

# 屏東大鵬灣地層下陷監測之研究

執行單位：大地工程組

執行期間：民國八十七年七月一日至  
民國八十八年六月三十日

計劃主持人：賴聖耀

共同主持人：謝明志

協同主持人：陳志芳

助理人員：陳義松

李春榮

張阿平

張惠華

# 屏東大鵬灣地層下陷監測之研究

## 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，長期超抽地下水影響，導致地盤嚴重下陷，形成海岸線內移、海水倒灌，排水不良等問題，進而影響風景區及遊憩區之旅遊品質。

本計劃為一年之短期計劃，於大鵬灣地區設立一孔200公尺之沉陷監測井及水位監測井，經地下水位監測結果，淺層35m及58m之水位變化不大，約在-3.5~-4.0公尺間反復振盪，而105m及142m之中，深層水位則自-4.8公尺及-4.5公尺下降至-6.4公尺和-5.8公尺。由地層下陷監測結果顯示，大鵬灣一年之沉陷量約為4公分，其中百分之八十七之沉陷在地表至51.3公尺處發生，顯示此地區屬淺層沉陷，而由水位及沉陷監測結果分析得知，大鵬灣區附近有超抽地下水，而此水位是在淺層及中層之地下水。

# 屏東大鵬灣地層下陷監測之研究

## 目 錄

中文摘要.....	I
一、前言.....	1
二、大鵬灣地質概況及相關資分析.....	2
三、地層下陷行為與分析方法.....	10
四、監測系統安裝與地層下陷量測結果分析.....	22
五、結論與建議.....	45
參考文獻.....	46
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

# 一、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，大量抽取超額地下水，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，根據經濟部水資源局統計，至民國86年止，此面積共達約九百平方公里，其中以屏東沿海地區之最大累積沉陷量與最大下陷率，分別約3.06公尺及每年19.6公分為最嚴重。

位於本省西南屏東平原沿岸地區之大鵬灣雖為一天然潟湖，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，但因大鵬灣恰處於平原沿海地區，亦受到此區魚塭業大量超抽地下水影響，導致整個區域性地下水位下降，若水位繼續下降，恐有引發海水入侵之疑，且勢必造成地層下陷，因此為維護港區工程及各樣設施之安全，針對本區之地下水位變化與地層下陷做長期性之監測研究。

本研究擬對大鵬灣觀光遊憩港區，選擇適當地點，以無線電波感應式層別沉陷儀進行港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港區地層下陷之影響，並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。

## 二、大鵬灣地質概況及相關資料分析

### 2-1 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(如附圖2-1)。

大鵬灣為台灣地區唯一之潟湖地形，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，(如附圖2-2)，如沙嘴將橫越海灣的出口全部封閉，則形成封閉形海灣，即是潟湖(Lagoon)。

### 2-2 大鵬灣港區地質

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，(如附圖2-3)。

本地區主要為砂質之沖積層，根據本所搜集之5孔陸上地質鑽探資料顯示(如附圖2-4)：

- 1.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。
- 2.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(附圖2-5)。

## 2-3 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，(如附圖2~6)。

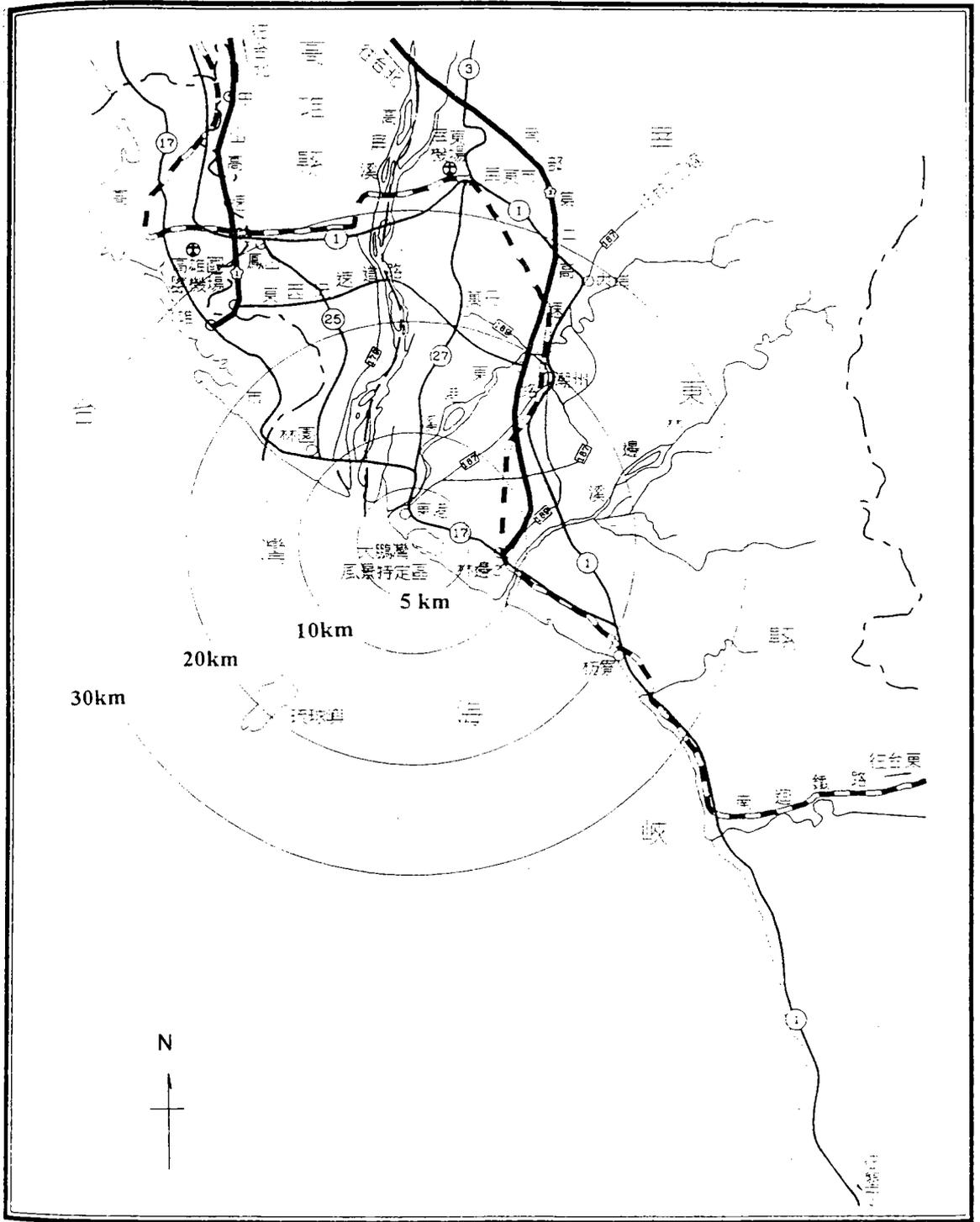


圖 2-1 大鵬灣風景區地理位置圖

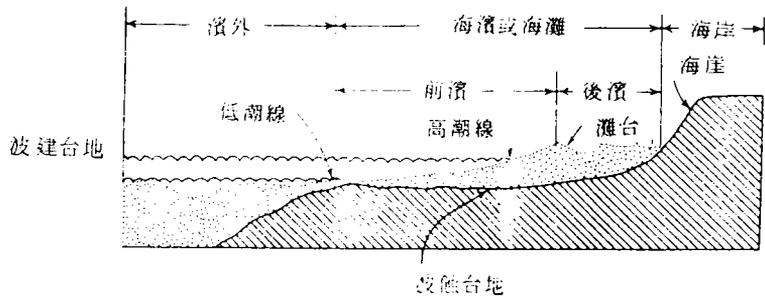
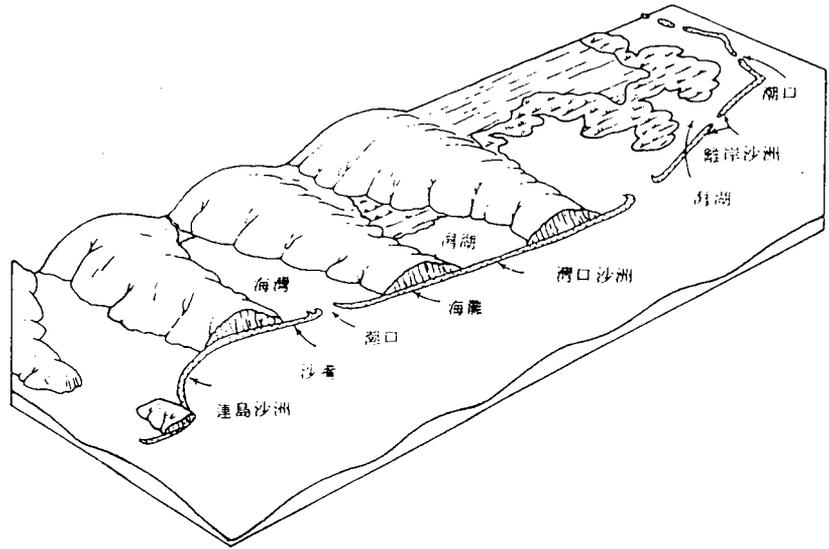


圖2-2 海濱所見之沉積地形和剖面圖



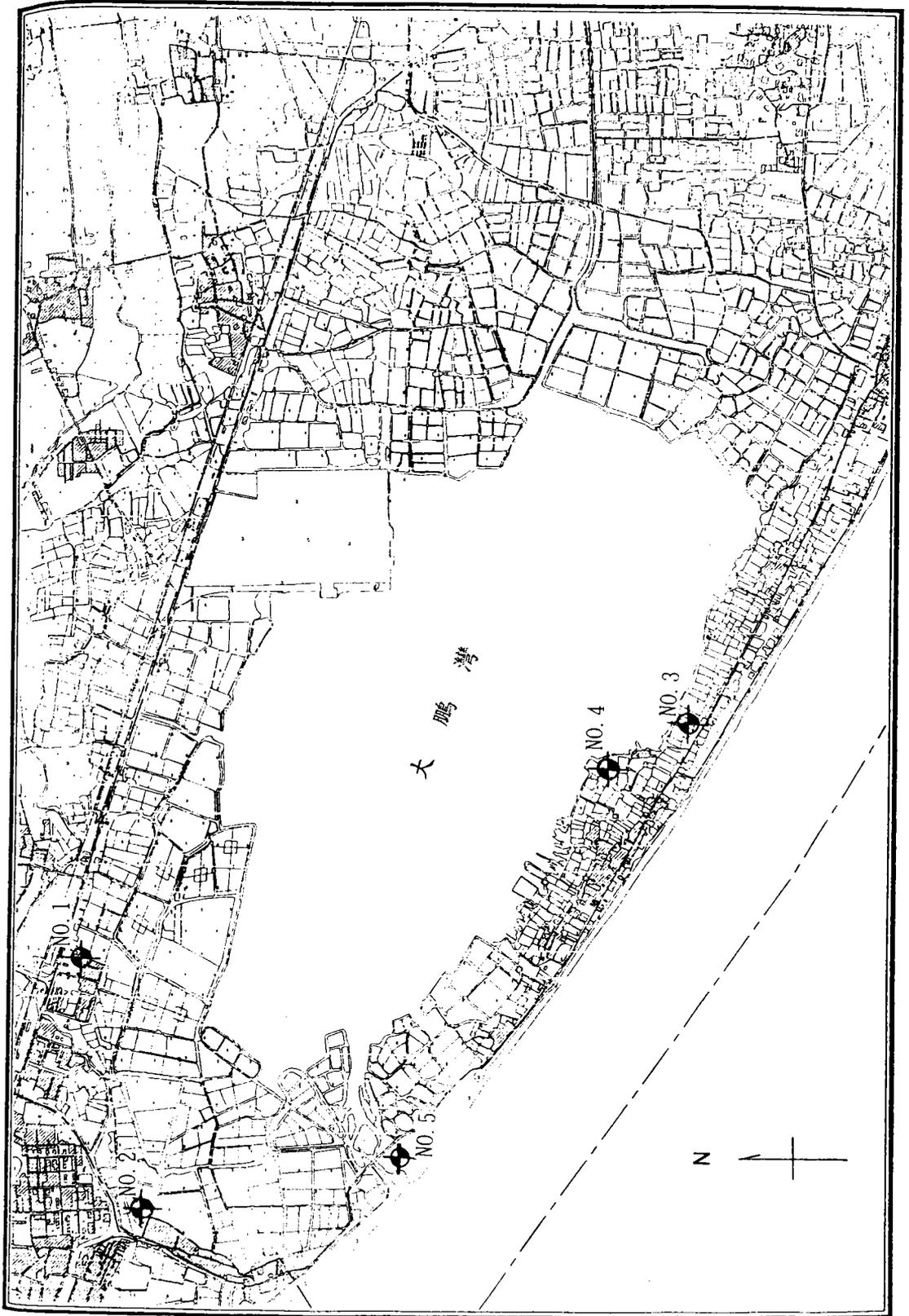


圖2-4 大鵬灣區鑽探位置圖

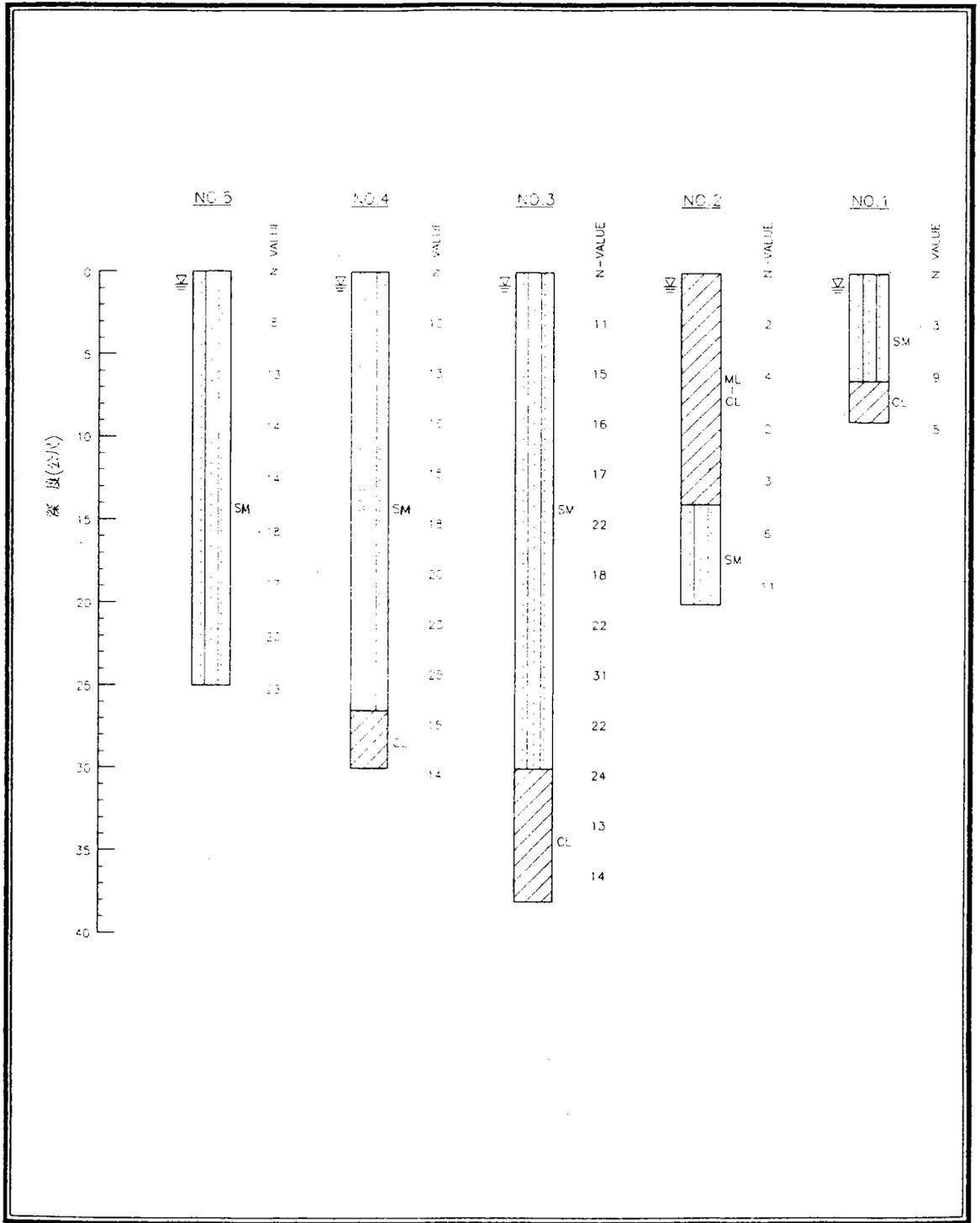


圖2-5 大鵬灣區地層柱狀圖



### 三、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 3-1 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：

### 3-1 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，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難透水層(Aquitard)或粘土層，而其他之受壓水層(Aquifer)及粘土層則無有效應力增量產生，其分佈情形如圖3-2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3-3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。

### 3-2 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。

### 3-3 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：

#### 3-3-1 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 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。

$$S_u = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{P'_0 + \Delta\sigma'_{vo}}{P'_0}\right) \dots\dots\dots(3-1)$$

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 $S(t)$ 。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots\dots(3-2)$$

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：

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

3)

式中， $U(t)$ ：平均壓密度，定義如式(3-4)

$T_v$ ：時間因數

$$U(t) = 1 - \frac{\int \Delta u dz}{\int \Delta u_0 dz} \dots\dots\dots (3-$$

4)

而式(3-3)中之時間因數  $T_v$  與時間  $t$  之關係如下所示：

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H_{dr}^2} \dots\dots\dots (3-$$

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：

$$S(t) = S_u \times U(t) \dots\dots\dots (3-$$

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：

$$\left. \begin{aligned} G\nabla^2 S_x + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} &= 0 \\ G\nabla^2 S_y + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} &= 0 \\ G\nabla^2 S_z + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} - \frac{\partial p}{\partial z} &= 0 \\ k\nabla^2 p &= \frac{\partial \varepsilon}{\alpha} + n\beta \frac{\partial p}{\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3-$$

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)， $E$ 、 $\nu$ 、 $G$  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  $G = E/2(1+\nu)$ 。 $k$ 、 $n$ 、 $\beta$  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(3-7)簡化如下：

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

$$-k \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 S_z}{\partial z \partial t} + n\beta \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots (3-8)$$

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(3-8)解析得如下所示：

$$S_z = \frac{4P_0 H}{\pi^2 \eta G} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{(2n+1)\pi}{2H_d} \right)^2 C_v t \right] \right\} \dots\dots\dots (3-9)$$

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  $H_d = H/2$

### 3-3-2 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：

(a) 一次函數  $S=aX+b$  .....(3-10)

(b) 二次函數  $S=aX^2+bX+c$  .....(3-11)

(c) 對數函數  $\log S=\log a+ b \log X$  .....(3-12)

(d) 指數函數  $S=aX^b$  ..... (3-13)

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：

$\frac{ds}{dt} = K(P_0 - P)$  .....(3-14)

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：

$$\frac{ds}{dt} = KS \left\{ (P_0 - P)t - \frac{dp}{dt} \right\} \exp\{-K(P_0 - P)t\} \quad \dots\dots\dots(3-15)$$

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：

$$S=aQ+b \quad \dots\dots\dots(3-16)$$

或

$$S=a\sqrt{Q}+b \quad \dots\dots\dots(3-17)$$

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。

## 四、地層下陷與水壓監測

### 4-1 監測系統規劃與安裝

#### (一)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皂土進行封層，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 4-1），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 22 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 4-2 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 4-1 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、

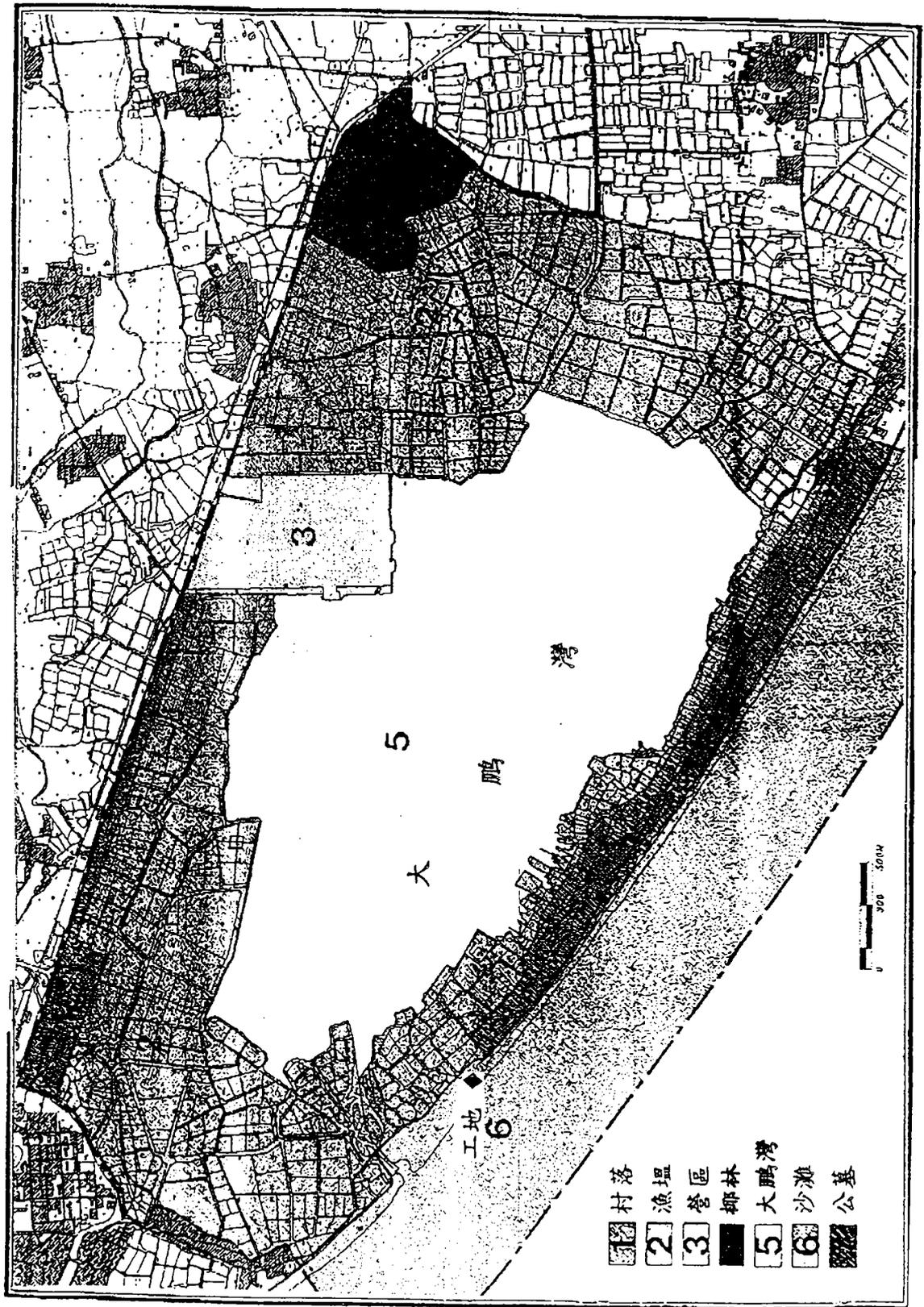


圖4-1 大鵬灣地層下陷與水壓監測井位置圖

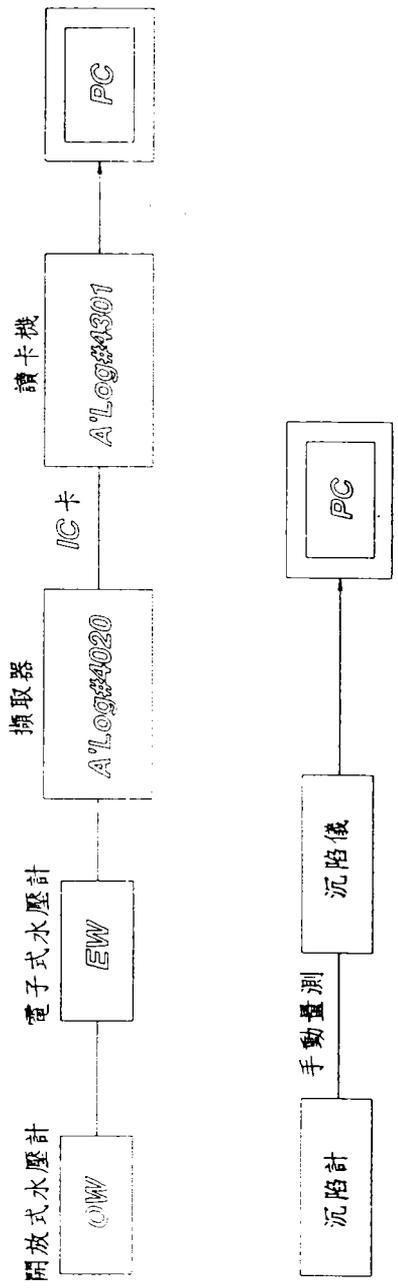


圖 4-2 系統儀器架構流程圖

表 4-1 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

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 4-2 所示。

## (二)儀器裝設

### 1. 電子式水壓計

本水壓計採用日本 DOBOKU 生產，型式為電阻式  $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$  及  $2\text{kg}/\text{cm}^2$  耐水壓型水壓計

- (1) 因本地區位於海濱附近及鑽孔深度為 207M，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 4-3 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 4-4 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 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。
- (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。

表 4-2 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

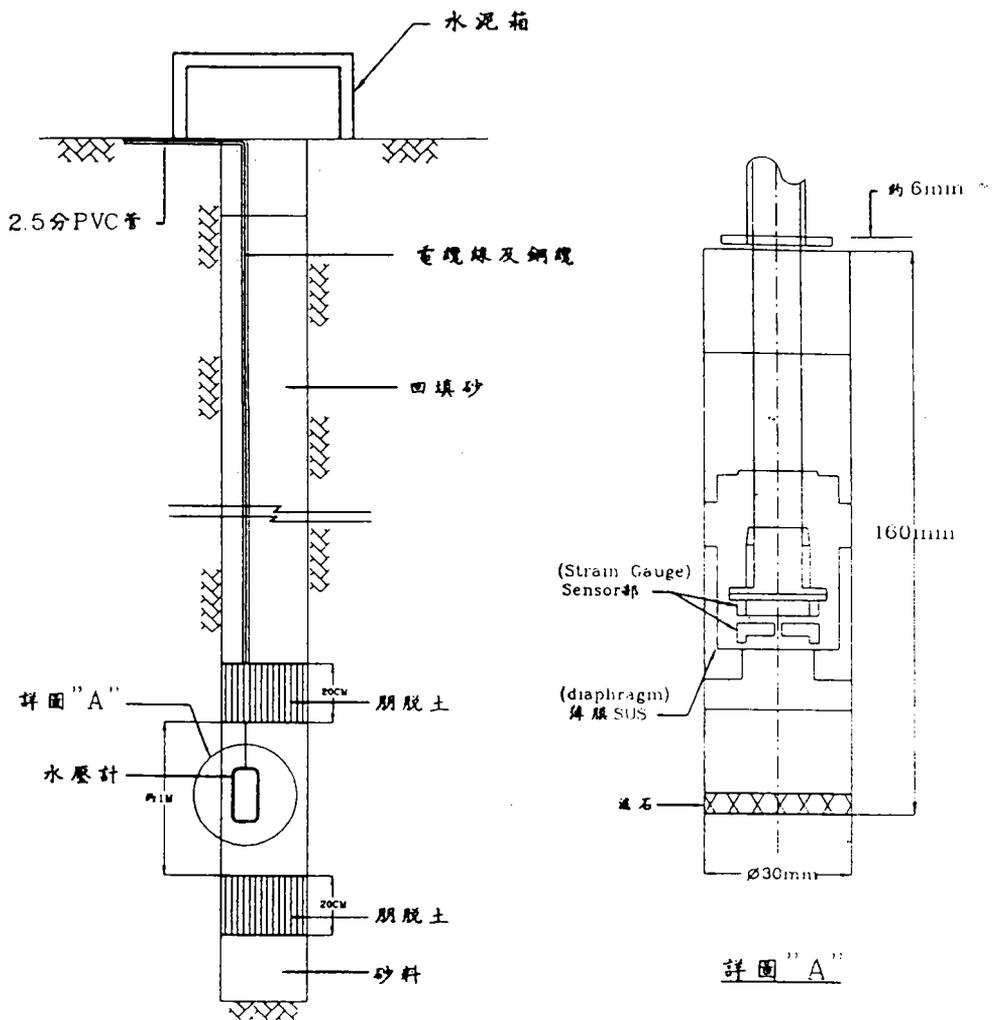


圖 4-3 電子式地下水壓計安裝示意圖

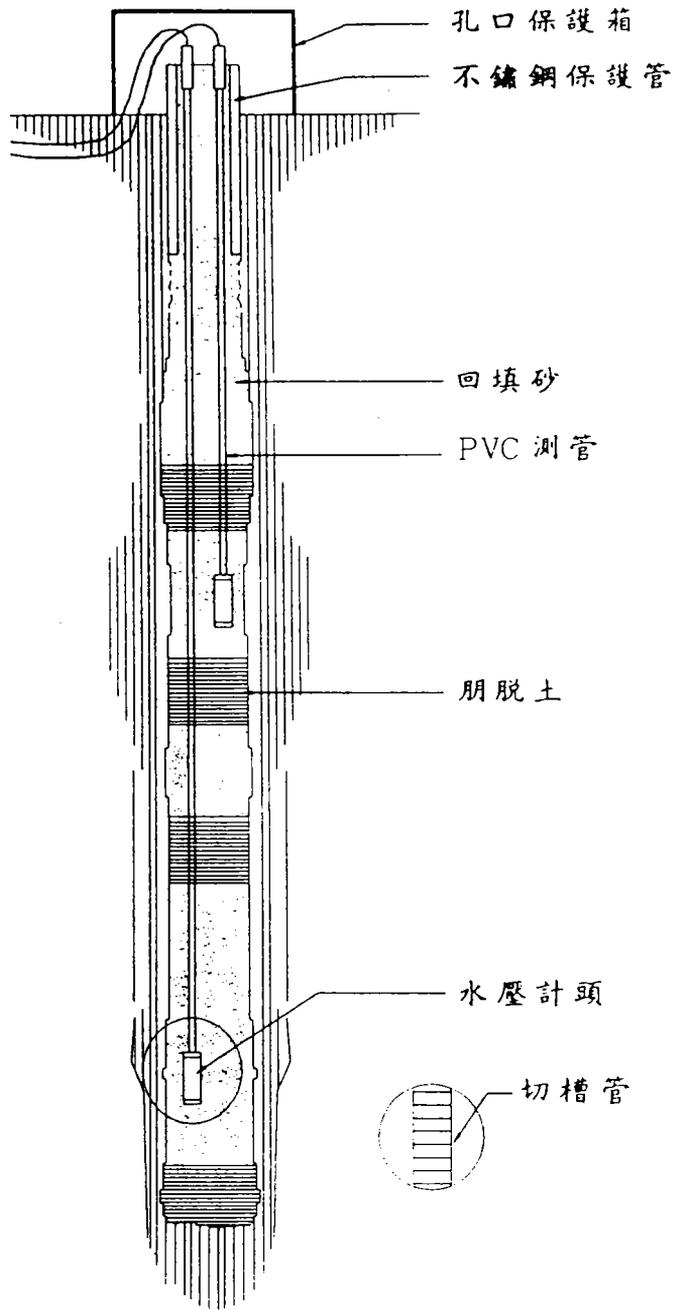


圖 4-4 開口式水壓計安裝示意圖

(5) 安裝示意圖如圖 4-5、4-6 所示。

## 4-2 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 4-7、附錄 A、B 所示，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~-60m，皆大部分為灰色砂土層，其中-24m~-29m，及-49m~-53m 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-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)。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 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)。
7. 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)。

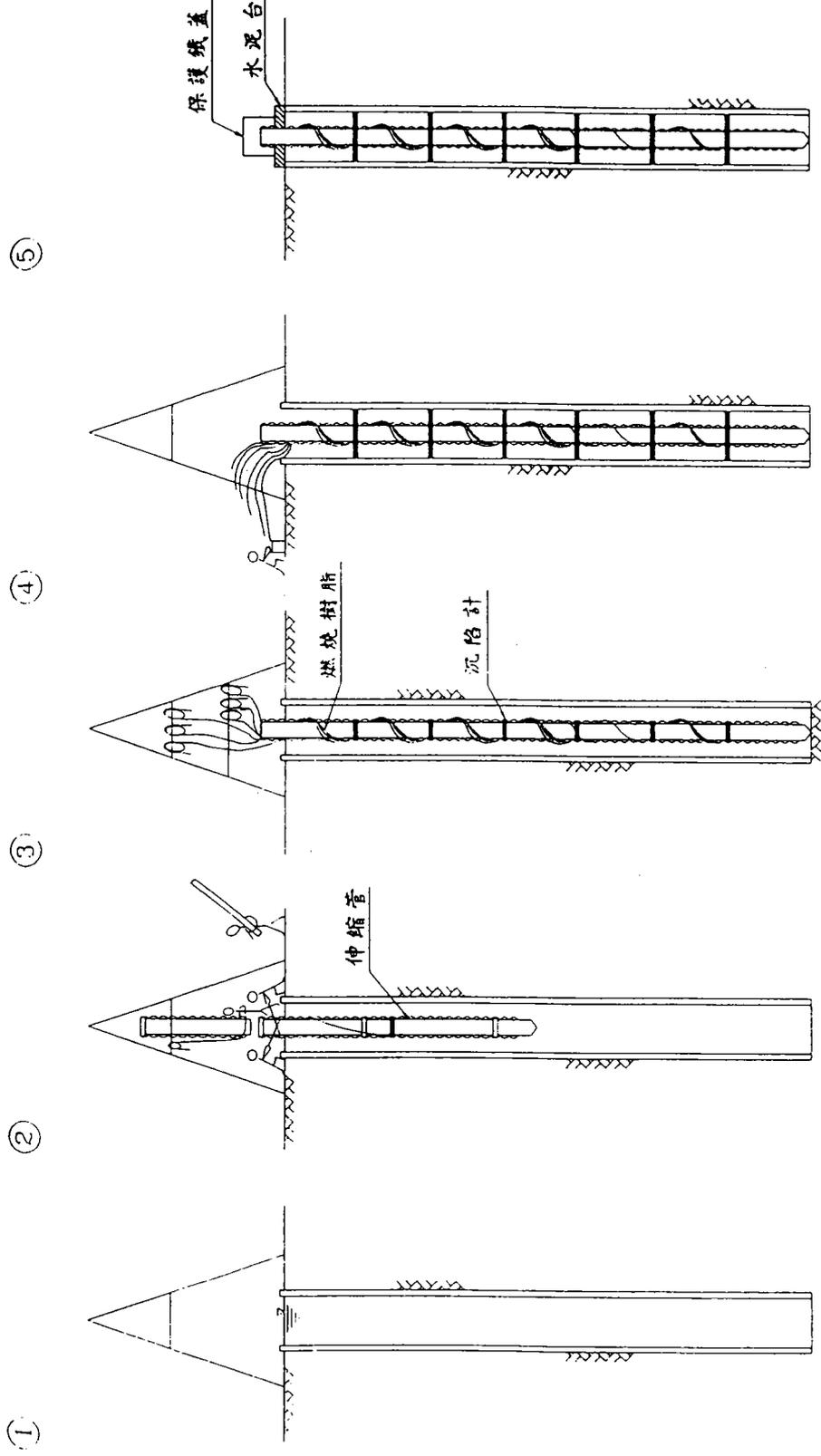
8. 粘土層(CL)：分佈於地表下-144m~-153m 深處，比重為 2.72，厚約 9 公尺之灰色低塑性粘土。
9. 砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-153m~-159m 深，厚為 6 公尺之灰色砂土層。
10. 粘土層(CL)：分佈於地表下-159m~-171m 深，為一層厚達 12 公尺之灰色粘土層。
11. 砂土層(SW~SP)：分佈於地表下-171m~-188m 深，厚約 17 公尺之砂土層，而自-175m 深以下之砂土層，其顆粒分佈隨著深度之增加有較粗之趨勢。
12. 卵礫石層(GP)：分佈於地表下-188m 至-201m 深度為止，皆是卵礫石層。

### 4-3 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。

#### 4-3-1 雨量

大鵬灣地區之雨量，根據東港水產試驗所氣象站記錄所示，自民國 80~83 年之月降雨量分佈約集中在 7、8、9 三個月(如表 4-3、圖 4-8)，冬季較少降雨，最大之雨量在 7 月。



鑿井完成圖 沉陷計下管圖 沉陷計下管完成圖 沉陷計安卡打開圖 儀器安裝完成圖

圖 4-5 沉陷計安裝示意圖

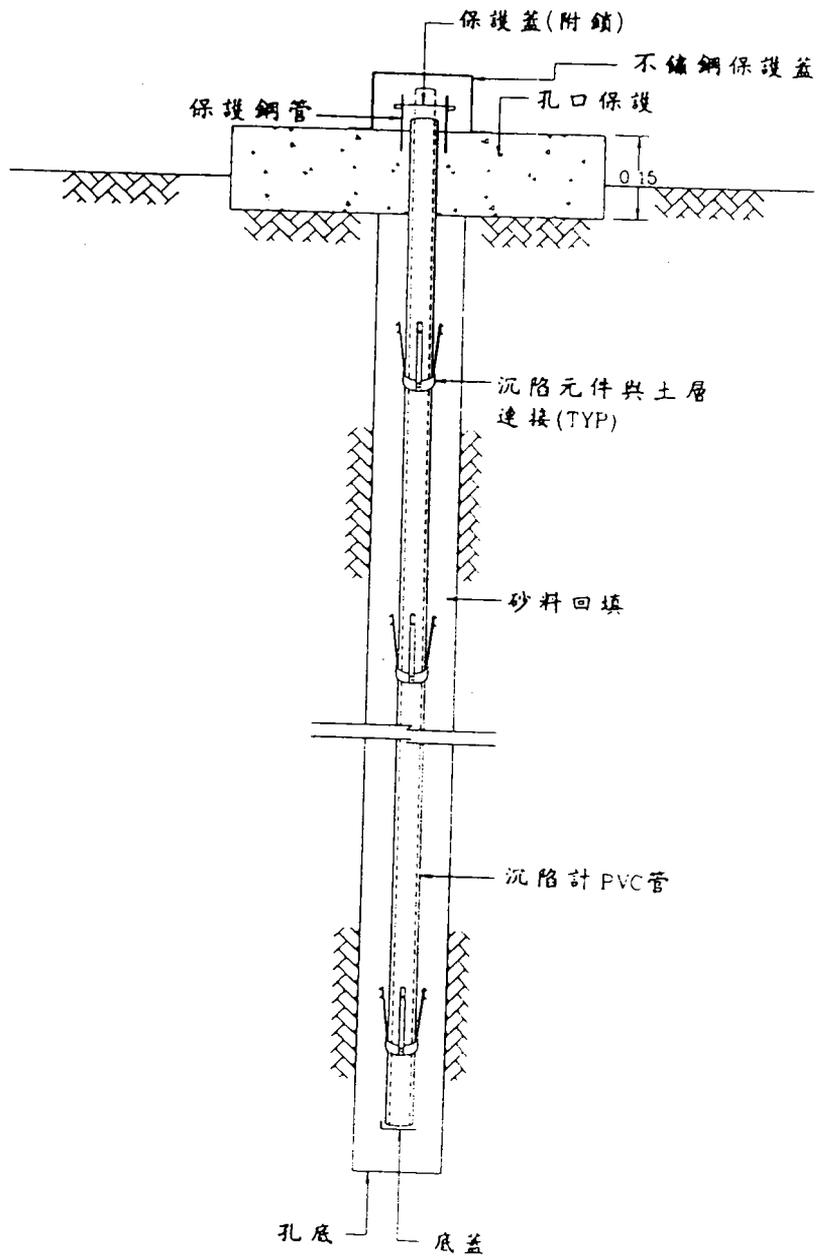
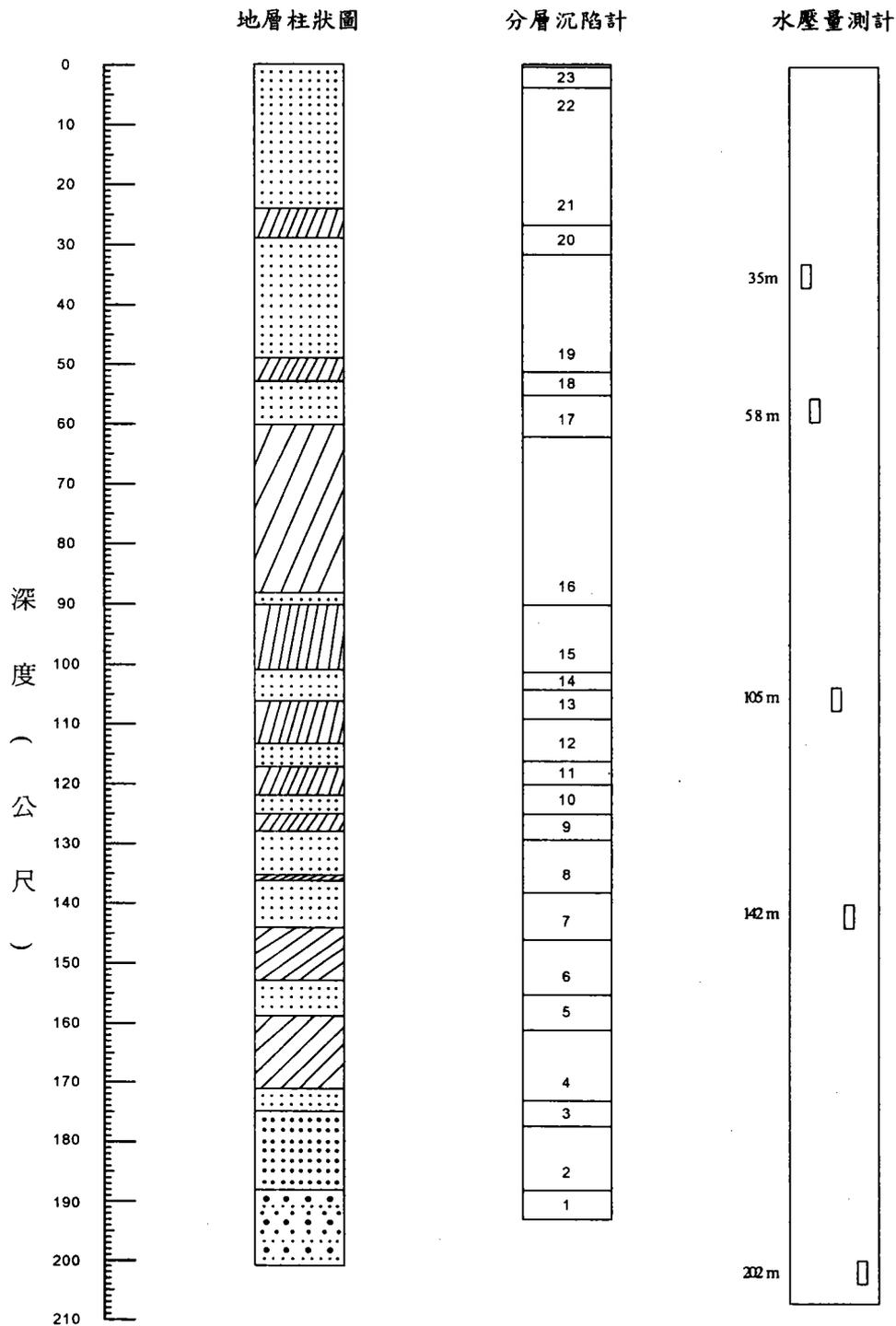


圖 4-6 磁感式層別沉陷計安裝示意圖



圖例

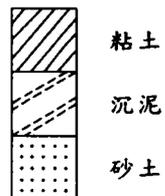


圖 4-7 大鵬灣分層沉陷及水壓量測觀測站地層柱狀圖

表4-3 東港水產試驗所月降雨量表

單位：mm

年 月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全 年
80	0	0	0	2.5	30.5	375.5	403.0	247.5	345.5	81.5	3.0	34.5	1523.5
81	17.5	61.5	97.0	192.0	103.0	113.0	469.0	18.5	453.5	6.5	0	3.5	1011.0
82	18.0	2.5	50.0	5.0	178.5	93.5	111.0	190.5	61.5	40.0	25.0	20.5	755.5
83	20.0	17.5	17.0	19.5	249.5	335.0	299.5	260.5	50.5	0	0	5.5	2274.5
平 均	13.9	20.4	41.0	54.8	140.4	229.3	320.6	179.3	227.8	32.0	7.0	16.0	1931.1

資料來源：中央氣象局，〈氣候資料年報〉，80~83年。

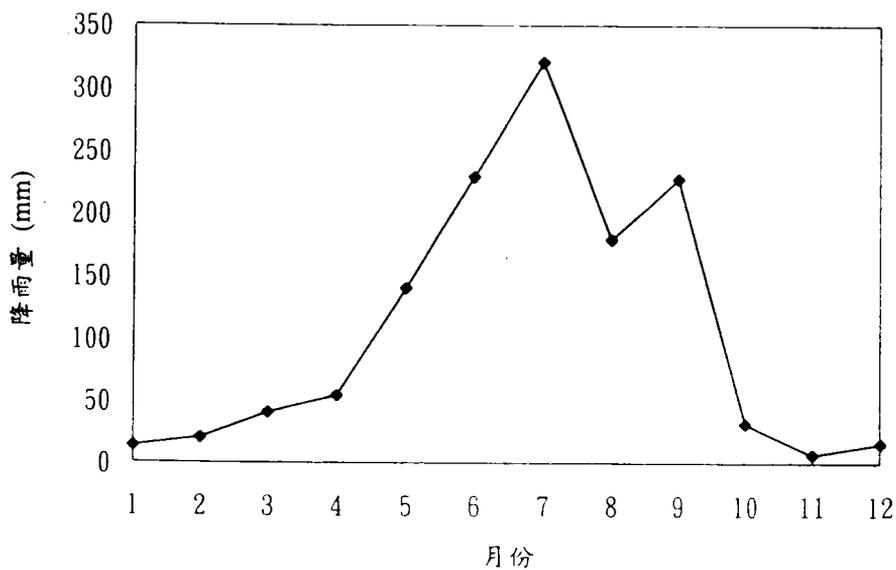


圖4-8 東港水產試驗所月降雨量圖

## 4-3-2 地下水位分析

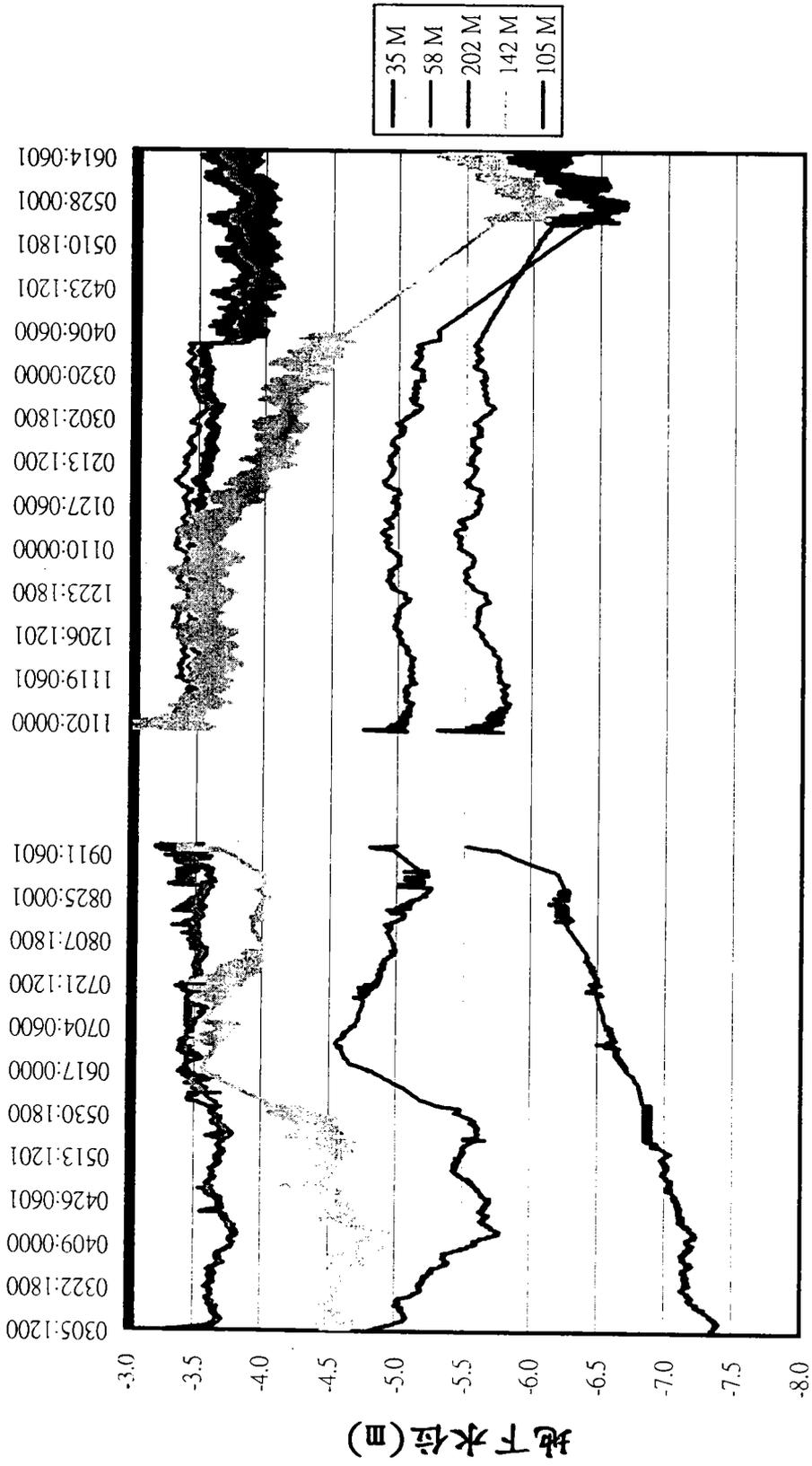
本所於大鵬灣風景區西南角隅，埋設 202 公尺深之分層水壓觀測站，共埋設 5 支水壓計，其深度分別為 35m、58m、105m、142m、202m，自 87 年 3 月 15 日開始以自動量測系統量測，其中 87 年 9 月 14 日至 11 月 7 日，因水壓自動量測儀故障，而缺乏資料，茲將分層地下水壓 ( $t/m^2$ ) 正規化為分層地下水位 (m)，以利比較，如圖 4-9，由於水位井為開放式，亦可以手動定期量測，手動量測自 87 年 3 月開始量測，每月量測一次。其量測結果如圖 4-10 所示。

由圖 4-9 顯示：35m 及 58m 處之水位變化介於-3~-4m 之間反復震盪，並無太大變化，僅在 88 年 4、5 月水位下降至-4m 以下。

105m 及 142m 之水位雖同屬深層水位，但含水量豐富，且此兩水位雖來自不同受壓水層，但是其水位變化趨勢亦非常類似，表示皆受到超抽地下水影響，即從 87 年 3 月量測時，即開始往下降，直到 5 月起才往上升，其中 105m 之水位自-4.5m 上升到-3.5m，142m 之水位自-5.7m 上升到-4.5m，隨後 7、8 月雨季時，水位則不太變化，直到 88 年 2 月旱季起又開始往下降。

202m 處之水位，變化情形則與 105m、142m 之水位不同，自 87 年 3 月之-7.4m 水位逐漸往上升，直到 88 年 2 月旱季時才往下降，顯示此深層水位超抽地下水尚未普遍。

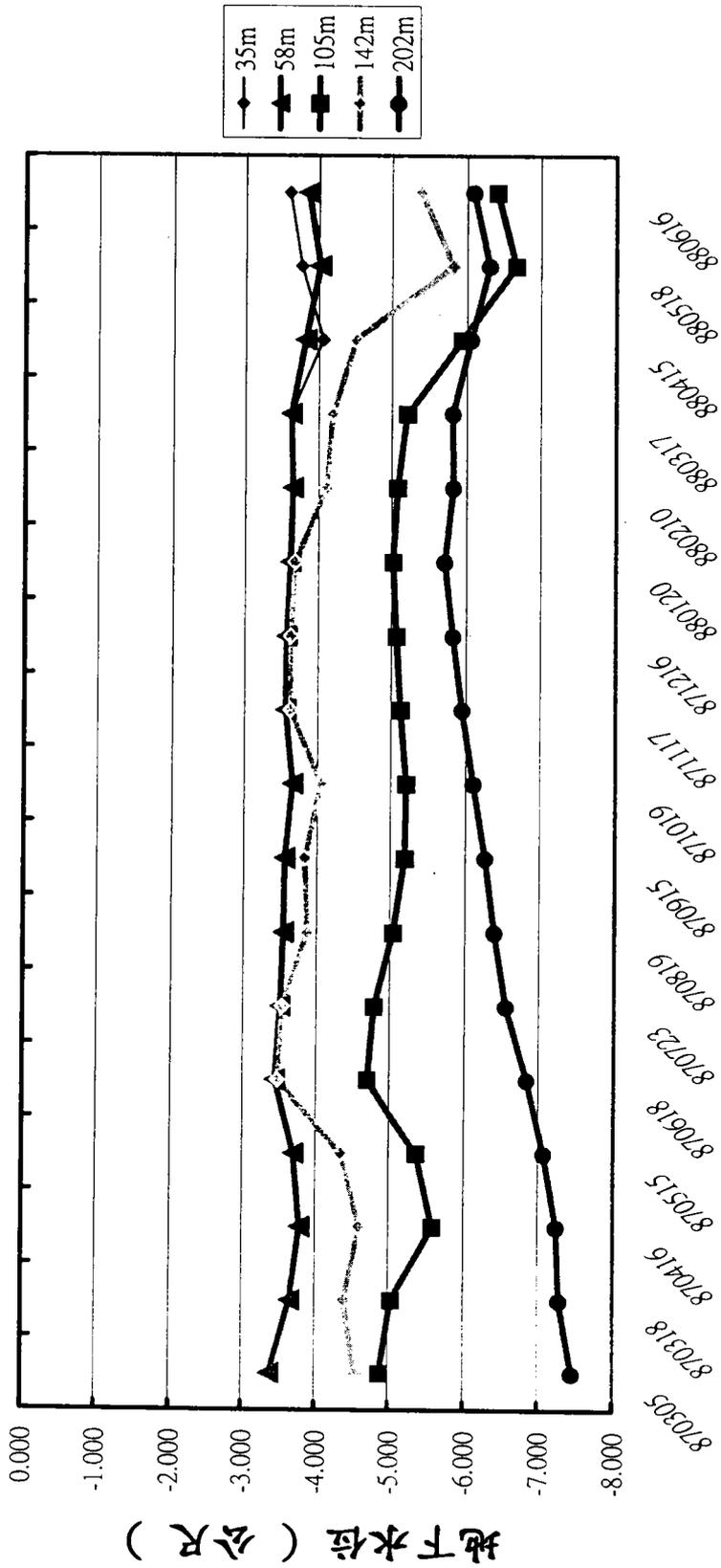
綜合各地層之地下水位資料，如圖 4-9 所示，大鵬灣水層約可分為 4 個層次，35m、58m 水位為第 1 含水層之水位，105m 水位為第 2 含水層之水位，142m 水位為第 3 含水層之水位，202m 水位為第 4 含水層之水位。由水位變化現象顯示：第 1 層水位變化較小，較無超抽地下水現象，第 2、3、



日期(87/3/5--88/06/16)

圖4-9 大鵬灣分層水位變化(自記式)

# 大鵬灣分層水位變化(手動量測)



量測日期 (年, 月)

圖4-10 大鵬灣分層水位變化(手動量測)

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、4、5 月旱季時，水位忽然下降，表示旱季時，超抽地下水更為嚴重。

### 4-3-3 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，資料值由鈰鋼尺上之刻度讀取，其最小刻度為公厘，各次量測記錄，列於表 4-4。

圖 4-11 為至民國 88 年 6 月 16 日止，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 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、31m 及 51m 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 200 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 88 年 6 月之 15 個月期間，大鵬灣地表下 4m 至 189m 間之沉陷總量為 43.8 公厘，而其中地表~51.3m 之沉陷量為 38.6mm，佔總沉陷量之 87% 以上，由此資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。

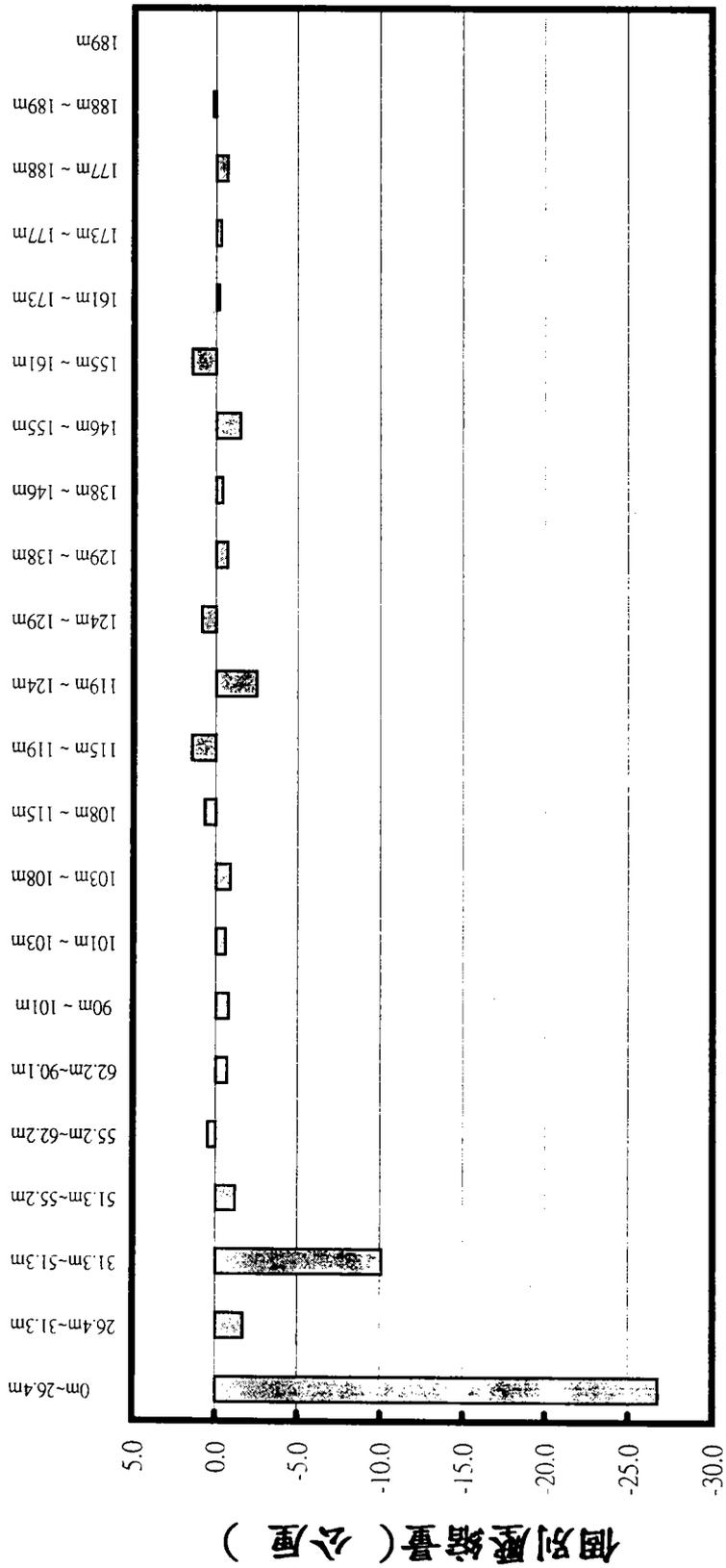
### 4-3-4 相關性分析

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

表4-4 大鵬灣地震層分層下陷觀測站測量值及下陷量計算值

項目	元	測 期																單位:公厘					
		870305	870318	870416	870515	870618	870723	870819	870915	871019	871117	871216	880120	880210	880317	880415	880518	880616					
甲	NO 23	1.6405	1.6330	1.6240	1.6240	1.6246	1.6350	1.6400	1.6345	1.6345	1.6350	1.6344	1.6345	1.6345	1.6360	1.5910	1.5925	1.5928					
	NO 22	4.7330	4.7340	4.7352	4.7356	4.7347	4.7352	4.7350	4.7352	4.7340	4.7346	4.7346	4.7345	4.7340	4.7340	4.6867	4.6852	4.6853					
	NO 21	27.4085	27.4035	27.3978	27.3968	27.3912	27.3920	27.3910	27.3895	27.3885	27.3885	27.3880	27.3865	27.3862	27.3854	27.3380	27.3392	27.3340					
	NO 20	32.3452	32.3405	32.3321	32.3316	32.3264	32.3262	32.3240	32.3230	32.3212	32.3218	32.3218	32.3218	32.3212	32.3195	32.2721	32.2720	32.2690					
	NO 19	52.2510	52.2440	52.2317	52.2300	52.2234	52.2230	52.2220	52.2212	52.2190	52.2188	52.2178	52.2170	52.2172	52.2169	52.1688	52.1688	52.1647					
	NO 18	56.1578	56.1509	56.1376	56.1364	56.1296	56.1296	56.1285	56.1255	56.1235	56.1235	56.1235	56.1235	56.1235	56.1235	56.0745	56.0742	56.0703					
	NO 17	63.1585	63.1520	63.1399	63.1380	63.1319	63.1305	63.1300	63.1285	63.1270	63.1272	63.1250	63.1245	63.1250	63.1250	63.0745	63.0755	63.0715					
	NO 16	91.1110	91.1050	91.0936	91.0912	91.0845	91.0840	91.0835	91.0820	91.0792	91.0795	91.0790	91.0784	91.0785	91.0772	91.0282	91.0270	91.0233					
	NO 15	102.1605	102.1540	102.1418	102.1400	102.1336	102.1325	102.1320	102.1310	102.1285	102.1286	102.1274	102.1261	102.1262	102.1258	102.0768	102.0755	102.0720					
	NO 14	104.1630	104.1550	104.1428	104.1415	104.1342	104.1335	104.1328	104.1320	104.1295	104.1292	104.1280	104.1268	104.1271	104.1269	104.0772	104.0760	104.0739					
	NO 13	109.1365	109.0990	109.0870	109.0850	109.0783	109.0775	109.0768	109.0756	109.0730	109.0730	109.0724	109.0702	109.0708	109.0700	109.0210	109.0190	109.0165					
	NO 12	116.0718	116.0647	116.0516	116.0505	116.0440	116.0430	116.0420	116.0410	116.0385	116.0386	116.0378	116.0368	116.0365	116.0355	115.9865	115.9852	115.9825					
	NO 11	120.0645	120.0590	120.0462	120.0448	120.0381	120.0371	120.0365	120.0355	120.0325	120.0325	120.0322	120.0310	120.0310	120.0300	119.9812	119.9795	119.9767					
	NO 10	125.1005	125.0930	125.0800	125.0785	125.0721	125.0711	125.0702	125.0692	125.0665	125.0665	125.0668	125.0644	125.0645	125.0638	125.0145	125.0130	125.0102					
	NO 9	130.0930	130.0850	130.0721	130.0715	130.0643	130.0631	130.0622	130.0612	130.0592	130.0592	130.0592	130.0582	130.0585	130.0570	130.0068	130.0055	130.0036					
	NO 8	139.1865	139.1793	139.1662	139.1655	139.1581	139.1575	139.1565	139.1558	139.1530	139.1530	139.1518	139.1515	139.1505	139.1500	139.1000	139.0988	139.0964					
NO 7	147.1005	147.0928	147.0807	147.0782	147.0721	147.0711	147.0700	147.0692	147.0660	147.0660	147.0655	147.0645	147.0640	147.0628	147.0128	147.0122	147.0100						
NO 6	156.2285	156.2200	156.2061	156.2060	156.1990	156.1980	156.1970	156.1960	156.1940	156.1935	156.1924	156.1908	156.1905	156.1898	156.1365	156.1381	156.1365						
NO 5	162.0030	161.9955	161.9821	161.9818	161.9751	161.9741	161.9730	161.9720	161.9695	161.9695	161.9684	161.9670	161.9665	161.9658	161.9162	161.9145	161.9125						
NO 4	174.2330	174.2255	174.2122	174.2115	174.2052	174.2044	174.2030	174.2020	174.1990	174.1992	174.1984	174.1957	174.1962	174.1955	174.1460	174.1442	174.1423						
NO 3	178.2085	178.2000	178.1875	178.1862	178.1801	178.1791	178.1780	178.1770	178.1740	178.1745	178.1732	178.1717	178.1714	178.1705	178.1212	178.1195	178.1175						
NO 2	189.1225	189.1137	189.1019	189.1000	189.0940	189.0930	189.0912	189.0908	189.0875	189.0878	189.0868	189.0850	189.0845	189.0835	189.0330	189.0324	189.0308						
NO 1	190.1620	190.1530	190.1411	190.1390	190.1332	190.1320	190.1305	190.1300	190.1282	190.1272	190.1260	190.1246	190.1238	190.1228	190.0736	190.0722	190.0705						
乙	地表	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	NO 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	NO 22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000						
	NO 21	22.6755	22.6695	22.6626	22.6612	22.6565	22.6568	22.6562	22.6543	22.6545	22.6539	22.6534	22.6530	22.6522	22.6512	22.6512	22.6500	22.6487					
	NO 20	27.6122	27.6065	27.5969	27.5960	27.5917	27.5910	27.5890	27.5885	27.5885	27.5884	27.5868	27.5868	27.5868	27.5862	27.5862	27.5862	27.5837					
	NO 19	47.5180	47.5100	47.4965	47.4944	47.4887	47.4878	47.4867	47.4850	47.4835	47.4842	47.4832	47.4825	47.4832	47.4829	47.4821	47.4836	47.4794					
	NO 18	51.4248	51.4160	51.4024	51.4008	51.3949	51.3944	51.3935	51.3923	51.3910	51.3909	51.3896	51.3890	51.3895	51.3898	51.3878	51.3890	51.3850					
	NO 17	58.4255	58.4180	58.4047	58.4024	58.3972	58.3953	58.3950	58.3943	58.3930	58.3926	58.3904	58.3900	58.3910	58.3910	58.3878	58.3903	58.3862					
	NO 16	86.3780	86.3710	86.3584	86.3556	86.3498	86.3488	86.3485	86.3468	86.3450	86.3444	86.3444	86.3439	86.3435	86.3432	86.3415	86.3418	86.3380					
	NO 15	97.4275	97.4200	97.4066	97.4044	97.3989	97.3973	97.3970	97.3958	97.3945	97.3940	97.3928	97.3916	97.3922	97.3918	97.3901	97.3903	97.3867					
	NO 14	99.4300	99.4210	99.4076	99.4059	99.3995	99.3983	99.3978	99.3968	99.3955	99.3946	99.3934	99.3923	99.3931	99.3929	99.3905	99.3908	99.3886					
	NO 13	104.3735	104.3650	104.3518	104.3494	104.3436	104.3423	104.3418	104.3404	104.3390	104.3384	104.3378	104.3357	104.3368	104.3360	104.3343	104.3338	104.3312					
	NO 12	111.3388	111.3307	111.3164	111.3149	111.3093	111.3078	111.3070	111.3058	111.3040	111.3040	111.3032	111.3023	111.3025	111.3015	111.2998	111.3000	111.2972					
	NO 11	115.3315	115.3250	115.3110	115.3092	115.3034	115.3019	115.3015	115.3005	115.2985	115.2982	115.2976	115.2965	115.2970	115.2965	115.2945	115.2943	115.2914					
	NO 10	120.3675	120.3590	120.3448	120.3429	120.3374	120.3359	120.3352	120.3340	120.3325	120.3322	120.3312	120.3299	120.3290	120.3288	120.3278	120.3278	120.3249					
	NO 9	125.3600	125.3510	125.3369	125.3359	125.3299	125.3279	125.3272	125.3260	125.3245	125.3242	125.3236	125.3220	125.3220	125.3228	125.3198	125.3203	125.3183					
NO 8	134.4535	134.4453	134.4310	134.4299	134.4234	134.4223	134.4215	134.4200	134.4180	134.4180	134.4172	134.4170	134.4165	134.4162	134.4133	134.4136	134.4111						
NO 7	142.3675	142.3588	142.3455	142.3442	142.3374	142.3359	142.3350	142.3340	142.3320	142.3314	142.3309	142.3300	142.3300	142.3300	142.3288	142.3270	142.3247						
NO 6	151.4955	151.4860	151.4709	151.4704	151.4643	151.4628	151.4620	151.4608	151.4590	151.4589	151.4578	151.4563	151.4565	151.4558	151.4538	151.4529	151.4512						
NO 5	157.2700	157.2615	157.2469	157.2462	157.2400	157.2389	157.2380	157.2368	157.2350	157.2349	157.2338	157.2325	157.2325	157.2325	157.2295	157.2293	157.2272						
NO 4	169.5000	169.4915	169.4770	169.4765	169.4705	169.4688	169.4680	169.4668	169.4650	169.4646	169.4638	169.4612	169.4622	169.4615	169.4595	169.4590	169.4570						
NO 3	173.4755	173.4669	173.4523	173.4506	173.4454	173.4439	173.4430	173.4418	173.4400	173.4399	173.4386	173.4372	173.4374	173.4365	173.4345	173.4343	173.4322						
NO 2	184.3895	184.3797	184.3667	184.3644	184.3593	184.3578	184.3562	184.3556	184.3538	184.3532	184.3522	184.3505	184.3505	184.3495	184.3473	184.3472	184.3455						
NO 1	185.4290	185.4190	185.4059	185.4034	185.3983	185.3968	185.3955	185.3946	185.3928	185.3928	185.3914	185.3901	185.3898	185.3888	185.3869	185.3870	185.3852						
丙	地表	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	NO 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	NO 22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000						
	NO 21	22.6755	22.6695	22.6626	22.6612	22.6565	22.6568	22.6562	22.6543	22.6545	22.6539	22.6534											

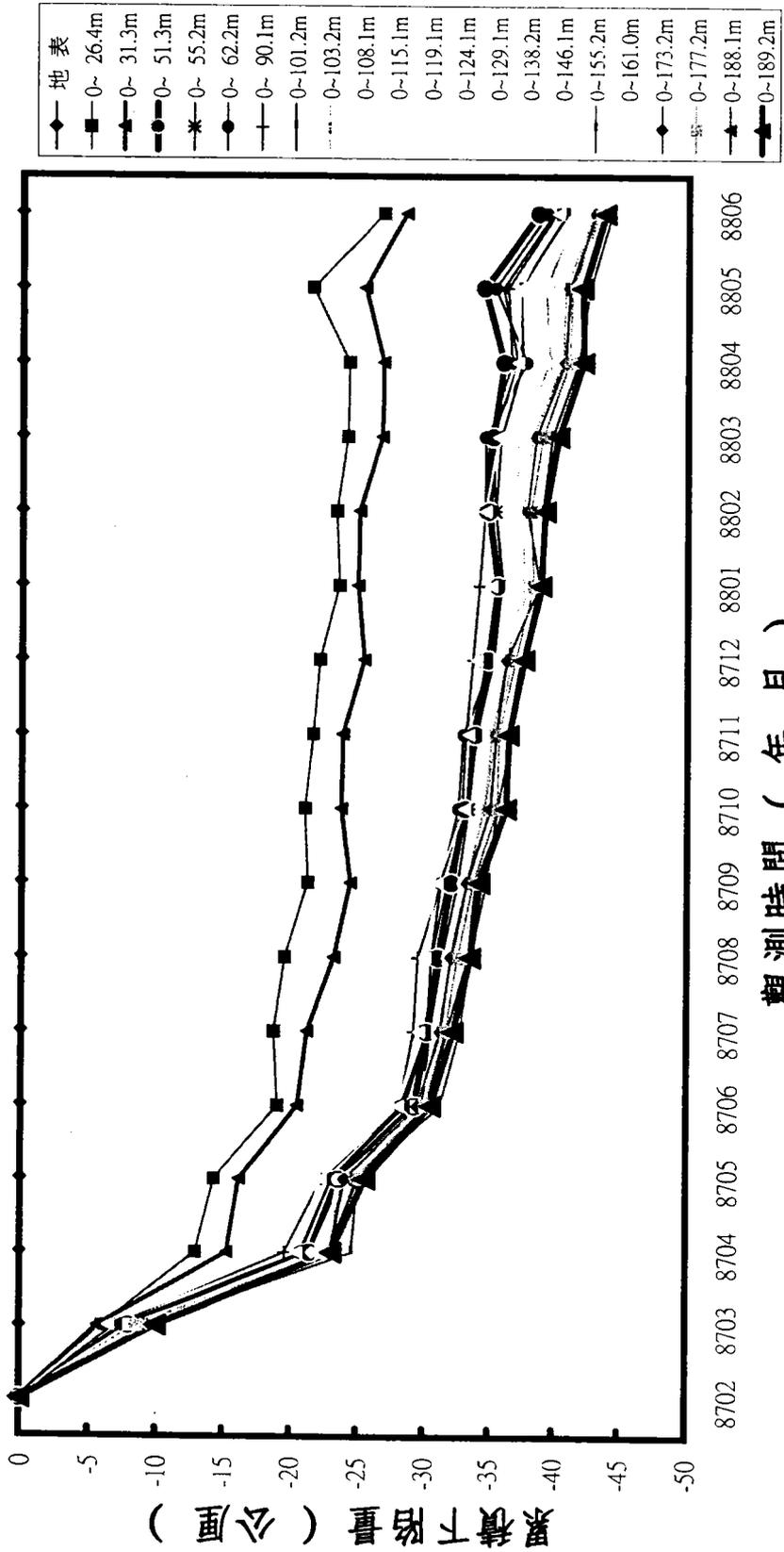
# 大鵬灣地層個別壓縮量圖



地層深度(公尺)

圖4-11 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4-12 大鵬灣地層分層下陷觀測圖

## 五、結論與建議

1. 由大鵬灣之地下水位監測結果顯示：35m及58m之淺層水位變化不大，介於-3~-4m之間，105m、142m之深層水位變化較大，105m之水位自-4.8m下降至-5.6m後又回到-4.7m，然後呈緩和下降至-6.4m；142m處之水位由-4.5m漸漸上升至-3.5m再下降至-5.8m；202m之深層水位由-7.4m逐漸上升至-5.7m後再下降-6.3m，由此可知，大鵬灣附近地區有超抽地下水情形，而以105m、142m深度之受壓水層較為明顯。
2. 由大鵬灣之地層下陷監測結果顯示：大鵬灣一年之沉陷量約為4公分，而其中地表至51.3m之沉陷量3.5公分，佔總沉陷量之87.5%，由此資料顯示，大鵬灣之沉陷屬於淺層沉陷。另87年聖嬰年關係，使得水位上升沉陷速率較緩，至88年2、3、4月雨量較少，水位繼續下降，沉陷速率亦加大。
3. 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。

## 參考文獻

1. 水利處(1997)「屏東縣沿海地區地盤下陷檢測報告」。
2. 屏東縣政府(1997)「大鵬灣風景特定區整體發展規劃設計」。
3. 歐陽正宅、侯和雄(1982)「台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。
4. 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)。
5. 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)。
6. 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)。
7. 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。
8. 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。
9. 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。

10. 賴聖耀(1990)「以標準貫入試驗值建立土壤液化潛能判別模式」, 中國土木水利工程學刊、第二卷、第四期、pp.301-311。
11. Becker, D.E. (1981), Settlements under intermittent loading on a clay subsoil, Ph.D. thesis University of Western Ontario, Canada.
12. Biot, M.A. (1941), "General theory of three-dimensional consolidation", J. of applied physics 12(2).
13. 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.
14. 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.
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. Terzaghi, K. (1943), Theoretical soil mechanics, John Wiley & Sons, New York.
17. 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.

18. 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.

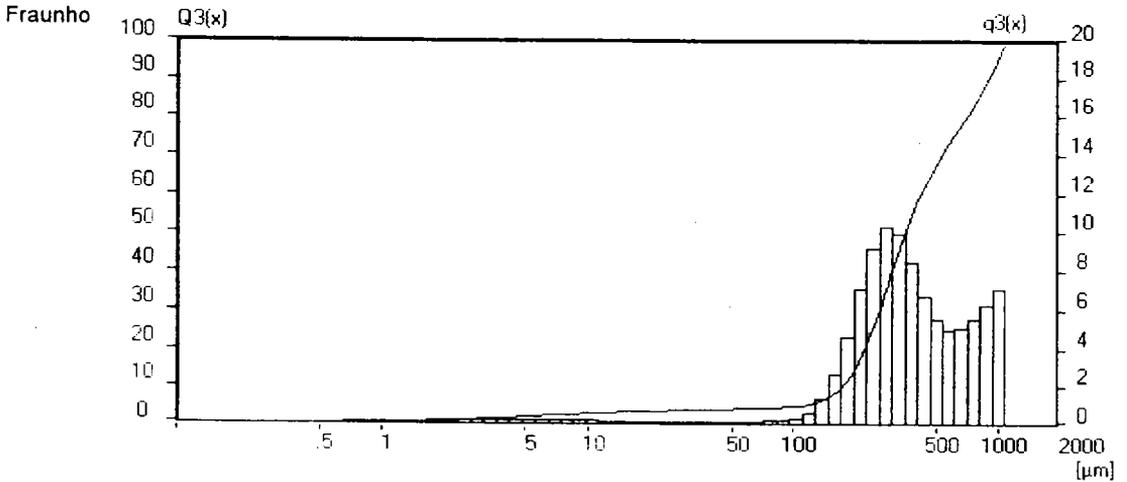
附錄 A 大鵬灣鑿井土壤之物理特性

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...

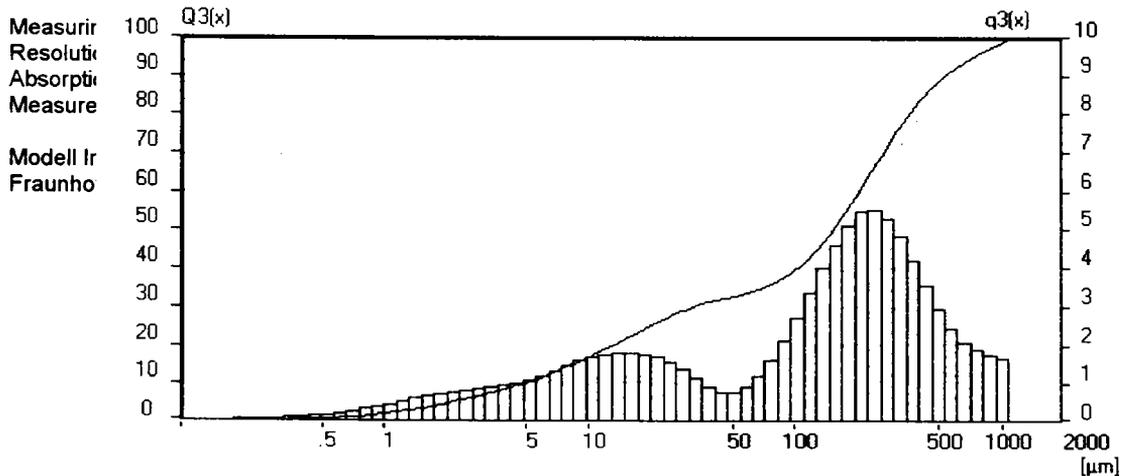
Arithmetic Mean Diameter	439.408 µm	Variance	75671.670 µm <sup>2</sup>
Geometric Mean Diameter	328.464 µm	Standard Deviation	20.962 µm
Quadr. Sq. Mean Diameter	517.680 µm	Mean Square Deviation	223.447 µm
Harmonic Mean Diameter	56.347 µm	Coefficient Variance	4.771 %
Skewness	0.799	Mode	295.263 µm
Curtosis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

Geometric Mean Diameter 80.688 µm

Quadr. Sq. Mean Diameter 316.689 µm

Harmonic Mean Diameter 10.957 µm

Variance

54644.230 µm<sup>2</sup>

Standard Deviation

14.660 µm

Mean Square Deviation

175.515 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<sup>2</sup>/cc

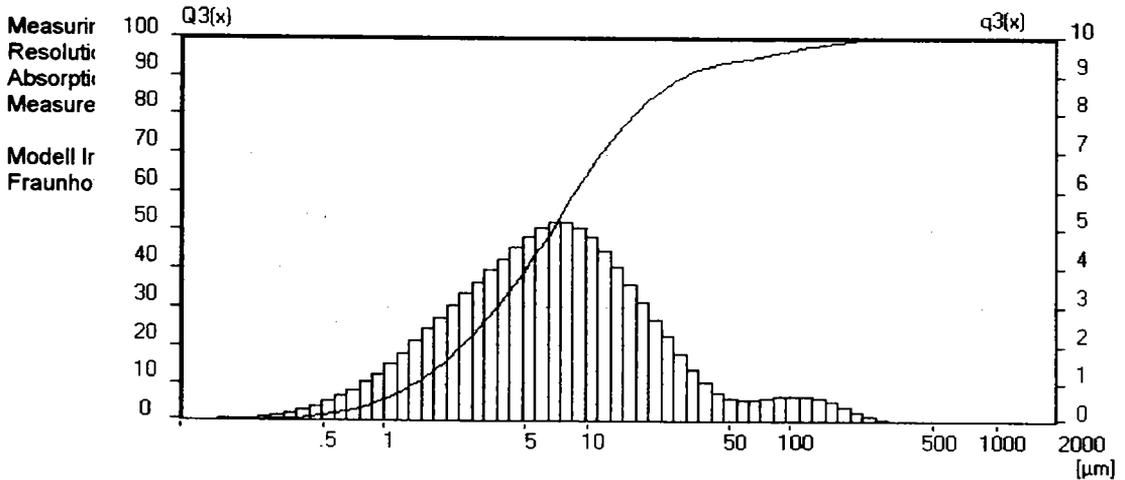
Density

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



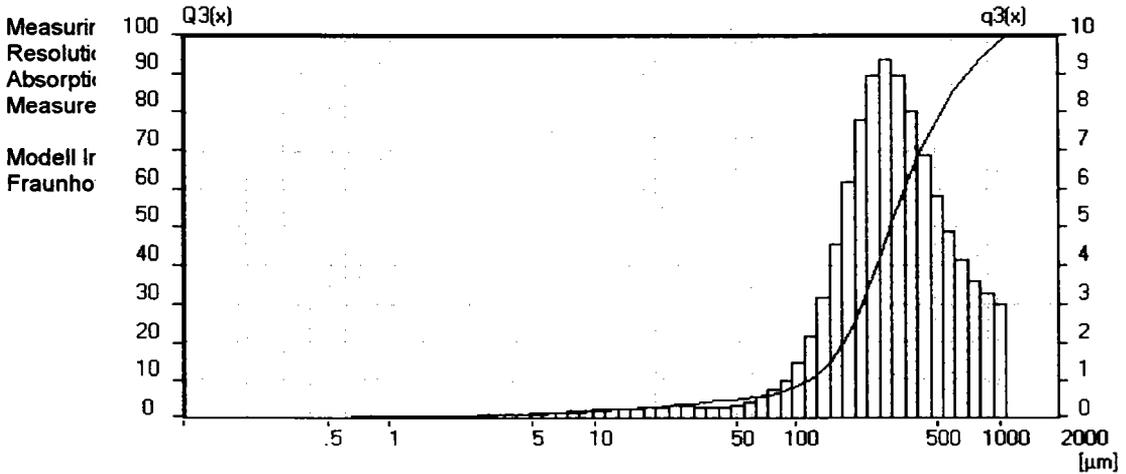
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



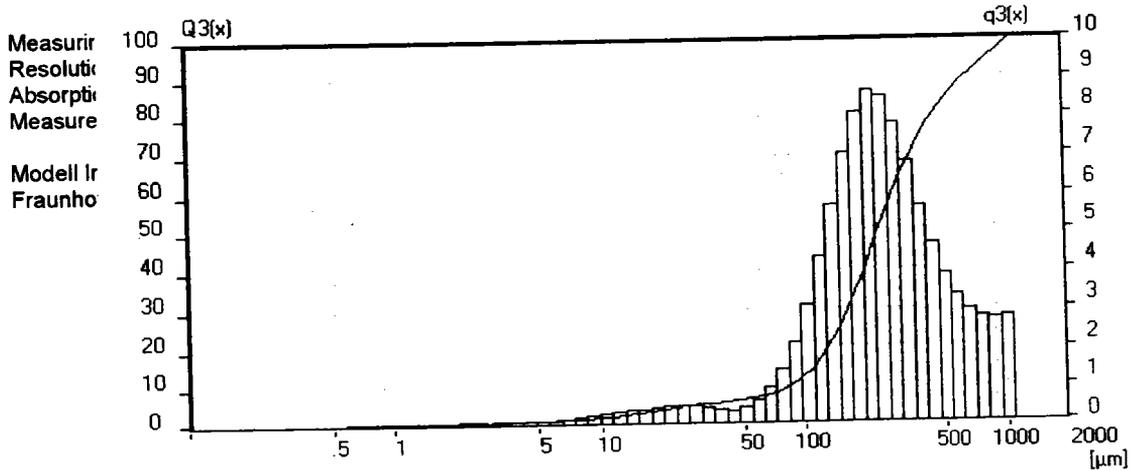
**Mean Values...**

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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  
 D32 = 60.96 µm  
 D21 = .94 µm  
 V10 = .3 µm

D42 = 136.5 µm  
 D31 = 7.59 µm  
 D20 = .53 µm

D41 = 26.01 µm  
 D30 = 2.59 µm

D40 = 8.53 µm

### Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter 305.628 µm  
 Geometric Mean Diameter 216.969 µm  
 Quadr. Sq. Mean Diameter 385.339 µm  
 Harmonic Mean Diameter 60.963 µm

Variance 55633.910 µm<sup>2</sup>  
 Standard Deviation 17.482 µm  
 Mean Square Deviation 175.868 µm  
 Coefficient Variance 5.720 %

Skewness 1.400  
 Curtosis 1.549  
 Span 2.424  
 Uniformity 0.70

Mode 223.101 µm  
 Median 235.863 µm  
 Mean/Median Ratio 1.296

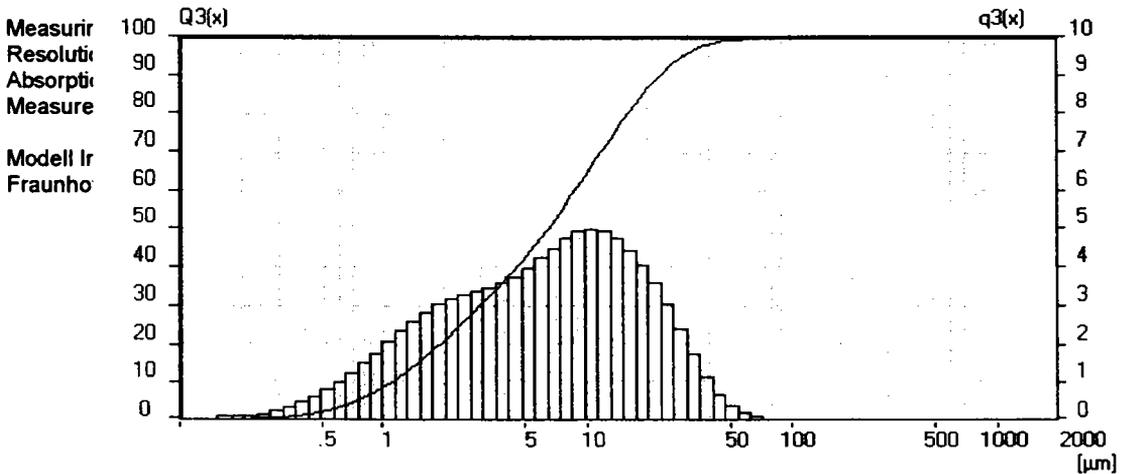
Spec. Surface Area 0.10 m<sup>2</sup>/cc  
 Density 1.00 g/cc  
 Form Factor 1.00

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

D42 = 5.16 µm

D41 = 2.79 µm

D40 = 1.71 µm

D32 = 2.77 µm

D31 = 1.5 µm

D30 = .96 µm

D21 = .82 µm

D20 = .57 µm

V10 = .39 µm

### Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter 9.593 µm

Variance

93.540 µm<sup>2</sup>

Geometric Mean Diameter 5.583 µm

Standard Deviation

3.097 µm

Quadr. Sq. Mean Diameter 13.588 µm

Mean Square Deviation

7.247 µm

Harmonic Mean Diameter 2.772 µm

Coefficient Variance

32.287 %

Skewness

1.769

Mode

10.591 µm

Curtosis

4.052

Median

6.448 µm

Span

3.350

Mean/Median Ratio

1.488

Uniformity

1.06

Spec. Surface Area

2.16 m<sup>2</sup>/cc

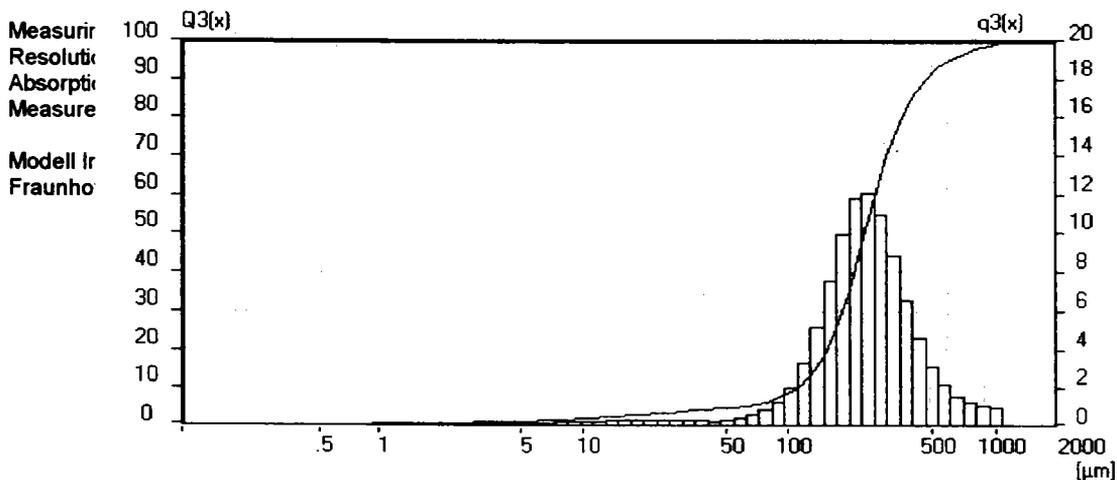
Density

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



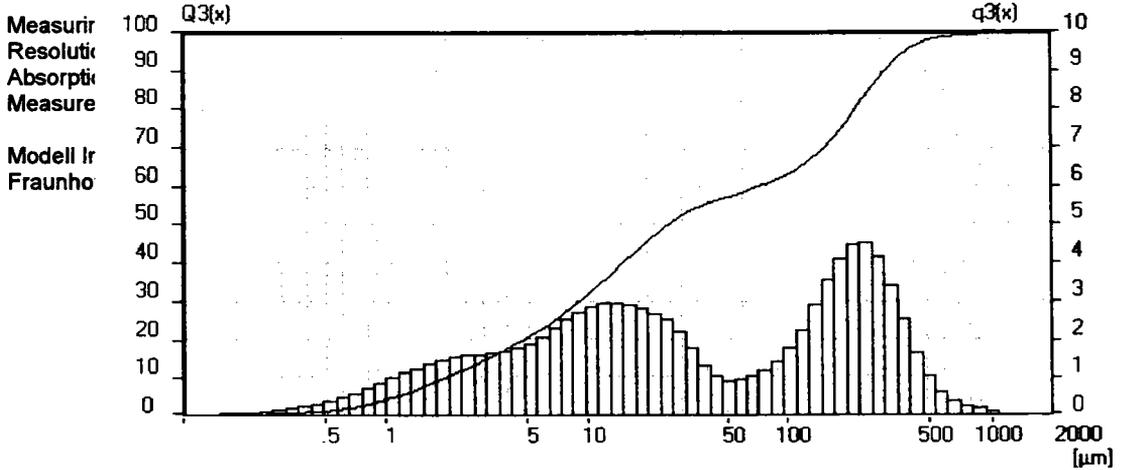
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



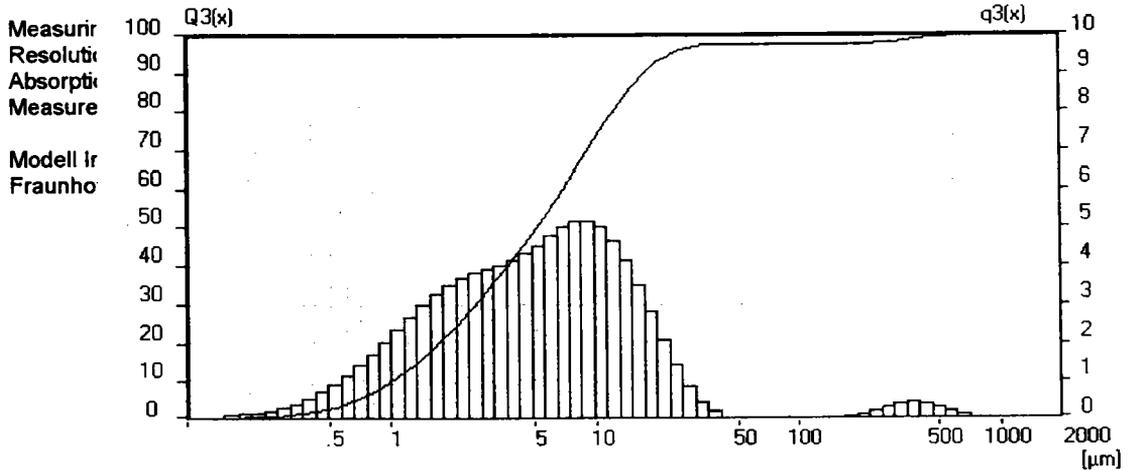
**Mean Values...**

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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  $\mu\text{m}$   
 D32 = 2.43  $\mu\text{m}$   
 D21 = .78  $\mu\text{m}$   
 V10 = .38  $\mu\text{m}$

D42 = 6.15  $\mu\text{m}$   
 D31 = 1.38  $\mu\text{m}$   
 D20 = .55  $\mu\text{m}$

D41 = 3.09  $\mu\text{m}$   
 D30 = .9  $\mu\text{m}$

D40 = 1.83  $\mu\text{m}$

### Statistical Values...

Arithmetic Mean Diameter 15.580  $\mu\text{m}$   
 Geometric Mean Diameter 4.788  $\mu\text{m}$   
 Quadr. Sq. Mean Diameter 63.097  $\mu\text{m}$   
 Harmonic Mean Diameter 2.429  $\mu\text{m}$

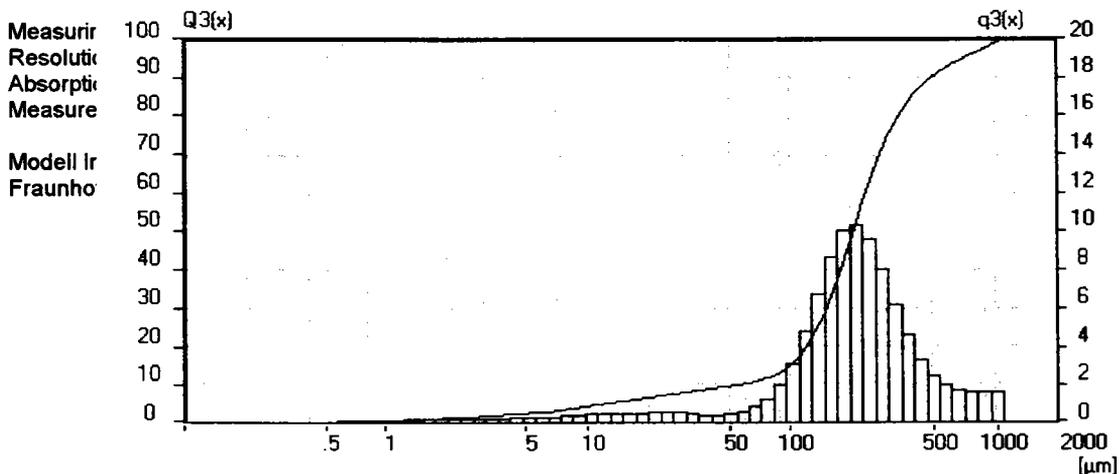
Variance 3776.284  $\mu\text{m}^2$   
 Standard Deviation 3.947  $\mu\text{m}$   
 Mean Square Deviation 18.056  $\mu\text{m}$   
 Coefficient Variance 25.335 %

Skewness 7.187  
 Curtosis 54.384  
 Span 3.197  
 Uniformity 2.62

Mode 8.735  $\mu\text{m}$   
 Median 5.078  $\mu\text{m}$   
 Mean/Median Ratio 3.068

Spec. Surface Area 2.47  $\text{m}^2/\text{cc}$   
 Density 1.00  $\text{g}/\text{cc}$   
 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



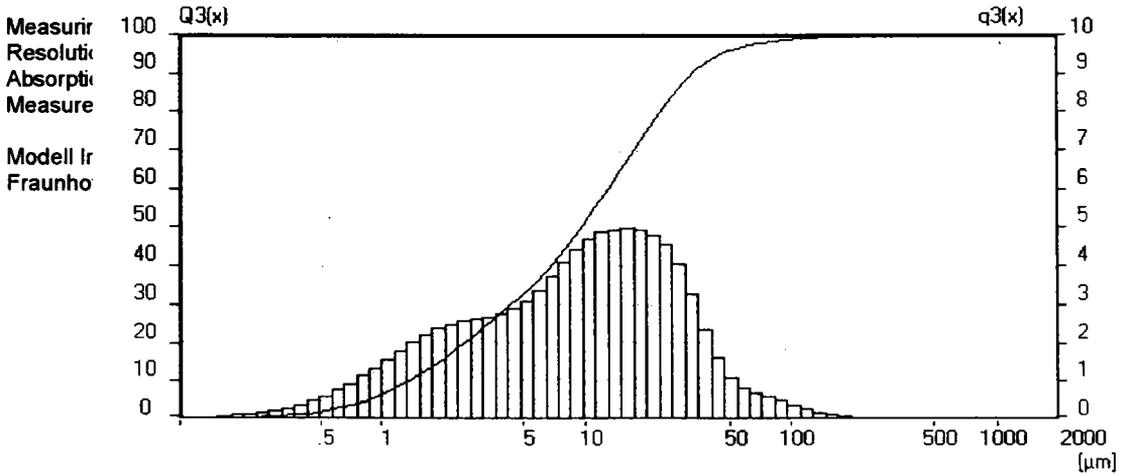
**Mean Values...**

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



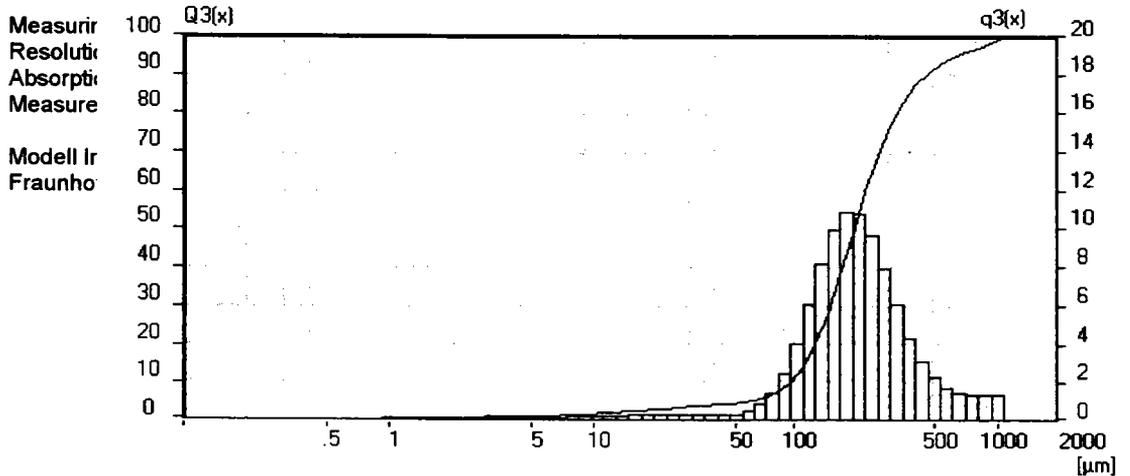
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



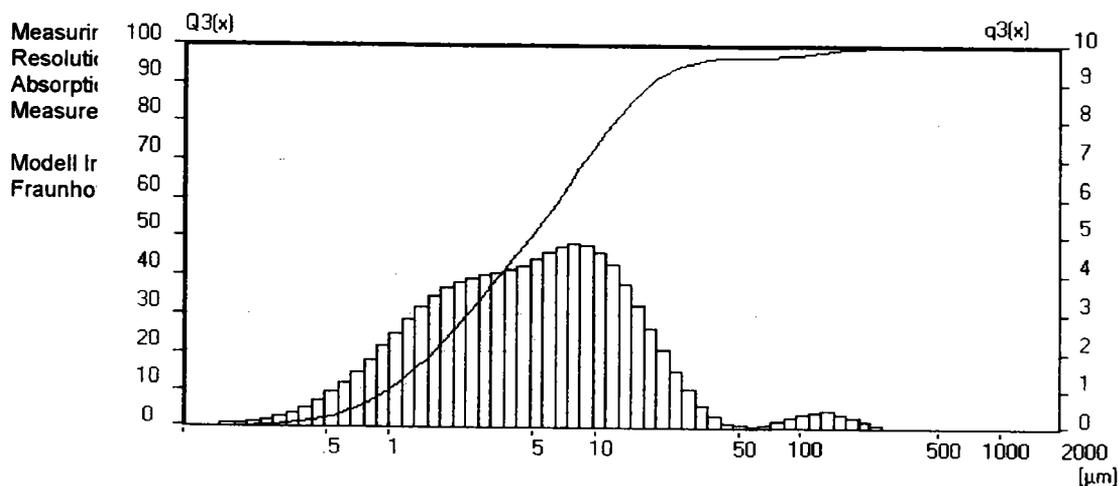
### Mean Values...

D43 = 247.89 $\mu\text{m}$	D42 = 125.16 $\mu\text{m}$	D41 = 24.55 $\mu\text{m}$	D40 = 8.18 $\mu\text{m}$
D32 = 63.2 $\mu\text{m}$	D31 = 7.73 $\mu\text{m}$	D30 = 2.62 $\mu\text{m}$	
D21 = .94 $\mu\text{m}$	D20 = .53 $\mu\text{m}$		
V10 = .3 $\mu\text{m}$			

### Statistical Values...

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



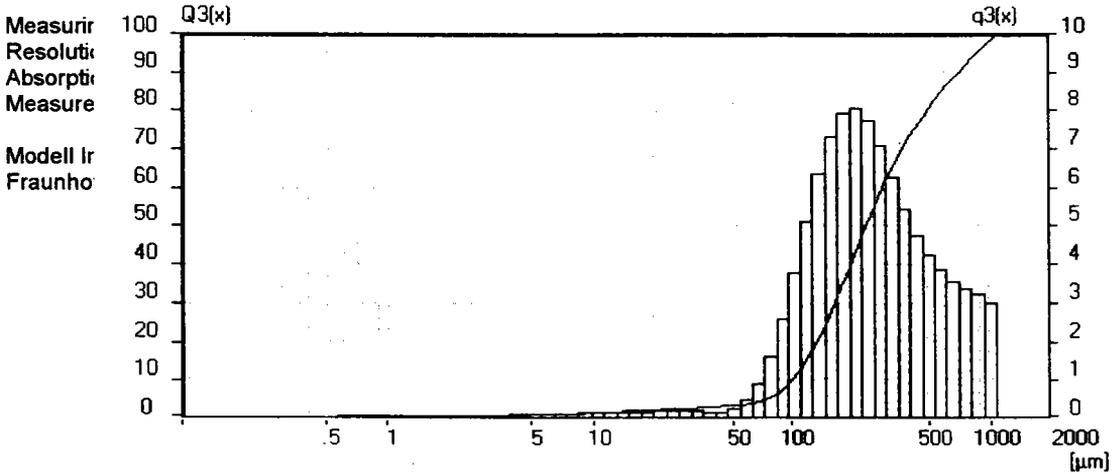
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



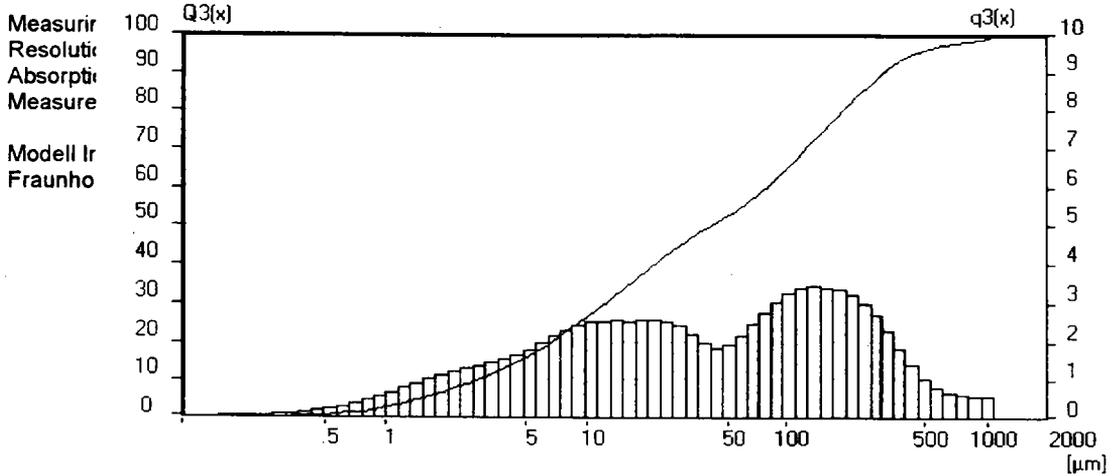
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



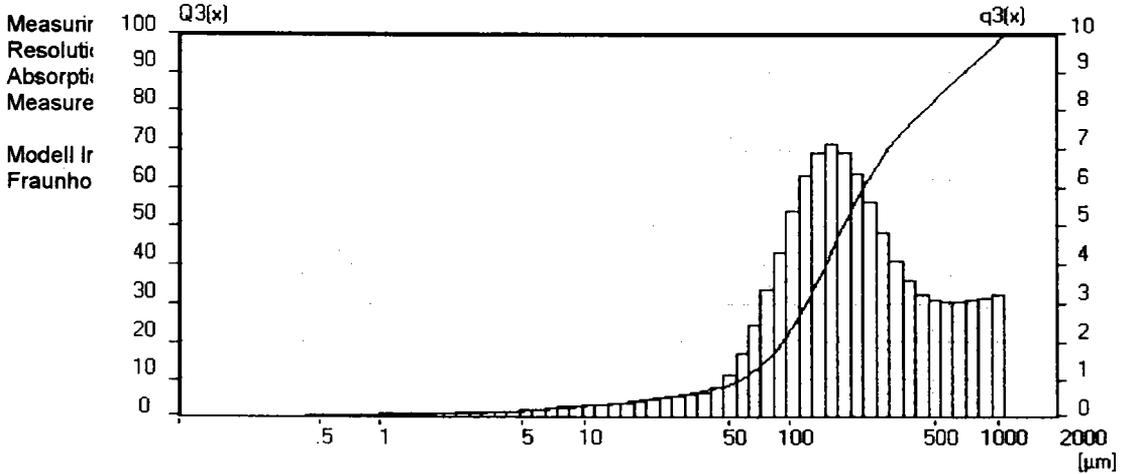
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



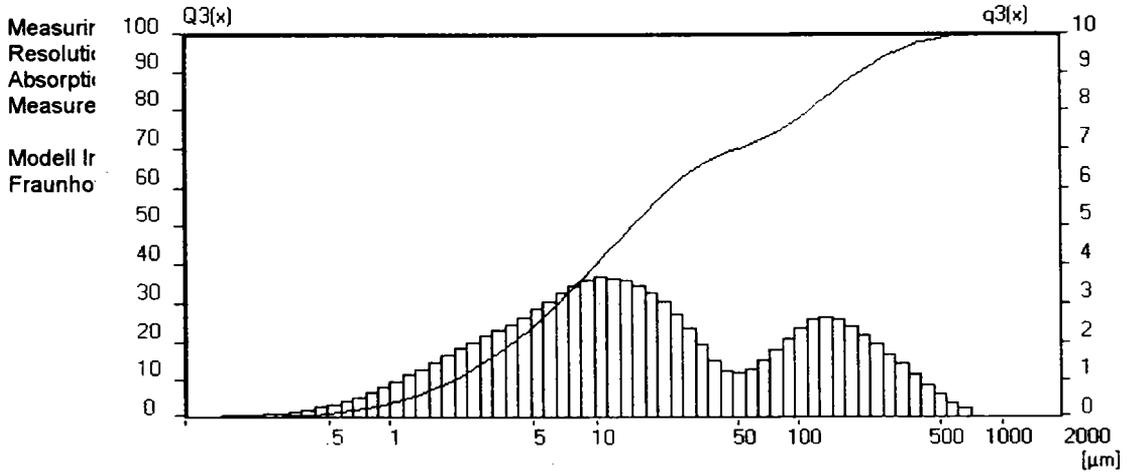
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



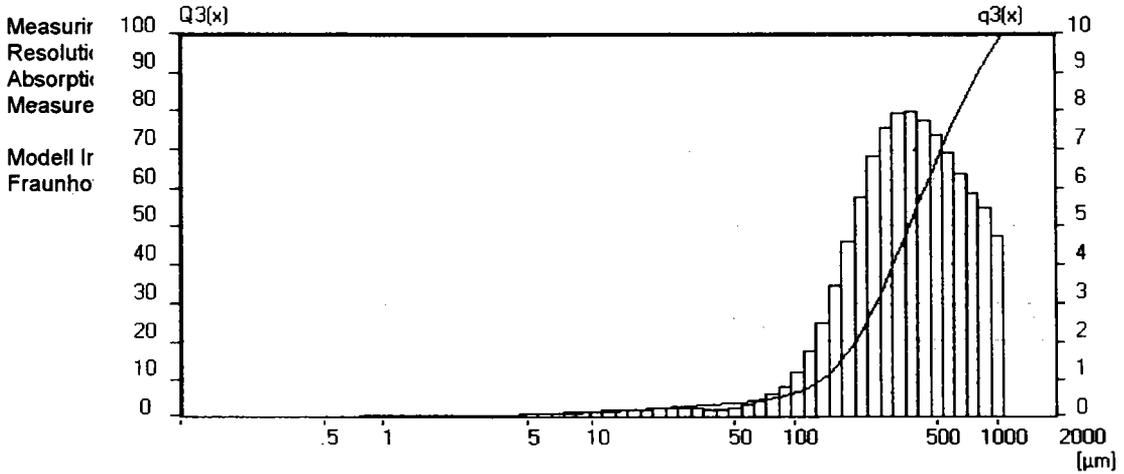
**Mean Values...**

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



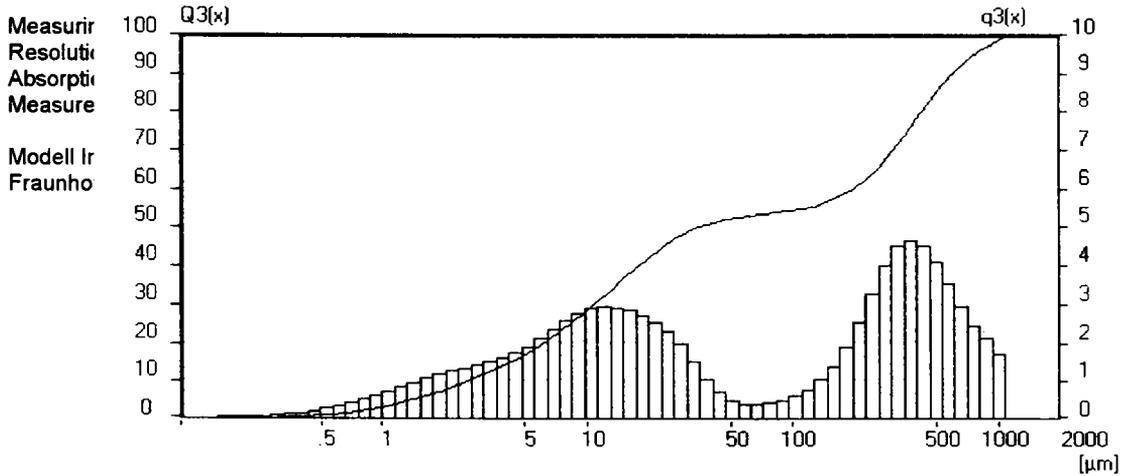
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



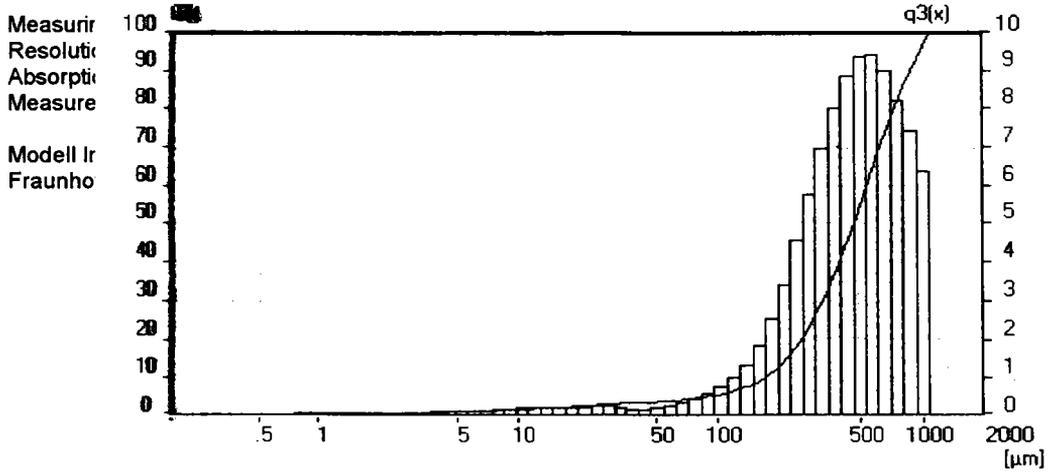
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

Test Date : 1998.7.20 By : ch File: DAPON-20  
 Location : DA-FRITSCH  
 Sample No : s-20  
 Depth : GL137-95



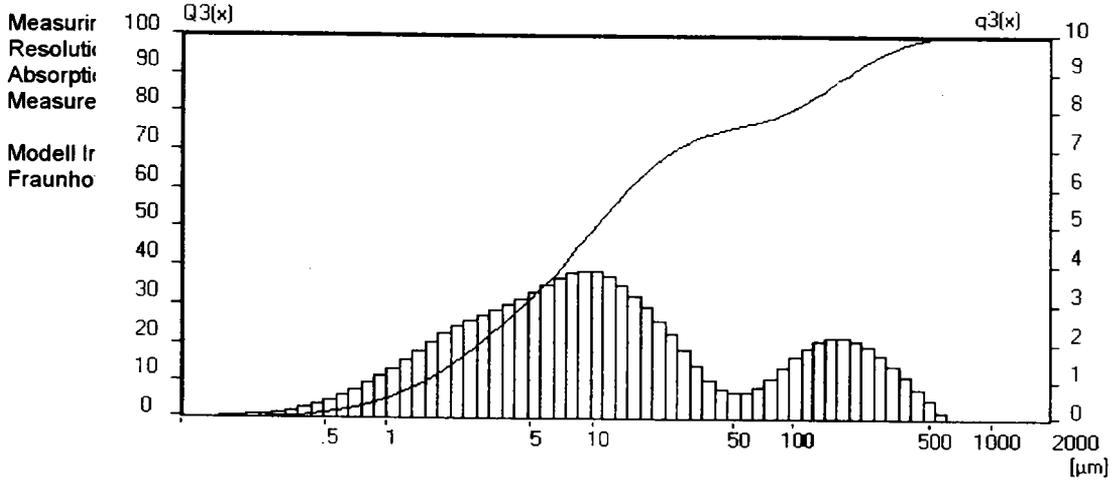
**Mean Values**

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



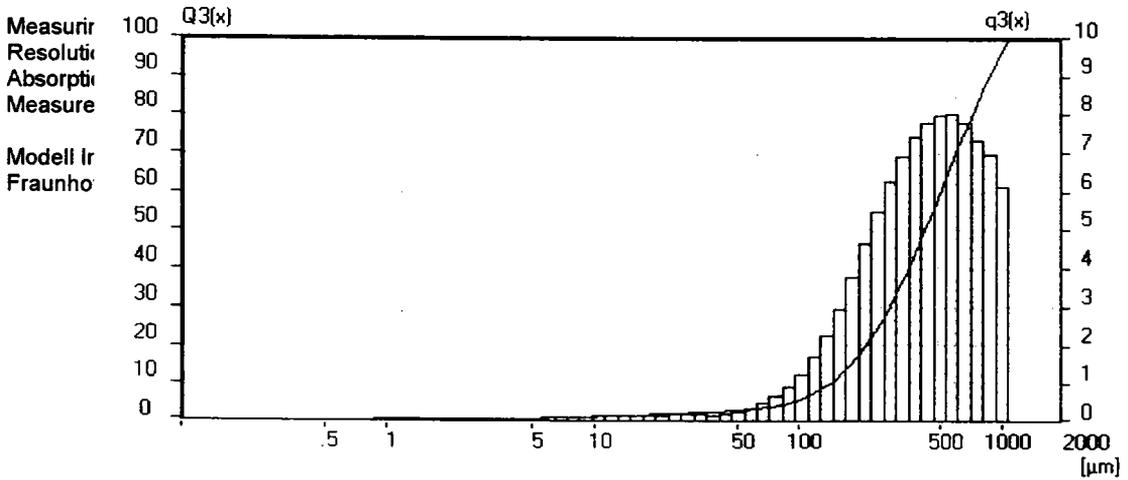
**Mean Values...**

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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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



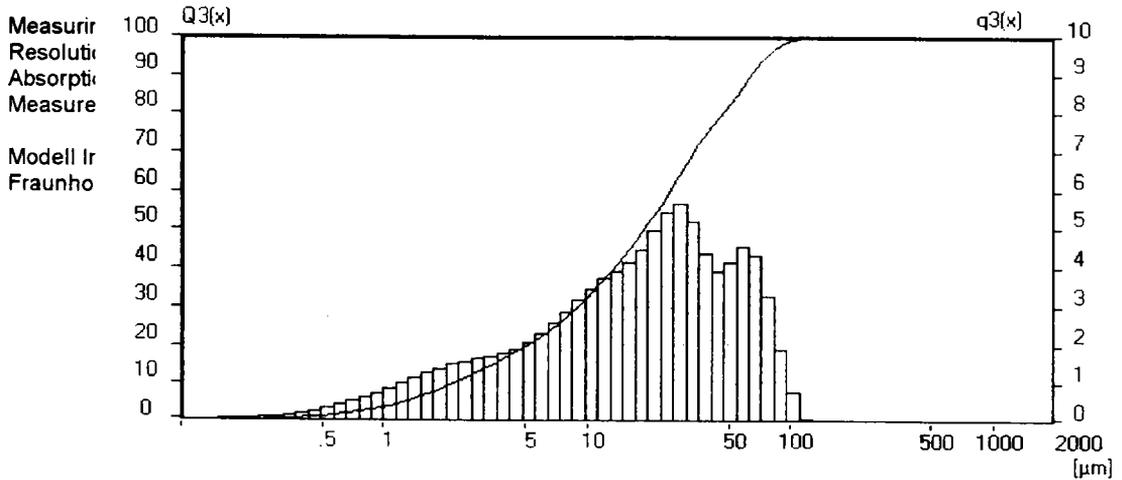
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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	Coefficiant 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 <sup>2</sup> /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



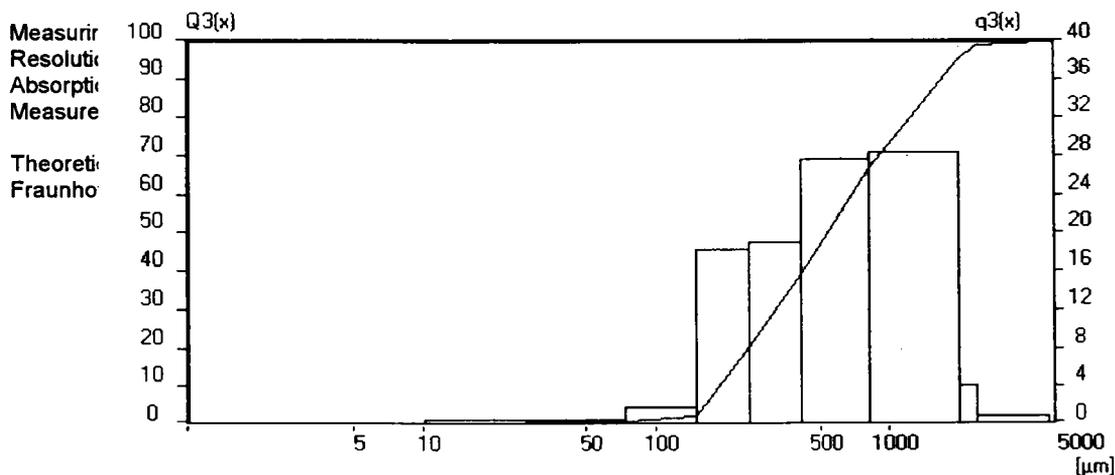
Mean Values...

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 <sup>2</sup>
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	Coefficient 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 <sup>2</sup> /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...**

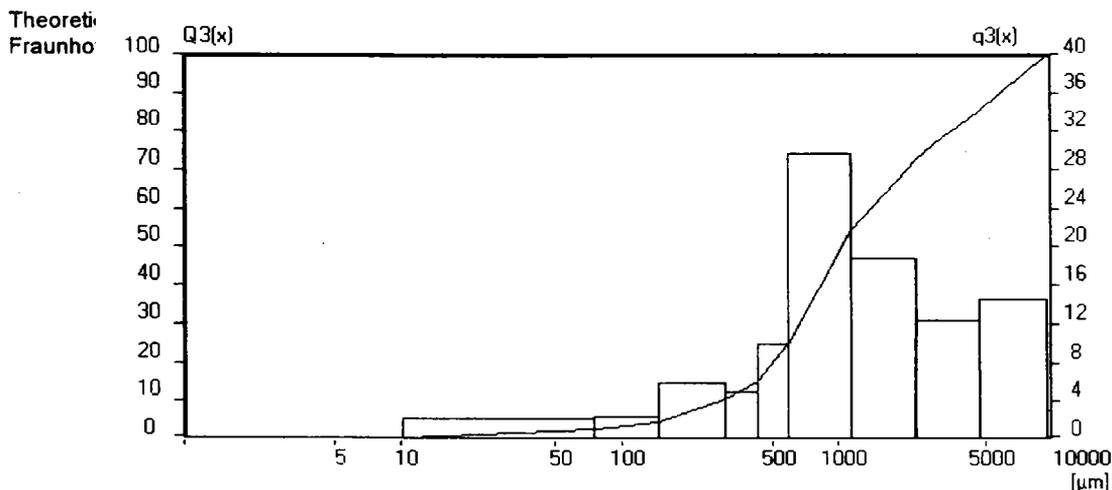
D43 = 739.79 µm      D42 = 437.94 µm      D41 = 181.11 µm      D40 = 95.43 µm  
 D32 = 259.26 µm      D31 = 89.61 µm      D30 = 48.22 µm  
 D21 = 30.97 µm      D20 = 20.8 µm  
 V10 = 13.96 µm

**Statistical Values...**

Arithmetic Mean Diameter	739.788 µm	Variance	331778.800 µm <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> /cc		
Density	1.00 g/cc		
Form Factor	1.00		

屏東大鵬灣地層下陷監測之研究

編輯者：賴聖耀 謝明志 陳志芳

發行人：張金機

發行所：台灣省政府交通處港灣技術研究所

打字排版：港灣技術研究所大地工程組

台中縣梧棲鎮臨海路 83 號

04-6564216

中華民國八十八年六月出版，印製 100 本，非賣品