



# 2012 中技社科技研究獎學金

## CTCI Science and Technology Research Scholarship

描述在鄰近河川的含水層由不同種類抽水井所引起的三維地下水水流之閉合解

A Closed-Form Solution for Three-Dimensional Groundwater Flow Induced from Various Wells  
in an Unconfined Aquifer near a Stream

國立交通大學 環境工程研究所 博士班四年級 黃璟勝

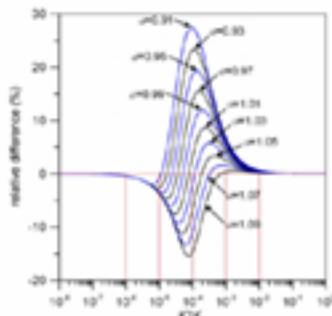
指導教授：葉弘德

### 研究重點

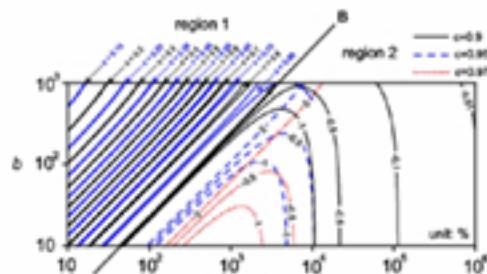
- 發展一個描述含水層中三維水力水頭(hydraulic head)分布的解析解(analytical solution)。
- 依據達西定律(Darcy's law)和此解析解，進一步地推導出一個描述河川滲入水量(SDR)的解析解。
- 上述兩個解析解可考慮兩種不同類型的抽水井：垂直接水井(vertial well)和辐射收集井(radial collector well)。
- 本研究更進一步地發展了兩個解析解的近似解(approximate solution)，為一個閉合解(closed-form solution)。在使用上相當方便，不涉及複雜的電腦程式語言。

### 近似解的使用和有效性

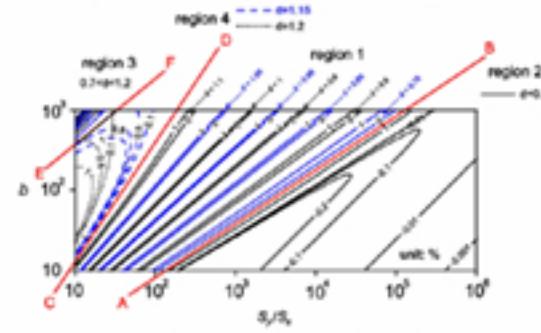
使用近似解之前，須先依據河床和含水層的水力參數以決定 $a$ 、 $c$ 和 $d$ 的大小。適當地選取此三個參數的值可降低近似解和解析解的差異。以位於加西蘭，鄰近Doyleston渠道的含水層為例。河床和含水層的水力參數如表一所示。參數 $a$ 由河床和含水層的水力傳導係數比值( $K/K_0$ )決定。依據圖一，在 $K/K_0=0.02/3.78=5.0 \times 10^{-3}$ 的情況下，相對誤差最小的曲線所對應的 $a$ 值為1.09。參數 $c$ 和 $d$ 由含水層厚度( $b$ )及重力出水係數和彈性出水係數的比值( $S_1/S_2$ )決定。依據圖二， $b=20\text{ m}$ 和 $S_1/S_2=100\text{ m}$ 的位置落在region 2中，所對應的 $c$ 值為0.9；依據圖三， $b=20\text{ m}$ 和 $S_1/S_2=100\text{ m}$ 的位置落在region 1中，所對應的 $d$ 值為0.85。圖四顯示了解析解和近似解計算出來的暫態河川滲入水量(transient SDR)，近似解相當吻合解析解。



圖一：不同的  $K/K_0$  所對應的  $a$  值



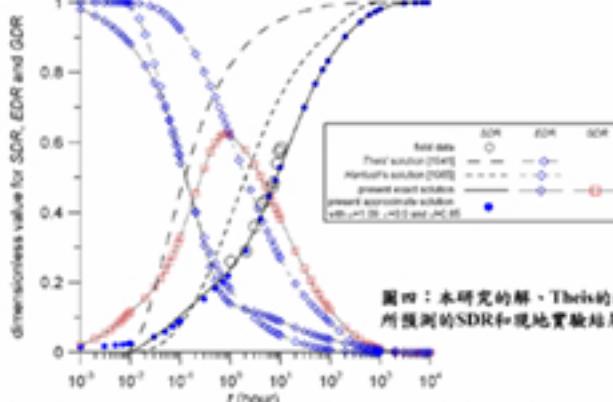
圖二：不同的  $S_1/S_2$  和  $b$  所對應的  $c$  值



圖三：不同的  $S_1/S_2$  和  $b$  所對應的  $d$  值

表一：位於加西蘭鄰近Doyleston渠道的含水層水力參數

參數(單位)	量值
含水層水平水力傳導係數 $K_0$ (m/hour)	3.78
含水層垂直接水力傳導係數 $K_1$ (m/hour)	0.08
河床水力傳導係數 $K'$ (m/hour)	0.02
河床厚度 $b'$ (m)	1
彈性出水係數 $S_1$ ( $\text{m}^{-1}$ )	$10^{-4}$
重力出水係數 $S_2$	0.01
含水層厚度 $b$ (m)	20
抽水井和河川的距離 $x_0$ (m)	55



圖四：本研究的解、Theis的解及Hantush的解所預測的SDR和現地實驗結果的比較

### ■ 和現地實驗的比較

本研究的解、Theis的解(1941)及Hantush的解(1965)所預測的SDR和現地實驗量測的SDR比較結果如圖四所示。圖四顯示Theis的解與著地高程SDR。這是因為僅考慮彈性出水率(EDR)，而沒有考慮河床的低透水性；Hantush的解考慮了EDR和低透水性河床，但仍然無法完全吻合現地量測結果。這是因為沒有考慮重力出水率(GDR)的影響；本研究的解與SDR的現地量測結果，因為同時考慮了彈性出水、河床的低透水性、和重力出水的影響。對於Theis的解或Hantush的解而言，在相同時間，由於不考慮重力排水，所以SDR和EDR的總和為1；對於本研究的解而言，在相同時間，SDR、EDR、和GDR的總和為1，這表示從井抽出的水來自於河川滲入水、水層孔隙壓縮的彈性出水、和自由液面降低的重力出水。當 $10^{-3} < t < 10^{-2}$ ，SDR僅得0。EDR隨著時間減少，GDR隨著時間增加，井抽出的水來自於彈性出水和重力出水。當 $10^{-2} < t < 1$ ，由於GDR劇烈地增加，導致在 $t=1$ 的SDR小於Theis或Hantush的預測結果。因此適合 $t=1$ 的SDR實驗結果，當 $1 < t < 2000$ ，由於GDR劇烈地減少，所以EDR的減少速率變慢；GDR和EDR都減少。因此SDR快速地增加。當 $t > 2000$ ，SDR維持1。GDR和EDR為0，井抽水量和河川滲入水量達成平衡。

### ■ 參考文獻

- Hantush, M. S. (1965). Wells near streams with semipervious beds, *Journal of Geophysical Research*, 70(12), 2829-2838.  
Theis, C. V. (1941). The effect of a well on the flow of a nearby stream, *American Geophysical Union Transactions*, 22(3), 734-738.

### 研究生活及心得

學生在大學時期奠定理論基礎，畢業後通過土木工程高考三級考試，由於熱愛理論研究，所以選擇交大環境工程研究所的葉弘德老師，研一期間以學習作研究和準備教師考試為主，研究主題為建立合乎工程需求的理論模型和發展此模型的解析解，包含文獻閱讀、結果分析、和論文寫作；研一結束後，學生完成第一篇論文，並順利地通過土木工程教師考試。在葉老師的鼓勵下，學生延讀博士，碩二為博士班一年級。博士班期間，葉老師指導學生如何適當地回覆期刊審查者的意見，學生在這當中見識到學術界的溝通方式，在葉老師的持續教導和幫助下，學生最後終於能靠自己發明問題和解決問題，並於水資源前10%的期刊發表了七篇論文。這都要感謝葉老師。

雖然越廣泛的理論模型越能符合工程實際的需求，但是將推導出一個非常複雜的解，造成使用上的不便。學生大膽地挑戰出前人的架構，推翻模型的廣泛性。以新的方法重新推導一個更簡潔、更符合工程需求的解，並受到所屬領域頂級期刊Water Resources Research的肯定。另一方面，出席參加研討會讓學生更確認自己的努力方向是正確的。主持人表明一個重要觀點“Make a solution simple, not simpler”。未來規劃博士後研究為畢業後的第一份工作，建立符合工程需求的理論模型，尋求適當的方法。發展一個使用方便的解，期望對學術界的創創性和工程界的適用性都有所貢獻。