

新北市 104 學年度中小學科學展覽會 作品說明書

科別：地球與行星科學科

組別：高級中等學校組

作品名稱：找尋下一個水庫！

~地下水位變動特性分析及地下水庫建置之儲水
係數與沉陷量探討

關鍵詞：地下水庫、儲水係數、地層下陷

編號：

摘要

現今大型水庫難以建置，地下水庫成為重要選項。本研究由學校測站分析，得知地下水溫穩定，推論彰雲沿海養殖業為降低寒害損失，抽地下水保溫，造成水位大幅變動。由彰雲高鐵沿線水位分析，發現自 2010 年封井後水位有明顯回升。本研究亦設計自由與受壓含水層儲水係數試驗，以彈珠及砂礫模擬含水層，量測儲水係數與沉陷量。研究發現自由含水層儲水係數與粒徑呈正向線性關係，且其儲水係數高於受壓含水層千倍之多。自由含水層中取水不產生沉陷，但受壓含水層荷重愈大，儲水係數愈小，沉陷量愈大，易地層下陷。歸納地下水庫建置，應以粒徑大之自由含水層或淺層受壓含水層為佳，以提高儲水係數、增加出水量及降低沉陷量的危害，同時亦應劃設保護區嚴格管理。

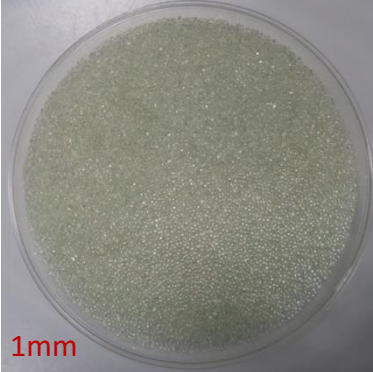
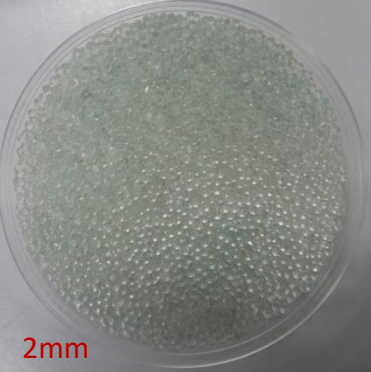
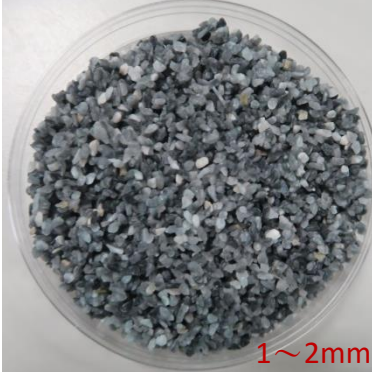
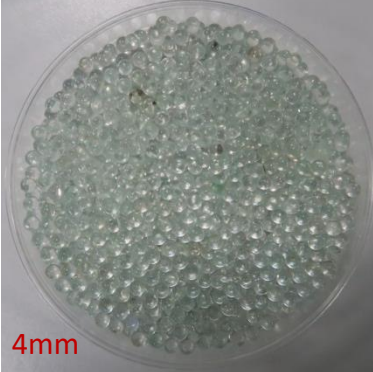
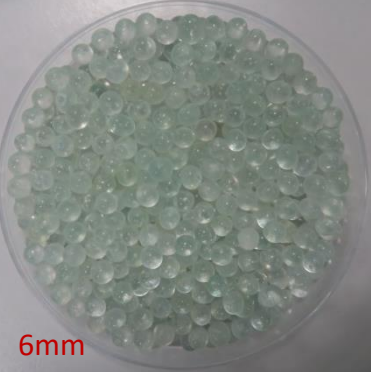

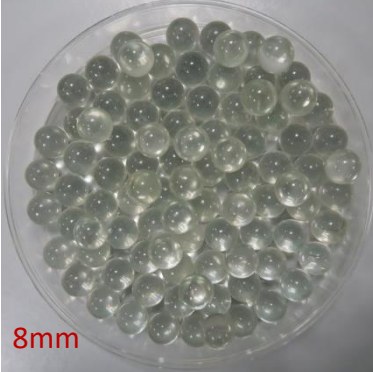
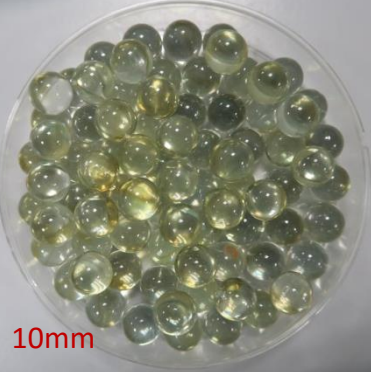
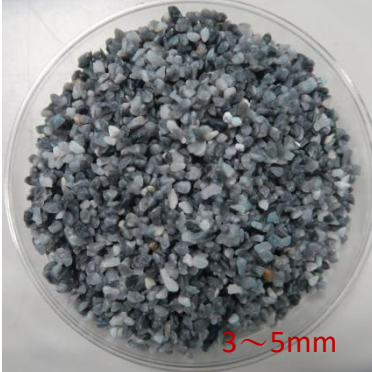



壹、 研究動機






在現今交通發達的 21 世紀，高鐵已成為聯繫南北、大幅縮短空間距離的重要工具。但近年常聽聞高鐵於雲林、彰化路段因地層下陷影響，使經過其路線之列車必須大幅降低行車速度，從「高鐵」變成了「慢鐵」，也使地下水超抽議題再度浮現。再加上中南部的養殖漁業興盛而造成地下水超抽過度，導致嚴重的地層下陷以及海水入侵地下水所造成的環境破壞，在用水量與日俱增，水資源開發日益困難，開發容易及成本較低的地下水庫可能是解決水資源困境的一帖解藥。地下水庫(地下水人工補注)三項評估條件(一)適宜的水文地質(二)充裕之補注水源(三)人工補注經濟性分析(徐振煌，民 89)。我們希望藉由學校內氣象水文觀測資料及彰化雲林地區地下水位的分析來了解其變動特性，設計自由與受壓含水層儲水係數試驗系統，測量含水層孔隙率、出水率、儲水係數以及沉陷量，並評估地下水庫建置之水文地質要件及了解劃設為保護區之重要性。

貳、 研究目的

- 一、探討學校鄰近及彰化雲林地區地下水位變動特性。
- 二、探討含水層不同粒徑大小及對孔隙率之影響。
- 三、探討受壓含水層及自由含水層之儲水係數與沉陷量的關係。
- 四、評估地下水庫建置之水文地質要件及劃設為保護區之重要性。

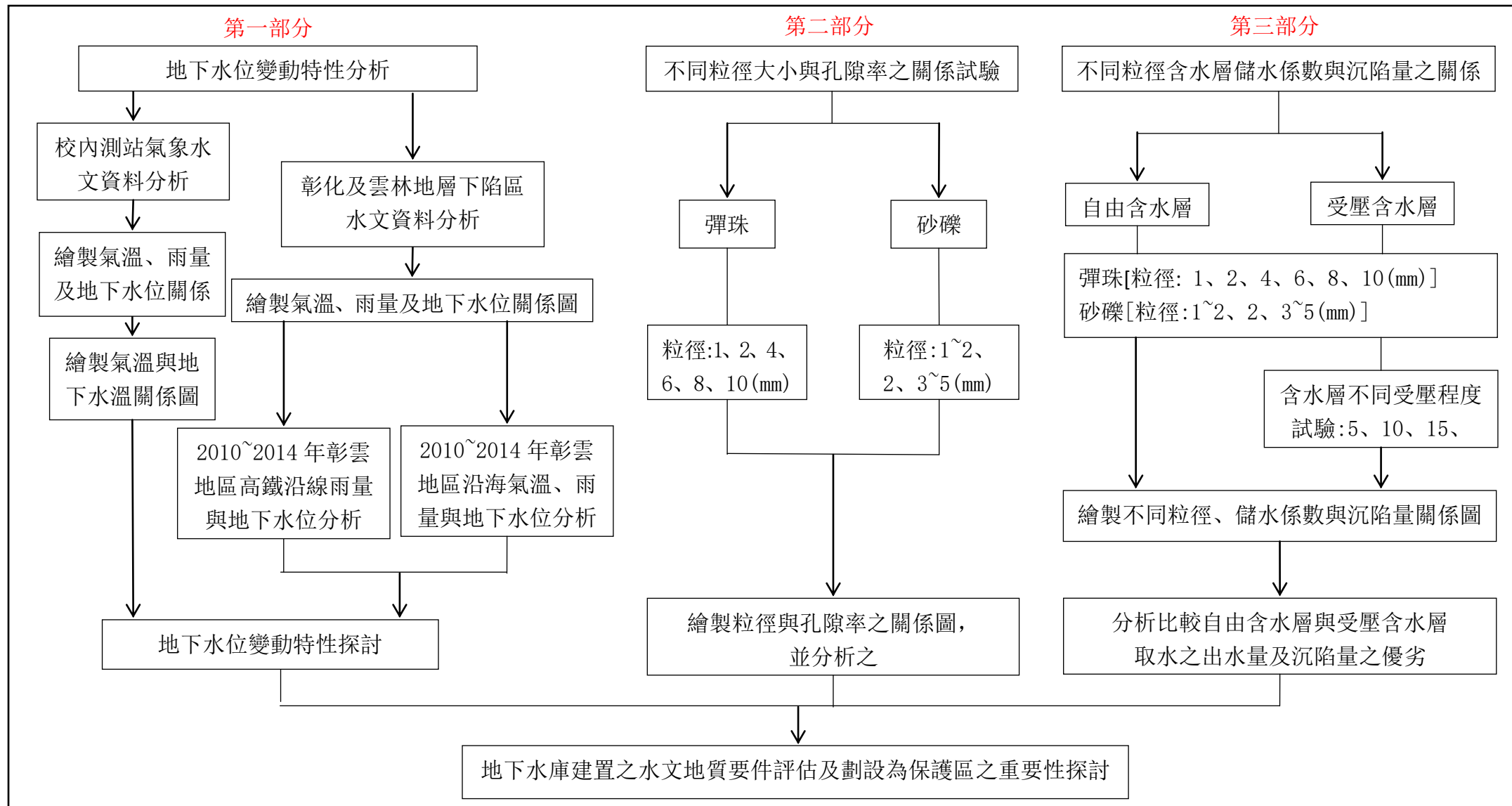
參、 研究設備及器材

<p>彈珠(1、 2、 4、 6、 8、 10mm)</p>		<p>砂礫(1~2, 2, 3~5, 8~10mm)</p>
 <p>1mm</p>	 <p>2mm</p>	 <p>1~2mm</p>
 <p>4mm</p>	 <p>6mm</p>	 <p>2mm</p>
 <p>8mm</p>	 <p>10mm</p>	 <p>3~5mm</p>
<p>篩網</p>	<p>電子磅秤</p>	
		 <p>8~10mm</p>

<p>電熱板</p> 	<p>黏土</p> 	<p>受壓與自由水層試驗系統</p> 
<p>游標尺</p> 	<p>30kg 彈簧秤</p> 	

肆、研究過程與方法

一、研究過程



二、歷年地下水位、水溫與氣溫分析

(一) 校內測站水文資料分析

本研究利用學校早期建置之地下水觀測井與氣象觀測站(圖一)，選取 2015 年 12 月到 2016 年 1 月台灣歷經寒流期間之氣溫、雨量及地下水位、水溫之資料，利用 SigmaPlot 軟體繪製(1)氣溫、雨量及地下水位關係圖、(2)氣溫與地下水溫關係圖，並分析地下水位變動與地下水溫度特性。



▲圖一 學校早年建置之氣象觀測站與地下水觀測井

(二) 彰化及雲林地層下陷區水文資料分析

本研究利用水利局和大氣水文資料庫，選取彰化及雲林地層下陷較嚴重區域之地下水位及氣溫觀測資料（圖二），圖中高鐵沿線因近年超抽地下水造成地層下陷，對高鐵之行車造成威脅，故相關單位於 2010 年起開始推動「黃金廊道農業新方案暨行動計畫」及封井等相關措施，本研究將彰雲地區高鐵沿線及鄰近觀測井分成三個橫切剖面以及一個縱切剖面，繪製 2010~2014 年彰雲地區高鐵沿線雨量與地下水位分析圖，並分析高鐵沿線三公里範圍內外地下水井字 2010 年開始逐步封井後，前後期之水位變化。彰雲沿海地區為養殖漁業密集地帶，長年因超抽地下水而造成地層下陷，本研究亦將沿海之剖面五觀測資料繪製彰雲地區沿海氣溫、雨量及地下水位分析圖，分析並探討彰雲地區沿海地下水位變化及抽水型態。



▲圖二 彰雲地區地下水觀井位及研究剖面位置圖(修改自:水利署)

三、不同粒徑大小與孔隙率之關係試驗

粒徑大小對孔隙率、出水率影響實驗—裝置設計及製作實驗操作

本實驗選用 1、2、4、6、8、10 (mm) 等不同大小彈珠以及 1~2、2、3~5、8~10 (mm) 砂礫，將上述實驗材料裝入鋪設有黏土之寶特瓶內模擬地層狀態，將其壓密後透過水的裝填與排出之重量量測，計算其出水率及孔隙率。試驗量測過程發現顆粒與容器管壁接觸地帶會造成量測誤差，經改良後，使用黏土鋪設於容器內壁，降低顆粒與管壁間增加之孔隙，讓量測條件更為貼近地層之真實環境(圖三)。

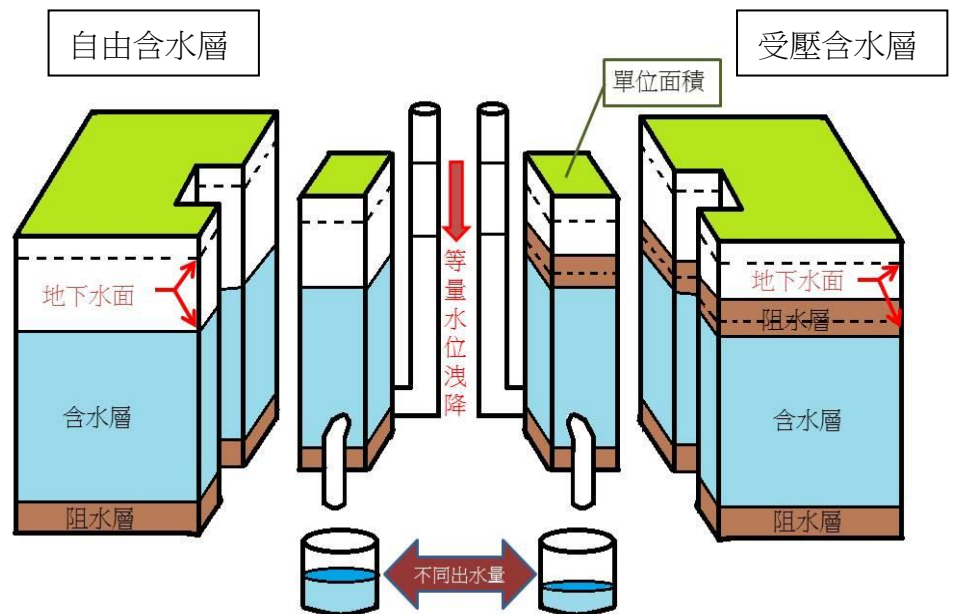


▲圖三量測容器內部鋪設黏土，降低顆粒與管壁間增加之孔隙，更為貼近地層之真實環境，進行孔隙率與出水率量測。

四、不同粒徑含水層儲水係數與沉陷量之關係試驗

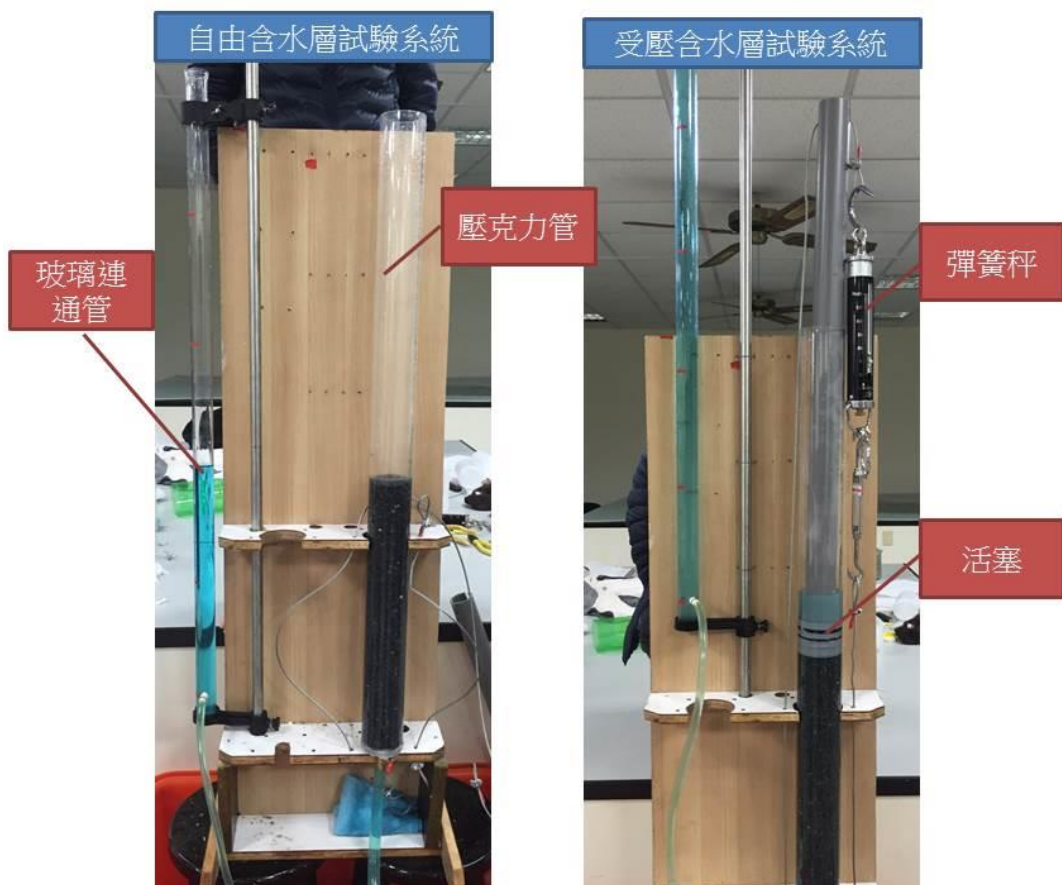
地下水含水層中可抽取之地下水量常由儲水係數來表示。含水層之儲水係數，為單位面積之含水層方柱體，當垂直於含水層面之水頭增減一單位高度時所流入或流出之水量(曹以松，民 94)(圖四)。含水層儲水係數通常以現地複井抽水試驗來求取其值，且因地層組成之變異性及抽水試驗變因多，造成量測結果常有極大落差。受壓含水層儲水係數範圍約自 0.00005 至 0.005；自由含水層儲水係數範圍約自 0.05 至 0.30。

►圖四 自由及受壓含水層儲水係數量測示意圖



本實驗選用 1、2、4、6、8、10 (mm) 不同大小彈珠，以了解在最理想狀態大小及形狀一致時，不同粒徑之儲水係數。同時亦採用實際 1~2、2、3~5、8~10 (mm) 砂礫進行試驗，比對實際地層材料組成之差異性。

實驗設備為利用壓克力管填充彈珠及砂礫模擬地層 (圖五)，再以透明水管連接附有刻度之玻璃管，作為自由含水層系統；而受壓含水層系統再使用吻合壓克力管內徑大小之活塞，模擬地層受壓之狀態，並裝置彈簧秤加以調整施壓大小，接著在自由含水層系統測量其固定洩降高度之出水量及沉陷量；受壓含水層則分別測量受壓 5、10、15、20 (kg) 在固定洩降高度之出水量及沉陷量，最後計算出儲水係數。



▲圖五 自由及受壓含水層試驗系統

五、地下水庫建置之水文地質要件評估探討。

透過含水層儲水係數、沉陷量試驗結果，嘗試解釋地下水位變動特性之成因，進一步歸納作為地下水庫建置時，水文地質之評估要件探討。

伍、 研究結果

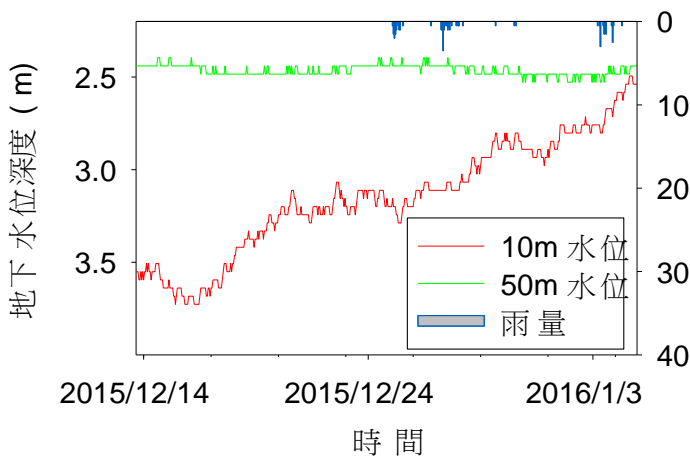
一、地下水位變動特性分析

(一) 校內測站水文資料分析

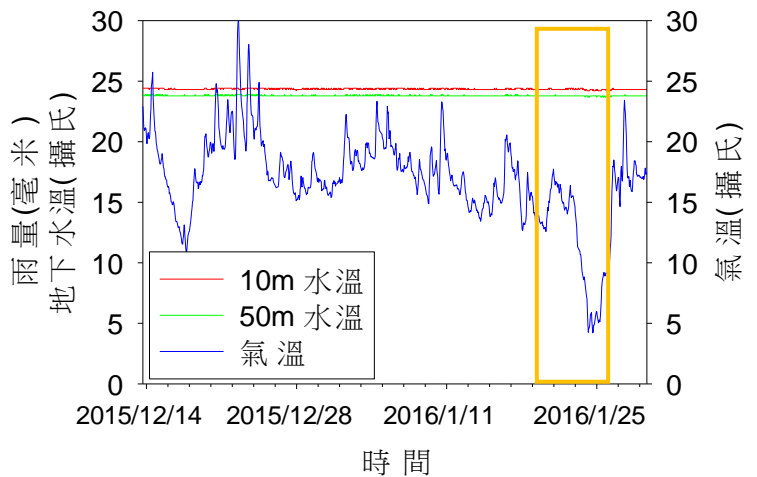
利用學校的地下水位觀測井及氣象觀測站之觀測資料，繪製 2015 年 12 月至 2016 年 1 月雨量及地下水位關係圖（圖六）、2015 年 12 月至 2016 年 1 月氣溫與地下水溫關係圖（圖七），得知：

1. 本校地下水位變化受潮汐變化影響，淺層易受當地河川水位及降雨量影響。

由圖六得知本校 10m 及 50m 觀測井之地下水位均呈現週期性變化，因本校水井位置緊鄰淡水河，且淡水河水面接近海平面，應受潮汐變化影響；圖中亦發現 10m 之地下水位(紅線)變化幅度較大，50m 之地下水位(綠線)則變化小，因淺層地下水位較易受當地降雨直接補注、河川水位及鄰近淺層抽水影響，故地下水位短期間變化明顯，深部含水層因補注區源自較遠處，則地下水位短期變化較為穩定。



▲圖六學校地下水位及雨量關係圖
(2015/12~2016/1)



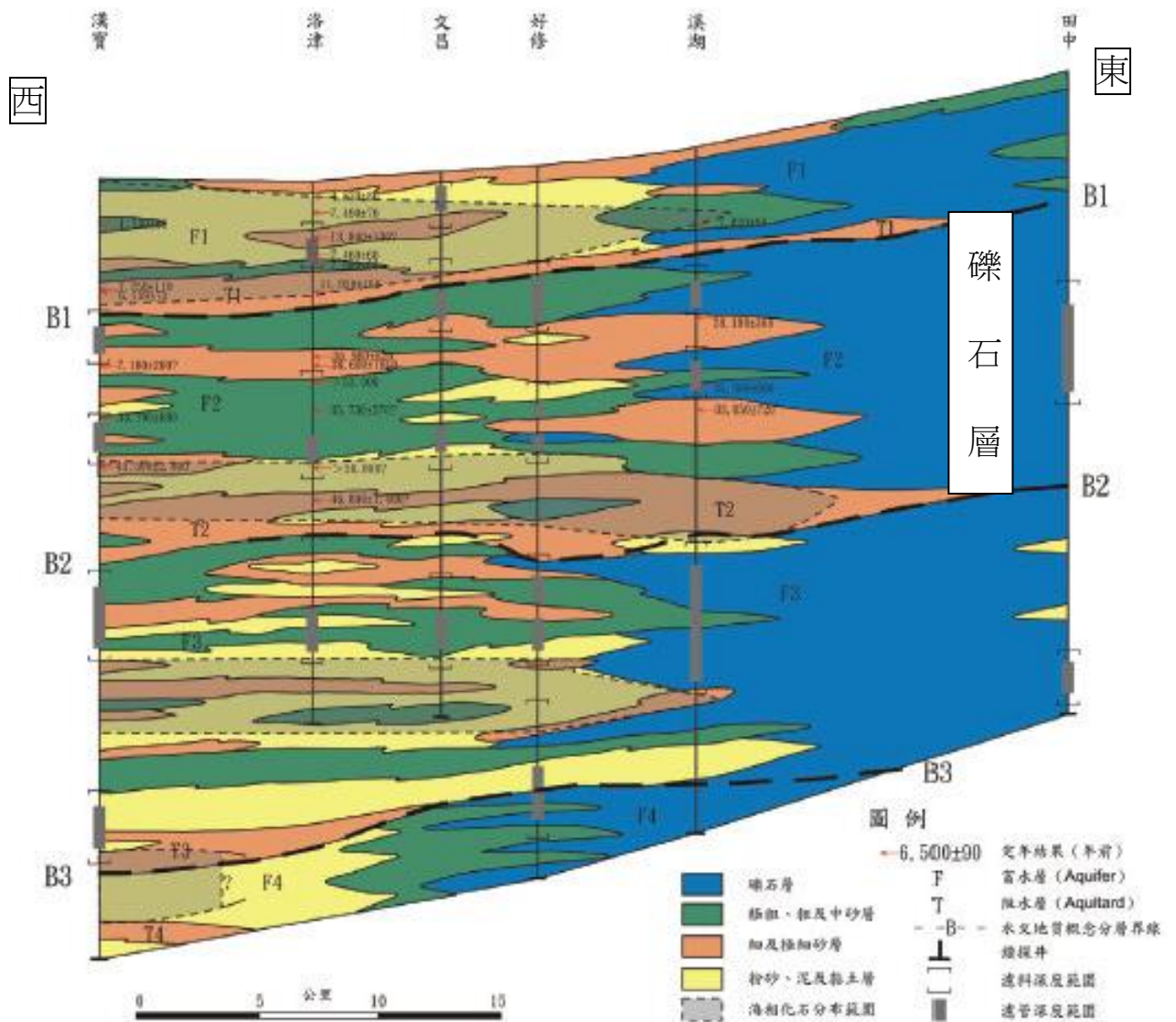
▲圖七學校氣溫與地下水溫關係圖
(2015/12~2016/1)

2. 地下水溫長期處於穩定狀態，不易受大氣溫度變化影響。

由圖七發現2016年1月下旬台灣地區經歷寒流，於1月23日至1月25日期間(黃色框線)大氣溫度迅速下降6.7°C (10.9°C → 4.2°C)，此期間淺層(紅線)與深層地下水溫(綠線)變化幅度小，長期處於穩定狀態，故地下水常被用來作為保溫之用途。

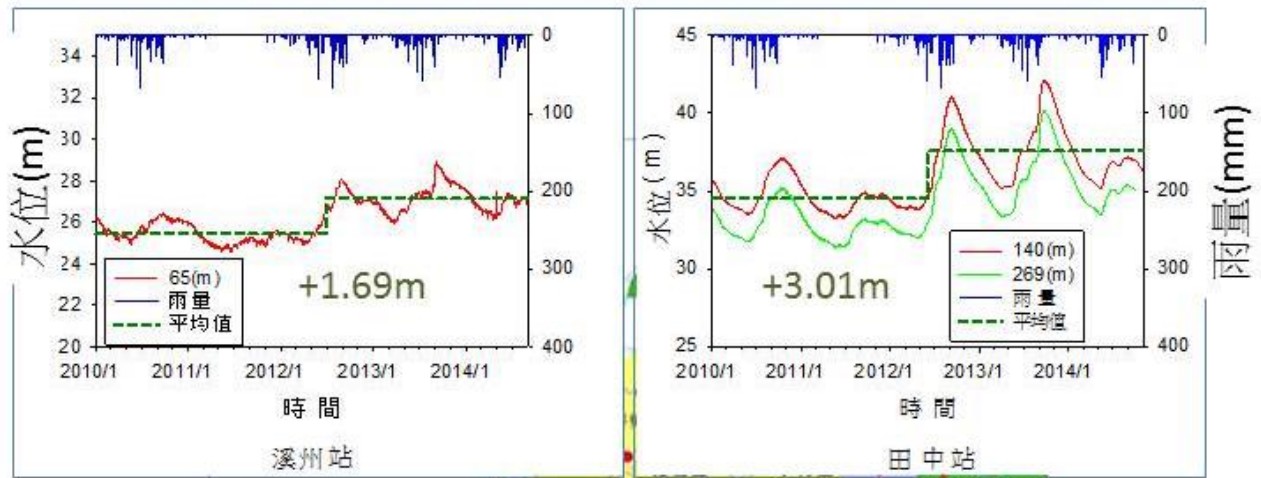
(二) 彰化及雲林地層下陷區(高鐵沿線)水文資料分析

1. 高鐵沿線曾為大量抽水的地層下陷區，在封井後地下水位的基線具回升的趨勢，應可減緩地層下陷發生。
2. 2012~2014 年降雨量較多，明顯增加全區地下水位的年上升幅度。
3. 東側測站位於濁水溪沖積扇地下水補注區，補注量大且較為透水，故地下水位回升量較大。

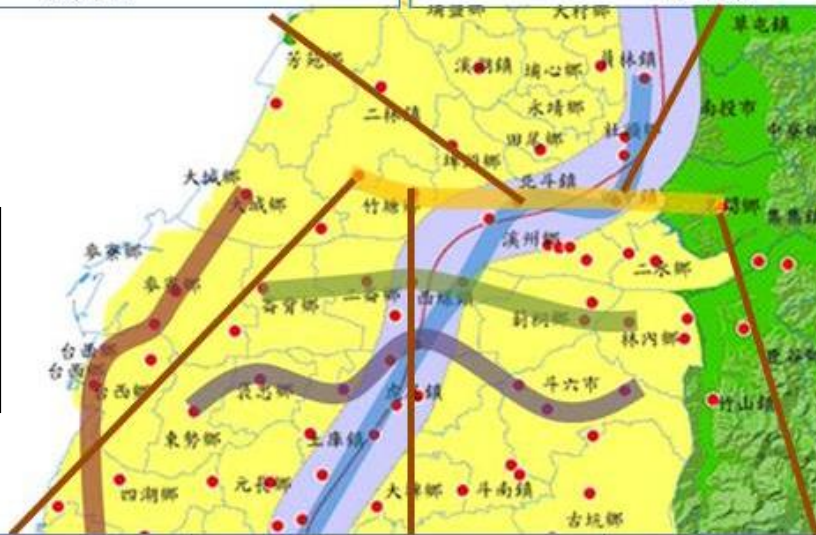


▲圖八 濁水溪沖積扇地層剖面圖(修改自:地下水觀測網)

剖面一:2010年封井，前後期水位變化



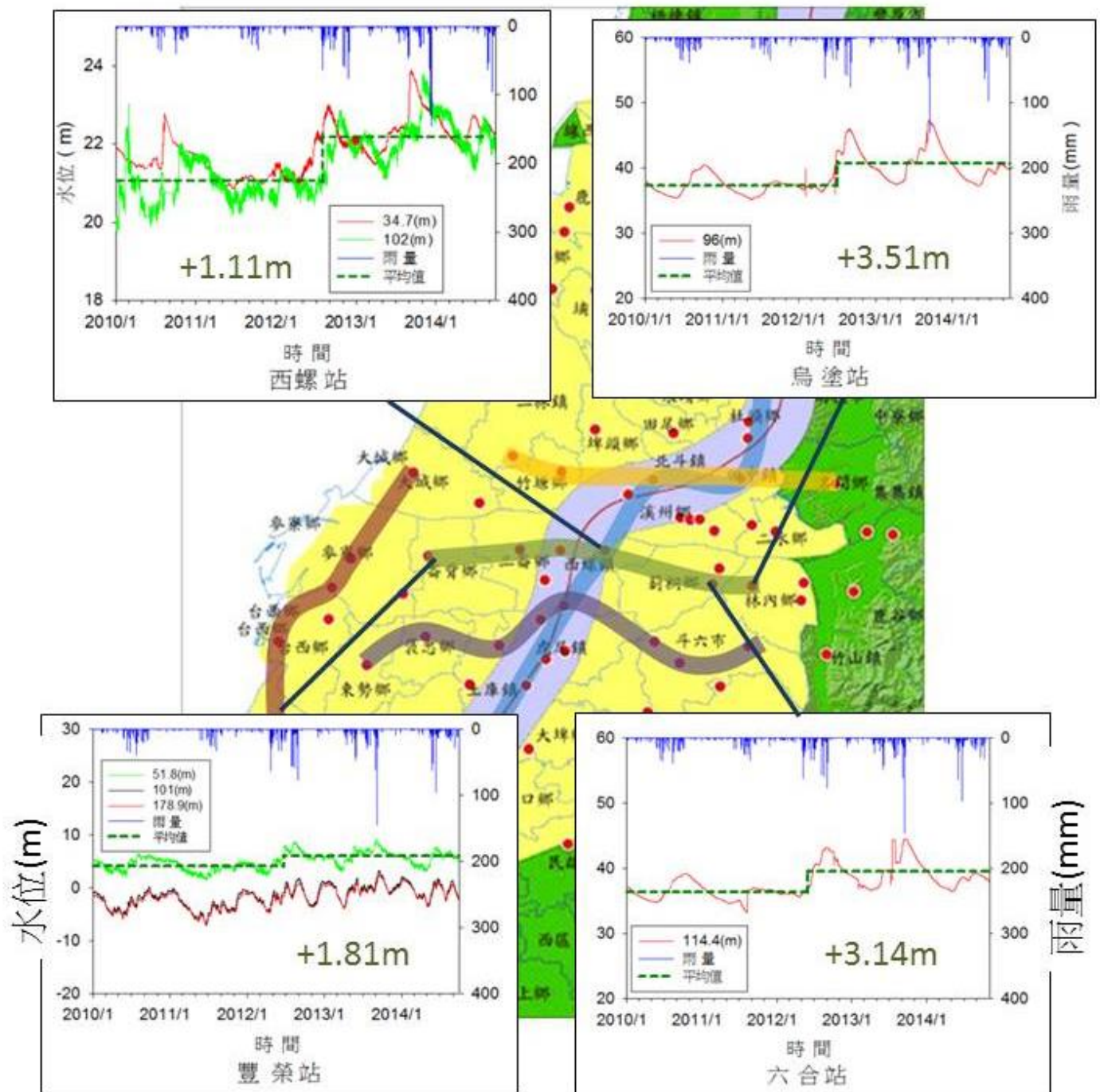
註:圖中+2.23m 表示
平均地下水位
2012~2014 年高於
2010~2011 年 2.23m)



▲圖九 剖面一雨量與地下水位分析圖(2010~2014 年)

由剖面一地下水位雨量及地下水位關係圖(圖九)，發現位於封井範圍內(紫色帶狀)的田中站與溪州站本為大量抽水的地層下陷區，地下水位在封井後期均較初期為高，呈現回升之趨勢(田中:+3.01m；溪州:+1.69m)。由圖中亦發現 2012~2014 年降雨量明顯增多，區內各測站地下水位年變化均呈現上升趨勢。地下水位回升量由(新光站)東側至西側(香田站)呈現遞減之趨勢，乃因東側鄰近補注區，且由濁水溪沖積扇地層剖面圖(圖八)，得知東側為粒徑較大的礫石層，透水性佳，因此補助快速、回升量大於西側。

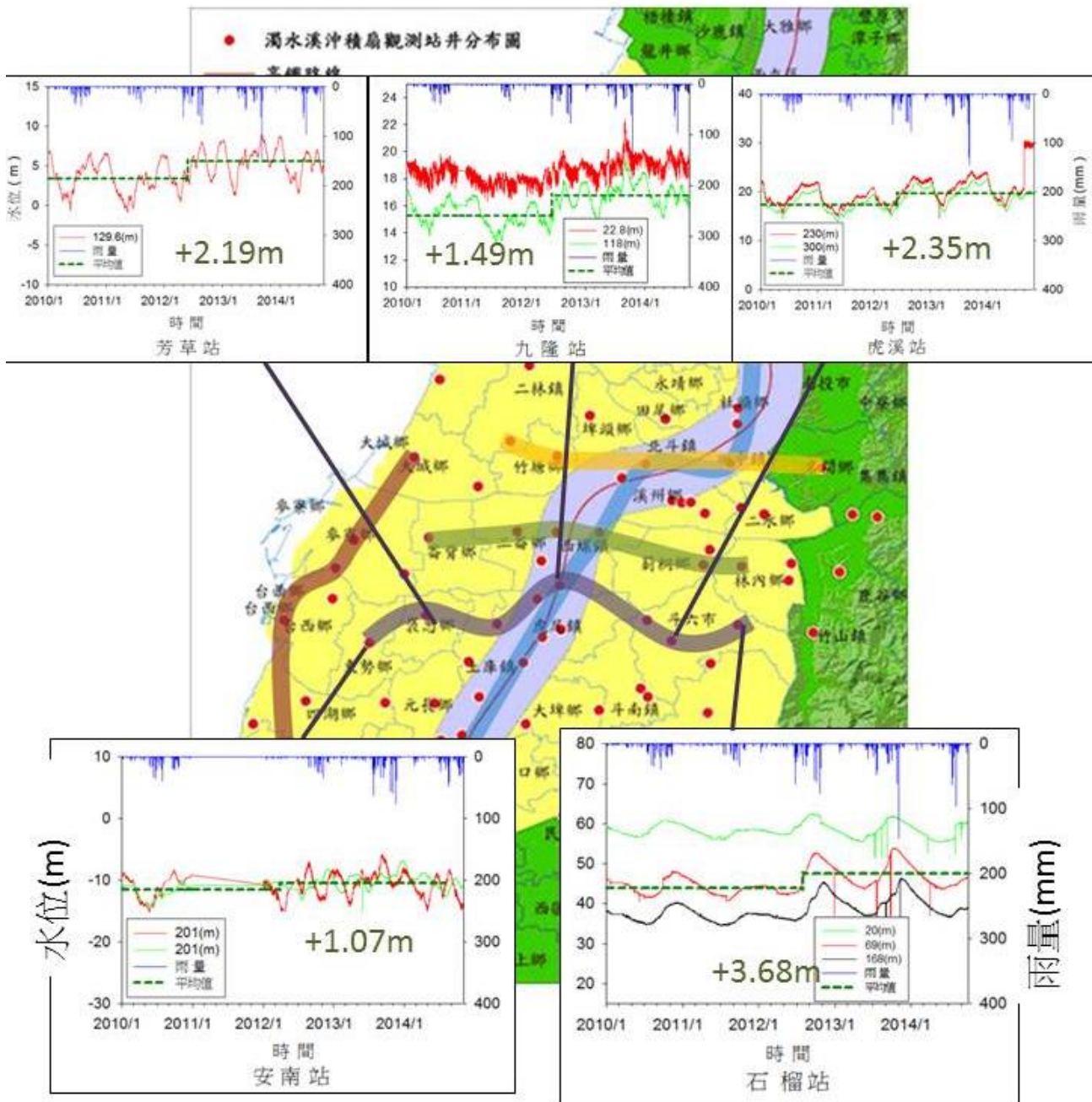
剖面二:2010年封井，前後期水位變化



▲圖十 剖面二雨量與地下水位分析圖(2010~2014年)

由剖面二地下水位雨量及地下水位關係圖(圖十)，發現位於封井範圍內的西螺站本為大量抽水的地層下陷區，地下水位在封井後期較初期回升 1.11m。由圖中亦呈現 2012~2014 年降雨量增多，區內各測站地下水位年變化均呈現上升之趨勢。地下水位回升量亦以靠近補注區東側之烏塗站與六和站為多。

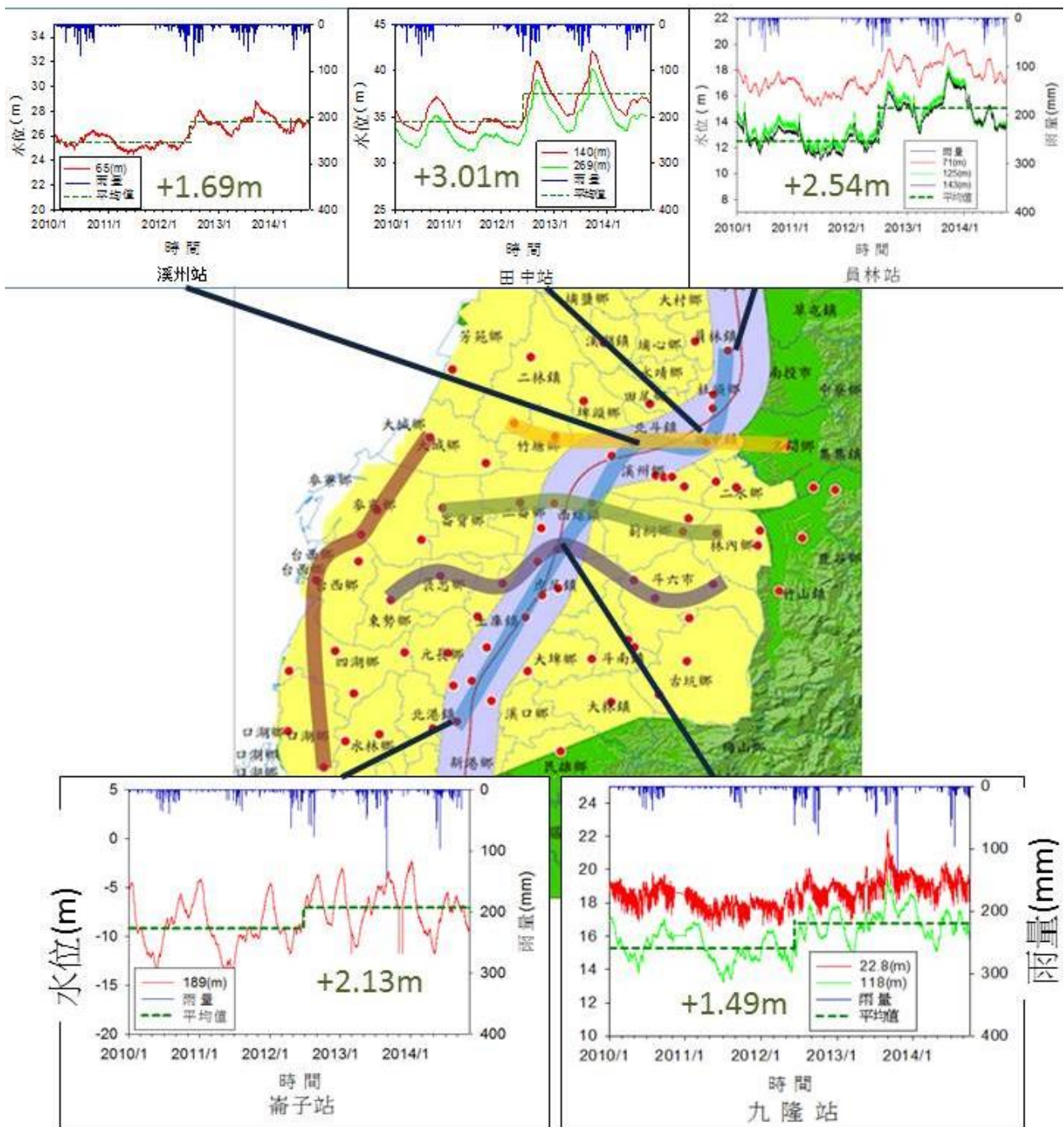
剖面三:2010年封井，前後期水位變化



▲圖十一 剖面三雨量與地下水位分析圖(2010~2014年)

由剖面三地下水位雨量及地下水位關係圖(圖十一)，發現位於封井範圍內的九隆站本為大量抽水的地層下陷區，地下水位在封井後期較初期回升 1.49m。由圖中亦呈現 2012~2014 年降雨量增多，區內各測站地下水位年變化均呈現上升之趨勢。地下水位回升量亦以靠近補注區東側之石榴站與虎溪站為多。

剖面四:2010年封井，前後期水位變化



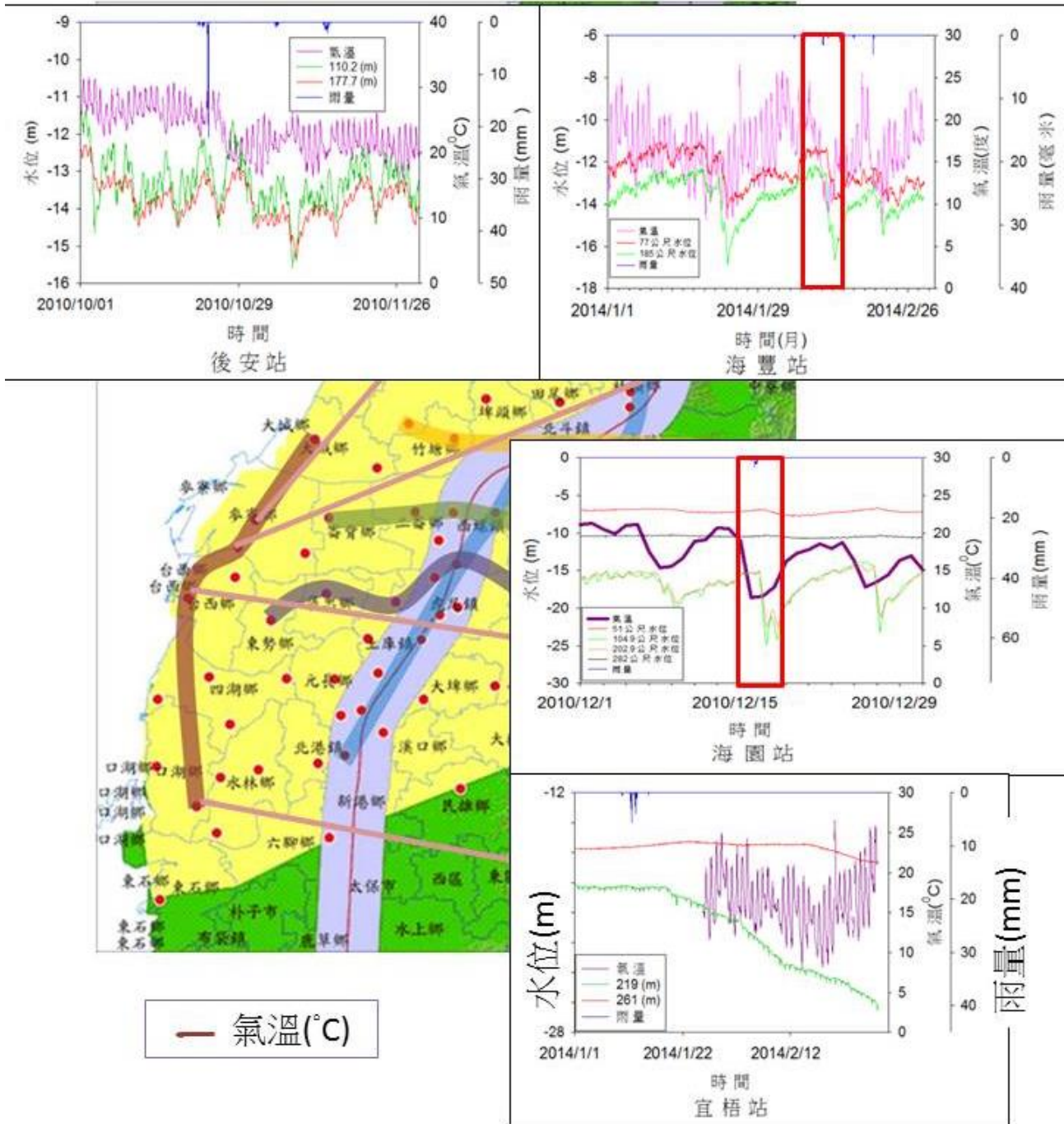
▲圖十二 剖面四雨量與地下水位分析圖

剖面四為南北向高鐵沿線封井範圍內測站之地下水位變化(圖十二)，發現所有測站於 2010 年陸續封井後，因減少抽水使其地下水位均呈現正向增加之趨勢，其中以田中站後期水位回升量達 3.01m 為最多。落實地下水井管制，控制地下水抽取量，可使水位明顯回升，有效減緩地層下陷發生。

(三)彰化及雲林地層下陷區(沿海養殖區)水文資料分析:

彰雲沿海養殖漁業區常於寒流期間抽取地下水做為保溫之用，超抽導致地層下陷。

剖面五:沿海氣溫與地下水位相關性探討

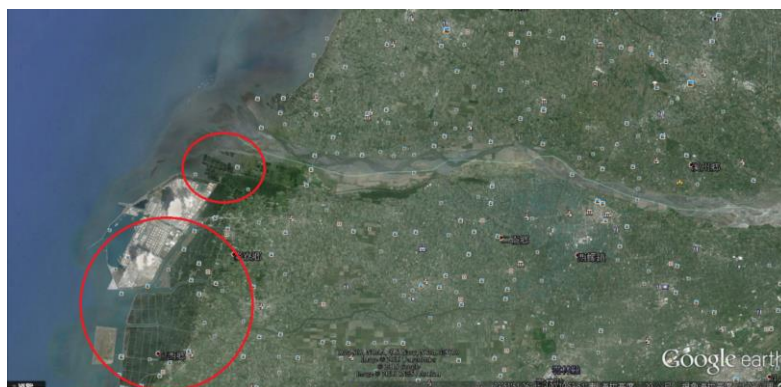


▲圖十三 剖面五雨量與地下水位分析圖

由剖面五沿海地區地下水位分析圖(圖十三)，可發現秋冬之際於寒流來襲或氣溫大幅下滑時，測站之地下水位常呈現短時間大幅度下降(紅色框區)，如:海豐(2月7日~2月12日

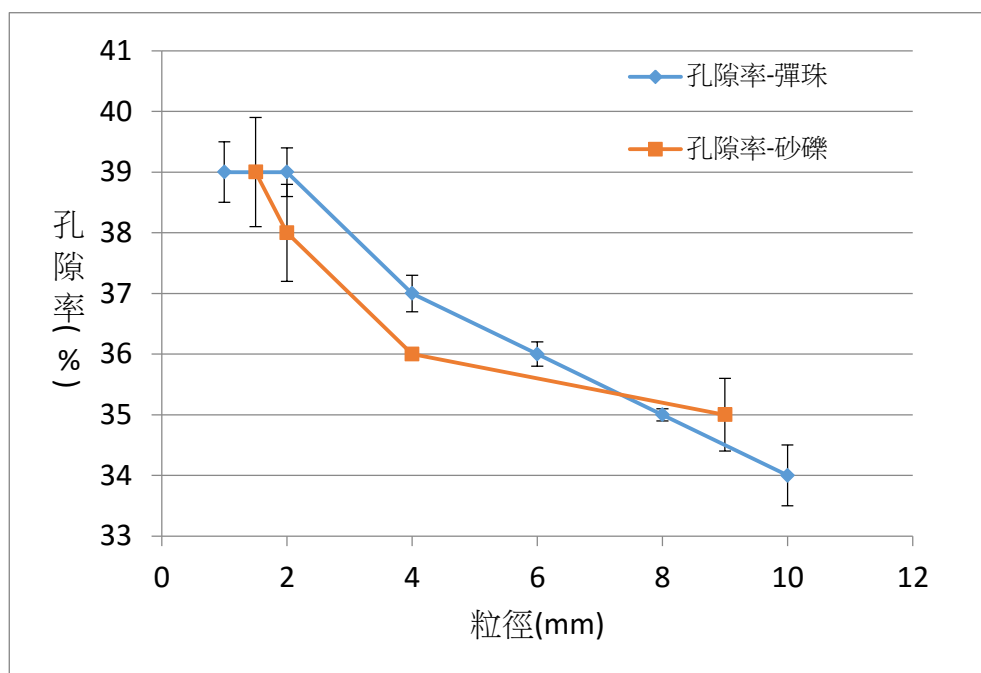
氣溫降幅 15.6°C：地下水位降幅 4.29 公尺)、海園 (12 月 15 日~12 月 17 日氣溫降幅 8.5°C：地下水位降幅 9.62 公尺)。已由學校地下水位及氣象觀測站得知地下水溫穩定不易受大氣溫度變化影響，又由圖十四 GoogleEarth 衛星俯視圖得知於彰雲沿海一帶為養殖魚塭密集區，可推知在溫度大幅降低時，養殖漁業為了降低損失，故會抽取相對較溫暖之地下水來維持魚塭之溫度，因大範圍大量急速超抽地下水，易導致地層下陷之結果。

►圖十四 彰雲沿海地區
GoogleEarth 衛星影像圖，紅色範圍為養殖漁業密集區



二、不同粒徑與孔隙率關係之試驗：含水層中粒徑愈大，則孔隙率愈小

經由孔隙率實驗測量並繪製彈珠及砂礫粒徑與孔隙率關係圖 (圖十五)，孔隙率量測數值及誤差值如表一所示。由圖中可發現彈珠及砂礫，均呈現粒徑愈大，孔隙率愈小；而粒徑愈小，孔隙率愈大之趨勢。且砂礫因顆粒大小、形狀不一，可呈現較緻密之排列，而孔隙率量測結果有小於彈珠之現象。



▲圖十五 彈珠及砂礫粒徑與孔隙率關係圖

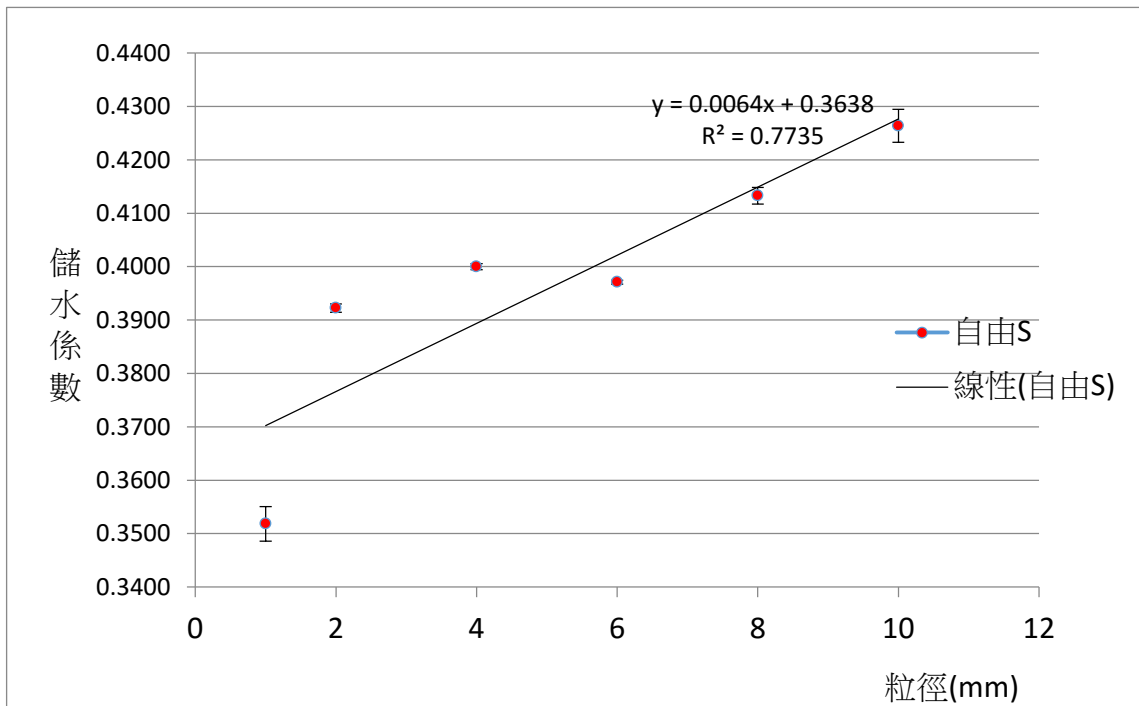
表一 不同粒徑彈珠與砂礫量測之孔隙率

	粒徑(mm)	孔隙率(%)	誤差值(%)	N
彈珠	1	39	0.5	3
	2	39	0.4	3
	4	37	0.3	3
	6	36	0.2	2
	8	35	0.1	4
	10	34	0.5	3
砂礫	1~2	39	0.9	2
	2	38	0.8	2
	3~5	36	0.1	2
	8~10	35	0.6	2

三、不同粒徑含水層儲水係數與沉陷量之關係試驗

(一) 自由含水層試驗：自由含水層之儲水係數與粒徑呈正向線性關係

由試驗得出不同粒徑彈珠與砂礫儲水係數(表二)，再經繪製彈珠自由含水層之儲水係數與粒徑關係圖(圖十六)，可發現在自由含水層系統中，粒徑愈大，儲水係數愈大；而粒徑愈小，儲水係數亦愈小之趨勢。而儲水係數範圍皆介於0.3~0.5之間，且其整體趨勢呈現正向線性關係。



▲圖十六 彈珠自由含水層之儲水係數與粒徑關係圖

表二 不同粒徑彈珠與砂礫量測之儲水係數(自由含水層)

	粒徑(mm)	儲水係數	平均值	誤差值(±)	N
彈珠	1	0.3556	0.3518	0.0032	4
		0.3585			
		0.3491			
		0.3441			
	2	0.3913	0.3922	0.0008	3
		0.3937			
		0.3917			
	4	0.4002	0.4000	0.0006	3
		0.4009			
		0.3990			
	6	0.3971	0.3971	0.0004	3
		0.3965			
		0.3977			
	8	0.4102	0.4133	0.0016	3
		0.4145			
		0.4152			
	10	0.4152	0.4264	0.0031	8
		0.4421			
		0.4328			
0.4159					
0.4246					
0.4257					
0.4283					
0.4266					
砂礫	1~2	0.4014	0.3890	0.0194	2
	2	0.3765	0.4009	0.0087	4
		0.4006			
		0.4110			
		0.4157			
	3~5	0.3404	0.3471	0.0067	2
		0.3539			
	8~10	0.4678	0.4724	0.0023	5
		0.4751			
		0.4684			
		0.4802			
		0.4706			

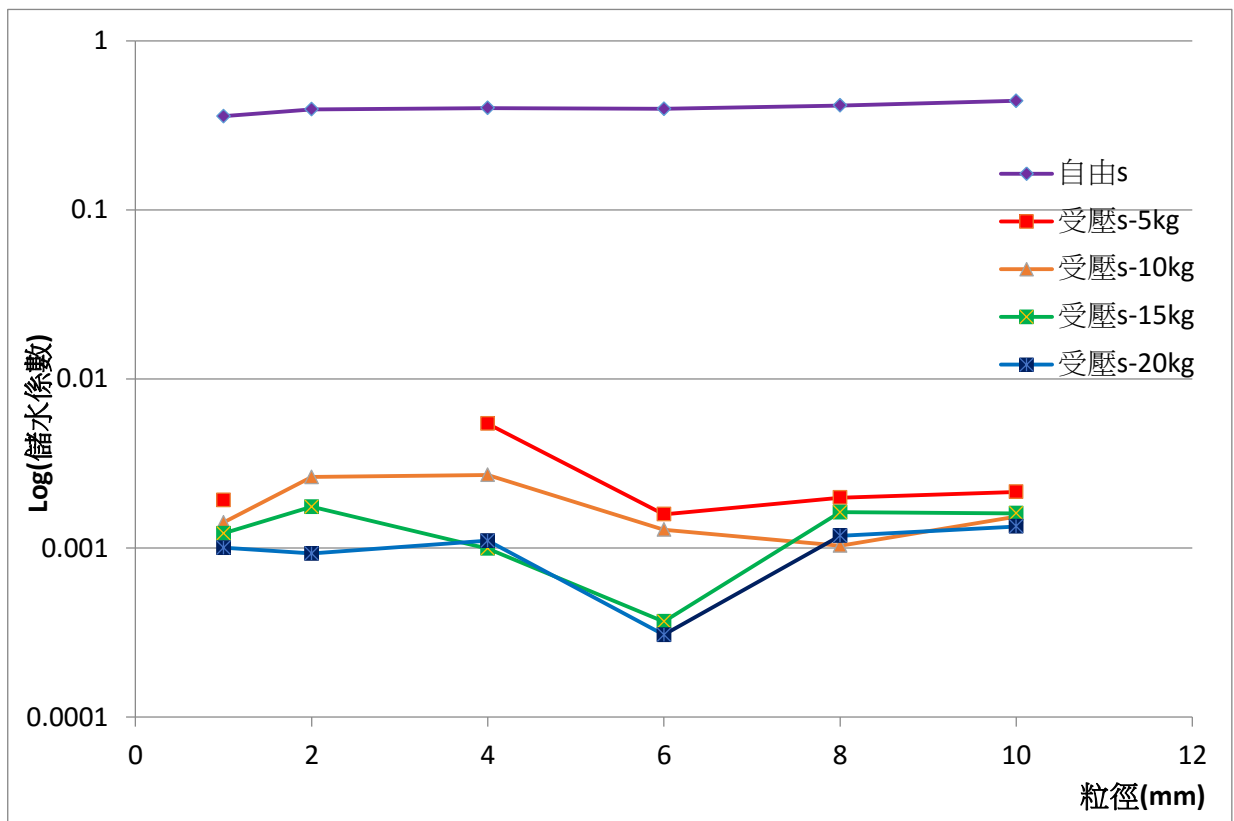
(二) 受壓含水層試驗

1. 受壓含水層受壓荷重愈大，則儲水係數愈小。

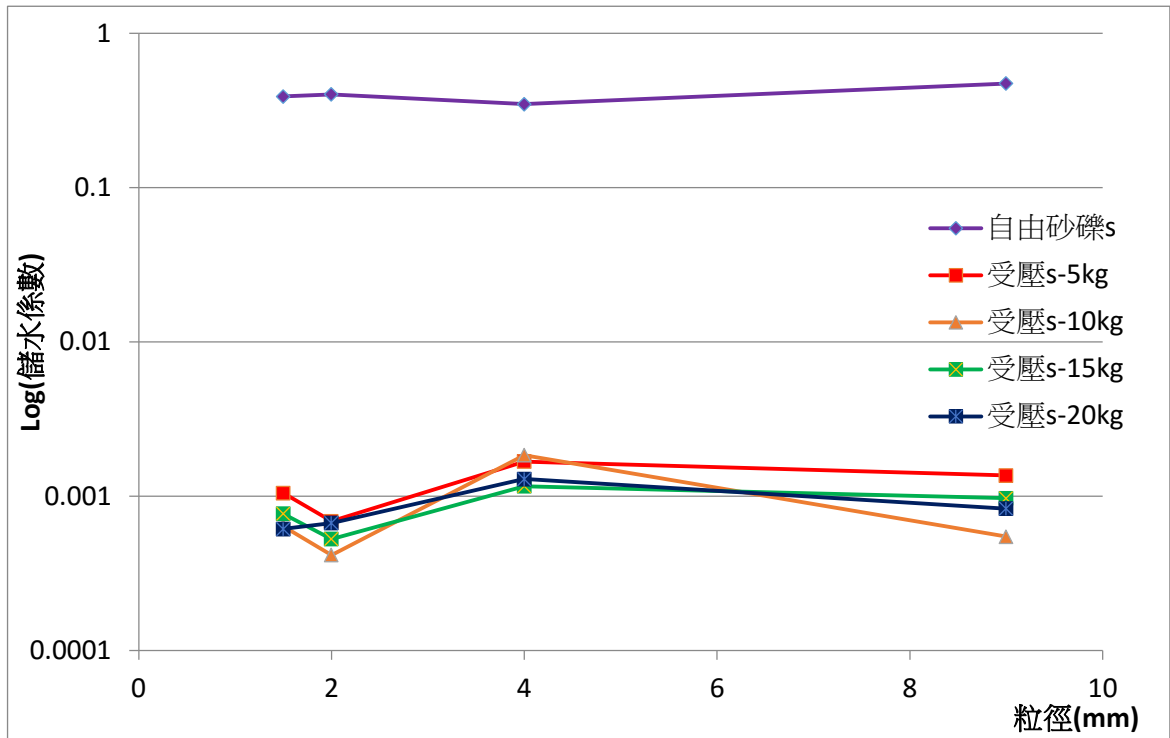
由受壓含水層實驗結果，經繪製彈珠自由含水層與受壓含水層之儲水係數關係圖（圖十七）及砂礫自由含水層與受壓含水層之儲水係數關係圖（圖十八），其量測數據如表四所示。由圖中發現在受壓含水層系統中，彈珠與砂礫均呈現受壓荷重愈大，儲水係數愈小之趨勢(如圖中藍線數值小於紅線)，且儲水係數介於 0.00031~0.00544，顯示含水層壓密程度影響儲水能力優之劣。

2. 自由含水層之儲水係數遠高於受壓含水層，相差可達千倍之多。

由圖中可看出，彈珠與砂礫試驗均呈現自由含水層之儲水係數遠大於受壓含水層之儲水係數，相差甚至可達到 1000 倍之多(比值介於 74~1295 倍) (表三)，可得知自由含水層之出水效率遠大於受壓含水層。



▲圖十七 彈珠自由含水層與受壓含水層之儲水係數關係圖



▲圖十八 砂礫自由含水層與受壓含水層之儲水係數關係圖

表三 自由含水層與受壓含水層之儲水係數比

	粒徑(mm)	儲水係數(Sy)	受壓荷重(kg)	儲水係數(S)	Sy/S
彈珠	1	0.3518	5	0.00192	183
			20	0.00100	350
	2	0.3922	10	0.00263	149
			20	0.00093	422
	4	0.4000	5	0.00544	74
			20	0.00111	362
	6	0.3971	5	0.00158	251
			20	0.00031	1295
	8	0.4133	5	0.00199	208
			20	0.00118	349
10	0.4264	5	0.00215	198	
		20	0.00134	318	
砂礫	1~2	0.3890	5	0.00105	372
			20	0.00061	634
	2	0.4009	5	0.00069	583
			20	0.00067	598
	3~5	0.3471	5	0.00167	207
			20	0.00129	269
	8~10	0.4724	5	0.00136	347
			20	0.00083	569

表四 不同粒徑彈珠與砂礫量測之儲水係數(受壓含水層)

	粒徑(mm)	受壓荷重(kg)	儲水係數 (S)平均值	誤差值(±)	N
彈珠	1	5	0.00192	0.00079	5
		10	0.00142	0.00063	5
		15	0.00122	0.00050	5
		20	0.00100	0.00041	5
	2	10	0.00263	0.00114	5
		15	0.00175	0.00081	5
		20	0.00093	0.00043	5
	4	5	0.00544	0.00473	5
		10	0.00271	0.00118	4
		15	0.00099	0.00052	5
		20	0.00111	0.00047	5
	6	5	0.00158	0.00065	5
		10	0.00129	0.00052	5
		15	0.00037	0.00017	5
		20	0.00031	0.00019	5
	8	5	0.00199	0.00087	4
		10	0.00103	0.00047	5
		15	0.00163	0.00069	5
		20	0.00118	0.00049	5
	10	5	0.00215	0.00091	5
10		0.00154	0.00065	5	
15		0.00161	0.00071	5	
20		0.00134	0.00057	5	
砂礫	1~2	5	0.00105	0.00047	5
		10	0.00064	0.00032	5
		15	0.00077	0.00046	4
		20	0.00061	0.00034	5
	2	5	0.00069	0.00031	5
		10	0.00042	0.00021	4
		15	0.00053	0.00034	5
		20	0.00067	0.00036	5
	3~5	5	0.00167	0.00071	5
		10	0.00184	0.00075	5
		15	0.00116	0.00048	5
		20	0.00129	0.00057	5

8~10	5	0.00136	0.00031	5
	10	0.00055	0.00014	5
	15	0.00097	0.00022	5
	20	0.00083	0.00025	5

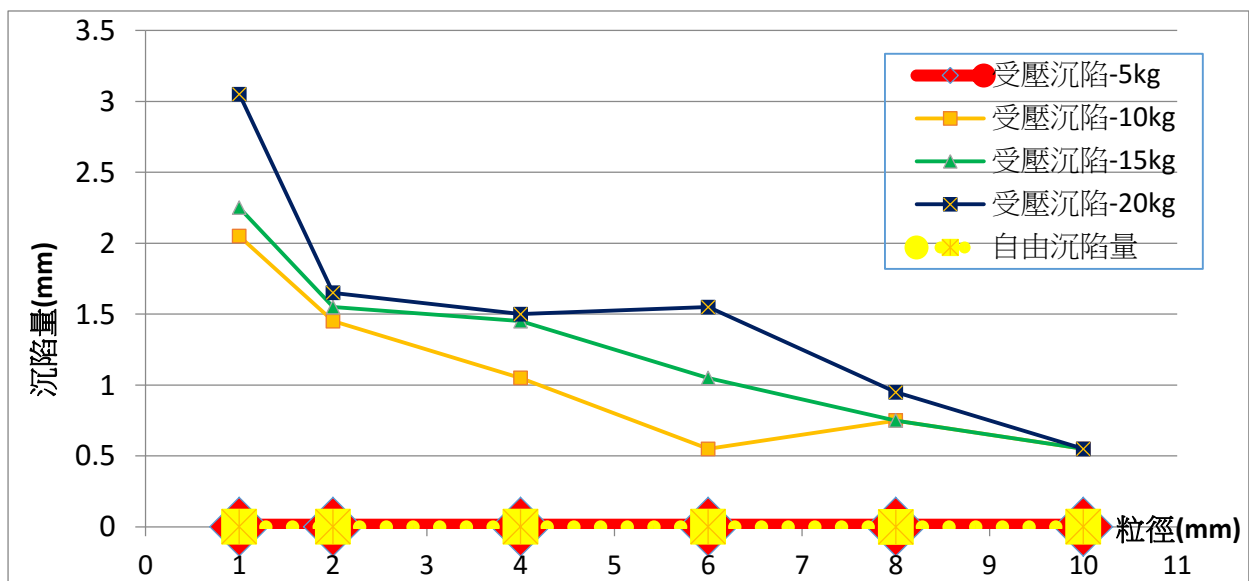
(三) 自由含水層和受壓含水層沉陷量試驗

1. 於受壓含水層中取水易產生明顯之沉陷量，自由含水層中則無。
2. 受壓含水層中，彈珠呈現粒徑愈大，沉陷量愈小之趨勢。

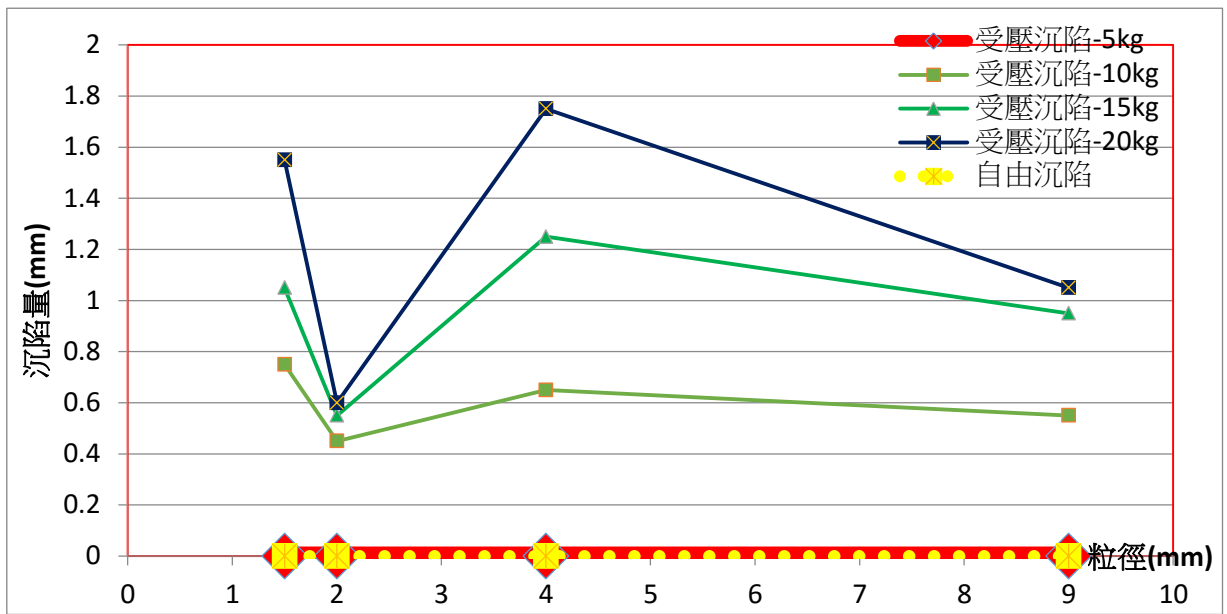
在受壓含水層和自由含水層實驗中同時量測水位洩降及不同受壓荷重之沉陷量，經繪製彈珠自由與受壓含水層沉陷量關係圖（圖十九）、砂礫自由與受壓含水層沉陷量關係圖（圖二十），量測數據如表五、表六所示。由圖中得知彈珠與砂礫在自由含水層中，水位洩降後之沉陷量均為零(黃色虛線)。亦可發現在受壓含水層中，彈珠呈現粒徑愈大，沉陷量愈小之趨勢。此乃因粒徑愈小，孔隙率愈大，當水壓下降之時，顆粒承受較大應力後較易重新排列，形成較大之沉陷量。故於受壓含水層中取水較自由含水層容易產生較大沉陷，因而導致地層下陷。

3. 受壓含水層中，受壓荷重愈大，沉陷量亦愈大。

受壓含水層試驗中，同一粒徑下，彈珠與砂礫均呈現受壓荷重愈大，沉陷量亦愈大之趨勢(如藍線大於綠線)。故於受壓含水層荷重大的深部抽水，沉陷量較大，較易導致地層下陷。



▲圖十九 彈珠自由與受壓含水層沉陷量關係圖



▲圖二十 砂礫自由與受壓含水層沉陷量關係圖
表五 不同粒徑彈珠在自由與受壓狀態之沉陷量

彈珠					
自由含水層	粒徑(mm)	沉陷量(mm)	受壓荷重(kg)	粒徑(mm)	沉陷量(mm)
	1	0	5公斤	1	0
	2	0		2	0
	4	0		4	0
	6	0		6	0
	8	0		8	0
	10	0		10	0
			10公斤	1	2.05
				2	1.45
				4	1.05
				6	0.55
				8	0.75
				10	0.55
			15公斤	1	2.25
				2	1.55
				4	1.45
				6	1.05
				8	0.75
				10	0.55
			20公斤	1	3.05
				2	1.65
				4	1.5
				6	1.55
				8	0.95
				10	0.55

表六 不同粒徑砂礫在自由與受壓狀態之沉陷量

砂礫					
自由含水層	粒徑(mm)	沉陷量(mm)	受壓荷重(kg)	粒徑(mm)	沉陷量(mm)
	1~2	0	5公斤	1~2	0
	2	0		2	0
	3~5	0		3~5	0
	8~10	0		8~10	0
			10公斤	1~2	0.75
				2	0.45
				3~5	0.65
				8~10	0.55
			15公斤	1~2	1.05
				2	0.55
				3~5	1.25
				8~10	0.95
			20公斤	1~2	1.55
				2	0.6
				3~5	1.75
				8~10	1.05

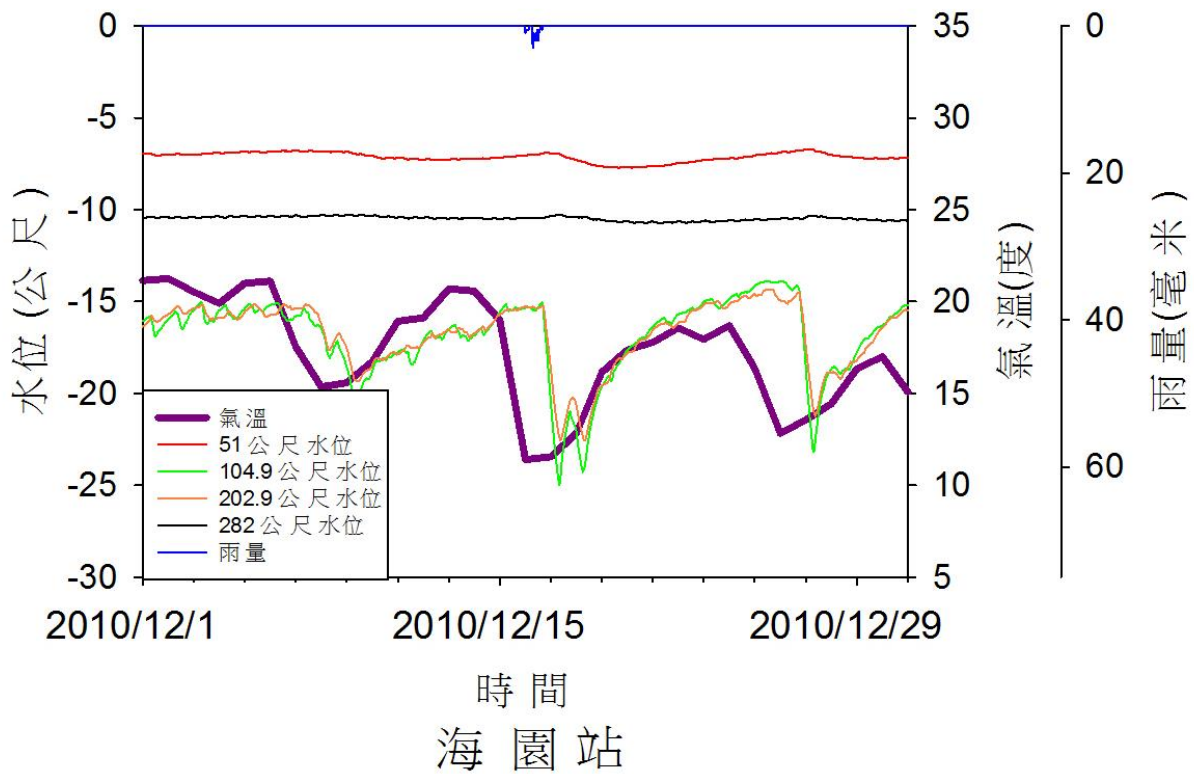
四、地下水庫建置之水文地質要件評估探討

評估地下水庫建置時，應以粒徑大之自由含水層或淺層之受壓含水層為較佳之選擇，以提高儲水係數、增加出水量及降低沉陷量的環境危害。

透過高鐵沿線曾為大量抽水的地層下陷區、彰雲沿海養殖漁業區常於寒流期間抽取地下水做為保溫之用，超抽導致地層下陷之現象，呈現中部地區水資源大量需求之窘況。除了透過如高鐵沿線 3 公里內採取封井及改為耐旱作物等措施減少水資源過度利用的節流方式外，開發水資源亦是重要的課題，隨著大型水庫難以建置的現況，今日世界各國水資源政策朝「不同水源聯合運用」發展，建置地下水庫成為重要選項之一。

透過本研究得知(1)自由含水層之儲水係數與粒徑呈正向線性關係、(2)自由含水層之儲水係數遠高於受壓含水層，相差可達千倍之多、(3)受壓含水層受壓荷重愈大，則儲水係數愈小，抽水後水位洩降較大(圖二十一)，較易造成地層下陷、(4)於受壓含

水層中取水易產生明顯之沉陷量，自由含水層中則無、(5)受壓含水層中，彈珠呈現粒徑愈大，沉陷量愈小之趨勢、(6)受壓含水層中，受壓荷重愈大，沉陷量亦愈大等結論。評估地下水庫建置時，水文地質之要件應以粒徑大之自由含水層或淺層之受壓含水層為較佳之選擇，以提高儲水係數、增加出水量及降低沉陷量的環境危害。



▲圖二十一 深層受壓含水層荷重壓密後，儲水係數變小，取水易造成地下水位大幅洩降，易造成地層下陷，圖中海園水位於2日內大幅升降達近十公尺，(12月15日~12月17日地下水位降幅9.62公尺)，推測與此現象有關。

陸、 討論

一、自由含水層儲水係數遠高於受壓含水層之因素探討

- (一) 受壓含水層之儲水係數為比儲水係數乘以含水層厚度所得，而比儲水係數可由下式求得(林圃如，民 90):

$$S_s = \rho_w g (\beta_b + n \beta_w)$$

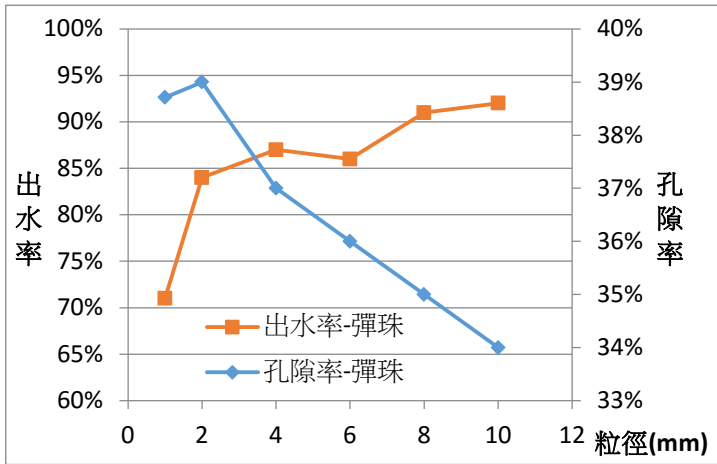
其中， S_s 為受壓含水層比儲水係數， ρ_w 為水的密度， n 為孔隙率， β_b 和 β_w 為地質材料與水之壓縮係數， g 為重力加速度。

在受壓含水層中，造成出水之主因為(1)地質材料顆粒有效應力增加，含水層因壓密擠壓而出水，(2)因為水壓減少，孔隙中的水膨脹而出水。透過上述兩種機制的出水量少，因此受壓含水層之儲水係數低。

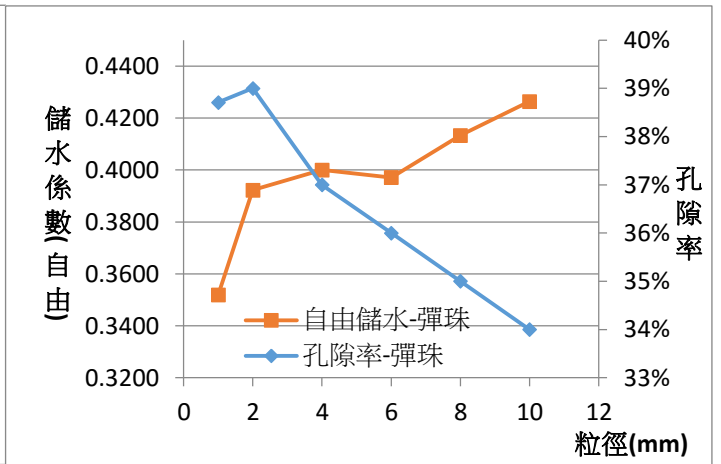
- (二) 在自由含水層中，孔隙中除了因毛細現象附著於顆粒間或顆粒表面的水無法排出外，大部分可藉由「重力」將水排出，因此儲水係數大。

二、含水層中地質材料粒徑小，孔隙率大但儲水係數小之原因探討

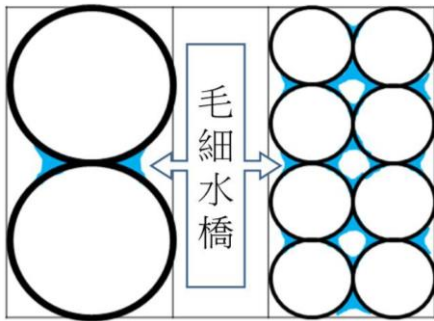
本研究進行孔隙率、出水量及儲水係數量測時，較小粒徑的材料，其孔隙率較大，含水量多，但量測之出水量與儲水係數卻較小，呈現負相關(圖二十二、二十三)。此結果乃因實驗材料(彈珠、砂礫)之間，會產生「毛細水橋」(圖二十四)，此現象為顆粒與顆粒之間過於接近，附著在其間的水因為擁有內聚力與張力之特性，會於顆粒間形成「水橋」，進而影響出水的效率。粒徑大之顆粒因接觸面積較粒徑小之顆粒為少，於其中形成之內聚力與張力亦較小，形成的毛細水橋較少，故大粒徑之出水率及儲水係數較大。大於小粒徑。而大粒徑之孔隙率較小粒徑為小，所以孔隙率與出水率呈現負相關。另外，毛細水橋之形成亦與表面粗糙度有關，表面愈粗糙，顆粒間越多鄰近點可造成更多水橋(圖二十五)。



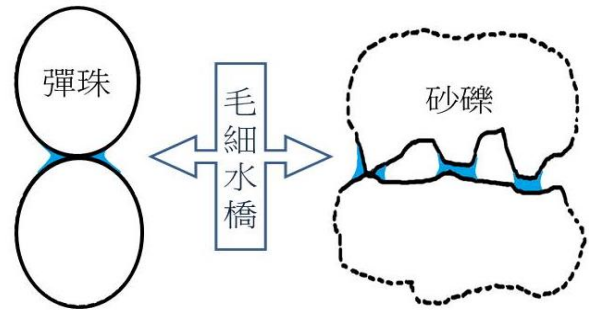
▲圖二十二 不同粒徑彈珠之孔隙率與出水率關係圖



▲圖二十三 不同粒徑彈珠之孔隙率與自由含水層儲水係數關係圖



▲圖二十四 小粒徑材料可形成較多毛細水橋示意圖



▲圖二十五 彈珠與砂礫形成之毛細水橋示意圖

三、地下水庫劃設保護區之重要性探討。

在自由含水層試驗系統中，發現隨著粒徑愈大，其水位平衡時間愈快(表七)，透水性佳，相對其擴散速度亦愈快；而粒徑愈小，則反之。因此可若選取粒徑較大之自由含水層或淺層受壓含水層作為地下水庫時，地表汙染物易於入滲且連通至各地下各水層，避免地下水補注量減少或水質惡化，應設置保護區(地質敏感區)，以保護珍貴的地下水資源，促進地下水資源之永續利用。

表七 自由含水層試驗中，粒徑與水位平衡時間關係表

粒徑(mm)	平衡時間(秒)
1	108
2	97
4	84
6	67
8	58
10	56

柒、 結論

- 一、 根據學校測站資料分析，得知地下水位會受潮汐、降雨及抽水影響；地下水溫穩定，推論彰化雲林沿海養殖漁業因欲降低寒害損失，故抽取地下水保溫，造成地下水位大幅變動。
- 二、 由彰化雲林地區高鐵沿線地下水位分析，可觀察到高鐵沿線 2010 封井後地下水位有明顯回升之趨勢，落實水資源管理可降低地層下陷危害。
- 三、 自由含水層之儲水係數與粒徑呈正向線性關係，且自由含水層之儲水係數遠高於受壓含水層，相差可達千倍之多。
- 四、 受壓含水層受壓荷重愈大，則儲水係數愈小，抽水後水位洩降較大，較易造成地層下陷。
- 五、 受壓含水層中取水易產生明顯之沉陷量，且受壓荷重愈大，沉陷量愈大；自由含水層中取水均不產生沉陷。
- 六、 評估地下水庫建置時，應以粒徑大之自由含水層或淺層之受壓含水層為較佳之選擇，以提高儲水係數、增加出水量及降低沉陷量的環境危害。同時亦應劃設保護區嚴格管理。

捌、 參考資料及其他

- 1.林圃如(民 90)。利用單井抽水試驗求取儲水係數之數值模擬方法及其影響因素(碩士論文)。國立台灣大學，台北市。
- 2.徐振煌(民 89)。地下水人工補注法。技師報，195。
- 3.曹以松(民 84)。地下水。中國土木工程學會。台北市:科技圖書。
- 4.大氣水文研究資料庫。<https://dbahr.narlabs.org.tw/>。
- 5.地下水觀測網。<http://140.112.190.183/gwater/d0.php>。