

颶風哈維(Harvey)對德州衝擊影響

傅鏗漩¹、林美君²、謝蕙如³、許智豪³、黃柏誠⁴、張志新¹

國家災害防救科技中心

¹坡地與洪旱組 ²體系與社經組 ³地震與人為組 ⁴氣象組

摘要

2017 年 8 月颶風哈維(Harvey)造成美國德州(Texas)及路易斯安那州(Louisiana)嚴重災情，包括降雨導致淹水、暴潮溢淹和河川水位暴漲等，同時也重創石化工業，使得德州七個沿海城鎮和路易斯安那州一城鎮被下令強制撤離，部分地區自主性撤離(圖 1)[1]，以降低災害衝擊。截至美國當地時間 11 月 1 日止統計，死亡人數達 89 人，大多為洪水淹沒造成死亡。根據德州公共安全部(Texas Department of Public Safety, DPS)表示：共有 1,300 萬人受影響，5.7 萬棟房屋摧毀，救助人數達 1 萬人以上。初步估計災害損失達 580 億美金(資料來源 EM-DAT)。災害發生當下(9 月 1 日)美國白宮向國會提出哈維緊急援助計畫，協助受災地區重建工作。

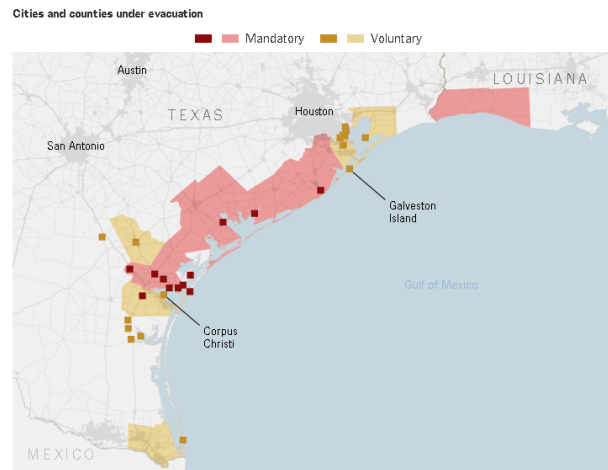


圖 1 德州和路易斯安那州 8 月 25 日強制撤離與主動撤離區域

(資料來源：The New York Times)[1]

一、 颶風概述

熱帶風暴哈維(Harvey)8 月 17 日於大西洋上生成，8 月 18 日穿過聖文森(St. Vincent)，進入東加勒比海後逐漸減弱為低壓往西北方向前進穿過猶加敦半島(Yucatan Peninsula)，8 月 23 日進入墨西哥灣後，溫暖的海水讓哈維又逐漸增強為熱帶擾動，在 8 月 24 日增強為 1 級颶風(約等同於中度颱風)，並在 8 月 25 日增強為 3 級颶風(約等同於強烈颱風)並持續往德州前進，當日稍晚又繼續增強為 4 級颶風，並在德州時間 8 月 25 日晚間經過聖荷西島(San Jose Island)後於羅克波特(Rockport)首次登陸，登陸後迅速減弱為熱帶風暴，由於缺乏導引氣流，哈維並沒有持續往內陸前進，反而持續滯留在德州南部及東南部地區並降下豪雨，至 8 月 28 日後才又出海，並在 8 月 30 日再度登

陸路易斯安那州卡梅倫(Cameron)，至 8 月 31 日才減弱為熱帶擾動，並往東北前進。颶風哈維移動路徑如圖 2。

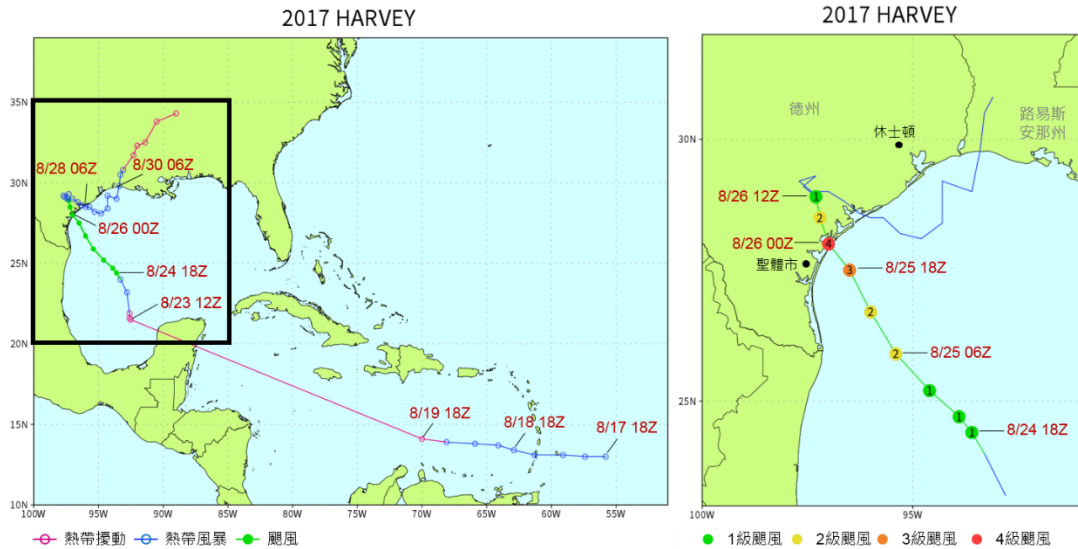


圖 2 颶風哈維移動路徑圖，左圖為颶風哈維完整路徑，右圖為黑色粗框範圍內之路徑。圖上時間為世界標準時間 UTC，台灣時間 UTC+8、德州時間 UTC-5(資料來源：美國國家氣象服務 National Weather Service) [4]

颶風哈維在登陸前後(8 月 25 日)在颶風眼周圍地區帶來強陣風及風暴潮，在登陸地點聖荷西島的 Port Aransas 測得最大陣風達 132mph(17 級風、59Km/hr)，在羅克波特的 Copano Village 也測得 125mph(16 級風、55.8Km/hr)的強陣風，因此，在哈維颶風眼向外延伸 100 英里(161 公里)內之建築物為此次風災最嚴重的區域，造成當地房屋及基礎建設嚴重毀損。

在潮位部分，最高的風暴潮發生在登陸點最近的潮位觀測站 Lavaca 港，在當地時間 8 月 26 日測得之海表面高度達 2.319 公尺(7.608

英尺)，如圖 3 所示，也造成周遭區域嚴重的暴潮溢淹。

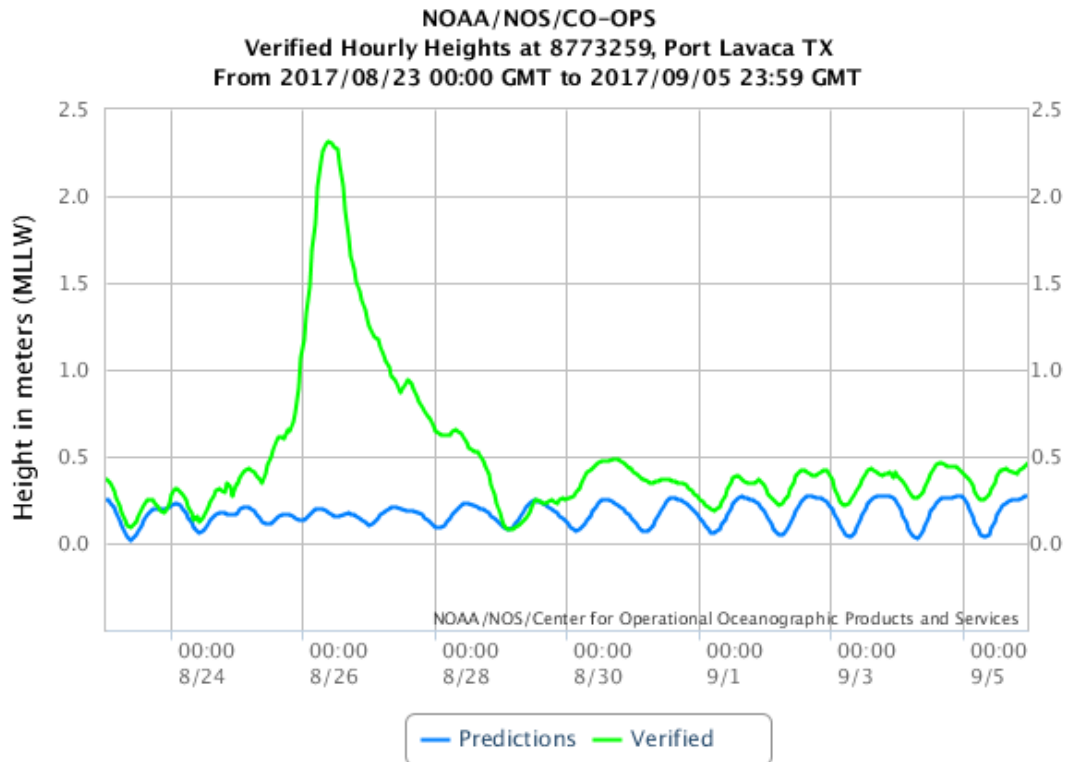


圖 3 哈維登陸前後 Lavaca 港潮位歷線圖

(資料來源：NOAA Tides & Currents) [2]

颶風哈維在德州滯留了數天，部分地區在 48 小時內降下了 40 英寸(約 1,016 毫米)的雨量，在休士頓東側的 Cedar Bayou 測站 8 月 25 日~8 月 29 日累積雨量達 51.89 英寸(1,317 毫米)如圖 4，破了美國本土由熱帶氣旋造成的降雨紀錄(全美最高紀錄是 52 英寸(1,320.8 毫米)，1950 在夏威夷)，約等於德州休士頓地區的年平均雨量(50.64 英寸；1,286 毫米)，因此在德州東南部地區尤其是大休士頓地區造成了嚴重的淹水災情。8 月 21 日至 8 月 30 日德州南部及東南部地區累積雨量圖如圖 5。

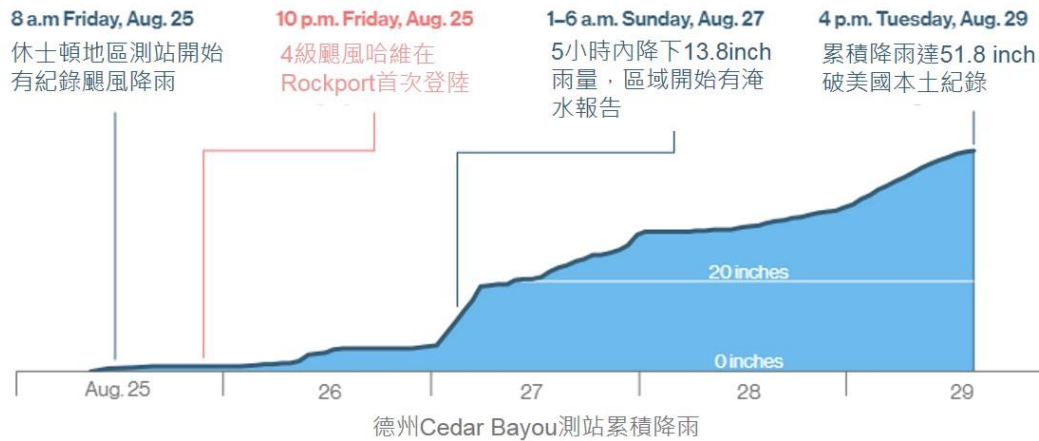


圖 4 德州 Cedar Bayou 測站 8 月 25 日至 8 月 29 日累積降雨圖，圖上時間為美國德州時間(資料來源：National Geographic) [3]

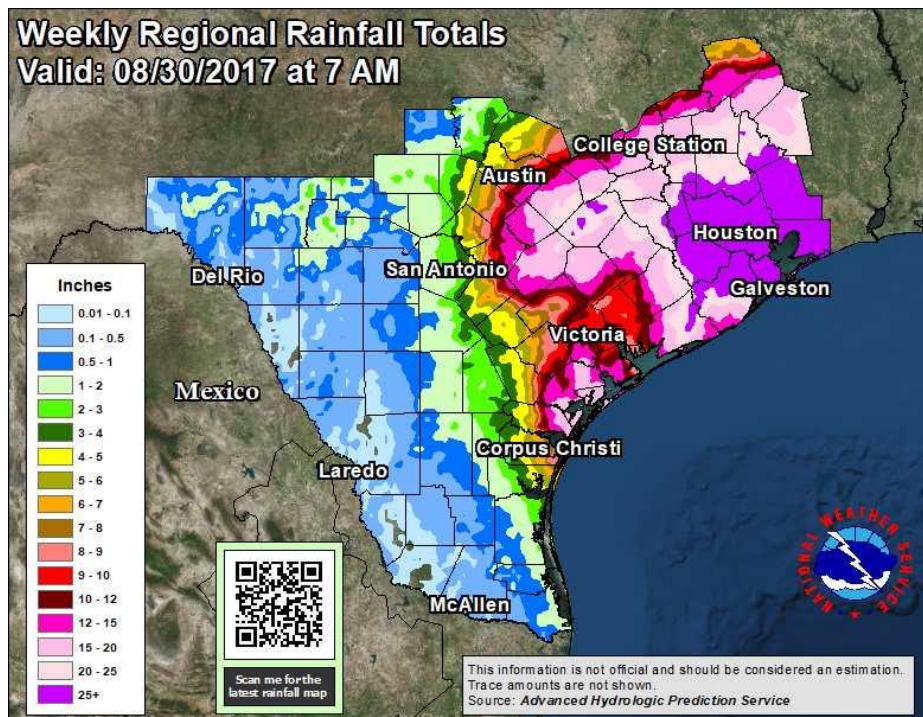


圖 5 8 月 21 日至 8 月 30 日哈維颶風累積雨量圖(資料來源：美國國家氣象服務 National Weather Service) [4]

二、 災害歷程與衝擊影響

2.1 災害歷程

本研究蒐集哈維颶風災害歷程，包括：颱風經歷、降雨、河川水

位、水庫放水、潮位、德州應變層級、應變作為等，繪製成災害歷程，如圖 6 所示，圖中可以看出颶風發展導致降雨滯留時間，河川水位與水庫放水持續加高河川水位問題，從一開始的淹水災害衝擊到後續水電中斷、陸空交通受阻、石化業的產能受影響等。

災害初期根據美國國家航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)利用 SMAP 衛星(Soil Moisture Active Passive, SMAP)分析土壤水份狀態，在哈維颶風登陸前 8 月 21 日至 8 月 22 日之間影像(圖 7 左)及 8 月 25 日至 8 月 26 日間登陸時的影像(圖 7 右)，從圖中可得知：登陸前地表濕度大約處於 20%-40%範圍內，由於颶風侵襲期間，地表含水量迅速提高，因此，持續的降水入滲偏低，導致增加地面逕流情況。

接下來，從災害歷程中(圖 6)可以看到 8 月 25 日至 8 月 26 日間海邊暴潮溢淹，中下游河道已經溢流，27-28 日期間雨勢最大，河道持續溢淹。而颶風侵襲期間，降下大量雨水，德州境內水庫、湖泊處於高水位狀態，包括：哈里斯郡境內 Addicks Reservoir、Barker Reservoir、休士頓湖(Lake Houston)以及位於哈里斯郡北側的蒙哥馬利郡(Montgomery)的康羅湖(Lake Conroe)(圖 8)，皆在哈維颶風登陸後，水位達到最高，所以水庫和湖泊管理局，基於水工構造物安全原

則，陸續排洪放水。康羅湖 27 日調節排洪(表 1)，28 日周邊民眾因排洪遭受淹水，地方政府疏散民眾至其他社區，並於 28 日 10 時排洪量達 79,100 cfs，大量洪水經聖哈辛托河(San Jacinto)往南流入休士頓湖，此時休士頓湖無法承受上游洪水量，於 29 日開始排洪。休士頓東側已溢流的河水，又因排洪洪水遞增，加劇下游淹水情況。休士頓西側 Addicks 水庫和 Barker 水庫於 28 日調節放洪，但 29 日抵擋不住強烈降雨，Addicks 水庫因入流量大於出流量而溢流，這是水庫建造 70 年以來第一次發生溢流情況。而 Barker 水庫也在 30 日發生溢流，使得鄰近的 Eldridge North 社區慘遭淹沒，洪水經布法羅河(Buffalo Bayou)溢淹至休士頓市區，不僅淹沒休士頓低窪地區，連東西向的 10 號州際公路也被淹沒(圖 9)。圖 10 和圖 11 分別為衛星影像和休士頓拍攝的災前與災後比較圖。

哈維颶風災害歷程

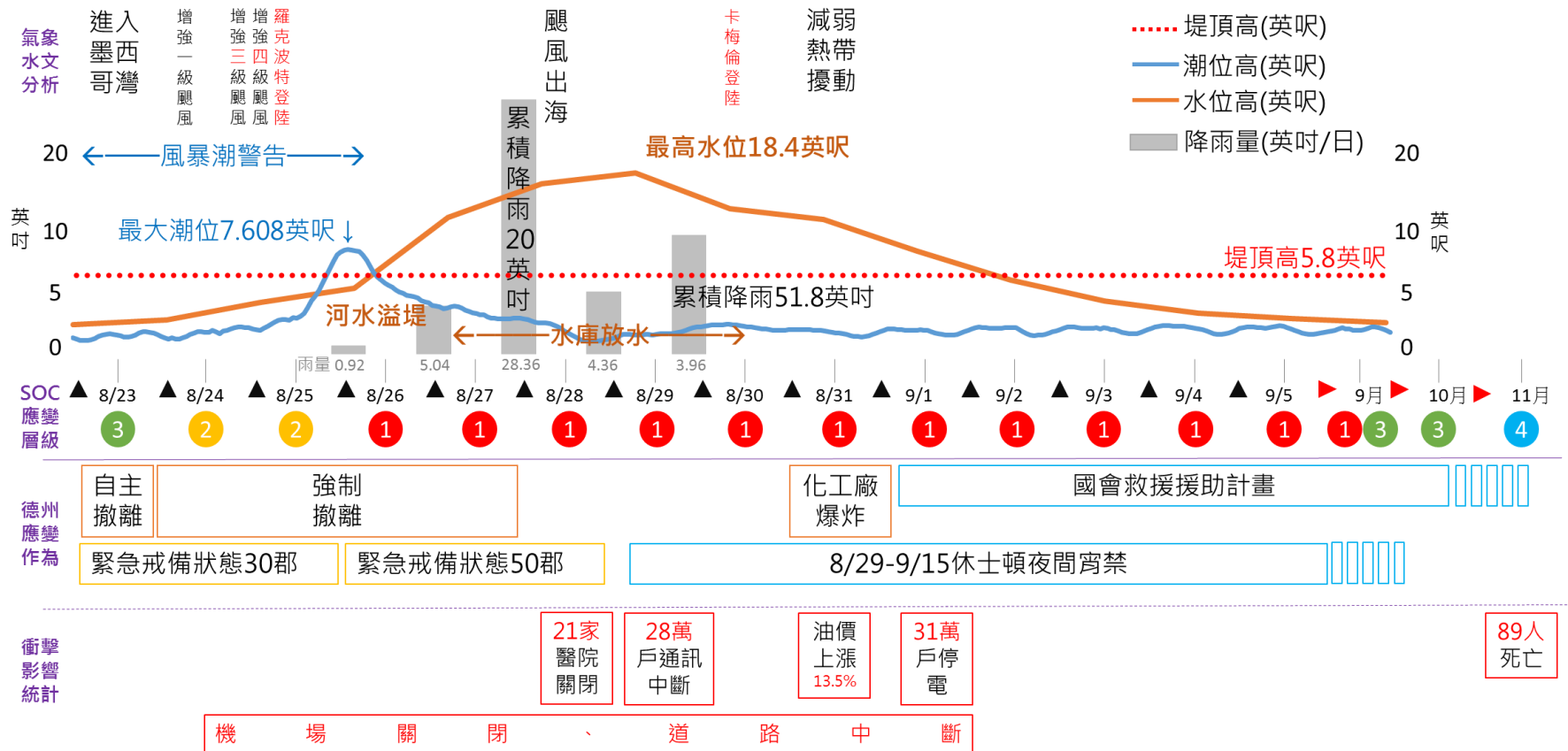


圖 6 哈維颶風災害歷程(資料來源：災防科技中心繪製)

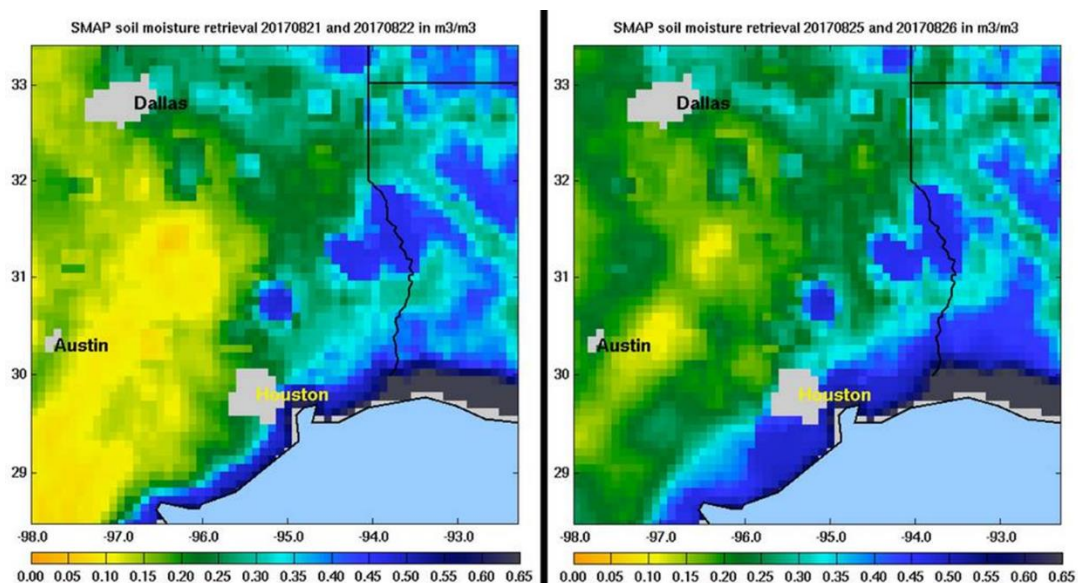


圖 7 SMAP 衛星研判哈維颶風登陸前後土壤濕度
(資料來源：NASA) [5]



圖 8 休士頓週邊水庫或湖泊位置圖(資料來源：google map) [6]



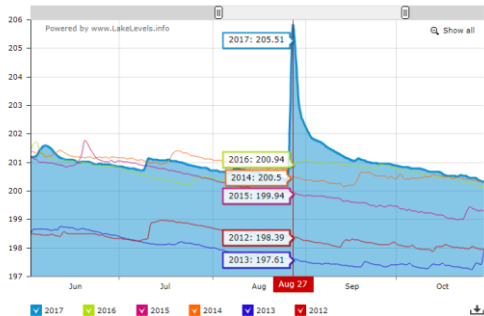
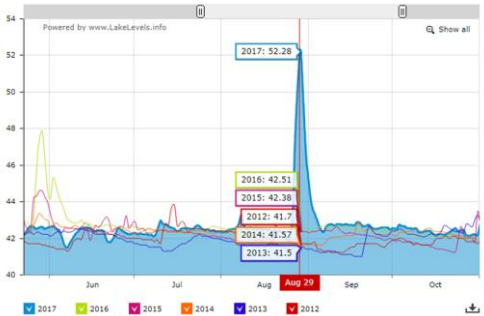
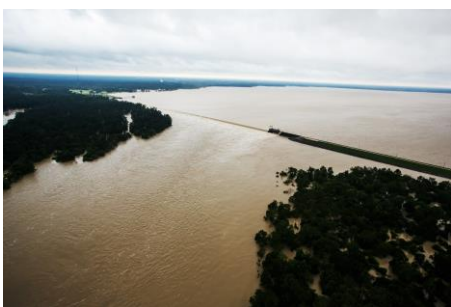
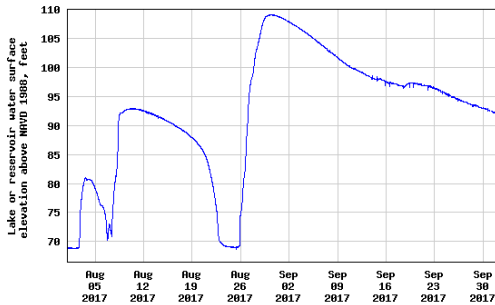
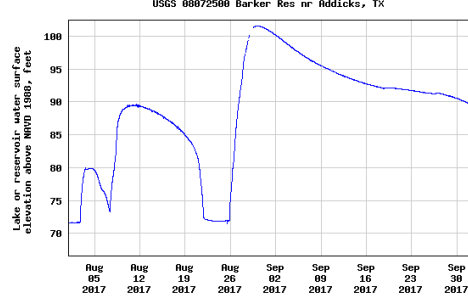
圖 9 休士頓東西向 10 號州際公路被淹沒
(資料來源：Pay Wall New) [12]



圖 10 哈維颶風災前(左)與災中(右)衛星影像(深藍色為水體)
(資料來源：NASA) [5]



圖 11 哈維颶風休士頓災前與災中照片(資料來源：WIRED) [13]
表 1 休士頓週邊水庫或湖泊水位歷線雨排洪實景(資料來源：USGS、LAKE LEVELS、Los Angeles Times、Houston Chronicle) [7] [8][9] [10][11]

水庫或湖泊	水位歷線	排洪實景
Conroe Lake		
Houston Lake		
Addicks Reservoir		
Barker Reservoir		

2.2 洪災凸顯的社會現象探討

華盛頓郵報此次針對 450 萬人的休士頓受淹地區進行分析，根據統計顯示：人口主要集中在南中心區，而該區水位深度約 8 英尺；沒有車的家戶集中東北區和南中心區，雖然居民接收疏散避難的訊息，仍無法自行至避難所避難，必須靠警察或軍人協助；65 歲以上人口集中在南中心區和南區西側，該區正是水庫洩洪溢淹地區；有 1/3 的兒童居住在貧窮的社區，主要集中在東北部區，該區水位深度記錄約 6 英尺；無法用英語溝通地區以西班牙語人士居多，其主要分布在休士頓中心北邊之東北區，該區河道已溢淹，對於災害避難更加困難，其水位高度約 11 英尺。

哈維颶風侵襲期間，安養機構與醫院有病患在疏散運送間死亡之案例，社群媒體也發布安養院之老人被淹沒在洪水中的情況(圖 12)，此次安養院在災害尚未淹水情況下，院方工作人員已發出尋求協助疏散，但時間點仍延遲，安養院周邊已被洪水淹沒，改為停止疏散撤離；另外，也有海軍協助進行弱勢族群撤離時，院方卻不願意撤離，產生救難與被救不同調的現象。根據德州衛生保健協會(Texas Health Care Association)的統計[14]：在哈維侵襲前後共有 160 多所安養院共有 4000 名老人需要被疏散安置，另有 3.3 萬病人在避難所。

對於大規模洪水災害中，避難正確的時間是否合宜引起熱烈討論，自 2005 年卡翠娜颶風侵襲後，明確知道疏散可能帶來的挑戰和問題，近年來的災害中又重視避難疏散，但當地安養院並無完整疏散計劃作為，即使有疏散計劃，亦以火災疏散避難為主。



圖 12 哈維颶風水淹安養院照片(資料來源：TWITTER) [16]

2.3 關鍵基礎設施衝擊

哈維颶風侵襲期間，對於電力、通訊網路、交通、醫療及石油與天然氣等基礎設施造成巨大衝擊，亦間接及直接造成民生需求及政府運作中斷。以下就哈維颶風對於電力、通訊網路、交通、醫療及石油與天然氣等之衝擊進行說明。

➤ 電力

根據美國能源局(U.S. Department of Energy)報告顯示，截至 9 月 1 日統計，哈維颶風造成電力損失如下：德州 292,704 戶(占州總戶數

2.5%)、路易斯安那州 9,116 戶(占州總戶數<1%)，田納西州 17,668 戶(占州總戶數<1%)[17]。部分電力設施雖於災前即展開防護作業，例如：South Texas Project Nuclear Operating Company (STPNOC)公司在哈維颶風來襲前進行核能發電廠安全防護工作，以確保營運安全[18]。但大部分電力設施仍因颶風而停擺，間接影響其他關鍵基礎設施運作，包括供水系統、醫療設施，與交通設施等，不僅讓救災難易度提高，復原工作造成延遲等狀況。

➤ 石油與天然氣設施

哈維颶風帶來強勁的風勢與雨量，使休士頓地區煉油廠區淹水(圖 13)造成電力設施停擺，亦阻礙油氣運輸。而位於德州墨西哥灣岸的煉油廠也紛紛關閉，其影響全國 22%的煉油能力，嚴重打亂國內提供石油和天然氣運輸網絡。「乙烯」是最重要石化原料，而哈維災情使得關閉 61%的乙烯產能¹(占全球約 9%)，連帶的影響全球化工市場銷售額 40%，風災過後全產生產，但僅能供應美國需求[19][20]。由於美國石化工業出口量減少，全球相關產業報價已開始上漲。

德州墨西哥灣沿岸煉油廠於颶風過後重新啟動，然洪水堵塞重要管道，仍無法順利運輸，迫使部分煉油廠仍須關閉數週[21]。美國的能源重鎮德州經濟預估損失預估達 240 億美元，2016 年德州經濟由

¹ 德州乙烯產量占全美國 75%，而美國乙烯產量占全球 20%。

低迷油價中復甦，然哈維颶風再度讓休士頓承受巨大的經濟損失[22]。而普氏能源資訊(S&P Global)也指出，煉油廠被迫停工狀況持續擴大，煉油產能每日減少全美煉油產能 11%。汽油價格大幅上漲，08 月 31 日美國批發汽油上漲 13.5%，漲幅為兩年新高，漲幅超過 1/3[23]。

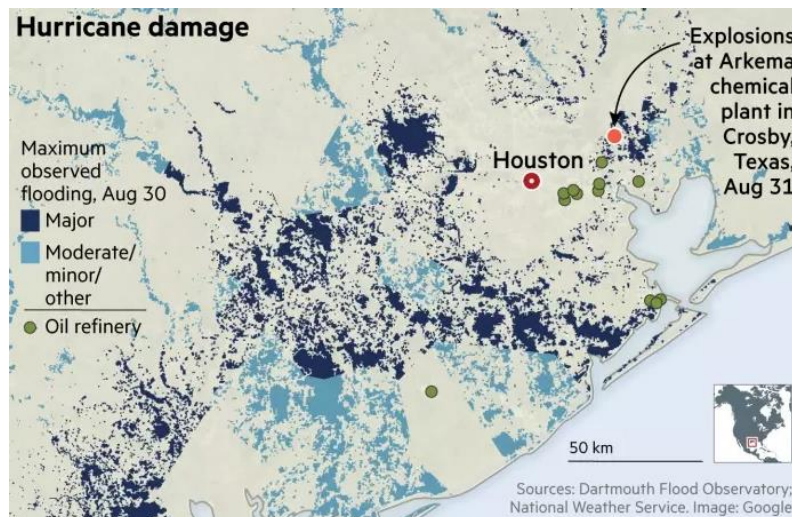


圖 13 休士頓地區煉油廠區之淹水分布狀態(資料來源：Dartmouth Flood Observatory, National Weather Service) [21]

➤ 通訊與網路

依據聯邦通訊委員會(Federal Communications Commission, FCC)資料顯示，截至 8 月 29 日通訊與網路設施約有 28 萬用戶受影響，主要分布在路易斯安那州與德州地區之用戶[24]。颶風破壞德州區域內通信基礎設施，造成州區少數 911 Call 中心無法運作。迫使救難人員和民眾沒有能力交流重要信息，民眾災情傳達管道可能受阻、災防單位無法有效掌握即時災情等。

➤ 供水

受哈維颶風衝擊，德州博蒙特市(Beaumont)主要進水泵站淹水損壞，約 12 萬位居民面臨無水可用的困境。德州環境保護委員會(TCEQ)表示，淹水期間當地工業設施與污水管路發生洩漏事件(圖 14)，造成水資源含有毒化學物質，直接影響民生用水健康[25]。因污水管路斷裂及洩漏，以致水源含有化學物質，影響民生用水安全。因此，德州博蒙特市居民湧入超市採購桶裝水及民生用品。

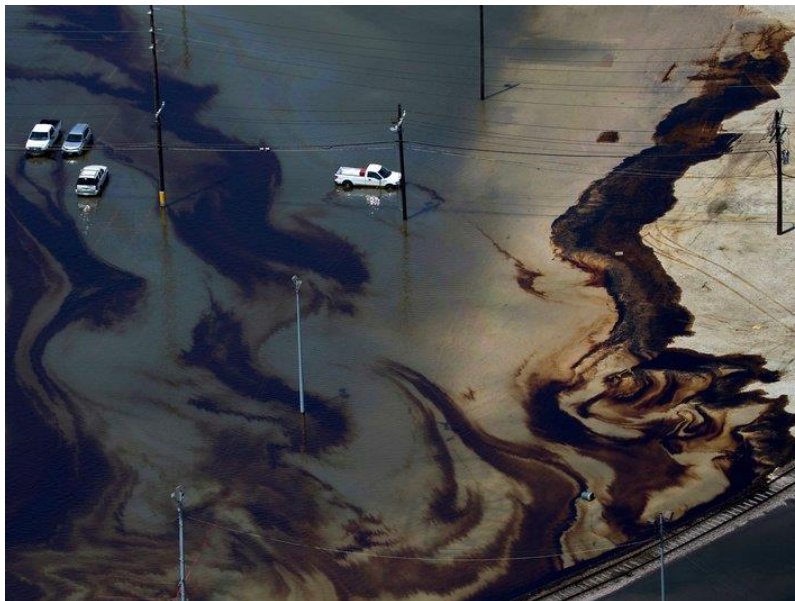


圖 14 工業設施與污水管路發生洩漏造成水源汙染
(資料來源：USA Today) [26]

➤ 交通

哈維颶風挾帶豐沛雨勢，德州東南部與休士頓地區 290 多條道路封閉、州際公路，以及博蒙特至休士頓主要聯絡道路 U.S.-90 高速公路等均因淹水關閉(圖 15)，相鄰地區的數十個小鎮成為孤島。此外，

交通號誌毀損無法正常運作，影響交通秩序，公路與橋樑路基也受洪水沖蝕造成坍塌無法通行。德州 Rosenberg 市一處橋樑(FM-762)即因洪水而坍塌，當地機關緊急封閉該橋樑設施。於空運部分，Houston George Bush 國際機場與 Hobby 機場停止飛航營運，統計約 800 航班受影響。陸運方面，於哈維颶風來襲期間休士頓地區鐵路系統也均停止營運[27]。由於市區內因道路淹水，以及主要港口關閉，造成原物料無法送抵廠房，完工品亦無法出貨，進出口財物損失影響甚大。而重大醫療事件、廠區災害事故，也因交通設施受阻無法執行勤務或需花費較長時間抵達現場排除。

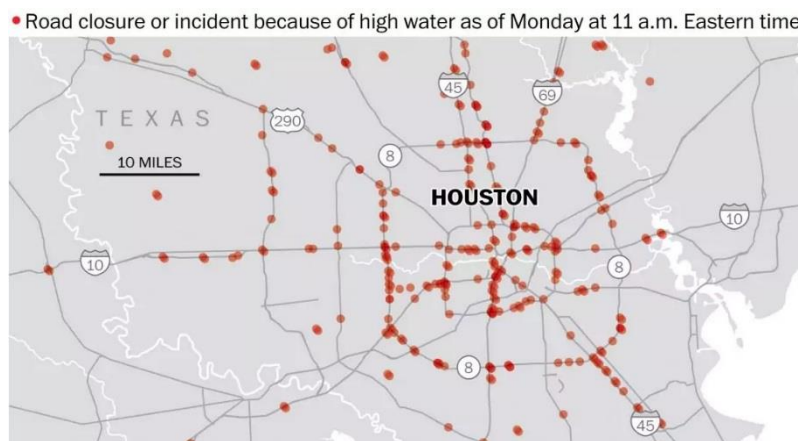


圖 15 哈維颶風釀成德州災難性淹水，多處道路封閉

(資料來源：Houston TranStar) [28]

三、應變體制與作為

3.1 德州應變中心介紹

德州公共安全部門(Texas Department of Public Safety)下的德州緊

急管理司(Texas Division of Emergency Management, TDEM)是專責應變與處理緊急災害或事件。TDEM 轄管州應變中心(State Operational Center, SOC)，SOC 主責處理州的警戒狀況，透過通訊接收與傳播對相關資訊，如區域的警戒狀況、國家和地方遭受的威脅警告。監測國家整體的緊急狀況，提供聯邦、國家和地方官員關於其威脅、警戒等資訊。SOC 亦協調與處理緊急情況下所取得的地方政府或國家援助，每年約處理 3,000 至 4,000 次的緊急事件。SOC 緊急應變層級(Emergency Response Level)與對應之應變作為，如表 2 所示。

表 2 SOC 之應變層級與其應變作為
(資料來源：德州緊急管理執行指導手冊)[29]

緊急應變層級	狀況	應變作為
4	平常 (Normal Conditions): 沒有明顯且緊急事件發生。	● 日常的運作州應變中心，進行維護與管理設備 ● 監測近期天然災害或國土安全威脅狀況 ● 處理或解決發生在當地的緊急事件
3	準備就緒(Increased Readiness Conditions): 有尚未發生的明顯緊急災害事件，該災害會增加危害脆弱度，此階段是高於平常的準備與整備。	● 日常運作且通報州應變中心的管理者 ● 諮詢的通報需要檢送至州緊急管理委員會和相關單位、機構等，去呈現與說明預期風險或潛在衝擊狀況。 ● 增加協調或合作狀況
2	提升應變 (Escalated Response Conditions): 緊急情況的範圍超出了當地的應變措施。	● 州應變中心藉由日常操作過程、事件狀況等，提升應變能力 ● 增加緊急應變能力，如人員、延長應變時間與強度 ● 增加可能相互支援的緊急援助資源 ● 適當的機關單位，能夠闡述當前災害狀況與預期的衝擊
1	緊急狀況 (Emergency Conditions): 事件嚴重情況的範圍超出了當地機構或單位可處理的應變	● 事件發生期間，透過全力動員持續進行應變 ● 州應變中心執行德州支援請求(Stat Texas Assistance Request, STARs)和公布狀況報告 (SITREPs) ● 當地方行政管轄區若請求資源時，州應變中心需進行

能力。	協調支援和尋求州內的相互支援
-----	----------------

SOC 運作內容的相關內容如下：(1)全年 24 小時運作，專責處理州的警戒點、維護管理，(2)專責州的警戒點，(3)協調當地政府的援助狀況，(4)保持狀況的認知，(5)狀況報告，(6)處理德州的援助申請(State of Texas Assistance Request, STAR)程序。

針對重大的進行災情綜整、該緊急災害事件下的各部會支援、資源調度與應變作為，會一併記錄於狀況報告(Situation Reports, SITREPs)，並發佈於德州公共安全部門的官網，以利於民眾周知。同時，官網也公布災害綜整摘要(Disaster Summary Outline, DSO)，說明災區所屬郡縣、或市的事件發生時間點、損失金額、接受公共支援類型的數量等，具體呈現緊急事故或災害所致的損失程度，作為後續申請災後重建所需的參考。

3.2 哈維颶風狀況報告

針對哈維颶風，以下簡述德州之州狀況報告的公布頻率與內容。從 8 月 23 至 10 月 4 日，狀況報告的發佈頻率為一天一報，發布時間為早上七點，10 月 4 日後發佈頻率為 3 天一報，截至 11 月 1 日，哈維颶風事件總計發共發布 55 個狀況報告。州狀況報告的項目高達十項以上，本研究將狀況報告的項目內容分成三大類，分別為基本資料、整備與應變階段，對應重點項目關係，如圖 16 所示。同時，狀

況報告會視實際災情或衝擊狀況，在狀況報告中增減項目並發佈(粗體部分，即為必有項目)。

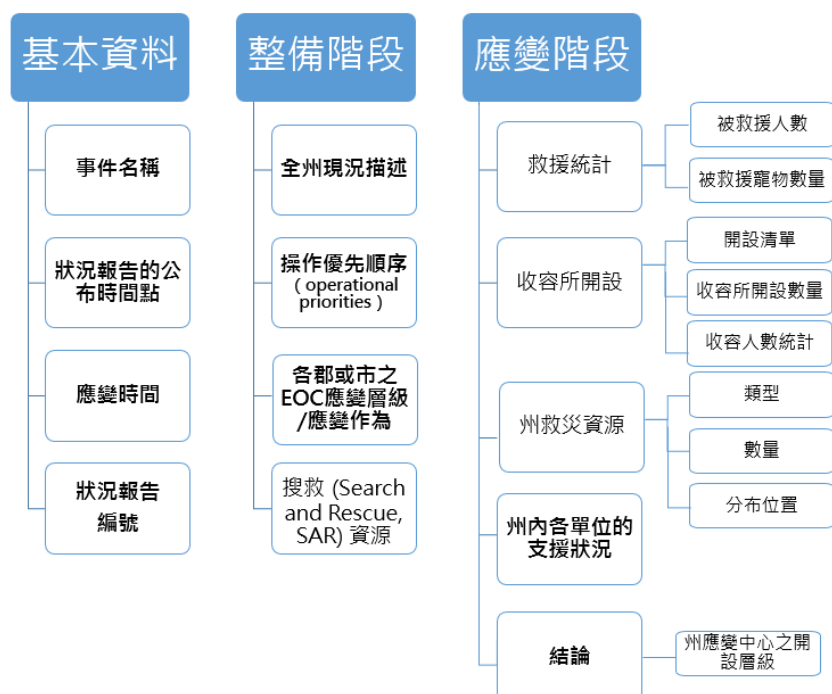


圖 16 德州狀況報告之內容(資料來源：災防科技中心繪製) [29]

根據圖 16，明瞭 SOC 鉅細靡遺之應變作為，特別於整備與應變階段。以下略以哈維颶風為例，摘述狀況報告(SITREPs)中整備與應變階段的必要項目，重點如下：

1. 德州現況描述(Statewide Current Situation)：描述颶風造成的衝擊與影響，如降雨量、淹水地區、風速等。說明哪些郡縣或市被列為災區與其援助狀況。
2. 操作優先順序：以當時的緊急狀況的嚴重性，訂定應變操作的優先順序。以 8 月 25 日 SITREPs 為例，SOC 應變層級為第一級，

應變操作優先順序分別為：(1)保護生命與財產；(2)快速支援與有效的應變；(3)蒐集和發布緊急事件相關的資訊，以協助決策；(4)確實追蹤與收集緊急事件後所需要的復原資源與成本。

3. EOC²應變層級/應變作為：SITREPs 詳細記載各郡縣或市的 EOC 應變層級，假如 EOC 層級為第四級，乃是平時狀態，不會被列入於 SITREPs 內。主要記錄 EOC 提升的應變層級，屬於三、二或一級狀態。若某 EOC 所轄管之地區有發布自願撤離(voluntary evacuation)、強制撤離令(mandatory evacuation order)、疏散區域等資訊一併被列入。
4. 州內各單位支援狀況：根據緊急支援功能(Emergency Support Functions：ESF)相關的德州各單位(如交通運輸部、教育部、健康服務部、住宅和都市發展部等)在 SITREPs 當期的應變時段內，所提供的人力或資源調度、協商狀況據實記錄。
5. 結論：紀錄 SOC 當時的應變層級。

最後，SITREPs 非必要項目包括：搜救資源、救援統計、收容所開設、州救災資源等。根據哈維颶風所致衝擊與危害程度，記載項目與羅列資訊，視實際情況有所調整。對於防救災機具數量與位置可能受到調度、或其他單位支援等因素，造成數量變動大，故暫不進行整

² 德州各郡縣或市的應變中心(Emergency Operational Center, EOC)

理，彙整 SOC 應變歷程的重要資訊如後。

3.3 各郡縣或市 EOC 開設狀況說明

彙整哈維颶風事件之德州狀況報告(8 月 23 日至 11 月 1 日)，EOC 三、二與一級數量之時間軸變化，如圖 17 所示。SITREPs 指出 8 月 23 日 SOC 的應變層級為三級，8 月 23 日 SOC 應變層級提升至二級，在同日的下午 1 時提升為一級。圖 17 描述哈維颶風的 SITREPs 各時間點 EOC 在不同應變層級之數量，在 8 月 23 日後 EOC 數量急遽增加，直到 8 月 28 日顯示 EOC 數量為高峰，數量為 83 處，以德州全州有 254 個郡縣而言，EOC 數量約占全州的 1/3。在 8 月 29 日時，川普總統為了避免分散救災人力進行維安工作，以視察德州救災作業情況取代至災區視察。在 9 月 5 日至 9 月 7 日則又出現第二波的 EOC 數量高峰，EOC 數量約 50 處左右，所占比率為 1/5。在一級 EOC 的序列中，顯示 8 月 28 日一級 EOC 數量為 39 處，約德州 15%，隨著哈維颶風減弱，EOC 一級數量呈現遞減趨勢，在 9 月 22 日起則沒有一級 EOC。二級 EOC 數量的時序趨勢，與一級 EOC 狀態相同，二級 EOC 數量至多為 17 處，時間點為 8 月 28 日。隨著颶風減弱狀態，EOC 應變層級多降至三級狀態，截至 11 月 1 日之 SITREPs，三級 EOC 仍有 4 處。

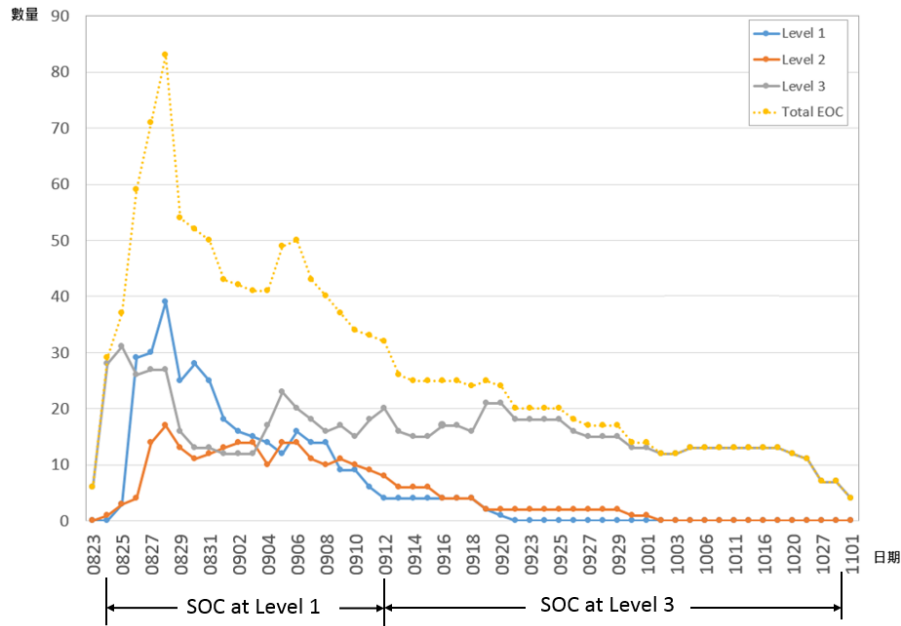


圖 17 EOC 處於 一、二與三級數量之時序圖
(資料來源：災防科技中心繪製)

3.4 避難收容所與收容人數統計

在 SITRETs 中，避難收容處所開設陸續從 8 月 26 日(第四報狀況報告)開始，初期各郡縣之避難收容處所(如學校、紅十字會轄管避難所、體育場館、教會等)開設資訊(如地址、收容人數)皆詳細記載於報告中，中後期避難收容資訊，羅列各郡縣或市的轄區內所開設數量與收容人數。綜整 SITRETs 已開設收容處所數量與收容關係，如圖 18 所示。避難收容處所數量利用長條圖呈現，收容人數以折線圖表示。

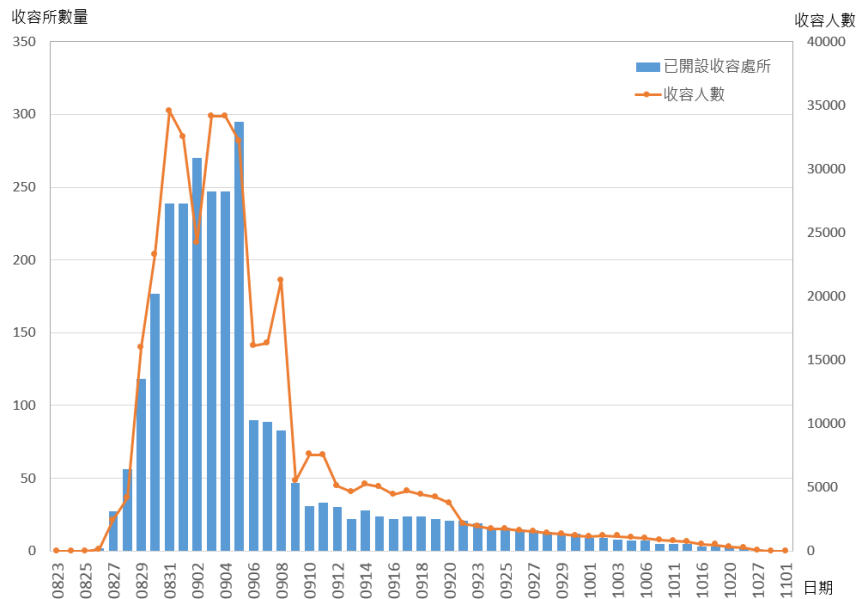


圖 18 避難收容處所開設與收容人數時序圖

(資料來源：災防科技中心繪製)

以避難收容所開設情況顯示 8 月 28 日至 9 月 5 日期間，避難收容所開設數量超過百餘處，避難收容處所開設的高峰期約在 8 月 30 日後一周，該期間收容處所開設數量約 200 多處。圖 18 說明收容人數有 2 波高峰，前一波高峰在於哈維颶風登陸與停留在德州時所致洪水，後一波是哈維減弱熱帶性風暴，但停滯墨西哥灣海面所致豪雨，迫使居民仍須需要至他處進行短暫之避難收容。在 SITREPs 指出 8 月 29 日起哈維颶風所致淹水、衝擊等威脅，以休士頓地區收容人數高達 1~2 萬人次，約占 1/3 的總收容人數。從 9 月 6 日之後，隨著多處避難收容處所關閉(收容處所數量低於百處)，收容人數逐漸呈現遞減趨勢，德州的避難收容處所與避難人數逐漸減少。避難收容處所於 10 月 27 日全面關閉，已無收容狀況。

檢視 SITREPs 中，發現報告提及避難收容處所是有區分男性收容與女性收容、救援人數統計及寵物救援數量統計等資訊。經由德州 SITREPs，可瞭解到德州緊急管理司對於災害事件的應變程序、作為、各部會協商與資源調度等具有詳實記錄，並在哈維颶風期間定時在官網發布，此作為值得讚許，充分突顯德州緊急管理司(TDEM)重視災害應變程度與轄管州應變中心(SOC)完善運作。

四、 結論

颶風哈維的降雨打破美國本土的歷史紀錄，其雨量相當於 1,270 億噸[36]，可裝滿 26,000 個紐奧良超級巨蛋，如此大量雨水漫淹至德州低窪地區。不僅如此，還造成德州的石化工業停產斷線，牽動全球石化產業價格上揚，衝擊影響全美國與全世界，亦登上 2017 年天然災害經濟損失最嚴重的事件。從德州(休士頓市)看災害，近年來降雨量有愈來愈大趨勢，既有的水工構造物無法承受更大的雨量。面對每年都發生淹水的，如何調適、改善是困難的課題。

參考文獻

1. Maps: Tracking Harvey's Destructive Path Through Texas and Louisiana, The New York Times, 2017/08/31, <https://www.nytimes.com/interactive/2017/08/24/us/hurricane-harvey-texas.html>
2. NOAA Tides & Currents <https://tidesandcurrents.noaa.gov/>

3. After Harvey, Are Epic Rains the New Normal? National Geographic, 2017/08/29,
<https://news.nationalgeographic.com/2017/08/heavy-rain-harvey-houston/>
4. 美國國家氣象服務 National Weather Service ,
<http://www.weather.gov/>
5. 美國國家航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA) <https://www.nasa.gov/>
6. Google map, <https://www.google.com.tw/maps>
7. LAKE LEVELS, www.lakelevels.info
8. USGS Water Data for the Nation, <https://waterdata.usgs.gov/nwis>
9. imgrum @junboricua
<http://www.imgrum.org/user/junboricua/274671754>
10. Los Angeles Times, <http://www.latimes.com/hp-2/>
11. Houston Chronicle, <http://www.houstonchronicle.com/>
12. Pay Wall New, www.paywallnews.com
13. Before and After Photos Capture Devastating Flooding in Houston, WIRED, 2017/08/29,
<https://www.wired.com/2017/08/photos-capture-devastating-flooding-houston/>
14. Hurricane Harvey rainfall 'weighed 127bn tonnes', BBC NEWS, 2017/12/14,
<http://www.bbc.com/news/science-environment-42347510>
15. Houston's floodwaters are receding, but they remain dangerously high in many areas, Washington post, 2017/09/01,
https://www.washingtonpost.com/graphics/2017/national/harvey-houston-flooding/?utm_term=.1b8517b8cbb8

16. TWITTER @DIVENDSMGR, The 8 things you might have missed this weekend, The Telegraph, 2017/08/28, <http://www.telegraph.co.uk/news/2017/08/28/8-things-might-have-mi-ssed-weekend/>
17. Tropical Storm Harvey Event report (Update #6), U.S. Department of Energy, 2017/08/28.
18. Texan nuclear plant runs through Hurricane Harvey, World nuclear news, 2017/08/29, <http://www.world-nuclear-news.org/RS-Texan-nuclear-plants-run-thro-ugh-Hurricane-Harvey-2908174.html>
19. 「哈維」颶風餘威 正衝擊美國及全球石化業，聯合新聞網，2017/09/04，<https://udn.com/news/story/6811/2682482>
20. 颶風哈維 對塑化品造成四大衝擊，聯合新聞網，2017/09/01，<https://udn.com/news/story/7251/2676618>
21. Financial Times, 2017/09/01, <https://www.ft.com/content/0ba86722-8ddd-11e7-9084-d0c17942ba93?mhq5j=e5>
22. 美國德州哈維颶風 8/28，文茜的世界周報 Sisy's World News，2017/08/28，<https://www.facebook.com/SisyWorldNews/posts/1478344955576511>
23. 颶風肆虐/德州煉油廠停工衝擊全球油氣業，自由時報，2017/08/29，<http://news.ltn.com.tw/news/world/paper/1130755>。
24. Communications Status Report for Areas Impacted by Tropical Storm Harvey, Federal Communications Commission, 2017/08/29.
25. A new analysis suggests Hurricane Harvey caused 4.6 million pounds of chemicals to be released — but the risk is still unclear, Business insider, 2017/09/12, <http://www.businessinsider.com/oil-refineries-hit-harvey-releasing-chemicals-pollutants-2017-8>.

26. Hurricane Harvey floodwaters brimming with raw sewage, toxic chemicals, USA Today, 2017/09/05,
<https://www.usatoday.com/story/weather/2017/09/05/hurricane-arvey-floodwaters-brimming-raw-sewage-toxic-chemicals/632937001/>
27. Hurricane Harvey railroad updates for Aug. 29, Trains, 2017/08/29,
<http://trn.trains.com/news/news-wire/2017/08/29-hurricane-harvey-update>
28. Transportation remains at a standstill following Hurricane Harvey, The Washington Post, 2017/08/28,
https://www.washingtonpost.com/news/dr-gridlock/wp/2017/08/28/houston-airports-struggle-to-return-to-service-following-hurricane-harvey/?utm_term=.0e562749c4ed
29. 德州緊急管理執行指導手冊，2017，
<http://www.dps.texas.gov/dem/sitrep/default.aspx>