

101-126-7645

MOTC-IOT-96-H1DA002-3

港灣地區地震及地層下陷資料庫 之建置研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 10 月

港灣地區地震及地層下陷資料庫之建置研究
(1/2)

交通部運輸研究所

GPN: 1010102213

定價 100 元

101-126-7645

MOTC-IOT-96-H1DA002-3

港灣地區地震及地層下陷資料庫 之建置研究(1/2)

著 者：陳志芳、賴聖耀

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 10 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣地區地震及地層下陷資料庫之建置研究(1/2)

/陳志芳、賴聖耀著.--初版.-- 臺北市：

交通部運輸研究所，民 101.10

面；公分

ISBN 978-986-03-3928-4 (平裝)

1. 港埠工程 2.地理資訊系統

443.2029

101020423

港灣地區地震及地層下陷資料庫之建置研究(1/2)

著者：陳志芳、賴聖耀

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 101 年 10 月

印刷者：悅翔數位印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 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 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1010102213

ISBN：978-986-03-3928-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣地區地震及地層下陷資料庫之建置研究(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-03-3928-4(平裝)	政府出版品統一編號 1010102213	運輸研究所出版品編號 101-126-7645	計畫編號 96-H1DA002-3
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 總計劃主持人：賴聖耀 計劃主持人：陳志芳 參與人員：張阿平、陳義松、李春榮、何木火、林隆貞 聯絡電話：04-26587113 傳真號碼：04-26564418			研究期間 自 96 年 01 月 至 96 年 12 月
關鍵詞：地震、地下水位、地層下陷、資料庫			
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。另因地震來襲時，震波作用在鬆軟之覆土層會產生放大效應並造成地震災害。故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 深之沉陷井及水位觀測井，併於臺中、臺北、高雄各港設置 1 組埋入型地震監測站。其中，地層下陷及地下水位之資料以手動方式長期量測，地震資料則自動擷取儲存於電腦內，所得資料經彙整分析儲存後，建置成地震及地層下陷資料庫，以提供相關單位設計港灣結構物之參考。經監測結果，布袋港近 10 年 9 個月總累積沉陷量約為 47.5 公分，平均一年沉陷量約 5 公分；大鵬灣近 9 年之總累積沉陷量為 10 公分，平均一年沉陷量約 1.5 公分；安平港 16~20 號碼頭區近 5 年 8 個月之總累積沉陷量約 7.3 公分，臺中港近 6 年 5 個月之總累積沉陷量約 5 公分。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
101 年 10 月	110	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: Database Establishment of Earthquake and Ground Subsidence at Harbor Areas. (1/2)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-3928-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010102213	IOT SERIAL NUMBER 101-126-7645	PROJECT NUMBER 96-H1DA002-3
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PROJECT ADVISOR: S. Y. Lai PRINCIPAL INVESTIGATOR: J. F. Chen PROJECT STAFF: J. F. Chen, S. Y. Lai PHONE: 04-26587113 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2007 TO December 2007
KEY WORDS: Earthquake, Groundwater, Ground Subsidence, Database.			
ABSTRACT: Ports of Taichung, Pudai, Anpeng 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. Thus, observation wells with depth of 200m to monitor subsidence and groundwater pressure were set up in these areas. This monitoring result of in-situ conditions will be a proposed reference for design and construction at harbor and marine areas. According to the monitoring results, The accumulative subsidence of the port of Pudai is 47.5cm in recent 10years and 9 months, and the average subsidence is about 5cm pear year. The accumulative subsidence of Tapeng Bay is 10cm in recent 9years and 5 months, and the average subsidence is about 1.5cm per year. The accumulative subsidence of the port of Anpeng is 7.3cm in recent 5years and 8 months. The accumulative subsidence of the Port of Taichung is 5cm in recent 6 years and 5 months.			
DATE OF PUBLICATION October 2012	NUMBER OF PAGES 110	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.			

港灣地區地震及地層下陷資料庫建置之研究(1/2)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖目錄	V
表目錄	VII
第一章 前言	1-1
第二章 監測系統規劃與安裝	2-1
2.1 地震監測系統	2-1
2.1.1 系統規劃與安裝	2-1
2.1.2 資料傳輸與監控	2-3
2.1.3 各港地震監測站	2-5
2.2 地層下陷監測系統	2-10
2.2.1 地層下陷分析方法	2-11
2.2.2 儀器裝設	2-14
2.2.3 各港地層下陷監測站	2-21
第三章 地震監測站資料	3-1
4.1 臺北港地震站	3-1

4.2 臺中港地震站	3-7
4.3 布袋港地震站	3-8
4.4 蘇澳港地震站	3-10
第四章 地層下陷監測資料與分析.....	4-1
4.1 布袋港地層下陷監測站	4-1
4.2 大鵬港地層下陷監測站	4-15
4.3 安平港地層下陷監測站	4-24
4.4 臺中港地層下陷監測站	4-30
第五章 資料庫在地理資料系統上之應用.....	5-1
5.1 資料庫系統操作程序	5-1
5.2 臺中港地震及地下水位量測資料查詢展示	5-3
5.3 臺北港地震及地下水位量測資料查詢展示	5-10
第六章 結論.....	6-1
參考文獻.....	7-1

圖目錄

圖 2-1 港區地震監測系統規劃與流程圖	2-2
圖 2-2 機房及設備外觀示意圖	2-3
圖 2-3 整體擷取、傳輸與監測控制流程	2-4
圖 2-4 機房構造與配置示意圖	2-4
圖 2-5 安平港區地震分層監測站設置位置平面狀況	2-6
圖 2-6 安平港區地震分層監測站設置完成外貌狀況	2-6
圖 2-7 臺中港區地震分層監測站設置完成外貌狀況	2-7
圖 2-8 布袋港區地震分層監測站設置位置平面狀況	2-7
圖 2-9 布袋港區地震分層監測站設置完成外貌狀況	2-8
圖 2-10 臺北港區地震分層監測站設置位址平面狀況	2-8
圖 2-11 臺北港區地震分層監測站設置完成外貌狀況	2-9
圖 2-12 高雄港區地震分層監測站設置位置平面狀況	2-9
圖 2-13 高雄區地震分層監測站設置完成外貌狀況	2-10
圖 2-14 系統儀器架構流程圖	2-15
圖 2-15 電子式地下水壓計安裝示意圖	2-16
圖 2-16 開放式水壓計安裝示意圖	2-18
圖 2-17 沉陷計安裝示意圖	2-19
圖 2-18 磁感式層別沉陷計安裝示意圖	2-20
圖 2-19 大鵬灣監測站位置圖	2-22
圖 2-20 安平港監測站位置圖	2-24

圖 2-21 布袋港監測站位置圖	2-27
圖 2-22 台中港監測站示意圖	2-31
圖 3-1 臺北港 2003 年 6 月 10 日 16 時 41 分地震(南北向)	2-31
圖 3-2 臺北港 2003 年 6 月 10 日 16 時 41 分地震(東西向)	2-31
圖 3-3 臺北港 2003 年 6 月 10 日 16 時 41 分地震(垂直向)	2-31
圖 4-1 布袋港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖	4-4
圖 4-2 布袋港淺層水位變化圖(自記式).....	4-7
圖 4-3 布袋港深層水位變化圖(自記式).....	4-8
圖 4-4 布袋港分層水位變化圖(手動量測).....	4-9
圖 4-5 布袋港分層水位變化圖(自記式).....	4-10
圖 4-6 布袋港分層個別下陷量圖	4-11
圖 4-7 布袋港分層累積下陷量圖(200m).....	4-13
圖 4-8 布袋港 400 公尺永久水準點累積沉陷量	4-14
圖 4.9 大鵬灣分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖.....	4-17
圖 4.10 大鵬灣分層水位變化圖(手動量測).....	4-18
圖 4.11 大鵬灣分層個別下陷量圖	4-21
圖 4.12 大鵬灣地層下陷與地下水位變化圖	4-22
圖 4.13 大鵬灣地層分層下陷觀測圖	4-23
圖 4.14 安平港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖	4-27
圖 4.15 安平港分層水位變化圖(手動量測).....	4-28
圖 4.16 安平港分層累積下陷量圖	4-29

圖 4-17 台中港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖	4-32
圖 4-18 台中港分層水位變化圖(自記式).....	4-33
圖 4-19 台中港分層水位變化圖(手動量測).....	4-34
圖 4-20 台中港分層累積下陷量圖(200m).....	4-35
圖 5.1 查詢主畫面	5-5
圖 5.2 臺中港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示圖	5-6
圖 5-3 臺中港區之地震監測系統設置示意圖	5-6
圖 5-4 臺中港影響地震震央位置分佈圖	5-7
圖 5-5 臺中港南北向分層實測地震波記錄圖之一	5-7
圖 5-6 臺灣活斷層分佈位置疊合圖	5-8
圖 5-7 臺中港區地震監測資料年份選取對話框	5-8
圖 5-8 臺中港區地震監測資料月份選取對話框	5-8
圖 5-9 臺中港區地震監測資料日期選取對話框	5-9
圖 5-10 臺中港地震引置之水壓反應記錄圖之一	5-9
圖 5-11 臺北港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示圖	5-12
圖 5-12 臺北港區之地震監測系統設置示意圖	5-13
圖 5-13 臺北港影響地震震央位置分佈圖	5-13
圖 5-14 臺北港南北向分層實測地震波記錄圖之一	5-13
圖 5-15 臺灣活斷層分佈位置疊合圖	5-14
圖 5-16 臺北港區地震監測資料年份選取對話框	5-15
圖 5-17 臺北港區地震監測資料月份選取對話框	5-15

圖 5-18	臺北港區地震監測資料日期選取對話框	5-15
圖 5-19	臺北港垂直向分層實測地震波記錄圖之一	5-16

表 2-1 大鵬灣沉陷計感應環安裝深度一覽表	2-21
表 2-2 大鵬灣地下水壓觀測站水壓計埋設資料表	2-23
表 2-3 安平港 18~19 號碼頭沉陷磁環安裝深度表	2-25
表 2-4 布袋港監測井座標高程一覽表	2-26
表 2-5 布袋港沉陷計感應環安裝深度一覽表	2-28
表 2-6 布袋港地下水壓觀測站水壓計埋設資料表	2-29
表 2-7 台中港沉陷計感應環安裝深度一覽表	2-30
表 3-1 臺北港 2007 年井下地震監測資料	3-2
表 3-2a 臺北港 2007 年地震站各深度最大加速度表	3-2
表 3-3 臺中港 2007 年井下地震監測資料表	3-7
表 3-4 布袋港 2006、2007 年井下地震監測資料表	3-8
表 3-5 布袋港 2006 地震站各深度最大加速度表	3-9
表 3-6 蘇澳港 2007 年井下地震監測資料表	3-10

第一章 前言

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。

此外，由於地下水大量開發引致之地層下陷問題，在台灣各地區，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，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，恐會導致地層下陷，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。

本計畫陸續於臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港及蘇澳港等分別設置完成一組 300 m 深之地震及動態孔隙水壓監測站，監測資料以自動記錄及傳輸方式至本所港研中心儲存。並於布袋港、臺中港、安平港、大鵬灣等港區，各設置 1 至 2 組 200 m、300 m 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。

由於各港之自動化地震監測系統，係採自動記錄不同土層深度之地震反應波，監測資料龐大，故將測得之資料彙整建置成資料庫，以利碼頭資料之查詢，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、地震時各港區之場址效應及地層下陷等之研究資料，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。

第二章 監測系統規畫與安裝

為確保地震發生時位於軟弱沖積土層結構物之安全，需針對地震所產生之效應進行監測，以作為設計結構物之參考，於港灣地區設置監測系統，本系統依功能與目的，歸納為地震動態孔隙水壓監測與地層下陷監測等兩大系統，分述如下：

2.1 地震監測系統

本系統依序分別於各港區選擇適當位置安置地震及動態孔隙水壓監測系統，且各港監測系統自成一個監測站，其各站監測系統規劃與流程設計如圖 2-1 所示，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，其特性摘要說明如下：

2.1.1 系統規劃與安裝

1. 採分層安裝與同步監測

每個系統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、300m 等 4 組分置於 4 孔，另於地表安裝地震儀 1 組後，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，包括水壓計共 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(a)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。(b)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

電子式水壓計監測井 3 孔，是量測地下水的壓力，並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，各測站機房設備外觀參考示意圖如圖 2-2。

地震監測井 4 孔，主要在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。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 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 Cable 串聯傳到觀測房。

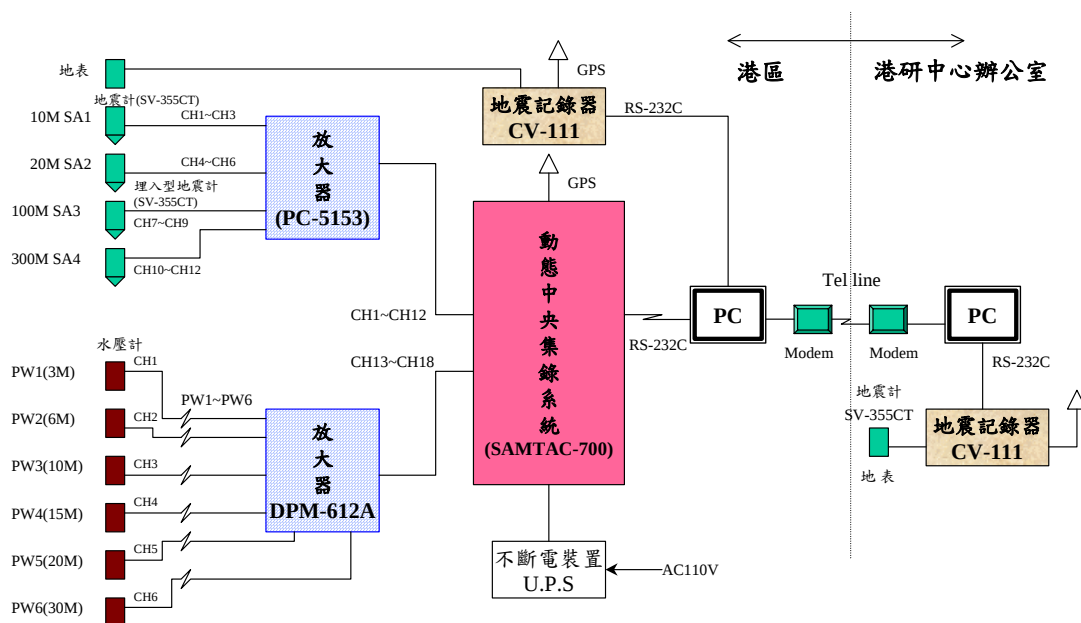


圖 2-1 港區地震監測系統規劃與流程圖

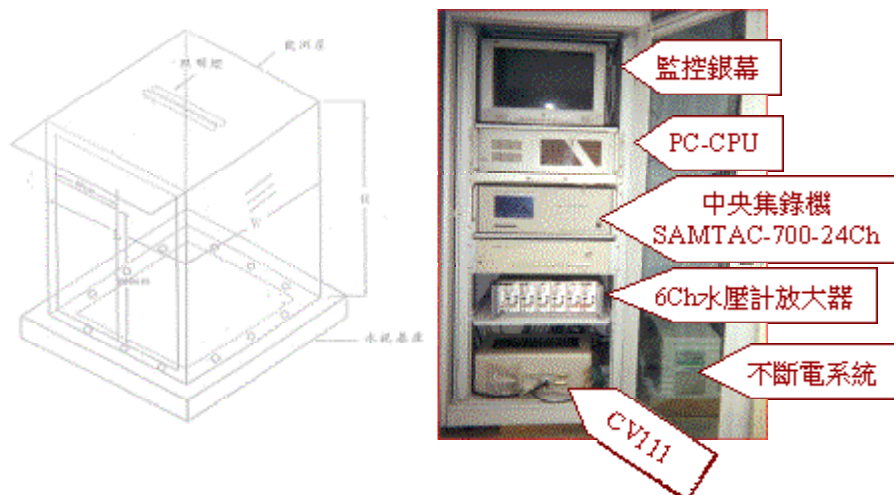


圖 2-2 機房及設備外觀示意圖

2.1.2 資料傳輸與監控

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。設定包括，電信局數位專線與 Modem 之設定(含傳輸速率)、放大器之設定、Data logger 之設定等(含基本資料、擷取頻率與啟動設定)。

本研究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 Cable 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。

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。

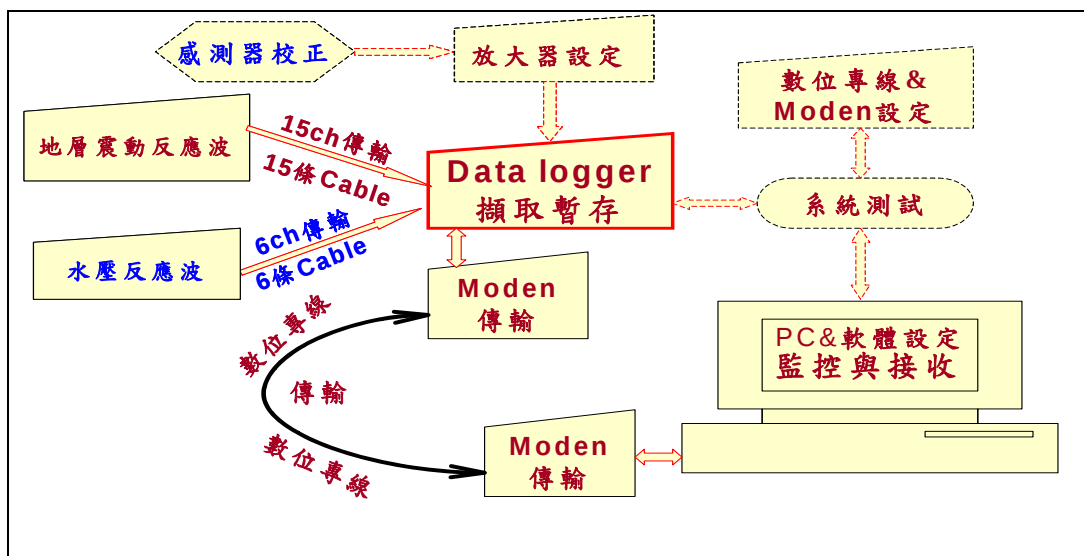


圖 2-3 整體擷取、傳輸與監測控制流程

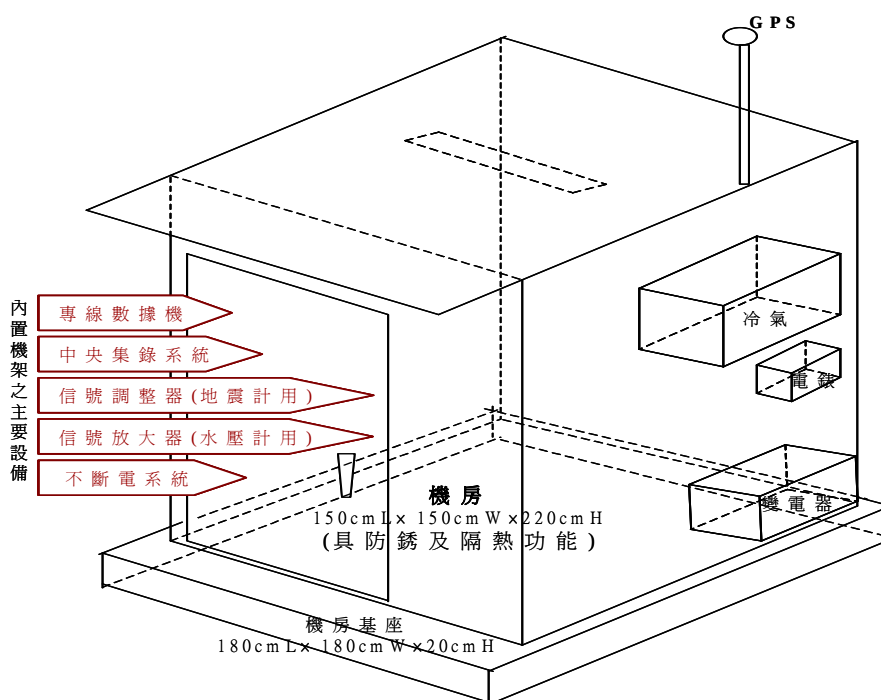


圖 2-4 機房構造與配置示意圖

2.1.3 各港地震監測站

本所港研中心直至今目前各港已建測站狀況：

1. 安平港區地震分層監測站

係第一座完整的港區地震分層監測系統，於民國 89 年建置完成，並於 91 年進行第一次檢修，監測站設置位置平面與完成外貌狀況如圖 2-5 與圖 2-6。

2. 臺中港區地震分層監測站

臺中港區地震分層監測站於 90 年 8 月建置完成，監測站設置位置平面與完成外貌狀況如圖 2-7。

3. 布袋港區地震分層監測站

布袋港區地震分層監測站於 91 年元月建置完成，監測站設置位置平面與完成外貌狀況如圖 2-8 與圖 2-9。

4. 臺北港區地震分層監測站

臺北港區地震分層監測站於 91 年建置完成，監測站設置位置平面與完成外貌狀況如圖 2-10 與圖 2-11。

5. 高雄港區地震分層監測站

高雄港區地震分層監測站於 92 年建置完成，監測站設置位置平面與完成外貌狀況如圖 2-12 與圖 2-13。

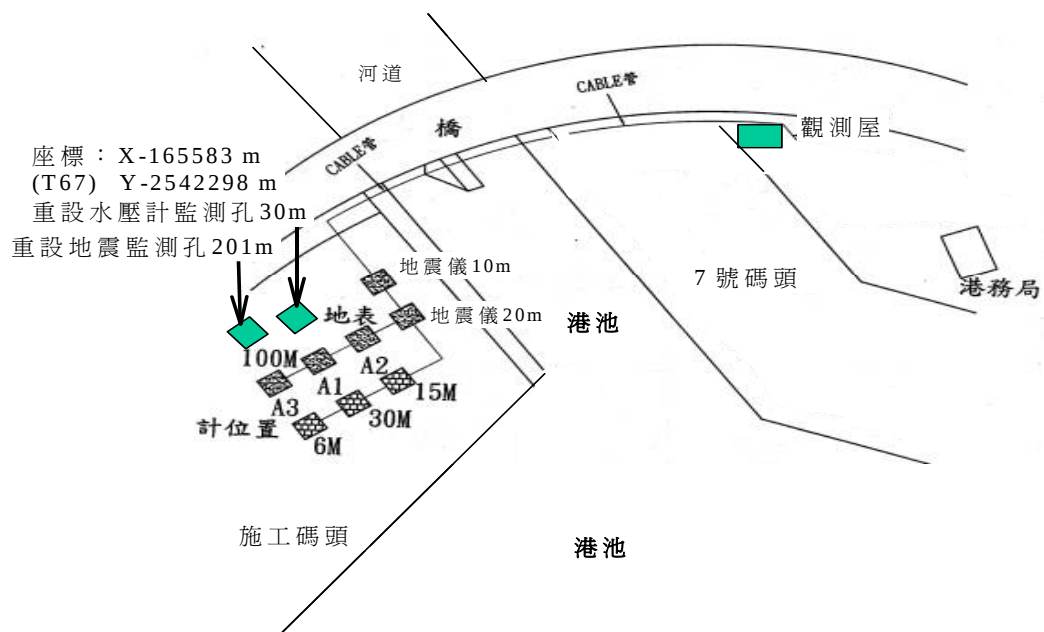


圖 2-5 安平港區地震分層監測站設置位置平面狀況



圖 2-6 安平港區地震分層監測站設置完成外貌狀況



圖 2-7 臺中港區地震分層監測站設置完成外貌狀況

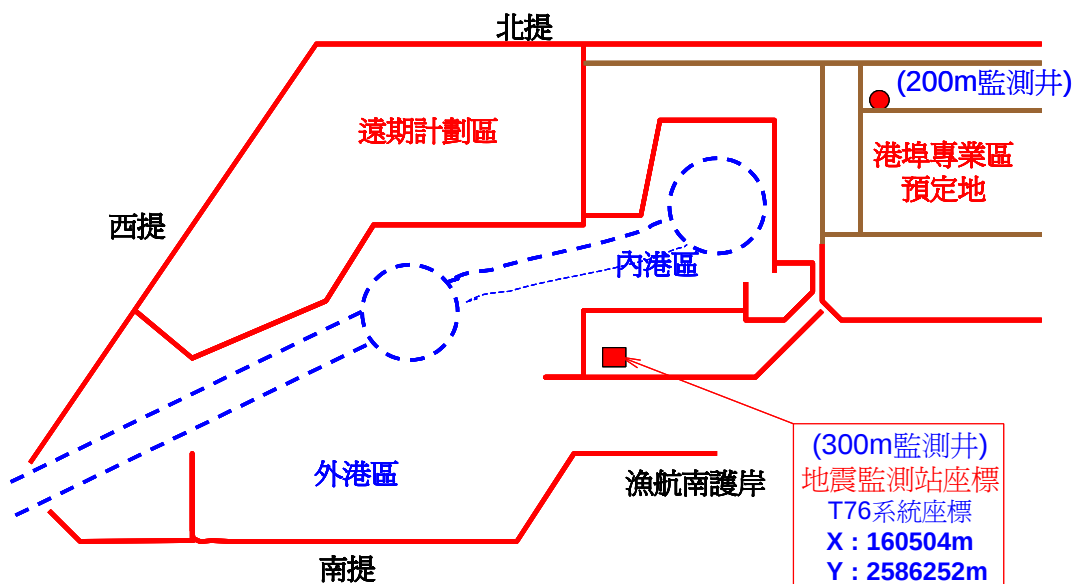


圖 2-8 布袋港區地震分層監測站設置位置平面狀況



圖 2-9 布袋港區地震分層監測站設置完成外貌狀況

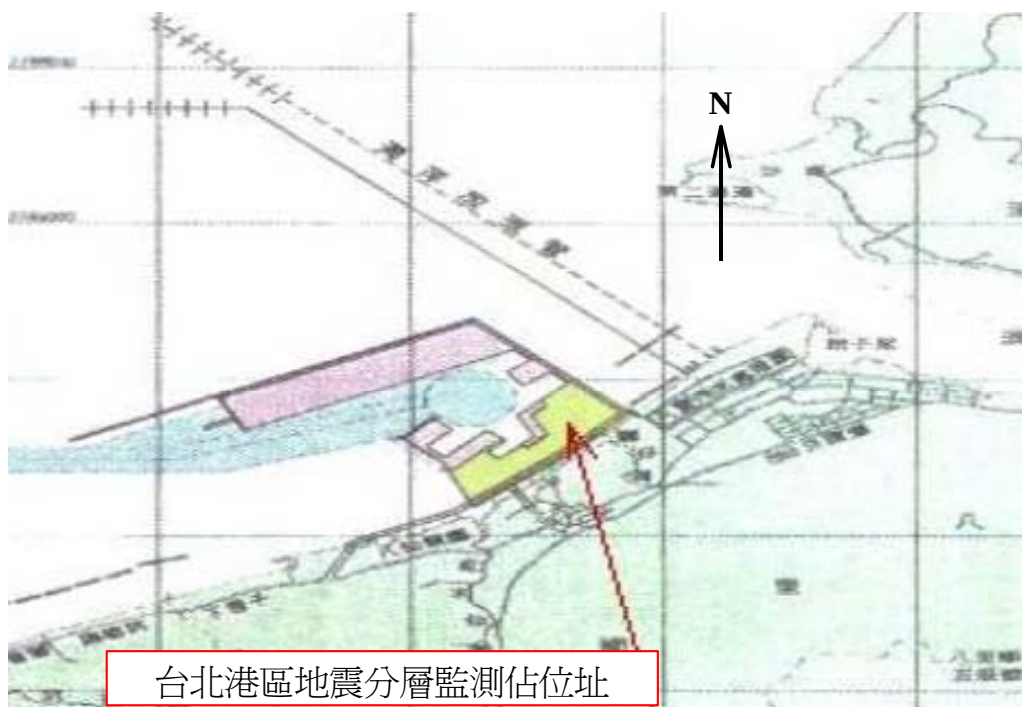


圖 2-10 臺北港區地震分層監測站設置位址平面狀況



圖 2-11 臺北港區地震分層監測站設置完成外貌狀況

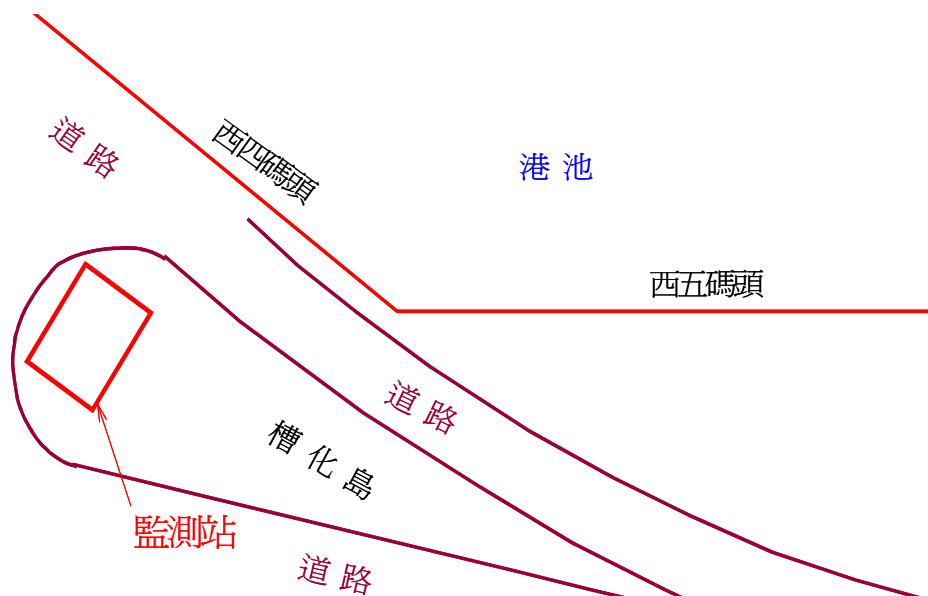


圖 2-12 高雄港區地震分層監測站設置位置平面狀況



圖 2-13 高雄區地震分層監測站設置完成外貌狀況

2.2 地層下陷監測系統

港灣地區地層下陷之原因，非常複雜，如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，防波堤為港灣之重要構造物，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；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，及港灣附近地區超抽地下水易造成區域性之地下水位下降，導致港區地層下陷等，依據世界各地研究觀察結果，大部分之地層下陷，皆因過量開發地下水資源而產生，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：

2.2.1 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，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。

1. Terzaghi 壓密理論

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

依據 Terzaghi 建議，正常壓密土壤之極限沉陷量之計算，如下所示。

$$S_u = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{P'_0 + \Delta\sigma'_{vo}}{P'_0}\right) \dots\dots\dots (2-1)$$

式中， S_u ：極限沉陷量

C_c ：壓縮指數

e_0 ：初始孔隙比

P'_0 ：初始壓密應力

H ：土層厚度

$\Delta\sigma'_{vo}$ ：有效應力增加量

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

極限沉陷量求得之後，利用以下壓密方程式，則可計算歷時性之

沉陷量 $S(t)$ 。

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

式中， u ：孔隙水壓

C_v ：壓密係數

t ：時間

z ：深度

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

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

式中， $U(t)$ ：平均壓密度，定義如式(3-4)

T_v ：時間因數

$$U(t) = 1 - \frac{\int \Delta u dz}{\int \Delta u_0 dz} \dots\dots\dots(2-4)$$

而式(2-3)中之時間因數 T_v 與時間 t 之關係如下所示：

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

式中， H_{dr} ：最長之排水路徑長

因此各土層在各壓密應力之歷時性沉陷量 $S(t)$ 如下所示：

$$S(t) = S_u \times U(t) \dots\dots\dots(2-6)$$

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：(a) 土壤完全飽和；(b) 孔隙水可壓縮，且其壓縮性僅與孔隙水壓力有關；(c) 土壤之固體顆

粒不可壓縮；(d)孔隙水滲流遵循 Darcy 定律；(e)土壤為均質且均向性之線彈性介質；(f)土壤介質之應變量微小；(g)影響孔隙率之主要因素為介質的有效應力。根據以上假設，該壓密理論之基本方程式如下所示：

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

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

由於地下水位觀測井所測得之水位變化，可代表鄰近區域亦有相同之水位變化，而且地下水位變化引致之地層下陷屬於區域沉陷，因此若考慮為單向度之壓密過程，即 $S_x = S_y = 0$ ， $\varepsilon = \frac{\partial S_z}{\partial z}$ ， $\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_y}{\partial y} = 0$ ，可將基本方程式(2-7)簡化如下：

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

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

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

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

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

$H_d = H$ ，若為雙向排水 $H_d = H/2$

2.2.2 儀器裝設

地下水壓的大小、水位之深度及變化皆對地層下陷有極大影響，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皂土進行封層，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 2-14 所示。

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/cm^2 、 10kg/cm^2 及 2kg/cm^2 耐水壓型水壓計。

(1) 因本地區位於海濱附近及鑽孔深度為 200 m，因此施鑽時先採用皂土保護孔壁以防崩孔，待鑽探至預定深度後再以清水置換，直到迴水無皂土成份，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 管將水泥及皂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 2-15 所示。

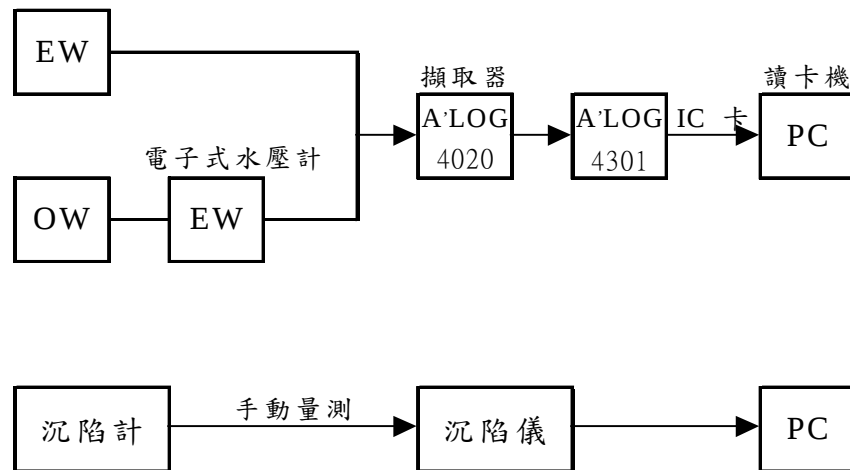


圖 2-14 系統儀器架構流程圖

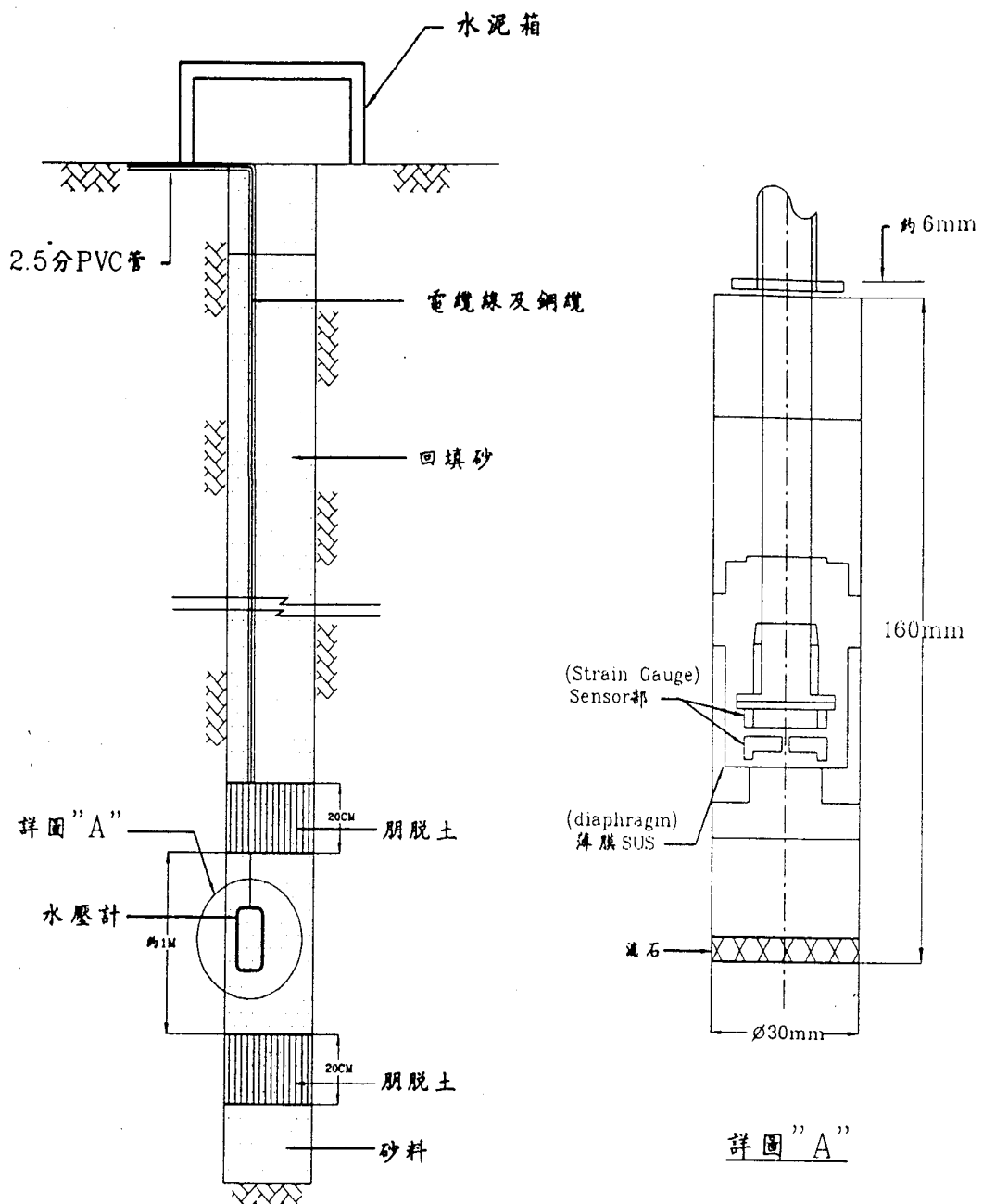


圖 2-15 電子式地下水壓計安裝示意圖

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 2-16 所示。

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 英吋井管，為耐腐蝕及酸鹼材質。

- (1) 鑿井到達預定深度 210 m 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 2-17、2-18 所示。

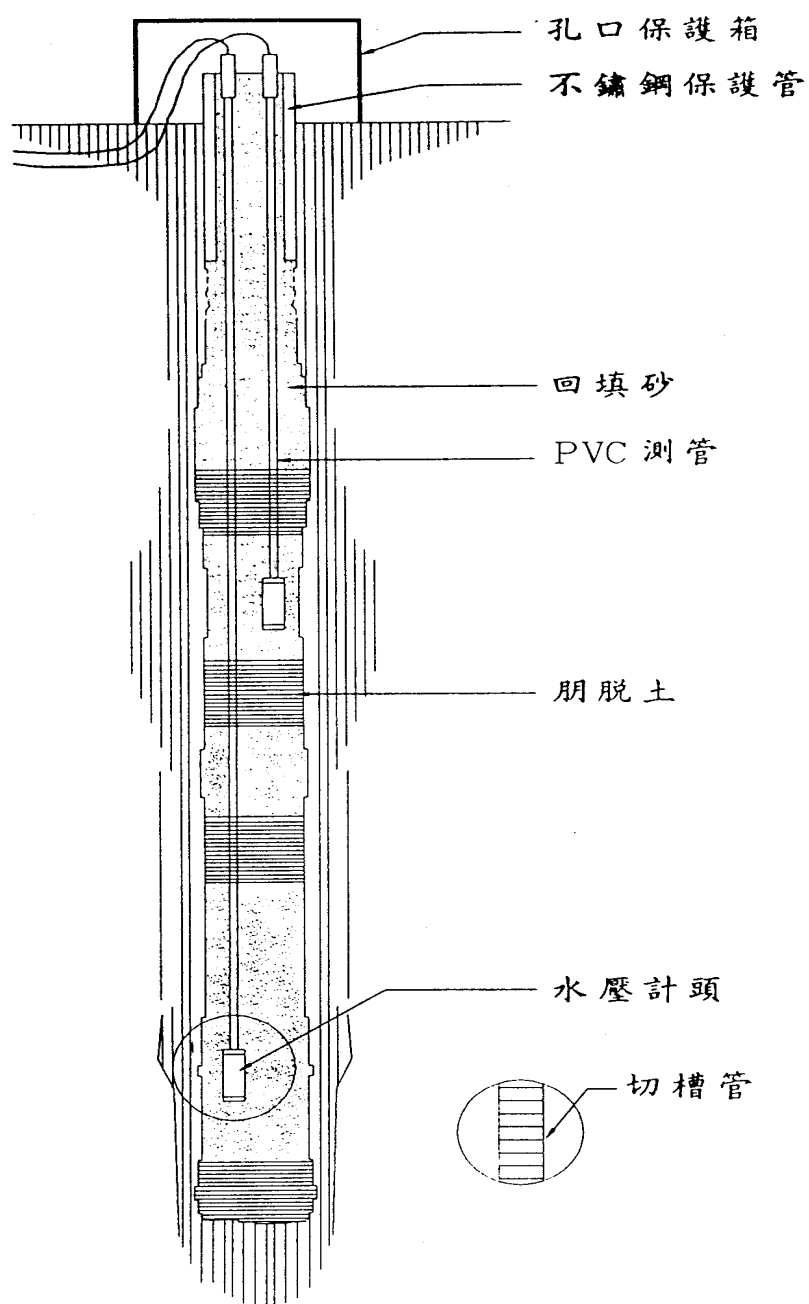


圖 2-16 開放式水壓計安裝示意圖

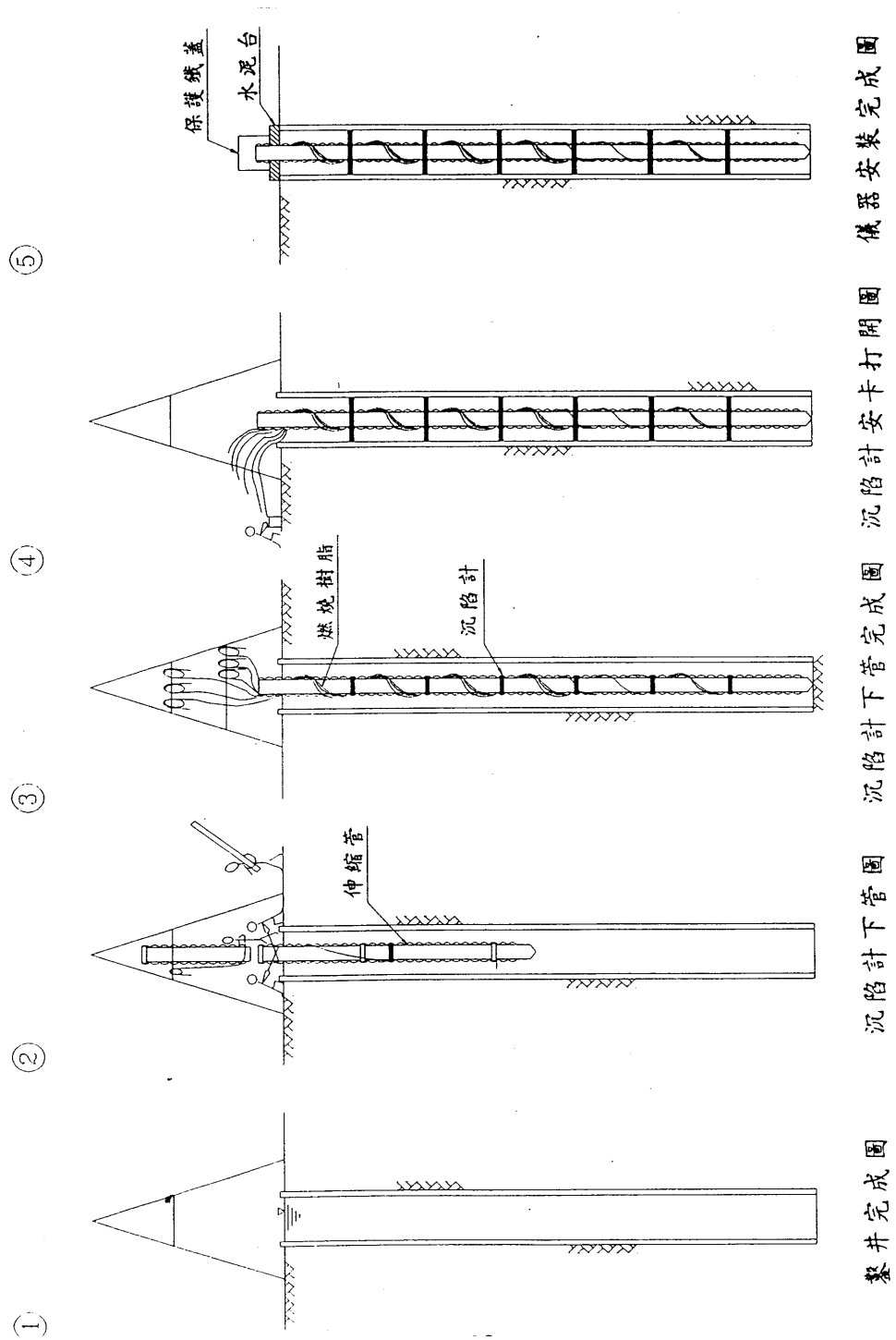


圖 2-17 沉陷計安裝示意圖

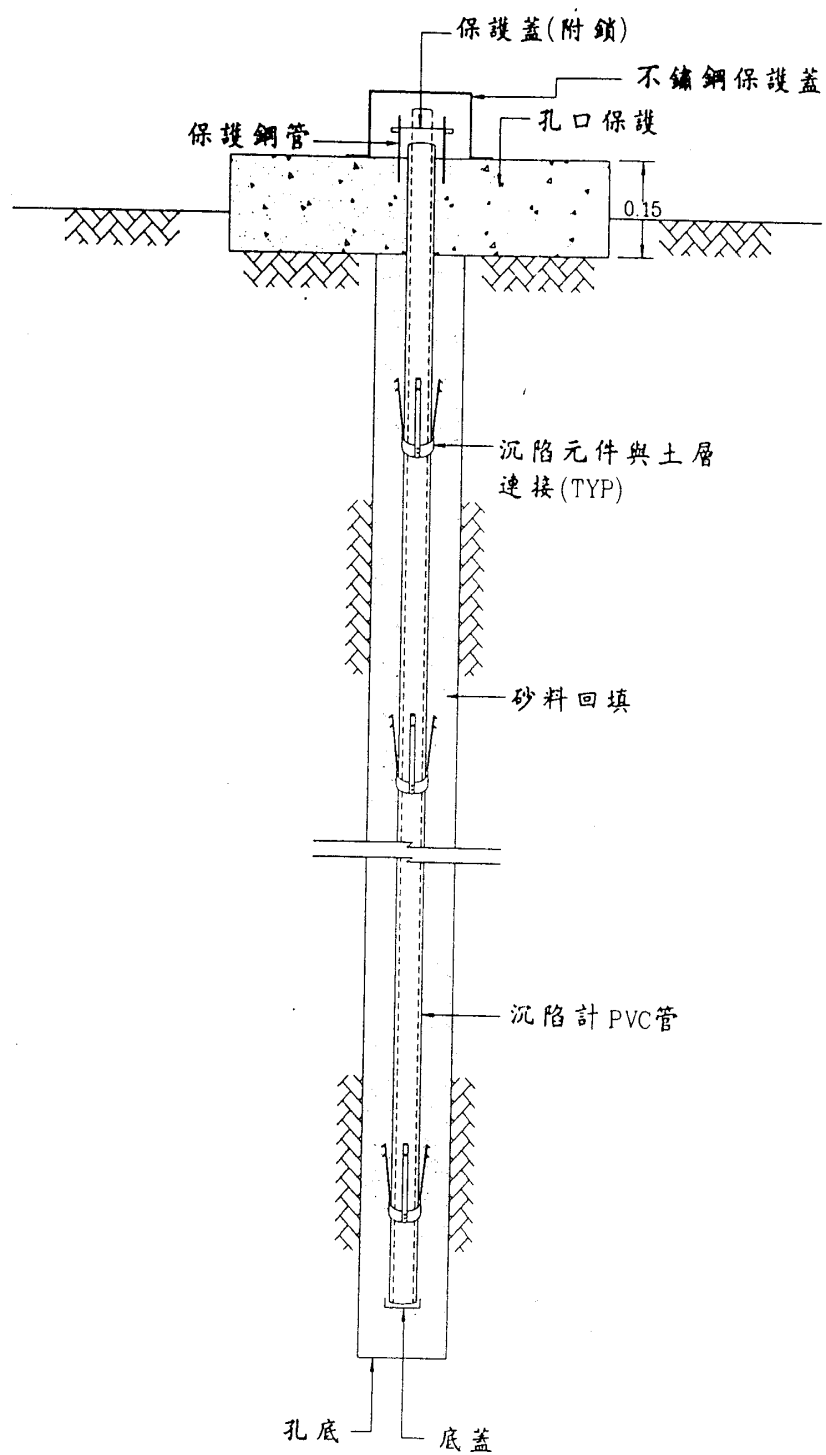


圖 2-18 磁感式層別沉陷計安裝示意圖

2.2.3 各港地層下陷監測站

各港下陷監測站設置概述如下：

1. 大鵬灣監測站

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 2-19），埋設監測儀器。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 2-1 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，水壓計安裝深度如表 2-2 所示。

表 2-1 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		

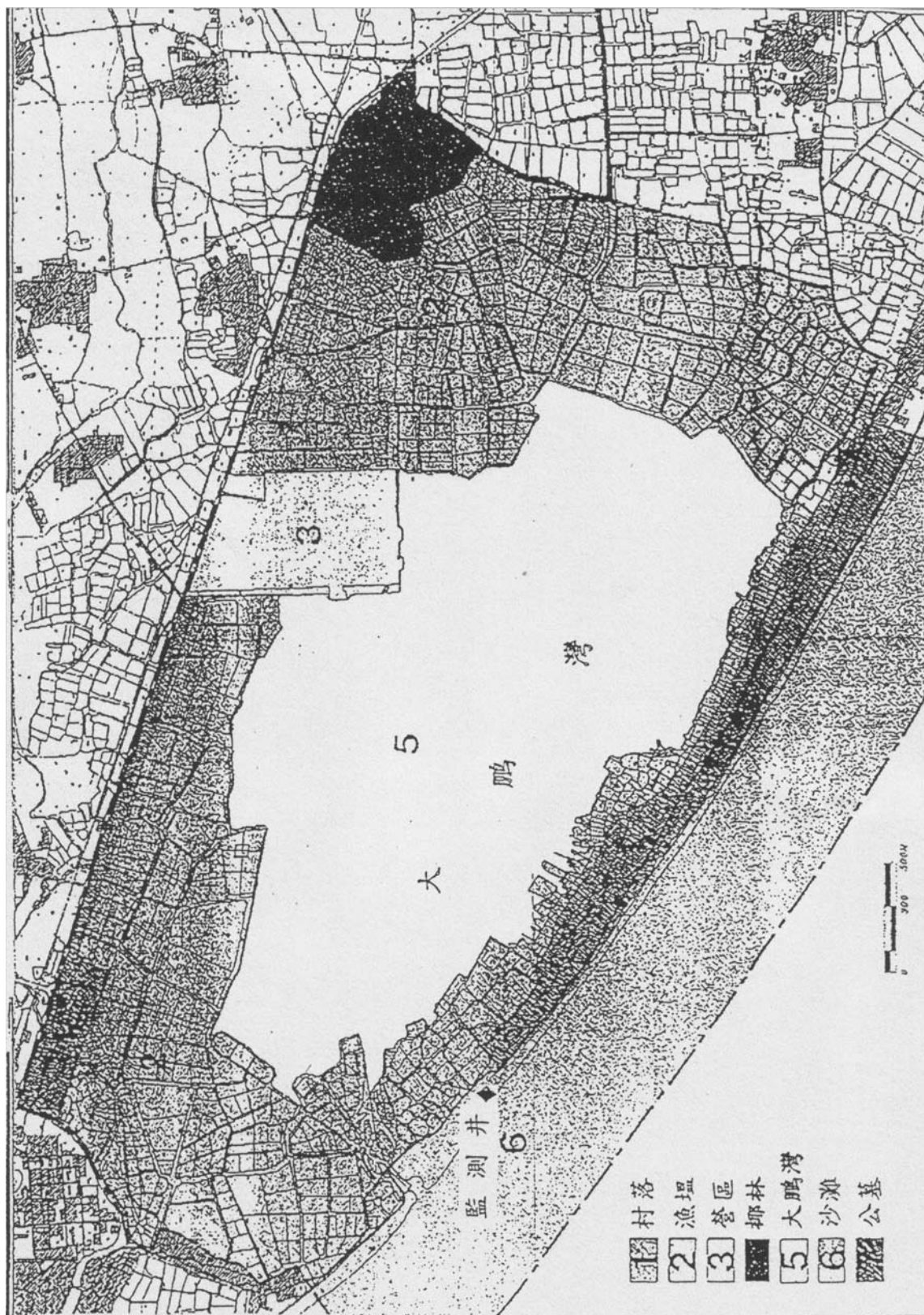


圖 2-19 大鵬灣監測站位置圖

表 2-2 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)	校正係數	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	0.000667		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

2. 安平港監測站

安平港監測井之設置地點位於安平港區第 18、19 號碼頭後線綠帶區之位置，其地點如圖 2-20 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 200 m，安裝沉陷計感應環 22 個，安裝深度如表 2-3 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。

表 2-3 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

3. 布袋港監測站

布袋港監測站選擇位於布袋港區第二期海埔地之西北角隅之適當位置(如圖 2-21)，各監測井之座標如表 2-4。

本監測井共計三孔，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 2-5 所示。
2. 電子式水壓計觀測井 2 孔

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 2-6 所示。

表 2-4 布袋港監測井座標高程一覽表

監測井編號	高程	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

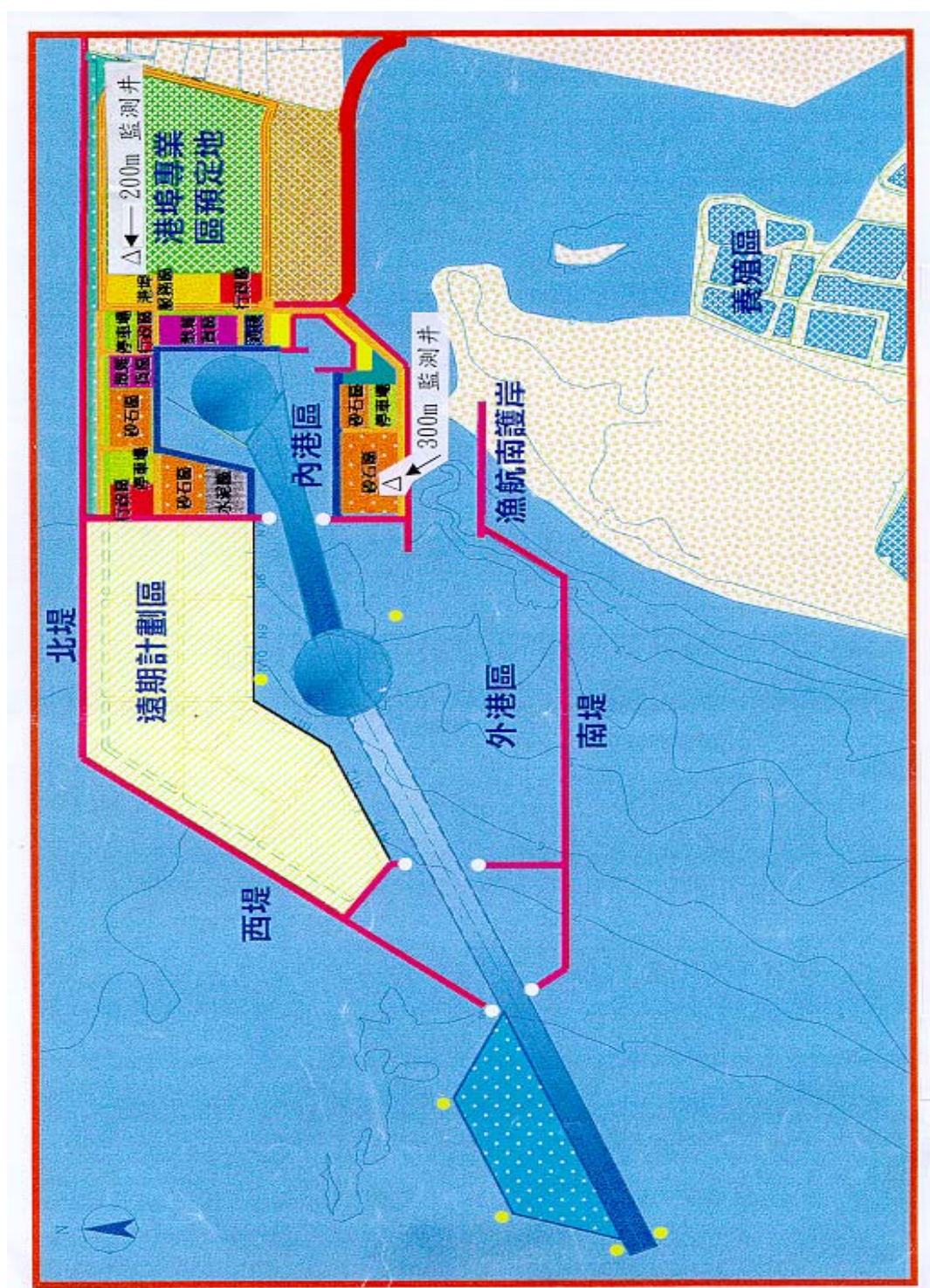


圖 2-21 布袋港監測站位置圖

表 2-5 布袋港沉陷計感應環安裝深度一覽表

序 號	埋設深度 (m)
S1	8.262
S2	15.7775
S3	29.633
S4	40.5855
S5	55.548
S6	65.563
S7	75.514
S8	85.469
S9	100.4705
S10	110.4515
S11	120.4515
S12	130.7385
S13	140.441
S14	157.4565
S15	170.4380
S16	180.6975
S17	190.4455
S18	200.4735

表 2-6 布袋港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)	校正係數	水頭高 (管口)	備 考
OW-1	35549	44 m	CH2	27	0.00339		電子式水壓計
	35550	68 m	CH3	125	0.00331		電子式水壓計
	39332	131 m	CH5	-134	0.00680		電子式水壓計
OW-2		34 m				4.07 m	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
	25986	14.07 m	CH1	115	0.000673		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. 臺中港監測站

臺中港監測站選擇位於臺中港區 26 號碼頭區綠地之適當位置(如圖 2-22)。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 2-7 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 2-7 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 2-22 臺中港監測站示意圖

第三章 地震監測站資料

地表在強地動的作用下，由於港區場址不同的地質條件，會有不同的場址效應產生，而這些重要的特性是地震振幅、頻含及強震延時效應，以下就本研究計畫依各港灣地區之地質狀況、港區用途分別設置地震監測站，茲就各港監測站所得資料建置分析彙整如下：

3.1 臺北港地震站

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，監測期間雖未有強震之觀測資料，但小地震非常頻繁，2007 年擷取之地震觀測資料，就規模 4.5 以上較完整之資料共 6 組，如表 3-1。其各深度之最大加速度如表 3-2 至 3-3 所示。地震歷時圖資料庫之建置以臺北港 2003 年間監測振幅較大資料為例，如圖 3-1 至圖 3-3 所示，分別為 2003 年 6 月 10 日地震歷時圖之東西向(EW)、南北向(SN) 及垂直向(V)之尖峰加速度，由 297m 上傳至地表時，其振幅有明顯放大。

表 3-1 臺北港 2007 年井下地震觀測資料

No	時間	位置		深度 km	規模
		緯度	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

表 3-2a 臺北港 2007 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(2007年10月份-共2筆)

編號：1/2 規模：5.5 深度：78.9 km			編號：2/2 規模：5.7 深度：42.2km		
地震時間：07/10/11/11:05'2.5"			地震時間：07/10/17/22:40'51"		
記錄時間：07/10/11/11:05'19"			記錄時間：07/10/17/22:39'59.5"		
震央位置：北緯：24°19.2' 東經：121°54.0'			震央位置：北緯：24.47° 東經：121.71°		
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	4.60	1(南北)	地表	2.00
2(東西)	地表	3.43	2(東西)	地表	1.70
3(垂直)	地表	4.75	3(垂直)	地表	1.06
4(南北)	14m	2.16	4(南北)	14m	1.30
5(東西)	14m	2.33	5(東西)	14m	1.19
6(垂直)	14m	2.35	6(垂直)	14m	0.74
7(南北)	29m	1.99	7(南北)	29m	1.28
8(東西)	29m	1.85	8(東西)	29m	1.08
9(垂直)	29m	1.90	9(垂直)	29m	0.63
10(南北)	99m	1.73	10(南北)	99m	0.74
11(東西)	99m	1.36	11(東西)	99m	0.63
12(垂直)	99m	1.49	12(垂直)	99m	0.29
13(南北)	297m	0.94	13(南北)	297m	1.01
14(東西)	297m	1.17	14(東西)	297m	1.78
15(垂直)	297m	2.24	15(垂直)	297m	1.84

表 3-2b 臺北港 2007 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(2007年11月份-共4筆)

編號：1/4 規模：5.0 深度：4.0 km			編號：2/4 規模：4.5 深度：18.4 km		
地震時間：07/11/08/06:54'15.9"			地震時間：07/11/12/18:24'42.5"		
記錄時間：07/11/08/06:54'45"			記錄時間：07/11/12/18:25'12"		
震央位置：北緯：24.91° 東經：121.17°			震央位置：北緯：24.46° 東經：121.84°		
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	3.01	1(南北)	地表	1.23
2(東西)	地表	4.05	2(東西)	地表	1.59
3(垂直)	地表	1.54	3(垂直)	地表	0.62
4(南北)	14m	1.61	4(南北)	14m	0.64
5(東西)	14m	2.28	5(東西)	14m	1.02
6(垂直)	14m	1.31	6(垂直)	14m	0.58
7(南北)	29m	1.41	7(南北)	29m	0.50
8(東西)	29m	2.06	8(東西)	29m	0.98
9(垂直)	29m	0.89	9(垂直)	29m	0.49
10(南北)	99m	0.93	10(南北)	99m	0.51
11(東西)	99m	1.27	11(東西)	99m	0.43
12(垂直)	99m	0.24	12(垂直)	99m	0.14
13(南北)	297m	-	13(南北)	297m	-
14(東西)	297m	-	14(東西)	297m	-
15(垂直)	297m	-	15(垂直)	297m	-

台北港地震監測站各頻道最大加速度值(2007年11月份-共4筆)

編號：3/4 規模：4.8 深度：18.0 km			編號：4/4 規模：5.5 深度：65.0 km		
地震時間：07/11/15/09:50'31.5"			地震時間：07/11/29/05:05'14.3"		
記錄時間：07/11/15/09:51'09"			記錄時間：07/11/29/05:05'41"		
震央位置：北緯：24.08° 東經：121.51°			震央位置：北緯：24.82° 東經：121.01°		
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	1.58	1(南北)	地表	1.97
2(東西)	地表	1.27	2(東西)	地表	1.35
3(垂直)	地表	0.79	3(垂直)	地表	0.97
4(南北)	14m	0.71	4(南北)	14m	1.02
5(東西)	14m	0.80	5(東西)	14m	0.83
6(垂直)	14m	0.51	6(垂直)	14m	0.54
7(南北)	29m	0.56	7(南北)	29m	0.54
8(東西)	29m	0.90	8(東西)	29m	0.73
9(垂直)	29m	0.42	9(垂直)	29m	0.53
10(南北)	99m	0.55	10(南北)	99m	0.44
11(東西)	99m	0.27	11(東西)	99m	0.33
12(垂直)	99m	0.14	12(垂直)	99m	0.20
13(南北)	297m	-	13(南北)	297m	-
14(東西)	297m	-	14(東西)	297m	-
15(垂直)	297m	-	15(垂直)	297m	-

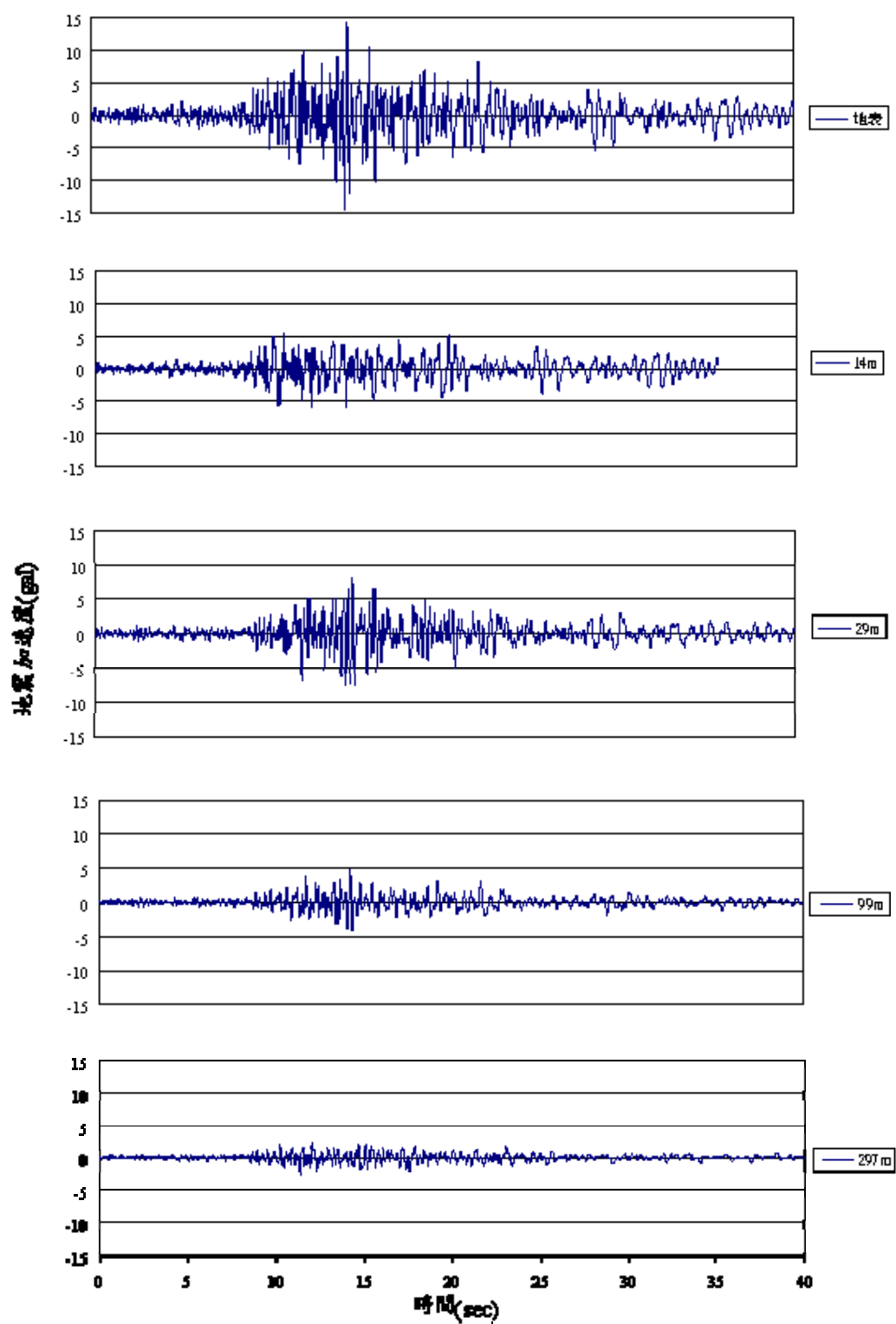


圖 3-1 臺北港 2003 年 6 月 10 日 16 時 41 分地震(南北向)

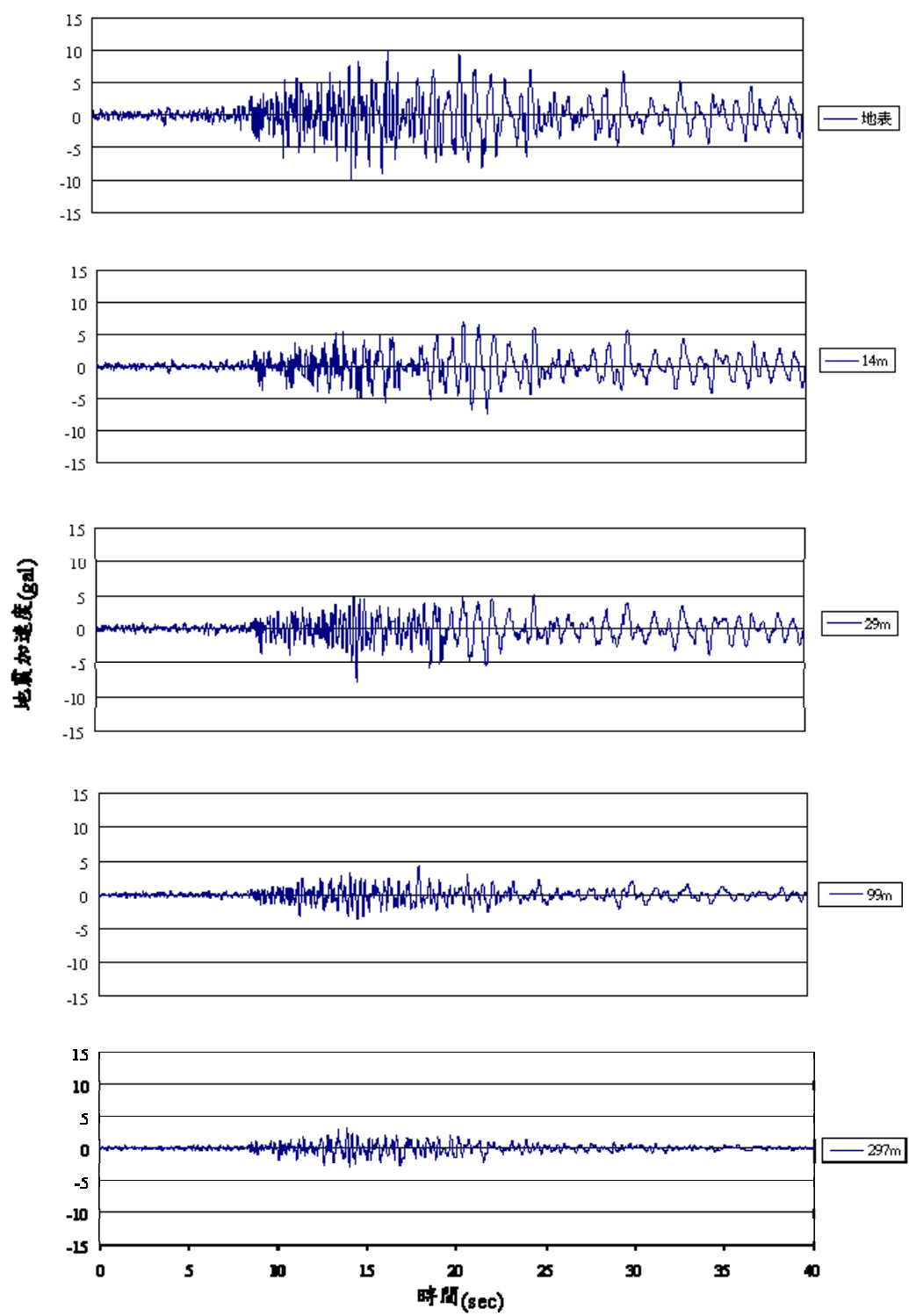


圖 3-2 臺北港 2003 年 6 月 10 日 16 時 41 分地震(東西向)

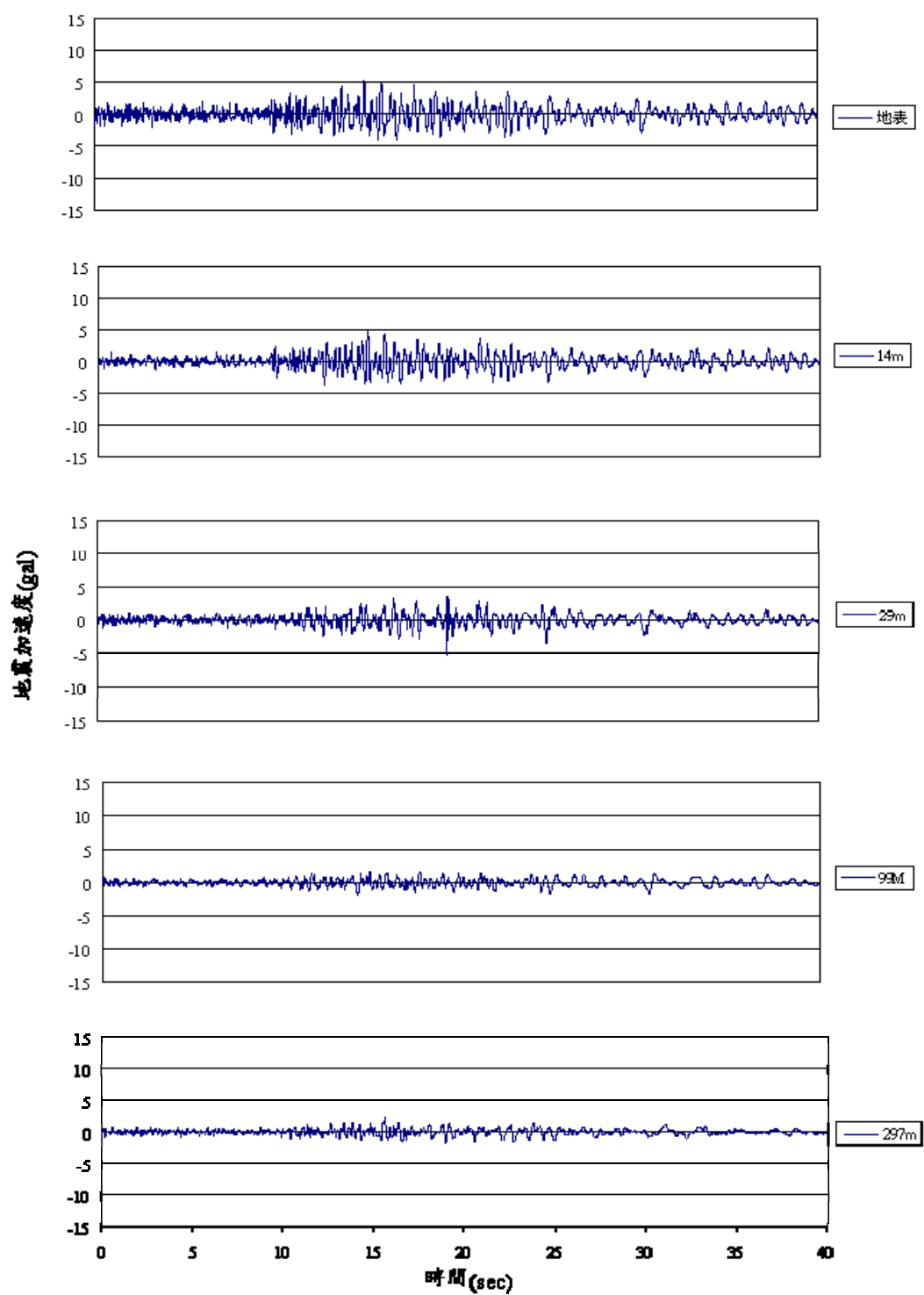


圖 3-3 臺北港 2003 年 6 月 10 日 16 時 41 分地震(垂直向)

3.2 臺中港地震站

臺中港井下地震儀監測站於民國 90 年底完成，井下地震儀陣列置於地表、 -10m、 -20m、 -100m 及 -283m 共設置 5 部地震儀，2007 年間擷取之地震觀測資料，就規模 4.4 以上較完整之資料共 6 組，如表 3-3，監測期間並未有較強地震之觀測資料，其中以 2007 年 12 月 25 日地震規模 5.1 之地表加速度 10.7gal 為最大。

表 3-3 臺中港 2007 年井下地震監測資料表

No	時間	位置		深度 km	規模
		緯度	經度		
1	2007 09 15 12:42 13.00	23.87°	120.75°	23.0	4.0
2	2007 10 11 11:05 46.00	24.78°	121.81°	78.9	5.5
3	2007 10 17 22:40 43.00	23.47°	121.71°	42.2	5.7
4	2007 12 05 09:42 30.00	23.06°	121.17°	8.3	5.3
5	2007 12 06 22:15 57.00	24.09°	121.35°	72.5	5.1
6	2007 12 25 02:48 50.00	24.02°	120.72°	23.4	4.9

3.3 布袋港地震站

布袋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、 -10m、 -20m、 -100m 及 -300m 共設置 5 部地震儀，2006 年及 2007 年間擷取之地震觀測資料，就規模 4.6 以上較完整之資料共 6 組，如表 3-4，監測期間並未有較強地震之觀測資料，其中以 2006 年 3 月 9 日地震規模 5.1 之地表加速度 70.9gal 為最大，其各深度之最大加速度如表 3-5 所示。

表 3-4 布袋港 2006、2007 年井下地震監測資料表

No	時間	位置		深度 km	規模
		緯度	經度		
1	2006 03 09 12:07 47.00	23.64°	120.56°	9.9	5.1
2	2006 04 01 18:02 45.00	22.88°	121.08°	7.2	6.2
3	2006 04 18 09:26 11.00	23.42°	120.34°	10.6	4.6
4	2006 12 26 20:26 58.00	21.69°	120.56°	44.1	7.0
5	2007 09 07 01:52 29.00	24.2°	121.43°	27.0	6.6
6	2007 12 05 09:41 19.00	23.06°	121.17°	8.3	5.3

表 3-5 布袋港 2006 年井下地震站各深度最大加速度表

布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2006年3月份-共4筆)

編號：1/4 規模：5.1 深度：9.9 km			編號：2/4 規模：6.2 深度：7.2km		
地震時間：06/03/09/12:07'28.8"			地震時間：06/04/01/18:02'19.5"		
記錄時間：06/03/09/12:07'47"			記錄時間：06/04/01/18:02'45"		
震央位置：北緯：23.64° 東經：120.56°			震央位置：北緯：24.47° 東經：121.71°		
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	70.98	1(南北)	地表	28.50
2(東西)	地表	70.18	2(東西)	地表	20.27
3(垂直)	地表	38.52	3(垂直)	地表	3.77
4(南北)	10m	6.70	4(南北)	10m	19.74
5(東西)	10m	8.80	5(東西)	10m	16.40
6(垂直)	10m	2.80	6(垂直)	10m	3.50
7(南北)	20m	7.60	7(南北)	20m	14.15
8(東西)	20m	6.80	8(東西)	20m	9.96
9(垂直)	20m	2.40	9(垂直)	20m	2.99
10(南北)	100m	5.60	10(南北)	100m	6.13
11(東西)	100m	4.50	11(東西)	100m	8.83
12(垂直)	100m	2.18	12(垂直)	100m	2.16
13(南北)	300m	3.68	13(南北)	300m	6.16
14(東西)	300m	2.02	14(東西)	300m	1.22
15(垂直)	300m	1.86	15(垂直)	300m	1.74

布袋港地震監測站各頻道最大加速度值(2006年3月份-共4筆)

編號：3/4 規模：4.6 深度：10.6km			編號：4/4 規模：7.0 深度：44.1km		
地震時間：06/04/18/09:26'1.1"			地震時間：06/12/26/20:26'21"		
記錄時間：06/04/18/09:26'11"			記錄時間：06/12/26/20:26'58"		
震央位置：北緯：23.42° 東經：120.34°			震央位置：北緯：21.69° 東經：120.56°		
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	25.57	1(南北)	地表	37.94
2(東西)	地表	24.25	2(東西)	地表	39.03
3(垂直)	地表	13.65	3(垂直)	地表	13.28
4(南北)	10m	12.48	4(南北)	10m	18.52
5(東西)	10m	16.98	5(東西)	10m	14.77
6(垂直)	10m	4.36	6(垂直)	10m	8.24
7(南北)	20m	8.56	7(南北)	20m	15.50
8(東西)	20m	10.74	8(東西)	20m	17.99
9(垂直)	20m	5.63	9(垂直)	20m	7.20
10(南北)	100m	8.29	10(南北)	100m	15.69
11(東西)	100m	7.66	11(東西)	100m	13.36
12(垂直)	100m	3.27	12(垂直)	100m	5.62
13(南北)	300m	7.27	13(南北)	300m	9.80
14(東西)	300m	1.46	14(東西)	300m	0.56
15(垂直)	300m	3.11	15(垂直)	300m	4.94

3.4 蘇澳港地震站

蘇澳港井下地震儀監測站於民國 93 年底完成，井下地震儀陣列設置於地表、 -8m、 -15m、 -22m 及-35m 共設置 5 部地震儀，96 年間擷取之地震觀測資料，就規模 4.1 以上較完整之資料共 19 組，如表 3-6，監測期間地震非常頻繁，其中以 2007 年 9 月 22 日地震規模 5.0 之地表加速度 126.53gal 為最大。

表 3-6 蘇澳港 2007 年井下地震監測資料表

No	時間	位置		深度 km	規模
		緯度	經度		
1	2007 01 25 18:59'16.6"	22.86°	121.86°	5.0	6.2
2	2007 02 12 13:40'25.3"	24.4°	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"	24.4°	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"	24.37°	121.84°	14.6	4.1
9	2007 07 23 21:40'2.1"	23.67°	121.72°	29.6	6.0
10	2007 09 07 01:51'25.3"	24.2°	122.43°	27.0	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"	24.47°	121.85°	18.2	5.0
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"	24.07°	122.45°	61.0	4.8

第四章 地層下陷資料與分析

地下水位變化會引起地層之變化，而雨量及地下水抽取量會引起地下水位及地下水壓之變化，因此雨量、地下水位、地層下陷三者存在著某種相關性，本計畫依各港設置地層下陷監測站之地質特性、地下水位及地層下陷量測所得資料分析彙整如下：

4.1 布袋港

4.1.1 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 4-1)，約可分為 24 個次層，分別簡述如下：

1. 棕黃色細砂 (SP)：分佈在地表下深 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)：分佈於地表下 9.5~11.6 m 深，其 N 值為 3，屬軟弱土層。
3. 灰色細砂(SP)：分佈地表下 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)：約分佈於地表下深度 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 75.3~82.4 m，N 值於 28~74 之間。
10. 灰色沉泥質粘土(CL)：分佈於地表下 82.4~84.75 m，N 值約為 40。
11. 灰色砂質沉泥(ML)：分佈於地表下 84.75~87.2 m，N 值約為 41。
12. 灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 87.2~91.15m，SPT-N 值為 45。
13. 青灰色沉泥質粘土(CL)：分佈於地表下 91.15m~95.8 m，N 值介於 28~36 之間。
14. 青灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 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)：分佈於地表下 164.35~170.15 m，SPT-N 值在 60 時貫入土層約 4 cm。

22.灰色粘土(CL)：分佈於地表下 170.15~172.5 m，SPT-N 值在 100 時貫入土層約 7 cm。

23.灰色細砂(SM)：分佈於地表下 172.5~175.8 m，N 值在 100 時貫入深度約 7 cm。

24.灰色粘土(CL)：分佈於地表下 175.8~200 m，N 值為在 100 時貫入土層約 5~13 cm。

4.1.2 地下水位分析

於布袋港區第二期海埔地西北角隅，埋設 200 公尺深之分層水壓觀測站，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 日開始以自動量測系統量測，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，分別如圖 4-2 至圖 4-3 所示。由於其中 34 m、105 m、143 m、178 m 之水壓計為開放式，故以手動量測，手動量測自 86 年 4 月至 96 年 11 月每月定期量測一次，自 94 年 1 月起因人力有限，故每 2 個月量測一次，其量測結果如圖 4-4 所示。

由圖 4-2 及 4-3 顯示：34 m 處之水位變化介於-3.1~-3.9 m 之間反復性之震盪，較無變化，僅在 88 年 8~10 月及 90 年 9 月雨季時，水位稍微上升。44 m 處之水位，於 86 年 10 月旱季時，水位為-7.4 m 最低外，其餘時期水位皆在-6~-7m 之間反復震盪，而至 87 年 5~8 月時雨量較多，水位稍為上升，至 90 年 9 月上升到-5 m。68 m 之水位介於-6.4~-10.9 m 之間，其中因 87 年降雨量豐富，故該年之 11~12 月水位最高為-6.4 m，而 91 年因降雨量太少，故該年 6 月之水位降到最低為-10.9 m，且有逐年下降趨勢。

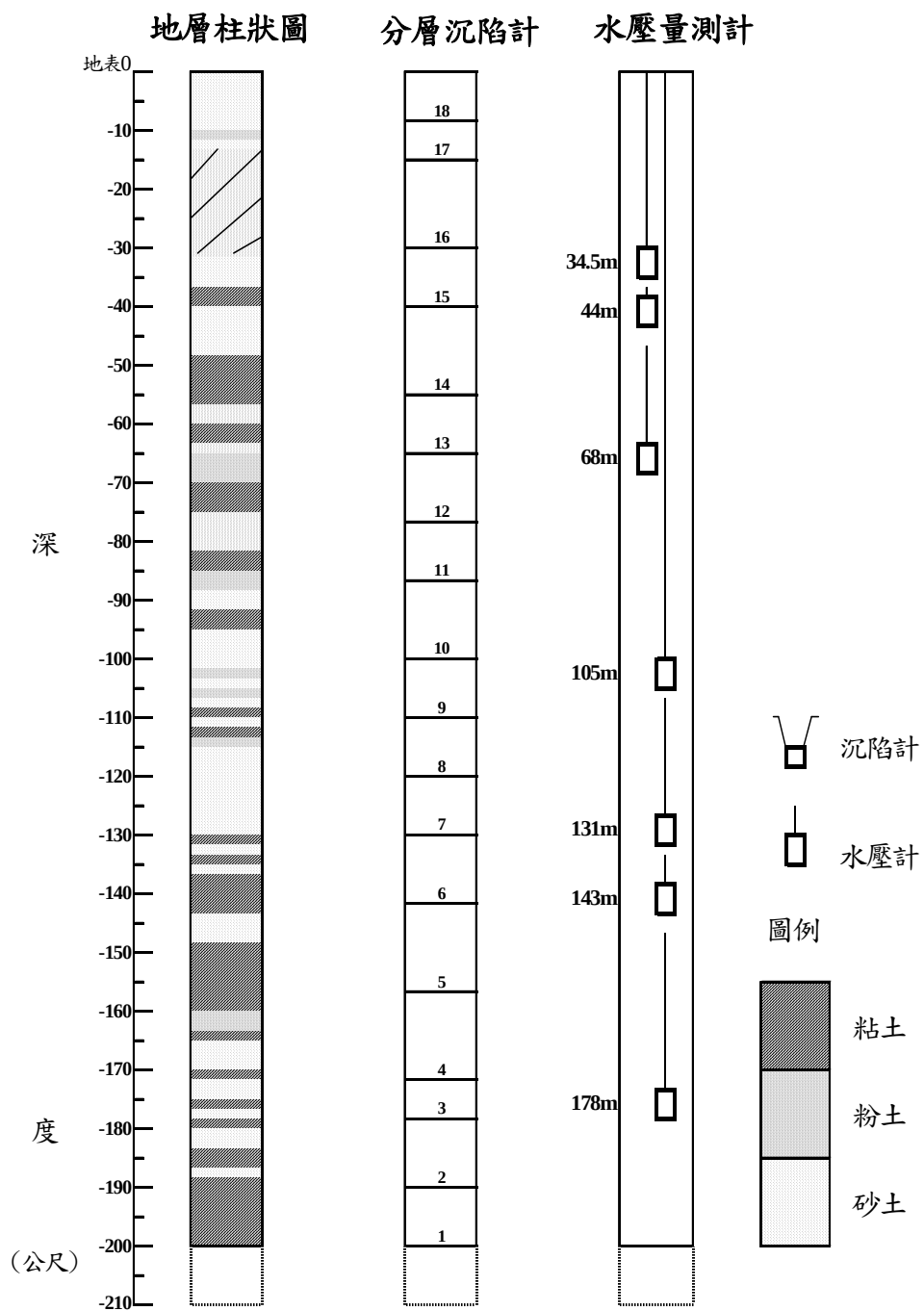


圖 4-1 布袋港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖

由圖 4-4 及圖 4-5 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，最低水位為-24 m，其水壓大小及變化與 105 m 處屬同一含水層，但自 87 年 4 月以後因水壓計損壞而缺少資料。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 4-5 所示，布袋港水層可分為 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。

4.1.3 分層地層下陷分析

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 4-6 為至民國 96 年 12 月，不同深度地層之壓縮量，以柱狀圖形表示，負值表壓縮，正值表回脹，因為感應磁環之最大深度為 200 公尺，所以圖中的量測數值均以此為參考點所計算之相對壓縮量，由圖 4-6 可發現較淺之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 140~157 m 及 170~181 m 之深度，而此地層屬粘土層，且深層超抽地下水較嚴重，因此壓縮量較大。

圖 4-7 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 96 年 11 月之 10 年 9 個月期間，布袋港地表下 8 m 至 200 m 間之沉陷總量為 475 公厘，而

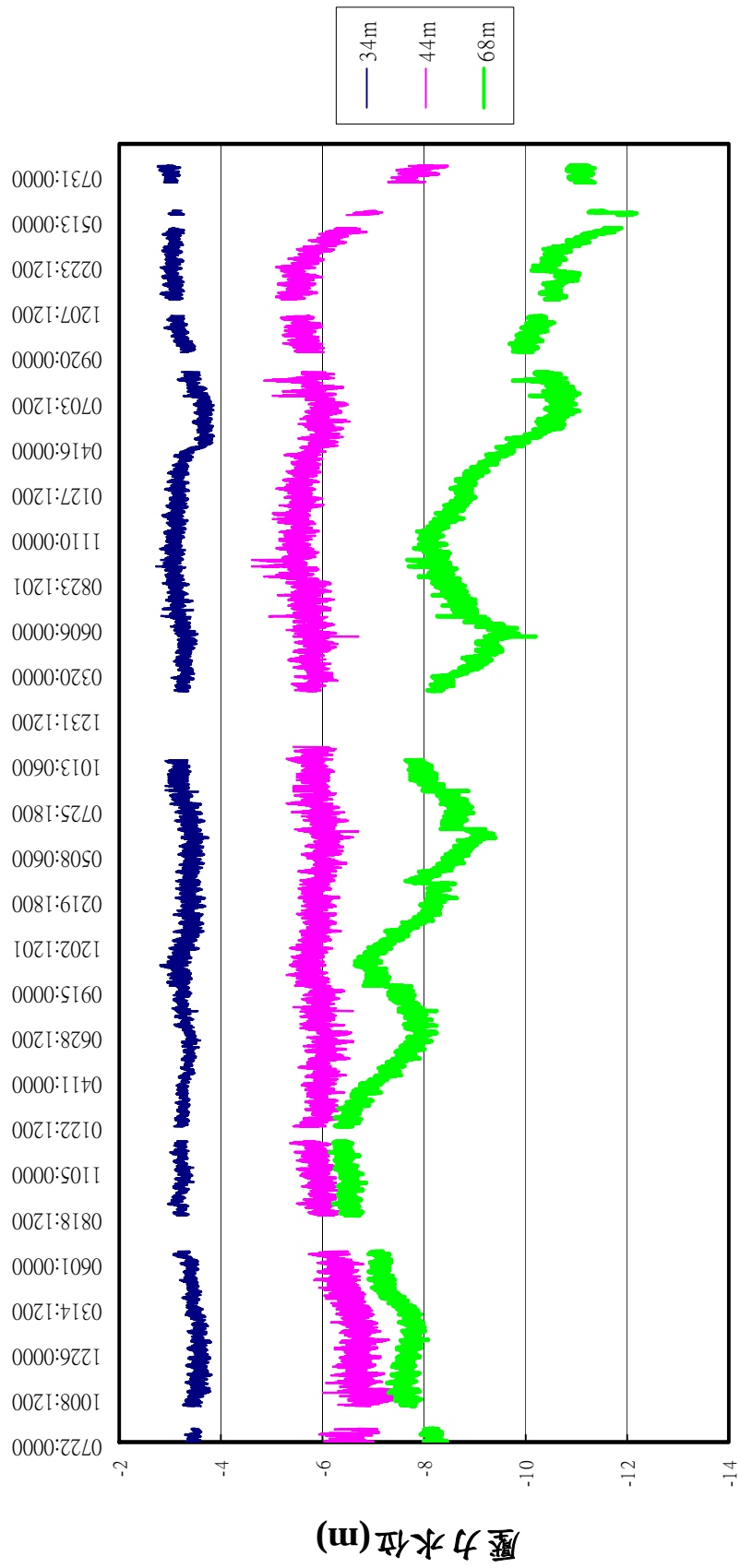
其中 140~200 m 之沉陷量 226 公厘，佔總沉陷量之 52% 以上，由此資料顯示，布袋港之沉陷屬於深層沉陷，且較 200 m 更深之處仍可能有沉陷發生，因此布袋港之總沉陷量應比監測所量測之壓縮總量還大。

圖 4.8 為布袋港於港區西北角隅設置之 400 公尺永久水準站，自 92 年 9 月至 96 年 10 月止共 4 年期間，地表至 400 m 間所監測之沉陷總量為 146 公厘，平均每年下陷量約 4 公分。

4.1.4 相關性分析

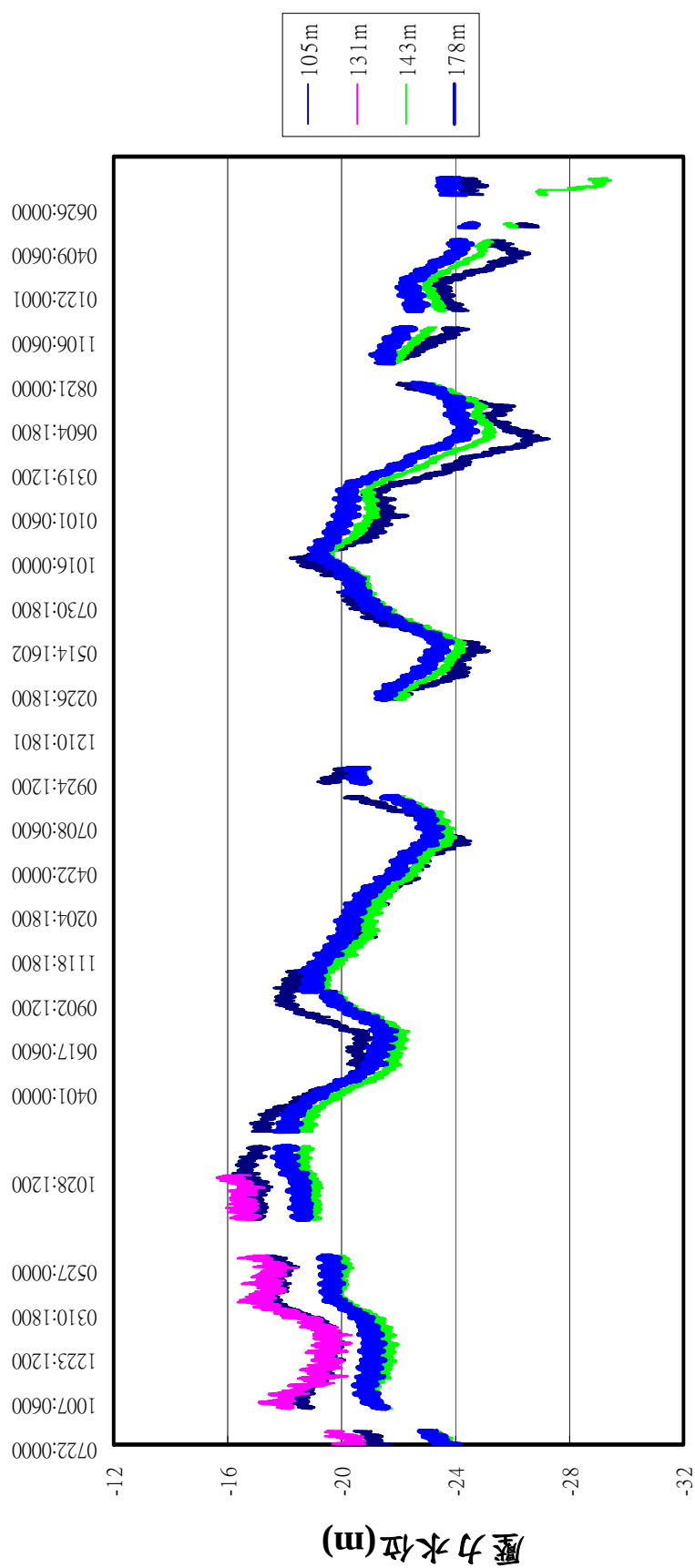
綜合上述地質、雨量、分層地下水位及分層地層下陷之分析，布袋港位於嘉義沿海地區，其雨量分析乃依據中央氣象局記錄，86~91 年之降雨量大多集中在 6、7、8 月，其餘月份雨量較少，唯 87 年降雨量從 2 月份開始增多，但 89 年之年降雨量僅有 1350 毫米，而 90 年 9 月份之降雨量則高達 1320 毫米。

淺層地下水位屬於局部性，會受港區抽水之影響，若是鄰近區域之抽水，則較不影響。而深層之地下水位屬於區域性，會受港區及附近區域之抽水影響，由於港區並無抽水現象發生，淺層水位應無多大變化。但淺層水位除了受漲退潮之影響外，以降雨量之影響最大，7、8 月雨季時，水位上升，11、12 月旱季時，水位下降，因此淺層土層若無抽水引致壓密水位下降之影響，僅受季節性雨量之影響，則淺層土層僅會因水位上升受解壓而微小之膨脹，水位下降時受再壓而微小之壓縮，整體而言不太會有沉陷發生。



日期(86/7/22--92/08/14)

圖 4-2 布袋港淺層水位變化圖(自記式)



日期 (86/7/22--92/08/14)

圖 4-3 布袋港深層水位變化圖(自記式)

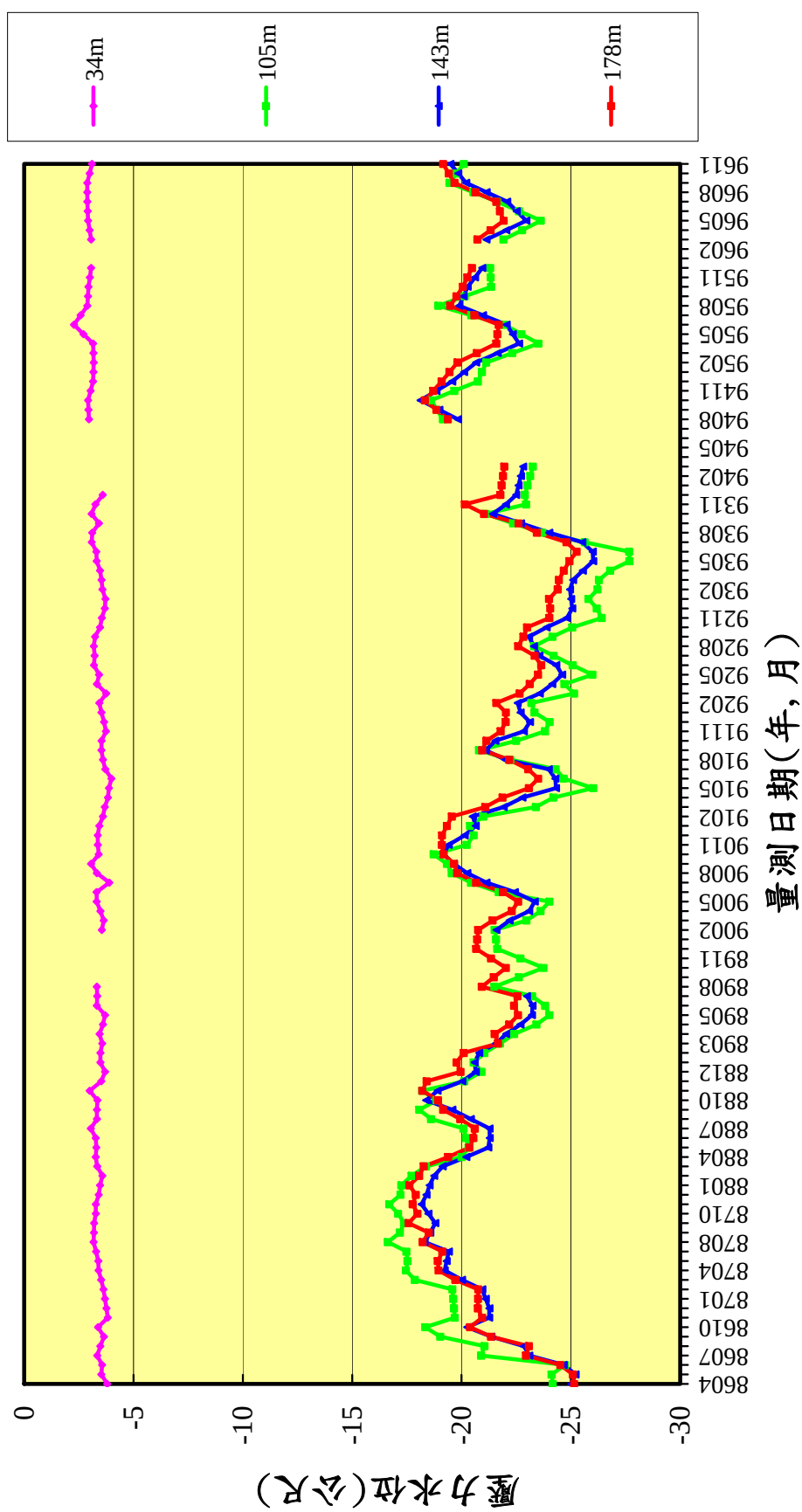
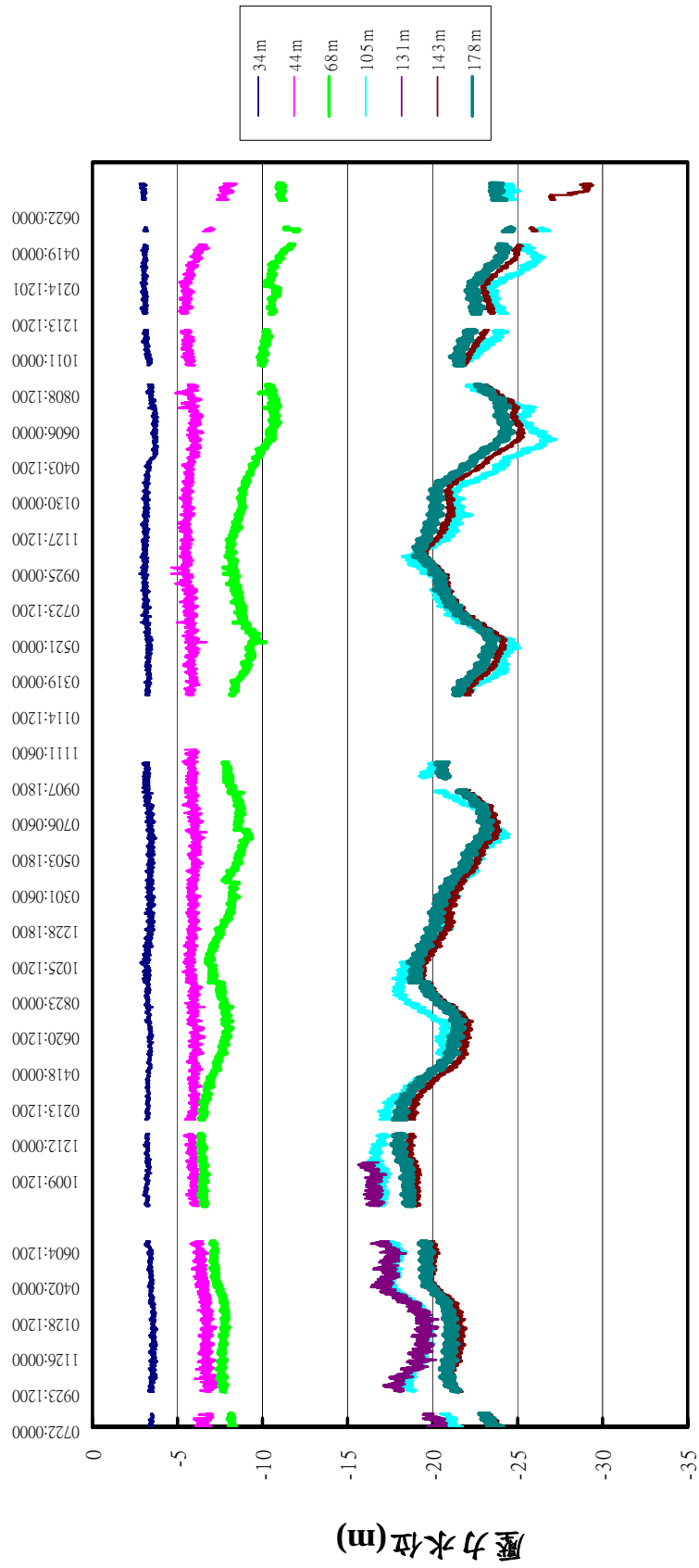


圖 4-4 布袋港分層水位變化圖(手動量測)



日期 (86/7/22--92/08/14)

圖 4-5 布袋港分層水位變化圖(自記式)

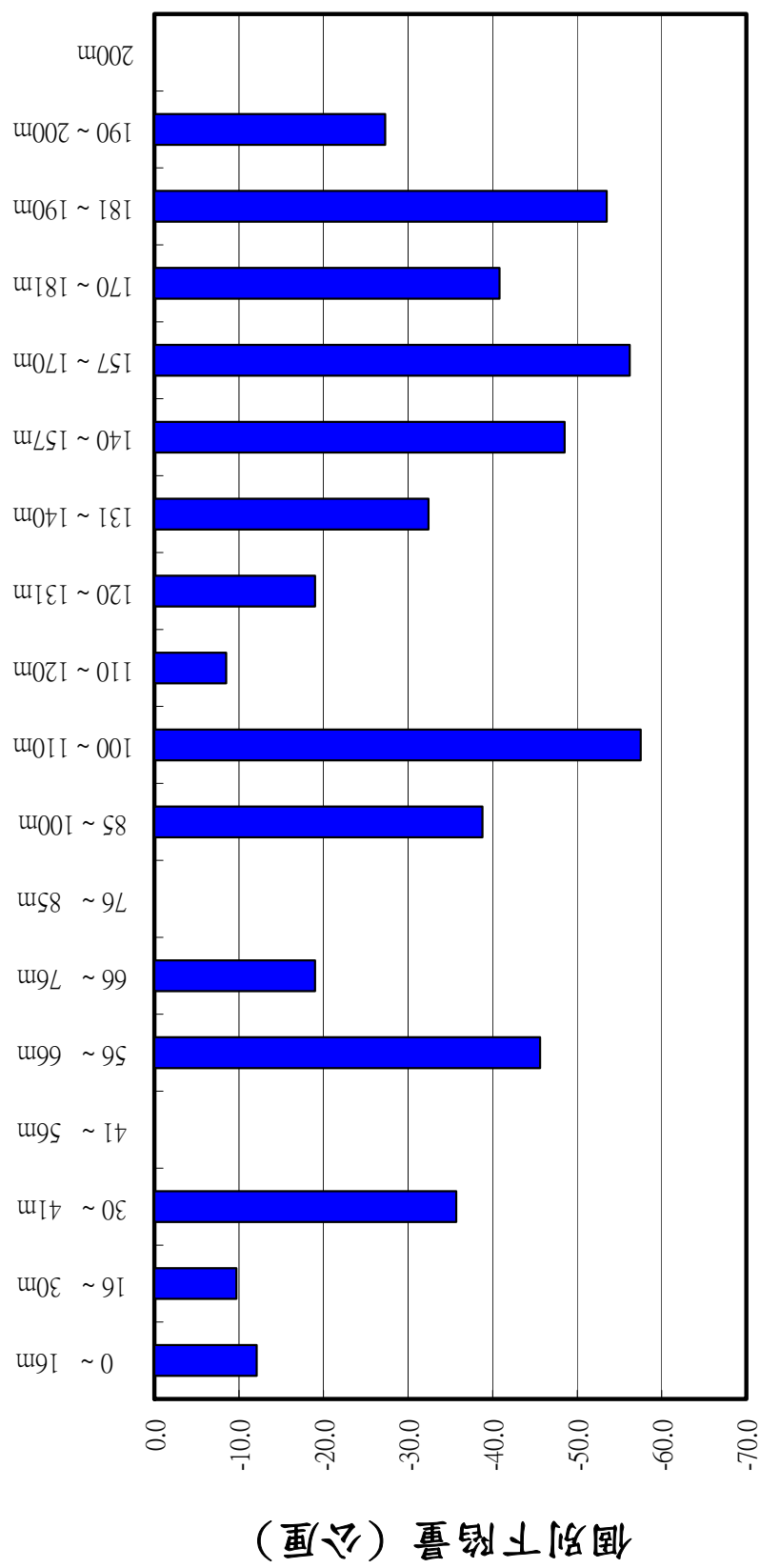
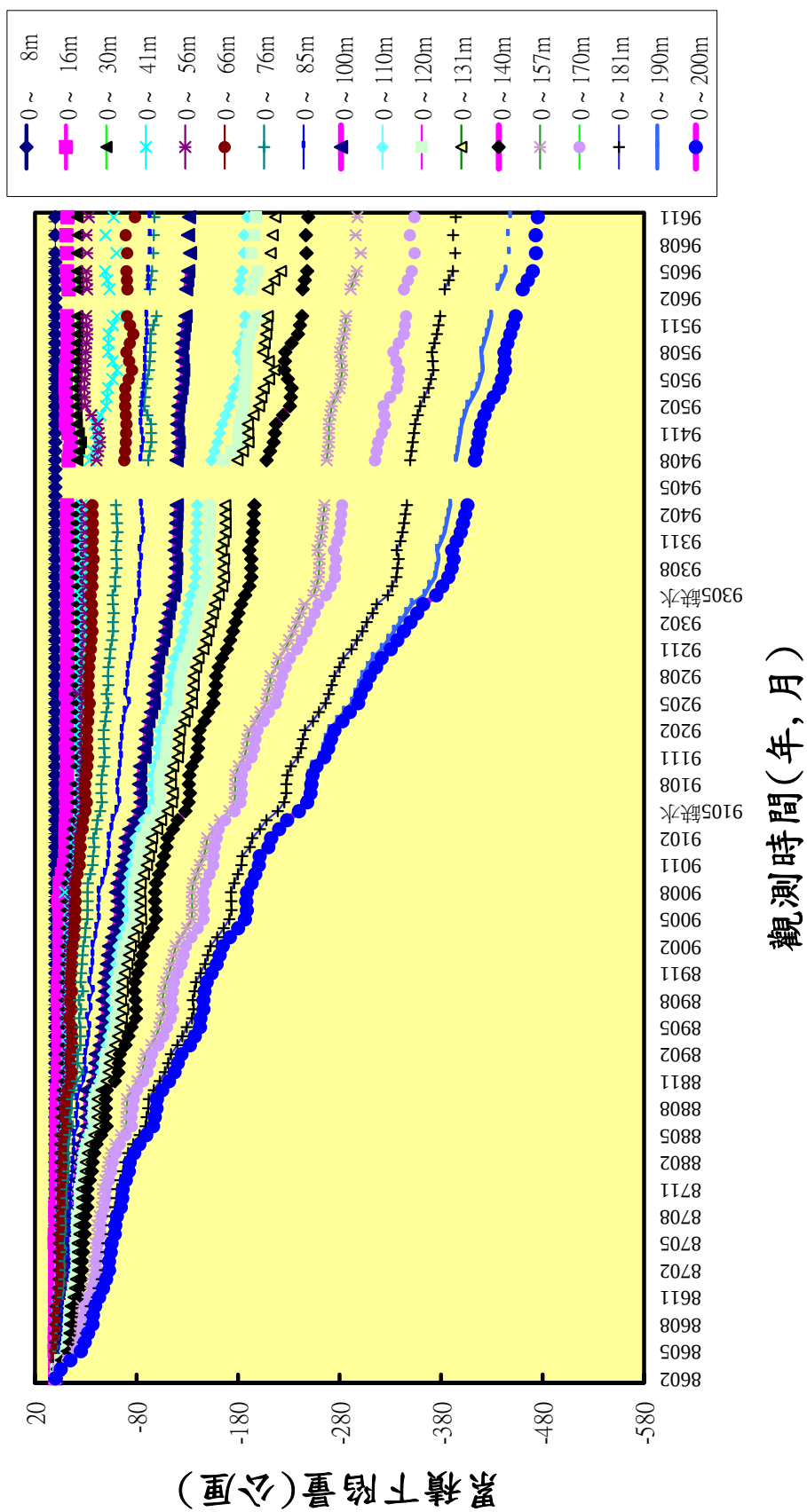


圖 4-6 布袋港分層個別下陷量圖

而 34 m 之地下水位，雖屬淺層水位，但由於 9.5~11.6 m 有沉泥層，14.1~32.8 m 有細砂夾多層之薄粘土，因此 34 m 之水位已非純自由水位而是半受壓水位，因此附近區域之抽水亦會影響其水位變化，由水井之調查，布袋鎮 10~30 m 之水井有 909 口，是淺層抽水之主要深度，故 34 m 之水位於 11、12 月旱季時因抽水較多，而水位較低，致使淺層土壤 16~41 m 亦有些壓縮量。而深層之地下水位理應較不受雨量變化之影響，是以超抽深層水位之影響較大，雖然 41~66 m 土層大多為粘土層或沉泥層，但因 44 m 之水位無多大變化，故其土層壓縮量亦極小。而 68 m 之水位變化較 44 m 水位為大，又 66~85 m 之土層大多為粘土層或沉泥層其土層之壓縮量較大；105 m、131 m、143 m、178 m 處之水位變化極為明顯，因此 85~200 m 之土層沉陷亦很明顯，100~200 m 之水位屬於較深層之水位，理應不太受雨量分佈之影響，若有受雨量補注之影響亦應有一段延遲現象，但此處深層水位，卻於 7、8 月雨季時水位逐漸上升，11、12 月旱季時水位逐漸下降，其原因何在？依本研究之見解，乃因雨季時地面水源充足，附近工業區或漁塭區減少使用地下水，而較少抽水，故深層水位上升，而旱季時，地面水源缺乏，引起附近工業區或漁塭區，大量抽取地下水，致使深層水位急速下降，亦引發深層之地層下陷。

由圖 4-7 分層沉陷顯示：壓縮量較大之位置，大多發生在抽水層鄰近深度之粘土層，即發生在砂土層厚度較大之鄰近的粘土層，如 131~157 m，170~181 m 即是抽水層鄰近之粘土層，其壓縮量最大。另由水井之調查，可發現 150 m 深以上之水井有 319 口，佔抽水井之比例極高，因此 143 m、178 m 之水位最低且變化大，因此沉陷量亦大，由分層沉陷資料圖 4-7 顯示，140~200 m 之沉陷量約佔總沉陷量 52%。



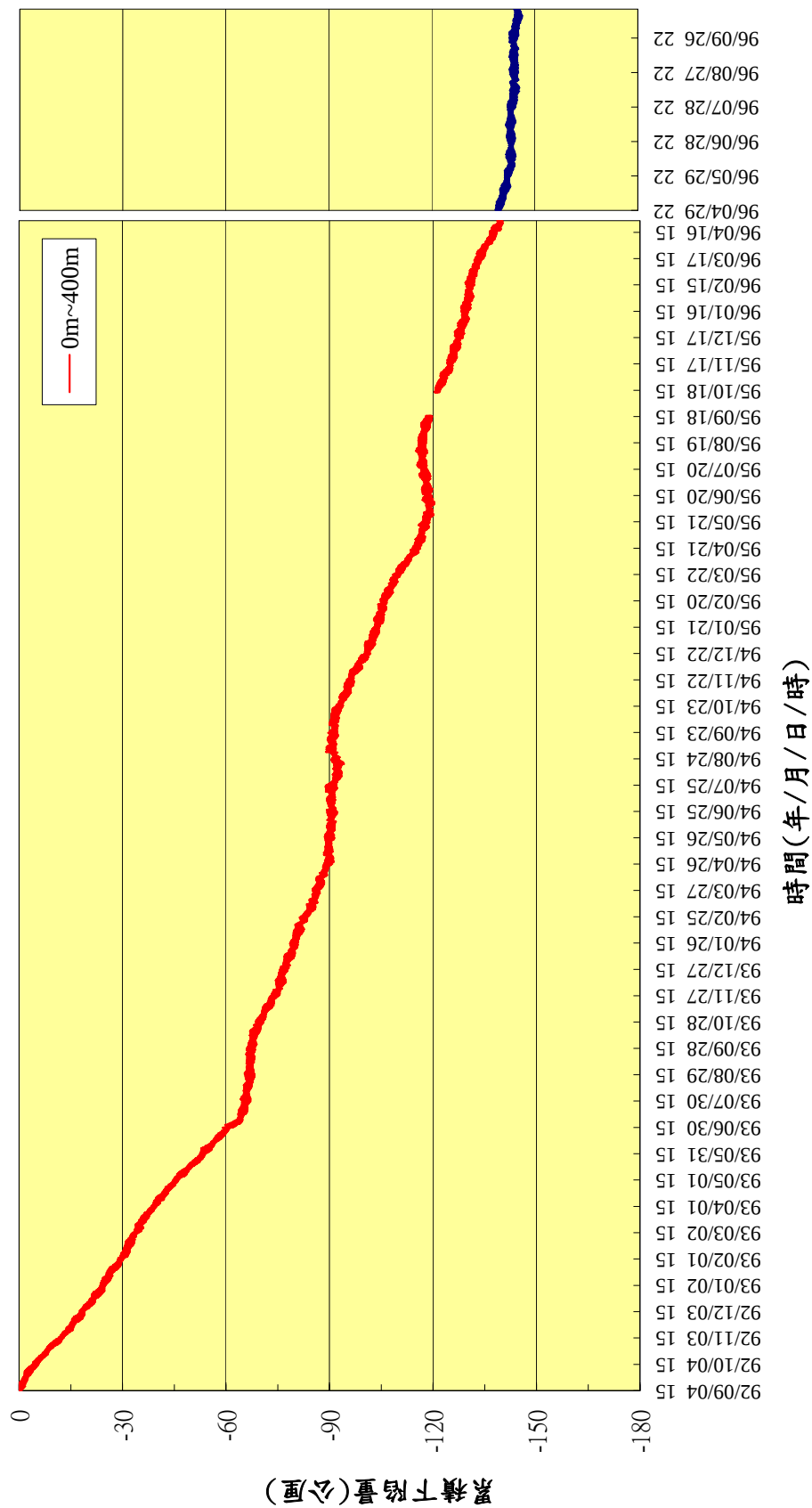


圖 4-8 布袋港 400 公尺永久水準點累積沉陷量(92/09~95/09)

4.2 大鵬灣

4.2.1 監測井地質分析

大鵬灣監測站在深度 207 公尺之土層，根據現場鑿井取樣如圖 4-9，約可概分為 12 個次層，分別簡述如下：

1. 砂土層(SW~SM)：分佈在地表下 0~-60 m，皆大部分為灰色砂土層，其中-24 m~-29 m，及-49 m~-53 m 深處含有一層厚達約 5 公尺之灰色粘土層(CL)。
2. 粘土層(CL)：分佈於地表下-60 m~-101 m 處，而-88 m~-90 m 深度位置夾有一層約 2 公尺厚之砂土層(SW~SM)。
3. 砂土層(SW~SM)：分佈於地表下-101 m~-106 m 處，厚約 5 公尺之灰色砂土層。
4. 粘土層(CL)：分佈於地表下-106 m~-113 m 深度，厚達 7 公尺之灰色粘土層。
5. 砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-113 m~-117 m 深，厚約 4 公尺之灰色砂土層。
6. 粘土層(CL)：分佈於地表下-117 m~-128 m 深處，為一層低塑性灰色粘土層，其中-122 m~-125 m 深處夾有一層厚約 3 公尺之沉泥質砂土層(SM)。
7. 砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-128 m~-144 m 深為一層灰色砂土層，其中-134 m~-136 m 深夾有厚約 2 公尺之低塑性粘土層(CL)。
8. 粘土層(CL)：分佈於地表下-144 m~-153 m 深處，比重為 2.72，厚約 9 公尺之灰色低塑性粘土。
9. 砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-153 m~-159 m 深，厚為 6 公尺之灰色砂土層。
10. 粘土層(CL)：分佈於地表下-159 m~-171 m 深，為一層厚達 12 公尺

之灰色粘土層。

11. 砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-171 m~-188 m 深，厚約 17 公尺之砂土層，而自-175 m 深以下之砂土層，其顆粒分佈隨著深度之增加有較粗之趨勢。
12. 卵礫石層(GP)：分佈於地表下-188 m 至-207 m 深度為止，皆是卵礫石層。

4.2.2 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 月起至 96 年 12 月止。期間因自動量測儀故障，而缺乏資料。手動量測自 87 年 3 月開始，每月量測一次，自 94 年 1 月起每 2 月量測一次，其結果如圖 4-10 所示：

由圖 4-10 顯示：35 m 及 58 m 處之水位變化介於-3~-4 m 之間，並無太大變化，僅在 91 年 1~3 月、91 年 10 月~92 年 5 月及 92 年 11 月~93 年 4 月旱季時水位下降至-4 m 以下。

105 m 及 142 m 之水位同屬深層水位，含水量豐富，此兩水位雖來自不同受壓水層，但是水位變化趨勢非常類似，表示皆受到超抽地下水影響，依圖 4-10 所示，自 87 年 3 月至 96 年 12 月止，105 m 之水位介於-4.4 m~-6.8 m，其中以 90 年 5 月之水位-6.8 m 最低。142 m 之水位約介於-2 m 到-5.8 m 之間，以 88 年 5 月之-5.8 m 最低，且近 2 年之水位明顯回升。

202 m 處之水位，屬另一受壓水層，水位自 87 年 3 月之-7.4 m 逐漸往上升，88 年 8 月時上升至-5.1m，自 94 年起至 96 年 12 月止，水位介於-4m~-5m 之間，其中以 96 年 10 月之-4.06 m 最高，顯示此深層水位超抽地下水尚未普遍。

綜合各地層之地下水位資料，如圖 4-10 所示，大鵬灣水層約可分為 4 個層次，35 m、58 m 水位為第 1 含水層之水位，105 m 水位為第 2 含水層之水位，142 m 水位為第 3 含水層之水位，202 m 水位為第 4 含水層之水位。由水位變化現象顯示：第 1 層水位變化小，較無超抽地下水現象，第 2、3、4 層地下水位較低且變化較大，超抽地下水現象明顯，尤其 88 年 3~5 月、90 年 5 月、91 年 5 月及 92 年 5 月時，水位忽然下降，表示旱季時，超抽地下水更為嚴重。

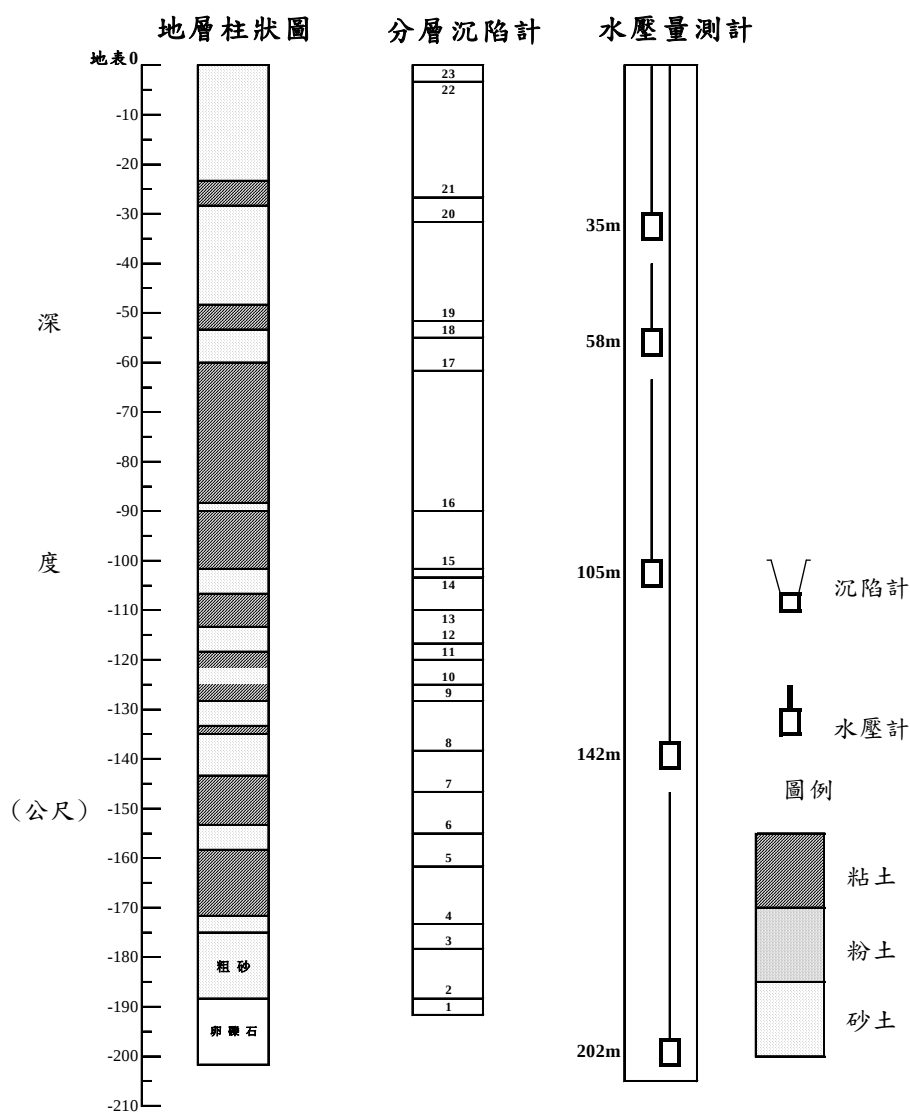
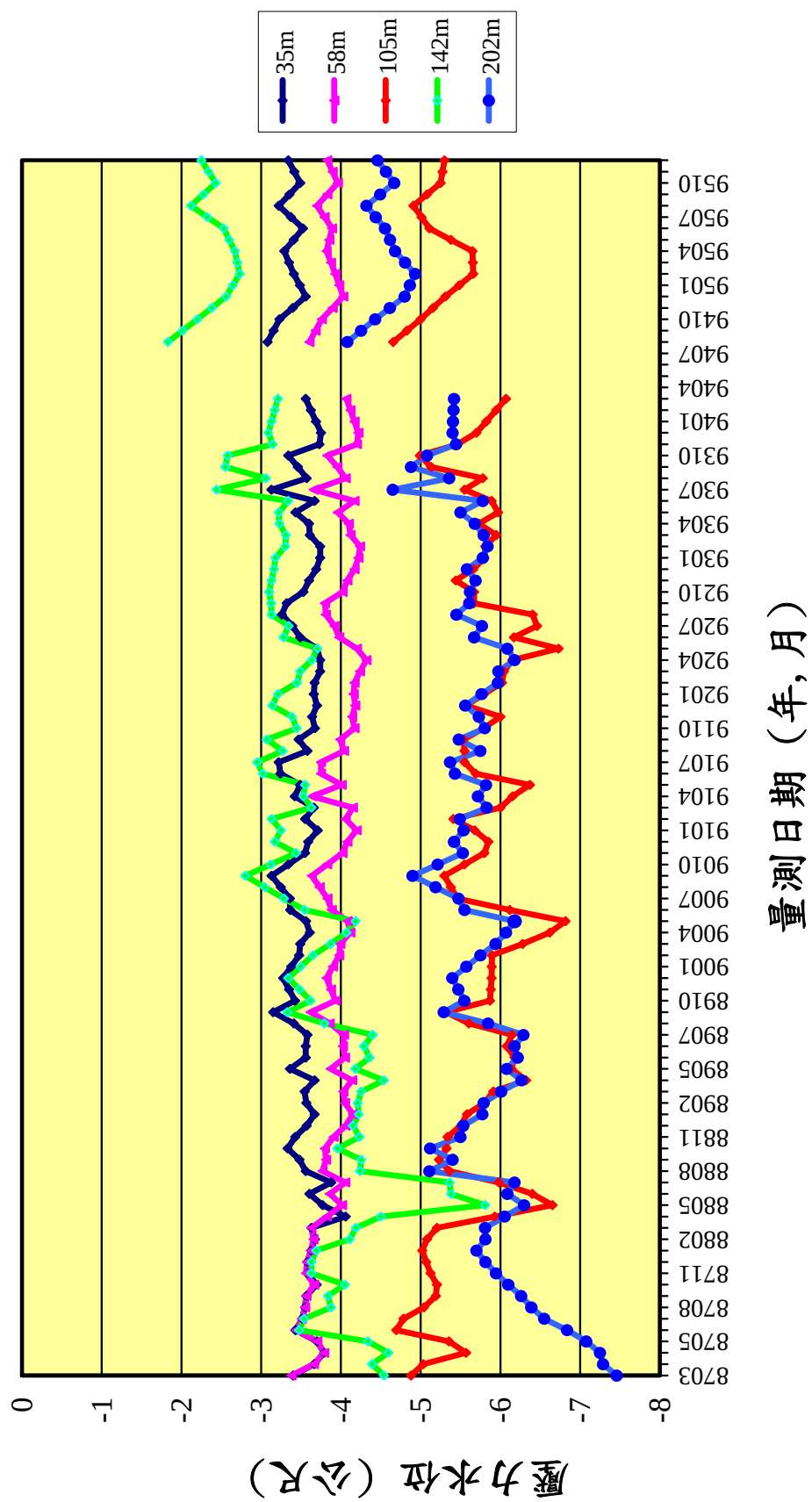


圖 4-9 大鵬灣分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖



4.2.3 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，求得不同深度地層之壓縮量，鈰鋼尺讀數之最小刻度為公厘。

圖 4-11 為至民國 96 年 11 月止，不同深度地層之壓縮量，以柱狀圖形表示，負值表壓縮，正值表回脹，因感應磁環之最大深度為 189 公尺，所以圖中所有的量測數值均以此為參考點所計算之相對壓縮量，由圖 4-11 可發現較深之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 26m、31 m 及 51 m 之深度。

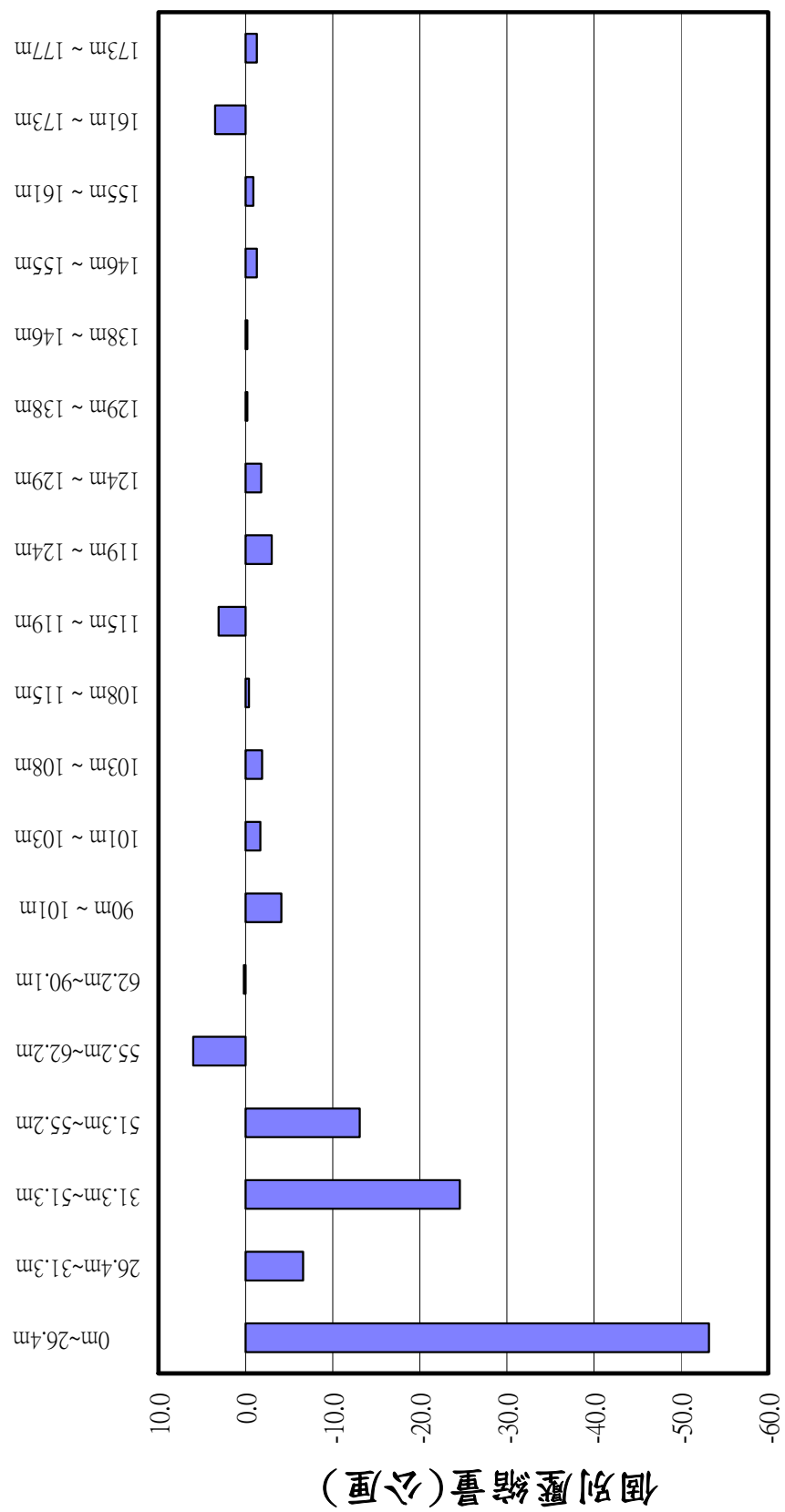
圖 4-12 為不同時期不同深度之感應磁環相對於深度 189 公尺感應磁環之累積曲線比較圖，由圖 4-12 顯示，從 87 年 3 月至 96 年 11 月止，共 9 年 8 個月期間，大鵬灣地表下 4 m 至 189 m 間之沉陷總量約為 101 公厘，而其中地表~51.3 m 之沉陷量為 84 mm，佔總沉陷量之 83%，由此資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

4.2.4 相關性分析

綜合上述地質、雨量、分層地下水位及地層下陷之分析，本節簡要敘述其間之相關性。大鵬灣地區之沉陷由分層地層監測得知，83% 以上沉陷發生於地表至 51.3 m 深位置，而壓縮量較大之位置，大多發生在砂土層厚度較大之鄰近粘土層，又由 202 公尺之土層柱狀圖得知，淺層土層 0 m~-60 m 之間，皆大部分為含水量豐富之砂土層，僅於-24 m~-29 m 及-49 m~-53 m 深夾有厚約 4~5 公尺之粘土層，而此土層壓縮量較大，亦是本地區地層下陷主要之土層。

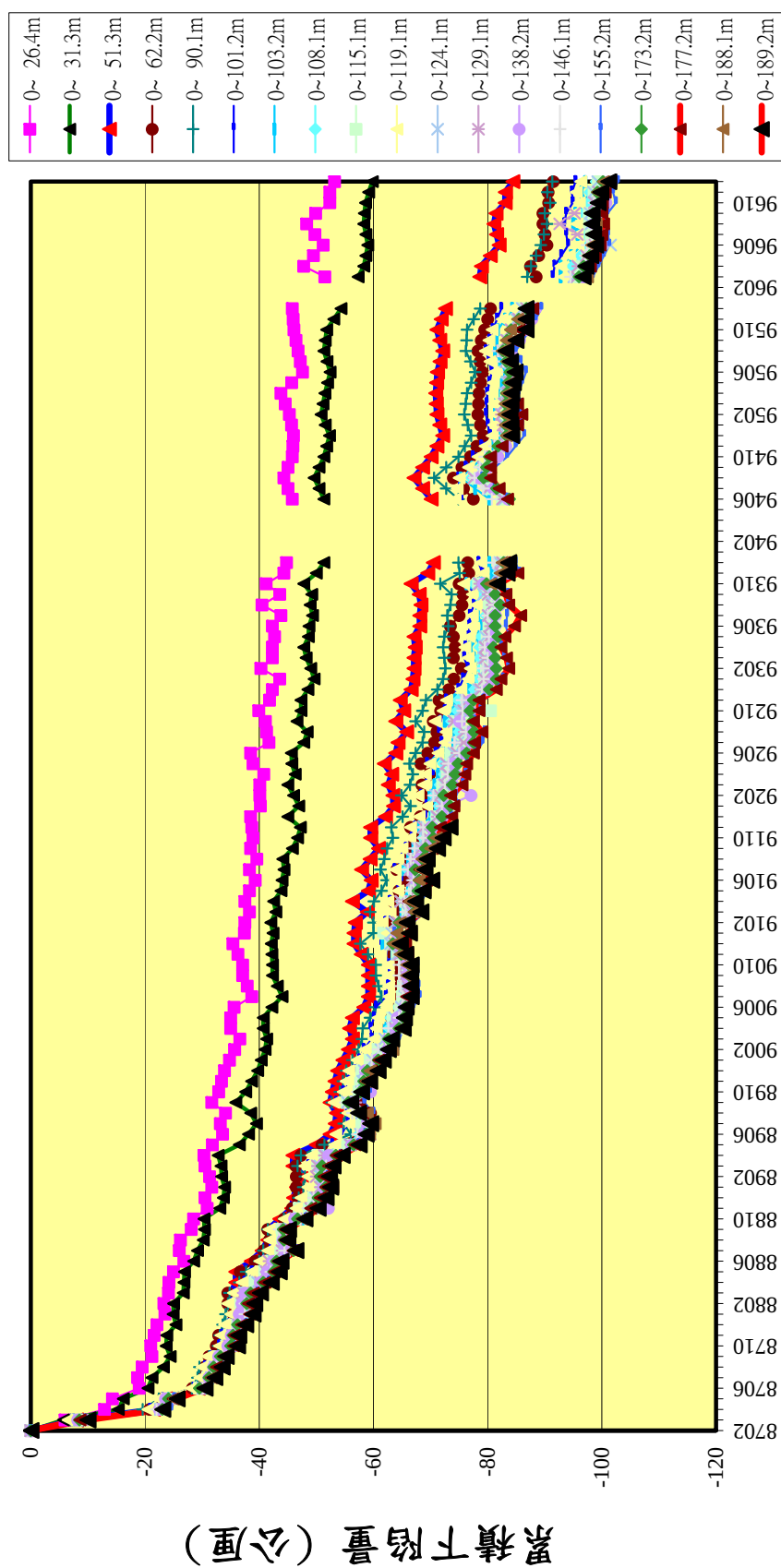
而-60 m~-128 m 深之土層，大都是不透水之粘土或透水性較低之沉泥土層，僅於-101 m~-106 m、 -113 m~-117 m 及-122 m~-125 m 深夾有 2 公尺~4 公尺厚之砂土或沉泥質砂土層，因砂土層厚度小，壓縮量亦小，且此土層水位也較易受到超抽地下水之影響。而自-171 m 以下為顆粒愈來愈粗之砂土及卵礫石層，此深層土層含水量高，壓縮量小，故沉陷量亦很少。

由地層分層下陷與地下水位變化圖(如圖 4-13)可知，於 2、3、4、5 月旱季雨量少時，地面水缺乏，附近之農漁養殖業大量抽取地下水，致水位下降，故地層下陷速率較大，而 7、8、9 月雨量多時，地面水源充足，減少使用地下水，故水位上升，而下陷速率較緩。



地層深度(公尺)

圖 4-11 大鵬灣分層個別下陷量圖



觀測時間 (年, 月)

圖 4-12 大鵬灣地層分層下陷觀測圖

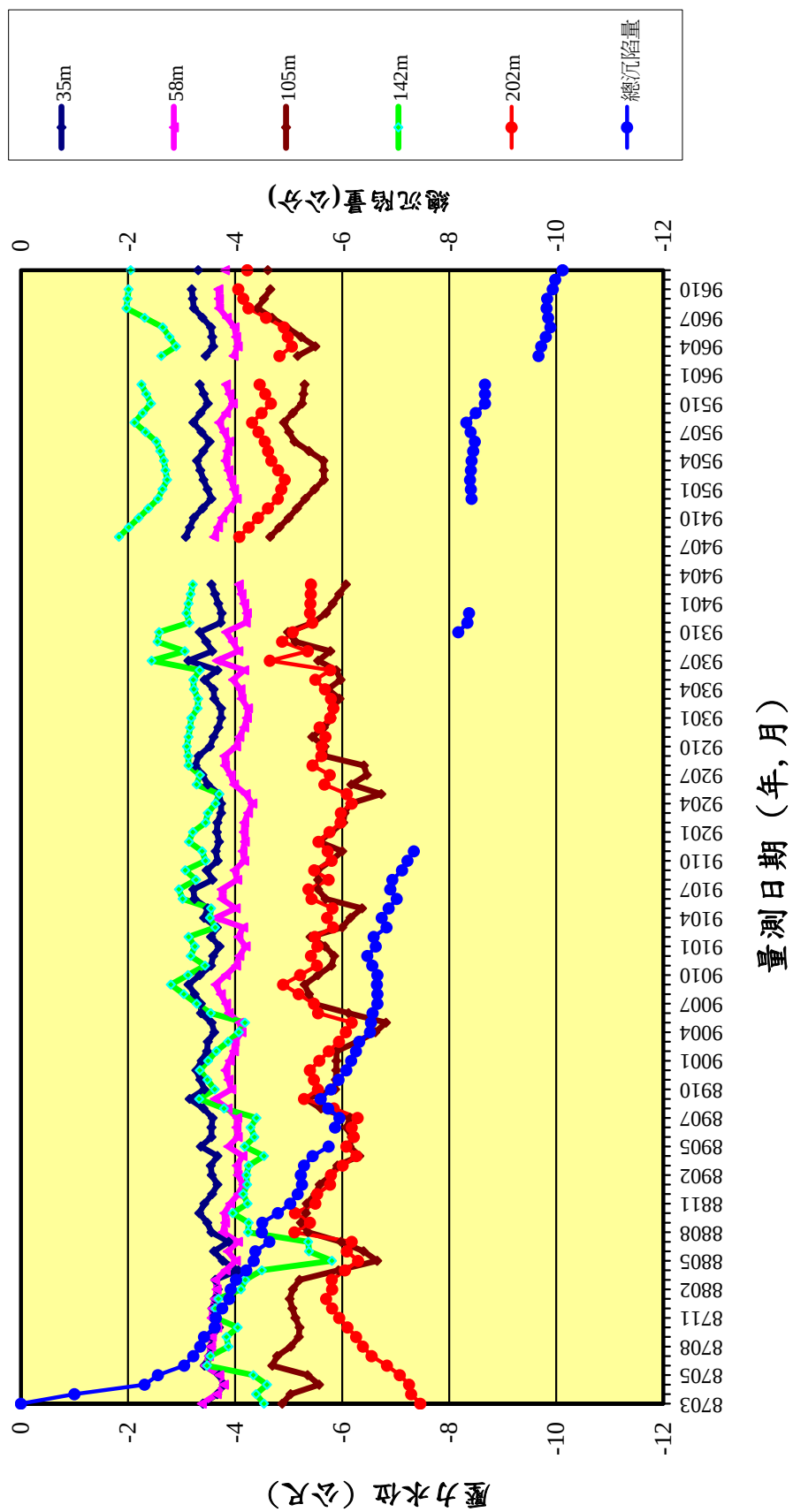


圖 4-13 大鵬灣地層下陷與地下水水位變化觀測圖

4.3 安平港

4.3.1 監測井地質

根據安平港監測站(18-19 號碼頭)200 m 鑽探資料及 258 m 鑿井資料如圖 4-14 所示，在深度 258 公尺之土層狀況約可分為 27 個次層，分別簡述如下：

1. 灰色粉土質細砂 (SM)：約分佈於地表下深度 0~20.3 m。
2. 黏土薄層 (CL)：分佈於地表下深度 20.3 m~22.2 m。
3. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 22.2~30.4 m。
4. 黏土與粉土質細砂互層 (CL+SM)：分佈於地表下 30.4 m~34.3 m。
5. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 34.3 m~37.4 m。
6. 黏土薄層 (CL)：分佈於地表下 37.4 m~39.5 m。
7. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 39.5 m~50.4 m。
8. 灰色粉土質黏土夾薄層粉土質細砂 (CL+SM)：分佈於地表下 50.4 m~55.6 m。
9. 灰色細砂質粉土夾黏土薄層 (ML+CL)：分佈於地表下 55.63 m~88.4m。
10. 黏土偶夾薄層細砂 (CL、SM)：分佈於地表下 88.4 m~93.7 m。
11. 灰色粉土質黏土夾細砂或粉土薄層 (ML-CL、SM)：分佈於地表下 93.7 m~134.3 m。
12. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 133.4 m~137.3 m。
13. 灰色粉土質黏土層 (CL)：分佈於地表下 137.3 m~141.2 m。
14. 灰色粉土質砂夾細砂質粉土薄層 (SM、ML)：分佈於地表下 141.2m~155 m。
15. 灰色粉土質砂夾黏土薄層 (SM、CL)：分佈於地表下 155 m~

174.6m。

16. 灰色粉土質黏土 (CL)：分佈於地表下 174.6 m～180.4 m。
17. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 180.4 m～184.2 m。
18. 灰色粉土質黏土夾薄層細砂 (CL、SM)：分佈於地表下 184.2 m～194.4 m。
19. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 194.4 m～196.3 m。
20. 灰色粉土質黏土夾薄層細砂 (CL、SM)：分佈於地表下 196.3 m～210.7 m。
21. 灰色粉土質砂夾黏土薄層 (SM、CL)：分佈於地表下 210.7 m～220.7m。
22. 灰色粉土質黏土層 (CL)：分佈於地表下 220.7 m～223.1 m。
23. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 223.1 m～229.7 m。
24. 灰色粉土質黏土層 (CL)：分佈於地表下 229.7 m～235.36 m。
25. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 235.36 m～244.45 m。
26. 灰色粉土質黏土層 (CL)：分佈於地表下 244.45 m～255 m。
27. 灰色粉土質細砂 (SM)：分佈於地表下 255 m～258.3 m。

4.3.2 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 4-15 所示。

由圖 4-15 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，其中 75 m、105 m 為粉土層及粘土層之水位。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 2 年來(95 至 96 年)因沒有受到超抽地下水影響，故地下水位呈現上升現象。

4.3.3 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，銹鋼尺讀數之最小刻度為公厘。

圖 4-16 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 73mm，而其中 0~56 m 之沉陷量為 67mm，佔總沉陷量之 88%以上，由此資料顯示，安平港 18-19 號碼頭區之沉陷屬於淺層沉陷，自 94 年 3 月以後因儀器故障故沒有量測資料。由圖 4-16 可發現較深之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 4~11 m、11~21m、31~52 m、56~80 m 及 181~200 m 之深度，而此地層其地下水位變化亦較大。

4.3.4 相關性分析

綜合上述地質、分層地下水位及分層地層下陷之分析，因-40m 受壓水層之水位下降 1.6 m 最大，故地表~52 m 之土層累計壓密沉陷量約 67 mm。而-75 m 受壓水層之水位下降 1.5 m，故 52~80 m 土層之沉陷亦較大。另 105 m 及 145 m 處之水位變化不大，故 94~110 m 及 134~150 m 沉陷量亦少。深層 182 m 之水位變化較大，唯水位急上升 0.8 m 後，再緩和下降，故 181~200 m 沉陷量 3 mm，顯示此層亦是超抽之

地下水層。唯安平 18-19 號碼頭區之沉陷雖有超抽地下水引致之沉陷，但由水位變化可知超抽並不嚴重，因此超抽地下水引致之沉陷量應不大，故上述監測結果之總沉陷量，亦有可能大半為填土所引致之沉陷。

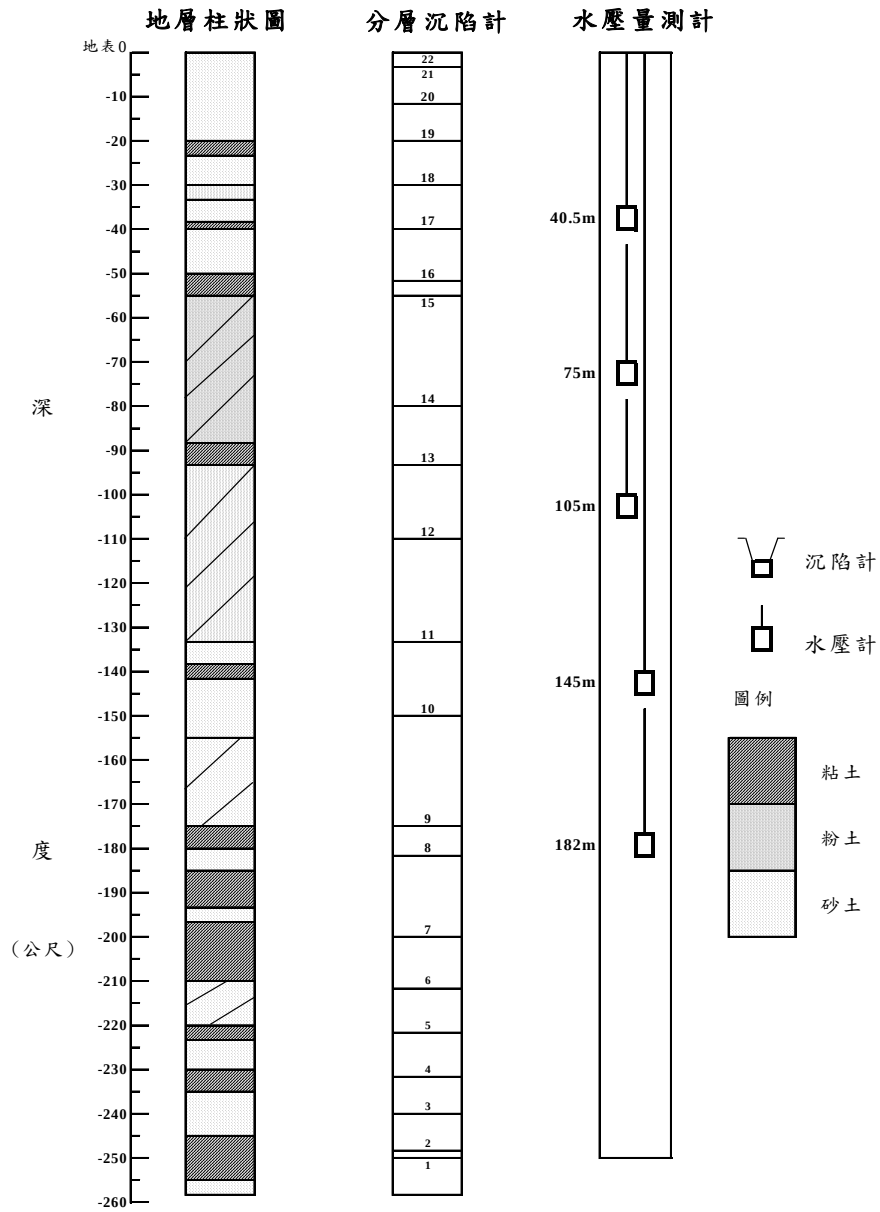


圖 4-14 安平港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖

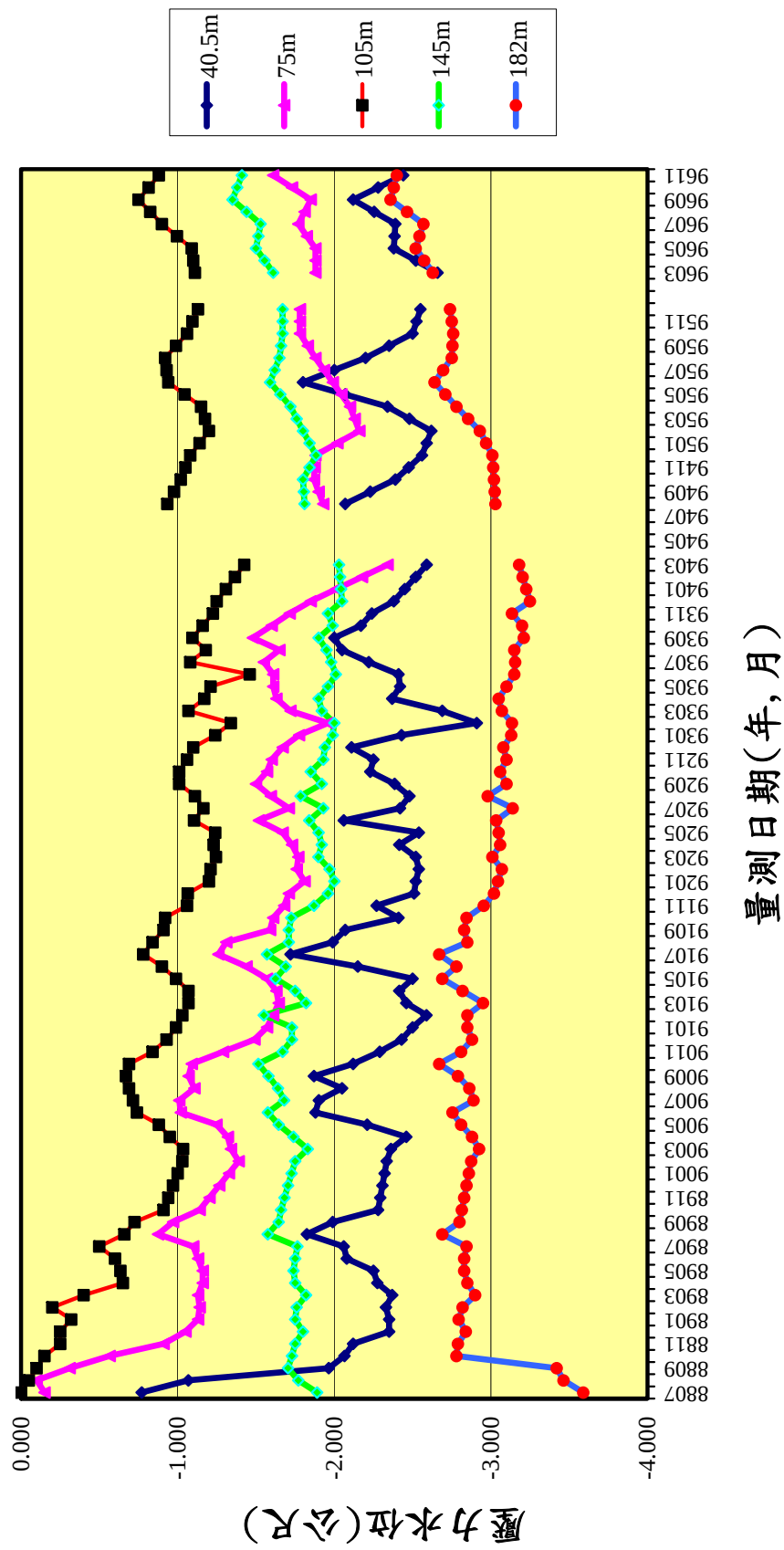
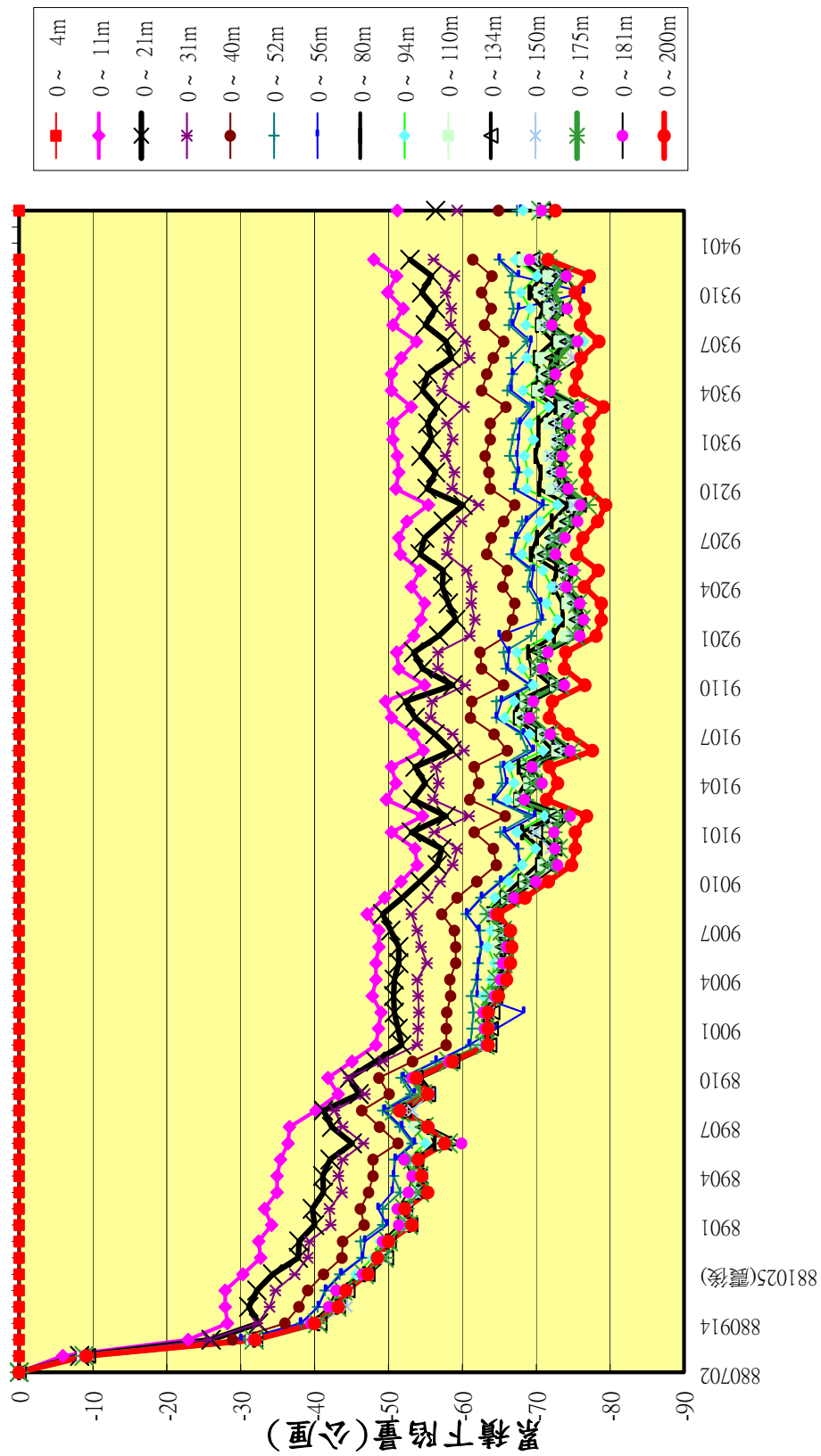


圖 4-15 安平港分層水位變化圖(手動量測)



觀測時間(年, 月)

圖 4-16 安平港分層累積下陷量圖

4.4 臺中港

4.4.1 監測井地質分析

臺中港監測站在深度 199 公尺之土層，根據現場鑿井取樣如圖 4-17，約可概分為 14 個次層，分別簡述如下：

1. 砂土層(SW~SM)：分佈地表下 0~-18.18 m，大部分為灰色砂土層。
2. 粘土層(CL)：分佈於地表下-18.18 m~-27.27 m 處，厚約 9 公尺之灰色砂土層。
3. 砂土層(SM)：分佈於地表下-27.27 m~-30.91 m 處，厚約 3.6 公尺之灰色砂土層。
4. 粘土層(CL)：分佈於地表下-30.91 m~-54.55 m 深度，厚達 14 公尺之灰色粘土層。
5. 砂含石子層(SW~SP)：分佈於地表下-54.55 m~-72.73 m 深，為含砂石之灰色砂土層。
6. 粘土層(CL)：分佈於地表下-72.73 m~-90.3 m 深處，為一層厚約 17 公尺之灰色粘土層。
7. 砂含石子層(SW~SP)：分佈於地表下-90.3 m~-110 m 深處，為含砂石之灰色砂土層。
8. 粘土層(CL)：分佈於地表下-110 m~-138.48 m 深處，厚約 28 公尺之灰色粘土層。
9. 砂土層(SM)：分佈於地表下-138.48 m~-156.67 m 深，厚為 18.2 公尺之灰色砂土層。
10. 粘土層(CL)：分佈於地表下-156.67 m~-163.64 m 深，為一層厚 7 公尺之灰色粘土層。
11. 砂土層(SM)：分佈於地表下-163.64 m~-179.4 m 深，厚約 16 公尺之砂土層。

12.粘土層(CL)：分佈於地表下-179.4 m 至-181.8 m 深，為一層厚 2 公尺之粘土層。

13.砂石層(SW~SP)：分佈於地表下-181.8 m~-189.4 m 深處，為灰色之砂石土層。

14.粘土層(CL)：分佈於地表下-189.4 m 至-199 m 深，為一層厚 10 公尺之粘土層。

4.4.2 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(如圖 4-18)，目前因量測系統故障。手動量測自 88 年 7 月開始，每月量測一次。94 年起，每兩個月量測一次，資料記錄至 96 年 12 月止，其結果如圖 4-19 所示。

由圖 4-18 顯示，地下水位可分為 5 個層次，由水位變化得知，第 1 層含水層 29 m 之水位介於-3~-4.8 m，第 2 層含水層之 63 m 之水位介於-3~-5.6 m，其中以 93 年 10 月之水位(-5.6 m)最低，第 3 含水層之 100 m 水位為-3.4~-5.8 m，第 4 含水層之 145 m 水位為-3.6~-5.8 m，第 5 含水層之 173 m 水位於-3.7~-6.3 m 之間，故變化較大。圖 4-18 為自記式分層水位變化圖，資料擷取為設定每 6 小時記錄一次，由於台中港受到 921 大地震影響，導致部份碼頭有液化現象，而本水壓監測站之水位亦取得記錄，88 年 9 月 21 日 00 時 00 分之各分層水位約-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，由此印證各層水位是因地震後才上升。

4.4.3 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 96 年 12 月止約為 49mm，其中自 0m~90 m 深之沉陷量約 41 mm，佔總沉陷量 83%以上，其間以 88 年 9 月至 10 月，因地震產生之總沉陷量 32.9 mm 最多，而 88 年 10 月至 93 年 10 月止，總沉陷量為 20mm，如圖 4-20。

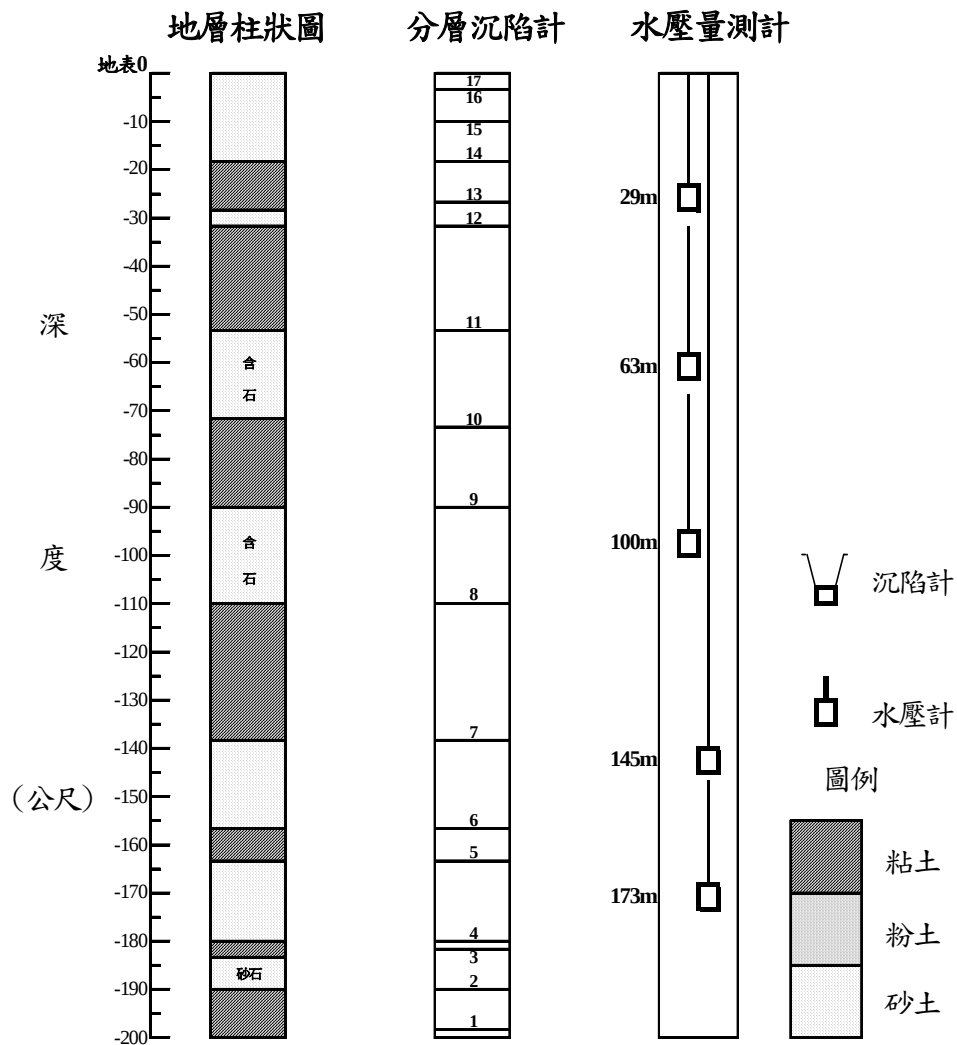


圖 4-17 臺中港分層沉陷及水壓觀測站土層柱狀圖

台中港分層水位變化(自記式)

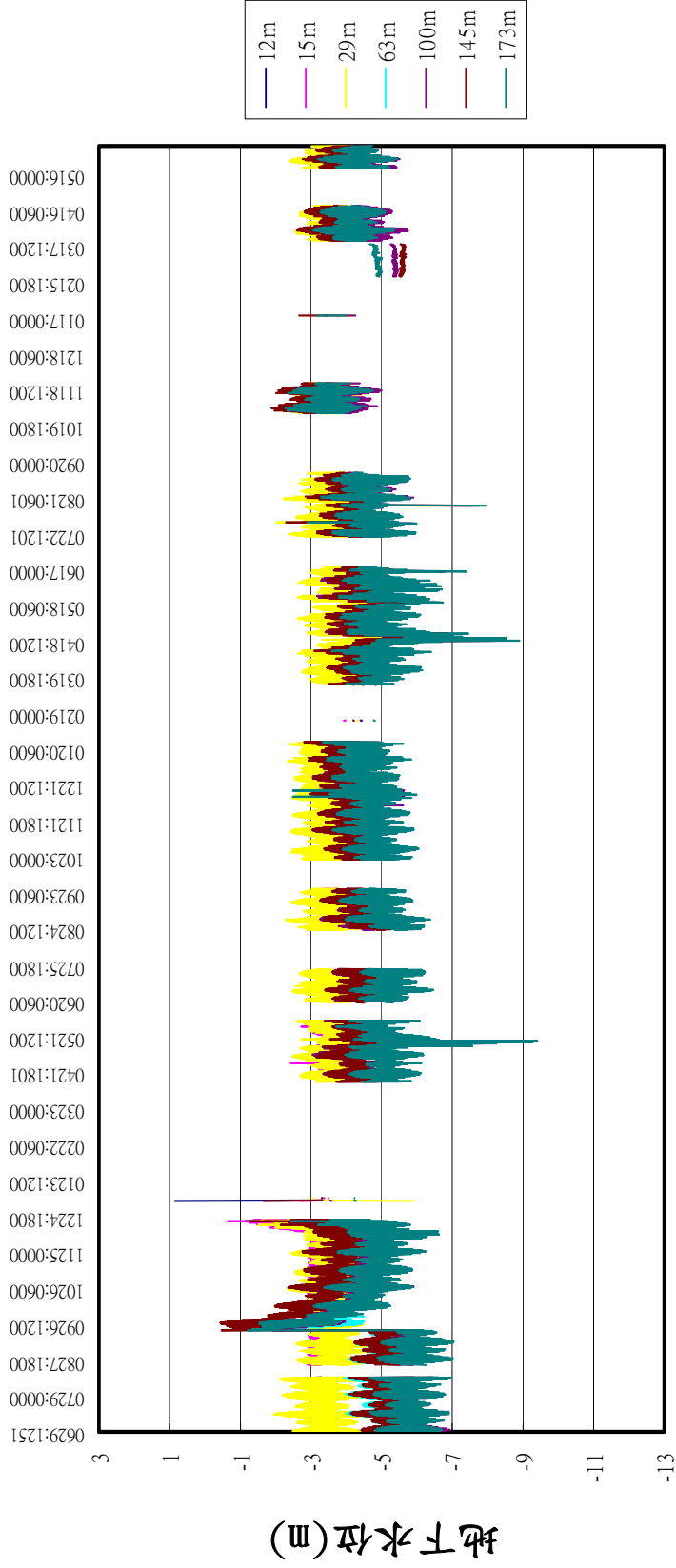


圖 4-18 臺中港分層水位變化圖(自記式)

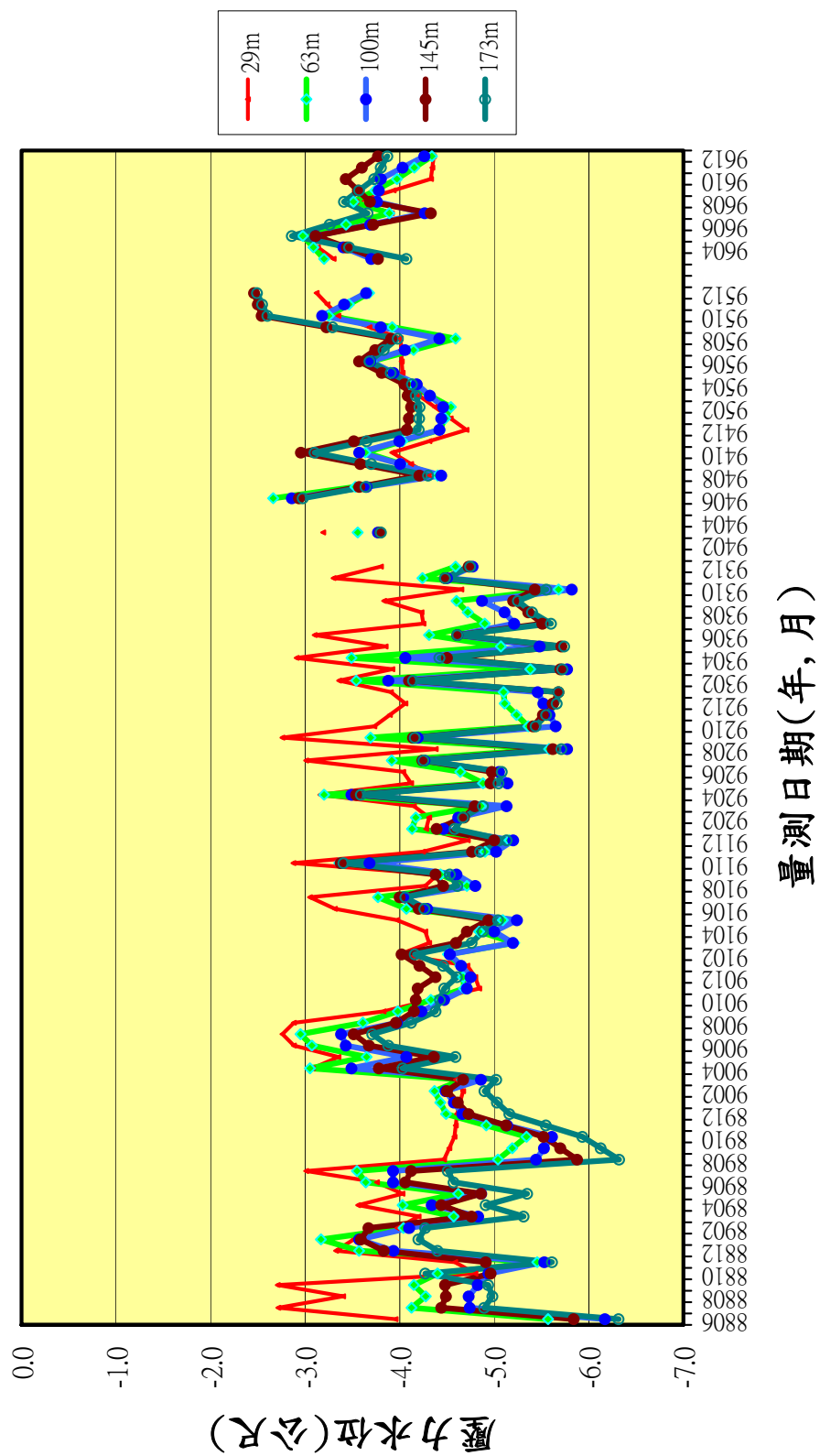


圖 4-19 臺中港分層水位變化圖(手動量測)

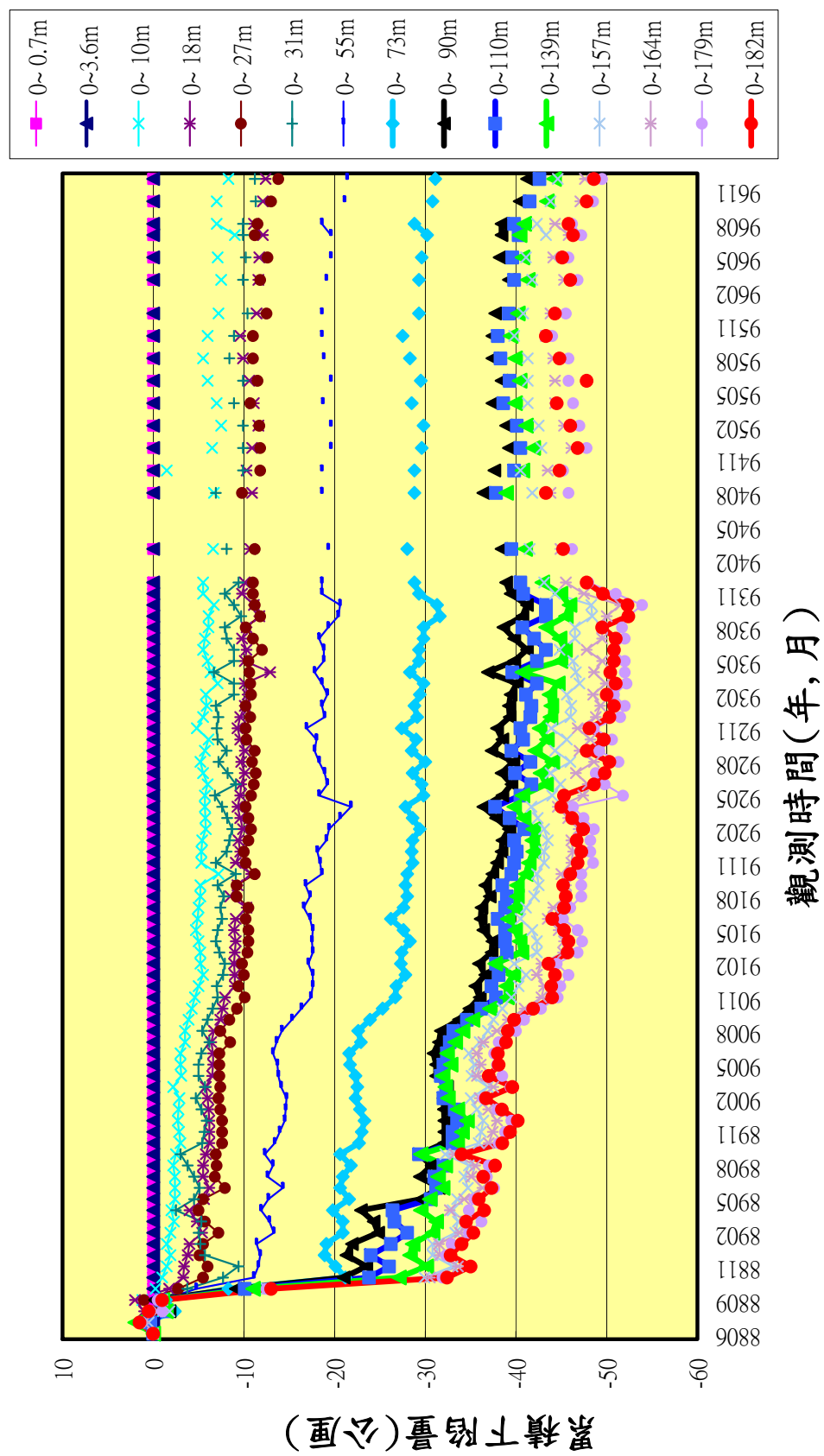


圖 4-20 臺中港分層累積下陷量圖(200m)

第五章 資料庫在地理資訊系統上之應用

5.1 資料庫系統操作程序

由於長期的地震及動態水壓監測與地層下陷資料非常龐大，需以資料庫方式建置，故全部資料以本所港研中心自行開發的「港區工程基本資料庫」建置。在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。

5.2 臺中港地震及地下水位量測資料查詢展示

以臺中港地震及地下水位量測資料查詢展示系統操作程序如下：

1. 按照 5.1 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 5-1 所示。
2. 將滑鼠遊標移至臺中港標示文字區內，按滑鼠左鍵，可叫出臺中港區基本地圖圖層，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。臺中港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示如圖 5-2 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 5-3 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 5-4 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 5-5 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 5-6 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 5-7 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 5-8 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 5-9 所示，使用者可依需用選取。
10. 選取完目標日期後，系統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、東西向、垂直向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 5-10 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。

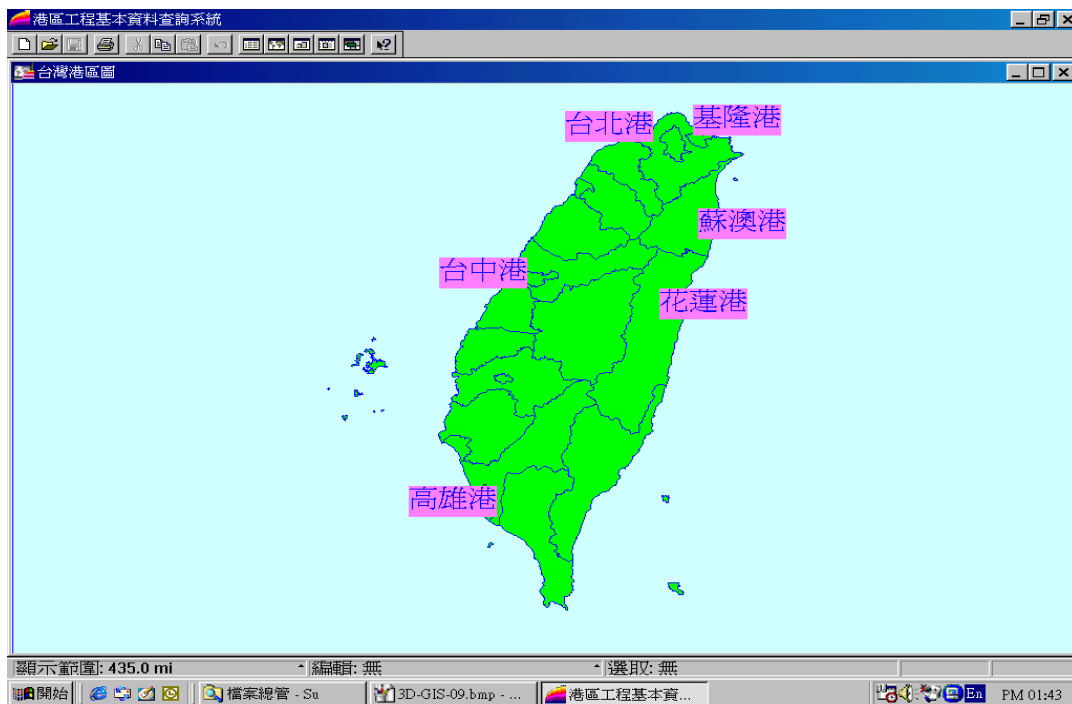


圖 5.1 查詢主畫面

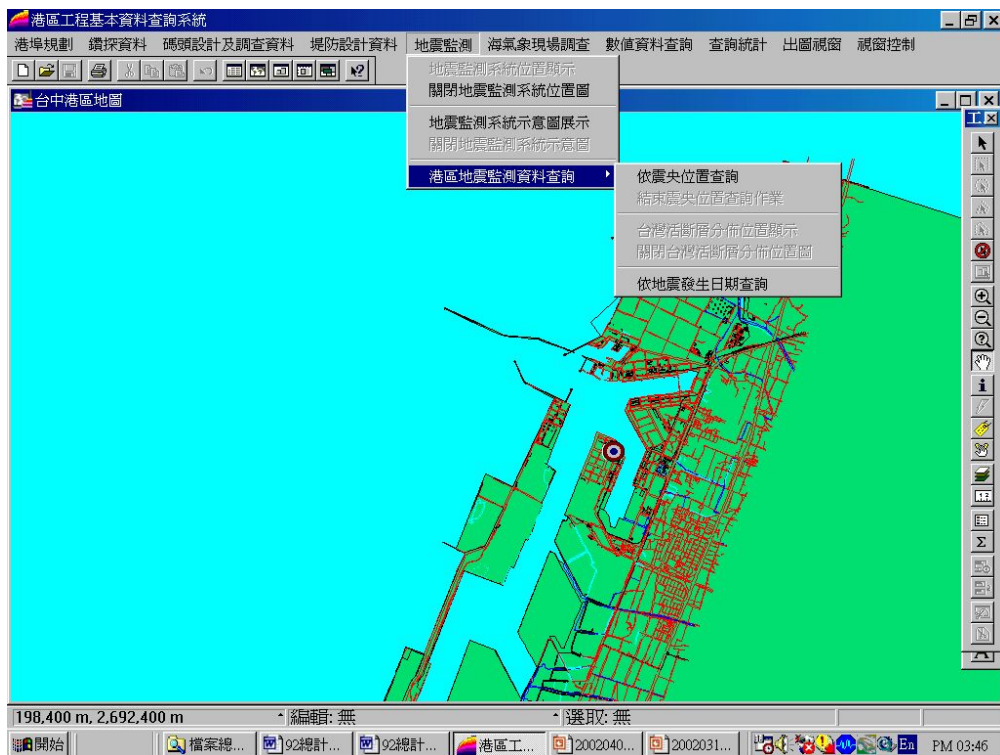


圖 5.2 臺中港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示圖

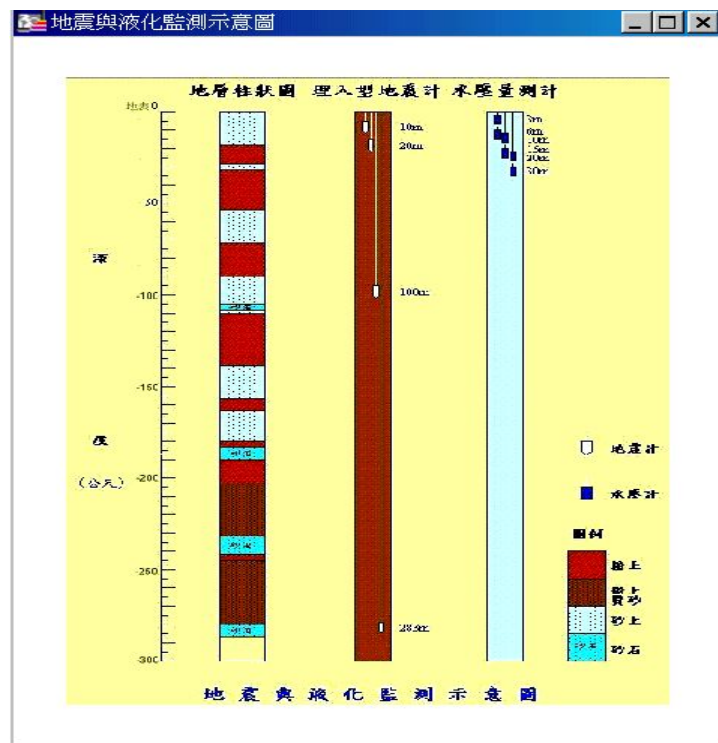


圖 5-3 臺中港區之地震監測系統設置示意圖

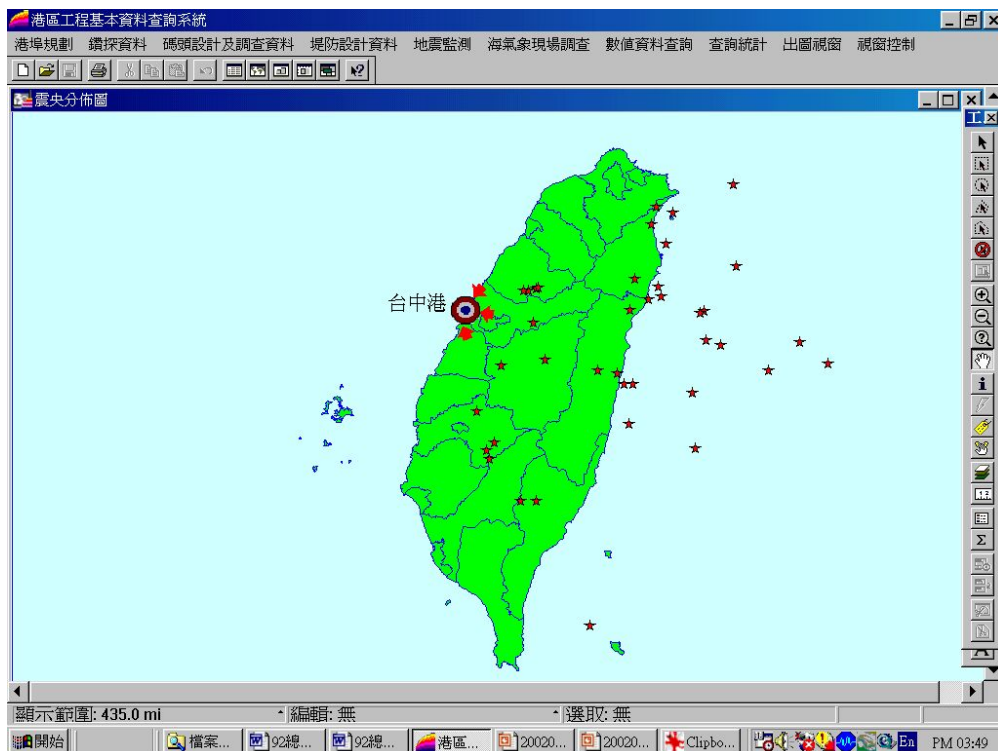
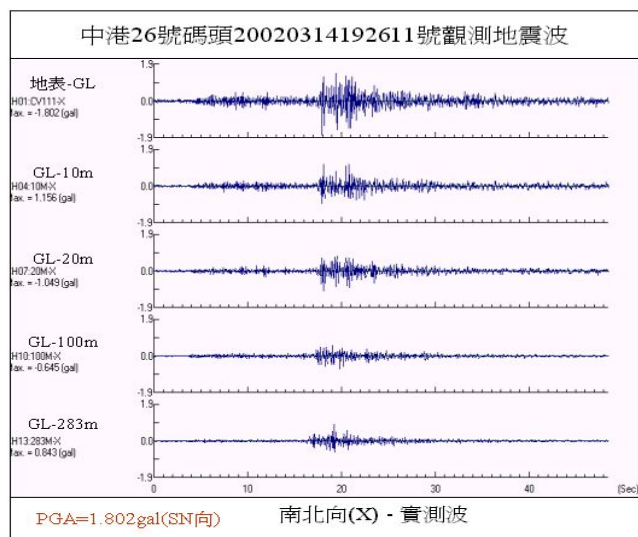


圖 5-4 臺中港影響地震震央位置分佈圖

台中港區地震及動態孔隙水壓監測



台中港地震監測波簡報 (蘇吉立-編製)

20020314192611號 5-2頁

回2002台中港資料

圖 5-5 臺中港南北向分層實測地震波記錄圖之一

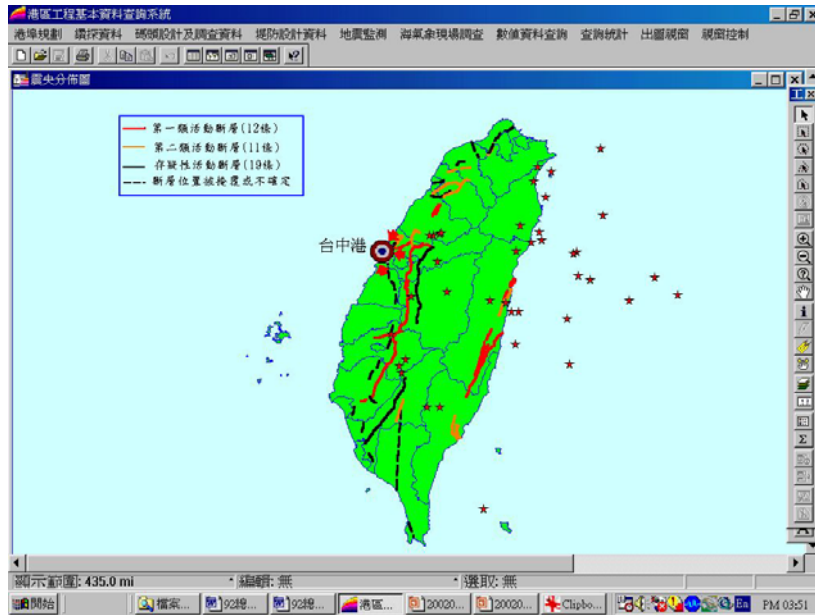


圖 5-6 臺灣活斷層分佈位置疊合圖

圖 5-7 臺中港區地震監測資料年份選取對話框

圖 5-8 臺中港區地震監測資料月份選取對話框

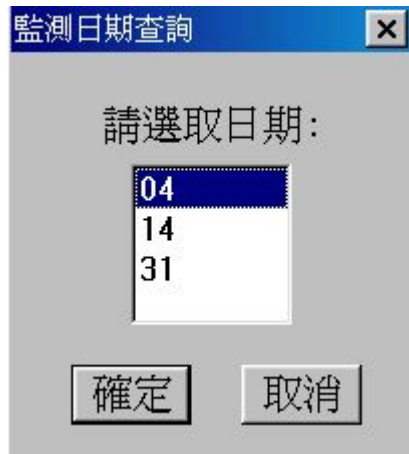
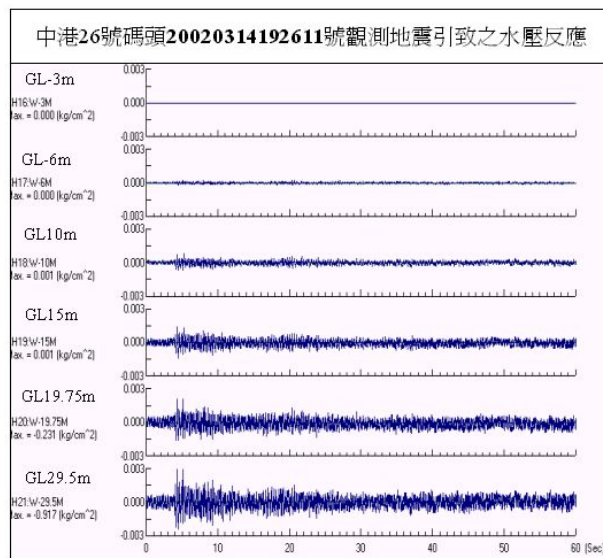


圖 5-9 臺中港區地震監測資料日期選取對話框

台中港區地震及動態孔隙水壓監測



台中港地震監測波簡報 (蘇吉立-編製)

回2002台中港資料

20020314192611號 5-5頁

圖 5-10 臺中港地震引置之水壓反應記錄圖之一

5.3 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：

1. 按照 5.1 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、臺北、臺中、高雄、花蓮、蘇澳等港區）的分佈位置，如圖 5-1 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 5-11 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 5-12。
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 5-13 所示。此時可點選任一震央位置標記，系統隨即啟動 Excel 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 Excel 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 5-14 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 5-15 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 5-16 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 5-17 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 5-18 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 Excel 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 Excel 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。圖 5-19 所示為臺北港垂直向分層實測地震波記錄圖之一。
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 5-11 臺北港區地震監測查詢表單下拉及監測站位置展示圖

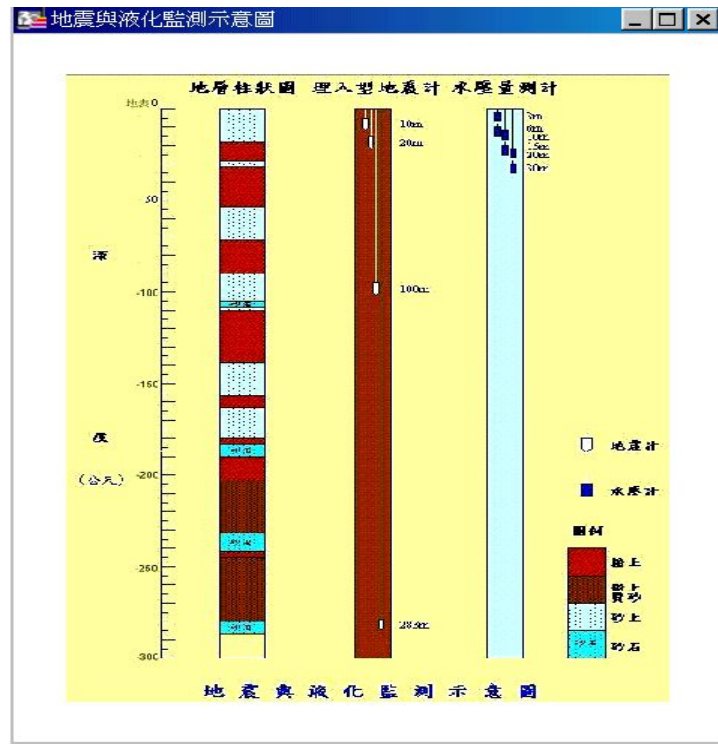


圖 5-12 臺北港區之地震監測系統設置示意圖

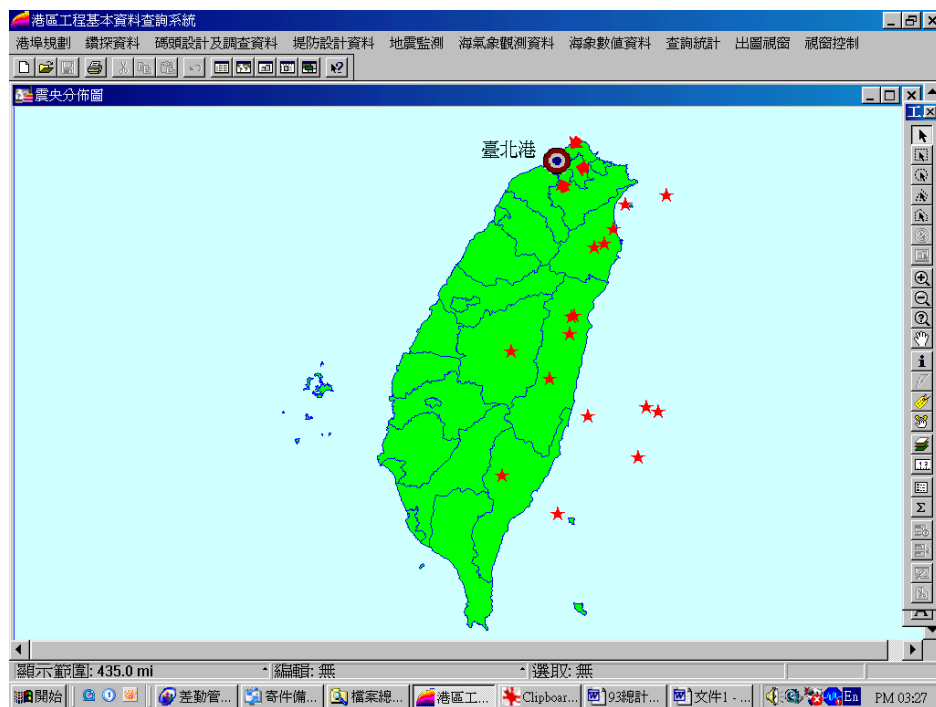


圖 5-13 臺北港影響地震震央位置分佈圖

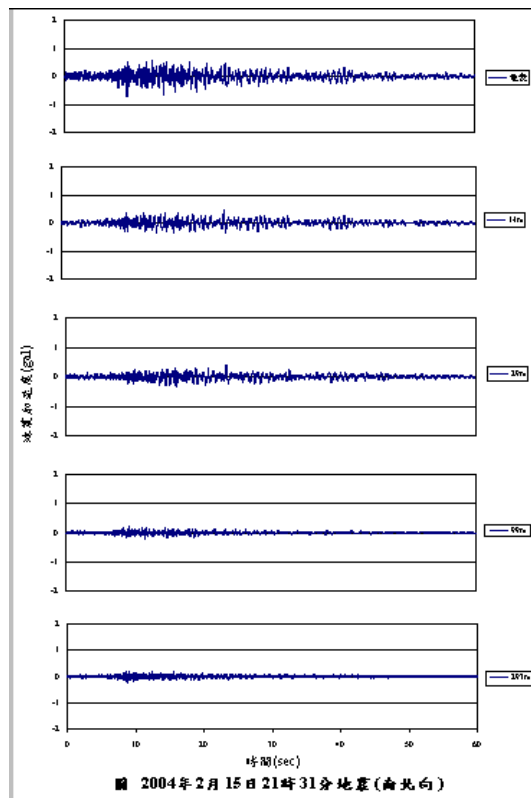


圖 5-14 臺北港南北向分層實測地震波記錄圖之一

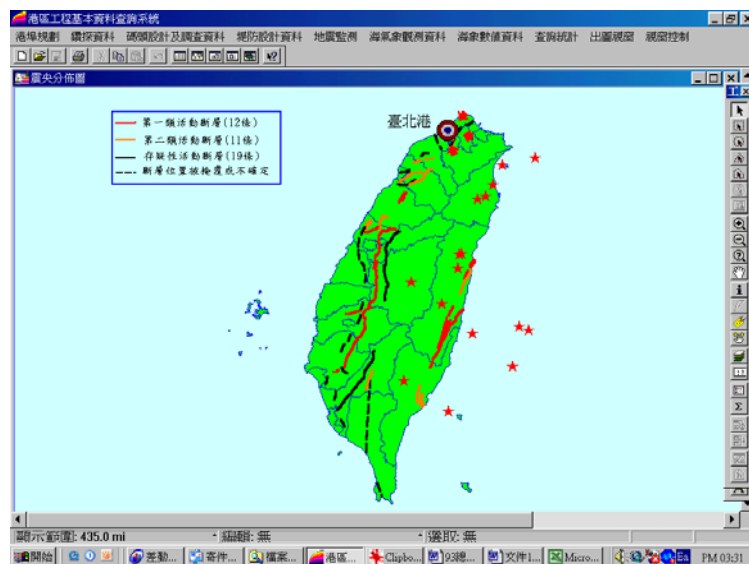


圖 5-15 臺灣活斷層分佈位置疊合圖



圖 5-16 臺北港區地震監測資料年份選取對話框

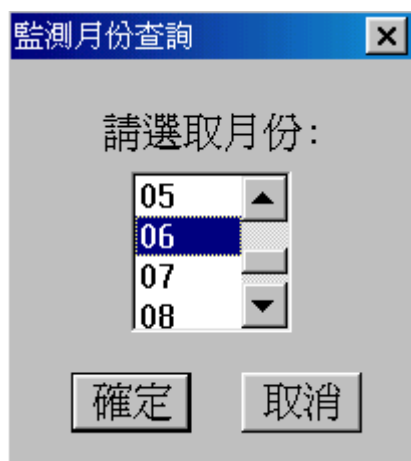


圖 5-17 臺北港區地震監測資料月份選取對話框

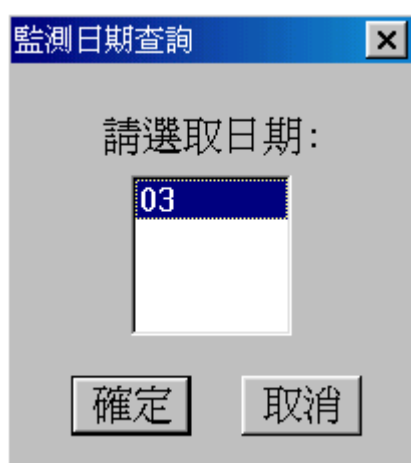


圖 5-18 臺北港區地震監測資料日期選取對話框

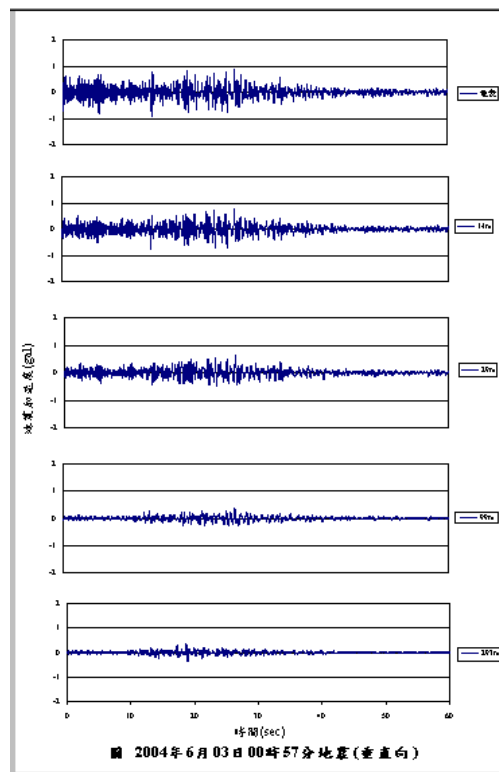


圖 5-19 臺北港垂直向分層實測地震波記錄圖之一

第六章 結 論

本計畫進行港灣地震及地層下陷資料庫建置之研究，綜合監測結果如下：

1. 臺北港井下地震監測資料 2003 年共收集 17 筆，其中以 08 月 12 日規模 5.6 之地震為最大，其最大地表加速度為 53.5gal；2007 年共收集 6 筆，其中以 10 月 11 日規模 5.5 之地震最大，其最大地表加速度為 4.6gal。
2. 臺中港井下地震監測資料 2007 年共收集 6 筆，其中以 12 月 25 日規模 5.1 之地震最大，最大地表加速度為 10.7gal。

臺中港 200m 地層下陷站經監測結果，自 88 年 6 月開始至 96 年 12 月止，累積總沉陷量約 5 公分，(自 94 至 96 年止總沉陷量沒有明顯增加)，其間 88 年 9 月至 10 月，因 921 地震所產生之總沉陷量為 3.2 公分，此震陷資料則有待進一步分析。

3. 布袋港井下地震監測資料 2006 及 2007 年共收集 6 筆，其中以 2006 年 3 月 9 日地震規模 5.1 之地表加速度 70.9gal 為最大。

布袋港 34 m 深度之地下水位約在 -3.1 m~-3.9 m 間，68 m 之水位約在 -6 m~-8 m 間，而 -105 m、-143 m 及 -178 m 深度之地下水位分別約為 -21 m 及 -20 m，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受影響而下降。

布袋港 200m 地層下陷站經監測結果，自 86 年 2 月至 96 年 11 月止，共 10 年 9 個月總累積沉陷量約為 47.5 公分，分別為 86 年沉陷量約 5 公分、87 年沉陷量約 2.5 公分、88 年沉陷量約 5 公分、89 年沉陷量約 4 公分，90 年沉陷量約 4.5 公分。91 年至 93 年因超抽地下水影響，故沉陷量增加，分別約為 6 公分、6.5 公分及 6.2 公分。94 至 96 近三年來沉陷量分別約為 2.5 公分、3 公分、2.5 公分，因布袋港區

居民配合政府防治地層下陷政策，故地層下陷有趨緩現象。布袋港自監測以來，平均一年之沉陷量約 5 公分，其中百分之 50 以上之沉陷在深度 140~200 m 地層發生，屬深層沉陷。。

4. 安平港 16~20 號碼頭區 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 土層之水位變化不大，182 m 之水位變化亦大，唯水位不降反升，顯示此層水位有回補現象。整體來說，安平港區近 2 年來(95 至 96 年)因沒有超抽地下水影響，故地下水位呈現上升現象。

安平港 16~20 號碼頭區地層下陷自 88 年 7 月至 94 年 3 月之沉陷量約為 7.3 公分，其中地表至 56 m 之沉陷量 6.7 公分，佔總沉陷量之 88%，故亦屬淺層沉陷。唯 18-19 號碼頭區之沉陷雖有超抽地下水引致之沉陷，但並不嚴重，有一部分為填土荷重所引致之沉陷。

5. 大鵬灣 35 m 及 58 m 深度之水位介於-3 m~-4 m 之間， 105 m 深度之水位於-4.7 m~-6.8 m 之間震盪；142 m 之水位自-4.2m 緩和上升約至-2.5 m；202 m 深度之水位由-7.4 m 上升至-5.7 m 後再於-5 m~-6 m 之間震盪，由此可知，大鵬灣附近地區應有超抽地下水情形。

大鵬灣地層下陷量測自 87 年 3 月至 96 年 12 月止，累積總沉陷量為 10.1 公分，平均一年之沉陷量約為 1.5 公分，而其中地表至 51.3 m 之沉陷量為 8.4 公分，佔總沉陷量之 83%，故大鵬灣屬於淺層沉陷。

6. 蘇澳港井下地震監測資料 2007 年共收集 20 筆，其中以 9 月 22 日地震規模 5.0 之地表加速度 126.5 gal 為最大。

參考文獻

1. 水利處(1995)，臺南地區地盤下陷檢測成果報告。
2. 水利處(1996)，嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告。
3. 水利處(1997)，屏東縣沿海地區地盤下陷檢測報告。
4. 屏東縣政府(1997)，大鵬灣風景特定區整體發展規劃設計。
5. 港灣研究中心(1999)，港灣地區地層下陷監測研究(Ⅱ)，安平港地層下陷監測與資料查詢系統之研究。
6. 港灣研究中心(2000)，大鵬灣地下水位及地層下陷監測研究計畫，大鵬灣國家風景區管理處委託研究。
7. 港灣研究中心(2004)，布袋港漂沙及地層下陷監測研究計畫(V)，交通部高雄港務局委託研究。
8. 歐陽正宅、侯和雄(1982)「臺灣地區環島航運系統發展計畫(二)港址的調查與設計」，港灣技術研究所。
9. 嘉義縣政府(1995)，布袋海埔新生地第二期地質鑽探工程。
10. 嘉義縣政府(1993)，嘉義縣布袋港擴建客貨碼頭整體規劃報告。
11. 李豐博、賴聖耀、謝明志（1992）「海岸土層下陷行為與預測之研究」，港灣技術研究所研究報告82-研(十)。
12. 陳志芳、賴聖耀（2002），「布袋港地下水位與地層下陷監測研究」，第二十四屆海洋工程研討會，PP.664~670。
13. 陳志芳（2005），「布袋港土層壓密特性與地層下陷之研究」，國立中興大學土木工程研究所碩士論文。
14. 賴聖耀、李豐博、陳志芳(1997)「安平港長期性地下水位變化與分層地層下陷監測研究」，港灣技術研究所研究報告86-研(十)。
15. 賴聖耀、李豐博、謝明志，(1993)「地下水位歷時性變化與地層歷時性下陷之關係研究」，第十七屆全國力學會議。
16. 賴聖耀（1994）「雲林沿海地區地下水位變化與地層下陷之關係」，港灣報導，No.27。

17. 賴聖耀、李豐博、蘇吉立、陳志芳 (1995)「以Rowe cell壓密試驗探討海岸土層之沉陷特性」第六屆大地工程學術研究討論會。
18. 賴聖耀(2008)「港灣及海岸地區地震災況模擬之研究(1/2)」,交通部運輸研究所報告, MOTC-IOT-96-H1DA002。
18. Becker,D.E.(1981),Settlements under intermittent loading on a clay subsoil,Ph.D.thesis University of Western Ontario,Canada.
19. Biot, M.A. (1941), “ General theory of three-dimensional consolidation”,J.of applied physics 12(2).
20. Lay,S.Y. & Hsieh,M.J.(1995)“The step-loading model of subsidence induced by groundwater level changes with time.”Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence The Hague.
21. Leake,S.A. & Prudic,D.E. (1988),Documentation of A Computer Program to Simulate Aquifer-System Compaction Using the Modular Finite-Difference Ground-water Flow Model, U.S. Geological Survey, Report No.88-482, Tucson, Arizona.
22. Helm, D.C. (1975),“One-Dimensional Simulation of Aquifer -System Compaction Near Pixley, California, 1,Constant Parameters”,Water Resources Research, Vol.11, No.3, PP.465~478.
23. Terzaghi,K.(1943),Theoretical soil mechanics,John Wiley & Sons,New York.
24. Liao,S.S.C., D.Veneziano, and R.V.Whitman (1988)”Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability” ,J. of Geot. Engr., ASCE, Vol.114, No.4, pp.389~411.
25. Seed,H.B., K.Yokimatsu, L.F.Harder ,and R.M. Chung(1985) “Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation”, J._of Geot. Engr., ASCE, Vol.111, No.12, pp. 1425~1445.
26. Sridharan, A., Murthy, N. S. and Prakash, K., “Rectangular Hyperbola Method of Consolidation Analysis,” Geotechnique, Vol.37, No. 3, pp. 355-368 (1987).