

濁水溪沖積扇頂區之地下水文特性分析案例

林芳華¹ 馮正一^{2*} 張育瑄¹

¹ 國立中興大學水土保持學系 研究生

² 國立中興大學水土保持學系 副教授 [*通訊作者 tonyfeng@nchu.edu.tw](mailto:tonyfeng@nchu.edu.tw) 402
台中市南區國光路 250 號

A Case Study of Groundwater Characteristics of the Apex of Zhuoshui River Alluvial Fan

Fang-hua Lin¹ Zheng-yi Feng^{2*}, and Yu-hsan Chang¹

¹ Graduate student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung
Hsing University

² Associate professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung
Hsing University;

*Corresponding author: tonyfeng@nchu.edu.tw 250, Kuo-kuang RD, Taichung, 402,
Taiwan

摘要

本研究旨在探討濁水溪沖積扇頂區之地下水文特性。首先利用時間序列與頻譜分析，探討研究區內河川水位與地下水位之相關性與週期特性。並以最佳化分析逆推地下含水層之水力擴散度。本研究蒐集 2005 年至 2008 年之彰雲橋河川水位站與研究區內 10 口地下水位井之觀測數據進行各項分析。本研究發現研究區之河川水位對水井水位的響應，約有將近 2 至 3 個月的延宕，並有週期為一年的特性。而地下水觀測井所在位置與輸入源(如河川)之距離遠近，會影響延宕時間。本研究亦發現含水層連通性佳的地區，其能譜值較強。

關鍵字：濁水溪、沖積扇、頻譜分析、地下水位

27

Abstract

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

This study discussed the groundwater characteristics of the apex of the Zhuoshui river alluvial fan. We use the time series and spectra analysis to study the relationships between the river water level and groundwater level as well as the periodicity. The hydraulic diffusivity was inversely estimated by using the optimization analysis. The water level data of Chun-yun-Bridge and ten observation wells in the study area was collected from 2005 to 2008 for this study. We found that there is two to three months response delay between the river water level and groundwater level in the studied area and there is a prominent period of one year analyzed from the data. The distance between observation well and river will influence the response delay time. This study also found that the spectra are stronger for regions with good continuous aquifer.

39

40

前言

41

42

43

44

本研究以濁水溪沖積扇頂地區為研究對象，應用時間序列與頻譜分析模式，探討濁水溪沖積扇頂地區河川水位與地下水位之自我相關程度及週期特性。其次分析河川水位對不同地下水觀測井之交叉相關程度以及頻譜分布。另以最佳化 (Optimization) 分析應用於地下含水層流動之頻譜方程式，逆推求得水文擴散係數

45 (D)及能譜分布之最佳解，並以不同含水層模型的能譜分布探討本模式之可適性。

46 根據 Lee et al. (2000)文中所述:「時間序列資料可提供我們關於水文過程中，
47 空間變化的分布與含水層系統的脈衝響應(Impulse Response)之有用資訊(Duffy
48 and Gelhar, 1986)」，時間序列分析源自 1920 年代 Undy Yule 教授發明之時間序列
49 分析法理論。1970 年代，Box and Jenkins 提出自我迴歸移動平均整合模式
50 (Autoregressive Integrated-Moving Average Models, ARIMA)之時間序列分析法。
51 Jenkins and Watts (1968)發展交叉相關係數(Cross-correlation)與互能譜
52 (Cross-spectral analysis)之時間序列與頻譜分析模式。

53 Padilla et al. (1995)應用時間序列與頻譜分析模式探討喀斯特地形的含水層
54 (karstic aquifers)系統中，降雨與流量的轉換模式。Larocque et al. (1998)應用時間
55 序列與頻譜分析模式，探討不同位置之河川流率、壓力水頭、電導度及水溫之間
56 的轉換模式，進而獲得孔隙率及「比蓄水係數」(Specific storage coefficient, S_s)。
57 S_s 為蓄水係數(S)除以含水層厚度(b)，其物理意義為「單位體積中，每改變 1 單
58 位水頭，含水層之出水量」。 S_s 主要受到含水層之壓縮性及水的膨脹性影響。Lee
59 et al. (2000)應用時間序列及頻譜分析模式，探討降雨與地下水位之轉換模式及時
60 間延宕(Time delay)，並配合示蹤劑(tracer test)試驗，推估含水層系統之孔隙率及
61 比蓄水係數。國內相關之研究則有楊文川(2002)利用序率式水文時間序列、頻譜
62 分析及二元交叉相關函數分析等方法，探討濁水溪沖積扇扇頂區降雨量及地下水
63 位之長期趨勢、季節性變動、循環變動及不規則變動之情形。

64 國內亦有不少學者從事濁水溪沖積扇地區之地下水相關研究。以下僅就濁水
65 溪沖積扇頂區及地下水位變化之相關研究進行回顧。

66 吳雪蘋(2000)利用長年地下水位變化及降雨量、抽水以及潮汐等因素探討地
67 下水位變化之影響。結果發現，濁水溪沖積扇頂地區的地下水位主要和降雨量
68 有關。林時猷(2003)進行水文地質參數與氣象水文資料之敏感度分析。其中，水
69 文地質參數以儲水係數(S)與垂向滲漏係數較敏感。

70 江崇榮(2001)利用雙井水試驗之水力參數，以統計分析方法探討濁水溪沖積
71 扇地區，地下含水層之粒徑材料與水力傳導度及比蓄水係數等因素的關係。研究
72 結果發現，含水層之組成材料粒徑越粗，其水力傳導度越大、比蓄水係數越小。
73 另外，江崇榮(2005a、2005b)利用水文地質、氫、溶氧及硝酸態氮濃度在濁水溪
74 沖積扇各地下水層中之分布，釐定補注區域之範圍(如圖 2-5)；另以氧同位素法
75 估算各補注水源所佔比例(如圖 2-6)。研究結果發現，濁水溪沖積扇頂區域之河
76 床滲漏補注約 34%、降雨入滲補注約 22.9%，為濁水溪沖積扇地下水區之主要地
77 下水補注區。

78 蔡清研(2007)利用 MODFLOW-2000 模擬濁水溪沖積扇之地層於空間分布的
79 岩性特色。結果發現，濁水溪沖積扇上游多礫石層，該區水力傳導係數較大，故
80 水頭洩降較緩；另濁水溪沖積扇頂區補注量對水頭分布之影響顯著，推論扇頂
81 區為地下水主要補注區。

82 李傳煒(2008)應用灰色系統理論的觀念與方法進行地下水位預測模式之研

83 究，以四種方法預測地下水位，發現四種模型應用於扇頂地區皆有良好成果。其
84 研究結果顯示，地下水變動具季節性變化之特性，應用季節性修正的模型可有效
85 提高其地下水模式的預測精度。

86 利用地下水位實測數據進行研究時，一般考慮非穩態地下水流(Non-steady
87 groundwater flow)方程式；然而結合頻譜分析之地下水流動方程式的相關研究較
88 少。施清芳等(1998)以 Dupuit 近似之非受壓一維流動序率方程式及邊界條件推導
89 頻譜關係式，估計地下含水層之水力擴散係數。以頻譜表示法之地下水流動控制
90 方程式，依不同邊界條件進行頻譜方程式之推導。本研究即採施清芳(2001)所推
91 導之地下水含水層流動的頻譜方程式進行分析。

92 材料與方法

93 本研究材料之分布位置與基本資料如圖 1 與表 1 所示，研究流程如圖 2 所
94 示。採用 2005 年至 2008 年之彰雲橋河川水位站與試區內 10 口地下水位井之日
95 觀測數據進行各項分析。假設試區內彰雲橋河川水位站之水位變化即為區內濁水
96 溪的水位變化，以時間序列、頻譜分析與最佳化演算法，探究研究區之地下水文
97 特性。

98 一、時間序列與頻譜分析

99 本研究利用時間序列與頻譜分析模式，分別以時間域與頻率域兩觀點，探討
100 隨機過程中，輸入資料(Input)與反應資料(Response)之關係、時間延宕特性及週
101 期特性。此分析分為自我相關分析、交叉相關分析、自能譜分析及互能譜分析等

102 4 部份。前兩部分乃於時間域下之分析，後兩部份則在頻率域中進行分析。

103 有關時間序列與頻譜分析模式之說明如下。自我相關函數可量化連續性資料
104 在時間週期的線性相依特性(Larocque et al., 1998)。若時間序列資料無相關，則
105 自我相關函數值下降快速，具短時間達到 0 之特性；而時間序列若具強烈的內相
106 依性(interdependency)及長時間的時間記憶(memory effect)，則自我相關係數值將
107 緩慢的下降，並具較長的時間延宕(Lee et al., 2000)。

108 Lee et al. (2000)之結果發現，相同位置、但不同地下水井深度之條件下，自
109 我相關係數不同。鑽井深度較淺之地下水井(淺井)，其自我相關係數下降較快，
110 表示輸入事件後(如降雨)，淺井較快受輸入事件之影響，使反應的記憶效果時間
111 縮短；相反地，深井則因受到輸入事件影響的時間較長，自我相關係數下降較慢，
112 使反應之記憶效果時間拉長。

113 二、一維含水層之頻譜方程式

114 施清芳(2001)以頻譜分析理論推導 5 種含水層及邊界條件型態之一維地下含
115 水層流動頻譜方程式。本研究忽略降雨條件，考慮之含水層及邊界型態為「受壓
116 含水層兩端擾動水位邊界」及「非受壓含水層含上部入滲與兩端擾動水位邊界」，
117 建構濁水溪沖積扇頂區之拘限含水層與非拘限含水層的地下水一維模型，配合最
118 佳化分析推估各地下含水層模型之水力擴散度(D)，水力擴散度(D) = K (水力傳
119 導度) / S_s (比出水係數) = T (導水係數) / S (蓄水係數)，T = K*b(含水層厚度)。相
120 關的地下含水層流動頻譜方程式，讀者可詳見於施清芳(2001)文獻中。

結果與討論

121

一、時間序列與頻譜分析模式

122

(一) 自我相關分析

123

124 比較河川水位站與各地下水位觀測井之自我相關係數發現，各地下水觀測井
125 之下降速度較河川水位站之下降速度緩，顯示地下水位變化具有較長的時間記
126 憶，且呈現較佳之線性關係。

127 進行各站觀測資料逐年之自我相關分析，並計算其平均值，探討相同位置、
128 但不同鑽井深度之自我相關係數變化趨勢，發現鑽井深度較淺者，其自我相關係
129 數普遍下降較快，如圖 3 之田中與田中(1)、柑園(1)與柑園(2)及圖 4 之石榴(1)與
130 石榴(2)，與 Lee, et al. (2000)之結果相符。此現象乃因輸入事件後(如降雨)，淺井
131 較快受輸入事件之影響，使反應的時間記憶縮短。而圖 3 顯示，時間延宕初期，
132 田中(2)站之自我相關係數下降速度較田中及田中(1)快，與 Lee, et al. (2000)之結
133 果不符，推測乃因該站之鑽井深度較深，不易受垂直入滲等降雨事件影響，或另
134 有其他側向之輸入事件影響所致(如河床之側向補注)。

135 蒐集降雨資料之分析推測，若輸入事件之量值(如降雨量)較小，則自我相關
136 係數之下降速度較快。另比較雨量、河川水位及地下水位之自我相關分析結果發
137 現，地下水位具有最長之時間記憶，其次為河川水位。而雨量因素因一般降雨事
138 件歷時短，呈現極差的線性關係；河川則受到短時間的降雨事件影響，河川水位
139 之時間序列呈現較不平滑的情形，造成河川水位資料之線性關係不佳。

140

141 (二) 交叉相關分析

142 本試區之交叉相關係數介於 0.428 至 0.471 之間，若依皮爾遜積差相關係數
143 (Pearson product-moment correlation coefficient)所定義之相關程度，濁水溪河水對
144 地下水之影響屬中度相關。

145 交叉相關分析結果發現，濁水溪沖積扇頂區之河水經過約 50~80 天後造成地
146 下水井的變化。由圖 5 分析濁水溪沖積扇頂北岸地區受濁水溪河川反應所延宕的
147 整體時間趨勢，二水地區約 45~65 天、柑園地區約 50~80 天、田中地區約 65~85
148 天；南岸地區受河川反應的延宕時間，烏塗(2)約 50~70 天，六合(2)約 60~85 天。
149 以上之延宕時間分析，約有 20~30 天之誤差範圍可能是因為研究區域範圍較大，
150 而河川水位站與水井之距離較遠，而數據資料僅為「日資料」，其取樣率(sampling
151 rate)尚不足所致，如能使用「時資料」應可改善延宕時間之範圍。如圖 5 之柑園
152 (2)所示，交叉相關係數呈現一段平緩頂部的曲線(其範圍約在 50~80 天的位置)，
153 交叉相關係數值相近，但時間延宕卻差異約 30 天。

154 由地下水觀測井-河川之距離與時間延宕的關係發現，地下水觀測井與河川
155 之距離越近，時間延宕有較短之趨勢；相反地，地下水觀測井與河川之距離越遠，
156 時間延宕則有較長的現象。另探討地下水觀測井之鑽井深度與時間延宕的關係則
157 顯示，相同位置、但不同地下水觀測井之鑽井深度(以淺井與深井稱之)，淺井之
158 交叉相關係數較高、時間延宕較短；而深井的交叉相關分析結果則有交叉相關係

159 數較低、時間延宕較長之趨勢。

160 (三) 自能譜分析

161 自能譜分析結果顯示，試區內河川水位及地下水位變化之能量主要集中於低
162 頻處，且最顯著能量值所對應之頻率皆相同。另外，試區內河川水位變化主要呈
163 現 1 年、2 年之週期變化與長期變動趨勢之特性；而地下水位變化則以年週期特
164 性尤其顯著。

165 比較各地下水井之地理位置與能譜值分布的關係，發現能譜值依地下水井位
166 置自東向西之分布，呈現漸次變弱的情形。且能譜值強弱分布與地下水位變化大
167 小之所在位置相符，即試區內較上游處之地下水位變化大、自能譜較強；較下游
168 處之地下水位變化小、自能譜較弱。

169 由濁水溪沖積扇之地層材料特性推測其與能譜值的關係得知，因上游處之地
170 層以礫石及砂層為主，含水層連通性佳，河川水較易滲漏補注至地下含水層中，
171 以致水位變化較大、能譜值較強；而下游處因接近濁水溪沖積扇扇央區，含水層
172 之地層材料夾帶些許細砂層及泥層，使河川水不易滲漏補注至地下含水層中，以
173 致地下水位變化較小、能譜值較弱。

174

175 (四) 互能譜分析

176 河川水位對地下水位的影響主要頻率約 0.00274(週期 365 天)，顯示濁水溪
177 之河川水對濁水溪沖積扇頂區地下水反應的年週期特性。另外，能譜值與河川到

178 地下水井之距離無顯著相關；然能譜值依地下水井位置自東向西之分布，呈現漸
179 次變弱的情形。推測乃因上游處之地層以礫石層及砂層為主，含水層連通性佳，
180 河川水較易滲漏補注至地下含水層中，導致水位變化較大、能譜值較強；而下游
181 處則因接近扇央區，地層材料夾帶些許細砂層及泥層，使河川水不易滲漏補注至
182 地下含水層中，以致地下水位變化較小、能譜值較弱。

183 二、一維含水層之頻譜方程式

184 (一) 地下水含水層之水力擴散度

185 本研究考慮未降雨條件下之頻譜方程式，採 Matlab 程式之最佳化工具箱逆
186 推得水力擴散度最佳解的實驗值結果，及合理值範圍 $D(\min)$ 與 $D(\max)$ 如表 5 所
187 示。結果顯示，本最佳化分析推求之水力擴散度最佳解皆符合合理值。顯示特定
188 頻率下(本研究採 0.00274)之頻譜模式，逆推之水力擴散度具有可適性。

189

190 (二) 地下水含水層之能譜分布

191 經最佳化演算各測站地下水一維模型之能譜分布結果(圖 6)，除田中(1)、田
192 中(2)外，其他模型之能譜值分布情形，均有隨著與河川之距離越大而漸小的現
193 象，且有近似於反比之線性趨勢，呼應拘限含水層模型之水頭分布，顯示二水、
194 柑園(1)、柑園(2)、烏塗(2)及六合(2)等模型均適用於本模式。因本研究忽略降雨
195 因素，拘限、非拘限含水層之頻譜方程式相同，即無拘限、非拘限含水層之分，
196 一律簡化為拘限含水層模型，故非拘限含水層之距離-水頭分布亦呈反比趨勢。

197 田中(1)與田中(2)兩測站之「地下水一維模型則不適用，其因素初步推測該測站
198 之地層較不均質影響了河川對地下含水層之側向補注，此仍待進一步研究。

199 結論與建議

200 本研究結果，除田中(1)及田中(2)外，時間域及頻率域觀點所推估之時間延
201 宕相符。最佳化分析推求之水力擴散度最佳解皆符合合理值。顯示特定頻率下之
202 一維地下水頻譜模式，逆推之水力擴散度亦具有可適性。

203 濁水溪沖積扇頂區之河川水位對地下水觀測井水位的響應，約有將近 2 至 3
204 個月的時間延宕。距離濁水溪越遠的地下水井，其時間延宕越久；距離地表越遠
205 之地下水井，其時間延宕較久。故推測時間延宕長短主要受地下水所在位置與輸
206 入源(如河川)之距離遠近影響。

207 頻譜分析結果顯示，濁水溪沖積扇頂區之河川水位變化主要呈現 1 年、2 年
208 之週期變化與長期變動趨勢(trend)之特性；而地下水位變化則以年週期特性尤其
209 顯著。另外，濁水溪之河川水位對濁水溪沖積扇頂區地下水位的影響，主要顯示
210 了年週期特性。比較各地下水井之地理位置與能譜值分布，發現能譜值依地下水
211 井位置自東向西之分布，呈現漸次變弱的情形。推測因含水層連通性佳，河川水
212 較易滲漏補注至地下含水層中，以致水位變化較大、能譜值較強。

213 忽略降雨條件下，除田中(1)及田中(2)外，各地下含水層模型之能譜值分布
214 情形，均有隨著與河川之距離越大而漸小的現象，且有近似於反比之線性趨勢，
215 呼應拘限含水層模型之水頭分布。

216 由自我相關分析發現地下水井水位變化相較於河川水位變化，具有較長之時
217 間延宕。且由降雨資料之分析推測，輸入事件之量值(如降雨量)較小，則自我相
218 關係數之下降速度較快。另比較雨量、河川水位及地下水位等三項因素發現，地
219 下水位具有最長之時間記憶，其次為河川水位。而雨量因素因一般降雨事件歷時
220 短，呈現極差的線性關係；河川因素則受到短時間的降雨事件影響其線性關係。

221 由本研究各含水層模型之結果，建議應用於地層差異小之含水層。不均質地
222 層可能影響河川對地下含水層之側向補注。另外，本研究忽略了降雨進行頻譜分
223 析模式之探討；然濁水溪沖積扇地區之主要補注來源，除河川之側向補注外，亦
224 有降雨之滲漏補注，故建議後續研究者可考慮對降雨的影響做進一步探討。

225 參考文獻

- 226 1.施清芳、李錦地、邱金火。1998。以頻譜分析估計地下水非受壓含水層水力擴
227 散係數，核研季刊。28: 57-65。
- 228 2.施清芳。2001。應用頻譜分析研究地下水擾動特性與反求解地下水水力擴散係
229 數。中原大學土木工程學系博士學位論文。
- 230 3.經濟部中央地質調查所。1999。台灣地區地下水觀測網第 1 期計畫濁水溪沖積
231 扇水文地質調查總報告。
- 232 4.經濟部水利署。2000。台灣地區地下水補注量估算計畫。
- 233 5.經濟部水利署。2008。中華民國九十七年台灣水文年報總冊。
- 234 6.經濟部水利署。2008。中華民國九十七年台灣水文年報第三部分-地下水。
- 235 7.經濟部水資源局。1999。彙編台灣地區地下水-濁水溪沖積扇。
- 236 8.楊文川。2002。應用時間序列分析探討濁水溪沖積扇扇頂區降雨量及地下水位
237 之趨勢與變動。國立中興大學水土保持學系碩士學位論文。
- 238 9.經濟部水利署-地下水觀測網(濁水溪沖積扇地區參數資料源自
239 <http://pc183.hy.ntu.edu.tw/SAFs/files/parameters/ChouShuei.txt>。更新於
240 2009-04-13 15:40:32)
- 241 10. 江崇榮(2001)，濁水溪沖積扇地下水層粒徑和水力參數之關係初探，經濟部
242 中央地質調查所彙刊，第 14 號，pp. 1-34。

- 243 11. 江崇榮、黃智昌、陳瑞娥、費立沅(2005a)，濁水溪沖積扇地下水區之補注區
244 釐定，第二屆資源工程研討會論文集，pp. 92-97。
- 245 12. 江崇榮、陳瑞娥、賴慈華、黃智昭(2005b)，濁水溪沖積扇地下水區之補注水
246 源評估，第二屆資源工程研討會論文集，pp. 86-91。
- 247 13. 李傳煒(2008)，濁水溪沖積扇地區地下水之探討與預測研究，國立中興大學
248 土木工程學系碩士學位論文。
- 249 14. 吳雪蘋(2000)，濁水溪沖積扇地區地下水位變化之研究，國立臺灣大學地質
250 科學研究所碩士論文。
- 251 15. 林時猷(2003)，以地下水位之區位相關性輔助濁水溪沖積扇地下水模擬之參
252 數決定，逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文。
- 253 16. Jenkins, G.M., Watts, D.G. 1968. Spectral Analysis and its Applications.
254 Holden-Day. San Francisco. CA: 525.
- 255 17. Larocque, M., A. Mangin, M. Razack, O. Banton. 1998. Contribution of
256 correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer
257 (Charente, France). *Journal of Hydrology*. 205: 217-231.
- 258 18. Lee, J.Y. and K.K. Lee. 2000. Use of hydrologic time series data for
259 identification of recharge mechanism in a fractured bedrock aquifer system. *Journal*
260 *of Hydrology*. 229: 190-201.
- 261 19. Padilla, A. and Antonio Pulido-Bosch. 1995. Study of hydrographs of karstic
262 aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology*.
263 168: 73-89.
- 264

265

266

表 1 時間序列與頻譜分析模式之研究內容

267

Table 1. Time series analyses and spectral analyses

分析方法	研究材料			河川水位站	探討項目
	觀測期間	資料 歷時	地下水位觀測井 ^[1]		
單一變數之相關分析	2005~2008 年 (或 3 年)	4 年 (或 3 年)	二水、田中、田中 (1)、田中(2)、柑園 (1)、柑園(2)、烏塗 (2)、	彰雲橋	地下水水位自我相關性變化及時間延宕特性。
			六合(2)、石榴(1)及 石榴(2)		河川水位變化與地下水水位變化之能譜反應及週期特性。
多變數之相關分析	2005~2007 年	3 年	二水、田中、田中 (1)、田中(2)、柑園 (1)、柑園(2)、烏塗 (2)、	彰雲橋	河川對地下水水位影響之時間延宕及相關性變化特性。
			六合(2)		河川對地下水水位影響的時間延宕及週期特性。

268

註 1: 相同位置、但不同鑽井深度之地下水位觀測井以相同名稱、但不同編號區別之(如田中、柑園及石榴等站)。

269

270

271

表 2 河川水位與地下水水位交叉相關分析結果

272

Table 2. Result of the cross-correlation analysis for river level and groundwater

273

level

地下水 井名稱	X 座標	Y 座標	河川到地下 水井的推估 距離(m)	時間延宕 (日)	交叉相關係 數 r_{xy}
濁水 二水	210242	2634428	2285	56	0.451
溪以 田中	207088	2639188	5972	75	0.470
北 田中 (1)	207088	2639188	5972	76	0.463
田中 (2)	207088	2639188	5972	81	0.428
柑園 (1)	201662	2635696	2434	48	0.471
柑園 (2)	201662	2635696	2434	61	0.443

濁水	烏塗	208141	2629528	1691	62	0.442
溪以	(2)					
南	六合	204584	2629706	2535	66	0.458
	(2)					

274

275

276 表 3 自能譜分析之結果(最顯著能譜)

277 Table 3. Result of auto-spectral analysis (the highest power spectrum)

屬性	站名	顯著頻率	週期	能譜值
河川水位站	彰雲橋	0.002738	365.25	222.759
	二水	0.002738	365.25	10771.391
	田中	0.002738	365.25	6512.670
濁水 溪北 岸 地下 水位 站	田中(1)	0.002738	365.25	5523.577
	田中(2)	0.002738	365.25	5256.557
	柑園(1)	0.002740	365	1566.310
	柑園(2)	0.002738	365.25	2191.712
	烏塗(2)	0.002738	365.25	9401.286
	六合(2)	0.002738	365.25	5862.849
	石榴(1)	0.002738	365.25	2989.758
	石榴(2)	0.002738	365.25	14989.033

279

280 表 4 互能譜分析之結果

281 Table 4. Result of cross-spectral analysis

河川水位						
頻率	能譜值	相關性 係數	週期	相位角	河川到地下 水井的推估 距離(m)	
二水	0.00273785	385.905	0.564	365.25	0.932	2285
田中	0.00273785	305.702	0.574	365.25	1.145	5972
田中(1)	0.00273785	282.613	0.587	365.25	1.167	5972
田中(2)	0.00273785	262.586	0.532	365.25	1.061	5972
柑園(1)	0.00205339	173.539	0.633	487	0.778	2434
柑園(2)	0.00273785	178.300	0.587	365.25	0.944	2434
烏塗(2)	0.00273785	359.957	0.559	365.25	1.020	1691
六合(2)	0.00273785	296.517	0.575	365.25	1.154	2535

282

283 表 5 最佳化(Matlab 工具箱)之分析結果

284 Table 5. Result of the Matlab optimization toolbox

	水力擴散度最 佳解	流通係數 $T^{[1]}$ (m^2/day)	模式 結果	合理值 $D(\min)^{[2]}$	合理值 $D(\max)^{[2]}$
二水	6.100E+07	6031.008	符合	1.21E+06	1.21E+08
田中	N/A	NULL	N/A	NULL	NULL
田中(1)	N/A	NULL	N/A	NULL	NULL

田中(2)	9.900E+06	1818	符合	3.64E+05	3.64E+07
柑園(1)	2.016E+07	2679.984	符合	5.36E+05	5.36E+07
柑園(2)	7.000E+05	2032.56	符合	4.07E+05	4.07E+07
烏塗(2)	3.570E+07	3344.688	符合	6.69E+05	6.69E+07
六合(2)	7.100E+06	3922.128	符合	7.84E+05	7.84E+07

285 註 1：流通係數源自水利署(地下水觀測網網站)。

286 註 2：合理值 D(min)與 D(max)分別以蓄水係數(S)為 5×10^{-5} 至 5×10^{-3} 所計算之結果。

287

288

289

290

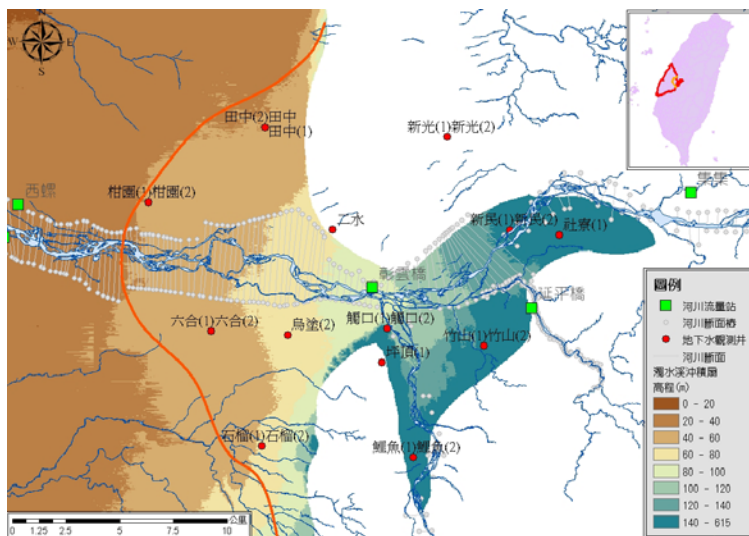


圖 1 研究區位置圖

Fig. 1. Location of the study area

291
292
293
294
295

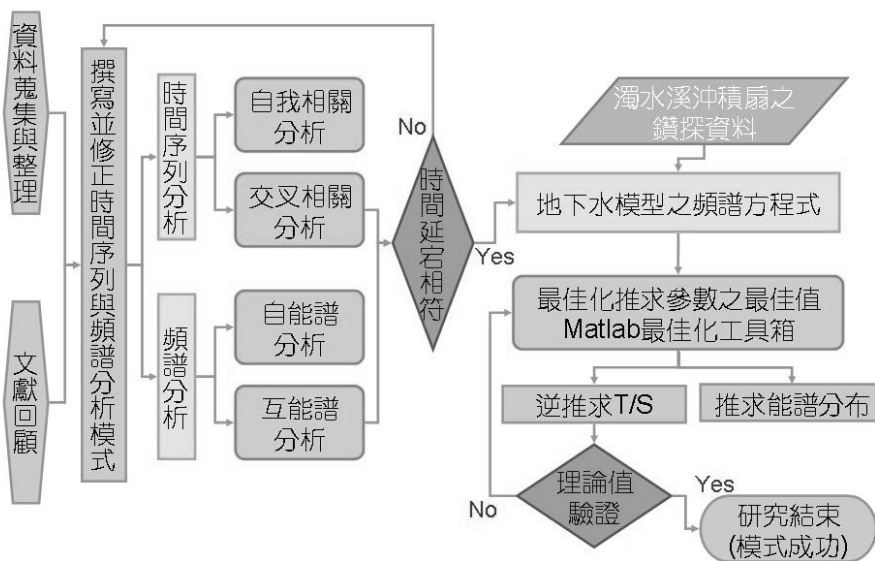


圖 2 研究流程圖

Fig. 2. Overview of this study

296
297
298
299
300

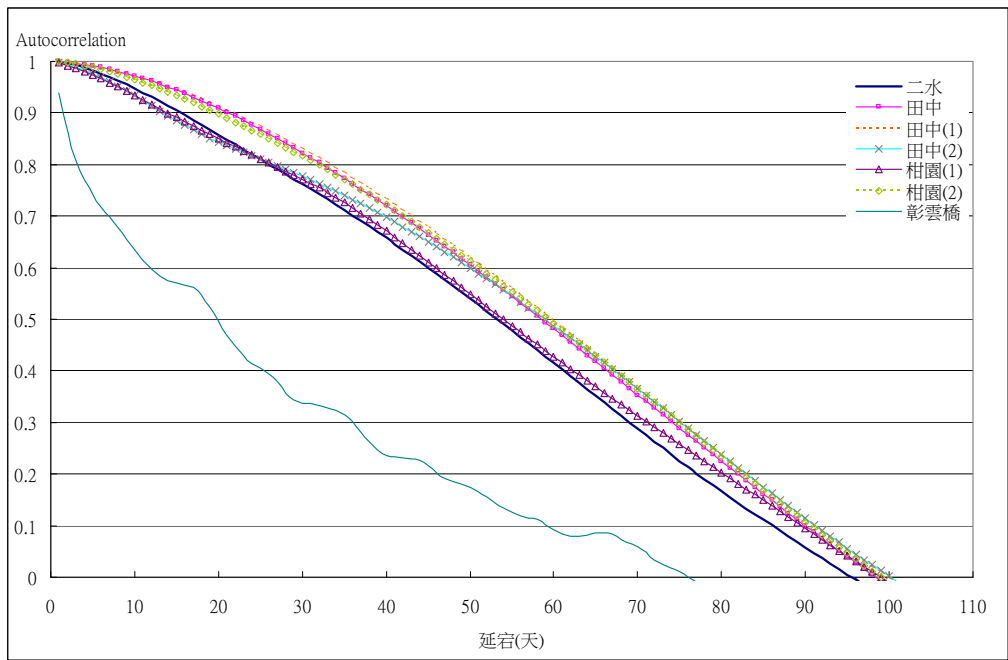


圖 3 歷年平均之自我相關係數變化(濁水溪北岸)

Fig. 3. Result of autocorrelation for the average over the years (northern of Zhuoshui river)

301
302
303
304
305

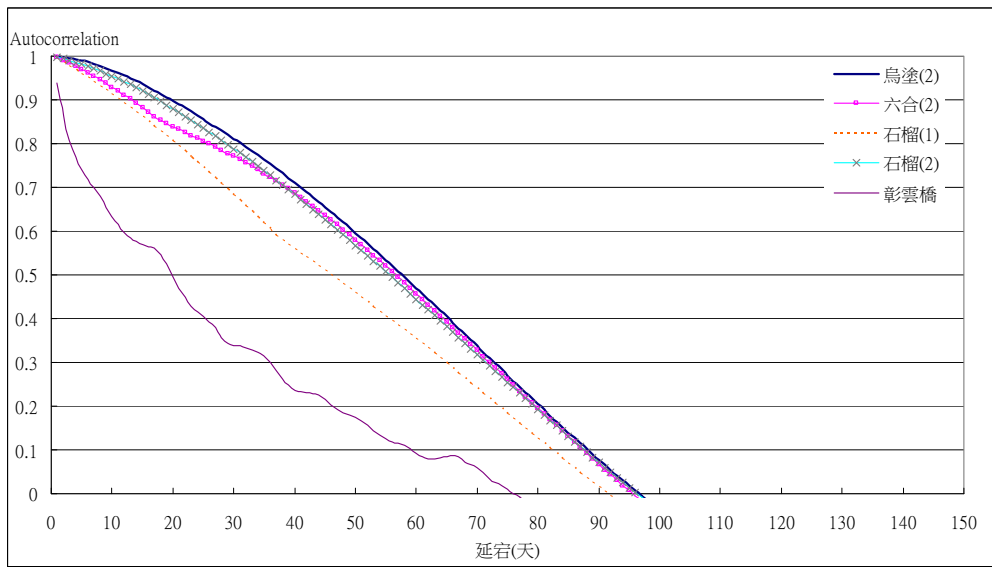
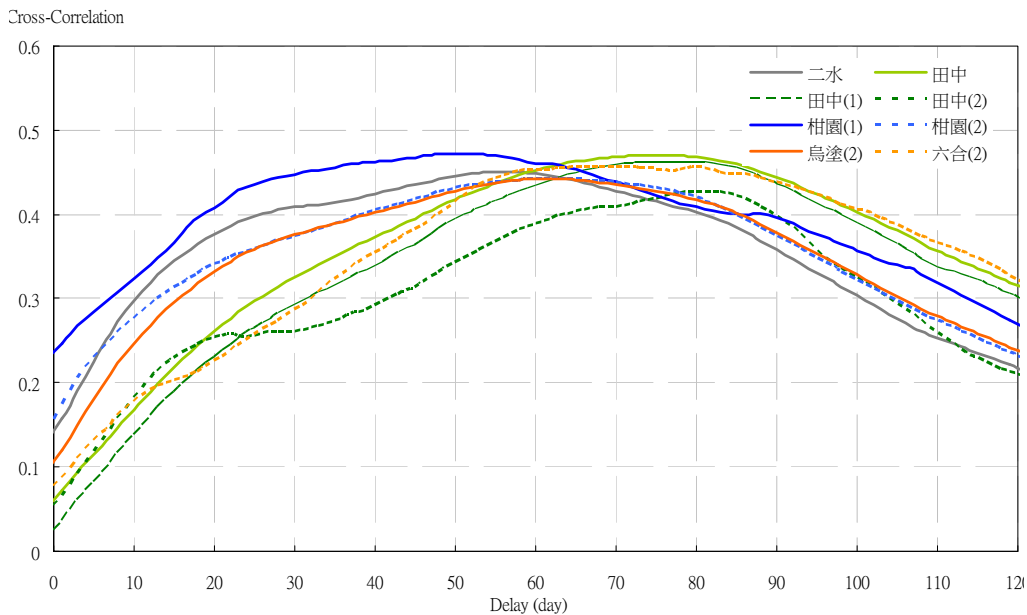


圖 4 歷年平均之自我相關係數變化(濁水溪南岸)

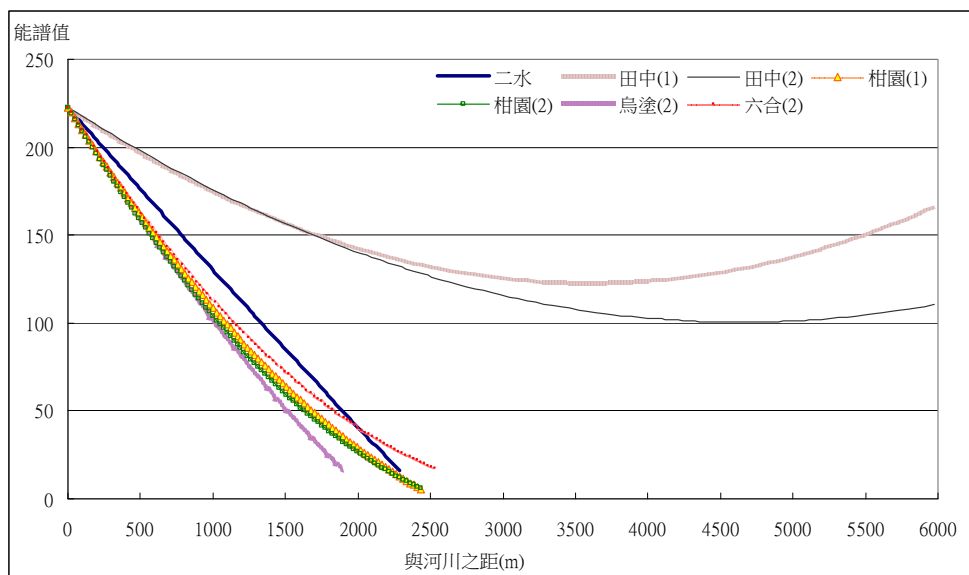
Fig. 4. Result of autocorrelation for the average over the years (southern of Zhuoshui river)

306
307
308
309
310
311



312
313
314
315

圖 5 交叉相關分析結果
Fig. 5. Result of cross-correlation analysis



316
317
318
319

圖 6 含水層之能譜值分布
Fig. 6 Result of spectra magnitude of the aquifer