

礫石層水理參數探討  
**HYDRAULIC PARAMETERS  
FOR CHINGMEI GRAVELS**

邵明忱，黃立煌，馮堯松，劉格非  
M. C. Shau, L. W. Wong, Y. S. Feng and K. F. Liu

原著載於國際卵礫石層地下工程研討會論文集  
1995年3月23~24日，第4-29~4-38頁  
*Reprinted from Proceedings of International Symposium on  
Underground Construction in Gravel Formations  
Taipei, Taiwan  
March 23-24, 1995, pp.4-29~4-38*

## 礫石層水理參數探討

邵明忱<sup>1</sup>

黃立煌<sup>2</sup>

馮堯松<sup>3</sup>

劉格非<sup>4</sup>

1. 亞新工程顧問公司計劃工程師
2. 亞新工程顧問公司計劃經理
3. 台北市捷運局中工處施工所主任
4. 台灣大學土木系教授

### 摘要

台北盆地之景美層主要由砂質礫石組成。過往所進行抽水試驗，因抽水量小及洩降量不顯著，所得之水理參數正確性存疑。本文根據台北捷運工程 CP261 標通風井 B 之一多井抽水試驗結果，以 Theis 理論方法，推估景美層導水係數及儲水係數。分析結果顯示景美礫石層之導水係數遠較前所報導之數值為大；同時線性分析適用於多井抽水試驗結果之研判。

### ABSTRACT

The Chingmei Formation in Taipei Basin area is mainly composed of sandy gravel. The results of hydraulic parameters derived from previous pumping tests are unreliable due to relatively small pumping rates and insufficient drawdowns. This paper presents the results of a study for a multi-well pumping test which was conducted at the ventilation shaft of Contract CP261 of the , Taipei Rapid Transit Systems. The Theis theoretical method has been adapted to assess the transmissivity and storativity of the Chingmei gravel layer. Results of analyses show that the transmissivity of this gravel layer is significantly higher than those previous reported and that in this particular case linear analysis is valid for the interpretation of the multi-well pumping.

#### 一. 前言

台灣地區之深開挖工程，常遭遇礫石層。於台北盆地礫石層一般位於 50m 之深度，於台中盆地約於 5m 深即遭遇礫石層，其地下水位通常接近地表。隨開

挖深度愈趨加深，深開挖施工將需要對礫石層進行降水，以維持開挖施工管湧或上舉之安全性。為探討降水之可行性，及估計降水量，礫石層之水理參數為重要之參考資料。

台北盆地早於 1950 年代已有於抽取地下水之歷史，根據經濟部水資會（1976,1983）資料如圖 1 所示，自 1950 年代至 1970 年代，盆地年抽水量於 1972 達 2.5 億立方公尺，並導致地下水位下降最大約 45m。根據水資會「台北盆地抽水試驗成果」之資料，曹以松等（1985）整理台北盆地水理參數分為 22 個區域，而礫石層之導水係數，介於 0.004 至 0.05  $m^2/sec$  之間，儲水係數約為 0.002。此初步資料顯示水理參數受地層變異之因素及區域狀況影響而有變化，在工程實務上有必要於抽水作業現場先進行抽水試驗，以消除地層因素之影響及確認抽水方案之可行性。

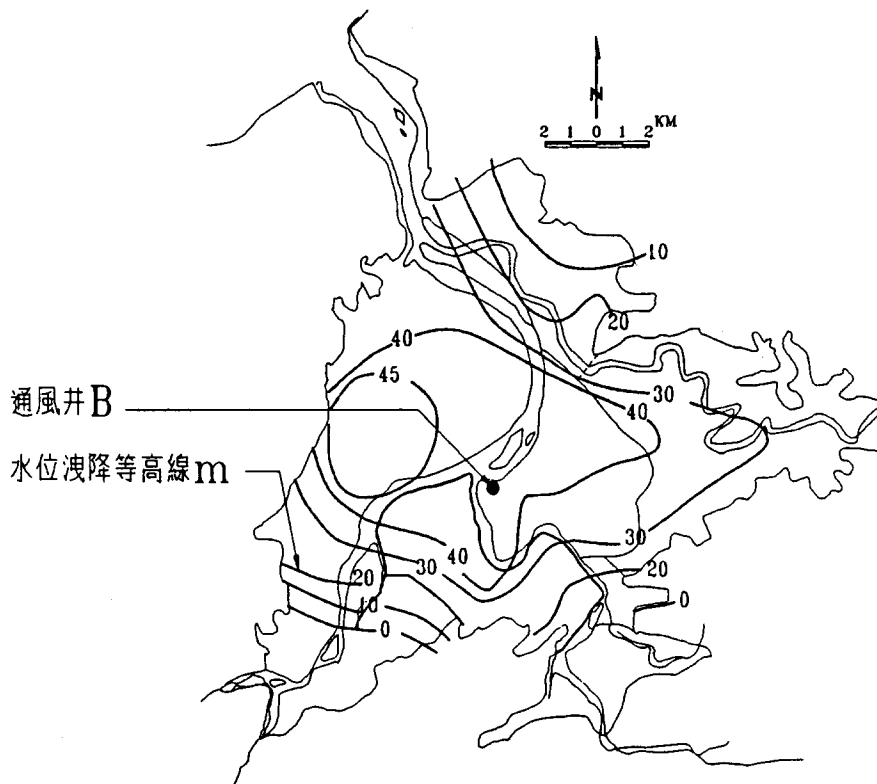


圖 1 台北盆地 1976 年地下水位洩降等高線圖(水資會 1976)

台北捷運 CP261 標通風井 B 因施工安全之考慮，必需於深開挖期間於景美層進行降水。為估計施工降水之可行性，分別於施工階段進行現場抽水試驗，除單井試驗外，並進行多井抽水試驗，共採用 10 個抽水井，總抽水量 3600

CMH。本文即根據 CP261 標之抽水試驗結果，以 Theis 理論方法推算礫石層之導水係數及儲水係數，供礫石層地下水控制作業之參考。

## 二. 地層及地下水狀況

台北捷運工程 CP261 標通風井 B 位於和平西路及新店溪東岸，約位於台北盆地中央。根據亞新公司（1987）及傅怡仁等（1990），台北盆地之土層主要由松山層、景美層及新莊層構成。松山層厚 40m 至 70m 由三層粉質砂土層及三層粉質黏土層交錯沉積而成，景美層厚度最大約 140m，由砂質礫石及 200 至 500mm 粒徑之礫石組成，地層中夾有黏土層。新莊層最大厚度約 120m，由砂質黏土層及礫石層組成。通風井 B 範圍土層狀況如圖 2 所示。

本基地及鄰近範圍之水壓計裝設於景美層者 6 支，松一層者 4 支，松三層至松五層共 16 支。根據每週一次或每天一次之水壓計觀測結果顯示抽水試驗前，景美層、松一、松三及松五層之平均地下水位分別為高程 90m、93m、94 及 100m。

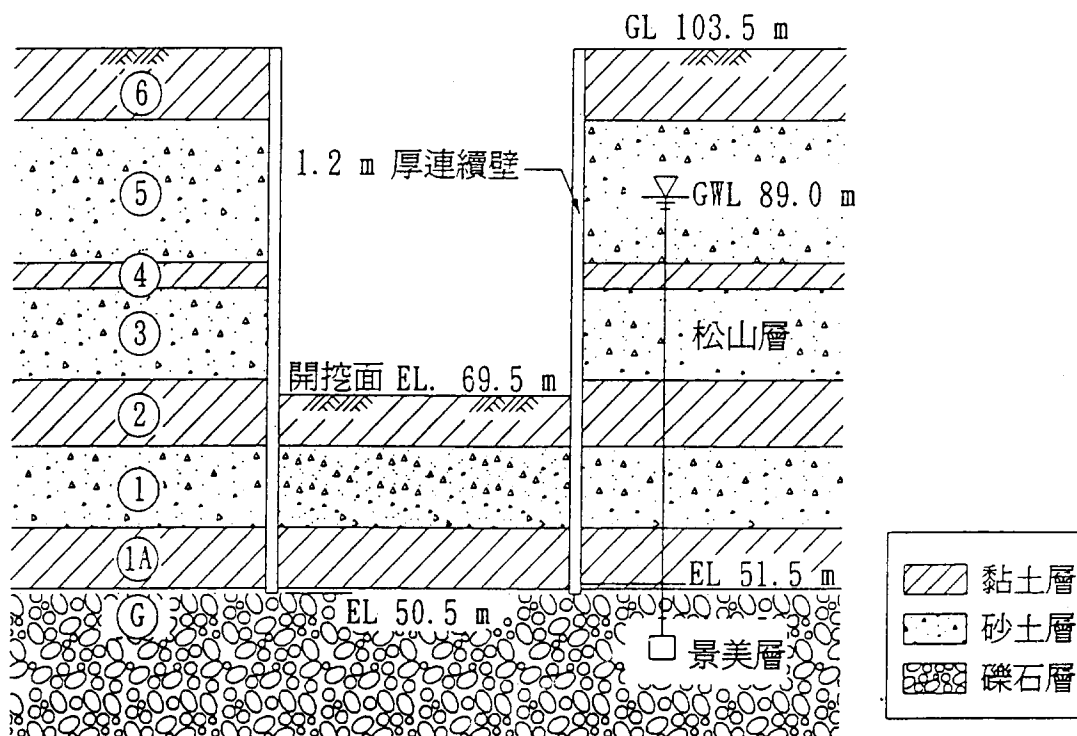


圖 2 通風井B土層剖面圖

為觀測地下水位可能回升之變化狀況，承商於抽水試驗展開前以自動測讀器對水壓計進行頻密觀測。觀測結果顯示松山層及景美層之地下水位有隨鄰近之淡水河或新店溪之潮汐漲退，而有近乎同步之變化。如圖 3 所示，於 1992.12.24 至 1992.12.26 期間，新店溪中正橋之水位記錄顯示潮差（每一週期最高與最低

水位差)最大約 3.0m，而景美層水壓計 P0 之潮差最大約 0.36m。此地下水之感潮作用，劉格非等(1994)有深入之探討及研究。其分析顯示河水位之相位週期及振幅，可影響地下水波動之相位；同時潮位之改變可引致地下水位之變動，而造成局部補水作用。因此潮汐將影響抽水試驗水理參數估計之正確性。

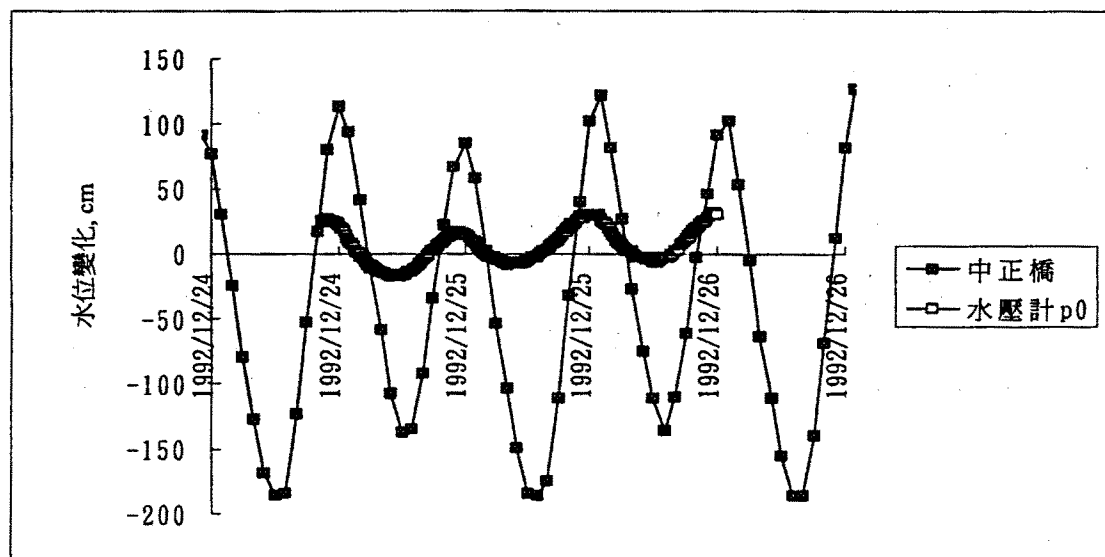


圖 3 新店溪水位與景美層地下水位變化圖

### 三. 單井抽水試驗

通風井 B 開挖深度 34m，施工時必需於開挖區底部之景美層進行抽水以降低水壓。為評估抽水之可行性，承商於施作連續壁擋土結構前即先進行抽水試驗。於通風井 B 基地裝設一直徑 560mm，深 73m 深水井。進水鋼管直徑 300mm，透水段位於深度 50m 至 72m，濾水孔由長 7mm，寬 2mm 長條形開孔組成，開孔率約 8%。進水管內裝設 75 HP 沉水式抽水機，以直徑 150mm 鋼管連接至地面。

承商於 1992.12.31 至 1993.1.3 期間進行定量抽水，抽水量 100 CMH，共抽水 72 小時。水壓計觀測結果如圖 4 所示。水壓計 P1、P2 距水井 5m，P3 及 P5 則距水井 9m 及 42m。水壓計 P1 顯示景美層地下水位最大洩降量約 0.4m，惟抽水期間地下水位隨潮汐影響而呈週期性變化，最大潮差仍維持約 0.36m，同時，平均地下水位有持續上升之現象，研判可能為區域性補注或其他地區抽水量減少所導致。

上述觀察顯示此一次單井抽水試驗，因抽水量較低，洩降量低，地下水位除受潮汐變化干擾外，尚受區域抽水等因素所影響，而難以可靠分析景美層之水理

參數。惟承商仍根據洩降與抽水井距離關係等方法，初步估計導水係數約為 0.02 至 0.06m<sup>2</sup>/sec，供抽水系統規劃參考。

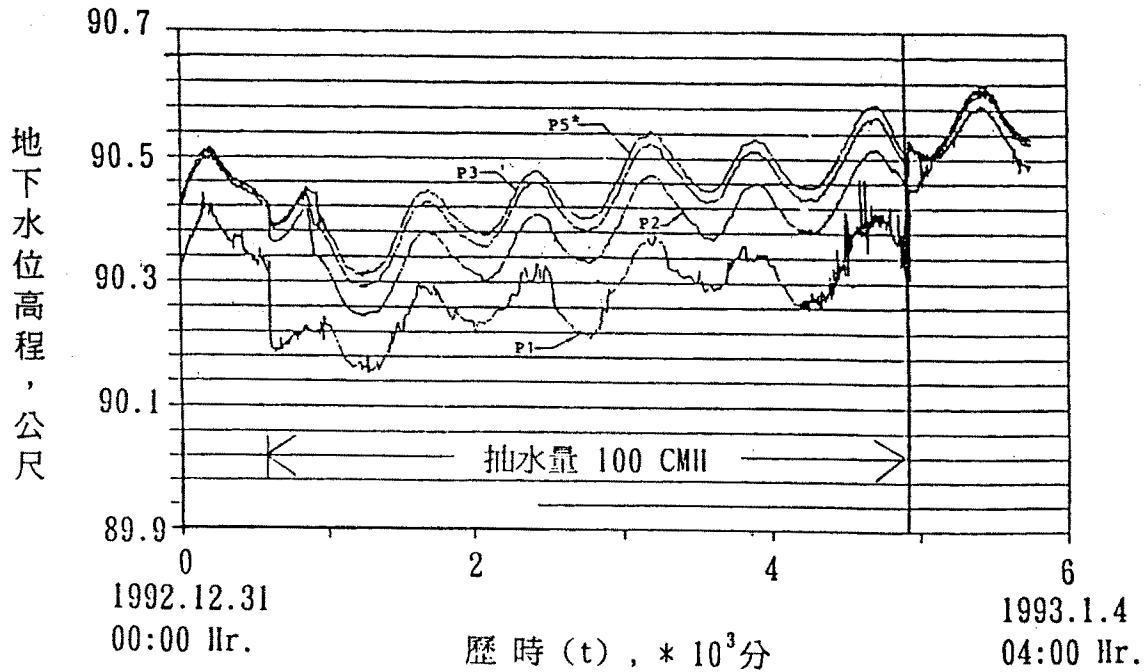


圖 4 通風井B單井抽水試驗地下水位變化情形

#### 四. 多井抽水試驗

承商根據單井抽水試驗之結果，初步估計礫石層地下水位自高程 90m 洩降至目標高程 79.5m，所需最大抽水量約 4600CMH，並計畫以 12 個抽水井，每井抽水量 400CMH 進行抽水作業。抽水井分兩階段裝設，第一階段裝設 10 個，第二階段裝設餘下 2 個水井。第一階段 10 個抽水井裝設位置如圖 5 所示，於通風井 B 深 53m 之連續壁完成後隨即裝設。位於通風井連續壁內之兩抽水

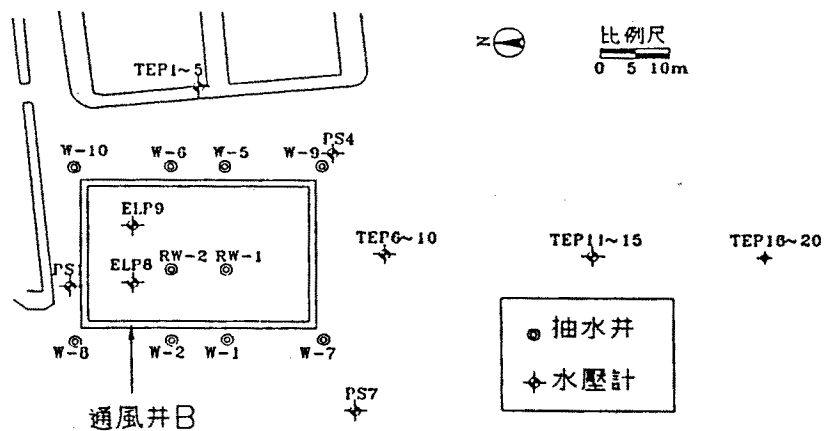


圖 5 通風井B抽水井及水壓計位置圖

井，深度 72m，井孔直徑 560mm，進水管徑 300mm，抽水機 80HP，抽水量 280 CMH。連續壁外之 8 個抽水井，深度 82m，井孔直徑 660mm，進水管徑 400mm，抽水機 100HP，抽水量 400 至 380CMH。井孔與進水管間以清水洗淨之砂作為濾料。進水段之開孔，採用 2 種型式，抽水井 W1、W5、W7、W9 為鋼環式濾水管，開孔率 27.5%，其餘 6 抽水井為切槽式濾水管，開孔率 7.8%。

多井抽水試驗於 1993.6.26 至 1993.9.7 間進行，此期間基本抽水量為 560CMH，並於 7 月 21 日至 7 月 31 日及 8 月 20 日至 8 月 28 日期間全面操作 10 個井，總抽水量達 3600CMH。抽水量及水壓計觀測結果如圖 6 及圖 7 所示，顯示景美層地下水位自抽水前之高程 89m 洩降至最深高程 80.4m；其中水壓計 VAO 為距通風井 B 約 1.1km 裝設於景美層中之水壓計。

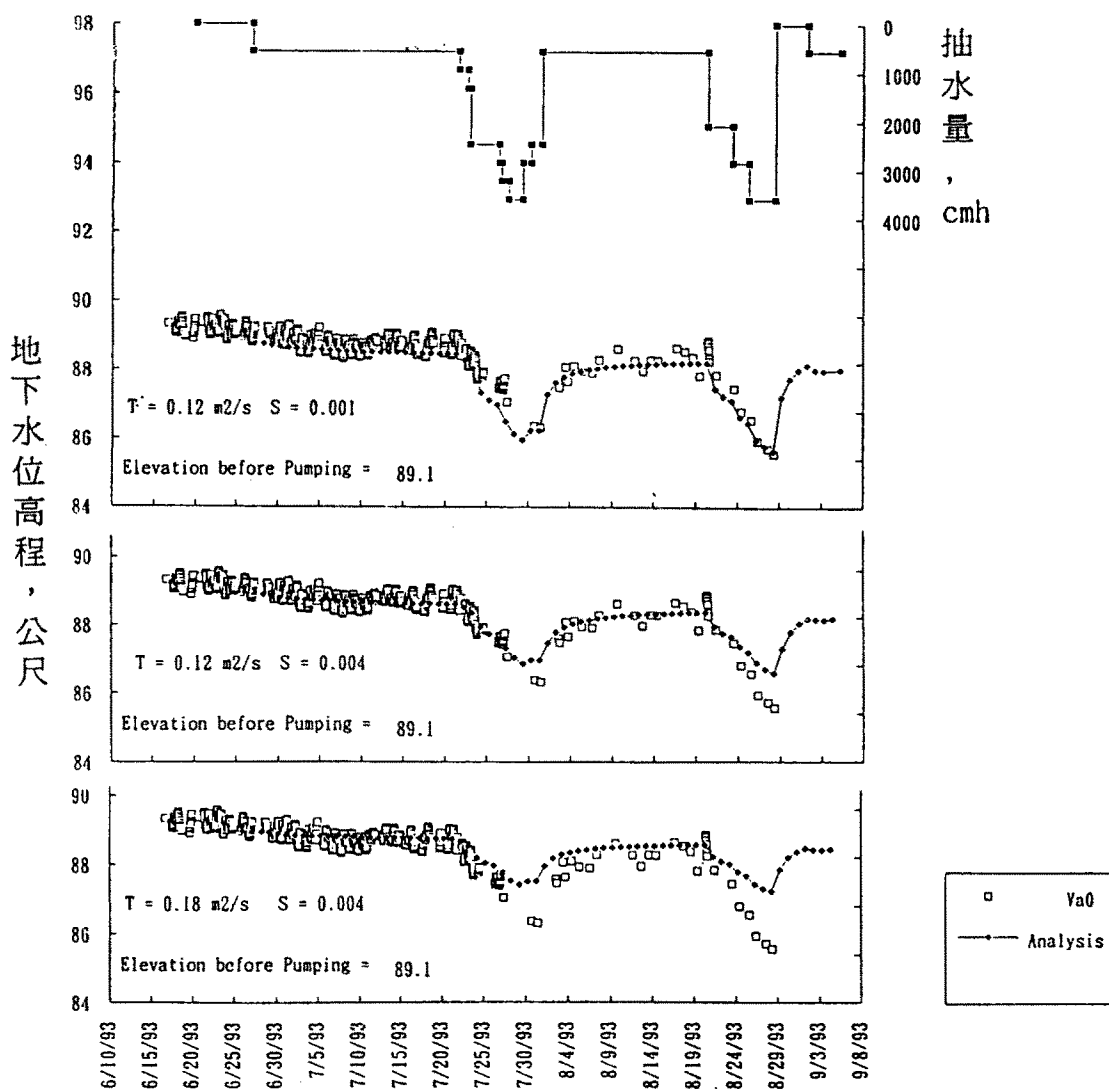


圖 6 多井抽水試驗水壓計 Va0 洩降情形

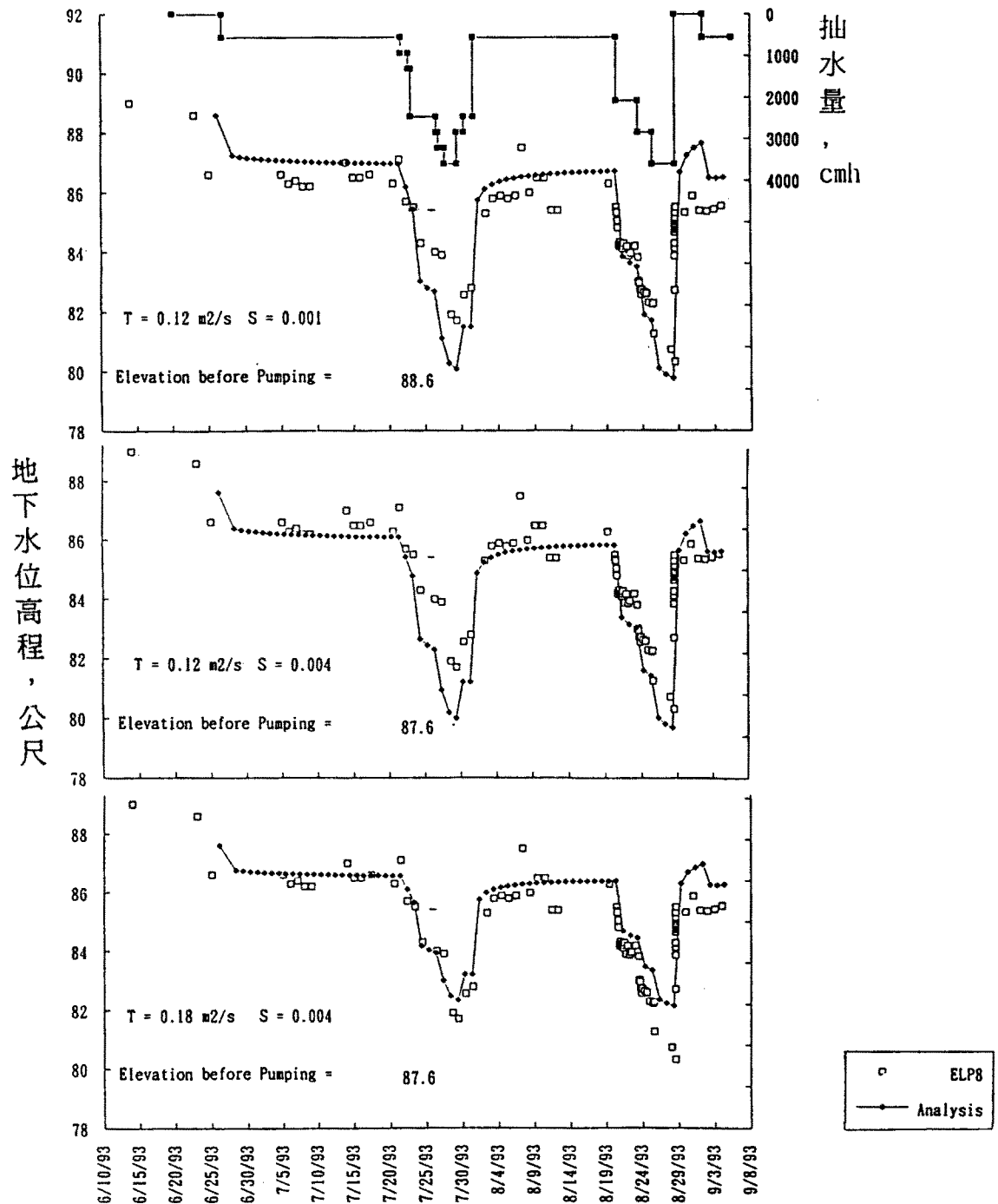


圖 7 多井抽水試驗水壓計ELP8洩降情形

### 五、洩降分析

單井抽水於受限含水層洩降量與抽水量及各水理參數之關係，可以 Theis 不平衡公式表示 Fletcher (1986)：

$$s = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{T} W(u)$$

[1]

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots \quad [2]$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad [3]$$

其中

- s: 洩降  
 Q: 抽水量  
 t: 抽水時間  
 T: 導水係數 (Transmissivity)  
 S: 儲水係數 (Storativity)  
 r: 與井中心之距離  
 W(u): 水井函數

假如  $u < 0.05$ ，則式 [1] 及 [2] 可簡化為

$$s = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad [4]$$

本研究以抽水試驗觀測之所得洩降、抽水量、抽水時間及各水壓計之位置，並假設多井抽水之影響可以疊加，反推算導水係數及儲水係數。經過多次運算，以下列三組水理參數最為符合實際之觀測結果：

水理參數		A組	B組	C組
導水係數	T, m <sup>2</sup> /s	0.12	0.12	0.18
儲水係數	S	0.001	0.004	0.004

各組參數與觀測結果之符合程度因地而異，分析結果如圖 6 及圖 7。

通風豎井 B 三組參數所代表之理論洩降／距離關係曲線，綜合如圖 8，亦顯示 B 及 C 組水理參數最為符合洩降／距離曲線。圖 8 同時顯示，當抽水量及水理參數不變時，洩降量隨時間而增加。實際施工時，通風井 B 承商即利用第一階段裝設之 10 個抽水井，而達到抽降地下水位至預定之目標高程，毋需再增加抽水井。

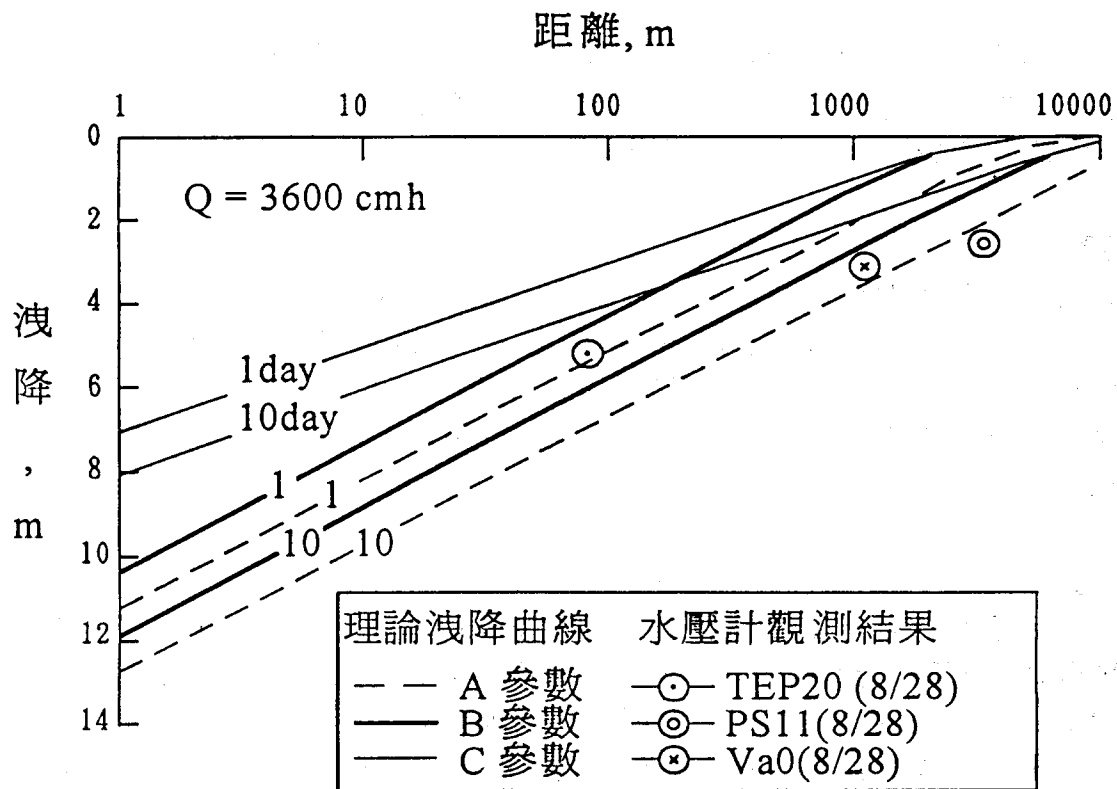


圖 8 洩降及影響範圍

## 六. 討論

綜合圖 6 至圖 8 所示之分析結果，顯示通風井 B 半徑約 2km 範圍之水力參數，導水係數介於 0.12 及 0.18m<sup>2</sup>/sec 之間，儲水係數約為 0.004。而分析洩降值與觀測值有所誤差，經研判可能受下列各種因素之影響：

- (1). 地下水位因感潮而有約 0.4m 之變化。
- (2). 抽水井及水壓計位置之偏差。
- (3). 景美層中黏土層及砂土層成分之區域性變化而響透水程度。
- (4). 景美層厚度之變化。
- (5). 抽水井緊鄰範圍因水力坡降較大，導致松山層向下補注較速。
- (6). 如圖 8 所示，洩降 2m 之影響範圍約為半徑 1km，因此可推估距離水壓計 1km 半徑範圍其他之抽水作業可導致本抽水試驗之分析誤差。

由於本研究採用線性分析，假設各抽水井之洩降可以疊加 (superimpose) 以計算多井之總效應。分析結果顯示，無論是在通風井內、通風井附近，或者是遠處，理論洩降值都與實測值大致符合，因此驗證疊加法適用於本案例。

此外，比較曹以松等 (1985) 所整理結果，多井抽水採用高達 3600CMH 抽水量所得之 T 值，約為單井抽水試驗所得結果之上限 3 倍。主要原因為抽水

量愈大，影響半徑增加，所求得之水理參數代表較大範圍之礫石層透水特性。一般情形下，如以單井抽水試驗以相對甚少抽水量所求得之水理參數，推估大規模抽水之洩降狀況或抽水量時，很可能會導致甚大之誤差。

## 七. 結論

- (1). 根據多井試驗實測所得洩降歷時曲線，並以 Theis 之不平衡公式分析，推估通風井 B 半徑 2km 範圍景美層之水理參數導水係數 介於 0.12 至 0.18m<sup>2</sup>/sec 之間，及導水係數為 0.001 至 0.004。
- (2). 多井抽水時各井之洩降效應可以採用線性分析及疊加方法計算多井之總洩降效應。

## 八. 誌謝

本文所引用之抽水試驗為亞新工程顧問公司受業方臺北市捷運局所委託大地工程專業顧問服務之評估工作之一。同時於本文準備過程中，承商大陸／鐵建共同承攬提供多方面協助，昭宏工程顧問公司郭漢興先生及亞新工程顧問公司黃南輝博士提出多項寶貴意見，及本文獲臺北市捷運局惠准發表，作者致深刻謝意。

## 九. 參考文獻

1. 經濟部水資源統一規劃委員會 (1976)，臺北盆地六十五年地下水位與水質調查報告。
2. 經濟部水資源統一規劃委員會(1983),臺北盆地七十二年度地下水位與水質 調查報告。
3. 亞新工程顧問公司 (1987) 臺北市地層大地工程性質分析報告。臺北市政府工務局衛工處／榮民工程專業管理處委託辦理，計畫編號 85043，臺北，臺灣。
4. 傅怡仁，秦中天，王如龍，陳明山 (1990)，臺北盆地內礫石層分析之研究，土木水利第十六卷，第四期，第 59-69 頁。
5. 曹以松，林俊男，譚義績，毛愛生 (1985)，臺北盆地地下水數學模式之模擬與應用，計劃編號 72 水科技八 (二) 3. (5) 102 第 004 號，國立臺灣大學農業工程研究所，臺北，臺灣。
6. 劉格非，黃南輝，楊代強 (1994) 受潮汐影響之地下水資料分析，第七屆水利工程研討會論文集，國立臺灣海洋大學，基隆，臺灣，PP.E271-E281。
7. Fletcher G. Driscoll (1986), Groundwater and Wells, Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul, Minnesota, PP. 260-261.