

20121027 加拿大外海地震 BC 省及夏威夷海嘯應變及防災整備初探

吳秉儒¹、黃明偉¹、劉淑燕¹、柯明淳¹、吳子修¹

陳秋雲¹、柯孝勳¹

¹ 國家災害防救科技中心地震組

一、前言

2012 年 10 月 27 日加拿大英屬哥倫比亞省(British Columbia)外海發生規模 $M_w7.7$ 的地震，引發小規模海嘯，雖未造成人員傷亡，但引起國際媒體高度關注，加拿大英屬哥倫比亞省及美國夏威夷州皆發布海嘯警報，並啟動沿海地區海嘯避難疏散行動。加拿大及美國皆已建立海嘯警報傳遞系統，尤其夏威夷已制定海嘯緊急應變計畫並建置海嘯避難地圖，其操作經驗與成果，值得我國研擬海嘯防災計畫與對策之參考。

二、加拿大英屬哥倫比亞省外海地震概況

加拿大英屬哥倫比亞省外海地區於臺灣時間 10 月 28 日 11:04:10(當地時間 2012 年 10 月 27 日 20:04:10)發生規模 $M_w7.7$ 的地震，根據美國地質調查所(United States Geological Survey, USGS)資料顯示，震央(圖 1)位於加拿大西岸沙洛特女王島(Queen Charlotte

Islands)外海，即北緯 52.769 度、西經 131.927 度，震源深度 17.5 公里，最大震度為修正莫卡利震度(Modified Mercalli Intensity, MMI)7 級(相當於我國震度 6 級，即最大地表加速度 250gal 至 400gal，人的感受為搖晃劇烈以致站立困難，部分建築物受損，重傢俱翻倒，門窗扭曲變形)，震度分布圖如圖 2。主震過後又發生多起規模大於 4.0 的餘震，整個英屬哥倫比亞省中北部地區皆感受到明顯振動。除此之外，本次地震引發小規模海嘯，傳遞至遠在 4100 公里外的夏威夷；所幸海嘯實際到達波高小於預期，並未造成人員傷亡，夏威夷群島和震央的相對位置以及各群島之分布如圖 3。

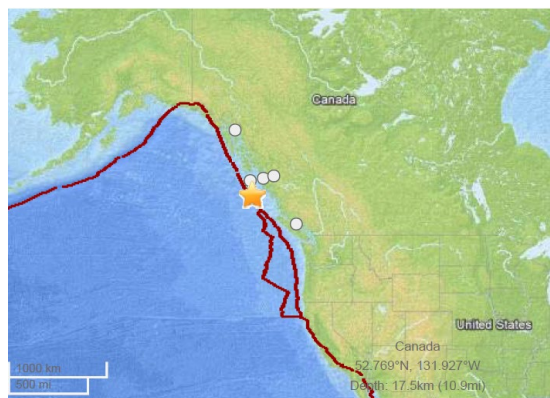


圖 1、加拿大英屬哥倫比亞省外海地震震央位置[1]

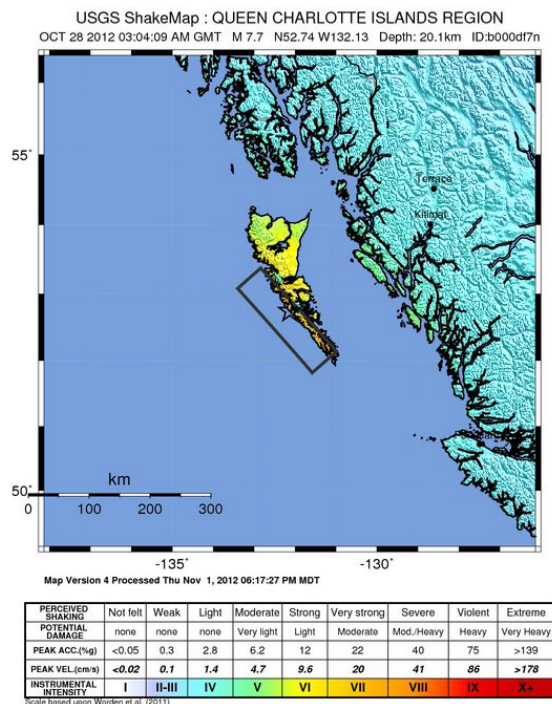


圖 2、震度分布[1]

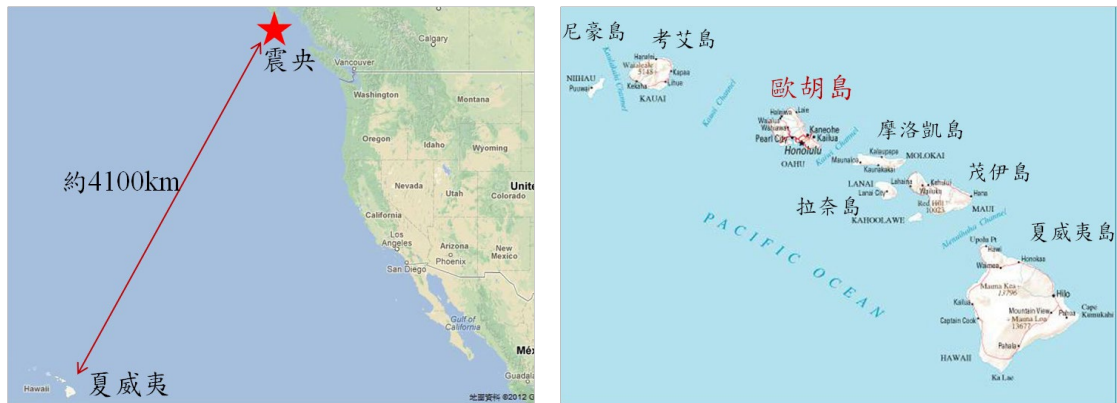


圖 3、夏威夷群島和震央的相對位置以及各群島之分布

(一)地震成因與歷史地震

加拿大位於環太平洋地震帶，本次地震震央鄰近太平洋板塊與北美洲板塊邊界處，太平洋板塊相對於北美洲板塊約以每年約 50mm 的速率向北北西移動。本次地震之震源機制為斜向逆衝錯動，斷層錯動位移分布如圖 4，可看出位移集中區域(紅色標示)有兩處，由地震紀錄亦看出本次地震主要由兩次大的錯動組成。本區域近 40 年之歷史地震共發生 7 起規模大於 6 的地震，最近一次為 2009 年的規模 Mw6.6 地震，而最大的地震發生於 1949 年，其規模為 Mw8.1。

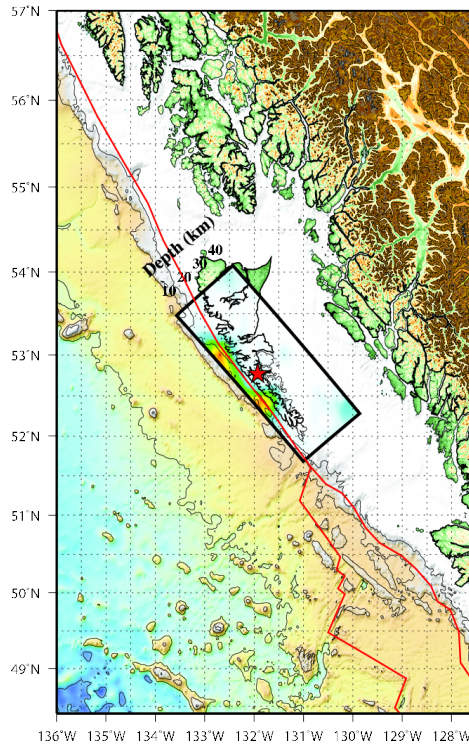


圖 4、本次地震斷層錯動位移分布[1]

(二)海嘯警報發布歷程及疏散避難情形

地震發生後 3 分鐘，美國西部及阿拉斯加海嘯警報中心(West Coast/Alaska Tsunami Warning Center, WC/ATWC)首先對加拿大及美國西部沿海地區發布海嘯警報(Tsunami Warning)，加拿大英屬哥倫比亞省疏散了 1000 多名住在沿海低窪地區的民眾。太平洋海嘯警報中心(Pacific Tsunami Warning Center, PTWC)起初認為不會引發破壞性海嘯威脅環太平洋地區及夏威夷；但隨後根據 USGS 地震資料上修地震規模，且某些地方觀測到海平面的變化，因此於震後 2 小時 5 分對夏威夷發布海嘯警報。PTWC 於震後 7 小時 57 分將海嘯警報降為海嘯勸告(Tsunami Advisory)，3 小時後將海嘯勸告解除，整個歷程將近 11 小時。本中心整理 WC/ATWC 及 PTWC 之海嘯警報發布歷程如圖

5，美國海嘯警報等級、發布時機及建議作為如表 1。

夏威夷海嘯警報發布之後，街頭到處可聽到警報廣播聲音。夏威夷州長宣佈夏威夷進入緊急狀態並發布疏散令，要求所有住在海嘯溢淹潛勢地區的居民都帶著生活用品去避難。檀香山縣共開設了 26 個海嘯避難中心，大部分為社區公園；考艾島亦開設了 10 個海嘯避難中心，則多以學校為主。歐胡島(Oahu Island)當地海軍基地撤離了 1700 人，各島嶼總共超過 10 萬名居民和遊客立即從海岸沿線撤離至地勢較高的地點，導致交通嚴重阻塞，民眾湧入賣場採購食物及民生必需品，警方並中斷檀香山一場萬聖節街頭派對。



圖 5、加拿大外海地震海嘯警報發布歷程

表 1、美國海嘯警報等級、發布時機及建議作為[6] [3]

項目	發布時機及建議作為
海嘯警報 (Tsunami Warning)	當規模大於 7.0 的地震發生，對於預估海嘯 2 小時即將到達的區域發出海嘯警報；當規模大於 7.5 的地震發生，對於預估海嘯 3 小時即將到達的區域發出海嘯警報。地方政府應採取適當應變措施，包括撤離沿海低窪地區民眾，及在時間許可下，引導船隻至深海地區。
海嘯守視報 (Tsunami Watch)	當規模大於 7.0 的地震發生，對於海嘯警報區域外 1 小時海嘯即將到達的區域發出海嘯守視報；當規模大於 7.5 的地震發生，對於海嘯警報區域外 3 小時海嘯即將到達的區域發出海嘯守視報。地方政府應準備採取行動，海嘯守視報有可能升級為海嘯警報或取消。
海嘯勸告 (Tsunami Advisory)	當有感地震發生，對於有可能遭受海嘯威脅的地區發布海嘯勸告。提醒地方政府應注意後續海嘯訊息並採取適當措施，包括關閉海灘、撤離港口及碼頭人員、及在時間許可下，引導船隻至深海地區。
海嘯資訊公告 (Tsunami Information Bulletin)	在有感地震發生後 10 至 20 分鐘發布海嘯資訊公告，提醒震央附近雖然感受到強烈振動，但通常不會產生大範圍破壞性海嘯，小規模海嘯可能只影響局部沿海地區，地方政府不用採取非必要的疏散撤離措施。

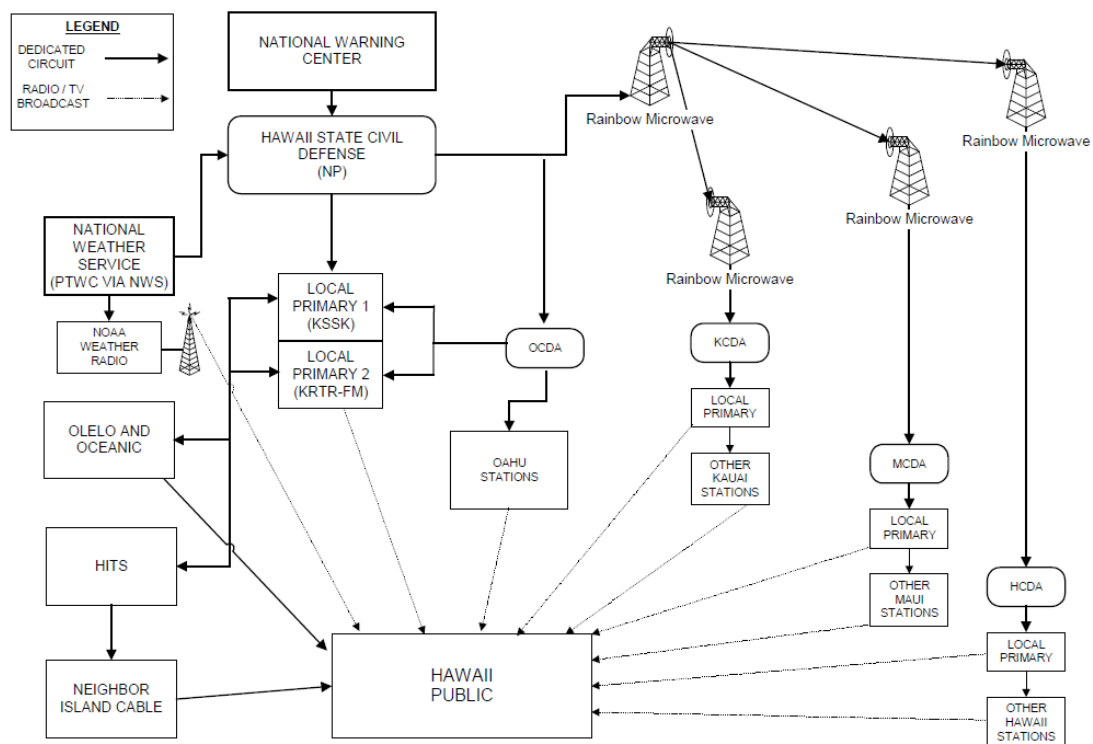
三、美國緊急警報系統及夏威夷海嘯應變計畫

(一) 美國緊急警報系統

美國聯邦通訊委員會(Federal Communications Commission, FCC)和聯邦災害管理署(Federal Emergency Management Agency, FEMA)、國家海洋與大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)等單位合作建置了緊急警報系統(Emergency Alarm System, EAS)，提供總統對全國民眾發布國家緊急命令，亦可供州政府及地方政府發布緊急訊息，以及可對偏遠沿海地區發布災害預警廣播。警報發布管道包括電視(含數位電視)、AM / FM 廣播(含數位廣播)、有線電視(含數位有線電視)、有線影像系統(Wireline Video System)。FCC

要求以上各種大眾媒體公司，在遭遇國家重大災難事件時，必須提供國家緊急命令或災害緊急訊息的插播服務，並製作手冊規定各種大眾媒體公司應配合事項[4]。

夏威夷於 2003 年完成夏威夷州緊急警報系統之建置(如圖 6)，另外還有即時語音廣播系統及即時影像廣播系統。依據 NOAA 所訂定的海嘯警報發布流程(如圖 7)，本次地震規模 Mw7.7 大於所設定的門檻值 7.0，NOAA 所屬潮位站亦觀測到小規模海嘯。夏威夷州政府收到 PTWC 所發布的海嘯警報後，由州長決定利用緊急警報系統發布海嘯警報，請沿海低窪地區民眾疏散撤離。



State Level of Emergency Alert System (EAS)

圖 6、夏威夷州緊急警報系統架構[5]

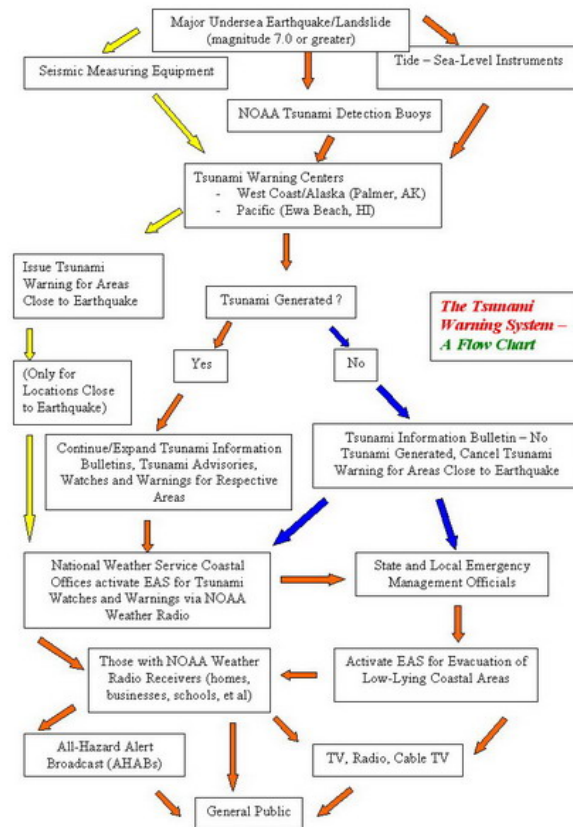


圖 7、海嘯警報發布流程[6]

(二) 夏威夷海嘯緊急應變計畫

考量遠域海嘯及近域海嘯，訂定政府及民眾之應變操作準則：

1. 遠域海嘯

當有重大地震發生時，太平洋海嘯警報中心(PTWC)將先發布海嘯守視報(Tsunami Watch)，夏威夷船舶與海洋休閒事業處(Division of Boating and Ocean Recreation, DOBOR)接獲海嘯守視報之作為：

- (1) 確認所有無線電及其他通訊設備都已充電及正常運作。
- (2) 保護緊急通訊錄並放於隨手可得之處。
- (3) 收整撤離時可能需要搬移之重要文件。

當海嘯確認發生，PTWC 發布海嘯警報(Tsunami Warning)，民防

警報廣播將會在海嘯到達前 3 小時、2 小時、1 小時、30 分鐘重複播放，DOBOR 接獲海嘯警報之作為：

- (1) 保護重要文件並移出溢淹區。
- (2) 港口租戶應確保設備加固，人員應儘速撤離以避免交通壅塞。
- (3) 切斷水電及其他設備，關閉港口及管制。
- (4) 港口人員應回家、或前往避難場所、疏散至高地、垂直避難至附近 4 樓以上之混凝土建築物。
- (5) 人員應注意收音機廣播，當聽到解除警報時，回到工作崗位並與上級聯絡。

2. 近域海嘯

當夏威夷群島附近有重大地震發生，PTWC 將發布緊急海嘯警報，當你所在島嶼被標示為受影響地區，應立即撤離避難區域。當鄰近強烈地震使你跌倒或想要抓住東西避免跌倒時，如果你位於避難區域，在振動稍歇時立即前往高地。因為此時可能來不及收到 PTWC 海嘯警報、緊急廣播系統、民防警報廣播聲音，你必須自己採取行動。

DOBOR 接獲緊急海嘯警報之作為：


- (1) 港口經紀人將關閉辦公室並立即疏散至高地，或垂直避難至附近 4 樓以上之混凝土建築物。
- (2) 人員應注意收音機廣播，當聽到解除警報時，回到工作崗位並與

上級聯絡。

- (3) 警報解除由當地權責機關透過緊急廣播系統由收音機及電視發出，但民防警報廣播不發送警報解除之聲音。

此外，海嘯緊急應變計畫亦對於港口設備使用者提出應變操作要項建議，以及船隻在海嘯中、海嘯後之注意事項，詳細內容請參考夏威夷海嘯應變計畫(Tsunami Emergency Plan)[8]。

(三) 海嘯避難地圖及海嘯防災宣導教材

夏威夷州政府已建立夏威夷群島的海嘯避難地圖共 21 幅，並製作網站可供民眾查詢[7]；以夏威夷檀香山機場附近海嘯避難地圖為例(圖 8)，紅色標示地區為需要進行疏散撤離的區域，圖中並標示警察局、消防局、醫院、學校、公園、汙水處理廠、購物中心等位置。此外，NOAA 所屬的國家氣象服務部門(National Weather Service)製作了完整的海嘯防災宣導教材()，包含宣傳文件、影片及網站[10]。

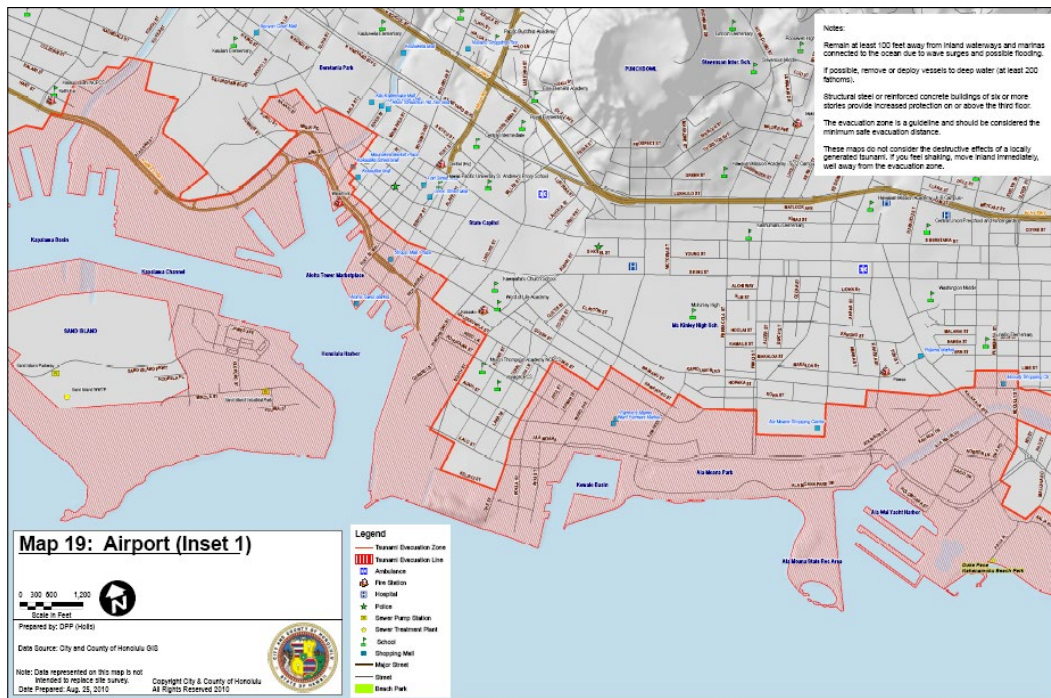


圖 8、夏威夷檀香山機場附近海嘯避難地圖[7]

四、加拿大海嘯警報傳遞系統及海嘯防災宣導

(一) 加拿大英屬哥倫比亞省海嘯警報傳遞系統

加拿大接收美國西海岸及阿拉斯加海嘯警報中心發布之海嘯警報，再轉發至英屬哥倫比亞省 A 至 E 共五個區域(如圖 9)。警報透過互動式語音答覆系統(Interactive Voice Response System)，為網頁式電話通訊系統，可大量傳遞語音訊息。並可追蹤接收者狀況，若未成功接收，可再次發送訊息。



圖 9、加拿大英屬哥倫比亞省海嘯警報分區

(二) 地震與海嘯防災手冊

有鑑於可能遭遇的地震與海嘯災害風險，加拿大英屬哥倫比亞省編印了地震與海嘯防災手冊，提供一般民眾家庭地震防災準備之建議準則。地震部分教導民眾當地震來臨時應採取之個人安全防護措施及震後簡易房屋安全檢視原則，海嘯部份提醒民眾當在海邊感受到強烈地表振動時，不要等到正式警報發布，立即往高處移動(至少海拔 10m 以上之高地)。建議民眾平時家庭防災準備應注意事項，以及家庭防災包應準備的物品。

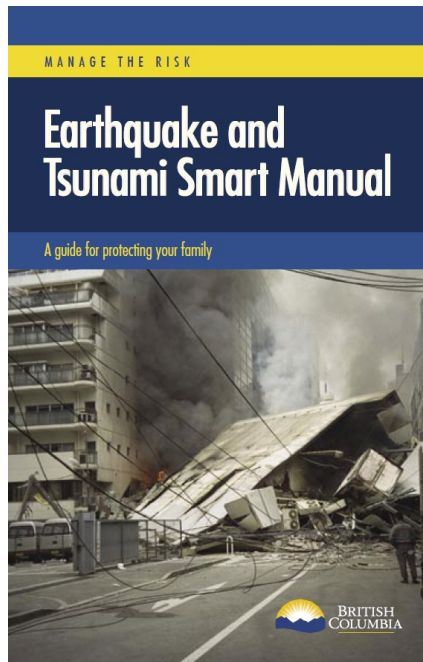


圖 10、加拿大英屬哥倫比亞省地震與海嘯防災手冊

五、結語

本次地震規模達 Mw7.7，美國西岸及阿拉斯加海嘯警報中心、太平洋海嘯警報中心皆發布海嘯警報，加拿大英屬哥倫比亞省及美國夏威夷州政府皆啟動避難疏散措施。所幸海嘯實際到達浪高低於預期，並未造成傷亡及損失。

加拿大英屬哥倫比亞省及美國夏威夷州政府皆已建立海嘯警報傳遞系統，尤其夏威夷州之海嘯警報為多重管道傳遞，並已建立網站可供民眾查詢海嘯避難區域。我國內政部已訂定「運用防空警報系統發布海嘯警報標準作業程序」，若能建立其他傳遞管道，則有助於警報有效傳遞。

夏威夷海嘯緊急應變計畫考量遠域海嘯及近域海嘯，當接獲海嘯

警報或海嘯守視報時，海岸主管機關、港口租戶應採取之應變作為，以及船隻在海嘯中、海嘯後之注意事項，可供我國研擬海嘯防災計畫之參考。

參考文獻

1. 美國地質調查所：<http://www.usgs.gov/>
2. 美國西部及阿拉斯加海嘯警報中心：<http://wcatwc.arh.noaa.gov/>
3. 太平洋海嘯警報中心：<http://ptwc.weather.gov/>
4. 美國緊急警報系統：<http://transition.fcc.gov/pshs/services/eas/>
5. Emergency Alert System (EAS) Plan, State of Hawaii (2006).
6. 美國國家海洋與大氣總署海嘯專區：
<http://www.tsunami.noaa.gov/index.html>
7. 美國夏威夷州檀香山縣政府應變管理部：
<http://www1.honolulu.gov/dem/>
8. Tsunami Emergency Plan, Division of Boating and Ocean Recreation, Department of Land and Natural Resources, State of Hawaii (2011).
9. 夏威夷災害潛勢地圖：<http://tsunami.csc.noaa.gov/map.html>
10. 美國海嘯防災宣傳網站：<http://www.tsunamiready.noaa.gov/>
11. 加拿大英屬哥倫比亞省應變管理部：
<http://embc.gov.bc.ca/em/index.html>
12. 美國國家廣播公司：<http://abcnews.go.com/>
13. 美國有線電視新聞網：<http://edition.cnn.com/>
14. 法新社：<http://www.afp.com/>
15. 路透通訊社(Reuters)：<http://www.reuters.com/>
16. 中央通訊社：<http://www.cna.com.tw/>
17. 新華網：<http://www.xinhuanet.com/>
18. 中國新聞網（簡稱中新網）：<http://www.chinanews.com/>
19. 聯合新聞網：<http://udn.com/NEWS/main.html>