



高頻地下水位紀錄中的動態響應分析 以地震地下水觀測資料為例

賴文基

國立成功大學防災研究中心

報告綱要

一、研究背景

二、研究目的

三、研究結果

3.1 潮汐反應

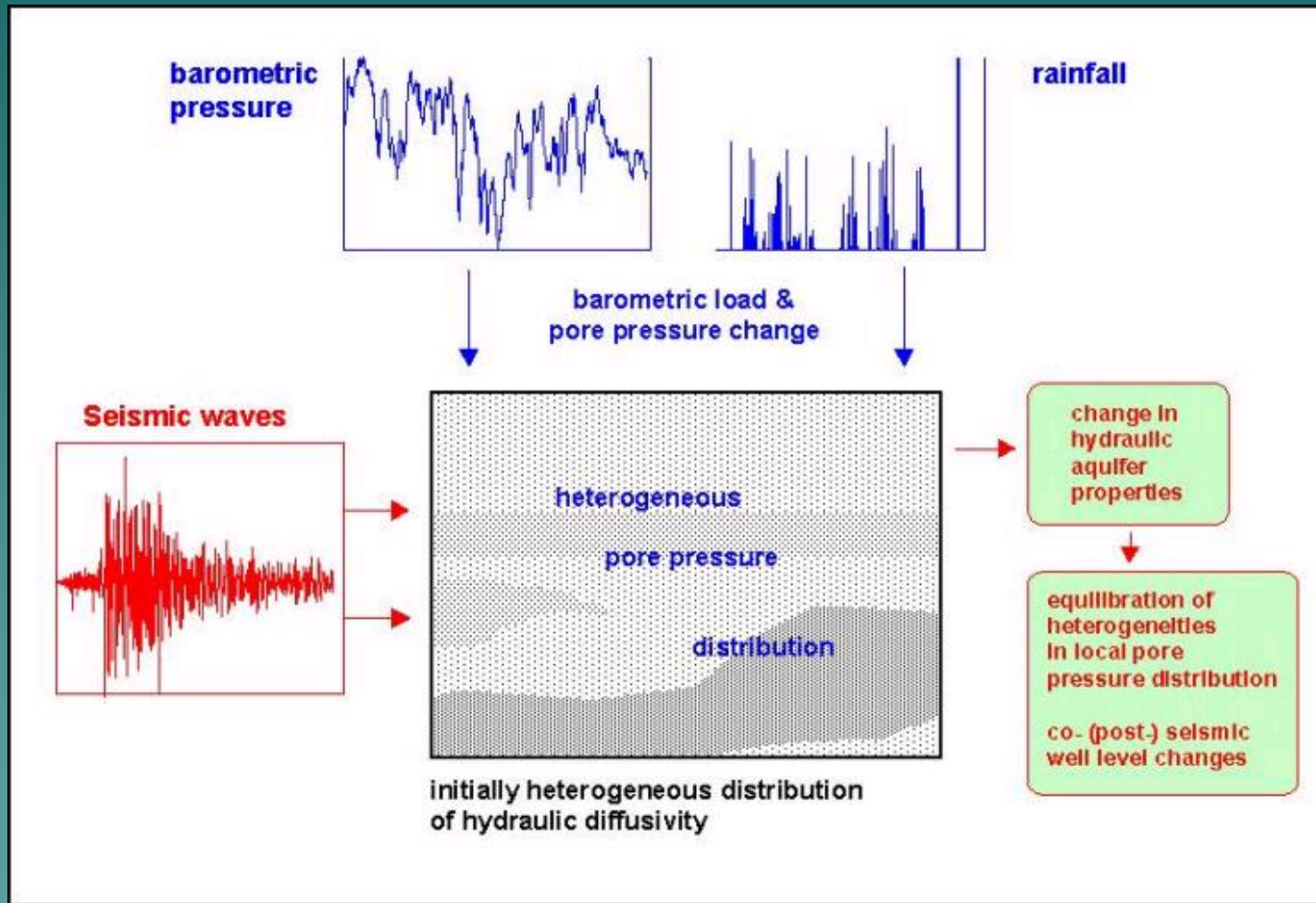
3.2 地震反應

3.3 氣壓反應

四、討論與結論

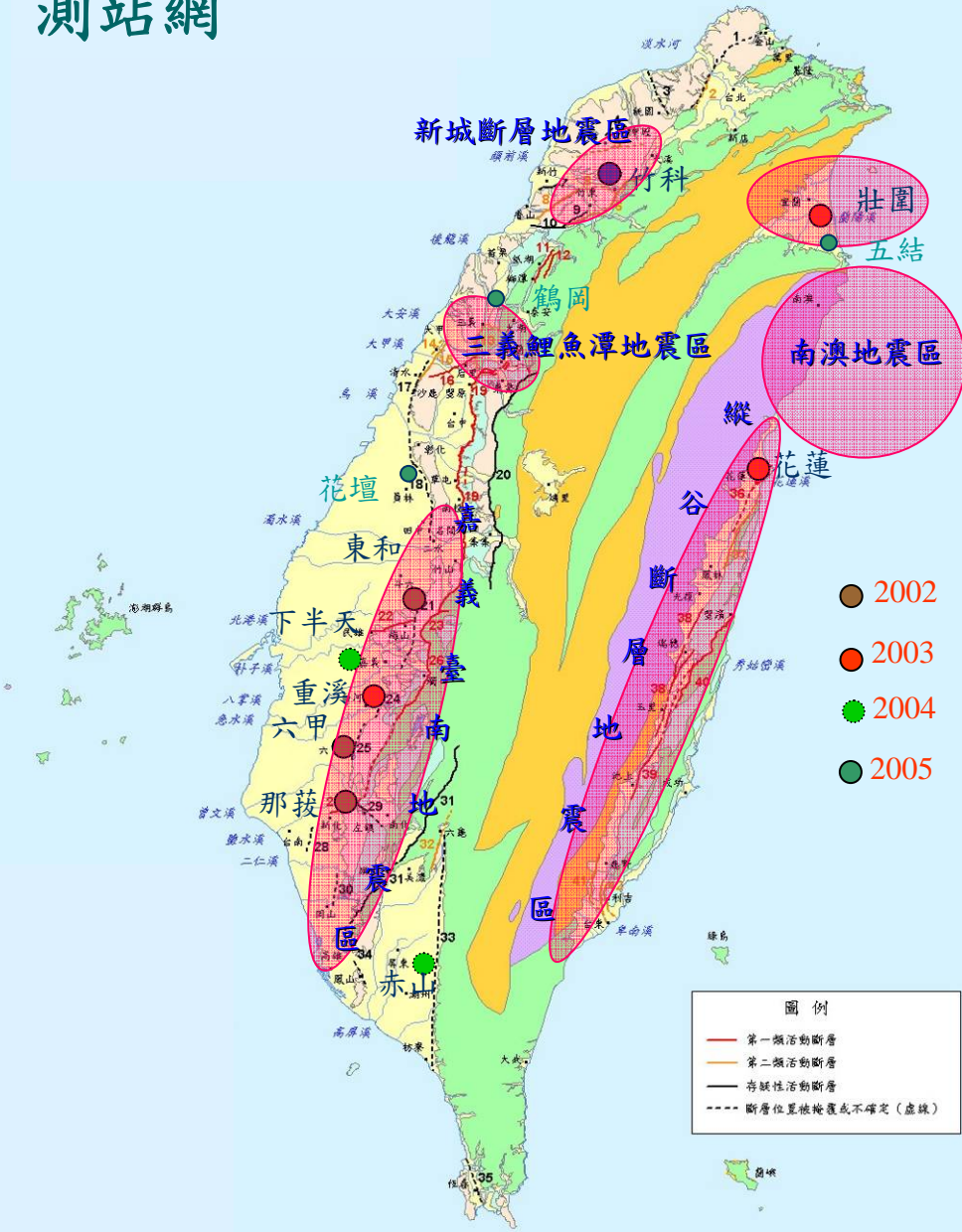
一、背景說明：

觀測井-含水層對自然作用的反應特性



Grecksch et al., (2002)

地震地下水觀測站網



一、背景說明： 地下水位觀測資料修正

$$S_n + C_n = Y_n - P_n - T_n - R_n - \varepsilon_n$$

Y_n ：原始水位

P_n ：氣壓修正

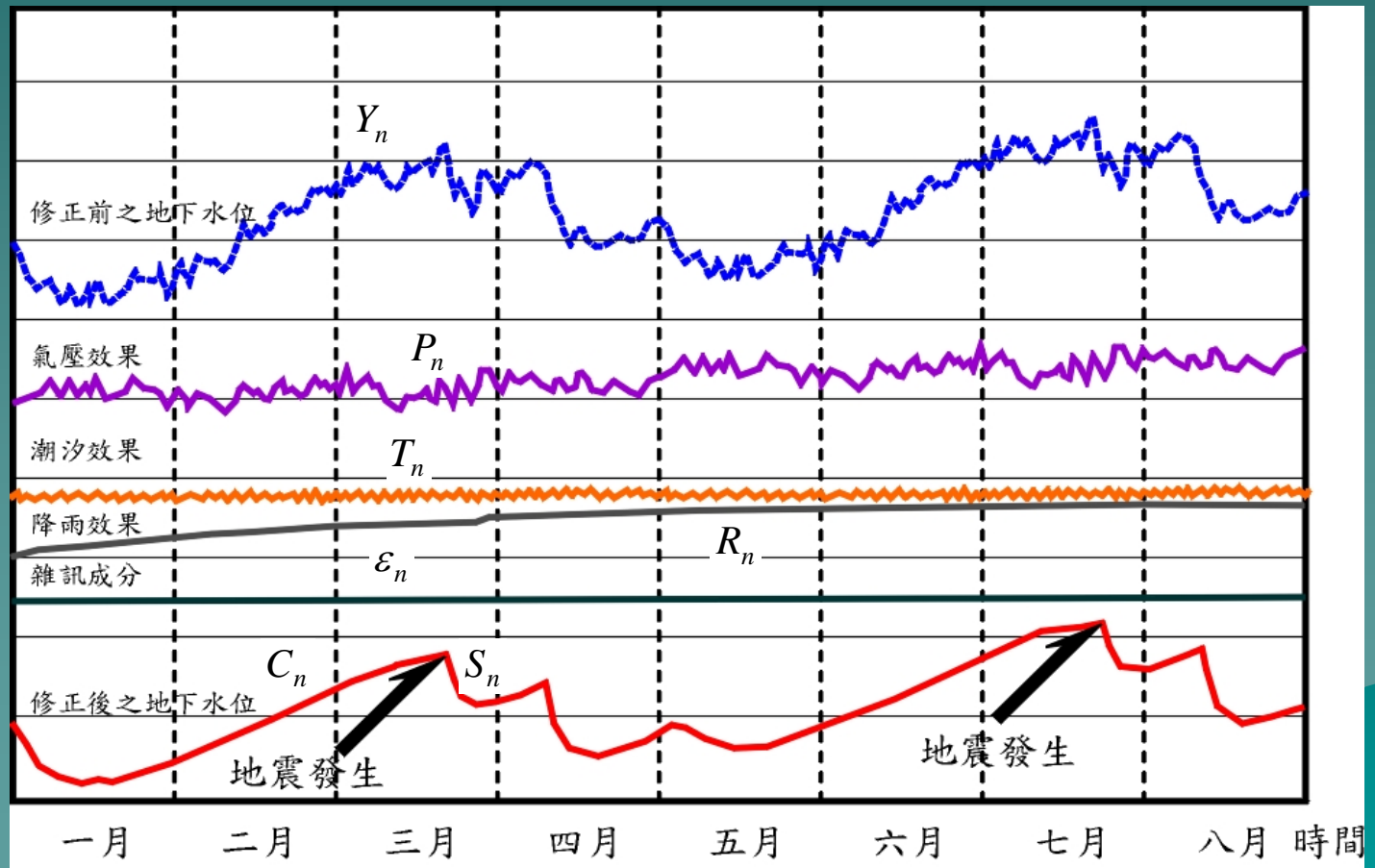
T_n ：地潮修正

R_n ：降雨修正

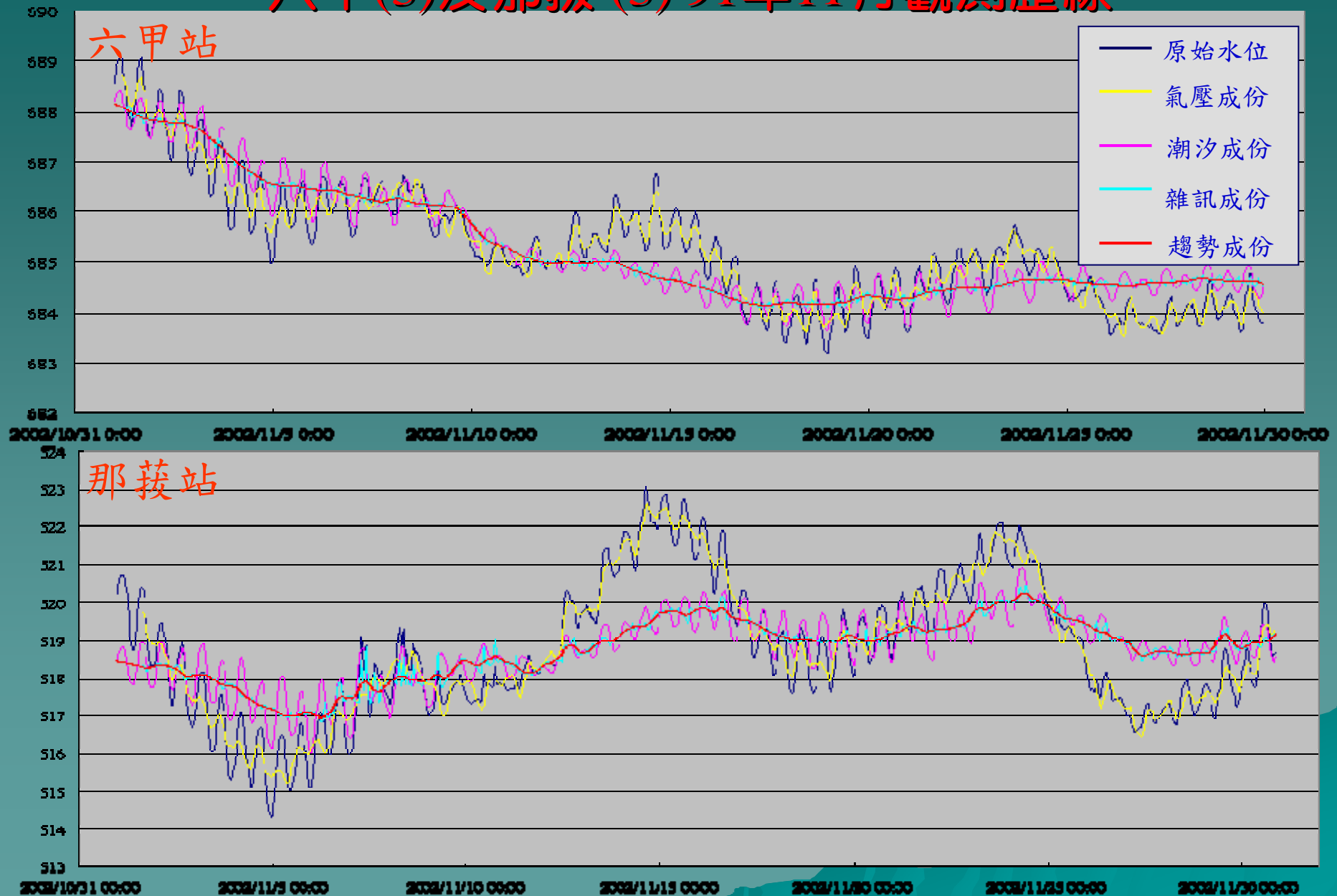
ε_n ：雜訊修正

C_n ：趨勢水位

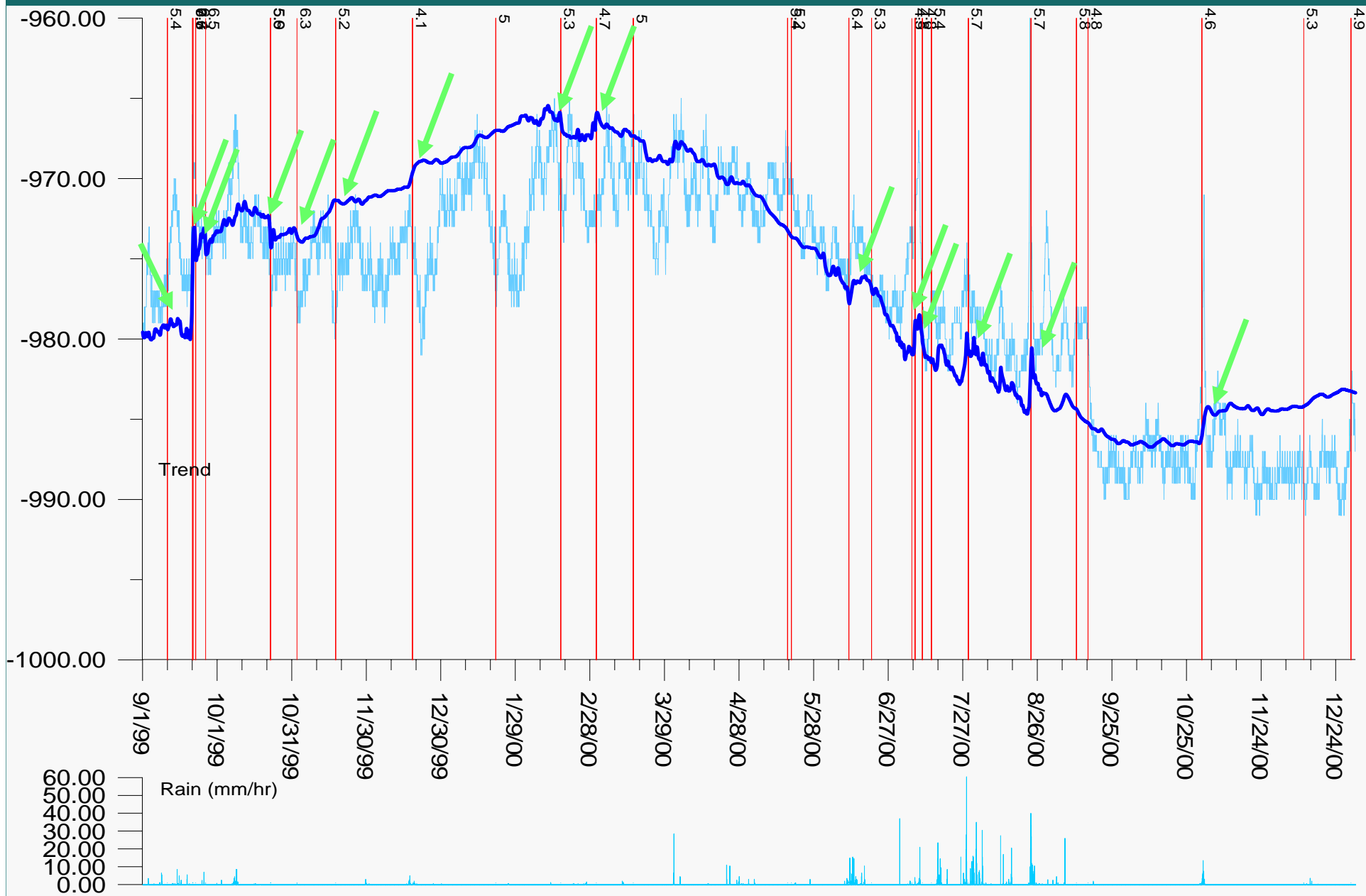
S_n ：同震水位



地下水中週期動態影響因子案例： 六甲(3)及那菝(3) 91年11月觀測歷線

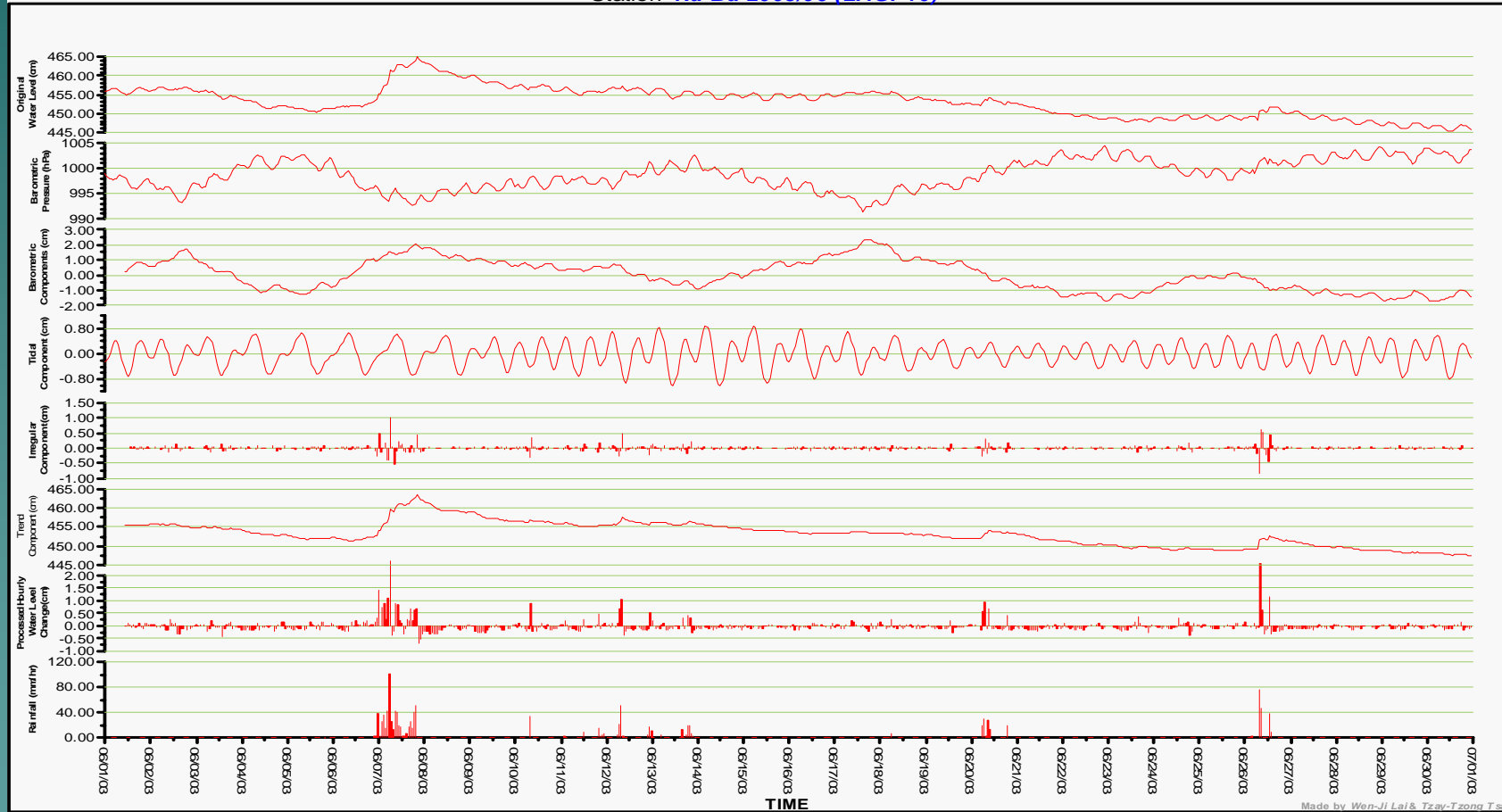


台南.總爺(二)1999/9~2000/12濾除後水位



降雨荷重對地下水位影響

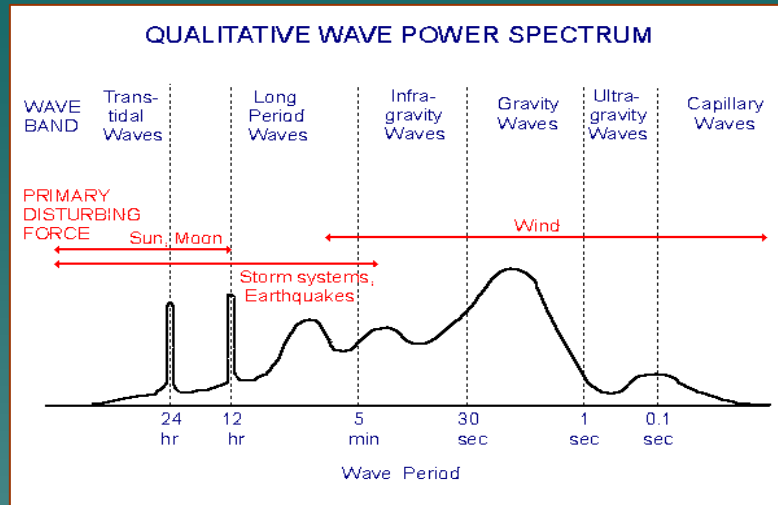
The Study of Groundwater Anomalies Associated with the Earthquake
Station *Na-Ba 2003/06 (LAGP10)*



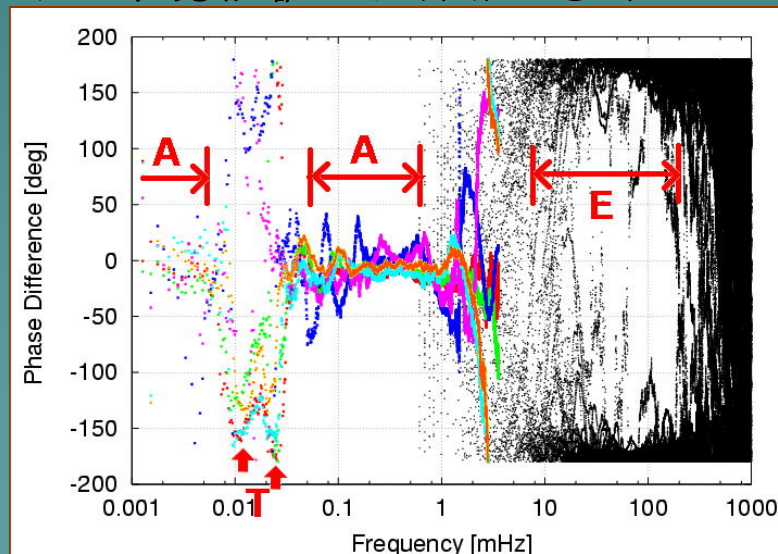
二、研究目的

- 釐清水位中短期動態變化的影響機制
- 估算水井-含水層水文系統的地下水文參數
- 建立分析水位動態變化所需的資料處理技術

探討不同訊號源對於地下水位的影響



水位環境影響因子頻譜示意圖



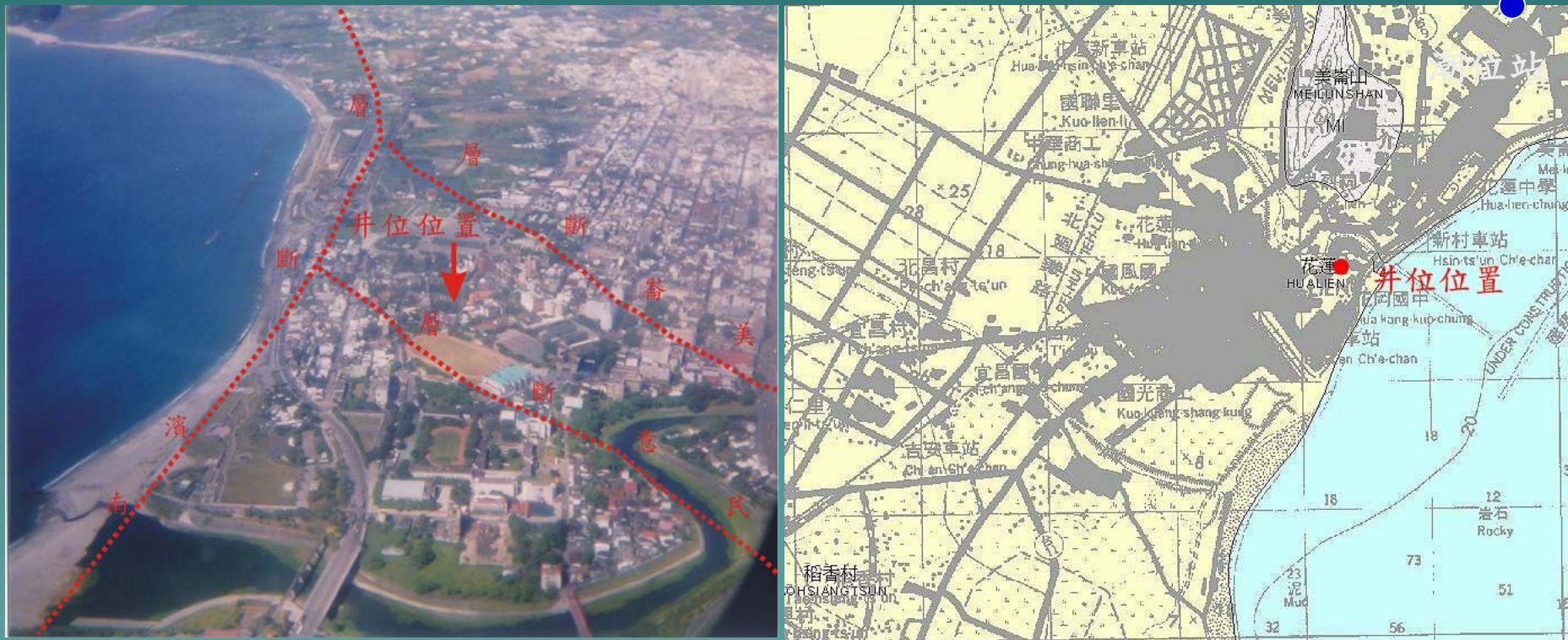
水位微動態影響因子頻譜圖

(岩村公太、小泉尚嗣及金鳴聰,2002)

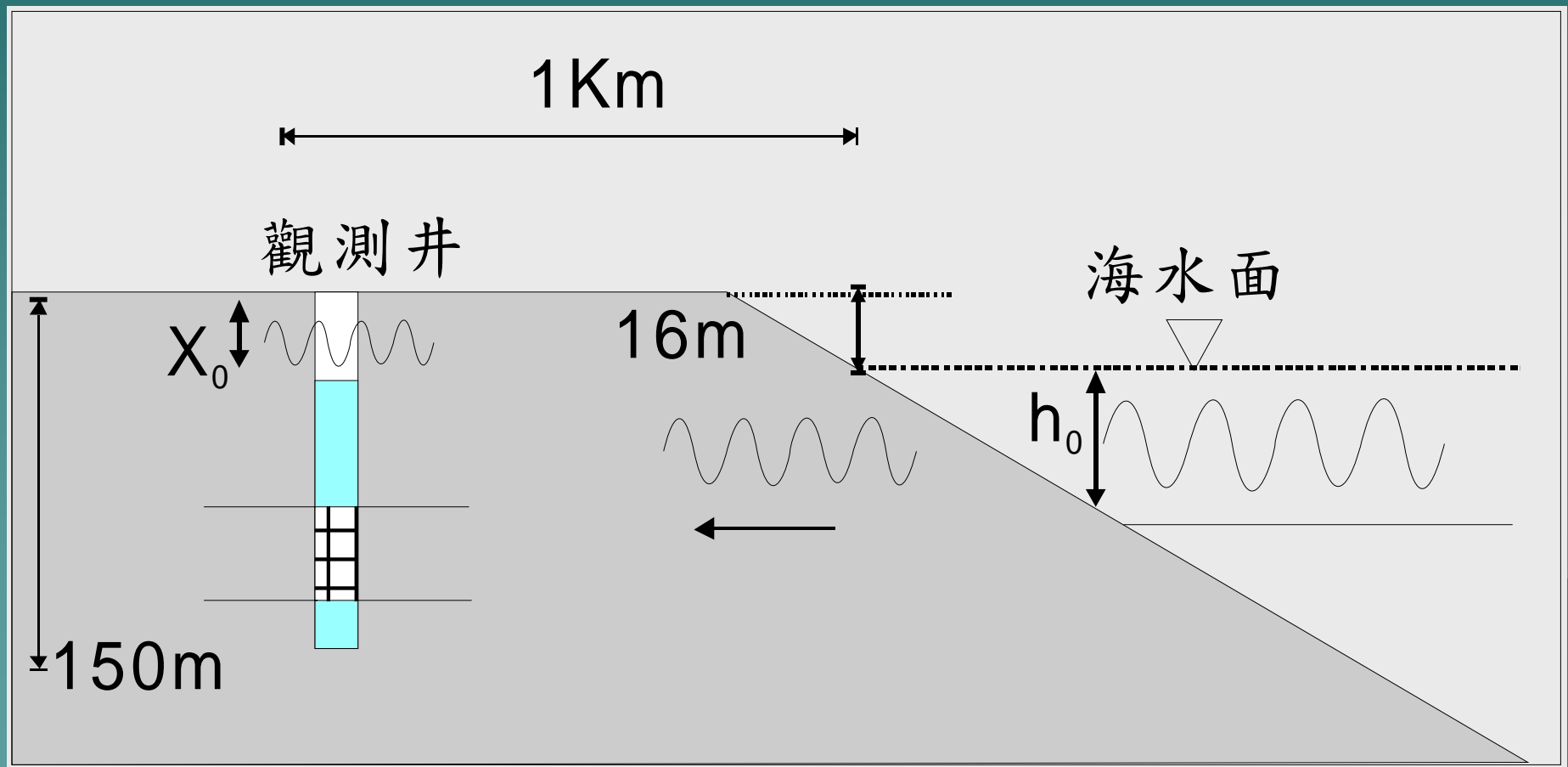
- 藉由不同影響因素對於水井-含水層系統的響應分析及求取其反應參數。
- 水井-含水層系統對於不同頻率訊號的反應比對
- 水井-含水層系統孔彈性力學參數對於各項反應的影響

三、研究結果

3.1 潮汐反應：花蓮地震地下水觀測井

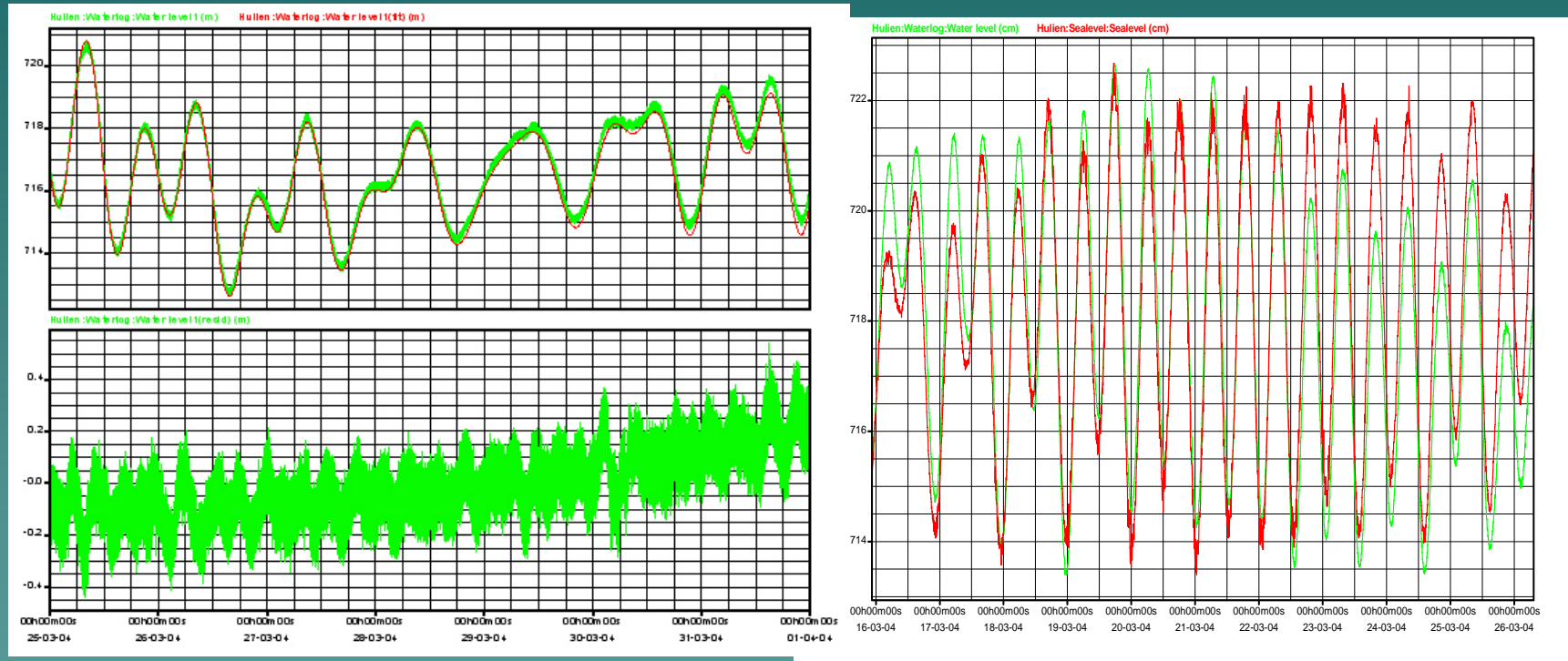


花蓮站潮位影響地下水位變動機制圖



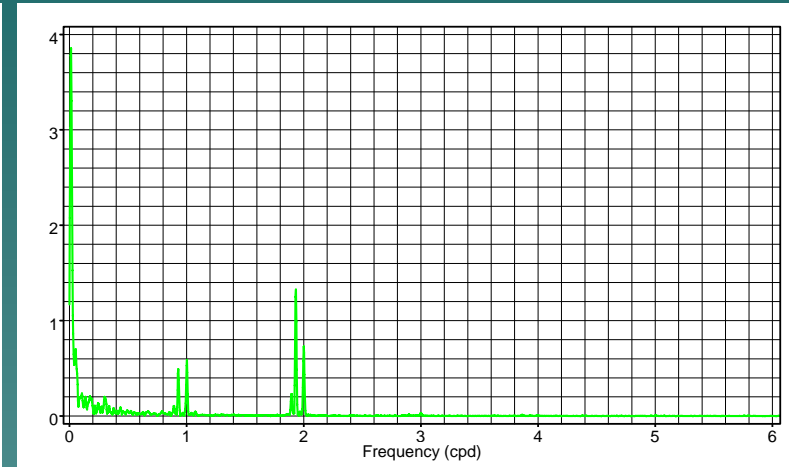
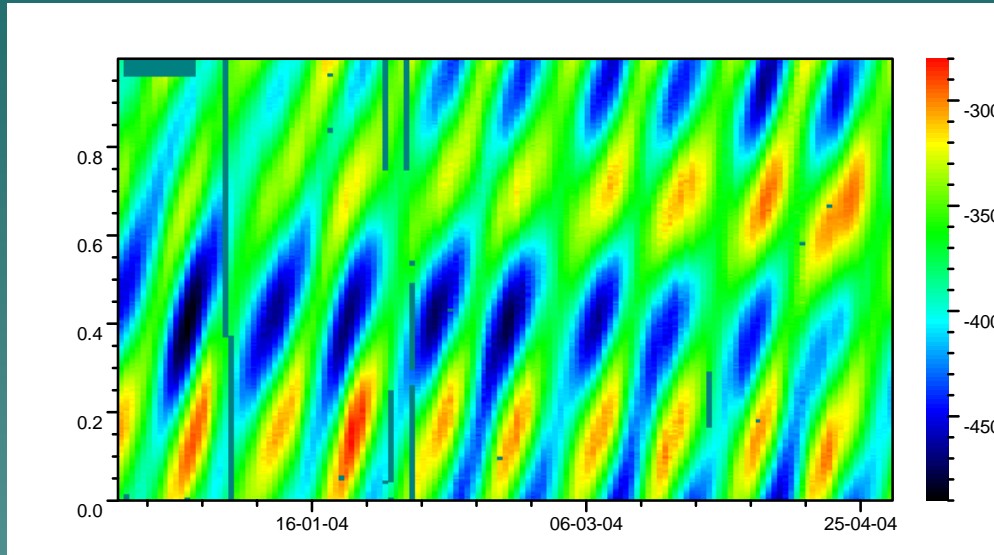
各種影響地下水位因素之頻譜分析

海潮

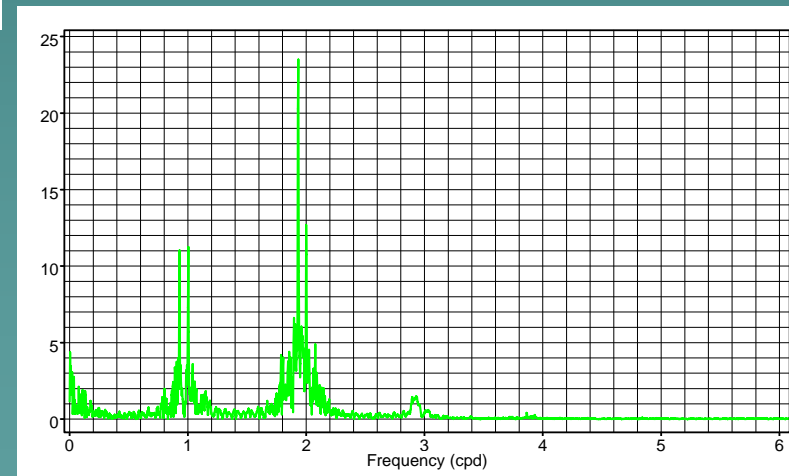


花蓮站高頻水位觀測資料及
潮汐分析結果圖

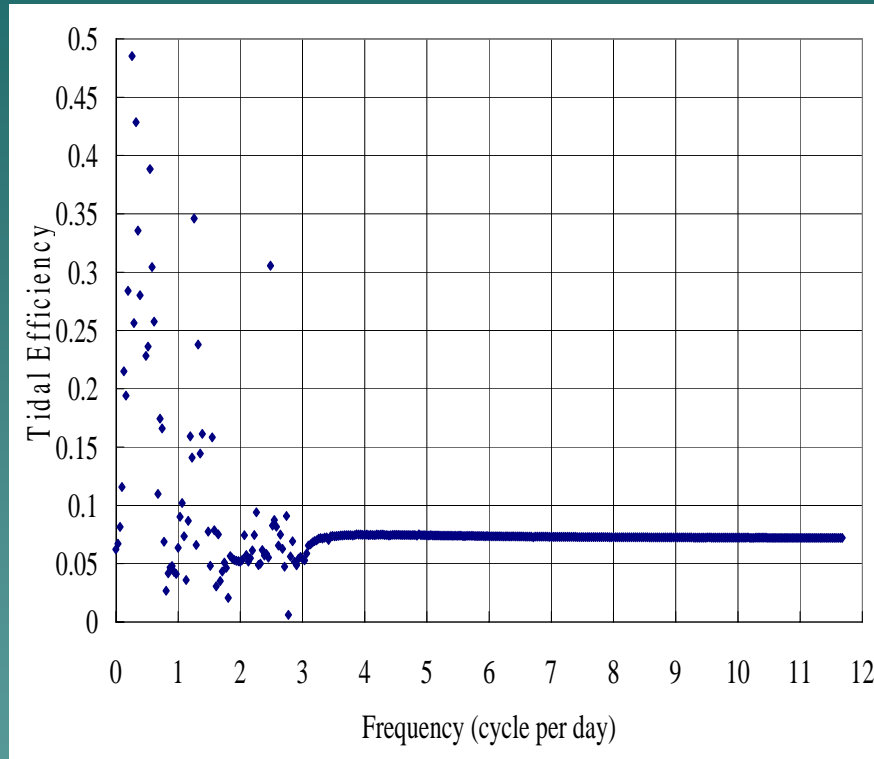
地下水位與海潮頻譜分析比對



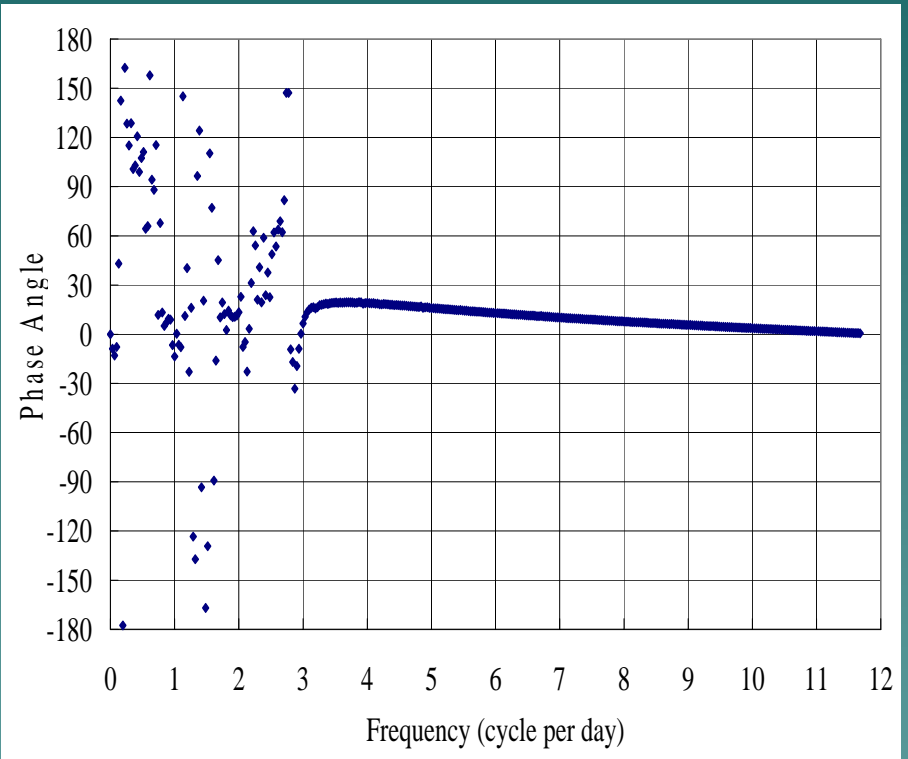
花蓮站觀測水位與花蓮港潮位站觀測資料相位圖(無因次化)



地下水位與潮位交互頻譜(Cross-Spectra)



(a) 潮汐反應效率

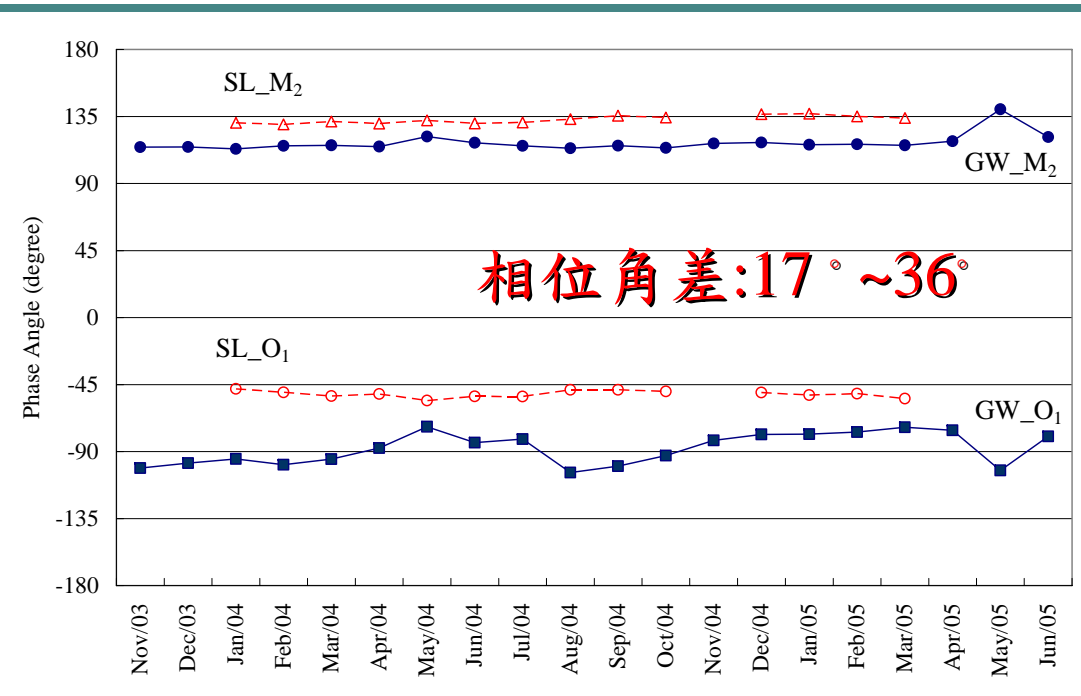
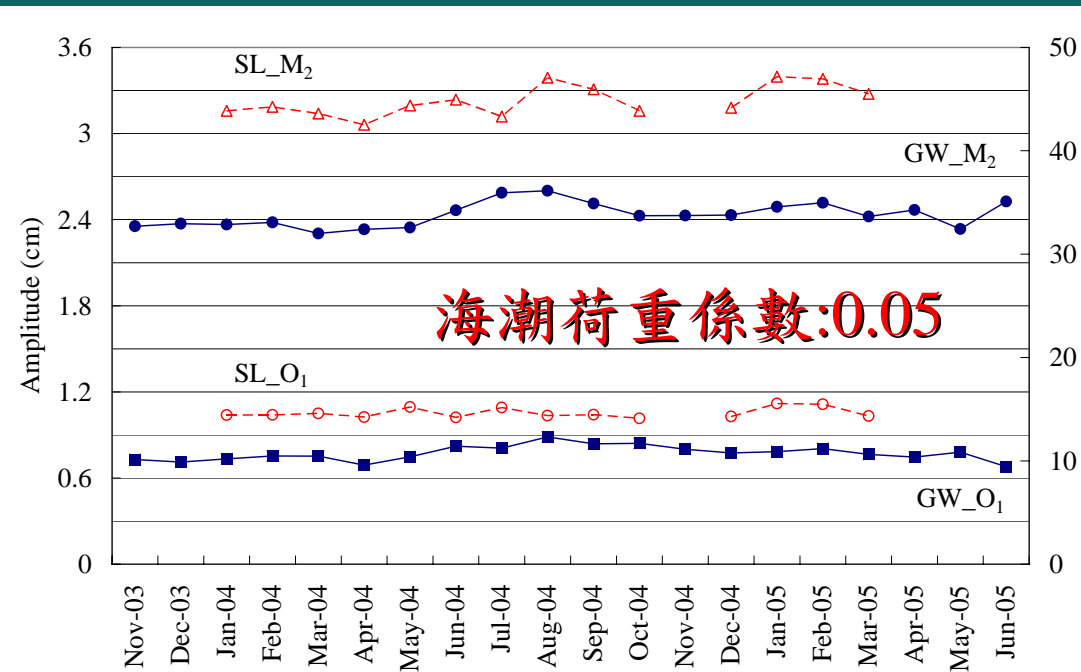


(b) 潮汐反應相位角

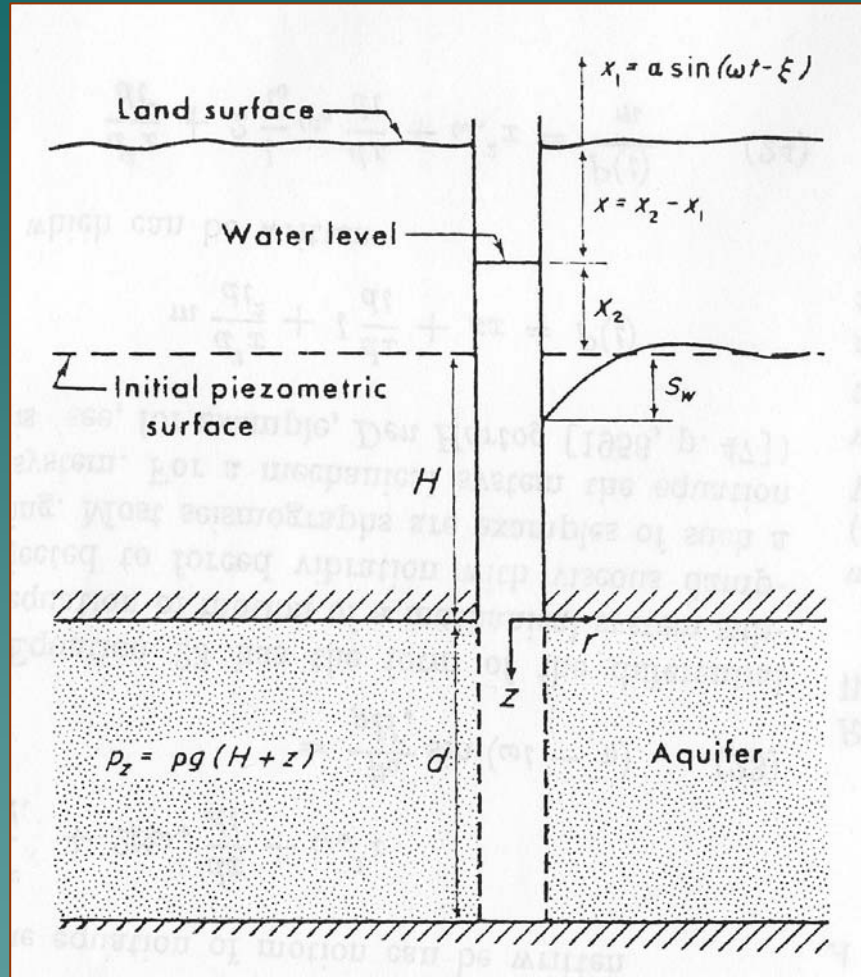
花蓮站地下水位與潮位潮汐反應效率及相位角

花蓮港潮位與花蓮站 地下水位潮汐反應比較

- 潮位與地下水位的潮汐反應呈現穩定關係 (地震前的水位變化屬於彈性變化)
- 相對而言，地下水位的潮汐反應較為穩定



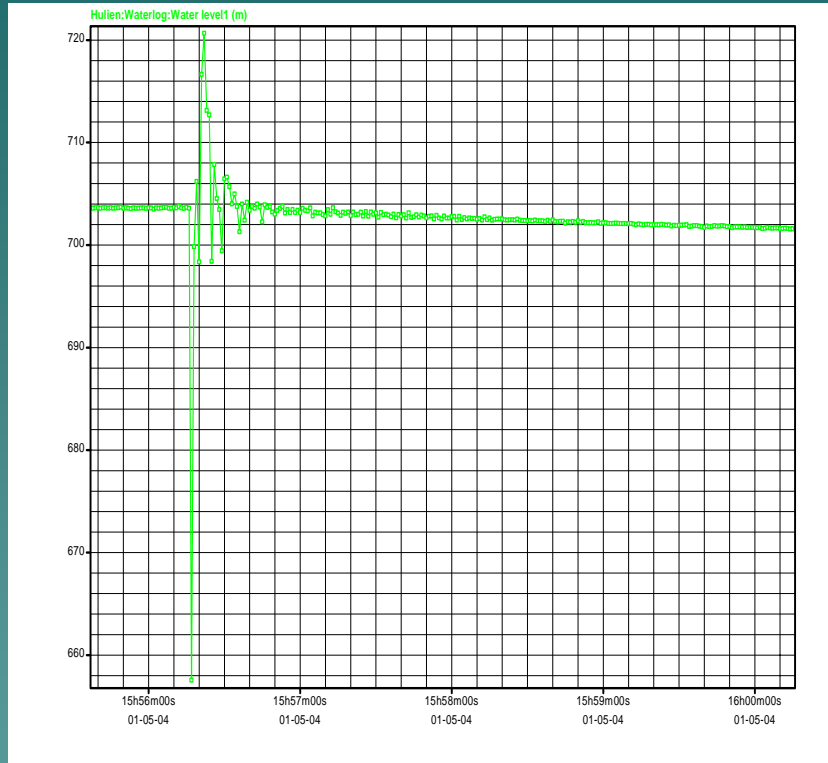
3.2 地震反應



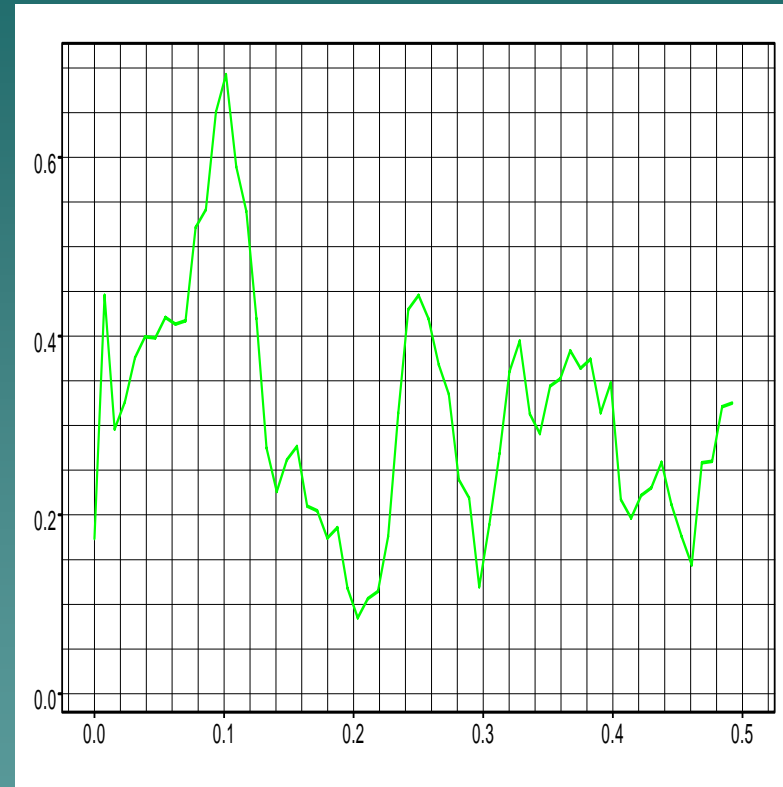
水井-含水層地震反應示意圖
(Cooper et al., 1965)

- 井體構造及井管內水體的特性
 - 井孔內水體及含水層影響範圍內水體的質量
 - 含水層內的水頭與井內水位間差異的恢復力
 - 井水與含水層流動摩擦力的阻尼效應
 - 井孔內水體表面張力
- 井管尺寸、含水層性質(傳導性、儲水率)所造成的觀測條件限制
- 井體與含水層間的壓力傳遞對於外在環境訊號源的耗散及增幅因子。

935/1 15:56 H Julien M 5.8

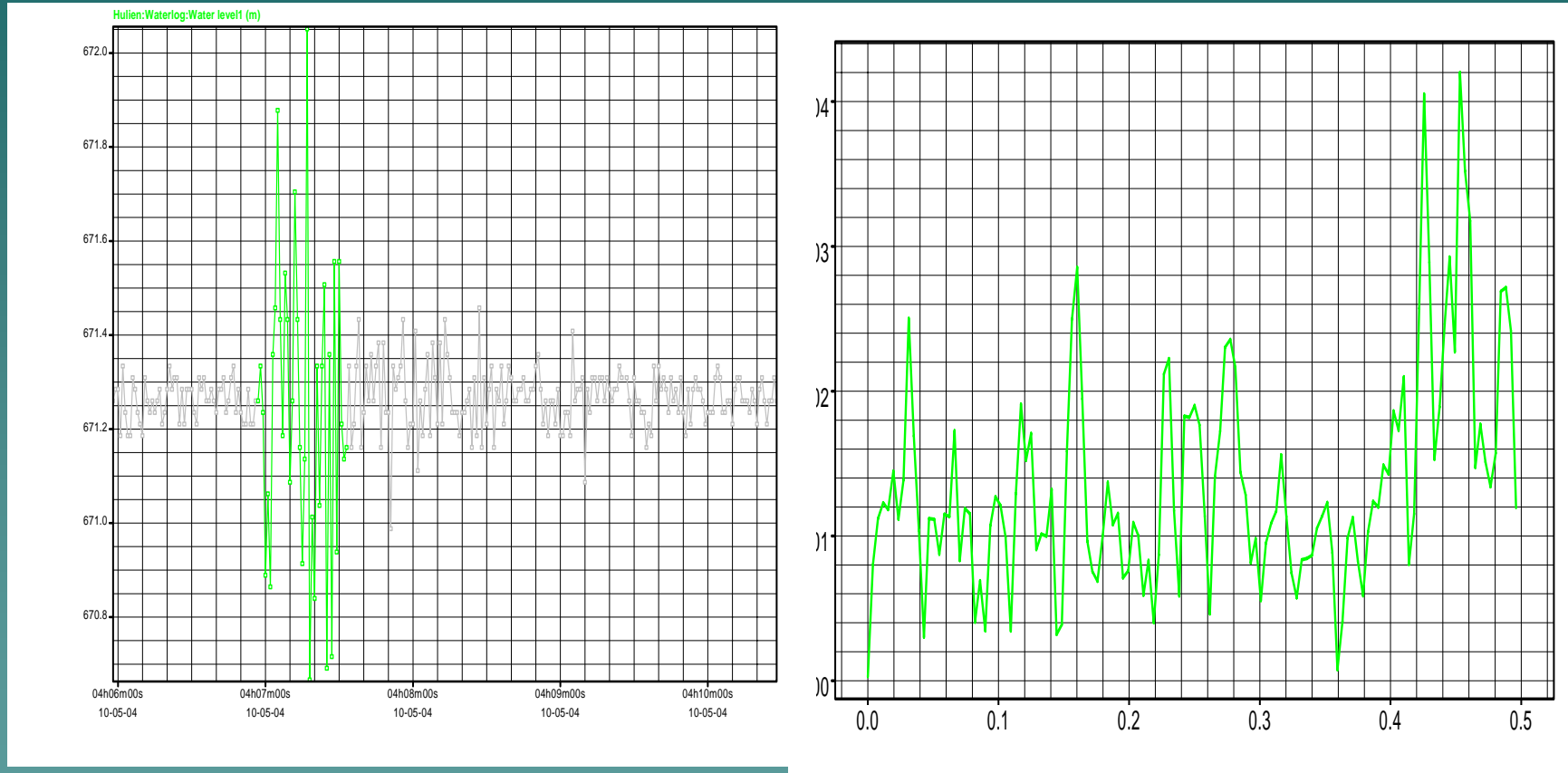


(a) 水位歷線紀錄



(b) 同震水位頻譜分佈

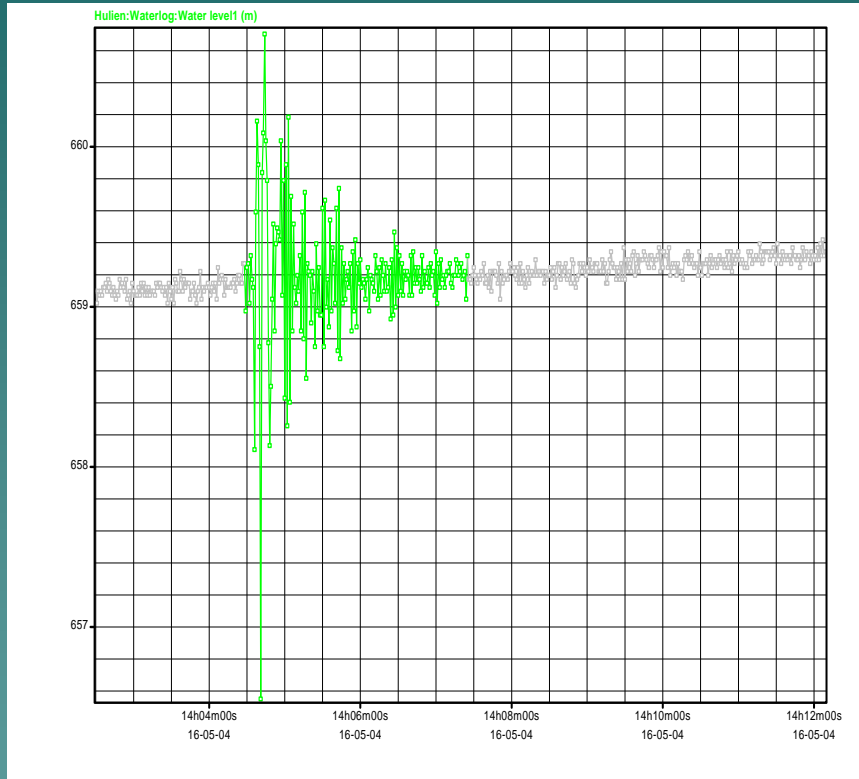
5/10 04:06 震 M 5.7



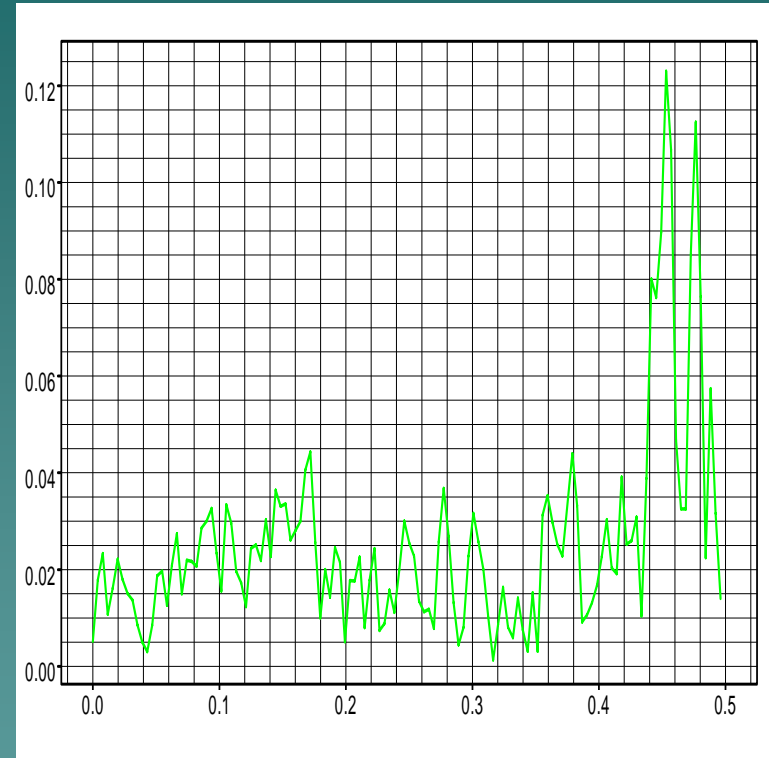
(a) 水位歷線紀錄

(b) 同震水位頻譜分佈

5/16 14:04 Cheng Kung M=6.0

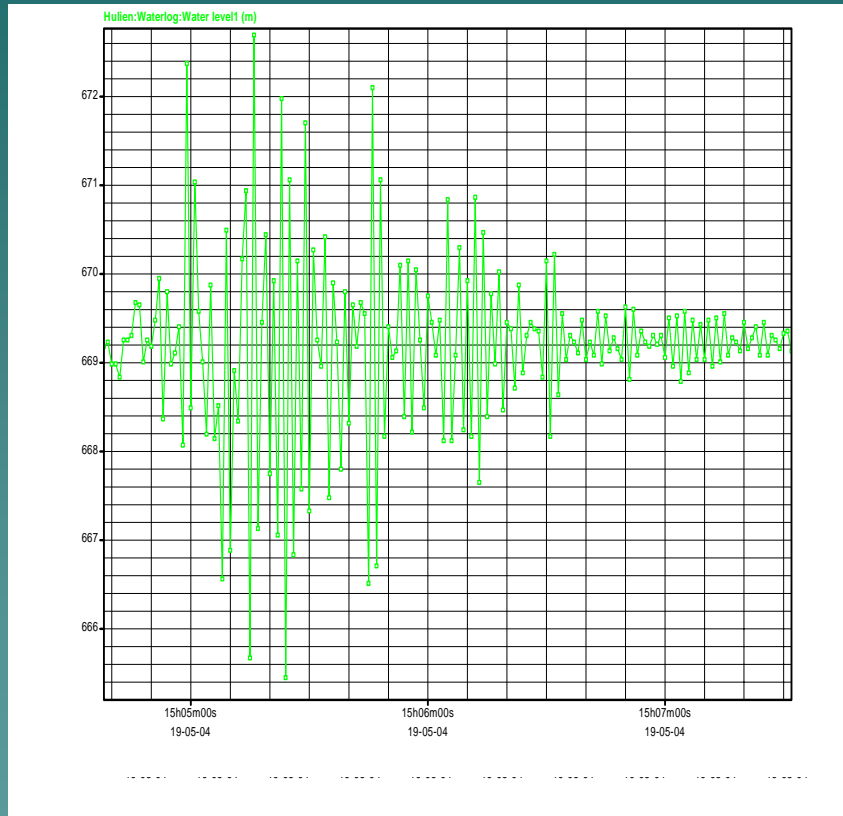


(a) 水位歷線紀錄

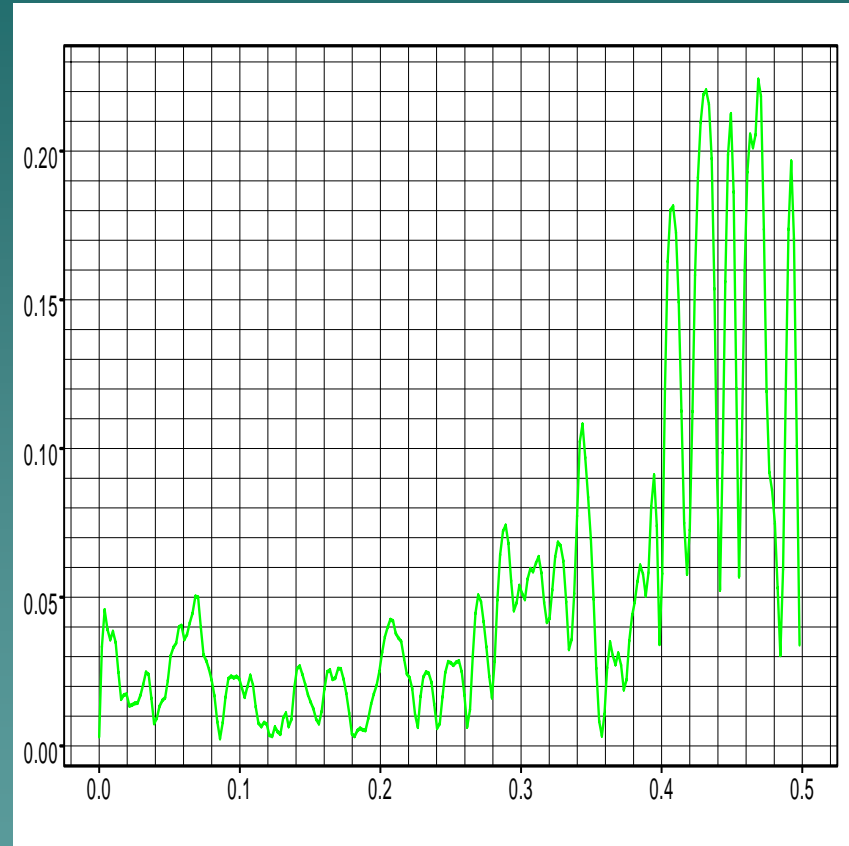


(b) 同震水位頻譜分佈

5/19 15:04 Taitung M 6.5

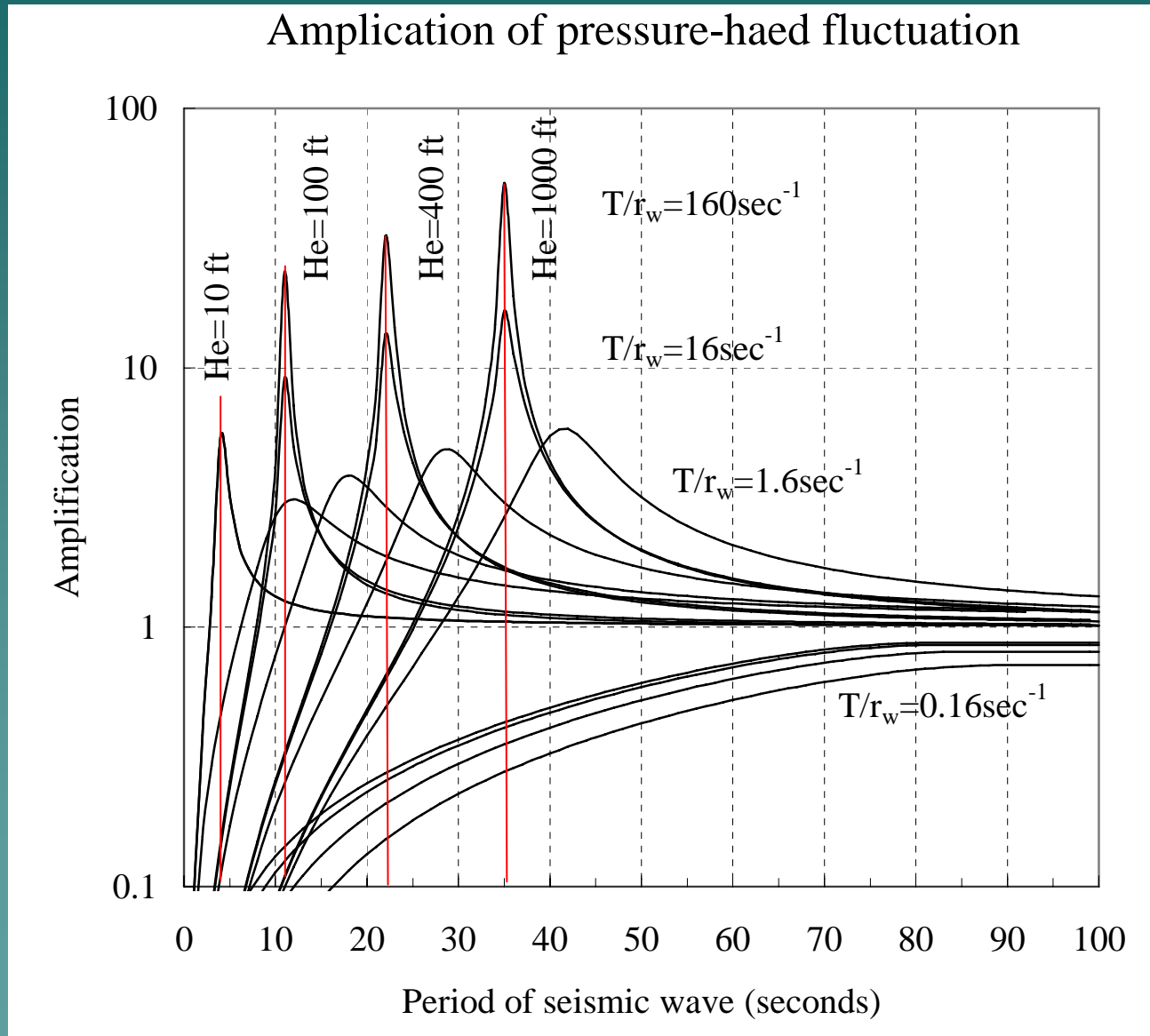


(a) 水位歷線紀錄



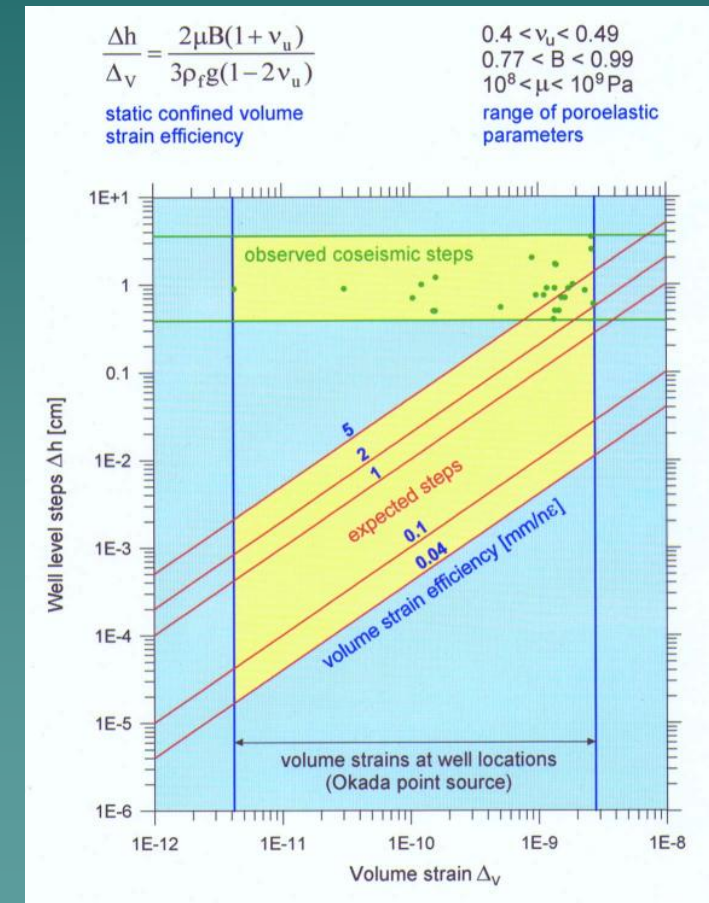
(b) 同震水位頻譜分佈

井管-含水層訊號放大效應計算 (Cooper et al., 1965)



討論：地震與潮汐反應體積應變敏感度的比較

- 體積應變敏感度可能是**頻率函數** (Rojstaczer, 1988b)，利用天文潮(地潮及海潮)求取得出的體積應變敏感度是在以12小時~24小時為作用週期下為前提所得出的反應係數，此一差異在與同震反應變化比較時特別明顯，也可能是地震前水文變化前兆得以顯露的重要因素。
- 明顯的利用長周期的潮汐反應，作為推測如地震般不同作用行為時，反應機制的特性也可能不盡然相同。

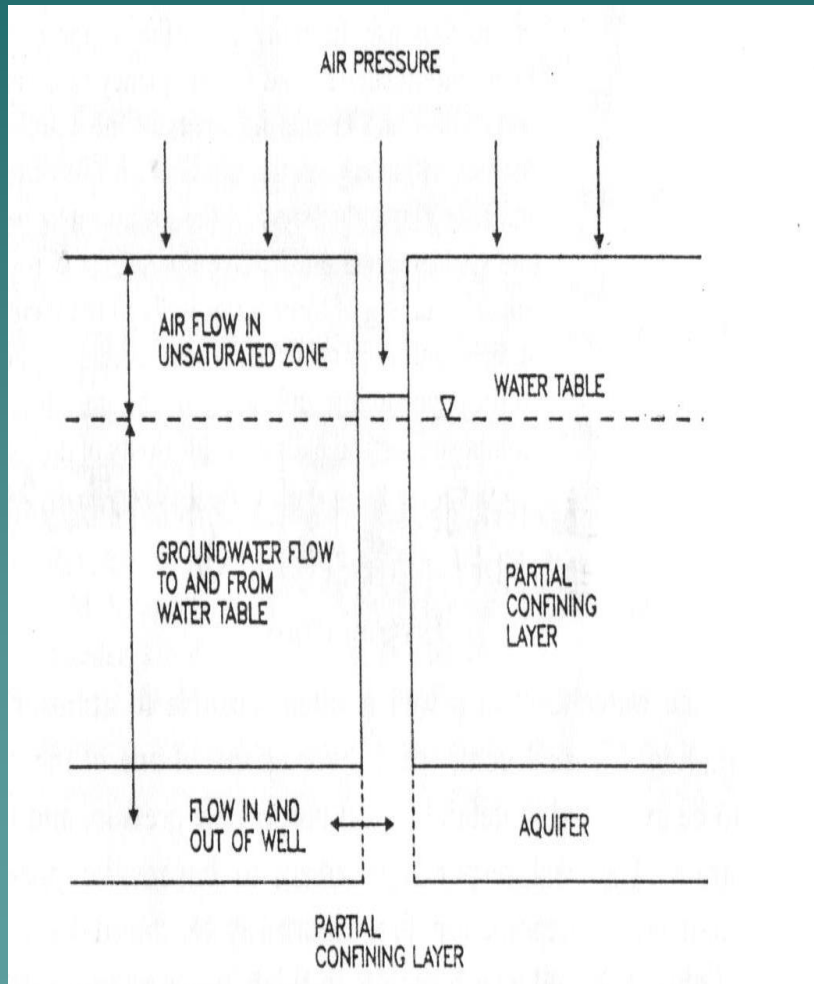


Grecksch et al., (1999)

3.3 氣壓反應

- 地下水位對於氣壓反應的改變幅度遠較一般水位計精度大
- 氣壓反應對於地下水位的影響機制較為單純
- 現場有同步實際量測的氣壓觀測值
- 氣壓反應為地下水位中週期中主要的影響變動成份

氣壓改變造成水位變化的機制解釋



- 井孔內水體表面受壓
- 地表面承受的空气荷重
- 未飽和層中孔隙間氣壓的傳遞
- 地下水面與含水層間水壓的傳遞
- 井體及含水層間水壓的傳遞

水井-含水層氣壓荷重反應示意圖
Rojstaczer(1988a)

地下水位對於氣壓改變反應的通解

氣壓改變量

井內的水位洩降量

$$x_0 = \frac{-A}{\rho g} + \frac{P_0}{\rho g} - s_0$$

$$p_0 = p \exp(-i\omega t)$$

$$s_0 = s_w \exp(-i\omega t)$$

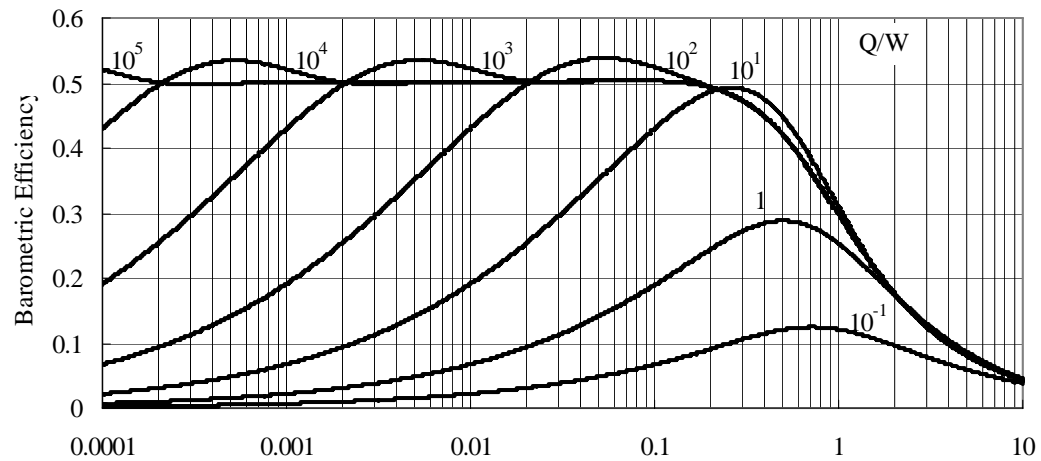
起始狀態

氣壓反應效率 $BE(\omega) = \left| \frac{x_0 \rho g}{A} \right| = \left| \frac{p_0 - A - s_0 \rho g}{A} \right|$

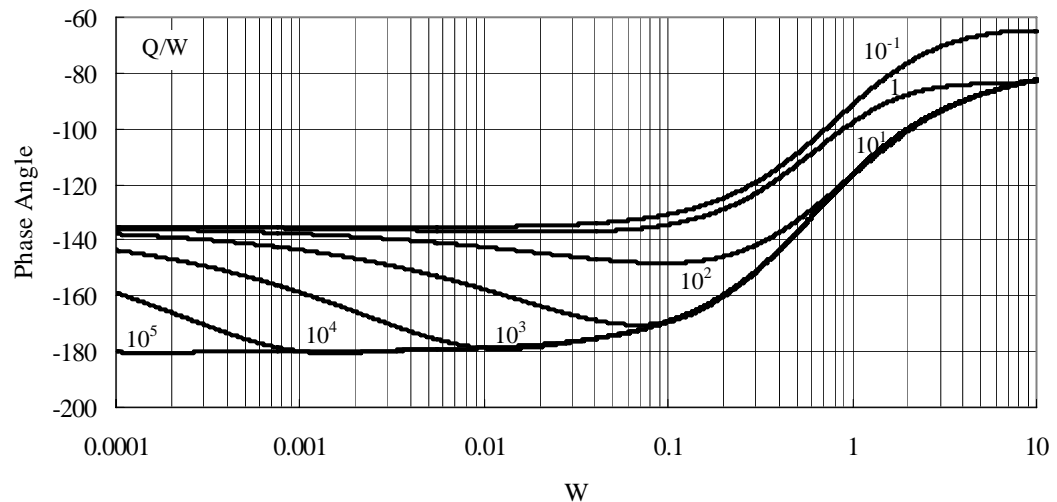
氣壓反應相位角 $\theta(\omega) = \arg\left(\frac{x_0 \rho g}{A}\right)$

建立各類型態曲線： R, Q, W 不同比例條件下的水位氣壓反應

● 氣壓反應效率



● 氣壓反應相位角



理論水位氣壓反應的應用

1. 井水位對氣壓的反應

吻合(型態曲線)

2. 理論的水位—氣壓反應

調整模式相關參數擬合
氣壓反應的頻譜分佈

R, Q, W 等無
因次參數

3. 水流型態及水力參數

- 未飽和層的氣壓擴散率
- 侷限層的水力擴散率
- 含水層的孔隙率…等

氣壓反應係數及相位角頻譜求取(Rojstaczer,1988b)

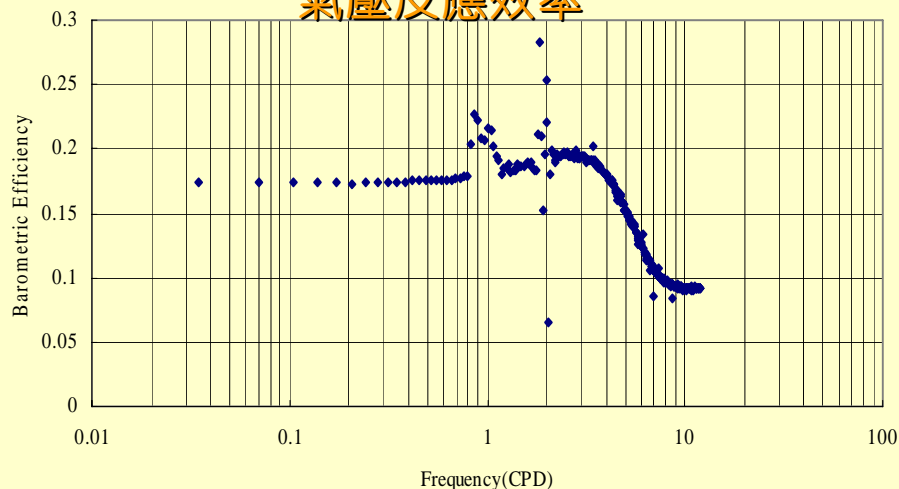
- 水位變化與氣壓,潮汐的關係式

$$\begin{bmatrix} BB & BT \\ TB & TT \end{bmatrix} \begin{bmatrix} HB \\ HT \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} BW \\ TW \end{bmatrix}$$

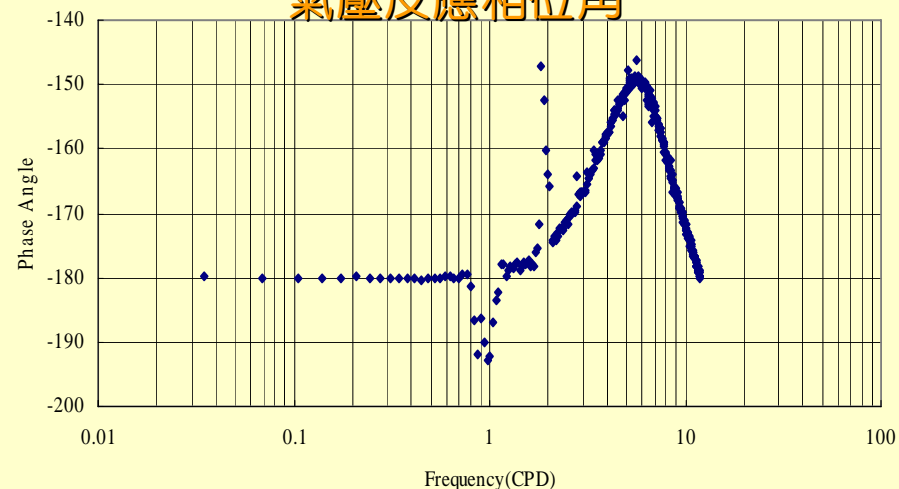
- 移除觀測資料中的平均數(Mean) ✖
- 長期趨勢以Zero-Phase High-Pass濾波,以 5×10^{-9} Hz為門檻,利用40天求取長期趨勢 ✖
- 利用Blackman-Tukey的程序求取氣壓,水位,潮汐的功率頻譜(Power Spectrum)及交互頻譜(Cross Spectrum)
- 使用的資料間距為1小時,長度為40天

六甲站氣壓荷重反應分析結果

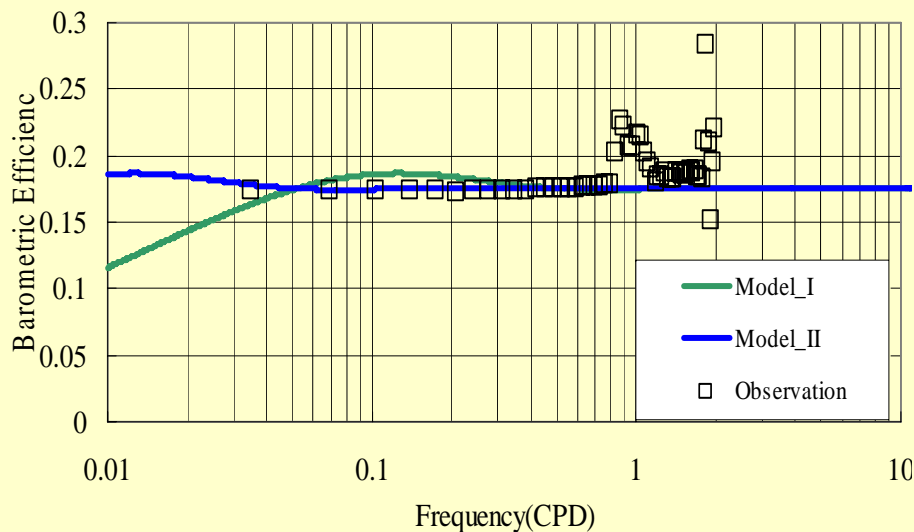
氣壓反應效率



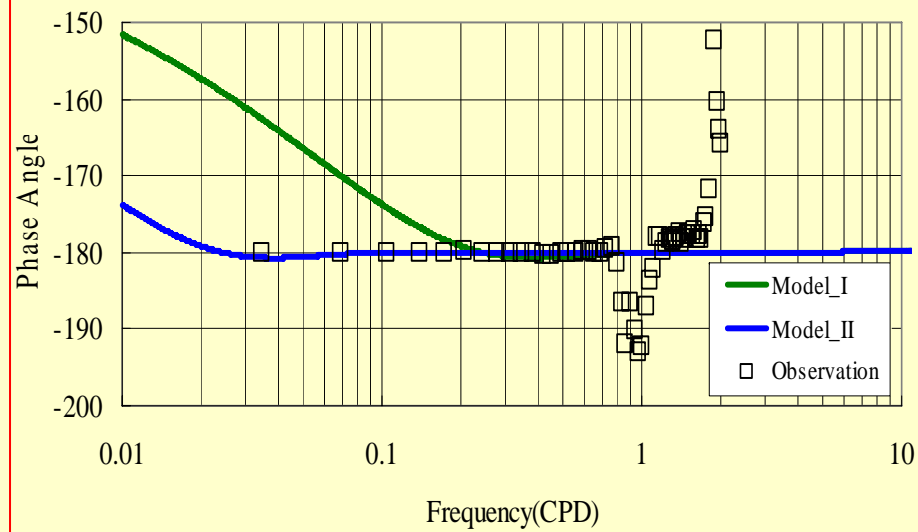
氣壓反應相位角



氣壓反應效率



氣壓反應相位角



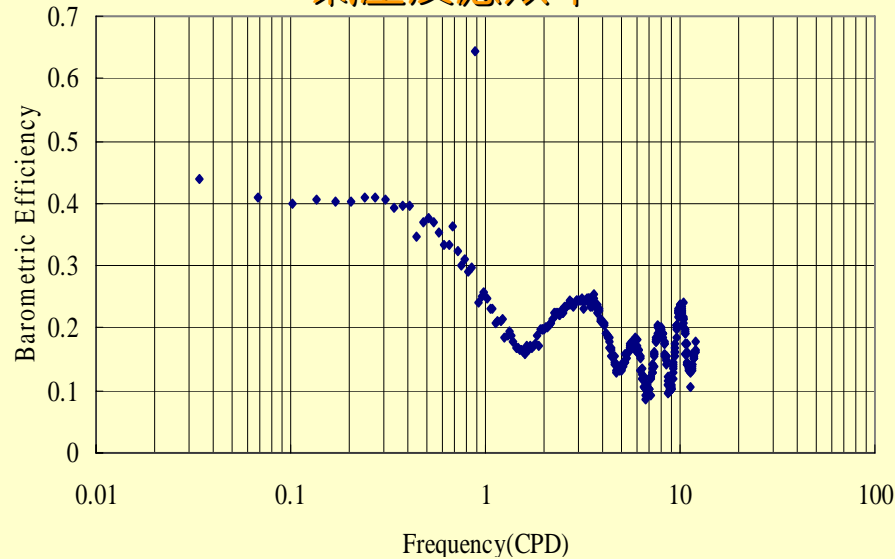
E_b 0.175

D_v 16.4 m²/day

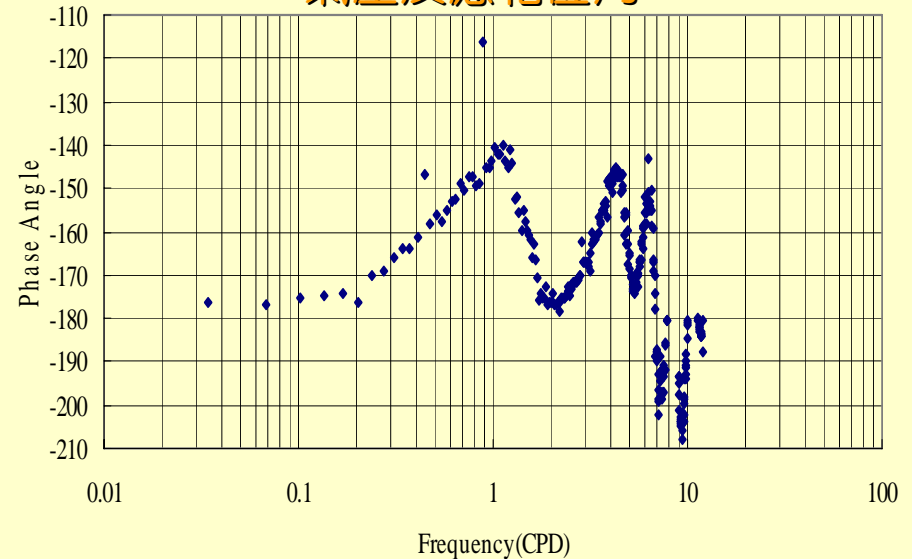
D_a 10.01 m²/day

那拔站氣壓荷重反應分析結果

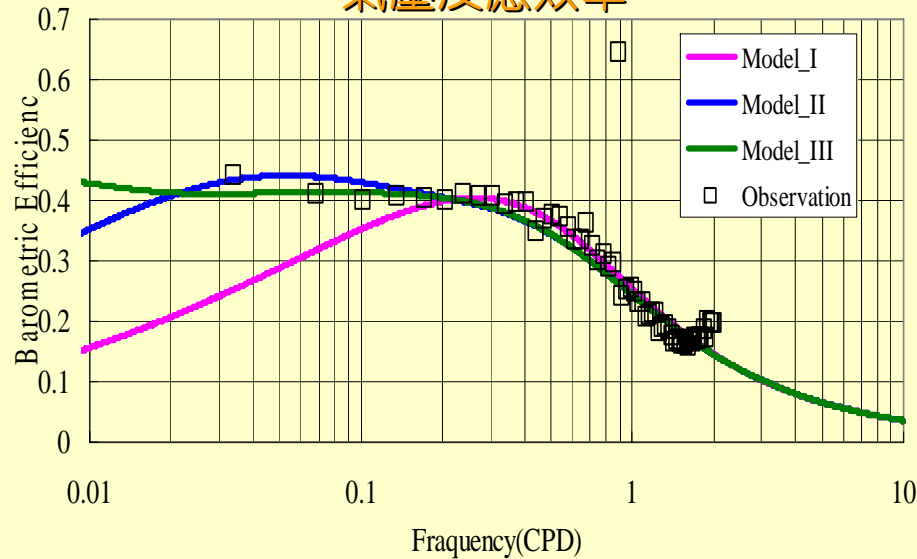
氣壓反應效率



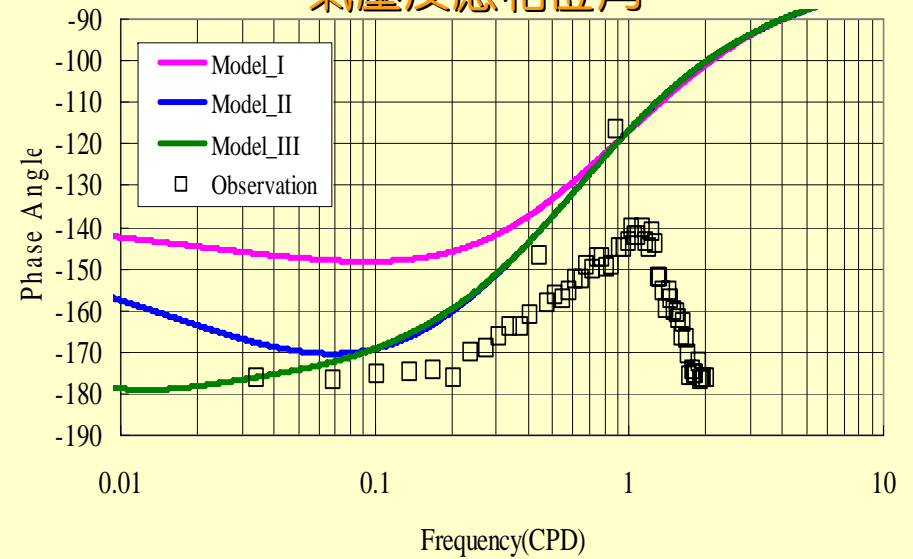
氣壓反應相位角



氣壓反應效率



氣壓反應相位角



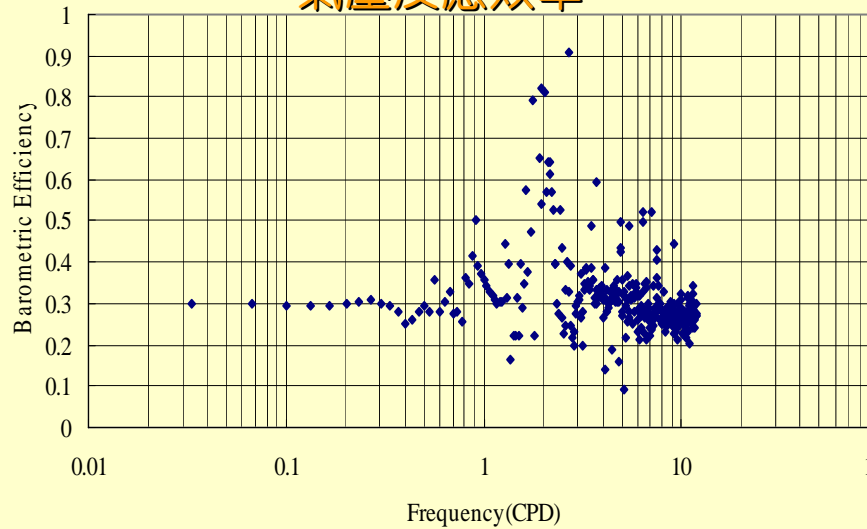
E_b 0.41

D_v 32.2 m²/day

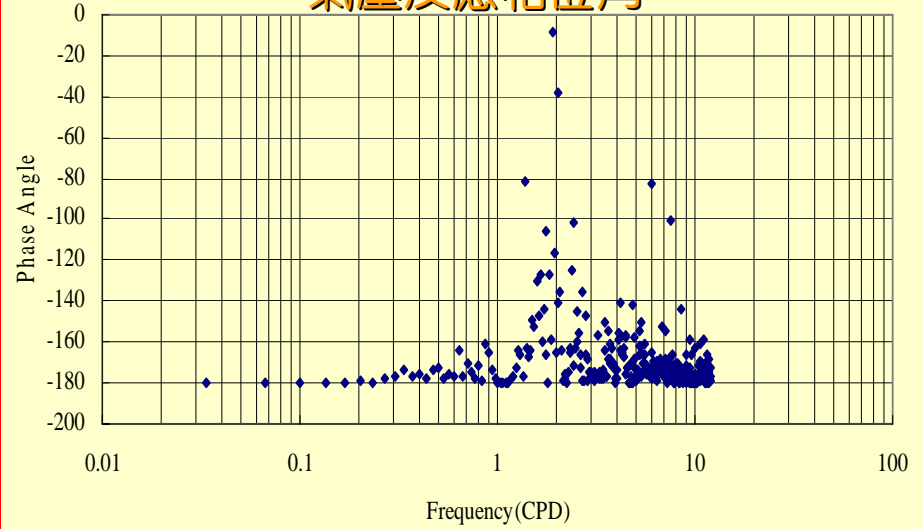
D_a 1.91 m²/day

東和站氣壓荷重反應分析結果

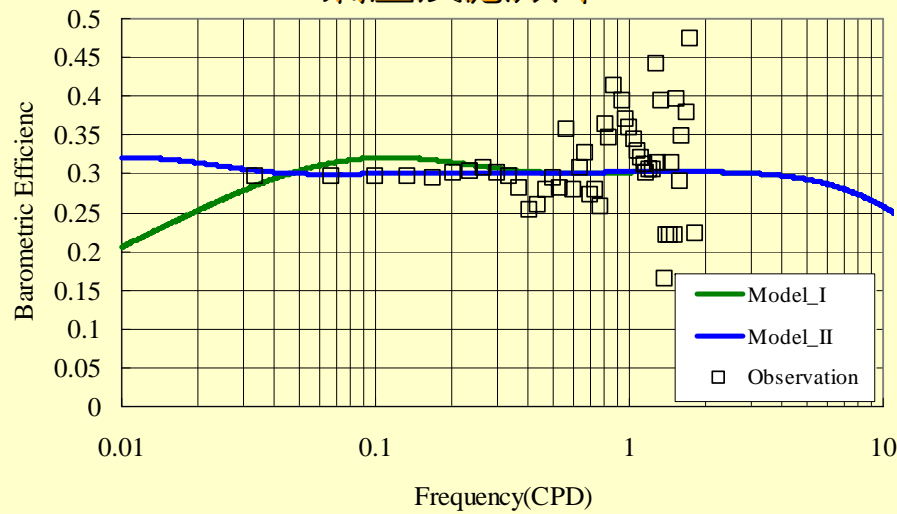
氣壓反應效率



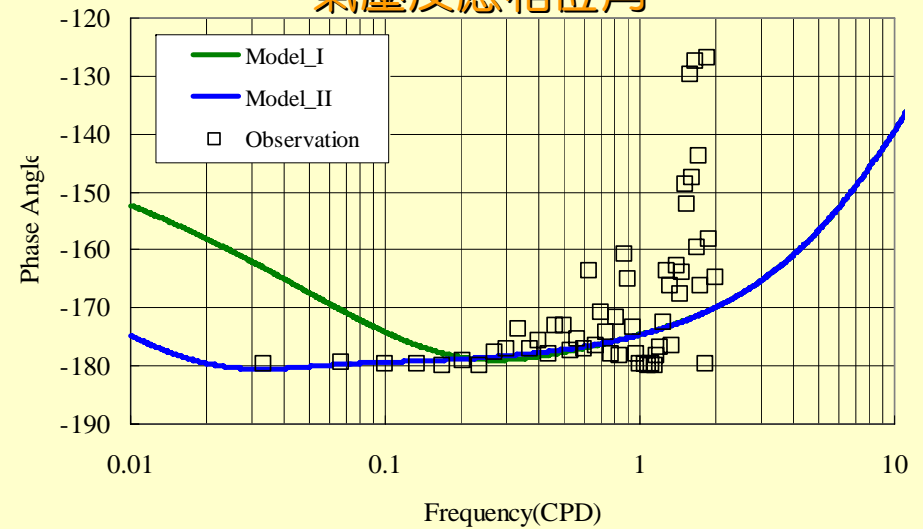
氣壓反應相位角



氣壓反應效率



氣壓反應相位角



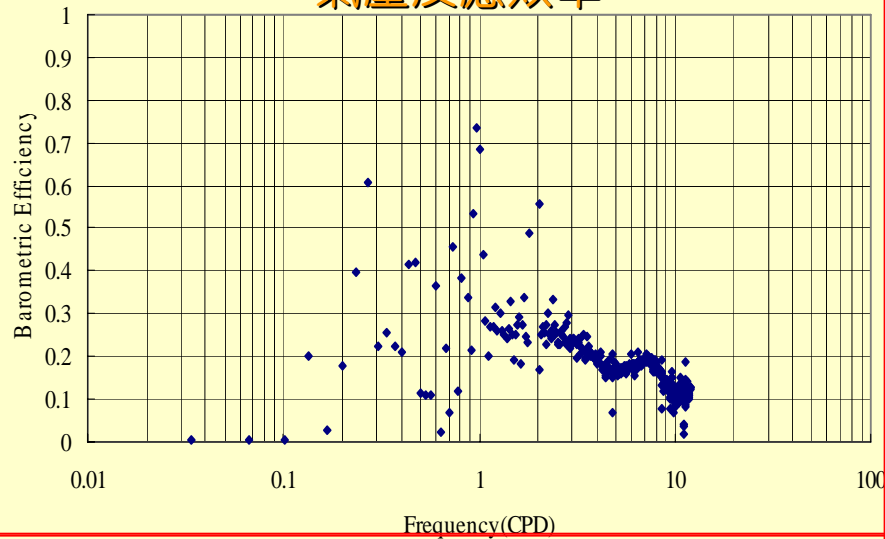
Eb 0.30

Dv 48.9 m²/day

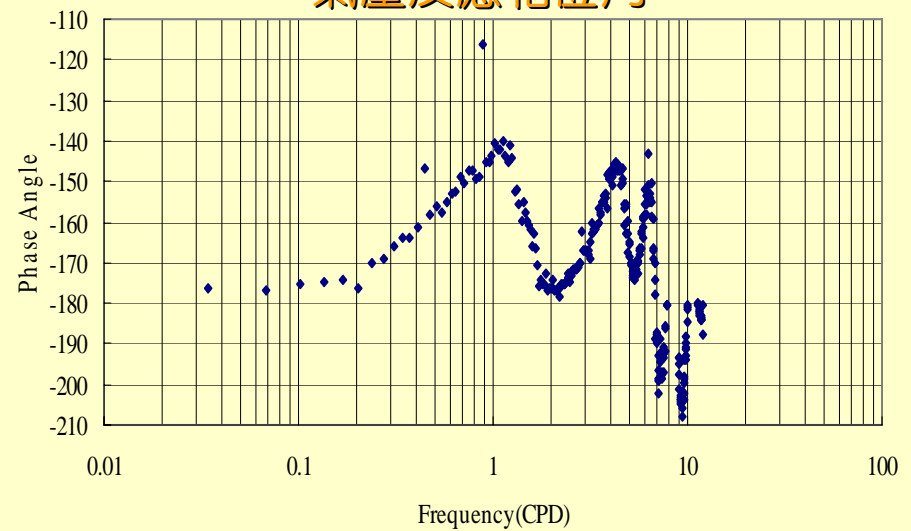
Da 25.7 m²/day

新埔站氣壓荷重反應分析結果

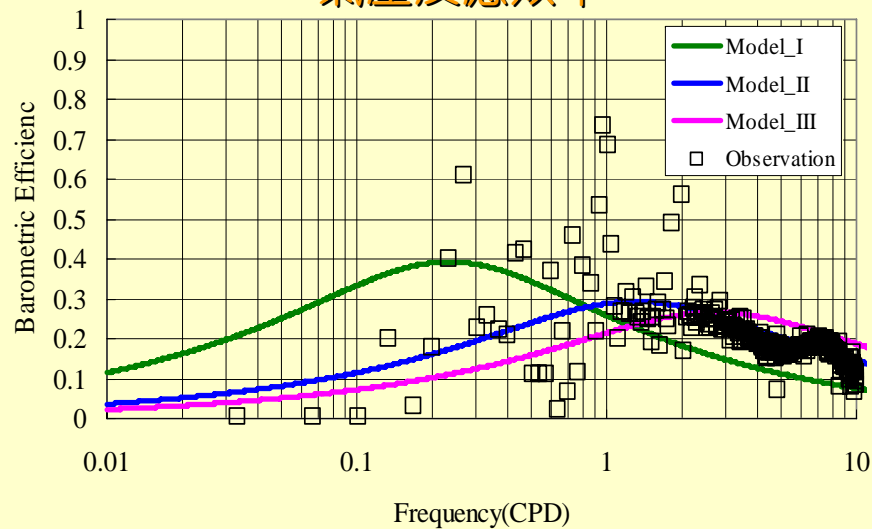
氣壓反應效率



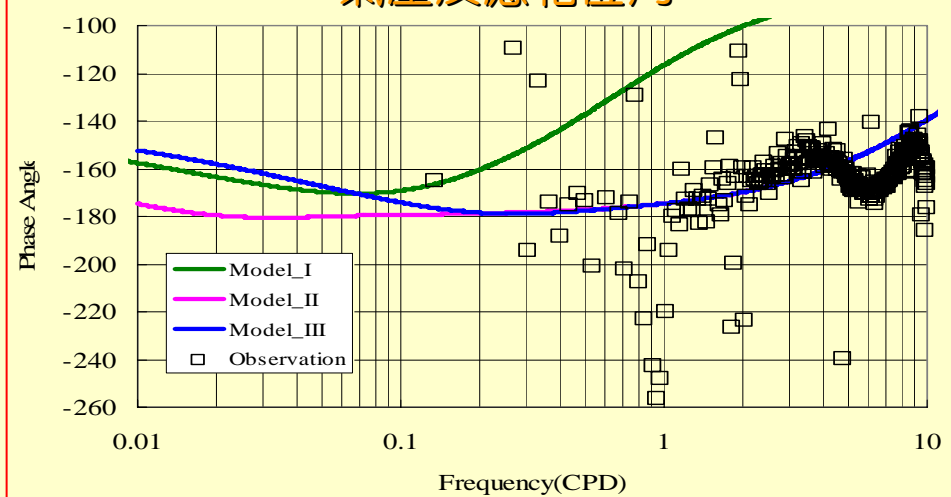
氣壓反應相位角



氣壓反應效率



氣壓反應相位角



Eb 0.27

Dv

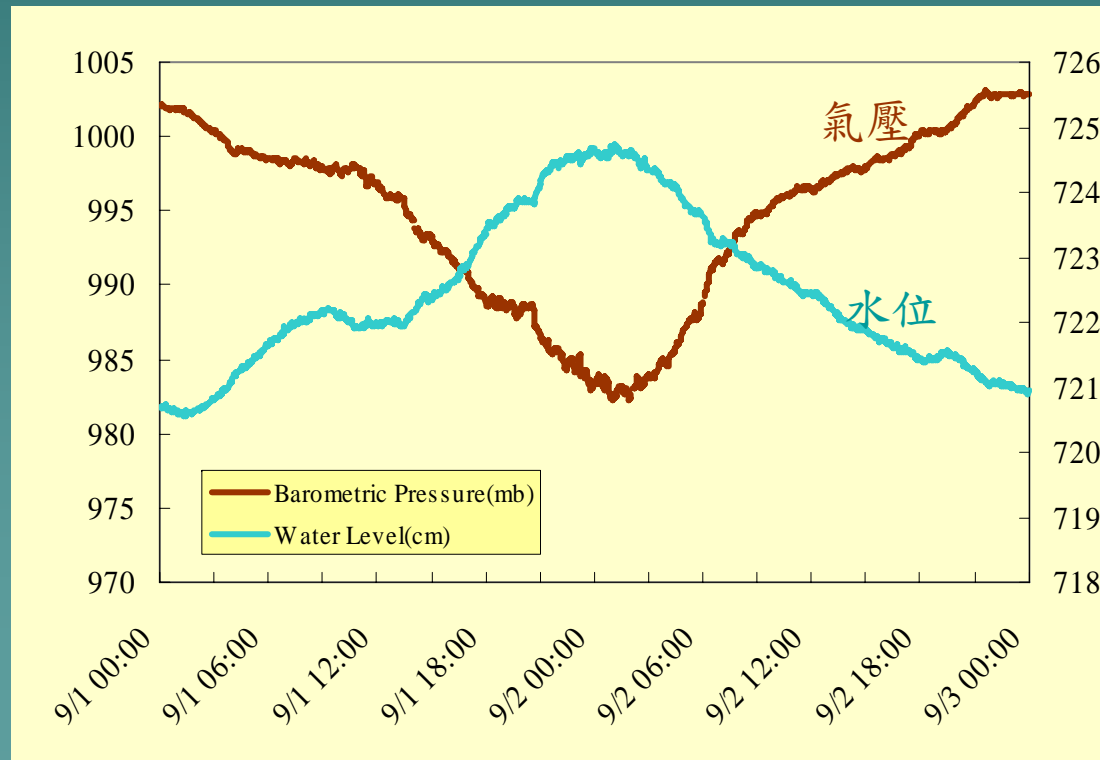
86.8 m²/day

Da

86.8 m²/day

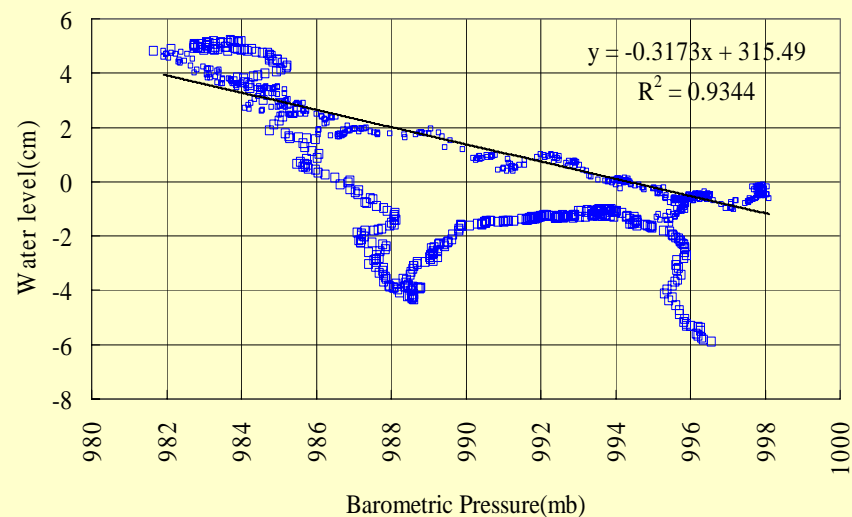
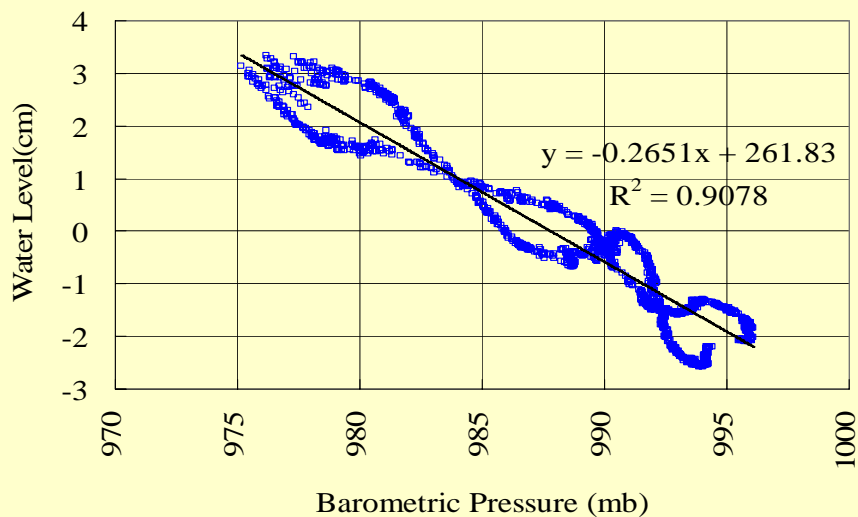
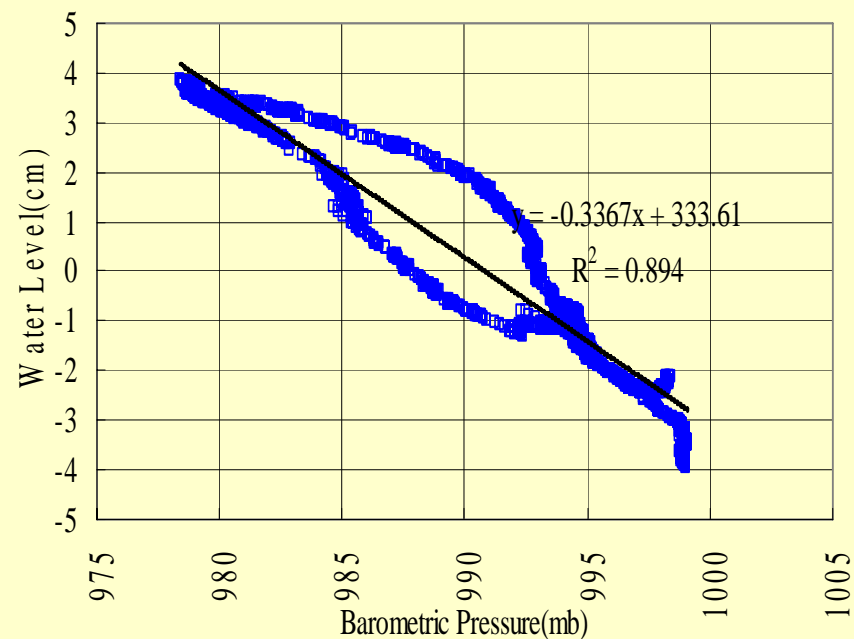
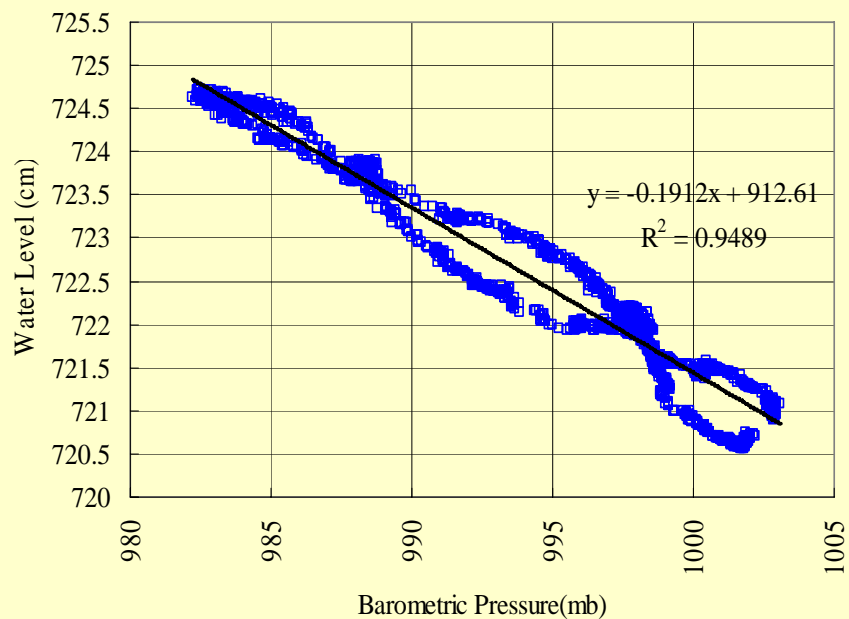
氣壓反應頻譜的驗證及比對

- 民國九十二年九月一日~二日颱風杜鵑從台灣南部巴士海峽海域經過，台灣全島均受到颱風經過的影響氣壓產生急劇的變化，由於未有降雨影響，這次的水位變化，也提供了一次對於氣壓荷重造成水位變化分析成果的驗證機會。



民國92年9月1日~2日 氣壓及水位觀測資料歷線圖(六甲站)

地下水位氣壓荷重效率之驗證



四、討論及結論:線性迴歸與交互頻譜法差異

- 其他環境影響因素小時兩者結果近似
- 交互頻譜法可求取時間延遲項
- 線性迴歸方法無法考慮季節性趨勢影響
- 雜訊濾除影響成果甚鉅
- 隨時間的變異
- 時頻分析工具的應用

站名 \ 方法	交互頻譜法	線性迴歸法	差異值
六甲	0.175	0.1912	-0.0162
那菝	0.41	0.3367	0.0733
東和	0.30	0.2651	0.0349
新埔	0.27	0.3173*	-0.0473



簡報結束

敬請指教