

112-017-7D34
MOTC-IOT-111- H1CA001h

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

中華民國 112 年 3 月

112-017-7D34
MOTC-IOT-111- H1CA001h

港區地震液化風險評估模式精 進(1/5)-臺中港模式精進

著 者：曾文傑、胡啟文

交通部運輸研究所

中華民國 112 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港區地震液化風險評估模式精進. (1/5) : 臺中港模式精進 / 曾文傑, 胡啟文著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 112. 03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-467-5(平裝)

1. CST: 港埠管理 2. CST: 土壤液化 3. CST: 地層下陷 4. CST: 風險評估

443.2

112000683

港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

著 者：曾文傑、胡啟文

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 112 年 3 月

印 刷 者：OOOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 冊

書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN

ISBN 978-986-531-467-5(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-467-5(平裝)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號 MOTC-IOT-111-H1CA001h
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：曾文傑 研究人員：胡啟文 參與人員： 聯絡電話：04-26587172 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 111 年 1 月 至 111 年 12 月
關鍵詞：土壤液化、液化潛勢評估、震後沉陷量			
摘要： 考量災害防救法第 2 條明定土壤液化屬天然災害範圍，本計畫延續本所港研中心前期「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能評估之研究」成果，針對臺灣港務股份有限公司管轄之商港，就現行耐震設計規範建議之評估方式，進行全面性液化潛勢評估，更新地工資料庫。 111 年度主要針對臺中港進行液化風險評估，以更新之 311 孔鑽探資料，精進液化分析方法，於原有液化評估法中，加入我國建築技術規則所列液化評估法及國際間採用之液化潛勢評估法，包括以 SPT-N 為指標之 NCEER 法及國家地震研究中心之 HBF 法，並以 Macedo and Bray (2018)所建議之程序，推估液化後沉陷量。所得成果為臺中港腹地於以不同分析加速度之液化危害度，包含液化潛能指數 PL 與震陷量 S，結合現地地震監測站，可提供顯著地震後快速液化災損評估、液化範圍與推估沉陷量，即時通知相關管理人員，進行相關巡查與檢視。 研究成果效益與應用： 1. 完成增加地工資料庫於臺中港之可用鑽探資料至 311 孔。 2. 完成符合國內耐震設計規範之液化評估法，進行臺中港港區全面性液化潛勢評估。 3. 完成推估臺中港港區針對不同等級地震發生之液化風險。 提供政府單位應用情形： 1. 提供臺中港港區地震安全評估相關資訊，做為臺灣港務公司及臺中港務分公司工程維管人員，震後相關巡查、檢測及防救災決策之應用參考。 2. 提供本所後續相關研究及臺灣港務公司及各分公司在港灣工程規劃、設計及施工之應用。 3. 研究成果提供產官學研各界應用參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
112 年 3 月	176	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

Publication Name: Refinement for Seismic Liquefaction Risk Assessment Model for Port Area (1/5)-Refinement of Taichung Port Model			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-467-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER -	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-111-H1CA001h
DIDIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIDIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Chieh Tseng PROJECT STAFF: Chi-Wen Hu PROJECT TECHNICIAN: PHONE: +886-4-26587172 FAX: +886-4-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2022 TO December 2022
KEY WORDS: SOIL LIQUEFACTION; LIQUEFACTION ANALYSIS; POST-LIQUEFACTION SETTLEMENT			
Abstract: Considering soil liquefaction being a natural disaster as defined expressly by the Disaster Prevention and Protection Act, this project continues the outcomes of the “Establishment of Geotechnical Database and Liquefaction Auto-analysis Modules at Harbor Areas” and “Seismic Wave Monitoring and Evaluation of Liquefaction Potential at Harbor Areas”, which were previous works by the Center, to conduct a comprehensive liquefaction potential assessment and update the geotechnical database based on the assessment method proposed by the current seismic design code for the commercial ports under TIPC administration. The subject of assessment was Taichung Port in 2022, where the liquefaction analysis was improved with the updated drilling data of 311 holes. liquefaction assessment methods specified by Taiwan’s Construction Technology Code and the internationally adopted liquefaction potential assessment methods were incorporated in the previous liquefaction assessment method, including the NCEER method with SPT-N as the index, the National Earthquake Center HBF method, the Kayen method with shear wave velocity (Vs) as the index, and the method suggested by Macedo and Bray (2018), for estimating the amount of subsidence after liquefaction. The results were the liquefaction hazards at Taichung Harbor at different accelerations, including liquefaction potential index (PL) and the seismic subsidence (S). Those, combined with data from the on-site seismic monitoring station, can provide a rapid liquefaction damage assessment after significant earthquakes, liquefaction range, and settlement estimation to be notified to the relevant management personnel promptly, enabling them to conduct examination and inspections. Application Availability for Government Agencies: 1. In the geotechnical database, the available drilling data at Taichung port was increased to 311 holes. 2. A comprehensive liquefaction potential assessment at Taichung port using the liquefaction assessment method that conforms to Taiwan’s seismic design code was conducted. 3. Liquefaction risk in Taichung Port for different levels of earthquakes was estimated. Application Availability for Government Agencies: 1. The information on the seismic safety assessment of the Port of Taichung can be used by the construction maintenance staff of Taiwan International Port Corporation and its Taichung Port Branch in post-earthquake examination, inspection and disaster prevention and relief decisions. 2. The results are provided to the Institute’s subsequent research and application in planning, design and construction of harbor projects by the Taiwan International Port Corporation and its subsidiaries. 3. Research results in the published research reports are provided as references and application for industry, governments and academia.			
PUBLICATION DATE	NUMBER OF PAGES	PRICE	ACCESSIBILITY
Mar 2023	176	200	Publications of confidentiality are not disclosed. For ordinary publications, any public agency, organization of public welfare or school can contact the Institute for free access, and any person or private group can purchase at set prices.
Remarks: Conclusions and recommendations of this study are not necessarily the view of the Ministry of Transportation and Communications.			

港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖目錄	VII
表目錄	XI
第一章 前言	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 研究目的	1-3
1.3 研究方法	1-3
1.4 研究內容	1-4
1.5 預期成果(效益)及其應用	1-5
1.6 前期計畫發展歷程	1-6
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 液化機制	2-1
2.2 可能發生土壤液化之地質	2-4
2.3 土壤液化潛能安全評估	2-5
2.4 土壤液化評估方法	2-6
2.5 土壤液化風險評估	2-12
2.6 土壤液化引致沉陷量推估	2-13
第三章 臺中港區液化潛勢分析	3-1

3.1 液化分析基本參數與資料說明.....	3-3
3.2 以 SPT-N 值進行臺中港液化潛勢分析.....	3-11
3.2.1 VBA 液化分析模組驗證.....	3-11
3.2.2 SPT-N 簡易評估法液化潛勢分析成果.....	3-14
3.3 臺中港受震液化潛勢分析說明.....	3-18
第四章 臺中港區地震後沉陷量評估.....	4-1
4.1 SPT-N 鑽孔之震陷量評估.....	4-3
4.2 臺中港震陷量潛勢分布.....	4-5
4.3 不同分析加速度 A 之震陷量推估.....	4-8
第五章 震後液化災損評估訊息研擬.....	5-1
5.1 臺中港區精緻化分區災損指標訂定.....	5-1
5.2 臺中港地震速報簡訊內容精進.....	5-4
第六章 各港區地震速報精進與維護.....	6-1
6.1 各港地震監測站維護.....	6-1
6.2 地震速報精進.....	6-7
6.2.1 安平港地震速報精進.....	6-8
6.2.2 更新臺中港速報簡訊內容.....	6-11
6.2.3 地震速報資料介接.....	6-11
第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-3
7.3 提供政府單位應用情形.....	7-3
參考文獻.....	參-1

附錄一 111 年各港區地震資料比對.....	附錄 1-1
附錄二 專家學者座談會會議紀錄.....	附錄 2-1
附錄三 第 1 次工作會議紀要.....	附錄 3-1
附錄四 第 2 次工作會議紀要.....	附錄 4-1
附錄五 第 3 次工作會議紀要.....	附錄 5-1
附錄六 期末報告審查意見處理情形表.....	附錄 6-1
附錄七 期末報告簡報資料.....	附錄 7-1

圖 目 錄

圖 1.1	2021 年版臺灣活動斷層分布圖	1-2
圖 1.2	研究流程圖	1-4
圖 2.1	液化致使土壤顆粒沉積狀態改變示意圖	2-2
圖 2.2	2016 年美濃地震臺南市安南區民宅因土壤液化災損狀況	2-2
圖 2.3	2022 年長濱地震花蓮縣玉里舊鐵橋北側，小規模液化現象 ..	2-2
圖 2.4	NCEER 法(2001)液化評估法之計算流程圖	2-8
圖 2.5	雙曲線函數(HBF)液化評估法之計算流程圖	2-10
圖 2.6	液化潛能指數 PL 計算說明	2-13
圖 2.7	液化後體積應變、最大剪應變與抗液化安全係數關係	2-14
圖 2.8	不同液化敏感類別液化後沉陷量隨 PGA 之變化情形	2-15
圖 2.9	東北地震後建築物不同基礎形式液化後引致沉陷量差異	2-16
圖 2.10	液化後引致建築物位移機制示意圖	2-16
圖 3.1	臺中港區各專業區配置圖	3-2
圖 3.2	臺中港區液化潛勢圖資	3-3
圖 3.3	國家地震中心臺灣規範反應譜查詢介面	3-5
圖 3.4	臺中港區不同來源之 SPT 鑽探資料分布情況	3-7
圖 3.5	臺中港區 SPT 鑽探資料密度圖	3-11
圖 3.6	國震中心開發之 HBF 法液化評估程式	3-12
圖 3.7	VBA 液化分析模組成果驗證(1/3)	3-13
圖 3.8	VBA 液化分析模組成果驗證(2/3)	3-13
圖 3.9	VBA 液化分析模組成果驗證(3/3)	3-14
圖 3.10	中小地震下臺中港區液化潛勢圖(HBF 法)	3-15

圖 3.11 設計地震下臺中港區液化潛勢圖(HBF 法)	3-16
圖 3.12 最大考量地震下臺中港區液化潛勢圖(HBF 法)	3-16
圖 3.13 中小地震下臺中港區液化潛勢圖(NCEER 法)	3-17
圖 3.14 設計地震下臺中港區液化潛勢圖(NCEER 法)	3-17
圖 3.15 最大考量地震下臺中港區液化潛勢圖(NCEER 法)	3-18
圖 3.16 賴聖耀(2002)SPT-N 法於中小地震下臺中港區液化潛勢圖	3-20
圖 3.17 賴聖耀(2002)SPT-N 法於設計地震下臺中港區液化潛勢圖	3-20
圖 3.18 賴聖耀(2002)SPT-N 法於最大考量地震下臺中港區液化潛 勢圖	3-21
圖 3.19 不同 SPT-N 簡易評估法於臺中港高潛勢區面積佔比差異 ..	3-22
圖 3.20 臺中港高潛勢區面積佔比與不同尖峰水平加速度關係	3-22
圖 4.1 地震致使超額孔隙水壓力激發後土層消散壓密沉陷說明	4-1
圖 4.2 SPT 單孔震陷量計算成果(鑽孔名稱：TC19-06, NCEER 法) ..	4-4
圖 4.3 中小地震下臺中港區震陷潛勢圖(HBF 法)	4-5
圖 4.4 設計地震下臺中港區震陷潛勢圖(HBF 法)	4-6
圖 4.5 最大考量地震下臺中港區震陷潛勢圖(HBF 法)	4-6
圖 4.6 中小地震下臺中港區震陷潛勢圖(NCEER 法)	4-7
圖 4.7 設計地震下臺中港區震陷潛勢圖(NCEER 法)	4-7
圖 4.8 最大考量地震下臺中港區震陷潛勢圖(NCEER 法)	4-8
圖 4.9 臺中港不同分析加速度 A 之震陷量 S 經驗評估公式	4-10
圖 5.1 臺中港區災損指標訂定流程圖	5-1
圖 5.2 臺中港精緻化分區對照圖	5-2
圖 5.3 精緻化分區於不同加速度 A 下高潛勢區佔比關係圖	5-3

圖 5.4 臺中港地震速報簡訊分階門檻加速度訂定說明.....	5-5
圖 5.5 中小地震下臺中港可能沉陷位置示意圖.....	5-6
圖 5.6 設計地震下臺中港可能沉陷位置示意圖.....	5-7
圖 6.1 安平港地震設備原設置位置示意圖.....	6-9
圖 6.2 安平港安裝電表及配置管線.....	6-9
圖 6.3 安裝地震儀、保護箱及地震儀方位調整.....	6-10
圖 6.4 發送簡訊，測試地震監測功能皆可正常運作.....	6-10
圖 6.5 港區資料夾.....	6-12
圖 6.6 各港資料夾.....	6-13
圖 6.7 自動上傳地震檔案至雲端.....	6-13

表 目 錄

表 1-1 歷年(90-110) 地震監測發展歷程	1-6
表 2-1 可能發生液化之地質	2-5
表 2-2 SPT-N 值簡易液化評估法之比較	2-12
表 3-1 不同縣市土壤液化分析建議之地震規模	3-5
表 3-2 臺中港區不同分析情境之地震規模與分析加速度	3-6
表 3-3 臺中港區 SPT 鑽探資料來源與數量統計	3-7
表 3-4 本所港研中心地工資料庫鑽探試驗資料登錄名詞說明	3-9
表 3-5 本所港研中心地工資料庫鑽探試驗資料登錄名詞說明	3-10
表 3-6 臺中港不同 SPT-N 簡易評估法液化潛勢區佔比	3-22
表 4-1 震陷量 S 與沉陷等級分類	4-2
表 4-2 臺中港不同地震情境評估震陷量範圍與分布占比	4-10
表 5-1 臺中港精緻化分區下液化潛勢門檻加速度值 A	5-4
表 5-2 臺中港精緻化分區下門檻加速度值 A 對應之平均震陷值	5-4
表 5-3 臺中港地震速報簡訊內容一覽表	5-7
表 6-1 各港區 111 年傳送的地震速報簡訊統計表	6-7

第一章 前言

1.1 研究緣起

臺灣位處於環太平洋地震帶西側，受到歐亞大陸與菲律賓海板塊間的地質構造作用，導致地震頻繁，常造成嚴重的人民生命與財物損失，分別包括 1848 年彰化地震、1906 年梅山地震、1935 年新竹-臺中地震、1999 年 921 地震與 2016 年美濃地震，皆造成嚴重災情^[1]。其中有 3 次地震發生於中部地區，分別由彰化斷層、屯子腳斷層、車籠埔斷層所引發，相對位置可參考經濟部中央地質調查所（以下簡稱地調所）2021 年新發布之活動斷層分布圖（如圖 1.1），另地調所新增初鄉斷層、口宵里斷層及車瓜林斷層等 3 條斷層，分別位於南投縣、臺南市及高雄市，總計 36 條活動斷層。

臺灣西部沿海港灣地區因多屬砂岸地形，地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層及海埔新生地，且壓密尚未全部完成，極可能因地震作用產生土壤液化，造成碼頭等結構物損壞，導致港區無法正常運作，營運功能大受影響，且碼頭興建時多以水力抽砂回填施工，此類地質及施工方式最易發生土壤液化(liquefaction)及因液化引發承载力破壞(bearing capacity failure)、地表沈陷(subsurface settlement)、側潰(lateral spreading)及沉箱式基礎位移等災害，相關案例，如 1995 年 Kobe 地震後港區液化(JGS, 1996)^[18]、1999 年土耳其 Kocaeli 地震後臨海區液化(Bray and Sancio, 2006)^[19]與 1999 年 921 地震後臺中港區 1 至 4A 號碼頭液化沉陷^[2]等(交通部運輸研究所(以下簡稱本所)港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)。臺中港港區地層構造多為沖積土層與海埔新生地，在強烈地震作用下，可能再度發生液化現象，造成港灣設施、房屋與地下管線等基礎設施，發生沉陷、傾倒、側潰等災損。

爰此，本計畫蒐集臺中港港區近年新建工程所增加之地質鑽探資料，重新進行液化風險評估，以提供臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)防災管理人員，進行相關巡查與檢視，做為防治土壤液化可

能引致港區設施、人員及車輛等危害之應用參考。

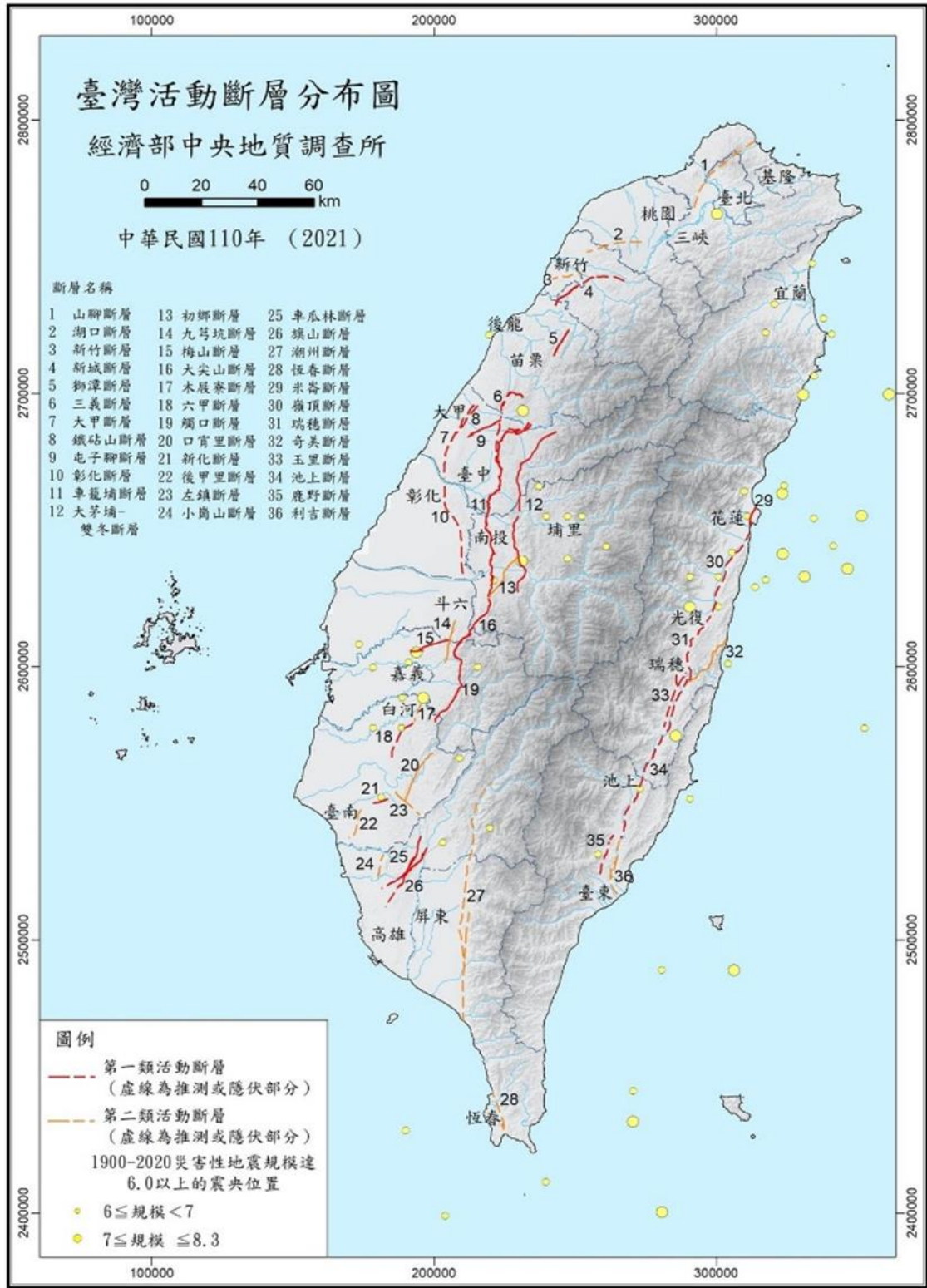


圖 1.1 2021 年版臺灣活動斷層分布圖(地調所)

1.2 研究目的

本計畫基於本所運輸研究業務需要與支援國內重大交通設施之職責，以及延續港研中心前期「港灣地區地工資料建檔及液化自動分析模組之建立」、「港灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究」及「港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究」成果，針對臺中港新建工程所增加之地質鑽探資料，重新進行港區液化分析及風險評估，提供港務公司及臺中港務分公司做為港灣工程及設施維護管理之應用參考。

本計畫研究目的說明如下：

- 1.藉由蒐集、建立臺中港新建工程地質鑽探資料，重新進行港區液化分析及風險評估。
- 2.透過探討國內、外液化潛勢評估分析方法，瞭解臺中港港區不同等級地震發生之液化風險。

1.3 研究方法

本計畫針對臺中港區進行液化潛勢分析，分別使用以 SPT-N 為指標之 NCEER 法^[20]及國震中心 HBF 法^[3]，針對蒐集更新之地工資料庫，於不同地表加速度值下液化土層發生深度與範圍進行分析，並以 Macedo and Bray (2018)^[21]建議程序，推估液化後沉陷量，進而研擬地震後快速液化災損評估內容，提供不同震度下液化範圍、深度與港區沉陷值，輔助港務公司防災管理人員，進行相關巡查與檢視，整體研究方法，如圖 1.2 研究流程圖所示。

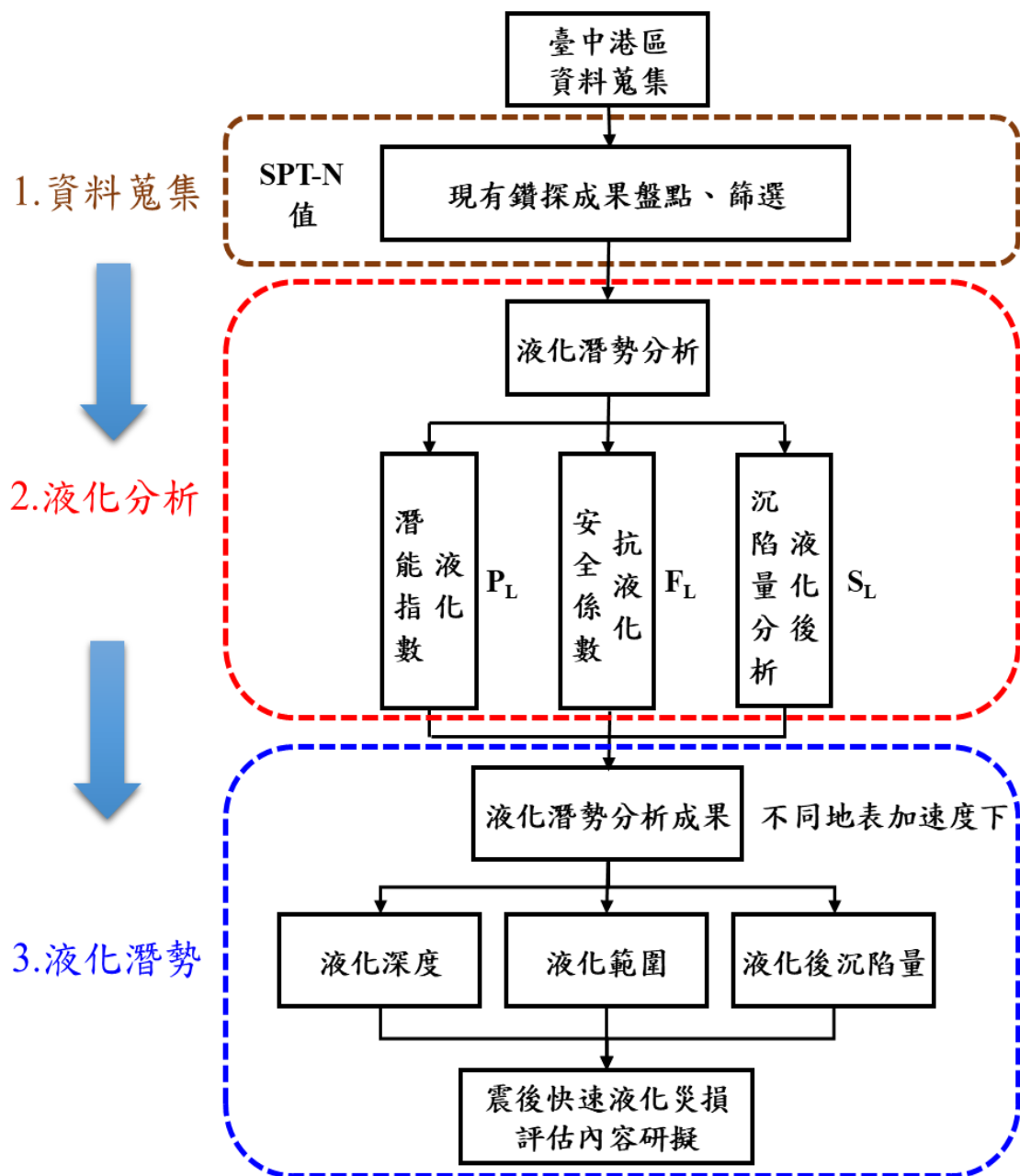


圖 1.2 研究流程圖

1.4 研究內容

本計畫研究內容說明如下：

1. 相關文獻回顧

蒐集液化評估方法相關文獻並進行彙整研析，以供後續探討臺中港液化潛勢評估分析應用。

2. 蒐集與研析相關資料

拜會臺灣港務公司臺中港務分公司，蒐集近年來臺中港港區新建工程地質鑽探資料，予以彙整研析，以供後續於推估臺中港港區針對不同地震之液化潛勢評估及液化風險應用。

3. 探討液化潛勢評估分析方法

探討國內建築技術規則所列液化評估法及國際間採用之液化潛勢評估法，以提供後續臺中港港區地震液化潛勢評估分析之應用。

4. 推估臺中港港區液化風險

以臺中港港區地質鑽探資料，利用液化潛勢評估方法，進行不同地表加速度值下液化土層發生深度與範圍分析，進而推估臺中港港區針對不同等級地震發生之液化風險。

1.5 預期成果(效益)及其應用

1. 預期成果(效益)

- (1)完成臺中港港區新建工程地質鑽探資料蒐集與擴充。
- (2)完成臺中港港區液化潛勢評估分析。
- (3)完成推估臺中港港區針對不同等級地震發生之液化風險。

2.應用

(1)提供臺中港港區地震安全評估相關資訊，可做為臺灣港務公司及臺中港務分公司工程維管人員，震後相關巡查、檢測及防救災決策之應用。

(2)本研究成果可提供本所後續相關研究與港務公司及各分公司在港灣工程規劃、設計及施工之應用。

1.6 前期計畫發展歷程

本所港研中心自民國 89 年起除了於安平港、臺中港、布袋港、臺北港、高雄港、蘇澳港等逐年分別設置完成一組井下地震(CV-373 型)及動態孔隙水壓監測站外，另為降低地表地震儀之儀器或外部干擾產生雜訊，新增地表網路地震儀(CV-374 型)連接井下地震監測儀組成地震災後速報系統。並於民國 101 年起增加花蓮港與基隆港 2 站地震儀(CV-374 型)，歷年(90-110)地震監測成果發展歷程，簡述如表 1-1 所示。

表 1-1 歷年(90-110 年) 地震監測發展歷程

年度	研究重要歷程	成果效益
90-97	● 90-93 年港灣地區地震監測與土壤液化潛能評估。 ● 93 年建置一套自動化之港區地震監測系統。 ● 94-97 年港灣地區地震及液化之常態監測研究。	● 89-94 年期間，於蘇澳、臺北、臺中火力電廠、臺中港、布袋、安平及高雄等港區設置地震計及動態水壓計。 ● 臺中港區有 5 處土質較為鬆軟，極易因強烈地震而造成較嚴重之液化及沉陷災害，其分別位於第 1-4、8-10、W10-W12 號碼頭及南突堤之貨櫃基地與臨港工業專業區(II)。 ● 港區選取測站之理想設置地點並不容易，應避免監測受貨櫃車輛及施工震動之干擾。 ● 建立本土化安全係數法、本土化液化機率法及 Liao(1988)液化機率法 3 種模式，分析臺中港液化危害度之結果

		比較顯示，本土化分析結果，與 921 地震臺中港液化災害現象最為吻合；臺中港液化之臨界地表加速度為 0.13g，臺北港為 0.12g，高雄港為 $A_{max}=0.07g$。 ● 由地震波放大倍率之研究可發現：臺中港震波放大倍率約為 3 倍；臺北港約為 4 倍；高雄港約為 4.5 倍。由此可見高雄港區淺層地層最為疏鬆軟弱，且與深層地層之軟硬比最大，臺北港次之，臺中港最小。另由地震波放大倍率隨深度變化之初步探討結果亦可發現：臺中港、臺北港及高雄港淺層地層之震波放大皆稍大於 Seed & Idriss (1971) 之平均值。 ● 完成棧橋式碼頭動態有效應力分析，可應用在震後土層液化分佈之快速評估與災害速報系統。 ● 出版 8 本研究報告，發表研討會論文 5 篇。
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	● 維護各港區地震災況速報系統，使其能正常運作。 ● 完成西南沿海地質資料建檔及地層下陷量測。 ● 建置港灣工程基本資料庫。 ● 98 年設置臺中港與安平港 2 站各 1 套地表地震儀(CV-373 型)，以精進確保地震速報系統之通報資訊正確。 ● 99 年設置高雄港與基隆港 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 套地震儀(CV-373 型)。 ● 101 年設置花蓮港與基隆港 2 站各 1 套地震儀(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。 ● 出版 10 本研究報告，發表研討會論文 5 篇 ● 維護各港區地震災況速報系統，使其能正常運作。
108-110	● 108-110 年港區震	● 維護各港區地表地震災況速報系統

	災速報系統維護及地層下陷調查分析研究。	(基隆、臺北、蘇澳、臺中、高雄、安平、布袋及花蓮等 8 港)，使其能正常運作。 ● 108 年增設基隆港與花蓮港室內(原室外各有 1 臺)三向度網路型地表地震儀(CV-374 型) 各 1 套，以精進確保地震速報系統之通報資訊正確。 ● 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，使本所港灣環境資訊網資訊正確。 ● 110 年完成各港區之三向度網路型地表地震儀(CV-374 型)與本所港灣環境資訊網、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系統之通報資訊正確。 ● 完成 3 次各港防救災管理相關人員地震簡訊接收者之名單及地震資料更新。 ● 出版 4 本研究報告，投稿港灣季刊論文 1 篇。
--	----------------------------	--

第二章 文獻回顧

臺灣四面臨海，港口為國家重要物資進出通道，又身處歐亞板塊交界，地震頻繁，再加上西部沿海地區又屬地質鬆軟的新沖積地層，當地震來時容易產生土壤液化，為確保位於港區軟弱沖積土層結構設施之安全，應謹慎考慮土壤液化可能引致港區人員、車輛及設施等之危害。本章就國內外有關土壤液化之研究敘述如下：

2.1 液化機制

土壤液化係指飽和疏鬆顆粒性土壤，受到短期靜力(monotonic loading)或反覆應力(cyclic loading)作用，孔隙間水分無法完全排出並完全承受此外力，致使超額孔隙水壓上升，當此超額孔隙水壓力持續累加，土壤所受之有效應力將逐漸趨近於零，此時土壤顆粒將懸浮於水中並喪失剪力強度^{[4][22]} (如圖 2.1)。土層發生土壤液化現象可能致使不同程度之沉陷、側向位移或是砂潰等現象，使液化土層上承之構造物、地下管線與建築設施發生差異沉陷、上浮、側傾或倒塌等災害，在臺灣有多次歷史地震引起土壤液化現象的記載，近幾年集集大地震、甲仙地震、美濃地震(如圖 2.2)^[5]，以及長濱地震(如圖 2.3)^[6]也發生土壤液化災害。

地震來時，引致土壤液化多發生在沖積平原、河岸與水力回填之海埔新生地等較多^[23]，一般來說液化土層具備現場地下水位高、土壤組成為疏鬆砂土且液化深度較淺等特性，影響土壤液化的因素眾多，包括：

1. 相對密度：

對於同一非凝聚性土壤，其相對密度越高，其剪脹特性(dilatancy)越趨明顯，因此，當顆粒性土壤受一地震反覆剪應力時，由於剪應力引起土顆粒間相互位置的變化，使排列變化從而使顆粒間的孔隙加大，從而發生了體積變化，致使超額孔隙水壓不易上升。Casagrande 以臨界孔隙比說明液化現象^[24]，當砂土處

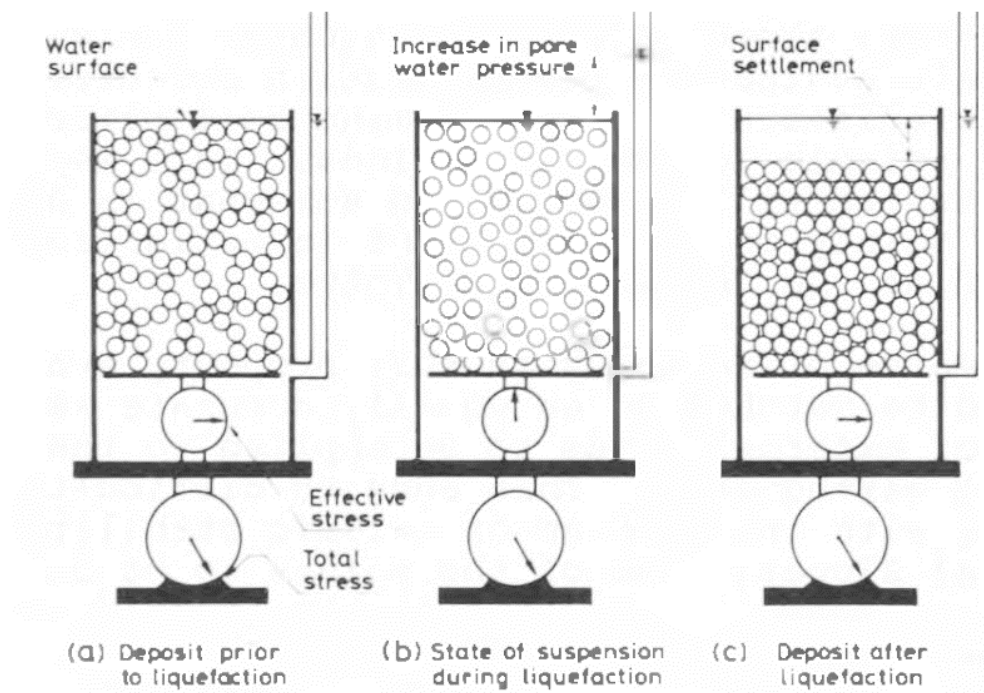


圖 2.1 液化致使土壤顆粒沉積狀態改變示意圖(Ishihara, 1985)^[22]



圖 2.2 2016 年 美濃地震臺南市安南區民宅因土壤液化災損狀況



圖 2.3 2022 年 長濱地震花蓮縣玉里舊鐵橋北側，小規模液化現象

於不排水狀況，且初始孔隙比大於臨界孔隙比時，砂土體積會因反覆剪動越趨緊密，致使孔隙水壓力提高，直至液化現象產生。Seed and Idriss^[25]於 1964 年新潟地震案例，歸納出相對密度 50% 左右之砂土層均發生嚴重液化現象，而相對密度 70~75% 之砂土層，液化情形較為罕見。

2. 顆粒特性：

顆粒特性包含顆粒級配、大小及形狀，Seed and Idriss^[25]以不同顆粒特性試體探討抗液化能力之影響，依實驗結果，當平均粒徑 D_{50} 越大時，其抗液化能力越強，說明中細砂土壤較容易液化；就級配而言，優良級配較均勻級配之試體抗液化能力高，就顆粒形狀而言，圓形顆粒具有較高之液化潛能。因此，土壤顆粒反覆受剪時，孔隙間顆粒之互制作用對體積應變的影響為液化是否發生之關鍵。

3. 細粒料含量(fines content, FC)：

對於非凝聚性土壤，當其小於 200 號篩之含量越高時，其液化阻抗有增加之趨勢^{[24] [25]}。對於臺灣中南部典型之粉質砂土，細粒料含量對抗液化強度之影響尤其重要，目前液化評估法皆考量其比例，進行液化阻抗計算之修正。

4. 地下水狀況：

Sherif 依研究結果^[28]指出非飽和土壤因其氣相之高壓縮性特性，孔隙水壓相較飽和土壤，其孔隙水壓僅有少量增加。惟地下水位以下之土壤，因飽和度高，受反覆剪應力作用時，超額孔隙水壓快速累積，因此更容易產生液化現象。再者依 Seed et al. 研究結果^[29]，若相較於超額孔隙水壓累積速度，土壤本身排水速率較快時，則抗液化潛能較高。

5. 覆土有效應力：

Seed et al.^[27]指出 K_0 情況下，致使土層液化所需之剪應力隨深度而增加，即深層土壤較淺層土壤不易達到液化。再者依 Iwasaki et al.^[23]於液化潛能評估中，建議主要考量液化深度 20 公尺內的範圍。

6. 土壤應力、應變歷史^[4]

由於土壤本身之早期微小應變歷史，造成結構間的互鎖作用 (interlocking)，因此，曾受過小規模地震的土層，將呈現較大的液化阻抗。若土層之年代久遠，沈積過程中顆粒間形成膠結作用，因此，其抗液化的能力較高；過壓密土壤亦較正常壓密土壤不易液化。當砂土受不同持續荷重之影響，顯示較長荷重持續時間作用下，其導致土壤液化所需之剪應力比有明顯增加之趨勢。

Kramer 將土壤液化現象按照發生機制^[30]，分類為流動液化(flow liquefaction)與反覆流動變形(cyclic mobility)，流動液化發生於土壤液化前所受之靜剪應力(static shear stress)小於液化後土壤殘餘剪力強度時，不穩定之土壤結構將產生如同液體流動之大量變形。反之，當土壤液化前所受之靜剪應力大於液化後土壤殘餘剪力強度時，此時土壤變形量於受剪過程中，會逐步累加，但其變形量有限。

2.2 可能發生土壤液化之地質^[4]

發生土壤液化之地質如果發生液化的砂層位置較淺，其上方覆蓋的未液化土層厚度又很薄時，即可能發生地表破裂，產生噴砂及大量沉陷的土壤液化表徵。

由土壤液化的成因來看，具有下列條件者，有較高的液化潛能：

1. 地下水位高。
2. 土壤主要為飽合之疏鬆細砂、粉土質砂，而且分佈深度較淺。

3.地盤振動規模大、地表加速度大、場址地震強度放大效應強。

根據 Iwasaki et al 分析了數十個日本地震引致的液化案例，提出區域地質狀況與液化現象間之關係，如表 2-1 所示。

表 2-1 可能發生液化之地質^[4]

等級	地 質	液化潛能
A	現有河床、古河道、沼澤、新生地、谷地	最可能發生液化
B	沖積扇、沖積平原、天然土堤、沙丘、 海灘、河灘、平原地	可能發生液化
C	台地、丘陵、山地	較不會發生液化

2.3 土壤液化潛能安全評估

土壤液化潛能安全評估需考量實際土層之抗液化強度，可分為簡易評估法與室內試驗法兩種，對於地震引致之土壤液化現象，除須考慮土壤本身之抗液化能力，亦需考慮地震發生之規模與各地實際發生之震度，依據建築設計規則，土層是否液化，由抗液化安全係數 FL 值決定之，其定義如下：

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \quad (\text{式 2.1})$$

式中 CRR 為土層抗液化剪力強度比，可依各液化潛能評估方法進行計算，亦可依室內試驗方法進行求取，而 CSR 為地震引致土層之平均反覆剪應力比，依 Ishihara (1993) ^[31] 之定義：

$$CSR = 0.65 \times \frac{a}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} \times \gamma_d \quad (\text{式 2.2})$$

式中 a 為尖峰水平地表加速度，規範中規定應檢核中小地震、設計地震與最大考量地震時之不同地表加速度值，g 為重力加速度， σ_{v0} 與 σ_{v0}' 分別為垂直覆土總應力與有效應力， γ_d 為深度折減因子，即地震時剪應力沿地層深度方向之折減係數，依不同液化評估方法有所不同。

2.4 土壤液化評估方法^[4]

現有之土壤液化潛能分析評估方法眾多，大致上可分為理論或數值分析方法，以及採用經驗或半經驗公式之簡易分析法兩種。基於液化潛能評估之理論或數值分析方法，通常須透過複雜的電腦程式進行運算，因此於工程界較少人使用。當今世界上工程界著名之土壤液化評估方法，大多是累積許多地震液化案例，以及大量現場或室內試驗研究成果，並針對工程實務應用發展而成。基本上，這些方法都不需要煩雜之理論計算，經由簡單公式，即可獲得符合工程需要之評估結果，稱之為簡易分析法(Simplified Method)，目前廣為工程界普遍應用。

簡易分析法之計算工作可分為兩大部份，第一部份是利用地震來時之地表最大加速度 PGA 〈Peak Ground Acceleration〉，以半經驗之簡易公式計算地震時土層所受之反覆剪應力比(Cyclic Stress Ratio)，第二部份則是估計土層之抗液化強度〈以反覆剪應力比表示〉，此部份之抗液化強度可取現地不擾動土樣於室內進行動態強度試驗求得，稱之為室內試驗法；或採用現地試驗參數如 SPT-N、CPT-qc 或震測剪力波 Vs 等，利用地震液化案例反求之經驗曲線，稱之為現地經驗法。

SPT-N 法為目前工程界評估液化潛能最常使用的方法，這是基於一般地層液化案例之鑽探調查資料中，大多有標準貫入試驗及劈管取樣成果資料，除可獲知 N 值之外，藉由劈管取樣所取得之銅圈土樣進行一般物理性質試驗，可進一步獲得準確之土壤分類與指數性質及粒徑分佈資料，因此，目前世界各國設計規範，均以 SPT-N 法為基本方法，並成為工程界之主流，廣為各界所採用。其中較常被使用的相關方法說明如下：

1. NCEER 法

NCEER 法源自 Seed et al. (1985)^[32]提出之簡易評估法，歷經 1997 年(Youd and Idriss, 1997)^[33]與 2001 年(Youd et al., 2001)^[20]兩個版本，屬美國 NCEER 研討會後，經各學者討論歸納之彙整版本，因此通稱 NCEER 法。Seed 簡易經驗評估法早年蒐集全球地震規

模(Mw)約 7.5 大地震發生時液化及未發生液化之案例，並估算現地土壤所受平均反覆剪應力比與 SPT-N 值之關係，選定區分液化案例之分界線。NCEER 法(2001)^[20]廣泛應用於歐美等國家，為工程師較熟悉之液化評估方法，其分析流程如圖 2.4 所示。

其抗液化安全係數 FS 如公式 2.1 之定義，可分別估算 CSR(式 2.2)與 CRR 來評估液化潛勢，由於 NCEER 法係由 Youd et al. (1997)^[33]基於 Seed et al. (1985)^[32]之圖解法所提出之迴歸公式，以方便方程式計算，其深度修正因子公式，如式 2.3：

$$\gamma_d = \frac{(1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2)} \quad (\text{式 2.3})$$

式中 z 為深度，單位為公尺(m)，其餘參數皆屬迴歸係數。而 $\text{CRR}_{7.5}$ 係為乾淨砂之抗液化剪力強度比，其公式如式 2.4：

$$\text{CRR}_{7.5} = \frac{a + cx + ex^2 + gx^3}{1 + bx + dx^2 + fx^3 + hx^4} \quad (\text{式 2.4})$$

式中 x 為修正後之乾淨砂 $(N1)_{60,cs}$ ，餘參數皆屬迴歸係數。綜上所述，可分別計算評估土層之 CSR 與 CRR，進行抗液化安全係數 FS 值之計算，並配合 Iwasaki et al. (1982)^[23]考量 20 公尺內深度範圍之液化潛能分析，可計算液化潛能指數 PL 值。

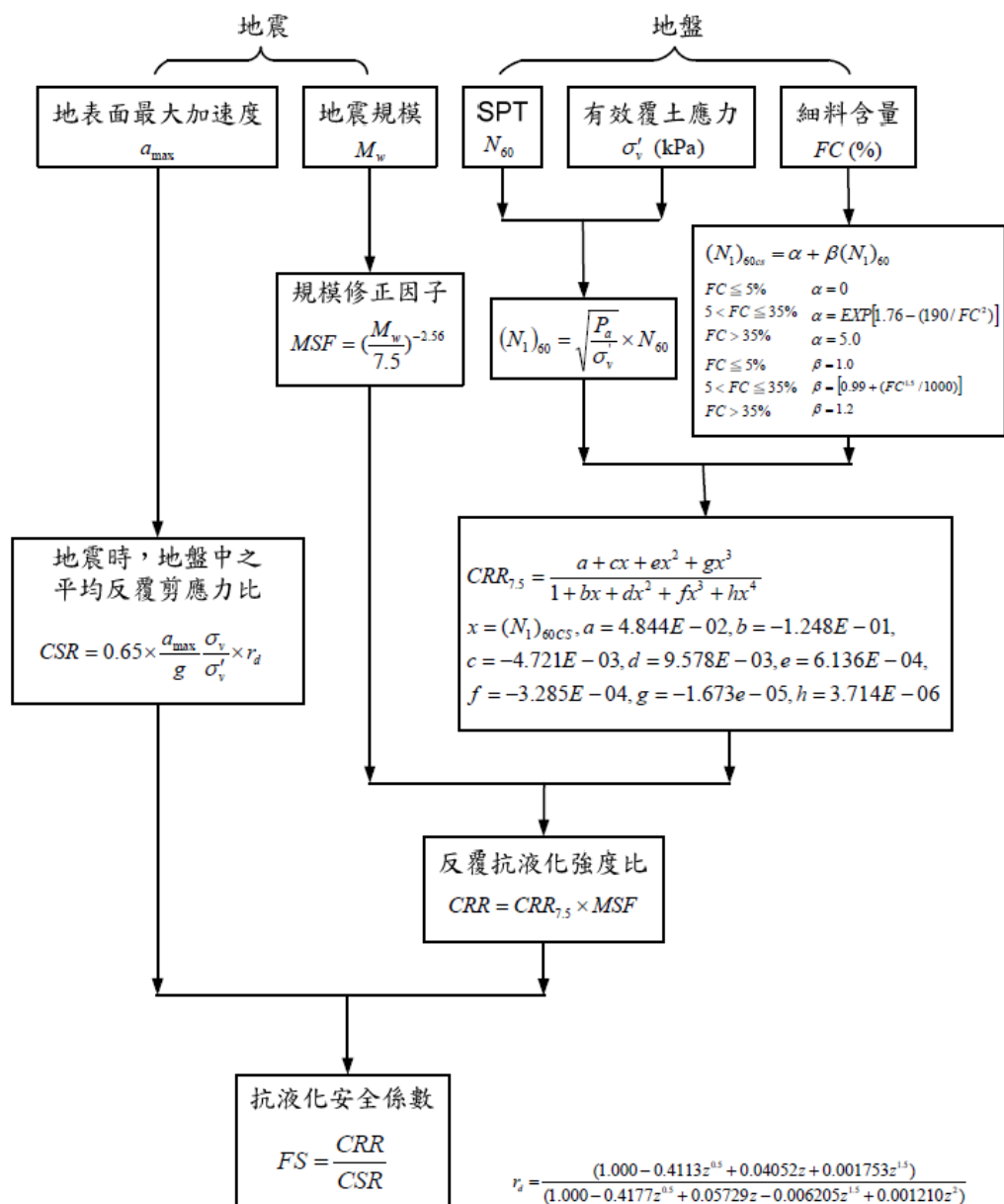


圖 2.4 NCEER 法(2001)液化評估法之計算流程圖^[20]

2. HBF 法

本方法係參考 Seed et al. (1985)^[32]發展簡易評估法之基本架構，利用地震時現地土壤發生液化與非液化之案例資料，用以界定土壤之抗液化強度。發展 HBF 評估法所用案例資料，除包含世界各國案例三百多筆(Cetin et al., 2000)^[34]外，更增加國內 1999 年集集地震案例三百多筆，迴歸分析時，採用雙曲線函數(hyperbolic

function, HBF)表示土壤之抗液化強度，故為包含本土地震資料之液化評估法(黃俊鴻等人，2012)^[3]。

針對沖積層之飽和土層，符合以下條件時，應按下列方法進行土壤液化之評估：

- (1).位於地表面下 20 公尺以內，且位於地下水位以下之飽和土層。
- (2).塑性指數 I_p 小於 7 之土層。

當抗液化安全係數 FL 值(參考式 2.1)小於 1.0 時，即判定該土層可能液化。整體計算流程如圖 2.5 所示，主要分為地震與地盤兩大類，分別為計算特定地震規模 M 引致土層之平均反覆剪應力比 CSR(參考式 2.2)，其中深度修正因子 以式 2.5 進行計算：

$$\gamma_d = \begin{cases} 1.0 - 0.01z & (z \leq 10m) \\ 1.2 - 0.03z & (10m < z \leq 20m) \end{cases} \quad (\text{式 2.5})$$

式中 z 為深度。並計算土層抗液化剪力強度比 CRR，其主要依據 SPT-N 值進行估算，如式 2.6 所示：

$$CRR = CRR_{7.5} \times MSF \quad (\text{式 2.6})$$

式中 $CRR_{7.5}$ 為地震規模 7.5 之抗液化剪力強度比，MSF 為地震規模修正因子(magnitude correction factor)。CRR_{7.5} 係為乾淨砂之抗液化剪力強度比，其公式如式 2.7：

$$CRR_{7.5} = 0.08 + \frac{0.0035 \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs} / 39} \quad (\text{式 2.7})$$

式中 為考量土壤細粒料含量影響之修正 SPT-N 值，若所評估之土層屬粉質砂土時，應考量細粒料含量 FC 進行對應修正。

綜上所述，可分別計算評估土層之 CSR 與 CRR，進行抗液化安全係數 FL 值之計算，並配合 Iwasaki et al. (1982)^[23]考量 20 公尺內深度範圍之液化潛能分析，可計算液化潛能指數 PL 值。

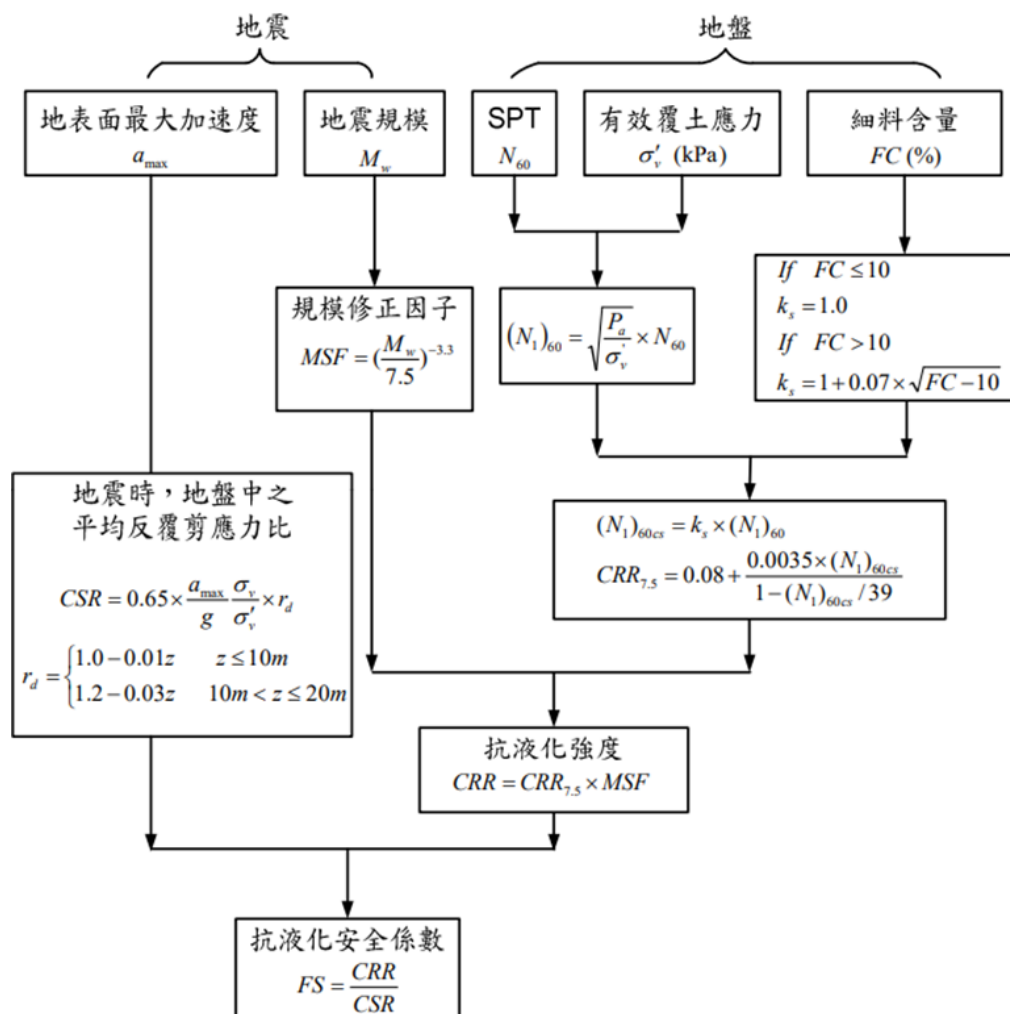


圖 2.5 雙曲線函數(HBF)液化評估法之計算流程圖^[32]

3. Tokimatsu 與 Yoshimi 簡易經驗法

本法為東京工業大學 Tokimatsu 與 Yoshimi 教授於 1983 年根據日本過去 10 次地震約 70 個地區案例，與世界各國約 20 個發生液化與非液化地區案例所提出，此法略經修改後，已納入日本建築學會與原子能委會之設計規範中。本簡易經驗法於土壤抗液化強度評估上，主要依據現地冰凍法取得之不擾動試體土樣與傳統試體土樣，進行試驗室反覆三軸試驗，求出砂性土壤於不同相對密度 ($Dr=50\sim85\%$)，在反覆振動作用 15 次下，產生雙向剪應變振幅分

別為 2.5%、5%與 7%時的初始液化反覆剪應力比。

4. 日本道路橋協會簡易經驗法

1995 年日本阪神地震後，日本道路橋樑協會將此次地震液化經驗與學者相關研究結果整合後，重新擬定新的土壤液化潛能分析方法；而內政部建築研究所之研究計畫成果報告「建築技術規則建築構造設計規範（含解說）」(1998)有關液化評估方法，則已介紹日本道路橋樑協會簡易經驗法(JRA, 1996)。規範中規定於下列情況下，須進行土壤液化潛能之判定：如(1)土層為沖積砂質土。(2)地下水位在地表面下 10m 以內且深度在 20m 以內。(3)土壤本身細料含量 $FC < 1\text{mm}$ 。

5. Liao 液化機率分析方法

Liao et al.(1988)，以邏輯轉換(Logic Transformation)及最大似然性法 (Maximum Likelihood)之推定分析，將液化機率 PL 表示成地震力參數及土壤特性參數之函數。Liao 蒐集了震災地區共 278 組 SPT 現場數據，以邏輯迴歸方法進行分析，建立以 SPT-N 值評估液化機率之迴歸模式。此法之最大優點為允許更多影響液化特性之參數，納入邏輯迴歸之評估中，另一優點為能夠直接定量表達工址可能發生液化之機率。黃富國等(1999)^[7]，將 SPT-N 值簡易液化評估法進行比較，結果如表 2-2 所示。

表2-2 SPT-N值簡易液化評估法之比較^[7]

		Seed	T&Y	JRA96	Liao
地震參數		PGA，M	PGA，M	PGA	PGA，M
土壤參數		N，FC	N，FC， γ	N，D50，FC	N，FC
鑽桿能量比%		60	80	72	60
動態 強度	循環次數	15	15	-	-
	振幅應變	5%	2.5~7.5%	-	-
剪應力特性		等值剪應力	等值剪應力	最大剪應力	-
方法特性		半經驗法	半經驗法	半經驗法	機率統計法
安全係數		1.25~1.5	疏鬆砂土層 N ₁ <10，取 1.5，中等緊 密砂至緊 砂，取1.3	1.0	發生機率 0~1

2.5 土壤液化風險評估

Iwasaki et al. (1982)^[23]考量土層深度之影響，提出以深度進行加權評估整體鑽孔之液化潛能方法，以液化潛能指數 PL(liquefaction potential index)來表示土壤液化潛勢，圖 2.6 為 PL 之計算說明示意圖， P_L 計算公式如式 2.8：

$$P_L = \int_0^{20} F(z)W(z)dz \quad (\text{式 2.8})$$

式中 $F(z)$ 為特定深度抗液化安全係數 FL 與安全係數 1.0 之差值， $W(z)$ 為深度修正因子，其計算如式 2.9 及式 2.10 所示：

$$F(z) = 1 - F_L(z) \quad (\text{式 2.9})$$

$$W(z) = 0.5(20 - z) \quad (\text{式 2.10})$$

式中深度修正因子給予不同深度之權重修正，並主要考量 20 公尺內深度範圍之液化潛能分析。

Iwasaki et al. (1982)^[23]比較多個液化與非液化場址之液化潛能指數 P_L 值，歸納出 $P_L=15$ 時，為大部分液化與非液化場址之分界

線，因此，提出三個液化風險等級，分別為輕微液化($0 \leq P_L \leq 5$)、中度液化($5 \leq P_L \leq 15$)與嚴重液化($P_L > 15$)，作為土壤液化風險評估之依據，但液化潛能指數與液化發生機率之物理意義並不相同，目前國家地震中心提出之 TELES 系統與地調所進行之全國液化潛勢圖調查，皆採用 Iwasaki et al. (1982)^[23] 之液化潛能指數 P_L 來區分液化風險程度。

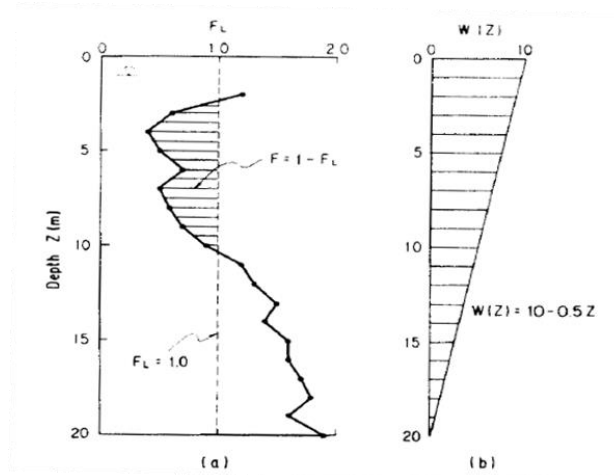


圖 2.6 液化潛能指數 P_L 計算說明^[23]

2.6 土壤液化引致沉陷量推估

Ishihara and Yoshimine (1992)^[35] 提出因土壤液化引致之沉陷量推估模式，此模式係依最大剪應變與最大體積應變之關係式提出，可進一步推估最大剪應變與抗液化安全係數之關係，並用於推估沉陷量，其成果屬圖解法(如圖 2.7)，紀雲曜(1997)^[8] 以非線性迴歸方法提出公式，求解液化引致之沉陷量。國內以葉錦勳(2003)^[9] 採用紀雲曜(1997)^[8] 提出之評估模式，計算不同地震規模、地下水位和最大地表加速度 PGA 等條件下，液化土壤引致之沉陷量，其成果如圖 2.8 所示，可發現當 PGA 越大時，沉陷量將趨於定值，且正規劃之液化後沉陷量與 PGA 呈現類似對數常態分佈曲線關係。

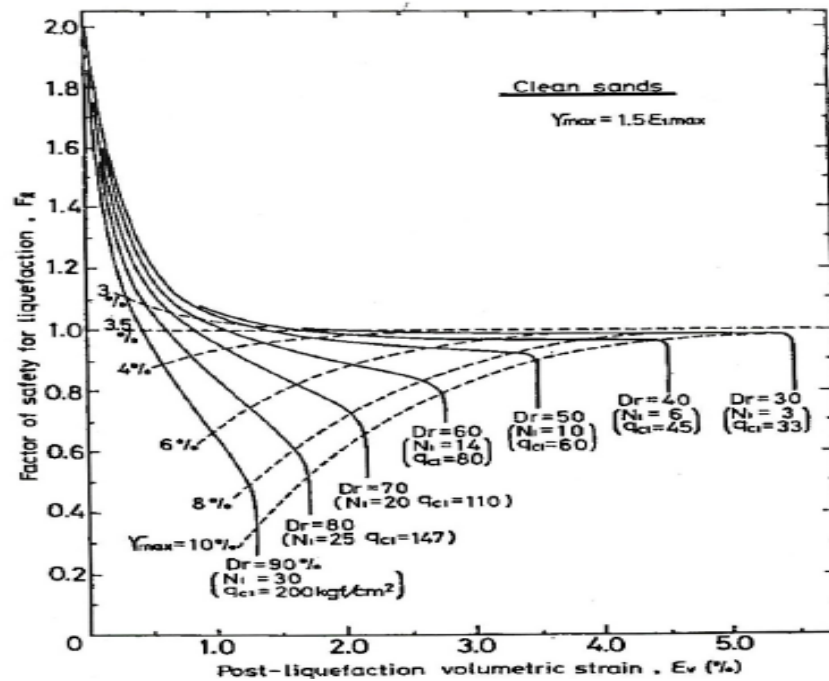
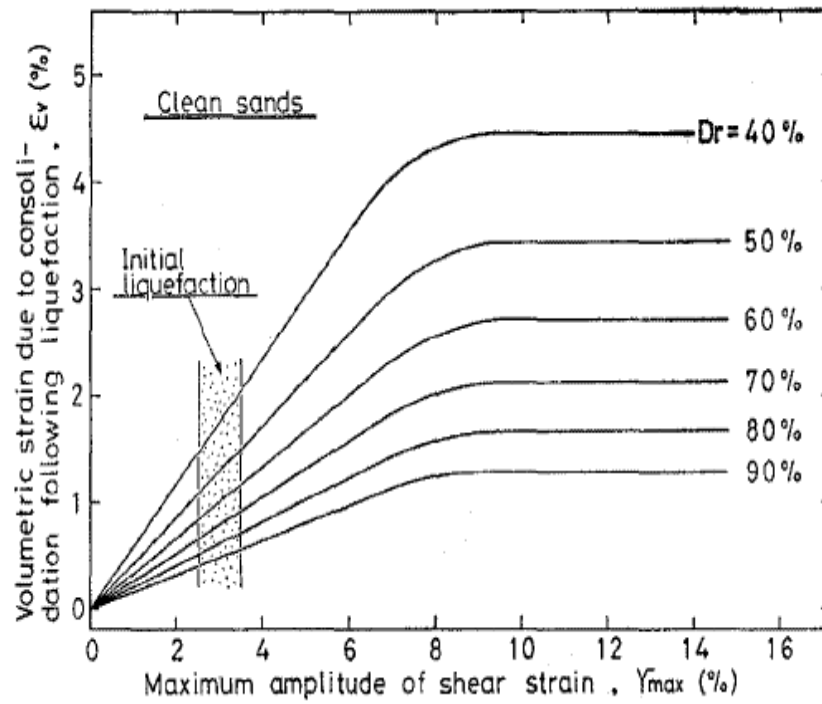


圖 2.7 液化後體積應變、最大剪應變與抗液化安全係數關係^[35]

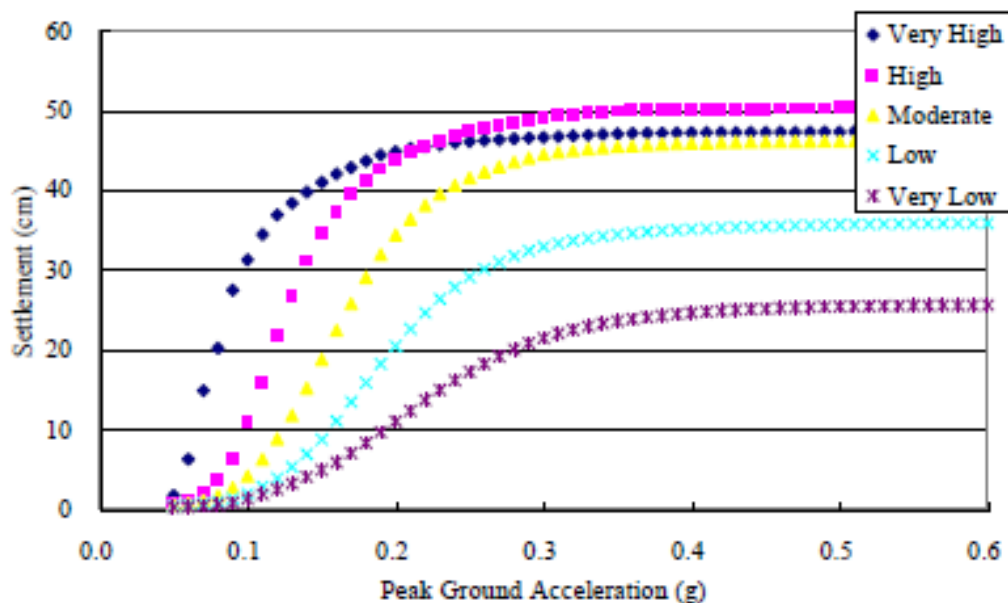


圖 2.8 不同液化敏感類別液化後沉陷量隨 PGA 之變化情形^[8]

Ishihara and Yoshimine (1992)^[35]提出之液化引致沉陷分析方法，僅考量液化砂土層本體體積應變之變化，若液化土層上方存在建築物時，則此分析方法可能產生低估之現象，Ashford et al. (2011)^[36]觀察日本 2011 年東北地震液化後鄰近建物之沉陷差異(如圖 2.9)，照片左側建物基礎型式為樁基礎，其樁基礎承載位置穿過液化土層，因此建物本身無明顯沉陷，然而鄰近路面產生約 30 公分沉陷量，照片右側屬淺層筏式基礎，建物本身下沉約 70 公分。因此，Macedo and Bray (2018)^[21]提出液化引起之建築物沉陷主要可分為(1)受剪力作用引致 D_s 、(2)產生體積應變引致 D_v 及(3)噴砂後產生之地表變形 D_e 共三類，如圖 2.10 所示。



圖 2.9 東北地震後建築物不同基礎形式液化後引致沉陷量差異^[36]

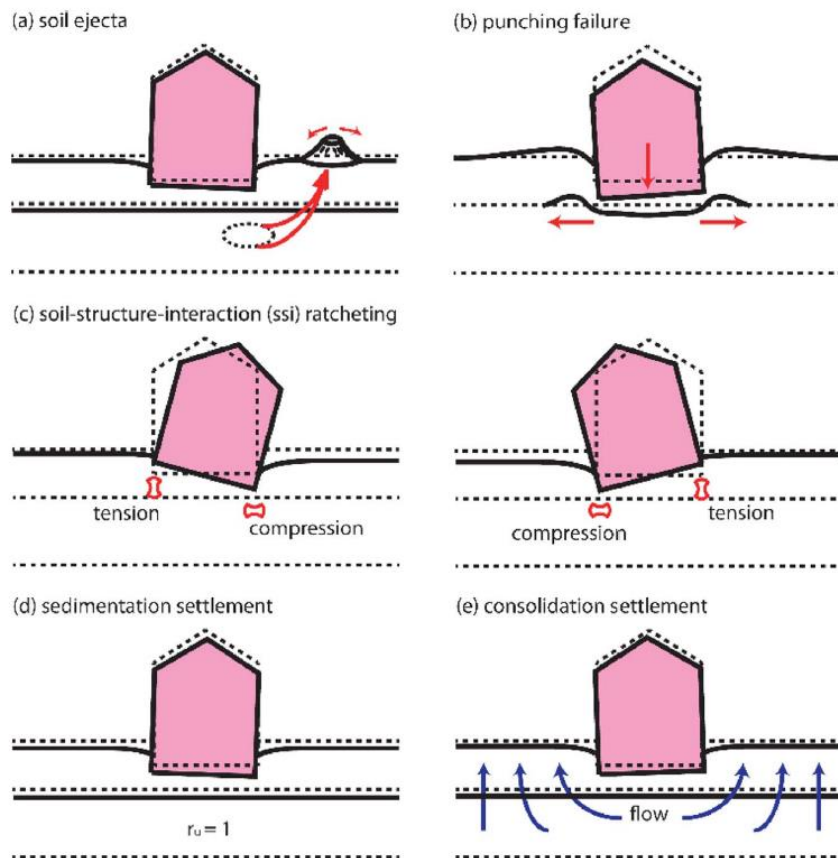


圖 2.10 液化後引致建築物位移機制示意圖^[21]

第三章 臺中港區液化潛勢分析

臺中港區地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層及水力抽砂回填之海埔新生地，目前共配置 14 個專業區(如圖 3.1 所示)，1999 年 921 集集大地震時，臺中港區量測到最大 PGA 約為 0.16 g，依據本所港研中心震後於臺中港區進行災況調查，其中以 1 至 4A 碼頭受損最為嚴重，沉箱碼頭最大外移 1.7 m，道路因液化發生噴砂，導致鋪面崩裂與凹陷等災害，震後港區多處受損，依調查結果顯示，嚴重破壞區域多為水力回填區^[2]。

2016 年 2 月 6 日美濃地震造成臺南地區嚴重土壤液化災情，立法院於同年 4 月 13 日修正公布災害防救法第 2 條，明定土壤液化為天然災害範圍，賦予法源依據，土壤液化潛勢依據土質鑽探孔的密度，大致可分為「初級」、「中級」與「高級」三個等級。初級圖資主要作為大面積國土規劃、重大公共工程選址參考，但不得直接引用於工程規劃或設計，其比例尺約為 25,000 分之一；中級圖資之土壤液化潛勢，則做為都市防災、都市更新規劃的應用，比例尺約為 3,000 分之一；高級圖資則視開發單位需求，依規範進行細部地質探查與評估，供設計分析使用。液化潛勢等級可分為三個等級，分別為：低潛勢(綠色)代表地基可能無影響或者輕微影響、中潛勢(黃色)代表地基可能有輕微至中度影響、高潛勢(紅色)代表地基可能有中度至嚴重影響。

圖 3.2 為地調所公布鄰近臺中港之土壤液化潛勢圖資，可發現港區大部分屬於中、高潛勢區，可說明此區域受震產生災損之風險極高，而對於臺中港此類重要公共設施，其圖資精度與後續應用仍有待精進。因此本章節以完整蒐集之 SPT 鑽探試驗資料進行不同地震規模之液化分析，建構臺中港完整液化潛勢分析成果，以做為第五章震後快速液化災損評估訊息研擬之依據，以下就臺中港液化分析基本參數、資料分布與不同方法之液化分析成果依序進行說明：

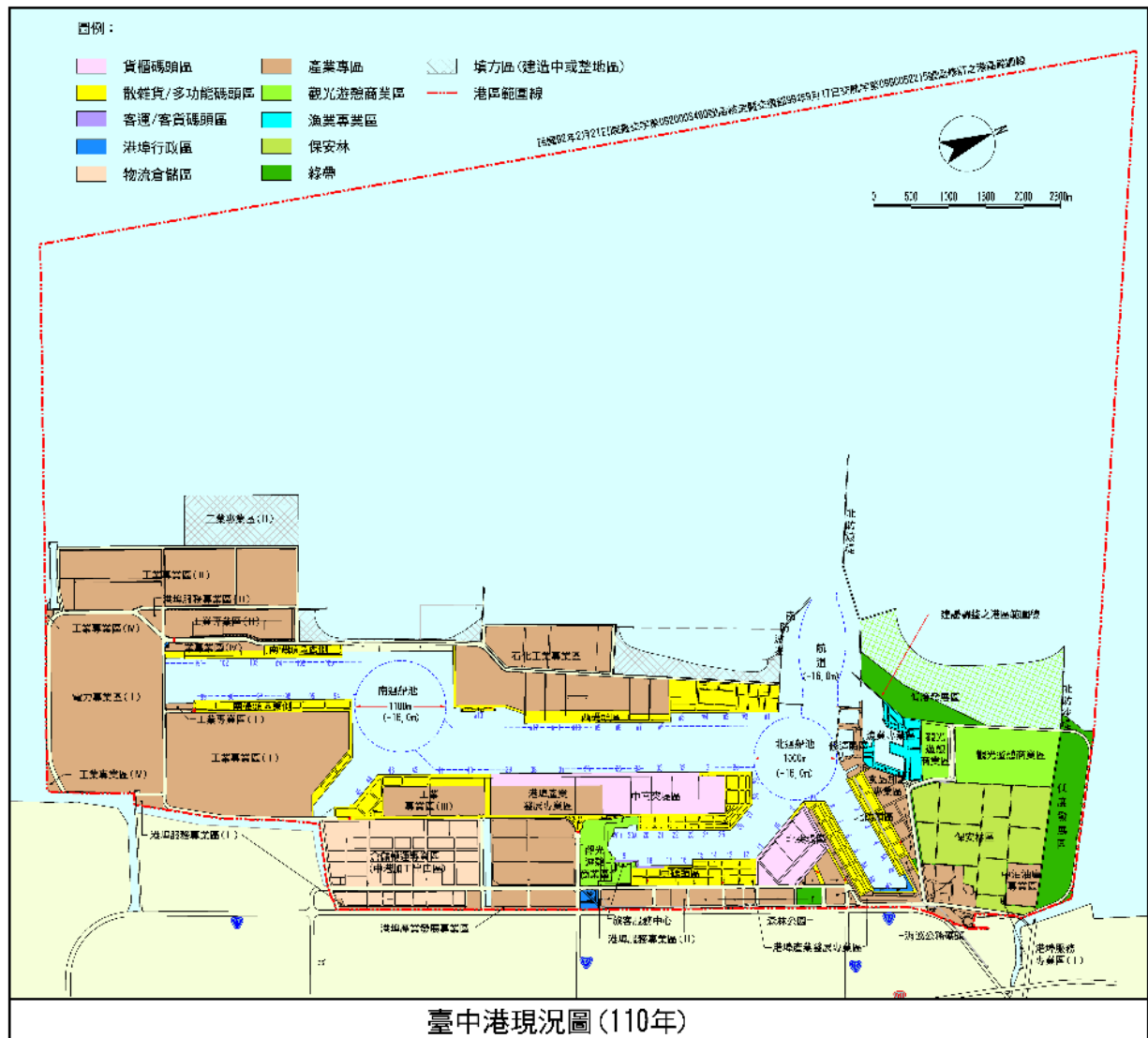


圖 3.1 臺中港整體規劃及未來發展(現況 110 年，港務公司提供)

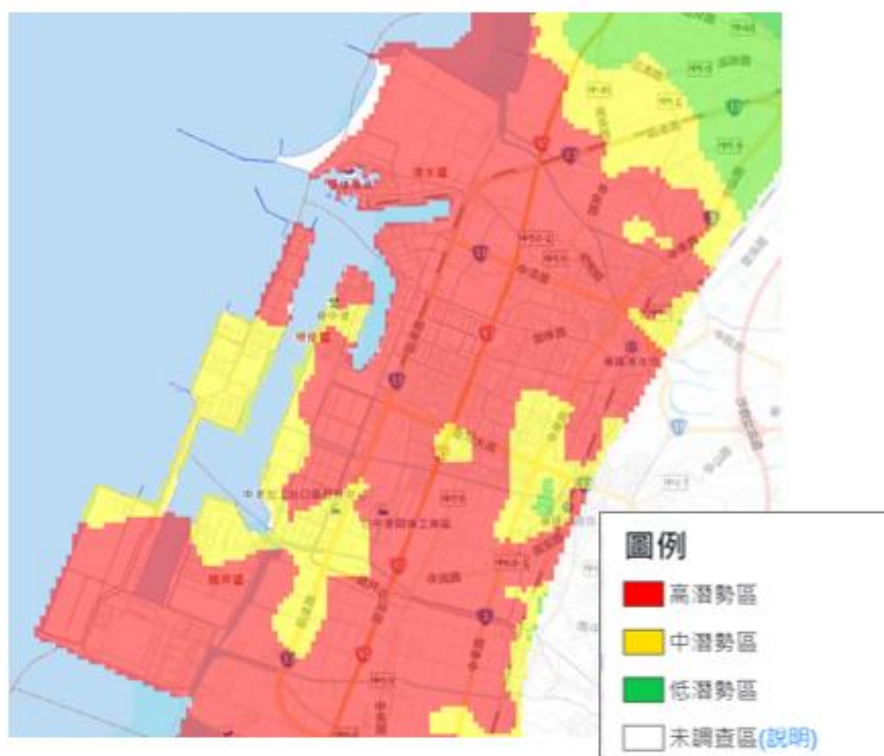


圖 3.2 臺中港區液化潛勢圖資(來源:地調所)

3.1 液化分析基本參數與資料說明

依據內政部營建署(2022)^[13]最新版本之建築物耐震設計規範及解說，建築物工址位於飽和砂土地層時，在地震時可能產生液化現象，應就規範規定計算抗液化安全係數 F_L 值(式 2.1)，以判定該土層是否為液化土層。評估方法可分為室內試驗法與簡易評估法兩類，惟工程實務中常採用簡易評估法，如 SPT-N 法、CPT- q_c 法及 V_s 法等，各種液化評估法皆有其發展背景、基本資料庫與限制條件等，長期以來，國內通常採用 SPT-N 法，規範列舉如 HBF 法(黃俊鴻等人，2012)^[3]、NCEER 法(Youd et al., 2001)^[20]與日本道路協會法(JRA, 1996)^[14]，本研究之液化分析係以 HBF 法與 NCEER 法進行。

建築物耐震設計規範規定簡易評估法應就不同地震規模進行計算，分別為以中小地震、設計地震與最大考量地震進行評估。表 3-1 為該規

範於不同縣市於土壤液化潛能評估中，建議使用之地震規模(M_w)，臺中港位處臺中市梧區棲，因此後續分析分別以 6.9、7.1 與 7.3 之 M_w ，搭配中小地震、設計地震與最大考量地震進行地震規模修正因子之計算。另於抗液化安全係數 F_L 計算中，需考量不同地震加速度下，地震引致土層之平均反覆剪應力比(CSR)，其定義如式 3.1 所示：

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times r_d \quad (\text{式 3.1})$$

其中 A 為尖峰水平地表加速度， g 為重力加速度， σ_{v0} 為垂直覆土總應力， σ'_{v0} 為垂直覆土有效應力， r_d 則為深度修正因子。不同地震規模下，尖峰水平地表加速度 A 應就分析工址之設計地震頻譜進行計算，如式 3.2 至式 3.4：

$$A = \frac{0.4S_{DS}}{4.2} g \quad (\text{for 中小地震}) \quad (\text{式 3.2})$$

$$A = 0.4S_{DS} g \quad (\text{for 設計地震}) \quad (\text{式 3.3})$$

$$A = 0.4S_{MS} g \quad (\text{for 最大考量地震}) \quad (\text{式 3.4})$$

其中 S_{DS} 與 S_{MS} 為工址水平譜加速度係數，可由國家地震中心開發之臺灣規範反應譜查詢介面中查詢(如圖 3.3)，後續主要以臺中市梧棲區之震區水平譜加速度係數進行液化分析，於分析中之尖峰水平地表加速度 A ，分別以 0.07 g、0.28 g 與 0.36 g，對應中小地震、設計地震與最大考量地震進行考量，則 CSR 基本分析參數彙整如表 3-2 所示。

表 3-1 不同縣市土壤液化分析建議之地震規模(營建署，2022)

縣、市	對應中小度地震之地震規模	對應設計地震之地震規模	對應最大考量地震之地震規模
基隆市、新北市、臺北市、宜蘭縣、花蓮縣、台東縣	7.1	7.3	7.5
桃園市、臺中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣市、臺南市、高雄市	6.9	7.1	7.3
新竹縣市、苗栗縣、屏東縣	6.7	6.9	7.1
澎湖縣、金門地區、馬祖地區	6.5	6.7	6.9

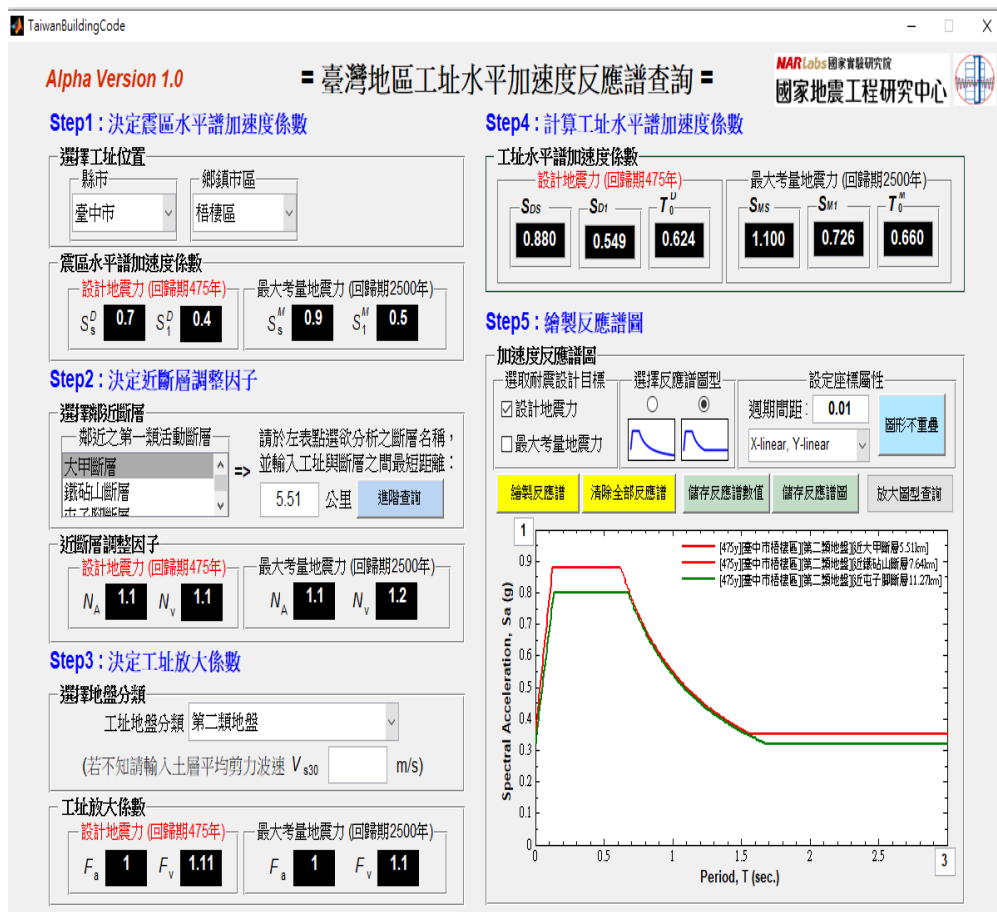


圖 3.3 國家地震中心臺灣規範反應譜查詢介面

表 3-2 臺中港區不同分析情境之地震規模與分析加速度

分析 情境	中小地震	設計地震	最大 考量地震
地震規模 M_w	6.9	7.1	7.3
分析 加速度 A	0.07	0.28	0.36

目前本所港研中心地工資料庫之 SPT 鑽探資料數量為 168 孔，為完整進行臺中港區土壤液化安全評估，本研究彙整港務公司提供之歷年來工程相關鑽探報告 134 份與地調所地質資料庫(Geo2010)32 孔，為進行土壤液化分析，相關 SPT-N 試驗資料須符合以下條件：

1. SPT 試驗資料之鑽探深度需 ≥ 10 m。
2. SPT 試驗資料須具備鑽孔座標資料，以供後續 GIS 系統進行空間內插使用。
3. 由於簡化分析法係以乾淨砂作為基本資料庫，進行液化分析時，需進行細粒料含量修正，因此鑽探資料應包含 FC 值(即粉土+黏土之比例)。
4. SPT 值施作間隔為固定規律，指定分析深度內皆有 N 值。

依據須符合上述條件，篩選出相關 SPT 鑽探可用資料，共計 311 孔鑽探資料，包括:本所港研中心之地工資料庫 135 孔，港務公司提供之鑽探報告為 155 孔，地調所之地質資料庫為 21 孔，其地理空間之分布請參考圖 3.4。

表 3-3 臺中港區 SPT 鑽探資料來源與數量統計

資料來源	原始資料	可用資料 筆數
港研中心 地工資料庫	168 孔	135 孔
港務公司 鑽探報告	134 份	155 孔
地調所 地質資料庫	32 孔	21 孔
可用資料筆數		311 孔



圖 3.4 臺中港區不同來源之 SPT 鑽探資料分布情況

為符合本所港研中心地工資料庫相關登錄資料名詞(如表 3-4 與表 3-5)，311 孔之 SPT 鑽探資料，係採相關格式進行數化資料登錄，包含引索標籤(Tag_key)、計畫名稱(Project)、鑽孔名稱(Hole_no)、提供單位(Offer_comp)、Boring_comp(鑽探公司)、鑽探日期(Boring_date)、鑽孔位置(Locat_desc)、TWD97 制座標(Pos_x、Pos_y)、高程(Pos_z)、鑽孔深度(H_depth)與鑽探水位深度(D_w)，完整建置臺中港區鑽探資料數化資訊。

而 SPT 試驗資料則包含試驗深度(Depth)、土/岩層說明(Desc)、USCS 分類(Class)、SPT-N 值(N_value)、土壤組成比例(Gravel、Sand、Silt 及 Clay)、含水量(Water_cont)、液性限度(LL)、塑性限度(PL)、單位重(Unt_weight)、比重(S_gravity)與孔隙比(Void_ratio)，相關數化成果後續可整合至本所港研中心地工資料庫中使用。原地工資料庫建置之 SPT 鑽探資料，其引索標籤(Tag_key)維持原有編號，後續補充之鑽探資料，採 SXX-YY 進行編號，其中 XX 為相同鑽探報告來源，而 YY 為相關報告之鑽孔數量，例如 S01-12 為補充資料編號 01 的第 12 孔鑽探資料。

表 3-4 本所港研中心地工資料庫鑽探試驗資料登錄名詞說明

系統名稱：港區土層分佈資料庫			日期： / /	
檔案名稱：Welldata			檔案格式： 表格 (.DBF)	
檔案說明：港區各鑽探孔位座標高程試驗公司等資料				
編號	欄位名稱	欄位中文說明	資料型態及長度	備註
1	Tag_key	索引標籤	Char(10)	
2	Project	計劃名稱	Char(40)	
3	Hole_no	鑽孔名稱	Char(10)	
4	Offer_comp	提供單位	Char(40)	
5	Borin_comp	鑽探公司	Char(40)	
6	Test_comp	試驗公司	Char(40)	
7	Borin_date	鑽探日期	Date	MMDDYY
8	Locat_desc	鑽孔位置	Char(40)	
9	Pos_x	X 座標	Decimal(12, 2)	
10	Pos_y	Y 座標	Decimal(12, 2)	
11	Pos_z	高程	Decimal(7, 2)	
12	Pizometer	水位計	Char(20)	
13	Pizo_depth	埋設深度	Decimal(7, 2)	
14	H_angle	鑽孔傾角	Decimal(3, 0)	
15	H_diameter	鑽孔孔徑	Decimal(6, 0)	
16	H_depth	鑽孔深度	Decimal(7, 2)	
17	Gw_level1	第 1 次地下水位量測深度	Decimal(7, 2)	
18	Gw_date1	第 1 次地下水位量測日期	Date	MMDDYY
19	Gw_level2	第 2 次地下水位量測深度	Decimal(7,2)	

表 3-5 本所港研中心地工資料庫鑽探試驗資料登錄名詞說明

系統名稱：港區土層分佈資料庫			日期： / /	
檔案名稱：(tag-key)			檔案格式： 表格 (.DBF)	
檔案說明：鑽孔之試驗資料				
編號	欄位名稱	欄位中文說明	資料型態及長度	備註
1	Depth	深度	Decimal(6, 2)	
2	Desc	土/岩層說明	Char(40)	
3	Class	土壤岩石分類	Char(10)	
4	Smpl_rate	取樣率	Decimal(3, 0)	
5	Rqd	岩心完整性	Decimal(3, 0)	
6	N_value	錘擊數	Decimal(3, 0)	
7	Smpl_no	採樣編號	Char(5)	
8	Gravel_%	礫石含量	Decimal(3, 0)	
9	Sand_%	砂土含量	Decimal(3, 0)	
10	Silt_%	粉土含量	Decimal(3, 0)	
11	Clay_%	黏土含量	Decimal(3, 0)	
12	Water_cont	自然含水量	Decimal(5, 1)	
13	LL	液性限度	Decimal(5, 1)	
14	PI	塑性指數	Decimal(5, 1)	
15	Unt_weight	總體單位重	Decimal(5, 2)	
16	W_gravity	比重	Decimal(5, 2)	
17	Void_ratio	孔隙比	Decimal(5, 2)	
18	D10	10%通過粒徑	Decimal(7, 4)	
19	D50	50%通過粒徑	Decimal(7, 4)	
20	Other_test	其他試驗	Char(20)	

圖 3.5 為臺中港區 SPT 鑽探資料密度圖，可發現本研究以 2 公里直徑範圍進行核密度估計(kernel density estimation)時，採用 311 孔之 SPT 鑽探資料大致可良好涵蓋臺中港陸域面積，圖中淺藍色代表為 3.144 km² 之範圍內包含至少 4 孔或以上之 SPT 鑽探資料。依照目前地調所之土壤液化調查與風險評估計畫執行作業要點：「鑽探配置是以重

要性、人口密度及地質條件為原則，在都市計畫範圍以 4 孔/km² 鑽探為原則；非都市計畫範圍以 2 孔/km² 鑽探為原則；而地質條件單純、且工程性質不易發生土壤液化地層以每 4 km² 1 孔鑽探為原則」。由上可知，目前臺中港區 SPT 鑽探資料之空間分布以港區中段部分可滿足鑽探配置需求，惟北側低度開發區與南側電力專業區、工業專業區(I)較顯不足。

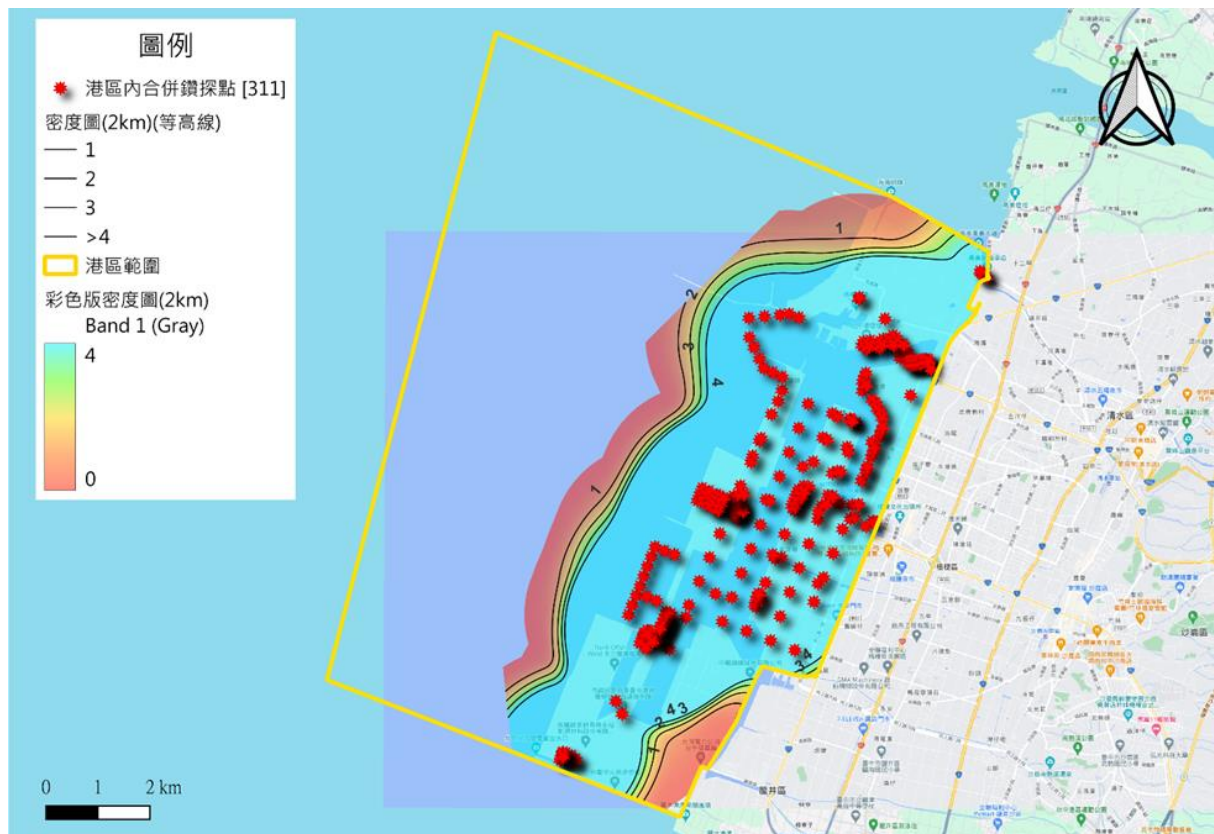


圖 3.5 臺中港區 SPT 鑽探資料密度圖

3.2 以 SPT-N 值進行臺中港液化潛勢分析

3.2.1 VBA 液化分析模組驗證

考量採用 SPT 鑽探資料高達 311 筆，為提高分析效率與降低人為分析出錯機率，本研究以 Excel 之 VBA 程式為基礎，開發 SPT-N 簡易評估法之自動化分析模組，包含 HBF 法與 NCEER 法，並依分析成果

[illegible]

3-12

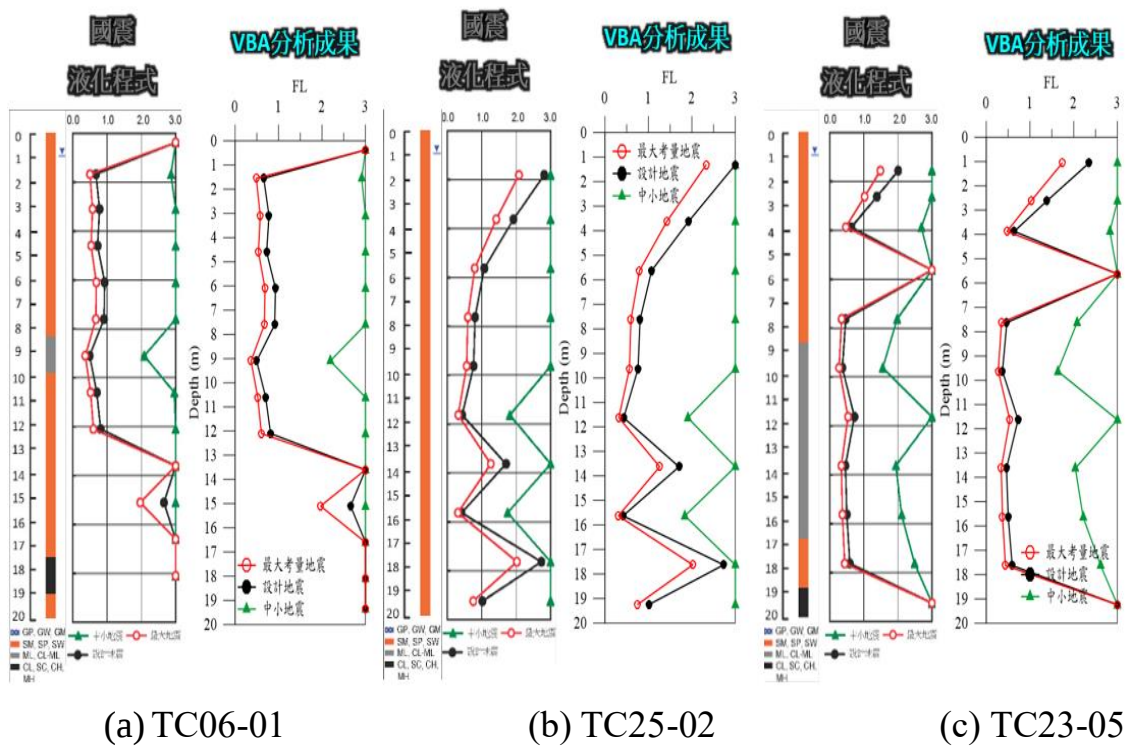


圖 3.7 VBA 液化分析模組成果驗證(1/3)

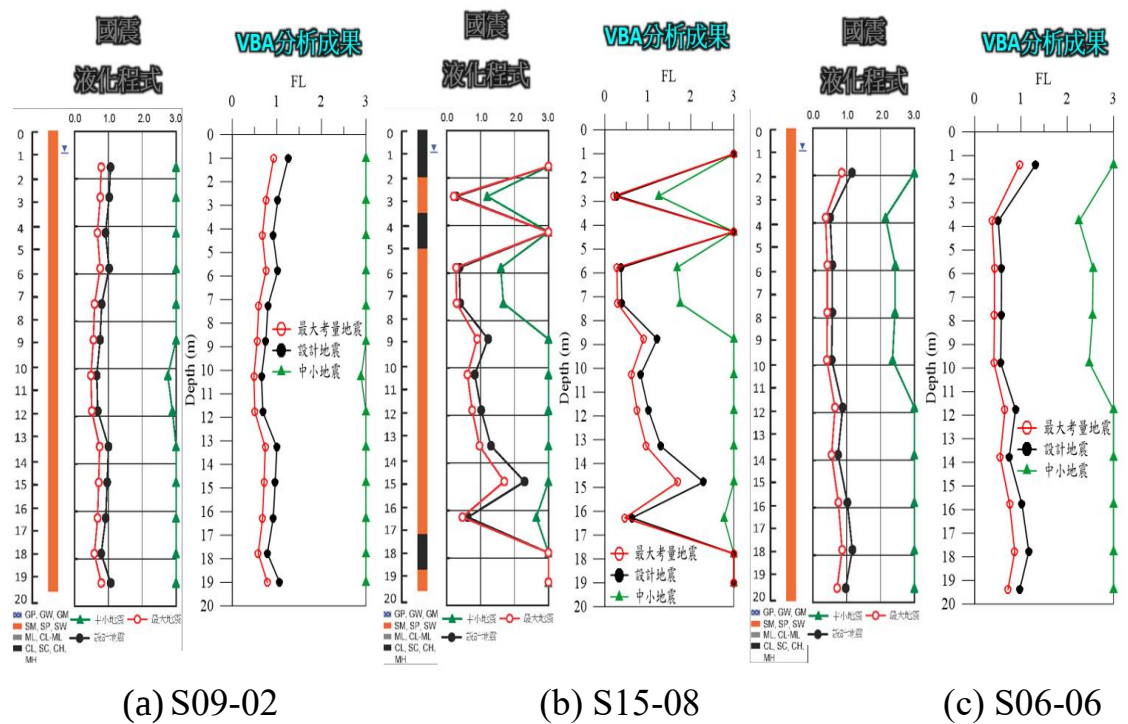


圖 3.8 VBA 液化分析模組成果驗證(2/3)

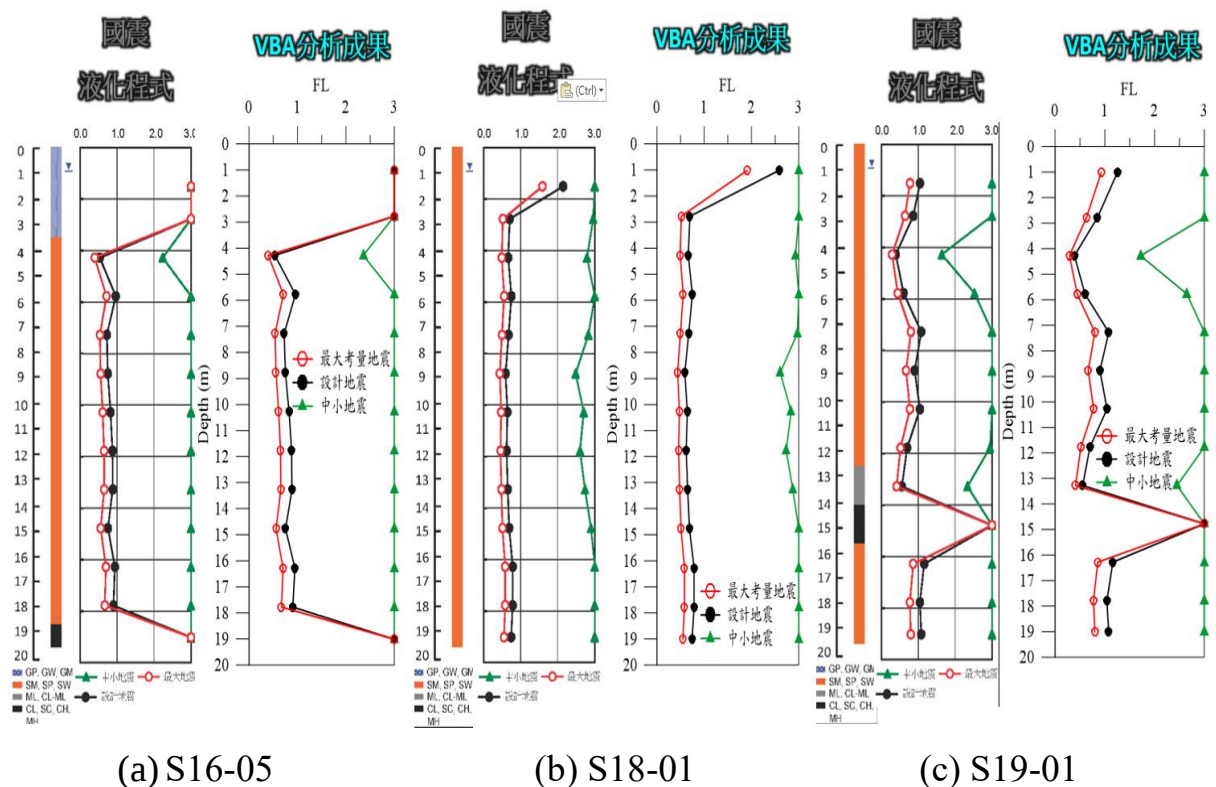


圖 3.9 VBA 液化分析模組成果驗證(3/3)

3.2.2 SPT-N 簡易評估法液化潛勢分析成果

黃俊鴻等人(2012)^[3]提出之本土化 SPT-N 簡易評估法進行臺中港區液化分析，HBF 法分析流程請參考圖 2.5，可評估土層不同深度之抗液化剪力強度比 CRR，搭配不同地震情境估算之平均反覆剪應力比 CSR(式 3.1)，可計算土層抗液化安全係數 F_L 隨深度變化。研究搭配 Iwasaki et al.(1982)^[23]提出之深度加權方法(式 2.8)計算各 SPT 鑽孔之液化潛能指數 P_L ，空間內插方式呈現臺中港區不同分析情境之液化潛勢圖資，以不同地震情境之地震規模 M_w 與尖峰地表加速度值 A (請參考表 3-2)，分別進行計算中小地震、設計地震與最大考量地震情境之液化潛勢圖資。

研究採用 QGIS 進行相關圖資計算與呈現，QGIS 是一套開源的地圖資料管理系統，使用者可透過蒐集、處理、分析及整合地理空間資料，以繪製主題式地圖，呈現地理現象和資訊型態的分佈，藉由 GIS 資訊

系統之使用，可整合臺中港區安全評估圖資，以供後續應用。另港區不同點位液化潛能指數 P_L 之空間內插方法，係採用反距離權重法(Inverse distance weighting, IDW)進行計算，IDW 法以各內插點的值與鄰近樣本點的距離作為權重參數，其距離越遠關係越小，離內插點越近的樣本點賦予的權重越大，用於內插臺中港陸域面積內不同點位之液化潛能指數 P_L 。以 HBF 法所完成的液化潛勢圖資成果，如圖 3.10 至圖 3.12。

本計畫另外以國際常採用 NCEER 法進行臺中港區液化分析，其分析流程請參考圖 2.4，NCEER 法與 HBF 法差異主要在於抗液化剪力強度比 CRR 之基本資料庫不同與 CSR 之深度修正因子。以 NCEER 法所完成的液化潛勢圖資成果如圖 3.13 至圖 3.15。由不同液化潛勢圖資可發現，兩方法在臺中港區評估之低、中與高潛勢區分布位置大致相同，在中小地震規模下($A = 0.07\text{ g}$)，港區陸域大部分屬於低潛勢區($0 \leq P_L \leq 5$)，其液化風險等級屬輕微液化；在設計地震規模下($A = 0.28\text{ g}$)，港區陸域大部分則轉變為高潛勢區($P_L > 15$)，其液化風險等級屬嚴重液化；而最大考量地震下($A = 0.36\text{ g}$)，臺中港陸域液化風險等級同屬嚴重液化。

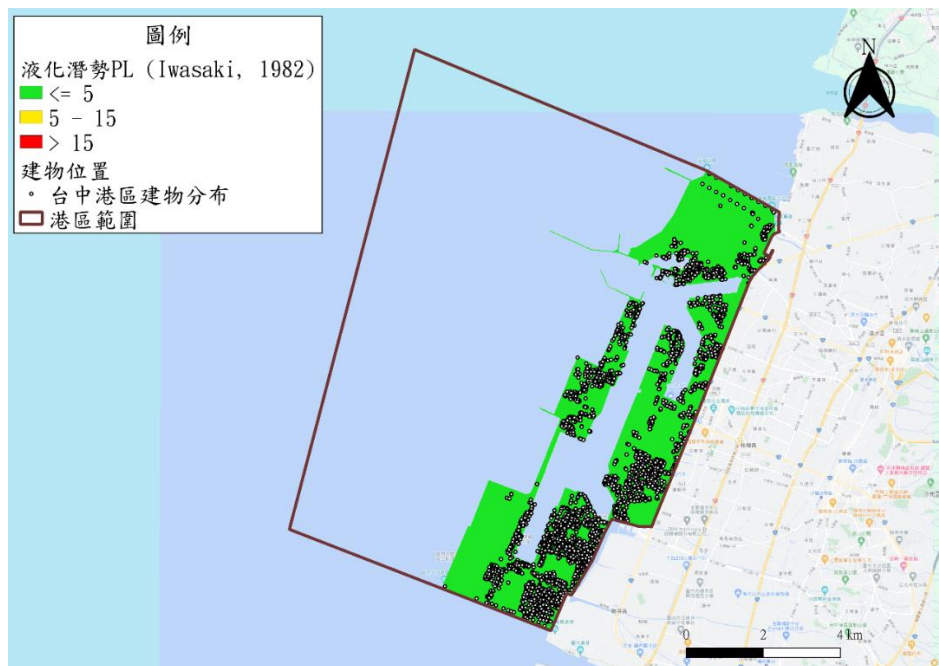


圖 3.10 中小地震下臺中港區液化潛勢圖(HBF 法)

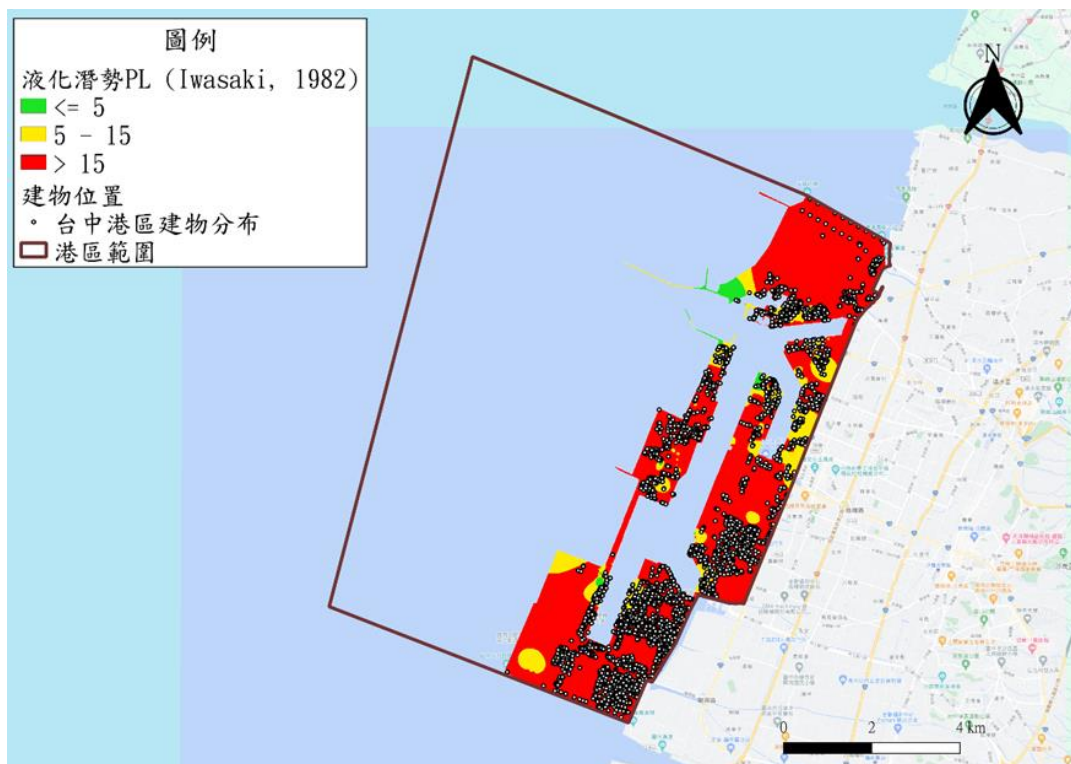


圖 3.11 設計地震下臺中港區液化潛勢圖(HBF 法)

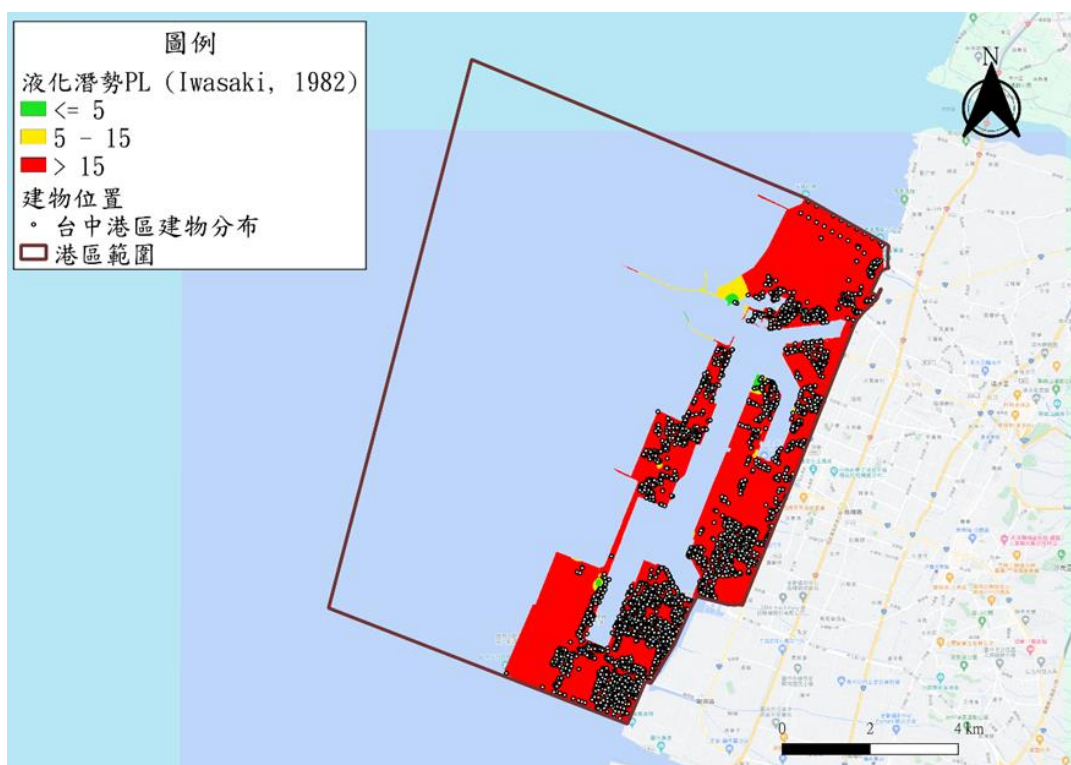


圖 3.12 最大考量地震下臺中港區液化潛勢圖(HBF 法)

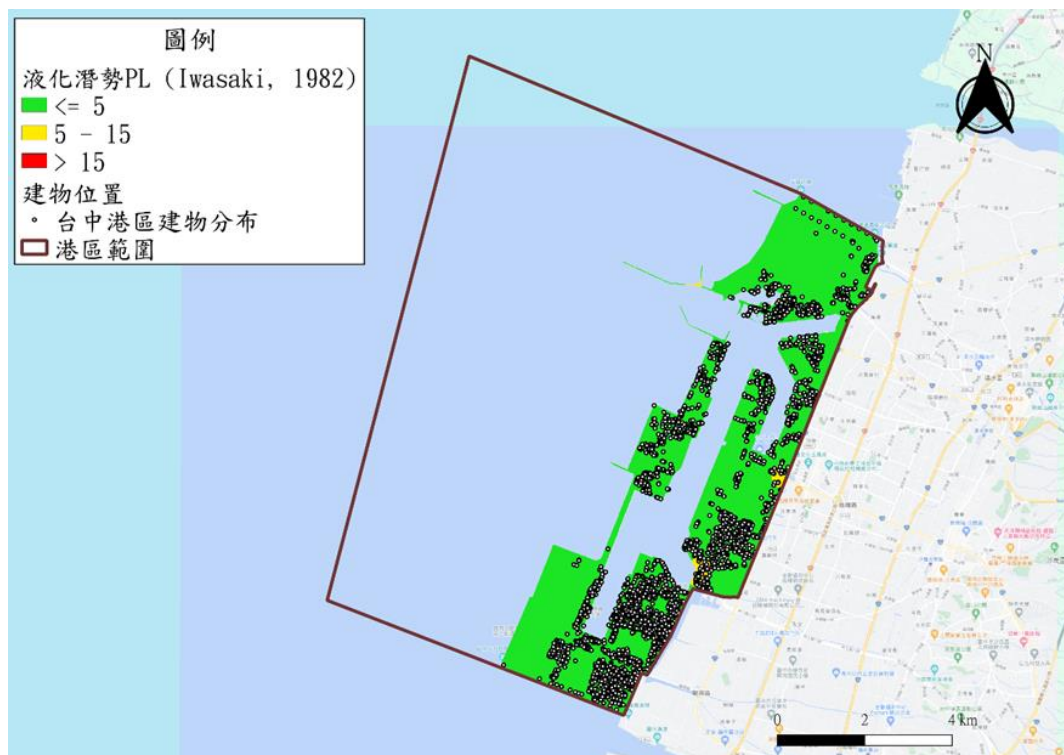


圖 3.13 中小地震下臺中港區液化潛勢圖(NCEER 法)

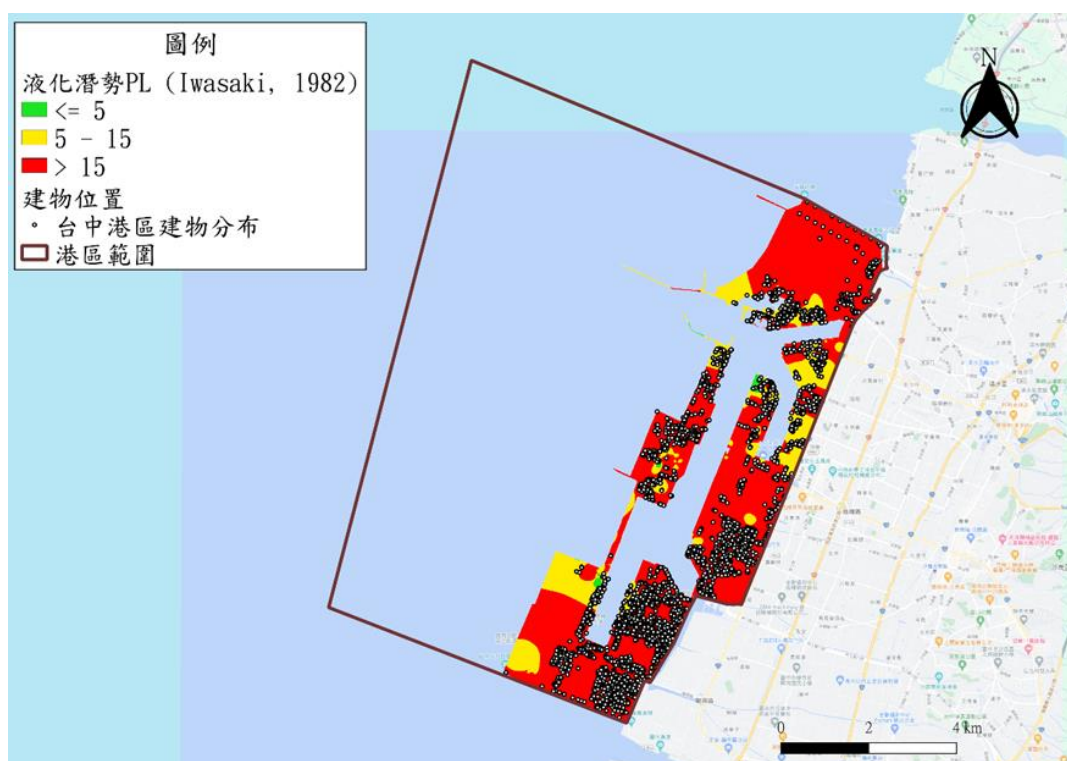


圖 3.14 設計地震下臺中港區液化潛勢圖(NCEER 法)

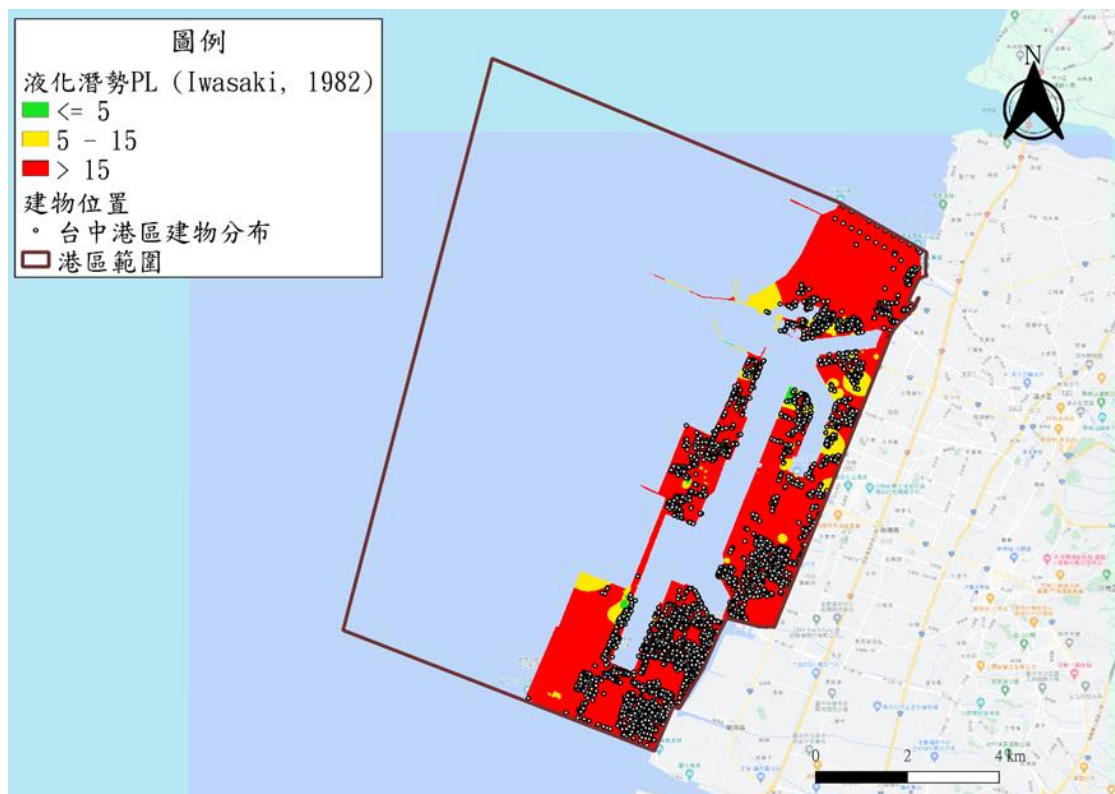


圖 3.15 最大考量地震下臺中港區液化潛勢圖(NCEER 法)

3.3 臺中港受震液化潛勢分析說明

臺中港區曾進行多次液化安全評估，其分析方法、目的與成果應用皆異，圖 3.16 至圖 3.18 分別為使用本所港研中心地工資料庫之液化分析模組完成之液化潛勢圖資，液化分析方法採賴聖耀(2002)^[15]之 SPT-N 法，並計算液化潛能指數 P_L (Iwasaki et al., 1982)^[23]，地震情境基本分析參數同表 3-2 不同地震規模與分析加速度之設定，進行中小地震、設計地震與最大考量地震的液化潛勢分析。比較 3.2 節成果可發現，當設定地震情境為設計地震時，港區陸域大部分屬中潛勢區，而北側低度開發區甚至為低潛勢區，其成果與新開發之評估模式相異，成果偏向不保守。

而賴聖耀(2002)之 SPT-N 方法屬於機率(probabilistic)方式來評估土壤液化風險，如 Ku and Juang(2012)^[37]與 Kayen et al. (2013)^[38]皆屬於機

率法(probabilistic method)，而現行耐震設計規範則主要採定值法(deterministic method)進行液化評估，土層是否液化，由評估之抗液化安全係數 F_L 值決定，兩方法架構有較大之差異，因此有必要就現行耐震設計規範建議之評估方式，進行全面性液化潛勢評估，更新地工資料庫，以下就開發新液化評估模式之原因進行歸納：

1. 因 2016 年美濃地震致使臺南地區產生嚴重液化災害，災害防救法第 2 條已明定土壤液化屬天然災害範圍，建議臺灣各商港應就現行耐震設計規範建議之評估方式進行全面性液化潛勢評估。
2. 提高基本資料庫數量，以精進分析精度。原本所港研中心地工資料庫液化分析模組採用 SPT-N 鑽探孔數為 135 孔，且集中於港區中間區段，本研究盤點本所港研中心資料庫、港務公司相關工程鑽探報告與地調所地質資料庫，提升臺中港 SPT-N 鑽探資料庫孔數至 311 孔。
3. 臺中港於 921 地震時，測得最大水平加速度約 0.16g，港區於多處碼頭產生液化、下陷、噴砂，導致鋪面崩裂與凹陷等災害，而原分析模式於設計地震情境時($A=0.28g$)，陸域大部分區域之評估成果仍屬中潛勢區，其成果較不保守。
4. 透過不同地震情境之液化潛勢評估，可提供臺中港區不同尖峰水平加速度 A 之液化潛勢變化，成果可作為後續震後快速液化災損評估訊息研擬之依據，並整合港區現地地震測站進行即時告警。

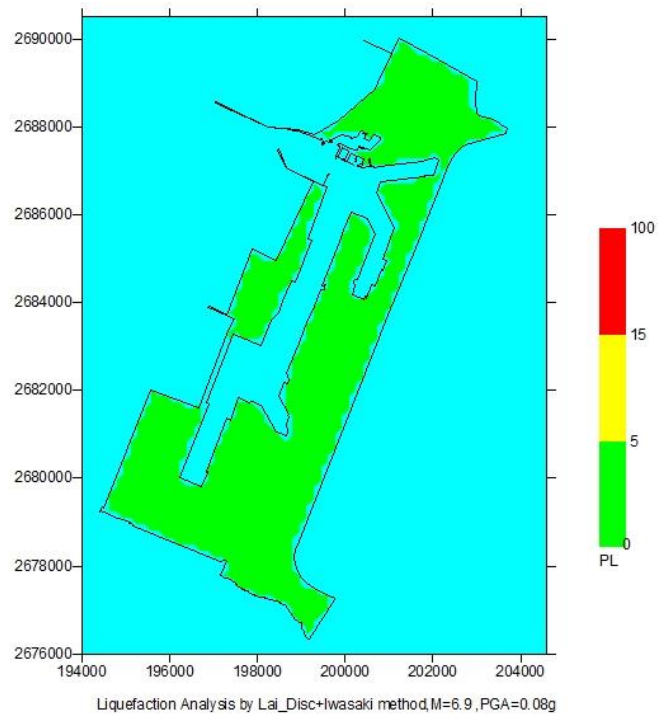


圖 3.16 賴聖耀(2002)SPT-N 法於中小地震下臺中港區液化潛勢圖

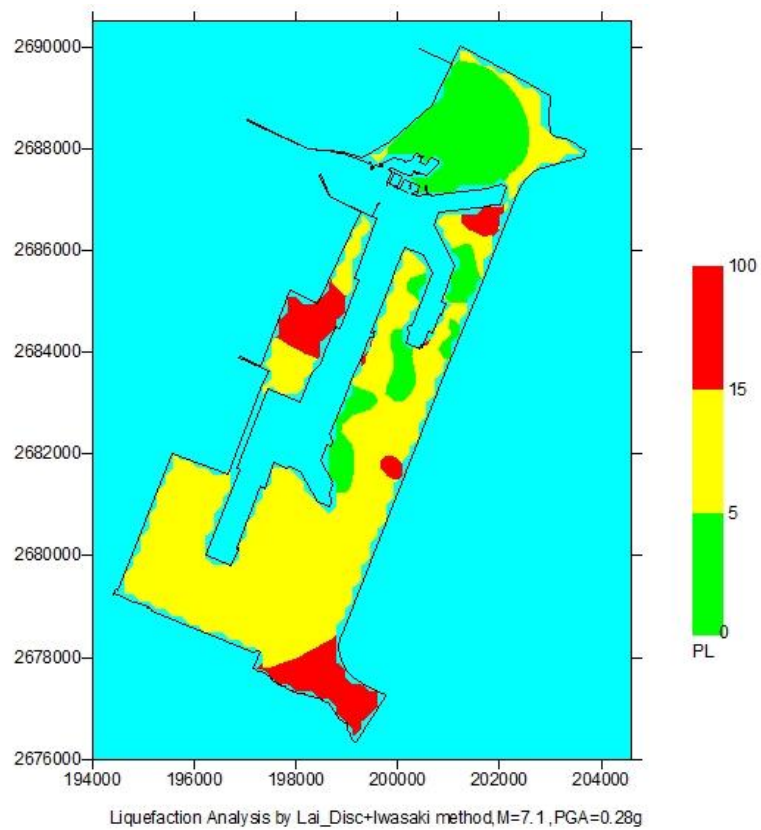


圖 3.17 賴聖耀(2002)SPT-N 法於設計地震下臺中港區液化潛勢圖

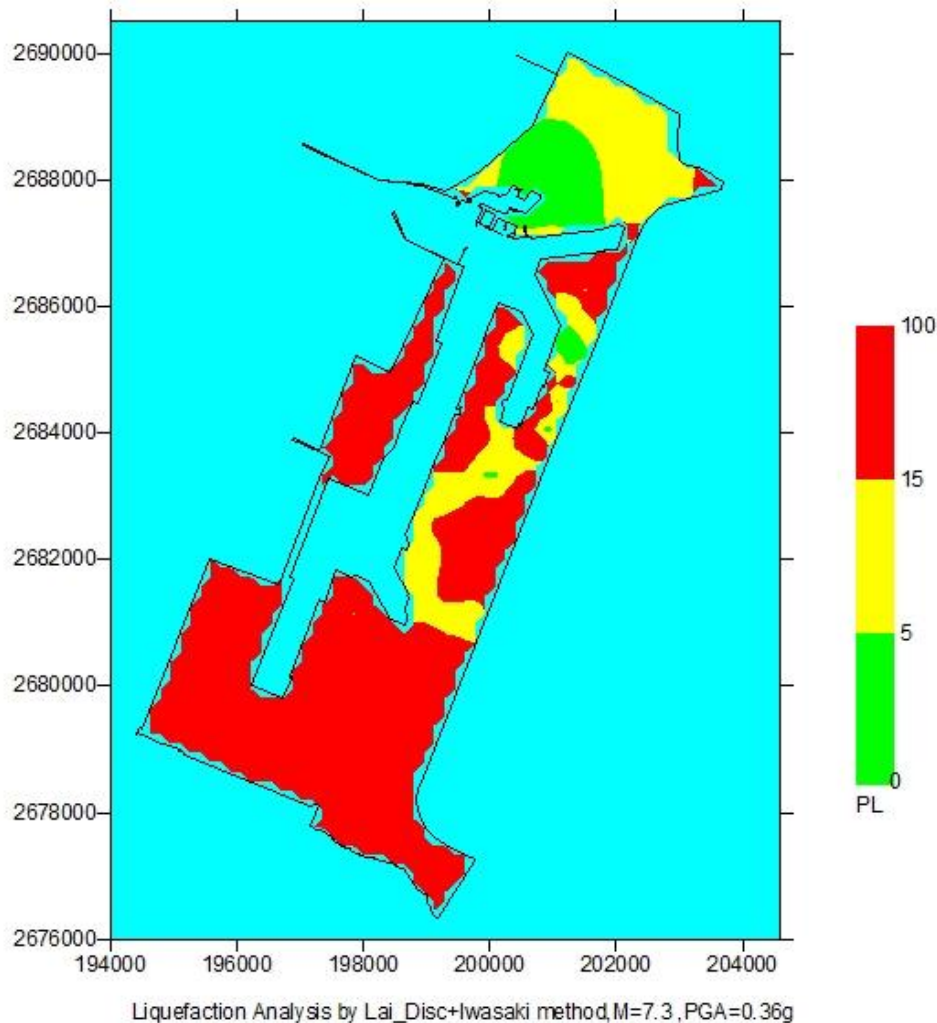


圖 3.18 賴聖耀(2002)SPT-N 法於最大考量地震下臺中港區液化潛勢圖

綜合上述，重要商港有再次進行液化安全評估之必要，表 3-6 為歸納 3.2 節液化潛勢成果，比較不同地震情境下，低、中與高潛勢區之面積占比變化。如圖 3.19 所示，以臺中港區陸域約 2,903 公頃來說，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($A=0.36\text{ g}$)，則高潛勢區面積占比達 90% 以上。以不同地震情境之尖峰水平加速度 A 與臺中港高潛勢區佔比進行線性迴歸時，其成果如圖 3.20 所示，其判定係數(coefficient of determination, R^2)高達 0.99，可供地震災損面積評估使用。

表 3-6 臺中港不同 SPT-N 簡易評估法液化潛勢區佔比

簡易 評估法	地震情境	地震 規模 M_w	尖峰 水平 加速度 A (g)	面積佔比 (%)		
				低潛勢區	中潛勢區	高潛勢區
HBF 法	中小地震	6.9	0.07	100.0	0.0	0.0
	設計地震	7.1	0.28	1.6	13.9	84.5
	最大考量地震	7.3	0.36	0.5	1.9	97.6
NCEER 法	中小地震	6.9	0.07	98.8	1.2	0.0
	設計地震	7.1	0.28	0.6	18.1	81.3
	最大考量地震	7.3	0.36	0.5	8.3	91.2

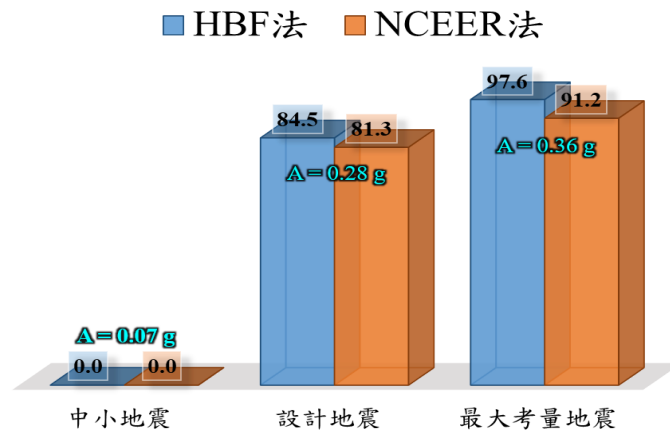


圖 3.19 不同 SPT-N 簡易評估法於臺中港高潛勢區面積佔比差異

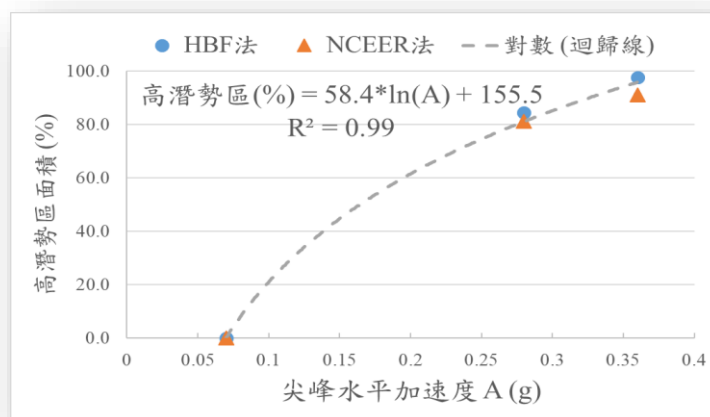


圖 3.20 臺中港高潛勢區面積佔比與不同尖峰水平加速度關係

第四章 臺中港區地震後沉陷量評估

對於飽和疏鬆砂土層，受地震力動態加載，在短期不排水情況下，土層動態水壓隨加載上升直至液化產生或喪失部分強度，加載期間累積之超額孔隙水壓於震後將逐步消散，伴隨此過程土層產生一體積應變(Kramer, 1996)^[28]，如圖 4.1 所示，對於一砂土層初始狀態為 A 點，於地震過程中激發超額孔隙水壓至 B 點，地震後土層水壓消散而移至 C 點，則 A 與 C 點之孔隙比差異變化，反應於地表面下降(即地層下陷)，此沉陷量定義為震陷量(post-liquefaction settlement, S)。依第三章成果，若臺中港再次遭遇如 921 地震之尖峰水平加速度 0.16 g 時，估計於臺中港區陸域面積產生約 40% 左右之高液化潛勢區，而對於土壤液化引致之災損，除液化潛能指數 P_L 外，常以評估震陷量 S 來探討災害災損程度。

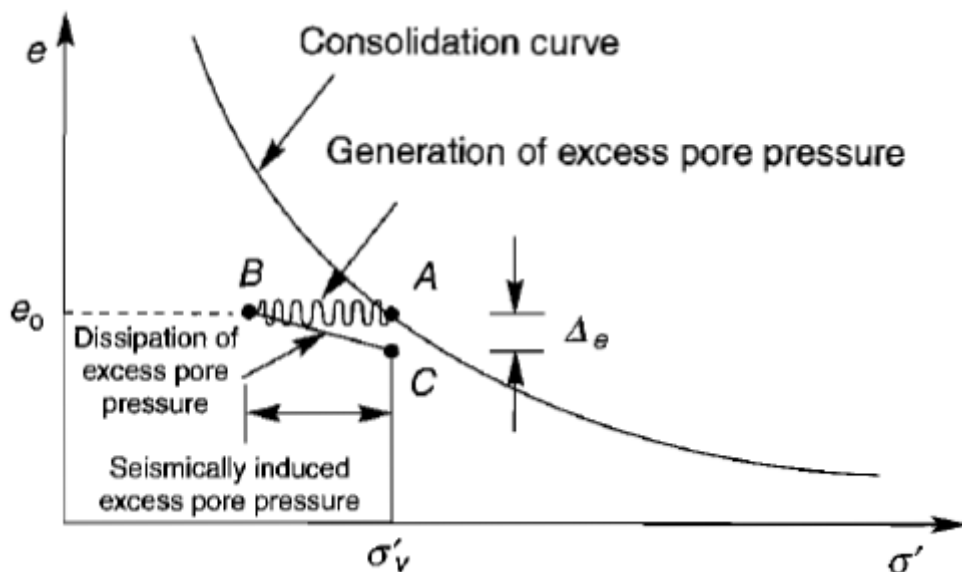


圖 4.1 地震致使超額孔隙水壓力激發後土層消散壓密沉陷說明

Ishihara(1996)^[39]觀察日本多處地震後震陷變形行為，指出當震陷量 S 小於 10 cm 時，災害程度僅為輕微或無沉陷，地表伴隨微小裂隙；當震陷量 S 大於 30 cm 時，此時災損將集中於地表面，發生如噴砂、

開裂與大量位移等現象，相關沉陷等級與震陷量關係如表 4-1 所示。震陷量推估方法目前常使用 Ishihara and Yoshimine (1992) ^[35] 依室內試驗成果歸納之經驗圖表(如圖 2.7 所示)，對於液化後引致之體積應變(ε_v)大小，主要與土層相對密度(D_r)、地震力引致最大剪應變(γ_{max})與抗液化安全係數(F_L)相關，並應用於分層估算震陷量 S 。

表 4-1 震陷量 S 與沉陷等級分類

Extent of damage	Settlements (cm)	Phenomena on the ground surface
Light to no damage	0-10	Minor cracks
Moderate damage	10-30	Small cracks, oozing of sand
Extensive damage	30-70	Large cracks, spouting of sands, large offsets, lateral movement

Ashford et al. (2011) ^[36] 依日本 2011 年東北地震液化後鄰近建物之沉陷差異勘查成果，指出當液化土層上方存在建築物時，鄰近區域不同建物之基礎型式、載重與自由場觀察到的下陷量明顯不同。Macedo and Bray (2018) ^[21] 提出液化引起之建築物沉陷主要可分為(1)受剪力作用引致 D_s 、(2)產生體積應變引致 D_v 及(3)噴砂後產生之地表變形 D_e 共三類，而 Ishihara and Yoshimine (1992) ^[35] 提出之液化引致沉陷分析方法，僅考量液化砂土層本體因孔隙水壓消散造成的體積應變變化。

對於液化噴砂造成的地表變形 D_e 而言，噴砂將造成等比例之體積置換，但噴砂量通常為局部且不易評估，建議以現場量測成果為準(Bray and Macedo, 2017) ^[40]；而液化時土層因建築物受剪力作用產生之 D_s ，則需考量建物基礎型式、大小、埋設深度與建物載重等因子，須依各探討案例進行計算，因此本章震陷量 S 評估主要考量產生體積應變引致之 D_v 。以下就臺中港震陷量評估方法、震陷潛勢與不同分析加速度 A 引致之震陷量推估進行說明：

4.1 SPT-N 鑽孔之震陷量評估

目前震陷量 S 推估方法主要使用 Ishihara and Yoshimine (1992)^[35] 之經驗圖表，但其成果需進行查圖，無法使用方程式進行計算，因此本研究參考紀雲曜(1997)^[8] 基於 Ishihara and Yoshimine (1992)^[35] 試驗成果提出之迴歸分析方程式與流程，計算最大剪應變 $\gamma_{\max}$ 與體積應變 ε_v 之大小。以下為震陷量 S 之推估流程：

1. 依據 SPT-N 值計算土層相對密度 D_r (%)，採 Meyerhof(1957)^[38] 提出之經驗公式，如式 4.1 所示：

$$D_r = 16\sqrt{(N_1)_{78}} = 14\sqrt{(N_1)_{60}} \quad (\text{式 4.1})$$

2. 使用前章節 SPT-N 液化分析求得之抗液化安全係數 F_L 成果。
3. 計算地震力引致最大剪應變 $\gamma_{\max}$ ，採紀雲曜(1997)^[8] 提出之迴歸方程式，如式 4.2 所示：

$$\gamma_{\max} = 0.5 \times (0.5714F_L - b_2 - \sqrt{(b_2 - 0.5714F_L - 4b_1b_2)}) / b_1 \leq 8\% \quad (\text{式 4.2})$$

其中 b_1 、 b_2 與 b_3 為迴歸方程式之待定係數，採式 4.3 至 4.5。

$$b_1 = (-7.3825 - 2.1981D_r + 0.1124D_r^2 - 0.0018D_r^3) \times 10^{-4} \quad (\text{式 4.3})$$

$$b_2 = 0.5331 + 0.0042D_r - 1.34 \times 10^{-4} D_r^2 + 1.151 \times 10^{-6} D_r^3 \quad (\text{式 4.4})$$

$$b_3 = 2 - 12.25b_1 - 3.5b_2 \quad (\text{式 4.5})$$

4. 計算分層體積應變 ε_v ，採紀雲曜(1997)^[8] 提出之迴歸方程式，如式 4.6 所示：

$$\varepsilon_v = (-1.131 \times \log D_r + 2.347) \gamma_{\max} \quad (\text{式 4.6})$$

5. 計算分層沉陷量 S_i ，並加總為震陷量 S ：

$$S = \sum_{i=1}^{20} S_i = \sum_{i=1}^{20} \varepsilon_{v,i} \times H_i \quad (\text{式 4.7})$$

綜合上述，可進行各別 SPT 鑽孔之震陷量，考量分析孔數多達 311 孔，因此同第三章之液化潛勢分析，採 Excel 之 VBA 程式，基於本所港研中心地工資料庫之格式與液化潛勢分析成果，可快速完成不同孔位與不同地震情境之震陷量變化，單孔震陷量計算成果如圖 4.2 所示。震陷量分析流程中須注意相對密度 D_r 最大值不可超過 100%， F_L 大於 2 時，分層體積應變 ε_v 為零，其原因為 Ishihara and Yoshimine (1992)^[35] 成果之 F_L 最大值為 2(如圖 1.7)，震陷量 S 對應中小地震、設計地震與最大考量地震，分別為 0 cm、30.6 cm 與 30.8 cm。

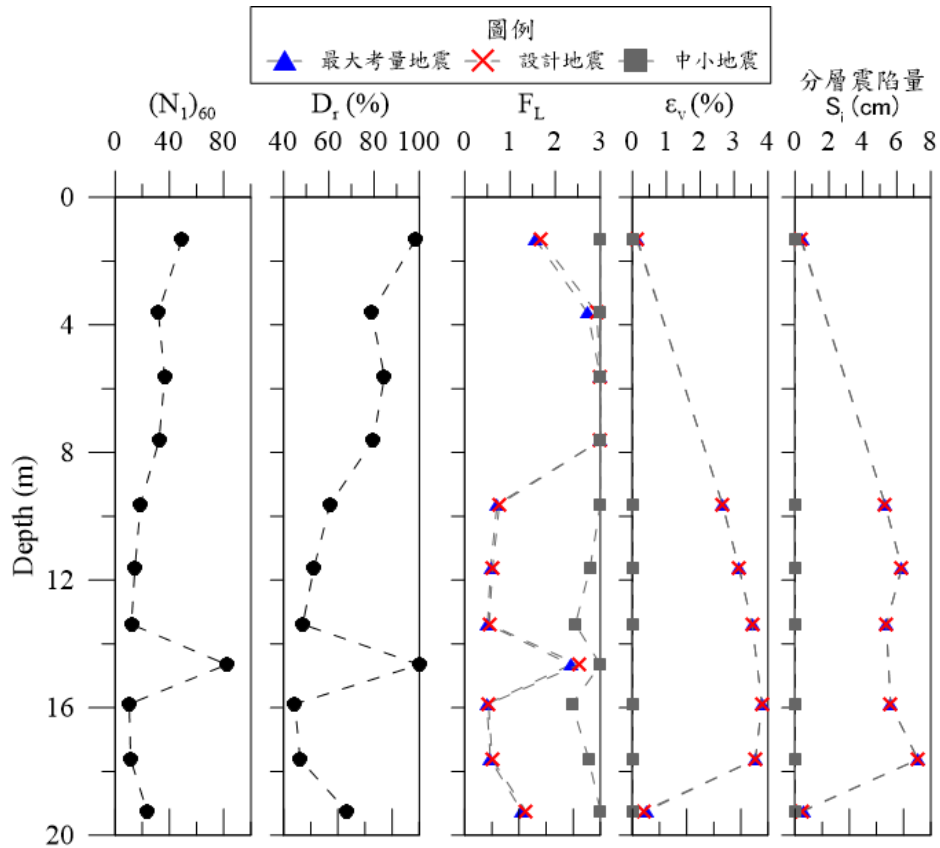


圖 4.2 SPT 單孔震陷量計算成果(鑽孔名稱：TC19-06, NCEER 法)

4.2 臺中港震陷量潛勢分布

港區不同點位震陷量之空間內插，同 3.2 節採用反距離權重法 (Inverse distance weighting, IDW) 進行計算，完成的震陷潛勢圖資成果如圖 4.3 至圖 4.8，可提供不同地震情境下臺中港受震引致沉陷量分布。在中小地震下($A=0.07\text{ g}$)時，受液化後沉陷量不明顯，屬低度災損等級 (light damage)；設計地震與最大考量地震時(A 分別為 0.28 g 與 0.36 g)，則震陷量 S 有明顯上升之趨勢，且以臺中港區中間區段尤其嚴重，可達高度災損等級(extensive damage)。

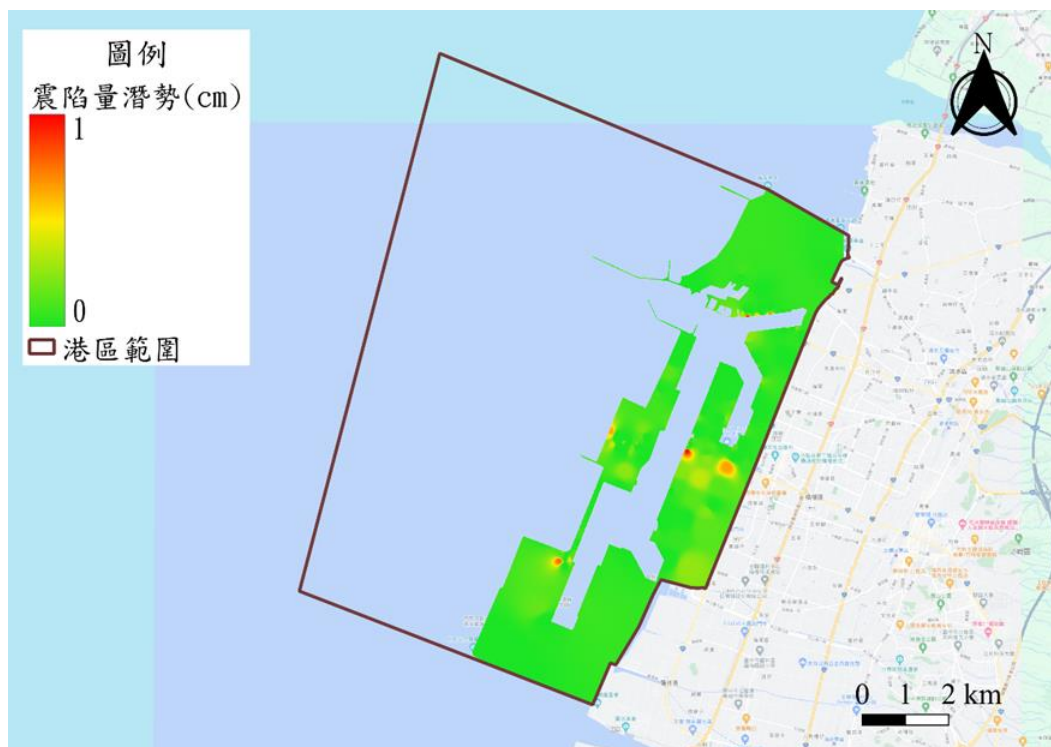


圖 4.3 中小地震下臺中港區震陷潛勢圖(HBF 法)

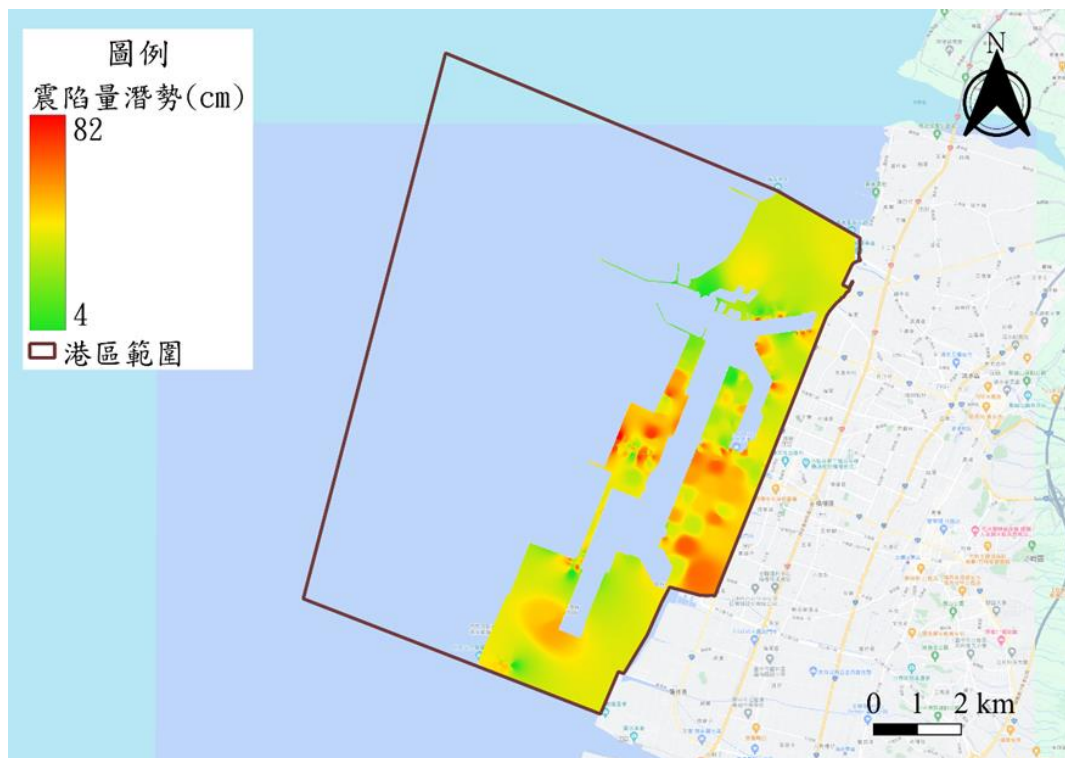


圖 4.4 設計地震下臺中港區震陷潛勢圖(HBF 法)

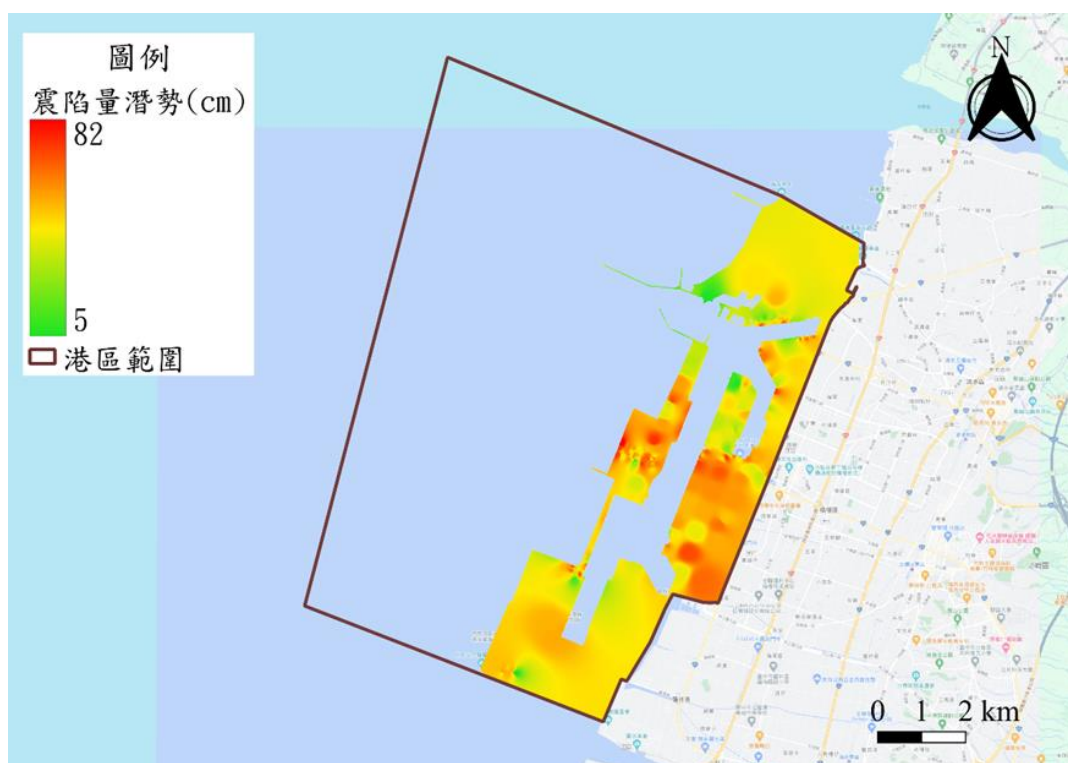


圖 4.5 最大考量地震下臺中港區震陷潛勢圖(HBF 法)



圖 4.6 中小地震下臺中港區震陷潛勢圖(NCEER 法)

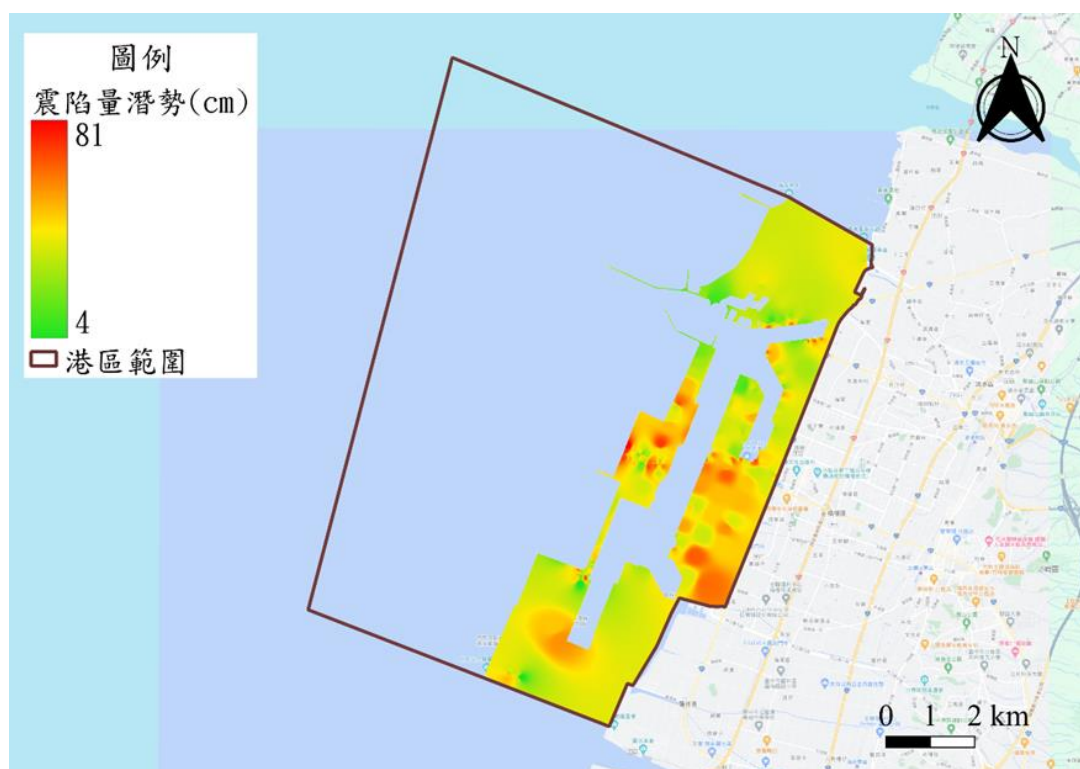


圖 4.7 設計地震下臺中港區震陷潛勢圖(NCEER 法)

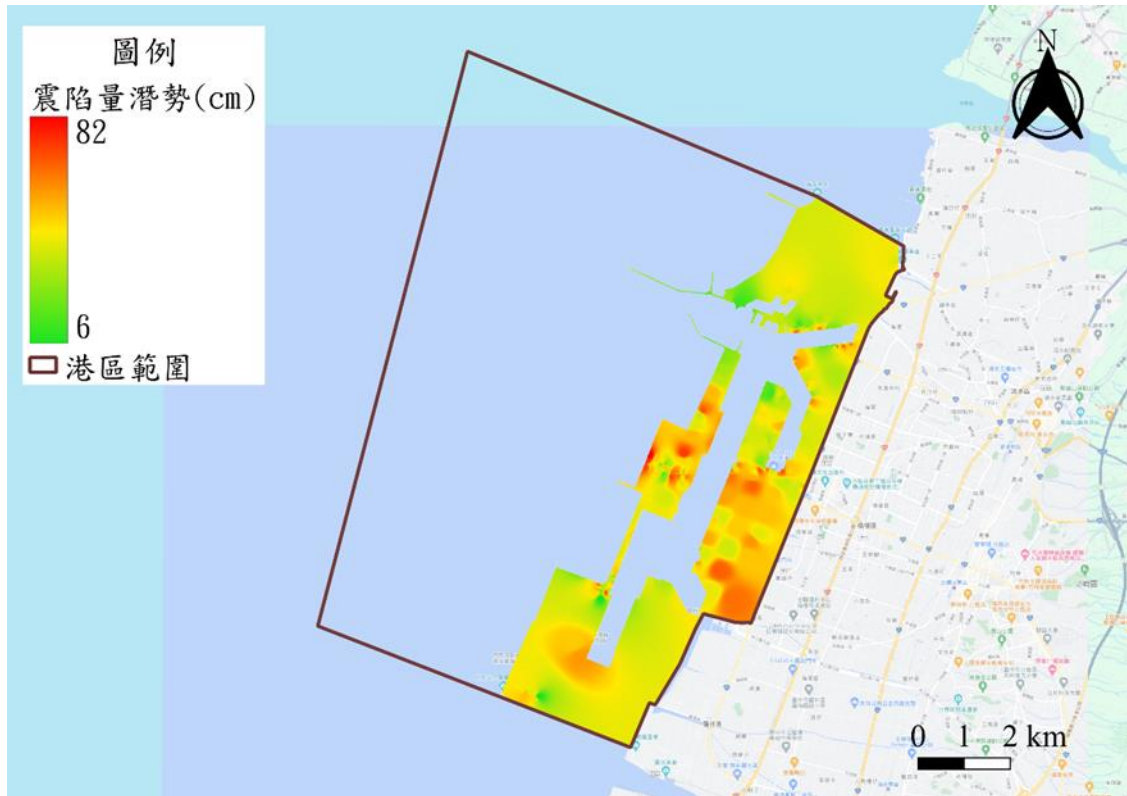


圖 4.8 最大考量地震下臺中港區震陷潛勢圖(NCEER 法)

4.3 不同分析加速度 A 之震陷量推估

依據 Ishihara and Yoshimine (1992)^[35]震陷量評估方法，以紀雲曜 (1997)^[8]提出之迴歸方程式進行震陷量 S 的評估，為完整探討臺中港震後液化沉陷之變化，分析參數包含不同地震規模 M_w 、尖峰水平加速度 A ，就耐震設計規範(營建署，2022)^[13]建議之情境，分別就中小地震、設計地震與最大考量地震進行評估。依 4.2 節之震陷潛勢分布圖資，可進一步歸納不同地震情境評估震陷量範圍與分布占比，基於不同 SPT-N 分析方法之 F_L 分析成果，於中小地震情境下，臺中港區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，港區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)。

由成果可發現震陷量隨分析加速度 A 增加時，震陷量增加比例逐漸遞減，設計地震與最大考量地震之震陷量變化上、下限並無太大差異，而中小地震規模下，以 NCEER 法產生之震陷量上限較大，其上限值差異接近十倍。為提供未來臺中港區快速震陷量評估使用，本研究採用三分法，分離相較離散之震陷量數據點，分為低、中與高三個部分，嘗試以具代表性之震陷變化範圍作為震陷量評估公式之基礎數據點。

臺中港不同地震情境評估震陷量範圍與分布佔比成果彙整如表 4-2 所示，對於 HBF 法而言，臺中港區不同位置於中小地震下，其震陷量主要集中於 0~0.4 cm 區段，約佔分部面積之 98.1%，設計地震下，主要集中於 30.0~55.9 cm 區段，約佔分部面積之 86.1%，最大考量地震之震陷量集中於 30.7~55.6 cm，約佔 87.7%；而 NCEER 法，中小地震下，其震陷量主要集中於 0~4.1 cm 區段，約佔分部面積之 98.2%，設計地震下，則要集中於 29.7~55.3 cm 區段，約佔分部面積之 86.1%，最大考量地震之震陷量集中於 31.1~56.6 cm，約佔 87.7%。透過上述方法，可降低部分 SPT 鑽探成果較離散之影響，而兩分析方法於不同分析加速度下的震陷量變化範圍與佔比相近。

圖 4.9 為臺中港不同分析加速度 A 與震陷量 S 之關係，採用具代表性之震陷變化範圍進行迴歸分析，可供不同分析加速度之快速評估平均震陷量與上、下限範圍，其定義如式 4.8：

$$S = C_1 * \ln(A) + C_2 \quad (\text{式 4.8})$$

其中 C_1 與 C_2 參數係經由震陷潛勢分析求得，當求取平均震陷量時，建議採 $C_1=27.4$ 、 $C_2=74.4$ ；求取震陷量上限，建議採 $C_1=35.7$ 、 $C_2=98.7$ ；震陷量下限，採 $C_1=19.0$ 、 $C_2=50.1$ ，計算求得之震陷量 S ，單位採 cm。綜合第三章與第四章成果，可完整建立不同分析加速度下，臺中港區於地震後之快速液化災損評估分析使用，包含不同地表加速度之液化潛勢區面積、液化後震陷量 S 。

表 4-2 臺中港不同地震情境評估震陷量範圍與分布佔比

簡易 評估法	地震情境	地震 規模 M_w	尖峰 水平 加速度 A (g)	震陷量範圍與港區分布面積佔比		
				低	中	高
HBF 法	中小地震	6.9	0.07	0~0.4 cm (98.1%)	0.4~0.8 cm (1.8%)	0.8 cm 以上 (0.1%)
	設計地震	7.1	0.28	0~30.0 cm (7.7%)	30.0~55.9 cm (86.1%)	55.9 cm 以上 (6.2%)
	最大考量地震	7.3	0.36	0~30.7 cm (6.3%)	30.7~55.6 cm (87.7%)	56.6 cm 以上 (6.0%)
NCEER 法	中小地震	6.9	0.07	0~4.1 cm (98.2%)	4.1~8.2 cm (1.6%)	8.2 cm 以上 (0.2%)
	設計地震	7.1	0.28	0~29.7 cm (8.1%)	29.7~55.3 cm (85.6%)	55.3 cm 以上 (6.3%)
	最大考量地震	7.3	0.36	0~31.1 cm (3.7%)	31.1~56.6 cm (84.8%)	56.6 cm 以上 (11.5%)

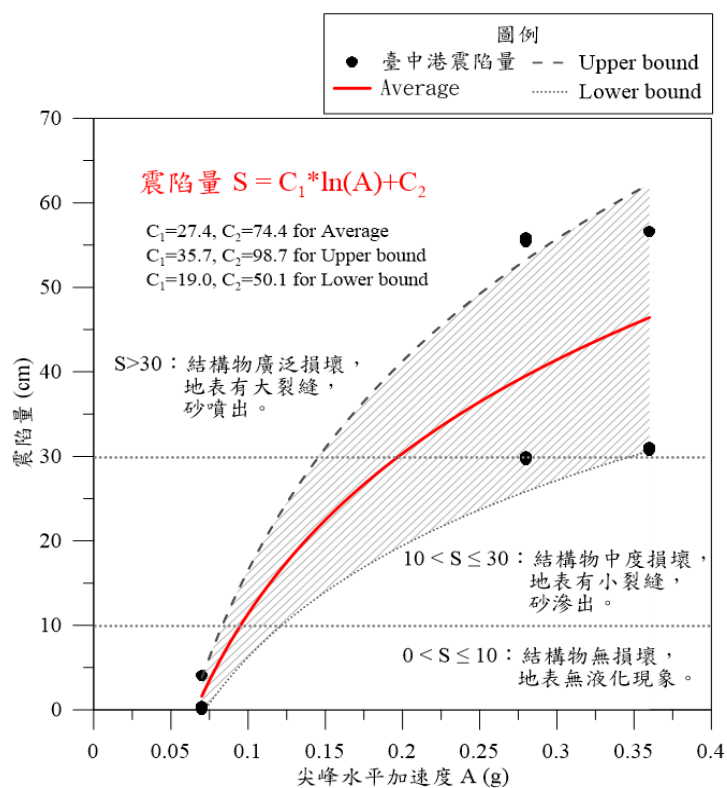


圖 4.9 臺中港不同分析加速度 A 之震陷量 S 經驗評估公式

第五章 震後液化災損評估訊息研擬

5.1 臺中港區精緻化分區災損指標訂定

臺中港港區災損指標訂定流程如圖 5.1 所示，以本(111)年度完成之 311 孔 SPT 鑽探資料做為基本資料庫，且符合耐震設計規範之分析流程與參數，進行不同情境之液化潛勢分析，並推估港區震陷量分布，建立不同地震情境下，臺中港區於地震後之快速液化災損評估分析。為進行分區指標訂定，本計畫依據目前臺中 14 個專業區(如圖 3.1 所示)之劃分，包含能源、電力、鋼鐵、石化、倉儲、物流、港埠服務與觀光遊憩等特定用途，進行臺中港區精緻化分區，考量不同區段之液化潛勢與專業區用途，劃分為 8 個分區(如圖 5.2 所示)，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，以提供不同震度於臺中港設施各別區域之簡訊傳送內容文字警示之描述。

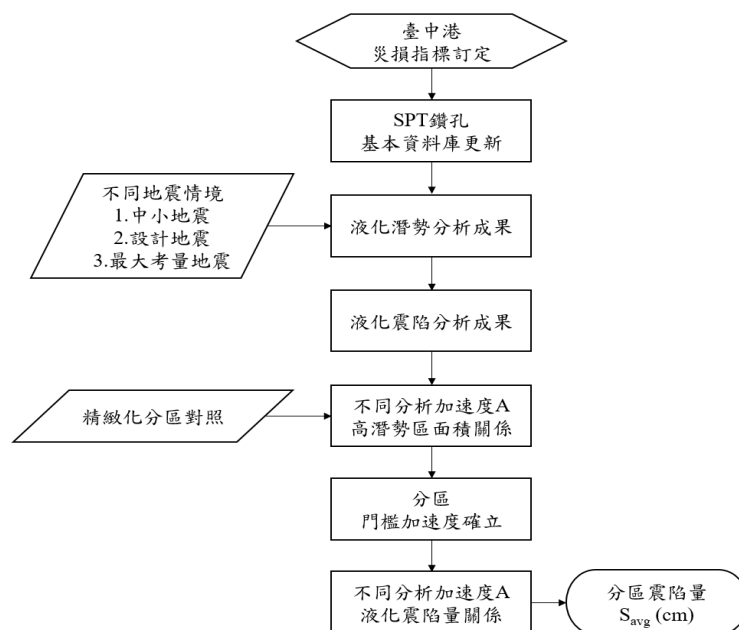


圖 5.1 臺中港區災損指標訂定流程圖



圖 5.2 臺中港精緻化分區對照圖

為訂定不同分區之門檻加速度，本研究以高潛勢區面積占比作為指標，各分區於不同加速度之高潛勢區面積占比關係如圖 5.3 所示，成果可歸納臺中港不同分區之抗液化強度，由弱至強進行排序，分別為簡化分區#6(電力專業區)、簡化分區#4(港埠發展專業區)、簡化分區#1(低度開發區)、簡化分區#5(工業專業區與倉儲區)、簡化分區#8(石化工業專業區)、簡化分區#7(工業專業區(II))、簡化分區#2(漁業與北突堤區)與簡化分區#3(中碼頭與中南突堤區)。而門檻加速度之設定，以高潛勢區面積達各分區之 25%、50%、75%與 90%進行劃分。

不同分區之門檻加速度值彙整於表 5-1，可發現簡化分區#6(電力專業區)在不同潛勢面積比例下，其門檻加速度值皆為最低，由圖 3.5 之 SPT 鑽探資料密度圖可知北側低度開發區及南側電力專業區鑽探孔數相較不足，簡化分區#6(電力專業區)之液化潛勢分析相關評估成果應視情況使用。表 5-2 為精緻化分區下門檻加速度值 A 對應之平均震陷值，主要應用圖 4.9 之不同分析加速度 A 下震陷量 S 經驗評估公式進行計算求得。

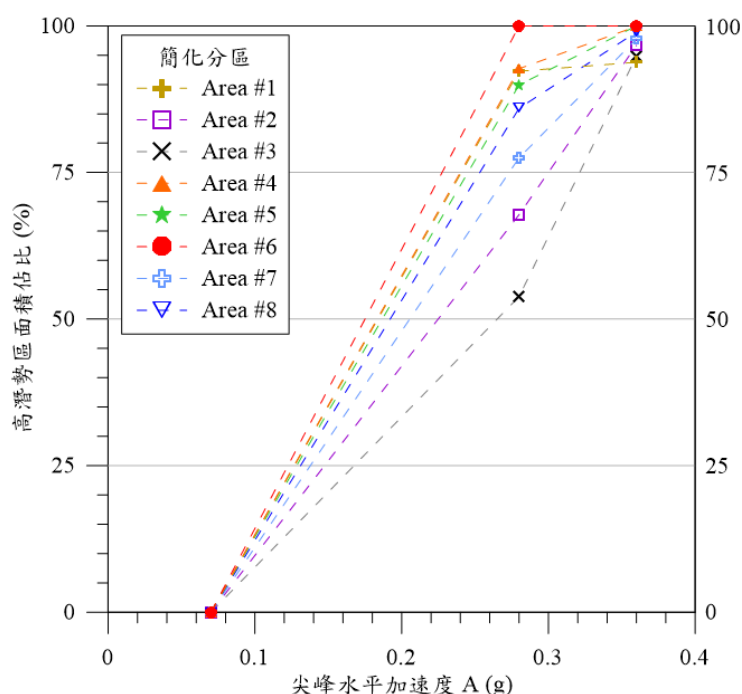


圖 5.3 精緻化分區於不同加速度 A 下高潛勢區佔比關係圖

表 5-1 臺中港精緻化分區下液化潛勢門檻加速度值 A

精緻化分區 (按抗液化強度排序)		門檻加速度值 A (g)			
		高潛勢區 達 25%	高潛勢區 達 50%	高潛勢區 達 75%	高潛勢區 達 90%以上
弱 ↓ 強	Area #6	0.122	0.175	0.228	0.280
	Area #4	0.128	0.183	0.240	0.360
	Area #1		0.187	0.245	
	Area #5	0.131	0.192	0.254	
	Area #8		0.206	0.273	
	Area #7	0.138	0.225	0.299	
	Area #2	0.147	0.265	0.321	
	Area #3	0.167			

表 5-2 臺中港精緻化分區下門檻加速度值 A 對應之平均震陷值

精緻化分區 (按抗液化強度排序)		平均震陷量評估值 (cm)			
		高潛勢區 達 25%	高潛勢區 達 50%	高潛勢區 達 75%	高潛勢區 達 90%以上
弱 ↓ 強	Area #6	17	27	34	40
	Area #4	18	28	35	46
	Area #1		28	36	
	Area #5	19	29	37	
	Area #8		31	39	
	Area #7	20	34	41	
	Area #2	22	38	43	
	Area #3	25			

5.2 臺中港地震速報簡訊內容精進

本所港研中心多年來致力於精進臺灣重要港口之地震速報，包含臺北港、臺中港、蘇澳港、安平港、高雄港、布袋港、基隆港與花蓮港皆已進行地震儀佈設，並進行地震速報簡訊傳送，目前於地震發生後 2 分鐘內會傳送簡訊內容於相關人員。本年度為精進臺中港地震速報簡

訊內容，進行臺中港液化分析，結果可作為相關門檻加速度值訂定之依據，提供更合理之設定值。圖 5.4 為臺中港於不同分析加速度之震陷量變化，為通盤考量臺中港腹地之推估震陷量，此處以平均震陷量(S_{avg})並參考 Ishihara(1996)^[39]提出之沉陷等級分類來擬定不同階段之通報門檻加速度，而沉陷等級依序可分為輕微沉陷($S < 10$ cm)、中度沉陷($10 \leq S \leq 30$ cm)與顯著沉陷($S > 30$ cm)三類。

綜合第三章與第四章成果，可完整建立不同分析加速度下，臺中港區於地震後之快速液化災損評估分析使用，包含不同地表加速度之液化潛勢區面積、液化後震陷量 S 。依據本所(1999)提出的 921 災損調查報告，指出 921 地震時臺中港 PGA 約為 0.16g，而 1-4A 碼頭岸側下陷量約為 35~50cm，碼頭後線約為 5~20cm。以 0.16g 代入計畫提出之臺中港震陷量經驗評估公式(式 4.8)，可得推估震陷量約為 15~33 cm，其與災損調查成果相近，應可驗證計畫之可靠性。

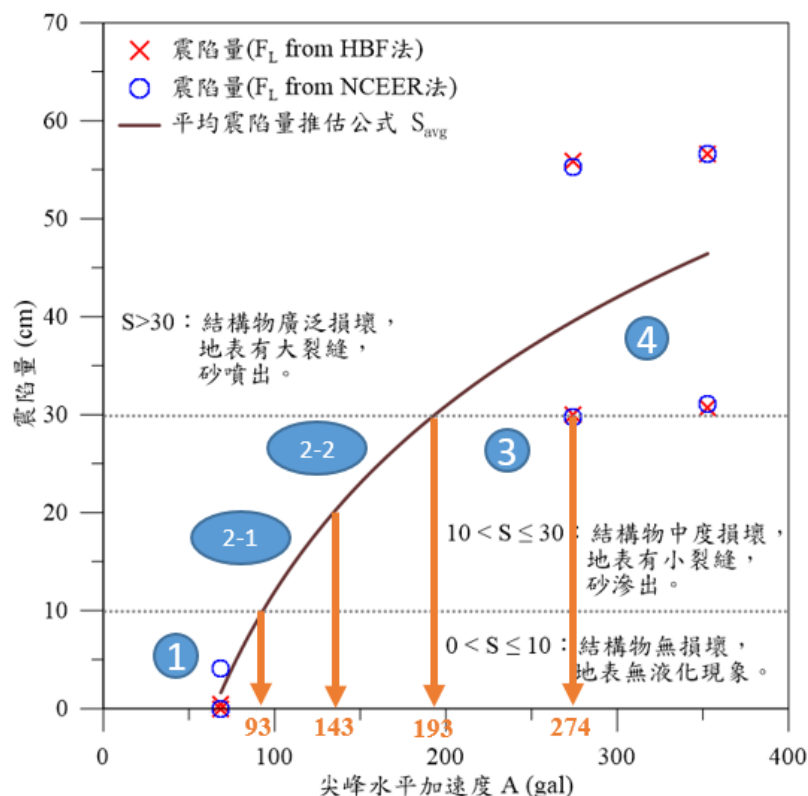


圖 5.4 臺中港地震速報簡訊分階門檻加速度訂定說明

對於第 1 階段之門檻加速度，以平均震陷量通過輕微沉陷之交會處做為代表，即以 93 gal 做為第 1 階段之門檻加速度；接著以震陷量 S 為 30 cm 之交點，做為第 2 與第 3 階段之劃分，即 193 gal，考量中小地震情境較接近 10 cm 之震陷量變化，因此，以 143 gal 為分界點，細分為 2-1 與 2-2，而 2-2 則接近設計地震之狀態，其可能沉陷位置如圖 5.5 與圖 5.6 所示；加速度持續上升時，可發現震陷量增量將明顯下降，因此以 274 gal 做為第 4 階段之劃分，此時港區可能有全面性液化現象，應注意碼頭穩定與後線沉陷變化。相關門檻加速度與地震速報簡訊內容，彙整於表 5-3。

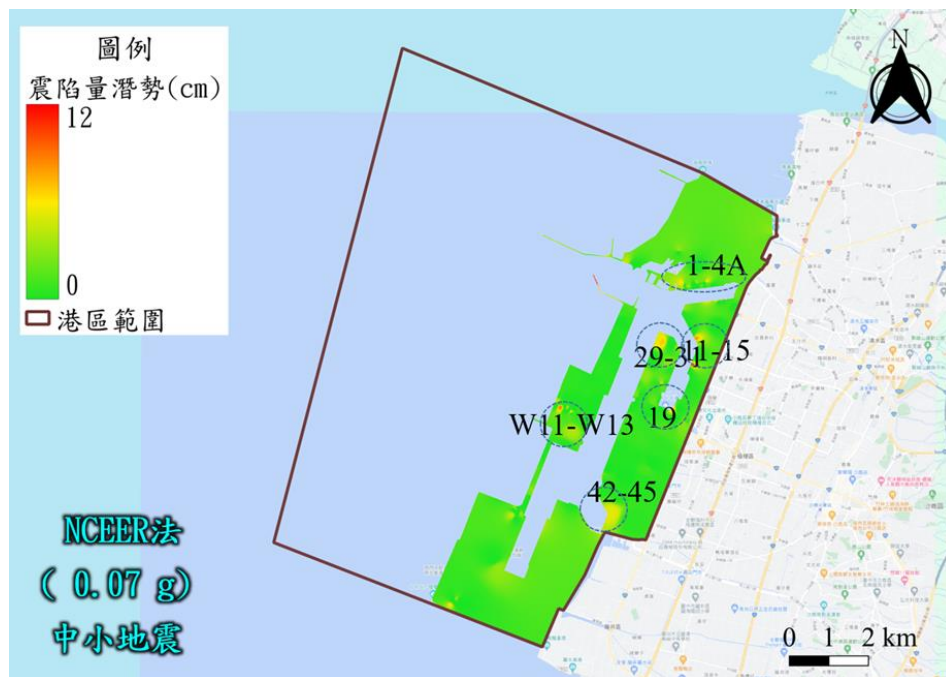


圖 5.5 中小地震下臺中港可能沉陷位置示意圖

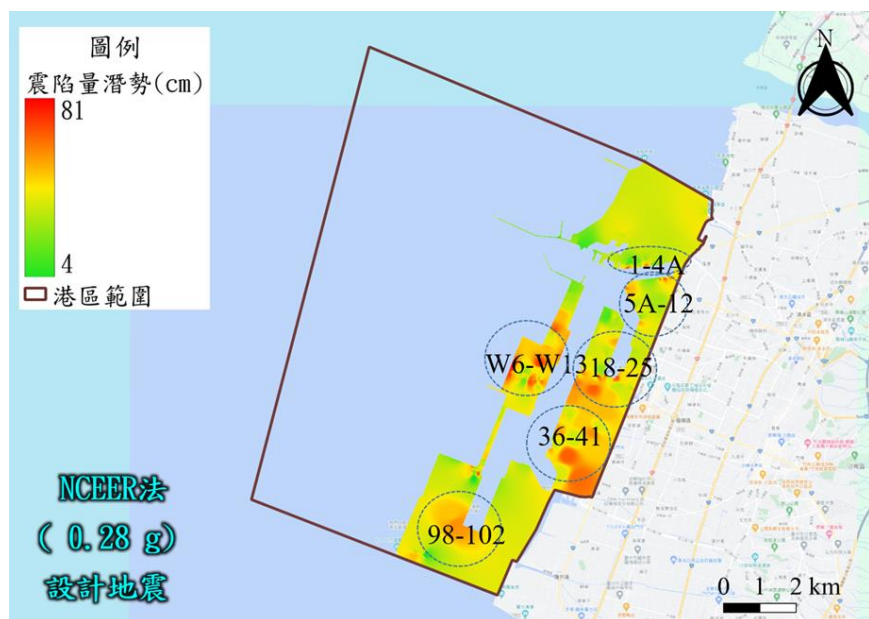


圖 5.6 設計地震下臺中港可能沉陷位置示意圖

表 5-3 臺中港地震速報簡訊內容一覽表

階段	加速度範圍 (gal)	簡訊內容
1	0 – 93	臺中港災況初評: 港區碼頭應該安全。(TIPC 提供)
2-1	93 – 143	臺中港災況初評: 1-4A、11-15、19、29-31、42-45、W11-W13 號碼頭地表可能有輕微裂縫，請派員巡查。(TIPC 提供)
2-2	143 – 193	臺中港災況初評: 1-4A、5A-12、18-25、36-41、98-102、W6-W13 號碼頭地表可能有小裂縫，請派員巡查。(TIPC 提供)
3	193 – 274	臺中港災況初評: 1-4A、5A-12、18-25、36-41、98-102、W6-W13 號碼頭及後線地表可能因沉陷有較大面積之顯著裂縫，請派員巡查。(TIPC 提供)
4	274 以上	臺中港災況初評: 港區可能有全面性液化現象，應注意碼頭穩定與後線沉陷變化，請派員巡查。(TIPC 提供)

綜合上述，透過推估震陷量與沉陷等級分類，可提供較合理之門檻加速度設定值，相較於原有設定值，其成果可更貼近於實際臺中港區土層之液化危害度分析成果，本年度各項指標工作完成後，包含不同地表加速度之液化潛勢分析、地表沉陷量，可完整建立不同震度下，臺中港區於地震後之快速液化災損評估分析，其分析架構可作為臺灣重要商港之災損分析流程。

第六章 港區地震速報精進與維護

本所港研中心自 98 年起逐年編列經費，於安平港、布袋港、臺北港、高雄港、蘇澳港、臺中港、花蓮港及基隆港等 8 港區(以下簡稱各港區)設置地表地震速報監測站，維護與精進各港區地震速報能正常運作，自民國 111 年起港區地震速報精進與維護之經費，改由港務公司委託本所辦理之「海氣象監測及預警技術精進計畫(111~115 年)」代辦計畫內「港區地震速報精進與維護」計畫繼續運作；為使地震監測持續能正常擷取監測資料、發揮傳送速報簡訊功效，每年均需進行速報儀器、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。另外，為精進確保地震速報之通報資訊正確，減少誤報情形發生，於今(111)年將原設置於安平港(安平港 8 號碼頭)之地表地震監測設備，移至安平港營運處與本所協商的位置，力求改善儀器遭遇鄰近各種作業產生之震動、外力碰撞或誤觸情形發生；今年亦將各港區地震速報接收的資料置放於中華電信雲端上，提供本所其他系統介接使用；另外，也蒐集臺中港區地質鑽探資料並擴充相關資料庫，重新推估液化災損範圍，進而結合、更新臺中港地震速報簡訊內容。本章就 111 年度各港區地震監測站維護及速報精進，分述於後：

6.1 各港地震監測站維護

本所港研中心於各港區逐年分別設置完成地震速報監測站，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(6 月及 11 月)，並擷取彙整各港區地震資料及每月遠端連線檢查設備是否正常運作，且需下載各港區有地震發生時，震度達 4 級 25gal(震度未達 4 級時，提供最大震度)以上之波形圖，並下載同時間中央氣象局揭示之地震資料；另由於本所港研中心原井下地震監測已不再傳送簡訊，於 7 月 26 日與中華電信辦理 ADSL 網路門號及簡訊租用解約，並繳回租用之數據機；另今年將各港區監測站內之工業級電

腦原安裝設之 win7 軟體，進行升級為 win10 軟體，以配合速報地震資料介接於中華電信雲端上，使其能正常運作。111 年度維護成果綜整如下：

1. 臺北港

(1)地點：臺北港入口右側花圃。GPS 座標 25.150754,121.392692

(2)維護成果：

- a.於本所設置之地震速報監測站觀測屋內之儀器、周邊藤蔓與雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網及鎖板除鏽等保養清潔工作，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。
- b.本監測站 6 月 14 日電腦故障，無法遠端連線，拆回電腦經檢查主機板損壞，於 111 年 6 月下旬更換電腦，重新安裝軟體後，連線功能測試恢復正常運作。
- c.臺北港地表地震監測紀錄於 111 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，共測得 2 級地震強度 16 筆，3 級地震強度 4 筆，4 級地震強度 2 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 22 筆，震源大部份來至小區域或蘇澳外海地區。
- d.臺北港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄比對，如附錄一。

2. 臺中港

(1)地點：臺中港#26 號碼頭。GPS 座標 24.273542, 120.520134。

(2)維護成果：

- a.於本所設置之地震速報監測站觀測屋內之儀器、周邊藤蔓與雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網及鎖板除鏽等保養

清潔工作，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。

b.臺中港#26 號碼頭地表地震監測紀錄於 111 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，共測得 2 級地震強度 12 筆，3 級地震強度 3 筆，4 級地震強度 3 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 18 筆，震源大部份來至小區域或東部外海地區。

c.臺中港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄比對，如附錄一。

3. 蘇澳港

(1)地點：蘇澳港棧埠所對面。GPS 座標 24.590855, 121.863195。

(2)維護成果：

a.於本所設置之地震速報監測站觀測屋內之儀器、周邊藤蔓與雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網及鎖板除鏽等保養清潔工作，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。

b.本監測站 4 月 22 日遠端連線，發現地震儀無法紀錄，於 4 月 25 日前往現場重新整理記憶卡後，連線功能測試恢復正常運作。

c.蘇澳港地表地震監測紀錄於 111 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，共測得 2 級地震強度 25 筆，3 級地震強度 13 筆，4 級地震強度 13 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 51 筆，蘇澳港震源大部份來至蘇澳外海地區。

d.蘇澳港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄比對，如附錄一。

4. 安平港

(1)地點：安平港營運處大樓。GPS 座標 22.9786495,120.176281。

(2)維護成果：

- a.於本所設置之地震速報監測站觀測屋內之儀器、周邊藤蔓與雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網及鎖板除鏽等保養清潔工作，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。
- b.查本所與臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司簽訂之土地無償使用契約將於 111 年 12 月 31 日屆期，為使安平港地震速報監測站能正常運作，將依規定辦理續約作業，以利地震相關設備能持續監測。
- c.安平港地表地震監測紀錄於 111 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，總共發布 2 級地震速報簡訊 8 筆，震源大部份來至小區域或花東外海地區。
- d.安平港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄比對，如附錄一。

5. 高雄港

(1)地點：高雄港港西碼頭，船舶管理中心內槽化島。GPS 座標:22.598505, 120.283。

(2)維護成果：

- a.於本所設置之地震速報監測站觀測屋內之儀器、周邊藤蔓與雜草及圍籬內雜物清除，亦清洗冷氣機濾網等及鎖板除鏽等保養清潔工作，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。

- b.本監測站 4 月 13 日電腦故障，無法遠端連線，於 4 月 15 日前往現場，發現電腦當機，且螢幕故障無法顯示，重新啟動後，連線功能測試，皆能正常運作，預計於明(112)年更換電腦及螢幕。
- c.高雄港地表地震監測紀錄於 111 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，共測得 2 級地震強度 1 筆，3 級地震強度 1 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 2 筆，震源大部份來至小區域或台東外海地區。
- d.高雄港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄比對，如附錄一。

6. 布袋港

(1)地點：布袋港區內，GPS 座標 23.374752, 120.132662。

(2)工作內容：

- a.111 年 06 月 09 日，於本所設置於布袋港管理處 1 樓儲藏室之儀器、周邊雜物清除，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。
- b.本監測站 10 月 14 日電腦故障，無法遠端連線，拆回電腦經檢查主機板損壞，於 10 月 19 日更換電腦連線功能測試，恢復正常運作。
- c.布袋港地表地震監測紀錄於 111 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，共測得 2 級地震強度 7 筆，3 級地震強度 3 筆，4 級地震強度 1 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 11 筆，震源大部份來至小區域或花東外海地區。
- d.布袋港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄如比對，附錄一。

7. 基隆港

(1)地點：基隆港港務處航管中心辦公室(內、外各一組 CV374A)。

GPS 座標 25.1600614, 121.7579926

(2)維護成果：

a.111 年 06 月 02 日，於本所設置於基隆港港務處航管中心辦公室內、外之儀器、周邊雜草與雜物清除，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。

b.基隆港地表地震監測紀錄於 110 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，總共發布 2 級地震速報簡訊 1 筆，3 級地震強度 1 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 2 筆，震源大部份來至小區域或花東外海地區。

c.基隆港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄比對，如附錄一。

8. 花蓮港

(1)地點：花蓮港港務大樓辦公室(內、外各一組 CV374A)。GPS 座標：
23.9797153,121.62005836

(2)維護成果：

a.111 年 06 月 14 日，於本所設置於花蓮港港務大樓辦公室內、外之儀器、周邊雜草與雜物清除，以及檢查地震儀器及軟體，並連線功能測試，皆能正常運作。

b.地表地震監測紀錄於 110 年 01 月 01 日至 10 月 31 日止，共測得 2 級地震強度 19 筆，3 級地震強度 3 筆，4 級地震強度 4 筆，5 級地震強度 1 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 27 筆，震源大部份來至小區域或東部外海地區。

c.花蓮港地震速報波形圖及同時間中央氣象局發佈之地震紀錄比對，如附錄一。

彙整今年(111 年)截至 10 月 31 日止，各港區傳送的地震速報簡訊總計 140 筆，如表 6-1 所示。

表 6-1 各港區 111 年傳送的地震速報簡訊統計表

測站	地震強度次數			總計
	2 級 (2.5~8.0gal)	3 級 (8.0~25gal)	4 級 (25~80gal)	
臺北港	16	4	2	22
臺中港	12	3	3	18
蘇澳港	25	13	13	51
安平港	8	0	0	8
高雄港	1	1	0	2
布袋港	7	3	1	11
基隆港	1	1	0	2
花蓮港	19	3	4	26
總計	89	28	23	140

6.2 地震速報精進

本所港研中心於各港區逐年設置完成地表地震災後速報傳輸。由於基隆港地震速報儀器原設置地點，偶而會遭遇外力碰撞或誤觸，為精進速報系統及減少誤報情形發生，於 109 年選定基隆港務分公司港務處航管中心重新設置地表地震監測設備，以精進確保地震速報系統之通報資訊正確；又於 110 年初花蓮港通知本所，請本所另覓適當場域遷移原置放於行政大樓外花園之地震監測設備，本所遂將上述監測設備

遷移至行政大樓右側花園內^[16,17]；另今(111)年初安平港營運處通知本所，請本所另覓適當場域遷移原置放於該港 8 號碼頭地震監測設備，本所遂將上述監測設備遷移至安平港營運處大樓地下室，以確保地震速報能正確運作。

今年開發將各港區地震速報接收的資料置放於中華電信雲端上，提供本所港灣構造物維護管理資訊系統、港灣環境資訊網及應變即時系統等 3 個系統介接使用；另外，針對臺中港區進行地工資料庫更新，提供顯著地震後快速液化災損初步評估，以更新臺中港地震速報簡訊內容。今(111)年度地震速報精進分述於後：

6.2.1 安平港地震速報精進

本所港研中於 98 年建置安裝安平港地表地震速報設備，使用之儀器為日本東京測振公司製造之三向度網路型地表地震儀 CV373 型，當年安平港務局提供安平港 8 號碼頭空地，供本所安裝地表地震儀，當地震儀接收到地震訊號後，先傳至儀器主機經運算後，再同時儲存到工業級無風扇小型電腦中，此時地震訊號藉著中華電信 ADSL 網路，可將港區災況以簡訊方式依不同震度需求發送至各相關防救災及工程人員手機上，確保地震速報之通報資訊正確。

本所目前設置於安平港 8 號碼頭之地震設備設置地點，因鄰近誠益自貿通運（股）貨櫃集散站，其貨櫃裝卸作業產生之震動經常影響儀器監測結果，考量該儀器設置環境，須保持穩定性及不受外部干擾，本所遂於 111 年 6 月初會同該安平港營運處相關人員，進行地震監測設備移設地點會勘，經勘驗現場擇定該港營運處大樓地下室為新設置地點，並確認管線內、外皆可相通後，進行地震監測設備安裝工作。

安平港地震監測設備遷移、安裝及測試敘述如下：

1. 於 111 年 5 月將原設置於安平港 8 號碼頭空地之地震設備 1 臺 CV374 地表地震儀、電腦相關設備及線路拆除，俟擇定合適的場域再進行安裝，原裝設地點，如圖 6.1 所示。



圖 6.1 安平港地震設備原設置位置示意圖

2. 安平港地震監測設備安裝及測試：

- (1) 111 年 6 月初本所港研中原設置於安平港 8 號碼頭之地表地震監測設備地點，為配合該分公司另有其他用途，經勘驗現場擇定地震監測設備搬遷至該港營運處大樓地下室(座標:22.9787,120.1763)，並安裝電表及配置管線(110V 電源線及中華電信網路線)，如圖 6.2 所示。
- (2) 111 年 6 月下旬完成安裝地震儀、保護箱(長 40cm，寬 40cm，高 50cm) 等相關設備及地震儀方位調整，如圖 6.3 所示;並測試速報功能，確認連線地震儀及軟體能正常運作，並敲擊地震儀測試發送簡訊，測試結果所有功能皆可正常運作，如圖 6.4 所示。



圖 6.2 安平港安裝電表及配置管線

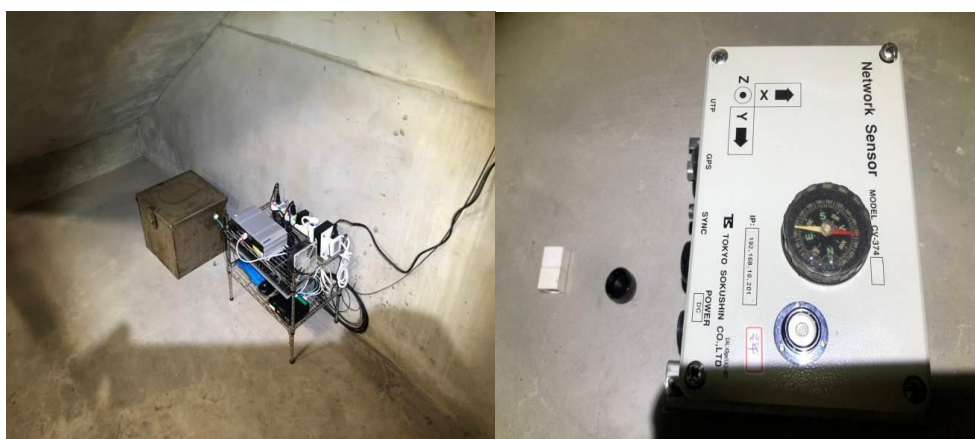


圖 6.3 安裝地震儀、保護箱及地震儀方位調整



圖 6.4 發送簡訊，測試地震監測功能皆可正常運作

6.2.2 更新臺中港地震速報簡訊內容

本所港研中心多年來持續努力確保各港地震速報之通報快速及資訊正確外，今(111)年特別針對臺中港區進行地工資料庫更新，並於本所原開發之液化評估法中，加入國內、外採用之液化潛勢評估法，推估液化後沉陷量，提供顯著地震後快速液化災損初步評估，以更新臺中港地震速報簡訊內容，如表 5-3 所示；另近年來各港防救災管理相關人員多所異動，今(111)年除了上述簡訊內容精進外，並依據臺灣港務公司提供之該公司及各港務分公司防救災管理相關人員之資料，完成更新地震速報簡訊接收者之名單資料，以符合臺灣港務公司防災需求，俾利提昇地震速報之效能，增進各港整體安全。

6.2.3 地震速報資料介接

本所港研中心於 101 年整合各港區地震監控資訊於本所港灣環境資訊網中展示，港灣環境資訊系統於接收地震資料之相關資訊，以自動/手動的方式將接收之地震資料匯入至本所海情中心的資料庫中，並且於港灣環境資訊網中繪製展示地震三向度(x,y,z 軸)的地表資訊圖表，提供地震發生時之網頁訊息告知及歷史地震資訊查詢等功能。自民國 111 年起本所地震速報計畫經費，改由港務公司委託本所辦理之「海氣象監測及預警技術精進計畫(111~115 年)」代辦計畫內「港區地震速報精進與維護」計畫繼續運作。111 年除了持續維護各港區地震速報即時監測站能正常運作外，並開發將各港區地震速報接收之地震資料傳輸至中華電信雲端，提供港務公司委託本所代辦之「港灣構造物維護管理資訊系統」、「應變即時系統」及本所港灣環境資訊網等系統，透過雲端介接去下載各港區相關地震速報資料使用，各港區地震速報與中華電信雲端介接方式說明如下：

1. 使用 OneDrive 雲端儲存地震資料網址如下：

<https://70447525-my.sharepoint.com>

2. 點選港區資料夾，如圖 6.5 所示

3. 對應各港資料夾，如圖 6.6 所示
4. 地震後程式將自動上傳檔案至雲端供使用者去下載資料，包含副檔名 DBL(地震波形 需用 PWAVE 32 開啟). TXT(地震簡訊發送內容). EDP. (地震加速度值及震度)EQI(地震簡訊格式).JPG(地震波形圖檔) 都可下載使用，如圖 6.7 所示。



圖 6.5 港區資料夾



圖 6.6 各港資料夾



圖 6.7 自動上傳地震檔案至雲端

第七章 結論與建議

臺中港為中臺灣航運門戶，依據臺灣港務公司簡介，臺中港目前擁有 58 座已營運碼頭，水域面積約為 8,382 公頃，陸域面積約為 2,903 公頃，配置 14 個專業區(如圖 3.1 所示)，供能源、電力、鋼鐵、石化、倉儲、物流、港埠服務與觀光遊憩等特定用途產業進駐，近年更作為風電產業專區與液化天然氣專用港口，其重要性不可言喻。臺中港區曾進行多次液化安全評估(臺中港務局，1982，現為臺中港務分公司；國家地震中心，2001；本所港研中心，1999 及 2004 等)^[2,10,11,12]，其分析完成年代距今約為 40 至 20 年前左右，不同報告分析鑽探孔數約為 72 至 135 孔，其分析方法、目的與應用區域皆異，因此有再次進行全面性液化安全評估之必要。

本(111)年度計畫透過蒐集、建立臺中港不同情境之液化潛勢分析圖資，方法採用建築物耐震設計規範建議之 SPT-N 簡易評估法，依中小地震、設計地震與最大考量地震情境進行評估，探討不同分析指標之液化潛勢差異，提出臺中港不同分析加速度 A 之高潛勢區面積與震陷量經驗評估公式，成果可供智慧化災損評估使用。完成的工作項目包括：臺中港區內鑽孔資料進行盤點更新與篩選、SPT-N 法液化潛勢分析、液化後沉陷量推估與震後快速液化災損評估訊息研擬。

7.1 結論

本年度計畫執行成果摘要如下：

1. 本年度對臺中港 SPT-N 鑽孔資料進行完整蒐集、建立、盤點更新與篩選，原本所港研中心地工資料庫可用資料筆數為 135 孔，港務公司鑽探報告，可用資料為 155 孔，地調所之地質資料庫可用 21 孔，共計 311 孔鑽探資料，提高基本資料庫鑽孔數量，以精進液化分析

成果。

2. 研究以 HBF 法與 NCEER 法進行臺中港液化潛勢分析，兩方法於不同地震情境之潛勢分布相近，惟 HBF 法分析成果在相同分析加速度下，其液化潛能 P_L 較 NCEER 法高。以 SPT-N 法液化潛勢成果顯示，臺中港區陸域約 2,903 公頃，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。
3. 除液化潛能 P_L 外，液化後引致震陷量亦為常見之液化災損分析指標，本研究基於 Ishihara and Yoshimine (1992) 自由場震陷評估方法，進行臺中港不同地震情境之自由場震陷量評估，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，港區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)。而噴砂及剪應變引致沉陷因資料有限，本計畫暫不考慮。
4. 為提供未來臺中港區快速震陷量評估使用，本研究以具代表性之震陷變化範圍作為震陷量評估公式之基礎數據點，建構臺中港不同分析加速度下震陷量經驗評估公式，依運研所(1999)921 地震災損報告，以 0.16g 代入計畫提出之臺中港震陷量經驗評估公式(式 4.8)，可得推估震陷量約為 15~33 cm，搭配 Ishihara(1996)建議震陷量與災損等級分類，可作為災損評估分析之依據。
5. 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中港簡易分區災損評估簡訊傳送內容之依據。
6. 本年度各項指標工作完成後，包含不同地表加速度之液化潛勢分析、地表沉陷量，可完整建立不同震度下，臺中港區於地震後之快速液化災損評估分析，其分析架構可作為臺灣重要商港之災損分析流程。

7.2 建議

針對本計畫提出下列建議：

1. 本年度完整建置臺中港區鑽探資料相關數化成果，後續可整合至本所港研中心地工資料庫中使用。
2. 本研究首度嘗試臺中港區震後沉陷量估算，而 Macedo and Bray (2018)提出建物應考量受震時基礎與承載地層受剪之沉陷量，建議後續可整合實際基礎、建物基地大小與樓板載重等因素，精緻化震後受剪引致沉陷量估算之成果。

7.3 提供政府單位應用情形

1. 各港區地震即時災況速報，可於災後將相關初步評估訊息以簡訊傳至港務公司相關人員，作為防救災及未來港灣結構物設計與維護之參考。
2. 出版研究報告，並將相關研究成果供產官學界參考應用。

參考文獻

1. 鄭世楠、葉永田 (2002),「1848 年彰化地震與彰化斷層關係的初步研究」, 港灣報導季刊, 61 期。
2. 運輸研究所 (1999),「臺中港 1 至 4A 碼頭 921 地震液化災損初步調查研究」, 港灣研究中心專刊 172 號。
3. 黃俊鴻、陳正興、莊長賢 (2012),「本土 HBF 土壤液化評估法之不確定性」, 地工技術, 第 133 期, 第 77-86 頁。
4. 賴聖耀、謝明志、蘇吉立、陳志芳,「港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, 2003。
5. 張文忠 (2016),「表面波震測於美濃地震住宅區液化土層調查」, 地工技術, 第 148 期, 第 91-100 頁。
6. 中央地質調查所(2022),「20220323 長濱地震地質調查報告」, 第 29 頁。
7. 黃富國、何政弘 (1999)「土壤液化評估方法之研究」國家地震工程中心 NCREE-99-045。
8. 紀雲曜 (1997),「高雄縣永安沿海地區沖積層下陷及其潛能評估方法之研究」, 國立成功大學博士論文。
9. 葉錦勳 (2003),「台灣地震損失評估系統-TELES」, 國家地震研究中心技術報告。
10. 臺中港務局 (1982),「臺中港土壤液化研究」, 研究報告。
11. 國家地震中心 (2001),「臺中縣液化潛能評估」, 研究報告。
12. 運輸研究所 (2004),「港灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究(2/3)」, 港灣技術研究中心研究報告。

13. 營建署 (2022), 「建築技術規則」, 建築法規, 內政部。
14. 日本道路協會 JRA (1996), 「道路橋示方書, 同解說, V 耐震設計篇」, 日本規範。
15. 賴聖耀 (2002), 「以 921 地震液化案例之 SPT-N 值建立土壤液化潛能判別模式」, 液化潛能評估方法及潛能圖之製作研討會。
16. 曾文傑、陳志芳、謝明志, 「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, 2021。
17. 曾文傑、謝幼屏, 「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, 2022。
18. JGS. (1996). “Soils and Foundations — Special issue on geotechnical aspects of the January 17, 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake.” Japanese Soc. Geotech. Eng.
19. Bray, J. D., Sancio, R. B. (2006). “Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(9), pp.1165-1177.
20. Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D. and Castro, G. (2001). “Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils.” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127(10), pp. 817-833.
21. Macedo, J. and Bray J. D. (2018). “Key trends in liquefaction-induced building settlement.” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 144(11), 04018076.
22. Ishihara, K. (1985). “Stability of natural deposits during earthquakes.” In Vol. 1 of Proc., 11th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 321-376.
23. Iwasaki, T., Arakawa, T., Tokida, K. (1982). “Simplified procedures for

- assessing soil liquefaction during earthquakes.” In Proceedings of conference on soil dynamics & EQ engineering, pp. 925-939.
24. Casagrande, A. (1936). “Characteristics of cohesionless soil affecting the stability of slopes and earth fills.” Journal of the Boston Society of Civil Engineers, reprinted in Contributions to Soil Mechanics, Boston Society of Civil Engineers, pp.257-276.
 25. Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971). “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential.” J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9), pp.1249-1273.
 26. Ishihara, K., Sodekawa, M., and Tanaka, Y. (1978). “Effects of overconsolidation on liquefaction characteristics of sands containing fines.” Dynamic Geotechnical Testing, 654, pp. 246-264.
 27. Seed, H.B., Idriss, I.M., Arango, I. (1983). Evaluation of liquefaction potential using field performance data. J. Geotech. Eng. 109 (3), pp. 458-482.
 28. Sherif, M.A., Ishibashi, I., Tsuchiya, C. (1977). “Saturation effects on initial soil liquefaction.” In: Proceeding of ASCE, 103(GT8), pp. 914–917.
 29. Seed, H B., Martin, P. P. and Lysmer, J. (1975). “The generation and dissipation of pore water pressures during soil liquefaction.” University of California, Berkeley, CA, Tech. Rep. UCB-EERC-75/26.
 30. Kramer, S. L. (1996). “Geotechnical earthquake engineering.” Prentice Hall, ISBN:0-13-374943-6.
 31. Ishihara, K. (1993). “Liquefaction and flow failure during earthquakes.” Geotechnique, 43(3), pp. 351-415.
 32. Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., and Chung, R.M. (1985). “Influence of SPT procedure in soil liquefaction resistance evaluations.” Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), pp. 1425-1445.

33. Youd, T. L., and Idriss, I. M. (1997). "Proc. NCEER workshop on evaluation of liquefaction resistance of soils." Nat. Ctr. for Earthquake Engrg. Res., State Univ. of New York at Buffalo.
34. Cetin, K. O., Seed, R. B., Moss, R. E. S., Kiureghian, A. D., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Kayen R. E. (2000). "Field case histories for SPT-based in situ liquefaction potential evaluation." PEER Report No. UCB/GT-2000/09, Pacific Earthquake Engineering Research, Berkeley, CA.
35. Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992). "Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes." *Soils and Foundations*, 32(1), pp. 173-188.
36. Ashford, S., Boulanger, R., Donahue, J. and Stewart, J. (2001). "Geotechnical quick report on the Kanto Plain region during the March 11 2011, Off Pacific Coast of Tohoku earthquake, Japan." GEER quick report, April 5.
37. Ku, C. K. and Juang, C. H. (2012). "Liquefaction and cyclic softening potential of soils – a unified piezocone penetration testing-based approach." *Geotechnique*, 62(5), pp. 457-461.
38. Kayen, R. E., Moss, R. E. S., Thompson, E. M., Seed, R. B., Cetin, K. O., Kiureghian, A. D., Tanaka, Y. and Tokimatsu, K. (2013). "Shear-wave velocity-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139, pp. 407-419.
39. Ishihara, K. (1996). "Soil behaviour in earthquake geotechnics." Oxford Univ Pr, ISBN:0-19-856224-1.
40. Bray, J. D. and Macedo, J. (2017). "Simplified procedure for estimating liquefaction-induced building settlement", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 102, pp.215-231.
41. Meyerhof, G. G. (1957). "Discussion on research on determining the

density of sands” Proc., 4th Int. Conf. of Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 3, 110.

附錄一

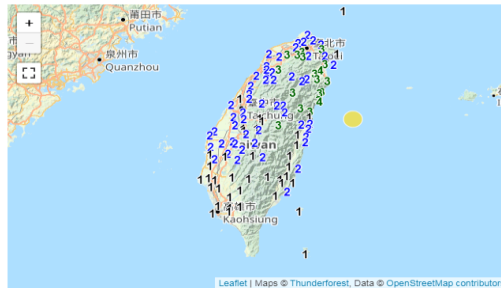
111 年各港區地震資料比對

臺北港

[:::🏠](#)
[首頁](#) /
 [地震資訊](#) /
 [地震活動彙整](#) /
 [地震資訊](#)



第156號 10月11日3時24分 規模 5.9 花蓮縣政府東方 59.3 公里 (位於臺灣東部海域)



第156號

發震時間：111年10月11日 3時24分42秒

震央位置：北緯 24° 東經 122.2°

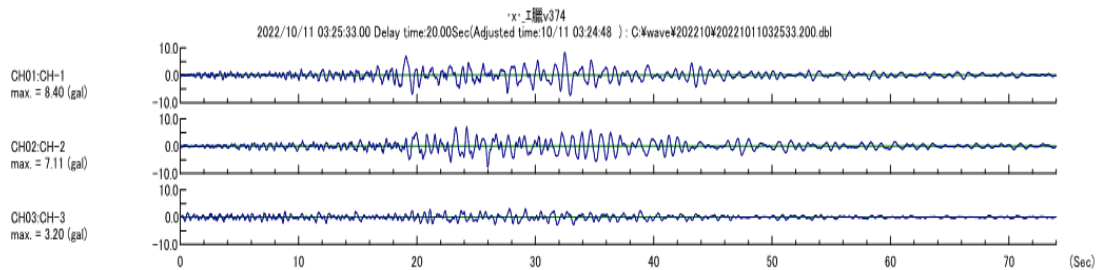
地震深度： 17.9 公里

芮氏規模：5.9

相對位置：花蓮縣政府東方 59.3 公里 (位於臺灣東部海域)

[« 回上一頁](#)

速報

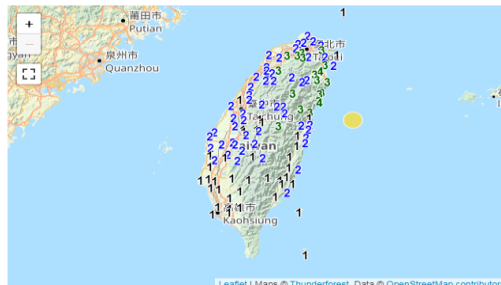


臺中港 26 碼頭

...[首頁](#) / [地震資訊](#) / [地震活動彙整](#) / [地震資訊](#)



第156號 10月11日3時24分 規模 5.9 花蓮縣政府東方 59.3 公里 (位於臺灣東部海域)



第156號

發震時間：111年10月11日 3時24分42秒

震央位置：北緯 24° 東經 122.2°

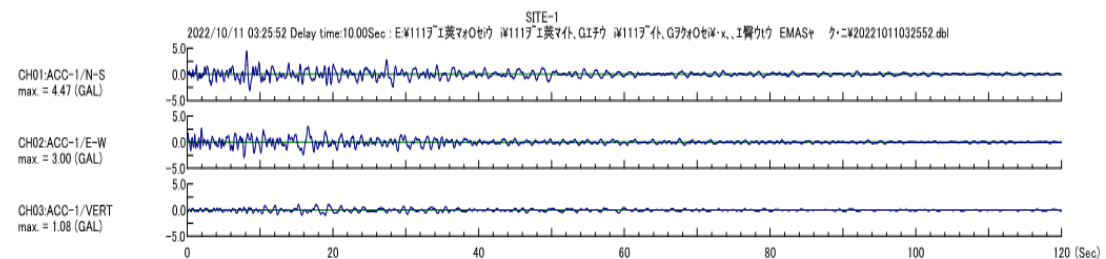
地震深度：17.9 公里

芮氏規模：5.9

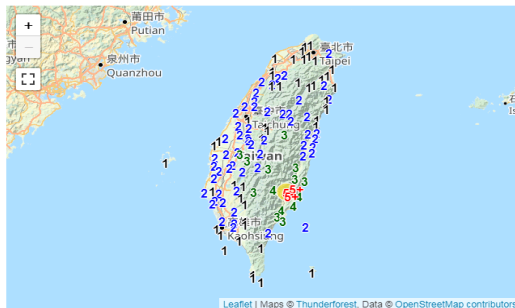
相對位置：花蓮縣政府東方 59.3 公里 (位於臺灣東部海域)

[« 回上一頁](#)

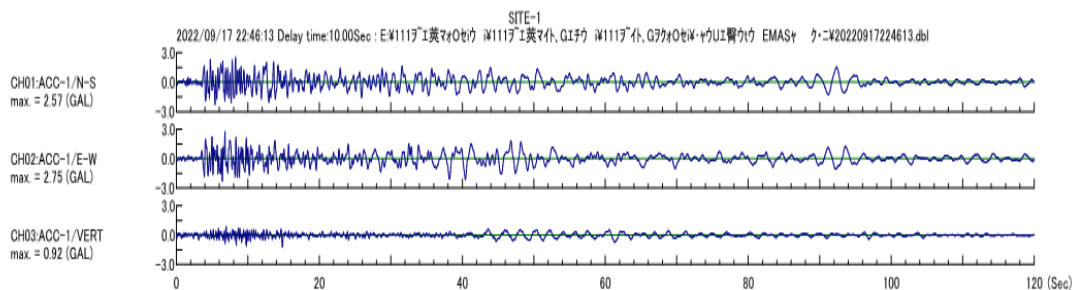
速報



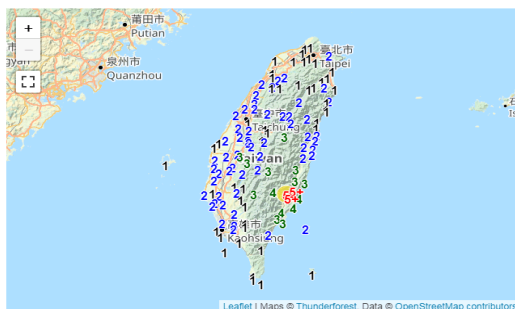
[::: 首頁](#) / [地震資訊](#) / [地震活動彙整](#) / [地震資訊](#)



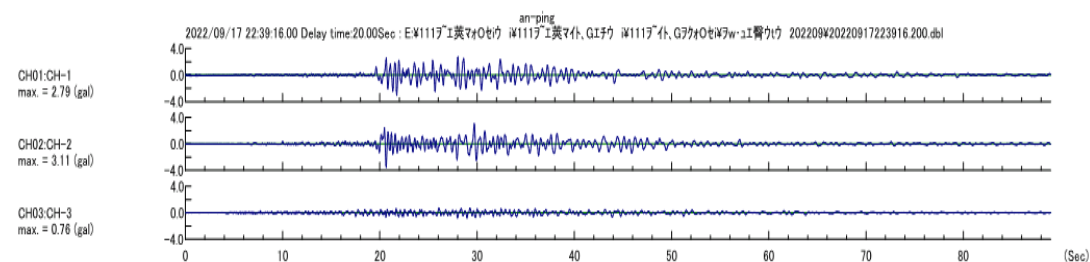
«  上一頁 »



[首頁](#) / [地震資訊](#) / [地震活動彙整](#) / [地震資訊](#)



[« 回上一頁](#)



高雄港

首頁 / 地震資訊 / 地震活動彙整 / 地震資訊



第167號 11月13日22時9分 規模 4.5 臺東縣政府南南西方 35.5 公里 (位於臺東縣近海)



第167號

發震時間：111年11月13日 22時9分8秒

震央位置：北緯 22.45 ° 東經 121.03 °

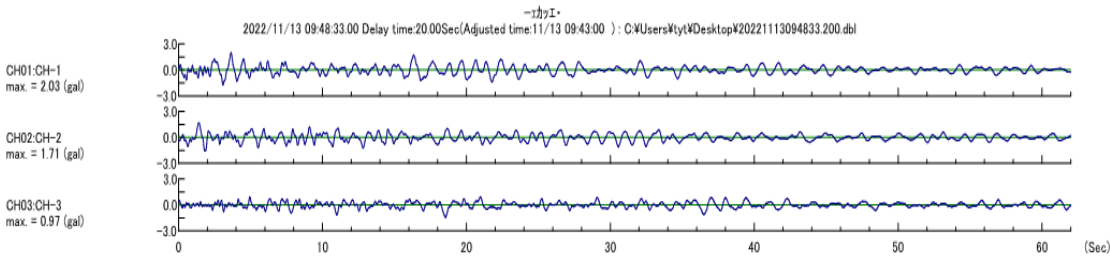
地震深度：6.8 公里

芮氏規模：4.5

相對位置：臺東縣政府南南西方 35.5 公里 (位於臺東縣近海)

回上一頁

速報

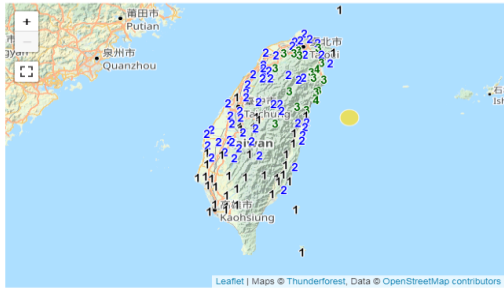


蘇澳港

首頁 / 地震資訊 / 地震活動彙整 / 地震資訊



第156號 10月11日3時24分 規模 5.9 花蓮縣政府東方 59.3 公里 (位於臺灣東部海域)



第156號

發震時間：111年10月11日 3時24分42秒

震央位置：北緯 24 ° 東經 122.2 °

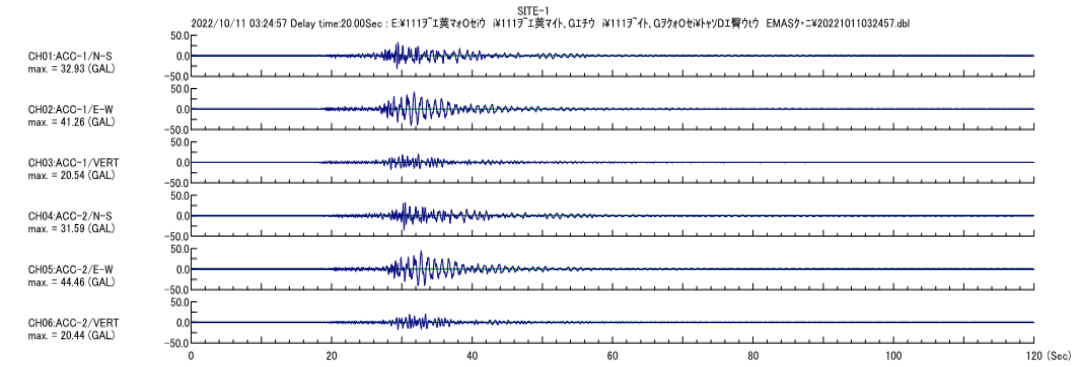
地震深度：17.9 公里

芮氏規模：5.9

相對位置：花蓮縣政府東方 59.3 公里 (位於臺灣東部海域)

回上一頁

速報



第**156**號 **10月11日3時24分** 規模 **5.9** 花蓮縣政府東方 **59.3** 公里 (位於臺灣東部海域)



2022/10/11 03:25:44 Delay time:10.00Sec : E#11117エ異マ0セウ N#1117エ異マ0セウ G1チウ N#1117エウ G7サ0セウーウ2ウウウ EMAS2・ニ20221011032544.dbl

SITE-1

CH01:ACC-1/N-S
max. = 3.66 (GAL)

CH02:ACC-1/E-W
max. = 3.37 (GAL)

CH03:ACC-1/VERT
max. = 1.19 (GAL)

CH04:ACC-2/N-S
max. = 3.63 (GAL)

CH05:ACC-2/E-W
max. = 3.36 (GAL)

CH06:ACC-2/VERT
max. = 1.16 (GAL)

第**156**號 **10月11日3時24分** 規模 **5.9** 花蓮縣政府東方 **59.3** 公里 (位於臺灣東部海域)



附錄二

專家學者座談會會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：鄭登鍵

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、朱金元委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 各年度甘梯圖之工作項目宜更精準。
2. 斷面試驗或現場橋址記錄河床變化、鼎型塊變位或流失情形，宜作三維之量化紀錄。
3. 斷面水槽試驗，建議每次試驗都能全程錄影，尤其在鼎型塊或地工織布即將變位或流失之過程，可於成果說明時清楚呈現。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 在 110 年合作計畫結束即研究擴大應用範圍，是很棒的計畫。
2. 建議對於執行現況探討可就前期研究沒處理的部分深入即可。
3. 加強前期研究成果推廣應用之執行情形，並研究如何精進，畢竟科技發展很快。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 相關 UAV 及山區道路崩塌研究，中心已有相當豐碩之前期研究成果，宜先探討其執行應用情形。
2. 本研究對象建議以山區道路或東部地區易崩塌路段為主，較能突顯成果。
3. 除後續應用於巡查作業外，建議未來能朝預警機制建立等賡續進行。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 本中心進行二十餘年持續性之腐蝕調查建置研究，支持繼續進行。
2. 原始資料紀錄越詳細越好。例如：樣本放置/收取/試驗時間，以作為後續分析使用。
3. 建議未來應用 AI 分析技術，作為後續不同地區金屬材料選用，構造物壽命評估及維護評估使用。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 集中精力於相關新興科技應用案例，蒐集分析可行性應用評估，對於維護管理制度，檢查項目劣化標準等都有多年的探討，除非有必要才再花時間探討。
2. 檢測結果之自動辨識及判讀，後續維護之優先順序自動排序對於節省相關人力及提昇檢測精度可能更為重要。
3. 各項新興科技包括水下機器人都要在本計畫建置？從計畫經費概估表看不出來，如都用現成的東西，建議縮短期程。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 在原有之地理資訊系統(GIS)已有各種評估方法或液化潛勢評估方法，該系統已技術轉移給港務公司，如果有新的鑽探資料，應由港務公司人員自行建置資料，進行評估。
2. 如有更新的建築技術規則，也許可以增加此評估方法或調整相關參數進行比較。

3. 建議期程縮短，評估方法建立後，示範 1 個地點即可，其餘技轉給港務公司，自行建置評估。

二、王錦榮委員

(一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

P.19，本案在召開專家學者座談會，建議先找臺鐵員工巡查員座談，確認問題的癥結，及人工智慧辨識的重點，避免產生運用上之盲點。

(二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 建議仿照前期(108-110 年)，以每 3 年為一個研究年期進行長期調查及研究，除可建立更完整的材料腐蝕環境，並可分析各類金屬材料腐蝕變化，並藉此建立環境變遷對應材料腐蝕之變化。
2. 臺灣各港口之水質、環境均有明顯差異，建立各港均應有試驗站，以利比對，分析水質、環境差異對腐蝕之影響性，建立影響因子。
3. 建議增加教育訓練之場次，以利港務公司更多同仁了解研究成果及後續因應作為。
4. 建議長期可以制定一套港灣金屬結構物(設施)全生命週期之防蝕、保養、維護管理手冊或規範。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 本計畫對於未來港務公司執行各類港灣構造物之巡查檢測作業非常有助益，建議可否擴大研究規模，以縮短本研究計畫年期，例如：碼頭+防舷材，防波堤+海堤分兩年完成。
2. 港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準，感謝運研所先前協助建立，建議 111 年可以重新檢視更新，並導入科技巡檢，以利更準確掌握構造物之現況。
3. 未來檢測巡查導入新興科技應用是必然的趨勢，建議加速推動，港公司全力支援與配合，包括由港公司編列經費來

擴大辦理。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港近期正加速南填區之圍堤造地，建議一併納入評估，以做為後續工程設計之檢討參考。
2. 臺北港及高雄港，此兩港近期已有完成新填土地，建議此二港口之液化風險評估，可併在 112 年來辦理。

三、朱我帆委員

(一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 本案 2 週前與本局機務單位會議，申請調用復興號車箱一輛，做為今年研究案系統模組化安裝測試，車箱之外觀、尺寸已經研究單位現場勘查確認，調用之車箱預計 5 月上旬可運至大甲站。
2. 因車箱前、後構造不同，為考量日後維修車兩側牽引之採作便利，請研究單位應以輕巧、拆裝方便、穩固為主。若裝設於車底，則以易於調整設備角度及更換設備為重點。
3. 待設備安裝於車箱後，可先日間於大甲站側線測試，如成效良好則可改為夜間於正線測試，相關期程請研究單位再與本段確認。
4. 本案初期以時速 60 公里為測試目標，請研究單位評估最高測試車速，本局再予研究是否可連掛於日間列車運轉測試。
5. 前案因裂縫缺失態樣製作不易，辨識效果受限，本年度請研究單位可再提升此功能之成效。

(二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

金屬材料腐蝕環境調查，因本局車站、橋梁均有相關結構，希能將其納入貴所之研究。

四、饒書安委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值

水理分析模型建置

1. 第 1 年工作及後續年度規劃，請考量本分局大甲段實際於國道 3 號大甲溪橋之橋墩基保護工程，原預計定於 111 年汛期前施工，惟考量目前現地主河道水量較大之施工便道目前較難施工，且整體施工工期約兩個月(P22~P23 及 P25-26 各約 1 個月)，將調整於今年汛期後(111.11~111.12)辦理施工，以上期程提供貴中心參考調整研究期程。
2. 有關計畫 111 年預計辦理之二維或三維之數值模擬水槽分析模型，建議未來可多蒐集相關文獻模擬成果。
3. 另外有關 UAV 結合攝影量測技術，後續相關成果希望可洽取供本段養護管理參考，作為兩機關合作成果。
4. 未來若有到現地因涉及國道主線安全，進場請先洽本局承辦人，除考量安全外並可提供本段橋梁承辦人共同參予研討並提升本同仁專業能力。
5. 最後還是肯定港研中心規劃 4 年度研究案，對於國道 3 號大甲溪橋墩保護工程的持續深入模擬與現地相互驗證，對於產官學合作建立良好機制。
6. 有關橋基保護工程分析模擬之成果，建議可辦理教育訓練提供本分局橋梁維護人員及顧問公司學習參考，或由本分局共同協助辦理及經費負擔。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 主要工作項目中，巡檢成效如何？前期成果中，人工智慧辨識成功率有多高？當前遇到的問題是辨識種類增加，還是準確率提高？
2. 各種入侵物的樣態中，如果沒有足夠訓練影像樣本，如何進行？

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

本研究若有需要，高速公路局大甲段可全力配合，不過裸露

坍塌地國道目前較少，建議增納其他模式如局部滑移及改善比對等。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

有關金屬材料腐蝕環境調查建議可將國道3號竹南路段或和美路段增列國道位置隔音牆設點納入長期觀測。

五、張志新委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 有關保護成效觀測研究項目第一年到第四年的工作項目都是持續進行記錄周遭變化，鼎型塊流失情形。建議應多論述如何應用科研技術進行量化，量化頻率為何?量化範圍?並且在四年中有何進步的發展。
2. 第4年工作項目，本工法技術指引，該項工作沒有出現在第1~3年對應工作項目，若保護成效有限如何辦理技術指引與技術移轉?應經過如何的認證或是專利申請始可進行技術移轉?
3. 是不是僅限鼎型塊的應用?
4. UAV 對於水下紀錄如何克服?

(二) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 本研究應釐清適用影像，若以計畫書相關需求建議以衛星影像為主較為合適。
2. 承上，衛星影像用於邊坡裸露判識已有前人研究之豐碩成果，建議應藉以此為基礎，再思考本案如何更強化及精準打擊。
3. 目前判識仍須結合現地地貌特徵，才能為崩塌地研判之可能，建議未來可思考如何解決及突破此問題。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 前期成果為何？
2. 研究項目內容中 P.37 港灣構造物巡檢項目與劣化判定標準之彙整。從兩行的內容文字彙整既有巡檢項目、構件劣化標準。似乎是距離計畫執行還有很長的路要走？
3. 建議盡速釐清前述項目與標準，選擇適合的新興應用科技作為技術提升的研發。
4. 除目前提出的方法外 InSAR 合成孔徑雷達影像適合於小位移變形的偵測可以嘗試看看。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 港區的液化風險不會有太大改變，會改變的是這些年新增設施，抗液化的風險或是易損性有不同，應朝向新增設備或設施抗液化風險評估及其對策研擬。
2. 經濟部中央地質調查所持續更新全臺液化潛勢，建議同樣是政府資源，可以採用中央地質調查所的系統新增鑽探資料，即可完成液化評估。

六、 許書王委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 橋基保護工法監測，應確保在需要監測時，相關設備均能使用。
2. 橋基周邊環境會隨降雨條件改變，此對於室內模擬或實驗是否應注意。

(二) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

P.37 新興科技應用於巡查檢測作業部分，由於港灣構造物其環境或有不同，對於研究時，建議針對不同環境最有利的科技產品應用，而不限於用單一科技應用於所有港灣構造物。

七、 鄭志宏委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

地工織布之耐久性為何?建議納入評估。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 建議可針對臺鐵的巡察需求，先檢討使用的設備，如小構件的巡查，以無人車巡查可能較符合需求，大範圍大面積巡查，可優先檢討無人機運用，它物入侵等緊急應變處理，可考慮以 CCTV 搭配電子圍籬。
2. AI 辨識技術仍需要持續學習改善正確率，建議可納為持續研究討論改善正確率的做法。

(三) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究：

1. 建議團隊可考慮港口條件的特性，將生物影響及海象外力的影響列為變因來探討。
2. 港口金屬防蝕之工法，現階段常用鍍鋅工法、塗漆、鋁陽極塊等，其使用有一定的壽齡，因此如何提升使用壽齡，建議可納入本案研究。

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 港灣構造物巡查檢測作業，以由運研所協助建置了線上使用系統，因此未來智慧化運用於巡查作業後，其巡查結果仍應納入該系統中管理，建議團隊研議如何讓系統互相結合，減少人為作業的程序。
2. 新興科技研究案例中，建議可將側掃聲納納入研究。本公司在研究水下 ROV 過程中，側掃聲納可在高濁度的環境下，取代高精攝影機的功能，傳回鋼板樁式碼頭及棧橋式碼頭的影像以供辨別。
3. 港口碼頭常附著生物蚌殼等，影響判別(版厚檢測需要先去除海生物才能執行)，建議可一併考慮如何解決。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港、高雄港、臺北港等，近期都有填海造地行為，造地材料常用均質、粉質砂岩等，且填築完成初期尚未完成

壓密行為，容易發生液化及沉陷，建議此高風險區域可優先討論。

2. 查以前團隊報告，也一併調查及研究港口的沉陷情形，109年的報告，又以布袋港沉陷最高，建議可併本案持續研究。

柒、 結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：下午 12 時 10 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

出席單位	簽名
朱金元委員	
王錦榮委員	王錦榮(視訊)
朱我帆委員	朱我帆(視訊)
饒書安委員	饒書安(視訊)
張志新委員	張志新(視訊)
許書王委員	許書王(視訊)
鄭志宏委員	鄭志宏(視訊)

本所港灣技術研究中心 柯正龍副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心 第一科	賴瑞應 張道光 謝幼屏 曾文傑 林啓文 羅建明 黃育強 鄭望健 莊凱迪
本所港灣技術研究中心 第二科	李俊穎
本所港灣技術研究中心 第三科	林雅雯

附錄三

第 1 次工作會議紀要

111 年 6 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所臺灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：111 年 6 月 27 日(星期一)上午 9 時 30 分至 12 時 20 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所臺灣技術研究中心第一科

紀錄：莊凱迪

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 前期成果應用說明。
2. 二維數值水理分析模式比較及文獻蒐集。
3. 完成試驗區 UAV 觀測採購案。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 進行臺鐵局 5 項主要軌道檢查作業的檢查頻率、檢查內容探討。
2. 綜整軌道巡查作業各檢查項目之檢查方法與維修處理方法，探討臺鐵局在軌道檢查上不同於高鐵、捷運之特性。
3. 進行軌道巡查紀錄表分析，探討徒步(機車)查道、主管乘車

巡查時主要檢查到的軌道問題，以及各項問題的發生頻率。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 航測技術比較及相關空拍影像取得管道和成本蒐整。
2. 深度學習影像辨識技術探討。
3. 卷積神經網路(CNN)架構探討。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，於 3 月 31 日已進行全島 111 年第 1 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，4 月 8 日已完成第 1 季金屬酸洗化學分析試驗，預計 6 月底完成第 2 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣。
2. 5 月 15 日完成 2021 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報。並提供中華民國防蝕工程學會產、官、學、研各界參用交流。
3. 111 年 5 月 27 日完成投稿第 23 屆海洋與水下技術研討會，題目為「臺灣商港 2 年期水下金屬材料腐蝕調查研究」。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 整理與彙整港灣構造物維護管理機制。
2. 港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準之彙整。
3. 持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 蒐集彙整液化評估法相關文獻。
2. 5 月函文臺灣港務公司，蒐集臺中港近 10 年新建工程所增加之地質鑽探資料；6 月蒐集地調所臺中港地質鑽探資料。
3. 初步完成臺中港地質鑽探資料盤點。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 本案執行 2 維數值水理分析、斷面渠槽沖刷試驗及 UAV 現場拍攝評估地工織布成效，工作項目相當充實，後續請補充前述三者之相關性。
2. 第三科有購置 MIKE-21 程式，可提供分析使用。
3. GoPro 之縮時攝影規劃因角度及流體混濁度可能影響拍攝成果，請思考因應對策。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 本案建議先針對人工智慧影像辨識可執行之項目先做篩選，再擇與安全性相關性較高之項目做深入探討。
2. 在各項問題發生頻率分析之後，可將哪些項目對軌道安全影響較高、哪些較低整理出來，做為後續研究之方向。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

水土保持局建置之 BigGIS 巨量空間資訊系統蒐整邊坡衛星、航拍及 UAV 等空拍影像，建議了解該系統操作流程及圖資影像介接使用方式，以供後續研究之參用。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 請補充公務單位高速公路局應用臺灣腐蝕環境分類資訊系統之應用實例。
2. 本所工業區試驗點及主要大氣腐蝕因子之關聯性討論。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準之討論。

2. 新興科技應用於巡查檢測作業，在港務公司目前應用的情形。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 地質鑽探資料盤點、篩選討論。

2. 土壤液化評估相關方法討論。

3. 後續報告內容的加強與補充討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

試驗區 UAV 觀測採購案已完成採購，後續至現場進行拍攝時，請同仁注意相關安全防護工作。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

本案目的以 AI 輔助臺鐵局巡查，可考量 AI 特性、臺鐵局的巡查設備、巡查方式、巡查需求等因素，評估後，先將不適合 AI 執行項目排除，再就 AI 可輔助項目做深入探討。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

請依研究標的決定採用之影像，並瞭解相關影像取得的難易，若無法符合研究需求，亦可考量自行或委外拍攝，以取得研究所需的圖資。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於第 2 次工作會議進行說明。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 後續請補充探討目前港務公司在新興科技應用於巡查檢測作

業之項目。

2. 在探討新興科技應用案例過程，請同步分析港務公司目前在巡檢之需求與執行上困難，以利後續精進巡查檢測作業。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

針對今年新增的臺中港區的地質鑽探資料，請於第 2 次工作報告呈現新、舊資料的分佈區域，以利瞭解其分佈，並探討是否能滿足臺中港區液化評估的需求，若有區域鑽探資料不足之處，可再洽詢臺中港務分公司索取。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：111 年 6 月 27 日(星期一) 上午 9 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 賴瑞興 代

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
港灣技術研究中心第一科	副研究員 研究員 研究員 研究員 助理研究員 =	曾文輝 吳明財 謝幼輝 張道光 胡哲文 莊凱迪 黃育瑛 王瑞源
港灣技術研究中心第二科		請假
港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

黃序琦
 顏麗香
 黃淑鈴
 孫安夏

附錄四

第 2 次工作會議紀要

111 年 8 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所臺灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：111 年 8 月 29 日(星期一)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 近期保護成效觀測說明。
2. 二維數值水理分析模式參數選用、模型建置及暑期工讀生協助與學習事項說明。
3. 階段性成果應用說明。
4. 後續研究項目說明。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 學習進行影像辨識的程式語言 Python，理解 AI 影像辨識程式實際執行與作業情形。
2. 學習 AI 影像辨識的理論基礎、Yolo 模式架設、應用限制，做為評估各巡查項目應用 AI 影像辨識可能性的依據。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 影像取得管道說明。
2. 深度學習網路模型探討。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 8 月 8 日至 9 月 30 日進行全島及離島 111 年第 3 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣及水下金屬第 5 年取樣作業。
2. 彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子進行關聯性統計分析。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 既有的港灣構造物的巡查檢測的項目與各構件劣化的判定檢測標準之探討。
2. 新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV, ROV)之探討。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 建置臺中港地質鑽探資料，包括：港研中心地工資料庫 168 筆、港務公司鑽探報告 155 筆、地調所地質資料庫 21 筆，共計 344 筆，並盤點、篩選可用資料共 311 筆地質鑽探資料。
2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 數值模式參數係延續先前計畫之試驗參數，相關文獻引用已有一段時間，可再持續蒐集比對更新。
2. 數值模式各項參數可將參數敏感性分析之探討納入規劃考量。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 今年研究重點在評估可擴大應用之軌道巡查項目，宜優先處理。
2. 本研究重點在提出後續研究方向，影像辨識部分交由合作研究團隊去執行。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

辦理執行計畫過程仍應以交通部利害關係人如：公路邊坡相關轄管單位，為後續執行應用及預期效益為主要評估對象。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 工業區金屬腐蝕材料與環境因子關聯性統計分析討論(以彰濱工業區為例)。
2. 後續報告內容的加強與補充討論。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 維護管理設施之巡查檢測之構件劣化度判斷問題之討論。
2. 新興科技應用於港灣構造物巡檢之案例補充。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 土壤液化評估相關方法討論。
2. 後續報告內容的加強與補充討論。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

數值模式為避免有 GIGO(Garbage in, garbage out)的情形，若有需要可適時安排尋求相關專家學者進行訪談與指導。

二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

請依期程完成各主要工作項目(如擴大應用之軌道巡查項目)，影像辨識理論與程式可再慢慢精進。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議訪談公路邊坡管理單位或相關工程顧問公司等專家學者，以利了解相關應用需求和適合蒐集影像之場址。

四、111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

建議透過統計結果及相關顯著性分析，建立腐蝕預測關係式，也可探討是否可套用於其他試驗站之可行性，另外，數據品質也需加強。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請探討新興科技應用於港灣設施巡檢作業之設施構件劣化度判定標準之適用性，並增加補充與比較新興科技之應用案例。

六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請補充舊的地震液化風險評估模式與新的評估模式 NCEER 法與 HBF 法之比較，以利瞭解其評估模式精進之處。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：111 年 8 月 29 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

肆、主持人：賴瑞應科長(視訊)

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心本部	副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 副研究員 副研究員 即退研究員	謝幼屏 張進光 曹立華 鄭金鍵 羅建明(視訊) 黃子瑞
本所港灣技術研究中心第二科		請假
本所港灣技術研究中心第三科		林雅雯

顏師香

附錄五

第 3 次工作會議紀要

111 年 10 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：111 年 10 月 25 日(星期二)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 近期保護成效觀測。
2. 二維數值水理分析模式參數選用及數值模式臨界流速(V_c)之探討。
3. 階段性成果應用。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 分析徒步查道各巡查項目之危安問題肇因、潛在危安態樣及危安案例。
2. 評估徒步查道各巡查項目採人工智慧辨識技術輔助巡查作業之可行性。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 影像蒐集原則及資料庫建立。

2. 專家學者訪談內容說明。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 完成第 3 季大氣腐蝕氯鹽、二氧化硫化學分析及金屬酸洗試驗。

2. 完成臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港等水下金屬試片銹層清除作業與金門料羅及水頭港水下金屬試驗片取樣作業。

3. 工業地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析說明。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV、ROV、AI、透地雷達)說明。

2. 港灣構造物巡查檢測作業精進案例說明。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港不同地震情境下液化潛勢分析。

2. 臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 數值水理模式之斷面流量為均勻流或是穩定流，兩者流況不同，分析結果亦會不同。

2. 請補充說明數值模式分析工具之詳細介紹，並於期末報告中呈現。

3. 可嘗試分析探討於鋪設不織布下，對於臨界流速(V_c)之影響。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 危安態樣分析可進一步就各項目產生的問題依嚴重性、發生頻率做風險分析。
 2. 道床檢查、軌枕檢查，後續可考慮採用車載光達來輔助巡查。
- (三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討
- 後續可先找出易致災或高風險邊坡所在路段，再以該路段去蒐集其邊坡多期多尺度影像，以提升資料庫建立效率。
- (四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究
- 工業區金屬材料與大氣腐蝕劣化因子之統計分析關聯性討論。
- (五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討
1. 新興科技應用水下港灣設施的檢測問題。
 2. 後續工作項目與報告內容。
- (六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進
1. 臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢。
 2. 後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

- 一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置
- (一)應將甘特圖放入簡報中，以瞭解計畫執行進度，據以管控。
 - (二)建議製作研究過程相關成果影片，做為後續成果推廣、教育訓練、研討會…等活動展示使用。
- 二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討
- AI 除進行影像辨識外，亦可進行聲音、振動辨識，建議後續年度可將影像辨識與聲音、振動辨識結合，以達到更佳辨識結果。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)- 影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議未來參照訪談專家學者之內容，結合多期邊坡地貌比對並納入氣象、地質因子及地面監測儀器資料等，進行邊坡崩落類型及預測可能土方量之加值應用。

四、111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整分析工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於期末報告進行說明。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請加強新興科技應用於港灣設施巡檢的運用與維護管理巡檢作業精進的說明，並請掌握時效撰寫研究成果報告。

六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請依據門檻加速度及高潛勢區面積，推估臺中港區之分區震陷量，俾提供更新臺中港地震簡訊災況初評內容。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：111 年 10 月 25 日(星期二) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心本部	主任	蔡立宏
	副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心第一科	研究員	甘敏
	研究員	謝妙屏
	研究員	曹文傑
	研究員	張道光
	副研究員	張建明
	副研究員	鄭金鍊
	助理研究員	黃道強 王瑞清 顏師香
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李玲韻
本所港灣技術研究中心第三科		請假

附錄六

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所自辦研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

執行單位：港灣技術研究中心第一科

審查意見	處理情形
柯永彥委員	
1. 若為引用圖表，除本文列出文獻外，圖表標題亦應標註。	已依委員建議將報告書之圖表標題，標註引用來源。
2. 液化震陷潛勢分佈圖之圖例及刻度，建議再精細化。	計畫液化震陷潛勢分佈圖採連續顏色對照分布，已為最精細之圖例刻度，若以表 4-2 之低、中與高三類進行繪圖時，無法清楚呈現不同地震情境之可能震陷位置。
3. 實際採用之 2 個液化分析法(NCEER、HBF)公式，宜於本文羅列(目前僅圖有完整公式)。	計畫採用之 2 個液化分析法(NCEER、HBF)公式，於報告書第 2-7 頁及 2-9 頁已羅列完整公式。
4. 圖 5.4 相關門檻值之決定宜加強說明。	已依委員建議於報告書第 5-5 頁，加強門檻值決定之說明。
5. 地震監測儀器之位置建議未來定期檢討。	地震監測儀器建置之位置，目前是臺灣港務公司提供，未來也會依據實據需求定期檢討。
林炳森委員	
1. 本研究方法正確，內容完整嚴謹，其成果可供臺中港區與各分公司於地震規劃設計之應用，在工程實用上極具價值；但在不同港區，如臺北港、蘇澳港…等多處電腦發生故障，建議應分年編列儀器維護費用。	感謝委員肯定，目前地震監測儀器每年均有編列儀器維護費用。
2. 本研究需修訂部份如下： (1) 英文摘要巡查 Inspection、檢測	 (1) 已依委員提供資料修改英

Inspection，建議巡查修正為 examination。 (2) 報告第 3-9 頁，核密度應修改為 4 孔/km²。 (3) 報告書第 3-17 頁，第 3. 臺中港於 921 地震時，……. 其成果”偏向”不保守，應修改為”較”不保守。 (4) 報告書第 5-5 頁，以沉陷等級分類來擬定門檻加速度沉陷等級，應加強說明。 (5) 各港地震監測儀器應編列維修費。 (6) 報告書第 7-2 頁，第 4. 點之臺中港區震陷量描述應量化表示。	文摘要。 (2) 已依委員建議，修改核密度為 4 孔/km²。 (3) 已依委員建議，修改其成果”偏向”不保守，修改為”較”不保守。 (4) 已依委員建議，加強門檻加速度沉陷等級之說明。 (5) 目前各港地震監測儀器每年均有編列儀器維修費用。 (6) 依本所 921 地震災損報告，以 0.16g 代入計畫提出之臺中港震陷量經驗評估公式(式 4.8)，可得推估震陷量約為 15~33 cm。上述量化描述已增錄至報告結論第 4 點中。
賴瑞應委員	
1. 報告針對臺中港鑽探資料做蒐集，並分析臺中港區液化潛勢及可能震陷量，研究成果豐碩完整。	感謝委員肯定。
2. 研究成果能提供本所地震速報簡訊內容之精進，具實務應用價值，值得肯定。	感謝委員肯定。
3. 報告第 3-3 頁，提到臺中港位於臺中市梧棲區，因此後續分析中以梧棲區的地震規模做評估，但臺中港區橫跨清水、梧棲及龍井，此三區地震規模是否相同請釐清。	地震規模 Mw 主要依耐震設計規範建議之台中市中小地震、設計地震與最大地震設定值進行分析，並非僅以梧棲區帶入相關液化分析中。而不同地震情境之分析加速度 A 在梧棲區、龍井區與清水區並無太大差異，中小地震僅差距 0.01g、

	設計地震與最大地震差距 0.04g，因此目前考量分析加速度應屬合理。
4. 報告第 3-10 頁，提到北側低度開發區與南側電力專業區、工業專業區(I)鑽探資料較顯不足，此部分區域的液化分析成果未來是否具代表性，請予以釐清。報告第 3-10 頁，圖 3.5 之臺中港區 SPT 鑽探資料密度圖與後續的圖 3.10~圖 3.15 之鑽探資料孔位分布圖的密度有差異，請釐清。	本次計畫因現有鑽探資料於北側低度開發區與南側電力專業區、工業專業區(I)相對不足，未來可整合地調所安家固園或收集台電之鑽探成果，提升不足區域之分析可靠性；另，圖 3.10~圖 3.15 中的點位代表港區腹地內建物相對分布位置，與圖 3.5 之鑽探孔位置並不相同。
5. 結論與建議的首段文字建議修訂，報告錯別字部分標示於初稿報告，會後提供修訂參考。	已依委員建議，修改於報告書第 7-1 頁。
李俊穎委員	
1. 文獻回顧內建議放入中心前期地震速報相關研究。	中心前期地震速報相關研究，於報告書第 1-6 頁表 1-1 已羅列完整成果。
2. 報告第 6-11 頁，資料介接上已有初步規劃讓後續使用者可應用，建議評估有無主動觸發機制讓後續系統可第一時間反應，加快訊息傳遞。	今年開發將各港區地震速報接收之地震資料，在第一時間傳送地震速報簡訊，並同步傳輸地震資料至中華電信雲端，目前尚無主動觸發機制讓系統加快訊息傳遞。
林雅雯委員	
1. 第 2-8 頁，圖 2.4NCEER 法及第 2-10 頁圖 2.5HBF 法得到 FS，與後面第 2-12 頁 FL 的關係為何？	簡易分析法所得安全係數 FS 僅為評估特定深度土層是否液化之依據，而 Iwasaki et al. (1982)為評估各別鑽孔液化風險，選擇以土層深度作為權重

	因子，計算 20m 深度內之液化潛能指數 PL，但液化潛能指數與液化發生機率之物理意義並不相同，PL 大小僅代表液化風險程度。
2. 第 5-7 頁，表 5-3 設計地震之簡訊災況初評範圍是否應包括中小地震範圍？	表 5-3 係以不同加速度門檻值作為臺中港地震速報簡訊之發布依據，其中加速度範圍 93-143 採中小地震分析成果訂定，其他加速度範圍採設計地震訂定，所以設計地震之簡訊災況初評範圍不一定包括中小地震範圍。

附錄七
期末報告簡報資料



111年度自辦計畫

港區地震液化風險評估模式精進 (1/5)-臺中港模式精進 期末簡報



報告人:研究員 曾文傑



111 年 12 月 13 日

1

大綱

- 一 → 研究緣起與目的
- 二 → 研究項目與內容
- 三 → 土壤液化文獻回顧及分析方法
- 四 → 臺中港液化潛勢分析成果
- 五 → 臺中港震陷潛勢分布
- 六 → 震後災損訊息研擬
- 七 → 結語

一、研究緣起與目的

3

經費：200千元
來源：本所業務費

港區地震液化風險評估模式精進(1/5)- 臺中港模式精進

研究緣起 與目的 (WHY)

- ✓ 臺灣西部因多屬砂岸地形，港區地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層及海埔新生地，土層疏鬆軟弱壓密尚未全部完成，且興建時多以水利抽砂回填施工，極可能因地震作用產生土壤液化，造成結構物損壞。
- ✓ 為延續本所前期「港灣地區地震監測與土壤液化潛能評估之研究」及「港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究」成果，針對臺中港新建工程所增加之地工資料，重新進行港區液化災損評估。
- ✓ 進而更新臺中港地震速報簡訊各級震度內容，提供港務公司對港灣工程於地震規劃、設計及設施維護管理之應用。

研究範圍 與應用單位 (WHO)

- ✓ 本研究以臺灣港務公司所轄臺中港港區內為研究範圍。
- ✓ 應用單位為臺灣港務公司及臺中港務分公司防救災與工程維管單位人員。

4

二、研究項目與內容

5

研究項目 與內容 (WHAT)

- ✓ 相關文獻蒐集與研析
蒐集液化評估法相關之文獻與彙整，以及蒐集建立臺中港新建工程所增加之地質鑽探相關資料，予以彙整研析。
- ✓ 探討液化潛勢評估方法
加入國內及國際間採用之液化潛勢評估法進行液化分析。
- ✓ 推估臺中港港區液化風險
以臺中港港區範圍內之地工資料，推估臺中港港區針對不同等級地震發生之液化風險。

辦理方式 (HOW)

- ✓ 蒐集液化相關文獻與資料彙整，並拜會臺中港務分公司，蒐集建立臺中港新建工程所增加之地質鑽探相關資料，進行盤點與篩選。
- ✓ 邀集專家學者及應用單位座談，聽取相關建議及需求，以供計畫後續執行的參考。
- ✓ 進行不同地表加速度值下液化土層發生深度、範圍與沉陷量分析，進而推估臺中港港區地震發生之液化風險。

6

預期成果、效益及應用

✓ 預期成果(效益)

- 完成蒐集、建立臺中港港區新建工程地質鑽探資料。
- 完成臺中港港區液化潛勢評估。
- 提供顯著地震後快速液化災損評估、液化範圍、深度與港區沉陷值，以更新臺中港港區地震速報簡訊各級震度內容，降低地震發生時可能帶來的損失與傷害。

✓ 應用

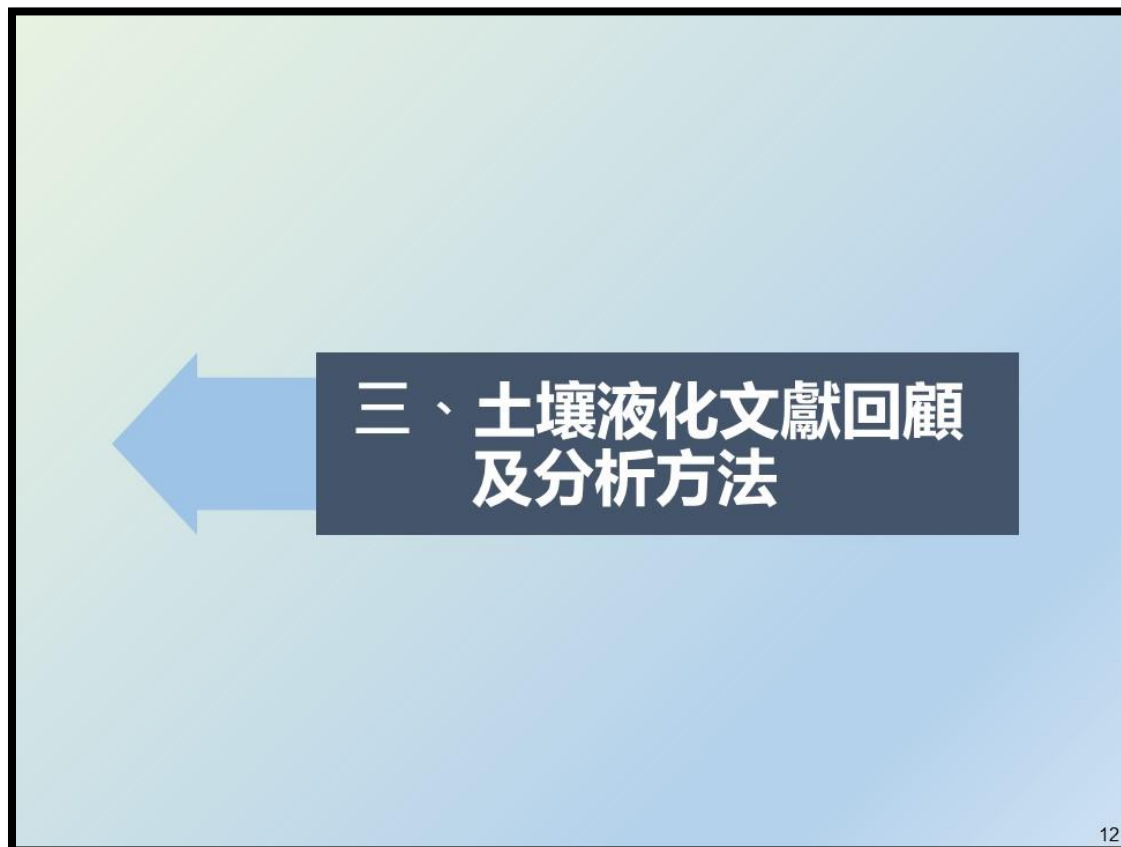
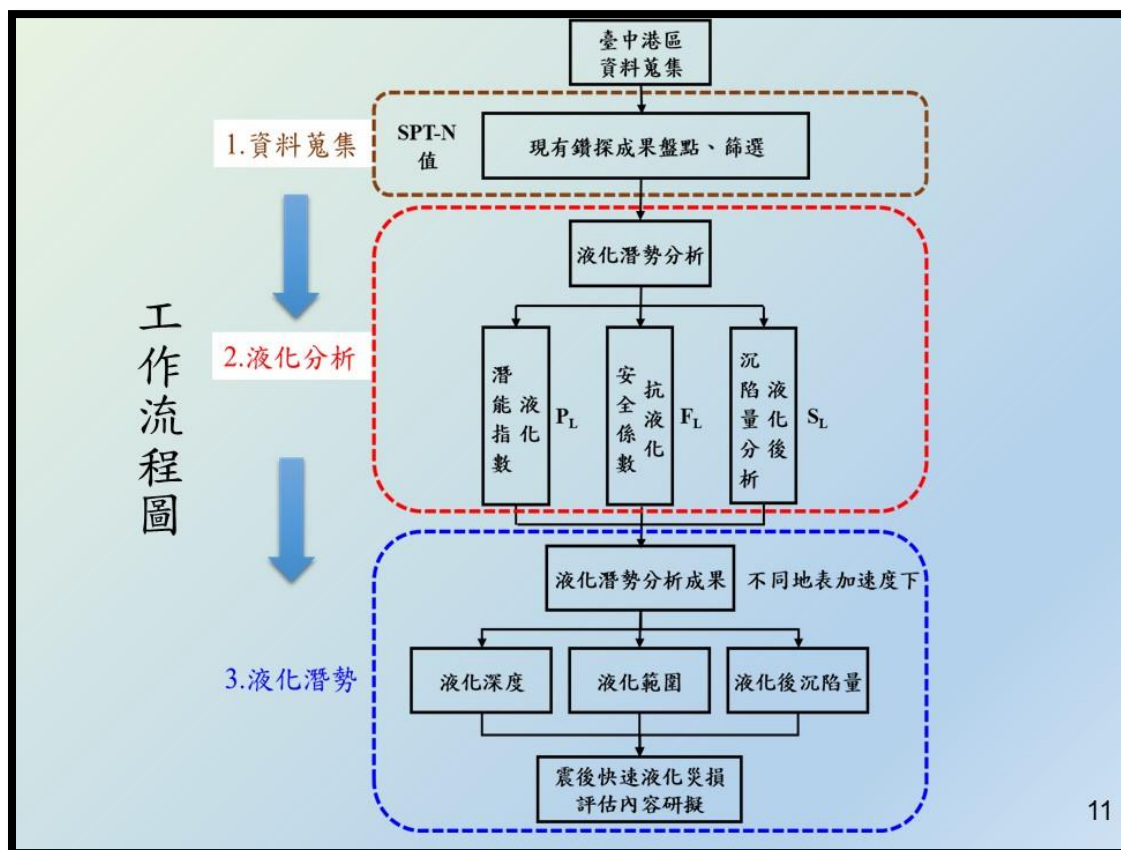
- 提供臺中港港區地震安全評估相關資訊，可做為臺灣港務公司及臺中港務分公司工程維管人員，震後相關巡查、檢測及防救災決策之應用。
- 本研究成果可提供本所後續相關研究及臺灣港務公司及各分公司對港灣工程於地震規劃、設計之應用。

7

辦理時程甘特圖(WHEN)

工作項目	工作月	111年												112年	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
1.工作計畫書研擬/修訂															
2.文獻回顧															
3.蒐集與研析相關資料															
4.探討液化潛勢評估分析															
5.推估臺中港港區液化風險															
6.召開專家學者座談會					※										
7.辦理工作會議						※		※		※					
8.撰寫期末報告書初稿															
9.辦理期末報告審查															
10.期末報告修訂/簽陳印製															
預定進度累計百分比		5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	85%	90%	95%	97%	100%
預定查核點		1. 111.4.30前召開專家學者座談會。 2. 111.6.30、8.31、10.31前辦理工作會議。 3. 111.11.30前完成期末報告初稿。 4. 111.12.31前完成期末報告審查。 5. 112.2.28前完成報告書修訂/簽陳印製。 6. 112.3.31前完成報告書出版。													

8



土壤液化文獻回顧

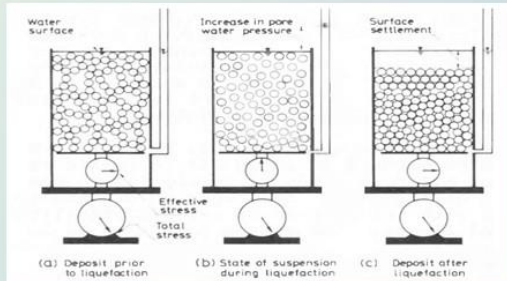
Principal of Effective Stress:

$$\sigma' = \sigma - u$$

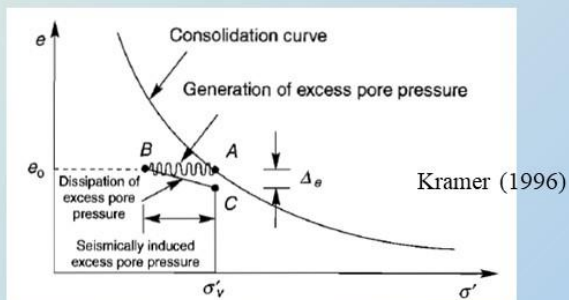
土壤液化

Key component: Pore Pressure Generation

土壤液化機制 Ishihara (1985)



2016年美濃地震台南民宅災損



13

土壤液化文獻回顧

88年 921集集地震台中港1至4A 號碼頭震害



土壤液化後作業區積砂狀況

碼頭法線偏移情形

14

土壤液化文獻回顧

20220323臺東縣長濱鄉受生芮氏規模6.7的地震引發土壤液化現象



玉里大橋下小規模液化噴砂現象

玉里舊鐵橋北側，小規模液化裂隙與噴砂

資料來源:中央地質調查所20220323長濱地震地質調查報告

土壤液化文獻回顧

✓ 土壤液化潛能安全評估

- 依據建築設計規範，土層液化與否，由抗液化安全係數 FL 值決定之，且需考量地震發生之規模、各地實際發生之震度、實際土層之抗液化強度
- 其定義如下：

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

- 其中 CRR 為土層抗液化剪力強度比，可依各液化潛能評估方法進行計算，或以室內試驗方法進行求取
- 而 CSR 為地震引致土層之平均反覆剪應力比，依Ishihara(1993)[22]之定義：

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} \times \gamma_d$$

- A 為尖峰水平地表加速度
- g 為重力加速度
- σ_{v0} 與 σ_{v0}' 分別為垂直覆土總應力與有效應力
- γ_d 為深度折減因子

土壤液化文獻回顧

✓ 土壤液化風險評估

- Iwasaki et al. (1982)考量土層深度之影響，提出以深度進行加權以評估整體鑽孔之液化潛能方法
- 以液化潛能指數 P_L (liquefaction potential index)來表示土壤液化之嚴重程度

$$P_L = \int_0^{20} F(z)W(z)dz$$

其中 $F(z)$ 為特定深度抗液化安全係數 F_L 與安全係數1.0之差值

$$F(z) = 1 - F_L(z)$$

$W(z)$ 為深度修正因子(不同深度之權重修正)
主要考量20公尺內深度範圍之液化潛能分析

$$W(z) = 0.5(20 - z)$$

地盤液化之損害程度可分為三級

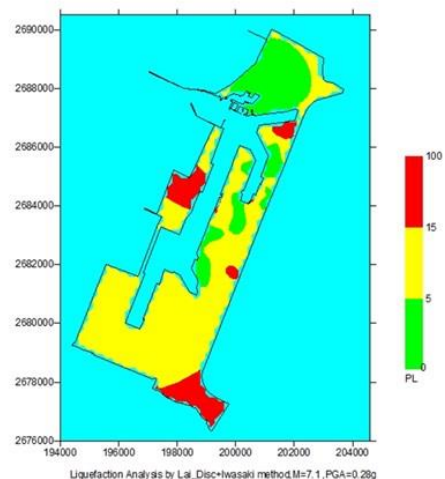
$$\begin{aligned} P_L > 15 & \text{ 嚴重液化} \\ 5 < P_L < 15 & \text{ 中度液化} \\ P_L < 5 & \text{ 輕微液化} \end{aligned}$$

17

土壤液化文獻回顧

賴聖耀 液化機率危害度分析

- 賴聖耀(2002)之SPT-N方法，使用機率(probabilistic)方式來評估土壤液化風險
- 而現行耐震設計規範則主要採定值法(deterministic method)進行液化評估，由抗液化安全係數 F_L 值決定。
- 臺中港於921地震時，測得最大水平加速度約0.16g，港區於多處碼頭產生液化、下陷、噴砂，導致鋪面崩裂與凹陷等災害。
- 而原分析模式於設計地震情境時($A=0.28g$)，大部分區域之評估成果仍屬中度、輕微潛勢區，其成果偏向不保守。



賴聖耀(2002)SPT-N法於設計地震下臺中港區液化潛勢圖

以SPT-N為指標之NCEER法

F_L 、深度、範圍

- 基於Seed et al. (1985)之基本架構。
- 歷經1997年與2001年兩個版本，採迴歸方式所得。

➤ Loading:

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times \gamma_d$$

$$\gamma_d = \frac{(1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2)}$$

➤ Resistance:

x 為 $(N_1)_{60,cs}$

$$CRR_{7.5} = \frac{a + cx + ex^2 + gx^3}{1 + bx + dx^2 + fx^3 + hx^4}$$

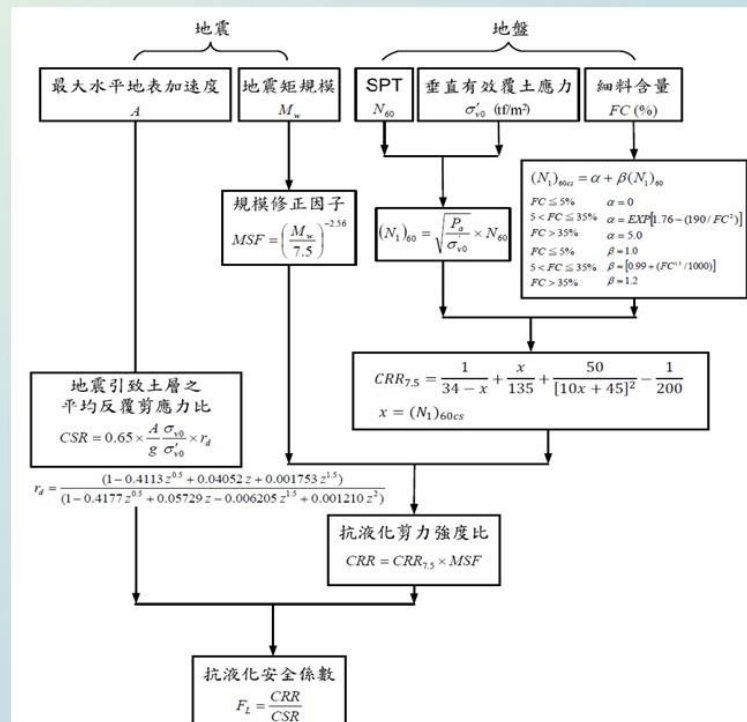
$$CRR = CRR_{7.5} \times MSF$$

➤ FS: $F_L = \frac{CRR}{CSR}$

19

以SPT-N為指標之NCEER法

分析流程:



20

以SPT-N為指標之HBF法

F_L 、深度、範圍

- 基於Seed et al. (1985)之基本架構。
- 本土化之液化評估法(三百多筆集集地震案例)。

➤ Loading:

$$CSR = 0.65 \times \frac{A}{g} \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times \gamma_d$$

$$\gamma_d = \begin{cases} 1.0 - 0.01z & (z \leq 10m) \\ 1.2 - 0.03z & (10m < z \leq 20m) \end{cases}$$

➤ Resistance:

$$CRR_{7.5} = 0.08 + \frac{0.0035 \times (N_1)_{60cs}}{1 - (N_1)_{60cs} / 39}$$

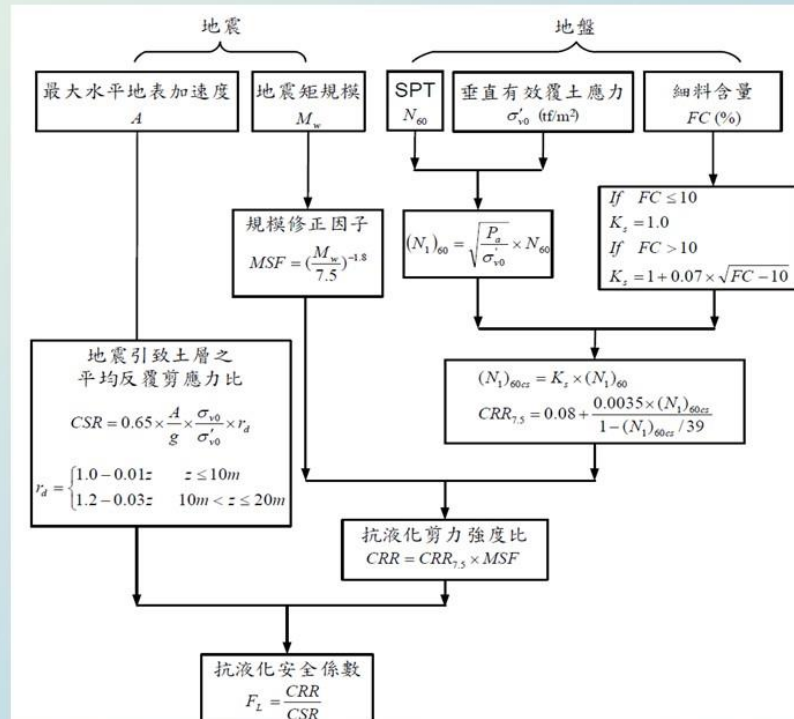
$$CRR = CRR_{7.5} \times MSF$$

$$\text{FS: } F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

21

以SPT-N為指標之HBF法

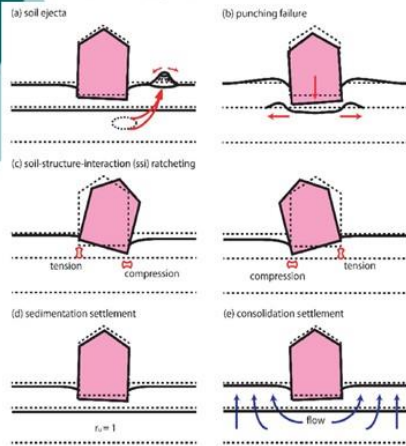
分析流程:



22

港區液化後沉陷量推估(Macedo and Bray, 2018)

液化後總沉陷量



Macedo and Bray (2018)

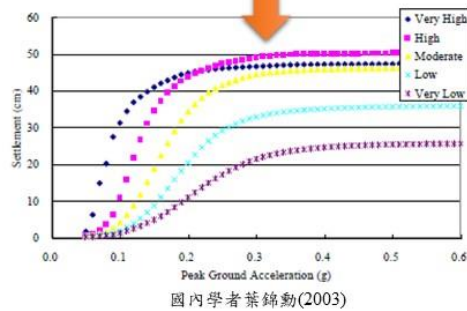
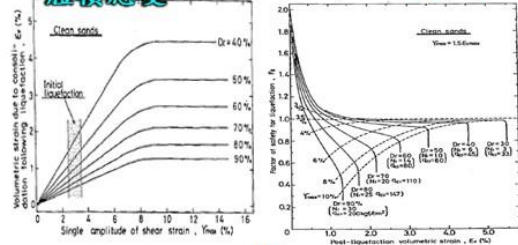
$$D_t = D_e + D_v + D_s$$

噴砂、體積應變、受剪

體積應變

Ishihara (1993)

$$\text{壓縮量 } S = \sum_{\text{layer}=1}^{20m} H_i \varepsilon_{v,i}$$



23

受震後體積應變之沉陷量推估

(Ishihara and Yoshimine, 1992)

➤ 震陷量評估經驗圖(需查圖)

✓ 震陷量推估流程:

1. 依據SPT-N值計算土層相對密度 $D_r(\%)$ ，採Meyerhof(1957)提出之經驗公式：

$$D_r = 16\sqrt{(N_1)_{78}} = 14\sqrt{(N_1)_{60}}$$

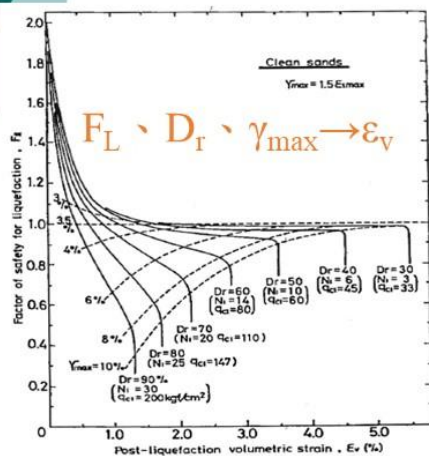
2. 求得之抗液化安全係數 F_L 。
3. 計算地震力引致最大剪應變 $\gamma_{\max}$ ，採紀雲曜(1997)之迴歸方程式：

$$\gamma_{\max} = 0.5 \times (0.5714 F_L - b_2 - \sqrt{(b_2 - 0.5714 F_L - 4b_1 b_2)}) / b_1 \leq 8\%$$

4. 計算分層體積應變 ε_v ，採紀雲曜(1997)之迴歸方程式：

$$\varepsilon_v = (-1.131 \times \log D_r + 2.347) \gamma_{\max}$$

➡ 壓縮量 $S = \sum_{\text{layer}=1}^{20m} H_i \varepsilon_{v,i}$



24

四、臺中港液化潛勢分析成果

25

SPT鑽探資料筆數說明



本次計畫SPT資料篩選條件：

1. 鑽探深度 $\geq 15\text{m}$ 。
2. 具有座標資訊。
3. 具有FC值。
4. SPT值施作間隔為固定規律，指定深度內皆有N值。

資料來源	原始資料	可用資料筆數
港研中心 地工資料庫	168 孔	135 孔
港務公司 鑽探報告	128孔+6份	155 孔
地調所地質資料庫	21 孔	21 孔

26

臺中港區鑽探熱點圖

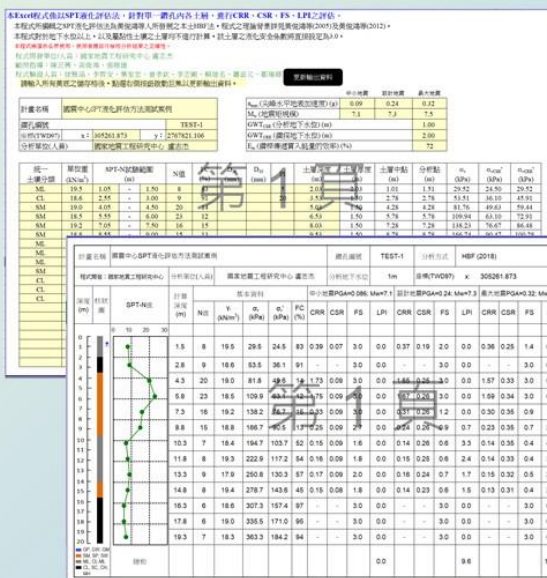
鑽孔資料來源：

- 1.港研中心地工資料庫
- 2.港務公司文獻報告
- 3.地調所地質資料庫(GEO2010)



液化評估程式

國震中心液化評估程式(需手動操作)



資料來源	原始資料	可用資料筆數
港研中心地工資料庫	168 孔	135 孔
港務公司鑽探報告	128+6份	155 孔
地調所地質資料庫	21 孔	21 孔

311筆

依據建築物耐震設計規範：
液化評估應分別檢核中小度地震、
設計地震與最大考量地震

$$\text{中小地震：} A = \frac{0.4S_{DS}}{4.2} g$$

$$\text{設計地震：} A = 0.4S_{DS} g$$

$$\text{最大考量地震：} A = 0.4S_{MS} g$$

建構自動化分析程序

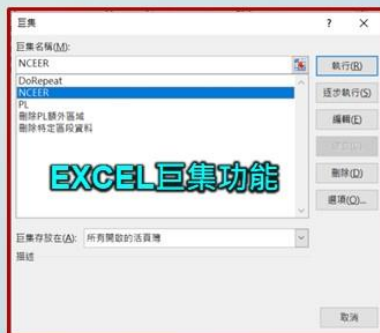
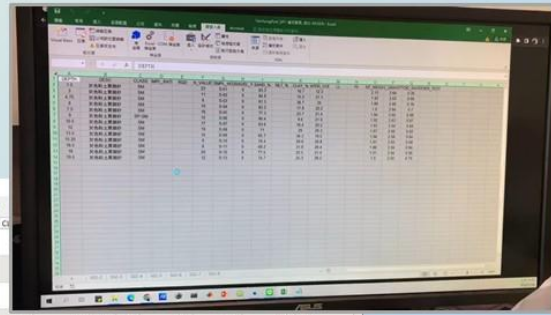


自動液化分析程序

VBA液化分析模組

➤ 港研中心土工資料庫格式

DEPTH	DESC	CLASS	SPT RATE	RQD	N VALUE	SPT NO.	GRAVELS %	SAND %	CLAY %
0.1	灰色粉土	SM	NG/L	NG/L	255	5001	0	73	27
0.5	灰色粉土	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L
1.85	灰色細沙	SP-SM	NG/L	NG/L	6	5002	NG/L	96	4
3.30	灰色細沙	SP-SM	NG/L	NG/L	11	5003	NG/L	97	3
4.10	灰色粉土	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L	NG/L
4.85	灰色粉土	SM	NG/L	NG/L	9	5004	NG/L	55	45



29

臺灣規範反應譜查詢介面(國家地震中心)

TaiwanBuildingCode Alpha Version 1.0 = 臺灣地區工址

Step1: 決定震區水平譜加速度係數

選擇工址位置

縣市: 臺中市 鄉鎮市區: 梧棲區

震區水平譜加速度係數

設計地震力 (回歸期475年): $S_a^D = 0.7$ $S_1^D = 0.4$ 最大考量地震力 (回歸期2500年): $S_a^M = 0.9$ $S_1^M = 0.5$

Step2: 決定近斷層調整因子

選擇鄰近斷層

鄰近之第一類活動斷層: 大甲斷層 請於左表點選欲分析之斷層名稱, 並輸入工址與斷層之間最短距離:

鐵砧山斷層 5.51 公里 查詢查詢

近斷層調整因子

設計地震力 (回歸期475年): $N_a = 1.1$ $N_v = 1.1$ 最大考量地震力 (回歸期2500年): $N_a = 1.1$ $N_v = 1.2$

Step3: 決定工址放大係數

選擇地盤分類

工址地盤分類: 第二類地盤

(若不知請輸入土層平均剪波速 V_{s30} m/s)

工址放大係數

設計地震力 (回歸期475年): $F_a = 1$ $F_v = 1.11$ 最大考量地震力 (回歸期2500年): $F_a = 1$ $F_v = 1.1$

查詢查詢結果

鄰近斷層名稱	最短距離(m)	N_aD	N_vD	N_aM	N_vM
1 大甲斷層	5.51	1.10	1.10	1.10	1.20
2 鐵砧山斷層	7.64	1.10	1.10	1.10	1.20
3 屯子斷層	11.27	1.00	1.00	1.00	1.00

震區頻譜加速度

$S_a^D = 0.7, S_1^M = 0.9$

30

國震中心 程式分析成果

中小地震： $A = \frac{0.4S_{DS}}{4.2} g = 0.07 g$
 設計地震： $A = 0.4S_{DS} g = 0.28 g$
 最大考量地震： $A = 0.4S_{MS} g = 0.36 g$

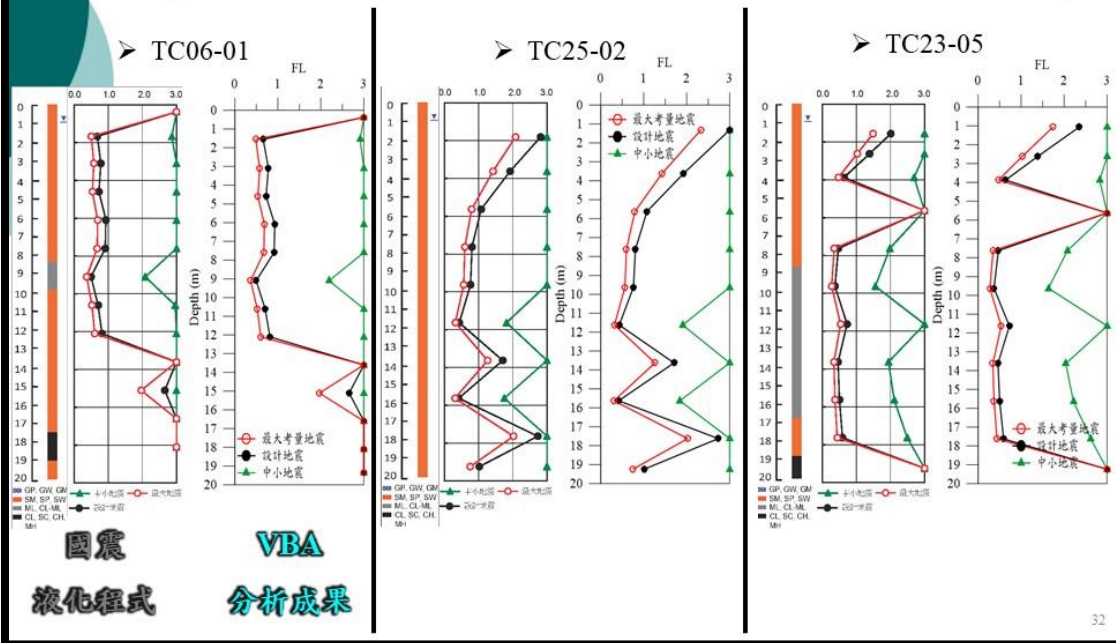
不同等級地震下各地區建議之土壤液化潛能評估地震規模

縣、市	中小震度之地震規模	設計震度之地震規模	最大考量震度之地震規模
基隆市、新北市、台北市、宜蘭縣市、花蓮縣市、台東縣市	7.1	7.3	7.5
桃園市、台中市、彰化縣市、南投縣市、雲林縣、嘉義縣市、台南市、高雄市	6.9	7.1	7.3
新竹縣市、苗栗縣市、屏東縣市	6.7	6.9	7.1
澎湖縣、金門地區、馬祖地區	6.5	6.7	6.9



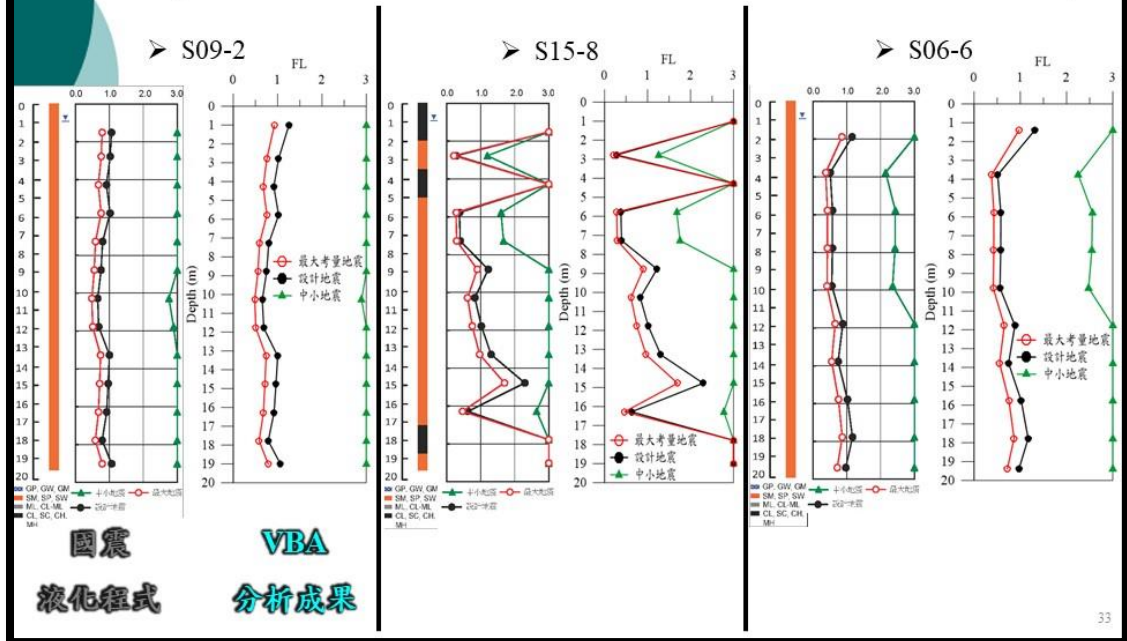
31

HBF法安全係數FS抽測比較(1/3)

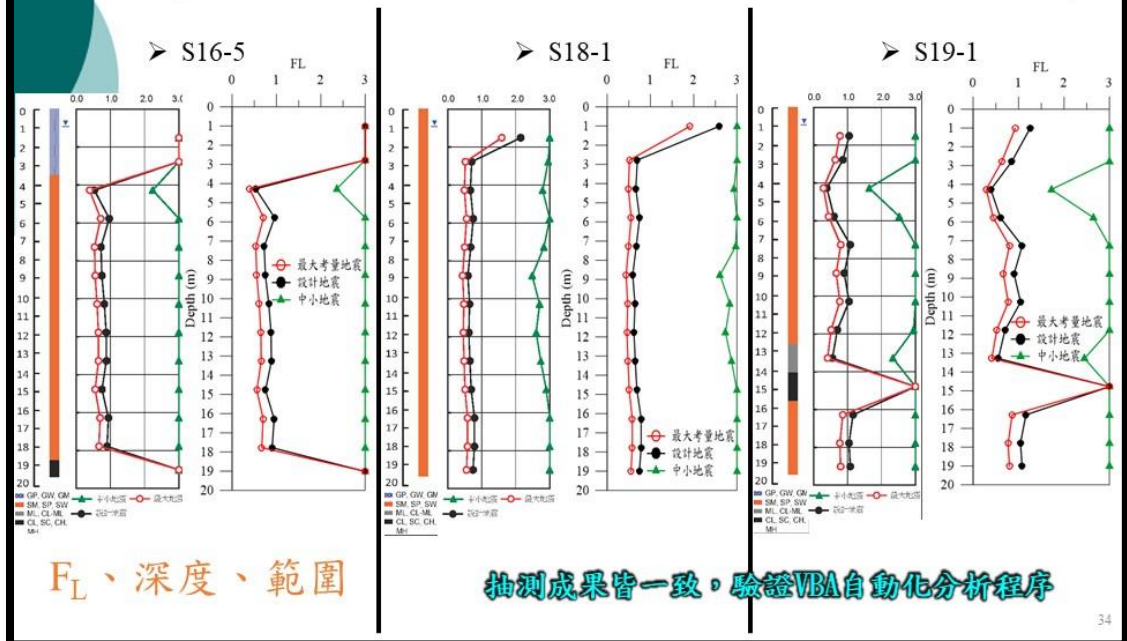


32

HBF法安全係數FS抽測比較(2/3)



HBF法安全係數FS抽測比較(3/3)



空間數值內插方法 (IDW法)

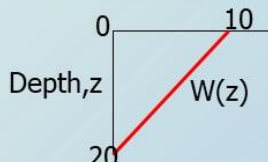
距離反比加權法(Inverse Distance Weighting, IDW)

→利用鄰近已知點的數值加權，推估目前位置的變數值。

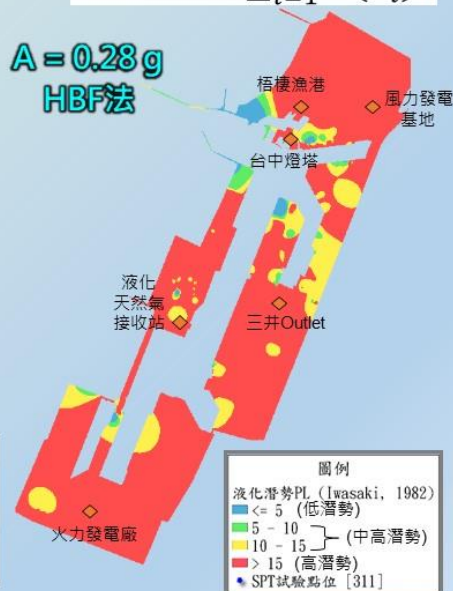
$$f(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N w(d_i) z_i}{\sum_{i=1}^N w(d_i)}$$

► 液化潛能 P_L 計算成果

Tag	key	Pw, s	Pw, y	Pw, z	H	depth	Dw	PL	中小地震	PL	設計地震	PL	最大考量地震
1	TC06-01	203811.26	2688329.78	9999	20		0.00	19.86		35.47			
2	TC06-02	203849.26	2688309.83	9999	31		0.00	24.65		37.55			
3	TC06-03	203884.32	2688289.78	9999	20		0.00	32.24		44.88			
4	TC06-04	203919.3	2688266.91	9999	20		0.00	25.18		37.74			
5	TC07-01	199344.27	2687469.89	9999	20		0.00	12.75		15.06			
6	TC07-02	199351.3	2687096.83	-15	20		0.00	0.60		0.82			
7	TC07-03	199444.25	2686991.91	-12	20		0.00	7.57		12.15			
8	TC07-04	199644.24	2687499.94	-10	20		0.00	0.00		4.30			
9	TC08-01	199944.33	2687529.77	-5	20		0.00	4.99		10.99			
10	TC08-02	200119.3	2687546.77	9999	20		0.00	4.04		10.09			
11	TC08-03	200306.34	2687476.78	9999	18		0.00	2.21		3.79			
12	TC09-01	201519.33	2686941.83	9999	30.1		0.00	21.50		29.57			
13	TC09-02	201549.32	2687016.82	6.29	40		0.00	3.82		11.40			
14	TC09-03	201551.31	2686944.82	9999	30.1		0.00	21.75		30.24			

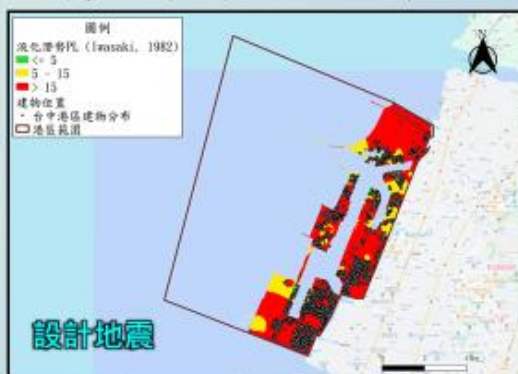


P_L	category
0	Very low risk
$0 < P_L \leq 5$	Low risk
$5 < P_L \leq 15$	High risk
$P_L > 15$	Very high risk



35

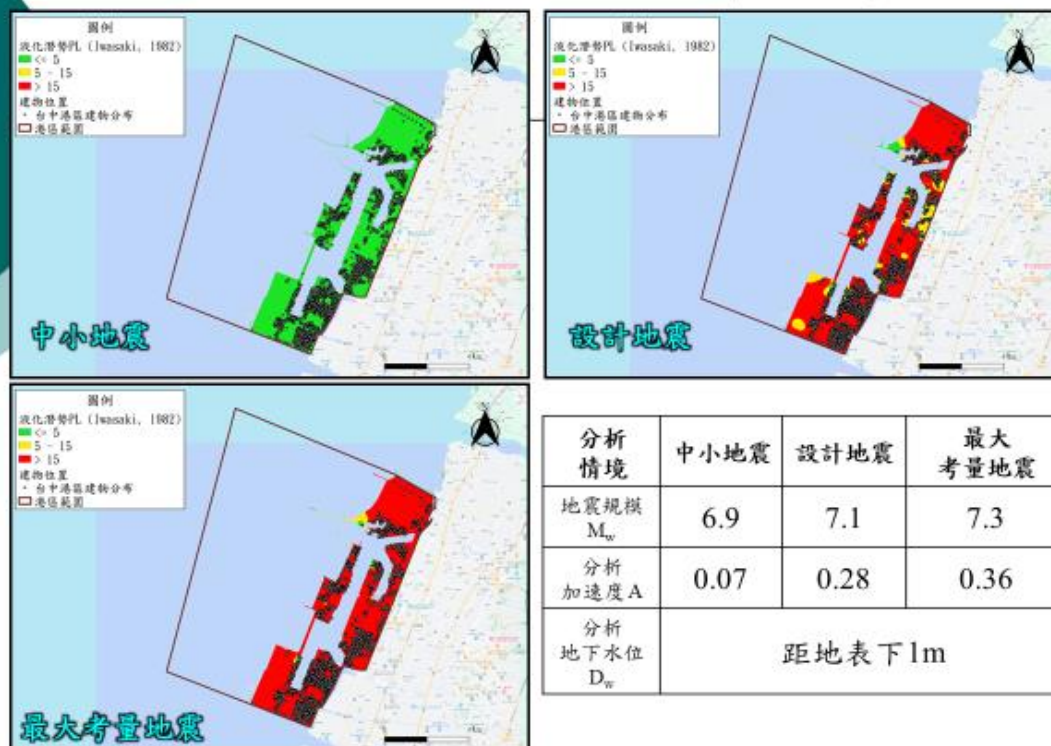
不同地震情境下液化潛勢比較(NCEER法)



分析情境	中小地震	設計地震	最大考量地震
地震規模 M_w	6.9	7.1	7.3
分析加速度 A	0.07	0.28	0.36
分析地下水位 D_w	距地表下1m		

36

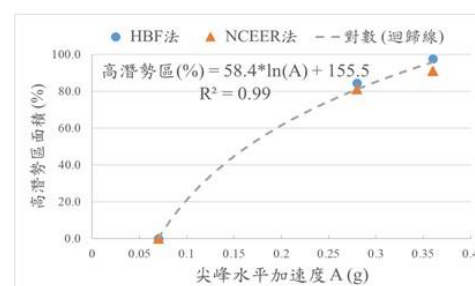
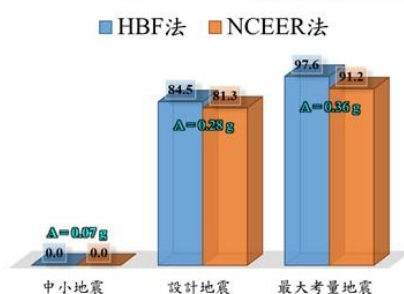
不同地震情境下液化潛勢比較(HBF法)



37

臺中港不同SPT-N簡易評估法液化潛勢區佔比

簡易評估法	地震情境	地震規模 M_w	尖峰水平加速度 A (g)	面積佔比(%)		
				低潛勢區	中潛勢區	高潛勢區
HBF法	中小地震	6.9	0.07	100.0	0.0	0.0
	設計地震	7.1	0.28	1.6	13.9	84.5
	最大考量地震	7.3	0.36	0.5	1.9	97.6
NCEER法	中小地震	6.9	0.07	98.8	1.2	0.0
	設計地震	7.1	0.28	0.6	18.1	81.3
	最大考量地震	7.3	0.36	0.5	8.3	91.2

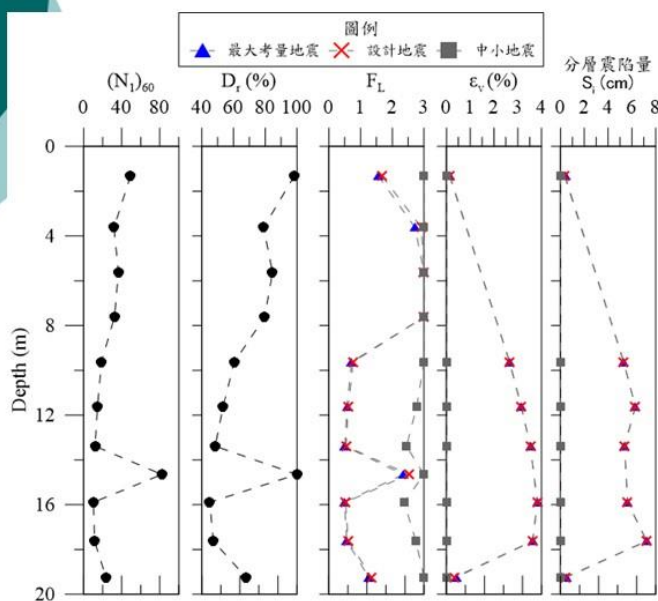


38

五、臺中港震陷潛勢分布

39

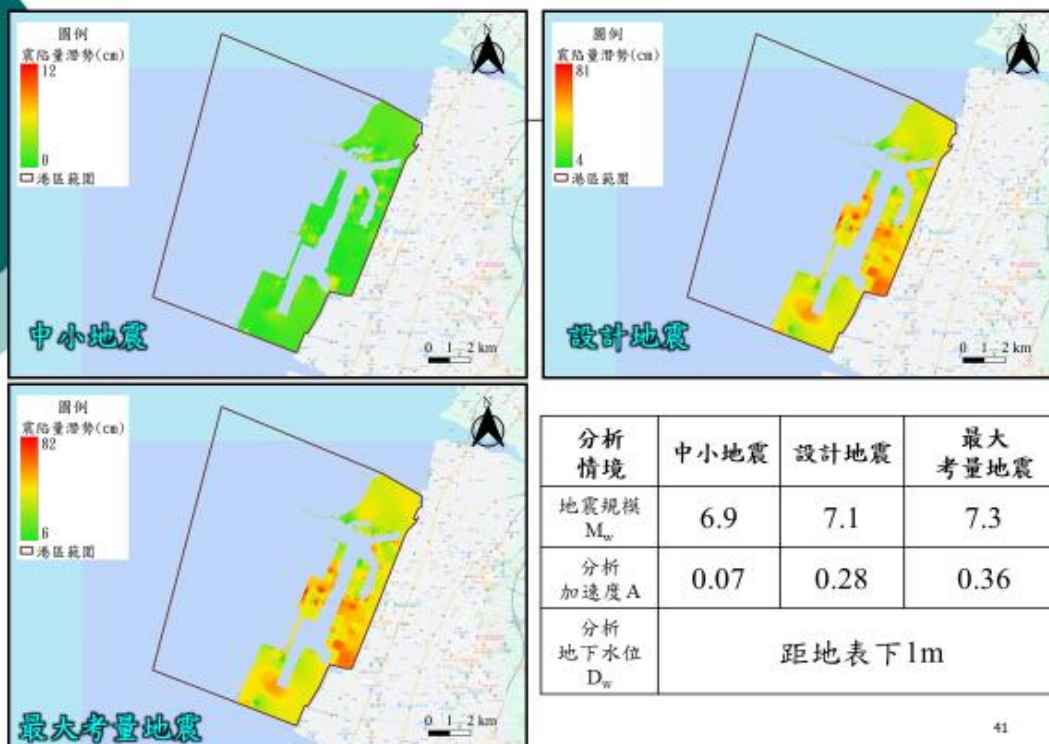
SPT鑽孔震陷量計算成果 (鑽孔名稱：TC19-06, NCEER法)



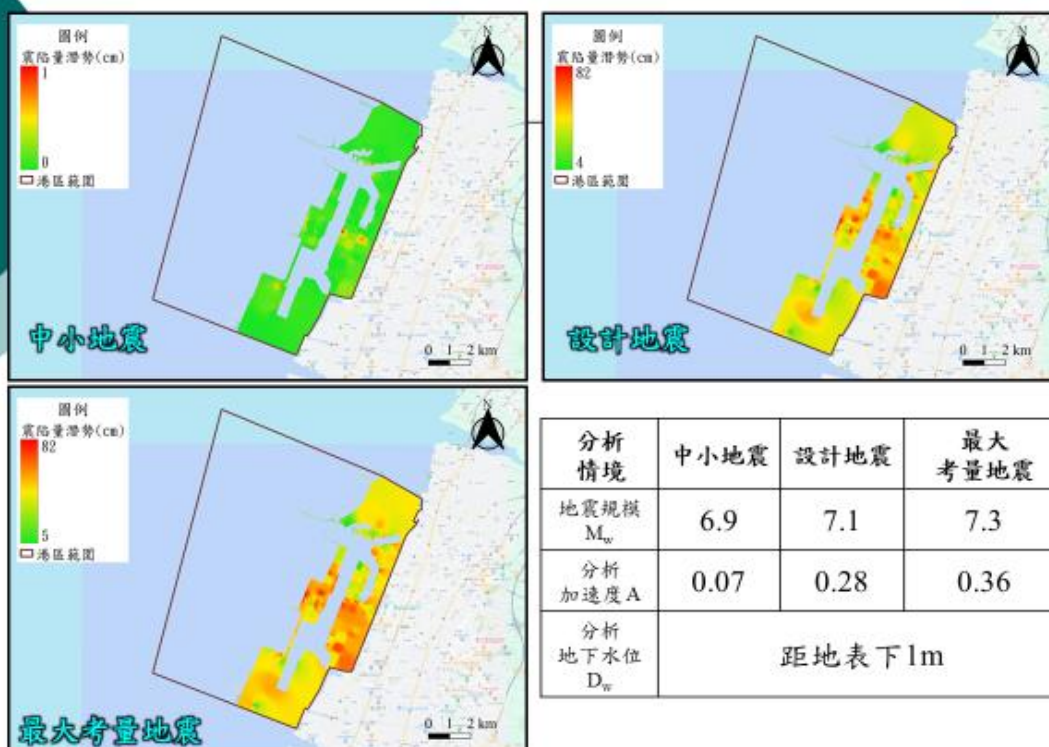
- 噴砂及剪應變引致沉陷因資料有限，暫不考慮。
- 目前震陷量 S 推估方法主要使用紀雲曜(1997)基於Ishihara and Yoshimine (1992) 成果，所提出之迴歸分析方程式與流程進行計算。
- 震陷量 S 對應中小地震、設計地震與最大考量地震，分別為0 cm、30.6 cm與30.8 cm。

40

不同地震情境下震陷潛勢分布(NCEER法)



不同地震情境下震陷潛勢分布(HBF法)

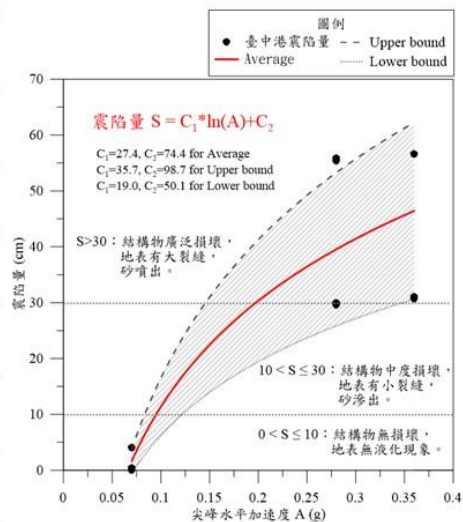


臺中港震陷量S經驗評估公式建立

➤ 不同地震情境評估震陷量範圍與分布占比

✓ 臺中港震陷量經驗公式:

簡易評估法	地震情境	地震規模 M_w	尖峰水平加速度 $A(g)$	震陷量範圍與港區分布面積佔比		
				低	中	高
HBF法	中小地震	6.9	0.07	0~0.4 cm (98.1%)	0.4~0.8 cm (1.8%)	0.8 cm以上 (0.1%)
	設計地震	7.1	0.28	0~30.0 cm (7.7%)	30.0~55.9 cm (86.1%)	55.9 cm以上 (6.2%)
	最大考量地震	7.3	0.36	0~30.7 cm (6.3%)	30.7~55.6 cm (87.7%)	55.6 cm以上 (6.0%)
NCEER法	中小地震	6.9	0.07	0~4.1 cm (98.2%)	4.1~8.2 cm (1.6%)	8.2 cm以上 (0.2%)
	設計地震	7.1	0.28	0~29.7 cm (8.1%)	29.7~55.3 cm (85.6%)	55.3 cm以上 (6.3%)
	最大考量地震	7.3	0.36	0~31.1 cm (3.7%)	31.1~56.6 cm (84.8%)	56.6 cm以上 (11.5%)



43

六、震後災損訊息研擬

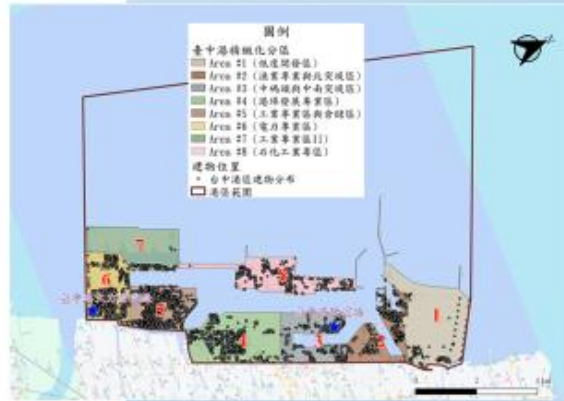
44

分區、門檻加速度、高潛勢區面積、震陷量推估 地震災損指標訂定流程圖

➤ 流程圖:



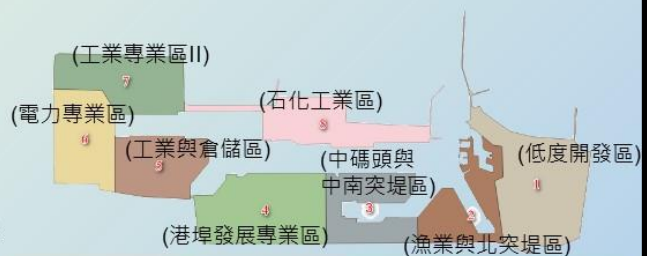
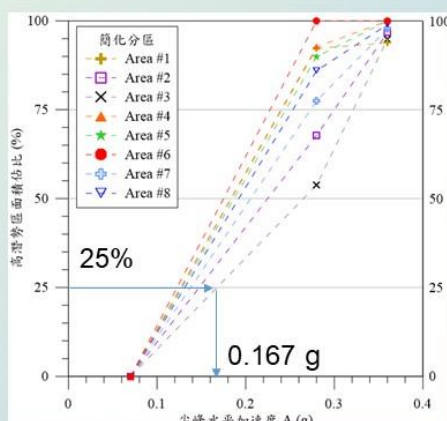
精緻化分區



45

精緻化分區之 門檻加速度對照

➤ 不同加速度A下高潛勢區佔比關係



精緻化分區 (按抗液化強度排 序)		門檻加速度值A (g)			
		高潛勢區 達25%	高潛勢區 達50%	高潛勢區 達75%	高潛勢區 達90%以 上
弱 ↓ 強	Area #6	0.122	0.175	0.228	0.280
	Area #4	0.128	0.183	0.240	0.360
	Area #1		0.187	0.245	
	Area #5			0.254	
	Area #8	0.131	0.192	0.254	
	Area #7	0.138	0.206	0.273	

3

不同門檻加速度 震陷量對照

➤ 震陷量S與災損等級分類

(Ishihara, 1996)

Extent of damage	Settlements (cm)	Phenomena on the ground surface
輕微 Light to no damage	0-10	Minor cracks
中度 Moderate damage	10-30	Small cracks, oozing of sand
顯著 Extensive damage	30-70	Large cracks, spouting of sands, large offsets, lateral movement



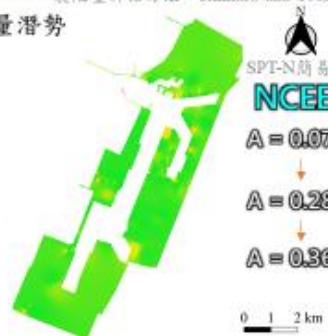
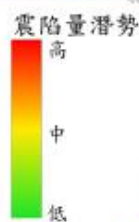
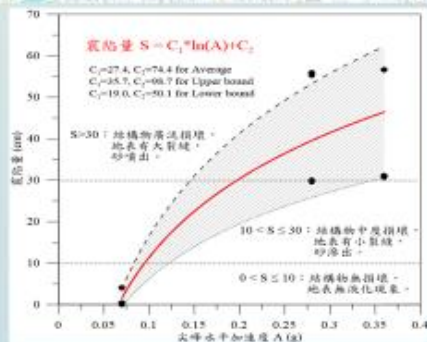
精緻化分區 (按抗液化強度 排序)		平均震陷量評估值(cm)			
		高潛勢區 達25%	高潛勢區 達50%	高潛勢區 達75%	高潛勢區 達90%以上
弱 ↓ 強	Area #6	17	27	34	40
	Area #4	18	28	35	46
	Area #1		28	36	
	Area #5		28	36	
	Area #8	19	29	37	
	Area #7	20	31	39	
	Area #2	22	34	41	
	Area #3	25	38	43	

47

震後快速液化災損評估訊息

地震加速度歷時

震陷量評估方法：Ishihara and Yoshimine (1992)

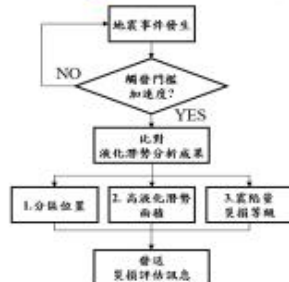


SPT-N簡易評估法
NCEER法

A = 0.07 g 中小地震

A = 0.23 g 設計地震

A = 0.36 g 最大考量地震



分區劃分門檻值設定

48

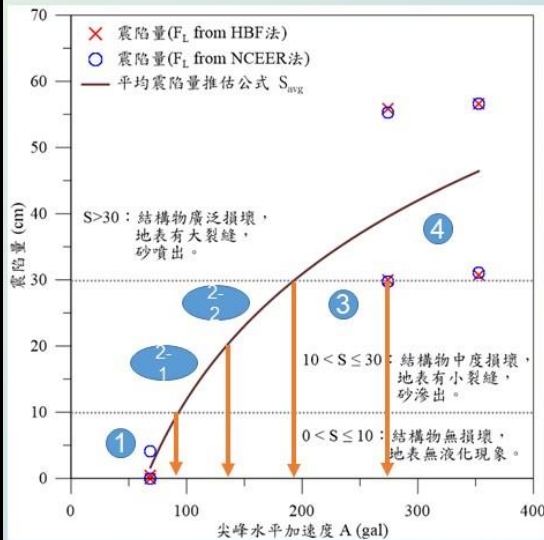
$$S_{avg} (cm) = C_1 \ln A + C_2$$

$$C_1 = 27.4, C_2 = 74.4, A(\text{unit in } g)$$

臺中港地震簡訊災況初評內容

PHASE:

✓ 依據本年度液化震陷評估成果:



1

0-93 gal, 臺中港災況初評: 港區碼頭應該安全。(TIPC提供)

2-1

93-143 gal, 臺中港災況初評: 1-4A、11-15、19、29-31、42-45、W11-W13號碼頭地表可能有輕微裂縫, 請派員巡查。(TIPC提供)

2-2

143-193 gal, 臺中港災況初評: 1-4A、5A-12、18-25、36-41、98-102、W6-W13號碼頭地表可能有小裂縫, 請派員巡查。(TIPC提供)

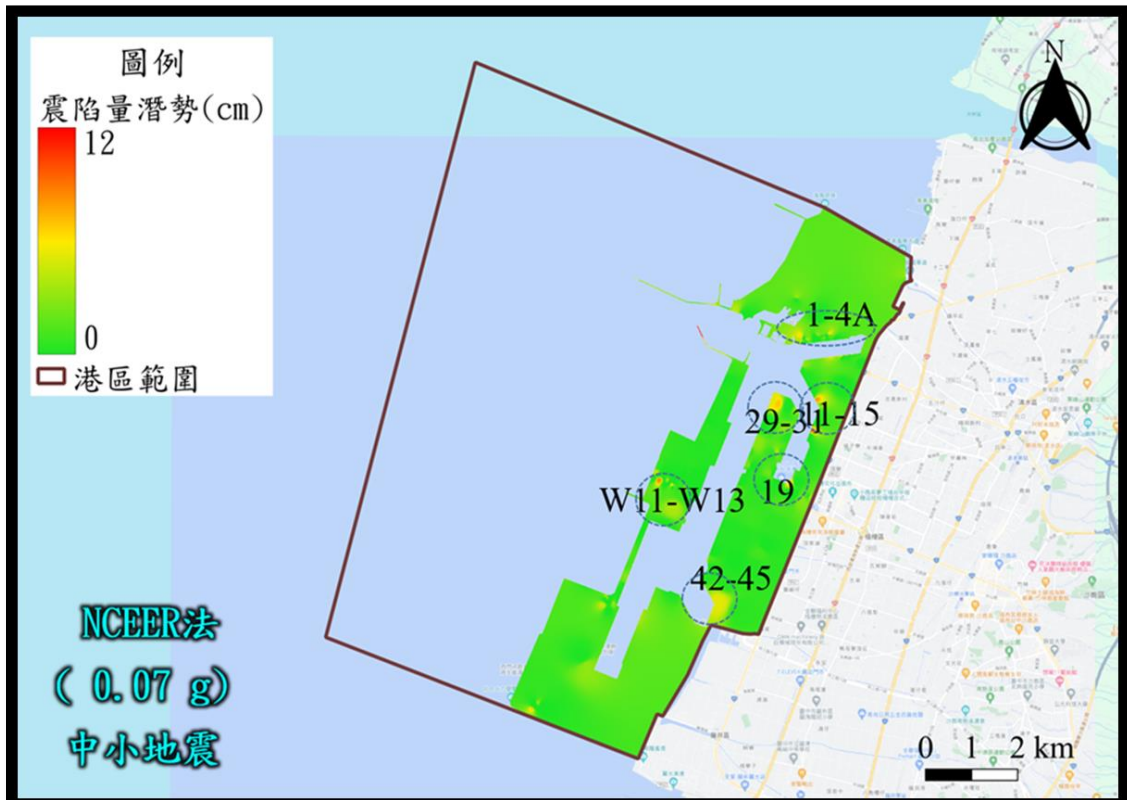
3

193-274 gal, 臺中港災況初評: 1-4A、5A-12、18-25、36-41、98-102、W6-W13號碼頭及後線地表可能因沉陷有較大面積之顯著裂縫, 請派員巡查。(TIPC提供)

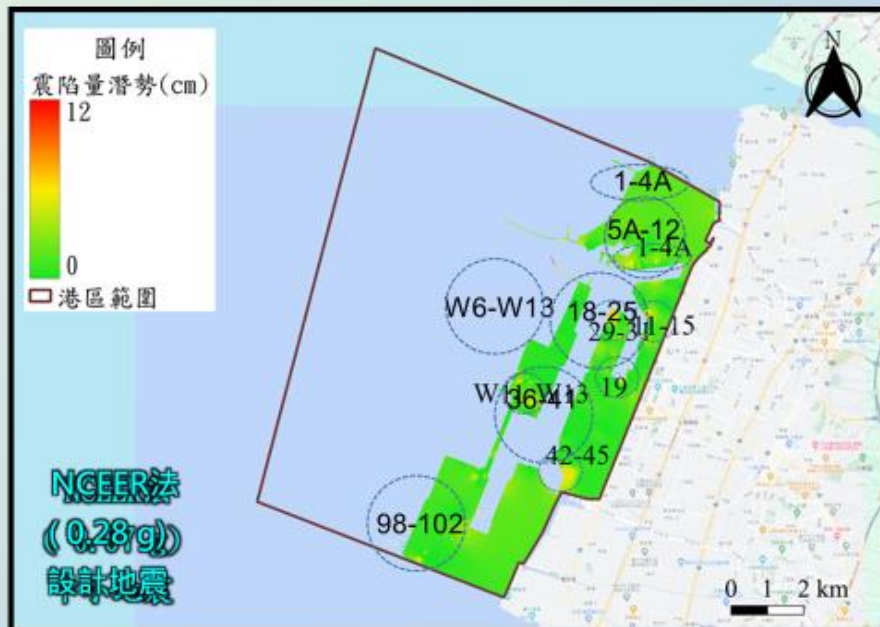
4

274 gal以上, 臺中港災況初評: 港區可能有全面性液化現象, 應注意碼頭穩定與後線沉陷變化, 請派員巡查。(TIPC提供)

49



PHASE: 2-2災損位置訂定參考



51

結語

本年度計畫執行成果摘要如下：

- 彙整港研中心地工資料庫、港務公司鑽探報告與地調所地質資料庫，更新SPT鑽孔數至311孔。
- 研究以HBF法與NCEER法進行臺中港液化潛勢分析，兩方法潛勢分布相近，惟HBF法液化潛能PL較高。
- 設計地震下，港區震陷量變化範圍約為4~82 cm，最大考量地震下，震陷量變化範圍分別為5~82 cm。而噴砂及剪應變引致沉陷因資料有限，暫不考慮。
- 以精緻化分區進行門檻加速度設定，計算震陷量，搭配各港區現地地震監測站，可作為各港區地震速報災損初評簡訊傳送內容之憑依。
- 本年度震後災損分析架構，可作為臺灣重要商港之參考。

建議

- 本年度完整建置臺中港區鑽探資料相關數化成果，後續可整合至本所港研中心地工資料庫中使用。
- 評估建物地震受剪之沉陷量，需考量基礎、建物基地大小與樓板載重等因素，後續可持續往此方向精進。

簡報完畢
敬請指正