

阿富汗 Abi-Barak 村與美國奧索鎮之大規模崩塌災害探討

林又青¹、張志新¹、劉哲欣¹、黃柏誠²

1 國家災害防救科技中心波洪組

2 國家災害防救科技中心氣象組

摘要

2014 年國際大規模崩塌災害頻傳，因此本文除詳細紀錄 5 月 2 日發生在阿富汗巴達赫尚省（Badakhshan）Abi-Barak 村，以及 3 月 22 日發生在美國華盛頓州（Washington）奧索鎮（Oso）之大規模崩塌災害的災情與災因外。並歸納分析兩起事件之災害規模差異與致災原因，據此提出大規模崩塌災害防治之參考建議。

一、 阿富汗 Abi-Barak 村大規模崩塌

（一）地理環境

阿富汗（Islamic Republic of Afghanistan）是亞洲中南部的內陸國家，古時曾是重要的貿易點，又因其擁有重要地緣戰略位置，導致阿富汗經歷了無數的戰爭。首都在喀布爾（Kabul），主要宗教為伊斯蘭教，國土面積約 64 萬 7,500 平方公里，國土 3/5 交通不便。人口 3,000 多萬，農業為國家的主要經濟來源，是世界上最貧窮的國家之一。巴達赫尚省，位於阿富汗東北部，與塔吉克（Tajikistan）與巴基斯坦北

部接壤，全省包括 22~28 區，約 904,700 人，費扎巴德（Fayzabad）為其省會，全省面積約 44,059 平方公里，大部分分佈在興都庫什（Hindu Kush）和帕米爾（Pamir Mountains）山脈。

（二）災情與規模

阿富汗東北部巴達赫尚省阿戈（Argo）地區海拔約 1,000 公尺的 Abi-Barak 村，於 2014 年 5 月 2 日（周五）當地時間早上 11 時，發生大規模崩塌災害，災害發生區位與災害實況如圖 1 所示，當天共發生兩次崩塌災害，第一次土石約掩埋 300 多棟民宅，接著 1 小時後，再次發生崩塌，導致 600 名救援者受困。星期五為伊斯蘭教之祈禱日，因此當天村落中聚集人數較平常為多，故加遽人員傷亡規模。聯合國人道事務協調辦公室（Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, OCHA）表示，本次災害共造成 350 人死亡、2,000 多人失蹤，上千棟房屋遭破壞，堪稱是阿富汗近 10 年來最嚴重的坡地災害事件之一。

圖 1-Abi-Barak 村災害發生區位以及現場空拍圖^{[1][4][5]}

本次崩塌影響範圍如圖 2 所示，由圖 2-b，WorldView2 衛星於 2014 年 5 月 5 日所拍攝的影像，將災害影響範圍主要分為：坡頂紅線標示的發生區、黃線標示的堆積區，以及藍線標示的堰塞湖等三區。崩塌發生區長約 400 公尺、寬約 300 公尺，面積為 98,062 平方公尺，整個堆積區面積為 134,352 平方公尺，崩塌滑動長度約 750 公尺，堆積深度至少有 10.9 公尺，堆積量體約為 1,000,000 立方公尺。在圖 2-a 中可發現，這次災害附近亦有舊崩塌地，以及明顯的侵蝕溝存在，顯示該區為易崩塌區，另外，白色虛線處則指出未來可能發生崩塌的崩崖（Scarp）所在。

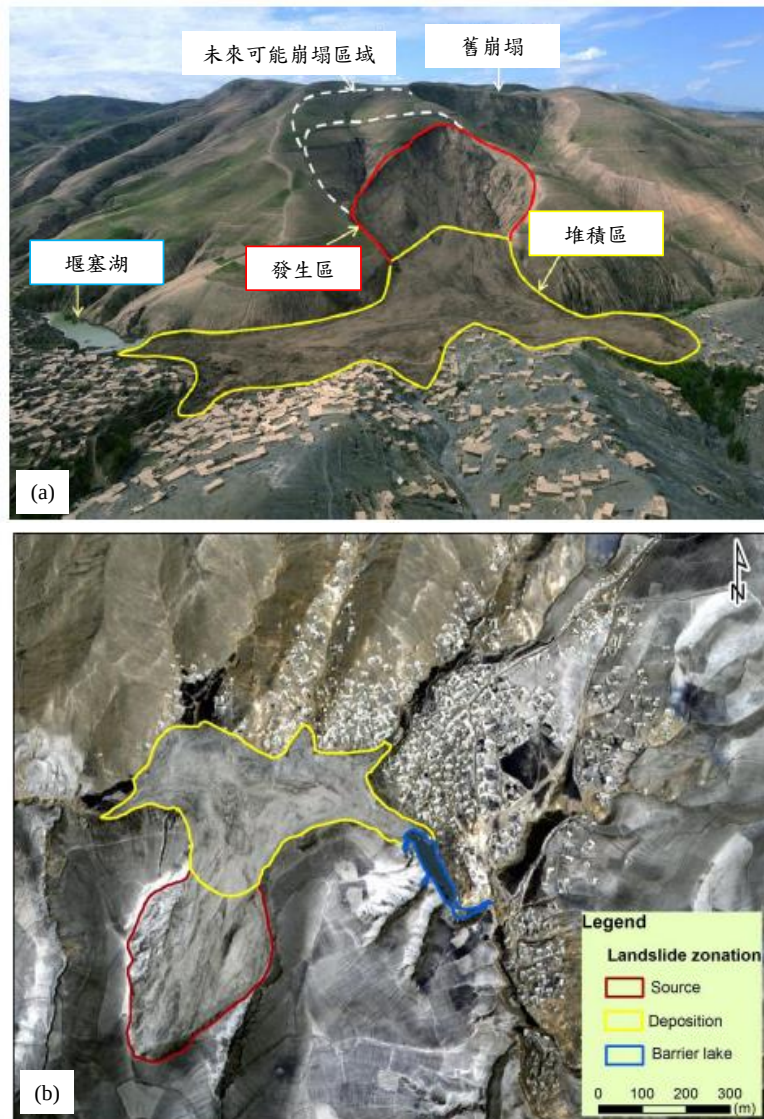


圖 2-Abi-Barak 村災害 (a) 分區示意圖 (b) 衛星影像圖^[6]

(三) 災因分析

彙整 Abi-Barak 村的降雨、地質、地形等資料後，造成本次大規模崩塌的可能致災原因，說明如下：

1. 連日降雨引發災害。災害發生當時並無降雨，但是由圖 3 推估災區周遭，4 月 25 日到 4 月 29 日期間的累積雨量，約為 50~100mm。世界銀行 (World Bank) 統計資料指出，阿富汗年平均降雨量為 327mm。另外，圖 4 中，阿富汗在 1900 年-2009 年間 4 月平均降

雨量接近 25mm，故本次災區前期累積雨量 50~100mm，已超過月平均值並高達 1/3 年平均雨量值。

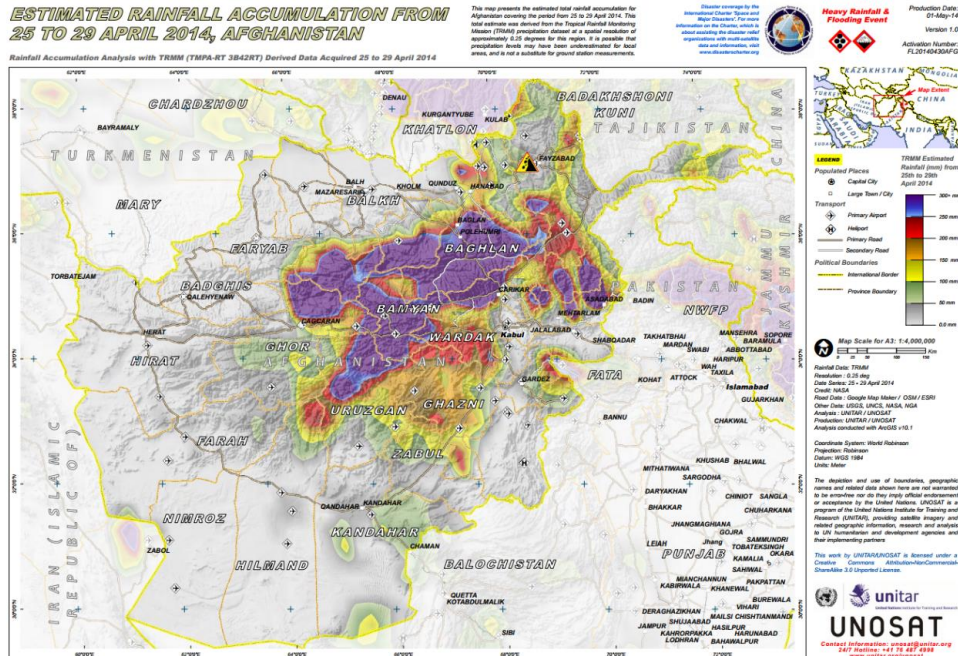


圖 3-阿富汗 4 月 25 至 29 日期間累積降雨量圖^[8]

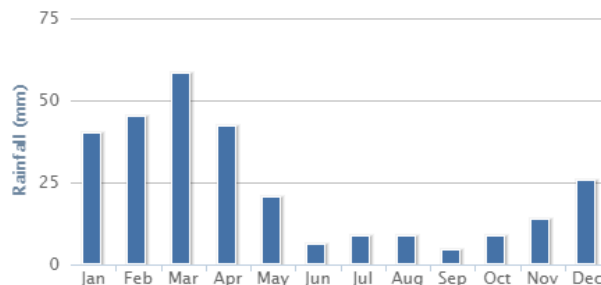


圖 4-阿富汗 1900-2009 年之平均月雨量圖^[9]

- 黃土地形，容易發生坡地災害。由照片（如圖 5）及報告研判災區應為風積黃土（Loess）地形區，黃土土層具有透水性高與濕陷性高特色，當土體飽和度超過臨界值時，黃土會很快發生崩塌。黃土流動性高，暴雨、地震或人為開發活動，都容易造成黃土崩滑。



圖 5-Abi-Barak 村村民為崩塌罹難者祈禱^[24]

3. 山坡地缺少植被覆蓋、地表裸露，且有為開墾作物而開發的灌溉渠道與道路，都會增加邊坡雨水侵蝕或沖刷作用，山崩的機率也因此提高。而且，本次崩塌使得災區的坡度變得更陡峭，加上目前坡面裸露，更有可能導致下一次災害的發生。
4. 坡腳受到河川侵蝕，導致崩塌發生。邊坡下方河流對於位在河岸攻擊坡趾的持續沖蝕，潛變的位移達到了臨界狀況，因此觸發上邊坡坡體下滑之重力作用，終於產生大規模崩塌。

二、美國華盛頓州奧索鎮大規模崩塌

(一) 地理環境

華盛頓州為在美國西北太平洋沿岸，北邊與加拿大接壤，為紀念美國首任總統，喬治·華盛頓而成立，面積約 184,824 平方公里，州內地理主要由，喀斯喀特山脈（Cascade Range）、冰河時期，及密蘇娜冰湖決堤構成。史諾霍米須市（Snohomish），人口為 713,335(2011 年統計資料)，是華盛頓州人口第三多的市，總面積約 5,690 平方公

里，位於華盛頓西部，東部是山區和西部為平原地形。喀斯喀特山脈穿過東部，高程最高為 3210 公尺。

（二）災情與規模

位於美國華盛頓州史諾霍米須市，海拔高度約 100 公尺處的奧索鎮（Oso），在當地時間 3 月 22 日（周六）上午 10：37 左右，發生大規模崩塌，災害發生位置如圖 6 所示。崩塌之土砂材料延伸廣泛，大量土砂崩落坡趾處的 N. Fork Stillaguamish 河，河水與崩滑之土砂跨越河岸，淹沒對岸 Steelhead Haven 大片區域，土砂掩埋深度高達 6 公尺以上。造成 Steelhead Haven 社區內 43 人死亡、10 人重傷。圖 7 為災害發生前後的衛星影像比較圖，白色框線為社區建物區位示意圖，藍點與綠點是受傷人員、紫點是代表死亡人員，據華盛頓州政府估算，本次災害損失金額至少 5 千萬美元。



圖 6-奧索鎮災害發生位置圖^{[16][18]}

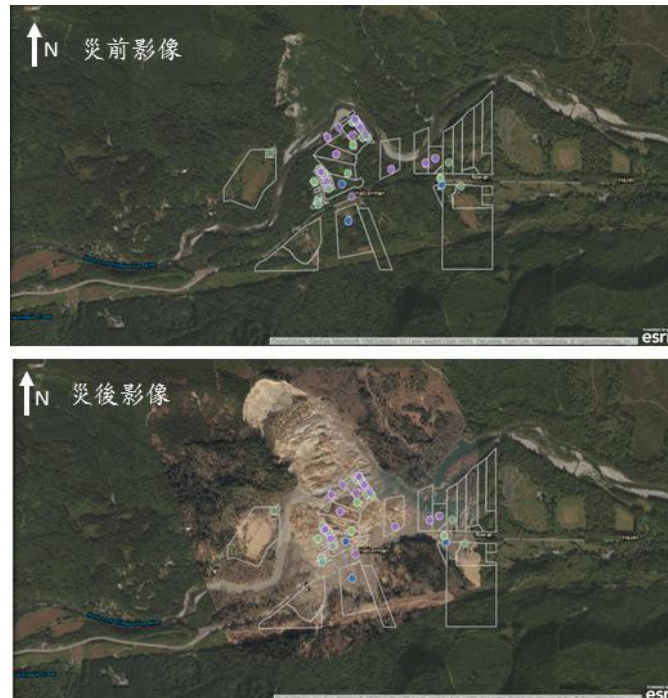


圖 7-奧索鎮災害災前災後影像比較圖^[17]

本此崩塌地範圍寬約 580 公尺，長約 740 公尺，面積約 430,000 平方公尺，土砂流出量約 760 萬立方公尺。歷史紀錄指出本次災區於 2006 年亦發生過大規模崩塌災害，且在 GEER (Geotechnical Extreme Events Reconnaissance) 單位的現調證實崩塌土體成分的確包括 2006 年的舊崩塌土體，2006 與 2014 年之崩塌範圍位置如圖 8 所示。崩塌除在 N. Fork Stillaguamish 河造成堰塞湖外，並掩埋 Steelhead Haven 社區 50 棟建築物外。甚至阻斷當地主要交通幹道 530 號州際公路，達 2 個月之久，之後更是花了數個月之久予以重建。

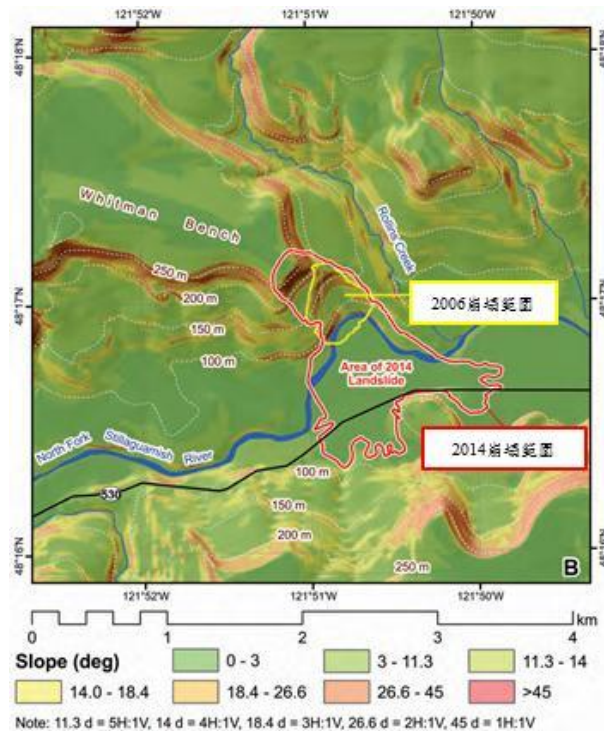


圖 8-奧索鎮崩塌區域坡度分布圖及 2006 與 2014 崩塌影響範圍^[15]

(三) 災因分析

彙整奧索鎮的降雨、地質、地形與土地開發等資料，導致本次大規模崩塌的可能原因，包括：

1. 累積降雨，觸發崩塌。圖 9 為華盛頓州之雨量資料圖，從 9-a 可瞭解奧索鎮災區發生無降雨；9-b 推估奧索鎮 3 月之累積雨量達 500mm 以上，離災區最近雨量站則紀錄到災害發生前 3 週的累積雨量已達 760mm，9-c 的累積雨量距平圖更可證明 3 月降雨值比歷史平均高。降雨反應到流量上，增加了 N. Fork Stillaguamish 河水的流量，加劇了河流對河岸攻擊坡的舊崩塌地坡趾的持續沖蝕，直至潛變的位移達到了臨界狀況，再觸發上邊坡坡體下滑之重力作用，終於產生大規模崩塌。

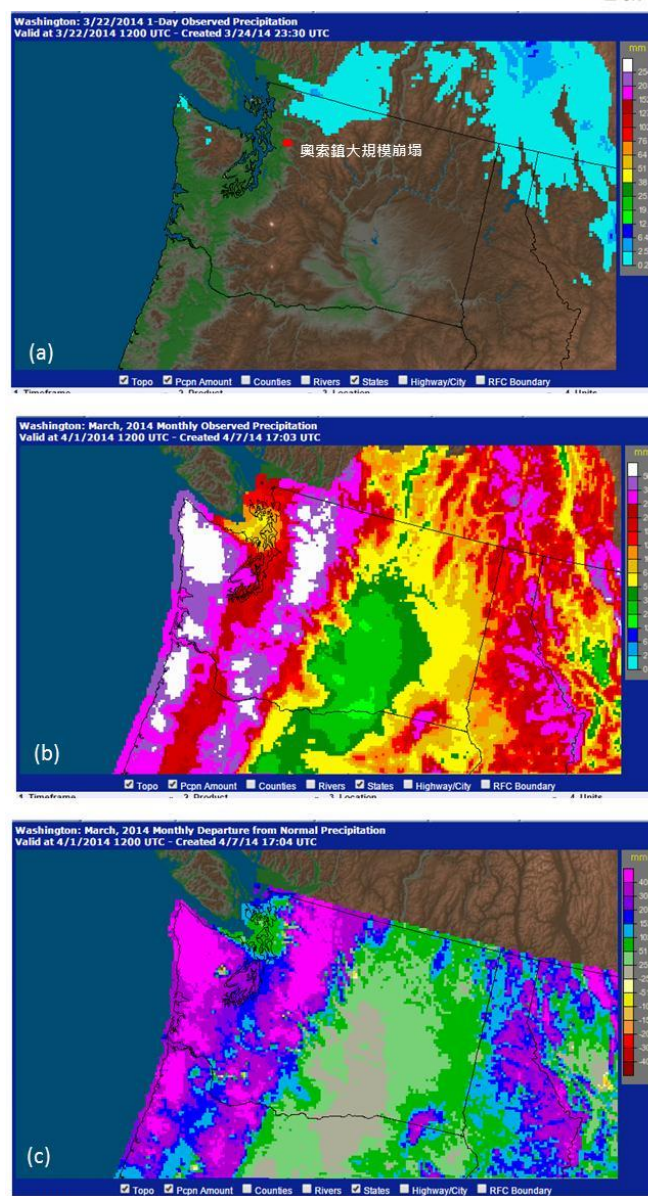


圖 9-華盛頓州之(a)3 月 22 日累積雨量圖、(b)3 月累積雨量圖
(c)3 月雨量距平圖^[21]

2. 冰河堆積物，易發生崩塌。奧索鎮災害地質圖如圖 10 所示，崩塌範圍主要材料是 Qls、Qgtv 及 Qglv 土質。成分為細砂、淤泥、黏土與冰河堆積物構成，冰河沈積物的組成比較複雜，當冰河堆積物材料鬆散，且位處陡坡或存在有豐富的地下水時，極易發生崩塌。

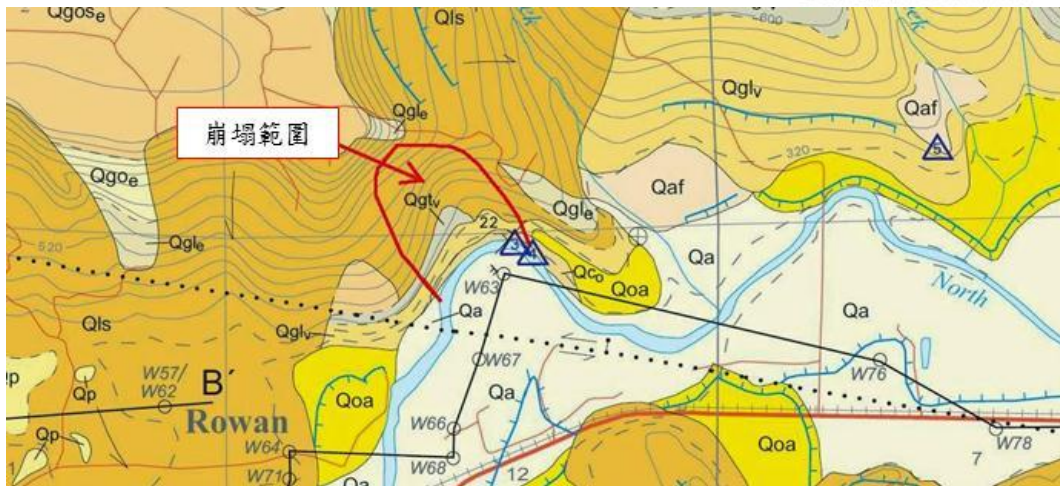


圖 10-奧索鎮災害地質圖^{[19][20]}

3. 位處易崩塌敏感區。圖 11 是由 2013 年的 LiDAR 資料所畫成的地形圖，用顏色標示現有崩塌地所在位置，並以 A-D 區分崩塌地的相對年齡，A 最年輕、D 最老。其中，A 形成時間約是 2006-2011 年間。圖中並用紅色格線標示本次崩塌的影響範圍，坡頂線條表示崩崖所在。地貌證據顯示奧索鎮附近有許多崩塌，而且崩塌的規模大小，與 2014 年不相上下，奧索鎮的崩塌，無疑是舊崩塌地的復發。

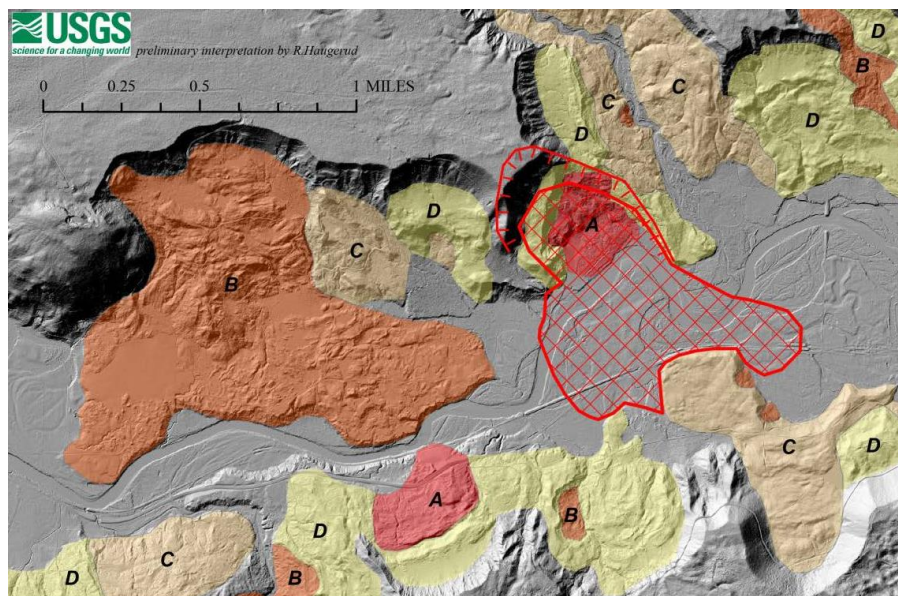


圖 11-奧索鎮災區地形圖(Shaded-relief image)^[22]



4. 歷史崩塌高風險區。奧索鎮的崩塌文獻紀錄（表 1）最早可以回顧到 1950 年代，該區的崩塌持續再發生中，只是規模較小、較慢，直至 2006 發生大規模的災難，以及 2014 的悲劇。之前針對該區的研究主要是做崩塌地對河流的衝擊，而非崩塌對人民、財產的衝擊，而且過往研究中都沒有預料到，崩塌流動達 1 公里之遠。

表 1-奧索鎮歷史崩塌紀錄表^[13]

年份	事件敘述
1949	發生長約 300 公尺、寬約 700 公尺大規模崩塌，崩塌影響 N. Fork Stillaguamish 河岸。
1951	發生邊坡滑動，土石阻斷河道。
1967	發生長 240 公尺、高 90 公尺之崩塌，掩埋 Steelhead Haven 社區有 25 棟房屋。
1999	美國陸軍工兵隊對奧索鎮提出：『此處有發生大規模崩塌的潛勢』的警訊。
2006	1 月 25 日發生大規模崩塌，N. Fork Stillaguamish 河又遭崩塌土石阻塞。

5. 土地開發未取得洪泛區建設的許可，以及政府整治不力。紀錄指出 1924 年 N. Fork Stillaguamish 河發生水災，Steelhead Haven 社區就在當時的洪泛範圍內；1950 年代，華盛頓州政府為解決該區的崩塌災害，資助進行降低坡地災害風險的研究，但雖有分析報告，部會署因金費不足而無法進行整治工程；1960 年 Genevieve Taylor 向史諾霍米須市政府計畫委員會申請開發 Steelhead Haven 社區，但卻沒有向水保單位，申請於洪泛區建設的許可，導致社區居民財產跟生命安全，受到河流掏刷與不穩定的山坡影響；1967 年的崩塌，破壞 Steelhead Haven 社區內 25 棟屋子，所幸無人員傷亡，災後沈寂一陣後，1970 年該區的建築又復興了。

三、大規模崩塌事件比較

以下針對 Abi-Barak 村與奧索鎮兩起事件之災害規模、災因以及復原規劃進行探討，最後將兩起事件之詳細比較列於表 2，提供參考。

表 2-災害狀況比較表

地點	阿富汗 Abi-Barak 村	美國奧索鎮
高程	約 1,000m	約 100m
時間	2014 年 5 月 2 日（五） 約當地時間 11 點	2014 年 3 月 22 日（六）當地時間 10 點 37 分
規模	崩塌面積 98,062m ² ；河谷堆積區面積約 134,352m ² ；崩塌滑動長度 750m；堆積深度至少 10.9m 深；量體約為 1,000,000m ³	崩塌長約 740m、寬 580m 面積約 430,000m ² ；深度達 6m 以上；崩塌量體約 7,600,000 m ³
傷亡損失	約 350 人死亡，2,000 多人失蹤 上千棟房屋嚴重受損	約 43 人死亡，10 人重傷；50 棟民宅遭掩埋； 損失金額約 5 千萬美金
堰塞湖	崩塌土石阻礙河道，形成面積約 9,000m ² 之堰塞湖	河形成堰塞湖，並溢淹東側民宅與 530 號公路
降雨量	災害發生當日無降雨 前期累積降雨約 50-100mm	災害發生當日無降雨 3 月份累積降雨約 500mm
崩塌紀錄	現場有明顯崩崖與蝕溝徵兆	1949 年、1951 年、以及 2006 年皆發生過崩塌災害
地質環境	黃土材料；坡面植被稀疏 河流攻擊坡趾	以冰河沈積物之軟沙，淤泥和粘土為主； 邊坡下方河流對於位在河岸攻擊坡趾的持續沖蝕

（一）災情與規模

目前地質災害調查所對大規模崩塌的定義是，指面積大於 10 萬平方公尺、崩塌體積超過 10 萬立方公尺或崩塌深度在 10 公尺以上者。而這兩起國際災害事件，其影響規模皆高達面積 20 萬平方公尺、量體 70 萬立方公尺以上，皆隸屬於大規模崩塌之範疇。然而 Abi-Barak 村的人員傷亡卻是奧索鎮的 10 倍以上，是因為 Abi-Barak 村的災害區是發生在村落集中區域，又加上發生當時是伊斯蘭教的祈禱日，所以受到災害影響的人員相對變多，而奧索鎮住戶較少，而且多為度假

小屋，保全對象相對較少。另外 Abi-Barak 村又為在高海拔、偏遠地區，除了 Abi-Barak 村自己的救援能力不足，救援人員與機具更是不易抵達，因此加劇災情。

（二）降雨情境

災害發生當日，兩起事件所在災區處都無顯著降雨紀錄。而觸發災害發生，主要是因為有高於歷史平均的前期累積雨量，導致災害發生。Abi-Barak 村災前一周累積雨量達 50~100mm，是歷史 4 月平均降雨值的 2-4 倍；奧索鎮前 3 月份累積降雨也明顯高出歷史累積降雨值。兩地降雨量的增加趨勢，暫無法評斷是否受氣候變遷影響，然而巴達赫尚省的地形、地質特性，實應儘早考慮氣候變遷下的防災調適措施。另外，也因為兩起事件，災害發生當天都無明顯降雨，因此之後，在評估崩塌風險時，建議長期累積雨量跟短延時的強降雨都應考慮在內。

（三）防災復原

根據地形、地質、地貌特徵與歷史崩塌紀錄研判，Abi-Barak 村與奧索鎮都位在崩塌高潛勢區，現場可觀察到崩崖的徵兆，而且災後邊坡表面裸露，雨水侵蝕與沖刷作用高，未來勢必會持續發生坡地災害。Abi-Barak 村中若能在當地建置邊坡滑動監測儀器，或是提高民眾的居安思危意識，教導當地民眾執行簡易的坡地社區環境檢查，或是進行防減災規劃演練，應能有效降低該處的坡地災害風險，避免悲劇重演。而奧索鎮雖然從 1950 年代起，就有進行降低該地風險的管理評估，但是缺乏資金與執行力。直至 2014 年發生巨災後，才由華盛頓州的自然資源局與史諾霍米須市政府執行，土地利用限制法規與與河岸穩定工程，未來需徹底執行，才能有效避免災害再次發生。

四、 結論與建議

分析阿富汗 Abi-Barak 村與美國奧索鎮，兩起國際大規模崩塌災害事件之災情、規模與可能災因後，彙整以下有關大規模崩塌災害防治的參考建議：

- 建置災害紀錄、崩塌地圖層資料庫並圈繪崩塌地影響。現存的崩塌地、崩崖所在位置，將是未來的崩塌起源，若在加上降雨量增加的影響，將使得崩塌地的復發規模超乎想像，因此除利用災害資料庫知道發生區位外，再加上明確圈繪出可能影響的範圍，詳列影響範圍內之保全對象，則裨益於儘早進行防災避險工作。
- 崩塌地風險評估的結果，應該要經常對大眾宣導與溝通，讓當地居民瞭解所處環境的安危。而且，崩塌災害風險評估的資料，必須隨著土地開發、災害影響或是管理調適後，持續更新與監控。崩塌影響範圍的模擬，也必須定期更新參數，進行即時的模擬與驗證。
- 持續引進新技術研判潛勢地區及長期監測，包括：長期建立 LiDAR 影像或航拍照片，都是研判潛勢極為有用的方式。亦可以在大規模崩塌高潛勢區，預先規劃監測儀器以及預警系統，以避免崩塌造成人命與財產損失。

參考文獻

- [1] 5 May 2014: Afghanistan – Landslide and floods
<http://reliefweb.int/map/afghanistan/5-may-2014-afghanistan-landslide-and-floods>
- [2] 阿富汗爆土石流 證實逾 2100 死
<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/international/20140503/390837/>
- [3] 聯合新聞網
<http://udn.com/NEWS/WORLD/WOR3/8651845.shtml#ixzz30nqE3fx3>
- [4] Badakhshan in Afghanistan.svg
http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Badakhshan_in_Afghanistan.svg
- [5] Massive Landslide Buries Remote Afghan Village
<http://www.theatlantic.com/infocus/2014/05/massive-landslide-buries-remote-afghan-village/100729/>
- [6] The Ab Barak landslide: past and future
<http://www.unitar.org>
- [7] The world bank
<http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.PRCP.MM>
- [8] Estimated Rainfall Accumulation from 25 to 29 April 2014, Afghanistan
<http://www.unitar.org/unosat/node/44/1980>
- [9] Climate Change Knowledge Portal 2.0
http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisRegion=Asia&ThisCCode=AFG
- [10] 黃土高原環境特性
<http://csm01.csu.edu.tw/0150/Geog-C/course/geogC-94205.htm>
- [11] 西雅圖時報
<http://seattletimes.com/html/home/>
- [12] Google 地圖
<https://www.google.com.tw/maps>
- [13] The Steelhead landslide in Oso, Washington State
<http://blogs.agu.org/landslideblog/2014/03/25/the-steelhead-landslide/>

- de-1/
- [14] 莫拉克東部災區潛在大規模崩塌地區分析報告，經濟部中央地質調查所，102 年 10 月。
 - [15] 2014 Oso, Washington Landslide, GEER Association Report No.GEER-036
 - [16] Hopes fade for Washington mudslide survivors after more bodies are pulled from debris raising fears death toll could double
<http://www.coloradonewsday.com/news/regional/48876-hopes-fade-for-washington-mudslide-survivors-after-more-bodies-are-pulled-from-debris-raising-fears-death-toll-could-double.html>
 - [17] Oso mudslide victims
<http://seattletimesdata.com/mudslide-map/deploy/index-playlist.html>
 - [18] Before and after the Highway 530 mudslide
<http://seattletimes.com/flatpages/local/interactivebeforeandafterthe530mudslide.html>
 - [19] Reading the Washington Landscape: Geology of Stilliguamish Blocking Slide
<http://washingtonlandscape.blogspot.tw/2014/03/geology-of-silliguamish-blocking-slide.html>
 - [20] Geologic Map of the Mount Higgins 7.5-minute Quadrangle, Skagit and Snohomish Counties, Washington
http://www.dnr.wa.gov/Publications/ger_ofr2003-12_geol_map_mounthiggins_24k.pdf
 - [21] AHPS Precipitation Analysis
<http://water.weather.gov/precip/>
 - [22] Preliminary Interpretation of Pre-2014 Landslide Deposits in the Vicinity of Oso, Washington
<http://pubs.usgs.gov/of/2014/1065/pdf/ofr2014-1065.pdf>
 - [23] Oso neighborhood never should have been built
http://seattletimes.com/html/localnews/2023794966_landslidehistory.xml.html
 - [24] Afghanistan rescue efforts hampered by fresh landslide fears
<http://www.theguardian.com/world/2014/may/03/afghanistan-rescue>

- hampered-fresh-landslide-fears
- [25] 維基百科阿富汗
<http://zh.wikipedia.org/wiki/阿富汗>
- [26] Badakhshan Province
http://en.wikipedia.org/wiki/Badakhshan_Province
- [27] 維基百科華盛頓州
<http://zh.wikipedia.org/wiki/華盛頓州>
- [28] Snohomish County Washington
http://en.wikipedia.org/wiki/Snohomish_County,_Washington