109-016-7B63
MOTC-IOT-108-H1DA001d

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

中 華 民 國 109 年 2 月

109-016-7B63
MOTC-IOT-108-H1DA001d

108 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

交通部運輸研究所

中華民國 109 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.
108 年 / 曾文傑著. -- 初版. -- 臺北市 :
交通部運研所, 民 109.02
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-128-5(平裝)

1.地質調查 2.地層下陷

356.33 109001196

108 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
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw (中文版＞中心出版品)
電　　話：(04)26587116
出版年月：中華民國 109 年 2 月
印 刷 者：
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港灣技術研究中心網站
定　　價：200　元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010900255　　ISBN：978-986-531-128-5　(平裝)
著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)
本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

109

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

GPN: 1010900255
定價　200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：108 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-128-5(平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1010900255</td><td>運輸研究所出版品編號
109-016-7B63</td><td>計畫編號
MOTC-IOT-108-H1DA001d</td></tr>
<tr><td colspan="3">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：
參與人員：李春榮、何木火、王培源
聯絡電話：04-26587116
傳真號碼：04-26564418</td><td>研究期間
自 108 年 01 月
至 108 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：資料庫、地震、地層下陷、監測</td></tr>
<tr><td colspan="4">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，維護港區震災速報系統等，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。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本出版品取得方式</td></tr>
<tr><td>109 年 2 月</td><td>248</td><td>200</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="4">機密等級：
□密□機密 □極機密 □絕對機密
（解密條件：□ 年 月 日解密，□公布後解密，□附件抽存後解密，
□工作完成或會議終了時解密，□另行檢討後辦理解密）
■普通</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Analysis and Research on the Maintenance of the Earthquake Disaster Rapid Reporting System in the Harbor Area and Strata Subsidence Survey in 2019

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-531-128-5(pbk)	1010900255	109-016-7B63	MOTC-IOT-108-H1DA001d

DIDIVISION: Harbor & Marine Technology Center
DIDIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai
P PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wen-Chieh Tseng
P PROJECT STAFF:
PPROJECT TECHNICIAN: Chun-Rong Lee, Mu-Huo Ho,Pei-Yuan Wang
P PHONE:04-26587116
F FAX: 04-26564418

PROJECT PERIOD
FROM January 2019
TO December 2019

KEY WORDS: database, earthquake, strata subsidence, monitoring

Abstract:

The soil deposits in Southwestern coast area, which include Yunlin, Chiayi, and Tainan City, are Holocene alluvium with loose packing and the compaction has not been completed yet. These deposits are prone to strata subsidence due to excess loadings from water pumping, hydraulic fills, surface structural loads, and seismic activities. Significant strata subsidence will affect the safety of infrastructures and harbor facilities.

In the stratification subsidence measurement, the wireless profile-settlement gauge is used on the PuDai Harbor, DaPeng Bay, Taichung Harobor, and AnPeng Harbor to establish temporal settlement profiles. These data are collected to develop a database for subsidence analysis of the harbor area and for the maintenance of the earthquake disaster rapid reporting system.

Benefits and Research Results:

1. The earthquake disaster rapid reporting can provide liquefaction assessment data in the harbor area for the reference of disaster relief personnel.
2. The strata subsidence and earthquake data in the harbor area can be used in the design, construction and earthquake engineering of harbor structures.

Applications:

1. The strata subsidence and earthquake monitoring data of the harbor area are provided to harbor management companies for the maintenance of harbor structures.
2. The research reports published can serve as a reference for the industry, government and academia.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
February 2020	248	200	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

108 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

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擴充 3-1

3.1 各港地震監測站維護 3-1

3.1.1 監測站維護工作 3-1

3.1.2 監測站維護成果 3-5

3.2 速報系統擴充 3-11

3.2.1 基隆港速報系統功能擴充 3-11
3.2.2 花蓮港速報系統功能擴充 3-16
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 地盤分層沉陷觀測井.....4-7
4.3 港區地層下陷監測.....4-10
4.3.1 布袋港監測站.....4-10
4.3.1.1 監測井地質分析.....4-12
4.3.1.2 布袋港地下水位.....4-15
4.3.1.3 布袋港地層下陷.....4-16
4.3.1.4 布袋港水準基站.....4-17
4.3.2 大鵬灣監測站.....4-24
4.3.2.1 地下水位分析.....4-26
4.3.2.2 分層地層下陷分析.....4-27
4.3.3 臺中港監測站.....4-29
4.3.3.1 地下水位分析.....4-31
4.3.3.2 分層沉陷分析.....4-31

4.3.4 安平港監測站.....4-33
4.3.4.1 地下水位分析.....4-34
4.3.4.2 分層地層沉陷分析.....4-35
第五章 結論與建議.....5-1
5.1 結論 5-1
5.2 建議 5-4
5.3 研究成果之效益.....5-4
5.4 提供政府單位應用情形.....5-4
參考文獻.....參-1
附錄一期末報告簡報資料.....附錄 1-1
附錄二期末審查意見及辦理情形說明表.....附錄 2-1

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 系統儀器架構流程圖.....3-7
圖 3.2 臺中港 200m 地層下陷井洗孔.....3-7
圖 3.3 蘇澳港井下地震監測更換電源供應器.....3-8
圖 3.4 安平港觀測屋內之不斷電系統(UPS)汰舊換新.....3-9
圖 3.5 布袋港 400m 永久水準監測站維護.....3-10
圖 3.6 布袋港 300m 觀測站更換電瓶及安裝太陽能充電控制器 3-11
圖 3.7 布袋港 300m 地層下陷井洗孔.....3-11
圖 3.8 監控主機與安裝 CV374A 地震儀位置 3-13
圖 3.9 地震儀之水平及方向調整及塑鋼土固定.....3-13
圖 3.10 安裝#304 不銹鋼保護箱及線路保護配管.....3-14
圖 3.11 完成 CV374A 地震儀安裝 3-14
圖 3.12 EMAS 系統軟體測試.....3-14
圖 3.13 軟體增加至 6CH 功能及判別觸發 3-15
圖 3.14 室內、外參數設定.....3-15
圖 3.15 觸發 6CH 功能之敲擊及 cal 測試 3-15
圖 3.16 震災分級發送速報簡訊與測試功能.....3-16
圖 3.17 監控主機與安裝 CV374A 地震儀位置 3-18
圖 3.18 地震儀之水平及方向調整及塑鋼土固定.....3-18
圖 3.19 安裝#304 不銹鋼保護箱及線.....3-18
圖 3.20 完成 CV374A 地震儀安裝 3-18
圖 3.21 EMAS 系統軟體測試.....3-19

圖 3.22 軟體增加至 6CH 功能及判別 3-19
圖 3.23 室內、外參數設定.....3-19
圖 3.24 觸發 6CH 功能之敲擊及 cal 測試 3-19
圖 3.25 震災分級發送速報簡訊與測試功能.....3-20
圖 4.1 系統儀器架構流程圖.....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 布袋港監測站位置圖.....4-10
圖 4.7 布袋港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖.....4-14
圖 4.8a 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 86/7/22-92/08/14) 4-18
圖 4.8b 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 98/08-102/8).....4-18
圖 4.8c 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 102/10/08-107/05/23).....4-19
圖 4.8d 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 107/5/23-108/6/20) 4-19
圖 4.9a 布袋港 200m 分層水位變化圖(86/04-106/10 手動量測) 4-20
圖 4.9b 布袋港 200m 分層水位變化圖(106/01-108/07 手動量測) 4-20
圖 4.10 布袋港 300m 分層水位變化圖(90/09-108/07 手動量測).....4-21
圖 4.11a 布袋港 200m 分層累積下陷圖(86/02-106/10 手動量測) 4-21
圖 4.11b 布袋港 200m 分層累積下陷圖(106/01-108/07 手動量測) 4-22
圖 4.12 布袋港 300m 分層個別下陷量圖(108/07/29) 4-22
圖 4.13 布袋港 300m 分層累積下陷量圖(89/10-108/07).....4-23
圖 4.14a 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖.....4-23

圖 4.14b 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖(98/07/03~108/06/20)....4-24
圖 4.15 大鵬灣監測站位置圖.....4-25
圖 4.16a 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 87-106).....4-27
圖 4.16b 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 10601-10807).....4-28
圖 4.17a 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(87～106).....4-28
圖 4.17b 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(10601～10807).....4-29
圖 4.18 臺中港監測站示意圖.....4-30
圖 4.19 臺中港分層水位變化圖(手動量測).....4-32
圖 4.20 臺中港分層累積下陷量圖(200m).....4-32
圖 4.21 安平港監測站位置圖.....4-33
圖 4.22 安平港分層水位變化圖(8807～10807 手動量測).....4-35
圖 4.23 安平港地層分層下陷觀測圖(8807～9310 手動量測).....4-36
圖 4.24 安平港地層分層下陷觀測圖(9410～10807 手動量測).....4-36

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 3-1 臺中港 200m 水壓計自動化監測儀器表 3-6
表 3-2 臺中港 200m 水壓計自動化監測新裝表 3-6
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 4-25
表 4-5 大鵬灣地下水壓觀測站水壓計埋設資料表 4-26
表 4-6 臺中港沉陷計感應環安裝深度一覽表 4-30
表 4-7 安平港 18~19 號碼頭沉陷磁環安裝深度表 4-34

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供給產業需求，近年來超抽地下水的結果，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 86 餘公分，另依水利署 107 年度地層下陷檢測資料[1]，彰化地區目前顯著下陷面積 9.1 平方公里，歷年最大累積下陷量 2.52 公尺，最大下陷速率 3.4 公分/年；雲林地區目前顯著下陷面積 296.2 平方公里，歷年最大累積下陷量 2.59 公尺，最大下陷速率 6.6 公分/年；嘉義地區目前顯著下陷面積 114.2 平方公里，歷年最大累積下陷量 1.58 公尺，最大下陷速率 4.7 公分/年；屏東地區目前顯著下陷面積 0.1 平方公里，歷年最大累積下陷量 3.56 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。尤其是運輸的快速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，為維護行車安全與港區各樣設施工程安全，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(108)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(108)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，可維護港區現有各樣工程設施安全監測，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，減少誤報情形發生，主要進行速報系統功能擴充建置，分別於基隆港及花蓮港區現有之地震速報監測站完成增設各一組地震儀監測系統，提供基隆港務分公司及花蓮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。

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擴充的成果，第四章進行港區地層下陷情形監測結果分析，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與公路養護等相關單位之碼頭維護管理及設計人員參考。

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 地震監測規劃[2]

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、重要構造物之地震反應監測、碼頭及地層之傾斜變位監測等，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。

3.重要構造物之地震反應監測：構造物包含棧橋式、板樁式、沉箱式等各種不同型式之基礎及碼頭、防波堤、海堤、過港隧道等，不同構造物對地震皆有不同反應，為瞭解地震時，重要構造物之地震反應，需安裝地震儀加以監測。

4.碼頭及地層之傾斜變位監測：地震不但會造成地層下陷，亦會產生側向力使港灣構造物造成位移、傾斜，1995 年 1 月 17 日，日本阪神地震造成港灣碼頭位移 1-5m，臺彎 1999 年 9 月 21 日，921 地震造成臺中港 1-4A 碼頭外移 0.5~1.7m，傾斜 2~4%，因此對碼頭及地層之傾斜變位之監測亦為地震反應安全監測之項目。

2.2 地震及動態孔隙水壓監測系統[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，承載力會逐漸減低，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，土壤的承載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：

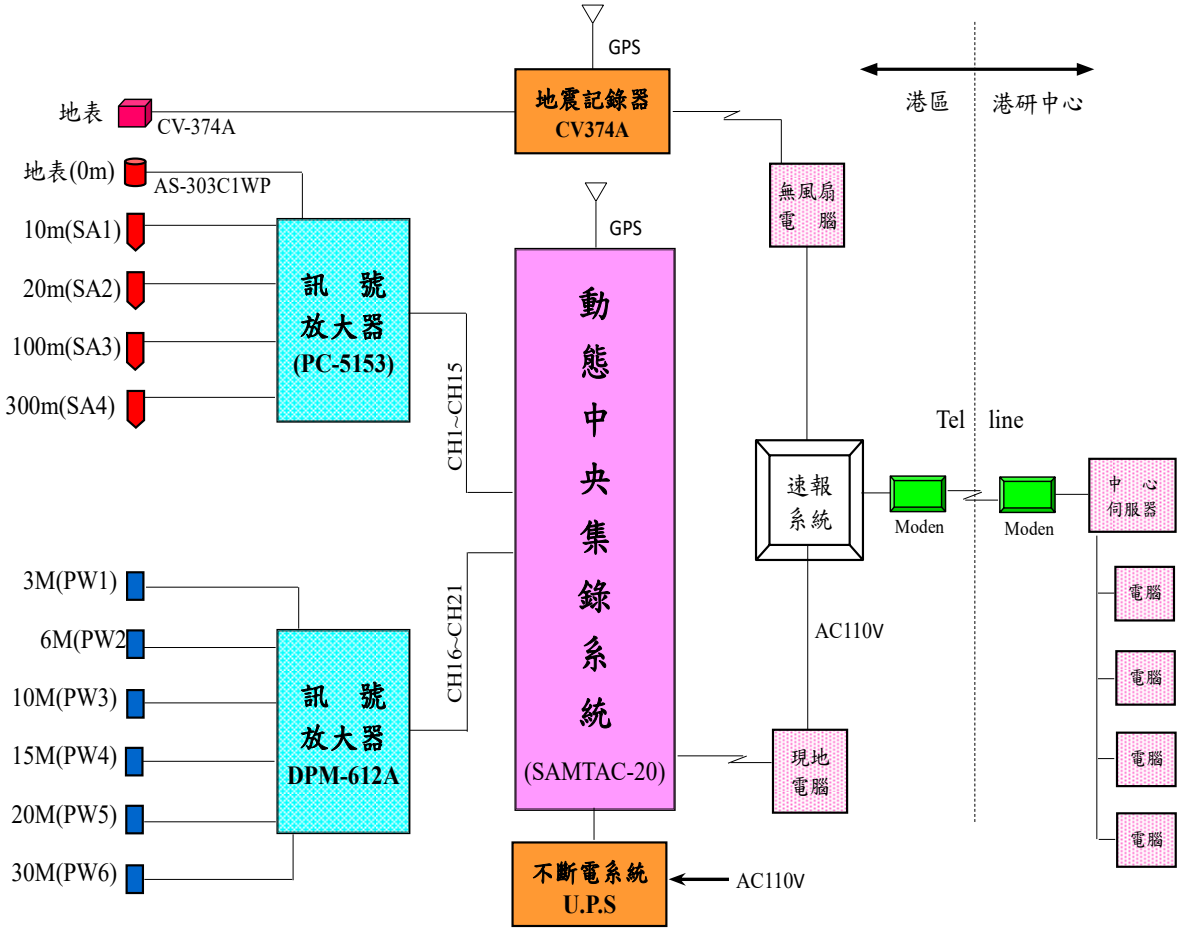


圖 2.1 港區地震監測系統規劃圖

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 機房內設備外觀示意圖

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 Moden 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。

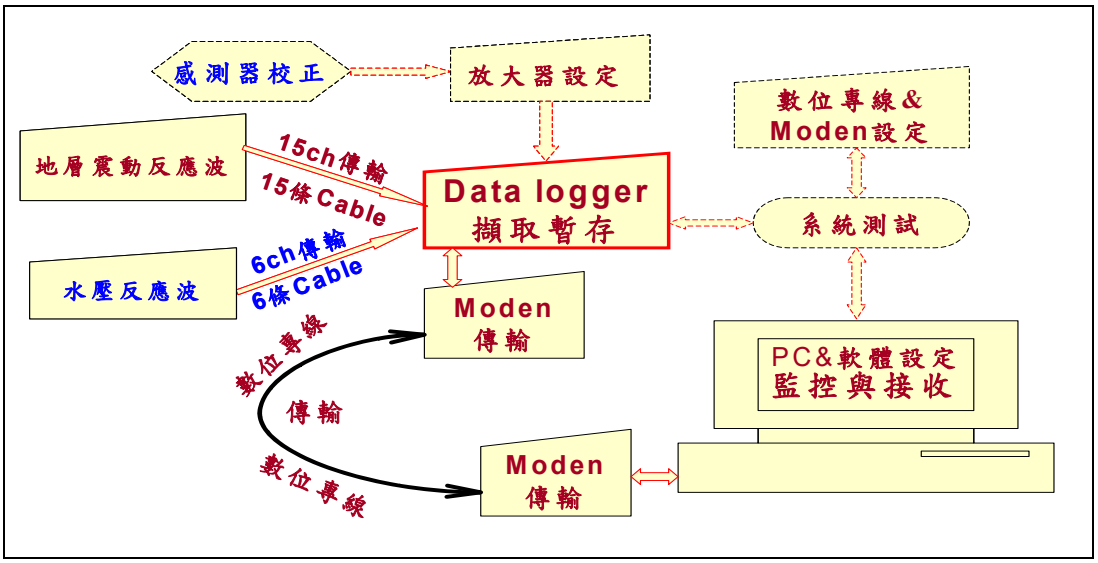


圖 2.3 整體擷取、傳輸與監測控制流程

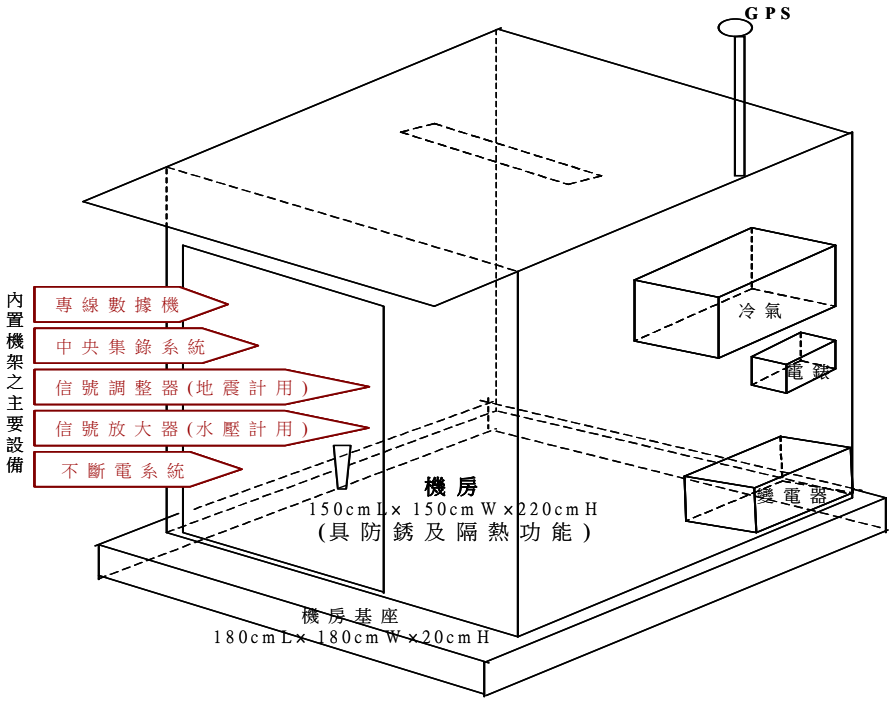


圖 2.4 機房構造與配置示意圖

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

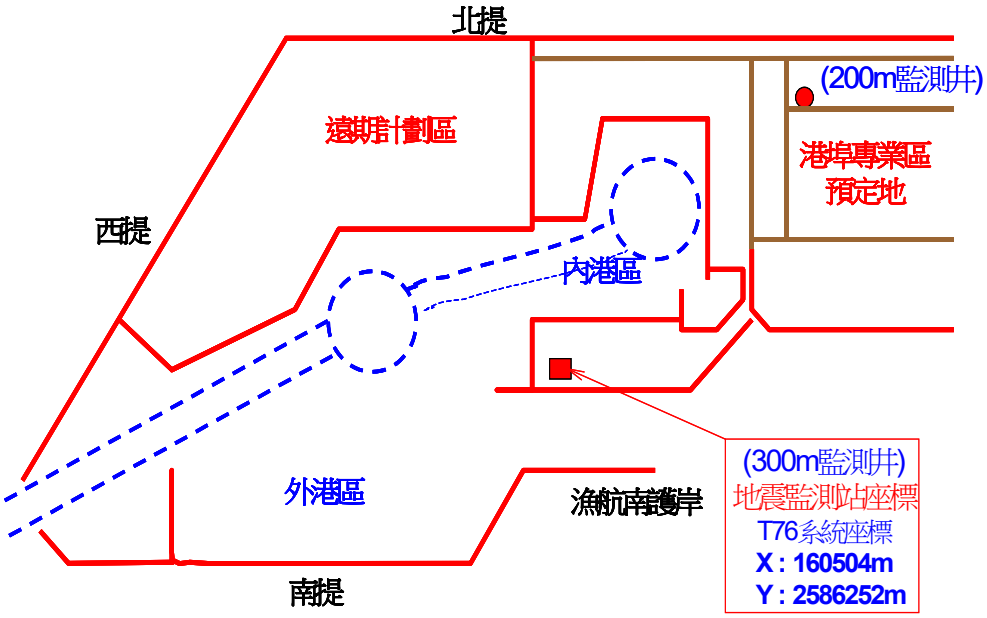


圖 2.7 布袋港區井下地震監測站平面圖

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因場地有限，僅將地表地震計安裝於港區自由場之保護箱內，速報系統再以網路線連接至辦公室內，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

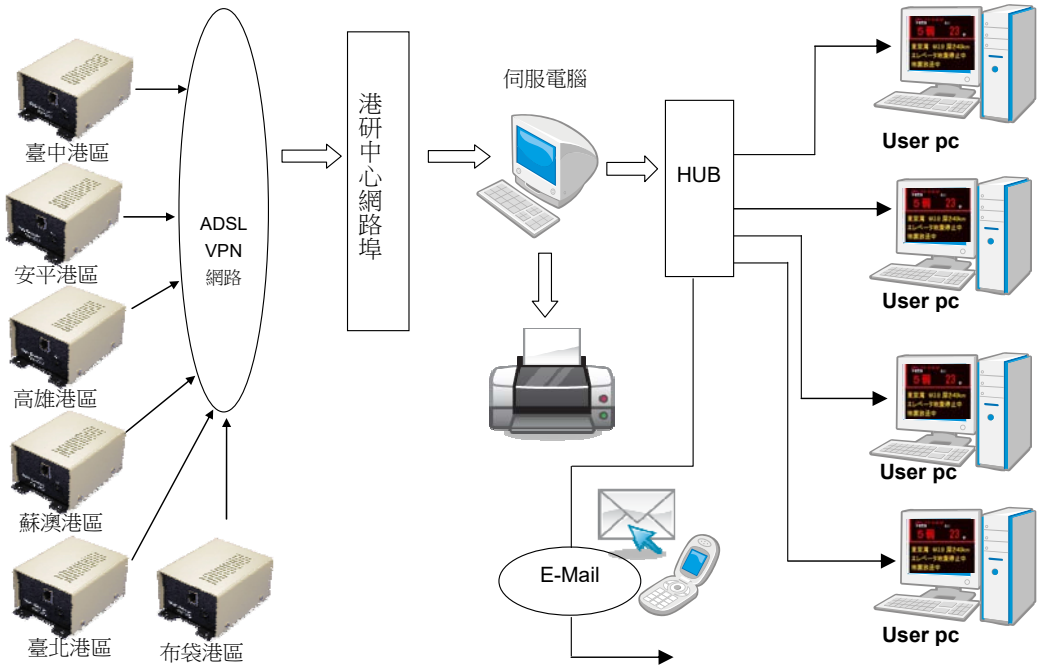


圖 2.16 港區地震速報系統儀器配置示意圖

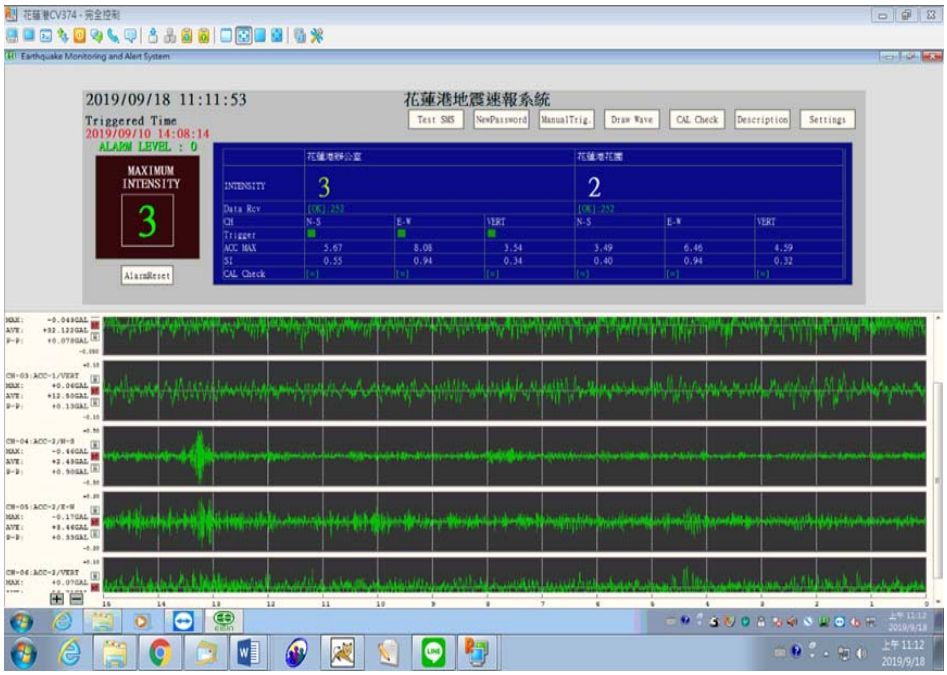


圖 2.17 花蓮港區地震即時監測畫面

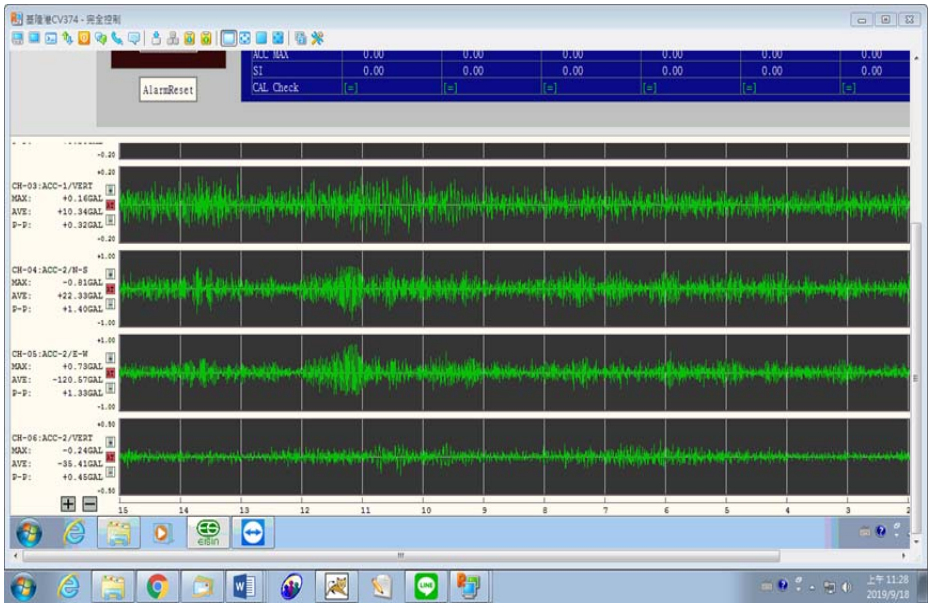


圖 2.18 基隆港區地震即時監測畫面

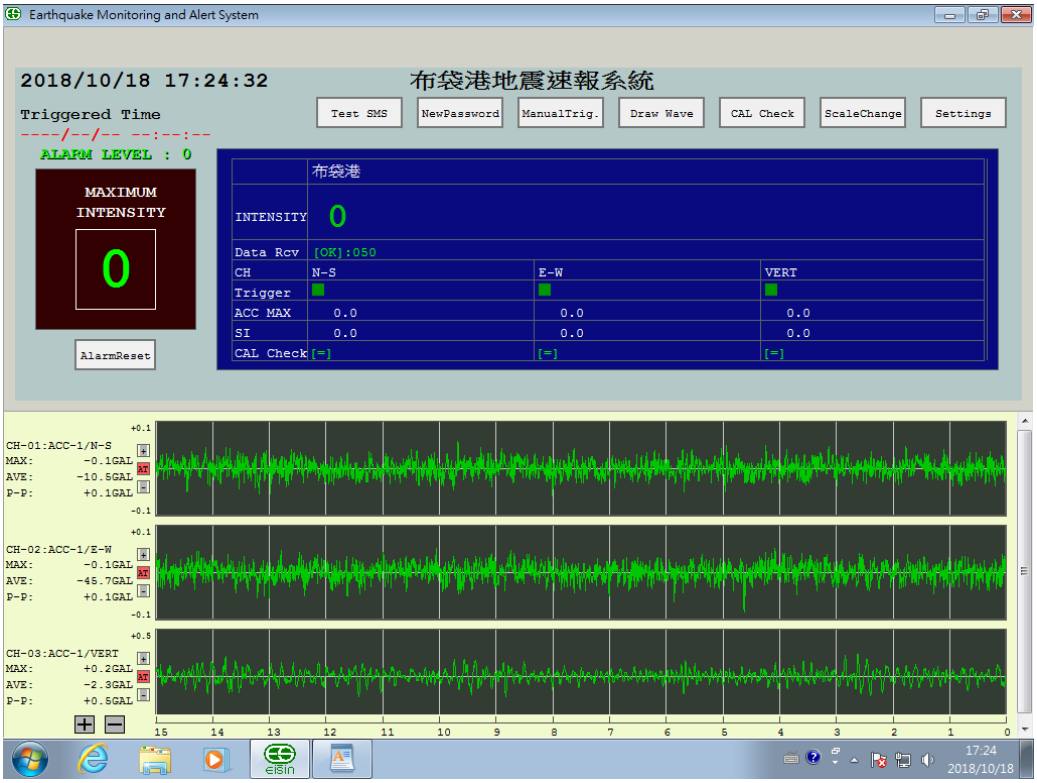


圖 2.19 布袋港區地震即時監測畫面

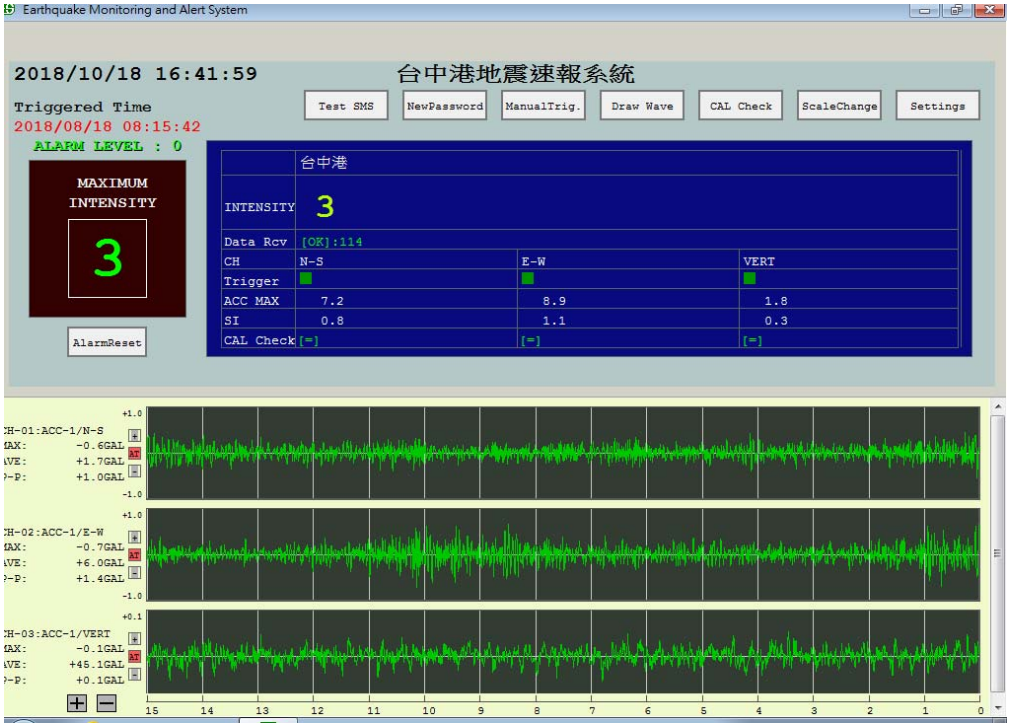


圖 2.20 臺中港區地震即時監測畫面

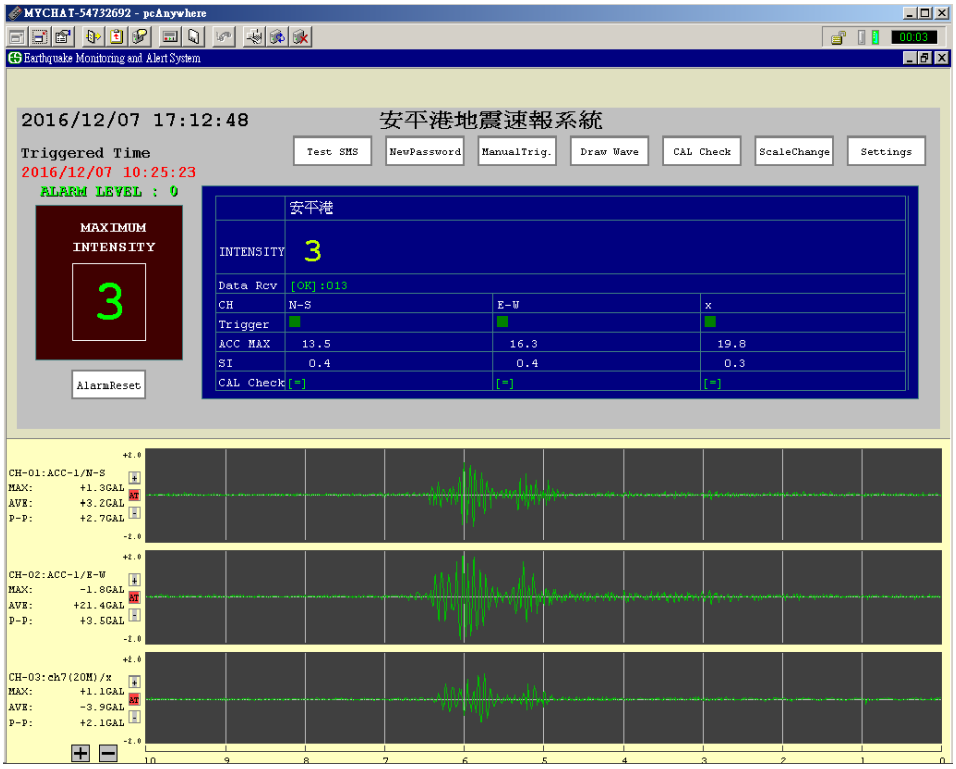


圖 2.21 安平港區地震即時監測畫面

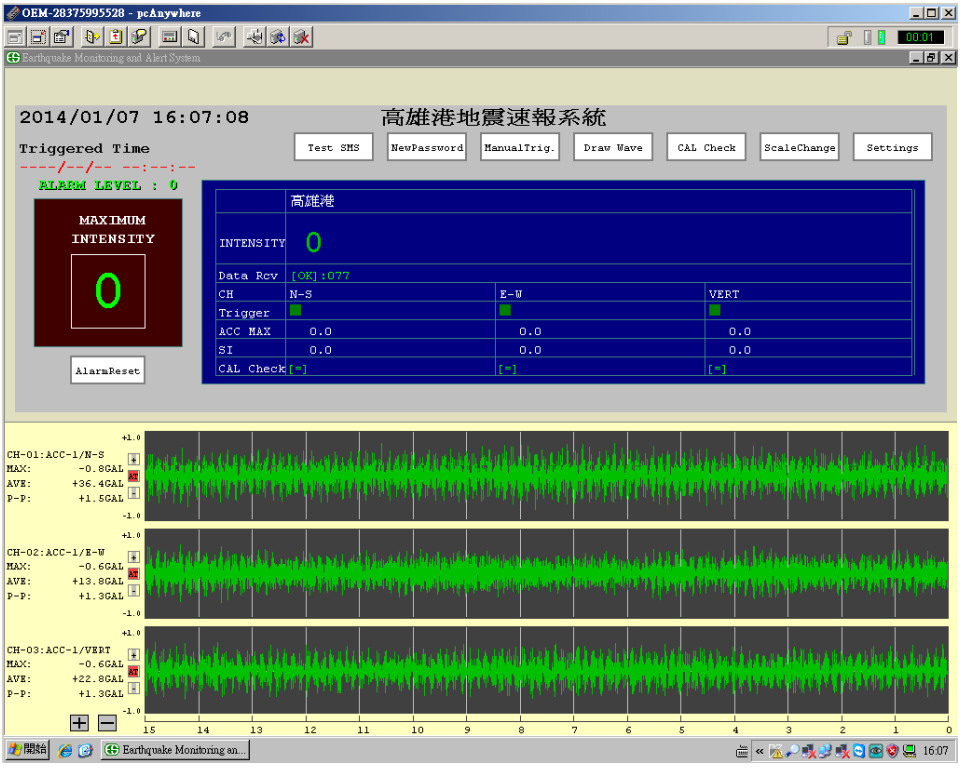


圖 2.22 高雄港區地震即時監測畫面

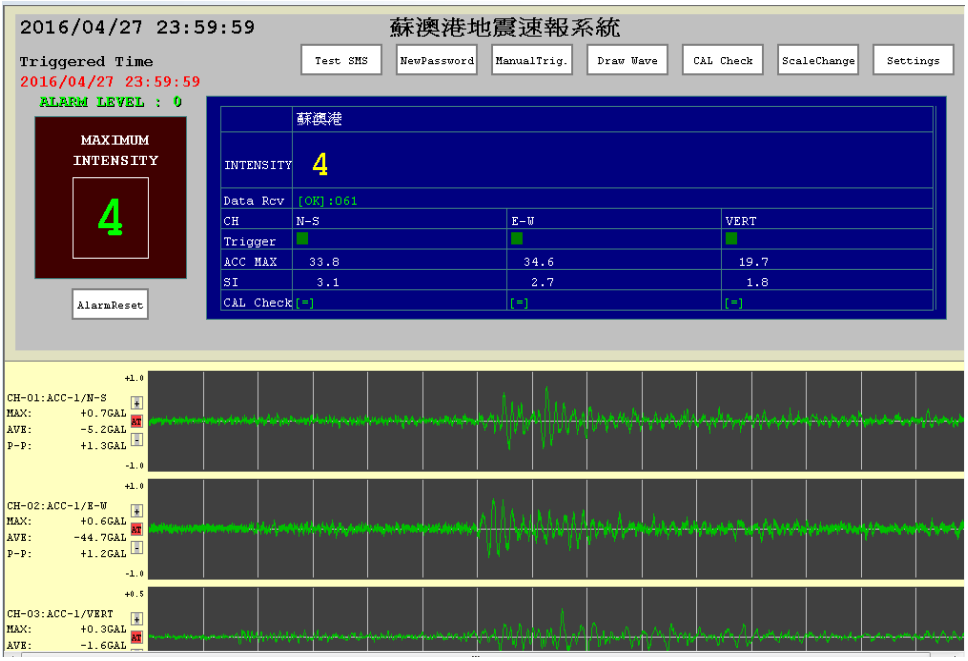


圖 2.23 蘇澳港區地震即時監測畫面

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擴充

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。另外，港研中心於各港所設置之地震災後速報系統，為確保地震速報系統之通報資訊正確，減少誤報情形發生，今(108)年選定基隆港貨櫃中心辦公室內及花蓮港辦公大樓儲藏室內，分別各增設一組地震儀監測系統，並增加保護殼防止碰撞，力求改善儀器遭遇外力碰撞或誤觸情形。本章就 108 年度港區地震監測站維護及速報系統擴充分別敘述如下：

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。108 年度港區地震監測站維護敘述如下：

3.1.1 監測站維護工作

1.定期保養工作：

指本所港研中心定期於蘇澳、臺北、臺中火力電廠、臺中港#26 碼頭、布袋、安平及高雄(以下稱各港)等港，設置之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，亦應更換或修復。本項保養工作每年於蘇澳港地震站保養 3 次(6 月、8 月及 11 月)及各港保養 2 次(6 月及 11 月)。

2.即時網頁及速報系統維護：

本所港研中心於各測站之井下地震站即時網頁與手機簡訊之維護，含下列兩項。

(1)地震監測資料擷取系統維護：

擷取並展示各測站地震及水壓資料。

(2)震災速報及測試系統維護：

震災分級發送速報簡訊與測試功能維護。

3.監測站電力維護：

本所港研中心設置於臺中港#26 碼頭、臺中火力電廠及安平港等 3 個地震監測站之電源維護與繳交各站 12 個月之用電費。

4.地表地震儀檢修：CV-111 型

本所港研中心使用之地表地震儀為日本東京測振公司製造(CV-111 型)，分別設置於花蓮港、臺北港、港研中心、高雄港等港區共 4 台。檢修保養項目包含:儀器功能維護、軟體更新與地震資料下載等項目。

5.三向度網路型地表地震儀維護(含系統及 ADSL 月租費)：CV-374 型

本所港研中心設置於臺中港、安平港、高雄港、蘇澳港、臺北港、布袋港、花蓮與基隆港等 8 站之三向度網路型地表地震監測系統(含電腦及速報系統)維護與繳交各站 12 個月之 ADSL 月租費。

6.防毒軟體(Kaspersky)規格及安裝：

各站工業級電腦防毒軟體(Kaspersky)，每 2 年更新軟體 3 套 5 設備，皆採用最新版本，安裝於各站之井下地震站(7 站)及網路型地表地震系統(8 站)之工業級電腦共 15 台。

7.插入式孔隙水壓計：

為了確保量測品質的正確性，每年評估更換數據穩定性差、不適用的孔隙水壓計，本所港研中心使用插入式孔隙水壓計為 KYOWA、BPF-2KB 或 TML、KPD-200KPA 或日製同級品(請逐項表列)，孔隙水壓計需含原廠纜線 25 公尺長(即埋設深度長度外，再加上連接至集錄器之長度)。

8.監測站儀器箱與圍籬油漆：

本所港研中心於各港之地震監測站，每年評估儀器觀測屋、儀器箱、與木製圍籬等除銹、油漆等工作，並檢視修復監測站圍籬。

9.充電電瓶：

用於太陽能供電系統充放電穩定之電瓶(12V，100AH，免加水式)，每年評估汰舊換新安裝於各港監測站，正常狀態下充電電瓶可保用壽命 2 年之使用期限，使用期限內如故障無法正常供電，應更換電瓶，每次完成安裝工作時，需進行地震及動態水壓監測系統儀器之功能測試。

10.太陽能充電控制器：

本所港研中心於各港之地震監測站，由於缺乏電力設備，故以高瓦特數太陽能版與電瓶供電，因港區腐蝕嚴重，需採高耐久性及高電壓量充電控制器，控制器(12V，15A)安裝於地震監測站儀器箱內。

11.地層下陷井洗孔:

本所港研中心設置於臺中港、布袋港、安平港與大鵬灣等 4 站之地層下陷井，每年評估下陷井當進行地層下陷量測時，無線電波層別沉陷儀是否能於下陷井中通行無阻，若無法順利通過，應以壓力水柱沖洗沉陷監測井，以達能順利、正確的量測地層下陷資料。

12.水壓監測站維護與資料擷取：

本所港研中心於各港之地震監測站的水壓監測井安裝有CR1000水壓自動量測記錄器，詳述如下:

(1)布袋港400m水準基站維護與資料擷取：

水準基站保養與資料擷取：每年施作一次，保養項目為儀器維護與環境整理；儀器保養含自動記錄器維修與太陽能供電系統(太陽能板、電瓶及充電控制器等)、孔口變位計調整及軟體更新；環境整理指不銹鋼圍籬維修及圍籬內、外環境整潔(雜草、雜物清除)。保養期間如有儀器故障不能修復時，本所將以備品更換繼續監測，資料擷取為當年度6月的監測資料下載。

(2)布袋港200m自動水壓監測站維護與資料擷取：

自動監測系統保養與資料擷取：每年施作一次，本年度保養項目為儀器維護保養與環境整理；儀器保養包含記錄器、電子水壓計4支、太陽能供電系統(太陽能板、電瓶及充電控制器等)、監測資料下載製作成光碟及軟體更新等項目。環境整理指監測站儀器及圍籬內、外環境整潔(雜草、雜物清除)。保養期間如有儀器故障不能修復時，本所將以備品更換繼續監測，資料擷取為當年度6月的監測資料下載。

(3)臺中港200m水壓監測站維護：

臺中港 200m 水壓監測站維護保養：每年施作一次，本年度保養項目為儀器維護保養與環境整理；儀器保養包含電子水壓計 5支、太陽能供電系統(太陽能板、電瓶及充電控制器等)。

本所各地震站目前使用之儀器為日本東京測振公司製造之監測系統(含24bit中央集錄系統SAM-700型、集錄系統SAM-20型、±1000gal三向度埋入型地震計，±1000gal機架型訊號調整器，靜態及動態孔隙水壓信號放大器，三向度網路型地表地震儀CV374型等)。

3.1.2 監測站維護成果

本所港研中心於 108 年 05 月 31 日至 108 年 06 月 13 日進行各港地震及動態水壓即時監測站內之三向度網路型地表地震儀、CV-111 型地表地震儀、即時網頁及速報系統、監測站電力維護、插入式孔隙水壓計、卡巴斯基 2019 版安全防毒軟體與太陽能充電控制器安裝、汰舊換新充電電瓶、以壓力水柱沖洗布袋港、臺中港之沉陷監測井、水壓監測站維護與資料擷取、周邊環境清潔及木製圍籬簡易修復等工作，詳述如下：

1. 臺北港

(1)時間、地點：108 年 05 月 31 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，並完成地震站工業級電腦 2019 年新版防毒軟體(Kaspersky)更新。

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：

(1)108 年 06 月 06 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，並完成地震站工業級電腦 2019 年新版防毒軟體(Kaspersky)更新。

(2)於 108 年 06 月 17 日安裝台中港地震監測站內 200m 水壓監測站之自動化監測，經檢查 CH2 及 CH5 深度為 145M 及 29M 電子式水壓計損壞，更換 2 支水壓計，並將 5 孔水壓計電纜線拉線至觀

測箱自動化主機(CR1000)內，自動化監測量測周期為每 1 小時記錄一筆，相關資料如表 3-1、表 3-2 及圖 3.1 所示。

(3)108 年 06 月 17 日進行地層分層下陷井洗孔，以壓力水柱沖洗台中港 200M 沉陷監測井，將管內沉澱物及汙水排除，以利後續監測工作能順利進行(如圖 3.2)。本監測孔先排出部分汙水及細沙，待乾淨後再將 PVC 管依序沖洗至孔底(深度為 195M)，經 2 小時孔內排出乾淨水便完成，孔內並無大量沉澱物且孔內水無異味。

(4)台中港地震監測站冷氣於 108 年 08 月底故障，經查因煤灰污染造成冷氣壓縮機啟動器故障及冷煤量不足，遂於 108 年 09 月初進行修護，並補充冷煤。

表 3-1 臺中港 200M 水壓計自動化監測儀器表

儀器項目	廠牌	儀器型號	備註
自動化主機	CAMPBELL SCIENTIFIC	CR1000	
太陽能板控制器	GREEN ENERGY	LTD1220N	

表 3-2 臺中港 200m 水壓計自動化監測新裝表

儀器編號	出廠水壓計編號	校正系數 KPA^2/10^-6	飽荷初值 10^-6	安裝深度(M)	備註
CH-1(8M)	44405	0.068	-230	173	原有
CH-2(15M)	EHE120025	0.1122	5	145	新安裝
CH-3(8M)	44403	0.0675	-124	100	原有
CH-4(15M)	44402	0.0672	463	63	原有
CH-5(8M)	EY0300006	0.116	1	29	新安

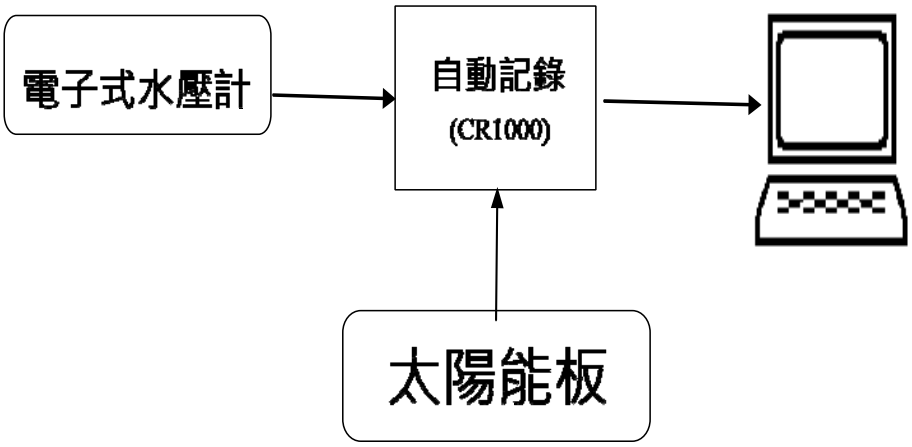


圖 3.1 系統儀器架構流程圖

圖 3.2 臺中港 200m 地層分層下陷井洗孔

3.臺中火力電廠

1. 時間、地點：108 年 06 月 10 日，臺中火力電廠南側環港路邊。GPS 座標 24.206728, 120.485286

2. 工作內容：

(1)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，並完成地震站工業級電腦 2019 年新版防毒軟體(Kaspersky)更新。

(2)臺中火力電廠井下地震監測站之木製圍籬與儀器觀測屋除銹及刷油漆 2 度，油漆顏色與原有相同。

4.蘇澳港

1. 時間、地點：108 年 06 月 13 日，蘇澳港港區碼頭。GPS 座標 24.590855, 121.863195。

2. 工作內容：

(1)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，並完成地震站工業級電腦 2019 年新版防毒軟體(Kaspersky)更新。

(2)井下地震及動態水壓即時監測電腦無法開機，更換電源供應器(如圖 3.3 所示)。

圖 3.3 蘇澳港井下地震監測站更換電源供應器

5.安平港

1. 時間、地點：108 年 06 月 05 日，安平港 8 號碼頭。GPS 座標 22.979912, 120.176632。

2. 工作內容：

(1)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，並完成地震站工業級電腦 2019 年新版防毒軟體(Kaspersky)更新。

(2)安平港監測站不斷電系統(UPS)故障，間接影響資料儲存安全，為確保監測及傳輸工作能正常運作，於 108 年 11 月進行 UPS 汰舊換新工作(如圖 3.4 所示)。

圖 3.4 安平港觀測屋內之不斷電系統(UPS)汰舊換新

6.高雄港

1.時間、地點：108 年 06 月 04 日，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：

(1)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，並完成地震站工業級電腦 2019 年新版防毒軟體(Kaspersky)更新。

(2)經查本監測站電腦螢幕故障無法顯示，將俟本所電腦螢幕辦理報廢時，再考慮更換。

7.布袋港

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

2.工作內容：

(1)108 年 6 月 19~20 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(如圖 3.5 所示)與資料擷取，本站位移計量測數值為 60mm，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。

(2)108 年 6 月 5 日，於布袋港 300m 自動水壓監測站，進行觀測屋內之儀器、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，並完成地震站工業級電腦 2019 年新版防毒軟體(Kaspersky)更新；更換充電電瓶 10 顆及安裝太陽能充電控制器 2 顆(如圖 3.6 所示)。

(3)108 年 6 月 19~20 日，於布袋港 200m 自動水壓監測站，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，本站 CH-1、CH-3 自動化量測值分別為-0.3M、-19.75M，實際水位值分別為-2.53M、-22.73M 量測數據與實際水位值不符，其餘水位值正常，經重新律定，但其數據穩定性差，待觀測一段時間，於適當時機更換水壓計。

(4)108 年 06 月 17 日進行地層下陷井洗孔，以壓力水柱沖洗布袋港 300M 沉陷監測井，將管內沉澱物及汙水排除，以利後續監測工作能順利進行(如圖 3.7 所示)。本監測孔先排出部分汙水及細沙，待乾淨後再將 PVC 管依序沖洗至孔底(深度為 301M)，經 2 小時孔內排出乾淨水便完成，本監測孔孔內水有異味且有較多細沙及汙泥，此現象研判可能為監測站淹水時有汙水滲入監測孔所致。

圖 3.5 布袋港 400m 永久水準監測站維護

圖 3.6 布袋港 300m 觀測站電瓶及太陽能充電控制器

圖 3.7 布袋港 300M 地層分層下陷井洗孔

3.2 速報系統擴充

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外停車場及花蓮港辦公大樓前花圃，逐年設置完成地表地震災後速報系統，由於地震速報儀器常遭遇外力碰撞或誤觸，為減少誤報情形發生，今(108)年選定基隆港及花蓮港，分別各增設一組地震儀(CV374A)監測系統，並增加保護殼防止碰撞確保地震速報系統之通報資訊正確。108 年度基隆港及花蓮港地震速報系統功能擴充敘述如下：

3.2.1 基隆港速報系統功能擴充

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)，經基隆港務分公司提供的場地有限，目前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，今(108)年增設一組 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。CV374A 監測系統安裝及測試敘述如下：

1.本所於 108 年 7 月 16 日，勘查現有地震儀現地附近，選定基隆港務分公司之貨櫃中心辦公室內,為安裝 CV374A 監測系統位置(如圖 3.8 所示)，並於 108 年 8 月 14 日，進行地表地震儀安裝，安裝步驟首先調整三向度網路型地表地震儀之水平及方向，並使用塑鋼土固定(如圖 3.9 所示)，當三向度網路型地表地震計安裝完成後，繼續安裝#304 不銹鋼保護箱於儀器上，最後進行監控主機與地震儀監測箱間線路保護配管(如圖 3.10 所示)，即完成 CV374A 地震儀安裝(如圖 3.11 所示)。

2.即時簡訊及速報軟體修改：

(1)既有之 EMAS 系統需移除，重新安裝匹配新設之 EMAS 系統軟體(如圖 3.12 所示)。

(2)新 EMAS 軟體須更新至符合舊有 3CH 增加至 6CH 功能及判別記錄方式(如圖 3.13 所示)。

(3)室內、外參數設定，並啟動觸發 6CH 功能之敲擊及 cal 測試(如圖 3.14、圖 3.15 所示)。

(4)震災分級發送速報簡訊與測試功能(如圖 3.16 所示)。

3.地震儀速報軟體：(EMAS 系統功能)

(1)及時解碼檔頭，發布速報簡訊。

(2)原始程式碼，修改簡訊內容及發送對象等資料。

(3)可用程式(輸入 PGA 值及手機門號)來達到測試發布簡訊目的。

(4)可由使用者內建簡訊發布對象(人名、手機門號、啟動簡訊門檻值)。

圖 3.8 監控主機與安裝 CV374A 地震儀位置

圖 3.9 地震儀之水平及方向調整及塑鋼土固定

圖 3.10 安裝#304 不銹鋼保護箱及線路保護配管

圖 3.11 完成 CV374A 地震儀安裝

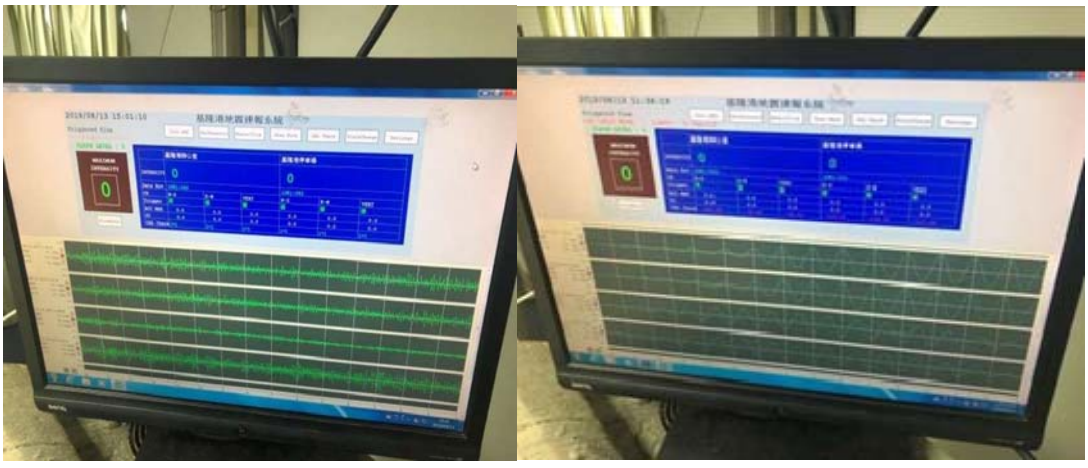


圖 3.12 EMAS 系統軟體測試

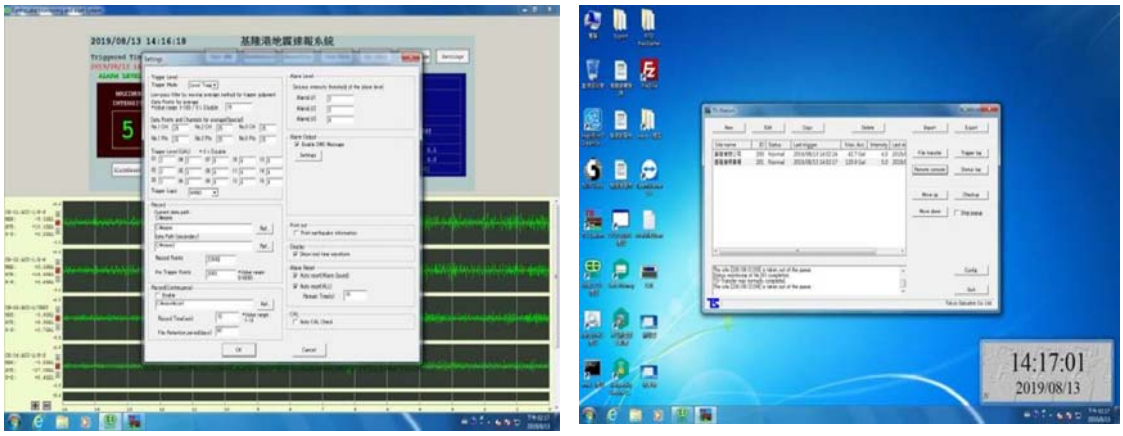


圖 3.13 軟體增加至 6CH 功能及判別觸發

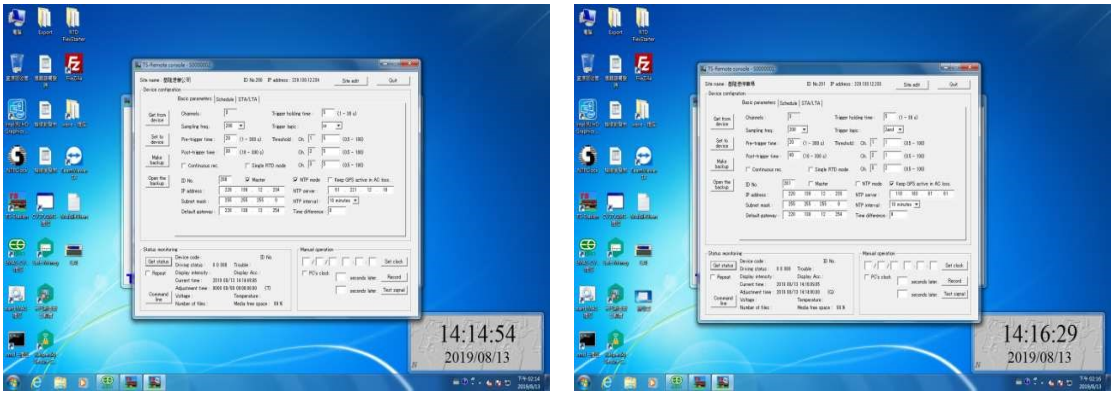


圖 3.14 室內、外參數設定

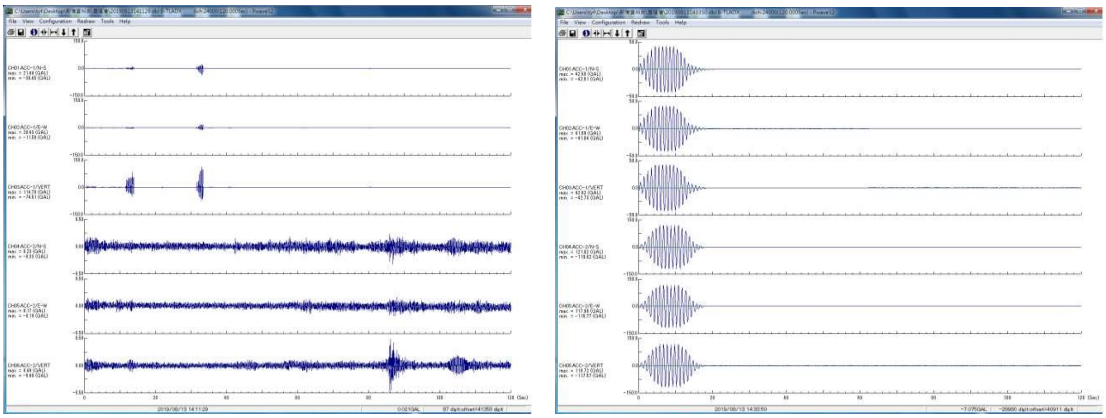


圖 3.15 觸發 6CH 功能之敲擊及 cal 測試

圖 3.16 震災分級發送速報簡訊與測試功能

3.2.2 花蓮港速報系統功能擴充

本所 101 年於花蓮港務分公司大樓前花圃之適當地點，安裝三向度網路型地表地震儀，完成設置地震災後速報系統進行自動長期監測，並逐年改善系統穩定性與精進速報功能，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)，由於大樓前花圃偶爾會進行環境清潔工作，地震速報儀器常遭遇碰撞或誤觸，為減少誤報情形發生，今(108)年增設一組 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、V 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。CV374A 監測系統安裝及測試敘述如下：

1.本所於 108 年 7 月 16 日選定花蓮港務分公司之辦公大樓內會議室儲藏室，為安裝 CV374A 監測系統位置(如圖 3.17 所示)，並於 108 年 8 月 13 日，進行地表地震儀安裝，安裝步驟首先調整三向度網路型地表地震儀之水平及方向，並使用塑鋼土固定(如圖 3.18 所示)，當三向度網路型地表地震計安裝完成後，繼續安裝#304 不銹鋼保護箱於儀器上，最後進行監控主機與地震儀監測箱間線路保護配管(如圖 3.19 所示)，即完成 CV374A 地震儀安裝(如圖 3.20 所示)。

2.即時簡訊及速報軟體修改：

(1)既有之 EMAS 系統需移除，重新安裝匹配新設之 EMAS 系統軟體(如圖 3.21 所示)。

(2)新 EMAS 軟體須更新至符合舊有 3CH 增加至 6CH 功能及判別記錄方式(如圖 3.22 所示)。

(3)室內、外參數設定，並啟動觸發 6CH 功能之敲擊及 cal 測試(如圖 3.23、圖 3.24 所示)。

(4)震災分級發送速報簡訊與測試功能(如圖 3.25 所示)。

3.地震儀速報軟體：(EMAS 系統功能)

(1)及時解碼檔頭，發布速報簡訊。

(2)原始程式碼，修改簡訊內容及發送對象等資料。

(3)可用程式(輸入 PGA 值及手機門號)來達到測試發布簡訊目的。

(4)可由使用者內建簡訊發布對象(人名、手機門號、啟動簡訊門檻值)。

圖 3.17 監控主機與安裝 CV374A 地震儀位置

圖 3.18 地震儀之水平及方向調整及塑鋼土固定

圖 3.19 安裝#304 不銹鋼保護箱及線路保護配管

圖 3.20 完成 CV374A 地震儀安裝

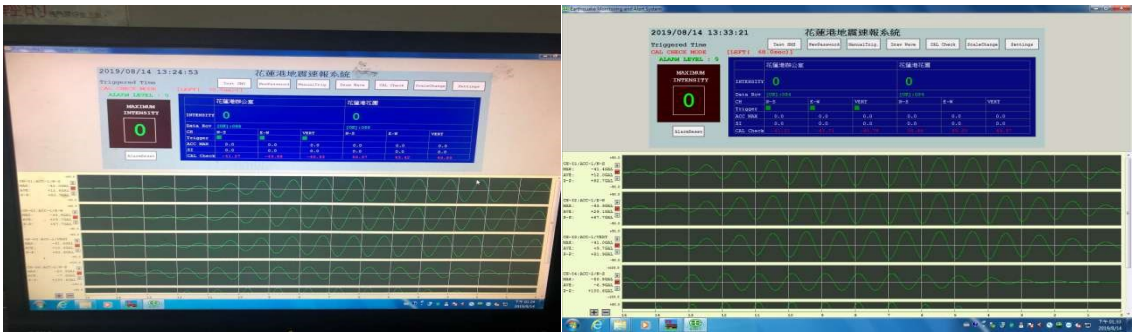


圖 3.21 EMAS 系統軟體測試

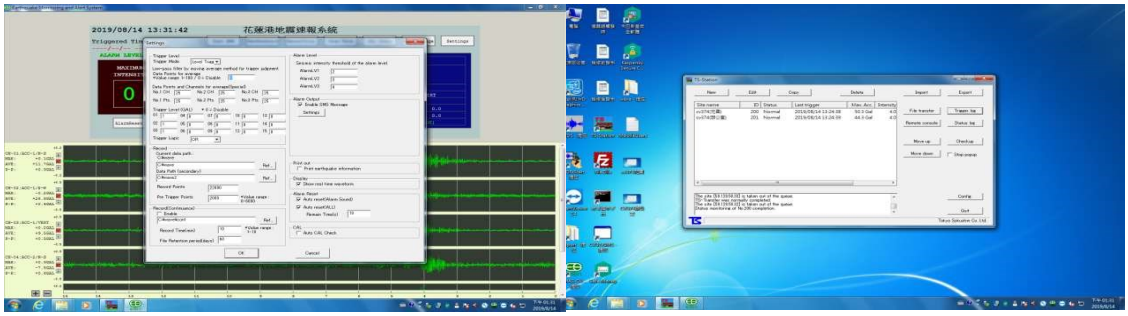


圖 3.22 軟體增加至 6CH 功能及判別觸發

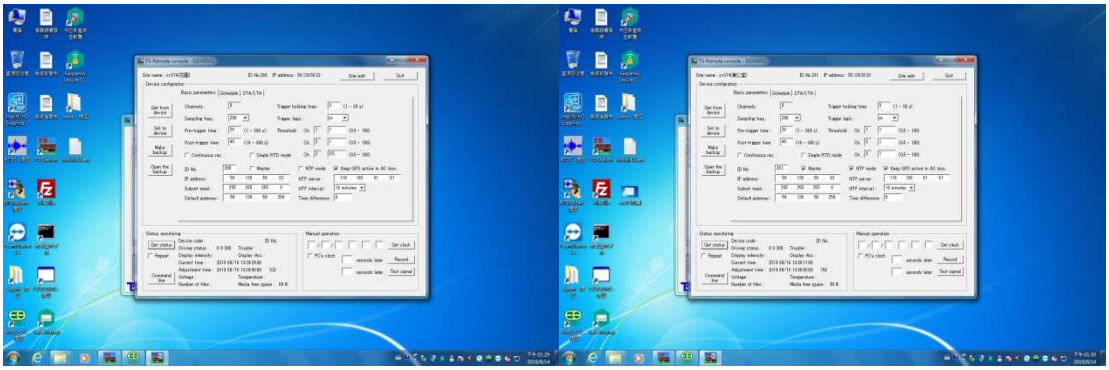


圖 3.23 室內、外參數設定

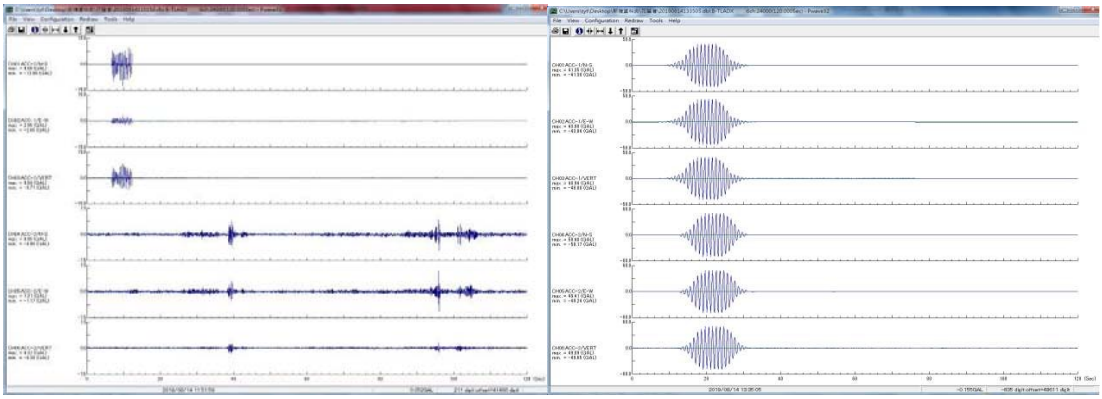


圖 3.24 觸發 6CH 功能之敲擊及 cal 測試

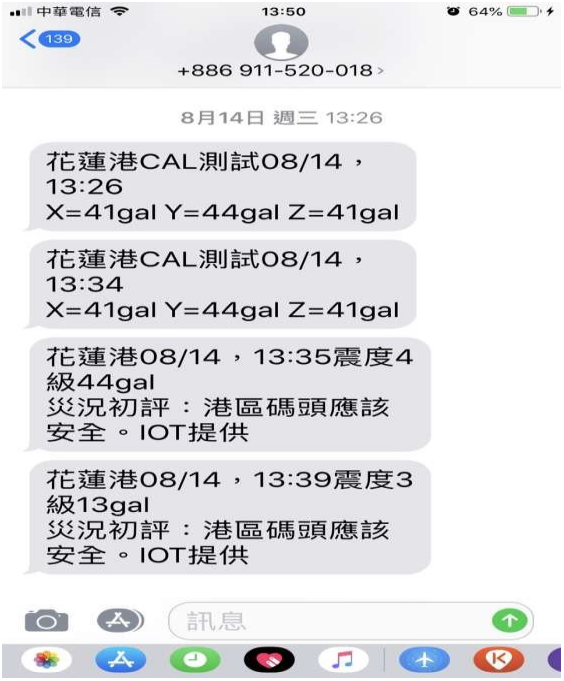


圖 3.25 震災分級發送速報簡訊與測試功能

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[6]；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[7-8]。

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，而台灣西南海岸港灣地區之地層下陷亦然，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

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。

$$S_u = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{P'_0 + \Delta\sigma_{vo}}{P'_0}\right) \quad \text{.....(4-1)}$$

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$S(t)$。

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

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：

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

式中，$U(t)$：平均壓密度，定義如式(4-3)

T_v：時間因數

$$U(t)=1-\frac{\int \Delta u_t dz}{\int \Delta u_0 dz} \quad \text{.....} \quad (4\text{-}4)$$

而式(2-3)中之時間因數T_v與時間 t 之關係如下所示：

$$T_v=\frac{C_v\times t}{H^2_{dr}} \quad \text{.....(4-5)}$$

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：

$$S(t)=S_u\times U(t) \quad \text{.....(4-4)}$$

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：

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

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+v)。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：

$$2\eta G\frac{\partial^2 S_z}{\partial z^2} - \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \text{ ,}$$

$$-k\frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 S_z}{\partial z \partial t} + n\beta\frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad \text{.....(4-8)}$$

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 P0，則其壓密沉陷，經式(2-8)解析得如下所示：

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

式中，壓密係數$C_v = \dfrac{k}{n\beta + \dfrac{1}{2\eta G}}$，$H_d$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

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。

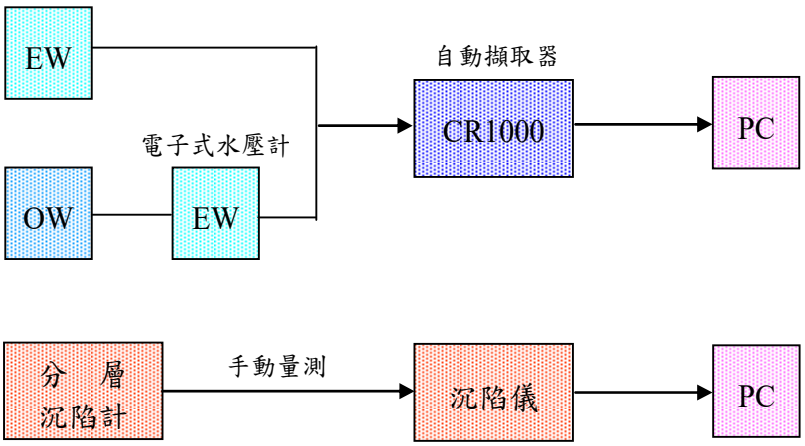


圖 4.1 系統儀器架構流程圖

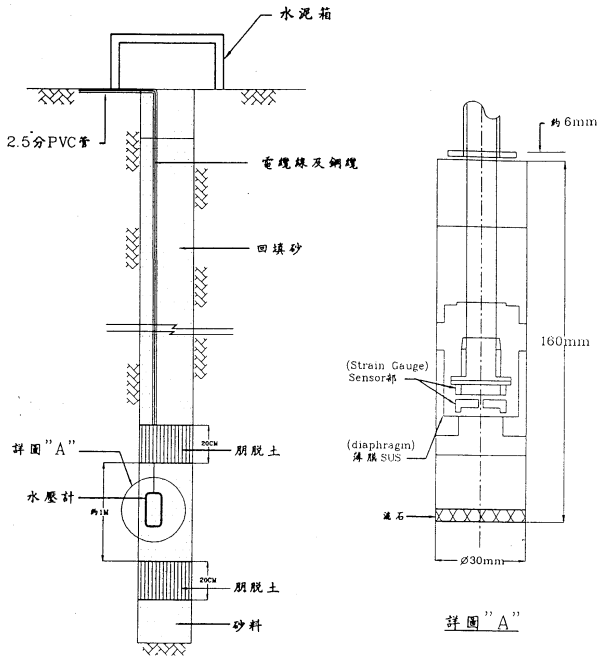


圖 4.2 電子式地下水壓計安裝示意圖

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 地盤分層沉陷觀測井

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 分井管，為耐腐蝕及酸鹼材質。

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. 待量測井依秩序完成後，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台及洗孔作業，並待測孔穩定後可做初值設定。

5. 安裝示意圖如圖 4.4、4.5 所示。

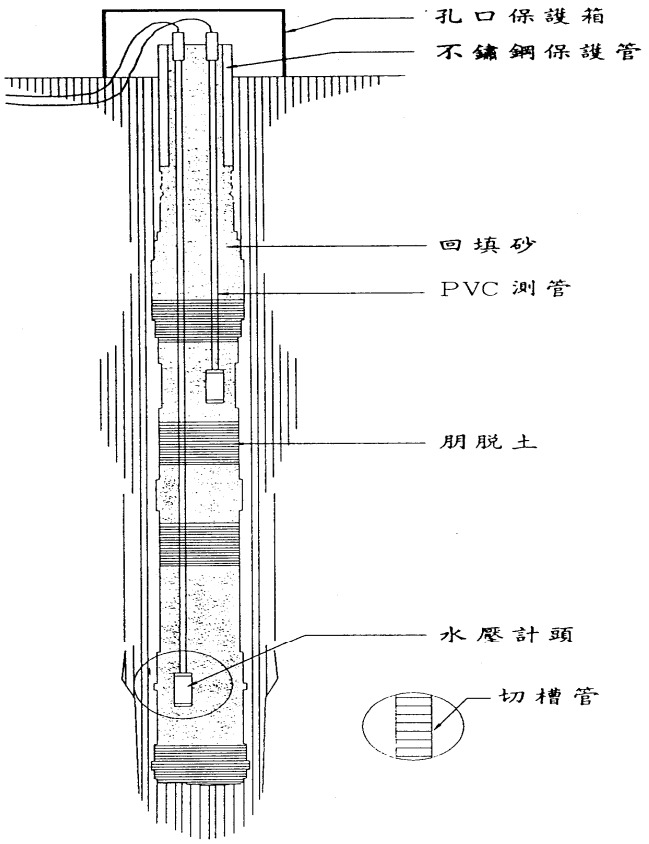


圖 4.3 開放式水壓計安裝示意圖

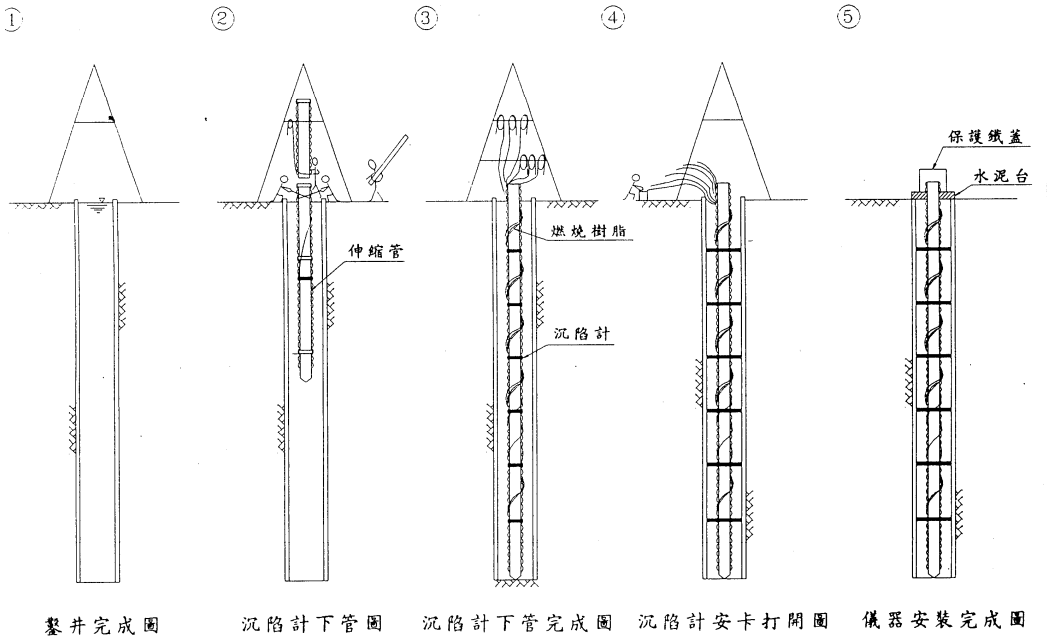


圖 4.4 沉陷計安裝示意圖

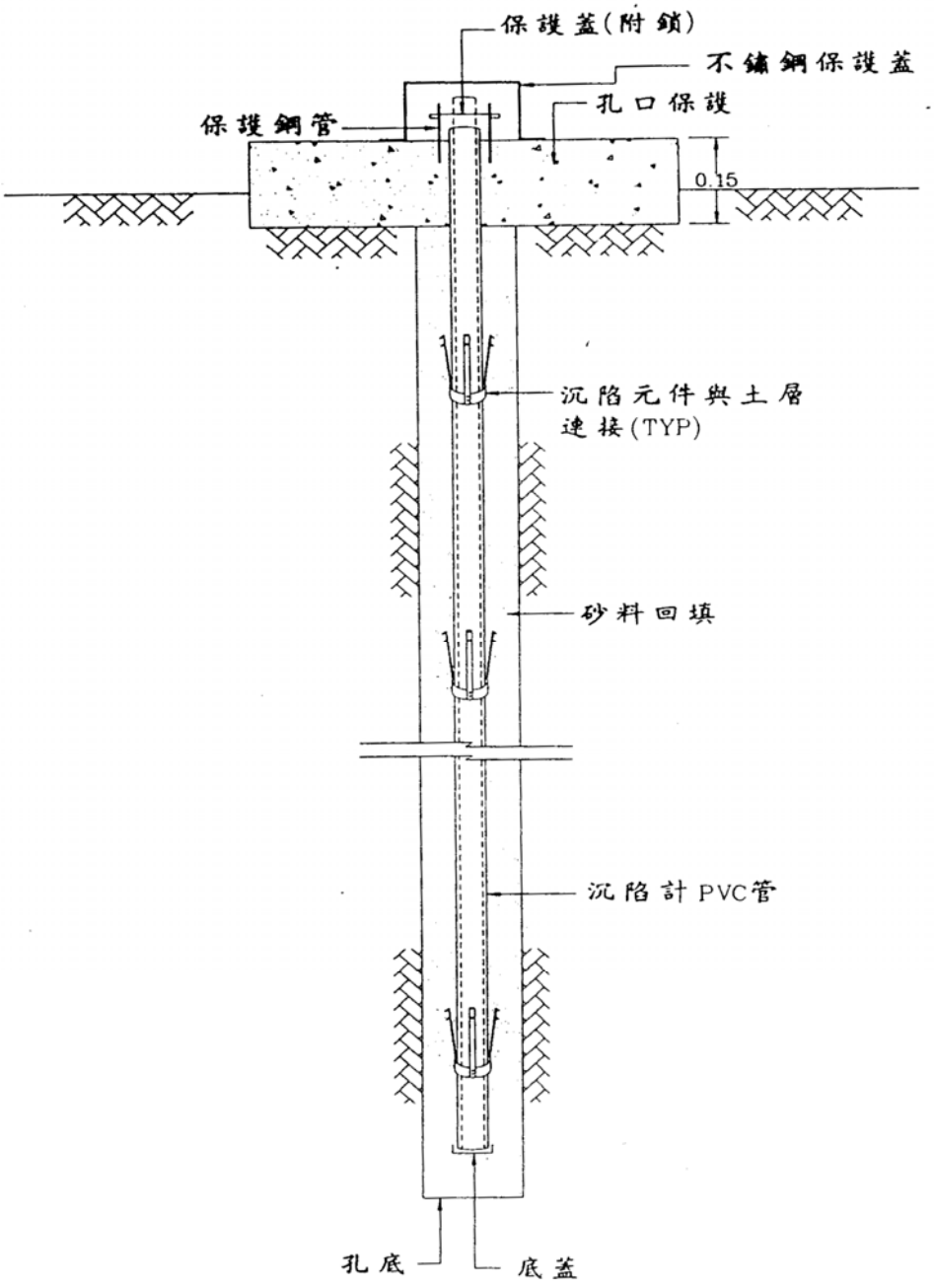


圖 4.5 磁感式層別沉陷計安裝示意圖

4.3 港區地層下陷監測

4.3.1 布袋港監測站

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)[5]，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。

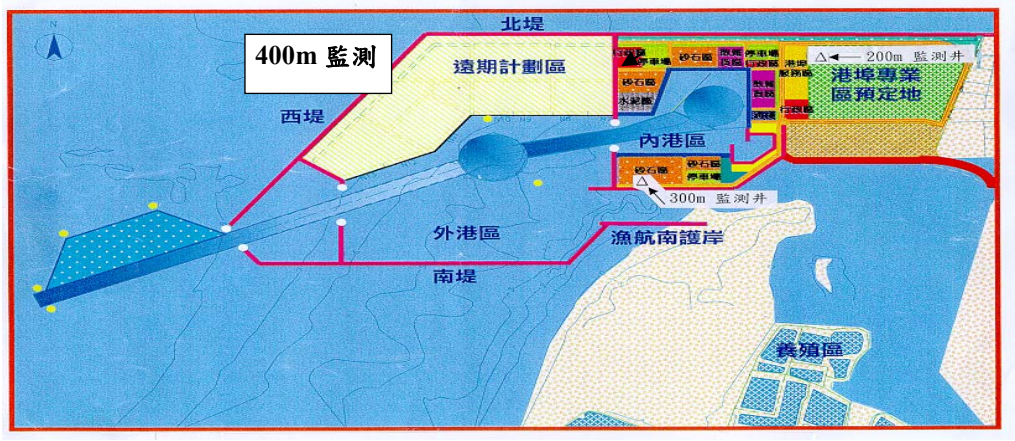


圖 4.6 布袋港監測站位置圖

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	8.262	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)	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

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[10]，分別簡述如下：

1. 棕黃色細砂(SP)：分布在地表下深 0~9.5 m 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，N 值為 13 屬中等緊密土層。

4. 灰色細砂夾薄粘土層(SM+ML)：約分布於地表下深度 14.1~32.8 m，其 N 值自 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，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，N 值在 12~16 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，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，N 值為 15~34 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，N 值於 28~74 之間。

10. 灰色沉泥質粘土(CL)：分布於地表下 82.4~84.75 m，N 值約為 40。

11. 灰色砂質沉泥(ML)：分布於地表下 84.75~87.2 m，N 值約為 41。

12. 灰色沉泥質細砂(SM)：分布於地表下 87.2~91.15m，SPT-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，N 值介於 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，SPT-N 值在 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 SPT-N 值為 60 時貫入土層約 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，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，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，SPT-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，SPT-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，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，N 值為在 100 時貫入土層約 5~13 cm。

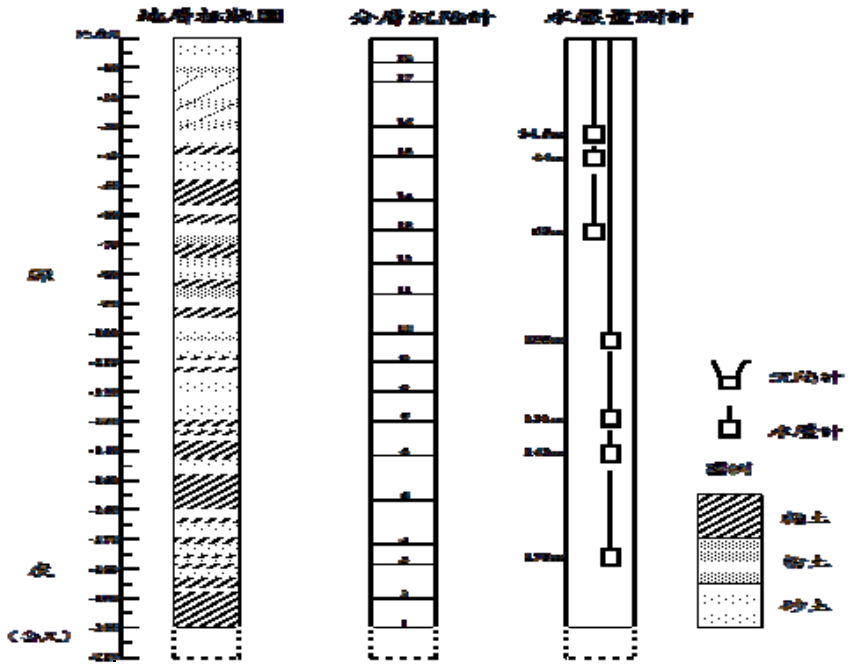


圖 4.7 布袋港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖

4.3.1.2 布袋港地下水位

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深之下陷與水壓監測井。

(1)200m

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108年6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/m2）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，資料不足的部份以內插法補充，自86年4月至108年7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，布袋港水層約可分為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

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(90/09-108/07)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 布袋港地層下陷

(1)200m

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 108 年 7 月之 22 年 5 個月期間,布袋港地表下 8 m 至 200 m 間之沉陷總量為 69.8 公分，其中 66～85m 沉陷量約 8.1 公分，佔總沉陷量約 12%，而壓縮量較大之地層為 140～200 m 之沉陷量約 34.1 公分，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，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

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 108 年 7 月 29 日止，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～108 年 6 月止，18 年 8 個月之累積總沉陷量約 92.9 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(103 至 108)總沉陷量約 15.4 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 25 公分，約佔總沉陷量之 29%。其中以 102～190m 之沉陷量為 38.1 公分所佔比例最大，約佔總沉陷量之 43.8%，190～300m 之沉陷量較少為 8.7 公分，約佔總沉陷量之 1%，綜合以上得知，66～190m 深度之累積沉陷量為 62.9 公分，約佔總沉陷量之 72.5%，與 200m 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 布袋港水準基站

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 108 年 6 月止，共 15 年 9 個月期間之總累積下陷量約為 46 公分，近 2 年多(106 年 1 月至 108 年 6 月)

總沉陷量約 5.9 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 108 年 6 月之累積下陷量約 28.95 公分， 97 年 5 月至 98 年 7 月因儀器故障缺少資料。

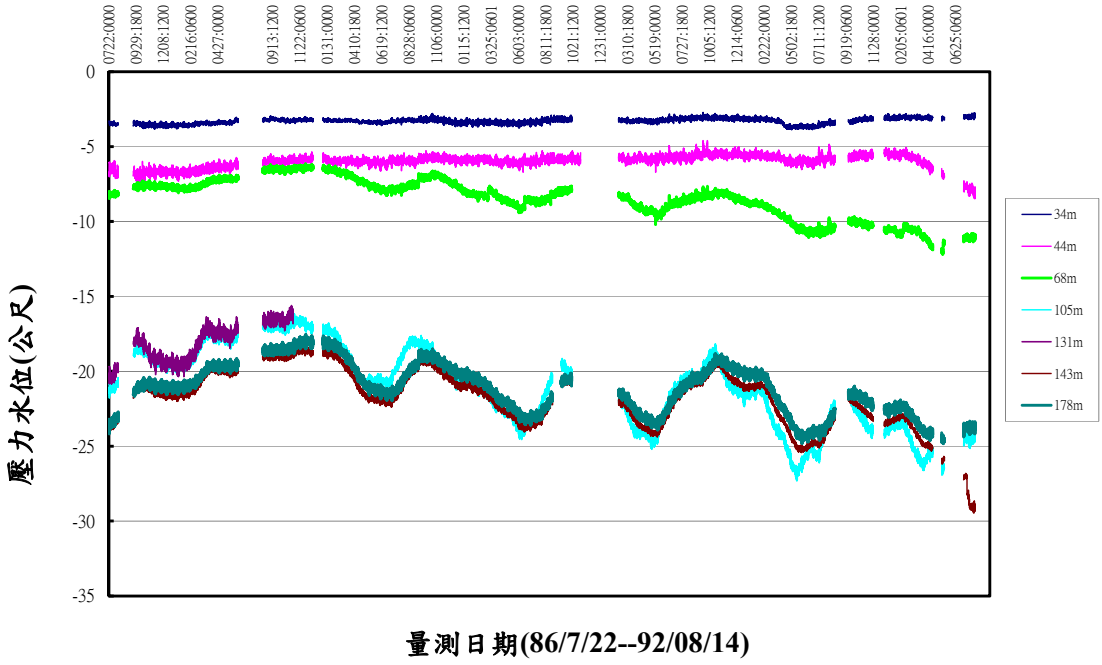


圖 4.8a 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 86/7/22-92/08/14)

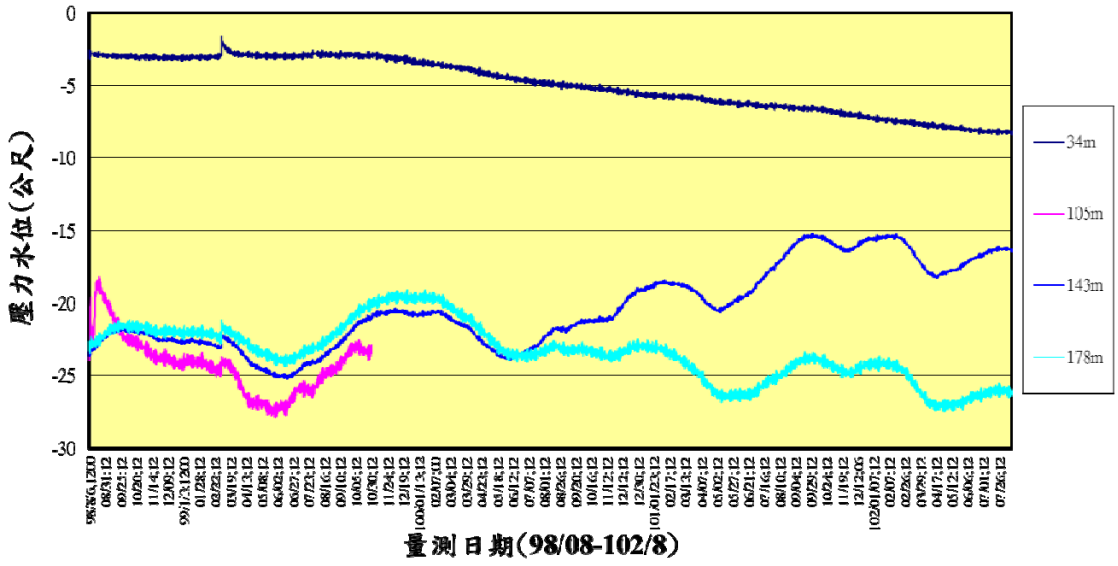


圖 4.8b 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 98/08-102/8)

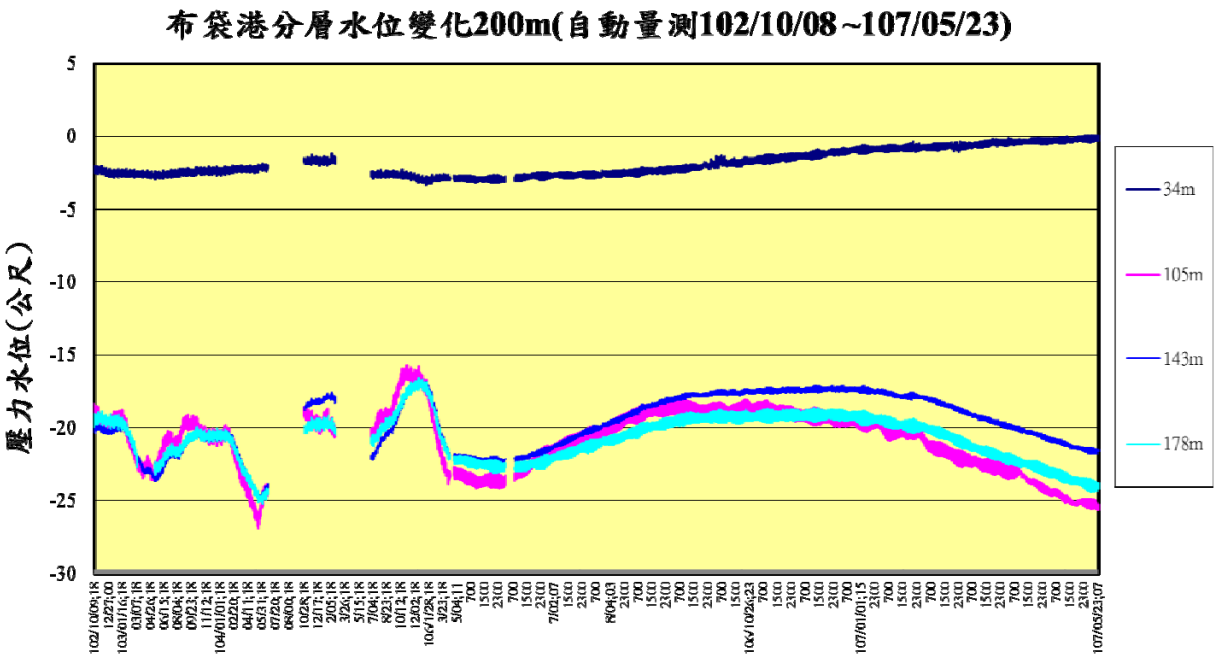


圖 4.8c 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 102/10/08-107/05/23)

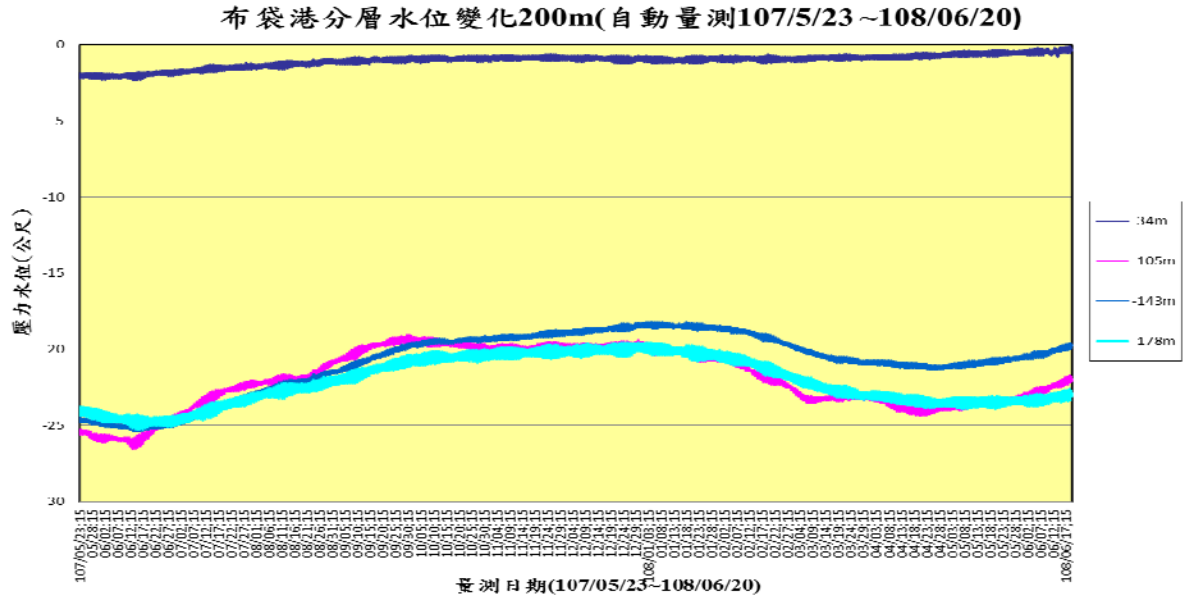


圖 4.8d 布袋港 200m 分層水位變化圖(自記式 107/5/23-108/6/20)

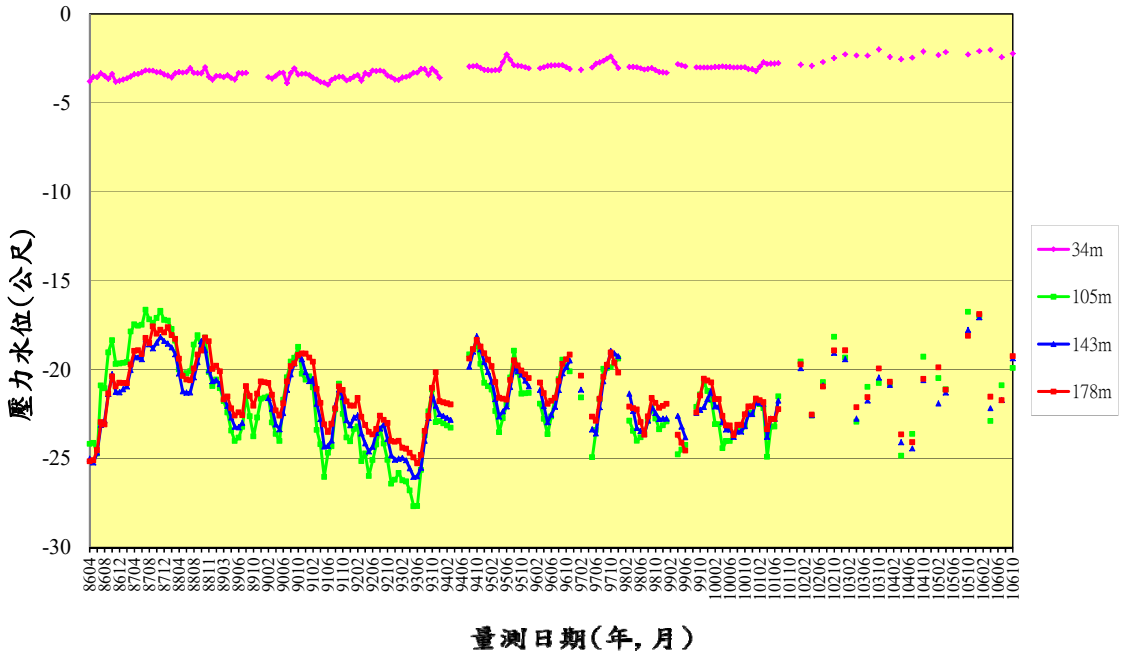


圖 4.9a 布袋港 200m 分層水位變化圖(86/04-106/10 手動量測)

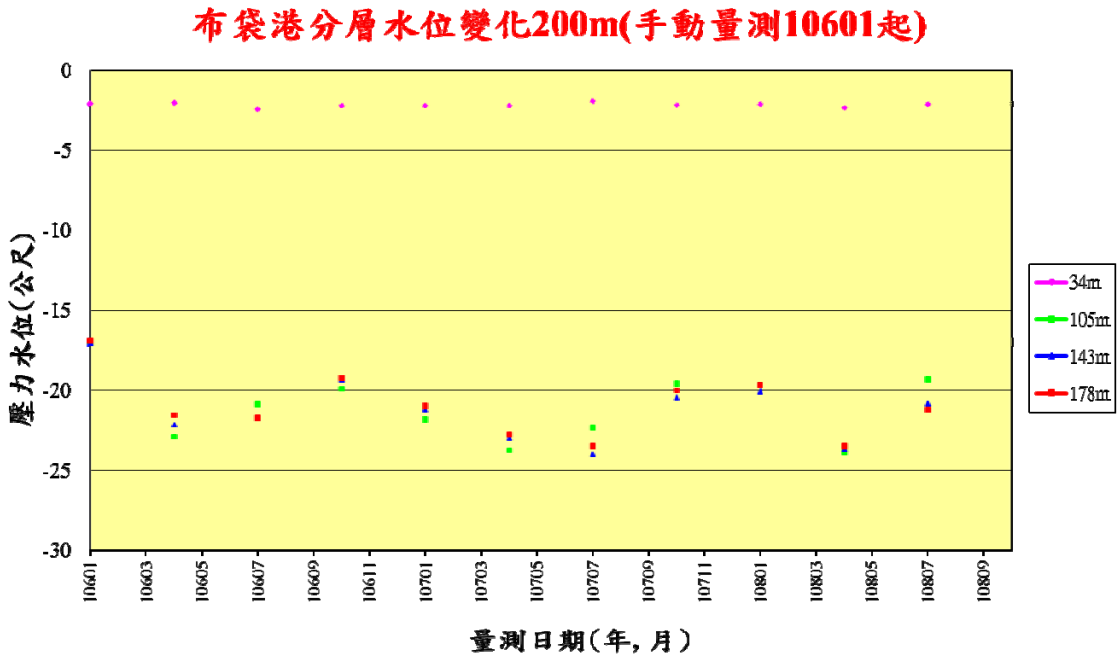


圖 4.9b 布袋港(200m)分層水位變化圖(106/01-108/07 手動量測)

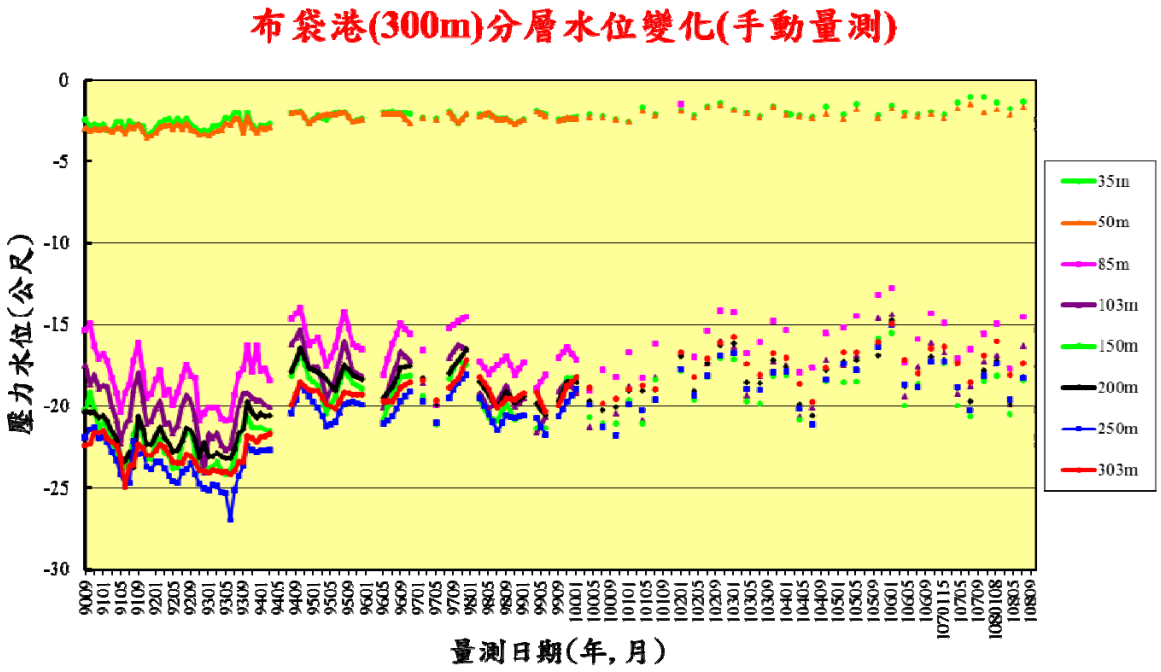


圖 4.10 布袋港 300m 分層水位變化圖(90/09-108/07 手動量測)

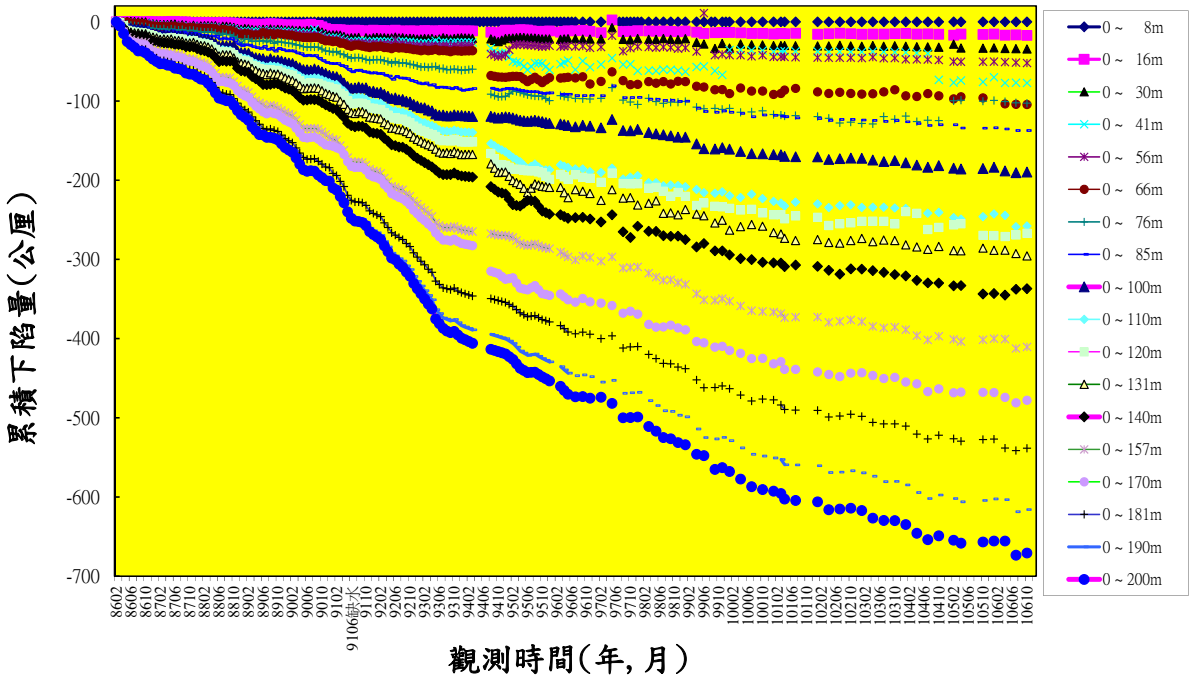


圖 4.11a 布袋港 200m 分層累積下陷圖(86/02-106/10 手動量測)

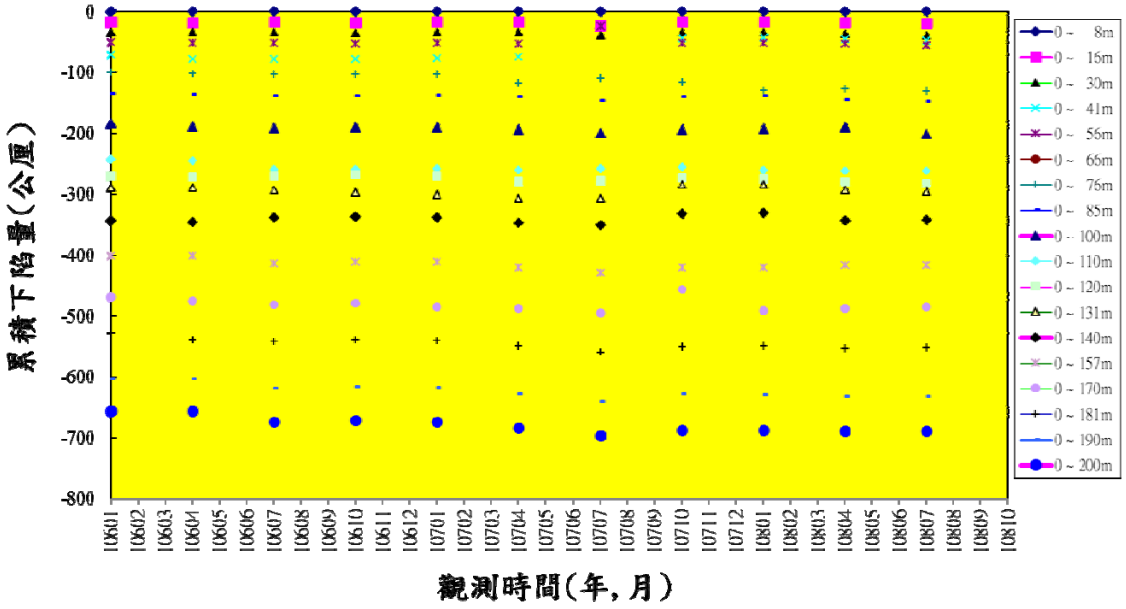


圖 4.11b 布袋港 200m 分層累積下陷圖(106/01-108/07 手動量測)

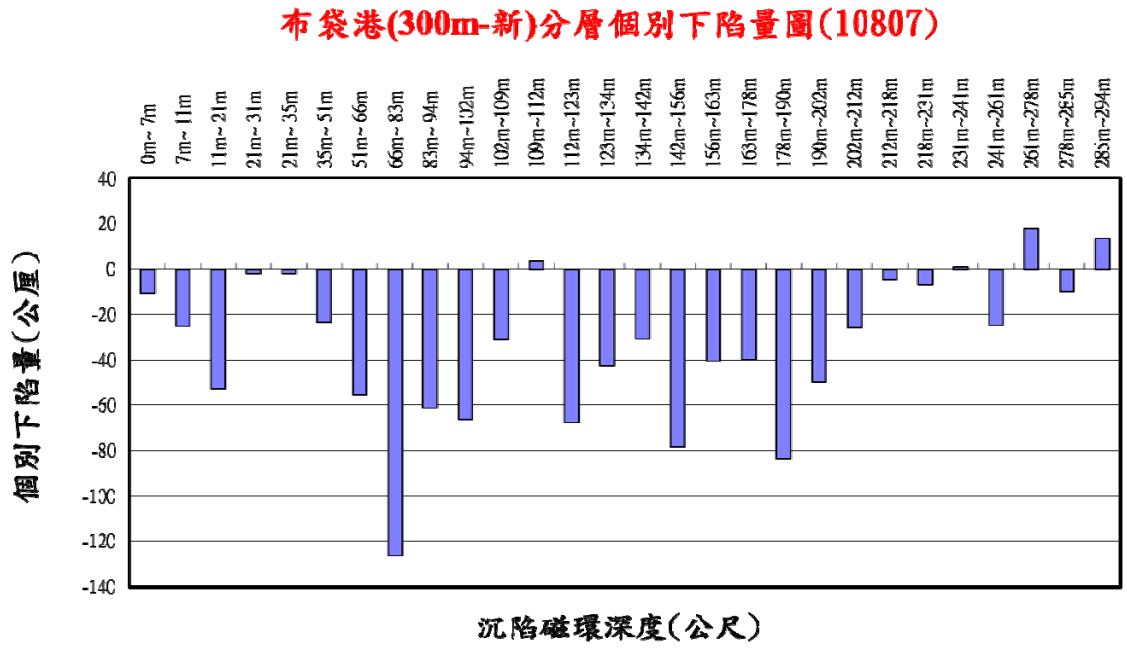


圖 4.12 布袋港 300m 分層個別下陷量圖(108/07/29)

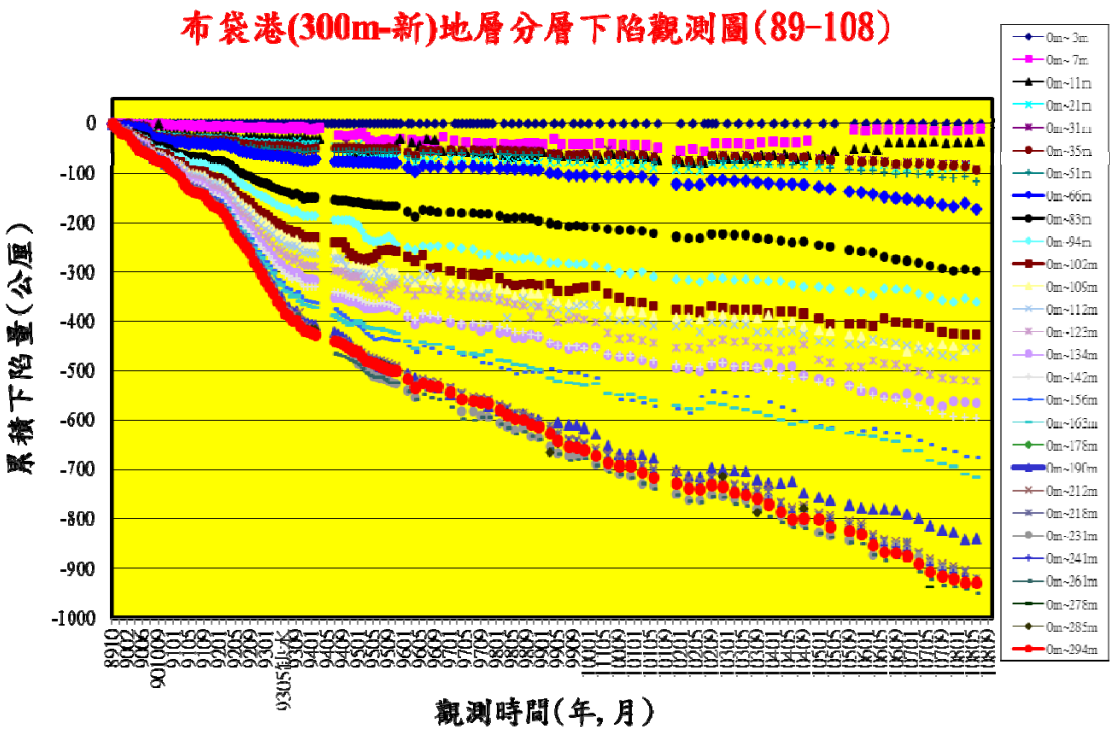


圖 4.13 布袋港 300m 分層累積下陷量圖(89/10-108/07)

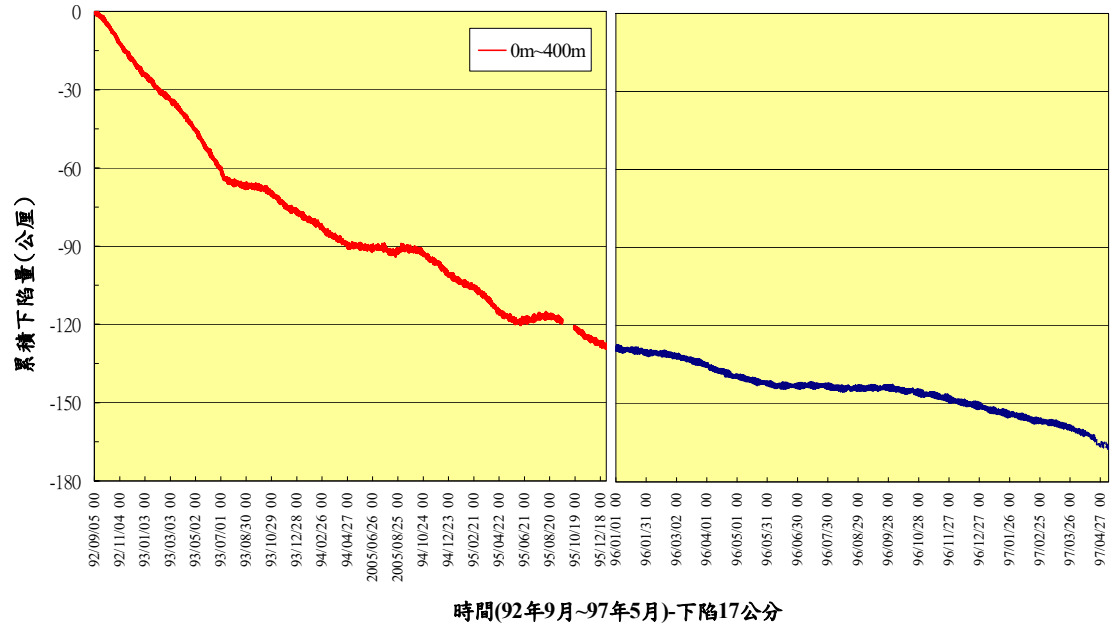


圖 4.14a 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖

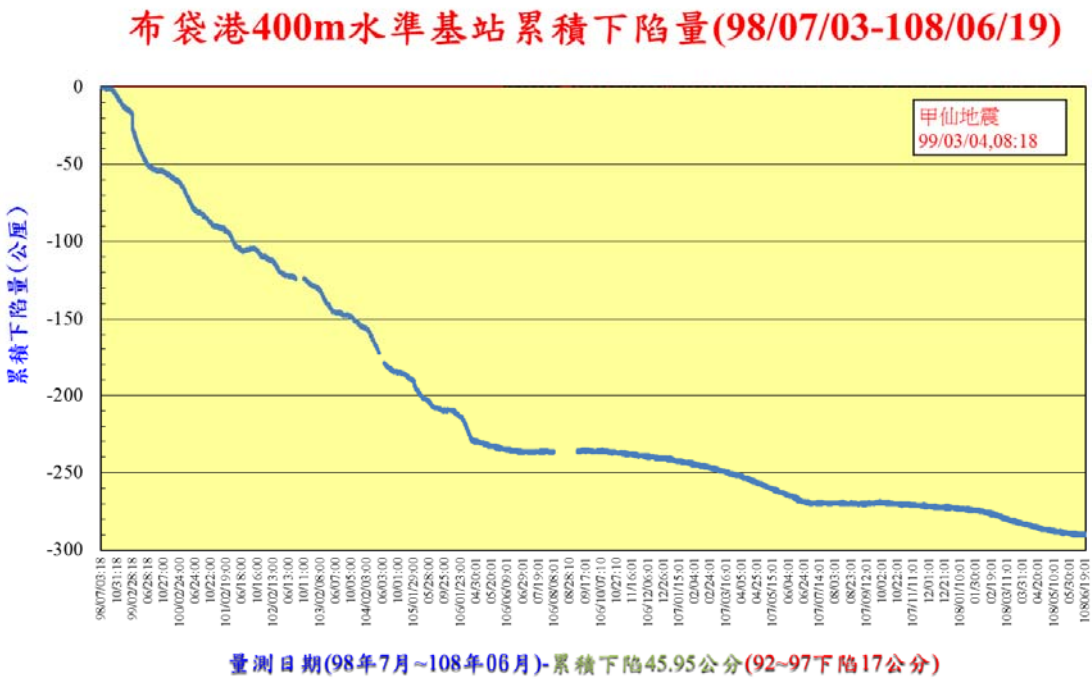


圖 4.14b 布袋港 400m 水準基站累積下陷量圖(98/07/03~108/06/20)

4.3.2 大鵬灣監測站

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		

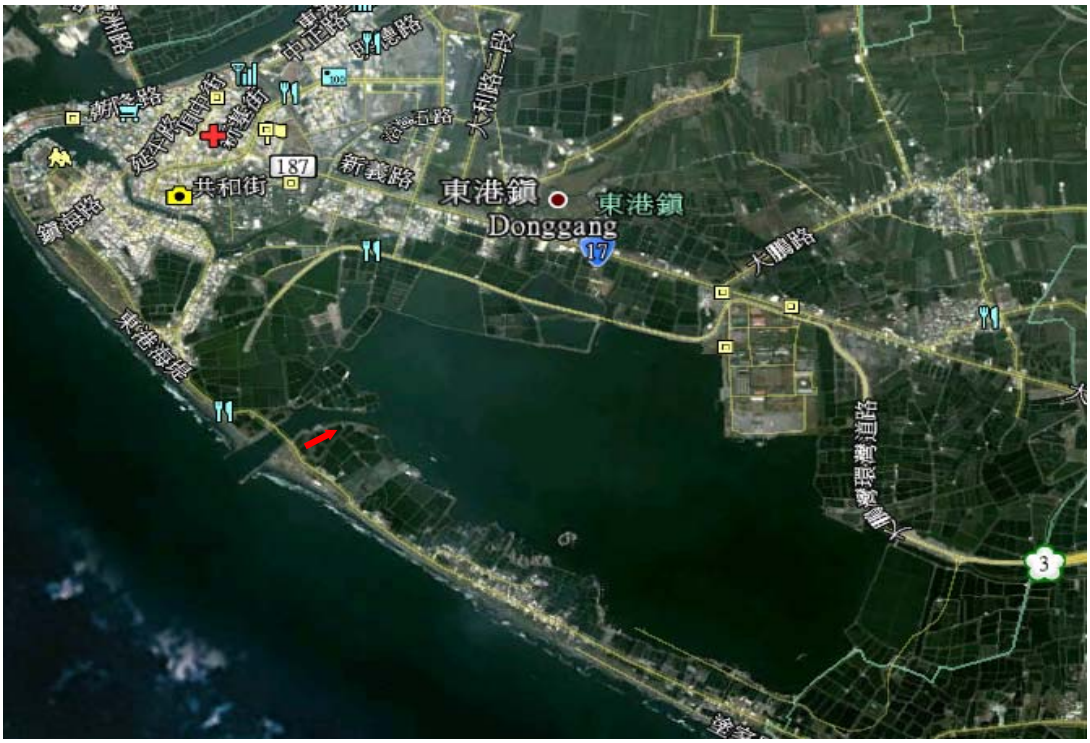


圖 4.15 大鵬灣監測站位置圖

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 108 年 7 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，而 106 年 1 月至 108 年 7 月，各分層水位約於-1.3～-4.4，其結果如圖 4.16a 及圖 4.16b 所示。

4.3.2.2 分層地層下陷分析

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，資料值由鋁鋼尺上之刻度讀取，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 108 年 7 月止，共 21 年 4 個月期間，大鵬灣地表下 4 m 至 189 m 間之沉陷總量約 14.7 公分，而從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.5 公分，佔總沉陷量約 71%以上，由此量測資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

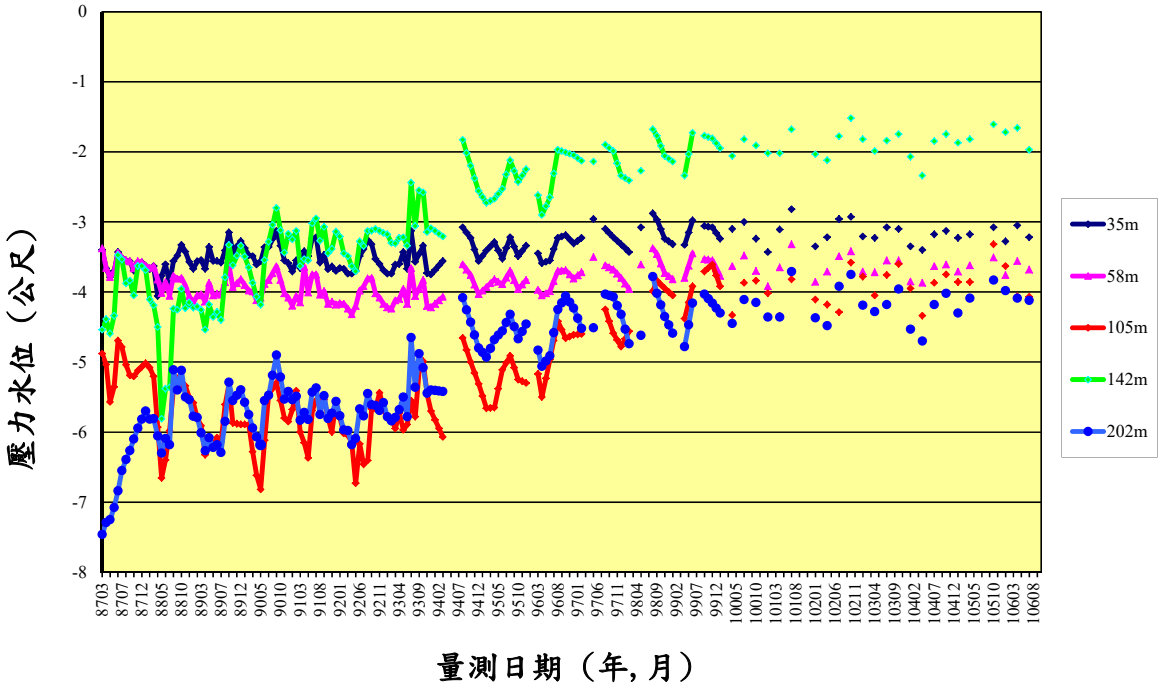


圖 4.16a 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 87-106)

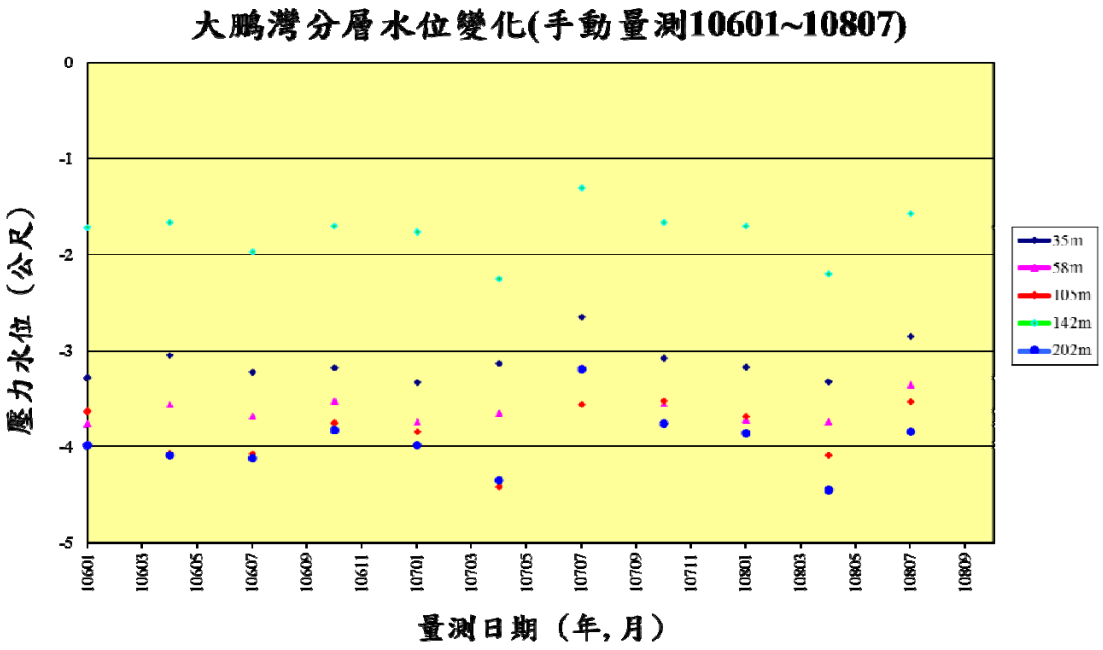


圖 4.16b 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測 10601-10807)

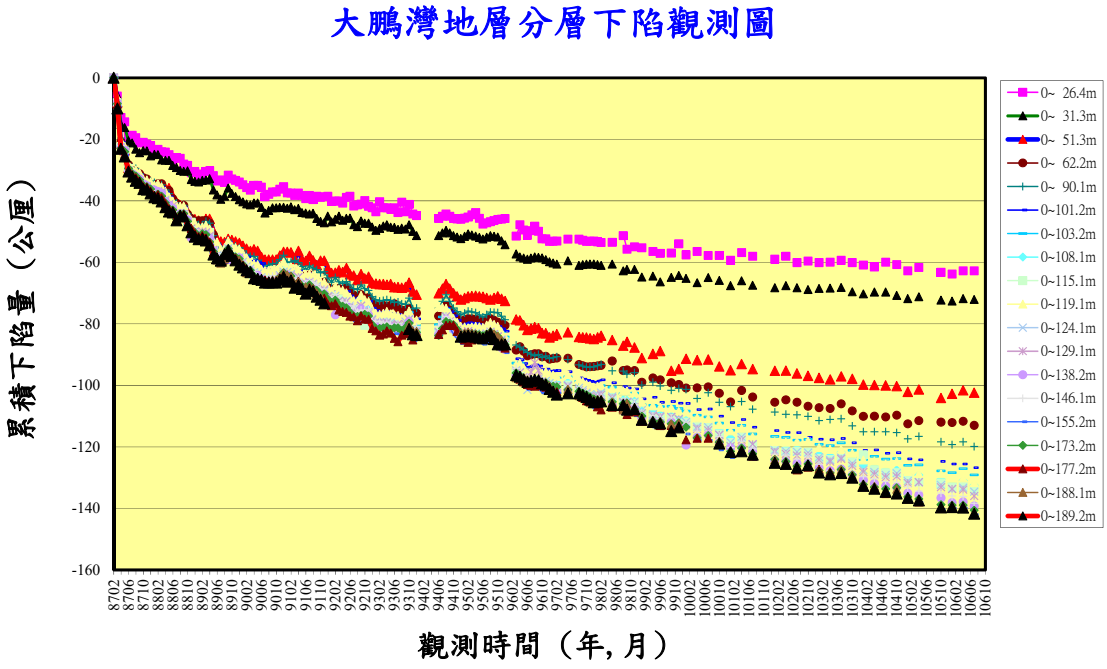


圖 4.17a 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(87～106)

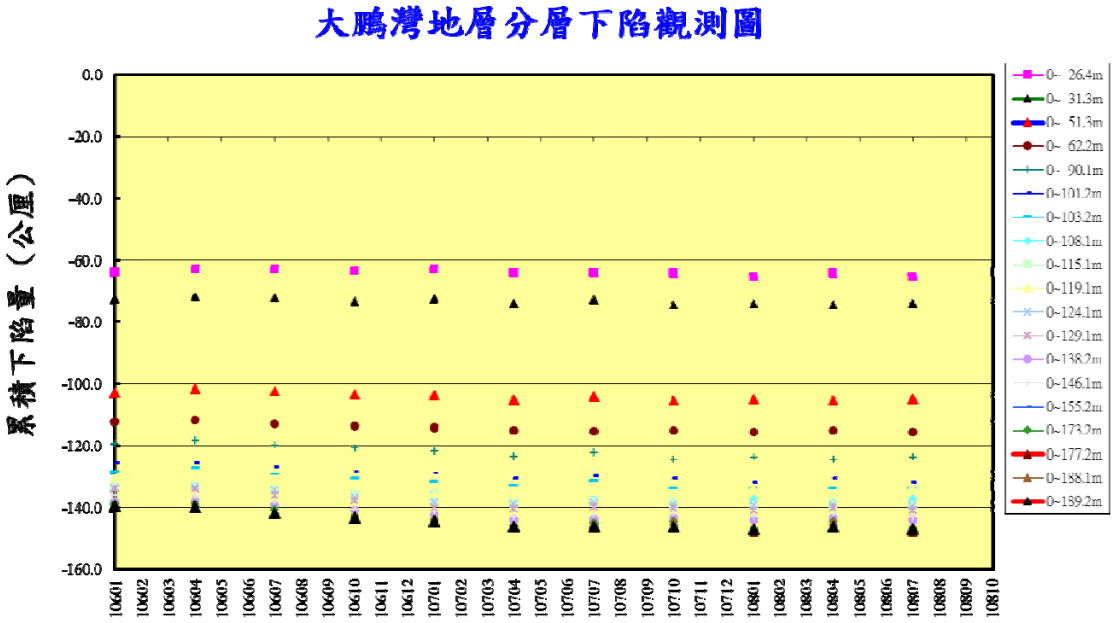


圖 4.17b 大鵬灣地層分層下陷觀測圖(10601～10807)

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。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]，資料記錄截至 108 年 7 月止，其結果如圖 4.19 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[13]。

4.3.3.2 分層沉陷分析

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 108 年 7 月止約為 6 公分，其中自 0m~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，而 88 年 10 月至 98 年 11 月止，總沉陷量為 1.8 公分[14]，如圖 4.20 所示。

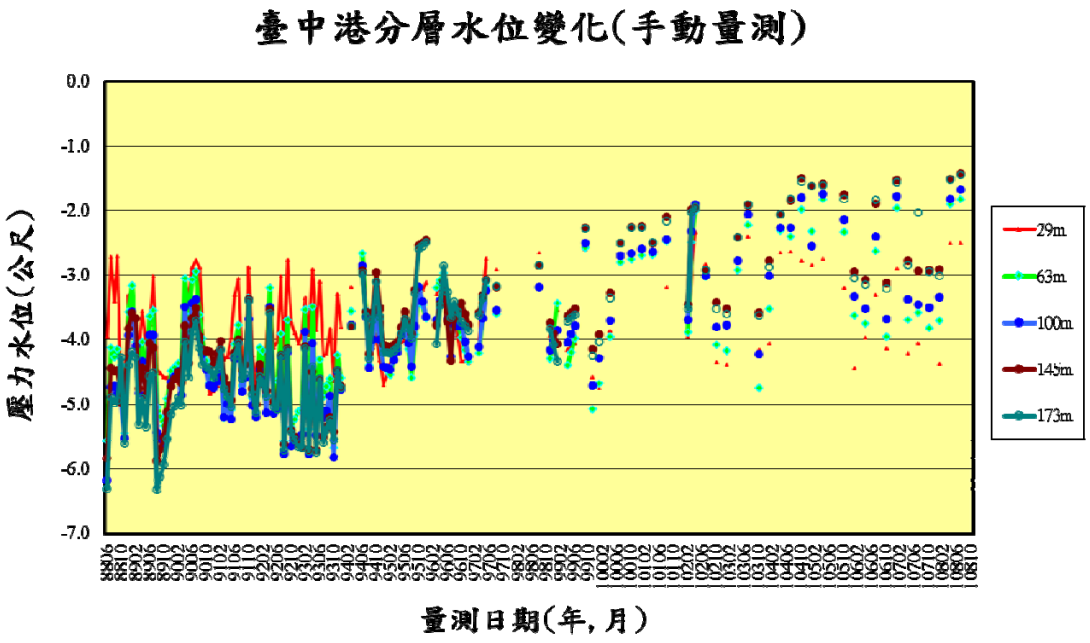


圖 4.19 臺中港分層水位變化圖(手動量測)

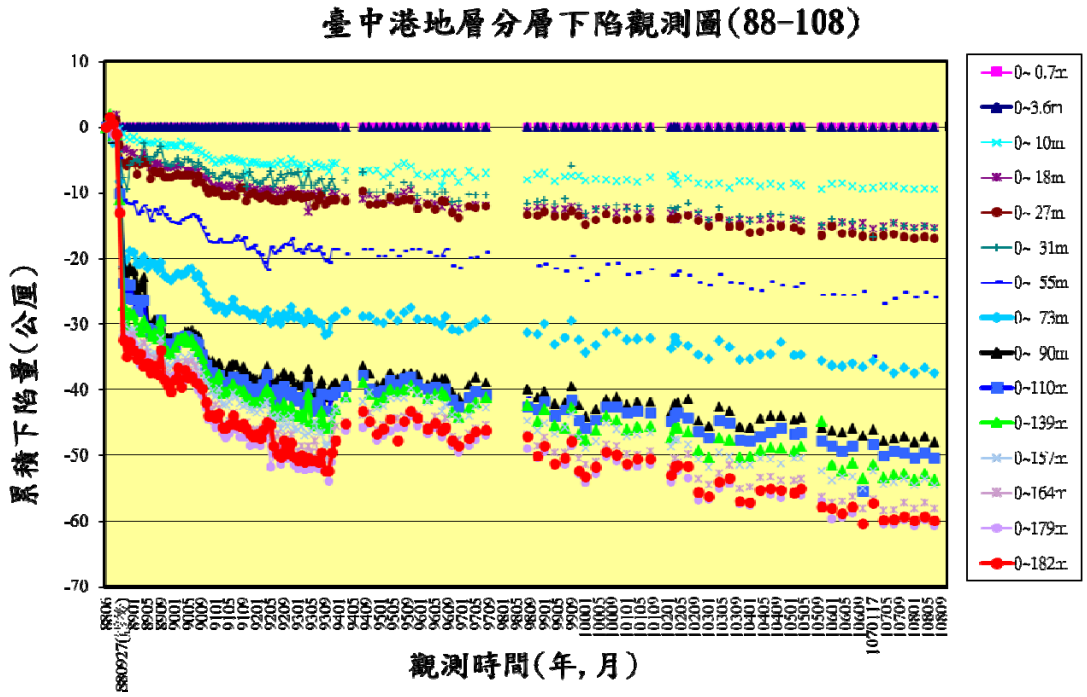


圖 4.20 臺中港分層累積下陷量圖(200m)

4.3.4 安平港監測站

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。

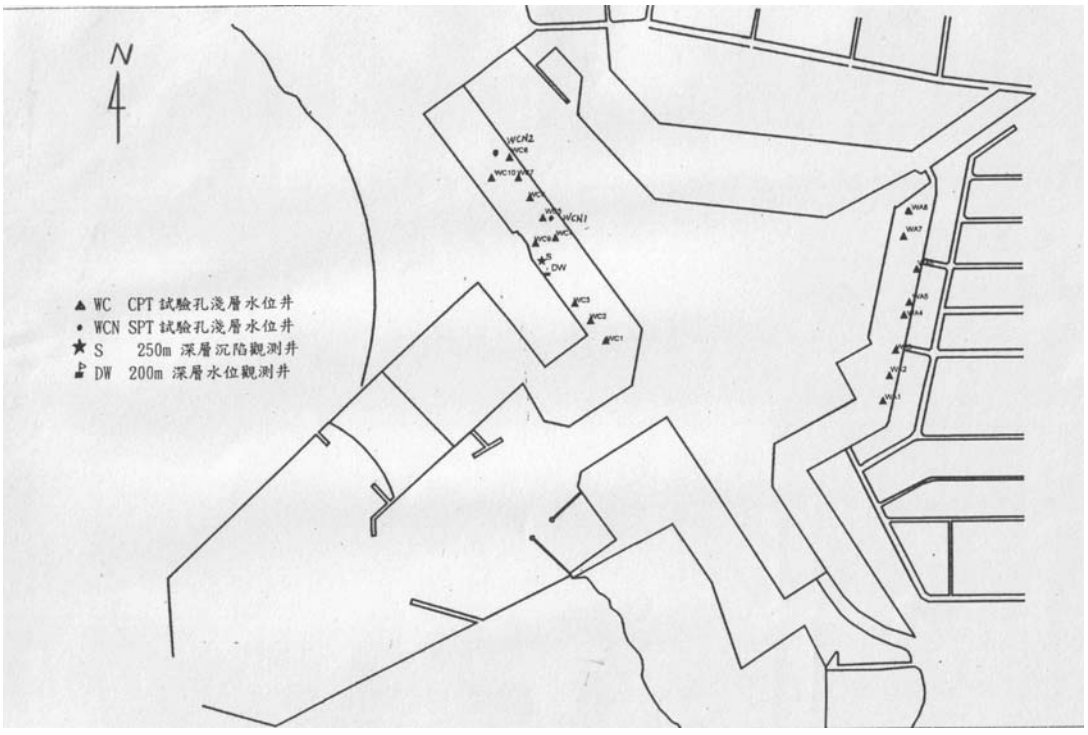


圖 4.21 安平港監測站位置圖

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，其結果如圖 4.22 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 含土層之水位變化較大，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 108 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 分層地層沉陷分析

於安平港之 18-19 號碼頭綠帶地區，設立 250 m 深之分層地層下陷監測井，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，每個月中旬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。

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 4.23 所示，從 88 年 7 月至 93 年 10 月之 5 年 4 個月期間。安平 18-19 號碼頭區地表下 0 m～200 m 間之沉陷總量約為 7.7 公分，而其中 0～56 m 之沉陷量約為 6.7 公分，約佔總沉陷量之 87%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。

安平港測站自 94 年起因儀器故障，量測資料不穩定故中斷分析，但因量測工作持續進行中，今年(108)將 94 年-108 年資料以內插法及部分修正，整理如圖 4.24 所示，僅供參考。

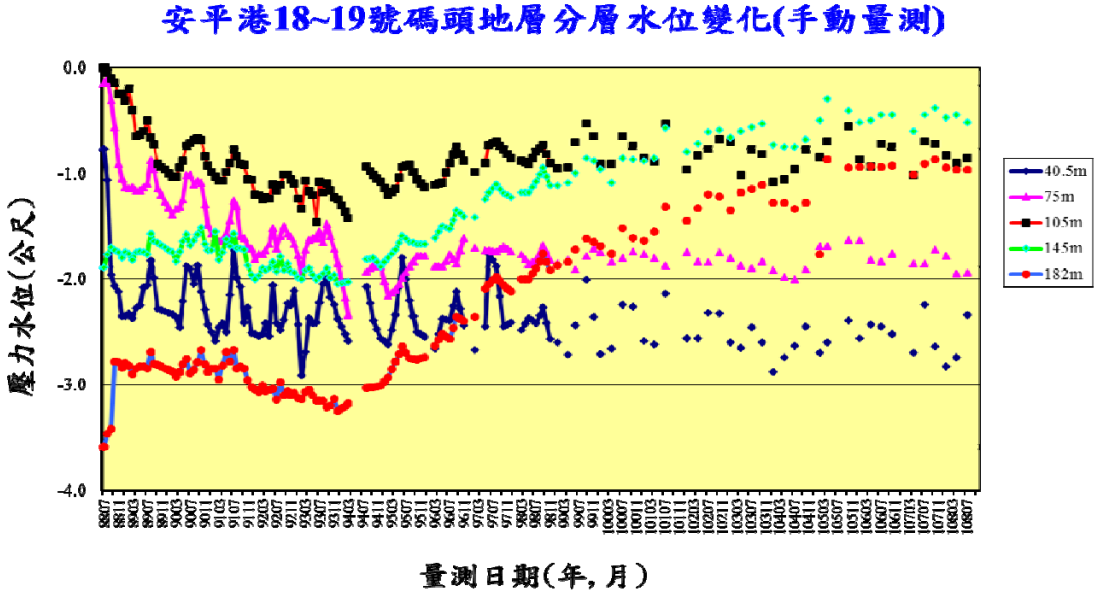


圖 4.22 安平港分層水位變化圖(8807～10807 手動量測)

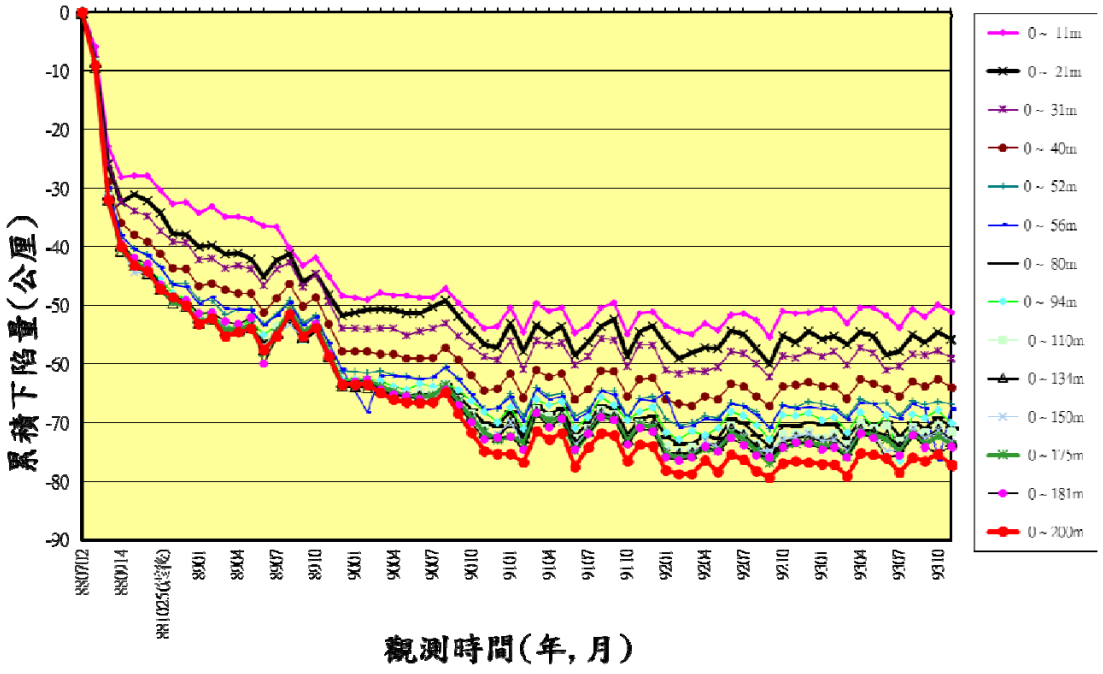


圖 4.23 安平港地層分層下陷觀測圖(8807～9310 手動量測)

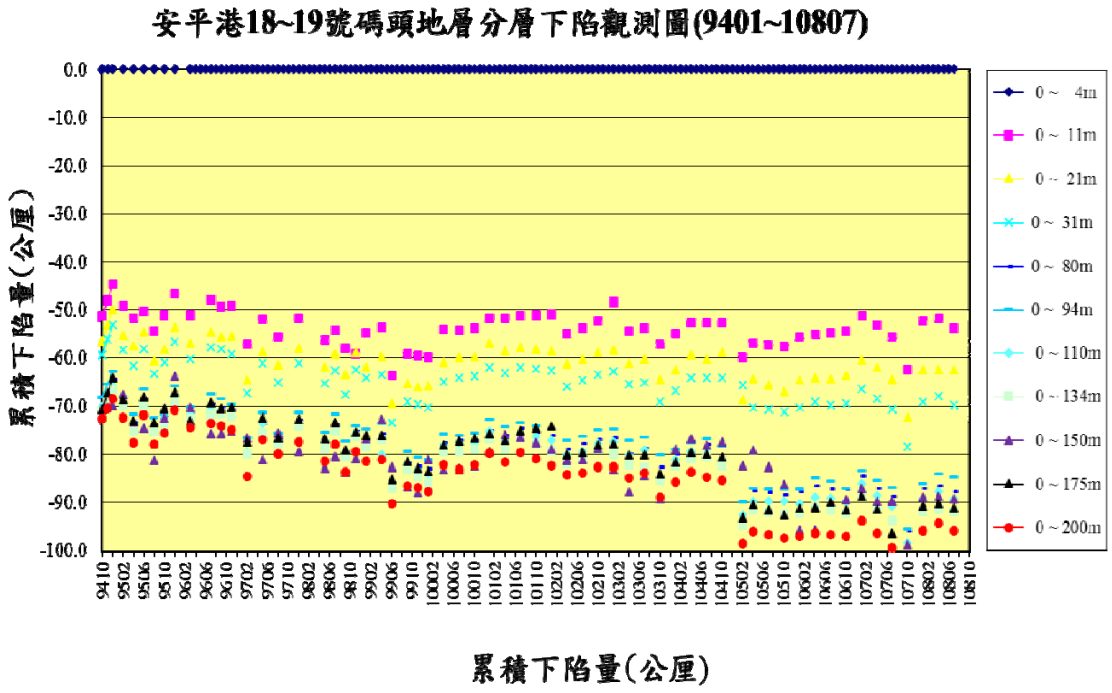


圖 4.24 安平港地層分層下陷觀測圖(9410～10807 手動量測)

第五章 結論與建議

臺灣重要的運輸網絡、運輸工程與經濟貿易大都建設發展在西部地區，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，高鐵自通車以後也因為超抽地下水造成彰雲地區高鐵沿線地層下陷，水利署 107 年度地層下陷檢測資料，更顯示雲林地區地層下陷高達 6.6 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；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。期望藉由長期監測、分析及震後快速發佈災情研判結果，能提供各港務分公司，以維護港區人車、各項設施安全之參考依據。

本(108)年研究主要工作重點是港區地震速報系統功能擴充與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擴充的成果，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。

5.1 結論

本(108)年研究進行港區地震速報系統功能擴充與精進及港區地層下陷監測分析，綜合結果如下：

1. 臺中港地震監測站內 200m 水壓監測站之自動化監測，經檢查 CH2

及 CH5 深度為 145M 及 29M 電子式水壓計損壞，更換 2 支水壓計，並將 5 孔水壓計電纜線拉線至觀測箱自動化主機(CR1000)內，自動化監測量測周期為每 1 小時記錄一筆。

2. 臺中港地震監測站冷氣，由於煤灰污染造成冷氣壓縮機啟動器故障及冷煤量不足，已於 108 年 09 月進行修護，並補充冷煤。

3. 布袋港 300M 及臺中港 200M 沉陷監測井，以壓力水柱沖洗將管內沉澱物及汙水排除，以利後續監測工作能順利進行。臺中港監測井孔內水有異味且有較多細沙及汙泥，研判可能為監測站淹水時有汙水滲入監測孔所致。

4. 蘇澳港井下地震及動態水壓即時監測電腦無法開機故障，經更換電源供應器，目前已可正常開機運作，另高雄港監測站電腦螢幕故障無法顯示，將俟本所電腦螢幕辦理報廢時，再考慮更換。

5. 安平港監測站不斷電系統(UPS)故障，間接影響資料儲存安全，為確保監測及傳輸工作能正常運作，已於 108 年 11 月進行 UPS 汰舊換新工作。

6. 布袋港 400m 永久水準監測站，進行位移計量測數值為 60mm，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；布袋港 300m 自動水壓監測站，更換充電電瓶 10 顆及安裝太陽能充電控制器 2 顆

7. 布袋港 200m 自動水壓監測站， CH1 及 CH3 自動化量測值分別為 -0.3M 及-19.75M，實際水位值分別為-2.53M、-22.73M 量測數據與實際水位值不符，其餘水位值正常，經重新律定，但其數據穩定性差，待觀測一段時間，於適當時機更換水壓計。

8. 今(108)年速報系統進行功能擴充，分別於基隆港及花蓮港，各增設一組地震儀(CV374A)監測系統，並增加保護殼防止碰撞，確保地震速報系統之通報資訊正確。

9. 依水利署資料顯示，民國 80 年至 106 年之量測資料比較分析，嘉義地區 26 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 108 年 200 m 之沉陷總量約為 69.8 公分，300 m 之累積總沉陷量約 86.8 公分，顯示布袋港 20 幾年來，總下陷量也在 60 公分以上。

10. 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 為第 2 層，105 m 及 131 m 為第 3 層，143 m、178 m 為第 4 層。由水位變化現象顯示，第 1、2 層水位變化較小，較無超抽地下水現象，第 3、4 層地下水位低且變化極大，超抽地下水現象明顯。另地層下陷自 86 年 2 月至 108 年 7 月止，總累積沉陷量約為 69.8 公分，其中 66～85m 沉陷量約 8.1 公分，佔總沉陷量約 12%，而壓縮量較大之地層為 140～200 m 之沉陷量約 34.1 公分，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。

11. 布袋港 300m 地層下陷，自 89 年 10 月～108 年 6 月止，共 18 年 8 個月之累積總沉陷量約 92.9 公分，近 5 年(103 至 108)總沉陷量約 14 公分，大致而言，布袋港區近年來地層下陷有趨緩現象。

12. 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 108 年 6 月止，共 15 年 9 個月期間之總累積下陷量約為 46 公分，近 2 年多(106 年 1 月至 108 年 6 月)總沉陷量約 5.9 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。

13. 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 108 年 7 月止累積總沉陷量約為 6 公分。

14. 大鵬灣 200m 地層下陷，87 年 3 月至 108 年 7 月止，共 21 年 4 個月期間，地表下 4 m 至 189 m 間之沉陷總量約 14.7 公分，而從地表至 51.3 m 之沉陷量約為 10.5 公分，佔總沉陷量約 71%以上，由此量測

資料顯示，大鵬灣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，另今年 8 月召開內部研究會議，參與同仁熱烈討論，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依據。
2. 港區地震即時災況速報系統附掛於本所港區環境資訊網，可作為救災決策應用參考。
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. 於國內期刊，發表成果論文 1 篇。
5. 於基隆、花蓮兩港新增 CV374A(三向度網路型地表地震儀)各 1 套，提升地震發布簡訊穩定度。

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，可於災後將相關評估訊息以簡訊傳至港務分公司維修人員作為防救災決策之參考。
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 31 of pore water pressure buildup and liquefaction of sands during earthquake by the cyclic strain method,” *NBS Builing Science Series 138, National Bureau of Standards*, Gaithersburg, Marylan d, 150 pp.
3. Elgamal, A., Yang, Z., Lu, J. (2006).“Cyclic1D: A Computer Program for Seismic Ground Response,” Report No. SSRP-06/05, Department of Structural Engineering, University of California, San Diego.
4. Ishihara, K., Yasuda, S., and Nagase,H., (1996), Soil characteristics and ground damage, Special Issue of Soils and Foundations, pp.109-118
5. Nagase, H., and Ishihara, K., (1988), "Liquefaction-induced compation and settlement of sand during earthquakes, "Soils and Foundations, Vol.28, No.1, pp.66-76.
6. Schnabel PB, Lysmer J, Seed HB.SHAKE:a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Center;1972. UCB/EERC-72/12,p.102.
7. 經濟部水利署地層下陷防治資訊網。
8. 水利處，「臺南地區地盤下陷檢測成果報告」，1995。
9. 水利處，「嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告」，1996。
10. 水利處，「屏東縣沿海地區地盤下陷檢測報告」，1997。
11. 交通部運輸研究所，「港灣構造物設計基準修訂」，2005 年 2 月。

12.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。

13.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報告，民國 83 年。

14.徐鐵良，「地質與工程」，科技圖書，民國 75 年。

15.屏東縣政府，「大鵬灣風景特定區整體發展規劃設計」，1997。

16.高雄港務局，「安平港商港區地質鑽探工程報告書」，(1970-1998)。

17.陳志芳，謝明志，「港區地震與地層下陷監測之研究(2/2)」，交通部運輸研究所報告，2015。

18.經濟部水利署(2014)，「103 年度多元化監測及整合技術應用於宜蘭、嘉義、台南及屏東地區地層下陷監測」。

19.港灣研究中心，「臺中港 1～4A 碼頭 921 地震液化災損初步調查研究」，港灣研究中心專刊 172 號，1999。

20.經濟部中央地質調查所特刊第 17 號，「臺灣西南部的活動斷層」，民國 96 年 3 月。

21.經濟部中央地質調查所特刊第 23 號，「臺灣東部與南部的活動斷層」，民國 98 年 12 月。

22.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，第 1-24 頁，2003。

23.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」，交通部運輸研究所報告，2000。

24.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報告報告，1998。

25.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報告報告，1994。

26.陳志芳，謝明志，「106 地震監測速報及地層下陷量測分析」，交通部運輸研究所報告，2017。

27.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)」，交通部運輸研究所報告，2016。

28.陳志芳，謝明志，「港區地震監測及地層下陷調查分析研究」，交通部運輸研究所報告，2018。

29.賴聖耀、謝明志，「台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報告報告，1996。

30.謝明志、陳志芳，「港灣地層下陷監測之研究(1/2)」，交通部運輸研究所報告，2010。

31.陳志芳、謝明志，「102 港區地震與地層下陷監測之研究，交通部運輸研究所報告，2013。

32.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」，交通部運輸研究所報告，2015。

附錄一

期末報告簡報資料

108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：108.1.1~108.12.31

簡報流程

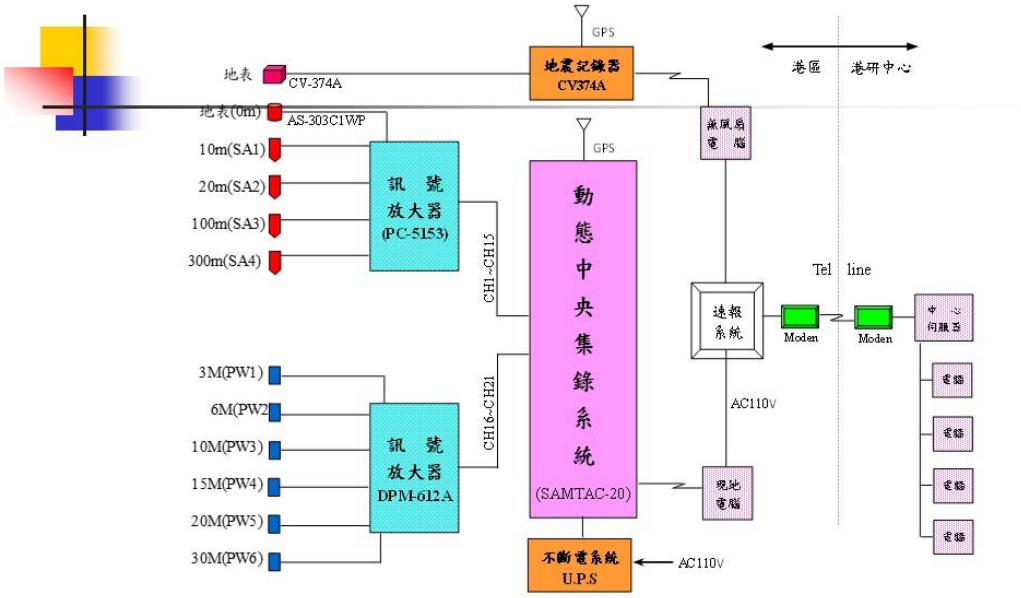
- 一、計畫緣起
- 二、地震速報規劃
- 三、地震監測
- 四、地層下陷監測
- 五、地震即時監測系統維護及速報功能擴充
- 六、結論與建議

一、計畫緣起

- 由於強烈地震作用後震波經過軟弱覆土層的振幅放大，產生之土壤液化或沉陷，造成港灣地區碼頭結構物因基礎失去承載力而破壞。
- 臺灣西南沿海等港灣地區，由於地下水大量開發，超抽地下水引致之地層下陷問題，是沿海地區普遍現象。
- 爰此，港研中心自86年起於各港區設置地震與地層下陷監測站，並進行長期監測及碼頭耐震評估，以維護港區各項工程設施安全。
- 另自89年起於各港區設置港區震災後速報系統，於震後快速發佈災情研判結果，並提供港務相關單位防救災決策應用。

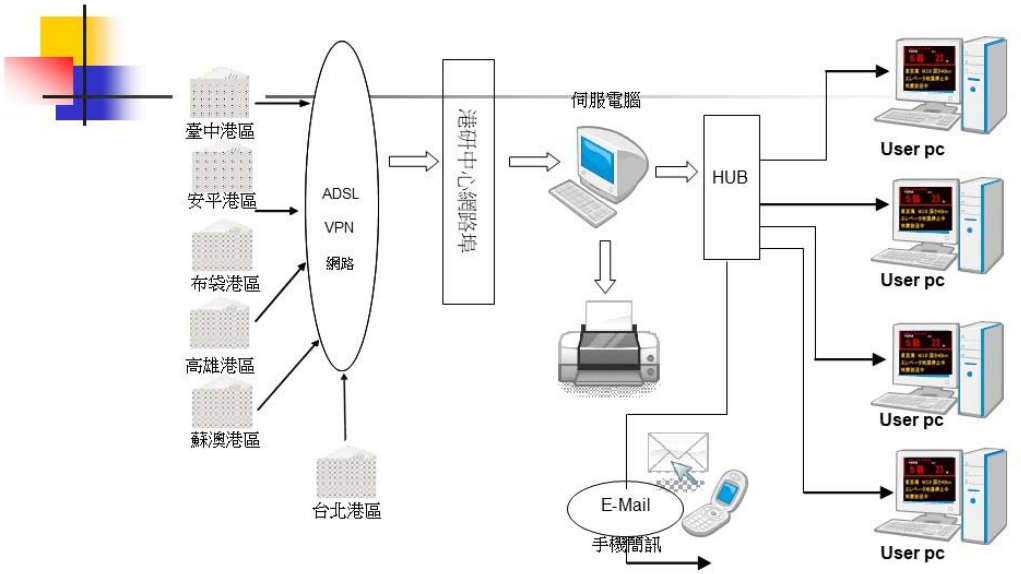
二、地震速報規劃(1/6)

二、地震速報規劃(2/6)



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)

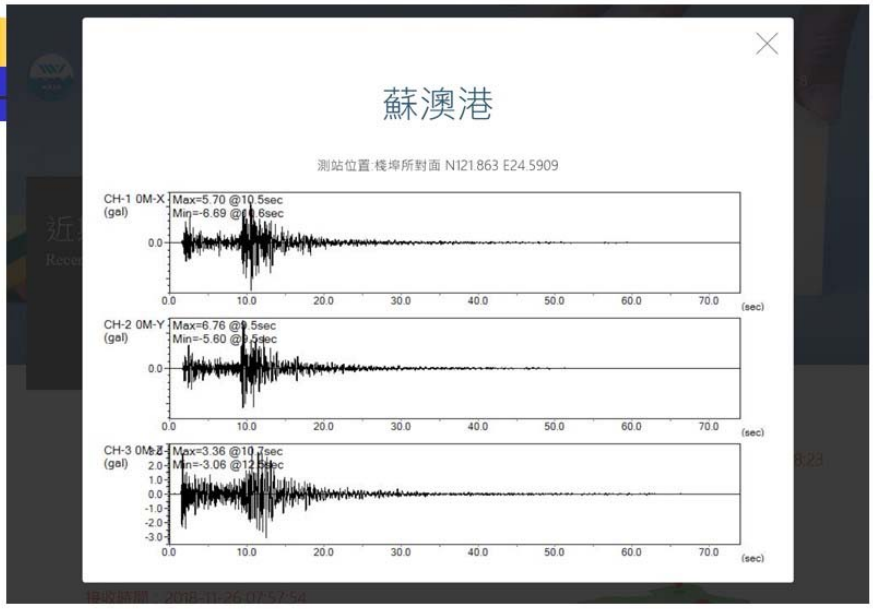


港區地震災況速報系統儀器配置示意圖

二、地震速報規劃(4/6)

◆ 系統目前附掛於本所港研中心港區環境資訊網，作為各單位救災應用參考

二、地震速報規劃(5/6)



蘇澳港區近期地震三向度資料畫面

二、地震速報規劃(6/6)

蘇澳港區歷史地震三向度資料畫面

三、地震監測(1/6)

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(2/6)

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

三、地震監測(3/6)

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，再同時儲存到工地工業級無風扇小型電腦
- ◆ 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中心或各港務管理單位作為災後檢修之參考，縮短救災時間並減少災損。

三、地震監測(4/6)

港區地震監測站

◆101年於花蓮港與基隆港兩地新增建置三向度網路型地表地震監測速報系統，因場地有限，僅將地表地震計CV374安裝於港區自由場之室外保護箱內(如表3-2)

表3-2 基隆與花蓮港地表地震計位置

編號	測站	設置位置	經緯度(度)	儀器	備註
1	基隆港	西案貨櫃儲運場 北櫃場機車棚邊	25° 8'50.50" 121°44'52.45"	加速度計	CV374
2	花蓮港	港務大樓前花圃	23°58'48.65" 121°37'12.44"	加速度計	CV374

三、地震監測(5/6)

基隆港地震速報監測站圖

三、地震監測(6/6)

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、大鵬灣等港區各設置200m至300m深地層下陷及靜態水壓監測站，採手動方式以無線電波感應式層別沉陷儀，定期量測分層沉陷(如圖1-圖5)。
- 平時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：

圖1布袋300m分層沉陷量測(以無線電波感應式層別沉陷儀)

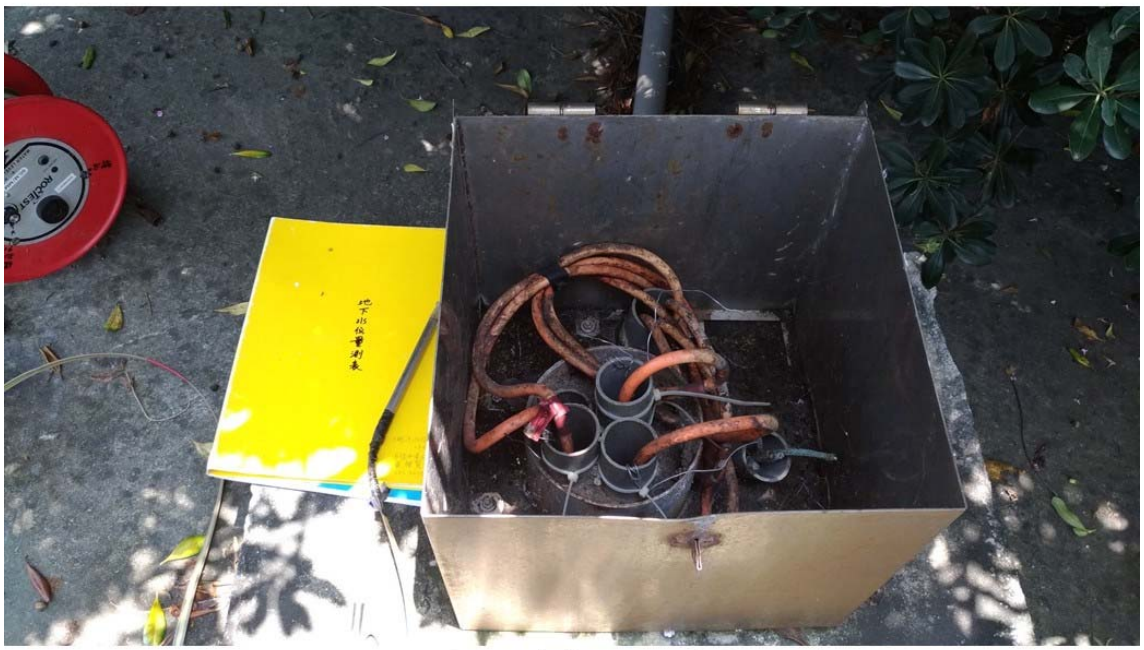


圖 2 布袋200m水位量測

四、地層下陷監測

圖 3沉陷儀保養工作

四、地層下陷監測

圖 4沉陷尺保養工作

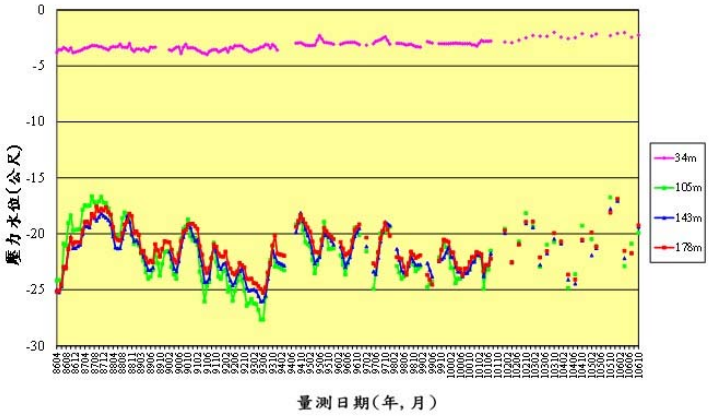
四、地層下陷監測

圖5 布袋地震監測站太陽能板

四、地層下陷監測

布袋港200m分層水位變化 (1/10)

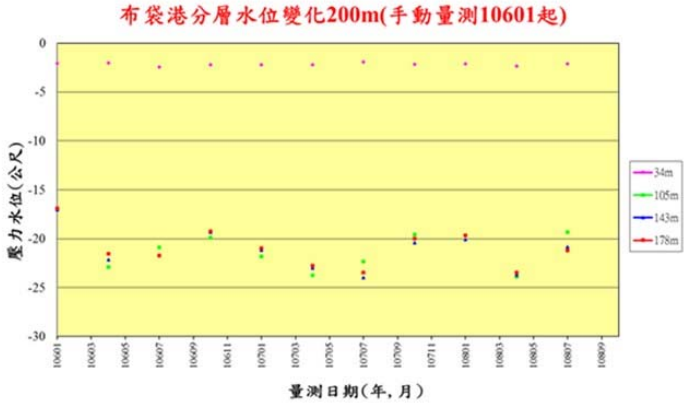
- 於105 m處之水位變化最大，最高水位-16.7 m，最低水位-27.67m，降雨量較少時，水位明顯降低



(86/04-106/10手動量測)

四、地層下陷監測

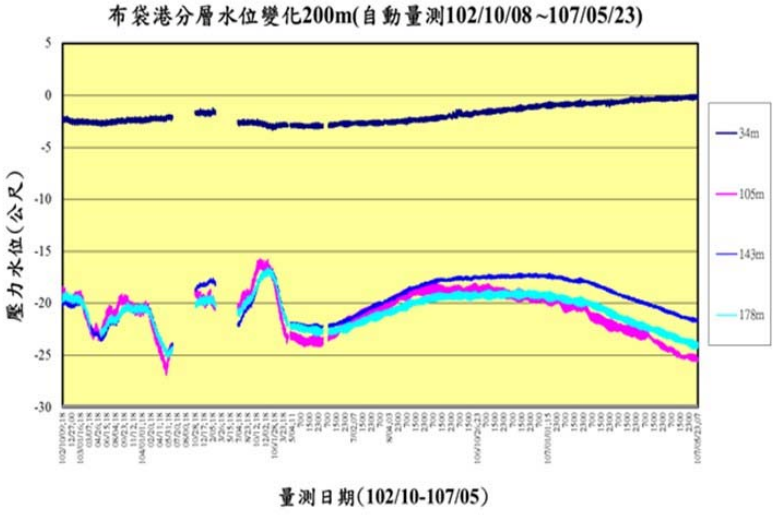
布袋港200m分層水位變化 (2/10)



(106/01-108/07手動量測)

四、地層下陷監測

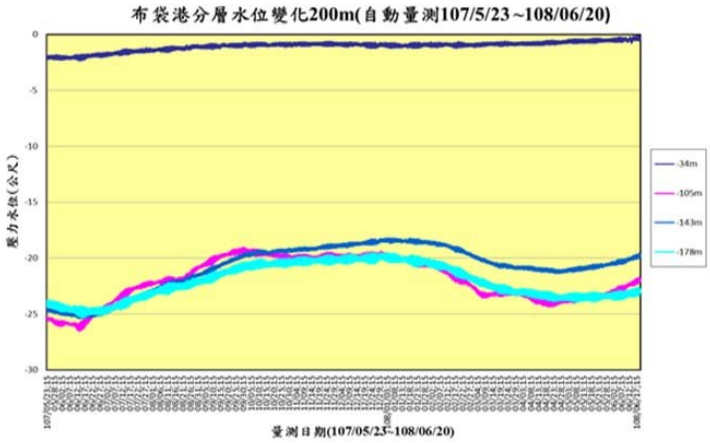
布袋港200m分層水位變化(自動量測) (3/10)



四、地層下陷監測

布袋港200m分層水位變化(自動量測)(4/10)

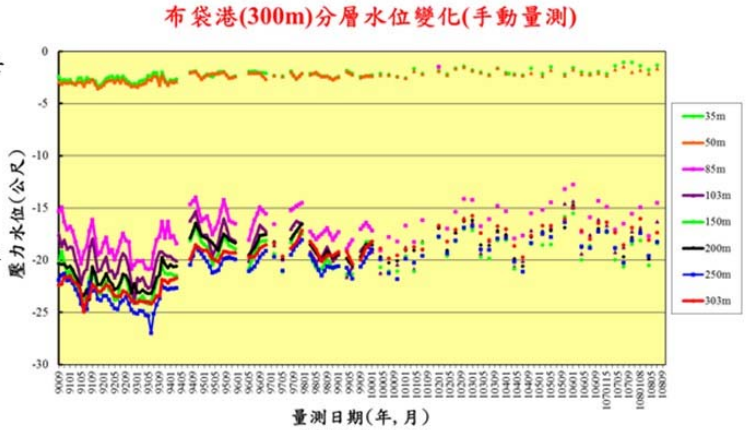
- 34 m水位變化較小與手動量測結果相同，較無超抽地下水現象，105 m處，最高水位約-16 m，最低水位約-26m與手動量測值相近。
- 105 m、143 m及178 m地下水位低且變化極大，超抽地下水現象較明顯。



四、地層下陷監測

布袋港分層水位變化300m(5/10)

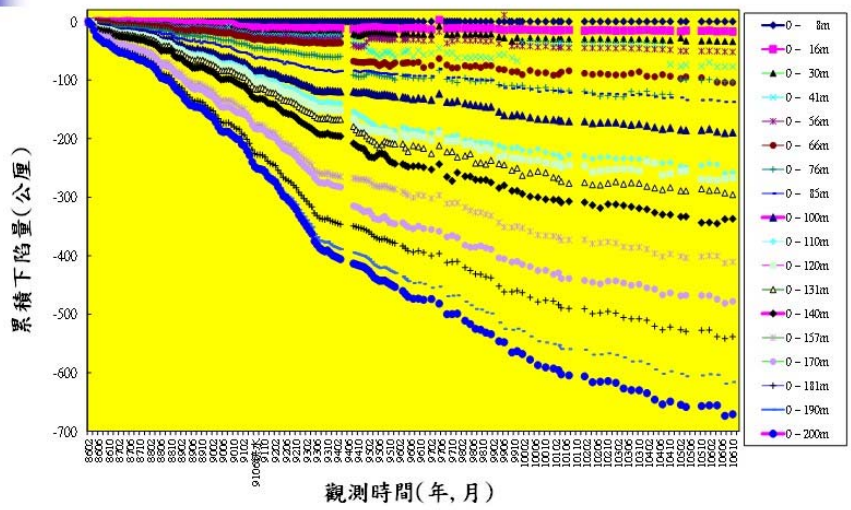
- 100公尺及300公尺，每孔埋設四支水壓計
- 35及50m之水位介於-1.1～-3.5m之間，屬淺層水位。
- 其他深度水壓計之水位介於-13～-27m之間，屬深層水位。



90/9-108/7

四、地層下陷監測

布袋港(200m)地層分層下陷圖(6/10)

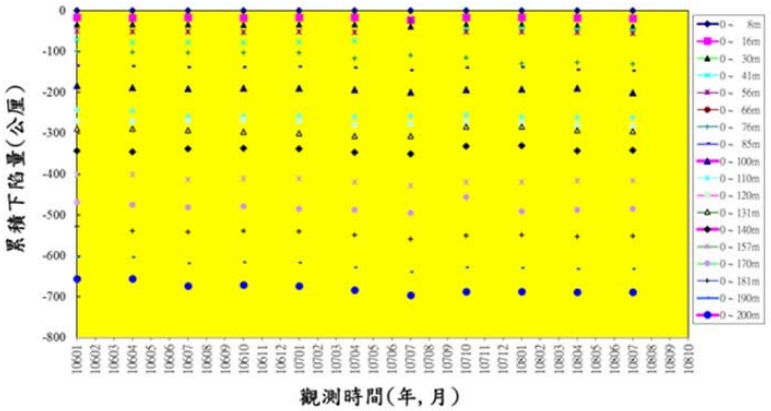


86/2~106/11

四、地層下陷監測

布袋港(200m)地層分層下陷圖(7/10)

- 86年2月~108年8月止22年6月，總累積沉陷量69.8公分。
- 其中-140m~-200m之沉陷量34.1公分，佔總沉陷量約一半。
- 顯示布袋港屬於深層沉陷

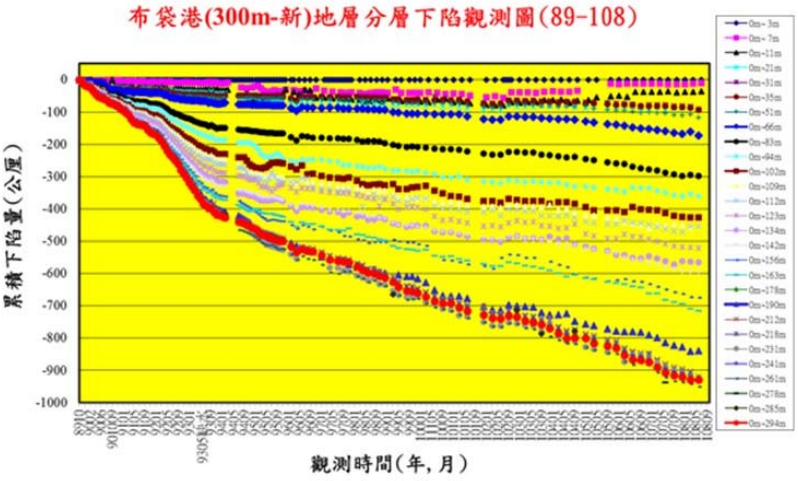


106/01~108年8月

四、地層下陷監測

布袋港(300m)地層分層下陷圖(8/10)

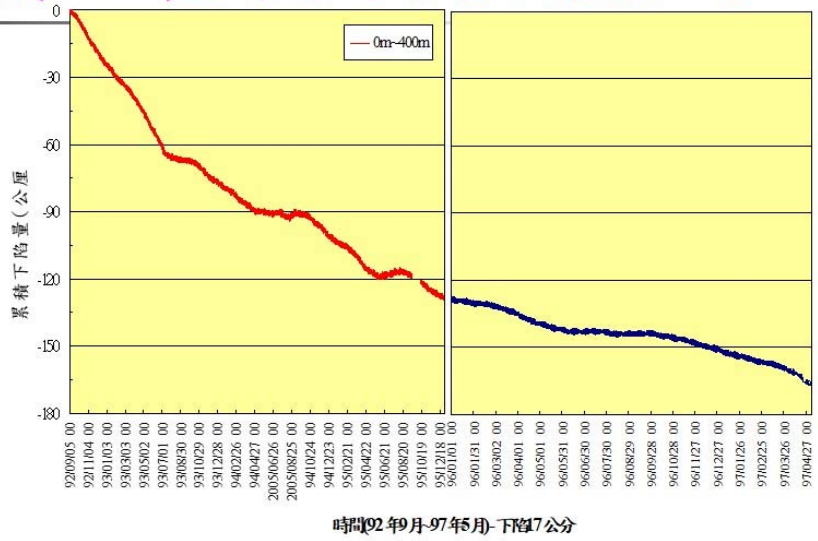
- 89年10月~108年8月止，將近19年總累積沉陷量約92.9cm
- 近5年103~108總累積沉陷量約15.4cm
- 66～190m之累積沉陷量約為66.6公分，與200m監測井監測(約60.3cm)結果比較，總沉陷量較大一些



四、地層下陷監測

布袋港(400m)水準基站累積下陷圖(9/10)

- 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

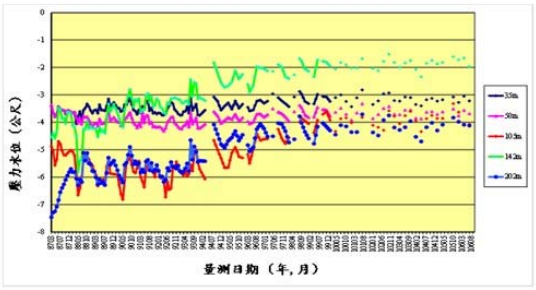
布袋港(400m)水準基站累積下陷圖(10/10)

- 98年~108年下陷約28.95cm。
- 92年9月~108年6月累積下陷量約為45.95cm。

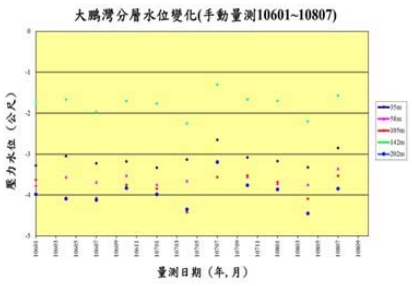
四、地層下陷監測

大鵬灣分層水位變化圖(1/3)

- 97年1月至108年7月，各分層水位約於-1.3～-4.8，變化不大，較無超抽地下水現象



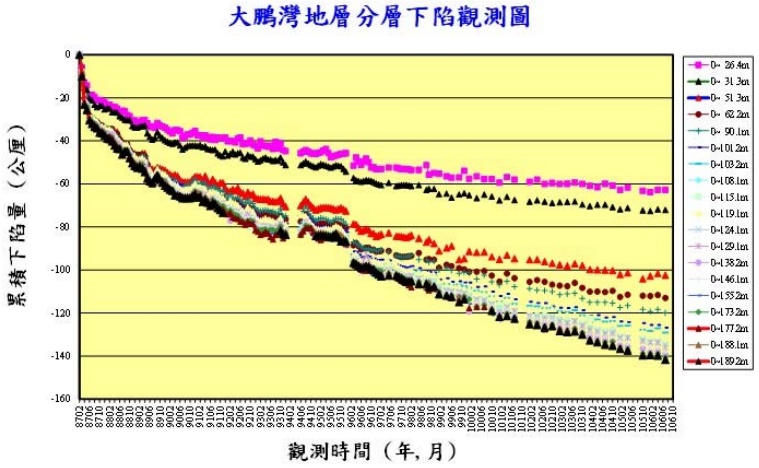
87-106年



106-108年7月

四、地層下陷監測

大鵬灣200m地層分層下陷圖(2/3)

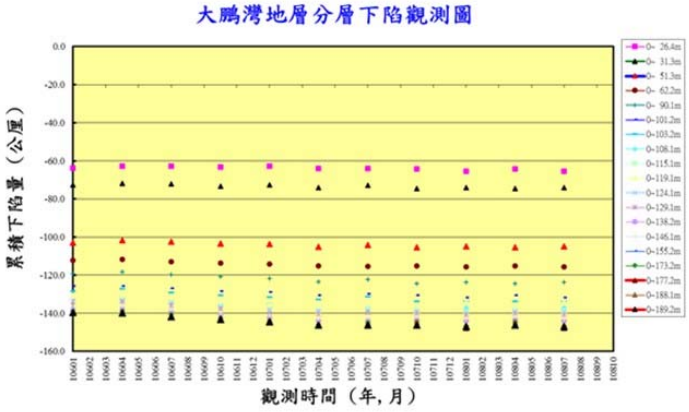


(87～106年)

四、地層下陷監測

大鵬灣地層分層下陷圖(3/3)

- 87年3月~108年7月止21年4個月，總累積沉陷量14.7公分。
- 從地表至51.3 m之沉陷量約為10.5公分，佔總沉陷量約71%以上，由此量測資料顯示，屬於淺層沉陷。

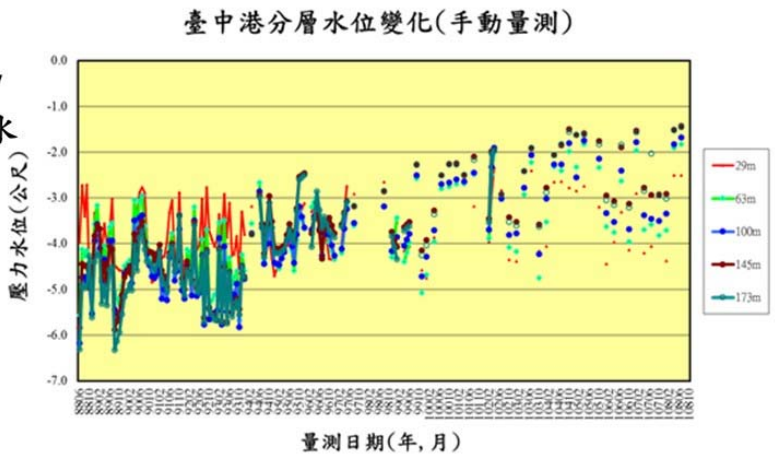


(106年01月～108年07月)

四、地層下陷監測

臺中港分層水位變化(1/2)

- 100年7月至108年7月，近8年各分層水位呈現上下變動現象，約於-1.4～-4.5m之間。

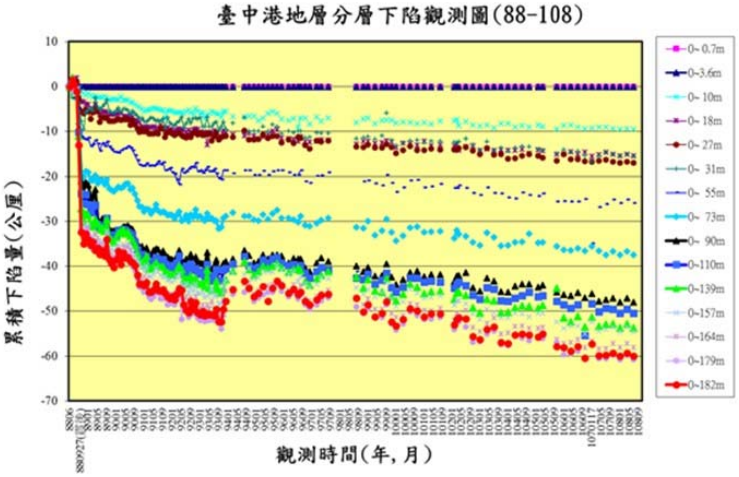


(88-108年)

四、地層下陷監測

臺中港200m地層分層下陷圖(2/2)

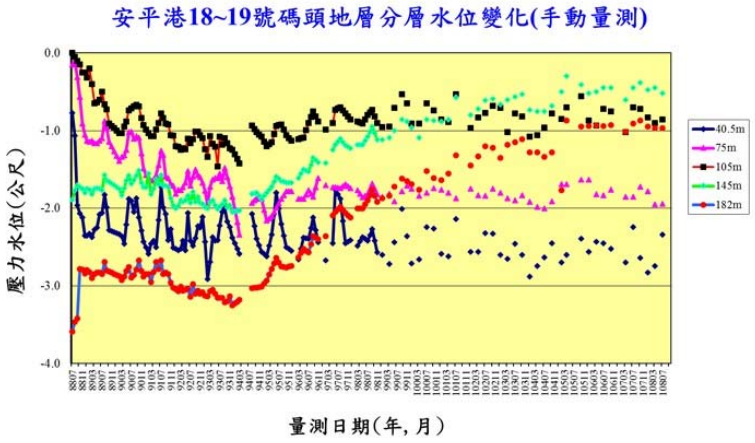
- 88年6月~108年7月約20年，總累積沉陷量約6公分。
- 其中自0m~90 m深之沉陷量約4.7公分，佔總沉陷量約78%以上。



四、地層下陷監測

安平港分層水位變化(1/2)

- 安平港96-108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。

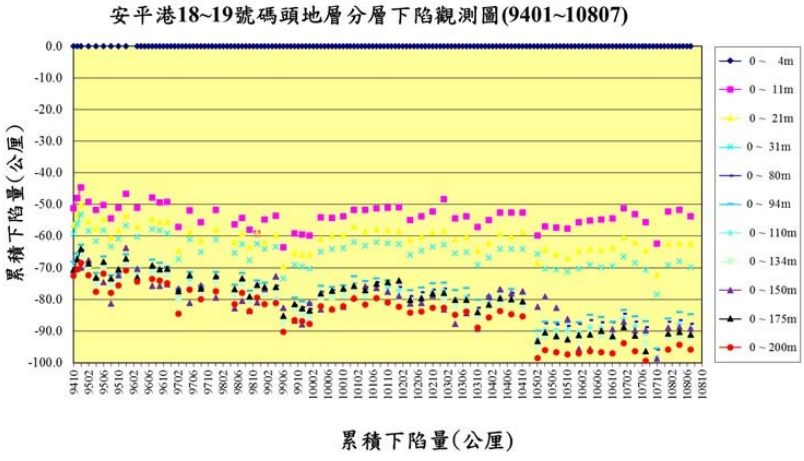


(8807～10807年)

四、地層下陷監測

安平港200m地層分層下陷圖(2/2)

- 初期因量測資料不穩定故中斷分析，今年(108)將94年至108年資料以內插法及部分修正，進行分析。
- 從88年7月至108年7月期間，總累積沉陷量約9.8公分。



五、地震監測站維護及速報系統擴充

地震監測站維護(1/3)

◆ 各港地震監測站維護**7站**(蘇澳、臺北、臺中港#26碼頭、臺中火力電廠、布袋、安平、高雄):

- 不定期保養工作—
  臨時發生故障，於三日內前往維修。
- 定期保養工作—
  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。
- 監測站電力維護—
  臺中港**#26**碼頭、臺中火力電廠及安平港等**3**個地震監測站之電源維護與繳交各站**12**個月之用電費
- 即時網頁及速報系統維護：
  中心各港井下地震站即時網頁與手機簡訊之維護

五、地震監測站維護及速報系統擴充

地震監測站維護(2/3)

- 地表地震儀檢修**(CV-111**型**)**—
  設置於花蓮港、臺北港、港研中心、高雄港等港區共4台。檢修保養項目為儀器維護保養、功能維護、軟體更新與地震資料下載等項目。
- 插入式孔隙水壓計**(**含原廠纜線**)**—
  2支孔隙水壓計需含原廠纜線25公尺長。
- 防毒軟體安裝—
  各地震站防毒軟體(Kaspersky)更新，軟體3套5設備2年期，採用2019年新版，更新安裝於各港井下地震站(7站)及網路型地表地震系統(8站)之工業級電腦共15台。
- 監測站儀器箱與圍籬油漆—
  臺中火力電廠之木製圍籬修復及刷油漆。
- 充電電瓶—
  安裝於布袋港地震及動態水壓監測站新電瓶**10**個

五、地震監測站維護及速報系統擴充

地震監測站維護(3/3)

- 太陽能充電控制器—
  安裝2台太陽能充電控制器於布袋港井下地震監測站。
- 地層下陷井洗孔—
  以壓力水柱沖洗布袋港300m、臺中港200m沉陷監測井。
- 水壓監測站維修—
  臺中港200m水壓監測井安裝水壓記錄器。
- 布袋港準基站與自動水壓監測站維護與資料擷取—
  布袋港400m水準基站與200m自動水壓監測站，儀器維護保養與環境整理，另資料擷取為全 年度的監測資料下載。
- 三向度網路型地表地震儀維護(含系統及**ADSL**月租費)-
  8測站之三向度網路型地表地震監測系統維護與繳交各站**ADSL**月租費。

五、地震監測站維護及速報系統擴充

地震速報系統擴充(1/2)

◆速報系統中心已於臺北、臺中、安平、高雄、蘇澳、基隆及花蓮港區共設置8站，因花蓮及基隆兩站偶有儀器遭遇外力碰撞或誤觸，發生誤報情形。

◆108年針對基隆、花蓮港兩站之系統辦理功能擴充建置，減少往後誤報之情形發生，安裝及測試簡述如下:

- 增設兩台三向度網路型地表地震計**(Network Sensor)**，安裝於基隆港及花蓮港各一台。
- 新地震計與原來的地震計連線至電腦並測試功能正常。

五、地震監測站維護及速報系統擴充

地震速報系統擴充(2/2)

- 地震計安裝完成後，並安裝**#304**不銹鋼保護箱於儀器上。

- 即時簡訊及速報軟體修改：
  (1)移除既有之EMAS系統，重新安裝匹配新設之EMAS系統軟體。
  (2)完成更新EMAS軟體至符合舊有3CH增加至6CH功能，並啟動測試成功。
  (3)完成震災分級發送速報簡訊與測試功能。

六、結論與建議

- 本(108)年研究計畫，綜合結果如下：
- 台中港地震監測站內200m水壓監測站之自動化監測，經檢查CH2及CH5深度為145M及29M電子式水壓計損壞，更換2支水壓計，並將5孔水壓計電纜線拉線至觀測箱自動化主機(CR1000)內，可自動化監測量測。
- 布袋港300M及台中港200M沉陷監測井，以壓力水柱沖洗將管內沉澱物及汙水排除，以利後續監測工作能順利進行。
- 蘇澳港井下地震及動態水壓即時監測電腦，8月維護時無法開機故障，經更換電源供應器，目前已可正常開機運作。

六、結論與建議

- 安平港監測站不斷電系統(UPS)故障，間接影響資料儲存安全，為確保監測及傳輸工作能正常運作，已於108年11月進行UPS汰舊換新工作。
- 布袋港 400m 永久水準監測站，量測頂端已快接近保護蓋，預計明年需更換保護蓋；另300m自動水壓監測站，更換充電電瓶10顆及安裝太陽能充電控制器2顆。
- 今(108)年速報系統進行功能擴充，分別於基隆港及花蓮港，各增設一組地震儀(CV374A)監測系統，並增加保護殼防止碰撞，確保地震速報系統之通報資訊正確。

六、結論與建議

- 布袋港地層下陷自86年2月至108年7月止，總累積沉陷量約為69.8公分，而其中140～200 m之沉陷量34.1公分，佔總沉陷量約一半，顯示布袋港之沉陷屬於深層沉陷。
- 布袋港300m地層下陷，自89年10月～108年6月止，共18年8個月之累積總沉陷量約86.8公分，近5年(103至108)總沉陷量約14公分，大致而言，近年來地層下陷有趨緩現象。

六、結論與建議

- 台中港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，自88年6月至108年7月止累積總沉陷量約為6公分。
- 大鵬灣200m地層下陷，87年3月至108年7月止，共21年4個月期間，地表下4 m至189 m間之沉陷總量約14.7公分，而從地表至51.3 m之沉陷量約為10.5公分，佔總沉陷量約71%以上，顯示屬於淺層沉陷。

六、結論與建議

- 108年除了實施港區地層下陷量測工作外，各港地震監測站亦維持正常運作，當地震發生時，速報系統將地震資料自動傳回港研中心伺服器儲存並發布簡訊資料，最後展示於港研中心之港灣環境資料網站。
- 本研究為長期性的監測工作，不只可長期觀察各港沉陷總量變化，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，可提供長期的數據，值得持續研究，另今年8月召開港研中心內部研究會議，參與同仁熱烈討論，並提供寶貴研究意見，亦值得持續辦理。

未來工作重點

- 持續量測各港區地層下陷及地下水位，並進行資料建檔彙整與分析。
- 持續監測港區地震資料與監測站維護工作。
- 持續精進港區震後即時災況速報系統。
- 建立完整的交接工作清單與有系統的教育訓練。

簡報完畢

敬請指正

附錄二

期末審查意見及辦理情形說

交通部運輸研究所合作研究計畫
期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：108 年港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析研究

計畫編號：MOTC-IOT-108-H1DA001d

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. 本研究計畫成果實用價值可提供各港務公司參考，應持續進行；但部份地震儀器、水壓計等，需維護更新及保養，故應寬列費用。	感謝委員支持
2. 中文摘要，第 2 行壓密固結，”固結”請刪除，英文摘要也請更新。	遵照辦理
3. 應增加地震紀錄及動態水壓紀錄。	將於明年度增加地震紀錄及動態水壓紀錄資料。
4. 結論與建議應重新撰寫，分港區震災速報系統維護及地層下陷調查分析；另第 15 點不能當結論。。	結論與建議將重新撰寫，並刪除結論第 15 點。
5. p.1-2 第 8 行，"港區地層下陷量測與分析"，請改為"港區地層下陷量測後，加以分析"。	遵照辦理
6. p.2-1 是否有裝設地層之傾斜變位監測。	本計畫於各港均未裝設地層之傾斜變位監測。
7. p.2-3 圖 2.1 不是流程圖。	已改為港區地震監測系統規劃。
8. p.2-4 倒數第 6 行，cable 應改為中文電纜線。	遵照辦理
9. p.3-17 X、Y、V 請修改為 X、Y、Z 。	遵照辦理
10. p.4-2 當此時地下水位上升造成沉積物回復……，應繼續說明。	已修改"沉積物回復"為"沉積物骨架回復"。
11. p.4-3 U(t):平均壓密度，定義如式，請改為(4-3)。	遵照辦理

12. p.4-7 "2.5 英吋"請修正為公制。	修改"2.5 英吋"為"2.5 公分"。
13. p.4-8 圖 4.3 朋脫土與文中皂土應統一。	已將皂土改為朋脫土。
14. p.4-11 表 4-1 高程應增加單位。	遵照辦理
15. p.5-3 第 15 點不能為結論。	已刪除結論第 15 點。
16. 應增列國外與國內參考文獻。	遵照辦理
林佑任委員	
1. p.2-4 第一段地震計埋設方式是指一孔 1 個深度還是一孔有 4 個深度的地震計。	地震計埋設方式是指一孔有 1 個深度的地震計。
2. p.2-5 章節 2.2.2 有關系統資料擷取設定為 200Hz 是否太高，水壓計紀錄使用記憶體容量及資料數是否太多沒必要。	本計畫目前資料擷取頻率，水壓計紀錄使用記憶體容量及資料，皆可使各港系統正常運作。
3. p.3-2 有關 5.採用 CV374 型為三向度(指 XYZ)，而 4.未特別說明三向度，是否 CV111 型非三向度，那是測何方向?	CV111 型為較早期的壁掛式地震儀，亦為三向度量測。
4. p.3-4(3)臺中港 200m 水壓測站維護下面一段描述地震計是指採用可以同時監測水壓變化之 SENSOR 嗎?如果是，則是否所有地震及水壓測站均可使用既是地震測站也是水壓測站。	各港地震及水壓測站，皆可以同時監測地震及水壓變化。
5. 建議善用目前流行的微電腦來輔助監測，做為補遺或校正或減少誤報情形。	感謝委員建議
6. 就布袋港部分 200m 地下水位監測井有關位於 34m、105m、143m、178m 水壓計為開放式故採手動量測，但是中間還有 44m、68m、131m 非用手動量測，同一口井量測不同深度需靠黏土分層絕水，如何辦理手動量測而不破壞各分層絕水的朋脫土(如圖 4-3)。	地下水位開放式手動量測，於同一口井中有多支管子，辦理手動量測時，並不會破壞各分層絕水的朋脫土。
7. p.4-7 有關 4.2.2 開放式水壓計第 2.點有	開放式水壓計完成保護措施是

關完成保護措施是指完成什麼保護?使用水位指示器先量測後再去安裝電子式的目的為何?電子式水壓計安裝於水頭水位下 10m 所指位置為何?	指孔壁保護，水位指示器主要是量測水頭高程。
8. 圖 4.7 很重要，請用一整頁來放大表示。	圖 4.7 已調整放大
9. p.4-15 有關降雨量較少時,水位明顯降低及旱季時水位相對較低的描述，對照圖 4.8a、 b 、c 、d 可發現水位較低時間多於 5~7 月間，但根據臺灣分區季節雨量的氣候特徵 5 至 6 月的梅雨在臺灣西半部是僅次於夏季的重要雨量來源,而 7 月屬颱風季節,更是台灣西南部降雨量占比最高季節屬豐水期並非旱季，建議可能需再進一步分析低水位之原因，還是有遞延效應。	遵照辦理，未來將探討低水位造成之原因。
10. p.4-15 圖 4.8,雖然第二含水層水位之變動幅度未如第 3 及第 4 含水層水位劇烈，然其變動幅度仍然明顯，由於較接近地表有可能因地表水之補注速度較快造成變動幅度不如 3 或 4 層，因此第 2 層之超抽也可能很嚴重，不一定就能表示成"較無超抽地下水"	已修改 p.4-15 水位之變動幅度描述。
11. p.4-16 有關 200m 下陷測井第 4 層 140~200m 深範圍之沉陷量約佔總沉陷量一半，由於第 2 層有多層黏土層其累計厚度看起來不亞於第 4 層之黏土累計厚度，建議也分析一下第 2 層的沉陷量與佔比。尤其參照 300m 之測井其 66~83m 範圍類似 200m 井之第二層範圍其壓縮量較深層地層更大。	已於 p.4-16 補充分析第 2 層的沉陷量與佔比。
12. 布袋港 86 年就有資料，因此本研究除了明確觀察到 99 年甲仙地震的影響，建議可以再分析之前 921 地震的影響。	未來會考慮分析 921 地震對布袋港的影響。
13. 布袋港有監測井地質資料分析包含土壤	未來會收集各港地質分析資料

分類及 STP-N 之章節如 4.3.1.1，若屬圍填而來之新生地，建議將淺層區之回填完成之年代，也加以記錄說明。另其他港或地區，建議亦納入地質分析資料。	納入報告中。
14. 由本研究結果，臺中港是下陷最輕微之區域，而布袋港是下陷最嚴重，亦是下陷速度最快區域(約為臺中港的 10 倍)，且布袋港是深層超抽須特別注意長期下陷趨勢難以避免，其次是大鵬灣再其次是安平港。台中港與安平港同樣屬於淺層區下陷，台中港下陷甚微安平港下陷速度是臺中港的 2~3 倍。建議本研究可就所獲各不同區域之不同現象做比較與原因說明。	遵照辦理，未來會努力不同區域之不同現象之比較。
陳志芳委員	
1. 108 年度的工作是持續維護港區地震速報系統及下陷監測調查，還有在花蓮與基隆港區各完成增設一台三向度網路型地震儀，工作繁多且辛苦，資料豐富值得肯定。	感謝委員肯定
2. 臺中港在今年的地下水位井有更新 2 支電子水壓計及自動水壓紀錄器，也開始自動量測水位，建議在下個年度可以增加這部分的量測資料，以輔助手動量測的不足。	將於明年增加臺中港的自動水壓量測資料。
3. p.4-17 和 p.5-3 結論的部分，布袋港 400m 水準基站的自動記錄自 92 年 9 月至 108 年 6 月止，總累積下陷量為 46 公分，建議也增加敘述近年來的下陷量，可更清楚瞭解布袋港區下陷趨勢。	已於 p.4-17 和 p.5-3 結論，增加 106 年 1 月至 108 年 6 月止之下陷趨勢說明。
4. 地震速報系統災況評估，建議未來的計畫可藉著收集的強震地震資料，檢核碼頭安全性評估，並作為修正災況內容的參考。	未來會收集各港地震資料，作為修正災況內容的參考。
5. 目錄 2.1 地震監測系統規劃及 2.2 地震及	遵照辦理

動態孔隙水壓監測系統的右上角出現括號[ ]及數字，建議刪除。	
6. 表目錄「表 2.1~表 4.7」應改為「表 2-1~表 4-7」，需與內文的表一致。圖目錄「圖 3.18」與表目錄「表 3-1 和表 3-2」及結論中的大寫 M，建議改為 m。	遵照辦理
7. p.2-1 的 2.1 地震監測規劃~ p.2-7 之 2.2.3 節右上角皆出現括號[ ]及數字，建議刪除。	遵照辦理
8. p.3-1,3.1 節之第三行要刪除贅字。	遵照辦理
9. p.3-8,表 3-2 欄位中之「安裝深度」有重複，建議修正。	遵照辦理
10. p.5-1 及 p.5-3 結論之第 1 與第 13 點，「台中港」建議改為「臺中港」。	遵照辦理
11. p.5-4, 5.3研究成果之效益第5點,CV374修改為CV374A。	遵照辦理
臺灣港務公司	
1. 地震速報系統未來實務執行計畫為何？通知名單如何建立？分級？簡訊內容可否有更多資訊？可否與中央氣象局相關資料介接？	地震速報系統未來會持續精進通報功能，目前貴公司各港皆已建立通報名單，另本所建立之各港地震站，用途為針對各港設施維護及防災等建議作為之參考，與鄰近氣象局測站之紀錄有時差異很大，暫時無介接必要。
2. 未來建議進一步再分析深層、淺層沉陷之原因，尤其有大規模、大量之沉陷發生時，其原因探討更為要，另有部分分年之部分地層反而有上升之數值發生(如 p.4-32，0-182m 下限量於 94 年反而上升，是否合理，	目前本計畫每年工作內容，必需進行各港監測站維護及各地地層下陷量測，受制人力因素，尚無法再增加其他工作；另有部分地層反而有上升之數值發生，未來會探究其原因，

原因可能為何？	是否合理。
柯永彥委員(書面意見)	
1.雖然本研究非屬系統建置計畫，屬後續維護計畫，但報告內容仍對系統架構與內容有詳盡介紹，使報告具備完整性，然建議將儀器性能規格與相關設定(如集錄器解析度、取樣率、地震儀精度與頻率響應特性等)予以補充，以便未接觸先前建置情況之讀者，也能對系統之效能有所了解。	感謝委員肯定，遵照辦理。
2.圖 2.17-2.24 即時監測畫面，建議補充對應之地震事件相關資料(發生日期、規模、該地區震度等)，若能與氣象局鄰近測站(若站址特性與監測點位差異不大)之紀錄進行比對，將更有助於確認監測系統之運作是否正常。	未來會增加地震事件相關資料，另本計畫地震監測設置地點皆位於各港港區內，與鄰近氣象局測站之紀錄有時差異很大，未來會評估是否進行比對。
3. p.3-22 花蓮港速報系統功能擴充後，除了敲擊測試之外，目前是否已有真實地震事件的範例? 若有，建議補充相關成果。	各港速報系統，未來會補充相關地震資料。
4.請補充磁感式沉陷環之量測精度（後文提到鋼尺最小刻度為公厘，但此沉陷環是否能提供到公厘級精度?)	已於 p.4-16 補充沉陷環能提供到公厘級精度
5. p.4-10 地層下陷監測井之成果均以地表至特定深度之累積沉陷曲線表示，可考慮補充特定時間點之“地下不同深度沉陷貢獻分佈曲線” 圖形，將更能清楚呈現出不同深度土層對地層下陷之貢獻。	未來會考慮不同時間點，對於不同深度土層對地層下陷之貢獻
胡啟文委員(書面意見)	
1.安平港地層沉陷量測，會因儀器故障致量測資料不穩定，建議以遙測方式(如 InSAR)調閱過去衛星影像分析形變，並據以進行資料補遺及相關驗證工作。	將了解衛星影像分析，是否可進行資料補遺及相關驗證工作。