

99-92-7496

MOTC-IOT-98-H1DA002-1

港灣地層下陷監測之研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

99-92-7496

MOTC-IOT-98-H1DA002-1

港灣地層下陷監測之研究(1/2)

著 者：謝明志、陳志芳、羅建明

交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目資料

港灣地層下陷監測之研究. (1/2) / 謝明志, 陳志芳, 羅建明著. -- 初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所, 民 99. 05

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-02-3736-8 (平裝)

1. 港埠 2. 地震 3. 地層下陷 4. 環境監測
5. 監測系統

443.2029

99010143

港灣地層下陷監測之研究(1/2)

著者：謝明志、陳志芳、羅建明

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 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)26587176

出版年月：中華民國 99 年 5 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 100 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：100 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：1009901889

ISBN：978-986-02-3736-8 (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。

99

港灣地層下陷監測之研究
(1/2)

交通部運輸研究所

GPN : 1009901889

定價 100 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣地層下陷監測之研究(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-3736-8(平裝)	政府出版品統一編號 1009901889	運輸研究所出版品編號 99-92-7496	計畫編號 98-H1DA002-1
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 總計畫主持人：陳志芳 協同主持人： 研究人員：謝明志、羅建明 參與人員：陳義松、張阿平、李春榮、李昭明、何木火、陳毓清、 魏瓊蓉、林隆貞 聯絡電話：04-26587172 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 98 年 01 月 至 98 年 12 月
關鍵詞： 地震監測、地層下陷監測、			
摘要： 臺灣西南沿海之臺中港、布袋港、安平港、大鵬灣等港灣地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密固結尚未全部完成，極可能因附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填、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。本研究計畫於臺中港、布袋港、安平港、大鵬灣等港區，各設置 1 組 200m 深之沉陷監測井及水位觀測井，以無線電波感應式層別沉陷儀進行港區地層分層沉陷之長期監測，並量測地下水位，以瞭解地下水位及水壓變化對港區地層下陷之影響。另臺灣位處於環太平洋地震帶上，每年大小地震不斷，且臺灣港埠所曾遭受的天然災害，仍以 1999 年 921 地震臺中港所受的災損最為嚴重。綜上所述，為維護港區工程及各樣設施之安全，有必要對各港灣地區之地層下陷以及地震水壓進行長期之監測，並將量測所得資料經彙整分析後，建檔儲存建置成資料庫，以提供相關單位設計港灣結構物之參考。 本計畫為延續性常態監測研究，本年度執行的工作內容包括：1. 各港區地層下陷及地下水壓之量測，2. 港灣地區地層下陷監測資料彙整分析，3. 港灣地區地震監測站資料收集及分析，4. 港區地震監測資料查詢系統建置。這些成果可作為災害預防、災時應變及災後重建計畫之參考。			
研究成果效益： 1. 學術效益，發表研討會論文 1 篇：2009 臺灣地理資訊系統年會暨學術研討會，發表論文「GIS 在臺北港區土壤液化分析及震災速報系統之開發應用」。 2. 資料庫建置效益：港灣地區井下地震及水壓監測站量測所得資料，已陸續彙整成資料表單，納入港灣工程基本資料庫中，可建立港區防救災體系之相關資料庫，作為港灣地區之地震災前預防、災時應變計畫與決策之參考依據。			
提供應用情形： 1. 利用本研究所安裝之港區井下地震監測系統，配合港區工程基本資料查詢展示系統之液化分析模組，開發地震速報系統，可於震後發佈港區可能致災地點之警訊，提供港務局防救災及緊急修復使用。			

2. 所建港區地震速報系統，已於 98 年 12 月 19 花蓮地區規模 6.8 之強震後，各港測站皆成功擷取震動反應資料，並發送通報簡訊予各港務局相關人員。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99 年 5 月	86	100	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。

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

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**

TITLE: Monitoring of Ground Subsidence and Water Pressure in Harbor Areas (1/2)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-02-3736-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901889	IOT SERIAL NUMBER 99-92-7496	PROJECT NUMBER 98-H1DA002-1
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PROJECT ADVISOR: J. F. Chen PRINCIPAL INVESTIGATOR: PROJECT STAFF: M. J. Hsieh, J. M. Loe. PROJECT TECHNICIAN: Y. S. Chen, A. P. Zhang, C. R. Lee, Z. M. Lee, M. H. He, Y. Q. Chen, Q. R. Wei, L. Z. Lin. PHONE : 04-26587172 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2009 TO December 2009
KEY WORDS: Seismic monitoring, Ground subsidence monitoring.			
ABSTRACT : Taichung, Pudai, and Anping Harbors and Tapeng Bay are located on the west-southern coast of Taiwan. The soil deposit at these areas is of recent alluvium, in which soils are generally loose, soft and under consolidated. It is a concern that the ground subsidence occurred due to the local overdrawng of ground water and the massive land reclamation, which would affect the safety of harbor engineering and its facilities. The project is a continuous study of in-situ monitoring and analysis. The working contents of this year include: 1. Subsidence and ground water pressure measuring at the southwest of the port and marine areas; 2. Analysis of subsidence and ground water pressure measuring data; 3. Collection and analysis of seismic monitoring data; 4. Establishment of a data query system of seismic monitoring. Those are beneficial to both the design of the monitoring system for the port facilities and the development of remediation and response plans for a specific harbor. Benefits of research results: 1. Academic benefits, publication of 2 papers in seminars: “The application of GIS in soil liquefaction and earthquake damage instant report system in Taipei Harbor”, 2009 Taiwan Geographic Information System Annual Conference and Academic Seminar. 2. The benefit of database building: It provides valuable information to facilitate the decision-making during and after a disaster. Current situation in application: 1. “The Instant Earthquake Report System” developed by this project has been put into use in warning of possible damage spots during earthquake. 2. “The Instant Earthquake Report System” was successful in accumulating dynamic responsive data during the 6.8 scale of earthquake in the Hualien areas, and instantly sent a news report to those who were responsible for the disaster prevention and rescue.			
DATE OF PUBLICATION May 2010	NUMBER OF PAGES 86	PRICE 100	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

港灣地層下陷監測之研究(1/2)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
圖目錄	VI
表目錄	IX
第一章 前 言	1-1
第二章 港灣地區地層下陷監測分析	2-1
2.1 布袋港監測站	2-1
2.2 大鵬灣監測站	2-12
2.3 臺中港監測站	2-15
2.4 安平港監測站	2-18
第三章 港灣地區地震監測分析	3-1
3.1 地震及動態水壓監測系統	3-1
3.2 井下地震監測分析	3-2
3.3 動態水壓監測分析	3-12
3.4 地表地震監測分析	3-17
3.5 港區微地動試驗	3-23
第四章 港區地震及地下水位監測資料查詢系統建置	4-1
4.1 港區監測系統設置目的	4-1
4.2 系統之規劃設計	4-1

4.3 系統設置	4-3
4.4 資料擷取、傳輸與監測控制	4-4
4.5 臺北港區地震分層監測站設置狀況	4-7
4.6 地震及地下水位量測資料在地理資訊系統上之應用	4-8
第五章 結論與建議	5-1
5.1 研究目的與問題	5-1
5.2 結論	5-1
5.3 建議	5-3
5.4 研究成果效益	5-3
5.5 提供應用情形	5-3
參考文獻	參-1

圖 目 錄

圖 2.1 布袋港地層下陷監測井位置圖	2-5
圖 2.2 布袋港分層水位變化圖(自記式).....	2-6
圖 2.3 布袋港分層水位變化圖(手動量測).....	2-7
圖 2.4 布袋港分層水位變化(手動量測).....	2-8
圖 2.5 布袋港(200m)分層累積下陷圖(手動量測).....	2-9
圖 2.6 布袋港(300m)分層個別下陷量圖.....	2-10
圖 2.7 布袋港(300m)分層累積下陷量圖.....	2-11
圖 2.8 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測).....	2-13
圖 2.9 大鵬灣地層分層下陷觀測圖.....	2-14
圖 2.10 臺中港分層水位變化圖(手動量測)	2-16
圖 2.11 臺中港分層累積下陷量圖(200m)	2-17
圖 2.12 安平港分層水位變化圖(手動量測)	2-19
圖 2.13 安平港分層累積下陷量	2-20
圖 3.1 臺北港井下地震及動態水壓監測站示意圖	3-4
圖 3.2 臺北港 2008 年 6 月 2 日 00 時 59 分地震(南北向).....	3-6
圖 3.3 臺北港 2008 年 6 月 2 日 00 時 59 分地震(東西向).....	3-6
圖 3-4a 臺北港井下地震儀南北向最大加速度正規化後隨深度變化圖	3-7
圖 3-4b 臺北港井下地震儀東西向最大加速度正規化後隨深度變化圖	3-7
圖 3-4c 臺北港井下地震儀垂直向最大加速度正規化後隨深度變化圖... ..	3-8
圖 3.5 高雄港井下地震及動態水壓監測站示意圖	3-10
圖 3.6 高雄港 2006 年 12 月 26 日 20 點 34 分地震波	3-10
圖 3.7 高雄港井下地震儀南北向之最大加速度隨深度變化圖	3-11

圖 3.8 高雄港井下地震儀南北向最大加速度正規化後隨深度變化圖...	3-11
圖 3.9a 蘇澳港 2007 年 9 月 7 日地震之動態孔隙水壓變化.....	3-14
圖 3.9b 蘇澳港 2007 年 9 月 7 日地震之動態孔隙水壓變化(大於 0.25Hz)	3-15
圖 3.9c 蘇澳港 2007 年 9 月 7 日地震之動態孔隙水壓變化(小於 0.25Hz)	3-16
圖 3.10 臺北港地震站 1 級震度傅氏頻譜圖	3-19
圖 3.11 臺北港地震站 2 級震度傅氏頻譜圖	3-19
圖 3.12 臺北港地震站 3 級震度傅氏頻譜圖	3-20
圖 3.13 臺北港地震站各級震度平均傅氏頻譜圖.....	3-20
圖 3.14 高雄港地震站 1 級震度傅氏頻譜圖	3-21
圖 3.15 高雄港地震站 2 級震度傅氏頻譜圖	3-21
圖 3.16 高雄港地震站 3 級震度傅氏頻譜圖	3-22
圖 3.17 高雄港地震站各級震度平均傅氏頻譜圖.....	3-22
圖 3.18 微地動儀現地試驗圖	3-24
圖 3.19 臺北港微地動測站位置圖	3-26
圖 3.20 臺北港區共振主頻等值分佈圖	3-26
圖 3.21 高雄港第四貨櫃中心各測站分佈位置圖.....	3-27
圖 3.22 高雄港區第四貨櫃中心共振主頻等值分佈圖	3-28
圖 4.1 規劃與實設之整體系統設計-臺北港範例.....	4-2
圖 4.2 臺北港監測站設置位置平面示意圖	4-3
圖 4.3 測站主要地質調查內容與結果示意圖-臺北港範例	4-5
圖 4.4 整體擷取、傳輸與監測控制流程	4-6
圖 4.5 機房構造與配置示意圖	4-6

圖 4.6 臺北港區地震分層監測站設置完成外貌狀況	4-7
圖 4.7 查詢系統主畫面	4-12
圖 4.8 臺北港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示圖	4-13
圖 4.9 臺北港區之地震監測系統設置示意圖	4-13
圖 4.10 臺北港影響地震震央位置分佈圖	4-14
圖 4.11 臺北港南北向分層實測地震波記錄圖之一	4-14
圖 4.12 臺灣活斷層分佈位置疊合圖	4-15
圖 4.13 臺北港區地震監測資料年份選取對話框	4-15
圖 4.14 臺北港區地震監測資料月份選取對話框	4-15
圖 4.15 臺北港區地震監測資料日期選取對話框	4-16
圖 4.16 臺北港地震引置之水壓反應記錄圖之一	4-16

表 目 錄

表 3-1 臺北港 2007~2008 年井下地震觀測資料.....	3-4
表 3-2 臺北港 2008 年地震站各深度最大加速度表	3-5
表 3-3 高雄港井下地震觀測資料之規模、震央與震源深度	3-9
表 3-4 蘇澳港 2007 年井下地震監測資料表	3-12
表 3-5 蘇澳港 2008 年井下地震監測資料表	3-13
表 3-6 臺北港區測站資料	3-25
表 3-7 高雄港區測站資料	3-27

第一章 前言

臺灣西南沿海之港灣地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密固結尚未全部完成，極可能因附近地區地下水抽取、大規模海埔新生地回填、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。其中布袋港近 10 年已沉陷 50 公分，其他各港亦有可能沉陷，加上碼頭之貨櫃裝卸及堆置漸朝自動化設計，少許之差異沉陷，皆易使碼頭自動化之機械設備損壞或喪失使用功能。另臺灣位處於環太平洋地震帶上，每年大小地震不斷，且臺灣港埠所曾遭受的天然災害，仍以 1999 年 921 地震臺中港所受的災損最為嚴重。綜上所述，為維護港區工程及各樣設施之安全，有必要對各港灣地區之地下水壓、地層下陷以及地震震波進行長期之監測，並將所得資料建檔儲存，以供做長時間的特性研究及比對分析。

因政府研究機構非以營利為目的，有責任及義務，對最基本的環境資料，做長期的觀測及紀錄，以供開發、環保、施政、規劃之研判依循及佐正需用。因而，本單位所執行的本項計畫，遂於港灣地區進行港灣地層下陷、地震震波等長期監測作業；在本研究報告第二章及第三章中，分別介紹不同港灣地區所設置的監測站以及所量測的資料成果，包含地層下陷監測資料及井下地震監測資料；第四章嘗試將地震及地下水位監測資料彙整後，開發查詢展示模組，納入「港灣地工資料庫及救災體系建置研究」研究案所開發的港灣工程基本資料庫系統中；第五章乃將相關成果做成結論，所得資料可供應各項研究討論及災害防治策略規劃之用。

第二章 港灣地區地層下陷監測分析

臺灣地區由於地下水大量開發引致之地層下陷問題，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，導致愈演愈烈之地層下陷，其中以屏東地區累積最大下陷量達 3.00 公尺為最嚴重，雲林、嘉義地區累積最大下陷量約 1.5~2.0 公尺，而彰化濱海地區亦有 2.3 公尺之下陷量，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。尤其貨櫃碼頭之貨櫃裝卸及堆置漸朝自動化設計，碼頭地面少許之差異沉陷，皆易使碼頭自動化之機械設備損壞或喪失使用功能。因此，為維護港區工程及各樣設施之安全，設置地層下陷及地下水壓監測站，進行長期之下陷監測。

本計畫連續於布袋港、臺中港、安平港、大鵬灣等港區，各設置 1 組 200 m 及 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，定期進行港區地層分層沉陷之長期監測，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，以探討地下水壓變化對各港區地層下陷之影響。地震後，亦可量測分層地層下陷，分析各土層地震時之沉陷量。

2.1 布袋港監測站

2.1.1 布袋港地下水位分析

本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，另選擇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，其位置如圖 2.1 所示。

1. 200m

200 公尺監測井共埋設 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 92 年 8 月為自動量測系統資料，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 2.2 所示。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 98 年 11 月止，每月定期量測一次，自 94 年 1 月起因人力有限，故每 2 個月量測一次，資料不足的部份以內插法補充，量測結果如圖 2.3 所示。

由圖 2.2 顯示，105 m 處之水位變化極大，最高水位-16.6 m，最低水位-27.6m，91 年及 93 年降雨量較少時，水位明顯降低。131 m 處之水位變化亦很大，最高水位-17 m，最低水位可能為-24 m，其水壓大小及變化與 105 m 處屬同一含水層，143 m 及 178 m 水位大小及變化亦很相當，亦屬同一含水層，其最高水位為-17.8 m，最低水位為-26 m，其變化與 105m、131 m 處相似。

綜合各地層之地下水位資料，如圖 2.2 及圖 2.3 示，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，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

於 90 年度選擇位於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 (如圖 2.4)，並自 90 年 9 月起進行定期量測，如圖 2.4 顯示，35 及 50m 之水位介於-2.4~-3.5m 之間，屬淺層水位，85 及 103m 為較深層之水位

介於-15~-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-22m 及-24m 較明顯變化，150m 及 200m 之水位介於-19.2~-23.3m 之間亦屬同一含水層，250m 深層之水位介於-21~27m 之間，而 303m 之水位又屬另一含水層，其水位介於-22~-25m 之間變化。

2.1.2 布袋港分層地層下陷分析

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監測儀量測各沉陷磁環之相對移動變化量，資料值由鈰鋼尺上之刻度讀取，其最小刻度為公厘。

圖 2.5 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 98 年 11 月之 12 年 8 個月期間，布袋港地表下 8 m 至 200 m 間之沉陷總量為 533 公厘，而其中 140~200 m 之沉陷量 270 公厘，佔總沉陷量之 52% 以上，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(如圖 2.6)。圖 2.6 為至民國 98 年 11 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 及 94~102m 之深度，而此地層屬粘土層，因此壓縮量較大。

由圖 2.7 分層觀測圖顯示，自 89 年 10 月～98 年 11 月止，11 年之沉陷總量約 60.7 公分，分別為 90 年沉陷量約 7.4 公分、91 年沉陷量約 7.1 公分、92 年沉陷量約 11.6 公分、93 年沉陷量約 13.6 公分，近 5 年(94 至 98)總沉陷量約 19 公分。監測期間 90 年 8 月時該區進行鑿井，導致 90 年較 91 年沉陷大，92 年 2 月時該區再進行新填土約 2m，導致 92 年及 93 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，其中以 66~102m 之累積沉陷量 23.0 公分，所佔比例最大，約佔總沉陷量之 37%，102~190m 之沉陷量為 27 公分約佔總沉陷量之 44%，190~300m 之沉陷量較少為 1.2 公分，約佔總沉陷量之 2%，綜合以上得知，66~190m 深度之累積沉陷量為 50 公分約佔總沉陷量之 80%，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，再進一步探討原因。

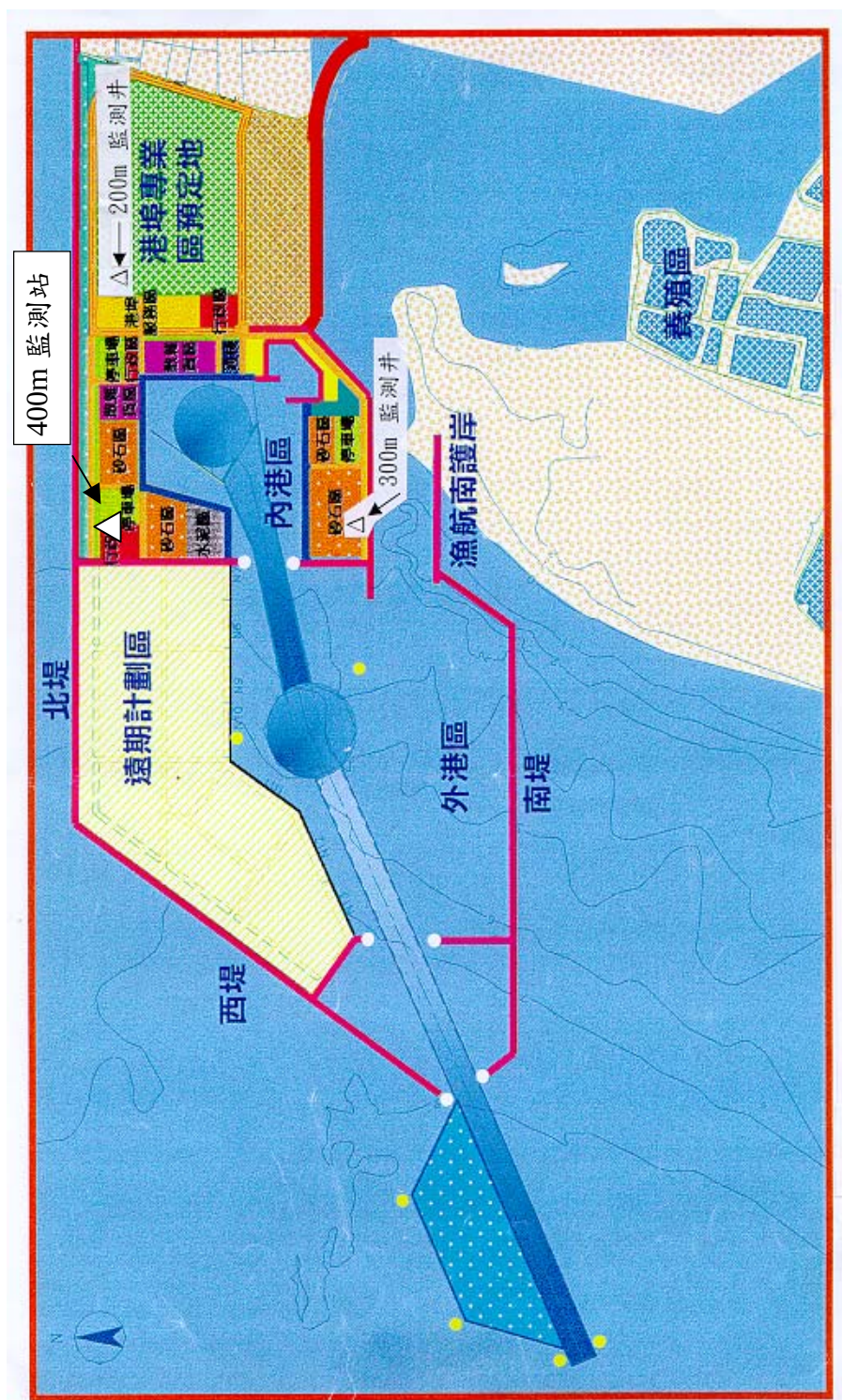


圖 2.1 布袋港地層下陷監測井位置圖

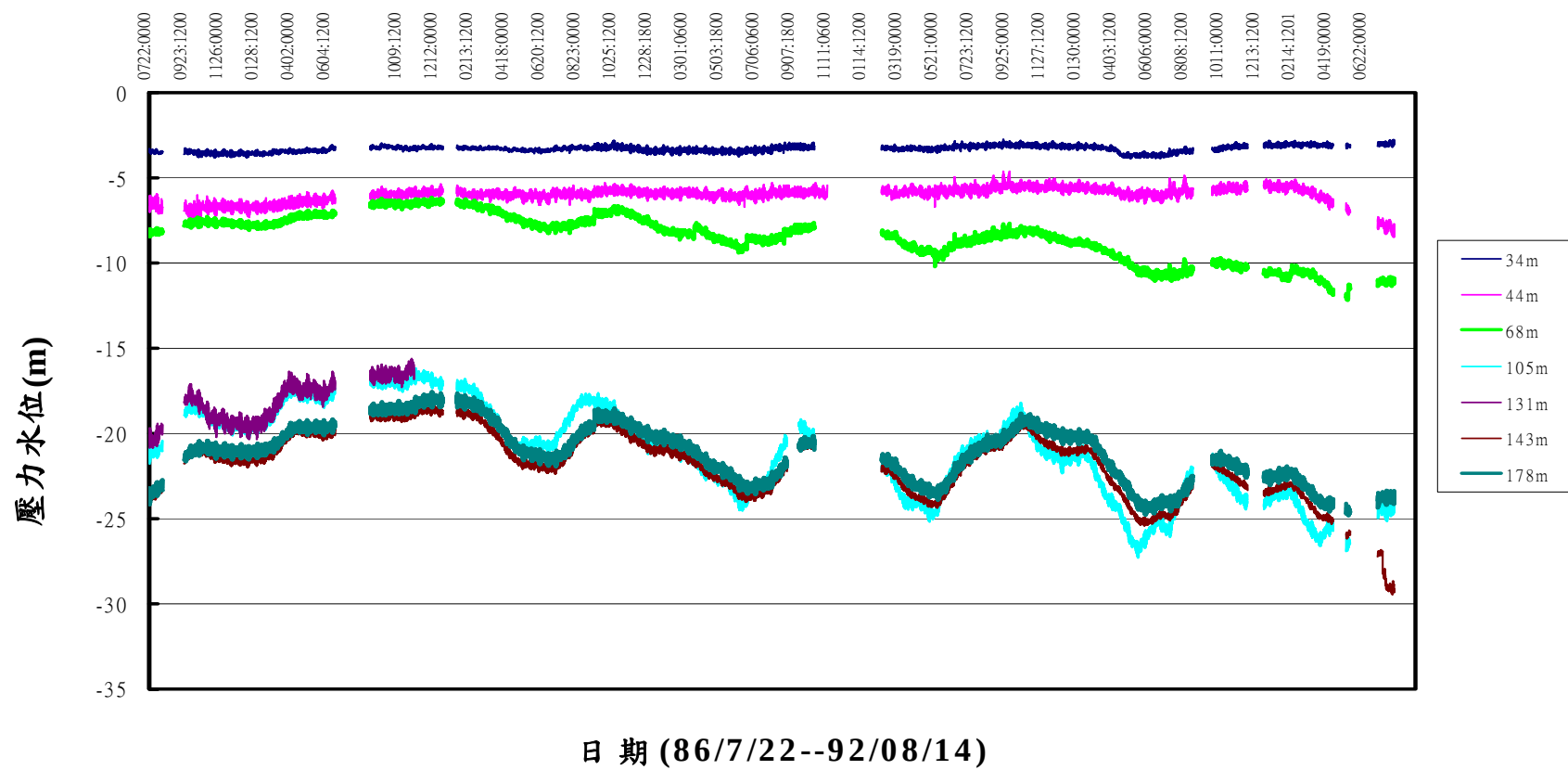


圖 2.2 布袋港分層水位變化圖(自記式)

布袋港分層水位變化200m(手動量測)

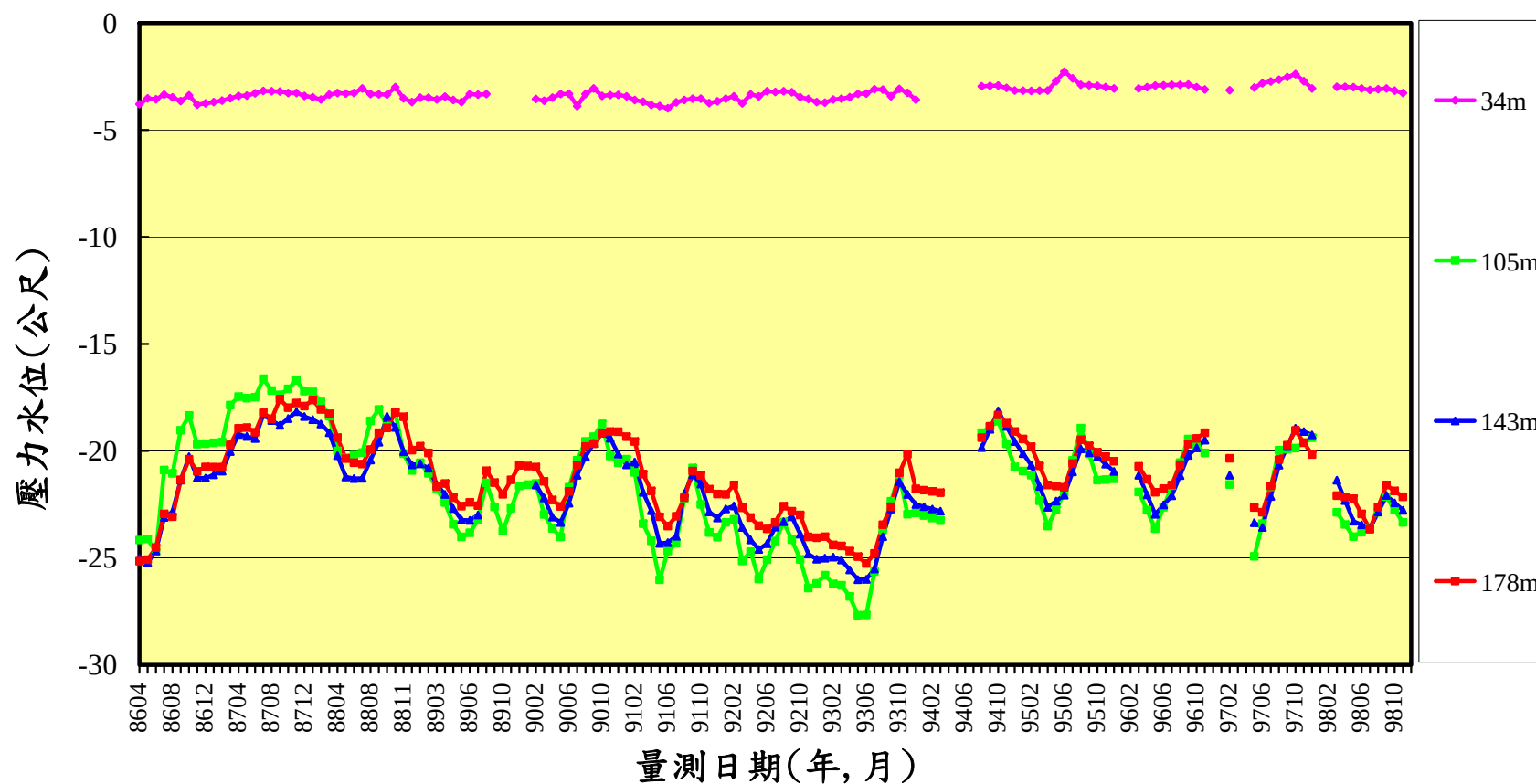


圖 2.3 布袋港分層水位變化圖(手動量測)

布袋港(300m)分層水位變化(手動量測)

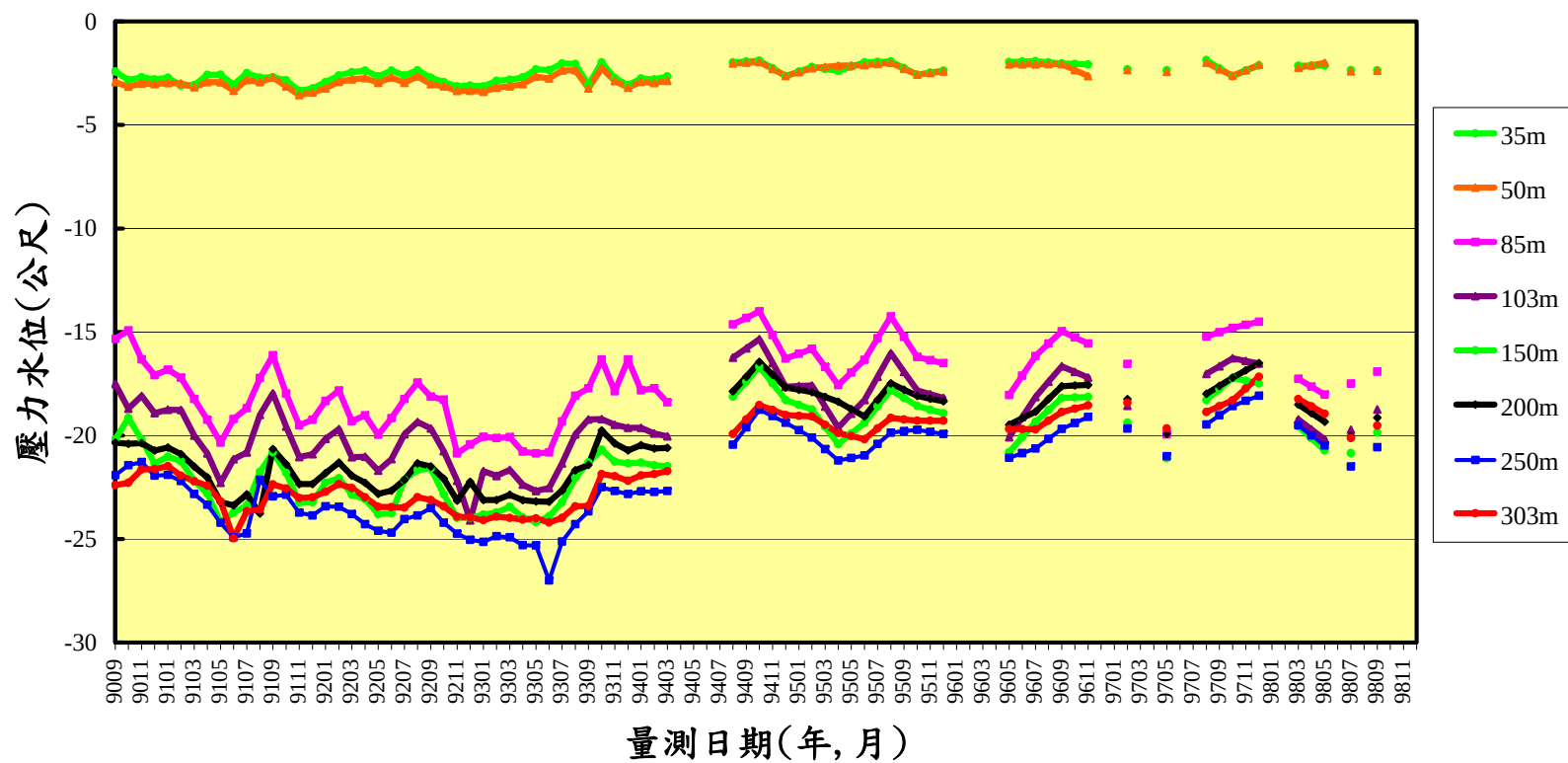
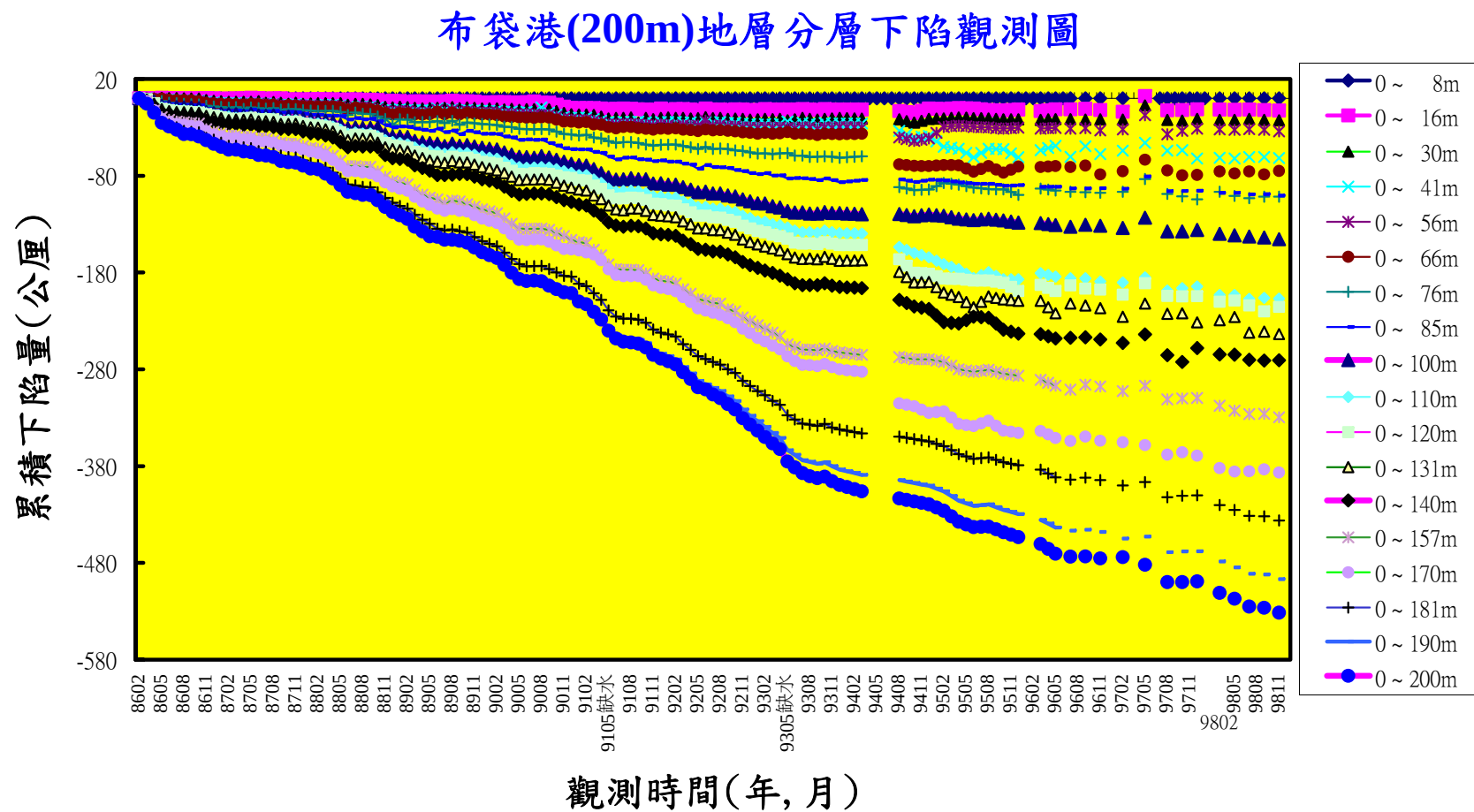


圖 2.4 布袋港分層水位變化(手動量測)



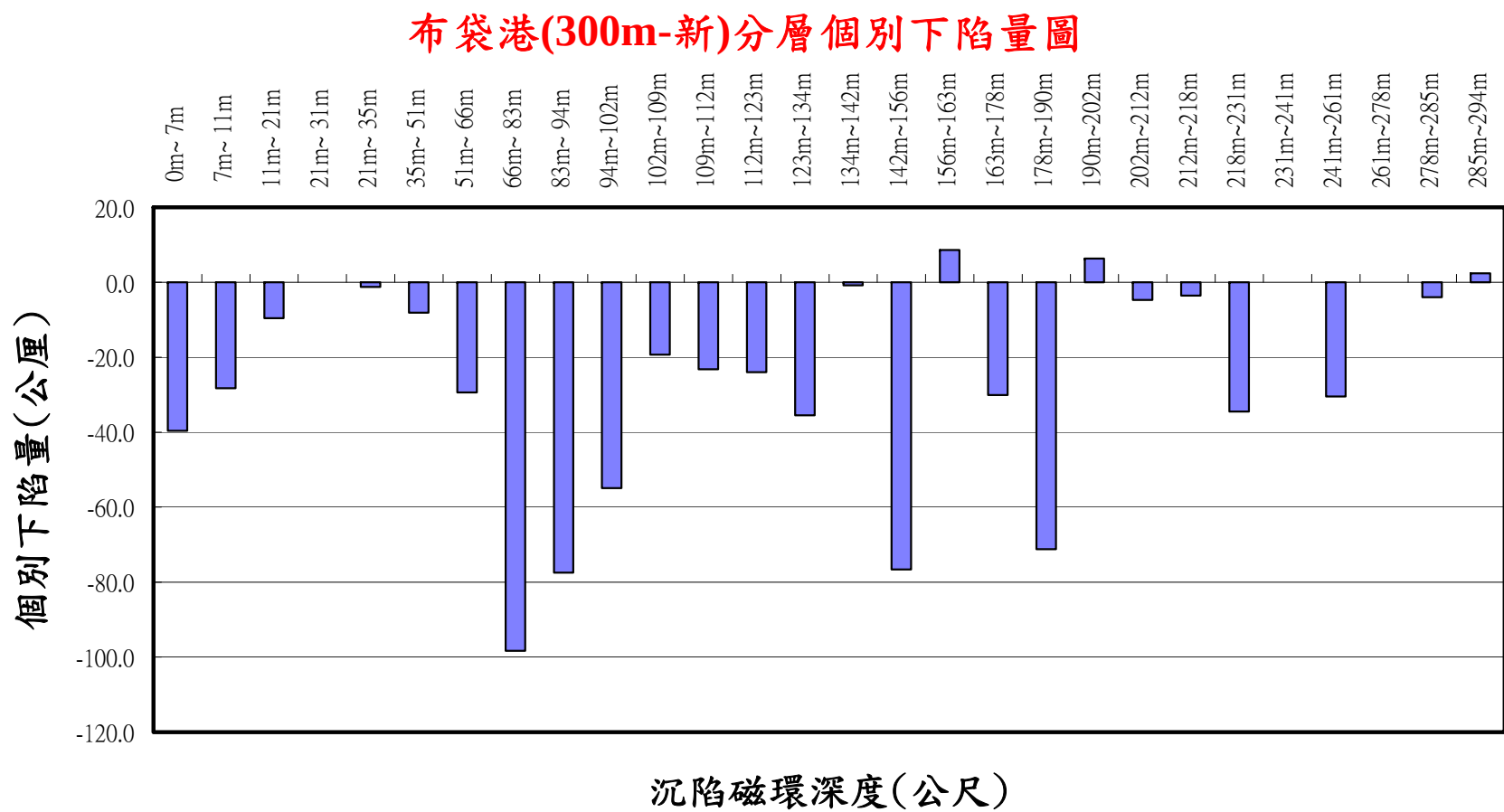


圖 2.6 布袋港(300m)分層個別下陷量圖

布袋港(300m-新)地層分層下陷觀測圖

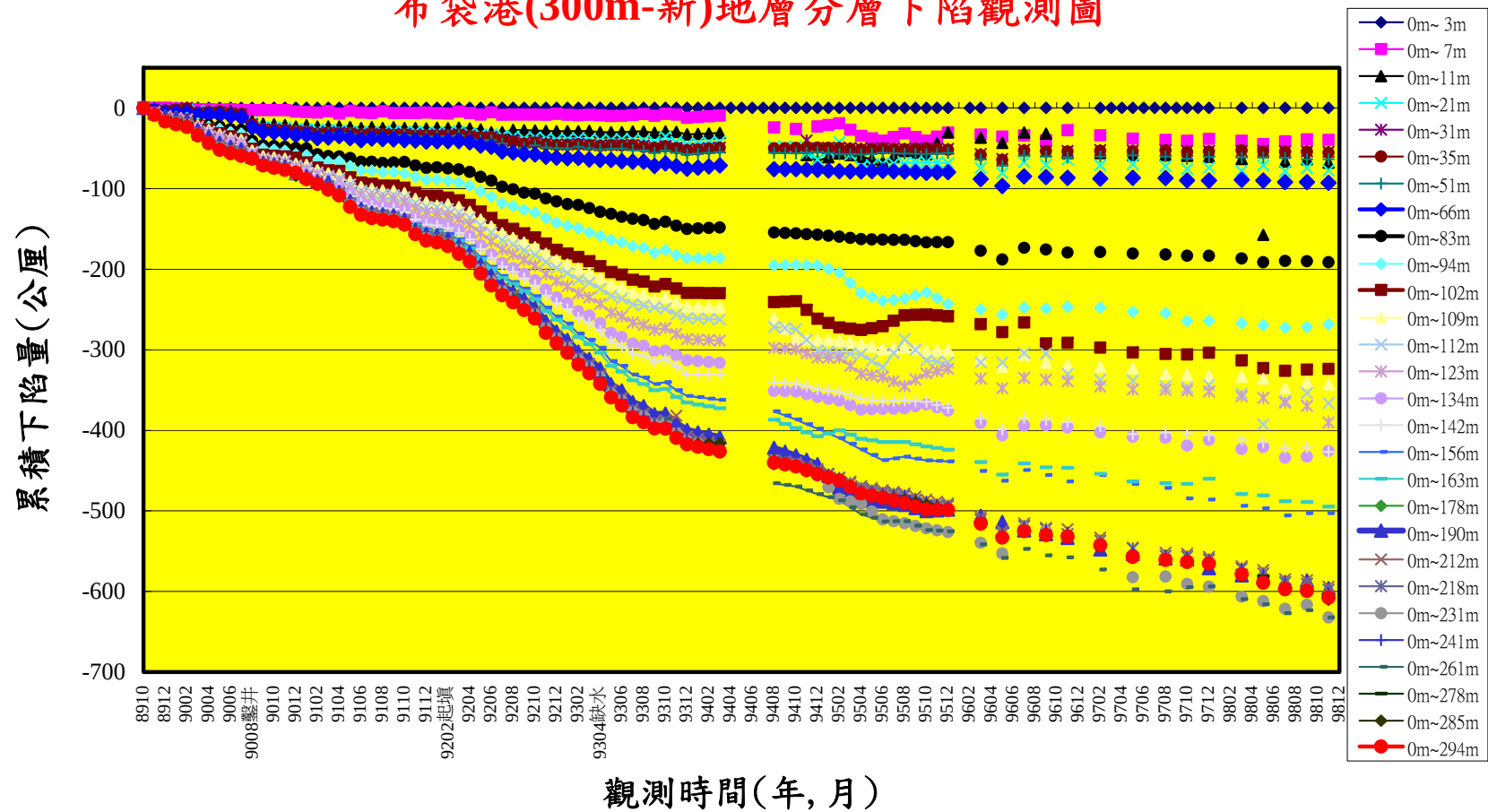


圖 2.7 布袋港(300m)分層累積下陷量圖

2.2 大鵬灣監測站

2.2.1 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 98 年 11 月 23 日止。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，亦可以手動量測水位，手動量測自 87 年 3 月開始，每月量測一次，其結果如圖 2.8 所示：

2.2.2 分層地層下陷分析

為了探討大鵬灣不同深度之壓縮行為，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 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 22 個磁環，每個月之中旬定期以無線電波監測儀量測各沉陷磁環之相對移動變化量，以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 2.9 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 2.9 顯示，從 87 年 3 月至 98 年 11 月止，共 11 年 7 個月期間，大鵬灣地表下 4 m 至 189 m 間之沉陷總量為 108 公厘，而其中地表～51.3 m 之沉陷量為 87.7 公厘，佔總沉陷量之 80%，由此資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

大鵬灣分層水位變化(手動量測)

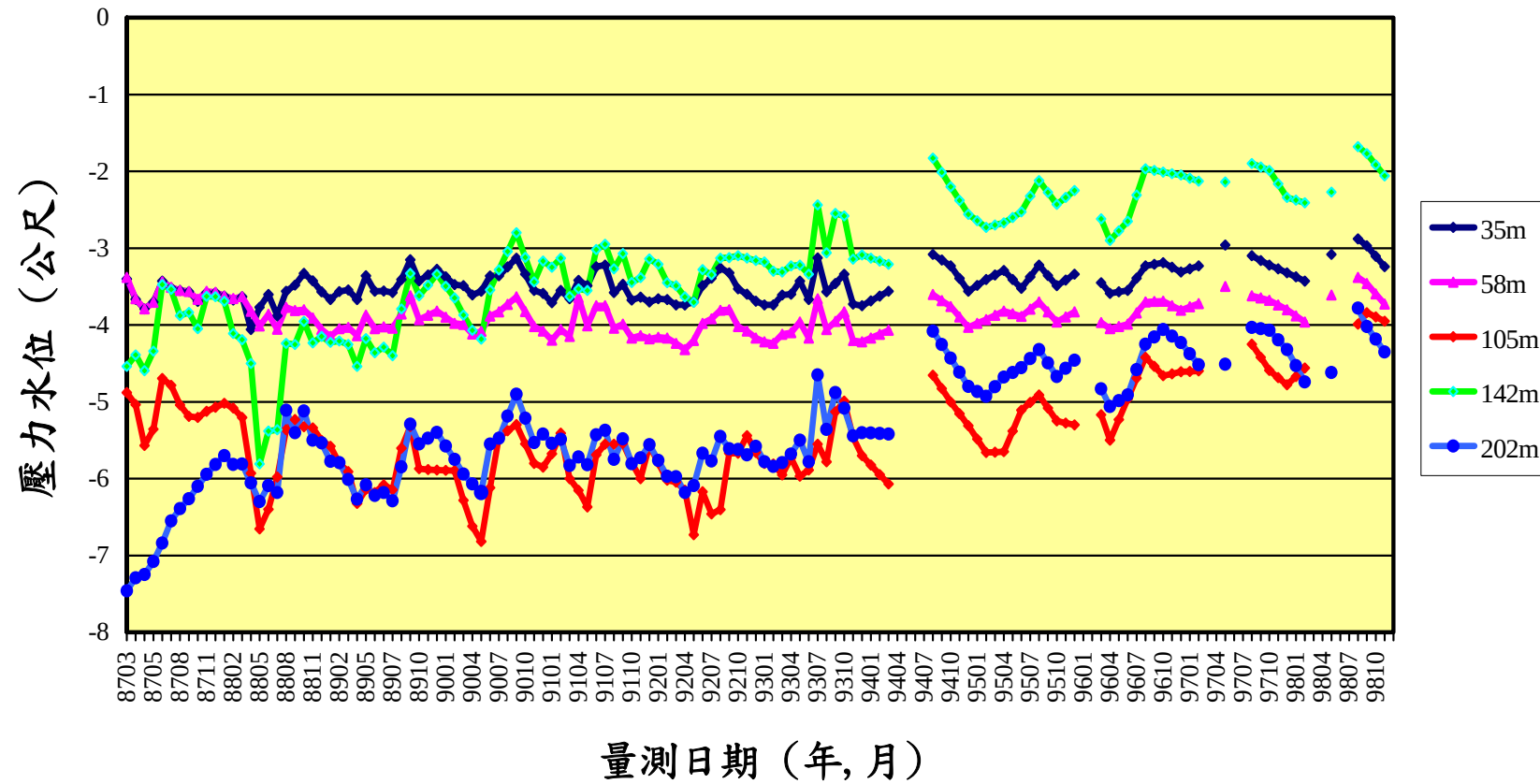


圖 2.8 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測)

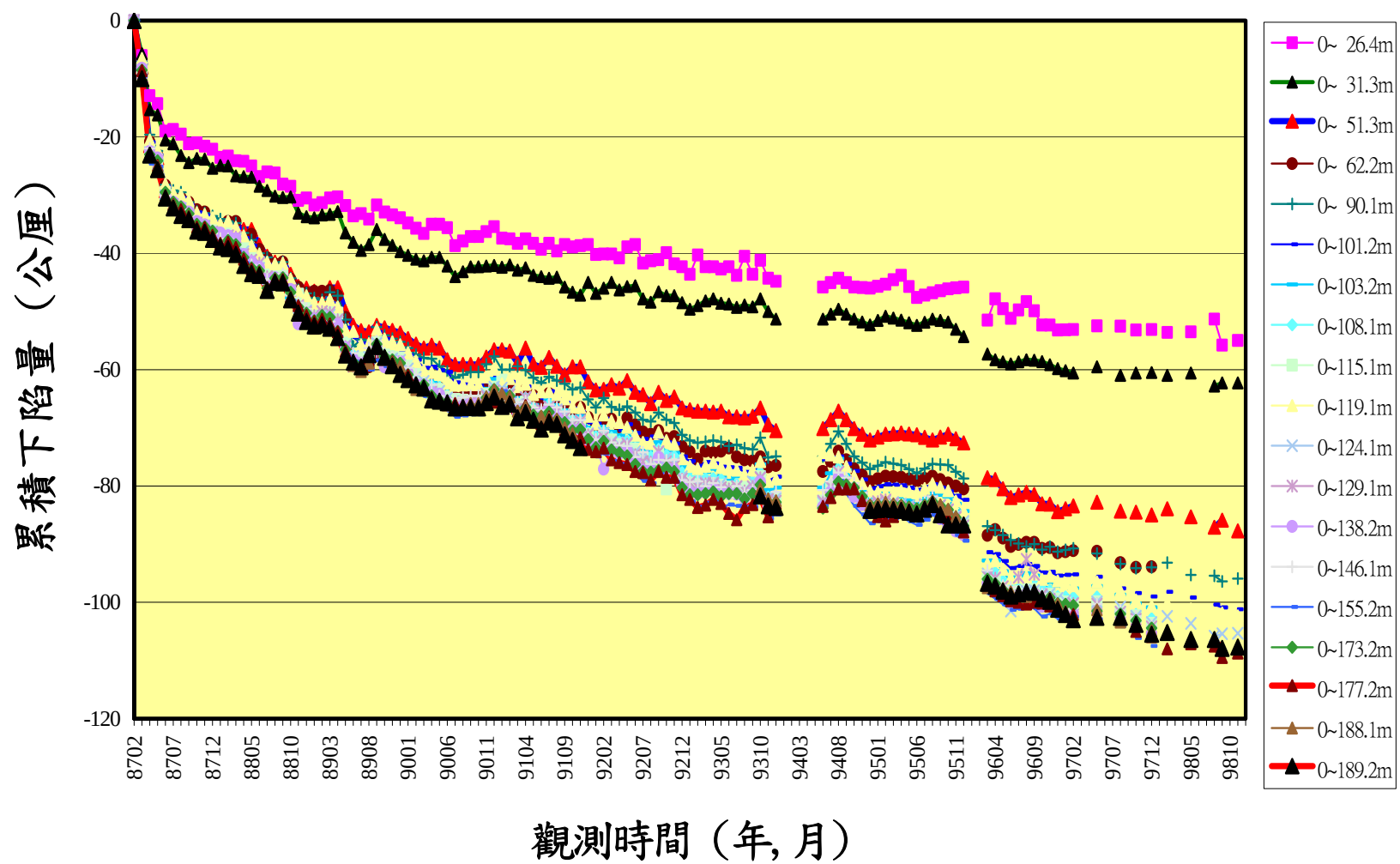


圖 2.9 大鵬灣地層分層下陷觀測圖

2.3 臺中港監測站

2.3.1 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，資料記錄截至 98 年 11 月止，其結果如圖 2.10 所示。

因臺中港受到 921 大地震影響，導致部份碼頭有液化現象，本地下水壓監測站亦取得記錄，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。

2.3.2 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 98 年 11 月止約為 50 公厘，其中自 0m~90 m 深之沉陷量約 41 公厘，佔總沉陷量 80%以上，其間以 88 年 9 月至 10 月，因地震產生之總沉陷量 32 公厘最多，而 88 年 10 月至 98 年 11 月止，總沉陷量為 20 公厘，如圖 2.11 所示。

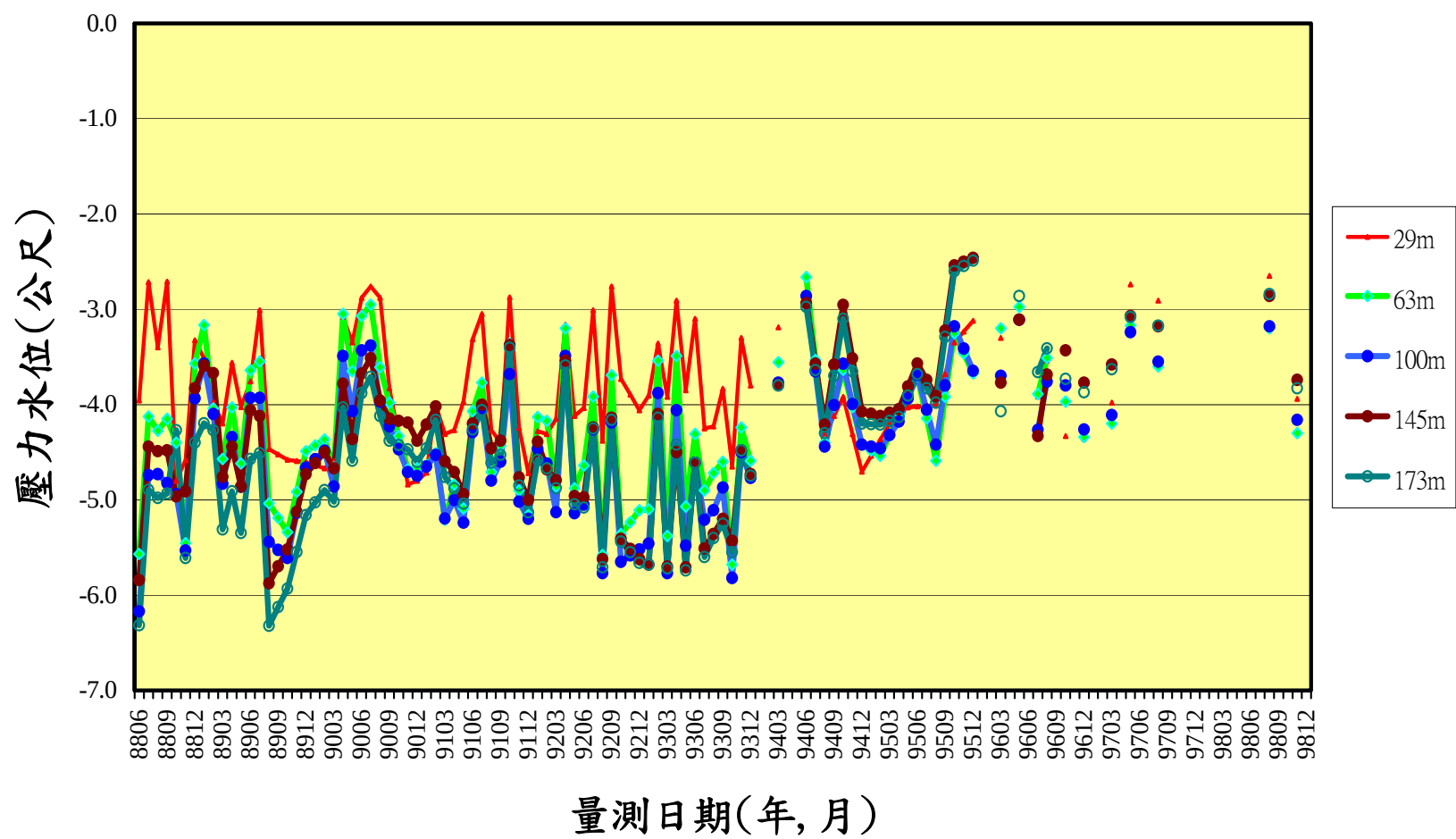


圖 2.10 臺中港分層水位變化圖(手動量測)

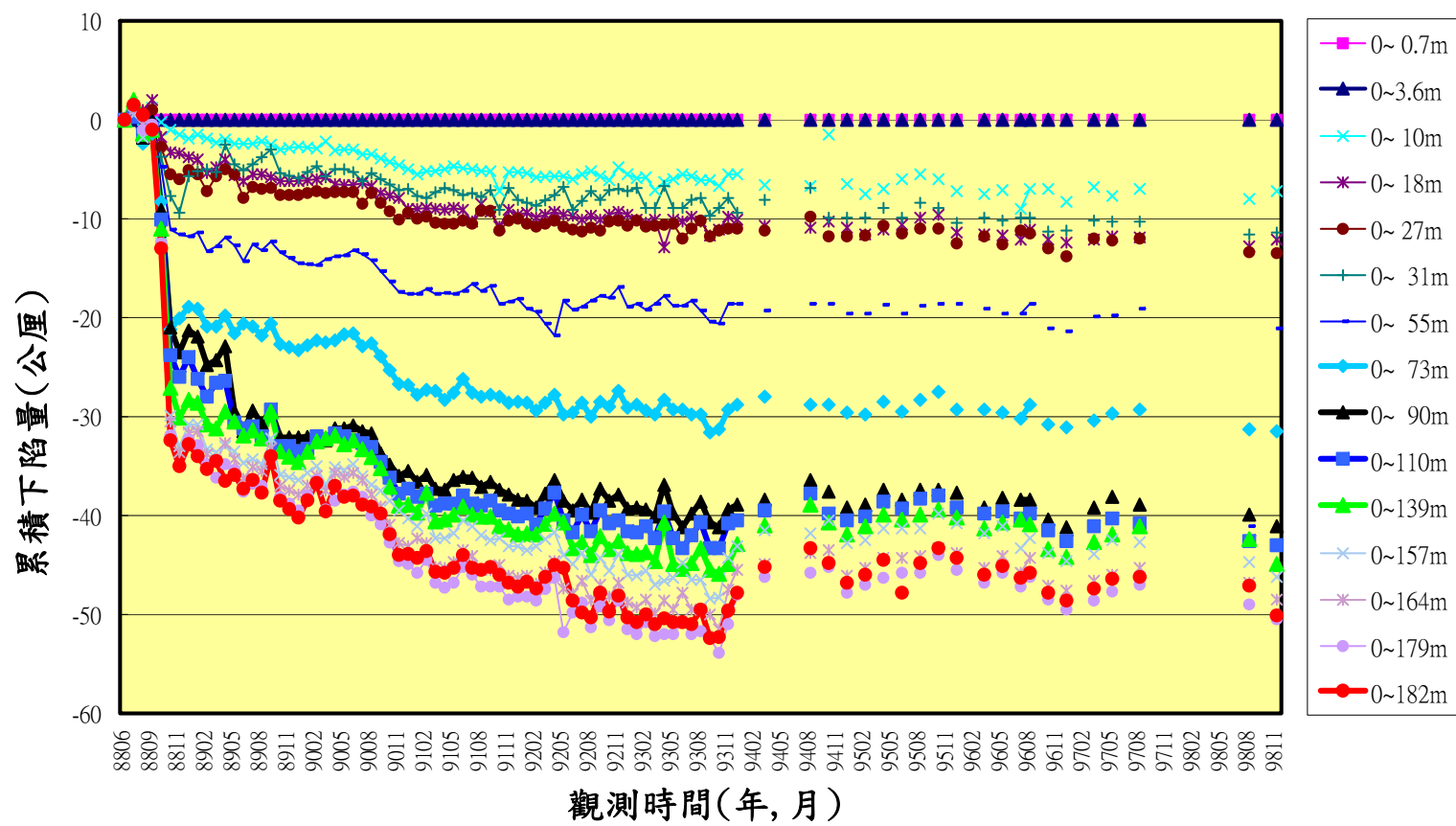


圖 2.11 臺中港分層累積下陷量圖(200m)

2.4 安平港監測站

2.4.1 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，其結果如圖 2.12 所示。

由圖 2.12 顯示，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 粉土層之水位變化較大，超抽地下水現象明顯，第 2 及 3 含水層 105 m、145m 土層之水位變化較小，第 4 層之 182 m 之水位變化亦很大，唯水位不降反升，顯示此層水位有回補現象。整體來說，安平港附近地區近 3 年來 (95 至 97 年) 應沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上升現象。

2.4.2 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，銕鋼尺讀數之最小刻度為公厘。

圖 2.13 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 88 年 7 月至 94 年 3 月之 5 年 8 個月期間，安平 18-19 號碼頭區地表下 0 m~200 m 間之沉陷總量為 73 公厘，而其中 0~56 m 之沉陷量為 67 公厘，佔總沉陷量之 88%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，自 94 年 3 月起因儀器故障故量測資料中斷。

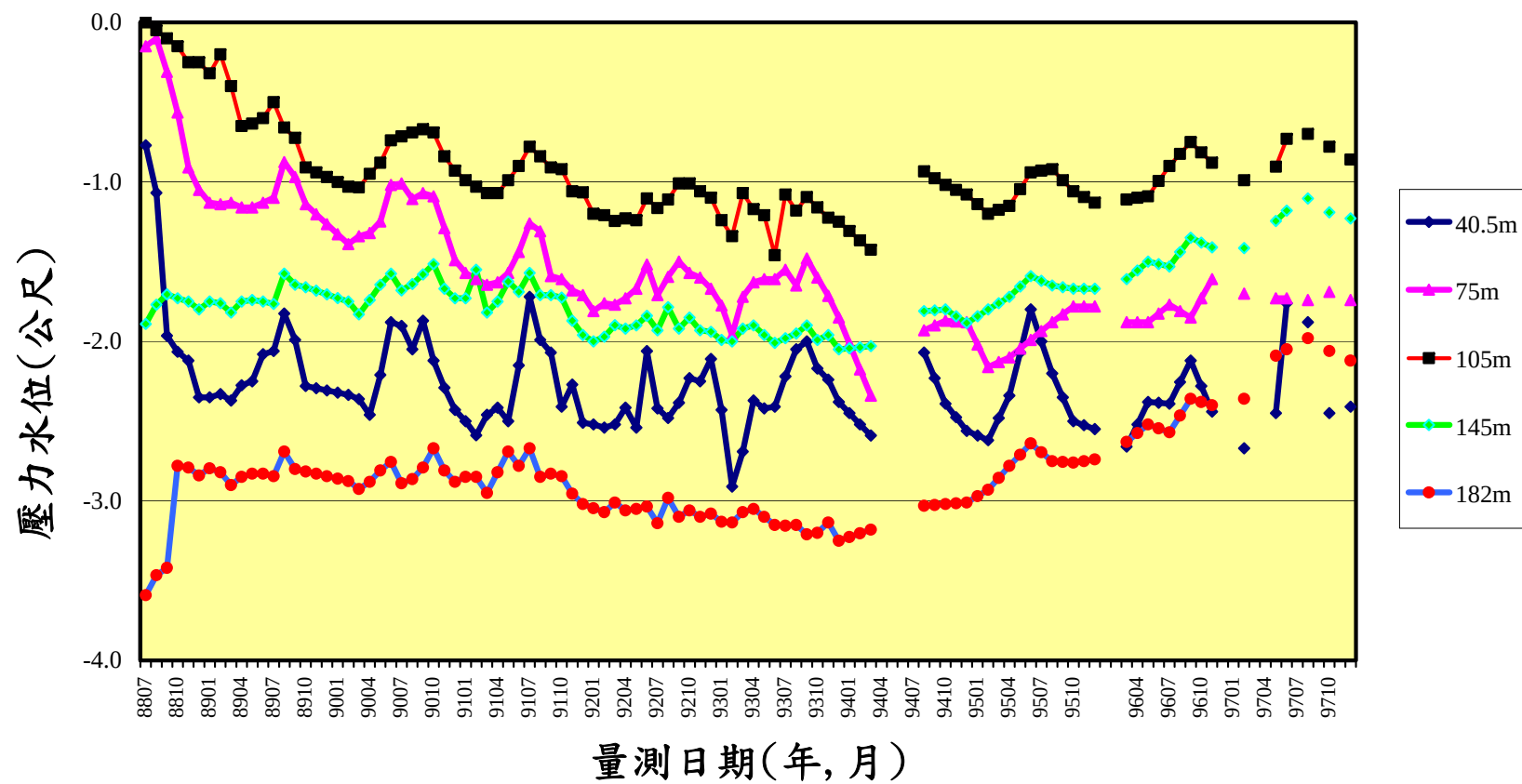


圖 2.12 安平港分層水位變化圖(手動量測)

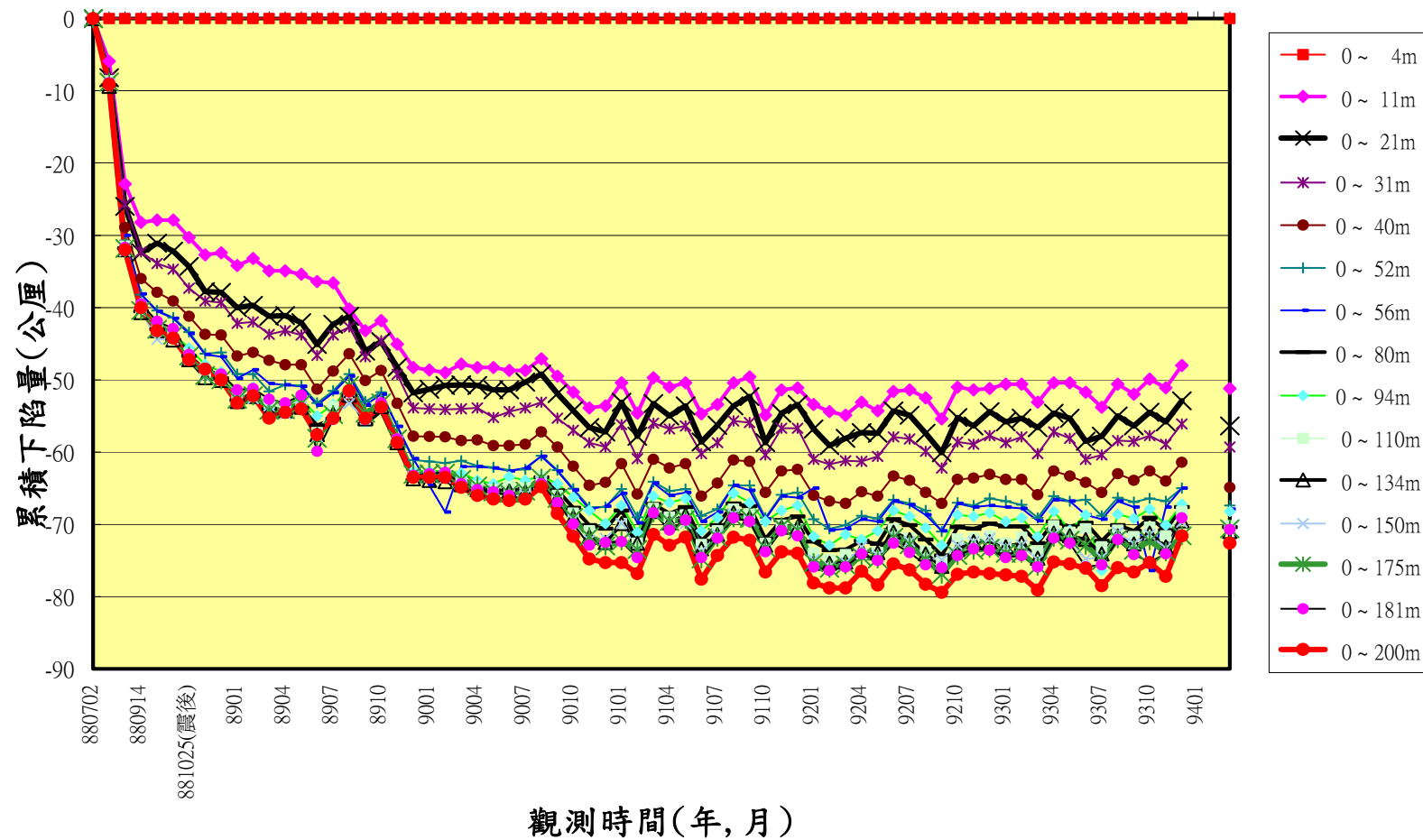


圖 2.13 安平港分層累積下陷量

第三章 港灣地區地震監測分析

臺灣西海沿岸等港灣地區，其地層大都屬疏鬆軟弱的沖積土層或海埔新生地，土層在強烈地震反復作用及震波從震源深處向上經過軟弱覆土層的振幅放大後，極易產生土壤液化或沉陷，並造成碼頭結構物因基礎失去承載力而造成傾斜、位移及倒塌等破壞，因此設置地震之動態水壓監測站對港灣構造物之安全極為重要。

本所港研中心自民國 89 年起陸續於安平港、布袋港、臺中港、臺北港、高雄港及蘇澳港等逐年分別設置完成一組 300 m 深之井下地震及動態孔隙水壓監測站，各站井下地震儀陣列於地表、14m、30m、99m 及 297m 共設置 5 部地震儀，監測資料並以自動記錄及傳輸方式至本所港研中心儲存。

本計畫係以港區地震站歷年監測所得之地震紀錄進行震波特性和地層放大效應、動態孔隙水壓變化、港區之場址效應及地層下陷等之相關性分析，併將分析資料彙整建置成資料庫，以提供碼頭結構物設計及港區地震工程研究之參考與應用。

3.1 地震及動態水壓監測系統

由於地震在鬆軟地層之放大效應，悠關港灣構造物之安全甚巨，為了瞭解地震時，地層中震波之傳遞特性，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，以瞭解港區地層之地震放大效應。本研究分層設計深度規劃大致為 GL-0m、GL-15m、GL-30m、GL-100m、GL-300m，唯實際埋設深度得依現地土層變化狀況而調整。

另在強烈地震之反復作用下，土壤之孔隙水壓之逐漸上升，是土壤發生液化之主要因素，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。動態水壓即時監測系統，以監測地震時淺層動態水壓之即時變化，本研究分層設計深度規劃為 GL-3m、GL-6m、GL-10m、GL-15m、GL-30m，唯實際埋設深度依現地土層變化狀況而調整。

本文以臺北港及高雄港地震監測結果作為分析釋例，臺北港井下地震儀監測站於民國 91 年底完成，井下地震儀陣列設置於地表、-14m、-30m、-99m 及 -297m 共設置 5 部地震儀，如圖 3.1 所示。監測期間雖未有強震之觀測資料，但是小規模地震非常頻繁，2007 至 2008 年擷取之地震觀測資料，篩選規模 4.5 以上較完整之地震資料共 11 組，如表 3-1，其中以 2008 年 6 月 2 日地震規模 5.8 之地表加速度 21gal 為最大，各深度之最大加速度如表 3-2 所示。

高雄港井下地震儀監測站於民國 92 年底完成，監測站之地層構造及地震計、水壓計埋設深度示意圖，如圖 3.5 所示。井下地震儀陣列於地表、15m、30m、100m 及 293m 共設置 5 部井下地震儀，2007 年至 2008 年間擷取之地震觀測資料，就規模 4.3 以上較完整之資料共 25 組如表 3-3 所示。

本文就各監測站自設置完成開始紀錄以來，就系統監測所得資料分析如下：

3.2 井下地震監測分析

為瞭解地震波於臺北港區之放大特性，茲以臺北港 2008 年間監測振幅較大資料為例，如圖 3.2 至圖 3.3 所示，分別為 2008 年 6 月 2 日地震歷時圖之東西向(EW)、南北向(SN)之尖峰加速度，由 297m 上傳至地表時，其振幅有明顯放大。

高雄港區之放大特性，以振幅較大之 95 年 12 月 26 日地震歷時為示意圖，如圖 3.6 所示。

為探討及臺北、臺中及高雄港震波放大特性，本文將臺北港 2003

年 17 組地震之各深度之最大加速度正規化，即將各深度之最大加速度除以地表之最大加速度。並加以統計迴歸分析，正規化之最大加速度隨深度變化之迴歸分析結果，如圖 3.4 所示。高雄港自 2003 至 2008 年採較完整之 28 組地震資料進行各深度之最大加速度正規化，如圖 3.7 及圖 3.8 所示，各港分析結果迴歸函數如下列所示：

臺北港正規化之最大加速度隨深度變化之迴歸分析結果，分別如下：

$$\text{南北向： } PGA = \exp(-0.16 * (\text{深度})^{0.38}) \dots\dots\dots (2-2a)$$

$$\text{東西向： } PGA = \exp(-0.21 * (\text{深度})^{0.32}) \dots\dots\dots (2-2b)$$

$$\text{垂直向： } PGA = \exp(-0.22 * (\text{深度})^{0.28}) \dots\dots\dots (2-2c)$$

臺中港正規化之最大加速度隨深度變化之迴歸分析結果，分別如下：

$$\text{南北向： } PGA = \exp(-0.20 * (\text{深度})^{0.30}) \dots\dots\dots (2-3a)$$

$$\text{東西向： } PGA = \exp(-0.24 * (\text{深度})^{0.25}) \dots\dots\dots (2-3b)$$

$$\text{垂直向： } PGA = \exp(-0.10 * (\text{深度})^{0.45}) \dots\dots\dots (2-3c)$$

高雄港正規化之最大加速度隨深度變化之迴歸分析結果，分別如下：

$$\text{南北向： } PGA = \exp(-0.146 * (\text{深度})^{0.404}) \dots\dots\dots (3-1a)$$

$$\text{東西向： } PGA = \exp(-0.147 * (\text{深度})^{0.401}) \dots\dots\dots (3-1b)$$

$$\text{垂直向： } PGA = \exp(-0.230 * (\text{深度})^{0.276}) \dots\dots\dots (3-1c)$$

由地震波放大倍率與最大加速度之研究可發現，臺北港震波放大倍率約於 3-5 倍之間，平均約為 4 倍。臺中港震波放大倍率約於 2-5 倍之間，平均約為 3 倍。高雄港震波放大倍率約於 3-7 倍之間，平均約為 4.5 倍；由此可見高雄港區淺層地層最為疏鬆軟弱，且與深層地層之軟硬比最大，臺北港次之，臺中港最小。

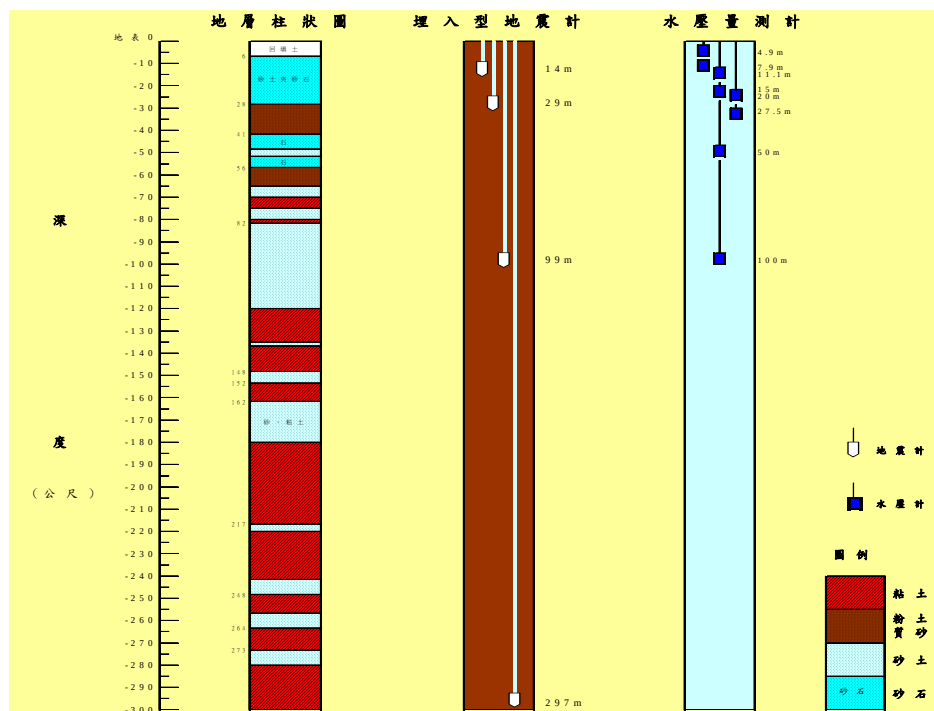


圖 3.1 臺北港井下地震及動態水壓監測站示意圖

表 3-1 臺北港 2007~2008 年井下地震觀測資料

No	監測時間(臺北時間)	震央位置		深度 km	規模
		北緯(度)	東經(度)		
1	2007-10-11; 11:05 19.00	24° 78'	121° 81'	78.9	5.5
2	2007-10-17; 22:40 51.00	24° 47'	121° 71'	42.2	5.7
3	2007-11-08; 06:54 45.00	24° 91'	122° 17'	4.0	5.0
4	2007-11-12; 18:25 12.00	24° 46'	121° 84'	18.4	4.5
5	2007-11-15; 09:51 09.00	24° 08'	121° 51'	18.0	4.8
6	2007-11-29; 05:05 41.00	24° 82'	121° 01'	65.0	5.5
7	2008-06-02; 00:59:40.00	24.86°	121.79°	92.3	5.8
8	2008-09-09; 15:43:53.00	24.61°	122.63°	103.8	5.9
9	2008-09-10; 19:56:03.00	25.13°	122.25°	16.8	4.6
10	2008-12-02; 11:17:31.00	23.28°	121.60°	29.8	6.0
11	2008-12-08; 05:19:03.00	23.84°	122.17°	12.5	6.0

表 3-2 臺北港 2008 年地震站各深度最大加速度表

台北港地震監測站各頻道最大加速度值(2008年6~9月份-共2筆)

編號：1/1 規模：5.8 深度：92.3 km			編號：1/1 規模：5.9 深度：103.8 km		
地震時間：08/06/02;00:59'23.7"			地震時間：08/09/09;15:43'13.3"		
記錄時間：08/06/02;00:59'40"			記錄時間：08/09/09;15:43'53"		
震央位置：北緯(度)：24.86 東經(度)：121.79			震央位置：北緯(度)：24.61 北緯(度)：122.63		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	地表	-21.13	1(南北)	地表	4.13
2(東西)	地表	-12.83	2(東西)	地表	3.24
3(垂直)	地表	6.91	3(垂直)	地表	-2.23
4(南北)	14m	-14.27	4(南北)	14m	-1.88
5(東西)	14m	6.93	5(東西)	14m	-2.11
6(垂直)	14m	-4.58	6(垂直)	14m	-1.65
7(南北)	30m	-6.23	7(南北)	30m	-1.08
8(東西)	30m	9.18	8(東西)	30m	2.01
9(垂直)	30m	-	9(垂直)	30m	-
10(南北)	99m	-7.32	10(南北)	99m	-0.86
11(東西)	99m	2.11	11(東西)	99m	0.56
12(垂直)	99m	1.86	12(垂直)	99m	0.31
13(南北)	297m	-1.58	13(南北)	297m	-1.86
14(東西)	297m	1.67	14(東西)	297m	-0.52
15(垂直)	297m	1.84	15(垂直)	297m	-0.64

台北港地震監測站各頻道最大加速度值(2008年12月份-共2筆)

編號：1/2 規模：6.0 深度：29.8 km			編號：2/2 規模：6.0 深度：12.5km		
地震時間：08/12/02;11:16'53.3"			地震時間：08/12/08;05:18'36.7"		
記錄時間：08/12/02;11:17'31"			記錄時間：08/12/08;05:19'03"		
震央位置：北緯：23.28° 東經：121.6°			震央位置：北緯：23.84° 東經：122.17°		
頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)	頻道(方向)	儀器深度	PGA(gal)
1(南北)	地表	-2.98	1(南北)	地表	-3.25
2(東西)	地表	2.33	2(東西)	地表	2.00
3(垂直)	地表	1.42	3(垂直)	地表	1.23
4(南北)	14m	-1.50	4(南北)	14m	1.58
5(東西)	14m	-1.66	5(東西)	14m	-1.57
6(垂直)	14m	1.29	6(垂直)	14m	-0.91
7(南北)	30m	2.31	7(南北)	30m	-0.73
8(東西)	30m	-	8(東西)	30m	-2.63
9(垂直)	30m	-0.105	9(垂直)	30m	0.00
10(南北)	99m	0.48	10(南北)	99m	-0.47
11(東西)	99m	0.67	11(東西)	99m	-0.61
12(垂直)	99m	-0.26	12(垂直)	99m	0.28
13(南北)	297m	1.64	13(南北)	297m	-1.01
14(東西)	297m	0.74	14(東西)	297m	0.56
15(垂直)	297m	0.67	15(垂直)	297m	-0.54

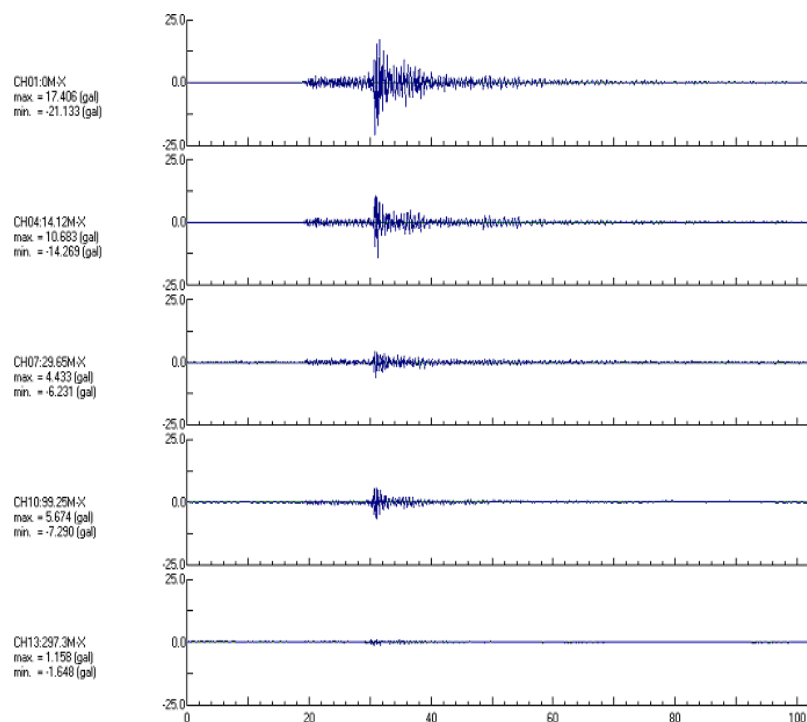


圖 3.2 臺北港 2008 年 6 月 2 日 00 時 59 分地震(南北向)

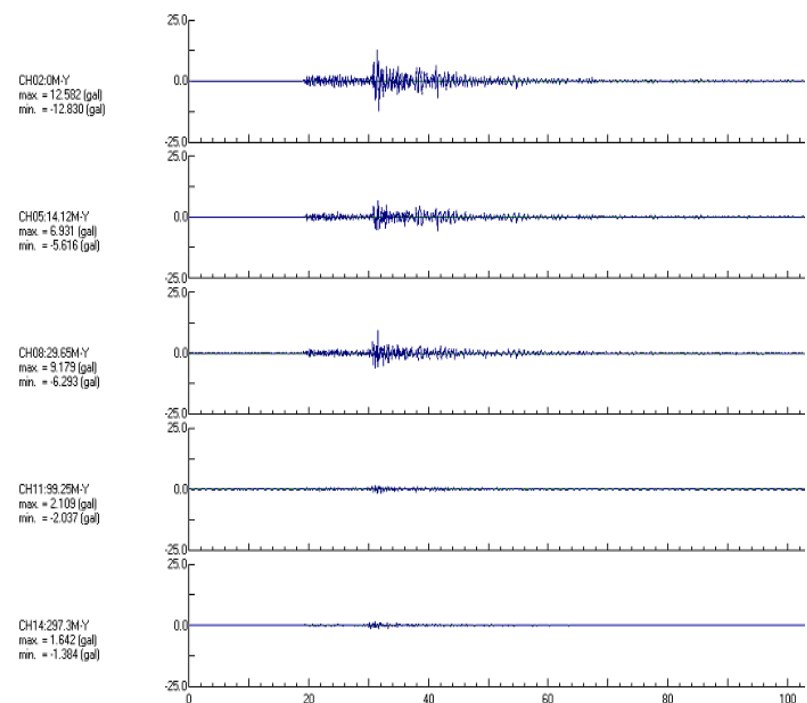


圖 3.3 臺北港 2008 年 6 月 2 日 00 時 59 分地震(東西向)

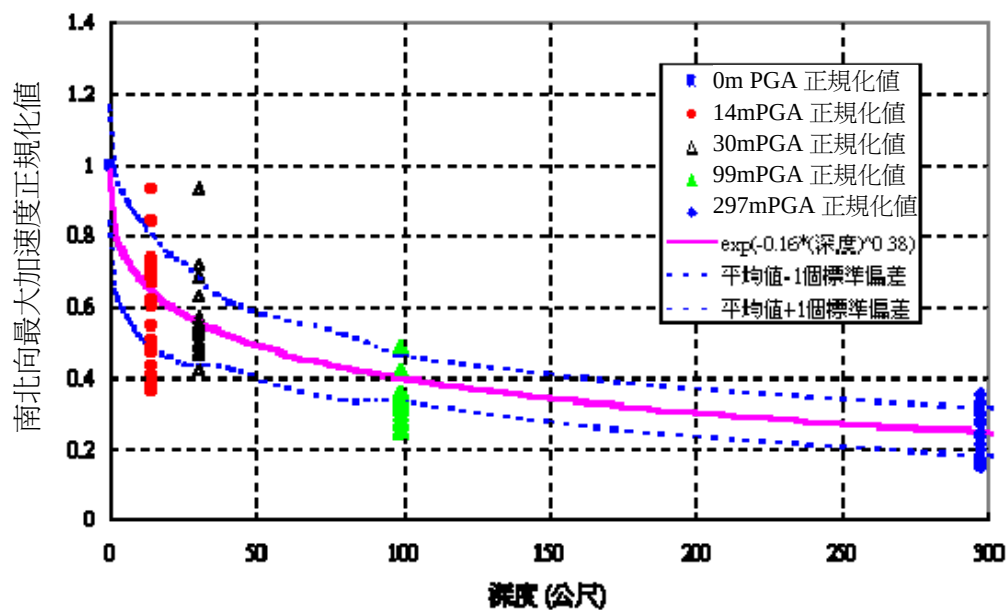


圖 3.4a 臺北港井下地震儀南北向最大加速度正規化後隨深度變化圖

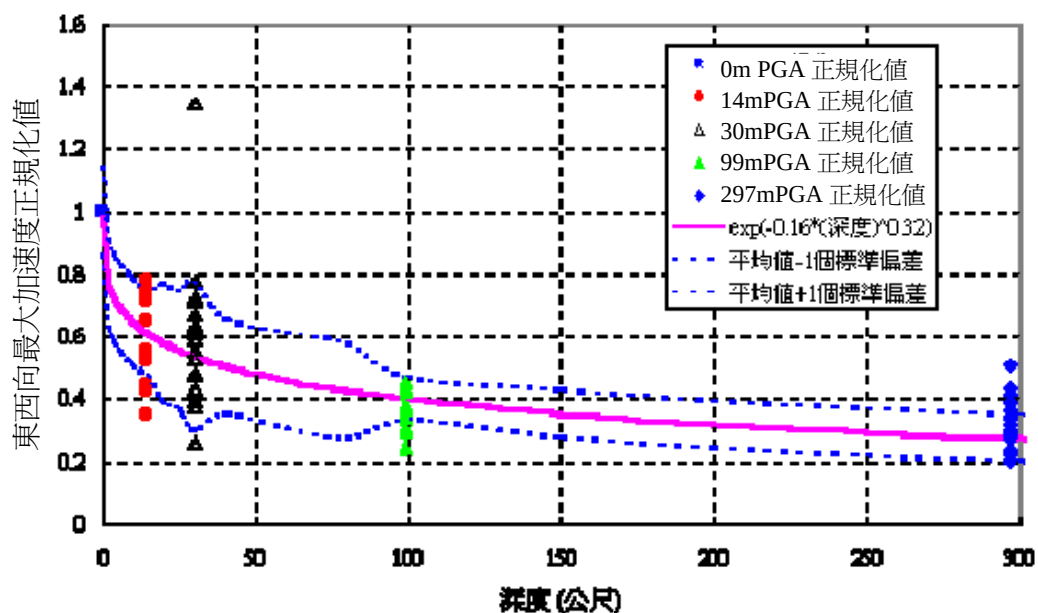


圖 3.4b 臺北港井下地震儀東西向最大加速度正規化後隨深度變化圖

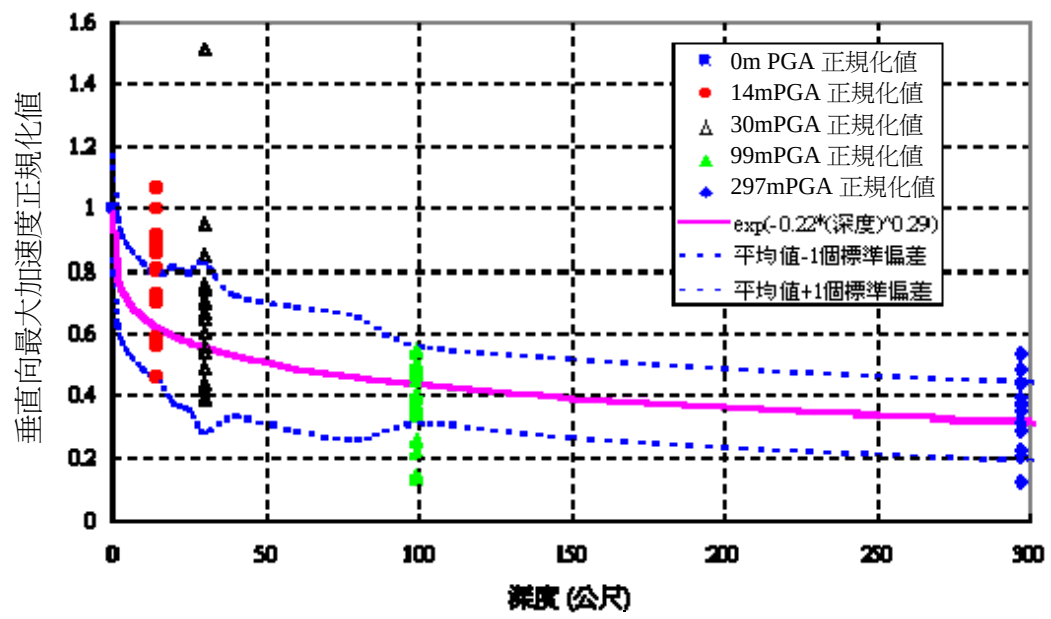


圖 3.4c 臺北港井下地震儀垂直向最大加速度正規化後隨深度變化圖

表 3-3 高雄港井下地震觀測資料之規模、震央與震源深度

No	時間	位置		深度 km	規模
		緯度	經度		
1	2007-01-25; 18:59:47.00	22.63	122.03	25.8	6.2
2	2007-02-19; 05:05:33.00	21.79	120.40	44.3	5.1
3	2007-06-24; 22:39:04.00	22.79	120.46	25.4	3.8
4	2007-07-03; 15:18:40.00	22.4	120.15	29.2	3.9
5	2007-08-09; 08:56:19.00	22.65	121.08	5.5	5.7
6	2007-10-17; 22:40:00.00	23.5	121.61	42.1	5.4
7	2007-10-19; 22:25:39.00	22.96	120.63	18.7	4.3
8	2007-10-22; 03:57:56.00	22.96	120.63	17.8	4.1
9	2007-12-05; 09:42:08.00	23.07	121.19	11.3	5.1
10	2008-02-18; 04:33:36.00	23.31	121.46	28.3	5.4
11	2008-03-05; 01:32:09.00	23.21	120.70	11.3	5.2
12	2008-03-05; 06:43:03.00	23.21	120.71	12.0	4.6
13	2008-04-14; 23:40:22.00	22.83	121.33	27.2	5.1
14	2008-04-24; 02:29:19.00	22.87	121.68	11.1	5.6
15	2008-04-24; 06:05:01.00	22.83	121.69	13.3	5.2
16	2008-04-25; 22:34:03.00	22.32	120.23	27.0	3.8
17	2008-05-01; 03:22:56.00	21.82	120.38	38.4	4.6
18	2008-05-14; 02:28:20.00	22.77	121.04	7.0	5.0
19	2008-06-15; 07:29:41.00	22.90	120.59	16.9	4.8
20	2008-07-03; 08:06:06.00	23.19	120.67	15.1	4.3
21	2008-10-31; 06:25:46.00	23.07	120.23	16.0	4.0
22	2008-10-31; 16:38:37.00	23.07	120.22	15.4	4.6
23	2008-12-02; 11:17:36.00	23.28	121.60	29.8	6.0
24	2008-12-08; 05:19:42.00	23.80	122.20	35.1	5.9
25	2008-12-23; 08:04:55.00	22.95	120.57	17.1	5.3

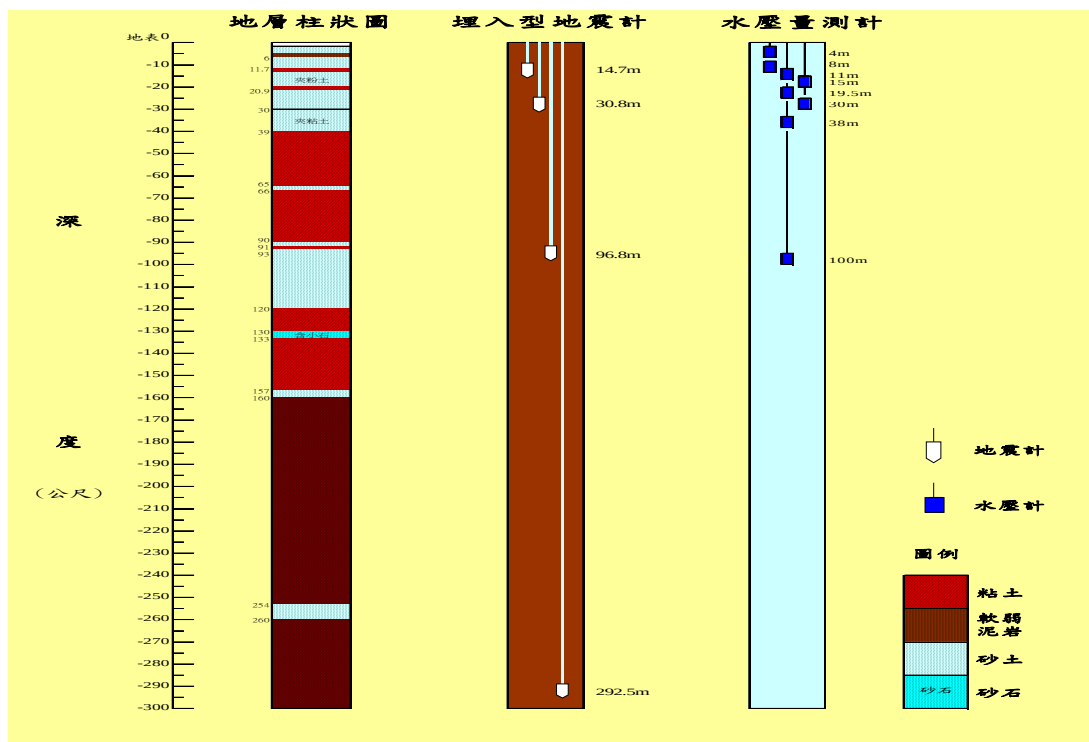


圖 3.5 高雄港井下地震及動態水壓監測站示意圖

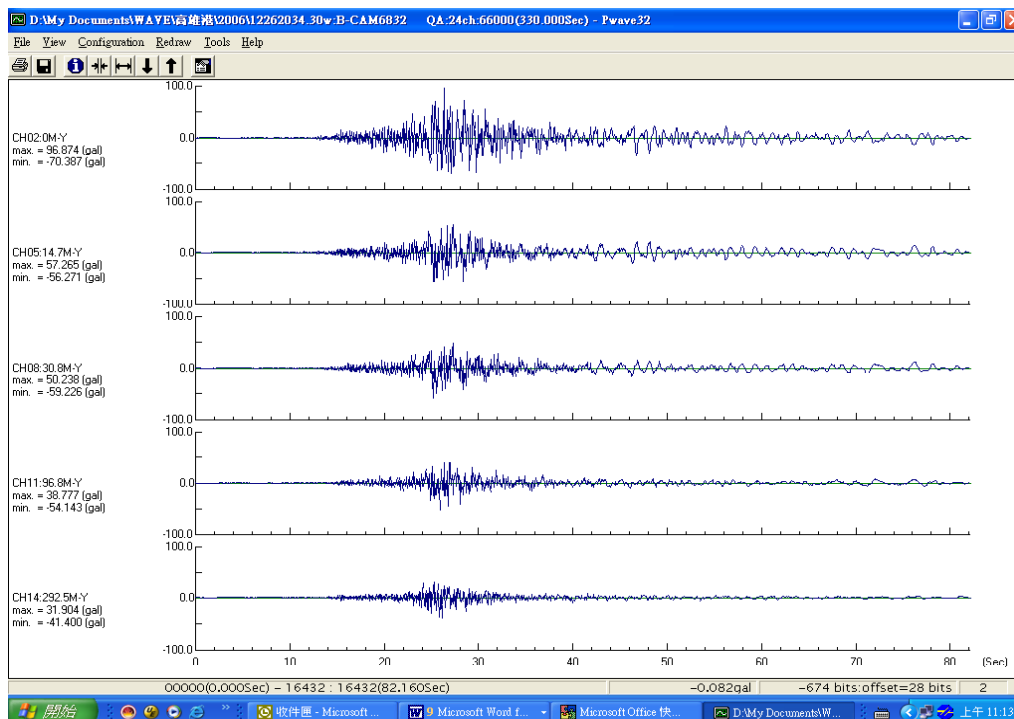


圖 3.6 高雄港 2006 年 12 月 26 日 20 點 34 分地震波

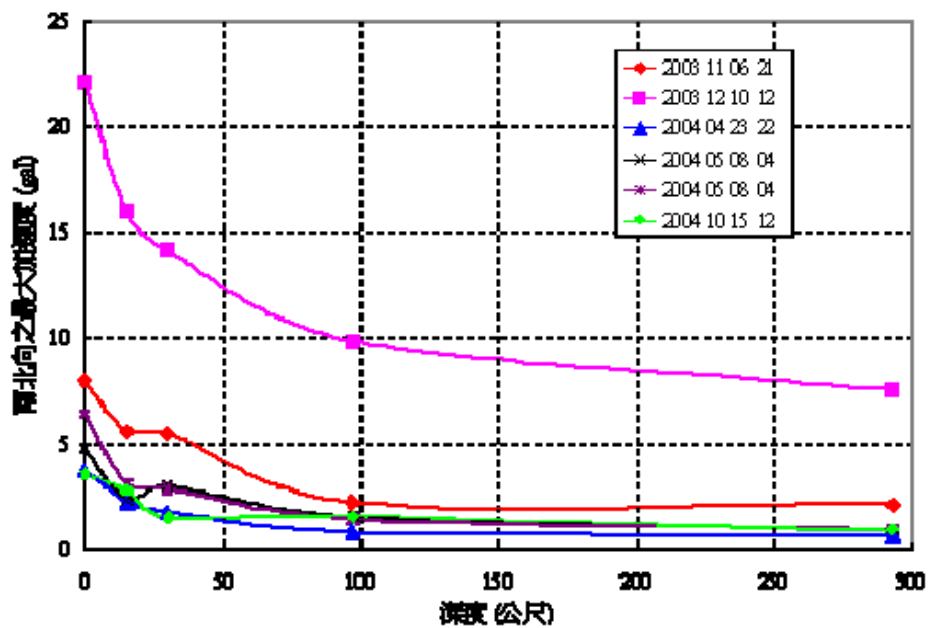


圖 3.7 高雄港井下地震儀南北向之最大加速度隨深度變化圖

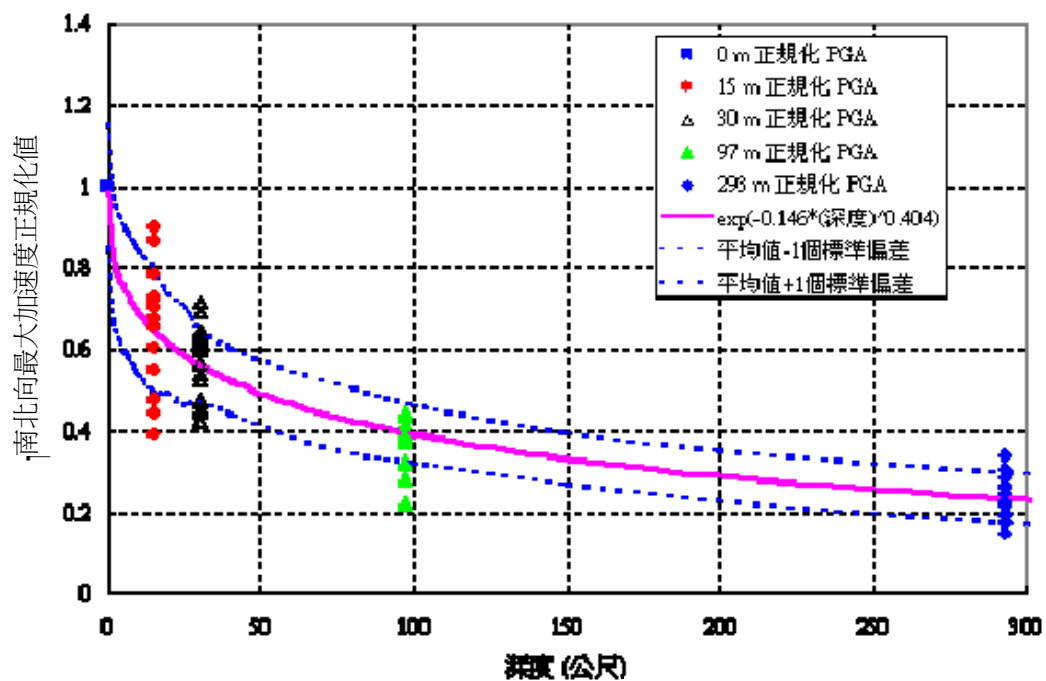


圖 3.8 高雄港井下地震儀南北向最大加速度正規化後隨深度變化圖

3.3 動態水壓監測分析

各港區井下地震及動態孔隙水壓監測站，自民國 90 年陸續設置完成開始監測以來，僅蘇澳港曾擷取到動態孔隙水壓紀錄，茲就簡述如下，測站於 93 年底完成，井下地震儀陣列設置於地表、-8m、-15m、-22m 及-35m 共 5 部地震儀，2007 年至 2008 年間擷取之地震觀測資料，就規模 4.2 以上較完整之資料共 33 組，如表 3-4、表 3-5，監測期間地震活動非常頻繁，其中以 2007 年 9 月 22 日地震規模 4.8 之地表加速度 126.53gal 最大，但僅有 2007 年 9 月 7 日規模 6.6 之地震有動態孔隙水壓資料，如圖 3.9。監測資料待有更多紀錄進一步分析。

表 3-4 蘇澳港 2007 年井下地震監測資料表

No	監測時間(臺北時間)	震央位置		深度 km	規模
		緯度(度)	經度(度)		
1	2007-01-25; 18:59'16.6"	22.86°	121.86°	5.0	6.2
2	2007-02-12; 13:40'25.3"	24.40°	121.81°	13.1	4.4
3	2007-02-18; 23:46'8.3"	24.42°	122.05°	14.9	4.4
4	2007-04-28; 18:39'48.4"	24.83°	121.97°	12.7	4.4
5	2007-06-17; 12:26'22.3"	24.39°	121.88°	23.7	4.2
6	2007-06-20; 22:21'43.5"	24.40°	121.8°	13.3	4.3
7	2007-07-13; 04:54'13.2"	24.73°	121.79°	7.0	4.4
8	2007-07-22; 06:55'23.2"	24.38°	121.83°	14.4	4.2
9	2007-07-23; 21:40'2.1"	23.69°	121.70°	31.0	5.9
10	2007-09-07; 01:51'25.3"	24.20°	122.43°	54.0	6.6
11	2007-09-07; 01:55'21.6"	24.19°	122.51°	36.8	5.7
12	2007-09-15; 10:05'20.4"	24.33°	121.63°	21.7	4.3
13	2007-09-22; 14:27'4.9"	24.46°	121.87°	22.5	4.8
14	2007-10-11; 11:05'2.5"	24.78°	121.81°	78.9	5.5
15	2007-10-19; 02:24'28.8"	24.47°	121.84°	16.7	4.4
16	2007-11-08; 06:54'15.9"	24.91°	122.17°	4.0	5.0
17	2007-11-12; 18:24'42.5"	24.46°	121.84°	18.4	4.5
18	2007-11-29; 05:05'14.3"	24.82°	122.01°	65.0	5.5
19	2007-12-15; 18:46'53.0"	24.07°	122.45°	61.0	4.8

表 3-5 蘇澳港 2008 年井下地震監測資料表

No	監測時間(臺北時間)	震央位置		深度 km	規模
		緯度(度)	經度(度)		
1	2008-02-18; 04:33:54.00	23.31 ^o	121.46 ^o	28.3	5.4
2	2008-02-28; 02:54:25.00	24.83 ^o	122.29 ^o	14.4	4.8
3	2008-03-01; 00:58:24.00	24.00 ^o	122.53 ^o	26.1	5.1
4	2008-06-02; 00:59:40.00	24.86 ^o	121.79 ^o	92.3	5.8
5	2008-06-15; 19:16:17.00	22.90 ^o	120.59 ^o	16.9	4.8
6	2008-07-11; 11:08:11.00	25.13 ^o	122.25 ^o	16.0	4.7
7	2008-07-12; 14:12:01.00	24.19 ^o	121.81 ^o	6.4	4.5
8	2008-08-02; 02:56:11.00	24.05 ^o	121.53 ^o	21.1	5.1
9	2008-08-18; 01:38:20.00	24.00 ^o	121.70 ^o	42.8	4.6
10	2008-09-07; 07:00:59.00	23.99 ^o	121.81 ^o	50.6	4.6
11	2008-09-09; 15:43:36.00	24.61 ^o	122.63 ^o	103.8	5.9
12	2008-12-02; 11:17:36.00	23.28 ^o	121.60 ^o	29.8	6.0
13	2008-12-08; 03:17.41.00	23.85 ^o	122.20 ^o	35.1	5.9
14	2008-12-30; 09:31:55.00	24.70 ^o	122.34 ^o	95.4	5.1

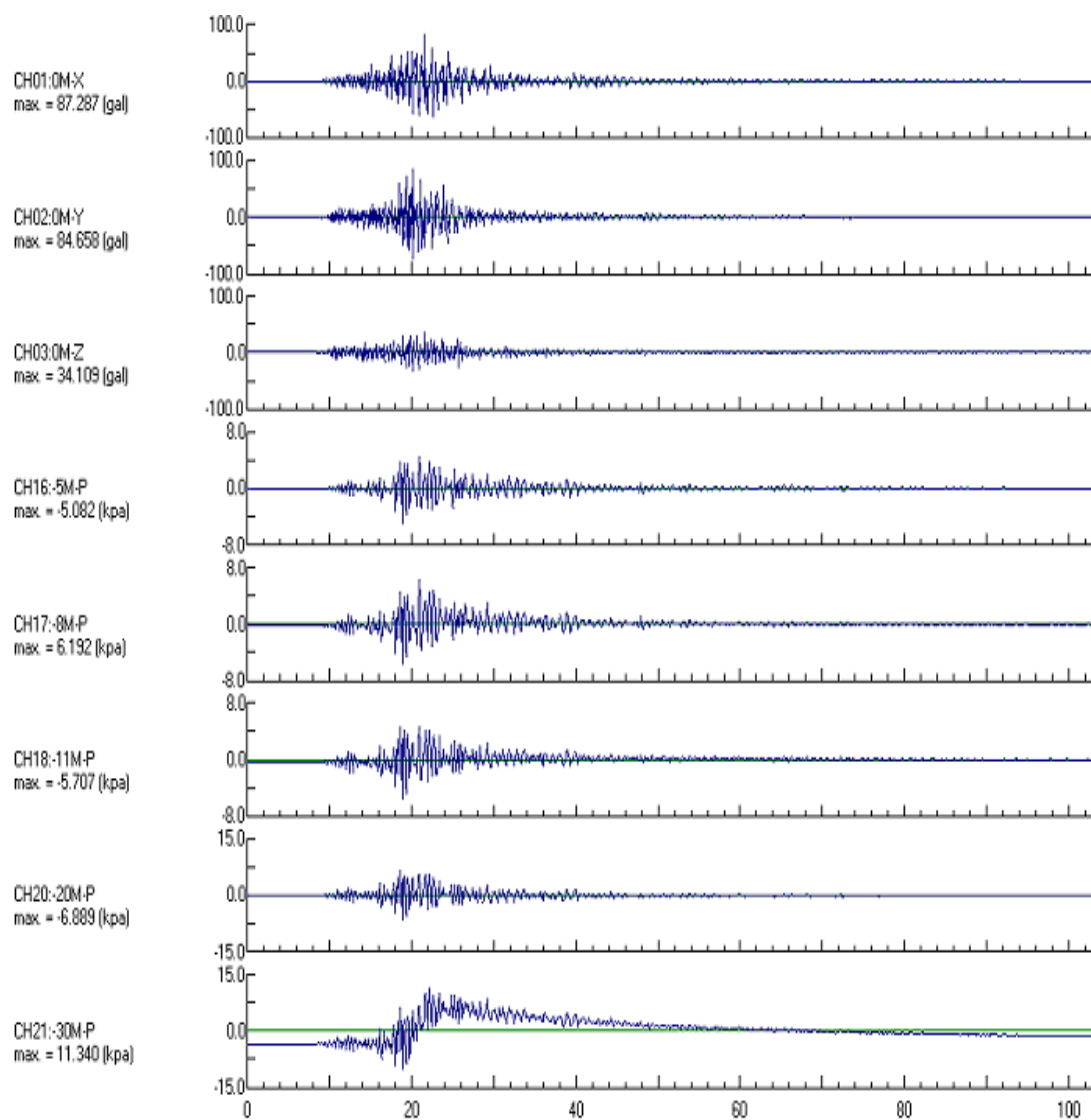


圖 3.9a 蘇澳港 2007 年 9 月 7 日地震之動態孔隙水壓變化

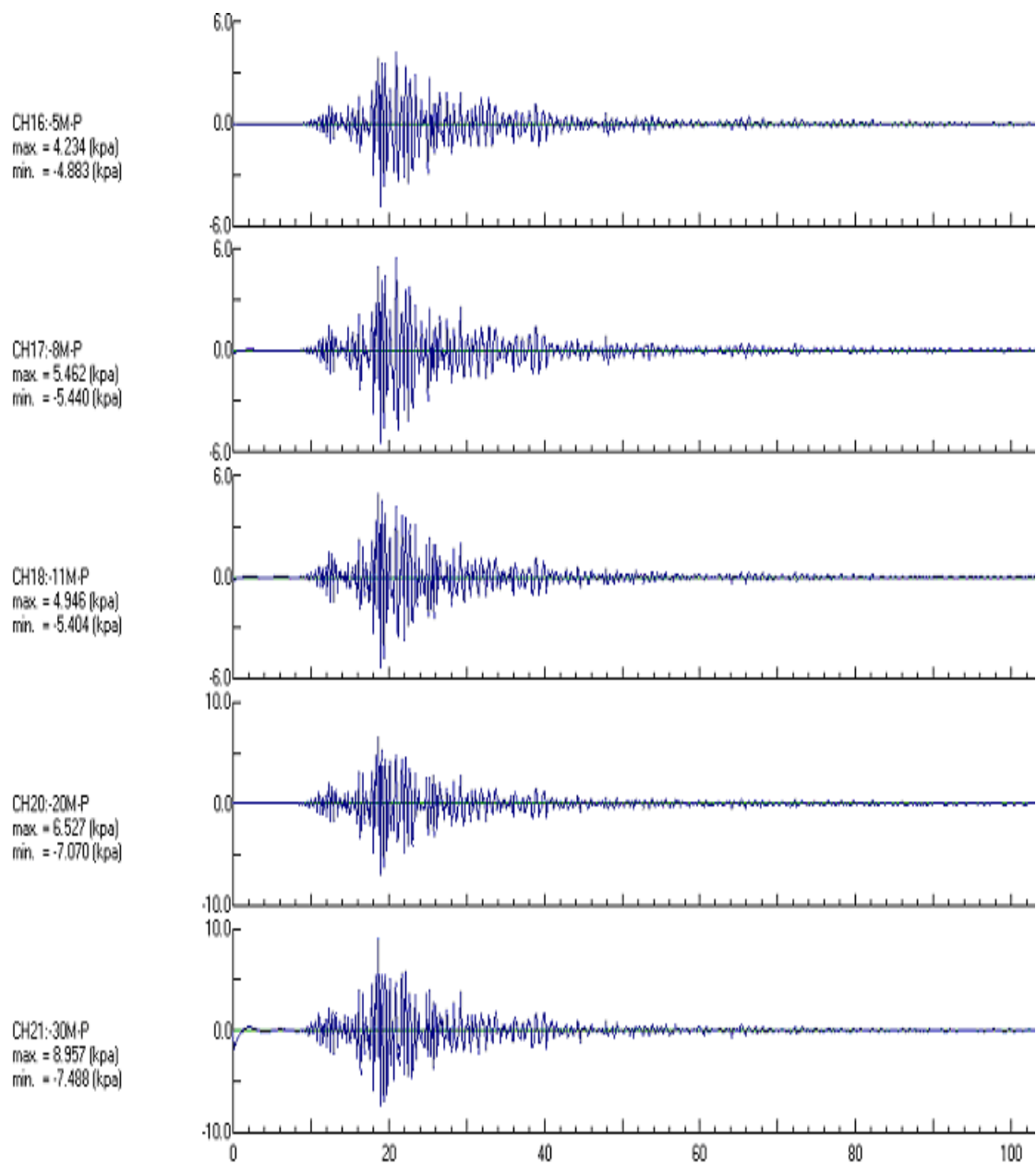


圖 3.9b 蘇澳港 2007 年 9 月 7 日地震之動態孔隙水壓變化
(大於 0.25Hz)

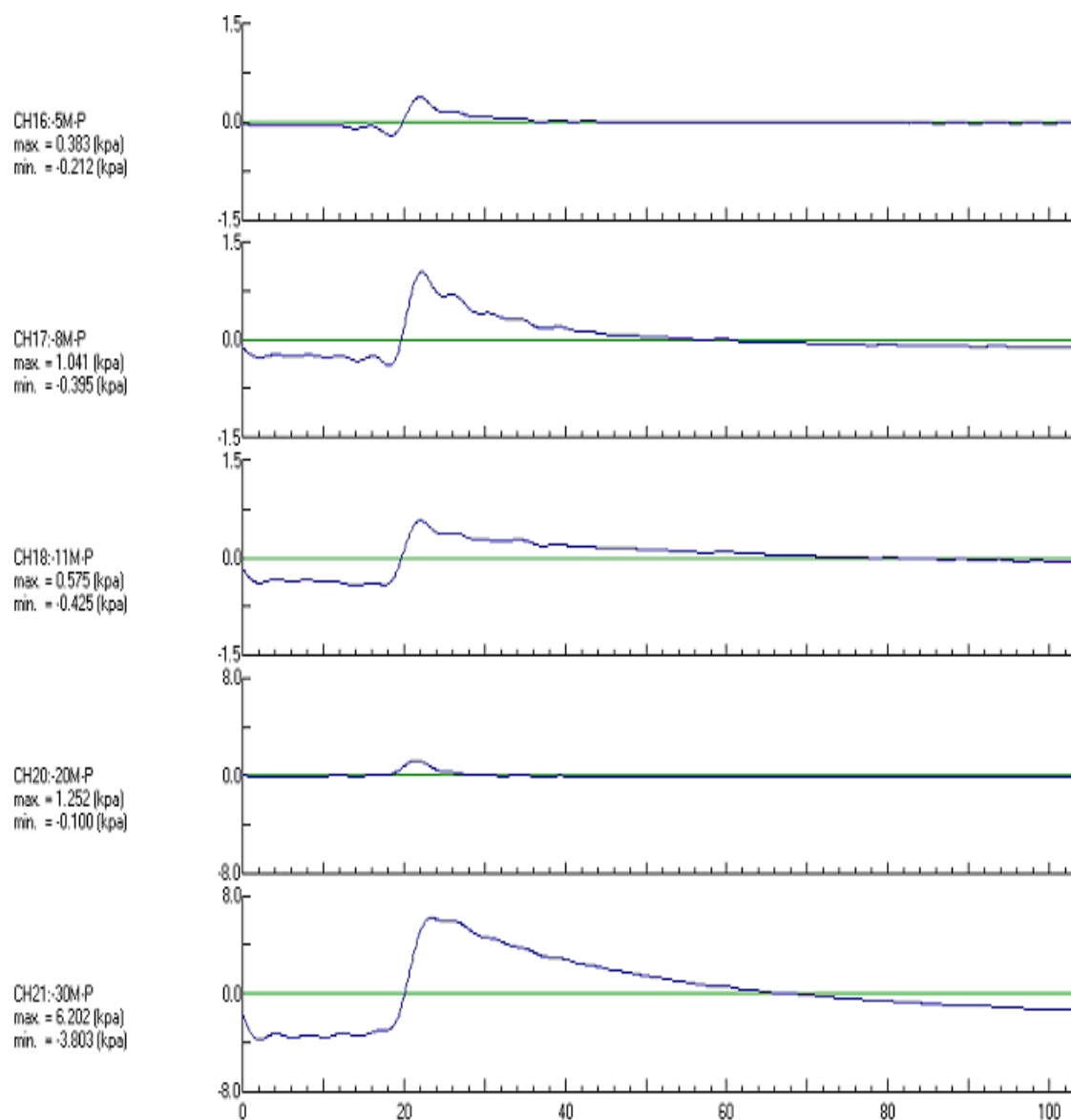


圖 3.9c 蘇澳港 2007 年 9 月 7 日地震之動態孔隙水壓變化
(小於 0.25Hz)

3.4 地表地震監測分析

地表運動之場址效應一般採用地震頻譜來進行分析，而常用的分析方法，主要可以分為傅氏頻譜(Fourier spectrum)與反應譜(Response spectrum)兩種。傅氏頻譜是將觀測站所收錄的地震紀錄時間序列進行傅立葉轉換(Fourier transform)至頻率域，可計算出此地震紀錄之傅氏振幅譜。如有岩盤參考站時，可以再分為傳統的雙站頻譜比法(Borcheret)和單站頻譜比法(Nakamura)。而在工程應用方面，則常使用反應譜法。因為反應譜加上阻尼振盪，所以所得到的頻譜圖形會較傅氏頻譜平滑，在做頻譜比時不致於有很高或很低的比值出現。本節則以傅氏頻譜法選擇臺北港及高雄港地震站，就地表地震監測資料進行分析彙整。

3.4.1 傅立葉振幅譜

傅氏頻譜(Fourier spectrum)分析法即將各測站之地震紀錄，自時間域經由傅氏轉換至頻率域後，可計算出各測站之傅氏振幅譜。若 $f(t)$ 為時間域之地震紀錄，則其傅氏頻譜為

$$F(\omega) = \int f(t)e^{i\omega t} dt \dots\dots\dots (3-2)$$

$f(t)$ 之傅氏振幅譜即為 $F(\omega)$ 之絕對值，即

$$|F(\omega)| = \{ \text{Re}[F(\omega)]^2 + \text{Im}[F(\omega)]^2 \}^{1/2} \dots\dots\dots (3-3)$$

本研究中為了方便計算機處理，則使用快速傅立葉轉換法(Fast Fourier transform, FFT)將所有的地震加速度資料經(3.2)式轉換，再以(3.3)式計算傅氏振幅譜。最後由頻譜比分析可瞭解不同頻率震波作用下，各測站在不同頻率之放大情形。

3.4.2 傅氏頻譜分析

各港區地震監測站所擷取到的每一筆地震資料，皆係來自不同方向、規模、距離、及震源深度所產生，為瞭解測站地震波之振盪主頻(predominant frequency)及其對港區碼頭結構物之影響，本節採取井下監測站所擷取之地表水平最大加速度地震資料進行傅氏頻譜轉換分析，藉以求得地表最大加速度(PGA)之主頻，各傅氏圖以中央氣象局公佈之震度分級彙整。

臺北港井下地震站監測期間並無較大地震發生，自 2007 年至 2009 年止，僅選擇 3 級地震(25gal)以下較完整約 20 餘筆不同大小震度之地表歷時地震紀錄進行傅氏譜分析，經由傅氏轉換後，將水平向資料的頻譜值取均方根(RMS)計算，頻譜圖並以 1、2 及 3 級震度來區分，各級振盪主頻隨著震度不同而稍有差異，如圖 3.10~圖 3.13 所示。經初步分析結果，各級地震之平均主頻約介於 0.71Hz~0.86Hz。

高雄港地震站自 2007 年監測至 2009 年止，共紀錄約 30 餘筆不同大小震度之歷時資料，大部份是 3 級以下的輕弱級地震，選擇其中完整之地表歷時地震資料進行傅氏譜分析，各級震度頻譜圖(Fourier amplitude spectrum)如圖 3.14~圖 3.17 所示。初步分析結果，各級地震之平均主頻約介於 0.88Hz~1.02Hz。

台北港2007~2008年弱震傅氏振幅譜圖(測站1級)

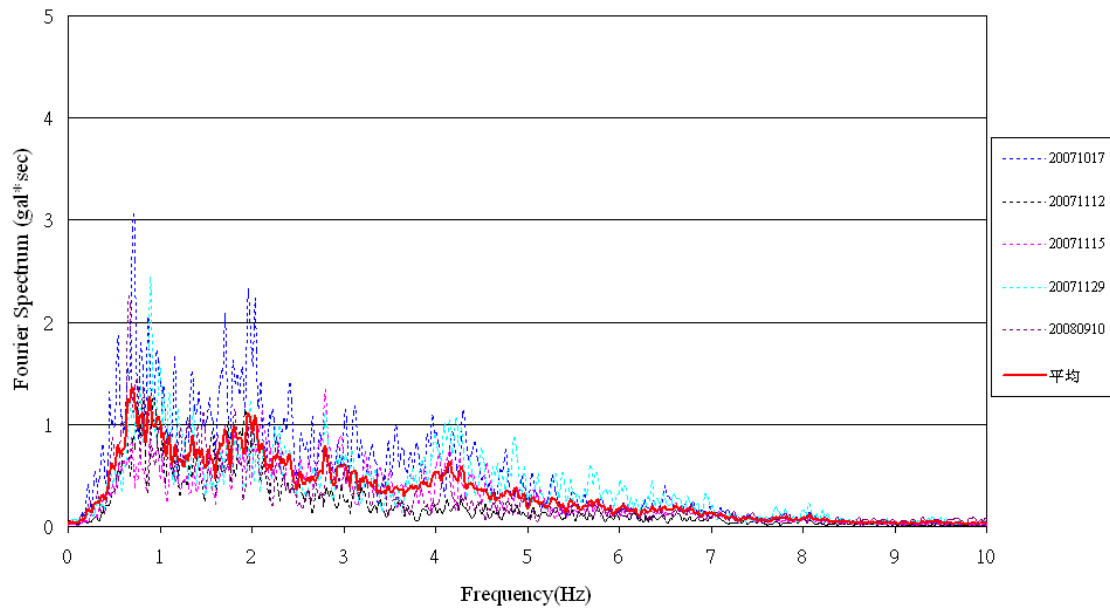


圖 3.10 臺北港地震站 1 級震度傅氏頻譜圖

台北港2007~2008年 弱震傅立葉頻譜圖(測站2級)

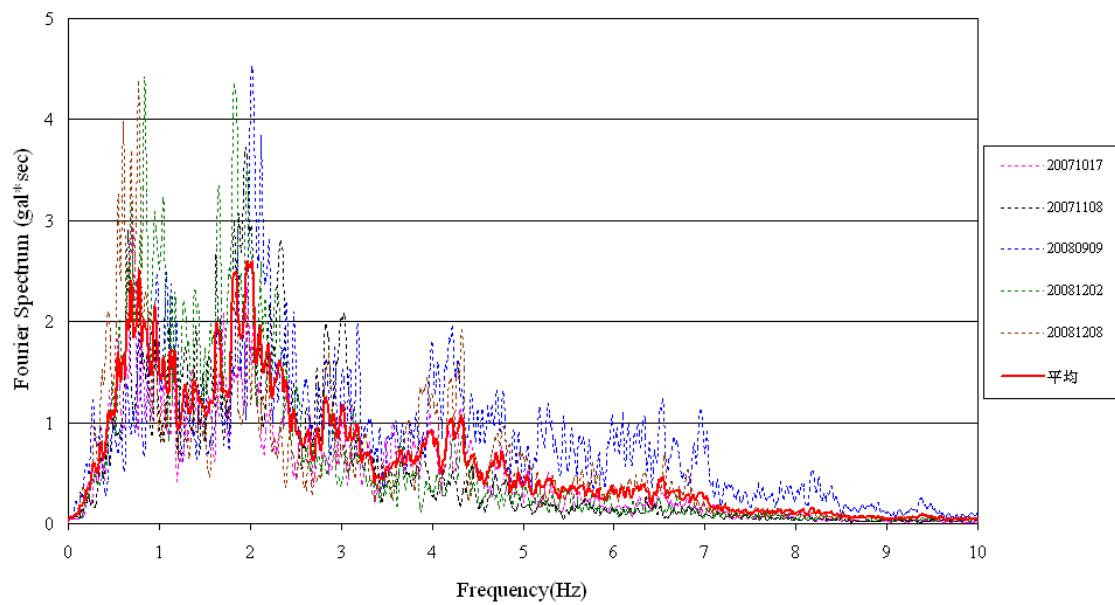


圖 3.11 臺北港地震站 2 級震度傅氏頻譜圖

台北港2008~2009年弱震傅立葉頻譜圖(測站3級)

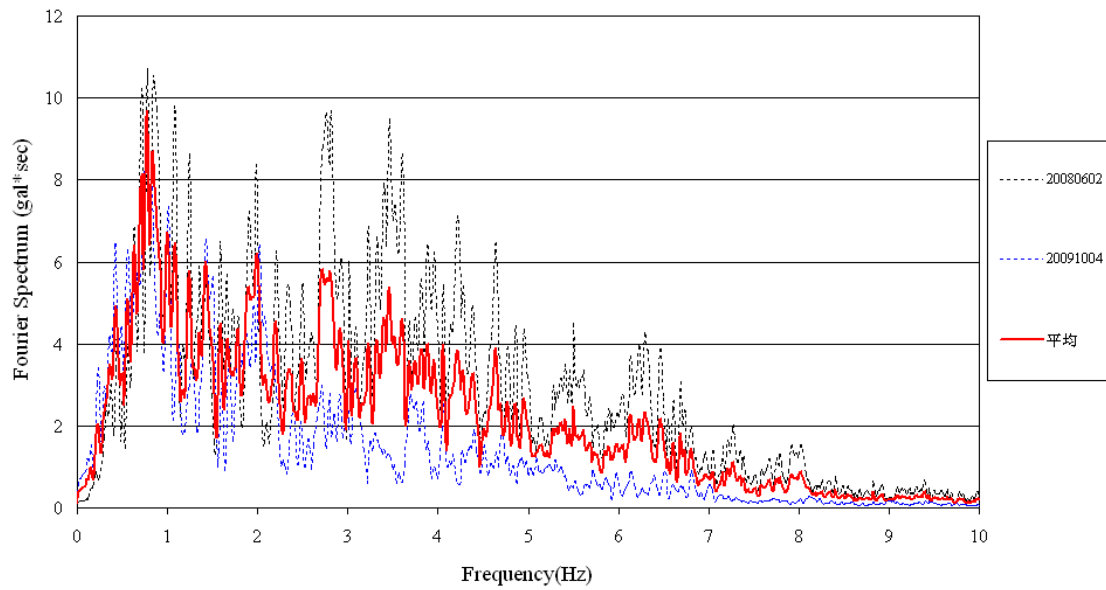


圖 3.12 臺北港地震站 3 級震度傅氏頻譜圖

台北港地震站2007~2009年地震傅立葉頻譜比較圖(測站1,2,3級)

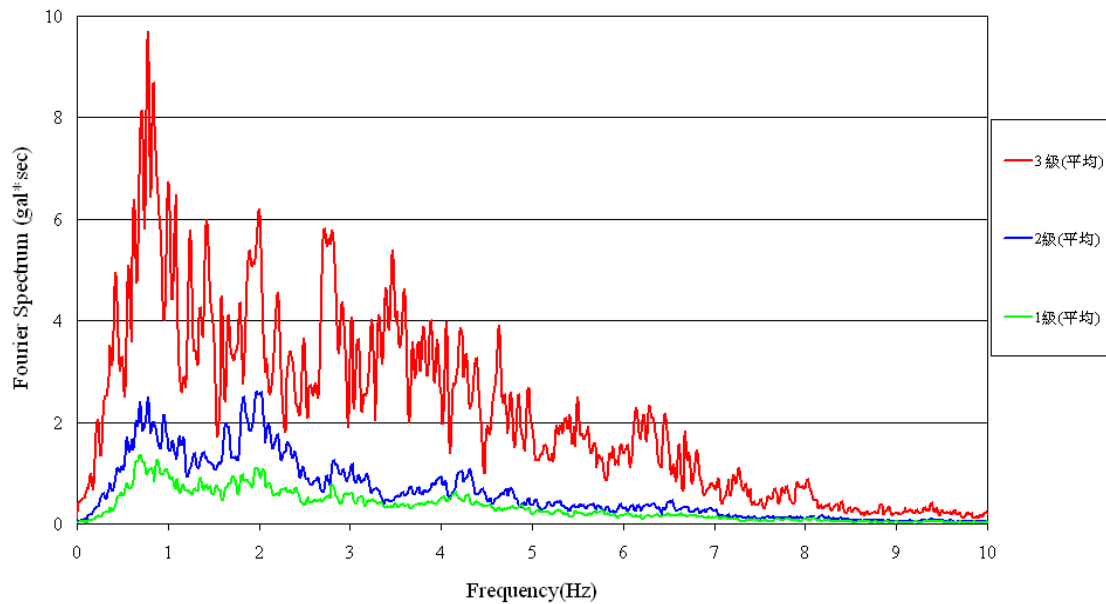


圖 3.13 臺北港地震站各級震度平均傅氏頻譜圖

高雄港2007~2008微震傅立葉頻譜圖(測站1級)

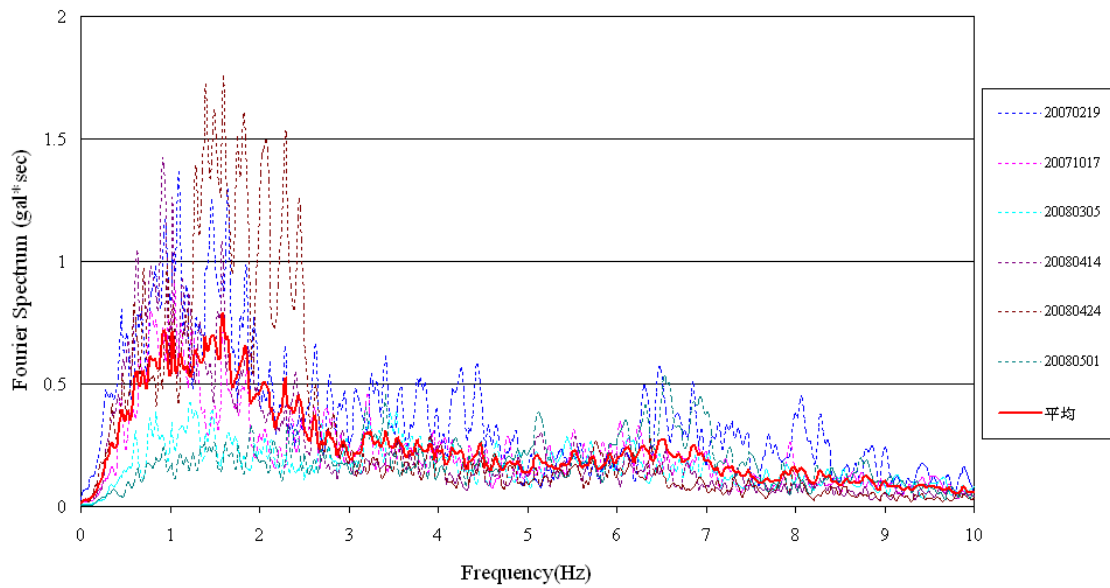


圖 3.14 高雄港地震站 1 級震度傅氏頻譜圖

高雄港2007~2008輕震傅立葉頻譜圖(測站2級)

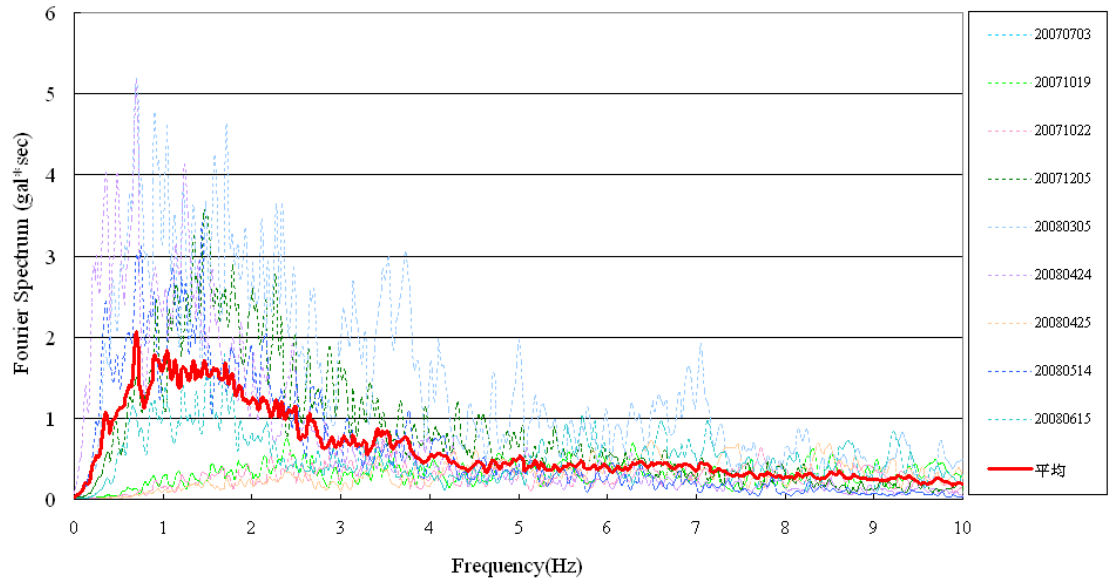


圖 3.15 高雄港地震站 2 級震度傅氏頻譜圖

高雄港地震站2006~2008年弱震傅立葉頻譜圖(測站3級)

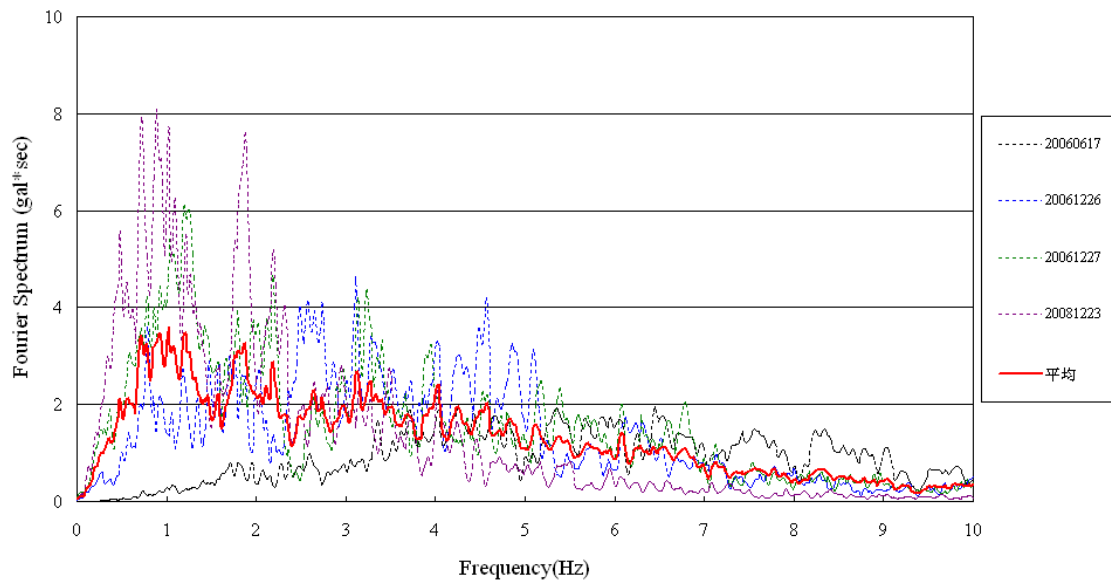


圖 3.16 高雄港地震站 3 級震度傅氏頻譜圖

高雄港地震站2007~2008年地震傅立葉譜比較圖(測站1,2,3級)

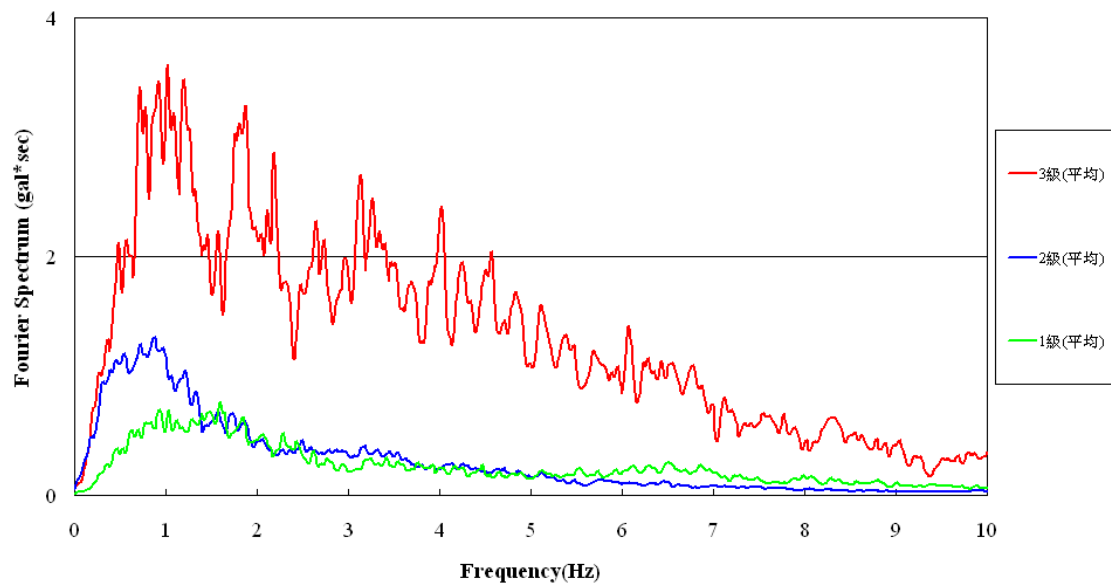


圖 3.17 高雄港地震站各級震度平均傅氏頻譜圖

3.5 港區微地動試驗

由於港區大多為沖積土層，要選擇一個適當的岩盤參考測站並不容易，或因參考測站選擇不當，則會因為地形效應的影響，使場址效應分析結果有所差異，故雙站法並不適用於港區。於是本節採 Nakamura 在 1989 年提出單站頻譜比法之經驗式，利用微地動資料，以水平與垂直向震幅放大頻譜比(H/V amplification spectrum ratio)，分析出淺層沖積土層之共振頻率。而 Lermo and Chavez-Garcia (1993)亦從理論層狀構造來進行研究，認為此法也適用於地震之 S 波分析。茲就 Nakamura (1996, 2000)之單站頻譜比法簡述如下：

若 S_H 代表地表振動水平分量之傅氏振幅譜， B_H 為鬆軟土層底部水平分量之傅氏振幅譜，則水平向頻譜比 S_E 可以表示為

$$S_E = \frac{S_H}{B_H} \dots\dots\dots (3-4)$$

由於受到近地表雷利波(Rayleigh wave)之影響，在地表所紀錄到之水平向振幅 S_H 會大於地下岩盤測站之水平向振幅 B_H ，利用垂直向頻譜比 A_S ，代表震源放大作用

$$A_S = \frac{S_V}{B_V} \dots\dots\dots (3-5)$$

S_V 代表地表振動垂直分量之傅氏振幅譜， B_V 為鬆軟土層底部垂直分量之傅氏振幅譜。為了除去震源放大效應，將(3-4)式除以(3-5)式，即

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} = \frac{\left[\frac{S_H}{B_H} \right]}{\left[\frac{S_V}{B_V} \right]} = \left[\frac{\frac{S_H}{B_H}}{\frac{S_V}{B_V}} \right] \dots\dots\dots (3-6)$$

上式中之分母 $\frac{B_H}{B_V}$ ，Nakamura 曾利用井下微地動觀測資料得到其值約等於 1。但是一般岩盤站 H/V ratio 由於受到其地下地層形貌影響，

此比值不會這麼穩定，但大約會在某個定值附近來回震盪。利用以上關係，即可得到單站頻譜比法此一經驗式：

$$S_M = \frac{S_H}{S_V} \dots\dots\dots (3-7)$$

簡言之，也就是利用單一測站之水平向傅氏頻譜除以垂直向傅氏頻譜，便可以估計此筆地震對此測站區域所造成的場址效應。

3.5.1 臺北港區微地動試驗與共振主頻

於臺北港區以 (Guralp CMG-6TD 型數位寬頻地震儀，如圖 3.18) 進行微地動試驗，利用晚間無重型機械運作時施作以避免人為震動之影響，每一測點施測 15 分鐘。測線圍繞臺北港全區周邊，以 200 公尺設一個測站，總計量測 22 站，測站資料如表 3-6 所示，各站位置如圖 3.19 所示。

經量測結果，臺北港區主頻除了一個測站為 2.69Hz 外，其餘大約介於 0.98~1.81Hz，港區共振主頻等值分佈圖如圖 3.20。



圖 3.18 微地動儀現地試驗圖

表 3-6 臺北港區測站資料

點號	經度	緯度	高程	誤差	第一主頻	放大倍率	第二主頻	放大倍率
TP01	289184	2782666	5	9	2.42	1.66		
TP02	289283	2782772	4	10	1.71	3.37	15.04	1.42
TP03	289305	2782501	4	8	1.42	0.05		
TP04	289747	2782942	6	7	1.42	0.04		
TP05	289382	2782855	5	8	1.46	3.1	11.13	1.46
TP06	289516	2782746	5	7	1.51	1.91		
TP07	289406	2782747	7	9	1.76	2.71		
TP08	289653	2782882	5	8	1.51	2.77		
TP09	289433	2782632	5	9	1.17	2.79		
TP10	289796	2783185	6	7	1.07	2.93		
TP11	289964	2783314	7	8	1.12	1.82		
TP12	289565	2782675	7	8	1.17	3	3.42	0.71
TP13	289901	2783058	7	9	0.98	1.97		
TP14	289313	2782388	6	7	1.73	2.99		
TP15	289397	2782476	5	8	2.69	3.51		
TP16	289470	2782546	5	8	1.56	3.58		
TP17	289433	2782354	4	10	1.81	2.85		
TP18	289532	2782456	6	8	1.61	3.03		
TP19	289477	2782938	4	8	1.42	5.71		
TP20	289974	2783606	7	8	1.07	2.28		
TP21	290092	2783735	7	8	1.46	2.72		
TP22	290369	2783227	3	10	1.42	2.42		

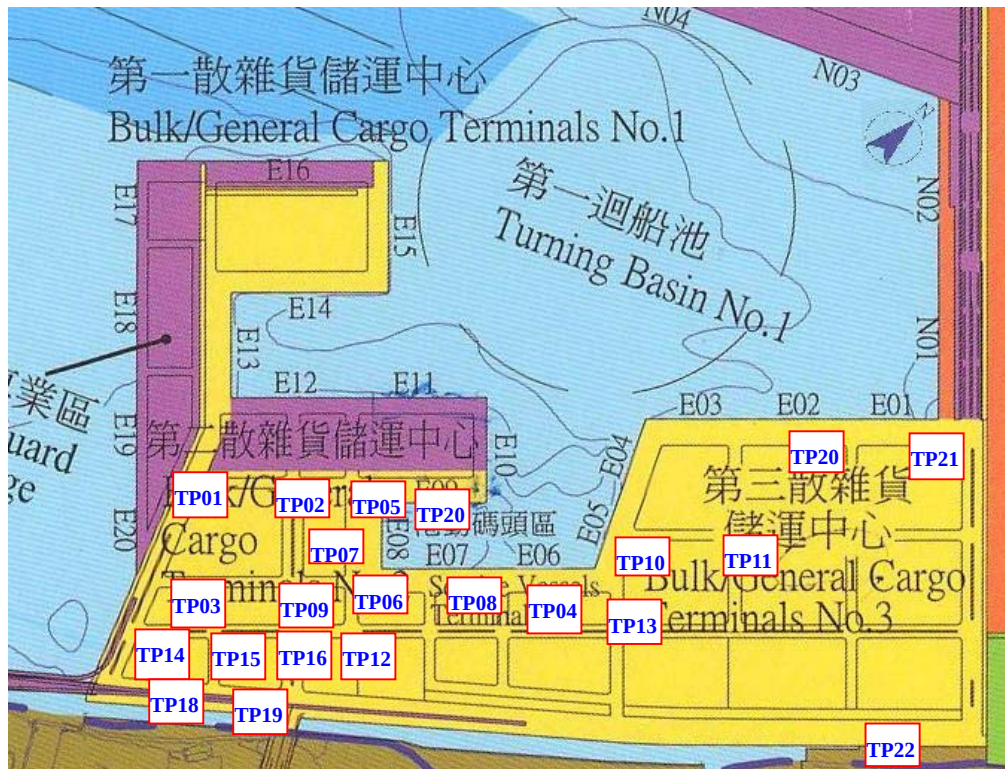


圖 3.19 臺北港微地動測站位置圖

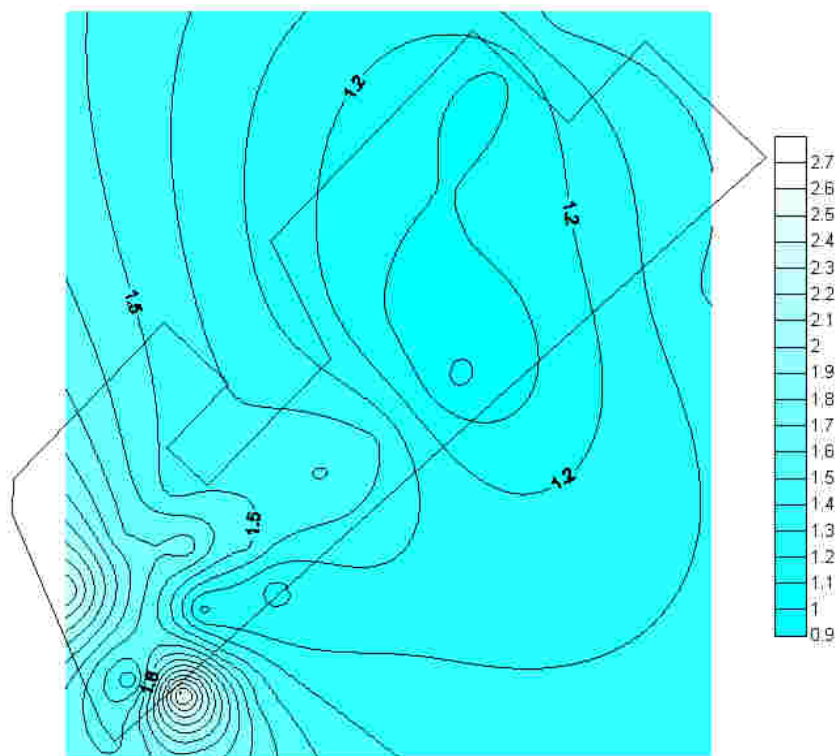


圖 3.20 臺北港區共振主頻等值分佈圖

3.5.2 高雄港區微地動試驗與共振主頻

高雄港區微地動試驗亦應用 Nakamura (1996, 2000)之單站頻譜比法原理，選擇第四貨櫃中心(115~121 號碼頭)進行試驗，以每 200~500 公尺設一個測站，總計量測 9 個站，每一測點施測 15 分鐘。測站資料如表 3-7 所示，各站位置如圖 3.21 所示。

量測結果，高雄港區主頻約介於 0.2~1.2Hz，顯示此區域沖積層較厚，高雄港區第四貨櫃中心共振主頻等值分佈圖，如圖 3.22。

表 3-7 高雄港區測站資料

測站編號	GPS 座標 (TWD97)		備註
	N	E	
1	178105	2496698	
2	178339	2496392	
3	178486	2496285	
4	178536	2496211	
5	178643	2496632	
6	178733	2496446	
7	178693	2496003	
8	178999	2495525	
9	179207	2495265	

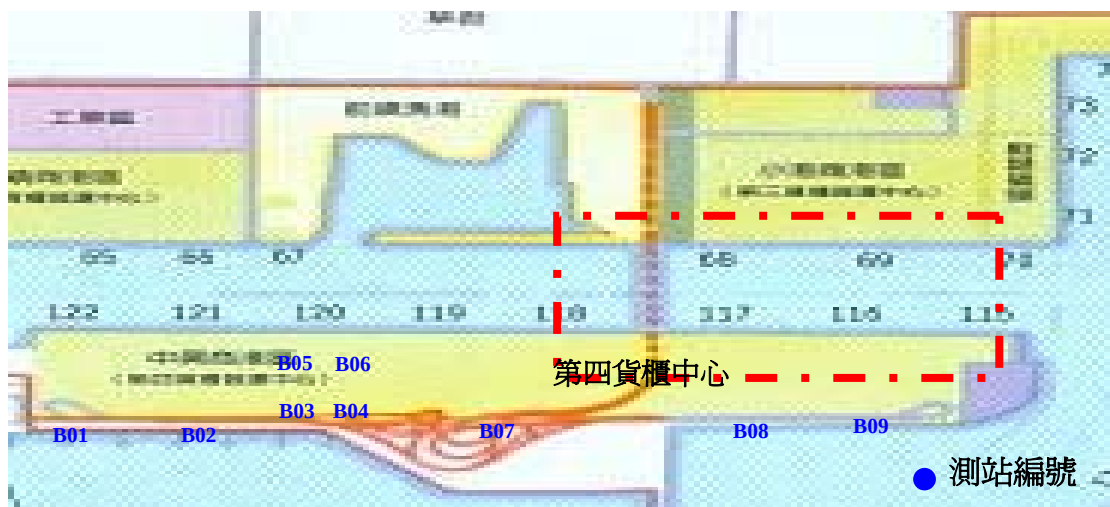


圖 3.21 高雄港第四貨櫃中心各測站分佈位置圖

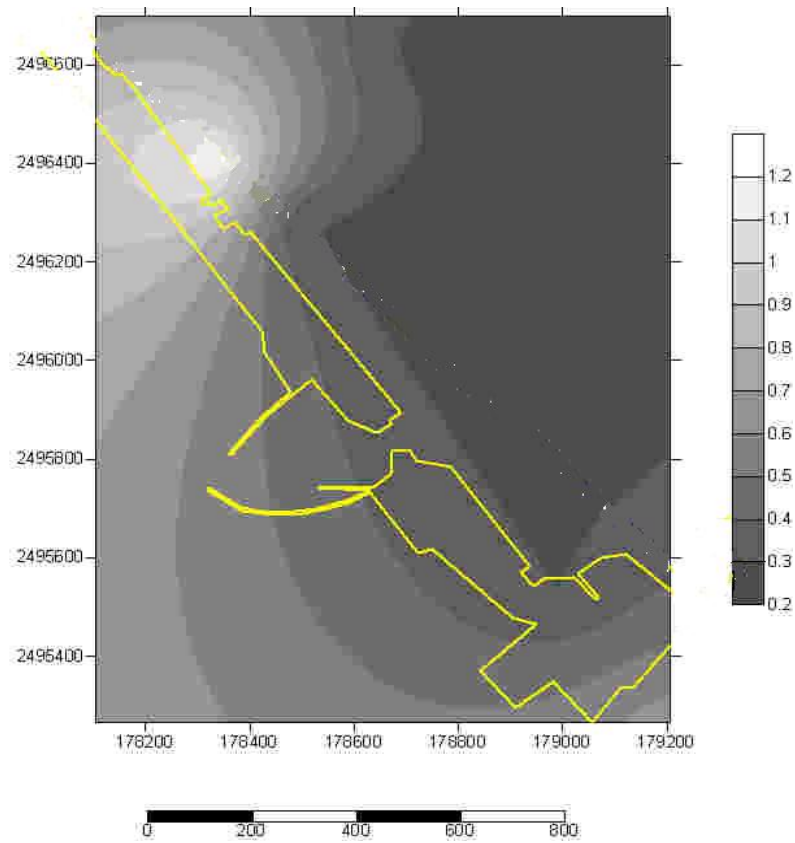


圖 3.22 高雄港區第四貨櫃中心共振主頻等值分佈圖

第四章 港區地震及地下水位監測資料查詢系統建置

4.1 港區監測系統設置目的

港區監測系統設置之主要目的在於，建置各港自動化之港區地震分層監測系統，分層監測港區地層與水壓於地震時之反應波，並將測得之資料彙整建置成資料庫，方便碼頭地震資料之查詢，如港灣地區地震分層監測之設置資訊、港區歷史地震資訊與歷史地震統計資訊等，並為港區地層震動特性、地層放大效應、動態孔隙水壓變化及地震時各港區之場址效應等之研究資料，進而瞭解港區沖積地層之地震振動特性，提供碼頭結構物設計及港區地震工程研究之參考與應用。

4.2 系統之規劃設計

本研究各監測站之系統規劃設計，依設置目的原則上均採統一之規劃設計，其整體系統規劃設計之特性，以臺北港區監測站為例，摘要說明如下：

1. 本系統為分層監測系統

本研究系統共設計地震監測井 4 孔，採用埋入型地震計分孔分層安置，規劃深度為 GL-10 m、GL-20 m、GL-100 m 及 GL-283 m 等 4 層，另加地表型地震計一組共 5 層測點。

2. 各層地層震動與即時水壓反應均採同步監測

每一監測系統均配置水壓計 6 支分置於 3 孔監測井，規劃深度為 3 M、6 M、10 M、15 M、20 M、30 M。

3. 監測記錄

本系統於每監測層均記錄 X、Y、V 三方向之振波，連同水壓計共 21ch 之訊號同步觀測記錄，記錄方式依不同之啟動設定分為定時激發記錄與即時感測記錄。

4. 資料儲存與傳送

全站 21ch 之感測資料均以 Cable 聯結至現地測站機房之先進數位化自動記錄集錄系統，感測資料係預存於集錄系統，再收錄於 IC 卡上取回分析，或經電腦利用數位專線連線自動傳輸或強迫傳輸送回港研中心，透過數位專線亦可由港研中心直接遙控或監視現地監測狀況。

測站規劃與實設之整體系統設計範例如圖 4.1。

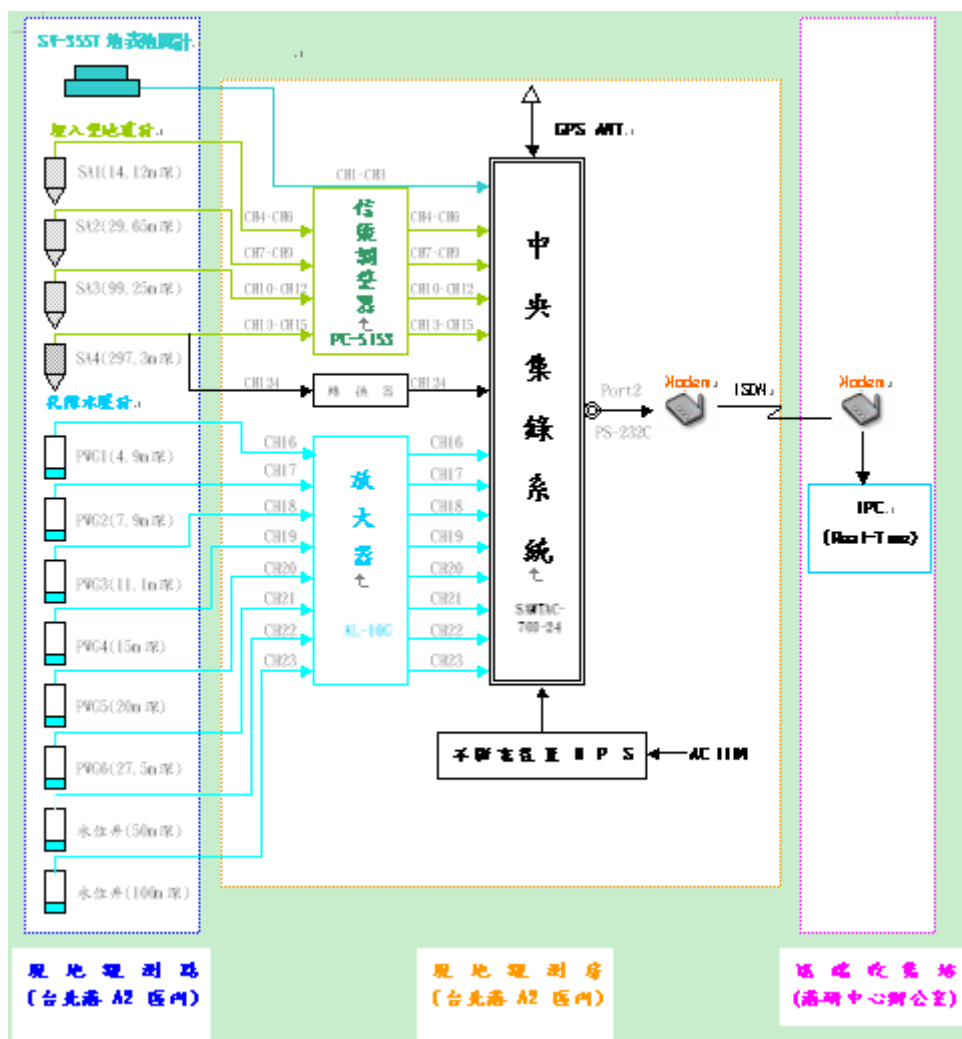


圖 4.1 規劃與實設之整體系統設計-臺北港範例

4.3 系統設置

本研究之系統設置工作，依設置目的其主要工作內容與執行要領如下：

1. 站址標定

站址標定工作應包含：站址之選定與站址測量。站址之選定要領必須考慮具代表性之自由場，但是於既有建設之港區選取測站之理想設置地點並不容易，且必須考慮不影響碼頭營運、作業安全、避免監測受貨櫃車輛及施工震動之干擾、電源取得與通訊傳輸系統之牽引等。站址測量應包括站址座標、相關高程、站址環境與站址與港池關係等。

以臺北港為範例，本研究綜合各項因素並取得港務局之認同，架設監測站於港區入口處北側，即入口大道與濱海快速高架道路交口西北角。監測站設置位置平面如圖 4.2 所示。

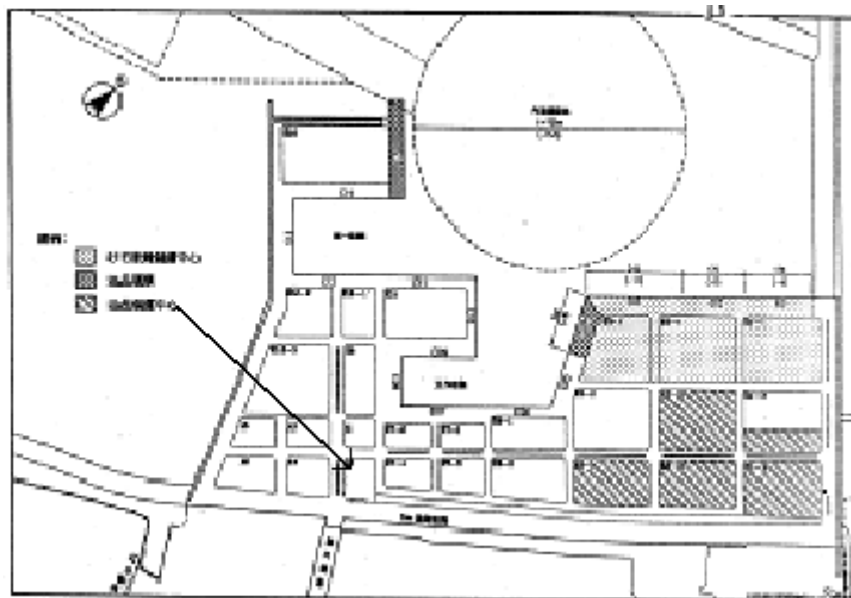


圖 4.2 臺北港監測站設置位置平面示意圖

2. 監測井開挖與感測器埋設

因本系統規劃為分層監測系統，且水壓與地層震動反應同時監測，考慮技術作業與經費能力，分層規劃之方式係於測站鑽設地震監測井 4 孔，水壓監測井 3 孔，分孔分層安置埋入型地震計即水壓計。配合港區地層之特殊狀況，實設深度得依現地調整之。

設計分層水壓震波測點深度為 GL-3 m、GL-6 m、GL-10 m、GL-15 m、GL-20 m 及 GL-30 m 等 6 層。監測儀之埋設要領主要必須注意監測井之適當鑽設間距、感測器之確實回填埋設、感測器之確實埋設深度、感測器之確實正位與感測器埋設前後之校正等。

配合研究需求，測站內應實施適當之地質調查，以臺北港測站為範例，主要地質調查結果與內容如圖 4.3。

3. 系統組合與設定

整體系統主要係由現地感測系統、現地監測擷取系統、數位專線傳輸系統及港研中心之監控與接收系統組成（各港設計系統組成如圖 4.1 之臺北港範例）。

主要設定應包括：電信局數位專線與 Modem 之設定(含傳輸速率)、放大器之設定(含感測器監之相對校正)、Data logger 之設定(含基本資料、擷取頻率與啟動設定等)等。

4.4 資料擷取、傳輸與監測控制

本研究系統資料擷取頻率設定為 100 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 Cable 連結至現地測站機房，21ch 採同步監測與訊號傳輸，21ch 之即時感測資料首先全部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 4.1 與圖 4.4。

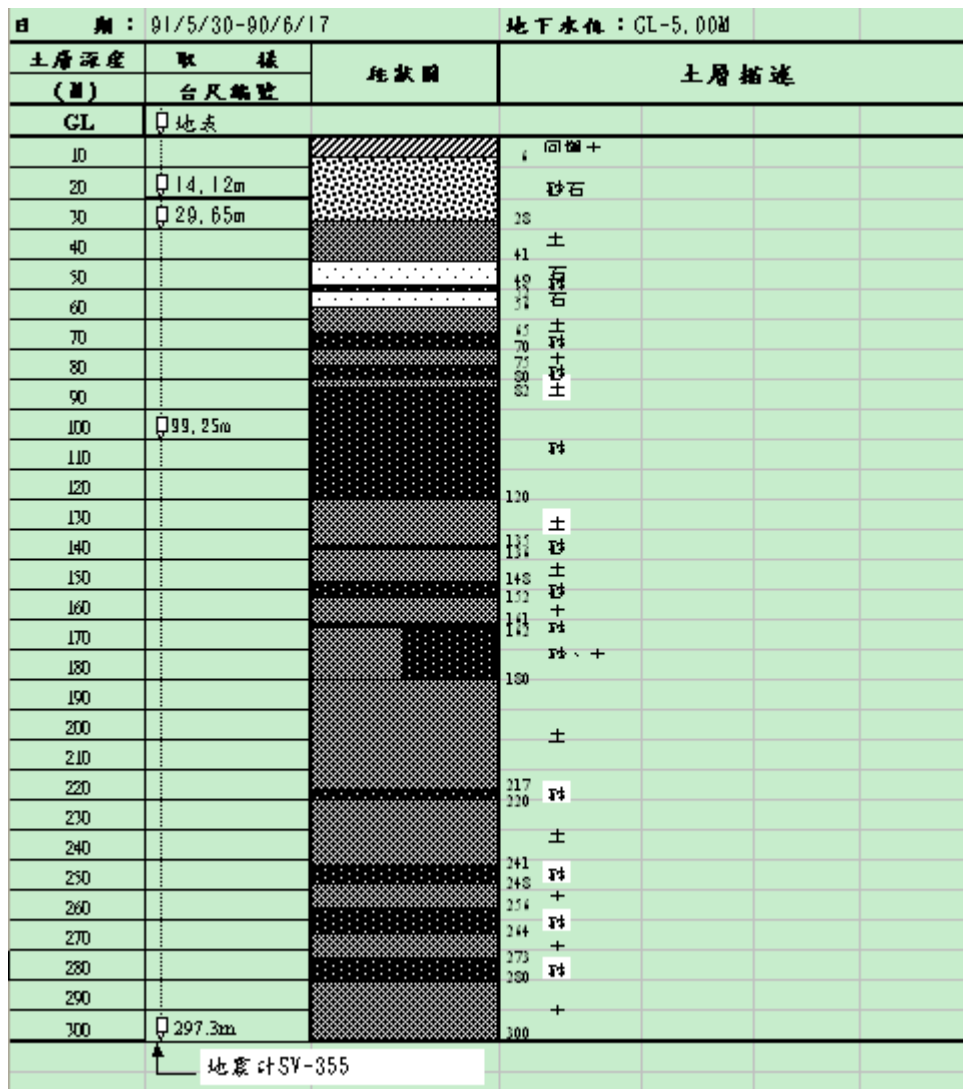


圖 4.3 測站主要地質調查內容與結果示意圖-臺北港範例

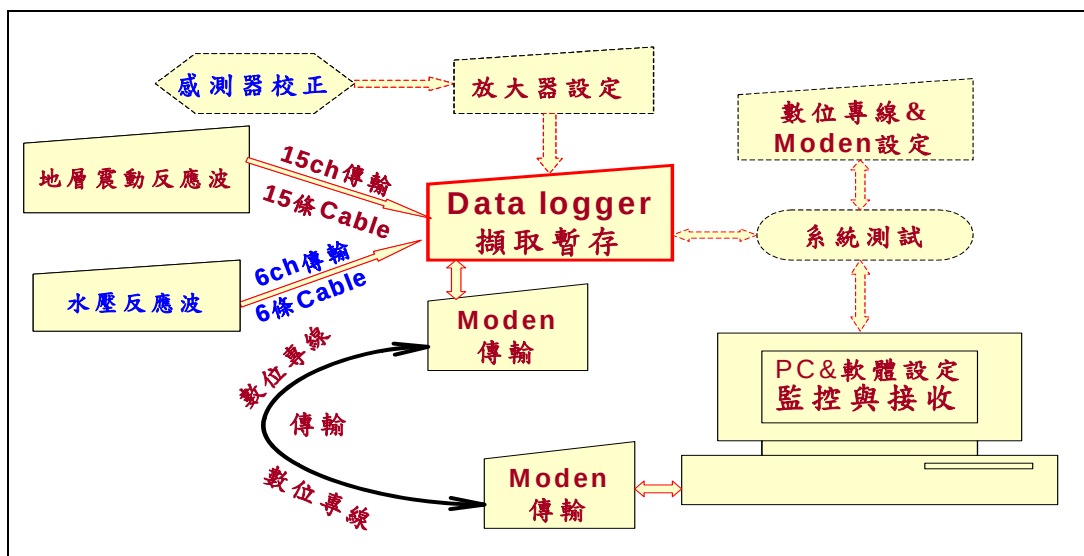


圖 4.4 整體擷取、傳輸與監測控制流程

現地監測站機房內主要配置有 Modem、冷氣、機架、集錄系統、水壓計信號放大器、地震計信號調整器及續電器等。機房構造與配置如圖 4.5。

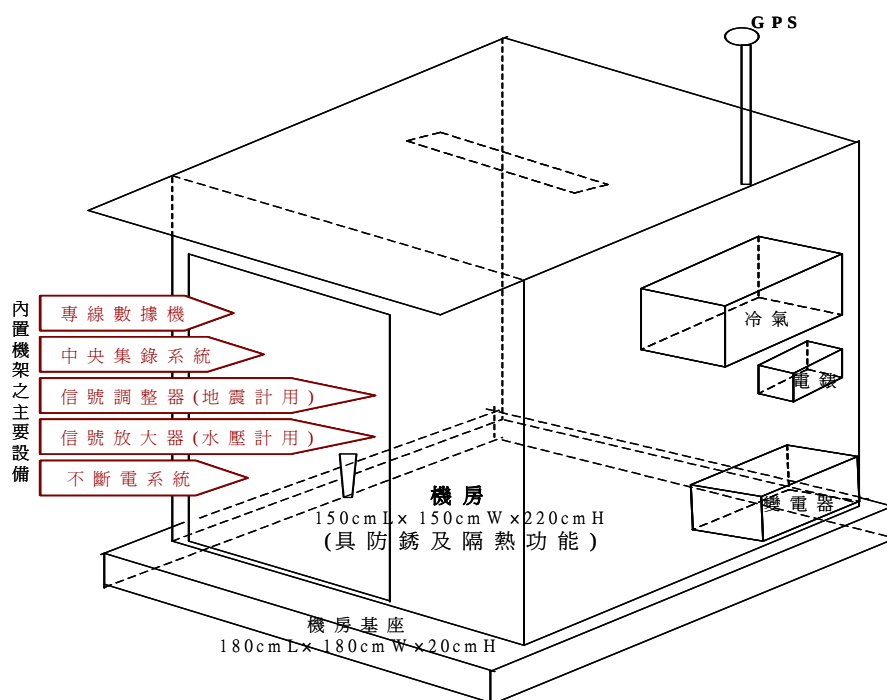


圖 4.5 機房構造與配置示意圖

於港研中心設置接收與監控站，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。

4.5 臺北港區地震分層監測站設置狀況

本所港研中心所設置的臺北港區地震分層監測站，係於西元 2001 年 8 月建置完成。監測站設置位置平面如圖 4.2 所示。測站場地以白色圍籬圈住，內設監測小屋以及監測深井，監測小屋內置監測主機及通訊設備，每一監測深井之井口設水泥臺座，並覆蓋鐵皮頂蓋，以供保護即便於開啟檢核，監測站設置外貌狀況如圖 4.6 所示。



圖 4.6 臺北港區地震分層監測站設置完成外貌狀況

4.6 地震及地下水位量測資料在地理資訊系統上之應用

4.6.1 系統操作程序

本所港研中心所開發的「港區工程基本資料查詢系統」內第五個主選單即為「地震監測」選單，使用者可在此選單下查詢地震及地下水位量測資料，系統操作程序如下所示：

1. 在視窗作業環境下，執行 MapInfo 系統，進入該系統內。
2. 點選功能表 File\Run MapBasic Program，選擇 d:\harbor-1 內的執行檔 harbor.mbx，按 OK 選鈕，即進入港區工程基本資料查詢系統。
3. 此時螢幕會展繪出臺灣全島地圖，並標示如基隆、臺北、臺中、高雄、花蓮、蘇澳等港區等港區的分佈位置。
4. 利用滑鼠，點選其中任一港區，則螢幕展繪出該港區的向量地圖，地圖以綠色標示陸面區域位置，以水藍色標示海面區域位置。此時可點選「地震監測」主功能項下之第一選單「地震監測系統位置顯示」，系統則展示該港區之地震監測系統設置位置圖。系統設置位置圖以箭靶標誌標記，表示所有地震之震波傳向此位置而由記錄器收錄當地之訊號。
5. 點選「地震監測」主功能項下之第三選單「地震監測系統示意圖顯示」，系統則展示該港區之地震監測系統設置示意圖。
6. 在系統內，港區地震監測資料之查詢設計成兩種方式：一為依震央位置查詢，另一為依地震發生日期查詢。點選「地震監測」主功能項下之第五選單「港區地震監測資料查詢」，可下拉出這兩項查詢選項。
7. 點選「依震央位置查詢」功能項，系統則展示該港區地震監測站所收錄之影響地震震央位置分佈圖。各個影響地震震央位置都標以紅色星星記號，意表地震能量釋放之源點。此時可點選任一震央位置標記，系統隨即啟動 powerpoint 檔，展示該位置所曾發生之地震，

其震波傳到港區後，監測系統所測得的分層震波訊號及水壓變化記錄。該 powerpoint 檔首頁主要為中央氣象局對該次地震的公告，隨後為南北向、東西向、垂直項之分層實測波記錄圖，最後為該地震引置之水壓反應記錄圖。

8. 當點選「依震央位置查詢」功能項之後，該次功能表第三選項「臺灣活斷層分佈位置顯示」，會由啟始的無效狀態轉變為有效狀態。點選後，臺灣活斷層分佈位置圖層隨即疊合顯示在地震震央位置分佈圖上，供使用者參考臺灣各地斷層分佈情形。而點選「關閉臺灣活斷層分佈位置圖」功能項之後，此圖層即退出畫面。
9. 利用工具箱內的放大、縮小、平移等工具，可作地圖縮放，以更精細地查詢目標位置及鄰近地形。
10. 點選「港區地震監測資料查詢」功能項所下拉出之「依地震發生日期查詢」功能項後，系統即進入資料庫表單搜尋該港地震監測站所登錄之資料年份，隨後在螢幕上顯示「年份選取對話框」，對話框內展列該測站所登錄的所有年份，使用者可依需用選取。
11. 選取完目標年份後，系統即進入資料庫表單搜尋該年份之登錄月份，隨後在螢幕上顯示「月份選取對話框」，對話框內展列該選取年份所包括的所有月份，使用者可依需用選取。
12. 選取完目標月份後，系統即進入資料庫表單搜尋該月份之登錄日期，隨後在螢幕上顯示「日期選取對話框」，對話框內展列該選取月份所包括的所有日期，使用者可依需用選取。
13. 選取完目標日期後，系統隨即進入資料庫表單搜尋該日期之資料檔案，並啟動 powerpoint 檔，展示該位置所曾發生之地震，其震波傳到港區後，監測系統所測得的分層震波訊號及水壓變化記錄。該 powerpoint 檔首頁主要為中央氣象局對該次地震的公告，隨後為南北向、東西向、垂直項之分層實測波記錄圖，最後為該地震引置之水壓反應記錄圖。

14. 使用者可依循步驟 6 至 13，繼續查詢其他資料內容。
15. 若要查詢另一港區的相關資料，可點選第一主功能項下的“選擇港區”功能，則系統會跳回主畫面。
16. 結束查詢，可由功能表的最後一個功能項“視窗控制”下拉出“離開系統”次功能項，點選後則可停止本程式的執行。

4.6.2 臺北港地震及地下水位量測資料查詢展示

臺北港地震及地下水位量測資料查詢展示系統操作程序如下示：

1. 按照 4.6.1 節程式操作程序 1 至 3，使用者可進入查詢系統的主畫面，此時螢幕視窗會展繪出臺灣全島地圖與主要港區（如基隆、臺中、高雄、花蓮、蘇澳等港區）的分佈位置，如圖 4.7 所示。
2. 將滑鼠遊標移至臺北港標示文字區內，按滑鼠左鍵，可叫出臺北港區基本地圖圖層，地圖以綠色標示陸面區域位置，以水藍色標示海面區域位置。此時可點選「地震監測」主功能項下之第一選單「地震監測系統位置顯示」，系統則展示該港區之地震監測系統設置位置圖。系統設置位置圖以箭靶標誌標記，表示所有地震之震波傳向此位置而由記錄器收錄當地之訊號。臺北港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示如圖 4.8 所示。
3. 點選「地震監測」主功能項下之第三選單「地震監測系統示意圖顯示」，系統則展示該港區之地震監測系統設置示意圖如圖 4.9 所示。
4. 在系統內，港區地震監測資料之查詢設計成兩種方式：一為依震央位置查詢，另一為依地震發生日期查詢。點選「地震監測」主功能項下之第五選單「港區地震監測資料查詢」，可下拉出這兩項查詢選項。
5. 點選「依震央位置查詢」功能項，系統則展示該港區地震監測站所收錄之影響地震震央位置分佈圖。各個影響地震震央位置都標以紅色星星記號，意表地震能量釋放之源點。震央位置分佈如圖 4.10 所

示。此時可點選任一震央位置標記，系統隨即啟動 powerpoint 檔，展示該位置所曾發生之地震，其震波傳到港區後，監測系統所測得的分層震波訊號及水壓變化記錄。該 powerpoint 檔首頁主要為中央氣象局對該次地震的公告，隨後為南北向、東西向、垂直項之分層實測波記錄圖，最後為該地震引置之水壓反應記錄圖。圖 4.11 所示為南北向分層實測波記錄圖。

6. 當點選「依震央位置查詢」功能項之後，該次功能表第三選項「臺灣活斷層分佈位置顯示」，會由啟始的無效狀態轉變為有效狀態。點選後，臺灣活斷層分佈位置圖層隨即疊合顯示在地震震央位置分佈圖上，供使用者參考臺灣各地斷層分佈情形。圖 4.12 所示為臺灣活斷層分佈位置疊合圖。而點選「關閉臺灣活斷層分佈位置圖」功能項之後，此圖層即退出畫面。
7. 點選「港區地震監測資料查詢」功能項所下拉出之「依地震發生日期查詢」功能項後，系統即進入資料庫表單搜尋該港地震監測站所登錄之資料年份，隨後在螢幕上顯示「年份選取對話框」，對話框內展列該測站所登錄的所有年份，如圖 4.13 所示，使用者可依需用選取。
8. 選取完目標年份後，系統即進入資料庫表單搜尋該年份之登錄月份，隨後在螢幕上顯示「月份選取對話框」，對話框內展列該選取年份所包括的所有月份，如圖 4.14 所示，使用者可依需用選取。
9. 選取完目標月份後，系統即進入資料庫表單搜尋該月份之登錄日期，隨後在螢幕上顯示「日期選取對話框」，對話框內展列該選取月份所包括的所有日期，如圖 4.15 所示，使用者可依需用選取。
10. 選取完目標日期後，系統隨即進入資料庫表單搜尋該日期之資料檔案，並啟動 powerpoint 檔，展示該位置所曾發生之地震，其震波傳到港區後，監測系統所測得的分層震波訊號及水壓變化記錄。該 powerpoint 檔首頁主要為中央氣象局對該次地震的公告，隨後為南

北向、東西向、垂直項之分層實測波記錄圖，最後為該地震引置之水壓反應記錄圖。圖 4.16 所示為地震引置之水壓反應記錄圖。

11. 使用者可依循步驟 3 至 10，繼續查詢其他資料內容。
12. 若要查詢另一港區的相關資料，可點選第一主功能項下的“選擇港區”功能，則系統會跳回主畫面。
13. 結束查詢，可由功能表的最後一個功能項“視窗控制”下拉出“離開系統”次功能項，點選後則可停止本程式的執行。

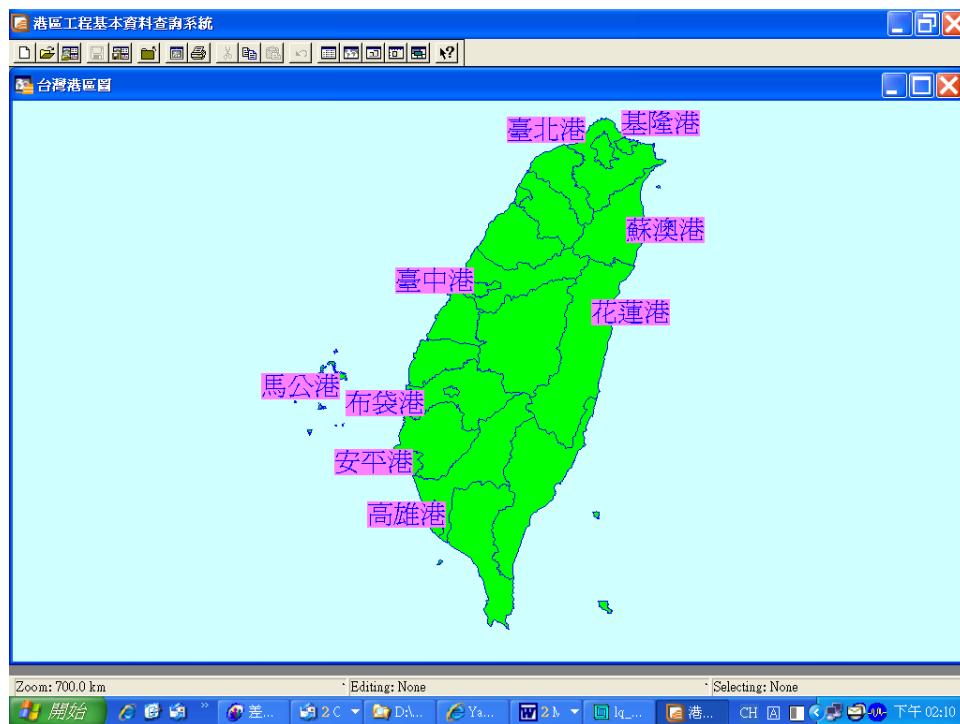


圖 4.7 查詢系統主畫面



圖 4.8 臺北港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示圖

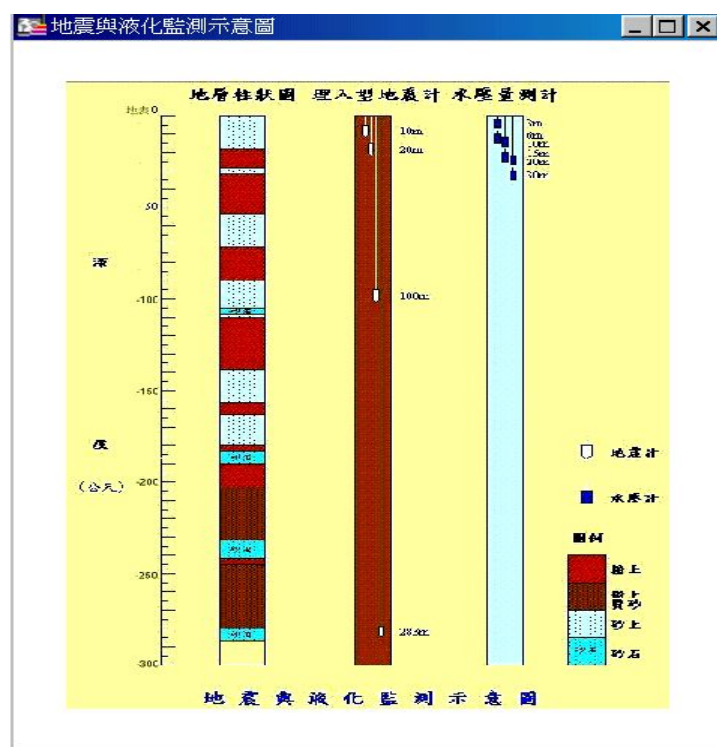


圖 4.9 臺北港區之地震監測系統設置示意圖

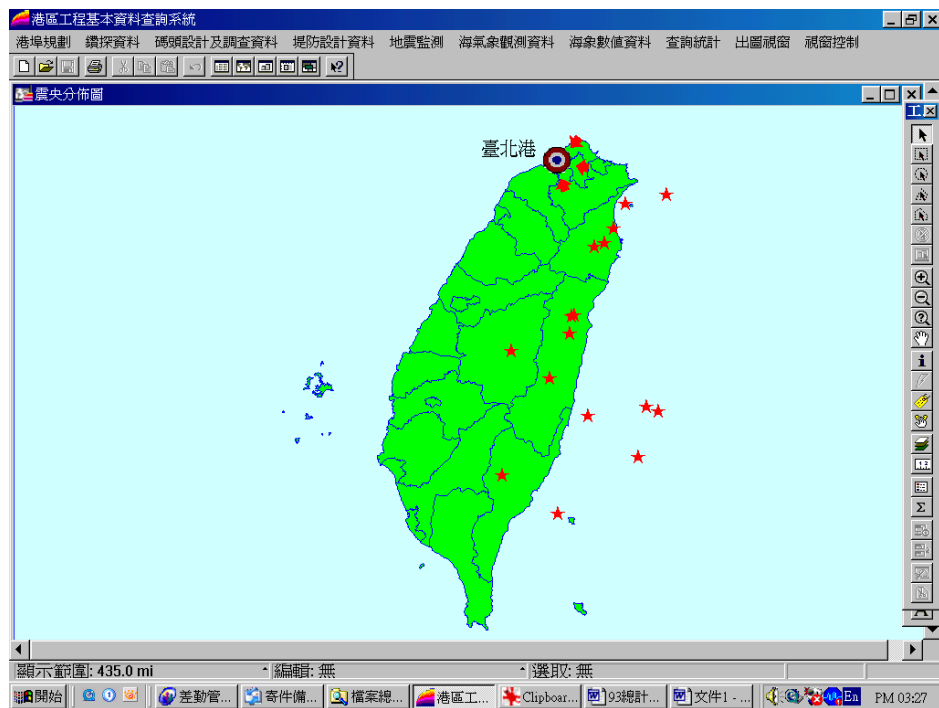


圖 4.10 臺北港影響地震震央位置分佈圖

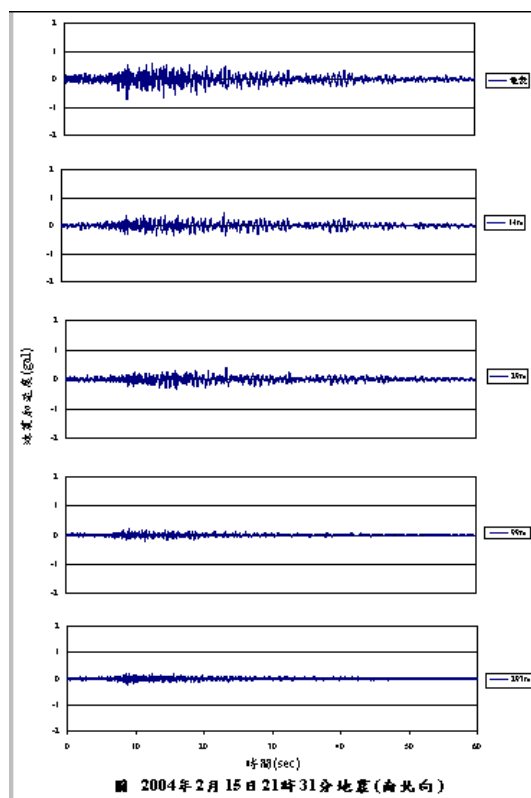


圖 4.11 臺北港南北向分層實測地震波記錄圖之一

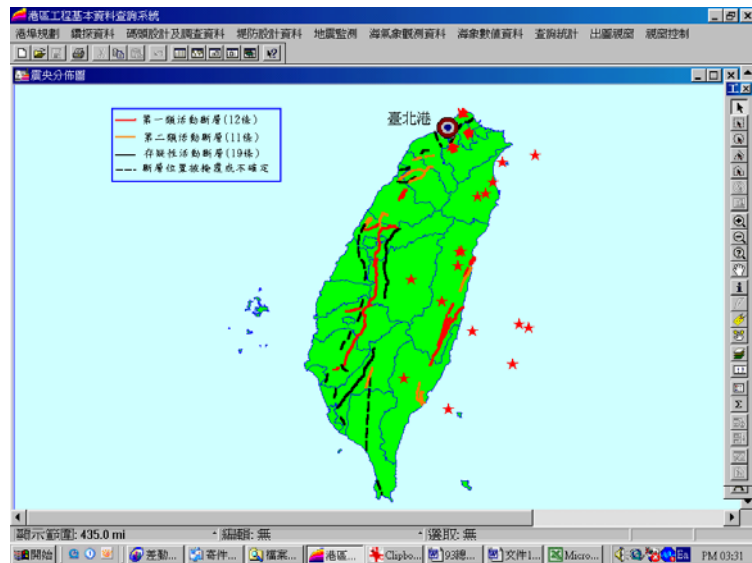


圖 4.12 臺灣活斷層分佈位置疊合圖

圖 4.13 臺北港區地震監測資料年份選取對話框

圖 4.14 臺北港區地震監測資料月份選取對話框

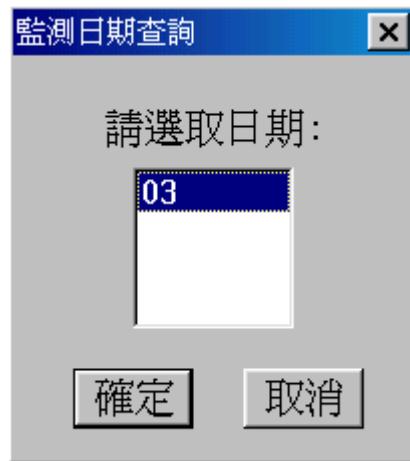


圖 4.15 臺北港區地震監測資料日期選取對話框

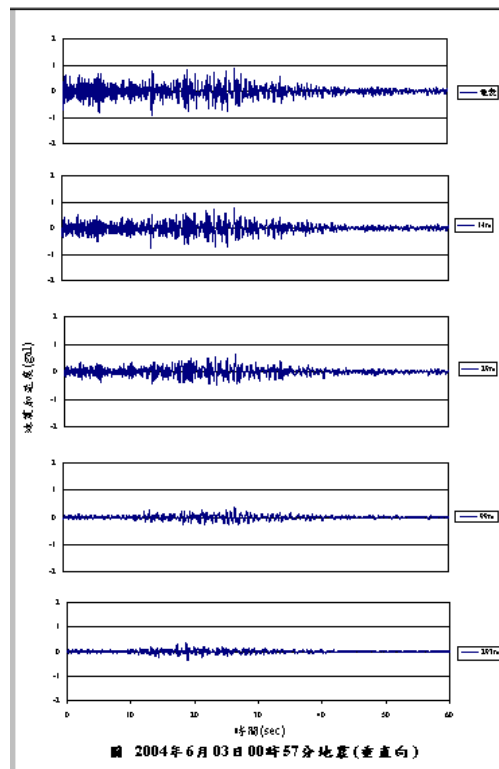


圖 4.16 臺北港地震引置之水壓反應記錄圖之一

第五章 結論與建議

5.1 研究目的與問題

臺灣的重要港埠大都建設在西部海岸，而西部海岸的地層幾乎都屬於現代沖積層，該類土層較為疏鬆軟弱，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，而影響港區工程及各樣設施之安全，為維護港區工程及各樣設施之安全，有必要對各港灣地區之地下水壓及地層下陷進行長期之監測。另港灣設施中，以碼頭最為重要，而臺灣之港灣碼頭，無論在平時或地震時，多曾因疏鬆軟弱之地質因素，發生一些工程災害，因此為維護港區設施之安全，進行地震監測亦有其必要。因而，本計畫遂於港灣地區執行港灣地層下陷及地震水壓監測研究。

本計畫本年度執行的工作內容包括：1. 各港區地層下陷及地下水壓之量測，2. 港灣地區地層下陷監測資料彙整分析，3. 港灣地區地震監測站資料收集及分析，4. 港區地震監測資料查詢系統建置。這些成果可作為災害預防、災時應變及災後重建計畫之參考。

5.2 結論

1. 在港灣地層下陷監測研究中，布袋港因水位監測站之-105 m、-143 m及-178 m深度地下水位已降到地表下約20餘公尺，故布袋港附近地區有超抽深層之地下水，致使港區之深層水位下降而引起地層下陷的情形。200m地層下陷站經量測結果，自86年2月至98年11月止，總累積沉陷量約為53cm，其中百分之50以上之沉陷在深度-140~ -200m地層發生，屬深層沉陷，近3年來年平均沉陷量約為2.7cm。300m地層下陷站經量測結果，自90年2月至98年11月止，共11年9個月總累積沉陷量約為50cm，整體而言，布袋港區近3年來地層下陷有趨緩現象。

2. 大鵬灣因 -105 m 深度以下之深層水位介於 -4.0 m~-6.8 m 之間上下變化，故大鵬灣附近地區應有因超抽地下水引起之地層下陷。地層下陷量測自 87 年 3 月至 98 年 11 月止，累積總沉陷量約為 11cm，平均一年之沉陷量約為 1.5cm，而其中地表至 51.3 m 之沉陷量為 9.7cm，佔總沉陷量之 80%，故大鵬灣屬於淺層沉陷。
3. 臺中港 200m 地層下陷站經監測結果，自 88 年 6 月開始至 98 年 11 月止，累積總沉陷量約 5cm，量測期間包括 88 年 9 月至 10 月，因 921 地震所產生之總沉陷量為 3.2 cm。
4. 安平港 16~20 號碼頭區因地下水位偏高，約於地表下 -2 ~ -3m，港區因超抽地下水引致之沉陷並不嚴重，有一部分為填土荷重所引致之沉陷。港區地層下陷自 88 年 7 月至 94 年 3 月之累積沉陷量約為 7.3cm，其中地表至 56 m 之沉陷量 6.7cm，佔總沉陷量之 88%，故屬淺層沉陷。
5. 臺北港震波放大倍率約於 3-5 倍之間，平均約為 4 倍。高雄港震波放大倍率約於 3-7 倍之間，平均約為 4.5 倍。臺中港平均約為 3 倍，故高雄港區淺層地層最為疏鬆軟弱，且與深層地層之軟硬比最大，臺北港次之，臺中港最小。
6. 臺北港地震站分析各震度之最大水平地表加速度轉換成傅氏譜後，初步分析結果，1 至 3 級震度之第一主頻約介於 0.71~0.86Hz。高雄港地震站 1 至 3 級震度之主頻約介於 0.64~1.05Hz。
7. 港區微地動試驗與共振主頻量測結果，台北港區共振主頻大約介於 0.98~1.81Hz。高雄港區共振主頻約介於 0.2~1.2Hz，顯示高雄港區之沖積層較厚。另於 94 年進行高雄港全區微地動試驗時，地震監測站經量測之主頻為 0.37Hz。
8. 蘇澳港井下地震監測資料 2007 年至 2008 年共收集 33 筆，其中以 2007 年 9 月 22 日地震規模 4.8 之地表加速度 126.5 gal 的 5 級地震為最大。2007 年 9 月 7 日之地震，其超額動態孔隙水壓經過分離結果，其超額孔隙水壓為 0.25Hz 以下之低頻反應，震盪動態水壓為 0.25Hz 以上之高頻。

9. 港區監測系統設置之主要目的在於，建置各港自動化之港區地震分層監測系統，分層監測港區地層與水壓於地震時之反應波，並將測得之資料彙整建置成資料庫，方便碼頭地震資料之查詢。

5.3 建議

1. 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。
2. 監測工作有時受限於現場環境，儀器所需電力能源的供應取得困難，目前使用大型電瓶組配合太陽能板來支應，但其損耗極為快速，需要在能源設施上留意其最新發展，已使監測儀器發揮最佳功能。

5.4 研究成果效益：

1. 學術效益，發表研討會論文1 篇：2009臺灣地理資訊系統年會暨學術研討會，發表論文「GIS在臺北港區土壤液化分析及震災速報系統之開發應用」。
2. 資料庫建置效益：港灣地區井下地震及水壓監測站量測所得資料，已陸續彙整成資料表單，納入港灣工程基本資料庫中，可建立港區防救災體系之相關資料庫，作為港灣地區之地震災前預防、災時應變計畫與決策之參考依據。

5.5 提供應用情形：

1. 利用本研究所安裝之港區井下地震監測系統，配合港區工程基本資料查詢展示系統之液化分析模組，開發地震速報系統，可於震後發佈港區可能致災地點之警訊，提供港務局防救災及緊急修復使用。
2. 所建港區地震速報系統，已於98年12月19花蓮地區規模6.8之強震後，

各港測站皆成功擷取震動反應資料，並發送通報簡訊予各港務局相關人員。

參考文獻

1. 姚義久，「實用土壤力學」，文笙書局，民國 66 年。
2. 陳正興、黃國祥，「集集地震臺中港沉箱滑移之初步分析」，港灣工程耐震安全評估與災害防治研討會，pp.3-1~3-18，2000。
3. 陳圭璋、賴聖耀、李俊延、李昇彥、張漢忠(2002)，「臺中港區速度構造調查與場址效應研究(I)」，第九屆臺灣地區地球物理研討會暨 2002 年中國地球物理學會年會，PP.430-432。
4. 陳圭璋、賴聖耀、彭瀚毅、李俊延、張漢忠(2005)，「蘇澳港區場址效應研究與土壤液化潛能分析」，九十四年度地球物理學會年會暨蔡義本教授榮退專題研討會，PP.196-204。
5. 陳志芳、賴聖耀(2002)，「布袋港地下水位及地層下陷監測研究」，24 屆海洋工程研討會，PP.664-670。
6. 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)。
7. 張惠文、廖新興、鄭清江(1992)，「砂質地盤液化之防治方法探討」，土工技術，第 38 期，PP.17~29。
8. 彭瀚毅，1998。臺北盆地場址效應之研究，中央大學博士論文。
9. 臺中港務局，「臺中港第一期工程完工報告」，1976。
10. 鄭世楠和葉永田，(2002)「1848 年彰化地震與彰化斷層關係的初步研究」港灣報導季刊, 61 期。
11. 賴聖耀，「以極限狀態分析法建立標準貫入試驗之液化分析模式」中國土木水利工程學刊，第十八卷，第一期，2006。

- 12.賴聖耀、謝明志 (1996) , 「臺中港區土壤液化危險度分析與應用」
八十五年度臺灣大地工程研討會 PP.7-1~7-18。
- 13.賴聖耀、謝明志 (2000)「臺灣地區土壤液化與震陷潛能評估」，港
灣工程耐震安全評估與災害防治研討會。
- 14.賴聖耀，「以 921 地震液化案例之 SPT—N 值建立土壤液化潛能判
別模式」，液化潛能評估方法及潛能圖之製作研討會 (2002)。
- 15.Hwang, J.H., Yang, C.W., "Verification of critical cyclic strength curve
by Taiwan Chi-Chi earthquake data " Soil Dynamics and Earthquake
Engineering, Vol.21, pp.237-257(2001).
- 16.Ishihara, K., and Yoshimine, M., (1991), Evaluation of settlements in
sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and
foundations, Vol.32, No.1, pp.173-188.
- 17.Ishihara, K., Yasuda, S., and Nagase,H., (1996), Soil characteristics and
ground damage, Special Issue of Soils and Foundations, pp.109-118
- 18.Lai, S. Y., Hsu, S. C., and Hsieh, M. J. (2004). "Discriminant model for
evaluating soil liquefaction potential using CPT data." J. Geotech. and
Geoenviron. Eng., ASCE, 130(12), 1271-1282.
- 19.Lai, S. Y., Lin, P. S., Hsieh, M. J., and Jim, H. F. (2005), " Regression
Model for Evaluating Liquefaction Potential by Discriminant Analysis of
the SPT N value." Canadian Geotechnical Journal. Vol.42, No. 3,
pp.856-875.
- 20.Lai, S. Y., Chang, W. J., and Lin, P. S (2006)," "Logistic Regression
Model for Evaluating Soil Liquefaction Probability Using CPT Data."
Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE,
Vol.132, No.6, pp.694-704.
- 21.Lai, S. Y., Hsu, S. C., and Hsieh, M. J. (2006)," Closure to ' Discriminant
model for evaluating soil liquefaction potential using cone penetration

test data.' " Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 132, No.5.

- 22.Lin, P. S., Lai, S. Y., Lin, S. Y., and Hseih, C. C., "Liquefaction potential assessment on Chi-Chi earthquake in Nantou, Taiwan." Proceedings of International Workshop on Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake September 18-20, Taipei. Vol. III, 83-94 (2000).