

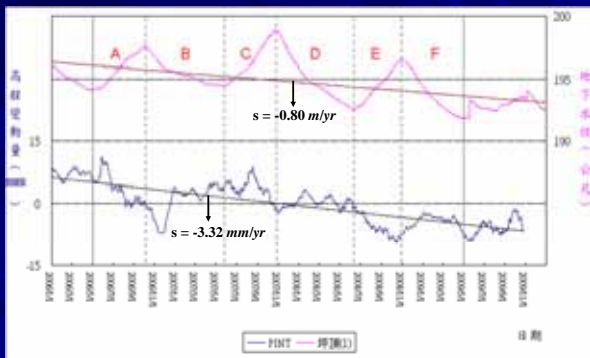
區域性地下水位變動引發地表高程升降之機制

江崇榮 林燕初 陳建良
2011年10月27日

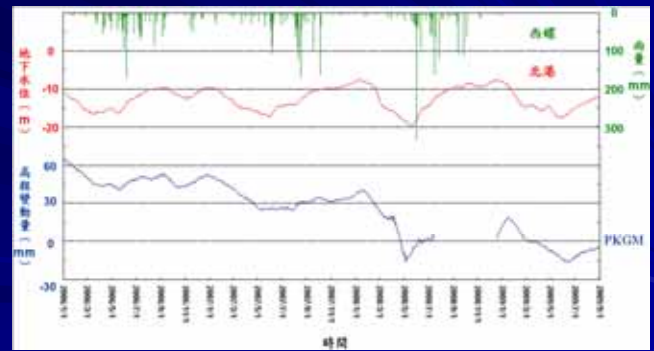
報告大綱

- 摘要
一、地下水位與地表高程之互動
二、地下水位變動對有效應力之影響
三、地下水流及土壤壓密相關理論
四、概念模式M123
五、模式分析實例
六、結論

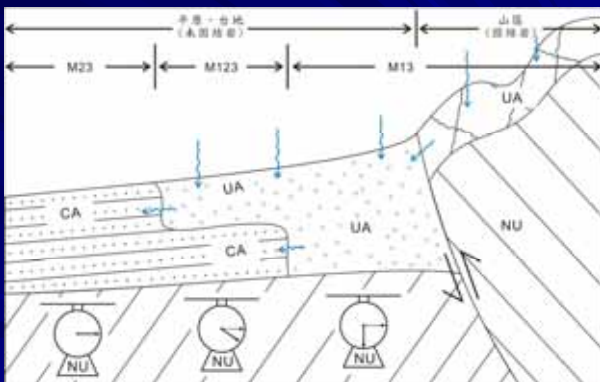
摘要 (水位-高程負相關例)



摘要 (水位-高程正相關例)



摘要 (概念模式 M123)



摘要 (概念模式 M123)

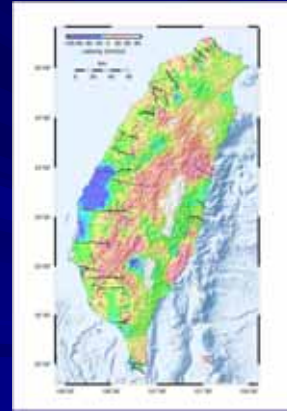
- 非受壓地下水層(1=UA)、受壓地下水層(2=CA)、無補注單元(3=NU)
- UA之荷重與CA之地下水壓聯合作用
- 山區、台地、扇頂為荷重主控型，UA+NU→M13
- 扇央、扇尾為地下水壓主控型，CA+NU→M23

摘要 (結論)

- 地下水位與地表高程互動，為地下水荷重與地下水壓兩項力，聯合作用於非受壓、受壓地下水層和無補注單元的整體結果。
- 山區、沖積扇頂由非受壓地下水層和無補注單元組成，因為受荷重主控，致使水位-高程負相關變動。
- 沖積扇央、扇尾由受壓地下水層與無補注單元組成，因受地下水壓主控，使水位-高程正相關變動。

7

一、地下水位與地表高程之互動



全台GPS高程變化速度圖(2002-2010)

8

一、地下水位與地表高程之互動

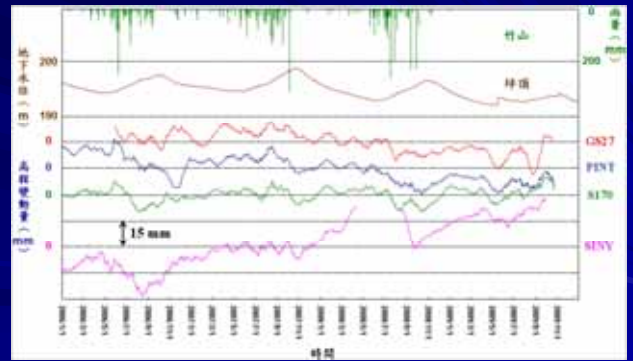
研究區域之地質及使用之CGPS、地下水位站和雨量站之概略分布圖



9

一、地下水位與地表高程之互動

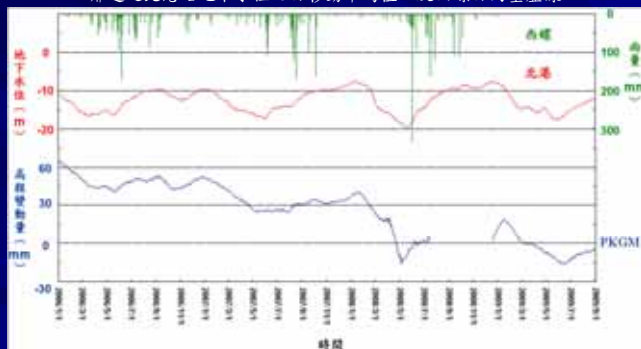
竹山站日雨量，坪頂站日地下水位，彰化農場 (GS27)、坪頂 (PINT)、凍頂 (S170) 和信義 (SINY) CGPS站29日移動平均高程變動量歷線 (相對於S01R)



10

一、地下水位與地表高程之互動

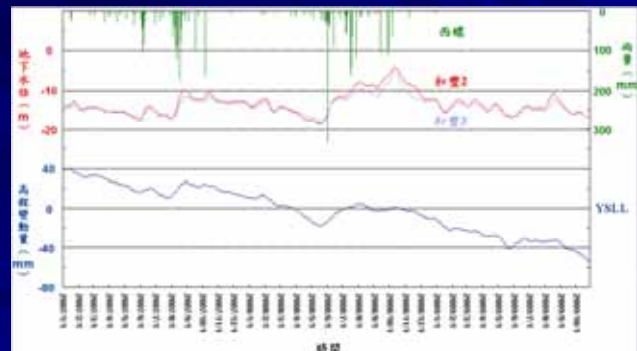
北港 (PKG M) CGPS站29日移動平均高程變動量(相對於S01R)，鄰近之北港站地下水15日移動平均值，及西螺日雨量歷線



11

一、地下水位與地表高程之互動

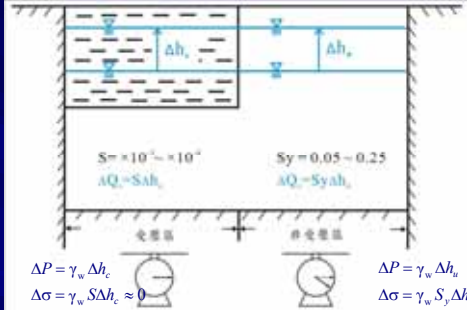
新興 (YSLL) CGPS 29日移動平均高程變動量(相對於S01R)，鄰近之和豐站地下水層2及地下水層3地下水15日移動平均值，及西螺日雨量歷線



12

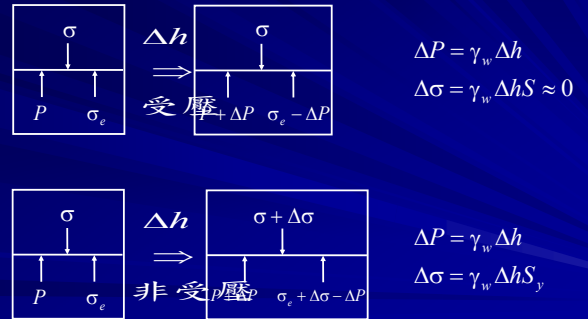
二、地下水位變動對有效應力之影響

受壓(confined)與非受壓(unconfined)地下水層



- 非受壓地下水層水位上升——水壓及荷重增加
- 受壓地下水層水位上升——水壓增加，而荷重無增加

二、地下水位變動對有效應力之影響



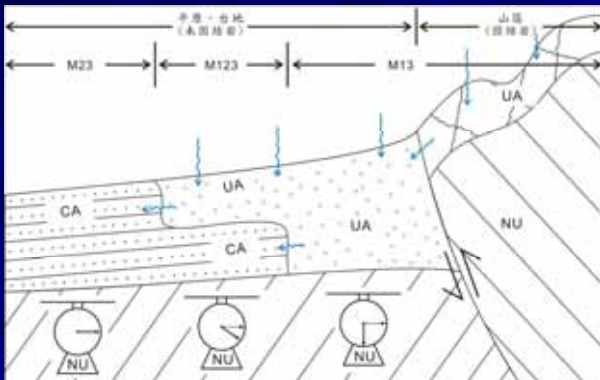
三、地下水流及土壤壓密相關理論

1. $K \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) \Delta x \Delta y \Delta z = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z \left(\frac{m^3}{day} \right)$
 $S_s = \gamma_w (\alpha + n \beta) \quad (1/m)$
2. 地下水流 $K \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1/day) \Rightarrow T(K), S(S_s)$
 $S_s = \gamma_w (\alpha + n \beta) \quad (1/m) \quad \gamma_w = 9760 \quad (N/m^3)$
 $\alpha = 10^{-10} \sim 10^{-8} \quad (m^2/N) \quad \beta = 4.52 \times 10^{-10} \quad (m^2/N)$
 $n = 10 \sim 35\%$
 $S_{sk} = \gamma_w \alpha = 10^{-6} \sim 10^{-4} \quad (1/m)$
 $S_{sw} = \gamma_w n \beta = (0.5 \sim 1.5) \times 10^{-6} \quad (1/m)$
 地下水壓上升 $\Delta h \quad (m)$ ，地下水層膨脹應變 $S_{sk} \Delta h$
 地下水層膨脹量 $S_{sk} b \Delta h = S_k \Delta h$
 $S_k = S_{sk} b = \gamma_w \alpha b$ (彈性壓縮與應力比，架構彈性蓄水係數)

三、地下水流及土壤壓密相關理論

3. 土壤壓密
 $K \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_{skv} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1/day) \Rightarrow C_v = \frac{K}{S_{skv}}$
 $S_{skv} = \gamma_w m_v \quad (1/m)$
 $m_v = 10^{-8} \sim 10^{-6} \quad (m^2/N)$
 $S_{skv} = 10^{-4} \sim 10^{-2} \quad (1/m)$
 土壤孔隙水壓下降 $\Delta h \quad (m)$ ，土壤壓密應變 $S_{skv} \Delta h$
 土壤壓密量 $S_{skv} b \Delta h = S_{kv} \Delta h$
 $S_{kv} = S_{skv} b = \gamma_w m_v b$ (非彈性壓縮與應力比，架構非彈性蓄水係數)

四、概念模式 M123

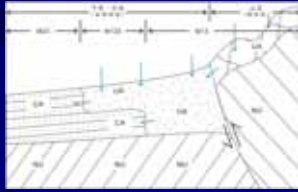


四、概念模式 M123

- 非受壓地下水層(UA)、受壓地下水層(CA)、無補注單元(NU)
- UA荷重與CA地下水壓聯合作用
- 山區、台地、扇頂→荷重主控型→UA+NU→M13
- 扇央、扇尾→地下水壓主控型→CA+NU→M23
- 混合型→UA+CA+NU→M123

四、概念模式 M123

地下水位(Δh)
有效應力(Δh_e)
壓縮(Δb)



表一

各層	模式		M23	M123	M13
	非受壓地下水層 UA	Δh_{e1}			$S_y \Delta h_u - \Delta h_u$
Δb_1				$S_{k1} (S_y \Delta h_u - \Delta h_u)$	$S_{k1} (S_y \Delta h_u - \Delta h_u)$
受壓地下水層 CA	Δh_{e2}		$-\Delta h_c$	$S_y \Delta h_u - \Delta h_c$	
	Δb_2		$S_{k2} (-\Delta h_c)$	$S_{k2} (S_y \Delta h_u - \Delta h_c)$	
無補注單元 NU	Δh_{e3}			$S_y \Delta h_u$	$S_y \Delta h_u$
	Δb_3			$S_{k3} S_y \Delta h_u$	$S_{k3} S_y \Delta h_u$
總壓縮量	Δb		Δb_2	$\Delta b_1 + \Delta b_2 + \Delta b_3$	$\Delta b_1 + \Delta b_3$

S_{k1}, S_{k2}, S_{k3} 為各層之 S_k 或 S_{kv} 值

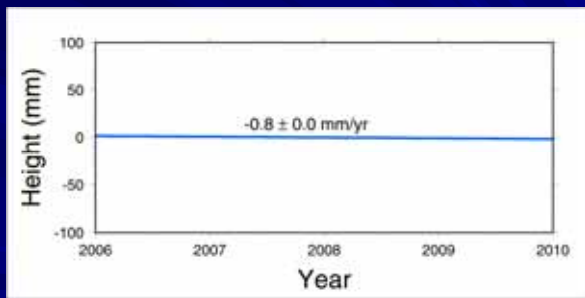
五、模式分析實例(應用CGPS高程-地下水位)

■ 研究區域觀測站分佈及地質概況



五、模式分析實例

■ S01R (澎湖白沙站) 高程變動時間序列(ITRF2000)



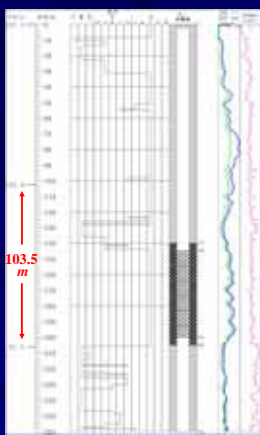
五、模式分析實例

M13



坪頂CGPS-PINT天線

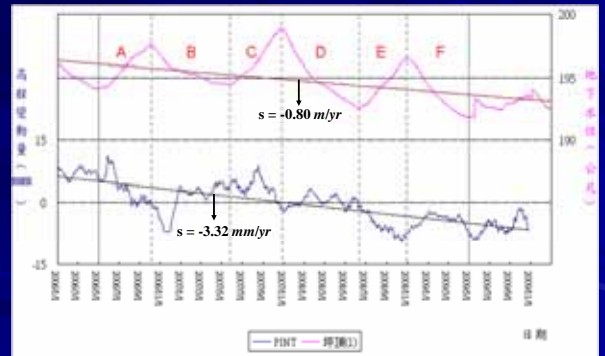
五、模式分析實例



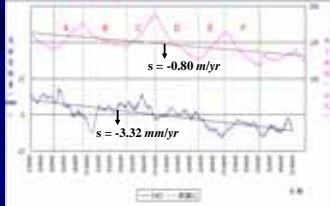
坪頂地下水觀測站地層、井測及井結構

五、模式分析實例

M13(日均水位-29日移均高程)



五、模式分析實例



M13

表二

分段	坪頂水位上升、下降段	線性迴歸式	Δh_i (m)		
			1.0	3.0	5.0
A	上升段	$Y = -0.3557X - 0.4506$ $R^2 = 0.6765$	-0.81	-1.52	-2.23
B	下降段	$Y = -0.2673X - 0.1975$ $R^2 = 0.7487$	-0.46	-1.00	-1.53
C	上升段	$Y = -0.2435X + 2.0036$ $R^2 = 0.104$	1.76	1.27	0.79
D	下降段	$Y = -0.7234X + 1.3018$ $R^2 = 0.4545$	0.58	-0.87	-2.32
E	上升段	$Y = -0.5781X - 1.4514$ $R^2 = 0.8344$	-2.03	-3.19	-4.34
F	下降段	$Y = -0.2782X - 0.3224$ $R^2 = 0.112$	-0.60	-1.16	-1.71
平均值 $\bar{Y} = -\Delta b$ (mm)			-0.26	-1.08	-1.89

五、模式分析實例

表一公式及烏塗站 $S_s = 3.7 \times 10^{-6} 1/m$

$$S_y = 0.15$$

$$S_{k_1} = S_{sk_1} \times b_1 = 3.7 \times 10^{-6} \times 103.5 = 3.8 \times 10^{-4}$$

$$\Delta b = S_{k_1} (S_y \Delta h_u - \Delta h_u) + S_{k_3} S_y \Delta h_u$$

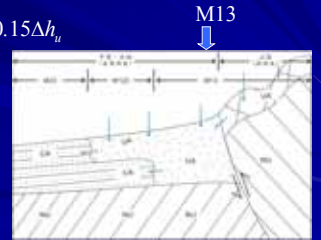
$$= 3.8 \times 10^{-4} (0.15 \Delta h_u - \Delta h_u) + S_{k_3} \times 0.15 \Delta h_u$$

$$= -3.2 \times 10^{-4} \Delta h_u + S_{k_3} \times 0.15 \Delta h_u$$

表二之 Δh_u 和 Δb 代入得：

$$\text{平均 } S_{k_3} = 4.4 \times 10^{-3}$$

$$\Delta b = 3.4 \times 10^{-4} \Delta h_u$$



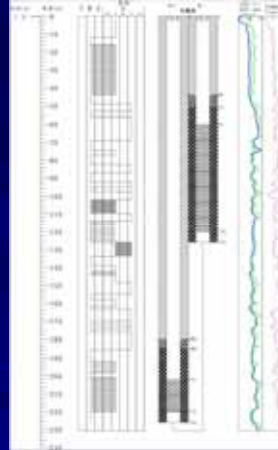
五、模式分析實例



M23

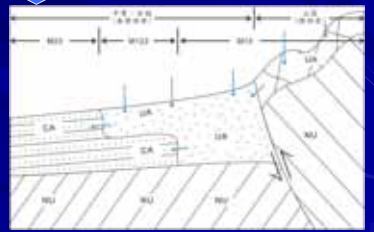
新興國小 CGPS - YSLI

五、模式分析實例



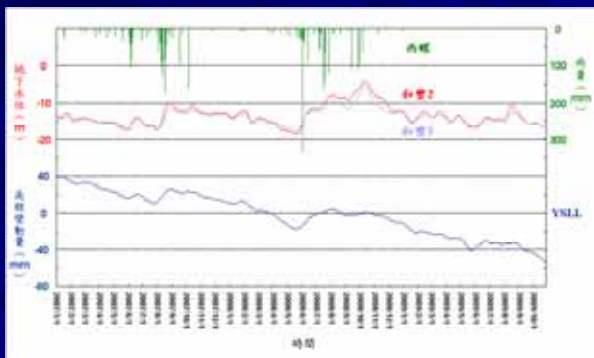
M23

和豐地下水觀測站地層、井測及井結構



五、模式分析實例

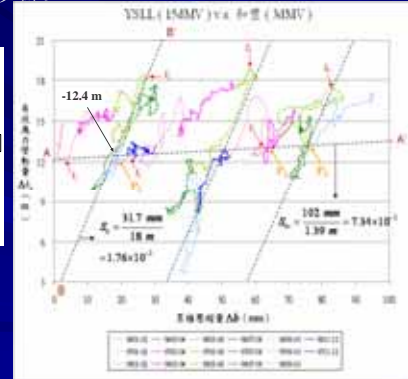
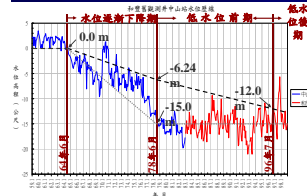
M23(3日移均水位-15日移均高程)



五、模式分析實例

M23

$S_{kv} = 7.34 \times 10^{-2}$ 和 $\tau = 51.6$ 年之初步驗證



五、模式分析實例

表三 M23

延時 始末	$d(\Delta h_e)$ (m)	$d(\Delta b)$ (mm)	延時 t (day)	Δb_{max} $= d(\Delta h_e) \times S_{kv}$ (mm)	$\bar{U} = \frac{d(\Delta b)}{\Delta b_{max}}$	$T_v = \frac{\pi}{4} \bar{U}^2$ ($\bar{U} < 0.53$)	$\tau = \frac{0.5t}{T_v}$	
							(day)	(year)
t_1-t_2	3.50	17.0	127.0	256.9	0.0662	0.00304	18,459	50.6
t_3-t_4	4.75	28.4	204.2	348.7	0.0864	0.0520	19,635	53.8
t_5-t_6	2.73	11.6	97.0	200.4	0.0579	0.00263	18,441	50.5
平均							18,845	51.6

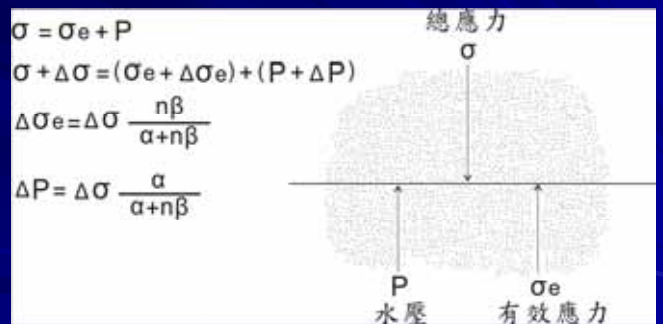
六、結論

- 地下水位與地表高程互動由地下水荷重與地下水壓兩項因子聯合作用。
- 山區、台地、扇頂由非受壓地下水層與無補注單元組成M13，屬於荷重主控之水位-高程負相關區。抽用非受壓地下水層，不易引發該處地層下陷。
- 扇央、扇尾由受壓地下水層與無補注單元組成M23，屬於地下水壓主控之水位-高程正相關區。抽用受壓地下水層，容易引發該處地層下陷。
- 山區常屬M13型，顯示近地表之岩屑(regolith)和破裂風化岩構成非受壓地下水層，為主要地下水層，受壓地下水層並不發達。

報告完畢 敬請指正

二、地下水位變動對有效應力之影響

地下水層中某一水平面上之總應力示意圖



二、地下水位變動對有效應力之影響

