

臺灣港區地震速報-以 0403 花蓮地震為例

賴俊呈¹ 曾文傑² 賴瑞應³

¹ 交通部運輸研究所運輸技術研究中心助理研究員

² 交通部運輸研究所運輸技術研究中心副研究員

³ 交通部運輸研究所運輸技術研究中心研究員兼科長

摘要

交通部運輸研究所運輸技術研究中心(以下簡稱本所運技中心)自民國 98 年起逐年於臺中港、高雄港、臺北港、安平港、布袋港、蘇澳港、基隆港及花蓮港等 8 港區(以下簡稱各港區)設置地表地震速報監測站(以下簡稱地震監測站)，提供即時地震監測、震後進行即時災況推估、速報傳送...等服務，做為臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)及各港務分公司震後相關巡查、檢測及防救災決策之應用。

民國 113 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分花蓮發生芮氏規模 7.2 的地震，花蓮港區地震速報於震後 2 分鐘內發送簡訊，其災情研判為「港區多座碼頭可能有部分位移、傾斜或差異沉陷」並請優先派員巡查，災後經港務公司確認災損情形，共計 9 座碼頭損壞，大多為差異沉陷及傾斜後開裂之損壞，以本次地震為例，說明港區地震速報係能有效即時監測地震，並能達到震後即時災況推估與速報傳送之功能及效益。

一、前言

1.1 研究緣起與目的

臺灣沿海各港區之港埠設施，多數設置在現代沖積層上，其土層疏鬆軟弱壓密尚未全部完成，加上多數碼頭的後線為抽砂回填，極可能因地震作用產生土壤液化(liquefaction)，造成碼頭結構物損壞，影響港埠之營運。以民國 88 年發生之 921 大地震為例，臺中港 1~4A 碼頭因後線土壤液化而造成損壞。爰此，自民國 89 年開始針對臺灣各港區進行地震液化潛能相關之研究，並自民國 98 年起陸續於各港區分別設置地震監測站，共計 8 站，進行即時監測地震並於震後快速發布災情研判結果，提供港務公司等相關單位能快速佈署港區設施巡查，確認災損情形，以利防救災之決策，確保港埠的永續發展。

1.2 臺灣港區地震監測發展歷程

本所運技中心自民國 98 年起設置地震監測站、建置港區液化潛勢資料庫及地震災後速報設備等，歷年(98-112)地震監測發展歷程及成果效益，簡述如表 1 所示。

表 1 歷年(98-112 年)地震監測發展歷程

年度	研究重要歷程	成果效益
98-107	● 98-99 年臺灣地層下陷監測之研究 ● 100-103 年港區現地監測與碼頭耐震功能性能評估 ● 102-103 年港區地震與地層下陷監測之研究 ● 104-105 年西南沿海地質資料建檔及地層下陷量測分析 ● 106 年臺灣西南地區地層下陷調查及基本資料建置研究 ● 107 年港區地震監測及地層下陷調查分析研究	● 98 年設置臺中港與安平港 2 站各 1 套地表地震儀(CV-373 型)。 ● 99 年設置高雄港與蘇澳港 2 站各 1 套地表地震儀(CV-373 型)。 ● 100 年設置臺北港與布袋港 2 站各 1 套地表地震儀(CV-373 型)。 ● 101 年設置基隆港與花蓮港 2 站各 1 套地表地震儀(CV-374 型)。 ● 完成港區地層下陷及地震監測資料，供港務公司管理單位維護港區結構物之參考。 ● 完成西南沿海地質資料建檔及地層下陷量測。 ● 建置臺灣工程基本資料庫。
108-110	● 108-110 年港區震災速報維護及地層下陷調查分析研究。	● 108 年增設基隆港與花蓮港室內(原室外各有 1 臺)地表地震儀(CV-374 型) 各 1 套，。 ● 108-110 年共完成 11 次各地區地層分層沉陷、水位量測及資料分析。 ● 109-110 年完成臺中火力發電廠及布袋港區地震監測站，共 2 臺中央集錄系統更新，使本所臺灣環境資訊網資訊正確。 ● 110 年完成各港區之地表地震儀(CV-374 型)與本所臺灣環境資訊網、港灣構造物維護管理資訊系統及應變即時系統等介接相關工作規劃。 ● 109 年及 110 年分別完成遷移基隆港與花蓮港地表地震監測設備至適當場域，以精進確保地震速報之通報資訊正確。
111	● 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進。	● 完成臺中港 SPT-N 鑽孔資料蒐集、建立、盤點更新與篩選，共計 311 孔鑽探資料。 ● 以 HBF 法與 NCEER 法進行臺中港液化潛勢分析，當尖峰水平加速度 A 達 0.28 g 時，臺中港區陸域約有 80%之面積處於高潛勢區，而最大考量地震時(A=0.36g)，則高潛勢區面積占比達 90%以上。 ● 採用 Ishihara and Yoshimine (1992)震陷評估方法，進行臺中港震陷量評估，震陷量之變化範圍約為 0~1 cm (HBF 法)與 0~12 cm (NCEER 法)；設計地震下，震陷量變化範圍分別為 4~82 cm (HBF 法)與 4~81 cm (NCEER 法)；最大考量地震下，震陷量變化範圍分別為 5~82 cm (HBF 法)與 6~82 cm (NCEER 法)。 ● 完成震後快速液化災損評估訊息內容，可供臺中港災損評估簡訊傳送內容之依據。
112	● 港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式	● 完成臺北港 SPT-N 鑽孔資料蒐集、建立、盤點更新與篩選，原本所運技中心地工資料庫可用資料

	精進。	筆數為 42 孔，港務公司鑽探報告可用資料為 106 孔，共計 148 孔鑽探資料。 ● 以 HBF 法與 NCEER 法進行臺北港液化潛勢分析，兩方法於不同地震情境之潛勢分布相近，當尖峰水平加速度 a_{max} 達 0.24 g 時，臺北港區陸域約有 70% 以上之面積處於高潛勢區，而最大考量地震時($a_{max}=0.32$ g)，則高潛勢區面積占比可達 79% 以上。 ● 採用 Ishihara and Yoshimine (1992) 震陷評估方法，進行臺北港不同地震情境之震陷量評估，震陷量之變化範圍約為 0~0.7 cm (HBF 法) 與 0~7.6 cm (NCEER 法)；設計地震下，港區震陷量變化範圍分別為 0.2~81.9 cm (HBF 法) 與 3.4~82.1 cm (NCEER 法)；最大考量地震下，震陷量變化範圍分別為 0.4~88.7 cm (HBF 法) 與 3.5~82.2 cm (NCEER 法)。 ● 完成震後快速液化災損評估訊息內容，以精緻化分區進行門檻加速度設定，並計算對應震陷量，搭配現地地震監測站，成果可供不同加速度於臺北港簡易分區災損評估簡訊傳送內容之依據。
--	-----	---

二、各港區地震監測站設置現況

本所運技中心於各港區逐年分別建置完成地震監測站，為使各項監測工作能正常運作，每年均需進行儀器維護保養與監測站周邊環境清潔等工作，並彙整各港區地震資料、每月測試遠端連線並檢查設備是否正常運作。各港區地震監測站現況彙整，如表 2 所示，各港區地震監測站樣貌，如圖 1 所示。

表 2 各港區地震監測站現況

測 站	設置位置	經緯度(度) (WGS84)	設置(更新)時間
臺中港 (CV-374 型)	26 號碼頭空地	經度 120.5201 緯度 24.2735	民國 98 年(民國 107 年)
安平港 (CV-374 型)	營運處辦公大樓地下室	經度 120.1763 緯度 22.9787	民國 98 年(民國 107 年)
高雄港 (CV-374 型)	港務處港勤中心附近花園	經度 120.2829 緯度 22.5985	民國 99 年(民國 107 年)
蘇澳港(2 臺) (CV-374 型)	棧埠所對面空地	經度 121.8632 緯度 24.5909	民國 99 年(民國 111 年)
臺北港 (CV-373 型)	港務辦公大樓前花園	經度 121.3927 緯度 25.1508	民國 100 年(民國 114 年)
布袋港 (CV-373 型)	布袋港管理處 1 樓	經度 120.1420 緯度 23.3803	民國 100 年(民國 113 年)
基隆港(2 臺) (CV-374 型)	港務處航管中心外面花園及地下室	經度 121.7639 緯度 25.1606	民國 101 年(民國 116 年) 民國 108 年
花蓮港(2 臺) (CV-374 型)	港務辦公大樓右前方花園及 1 樓辦公室	經度 121.5477 緯度 24.1376	民國 101 年(民國 115 年) 民國 108 年



圖 1 各港區地震監測站樣貌圖

三、港區地震速報運作說明

本所運技中心在臺灣各港區設置地震監測站，主要目的是為了量測港區地震資訊，一旦發生地震，震波傳至港區地震監測站的地表地震儀(CV-374 型)就會記錄相關監測資料，並比對本所運技中心所建置之港區液化潛勢資料庫，快速研判各港區可能發生的液化災情，即以簡訊速報方式傳送予港務公司相關防救災人員，港區地震速報架構、功能及簡訊通報流程，如圖 2 所示。

依據目前港務公司防救災相關規定，若是地震達 4 級 25gal 以上，港區地震速報約在 2 分鐘之內即會發送速報，提供港務公司及其分公司之防救災人員迅速辦理港區設施巡查，確認災損情況，並據以進行相關防救災之作業。

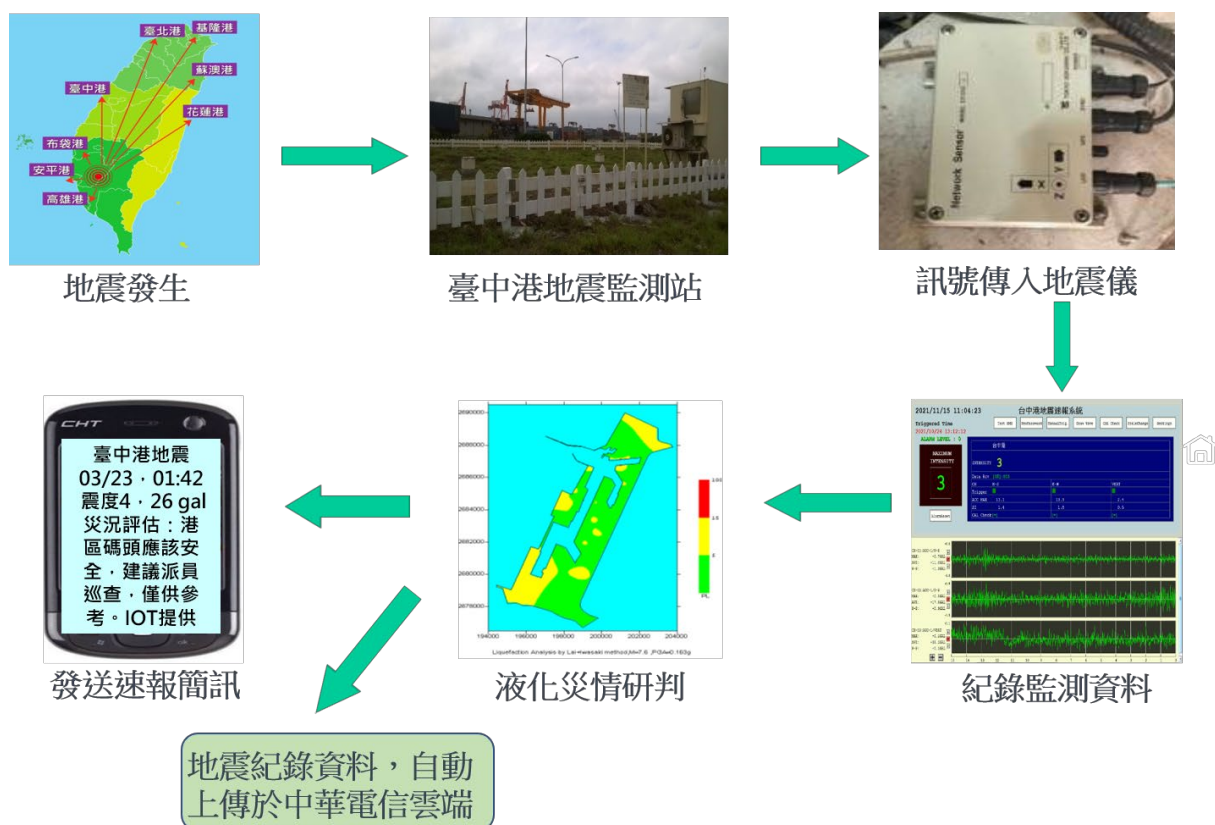


圖 2 港區地震速報架構、功能及簡訊通報流程

港區地震速報之運作，包括港區地震監測站維護、港區液化潛勢資料庫建置與評估模式、災情研判與災情簡訊之傳送，茲說明如下。

1. 港區地震監測站維護

港區地震監測站建置完成後，為使地震監測持續正常擷取監測資料、發揮傳送速報簡訊功效，會辦理定期及不定期的維護管理，定期維護管理於每年 6 月及 11 月進行，包含速報儀器、電力設備、電腦、冷氣機之維護保養與監測站(或保護箱)周邊環境清潔及木製圍籬簡易修復等工作；不定期維護管理主要是處理臨時性的儀器故障維修。另外，為確保地震速報之通報資訊正確，減少誤報情形發生，於民國 112 年將原設置於各港區地表地震速報監測站，共 8 台工業級電腦全部更新，圖 3 為港區地震監測站及儀器設備維護工作。



圖 3 港區地震監測站及儀器設備維護工作

2. 港區液化潛勢資料庫建置與評估模式精進

本所運技中心以前期「港灣地區地工資料建檔及液化自動分析模組之建立」及「港灣地區地震監測與土壤液化潛勢評估之研究」成果，建置各港區液化潛勢資料庫，惟「建築物耐震設計規範及解說」於民國 111 年對於液化評估方式進行修正相關規定，爰此，本所運技中心於民國 111 年起延續上述研究成果，針對港務公司管轄商港港區，除既有評估模式外，就現行耐震設計規範建議之評估方式，新增以 HBF 法及 NCEER 法進行液化潛勢評估模式精進(如圖 4 及圖 5 所示)，對更新之地工資料庫重新計算不同地表加速度值下液化土層發生深度與範圍，並以 Ishihara and Yoshimine (1992)建議之程序，推估液化後震陷量(如圖 6 及圖 7 所示)，提供地震後港區液化範圍與震陷值，目前已完成臺中港區、臺北港區液化風險評估模式精進，預計於民國 113 年完成高雄港、花蓮港液化風險評估模式精進，於民國 114 年完成安平港液化風險評估模式精進，於民國 115 年完成基隆港、蘇澳港及布袋港液化風險評估模式精進。

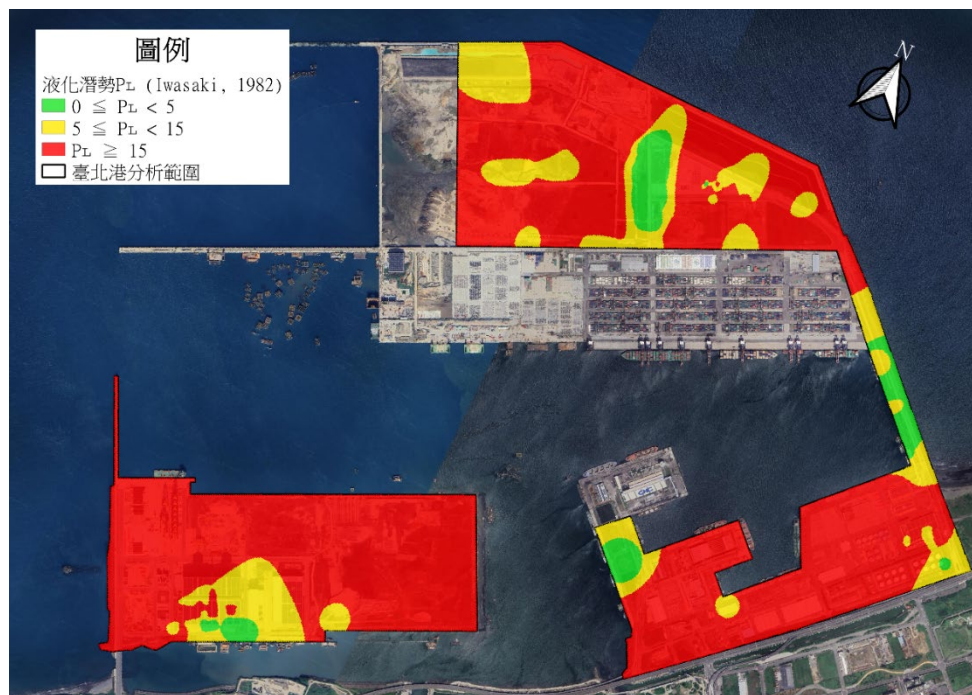


圖 4 設計地震下臺北港港區液化潛勢圖(HBF 法)

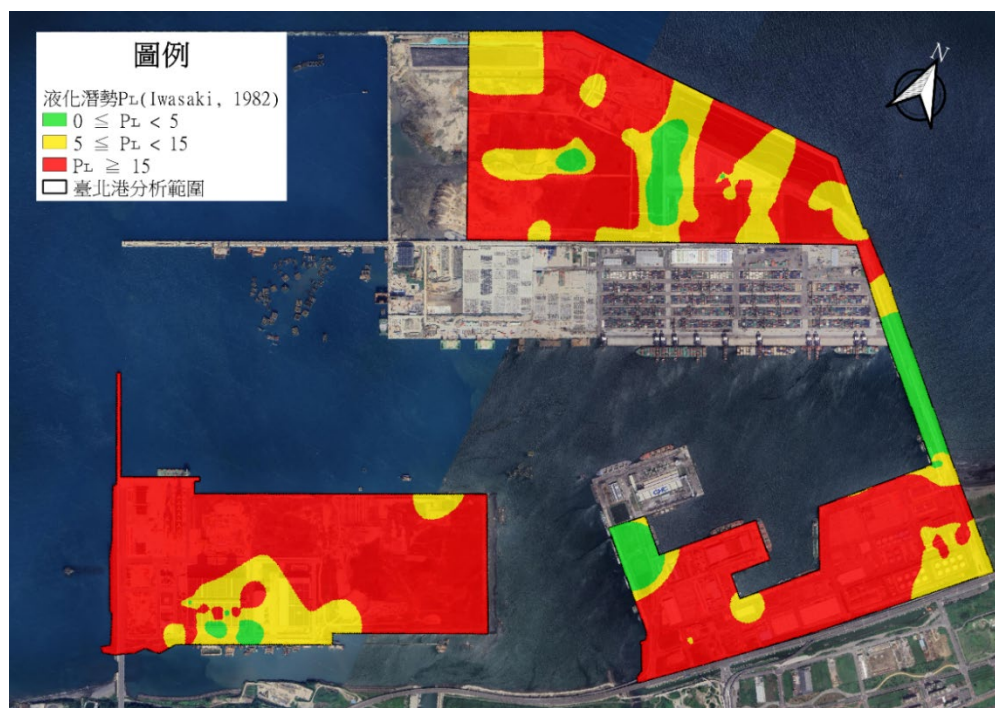


圖 5 設計地震下臺北港港區液化潛勢圖(NCEER 法)

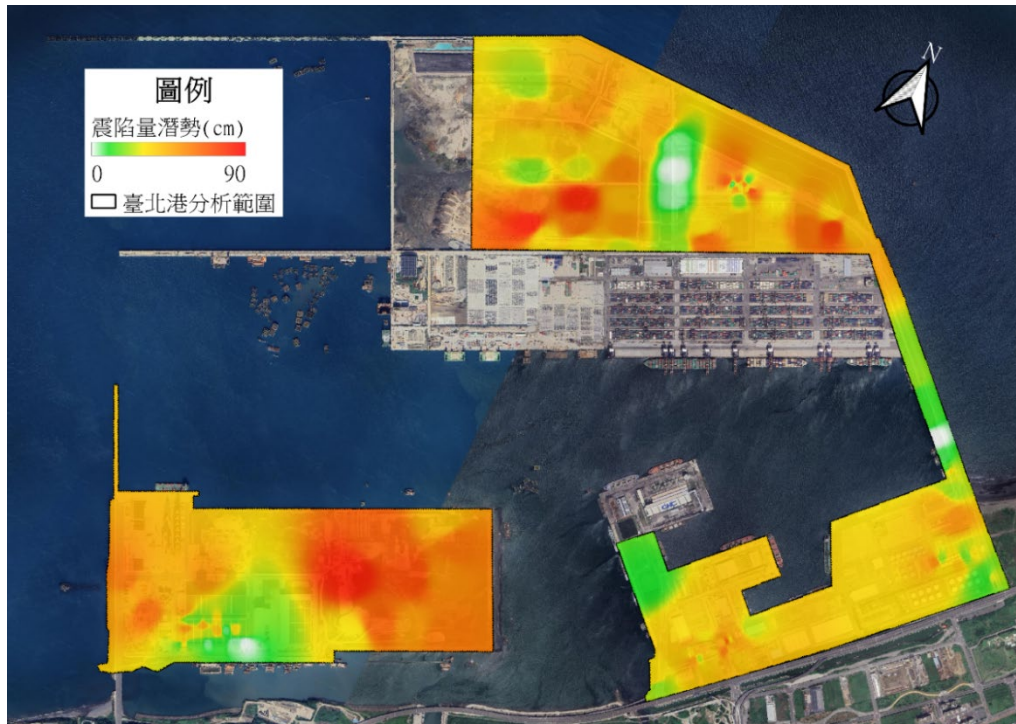


圖 6 設計地震下臺北港港區震陷潛勢圖(HBF 法)

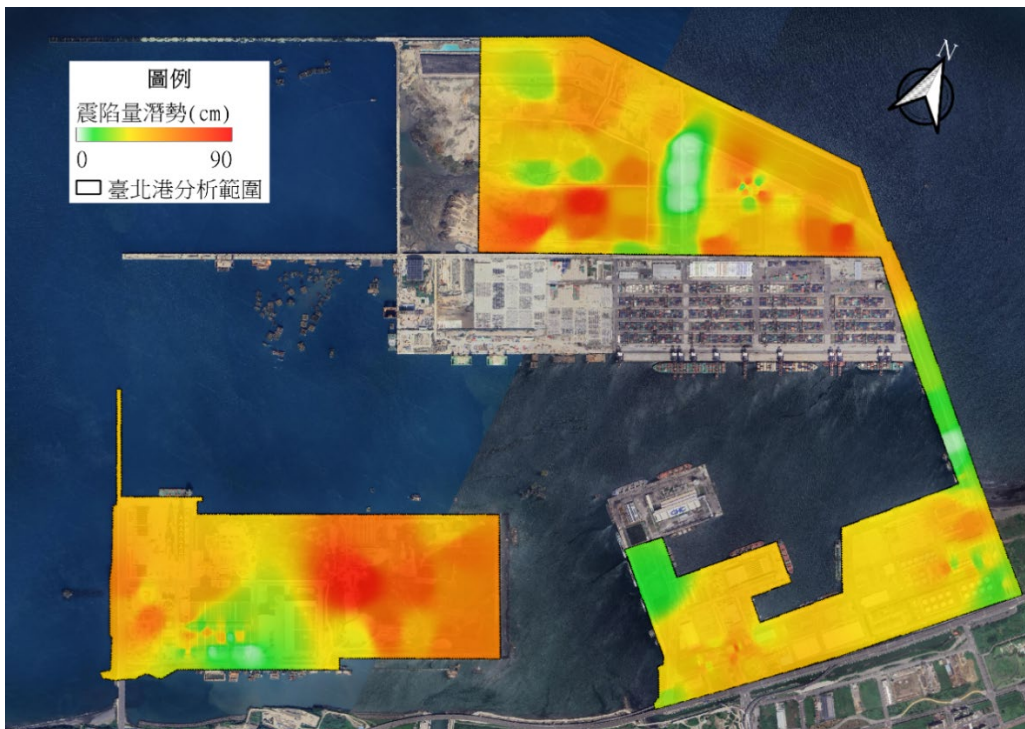


圖 7 設計地震下臺北港港區震陷潛勢圖(NCEER 法)

3. 災情研判與災情簡訊內容傳送

本所運技中心於民國 111 年起細級化地震速報簡訊內容，首先訂定各港區港區災損指標，其流程圖如圖 8 所示，更新鑽探資料做為地工資料庫，以民國 111 年新頒耐震設計規範之分析流程與參數更新不同情境之液化潛勢分析，並據以推估港區震陷量分布，建立不同地震情境下，各港區之液化災損評估分析，為進行分區指標訂定，參考目前各港區現況之劃分，如行政區、碼頭區與倉儲區等特定用途，考量不同區段之液化潛勢與專業區用途，並依高潛勢液化區面積隨分析加速度之變化，訂定各區門檻加速度與推估震陷量。

於港區災損指標訂定工作完成後，可完整建立不同震度下，各港港區於地震後之液化災損評估分析，提供各級震度於各港設施個別區域之簡訊傳送內容文字警示之描述(如圖 9)。震後快速液化災損評估訊息依精緻化分區、門檻加速度值與平均震陷量評估值進行研擬。評估結果採分區觸發門檻值，以供進行主動式訊息通知。地震速報訊息最終結果由港務公司確認訊息內容及格式。

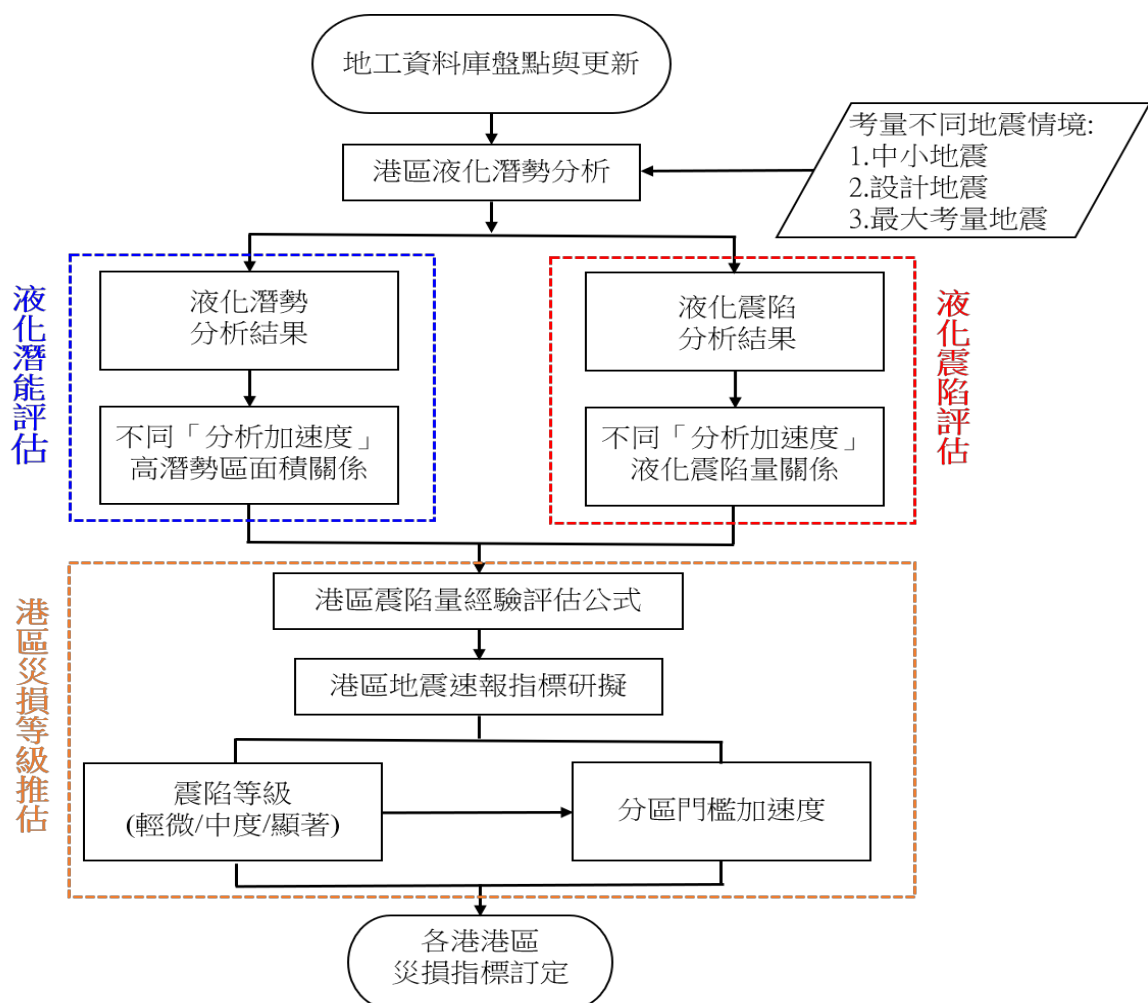


圖 8 各港港區災損指標訂定流程圖

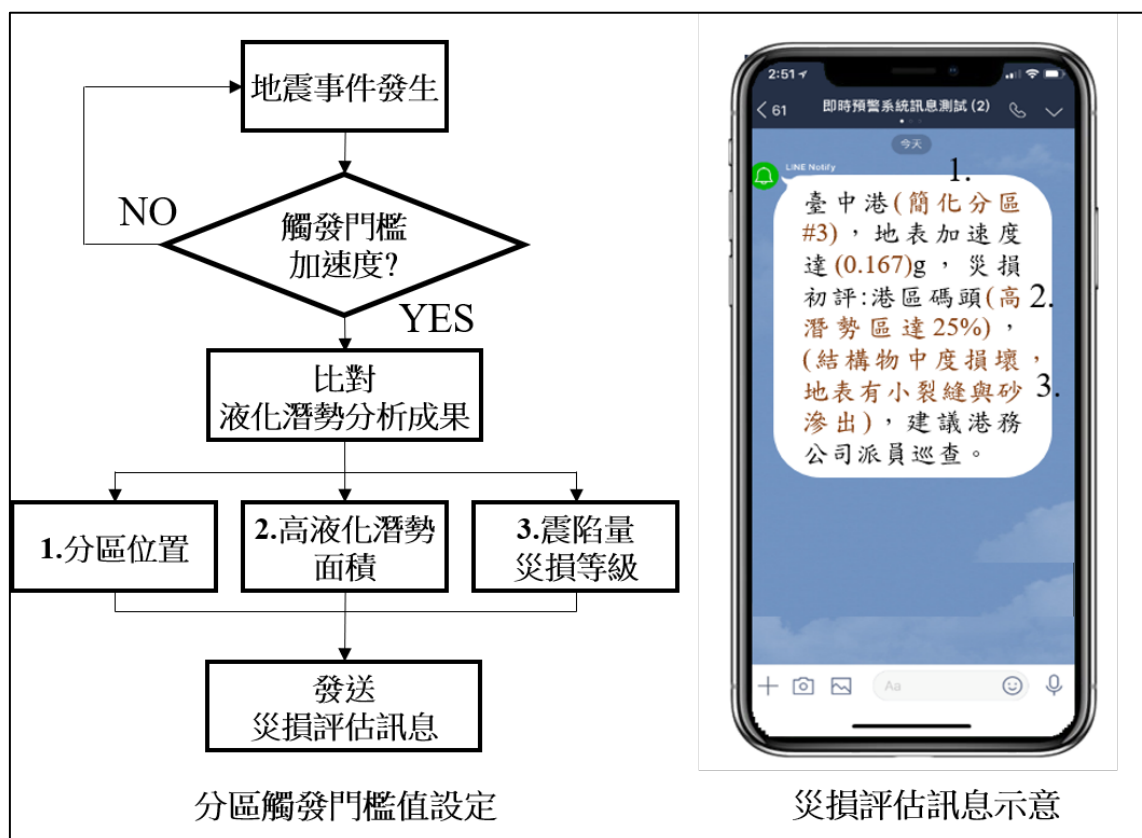


圖 9 震後快速液化災損評估訊息發布流程及示意(以臺中港為例)

四、0403 花蓮地震速報案例

民國 113 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分於花蓮外海(花蓮縣政府南南東方 25 公里)發生芮氏規模 7.2 的地震，花蓮縣和平震度為 6 強，花蓮市、太魯閣為 6 弱，中央氣象署發布的地震報告如圖 10 所示。本所運技中心設置於花蓮港區之地震監測站隨即於上午 7 時 58 分 15 秒量測到最大地表加速度(PGA)為 291.44gal(如圖 11 所示)，依據中央氣象署新地震震度分級係為 6 弱。

花蓮港位於花蓮市，中央氣象署鄰近的地震監測站於花蓮市，測站代號 HWA，GPS 座標(WGS84)23.9751, 121.6135，本所運技中心與中央氣象署地震監測站量測結果一致，皆為 6 弱。

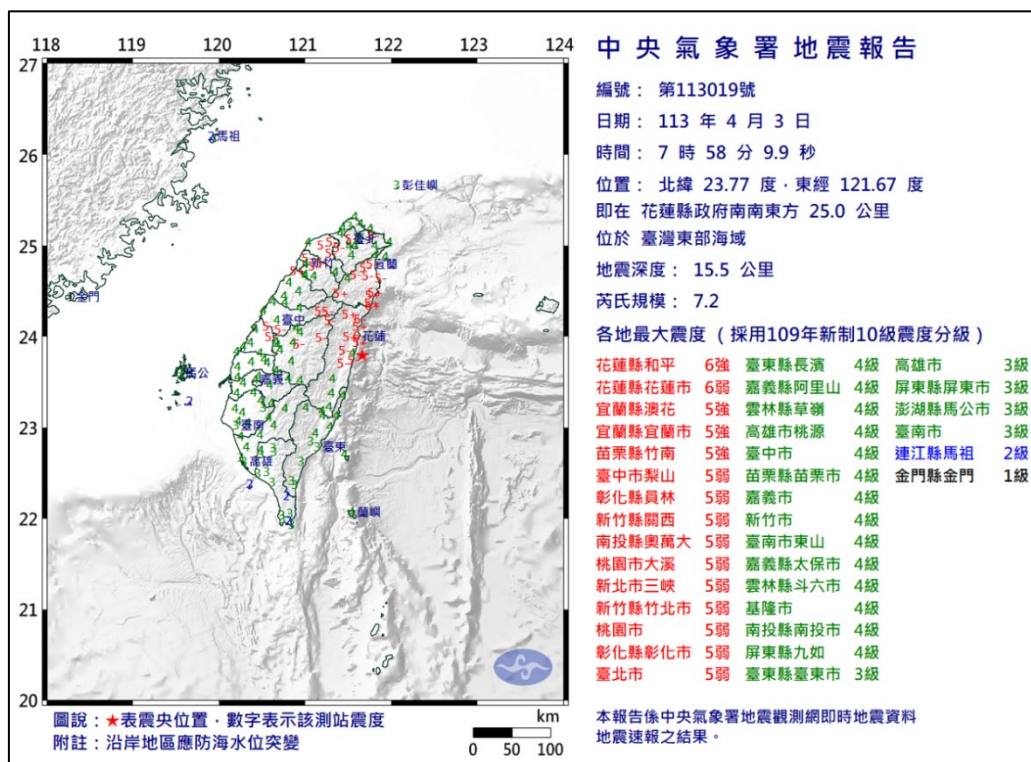


圖 10 0403 中央氣象署地震報告

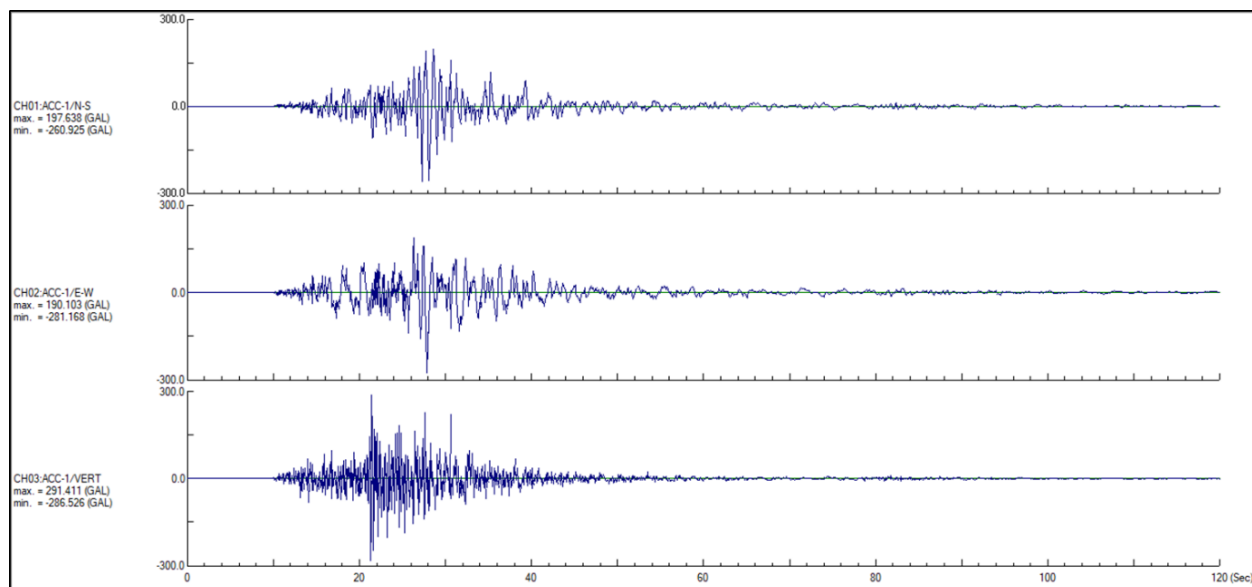


圖 11 0403 花蓮港區地震監測站量測波形圖

花蓮港區地震速報於震後約 2 分鐘就將花蓮港區震度、時間、需巡查設施及可能液化災情等相關訊息(如圖 12 所示)，以簡訊傳送予港務公司及花蓮港務分公司之防救災人員，俾利於佈署港區災況巡查作業，確認災損情形。

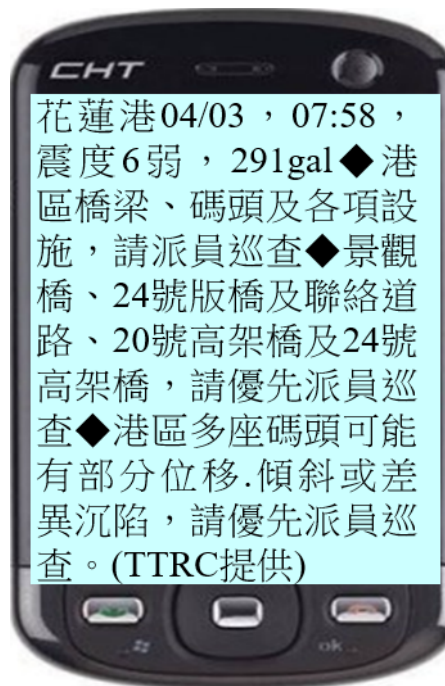


圖 12 0403 花蓮港區地震速報傳送之訊息

港務公司及花蓮港務分公司當日即成立應變小組，啟動港區巡查機制，經巡查結果花蓮港共損壞 9 座碼頭(如圖 13 所示，17~25 號碼頭)，初步評估 22 號碼頭、24 號碼頭後線有土壤液化現象，碼頭損壞情形多為差異沉陷及傾斜後開裂(如圖 14、圖 15 及圖 16 所示)，與地震速報液化災情評估相符。



圖 13 0403 地震花蓮港災害區域圖



圖 14 20 號碼頭、21 號碼頭背填開裂約 5 至 15 公分

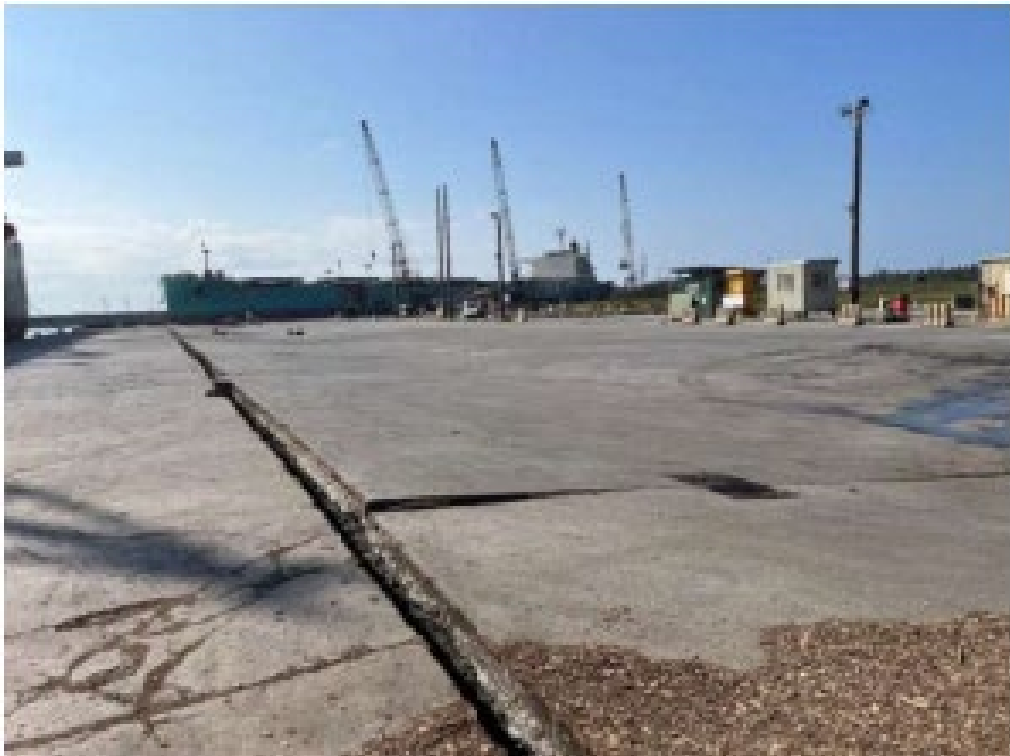


圖 15 24 號碼頭背填開裂約 12 至 15 公分



圖 16 25 號碼頭下陷約 50 至 70 公分

損壞的 9 座碼頭均可透過柔性鋪面進行短期搶修，以迅速恢復碼頭作業，惟整體結構性之修復需經進一步的災後測量、全面安全檢測(包含水下檢測)及評估後，分階段辦理中長期修復工程。

除了花蓮港區外，同時間尚有臺北港區(震度 5 弱，127gal)、臺中港區(震度 4 級，65gal)、蘇澳港區(震度 5 強，203gal)、安平港區(震度 4 級，32gal)、布袋港區(震度 4 級，31gal)及基隆港區(震度 4 級，61gal)，其震度皆達到 4 級(25gal)以上，各港區地震速報皆能於 2 分鐘內，將各港區可能造成的液化災情傳送予港務公司及分公司之防救災人員，據以啟動巡查，確認災損情形，達成速報減災之成效。

五、結論

臺灣位處於環太平洋火山帶上，並加上菲律賓海板塊往歐亞大陸板塊推擠之構造作用，造成地震頻繁，而臺灣沿海各港區碼頭興建時多以水力抽砂回填施工，係屬海埔新生地，且壓密尚未全部完成，此類地質及施工方式最易發生土壤液化及因液化引發承载力破壞(bearing capacity failure)、地表沉陷(subsurface settlement)、側潰(lateral spreading)及沉箱式基礎位移等災害，導致港區無法正常運作，營運功能大受影響。

因此，本所運技中心於各港區設置地震監測站，以監測地震並於震後進行即時災況推估與速報傳送，0403 花蓮地震是繼 921 大地震之後臺灣最大規模的地震，本文以災損最嚴重的花蓮港為例，臺灣港區地震速報於 0403 地震確實能於短時間內研判液化災情傳送速報給防救災人員，以利迅速掌握港區可能發生的災況後進行相關巡查作業。事經港務公司及花蓮港務分公司實際初步調查花蓮港區災損情形亦與地震速報推估內容相符，驗證地震速報之即時性及推估準確性。

本所運技中心除了進行維護管理各港區地震監測站外，自民國 111 年起對於港區液化風險評估模式及地震速報簡訊內容辦理相關之精進作為，目前已完成臺中港區、臺北港區液化風險評估模式及地震速報簡訊內容精進，後續將依序辦理其他港區液化風險評估模式及地震速報簡訊內容精進。因「建築物耐震設計規範及解說」於民國 111 年對於液化評估方式進行修正相關規定，故須就現行耐震設計規範建議之評估方式，以更新的鑽探資料，重新進行各港區液化潛勢評估，並據以推估液化後震陷量，以符合規範規定，同時為了讓速報簡訊內容更加明確及細級化，預計提供 1.港區分區位置、2.高液化潛勢面積及 3.震陷量災損等級(如圖 9 災損評估訊息示意圖)之相關訊息，以利港務公司及其各分公司防救災人員迅速掌握震後港區各分區可能的災損狀況，進行後續調派人員進行相關巡查及救災決策之應用，另相關地震監測數據及液化風險評估，亦可提供港務公司及各分公司做為港埠設施規劃及維護管理之參考。

參考文獻

1. 張金機、賴聖耀、謝明志、李延恭等人 (1999)，「臺中港 1 至 4A 碼頭 921 地震液化災損初步調查研究」，臺灣研究中心專刊 172 號，交通部運輸研究所。
2. 賴聖耀、謝明志、蘇吉立、陳志芳 (2003)，「臺灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究(1/3)」，交通部運輸研究所。
3. 葉錦勳 (2003)，「台灣地震損失評估系統-TELES」，國家地震工程研究中心技術報告。
4. 賴聖耀等人 (2004)，「臺灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究(2/3)」，交通部運輸研究所。
5. 賴聖耀、陳志芳、林炳森、張文忠、張啟文、魏銘忠、鄭光廷 (2007)，「現地模擬地震之液化試驗與碼頭動態監測研究(1/4)」，交通部運輸研究所。
6. 曾文傑、陳志芳、謝明志 (2021)，「109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究」，交通部運輸研究所。
7. 曾文傑、謝幼屏 (2022)，「110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究」，交通部運輸研究所。
8. 曾文傑、胡啟文 (2023)，「港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進」，交通部運輸研究所。

9. 曾文傑、賴俊呈（2024），「港區地震液化風險評估模式精進(2/5)-臺北港模式精進」，交通部運輸研究所。