

布袋港地下水位及地層下陷監測研究

陳志芳¹ 賴聖耀²

摘要

布袋港位於嘉義縣布袋鎮內，介於朴子溪和八掌溪中間濱海地區，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、海埔新生地回填及地震等原因造成地層下陷。本研究於港區內設立一處 200 公尺深之地下水位及地層下陷監測站，經監測結果，淺層 34 公尺深之地下水位無多大變化，約在-3.3 ~ -3.7m 間上下振盪，而深層之 105、143 及 178 公尺處之地下水位已分別降至-26.8m、-25.3m 及-24.7m。由地層下陷監測結果顯示，布袋港近 5 年之累積沉陷量約 25 公分，其中百分之五十之沉陷在深度 140 ~ 200 公尺處發生，百分之二十五之沉陷在深度 66 ~ 110 公尺處發生，由水位及沉陷監測結果分析顯示，布袋港區附近因超抽深層之地下水，引致區域性之深層水位下降，導致布袋港區內每年約有 5 公分之沉陷。

Study on the Monitoring of Groundwater Level and Subsidence at Pudai Harbor Area

Jyh-Fang Chen¹ Seng-Yaw Lay²

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 unconsolidated. It is concerned that ground subsidence occurred due to local overdraw of ground water and reclamation of large areas. Thus, observation wells with depth of 200m to monitor subsidence and groundwater level were set up in this harbor area. It is found from the records in latest 5 years that the ground water level fluctuated slightly between -3.3m and -3.7m for the upper stratum to depth of 34m; whereas, that was drawn down to -26.8m, -25.3m and -24.7m for deeper stratum at depths 105m, 143m and 178m respectively. The sediment was about 5cm per year and the 50% quantities of total sediment occurred at depth 140 ~ 200m. It shows the sediment per year at the harbor area would be more than 5cm as the result of overdraw of the groundwater at deeper stratum near the harbor area.

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 3.2 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

1. 交通部運輸研究所港灣研究中心助理研究員

2. 交通部運輸研究所港灣研究中心研究員

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。

二、布袋港地質及相關資料分析

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(如圖1)。



圖1 布袋港之地理位置

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。

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，根據本中心搜集布袋港 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 所示，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 10~20m 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 處有一層約 3~5m 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.-27m EL.-30m：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。

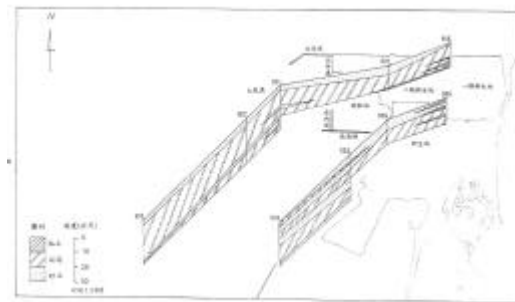


圖2 布袋港區之地層柵狀圖

2.3 布袋港附近地區之沉陷

根據水利署(1996)於嘉義沿海地區地盤下陷水準檢測報告，如圖3所示，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。

另根據經濟部水資局(2000)之地層下陷檢測報告，嘉義沿海地區之下陷中心位於網寮一帶，民國77~88年之最大累積下陷量約1.21公尺，且78~85年為該區下陷速率最嚴重時段；民國85年以後下陷速率趨緩，至民國88年底為止，年平均下陷速率約3.8公分，而最近(88~89)二年之累積下陷量以網寮國小測站之10.3公分最多。

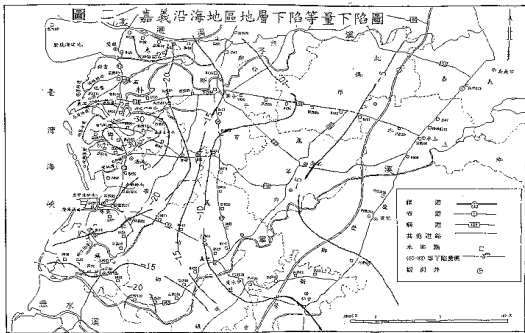


圖3 布袋港附近地區之地層下陷圖

三、地下水壓與地層下陷監測系統之規畫

本監測站選擇位於布袋港區第二期海埔地之西北角隅之適當位置，如圖4所示，共計三孔監測井，1孔電磁場式分層沉陷觀測井，2孔電子式水壓計觀測井。分層沉陷觀測井深度200m，安裝磁感式磁環18組；水壓計鑽探孔200m，安裝電子式水壓計3組，開口式水壓計孔180m，安裝開放式水壓計4組，並於管口內放置電子式水壓計，並採用自動記錄方式其儀器架構流程如圖5所示，現就其內容概述如下：



圖4 布袋港地下水壓與地層下陷監測站位置圖

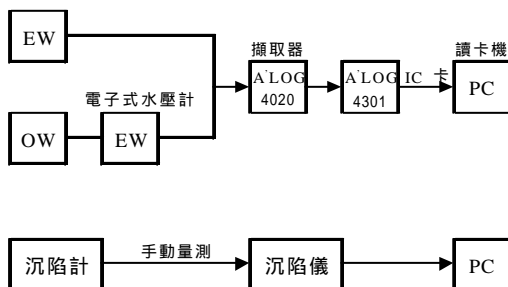


圖5 布袋港監測儀器架構流程圖

- (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，沉陷計感應環安裝示意圖如圖6。

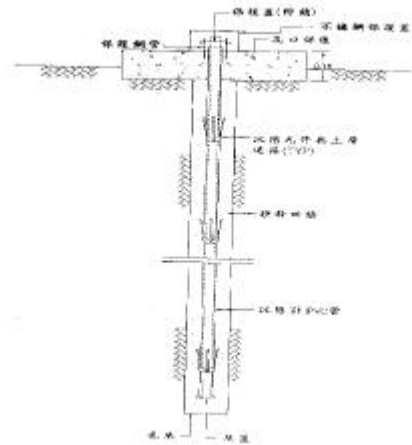


圖6 沉陷計感應環安裝示意圖

- (2) 電子式水壓計觀測井2孔：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，水壓計安裝示意圖如圖7所示。

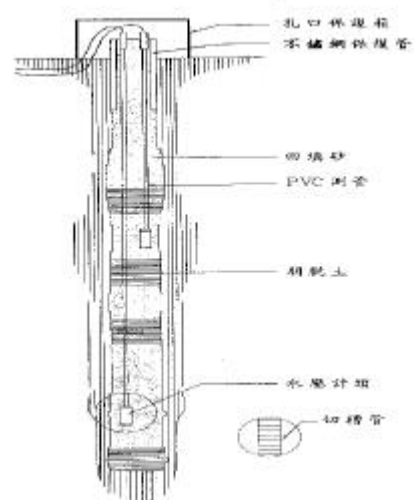


圖7 開放式水壓計安裝示意圖

本水壓監測井共有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44、68、131m，開放式水壓計安裝深度為34、105、143.5、178m，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。

四、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。

4.1 地層狀況分析

布袋港監測站在深度 200 公尺之土層描述，根據現場鑽探資料如圖 8 所示：

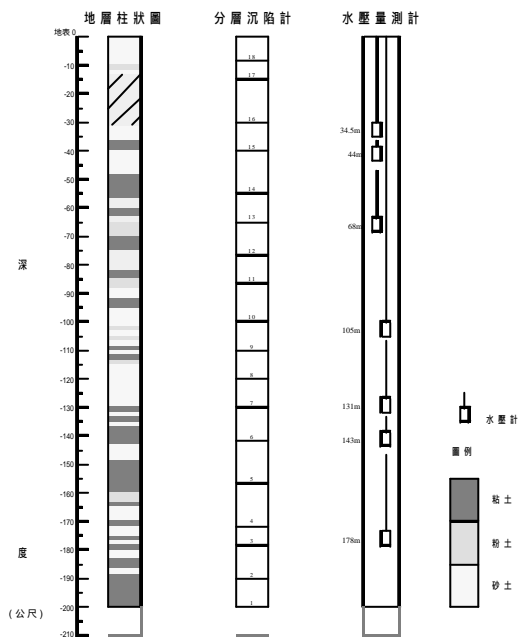


圖 8 布袋港監測站地質柱狀圖

4.2 雨量分析

布袋港位於嘉義沿海地區，其雨量分析乃依據中央氣象局記錄，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91年8月之年降雨量累積如圖 9 所示，86-90 年之降雨量大多集中在 6、7、8 月，其餘月份雨量較少，唯 87 年降雨量從 2 月份開始便增多，但 89 年之年降雨量僅有 1350 公釐，而 90 年 9 月份之降雨量則高達 1320 公釐。

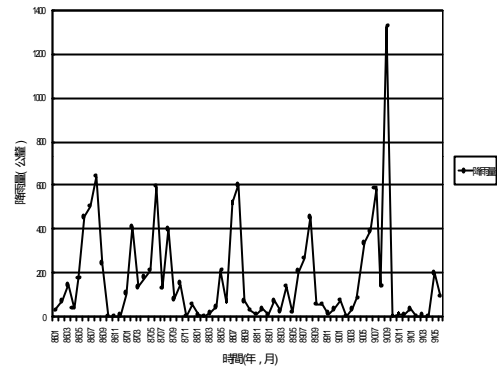


圖 9 嘉義地區年雨量累積圖

4.3 分層地下水位分析

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，如圖 10 所示。

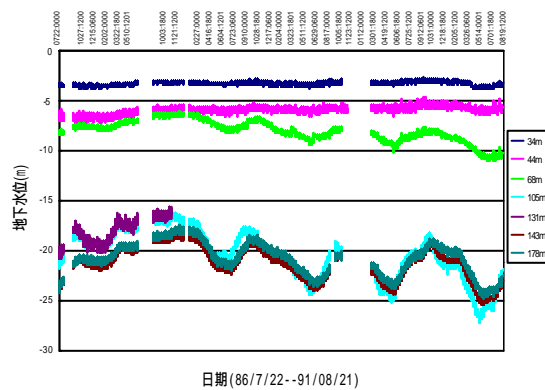


圖 10 布袋港分層水位變化(自動量測)

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 11 所示。

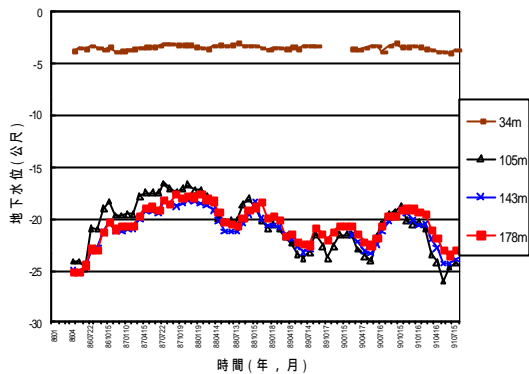


圖 11 布袋港分層水位變化(手動量測)

由圖 10 及圖 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 5 8 月及 90 年 9 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，其餘時期水位皆在 -6 -7m 之間反復震盪，而至 87 年 5 8 月雨量較多，水位稍為上升，至 90 年 9 月上升到 -5m。68m 之水位介於 -6.4 -10.9m 之間，其中因 87 年降雨量豐富，故該年之 11 12 月水位最高為 -6.4m，而 91 年 3 5 月時因降雨量太少，故 91 年 6 月之水位降到最低為 -10.9m，且有逐年下降趨勢。

由圖 10 及圖 11 顯示：105m 處之水位變化極大，最高水位 -16.6m，最低水位 -26.8m，在 86 年 6 8 月及 87 年降雨量較多時，水位最高，89 年及 90 年降雨量較少時，水位明顯降低。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，是屬於同一含水層，但自 87 年 4 月以後因水壓計損壞而缺少資料。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 -17.8m，最低水位為 -25m，其水位變化與 105m、131m 處相似。

綜合各地層之地下水位資料，如圖 10 所示，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 及 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，而且以 89 年 10 月 90 年 4 月及 90 年 10 月 91 年 5 月旱季時，水位相對較低，表示降雨量減少時，超抽地下水更為嚴重。

4.4 分層地層下陷分析

為了探討布袋港不同深度之壓縮行為，本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。

圖 12 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。

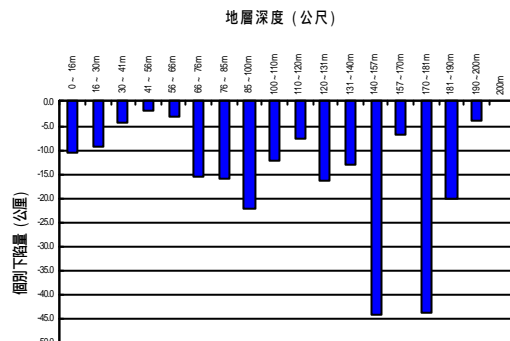


圖 12 布袋港不同深度地層之壓縮量

圖 13 為不同時期不同深度之感應磁環相對於深度 200 公尺感應磁環之累積曲線比較圖，由圖 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。

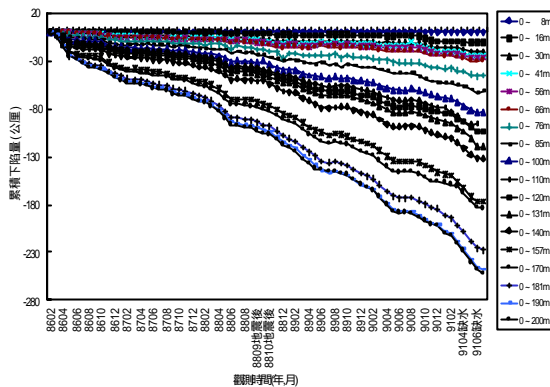


圖 13 布袋港地層分層下陷觀測圖

4.5 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，因此淺層土層則無抽水引致壓密沉陷之影響，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，整體而言沉陷量不大，此可由圖 12 及圖 13 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。

表 1 布袋鎮各深水井數量

單位：口

井深 (m)	10 以下	10 30	30 50	50 80	80 100	100 150	150 以上
數量 (口)	312	909	84	21	53	178	319
比例 (%)	16.6	48.5	4.5	1.1	2.83	9.5	17

資料來源：87年嘉義縣農會調查結果

由表 1 布袋鎮水井數量之調查顯示，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，故其土層之壓縮量較大。

105m、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的現象，依本研究之見解，乃因雨季時地面水源充足，附近工業區或漁塢區減少使用地下水，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塢區，過量抽取地下水，致使深層水位急速下降，亦引發深層之地層下陷。而由圖 13 沉陷圖顯示：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 1 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 之水位最低變化也最大，且沉陷量亦大，由分層沉陷資料圖 13 顯示，140 ~ 200m 之沉陷量佔總沉陷量 50% 以上。

五、結論

1. 由布袋港之地下水位監測結果顯示：淺一層(34m)約在-3.3m~3.7m 間反復振盪，淺二層(44m)水位由-7m 漸升至-5.5m 而淺三層(68m)水位自 87 年開始由-6.3m 漸降至-10.9m，而深層之 105m、143m 及 178m 處之地下水位已分別降至-26.8m、-25.3m 及 -24.7m，由此可知，布袋港區內雖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且有逐年下降的趨勢。
2. 由布袋港之地層下陷監測結果顯示：布袋港近 5

年之沉陷量約為 25 公分，分別為 86 年沉陷量約 4 公分、87 年聖嬰年沉陷量約 2 公分、88 年沉陷量約 5 公分、89 年沉陷量約 5 公分，90 年沉陷量約 5 公分，91 年至 7 月止約 4 公分，其中百分之五十之沉陷在深度 140~200 公尺處發生，百分之二十五之沉陷在深度 66~110 公尺處發生，因此在監測深度 200m 之外，即較 200m 以上更深之處亦可能有沉陷發生。

3. 由分層沉陷監測結果顯示：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。

參考文獻

1. 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。
2. 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。
3. 水利局(1996) "嘉義沿海地區地盤下陷檢測報告"。
4. 港灣技術研究所(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)。
5. 經濟部水資源局(2000) "台灣地區地層下陷監測調查分析"，經濟部水資源局專刊。
6. 交通部運輸研究所(2001) "布袋港漂沙及地層下陷觀測研究計畫()"，交通部運輸研究所專刊。
7. Becker, D.E. (1981), Settlements under intermittent loading on a clay subsoil, Ph.D. thesis University of Western Ontario, Canada.
8. Biot, M.A. (1941), "General theory of three-dimensional consolidation", J. of applied physics 12(2).
9. 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*.
10. 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.
11. Terzaghi, K. (1943), *Theoretical soil mechanics*, John Wiley & Sons, New York.