

110-010-7C32
MOTC-IOT-109-H1CA001c

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

中華民國 110 年 2 月

110

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

GPN: 1011000190

定價 200 元

110-010-7C32
MOTC-IOT-109-H1CA001c

109 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、賴瑞應

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 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.
109 年 / 曾文傑, 賴瑞應著. -- 初版. -- 臺北
市 : 交通部運輸研究所, 民 110.02
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-253-4(平裝)

1. 地質調查 2. 地層下陷

356.33

110001021

109 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、賴瑞應

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 110 年 2 月

印 刷 者：OOOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

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

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

GPN：1011000190

ISBN：978-986-531-253-4(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：109 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 978-986-531-253-4(平裝)	政府出版品統一編號 1011000190	運輸研究所出版品編號 110-010-7C32	計畫編號 MOTC-IOT-109-H1CA001c
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：賴瑞應 研究人員：曾文傑 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 109 年 01 月 至 109 年 12 月
關鍵詞：資料庫、地震、地層下陷、監測			
摘要： 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。 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。 研究成果效益與應用： 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用。 提供政府單位應用情形： 1. 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。 2. 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
110 年 2 月	212	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 2020			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-253-4(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011000190	IOT SERIAL NUMBER 110-010-7C32	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-109-H1CA001c
DIDIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIDIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai P PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jui-Ying Lai P PROJECT STAFF: Wen-Chieh Tseng PPROJECT TECHNICIAN: Chun-Rong Lee, Mu-Huo Ho, Pei-Yuan Wang PHONE: +886-4-26587172 FAX: +886-4-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2020 TO December 2020
KEY WORDS: database, earthquake, strata subsidence, monitoring			
Abstract: Strata of the coastal counties and cities in southwest Taiwan, including Yunlin, Chiayi, and Tainan, are mostly recent alluvium, wherein the soil is loose and weak, and its compaction has not been fully completed, which is prone to cause strata subsidence due to groundwater drawing from nearby areas and large-scale reclaimed land backfill and structural loads or seismic force, affecting the safety of public works and various facilities in the port area. Therefore, it is necessary to collect and organize geological data in the southwest coastal area and carry out a long-term monitoring of the strata subsidence and groundwater pressure in the port area to maintain the function and safety of engineering facilities. This Project uses radio wave stratification settlement system to measure the strata subsidence in Budai Port, Dapeng Bay, Taichung Port and Anping Port regularly after the earthquake and continue to maintain the normal operation of the monitoring stations in all port areas to ensure the report information of the Earthquake Warning system is correct, and the data are analyzed and filed. Benefits and Applications of Research Results: 1. The Earthquake Warning system in the port area can provide relevant data on the safety evaluation of post-earthquake wharf's liquefaction, which can be used as a reference for disaster prevention workers to make disaster relief decisions. 2. The strata subsidence and seismic data of each port can be used for the design, new construction of harbor structures and related research of earthquake engineering. Application Availability for Government: 1. The strata subsidence and seismic monitoring data of the port area are provided for the management agencies of the port companies to refer to in maintenance of the port structure. 2. Published research reports provide the industry, government and academia with relevant research results for references and application.			
DATE OF PUBLICATION February 2021	NUMBER OF PAGES 212	PRICE 300	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

109 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 研究範圍	1-2
1.3 研究方法與內容	1-2
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	3-6
3.2.1 基隆港速報系統精進	3-7

3.2.2 各港速報系統簡訊內容精進	3-9
3.3 港區地震查詢展示.....	3-12
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.....	4-18
4.3.2 大鵬灣地層下陷監測站.....	4-25
4.3.2.1 地下水位分析.....	4-27
4.3.2.2 地層分層下陷分析.....	4-28
4.3.3 臺中港地層下陷監測站.....	4-30
4.3.3.1 地下水位分析.....	4-32
4.3.3.2 地層分層下陷分析.....	4-32
4.3.4 安平港地層下陷監測站.....	4-35

4.3.4.1 地下水位分析.....	4-37
4.3.4.2 地層分層下陷分析.....	4-37
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-3
5.3 研究成果之效益.....	5-3
5.4 提供政府單位應用情形.....	5-4
參考文獻.....	參-1
附錄一專家學者座談及各期工作會議紀錄.....	附錄 1-1
附錄二期末報告簡報資料.....	附錄 2-1
附錄三期末報告審查意見處理情形表.....	附錄 3-1
附錄四 109 年各港區地震資料波型圖.....	附錄 4-1

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 布袋港區井下地震監測站平面圖	2-9
圖 2.8 布袋港區井下地震監測站	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 基隆港地震速報監測站	2-13
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	2-14
圖 2.17 花蓮港區地震即時監測畫面	2-15
圖 2.18 基隆港區地震即時監測畫面	2-15
圖 2.19 布袋港區地震即時監測畫面	2-16
圖 2.20 臺中港區地震即時監測畫面	2-16
圖 2.21 安平港區地震即時監測畫面	2-17
圖 2.22 高雄港區地震即時監測畫面	2-17

圖 2.23 蘇澳港區地震即時監測畫面.....	2-18
圖 2.24 臺北港區地震即時監測畫面.....	2-18
圖 3.1 臺中火力電廠監測站網路修護情形.....	3-5
圖 3.2 高雄港監測站中央集錄系統基板故障修護情形.....	3-5
圖 3.3 布袋港 200m 監測站現場圍籬損壞情形.....	3-6
圖 3.4 布袋港 400m 永久水準監測站維護.....	3-6
圖 3.5 原基隆港 CV374 地震儀裝設地點	3-8
圖 3.6 基隆港地震監測設備搬遷至港務處航管中心室內、外	3-10
圖 3.7 室外固定管線、防水處理及水泥台灌製情形.....	3-10
圖 3.8 安裝室外地震儀、保護箱等相關設備情形.....	3-10
圖 3.9 中華電信光纖佈設及測試速報系統簡訊情形.....	3-11
圖 3.10 以安平港地震為例修改後簡訊傳送內容.....	3-11
圖 3.11 港區地震系統-近期地震	3-13
圖 3.12 港區地震系統-x,y,z 三向度地表地震圖	3-13
圖 3.13 港區地震系統-歷史地震查詢	3-14
圖 3.14 港區地震系統-歷史地震圖	3-14
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(自記式 86/7-92/8)	4-19
圖 4.8b 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 98/8-102/8)	4-19
圖 4.8c 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 102/10-107/5)	4-20
圖 4.8d 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 107/5-109/5)	4-20
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(106/1-109/8 手動量測)	4-21
圖 4.10 布袋港 300m 分層水位變化圖(90/9-109/8 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)	4-22
圖 4.11b 布袋港 200m 分層累積下陷圖(106/1-109/8 手動量測)	4-23
圖 4.12 布袋港 300m 分層個別下陷量圖(109/8)	4-23
圖 4.13 布袋港 300m 分層累積下陷量圖(89/10-109/8)	4-24
圖 4.14a 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖(92/9-97/5)	4-24
圖 4.14b 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖(98/7-109/6)	4-25
圖 4.15 大鵬灣地層下陷監測站位置圖	4-26
圖 4.16a 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 87/3-106/1)	4-28
圖 4.16b 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 106/1-109/8)	4-29
圖 4.17a 大鵬灣地層分層累積下陷量圖(87/2-105/12)	4-29
圖 4.17b 大鵬灣地層分層累積下陷量圖(106/1-109/8)	4-30
圖 4.18 臺中港地層下陷監測站示意圖	4-31
圖 4.19a 臺中港分層水位變化圖(自動量測 108/6-109/5)	4-33
圖 4.19b 臺中港分層水位變化圖(手動量測 88/6-105/12)	4-33
圖 4.19c 臺中港分層水位變化圖(手動量測 106/1-109/7)	4-34
圖 4.20a 臺中港分層累積下陷量圖(88/6-105/12)	4-34

圖 4.20b 臺中港分層累積下陷量圖(106/1-109/8)	4-35
圖 4.21 安平港地層下陷監測站位置圖	4-36
圖 4.22a 安平港分層水位變化圖(88/7-105/12 手動量測).....	4-38
圖 4.22b 安平港分層水位變化圖(106/1-109/8 手動量測)	4-38
圖 4.23a 安平港地層分層下陷觀測圖(88/7-93/10 手動量測).....	4-39
圖 4.23b 安平港地層分層下陷觀測圖(94/10-109/8 手動量測)	4-39

表 目 錄

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 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	4-27
表 4-6 臺中港沉陷計感應環安裝深度一覽表	4-31
表 4-7 安平港 18~19 號碼頭沉陷磁環安裝深度表	4-36

第一章 前言

1.1 研究緣起

臺灣西南之臺中、彰化、雲林、嘉義、臺南及屏東等縣市沿海地區，包括臺中港、布袋港、安平港、大鵬灣等港區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密尚未全部完成，極可能因附近地區農業超抽地下水、大規模海埔新生地回填或地震等原因造成地層下陷，而影響港區工程及各樣設施之安全。

由於地面水資源無法滿足產業需求，過去超抽地下水的結果，導致地層不斷下陷，在臺灣各地區，已是一種普遍現象。而在沿海地區，亦由於養殖業大量開發抽取超額之地下水，也會造成區域性之下陷。依本中心於布袋港區監測所得資料其最大累積沉陷量達 90 餘公分，另依水利署 108 年度地層下陷檢測資料^[5]，彰化地區目前顯著下陷面積 1.9 平方公里，歷年最大累積下陷量 2.52 公尺，最大下陷速率 3.3 公分/年；雲林地地區目前顯著下陷面積 199.8 平方公里，歷年最大累積下陷量 2.60 公尺，最大下陷速率 6.5 公分/年；嘉義地區目前顯著下陷面積 0.2 平方公里，歷年最大累積下陷量 1.59 公尺，最大下陷速率 3.1 公分/年；臺南地區目前顯著下陷面積 0.9 平方公里，歷年最大累積下陷量 1.08 公尺，最大下陷速率 3.3 公分/年；屏東地區目前顯著下陷面積 0.9 平方公里，歷年最大累積下陷量 3.58 公尺，最大下陷速率 3.1 公分/年。整個西南沿海地區幾乎均有地層下陷現象。由於超抽地下水易造成區域性之地下水位下降，港灣地區雖無超抽地下水，但受到附近沿海地區超抽地下水之影響，其地下水位大多已降到海平面以下，有引發海水入侵之疑，若水位繼續下降，恐會導致土壤鹽化、地層下陷及淹水等問題。尤其是貨櫃車的快速進入港口與貨櫃碼頭裝卸朝自動化設計，軌道或碼頭地面少許之差異沉陷，皆易使行車及碼頭自動化設備損壞或喪失使用功能。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，並於港區設置地層下陷及地下水壓監測站，進行長期監測與資料建檔，藉以提供公路及

碼頭管理單位參考，降低災害損失。

1.2 研究範圍

本(109)年研究範圍為安平港、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之地震及動態孔隙水壓與速報系統之監測站，而在港灣地區下陷監測部份，持續以無線電波層別沉陷儀定期於地震後量測臺中港、布袋港、安平港及大鵬灣等港區分層地層下陷量測後，加以分析，並進行布袋港永久水準基站之量測工作。

1.3 研究方法與內容

本(109)年研究計畫之方法與內容，主要是維護各港區沉陷及水位觀測井之正常監測，平時定期量測各港區之沉陷及水位變化，以探討地下水位及水壓變化對各港區地層下陷之影響。地震後，以無線電波層別沉陷儀量測分層地層下陷，分析各土層地震時之沉陷量，可維護港區現有各工程設施安全監測，並可做為港區碼頭、堤防等擴建工程規劃設計之參考。另為確保地震速報系統之通報資訊正確，今年將進行基隆港現有之地震速報監測站移往適當地點設置，減少誤報情形發生，俾利監測通報效益能提供基隆港務分公司碼頭液化安全評估相關資訊。

本所港研中心定期及不定期於各港，進行地震及動態水壓即時監測站觀測屋內之儀器周邊環境清潔(雜草、雜物清除，冷氣機濾網清洗)及木製圍籬簡易修復工作，另如有儀器或設備故障，亦辦理更換或修復。如遇地震時監測系統可將加速度歷時資料記錄於現地電腦內，並藉著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。

本文中第二章是地震監測系統規劃，第三章介紹本年度地震監

測站維護及速報系統精進的成果，第四章進行港區地層下陷情形量測結果分析，第五章將相關成果做成結論，所得資料可供臺灣港務公司及其各分公司救災與工程維管單位人員之碼頭維護管理及設計參考。

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、碼頭及地層之傾斜變位監測等四種。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^[1,15,25]

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^[2,3]

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：

2.2.1 系統規劃與安裝^[4]

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。

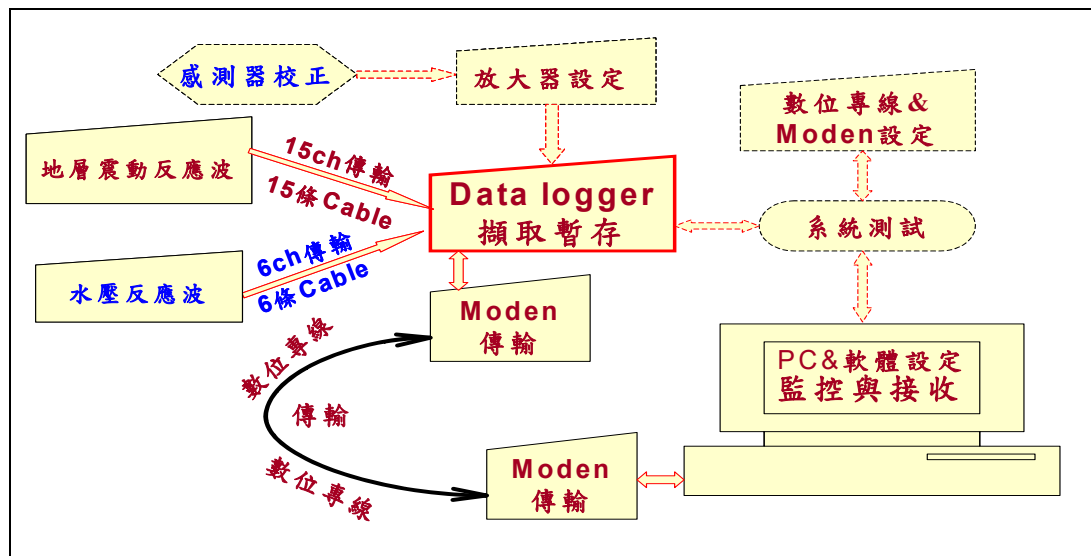


圖 2.3 整體擷取、傳輸與監測控制流程

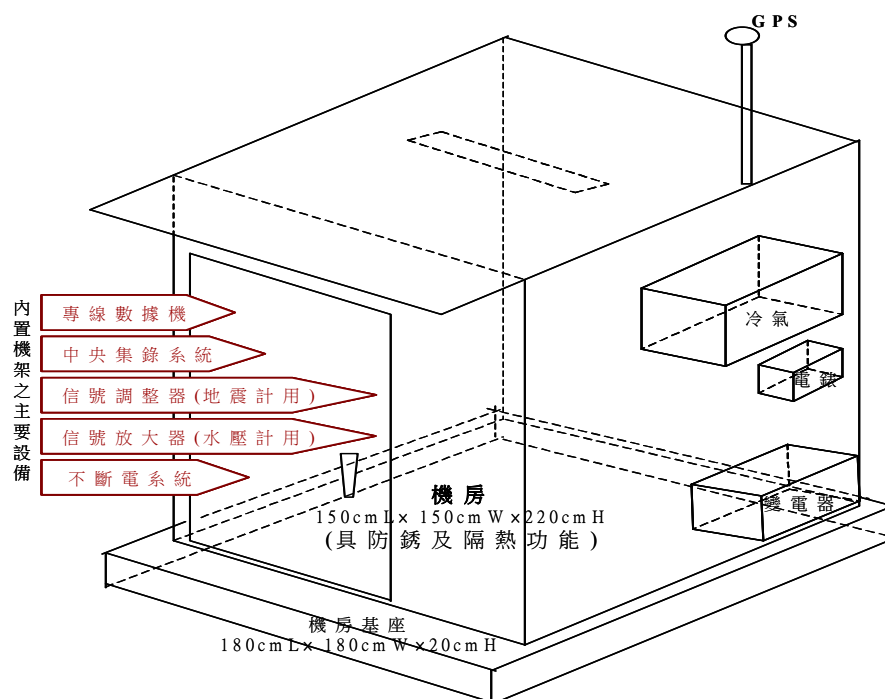


圖 2.4 機房構造與配置示意圖

2.2.3 港區地震監測站^[5]

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，監測站設置平面與外貌狀況，如圖 2.5 所示。
- 2.臺中港地震監測站於 90 年 8 月建置完成，監測站如圖 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，監測站如圖 2.11。
- 6.蘇澳港地震監測站於 93 年建置完成，監測站如圖 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	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	24.273 120.520	283m	90 年
布袋港	砂石碼頭空地	23.375 120.133	300m	91 年
臺北港	大樓前花圃	25.151 121.393	297m	91 年
高雄港	船舶管理中心 前花圃	22.598 120.283	292m	92 年
蘇澳港	棧埠所對面	24.5909 121.863	35m	93 年
臺中火力 發電廠	圍牆外側綠地	24.206 120.486	200m	94 年



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

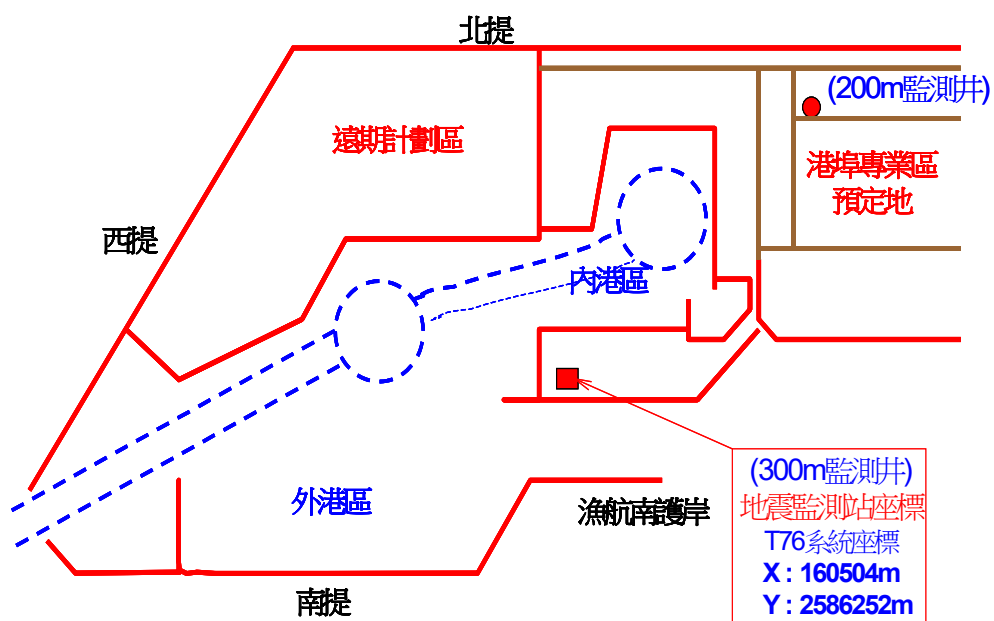


圖 2.7 布袋港區井下地震監測站平面圖



圖 2.8 布袋港區井下地震監測站



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、安平、高雄、蘇澳、臺北、布袋等 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，港區地震速報系統儀器配置如圖 2.16。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。各港地震即時畫面顯示如圖 2.17 至圖 2.24 所示。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。

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	備註
1	基隆港	西案貨櫃中心機車棚邊	25.850 121.445	加速度計	CV374A
2	花蓮港	港務大樓前花圃	23.585 121.371	加速度計	CV374A



圖 2.14 基隆港地震速報監測站圖



圖 2.15 花蓮港地震速報監測站

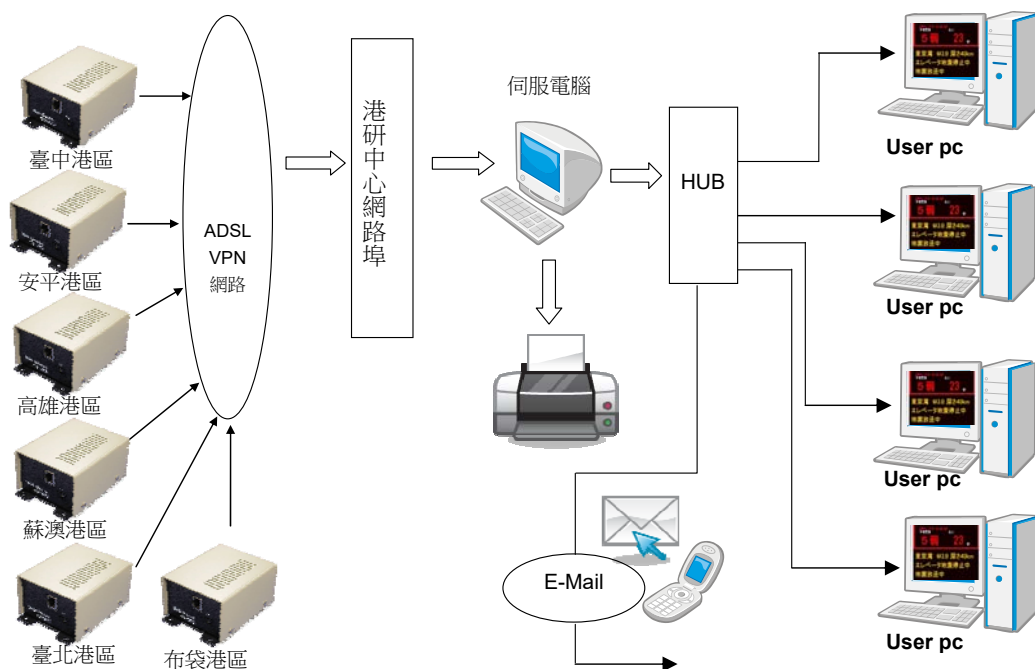


圖 2.16 港區地震速報系統儀器配置示意圖



圖 2.17 花蓮港區地震即時監測畫面



圖 2.18 基隆港區地震即時監測畫面



圖 2.19 布袋港區地震即時監測畫面

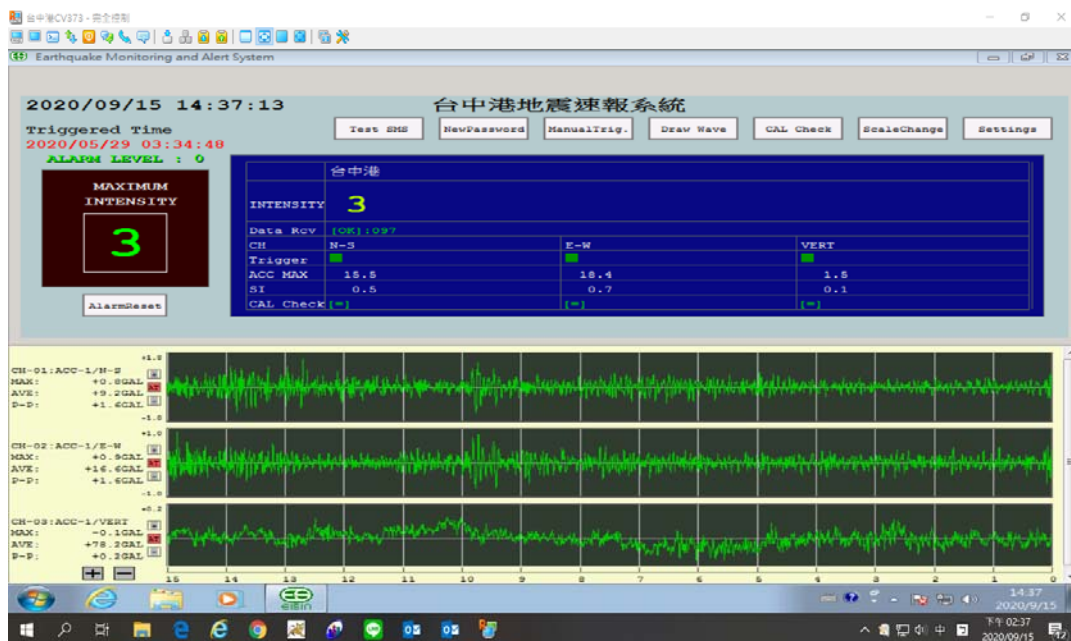


圖 2.20 臺中港區地震即時監測畫面

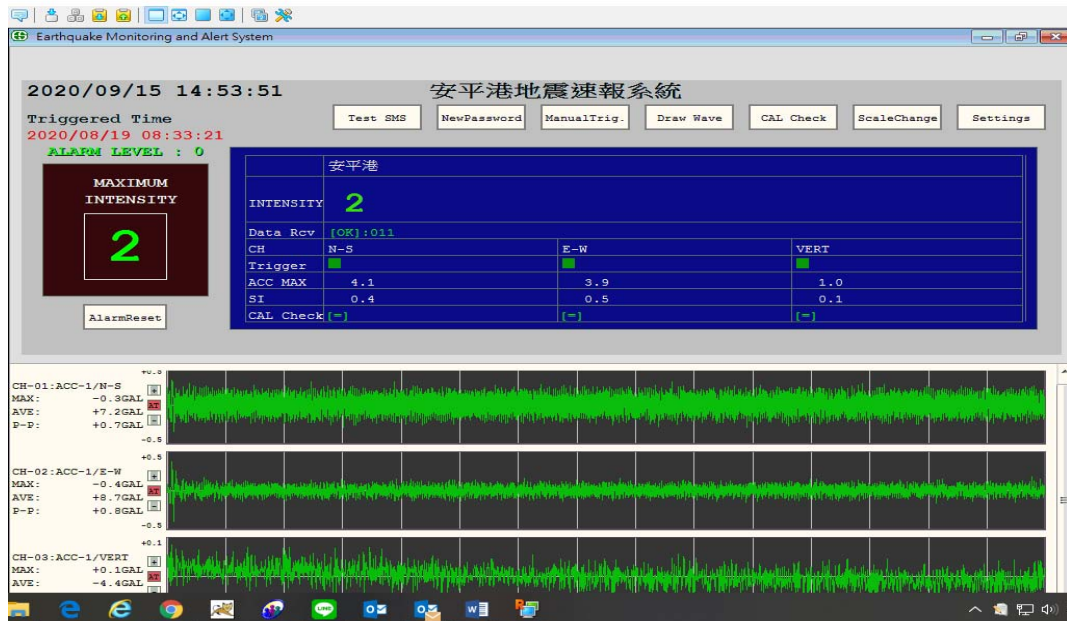


圖 2.21 安平港區地震即時監測畫面

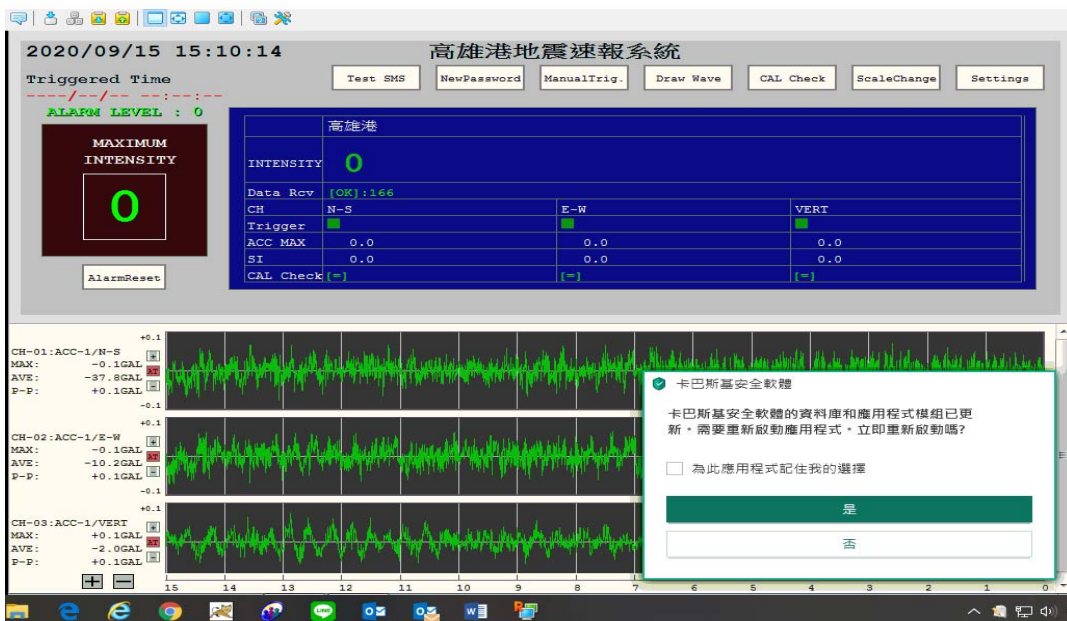


圖 2.22 高雄港區地震即時監測畫面

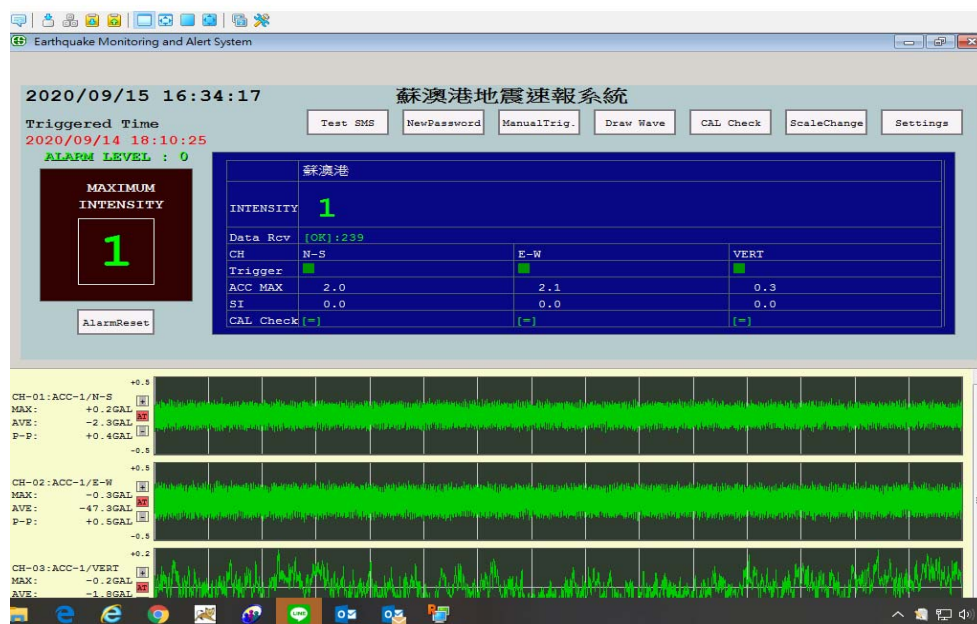


圖 2.23 蘇澳港區地震即時監測畫面

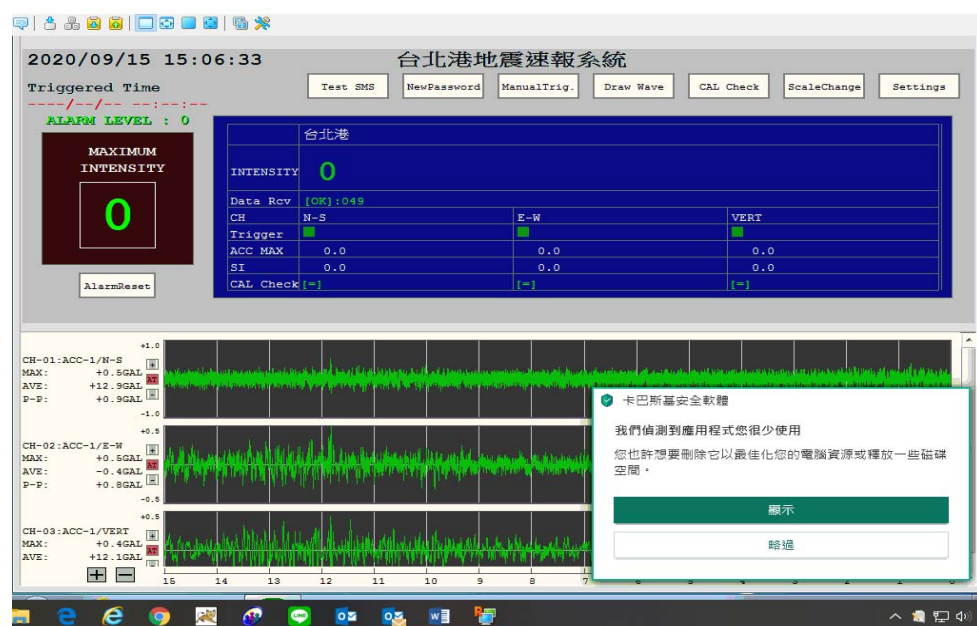


圖 2.24 臺北港區地震即時監測畫面

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、碼頭及地層之傾斜變位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^[27]。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，今(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，力求改善儀器遭遇外力碰撞或誤觸情形發生。本章就 109 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。109 年度港區地震監測站維護工作敘述如下：

1. 臺北港

- (1)時間、地點：109 年 06 月 10 日，臺北港入口右側花圃。GPS 座標 25.150754,121.392692
- (2)工作內容：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，並完成系統功能測試，皆能正常運作。

2.臺中港

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

(2)工作內容：

a.109 年 05 月 28 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。

b.109 年 06 月 01 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。

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)工作內容：

a.109 年 06 月 01 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，另經查本監測站電腦螢幕故障無法顯示，已於 109 年 06 月 22 日更換螢幕。

b.於 109 年 08 月 22 日本監測站網路故障無法連線，已於 109 年 09 月 03 日申請中華電信派員修護(如圖 3.1 所示)，並連線功能測試恢復正常運作。

c.於 109 年 09 月 11 日完成臺中火力發電廠地震監測站中央集錄系統儀器更新，並連線功能測試皆能正常運作。

4.蘇澳港

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

(2)工作內容：

a.於 109 年 06 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 109 年 09 月 14 日監測站網路故障，經查中華電信於監測站附近施工導致斷線，於 109 年 09 月 15 日修護，並連線功能測試恢復正常運作。

5.安平港

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

(2)工作內容：

a.於 109 年 03 月 6 日監測站電腦故障，經交叉測試後，發現工業電腦主機板 U45 故障，送修後於 109 年 03 月 20 日恢復正常，並連線功能測試，皆能正常運作。

b. 109 年 06 月 03 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。

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。

(2)工作內容：

a.109 年 06 月 03 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；另經查本監測站電腦螢幕故障無法顯示，已於 109 年 07 月 22 日更換螢幕。

b.於 109 年 07 月 15 日發現本監測站中央集錄系統 CH7-12 故障，拆回檢查發現有壁虎尿痕跡，導致 SAMTAC-20-24 之 AD CPU 基板及 POEWR BOARD 基板短路故障，為確保資料儲存安全，已於 109 年 08 月 11 日修護(如圖 3.2 所示)，並進行地震資料擷取與傳輸測試，恢復正常運作。

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.109 年 06 月 04 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 AP 電源線燒毀，更換一條(50M)AP 電源線，以及更換太陽能充電電瓶 7 顆。並連線功能測試，皆能正常運作。

b.109 年 06 月 08 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、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；另本站因為鄰近工程施工，造成基地現場圍籬損壞及地面泥砂雜物堆積(如圖 3.3 所示)，已商請港務公司協調施工廠商於工程告一段落復原基地原貌，以維護本站儀器及設備能不受破壞，持續正常運作。

c.109 年 06 月 09 日，於布袋港 400m 永久水準監測站，進行位移計、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、圍籬柱子除鏽及上油漆等工作與資料擷取(如圖 3.4 所示)，本站位移計量測數值為 40mm，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，預計明年需更換保護蓋。



圖 3.1 臺中火力電廠監測站網路修護情形

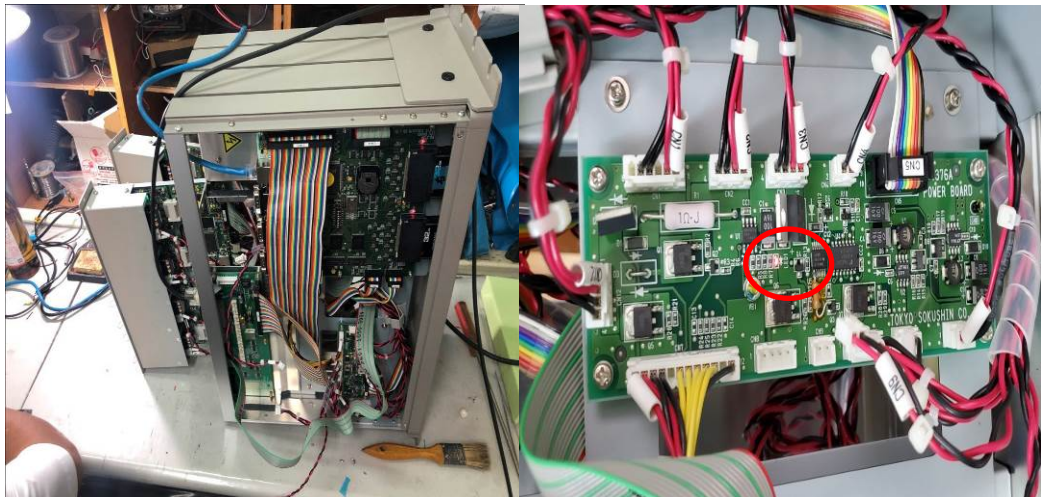


圖 3.2 高雄港監測站中央集錄系統基板故障修護情形



圖 3.3 布袋港 200m 監測站現場圍籬損壞情形



圖 3.4 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、外停車場及花蓮港辦公大樓內、外花園，逐年設置完成地表地震災後速報系統。由於基隆港貨櫃中心之地表地震監測設備，今(109)年初該中心通知本所，請本所另覓適當場域設置地震監測設備；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，今(109)年選定基隆港務分公司港務處航管中心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；另完成各港速報系統簡訊

傳送內容修改，增加「建議港務公司派員巡查，僅供參考」，以精進傳送內容僅供港務公司參考性質。今(109)年度基隆港地震速報系統精進敘述如下：

3.2.1 基隆港速報系統精進

本所於 101 年建置安裝基隆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)，當年基隆港務分公司提供的場地有限，遂將地表地震計安裝於貨櫃中心辦公室外停車場之保護箱內，由於停車場偶爾會有堆高機、起重機或公務車停放，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，再同時儲存到貨櫃中心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(109)年初基隆港貨櫃中心通知本所，為配合基隆港務分公司東櫃西遷，本所目前設置於基隆港之地震設備設置地點，該公司將重新規劃，另有其他用途，請本所另覓適當場域設置。本所於 109 年 3 月會同基隆港港務處航管中心相關人員，進行地震監測設備設置地點會勘，經勘驗現場擇定航管中心辦公室(有保全人員管制)為基隆港地震監測設備新設置地點，並確認管線於辦公室室內、外皆可相通後，選定於大門入口處右側裝置室外地震監測設備機及機箱，室內擇定在地下室靠牆壁裝設電腦監測設備。

基隆港地震監測設備遷移、安裝及測試敘述如下：

1. 於 109 年 1 月將原設置於基隆港西岸貨櫃中心辦公室，內、外各 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 3.5 所示。



圖 3.5 原基隆港 CV374 地震儀裝設地點

2. 基隆港地震監測設備安裝及測試：

- (1) 109 年 3 月 19 日本所設置於基隆港(貨櫃中心)之地表地震監測設備，為配合該港東櫃西遷，將地震監測設備搬遷至該港港務處航管中心，如圖 3.6 所示。(室外地震監測設備裝設於大門入口處右側，室內選定在地下室靠牆壁處)
- (2) 4 月 9 日完成第 1 階段施工，如圖 3.7 所示。(室外拉線至室內安裝位置、固定管線、防水處理及室外水泥台灌製)
- (3) 4 月 21 日完成第 2 階段施工(安裝室內、外地震儀、保護箱等相關設備)，如圖 3.8 所示。相關設備移機後，請中華電信現勘確認現場只能走光纖。

- (4) 4 月 28 日完成第 3 階段中華電信光纖佈設，並測試速報系統，測試結果恢復正常運作，如圖 3.9 所示。
- (5) 基隆港地震儀移機完成安裝後，5 月 11 日誤發 4 月 20 日測試的簡訊資料，經查是重新安裝程式上的 bug 導致，已於 5 月 13 日經日本技師修改程式，恢復正常運作。

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，目前於地震發生後 1 分鐘內會傳送簡訊內容給相關人員；今(109)年除了上述通報精進外，特針對各港速報系統簡訊傳送內容略做修改，以精進傳送內容讓港務公司瞭解為參考性質；另近來各港防救災管理相關人員多所異動，今年亦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，敘述如下：

- (1) 5 月 4 日完成速報系統簡訊傳送內容修改，增加「建議港務公司派員檢測，僅供參考」，以精進釐清傳送內容僅供港務公司參考性質。
- (2) 5 月 13 日再將上述內容之“派員檢測”更改為“派員巡查”，以安平港地震為例修改後簡訊傳送內容，如圖 3.10 所示。
- (3) 6 月 23 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 7 月 27 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。
- (4) 8 月 23 日港務公司再請本所調整各港防救災管理相關人員之通訊資料。



圖 3.6 基隆港地震監測設備搬遷至港務處航管中心室內、外



圖 3.7 室外固定管線、防水處理及水泥台灌製情形



圖 3.8 安裝室外地震儀、保護箱等相關設備情形



圖 3.9 中華電信光纖佈設及測試速報系統簡訊情形

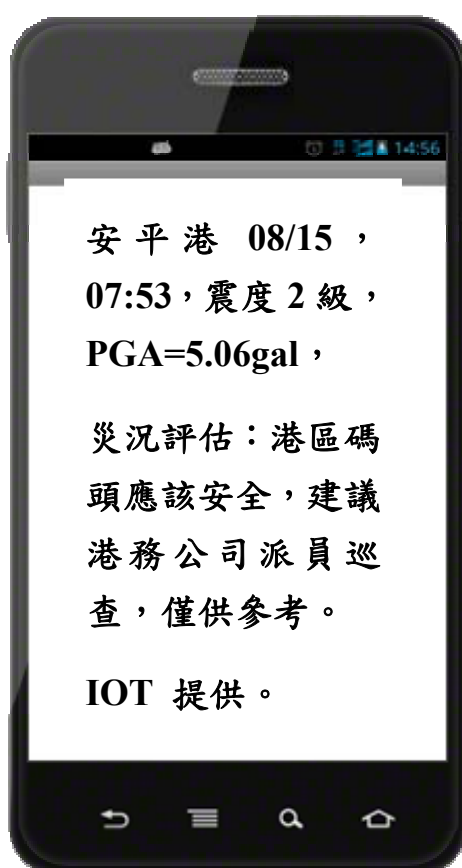


圖 3.10 以安平港地震為例修改後簡訊傳送內容

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 3.11、圖 3.12 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 3.13、圖 3.14 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 3.11 港區地震系統-近期地震

蘇澳港

測站位置:棧埤所對面 N121.863 E24.5909

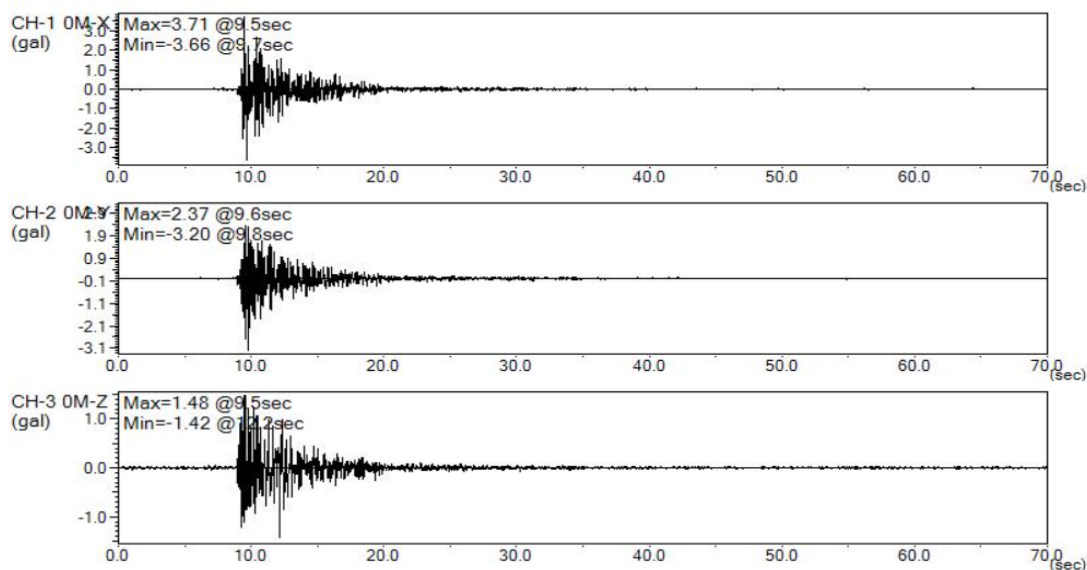


圖 3.12 港區地震系統-x,y,z 三向度地表地震圖



圖 3.13 港區地震系統-歷史地震查詢

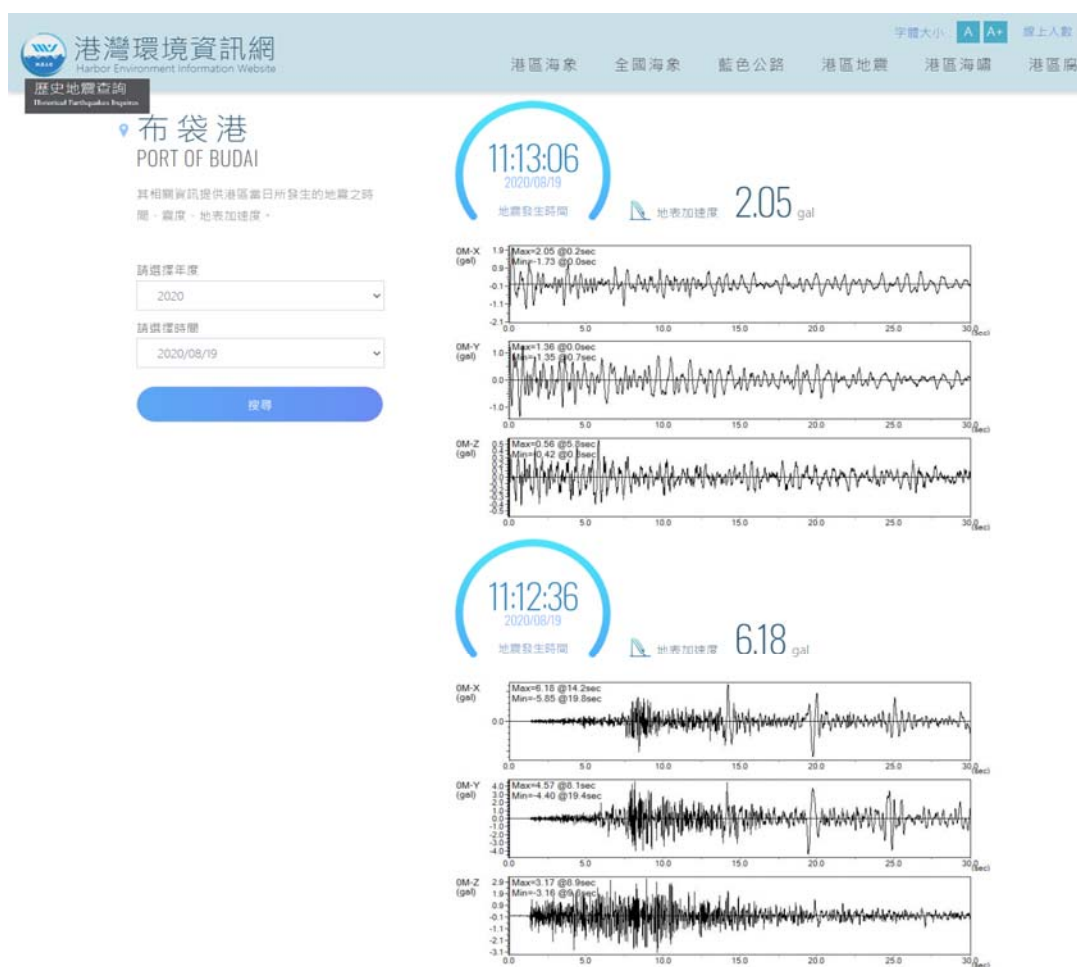


圖 3.14 港區地震系統-歷史地震圖

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^[7]；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^[10]。

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^[18]，故本文僅就超抽地下水引起之地層下陷分析方法，簡述如下：

4.1 地層下陷分析方法^[19]

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 $S(t)$ 。

$$\frac{\hat{a}_i}{\hat{a}} = C_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\mathcal{Z}^2} \dots\dots\dots(4-2)$$

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：

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

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^[23,24]

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。

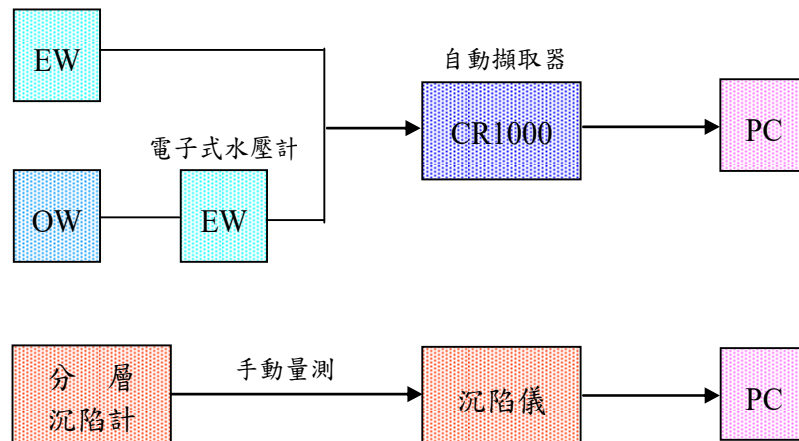


圖 4.1 系統與儀器架構流程

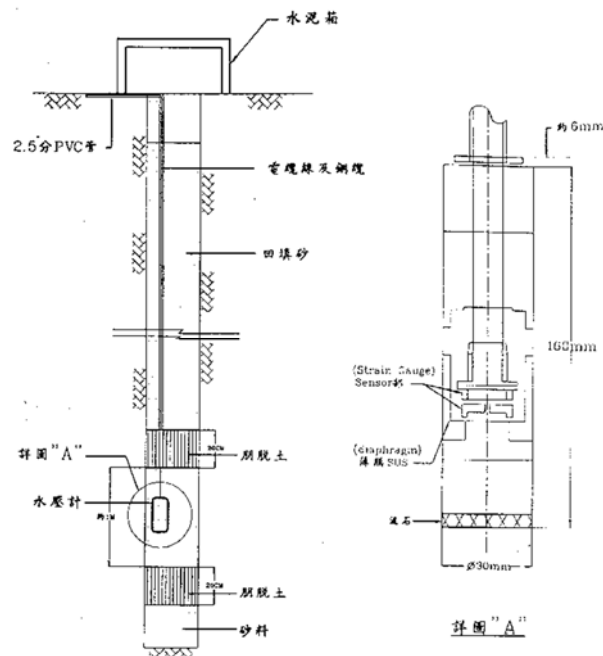


圖 4.2 電子式地下水壓計安裝示意圖

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^[20,21]

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。

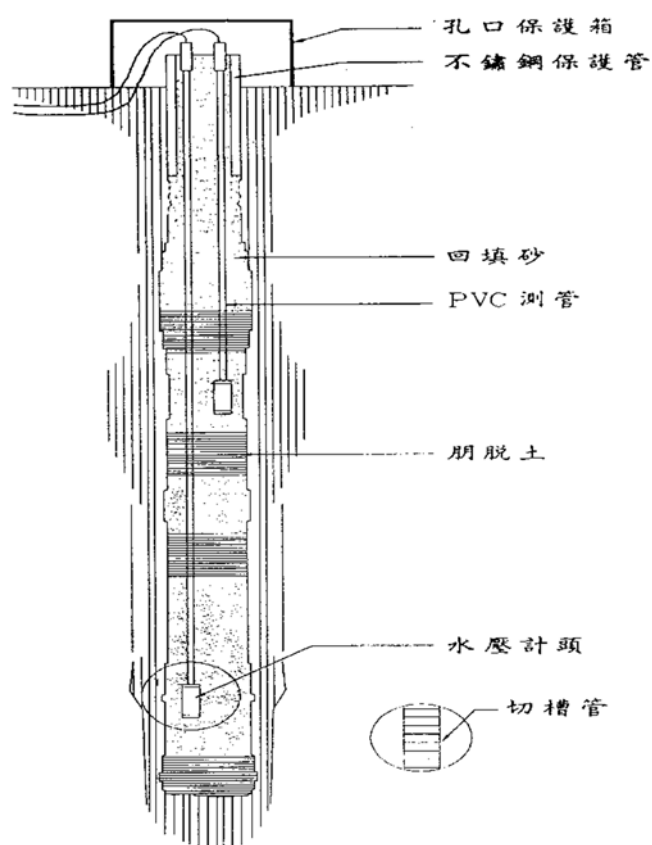


圖 4.3 開放式水壓計安裝示意圖

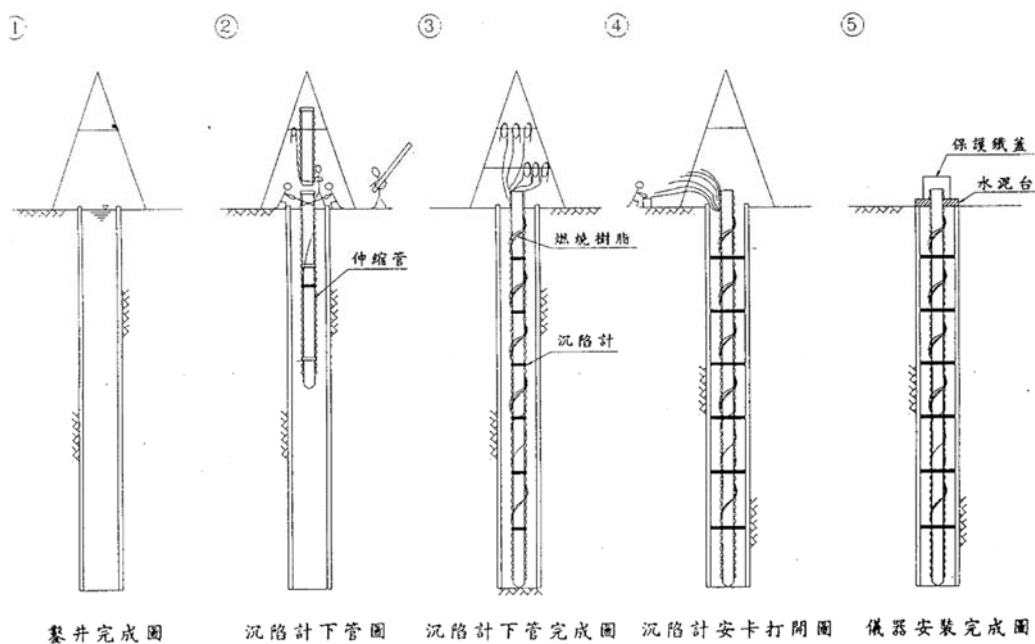


圖 4.4 沉陷計安裝示意圖

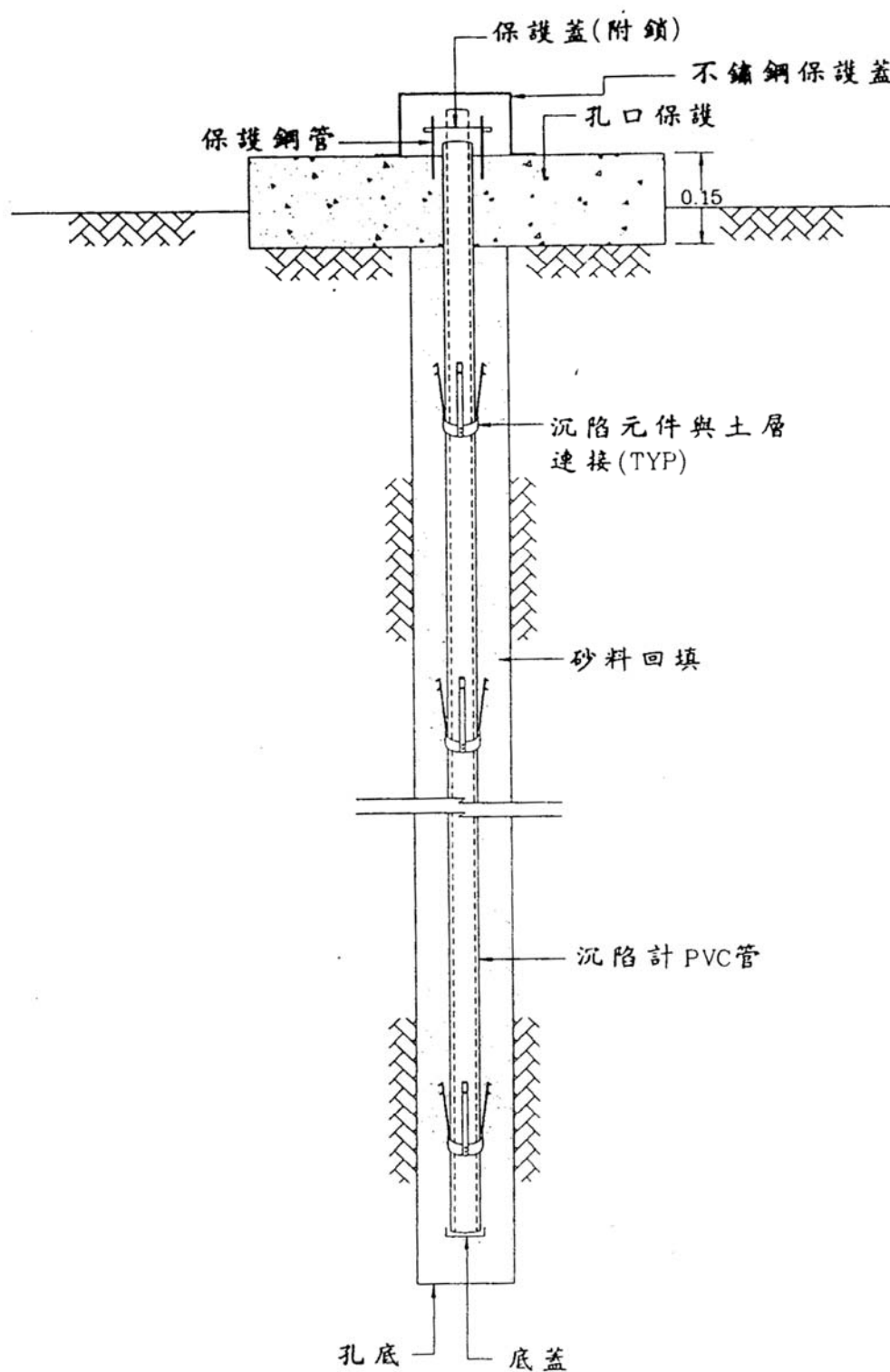


圖 4.5 磁感式層別沉陷計安裝示意圖

4.3 港區地層下陷監測^[22,26]

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之適當位置設置下陷監測站，分別 200m、300m、400m 共 3 個沉陷監測站，200m 監測站選擇位於港區第二期海埔地之西北角隅，300m 位於商港近南堤之砂石碼頭區，400m 深之水準基站於民國 92 年設於商港區的西北角隅，(如圖 4.6)^[12,15,26]，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，分別為分層沉陷觀測井 1 孔，水壓計觀測井 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. 電磁場式分層沉陷觀測井 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. 電子式水壓計觀測井 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站

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	8.262	S10	110.4515
S2	15.7775	S11	120.4515
S3	29.633	S12	130.7385
S4	40.5855	S13	140.441
S5	55.548	S14	157.4565
S4	65.543	S15	170.4380
S7	75.514	S16	180.6975
S8	85.469	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)	校正係數	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^[6]

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)：分佈於地表下 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。

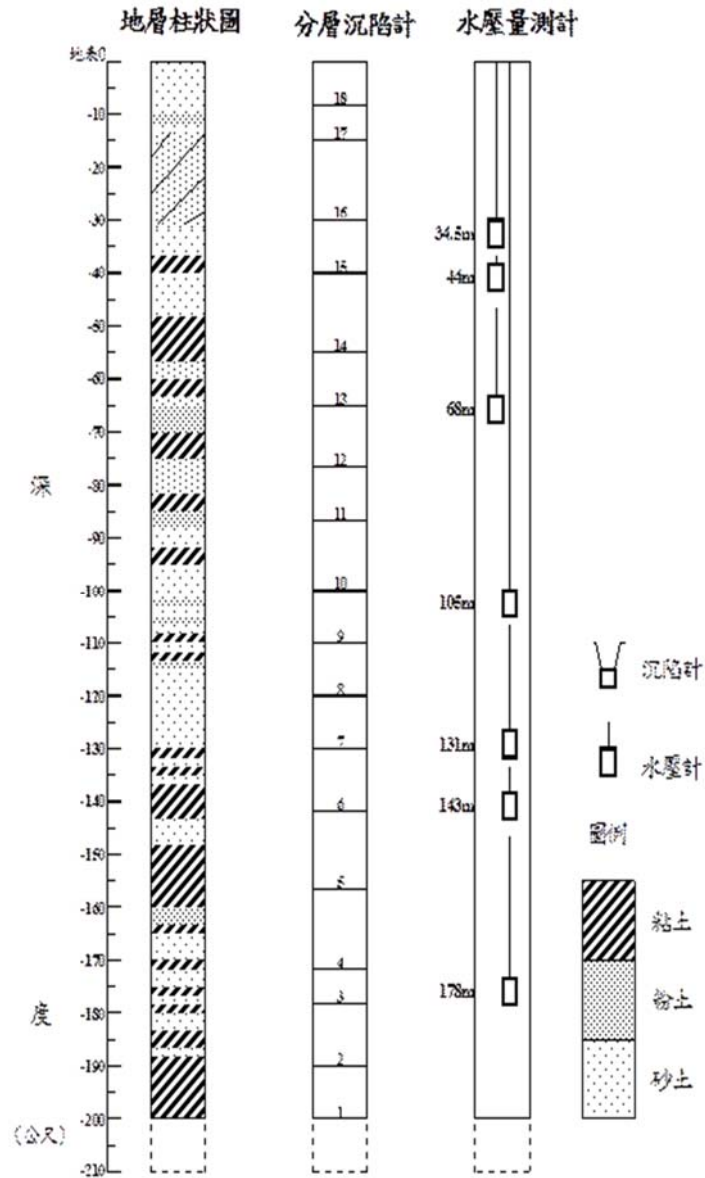


圖 4.7 布袋港地層下陷及水壓觀測站土層柱狀圖

4.3.1.2 地下水位分析^[17]

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 109 年 5 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。由於其中 34 m、105 m、143 m、178 m 之水壓計為開放式，故採手動量測，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 109 年 8 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-16.7 m，最低水位-27.67m，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，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(90/09-109/08)顯示，35 及 50m 之水位介於-1.1~-3.5m 之間，屬淺層水位，85

及 103m 為較深層之水位介於-13~-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-16~-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-15~-25m 之間變化。

4.3.1.3 地層分層下陷分析^[9,14]

(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，資料值由鈰鋼尺上之刻度讀取，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 109 年 8 月之 23 年 6 個月期間，布袋港地表下 8m 至 200 m 間之沉陷總量約為 69 公分，其中 56~85m 沉陷量約 10.3 公分，佔總沉陷量約 14.9%，而壓縮量較大之地層為 140~200 m 之沉陷量約 34.7 公分，佔總沉陷量約一半，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 6.5 公分，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。

(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 109 年 8 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～109 年 8 月止，約 20 年之累積總沉陷量約 93.9 公分，設置初期與 93 當年因缺水故沉陷量較大，分別為 90 年沉陷 7.4 公分、91 年沉陷 7.1 公分、92 年沉陷 11.6 公分及 93 年沉陷 13.6 公分，自 90 至 93 年止，四年期間共下陷 39.7 公分^[11]，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 12.1 公分。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 25.3 公分，約佔總沉陷量之 27%，102～190m 之沉陷量為 41 公分所佔比例為最大，約佔總沉陷量之 43.7%，190～300m 之沉陷量較少為 8.3 公分，約佔總沉陷量不到 1%，綜合以上得知，66～190m 深度之累積沉陷量為 66.3 公分，約佔總沉陷量之 70.6%，與 200m 深監測井監測結果比較，總沉陷量較大一些，而且主要沉陷之深度不同，因此，需要進行長期之監測以探討原因。

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 109 年 6 月止，共 16 年 9 個月期間之總累積下陷量約為 47.9 公分，近 3 年多(106 年 1 月至 109 年 6 月)總沉陷量約 8 公分，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 17 公分，98 年 7 月至 109 年 6 月之累積下陷量約 30.9 公分，97 年 5 月至 98 年 7 月因儀器故障，缺少監測資料。

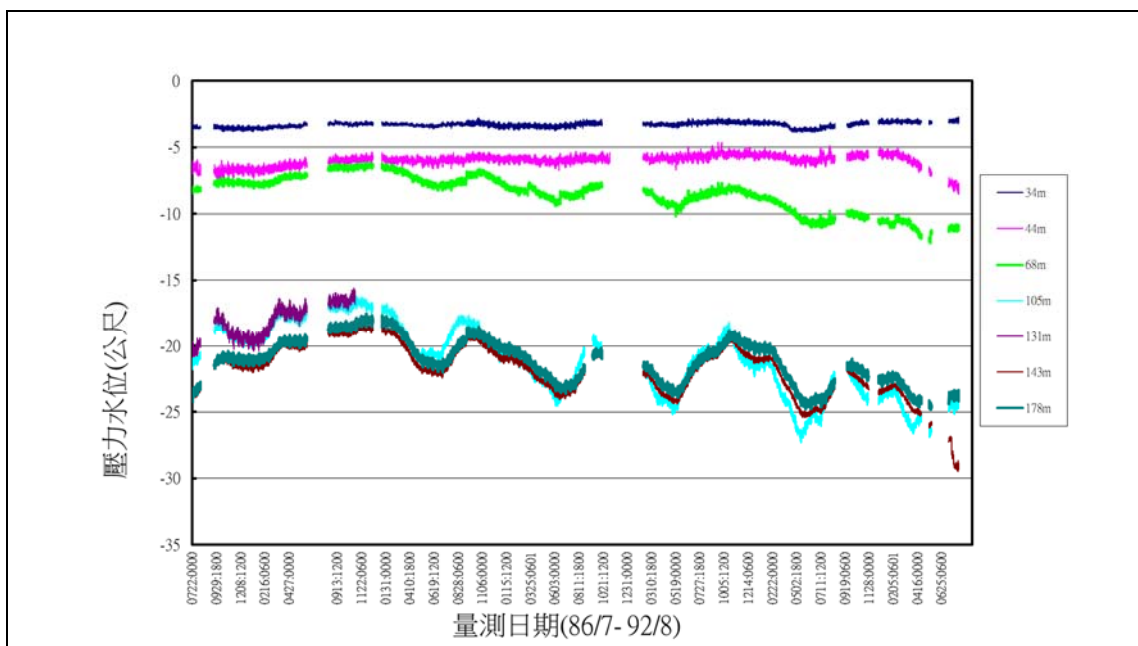


圖 4.8a 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(自記式 86/7-92/8)

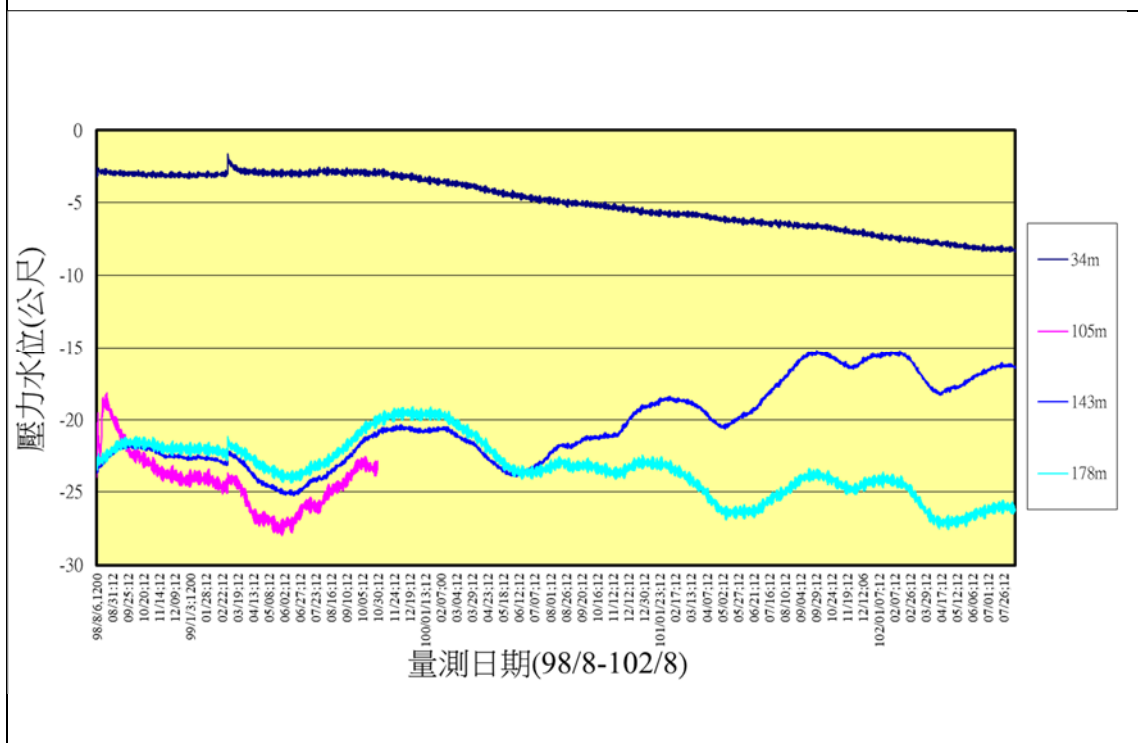


圖 4.8b 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(自記式 98/8-102/8)

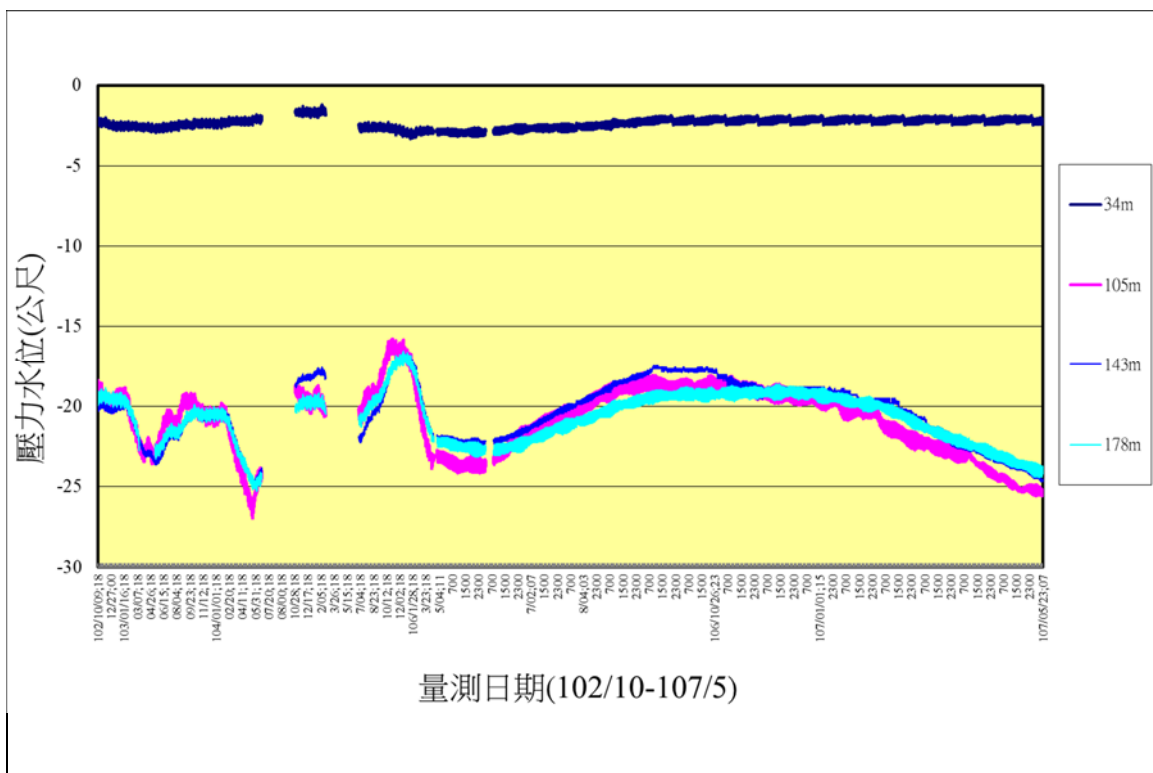


圖 4.8c 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(自記式 102/10-107/5)

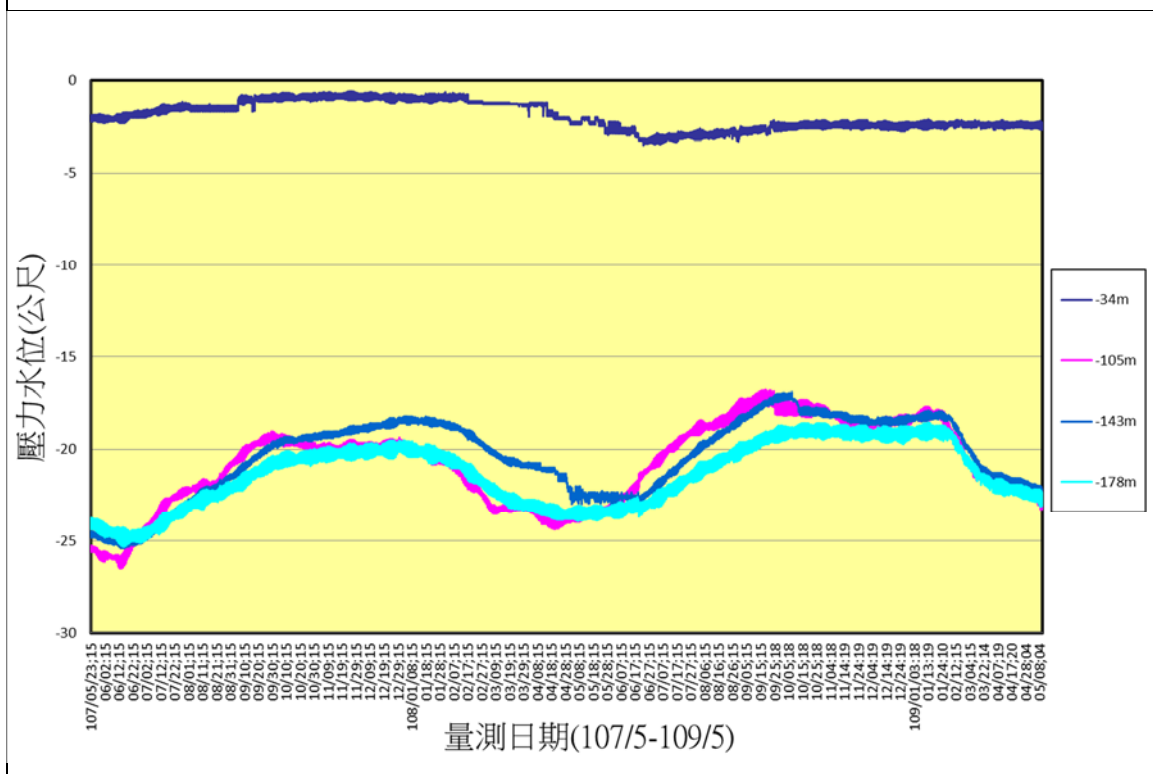


圖 4.8d 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(自記式 107/5-109/5)

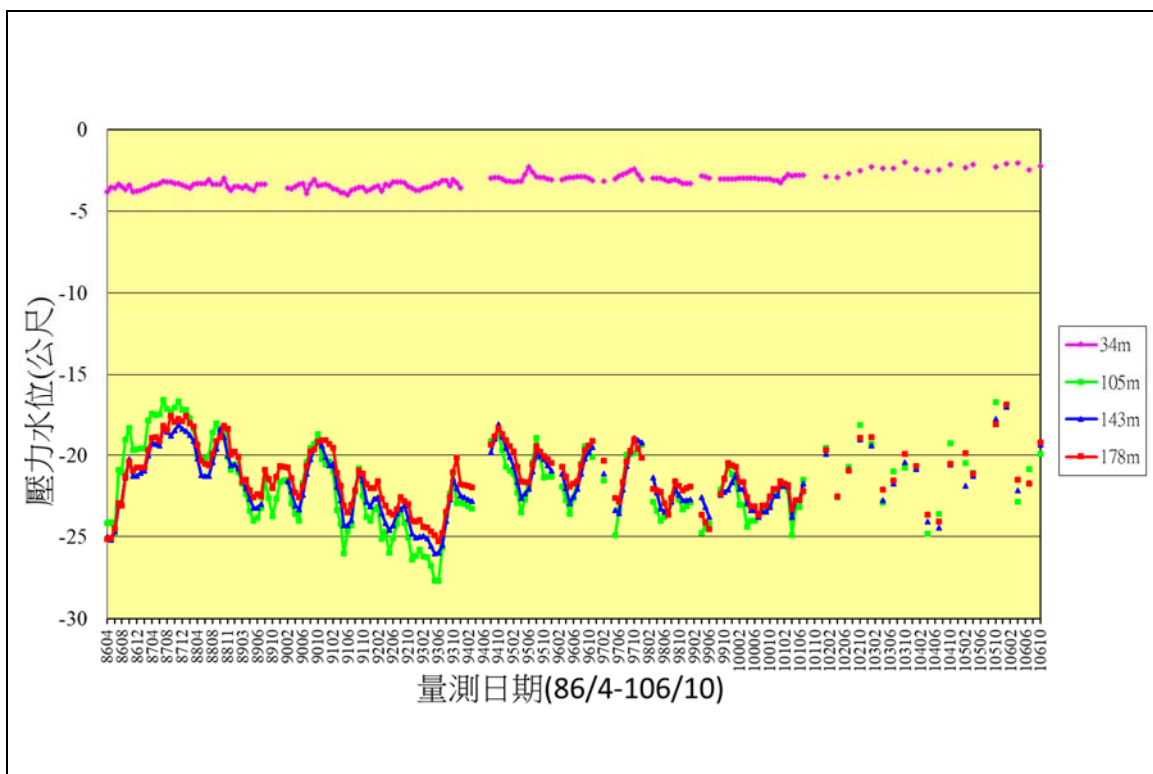


圖 4.9a 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(86/4-106/10 手動)

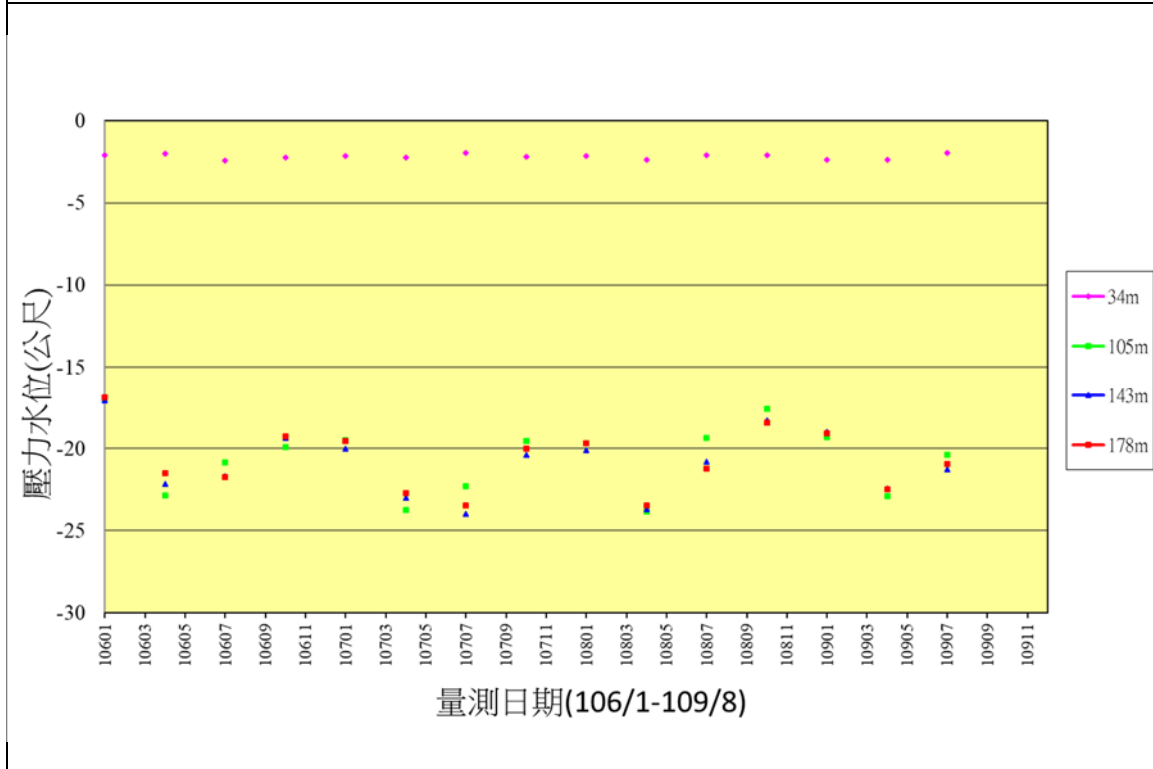


圖 4.9b 布袋港 200m 深水壓監測井分層水位變化圖(106/1-109/8 手動)

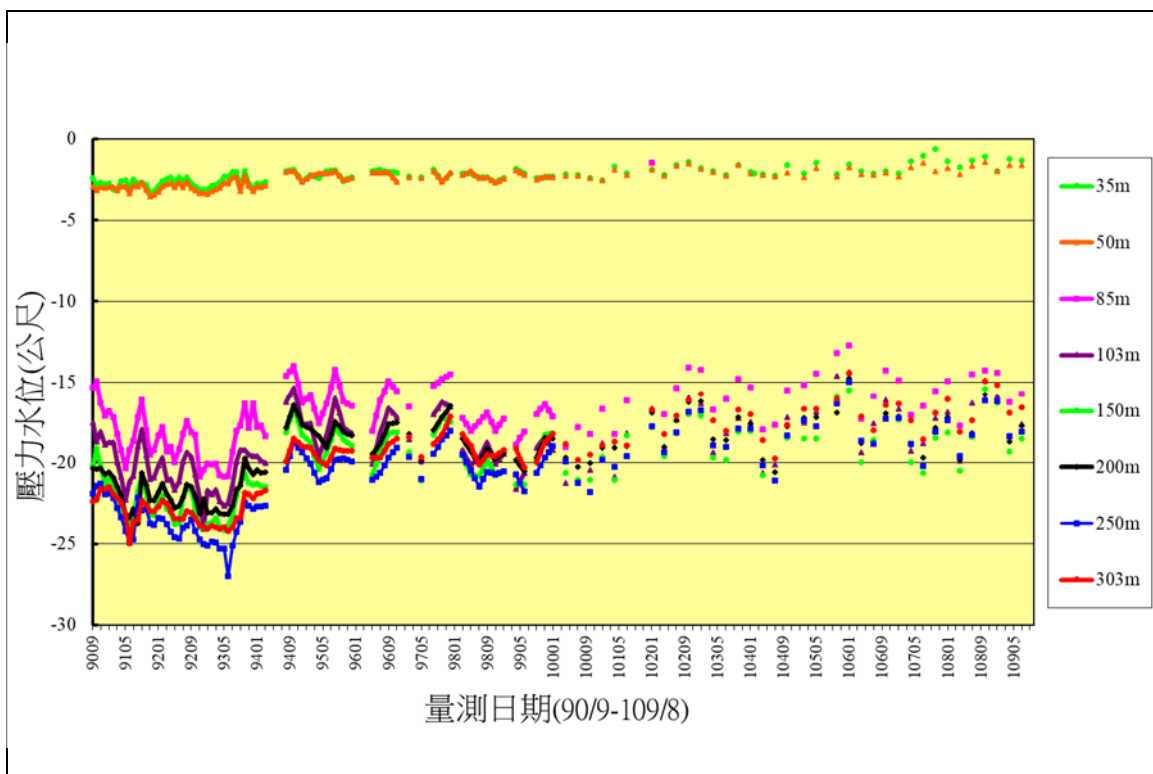


圖 4.10 布袋港 300m 深水壓監測井分層水位變化圖(90/9-109/8 手動)

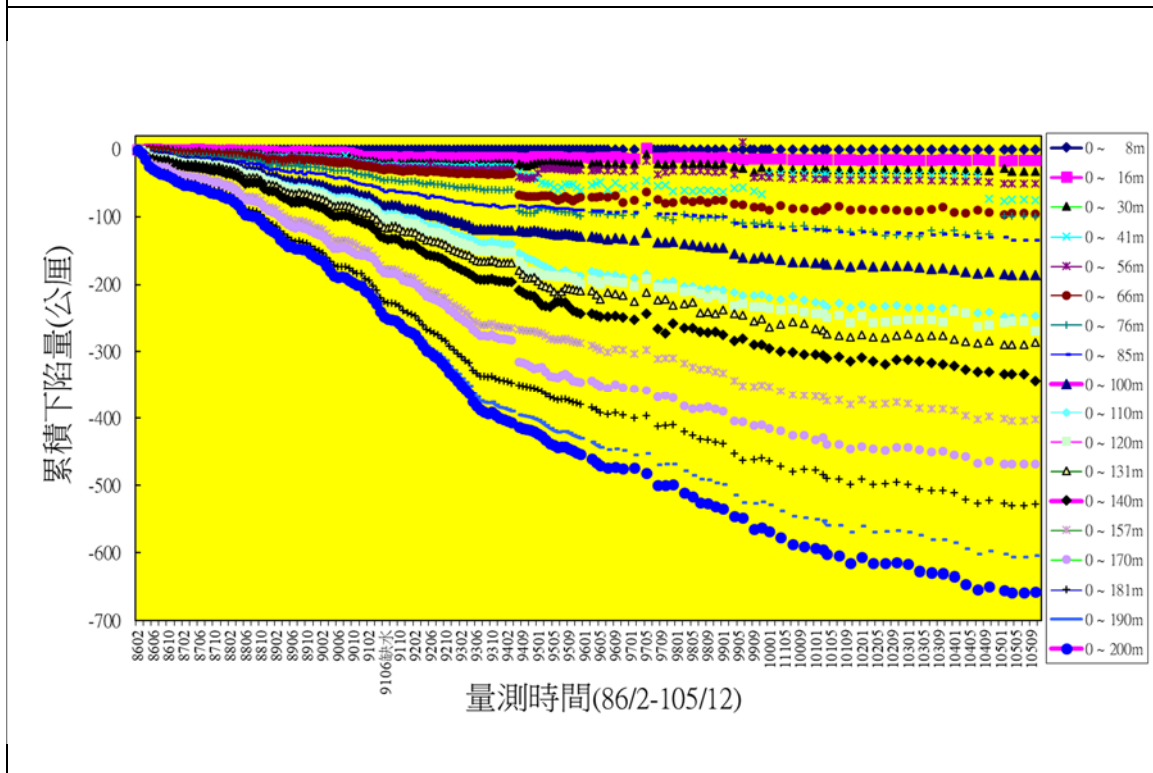


圖 4.11a 布袋港 200m 深水壓監測井分層累積下陷圖(86/2-105/12 手動)

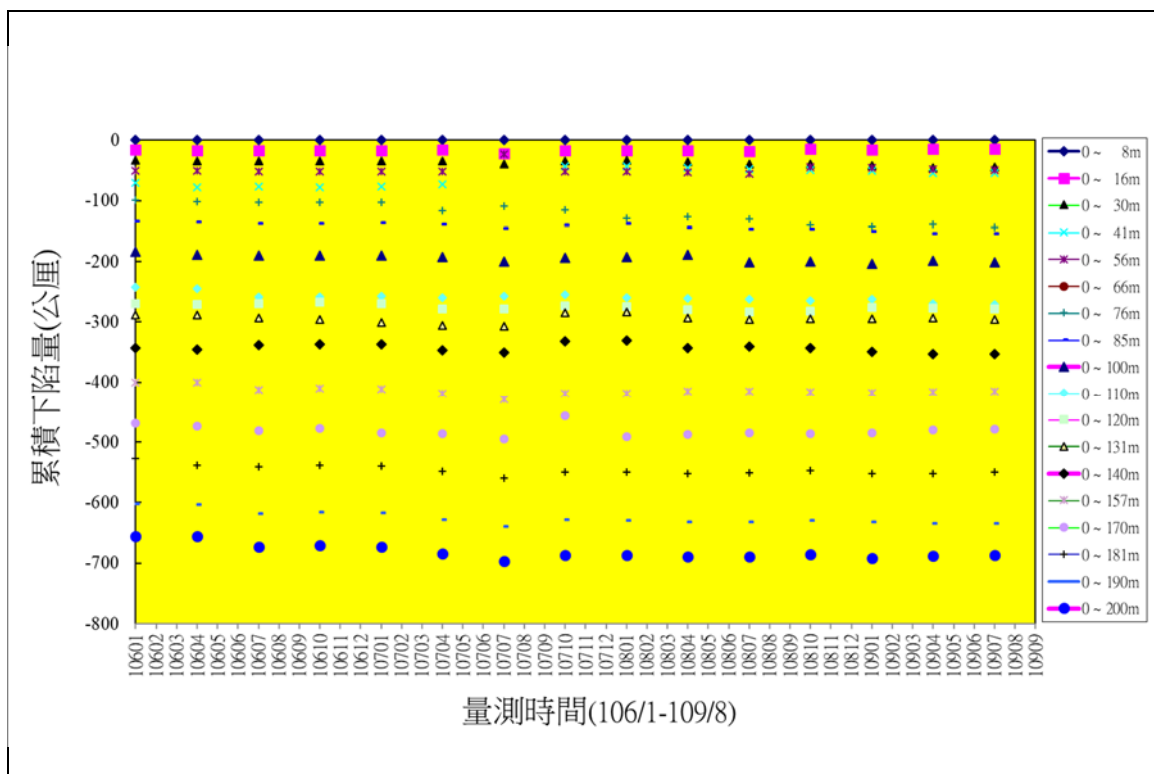


圖 4.11b 布袋港 200m 深水壓監測井分層累積下陷圖(106/1-109/8 手動)

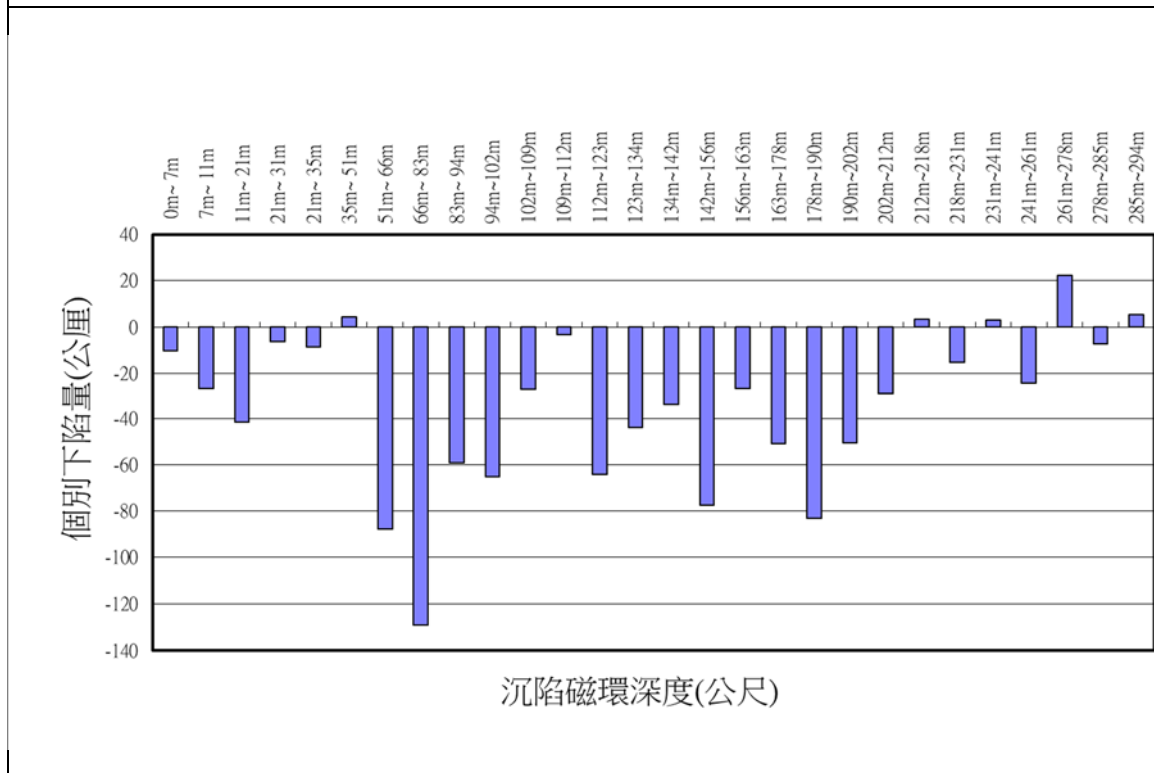


圖 4.12 布袋港 300m 深水壓監測井分層個別下陷量圖(109/08)

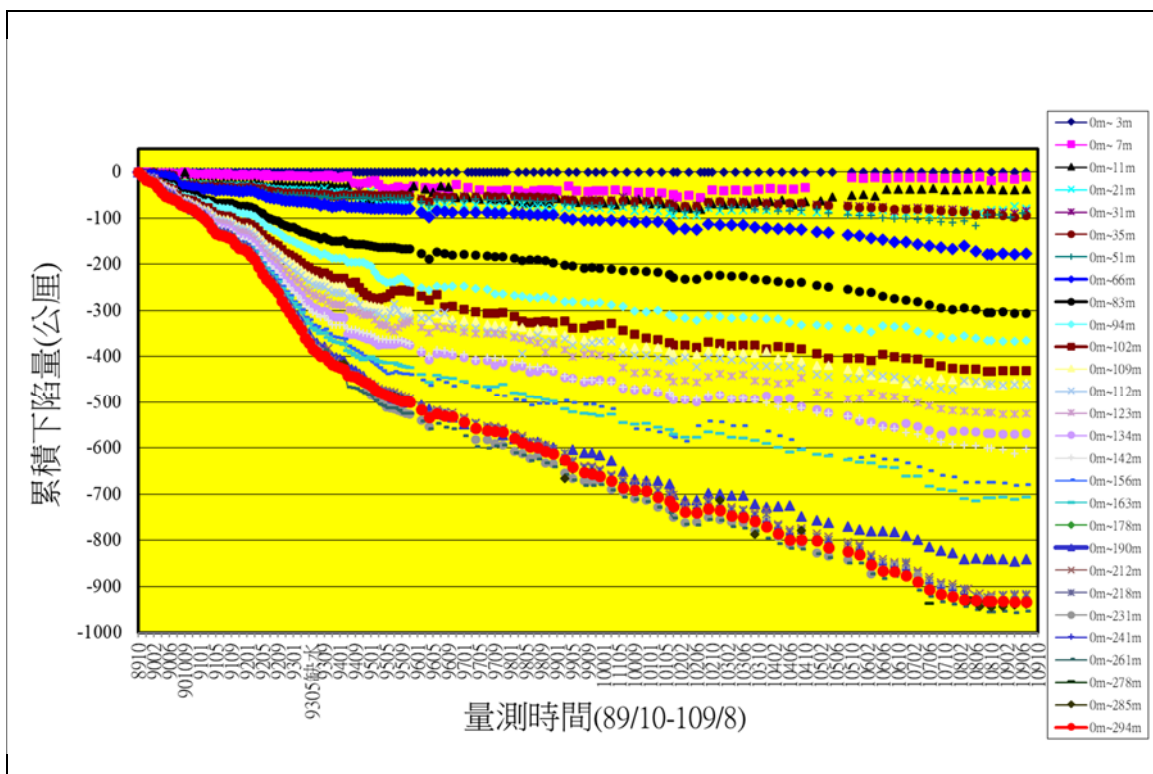


圖 4.13 布袋港 300m 深水壓監測井分層累積下陷量圖(89/10-109/8)

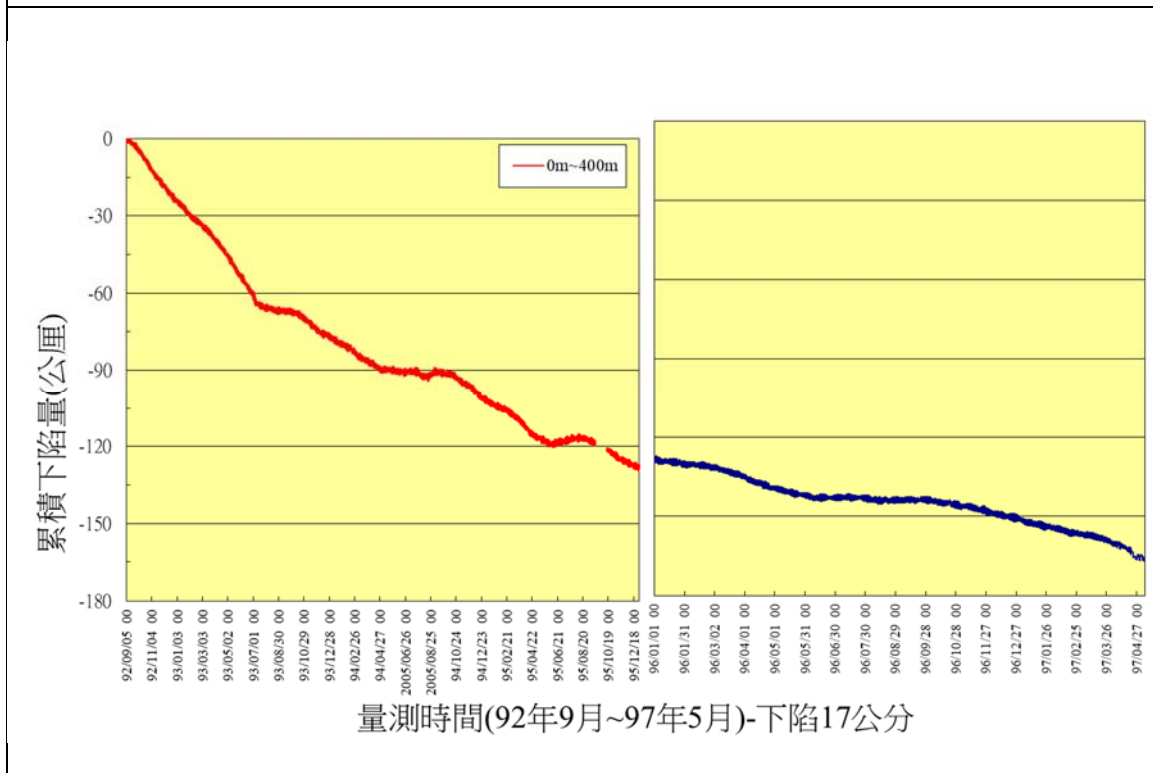
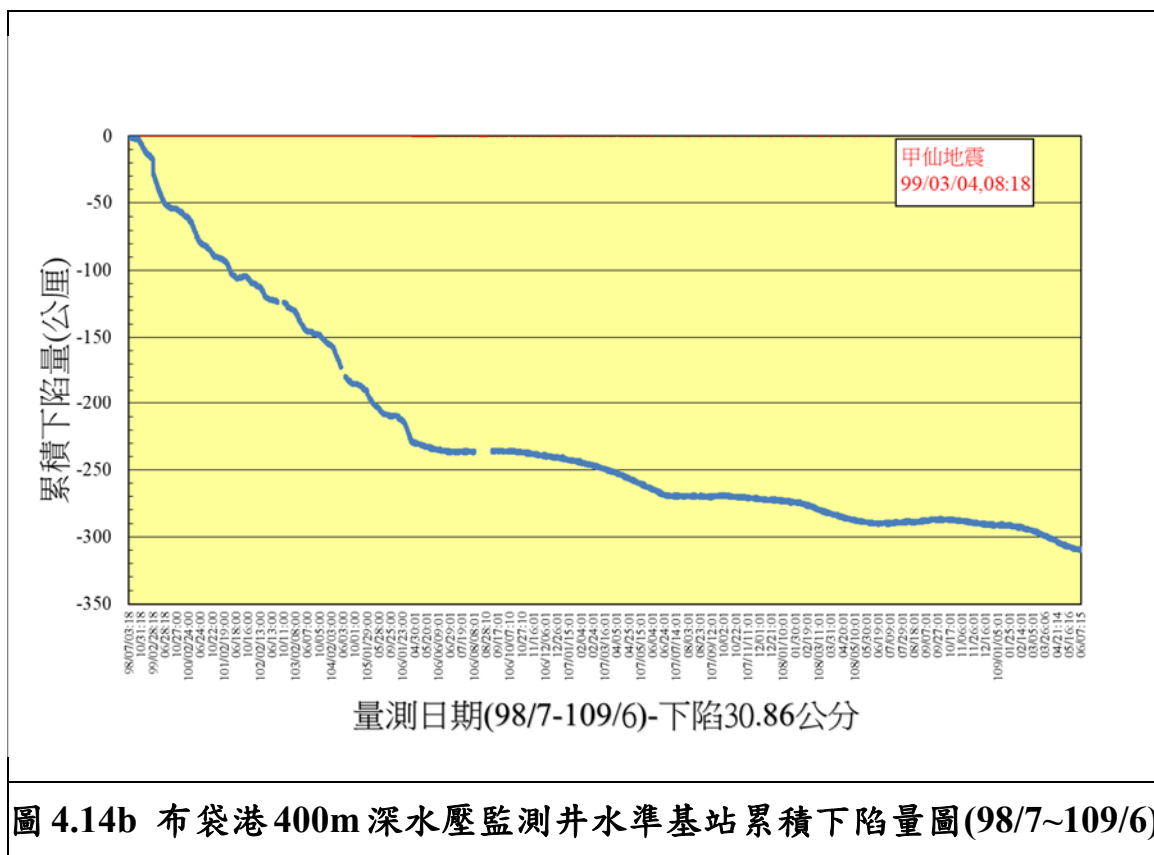


圖 4.14a 布袋港 400m 深水壓監測井水準基準累積下陷量圖(92/9-97/5)



4.3.2 大鵬灣監測站^[12]

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		

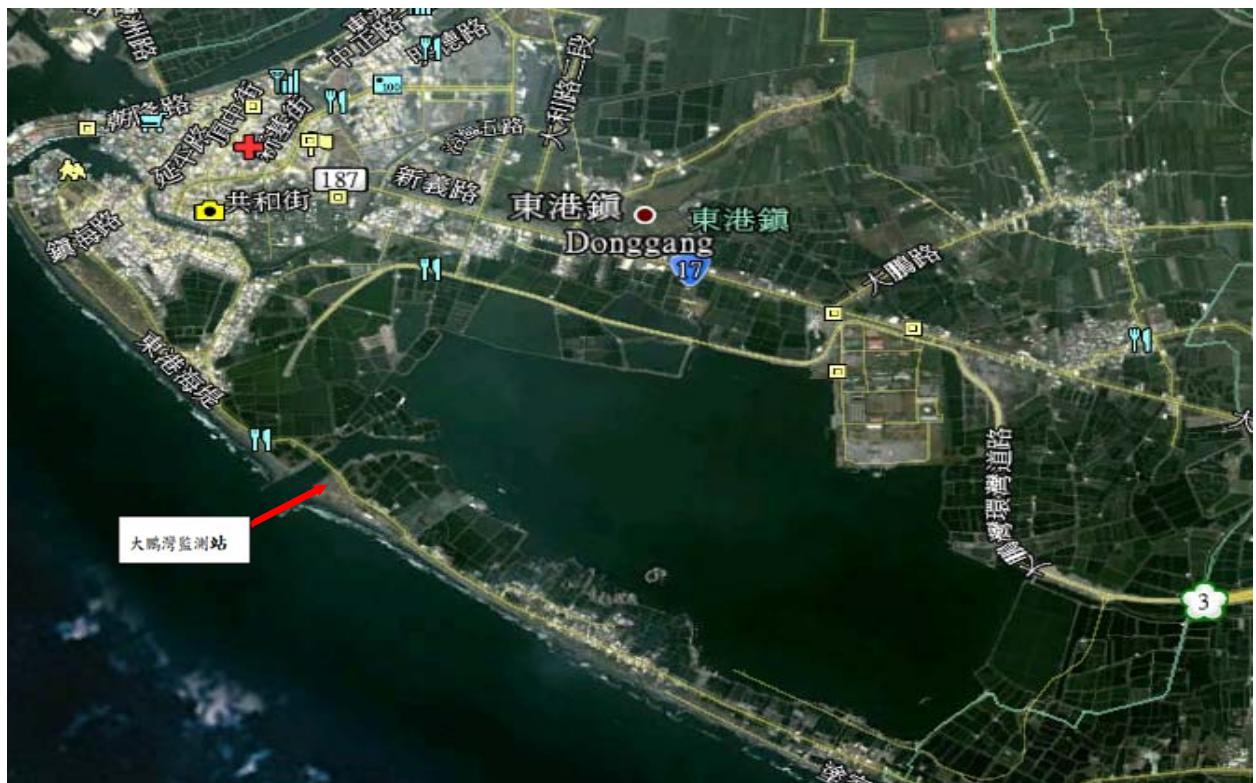


圖 4.15 大鵬灣監測站位置圖

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 109 年 8 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 5 年 (104 至 109) 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，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^[11]

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，資料值由鈰鋼尺上之刻度讀取，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 109 年 8 月止，共 22 年 5 個月期間，大鵬灣從地表至 189 m 間之沉陷總量約 15.1 公分，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 1.1 公分，而從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.6 公分，佔總沉陷量約 70.2%以上，由此量測資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

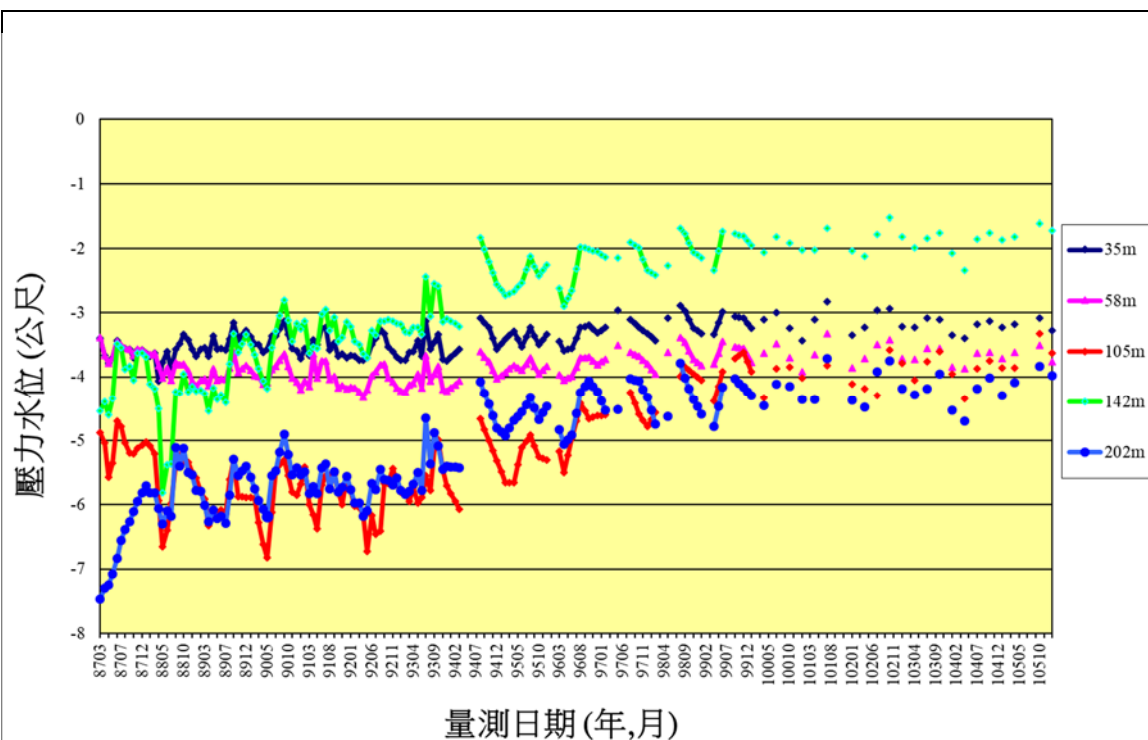


圖 4.16a 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 87/3-106/1)

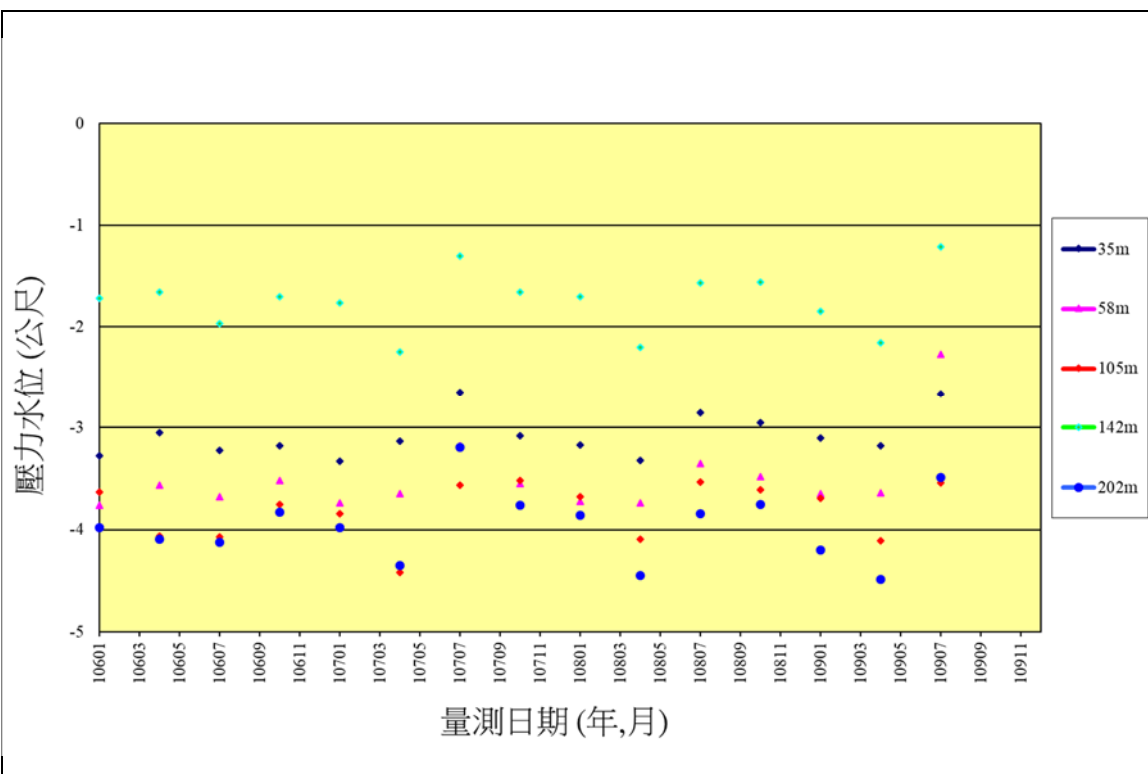


圖 4.16b 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 106/1-109/8)

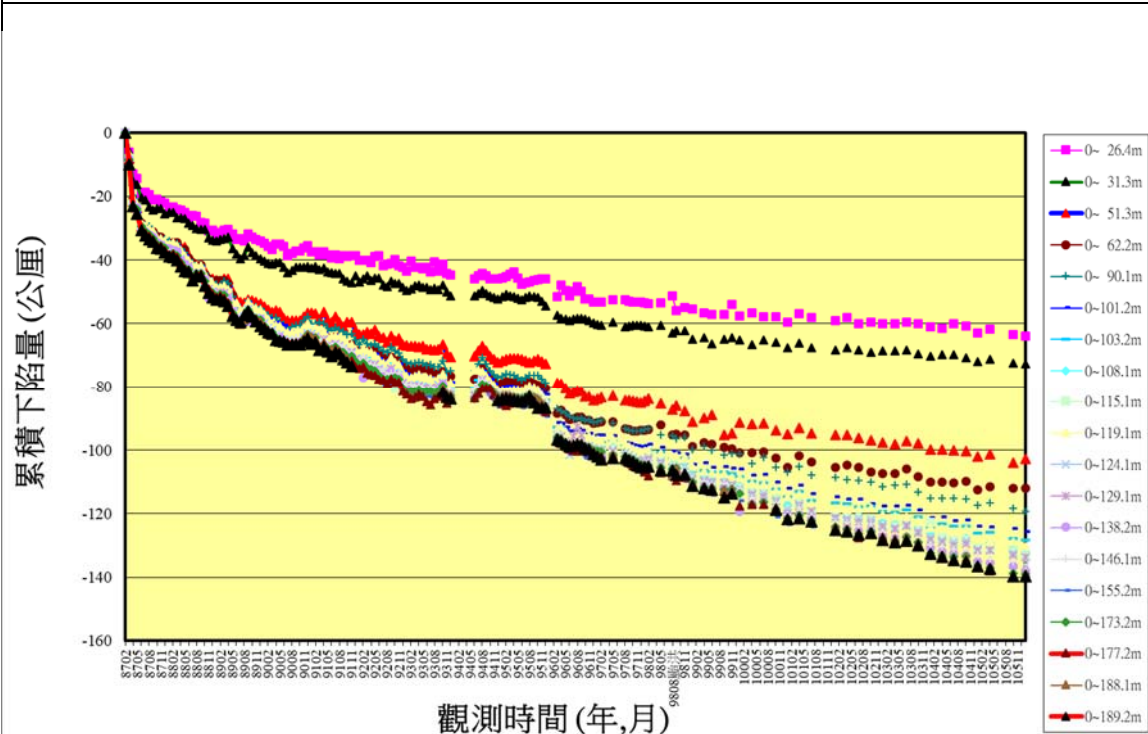


圖 4.17a 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(87/2-105/12)

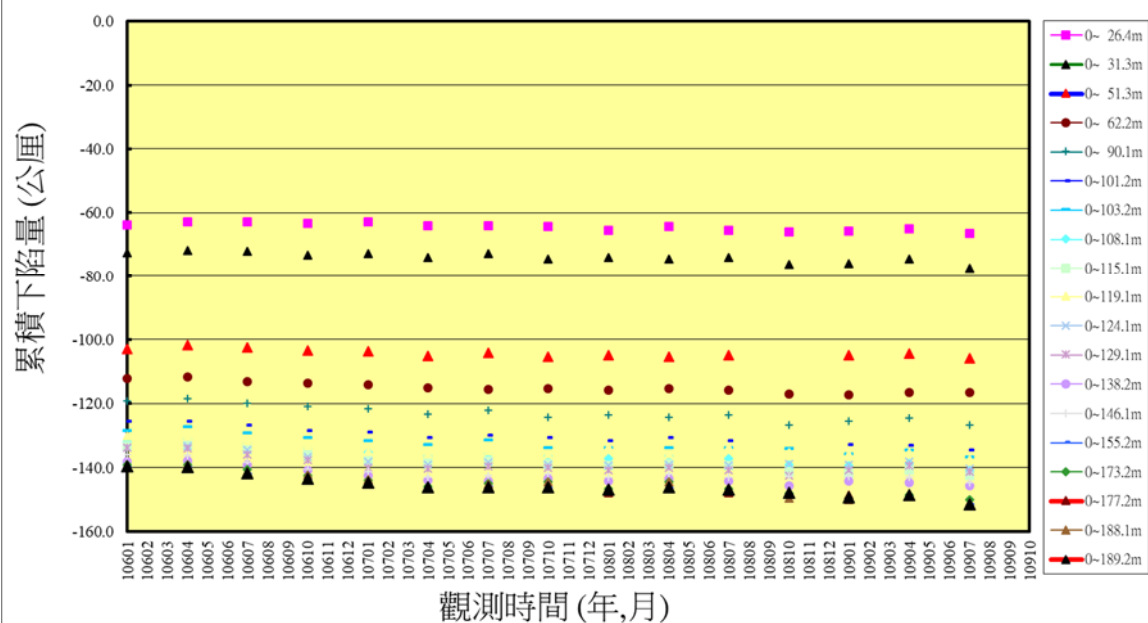


圖 4.17b 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(10601~10908)

4.3.3 臺中港監測站

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109年6月止，各分層水位約於-0.8~-4.9，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109年8月止，近5年(104至109)各分層水位約於-1.2~-4.5，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181 m深，累積總沉陷量至109年8月止約為6.1公分，其中自0 m~90 m深之沉陷量約4.7公分，佔總沉陷量約78%以上，其間以88年9月至10月，因地震產生之總沉陷量3.2公分最多，近5年(104至109)總沉陷量約0.5公分，如圖4.20所示。

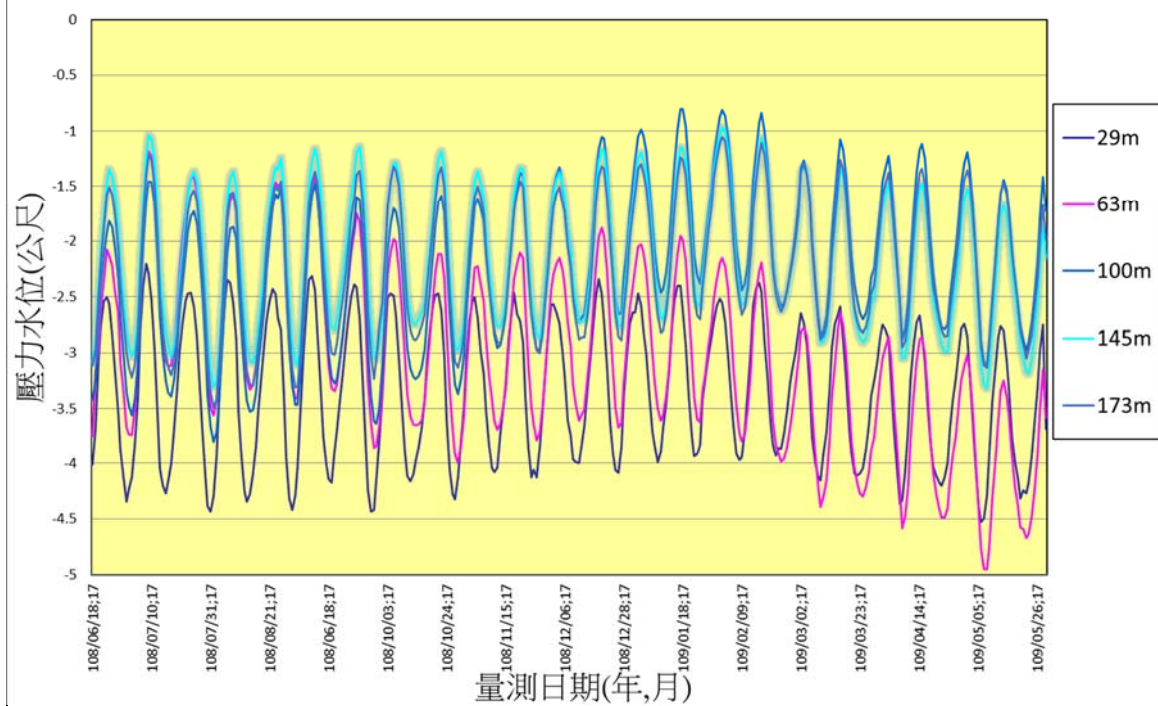


圖 4.19a 臺中港分層水位變化圖(自動量測 108/6-109/5)

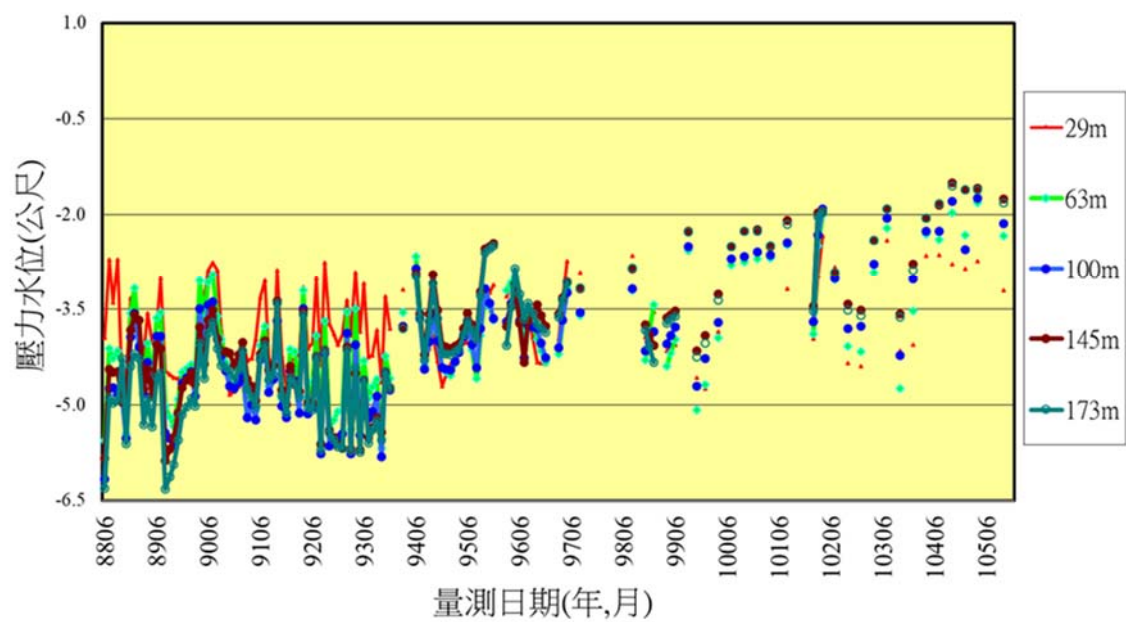


圖 4.19b 臺中港分層水位變化圖(手動量測 88/6-105/12)

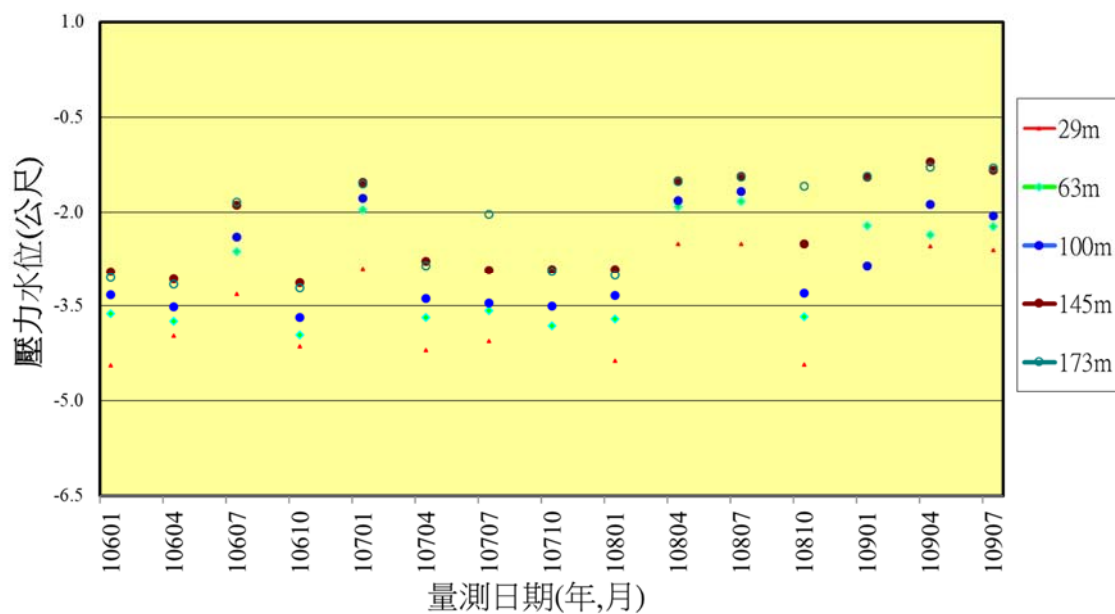


圖 4.19c 臺中港分層水位變化圖(手動量測 106/1-109/7)

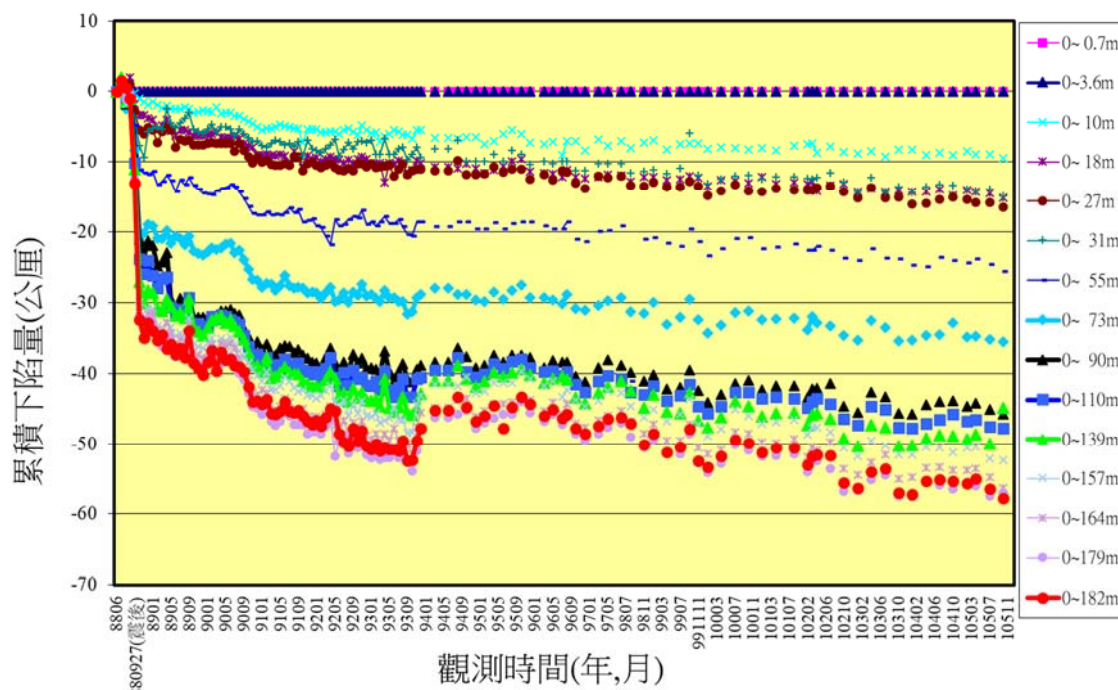
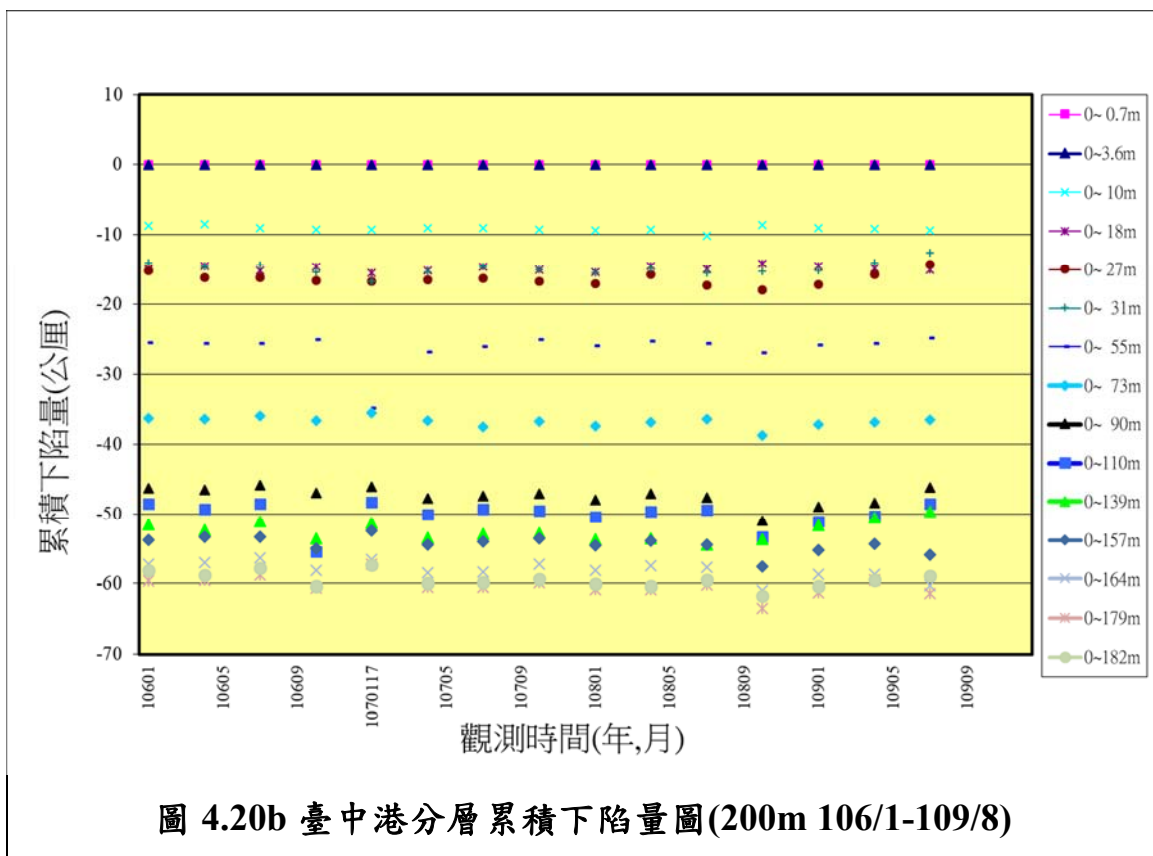


圖 4.20a 臺中港分層累積下陷量圖(200m 88/6-105/11)



4.3.4 安平港監測站^[13,16]

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 109 年 8 月之 21 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 109 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^[8]

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，銹鋼尺讀數之最小刻度為公厘。

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 109 年 8 月之 21 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 9.73 公分，而其中 0~31 m 之沉陷量約為 7 公分，約佔總沉陷量之 72%以上，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 1 公分，由資料顯示，安平港 18-19 號碼頭區之沉陷屬於淺層沉陷。

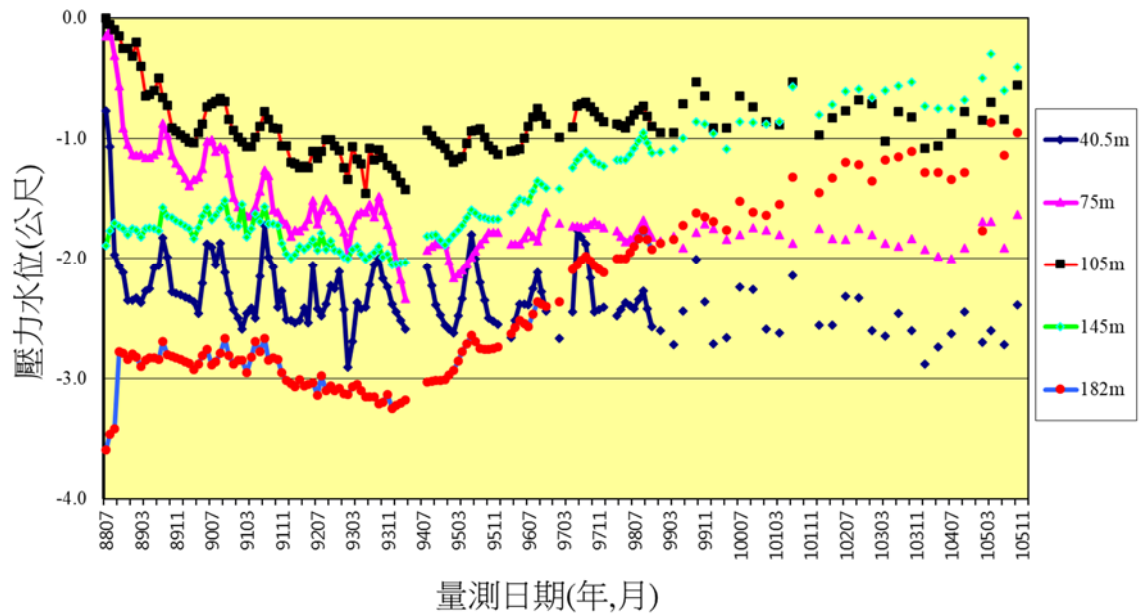


圖 4.22a 安平港分層水位變化圖(手動量測 88/7~105/11)

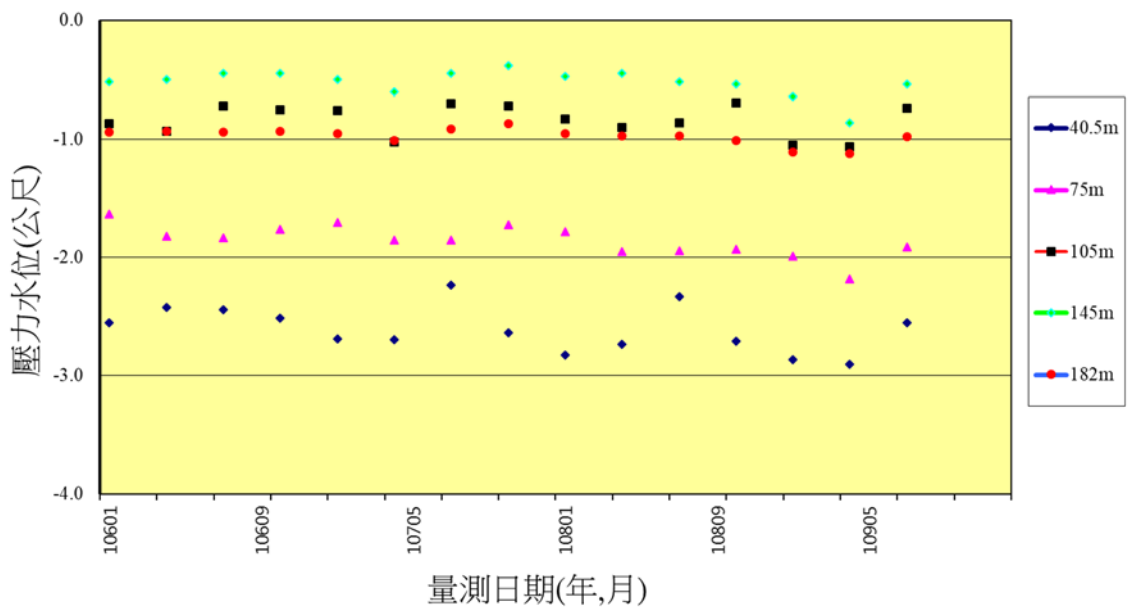


圖 4.22b 安平港分層水位變化圖(手動量測 106/1~109/8)

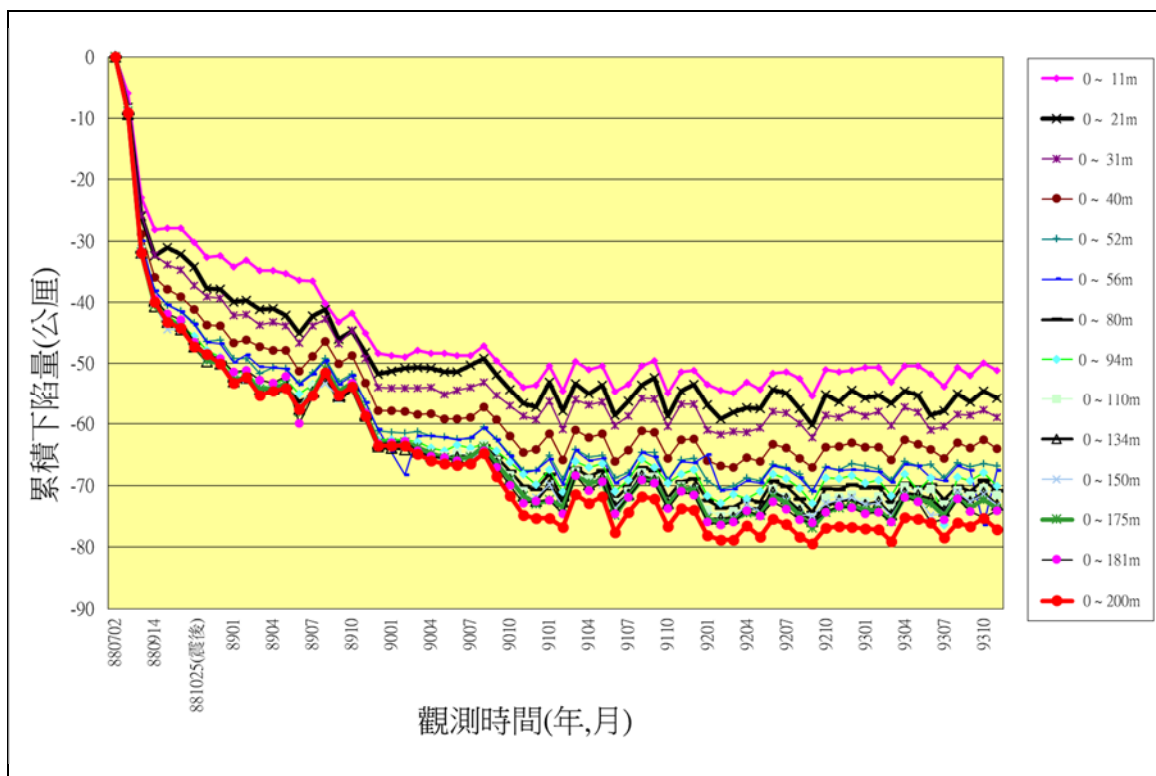


圖 4.23a 安平港地層分層下陷觀測圖(手動量測 88/7~93/10)

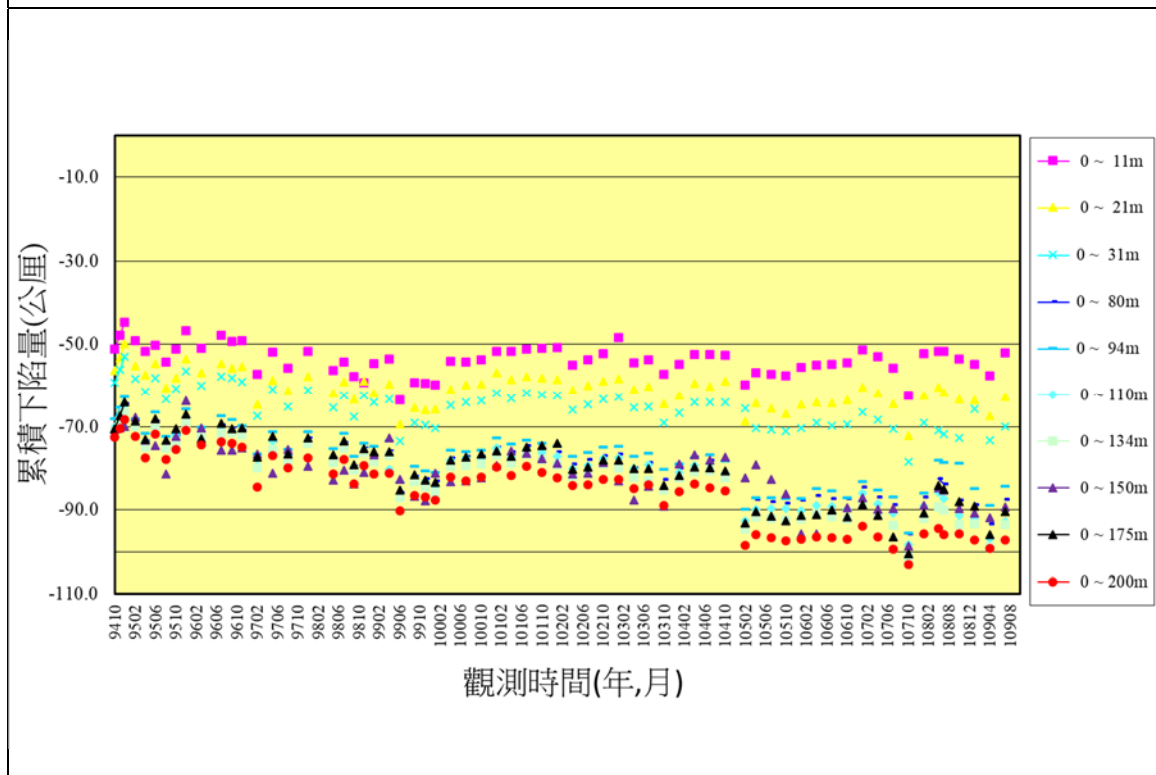


圖 4.23b 安平港地層分層下陷觀測圖(手動量測 94/10~109/7)

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 108 年度地層下陷檢測資料，更顯示雲林地區地層下陷最大下陷速率高達 6.5 公分/年。為維護港區工程及交通設施之安全，有必要針對西南沿海地區進行地層下陷長期之監測。故本所港研中心於民國 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(109)年研究主要工作重點是港區地震速報系統功能精進及港區地層下陷監測分析，執行的內容是：1.速報系統規畫與安裝，2.地震監測站維護及速報系統精進的成果，3.各港區地層下陷及地下水壓之量測與資料彙整分析，4.動態水壓即時周邊環境清潔 5.監測站觀測屋內之儀器或設備更換或修復 6.參加本所港灣環境資訊系統使用說明會-港區地震模組介紹。

5.1 結論

本(109)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. 布袋港 200m 水位監測站約可分為 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。另地層下陷從 86 年 2 月至 109 年 8 月之 23 年 6 個月期間，布袋港地表下 8 m 至 200 m 間之沉陷總量約為 69 公分，其中 56~85m 沉陷量約 10.3 公分，佔總沉陷量約 14.9%，而壓縮量較大之地層為 140~200 m 之沉陷量約 34.7 公分，佔總沉陷量約一半，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 6.5 公分，由此資料顯示，布袋港之沉陷屬於深層沉陷。
2. 布袋港 300m 地層下陷，自 89 年 10 月~109 年 8 月止，約 20 年之累積總沉陷量約 93.9 公分，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 12.1 公分，大致而言，布袋港區近年來地層下陷有趨緩現象。
3. 布袋港 400m 深之地層下陷水準基站，民國 92 年設置於商港區的西北角隅，經自動監測結果，自 92 年 9 月至 109 年 6 月止，共 16 年 9 個月期間之總累積下陷量約為 47.9 公分，近 3 年多(106 年 1 月至 109 年 6 月)總沉陷量約 8 公分，與 300m 下陷量比對很接近，300m 深度以下的下陷量似乎有趨緩現象。
4. 依水利署資料顯示，民國 80 年至 108 年之量測資料比較分析，嘉義地區 28 年來 總下陷量在 60 公分以上之下陷區，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。本所布袋港自 86 年至 109 年 200 m 之沉陷總量約為 69 公分，300 m 之累積總沉陷量約 93.9 公分，顯示布袋港 20 幾年來，累積總下陷量也在 60 公分以上。
5. 臺中港 200m 地層下陷，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，本站自 88 年 6 月至 109 年 8 月止累積總沉陷量約為 6.1 公分，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 0.5 公分。

6. 大鵬灣 200m 地層下陷，87 年 3 月至 109 年 8 月止，共 22 年 5 個月期間，從地表至 189 m 間之沉陷總量約 15.1 公分，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 1.1 公分，而從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.6 公分，佔總沉陷量約 70.2%以上，由此量測資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。
7. 安平港 18-19 號碼頭區 200m 地層下陷，從 88 年 7 月至 109 年 8 月之 21 年期間，從地表至 200 m 間之沉陷總量約為 9.73 公分，近 5 年(104 至 109)總沉陷量約 0.8 公分，而其中 0~31 m 之沉陷量約為 7 公分，約佔總沉陷量之 72%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。

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，爰本計畫執行期程預計於 110 年結束，建議 111 年起移轉予使用單位臺灣港務公司賡續進行維護；另今年 5 月、6 月、8 月召開 2 次內部研究工作會議及 1 次專家學者座談會議，參與同仁及專家學者熱烈討論，並提供寶貴研究意見，亦值得持續辦理。

5.3 研究成果之效益

1. 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，作為各港務公司救災與搶修決策參考性質。

2. 港區地震資訊於本所港灣環境資訊網中展示，可作為港務公司救災應用參考；另於 109 年 10 月 21 日參加使用者說明會，介紹港區地震模組。
3. 各港地層分層沉陷及水壓監測站監測資料，可供未來港灣結構物設計與維護之參考。
4. 將原設置於基隆港(貨櫃中心)之地表地震監測設備，移至該港港務處航管中心，力求改善儀器遭遇外力碰撞或誤觸情形發生，以提升地震發布簡訊穩定度。
5. 於國內期刊，發表成果論文 1 篇。

5.4 提供政府單位應用情形

1. 本所設置港區地震即時災況速報系統，可於災後將相關初步評估訊息以簡訊傳至港務分公司相關人員，作為防救災之參考。
2. 出版研究報告將相關研究成果供產官學界參考應用。

參考文獻

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 經濟部水利署地層下陷防治資訊網。
6. 徐鐵良，「地質與工程」，科技圖書，民國 75 年。
7. 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。
8. 臺灣省政府水利處，「臺南地區地盤下陷檢測成果報告」，1995。
9. 臺灣省政府水利處，「嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告」，1996。
10. 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。
11. 臺灣省政府水利處，「屏東縣沿海地區地盤下陷檢測報告」，1997。
12. 屏東縣政府，「大鵬灣風景特定區整體發展規劃設計」，1997。

- 13.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)。
- 14.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。
- 15.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。
- 16.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。
- 17.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。
- 18.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 年 3 月。
- 19.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。
- 20.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。
- 21.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。
- 22.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。
- 23.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。
- 24.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。
- 25.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。

26.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。

27.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。

附錄一

專家學者座談及各期工作會議紀錄

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第1次工作會議

二、時間：109 年 5 月 19 日(星期二)下午 2 時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室

四、主持人：蔡立宏主任

紀錄：莊凱迪

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一)工作進度說明：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

(1)完成大甲溪下游國 3 大甲溪橋基本資料蒐集。

(2)完成地工織布現地試驗規劃。

(3)完成國 3 大甲溪橋 P27 墩之地工織布現地鋪設。

2.109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(1)完成第 1 季大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗。

(2)完成 2019 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報。

3.109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(1)持續維護各港區地震災況速報系統及地震監測站儀器，使其能正常運作。

(2)於 2 月及 5 月完成第 1、2 季各地區地層分層沉陷及水位量測。

(3)預計於 7 月辦理第 1 次各港地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作，驗收及付款事宜。

4.臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置

(1)網頁版港區工程基本資料查詢系統之架構建置。

(2)臺北港區港埠規劃圖資蒐集與查詢模組建置。

(3)臺北港碼頭與堤防設施斷面圖資蒐集與網頁展示模組建置。

5.港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

(1)國內外港灣構造物維護管理機制相關文獻研析。

(2)國內外港灣構造物新興科技運用巡檢案例蒐整。

(3)3月24日邀集港公司辦理第1次需求諮商會議。

6.離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

(1)持續辦理金屬材料腐蝕現地暴露試驗。

(2)定期觀測與鑑別金屬試片附著海生物之種類與分佈情形。

(3)進行臺中港4號碼頭海域水質連續監測及採樣調查分析。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

(1)後續室內水工模型試驗執行方式討論。

(2)後續地工織布保護成效觀測方式的討論。

(3)地工織布的抗紫外線及耐久性問題討論。

2.109年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(1)後續進行全島109年第2季、第3季及第4季大氣腐蝕劣化因子調查試驗設備取樣維護及化學分析試驗的方式討論。

(2)精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫的方式討論。

(3)辦理部屬單位教育訓練或腐蝕資訊系統教育訓練期程討論。

3.109年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(1)港區震災速報系統移轉港務公司之問題討論。

(2)速報系統簡訊傳送內容修改討論。

4.臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置

- (1)港區工程基本資料查詢系統之建置討論。
- (2)臺北港工程基本資料的蒐集與地質資料模組建置討論。
- (3)後續公共設施管線查詢模組的討論。

5.港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

- (1)後續需求研商工作會議時程及內容討論。
- (2)港灣構造物維護管理資訊系統後續擴充及精進內容討論。
- (3)教育訓練及應用推廣討論。

6.離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

- (1)金屬試片取樣作業後續工作討論。
- (2)金屬試片附著生物調查試驗後續工作討論。
- (3)臺中港鄰近海域水質連續監測採樣調查分析試驗，監測項目討論。

七、結論：

(一)地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

- 1.針對後續室內水工模型試驗請依期程完成。
- 2.地工織布保護成效觀測方式是否能於現地增設攝影設備，以利觀測颱風之水流變化及鼎塊保護工之變位情形，請納入後續觀測之評估項目。

(二)109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

- 1.請持續建立臺灣地區構造物腐蝕環境潛勢分析之完整數據資料庫。
- 2.請加強推廣於交通部、公路總局、高速公路局、港務公司及顧問公司等選用金屬材料及防蝕工法參考應用，確保公共工程如橋梁、碼頭等構造物，能達到或超過設計使用年限。

(三)109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

- 1.執行期程於 110 年結束，請提早準備未來與港務公司合作研究相關資料，安排時間討論。
- 2.速報系統簡訊傳送內容修改，增加「建議港務公司派員巡查，僅供參考」，以釐清權責歸屬問題。
- 3.請持續維護各港地震災況速報系統，使其能正常運作。

(四)臺北港港區工程基本料庫擴建及網頁查詢模組建置

- 1.針對後續各項網頁查詢模組請依期程完成。
- 2.請針對港區工程基本資料查詢系統之臺北港地質資料與公共設施管線資料的網頁查詢進行更新與建置。

(五)港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

- 1.請於 5 月底前再次邀集港公司代表，進行第 2 次需求諮商會議討論。
- 2.整理之港灣構造物維護管理機制，可歸納並做為後續檢測標準訂定之參採。
- 3.請依預定進度甘梯圖規劃，至各港分公司進行維護管理資訊系統介紹及相關需求諮商，以做為後續系統擴充及精進內容之方向。

(六)離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

- 1.後續進行金屬試片取樣及金屬試片附著生物調查試驗作業請依期程完成。
- 2.請彙整金屬試片腐蝕速率、附著生物數量與連續水質參數資料以統計分析探討其關聯性變化。

八、散會：下午 5 時 30 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第 1 次工作會議

時間：109 年 5 月 19 日(星期二)下午 2 時

地點：本所港研中心五樓第一會議室

主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

單位	簽名
一科	柯正龍 張道光 賴瑞華 張建明 林雅雯 曾文序 黃宇強 郭啓文 謝外屏
二科	許育和 黃茂信
三科	李信穎 蔣敏玲

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科自行研究計畫第2次工作會議

二、時間：109 年 8 月 19 日(星期三)下午 1 時

三、地點：本所港研中心五樓第一會議室

四、主持人：陳副所長天賜

紀錄：莊凱迪

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

（一）工作進度說明：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

(1)完成大甲溪下游國 3 大甲溪橋基本資料蒐集。

(2)完成地工織布現地試驗規劃。

(3)完成國 3 大甲溪橋 P27 墩之地工織布現地鋪設

(4)完成模擬現況之土工模型試驗規劃。

2.109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(1)3 月及 6 月完成大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗全島 109 年第 1 季及第 2 季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，7 月底完成相關化學分析。

(2)於 109 年 5 月 11 日出版 2019 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報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。

3.109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(1)持續維護各港區地震災況速報系統及地震監測站儀器，使其能正常運作。

(2)於 2 月、5 月及 7 月完成第 1-3 季各地區地層分層沉陷及水位量測。

(3)預計於 9 月辦理「臺中火力發電廠地震監測站中央集錄系統儀器更新」安裝事宜。

(二)針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1.地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

(1)室內水工模型試驗執行方式討論。

(2)後續地工織布保護成效觀測與效益評估方式討論。

(3)後續橋墩基礎保護工法之研究方向討論。

2.109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

(1)精進及擴充臺灣腐蝕環境分類資訊系統資料庫討論。

(2)調查數據之奇異值問題探討與處理。

3.109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

(1)港區震災速報系統移轉港務公司之問題討論。

(2)各地區地層分層沉陷及水位量測，資料分析討論。

七、結論：

(一)地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

1.地工織布保護工法施工程序建議可納入施工設計，供高公局、公路總局等相關單位參考。

2.後續可將相關保護工法、施作時程、成本效益等做一個統整評估。

(二)109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1.請針對使用者回饋意見做為系統精進的依據。

2.後續請強化腐蝕預測模式及關連性分析之研究。

(三)109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1.執行期程於 110 年結束，後續退場機制，請先規劃並再與港務公司洽商震災速報系統及地層下陷移轉事宜。

2.速報系統於移轉前請先與港務公司說明，簡訊內容之災

況初評為建議該公司之處置作為，係屬提供該公司參考性質，並請函文該公司以釐清權責。

八、散會：下午 4 時 50 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科 109 年度自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：109 年 8 月 19 日(星期三)下午 1 時

地點：本所港研中心研究大樓2樓簡報室

主持人：陳副所長天賜 陳天賜

單位	簽名
港研中心本部	薛立宏 柯正龍 林雅雯
港研中心第一科	賴瑞輝 黃才謙 莊凱翔 黃建國 曾文傑 張道光
港研中心第二科	黃茂信
港研中心第三科	李俊穎

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：本所港研中心第一科109年自行研究計畫專家學者座談會議

二、時間：109年6月23日(星期二)上午10時

三、地點：本所港研中心2樓簡報室

四、主持人：蔡立宏主任

紀錄：林雅雯

五、出（列）席人員：如後附簽到表

六、主席致詞：略。

七、研究單位簡報：略。

八、與會委員與相關人員評論：

（一）地工織布應用於橋墩基礎保護之沖刷模擬研究

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

（1）有關地工織布在橋墩基礎沖刷保護之應用，雖然沈箱保護

與橋墩保護之力量來源、作用力方向、淘刷發生機制等不盡

相同，但其構想來自港灣工程沈箱或海堤前緣之防淘刷保

護，以地工織布保護橋墩基礎應屬合理之方向。

（2）有關織布之鋪設範圍及鋪設方向可再研究其最佳效果，另

織布上方可否考慮比照拋石堤及沈箱提，填以堤心石在鼎

型塊下方，可進一步保護織布及下方河床防淘刷。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

（1）本研究案對於道路橋梁基礎安全如何加強，是非常正面的，

予以肯定。

- (2)地工織物:如何鋪設、多大面積、如有經驗案例可參考最好，如無，建議對於沖刷侵蝕之現有資料多予整理分類分析，對於試驗之規劃有所助益，本案是否只作一處，是否在後期增加其他橋段試驗數量資料，可作為實証效果，推廣於他處。
- (3)建議一般橋梁之常用基礎型式可簡單介紹，對於鐵路及公路、國道橋梁其易沖刷段是位於河川之上、中、下游或何處，或對於舊型橋墩較易於產生沖刷破壞，對於台灣河流短急坡降大及邊坡易坍之環境，其不利因素建議說明。
- (4)建議對現地表面或地質作一簡述，對應方案之沖刷效應，過去經驗之一般工法如何，為何效果不彰？
- (5)建議說明選擇大甲溪國道三號、鐵路橋下游進行現地鋪設之理由及原因。
- (6)使用織布是創新或是新工法，對於使用方式可以做一簡述，其主要之功能及目的、效果之設想，試驗之印証建議可以圖說說明。
- (7)因應基礎保護之型式是否會有不同之方法及位置，如橋台、橋墩、週邊範圍大約是基礎寬或深度之幾倍、消波塊、鼎塊

與織布疊放方式，建議未來於報告中可稍加說明，試驗完成亦可探討假設條件與成果間之異同處。

(8)室內水工如何模擬水流及濁度、地工織物如何模擬，其比例及特性、相關性及相似性如何建議稍加說明。

(9)對於洪水刷深之抵抗，未來是否會對於橋梁規範做一些建設性的建議，如在多大的河川或定性下哪些河川、在何位置必須考慮增加類似此工法。

(10)每月近景攝影，河床變化、鼎塊變位或流失，與附近基礎比較裸露深度等，建議設置監測系統或監視器以作觀察，有無考量用光達測量。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1)現地試驗是一最直接可靠的辦法，值得肯定。今年已完成現場鋪設，預計明年才進行觀測，建議若有洪水發生即隨時觀測。

(2)水工模型試驗可用較少的經費做多種方案比較，為其優點，但地工織布的強度及泥沙沖刷在縮尺上仍有困難，因此其結果是屬定性而非定量，故與現場試驗做比較可能會有些出入。

4.交通部高速公路局大甲工務段饒書安段長

- (1)本計畫之成效追蹤建議就定期及不定期分別辦理，並就河川流量(不定期、災害)及鼎塊影響沉陷範圍予以同步紀錄。
- (2)建議未來可就鼎塊串聯繩索併入研究探討，因鼎塊串結亦是影響鼎塊穩定之重要因素。
- (3)建議增加現地水文、水理介紹、沖刷侵蝕(過去沖刷歷史介紹)之蒐集。

5.本所港研中心賴聖耀前研究員

- (1)本研究計畫以現地試驗鋪設驗證保護工法成效，研究計畫必須且實用，值得肯定。
- (2)在水工模型試驗中，很容易嘗試各種地工織布的鋪設方式，以探討保護工法的成效，在現地如何規劃各種鋪設方式？

6.本所港研中心陳桂清前研究員

- (1)計畫很實務性，如果成效良好，可應用推廣。
- (2)預定甘梯圖中鋪設地工織布時間恰逢颱風季節，是否適當，請可斟酌。
- (3)保護成效觀測，鋪設織布之基樁與進行比對之基樁，其兩者條件是否相當？

(4)各種地工織布、工法、施工成本…等分析，建議探討。

(二)109 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關港區震災速報系統，其提供港區地震震度與可能發生災害類型評估，建議可配合港區港灣構造物改建，適時更新通報範圍及災害評估。

(2)有關地層下陷調查分析研究，海岸線之地層下陷其範圍大，且時程長，應進行長期之資料蒐集及分析，未來可結合水利署之海岸管理，一併提供研擬海岸下陷及氣候暖化，海平面上升之防制對策。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)本項維護及研究案，已逐步建置長期觀測資料，有系統的統計分析、整理是值得肯定的，對於港區哪些區位易於液化及對於歷史地震、水位資料、工程基本資料資料庫擴建及網頁查詢建置是重要及必要的，可提供港灣工程規劃設計、廠商建置設施之重要參考依據，對於中心此項工作予以肯定。

(2)地層下陷大區域之相對位置高程是否可以有三度空間的圖形立體呈現或時間歷程與沉陷量的展示。

(3)對於結構物所在位置之下陷量與鄰近或遠一點之沈陷量相對比較，或許可得到差異沈陷量，大區域之填土區已設置基礎設施，如防波堤頭、堤身、堤根，排水設施、箱涵、建物、地下結構物等，其興建期與現今、未來之下陷量比較，與貴中心之潮汐潮位、暴潮位、附近地面之高程，可否有防災預警系統，如淹水、暴雨、颱風大潮時，地面沈陷量大的地方造成排水系統水頭差不足而積水，碼頭高程不足、越波量大於設計量等，布袋港即有多次情況。

(4)有些地區、港區下陷狀況較為嚴重，且如有不均下陷發生，對於原設計設施或結構物基礎等之水平高程，大區域或局部排水系統會造成嚴重的影響，因此對於觀測結果，如何能適當的運用在管理面上是重要的，例如在平面上之觀測結果沈陷速率，提供未來新填地填土高程、排水系統、土木、建物、道路高程等規劃設計參考依據。

(5)對於易下陷地區，港公司應有歷年測量高程資料，但對於港區地面高程逐年小幅沈陷變化量，並不足以示警，目前亦尚無對於整區下陷之預警及未來到何程度需先辦理超前佈署之因應措施，建議此部份如可能的話，可以在本研究案內或

下次研究案內予以納入研究，未來可提出對港公司維管之建議。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1)本計畫為連續性計畫，已執行多年，建議鼓勵港務機關多使用，並把使用心得回饋，使系統更可靠好用。

4.本所港研中心賴聖耀前研究員

(1)震災速報系統建議定期以新的調查資料和研究成果更新液化模組。

(三)臺北港港區工程基本資料庫擴建及網頁查詢模組建置

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關臺北港港區工程基本資料庫建置，建議可結合港灣構造物維護管理系統，未來港區巡查及維修照片均加入 GPS 座標系統，將港區維護管理及維修紀錄與圖形化及 GIS 資料結合。

(2)亦可納入 3D 港區管線資訊系統，一併管理及顯示。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)本項臺北港港區工程基本資資料庫擴建及網頁查詢建置是重要及必要的，可提供港灣工程規劃設計、廠商建置設施之

重要參考依據，對於中心此項工作予以肯定。

(2)建議針對該港填土之來源及後續填築完成之土質資料搜集

後做一補充，填築時間、完成時間、地表沈陷量、水位、臺

北港監測資料等，未來可提供投資商評估地質條件之參考

(3)對於原有海床與人工填築高度等資料多搜集，基港分公司

可多予提供，以完整資訊系統。

(4)土壤參數、相關試驗值愈多愈好，離岸風電國外廠商港區或

海床地質，有偏好採用荷式錐貫入試驗結果，因此對於與 N

值之試驗結果，建議未來可以試做比較研究，將研究結果供

大家參考。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1)本計畫為連續性計畫，已執行多年，建議已建置完成之港區

把使用心得回饋，使本系統更可靠好用。

4.本所港研中心陳桂清前研究員

(1)港區工程基本資料庫系統已陸續建置多年，過去的基本資

料如港區地層鑽探、地下水位變化、鋼板樁厚度及腐蝕速率

等，都由本所執行現地調查取得，未來相關資訊可否藉由港

務公司取得？

(2)輔助港及離島地區之港區是否有考慮納入本系統之建置與查詢?

(3)顧問公司及港務公司運用本資料庫的情形為何?請說明之。

(四)港灣構造物維護策略研析與管理系統應用推廣

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關港灣構造物維護管理系統，建議可朝直覺化且資訊化的方式，提供巡查及維護人員最簡便的作業方式，以節省人力及有系統的完整保留維護紀錄。

(2)有關新興科技應用於港區巡檢案例，在水面及水下部分，建議可考慮納入港區海面油污偷倒之監控系統，及海床高程即時監測系統。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)中心持續辦理針對港區碼頭與防波堤等港灣構造物進行現況調查與檢測評估，並持續精進擴充既有港灣構造物維護管理系統並優化功能，以利於構造物檢測及管理作業邁向自動化，提供未來設計與維護參考應用，對於港區維護管理單位，實用性非常高，值得肯定的。後續這工作是重要必要的，順便在此也感謝中心的協助及展現很好的成果供港公

司使用，成果如中港 8A、30 號碼頭調查。

(2)提供使用者快速紀錄港灣內各項問題及狀況，以利後續查

詢及追蹤使用，可快速紀錄港灣內各項問題與狀況，巡查或

檢測時如有發現相關設施有缺失或問題，可立即使用手機

瀏覽器連線至管理系統，建議未來在功能上操作流程設計

上以簡單快速紀錄為主。

(3)對於使用新興科技 UAV、AI 辨識應用於港灣設施巡檢，擴

充資訊系統及 App 功能，是否包含水下或機器人，未來可

否有影像判斷裂縫寬度及長度，以高的解析度判斷高低差

距離。

(4)建議研究案報告內容、資訊系統及 App 可多說明人員數之

使用有否限制，如何申請及管理，對於無法立即連網於行動

應用上，是否可以離線應用。

(5)建議說明系統有否整合做出年度各設施總合輸出統計表:如

缺失之金額及件數、整個台中港年度維護支出，另建議未來

搭配船席之使用率或裝載方式與缺失發生之關係，未來亦

可作為碼頭規劃管理維護評估改善設計依據或管理手段調

整。例如使用行為不同於一般碼頭，使用具侵蝕貨類或經常

灑水或含水量高導致滲入版筋腐蝕、道路或鋪面損壞。

(6)本分公司已有委外巡查，對於實務上可請貴中心與本分公司共同搭配，試辦一次放入契約發包內執行。

(7)對於訓練部份，因公司內部為讓同仁多方學習專長，常調整工作單位，建議調查港公司需求，辦理訓練。

(8)對於現有各分公司委外巡查、檢測之辦理，另系統功能如何快速介接委外廠商自己系統之調查結果，或統一運用貴中心之系統，建議此部份可辦理座談會邀集承攬商提供建議。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1) 探討相關新興科技，如 UAV、AI 等應用於港灣設施巡檢之可行性，是未來的趨勢，方向正確，值得肯定。

4.本所港研中心陳桂清前研究員

(1)港灣構造物維護管理系統已陸續建置並辦理教育訓練多年，港務公司使用的情形如何?請說明。

(2)本系統與港區工程基本資料庫未來可考慮整合，以利後續執行維護管理決策。

(3)新的科技設備(UAV、AI 辨識、光達…等)應用於港區設施巡檢，可提升巡檢效力。

(4)本維護管理系統建議與港務公司相關人員溝通，建立可行、便利、有效的維護管理機制。

(五)109 年臺灣沿岸地區金屬材料腐蝕環境調查研究

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

(1)有關臺灣沿岸地區腐蝕環境調查研究，建議可納入海氣象觀測資訊系統，即時顯示腐蝕程度，並可紀錄進行長期回歸分析，找出各港區各水域之長期腐蝕程度，提供耐腐蝕設計之參考。

(2)港區鋼構造物之耐腐蝕，包括潮間帶及水下部分，是否有其他新興科技可提供作為防腐蝕作為，例如新興材料、電氣防蝕等。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)臺灣處亞熱帶飛沫帶、潮汐帶、水中帶三位置進行暴露3次，9月12月15月(附著生物分析)是有必要的，可與港之水質調查資料結合，提供防蝕設計參考、選用金屬材料依據、確保達到設計年限、降低社會成本、提高經濟效益，這項研究是有其重要性及必要性。

(2)對於大氣腐蝕影響有個案例，如自動機器手臂之工廠設置

或組裝，考慮其精密性，其位於港區，設置成本及維護成本考量，鹽害較一般倉庫高，因此建議考量如何設置或設綠帶、施做林地、隔離海鹽，是否有具成效之對策，可供港務公司及投資商之成本評估參考。

(3)對於耐侯 304 常用，但常出現銹斑，316 情況亦同，同樣位於高鐵站室外，情況就好許多，因此對於港區內選用之材料是否需另作表面處理，及其防蝕效果如何，建議可考量納入探討，例如：對於工程之設計，其鋼材厚度需加厚，因此費用亦會隨之提高。另如何透過這研究成果，作一防蝕設計依據，避免設資商或工程標案之投標商對於設計規範有所質疑，為何鋼板要加厚：例如臺中分公司有一倉庫標案，彩色鋼板設計要耐厚一點，投標廠商說綁標等。

(4)2019 調查報告中，各材料腐蝕速率以中部及鄰近試驗結果值較高，北、南部較低，這部份是否有什麼解釋或未來會更進一步的深入研究有那些相關影響因子，與空氣品質是否有相關，或水中溶解之空氣二氧化碳有相關。

(5)對於試驗結果值與地域、氣候條件、或環境空氣中化學成份條件相關性之分析，是否有做？建議稍作說明。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

- (1) 96 年開始金屬材料腐蝕環境調查，104 年開始水下長期金屬腐蝕暴露試驗，都已經累積可觀的寶貴資料，建議建立向使用單位推廣的機制，讓使用單位能充分使用這些資料。

4.本所港研中心陳桂清前研究員

- (1)本計畫已進行多年，成果相當豐碩，在國內為金屬腐蝕基礎資料最完整的資訊，但歷年來增加的試驗點不多，涵蓋的面積仍有不足，建議後續可考慮增加若干試驗點，同時可考慮增加離島地區。
- (2)計畫名稱敘及「沿岸」地區，與內容相照，似有不相稱，建議後續計畫在名稱上應妥適修正，以符內容。
- (3)本計畫包括有大氣與水下腐蝕環境的調查，歷年數據相當完整，建議後續可朝環境因子關聯性探討。
- (4)建議統計使用本基本數據的單位、次數，以彰顯推廣成果。

(六)離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查(2/2)

1.臺灣港務股份有限公司工程處鄭智文副處長

- (1)有關離案風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查，是否有包括離岸風機 設置海域之腐蝕因子調查，是否有包括水

上大氣腐蝕因子分析。

(2)本案可考慮離岸風機水下防蝕及大氣防蝕對策之研究。

2.臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司朱志光總工程司

(1)本案因國外環境不同，腐蝕防治規範不一定適用，且缺乏

本土化海上風力發電相關防蝕設計研究，有必要進行本土海域腐蝕因子調查，以利防蝕工法設計，可避免或降低工程災損，此研究是重要的，未來離岸風電生產、組裝、維管均需本土化，如何降低本土廠商之成本，亦是必要的研究。

(2)港之水質調查資料，每個港地形及水質條件不同，建議可

以論述對於高雄港、台中港、基隆港，各港區均有市區大排排入，水質會受影響，這類對金屬材料腐蝕之關聯性是否有影響，可以說明在鹽度、溶氧、導電度(中龍)、酸鹼度、水溫、總溶解固體量、濁度、水質變化趨勢與影響，研究結果可提供不同港區環境條件下之防蝕設計參考、選用金屬材料依據、確保達到設計年限、降低社會成本、提高經濟效益。

(3)本次研究期間 15 月(附著生物分析)但工作預定進度表只

有 12 個月，建議說明。

(4)本次與 108 年於台中港 4 號碼頭飛沫帶、潮間帶、水中帶

6 個週期-2 次取樣-2 次向光背光，109 年有 3 次，多 1 次，

建議可說明為何?為何增加次數。

(5)有無考量對各區之海水內含微生物量之分析與附著生物

之關係。

(6)有無考量與台電、中鋼合作在海外風機上做調查研究。

3.國立臺灣海洋大學河工系蔡瑤堂兼任教授

(1)台中港離岸風電碼頭:#2、#5A、#5B、#36 及#106，本計畫

在#4 碼頭，而水下金屬腐蝕試驗在#1 碼頭，後者試驗時間

較長，建議兩者互相印證並互補。

(2)水質監測範圍建議盡量涵蓋未來離岸風場。

4.本所港研中心陳桂清前研究員

(1)海生物對金屬的腐蝕機制、影響比例等相當複雜、不易釐清，

如果經費不足，建議暫不納入探討範圍。

(2)試驗材料、成份是否與現地風機設備相近?

(3)建議在風機基地架設試驗點，擷取現地實際環境下之腐蝕

狀況。

(4)建議可增加防蝕工法的試驗(例如塗裝、陰極防蝕…等)。

(5)本計畫中之水質監測(臺中港#4 碼頭)與實際風機基地海域

如何比對?

九、主席裁示：專家學者所提意見，請研究單位列入計畫之研究方向及內容修訂辦理。

十、散會：中午 12 時 10 分。

會議簽到表

會議名稱：本所港研中心第一科109年自行研究計畫專家學者座談會議

時間：109年6月23日(星期二)上午10時

地點：港灣技術研究中心2樓簡報室

主持人：蔣立安

紀錄：林雅雯

單位	簽名
國立臺灣海洋大學河工系 蔡瑤堂兼任教授	蔡瑤堂
臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司 朱志光總工程司	朱志光
臺灣港務股份有限公司工程處 鄭智文副處長	鄭智文
交通部高速公路局大甲工務段 饒書安段長	饒書安
本所港研中心賴聖耀前研究員	賴聖耀
本所港研中心陳桂清前研究員	陳桂清
本所港研中心柯副主任正龍	柯正龍
本所港研中心第一科賴科長瑞應	賴瑞應
本所港研中心第一科張研究員道光	張道光
本所港研中心第一科曾研究員文傑	曾文傑
本所港研中心第一科羅副研究員建明	羅建明
本所港研中心第一科黃助理研究員宇謙	黃宇謙

附錄二

期末報告簡報資料

109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：曾文傑

執行單位：運輸研究所研究中心

計畫時程：109.1.1~109.12.31



簡報流程

- 一、計畫概要
- 二、地震速報規劃
- 三、地震監測
- 四、地層下陷監測
- 五、現地監測系統維護
- 六、結論與建議

一、計畫概要(1/4)

研究緣起 與目的 (WHY)

- ✓ 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，造成結構物損壞**，另民國88年發生之**921大地震**，臺中港1~4A碼頭因後線土壤液化亦造成碼頭損壞。
- ✓ 為**維護設施之功能與安全**，應持續精進各港區既有的**震後即時速報系統**，並對各港區之地層下陷、地下水壓進行長期之監測，**提供即時地震初步災況評估資訊與各港區水壓變化趨勢**，藉以供港務公司相關單位能快速進行港區災況巡查作業，以及**結構物設計與維護參考**。

研究範圍 與應用單位 (WHO)

- ✓ 本研究範圍包括8個港區(**花蓮、蘇澳、基隆、臺北、臺中、布袋、安平及高雄**)**地震監測站**；另各地區(**布袋港、大鵬灣、臺中港及安平港**)以無線電波層別沉陷儀定期量測**分層地層下陷量及水位**。
- ✓ 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(2/4)

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。
- ✓ 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，提供防災決策參考應用。
- ✓ 各地區地層分層沉陷及水壓之監測站維護
 - 針對**臺中港、布袋港、安平港、大鵬灣**等地區之沉陷及水壓監測站，定期進行維護保養，維持測站正常運作。
- ✓ 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。

辦理方式 (HOW)

- ✓ 持續定期/臨時維護各港**地震及動態水壓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，提供防救災決策參考應用。
- ✓ 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壓變化量，研析其變化趨勢。

一、計畫概要(3/4)

預期成果、效益及應用

✓ 預期成果(效益)

- 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。
- 精進各港區地震災況速報系統，提供各港碼頭地震安全評估相關資訊，作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

- 港區地震災況速報系統：提供震後碼頭災況初步評估，作為各港辦理防救災決策參考應用。
- 各港地層下陷及地下水位監測：提供各港辦理港區結構物設計及維護參考應用。

一、計畫概要(4/4)

辦理時程甘特圖(WHEN)

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月
	110年2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
擬訂及修改工作計畫書											
文獻蒐集與測站儀器維護規劃											
現地沉陷量測											
儀器維護與資料彙整分析											
撰寫期末報告初稿											
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	109.4.30及8.31前完成工作會議，5.31前完成專家學者座談會 109.11.27完成期末報告初稿										

人力分配

類別	姓名/職稱	主要工作內容
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	李春榮、何木火/技工	協助現地分層沉陷與水位量測

臺北港 基隆港 蘇澳港 花蓮港 臺中港 布袋港 安平港 高雄港

港区地震監測站與速報系統

港區地震監測與災況速報系統儀器配置圖

二、地震速報規劃(3/6)

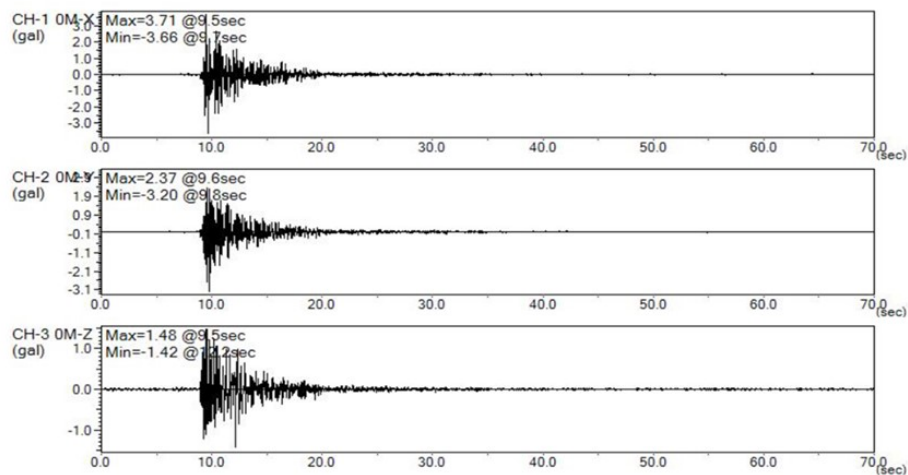
- ◆系統目前附掛於本所港研中心港區環境資訊網，作為各港地震資料查詢及展示



二、地震速報規劃(4/6)

蘇澳港

測站位置: 棧埠所對面 N121.863 E24.5909



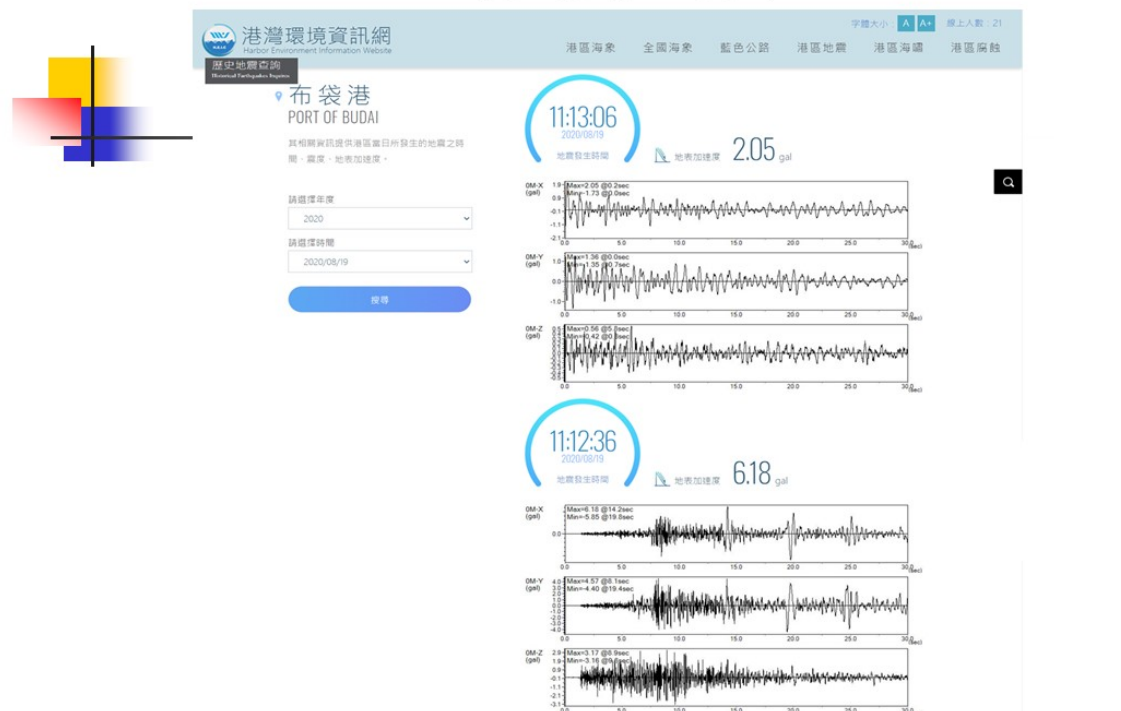
蘇澳港區近期地震三向度資料畫面

二、地震速報規劃(5/6)



布袋港區歷史地震三向度資料畫面

二、地震速報規劃(6/6)



三、地震監測(1/9)



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(2/9)



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	棧埠所對面	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(3/9)

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(4/9)

港區地震速報系統

- ◆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。
- ◆今年2月本所設置於基隆港(貨櫃中心)之地表地震監測設備，因接獲該中心李廣深經理電話通知，為配合該港東櫃西遷，請本所另覓適當地點設置地表地震監測設備；本所遂於2月行文，請該公司重新提供適當地點，設置本所地震監測設備，力求通報資訊能正常運作，俾利監測效益能提昇基隆港港區整體安全。

三、地震監測(5/9)

港區地震速報系統

- ◆3月19日於基隆港港務處航管中心現場，經現場會勘後，選定於大門入口處右側裝置室外地震監測設備，室內選定在地下室靠牆壁裝設電腦監測設備。
- ◆4月9日完成第1階段施工(室外拉線至室內安裝位置、固定管線、防水處理及室外水泥台灌製)，如圖3-1。
- ◆4月21日完成第2階段施工(安裝室內、外地震儀、保護箱等相關設備)，如圖3-2。中華電信移機現勘後，認為現場只能走光纖。
- ◆4月28日完成第3階段中華電信光纖佈設，並測試速報系統，測試結果恢復正常運作，如圖3-3。

三、地震監測(6/9)



圖3-1基隆港航管中心裝設地震監測設備第1階段施工過程 18

三、地震監測(7/9)

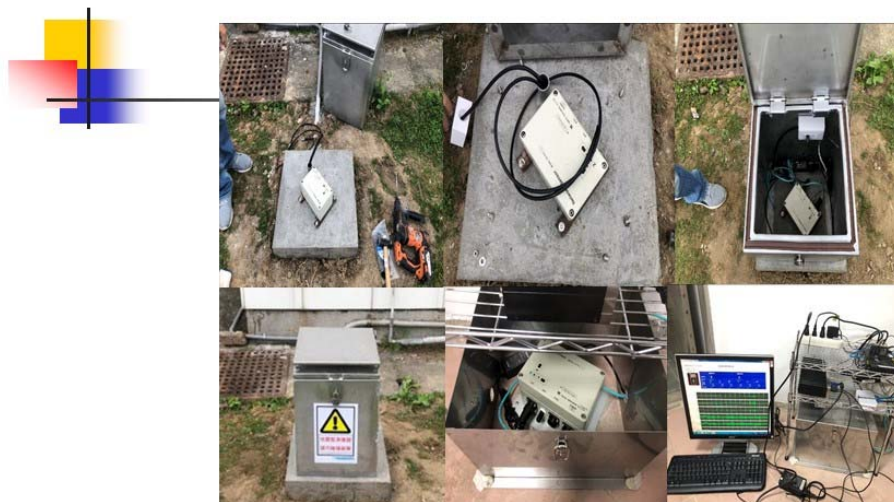


圖3-2航管中心裝設地震監測設備第2階段施工過程

19

三、地震監測(8/9)



圖3-3航管中心裝設地震監測設備第3階段施工過程

20

三、地震監測(9/9)



花蓮港地震速報監測站圖

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。
- 茲將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



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

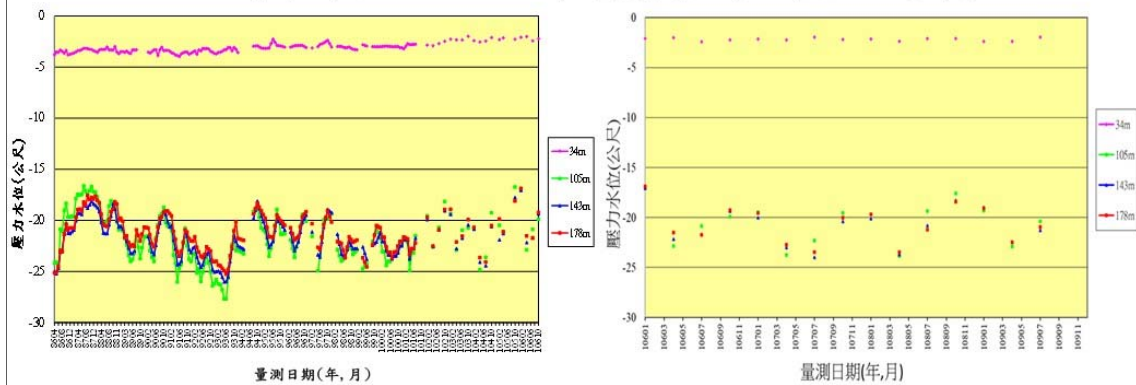


圖 4-2沉陷儀及沉陷尺保養工作

四、地層下陷監測

布袋港200m分層水位變化 (1/9)

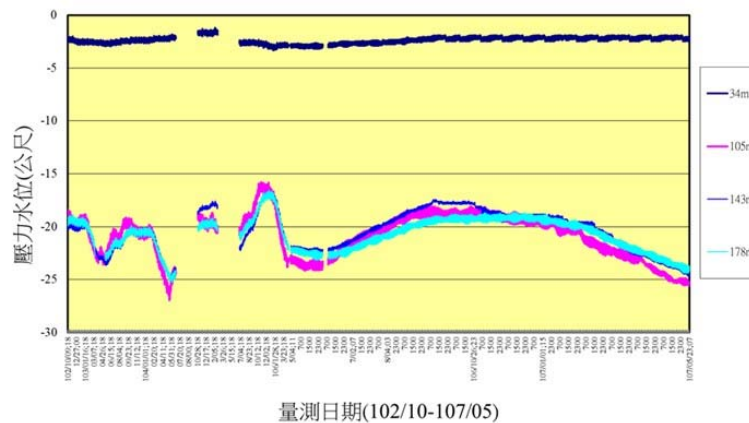
■ 於105 m處之水位變化最大，最高水位-16.7 m，最低水位-27.67m，降雨量較少時，水位呈現降低



(86/04-109/08手動量測)

四、地層下陷監測

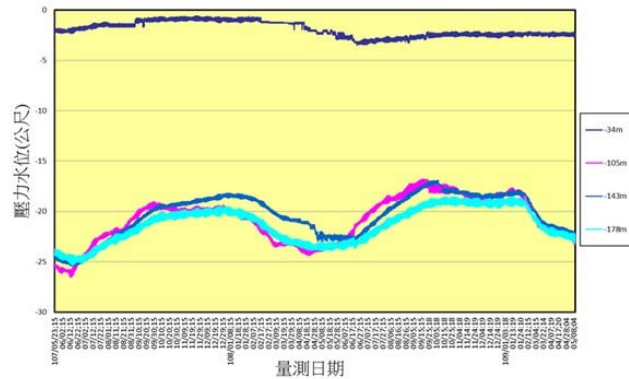
布袋港200m分層水位變化(自動量測) (2/9)



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同，較無超抽地下水現象，**105 m**處，最高水位約-16 m，最低水位約-26 m與手動量測值(最高水位-16.7 m，最低水位-27.7 m)相近。
- **105 m、143 m及178 m**地下水位低且變化極大，超抽地下水現象較明顯。

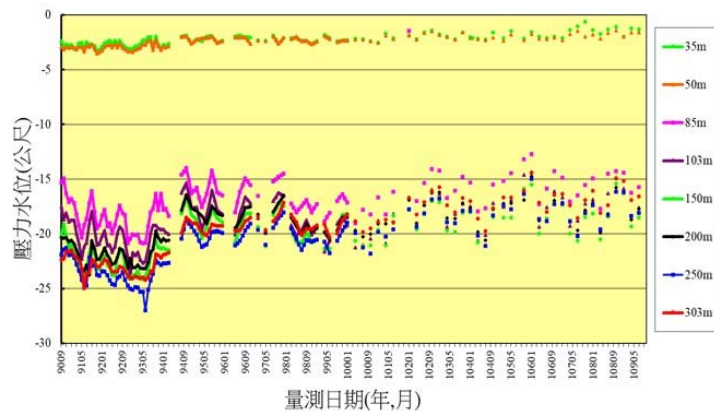


107/5/23-109/5/10

四、地層下陷監測

布袋港分層水位變化300m(4/9)

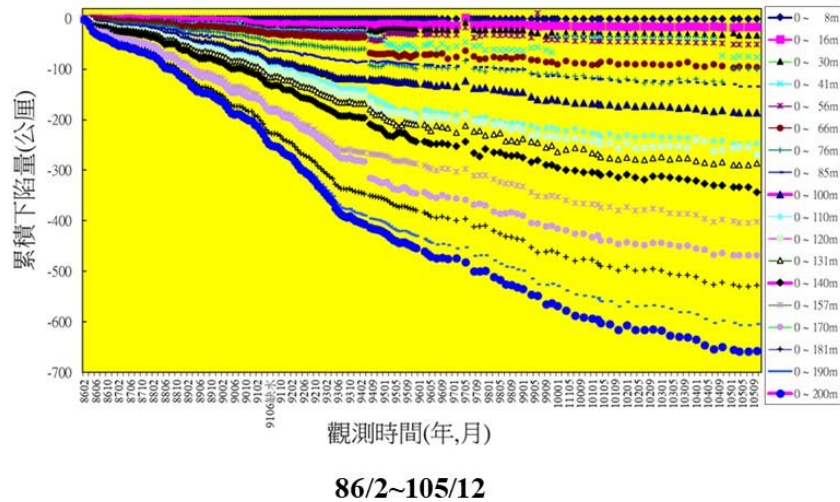
- 100公尺及300公尺，每孔埋設四支水壓計
- 35及50m之水位介於-1.1~-3.5m之間，屬淺層水位。
- 其他深度水壓計之水位介於-13~-27m之間，屬深層水位。



90/9-109/8

四、地層下陷監測

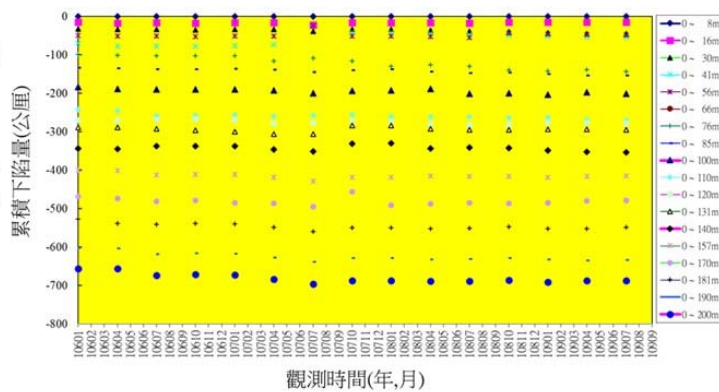
布袋港(200m)地層分層下陷圖(5/9)



四、地層下陷監測

布袋港(200m)地層分層下陷圖(6/9)

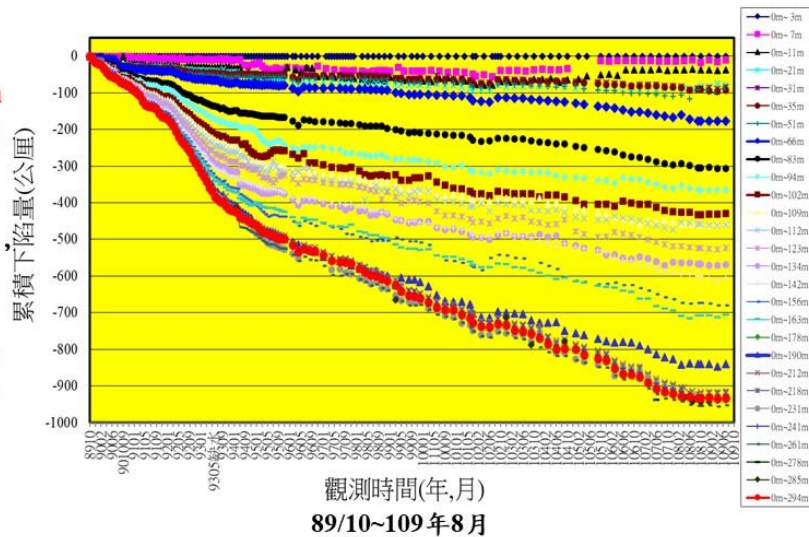
- 86年2月~109年8月止22年6月，總累積沉陷量約**69公分**。
- 其中-140m~-200m之沉陷量**34.7公分**，佔總沉陷量約**一半**。
- 顯示布袋港屬於**深層沉陷**。
- 近5年(104至109)總沉陷量約**6.5公分**



四、地層下陷監測

布袋港(300m)地層分層下陷圖(7/9)

- 89年10月~109年8月止，將近20年總累積沉陷量約94cm
- 近5年104~109累積沉陷量約12cm
- 66~190m之累積沉陷量約為66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。



四、地層下陷監測

布袋港(400m)水準基站累積下陷圖(8/9)

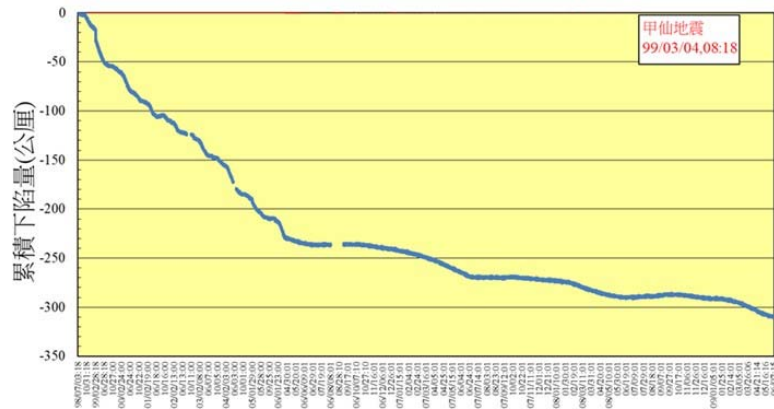
- 每6小時一筆
- 自92年9月開始記錄。
- 自92年9月至97年5月止，總累積下陷量約為17公分。



四、地層下陷監測

布袋港(400m)水準基準累積下陷圖(9/9)

- 98年~109年下陷約31cm。
- 自92年9月~109年6月總累積下陷量約為48cm。

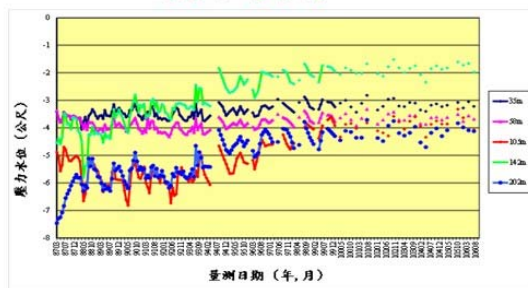


量測日期(98年7月~109年06月)-下陷30.86公分

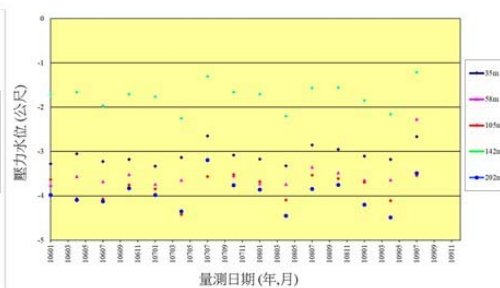
四、地層下陷監測

大鵬灣分層水位變化圖(1/3)

- 自87年3月至109年8月止，近5年(104至109)各分層水位約於-1.2~-4.5變化不大，較無超抽地下水現象。
- 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。



87-106年

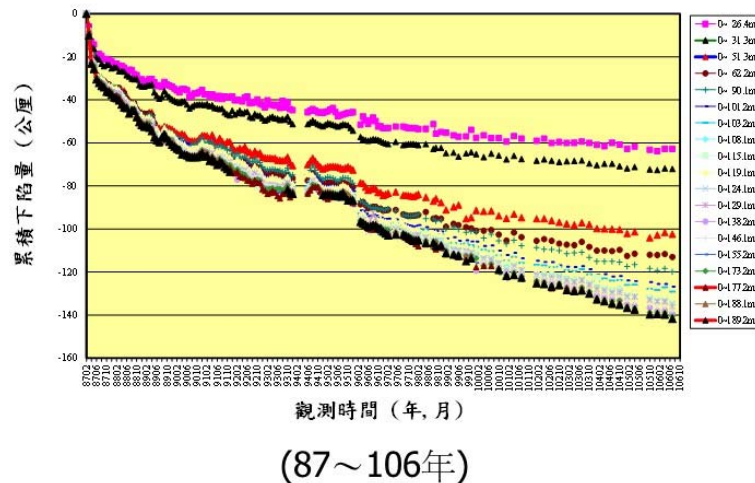


106-109年8月

四、地層下陷監測

大鵬灣200m地層分層下陷圖(2/3)

大鵬灣地層分層下陷觀測圖

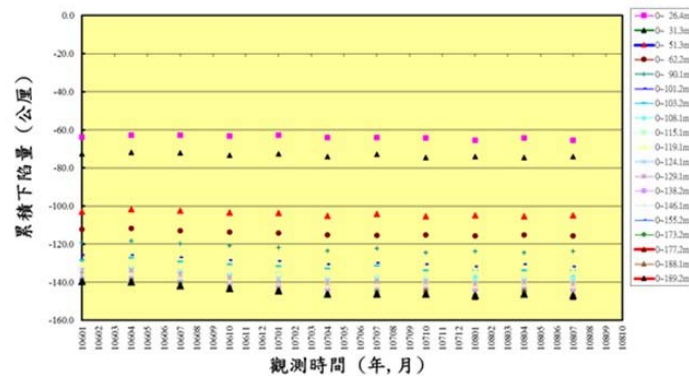


四、地層下陷監測

大鵬灣地層分層下陷圖(3/3)

- 87年3月~109年8月止
22年5個月，總累積
沉陷量15.1公分，近
5年(104至109)總沉陷
量約1.1公分。
- 從地表至51.3m之沉
陷量約為10.6公分，
佔總沉陷量約70.2%
以上，由此量測資料
顯示，屬於淺層沉陷。

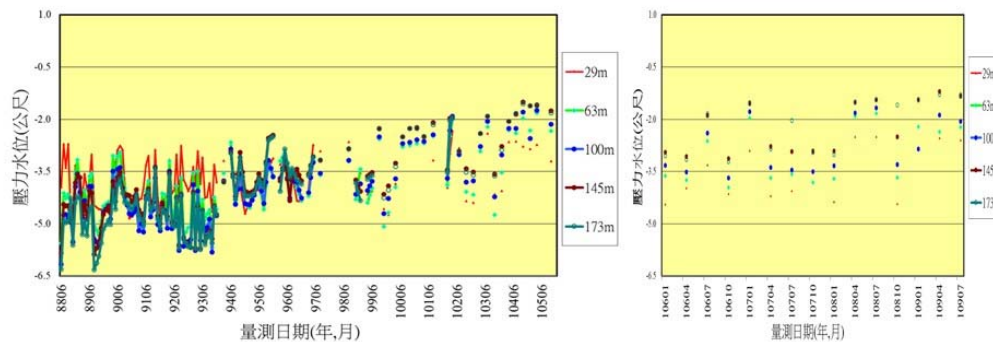
大鵬灣地層分層下陷觀測圖



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109年8止，近5年(104至109)各分層水位約於-1.2~-4.5，變化不大。

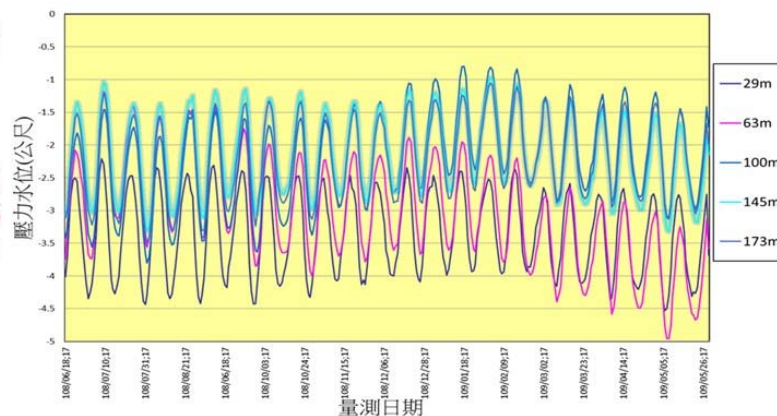


(手動量測88-109年)

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109年6月止，各分層水位約於-0.8~-4.9。

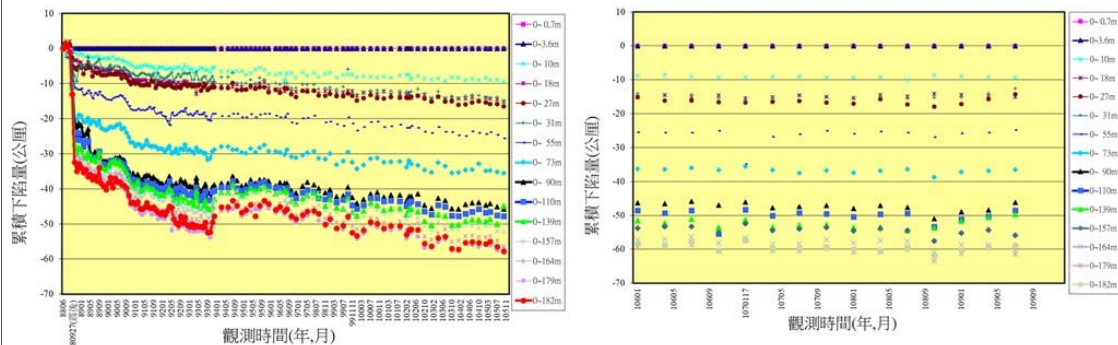


(自動量測108年06月~109年06月)

四、地層下陷監測

臺中港200m地層分層下陷圖(3/3)

- 88年6月~109年8月約21年，總累積沉陷量約6.1公分。
- 其中自0m~90m深之沉陷量約4.7公分，佔總沉陷量約78%以上。
- 近5年(104至109)總沉陷量約0.5公分，平均每年沉陷量約0.1公分。

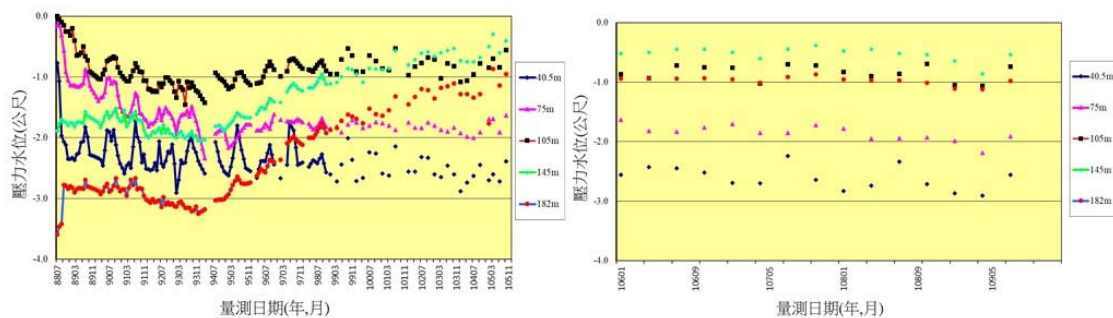


(88年06月~109年08月)

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109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。



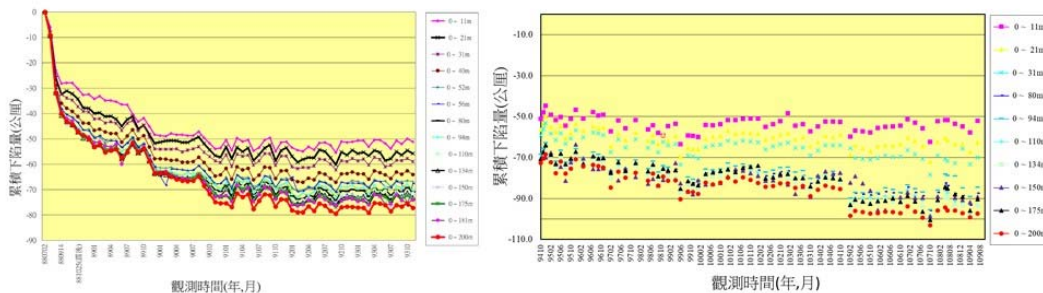
(8807~10908年)

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109年8月期間，總累積沉陷量約9.7公分，近5年(104至109)總沉陷量約1公分。

- 其中0~31m之沉陷量約為7公分，約佔總沉陷量之72%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07月~109年08月)

五、現地監測系統維護(1/2)

- ◆ 安平港地表地震設備於3月初故障，經交叉測試後，發現工業電腦主機板U45故障，請購送修後，於3月底恢復正常運作。
- ◆ 5月4日完成速報系統簡訊傳送內容修改，增加「建議港務公司派員檢測，僅供參考」，以釐清權責歸屬問題；5月13日再將上述內容之「派員檢測」更改為「派員巡查」。
- ◆ 基隆港地震儀移機完成安裝後，5月11日誤發4月20日測試的簡訊資料，經查是重新安裝程式上的bug導致，已於5月13日經日本技師修改程式，恢復正常運作。



五、現地監測系統維護(2/2)

- ◆ 4月9日、30日及5月13 日辦理「臺中火力發電廠地震監測站中央集錄系統儀器更新」設備案請購、招標及簽約事宜；並於9月完成安裝、測試，恢復正常運作。
- ◆ 6月、11月分別完成上、下半年各港地震及動態水壓即時監測系統維護保養工作。
- ◆ 7月15日發現高雄港監測站中央集錄系統CH7故障，拆回檢查發現有壁虎尿痕跡，導致SAMTAC-20-24之AD CPU基板及POEWR BOARD基板短路故障，為確保資料儲存安全，已於08月11日修護，並於完成後進行地震資料擷取與傳輸測試，恢復正常運作。
- ◆ 安平港地震儀8月8日誤發地震簡訊，經查為地震儀Z軸發生訊號異常，已於8月11日修復，恢復正常運作。



六、結論與建議(1/3)

- 本(109)年研究計畫，綜合結果如下：
- 各港監測站維護:修護安平港電腦主機板、修護高雄港中央集錄系統及電腦螢幕更新、修護臺中火力電廠網路斷線及電腦螢幕更新、修護蘇澳港網路斷線、布袋港更換太陽能充電電瓶及電線，使目前各港監測站皆能正常運作。
- 臺中港200m地層下陷量測，自88年至109年止累積總沉陷量約為6.1公分，近5年(104至109)總沉陷量約0.5公分，平均每年沉陷量約0.1公分。



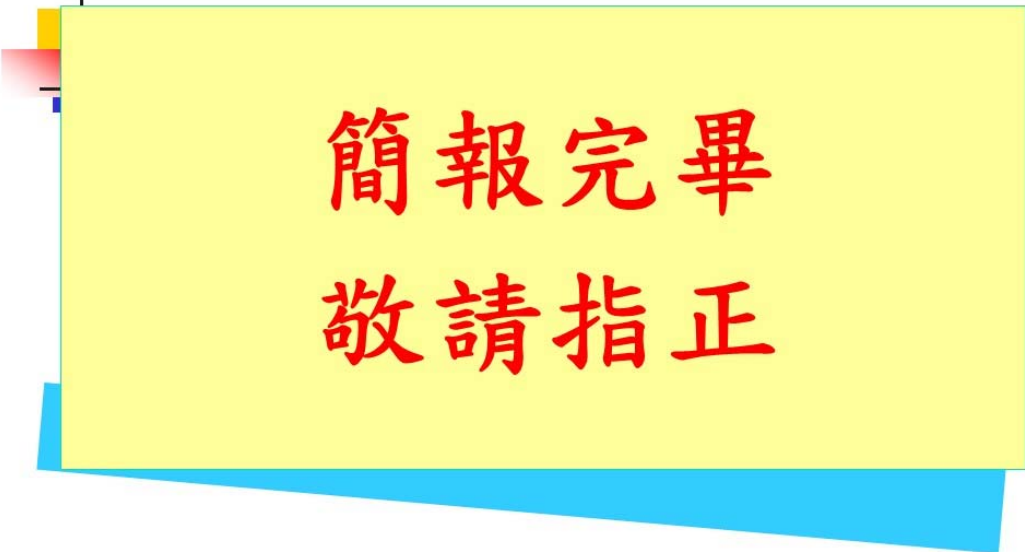
六、結論與建議(2/3)

- 布袋港300m地層下陷，自89年～109年止，約20年之累積總沉陷量約94公分，近5年(104至109)總沉陷量約12.1公分。
- 布袋港400m深之地層下陷水準基站，自92年至109年止，約16年累積總沉陷量約為48公分，近3年多(106年1月至109年6月)總沉陷量約8公分，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。
- 大鵬灣200m地層下陷，87年至109年止，約22年之累積總沉陷量約15.1公分，而從地表至51.3 m之沉陷量約為10.6公分，佔總沉陷量約70.2%以上，屬於淺層沉陷，近5年(104至109)總沉陷量約1.1公分。



六、結論與建議(3/3)

- 安平港200m地層下陷，從88年至109年約21年期間，總沉陷量約為9.8公分，而其中0～31 m之沉陷量約為7公分，約佔總沉陷量之72%以上，屬於淺層沉陷，近5年(104至109)總沉陷量約0.8公分。
- 5月、6月、8月召開2次內部研究工作會議及1次專家學者座談會議，參與同仁及專家學者熱烈討論，並提供寶貴研究意見，建議持續辦理。



簡報完畢
敬請指正

附錄三

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：109 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：港研中心

參與審查人員 及其所提之意見	本所計畫承辦單位審查意見
林炳森委員	
1. p. 2-2，第 2.1 節第 4 點提到碼頭及地層之傾斜變位監測，但後續內文並未提及到監測方式及成果為何？	第 2-2 頁第 3 及第 4 點，今年無進行相關工作，工作項目已刪除。
2. p. 2-8~P2-11，圖 2.5~圖 2.12 應增加平面位置圖。	報告書第 2-7 頁已有提供平面位置相關資料。
3. p. 2-12，第 2.3 節前之照片為何？	已增加照片下文字說明。
4. p. 3-11，第 3.2.2 節各港速報系統簡訊精進內容，因災害發生後有時效性，除更新簡訊接收者名單及內容修正外，應補充說明地震發生後幾秒內會傳簡訊給接收者。另可考量依據地震規模不同並結合水位計即時觀測資料，而有不同可能發生之災害內容。	已補充說明地震發生後 1 分鐘內會傳簡訊給接收者。
5. p. 4-10，圖 4.6 內 400m 監測站位置為何？	已於第 4-10 頁標示監測站位置。
6. p. 4-11~4-12，表 4-2 與表 4-3 沉陷計與水壓計安裝分層深度依據為何？與地層分界深度是否有關聯性？請說明。	沉陷計安裝分層深度係依據地質資料，安裝於土層層次變化處，另水壓計則安裝於透水性良好之受壓水層裡。
7. p. 4-26，圖 4.15 大鵬灣監測站標示位置不清。	已於第 4-26 頁標示監測站位置。
8. p. 4-31，圖 4.18 臺中港監測站位置為何？	報告書第 2-7 頁已有提供監測站位置相關資料。
9. p. 4-36，圖 4.21 安平港監測站位置圖示	已修改監測站位置圖示尺寸

過小，無法判讀。	
10. 建議可將各測站沉陷量及水位觀測資料結合 GIS 或是 GoogleEarth 建立三維之成果展示。	後續研究，若人力、經費許可，將依建議考量建立三維之成果展示。
11. 港區震災速報系統及地層下陷調查分析研究成果，具有實用價值，可提供學術界與工程界參考，富有貢獻。	感謝委員支持。
鄭志宏委員	
1. p. 2-7，蘇澳港監測站深度 35m 與其他監測站差異頗大，惠請說明。	蘇澳港鑽井深度 35m 已經到岩盤，因此，較其他監測站淺。
2. 建議可加花蓮港一站。	花蓮港於 108 年已增加 1 台地表地震計，109 年辦公室內、外各有 1 台地表地震計。
3. 地下水位之變化與潮汐有無關係？	地下水位之變化，主要是受超抽地下水影響，與潮汐關係較小。
4. P4-37 地層下陷與水位變化是否有關？跟那些參數成正相關？	當地下水水位下降時，孔隙水壓力減少，承受之應力轉嫁至顆粒承受，進而造成地層下陷；另土壤荷重及外加應力增加，與地層下陷成正相關。
5. 有關地層下陷量，除高潛勢區布袋港外，公司也關切幾個填海造地地區的變化，建議如許可未來可增加。	後續研究，若人力、經費許可，會考量填海造地地區的變化。
6. 沉陷量成因，超抽地下水似非唯一，建議可多加探討。	超抽地下水是地層下陷主要原因，因此本所自 89 年以來，主要是探討西南沿海下陷與地下水位關聯。

陳志芳委員	
1. 109 年度的研究計畫內容是維護各港區地震監測站、精進速報系統及地層下陷的量測，資料豐富，工作也很辛苦，值得肯定。	感謝委員支持。
2. 在地震速報系統部分，花蓮港和基隆港於 108 年各增設一部三向度網路型地表地震儀，基隆港今年又進行測站遷移及管線更新，整個系統運作穩定，誤報情況相對減少，未來可再精進液化災害模組。	未來若人力、經費許可，會考量再精進液化災害模組。
3. 在地層下陷監測部分，布袋港 200m 自記式水位的記錄期程，可以和 200m 手動式量測同步。	由於本中心目前只剩 1 位司機配合執行外業，時程安排較不確定，未來會考量手動與自記量測時間同步。
4. 布袋港 300m 下陷監測站的總累積下陷量已達 93.9 公分，測站逢雨必淹，未來如計畫需要繼續量測，可加高量測水泥平台高度，並增加高程資料。	本計畫預計於 110 年結束，暫時不考慮水泥平台加高。
5. p.5-3 結論第 10，布袋港 400m 深之地層下陷水準基站，近 3 年多總沉陷量與 300m 下陷量比對很接近，是否可再增加敘述 300m 深度以下的下陷量顯已較少。	已於第 5-2 頁結論第 4 點，增加敘述 300m 深度以下的下陷量似乎有趨緩現象。
6. 文字須修正的部分如下：頁碼文字，附錄 1 應改為附錄 1；附錄 1-17 到附錄 1-32 前面內文已重複，應刪除；各章節內文中，參考文獻右上角括號內數字編號，應與後面參考文獻的編號相符。	遵照辦理
賴瑞應委員	
1. 報告第 2-2 頁 3 及 4 工作項目請確認是否還有持續進行，因報告無相關內容呈現。	第 2-2 頁第 3 及第 4 點，今年無進行相關工作，工作項目已刪除。

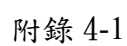
2. 報告第 3-1 頁之 3.1.1 監測站維護工作似乎是規劃的工作，3-4 頁 3.1.2 監測站維護成果才是今年的實際工作，建議 3.1.1 節可刪除僅留今年實際的維護成果。	遵照辦理
3. 報告 3-13 頁簡訊內容建議修改為「災況評估：港區碼頭應該安全。(僅供參考)」	後續研究工作，將會再討論簡訊內容妥適性。
4. 報告 5-2 結論 1-7 項及 15、16 項等維護工作內容建議刪除，另外，報告 5-5 頁第 4 項也建議刪除。	遵照辦理
5. 部分文字請修正。	遵照辦理
蔣敏玲委員	
1. 章節起始頁碼建議調整在右側，以符合慣例。	遵照辦理
2. 第四章水位變化以顏色區分，黑白印刷後不易辨識，建議調整。	出版時會以彩色印刷
3. 建請說明港務公司對港區震災速報系統之應用情形回饋意見。	港區震災速報系統傳送簡訊內容，僅供港務公司參考用，目前尚無較具體之應用情形回饋意見。
許義宏委員	
1. 長期監測資料，可提供港務公司及相關單位做為防災應用之參據。	感謝委員支持。
2. 在港區地震系統部分，受到港區施工及重車行駛影響，是否會有誤報之狀況？其誤報比例為何？	今年速報系統，因施工及重車行駛影響，僅臺北港有誤報情形發生，佔整體各港監測站，誤報比例很小。
3. 在地層下陷量測分析中，分層水位變化圖及累積下陷量圖之時間軸刻度未固定(分 a、b 圖)，建議可考慮整併或統一刻度，以利閱讀。	因本研究成果資料較多(約 20 年左右)，有些圖表考慮解析度，會儘量整併或統一刻度。

4. 另在分層水位變化圖可分為自記式及手動量測，是否有比較兩者數據之差異？	手動分層水位於每季量測 1 次，而自記式為每小時記錄 1 次，兩者數據之差異比對，較無意義。
5. 後續研究建議：建議未來可考慮蒐集中央氣象局(地震)及水利署(地層下陷)之調查資料進行比對分析。	本計畫針對港區進行研究，與中央氣象局及水利署之調查資料進行比對分析，較無意義。

附錄四

109 年各港區地震資料波型圖

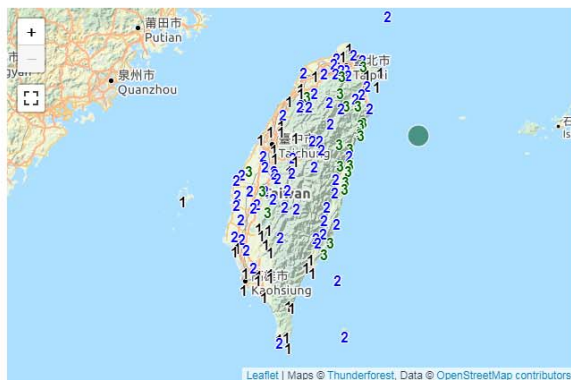
臺北港井下
2020/06/14 04:19:48



2020/06/14 04:19:42



第032號 6月14日4時18分 規模 6 宜蘭縣政府東南方 85.6 公里 (位於臺灣東部海域)



第032號

發震時間：109年6月14日 4時18分59秒

震央位置：北緯 24.26° 東經 122.44°

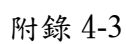
地震深度：55.6 公里

芮氏規模：6.0

相對位置：宜蘭縣政府東南方 85.6 公里 (位於臺灣東部海域)

[《回上一頁》](#)

2020/10/27 05:57:17



2020/10/27 05:57:16



10月27日5時57分 規模 3.7 宜蘭縣政府南偏東方 29.2 公里 (位於宜蘭縣近海)



發震時間：109年10月27日 5時57分12秒

震央位置：北緯 24.51° 東經 121.91°

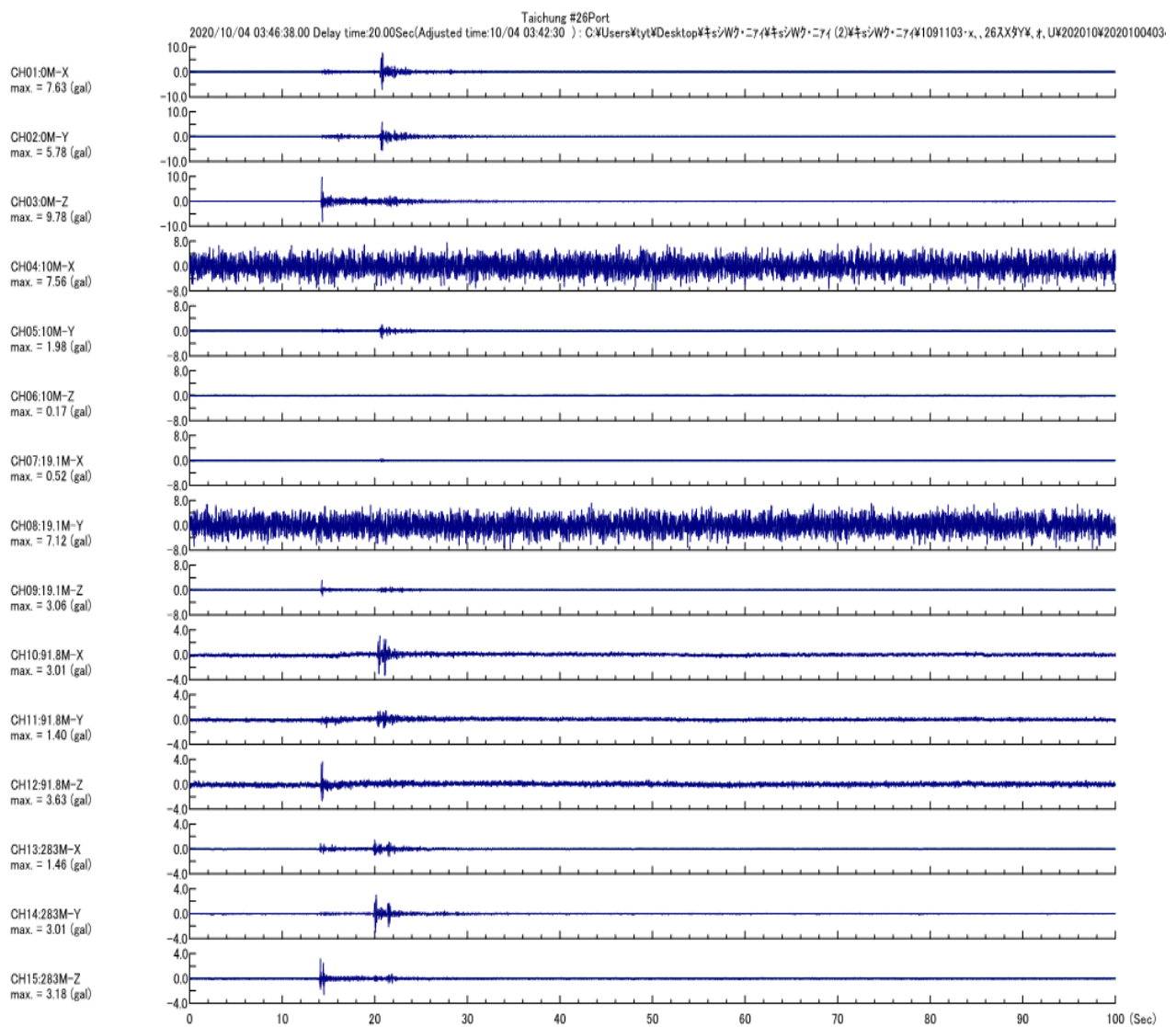
地震深度： 11.5 公里

芮氏規模：3.7

相對位置：宜蘭縣政府南偏東方 29.2 公里 (位於宜蘭縣近海)

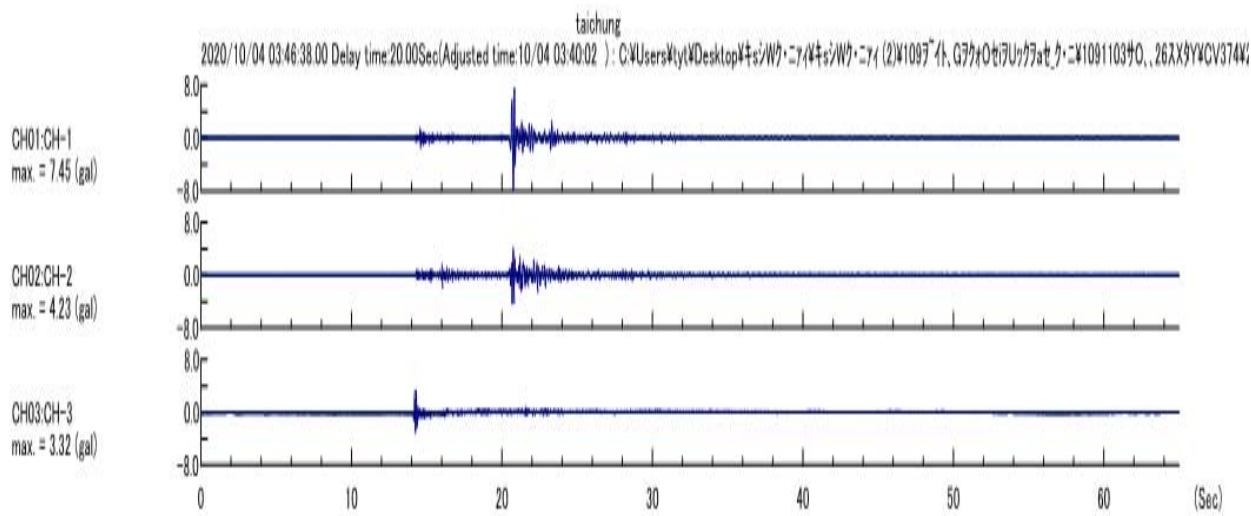
[《 回上一頁 》](#)

臺中港 26 號碼頭井下
2020/10/04 03:46:38



臺中港 26 號碼頭速報

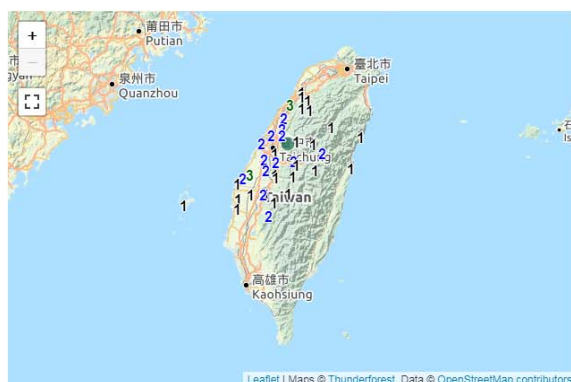
2020/10/04 03:46:38



首頁 / 地震資訊 / 地震活動彙整 / 地震資訊



第057號 10月4日3時46分 規模 4.2 臺中市政府東偏北方 17.5 公里 (位於臺中市東勢區)



第057號

發震時間：109年10月4日 3時46分24秒

震央位置：北緯 24.21 ° 東經 120.83 °

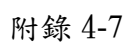
地震深度：27.2 公里

芮氏規模：4.2

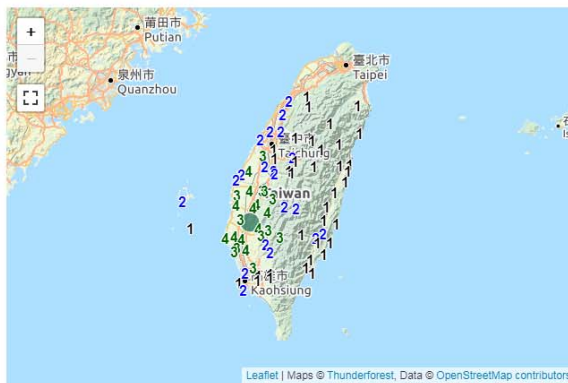
相對位置：臺中市政府東偏北方 17.5 公里 (位於臺中市東勢區)

« 回上一頁

2020/10/17 23:03:49



第062號 10月17日23時3分 規模 5.3 臺南市政府東北方 37.1 公里 (位於臺南市東山區)



第062號

發震時間：109年10月17日 23時3分13秒

震央位置：北緯 23.28° 東經 120.38°

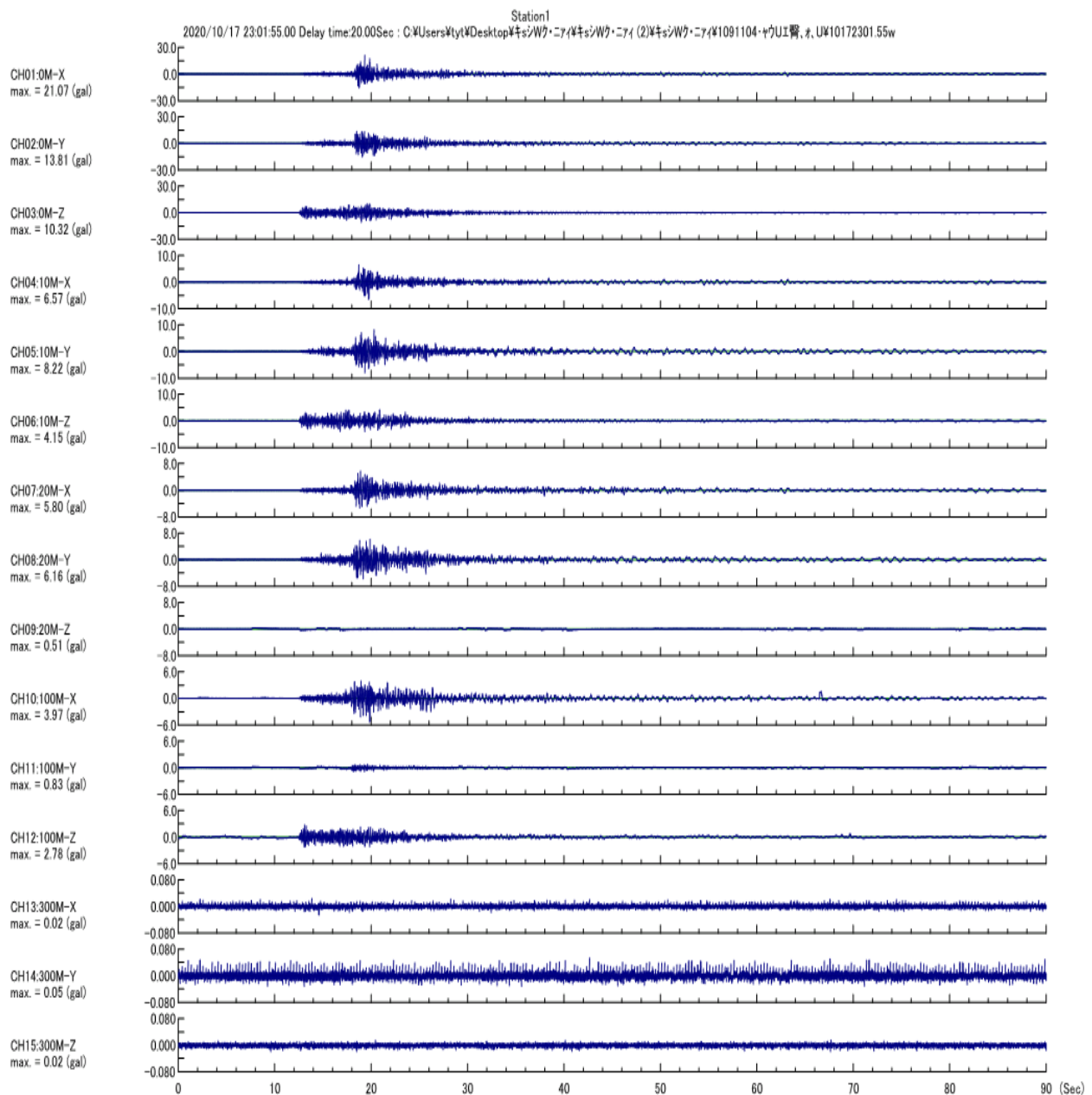
地震深度：15.8 公里

芮氏規模：5.3

相對位置：臺南市政府東北方 37.1 公里 (位於臺南市東山區)

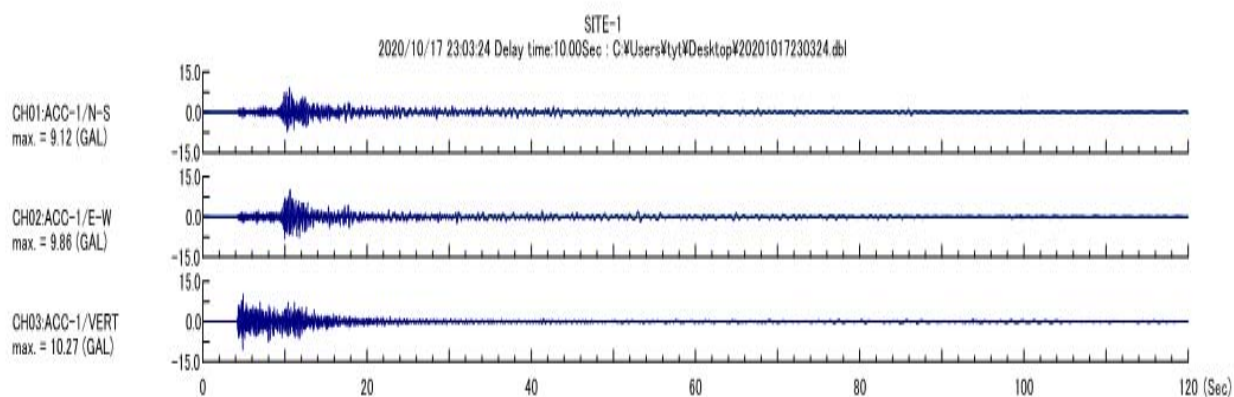
[« 回上一頁](#)

布袋港井下
2020/10/17 23:01:55



布袋港速報

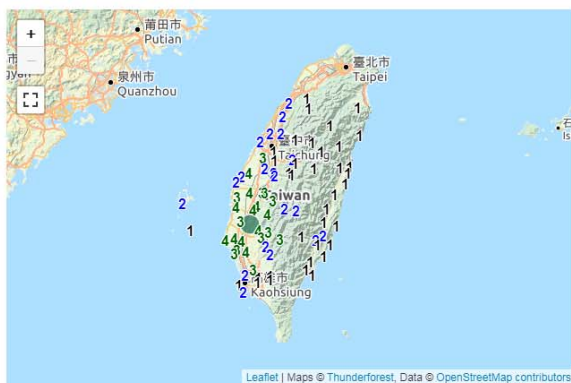
2020/10/17 23:03:24



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



第062號 10月17日23時3分 規模 5.3 臺南市政府東北方 37.1 公里 (位於臺南市東山區)



第062號

發震時間：109年10月17日 23時3分13秒

震央位置：北緯 23.28 ° 東經 120.38 °

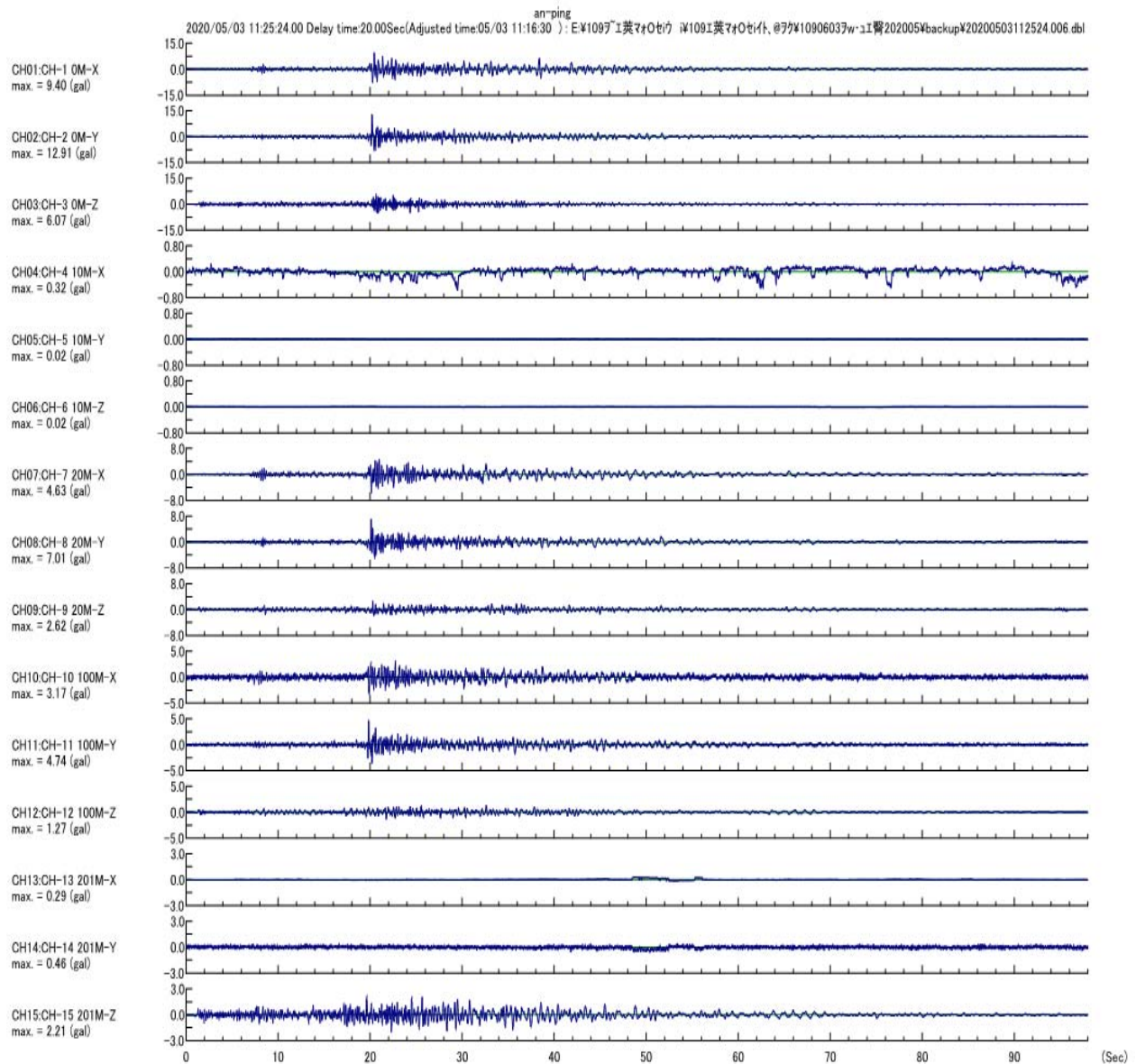
地震深度：15.8 公里

芮氏規模：5.3

相對位置：臺南市政府東北方 37.1 公里 (位於臺南市東山區)

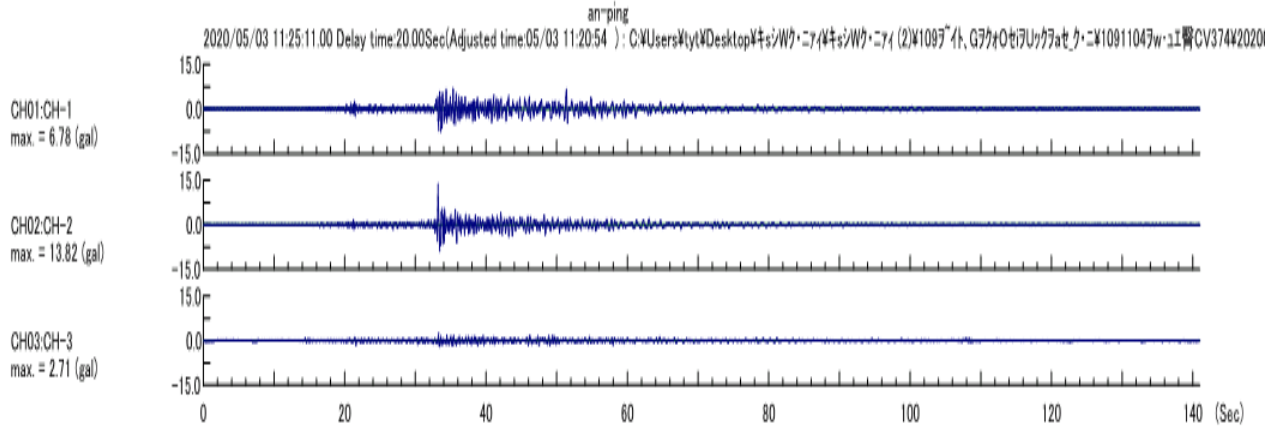
[◀ 回上一頁](#)

安平港井下
2020/05/03 11:25:24



安平港速報

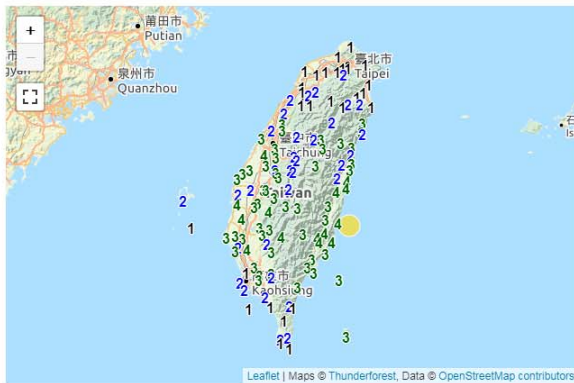
2020/05/03 11:25:11



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



第025號 5月3日11時24分 規模 5.9 臺東縣政府東北方 68.8 公里 (位於臺灣東部海域)



第025號

發震時間：109年5月3日 11時24分40秒

震央位置：北緯 23.24° 東經 121.57°

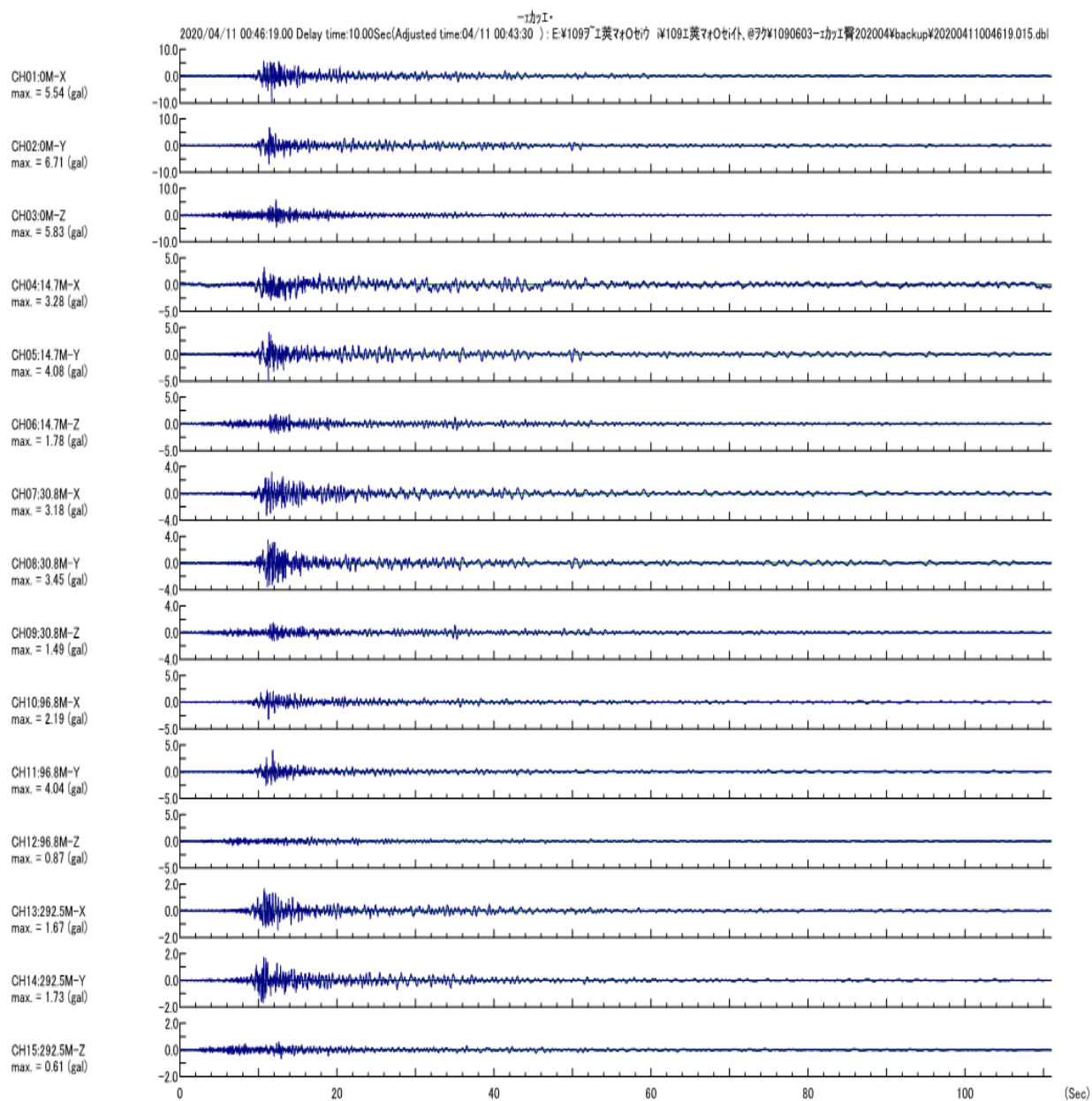
地震深度：40.3 公里

芮氏規模：5.9

相對位置：臺東縣政府東北方 68.8 公里 (位於臺灣東部海域)

[« 回上一頁](#)

高雄港井下 2020/04/11 00:46:19



2020/04/11 00:45:44



發震時間：109年4月11日 0時44分57秒

震央位置：北緯 20.54° 東經 122.17°

地震深度：179.4 公里

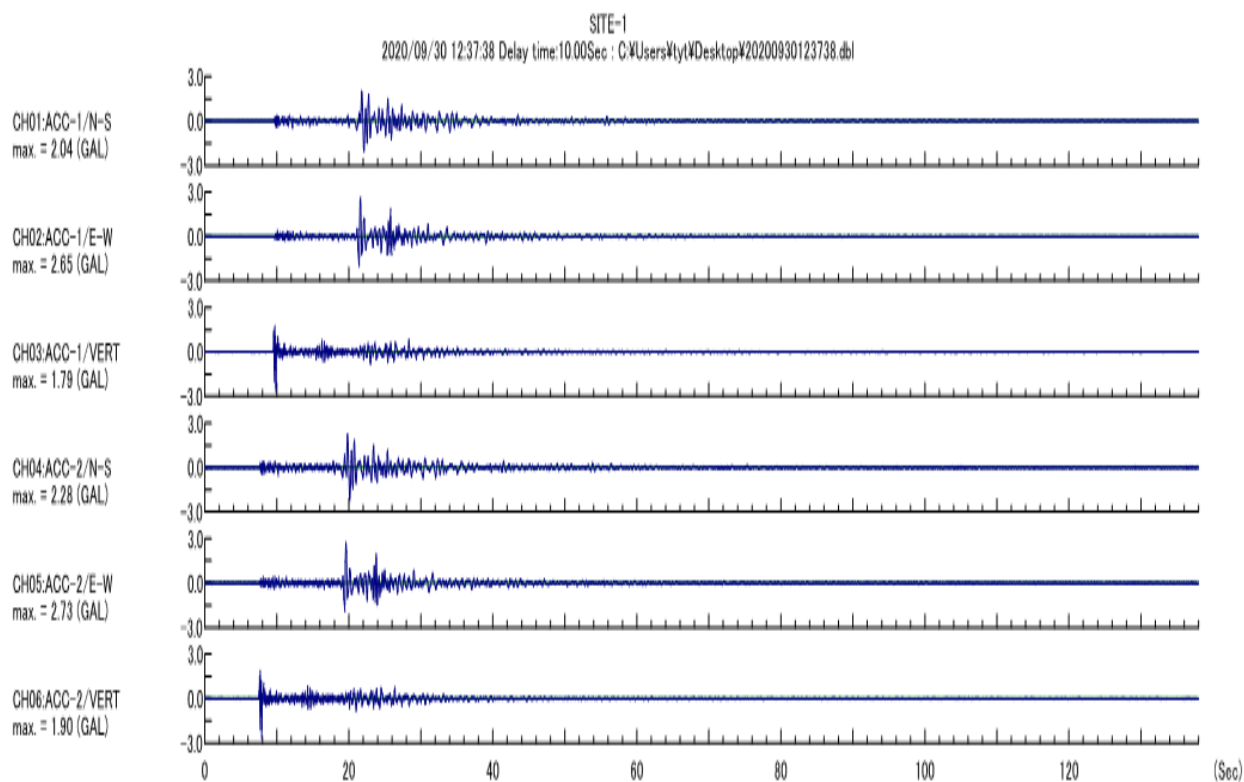
芮氏規模：6.5

相對位置：臺東縣政府南偏東方 266.8 公里

[« 回上一頁](#)

基隆港速報

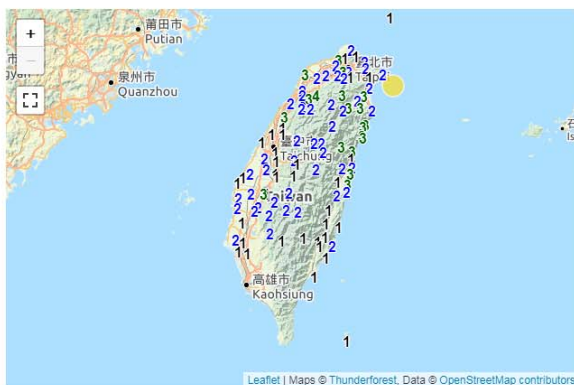
2020/09/30 12:37:38



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



第056號 9月30日12時37分 規模 6 宜蘭縣政府東偏北方 36.0 公里 (位於臺灣東部海域)



第056號

發震時間：109年9月30日 12時37分20秒

震央位置：北緯 24.84 ° 東經 122.1 °

地震深度：106.0 公里

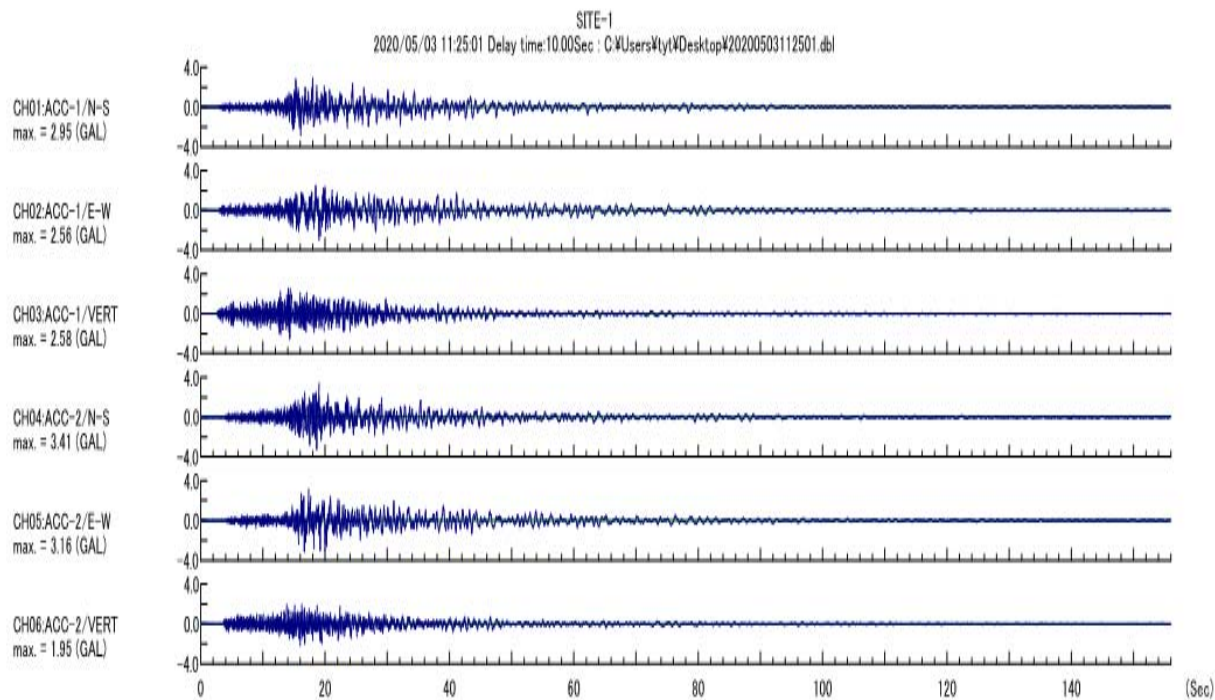
芮氏規模：6.0

相對位置：宜蘭縣政府東偏北方 36.0 公里 (位於臺灣東部海域)

[<< 回上一頁](#)

花蓮港速報

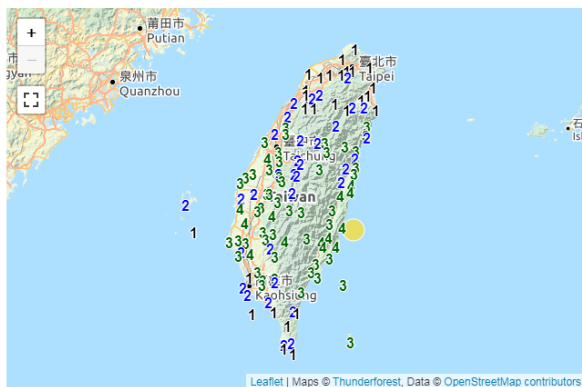
2020/05/03 11:25:01



首頁 / 地震資訊 / 地震活動彙整 / 地震資訊



第025號 5月3日11時24分 規模 5.9 臺東縣政府東北方 68.8 公里 (位於臺灣東部海域)



第025號

發震時間：109年5月3日 11時24分40秒

震央位置：北緯 23.24° 東經 121.57°

地震深度：40.3 公里

芮氏規模：5.9

相對位置：臺東縣政府東北方 68.8 公里 (位於臺灣東部海域)

◀ 回上一頁