

111-003-7C87
MOTC-IOT-110- H1CA001c

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

中華民國 111 年 3 月

111-003-7C87
MOTC-IOT-110- H1CA001c

110 年港區震災速報系統維護及 地層下陷調查分析研究

著者：曾文傑、謝幼屏

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究.
110年 / 曾文傑, 謝幼屏著. -- 初版. -- 臺北市 :
交通部運輸研究所, 民 111.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-365-4(平裝)

1.CST: 地質調查 2.CST: 地層下陷

356.33

111000623

110年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

著者：曾文傑、謝幼屏

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 111 年 3 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊

書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：300 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 1011100129 ISBN 978-986-531-365-4(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：110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-531-365-4(平裝)	政府出版品統一編號 1011100129	運輸研究所出版品編號 111-003-7C87	計畫編號 MOTC-IOT-110-H1CA001c
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：謝幼屏 參與人員：李春榮、何木火、王培源 聯絡電話：04-26587172 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 110 年 1 月 至 110 年 12 月
關鍵詞：資料庫、地震、地層下陷、監測			
<p>摘要：</p> <p>臺灣西南沿海縣市，包括雲林、嘉義與臺南等港灣地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱且壓密尚未全部完成，極易因附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填及結構物荷重或地震力等原因造成地層下陷，影響公共工程及港區各樣設施之安全。因此，為維護港區工程設施之功能與安全，有必要蒐集西南沿海地區地質資料與彙整，並對港區之地層下陷、地下水壓進行長期之監測。</p> <p>本計畫採用無線電波層別沉陷儀定期及於震後量測布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港等地區地層分層下陷量，且持續維護各港區監測站能正常運作，確保地震速報系統之通報資訊正確，並將資料進行分析與建檔。</p> <p>研究成果效益與應用：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 港區地震災況速報系統，能提供震後碼頭液化安全評估相關資訊，可作為防災人員救災決策之參考。 2. 各港地層下陷及地震資料，可供港灣結構物設計、新建及地震工程相關研究之應用。 <p>提供政府單位應用情形：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 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，作為防救災之參考。 2. 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。 3. 出版研究報告將相關研究成果供產官學界參考應用。 			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
111 年 3 月	208	300	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: Investigation and Analysis of Maintenance of Earthquake Warning system and Strata Subsidence in Port Area in 2021			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-365-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100129	IOT SERIAL NUMBER 111-003-7C87	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-110- H1CA001c
DIDIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIDIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Chieh Tseng PROJECT STAFF: Yu-Ping Hsieh PROJECT TECHNICIAN: Chun-Rong Lee, Mu-Huo Ho, Pei-Yuan Wang PHONE: +886-4-26587172 FAX: +886-4-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2021 TO December 2021
KEY WORDS: database, earthquake, strata subsidence, monitoring			
<p>Abstract:</p> <p>Strata of the coastal counties and cities in southwest Taiwan, including Yunlin, Chiayi, and Tainan, are mostly recent alluvia, where the soil is loose and weak, and its compaction has not been fully completed; thus, strata subsidence is liable due to groundwater drawing from nearby areas, large-scale reclaimed land backfill and structural loads or seismic force, among other causes, affecting the safety of public works and various facilities in the port areas. In order to maintain the functionality and safety of engineering facilities, it is thus necessary to collect and organize geological data on the southwest coastal areas and carry out long-term monitoring of the strata subsidence and groundwater pressure in the port areas.</p> <p>This Project uses radio wave stratification settlement system to measure the strata subsidence in the areas of Budai Harbor, Dapeng Bay, Taichung Port and Anping Port both on regular basic and after the earthquake as well as continues to maintain the normal operation of the monitoring stations at all port areas to ensure of correct information reported by the Earthquake Warning system, with the data analyzed and filed.</p> <p>Benefits and Applications of Research Results:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The rapid reporting system of earthquake disasters in port areas provides information in relation to safety assessment against liquefaction at the piers after earthquakes as reference for disaster prevention and rescue personnel in decision making. 2. The strata subsidence and seismic data of each port can be used for design, construction of harbor structures and related research of seismic engineering. <p>Application Availability for Government Agencies:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Informe inmediato de la situación del desastre, después del desastre será la información de evaluación preliminar relevante para el personal relacionado con la empresa portuaria, como referencia para la prevención de desastres. 2. The strata subsidence and seismic monitoring data of the port areas are provided as reference for the management of the harbor corporation in maintenance of port structures. 3. Published research reports provide relevant research results as references and application for industry, governments and academia. 			
PUBLICATION DATE March 2022	NUMBER OF PAGES 208	PRICE 300	
Remarks: Conclusions and recommendations of this study are not necessarily the view of the Ministry of Transportation and Communications.			

110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

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.....	1-1
1.3 研究方法.....	1-2
1.4 研究內容.....	1-3
1.5 預期成果(效益)及其應用.....	1-4
1.6 地震監測發展歷程.....	1-4
第二章 地震監測系統規劃.....	2-1
2.1 地震監測系統規劃.....	2-1
2.2 地震及動態孔隙水壓監測系統.....	2-2
2.2.1 系統規劃與安裝.....	2-4
2.2.2 資料傳輸與監控.....	2-5
2.2.3 港區地震監測站.....	2-7
2.3 港區地震速報系統.....	2-12
第三章 地震監測站維護及速報系統精進.....	3-1

3.1 各港地震監測站維護.....	3-1
3.2 速報系統精進.....	3-8
3.2.1 花蓮港速報系統精進.....	3-9
3.2.2 各港速報系統簡訊內容精進	3-11
3.3 港區地震查詢展示.....	3-14
第四章 港區地層下陷監測.....	4-1
4.1 地層下陷分析方法.....	4-1
4.1.1 Terzaghi 壓密理論.....	4-2
4.1.2 Biot 耦合壓密理論	4-3
4.2 監測儀器規劃.....	4-5
4.2.1 電子式水壓計.....	4-5
4.2.2 開放式水壓計.....	4-7
4.2.3 地層分層沉陷觀測井.....	4-7
4.3 港區地層下陷監測.....	4-10
4.3.1 布袋港地層下陷監測站.....	4-10
4.3.1.1 監測井地質分析.....	4-12
4.3.1.2 地下水位分析.....	4-15
4.3.1.3 地層分層下陷分析.....	4-17
4.3.1.4 水準基站分析.....	4-19
4.3.2 大鵬灣地層下陷監測站.....	4-26
4.3.2.1 地下水位分析.....	4-28
4.3.2.2 地層分層下陷分析.....	4-29
4.3.3 臺中港地層下陷監測站.....	4-32

4.3.3.1 地下水位分析.....	4-33
4.3.3.2 地層分層下陷分析.....	4-34
4.3.4 安平港地層下陷監測站.....	4-37
4.3.4.1 地下水位分析.....	4-39
4.3.4.2 地層分層下陷分析.....	4-39
4.4 歷年地層下陷監測成果.....	4-42
4.4.1 西南沿海地區地層下陷.....	4-42
4.4.2 港區地層下陷監測成果.....	4-45
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-4
5.3 歷年研究成果之效益.....	5-4
5.4 提供政府單位應用情形.....	5-5
參考文獻.....	參-1
附錄一 110 年各港區地震資料波型圖.....	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 次工作會議紀錄.....	附錄 3-1
附錄四 第 2 次工作會議紀錄.....	附錄 4-1
附錄五 第 3 次工作會議紀錄.....	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 2.1 港區地震監測系統規劃與流程圖.....	2-3
圖 2.2 機房及設備外觀示意圖.....	2-5
圖 2.3 整體擷取、傳輸與監測控制流程.....	2-6
圖 2.4 機房構造與配置示意圖.....	2-6
圖 2.5 安平港區井下地震監測站.....	2-8
圖 2.6 臺中港區井下地震監測站.....	2-8
圖 2.7 布袋港區 300m 井下地震監測站平面圖.....	2-9
圖 2.8 布袋港區 300m 井下地震監測站.....	2-9
圖 2.9 臺北港區井下地震監測站平面圖.....	2-10
圖 2.10 臺北港區井下地震監測站.....	2-10
圖 2.11 高雄港區井下地震監測站.....	2-11
圖 2.12 蘇澳港區井下地震監測站.....	2-11
圖 2.13 臺中火力電廠井下地震監測站.....	2-12
圖 2.14 基隆港(貨櫃中心)地表地震速報監測站.....	2-14
圖 2.15 花蓮港地震速報監測站.....	2-14
圖 2.16 港區地震速報系統儀器配置示意圖.....	2-15
圖 2.17 基隆港(航管中心) 地表地震速報監測站.....	2-15
圖 2.18 花蓮港地震即時監測畫面.....	2-16
圖 2.19 基隆港地震即時監測畫面.....	2-16
圖 2.20 布袋港地震即時監測畫面.....	2-17
圖 2.21 臺中港地震即時監測畫面.....	2-17
圖 2.22 安平港地震即時監測畫面.....	2-18

圖 2.23 高雄港地震即時監測畫面.....	2-18
圖 2.24 蘇澳港地震即時監測畫面.....	2-19
圖 2.25 臺北港地震即時監測畫面.....	2-19
圖 3.1 蘇澳港儀器螞蟻築巢痕跡.....	3-8
圖 3.2 即時地震速報簡訊.....	3-8
圖 3.3 布袋港 400m 永久水準監測站維護.....	3-8
圖 3.4 花蓮港地震設備原設置位置示意圖.....	3-10
圖 3.5 花蓮港地震設備遷移位置示意圖.....	3-11
圖 3.6 花蓮港地震設備第 1 階段施工圖.....	3-12
圖 3.7 花蓮港地震設備第 2 階段施工圖.....	3-12
圖 3.8 花蓮港地震設備第 3 階段施工圖.....	3-13
圖 3.9 花蓮港地震儀移機完成安裝後，接收到地震簡訊內容.....	3-13
圖 3.10 港區地震系統-近期地震.....	3-15
圖 3.11 港區地震系統-x,y,z 三向度地表地震圖.....	3-16
圖 3.12 港區地震系統-歷史地震查詢.....	3-16
圖 3.13 港區地震系統-歷史地震圖.....	3-17
圖 4.1 系統與儀器架構流程圖.....	4-6
圖 4.2 電子式地下水壓計安裝示意圖.....	4-6
圖 4.3 開放式水壓計安裝示意圖.....	4-8
圖 4.4 沉陷計安裝示意圖.....	4-8
圖 4.5 磁感式層別沉陷計安裝示意圖.....	4-9
圖 4.6 布袋港地層下陷監測站位置圖.....	4-10
圖 4.7 布袋港地層下陷及水壓觀測站土層柱狀圖.....	4-15

圖 4.8a 布袋港 200m 分層水位變化圖(86/7-92/8 自記式)	4-19
圖 4.8b 布袋港 200m 分層水位變化圖(98/8-102/8 自記式)	4-20
圖 4.8c 布袋港 200m 分層水位變化圖(102/10-107/5 自記式)	4-20
圖 4.8d 布袋港 200m 分層水位變化圖(107/5-110/6 自記式)	4-21
圖 4.9a 布袋港 200m 分層水位變化圖(86/4-106/10 手動量測)	4-21
圖 4.9b 布袋港 200m 分層水位變化圖(106/1-110/10 手動量測)	4-22
圖 4.10 布袋港 300m 分層水位變化圖(90/9-110/10 手動量測)	4-22
圖 4.11a 布袋港 200m 分層累積下陷圖(86/2-105/12 手動量測)	4-23
圖 4.11b 布袋港 200m 分層累積下陷圖(106/1-110/10 手動量測)	4-23
圖 4.12 布袋港 300m 分層個別下陷量圖(110/10)	4-24
圖 4.13 布袋港 300m 分層累積下陷量圖(89/10-110/10)	4-24
圖 4.14a 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖(92/9-97/5)	4-25
圖 4.14b 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖(98/7-110/6)	4-25
圖 4.15 大鵬灣地層下陷監測站位置圖	4-27
圖 4.16a 大鵬灣分層水位變化圖(87/3-106/1 手動量測)	4-30
圖 4.16b 大鵬灣分層水位變化圖(106/1-110/10 手動量測)	4-30
圖 4.17a 大鵬灣地層分層累積下陷量圖(87/2-105/12)	4-31
圖 4.17b 大鵬灣地層分層累積下陷量圖(106/1-110/10)	4-31
圖 4.18 臺中港地層下陷監測站示意圖	4-33
圖 4.19a 臺中港分層水位變化圖(108/6-110/6 自記式)	4-35
圖 4.19b 臺中港分層水位變化圖(88/6-105/12 手動量測)	4-35
圖 4.19c 臺中港分層水位變化圖(106/1-110/10 手動量測)	4-36
圖 4.20a 臺中港分層累積下陷量圖(200m 88/6-105/12)	4-36

圖 4.20b 臺中港分層累積下陷量圖(200m 106/1-110/10)	4-37
圖 4.21 安平港地層下陷監測站位置圖	4-38
圖 4.22a 安平港分層水位變化圖(88/7-105/12 手動量測).....	4-40
圖 4.22b 安平港分層水位變化圖(106/1-110/10 手動量測)	4-40
圖 4.23a 安平港地層分層下陷觀測圖(88/7-93/10 手動量測)	4-41
圖 4.23b 安平港地層分層下陷觀測圖(94/10-110/10 手動量測)	4-41
圖 4.24 濁水溪沖積扇水文地質概念模型	4-42
圖 4.25 彰化大城地區 2003 年至 2010 年現地地層壓縮監測成果 ...	4-43
圖 4.26 渥太華砂與白雲母混合試體 K_0 三軸反覆壓縮試驗成果.....	4-44
圖 4.27 現地含水層監測成果與室內震陷實驗結果壓縮量比較	4-45
圖 4.28 港區四處下陷監測站相對位置	4-46
圖 4.29 雲林地層壓縮分層磁環監測成果	4-47

表 目 錄

表 1-1 歷年(90-110) 地震監測發展歷程	1-5
表 2-1 各港區設置井下地震監測站資料表	2-7
表 2-2 基隆與花蓮港區設置地表地震速報系統資料表	2-13
表 3-1 各港區 110 年發布的地震速報簡訊統計表	3-7
表 4-1 布袋港監測井座標高程一覽表(200m).....	4-11
表 4-2 布袋港沉陷計感應環安裝深度一覽表(200m)	4-11
表 4-3 布袋港地下水壓觀測站水壓計埋設資料表(200m)	4-12
表 4-4 大鵬灣沉陷計感應環安裝深度一覽表	4-26
表 4-5 大鵬灣地下水壓觀測站水壓計埋設資料表	4-28
表 4-6 臺中港沉陷計感應環安裝深度一覽表	4-32
表 4-7 安平港 18~19 號碼頭沉陷磁環安裝深度表	4-38

第一章 前言

1.1 研究緣起

臺灣西南沿海港灣地區，地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密尚未全部完成，極可能因地震作用產生土壤液化，造成碼頭結構物損壞，或由於附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填及結構物荷重或地震力等原因造成地層下陷，另港區運輸碼頭皆朝快速與裝卸自動化發展，起重機軌道或碼頭地面亦可能因少許差異沉陷，損壞或使喪失車輛及碼頭自動化設備功能，而影響公共工程及港區各樣設施之安全。

爰此，本計畫基於運輸研究業務需要與支援國內重大交通設施之職責，以精進及維護本所前已完成建置之港區震災速報系統為目標，並針對西南沿海港灣地區之地層下陷、地下水壓進行長期之量測，提供港務公司對港灣工程及設施維護管理之應用。

本計畫前期相關研究，109 年度已完成港區地震監測站(基隆、臺北、蘇澳、臺中、高雄、安平、布袋及花蓮等 8 港) 儀器維護、量測資料彙整與分析、使港區震災速報系統能正常運作，本(110)年度持續精進過往研究項目與內容，並維護各港地震監測站能正常運作。

1.2 研究目的

本計畫研究目的如下：

- 1.藉由各港區地震及動態水壓測站之維護，俾使各測站維持正常運作，並於震後可透過網路快速將港區災況初評以簡訊方式進行通報。
- 2.透過定期量測布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港等地區分層地層下陷量，以了解地層下陷與地下水壓變化量。

1.3 研究方法

本(110)年研究計畫為多年期最後1年計畫，研究方法說明如下：

1.召開專家學者座談會

邀集專家學者及應用單位座談，聽取相關建議及需求，以供計畫後續執行與改善的參考。

2.彙整各港區地震監測站資料與維護

- (1) 針對設置在各港區之地震及動態水壓即時監測系統，進行維護保養與儀器故障修復，分為定期保養(6月、11月)及不定期修復(臨時發生故障)。地震發生時，監測系統立即將加速度歷時資料記錄於現地電腦內，並藉由中華電信網路即時將資料傳回本所港研中心之伺服器儲存。
- (2) 布袋港區地震監測站於91年設置，迄今已使用約19年，因年代久遠，致中央集錄系統傳送地震資料屢有延遲，為維持系統穩定運作，本(110)年度擬予以更新。

3.各港區震災速報系統維護

- (1) 持續維護各港區網路型地表地震災況速報系統，於震後可藉著網路，快速將港區災況初評通報以簡訊方式，發送至港區碼頭維管人員，提供港務相關單位參考。
- (2) 原設置於花蓮港務分公司花園內之地表地震監測設備地點因另有用途，本(110)年度將另覓合適的場域替代。

4.各地區地層分層沉陷及水壓之監測站維護

針對設置在臺中港、布袋港、安平港、大鵬灣等地區之沉陷及水壓監測站，定期進行維護保養與故障修復，俾使測站維持正常運作。

5.現地地層下陷與地下水壓量測

定期人工量測(每季)布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港等地區分層地層下陷量與地下水壓變化量；另布袋港及臺中港除了人工量測外，亦有裝設自動量測設備。

1.4 研究內容

1.進行各港區地震監測站與地震災況速報系統維護及資料擷取

各港設置之地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之周邊環境清潔(雜草、雜物清除，冷氣機濾網清洗)、木製圍籬修復、太陽能供電系統與監測站儀器及三向度網路型地表地震儀之維護，使測站維持正常運作；另持續維護保養各港地震災況速報系統，期望於震後提供碼頭安全評估資訊給港務相關管理單位參考。

2.現地地層下陷與地下水壓量測

持續於每季(2、5、8、11月)，以無線電波層別沉陷儀，定期量測布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港等地區分層地層下陷量與地下水壓變化量。

1.5 預期成果(效益)及其應用

1.預期成果(效益)

- (1) 持續維護各港區地震即時災況速報系統，提供各港碼頭地震安全評估相關資訊，做為各港務分公司防災人員，地震防救災決策之參考。
- (2) 持續維護各港地震監測站及地層分層沉陷及水壓監測站，俾使監測資料完整正確。

2.應用

- (1) 港區地震災況速報系統，能提供震後碼頭液化安全評估相關資訊，可做為各港務分公司救災與工程維管人員決策之參考。
- (2) 各港地層下陷及地震監測資料，可供各港務分公司管理單位維護港區結構物及設計之參考。

1.6 地震監測發展歷程

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，另於民國 98 年起為降低井下地震監測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 站各 1 套地震儀(CV-374 型)，歷年(90-110) 地震監測發展歷程，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	<ul style="list-style-type: none"> ● 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 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。 ● 臺中港區有五處土質較為鬆軟，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)液化機率法三種模式，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。 ● 完成之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	<ul style="list-style-type: none"> ● 98-99 年港灣地層下陷監測之研究 ● 100-103 年港區現 	<ul style="list-style-type: none"> ● 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

	<p>地監測與碼頭耐震功能性能評估</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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 	<p>下陷量測。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 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	<ul style="list-style-type: none"> ● 108-110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 維護各港區地表地震災況速報系統(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 臺,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

		<p>地震簡訊接收者之名單及地震資料更新。</p> <ul style="list-style-type: none">● 出版 3 本研究報告，投稿港灣季刊論文 1 篇。
--	--	--

第二章 地震監測系統規劃

臺灣地震頻繁，西部沿海地區又屬地質鬆軟的新沖積地層，地下水位也高，為確保位於港區軟弱沖積土層結構設施之安全，需針對地震或地層下陷所產生之效應進行監測，以作為設計港灣結構物與維護工程之參考，因此於港區適當地點設置地震反應監測系統，依功能與目的可將其歸納為：地震監測、動態孔隙水壓監測、地層下陷監測等三種。另外，當強烈地震作用下港區碼頭設施可能受損，為迅速完成碼頭設施的災後修復巡檢，需設置地震災後速報系統以簡訊方式即時傳達至各港設施維護管理人員，本章就各港井下地震及動態孔隙水壓監測與地震災後速報等兩種系統之規劃、安裝與設置分別敘述如下：

2.1 地震監測系統規劃^[11,21,27]

港灣地區設置地震監測站依監測項目可概分為，地表自由場地震力監測、地震在軟弱土層之放大效應監測，分別敘述如下：

- 1.地表自由場地震力監測：地表自由場地震監測為港灣地區最基本之地震監測，以三向式地表地震儀設置於寬度空曠地區之地表，再以電纜線連接至室內之監測記錄器。
- 2.地震在軟弱土層之放大效應監測：港灣地區地層大都為疏鬆軟弱之沖積土層及浚砂回填土所構成，因此，地震在鬆軟地層之放大效應，悠關港灣構造物之安全甚巨，為了瞭解地震發生時，地層中震波傳遞特性，鑽數口井至各個地層，分別於最深之堅硬地盤及不同深度之軟弱土層，分層安置埋入型地震計，分層監測(於 GL-15m、GL-30m、GL-100m、GL-300m 等不同深度，得依現地土層變化狀況而調整。)以瞭解當地地層之地震放大效應。

2.2 地震及動態孔隙水壓監測系統^[28,29]

鬆散的土壤在強烈地震之反覆震盪下，因受到壓縮，土壤之孔隙水壓會逐漸上升，承载力會逐漸減低，當土壤之超額孔隙水壓之上升累積至與土壤之垂直壓力相等時即所謂之土壤液化。當此種現象發生的時候，土壤的承载力會瞬間驟降甚至到零的地步，築在其上的結構物也因基礎失去支撐而傾斜或倒塌，而側向之構造物如碼頭、護岸、河海堤亦會因土壤液化增加之側向力，而產生向海側(河側)位移或傾斜等破壞。因此地震時動態水壓之監測，對港灣構造物之安全極為重要。

由於地震在鬆軟地層之放大效應，悠關港灣構造物之安全，為瞭解地震時，地層中震波傳遞特性，鑽數口井至不同地層，分別於最深堅硬地盤及不同深度軟弱土層，分層安置埋入型地震計分層監測，以瞭解港區地層之地震放大效應。

本所港研中心在安平港、臺中港、布袋港、臺北港、高雄港與蘇澳港均已各別完成設置一組動態水壓即時監測系統，分層設計深度規劃為 GL-4m、GL-8m、GL-10m、GL-15m、GL-30m，可依現地土層變化狀況而調整，以監測地震時淺層動態水壓之即時變化。此外，在臺中港、布袋港、安平港、大鵬灣等港區亦分別設置 1 組 200m 分層地下水壓監測系統，除了可以監測港區平時之水壓變化外，亦可監測地震前後深層地下水壓之變化。

本系統依序分別於各港區自由場選擇適當位置安置地震及動態孔隙水壓監測系統，監測系統規劃如圖 2.1 所示，另為消除地震監測系統因外力產生之雜訊，特將地表地震儀與一台井下地震計連結，各頻道接收之地表加速度須達設定之門檻值時才會觸發。監測站依設置目的，採統一之系統規劃設計，其特性摘要說明如下：

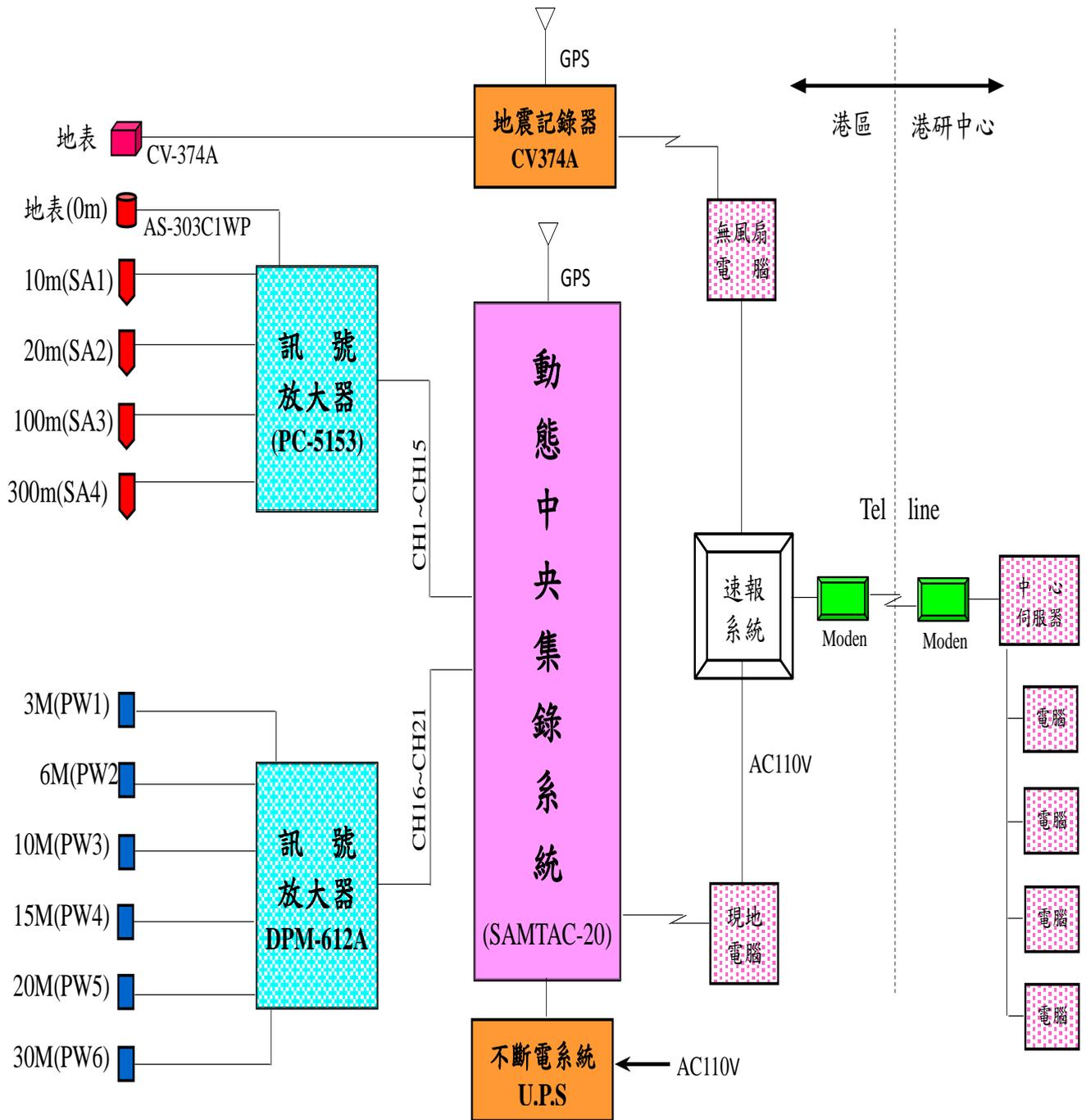


圖 2.1 港區地震監測系統規劃與流程圖

2.2.1 系統規劃與安裝^[30]

1.採分層安裝與同步監測

於各港規劃監測儀埋設井各 7 孔，分別為水壓計監測井 3 孔及地震監測井 4 孔。水壓計安裝設計深度為 4m、8m、12m、15m、20m、30m 等 6 支分置於 3 孔，地震計安裝設計深度為 15m、30m、100m、200m(或 300m)等 4 組，另於地表安裝地震儀 1 組，共有 5 組地震計，藉由電纜線組合一起延長到觀測房以自動記錄方式將資料記錄保存在電腦。每支地震計均記錄 X、Y、V 三方向之振波，共有 15ch，包括水壓計有 6ch，總共 21ch 之訊號同步觀測記錄，各土層地震與即時動態水壓反應均採同步監測。記錄方式依不同之啟動設定分為(1)定時激發記錄：係於每日整點(即一天記錄 24 次)，不分振動原因或大小，與地下水壓一併同時記錄。(2)即時感測記錄：係於系統預設一基本激發起動值，不分振動原因，只要振波大於基本激發起動值，系統即予自動啟動記錄。

2.資料擷取與集錄

各港地下水的壓力量測，有電子式水壓計監測井 3 孔，其與地震計配合可以測得地震來時的地下水位變化，以求得地震時土壤液化的變化情形，所有電子式水壓計經由配管接到觀測房的集錄器上，各測站機房內設備外觀參考示意圖如圖 2.2。

另各港皆有地震監測井 4 孔，監測地震波在不同土層的震波變化，地震計雖分層安裝，監測資料卻是同時啟動、同步監測。各港 21ch 之感測資料均以電纜線聯結至現地測站機房之先進數位化自動記錄集錄系統 IC 卡內，再取回分析，也可經電腦連線再自動傳輸或強迫傳輸送回港研中心，透過數位專線可由港研中心直接遙控或監視現地監測狀況，亦可直接到集錄器的螢幕上觀看波形。

各站並設獨立式地震計及記錄器，主要用於地震時監測地表的波動及強度，並提供與埋入式地震計做比較，並配備 GPS 做自動校時的

功能。監測時亦與分層埋設之部份同時啟動且同步監測，亦以電纜線串聯傳到觀測房。



圖 2.2 機房及設備外觀示意圖

2.2.2 資料傳輸與監控

系統主要包括現地感測系統、現地監測擷取系統、數位專線傳輸系統及本所港研中心之監控與接收系統組成。設定包括，電信局數位專線與 Modem 之設定(含傳輸速率)、放大器之設定、Data logger 之設定等(含基本資料、擷取頻率與啟動設定)。

系統資料擷取頻率設定為 200 Hz。現地監測擷取共有地層震動反應感測 5 層測點，每點均包括水平(東西、南北)向及垂直向 3ch 之感測。水壓反應感測 6 層測點，每點以 1ch 感測，地層震動反應與水壓反應共計感測 21ch，全部以電纜線連結至現地測站機房，採同步監測與訊號傳輸，21ch 之即時感測資料首先集錄預存於機房內之中央集錄系統，再利用電信局之數位專線傳輸網路，與港研中心監控站之電腦軟體，將預存中央集錄系統之資料傳輸至港研中心監控站收錄之，整體擷取、傳輸與監測控制流程如圖 2.3，測站機房構造如圖 2.4。

本所港研中心設有接收與監控站，利用電腦與軟體，除可收錄資料

外，亦可直接遙控現地測站之感測設定與監視感測狀態，並設定控制記錄方式分為定時激發啟動記錄與即時感測啟動記錄。

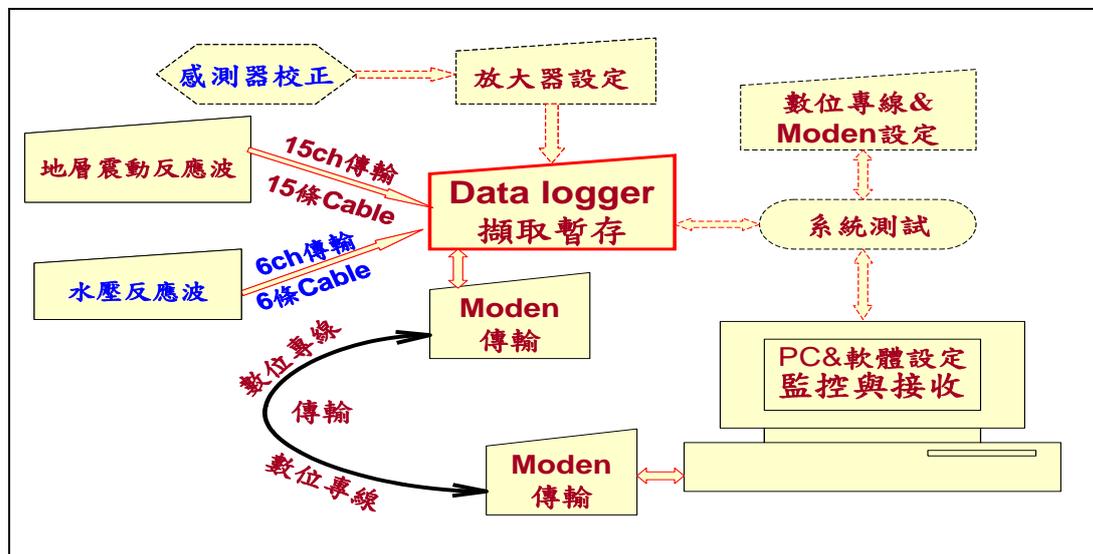


圖 2.3 整體擷取、傳輸與監測控制流程

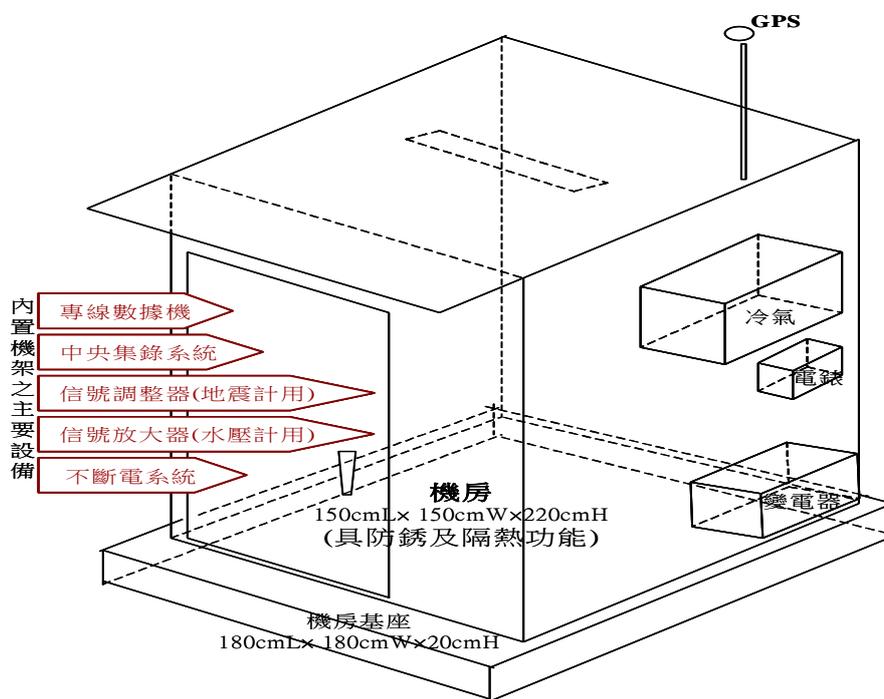


圖 2.4 機房構造與配置示意圖

2.2.3 港區地震監測站^[1]

本所港研中心自民國 89 年起陸續於安平港、臺中港、布袋港、臺北港、高雄港、蘇澳港及臺中火力電廠等逐年分別設置完成一組井下地震及動態孔隙水壓監測站(如表 2-1)，各港監測站概述如下：

- 1.安平港區井下地震監測站於 89 年建置完成，係第一座完整的港區地震分層監測系統，監測站外貌如圖 2.5。
- 2.臺中港地震監測站於 90 年 8 月建置完成，監測站外貌如圖 2.6。
- 3.布袋港地震監測站於 91 年元月建置完成，監測站設置平面與外貌，如圖 2.7 與圖 2.8。
- 4.臺北港地震監測站於 91 年建置完成，監測站設置平面與外貌，如圖 2.9 與圖 2.10。
- 5.高雄港地震監測站於 92 年建置完成，監測站外貌如圖 2.11。
- 6.蘇澳港地震監測站於 93 年建置完成，監測站外貌如圖 2.12。
- 7.臺中火力電廠地震監測站於 94 年建置完成，監測站外貌如圖 2.13。

表 2-1 各港區設置井下地震監測站資料表

測 站	設置位置	經度(度) 緯度(度)	深度 (m)	設置日期 (年)
安平港	8 號碼頭空地	22.980 120.177	201	89
臺中港	26 號碼頭空地	24.273 120.520	283	90
布袋港	砂石碼頭空地	23.375 120.133	300	91
臺北港	大樓前花圃	25.151 121.393	297	91
高雄港	船舶管理中心前花圃	22.598 120.283	292	92
蘇澳港	棧埠所對面	24.5909 121.863	35	93
臺中火力發 電廠	圍牆外側綠地	24.206 120.486	200	94



圖 2.5 安平港區井下地震監測站



圖 2.6 臺中港區井下地震監測站

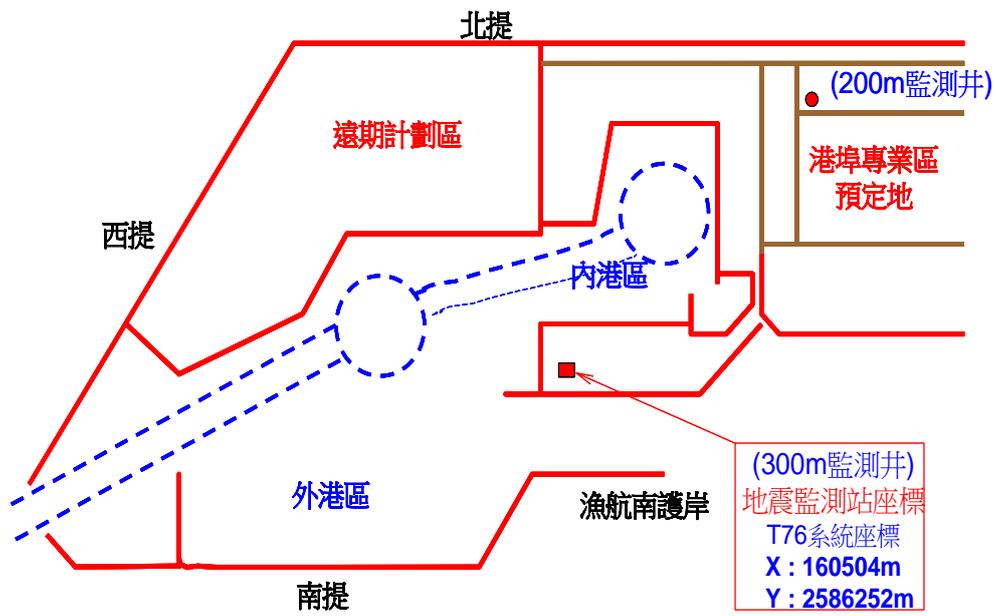


圖 2.7 布袋港區 300m 井下地震監測站平面圖



圖 2.8 布袋港區 300m 井下地震監測站



圖 2.9 臺北港區井下地震監測站平面圖



圖 2.10 臺北港區井下地震監測站



圖 2.11 高雄港區井下地震監測站



圖 2.12 蘇澳港區井下地震監測站



圖 2.13 臺中火力電廠井下地震監測站

2.3 港區地震速報系統

為降低井下地震監測儀之儀器或外部干擾產生雜訊，新增地表網路地震儀連接井下地震監測儀組成地震災後速報系統。港研中心自 98 年起逐年於各港區設置地震災後速報系統，其中臺中港、安平港、高雄港、蘇澳港、臺北港、布袋港等 6 站，將速報系統安裝於井下地震站之機房內，如此可減少儀器或外部干擾造成產生雜訊，港區地震速報系統是將三向度地表地震儀連接井下地震監測儀匹配組裝完成。

此外，花蓮港與基隆港兩站於 101 年因場地有限，僅將地表地震計安裝於港區自由場(辦公室外)之保護箱內，速報系統再以網路線連接至辦公室內，由於地震速報儀器常遭遇碰撞或誤觸，為減少誤報情形發生，於 108 年花蓮港與基隆港兩站(辦公室內)各再增設一組 CV374A 地表地震儀監測系統及保護蓋(不易被碰撞或誤觸)，測站位置如表 2-2 所示，另監測站示意，如圖 2.14 及圖 2.15，港區地表地震速報系統儀器配置，如圖 2.16；基隆港貨櫃中心於 109 年初通知本所，為配合該分公司東櫃西遷，請本所另覓適當場域設置地表地震監測設

備，本所又將原設置於基隆港之地表地震監測設備(貨櫃中心辦公室內、外各一組 CV374A)，移至基隆港港務處航管中心(室外選定於大門入口處右側，室內擇定在旁邊航管中心地下室)，如圖 2.17。當地表感震器接收到地震訊號後，先傳至儀器主機經運算後，再同時儲存到工地工業級無風扇小型電腦，此時地震訊號可藉著中華電信 ADSL 網路將港區災況以簡訊方式依不同震度需求發送至各手機持用人，本系統可提供本中心或港區各港務管理單位及碼頭設施維修等相關人員作為災後檢修之參考，縮短救災時間並減少災損。地震即時監測系統採用日製儀器，為三軸向網路型小型加速度計(CV-374 型)，地震訊號取樣頻率 100 Hz~1KHz，量測範圍自 0gal~±2000gal。

各港地表地震 110 年 11 月 15 日即時畫面，如圖 2.18 至圖 2.25 所示。

表 2-2 基隆與花蓮港區設置地表地震速報系統資料表

編號	測站	設置位置	經度(度) 緯度(度)	儀器名稱	設置日期 (年/月)
1	基隆港	西岸貨櫃中心機車棚 邊	25.850 121.445	CV374A 加速度計	108/8
2	花蓮港	港務大樓前花園	23.585 121.371	CV374A 加速度計	108/8



圖 2.14 基隆港(貨櫃中心)地表地震速報監測站



圖 2.15 花蓮港地表地震速報監測站

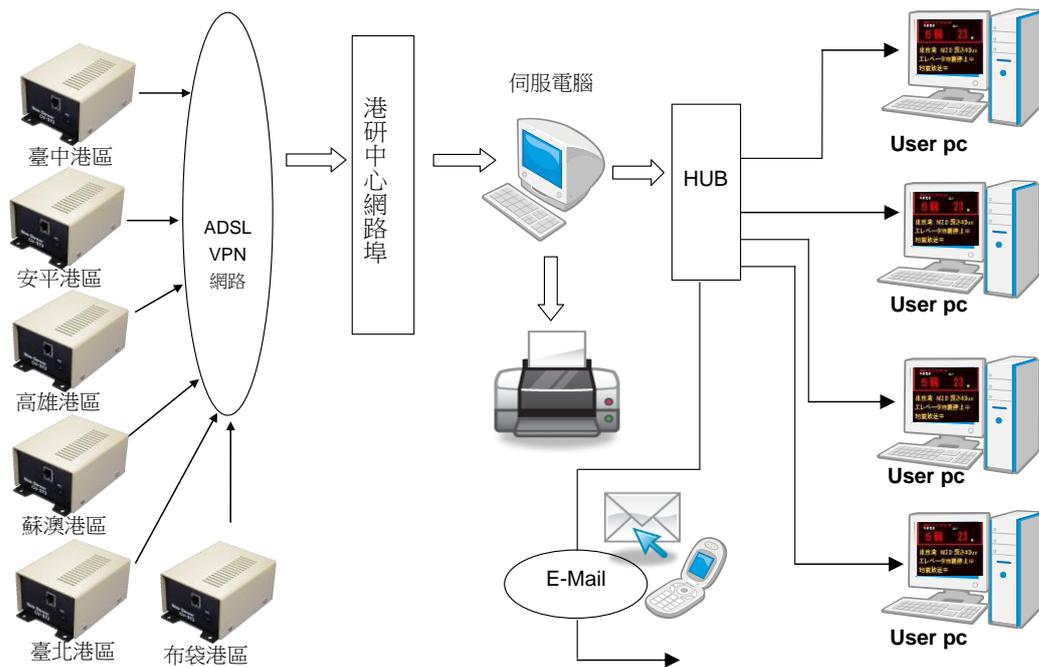


圖 2.16 港區地震速報系統儀器配置示意圖



圖 2.17 基隆港(航管中心) 地表地震速報監測站

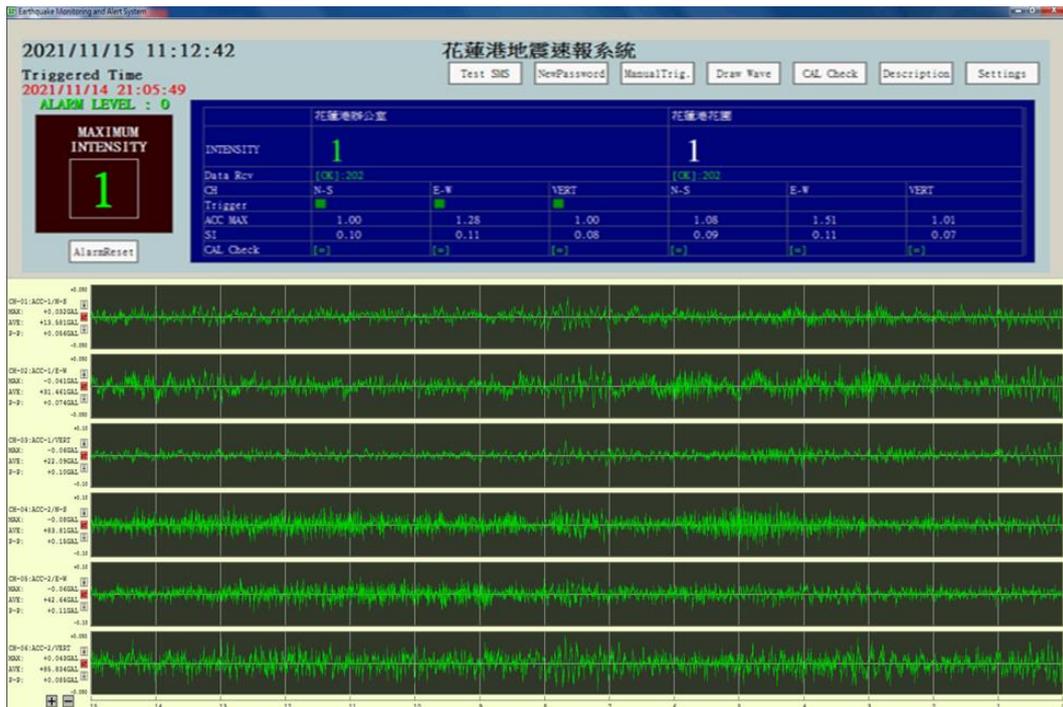


圖 2.18 花蓮港地震即時監測畫面

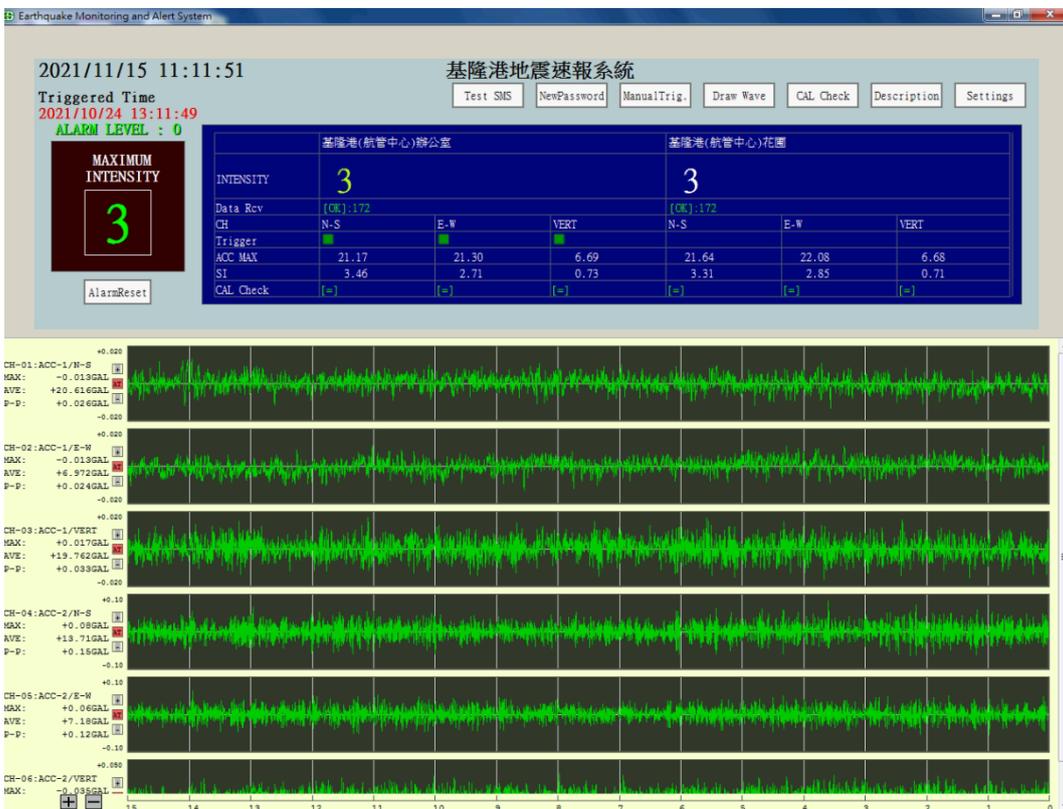


圖 2.19 基隆港地震即時監測畫面

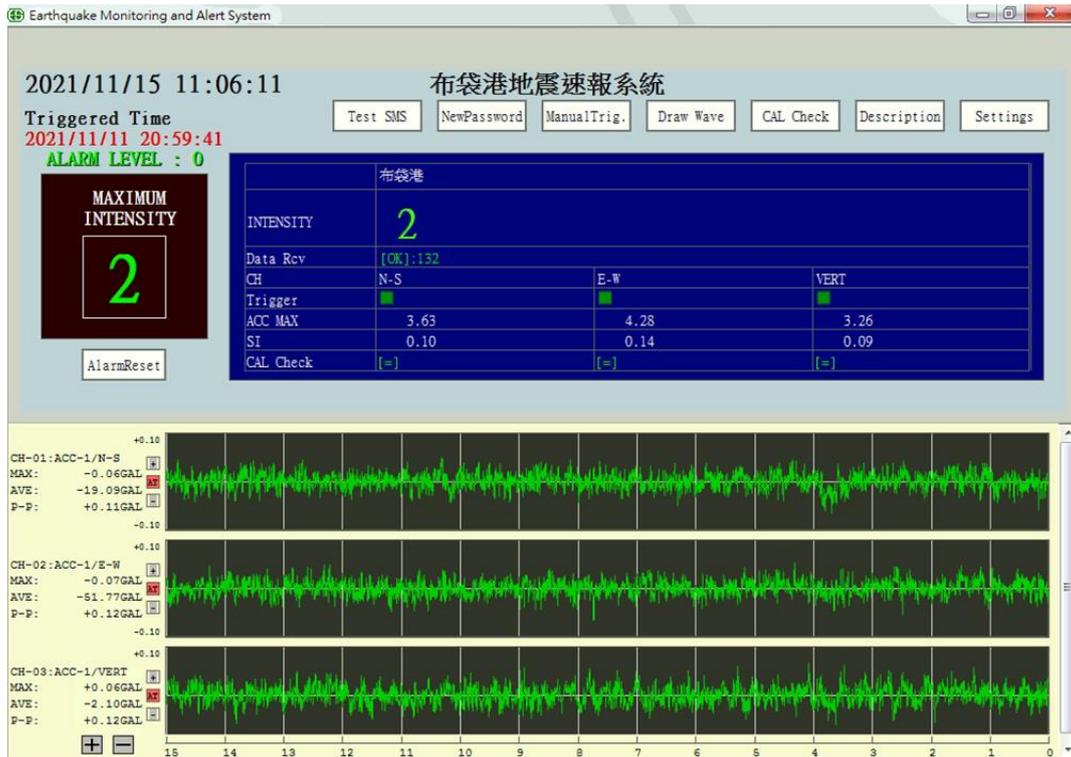


圖 2.20 布袋港地震即時監測畫面

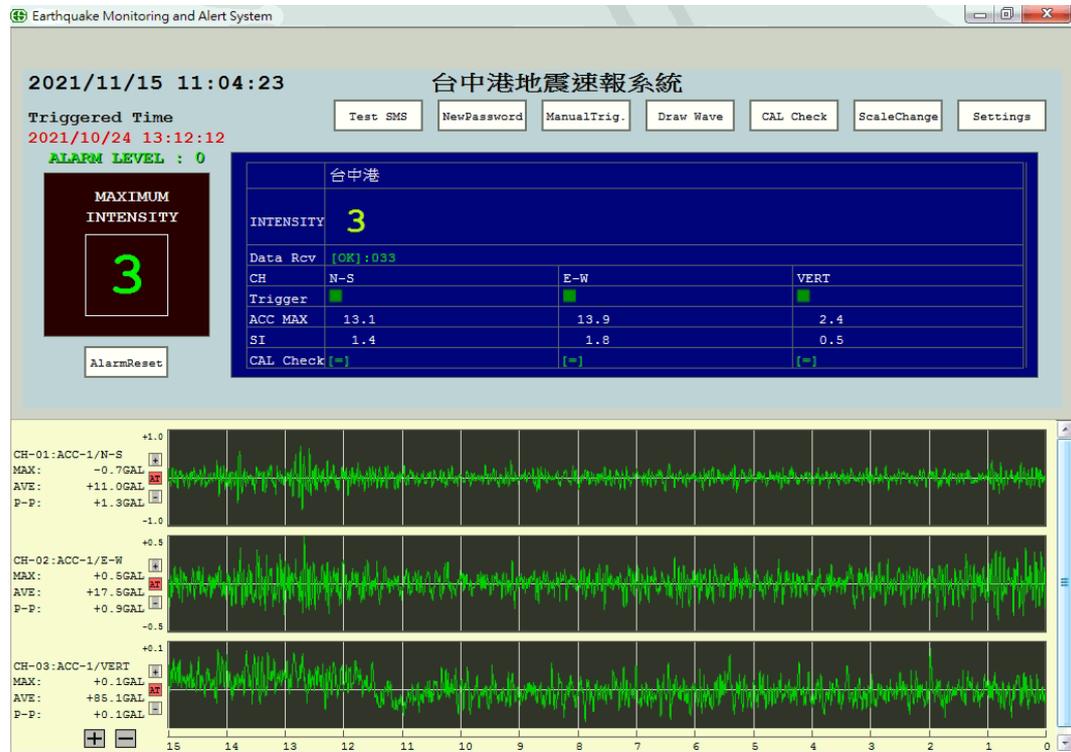


圖 2.21 臺中港地震即時監測畫面

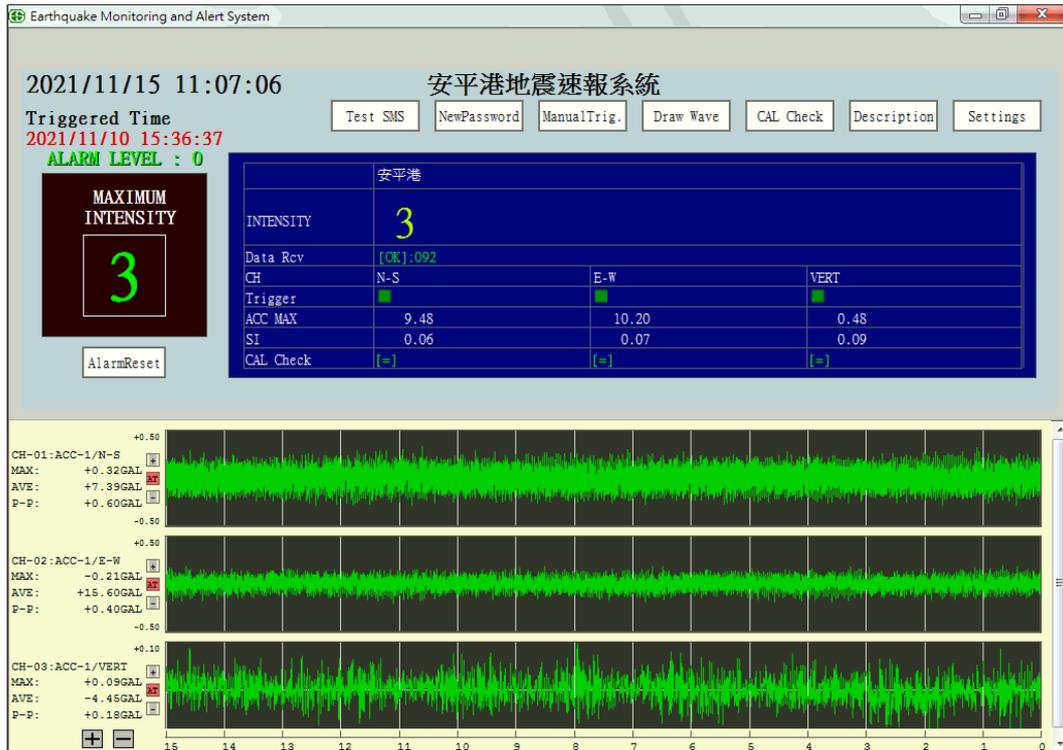


圖 2.22 安平港地震即時監測畫面

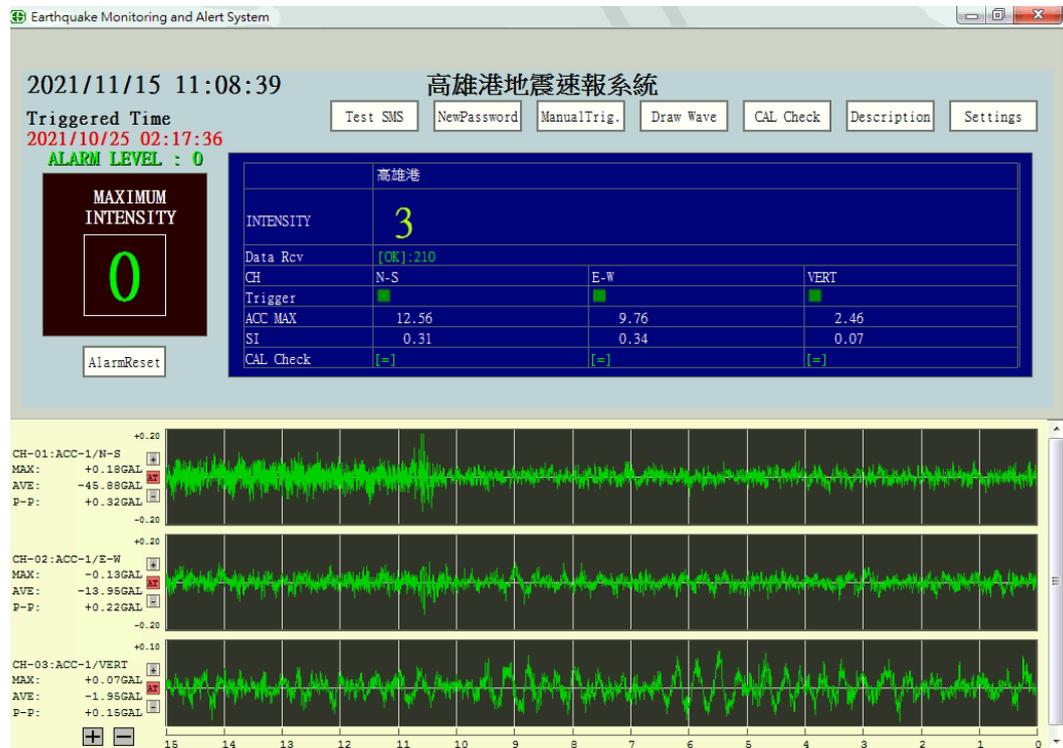


圖 2.23 高雄港地震即時監測畫面

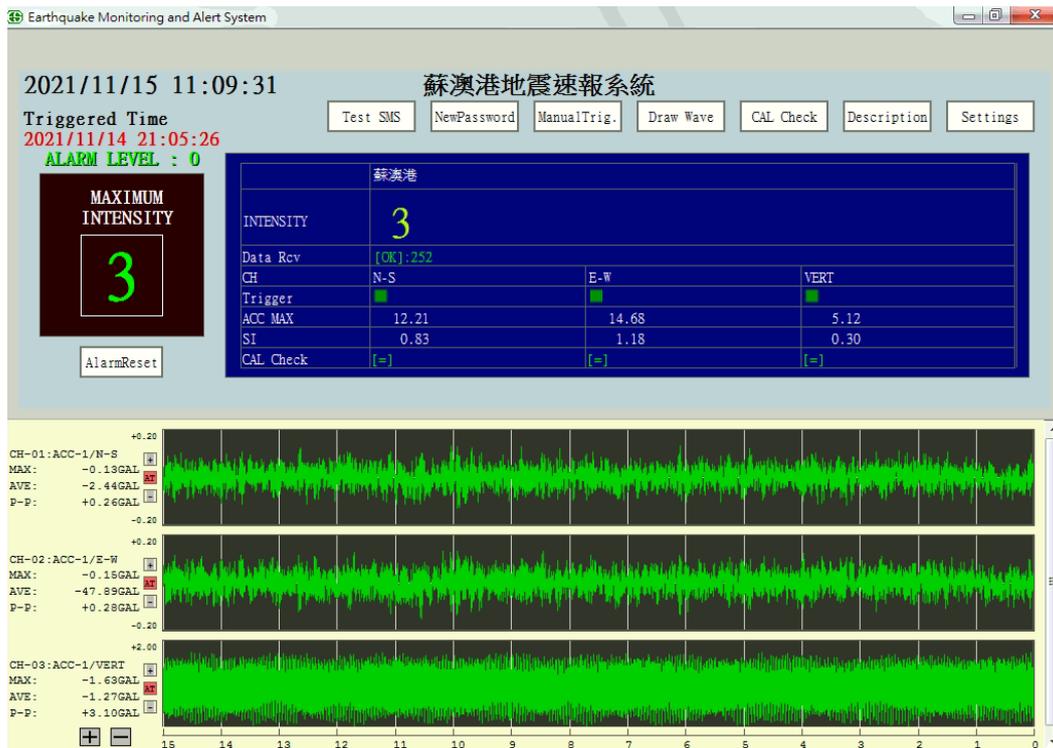


圖 2.24 蘇澳港地震即時監測畫面

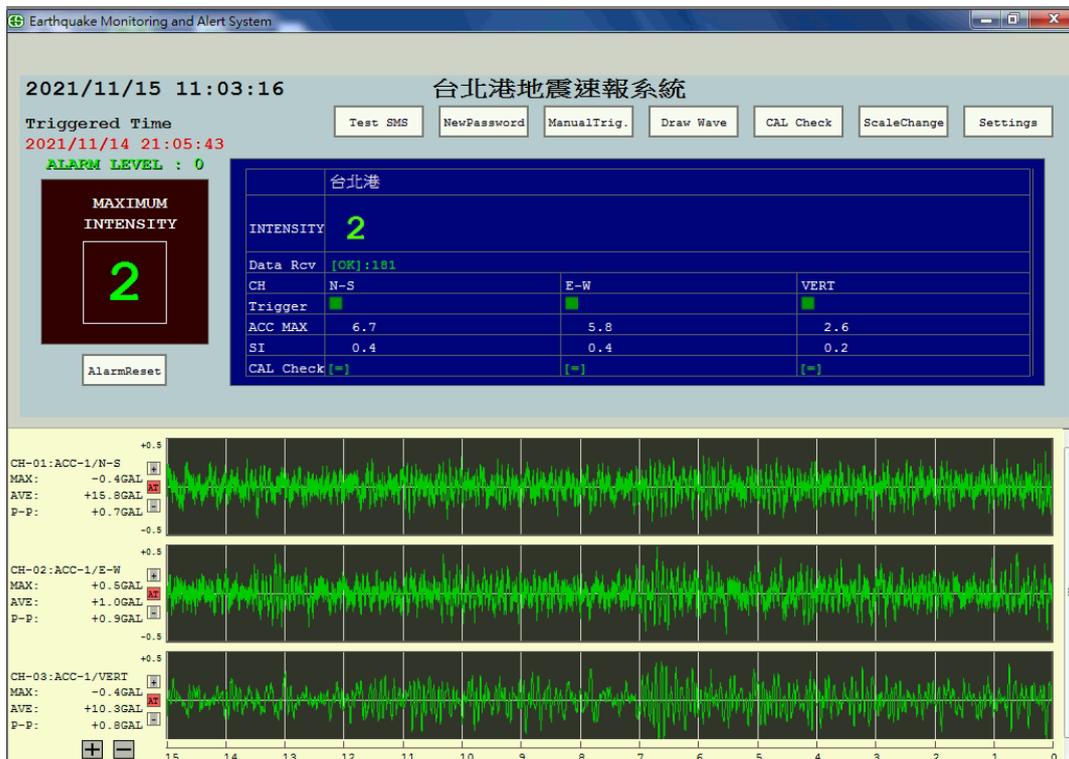


圖 2.25 臺北港地震即時監測畫面

第三章 地震監測站維護及速報系統精進

本所港研中心於各港設置之港區地震及動態水壓即時監測與速報系統之監測站，為使地震監測、動態孔隙水壓監測、地層下陷監測等能正常擷取監測資料、發揮傳送速報系統功效，每年均需進行太陽能設備、電力設備、地層下陷井洗孔、儀器維護保養與監測站周邊環境清潔等工作^[23,24]。另外，港研中心於各港所設置之地震災後速報系統，為精進確保地震速報系統之通報資訊正確，減少誤報情形發生，於(109)年將原設置於基隆港(貨櫃中心)之地表地震監測設備，移至基隆港港務處航管中心；今(110)年又將原設置於花蓮港務分公司行政大樓前花園之地表地震監測設備，移至該分公司與本所協商的位置，力求改善儀器遭遇外力碰撞或誤觸情形發生。本章就 110 年度港區地震監測站維護、速報系統精進及港區地震查詢展示，分別敘述如下：

3.1 各港地震監測站維護

本所港研中心於安平港、布袋港、臺北港、高雄港、蘇澳港、臺中港#26 碼頭、臺中火力電廠、花蓮港及基隆港等各港逐年分別設置完成地震及動態孔隙水壓與速報系統之監測站，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。110 年度維護成果敘述如下：

1. 臺北港

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

(2)維護成果：

- a. 110 年 10 月 20 日，於本所設置之地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之儀器、周邊雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網等環境清潔工作，並連線功能測試，皆能正常運作。

- b. 110 年 04 月中旬本監測站因鄰近人行道工程施工斷電，網路無法連線，於 110 年 05 月 19 日工程完工復電，並連線功能測試恢復正常運作。
- c. 110 年 07 月 12 日井下電腦故障，網路無法連線，於 110 年 07 月 15 日電腦重新開機後，連線功能測試恢復正常運作。
- d. 臺北港地表地震監測紀錄於 110 年 01 月 01 日至 10 月 16 日止，共測得 2 級地震強度 10 筆，3 級地震強度 1 筆，4 級地震強度 1 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 12 筆，震源大部份來至小區域或蘇澳外海地區。
- e. 臺北港地震監測井下與速報波形圖及同時間氣象局地震紀錄，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. 110 年 10 月 20 日，於本所設置之地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之儀器、周邊雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網等環境清潔工作，並連線功能測試，皆能正常運作。
- b. 110 年 6 月 21 日，於臺中港 200M 水壓計自動化監測站，進行水壓計、電瓶、充電控制器與連線等功能測試、太陽能板接點上油、周邊雜草環境清潔、圍籬鎖板除鏽及上油漆等工作與資料擷取，並連線功能測試，皆能正常運作。
- c. 本監測站電腦螢幕故障無法顯示，已更換螢幕。
- d. 臺中港#26 號碼頭地表地震監測紀錄於 110 年 01 月 01 日至 11 月 16 日止，共測得 2 級地震強度 1 筆，3 級地震強度 2 筆，4 級地震強度 2 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 5 筆，震源大部份來至小區域或東部外海地區。

- e. 臺中港#26 號碼頭地震監測井下動態水壓與速報波形圖及同時間氣象局地震紀錄如附錄一。

3. 臺中火力電廠

(1)地點：臺中火力電廠南側環港路邊。GPS 座標 24.206728, 120.485286

(2)維護成果：

- a. 110 年 10 月 18 日，於本所設置之地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之儀器、周邊雜草及圍籬內雜物清除，且清洗冷氣機濾網等環境清潔工作，並連線功能測試皆能正常運作。
- b. 本監測站電腦 5 月初故障，無法遠端連線，於 110 年 05 月 14 日經電腦重新開機後，連線功能測試恢復正常運作。
- c. 臺中火力電廠地震監測井下動態水壓與同時間氣象局地震紀錄如附錄一。

4. 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 110 年 11 月 09 日在本所設置之地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之儀器、周邊雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網等環境清潔工作，並連線功能測試，皆能正常運作。
- b. 於 110 年 05 月中旬發現本監測站中央集錄系統故障，拆回檢查發現內部有螞蟻築巢痕跡(如圖 3.1 所示)，導致 AD CPU 基板短路故障，於 110 年 06 月 17 日經清除築巢及雜物後修護，並進行地震資料擷取與傳輸測試，恢復正常運作。

- c. 於 110 年 07 月 26 日發現本監測站，無法遠端連線，經中華電信人員檢查後發現為電源線破皮導致斷電，於 110 年 08 月 5 日電源線修護後，依然無法遠端連線，再請中華電信人員檢查後發現 ADSL 也故障了，於 110 年 08 月 10 日更換新的 ADSL，連線功能測試恢復正常運作，並於隔天 110 年 08 月 11 日 05:43 接收到現地地震訊號，地震速報系統如常啟動傳送簡訊至防救災管理相關人員，簡訊傳送內容，如圖 3.2 所示。
- d. 蘇澳港地表地震監測紀錄於 110 年 01 月 01 日至 11 月 16 日止，共測得 2 級地震強度 43 筆，3 級地震強度 21 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 69 筆，最大震度為 110 年 10 月 24 日 13:11:45 加速度達 145 gal，蘇澳港震源大部份來至蘇澳外海地區。
- e. 蘇澳地震監測井下動態水壓與速報波形圖及同時間氣象局地震紀錄如附錄一。

5. 安平港

(1) 地點：安平港 8 號碼頭。GPS 座標 22.979912, 120.176632。

(2) 維護成果：

- a. 於 110 年 10 月 19 日，於本所設置之地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之儀器、周邊雜草及圍籬內雜物清除，另清洗冷氣機濾網等環境清潔工作，並連線功能測試，皆能正常運作。
- b. 安平港地表地震監測紀錄於 110 年 01 月 01 日至 11 月 16 日止，總共發布 2 級地震速報簡訊 3 筆，震源大部份來至小區域或花東外海地區。
- c. 安平港地震監測速報波形圖及同時間氣象局地震紀錄如附錄一。

6.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 110 年 10 月 19 日，於本所設置之地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之儀器、周邊雜草及圍籬內雜物清除，亦清洗冷氣機濾網等環境清潔工作，並連線功能測試，皆能正常運作。
- b. 本監測站電腦螢幕故障無法顯示，預計於明(111)年更換螢幕。
- c. 高雄港地表地震監測紀錄於 110 年 01 月 01 日至 11 月 16 日止，共測得 2 級地震強度 (2.5~8.0gal)1 筆，3 級地震強度 (8.0~25gal) 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. 高雄港地震監測井下動態水壓與速報波形圖及同時間氣象局地震紀錄如附錄一。

7.布袋港

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

(2)工作內容：

- a. 110 年 10 月 19 日，於布袋港 300m 監測站，進行觀測屋內之儀器、周邊雜草及圍籬內雜物清除，並清洗冷氣機濾網等環境清潔工作，另更換太陽能充電電瓶 5 顆。並連線功能測試，皆能正常運作。
- b. 110 年 06 月 21 日，於布袋港 200m 監測站，進行水壓計、電瓶、充電控制器與連線等功能測試、太陽能板接點上油、清除觀測站內部藤蔓及雜草、圍籬鎖板除鏽等工作與資料擷取。

- c. 110年06月22日，於布袋港400m永久水準監測站，進行位移計測試、電瓶及充電控制器更換與連線功能測試、太陽能板接點上油、周邊藤蔓及雜草環境清潔、圍籬柱子除鏽及上油漆等工作與資料擷取(如圖3.3所示)，本站位移計量測數值為25mm，目前位移計變化量符合後續量測工作，不必調整，但量測頂端已快接近保護蓋。
- d. 110年09月14日完成布袋港地震監測站中央集錄系統儀器更新工作，並連線功能測試，皆能正常運作。
- e. 布袋港地表地震監測紀錄於110年01月01日至11月16日止，共測得2級地震強度5筆，3級地震強度2筆，4級地震強度1筆，總共發布2級以上地震速報簡訊8筆，震源大部份來至小區域或花東外海地區。
- f. 布袋地震監測井下動態水壓與速報波形圖及同時間氣象局地震紀錄如附錄一。

8.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. 110年10月21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，並檢查速報軟體，完成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11月16日止，總共發布2級地震速報簡訊3筆，震源大部份來至小區域或花東外海地區。

9. 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. 110 年 10 月 21 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，並檢查速報軟體，完成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 11 月 16 日止，共測得 2 級地震強度 (2.5~8.0gal)32 筆，3 級地震強度 (8.0~25gal) 14 筆，4 級地震強度 (25~80gal)7 筆，總共發布 2 級以上地震速報簡訊 53 筆，最大震度為 110 年 07 月 14 日 06:52:07 測得 4 級地震強度(加速度達 79 gal)，震源大部份來至小區域或東部外海地區。

彙整今年(110 年)截至 11 月 16 日止，各港區發布的地震速報簡訊總計 155 筆，如表 3-1 所示。

表 3-1 各港區 110 年發布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)	5 級 (80~250gal)	
臺北港	10	1	1	0	12
臺中港	1	2	2	0	5
蘇澳港	43	21	4	1(145 gal)	69
安平港	3	0	0	0	3
高雄港	1	1	0	0	2
布袋港	5	2	1	0	8
基隆港	3	0	0	0	3
花蓮港	32	14	7	0	53
總計	98	41	15	1(145 gal)	155



圖 3.1 蘇澳港儀器螞蟻築巢痕跡

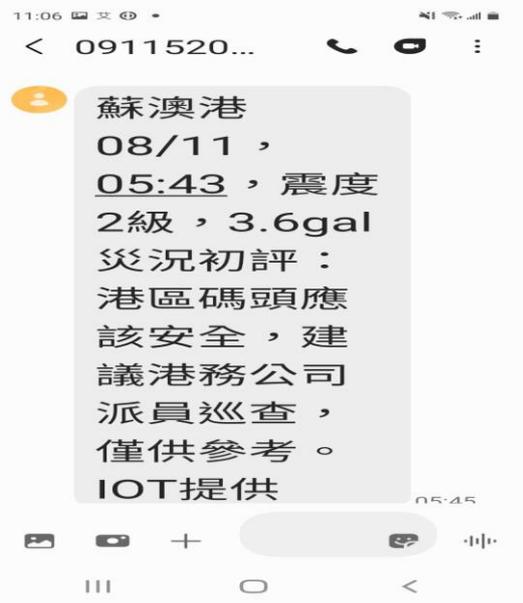


圖 3.2 即時地震速報簡訊



圖 3.3 布袋港 400m 永久水準監測站維護

3.2 速報系統精進

本所港研中心於高雄港、安平港、布袋港、臺中港#26 碼頭、臺北港、蘇澳港等各港監測站內及基隆港貨櫃中心辦公室內、外停車場及花蓮港港務大樓大樓內、外花園，逐年設置完成地表地震災後速報系統。

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；另今(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，以確保地震速報系統能正確運作；今(110)年亦完成各港速報系統簡訊傳送對象修改，以符合港務公司防災需求。今(110)年度地震速報系統精進敘述如下：

3.2.1 花蓮港速報系統精進

本所於 101 年建置安裝花蓮港地表地震速報系統，使用之儀器為日本東京測振公司製造之速報系統(含 24bit 三向度網路型地表地震儀 CV374 型等)，當年花蓮港務分公司提供的場地有限，遂將地表地震儀安裝於花蓮港港務大樓外(花園內)，由於花園內地震儀偶爾會遭遇堆高機、起重機或公務車碰撞或誤觸，為減少誤報情形發生，108 年於辦公大樓內，擴充增設一組 CV374A 地震儀監測系統及保護蓋(不易被碰撞或誤觸)，共增加 X、Y、Z 三方向震波，連同既有地震儀也有 3 個震波，兩組監測系統總共計有 6 個震波(6ch)，當 6 個 ch 中有 4 個 ch 以上接收到地震訊號後，先傳至儀器主機經運算後，再同時儲存到花蓮港港務大樓辦公室內之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，透過兩組監測系統連線，確保地震速報系統之通報資訊正確，改善誤報情形發生。

今(110)年初花蓮港務分公司通知，本所目前設置於花蓮港港務大樓外之地震設備設置地點，為配合該分公司另有其他用途，請本所另覓適當場域設置。本所於 110 年 3 月會同該港工程處營繕科人員，進行地震監測設備設置地點會勘，經勘驗現場擇定為該港港務大樓右前方花園為室外地震監測設備新設置地點，並確認管線於港務大樓室內、外皆可相通後，進行室外地震監測設備安裝工作。

花蓮港地震監測設備遷移、安裝及測試敘述如下：

1. 於 110 年 2 月將原設置於花蓮港港務大樓外之地震設備 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 3.4 所示。



圖 3.4 花蓮港地震設備原設置位置示意圖

2. 花蓮港地震監測設備安裝及測試：

- (1) 110 年 4 月 27 日本所原設置於花蓮港之地表地震監測設備地點(電腦主機置放於港務大樓一樓儲藏室內)，為配合該分公司另有其他用途，將地震監測設備搬遷至該港港務大樓右前方花園(座標:23.9797153,121.6200583)，預計配置管線(110V 電源線及網路線)沿著港務大樓前水溝內穿越馬路，再由草皮配管安裝至預計遷移位置，如圖 3.5 所示。
- (2) 110 年 4 月 28 日完成第 1 階段施工，自由場挖土埋管(挖 30 公分深)、鋪設警示帶、固定管線、室外拉線至室內安裝位置、防水處理及室外水泥台基座灌製(長 50cm，寬 50cm，高 45cm，埋設深度 30cm，露出地表部份 15cm)，並鋪設鋼筋網及接電線施工，如圖 3.6 所示;第 2 階段施工，安裝室外地震儀、地震儀方位調整、保護箱(長 40cm，寬 40cm，高 50cm)等相關設備，如圖 3.7 所示;第 3 階段施工，中華電信光纖佈設，並測試速報系統(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)，測試結果恢復正常運作，如圖 3.8 所示。

(3)花蓮港地震儀移機完成安裝後，於隔天 110 年 4 月 29 日接收到現地地震訊號，地震速報系統如常啟動傳送簡訊至防救災管理相關人員，簡訊傳送內容，如圖 3.9 所示。

3.2.2 各港速報系統簡訊內容精進

本所多年來致力於精進確保各港地震速報系統之通報快速及資訊正確外，目前於地震發生後 1 分鐘內會傳送簡訊內容給相關人員；109 年，特針對各港速報系統簡訊傳送內容略做修改，增加「建議港務公司派員巡查，僅供參考」，以精進傳送內容讓港務公司瞭解，為參考性質；今(110)年除了上述通報精進外，另近年來各港防救災管理相關人員多所異動，於 6 月 10 日函請港務公司惠予提供各港防救災管理相關人員之通訊資料，並於 6 月 28 日依據港務公司提供之該公司及各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，俾利提昇地震速報系統之效能，增進各港整體安全。



圖 3.5 花蓮港地震設備遷移位置示意圖



圖 3.6 花蓮港地震設備第 1 階段施工圖



圖 3.7 花蓮港地震設備第 2 階段施工圖

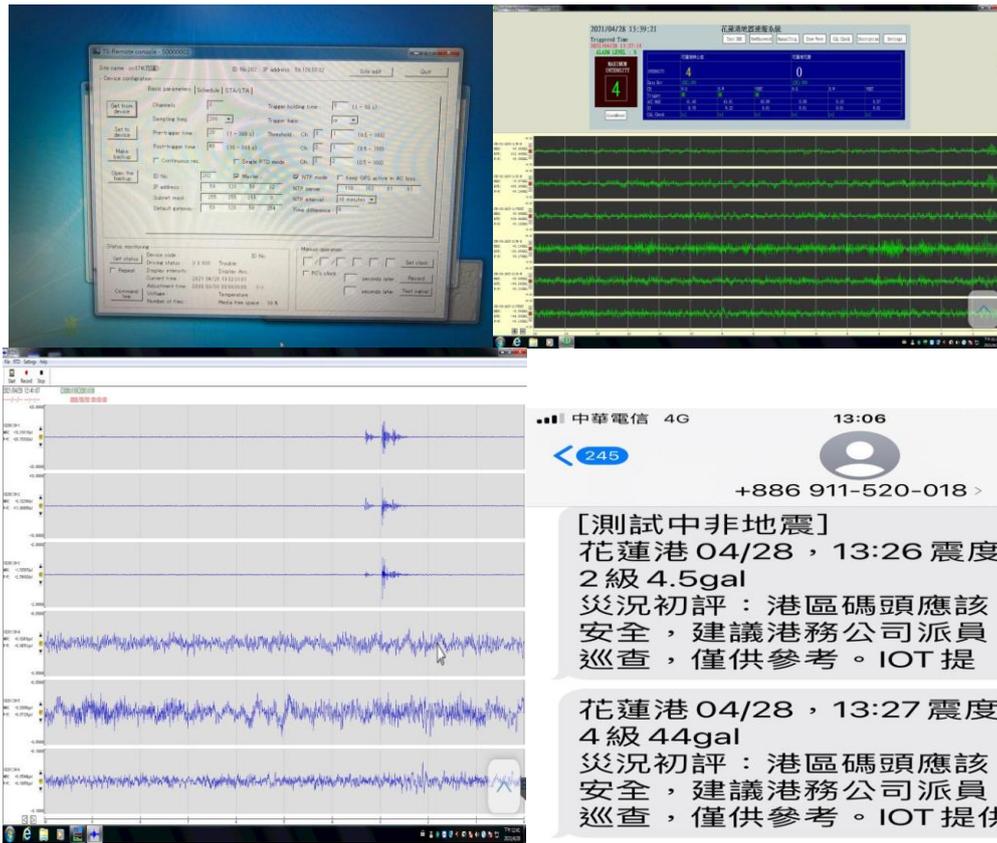


圖 3.8 花蓮港地震設備第 3 階段施工圖



圖 3.9 花蓮港地震儀移機完成安裝後，接收到地震簡訊內容

3.3 港區地震查詢展示

本所港研中心自民國 89 年起陸續於安平港、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及動態孔隙水壓監測站。於民國 101 年整合上述各港地震監控資訊於本所港灣環境資訊網中展示。港灣環境資訊系統與資料庫介接收即時/歷史地震資料之相關資訊，儲存於地震伺服器中的資料庫，透過地震資料同步匯入程式，將即時/歷史地震資料之相關資訊，以自動/手動的方式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 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。彙整後之港區地震查詢作業說明如下：

- 1.港區地震查詢包含了近期地震查詢(最近一次發生地震)、歷史地震查詢。
- 2.近期地震查詢：於港灣環境資訊網下港區地震模組，點選各港區的圖示，會有對話框顯示目前最近一筆的地震發生時間、地震震度、地表加速度以及 x,y,z 三向度地表地震圖(如圖 3.10、圖 3.11 所示)。
- 3.歷史地震查詢：於港灣環境資訊網下港區地震模組，點選歷史地震查詢功能項(如圖 3.12、圖 3.13 所示)，可依不同的港口/地震發生時間查詢相關資訊(地震發生時間、地震震度、地表加速度以及 x,y,z 三向度地表地震圖)。

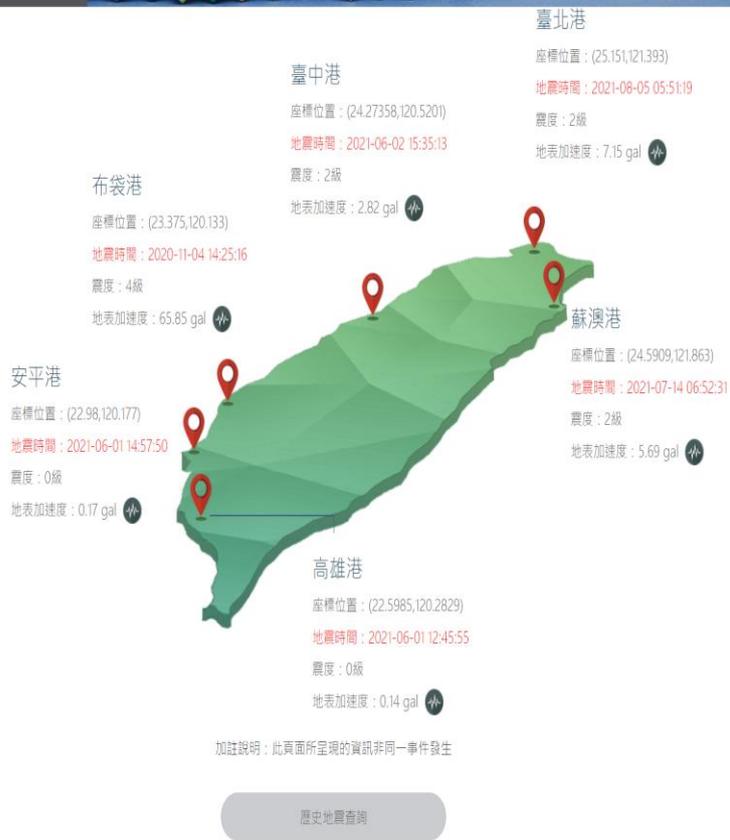


圖 3.10 港區地震系統-近期地震

臺北港

測站位置:大樓前花園 N121.393 E25.151

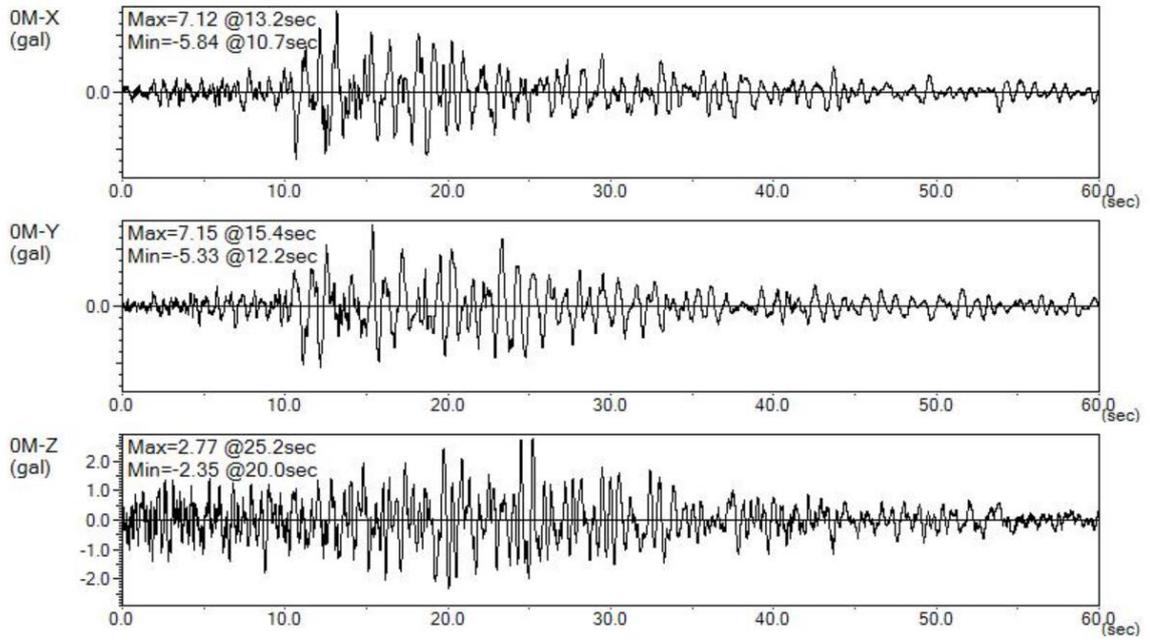


圖 3.11 港區地震系統-x,y,z 三向度地表地震圖



圖 3.12 港區地震系統-歷史地震查詢

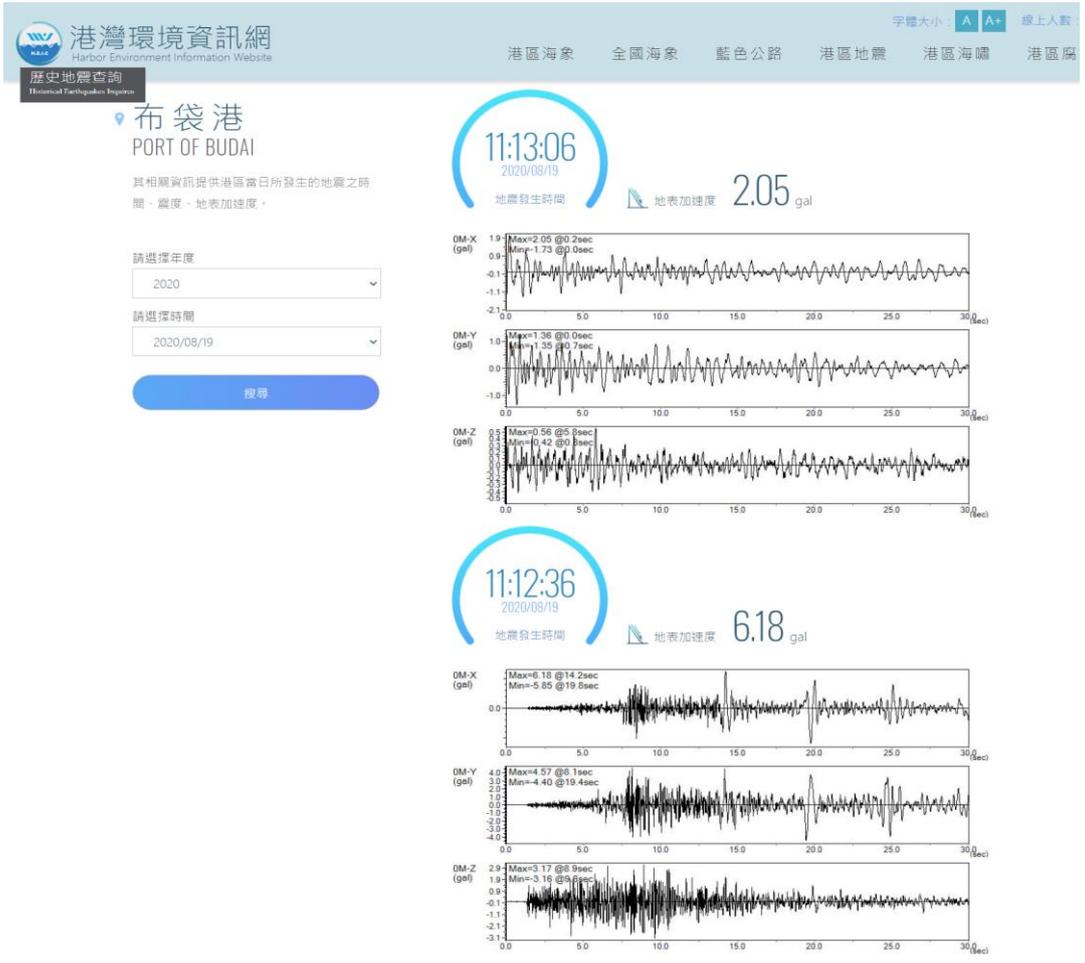


圖 3.13 港區地震系統-歷史地震圖

第四章 港區地層下陷監測

造成港灣地區地層下陷之原因，其複雜程度眾多，如來自地質材料間之壓密或壓縮，大地應力作用所引致地殼之升降，地震作用引致港灣地區沖積砂土層與海埔新生地發生液化而產生嚴重之下陷，其次港灣之重要構造物防波堤，大都由大型沉箱連接而成，有極大的荷重，亦會產生嚴重之下陷^[3]；另港灣碼頭設施大都由抽砂填土而成，大規模之填土易造成區域性之不均勻沉陷^[6]。

然而港灣附近地區之養殖漁業、非法水井和地下水管制不當，亦為造成區域性之地下水位下降，導致港區地層下陷之重要原因之一，綜合以上所述，大部分之地層下陷，皆因過量開發地下水資源而產生，而臺灣西南海岸港灣地區之地層下陷亦然^[14]，故本文僅就超抽地下水引起之地層下陷，簡述如下：

4.1 地層下陷分析方法^[15]

因地下水位下降造成之地層下陷，其下陷量大小與土壤種類有關。砂質土層的沈陷速度較快但沈陷量較小；而粘性土層之壓縮則較具延滯性且沈陷量也較大。

因地下水位下降所引致的地表壓密沉陷之分析方法大致可區分為兩類^[9]，一為基於 Terzaghi 壓密理論之“分離式方法”(decoupled approach)與另一為基於 Biot 理論之“耦合式方法”(coupled approach)。前者是先求出孔隙水壓力之分佈，再應用有效應力觀念計算土層之應變及地表壓密沉陷量。後者是基於孔隙水與介質之間存在某種互制關係，以介質位移和孔隙水壓力為基本變數之耦合壓密理論。

4.1.1 Terzaghi 壓密理論

地層下陷是因儲存於多孔介質中之水被排除而造成。依據 Terzaghi 壓密理論與有效應力觀點，當抽水時，儲存於多孔介質中之水會被移除，將使土壤有效應力增加，若此時未造成含水層之細顆粒重新排列，其壓縮行為屬彈性壓縮，若此時地下水位上升造成沉積物骨架回復；當有效應力超過彈性壓縮界限時，即造成永久壓縮，此時即使地下水位上升，沉積物亦僅會局部分回脹。

一般分析地層下陷問題是以 Terzaghi(1943)之單向壓密理論為基礎，該理論係利用飽和土壤內孔隙水在穩定層流情況下之連續條件，及有效應力原理和土壤本身之應力—應變關係推得計算式。其基本之假設為(1)土壤是飽和狀態，(2)土壤顆粒及水為完全不可壓縮，(3)孔隙水流符合達西定律(Darcy law)，(4)土壤之壓縮性與滲透性在受壓過程中保持不變。

依據 Terzaghi 建議，正常壓密土壤之極限沉陷量之計算，如下所示。

$$S_u = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{P'_0 + \Delta\sigma'_{vo}}{P'_0}\right) \dots\dots\dots(4-1)$$

式中， S_u ：極限沉陷量

C_c ：壓縮指數

e_0 ：初始孔隙比

P'_0 ：初始壓密應力

H ：土層厚度

$\Delta\sigma'_{vo}$ ：有效應力增加量

若土壤之壓密性質或孔隙比隨深度有很大的變化，或截然為不同土層，則總沉陷量 S 為各土層沉陷量之總和。

極限沉陷量求得之後，利用以下壓密方程式，則可計算歷時性之沉陷量 $S(t)$ 。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial Z^2} \dots\dots\dots(4-2)$$

式中， u ：孔隙水壓

C_v ：壓密係數

t ：時間

z ：深度

Taylor(1948)對上式壓密方程式，提出一個以 Fourler 級數展開的方式來表示的數學精確解，如下所示：

$$U(t) = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2}{4} T_v\right] \dots\dots\dots(4-3)$$

式中， $U(t)$ ：平均壓密度，定義如式(4-3)

T_v ：時間因數

$$U(t) = 1 - \frac{\int \Delta u dz}{\int \Delta u_0 dz} \dots\dots\dots(4-4)$$

而式(4-3)中之時間因數 T_v 與時間 t 之關係如下所示：

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H_{dr}^2} \dots\dots\dots(4-5)$$

式中， H_{dr} ：最長之排水路徑長

因此各土層在各壓密應力之歷時性沉陷量 $S(t)$ 如下所示：

$$S(t) = S_u \times U(t) \dots\dots\dots(4-4)$$

4.1.2 Biot 耦合壓密理論

有關土壤的耦合壓密理論首先係由 Biot (1941) 提出的。Verruijt (1969)、Bear & Corapcioglu (1981) 等曾對 Biot 壓密理論作過研究，以地下水流動觀點推導壓密模式，其基本假設為：1. 土壤完全飽和；2. 孔隙水可壓縮，且其壓縮性僅與孔隙水壓力有關；3. 土壤之固體顆粒不可壓縮；4. 孔隙水滲流遵循 Darcy 定律；5. 土壤為均質且均向性之線彈性介質；6. 土壤介質之應變量微小；7. 影響孔隙率之主要因素為介質的有效應力。根據以上假設，該壓密理論之基本方程式如下所示：

$$\left. \begin{aligned} G\nabla^2 S_x + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ G\nabla^2 S_y + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ G\nabla^2 S_z + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \\ k\nabla^2 p &= \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + n\beta \frac{\partial p}{\partial t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4-7)$$

式中 $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ， S_x 、 S_y 、 S_z 分別表土壤介質在 x 、 y 、 z 方向上的位移。 $\varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$ 為介質之體積應變量， p 表超額孔隙水壓力(excess pore water pressure)， E 、 ν 、 G 分別表土壤在排水情況下所測得之平均楊氏係數(Young's modulus)、平均柏松比(Poisson's ratio)、以及平均剪力係數，其中 $G=E/2(1+\nu)$ 。 k 、 n 、 β 亦分別表土壤之滲透係數(permeability)，孔隙率(porosity)及孔隙水之壓縮係數(compressibility)。

由於地下水位觀測井所測得之水位變化，可代表鄰近區域亦有相同之水位變化，而且地下水位變化引致之地層下陷屬於區域沉陷，因此若考慮為單向度之壓密過程，即 $S_x = S_y = 0$ ， $\varepsilon = \frac{\partial S_z}{\partial z}$ ， $\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_y}{\partial y} = 0$ ，可將基本方程式(4-7)簡化如下：

$$\begin{aligned} 2\eta G \frac{\partial^2 S_z}{\partial z^2} - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0, \\ -k \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 S_z}{\partial z \partial t} + n\beta \frac{\partial p}{\partial t} &= 0 \dots\dots\dots(4-8) \end{aligned}$$

其中 $\eta = (1-\nu)/(1-2\nu)$ 。式中土壤位移 S_z 與孔隙水壓力 p 同時出現在方程式中，為一耦合壓密模式。

若考慮一土壤厚度為 H ，受到瞬間荷重 P_0 ，則其壓密沉陷，經式(2-8)解析得如下所示：

$$S_z = \frac{4P_0H}{\pi^2\eta G} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\frac{(2n+1)\pi}{2H_d}\right)^2 C_{vt}\right] \right\} \dots\dots\dots (4-9)$$

式中，壓密係數 $C_v = \frac{k}{n\beta + \frac{1}{2\eta G}}$ ， H_d 為排水路徑長，若為單向排水

$H_d = H$ ，若為雙向排水 $H_d = H/2$

4.2 監測儀器規劃^[16,17]

造成地層下陷的主要原因有地下水壓的大小、水位之深度及變化，且用來量測水壓大小之水壓計必須埋設在透水性良好之受壓水層裡，並在其上下不透水層以朋脫土進行封層，才能量得正確水壓。

埋設土層分層沉陷計之深度需依各監測站地質狀況而定，即於主要土層層次變化之位置安裝沉陷磁環，設置完成後，定期再以無線電波層別沉陷儀測量沉陷環之深度變化，此量測結果可以顯示個別層次之土層沉陷變化量，進而求得各深度土層沉陷之變化情形。

電子式、開放式水壓量測及土層分層沉陷量測可採用手動及自動記錄，其系統與儀器架構流程，如圖 4.1 所示。

4.2.1 電子式水壓計

本水壓計採用日本 DOBOKU 生產，型式為電阻式 20kg/cm²、10kg/cm² 及 2kg/cm² 耐水壓型水壓計。

1. 施鑽時先採用朋脫土保護孔壁以防崩孔，待鑽探至預定深度後再以清水置換，直到迴水無朋脫土成份，再開始安裝儀器。
2. 水壓計於地面上先行接線，並於電纜線上註明安裝深度位置，並於接線位置確實做好防水措施，並先行飽和量測初值。
3. 待鑽探完成後將預先準備好水壓計，放入孔內，並量測其水壓值是

否合理再開始回填水洗石，並用 6 分 PVC 管搗實工作及量測其回填深度，待回填至欲灌漿(封層)位置，利用 PVC 管將水泥及朋脫土混合液以灌漿機打入預定位置，然後再回填七厘石。

4. 第二組及第三組水壓計皆重覆 2、3 步驟，直到回填至表面為止，再將電纜線連線至觀測箱內，其安裝示意圖如圖 4.2 所示。

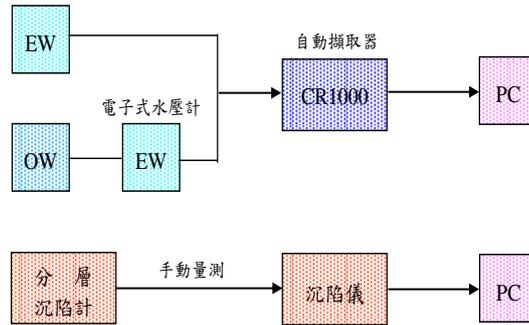


圖 4.1 系統與儀器架構流程圖

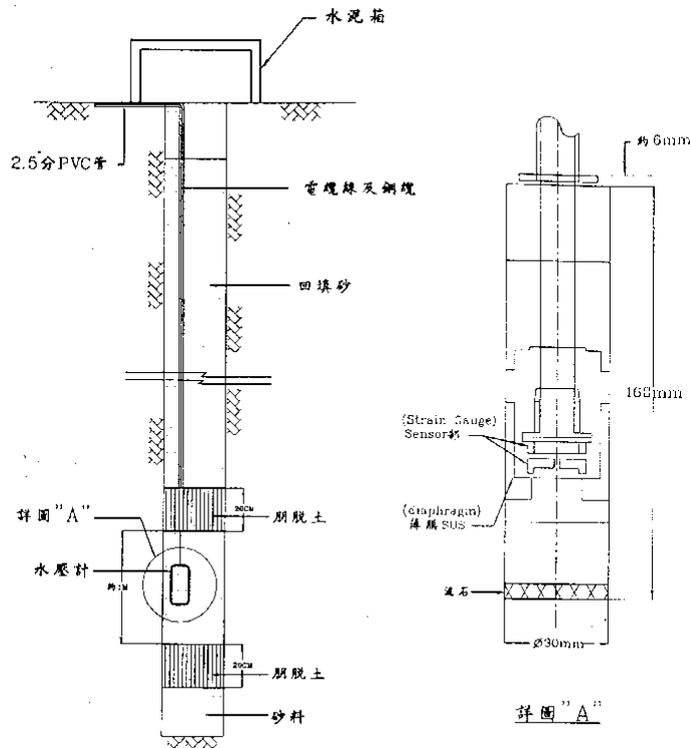


圖 4.2 電子式地下水壓計安裝示意圖

4.2.2 開放式水壓計

1. 安裝方式與電子式水壓計安裝步驟相同。
2. 當開放式水壓計完成保護措施後，先用水位指示器量測其自然水頭高，然後再將電子式水壓計安裝於水頭水位下 10 m 處，再將電纜線連線至觀測箱內便完成，其安裝示意圖如圖 4.3 所示。

4.2.3 地層分層沉陷觀測井^[16,17]

本沉陷井採用日本 DOBOKU 生產之磁感式沉陷環，磁環及安卡皆為防腐蝕不銹鋼材質，井管為南亞 2.5 分 PVC 管，為耐腐蝕及酸鹼材質，沉陷計安裝步驟如下：

1. 鑿井到達預定深度時，儘量清除孔內沉泥，靜置 1 小時後檢查孔深以作為安裝深度及沉砂管長度之依據。
2. 依據土層資料決定沉下磁環安裝位置，並將量測管安裝摩擦切管排列於地面，並依序編號及記錄長度，再固定沉陷磁環於預定安裝深度，並連接燃燒樹脂導線。
3. 於量測井管底部安裝沉砂管及止水活閥，以便量測導管順利及垂直下井，並於止水活閥處以鋼纜牽引，避免導管下放時因過重產生失敗。
4. 待量測井依序完成後，再利用燃燒樹脂機打開磁環，使安卡可順利固定於土壤上，便可進行回填工作，回填原料以河砂，慢慢回填以防崩孔造成量測管損害，所有作業完成後，便可進行孔口保護臺及洗孔作業，並待測孔穩定後設定初值。
5. 安裝示意圖如圖 4.4、4.5 所示。

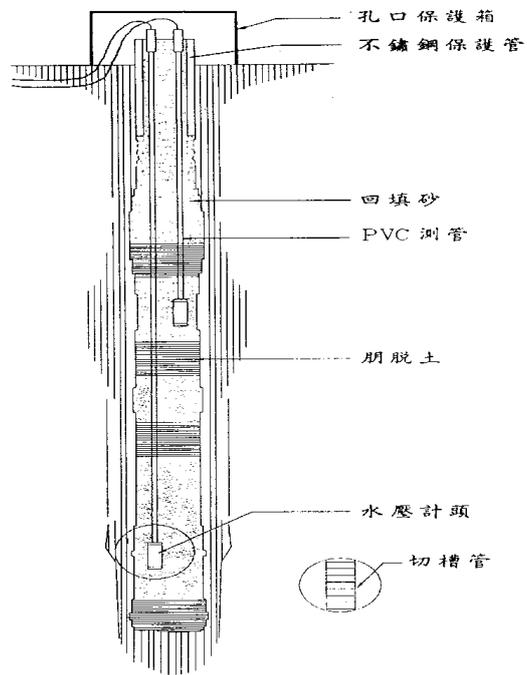


圖 4.3 開放式水壓計安裝示意圖

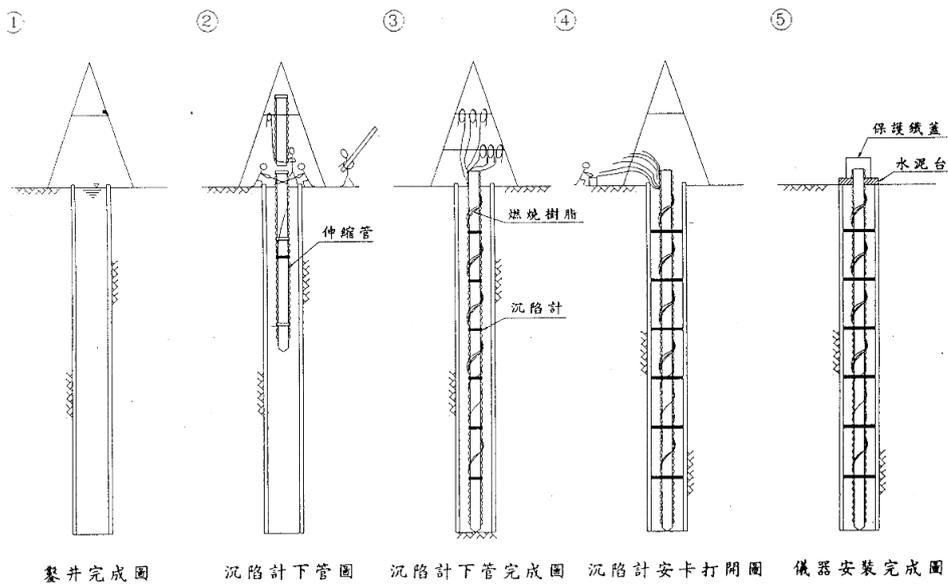


圖 4.4 沉陷計安裝示意圖

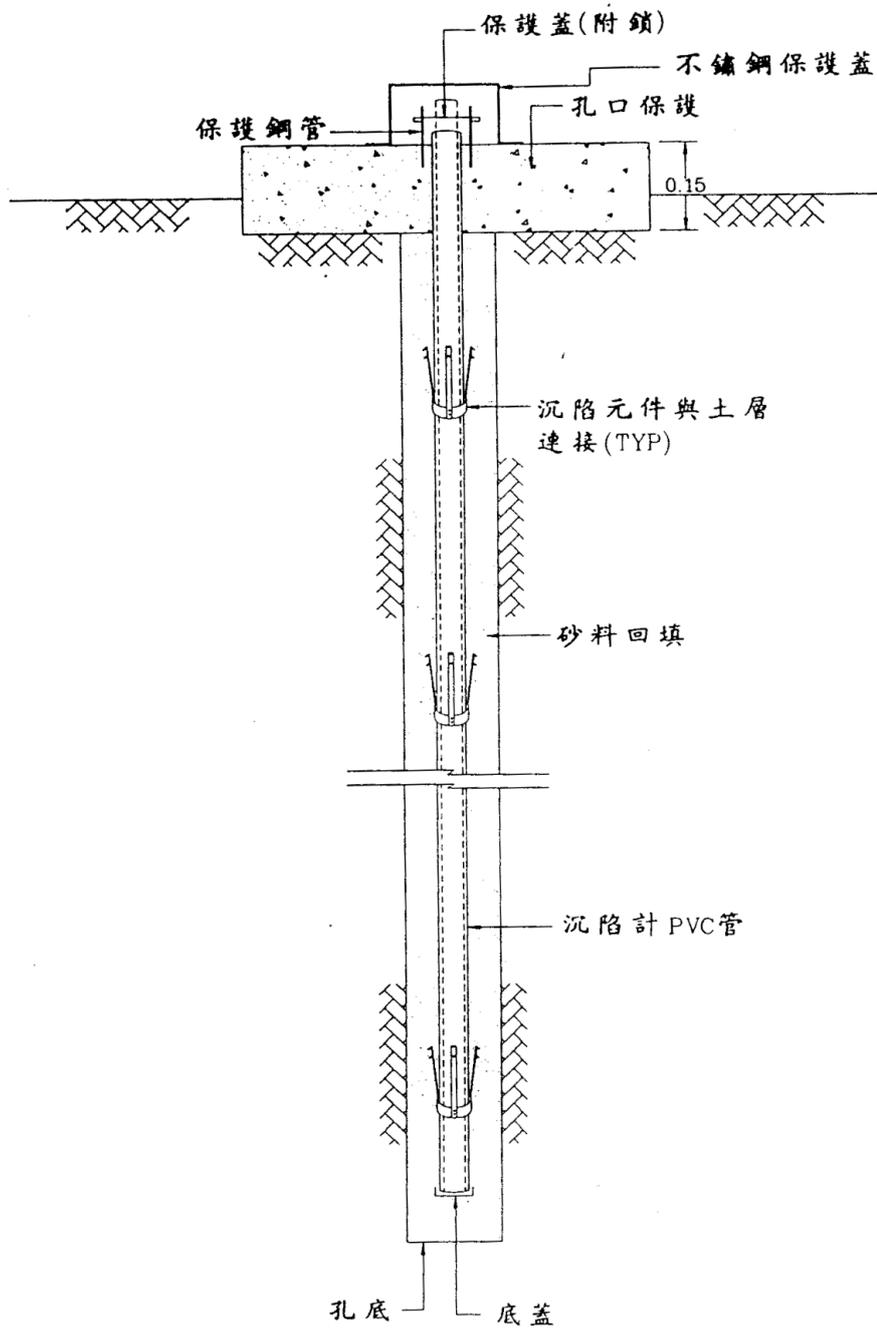


圖 4.5 磁感式層別沉陷計安裝示意圖

4.3 港區地層下陷監測^[18,22]

4.3.1 布袋港地層下陷監測站

本所港研中心自民國 86 年起逐年於布袋港港區設置下陷監測站，分別為 200m、300m、400m 共 3 個沉陷監測井，200m 監測井選擇位於港區第二期海埔地之西北角隅，300m 監測井位於商港近南堤之砂石碼頭區，400m 水準監測井於民國 92 年設於商港區的西北角隅，(如圖 4.6) [8,11,22]，分別敘述如下。

200m 監測井共有三孔，監測井之座標如表 4-1 所示，分別為分層沉陷監測井 1 孔，水壓監測井 2 孔(含電子式水壓計及開口式水壓計)，並採用自動及手動記錄方式，其內容如下：

1. 電磁場式分層沉陷監測井 1 孔，深度 200 m 安裝沉陷計感應環 18 個，感應環安裝深度如表 4-2 所示。
2. 電子式水壓監測井 2 孔。
3. 水壓監測井共有 7 組電子式水壓計，3 組安裝於鑽探試驗孔內，4 組安裝於開放式水壓計管口內，前 3 組其安裝深度為 131、68、44 m，開放式水壓計安裝深度為 178、143.5、105、34 m，電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10 m 處，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器，水壓計安裝深度如表 4-3 所示。



圖 4.6 布袋港地層下陷監測井位置圖

表 4-1 布袋港監測井座標高程一覽表(200m)

監測井編號	高程(m)	縱座標 N(m)	橫座標 E(m)
水壓井 OW-1	3.166	2587280.959	161254.669
水壓井 OW-2	3.498	2587281.740	161268.649
沉陷井 S-B	3.416	2587281.574	161264.043

表 4-2 布袋港沉陷計感應環安裝深度一覽表(200m)

序 號	埋設深度 (m)	序 號	埋設深度 (m)
S1	8.2620	S10	110.4515
S2	15.7775	S11	120.4515
S3	29.6330	S12	130.7385
S4	40.5855	S13	140.4410
S5	55.5480	S14	157.4565
S4	65.5430	S15	170.4380
S7	75.5140	S16	180.6975
S8	85.4690	S17	190.4455
S9	100.4705	S18	200.4735

表 4-3 布袋港地下水壓觀測站水壓計埋設資料表(200m)

儀器 編號	原廠編號	埋設深度	記錄器編號	初值 (飽和)	較正係數	水頭高 (管口)	備 考
OW-1	35549	44 m	CH2	27	0.00339	-	電子式水壓計
	35550	68 m	CH3	125	0.00331	-	電子式水壓計
	39332	131 m	CH5	-134	0.00680	-	電子式水壓計
OW-2	-	34 m	-	-	-	2.28m	開放式水壓計
	-	105 m	-	-	-	24.46 m	開放式水壓計
	-	143 m	-	-	-	24.81 m	開放式水壓計
	-	178 m	-	-	-	25.26 m	開放式水壓計
	120023	14.07 m	CH1	-70	0.00105	-	電子式水壓計
	25985	34.46 m	CH4	296	0.000673	-	電子式水壓計
	25987	34.81 m	CH6	147	0.000672	-	電子式水壓計
	25983	35.26 m	CH7	-315	0.000672	-	電子式水壓計

4.3.1.1 監測井地質分析^[2]

布袋港監測站在深度 200 公尺之土層，根據現場鑽探資料所示(如圖 4.7)，約可分為 24 個次層^[24]，分別簡述如下：

1. 棕黃色細砂(SP)：分布在地表下 0~9.5 m 深且含有貝屑，SPT-N 值為 8~17 間，表土層有 0.45 m 之回填礫石夾棕黃色細砂。
2. 灰色砂質沉泥(ML)：分布於地表下 9.5~11.6 m 深，其 N 值為 3 屬軟弱土層。
3. 灰色細砂(SP)：分布於地表下 11.6~14.1 m 深，其 N 值為 13 屬中等緊密土層。
4. 灰色細砂夾薄粘土層(SM+ML)：約分布於地表下 14.1~32.8 m 深，其 N 值為 7~24 之間，屬軟弱粘土及中等緊密砂土層。

5. 灰色細砂(SM)：分布於地表下 32.8~36.5 m 深，N 值平均為 25 之中等緊密土層。
6. 灰色粘土或砂質沉泥層(CL~ML)：分布於地表下 36.5~41.1 m 深，N 值為 12~16 之間，屬中等堅硬土層。
7. 灰色沉泥質細砂(SM)：分布於地表下 41.1~48.7 m 深，N 值為 41 之中等緊密土層。
8. 灰色泥質粘土至砂質沉泥(CL~ML)：分布於地表下 48.7~75.3 m 深，N 值為 15~34 之間，屬中等堅硬土層，其中於深度 52~52.5 m，58~60 m，64~66 m 為沉泥質細砂(SM)土層，N 值為 34~40 間之中等緊密土層。
9. 灰色泥質細砂含泥質粘土(SM+CL)：分布於地表下 75.3~82.4 m 深，N 值為 28~74 之間。
10. 灰色沉泥質粘土(CL)：分布於地表下 82.4~84.75 m 深，N 值為 40。
11. 灰色砂質沉泥(ML)：分布於地表下 84.75~87.2 m 深，N 值為 41。
12. 灰色沉泥質細砂(SM)：分布於地表下 87.2~91.15m 深，N 值為 45。
13. 青灰色沉泥質粘土(CL)：分布於地表下 91.15m~95.8 m 深，N 值為 28~36 之間。
14. 青灰色沉泥質細砂(SM)：分布於地表下 95.8~108.2 m 深，N 值為 50~77 時貫入土層為 4~9 cm。
15. 灰色泥質細砂含砂質粘土(CL+SM)：分布於地表下 108.2~115.2 m，N 值為 31 及 50 時貫入土層約 4 cm。
16. 灰色沉泥質細砂(SM)：分布於地表下 115.2~132.2 m，其 N 值為 60 時貫入土層 7cm。
17. 灰色粘土含泥質細砂(CL+SM)：分布於地表下 132.2~139.3 m，N 值為 100 時貫入土層約 13 cm。

18. 褐色或灰色粘土含沉泥質細砂(CL+SM)：分布於地表下 139.3~147.35 m 深，N 值為 30 時貫入土層約 3 cm。
19. 灰色粘土(CL)：分布於地表下 147.35~157 m 深，N 值為 50~60 時貫入土層約 38~40 cm。
20. 灰色沉泥(ML)：分布於地表下 157~164.35 m，N 值為 60 時貫入土層約 4 cm。
21. 灰色細砂含灰色粘土(SM+CL)：分布於地表下 164.35~170.15m 深，N 值在 60 時貫入土層約 4 cm。
22. 灰色粘土(CL)：分布於地表下 170.15~172.5 m 深，N 值在 100 時貫入土層約 7 cm。
23. 灰色細砂(SM)：分布於地表下 172.5~175.8 m 深，N 值在 100 時貫入深度約 7 cm。
24. 灰色粘土(CL)：分布於地表下 175.8~200 m 深，N 值為在 100 時貫入土層約 5~13 cm。

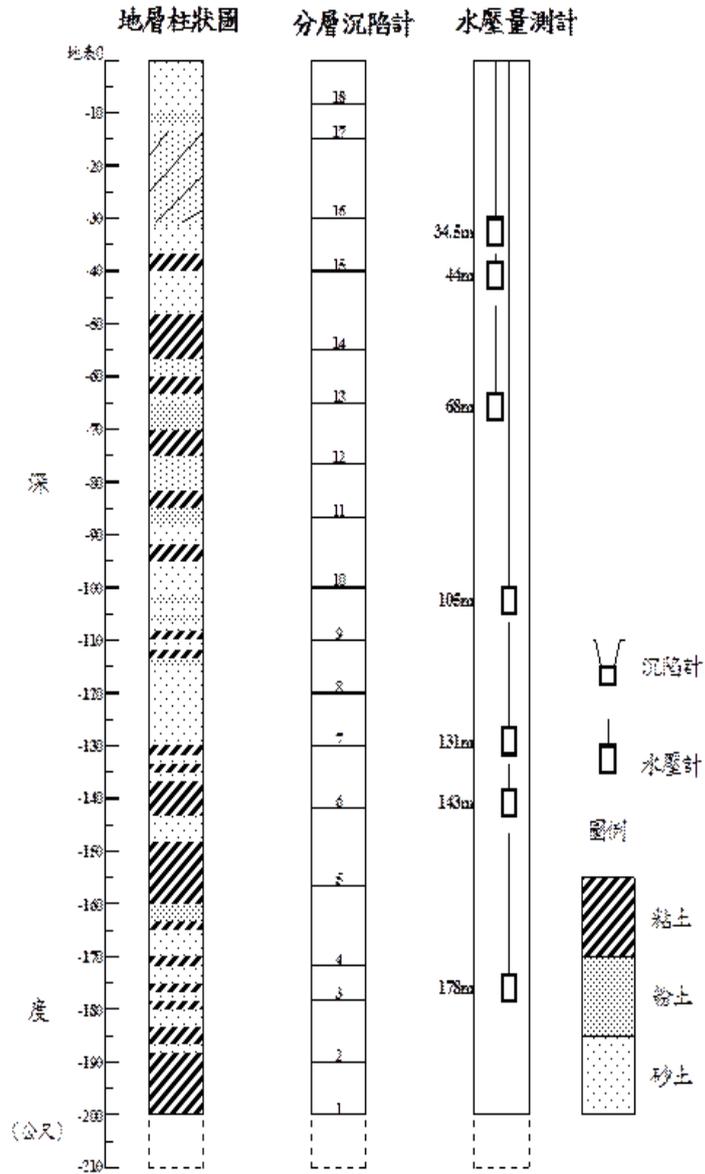


圖 4.7 布袋港地層下陷及水壓觀測站土層柱狀圖

4.3.1.2 地下水位分析^[13]

本所港研中心於布袋港區第二期海埔地之西北角隅設置一組 200m 深之地層下陷與水壓監測井，另於布袋商港近南堤之砂石碼頭區，亦設置一組 300m 深之地層下陷與水壓監測井。

(1)200m 深水壓監測井監測結果

200m 監測井共埋設 7 支水壓計，其深度分別為 34 m、44 m、68 m、105 m、131 m、143 m、178 m，自 86 年 7 月 22 日起至 110 年 10 月為自動量測系統資料，量測期間曾因儀器故障而資料中斷，茲將分層地下水壓 (t/m^2) 正規化為分層地下水位 (m) 以利比較(如圖 4.8a~圖 4.8d)。發生於民國 99 年 3 月 4 日 8 時 18 分的甲仙強烈地震，布袋港 200m 水壓自動監測站於 3 月 4 日中午 12 時亦成功的記錄到超額之孔隙水壓資料，如圖 4.8b。由圖 4.8d 顯示，200m 地下水位監測於 105 m 處之水位變化最大，近 3 年最高水位約-16.9 m，最低水位-約 26.4m，143 m 及 178 m 水位大小及變化亦很大，屬同一含水層，近 3 年最高水位約-17.1 m，最低水位-約 26.3m，其變化與 105m 處相似;由於 200m 監測井 34 m、105 m、143 m、178 m 之水壓計為開放式，故另採手動量測，手動量測自 86 年 4 月至 93 年 12 月止，每月定期量測一次，自 94 年 3 月起，改為每 2~3 個月量測一次，直到 99 年 1 月，因人力有限，故量測改為每季一次，自 86 年 4 月至 110 年 10 月止手動量測結果如圖 4.9a 及圖 4.9b 所示。

由圖 4.9a 及圖 4.9b 顯示，200m 地下水位監測於 105 m 處之水位變化最大，最高水位約-16.7 m，最低水位-約 27.67m(近 4 年最高水位約-17.6 m，最低水位-約 24.6m)，降雨量較少時，水位明顯降低。143 m 及 178 m 水位大小及變化亦很大，屬同一含水層，其最高水位為-17.8 m，最低水位為-26 m(近 4 年最高水位約-16.9 m，最低水位-約 24.7m)，其變化與 105m 處相似。

綜合各地層之地下水位資料，布袋港約可分為 4 個層次，34 m 水位為第 1 含水層之水位，44 m、68 m 水位為第 2 含水位，105 m 及 131 m 水位為第 3 含水位，143 m、178 m 水位為第 4 含水位。由水位變化現象顯示，第 1、2 層水位，可能地表水補注或較無超抽地下水，變化較小，第 3、4 層地下水位低且變化極大，超抽地下水現象明顯，而且以旱季時，水位相對較低，表降雨量減少時，超抽地下水更為嚴重。

(2)300m 深水壓監測井監測結果

選擇位於布袋港 300m 沉陷監測井旁之適當位置安裝兩孔深層水壓監測井，分別為 100 公尺及 300 公尺，每孔埋設四支水壓計，其深度為 35m、50m、85m、103m、150m、200m、250m、303m 共八支，並自 90 年 9 月起進行定期量測分層水位變化，如圖 4.10 資料顯示，自 90 年 9 月至 110 年 10 月止，35 及 50m 之水位介於-0.7~-3.5m 之間，屬淺層水位，85 及 103m 為較深層之水位介於-12.7~-24m 之間且屬同一含水層，其中以 91 年 5 月及 93 年 6 月之水位分別降至-22.4m 及-24.1m 變化較明顯，150m 及 200m 之水位介於-15.1~-23.3m 之間亦屬同一含水層，250m 深層之水位介於-15~-27m 之間，而 303m 之水位又屬另一含水層，其水位介於-14.4~-25m 之間變化，整體 300m 監測井自 94 年至 110 年，水位變化不大。

4.3.1.3 地層分層下陷分析^[5,10]

(1)200m 深地層下陷監測井監測結果

於布袋港區第二期海埔地西北角隅之位置，設立 200 m 深之分層地層下陷監測井，分別在深度 8、16、30、41、56、66、76、85、100、110、120、131、140、157、170、181、190、200 m 之位置安裝一個沉陷磁環，共 18 個磁環，每個月之中旬定期以無線電波感應式層別沉陷儀量測各沉陷磁環(精度:公厘)之相對移動變化量，資料值由鈹鋼尺上之刻度讀取，其最小刻度為公厘。

圖 4.11a~圖 4.11b 為不同時期不同深度之感應磁環相對於深度 200 公尺感應磁環之累積曲線比較圖，由圖顯示，從 86 年 2 月至 110 年 10 月之 24 年 8 個月期間，布袋港地表下 8m 至 200 m 間之沉陷總量約為 70cm，其中 56~85m 沉陷量約 10.5cm，佔總沉陷量約 15.2%，而壓縮量較大之地層為 140~200 m 之沉陷量約 33cm，佔總沉陷量約一半，近約 5 年(106 至 110)總沉陷量約 5.1cm，由此資料顯示，布袋港之沉陷屬於深層沉陷，且較 200 m 更深之處仍可能有沉陷發生，因此布袋港

之總沉陷量應比監測所量測之壓縮總量還大；經濟部水利署「108 年度地層下陷檢測成果報告」，嘉義地區 104 至 108 年地層下陷累積下陷總量約為 7.78cm^[28]，比對本所近約 5 年總沉陷量約 5.1cm，成果皆顯示布袋港區近年來地層下陷有趨緩現象。

(2)300m 深地層下陷監測井監測結果

另於商港近南堤之砂石碼頭區，亦完成設置 300 公尺深之地層下陷監測井，分別於深度 3、7、11、21、31、35、51、66、83、94、102、109、112、123、134、142、156、163、178、190、202、212、218、231、241、261、278、285、294、300m 之位置各安裝一個沉陷磁環，共計 30 個。圖 4.12 為民國 89 年 10 月至民國 110 年 10 月止，不同深度地層之個別壓縮量，可發現較深之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 66~83m，因屬粘土層故壓縮量較大。

由圖 4.13 分層觀測累積下陷量圖顯示，自 89 年 10 月~110 年 10 月止，約 21 年之累積總沉陷量約 96.4cm，設置初期與 93 當年因缺水故沉陷量較大，分別為 90 年沉陷 7.4cm、91 年沉陷 7.1cm、92 年沉陷 11.6cm 及 93 年沉陷 13.6cm，自 90 至 93 年止，四年期間共下陷 39.7cm^[11]，近 5 年(106 至 110)總沉陷量約 12.6cm。監測期間 90 年 8 月時該區進行鑿井，導致 90 年比 91 年沉陷量較大，92 年 2 月時該區再進行新填土約 2m，104 年 6 月時該區再進行新填土至約 6m，導致 92、93 年及 104 年沉陷增大許多。各分層沉陷量大約可區分為 7~66m、66~102m、102~190m、190~300m 等 4 個層次來分析，66~102m 之累積沉陷量為 25.6cm，約佔總沉陷量之 27%，102~190m 之沉陷量為 41cm 所佔比例為最大，約佔總沉陷量之 42.5%，190~300m 之沉陷量較少為 12.1cm，約佔總沉陷量不到 1.3%，綜合以上得知，66~190m 深度之累積沉陷量為 66.6cm，約佔總沉陷量之 69.1%，與 200m 深監測井監測結果比較，總沉陷量較大一些，主要是沉陷之深度不同。

4.3.1.4 水準基站分析

布袋港 400m 深之水準基站，自民國 92 年設置於商港區的西北角隅，為一個長期之地層下陷自動監測站，設定時間為每 6 小時自動記錄一筆，經監測結果，自 92 年 9 月至 110 年 6 月止，共 17 年 9 個月期間之總累積下陷量約為 49.2cm，近 5 年多(106 年 1 月至 110 年 6 月)總沉陷量約 9.1cm，與 300m 下陷量比對很接近，布袋港區近年來地層下陷有趨緩現象，如圖 4.14a 及 4.14b 所示，其中 92 年 9 月至 97 年 4 月累積下陷量約 17cm，98 年 7 月至 110 年 6 月之累積下陷量約 32.2cm，97 年 5 月至 98 年 7 月因儀器故障，缺少監測資料。

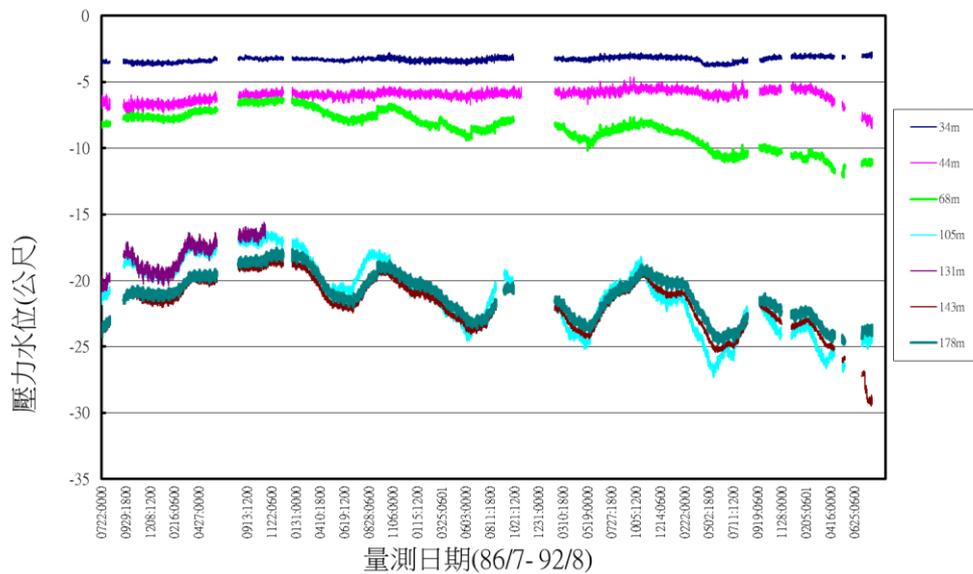


圖 4.8a 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(86/7-92/8 自記式)

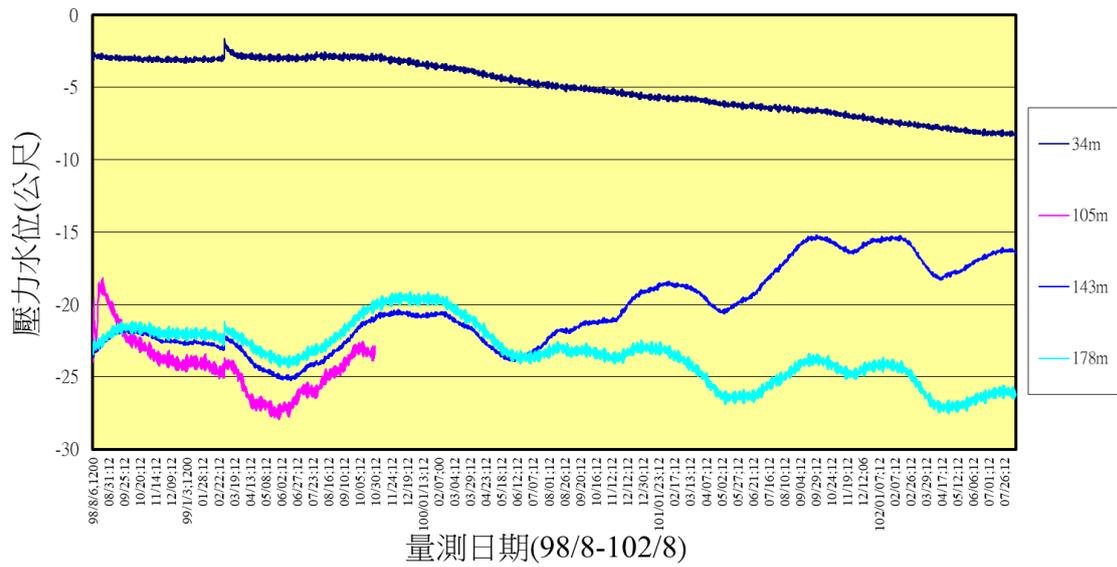


圖 4.8b 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(98/8-102/8 自記式)

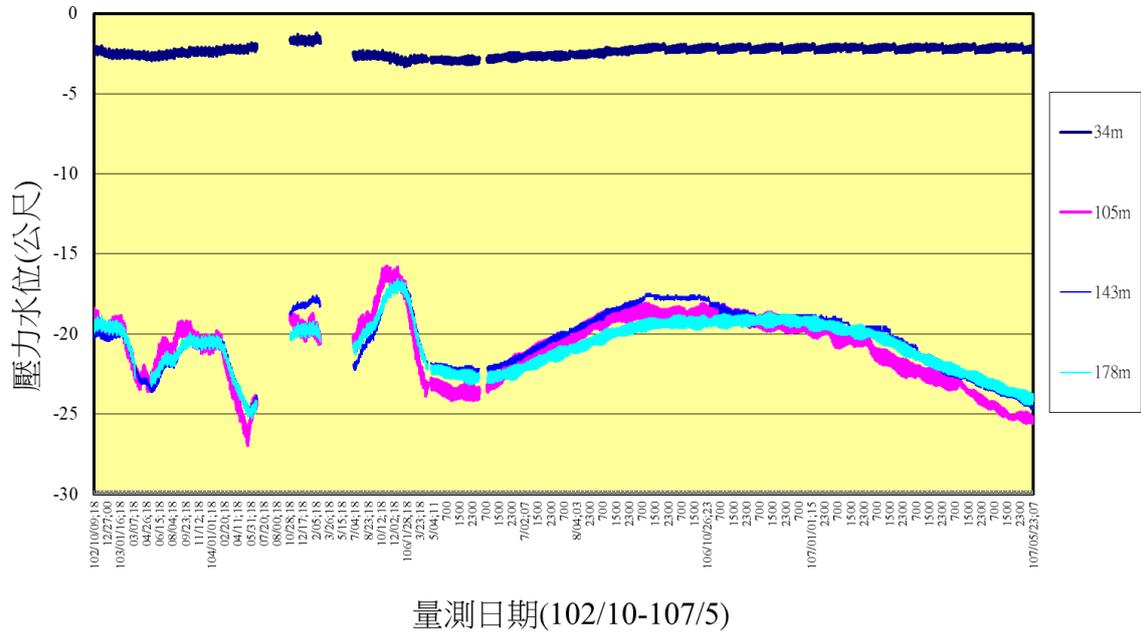


圖 4.8c 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(102/10-107/自記式)

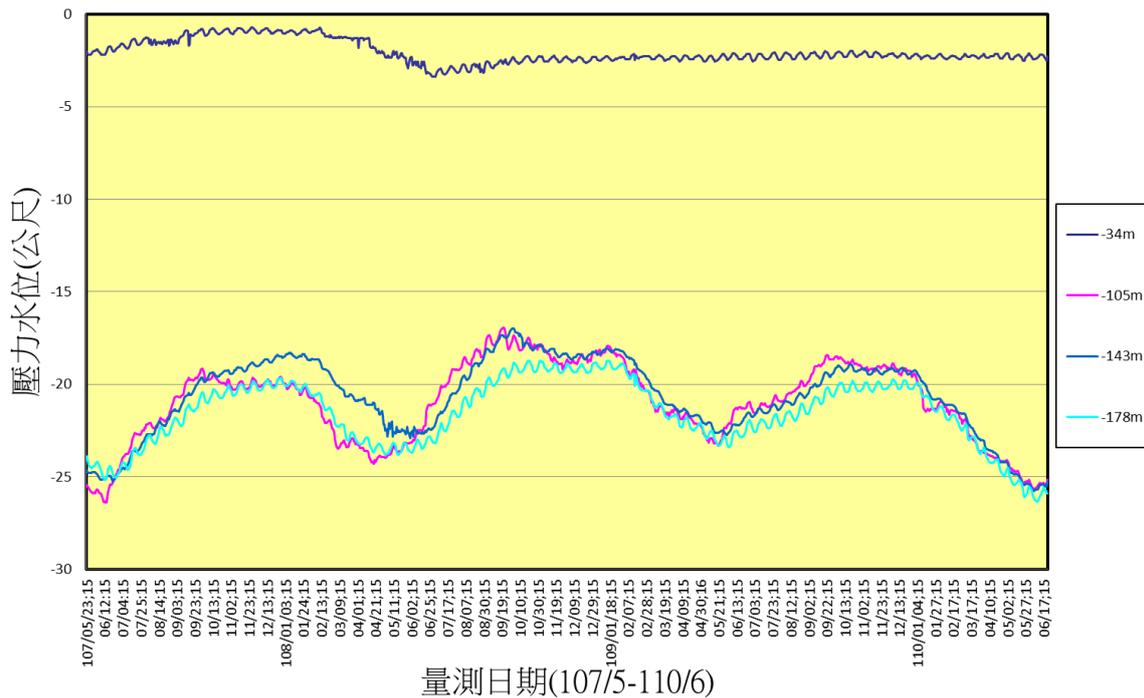


圖 4.8d 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(107/5-110/6 自記式)

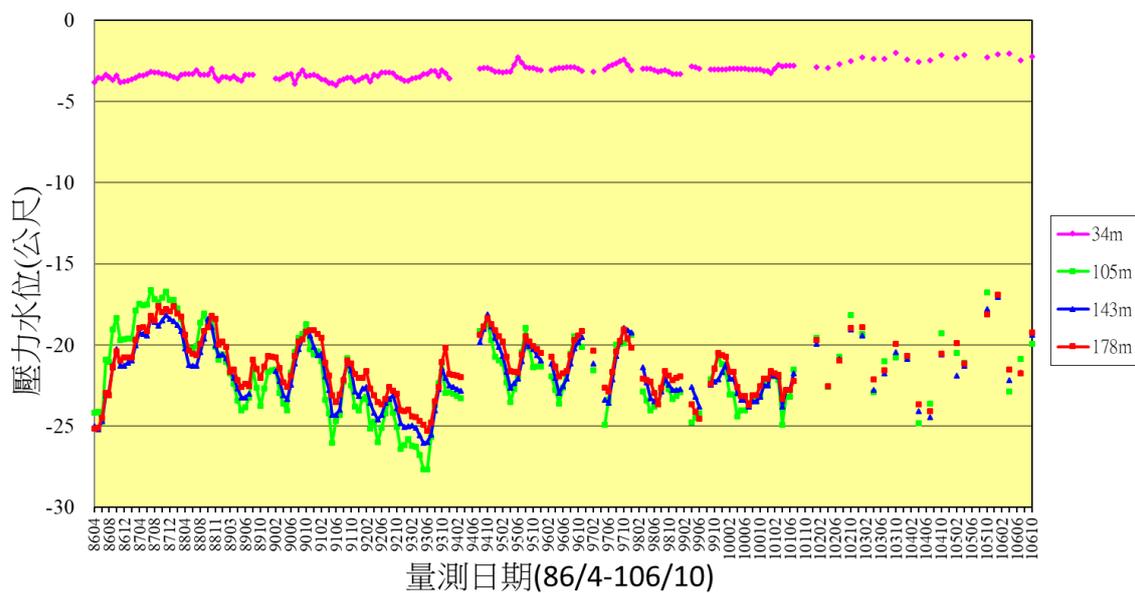


圖 4.9a 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(86/4-106/10 手動)

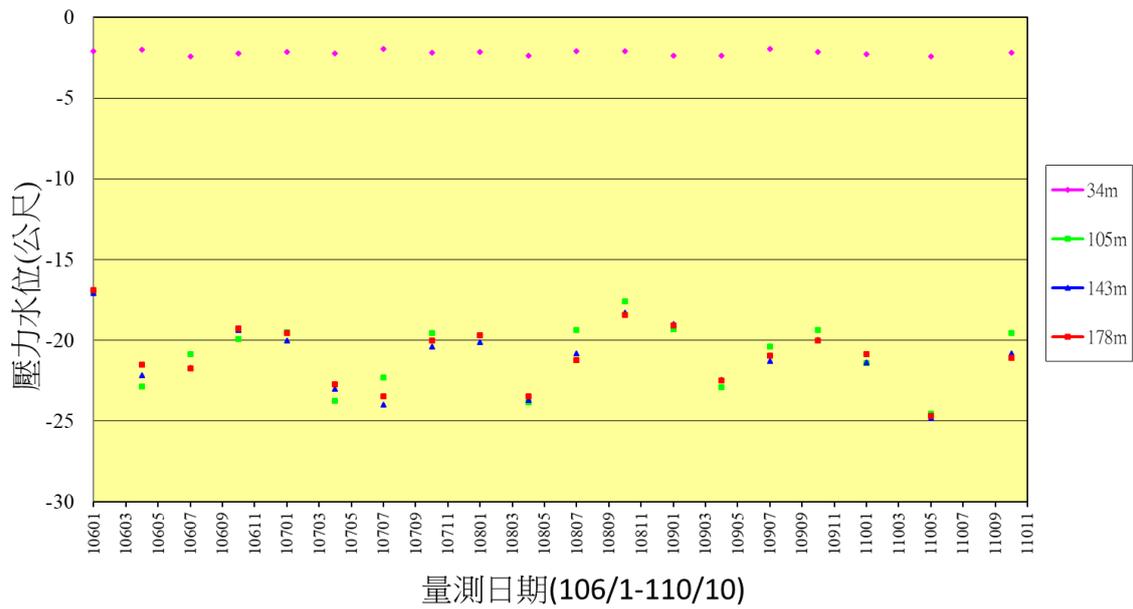


圖 4.9b 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(106/1-110/10 手動)

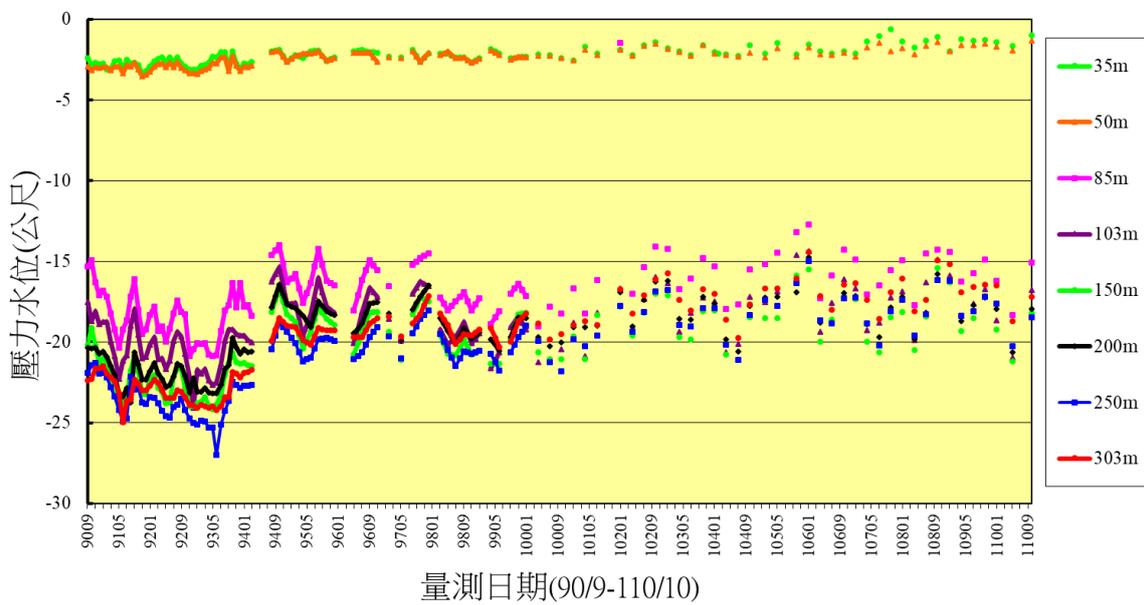


圖 4.10 布袋港 300m 深水壓監測井分層水位變化圖(90/9-110/10 手動)

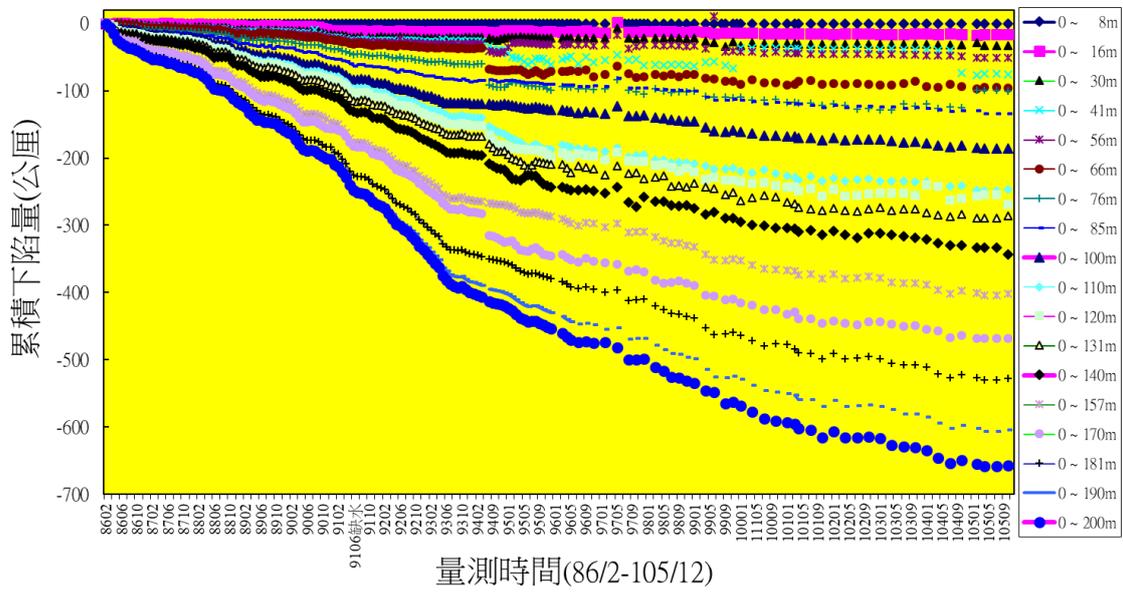


圖 4.11a 布袋港 200m 深水壓監測井分層累積下陷圖(86/2-105/12 手動)

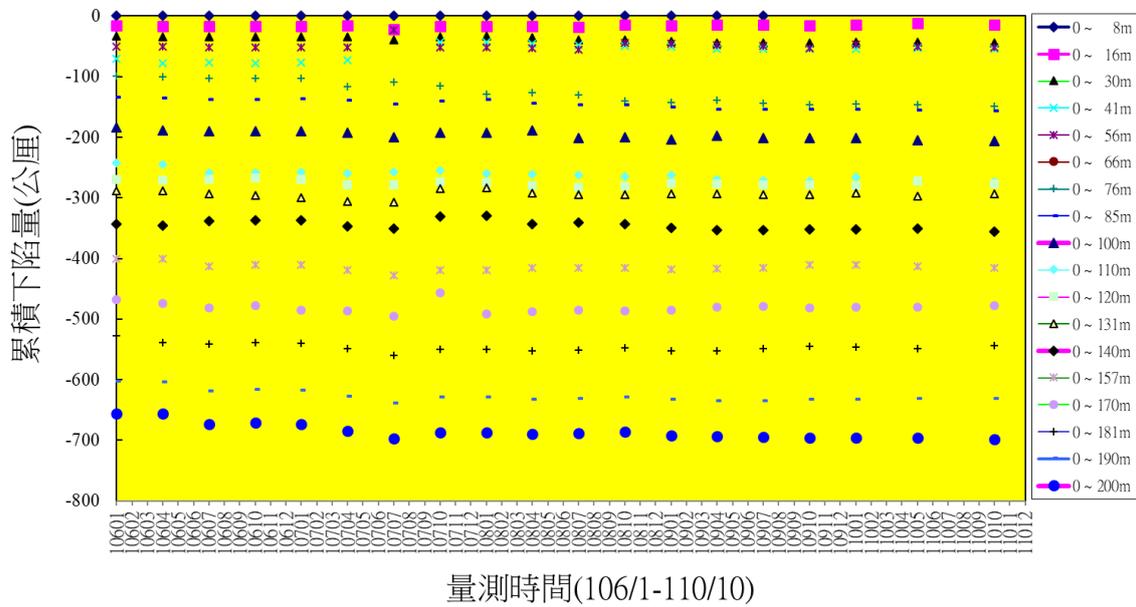


圖 4.11b 布袋港 200m 深水壓監測井分層累積下陷圖(106/1-110/10 手動)

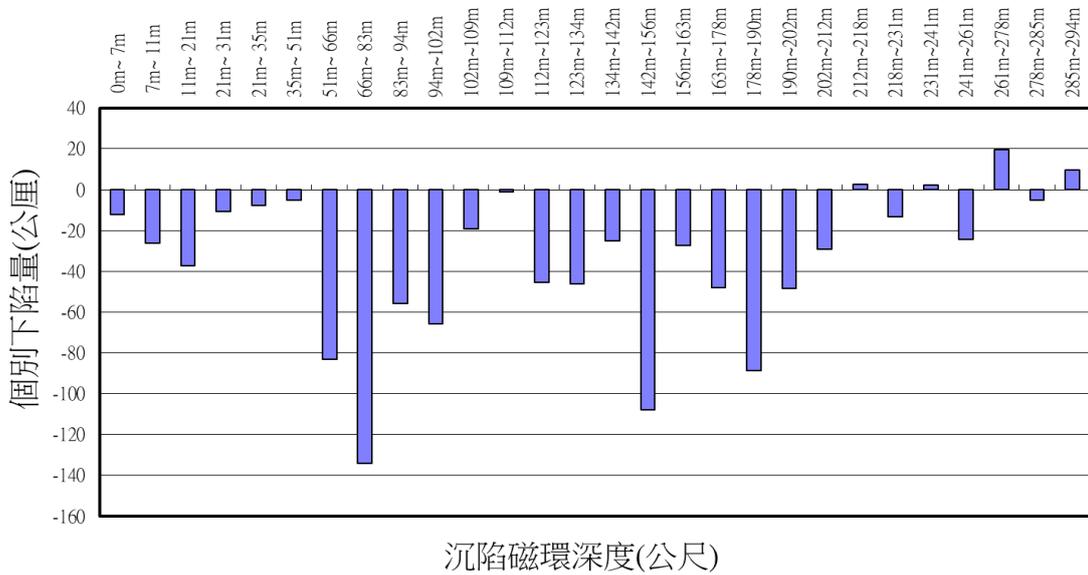


圖 4.12 布袋港 300m 深水壓監測井分層個別下陷量圖(110/10)

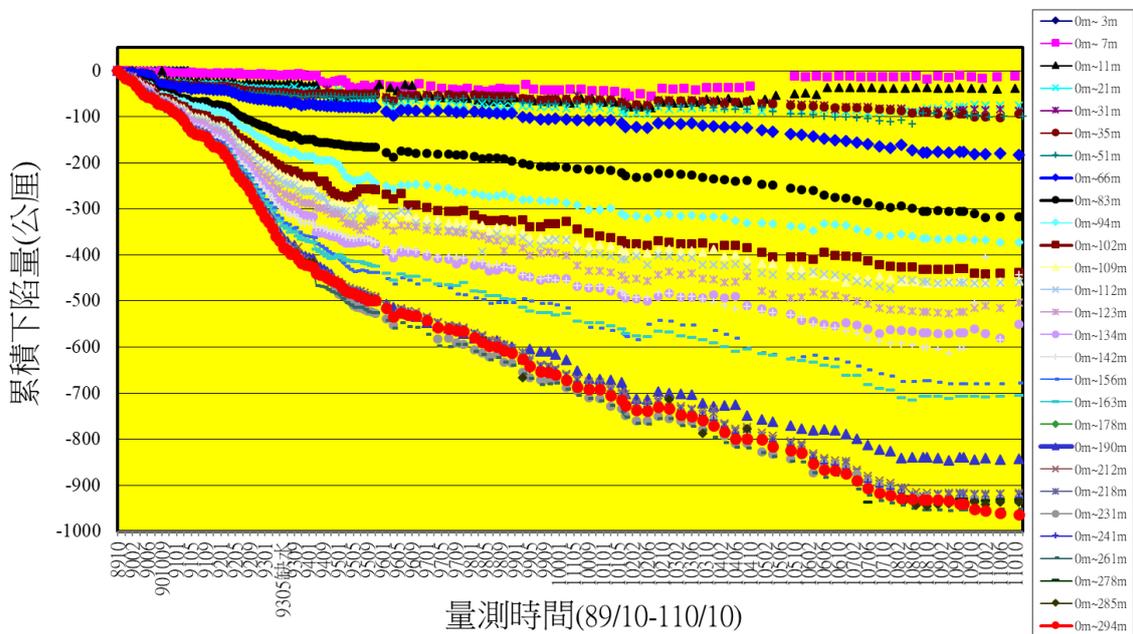
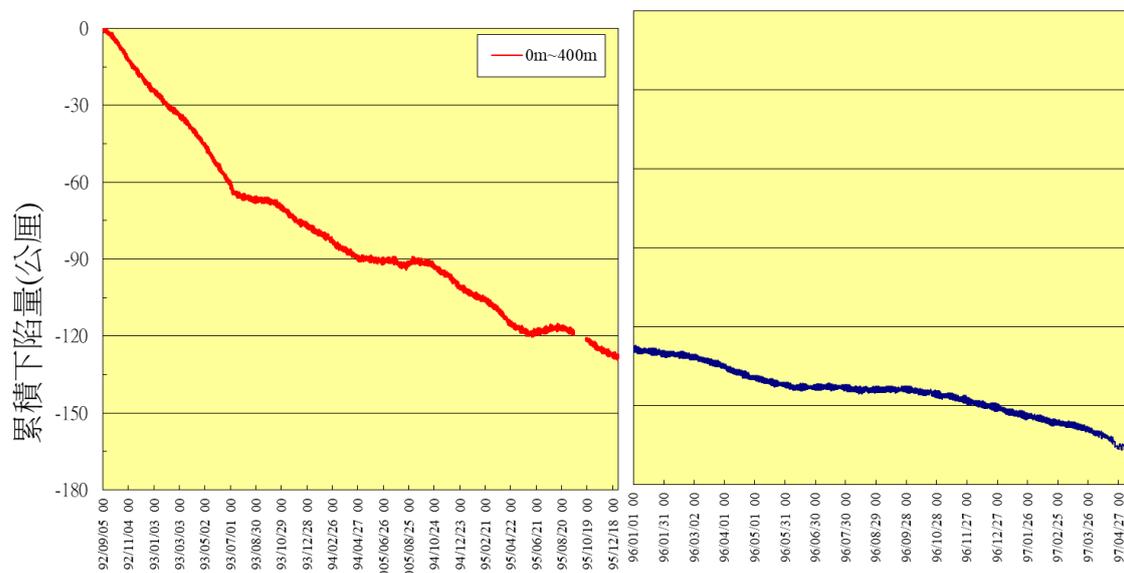
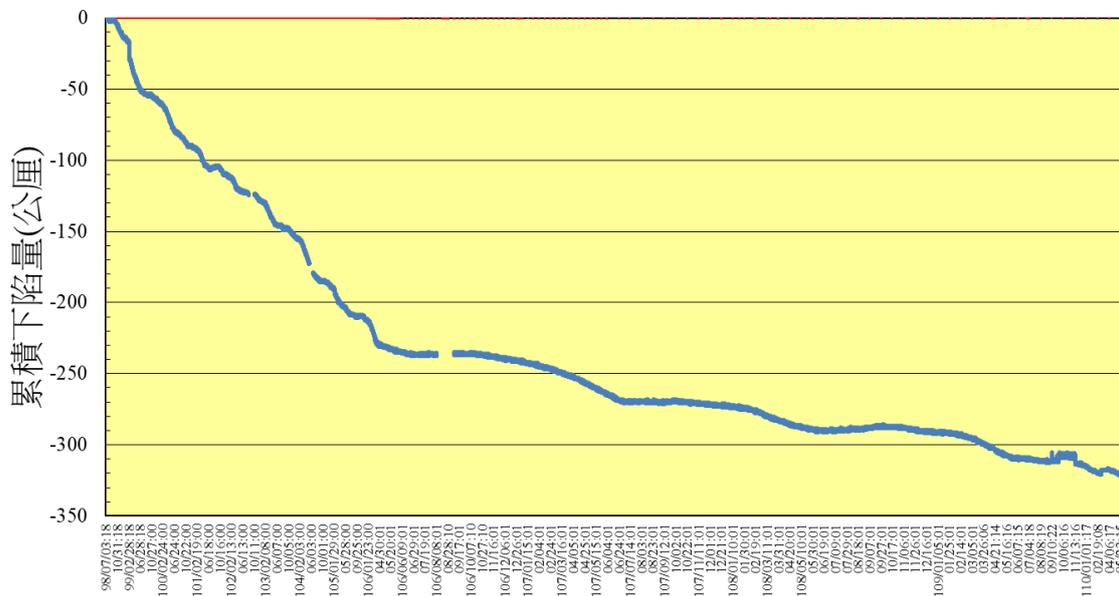


圖 4.13 布袋港 300m 深水壓監測井分層累積下陷量圖(89/10-110/10)



量測時間(92年9月~97年5月)-下陷17公分

圖 4.14a 布袋港 400m 深水壓監測井水準基準站累積下陷量圖(92/9-97/5)



量測日期(98/7-110/6)-下陷32.2公分

圖 4.14b 布袋港 400m 深水壓監測井水準基準站累積下陷量圖(98/7~110/6)

4.3.2 大鵬灣地層下陷監測站^[8]

本所港研中心於民國 87 年，選擇位於大鵬灣原青洲濱海遊憩區內，靠近南平海堤前端處之適當位置（如圖 4.15），設置下陷監測站。本監測井共計二孔，分別為分層沉陷觀測井 1 孔，水壓計觀測井 1 孔，可採用手動及自動方式記錄，其內容如下：

1. 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 193 m，安裝沉陷計感應環 23 個，深度如表 4-4 所示。
2. 電子式水壓計觀測井 1 孔，共有 5 組電子式水壓計，安裝於開放式水壓計管口內，開放式水壓計安裝深度為 202 m、142 m、105 m、58 m、35 m，而電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10 m 處，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器，水壓計埋設深度如表 4-5 所示。

表 4-4 大鵬灣沉陷計感應環安裝深度一覽表

序 號	埋設深度 (m)	序 號	埋設深度 (m)
S1	189.2	S13	109.1
S2	188.2	S14	104.1
S3	177.2	S15	101.2
S4	173.2	S16	90.1
S5	161.0	S17	62.2
S6	155.2	S18	55.2
S7	146.1	S19	51.3
S8	138.2	S20	31.3
S9	129.1	S21	26.4
S10	125.0	S22	3.7
S11	120.0	S23	0.6
S12	116.0		

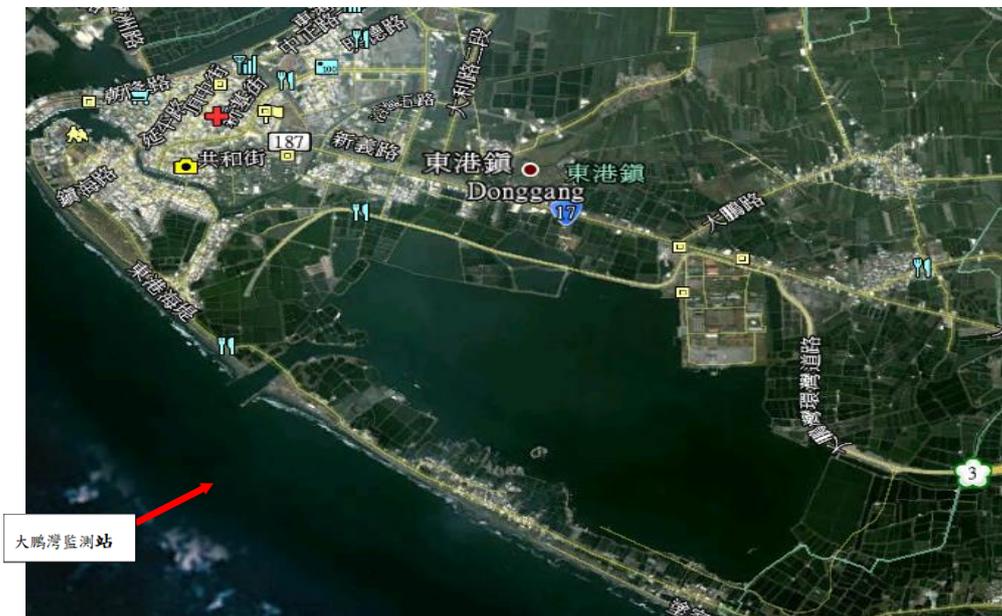


圖 4.15 大鵬灣地層下陷監測站位置圖

表 4-5 大鵬灣地下水壓觀測站水壓計埋設資料表

儀器 編號	原廠 編號	埋設 深度	記錄器 編號	初值 (飽和)	較正係數	水頭高 (管口)	備 考
EW	41894	13.73 m	CH1	242	0.000682		電子式水壓計
	41895	13.73 m	CH2	276	0.000647		電子式水壓計
	41897	15.26 m	CH3	225	0.000670		電子式水壓計
	41898	14.58 m	CH4	105	0.000671		電子式水壓計
	41896	17.85 m	CH5	245	0.000672		電子式水壓計
-	-	35 m	-	-	-	3.73 m	開放式水壓計
	-	58 m	-	-	-	3.73 m	開放式水壓計
	-	105 m	-	-	-	5.26 m	開放式水壓計
	-	142 m	-	-	-	4.58 m	開放式水壓計
	-	202 m	-	-	-	7.85 m	開放式水壓計

4.3.2.1 地下水位分析

於大鵬灣風景區西南角隅，埋設 202 公尺深之分層水壓觀測站，共埋設 5 支水壓計，其深度分別為 35 m、58 m、105 m、142 m、202 m，以手動及自動兩種方式進行量測，時間自 87 年 3 月 15 日起至 110 年 10 月止。其中 87 年 9 月 14 日至 10 月 30 日、88 年 7 月 13 日至 9 月 14 日及 89 年 10 月 17 日至 12 月 30 日止，因自動量測儀故障，而缺乏資料。由於水位井為開放式，改以手動量測水位，手動量測自 87 年 3 月開始，每月量測一次，99 年 1 月開始，每 3 個月量測一次，近 6 年(105 至 110)各分層水位約於-1.2~-4.5，109 年 8 月量測水位受到 8 月 2 日至 4 日豪雨侵襲，水位較 108 年同期略為升高，整體而言，水位皆會在乾季時逐步降回降雨前之穩定區間，其結果如圖 4.16a 及圖 4.16b 所示。

4.3.2.2 地層分層下陷分析^[7]

為了分析大鵬灣不同深度之地層壓縮行為，於水壓觀測站旁之位置，設立 200 m 深之分層地層下陷監測井，分別在深度 1、4、26、31、51、55、62、90、101、103、108、115、119、124、129、138、146、155、161、173、177、188、189 m 之位置安裝一個沉陷磁環，共 23 個磁環，以無線電波感應式層別沉陷儀量測各沉陷磁環之相對移動變化量，並分析不同深度地層之壓縮量，資料值由鈹鋼尺上之刻度讀取，其最小刻度為公厘。

圖 4.17a 及圖 4.17b 為不同時期不同深度之感應磁環相對於深度 200 公尺感應磁環之累積曲線比較圖，由圖顯示，從 87 年 3 月至 110 年 10 月止，共 23 年 7 個月期間，大鵬灣從地表至 189 m 間之沉陷總量約 15.3cm，近 5 年(106 至 110)總沉陷量約 1.3cm，而從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.7cm，佔總沉陷量約 70%以上，由此量測資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷；比對經濟部水利署「108 年度地層下陷檢測成果報告」，檢測成果顯示，屏東地區(大鵬灣附近)101 至 108 年地層下陷累積下陷總量大約為 10cm 以下^[28]，與本所 20 幾年量測總沉陷量，成果皆顯示沉陷量不大。

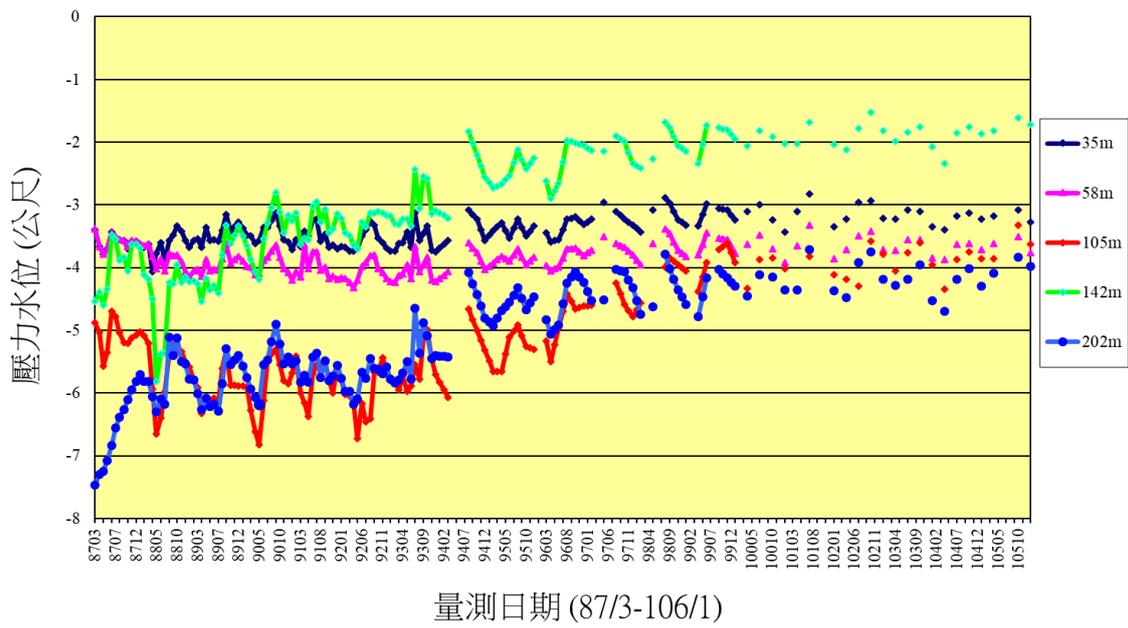


圖 4.16a 大鵬灣分層水位變化圖(87/3-106/1 手動量測)

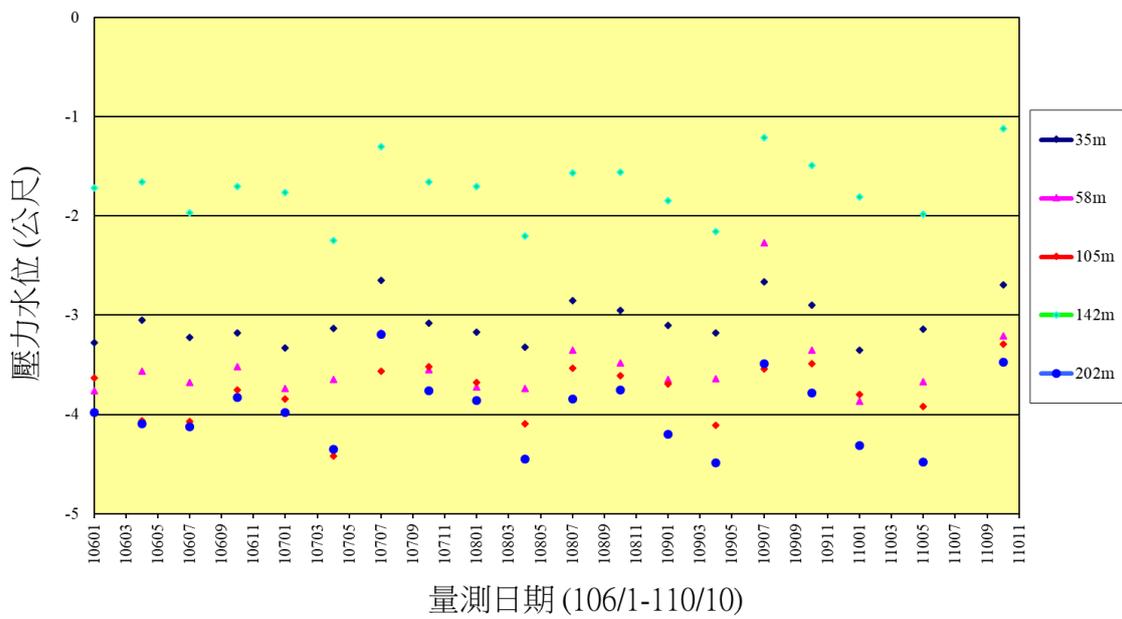


圖 4.16b 大鵬灣分層水位變化圖(106/1-110/10 手動量測)

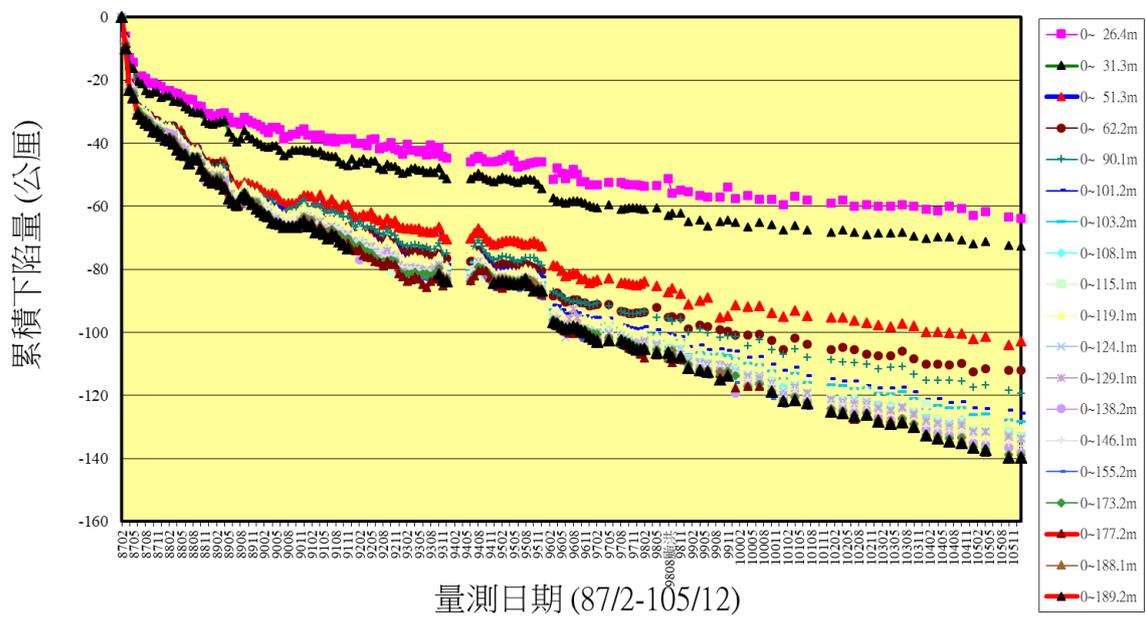


圖 4.17a 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(87/2-105/12)

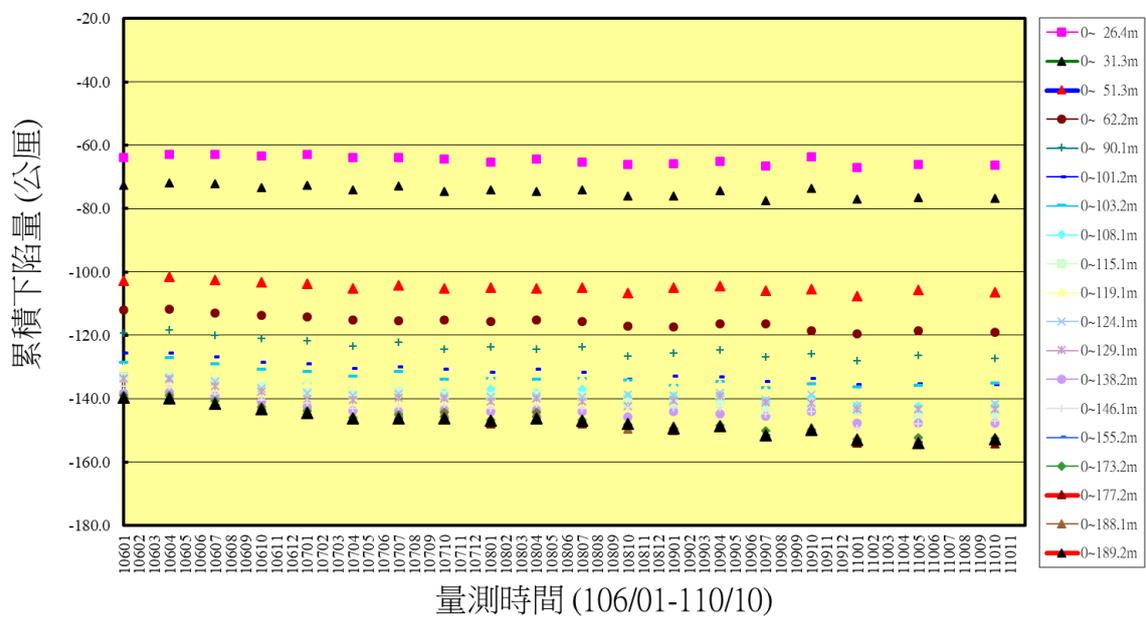


圖 4.17b 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(106/01~110/10)

4.3.3 臺中港地層下陷監測站

本所港研中心於民國 88 年，選擇位於臺中港區 26 號碼頭區綠地之適當位置(如圖 4.18) 設置監測站。本監測井共計二孔，分別為分層沉陷觀測井 1 孔，水壓計觀測井 1 孔(含電子式水壓計及開口式水壓計)，並採用手動及自動記錄方式，其內容如下：

1. 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 200 m，安裝沉陷計感應環 18 個，安裝深度如表 4-6 所示。
2. 電子式水壓計觀測井 1 孔，鑽探孔 173 m，監測井共有 5 組電子式水壓計，安裝於開放式水壓計管口內，安裝深度為 29、63、100、145、173 m，電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10 m 處，所有水壓計經由配管接至同一個自動記錄器。

表 4-6 臺中港沉陷計感應環安裝深度一覽表

序 號	埋設深度 (m)	序 號	埋設深度 (m)
S1	0.7	S11	139.1
S2	3.6	S12	157.2
S3	10.5	S13	164.3
S4	18.8	S14	179.8
S5	27.5	S15	182.5
S6	31.6	S16	189.8
S7	55.0	S17	199.7
S8	73.2	S18	200.7
S9	90.9	-	-
S10	110.4	-	-



圖 4.18 臺中港地層下陷監測站示意圖

4.3.3.1 地下水位分析

於臺中港之 26 號碼頭綠地區，設置 200 公尺深之分層水壓觀測站，共埋設 5 支開放式水壓計，其深度分別為 29 m、63 m、100 m、145 m、173 m，自動量測資料自 88 年 6 月 29 日起至 91 年 6 月 7 日止，因儀器故障而改以手動量測，於 108 年 6 月自動量測儀器修護，量測資料自 108 年 6 月起至 110 年 6 月止，各分層水位約於 -0.8~-5.8，其結果如圖 4.19a 所示。另手動量測自 88 年 7 月開始每月量測一次，94 年起改以每兩個月量測一次，97 年 8 月至 98 年 8 月因水位井卡管而缺記錄^[12]，100 年 1 月起改以每季量測一次，資料記錄截至 110 年 10 月止，近 5 年(105 至 110)各分層水位約於 -1.1~-4.4，整體而言，水位皆會在乾季時逐步降回降雨前之穩定區間，其結果如圖 4.19b 及 4.19c 所示。

臺中港因受到 921 大地震影響，導致港區 1~4 號碼頭有液化現象，地下水壓自動監測站亦取得當時記錄，如 88 年 9 月 21 日 00 時 00 分之各分層水位原約於 -3~-5 m，地震後 9 月 21 日 06 時 00 分之各分層水位約為 -0.2 m，因地震時間為 9 月 21 日 01 時 47 分，故印證各層水位是因地震後才上升^[15]。

4.3.3.2 地層分層下陷分析

於臺中港區第 26 號碼頭綠地之位置，設立 199 m 深之分層地層下陷監測井，分別在深度 0、3、10、18、27、31、54、73、90、110、138、157、164、179、181、189、199 m 之位置安裝一個沉陷磁環，共 17 個磁環。自 88 年 6 月開始以無線電波感應式層別沉陷儀進行量測，而 94 年 8 月起因儀器卡管，故累積沉陷量僅能自地表量測至 181m 深，累積總沉陷量至 110 年 10 月止約為 6.2cm，其中自 0m~90 m 深之沉陷量約 4.9cm，佔總沉陷量約 79%以上，其間以 88 年 9 月至 10 月，因地震產生之總沉陷量 3.2cm 最多，近 6 年(105 至 110)總沉陷量約 0.4cm，如圖 4.20 所示。

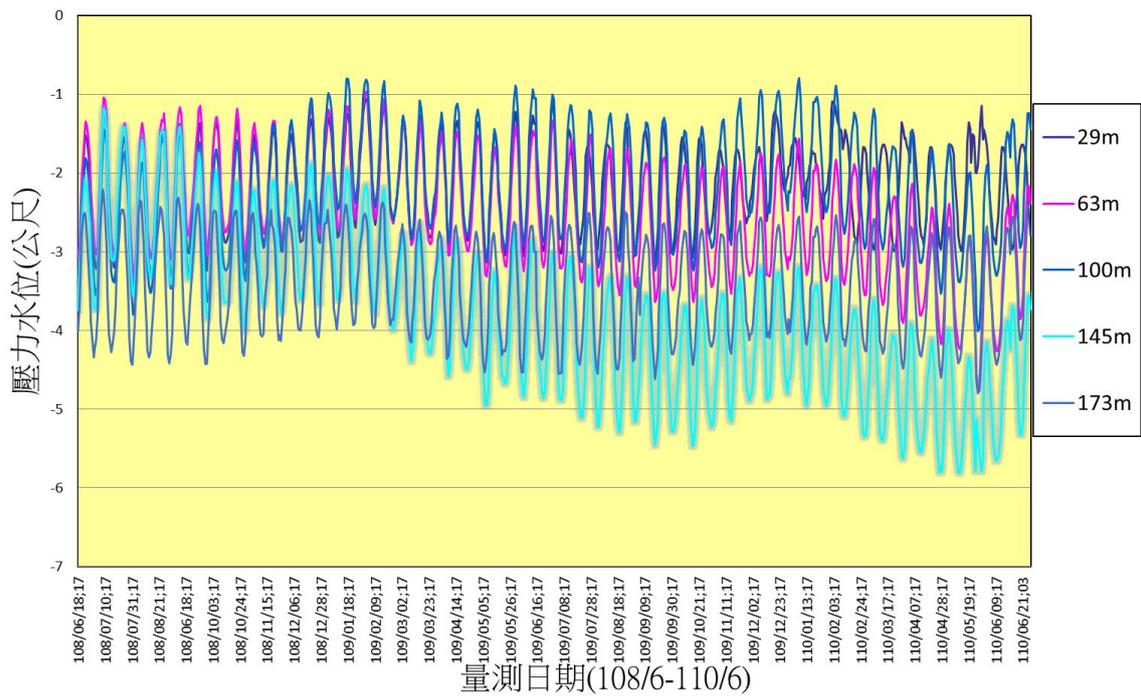


圖 4.19a 臺中港分層水位變化圖(108/6-110/6 自動量測)

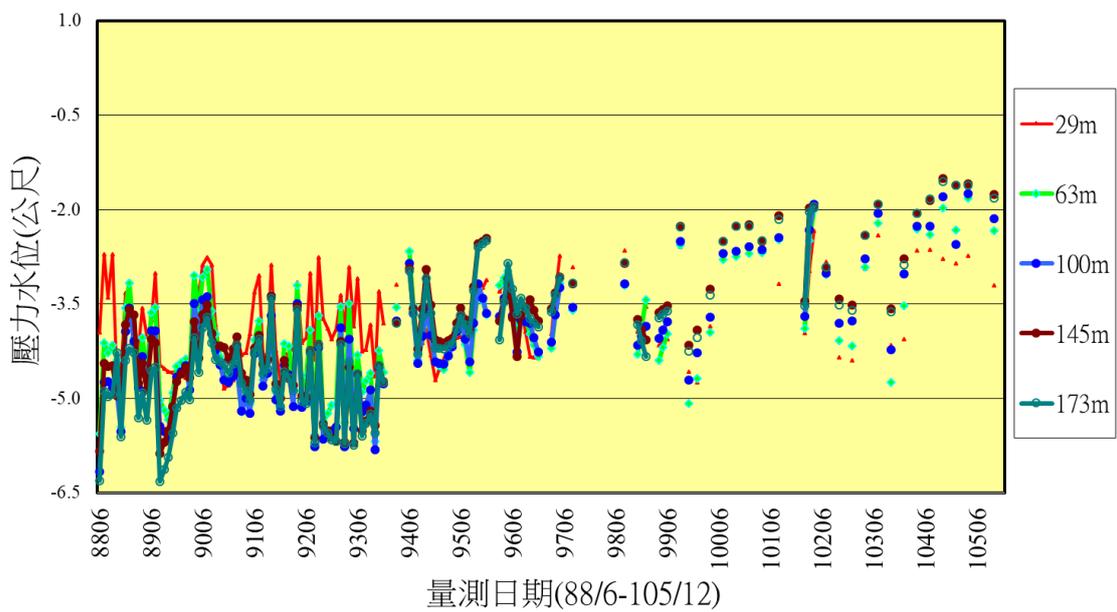


圖 4.19b 臺中港分層水位變化圖(88/6-105/12 手動量測)

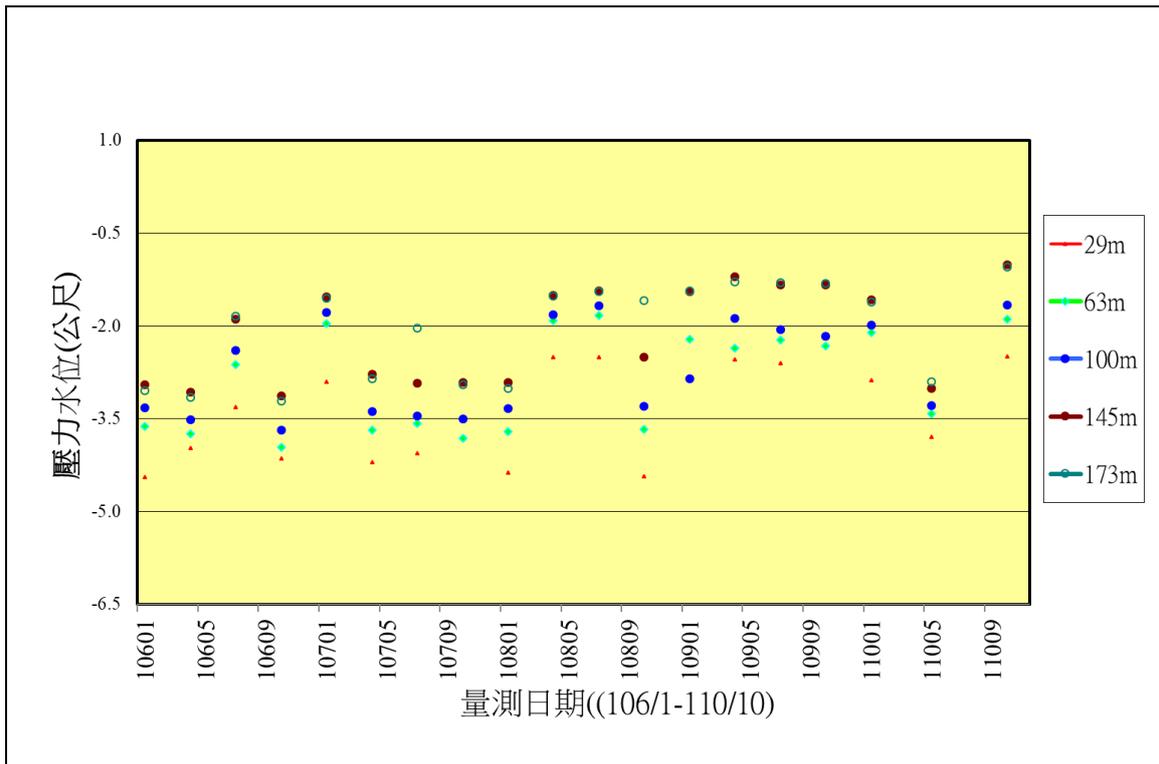


圖 4.19c 臺中港分層水位變化圖(106/1-110/10 手動量測)

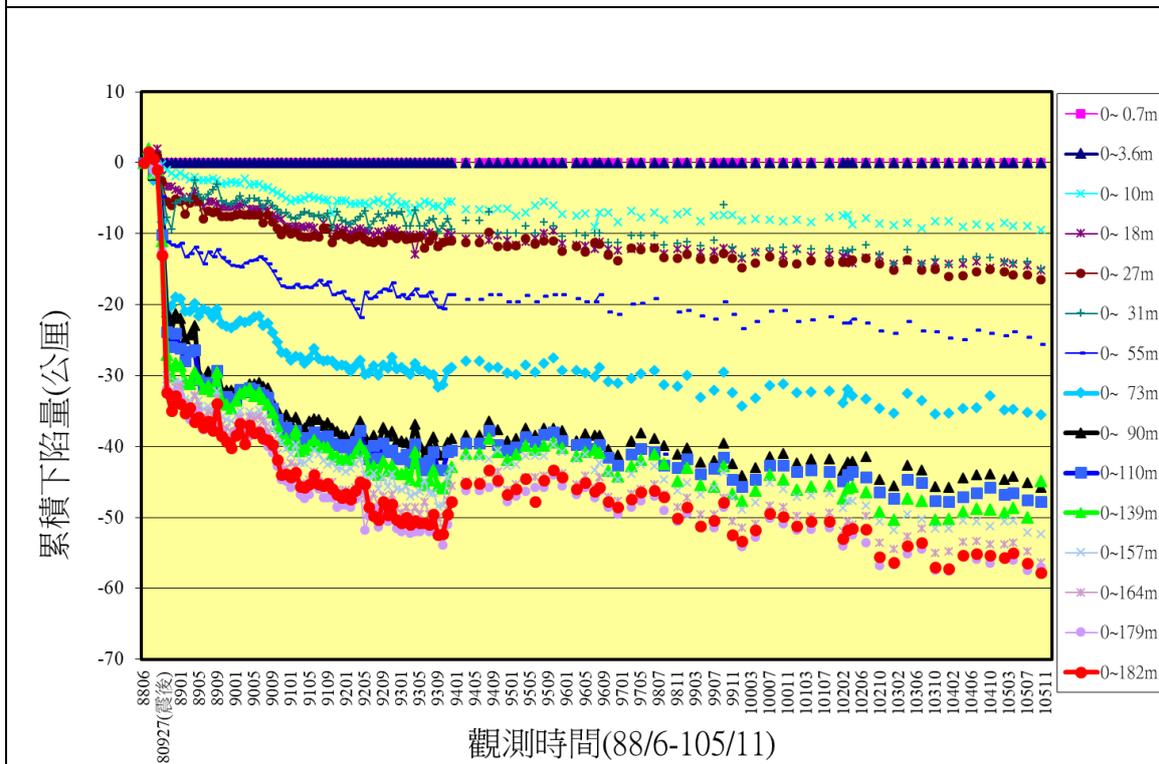


圖 4.20a 臺中港分層累積下陷量圖(200m 88/6-105/11)

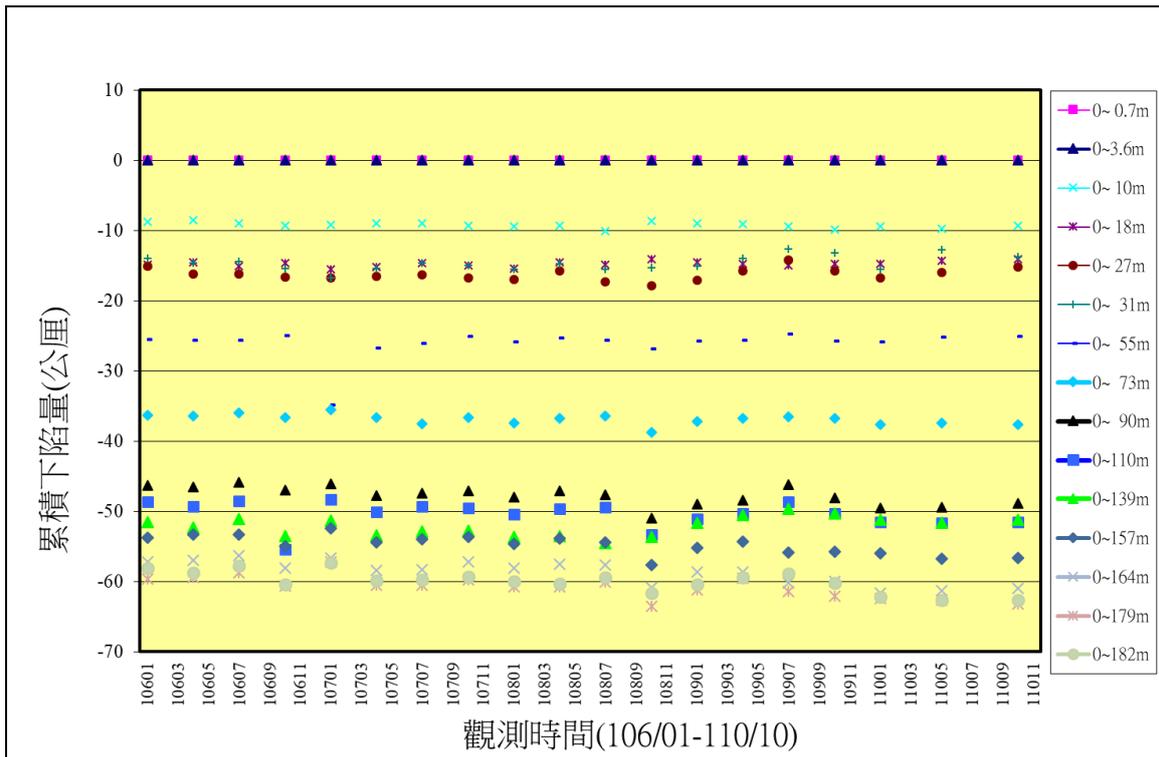


圖 4.20b 臺中港分層累積下陷量圖(200m 106/1-110/10)

4.3.4 安平港地層下陷監測站^[9,12]

本所港研中心於民國 88 年，選擇位於安平港港區第 18、19 號碼頭後線綠帶區設置下陷監測站，其地點如圖 4.21 所示。

監測井共計二孔，電磁場式分層沉陷觀測井及電子式水壓計觀測井各 1 孔，水壓計觀測井可採用手動及自動方式記錄，其內容如下：

1. 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 250 m，安裝沉陷計感應環 22 個，安裝深度如表 4-7 所示。
2. 電子式水壓計觀測井 1 孔，本水壓監測井共有 5 組電子式水壓計，安裝於開放式水壓計管口內，開放式水壓計安裝深度為 187、145、105、75、40.5 m，而電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10 m 處，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器。



圖 4.21 安平港地層下陷監測站位置圖

表 4-7 安平港 18~19 號碼頭沉陷磁環安裝深度表

序 號	埋設深度 (m)	序 號	埋設深度 (m)
S1	249.5	S12	110.6
S2	248.8	S13	94.3
S3	239.8	S14	79.9
S4	231.4	S15	56.0
S5	221.2	S16	52.6
S6	211.2	S17	40.2
S7	200.5	S18	30.8
S8	181.0	S19	20.8
S9	175.0	S20	10.9
S10	150.0	S21	3.8
S11	134.0	S22	0.6

4.3.4.1 地下水位分析

於安平港之 18-19 號碼頭綠地區，埋設 200 公尺深之分層水壓觀測站，共埋設 5 支開放式水壓計，其深度分別為 40 m、75 m、105 m、145m、182 m，自 88 年 7 月開始量測，每月量測一次，99 年 1 月起，每 3 個月量測一次，從 88 年 7 月至 110 年 10 月之 22 年期間，其結果如圖 4.22a 及圖 4.22b 所示，各地層之地下水位，40 m 及 75 m 為第 1 含水層之水位，105 m 為第 2 含水層，145m 為第 3 含水層，182 m 為第 4 含水層，由水位變化顯示，第 1 含水層之 40 m 及 75 m 含水層之水位變化較大，超抽地下水現象明顯，第 2 含水層之 105m 含水層之水位變化不大，第 3、4 層之 145m 及 182 m 之水位變化較大，唯水位不降反升，顯示此層水位有回補現象。整體來說，安平港附近地區自 96 年至 110 年期間，應沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上下變動現象。

4.3.4.2 地層分層下陷分析

於安平港之 18-19 號碼頭綠帶地區，設立 250 m 深之地層分層下陷監測井，分別在深度 0.6、4、10、20、30、40、52、55、79、94、110、133、149、174、180、200、210、220、230、239、248、249 m 之位置安裝一個沉陷磁環，共 22 個磁環，自 88 年 7 月開始定期以無線電波感應式層別沉陷儀量測各沉陷磁環之相對移動變化量，求得不同深度土層之壓縮量，鋼鋼尺讀數之最小刻度為公厘^[8]。

安平港於不同時期不同深度之感應磁環相對於深度 200 公尺感應磁環之累積曲線比較圖，如圖 4.23a 及 4.23b 所示，從 88 年 7 月至 110 年 10 月之 22 年期間。安平 18-19 號碼頭區地表下 0 m~200 m 間之沉陷總量約為 9.95cm，而其中 0~31 m 之沉陷量約為 6.7cm，約佔總沉陷量之 67%以上，近 6 年(105 至 110)總沉陷量約 0.6cm，由資料顯示，安平港 18-19 號碼頭區之沉陷屬於淺層沉陷；比對經濟部水利署「108 年度地層下陷檢測成果報告」，臺南地區 104 至 108 年地層下陷檢測成果顯示，臺南地區近年沉陷量大多已低於 1cm^[28]，與本所量測結果一

致，沉陷量不大。

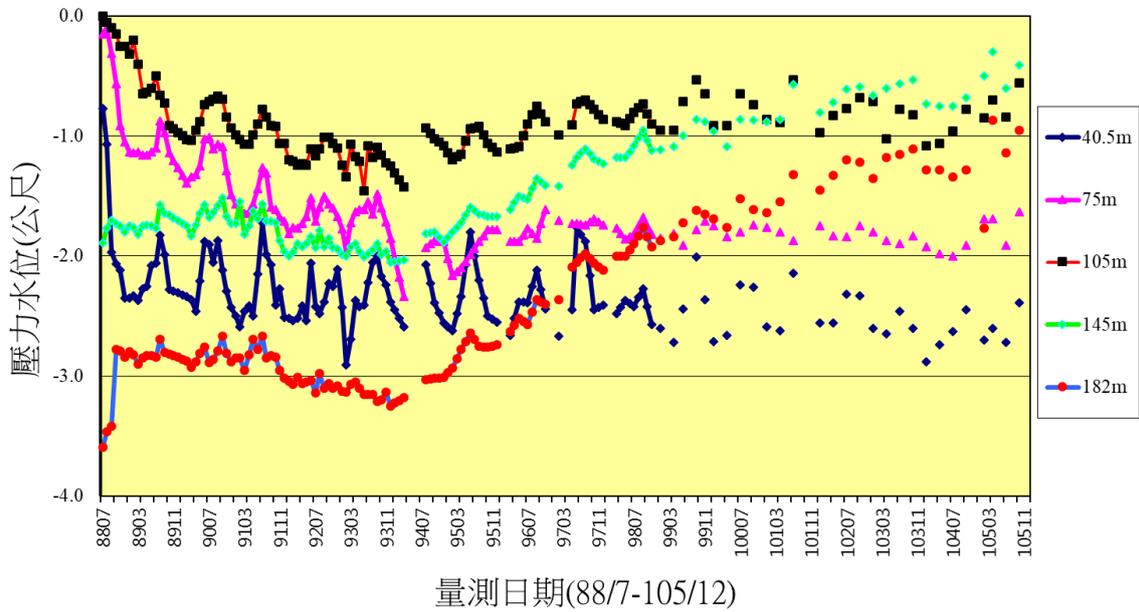


圖 4.22a 安平港分層水位變化圖(手動量測 88/7~105/12)

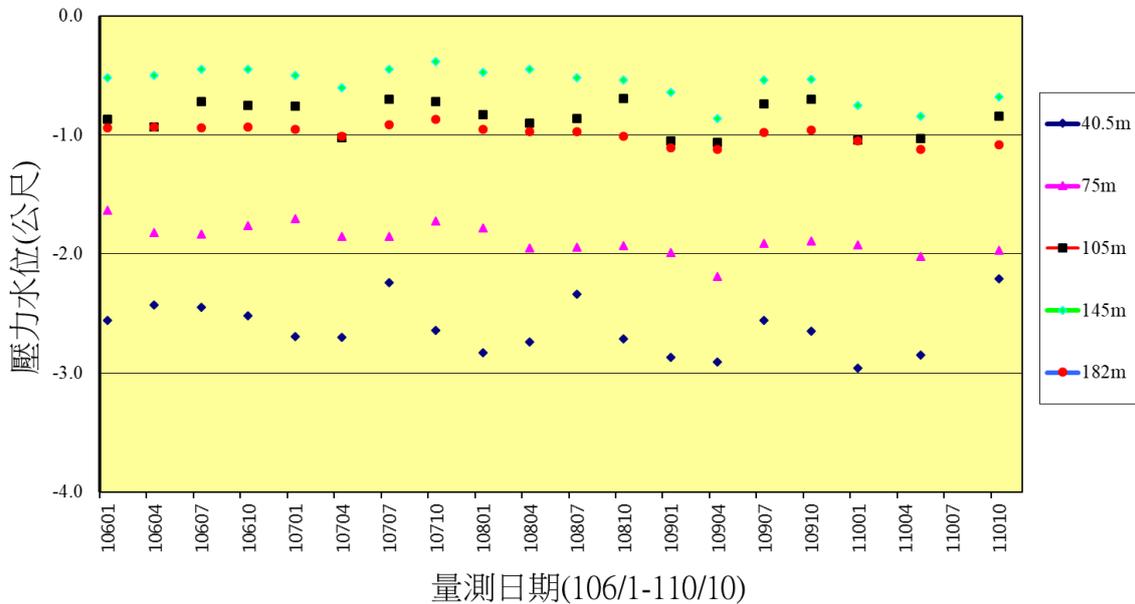


圖 4.22b 安平港分層水位變化圖(手動量測 106/1~110/10)

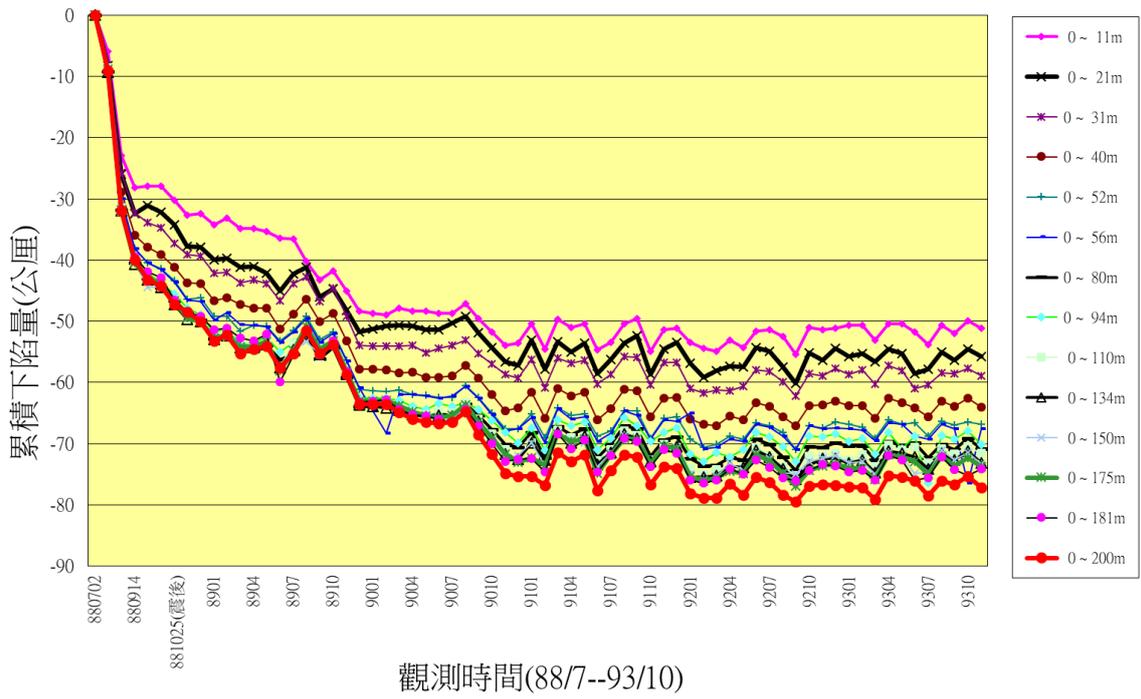


圖 4.23a 安平港地層分層下陷觀測圖(手動量測 88/7~93/10)

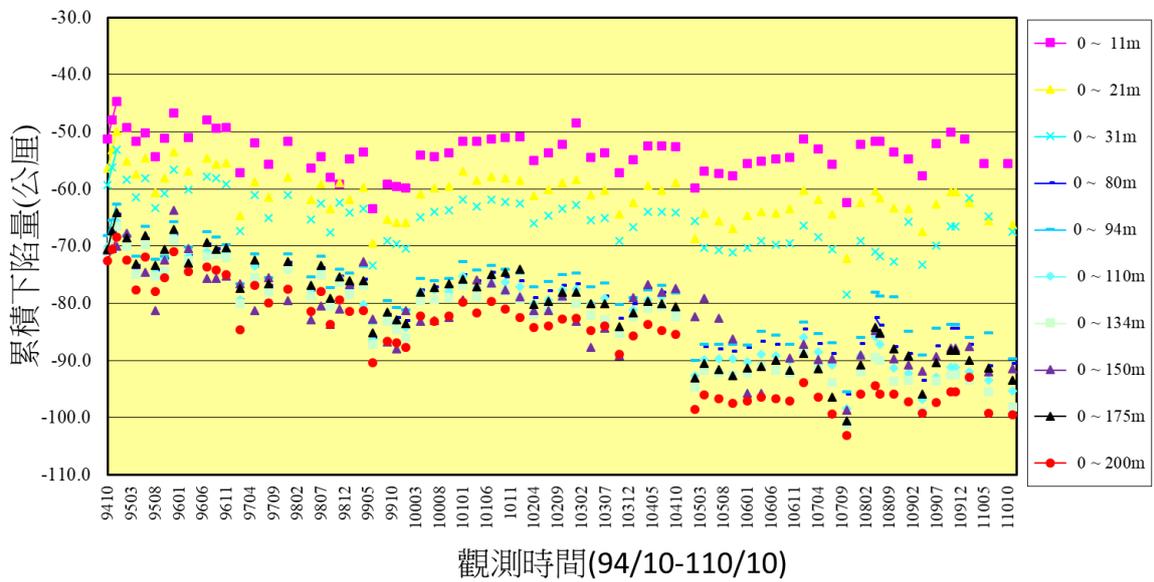


圖 4.23b 安平港地層分層下陷觀測圖(手動量測 94/10~110/10)

4.4 歷年地層下陷監測成果

4.4.1 西南沿海地區地層下陷

造成港灣地區地層下陷可能原因眾多，如本章 4-1 所描述，目前台灣西南沿海地區也有類似地層下陷問題，濁水溪沖積扇歷經多次的海岸變遷，使得陸相與海相地層呈現如犬牙交錯的沉積情況，如圖 4.24 所示，以複合含水層與阻水層組合為主。而地層下陷問題尤其以雲林地區為劇，依水利署 109 年度地層下陷檢測資料^[25]，更顯示雲林地區地層目前顯著下陷面積 103.8 平方公里，最大下陷速率 5.5 公分/年，嚴重影響公共工程之安全。因氣候變遷及超量抽水使得地下孔隙水壓降低，引致之地盤下陷問題為全球沖積土層常見之大地工程問題。

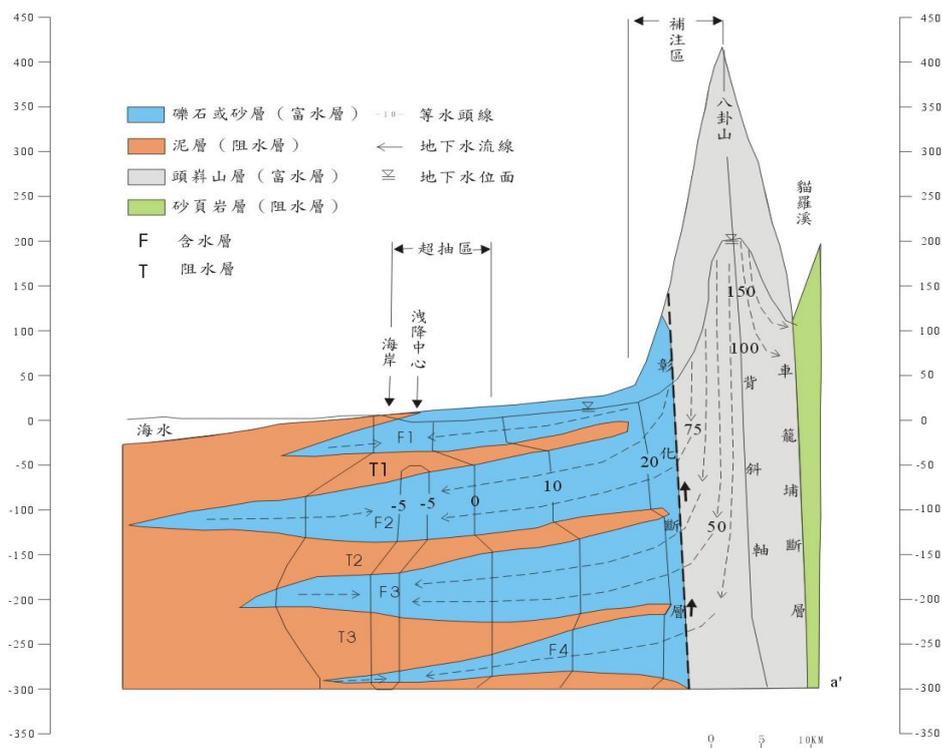


圖 4.24 濁水溪沖積扇水文地質概念模型 (中央地調所，1999)

Hung et al. (2012)彙整彰化大城鄉區域長期地下水位監測井之監測結果^[31]，指出含水層之壓縮量占整體地表沉陷量之 83%，自 2003 至 2010 年間孔隙水壓與分層壓縮量之變化如圖 4.25 所示，其中阻水層 2 總壓密量約在 6 公分左右，並於 2008 年趨緩，而含水層 2 與含水層 3，

初期水頭約降低 2m，但於 2007 年起上升約 10m，但此含水層壓縮一直延續至 2009 年才趨於平緩，水頭下降與壓縮量於數值及時序並不吻合，因此以傳統壓密理論考慮單向 (monotonic) 加載，不足以解釋此機制，而水位反覆波動 (fluctuation) 引致之含水層砂土壓縮量，其效應不可忽視。

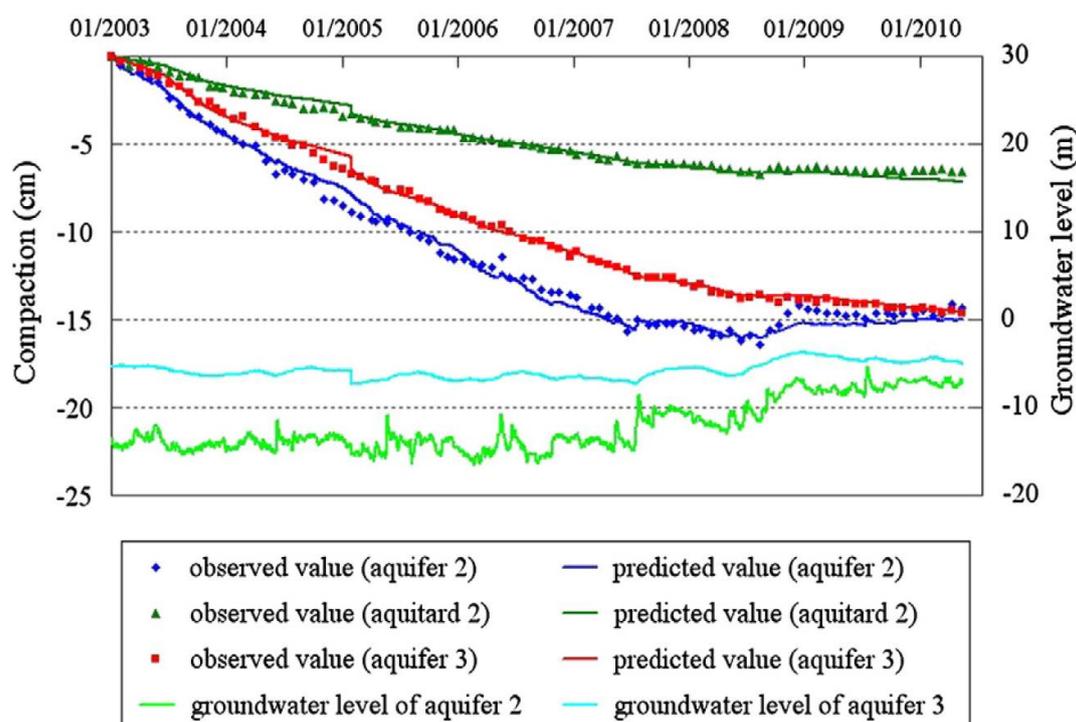


圖 4.25 彰化大城地區 2003 年至 2010 年現地地層壓縮監測成果 (Hung et al., 2012)

含水層其組成包括礫石、砂與含高細粒料之粉砂。Chuhan et al. (2003) 由鬆砂單向度壓密試驗結果得出在特定有效應力下^[32]，砂土孔隙比受粒徑分布、顆粒形狀及礦物組成影響；由砂土單向加載結果顯示，影響砂土壓縮性之因子包括砂土初始狀態、有效應力變化、應力路徑及土壤組成，但這些多由單向加載壓縮試驗而來。Pestana and Whittle (1995) 指出土壤顆粒受力時^[33]，其應力傳遞主要由顆粒接觸點為途徑，具有高度非線性、非等向及有效應力相依之特性，在顆粒不破碎之應力的前提下，微觀下其永久應變來源為顆粒間產生相對滑動與滾動。

Chang et al. (2017) 以室內 Ko 三軸壓縮試驗模擬含水層土壤元素受

地下水壓反覆升降造成之壓縮行為^[34]，典型反覆壓縮試驗成果，如圖 4.26 所示，其整體行為類似 Johnson (1986) 探討鋪面受車輛反覆加載之壓縮行為^[35]，砂土材料因有效應力反覆循環時，此塑性變形隨作用次數增加而逐漸到達穩定。由 Chang et al. (2017) 試驗結果可歸納^[34]，此塑性變形受初始孔隙比、細粒料含量、有效應力波動之振幅及作用次數影響。圖 4.27 為張文忠等人(2015)進行台 78 線含水層 2 之不規則水壓波動加載結果^[26]，室內實驗結果與現場監測數據整體趨勢一致，但因實際 2013 年 7 月時，含水層 2 整體孔隙比與土壤組成為未知的情況下，試驗結果於量化下仍有些許差異。冀望透過本次試驗規劃，以完整之 400 m 鑽探結果與長期地層分層壓縮與水壓變化監測數據，提高含水層不規則水壓波動應力增量試驗之準確性，驗證台灣西南沿海含水層受水壓波動引致壓縮機制。

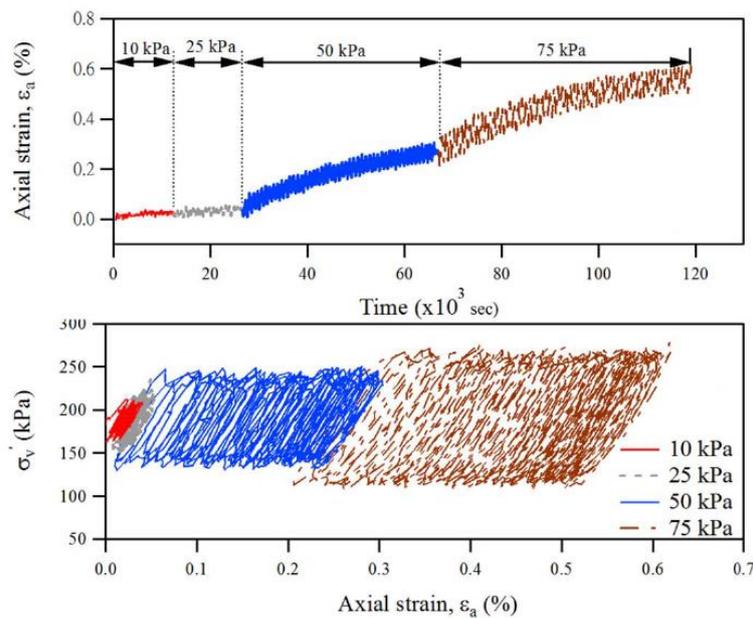


圖 4.26 渥太華砂與白雲母混合試體 K_0 三軸反覆壓縮試驗成果
MC=20% (Chang et al., 2017)

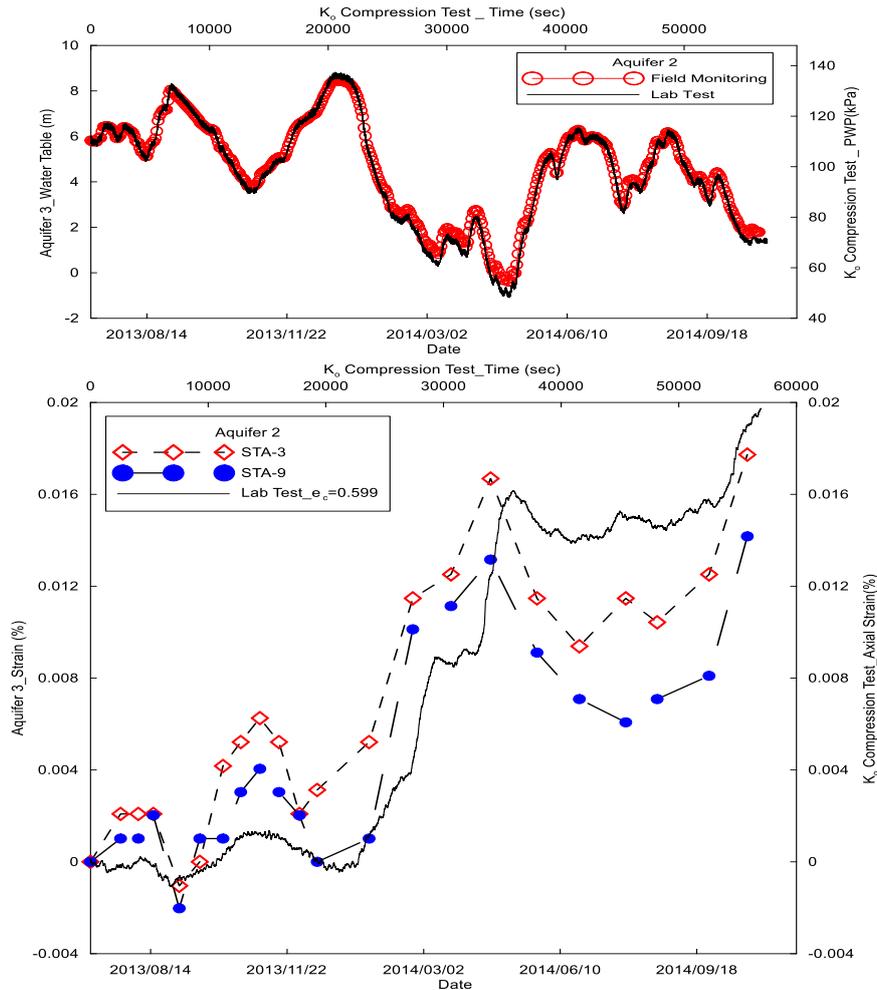


圖 4.27 現地含水層監測成果與室內震陷實驗結果壓縮量比較
(張文忠等人，2015)

4.4.2 港區地層下陷監測成果

綜合上述，本計畫四處港區下陷監測點，包含台中港、布袋港、安平港與大鵬灣（如圖 4.28 所示），其港區下陷行為與目前西南沿海地區之沖積扇壓縮行為類似，而前節 Hung et al. (2012) 長期地下水位監測井主要設置於彰化大城鄉，同樣處於沖積扇平原地區，且其分層壓縮趨勢與本計畫長期港區下陷監測成果一致，且近年來地層下陷有趨緩現象。對於下陷評估應就土壤類型進行分別討論，而部分下陷量由含水層砂土材料貢獻，其壓縮機制與地下水壓反覆升降有關，在土壤顆粒不破碎的前提下，其塑性應變來源為顆粒孔隙間產生相對滑動與滾動，此壓縮

行為隨整體孔隙比下降而逐漸穩定。依據本計畫四處港區地質鑽探結果，地層土壤可分為黏土、粉土與砂土，形成如中央地調所(1999)提出之地質概念模型，可簡化為 4 層含水層與 3 層阻水層，含水層主要以砂土為主，阻水層主要以黏土與粉土為主。

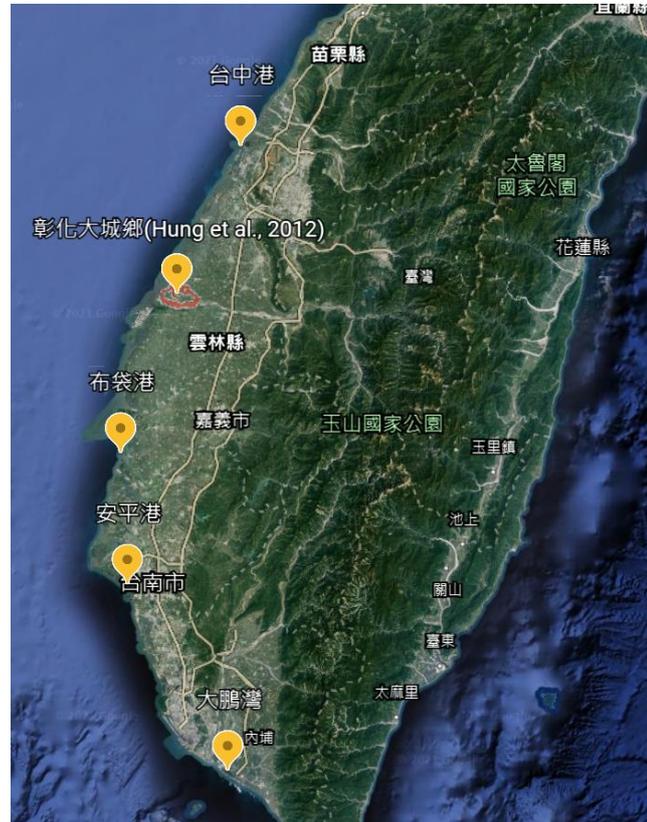


圖 4.28 港區四處下陷監測站相對位置

依據本計畫彙整四處港區截至 110 年之長期地層下陷監測成果，其中臺中港地層壓縮主要發生於 0-90m 內，產生 4.9cm 壓縮量，佔總體地層下陷量 79%；布袋港地層壓縮主要發生於 140-200m 內，產生 33cm 壓縮量，佔總體地層下陷量 50%；安平港地層壓縮主要發生於 0-31m 內，產生 6.7cm 壓縮量，佔總體地層下陷量 67%；大鵬灣地層壓縮主要發生於 0-51m 內，產生 10.7 cm 壓縮量，佔總體地層下陷量 70%。除布袋港，可發現其餘三處港區下陷觀測站整體地盤壓縮量主要發生於淺層壓縮位置，約於 0-50 米深之位置，此與 Hung et al. (2021)於雲林地區地層壓縮分層磁環監測成果一致^[36] (如圖 4.29 所示)，最大壓縮

量發生於 0 至 50 米深度位置，且最大壓縮量發生於淺層砂土層。

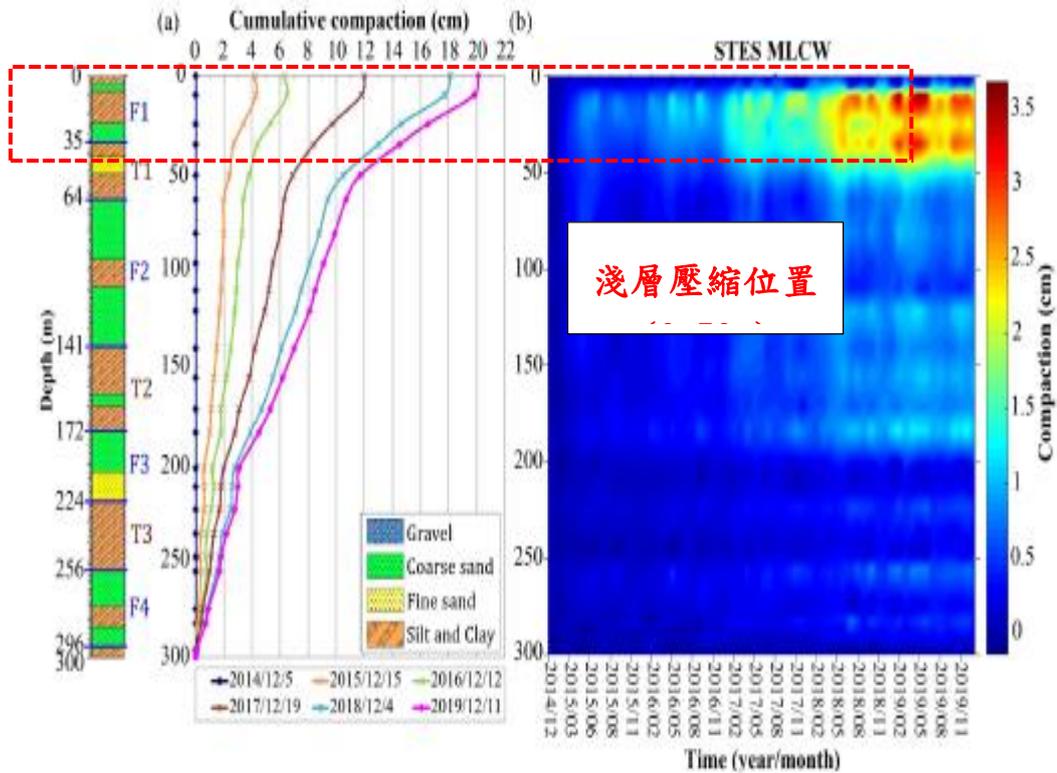


圖 4.29 雲林地層壓縮分層磁環監測成果 (Hung et al., 2021)

臺灣重要的運輸網絡、運輸工程與高質量經濟貿易大都建設發展在人口密集的西部地區，而西部海岸的地層幾乎都是屬於現代沖積層。一般土壤壓縮行為時，通常只考慮凝聚性土壤壓密造成之沉陷，但由本計畫長期監測成果顯示，含水層砂土在地下水反覆變化的情況下，亦對砂土造成反覆壓縮行為，說明因地下水位呈一季節性變化、人為抽水等引致之壓縮行為的重要性。此下陷行為可能影響港區工程設施安全，為維護港區工程及交通設施之安全，藉由本計畫長期監測及分析結果，提供各港務分公司維護港區人車及各項設施安全之參考。

第五章 結論與建議

臺灣重要的運輸網絡、運輸工程與高質量經濟貿易大都建設發展在人口密集的西部地區，而西部海岸的地層幾乎都是屬於現代沖積層，該類土層特性為疏鬆軟弱，極可能因附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填、或強烈地震等原因造成地層下陷，而影響港區工程設施安全，自高鐵通車後，也因為超抽地下水造成彰雲地區高鐵沿線地層下陷，影響行車安全。水利署 109 年度地層下陷檢測資料，更顯示雲林地區地層目前顯著下陷面積 103.8 平方公里，最大下陷速率 5.5 公分/年。本所職司運輸科技應用研究，為維護行車與各樣設施安全，蒐集臺灣西南地區地質及地層下陷資料，並於民國 89 年開始，陸續於安平港、布袋港、臺中港及大鵬灣等港區逐年設置地層分層下陷監測井；另自民國 89-94 年陸續於安平港、臺中港、布袋港、臺北港、高雄港及蘇澳港等 6 港，逐年分別設置完成井下地震及動態孔隙水壓監測站，並自 98 年起於安平港、臺中港、布袋港、臺北港、高雄港、蘇澳港、基隆港及花蓮港等 8 港陸續完成安裝三向度網路型地表地震監測速報系統。期能藉由長期監測、分析及震後快速發佈災情研判結果，提供臺灣港務公司及其各港務分公司維護港區人車及各項設施安全之參考依據。

本(110)年研究計畫為多年期最後 1 年計畫，主要工作重點及成果：
(1) 歷年各港區地震監測站維護及速報系統精進的成果彙整；
(2) 歷年各港區地層下陷之量測與資料成果彙整；
(3) 歷年各地區地下水壓之量測與資料成果彙整；
(4) 各港地震監控資訊於本所港灣技術研究中心港灣環境資訊網-港區地震模組中展示。

5.1 結論

本(110)年研究進行各港區地震速報系統維護與精進及港區地層下陷調查分析，綜合結果如下：

1. 110年各港速報系統地表地震監測紀錄於110年01月01日至11月16日止，共測得2級地震強度 (2.5~8.0gal)98筆，3級地震強度 (8.0~25gal)41筆，4級地震強度 (25~80gal)15筆，5級地震強度 (80~250gal)1筆，共發送地震簡訊共155筆，最大震度為蘇澳港110年10月24日13:11:45測得5級地震強度加速度達145 gal，其次是花蓮港110年07月14日06:52:07測得4級地震強度加速度達79gal，由各港監測紀錄，可知蘇澳港及花蓮港地震較頻繁，震源大部份來至東部外海地區。
2. 布袋港 200m 水位監測站約可分為 4 個層次，由歷年水位變化現象顯示，第 1、2 層水位，可能地表水補注或較無超抽地下水，變化較小，第 3、4 層地下水位低且變化極大，超抽地下水現象明顯，而且以旱季時，水位相對較低，地表降雨量減少時，超抽地下水更為嚴重。
3. 布袋港 200m 地層下陷，歷年來沉陷總量約為 70cm，其中壓縮量較大之地層為 140~200 m 之沉陷量約 33cm，佔總沉陷量約一半，近 5 年(106 至 110)總沉陷量約 5.1cm，由此資料顯示，布袋港之沉陷屬於深層沉陷，實際總沉陷量應比監測所量測之壓縮總量還大。
4. 依水利署資料顯示 80~109 年之量測資料比較分析，嘉義地區 29 年來總下陷量在 60cm 以上之下陷區，涵蓋有東石鄉、布袋鎮、朴子市、義竹鄉與六腳鄉等鄉鎮；其中最主要的下陷中心為東石鄉與布袋鎮。本所歷年來量測布袋港之沉陷總量約為 70cm，顯示布袋港 20 幾年來，累積總下陷量也在 60 cm 以上。
5. 臺中港 200m 水位監測站，近 6 年(105 至 110)各分層水位約於-1.1m ~-4.4m，整體而言，水位皆會在乾季時逐步降回降雨前之穩定區間，變化不大。
6. 臺中港 200m 地層下陷，歷年來沉陷量約為 6.2cm，而從地表至 **90 m** 深之沉陷量約 4.9cm，佔總沉陷量約 79%以上，近 6 年(105 至 110)總沉陷量約 0.4cm，幾乎沒沉陷。
7. 大鵬灣 200m 水位監測站，近 6 年(105 至 110)各分層水位約於-1.2m

~-4.5m，整體而言，水位皆會在乾季時逐步降回降雨前之穩定區間。

8. 大鵬灣 200m 地層下陷，歷年來沉陷總量約 15.3cm，近 5 年(106 至 110)總沉陷量約 1.3cm，而從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.7cm，佔總沉陷量約 70%以上，由此量測資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。
9. 安平港水位監測站，整體來說，自 96 年至 110 年期間，應沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上下變動現象。
10. 安平港 200m 地層下陷，歷年來之沉陷總量約為 10cm，而從地表至 31 m 之沉陷量約為 6.7cm，約佔總沉陷量之 67%以上，近 6 年(105 至 110)總沉陷量約 0.6cm，由資料顯示，安平港之沉陷屬於淺層沉陷，沉陷量不大。
11. 依據本計畫彙整四處港區歷年地層下陷監測成果，除布袋港外，可發現其餘三處港區下陷觀測站，整體地盤壓縮量主要發生於淺層壓縮位置，約於 0-50 米深之位置，此與 Hung et al. (2021)於雲林地區地層壓縮分層磁環監測成果一致，最大壓縮量發生於地表至 50 米深度位置，且最大壓縮量發生於淺層砂土層。

5.2 建議

港灣地層下陷監測及港區井下地震監測等研究，為長期性的監測工作，其設施特點為在地表及不同土層中置放監測儀器，如此，不只可長期觀察其總量變化，更可獲知不同土層的反應數據，在港區規劃、防災處置及學術研究上，可提供長期的環境數據，值得持續研究。近年來本所港研中心研究領域由原港灣防災技術，新增道路及橋梁等業務，致使人力不足及經費短絀，爰本計畫執行期程已於 110 年結束，後續發展建議如下：

1. 相關多年監測資料及設備，可移轉有意願合適的學校或顧問公司，持續研究。

2. 港區地震速報系統於 111 年起將移轉予使用單位臺灣港務公司賡續進行維護使用，建議本所協助港務公司持續維護地震速報，使其能正常運作。
3. 本研究所量測各分層下陷及水位值，大部份係依據每年每季前往現地量測所得，但下雨多寡、海邊漲退潮、監測設備老舊，皆會影響下陷及水位整體趨勢，如何才能得到一個較合理的趨勢值，建議有意願合適的學校或顧問公司，做進一步的監測及研究。

5.3 歷年研究成果之效益

1. 98 至 110 年期間結合港區地質資料庫、液化分析模組，利用網路通訊技術，於震後以簡訊快速提供碼頭災況初步評估，做為各港務公司救災與搶修決策參考性質。
2. 101 至 110 年期間於本所港灣環境資訊網中展示港區地震資訊(路徑：首頁\港灣環境資訊網\港區地震)，提供各港區地震時間、震度、地表加速度、X，Y，Z 三向度地表地震波形，並可作為港務公司救災應用參考；另每年參加使用者說明會，推廣港區地震模組。
3. 89 至 110 年各港地層分層沉陷及水壓長期監測及分析結果，提供各港務分公司維護港區人車及各項設施安全之參考。
4. 精進基隆港及花蓮港地表地震監測設備至適合的場域，力求改善儀器遭遇外力碰撞或誤觸情形發生，以精進提升地震發布簡訊穩定度。
5. 歷年於國內研討會及期刊，發表成果論文約 11 篇以上。
6. 歷年出版 21 本研究報告，置放於本所港灣技術研究中心網站(路徑：首頁\中心出版品\基本研究)，將相關研究成果供產官學界參考應用。

5.4 提供政府單位應用情形

1. 本所設置於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，作為防救災之參考；111年起將移轉臺灣港務公司維護使用。
2. 歷年港區地層分層下陷及水壓長期監測及分析結果，提供各港務分公司未來港灣結構物設計與維護之參考。
3. 出版歷年研究報告，並將相關研究成果供產官學界參考應用。

參考文獻

1. 經濟部水利署地層下陷防治資訊網。
2. 徐鐵良，「地質與工程」，科技圖書，1986。
3. 李延恭、謝明志，「臺灣各港區地質調查分析及資料建檔研究」，臺灣省政府交通處港灣技術研究所，1994。
4. 臺灣省政府水利處，「臺南地區地盤下陷檢測成果報告」，1995。
5. 臺灣省政府水利處，「嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告」，1996。
6. 賴聖耀、謝明志，「臺灣各港區地震引致土層之沉陷研究」，臺灣省政府交通處港灣技術研究所，1996。
7. 臺灣省政府水利處，「屏東縣沿海地區地盤下陷檢測報告」，1997。
8. 屏東縣政府，「大鵬灣風景特定區整體發展規劃設計」，1997。
9. 臺灣省政府交通處高雄港務局，「安平港商港區地質鑽探工程報告書」，(1970-1998)。
10. 謝明志、賴聖耀，「布袋港地層下陷監測與地質建檔研究」，臺灣省政府交通處港灣技術研究所，1998。
11. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心，「臺中港 1~4A 碼頭 921 地震液化災損初步調查研究」，港灣技術研究中心專刊 172 號，1999。
12. 賴聖耀、李延恭、陳志芳，「安平港地震與動態孔隙水壓監測之研究」，交通部運輸研究所，2000。
13. 賴典章、費立沅、江崇榮，「臺灣地下水分區特性」，水文地質調查與運用研討會論文集，經濟部中央地質調查所，第 1-24 頁，2003。
14. 交通部運輸研究所，「臺灣西南沿海地區軟弱地質交通結構物設計處理對策研究」，2006。

- 15.謝明志、陳志芳，「港灣地層下陷監測之研究(1/2)」，交通部運輸研究所，2010。
- 16.陳志芳、謝明志，「102 港區地震與地層下陷監測之研究」，交通部運輸研究所，2013。
- 17.經濟部水利署，「103 年度多元化監測及整合技術應用於宜蘭、嘉義、臺南及屏東地區地層下陷監測」，2014。
- 18.陳志芳、謝明志、曾文傑，「104 西南沿海地質資料建檔及地層下陷量測分析」，交通部運輸研究所，2015。
- 19.陳志芳，謝明志，「港區地震與地層下陷監測之研究(2/2)」，交通部運輸研究所，2015。
- 20.謝明志、陳志芳、張道光、陳桂清、曾文傑，「西南沿海地區地層下陷調查及基本資料建置研究(2/2)」，交通部運輸研究所，2016。
- 21.陳志芳，謝明志，「106 地震監測速報及地層下陷量測分析」，交通部運輸研究所，2017。
- 22.陳志芳，謝明志，「港區地震監測及地層下陷調查分析研究」，交通部運輸研究所，2018。
- 23.曾文傑、陳志芳、謝明志，「108 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，2020。
- 24.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。
- 25.經濟部水利署，「109 年度地層下陷檢測成果報告」，2020。
- 26.黃安斌、馮道偉、張文忠、馮正一，「雲林地區地層下陷特性調查監測與模擬(2)」，科技部專題研究計畫報告，2015。
- 27.Arias, A. (1970), "A measure of earthquake intensity," in R. J. Hansen, ed. Seismic Design for Nuclear Power Plants, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 438-483.

28. Dobry, R., Ladd, R. S., Yokel, F. Y., Chung, R. M., and Powell, D. (1982), "Prediction of pore water pressure buildup and liquefaction of sands during earthquake by the cyclic strain method," NBS Building Science Series 138, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, p.150.
29. Nagase, H., and Ishihara, K., (1988), "Liquefaction-induced compaction and settlement of sand during earthquakes," *Soils and Foundations*, Vol.28, No.1, pp.66-76.
30. Schnabel PB, Lysmer J, Seed HB. Shake, (1972) A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Center; UCB/EERC-72/12, p.102.
31. Hung W.C., Hwang C.W., Liou J.C., Lin Y.S., Yang H.L., "Modeling aquifer-system compaction and predicting land subsidence in central Taiwan" *Engineering Geology*, 2012
32. Chuhan, F. A., Kjeldstad, A., Bjorlykke, K., and Hoeg K., "Experimental compression of loose sands: relevance to porosity reduction during burial in sedimentary basins." *Canadian Geotechnical Journal*, 2003
33. Pestana, J. M., and Whittle, A. J., "Compression model for cohesionless soils." *Geotechnique*, 1995
34. Chang, W.J., Chou, S.H., Huang, A.B. "Physical simulation of aquifer compression due to groundwater fluctuation" *Engineering Geology*, 2017
35. Johnson, K.L., "Plastic Flow, Residual Stresses and Shakedown in Rolling Contact" *Proceedings of the 2nd International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, 1986
36. Hung W.C., Hwang C.W., Sneed S., Chen Y.A. and Lin S.H., "Measuring and interpreting multilayer aquifer-system compactions for a sustainable groundwater-system development" *Water Resources Research*, 2021

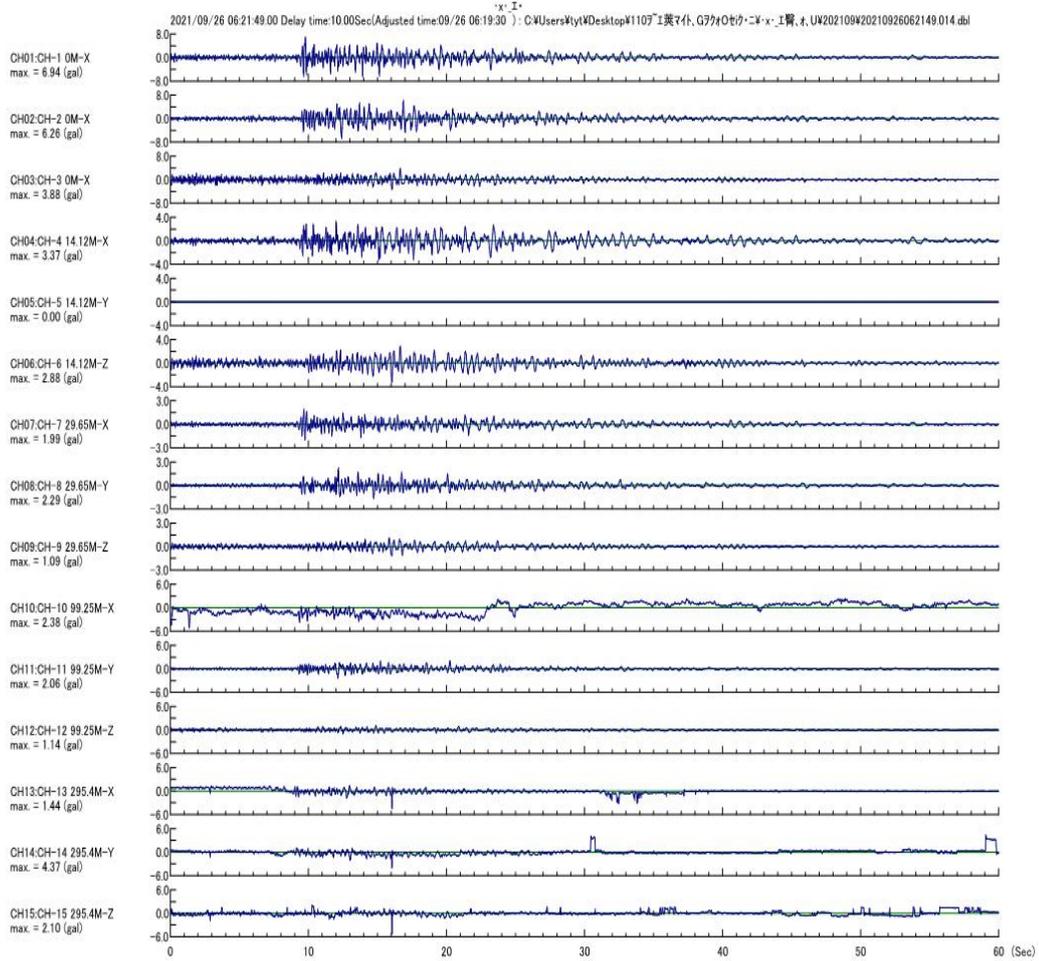
附錄一

110 年各港區地震資料波型圖

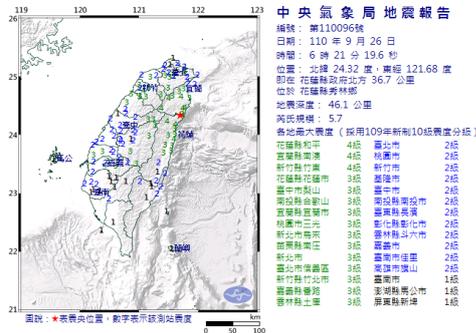
110年各港區地震資料波型圖

臺北港井下

2021/09/26 06:21

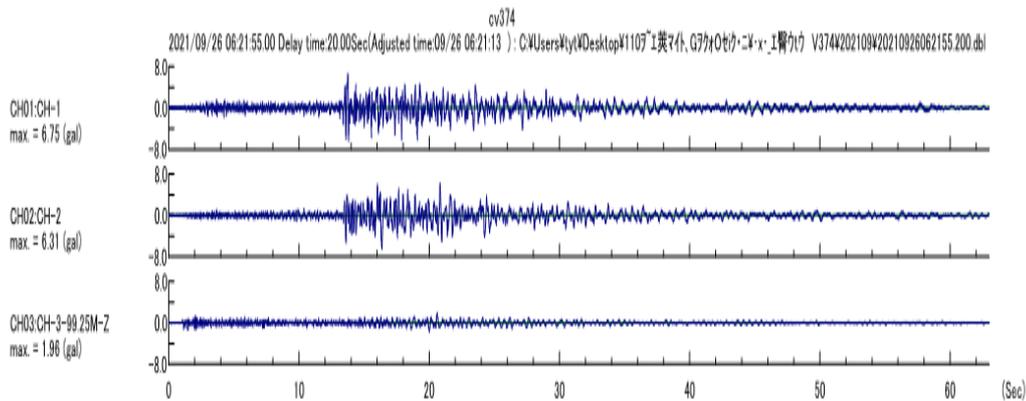


第096號 9月26日6時21分 規模 5.7 花蓮縣政府北方 36.7 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)

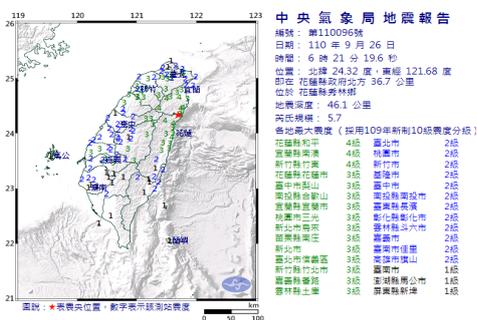


臺北港速報

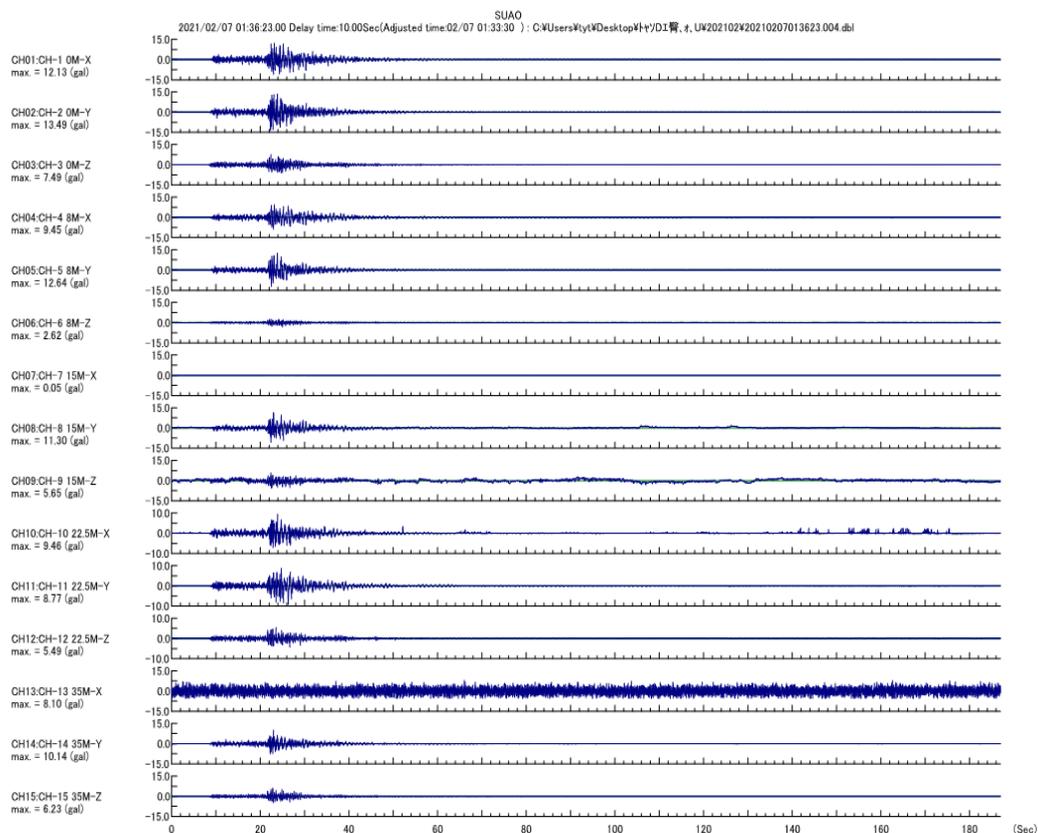
2021/09/26 06:21



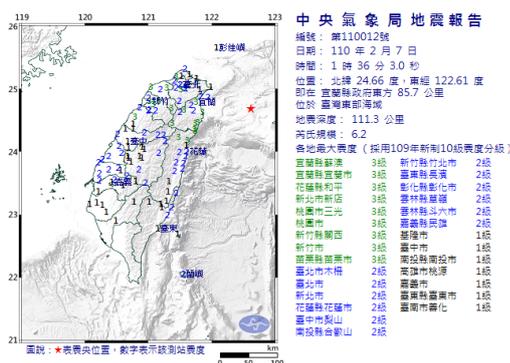
第096號 9月26日6時21分 規模 5.7 花蓮縣政府北方 36.7 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)



蘇澳港井下 2021/02/07 01:36

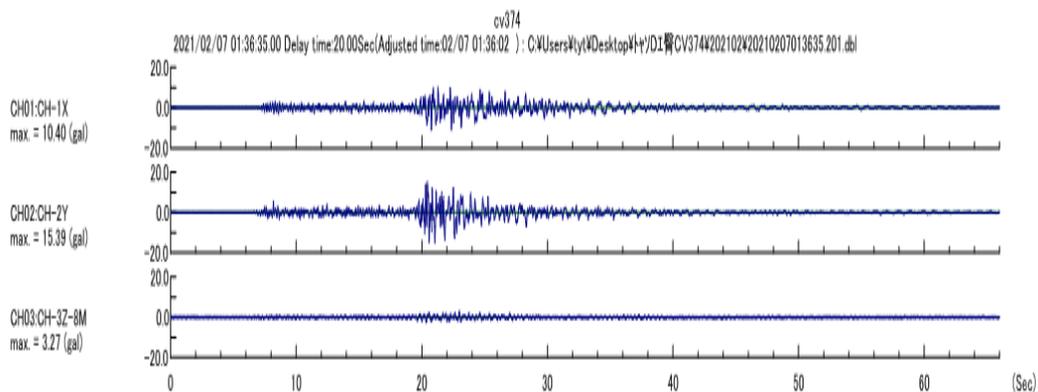


第012號 2月7日1時36分 規模 6.2 宜蘭縣政府東方 85.7 公里 (位於臺灣東部海域)

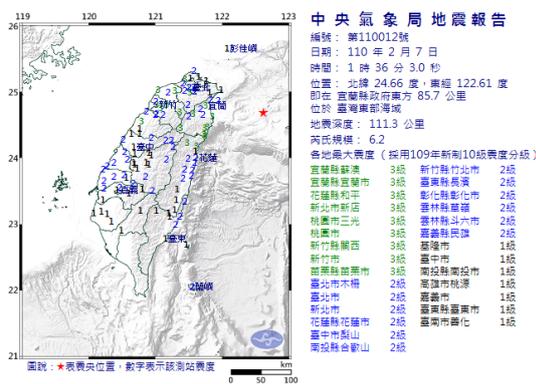


蘇澳港速報

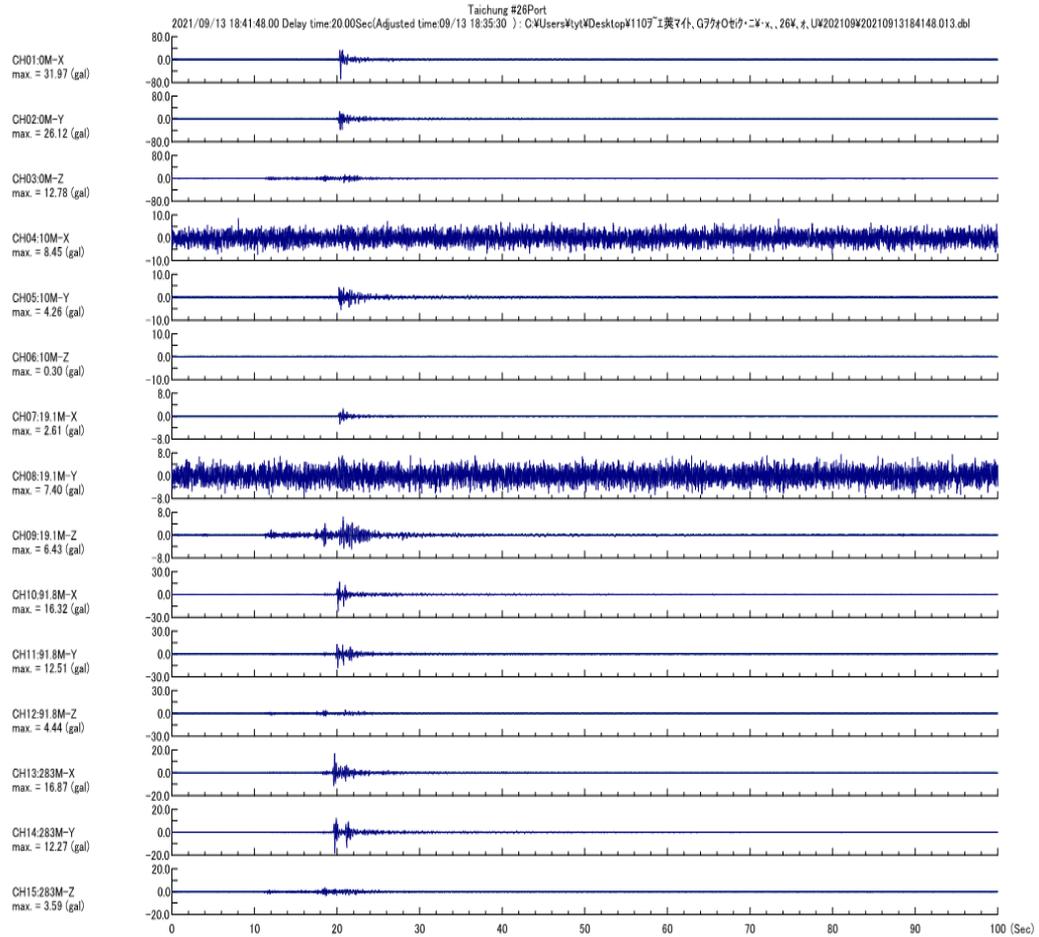
2021/02/07 01:36



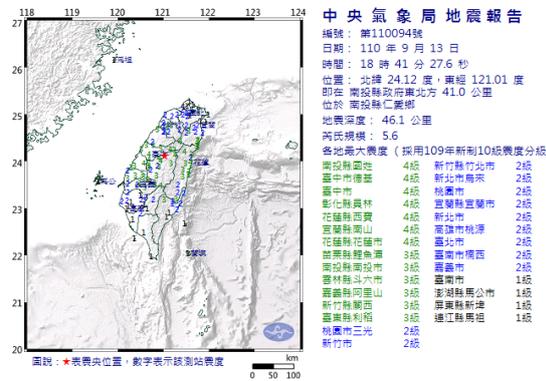
第012號 2月7日1時36分 規模 6.2 宜蘭縣政府東方 85.7 公里 (位於臺灣東部海域)



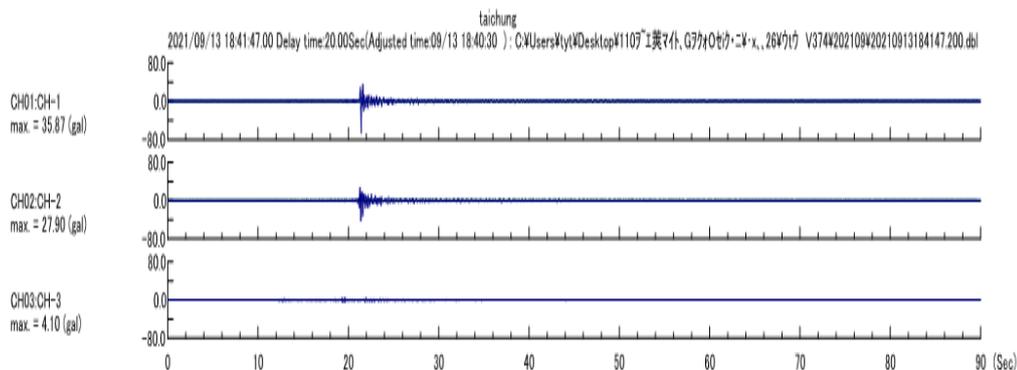
臺中港 26 號碼頭井下 2021/09/13 18:41



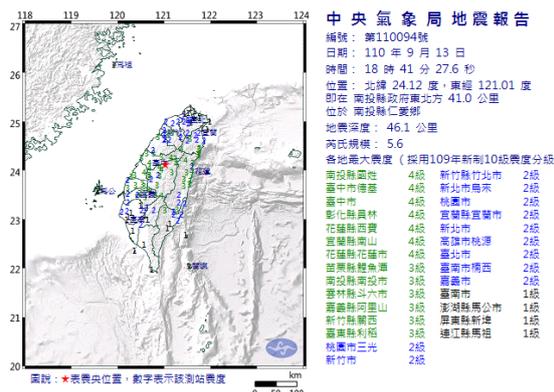
第094號 9月13日18時41分 規模 5.6 南投縣政府東北方 41.0 公里 (位於南投縣仁愛鄉)



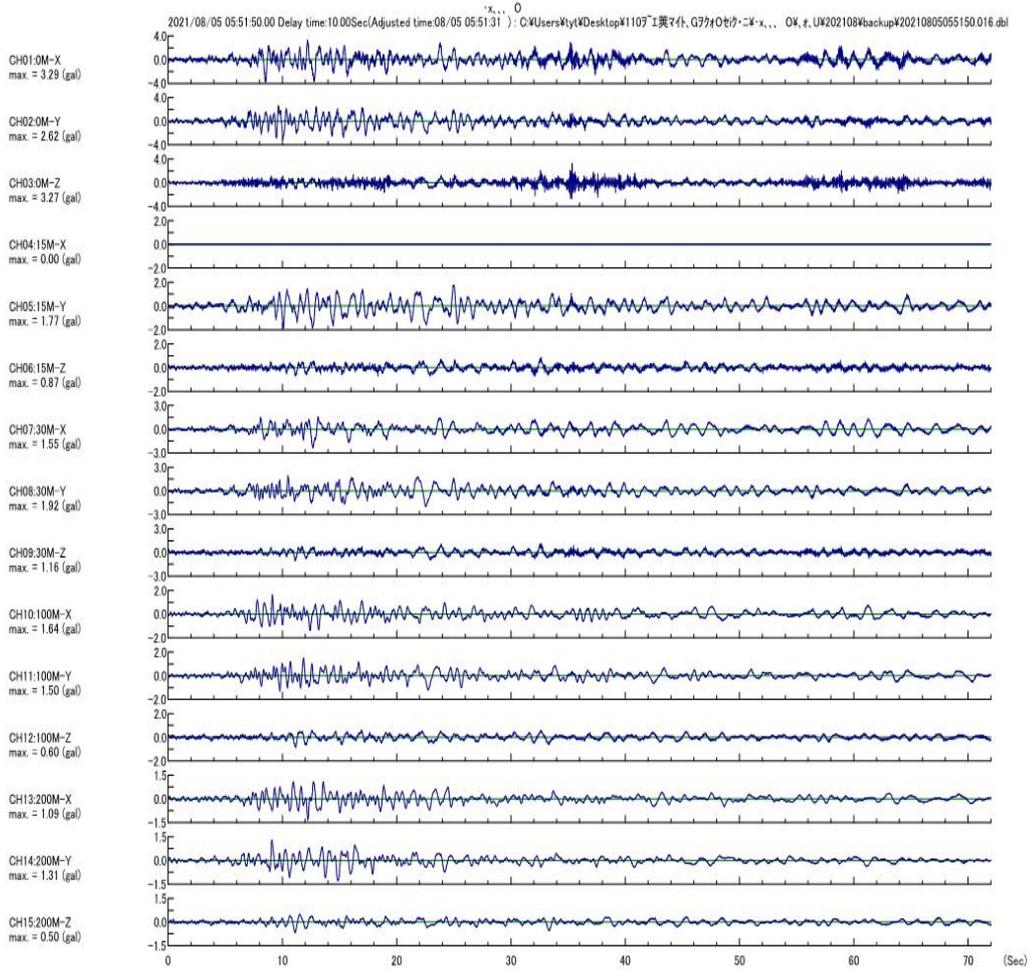
臺中港 26 號碼頭速報 2021/09/13 18:41



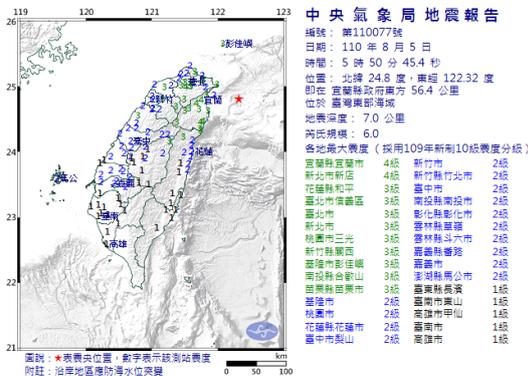
第094號 9月13日18時41分 規模 5.6 南投縣政府東北方 41.0 公里 (位於南投縣仁愛鄉)



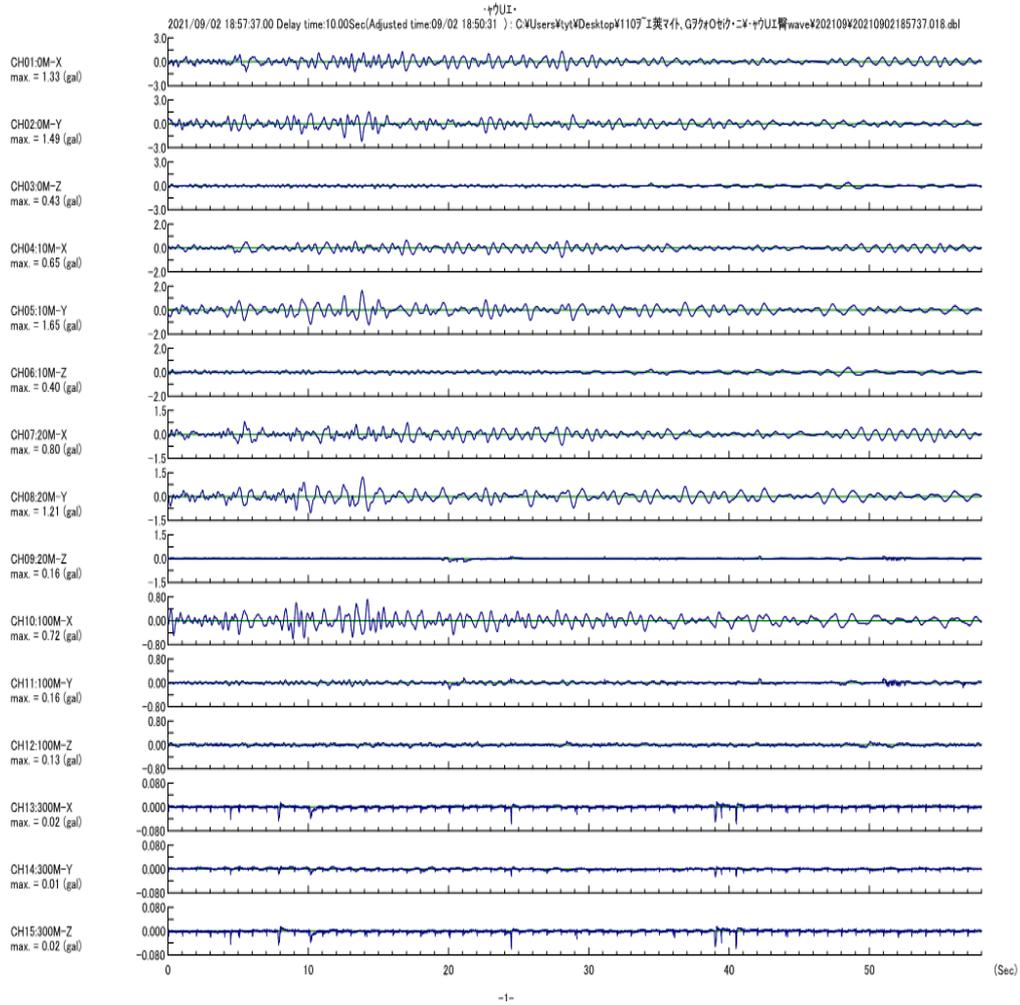
臺中火力井下 2021/08/05 05:50



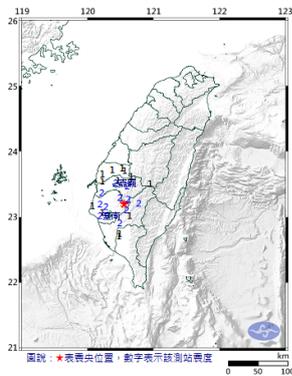
第077號 8月5日5時50分 規模 6 宜蘭縣政府東方 56.4 公里 (位於臺灣東部海域)



布袋港井下
2021/09/02 18:56



第092號 9月2日 18時56分 規模 4.7 臺南市政府東北東方 42.3 公里 (位於臺南市楠西區)

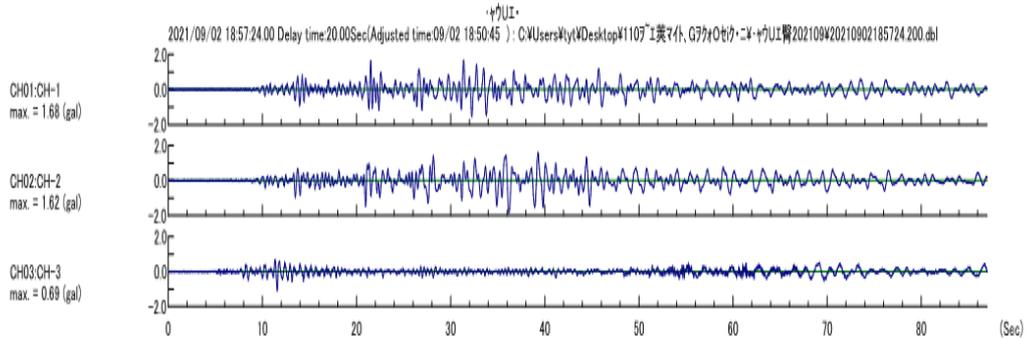


中央氣象局地震報告

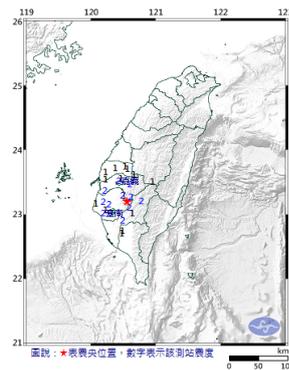
編號：第110092號
日期：110年9月2日
時間：18時56分58.8秒
位置：北緯 23.18 度，東經 120.54 度
即在 臺南市政府東北東方 42.3 公里
位於 臺南市楠西區
地震深度：4.1 公里
芮氏規模：4.7
各地最大震度 (採用109年新制10級震度分級)

臺南市楠西	5級
嘉義縣大埔	2級
臺南市學仙	2級
臺南市	2級
雲林縣莿桐	1級
南投縣玉山	1級
臺南縣臺南市	1級
雲林縣斗六市	1級

布袋港速報
2021/09/02 18:56



第092號 9月2日18時56分 規模 4.7 臺南市政府東北東方 42.3 公里 (位於臺南市楠西區)

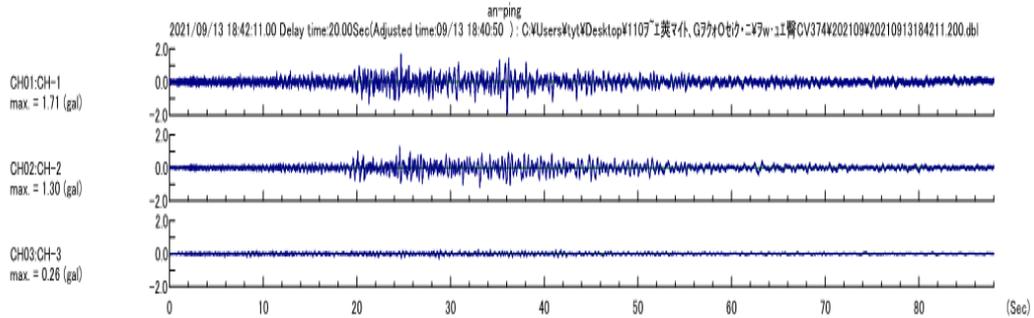


中央氣象局地震報告

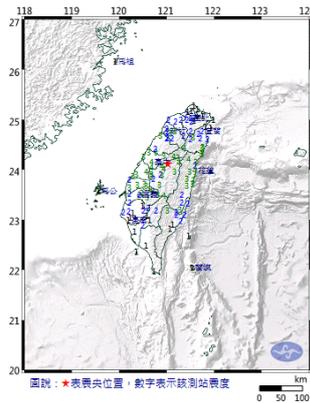
編號：第110092號
日期：110年9月2日
時間：18時56分58.8秒
位置：北緯23.18度，東經120.54度
即臺南市政府東北東方42.3公里
位於臺南市楠西區
地表深度：4.1公里
芮氏規模：4.7
各地最大震度 (採用109年前制10級震度分級)

臺南市楠西區	5級
臺南市大橋	2級
臺南市甲仙	2級
臺南市	2級
臺南市里港	1級
高雄縣三山	1級
高雄縣草寮市	1級
雲林縣斗六市	1級

安平港速報
2021/09/13 18:41



第094號 9月13日18時41分 規模 5.6 南投縣政府東北方 41.0 公里 (位於南投縣仁愛鄉)



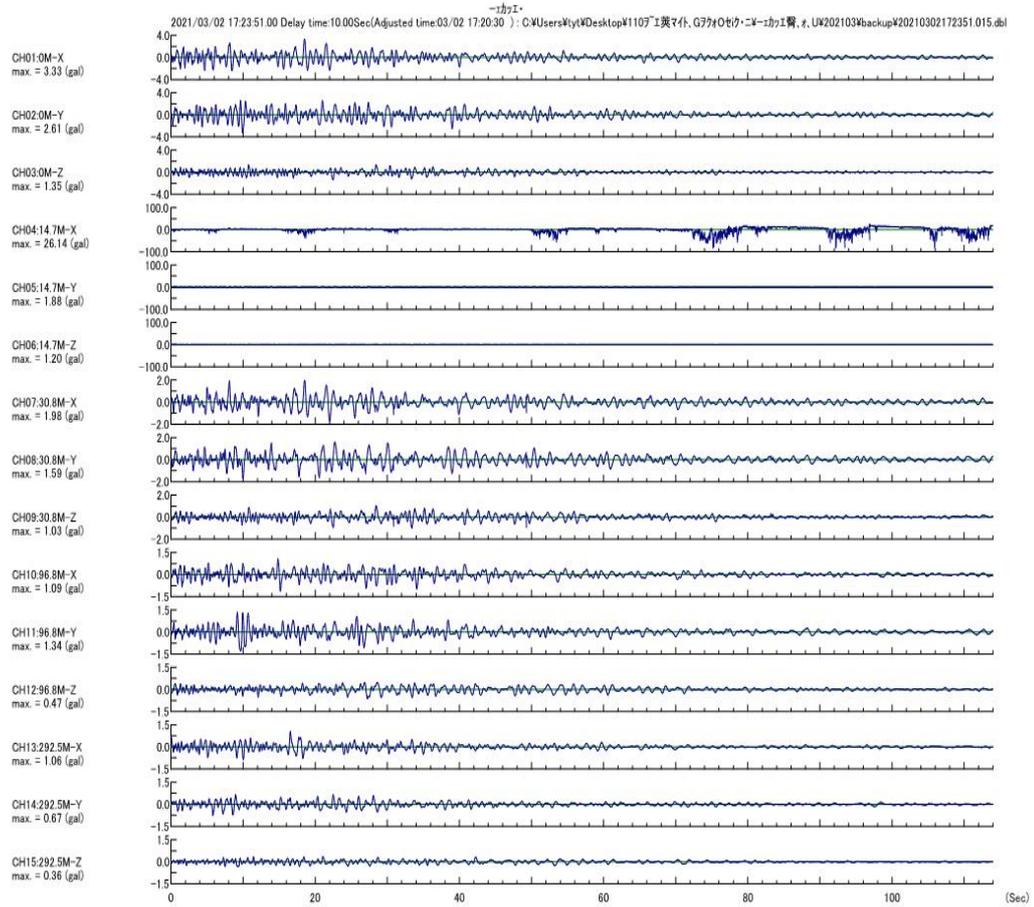
中央氣象局地震報告

編號：第110094號
日期：110年9月13日
時間：18時41分27.6秒
位置：北緯24.12度，東經121.01度
即在 南投縣政府東北方 41.0 公里
位於 南投縣仁愛鄉
地震深度：46.1 公里
芮氏規模：5.6
各地最大震度 (採用109年新制10級震度分級)

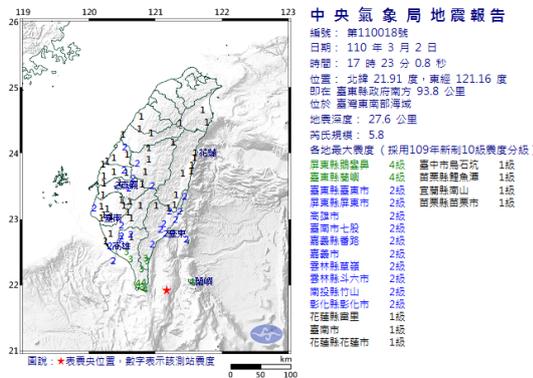
南投縣國姓	4級	新竹縣竹北市	2級
臺中市梧棲	4級	新北市烏來	2級
臺中市	4級	桃園市	2級
彰化縣員林	4級	宜蘭縣宜蘭市	2級
花蓮縣高貴	4級	新北市	2級
宜蘭縣南山	4級	高雄市桃源	2級
花蓮縣花蓮市	4級	臺北市	2級
苗栗縣經農潭	3級	臺南市橋西	2級
南投縣南投市	3級	嘉義市	2級
雲林縣斗六市	3級	臺南市	1級
嘉義縣阿里山	3級	澎湖縣馬公市	1級
新竹縣關西	3級	屏東縣新埤	1級
嘉義縣利稻	3級	連江縣馬祖	1級
桃園市三光	2級		
新竹市	2級		

圖說：★表震央位置，數字表示該測站震度

高雄港井下 2021/03/02 17:23

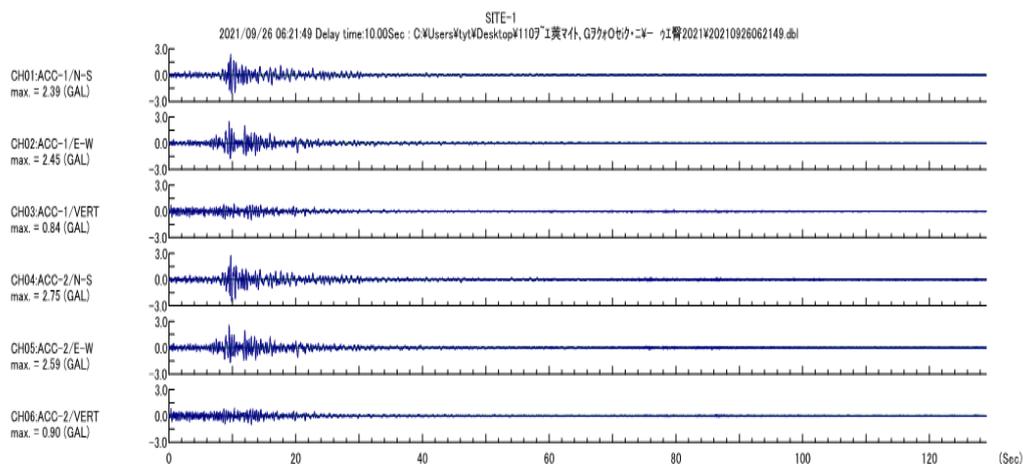


第018號 3月2日17時23分 規模 5.8 臺東縣政府南方 93.8 公里 (位於臺灣東南部海域)

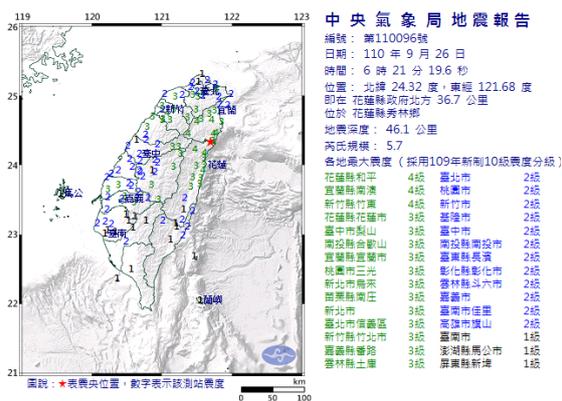


基隆港速報

2021/09/26 06:21

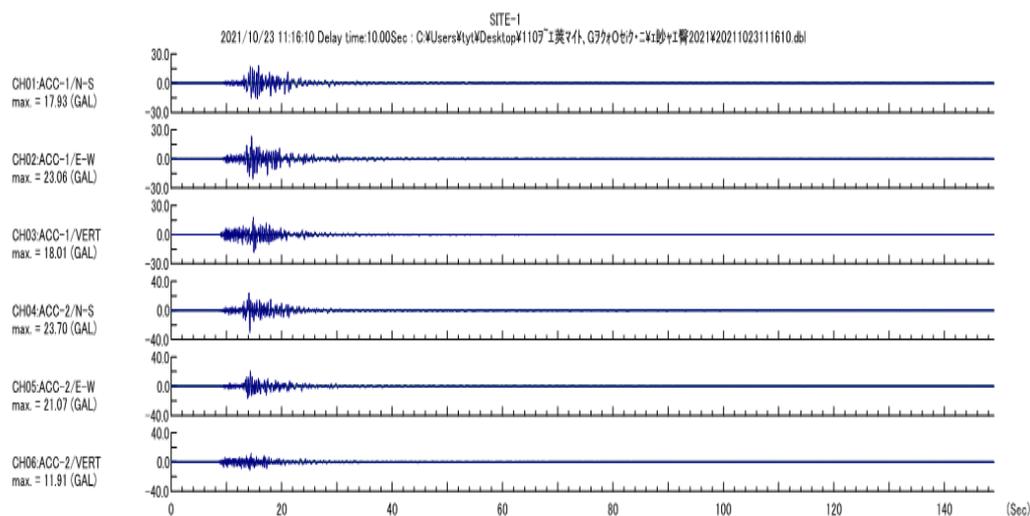


第096號 9月26日6時21分 規模 5.7 花蓮縣政府北方 36.7 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)

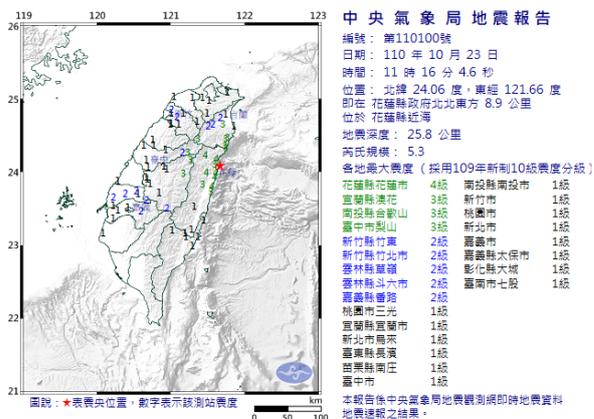


花蓮港速報

2021/10/23 11:16



第100號 10月23日11時16分 規模 5.3 花蓮縣政府北北東方 8.9 公里 (位於花蓮縣近海)



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：本所港研中心第一科 110 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：110 年 4 月 21 日(星期三) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：胡啟文

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、 饒書安委員

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 近期已由高公局一工處完成基樁耐震補強，建議於報告中增列資料，另國 3 大甲溪橋過去有埋設無線追蹤粒子，相關沖刷資料亦可提供參考。
2. 請問本年度(110 年)水工模型工作與 109 年有何差異，建議於報告中敘明補充。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

本段轄區國 3 中港溪橋及國 3 烏溪 1 號河川橋隔音牆生銹嚴重，如果經費允許，建議增列並納入本段設施長期觀察，另大甲溪橋亦有此狀況。

(三) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

透地雷達檢測道路孔洞，可建議比較機型(頻率)、深度適用性探討。

二、 呂正安委員

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證案，有其助益，切合實務:

1. 可分年建置不同場地，防刷工法(如打樁、雙層互鎖、尺寸、加勁版隔護、三明治防刷護坦)之探討。

2. 考量施作時之職安、防風預警之工項。
3. 經費允許，可埋設量測設備、儀器，探討細部運動行為。
4. 後續若有進一步計畫，可與公路橋檢單位聯繫，擇合適地點再進行更多的探討。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

1. 可考量切入實務工程之探討，尤其近年山區工程為利搶通時效，多用鋼結構，如中橫及南橫之鋼橋、鋼明隧道(棚)等。
2. 臨路及臨軌之邊坡防護鋼柵等，亦可考量納入。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

1. 建議可建立橫向聯繫，共同提升震災及下陷災害之即時因應防災體系，擴大系統的效益。
2. 震源發生，震度速報，其後需有人力確定可能受災區，建議可納入經費中編列工項。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究:

建議可加入評比，獎勵機制。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

為利維管，需人力巡查、登載系統、專人審核及維護，皆須耗費經費，建議納入經費工項編列考量。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 現地調查時，建議需進行交維，以利作業安全。
2. 可研擬針對不同路基條件進行檢測。
3. 可洽橫向單位配合執行，共同精研，提升效益。

三、柯永彥委員

本年度自行研究計畫之主題均屬重要之工程技術議題，預期成果將亟具實務應用價值。針對各項計畫之具體意見如下：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 大甲溪自 2004 年敏督利風災(七二水災)以來，流域特性

較以往有大幅變化，進一步導致後續蒙受嚴重之沖刷問題，並於 2008 年造成后豐橋斷橋事件。本研究利用地工織布提升橋基保護工之耐久性，其成效應可期待；以大甲溪作為實地驗證場域，成果將具實務參考價值。

2. 在研究規劃上，應以室內水工模型試驗先行測試多種方法，再取其中較佳者進行現地試驗[此部分賴科長已經回應]。
3. 另建議文獻回顧時將大甲溪全流域沖刷潛勢做一整體評價，以掌握測試場域(國道三號大甲溪橋)之沖刷危害等級，以彰顯本研究之代表性。

(二)110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

我國現正積極發展離岸風電，未來或可考慮納入離岸風機相關鋼材之腐蝕性實測研究，並可考慮與國內其他長期從事金屬腐蝕相關研究之單位合作(如中鋼公司、金屬研究發展中心等)，結合港研中心之大量試驗站與外單位所能提供之各種材料試樣，達相輔相成之效。

(三)110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

1. 本計畫之前期研究歷年來已累積許多觀測資料，並已用來進行諸多研究，未來宜持續發揮這些寶貴資料之價值，期待能據以產出更多研發成果。
2. 惟需注意因系統建置迄今已有相當時間，部分儀器可能有到達壽限無法繼續提供可信資料的狀況(尤其井下地震儀、水壓計等)，建議於定期維護時進行盤點，確實掌握系統之狀態，必要時應將失效之儀器予以退場，並彈性調整系統之架構。

(四)港區工程基本資料庫移轉建置研究:

資料庫之整合與操作介面單一化將能使其服務效能提升，予以肯定。

(五)港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

本計畫之新興科技應用似主要基於影像判釋，則建議除

了近景影像之外，亦可納入遙測影像相關技術，如已應用於地表與工程構造物變位觀測之干涉合成孔徑雷達(In-SAR)等，除了使含蓋技術更為多元，應有助於提升巡檢效率。

(六)透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 本計畫屬前期研究性質，透地雷達設備發展甚為成熟，本研究重點為透地雷達擷取資料之分析、判讀與處理方式，方向應屬正確，建議執行過程中可諮詢國內學界或實務界相關專家，吸取其寶貴經驗。
2. 建議除了道路孔洞，亦可考慮納入碼頭後線鋪面之孔洞檢測。

四、朱志光委員

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 本案針對現有橋墩，建議說明依流場理論或水工試驗結果或經驗其在橋址多少範圍內，需予納入作評估試驗。
2. 有無需要對現地表面或地下地質作一簡述，有別於傳統工法之抗沖刷效果如何?
3. 對於基礎保護之斷面改善方案，建議可列出先前研選的初始方案及評比結果，並說明採用之理由。
4. 有無該區域雨量、下雨時間、斷面流量、時間相對作成沖刷量的評估、模擬數據?如有，建議可以稍加說明。
5. 以無人機觀測，有其便利性，對於水面以下資料如何取得?建議可略加說明。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

1. 對於試驗位置之地域、氣候、潮位、海水的化學成份如鹽度、環境空氣中化學成份等因子之相關性分析比較，建議可稍作說明?
2. 建議未來是否考量於新、改建工程階段，直接對於工程本體進行實體試驗，如保護層之效果。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

對於地層下陷部份建議如下:

- (1). 地層下陷大區域未來是否可以有三度空間的視覺圖形立體呈現，建議有時間歷程與沈陷量的動態或圖片展示。
- (2). 對於未來港區新填區、關鍵設備區(如化槽區)、結構、管電線等有安全疑慮之區域進行預防性監測，建議後續可考量。
- (3). 儀器用 19 年才壞，表示品質或維管成效不錯，因現今科技發達，建議未來在經費允許下，一些老舊設備可逐年汰換。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究:

1. 對於港區工程基本資料，其蒐集建議對於正確性、精確性、可信度，未來建議可研究稍作說明管理機制。
2. 建議對於提供界面使用平台下載格式、查詢、輸入之編碼方式與港公司暨有之資訊圖資介接，另未來可考量研究參考如 goole map，查詢時有照片、位址、詳細資訊、衛星圖轉平面圖、店家項目、市價等等。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

1. 對於巡檢常發生路面坑洞(含雨後)影響交安，事故後處理均是問題，建議可針對此類型問題進行分析，並探討未來如何應用新興巡檢技術來做到預防之可行性。
2. 重要的設施及重要結構，如大排河岸、護坡、邊坡，建議考量用無人機方式巡檢，臺中港潮差大，巡檢如何掌握低潮，建議可稍加說明。另可以共桿方式設置 AI 監視系統來進行港區智慧監測，用來預防港區偷倒垃圾，即時性鋪面、面版、溝蓋損壞之查報作業，以提升管理效能。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 南堤路海堤邊及附近圍牆內地均有發生下陷，也多次修補，這部份建議可以納入探討。

2. 對於道路、貨櫃場地 AC 鋪面、露儲場等、管線、水溝、人孔、箱涵、大排旁建議可以考量先小區、小項目、重點試辦。

五、 陳桂清委員

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證:

1. 本計畫為整體水工模擬及現地鋪設工法可行性計畫之驗證及成效評估，研究成果未來對國道及其它道路跨河橋梁橋墩之保護可提供有效之規劃及設計，應予肯定。
2. 研究內容包含地工織布對基樁的保護成效觀測、工法成效評估及後續研擬改善方案等項目，顯示規劃非常務實與具體。
3. 引用高端科技 UAV(無人飛行載具)評估，不但可快速了解整體驗證的成效，同時降低現地觀測風險及人力成本，此技術應予肯定與推廣。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究:

1. 計畫已執行多年，為一長期性計畫，成果相當豐碩，提供金屬腐蝕基礎資料最完整的資訊，多年來國內產經發展快速加上環境變遷，原規劃之試驗點及涵蓋的面積已呈現不足，如經費及人力許可下，建議後續可增加若干試驗線或地區，諸如彰濱工業區、鄰近離岸風電區…等等。
2. 大氣曝放之螺旋線材如鋁(Al)，其腐蝕量甚微不易量測，線材試樣清洗過程應多加謹慎。
3. 本計畫包括大氣與水下金屬腐蝕之調查，與離岸風電設施所處腐蝕環境相似，建議後續將此議題納入探討。
4. 建議未來計畫可增加防蝕工法、防蝕材料之探討。
5. 建議與產、關、學界合作，致力推廣「臺灣腐蝕環境分類資訊系統」之應用。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究:

1. 臺灣位處於頻繁地震帶，港區營運安全乃國人必需關注

的重大交通設施，建置港區震災速報系統有其必要性，它可以即時掌握地震規模及可能災損程度外，同時港務人員亦可即時啟動適當的救災作業，降低損失。

2. 地層下陷量與水位變化等歷年數據，建議未來可考慮納入「港灣構造物維護管理系統」。
3. 定期對各港區監測站之儀器設施，進行更新維護有其必要。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究:

1. 將原來兩個各自不同架構系統，整合為同一架構、模組下之管理系統，便於港務單位操作與管理。
2. 整合後之維護管理系統，除港務單位內部人員使用外，建議可局部開放外界使用，以達資源共享。
3. 整合後之維護管理系統，移轉之資料庫數據必須精確無誤，且須有資安查核機制，以確保系統內資料正確安全。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討:

1. 本港灣構造物維護管理系統建置已有多多年，歷年來不斷的精進與擴充功能下，本年度本系統應可完整移交給臺灣港務公司運作，港研中心同仁的努力與付出，應予肯定。
2. 港區幅員遼闊，各類型構造物林立分布，引進新興科技諸如 UAV、AI 或光達-3D...等儀器，應用於港灣設施之檢測，有其優勢的地方，諸如可縮減巡檢時間、迅速瞭解狀況、克服許多檢測的困難或障礙及節省人力...等等，值得鼓勵引用。但是，有些檢測結果之準確性，則須經驗及累積實例來輔助判讀。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討:

1. 透地雷達為一非破壞性檢測儀器，其優點為不須破壞或開挖構造物、道路及邊坡...等，檢測環境除含有海水、黏土、淤泥及不均勻沉陷等外，均能從標的物外觀快速偵測出其內部缺陷或隱藏微型構件，諸如孔洞、塌陷、管線... 等各種狀況。

2. 建議可多選擇其它新興科技探討。

六、 柯正龍副主任

- (一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證
水工模型試驗之模擬條件，建議可將極端氣候因素予以考量。
- (二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究
14 處鈹片試驗場址目前已無施放試片，資料上是否仍需呈現？
- (三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究
建議可將歷次所發布之地震簡訊彙整，並與氣象局所發布之資料進行分析比較。
- (四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究
於移轉作業上，港灣構造物維護管理資訊系統是否需另開發新模組以納入港區工程基本資料庫？其資料整合之移轉，務必確保正確安全。
- (五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討
同仁們應進行相關新興技術之涉略及學識之提升，以瞭解技術內涵、限制及適用性(導入之可行性)。

柒、 結論：

- 一、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，俾提升研究成果之廣度及實用性。
- 二、因今年度臺中港務分公司預計辦理疊標改建作業，改採桁架結構設計，應可作為佈設監測設備之適當觀(量)測場址(飛砂、氣象資料、風剖面、CCTV 等)，各科可依業管計畫所需進行相關規劃。

捌、散會：下午 12 時 20 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所港研中心第一科 110 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：110 年 4 月 21 日(星期三) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

座談委員	簽名	
蔡瑤堂 委員	請假	
朱志光 委員	朱志光	
呂正安 委員	呂正安	
饒書安 委員	饒書安	
柯永彥 委員	柯永彥	
陳桂清 委員	陳桂清	
出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心	副班 三科 科長 科長 研究員 研究員 助理研究員 副研究員 一科 研究員 研究員 助理研究員 研究員	柯正龍 林雅雯 賴瑞華 曾文傑 張道光 莊凱迪 翁建明 許義宏 謝幼屏 黃宇強 毋格

附錄三

第 1 次工作會議紀錄

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 110 年自辦研究計畫第 1 次工作會議

貳、時間：110 年 6 月 21 日（星期一）下午 2 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：鄭登鍵

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

（一）國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 110 年 2 月 26 日拜會交通部高速公路局中區養護工程分局大甲工務段蒐集最新橋梁及河床資料，並至該段轄管具沖刷潛勢橋梁現勘，瞭解鋪設地工織布現地試驗之可行性。
2. 110 年 4 月 19 日完成 UAV（無人飛行載具）飛行拍攝試驗場址及建模作業，將初始河床地貌予以數值化紀錄。
3. 110 年 4 月 21 日完成自辦計畫專家學者座談。
4. 俟全國第三級防疫警戒解除後，擇期進行平面及高程量測作業，及以 UAV 進場進行第 2 次拍攝。
5. 預計於 110 年 7 月開始，以室內水工模型沖刷試驗，研提試驗橋址的橋墩基礎保護工法鋪設斷面改善方案，供未來國道 3 號大甲溪橋橋墩基礎保護工法鋪設之規劃設計應用。

（二）110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，於 3 月完成全島 110 年第 1 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，4 月完成相關化學分析。原訂全島 110 年第 2 季現場大氣腐蝕環境調查研究外業取樣維護事宜，因疫情影響，為配合

防疫作業停止辦理。

2. 110 年 4 月 21 日完成自辦計畫專家學者座談。
3. 完成 2020 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報發行，於 110 年 5 月 11 日出版，並寄送交通部部屬工程單位與中華民國防蝕工程學會參採，以供工程防蝕設計之引用。
4. 為廣泛宣導及重視工程防蝕觀念，將於 110 年 8 月 27 日參加中華民國防蝕工程學會「110 年度防蝕工程年會暨論文發表會」投稿，投稿題目為「2009 至 2019 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析比較探討」，目前撰稿整理中。
5. 統整腐蝕資料庫，進行沿岸地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 維護各港區地震災況速報系統，使其能正常運作。
2. 110 年 2 月、5 月完成第 1-2 季各地區地層分層沉陷及水位量測。
3. 110 年 4 月完成花蓮港地表地震監測設備遷移工作及專家學者座談會。
4. 110 年 5 月配合港灣構造物維護管理資訊系統介接速報系統相關事宜，及辦理布袋港區地震監測站中央集錄系統更新工作。
5. 各港防救災管理相關人員經常異動，已於 110 年 6 月函請臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)提供最新地震簡訊接收者之名單資料。
6. 110 年 6 月完成上半年各港地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 研析港區工程基本資料查詢系統與港灣構造物維護管理系統之系統架構。
2. 分析港區工程基本資料庫可移轉之資料項目。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例及相關文獻，內容包含 UAV (無人飛行載具)、ROV (遠距遙控載具)、三維影像重建技術、劣化影像辨識及比對、透地雷達等，以供未來應用於港灣設施巡檢之可行性及研究方向參採，藉以盤點可實行之標的。
2. 110 年 2 月 4 日、4 月 16 日拜會港務公司洽談需求及工作項目。
3. 110 年 3 月 18 日拜會連江縣政府港務處洽談需求及工作項目。
4. 110 年 4 月 21 日召開專家學者座談會議。
5. 持續依港務公司、連江縣港務處等使用端需求，更新並精進系統及 APP 相關功能模組。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 報告蒐整之透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討相關文獻。
2. 110 年 4 月 21 日完成自辦計畫專家學者座談。
3. 觀摩透地雷達檢測現地案例，學習現地檢測之檢測流程，以及注意相關事項等經驗。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 架設縮時攝影機之可行性。
2. 建議後續年度可增加以數值水理分析方式來探討。
3. 建議可與相關工程顧問公司討論，將本工法於設計階段予以導入。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 建議將國內外最新腐蝕相關規範進行更新整理。

2. 為提供完整準確腐蝕資料，數據品質需掌控並逐一檢視。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 本計畫預計 110 年為自辦計畫最後 1 年，後續相關地震設備及地層下陷調查工作之討論。
2. 明（111）年以港務公司代辦計畫方式辦理，建議進行地震可能引起的土壤液化風險做分析，以精進港區震災速報。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 後續報告內容的加強與補充討論。
2. 工程基本資料庫移轉後，相關資料的更新建置問題討論。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 維護管理機制、科技應用案例等相關文獻之蒐整及後續應用討論。
2. 港灣構造物維護管理資訊系統後續擴充及精進內容之討論。
3. 其他後續工作項目討論。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 透地雷達檢測於相關民間航空公司使用狀況，民間航空公司所使用的跑道為剛性鋪面，剛性鋪面裡有埋設鋼筋結構體，透地雷達檢測性質遇到導電度大時，所檢測出的雷達影像會模糊，後續判讀較為困難，故透地雷達檢測不太適用剛性鋪面。
2. 分享案例中的超音波檢測儀器，檢測原理為透過音波頻率發射，依反射原理接收反射波訊號，所接收反射聲波來判讀檢測位置狀況。

柒、結論：

- 一、國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證
請預先規劃後續年度數值水理分析之導入，請主辦同仁預先規劃。
- 二、110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究
 - (一) 國內外最新腐蝕相關規範文獻，請積極蒐集彙整將其納入於研究報告參考文獻。
 - (二) 腐蝕數據相關試驗皆以標準化規範作業進行，例如：腐蝕劣化因子中氯離子定量分析檢量線的建立，定量前須先瞭解儀器對於氯離子的最低偵測極限以及最大偵測極限，然後選擇合適濃度範圍製作檢量線，以確保資料數據品質。
- 三、110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究
 - (一) 明(111)年以港務公司代辦計畫方式辦理，各港區由於興建及增建碼頭及防波堤，陸續地質鑽探資料會越來越多，應朝地震可能引起的土壤液化風險進一步分析，以精進港區震災速報。
 - (二) 110 年報告撰寫應增加引用其他單位研究成果，以突顯本所研究的特色及重要性。
 - (三) 港區震災速報及地層下陷調查計畫預計 110 年是最後 1 年，地層下陷調查工作項目將結束，明(111)年將以港務公司委託代辦計畫「港區震災速報系統」繼續維運，相關地震設備於使用期限屆期且不堪使用時應予報廢，後續因應港務公司地震防災需求，應透過代辦計畫經費辦理相關工作。
- 四、港區工程基本資料庫移轉建置研究
 - (一) 後續之報告內容請加強參考文獻與前期計畫的審查意見的彙整。
 - (二) 後續移轉到港灣構造物維護管理系統的新增與更動港區基本資料之建置，原則由港務公司來自行擴充。
- 五、港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

- (一) 本計畫建議可參考 TBMS 產出月報，以利瞭解系統運維情形及使用者意見處理狀況。
- (二) 本計畫建議盤點國內外相關新興科技之可行技術，於未來規劃以自辦或合辦方式進行場域試辦並推廣應用。
- (三) 本計畫建議持續加強與港務公司之雙向互動及溝通聯繫，瞭解其需求和使用者回饋建議，並可參考納入部務會報有關今（110）年度港務公司重點工作簡報內容。
- (四) 本計畫蒐集新興科技應用案例過程，亦可同步瞭解目前港務公司或相關單位之現場需求、執行困難等，以確立後續研究課題方向符合實際需要。

六、透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

- (一) 相關透地雷達檢測儀器設備種類，請收集彙整將其納入於研究報告資料。
- (二) 請蒐集針對透地雷達應用於道路孔洞的案例，如臺中港南堤路案例等。
- (三) 請拜會訪談相關道路管理單位，瞭解應用單位需求，給予本案相關的意見，做為後續研究之參採。

七、通案性建議（柯副主任正龍）：

- (一) 建議參考交通部王部長上任後，部務會報中各部屬單位（公路總局、高速公路局、航港局、港務公司、民用航空局…）110 年度重點工作之簡報，檢視是否有可供計畫執行參考項目，俾利研究成果落實應用。
- (二) 承上，110 年 6 月 7 日所長指示，第 1785 次部務會報航港局簡報資料內容精簡，卻能明顯點出重點，易讀易懂，很值得本所學習，請轉知同仁參考。
- (三) 第一科 110 年自辦計畫多為 4 年計畫之最後 1 年，建議檢視前期(107 - 109 年)期末報告審查意見處理情形表，以及本所 110 年 3 月 16 日召開本中心自辦計畫討論會議所長及各單位意見，是否仍有可供 110 年度持續精進或可加以改善部分，做為研究參考。結論及建議之內容，建

議以 4 年期整體成果闡述，並於報告書中列表說明各年度研究成果。

(四) 建議於 110 年 8 月 31 日前辦理之工作會議，各計畫先提出報告前 3 章內容，互相討論。

(五) 建議加強蒐集近 5 年計畫相關參考文獻。

捌、散會：下午 17 時 0 分

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科 110 年度自辦研究計畫第 1 次工作會議

時間：110 年 6 月 21 日(星期一)下午 2 時

地點：本所港研中心5樓第一會議室

主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

單位	簽名
港研中心本部	柯正廷
港研中心第一科	賴瑞尊 胡怡 曾文傑 莊凱迪 黃宇騰 謝仕博 蔡立宏
港研中心第二科	李作穎
港研中心第三科	林雅雯

附錄四

第 2 次工作會議紀錄

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 110 年自辦研究計畫第 2 次工作會議

貳、時間：110 年 8 月 27 日(星期五)上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴科長瑞應

紀錄：莊凱迪

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、主席致詞：略

柒、單位簡報：略

捌、討論議題：

一、工作進度說明：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地保護成效觀測。
2. 室內水工模型試驗保護工鋪設改善方案研提。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 完成上半年大氣腐蝕劣化因子調查取樣及相關化學分析。
2. 精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫，於 8 月 24 日出席 110 年港灣環境資訊系統維護與功能提升第 5 次工作會議，討論整合臺灣腐蝕環境分類資訊事項。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 維護各港區地震災況速報系統。
2. 更新臺灣港務股份有限公司提供之最新地震簡訊接收者之名單資料。
3. 110 年 7 月 2 日及 14 日分別完成上半年各港區地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作驗收及付款。
4. 彙整各地區地層分層沉陷及水位量測資料，並進行資料分析。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 持續分析港區工程基本資料庫可移轉之資料項目。
2. 持續建置港區工程基本資料庫碼頭斷面設計圖資移轉的查詢模組。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例及相關文獻，內容包含 UAV (無人飛行載具)、ROV (遠距遙控載具)、三維影像重建技術、劣化影像辨識及比對、透地雷達等，以供未來應用於港灣設施巡檢之可行性及研究方向參採，藉以盤點可實行之標的。
2. 持續蒐集並研析港灣構造物之維護管理相關文獻，內容包含維護管理計畫制定、巡查與檢測作業類別、方法、頻率和項目、構件劣化度判定及設施整體弱化度評估至維護維修計畫訂定。
3. 持續依臺灣港務公司、連江縣港務處等使用端需求，更新並精進系統及 APP 相關功能模組。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 持續蒐集國內外相關文獻資料。
2. 探討電磁波中的介質特性、儀器參數的設定值等影響透地雷達檢測之因素，俾利後處理影像判讀。
3. 完成報告前 3 章初稿架構。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 架設縮時攝影機之可行性。對於達河床載之河床流速估算，建議可納入考量。
2. 建議後續年度可增加數值水理分析。
3. 本計畫最終之成效評估，將如何規劃及執行?請妥為研擬。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 由於氣候變遷影響，建議評估檢討現有監測站地點，後續是否須更換或新增。
 2. 本計畫為多年期連續性計畫，建議規劃研究成果提供研擬臺灣地區塗裝防蝕手冊參採考應用。
- (三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究
1. 報告內容後續加強與補充。
 2. 港區震災速報系統明(111)年將以港務公司委託代辦計畫「港區地震速報精進與維護」繼續維運。原以井下地震設備介接本所港灣環境資訊網部分，後續規劃以地震速報設備進行介接。
- (四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究
1. 報告內容後續加強與補充。
 2. 各港基本資料移轉維護管理系統後，後續資料更新與精進。
- (五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討
1. 維護管理機制、新興科技應用港務公司辦理情形及後續應用。
 2. 後續教育訓練及成果推廣執行方式。
 3. 新興科技應用案例等相關文獻之蒐整及後續應用。
 4. 其他後續工作項目。
- (六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討
1. 報告內容後續加強與補充。
 2. 透地雷達檢測道路孔洞案例蒐整及其他後續工作項目。

玖、結論：

一、國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

本計畫相關內容成果請先行彙整，以備提報發佈於交通部臉書專頁。

二、110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(一) 本計畫成果，為國內最完整之金屬材料腐蝕環境分類調查資料庫，建議後續可依實際環境增加監測站。

(二) 有關研擬臺灣地區塗裝防蝕手冊，後續請與產官學研各界研商所需提供資料內容。

三、110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(一) 本(110)年為本連續性計畫執行期程之最後1年，報告撰寫應彙整歷年研究成果進行研析，以突顯計畫特色及重要性。

(二) 地層下陷調查工作項目將執行至110年後結束，111年起將改辦理臺灣港務公司委託辦理「港區地震速報精進與維護」，繼續維運，原以井下地震設備介接本所港灣環境資訊網部分，後續將規劃運用地震速報設備進行介接。

四、港區工程基本資料庫移轉建置研究

(一) 本(110)年為本連續性計畫執行期程之最後1年，報告撰寫請併彙整研析歷年研究成果。

(二) 請統計移轉到港灣構造物維護管理系統的基本資料之清單，俾以提供臺灣港務公司後續資料擴充參採應用。

五、港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

(一) 110年6月2日與金門縣政府視訊研商會議之內容及結論，建議考量納入期末報告。

(二) 港灣構造物之特性應於報告完整說明，請依構造物功能容許變位值，加強探討檢測方法，以利擬定相關檢測標準，提供系統引用。

(三) 因應水下檢測困難及潛水人員日趨缺乏，建議加強蒐集並參考國外新興水下檢測技術與相關科技文獻。

六、透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

(一) 透地雷達檢測道路孔洞案例，請加強蒐集並彙整研析。

(二) 請儘速針對相關公路單位進行訪談，以利及早瞭解檢測實務需求，做為規劃後續研究方向之依據。

拾、散會： 12 時 00 分。

會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 110 年度自辦計畫第 2 次工作會議

貳、時間：110 年 8 月 27 日(星期五) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

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
港灣技術研究中心本部	副主任	柯正龍
港灣技術研究中心第一科	研習 副研究員 研究員 研究員 助理研究員 副研	胡啟 鄭登健 曹文傑 張道光 莊凱翔 王浩源 顏研香
港灣技術研究中心第二科	科長	李怡翔
港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

附錄五

第 3 次工作會議紀錄

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 110 年自辦研究計畫第 3 次工作會議

貳、時間：110 年 10 月 26 日(星期二)上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長

紀錄：鄭登鍵

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 大甲溪橋地工織布保護工法現地保護成效觀測。
2. 室內水工模型試驗保護工鋪設改善方案研提。
3. 大甲溪橋地工織布保護工法現地保護成效評估。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 110 年 9 月進行全島 110 年第 3 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，並於 110 年 10 月完成化學酸洗試驗及化學分析。
2. 110 年 10 月 22 日辦理「110 年臺灣腐蝕環境分類資訊系統與橋梁防蝕工法應用研習會」，邀集部屬機關及縣市政府相關工程人員共同參與，圓滿完成。
3. 統整腐蝕資料庫，進行沿海地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 維護各港區地震災況速報系統，使其能正常運作。
2. 110 年 9 月完成「布袋港地震監測站中央集錄系統更新工作」驗收及付款。
3. 110 年 10 月 5 日至 7 日完成 110 年第 3 次各地區地層分

層沉陷及水位量測。

4. 彙整各地區地層分層沉陷及水位量測資料，進行資料繪圖及趨勢分析。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 持續針對系統功能模組、資料庫及檔案與資料結構進行分析，整理評估可轉移項目之內容進行移轉。
2. 港區工程基本資料庫碼頭及堤防斷面設計圖資、港埠規劃配置及鑽探資料移轉之查詢模組建置。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 完成第2次自辦計畫工作會議結論辦理情形說明及回應。
2. 蒐整港灣構造物之維護管理及新興科技運用巡檢相關文獻。
3. 持續依臺灣港務股份有限公司（以下簡稱港務公司）、連江縣政府港務處等使用端需求，更新並精進系統及APP相關功能模組。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 持續探討檢測案例之現地問題與需求，規劃透地雷達現場檢測測線，俾利減少施工作業時間、費用及交通影響等問題。
2. 經透地雷達檢測及解析道路下之狀況，並得知目標物位置，大幅減少現地開挖範圍。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(一) 國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證

1. 燦樹颱風之影響，建議可納入討論。
2. 取盧碧颱風做為主要保護成效評估之降雨事件，除了考量高流量因素外，亦可將汛期前整備之人為干擾因素列入考量。

3. 簡報 P. 29-「未加固」一詞，建議修改為「未施作保護工」，較為妥適。

(二) 110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1. 預計於 110 年 12 月進行全島第 4 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，並於 111 年 1 月完成相關化學分析。
2. 預計於 110 年 10 月 29 日出席「110 年港灣環境資訊系統使用者說明會」，推廣臺灣腐蝕環境分類資訊系統。
3. 預計於 110 年 11 月 26-27 日參加中華民國防蝕工程學會「110 年度防蝕工程年會暨論文發表會」，投稿題目為「2009 至 2019 臺灣大氣腐蝕因子趨勢分析比較探討」。
4. 彙整調查成果並撰寫本計畫期末報告。

(三) 110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1. 期末報告內容討論。
2. 111 年以港務公司代辦計畫方式辦理，後續相關工作討論。

(四) 港區工程基本資料庫移轉建置研究

1. 系統移轉項目轉換資料筆數。
2. 鑽探資料移轉建置。

(五) 港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討

1. 港灣構造物維護管理及巡查檢測機制。
2. 新興巡檢技術應用。
3. 後續工作項目討論。

(六) 透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

1. 補充與加強後續報告內容。

2. 持續蒐集與研析道路孔洞案例及其他後續工作項目討論。

柒、結論：

- 一、國道三號大甲溪橋地工織布保護工法現地沖刷試驗及驗證
自辦計畫期末審查將屆，請掌握時效撰寫研究成果報告。
- 二、110 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查研究
 - (一) 本計畫為本所之亮點計畫，每年舉辦研習會皆須發布新聞稿，後續年度請留意公文簽稿之時效性。
 - (二) 持續加強宣導同仁試驗數據品管及工安之重要性。
- 三、110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究
 - (一) 本計畫 111 年規劃以港務公司委託代辦計畫「港區地震速報精進與維護」繼續維運，後續因應港務公司實務需求，預計於 110 年底前討論地震速報資料介接其他系統之相關工作。
 - (二) 各港地震速報傳送之簡訊內容格式呈現不一致，請於 111 年地震速報精進，統一簡訊格式。
- 四、港區工程基本資料庫移轉建置研究
 - (一) 系統各項設施資料除了移轉總筆數外，各港亦可分開統計。
 - (二) 系統移轉後，後續新增設施資料，請建置相關填報格式，俾以提供港務公司進行維護工作。
- 五、港灣構造物維護管理資訊系統及新興巡檢技術應用探討
 - (一) 建議加入系統及 APP 相關統計數據、教育訓練及使用者意見回饋，以利評估使用成效。
 - (二) 原規劃新興科技應用巡查及檢測案例納於報告第 2 章文獻回顧，建議另改立章節詳述。
 - (三) 本計畫蒐集國外應用 ROV 進行棧橋式碼頭底板劣化影像自動辨識之相關文獻，未來可做為本中心進行感潮河段梁底或港灣構造物檢測參採。

六、透地雷達檢測道路孔洞方法之初步探討

(一) 請補充說明本計畫針對相關單位有關透地雷達檢測道路孔洞之看法與需求的訪談結果。

(二) 請掌握時效完成研究成果報告撰寫。

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 110 年度自辦研究計畫第3次工作會議

貳、時間：110 年 10 月 26 日(星期二) 上午 9 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

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	副主任	柯正廷
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 副研究員 助理研究員 研究員 助理研究員	王浩源 謝幼屏 胡俊文 鄭登鍵 曾文傑 黃亨瑞 吳建中 張道光 莊凱迪
本所港灣技術研究中心第二科		
本所港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

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：110 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

執行單位：港灣技術研究中心第一科

審查意見	處理情形
張文忠委員	
1. 本計畫為多年期持續計畫，於港區地層下陷資料搜集及港區液化速報建立，有完整高品質資料，於港區風險管理具有重要價值。	感謝委員肯定。
2. 井下地震設置目的主要為建立港區地質放大系數，並進行加速度與孔隙水壓激發之耦合反應，對於港區液化速報，僅需地表加速度，後續建議若經費有限，可僅保留地表地震儀，並增加點位。	港區地震速報系統於 111 年起將移轉予使用單位臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)賡續進行維護使用，本所將協助維護地表地震速報，未來也會視該公司需求增加點位。
3. 地震速報系統震度分級，請檢核是否與最新中央氣象局分級標準一致。	未來會與港務公司討論，是否要修改地震速報系統震度分級，與最新中央氣象局分級標準一致。
4. 地層下陷監測資料建議可增加說明主要下陷量深度，以釐清主要下陷層及數值，有助下陷機制釐清。	地盤下陷監測資料主要下陷量深度、下陷層及數值，已詳細說明於報告書 p. 4-45 至 p. 4-47。
5. 地震速報發送之門檻值建議可適度提高，以避免過於頻繁發送及誤觸次數。	將於明年配合港務公司適度提高地震速報發送之門檻值。
6. 地震速報後續維護，可考量通訊改為 4G/5G 網路，以避免通訊線路老化及通訊網路更新受限。	感謝委員建議，後續納入維護方案辦理。
林炳森委員	
1. 本研究在工程實務上具有價值，可供港灣結構設計及地震工程相關研究之用。港區速報系統能提供震後碼頭液化安全評估參考，亦可作為防災人員救災決策之依	感謝委員肯定。

據，具有價值貢獻，應繼續本研究計畫。	
<p>2. 本研究需修訂部份如下：</p> <p>(1)英文摘要之研究成果效益與應用第 1. 項內容，建議重新翻譯。</p> <p>(2)p. 1-6 表 1-3，應列出地表網路地震儀在哪幾個地點？</p> <p>(3)p. 2-1 碼頭及地層之傾斜變位監測若無繼續，則可刪除。</p> <p>(4)p. 3-5 布袋港最後一行「量測頂端已快接近保護蓋」，是否可修復？</p> <p>(5)p. 3-7 花蓮港資料是否放入附錄 4。</p> <p>(6)p. 4-19 布袋港 97 年 5 月，故障是否可修復？</p> <p>(7)參考文獻應統一格式，如中文在前，英文在後。</p>	<p>(1) 已依委員提供資料進行修改。</p> <p>(2) 已於 p1-5 表 1-1 之年度項 108-110，新增地表網路地震儀地點。</p> <p>(3) 已依委員意見刪除。</p> <p>(4) 今年是地層下陷最後 1 年監測，暫時不會修復。</p> <p>(5) 已修改各港的地震波形圖紀錄於附錄一。</p> <p>(6) 今年是地層下陷最後 1 年監測，暫時不會修復。</p> <p>(7) 參考文獻格式已依建議進行修改，並整理於文獻中。</p>
陳志芳委員	
<p>1. 本研究計畫是多年期的最後一年，各項進度皆順利完成，研究團隊的辛勞與努力，值得肯定。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
<p>2. 地震監測系統查詢展示網頁內容精進詳細，長期的監測資料也非常寶貴，值得參考。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
<p>3. 地震速報系統簡訊發佈是以最短時間內擷取到最大的 PGA 為首要，目前速報系統是設定在地震發生後一分鐘內傳送簡訊，如遇到強烈地震時，也許會擷取不到最大的 PGA 就會發佈，這是可以再討論的。</p>	<p>此為系統設定問題，將納入後續代辦計畫處理。</p>
<p>4. 依中心第一科 110 年自辦計畫第一次工作會議紀錄結論，111 年起港區震災速報系統計畫將以港務公司委託代辦計畫方</p>	<p>111 年起港區震災速報系統計畫將以港務公司委託代辦計畫方式辦理，各港區的地表地震</p>

<p>式辦理，各港區的井下地震監測站因儀器設備昂貴，建議可在有限的經費下作刪減調整。</p>	<p>儀器，將持續維護及新增。</p>
<p>5. 布袋港水準基站內管頂端已達保護蓋位置，須作更換或其他方式作處理。</p>	<p>今年是地盤下陷最後 1 年監測，暫時不會修復。</p>
<p>6. 港區地層下陷量測目前是每季定期前往各港量測一次，由歷年的資料顯示，以布袋港累積下陷量最大，其它的港區較小，建議在累積沉陷量較少的港區可延長到每半年或更長進行一次量測，以減少人力負擔。</p>	<p>今年是港區地層下陷最後 1 年，暫時不會再量測港區地層下陷量。</p>
<p>7. 文字修正部分如下：</p> <p>(1)p. 1-6 表 1-3「台中」火力發電廠應改為「臺中」火力發電廠。</p> <p>(2)p. 3-1，3.1 各港地震監測站維護，各港的井下速報波形圖紀錄如附錄「四」皆須改為附錄「一」。</p> <p>(3)p. 3-4 第五行，如圖「3.9」所示應改為圖「3.2」。</p>	<p>(1) 已於 p1-5 表 1-1 之年度項 108-110，修正為「臺中」火力發電廠。</p> <p>(2) 已依委員意見，修正附錄「四」為附錄「一」。</p> <p>(3) 已依委員意見，修正圖「3.9」為圖「3.2」。</p>
<p>賴瑞應委員</p>	
<p>1. 110 年發布的地震速報簡訊數量，建議可以依港別分別統計成表格，以瞭解本研究成果提供的具體應用數據。</p>	<p>已依委員意見於 p. 3-7，新增表 3-1 各港區 110 年發布的地震速報簡訊統計表。</p>
<p>2. 建議未來可以針對 4 級以上本所於港區監測的地震資料與氣象局附近的測站資料做比對及探討，以利外界了解於港區設置地震監測站的必要性。</p>	<p>未來會針對 4 級以上的地震資料與同時間氣象局發布的資料做比對，以利外界了解於港區設置地震監測站的必要性。</p>
<p>3. 建議後續可以再增加各港的鑽探資料，並更新各港的液化潛勢評估結果，以精進各港地震災損速報的準確性。</p>	<p>111 年起港區震災速報系統計畫將以港務公司委託代辦計畫方式辦理，預計逐年蒐集及新</p>

	增各港區的鑽探資料，並更新各港的液化潛勢評估結果，以利精進各港地震災損速報的準確性。
蔣敏玲委員	
1. 本研究成果具實務應用價值，提供港務公司即時地震速報資訊，供決策輔助參考，值得肯定。	感謝委員肯定。
2. 建請說明地震速報系統今年度運作港務公司是否有回饋意見？	今年度港務公司提供地震簡訊接收者之最新名單，本所於 6 月完成更新，目前無回饋意見。
3. 明年地震速報系統將由港務公司出資委託本所辦理，相關成果將納入港務公司「海氣象及應變即時系統」平台展示，屆時再請協助介接事宜。	明年將會協助「海氣象及應變即時系統」平台介接工作。
許義宏委員	
1. 本研究特別針對歷年地層下陷監測成果與相關文獻進行比對驗證，具高度參考及應用價值。建議後續可考慮透過政府開放平台將相關資料提供外界應用。	感謝委員肯定，歷年地層下陷監測成果，置放於本所港灣技術研究中心網站之中心出版品內，相關資料提供外界參考應用。
2. 在地震速報系統後續規劃移轉予港務公司使用，對於近年在港務公司應用情形及回饋意見內容，建議可加強補述。	港務公司應用本所簡訊做為地震後設施巡查的參考，另今年度港務公司提供地震簡訊接收者之更新名單，說明於 p. 3-11，目前無回饋意見。
3. 為提高資料應用價值，建議可加強資料品管機制。	本研究是多年期的計畫，各項監測所得資料成果，逐年精進量測及分析方法，有效提升資料應用價值。

附錄七 期末報告簡報資料

110年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究



報告人：研究員曾文傑

執行單位：運輸研究所研究中心

計畫時程：110.1.1~110.12.31



簡報流程

- 一、計畫概要
- 二、地震速報規劃
- 三、地震監測及維護
- 四、地層下陷監測
- 五、結論與建議

經費: 288.5萬元
來源: 本所業務費

一、計畫概要(1/5)

研究緣起 與目的 (WHY)

- ✓ 臺灣西南沿海地區，地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密尚未全部完成，極可能因地震作用產生土壤液化，造成結構物損壞。
- ✓ 為維護港灣設施之功能與安全，本所自民國89年開始於各港區設置地震監測系統及地層下陷觀測站，並建置港區震後即時災況速報系統。
- ✓ 提供港埠單位規劃設計與防救災之應用。

研究範圍 與應用單 位(WHO)

- ✓ 本研究範圍包括花蓮、蘇澳、基隆、臺北、臺中、布袋、安平及高雄(以下簡稱各港區)等8港區地震監測站；另4地區(布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港)地層下陷量及水位觀測站。
- ✓ 應用單位為港務公司及其各分公司防救災與工程維管單位人員。

一、計畫概要(2/5)

研究項目 與內容 (WHAT)

- ✓ 維護各港區地震監測站與彙整資料
 - 針對各港區地震監測站儀器設備，定期進行維護保養與儀器故障修復，並彙整地震資料。
- ✓ 各港區地震災況速報系統維護
 - 持續維護各港區地震災況速報系統，於震後以簡訊方式快速通報港區災況初評，發送至相關維管人員，提供防災決策應用。
- ✓ 各地區地層分層沉陷及水位之監測站維護
 - 針對臺中港、布袋港、安平港、大鵬灣等地區之沉陷及水位監測站，定期進行維護保養，維持測站正常運作。
- ✓ 定期量測布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港等地區分層地層下陷量與地下水位變化量。

辦理方式 (HOW)

- ✓ 持續維護各港區地震及動態水位即時監測站與地震災況速報系統，使其能正常運作及擷取資料，確保震後快速發佈災情研判結果，提供防救災決策應用。
- ✓ 定期於每季(2、5、8、11月)量測布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港等地區分層地層下陷與地下水位變化量，研析其變化趨勢。
- ✓ 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。

一、計畫概要(3/5)

預期成果、效益及應用

✓ 預期成果(效益)

- 持續維護各港區地震監測站及地層分層沉陷及水位監測站，俾使監測資料完整正確。
- 精進各港區地震災況速報系統，提供各港區碼頭地震安全評估相關資訊，做為各港務分公司工程維管人員，震後即時防救災決策之參考。

✓ 應用

- 各港區地震災況速報系統：提供震後碼頭災況初步評估，做為各港辦理防救災決策應用。
- 各地區地層下陷及地下水位監測：提供地層下陷與地下水位變化趨勢，供各港辦理港區結構物設計及維護應用。

一、計畫概要(4/5)

辦理時程甘特圖(WHEN)

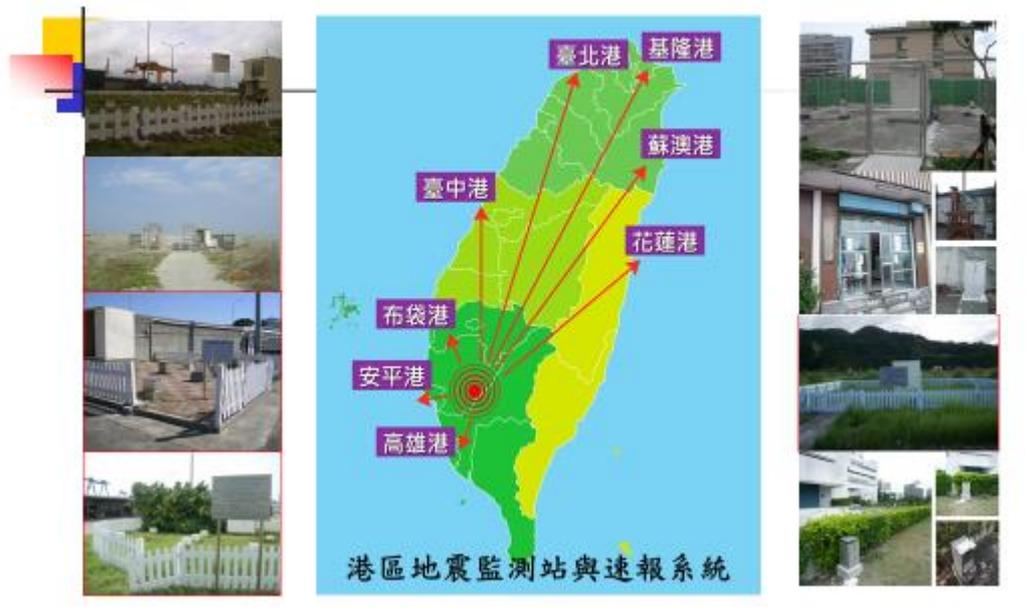
工作項目	110年											
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
擬訂、審查及修改工作計畫書	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
彙整各港區地震監測站資料與維護	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
各港區網路型地震災況速報系統維護	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
各地區地層分層沉陷及水位之監測站維護	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
現地地層下陷與地下水位量測	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
召開專家學者座談會	■	■	※	■	■	■	■	■	■	■	■	■
辦理工作會議	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
撰寫期末報告書初稿	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
期末報告初稿審查/修訂/簽陳印製	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
預定進度累計百分比	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	85%	90%	100%	
預定查核點	> 1. 110.4.30前召開專家學者座談會。 > 2. 110.6.30、8.31、10.31前辦理工作會議。 > 3. 110.11.30前完成提交期末報告初稿。 > 4. 110.12.31前完成報告書。 > 5. 111.2.28前完成報告書簽陳印製。											

一、計畫概要(5/5)

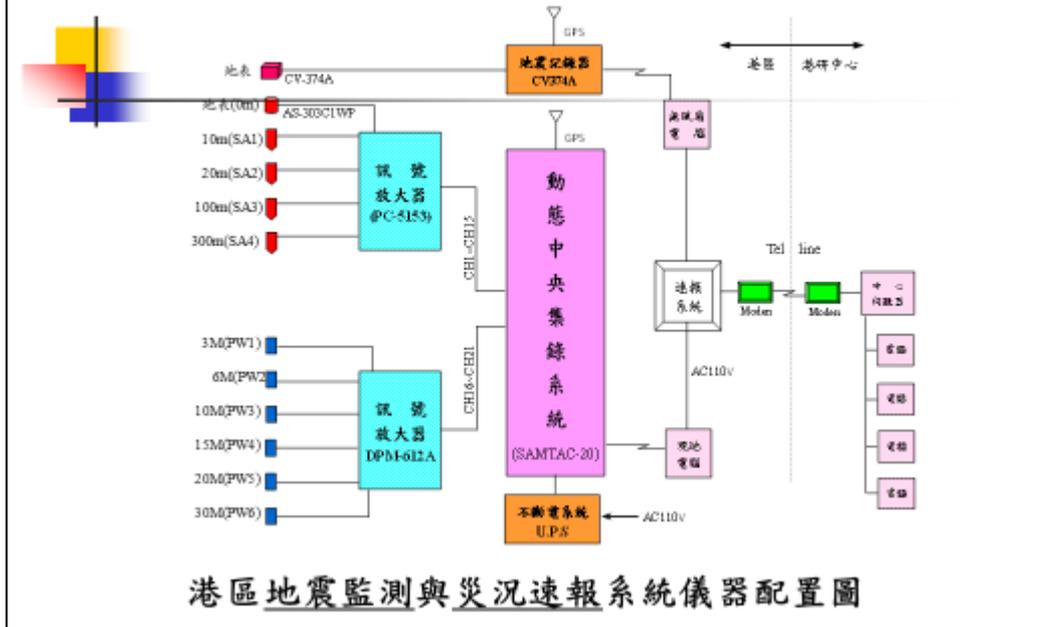
類別	姓名/職稱	主要工作內容
計畫主管	蔡立宏/主任 賴瑞應/科長	督導計畫執行
計畫主持人	曾文傑/研究員	1.執行現地分層沉陷與水位量測 2.維護各港監測站設備、儀器與彙整量測成果 3.資料分析與撰寫報告
研究人員	謝幼屏/研究員	協助資料庫資料收集與分析
研究/計畫參與人員	李春榮、何木火/技工	協助現地分層沉陷與水位量測

人力分配

二、地震速報規劃(1/7)

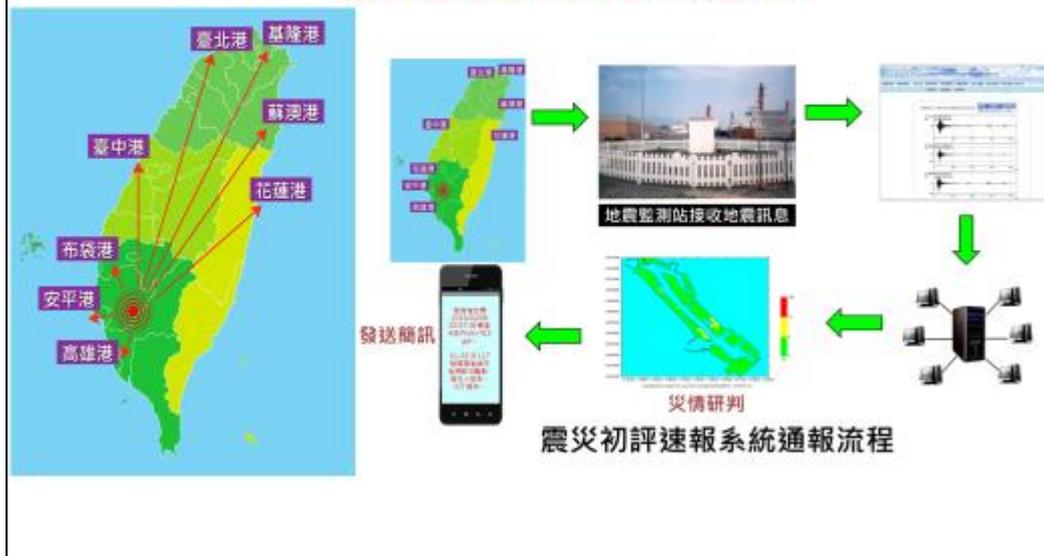


二、地震速報規劃(2/7)



二、地震速報規劃(3/7)

港區震災速報簡訊通報流程



二、地震速報規劃(4/7)

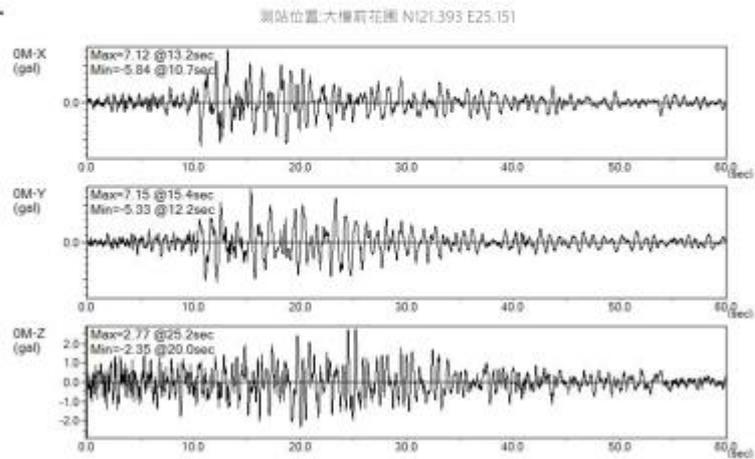


- ◆系統目前附掛於本所港研中心港區環境資訊網，作為各港地震資料查詢及展示



二、地震速報規劃(5/7)

臺北港



臺北港區近期地震三向度資料畫面

二、地震速報規劃(6/7)

The screenshot shows the 'Historical Earthquakes Inquires' page for the Port of Budai. The interface includes a search bar, a list of stations (e.g., 臺北站, 臺中站, 布袋站), and a summary for a specific event: 11:13:06 on 2023/08/19 with a magnitude of 2.05. The page title is '布袋港 PORT OF BUDAI'.

布袋港
PORT OF BUDAI

11:13:06
2023/08/19
地震發生時間

2.05
地震強度

布袋港區歷史地震三向度資料畫面

二、地震速報規劃(7/7)

This screenshot displays the detailed seismic waveform data for two events at the Port of Budai. The first event is at 11:13:06 on 2023/08/19 with a magnitude of 2.05. The second event is at 11:12:36 on 2023/08/19 with a magnitude of 6.18. Each event is accompanied by three seismic waveforms (P, S, and T waves) for station 027. The interface also includes search filters for station and time.

布袋港
PORT OF BUDAI

11:13:06
2023/08/19
地震發生時間

2.05
地震強度

11:12:36
2023/08/19
地震發生時間

6.18
地震強度

三、地震監測及維護(1/13)

港區地震監測站

- ◆港研中心自民國89-94年陸續於安平港、臺中港、布袋港、臺北港、高雄港及蘇澳港等逐年分別設置完成一組200-300 m深之井下地震及動態孔隙水壓監測站(如表3-1)

三、地震監測及維護(2/13)

港區地震監測站

表3-1 各港區設置井下地震儀資料表

測站	設置位置	經度(度) 緯度(度)	儀器深度	設置日期
安平港	8號碼頭空地	22.980 120.177	201m	89年
臺中港	26號碼頭空地	24.27358 120.5201	283m	90年
布袋港	砂石碼頭空地	23.375 120.133	300m	90年
臺北港	大樓前花園	25.151 121.393	297m	91年
高雄港	船舶管理中心花園	22.5985 120.2829	292m	92年
蘇澳港	棧場所對面	24.5909 121.863	35m	93年
臺中火力電廠	圍牆外側綠地	24.206 120.486	200m	94年

三、地震監測及維護(3/13)

- ◆為降低井下地震監測儀之儀器或外部干擾產生雜訊，新增地表網路地震儀連接井下地震監測儀組成地震災後速報系統。
- ◆港研中心自98年起分別於臺中港、安平港、高雄港、蘇澳港、臺北港及布袋港等6站井下地震監測站之儀器機房內安裝三向度網路型地表地震監測速報系統。
- ◆當地表感震器接收到地震訊號後，先傳至儀器主機經運算後，再同時儲存到監測站工業級電腦。
- ◆並以中華電信ADSL網路將港區災況以簡訊方式依不同震度需求發送至本所及各港務管理單位參考應用。

三、地震監測及維護(4/13)

- ◆花蓮港與基隆港兩站之三向度網路型地表地震監測速報系統，分別於101及108年安裝於港區自由場之室外、內保護箱內。
- ◆109年本所原設置於基隆港(貨櫃中心)之地表地震監測設備，為配合該港東櫃西遷，遂將設備遷移至該港航管中心。
- ◆今(110)年原設置於花蓮港港務大樓前花園之地表地震監測設備，為配合該分公司另有其他用途，將地震監測設備搬遷至該大樓右前方花園，力求通報資訊能正常運作，俾利監測效益能提昇花蓮港港區整體安全，如圖1-圖3所示。

三、地震監測及維護(5/13)



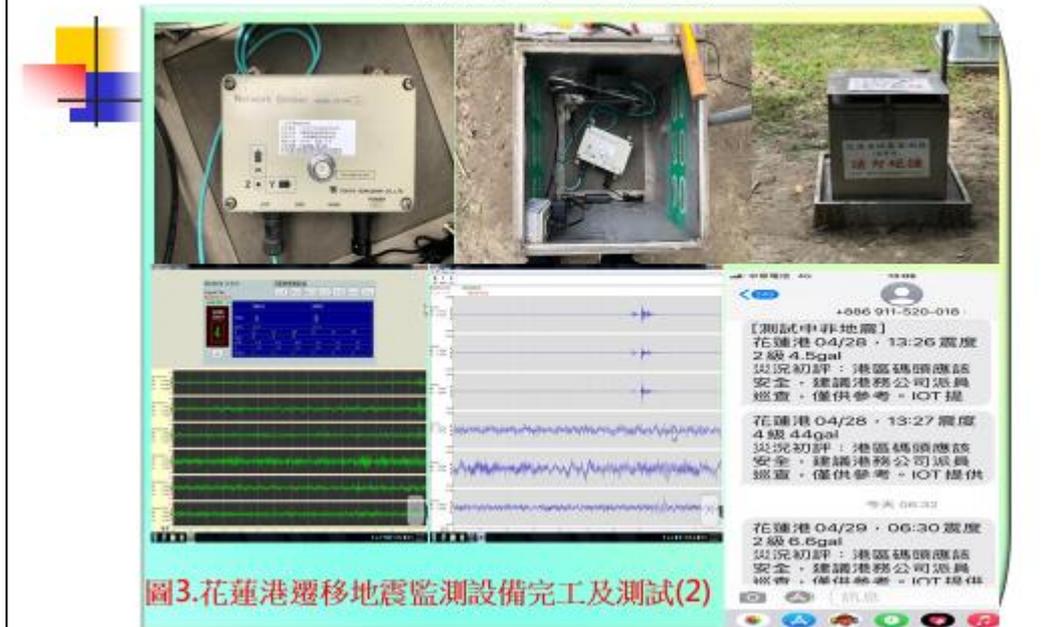
圖1.花蓮港原地震速報監測站位置

三、地震監測及維護(6/13)



圖2.花蓮港遷移地震監測設備施工(1)

三、地震監測及維護(7/13)



三、地震監測及維護(8/13)

- ◆配合臺灣構造物維護管理資訊系統介接速報系統，討論相關介接規劃。
- ◆臺北港4月中旬地震監測站，因鄰近人行道工程施工斷電，網路無法連線，於110年05月19日工程完工復電，並連線功能測試恢復正常運作；07月12日井下電腦故障，網路無法連線，於110年07月15日電機重新開機後，恢復正常運作。
- ◆臺中港及臺中火力電廠旁之井下監測站電腦5月初故障，無法遠端連線，於110年05月14日經電腦重新開機後，連線功能測試恢復正常運作。

三、地震監測及維護(9/13)

- 各港防救災管理相關人員經常異動，函請港公司提供最新地震簡訊接收者之名單資料，並於完成更新工作。
- 蘇澳港監測站5月發現中央集錄系統故障，拆回檢查發現內部有螞蟻築巢痕跡，導致 CPU基板短路故障，經清除築巢及雜物後修護，恢復正常運作
- 蘇澳港監測站7月，無法遠端連線，經中華電信人員檢查後發現為電源線破皮導致斷電，於8月電源線修護後，依然無法遠端連線，再請中華電信人員檢查後發現ADSL也故障了，於更換新的ADSL，連線功能測試恢復正常運作。

三、地震監測及維護(10/13)

蘇澳港監測站



中央集錄系統故障(螞蟻築巢痕跡)



電源線破皮導致斷電修護後即時地震速報簡訊



三、地震監測及維護(11/13)

- ◆ 6月及11月完成各港地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作2次。
- ◆ 8月完成布袋港區地震監測站中央集錄系統更新工作。
- ◆ 4月完成自辦計畫專家學者座談會議及6月、8月及10月完成3次工作會議。



三、地震監測及維護(12/13)

- 今年(110)各港地表地震監測，截至10月16日止成果
- ◆ 臺中港地表地震監測紀錄，共發送2級以上地震共5筆簡訊，震源大部份來至小區域或東部外海地區。
 - ◆ 安平港共發送2級以上地震共3筆簡訊，震源大部份來至小區域或花東外海地區。
 - ◆ 高雄港，共發送2級以上地震共2筆簡訊，震源大部份來至小區域或台東外海地區，地震不多。
 - ◆ 布袋港，共發送2級以上地震共8筆簡訊，震源大部份來至小區域或花東外海地區。



三、地震監測及維護(13/13)

- ◆ 基隆港共發送2級以上地震共2筆簡訊，震源大部份來至小區域或蘇澳外海地區，地震不多。
- ◆ 臺北港共發送2級以上地震共12筆簡訊，震源大部份來至小區域或蘇澳外海地區。
- ◆ 蘇澳港地表地震監測紀錄，共發送2級以上地震共69筆簡訊，最大震度為110年10月24日13:11:45測得5級地震強度(加速度達145 gal)，蘇澳港震源大部份來至小區域或蘇澳外海地區。
- ◆ 花蓮港共發送2級以上地震共53筆簡訊，最大震度為110年07月14日06:52:07測得4級地震強度(加速度達79 gal)，震源大部份來至小區域或東部外海地區。



四、地層下陷監測

- 中心於布袋港、臺中港、安平港、大鵬灣等地區各設置**200m至300m**深地層下陷及靜態水壓監測站，以**無線電波感應式層別沉陷儀及水位儀**，定期量測分層沉陷及水位(如圖4-1及圖4-2所示)。
- 量測各港區之沉陷及水位變化，以探討地下水壓變化對各港區地層下陷之影響。

四、地層下陷監測

- 2月、5月、10月完成3次各地區地層分層沉陷及水位量測；原預計於8月完成第3季量測，由於中央氣象局針對中南部6縣市發布豪、大雨特報，基於量測現地易有大雨、積水、雷擊及強陣風發生，考量安全，延期至10月完成。
- 茲將今年(110)地下水位及地層下陷量測所得資料分析彙整如下：

四、地層下陷監測



布袋300m

布袋200m

大鵬灣200m

安平250m

臺中港200m

圖4-1布袋分層沉陷及水位量測
(以無線電波感應式層別沉陷儀)

四、地層下陷監測

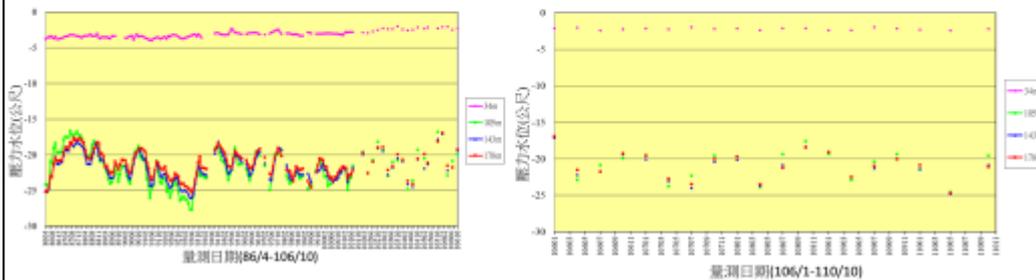


圖 4-2沉陷儀及沉陷尺保養工作

四、地層下陷監測

布袋港200m分層水位變化 (1/9)

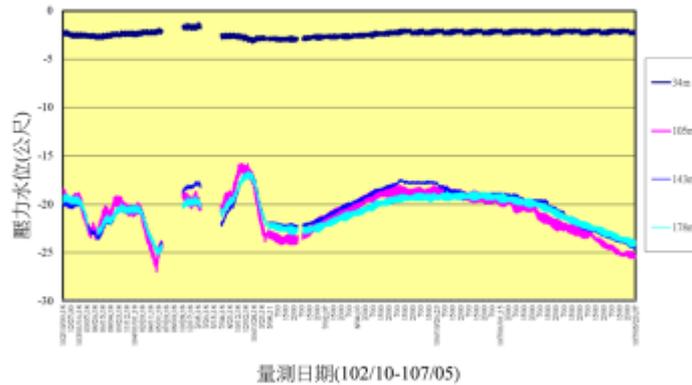
- 於105 m處之水位變化最大，最高水位約-16.7 m，最低水位-約27.67m(近4年最高水位約-17.6 m，最低水位-約24.6m)，降雨量較少時，水位明顯降低



(86/04-110/10手動量測)

四、地層下陷監測

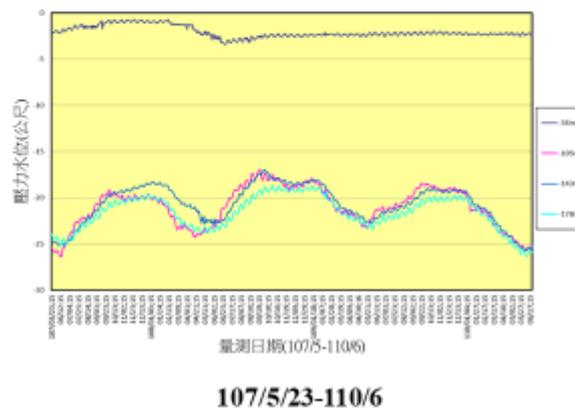
布袋港200m分層水位變化(自動量測) (2/9)



四、地層下陷監測

布袋港200m分層水位變化(自動量測)(3/9)

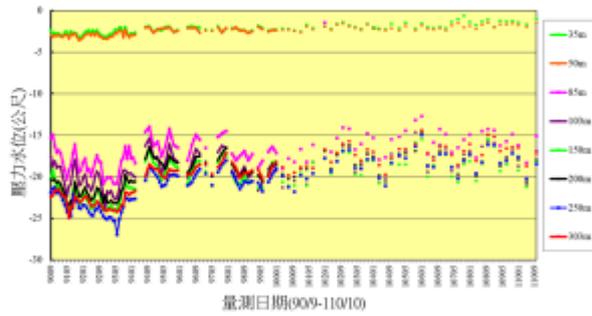
- 34 m水位變化較小與手動量測結果相似，較無超抽地下水現象。
- 105 m處之水位變化最大，近3年最高水位約-16.9 m，最低水位約-26.4m，降雨量較少時，水位明顯降低。
- 143 m及178 m水位大小及變化亦很大，屬同一含水層，近3年最高水位約-17.1 m，最低水位約-26.3m，其變化與105m處相似。超抽地下水現象較明顯。



四、地層下陷監測

布袋港分層水位變化300m(4/9)

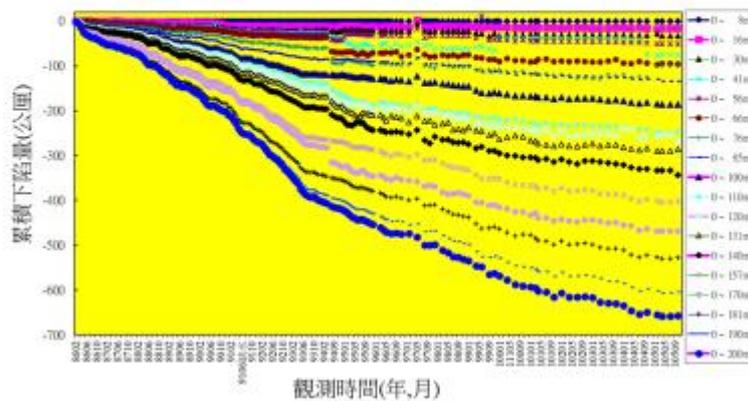
- 100公尺及300公尺，每孔埋設四支水壓計
- 35及50m之水位介於約-0.7~-3.5m之間，屬淺層水位。
- 其他深度水壓計之水位介於約-13~-27m之間，屬深層水位。



90/9-110/10

四、地層下陷監測

布袋港(200m)地層分層下陷圖(5/9)



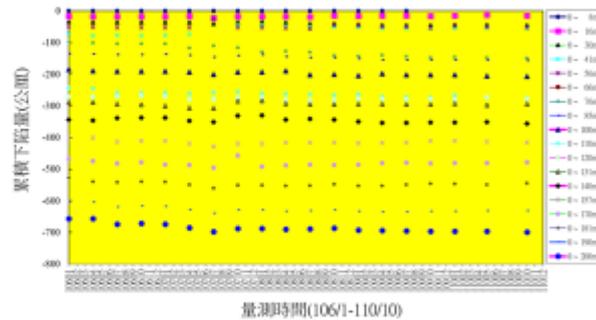
觀測時間(年,月)

86/2~105/12

四、地層下陷監測

布袋港(200m)地層分層下陷圖(6/9)

- 86年2月~110年10月止24年8月，總累積沉陷量約**70公分**。
- 其中-140m~-200m之沉陷量**33公分**，佔總沉陷量約**一半**。
- 顯示布袋港屬於**深層沉陷**。
- 近約5年(105至110)總沉陷量約**5.1公分**，成果皆顯示沉陷量有**緩和現象**。

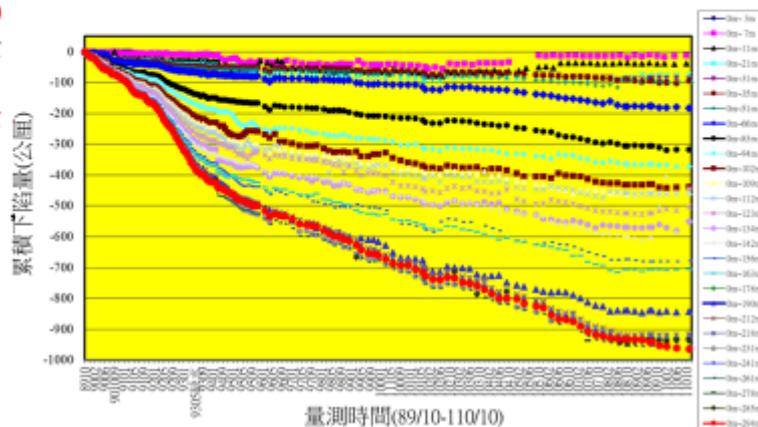


106/01~110年10月

四、地層下陷監測

布袋港(300m)地層分層下陷圖(7/9)

- 89年10月~110年10月止，21年總累積沉陷量約**96cm**
- 近5年106~110累積沉陷量約**12cm**
- 66~190m之累積沉陷量約為**67公分**與200m監測井監測(約60cm)結果比較，總沉陷量較大一些，研判多次填土為主要原因。



89/10~110年10月

四、地層下陷監測

布袋港(400m)水準基站累積下陷圖(8/9)

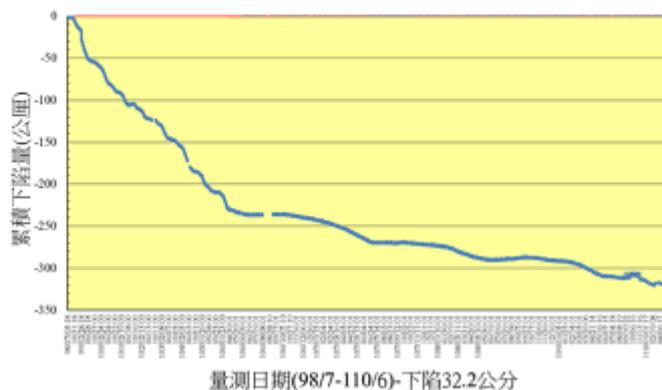
- 每6小時一筆
- 自92年9月開始記錄。
- 自92年9月至97年5月止，總累積下陷量約為17公分。



四、地層下陷監測

布袋港(400m)水準基站累積下陷圖(9/9)

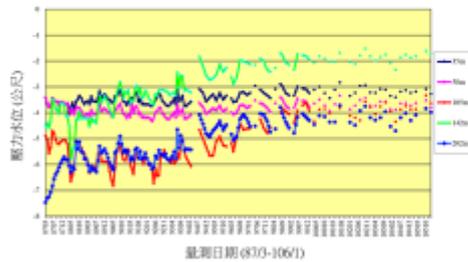
- 98年7月~110年6月下陷約32cm。
- 自92年9月~110年6月總累積下陷量約為49cm。



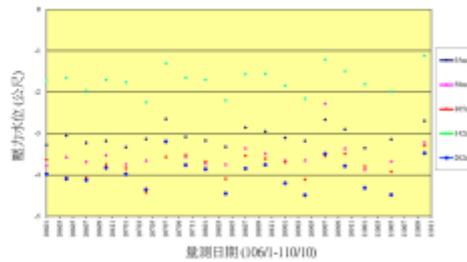
四、地層下陷監測

大鵬灣分層水位變化圖(1/3)

- 自87年3月至110年10月止，近5年(105至110)各分層水位約於-1.2~-4.5變化不大，較無超抽地下水現象。



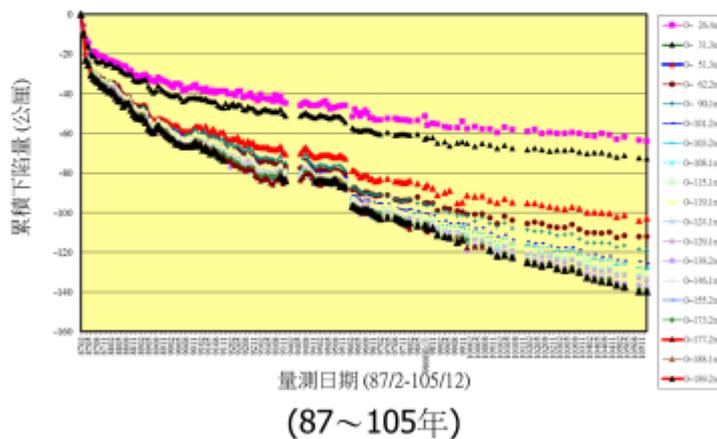
87-106年



106-110年10月

四、地層下陷監測

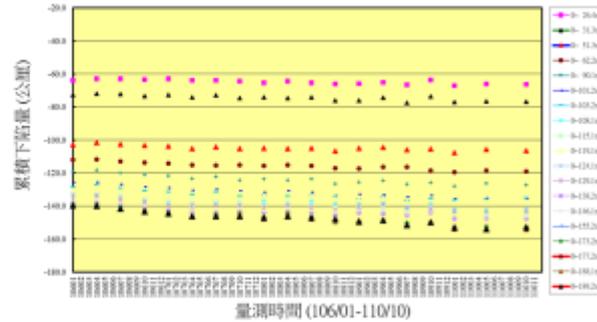
大鵬灣200m地層分層下陷圖(2/3)



四、地層下陷監測

大鵬灣地層分層下陷圖(3/3)

- 87年3月~110年10月止23年8個月，總累積沉陷量約15公分，近6年(105至110)總沉陷量約1.3公分，沉陷量不大。
- 從地表至51.3m之沉陷量約為10.7公分，佔總沉陷量約70%以上，由此量測資料顯示，屬於淺層沉陷。

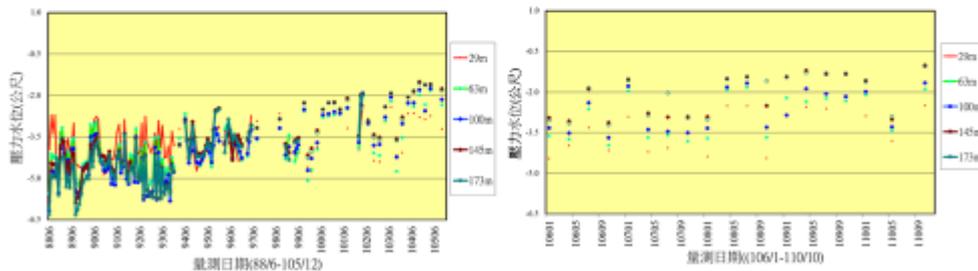


(106年01月~110年10月)

四、地層下陷監測

臺中港分層水位變化(1/3)

- 手動量測自88年6月至110年10月止，近5年(105至110)各分層水位約於-1.1~-4.4，變化不大。
- 整體而言，臺中港水位皆會在乾季時逐步降回降雨前之穩定區間

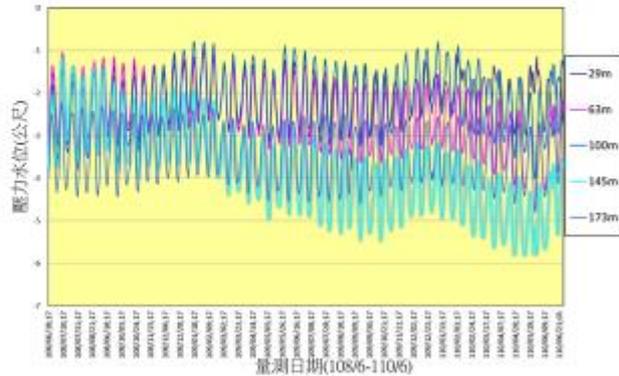


(手動量測88-110年)

四、地層下陷監測

臺中港分層水位變化(2/3)

- 自動量測資料自88年6月29日起至91年6月7日止，因儀器故障而改以手動量測。
- 於108年6月自動量測儀器修護，至110年6月止，各分層水位約於-0.8~-5.8。

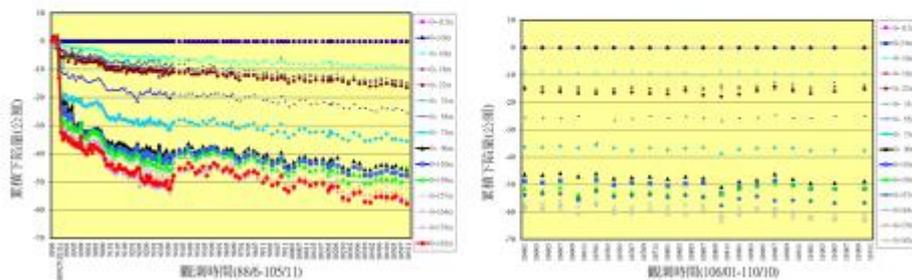


(自動量測108年06月~110年06月)

四、地層下陷監測

臺中港200m地層分層下陷圖(3/3)

- 88年6月~110年10月約22年，總累積沉陷量約6.2公分。
- 其中自0m~90 m深之沉陷量約4.9公分，佔總沉陷量約79%以上。
- 近六年(105至110)總沉陷量約0.4公分，沉陷量非常小。

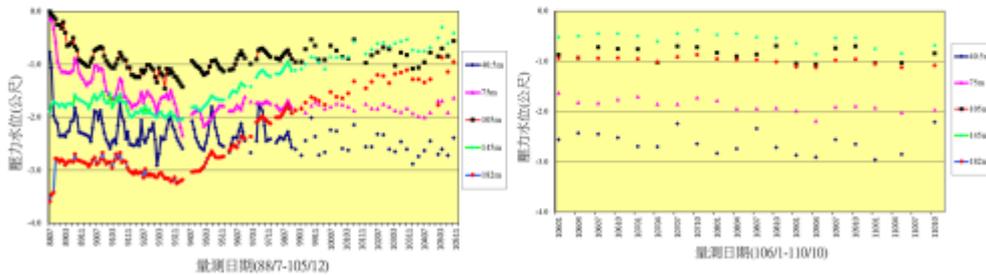


(88年6月~110年10月)

四、地層下陷監測

安平港分層水位變化(1/2)

- 95年以前，由水位變化顯示，第1含水層之40 m及75 m含土層之水位變化較大，超抽地下水現象明顯。
- 整體來說，安平港附近地區自96年至110年期間，應沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上下變動現象。



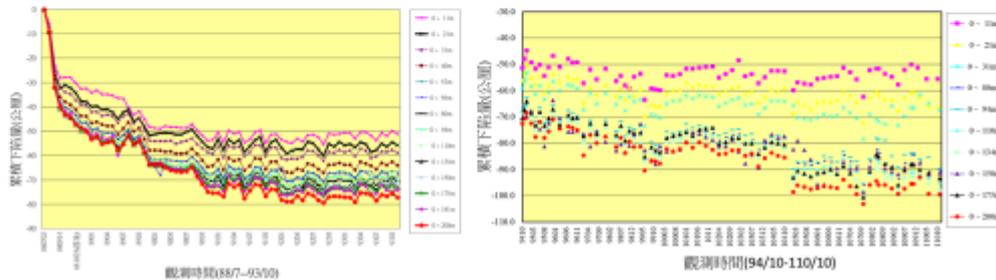
(88年7月~110年10月)

四、地層下陷監測

安平港200m地層分層下陷圖(2/2)

從88年7月至110年10月期間，總累積沉陷量約10公分，近6年(105至110)總沉陷量約0.6公分。

- 其中0~31 m之沉陷量約為6.7公分，約佔總沉陷量之67%以上，由資料顯示，安平港18-19號碼頭區之沉陷屬於淺層沉陷。



(88年7月~110年10月)

五、結論與建議(1/6)

今(110)年研究計畫，綜合成果如下：

地震速報系統維護與精進

- 持續維護各港區地震測站及地震災況速報系統，使其能正常運作。
- 各港速報系統地表地震監測紀錄今年截至11月16日止，共測得2級地震強度98筆，3級41筆，4級15筆，5級地震強度1筆，共發送地震簡訊共155筆。
- 最大震度為蘇澳港110年10月24日13:11:45測得5級地震強度加速度達145 gal，其次是花蓮港110年07月14日06:52:07測得4級地震強度加速度達79gal
- 由今年各港監測紀錄，可知蘇澳港及花蓮港地震較大且頻繁，震源大部份來至東部外海地區。

五、結論與建議(2/6)

- 完成布袋港區地震監測站中央集錄系統更新，使本所港灣環境資訊網資訊能正常運作。
- 完成各港區地表地震儀(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。
- 完成速報系統簡訊傳送內容修改，亦完成港務公司防救災管理相關人員之更新地震速報簡訊接收者之名單資料。
- 完成遷移花蓮港地表地震監測設備至該港港務大樓右前方花園(座標:23.9797153,121.6200583)，以精進確保地震速報系統之通報資訊正確。

五、結論與建議(3/6)

港區地層下陷調查分析

- 布袋港200m水位監測站約可分為4個層次，由歷年水位變化現象顯示，第1、2層水位，可能地表水補注或較無超抽地下水，變化較小，第3、4層地下水位低且變化極大，超抽地下水現象較明顯。
- 布袋港200m地層下陷，歷年來沉陷總量約為70cm，其中壓縮量較大之地層為140~200 m之沉陷量約佔總沉陷量約一半，由此資料顯示，布袋港之沉陷屬於深層沉陷。
- 依水利署資料顯示80~109年之量測資料比較分析，嘉義地區29年來總下陷量約在60cm以上，而本所歷年來量測布袋港之沉陷總量約為70cm，顯示下陷量也在60 cm以上。

五、結論與建議(4/6)

- 臺中港200m水位監測站，歷年來整體而言水位變化不大，且會在乾季時逐步降回降雨前之穩定區間。
- 臺中港200m地層下陷，歷年來沉陷量約為6.2cm，近6年總沉陷量約0.2cm，幾乎沒沉陷。
- 大鵬灣200m水位監測站，歷年來整體而言水位變化不大，整體而言水位變化不大。
- 大鵬灣200m地層下陷，歷年來沉陷總量約15.3cm，從地表至51.3 m之沉陷量，佔總沉陷量約70%以上，由此量測資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。



五、結論與建議 (5/6)

- 安平港水位監測站，整體來說，自96年至110年期間，應沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上下變動現象。
- 安平港200m地層下陷，歷年來之沉陷總量約為10cm，而從地表至31 m之沉陷量約佔總沉陷量之67%以上，屬於淺層沉陷，沉陷量不大。
- 彙整四處港區歷年地層下陷監測成果，除布袋港外，可發現其餘三處港區下陷觀測站，整體地盤壓縮量主要發生於淺層壓縮位置，約於地表至50米深之位置，此與Hung et al. (2021)於雲林地區地層壓縮分層磁環監測成果一致，且最大壓縮量發生於淺層砂土層。



五、結論與建議(6/6)

多年計畫期程預計於今年結束，後續建議如下：

- 相關多年監測資料及設備，可移轉有意願合適的學校或顧問公司，持續研究。
- 港區地震速報系統於 111年起將移轉予使用單位臺灣港務公司賡續進行維護使用，建議本所協助港務公司持續維護地震速報，使其能正常運作。
- 量測各分層下陷及水位值，大部份係依據每年每季前往現地量測所得，但下雨多寡、海邊漲退潮、監測設備老舊，皆會影響下陷及水位整體趨勢，如何才能得到一個較合理的趨勢值，建議有意願合適的學校或顧問公司，做進一步的監測及研究。



簡報完畢
敬請指正