示，此崩塌源頭十分陡峭，岩盤上覆蓋著過去舊崩塌所留下的厚崩積層，大大小小的岩塊散落其中，此區域的基岩屬於高度變質的片麻岩，有兩組明顯的垂直節理存在，調查評估此處具有極高的崩塌風險，此次的崩塌冠部即在 NBRO 所圈繪的高

山崩潛勢範圍內(圖 10)。

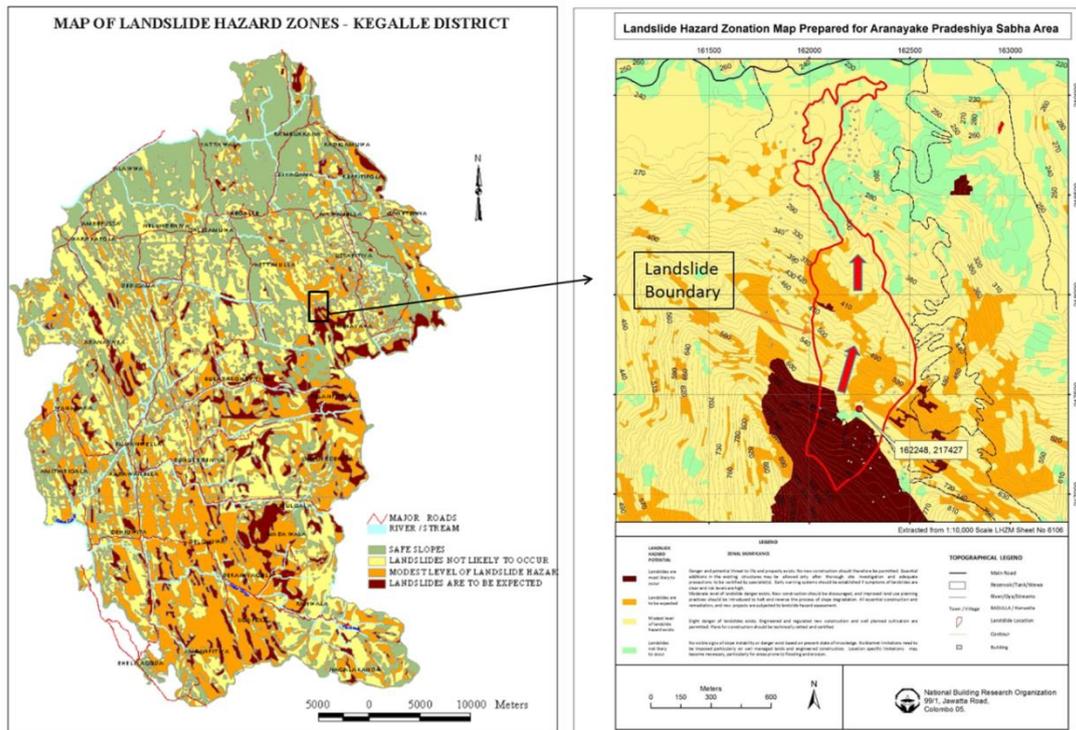


圖 10. Kegalle 地區山崩潛勢圖

(資料來源：NBRO)

Kegalle 區域的地形屬於丘陵及山區，平坦的地方非常少，NBRO 已經在此區定義出 20 個高山崩潛勢的區域，初步估計至少有 610 戶家庭需要搬遷，如何找到安全適合的居住地是政府單位目前最頭痛的問題。在沒有相應的對策下，民眾在邊坡上違法開發與建築(圖 11)，開墾種植了許多淺根性的出口作物，尤其是茶葉，不但無法加強土壤的穩定度，更使得雨水容易滲入土中，因孔隙水壓的上升導致有效應力的降低，使土壤失去與岩盤間的抗剪能力而發生崩滑，多餘的水分還會滲入岩盤節理間，導致岩塊沿著節理面滑動或翻覆(The Sunday

Times, NBRO, Floodlist)。

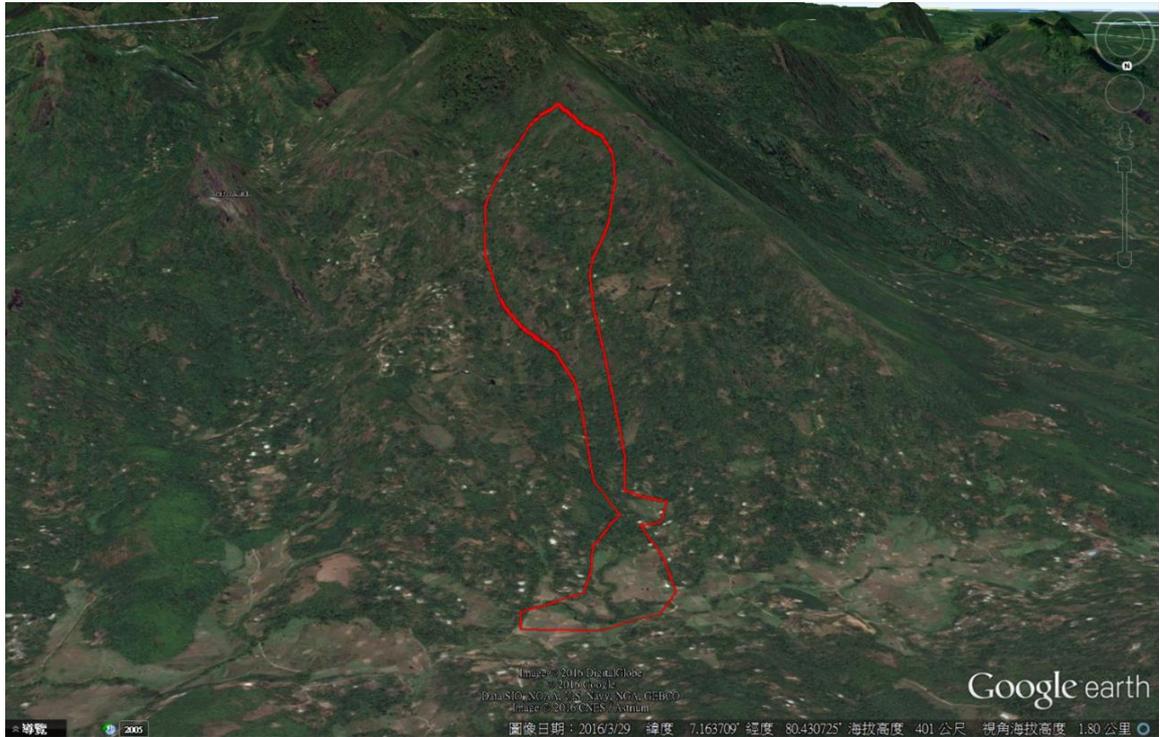


圖 11. 從衛星影像可以看到此邊坡的人為開發情況，紅線為崩塌影響範圍。(NCDR 繪製，底圖 google earth)

四、結論與討論

NBRO 從 1985 年開始調查斯里蘭卡的潛在崩塌，透過野外資料的蒐集、分析可能的致災因子、評估相關的山崩風險，NBRO 繪製該國十個行政區的山崩潛勢地圖，近來也已經開始著手利用自動雨量計及地表觀測等監測資料，期望能發展崩塌預警機制，以降低山崩所帶來的生命財產損失。然而，儘管 NBRO 早已表示 Aranayake 山崩區域為非常高的災害潛勢地區並不適合居住，但並沒有配合行動或政策來降

低此區所面臨的風險及可能造成的傷亡。由於 NBRO 屬於研究組織，其僅能定義可能致災的坡地位置，及建議與提醒居民搬離，但並沒有強制居民離開的權力，必須仰賴相關的政府組織進行配套措施，而政府單位間協調能力的缺乏，僅有部份潛勢區域有做坡地整治，如斯里蘭卡的 Nuwara Eliya 山區已有建立一些水平的溝槽與管線進行邊坡的排水，利用工程上的方法加強邊坡的穩定度，但多數已知的高山崩潛勢區都尚未有相關的減災策略擬定。

斯里蘭卡在 2014 年 10 月距離此次崩塌東南方約 80 公里處的哈德穆拉村 (Haldummulla) 內也因大雨發生致命的崩塌事件(王俞婷等人, 2014)，斯里蘭卡政府要如何面對可能發生的災害，擁有正確的應變管理知識與相關準備，以及教育崩塌潛勢區內的居民具備基本判斷能力並能預防性自行疏散，是非常重要的，如 2015 年 10 月於瓜地馬拉發生的崩塌(呂喬茵等人, 2016)，災害也是發生在已知不宜居住的高山崩潛勢區域。因此對於災害潛勢分析與評估成果，及如何落實與應用，對於山坡地占 3/4 土地的台灣亦是值得引以為戒。

參考文獻

AGU Landslide Blog

<http://blogs.agu.org/landslideblog/>

Al Jazeera

<http://www.aljazeera.com/>

BBC

<http://www.bbc.com/>

Dailymirror

<http://www.dailymirror.lk/>

Department of Meteorology

www.meteo.gov.lk/

ECHO (European Commission Humanitarian Aid Office)

<http://ec.europa.eu/echo/>

Indian Navy

<http://www.indiannavy.nic.in/>

NBRO (National Building Research Organisation)

<http://www.nbro.gov.lk/web/>

OCHA (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs)

<http://www.unocha.org/>

roar

<http://roar.lk/>

Skymetweather

<http://www.skymetweather.com/>

Sri Lanka Red Cross

<http://www.redcross.lk/>

Sri Lanka Army

<http://www.army.lk/>

The Sunday Times (Sri Lanka)

<http://www.sundaytimes.lk/>

Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

- 王俞婷、黃柏誠、張志新 (2014), 斯里蘭卡哈德穆拉村大規模崩塌事件報導, 國家災害防救科技中心災害防救電子報 特刊。
- 呂喬茵、張志新、傅鑣漩 (2016), 瓜地馬拉康布雷二村(El Cambray II)崩塌事件分析, 國家災害防救科技中心災害防救電子報 特刊：2015 年國際災情事件。