

MOTC-IOT-IHMT-GE8903

大鵬灣地下水位及地層下陷監測 研究計畫

著者：謝明志、賴聖耀、李延恭、蘇吉立、陳志芳

交通部 港灣技術研究中心
運輸研究所

中華民國八十九年十二月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心代辦研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：大鵬灣地下水位及地層下陷監測研究計畫			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 009074890500	港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-GE8903	
委託研究單位：大鵬灣風景管理處 主管：謝謂君 主辦人員：許主龍 聯絡電話：08-8338100-208 傳真號碼：08-8352584	本中心主辦單位：大地工程組 計畫主持人：謝明志 研究人員：賴聖耀，李延恭，蘇吉立，陳志芳 地址：台中縣梧棲鎮中橫10路2號 聯絡電話：(04)6564216 轉 114	研究期間 自 88 年 10 月 至 89 年 12 月	
關鍵詞：地層下陷，地下水位，監測系統，年下陷量			
摘要： 本計畫為十四個月之短期計畫，利用大鵬灣青洲濱海遊憩區內所設立的一孔 200 公尺深之沉陷監測井及水位監測井，定期監測分層沉陷及分層水位變化情形。發現淺層地下水抽用及補注較為平衡，而深層水位常有超量抽用、補注不足之現象。由地層下陷監測結果顯示，此地區屬淺層沉陷。由監測第二年（88 年 2 月）至目前（89 年 10 月）20 個月之沉陷量為 1.89 公分，推估得年平均下陷速率為 1.13 公分，目前青洲遊憩區附近之工程規劃及設計宜引用此數據。 目前大鵬灣風景區僅在青洲公園內裝設一組下陷監測系統，難以代表整個風景區之下陷變化，因青洲公園位於濱海沙洲，無法代表內陸之景況，因此建議在陸側增設 1 組下陷監測系統，期能得知海陸兩側之下陷及水位變化情形，如此對往後之工程設計及維護當更有助益。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
89 年 12 月	105	250	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中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
 INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY
 INSTITUTE OF TRANSPORTATION
 MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Monitoring on the Ground Water Level and Ground Subsidence for Tapeng Bay			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 009074890500	IHMT SERIAL NUMBER MOTC-IOT-IHMT-GE8903	
DIVISION: Tapeng Bay National Scenic Bureau DIVISION CHIEF: W. G. Hsieh ADMINISTRATION STAFF: Z. L. Sheu PHONE: 08-8338100-208 FAX: 08-8352584		PROJECT PERIOD FROM: Oct. 1999 TO: Dec. 2000	
RESEARCH AGENCY: IHMT PRINCIPAL INVESTIGATOR: M. J. Hsieh PROJECT STAFF: S. Y. Lai, Y.K. Lee, G.L.Su, J.F.Cheng ADDRESS: No.2 Chung-Heng 10th Rd., Wuchi, Taichung 435, Taiwan PHONE: 04-6564216轉114			
KEY WORDS: Ground subsidence, Ground water level, Subsidence monitor.			
ABSTRACT: This is a short term project of 14 months. We investigate the variety of ground subsidence and ground water level with a set of 200 meter monitoring well at Tapeng Bay. The monitoring results shows: the ground water level of deep stratum varied stronger than that of shallow stratum , and the average ground subsidence is 1.13 centimeter per year.			
DATE OF PUBLICATION Dec. 2000	NUMBER OF PAGES 105	PRICE 250	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Institute of Transportation.			

大鵬灣地下水位及地層下陷監測研究計畫

摘要

大鵬灣風景區位於屏東縣東港鎮近郊，介於東港溪和林邊溪間之濱海地區，為一天然囊狀潟湖，其地層主要為現代沖積土層，土層疏鬆軟弱壓密固結尚未全部完成，因漁塭養殖普遍，在長期超抽地下水之影響下，地層發生嚴重下陷，形成海岸線內移、暴潮溢淹，排水不良等問題，進而影響風景區及遊憩區之旅遊品質。

本計畫為十四個月之短期計畫，利用大鵬灣青洲濱海遊憩區內所設立的一孔 200 公尺深之沉陷監測井及水位監測井，定期監測分層沉陷及分層水位變化情形。水壓監測井共裝置 5 個水壓計，分別監測地表下 35m、58m、105m、142m、202m 等處透水層之水壓變化。而沉陷監測井自地表到接近井底處共裝置 23 只沉陷磁環，間隔約 5 到 10m 即裝置一只。

經監測結果，發現地表下 35m 及 58m 之淺層水位變化不大，約在 -3.0~-4.0 公尺間反復振盪，且 88 年底後水位已漸趨回穩。而深層水位起伏變化極大，在 88 年上半年有大幅度的快速洩降，地表下 105m 處之水位，在監測期間有三次高達 -4.6 公尺，最低曾降至 -6.5 公尺，壓差約 2 公尺。地表下 142m 處的水位起伏更大，最高約 -3.0 公尺，最低為 -6.2 公尺，壓差約 3.2 公尺。而最深層的 202m 水位，監測初期量測到最低的 -7.4 公尺水位，最高達 -4.4 公尺，壓差也有 3 公尺。可見淺層地下水抽用及補注較為平衡，而深層水位常有超量抽用、補注不足之現象。由此結果分析得知，大鵬灣地區附近仍有超抽地下水，而此行為已大量轉移到深層之地下含水層中。

由地層下陷監測結果顯示，大鵬灣在此監測期間(自 87 年 2 月至 89 年 10 月)其年平均沉陷量為 2.2 公分，其中百分之九十一之沉陷在地表至 51.3 公尺處發生，顯示此地區屬淺層沉陷，監測第一年(87 年 2 月至 88 年 2 月)所得之沉陷量為 3.9 公分，監測第二年(88 年 2 月至 89 年 2 月)所得之沉陷量為 1.3 公分，兩年之沉陷量差異為 3 倍之多，而 87 年 2 月至 87 年 8 月之半年間，監測所得之沉陷量就有 3.3 公分。沉陷量集中在 87 年初，推測可能在本監測系統安裝之前，本地區附近已有大量超抽地下水之行為，且可能以淺層抽水為主。另安裝監測井時上部土層攪動較嚴重，且遊憩區之開發填土，都可能導致表土層的大量壓縮。由監測第二年(88 年 2 月)至目前(89 年 10 月)20 個月之沉陷量為 1.89 公分，推

估得年平均下陷速率為 1.13 公分，目前青洲遊憩區附近之工程規劃及設計宜引用此數據。

為了瞭解本地區地下水位變化引致之下陷潛能，本研究將大鵬灣之含水層簡單分為二層，即第一層(0~100m)及第二層(100~200m)，以 Terzaghi(1943)之壓密理論，探討各含水層抽水，水位下降 1m、5m、10m、15m、20m，可能引起沉陷之下陷潛能。發現不論第一或第二層，若水位下降量愈大，則沉陷量亦愈大。但此二層若水位下降量相等時，則第一層所引致之沉陷量最大，第二層之沉陷量則較小，此乃由於初始有效應力不同所致。由於此二層之土壤非常相似，且厚度也相差不多，但因地層深度愈深，其初始有效應力愈大，所以地層較深之第二層在相同水位下降量下，所引致之沉陷量會比第一層小。

目前大鵬灣風景區僅在青洲公園內裝設一組下陷監測系統，難以代表整個風景區之下陷變化，因青洲公園位於濱海沙洲，無法代表內陸之景況，因此建議在陸側增設 1 組下陷監測系統，期能得知海陸兩側之下陷及水位變化情形，如此對往後之工程設計及維護當更有助益。

大鵬灣地下水位及地層下陷監測研究計畫

目 錄

摘要.....	I
第一章 前言.....	1
第二章 屏東地區水文地質概況.....	3
第三章 大鵬灣地質概況及相關資料分析.....	14
第四章 地層下陷行為與分析方法.....	22
第五章 監測系統埋設安裝與量測結果分析.....	33
第六章 結論與建議.....	62
參考文獻.....	65
附錄 A: 大鵬灣鑿井土樣之物理特性.....	A-1
附錄 B: 大鵬灣土樣顆粒雷射分析.....	B-1
附錄 C: 期中簡報審查意見辦理情形.....	C-1
附錄 D: 期末簡報審查意見辦理情形.....	D-1

第一章 前言

台灣地區由於近年來，中南部沿海地區之魚塭大量開發，大量抽取地下水，導致屏東、高雄、台南、嘉義、雲林、彰化等沿海地區皆發生較嚴重之地層下陷，根據經濟部水利處統計(如表 1-1 所示)，至民國 88 年，此面積共達 2403 平方公里。各下陷地區之概估面積以雲林地區 880 平方公里為最大，下陷速率以彰化大城鄉西港村每年 19 公分為最嚴重，累積沉陷量以屏東地區塭子防潮閘門之 3.09 公尺為最大。而屏東沿海地區之下陷概估面積約有 201 平方公里，曾發生之最大下陷速率為每年 19.6 公分，至 87 年 3 月之調查，塭子防潮閘門仍以每年 7 公分之速率繼續下陷。

大鵬灣風景區位於本省西南屏東平原沿岸，為一天然潟湖地形，區內水面廣闊平靜，氣候怡人，又鄰近高屏都會區，且於民國 81 年由交通部觀光局評定規劃為國家級風景特定區，並積極進行觀光風景區內各項建設工程，但大鵬灣恰處於平原沿海地區，因受到此區魚塭養殖業大量超抽地下水影響，導致整個區域性地下水位下降，已造成地盤下陷及海水入侵之嚴重災害，若水位繼續下降，勢必使地層下陷與地下水鹼化更加劇烈，因此為維護本地區工程及各樣設施之安全，有需要對本區之地下水位變化與地層下陷做長期性之監測研究。

本中心已於民國 87 年徵得大鵬灣國家風景區管理處同意，在大鵬灣靠海側之青洲濱海遊憩區內，埋設一組 200m 深的無線電波感應式層別沉陷觀測系統，用來進行該區地層分層之長期監測，並埋設水壓計，水位觀測井，以了解地下水位及水壓變化對該區地層下陷之影響，這些觀測及分析結果，可做為維護現有工程及各項擴建工程規劃設計、安全監測等之參考。

有鑑於該項資料取得不易，且對風景區內各項建設及環保問題具有直接引用之價值，大鵬灣國家風景區管理處盼望能與本中心繼續合作，因此委託本中心持續監測該地分層下陷及地下水位變化，除了將監測資料完整提供給管理處外，並施作相關分析，以供該區域環境影響評估及開發建設之需用。

地區	下陷地區概估面積Km ²	累積最大下陷量, m	發生地點	最近二年平均下陷量(Cm)	檢測期間
台北盆地	252	2.24	台北市光華商場	0	44年4月~88年1月
宜蘭地區	170	0.28	宜蘭市	2.9	73年6月~88年1月
彰化地區	610	1.70	大城鄉西港村	19	64年 月~87年8月
雲林地區	880	2.02	台西鄉	7	64年8月~87年2月
嘉義地區	250	1.16	東石三家村	3.7	76年12月~87年12月
台南地區	30	0.63	北門民眾服務站	9	77年6月~88年6月
高雄地區	10	0.38	彌陀海堤	7	81年6月~87年11月
屏東地區	201	3.09	塭子防潮閘門	7	61年 月~87年3月

註:1. 下陷面積合計2,403平方公里

2. 台北、宜蘭及嘉義地區係摘錄自經濟部水資源局88年度報告

表 1-1 台灣地區地盤下陷概況表(經濟部水利處彙整,2000)

第二章 屏東地區水文地質概況

2.1 區域概況

屏東平原是一個陷落構造盆地上的沖積平原，北自高雄美濃、旗山以及屏東里港，九如之平地起，南至東港、林邊、枋寮沿岸，西由高屏溪起，東至平地鄉山地鄉交界，係由高屏溪、旗山溪、荖濃溪、隘寮溪、林邊溪等網狀河流沖積而成，是多個沖積扇的綜合體。地質以礫、砂、及黏土所構成。面積約 1,130 平方公里（徐享崑等，1998）。

平原東鄰大武山，屬中央山脈南段，區域地質岩性以板岩及變質砂岩等低度變質岩為主。中央山脈與平原的分界是直線狀的斷層崖，從六龜開始，直伸到枋寮東南沿海附近，這一段的斷層稱作潮州斷層。

平原的西緣及北方為西部麓山帶，其地質結構以沉積岩為主。溪流由東部及北部的山區流入，帶來大量堆積物充塞其間，堆積出屏東平原。平原土層厚度約有 250m 以上，由於堆積作用及母岩岩性的不同，平原東北側的地質主要為礫石層，而西南側則為礫、砂、泥互層。堆積期間亦經歷二或三次海進，全新世海進為本區晚更新世之最大海進，入進範圍約達萬丹與屏東市、萬巒與潮州之間，最大入進深度距今海岸線約有 15 公里遠。平原內厚度 200m 左右之地層，大多為溪流搬運堆積所形成的陸相沉積地層，只有沿海一帶有部份海相地層。

2.2 地形

屏東平原最主要的地形為沖積扇，主要分佈位於潮州斷層之西側，由東向西呈扇狀地形。沖積扇群皆由粗厚礫石層所構成，地層深厚，透水性佳，是主要的地下水蘊藏及補注區，平原上由北至南有四大沖積扇：荖濃扇、隘寮扇、林邊扇、及力力扇(如圖 2-1 所示)。三個小沖積扇夾於大沖積扇之間，口社扇位於荖濃扇與隘寮扇之間，萬安扇與泰武扇位於隘寮扇與林邊扇之間。這些沖積扇礫石層厚度超過 200m，地質上沒有明顯可供分層的特徵，因此地下水文分

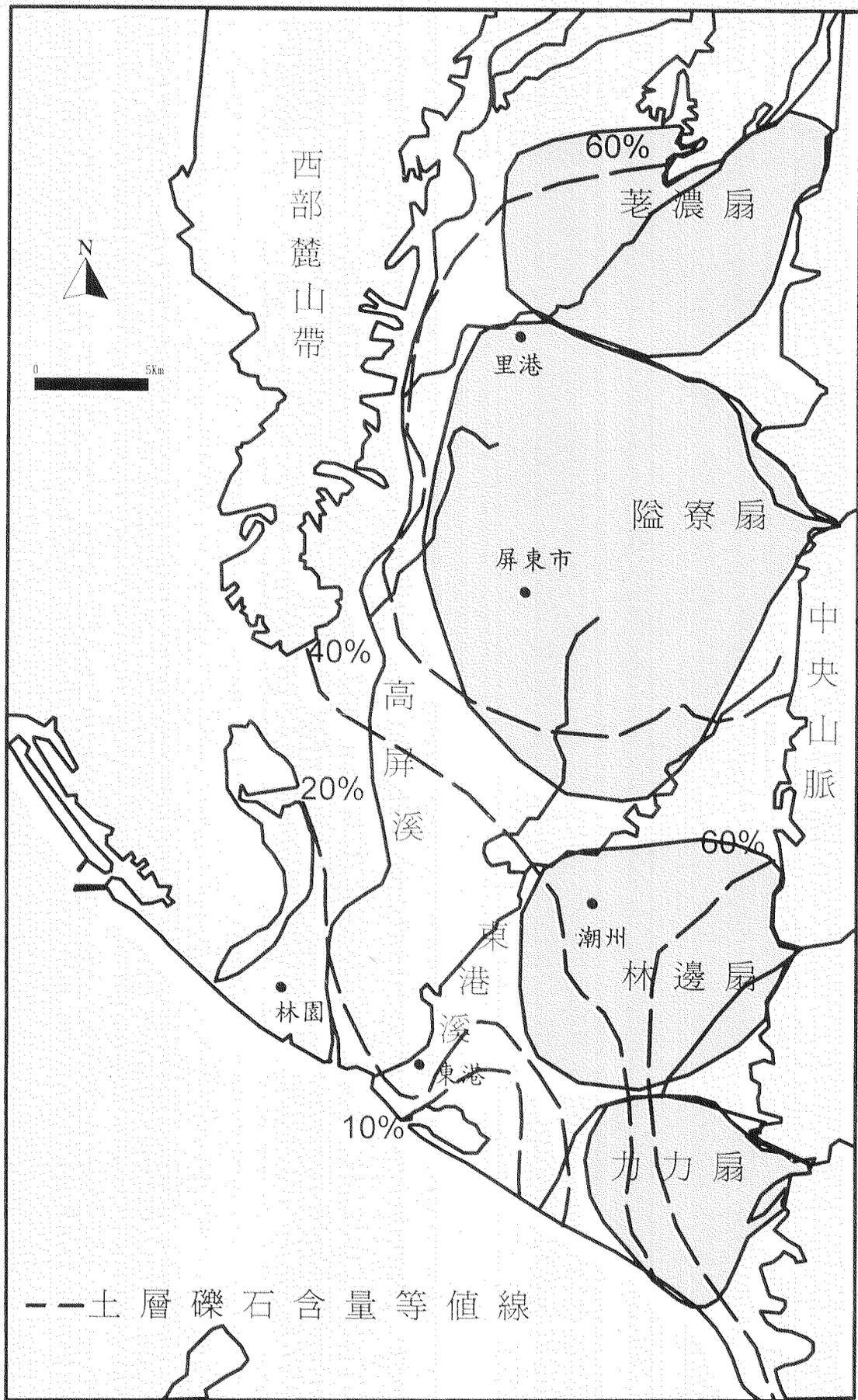


圖 2-1 屏東平原冲積扇群及礫石含量分佈圖。

層上大多只劃為一層（陳文福等，1998）。

平原境內有多條溪流，大多由東部及北部山區匯入本區，呈網狀交錯分佈，境內主要河川計有高屏溪、林邊溪及東港溪等三條，並有率芒溪、枋山溪等二條次要河川。其中高屏溪水量豐沛，年逕流量約達 85 億立方公尺，為南部地區最大之河川，供應高雄屏東地區大量之地表用水，可惜枯豐期流量分布懸殊，每年一至五月尚有缺水現象。高屏溪在本區西部由北經南匯流入海，與本區東部沿潮洲斷層左側之大小沖積扇群，組成屏東平原之特殊地形。而地勢高程，也由東北山區，往西南漸緩，直到海邊，地形等高線分佈如圖 2-2 所示。

2.3 水文地質分層

依據中央地質調查所之調查研究，屏東平原上部約 200m 的地層中，陸相之礫層及砂層，以及海相之砂層，透水係數較大，可劃歸為透水層 (Aquifer)；而粉砂、泥及粉土層因質地較細，透水性差，可劃歸為低透水層 (Aquitard)。將透水層以 F 為代號，低透水層以 T 為代號，屏東平原深約 200m 內之水文地質分層由上而下可劃分透水層一 (F1)、低透水層一 (T1)、透水層二 (F2)、低透水層二 (T2)、透水層三之 1 (F3-1)、低透水層三 (T3) 及透水層三之 2 (F3-2) 等七層 (如圖 2-3 至圖 2-6 所示)。透水層極為發達，厚度大且延展遍佈全區；低透水層則間夾於透水層中，厚度遠小於透水層並且僅分佈於平原南段，因此透水層只於南側有顯著之分隔，而北及東側則合而為一。透水層之邊界，因缺乏實際資料，一般均採用平原與山區及平原與海水之交界為屏東平原地下水區之邊界。而平原南端之海床地形，於東港外側海床面急降，形成溺谷，沿海地區之低透水層受此溺谷影響，形成缺口，故低透水層未能全面封閉透水層，致使透水層局部與海水直接連通。

2.4 地下水補注區

屏東平原之地下水補注來源主要有三種：

1. 邊界外之側向補注

透水層邊界上主要河床之地下水及溺谷之海水，可側向流入平原之透水層

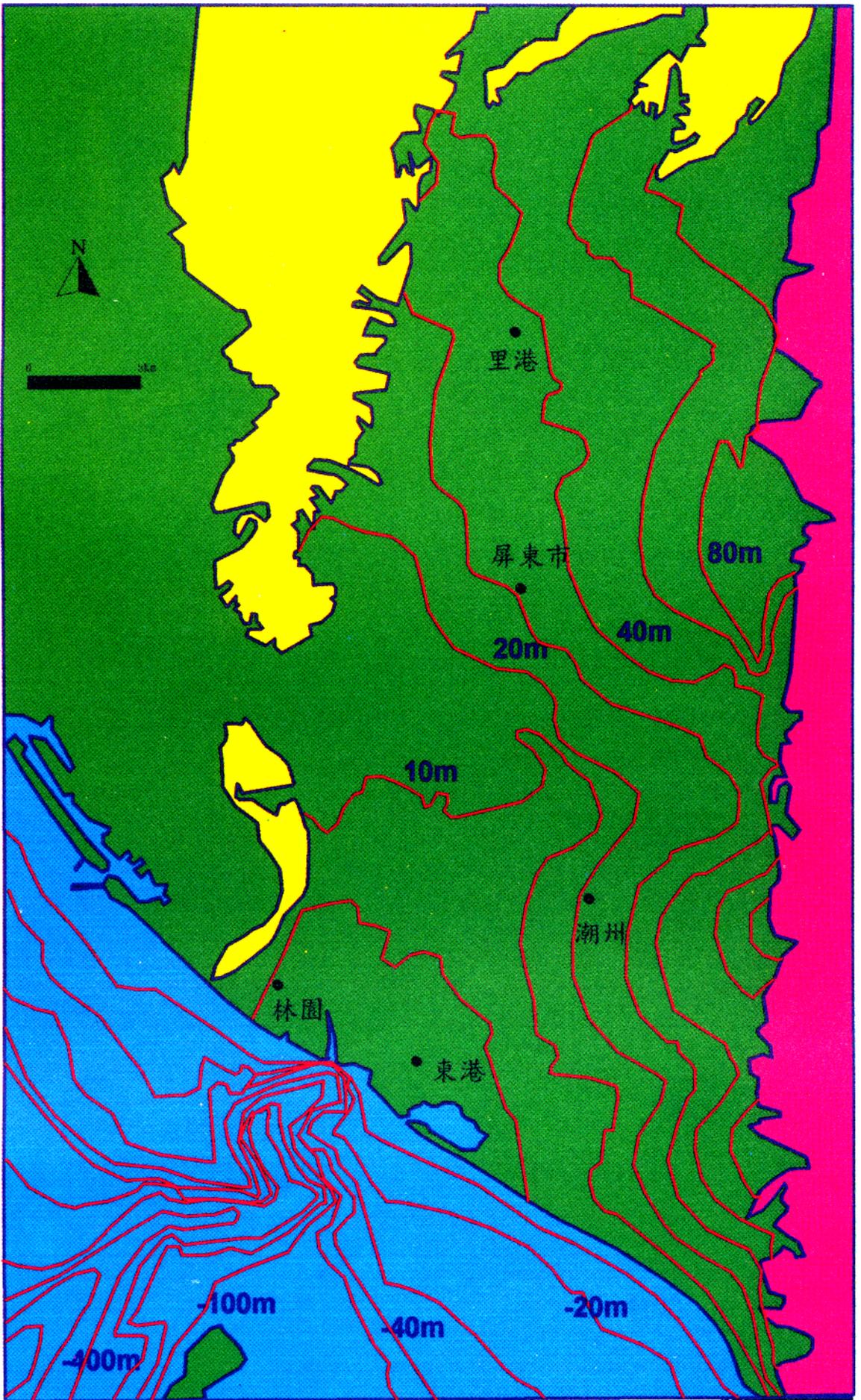


圖 2-2 屏東平原地形等高線分佈圖。

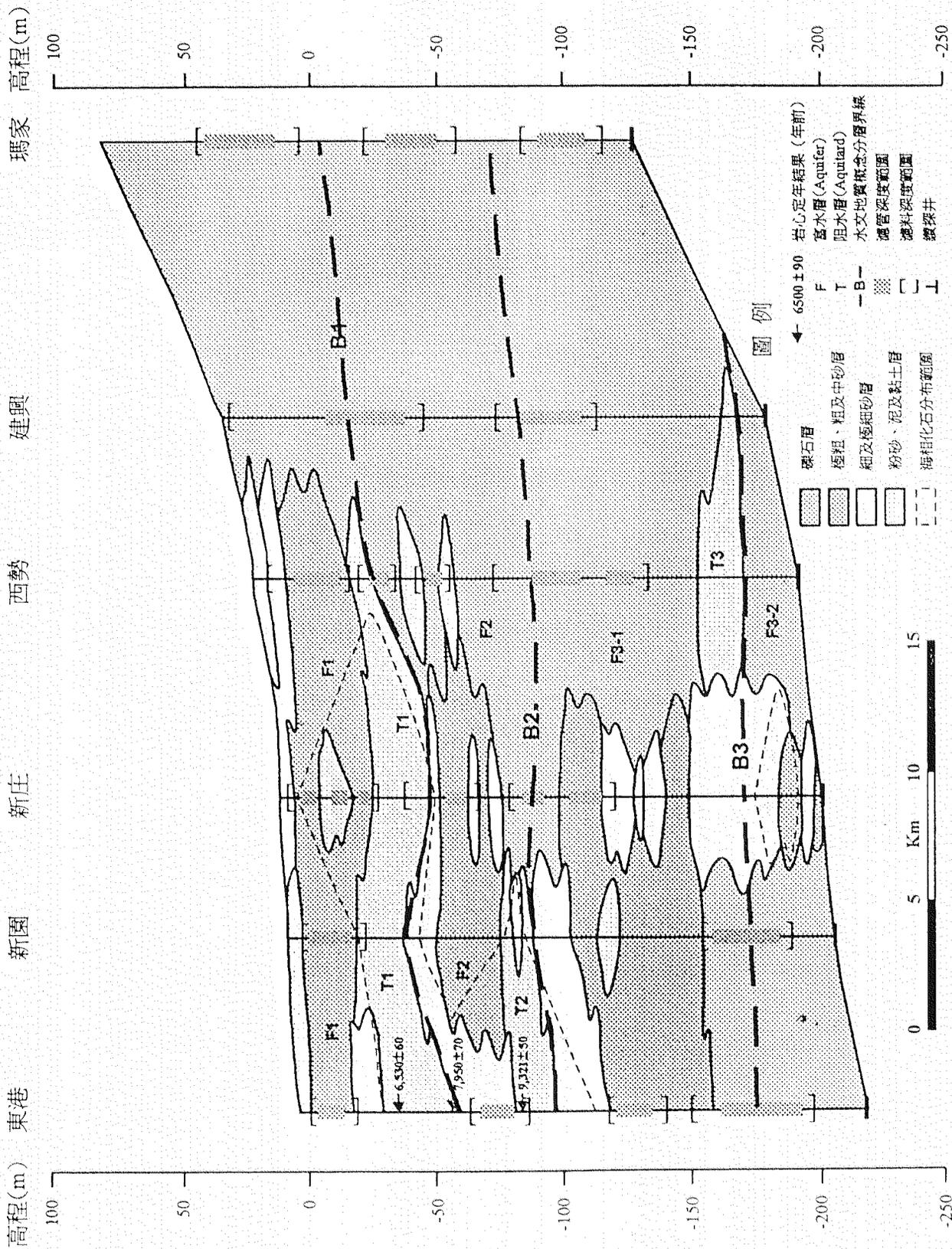


圖 2-4 屏東平原東港-瑪家段水文地質剖面圖(中央地質調查所, 1997).

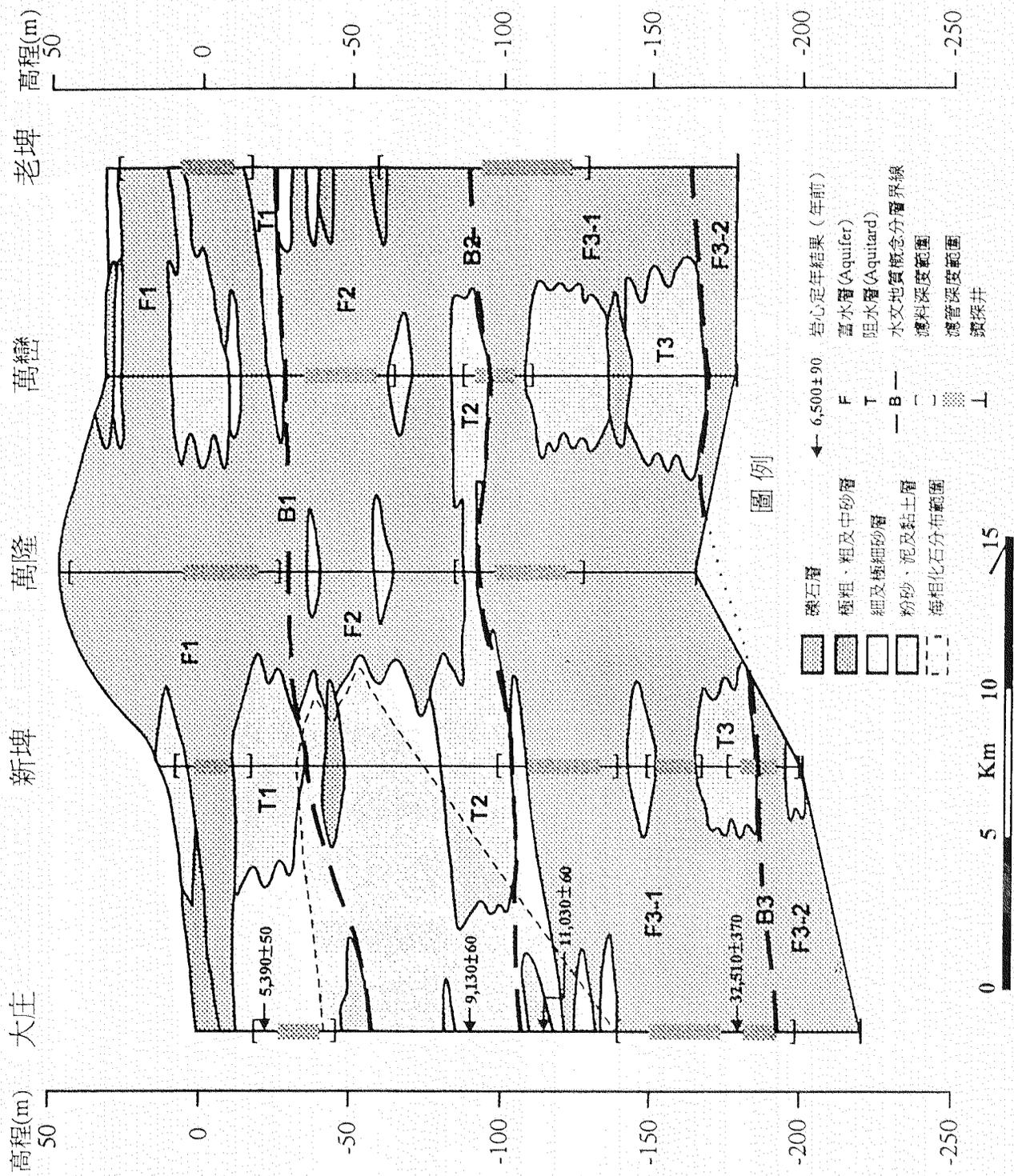


圖 2-5 屏東平原大庄-老埤段水文地質剖面圖(中央地質調查所, 1997).

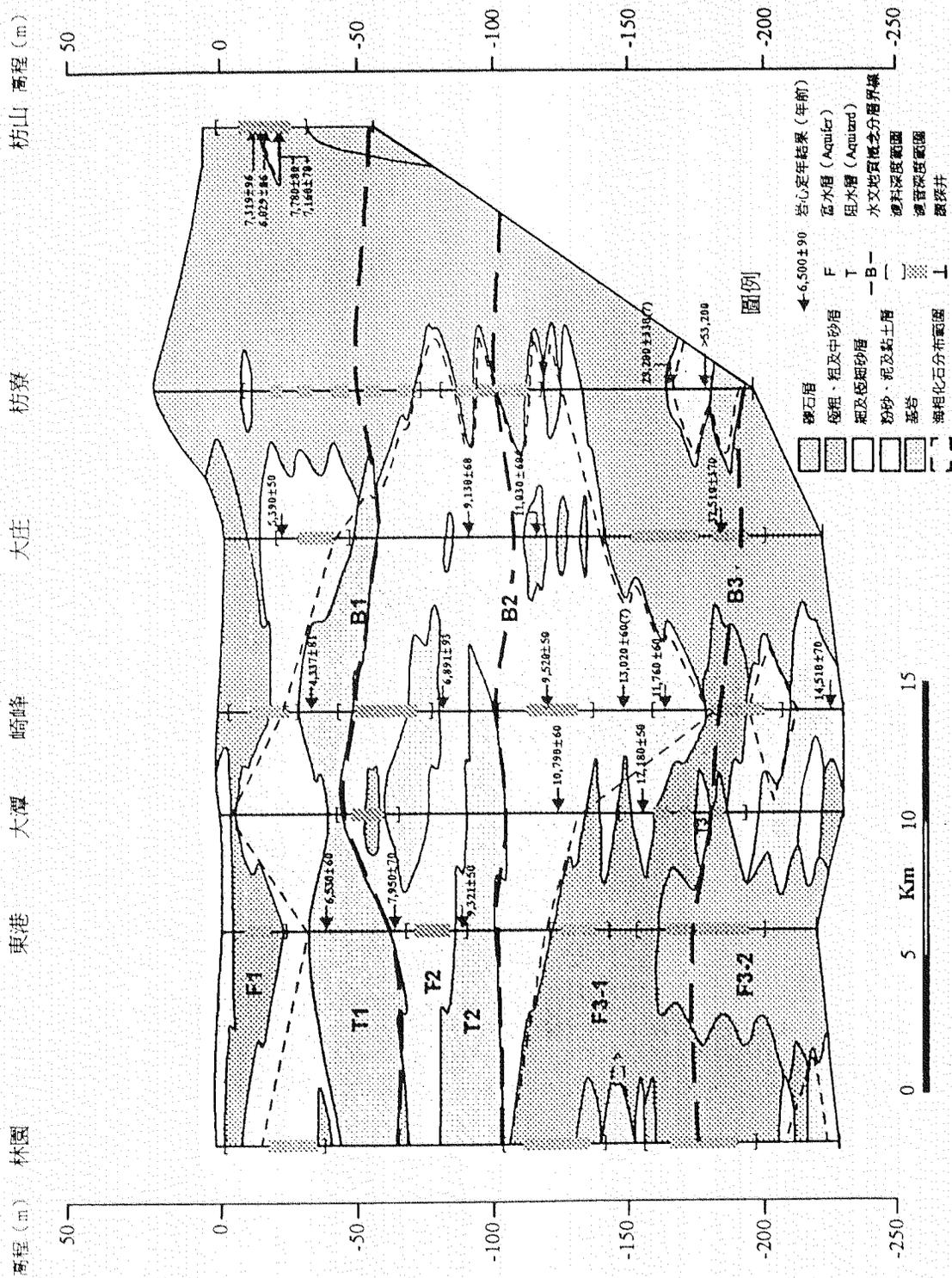


圖 2-6 屏東平原沿海林園-枋山段水文地質剖面圖(中央地質調查所, 1997).

中，是最主要之側向補注。

2. 河水入滲補注

河水可向下滲透至透水層中，尤其豐水季之河水位較高，河水面積較大，其入滲補注量最高；至於低水位之枯水季，入滲補注量較少，然而若集水區較大，河水全年不枯，則其入滲補注量亦不容忽視。

3. 雨水及灌溉水入滲補注

降雨、灌溉水及池塘水，均有一部份入滲形成地下水，其入滲率受土壤質地粗細及降雨強度或灌溉水量所控制。

地下水主要補注區分佈於荖濃溪、隘寮溪、來社溪和力力溪沖積扇頂區域，總面積約 231 平方公里，是河水、雨水、灌溉水等入滲補注之處，其重要性遠高於其他潛在之補注區域。

2.5 地層下陷

屏東平原因河川沖積及母岩性質之關係，靠潮洲斷層帶之沖積扇群礫石含量極高，而其礫石成份愈往西南則愈少；相對地，愈往西南土層內砂泥含量則愈高，在林園、崁頂、新埤、大庄、東港、大潭和崎峰等地之地層所含細砂和泥層較發達，佔總厚度之 50% 以上(如圖 2-7 所示)，沿海附近地層壓縮沉陷之潛力極高，屬於地陷敏感區；在地下水超抽後，已發生嚴重地層下陷，總下陷面積約 175 平方公里，累積地層下陷量以林邊溪口塭豐村最高。

由於各透水層於溺谷與海水直接連通，因此在自然平衡情況之下，沿海之地下水位應略高於平均海水位；民國 50 年地下水工程處調查報告中指出，沿海地下水位尚無低於海拔零公尺之情形發生；後因養殖魚業興起，大量超抽地下水，致使地下水補注不足，才会有今日之地下水位低於平均海水位之現象產生。從零水位線、細質地土層分佈及地層下陷範圍之一致性，或從零水位線、魚塭及地陷發展時程之高度相關性，均可看出超抽地下水應是地層下陷之主要因

素。減少沿海地下水之抽取，使地下水位回昇，應可有效減緩地層下陷之趨勢（黃智昭等，1998）。

第三章 大鵬灣地質概況及相關資料分析

3.1 大鵬灣之地理環境與地形

大鵬灣位於本省西南部，行政區域主要位於屏東縣東港鎮及林邊鄉之一部份，基地西北距高雄市約 25 公里，北距屏東市約 30 公里，灣內現有水域長約 3,500 公尺，寬約 1,800 公尺，面積 532 餘公頃，連同毗鄰陸域、海域，合計總共面積約 1438.4 公頃，地理概況如圖 3-1 所示。

大鵬灣為一潟湖地形，其形成乃由海濱的沉積現象(Depositional Features of Shore)，為波浪侵蝕和沿岸流搬運的沉積物，在海岸邊能量低的地方造成不同地形和沉積作用。而大鵬灣則是東港溪和林邊溪自上游挾帶泥沙入海，再經海流、季風漂送形成沙嘴(Spit)沉積現象，而沙嘴是一長條砂礫形的狹脊，如沙嘴將橫越海灣的出口全部封閉，則造成海灣封閉沙洲(Bay Barrier)，即是形成潟湖(Lagoon)，大鵬灣即為此種潟湖，(如圖 3-2 所示)。

3.2 大鵬灣地區之地質狀況

呈囊狀潟湖之大鵬灣位於高屏溪、東港溪及林邊溪之間，屬於本省西南平原外圍之臨海地帶，為一片沙質海岸，其生成係先由地質構造成廣闊之窪陷地區，次由楠梓仙溪及荖濃溪、東港溪、林邊溪等河流攜來大量泥沙填充成為沖積平原(如圖 3-3 所示)。

本地區主要為砂質之沖積層，根據所搜集之 5 孔陸上地質鑽探資料 (如圖 3-4) 顯示：

沿海狹長沙洲皆屬砂土層，自地表至地下 30 公尺深為中等緊密之砂土層(SM)，標準貫入試驗 N 值約在 10~30 之間，EL.-30 公尺以下為一層 3 公尺~8 公尺厚之粘土層(CL)，N 值約為 13~15 左右。

環繞內陸地帶之土層係粘土與沉泥相間之地層(CL~ML)，地下水位極高約

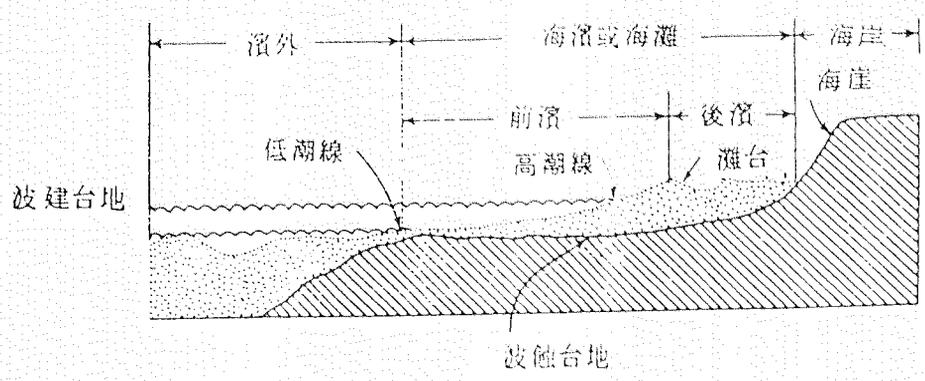
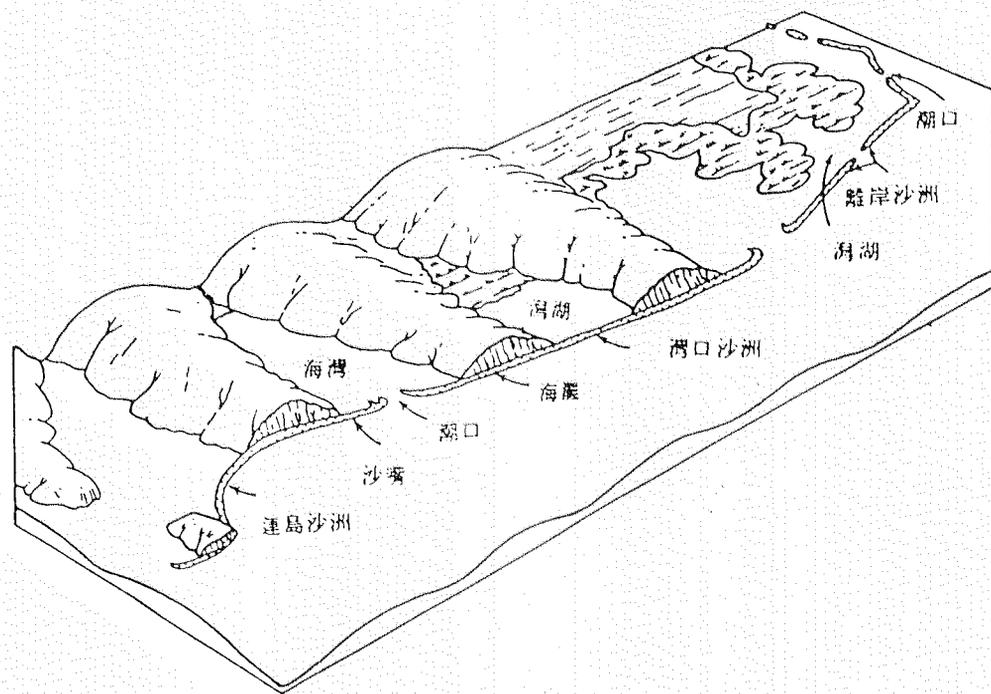


圖3-2 海濱所見之沉積地形和剖面圖

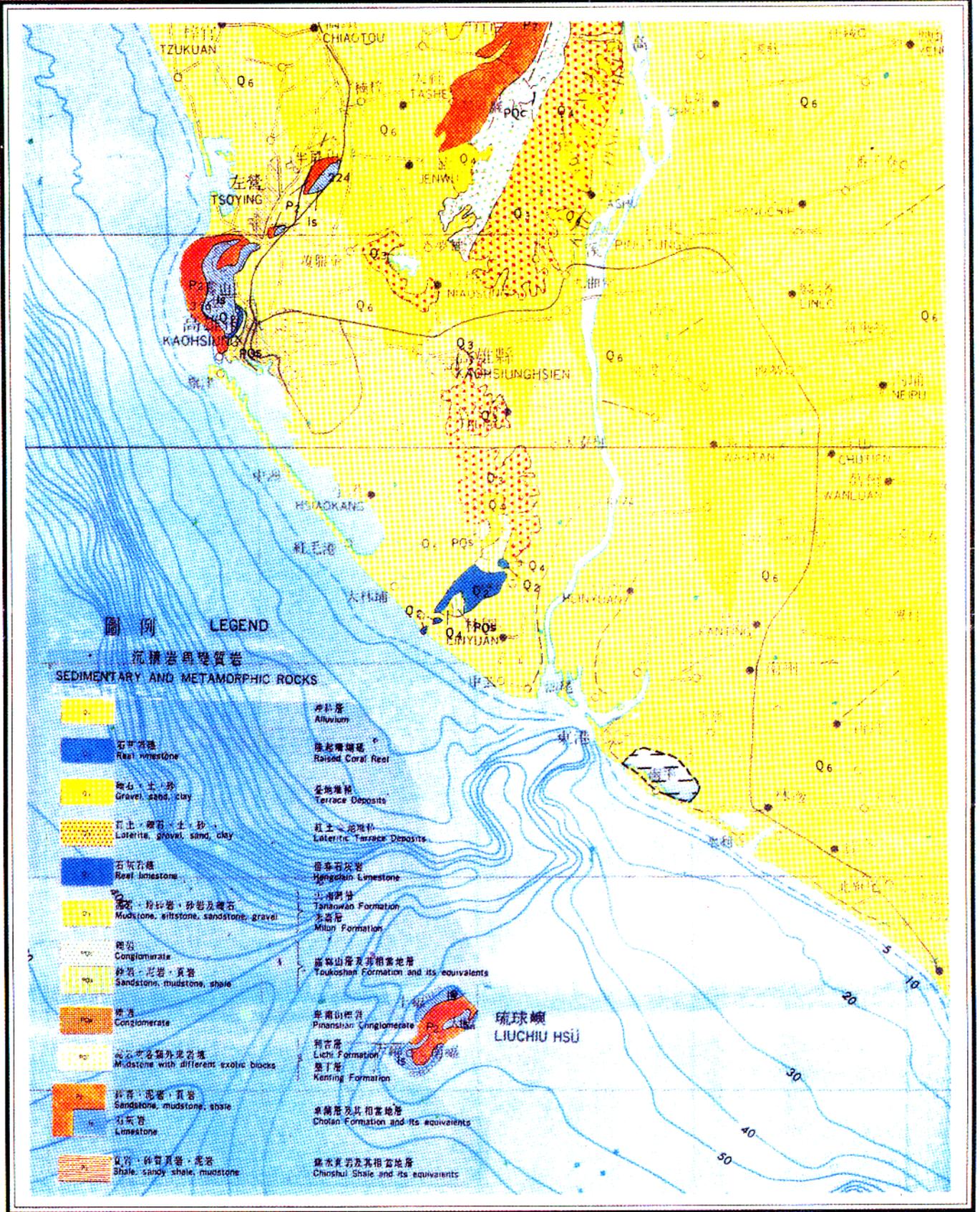


圖3-3 大鵬灣區基地地質圖

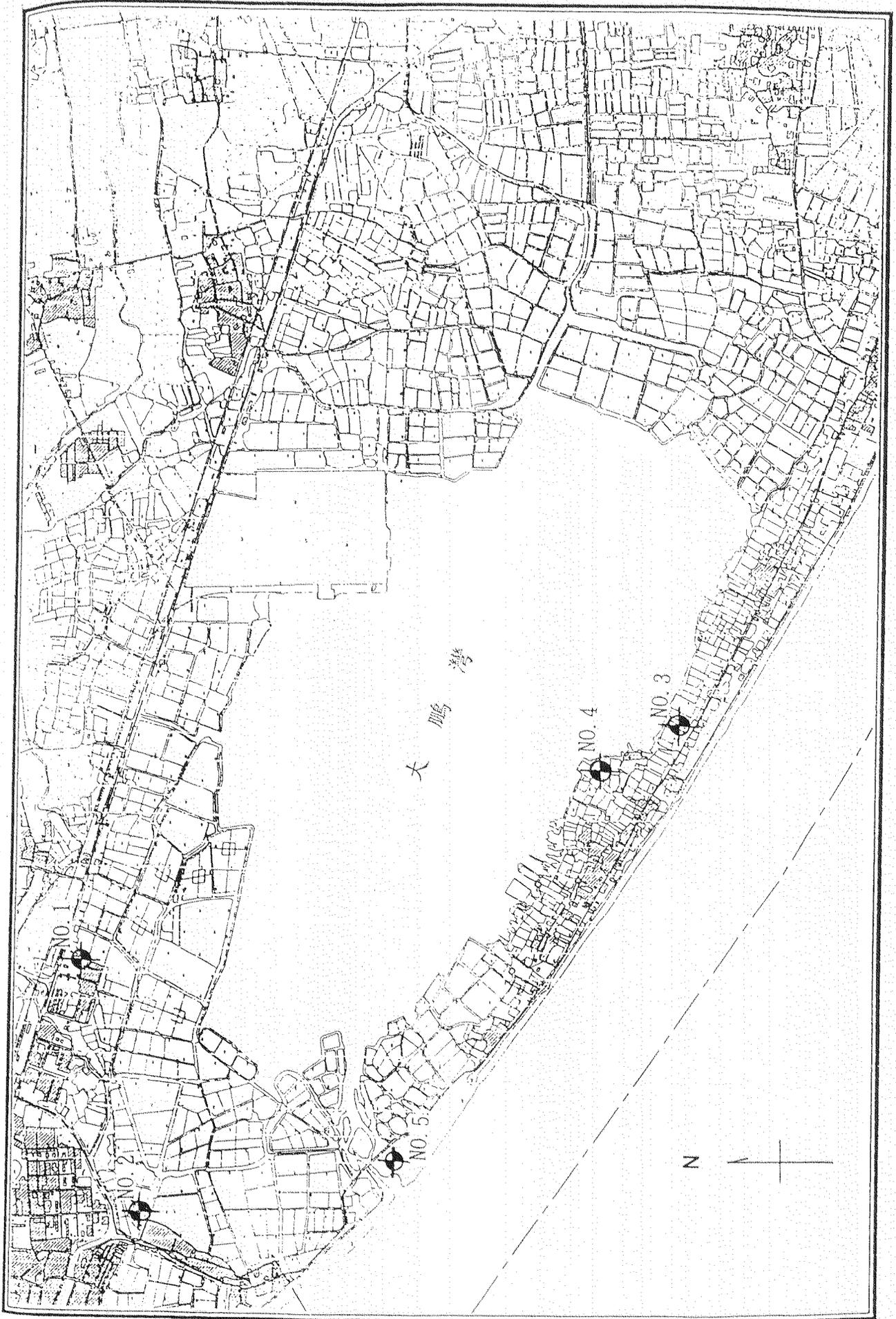


圖3-4 大鵬灣區鑽探位置圖.

在地表下 1 公尺左右，淺層部份因多為魚塭區，有機物含量甚高，大部份為軟弱淤泥土層，而 EL.-6 公尺~EL.-10 公尺以下為 N 值 6~11 之疏鬆砂土層(如圖 3-5 所示)。

3.3 大鵬灣附近地區之沉陷

屏東平原地理位置屬台灣的西南端，南北長約 60 公里，東西長約 20 公里，面積寬約 1130 平方公里，而平原沿海地區居民由於靠海地利之便，自民國 63 年起即以淡鹹混養殖漁業為主，漁塭面積由原來約 39 公頃擴充到現今約 1700 公頃，因平原內無大型水庫儲水，故以地表水及抽取地下水為主要水源，而長期超抽地下水導致地盤嚴重下陷，其中以東港、林邊、塭豐、佳冬、枋寮和新埤等地區最為嚴重，根據水利處辦理地層下陷水準檢測資料顯示，自民國 69 年~86 年止，下陷量最大者為林邊溪出口左岸之塭豐村達 3.06 公尺，林邊地區累積下陷量亦達 2.77 公尺，佳冬為 1.54 公尺，枋寮為 2.04 公尺，東港 1.07 公尺，近兩年來以枋寮地區每年約下陷 9 公分，塭豐村約 8.5 公分較為嚴重，(如圖 3-6 所示)。

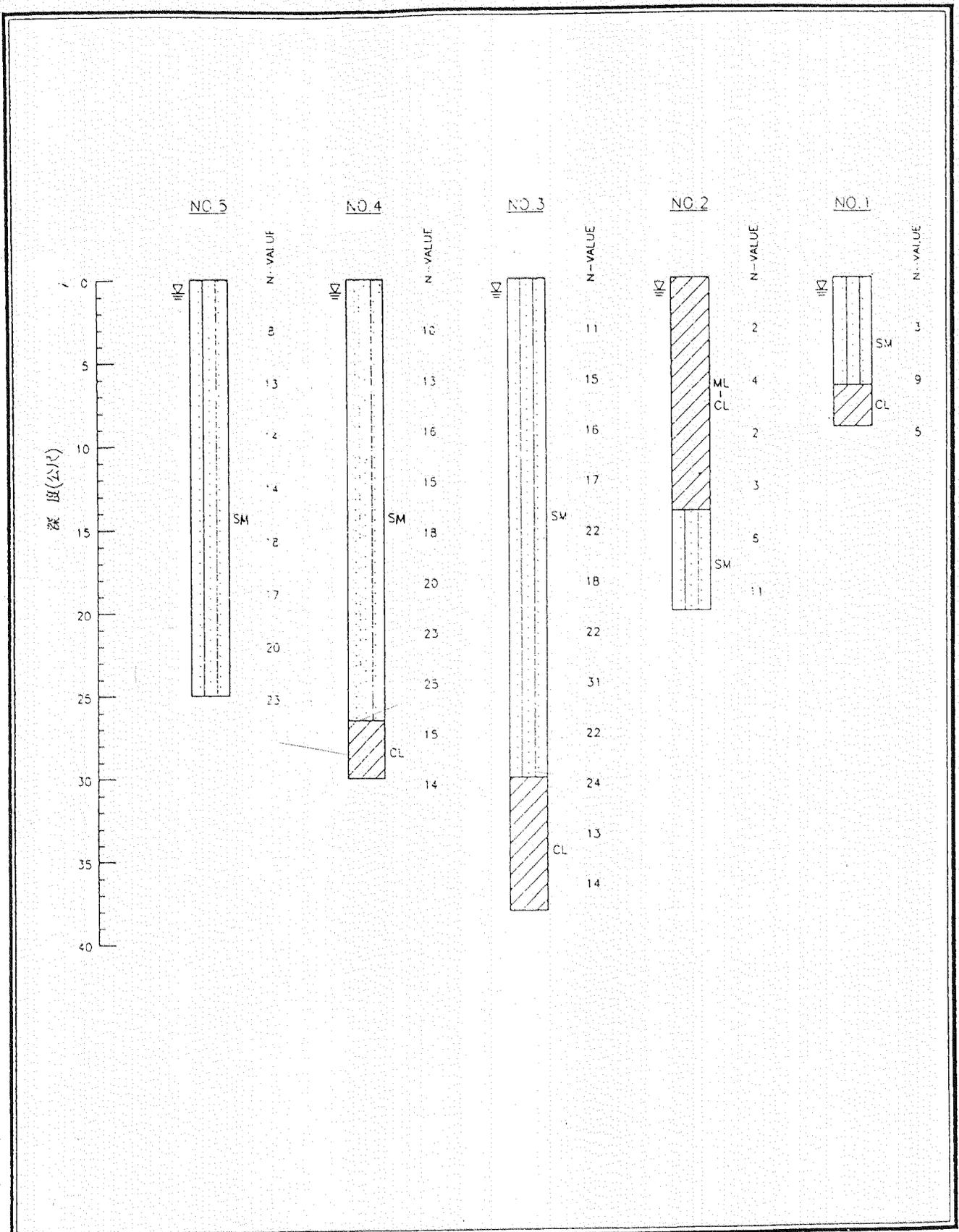


圖3-5 大鵬灣區地層柱狀圖.

第四章 地層下陷行為與分析方法

一般地層下陷之原因，非常複雜，如大地應力作用所引致地殼之升降，地震作用引致砂性土壤之沉陷，地表建築荷重、填土荷重及過量抽取地下水引致之地層下陷等，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，台灣西南海岸地區之地層下陷亦然，其中以屏東地區累積最大下陷量 3.06 公尺為最嚴重，雲林、嘉義地區累積最大下陷量約 1.5~2.0 公尺次之，其他如高雄永安地區、台南安平地區、彰化濱海地區等亦都有下陷問題，整個西海岸地區幾乎均有地層下陷現象。

一般而言，無論是地表建築物荷重或超抽地下水造成之地層下陷，大都因土層受到外力而產生壓縮所致，所以欲對地層下陷進行分析之前，首需對整體土層所受有效應力增量之分佈情形，及整體土層之下陷行為與各分層土壤壓縮特性進行瞭解，然後再應用壓密理論進行沉陷分析(如圖 4-1 所示)。

從土壤力學中壓密理論的觀點來看，地層下陷的主要原因是土壤受到壓力，使土壤內之孔隙水逐漸排出，體積發生變化導致土壤壓密現象，由於壓密作用，地層表面將有沉陷變形產生。所謂之土壤受到壓力，是指土壤在土層中受到比原來存在土層中有效應力更大之應力，即有效應力增量，亦即有效應力增量存在之土層才有土壤壓密或壓縮現象，而有效應力所指為地層中土壤顆粒之間（即架構）所承受的應力，與孔隙水壓力共同組成地層中的總應力，一般認為只有有效應力的部份才會影響地層的架構，其改變為造成地層下陷的主因，因此對土層內有效應力增量分佈之研判極為重要。

茲就超抽地下水，其所引致有效應力增量之分佈情形、下陷行為、分析方法等，分述如下：

4.1 超抽地下水引致之有效應力增量分佈

超抽地下水引致地層下陷，一般可分為二類，一為自由水位下降引致之淺層沉陷，另一為受壓水位下降引致之深層沉陷。若由於自由水層受到過量抽水，

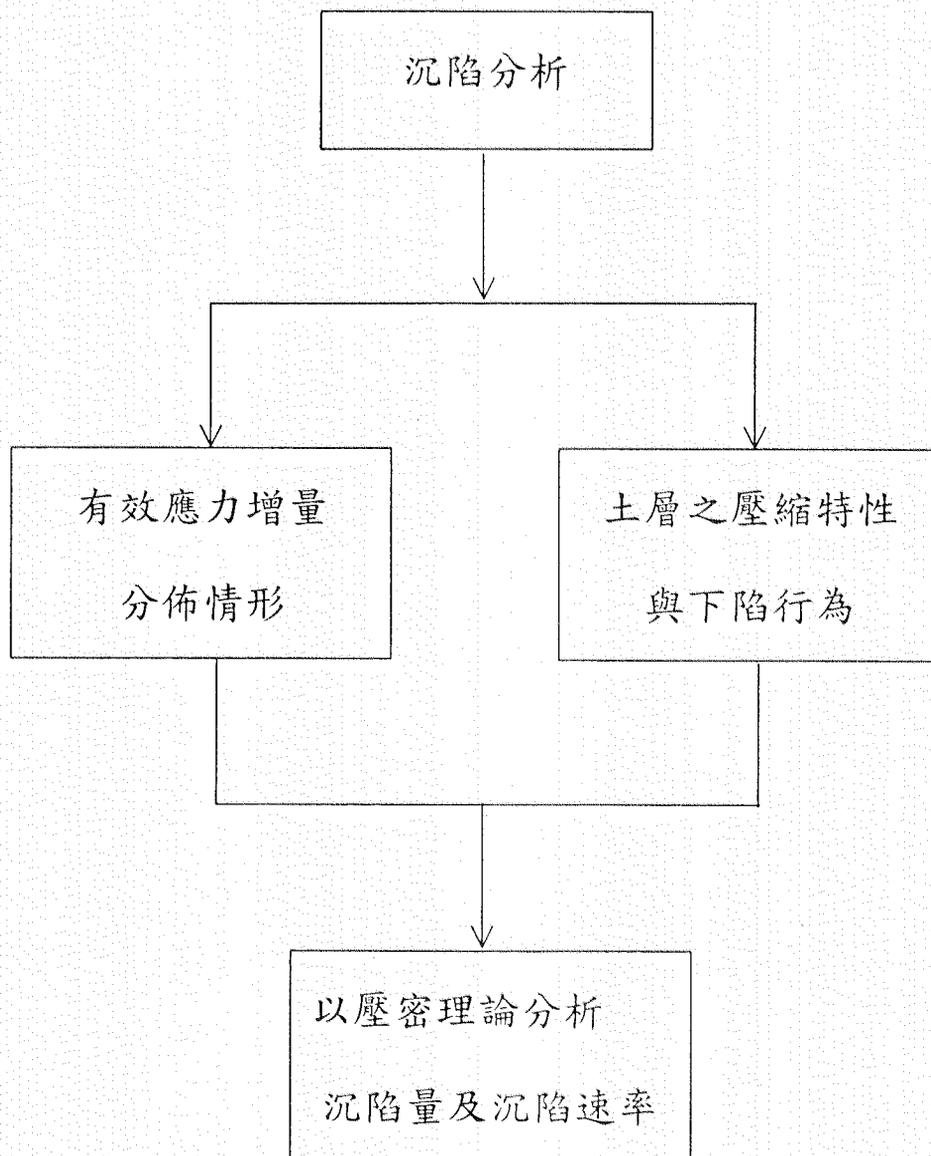


圖 4-1 沉陷分析之流程圖

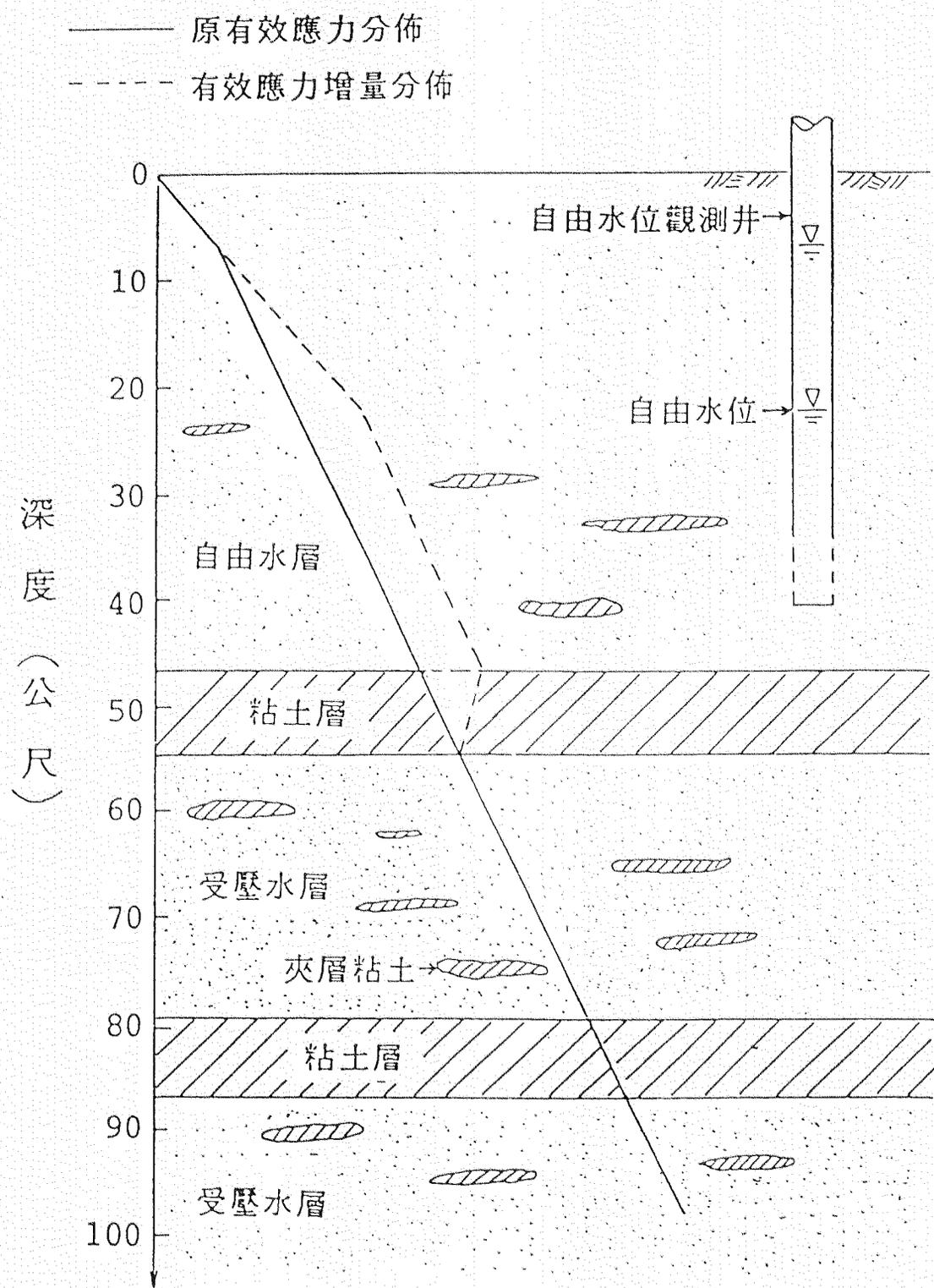


圖4-2 自由水位下降引致之有效應力增量分佈

引致自由水位下降，其有效應力增量僅分佈於最淺層自由水層及其下之低透水層(Aquitard)或粘土層，而其他之透水層(Aquifer)及粘土層則無有效應力增量產生，其分佈情形如圖 4-2 所示，由於在有效應力增量存在之土層，才有土壤之壓密或壓縮現象，因此超抽自由水層產生之沉陷屬於淺層沉陷。若由於受壓水層受到過量抽水，而致受壓水位下降，其有效應力增量如圖 4-3 所示，除分佈於該超抽受壓水層外，並分佈於其上下之難透水層或粘土層，而最淺層之自由水層及其他之受壓水層與粘土層則無有效應力增量產生，由於超抽受壓水層引致之有效應力增量產生於土層深處，土壤之壓密或壓縮亦發生於深處，因此此種沉陷屬於深層沉陷。

4.2 超抽地下水之下陷行為

超抽地下水引致之沉陷，不論是超抽自由水層或受壓水層，由於其影響之區域範圍均很廣大，因此其沉陷特性屬於區域沉陷，亦由於屬於均勻沉陷，且是無聲無息的情況下進行著沉陷，一般均不易察覺，往往等到發生海水倒灌、排水情況惡化等災害時，才察覺到地層下陷。

大部分海岸地層下陷皆因過量抽取受壓含水層中地下水而產生之沉陷，此種沉陷不但其影響達於土層深處，更由於其沉陷主因，是土層深處之受壓含水層及其上下之難透水層或粘土層，受壓縮而產生地層下陷，故稱為深層沉陷(Deep subsidence)，此種沉陷行為，相當於一水力起重機(Hydraulic jack)將荷重舉高後突然水壓力減少時之情形，此時荷重即漸漸下降。在發生區域沉陷時，主要因受壓含水層中水壓因過度抽取地下水而下降，受壓含水層及其上下之粘土層受到壓縮，此稱為受壓縮土層，而此受壓土層至地表面間之土層並未受到壓縮，只是整體隨受壓縮土層之壓縮而向下移動產生地層下陷，故地面之沉陷與受壓含水層中水壓之減少量成正比。當地下水繼續超抽時所發生之沉陷，在地下水文學裡稱為活性沉陷(Active subsidence)。當過量抽水已遏止，地下水壓已趨穩定後，地面之沉陷並不立即停止，而仍將持續一段時間，惟其沉陷速率隨時間而漸趨緩和，最後始停止，此期間所發生之沉陷，在地下水文學裡稱為「稽延沉陷」(Lag subsidence)或「殘餘沉陷」(Residual subsidence)，通常在活性沉陷後，殘餘沉陷仍將繼續數十年，而後沉陷方可認為全部停止。

在整個壓縮之土層中，受壓含水層中之砂土層為立即壓縮，即在超抽受壓含水層之地下水位下降時，立即壓縮，此為活性沉陷之主要部分。受壓含水層

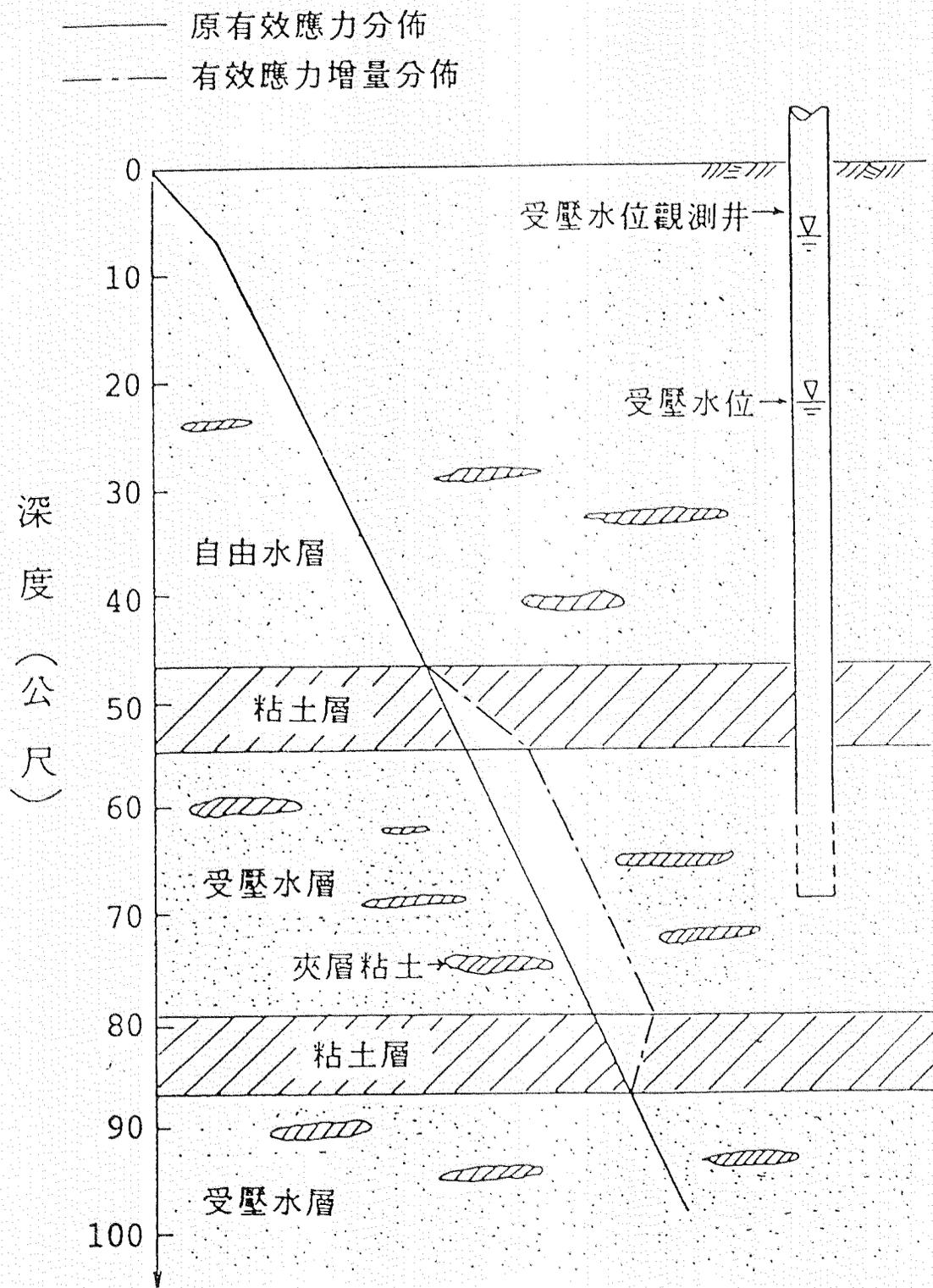


圖4-3 受壓水位下降引致之有效應力增量分佈

中亦含有大部分之夾層粘土(Interbeds)，由於含水層之水流是互通的，因此夾層粘土產生全面排水之壓密沉陷，其壓密速率較快，夾層粘土之厚度，雖然很薄，但受壓含水層中有多層夾層粘土，累積之總壓密沉陷量亦很可觀，此夾層粘土之沉陷影響部分之活性沉陷量及大部分初期之稽延沉陷。

受壓含水層上下之難透水粘土層，雖為高壓縮性之土壤，但在受壓含水層過量超抽地下水時，產生單向受壓之壓密沉陷，其總沉陷量為雙向受壓沉陷之一半而已，且其土層較厚，壓密速率極慢，對活性沉陷影響極微，為稽延沉陷之主要來源。

若地層下陷是由於自由水層超抽地下水而引起者，則其沉陷主要來源，為自由水層中砂土之立即壓縮，及自由水層中夾層粘土全面排水之壓密，與自由水層下一層難透水粘土層之單向、受壓之壓密現象。

4.3 地層下陷分析方法

地層下陷分析方法，一般可分為二種，即：(1)理論分析法(2)統計經驗法，茲分述如下：

4.3.1 理論分析法

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)土壤顆粒與水有不同壓縮度，(3)孔隙水流符合達西定律(Darcy's law)，(4)土壤之壓縮性與滲透性在受壓過程中保持不變。

依據 Terzaghi 建議，正常壓密土壤之極限沉陷量之計算，如下所示。

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

- 式中， S_u ：極限沉陷量 C_c ：壓縮指數
 e_0 ：初始孔隙比 P'_0 ：初始壓密應力
 H ：土層厚度 $\Delta\sigma'_{vo}$ ：有效應力增加量

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

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

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

- 式中， u ：孔隙水壓 C_v ：壓密係數
 t ：時間 z ：深度

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

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

式中， $U(t)$ ：平均壓密度，定義如式(3-4)

T_v ：時間因數

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

而式(3-3)中之時間因數 T_v 與時間 t 之關係如下所示：

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

式中， H_{dr} ：最長之排水路徑長

因此各土層在各壓密應力之歷時性沉陷量 $S(t)$ 如下所示：

$$S(t) = S_u \times U(t) \dots\dots\dots(4-6)$$

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：

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

式中 $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2}{\partial Z^2}$ ， S_x 、 S_y 、 S_z 分別表土壤介質在 x 、 y 、 z 方向上的位移。 $\epsilon = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz}$ 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 、 b 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 $S_x = S_y = 0$ ， $\epsilon = \frac{\partial S_z}{\partial z}$ ， $\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_y}{\partial y} = 0$ ，可將基本方程式(4-7)簡化如下：

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

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

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(4-8)解析得如下所示：

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

式中，壓密係數 $C_v = \frac{k}{\left(n\beta + \frac{1}{2\eta G} \right)}$ ， H_d 為排水路徑長，若為單向排水 $H_d = H$ ，若為雙向排水 $H_d = H/2$

4.3.2 統計經驗法

本文之統計經驗法，主要是針對超抽地下水所引致地層下陷之分析方法，茲分五種方法說明如下：

1. 下陷與時間之關係

此法假設下陷量為一時間函數，而不考慮下陷原因，乃根據原始資料所形成之自然曲線加以判斷；常用之函數有一次函數、二次函數、對數函數及指數函數等，假設 S 為下陷量， X 為時間， a, b, c ，為常數：

$$(1) \text{一次函數 } S=aX+b \dots\dots\dots(4-10)$$

$$(2) \text{二次函數 } S=aX^2+bX+c \dots\dots\dots(4-11)$$

$$(3) \text{對數函數 } S= a+ b \log X \dots\dots\dots(4-12)$$

$$(4) \text{幕次函數 } S=aX^b \dots\dots\dots(4-13)$$

此法最為簡單，但因未考慮土壤壓縮特性，最不準確。

2. 下陷與地下水位之關係

此法係假設下陷速率與地下水位變化成正比，Wadachi(1940)提出其關係式如下所示：

$$\frac{ds}{dt} = K(P_0 - P) \dots\dots\dots(4-14)$$

式中， $\frac{ds}{dt}$ 為下陷速率， P_0 為參考水位， P 為地下水位， K 為常數。之後 Yamoguchi(1969)根據上式理論，修改為下式：

$$\frac{ds}{dt} = KS \left\{ (P_0 - P)t - \frac{dp}{dt} \right\} \exp \{ -K(P_0 - P)t \} \dots\dots\dots(4-15)$$

式中， $\frac{ds}{dt}$ 為下陷速率， S 為最後下陷量， P_0 則為起始水位， P 仍為地下水

位， t 為時間， K 為常數。

3. 下陷與抽水量之關係

Yamamoto(1984)由 Niigata 天然氣之抽取中觀察指出，地層下陷與流體抽取量有相當之關係，其關係式如下：

$$S=aQ+b \dots\dots\dots(4-16)$$

或

$$S=a\sqrt{Q}+b \dots\dots\dots(4-17)$$

式中， Q 為流體抽出量， a 、 b 為常數。

4. 下陷與含水層厚度之關係

此法是假設下陷量除以水頭降($S/\Delta P$)與有效應力變化量除以受壓含水層厚度($\Delta \sigma'_{vo}/H_p$)成正比關係。

5. 下陷與粘土含量之關係

Gabrysch(1969)提出下陷量與水頭降之比值($S/\Delta P$)與受壓含水層粘土含量百分比成正比關係。

第五章 監測系統埋設安裝與量測結果分析

5.1 監測系統規劃與安裝

5.1.1 位置與深度

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朋脫土進行封層，才能量得正確水壓；本計劃則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 5-1 所示)，埋設監測儀器。

本監測井共計二孔，分別為分層沉陷觀測井深度 193M，安裝磁感式磁環 23 只，水壓計鑽探孔 207M，安裝開放式水壓計 5 只，並於管口內放置電子式水壓計，並採用自動記錄方式其儀器架構流程如圖 5-2 所示，現就其內容概述如下：

- (1) 電磁場式分層沉陷觀測井 1 孔，其深度為 193M，於主要土層層次變化之處裝設沉陷環，使量測結果可以顯示個別層次之土層沉陷變化量，沉陷觀測井裝設後將以無線電波層別沉陷儀測量沉陷環之深度變化，以求得各深度土層沉陷之變化情形，沉陷計感應環安裝深度如表 5-1 所示。
- (2) 電子式水壓計觀測井 1 孔水壓監測井共有 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 202M、142M、105M、58M、35M，而電子式水壓計則安裝於壓力水頭下 10M 處，所有電子式水壓計經由配管接至同一個自動記錄器，本觀測井採用 IC 卡自動記錄器地下水位資料每 6 小時自動記錄於 IC 卡上，取回 IC 卡後以讀卡機讀出記憶之資料。

水壓計安裝深度如表 5-2 所示。

5.1.2 儀器裝設

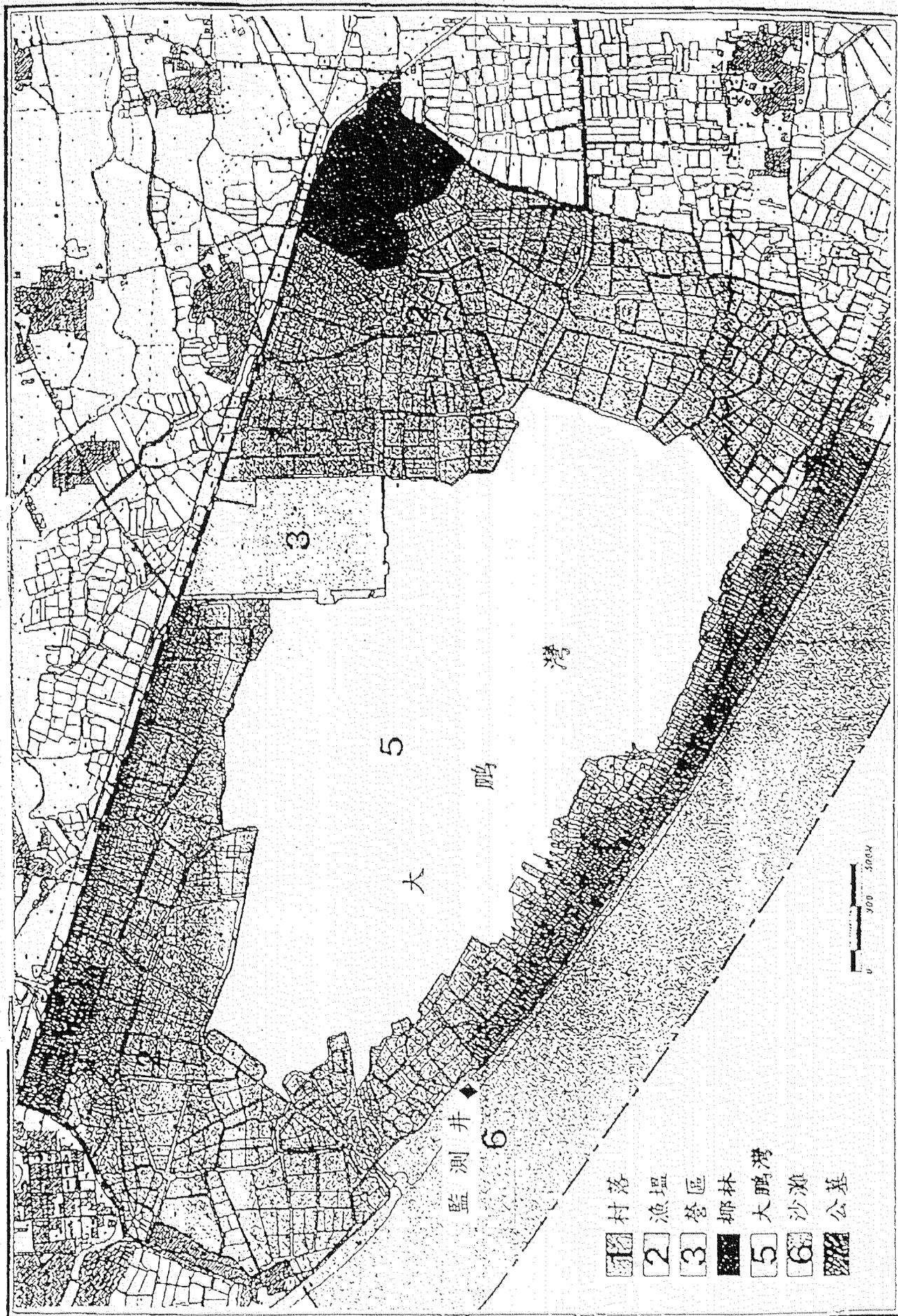


圖5-1 大鵬灣地層下陷與水壓監測井位置圖.

表 5-1 沉陷計感應環安裝深度一覽表

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

表 5-2 地下水壓觀測站水壓計埋設資料表

儀器編號	原廠編號	埋設深度	記錄器編號	初值(飽和)	較正係數	水頭高(管口)	備 考
EW	41894	13.73M	CH1	242	0.000682		電子式水壓計
	41895	13.73M	CH2	276	0.000667		電子式水壓計
	41897	15.26M	CH3	225	0.000670		電子式水壓計
	41898	14.58	CH4	105	0.000671		電子式水壓計
	41896	17.85M	CH5	245	0.000672		電子式水壓計
		35M				3.73M	開放式水壓計
		58M				3.73M	開放式水壓計
		105M				5.26M	開放式水壓計
		142M				4.58M	開放式水壓計
		202M				7.85M	開放式水壓計

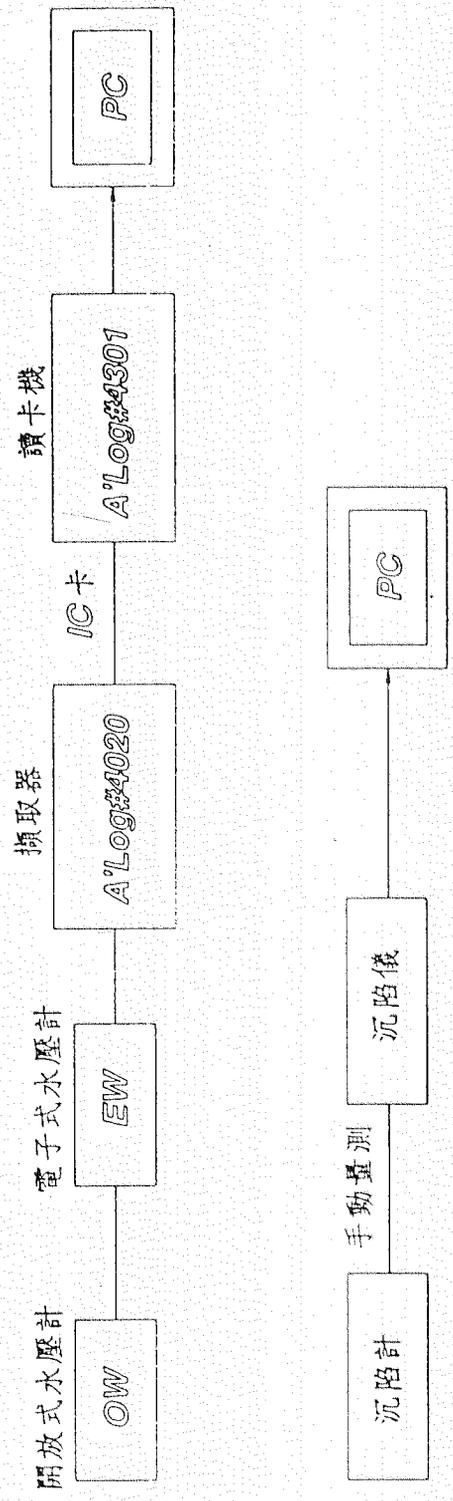


圖5-2 系統儀器架構流程圖.

1. 電子式水壓計

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

- (1) 因本地區位於海濱附近之鑽孔深度為 207M，因此施鑽時先採用朋脫土保護孔壁以防崩孔，待鑽探至預定深度後再以清水置換，直到迴水無朋脫土成份，再開始安裝儀器。
- (2) 水壓計於地面上先行接線，並於電纜線上註明安裝深度位置，於接線位置確實做好防水措施。將水壓計浸水飽和後，記錄初始值。
- (3) 待鑽探完成後將預先準備好水壓計，放入孔內，並量測其水壓值是否合理再開始回填水洗石，並用 6 分 PVC 管搗實工作及量測其回填深度，待回填至欲灌漿(封層)位置，利用 PVC 管將水泥及朋脫土混合液以灌漿機打入預定位置，然後再回填七厘石。
- (4) 第二組及第三組水壓計皆重覆(2)、(3)步驟，直到回填至表面為止，再將電纜線連線至觀測箱內，其安裝示意圖如圖 5-3 所示。

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 10M 處，再將電纜線連線至觀測箱內便完成，其安裝示意圖如圖 5-4 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) 鑿井到達預定深度約 200M 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。

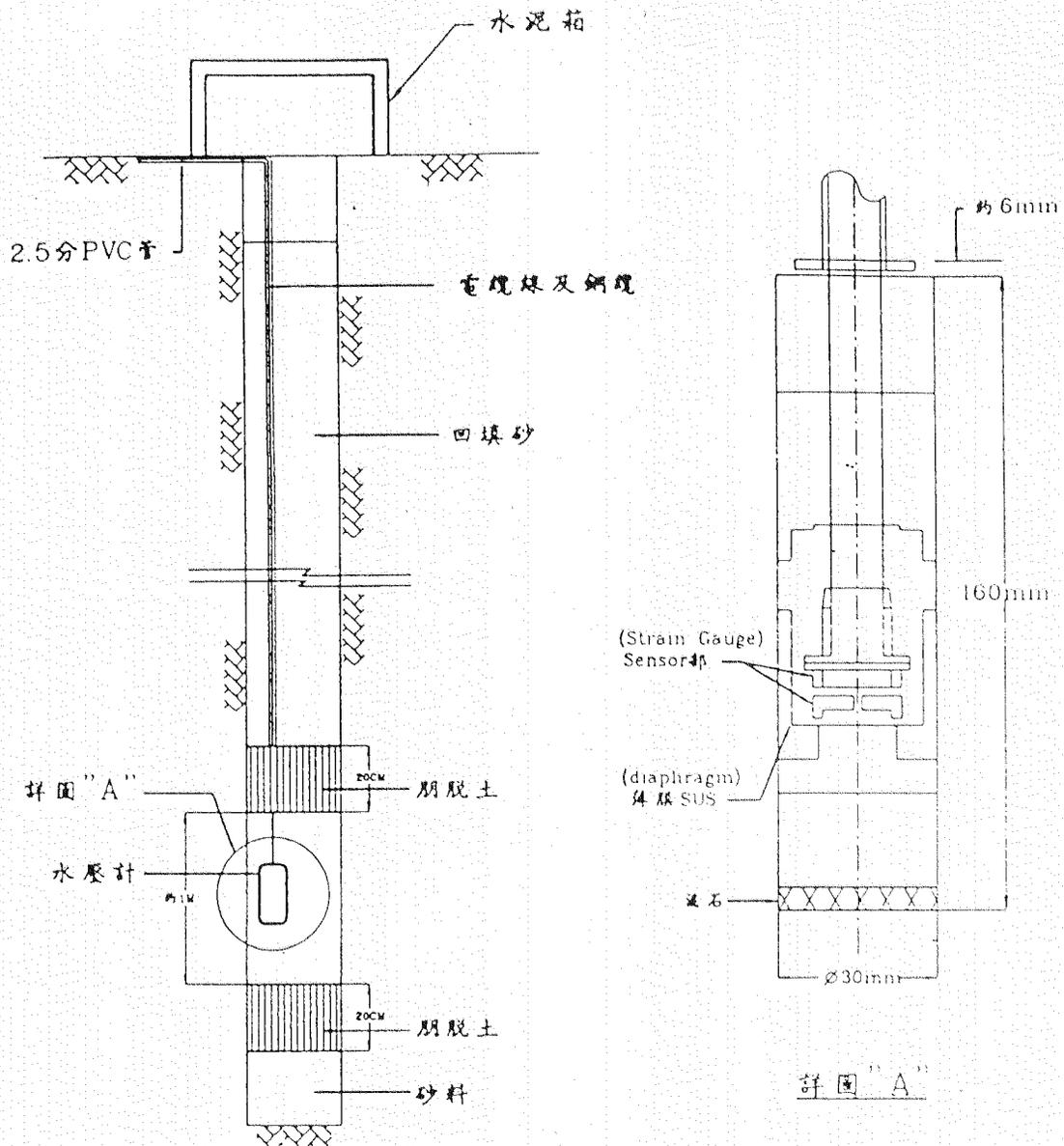


圖5-3 電子式地下水壓計安裝示意圖

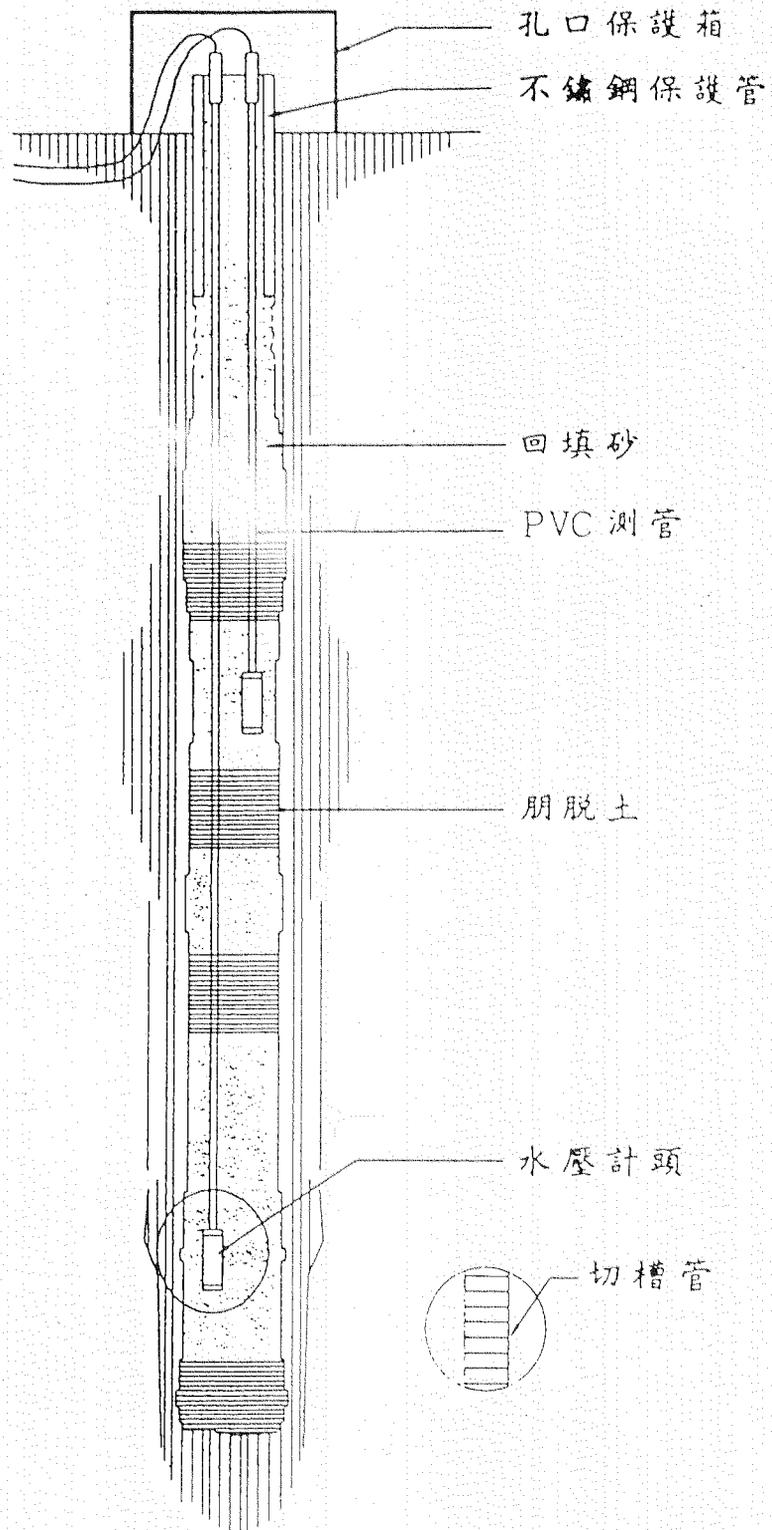


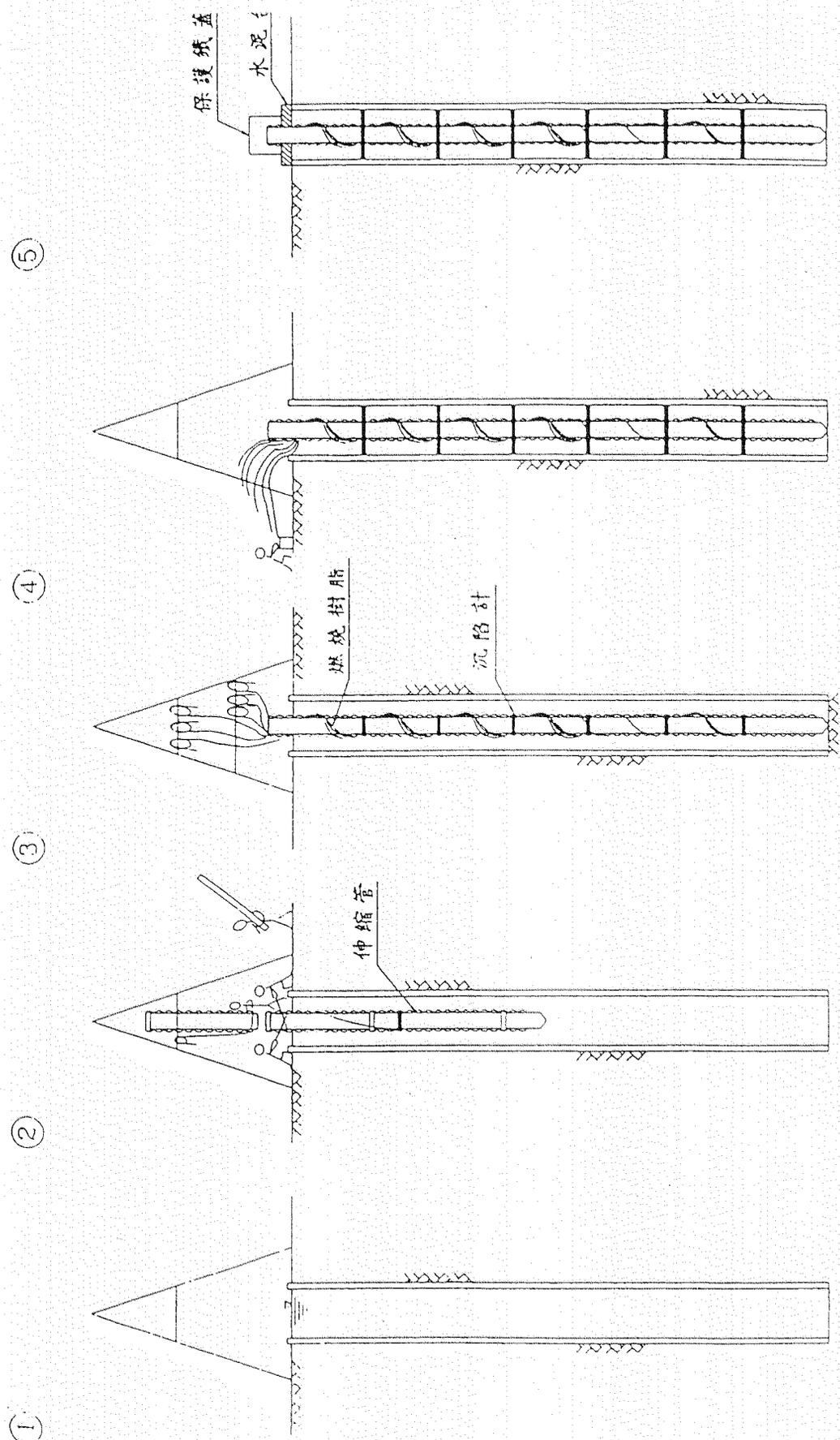
圖5-4 開口式水壓計安裝示意圖

- (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 5-5、5-6 所示。

5.2 監測井地質分析

大鵬灣監測站在深度 207 公尺之土層，根據現場鑿井取樣及土壤之物理特性分析如圖 5-7、附錄 A、B 所示，約可概分為 16 個次層，分別簡述如下：

1. 砂土層(SW~SM)：分佈在地表下 0~-23m 處，為灰色砂土層。
2. 粘土層(CL)：分佈在地表下-23m~-28m 處，厚約 5 公尺之灰色粘土層。
3. 砂土層(SW~SM)：分佈在地表下-28m~-48m 處，厚約 20 公尺之灰色砂土層。
4. 粘土層(CL)：分佈在地表下-48m~-52m 處，厚約 4 公尺之灰色粘土層。
5. 砂土層(SW~SM)：分佈在地表下-52m~-60m 處，厚約 8 公尺之灰色砂土層。
6. 粘土層(CL)：分佈於地表下-60m~-101m 處，而-88m~-90m 深度位置夾有一層約 2 公尺厚之砂土層(SW~SM)。
7. 砂土層(SW~SM)：分佈於地表下-101m~-106m 處，厚約 5 公尺之灰色砂土層。



鑿井完成圖 沉陷計下管圖 沉陷計下管完成圖 沉陷計安裝卡打閉圖 儀器安裝完成圖

圖5-5 沉陷計安裝示意圖

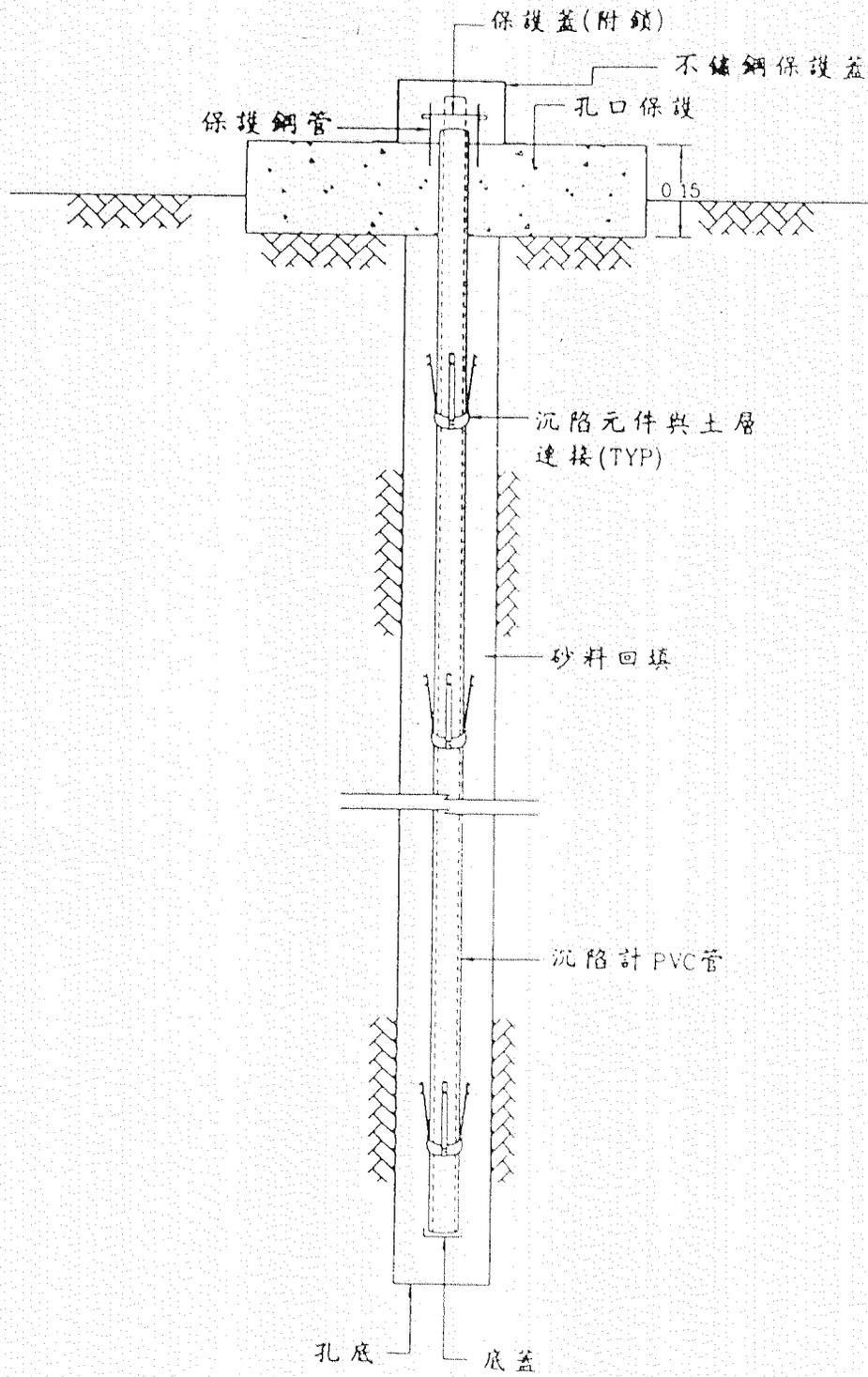


圖5-6 磁感式層別沉陷計安裝示意圖

地層柱狀圖

分層沉陷計

水壓量測計

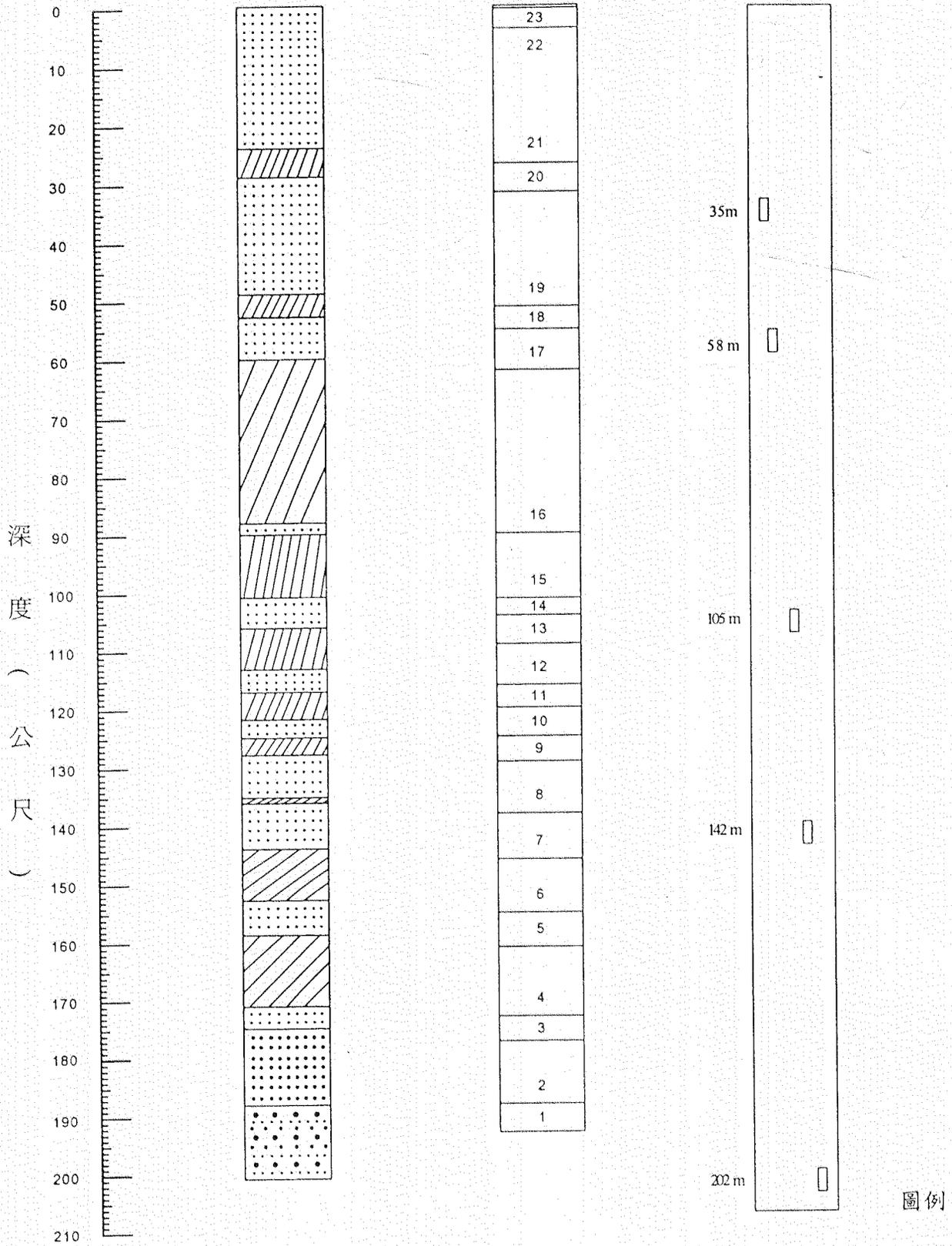


圖5-7 大鵬灣分層沉陷及水壓量測觀測站地層柱狀圖

- 8.粘土層(CL)：分佈於地表下-106m~-113m 深度，厚達 7 公尺之灰色粘土層。
- 9.砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-113m~-117m 深，厚約 4 公尺之灰色砂土層。
- 10.粘土層(CL)：分佈於地表下-117m~-128m 深處，為一層低塑性灰色粘土層，其中-122m~-125m 深處夾有一層厚約 3 公尺之沉泥質砂土層(SM)。
- 11.砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-128m~-144m 深為一層灰色砂土層，其中-134m~-136m 深夾有厚約 2 公尺之低塑性粘土層(CL)。
- 12.粘土層(CL)：分佈於地表下-144m~-153m 深處，比重為 2.72，厚約 9 公尺之灰色低塑性粘土。
- 13.砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-153m~-159m 深，厚為 6 公尺之灰色砂土層。
- 14.粘土層(CL)：分佈於地表下-159m~-171m 深，為一層厚達 12 公尺之灰色粘土層。
- 15.砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-171m~-188m 深，厚約 17 公尺之砂土層，而自-175m 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。
- 16.卵礫石層(GP)：分佈於地表下-188m 至-201m 深度為止，皆是卵礫石層。

5.3 監測結果分析

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，茲分別說明其量測結果及其相關性。

5.3.1 雨量

大鵬灣地區之雨量，根據中央氣象局潮洲及東港氣象站記錄所示，自民國 87 年元月到 89 年 5 月之降雨量紀錄，月降雨量分佈約集中在 6、7、8 三個月(如

表5-3a 中央氣象局潮洲氣象站月降雨量表(單位：mm)

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
87年	27.0	78.5	84.0	183.0	152.0	1018.5	167.5	321.0	112.0	286.0	5.0	33.0	2467.5
88年	7.0	-	-	65.0	230.0	453.0	693.0	752.0	261.0	185.0	32.5	34.5	2713.0
89年	1.5	34.5	13.5	50.0	188.5	282.5	859.0	634.5	107.0				
平均	11.8	56.5	48.8	99.3	190.2	584.7	573.2	569.2	160.0	235.5	18.8	33.8	

資料日期：87年1月-89年9月

資料來源：中央氣象局

表5-3b 中央氣象局東港農業氣象站月降雨量表(單位：mm)

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
87年			15.0	236.0	54.5	573.5	63.0	64.0	143.0	230.5	4.0	41.0	1424.5
88年	7.5		1.0	52.5	206.0	573.5	570.0	561.5	277.0	154.0	2.0	42.5	2447.5
89年	3.0	37.0	14.5	51.5	65.0	118.5	457.5	416.5	33.0	246.0			
平均	5.3	37.0	10.2	113.3	108.5	421.8	363.5	347.3	151.0	210.2	3.0	41.8	

資料日期：87年1月-89年10月

資料來源：中央氣象局

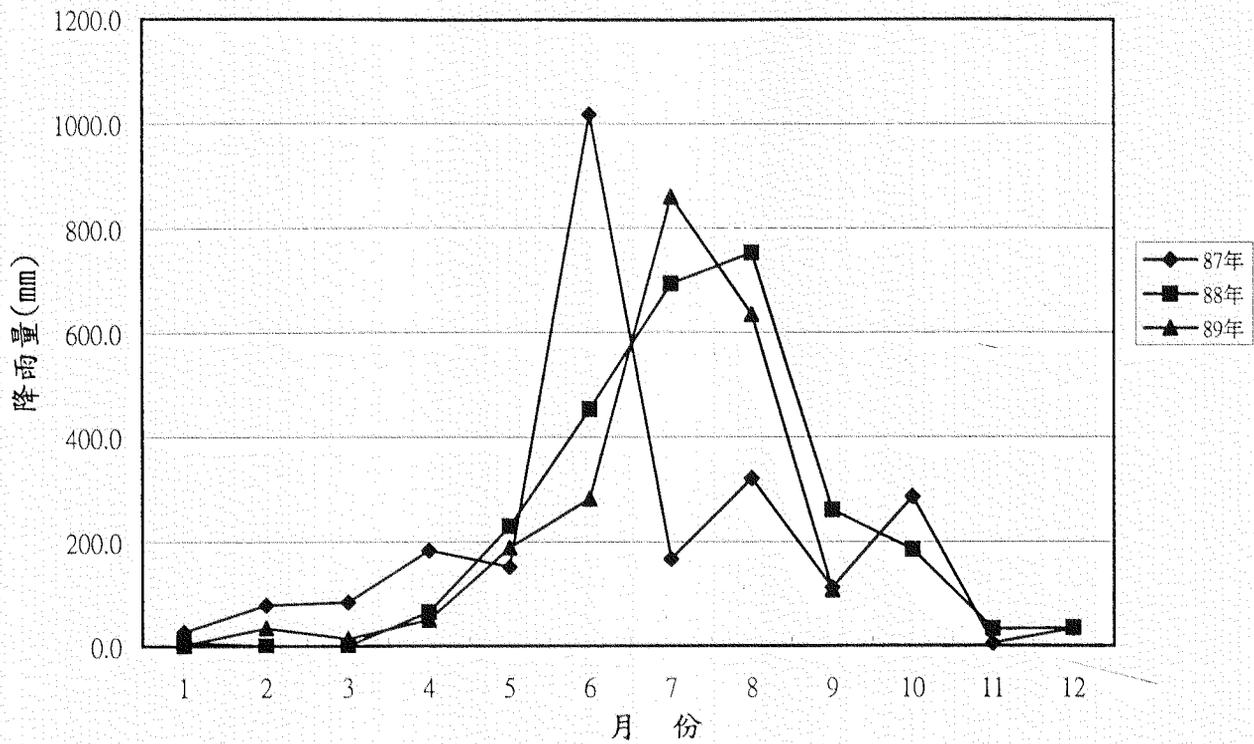


圖5-8a 潮州氣象站月降雨量圖

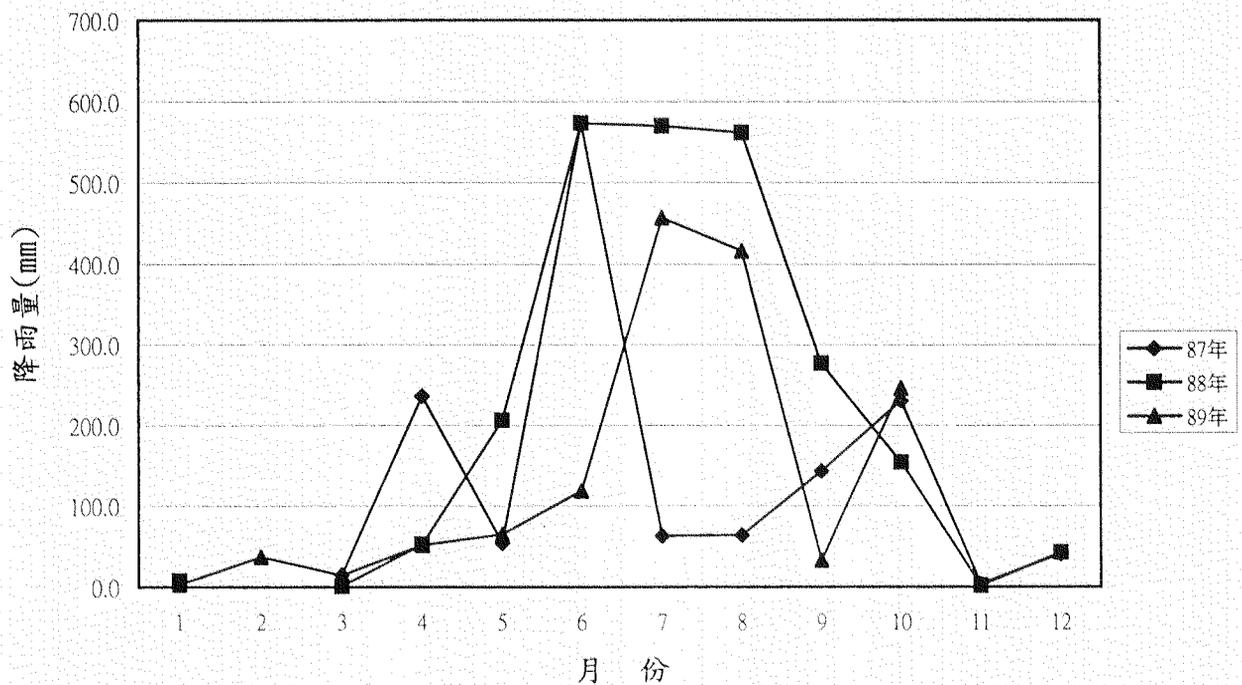


圖5-8b 東港農業氣象站月降雨量圖

表 5-3、圖 5-8 所示)，夏秋季雨量豐沛，而冬季較少降雨，87 年雨量分佈集中在 6 月。而 88 年的雨量呈山形分佈，自 5 月漸增，8 月達尖峰，隨後漸降。今年(89 年)自 5 月起，雨量也逐漸增加，至 7 月、8 月為高峰，9 月即驟降。每年雨量均集中在夏季，旱季和雨季有很明確的劃分。

5.3.2 地下水位分析

本中心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 35m、58m、105m、142m、202m，自 87 年 3 月 15 日開始以自動量測系統量測，每 6 小時擷取一次水壓資料，但其中 87 年 9 月中旬至 11 月中旬、88 年 6 月下旬至 9 月中旬以及 89 年 7 月至 8 月初，因水壓自動量測儀故障，而缺乏資料，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 5-9 所示)，由於水位井為開放式，亦可以手動定期量測，手動量測自 87 年 3 月開始量測，每月量測一次。其量測結果如圖 5-10 所示。

由圖 5-9 顯示：地表下 35m 處所埋設之水壓計，量得之水位變化介於 -3m~-4m 之間，震盪幅度不大，僅在 88 年 3 到 5 月間水位曾降至 -3.8m 左右，而 88 年 9 月以後，水位保持在 -3.0m~-3.5m 之間，89 年 8 月迄今，水位約在 -3.0m 處震盪。而地表下 58m 處之水位變化，大致與 35m 處水位相似，在 88 年 3 月後，水位稍降，低到 -4m 以下，9 月後回升至 -3.5m 處震盪，89 年 8 月迄今，水位約在 -3.0m~-3.5m 之間震盪，與 35m 處之壓力保持約 -0.3m 之壓差。

依據地調所的水文地質剖面圖(圖 2-6)，大鵬灣附近的崎峰、大潭段，在地表下 50m 處有一低透水層(T1 層)，上部為透水層一(F1 層)，下部為透水層二(F2 層)。本分層觀測站地層柱狀圖(圖 5-7)在 50m 處亦有一粘土層，研判該層應為 T1 層。上述二水壓計則分屬透水層一及透水層二，此二水壓計有些微壓力差，但水壓變化非常相像，且水壓歷時線震盪幅度極小。尤其 88 年 9 月後，58m 之水壓已恢復到 87 年底之水位，而 35m 之水壓較一年前約提升 0.5m 之壓差，而這兩層 89 年 8 月到 10 月的水壓，也較 89 年前半年約提升 0.2m 之壓差，推測透水層一之地下水抽用量已驟減且已獲較充足的補注量。

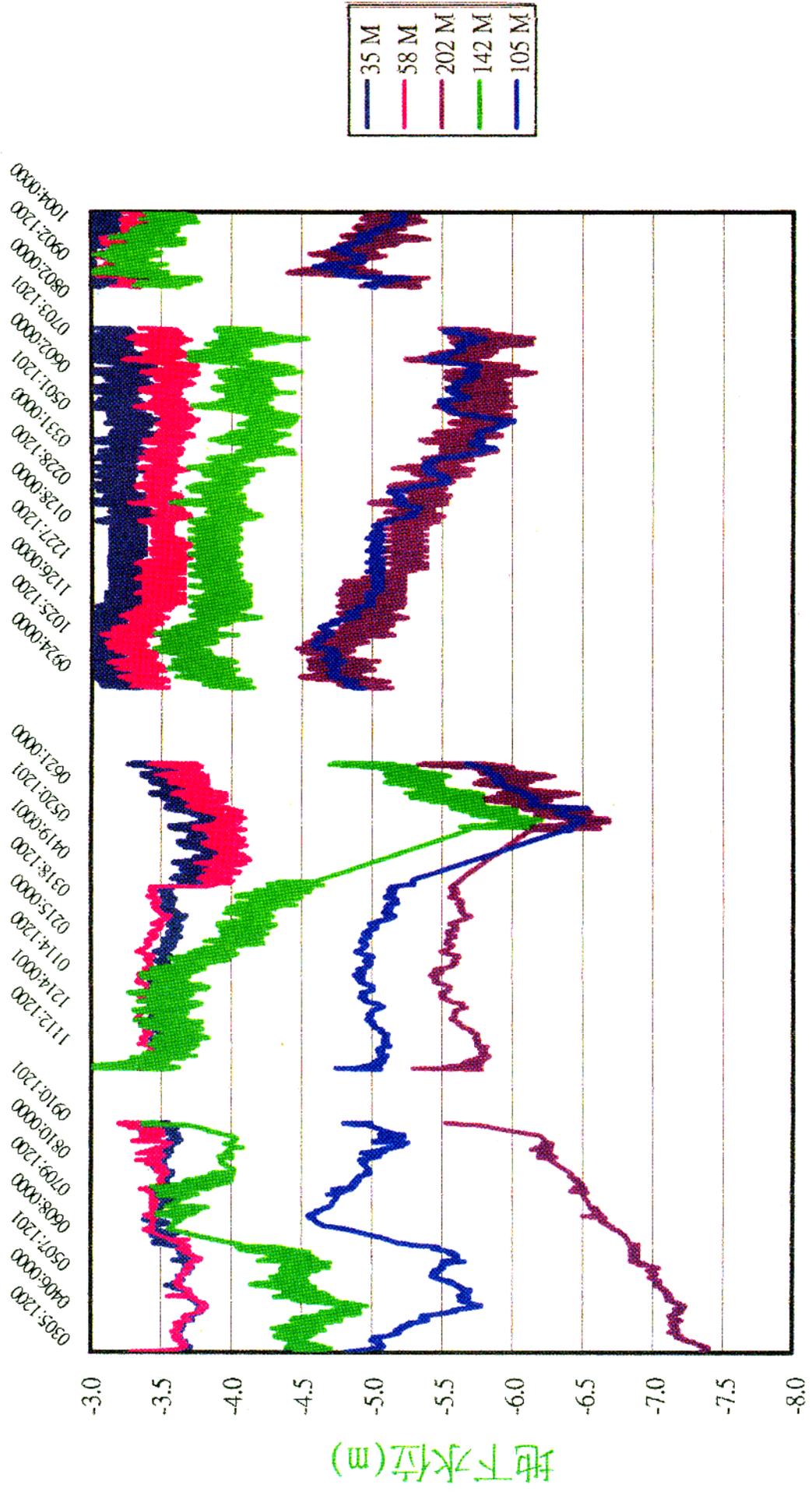
另地表下 105m 及 142m 之水壓計，依地調所水文地質圖及本測站柱狀圖

- (1) 透水層一與透水層二之水位變化較小，近一年來水位皆較以往為高，且水位變化趨於平緩，較無超抽地下水現象。
- (2) 透水層三之一曾在 88 年 3~5 月間水位忽然下降，表示有大量抽用地下水的現象，88 年 9 月後 142m 之水位變化趨於平緩，而 89 年 3~5 月間，水位僅有微幅下降，未見 87 年及 88 年同一時段大幅洩降的情形。89 年 8 月後水位又提升約 0.5m，隨後微幅震盪下降，近一年來地下水抽用及補注情形已大有改善。但 105m 處之水位由 88 年底到 89 年 4 月仍有 1.5m 的下降量，89 年 8 月雖回復到 -4.6m 處，隨後仍震盪下降。可見透水層三之一仍有抽用地下水，142m 的大含水層抽用及補注尚可平衡，但 105m 處為小含水分層，仍有超量使用之現象。
- (3) 透水層三之二在 87 年 3 月前應有一極大的抽用量，而在 88 年 3 到 5 月間，透水層三之二與透水層三之一同時均有超量抽用現象，目前三之二層的水位變化，與 105m 處的水位變化極為相似，仍有超量使用現象。
- (4) 大鵬灣地區的地下水使用情形，淺層（100m 以上）目前之抽用及補注已較為平衡，但深層（100m 以下）仍有超量抽用的現象。該區地下水使用情形，有往深層鑿井抽用的趨勢。

5.3.3 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 200m 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、189m 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，資料值由鈹鋼尺上之刻度讀取，其最小刻度為公厘。

圖 5-11 為至民國 89 年 10 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，因為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 5-11 可發現較深之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 26m、31m 及 51m 之深度。



日期(87/3/5--89/10/17)

圖5-9 大鵬灣分層水位變化(自記式)

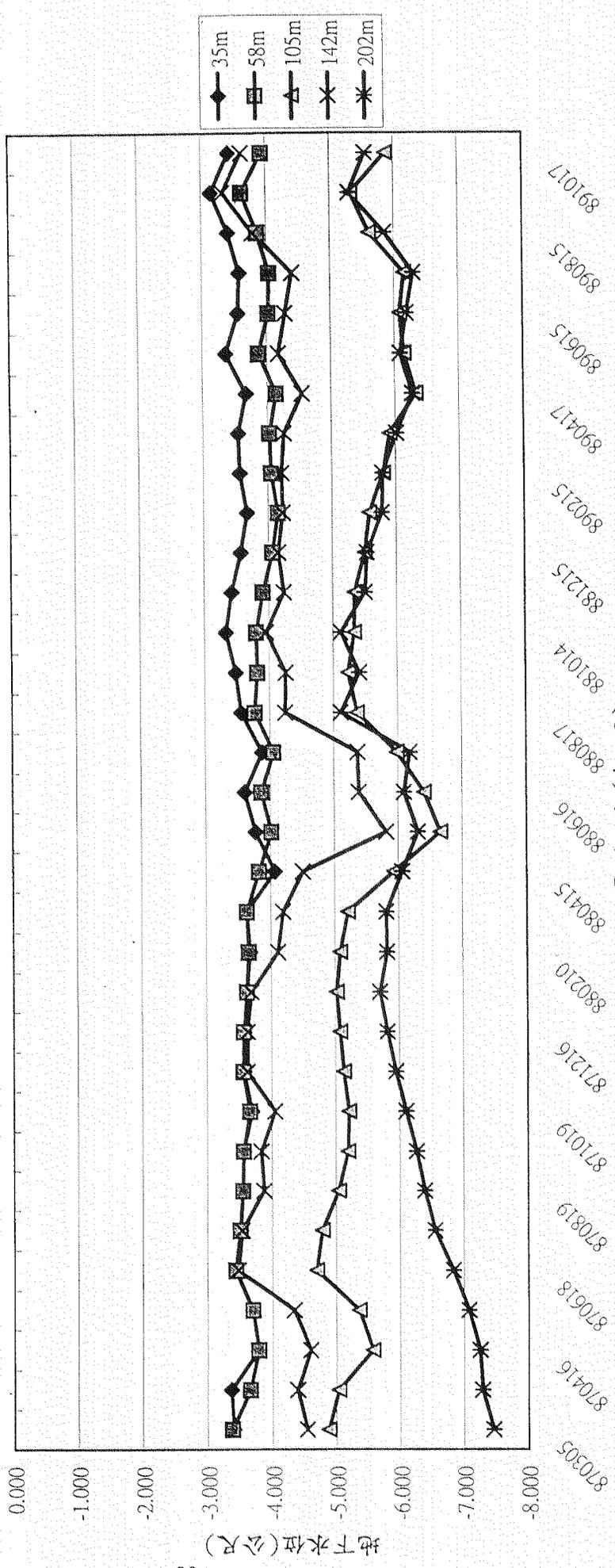
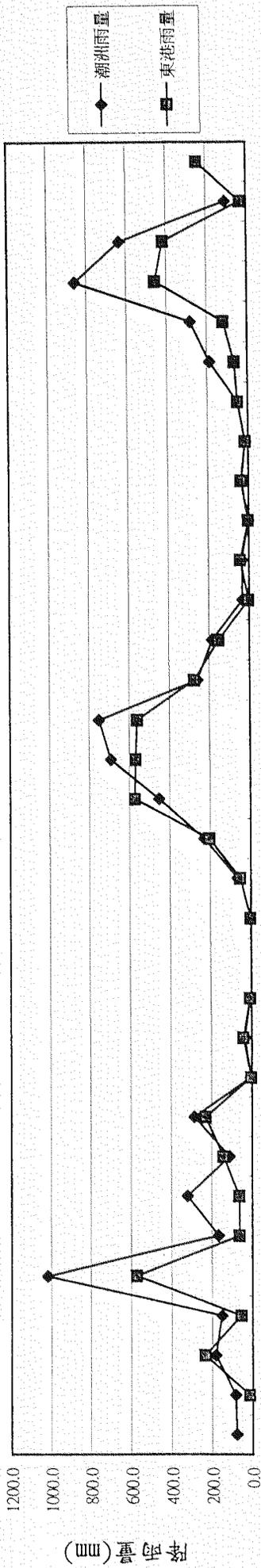


圖5-10 大鵬灣分層水位變化(手動量測)與潮州氣象站月降雨量對照圖

研判，142m 處屬透水層三之一（F3-1 層），而 105m 之水壓計，因其下有三層中至薄的粘土層，較難研判它是屬於透水層二或透水層三之一。從水位變化圖（圖 5-9）察看，105m 與 142m 的水位起伏變化接近同步，很可能都屬同一水層（即透水層三之一），但 105m 處因有較多的粘土層阻隔，水量補注較為困難，導致該處水壓反而較低，此層應可視為透水層三之一的一個小分層，而 142m 處的水壓變化，也較能代表透水層三之一的抽用及補注情況。

地表下 142m 的水位震盪，雖與 105m 接近同步，但 142m 的水位震盪幅度較大，可見其抽取量與補注量也大於 105m 處之地層。圖 5-9 水位變化線的洩降段，也就是抽用水量尖峰時段。由圖觀之，透水層三之一在民國 87 年 3 到 5 月及 88 年 3 到 5 月，有兩次抽用極大水量。142m 處的水壓，最大洩降段為由 87 年 11 月的 -3.0m 降至 88 年 5 月的 -6.2m，於 88 年 10 月回升至 -3.5m，此後水壓變化趨於和緩，約在 -4m 水壓處震盪，89 年 8 月至 10 月，水壓又攀升至 -3.5m 處震盪，可見該層這一年來地下水抽用量及補注量較趨均衡，目前又有更舒緩的驅趨勢。

地表下 105m 處的水壓最大洩降段為由 87 年 11 月的 -4.7m 降至 88 年 5 月的 -6.5m，而 88 年 10 月回升至 -4.7m，但 89 年 4 月又降至 -6.0m，而 89 年 8 月又向上回升，目前在 -5m 水壓處震盪，可見該處地下水的抽用量常大於補注量。

地表下 202m 處的水壓計，依水文地質研判，該處屬屏東平原透水層三之二（F3-2 層），水壓變化情形與上述各層不同，87 年 3 月的水位 -7.4m，為本監測系統埋設以來的最低水位值，推測在此之前該層有一極大之抽用量。此後水位逐漸上升，至年底趨於平緩，而 88 年 3 月水位又從 -5.8m 洩降至 88 年 5 月的 -6.7m，至 10 月又回升到 -4.6m，而 89 年 4 月又洩降至 -6.0m，89 年 8 月又回升到 -4.6m，目前在 -5m 水壓處震盪。

綜合本測站各地層之地下水位變化資料，與中央地質調查所屏東平原地下水文地質分層資料。本測站地表下 35m 深之水位屬於透水層一（F1）之水位，58m 水位屬於透水層二（F2）之水位，105m、142m 之水位屬於透水層三之一（F3-1）之水位，但 105m 應屬該透水層內之一小分層。而 202m 水位屬於透水層三之二（F3-2）之水位。由水位變化現象顯示：

研判，142m 處屬透水層三之一（F3-1 層），而 105m 之水壓計，因其下有三層中至薄的粘土層，較難研判它是屬於透水層二或透水層三之一。從水位變化圖（圖 5-9）察看，105m 與 142m 的水位起伏變化接近同步，很可能都屬同一水層（即透水層三之一），但 105m 處因有較多的粘土層阻隔，水量補注較為困難，導致該處水壓反而較低，此層應可視為透水層三之一的一個小分層，而 142m 處的水壓變化，也較能代表透水層三之一的抽用及補注情況。

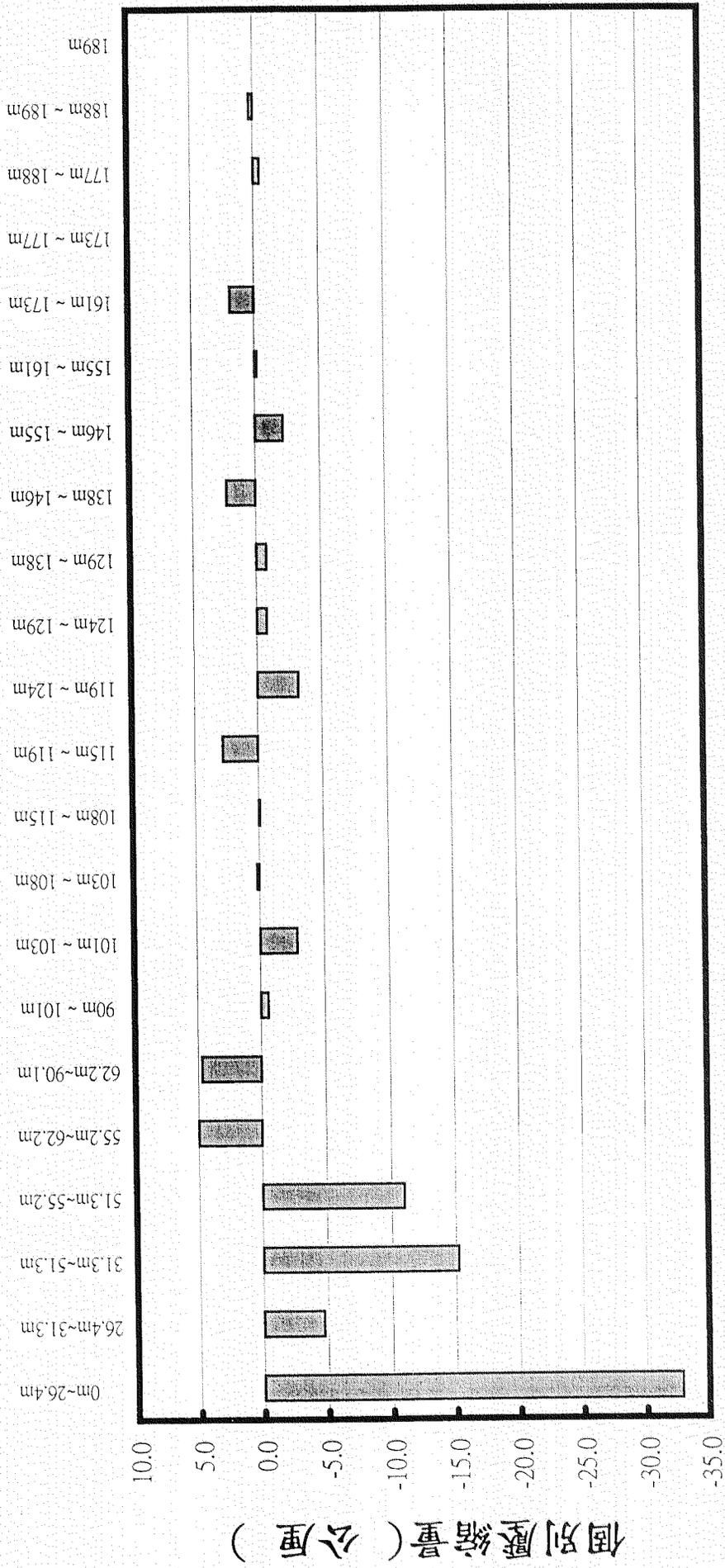
地表下 142m 的水位震盪，雖與 105m 接近同步，但 142m 的水位震盪幅度較大，可見其抽取量與補注量也大於 105m 處之地層。圖 5-9 水位變化線的洩降段，也就是抽用水量尖峰時段。由圖觀之，透水層三之一在民國 87 年 3 到 5 月及 88 年 3 到 5 月，有兩次抽用極大水量。142m 處的水壓，最大洩降段為由 87 年 11 月的 -3.0m 降至 88 年 5 月的 -6.2m，於 88 年 10 月回升至 -3.5m，此後水壓變化趨於和緩，約在 -4m 水壓處震盪，89 年 8 月至 10 月，水壓又攀升至 -3.5m 處震盪，可見該層這一年來地下水抽用量及補注量較趨均衡，目前又有更舒緩的驅趨勢。

地表下 105m 處的水壓最大洩降段為由 87 年 11 月的 -4.7m 降至 88 年 5 月的 -6.5m，而 88 年 10 月回升至 -4.7m，但 89 年 4 月又降至 -6.0m，而 89 年 8 月又向上回升，目前在 -5m 水壓處震盪，可見該處地下水的抽用量常大於補注量。

地表下 202m 處的水壓計，依水文地質研判，該處屬屏東平原透水層三之二（F3-2 層），水壓變化情形與上述各層不同，87 年 3 月的水位 -7.4m，為本監測系統埋設以來的最低水位值，推測在此之前該層有一極大之抽用量。此後水位逐漸上升，至年底趨於平緩，而 88 年 3 月水位又從 -5.8m 洩降至 88 年 5 月的 -6.7m，至 10 月又回升到 -4.6m，而 89 年 4 月又洩降至 -6.0m，89 年 8 月又回升到 -4.6m，目前在 -5m 水壓處震盪。

綜合本測站各地層之地下水位變化資料，與中央地質調查所屏東平原地下水文地質分層資料。本測站地表下 35m 深之水位屬於透水層一（F1）之水位，58m 水位屬於透水層二（F2）之水位，105m、142m 之水位屬於透水層三之一（F3-1）之水位，但 105m 應屬該透水層內之一小分層。而 202m 水位屬於透水層三之二（F3-2）之水位。由水位變化現象顯示：

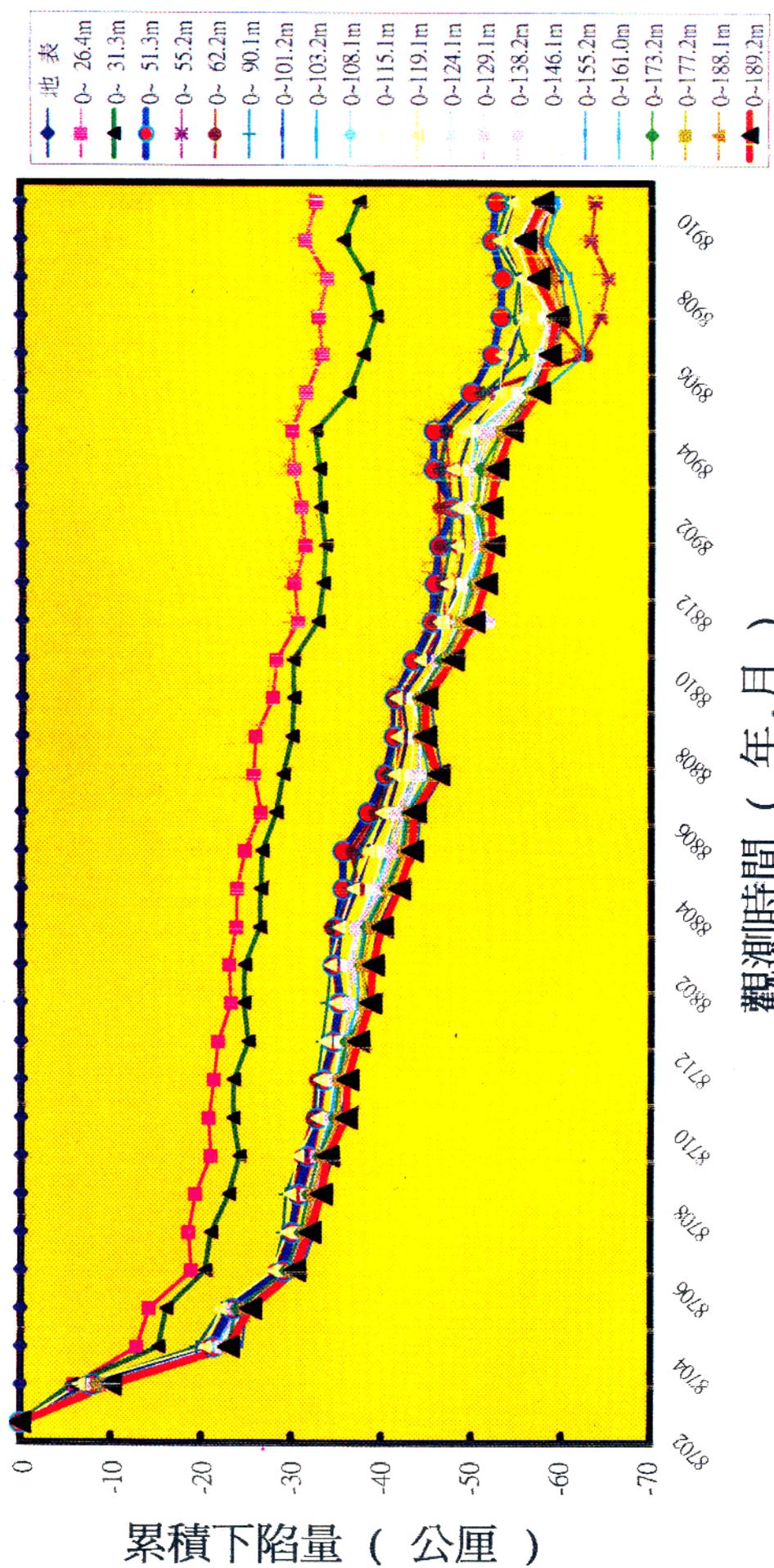
大鵬灣地層個別壓縮量圖



地層深度 (公尺)

圖5-11 大鵬灣分層個別下陷量圖。

大鵬灣地層分層下陷觀測圖



觀測時間（年，月）

圖5-12 大鵬灣地層分層下陷圖

圖 5-12 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 5-12 顯示，從 87 年 3 月至 89 年 10 月之 31 個月期間，大鵬灣地表至 189m 間之沉陷總量為 57.9 公厘，而其中地表至 51.3m 之沉陷量為 52.8mm，佔總沉陷量之 91%，由此資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

5.3.4 相關性分析

綜合上述水文地質、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，91%之沉陷發生於地表至 51.3m 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 0m~-60m 之間，皆大部分為含水量豐富之砂土層，僅於-24m~-29m 及-49m~-53m 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-60m~-128m 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-101m~-106m，-113m~-117m 及-122m~-125m 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-171m 以下為顆粒愈來愈粗之砂土及卵礫石層，此深層土層含水量豐沛，壓縮量小，故沉陷量亦很少。

本監測系統於 87 年 2 月安裝完成後，監測第一年(87 年 2 月至 88 年 2 月)所得之沉陷量為 3.9 公分，監測第二年(88 年 2 月至 89 年 2 月)所得之沉陷量為 1.3 公分，兩年之沉陷量比值為 3 倍，而 87 年 2 月至 87 年 8 月之半年間，監測所得之沉陷量就有 3.3 公分。沉陷量集中在 87 年初，推測可能在本監測系統安裝之前，本地區附近已有大量超抽地下水之行為，且可能以淺層抽水為主。

雖然深層水位之震盪幅度，遠大於淺層水位，但分層下陷觀測結果，卻發現沉陷壓縮量主要發生在表層(深度 51.3m 以上之土層)，佔總沉陷量的 91%。推測原因可能有：

- (1)深層土壤較密實，而淺層土層較鬆軟。
- (2)在埋設觀測站時，表層土壤所受的攪動較大。
- (3)表層在觀測站埋設之前，已有大量超抽行為發生。

表 5-4 大鵬灣地層各層次之沉陷特性參數

層次	土壤分類	土層深度 (m)	厚度 (m)	壓縮係數 $Cc\varepsilon=Cc/(1+e_0)$	壓密係數 C_v m ² /year
1	SM-SC	0~23	23	0.035	30
2	CL	23~28	5	0.15	8
3	SW-SM	28~48	20	0.028	30
4	CL	48~52	4	0.12	10
5	SW-SM	52~60	8	0.028	30
6	CL	60~88	28	0.13	10
7	SW-SM	88~90	2	0.028	30
8	CL	90~101	11	0.12	10
9	SW-SM	101~106	5	0.028	30
10	CL	106~113	7	0.15	8
11	SW-SP	113~117	4	0.025	40
12	CL	117~122	5	0.1	12
13	SM	122~125	3	0.028	30
14	CL	125~128	3	0.12	10
15	SW-SP	128~134	6	0.025	40
16	CL	134~136	2	0.12	10
17	SW-SP	136~144	8	0.025	40
18	CL	144~153	9	0.1	12
19	SW-SP	153~159	6	0.025	40
20	CL	159~171	12	0.1	12
21	SW-SP	171~188	17	0.01	50
22	GP	188~201	13	0.002	100

(4)因開發青洲濱海遊憩區，大量填土所產生之覆土應力集中在表層，致表層壓縮大增。

(5)監測井距海岸線極近，地下水位會受海水水位影響，因此個別土層之壓縮!行無法與此處水位變化情形一致。

另對照雨量分佈（如表 5-3 及圖 5-8 所示）與水位變化資料（如圖 5-9 及圖 5-10 所示）。顯示地下水位的升降變化，與降雨量的多寡，並無明顯的正相關，可見該地區地下水的抽用並不因旱季而大增，也不受降雨補注兒有明顯舒緩。

5.4 大鵬灣下陷潛能分析

在地層下陷潛能之分析中，對地層中之透水層、不透水層及各地層之土壤分類、深度、厚度、沉陷特性之瞭解極為重要，由圖 5-7 之地質柱狀圖，我們將大鵬灣 201m 深之地層分成 22 層，如表 5-4 所示，其各個層次土層之沉陷特性參數 C_{α} 值、 C_v 值，說明如下：其中影響沉陷量之壓縮係數 C_{α} 值 ($C_{\alpha} = c_c / (1 + e_0)$) 參考表 5-5⁽²⁾ 及附錄 A 大鵬灣之物理特性試驗結果，大鵬灣土壤之壓縮係數 C_{α} 值，大致上介於表 5-5 之中間值，即純淨砂(SP)之 C_{α} 值為 0.025，沉泥質砂(SM)之 C_{α} 值為 0.028，粘土(CL)之 C_{α} 值為 0.1-0.15。而影響沉陷速率之壓密係數 C_v 值，亦隨各種土壤而有所區別，經由同為港灣地區之布袋港部份壓密試驗及沉陷資料的反算分析⁽¹¹⁾ 結果:粘土(CL)之 C_v 值約為 4~12 $m^2/year$ ，沉泥(ML)之 C_v 值約為 12~20 $m^2/year$ ，沉泥質砂(SM)之 C_v 值約為 25~40 $m^2/year$ ，淨砂(SP)之 C_v 值約為 30~60 $m^2/year$ ，各土層之土壤分類、深度、厚度、 C_{α} 值、 C_v 值亦如表 5-4 所示。

為了瞭解本地區地下水位變化引致之下陷潛能，本文以 Terzaghi(1943)⁽³⁶⁾ 壓密理論，探討各含水層抽水，水位下降 1m、5m、10m、15m、20m，可能引起沉陷之下陷潛能。為了分析下陷潛能,我們將大鵬灣之含水層簡單分為二層，即第一層(0~100m)及 第二層(100~200m),各含水層下陷潛能分析結果如圖 5-13~5-15 所示。分別討論如下：

由圖 5-13 顯示：第一層(0~100m)水位下降，3 年(36 個月)後可能之沉陷

量分別為，水位下降 1m 沉陷 6cm，水位下降 5m 沉陷 29cm，水位下降 10m 沉陷 54cm，水位下降 15m 沉陷 75cm，水位下降 20m 沉陷 95cm，由此可知水位下降愈大，沉陷亦愈大，但並非成比例放大，亦即水位下降 20m 之沉陷量並非 2 倍於水位下降 10m 之沉陷量。

由圖 5-14 顯示：第二層(100~200m) 水位下降，3 年(36 個月)後可能之沉陷量分別為，水位下降 1m 沉陷 2cm，水位下降 5m 沉陷 11cm，水位下降 10m 沉陷 21cm，水位下降 15m 沉陷 31cm，水位下降 20m 沉陷 41cm，水位下降愈大，沉陷亦愈大，亦非成比例放大。

為了比較各層水位下降之下陷潛能，我們將各層水位下降皆為 10m 時，各層之沉陷曲線放置在圖 5-15，由圖 5-15 顯示，同樣之水位下降量，第一層之沉陷量最大，第二層之沉陷量較小，此乃由於初始有效應力不同所致。在相同之土層及水位下降量之情形下，初始有效應力愈大，其沉陷量愈小。由於上述二層之土壤雖有不同，但非常相似，且厚度相差不多，但地層深度愈深，其初始有效應力愈大，因此地層較深之第二層在同水位下降量下，沉陷量較小。

表 5-5 各種土壤之壓縮係數 C_{α} 值(李似椿,1989)

土壤分類	C_{α} 值範圍
砂	0.005~0.05
粉土	0.05~0.1
粘土	0.1~0.3
泥炭土	0.2~0.8

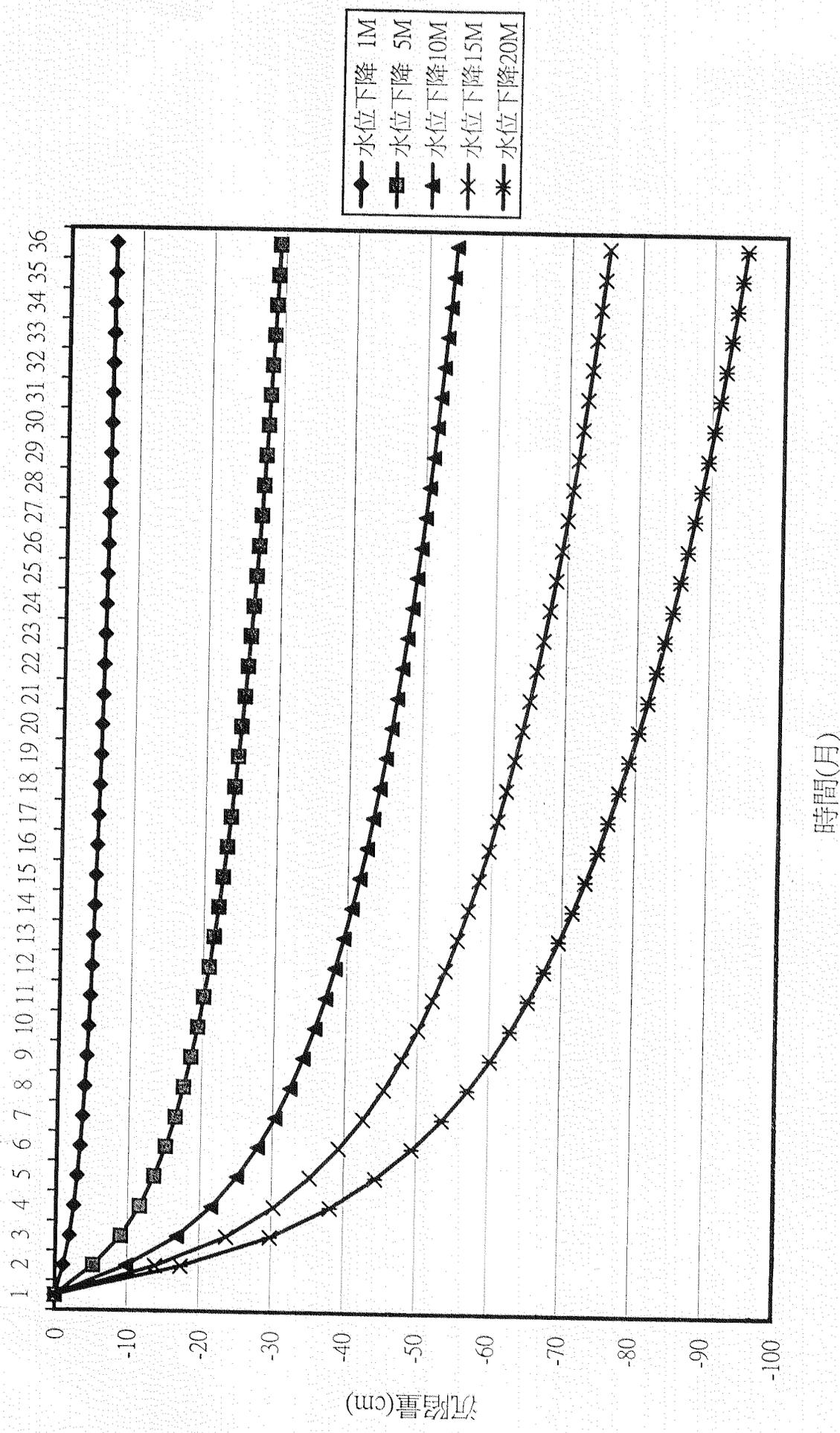
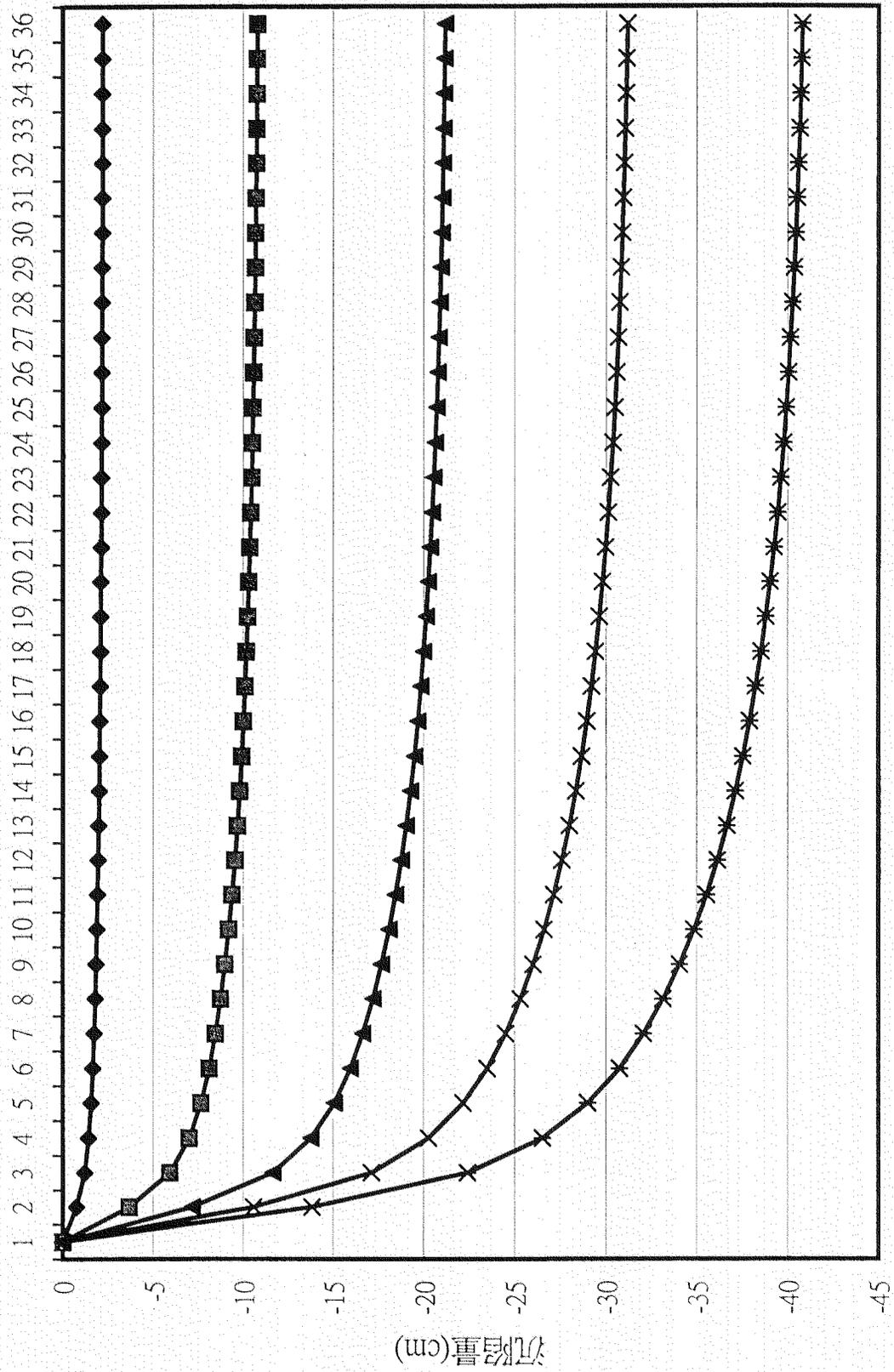
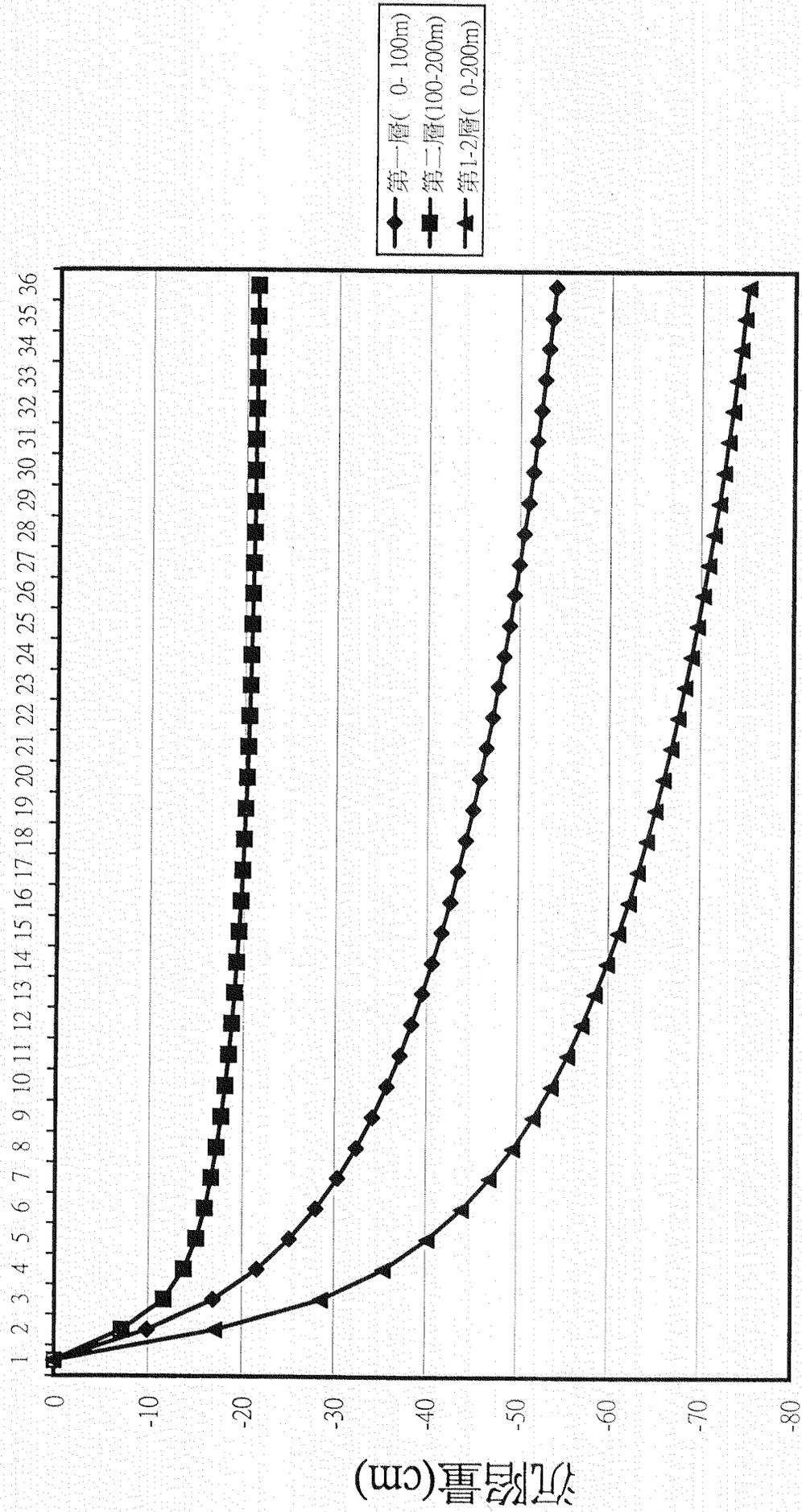


圖5-13 大鵬灣第一層(0~100m)水位下降之沉陷曲線.



時間(月)

圖5-14 大鵬灣第二層(100~200m)水位下降之沉陷曲線.



時間(月)

圖5-15 大鵬灣水位下降10m引致各層沉陷之曲線。

第六章 結論與建議

由大鵬灣之地下水位監測結果顯示：

- (1) 地表下 35m (透水層一) 及 58m (透水層二) 之淺層水位變化不大，介於-3~-4m 之間震盪。
- (2) 地表下 105m、142m (透水層三之一) 之深層水位變化較大，105m 之水位自-4.8m 下降至-5.7m 後又回到-4.7m，然後呈緩和震盪後又下降至-6.4m，隨後又爬升至-4.6m，再漸降至-6.0m，又回升到-4.6m，目前呈現震盪下降現象；142m 處之水位由-4.7m，震盪上升至-3.0m，再下降至-6.2m，隨後又升至-3.5m，接著在-3.5~-4.5m 之間震盪，隨後又升至-3.0m，目前在-3.0~-3.7m 之間震盪。
- (3) 地表下 202m (透水層三之二) 之深層水位由-7.4m 逐漸上升至-5.3m 後再下降-6.7m 又升至-4.5m，再漸降至-6.2m，再升至-4.4m，隨後呈現震盪下降現象。
- (4) 由此可推測，大鵬灣附近地區有超抽地下水情形，而以地表下 105m、142m 及 202m 深度之透水層三之一及透水層三之二較為明顯。

二、88 年底迄今，地表下 35m 之水位都較一年前為高，但深層水位依然有下滑現象，可能地下水之抽用量已大量轉往深層開發。

三、由大鵬灣之地層下陷監測結果顯示：大鵬灣一年之平均沉陷量為 2.2 公分，而其中地表至 51.3m 之年平均沉陷量為 2.0 公分，佔總沉陷量之 91%，由此資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

四、本監測系統於 87 年 2 月安裝完成後，監測第一年所得之沉陷量為 3.9 公分，監測第二年所得之沉陷量為 1.3 公分，兩年之沉陷量差異極大，而監測起始之半年間，監測所得之沉陷量就有 3.3 公分。沉陷量集中在 87 年初，推測可能在本監測系統安裝之前，本區附近已有大量超抽地下水之行為，且以淺層抽水為主。推測原因可能有：

- (1) 深層土壤較密實，而淺層土層較鬆軟。

(2)在埋設觀測站時，表層土壤所受的攪動較大。

(3)表層在觀測站埋設之前，已有大量超抽行為發生。

(4)因開發青洲濱海遊憩區，大量填土所產生之覆土應力集中在表層，致表層壓縮大增。

(5)監測井距海岸線極近，地下水位會受海水水位影響，因此個別土層之壓縮!行無法與此處水位變化情形一致。

五、將大鵬灣之含水層簡單分為二層，即第一層(0~100m)及第二層(100~200m),各含水層下陷潛能分析結果顯示：

(1)第一層(0~100m)水位下降，3年(36個月)後可能之沉陷量分別為，水位下降1m沉陷6cm，水位下降5m沉陷29cm，水位下降10m沉陷54cm，水位下降15m沉陷75cm，水位下降20m沉陷95cm，由此可知水位下降愈大，沉陷亦愈大，但並非成比例放大，亦即水位下降20m之沉陷量並非2倍於水位下降10m之沉陷量。

(2)第二層(100~200m)水位下降，3年(36個月)後可能之沉陷量分別為，水位下降1m沉陷2cm，水位下降5m沉陷11cm，水位下降10m沉陷21cm，水位下降15m沉陷31cm，水位下降20m沉陷41cm，水位下降愈大，沉陷亦愈大，亦非成比例放大。

(3)比較各層水位下降之下陷潛能，將各層水位下降皆設為10m，在此同樣之水位下降量時，第一層之沉陷量最大，第二層之沉陷量較小，此乃由於初始有效應力不同所致。在相同之土層及水位下降量之情形下，初始有效應力愈大，其沉陷量愈小。由於上述二層之土壤雖有不同，但非常相似，且厚度相差不多，但地層深度愈深，其初始有效應力愈大，因此地層較深之第二層在同水位下降量下，沉陷量較小。

六、由監測第二年(88年2月)至目前(89年10月)20個月之沉陷量為1.89公分，推估得年平均下陷速率為1.13公分，目前青洲遊憩區附近之工程規劃及設計宜引用此數據。

七、本計劃如能增加大鵬灣區域性之水準檢測調查項目，配合分層下陷監測結

果，將可使大鵬灣地區地層下陷資料更為齊全。

八、大鵬灣風景區幅員遼闊，目前僅在青洲公園內裝設一組下陷監測系統，難以代表整個風景區之下陷變化，因青洲公園位於濱海沙洲，無法代表內陸之景況，因此建議在陸側增設一組下陷監測系統，期能得知海陸兩側之下陷及水位變化情形，如此對往後之工程設計及維護當更有助益。

參考文獻

- [1]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)。
- [2]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。
- [3]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。
- [4]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。
- [5]中央地質調查所(1997)屏東平原水文地質調查研究報告。
- [6]水利處(1997)屏東縣沿海地區地盤下陷檢測報告。
- [7]屏東縣政府(1997)大鵬灣風景特定區整體發展規劃設計。
- [8]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)。
- [9]徐享崑、蘇瑞榮、李友平、范致豪(1998)屏東平原地下水資源之供需，屏東平原地下水及水文地質研討會。
- [10]陳文福、李昭順、張益生(1998)屏東平原之沖積扇群-礫石層與水文地質特性，屏東平原地下水及水文地質研討會。
- [11]黃智昭、江崇榮、賴慈華(1998)屏東平原水文地質架構及地下水系統概念模型，屏東平原地下水及水文地質研討會。
- [12]謝明志、賴聖耀、李豐博、陳志芳(1998)布袋港地層下陷監測與地質建檔研究，港灣技術研究所研究報告 87-研(八)。
- [13]Biot, M.A. (1941), *General theory of three-dimensional consolidation*, J. of applied physics 12(2).

- [14]Terzaghi,K.(1943),*Theoretical soil mechanics*,John Wiley & Sons,New York.
- [15]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.
- [16]Becker,D.E.(1981),*Settlements under intermittent loading on a clay subsoil*,Ph.D.thesis University of Western Ontario,Canada.
- [17]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 Symposiam on Land Subsidence The Hagne.

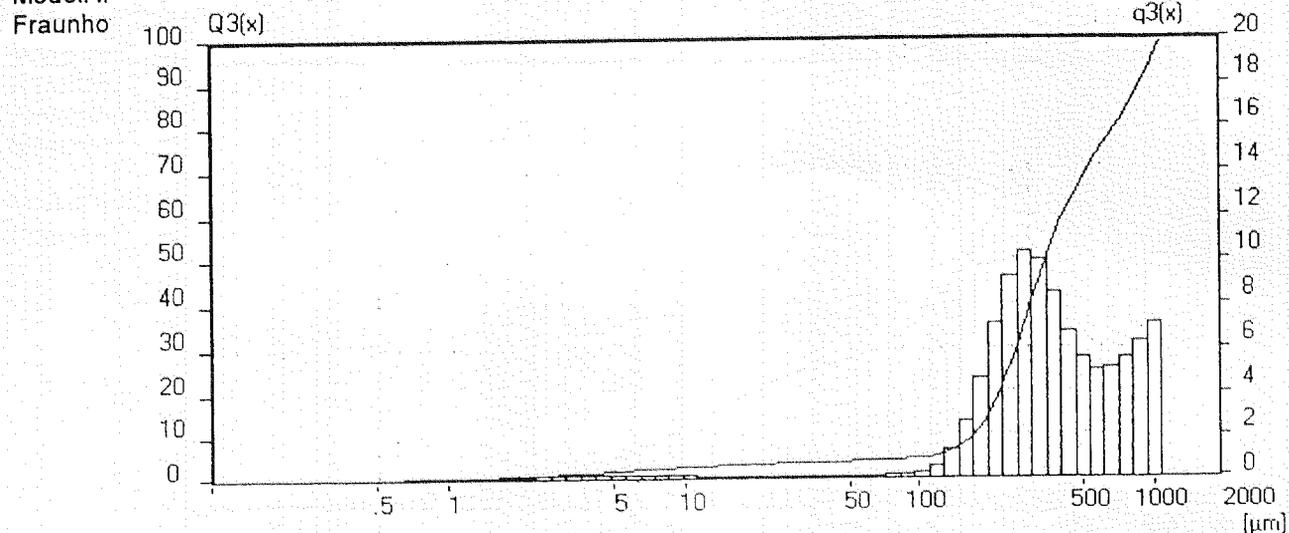
附錄 A 大鵬灣鑿井土壤之物理特性

試體編號	深度 (m)	土樣描述	含水量 (w%)	比重 (Gs)	液限 (L.L)	塑限 (P.L)	塑性指數 (P.I)	粒徑分佈 (%)			統一分類
								砂	沉泥	粘土	
S-1	0m~5m	砂	-	2.72	-	-	-	97	2.5	0.5	SW~SP
S-2	5m~24m	砂	-	2.72	-	-	-	64	25	11	SM~SC
S-3	24m~29m	土	-	2.71	46.0	26.9	19.1	4	56	40	CL
S-4	29m~44m	砂	-	2.69	-	-	-	94	5	1	SW~SM
S-5	44m~49m	砂	-	2.69	-	-	-	92	6	2	SW~SM
S-6	49m~53m	土	-	2.72	33.8	18.2	15.6	0	57	43	CL
S-7	53m~60m	砂	-	2.69	-	-	-	93	4.5	0.5	SW~SM
S-8	60m~81m	土	-	2.70	32.0	17.8	14.2	40	38	22	CL
S-9	81m~88m	土	-	2.69	40.0	19.9	20.1	3	47	50	CL
S-10	88m~90m	砂	-	2.66	-	-	-	88	10	2	SW~SM
S-11	90m~101m	土	-	2.70	32.0	16.4	15.6	2	66	32	CL
S-12	101m~106m	砂	-	2.67	-	-	-	93	6.5	0.5	SW~SM
S-13	106m~113m	土	-	2.69	41.0	20.6	20.4	2	48	50	CL
S-14	113m~117m	砂	-	2.68	-	-	-	96	4	0	SW~SP
S-15	117m~122m	土	-	2.68	28.0	16.1	11.9	40	44	16	CL
S-16	122m~125m	砂	-	2.69	-	-	-	85	13	2	SM
S-17	125m~128m	土	-	2.74	34.0	17.5	16.5	27	49	24	CL
S-18	128m~134m	砂	-	2.70	-	-	-	95	5	0	SW~SP
S-19	134m~136m	土	-	2.77	31.5	17.6	13.9	47	35	18	CL
S-20	136m~144m	砂	-	2.75	-	-	-	96	4	0	SW~SP
S-21	144m~153m	土	-	2.72	29.3	17.7	11.6	22	46	32	CL
S-22	153m~159m	砂	-	2.70	-	-	-	96	4	0	SW~SP
S-23	159m~171m	土	-	2.69	25.8	15.4	10.4	5	76	19	CL
S-24	171m~175m	砂	-	2.68	-	-	-	99	1	0	SW~SP
S-25	175m~188m	粗砂	-	2.71	-	-	-	94	6	0	SW~SP
S-26	188m~201m	卵礫石	-	-	-	-	-	-	-	-	GP

Test Date : 1998.7.14 Test By : ch File : DAPON-1
 'Location : DA-PON HARBOR
 'Sample No : S-1
 'Depth : GL.0M~6M

Measuring Range	0.10 [μm] - 1187.14 [μm]	Pump	[rpm]
Resolution	62 Channels (9 mm / 450 mm)	Stirrer	[rpm]
Absorption	12.00 [%]	Ultrasonic	
Measurement Duration	0 [Scans]		

Modell Independant



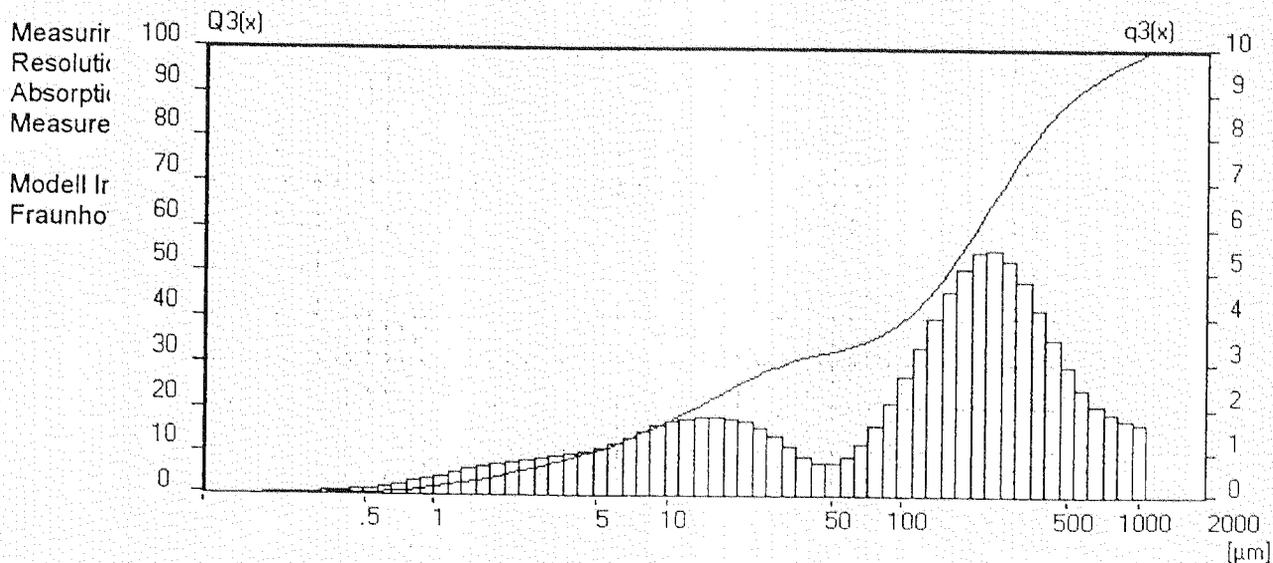
Mean Values...

D43 = 439.41 μm	D42 = 157.35 μm	D41 = 28.72 μm	D40 = 9.76 μm
D32 = 56.35 μm	D31 = 7.34 μm	D30 = 2.74 μm	
D21 = .96 μm	D20 = .61 μm		
V10 = .38 μm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	439.408 μm	Variance	75671.670 μm ²
Geometric Mean Diameter	328.464 μm	Standard Deviation	20.962 μm
Quadr. Sq. Mean Diameter	517.680 μm	Mean Square Deviation	223.447 μm
Harmonic Mean Diameter	56.347 μm	Coefficient Variance	4.771 %
Skewness	0.799	Mode	295.263 μm
Curtosis	-0.346	Median	349.586 μm
Span	2.086	Mean/Median Ratio	1.257
Uniformity	0.60		
Spec. Surface Area	0.11 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-2
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-2
 ' Depth : GL. 6m - 25m



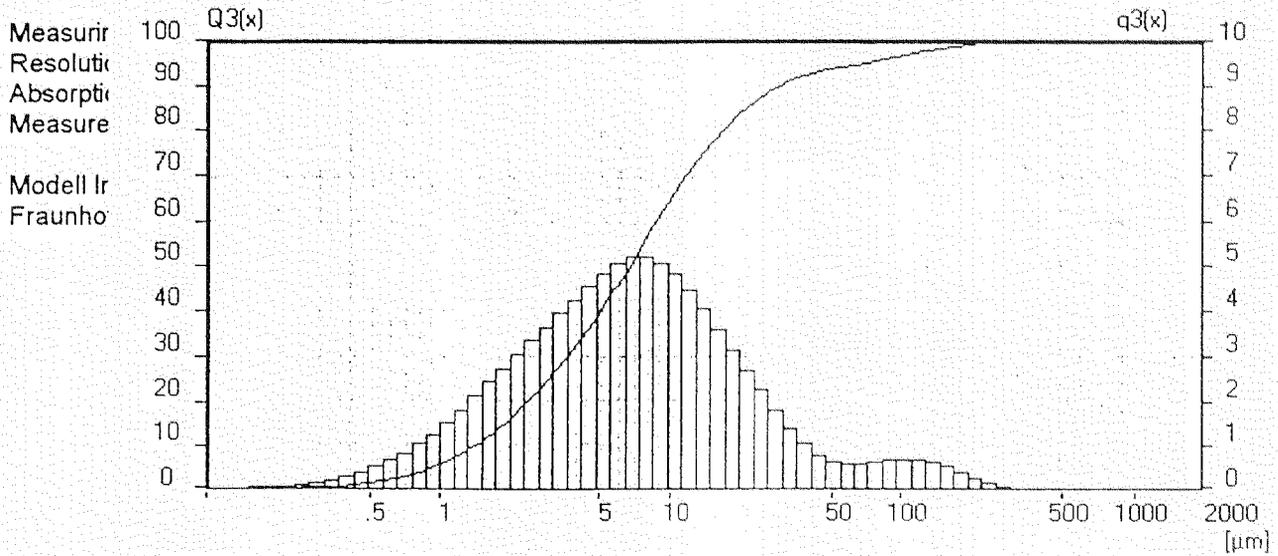
Mean Values...

D43 = 214.93 µm	D42 = 48.53 µm	D41 = 12.85 µm	D40 = 5.32 µm
D32 = 10.96 µm	D31 = 3.14 µm	D30 = 1.55 µm	
D21 = .9 µm	D20 = .58 µm		
V10 = .38 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	214.928 µm	Variance	54644.230 µm ²
Geometric Mean Diameter	80.688 µm	Standard Deviation	14.660 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	316.689 µm	Mean Square Deviation	175.515 µm
Harmonic Mean Diameter	10.957 µm	Coefficient Variance	6.821 %
Skewness	1.511	Mode	235.137 µm
Curtosis	2.111	Median	155.200 µm
Span	3.400	Mean/Median Ratio	1.385
Uniformity	1.09		
Spec. Surface Area	0.55 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-3
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-3
 ' Depth : GL.25-30m



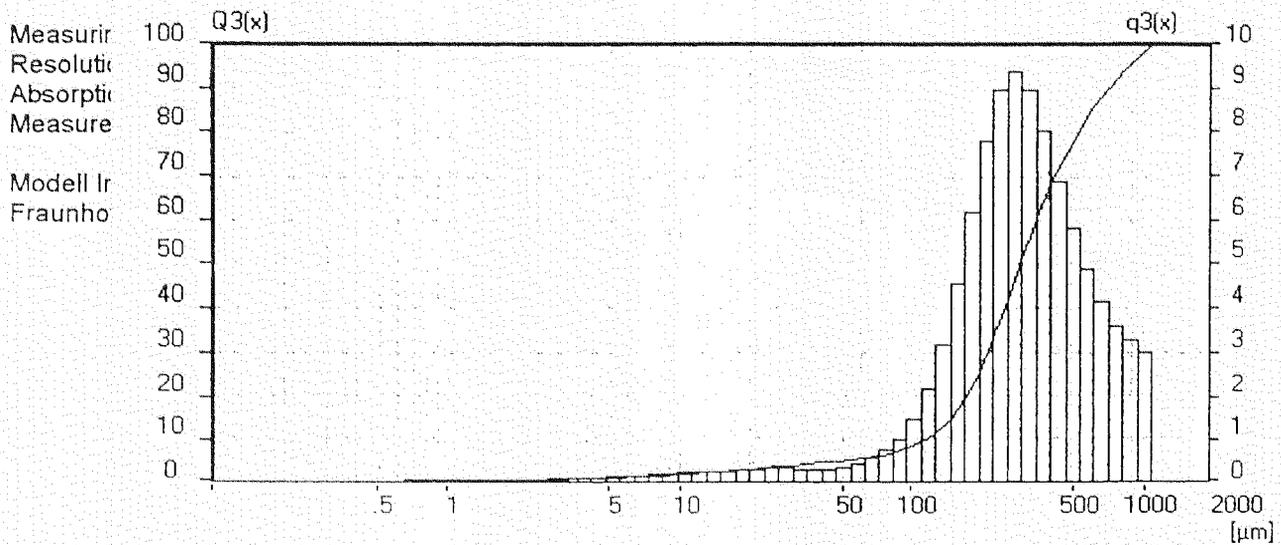
Mean Values...

D43 = 15.1 µm	D42 = 7.11 µm	D41 = 3.7 µm	D40 = 2.17 µm
D32 = 3.35 µm	D31 = 1.83 µm	D30 = 1.14 µm	
D21 = 1. µm	D20 = .66 µm		
V10 = .44 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	15.104 µm	Variance	826.858 µm ²
Geometric Mean Diameter	6.694 µm	Standard Deviation	3.886 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	32.353 µm	Mean Square Deviation	14.685 µm
Harmonic Mean Diameter	3.351 µm	Coefficient Variance	25.731 %
Skewness	4.371	Mode	7.461 µm
Curtosis	22.464	Median	6.633 µm
Span	4.152	Mean/Median Ratio	2.277
Uniformity	1.80		
Spec. Surface Area	1.79 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-4
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-4
 ' Depth : GL.30-45m



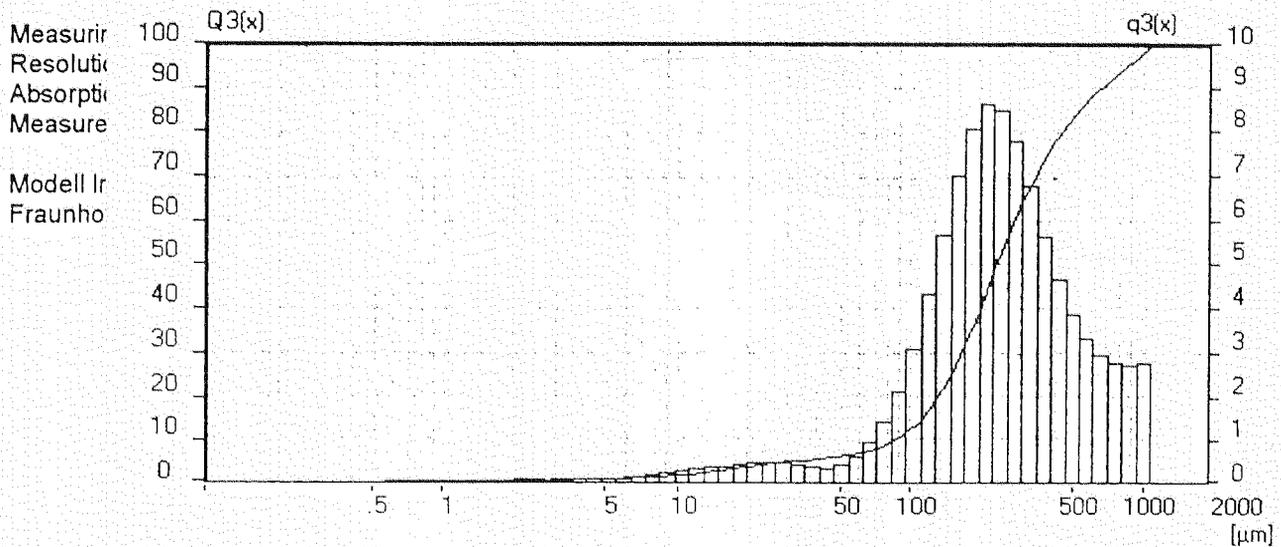
Mean Values...

D43 = 358.97 μm	D42 = 161.94 μm	D41 = 29.88 μm	D40 = 9.58 μm
D32 = 73.05 μm	D31 = 8.62 μm	D30 = 2.86 μm	
D21 = 1.02 μm	D20 = .57 μm		
V10 = .32 μm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	358.970 μm	Variance	56476.000 μm ²
Geometric Mean Diameter	269.040 μm	Standard Deviation	18.947 μm
Quadr. Sq. Mean Diameter	429.850 μm	Mean Square Deviation	182.606 μm
Harmonic Mean Diameter	73.052 μm	Coefficient Variance	5.278 %
Skewness	1.067	Mode	285.099 μm
Curtosis	0.713	Median	298.741 μm
Span	1.997	Mean/Median Ratio	1.202
Uniformity	0.59		
Spec. Surface Area	0.08 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-5
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-5
 ' Depth : GL.45-50m



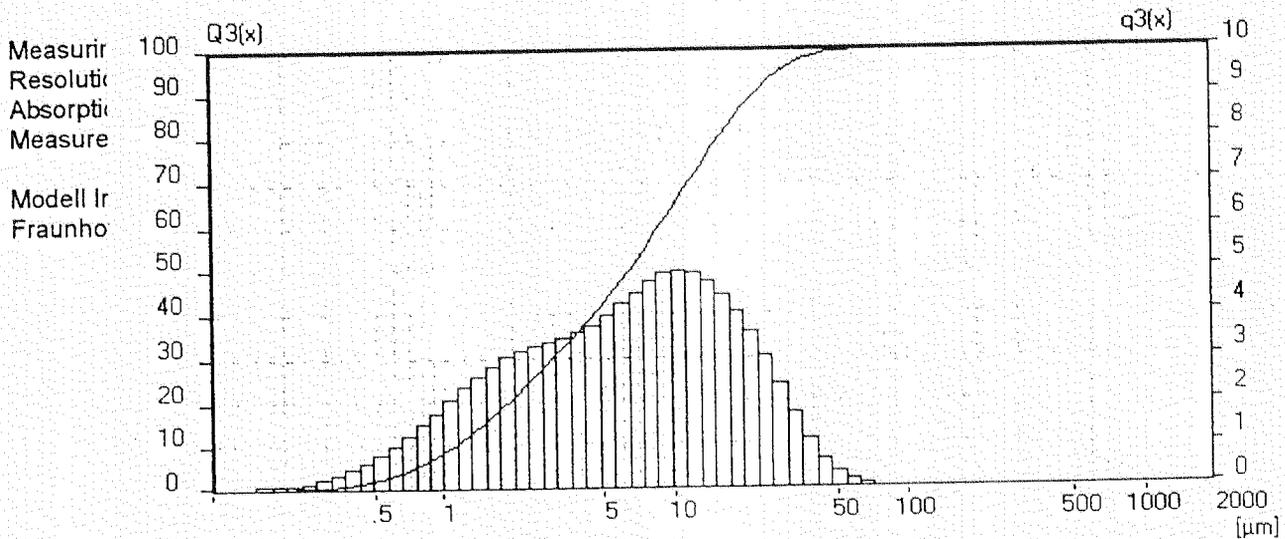
Mean Values...

D43 = 305.63 μm	D42 = 136.5 μm	D41 = 26.01 μm	D40 = 8.53 μm
D32 = 60.96 μm	D31 = 7.59 μm	D30 = 2.59 μm	
D21 = .94 μm	D20 = .53 μm		
V10 = .3 μm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	305.628 μm	Variance	55633.910 μm^2
Geometric Mean Diameter	216.969 μm	Standard Deviation	17.482 μm
Quadr. Sq. Mean Diameter	385.339 μm	Mean Square Deviation	175.868 μm
Harmonic Mean Diameter	60.963 μm	Coefficient Variance	5.720 %
Skewness	1.400	Mode	223.101 μm
Curtosis	1.549	Median	235.863 μm
Span	2.424	Mean/Median Ratio	1.296
Uniformity	0.70		
Spec. Surface Area	0.10 m^2/cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-6
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-6
 ' Depth : GL.50-54m



Mean Values...

D43 = 9.59 μm
 D32 = 2.77 μm
 D21 = .82 μm
 V10 = .39 μm

D42 = 5.16 μm
 D31 = 1.5 μm
 D20 = .57 μm

D41 = 2.79 μm
 D30 = .96 μm

D40 = 1.71 μm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter 9.593 μm
 Geometric Mean Diameter 5.583 μm
 Quadr. Sq. Mean Diameter 13.588 μm
 Harmonic Mean Diameter 2.772 μm

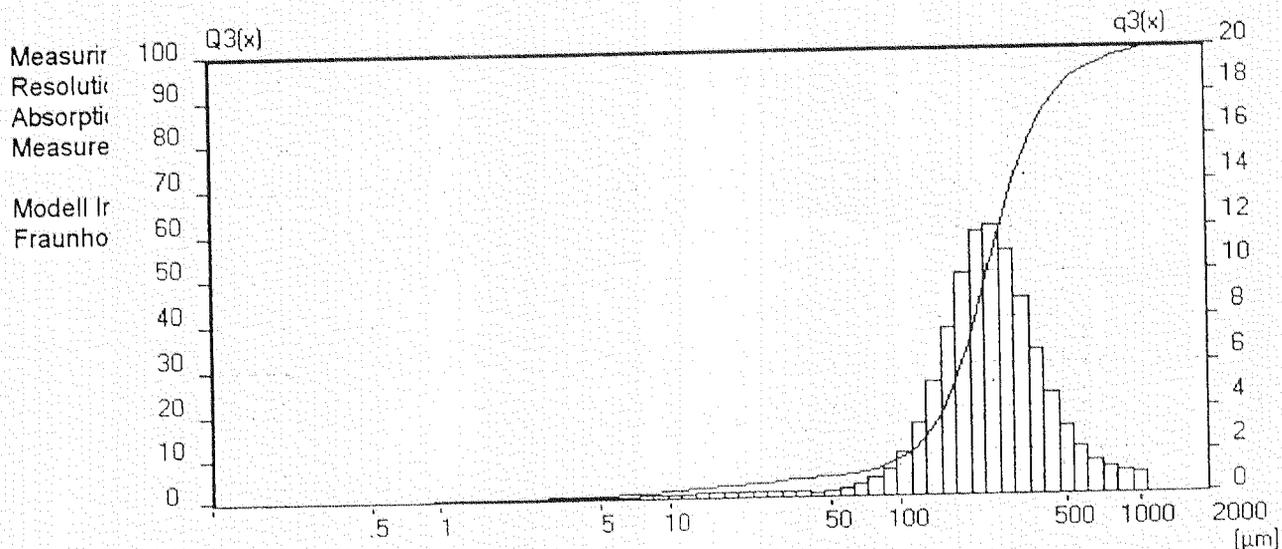
Variance 93.540 μm^2
 Standard Deviation 3.097 μm
 Mean Square Deviation 7.247 μm
 Coefficient Variance 32.287 %

Skewness 1.769
 Curtosis 4.052
 Span 3.350
 Uniformity 1.06

Mode 10.591 μm
 Median 6.448 μm
 Mean/Median Ratio 1.488

Spec. Surface Area 2.16 m^2/cc
 Density 1.00 g/cc
 Form Factor 1.00

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-7
 Location : DA-PON HARBOR
 Sample No : s-7
 Depth : GL.54-61m



Mean Values...

D43 = 271.37 µm D42 = 133.33 µm D41 = 25.79 µm D40 = 8.56 µm
 D32 = 65.51 µm D31 = 7.95 µm D30 = 2.7 µm
 D21 = .96 µm D20 = .55 µm
 V10 = 31 µm

Statistical Values...

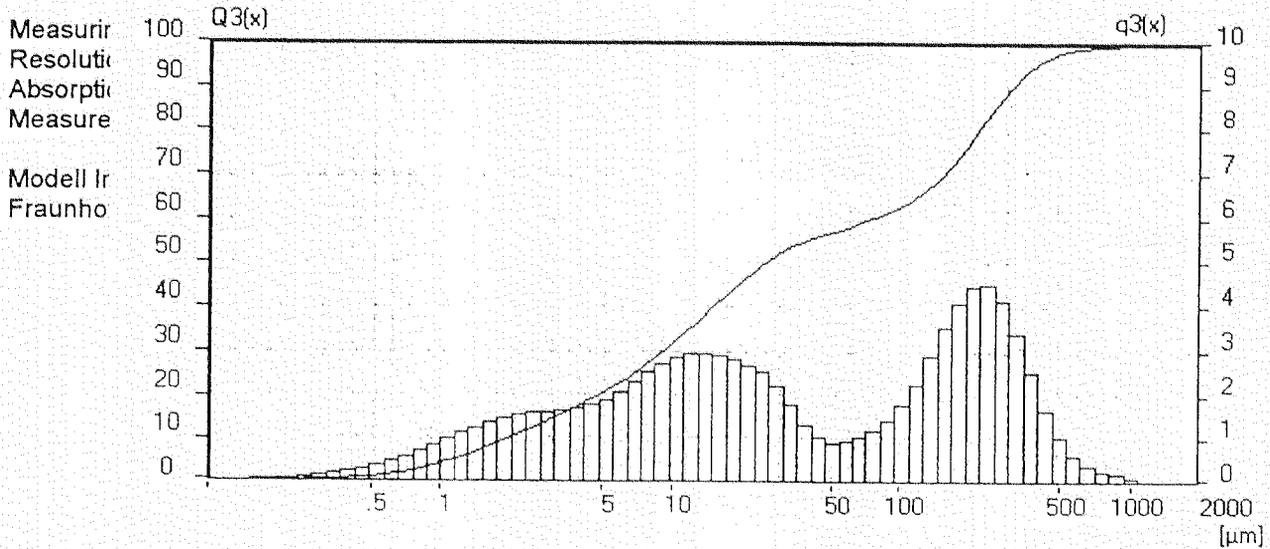
Arithmetic Mean Diameter	271.368 µm	Variance	29330.210 µm ²
Geometric Mean Diameter	214.433 µm	Standard Deviation	16.473 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	320.433 µm	Mean Square Deviation	118.769 µm
Harmonic Mean Diameter	65.513 µm	Coefficient Variance	6.070 %
Skewness	1.751	Mode	235.137 µm
Curtosis	4.499	Median	236.536 µm
Span	1.487	Mean/Median Ratio	1.147
Uniformity	0.48		
Spec. Surface Area	0.09 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-8

' Location : DA-PON HARBOR

' Sample No : s-8

' Depth : GL.61-82m



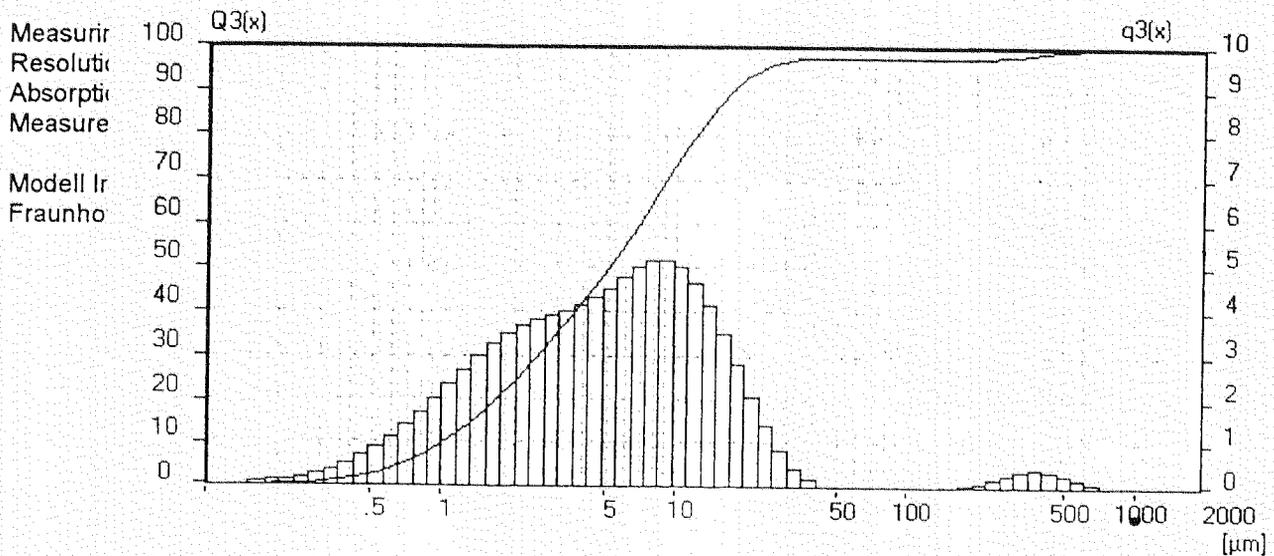
Mean Values...

D43 = 107.46 µm	D42 = 24.26 µm	D41 = 7.82 µm	D40 = 3.66 µm
D32 = 5.48 µm	D31 = 2.11 µm	D30 = 1.19 µm	
D21 = .81 µm	D20 = .55 µm		
V10 = .37 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	107.460 µm	Variance	20631.780 µm ²
Geometric Mean Diameter	29.219 µm	Standard Deviation	10.366 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	178.810 µm	Mean Square Deviation	113.172 µm
Harmonic Mean Diameter	5.476 µm	Coefficient Variance	9.647 %
Skewness	1.797	Mode	231.055 µm
Curtosis	4.181	Median	25.625 µm
Span	11.854	Mean/Median Ratio	4.194
Uniformity	3.86		
Spec. Surface Area	1.09 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-9
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-9
 ' Depth : GL.82-89m



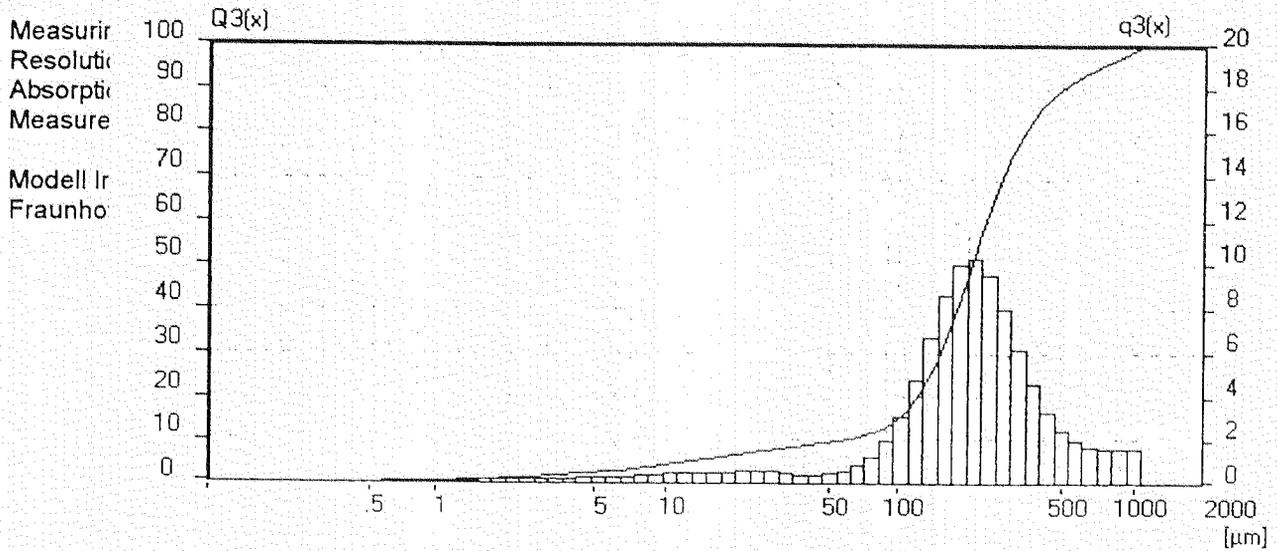
Mean Values...

D43 = 15.58 μm	D42 = 6.15 μm	D41 = 3.09 μm	D40 = 1.83 μm
D32 = 2.43 μm	D31 = 1.38 μm	D30 = .9 μm	
D21 = .78 μm	D20 = .55 μm		
V10 = .38 μm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	15.580 μm	Variance	3776.284 μm^2
Geometric Mean Diameter	4.788 μm	Standard Deviation	.3.947 μm
Quadr. Sq. Mean Diameter	63.097 μm	Mean Square Deviation	18.056 μm
Harmonic Mean Diameter	2.429 μm	Coefficient Variance	25.335 %
Skewness	7.187	Mode	8.735 μm
Curtosis	54.384	Median	5.078 μm
Span	3.197	Mean/Median Ratio	3.068
Uniformity	2.62		
Spec. Surface Area	2.47 m^2/cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.18 Test By : ch File: DAPON-10
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-10
 ' Depth : GL.89-91m



Mean Values...

D43 = 252.43 μm	D42 = 95.47 μm	D41 = 20.53 μm	D40 = 7.39 μm
D32 = 36.11 μm	D31 = 5.85 μm	D30 = 2.28 μm	
D21 = .95 μm	D20 = .57 μm		
V10 = .35 μm			

Statistical Values...

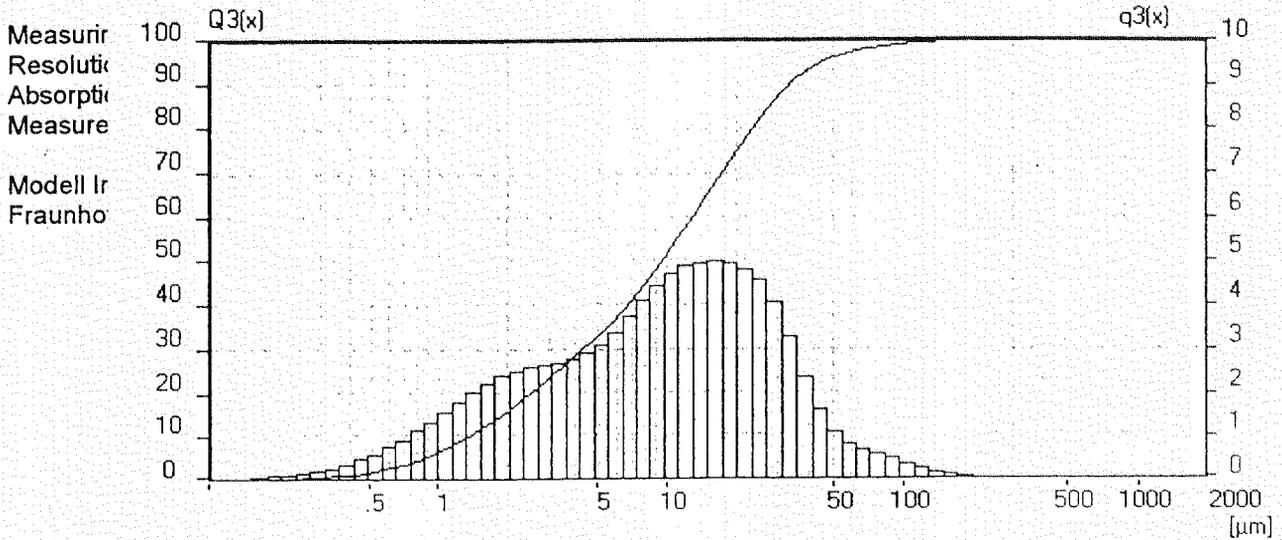
Arithmetic Mean Diameter	252.431 μm	Variance	39771.820 μm^2
Geometric Mean Diameter	171.346 μm	Standard Deviation	15.888 μm
Quadr. Sq. Mean Diameter	321.084 μm	Mean Square Deviation	136.924 μm
Harmonic Mean Diameter	36.107 μm	Coefficient Variance	6.294 %
Skewness	1.828	Mode	208.005 μm
Curtosis	3.952	Median	205.884 μm
Span	2.073	Mean/Median Ratio	1.226
Uniformity	0.63		
Spec. Surface Area	0.17 m^2/cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-11

' Location : DA-PON HARBOR

' Sample No : s-11

' Depth : GL.91-102m



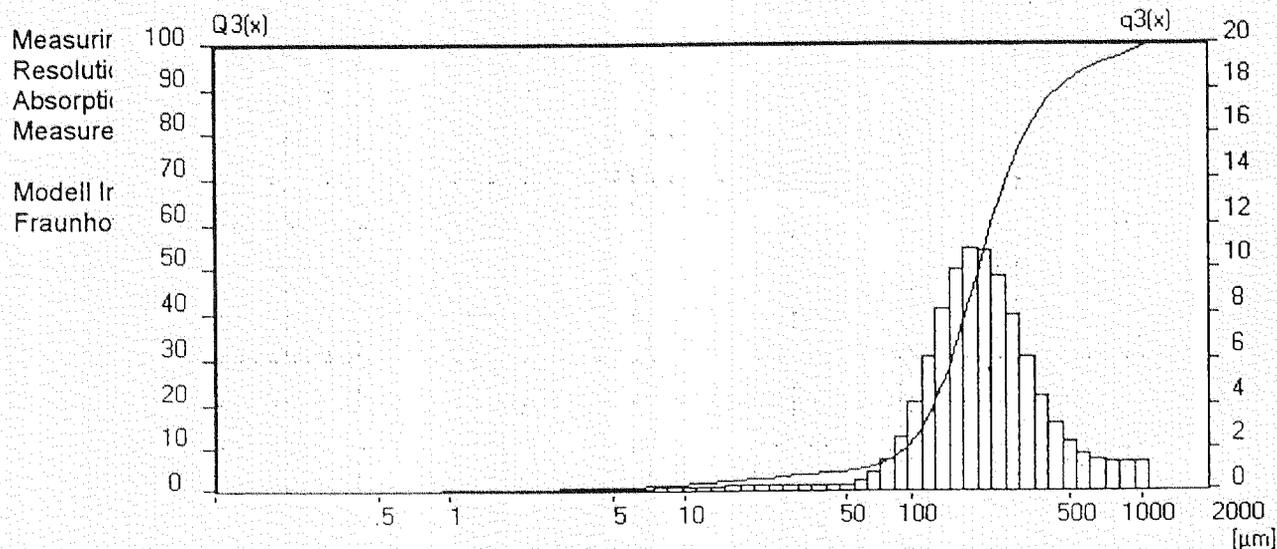
Mean Values...

D43 = 14.94 µm	D42 = 7.23 µm	D41 = 3.56 µm	D40 = 2.07 µm
D32 = 3.5 µm	D31 = 1.74 µm	D30 = 1.07 µm	
D21 = .86 µm	D20 = .59 µm		
V10 = .4 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	14.945 µm	Variance	347.199 µm ²
Geometric Mean Diameter	7.965 µm	Standard Deviation	3.866 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	23.813 µm	Mean Square Deviation	11.819 µm
Harmonic Mean Diameter	3.499 µm	Coefficient Variance	25.868 %
Skewness	4.939	Mode	15.034 µm
Curtosis	74.461	Median	9.602 µm
Span	3.282	Mean/Median Ratio	1.556
Uniformity	1.14		
Spec. Surface Area	1.71 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-12
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-12
 ' Depth : GL102-103m



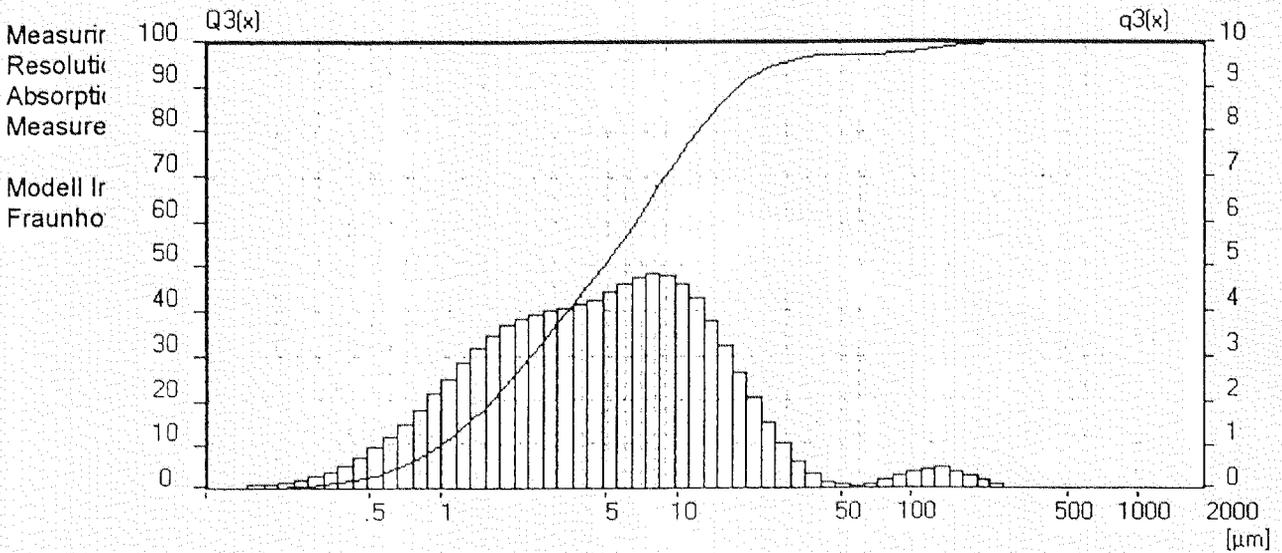
Mean Values...

D43 = 247.89 µm D42 = 125.16 µm D41 = 24.55 µm D40 = 8.18 µm
 D32 = 63.2 µm D31 = 7.73 µm D30 = 2.62 µm
 D21 = .94 µm D20 = .53 µm
 V10 = .3 µm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	247.888 µm	Variance	33379.000 µm ²
Geometric Mean Diameter	190.593 µm	Standard Deviation	15.744 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	307.398 µm	Mean Square Deviation	123.012 µm
Harmonic Mean Diameter	63.196 µm	Coefficient Variance	6.351 %
Skewness	2.097	Mode	197.358 µm
Curtosis	5.324	Median	201.210 µm
Span	1.748	Mean/Median Ratio	1.232
Uniformity	0.57		
Spec. Surface Area	0.09 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-13
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-13
 ' Depth : GL107-114m



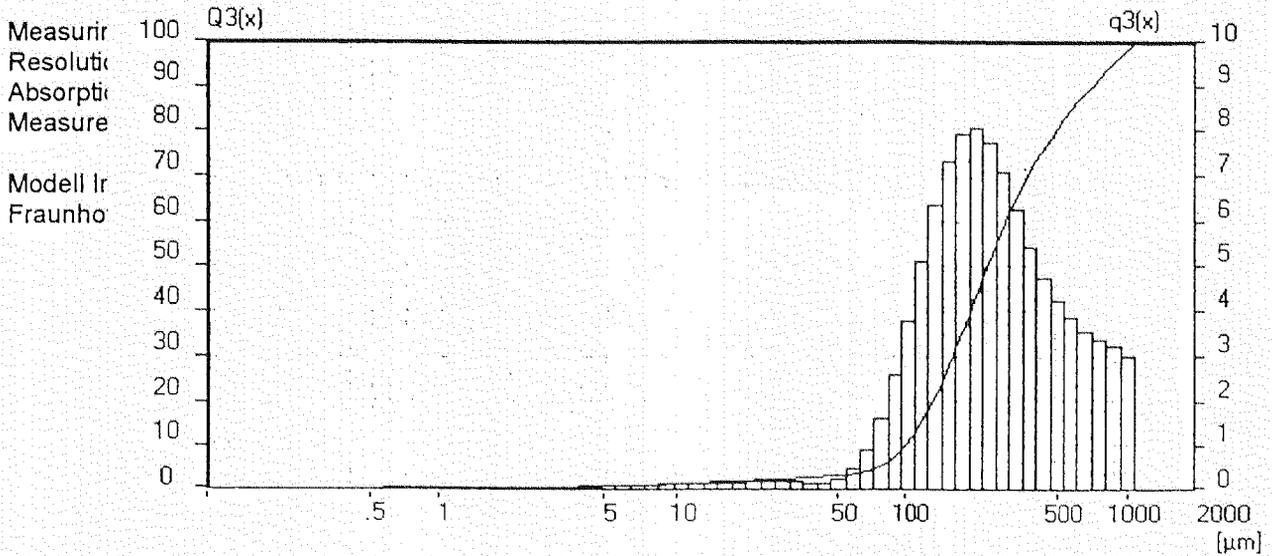
Mean Values...

D43 = 10.56 μm	D42 = 5.03 μm	D41 = 2.73 μm	D40 = 1.7 μm
D32 = 2.4 μm	D31 = 1.39 μm	D30 = .92 μm	
D21 = .81 μm	D20 = .57 μm		
V10 = .41 μm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	10.562 μm	Variance	552.311 μm ²
Geometric Mean Diameter	4.666 μm	Standard Deviation	3.250 μm
Quadr. Sq. Mean Diameter	25.658 μm	Mean Square Deviation	9.993 μm
Harmonic Mean Diameter	2.396 μm	Coefficient Variance	30.770 %
Skewness	5.821	Mode	8.144 μm
Curtosis	38.618	Median	4.843 μm
Span	3.595	Mean/Median Ratio	2.181
Uniformity	1.73		
Spec. Surface Area	2.50 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-14
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-14
 ' Depth : GL114-118m



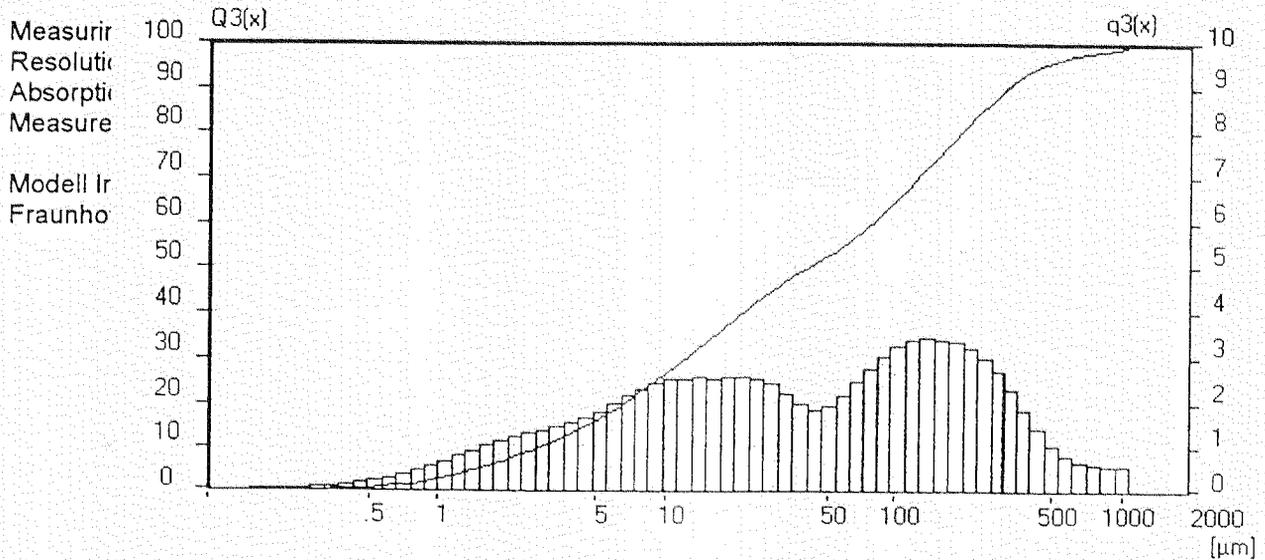
Mean Values...

D43 = 321.96 µm	D42 = 156.41 µm	D41 = 28.83 µm	D40 = 9.31 µm
D32 = 75.98 µm	D31 = 8.63 µm	D30 = 2.86 µm	
D21 = .98 µm	D20 = .55 µm		
V10 = .31 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	321.964 µm	Variance	59572.090 µm ²
Geometric Mean Diameter	237.310 µm	Standard Deviation	17.943 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	403.283 µm	Mean Square Deviation	187.663 µm
Harmonic Mean Diameter	75.982 µm	Coefficient Variance	5.573 %
Skewness	1.312	Mode	208.005 µm
Curtosis	1.038	Median	239.635 µm
Span	2.527	Mean/Median Ratio	1.344
Uniformity	0.73		
Spec. Surface Area	0.08 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-15
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-15
 ' Depth : GL118-123m



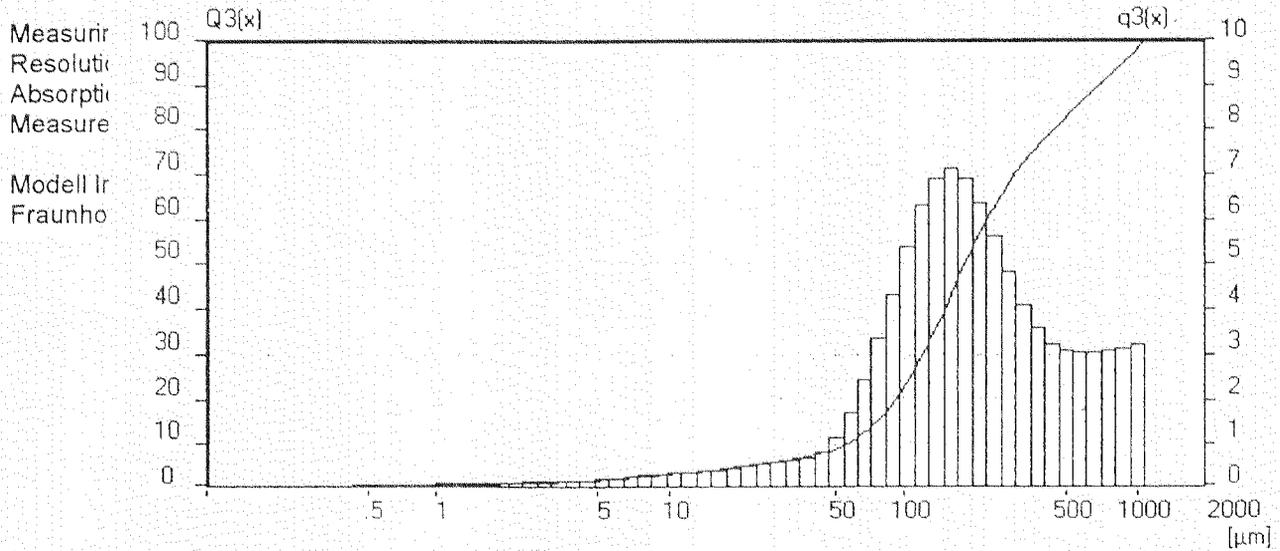
Mean Values...

D43 = 111.59 µm	D42 = 28.39 µm	D41 = 9.14 µm	D40 = 4.18 µm
D32 = 7.22 µm	D31 = 2.62 µm	D30 = 1.4 µm	
D21 = .95 µm	D20 = .61 µm		
V10 = .4 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	111.592 µm	Variance	27475.420 µm ²
Geometric Mean Diameter	34.608 µm	Standard Deviation	10.564 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	199.131 µm	Mean Square Deviation	112.707 µm
Harmonic Mean Diameter	7.222 µm	Coefficient Variance	9.466 %
Skewness	2.662	Mode	141.490 µm
Curtosis	8.849	Median	40.038 µm
Span	7.498	Mean/Median Ratio	2.787
Uniformity	2.48		
Spec. Surface Area	0.83 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-16
 Location : DA-PON HARBOR
 Sample No : s-16
 Depth : GL123-126m



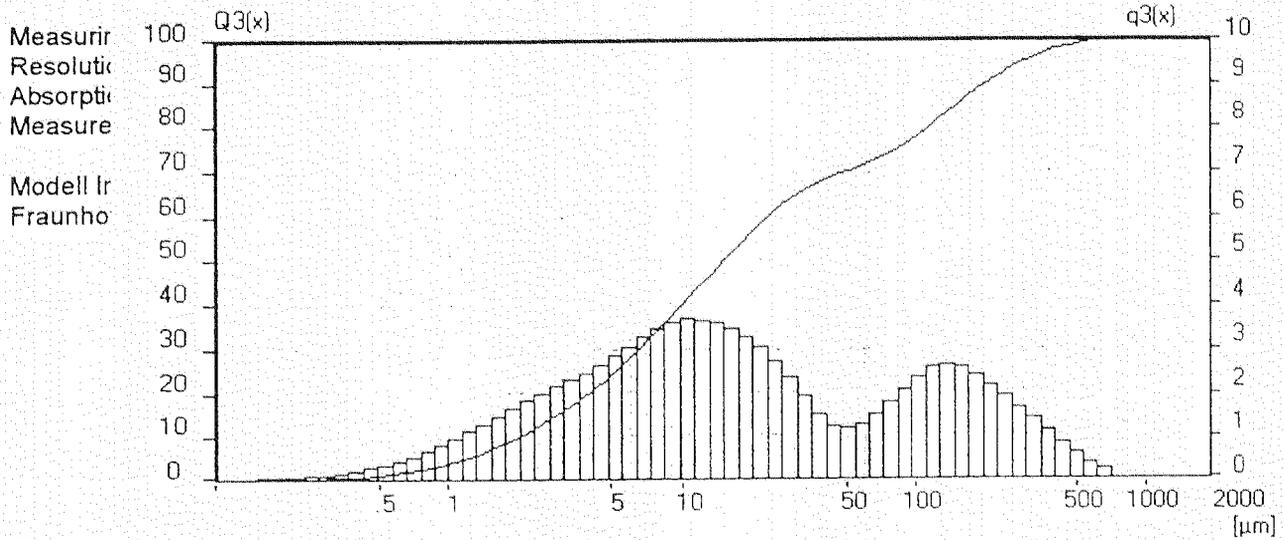
Mean Values...

D43 = 278.68 µm D42 = 112.44 µm D41 = 23.36 µm D40 = 8.04 µm
 D32 = 45.37 µm D31 = 6.76 µm D30 = 2.47 µm
 D21 = 1.01 µm D20 = .58 µm
 V10 = .33 µm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	278.681 µm	Variance	66117.810 µm ²
Geometric Mean Diameter	175.619 µm	Standard Deviation	16.694 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	378.312 µm	Mean Square Deviation	195.086 µm
Harmonic Mean Diameter	45.366 µm	Coefficient Variance	5.990 %
Skewness	1.460	Mode	159.946 µm
Curtosis	1.320	Median	183.398 µm
Span	3.501	Mean/Median Ratio	1.520
Uniformity	0.96		
Spec. Surface Area	0.13 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-17
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-17
 ' Depth : GL126-129m



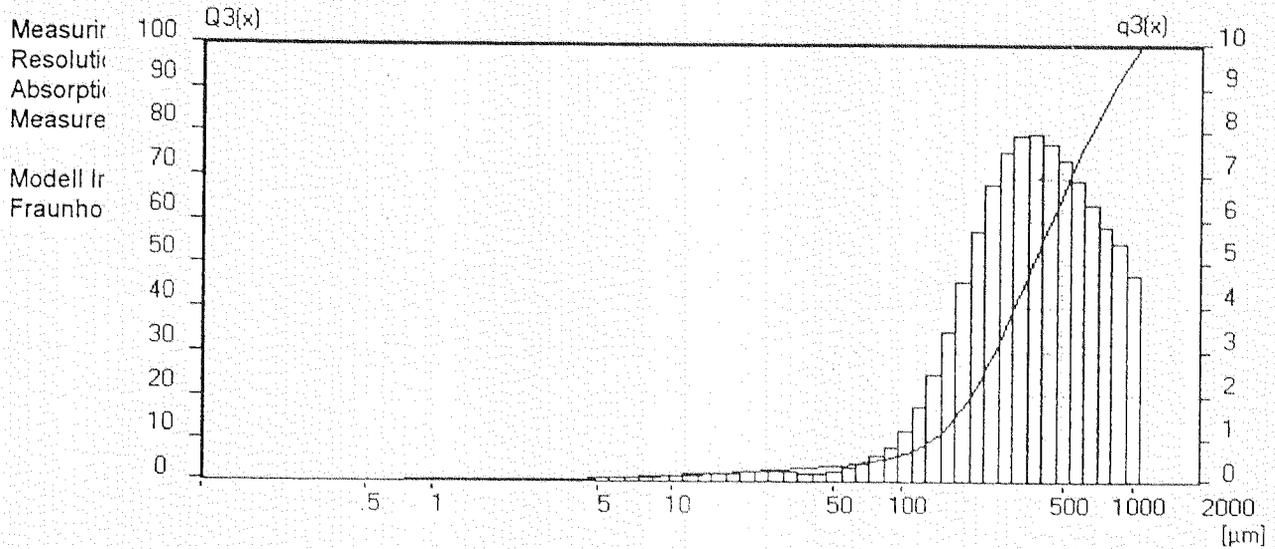
Mean Values...

D43 = 64.38 µm D42 = 18.14 µm D41 = 6.82 µm D40 = 3.37 µm
 D32 = 5.11 µm D31 = 2.22 µm D30 = 1.26 µm
 D21 = .96 µm D20 = .63 µm
 V10 = .41 µm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	64.382 µm	Variance	11176.880 µm ²
Geometric Mean Diameter	18.029 µm	Standard Deviation	8.024 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	123.330 µm	Mean Square Deviation	74.189 µm
Harmonic Mean Diameter	5.112 µm	Coefficient Variance	12.463 %
Skewness	2.465	Mode	11.162 µm
Curtosis	6.819	Median	14.912 µm
Span	13.431	Mean/Median Ratio	4.317
Uniformity	3.92		
Spec. Surface Area	1.17 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

' Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-18
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-18
 ' Depth : GL129-135m



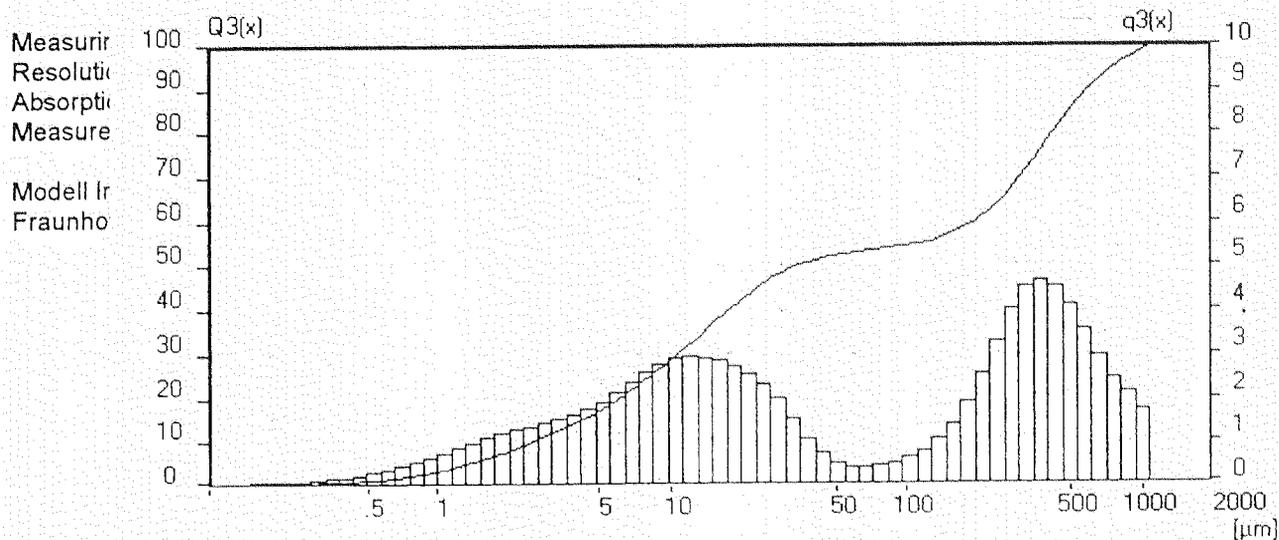
Mean Values...

D43 = 428.06 µm D42 = 197.67 µm D41 = 34.55 µm D40 = 10.77 µm
 D32 = 91.28 µm D31 = 9.82 µm D30 = 3.16 µm
 D21 = 1.06 µm D20 = .59 µm
 V10 = .33 µm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	428.057 µm	Variance	69546.550 µm ²
Geometric Mean Diameter	327.436 µm	Standard Deviation	20.690 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	502.080 µm	Mean Square Deviation	214.436 µm
Harmonic Mean Diameter	91.279 µm	Coefficient Variance	4.833 %
Skewness	0.674	Mode	358.000 µm
Curtosis	-0.370	Median	368.652 µm
Span	1.892	Mean/Median Ratio	1.161
Uniformity	0.57		
Spec. Surface Area	0.07 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-19
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-19
 ' Depth : GL135-137m



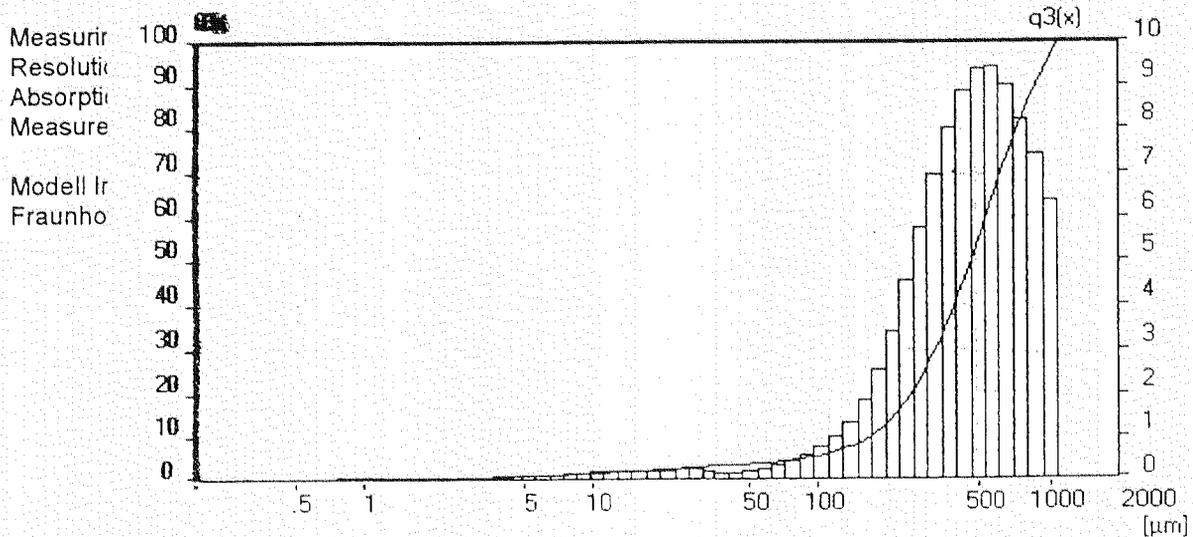
Mean Values...

D43 = 208.69 μm	D42 = 37.72 μm	D41 = 10.86 μm	D40 = 4.73 μm
D32 = 6.82 μm	D31 = 2.48 μm	D30 = 1.34 μm	
D21 = .9 μm	D20 = .59 μm		
V10 = .39 μm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	208.686 μm	Variance	69919.710 μm ²
Geometric Mean Diameter	47.014 μm	Standard Deviation	14.446 μm
Quadr. Sq. Mean Diameter	335.813 μm	Mean Square Deviation	217.285 μm
Harmonic Mean Diameter	6.817 μm	Coefficient Variance	6.922 %
Skewness	1.250	Mode	377.315 μm
Curtosis	0.733	Median	34.272 μm
Span	17.485	Mean/Median Ratio	6.089
Uniformity	5.78		
Spec. Surface Area	0.88 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.20 By : ch File: DAPON-20
 ' Location : DAPON-20
 ' Sample No : s-20
 ' Depth : GL137-15



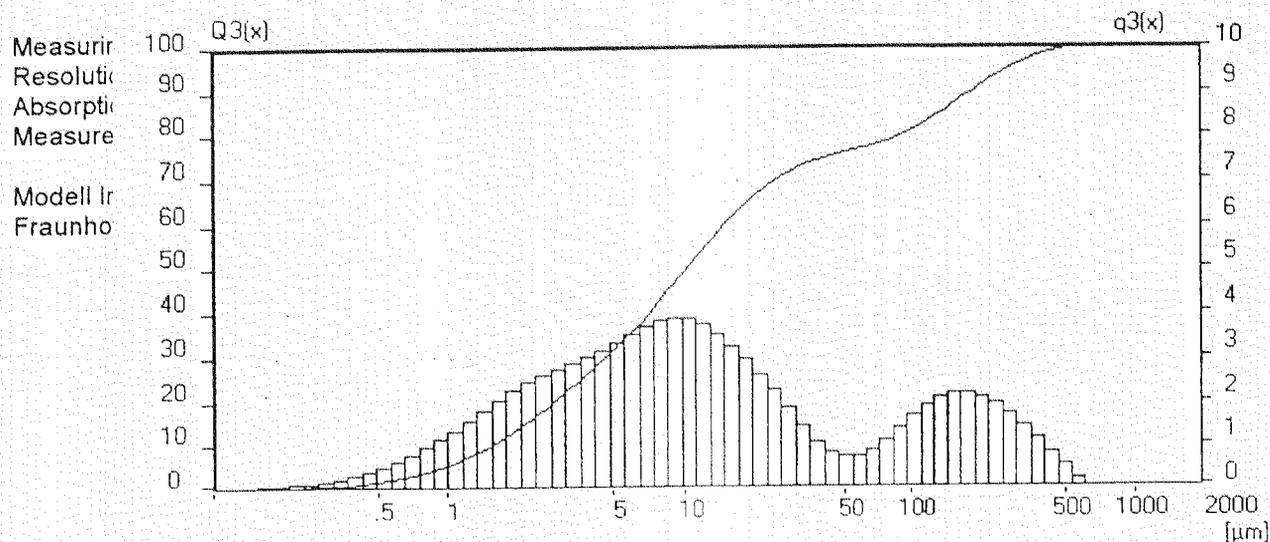
Mean Values

D43 = 499.49 µm D42 = 220.07 µm D41 = 37.3 µm D40 = 11.52 µm
 D32 = 96.96 µm D31 = 10.19 µm D30 = 3.28 µm
 D21 = 1.07 µm D20 = .6 µm
 V10 = .34 µm

Statistical Values

Arithmetic Mean	499.491 µm	Variance	71878.020 µm ²
Geometric Mean	392.517 µm	Standard Deviation	22.349 µm
Quadr. Sq. Mean	566.260 µm	Mean Square Deviation	220.240 µm
Harmonic Mean	96.963 µm	Coefficient Variance	4.474 %
Skewness	0.306	Mode	554.692 µm
Curtosis	-0.704	Median	468.522 µm
Span	1.536	Mean/Median Ratio	1.066
Uniformity	0.47		
Spec. Surface Area	0.06 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-21
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-21
 ' Depth : GL145-154m



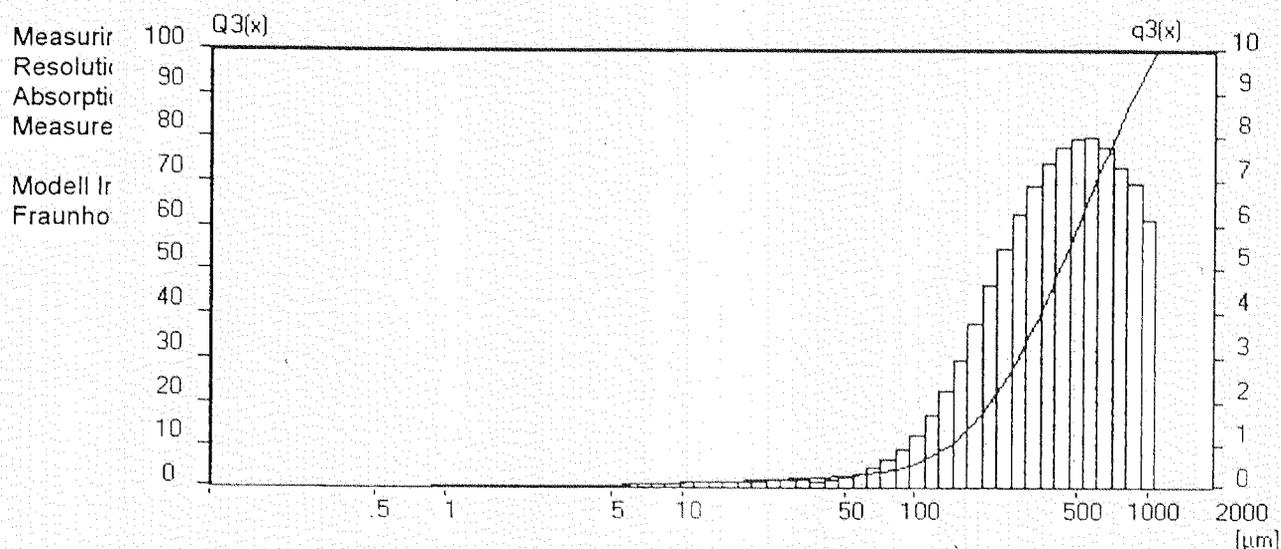
Mean Values...

D43 = 54.34 µm D42 = 14.62 µm D41 = 5.74 µm D40 = 2.95 µm
 D32 = 3.93 µm D31 = 1.86 µm D30 = 1.12 µm
 D21 = .88 µm D20 = .59 µm
 V10 = .4 µm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	54.342 µm	Variance	9491.238 µm ²
Geometric Mean Diameter	13.003 µm	Standard Deviation	7.372 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	111.128 µm	Mean Square Deviation	68.027 µm
Harmonic Mean Diameter	3.934 µm	Coefficient Variance	13.565 %
Skewness	2.406	Mode	9.369 µm
Curtosis	5.808	Median	10.234 µm
Span	18.718	Mean/Median Ratio	5.310
Uniformity	4.90		
Spec. Surface Area	1.53 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-22
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-22
 ' Depth : GL154-160m



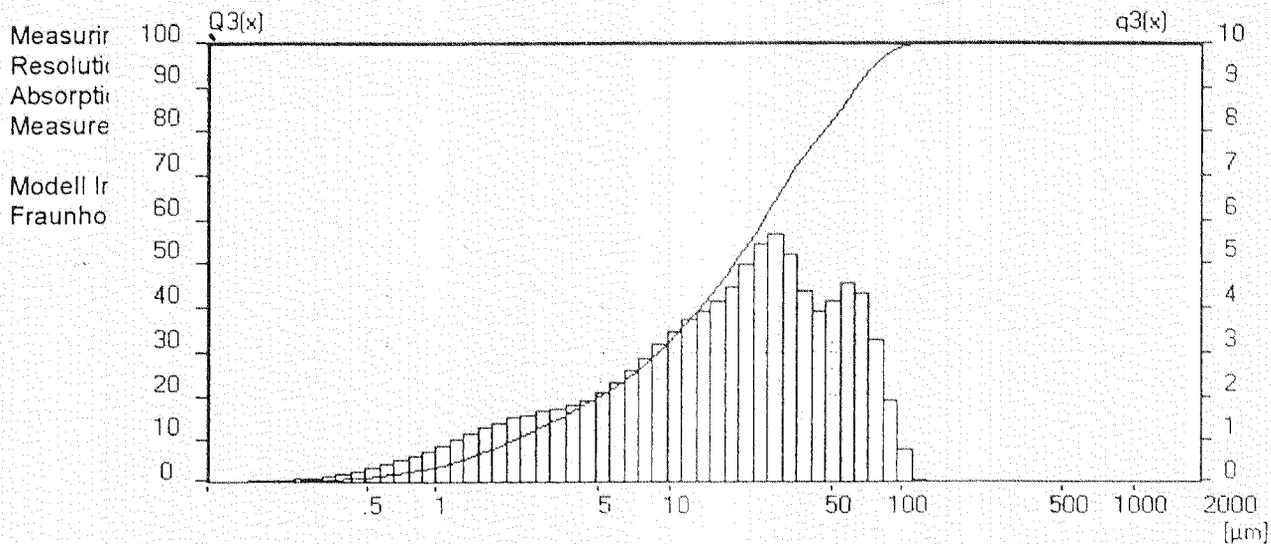
Mean Values...

D43 = 469.09 µm	D42 = 220.72 µm	D41 = 36.88 µm	D40 = 11.25 µm
D32 = 103.85 µm	D31 = 10.34 µm	D30 = 3.24 µm	
D21 = 1.03 µm	D20 = .57 µm		
V10 = .32 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	469.089 µm	Variance	75697.780 µm ²
Geometric Mean Diameter	364.146 µm	Standard Deviation	21.658 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	543.126 µm	Mean Square Deviation	228.457 µm
Harmonic Mean Diameter	103.853 µm	Coefficient Variance	4.617 %
Skewness	0.461	Mode	545.061 µm
Curtosis	-0.735	Median	422.737 µm
Span	1.750	Mean/Median Ratio	1.110
Uniformity	0.53		
Spec. Surface Area	0.06 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-23
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-23
 ' Depth : GL160-172m



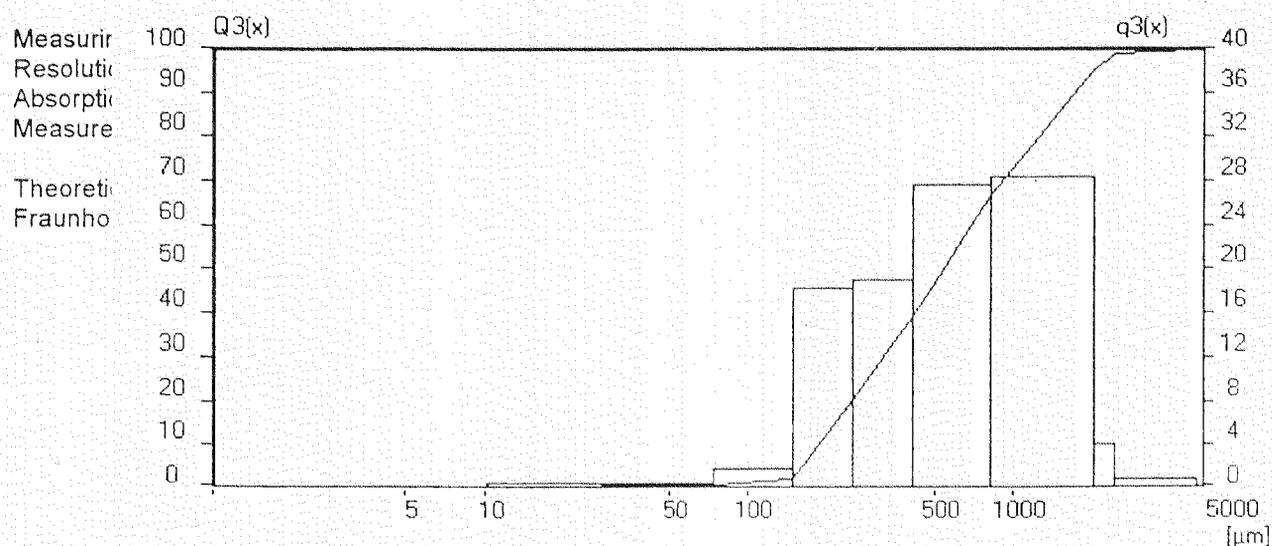
Mean Values...

D43 = 26.18 µm D42 = 11.99 µm D41 = 5.02 µm D40 = 2.61 µm
 D32 = 5.49 µm D31 = 2.2 µm D30 = 1.21 µm
 D21 = .88 µm D20 = .57 µm
 V10 = .36 µm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	26.183 µm	Variance	573.675 µm ²
Geometric Mean Diameter	14.796 µm	Standard Deviation	5.117 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	35.404 µm	Mean Square Deviation	19.082 µm
Harmonic Mean Diameter	5.487 µm	Coefficiant Variance	19.543 %
Skewness	1.098	Mode	28.243 µm
Curtosis	0.473	Median	19.165 µm
Span	3.202	Mean/Median Ratio	1.366
Uniformity	0.95		
Spec. Surface Area	1.09 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.21 Test By : ch File: DAPON-24
 ' Location : DA-PON HARBOR
 ' Sample No : s-24
 ' Depth : GL.172 - 176m



Mean Values...

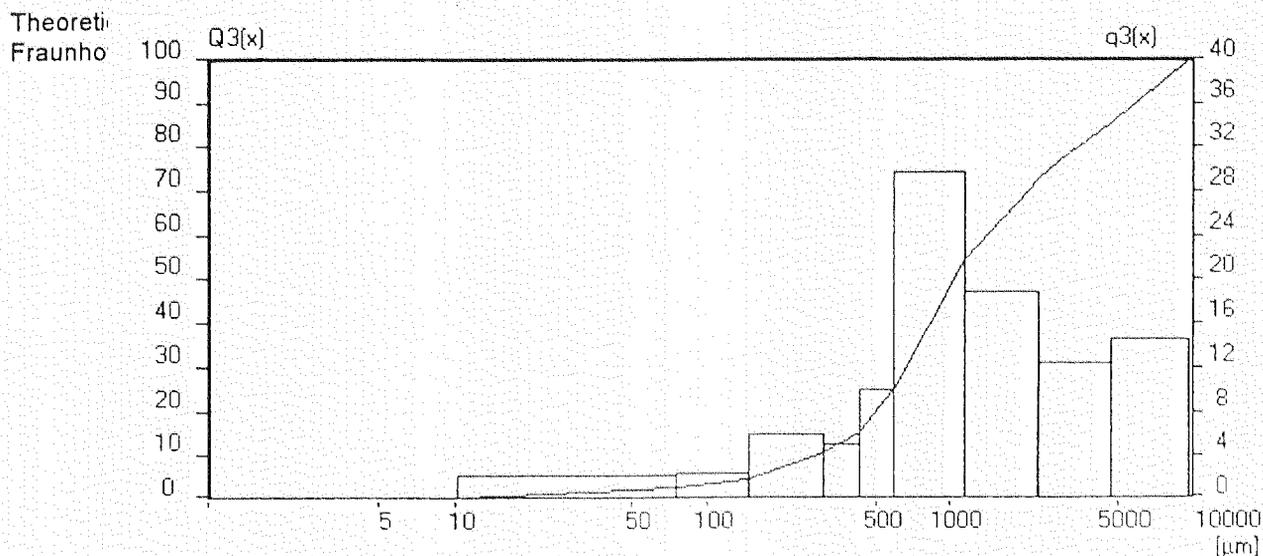
D43 = 739.79 µm D42 = 437.94 µm D41 = 181.11 µm D40 = 95.43 µm
 D32 = 259.26 µm D31 = 89.61 µm D30 = 48.22 µm
 D21 = 30.97 µm D20 = 20.8 µm
 V10 = 13.96 µm

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	739.788 µm	Variance	331778.800 µm ²
Geometric Mean Diameter	525.174 µm	Standard Deviation	27.199 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	935.813 µm	Mean Square Deviation	462.614 µm
Harmonic Mean Diameter	259.258 µm	Coefficient Variance	3.677 %
Skewness	1.067	Mode	615.113 µm
Curtosis	0.243	Median	552.070 µm
Span	2.653	Mean/Median Ratio	1.340
Uniformity	0.80		
Spec. Surface Area	0.02 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.07.21 Test By : ch File : DAPON-25
 'Location : DA-PON HARBOR
 'Sample No : s-25
 'Depth : GL.176 - 189m

Measuring Range	1.65 [µm] - 237.43 [µm]	Pump	[rpm]
Resolution	31 Channels (90 mm)	Stirrer	[rpm]
Absorption	10.00 [%]	Ultrasonic	
Measurement Duration	0 [Scans]		



Mean Values...

D43 = 2068.21 µm	D42 = 995.15 µm	D41 = 366.54 µm	D40 = 171.55 µm
D32 = 478.83 µm	D31 = 154.31 µm	D30 = 74.81 µm	
D21 = 49.73 µm	D20 = 29.57 µm		
V10 = 17.59 µm			

Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter	2068.210 µm	Variance	%52183.000 µm ²
Geometric Mean Diameter	1151.793 µm	Standard Deviation	45.478 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	3078.499 µm	Mean Square Deviation	1743.998 µm
Harmonic Mean Diameter	478.830 µm	Coefficient Variance	2.199 %
Skewness	1.589	Mode	852.074 µm
Curtosis	1.507	Median	1060.159 µm
Span	5.352	Mean/Median Ratio	1.951
Uniformity	1.40		
Spec. Surface Area	0.01 m ² /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

大鵬灣地下水位及地層下陷監測研究計畫

期中簡報審查意見辦理情形

89.7.21

單位	審 查 意 見	辦 理 情 形
吳 委 員 銘 志	<p>1、綜合意見：</p> <p>(1) 參考文獻列舉不實。如第二頁地 2.1 節，徐享崑等，1998；第 2.2 節，陳文福等，1998；第 10 頁第 2.5 節，黃智昭等，1998；第 6 頁至第 9 頁圖 2-3 至圖 2-6 皆源自中央地質調查所 1997 之資料；第 11 頁圖 2-7，黃智昭等，1998；參考文獻目錄中皆未列舉。</p> <p>(2) 排版格式需明確制度。如：文內之數目字、英文字等皆自動形成如下標樣，應予修正之。</p> <p>(3) 所示之各圖，也許因為影印品質不佳之故；皆模糊不清，請予以修正。若為彩色圖，於期末報告內應請附彩色圖（如：第 15 頁圖 3-3）。</p> <p>(4) 第 36 頁第 9--10 行「將水泥及皂土混合液以灌漿機打入預定位置」，然而，第 37 頁圖 5-3 內則為以「朋脫土」為封井材料，請說明。</p> <p>(5) 第 36 頁第 6 行「並先行飽和量測初值」此句話所指「飽和量測」為何，請說明？</p> <p>(6) 圖示不清楚：彩色記錄圖應以彩色呈現，以增加可讀性，如第 46 頁圖 5-9，實在無法判釋。因此第 45 頁以後之記錄數據討論項目等內容，實在無法進行讀圖與判釋。</p>	<p>(1) 依建議增補。</p> <p>(2) 依建議辦理。</p> <p>(3) 參酌辦理。</p> <p>(4) 皂土改為朋脫土。</p> <p>(5) 係將水壓計浸水飽和，再記錄其初始值。</p> <p>(6) 彩色圖在印刷費許可下盡力提供。</p>

<p>(7) 第 45 頁第三段第 5-7 行「可能這兩層目前抽用地下水量極少，因而其水位變化自然條件（如降雨或海水入侵）的影響較大所致」，以上敘述為沒有根據的推斷。</p> <p>(8) 第 52—53 頁表 5-4 為量測計錄值之原始資料，應可列為附錄資料。</p> <p>(9) 第 B-1 頁至第 B-25 頁之分析結果資料未作進一步解釋，亦即第 42 頁圖 5-7 之分層依據為何？應予以說明。</p> <p>(10) 第 55 頁，第六章，結論，第四段：應將圖 5-8、圖 5-9，及圖 5-10 結合成一圖以呈現降雨量分佈與水位變化關係。</p> <p>(11) 地層下陷之監測結果是依不同土層之相對壓縮量而推論，因此，如結論（五）之建議，若區域水準檢測未做，則依目前之地層下陷資料所推斷之結論，尚待商確。</p> <p>(12) 工作時程需定義清楚。第 I 頁，第三段，第二行：「監測第一年（87 年 2 月至 88 年 2 月）」；同段第三行：「監測第二年（88 年 2 月至 89 年 2 月）」。而於第 1 頁，第一章，第一段，第一行：「...於民國 88 年徵得...同意...」。觀測系統設置期程似乎與觀測期程有所出入，若為新添設置，則請說明，亦請說明設置位置，圖 5-1 並未說明觀測遺棄之設置地點，類似問題亦請一併處理。</p> <p>2、建議修正：</p> <p>(1) 第 1 頁，第一章，第一段，第一行，第三句：「大量抽取“超額”地下水」，“超額”的用詞聽起來有些奇怪。建議去掉。</p>	<p>(7) 推測語句將予刪除。</p> <p>(8) 參酌辦理。</p> <p>(9) B-1~B-25 分析結果匯整入附錄 A，再由附錄 A 繪製圖 5-7。</p> <p>(10) 參酌辦理。</p> <p>(11) 此層已鑽至 200m 礫石層，往下為基岩，屬不壓縮之地層，以基岩為不動點量測上層之累積壓縮量，已可代表該位置之下陷量。</p> <p>(12)</p> <p>①本監測井於 87 年 2 月架設完成，一年後因現地經費不足，無法定期量測，且因大鵬灣管理處須當地下陷資料供環評及設計參考，故以小型計劃方式委託本中心繼續調，查並要求提供本監測井架設以來之所有觀測資料。</p> <p>②監測井位置將在圖上標示清楚。</p> <p>(1) 依建議辦理。</p>
--	---

<p>(2) 第 1 頁，第一章，第二段，第五行，第四句：「且勢必造成地層下陷」，本地區（東港地區）業已被列為地層下陷區，原文之意似乎宣稱其尙未有地層下陷之現象。建議修正。</p>	<p>(2) 修正為「且勢必使地層下陷更加劇烈」。</p>
<p>(3) 第 2 頁，第二章，第 2.2 節，第一段，第二行，第三句：「地下水水層深厚」，文中所指地區之地下水含水層即為沖積層本身，因此本區自由含水層，應無“水層深厚”之說法。建議修正。</p>	<p>(3) 改為「地層深厚」。</p>
<p>(4) 第 3 頁，圖 2.1，相關地質之等值線圖應附比例尺及方向符號（請參考第 11 頁圖 2-7 為例）。</p>	<p>(4) 遵照辦理。</p>
<p>(5) 第 5 頁圖 2-2，(1) 等高線地形圖應附比例尺及方向符號。(2) 圖之左下角為表示之海底地形，其地形等值線應為“負值”。(3) 地圖應標註重要地標或參考點地名（請參考地 11 頁圖 2-7 為例）。</p>	<p>(5) 遵照辦理。</p>
<p>(6) 第 11 頁圖 2-7，(黃智”超”等，1998) 應為黃智昭，1998。建議修正。</p>	<p>(6) 依建議辦理。</p>
<p>(7) 文內提到參考某圖表時（如：第 12 頁），或用「... (圖 3-2)。」或用「...，如圖 3-2 所示。」，請參酌使用方式。</p>	<p>(7) 採用「如圖 3-2 所示。」</p>
<p>(8) 第 21 頁，圖 4-1，「土層之下陷行為與壓縮特性」土層之壓縮特性是地層下陷之因，即「下陷行為」是果，因此建議使用「土層之壓縮特性與下陷行為」。</p>	<p>(8) 依建議辦理。</p>
<p>(9) 第 23 頁，第 4-2 節，第二段，第三行，第一句：「”難”透水層」非常用名詞，建議使用「”低”透水層」。</p>	<p>(9) 富水層，阻水層統一改為透水層及低透水層。</p>

	<p>(10) 第 25 頁第 4-3 節：1.Terzaghi 壓密理論，第 (3)，...「達西定律 (Darcy law)」，正確用法應為 Darcy's law。</p> <p>(11) 第 28 頁：</p> <p>① 公式 (4-11)，二次函數：$S=ax^2+bx+c$，是否應為 $S=ax^2+bx+c$？</p> <p>② 公式 (4-12)，對數函數 (Logarithmic function)：$\log S=\log a+b\log x$，其公式是否應為 $S=a+b\ln x$？</p> <p>③ 公式 (4-13)，指數函數 (Exponential function)：$S=axb$，其公式是否應為 $S=aebx$？若其公式為 $S=axb$，則其應稱為幕次函數 (Power function)</p> <p>(12) 第 29 頁，4.下陷與含水層厚度之關係，第一段，第二行：$(D_s v_o/H_p)$，不知所指為何，請重述符號定義問題。</p> <p>(13) 文中所用「土層」非地質常用名詞，請統一並修正，以「地層」一詞表之。</p>	<p>(10) 依建議辦理。</p>
<p>丁 委 員 澈 士</p>	<p>1、本區域之養殖漁業興衰與抽水型態 (抽水量、抽水深度) 與地層下陷量有關，因此對本區域各標的用水量在各含水層抽用量應加以調查。</p> <p>2、地下水壓計僅在含水層設置，而本區之下陷量皆在阻水層發生，因此阻水層之水頭及地層性質有很大關係，因此建議可擇處在阻水層設置水壓計及水文地質性質分析。</p> <p>3、沈陷理論如何與實務連結，若能以區域觀念推估本區域之沈陷量，可供業主在不同地點規劃建築物時對沈陷之結構考量。</p>	<p>1、本研究計劃係針對所架設之監測井進行監測及分析，而下陷區之地下水抽用量等大面積調查，已超出合約範圍，且該調查須大量人力經費，宜另案辦理。</p> <p>2、張委員炎銘表示：阻水層 (或低透水層) 因透水性極低，較難反應地下水之抽用及補注情況，並不適宜在此層設水壓計。</p> <p>3、參酌辦理。</p>

	4、基本資料應請于期末報告加強，資料來源應以最新資料描述。	4、本計劃為單點監測系統之監測及分析，所引用屏東平原地下水文資料，係為介紹及參考大環境之概況，並未用以分析，故不便多加著墨，以免偏離主題，地調所或其它單位若有最新資料發表，將予更新。
張 委 員 炎 銘	<p>1、P1 前言第一段述及地層下陷現況，可能會誤導一般民眾，事實上最近的資料本人提供如附，請參考，近二年地層下陷最嚴重地區在彰化縣大城鄉。</p> <p>2、P5 圖 2-2 最好加地名，同時海岸線外之等深線應為負值。</p> <p>3、分層沈陷井的感應磁環報告內有的地方 22 只、有的地方 23 只，請統一或補充說明數字不一之理由。</p> <p>4、P34 表 5-2 為何同一含水層內要放多達五組之電子式水壓計？</p> <p>5、比較表 5-2 開放式水壓計之水頭高及 P36 開放式水壓計的安裝方式法（水頭水位下十公尺）及 P38 安裝示意圖並不一致，何者正確？</p> <p>6、P36 分層沈陷井井管材質為南亞 2.5 英吋井管，是否為 P.V.C？深達二百公尺，且係沈陷井用 P.V.C 強度是否不足。</p> <p>7、P37.P38 有關井之濾水管位置，可否加註。</p> <p>8、P46 圖 5-9 各分層水位變化極難判讀，正式報告宜改善。</p>	<p>1、依資料修正。</p> <p>2、遵照辦理。</p> <p>3、原架設 23 只，勘用 22 天，將統一改為 22 只。</p> <p>4、五個井管底部之切槽口直接下放在 35m 至 202m 等不同深度位置，而在各井管之初始水位面以下 10m，放置電子式水壓計，經監測及計算可得該井之水頭壓力值。</p> <p>5、水頭水位下十公尺係電子式水壓計所安裝在管內的位置。</p> <p>6、系統架設時，沉陷環係以電線纏繞固定在 PVC 管上，下放到預定深度後，再以高壓燒斷電線，使沉陷環之支腳撐開而嵌住井壁土壤，可使沉陷環隨土壤之壓縮而位移。PVC 管在地底深處會受壓變形，但沉陷環已與 PVC 管脫離，不致受其影響。</p> <p>7、五個位置已列表 5-2 中。</p> <p>8、遵照辦理。</p>

	9、P48 提及大鵬灣地下水的 استخدام情形，是否能增加做個水質檢測，看不同含水層是海水或淡水（做個導電度或 T.D.S 就可以）較能判斷。	9、大鵬灣管理處已開始在此監測井內採水樣作分析。
交通部觀光局	1、雨季則地下水使用少，但附近養殖業並不用地表水，是否有其他影響因素，是否其他農業灌溉使用？ 2、是否抽水之水層往下移至 105 公尺以下，可試圖與抽水養殖業者訪談獲得對照資料。	1、地表水及地下水使用調查，因本計劃為小型計劃，經費人力不足，請考慮另案調查。 2、關於大面積之調查，因經費不足請考慮另案辦理。
結論	1、請承辦單位（交通部運輸研究所港灣技術研究中心）廣為收集本區域抽水與地層下陷相關資料，除丁委員及張委員所提供資料外，本處企劃課亦可提供相關規劃資料供參。 2、各位委員及出席代表所提意見及宜以彩色圖表示部份等，請配合修正。 3、報告書結論內容及建議請儘量具體化妥予敘明。 4、本案審查通過。 5、另本區域內基於地下水位及地層下陷監測對未來開發影響甚巨，目前僅青洲一處尚嫌不足，建請增設觀測井乙節，另案請交通部運輸研究所港灣技術研究中心協助提出觀測井增設之評估計畫送處研辦。	1、遵照辦理。 2、遵照辦理。 3、遵照辦理。 5、遵照辦理。

大鵬灣地下水位及地層下陷監測研究計畫

期末簡報審查意見辦理情形

89.12.6

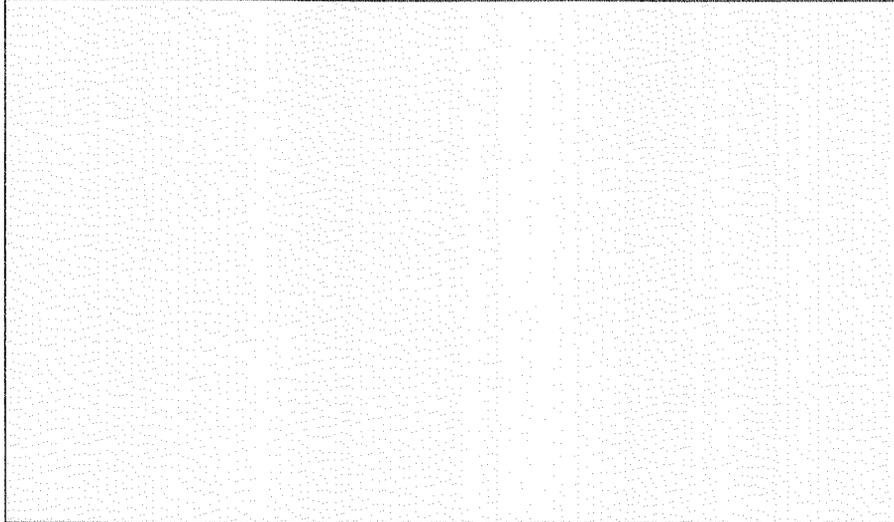
單位	審 查 意 見	辦 理 情 形
丁 委 員 澈 士	<p>(1) P.I 淺層地下水位變化不大，但平均下陷量又發生在淺層最大？此行為該如何分析？</p> <p>(2) P.19 在研究地區之概況描述，至少應引用至研究期限年，如地層累積下陷量，經濟部水利處有至 88 年之資料。</p> <p>(3) 根據沉陷量推估結論得知在三年後，可能之水位下降在 1、5、10、15、30 公尺沉陷分別為 1、11、21、31、41 公分，因此對業主在不同區域之沉陷量可能因水位下陷不同，能否建議提供業主在大鵬灣地區分區潛在沉陷量表，供規劃建築物對沉陷之結構考量。</p> <p>(4) 圖 5-9 有二階段未紀錄是否機械故障，尤其在 88 年 6 月至 9 月階段，若能量測到 921 大地震之水位觀測值與地震之關係，在學術分析上可能有其貢獻，實殊可惜。</p> <p>(5) 圖 5-10 在習慣上，可將降雨量圖（向下直方圖）與地下水位圖合在一起。</p>	<p>(1) 第六章結論四有述明可能之原因。</p> <p>(2) 經查水利處於 88 年有施做水準檢測，但地點不在屏東平原。</p> <p>(3) 本研究之分析係依據青洲公園所安裝之二百米監測井相關資料，若需分析分區沉陷，須再加增監測井。</p> <p>(4) 地震延時極短，但本系統為六小時擷取一次資料，無法配合。</p> <p>(5) 因小研究收集潮州、東港兩地之降雨量，若用直方圖表示，兩筆資料會相重疊而難以分辨。</p>
張 委 員 炎 銘	<p>(1) 摘要內提及大鵬灣平均沉陷量 2.3 公分建議加上單位及時間；係每年平均 2.3 公分，且其資料時間亦宜註明，否則會跟下一段文章連貫不起來。</p>	<p>(1) 此處年平均為 2.2 公分，資料時段會再予註明。</p>

	<p>(2) P.1 提及之地層下陷資料係水利處資料，非水資源局資料，請更正。</p> <p>(3) P.5 提及「Aquifer」、「Aquifard」翻譯成「透水層」、「底透水層」雖與水利處習慣用法不一致，但 P.57 又用含水層、阻水層，建議修正一致用語。</p> <p>(4) P.17 圖 3-3 不太清楚，且其標題是「大鵬灣區基地地質圖」，是否可將範圍縮小，以符合實際，並應繪示清楚。</p> <p>(5) 期中簡報時，本人曾建議加測水質，只要很簡單的 T.D.S 或重導度，但仍未能包含這方面成果，是否說明一下。</p> <p>(6) 未來這口監測井的營運、維護等，請加以思考希望不要計畫結束後就不再觀測，甚至可以在現有基礎上更加深入、再探討。</p> <p>(7) 要分析雨量與地下水位關係，建議地下水位不要人工量測，因其資料太少，建意用日雨量與日地下水位。</p>	<p>(2) 遵照辦理。</p> <p>(3) 遵照辦理。</p> <p>(4) 此圖乃引用自管理處「整體發展規劃設計」中。</p> <p>(5) 管理處已另案加測水質。</p> <p>(6) 參酌辦理。</p> <p>(7) 後續計劃再向氣象局索取詳細資料加以比對。</p>
<p>吳 委 員 銘 志</p>	<p>1、綜合意見：</p> <p>(1) 期中報告審查意見，皆以按建議事項辦理完成。</p> <p>(2) 期末報告內容增加許多觀測資料及分析結果，顯見計劃工作之完整，唯大鵬灣區域包括臨海沙洲（即青洲公園）及陸地兩部份，兩部份之地層沉積物材質顯然不同，建議予以分開討論。</p>	<p>(2) 沙洲與內陸地質會有不同，內陸地質須另案鑽探調查。</p>

<p>(3)地層下陷問題與地下水水位變化問題係長期性工作，應有延續觀測分析工作之規劃。</p>	<p>(3) 參酌辦理。</p>
<p>2、修正建議：</p>	
<p>(1) P.I 第一段第二行「囊狀」潟湖，建議以「半封閉性」潟湖稱之。</p>	<p>(1) 遵照辦理。</p>
<p>(2) P.I 第二段第三行「淺層 35 M 及 58M . . . ，約在 -3.0M -4.0M . . . 」，此二長度值指海平面下或地表下，請予說明。其餘各處亦請一併修正。</p>	<p>(2) 將加上「地表下」等字。</p>
<p>(3) P.I 第三段第一行「平均沉陷量為 2.3 公分」，此沉陷量係指年平均量？請說明。</p>	<p>(3) 此為監測井設置完工迄今 30 個月之年平均值。</p>
<p>(4) P.I 第三段第二行「沉陷在地表至 51.3 公尺處 . . . 」此數值係指地表下或指高程值，請說明。</p>	<p>(4) 改為地面至地表下 51.3 公尺處。</p>
<p>(5) P.3 第二段地一行「地質結構以板岩及變質沙岩等 . . . 」，地質構造其成份為大地構造和沉積構造兩種，建議以「區域地質岩性以板岩及變質沙岩等 . . . 」修正之。</p>	<p>(5) 遵照辦理。</p>
<p>(6) P.3 第三段屏東平原沖積層厚度應超過 600 公尺，請查資料修正之。</p>	<p>(6) 經查「屏東平原之沖積扇群」(陳文福等，1998 年 3 月)，內載為超過 250m，據此修正之。</p>
<p>(7) P.3 第三段第四行：「遭逢」，請改用「歷經」一詞。為荷。</p>	<p>(7) 遵照辦理。</p>
<p>(8) P.4 圖 2-1 之圖示效果不佳，等值線的表示應可再改進，P.6 圖 2-2 及 P.17 圖 3-3 亦同。</p>	<p>(8) 若印刷費許可，將以色列印。</p>
<p>(9) P.5 之 2.3 節第三行 Aquifard，請依前位委員所述配合更正。</p>	<p>(9) 遵照辦理。</p>

	<p>(10) P.11 之 2.5 節第二段第五行「零水位線」係指海水面或其他？請說明。</p> <p>(11) 青洲公園地區臨海，其地下水位受海潮汐之影響甚鉅，應予以檢討分析。</p> <p>(12) P.53 圖 5-11「個別壓縮量」若壓縮量為負值則正值代表膨脹量，請說明。</p> <p>(13) P.54 圖 5-12 累積下陷量之累積量是否應以正值表示。</p> <p>(14) P.59 圖 5-13、P.60 圖 5-14、P.61 圖 5-15 沉陷量用負值表示是否合理？而本圖所展示者應為累積量圖。</p>	<p>(10) 指地下水水面。</p> <p>(11) 擬在後續計劃參考辦理。</p> <p>(12) 觀測結果，確有壓縮及膨脹現象，但量極微小，可能為人為誤差影響。</p> <p>(13) 通常在水準檢測時，上升取正值，下陷取負值，本圖因為下陷量，故取負值。</p> <p>(14) 意見同前。</p>
結 論	<p>1. 報告書內之圖表製作，請承辦單位（港灣技術研究中心）在經費許可下儘量以彩色版面製作，若有經費不足之考量時，也應請至少製作三本彩色圖表版面之期末報告，做為本處存檔原版，以利往後加印之需求。</p> <p>2. 報告書摘要、結論內容及建議用詞請儘量具體化、平常化、口語化（勿太於專業），以利 B.O.T 廠商之運用。</p> <p>3. 本案期末報告准予備查。</p> <p>4. 正式書面報告請於 89.12.26 交付。</p> <p>5. 報告書封面之條碼，請企劃課向觀光局申請條碼或統一編號；交由港研中心編印報告書。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 遵照辦理。</p> <p>4. 遵照辦理。</p> <p>5. 遵照辦理。</p>

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料



大鵬灣地下水位及地層下陷監測研究計畫

著者：謝明志、賴聖耀

出版機關：交通部觀光局大鵬灣國家風景區管理處

地址：屏東縣東港鎮船頭路 25~254 號

網址：<http://www.tbnsa.gov.tw/>

電話：(08)8338100

出版年月：中華民國八十九年十二月三十一日

印刷者：學友資訊股份有限公司

地址：台中市育德路 21 號

電話：(04)2058561

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

工本費：元

展售處：非賣品

GPN：009074890500

ISBN：(平裝)