

2018 年 5 月肯亞洪災引發潰壩事件探討

顏銘樟¹、施虹如²、張志新²

¹ 國立成功大學自然災害減災及管理國際碩士學位學程

² 國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

摘要

2018 年非洲雨季的來臨，原以為可以讓肯亞脫離長達 2 年的乾旱之苦，然而，長時間且劇烈的降雨卻讓肯亞陷入洪水災難之中，不但造成上百人死傷外，更於 5 月 9 日位於肯亞納庫魯縣(Nakuru)索賴鎮(Solai)的帕托水壩發生了潰壩，約 7 萬立方公尺的庫容形成洪水一路往下游傾瀉，共造成 48 人死亡、超過 2,000 人流離失所且影響超過 500 戶房屋，為肯亞今年雨季期間以來最嚴重的災害事件。此次潰壩災害原因歸納為：3 月以來長雨季所降下的極端豪雨、壩體本身位置與結構問題、私人水壩安全管理問題。

1. 肯亞背景說明

肯亞屬於東非國家之一，緊鄰蘇丹、衣索比亞、索馬利亞、烏干達等國家，首都為奈洛比(Nairobi)，國土面積為 582,646 平方公里(相當於 16 個臺灣¹)，行政區劃分為 2 個市及 45 個縣，主要產業多屬於一級產業，例如：農業、園藝業、礦業及觀光業等，其中花卉產業在過去 20 年中急速成長，成為肯亞最大外匯收入來源之一。全境位於熱帶季風區，中部橫跨赤道，全年高溫多雨，越往內陸越乾旱；根據世界銀行統計，肯亞在 1901 年至 2015 年的月均溫為 22.9℃ 至 26.2℃ 之間，年均降雨量約 670mm，一年又分成兩次雨季，分別為 3~6 月的長雨季及 10~12 月的短雨季。

肯亞自 2017 年起便受到嚴重的乾旱與飢荒所苦，直到今年 3 月雨季開始，旱象才逐漸趨緩；然而，從圖 1 肯亞各地於今年 3 月至 5 月的累積降雨分布顯示，均降下 500mm 至 1,000mm 超過年降雨量的驚人紀錄，並且於 Narok、Eldoret-Kapsoya 及 Makindu 等雨量測站均測得超過過去 50 年的降雨紀錄。因此，在長時間猛烈的降雨影響下，接踵而來的是各地洪水災情不斷傳出，及多處水壩面臨潰壩之危機，根據肯亞紅十字會(Kenya Red Cross Society, KRCS)自 3 月起至 6 月統計指出，全國因豪雨受到洪水及土石流災害，已造成 186 人死亡、100

¹ 臺灣(含離島)總面積 36,188 平方公里

人受傷、80 萬人受影響、近 30 萬人流離失所，受洪水影響的縣市共有 12 個包括：Garissa、Isiolo、Kisumu、Mandera、Marsabit、Narok、Samburu、Taita-Taveta、Tana River、Turkana、Wajir 及 West-Pokot。其中，又以位於中部裂谷地區(Central Rift Valley)的納庫魯(Nakuru)縣的帕托水庫(Patel Dam)潰壩事件所造成的死傷最為嚴重，佔全國死亡人數的四分之一(圖 2、表 1)，下節將針對該場事件案例做詳細說明。

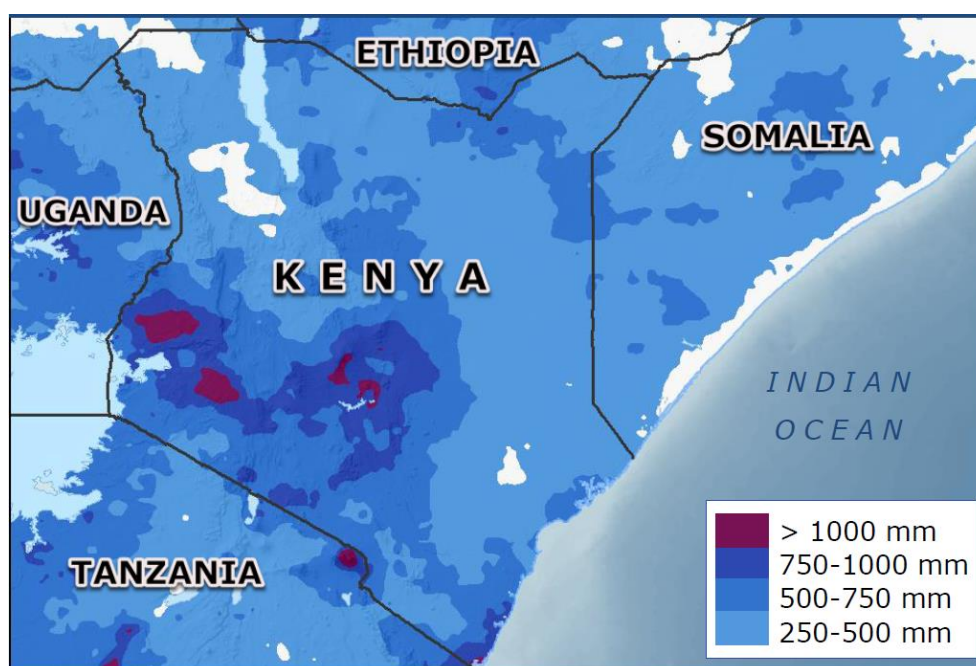


圖 1、肯亞於 2018 年 3 月至 5 月的累積雨量分布(資料來源：NASA)

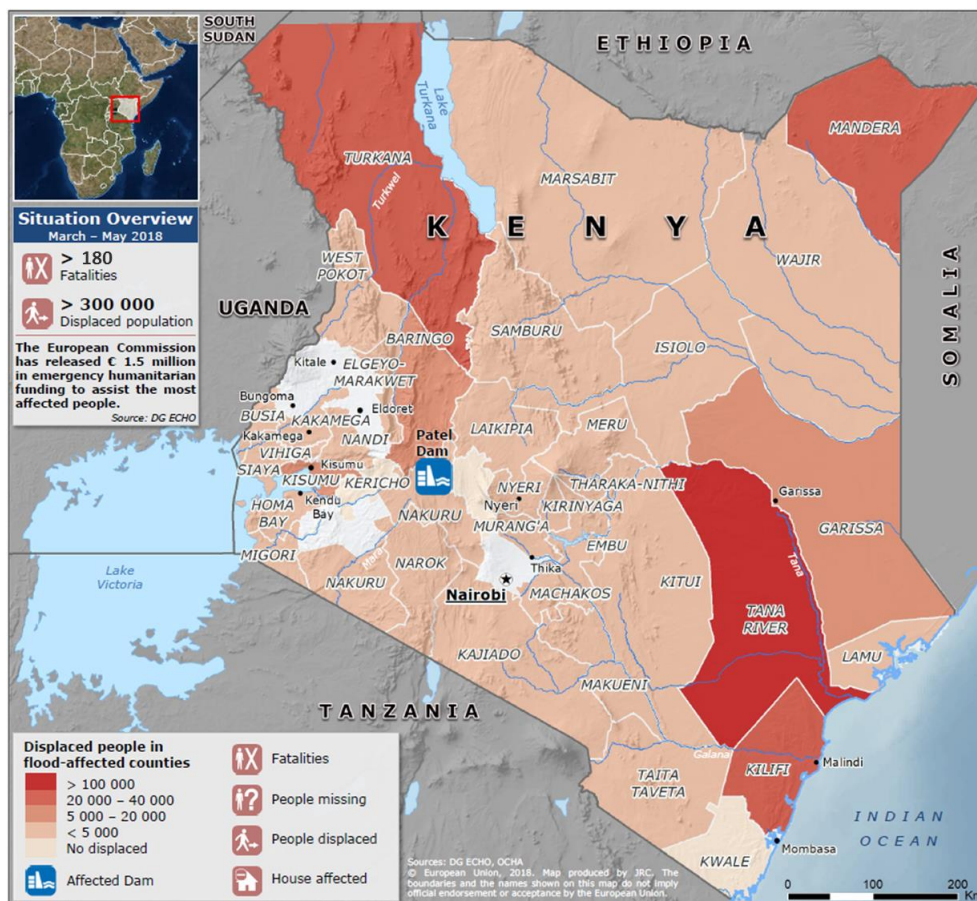


圖 2、肯亞 2018 年 3 月至 5 月期間受洪水災害影響分布(資料來源：Reliefweb)

表 1、截至 2018 年 6 月 5 日統計，肯亞於 3 月至 5 月期間受到洪水災害的死傷情形(資料來源：肯亞紅十字會)

	County	HHs Displaced	受傷 Injuries	死亡 Fatalities	Acreage of farmland destroyed	Livestock	Health	Schools Affected	Cholera Outbreak
1	Tana River	12,809		6	9,539	7,900	24		Controlled
2	Mandera	7,182			260	6,000			
3	Turkana	5,945	4	1	902			11	Active
4	Kilifi	4,530		4	1,100			10	
5	Wajir	2,521		5	160	2,000			
6	Kisumu	2,179	1	4	5,000		6		
7	Siaya	1,693	4	1					Controlled
8	Muranga	1,656	10	7					Controlled
9	Garissa	1,313		3	420	3,000		11	Active
10	Baringo	1,305	3	6	800			2	
11	Isiolo	1,260		4			5		Active
12	Busia	1,219		1					Controlled
13	Taita Taveta	1,193		2	200		3	6	
14	Kitui	754		8	2,187			43	
15	Makueni	683	14	9	44,638			5	
16	Homa Bay	571		7					
17	Nakuru	500	43	48					Controlled
18	Kajiado	490		10				5	
19	Kirinyaga	407		1					Controlled
20	Lamu	362							
21	Marsabit	232		4			4		
22	Elgeyo Marakwet	228			250	323			Active
23	Meru	205							Active
24	Machakos	181		5	324			1	Controlled
25	Laikipia	171							
26	Mombasa	120	0	0					Controlled
27	Narok	110		6					
28	Migori	70		13					
29	Embu	65	3	3					
30	Kakamega	60		3					
31	Tharaka Nithi	56	2	3	3,000				Controlled
32	West Pokot	49		1					Active
33	Nyeri	48		1					
34	Uasin Gishu	39	2						
35	Samburu	15		11		8,000			
36	Nairobi		7	2				3	Active
37	Kwale		1	1					
38	Nyandarua			7					
39	Kericho		2	1					
40	Bungoma		1						
Total		50,221	97	186	68,780	27,223	42	97	08 ¹

2. 帕托水壩(Patel Dam)潰壩事件

帕托水壩(Patel Dam)位於首都奈洛比(Nairobi)西北方距離 190 公里處的納庫魯(Nakuru)縣的索賴(Solai)鎮(圖 3)，係帕托莊園主人 Perry

Mansukh Kansagara 所擁有 1,200 公頃農園內的五個灌溉水壩及兩個水塘的其中之一。水壩為 1980 年所建，壩高 30 公尺，面積約 6,667 平方公尺，容量 20 萬立方公尺，主要為農場提供出口至歐洲的玫瑰花卉產業作水源灌溉之用途。本次受害村民多半為此農園裡的員工，從事花卉、咖啡、茶葉等事務。

圖 4 為此次潰壩災害時序。該場潰壩事件發生於當地時間 5 月 9 日晚上 9 時，根據水資源管理局 (Water Resources Management Authority, WARMA) 指出，當下有 7 萬立方公尺的水量一次傾洩而下，一路往下游村落沖去，洪水影響範圍長達兩公里，共奪走 48 條人命，又以幼童及婦女所佔比例為重、超過 500 戶房屋損毀、2,000 人流離失所(圖 5)。其中，Energy 跟 Nyakinyua 是遭摧毀最嚴重的兩個村落。圖 6 為透過 Landsat 8 影像判釋災害前後的水體淹沒範圍，粉紅色代表水體流經過痕跡。

- 5 月 9 日，由納庫魯(Nakuru)縣長 Lee Kinyanjui 擔任災害應變指揮官。
- 5 月 10 日，於 Solai Boys Secondary School 成立一處臨時避難收容所，分配軍方及志工沿著洪水陸路搜救，派遣 15 輛救護車前往災區進行救援，肯亞紅十字會、軍警、國家青年服務團及民眾也陸續

加入救援行動。另外，約有 47 名村民被救出，由縣政府所組成的災害管理小組將倖存者送往 Bahati Sub-County Hospital 及 Nakuru Level Five Hospital。

- 5 月 11 日，為因應雨季持續進行，政府要求該地區其他兩座結構不健全的水壩，透過抽水方式進行排空作為預防。
- 5 月 12 日，肯亞總統指示水資源管理局(WARMA)與縣政府共同協調監督徹查全國水壩安全。
- 5 月 13 日，歐盟人道主義援助辦公室(ECHO)撥出 150 萬歐元資金以幫助受災家庭，用於提供緊急避難處所、生活必需品、食品、飲用水、衛生設施修復、緊急醫療保健與流行病預防等用途。

圖 7 及圖 8 為帕托水壩潰決後災害情形。

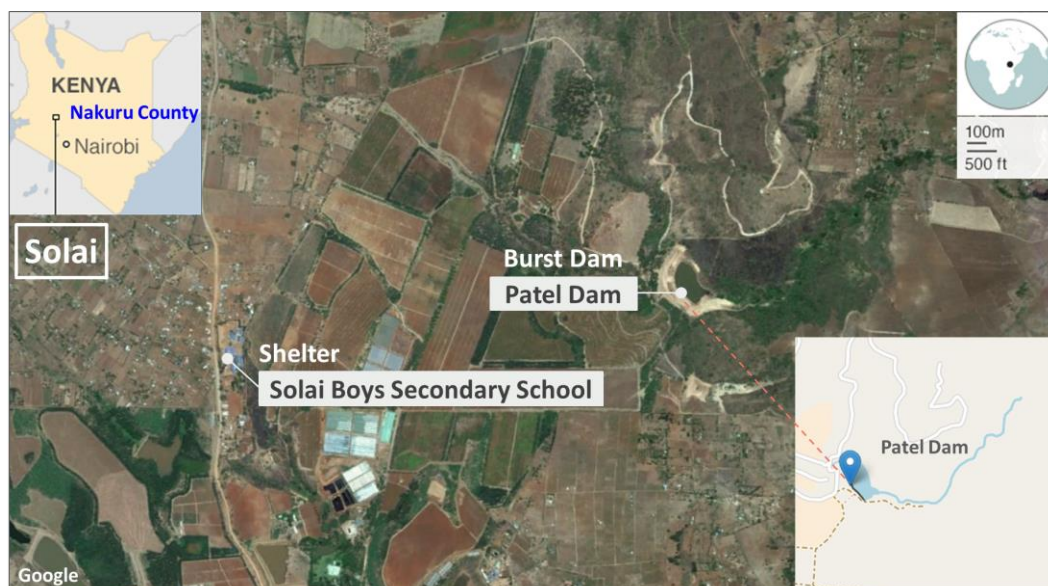


圖 3、災害發生位置(資料來源：國家災害防救科技中心繪製，以下簡稱災防科技中心)

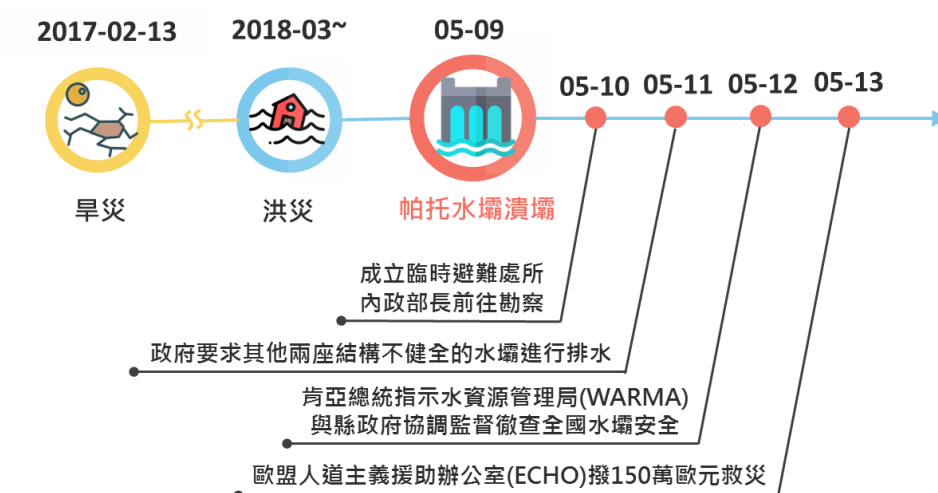


圖 4、肯亞災害歷程(資料來源：災防科技中心繪製)

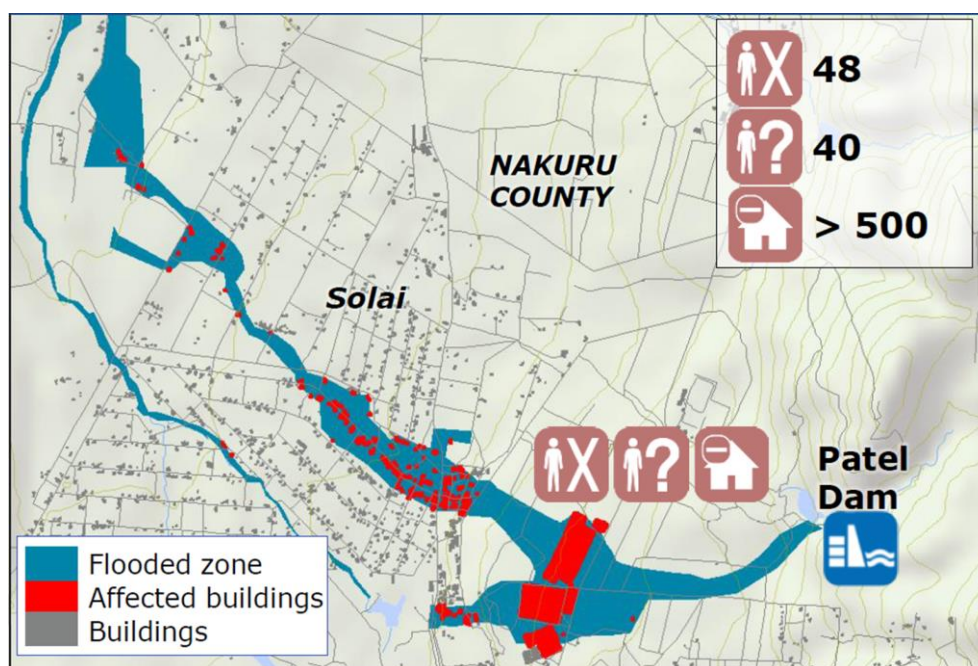


圖 5、壩體潰決後遭淹沒範圍與受影響建築物
(資料來源：肯亞紅十字會)

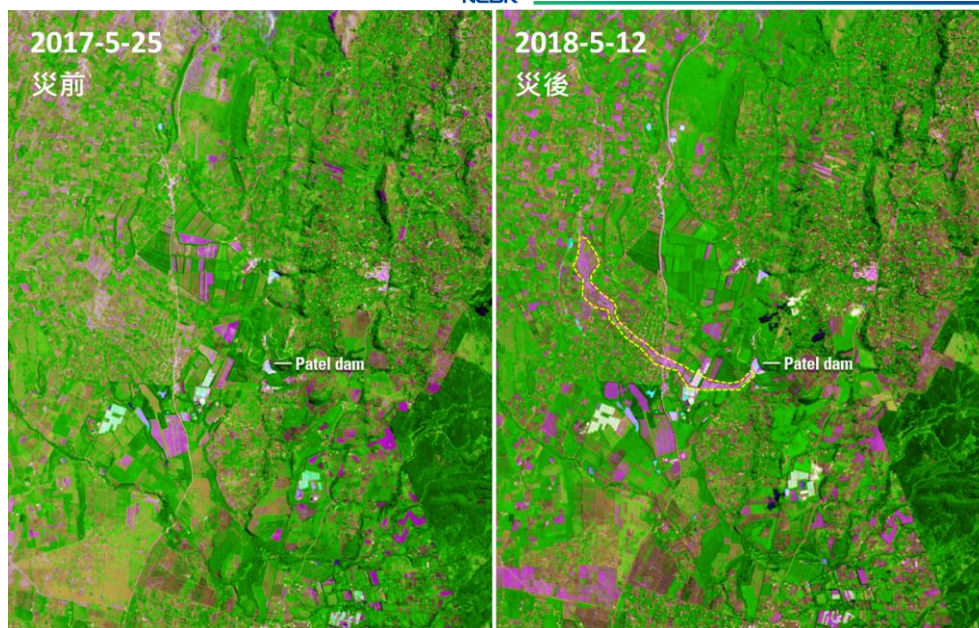


圖 6、透過 Landsat 8 影像判釋災害前後的水體淹沒範圍，粉紅色代表水體流經過痕跡，左圖為 2017 年 5 月 25 拍攝，右圖為 2018 年 5 月 12 拍攝(資料來源：USGS)



圖 7、帕托水壩潰決後情形(資料來源：美聯社、CNN、KBC Channel)



圖 8、帕托水壩潰決後災害情形(資料來源：Thika Town Today)

3. 災因分析

此次發生潰壩災害的原因，大致上可分成三大項：長時間極端降雨、壩體位置與結構問題、私人水壩管理問題，以下將針對各災因進行說明。

(1) 長時間極端降雨

本次災害發生地點位於肯亞的納魯庫(Nakuru)縣索賴(Solai)鎮，納魯庫(Nakuru)的平均年總雨量約 700mm~1200mm，然而，在今年 3 月至 5 月期間的總降雨量就高達到 531.6mm，相較於過往 3 月至 5 月的長期平均降雨量 318.8mm，高出 163%；除此之外，其他雨量測站也都創下新高。而根據當地媒體表示，在事發前兩天內，大壩上游因發生了長延時強降雨，使得壩體上游溪水匯集，挾帶大量的巨石與樹根，沖毀壩體。因此，推測長時間極端降雨是造成此次潰壩的原因

之一。

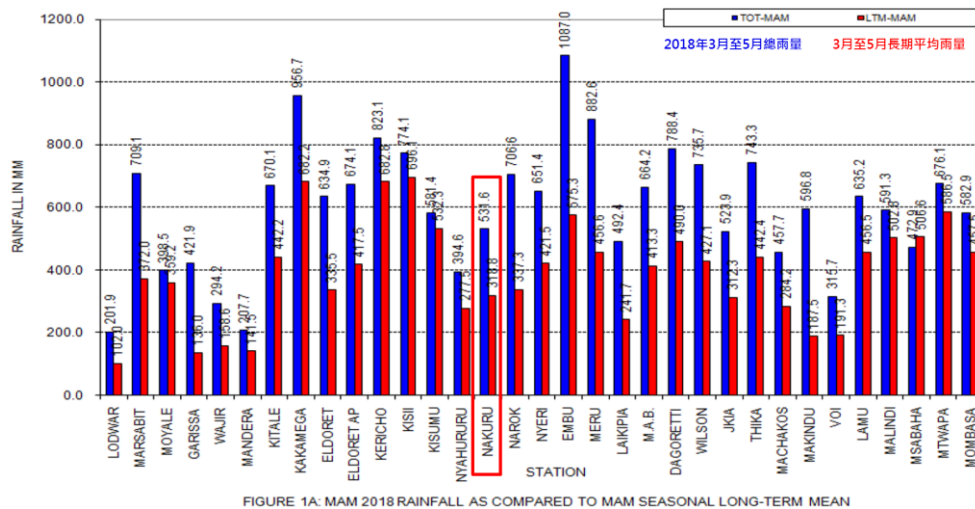


FIGURE 1A: MAM 2018 RAINFALL AS COMPARED TO MAM SEASONAL LONG-TERM MEAN

圖 9、2018 年 3 月至 5 月總降雨量與長期平均比較圖
(資料來源：肯亞氣象局)

(2) 壩體位置與結構問題

重大災害的發生往往不是單一原因所導致而成，此次潰壩除了天氣型態的影響外，再者就是人為因素所致。根據水資源管理局 (WARMA) 的調查報告指出，帕托水壩除違法建築外，也阻攔當地居民用水權益，並且由不符合資格的工程師及有缺陷的設計圖所建造而成，壩體基礎結構薄弱(圖 10)，再加上沒有任何溢洪道等排水設施，於事發前，就有居民多次反應壩體已有裂縫產生與遷移之要求；由於上游暴雨，大量溪水匯集並夾帶巨石與樹樁傾洩而下，加劇了壩體的損壞，係釀成這場潰壩災害的主要原因之一。並且，從調查報告顯示，該地區其他水壩也都有相似的問題存在，而肯亞地區大部分水壩也都

存在設計不良和淤滿問題，不但無法容納更多的水，還累積大量淤泥與垃圾，最多僅能提供小規模農業與牲畜所使用，因此，在乾早期間無法提供當地居民與相關機構水源及飲用水；在雨季期間，更是增加了洪水的風險。

(3) 私人水壩管理問題

根據肯亞水壩統計，全國一共有 4,140 多座水壩，然而，僅有 843 座受到水資源管理局(WARMA)管制，3,297 座私人水壩未受到管制，可見肯亞私人水壩之氾濫，水壩管理法制存在很大缺漏。

根據監督私人水壩的水資源管理局發言人 Elizabeth Luvonga 表示，帕托農場中的水壩皆缺乏合法文件。

在肯亞，凡超過 5 公尺高的私人水壩必須依法受到規範，建構一個私人水壩時首先必須得到政府的許可證，再由水資源管理局(WARMA)進行水資源的配置，且需經過環評才能建造；並且，在建造時必須是由符合資格的工程師監造，後續的水位監控則是由水壩管理者每年向政府回報。且根據當地的法規，目前並沒有限制容量，這麼大的水壩就需要更頻繁的監控，然而監控的責任是在水壩管理者並不是水資源管理局，若水壩管理者沒有回報，政府便對這個水壩一無所知，甚至水壩需要放水時要如何通知下游社區並沒有一標準化的流

程，而身為一個水壩管理者會希望極大化自己的蓄水量，但當水位已滿時災害通常也會隨之而來，這就讓下游民眾無所適從，災害因此發生。

經過此次潰壩事件的慘痛教訓，水資源管理局(WARMA)將徹查全國所有水壩管理者的許可證，以確定其法律地位、穩定性和安全性。任何發現違反規定要求的水壩，都應立即停工，採取法律行動。並要求居住在河流附近的人們搬到較高的地方，並持續發展洪水警報，以避免生命損失，財產破壞和水傳播疾病的擴大。

根據水資源局(Water Resources Authority, WRA)的法律要求，所有大壩所有者和經營者需遵守以下規定：(1)根據可接受的大壩建設和運營標準，進行可行性研究並提交由註冊專業人員準備的項目設計。(2) 國家環境管理局(National Environment Management Authority, NEMA)頒發的環境與社會影響評估許可證。(3)水資源管理局(WARMA)根據可接受的設計和適當的現場調查簽發許可證。(4)工程的施工應由水資源局註冊，並由水資源管理局(WARMA)監督的大壩承包商進行。

另外，根據肯亞人權委員會(Kenya Human Rights Commission, KHRC)的報告顯示，認為政府及相關單位未能對民眾提供即時訊息並

採取行動，因此，應變管理也視為此次災害原因之一。



圖 10、帕托水壩災後壩體情形(資料來源：Standard Digital)

4. 後續發展

肯亞檢察長 Noordin Haji 認為相關單位必須負起責任，如：水資源管理局、國家環境管理局及被委以確保水壩安全的縣政府，他們及水壩管理者並未依法審核水壩。並且，檢察長還更進一步指出大壩的許可證是不定期發放，且根據調查這個水壩是由不符合資格的員工及有缺陷的設計所建造而成。7 月 9 日，水壩管理者 Perry Mansukh Kansagara、農園總經理 Vinoj Jayakumar 及其他六位嫌疑犯以 250 萬先令保釋出獄，其中七個人被控過失殺人，而水壩管理者及該縣水務局局長 Johnson Kamau Njuguna 則被指控過失殺人及疏忽職責，還有未編制環境影響評估等罪名。

後續的防災推動上，政府也指示水資源管理局(WARMA)及國家

水資源保護和管道公司(National Water Conservation and Pipeline Corporation, NWPC)的官方人員前去調查水壩的施工、使用材料及現場測試。不只這個水壩，另外在帕托農場的六個水壩，甚至是全國的水壩都必須接受這樣的測試。

5. 結論

肯亞因私人水壩興建氾濫，過去不乏因壩體結構不穩而導致的潰壩發生，然而，卻因死傷及損失不嚴重，因此，未受到政府及相關單位的重視。此次位於肯亞納庫魯縣(Nakuru)索賴鎮(Solai)的帕托水壩於今年5月9日發生潰壩，一共造成48人死亡、超過2,000人流離失所，影響超過500戶房屋，為肯亞近期最嚴重的潰壩事件，也是肯亞今年雨季期間單一事件中死傷最高的一場。致災原因可歸納為三大項，分別為：(1)長時間極端降雨，(2)壩體位置與結構問題及(3)私人水壩管理問題。肯亞政府也在此次災害後重新省思，除了全面徹查全國水壩結構安全及合法許可證外，也協助原居住在河岸的民眾進行遷移至高處，並持續發展洪水警報，以避免再次釀災。

參考文獻

1. NOAA-CPC
<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/international/eafrica/eafrica.shtml>
2. World bank

http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisCCode=KEN#

3. 肯亞紅十字會 <http://www.redcross.or.ke/landing/>
4. Reliefweb | European Commission
https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/ECDM_20180514_Kenya_Dam_Floods.pdf
5. 維基百科 https://en.wikipedia.org/wiki/Patel_Dam_failure
6. Citien digital
<https://citizentv.co.ke/news/killer-solai-dam-boss-finally-speaks-199922/>
7. NASA
<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/nasas-imer-g-shows-devastating-rainfall-over-east-africa>
8. USGS
<https://eros.usgs.gov/image-of-the-week/solai-dam-tragedy-kenya>
9. Standard digital
<https://www.standardmedia.co.ke/article/2001279940/mysterious-man-sukul-patel-owner-of-the-killer-dam>
<https://www.standardmedia.co.ke/article/2001282391/government-reveals-location-of-solai-dam-exposed-locals-to-danger>
10. TopFarmer
<http://topfarmer.co.ke/this-is-the-billionaire-man-behind-the-solai-dam-tragedy-photos/>
11. CNN
<https://edition.cnn.com/2018/05/10/africa/kenya-dam-burst/index.html>
12. AP <https://www.ap.org/en-us/>
13. BBC <https://www.bbc.com/news/world-africa-44082423>
14. KBC Channel <http://www.kbc.co.ke/>
15. Thika Town Today <http://www.thikatowntoday.co.ke/>
16. Daily Nation
<https://www.nation.co.ke/counties/nakuru/Angry-Patel-Dam-washes-a>

way-sleepy-village/1183314-4555696-6danr9z/index.html

<https://www.nation.co.ke/counties/nakuru/Patel-dam-owners-charged-with-manslaughter/1183314-4648376-nrn2qh/index.html>

17. The New York Times
<https://www.nytimes.com/2018/05/10/world/africa/kenya-dam-break.html>
18. REUTERS
<https://www.reuters.com/article/us-kenya-floods/kenyan-rose-farm-dam-bursts-sea-of-water-kills-47-idUSKBN1IB0JJ>
19. ALJAZEERA
<https://www.aljazeera.com/news/2018/05/search-survivors-deadly-kenya-dam-collapse-180511054548148.html>
20. The Guardian
<https://www.theguardian.com/global-development/2018/may/10/dozens-killed-many-feared-trapped-kenya-patel-dam-bursts-rift-valley>
21. Floodlist
<http://floodlist.com/africa/kenya-floods-dam-break-nakura-may-2018>
22. QUARTZ
<https://qz.com/1271077/floods-in-kenya-somalia-displace-hundreds-of-thousands/>
23. All Africa <https://allafrica.com/stories/201805250073.html>
24. Business insider
<https://www.pulselive.co.ke/bi/politics/more-than-3-000-kenyan-dams-lack-safety-permits-id8604979.html>