

布袋港地層下陷監測與地質建檔研究

執行單位：大地工程組

執行期間：民國八十六年七月一日至
民國八十七年六月三十日

計劃主持人：謝明志

協同主持人：賴聖耀

研究人員：李豐博
陳志芳

助理人員：陳義松
李春榮
張阿平
張惠華
楊秀麗

布袋港地層下陷監測與地質建檔研究

摘 要

布袋港位處於嘉義縣布袋鎮，介於朴子溪和八長溪中間濱海地區，其地層大都屬現代沖積層，土層疏鬆軟弱壓密固結尚未全部完成，極可能因地下水抽取、大規模海埔新生地回填、港灣構造物等原因造成地層下陷。

本計劃為一年之短期計劃，於港區內設立一孔200m之沉陷監測井及水位監測井，經地下水位監測結果，淺層34m之地下水位無多大變化，約在-3.3~3.7公尺間反復振盪，而深層之105m~131m及143m~178m公尺處之地下水位已分別降至-24.7m及-25m。由地層下陷監測結果顯示，布袋港一年之沉陷量約為5公分，其中百分之五十之沉陷在140~200m處發生，因此200m以上更深之處亦有可能發生沉陷，亦即布袋之每年沉陷可能大於5公分，由水位及沉陷監測結果分析顯示，布袋港區附近有超抽深層之地下水位，引致區域性之深層水位下降，致使港區內每年有5公分以上之沉陷。

本計畫亦對布袋港區地質調查、自然條件及沿海地區之下陷檢測等資料進行資料處理及電腦建檔作業，並利用MapInfo地理資訊系統及MapBasic程式語言撰寫一查詢分析系統，以下拉式選單設計及物件點選等方式提供使用者查閱及分析資料。如此，不僅方便資料之更新管理，並可快速提供主事者相關資訊以作決策支援使用。

綜合上述沉陷監測與查詢系統建置等結果，本研究期望能對布袋港建港工程提供規劃設計之參考，並成為港灣安全監測之一環。

Study on the Ground Subsidence Monitoring and Geological Data File Establishment for Pudai Harbor Area

Abstract

Pudai harbor is located in Pudai, Chiayee, on the west-southern coast of Taiwan. The soil deposit at harbor area is of recent alluvium, in which soils are generally loose, soft and underconsolidated. It is concerned that the ground subsidence occurred due to local overdrawing of ground water and massive land reclamation.

Thus, observation wells with depth of 200m to monitor subsidence and groundwater level were set up in the harbor area. It is found from one year records that the groundwater level fluctuated slightly between -3.3m and -3.7m for the upper stratum to depth of 34m; whereas, that was drawn down to -24.7m and -25m for deeper stratum at depths 105~131m and 143~178m, respectively. The sediment waste to be about 5cm with 50% of the value occurring at depth 140~200m. It shows the sediment per year at the harbor area would be more than 5cm as the result of overdrawing of the groundwater at deeper stratum near the harbor area.

In this study, geological data, natural conditions and subsidence data, etc. for the Pudai harbor area are processed and established into files. A query and analysis system with pull down menu and object selection method is established by using a geographic information system-MapInfo and its program language -MapBasic. By this way, it is helpful for users to renew data and provide quickly related information for decision making.

布袋港地層下陷監測與地質建檔研究

目 錄

中文摘要.....	謝明志、賴聖耀.....	I
英文摘要.....	李豐博.....	II
一、前言.....	賴聖耀.....	1
二、布袋港地質概況及相關資分析.....	陳志芳.....	2
三、地層下陷行為與分析方法.....	賴聖耀、李豐博.....	10
四、監測系統安裝與地層下陷量測結果分析...賴聖耀、陳志芳.....		22
五、布袋港海埔地填土之沉陷分析.....	賴聖耀.....	61
六、下陷及地質資料建檔.....	謝明志、李豐博.....	73
七、查詢分析系統之建置.....	謝明志、陳志芳.....	92
八、結論與建議.....	賴聖耀、謝明志....	121
參考文獻.....		123
附錄A：布袋港區劈管土壤之物理特性.....		A-1
附錄B：現地土壤透水試驗資料.....		B-1
附錄C：布袋港區薄管土壤之物理特性.....		C-1
附錄D：傳統式壓密試驗資料.....		D-1

一、前 言

近年來由於地下水大量之開發引致之地層下陷問題，在台灣各地區已是一種普遍現象。而在沿海地區，亦由於養殖業大量開發抽取超額之地下水，導致愈演愈烈之地層下陷，其中以屏東地區累積最大下陷量2.88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，而彰化濱海地區亦有1.2公尺之下陷量，整個西南沿海地區幾乎均有地層下陷現象。

由於超抽地下水易造成區域性之地下水位下降，西南沿海之台中港、布袋港、安平港等港灣地區，其地下水位大多已降到海平面以下，有引發海水入侵之疑，若水位繼續下降，恐會導致地層下陷；因此為維護港區工程及各樣設施之安全，針對各港區地下水位變化與地層下陷長期性之監測研究，極為重要。

國內至目前為止，對於各港區之地層下陷，地下水位變化等地下水文之觀測資料相當缺乏，本研究擬對目前可能沉陷較嚴重之布袋港，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沉陷之長期監測，並埋設水壓計，水位觀測井，以瞭解地下水位及水壓變化對港區地層下陷之影響，其目的不但可成為維護港區現有工程及各樣設施安全監測之一環，並可做為港區碼頭、堤防等擴建工程規劃設計之參考。

本計劃擬於布袋港區，埋設沉陷計及水壓計，進行長期觀測，並搜集港區現有地質資料進行建檔，提供港區工程規劃設計及工程維護之參考。

二、布袋港地質概況及相關資料分析

2-1 布袋港之位置與地形

布袋港位於本省西南部嘉義縣境內，布袋鎮以西濱海地區，面臨台灣海峽，北及西北側海域有統仙洲、箔子寮汕及外傘頂洲所構成之峽長沙洲，形成天然屏障，在兩沙洲軸線以東之內灘地，除環繞周邊之潮溝兩側低窪地被用於牡蠣養殖外，中央部較高灘地已開發完成海埔新生地約126公頃(如附圖2-1)。

本區海岸線向陸地凹入形成灣澳灘地，由於海岸分別有北港溪、朴子溪、八掌溪及急水溪等四溪在附近海入海裡以及外傘頂洲所帶下之沙量，將會間接對布袋港海岸地形發生影響(如附圖2-2)。

2-2 布袋港區地質

布袋港開發計劃包括南北向之海堤、防波堤及散貨、雜貨、客貨、砂石貨等各項用途碼頭20席外，尚有新生地、防風林、堆貨場等港埠設施。而整個區域地層屬海岸沖積土層，根據本所搜集布袋港10餘孔海上鑽探資料顯示，在深度-30公尺範圍內，綜合其剖面土層(如圖2-3、2-4、2-5)簡述如下：

1.EL.0M~EL.-6M：土層分佈以沉泥質細砂(SM)為主，標準貫入試驗N值為6~14間之疏鬆土層，而深度-0.6M~3M之間偶夾有N值為2-9之軟弱沉泥層(ML)，以內港之第一期海埔新生地較明顯。

2.EL.-6M~EL.-27M：為一層10~20米厚軟弱至堅硬之粘土質沉泥層(ML)，N值約在4~20之間，但於-13.0M~-21.0M處有



圖 2-1 布袋港地理位置

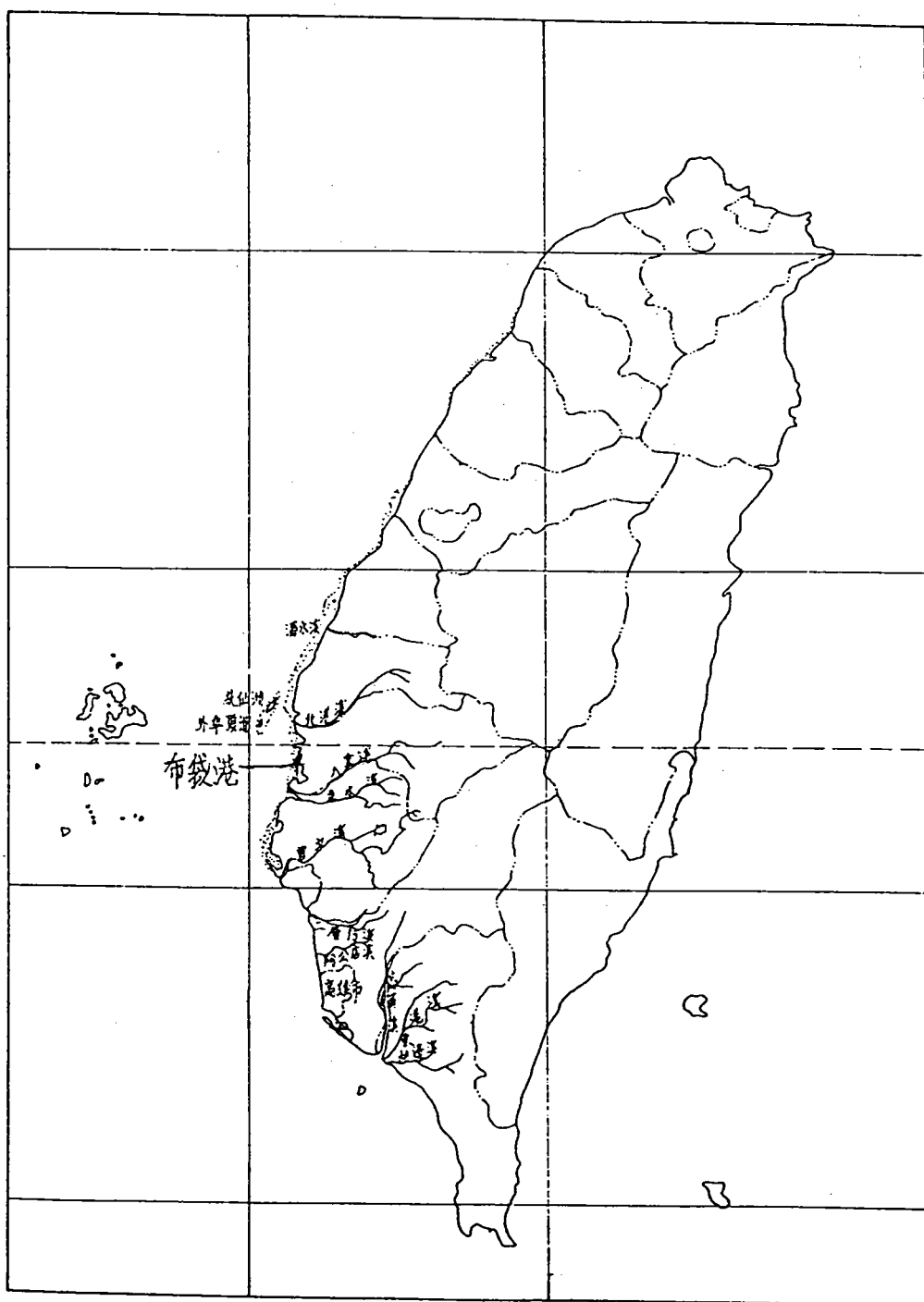


圖 2-2 台灣西海岸地形圖

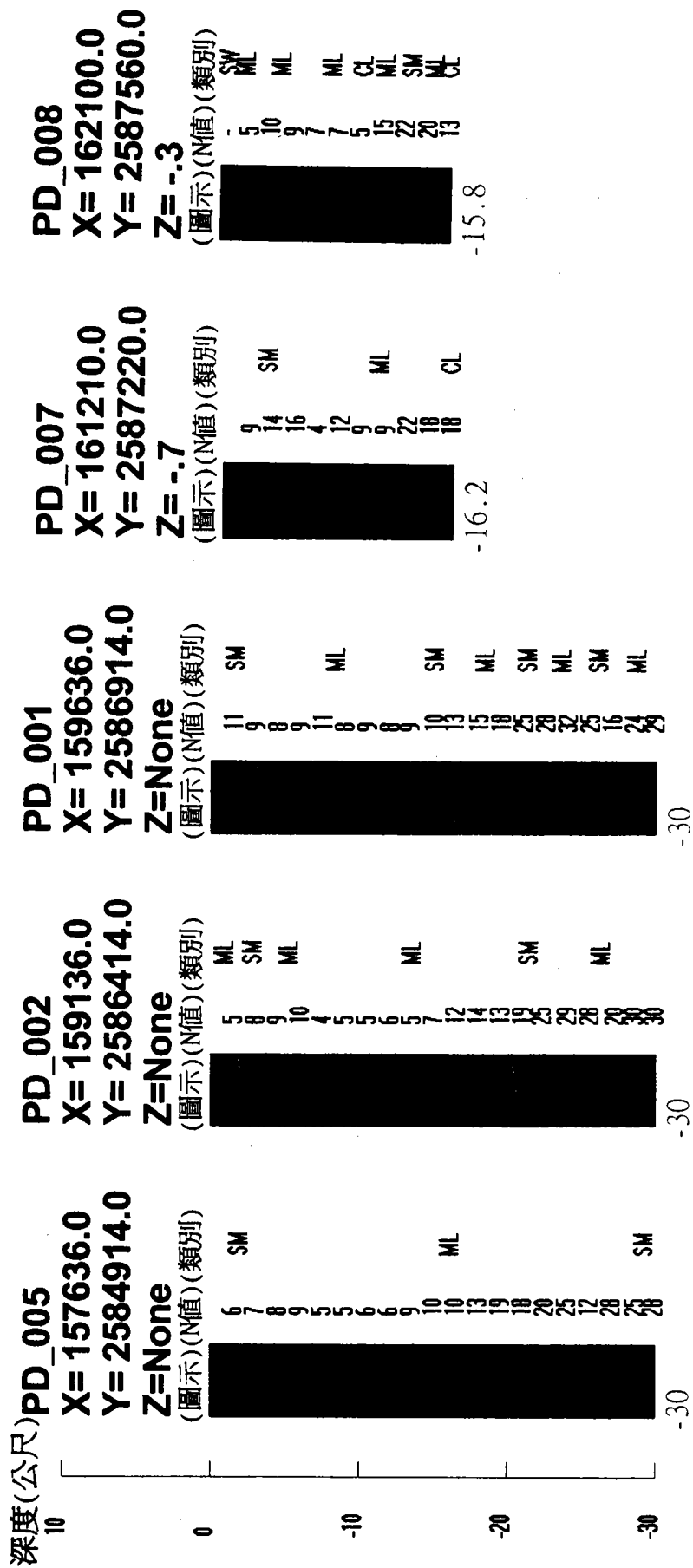


圖 2-3 布袋港區地層柱狀圖(一)

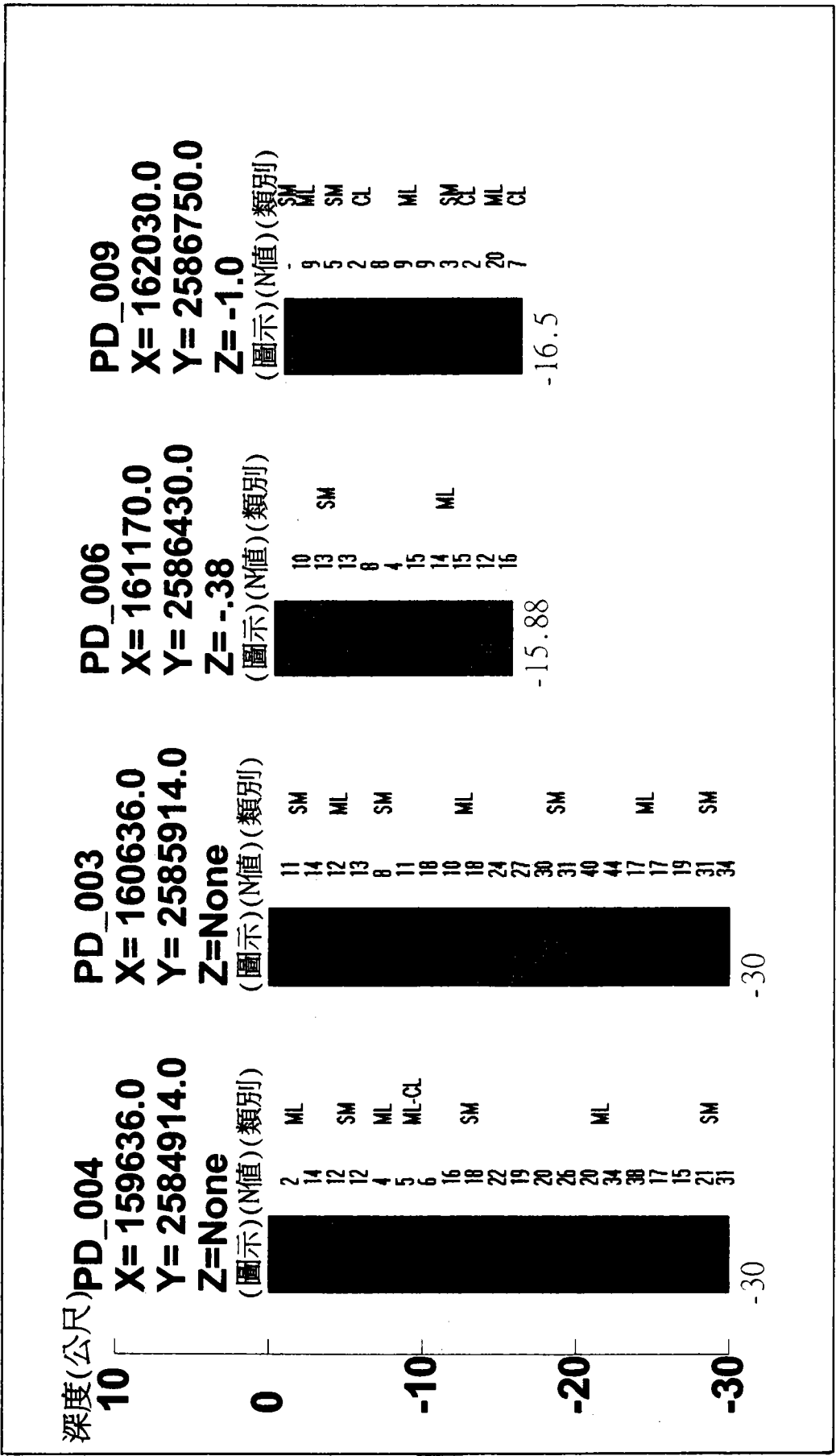


圖 2-4 布袋港區地層柱狀圖(二)

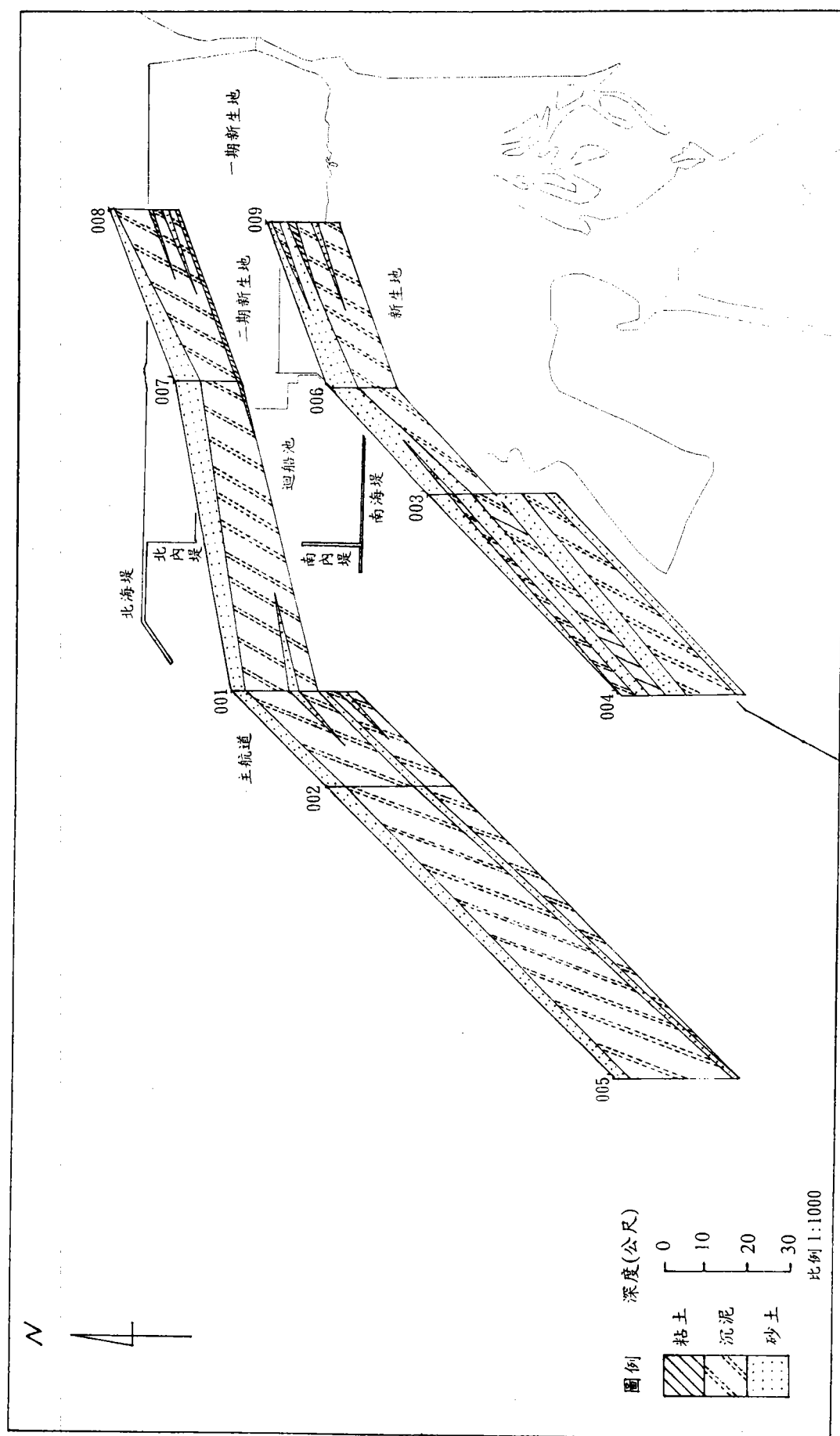


圖 2-5 布袋港區地層柵狀圖

一層約3~5米厚之中等緊密沉泥質細砂(SM)，N值在10~30之間，分佈以南海堤較厚並逐漸向外海之航道口尖滅消失。

3.EL.-27.0M ~ EL.-30.0M：由地層柱狀圖得知深度-27.0M至-30.0M處為中等緊密到緊密之沉泥質細砂(SM)土層，N值約在20~35間，土層大致分佈在南海堤及外海處。

2-3 布袋港附近地區之沉陷

根據省水利處於嘉義沿海地區地盤下陷水準檢測報告(如附圖2-6)，自民國77年至83年布袋地區總下陷量約45~70公分，平均每年沉陷量約在7~10公分，而最近三年83~85年之累計下陷量約25公分，其中最嚴重地區為東石鄉，平均每年沉陷約10公分。

圖 2-6 嘉義沿海地區地層下陷等量下陷圖

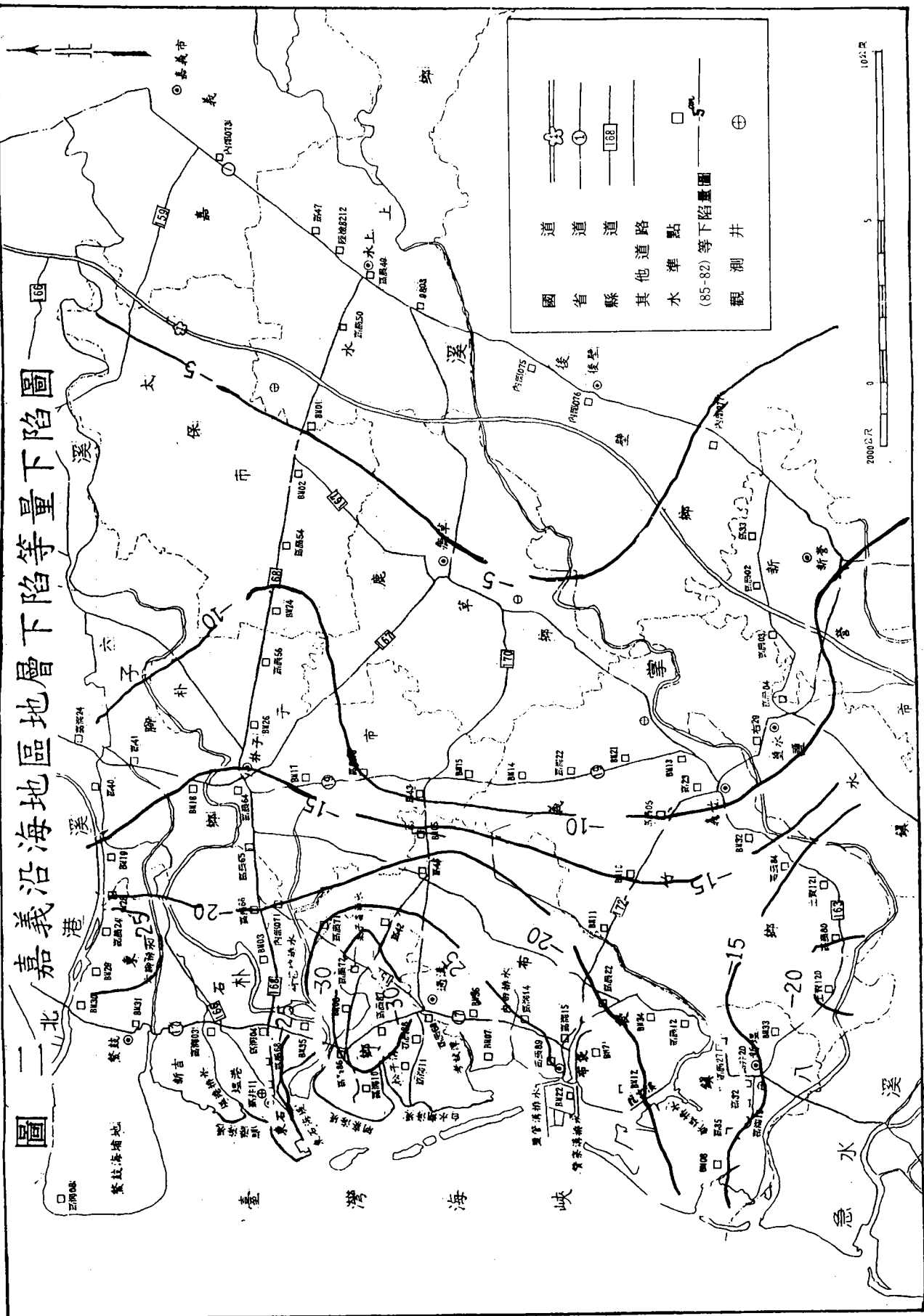


圖 2-6 布袋港附近地區地層下陷圖

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 2.88 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：

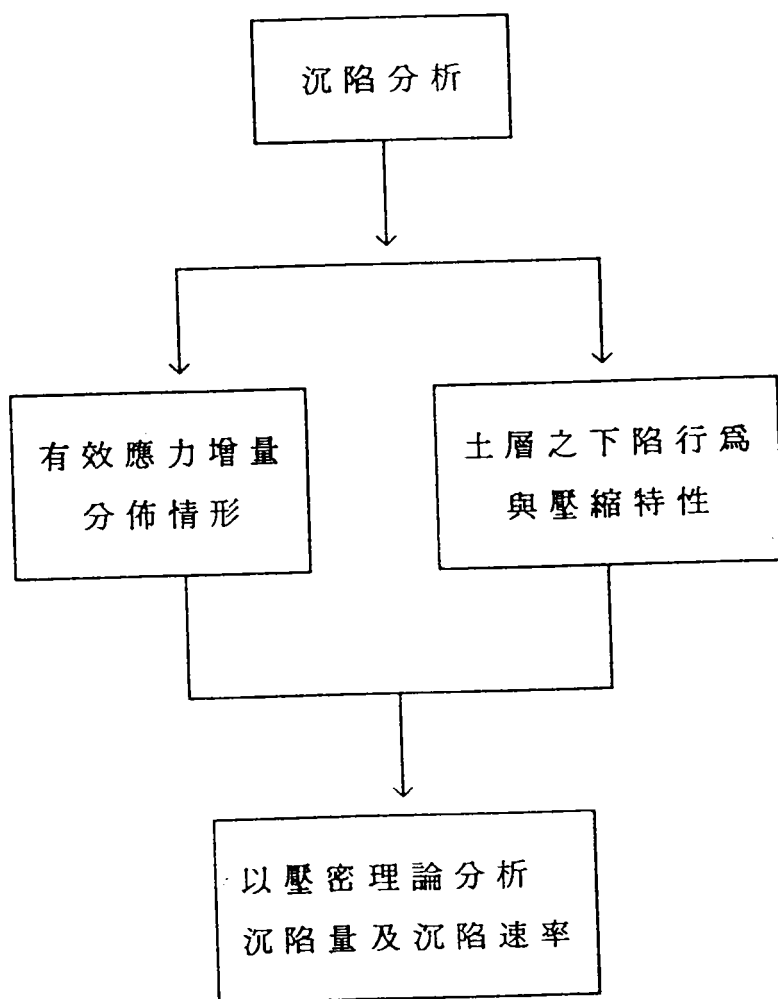


圖 3-1 沉陷分析之流程圖

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

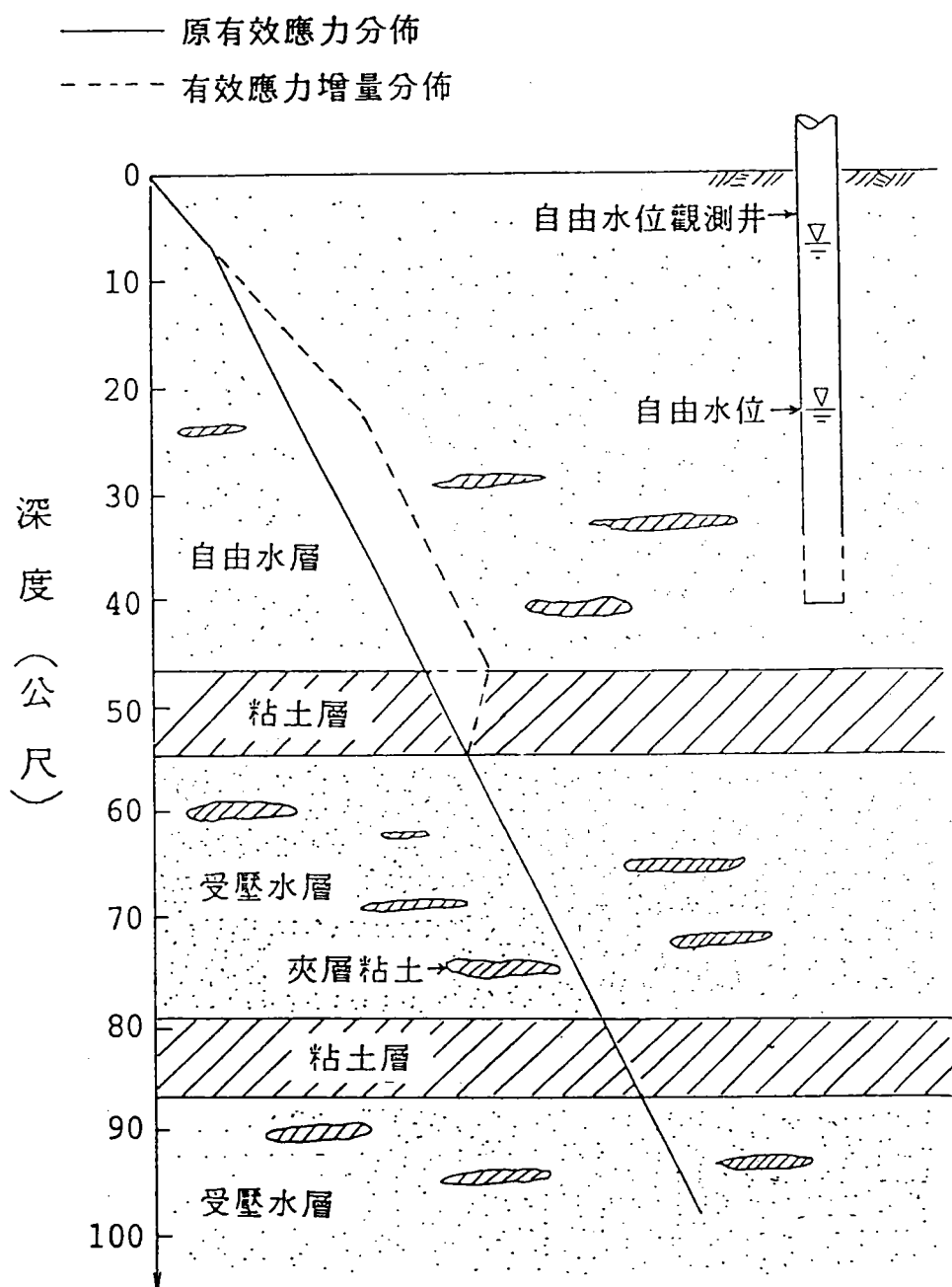


圖 3-2 自由水位下降引致之有效應力增量分佈

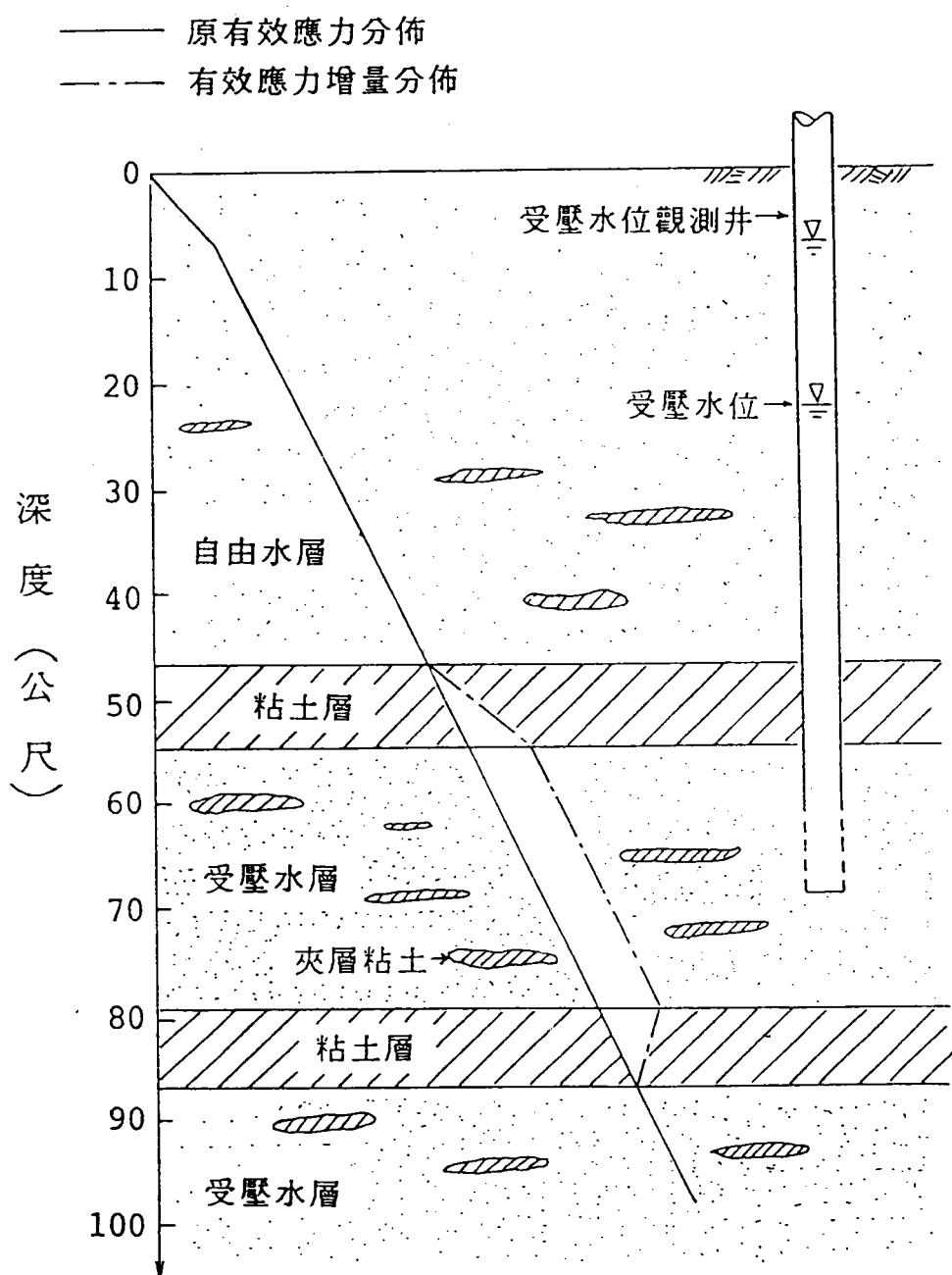


圖 3-3 受壓水位下降引致之有效應力增量分佈

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

$$U(t) = 1 - \frac{\int \Delta u_o dz}{\int \Delta u_o dz} \dots\dots\dots (3-4)$$

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：

$$\left. \begin{aligned} G\nabla^2 S_x + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} - \frac{\partial \rho}{\partial x} &= 0 \\ G\nabla^2 S_y + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} - \frac{\partial \rho}{\partial y} &= 0 \\ G\nabla^2 S_z + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial \epsilon}{\partial z} - \frac{\partial \rho}{\partial z} &= 0 \\ k\nabla^2 \rho &= \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + n\beta \frac{\partial \rho}{\partial t} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-7)$$

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。 $\epsilon = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz}$ 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 ， β 亦分別表土壤之滲透係數(permeability)，孔隙率(porosity)及孔隙水之壓縮係數(compressibility)。

由於地下水位觀測井所測得之水位變化，可代表鄰近區域亦有相同之水位變化，而且地下水位變化引致之地層下陷屬於區域沉陷，因此若考慮為單向度之壓密過程，即 $S_x = S_y = 0$ ， $\epsilon = \frac{\partial S_z}{\partial z}$ ， $\frac{\partial S_x}{\partial x} = \frac{\partial S_y}{\partial y} = 0$ ，可將基本方程式(3-7)簡化如下：

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

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

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：

$$S_z = \frac{4P_0H}{\pi^2\eta G} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{(2n+1)\pi}{2H_d} \right)^2 C_v t \right] \right\} \dots\dots\dots(3-9)$$

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

若為單向排水 $H_d = H$ ，若為雙向排水 $H_d = H/2$

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：

$$\frac{ds}{dt} = K(P_o - P) \text{(3-14)}$$

式中， $\frac{ds}{dt}$ 為下陷速率， P_o 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：

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

式中， $\frac{ds}{dt}$ 為下陷速率， S 為最後下陷量， P_o 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：

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

或

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

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；本計劃則選擇位於布袋港區第二期海埔地之西北角隅（如圖 4-1）之適當位置，各監測井之座標如表 4-1。

本監測井共計三孔，分別為分層沉陷觀測井深度 200M，安裝磁感式磁環 18 只，水壓計鑽探孔 200M，安裝電子式水壓計 3 只，開口式水壓計孔 180M，安裝開放式水壓計 4 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 200M，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 4-2 所示。

- (2) 電子式水壓計觀測井 2 孔

水壓監測井共有 7 組電子式水壓計，3 組安裝於鑽探試驗孔內，4 組安裝於開放式水壓計管口內，前 3 組其安裝深度為 131、68、44M，開放式水壓計安裝深度為 178、143.5、105、34M，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

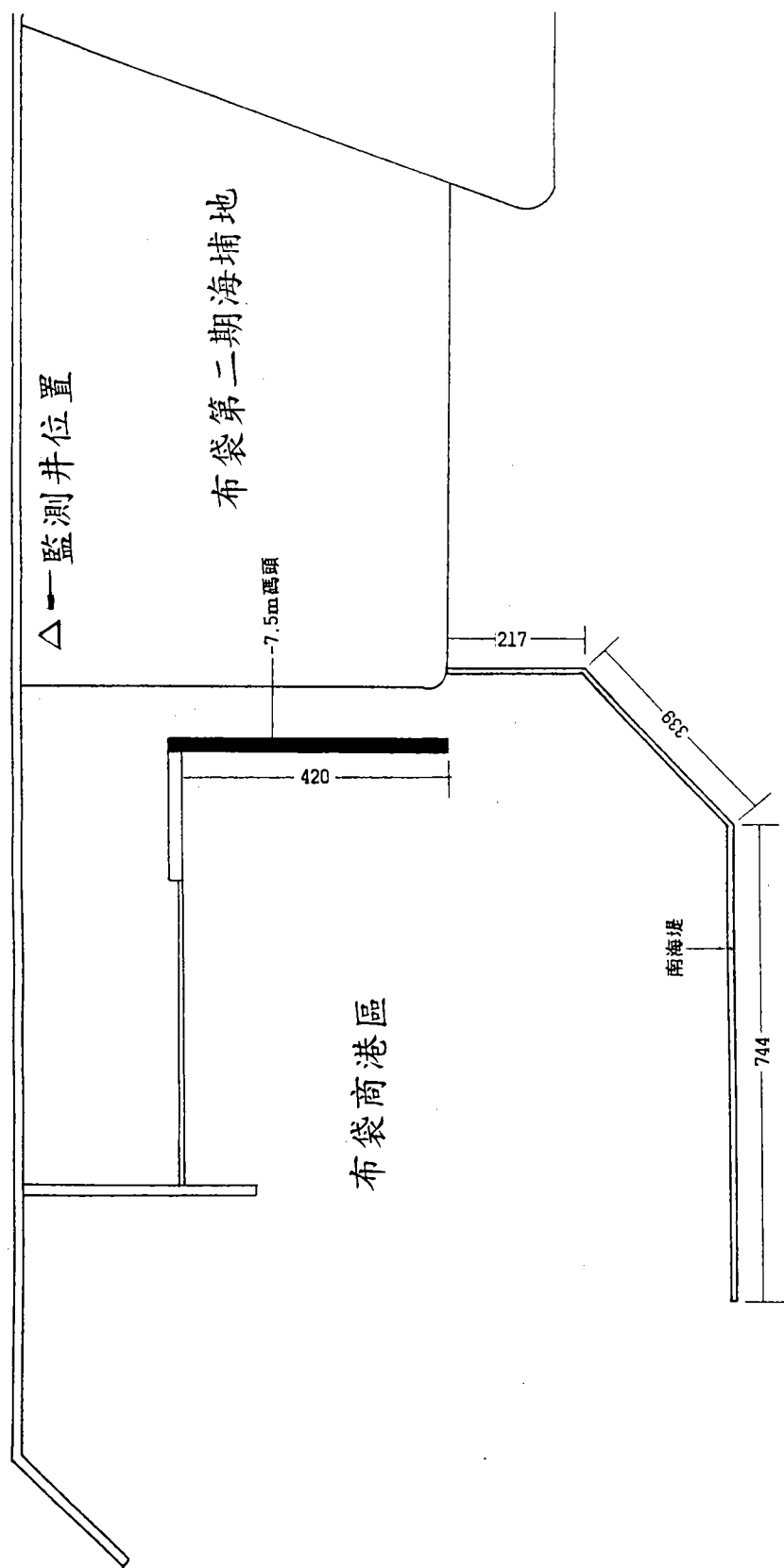
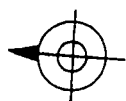


圖 4-1 布袋港地層下陷與水壓監測井位置圖

表 4-1 監測井座標高程一覽表

監測井編號	高程	縱座標 N(m)	橫座標 E(m)
水壓井 OW-1	3.166	2587280.959	161254.669
水壓井 OW-2	3.498	2587281.740	161268.649
沉陷井 S-B	3.416	2587281.574	161264.043

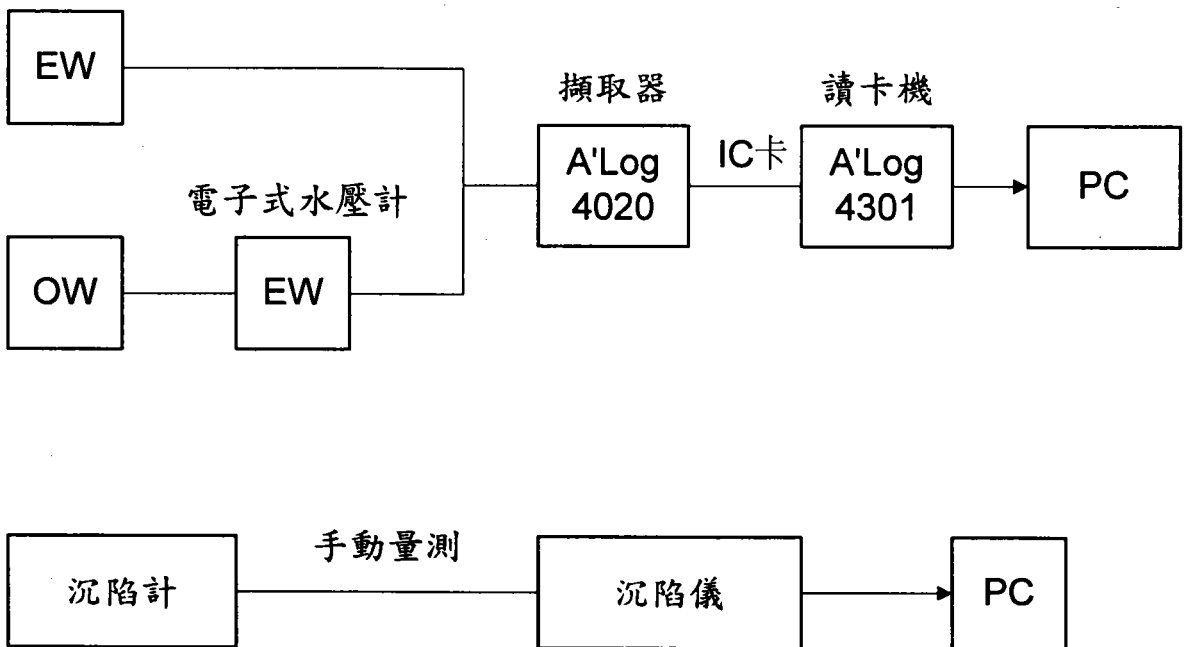


圖 4-2 系統儀器架構流程圖

表 4-2 沉陷計感應環安裝深度一覽表

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

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 4-3 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 200M，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。

表 4-3 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
OW-1	35549	44M	CH2	27	0.00339		電子式水壓計
	35550	68M	CH3	125	0.00331		電子式水壓計
	39332	131M	CH5	-134	0.00680		電子式水壓計
OW-2		34M				4.07M	開放式水壓計
		105M				24.46M	開放式水壓計
		143M				24.81M	開放式水壓計
		178M				25.26M	開放式水壓計
	25986	14.07M	CH1	115	0.000673		電子式水壓計
	25985	34.46M	CH4	296	0.000673		電子式水壓計
	25987	34.81M	CH6	147	0.000672		電子式水壓計
	25983	35.26M	CH7	-315	0.000672		電子式水壓計

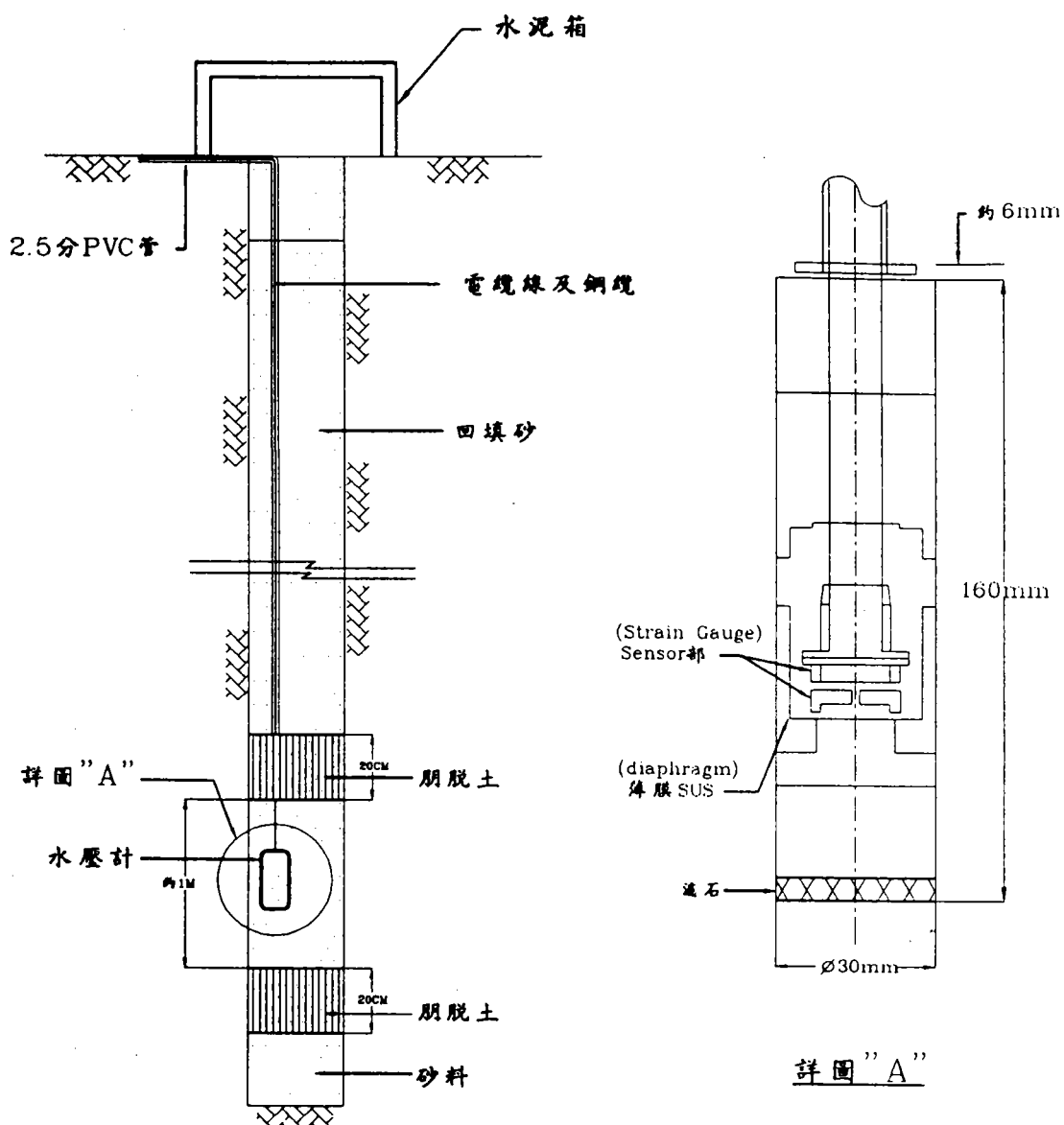


圖 4-3 電子式地下水壓計安裝示意圖

2. 開放式水壓計

- (1) 安裝方式與電子式水壓計安裝步驟相同。
- (2) 當開放式水壓計完成保護措施後，先用水位指示器量測其自然水頭高，然後再將電子式水壓計安裝於水頭水位下 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 210M 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。

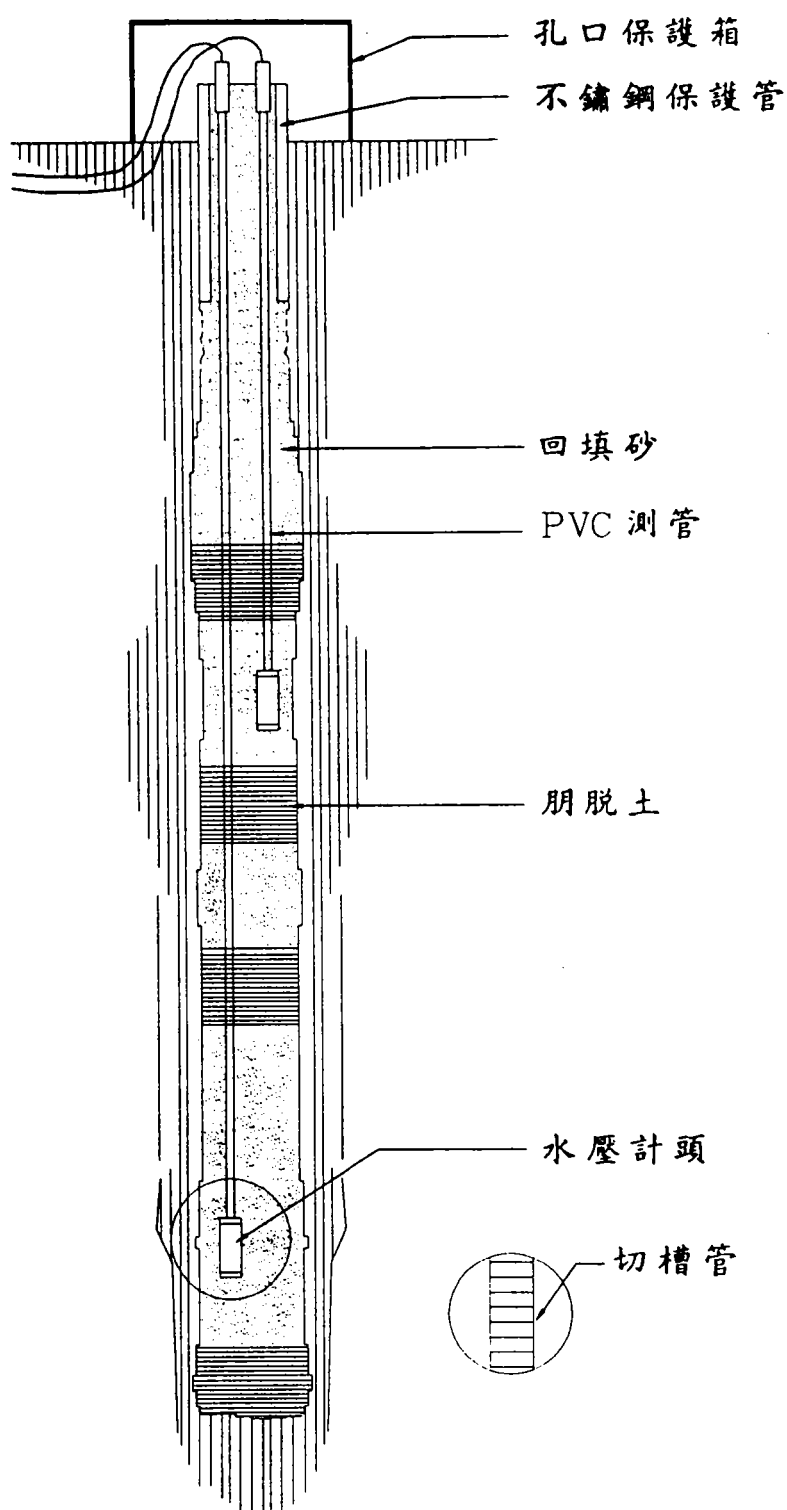
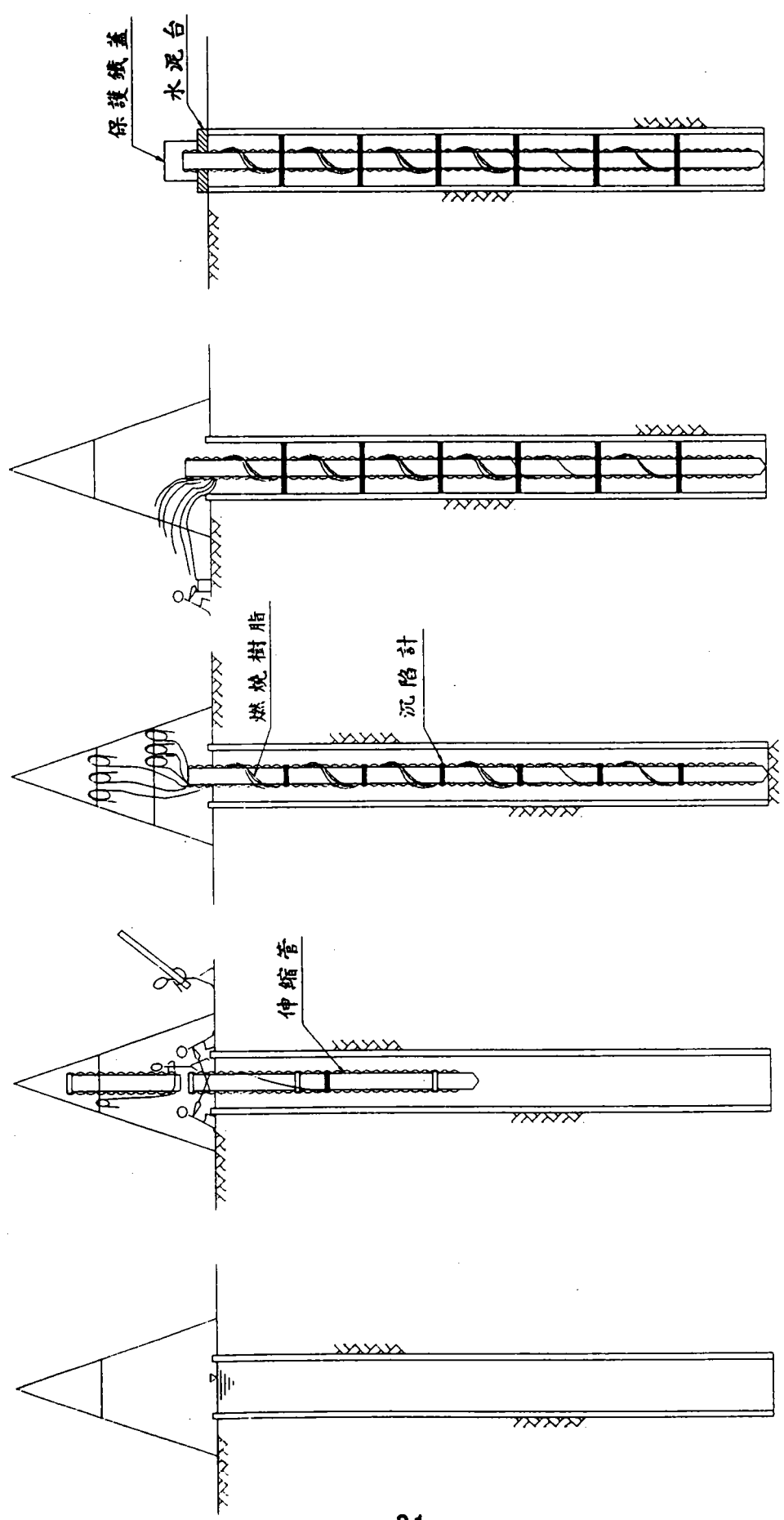


圖 4-4 開口式水壓計安裝示意圖

① ② ③ ④ ⑤



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

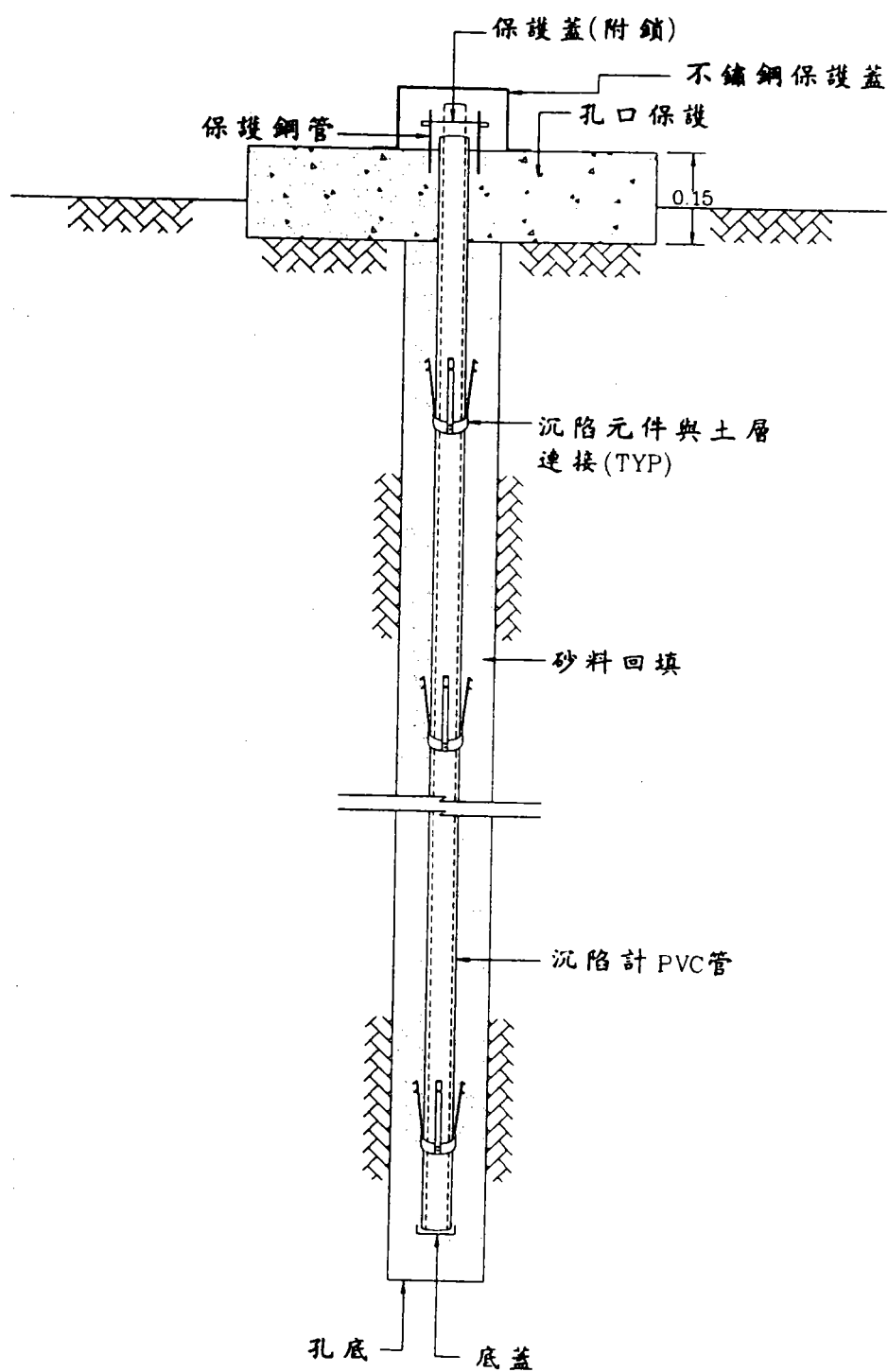


圖 4-6 磁感式層別沉陷計安裝示意圖

(5) 安裝示意圖如圖 4-5、4-6 所示。

4-2 監測井地質分析

布袋港監測站在深度 200 公尺之土層，根據現場鑽探資料如圖 4-7 所示，約可分為 24 個次層，分別簡述如下：

1. 棕黃色細砂(SP)：分佈在地表下深 0~9.5m 且含有貝屑，SPT-N 值為 8~17 間，表土層有 0.45m 之回填礫石夾棕黃色細砂。
2. 灰色砂質沉泥(ML)：分佈於地表下 9.5~11.6m 深，其 N 值為 3，屬軟弱土層。
3. 灰色細砂(SP)：分佈於地表下 11.6~14.1m，N 值為 13 屬中等緊密土層。
4. 灰色細砂夾薄粘土層(SM+ML)：約分佈於地表下深度 14.1~32.8m，其 N 值自 7~24 之間，屬軟弱粘土及中等緊密砂土層。
5. 灰色細砂(SM)：分佈於地表下 32.8~36.5m，N 值平均為 25 之中等緊密土層。
6. 灰色粘土或砂質沉泥層(CL~ML)：分佈於地表下 36.5~41.1m，N 值在 12~16 間，屬中等堅硬土層。
7. 灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 41.1~48.7m，N 值為 41 之中等緊密土層。
8. 灰色泥質粘土至砂質沉泥(CL~ML)：分佈於地表下 48.7~75.3m，N 值為 15~34 間，屬中等堅硬土層，其中於深度 52~52.5m，58~60m，64~66m 為沉泥質細砂(SM)土層，N 值為 34~40 間之中等緊密土層。

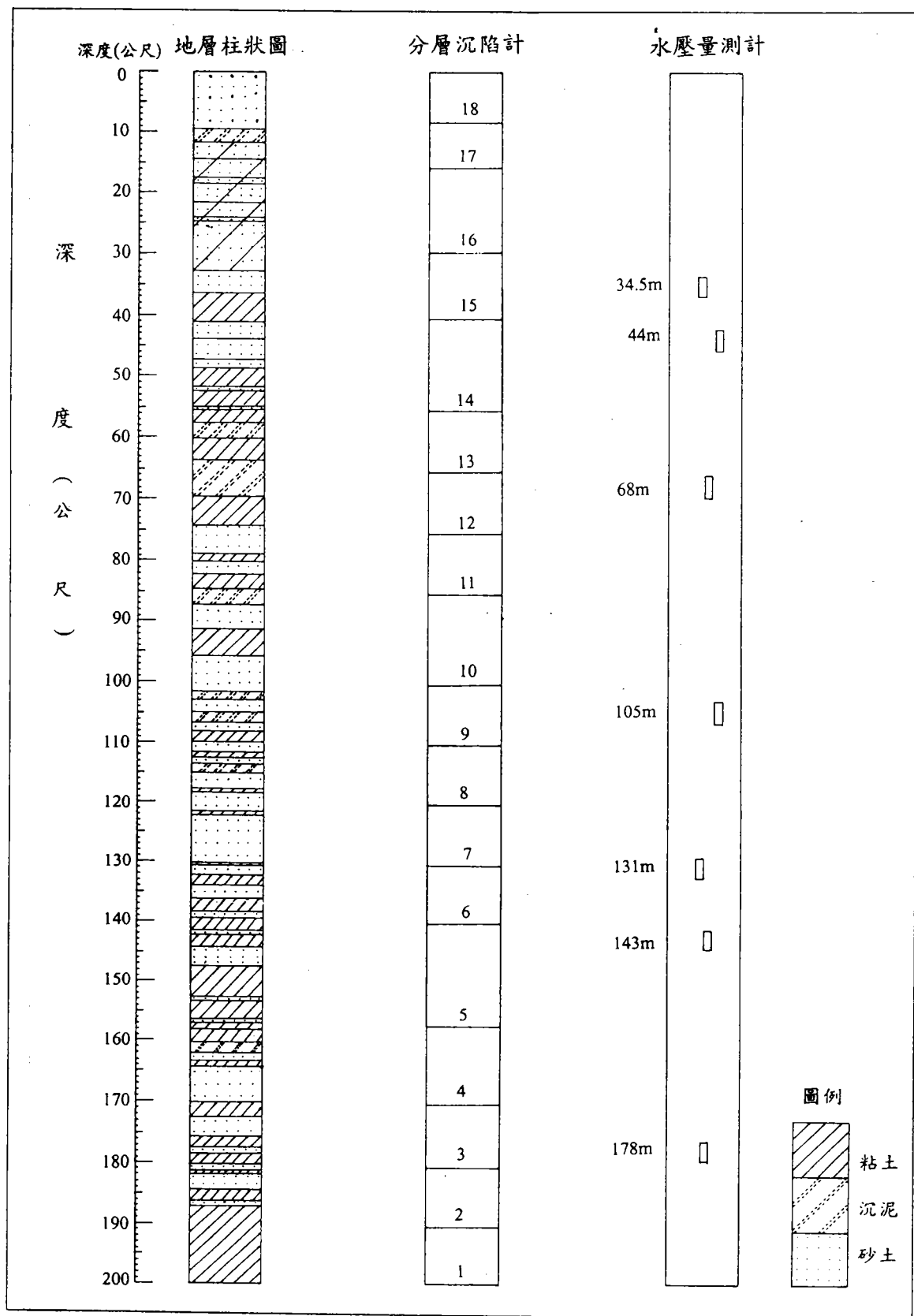


圖4-7 布袋港分層沉陷及水壓量測觀測站地層柱狀圖

9. 灰色泥質細砂含泥質粘土(SM+CL)：分佈於地表下 75.3~82.4m，N 值於 28~74 之間。
10. 灰色沉泥質粘土(CL)：分佈於地表下 82.4~84.75m，N 值約為 40。
11. 灰色砂質沉泥(ML)：分佈於地表下 84.75~87.2m，N 值約為 41。
12. 灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 87.2~91.15m，SPT-N 值為 45。
13. 青灰色沉泥質粘土(CL)：分佈於地表下 91.15m~95.8m，N 值介於 28~36 之間。
14. 青灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 95.8~108.2m，SPT-N 值在 50~77 時貫入土層為 4~9cm。
15. 灰色泥質細砂含砂質粘土(CL+SM)：分佈於地表下 108.2~115.2m，N 值為 31 及 50 時貫入土層約 4cm。
16. 灰色沉泥質細砂(SM)：分佈於地表下 115.2~132.2m，其 SPT-N 值為 60 時貫入土層約 7cm。
17. 灰色粘土含泥質細砂(CL+SM)：分佈於地表下 132.2~139.3m，N 值為 100 時貫入土層約 13cm。
18. 褐色或灰色粘土含沉泥質細砂(CL+SM)：分佈於地表下 139.3~147.35m，N 值為 30 時貫入土層約 3cm。
19. 灰色粘土(CL)：分佈於地表下 147.35~157m，N 值為 50~60 時貫入土層約 38~40cm。

20. 灰色沉泥(ML)：分佈於地表下 157~164.35m，N 值為 60 時貫入土層約 4cm。
21. 灰色細砂含灰色粘土(SM+CL)：分佈於地表下 164.35~170.15m，SPT-N 值在 60 時貫入土層約 4cm。
22. 灰色粘土(CL)：分佈於地表下 170.15~172.5m，SPT-N 值在 100 時貫入土層約 7cm。
23. 灰色細砂(SM)：分佈於地表下 172.5~175.8m，N 值在 100 時貫入深度約 7cm。
24. 灰色粘土(CL)：分佈於地表下 175.8~200m，N 值為在 100 時貫入土層約 5~13cm。

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

布袋港位於嘉義沿海地區，其雨量分析乃依據台鹽總廠布袋氣象站記錄，每年降雨量皆集中在 6、7、8 月，其餘月份雨量不大。

而民國 86 年 1 月至 86 年 2 月之每日降雨量如圖 4-8 所示，86 年降雨量較大月份亦集中在 6、7、8 月，其餘月份雨量較少，唯 87 年降雨量從 2 月份開始便增多。

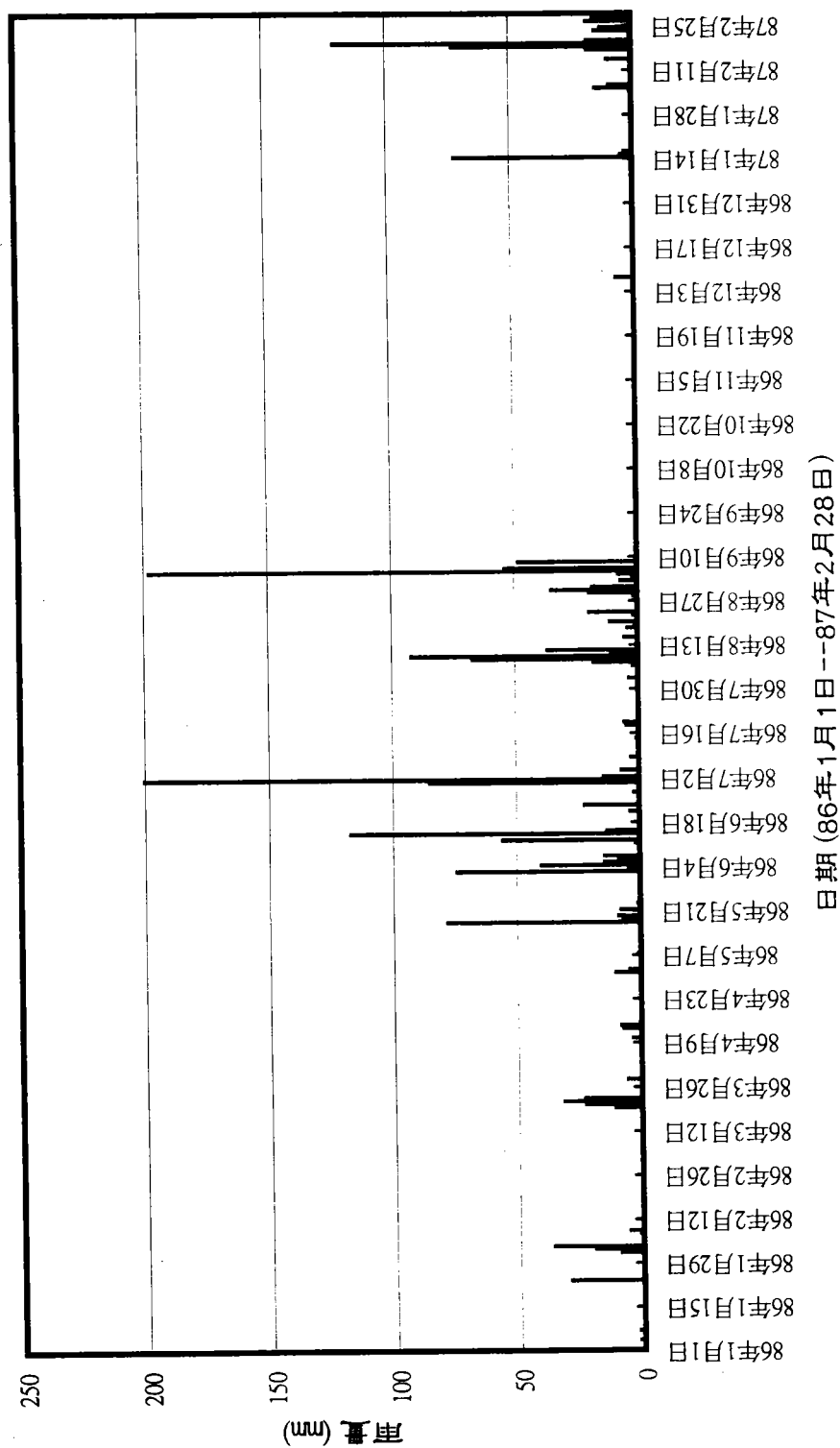


圖4-8 布袋地區85.1-86.2之日降雨量統計圖

4-3-2 地下水位分析

本所於布袋港區第二期海埔地西北角隅，埋設 200 公尺深之分層水壓觀測站，共埋設 7 支水壓計，其深度分別為 34m、44m、68m、105m、131m、143m、178m，自 86 年 7 月 22 日開始以自動量測系統量測，其中 86 年 8 月 15 日至 9 月 15 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，分別如圖 4-9 至圖 4-10 所示。由於其中 34m、105m、143m、178m 之水壓計為開放式，亦可以手動定期量測，手動量測自 86 年 4 月開始量測，每月量測一次。其量測結果如圖 4-11 所示。

由圖 4-9 及圖 4-11 顯示：34m 處之水位變化介於 -3.3~-3.7m 之間反復性之震盪，並無多大變化，僅在 87 年 3、4、5 月雨量較多時，水位稍微上升；44m 處之水位，除了 86 年 10 月旱季時，水位較低為 -7.4m 外，其餘時期水位僅在 -6~-7m 之間反復震盪，而至 87 年 3、4、5 月雨量較多，水位稍為上升；68m 之水位介於 -8.5~-7m 之間，其中 86 年 7 月水位較低為 -8.5m，此可能 86 年 3、4 月時水位更低，而漸升至 86 年 9、10 月，而 86 年 11、12 月及 87 年 1 月旱季時水位稍降，而至 87 年 3、4、5 月雨量較豐，水位繼續微升。

由圖 4-10 及圖 4-11 顯示：105m 處之水位變化極大，最高水位 -17.7m，最低水位 -24.5m，在 86 年 9 月及 87 年 3、4、5 月雨量較多時，水位較高，86 年 4、5、11、12 月及 87 年 1、2 月雨量較少時，水位較低，131m 處之水位變化亦極大，最高水位 -17m，最低水位可能為 -24m，其水位大小及變化與 105m 處水位相當，可見 105m 及 131m 水位是屬於同一含水層。143m 及 178m 水位大小及變化亦很相當，亦屬同一含水層，其最高水位為 -19.8m，最低水位為 -25m，其水位變化與 105m、131m 處相似。

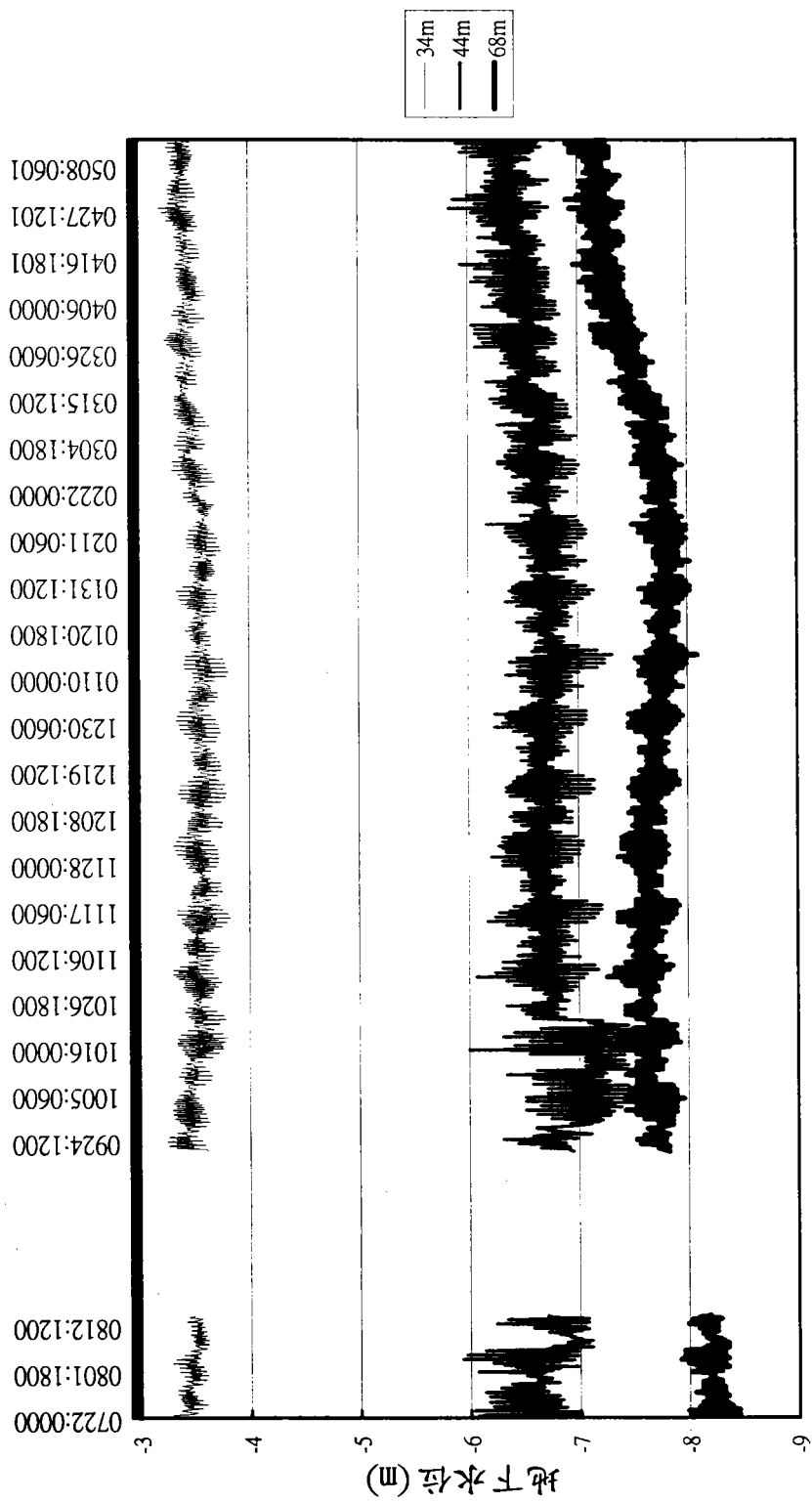
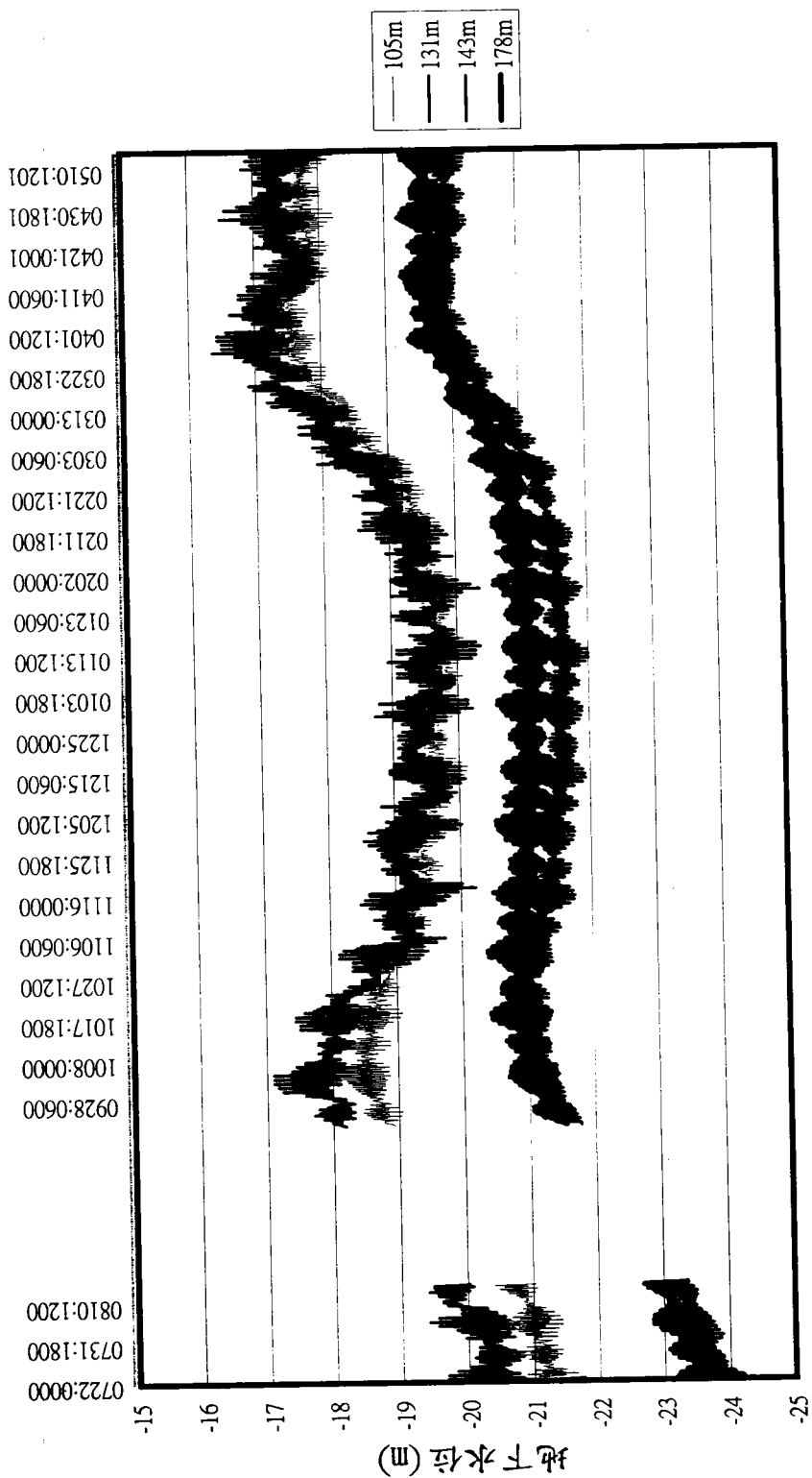


圖4-9 布袋港淺層水位變化(自記式)



日期 (86/7/22--87/5/14)

圖4-10 布袋港深層水位變化(自記式)

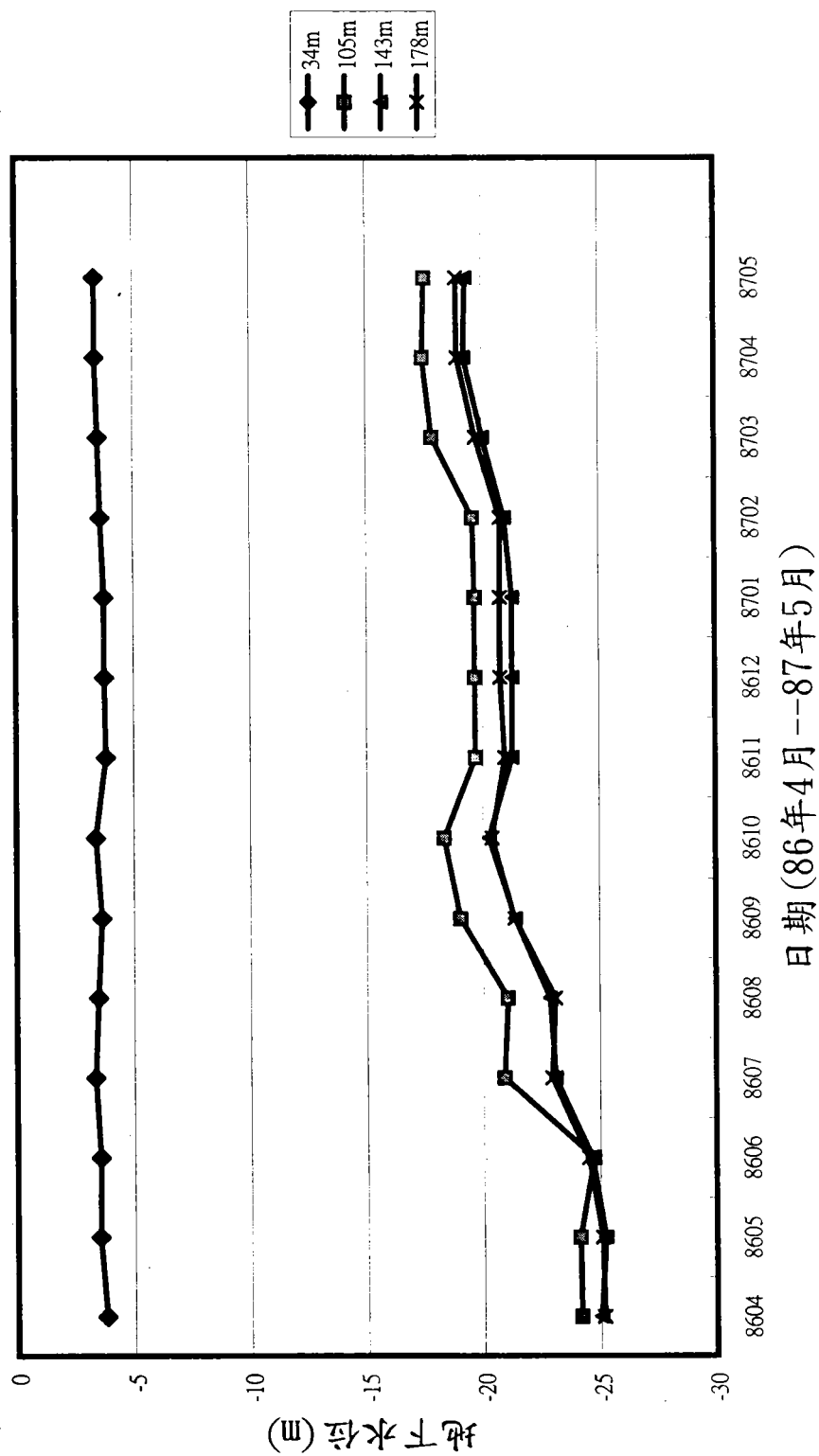


圖4-11 布袋港分層水位變化(手動量測)

綜合各地層之地下水位資料，如圖 4-12 所示，由圖 4-12 顯示布袋港水層約可分為 4 個層次，34m 水位為第 1 含水層之水位，44m、68m 水位為第 2 含水層之水位，105m、131m 水位為第 3 含水層之水位，143m、178m 水位為第 4 含水層之水位。由水位變化現象顯示：第 1、2 層水位變化較小，較無超抽地下水現象，第 3、4 層地下水位低且變化極大，超抽地下水現象明顯，而且 86 年 4、5 月及 11、12 月旱季時，水位相對較低，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

為了探討布袋港不同深度之壓縮行為，於港區第二期海埔地西北角隅之位置，設立 200m 深之分層地層下陷監測井，分別在深度 8、16、30、41、56、66、76、85、100、110、120、131、140、157、170、181、190、200m 之位置安裝一個沉陷磁環，共 18 個磁環，每個月之中旬定期以無線電波監測儀量測各沉陷磁環之相對移動變化量，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 4-13 為至民國 87 年 5 月 14 日，不同深度地層之壓縮量，以柱狀圖形表示，負值表壓縮，正值表回脹，因為感應磁環之最大深度為 200 公尺，所以圖中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 4-13 可發現較淺之地層壓縮量較小，壓縮量較大之地層為 140~157m 及 170~180m 之深度，而此地層屬粘土層，且深層超抽地下水較嚴重，因此壓縮量較大。

圖 4-14 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 4-14 顯示，從 85 年 2 月至 86 年 5 月之 16 個月期間，布袋港地表下 8m 至 200 公尺間之沉陷總量為 56 公厘，而其中 140~200m 之沉陷量 29mm，佔總沉陷量之 50% 以上，由此資料顯示，布袋港之沉陷屬於

表4-4 布袋港地層分層下陷觀測站測量值及下陷量計算值

單位:公厘

項目	元 件 號	期																期															
		860220下	860305下	860415下	860529下	860627下	860722下	860814下	860922下	861015下	861120下	861215下	870113下	870210下	870317下	870415下	870514下	870617下	870717下	870817下	870917下	871017下	871117下	871217下	871317下	871417下	871517下	871617下	871717下	871817下	871917下	872017下	
量	NO.18	9.2620	9.2620	9.2620	9.2615	9.2616	9.2616	9.2615	9.2616	9.2615	9.2624	9.2628	9.2629	9.2630	9.2625	9.2625	9.2622	9.2621															
	NO.17	16.7775	16.7775	16.7775	16.7775	16.7775	16.7775	16.7770	16.7771	16.7770	16.7782	16.7783	16.7783	16.7784	16.7781	16.7781	16.7781	16.7780															
	NO.16	30.6320	30.6320	30.6320	30.6320	30.6320	30.6318	30.6315	30.6315	30.6313	30.6307	30.6303	30.6299	30.6295	30.6290	30.6290	30.6288	30.6292															
	NO.15	41.5855	41.5855	41.5850	41.5842	41.5838	41.5835	41.5832	41.5828	41.5826	41.5824	41.5820	41.5817	41.5815	41.5810	41.5806	41.5803	41.5802															
	NO.14	56.5485	56.5480	56.5475	56.5472	56.5460	56.5457	56.5455	56.5452	56.5448	56.5443	56.5441	56.5435	56.5430	56.5430	56.5424	56.5430	56.5430															
	NO.13	66.5630	66.5625	66.5624	66.5623	66.5610	66.5608	66.5607	66.5606	66.5596	66.5586	66.5584	66.5582	66.5580	66.5575	66.5570	66.5575	66.5570															
	NO.12	76.5140	76.5120	76.5120	76.5108	76.5090	76.5085	76.5079	76.5076	76.5072	76.5068	76.5064	76.5060	76.5055	76.5055	76.5036	76.5050	76.5041															
	NO.11	86.4690	86.4660	86.4650	86.4635	86.4625	86.4620	86.4617	86.4614	86.4611	86.4583	86.4570	86.4569	86.4568	86.4570	86.4561	86.4575	86.4557															
	NO.10	101.4705	101.4685	101.4670	101.4622	101.4616	101.4610	101.4607	101.4605	101.4600	101.4567	101.4560	101.4555	101.4550	101.4545	101.4533	101.4545	101.4530															
	NO.9	111.4515	111.4510	111.4455	111.4415	111.4400	111.4391	111.4387	111.4380	111.4376	111.4365	111.4349	111.4342	111.4335	111.4318	111.4321	111.4325	111.4309															
	NO.8	121.4515	121.4505	121.4465	121.4402	121.4390	121.4378	121.4374	121.4371	121.4363	121.4356	121.4346	121.4330	121.4315	121.4315	121.4314	121.4315	121.4298															
值	NO.7	131.7385	131.7370	131.7330	131.7268	131.7250	131.7241	131.7236	131.7231	131.7229	131.7208	131.7198	131.7190	131.7170	131.7170	131.7168	131.7168	131.7148															
	NO.6	141.4410	141.4385	141.4330	141.4262	141.4247	141.4232	141.4225	141.4223	141.4220	141.4185	141.4174	141.4165	141.4155	141.4150	141.4141	141.4140	141.4122															
	NO.5	158.4565	158.4535	158.4440	158.4365	158.4340	158.4321	158.4312	158.4306	158.4301	158.4251	158.4227	158.4208	158.4190	158.4186	158.4171	158.4170	158.4151															
	NO.4	171.4380	171.4350	171.4260	171.4163	171.4130	171.4112	171.4102	171.4092	171.4082	171.4045	171.4012	171.3995	171.3978	171.3976	171.3962	171.3958	171.3929															
	NO.3	181.6975	181.6925	181.6845	181.6720	181.6700	181.6670	181.6635	181.6626	181.6620	181.6569	181.6556	181.6526	181.6495	181.6489	181.6475	181.6463	181.6430															
	NO.2	191.4455	191.4425	191.4310	191.4200	191.4165	191.4133	191.4097	191.4081	191.4066	191.4038	191.3996	191.3973	191.3950	191.3945	191.3926	191.3915	191.3882															
	NO.1	201.4735	201.4680	201.4585	201.4478	201.4440	201.4407	201.4362	201.4337	201.4337	201.4307	201.4272	201.4243	201.4215	201.4210	201.4193	201.4182	201.4149															
	地表	201.4735	201.4680	201.4585	201.4478	201.4440	201.4407	201.4362	201.4337	201.4337	201.4307	201.4272	201.4243	201.4215	201.4210	201.4193	201.4182	201.4149															
各 元 件	NO.18	192.2115	192.2060	192.1965	192.1863	192.1824	192.1791	192.1747	192.1743	192.1722	192.1683	192.1644	192.1614	192.1585	192.1585	192.1568	192.1560	192.1528															
	NO.17	184.6960	184.6905	184.6810	184.6703	184.6665	184.6632	184.6592	184.6588	184.6567	184.6525	184.6489	184.6460	184.6431	184.6429	184.6412	184.6400	184.6369															
	NO.16	170.8415	170.8360	170.8265	170.8158	170.8120	170.8089	170.8047	170.8044	170.8024	170.8000	170.7969	170.7944	170.7920	170.7920	170.7903	170.7894	170.7857															
	NO.15	159.8880	159.8825	159.8735	159.8636	159.8602	159.8572	159.8531	159.8531	159.8511	159.8483	159.8452	159.8426	159.8400	159.8400	159.8387	159.8379	159.8347															
	NO.14	144.9250	144.9200	144.9110	144.9006	144.8980	144.8950	144.8907	144.8907	144.8889	144.8864	144.8831	144.8808	144.8785	144.8780	144.8769	144.8752	144.8719															
	NO.13	134.9105	134.9055	134.8961	134.8853	134.8830	134.8799	134.8755	134.8753	134.8741	134.8721	134.8688	134.8661	134.8635	134.8635	134.8623	134.8607	134.8579															
	NO.12	124.9595	124.9560	124.9465	124.9370	124.9350	124.9322	124.9283	124.9283	124.9265	124.9239	124.9208	124.9183	124.9160	124.9155	124.9157	124.9132	124.9108															
	NO.11	115.0045	115.0020	114.9935	114.9843	114.9815	114.9787	114.9745	114.9745	114.9726	114.9724	114.9702	114.9674	114.9647	114.9647	114.9632	114.9607	114.9592															
	NO.10	100.0030	99.9995	99.9915	99.9856	99.9824	99.9797	99.9755	99.9754	99.9737	99.9740	99.9712	99.9688	99.9665	99.9665	99.9660	99.9637	99.9619															
	NO.9	90.0220	90.0170	90.0130	90.0063	90.0040	90.0016	89.9975	89.9979	89.9961	89.9942	89.9923	89.9901	89.9880	89.9882	89.9872	89.9857	89.9840															
之	NO.8	80.0220	80.0175	80.0120	80.0076	80.0050	80.0029	79.9988	79.9988	79.9974	79.9988	79.9974	79.9951	79.9926	79.9913	79.9926	79.9913	79.9895															
	NO.7	69.7350	69.7310	69.7255	69.7225	69.7190	69.7166	69.7126	69.7128	69.7108	69.7099	69.7074	69.7053	69.7045	69.7040	69.7025	69.7014	69.7001															
	NO.6	60.0325	60.0295	60.0255	60.0216	60.0193	60.0175	60.0137	60.0136	60.0117	60.0122	60.0098	60.0078	60.0060	60.0060	60.0052	60.0042	60.0027															
	NO.5	43.0170	43.0145	43.0145	43.0113	43.0100	43.0086	43.0050	43.0053	43.0056	43.0056	43.0045	43.0035	43.0025	43.0024	43.0023	43.0024	43.0024															
	NO.4	30.0355	30.0330	30.0325	30.0315	30.0310	30.0295	30.0260	30.0267	30.0255	30.0262	30.0260	30.0248	30.0237	30.0234	30.0231	30.0224	30.0220															
	NO.3	19.7760	19.7755	19.7740	19.7740	19.7740	19.7737	19.7727	19.7733	19.7717	19.7733	19.7716	19.7716	19.7717	19.7720	19.7721	19.7718	19.7719															
	NO.2	10.0280	10.0255	10.0275	10.0278	10.0275	10.0274	10.0265	10.0278	10.0271	10.0269	10.0276	10.0270	10.0270	10.0265	10.0265	10.0267	10.0267															
	NO.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0															
各 元 件 累 積 下 陷 量	8m	0	-5.5	-15.0	-25.2	-29.1	-32.4	-36.8	-37.2	-39.3	-43.2	-47.1	-50.1	-53.0	-53.0	-54.7	-55.5	-58.7															

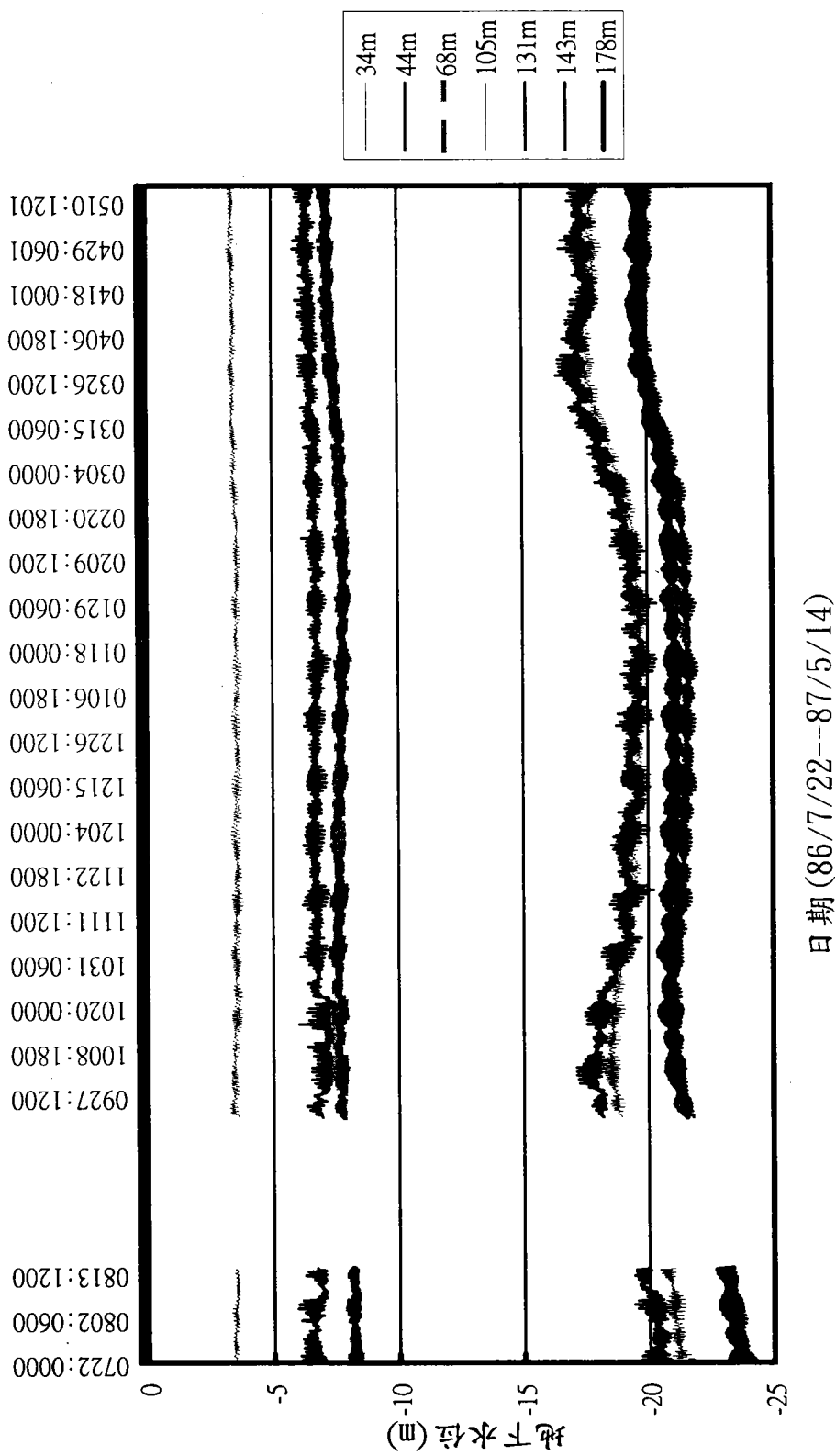


圖4-12 布袋港分層水位變化(自記式)

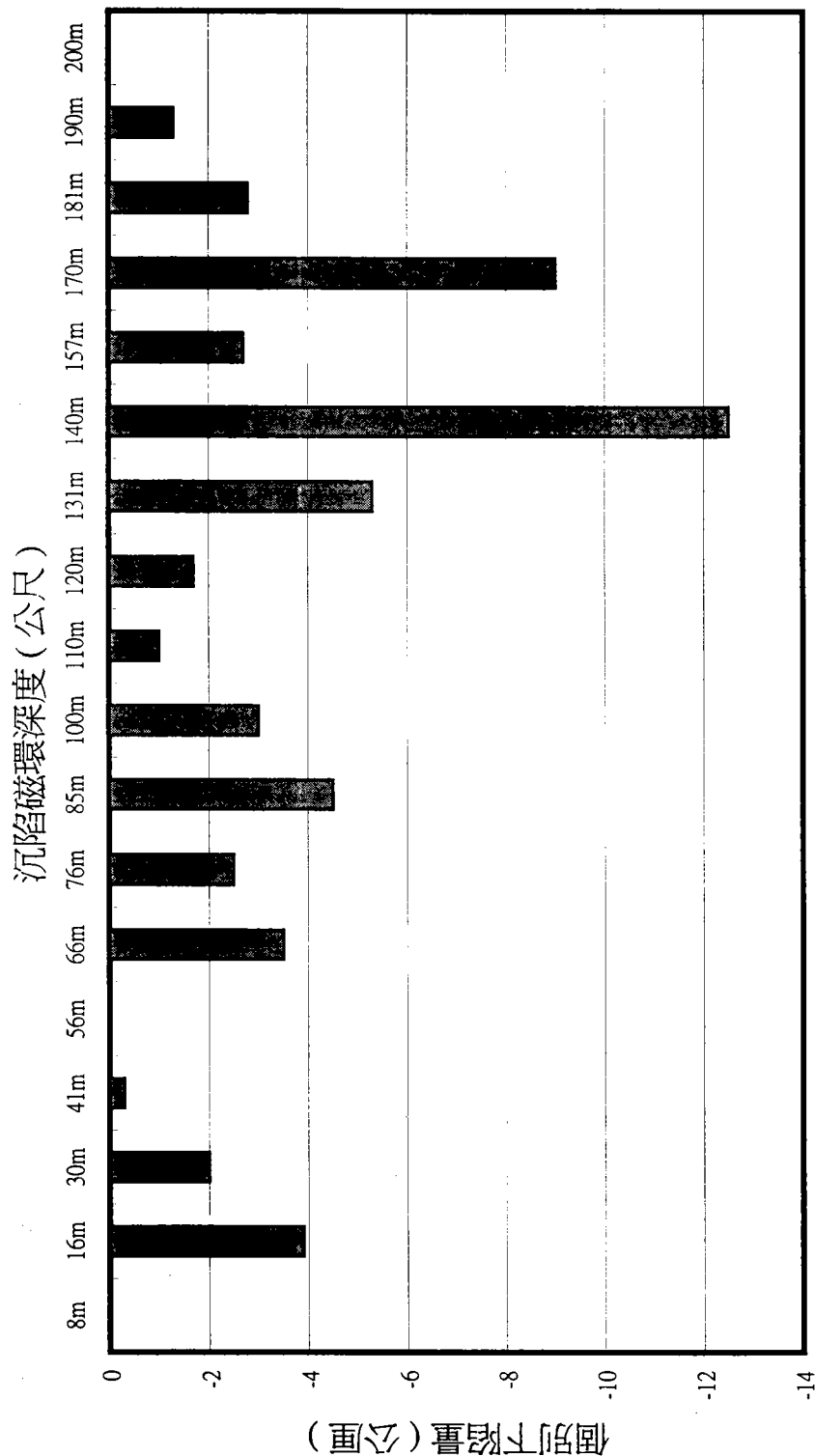


圖4-13 布袋港分層個別下陷量圖

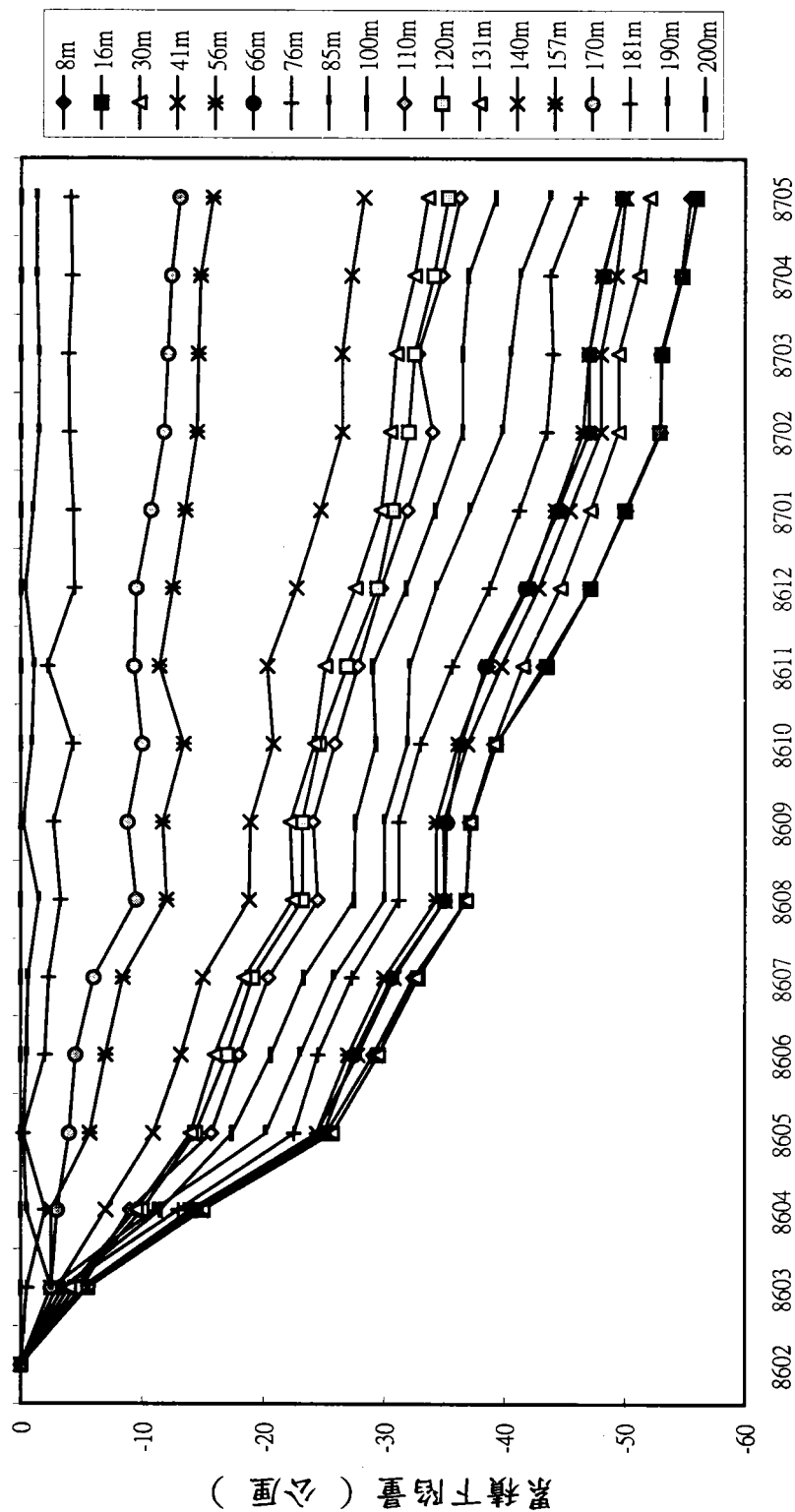


圖4-14 布袋港地層分層下陷觀測圖

深層沉陷，且較 200m 更深之處仍可能有沉陷發生，因此布袋港之總沉陷量應比監測所量測之壓縮總量還大。

4-3-4 相關性分析

綜合上述地質、雨量、分層地下水位及分層地層下陷之分析，本節簡要之探討其間之相關性。淺層地下水位屬於局部性，其受港區抽水之影響，若是鄰近區域之抽水，則較不影響，而深層之地下水位屬於區域性，港區及附近區域之抽水皆會對其影響，由於港區並無抽水現象發生，淺層水位應無多大變化，但淺層水位除了受漲退潮之潮位影響外，受到雨量之影響最大，7、8 月雨季時，水位上升，11、12 月旱季時，水位下降，因此淺層土層若無抽水引致壓密水位下降之影響，僅受季節性雨量之影響，則淺層土層僅會因水位上升受解壓而微小之膨脹，水位下降時受再壓而微小之壓縮，整體而言不太會有沉陷發生，此可由圖 4-13 及圖 4-14，8m~16m 之土層不但無壓縮，反而稍有膨脹。得到說明，而 34m 之地下水位，雖屬淺層水位，但由於 9.5~11.6m 有沉泥層，14.1~32.8m 有細砂夾多層之薄粘土，因此 34m 之水位已非純自由水位而是半受壓水位，因此附近區域之抽水亦會影響其水位變化，而由表 4-5，水井之調查，布袋鎮 10~30m 之水井有 909 口，是淺層抽水之主要深度，故 34m 之水位於 11、12 月旱季時因抽水較多，而水位較低，致使淺層土壤 16~41m 亦有些壓縮量。而深層之地下水位理應較不受到雨量變化之影響，而受到深層抽水之影響較大，其中 44m 之水位無多大變化，雖然 41~66m 土層大多為粘土層或沉泥層，其土層壓縮量亦極小。而 68m 之水位變化較 44m 水位為大，又 66~85m 之土層大多為粘土層或沉泥層其土層之壓縮量較大；105m、131m、143m、178m 處之水位變化極為明顯，因此 85~200m 之土層沉陷亦很明顯，100~200m 之水位屬於較深層之水位，理應不太受雨量分佈之影響，若有受雨量補注之影響亦應有一段延遲現象，但此處深層水位，卻於 7、8 月雨季時水位逐漸上升，11、12 月旱季時水位逐漸下降，其原因何在？依本研究

表 4-5 嘉義縣布袋等十鄉鎮市各井深水井數量(民國 84 年)

單位：口

井 深 (m) 鄉 鎮 市 別	10 以下	30 10	50 30	80 50	100 80	150 100	150 以上	合 計
東石鄉	454	811	114	169	271	343	283	2,445
布袋鎮	312	909	84	21	53	178	319	1,876
朴子市	58	1,498	1,099	271	81	141	108	3,256
義竹鄉	109	918	401	115	17	29	311	1,900
六腳鄉	10	2,280	500	151	53	21	13	3,028
太保市	143	1,155	641	88	27	72	32	2,158
新港鄉	215	3,895	410	26	16	224	52	4,838
民雄鄉	536	2,039	327	402	40	245	157	3,746
溪口鄉	254	1,970	212	66	48	86	42	2,678
鹿草鄉	776	549	189	489	167	28	6	2,204
合 計	2,867	16,024	3,977	1,798	773	1,367	1,323	28,129
比 例 (%)	10.2	57.0	14.1	6.4	2.7	4.9	4.7	100

資料來源：民國84年嘉義農專調查結果

之見解，乃因雨季時地面水源充足，附近工業區或漁塭區減少使用地下水，而較少抽水，故深層水位上升，而旱季時，地面水源缺乏，引起附近工業區或漁塭區，大量抽取地下水，致使深層水位急速下降，亦引發深層之地層下陷。而由圖 4-14 分層沉陷顯示：壓縮量較大之位置，大多發生在抽水層鄰近深度之粘土層，即發生在砂土層厚度較大之鄰近的粘土層，如 131~157m，170~180m 即是抽水層鄰近之粘土層，其壓縮量最大。另由表 4-5 水井之調查，可發現 150m 深以上之水井有 319 口，佔抽水井之比例極高，因此 143m、178m 之水位最低且變化大，因此沉陷量亦大，由分層沉陷資料圖 4-14 顯示，140~200m 之沉陷量佔總沉陷量 50% 以上。

4.4 地層下陷模擬預測

地層下陷模擬預測，是根據分層之水位資料及地層之土壤分類，來求地層之沉陷歷線，並與定期量測之沉陷資料比較，以了解地層下陷之力學行為。本文之地層下陷預測模式是以賴聖耀、謝明志（1995）發展之階段性荷重模式（Step-loading model）為分析依據，唯該文是以 Biot（1941）壓密理論為基礎，而且僅考慮水位下降過程，土壤有效應力增加之加壓變形，而忽略了水位上升及再下降過程中之解壓及再壓所產生之微量變形。而本文是以大地工程界所熟悉之 Terzaghi（1943）壓密理論為基礎，且考慮水位下降、上升、再下降之加壓、解壓、再壓等變形特性，所發展之階段性荷重模式。茲將本文以 Terzaghi 壓密理論為基礎之階段性荷重模式，簡述如下：

$$S(t) = \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{8Hi}{\pi^2} \sum_{j=1}^k \left\{ C_{\epsilon ij} \times \log \frac{P'_{ij} \pm \gamma_{\omega} h_{ij}}{P'_{ij}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \left[1 - \exp \left[- \left(\frac{(2n+1)\pi}{2Hdi} \right)^2 \times C_{vi} \times (t - t_{ij}) \right] \right] u(t - t_{ij}) \right\} \right\} \quad (4-1)$$

式中， $S(t)$ ：第 t 時間之地層下陷量。

m : 土層數。

H_i : 第 i 層土壤厚度。

k : 水位變化階段數。

$C_{\epsilon ij}$: 第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之土壤壓縮、回彈或再壓縮係數。

水位下降時： $C_{\epsilon} = C_{c\epsilon} = C_c / (1 + e_0)$ ， $C_{c\epsilon}$ 為壓縮係數、 C_c 為壓縮指數、 e_0 為初始孔隙比。

水位上升或水位再下降時： $C_{\epsilon} = C_{r\epsilon} = C_r / (1 + e_0)$ ， $C_{r\epsilon}$ 為回彈係數， C_r 為回彈指數。

P'_{ij} : 第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之有效應力。

γ_w : 水之單位重。

h_{ij} : 第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之水位變化量。水位下降為正，水位上升為負。

H_{di} : 第 i 層土壤之排水路徑長度，單向排水， $H_{di} = H_i$ ，雙向排水 $H_{di} = H_i / 2$

C_{vi} : 第 i 層土壤之壓密係數。

t_{ij} : 第 i 層土壤在第 j 個水位變化階段之起始時間。

$u(t - t_{ij})$: 為 Heaviside Step 函數，當 $t < t_{ij}$ 時， $u(t - t_{ij}) = 0$ ，當 $t \geq t_{ij}$ 時， $u(t - t_{ij}) = 1$ 。

地層下陷之模擬分析，除了須有上述之分析模式外，對

地層中之含水層、阻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 4-7 之地質柱狀圖，我們將布袋港 200m 深之地層分成 24 層，如表 4-6 所示，其各個層次土層之沉陷特性參數 C_{ce} 值、 C_{re} 值及 C_v 值，說明如下：其中影響沉陷量之壓縮係數 C_{ce} 值 ($c_{ce} = c_c / (1 + e_0)$) 參考表 4-7 及附錄中之壓密試驗結果，布袋港土壤之壓縮係數 C_{ce} 值，大致上介於表 4-7 之中間值，即純淨砂(SP)之 C_{ce} 值為 0.025，沉泥質砂(SM)之 C_{ce} 值為 0.028，沉泥(ML)之 C_{ce} 值為 0.075，沉泥至粘土(CL-ML)之 C_{ce} 值為 0.1，粘土(CL)之 C_{ce} 值為 0.2，砂土層夾薄粘土(SM+CL)或粘土層夾薄細砂(CL+SM)，則以其含量百分比估算其 C_{ce} 值，而影響水位上升之回彈量及水位再下降之再壓縮量之回彈係數 C_{re} ($c_{re} = c_r / (1 + e_0)$) 值，砂土(SP)及沉泥質砂(SM)之 C_{re} 值取 C_{ce} 值之十分之一，沉泥(ML)及粘土(CL)之 C_{re} 值取 C_{ce} 值之五分之一。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，粘土(CL)之 C_v 值約為 4~10 m²/year，沉泥至粘土(CL-ML)之 C_v 值為 8~12 m²/year，沉泥(ML)之 C_v 值約為 12~20 m²/year，沉泥質砂(SM)之 C_v 值約為 25~40 m²/year，淨砂(SP)之 C_v 值約為 30~60 m²/year，各土層之土壤分類、深度、厚度、 C_{ce} 值、 C_{re} 值、 C_v 值亦如表 4-6 所示。

由布袋港分層水位之觀測資料，如圖 4-12 所示，顯示布袋港之含水層約可分為四層，參照表 4-6 之土壤分類及土層厚度顯示，第 1 含水層為第 3~5 層次之砂質土壤夾薄粘土，厚度約為 24.9m，其抽水可能引起沉陷之影響深度約為 0~41m，第 2 含水層為第 9 層次之砂質土壤夾薄粘土，厚度約為 7.1m，其抽水可能引起沉陷之影響深度約為 41~91m，第 3 含水層為第 14~16 層次之砂土夾薄粘土，厚度約為 36.4m，其抽水可能引起沉陷之影響深度約為 91~140m，第 4 含水層為第 21~23 層次之砂土夾薄粘土，厚度約為 11.45m，其抽水可能引起沉陷之影響深度約為 140~200m。

本文以深度 34m 之地下水位變化資料為第一層(0~41m)沉陷分析之水位資料，並假設預壓密水頭為-3m，以深度 68m

表 4-6 布袋港地層各層次之沉陷特性參數

層次	土層分類	土層深度 (m)	厚度 (m)	壓縮係數 C_{ce}	回彈係數 C_{re}	壓密係數 $C_v(m^2/year)$	排水路徑 方向數
1	SP	0-9.5	9.5	0.025	0.0025	40	2
2	ML	9.5-11.6	2.1	0.075	0.015	15	2
3	SP	11.6-14.1	2.5	0.025	0.0025	40	2
4	SM+CL	14.1-32.8	18.7	0.05	0.01	25	2
5	SM	32.8-36.5	3.7	0.028	0.0028	30	2
6	CL-ML	36.5-41.1	4.6	0.1	0.02	10	2
7	SM	41.1-48.7	7.6	0.028	0.0028	30	2
8	CL-ML	48.7-75.3	26.65	0.1	0.02	10	2
9	SM+CL	75.3-82.4	7.1	0.055	0.011	25	2
10	CL	82.4-84.75	2.35	0.2	0.04	8	1
11	ML	84.75-87.2	2.45	0.075	0.015	15	1
12	SM	87.2-91.15	3.95	0.028	0.0028	30	1
13	CL	91.15-95.8	4.65	0.2	0.04	6	2
14	SM	95.8-108.2	12.4	0.028	0.0028	30	2
15	CL+SM	108.2-115.2	7	0.075	0.015	15	2
16	SM	115.2-132.2	17	0.028	0.0028	30	2
17	CL+SM	132.2-139.3	7.1	0.1	0.02	12	1
18	CL+SM	139.3-147.35	8.05	0.129	0.0258	6	1
19	CL	147.35-157	9.65	0.2	0.04	6	1
20	ML	157-164.35	7.35	0.075	0.015	15	2
21	SM+CL	164.35-170.15	5.8	0.035	0.007	30	2
22	CL	170.15-172.5	2.35	0.2	0.04	6	2
23	SM	172.5-175.8	3.3	0.028	0.0028	30	2
24	CL	175.8-200	24.2	0.15	0.03	6	1

表 4-7 各種土壤之壓縮係數 C_{ce} 值

土壤分類	C_{ce} 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

之地下水位變化資料為第二層(41~91m)沉陷分析之水位資料，並假設預壓密水頭為-7m；以深度 105m 之地下水位變化資料為第三層(91~140m)沉陷分析之水位資料，並假設預壓密水頭為-19m；以深度 178m 之地下水位變化資料為第四層(140~200m)之水位資料，並假設預壓密水頭為-15.5m，由上述之各含水層之水位變化資料及表 4-7 之土壤沉陷特性參數，並經由式(4-1)之階段性荷重模式之沉陷分析，得各層及總土層之沉陷歷時變化，如圖 4-15 所示，並與分層地層下陷之觀測資料比較，比較結果極為相近。

4-5 布袋港區下陷潛能分析

為了瞭解港區地下水位變化引致之下陷潛能，本文以 Terzaghi 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。分析結果如圖 4-16~4-19 所示。分別討論如下：

由圖 4-16 顯示：第一層(0~41m)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 3.98cm，水位下降 5m 沉陷 17.58cm，水位下降 10m 沉陷 31.25cm，水位下降 15m 沉陷 42.59cm，水位下降 20m 沉陷 52.35cm，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 4-17 顯示：第二層(41~91m) 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 1.65cm，水位下降 5m 沉陷 7.99cm，水位下降 10m 沉陷 16.44cm，水位下降 15m 沉陷 22.4cm，水位下降 20m 沉陷 28.95cm，水位下降愈大，沉陷亦愈大，亦非成比例放大。

由圖 4-18 顯示：第三層(91~140m) 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 1.14cm，水位下降 5m 沉陷 5.6cm，水位下降 10m 沉陷 10.95cm，水位下降

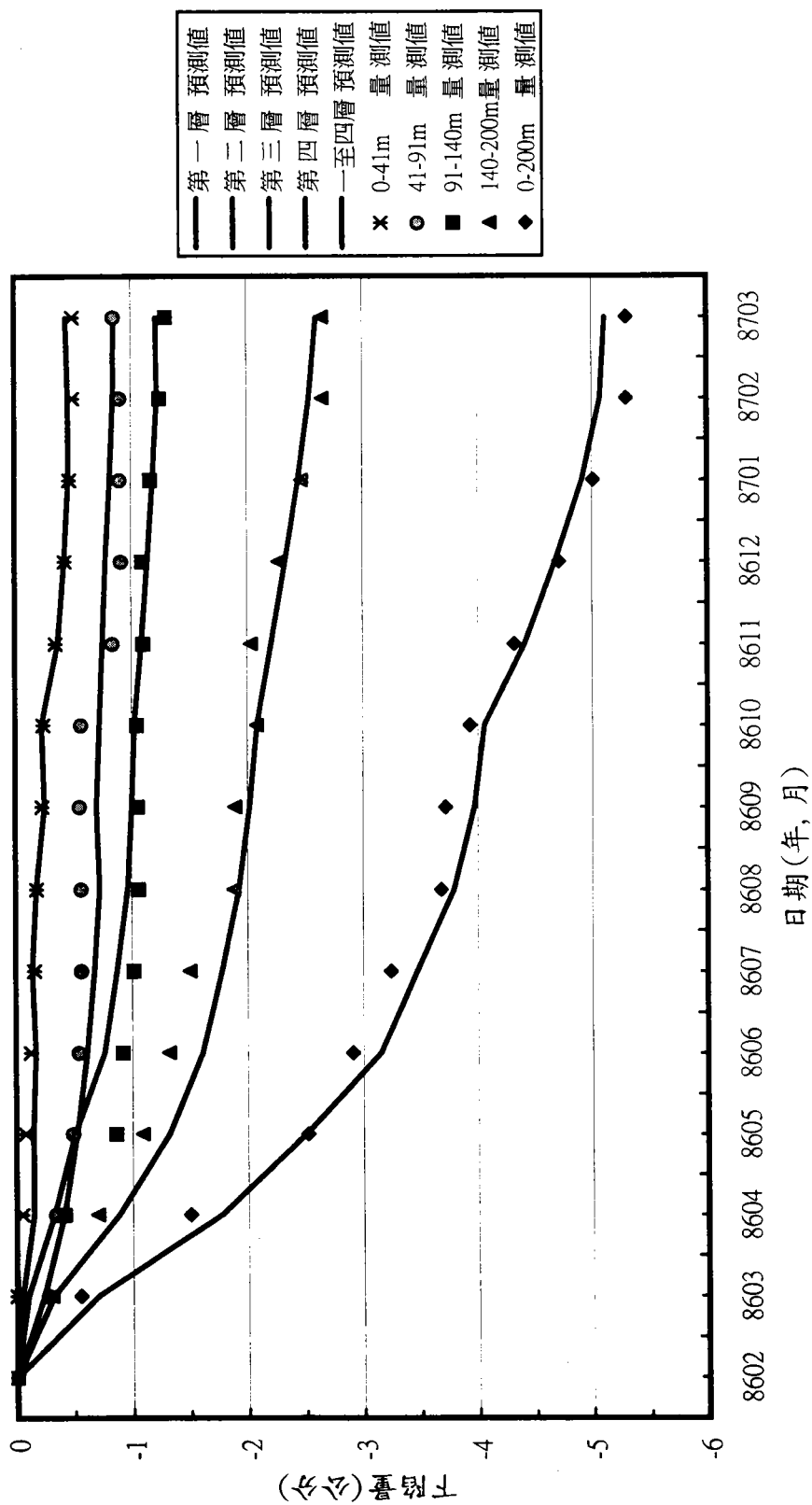
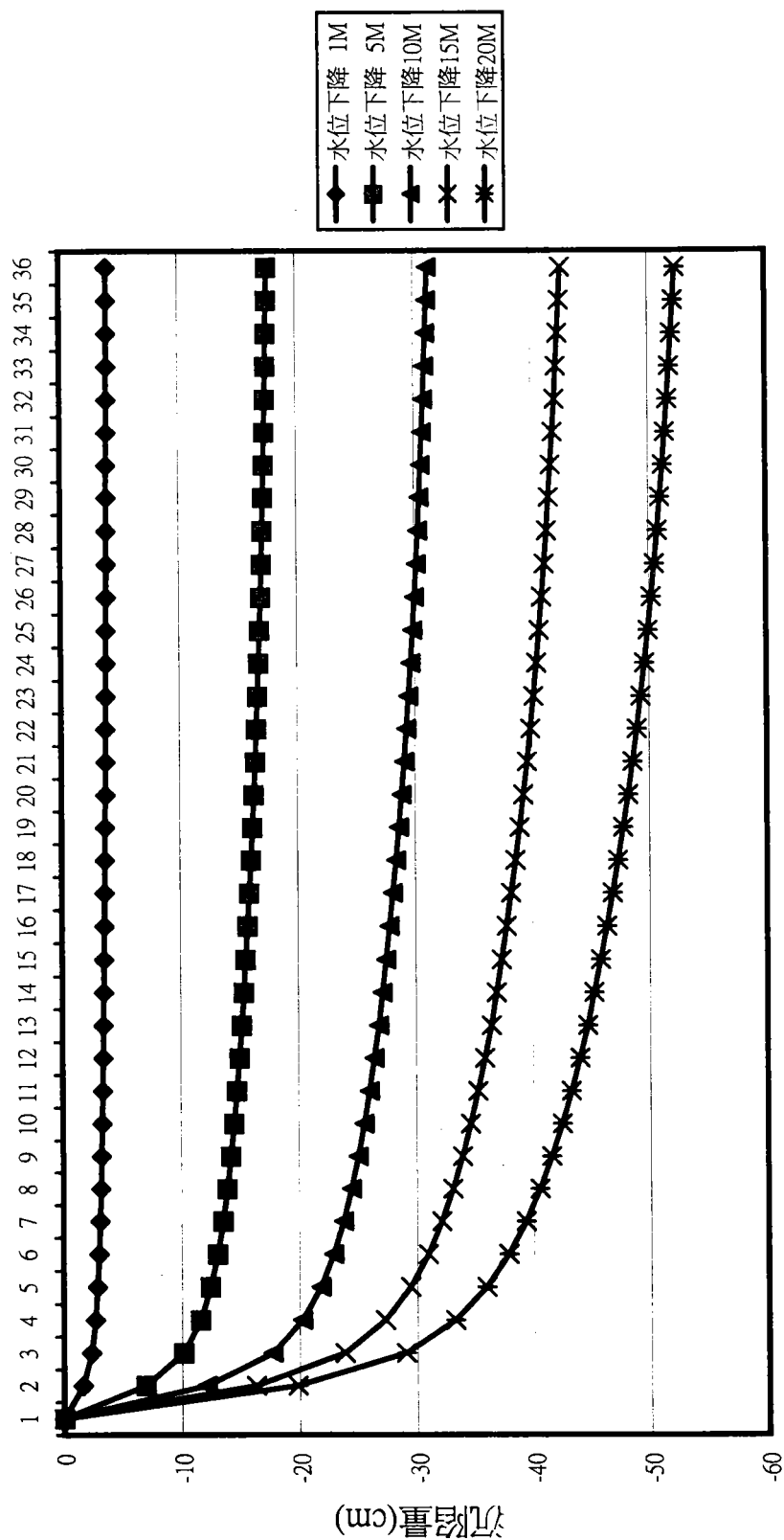


圖4-15 布袋港沉陷模擬分析結果



時間(月)

圖4-16 布袋港第一層(0-41m)水位下降之沉陷曲線

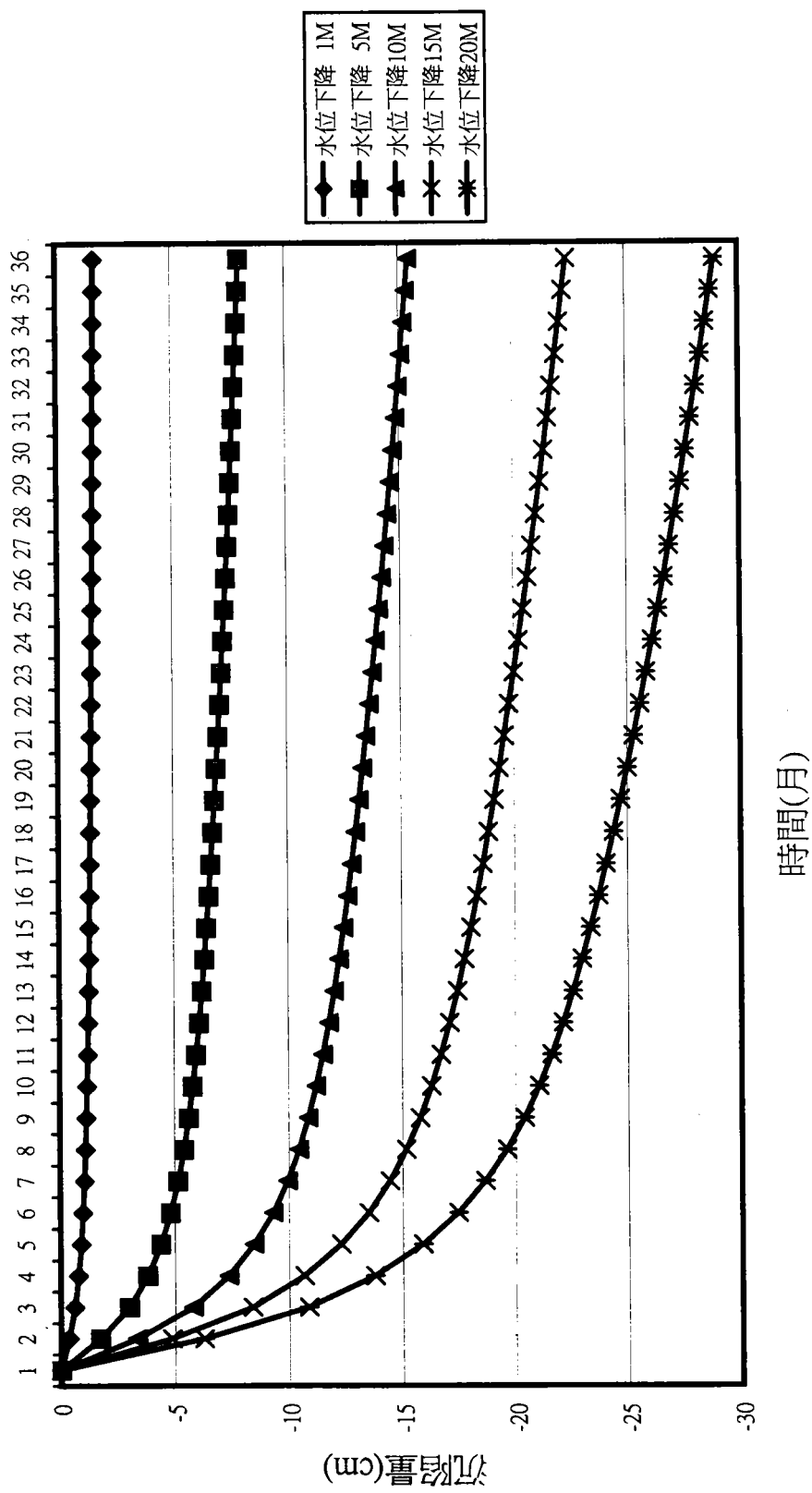


圖4-17 布袋港第二層(41-91m)水位下降之沉陷曲線

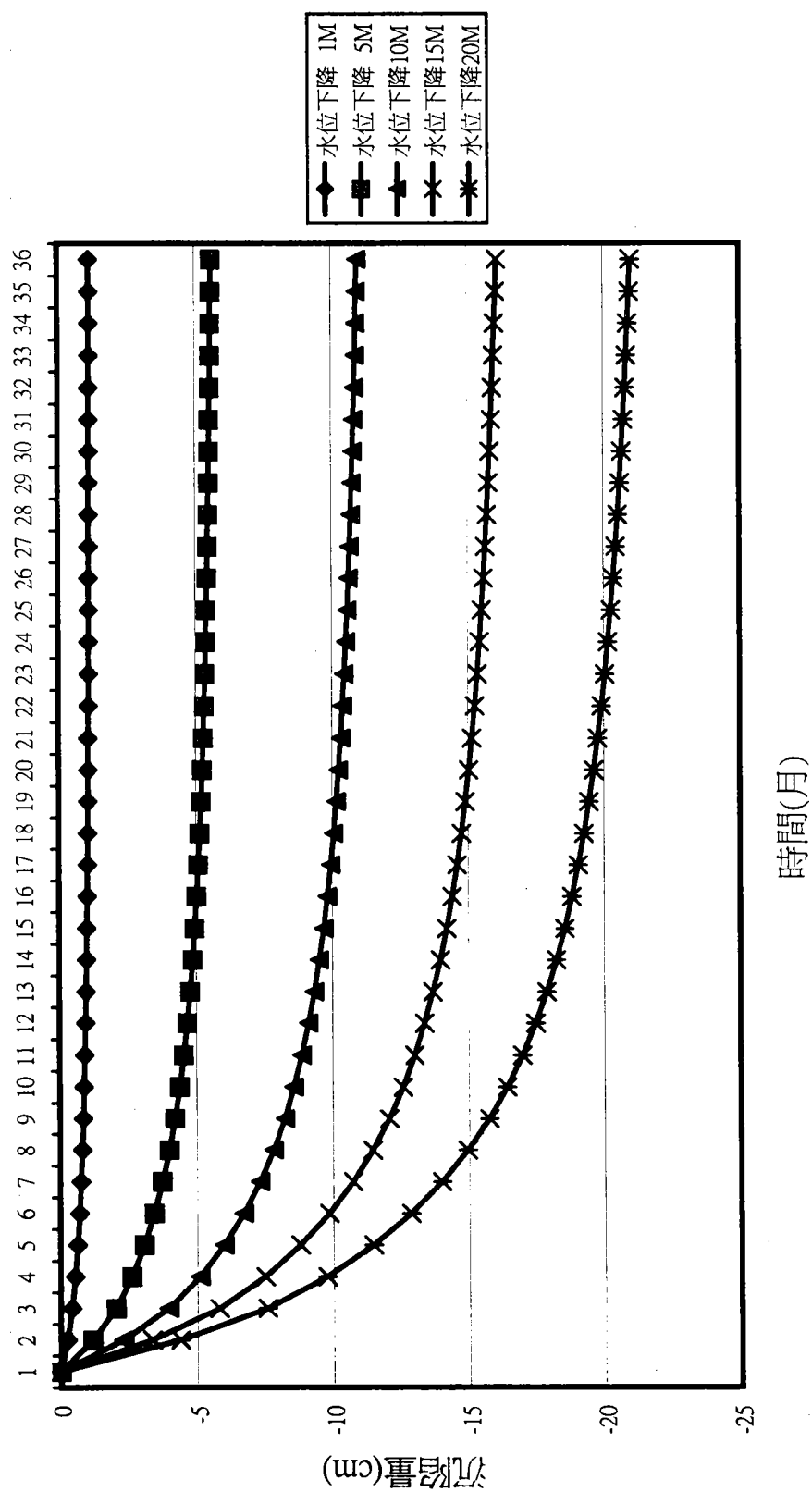


圖4-18 布袋港第三層(91-140m)水位下降之沉陷曲線

15m 沉陷 16.08cm，水位下降 20m 沉陷 21cm，水位下降愈大，沉陷亦愈大，亦非成比例放大。

由圖 4-19 顯示：第四層(140~200m) 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 0.96cm，水位下降 5m 沉陷 4.74cm，水位下降 10m 沉陷 9.34cm，水位下降 15m 沉陷 13.81cm，水位下降 20m 沉陷 18.15cm。與各層相同，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 4-20，由圖 4-20 顯示，同樣之水位下降量，第一層之沉陷量最大，第四層之沉陷量最小，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。由於上述四層之土壤雖有不同，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，因此地層較深之第四層在同水位下降量下，沉陷量較小。

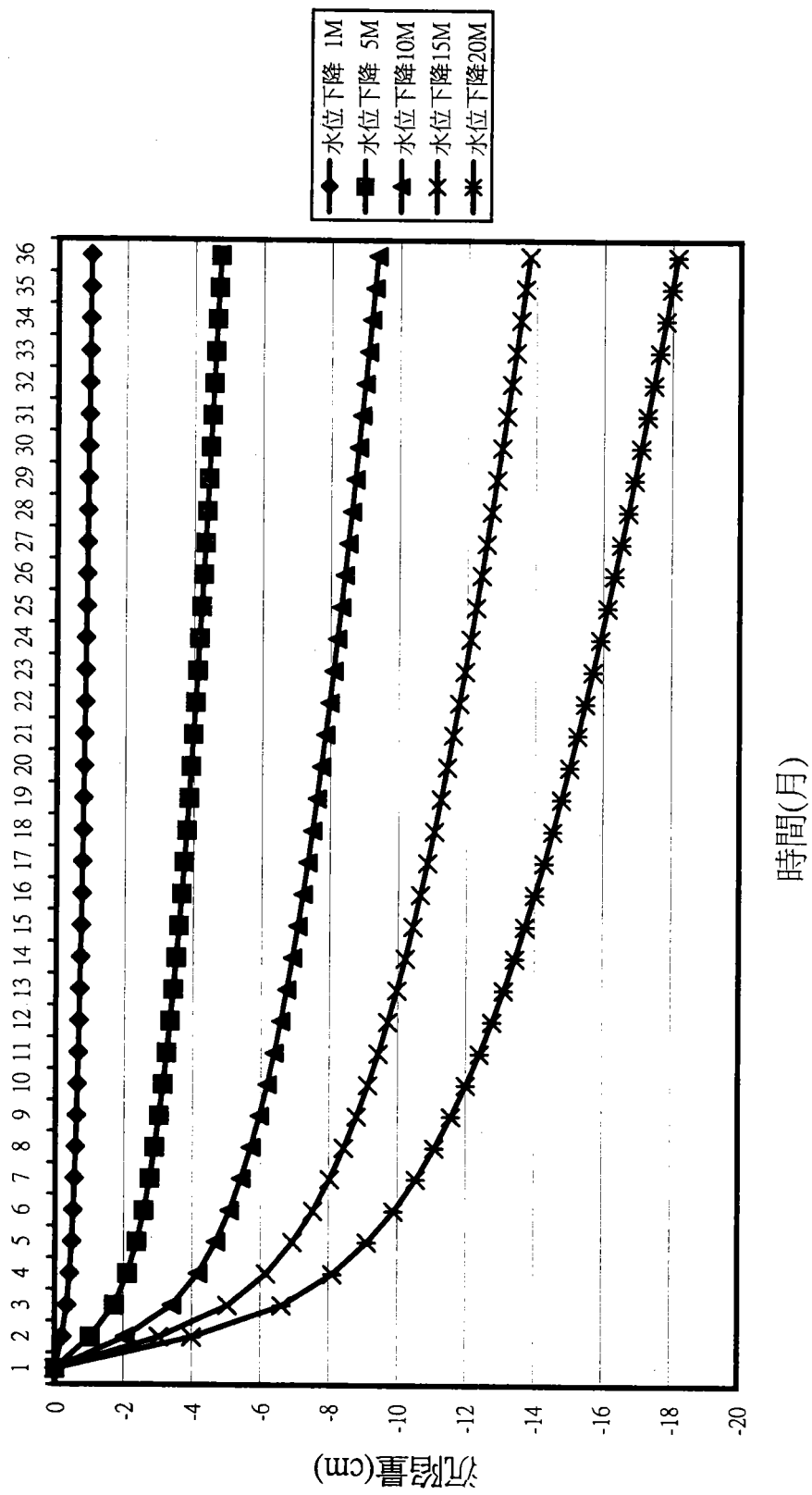


圖4-19 布袋港第四層(140-200m)水位下降之沉陷曲線

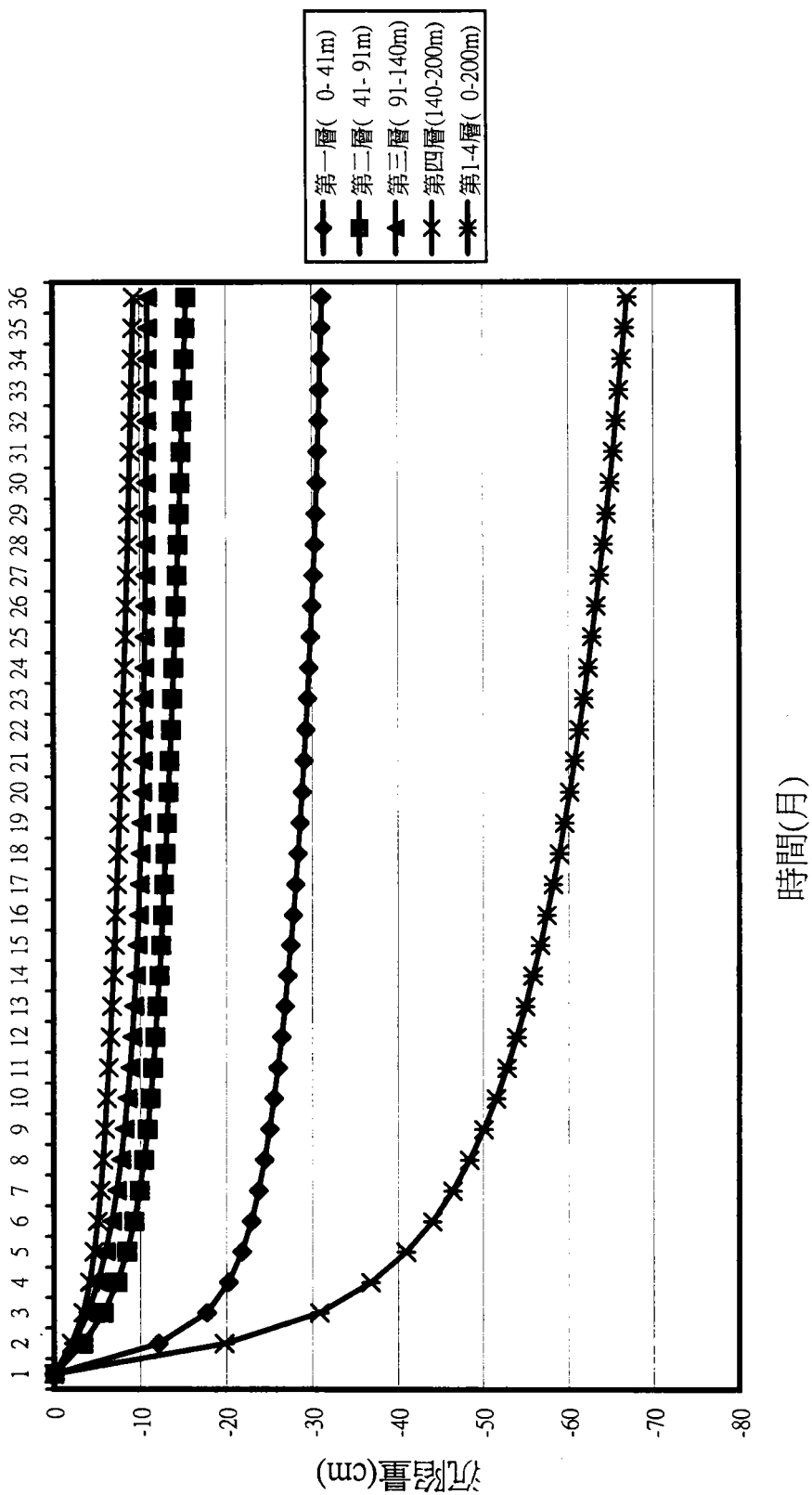


圖4-20 布袋港水位下降10m引致各層沉陷之曲線

五、布袋港海埔地填土之沉陷分析

布袋港除商港區之港灣設施由抽砂填土而成外，在商港區與魚港區之間有兩期之海埔地，第一期海埔地有 66 公頃，第二期海埔地有 60 公頃，如圖 5-1 所示。第二期海埔地為最近幾年才填造完成，由於靠近商港區，亦有可能成為商港區之附屬用地，因此其填土荷重所造成之沉陷行為亦有必要瞭解。

由圖 5-1 可知，第二期海埔地成梯字形，其回填寬度約為 660m，長邊為 1020m，短邊為 790m，目前高程約為 3.166m，而未填土前高程約為 -0.5m，因此其填土高度約為 3.666m。

本文分別就填土荷重之應力分析，沉陷量分析以及沉陷之速率分析，來探討海埔地填土之沉陷行為。

5-1 應力分析

Boussineq 1885 年發展一套數學式來決定因表面上之點荷重下任何一點之應力，使用其公式之積分技巧，可得位於撓性矩形載重面積角隅下已知點之垂直應力，如式(5-1)：

$$\Delta P = \int_{y=0}^L \int_{x=0}^B \frac{3q_0(dx dy)Z^3}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = q_0 I \dots\dots\dots(5-1)$$

式中， ΔP 為應力增量，

I 為影響因素，如圖 5-2 所示，圖中 $m=B/Z$ ， $n=L/Z$

茲計算布袋港海埔地第二期填土區中點 0，土層第 8 層次，目前深度為 48.7~75.3m 之沉泥至粘土層(CL-ML)應力增量，以說明應力增量之計算方法。茲將梯形之填土區分為矩形及三

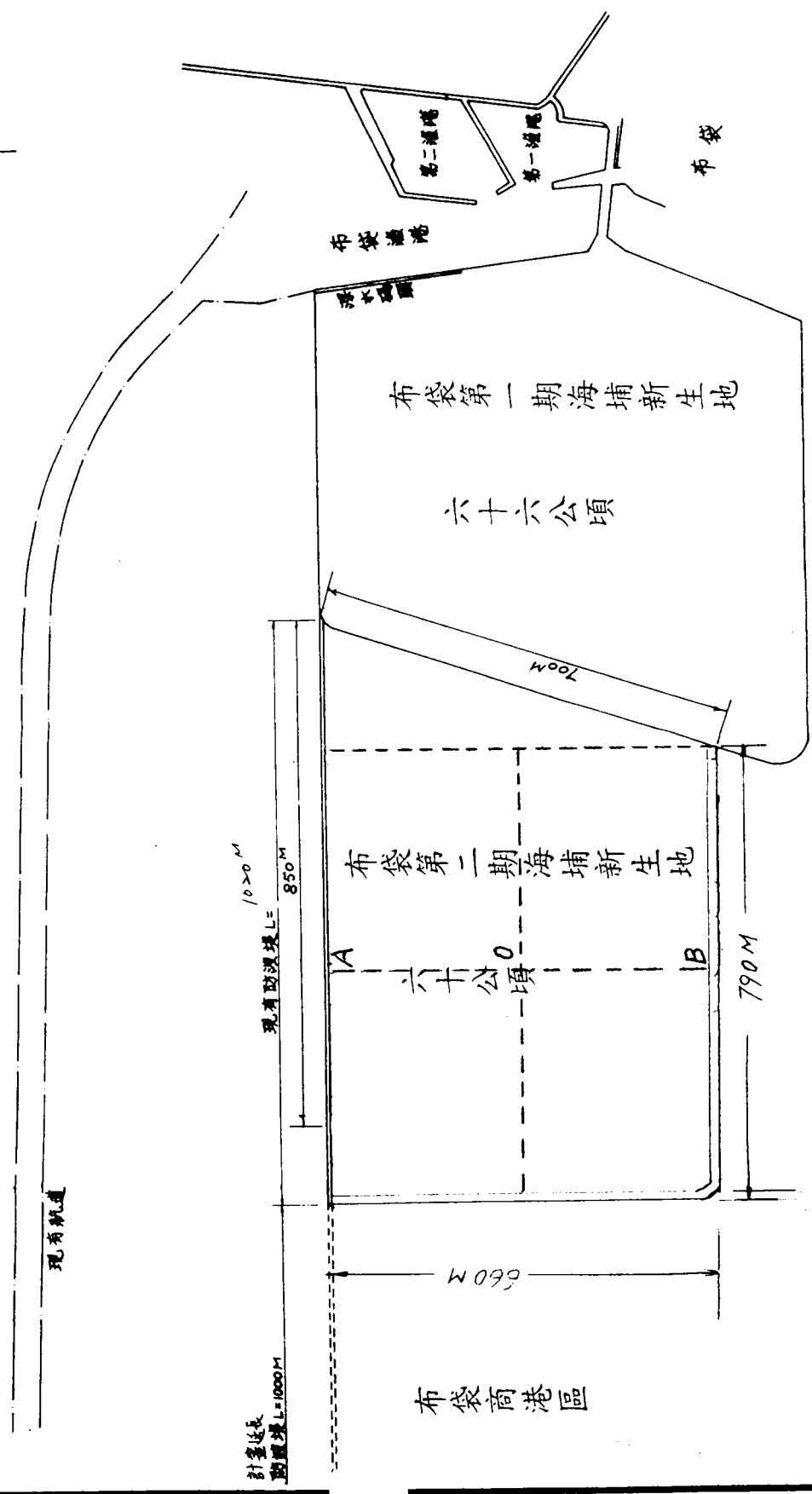
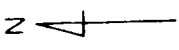


圖 5-1 布袋第二期海埔新生地平面圖

角形兩填土區分別計算。

(1) 矩形填土區

$$Z = (48.7 + 75.3) / 2 - 3.666n = 58.334m$$

$$B = 660 / 2 = 330m$$

$$L = 790 / 2 = 395m$$

$$q_0 = 0.2 \times 3.166 + (0.2 - 0.1) \times 0.5 = 0.6832 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = B / Z = 330 / 58.334 = 5.657$$

$$n = L / Z = 395 / 58.334 = 6.771$$

查圖 5-2 得 $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 0.244$

$$\Delta P_1 = q_0 \times (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) = 0.6668 \text{ kg/cm}^2$$

(2) 三角形填土區對 o 點粘土層之應力增量

以積分公式得 $\Delta P_2 = 0.0144 \text{ kg/cm}^2$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0.6812 \text{ kg/cm}^2$$

依照(1)(2)步驟可計算填土區其他點各個層次土層之應力增量，茲將矩形填土區 AB 剖面 200m 深之應力增量繪成應力增量等值線色階圖，如圖 5-3 所示。由圖 5-3 可知，同一深度之應力增量，在填土區中點最大，然後漸遞減至填土邊緣。

5-2 沉陷量分析

茲以填土區中點 O，土層第 8 層次，深度 48.7~75.3m (CL-ML)

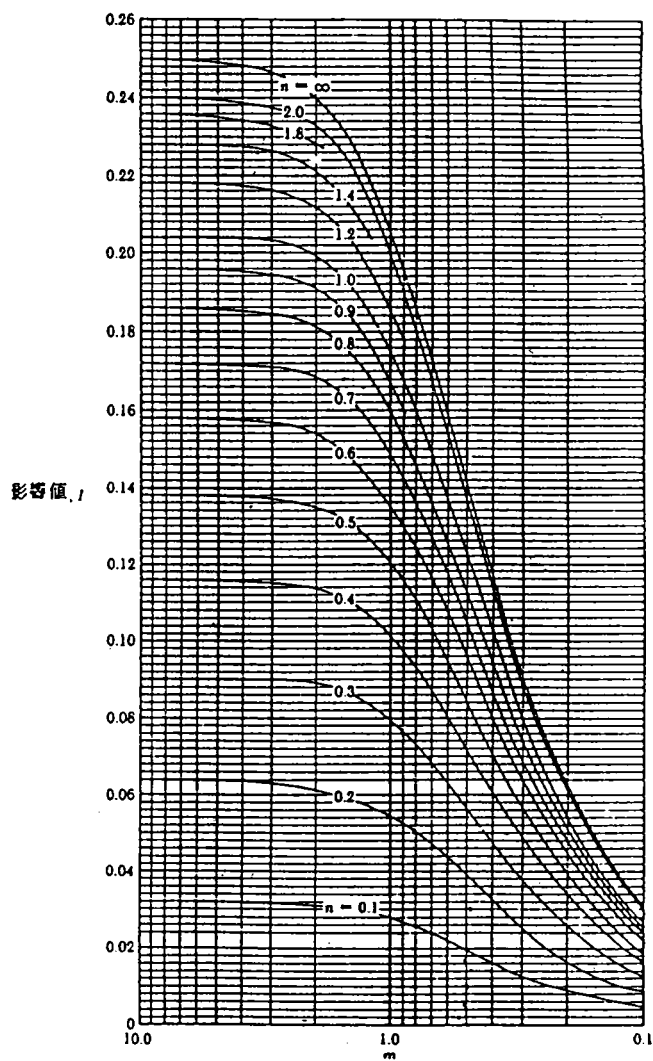


圖 5-2 I 與 m 和 n 之變化

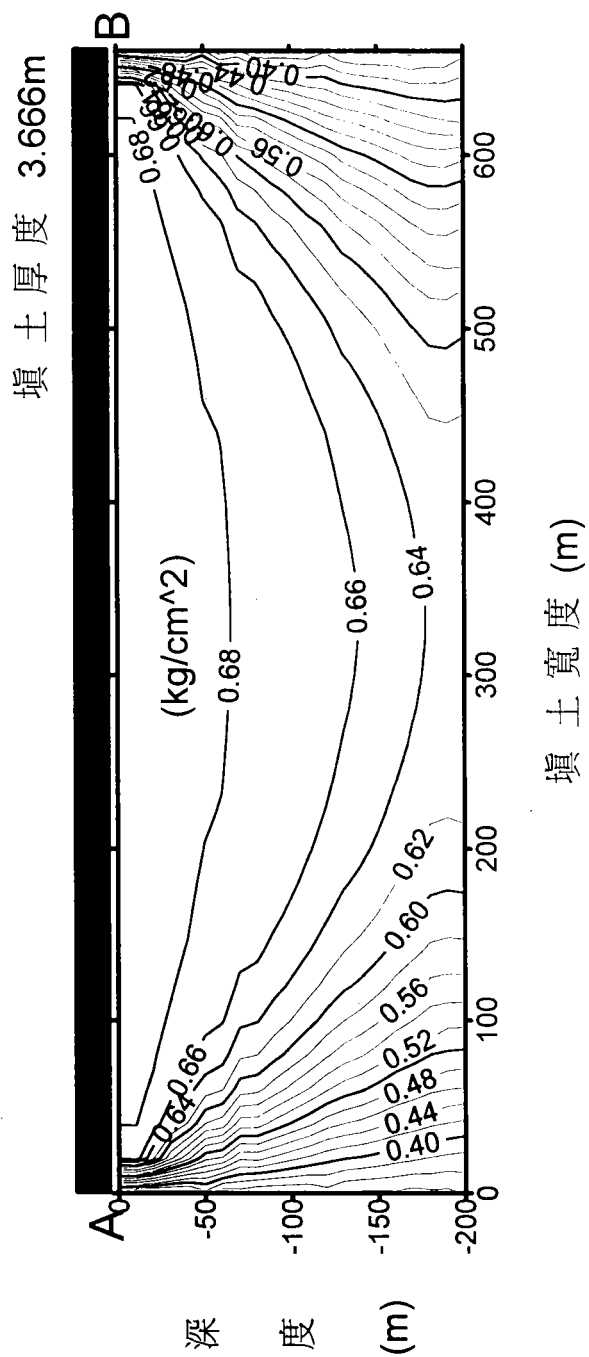


圖5-3 布袋港海埔地填土3.666m之應力增量圖

之沉陷量分析，說明沉陷量之計算方式

$$S = H \times \frac{Cc}{1 + e_0} \times \log \frac{\sigma'_0 + \Delta P}{\sigma'_0}$$

$$S = H \times Cc\varepsilon \times \log \frac{\sigma'_0 + \Delta P}{\sigma'_0}$$

$H=26.65\text{m}$ ， $Cc\varepsilon$ 值參考表 5-1 第 5 列， $Cc\varepsilon=0.1$

$$\sigma'_0 = r' \times Z = (0.2 - 0.1) \times 58.334 = 5.8334 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow S = 26.65 \times 0.1 \times \log \frac{5.8334 + 0.6812}{5.8334}$$

$$= 0.1278\text{m}$$

$$= 12.78\text{cm}$$

其他層次之土層應力增量及沉陷量計算方法同上，層次之沉陷量如表 5-1 所示。其總沉陷量為 70.41 公分。

依據上述方法亦可計算填土區各點之總沉陷量，而非填土區受附近填土荷重而引致之沉陷，亦可計算而得，圖 5-4 為填土區及附近三角形非填土區各點之總沉陷量，將其繪成沉陷等值線色階圖及立體沉陷圖，其分別如圖 5-5、5-6 所示，由圖 5-4、5-5、5-6 顯示：填土區之沉陷量較非填土區沉陷量為大；由填土區之沉陷分析顯示：填土區之中點沉陷量最大，然後沉陷量漸遞減至填土邊緣；由非填土區之沉陷分析顯示，距離填土區愈近，沉陷量愈大，距離填土區愈遠，其沉陷量愈小。

5-3 沉陷速率

由於海埔地之利用，須視沉陷較穩定後才可使用，以免

表 5-1 布袋港填土3.666m引致地層各層次之沉陷分析表

層次	土層分類	土層深度 (m)	厚度 (m)	壓縮係數 $C_c \varepsilon = C_c / (1 + e_0)$	有效應力 (kg/cm ²)	應力增量 (kg/cm ²)	沉陷量 (cm)
1	SP	0-9.5	9.5	0.025	0.2667	0.6832	-8.0459
2	ML	9.5-11.6	2.1	0.075	0.6884	0.6832	-4.7153
3	SP	11.6-14.1	2.5	0.025	0.9184	0.6832	-1.5095
4	SM+CL	14.1-32.8	18.7	0.05	1.9784	0.6831	-12.0443
5	SM	32.8-36.5	3.7	0.028	3.0984	0.6829	-0.8962
6	CL-ML	36.5-41.1	4.6	0.1	3.5134	0.6828	-3.5477
7	SM	41.1-48.7	7.6	0.028	4.1234	0.6825	-1.4155
8	CL-ML	48.7-75.3	26.65	0.1	5.8334	0.6812	-12.7829
9	SM+CL	75.3-82.4	7.1	0.055	7.5184	0.679	-1.4664
10	CL	82.4-84.75	2.35	0.2	7.9909	0.6782	-1.6628
11	ML	84.75-87.2	2.45	0.075	8.2309	0.6778	-0.6315
12	SM	87.2-91.15	3.95	0.028	8.5509	0.6771	-0.3661
13	CL	91.15-95.8	4.65	0.2	8.9809	0.6762	-2.9321
14	SM	95.8-108.2	12.4	0.028	9.8334	0.6742	-0.9999
15	CL+SM	108.2-115.2	7	0.075	10.8034	0.6715	-1.3748
16	SM	115.2-132.2	17	0.028	11.3034	0.6699	-1.1902
17	CL+SM	132.2-139.3	7.1	0.1	13.2084	0.6629	-1.5099
18	CL+SM	139.3-147.35	8.05	0.129	13.9659	0.6596	-2.0814
19	CL	147.35-157	9.65	0.2	14.8509	0.6555	-3.6204
20	ML	157-164.35	7.35	0.075	15.7009	0.6512	-0.9729
21	SM+CL	164.35-170.15	5.8	0.035	16.3584	0.6477	-0.3423
22	CL	170.15-172.5	2.35	0.2	16.7659	0.6454	-0.771
23	SM	172.5-175.8	3.3	0.028	17.0484	0.6438	-0.1859
24	CL	175.8-200	24.2	0.15	18.4234	0.6354	-5.3457
總沉陷量				70.41cm			

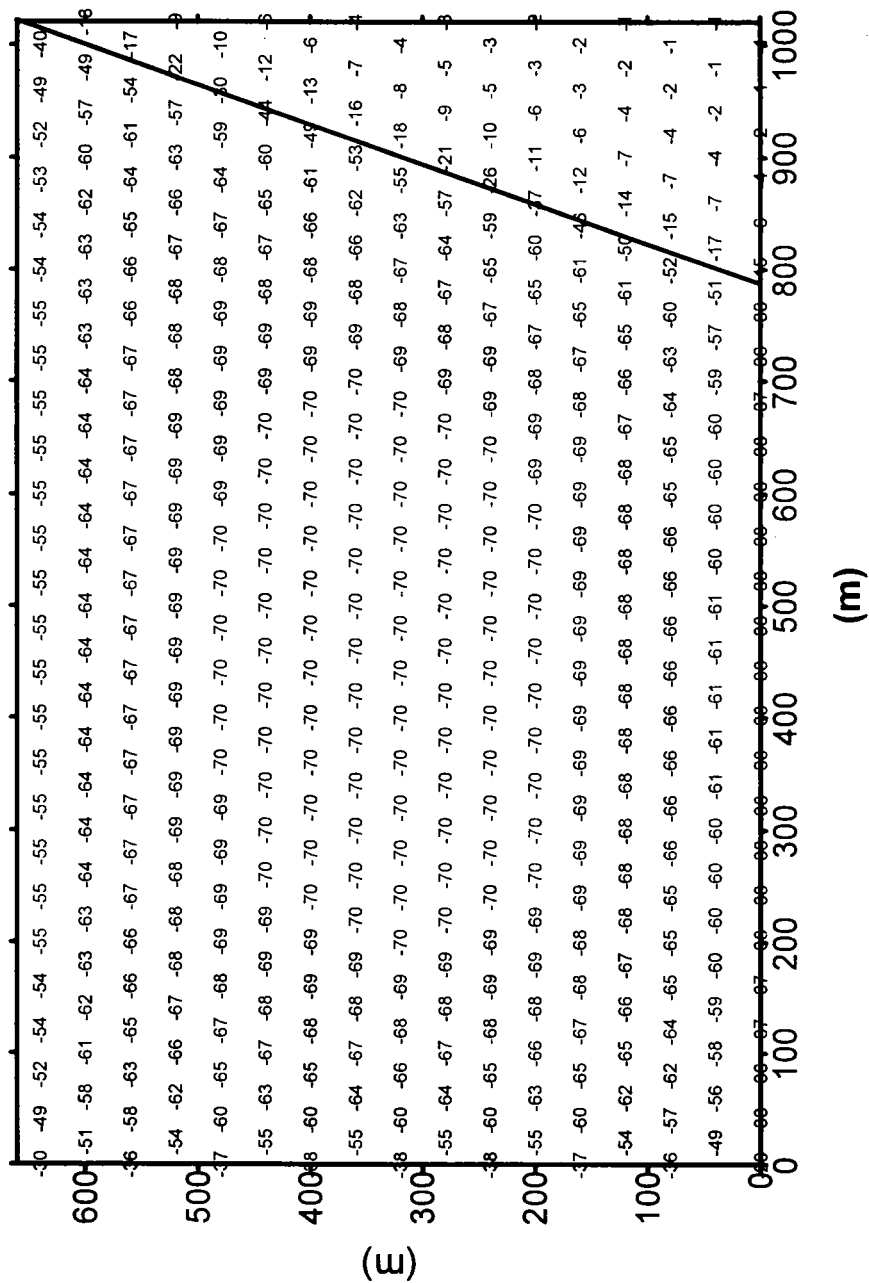


圖5-4 布袋港第二期海埔地填土3.666m之沉陷分析結果

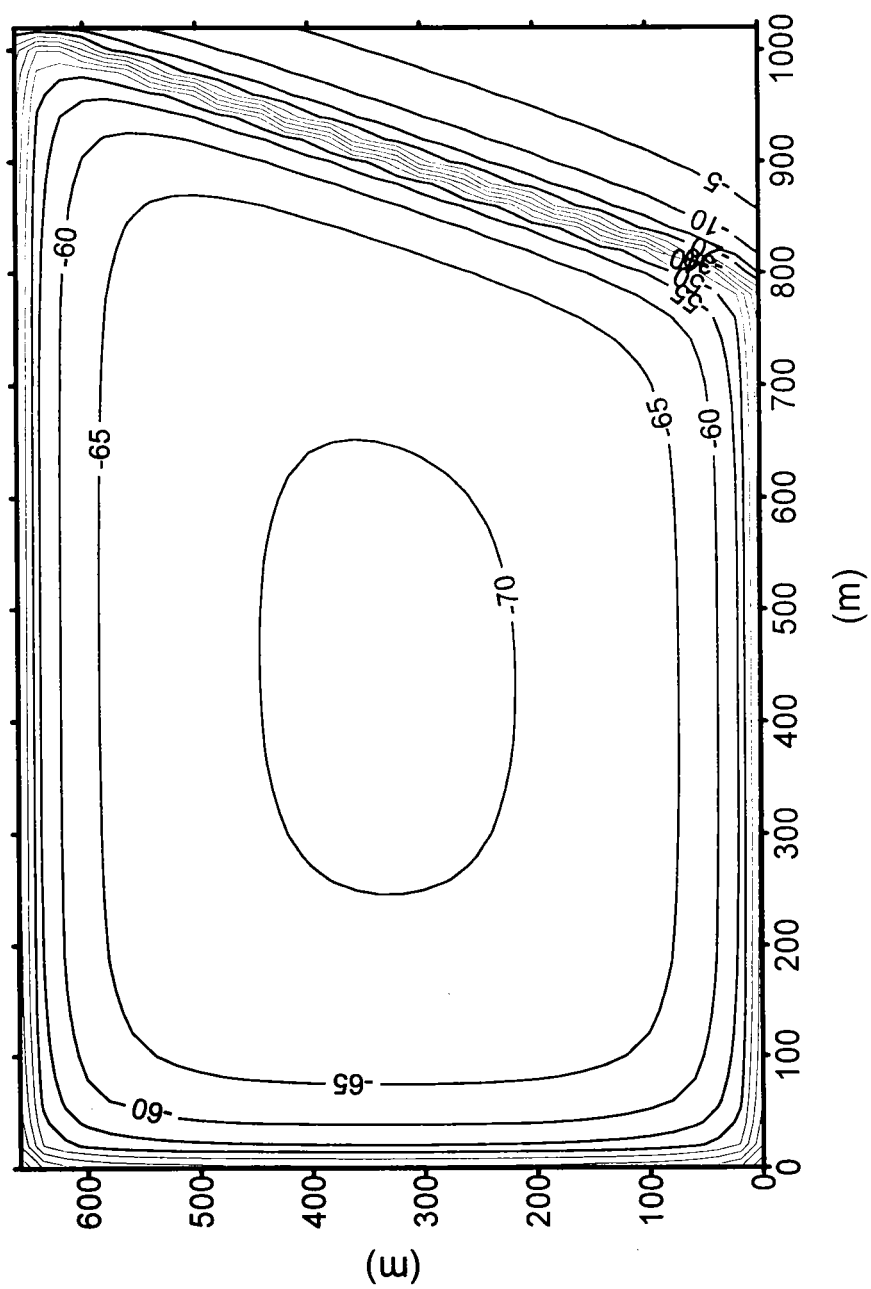


圖5-5 布袋港第二期海埔地填土3.666m之沉陷等值圖

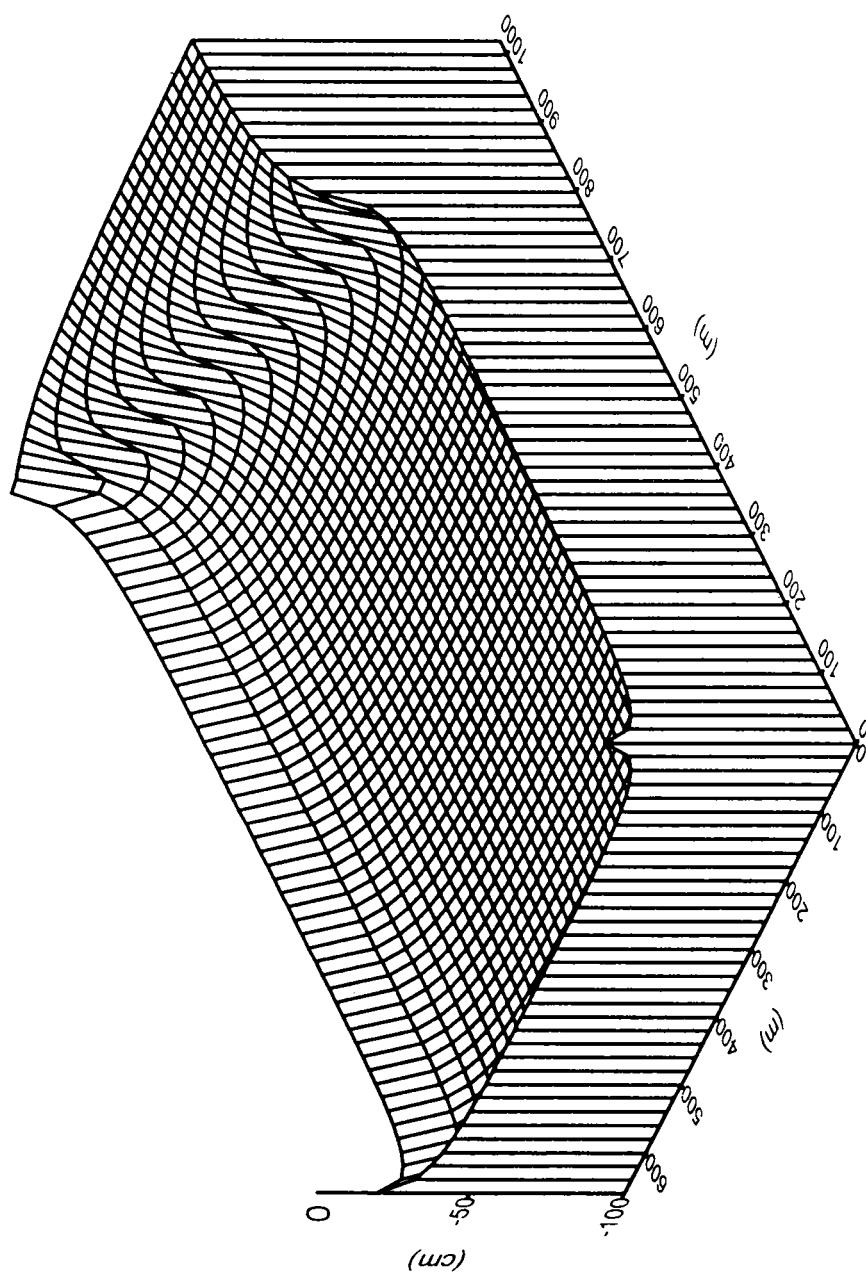


圖5-6 布袋港第二期海埔地填土3.666m之立體沉陷圖

產生過大之差異沉陷，致使上部之構造物及相關設施損壞或喪失功能，因此海埔地填土產生沉陷之沉陷速率分析亦很重要。

圖 5-7 為布袋港第二期海埔地填土 3.666m 之沉陷歷時曲線，由圖 5-7 顯示：於填土完成後之初期，其沉陷速率較大，然後漸緩，而由於布袋港之地質土壤含粘土、沉泥量相當高，而粘土之沉陷速率較慢，由圖 5-7 顯示，雖然歷時 10 年，其沉陷仍未完成，其沉陷量為 60 公分，為總沉陷量(70.41cm)之 85%，因此布袋港海埔地填土產生之沉陷，若欲完全穩定，可能須 30~40 年。另此海埔地填土至今約有 5 年，沉陷量為 55 公分，約為總沉陷之 78%，往後 5 年即填土後 5 至 10 年，其沉陷速率由圖 5-7 顯示，約為每年 1 公分，提供此海埔地往後開發利用時之參考。

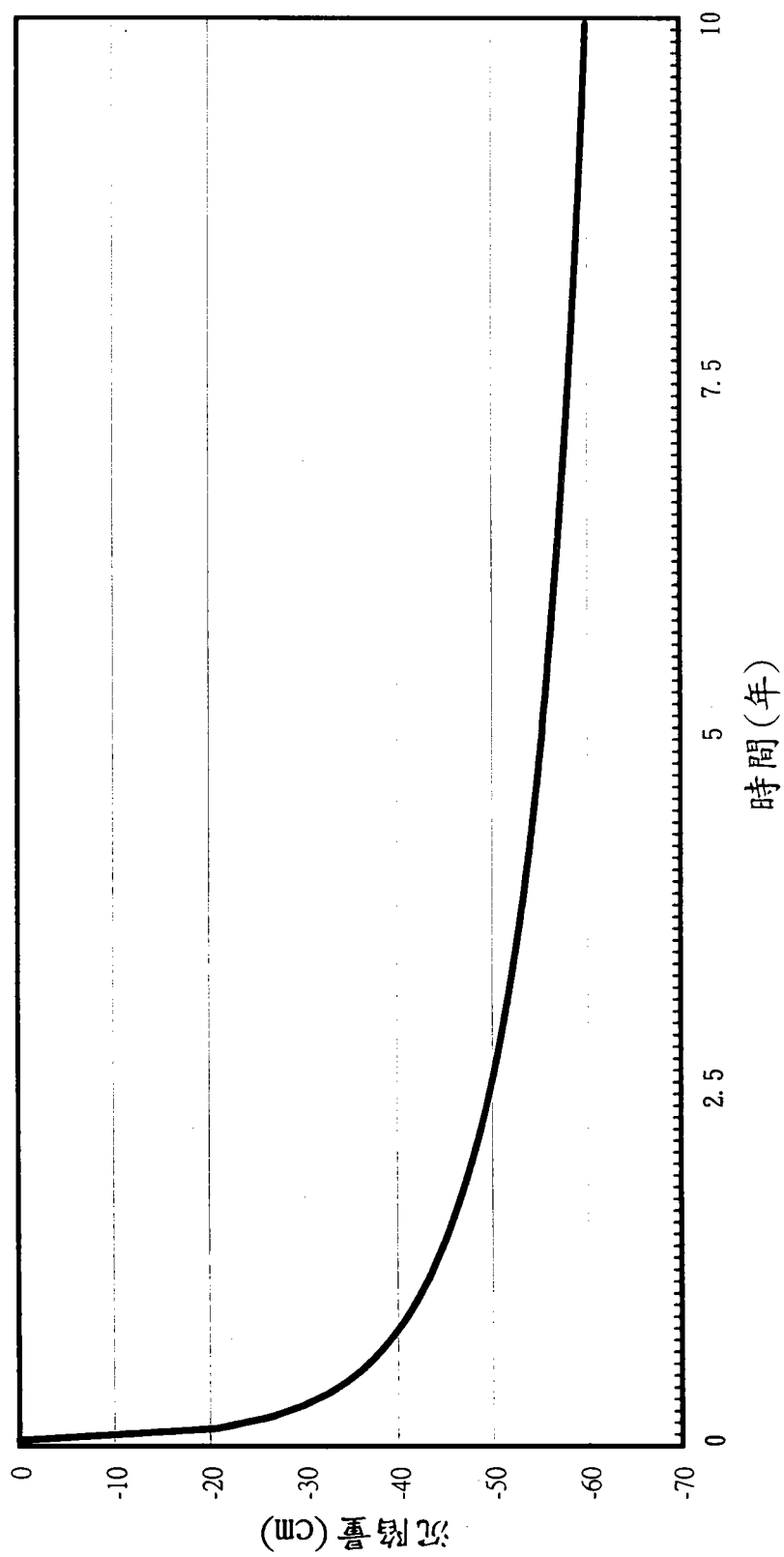


圖5-7 布袋港第二期海埔地填土3.666m之沉陷歷時曲線

六、下陷及地質資料建檔

6-1 資料建檔需求

6-1-1 資料建檔之重要性

大凡建築工程之規劃設計，皆以搜集土層工程特性為第一要務；而大型的港灣工程，其橫跨之區域動輒數公里以上，大地工程地質資料之獲得亦為重要之規劃依據。若有完整的港區地工資料庫，則港灣建設在工程規劃階段，將可以節省龐大的經費、時間與人力。且因台灣地處環太平洋地震帶，港灣結構物的最大破壞力乃為烈震強浪所帶來的強烈衝擊及其延生的土壤液化、變形等現象。依據1989年美國加州灣區烈震調查，受災最嚴重的位置，均在海灣淤泥層及填土區上，1994年1月17日，加州又現烈震，報告指出嚴重災區也多在軟弱地層上。隔年同日(1995年1月17日)，日本阪神發生加速度達833 gal的烈震，回填區大面積液化，可見震災之分佈與地質條件有絕對密切之關係。對於地震這類不可預知的天然災害，若能事先確知那些地點於地震時較可能受創，當可事先採取適當之防範措施，另由於台灣沿海地區，近20年來地層下陷問題嚴重，每遇颱風或強盛之西南氣流時常發生暴潮，甚至平時大潮滿潮，即發生海水倒灌，財產損失不貲，布袋港正座落於下陷嚴重的嘉南平原地區，因此港區新生地之填土高程，碼頭堤防之設計高程，宜先預留容許下陷量，以防範未然。對布袋港區而言，建立完整的土層分佈地質資料庫，除了規劃預算階段可獲得省時、省力、省錢等效益外，亦能達到災害防治的目的。將來並可依據這些土層資料來推估烈震侵襲時土壤發生液化的可能分佈範圍及其它工程應用，以

作為規劃設計及災害防治上的基本資料。

6-1-2 資料處理層級

一般對大量資料的處理可區分為三個層級，即規格化、系統化及應用性，對本研究而言，布袋港區之地層分佈調查資料及相關自然環境資料因提供單位不同，其表格及內容亦有差異，是故資料處理的第一個步驟即是妥善規劃港區的各项資料，訂定統一表格，使各種不同的資料經過整理而達同一規格。

就資料處理之系統化要求而言，即是要建立一個適合於管理及展示資料的資訊系統，本研究計劃所需求的資訊系統，基本上希望具有下列四項功能：

- (1) 建立港區的地圖資料系統。**
- (2) 建立港區的土層分佈及自然環境資料系統。**
- (3) 能展示港區的地層剖及環境資料。**
- (4) 能撰寫分析程式。**

而本研究資料處理的第三個層次一應用性，乃以發揮上述第四項功能為其理想，即利用所建立的資料來撰寫分析程式推估相關工程性質，以供工程規劃參考。

6-1-3 資料建檔目的

由於地層下陷及地質分佈資料之獲得常需大量的人力、

物力、財力及時間，故取得不易，因此須有計劃的統整典藏各有關單位的珍貴資料，以避免因管理不善而造成資料的損毀或遺失。

電腦化的建檔方式能做大量而有系統的資料儲存工作，並可提供快速且有效的查詢作業服務，真正達到資料共用共享的益處，且未來新的資料又可迅速的補充，使資訊的流通更為便捷。港區的地層下陷及土層分佈資料建檔完成後可達到下列目的：

- (1)工程依據：提供爾後港灣規劃、設計及工程研判上的需求。
- (2)學術資料：可供各學術單位從事研究、分析所需的基本資料。

6-2 建檔系統配置及功能

6-2-1 系統硬體配置

本研究在資料處理、建置、展示之硬體設備，係採用Pentium133CPU的組裝個人電腦(Personal Computer)。圖文展示上，採用1024色、解析度800*600的監示器及顯示卡。由於建檔內容包含圖形及資料庫等資料，必須配置較龐大的儲存媒體，故採用兩塊1Gb的硬式磁碟機，並規劃400Mb的空間專供該系統之建置及儲放資料使用。且因常需作大量圖檔的切換，為提升龐大資料的處理效率，故採用32Mb的隨機存取記憶體，主機週邊並配備彩色掃瞄機，彩色列表機，供影像資料的輸入及圖檔文件的輸出使用。

6-2-2 建檔軟體之基本功能：

1.系統基本操作功能：

- a.須具有處理向量(vector)、影像(raster)、電腦輔助設計(CAD)三者的能力，可透過資料庫管理系統，來詮釋向量圖形。
- b.具操作簡易的人機介面，能在以視窗操作基準的個人電腦上執行。

2.圖形處理能力：

- a.圖形處理包含圖形編輯、更新、顯示、地圖投影座標建立／轉換等功能。
- b.可提供橫麥卡托二分帶，經緯度等地圖投影方法，可按地理座標拼圖。
- c.須具豐富的桌面工具，用以量測、繪製、詮釋圖形，可提供螢幕上立即更新、描繪像片，以詮釋航照圖片。
- d.具地圖製作功能，可將相關輔助設計或向量圖形疊加於地圖影像上。

3.港區土層調查資料圖文顯示功能：

- a.可利用鑽探資在區域地圖上標示鑽孔位置，並顯示沿鑽孔深度變化的地質圖文資料。

- b. 地圖必須顯示大地座標，以橫麥卡托二分帶為地圖投影方法。
- c. 描述土層之文字資料分屬三種方式存放。
 - c-1 鑽孔位置基本資料：含鑽孔編號、鑽探公司、鑽探日期、X、Y座標位置、地面高程、鑽孔深度等資料。
 - c-2 沿鑽孔深度之地質變化資料：該資料含深度、土壤分類、標準貫入試驗N值，而資料庫內的索引欄位(Index Key)，係利用鑽孔位置或鑽孔編號當做索引。
 - c-3 強度或特殊試驗資料，如遇有採樣或鑽孔後所執行的試驗，須能以表格方式加以貯存。
- d. 使用者可在地圖上選擇欲顯示柱狀圖的鑽孔，叫用柱狀圖顯示功能，螢幕即顯示鑽孔群的地層柱狀圖。
- e. 鑽孔之柱狀圖同時顯示時，柱狀圖上須註明高程鑽孔位置及沿深度所得之標準貫入試驗N值，以方便大地工程師之規劃設計使用。

6-2-3 建檔主要系統

依據資料建檔工作所需具備之軟體基本功能，本研究採用美國MapInfo公司所發展的地理資訊系統(Geographic Information System，簡稱GIS)應用軟體，該軟體即命名為MapInfo，版本為4.0版，本研究以此來作為資料處理之主要軟體，MapInfo在硬體匹配上分工作站版，PC個人電腦版及麥金塔版，為顧及須提供資料予各港埠單位使用，本研究選用

個人電腦版，該系統為視窗操作軟體，採用下拉式功能表模式，操作程序層次分明且極具效率，可提供使用者快速搜尋而取得所需要的功能。該系統主要的功能有：

1. 使用多用途資料模式，使用者可非常方便的組合 Lotus, dBASE, ORACLE 和任意圖層的資料。
2. 提供航空照片幾何校正功能，可直接在螢幕上數化，影像格式包含 SPOT(.bit)、.GIF、.TIF、.PCX、.BMP 和 .TPG。
3. 可直接讀取 .DBF (DBASE, FoxBase, Clipper), Lotus 1-2-3, Excel 和 ASCII 檔，在主從架構下透過選擇式查詢資料連結 (SQL Data Link)，可直接查詢並讀取 ORACLE 和 SYBASE 的資料庫。
4. 功能強大的簡報及出圖能力，搭配中文視窗操作系統，可將屬性或文字資料以實體 (True Type) 中文字顯示於圖上。
5. 提供編圖工具箱，方便圖形切割剪貼和字型選擇非常方便，且可依特定比例尺出圖，並繪製圖例。
6. 使用多重文件界面 (MDI)，可以很方便管理，並了解資料庫內每筆資料和圖形及統計表之間的關係。
7. 可配合資料內容產生大小不同之緩衝區，提供多種地圖投影方式，包括經緯度投影、橫麥卡托投影。
8. 具備多邊形交集、聯集分析，可隨時合併或分割大小不同的區域，甚至包含每個區域的屬性資料。

9. MapInfo可在Windows，Macintosh，Sun和HP上使用相同的使用者界面和資料格式，所開發的應用軟體可快速移植到其他硬體上。

本研究另外採用MapInfo公司所提供的使用者發展語言環境—MapBasic 4.0版，來開發港區土層分佈資料查詢展示系統。MapBasic的功能特性如下：

1. 提供程式發展者對於遠端資料庫查詢及更新的功能，使應用軟體可滿足主／從架構的需求。
2. 可以產生新的使用者界面，修改既有界面，或建立特殊需求的對話盒。
3. 可呼叫Visual Basic和C程式，編譯完成的程式可以在Mapinfo內執行或成為一單獨可執行的模組。
4. 應用程式可在不同的硬體上執行。
5. 可經由一個專案檔案(Project file)連接多個小模組，因此程式發展者可同時發展個別的子模組。
6. 發展應用軟體時MapBasic提供下列兩種特性。
 - a. 特殊事件控制(Special Event Handlers)
 - b. 交互處理溝通(Inter-process Communication)

MapInfo藉由MapBasic加以開發設計，可以做不同領域更專精的應用。目前的應用領域，包括1.業務規劃，2.市場策

略，3.公共管線，4.保險服務，5.自然環境，6.有線電視，7.環境品質，8.區域及都市計劃，9.學校教育，10.市政管理。可見其應用範圍極為廣泛，採用此一系統，將來在資源共享需求下，使用將更為便捷。

6-2-4 建檔附屬系統

MapInfo為一圖檔處理極有效率的軟體工具，但在資料庫操作及對週邊設備之溝通上功能稍嫌不足。故本研究採用其它軟體來彌補MapInfo的這些缺憾：

- (1)在數據資料庫之建立上，我們採用MS Foxpro及MS Access來建立基本表格檔。
- (2)在影像檔案之輸入及編輯上，我們採用Imagepals軟體及HP掃描儀加以輔佐。
- (3)基本地圖檔案保取用內政部資訊中心之基本圖檔，再利用AutoCAD軟體作圖檔轉入編輯，依據各港區所需的圖幅範圍結合成單一圖檔，再轉MapInfo內使用。
- (4)外建資料的傳送，係透過LL3軟體來傳送，或利用Novell網路系統，將各資料送回MapInfo工作主機上，再將Foxpro及Imagepals所建立的檔案，轉成MapInfo的內部檔案，在MapInfo系統內加以聯結使用。

6-3 地質資料處理原則：

本研究在資料之處理上，係依據李咸享(1988)在「大地工程地質資料庫系統及台北市區建檔之研究」上對工程地質

資料之處理原則。確立資料處理之原則，乃為要將龐大及不同格式之資料加以規格化，以提供工程上直接使用及學術上研究之便利。欲具有上述目標，除了資料庫在結構上須作妥善地規劃外，其餘則全賴工程地質資料的整理及歸類。要將項目雜、數量多、內容繁雜的工程地質資料納入一個系統中，誠然不易。而且各家公司之鑽探報告格式不同，工程資料分類方法也多不相同。所以表格須先統一才能進行實質之建檔作業。本研究乃依據李氏之建議表格及處理方法，資料整理。

6-3-1 座標系統

目前由於地圖投影的方式不一，以致有許多的地圖座標系統。台灣地區位於北半球、低緯度區。為配合國際性座標(Universal Transversal Meccator簡寫U.T.M.)，乃採橫麥卡托投影座標系統(簡稱TM系統)，該系統在台灣之初建，係民國六十九年聯勤測量署以南投埔里虎子山一等三角點中心點所完成之TM二度分帶之全國三角點檢測。本報告即以此來建立一致性及普遍性的下陷及地質資料庫座標系統。

每個鑽探孔位置，各以一組(X,Y,Z)數值來表示，(X,Y)表示鑽孔在TM二度分帶中之平面位置(Grid Coordination)(如有必要可經由換算公式，計算出鑽孔之經緯度值(Ellipsoidal Coordination)。Z值表示鑽孔的立面座標，即鑽孔位置地面高程大小。其中X座標以六位整數表示(省略前頭的E字母)，Y座標以七位整數表示(省略前頭的N字母)，Z座標為具小數點的實數，帶正負號，表示高或低於地面，三者單位皆為公尺。

6-3-2 處理原則

在處理、彙整鑽探報告中的地層分佈資料，本研究乃本著「忠於原著，評如原著」的精神，將所有的資料載入資料庫中。但是基於事實上的需要仍有若干資料須先行校正。處理原則分述如下：

1. 每一鑽孔資料，皆註明提供單位、鑽探公司、試驗單位及鑽孔的日期，除了說明該資料的來源，感謝提供單位外，尚可作為使用者對資料的評估，然而，最大的希望是藉此惕勵工程界重視鑽探資料，提昇工程地質資料的完整性。
2. 鑽孔位置：基本上，每本鑽探報告上應具有鑽探孔的平面配置及鑽孔的座標值，但是，由於鑽探報告時代不同，標準不一，除了少數的鑽探報告是採用二度分帶座標系統外，其餘的鑽探報告的鑽孔座標常常是獨具一格，而造成處理工作的負擔。一般可分述如下：
 - (1) 採用地籍圖座標系統，即日據時代遺留下來之TM三度分帶（全國戶籍圖中心在台中公園三角點）。
 - (2) 鑽探公司自行建立的局部座標系統——有平面配置圖及座標值。
 - (3) 僅有鑽孔平面配置圖示其相關位置，卻無鑽孔座標值。
 - (4) 鑽探公司自行建立的局部座標系統——僅有鑽孔座標值，無平面配置圖。

(5)鑽探報告無明確地標出工作地點位置。

(6)僅有簡圖，而無任何工地及鑽孔彼此間的相關資料。

面對如此雜亂的座標值及位置圖，本研究乃以各種轉化公式、投影技巧、和建築物配置圖形來決定該批資料之取捨。由公式轉化的TM座標值較為精確，而其它技巧得到的座標值誤差會較大。

3. 地下水水位高程：各類鑽探報告中，地下水位之標示，有標以地面下之深度值；有示之以高程大小，亦有記錄其長期地下水位之變化值，在此，我們以高程來標示地下水位，為的是利於地下水位剖面圖之繪製，若有長期地下水位觀測值，則在緊鄰地下水位高程欄下，登錄六欄之水位觀測數據，且同時註明觀測之時間，以供使用者研判水位變化情形。

4. 採樣深度說明：鑽探報告書中，深度欄的記錄不外是採樣深度及試驗之土樣深度兩種，土樣皆以劈管或薄管取之，在長45公分劈管採樣深度中，以採樣器頂點深度為採樣深度，實無具任何意義；若以採樣器之中間點深度為採樣深度，則又似乎有點美中不足的地方，因為大都知道在採樣的過程，上層幾個銅圈土樣常為水洗雜質之擾動土樣，常不作為試驗之土樣，所以綜合上述分析，採樣深度乃以開始採樣之深度加上30公分作為採樣深度之標準點。試驗土樣之深度，則以土樣之中間點深度為其試驗深度值。基於慣例，深度欄中的深度值皆是相對於地表面之深度，而非絕對高程，即每一深度值皆是代表著該位置距離地面鑽孔位置之直線距離，換言之，每一土樣之絕對高程座標，可

藉鑽孔座標值減去該土樣之深度值來求得。

5. 標準貫入值(N值)之處理原則：N值的記錄，可分為兩種：可直接記錄之N值，此種N值多屬於一般土壤，例如：014即指貫入值為14。沒有完成之標準貫入試驗的N值，在鑽探報告上僅登錄其貫入值（即以最保守之數值登錄）
6. 土／岩層厚度分類：土樣的分類應該是根據其粒徑分析結果及標準貫入值，在彙整工程地質資料中，發現部份鑽探報告書內，土壤／岩石之分類與粒徑分析及N值結果有一致性，而若干鑽探公司的鑽探報告書中，可發現土壤分類與實驗室中的物理試驗不甚吻合，所以對於此種資料，我們檢核其試驗結果並修正其地層厚度。
7. 粒徑分析處理原則：正確的粒徑分析結果應有礫石、砂、粉土、黏土等四個項目，但是在鑽探報告書中卻不盡如此，或僅有粒徑分佈曲線、或僅有礫石、砂、黏土等三個項目，所以，這些資料我們都根據其原始顆粒分佈曲線並依ASTM規定，重新讀定礫石、砂、粉土、黏土的篩留重量百分比。
8. 荷式錐貫入試驗數據登錄原則：目前的荷式錐儀器設備都已由機械式錐頭改為電子式錐頭，利用資料擷取系統依貫入深度收錄試驗數據。故本研究荷式錐試驗資料檔案的建置上，也依照各個貫入深度登錄錐端阻抗值，摩擦阻抗值，孔隙水壓感應值、貫入傾斜值等。深度係以公尺為單位，傾斜以度度量為單位，其它強度值則以物理量Kgf/cm為單位。

6-4 資料庫架構

6-4-1 輔助記憶體資料貯存架構

本研究規劃了一個400Mb容量的輔助記憶體，供MapInfo系統軟體、MapBasic開發程式及港區資料貯存用。該輔助記憶體設定在MapInfo作主機的F槽，其貯存架構如表6.1所示，相關資料貯存在目錄<Harbor\PuDai>下，主要存放港區之基本地圖資料、下陷觀測資料、各項土層調查試驗資料等之相關資料庫檔案。

6-4-2 鑽孔位置及剖面土層資料庫架構

本研究建置了兩類資料庫表格檔存放標準貫入試驗相關資料，將各鑽孔之座標、高程、試驗公司等抬頭資料存放於Welldata.dbf資料庫表格檔內，此表格檔存有28個欄位，其欄位名稱、中文說明、資料型態及長度如表6.2所示，存放於以港區英文名稱命名的目錄下，該表格檔除了存放這些基本資料外，還可利用SQL選取方式，選擇Tag-Key, Pos_x, Pos_y等三個欄位之資料，建置出一新的檔案，再由此新檔案製作出鑽孔位置分佈地圖檔。

另外，以Welldata.dbf的索引標籤(Tag-Key)欄位資料，做為該鑽孔之試驗資料檔案名稱，所建置的資料庫表格檔共具有18個欄位，其欄位名稱、中文說明、資料型態及長度如表6.3所示。為了資料庫編輯的作業方便，這兩類資料庫都先用Foxpro或Access建檔，再轉入MapInfo內使用。

表6.1輔助記憶體內資料貯存架構

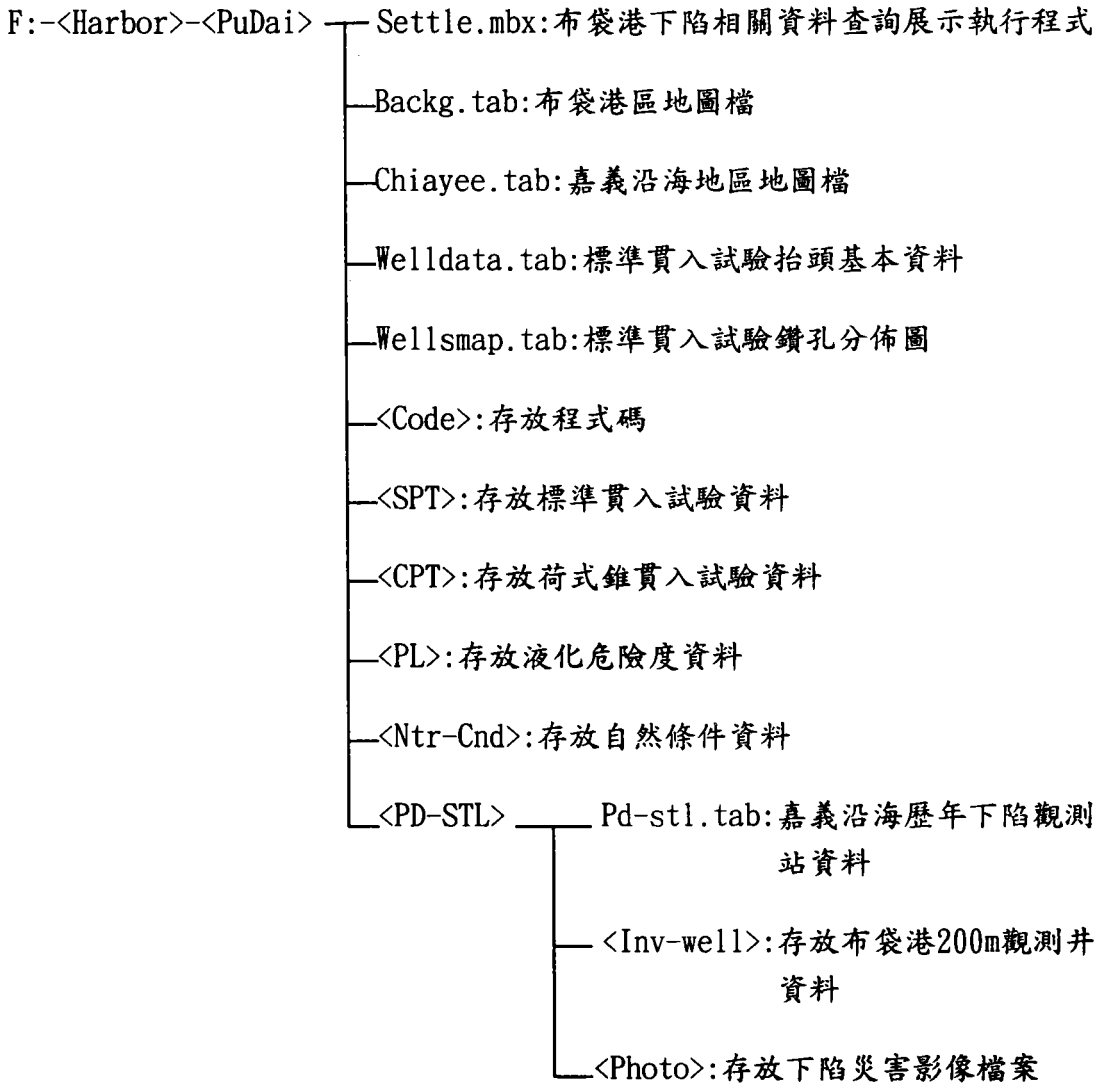


表6.2 港區各鑽孔基本資料檔案及資料錄說明

系統名稱：港區土層分佈資料庫			日期： / /	
檔案名稱：Wellldata			檔案格式：表格(.DBF)	
檔案說明：港區各鑽探孔位座標高程試驗公司等資料				
編號	欄位名稱	欄位中文說明	資料型態及長度	備 註
1	Tag_key	索引標籤	Char(10)	
2	Project	計劃名稱	Char(40)	
3	Hole_no	鑽孔名稱	Char(10)	
4	Offer_com	提供單位	Char(40)	
5	Borin_com	鑽探公司	Char(40)	
6	Test_comp	試驗公司	Char(40)	
7	Borin_dat	鑽探日期	Date	MMDDYY
8	Locat_des	鑽孔位置	Char(40)	
9	Pos_x	X座標	Decimal(12,2)	
10	Pos_y	Y座標	Decimal(12,2)	
11	Pos_z	高程	Decimal(7,2)	
12	Pizometer	水位計	Char(20)	
13	Pizo_dept	埋設深度	Decimal(7,2)	
14	H_angle	鑽孔傾角	Decimal(3,0)	
15	H_diamete	鑽孔孔徑	Decimal(6,0)	
16	H_depth	鑽孔深度	Decimal(7,2)	
17	Gw_level1	第1次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	

表6.2 港區各鑽孔基本資料檔案及資料錄說明(續)

18	Gw_date1	第1次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
19	Gw_level2	第2次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
20	Gw_date2	第2次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
21	Gw_level3	第3次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
22	Gw_date3	第3次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
23	Gw_level4	第4次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
24	Gw_date4	第4次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
25	Gw_level5	第5次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
26	Gw_date5	第5次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY
27	Gw_level6	第6次地下水位 量測深度	Decimal(7,2)	
28	Gw_date6	第6次地下水位 量測日期	Date	MMDDYY

表6.3 鑽孔之試驗資料檔案及資料錄說明

系統名稱：港區土層分佈資料庫			日期： / /	
檔案名稱：(tag-key)			檔案格式：表格(.DBF)	
檔案說明：鑽孔之試驗資料				
編號	欄位名稱	欄位中文說明	資料型態及長度	備 註
1	Depth	深度	Decimal(6,2)	
2	Desc	土／岩層說明	Char(40)	
3	Class	土壤岩石分類	Char(10)	
4	Smpl_rate	取樣率	Decimal(3,0)	
5	Rqd	岩心完整性	Decimal(3,0)	
6	N_value	錘擊數	Decimal(3,0)	
7	Smpl_no	採樣編號	Char(5)	
8	Gravel_%	礫石含量	Decimal(3,0)	
9	Snad_%	砂土含量	Decimal(3,0)	
10	Silt_%	粉土含量	Decimal(3,0)	
11	Clay_%	黏土含量	Decimal(3,0)	
12	Water_con	自然含水量	Decimal(5,1)	
13	LL	液性限度	Decimal(5,1)	
14	PI	塑性指數	Decimal(5,1)	
15	Unt_weigh	總體單位重	Decimal(5,2)	
16	W_gravity	比重	Decimal(5,2)	
17	Void_rati	孔隙比	Decimal(5,2)	
18	Other_tes	其它試驗	Char(20)	

表6.4嘉義沿海下陷調查資料檔案及資料錄說明

系統名稱:布袋港區歷年下陷觀測資料庫			日期: / /	
檔案名稱:pd_stl			檔案格式:表格(DBF)	
檔案說明:嘉義沿海地區下陷觀測控制點歷年資料				
編號	欄位名稱	欄 位 說 明	資料型態及長度	備 註
1	樁號	高程觀測樁編號	Char(10)	
2	地點	測樁位置描述	Char(14)	
3	X標	TM二分帶座標	Decimal(10.2)	
4	Y標	TM二分帶座標	Decimal(10.2)	
5	民75年	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
6	民76年12月	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
7	民77年5月	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
8	民77年10月	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
9	民78年5月	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
10	民80年	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
11	民81年	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
12	民82年	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺
13	民85年5月	當時之測樁高程值	Char(10)	單位:公尺

6-4-3 測站位置及下陷調查資料庫架構

本研究另建置一資料庫表格檔存放嘉義沿海地區歷年下陷調查相關資料，該檔案命名為pd_stl.dbf，目前建置13個欄位，內容包含樁號、地點、座標及調查年份等欄位，各欄位名稱、說明、資料型態及長度如表6.4所示。調查年份欄位資料錄內登錄當時之測樁高程值，單位為公尺，該資料錄若遇有資料遺失或為新增測站站(即早期尚未在該站實施量測調查)則登錄為"None"，以和高程零值有所區別。

該檔案除了供作存放調查資料外，也可利用SQL選取方式，從其中選出X座標，Y座標兩欄位，利用Map Info系統內的建置點位(Create point)功能，製作出觀測站分佈地圖檔。

七.查詢分析系統之建置

7-1 系統建置目標

本研究利用MapBasic使用者發展語言環境來設計土層下陷資料查詢展示軟體，其預設的功能目標如下：

1. 港區基本地圖展繪
2. 下陷測站位置展示
3. 測歷年下陷量展繪
4. 等下陷量分佈展繪
5. 鑽孔位置展示
6. 鑽孔基本資料查詢
7. 單鑽孔柱狀圖展繪
8. 鑽探資料文字表格展示
9. 多鑽孔柱狀圖展繪
10. 荷式錐貫入試驗資料文字表格展示
11. 荷式錐貫入試驗成果圖展示

12. 港區自然條件表格展示

13. 為中文視窗作業環境，可使用多重文件介面

14. 配置工具箱及基本展圖功能（放大、縮小、平移…等）

15. 模組化功能設計

16. 選單式查詢設計

7-2 查詢規劃及選單設計

為求資料查詢的簡易親和，本研究將查詢界面設計成選單選項方式，主選單計有八大項，分別為數(1)地盤下陷資料(2)鑽探資料(3)荷式錐資料(4)分層觀測資料(5)港口自然條件(6)查詢統計(7)出圖視窗(8)圖層及視窗控制。

其中前五項為下陷及地質條件等資料之查詢選項，後三項為資料統計及視窗控制等功能選項，各主選單可利用滑鼠下拉出次選單，主次選單函蓋項目如表7.1所示。

次選單之選項設計，可分為可選用(Enable)及暫停使用(Disable)兩種功能選項，此種設計乃為防止不當之選取操作。可選用之選項其字體顏色為深色清晰，以滑鼠點選即可進行該項查詢作業，暫停使用之選項其字體顏色為灰白模糊，以滑鼠點選無法啟動其功能，需待查詢程序進入其啟動條件時，該項目字體顏色隨即變換成深色清晰，此時該選項才能被點選使用。在選單設計上妥善利用此兩種相對功能，可避免不當操作所帶來的錯誤。

表7.1 布袋地區地盤下陷資料查詢系統主次選單設計項目表

主選單項目	次 選 單 項 目
(1)地盤下陷資料	查詢災害照片，結束查詢災害照片，衛星影像資料，中部漁塭變遷，顯示檢測點位置圖，關閉檢測位置圖，檢測點數據資料表，展繪檢測歷年沉陷資料，展繪等量下陷圖，關閉等量下陷圖。
(2)鑽探資料	顯示鑽孔位置圖，關閉鑽孔位置圖，鑽孔資料，柱狀圖，鑽孔液化機率圖，淺基礎土層液化危險度分佈，關閉淺基礎液化危險度圖，深基礎土層液化危險度分佈，關閉深基礎液化危險度圖。
(3)荷式錐資料	顯示荷氏錐鑽探孔位置圖，關閉荷氏錐鑽孔位置圖，鑽孔資料，鑽探圖。
(4)分層觀測資料	觀測井位置顯示，關閉觀測井位置圖，分層觀測水壓資料，分層觀測沉陷資料。
(5)港口自然條件	自然限制條件，潮汐統計資料，颱風波高推估資料，漂砂界限水深推估資料。
(6)查詢統計	開啓檔案，關閉檔案，儲存檔案，SQL查詢，統計成果瀏覽，新增統計圖視窗，圖表型態，X軸標題，Y軸標題，設定樣式。
(7)出圖視窗	新增出圖視窗，列印，印表機設定，設定顯示比例，實際比例顯示，全圖預視，上一畫面，移至上層，放至底層，自動對齊，設定陰影，顯示選項。
(8)圖層及視窗控制	圖層控制，自動標示，地圖選項，改變顯示範圍，回上一畫面，觀看全田圖，重繪，重疊顯示，非重疊顯示，排列圖示，圖例視窗，視窗選擇，離開系統。

由於次選單項目名稱都儘可能簡潔，為讓使用者能明白各選項之功能，乃設計選項說明輔助功能，當使用者將滑鼠移至次選項欄位內時，相關該選項之說明即會以文字顯示在視窗左下角之輔助說明欄內，如此可讓使用者更容易明白該選項之功能，提升查詢作業之正確性。

7-3 程式設計組織架構

本查詢程式命名為Settle.mbx，程式分成下列十一個模組，各模組的名稱及所包含的副程式及函式計有：

(一)STL_Menu模組。本模組為主模組，包含三個副程式，其名稱及功能如下：

(1)Main副程式：為程式第一個執行的部份，主要功用為呼叫Main Menu副程式、載入主畫面及標示系統名稱。

(2)Main Menu副程式：載入所設計的主次選單。

(3)QuitProgram副程式：終止本應用程式。

(二)Settle模組。本模組主要功能為組鑽及展示下陷相關資料，包含下列十一個副程式，其名稱及功能如下：

(1)Open_settle_pnt_map副程式：顯示下陷觀測站位置。

(2)Close_settle_pnt_map副程式：關閉下陷觀測站位置。

(3)Open_wellsmap副程式:顯示標準貫入試驗鑽孔位置。

(4)Close_wellsmap副程式:關閉標準貫入試驗鑽孔位置。

(5)Open_CPTmap副程式:顯示荷式錐鑽孔位置。

(6)Close_CPTmap副程式:關閉荷式錐鑽孔位置。

(7)Show_settle_data_table副程式:顯示歷年下陷觀測資料。

(8)Plot_settle_data副程式:繪製單觀測站歷年下陷觀測圖。

(9)Plot_Curve副程式:下陷觀測圖內插曲線。

(10)Open_Equal_STL_Map副程式:顯示全面積等下陷量分界圖。

(11)Close_Equal_STL_Map副程式:關閉全面積等下陷量分界圖。

(三)UTI_LIB模組。本模組為視窗系統輔助功能，主要包含兩個函數：

(1)Ftle_bar函數:標示系統名稱。

(2)Tableopened函數:判斷某一系統檔案是否已被啓

用。

(四)Logging模組。本模組主要功為標準貫入試驗成果展示，含括五個副程式及一個函數，其名稱及功能如下：

(1)Logging副程式:繪製柱狀圖。

(2)Show_WellsData副程式:展示鑽孔之抬頭資料。

(3)ListLogData副程式:展示鑽探試驗紀錄。

(4)Getpattern函數:載入柱狀圖圖樣。

(5)X_order副程式:各鑽孔柱狀圖繪製秩序按座標值由西向東排列。

(6)Y_order副程式:各鑽孔柱狀圖繪製秩序按座標值由北向南排列。

(五)LQ模組。主要功能為液化機率分析成果展示，包含下列四個副程式：

(1)Holes_Lq副程式:展繪各鑽孔各試驗深度之液化機率值。

(2)M_A_Dialog副程式:顯示不同等級之地震規模及加速度。

(3)X_order2副程式:各鑽孔液化機率圖展示秩序按座標

值由西向東排列。

(4)Y_order2副程式:各鑽孔液化機率圖展示秩序按座標值由北向南排列。

(六)STL_evnt 模組。本模組只含括一個名為SelChangedHandler的副程式，該副程式之名稱為MapBasic所內定，其功用為當滑鼠之點選一改變時，MapBasic即會自動呼叫這個副程式。

(七)ShowCPT模組。主要功能為荷式錐貫入試驗成果展示，包含兩個副程式如下：

(1)Print_CPTData副程式:展示荷式錐貫入試驗文字資料表。

(2)CPT_log副程式:展示荷式錐貫入試驗鑽探成果圖。

(八)PDRisDg模組。主要功能為土層液化危險度分析成果展示，包含下列四個副程式：

(1)Show_Risk_SF副程式:展示淺基礎土層液化危險度等值線分佈圖。

(2)Close_Riisk_SF副程式:關閉淺基礎土層液化危險度等值線分佈圖。

(3)Show_Risk_DF副程式:展示深度基礎土層液化危險度等值線分佈圖。

(4)Close_RisK_DF副程式:關閉深度基礎土層液化危險度等值線分佈圖。

(九)Inv_well模組。主要功能為深層觀測井分層觀測成果展示，包含下列四個副程式:

(1)Open_investigation_well_map副程式:展示深層觀測井分層下陷觀測成果圖。

(2)Close_investigation_well_map副程式:關閉深層觀測井分層下陷觀測成果圖。

(3)Show_strata_water_pres副程式:展示深層觀測井分層水壓觀測成果圖。

(4)Show_strata_compression_data副程式:關閉深層觀測井分層下陷觀測成果圖。

(十)FLD_IMG模組。主要功能為下陷地區災害資料查詢，包含下列五個副程式:

(1)Show_M_Fig副程式:開啓下陷地區災害影像查詢視窗。

(2)Close_M_Fig副程式:關閉下陷地區災害影像查詢視窗。

(3)Show_Photo副程式:展示下陷地區災害影像檔。

(4)Open_RS_data副程式:展示下陷地區災害遙測資料。

(5)Open_fishpool_chang副程式:展示西海岸地區漁塭變遷遙測分析資料。

(十一)Ntr_cnd模組。主要功能為展示港區相關環境條件，包含下列四個副程式：

(1)Natural_Cond副程式:展示自然條件資料。

(2)Tide_Statistic副程式:展示潮位統計成果。

(3)Typhoon_Wave_Height副程式:展示颱風期間各方向之最大波高預測值。

(4)Sand_Shift_Limited_Depth副程式:展示漂砂臨界水深推估值。

將上述十一個模組分別編譯(Compile)後，再利用MapInfo的專案檔案(Project file)方式，將這些模組聯結(Link)成一個執行檔，即可提供系統作為執行查詢使用。

7-4 系統成果展示說明

本研究將分佈於布袋沿海地區歷年下陷觀測資料及港區地質鑽探資料做有系統的整理及貯存，並收錄該區自然條件及下陷所引致的災害紀錄，撰寫查詢展示程式，使各觀測試驗點位及相關資訊能被快速查詢及展示出來，程式操作程序如下：

(一)進入查詢系統

- (1)在視窗作業環境下，執行MapInfo系統，進入該系統內。
- (2)點選主選單File\Run MapBasic Program，選擇F:\harbor\PuDai內的settle.mbx執行檔，按OK鈕，即進入布袋港區下陷及地質資料查詢展示系統。
- (3)此時螢幕會繪出布袋港地圖，而MapInfo原有之系統選單隨即被更換，一個全新的自定選單出列在螢幕上方，新選單共有八個選項，依序為：(1)地盤下陷資料(2)鑽探資料(3)荷式錐資料(4)分層觀測資料(5)港口自然條件(6)查詢統計(7)出圖視窗(8)圖層及視窗控制等，如圖7.1所示。選單為下拉式設計，可利用滑鼠拉出次選單來進行查詢作業。

(二)地盤下陷資料查詢

查詢系統第一主選單項目名稱為「地盤下陷資料」，可查詢下陷災害紀錄及下陷圖文資料，此選單計有十個選項，其內容及查詢方法如下：

- (1)下拉此選單之後，第一選項為「查詢災害照片」，用滑鼠點選此選項，螢幕左下角會出現一紀錄照片選取視窗，視窗抬頭欄內會有文字提示：請點選下陷災害照片，可用滑鼠在此視窗內連續點選不同編碼之照片選項，相關編碼之記錄照片會依點選順序在螢幕左上、右上、左下方依序顯示出來，如圖7.2所示。
- (2)若欲結束此項查詢作業，可下拉出第二選項「結束查詢災害照片」，此時該選項已由暫停使用狀態變換為可使用狀

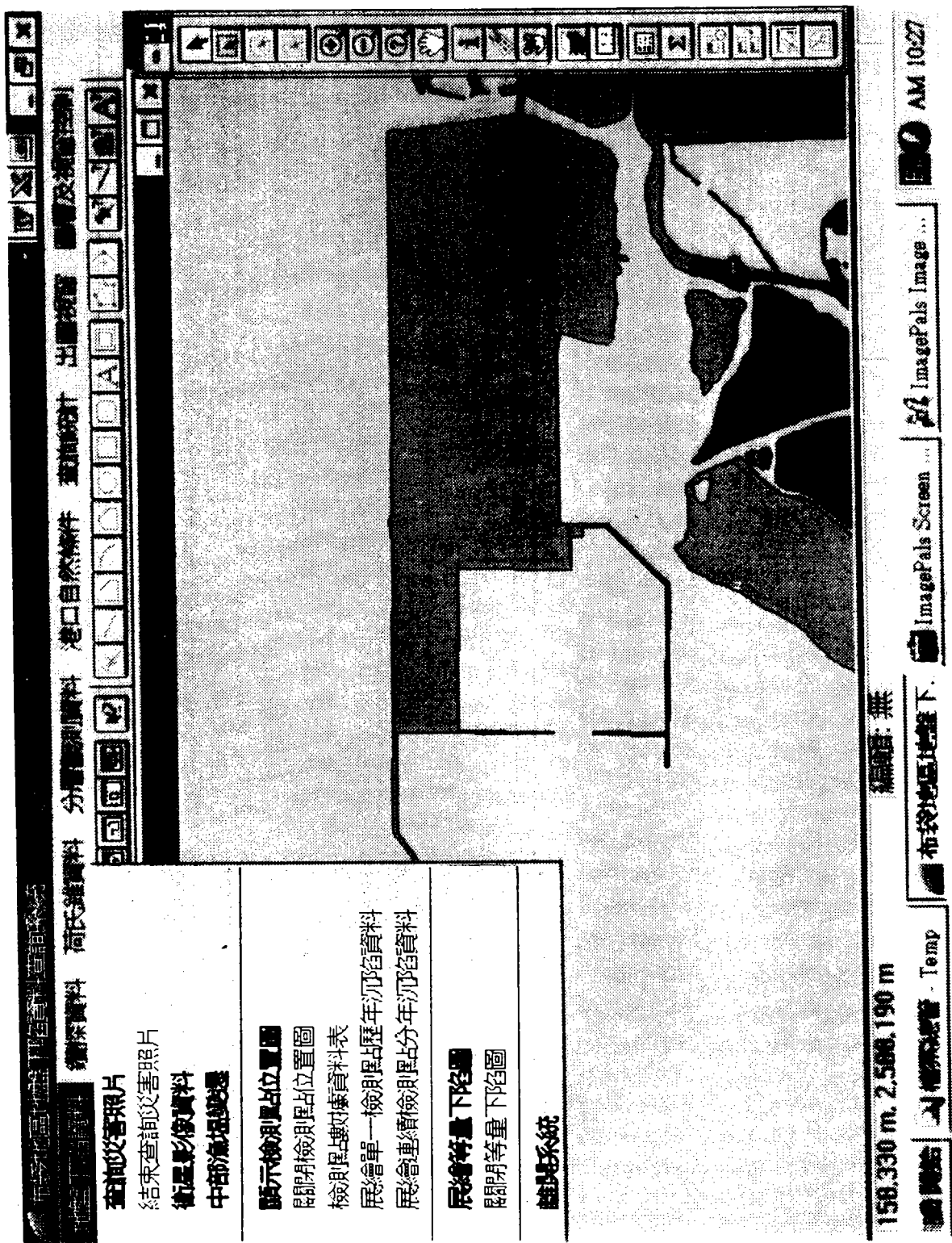


圖7.1 查詢系統主畫面及選單下拉展示圖。

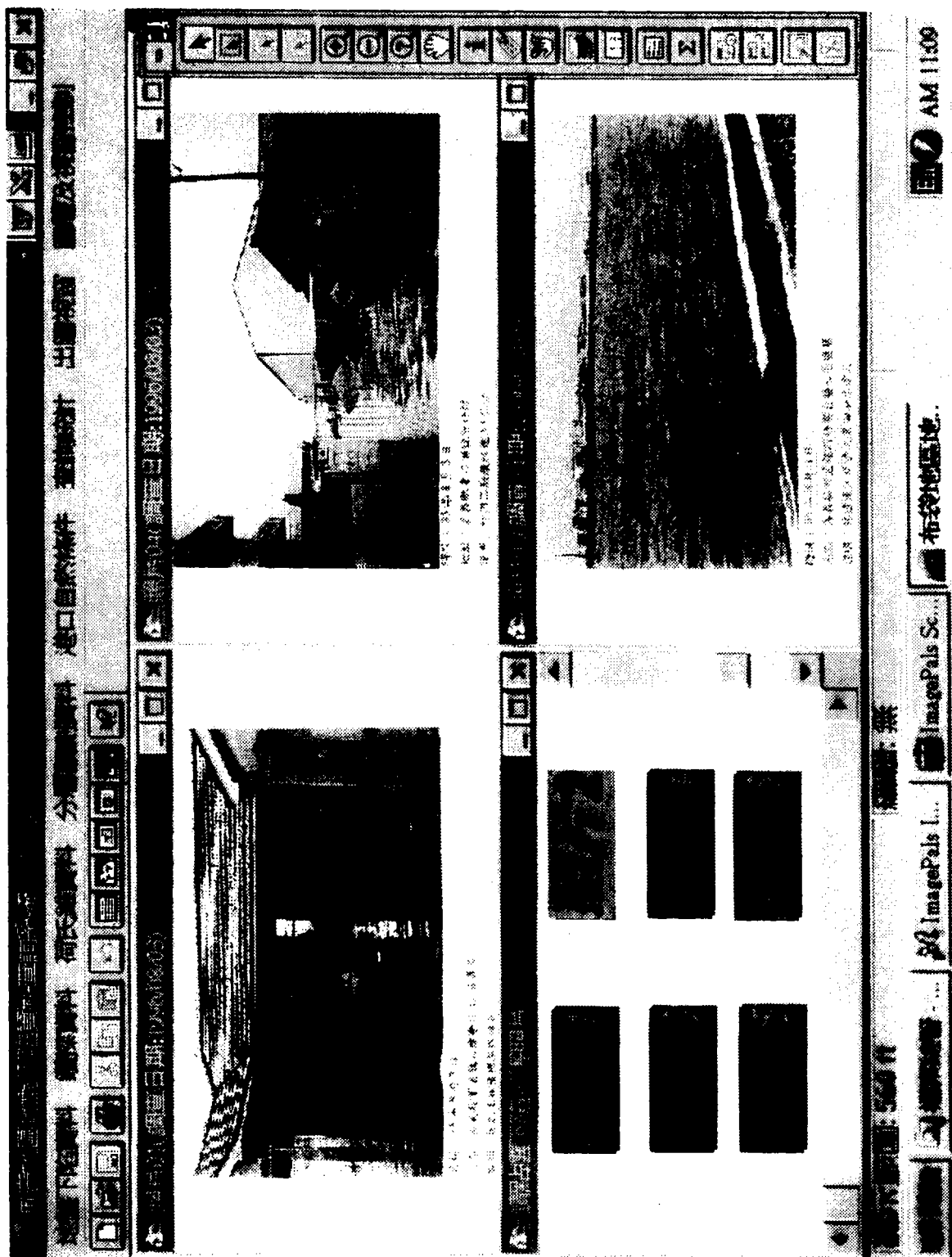


圖7.2 下陷災害影像資料查詢展示圖.

態(即選項內之文字已由模糊之灰色轉變為清晰之黑色)。
點選該選項後，選取視窗及照片資料隨即被關閉而消失，
螢幕跳回原先之主畫面而結束此項查詢。

- (3)此選單之第三選項名稱為「衛星影像資料」，點選後可展示出布袋東石地區賀伯颱風之溢淹災情遙測資料(此為中央大學太空遙測研究中心之部份研究成果)，並提供平時的陸面水系資料以供比對，如此可獲知地盤下陷所帶來的嚴重後果。
- (4)第四選項為「中部漁塭變遷」。此係中央大學太空遙測研究中心之部份研究成果，可看出台灣中部沿海地區在民國62年到73年之間漁塭突增之盛景。漁塭大增，即表示地下水抽取量也大增，而超抽地下水乃是台灣地區地盤下陷的主因，但近幾年來台灣沿海地區漁塭擴增不多，地盤卻仍有持續下陷之現象，乃因養殖業者往更深處抽水，造成更深層土層壓縮所致，也因此地盤下陷的研究調查人員，就需要開鑿深井作不同層次的土層壓縮及水壓變化量測，以獲取直接的資料。
- (5)第五選項為「顯示檢測點位置圖」，點選此選項則螢幕會展繪出嘉義沿海地區歷年下陷檢測樁之位置，此為水利處歷年地表高程檢測資料，如圖7.3所示。若欲查詢相關檢測數據，可點選第七選項「檢測點數據資料表」，若欲查知某一測點之歷年下陷點積變化，可先由測樁位置圖上點取該測樁，再點選第八選項「展繪檢測點歷年沉陷資料」，則系統會自動開啓一繪圖視窗，繪製該測點之下陷變化圖，如圖7.4所示。使用者可點選其它檢測點，繼續查詢不同檢測點的下陷變化情形。

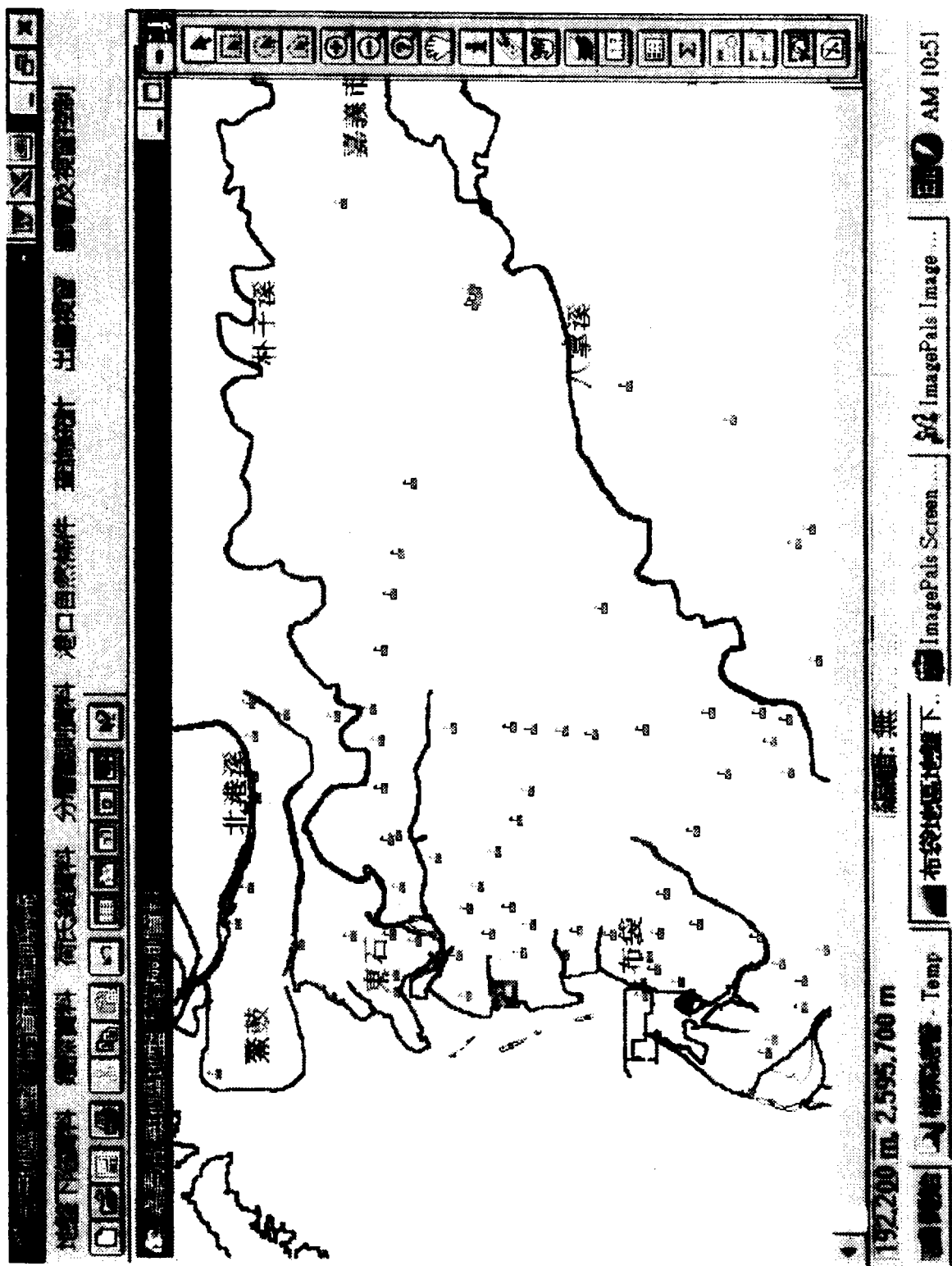


圖7.3 嘉義沿海地區地盤下陷檢測樁位置分佈圖。

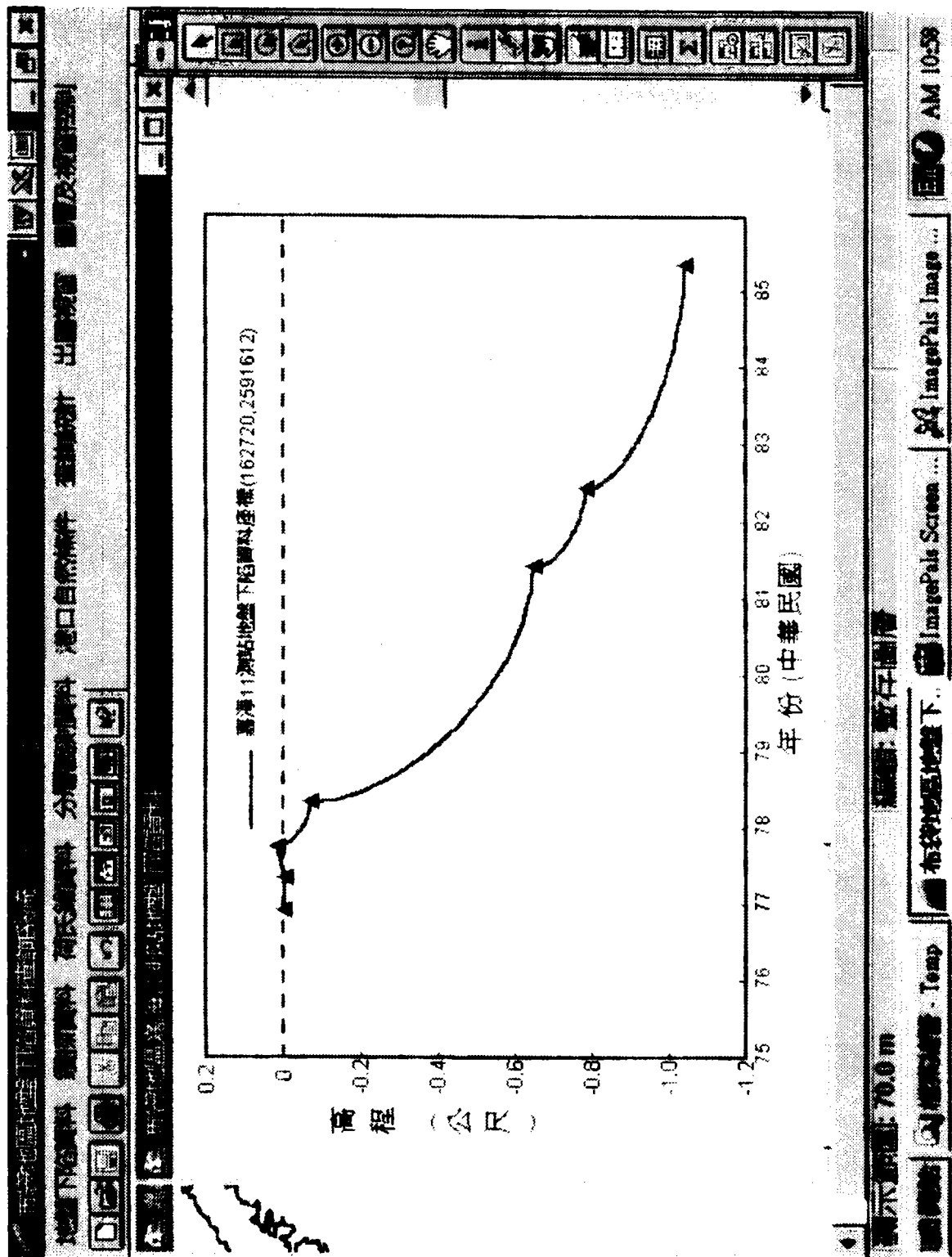


圖7.4 單一檢測點歷年下陷變化圖。

- (6)系統除了提供單點資料查詢外，使用者若欲查知近幾年來大面積的下陷變化，如何處較嚴重?何處較輕微?使用者可點選第九選項「展繪等量下陷圖」，則系統會展示出近幾年的等量下陷區域圖，如圖7.5所示，由該圖可得知嘉義沿海下陷量最大的地區，是位於布袋及東石之間，若欲結束此項查詢作業，可點選第十選項「關閉等量下陷圖」，則系統隨即結束該項查詢而跳回主畫面。

(三)地質鑽探資料查詢

查詢系統的第二主選單項目名稱為「鑽探資料」，可查詢港區附近的鑽孔地質資料及強震下之土壤液化分析，此選單之下計有十個選項，其內容及查詢方式如下：

- (1)此選單之第一選項為「顯示鑽孔位置圖」，點選後螢幕主畫面港區地圖上隨即出現各個鑽孔位置之標示符號，該符號為藍色實心圓點。布袋港之鑽孔位置分佈情形如圖7.6所示，使用者可用滑鼠點選所欲查詢的鑽孔，來查看該鑽孔的報表資料及展繪該鑽孔的柱狀圖。
- (2)每一鑽孔之鑽探資料，可用文字或圖形方式來展示。文字資料之展示，係設計成一般鑽探資料之報表格式，使用者在鑽孔位置分佈圖上，先利用滑鼠選取所欲查詢的鑽孔，再下拉「鑽探資料」選單，點選第三選項「鑽孔資料」，系統會從資料庫內抓取該鑽孔資料，依循鑽探報表格式在一新開視窗上填註各項資料，使用者可由此查獲該鑽孔之各項試驗數據。
- (3)鑽探結果之圖形展示，係循鑽探深度將各土層按其類別用

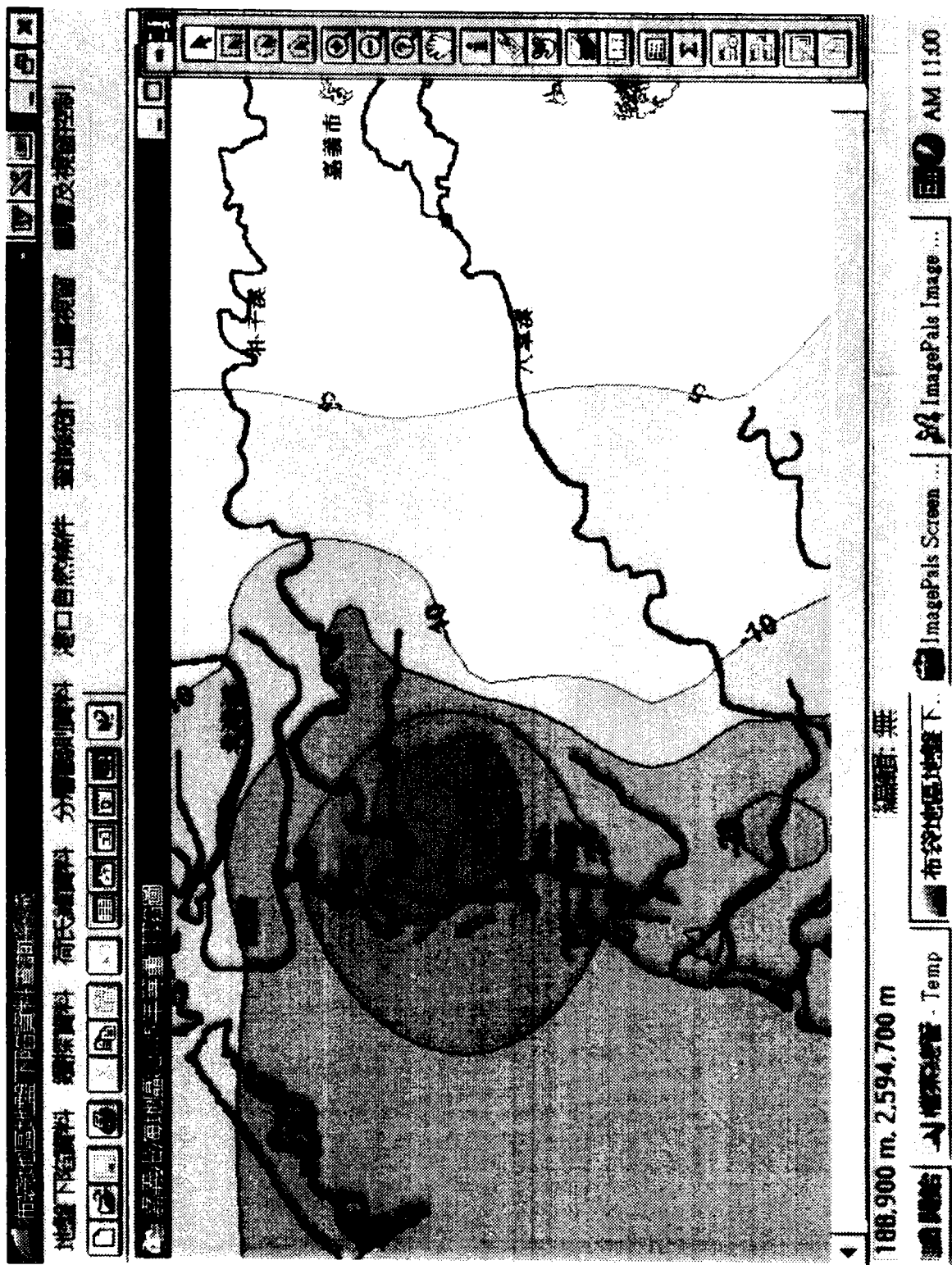


圖7.5 嘉義沿海地區82-85年等量下陷圖。

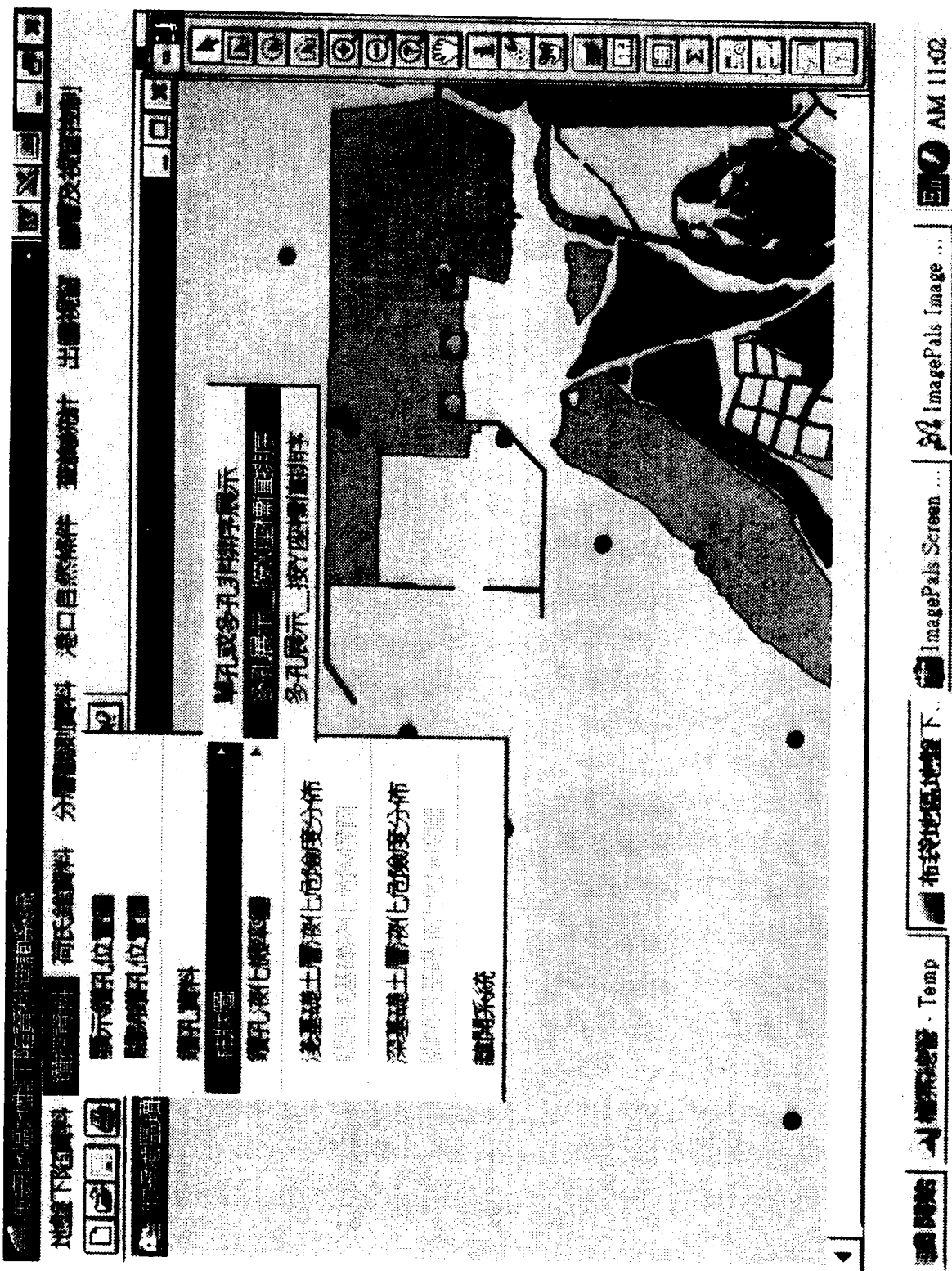


圖7.6 鑽探資料選單下拉展示及鑽孔位置分佈圖.

不同顏色及圖樣繪製成柱狀圖形式，並標示各深度之錘擊強度值(即SPT-N值)。查詢方式仍須先用滑鼠在鑽孔位置分佈圖上選取所欲查詢的鑽孔，可選單孔作單孔柱狀圖的展繪，也可一次選取多孔作多孔柱狀圖展繪，(使用者只需在選取第一孔後，按住鍵盤<shift>鍵，則可繼續選取其它鑽孔來作多孔展繪)。鑽孔選取完畢，下拉「鑽探資料」選單，點選第四選項「柱狀圖」，再點選柱狀圖展繪排序方式(如按X軸方向由西向東排列各鑽孔柱狀圖或按Y軸方向由北向南排列各鑽孔柱狀圖)，柱狀圖選單下拉情形如圖7.6所示，而系統會從資料庫內抓取各鑽孔資料來繪圖，圖7.7所示為四個鑽孔由西向東排序之柱狀圖繪製結果。

- (4)柱狀圖繪製完畢後，所選取之鑽孔，可接續來作液化機率分析，以了解在不同強度之地震侵襲下，各個土層發生液化的機率大小。使用者可在「鑽探資料」選單下，點選第五選項「鑽孔液化機率圖」，再點選其排序方向，螢幕隨即出現一對話框，內含不同地震規模及最大加速度之選鈕，如圖7.8所示。在對話框內選取某一地震強度，按確定鈕之後，系統即開啓一新視窗，並在此視窗內繪製所選鑽孔在該地震強度下之液化機率分析圖，如圖7.9所示。該分析法係採用Liao et al.(1988)之邏輯迴歸分析模式，而分析成果圖上採用不同顏色來代表不同分析之結果，藍色代表不會液化之土層，而白色到正紅色之顏色漸層變化代表液化機率由0到1之漸增變化程度，顏色愈紅代表機率值愈高，該土層愈容易發生液化。

- (5)除了每個鑽孔的液化分析外，本研究也對整個港區作全面性的液化危險度分析，且針對淺基礎與深基礎而有不同的

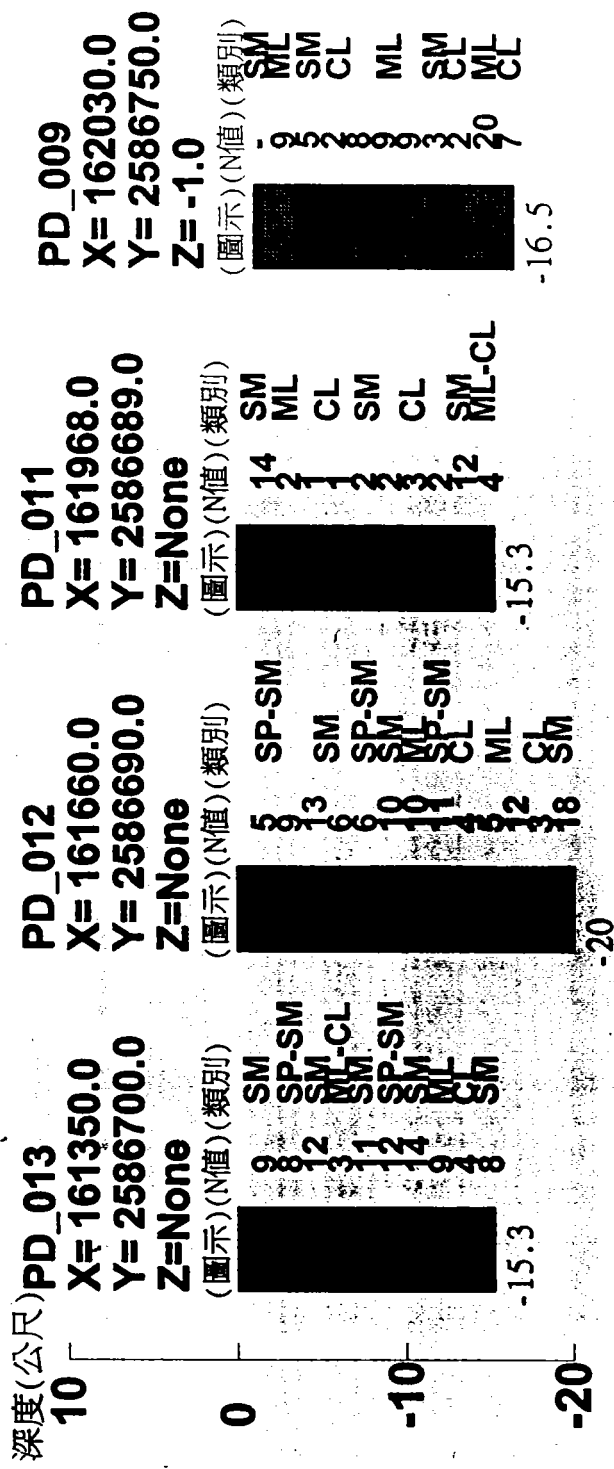


圖7.7 按X軸方向排序展繪之鑽孔柱狀圖.

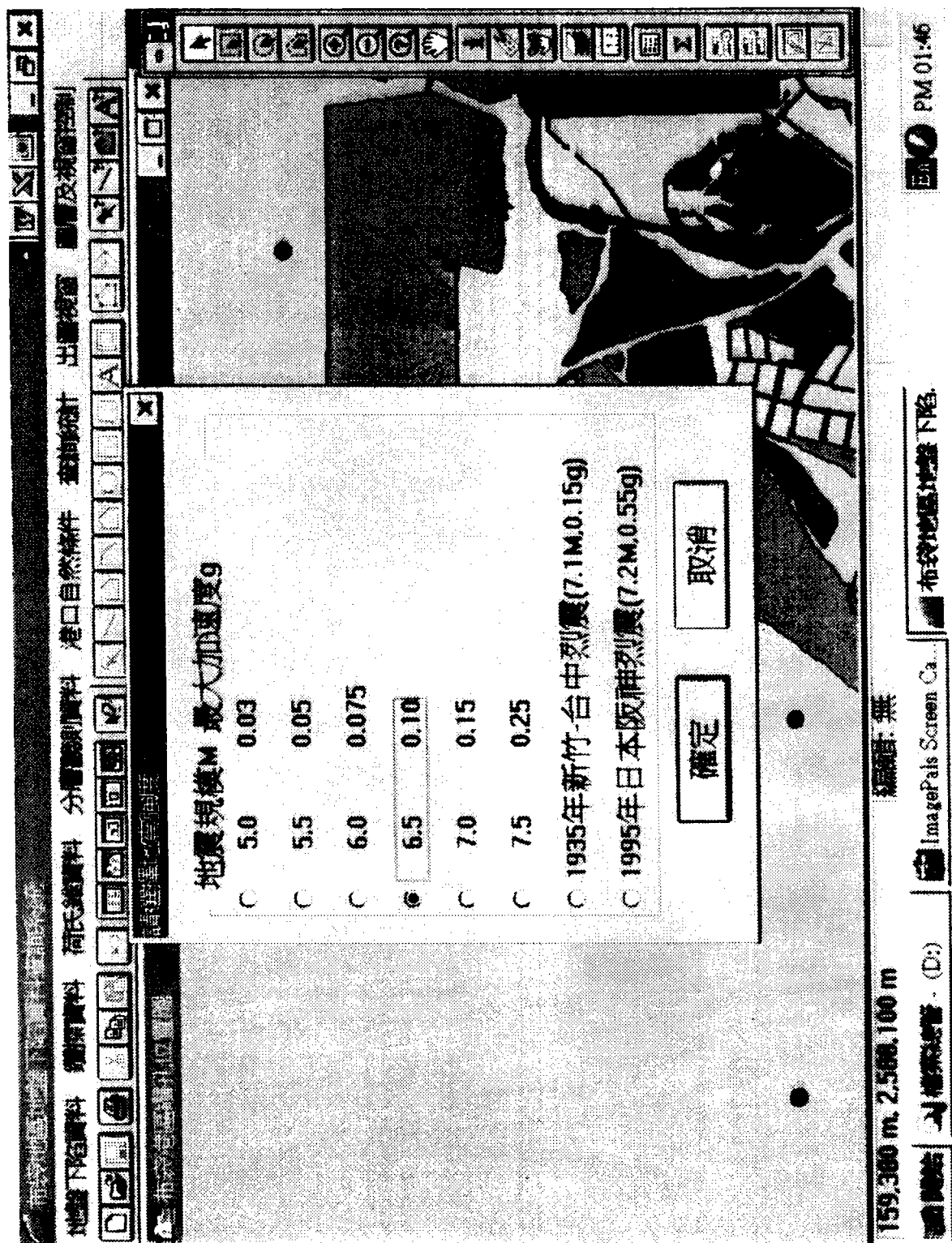


圖7.8 地震強度選取對話框.

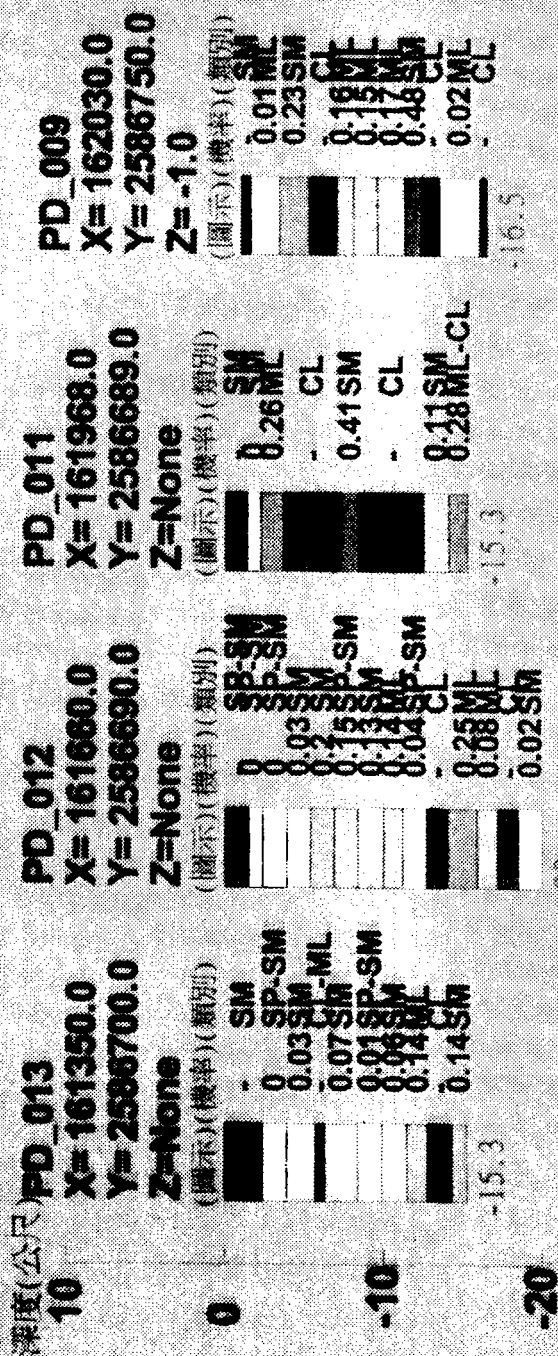


圖7.9 鑽孔液化機率分析成果.

分析結果，使用者可由「鑽探資料」選單下的第六，第八選項查知此分析結果，如圖7.10為規模7.0，加速度0.12g之烈震下淺基礎土層液化危險度等值線分佈情況，由該圖得知，布袋港回填新生地的東北角抗液化能力比較弱。若要結束此項查詢，可由第七或第八選項來關閉淺基礎或深基礎土層液化危險度分佈圖檔。

(6)若要結束鑽探資料之查詢，可選第二選項「關閉鑽孔位置圖」來退出此項查詢作業。

(四)港口自然條件查詢

本研究也收錄了布袋港波浪潮汐等資料，包括港口自然限制條件、潮汐統計資料、颱風波高推估資料、漂砂界限水深推估資料等。相關資料可由第五主選單「港口自然條件」下拉查詢，如表7.2所示為布袋港自然條件概況資料。

(五)分層觀測資料查詢

本研究在布袋港區架設了一口深度200m的分層觀測井，在井內各個深度裝置沉陷觀測環，並在井旁埋設不同深度的水壓量測計，工作人員定期前往該處量測下陷環之位移變化並收錄水壓資料，相關資料之查詢方式如下：

(1)本系統第四主選單「分層觀測資料」內，設計了四個選項，第一選項為「觀測井位置顯示」，點選此選項，觀測井之塔式標誌隨即顯示在地圖上，由圖7.11得知，該觀測井位置座落在新生地北岸偏西的地方。而點選第二選項可將觀測井位置圖層關閉掉。

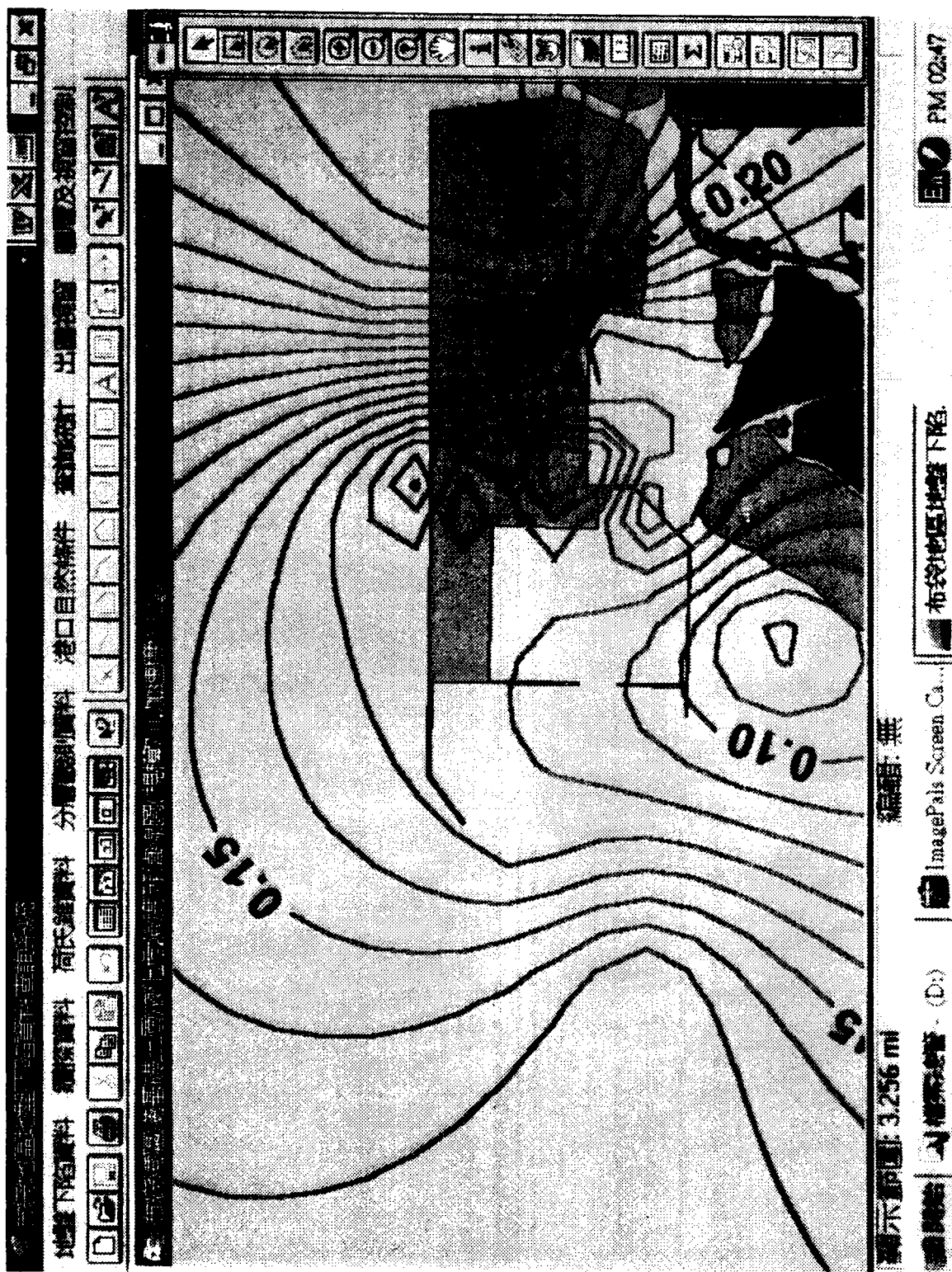


圖7.10 布袋港區淺基礎土層液化危險度分佈圖(地震規模7.0，加速度0.12g)

布袋港	自然條件
(一)季風波浪	冬季波高0.5-1.5m占74.6% 冬季週期4-7sec占88.5% 二月份最大之示性波高3.81m 二月份最大之示性週期7.99sec 夏季波高<0.5m 占70.2% 夏季週期3-7sec占76.5% 迴歸期50年,南方向颱風波浪高達6.2m 西南方向為5.4m
(二)颱風波浪	
(三)海流	受黑潮(向北),大陸沿岸流(向南)及季風影響,而流向大致與季風相符。 1-4月:流向西南,流速0.3-1節 5-8月:流向東北,流速0.5-2節 9-10月:流向轉北。 11-12月:流向西南。
(四)潮汐	平均潮差1.32m,最大潮差為3月份2.29m
(五)海岸地形	地形十分平緩,附近外海有沙洲屏障
(六)漂沙	本海域漂砂優勢方向為北向南,因砂源補充不足,且地盤下陷嚴重,故附近沙洲及海灘處於侵蝕階段。
(七)海底地質	主要為細砂及沉泥
(八)地震	年平均有感地震15次,距嘉義斷層約50公里,該斷層所發生最大地震為M=7.1

表7.2 布袋港自然條件概況表。

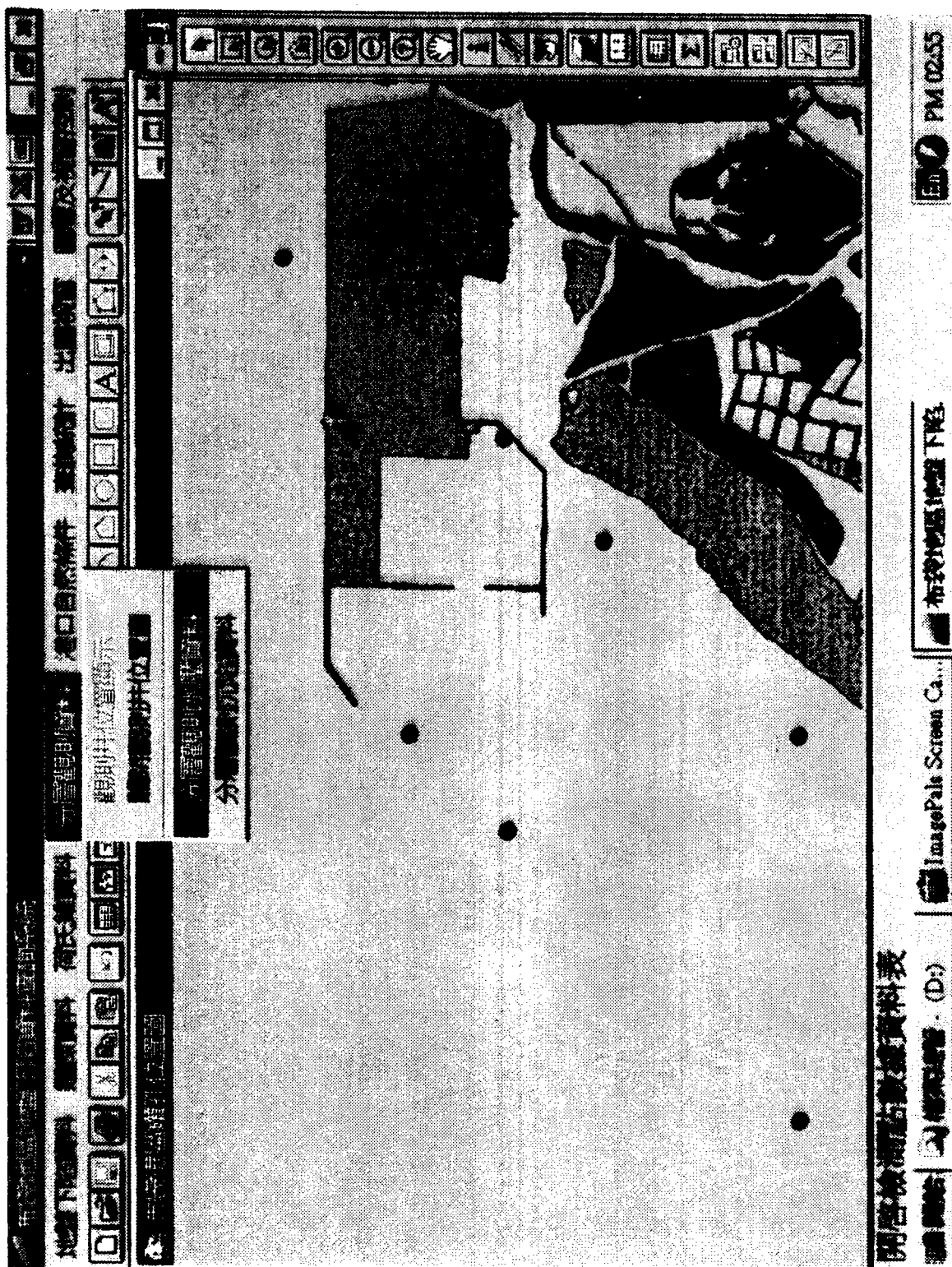


圖7.11 觀測井位置及選單下拉展示圖.

(2)分層觀測資料主要包含水壓資料及沉陷資料，可分別由第三及第四選項選取查得，由於該兩筆觀測資料由現地量測攜回後，在室內都利用微軟公司的Excel軟體進行分析及製圖，故在查詢系統的設計上，也利用程式語言直接叫用Excel，而在Excel上直接展示這兩筆觀測資料的成果，圖7.12為分層水位變化展示圖，圖7.13為地層分層下陷觀測成果圖。若欲結束分層觀測資料之查詢，可直接關閉Excel，螢幕則會跳回查詢系統之原先畫面。

(六)結束查詢

若欲結束該項查詢作業，可下拉最後一主選單「圖層及視窗控制」，點選其最底下的選項「離開系統」，則可結束此查詢系統之執行而跳回MapInfo之原始選單架構中。

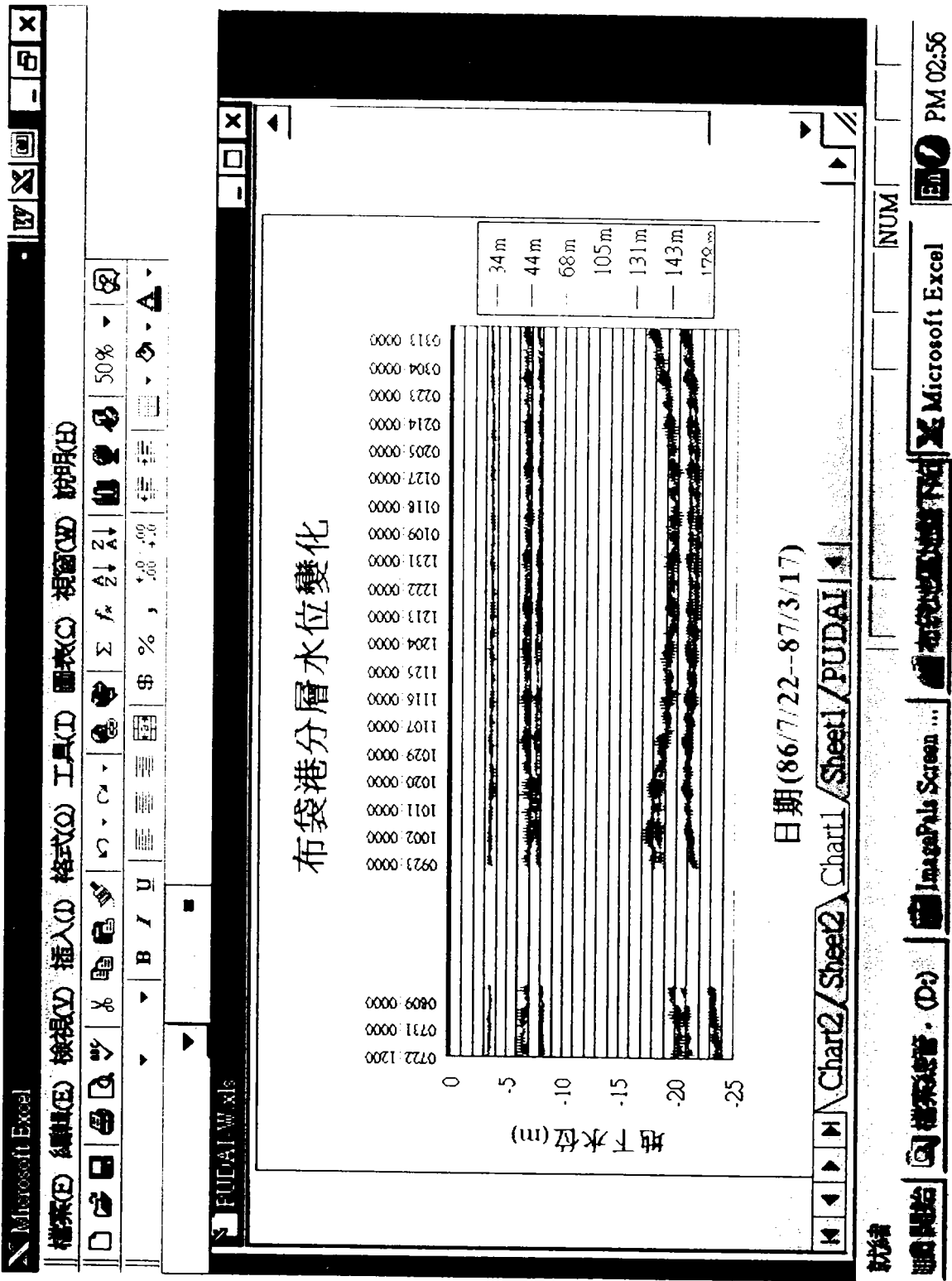


圖7.12 布袋港分層水位變化展示圖。

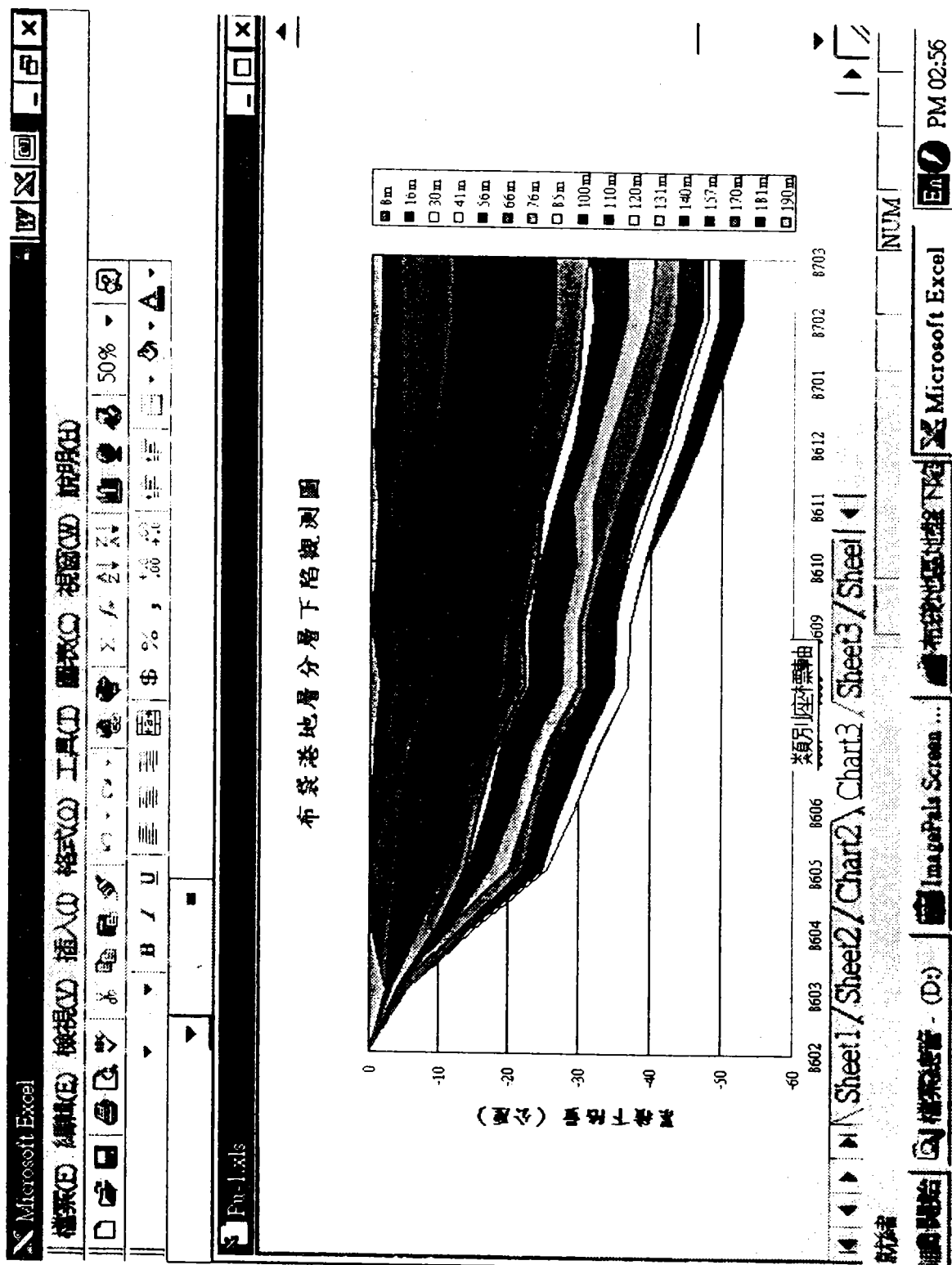


圖7.13 布袋港地層分層下陷觀測成果圖。

八、結論與建議

1. 由布袋港之地下水位監測結果顯示：淺層地下水位變化不大，淺一層(34m)約在-3.3m~3.7m間反復振盪，淺二層(6.8m)約在-6m~-8m間振盪而深層之105m、131m及143m、178m處之地下水位已分別降至-24.7m及-25m，由此可知，布袋港區內並無超抽地下水之現象，而布袋港附近地區有超抽深層之地下水，致使港區之深層水位受影響而下降。
2. 由布袋港之地層下陷監測結果顯示：布袋港一年之沉陷量約為5公分，其中百分之五十以上之沉陷在深度140~200公尺處發生，因此在本計劃監測深度200m之外，即較200m以上更深之處亦可能有沉陷發生，亦即布袋港每年區域性之沉陷可能大於5公分，而且大多是深層沉陷。
3. 本計劃亦對布袋港第二期海埔地約60公頃之抽砂填土區可能引致區域性之差異沉陷進行分析，由分析結果顯示：抽砂填土3.666m高可能引致之最大沉陷量約為70.41公分。
4. 下陷及港區地質水文等相關資料之獲取，常需耗費大量的人力經費及時間，取得極為不易，這些珍貴的資料，值得有系統的加以收集整理，一來避免資料散失，二來可作港區規畫及工程維護之參考依據。
5. 資料除了作有系統的收集整理及建檔貯存之外，更需善加利用暨有資料，如加增分析功能以及提供主事者方便調閱查詢，以達決策支援之功效，故本研究利用MapInfo地理資訊系統及MapBasic程式語言撰寫查詢分析系統，以提升

資料的使用價值。

6. 港區資料包函廣泛，目前本計畫僅建置下陷、地質以及概述性的海氣象資料，更細部的風潮波流等特性分析資料，或土地利用、人文景觀、社經條件資料之建置分析，尚待後續計畫之繼續努力。

參考文獻

1. 水利局(1996)「嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告」。
2. 嘉義縣政府(1995)「布袋海埔新生地第二期地質鑽探工程」。
3. 嘉義縣政府(1993)「嘉義縣布袋港擴建客貨碼頭整體規劃報告」。
4. 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。
5. 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)。
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. 李咸亨、謝浩明(1988)“大地工程地質資料庫系統及台北市區建檔研究”，內政部營建署。
12. 邱景升、周宜強(1995)“地理資訊系統入門與應用-MapInfo”，松崗圖書公司。
13. 謝明志、李延恭(1996)“台灣各港區土層分佈資料微電腦建檔及土壤動態性質分析研究”，港灣技術研究所85-研(五)研究報告。
14. 李延恭、謝明志、蘇吉立、陳圭璋(1997)“高雄港老舊碼頭安全調查及評估研究期中報告”，港灣技術研究所研究報告86-研(九)。
15. 謝明志、單誠基、賴聖耀、李延恭(1997)「地理資訊系統在港灣工程資料查詢展示之應用」，第十九屆海洋工程研討會。
16. Shan, C.C., Hsieh, M.J., Chu, C.Y. (1998) 'GIS Approach on Kaohsiung Port Facilities Management', 1998 International Conference on Shipping Development & Port Management, March, Kaohsiung, Taiwan.
17. Becker, D.E. (1981), Settlements under intermittent loading on a clay subsoil, Ph.D. thesis University of Western Ontario, Canada.
18. Biot, M.A. (1941), "General theory of three-

dimensional consolidation", J. of applied physics 12(2).

19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Terzaghi, K. (1943), Theoretical soil mechanics, John Wiley & Sons, New York.
23. 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.
24. 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 布袋港區劈管土壤之物理特性

試體 編號	深度 (m)	濕單位重 (γ)	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	1.05~1.50	1.605	10.0	2.69	-	-	-	92	7	1	SP-SM
S-2	2.55~3.00	1.705	12.5	2.69	-	-	-	91	7	2	"
S-3	4.05~4.50	1.915	24.5	2.68	-	-	-	84	14	2	SM
S-4	5.55~6.00	1.910	24.5	2.68	-	-	-	76	21	3	"
S-5	7.05~7.50	1.875	22.6	2.69	-	-	-	77	20	3	"
S-6	8.55~9.00	1.885	22.4	2.68	-	-	-	85	13	2	"
S-7	10.05~10.50	1.890	24.1	2.7	19.0	16.6	2.4	37	55	8	ML
S-8	11.80~12.25	1.890	28.7	2.71	19.0	16.1	2.9	42	50	8	"
S-9	13.05~13.50	1.905	26.7	2.71	-	-	-	57	40	3	SM
S-10	14.55~15.00	1.940	29.9	2.70	24.5	15.8	8.7	12	64	24	CL
S-11	16.05~16.50	1.865	27.9	2.69	23.5	15.0	8.5	9	74	17	"
S-12	17.55~18.00	1.875	26.1	2.70	21.5	14.9	6.6	28	56	16	CL-ML
S-13	19.05~19.50	1.885	30.8	2.69	25.2	14.7	10.5	13	70	17	CL
S-14	20.55~21.00	1.860	31.1	2.70	21.0	16.3	4.7	26	64	10	CL-ML
S-15	22.05~22.50	1.930	27.7	2.69	19.0	16.7	2.3	39	54	7	ML
S-16	23.55~24.00	1.955	26.1	2.72	21.2	13.8	7.4	23	58	19	CL
S-17	25.05~25.50	1.905	26.1	2.71	21.2	16.9	4.3	23	62	15	CL-ML
S-18	26.55~27.00	1.920	30.3	2.69	29.0	16.8	12.2	0	60	40	CL
S-19	28.05~28.50	1.915	29.6	2.70	28.0	16.4	11.6	0	67	33	"
S-20	29.55~30.00	1.910	30.4	2.70	24.0	16.0	8.0	13	68	19	"
S-21	30.80~31.25	1.900	30.4	2.68	23.6	15.2	8.4	25	58	17	"
S-22	32.55~32.00	1.900	27.0	2.68	20.2	-	-	32	60	8	ML
S-23	33.05~33.50	1.850	26.2	2.70	-	-	-	53	38	9	SM
S-24	35.55~36.00	1.975	17.3	2.71	22.5	15.0	7.5	22	65	13	CL
S-25	37.05~37.50	1.885	24.8	2.72	25.0	15.2	9.8	4	79	17	"

布袋港區土壤之物理特性

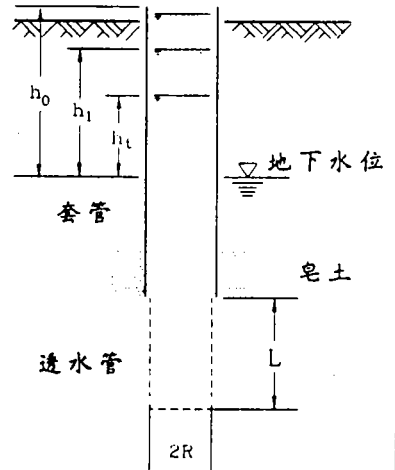
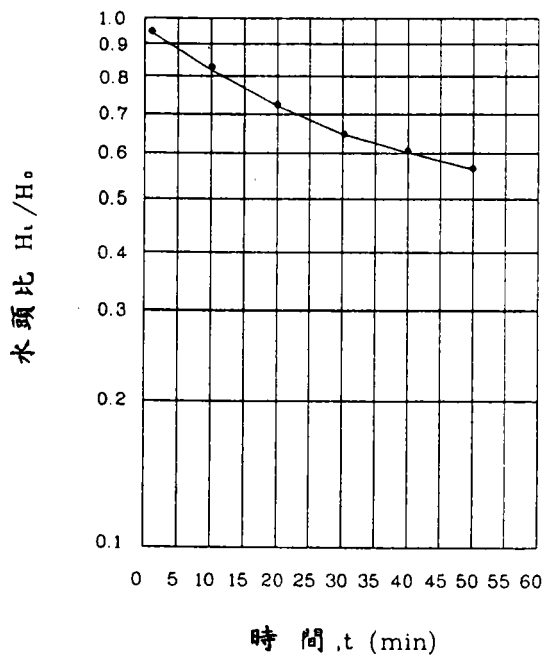
[illegible]

布袋港區土壤之物理特性

試體 編號	深 度 (m)	濕單位重 (γ_t)	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-26	38.55~39.00	1.875	30.4	2.72	26.7	15.6	11.1	0	68	32	CL
S-27	40.05~40.50	1.835	32.3	2.71	29.5	17.6	11.9	0	67	33	"
S-28	41.55~42.00	1.935	24.6	2.71	-	-	-	63	32	5	SM
S-29	43.05~43.50	1.935	25.9	2.70	22.1	15.9	6.2	35	49	16	CL-ML
S-30	44.55~45.00	1.985	27.0	2.69	-	-	-	60	37	3	SM
S-31	47.55~48.00	1.940	28.1	2.69	-	-	-	55	38	7	"
S-32	49.05~49.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-33	49.50~49.95	1.880	27.7	2.72	28.2	16.9	11.3	2	71	27	CL
S-34	52.55~53.00	1.885	28.0	2.71	26.6	21.7	4.9	1	74	25	CL-ML
S-35	55.55~56.00	1.880	30.9	2.71	34.0	22.1	11.9	6	45	49	CL
S-36	57.80~58.25	1.955	25.7	2.71	22.2	21.8	0.4	20	71	9	ML
S-37	61.55~62.00	1.865	25.3	2.70	27.3	20.0	7.3	11	59	30	CL
S-38	64.55~65.00	1.965	23.0	2.68	19.5	-	-	27	63	10	ML
S-39	67.55~68.00	1.875	24.6	2.67	21.3	-	-	30	66	4	"
S-40	70.55~71.00	1.935	28.7	2.69	36.6	18.3	18.3	0	74	26	CL
S-41	73.55~74.00	2.015	26.5	2.70	31.0	17.8	13.2	0	80	20	"
S-42	76.55~77.00	1.835	24.0	2.69	-	-	-	57	40	3	SM
S-43	79.55~80.00	1.955	29.1	2.70	33.0	17.9	15.1	0	80	20	CL
S-44	82.55~83.00	1.875	32.0	2.69	33.0	19.6	13.4	0	88	12	"
S-45	85.55~86.00	1.815	28.5	2.69	25.7	21.6	4.1	4	90	6	CL-ML
S-46	88.55~89.00	1.810	27.5	2.71	25.0	20.7	4.3	4	91	5	"
S-47	91.55~92.00	1.915	24.5	2.68	35.0	15.5	19.5	0	84	16	CL
S-48	94.55~95.00	2.120	22.0	2.67	33.5	19.0	14.5	0	87	13	"
S-49	97.55~97.94	1.955	22.0	2.69	22.0	16.2	5.8	5	85	10	CL-ML
S-50	100.55~100.84	2.030	22.0	2.68	21.2	-	-	17	76	7	ML

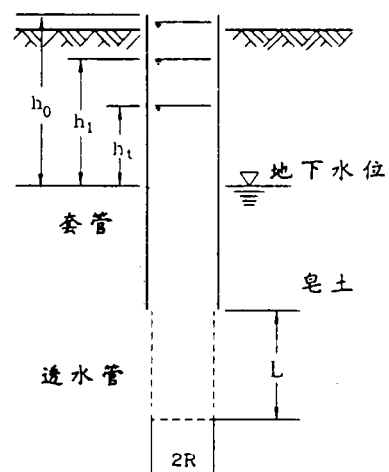
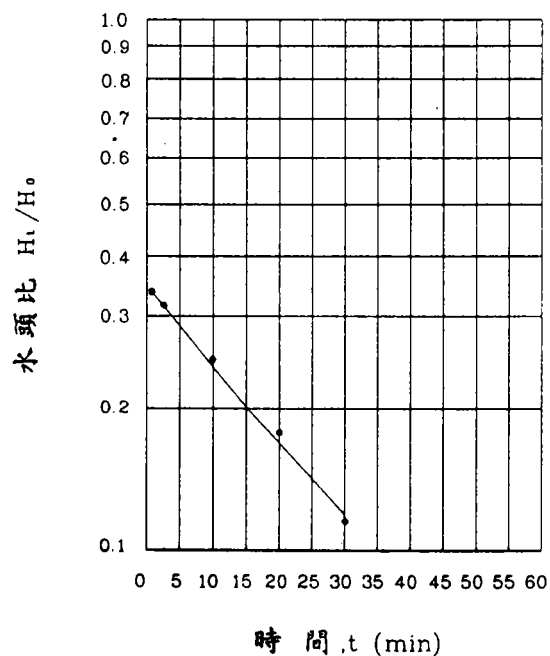
附錄 B

工程名稱	布袋港現場透水試驗			計劃編號	
試驗孔號	B-1	試驗日期	85.12.05	時 間	
試驗編號	K-1	工程地點			
試驗深度(m)	45.0-46.0	地下水位(m)	2.70m		
透水長度(L)	1.00m	透水半徑(R)	3.00cm		
土壤描述	SM				



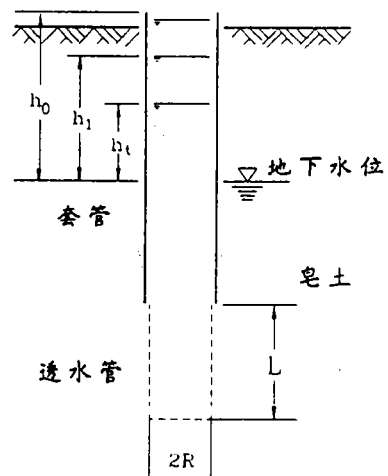
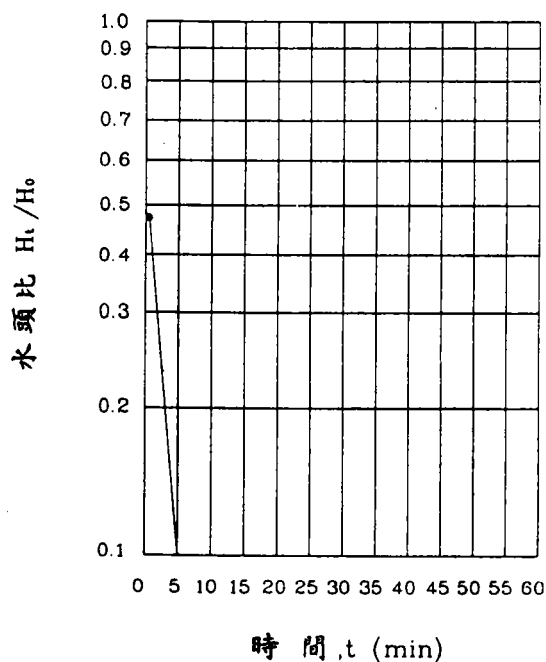
滲透係數 = 3.66×10^{-5} (cm/sec)

工程名稱	布袋港現場透水試驗			計劃編號	
試驗孔號	B-1	試驗日期	85.12.09	時 間	
試驗編號	K-2	工程地點			
試驗深度(m)	95.00-96.00	地下水位(m)	12.0m		
透水長度(L)	1.00m	透水半徑(R)	3.0cm		
土壤描述	SM				



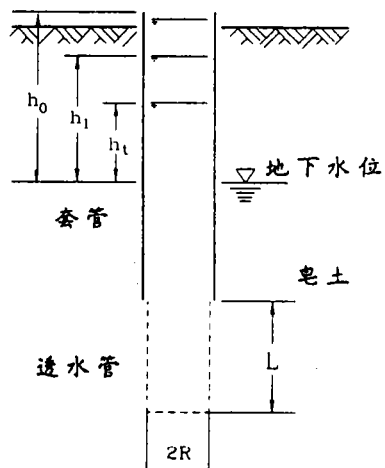
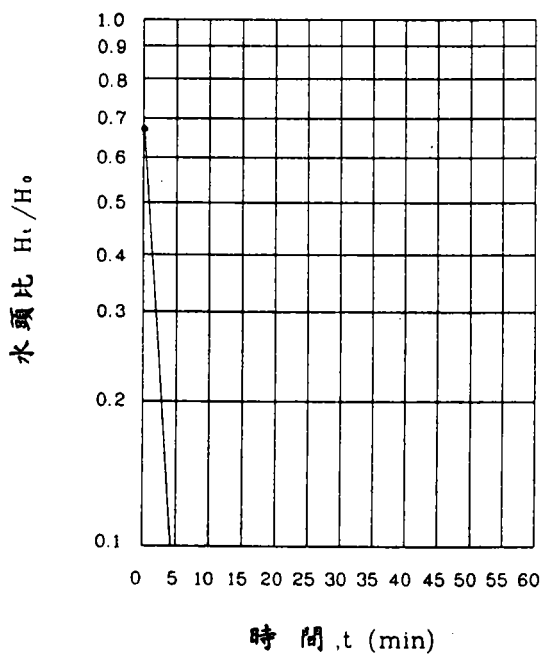
滲透係數 = 2.04×10^{-4} (cm/sec)

工程名稱	布袋港現場透水試驗			計劃編號	
試驗孔號	B-2	試驗日期	86.01.31	時 間	
試驗編號	B-2-3	工程地點			
試驗深度(m)	148M	地下水位(m)	24.81M		
透水長度(L)	50cm	透水半徑(R)	2.00cm		
土壤描述	SM				



滲透係數 = 1.26×10^{-4} (cm/sec)

工程名稱	布袋港現場透水試驗			計劃編號	
試驗孔號	B-2	試驗日期	86.01.31	時 間	
試驗編號	B-2-4	工程地點			
試驗深度(m)	178M	地下水位(m)	25.26M		
透水長度(L)	50cm	透水半徑(R)	2.00cm		
土壤描述	SM				



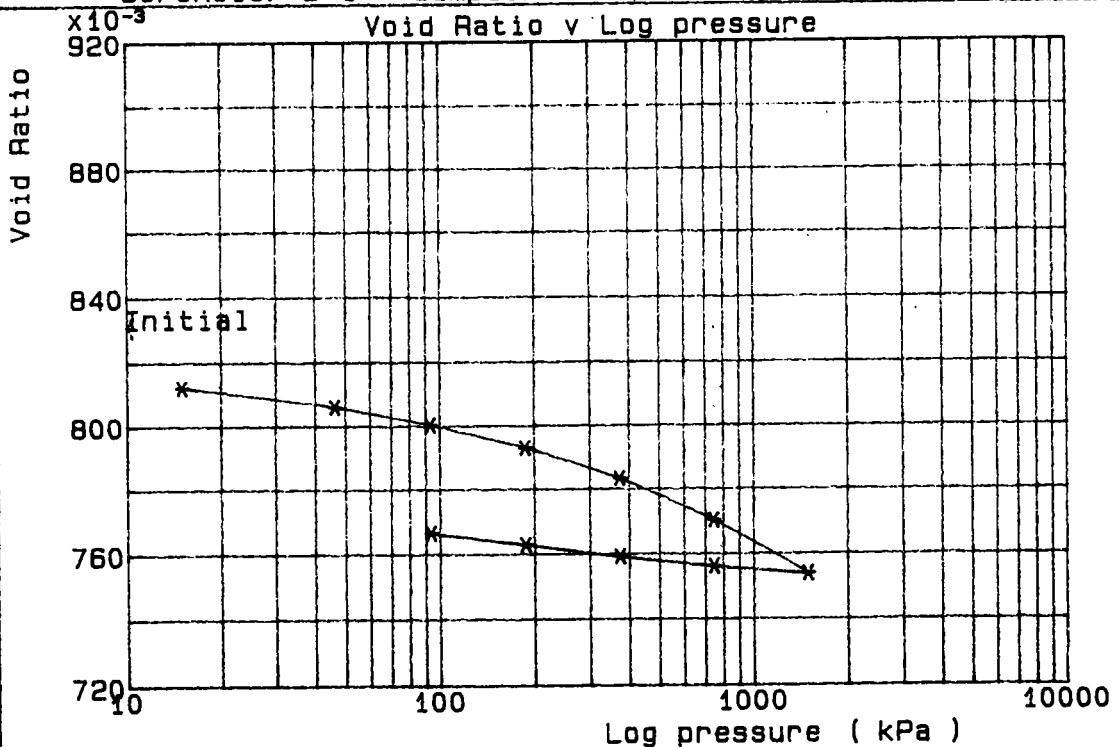
滲透係數 $= 1.5 \times 10^{-4}$ (cm/sec)

附錄C 布袋港區薄管原狀土壤之物理特性

[illegible]

附錄 D

Jcb: PU-DAI HARBOR Oedometer Consolidation
 BoreHole: B-1 Sample: T-1-1/A Depth: 11-11.02M



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			2	0.096	
Initial height 20.00 mm			15	0.056	9.51
Area 3166.9sq.mm			46	0.038	0.91
			93	0.023	0.75
Particle density (measured)			186	0.015	0.56
2.72			372	0.011	0.80
	Initial Values	Final Values	743	0.007	2.62
			1487	0.001	
Moisture Content %	30.0	29.5	743	0.002	
			372	0.007	3.00
Bulk Density Mg/cum	1.97	1.99	186	0.015	22.08
			93		
Dry Density Mg/cum	1.51	1.54			
Void Ratio e	0.831	0.766			
Saturation%	98.2	104.8			

I.H.M.T.

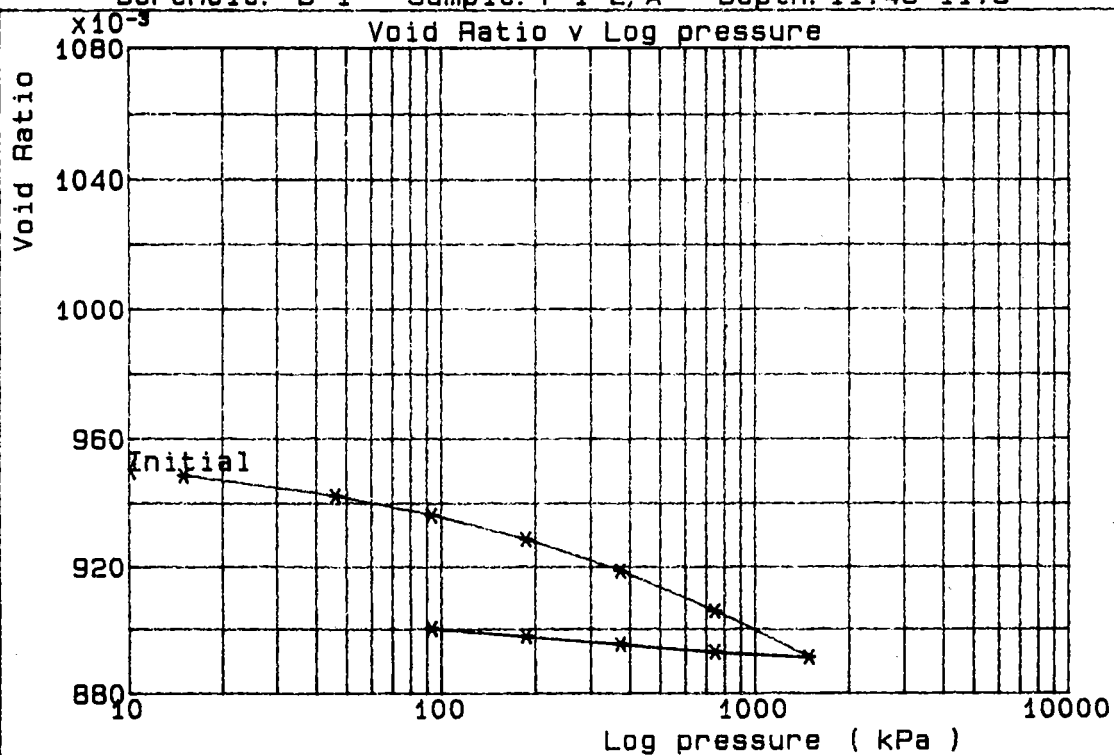
Job: PU-DAI HARBOR

Oedometer Consolidation

BoreHole: B-1

Sample: T-1-2/A

Depth: 11.48-11.5



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			2	0.018	0.02
Initial height 20.00 mm			15	0.038	1.81
Area 3166.9sq.mm			46	0.031	0.30
			93	0.019	1.85
Particle density (measured)			186	0.012	0.81
2.78			372	0.008	0.52
			743	0.005	0.83
			1487	0.000	
Moisture Content %	Initial Values	Final Values	743	0.001	2.85
			372	0.002	0.99
Bulk Density Mg/cum	1.90	1.88	186	0.006	0.31
			93	0.006	0.31
Dry Density Mg/cum	1.43	1.46	93		
Void Ratio e	0.950	0.900			
Saturation%	85.4	87.1			

I.H.M.T.

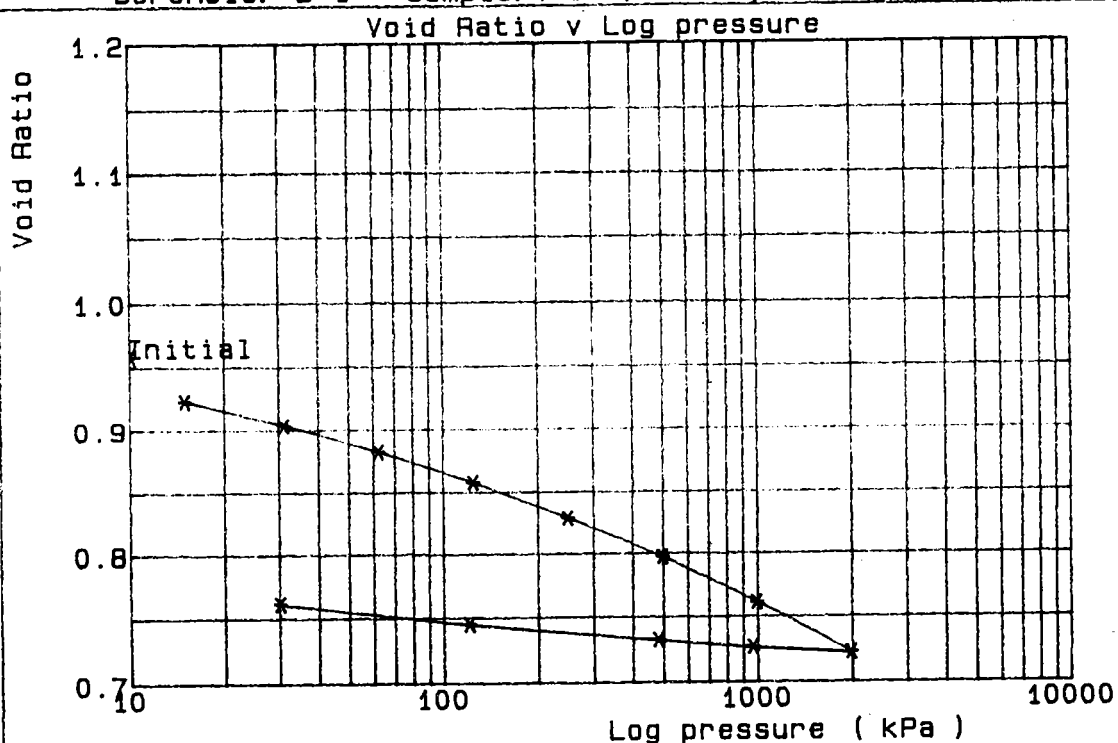
Job: PU-DAI PORT

BoreHole: B-1

Sample: T-2-1/A

Oedometer Consolidation

Depth: 33.05-.07M



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			2	1.388	10.88
Initial height 20.00 mm			15	0.552	11.37
Area 3166.9sq.mm			31	0.295	11.28
			62	0.174	24.33
Particle density (measured)			124	0.095	1.54
2.70			248	0.050	2.44
	Initial Values	Final Values	498	0.028	3.08
			991	0.018	5.73
Moisture Content %	35.1	23.5	1982	0.001	
			960	0.003	0.08
Bulk Density Mg/cum	1.80	1.89	480	0.011	30.60
			120	0.086	12.51
Dry Density Mg/cum	1.33	1.53	30		
Void Ratio e	0.958	0.762			
Saturation %	98.8	83.2			

I.H.M.T.

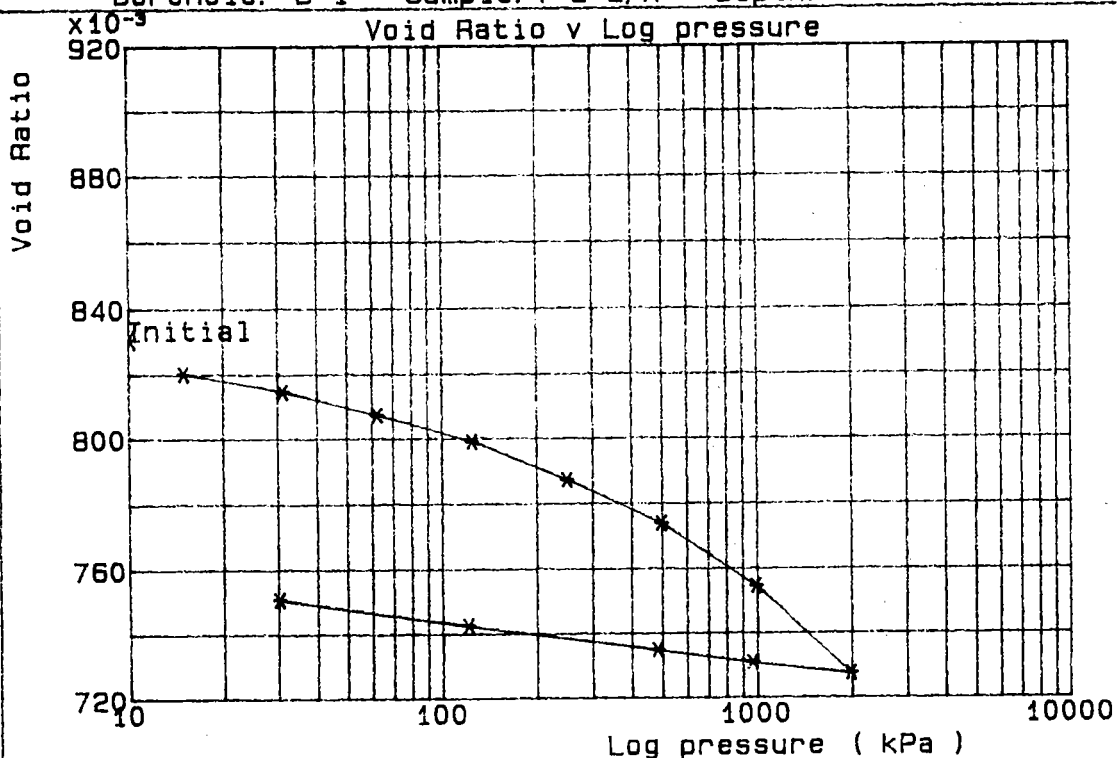
Job: PU-DAI PORT

Oedometer Consolidation

BoreHole: B-1

Sample: T-2-2/A

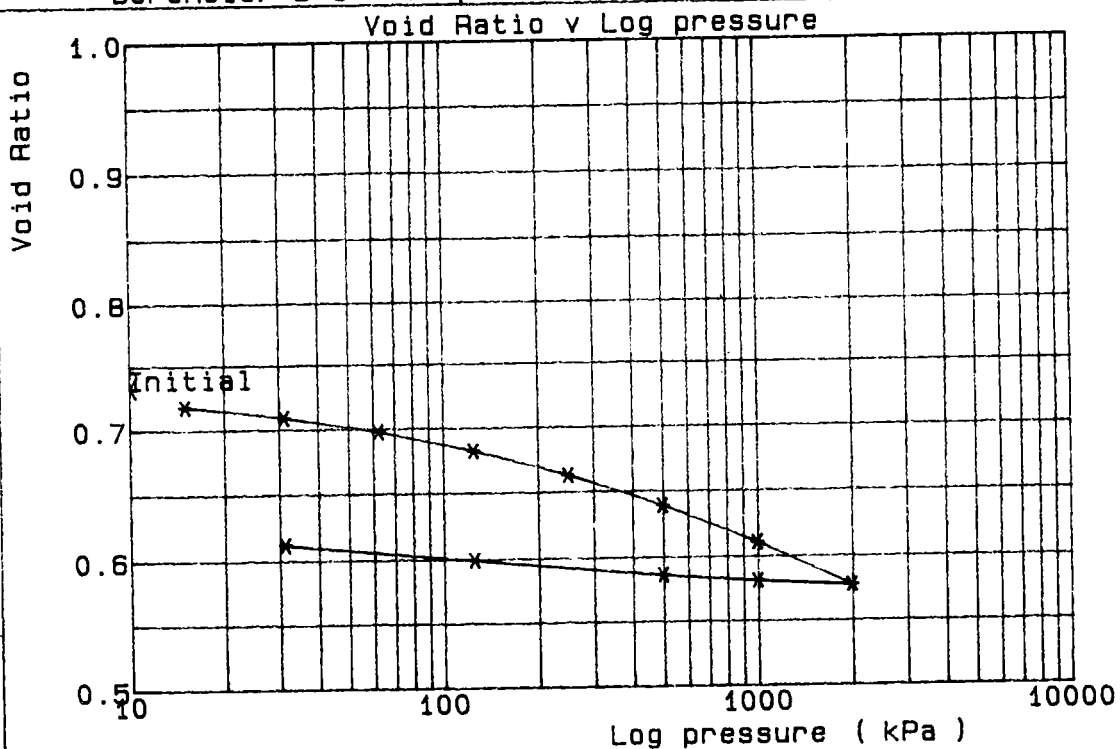
Depth: 33.55-.57M



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			2	0.130	0.80
Initial height 20.00 mm			15	0.115	0.48
Area 3188.9sq.mm			31	0.081	0.24
			82	0.032	0.22
Particle density (measured)			124	0.024	0.08
2.70			248	0.014	0.51
	Initial Values	Final Values	496	0.015	1.55
			991	0.010	1.53
			1982	0.002	
			980	0.001	0.07
Moisture Content %	27.9	27.4	480	0.008	
Bulk Density Mg/cum	2.01	1.98	120	0.018	2.14
Dry Density Mg/cum	1.57	1.54	30		
Void Ratio e	0.831	0.751			
Saturation%	90.8	98.5			

I.H.M.T.

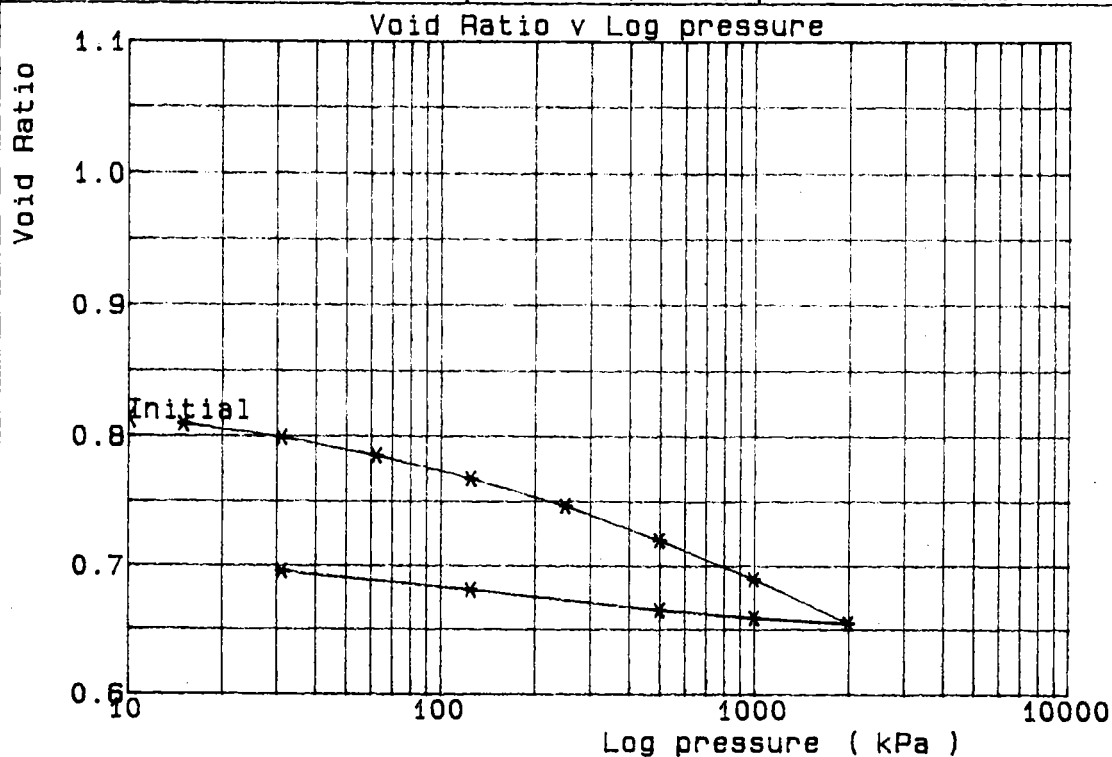
Job: PU-DAI Oedometer Consolidation
 BoreHole: B-1 Sample: T-3-1/A Depth: 57.03-57.0



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			2	0.437	10.11
Initial height 20.00 mm			15	0.228	4.52
Area 3166.9sq.mm			31	0.148	12.47
			62	0.101	10.09
Particle density (measured)			124	0.059	2.84
2.71			248	0.048	14.81
	Initial Values	Final Values	496	0.025	23.37
			991	0.014	30.98
			1982	0.000	2.87
			991	0.003	
Moisture Content %	12.6	23.2	496	0.014	13.30
			124	0.087	6.10
Bulk Density Mg/cum	1.97	2.07	31		
Dry Density Mg/cum	1.75	1.88			
Void Ratio e	0.732	0.812			
Saturation%	46.8	102.8			

I.H.M.T.

Job: PU-DAI Oedometer Consolidation
 BoreHole: B-1 Sample: T-3-2/A Depth: 57.55-57.5



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions Initial height 20.00 mm Area 3186.9sq.mm			2	0.182	13.24
			15	0.181	13.24
			15	0.325	5.48
			31	0.190	15.19
Particle density (measured) 2.71			62	0.118	17.91
			124	0.072	18.03
			248	0.053	15.85
	Initial Values	Final Values	496	0.027	24.75
			991	0.015	29.32
Moisture Content %	13.2	24.6	1982	0.001	23.13
Bulk Density Mg/cum	1.95	1.99	991	0.003	23.70
Dry Density Mg/cum	1.73	1.60	496	0.018	15.68
			124	0.075	5.15
Void Ratio e	0.813	0.695	31		
Saturation%	44.1	95.9			

I.H.M.T.

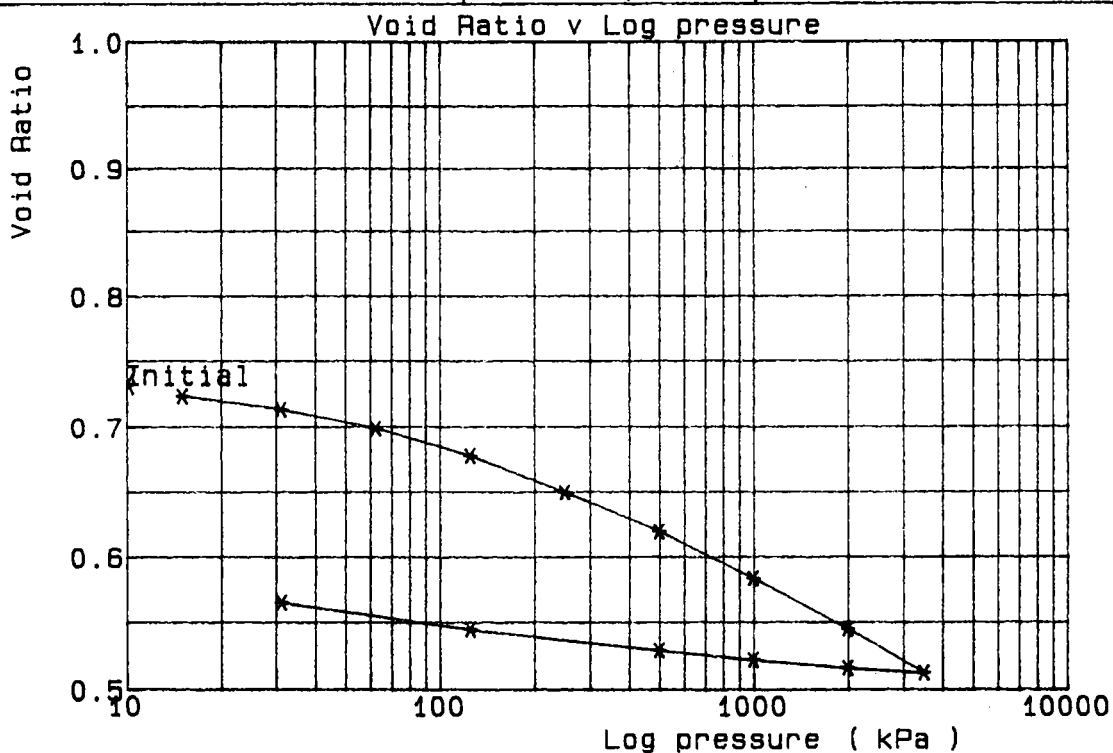
Job: pu-dai port

Oedometer Consolidation

BoreHole: b-1

Sample: t-4-1/A

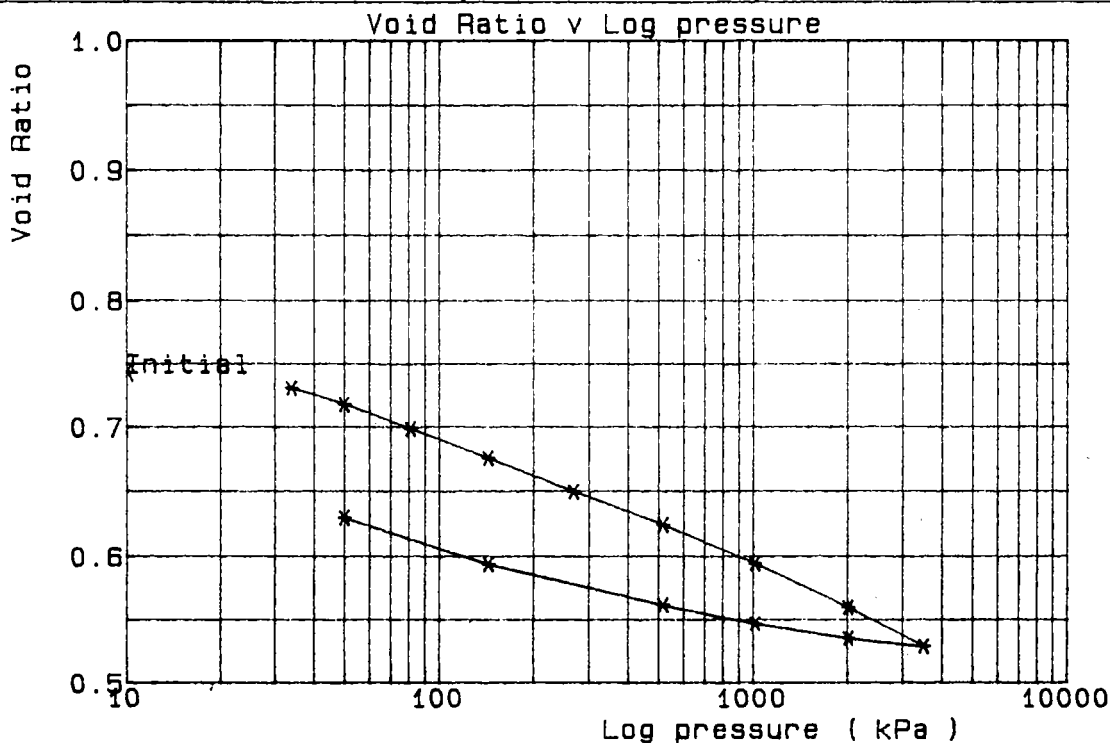
Depth: 112.02-.04



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			2		
Initial height 20.00 mm			15	0.248	3.47
Area 3166.9sq.mm			31	0.265	4.18
			62	0.282	23.78
Particle density (assumed)			124	0.197	19.39
2.67			248	0.086	4.63
	Initial Values	Final Values	496	0.063	16.26
			991	0.032	16.27
Moisture Content %	31.3	22.1	1982	0.022	17.17
			3964	0.013	14.50
Bulk Density Mg/cum	1.93	2.08		0.002	
			1982	0.003	
Dry Density Mg/cum	1.47	1.71	991	0.007	12.72
			496	0.026	8.12
Void Ratio e	0.733	0.565	124	0.127	1.18
			31		
Saturation%	113.9	104.3			

I.H.M.T.

Job: pu-dai port Oedometer Consolidation
 BoreHole: b-1 Sample: t-4-2/A Depth: 112.26-.28



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			2		
Initial height 20.00 mm			34	0.182	1.50
Area 3186.9sq.mm			50	0.193	1.03
			81	0.186	1.00
Particle density (measured)			143	0.139	1.55
2.66			267	0.094	3.07
	Initial Values	Final Values	515	0.047	3.90
			1010	0.031	4.72
			2001	0.019	4.62
			3488	0.013	3.98
Moisture Content %	31.0	25.9	2001	0.003	11.32
Bulk Density Mg/cum	1.95	2.05	1010	0.007	5.82
Dry Density Mg/cum	1.49	1.63	515	0.017	1.75
Void Ratio e	0.743	0.630	143	0.054	1.23
			50	0.289	0.34
Saturation%	111.0	109.2			

I.H.M.T.

布袋港地層下陷監測與地質建檔研究

編輯者：謝明志 賴聖耀

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

中華民國八十七年六月出版，印製 100 本，非賣品