

蘭陽平原地盤下陷調查與探討  
LAND SUBSIDENCE OF THE LANYANG PLAIN

陳江淮，顏東利，宋治青，李宏徹  
C. H. Chen, T. L. Yen, D. Sung and H. C. Lee

原著載於第六屆大地工程學術研究討論會論文集  
1995年8月18~20日，第599~608頁

*Reprinted from Proceedings of the 6th Conference on Current  
Researches in Geotechnical Engineering in Taiwan  
August 18-20, 1995, pp.599~608*

# 蘭陽平原地盤下陷調查與探討

陳江淮 顏東利

宋治青 李宏徽

亞新工程顧問股份有限公司

交通部台灣區國道新建工程局

## 摘要

本文主要係說明蘭陽平原地盤下陷調查結果，並探討地盤下陷發生之機制。調查期間自民國81年12月至83年4月，裝設之監測儀器包括沈陷點、多點式伸張儀、水壓計及深孔地盤下陷觀測井。依據調查結果顯示蘭陽平原地區目前地下水位有逐漸回升，並且地盤下陷亦有趨緩之情形，地盤下陷較顯著之地區為宜蘭市、壯圍鄉、五結鄉及羅東市等地，惟速率僅約4至8公厘/年。由實測與理論分析結果顯示，土層變位與地下水壓之變化有極密切之關係；蘭陽平原地區地盤下陷主要係由於地下水之抽取大於天然補注之失衡所引起。

## 一、前言

蘭陽平原為本省地盤下陷嚴重區域之一，該地區自民國74年7月至80年6月，部份地區下陷量達23公分〔1〕。鑑於地盤下陷除會造成海水入侵及海水倒灌等環境公害外，對工程建設、公共安全、洪泛積水及國土開發利用等亦會造成重大危害，因此地盤下陷實為於蘭陽平原地區進行公共建設與國土規劃等工作時須考慮之重要課題。

## 二、調查區概況

## 1. 地下水補注與抽取

蘭陽平原地區雨量豐沛，月降雨量與蘭陽溪月平均流量統計結果〔2〕〔3〕，顯示過去幾年降雨量及蘭陽溪流量高峰期大部份集中在9月至11月（圖一）。由於係典型之沖積平原，蘭陽平原之整體透水性及補注情況十分良好，為本省最佳之含水層之一，可迅速接受來自天然降雨與河川之入滲及涵養，平均年補注量約120百萬立方公尺〔2〕，推算之雨水補注時間約3天〔4〕。

蘭陽平原地下水抽取之用途包括漁業養殖、公共（例如飯店用水等）、工業與農業等。養殖業主要集中於頭城、礁溪、壯圍及五結等鄉鎮之低窪地區，魚塭總面積由民國68年之737.8公頃擴增至79年之1917.67公頃，其中養蝦又為當時宜蘭縣養殖業之最主要產業，約佔養殖業之89%，依估計民國79年養蝦業達到尖峰時全年抽水量約104百萬立方公尺〔5〕，若加上其他魚業養殖及其他用水，地下水年抽取量可能超出全年120百萬立方公尺之天然補注量，顯示養殖業抽水對當地地下水位影響甚鉅。民國79年以後由於蝦類病變、魚塭大量廢殖，至今多處魚塭已荒置或轉作其他用途，且政府已將宜蘭縣濱海沿岸列為地下水管制區域〔2〕，此等因素均有助於地下水位回升。

## 2. 地下水位與地盤下陷

依據水利局水位觀測井量測資料〔6〕，民國82年12月以前地下水位變化顯著之位置為大福及礁溪測站，此兩處水位觀測結果如圖二所示，其中大福之水位長期低於海平面，最低水位高程約達-5.7公尺，但自80年9月起明顯回升，至82年12月水位高程為-0.02公尺，已接近平均海平面。礁溪測站之最低水位高程約為-2.58公尺，至78年元月水位開始有回升之趨勢，82年12月水位已回升至+2.31公尺；圖二之海平面高程為0.0公尺。

依據水準測量結果〔1〕，台九號公路沿線於宜蘭市與四結兩地之地盤下陷較顯著，自民國77年3月至81年3月約下陷12.7至15.3公分之間；濱海地區則以大福至永鎮（蘭陽溪以北）為主要下陷區，自民國73年6月至81年3月下陷約11.3至19.6公分，且蘭陽溪以南之濱海地區於民國79年6月至81年3月間有微量之回脹現象，其中又以利澤較為明顯，回脹量約1.3公分。

除水準測量外，水利局於礁溪測站亦埋設一處深度為187.5公尺之沈陷觀測井，並配合該測站之水位觀測井進行長期觀測，其結果如圖三所示，自民國74年6月至78年元月總下陷量20.02公分，民國78年元月以後水位持續回升，地盤下陷量已逐漸趨於穩定，顯示地表下陷量與水位高程變化有相當密切之關係。

### 三、監測系統規劃及

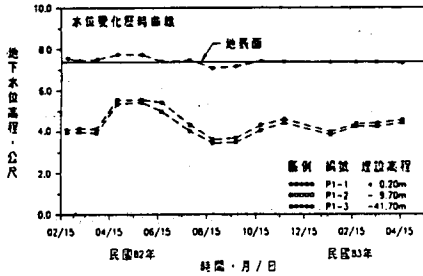
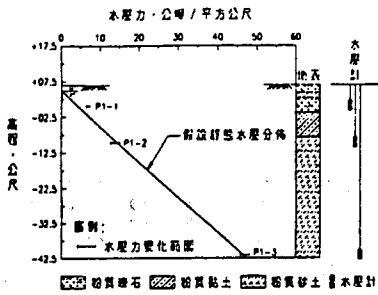
#### 儀器裝設

本調查研究工作共進行11個鑽探孔，目的為配合裝設儀器與瞭解土層分佈及其工程性質。鑽孔與監測儀器之平面位置如圖四，監測系統包括6處水壓計、2處地盤下陷觀測井、3處多點式伸張儀 (Multiple Position

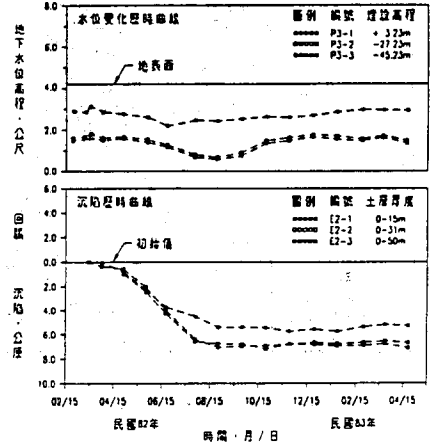
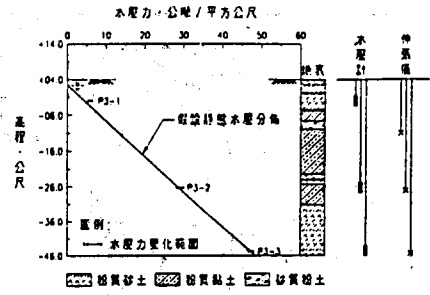
Borehole Extensometer) 及60個精密水準測量之沈陷點，監測系統之規劃以調查蘭陽平原主要地區之下陷情形與研究其發生之機制為考量。水壓計大致均佈於蘭陽平原地區，而多點式伸張儀均裝設於水壓計之旁，以探討地下水位變化與下陷量之相關性。由於平原地區缺乏穩定不動之水準基準點，因此配合本調查工作水準測量精確度之要求與測線之分佈，於蘭陽溪兩側之宜蘭氣象站及五結國小設置深度分別為100及150公尺之地盤下陷觀測井。各項監測儀器之裝設與量測等相關事項分別說明如下：

1. 水壓計：採用豎管式水壓計 (Standpipe Piezometer)，埋設數量及深度係依據鑽探孔之土層狀況及透水層之位置而定，主要裝設於粘性土層間之砂土層中，以了解水壓變化及分佈情形。

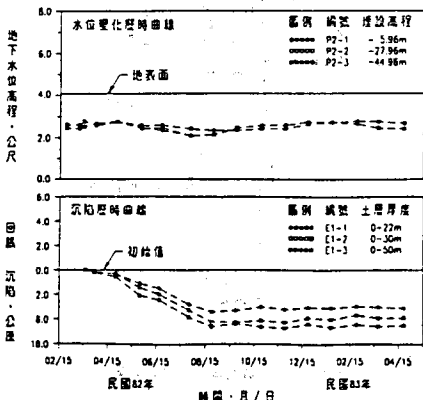
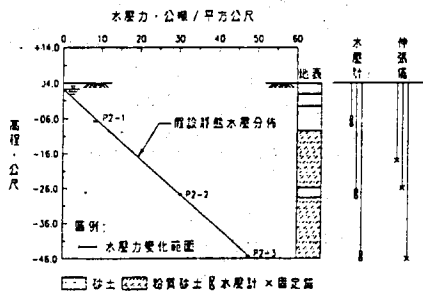
2. 多點式伸張儀：均裝設於平原中央地區水壓計之旁，其裝設示意圖如圖五所示，每處理設三支固定錨，位置以不同土層之交界面為原則；固定錨之上端均裝設伸縮接頭 (Telescoping Joint)，使固定錨與內桿之PVC套管隔離，避免PVC管於周圍土層下陷時因承受向下之負摩擦力而向下推動連結於其底端之固定錨，以致嚴重影響量測結果。量測時使用機械式測微尺 (Micrometer) 於地面上量測內桿之伸出長度，不同時間所量測之伸長量差值即為其固定錨位置至地面間土層之壓縮量。除儀器本身之安裝外，鑽孔之回填亦為裝設伸張儀時須考慮之重要因素，回填材料之壓縮性與強度應以接近原土層為原則，方可達到其量測目的，因此本調查研究工作於粘土層中採用水泥、皂土 (Bentonite) 與水三種材料拌合而成之灌漿材料作為回填材料，於砂土層與砂土含量高之土層則採用現地之砂土作為回填材料。依據不同配比之灌漿材料強度試驗結



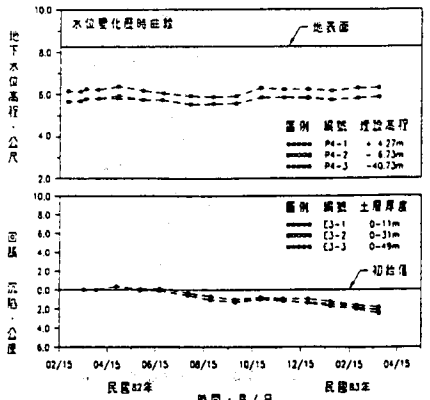
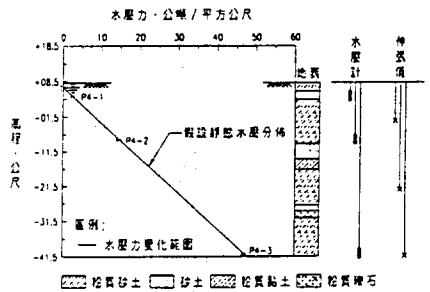
圖八 磁漢水壓計 (P-1) 量測結果



圖十 洲園水壓計 (P-3) 與伸張儀 (E-2) 量測結果



圖九 后潭水壓計 (P-2) 與伸張儀 (E-1) 量測結果



圖十一 金六結水壓計 (P-4) 與伸張儀 (E-3) 量測結果

果(圖六)與現地粘土層之強度,並考慮工作度等因素,灌漿材料之重量配比採用0.15:0.15:1(包土:水泥:水)。

3. 地盤下陷觀測井:地盤下陷觀測井之構造如圖七所示,外套管底端設伸縮接頭,實心內桿則固定於孔底,以電子式沈陷計並配合記憶型接收器可連續記讀實心內桿頂端與地表之相對位移量,以求得其底端以上至地表間之土層壓縮量,同時以測微錶作為位移輔助量測系統;因實心內桿固定在深度約達100及150公尺之極堅實地層,並且以套管與周圍之土層隔離,因此內桿之頂端可視為固定不動,可作為水準測量之高程基準點。此外將位於透水層之套管打孔,包裹濾水網,再回填透水砂石亦可同時作為水位觀測井,再利用自動記錄式水位觀測器,將該透水層之水位連續變化記錄於滾桶上之記錄紙。

4. 沈陷點:為了解研究區域之地盤下陷情形,本調查工作於蘭陽平原共設置60個沈陷點,並進行水準測量工作,同時為提高量測精度,減少量測時人為誤差,採用威特原廠製型號為NA3000電子式精密水準儀,並配備條碼式之錫鋼箱尺進行測量。每相鄰兩點之閉合測量結果,其誤差均控制在 $3\sqrt{k}$ 公厘(k為測段公里數)以內。

#### 四、調查與監測結果

##### 1. 水壓計

水壓計量測結果如圖八至十三所示,各處之土層柱狀圖、水壓計與伸張儀固定錨之埋設位置亦顯示於圖中;靜態水壓分佈係依鑽探期間所量測之乾鑽水位而決定,由水壓計所測得之不同深度土層水壓變化情形顯示,在6處水壓計中除礁溪之淺層砂土層可能有受限含水層外,其餘水壓

計量測結果大致均呈靜態分佈,研判於調查期間並未有因大量超抽地下水而引起水壓明顯偏低之異常現象;此外,各處之水壓力大致均有隨時間而升降之變化,壓力下降趨勢約在民國82年5月至9月之間最明顯,比較宜蘭氣象站82年降雨量統計結果,此時段恰為全年降雨量較低之時期,因此研判調查期間之水壓力升降變化主要係受降雨對地下水補注量之多寡所影響。

##### 2. 多點式伸張儀

后埤多點式伸張儀所量測之沈陷及歷時曲線如圖九所示。由圖得知於監測期間地面至深度50公尺間之土壤最大壓縮量約4.5公厘,其中深度22公尺以上之砂性土壤壓縮量約3.4公厘,佔總壓縮量之72%,由水位與沈陷量變化曲線之比較結果發現,兩者之關係相當密切;民國82年5月至9月水位下降時,土壤之壓縮量有明顯增加之現象,顯示沈陷主要係由地下水位下降所造成。壯圍所測得之沈陷歷時曲線如圖十,於監測期間,地面至深度50公尺間之土壤最大壓縮量為7.7公厘,其中壓縮量主要發生在深度15公尺以內,約為6.3公厘,佔總壓縮量之82%,其次為15公尺至31公尺間之厚粘土層,其壓縮量約為1.4公厘,佔總壓縮量之18%,至於地面下31至50公尺之間土壤幾無壓縮發生。比較沈陷量與水位之量測結果,亦顯示兩者有極密切之關係,大部份之沈陷係發生於82年5月至9月,此時期之水位有明顯之持續下降現象。圖十一為金六結多點式伸張儀與水壓計之量測與比較結果,顯示兩者亦有密切之關係,惟其變化之幅度較小,所測得之土壤最大壓縮量約2.3公厘。

##### 3. 地盤下陷觀測井

宜蘭氣象站(DS-1)與五結國小(DS-2)兩處地盤下陷觀測井之沈陷

與水位量測結果分別如圖十四與十五所示，其水位觀測井均埋設於粉質砂土層中，深度分別為30與45.5公尺。由量測結果顯示沈陷量與水位變化有相當密切之關係，沈陷量有隨水位之下降而明顯增加之現象，於水位上升時沈陷量有明顯減緩甚至微量回脹之情形，此現象與圖三水利局礁溪站之水位與下陷量測結果相符。

#### 4. 精密水準測量

依據調查期間前後三次精密水準測量之量測結果，繪製調查區域等下陷量圖，並將沈陷觀測井及多點式伸張儀所測得之結果標示於圖上，其結果如圖十六所示。經由三種不同監測系統量測結果顯示，沈陷觀測井及多點式伸張儀埋設位置所測得之下陷量與精密水準測量之量測結果極為接近，自民國82年2月至83年1月地盤下陷較顯著之地區為宜蘭市、壯圍鄉、五結鄉及羅東市東北近郊，惟下陷量僅約為4至8公厘；礁溪鄉附近地區之下陷已有減緩之情形，此結果與水利局礁溪測站之水位及下陷量測結果吻合；蘭陽溪出海口以南之濱海地區(五結之東南方)於調查期間則呈微量回脹，與水利局在該地區水準測量所得回脹現象相同，初步研判可能係因地下水位回升所致，惟此有待該地區更進一步之水位等監測資料加以佐證。

#### 五、地盤下陷理論分析

由前述之監測儀器量測結果顯示地盤下陷與水位變化有極密切之關係，因此本節利用理論分析之方式來進一步探討，並研判地盤下陷發生之機制。由於壯圍之地盤下陷與水壓等量測資料，以及土壤取樣與試驗資料最為完整，因此本文擇其作為分析之地點，推估由地面至深度50公尺間之土層壓縮量，並將分析結果與多點式伸張儀量測值比較。本項分析係採用

法(Implicit Finite Difference Method)解Terzaghi單向度壓密方程式[7]，首先依據鑽探及試驗室試驗結果獲得土層及土壤壓縮性質資料(表一)，再依據不同深度之水壓計量測結果，分別計算各土層於不同時間內，水位變化導致之土壤有效應力改變量，以計算出地下水水位下降所產生之沈陷歷時曲線。

依據前述分析方法計算壯圍之土層沈陷量，並與該處多點式伸張儀之量測值比較，其結果如圖十七所示，顯示初步分析結果地面至深度15公尺間土層之壓縮量有明顯低估，地面至深度31及50公尺間土層之壓縮量，分析值與量測值已相當接近，因此依據監測值與分析值比較結果，酌予調整地面至深度31公尺間之土壤壓縮性參數，如表一括弧內數值，回饋分析土層沈陷量之結果如圖十七，顯示理論分析所得之沈陷量及變化趨勢均與監測值相當吻合，因此綜合研判蘭陽平原地盤下陷主要係由地下水位變化所引起。

#### 六、結論與建議

本文可歸納結論及建議事項如下：

1. 完整之地盤下陷調查工作應包括大面積之精密水準量測、地層內不同土層壓縮量以及水壓變化量之量測等項工作。
2. 依據本調查結果，蘭陽平原地區之地盤下陷已有趨緩之情形，調查期間地盤下陷較顯著之地區為宜蘭市、壯圍鄉、五結鄉及羅東市東北近郊，惟其下陷速率僅約4至8公厘/年。
3. 監測結果顯示地盤下陷與水位變化有相當密切之關係，下陷量於水位下降時有明顯增加，於水位上升時則有顯著減緩甚至微量回脹

之情形。綜合監測與理論分析結果，研判蘭陽平原地盤下陷主要係因地下水之天然補注量與抽取量間失衡所致。

4. 目前蘭陽平原沿海地區因管制地下水抽水及漁業抽水減少，水位已逐漸回升，因此地下水管制應持續嚴格執行，對於縣內之公共用水及工業用水亦應一併列入管制，此外對於蘭陽平原地區地下水之涵養(例如稻田水耕作物)應適當予以保護。維持地下水天然補注與人為抽水之平衡應為蘭陽平原地區避免地盤下陷再度嚴重發生所應努力之長期工作。

#### 誌謝

感謝交通部台灣區國道新建工程局提供研究資料，亞新工程顧問公司潘國樑博士、秦中天博士提供寶貴意見，以及翁坤詩等同仁協助現場調查工作，特此一併誌謝。

#### 參考文獻

- [1] 台灣省水利局(1992)，宜蘭沿海地區地盤下陷檢測成果報告第四期。
- [2] 行政院(1989)，「台灣地區地下水資料利用與保育」，行政院第十一次科技顧問會議會議資料。
- [3] 經濟部水資源統一規劃委員會(1985~1992)，台灣地區水資年報。
- [4] 黃賢統(1991)，「蘭陽地區地層下陷及海水入侵之研究」，中

國農業工程學報，第三十七卷，第一期，第19~39頁。

- [5] 江漢全(1992)，「宜蘭地區養蝦池用水之研究」，行政院農業委員會八十年度試驗研究計畫研究報告，第29頁。
- [6] 台灣省水利局(1994)，宜蘭地區1982~1993年普通地下水位觀測井月報表。
- [7] WONG, K. S., and DUNCAN, J. M. (1984), Consol: A Computer Program for 1-D Consolidation Analysis of Layered Soil Masses, User Manual, Department of Civil Engineering, Virginia Tech., Blacksburg, VA 24061

#### Investigation and Interpretation on the Subsidence of the Lan-Yang Plain

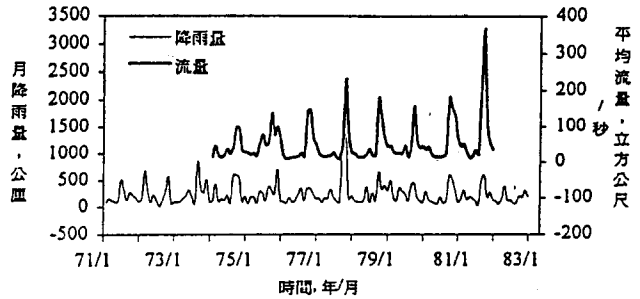
CHEN, Chiang - huai, Yen, Tung - lih  
MOH AND ASSOCIATES, INC.

Sung, Chih - chung, Lee, Horng - chen  
TAIWAN AREA NATIONAL EXPRESSWAY  
ENGINEERING BUREAU

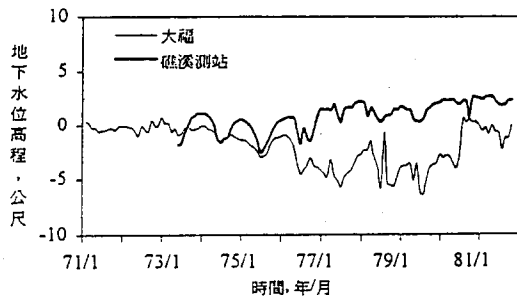
#### ABSTRACT

This paper presents the results of recent land subsidence investigation conducted between December 1992 and April 1994 in the Lan-yang Plain. The cause of subsidence is also discussed.

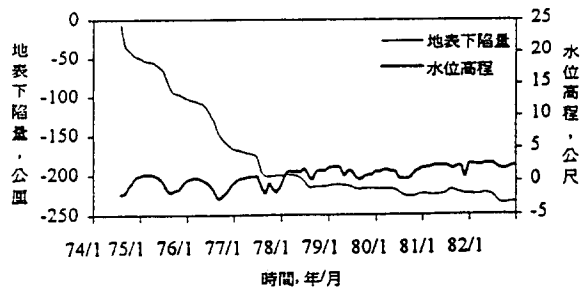
The instruments installed for this investigation include settlement points, multiple position borehole extensometers, piezometers, and deep subsidence observation wells. The results indicate that the water table tends to recover significantly, and the subsidence is gradually alleviated recently. Even though it is evident that the subsidence rates in I-lan city, Chuangwei, Wuchieh, and Lotung are greater than those in other areas in the Lan-yang Plain, the rates for that four area range approximately from only 4 to 8 mm/year. Based on results of the instrumentation and theoretical analyses, it can be concluded that soil deformation is mainly related to the variation of the corresponding pore water pressures at the same stratum, and the regional subsidence is caused by the fact that groundwater is pumped more rapidly than it can be recharged naturally.



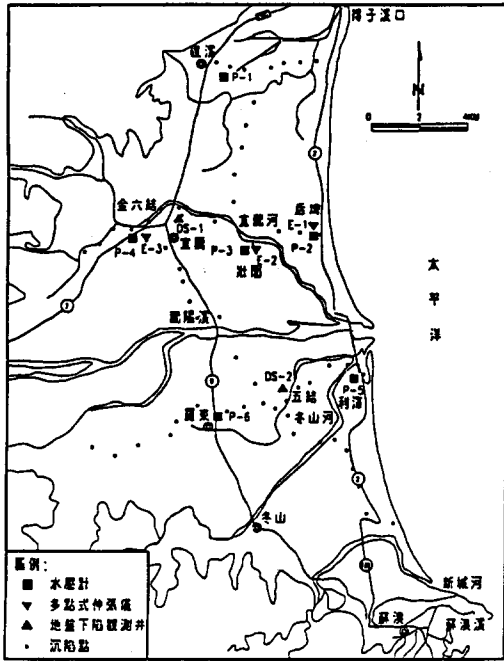
圖一 宜蘭氣象站月降雨量及關陽溪月平均流量統計圖



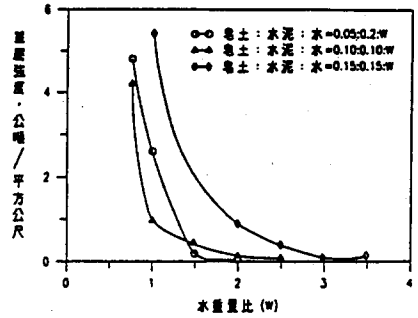
圖二 大福及礁溪測站水位觀測井水位歷時曲線



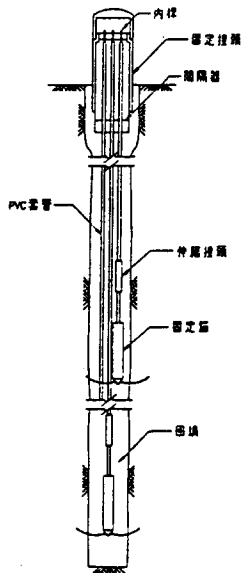
圖三 礁溪測站水位高程與地表下陷量之關係



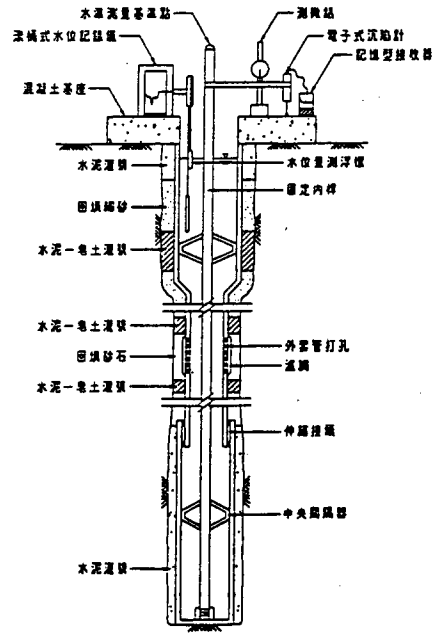
圖四 地盤下陷觀測井與監測儀器佈置圖



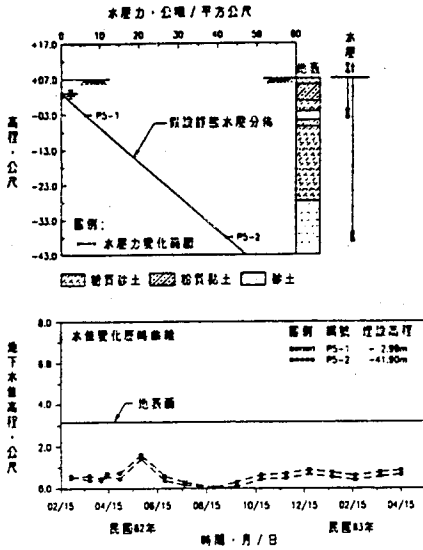
圖六 不同肥比之瀝碇材料無圍試驗結果



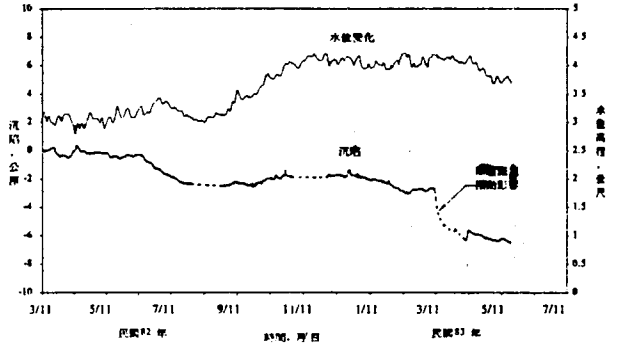
圖五 多點式伸張儀埋設示意圖



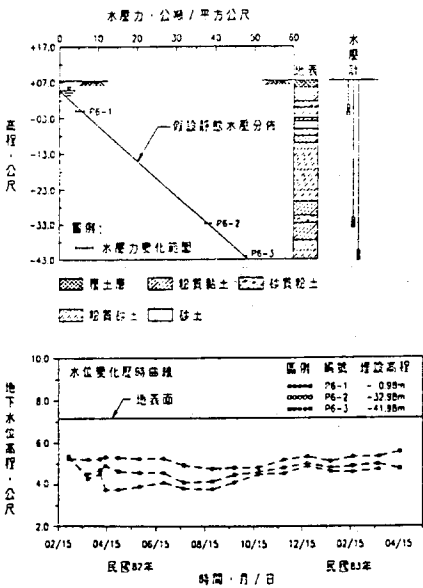
圖七 地盤下陷觀測井構造示意圖



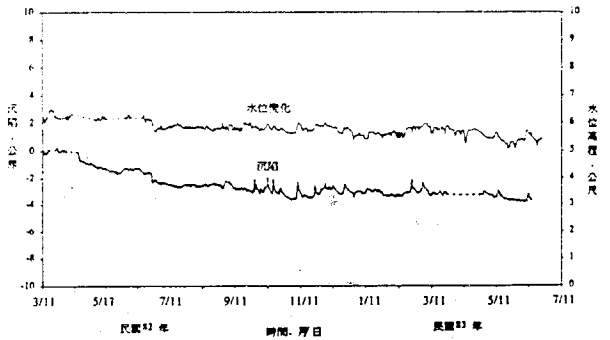
圖十二 利澤水壓計 (P-5) 量測結果



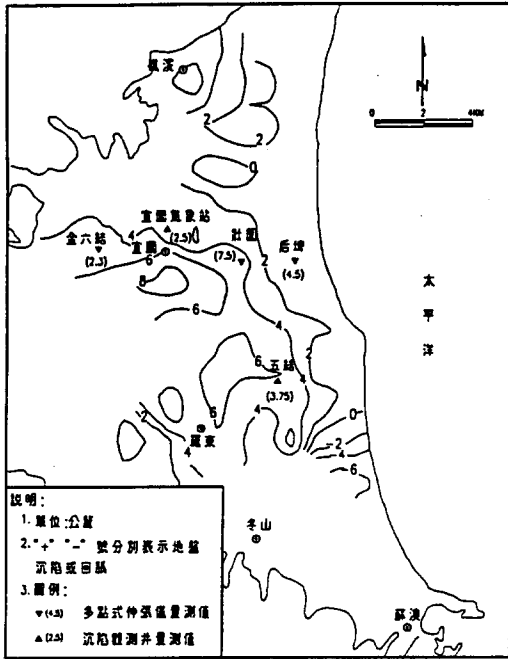
圖十四 宜蘭氣象站 (DS-1) 地盤下陷觀測井沉降及水位變化歷時曲線



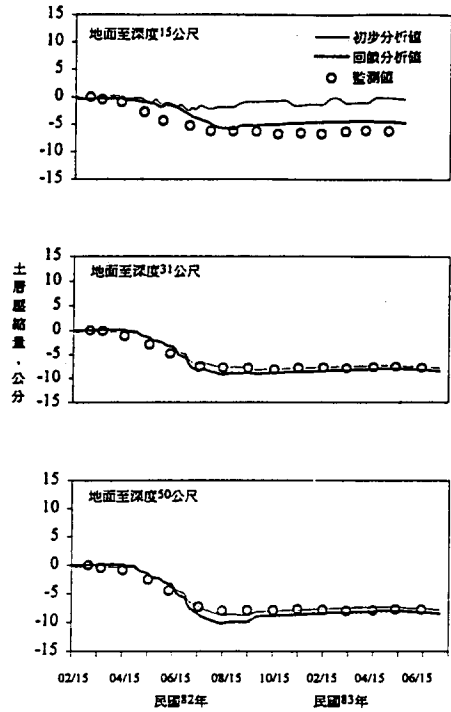
圖十三 羅東水壓計 (P-6) 量測結果



圖十五 五結國小 (DS-2) 地盤下陷觀測井沉降及水位變化歷時曲線



圖十六 精密水準測量結果等地盤下陷量圖 (82.2~83.1)



圖十七 社園(E-2)土層壓縮量理論分析與監測結果之比較

表一 社園腐化土層分佈及土層壓縮分析參數

| 底界<br>深度<br>(公尺) | 土層分類  | 土壤單位重<br>(噸/立方公尺) | 初始孔隙比 | 壓縮指數<br>Cc | 再壓縮指數<br>Cr   | 壓密係數<br>Cv<br>(平方公尺/天) | 再壓密係數<br>Cvr<br>(平方公尺/天) | 預壓密應力<br>$\sigma'_{p'}$<br>(噸/平方公尺) |
|------------------|-------|-------------------|-------|------------|---------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 0.5              | 粉質砂土  | 1.79              | 0.62  | 0.016      | 0.002         | 0.4                    | 3                        | —                                   |
| 2.3              | 粉質粘土  | 1.8               | 1.18  | 0.4(0.73)  | 0.03          | 0.052(0.078)           | 0.1(0.121)               | 15                                  |
| 8.2              | 粉質砂土  | 2.07              | 0.62  | 0.016      | 0.002         | 0.4                    | 3                        | —                                   |
| 11               | 粉質粘土  | 1.66              | 1.18  | 0.73       | 0.03          | 0.009(0.078)           | 0.1(0.121)               | 21                                  |
| 12.9             | 粘土質粉土 | 1.95              | 0.78  | 0.012      | 0.003         | 0.0094                 | 0.099                    | —                                   |
| 28.2             | 粘土質粉土 | 1.92              | 0.6   | 0.4        | 0.0167(0.016) | 0.078(0.0302)          | 0.121(0.078)             | 24                                  |
| 29.2             | 粘土質粉土 | 1.95              | 0.63  | 0.012      | 0.003         | 0.0094                 | 0.099                    | —                                   |
| 31.5             | 粉質砂土  | 1.9               | 0.6   | 0.016      | 0.002         | 0.4                    | 3                        | —                                   |
| 37.7             | 粉質粘土  | 1.77              | 0.56  | 0.4        | 0.016         | 0.0302                 | 0.078                    | 45                                  |
| 50               | 粘土質砂土 | 1.8               | 0.54  | 0.016      | 0.002         | 0.4                    | 3                        | —                                   |

註：括弧數字表示回饋分析後之修正值