

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 地球科學科

040510

井觀其變

— 地下水面與孔隙率、距離因素之關係探討

學校名稱：國立屏東高級中學

作者： 高二 曾駿逸 高二 黃奕堡	指導老師： 陳俊杰
-------------------------	--------------

關鍵詞：孔隙率、地下水面

摘要

本實驗主要是研究在不同孔隙率的砂層中以及離抽水點不同距離的地方，其含水量下降速率的比較。首先，我們利用篩選機初步篩出粒徑大小相近的砂子，接著在砂子中加入水，使砂子上不易分離的粉塵擴散至水中，使用抽水機抽除含有粉塵的水，來回幾十次，直到分離出不含粉塵的砂子，我們把這些砂子放入自製的實驗箱，利用抽水機抽水，觀察不同水位下降的速率。我們初步觀察到孔隙率越大，整體水面下降越快，其中的共通點是水位剛開始下降時，速率並不是最快的，而是在開始後一段時間，且各水位在接近下降終點時，速率會趨於一致。

壹、研究動機

水井是人類史上最偉大的發明之一，一直到了現在，水井仍然在生活中扮演著十分重要的角色，然而水井是有生命的，它可能會因為人為的過度利用或是大自然環境的改變，造成了它的死亡，也就是乾涸，俗話說：「牽一髮而動全身」，當一個水井乾涸時，意味著地下水下降，周圍地區的其他水井也會受到影響而發生改變，這也可以擴大到河川或湖泊對鄰近地區地下水高低改變的影響。在近代，由於大量引用河水或湖泊的水，造成了河川斷流和湖泊面積減少，而此現象通常也伴隨著該地區地下水面的下降，使得人們更難抽取地下水，水資源的缺乏是非常嚴重的問題，後果將不容小覷。因此，我們想要利用實驗的方式，觀察並了解水井間彼此互相影響的關係，利用不同的砂種，找出不同地質環境的異同處，並進一步解釋井水水位變化的情形，探討水井中的大學問。

貳、研究目的

本研究探討的是一地區河川湖泊水面下降時，周圍地區地下水面受其影響而連同下降之速率，並進一步利用不同孔隙率之沉積物，比較其下降速率差異，藉以模擬不同區域地質間所產生的差別。

- 一、研究離抽水點不同距離的地下水面下降速率之關係
- 二、研究不同孔隙率對地下水面下降速率之關係

參、研究設備及器材

- | | |
|------------------|-----------|
| 一、 保特瓶*3 | 七、 尺*4 |
| 二、 磚頭 | 八、 橡皮水管*2 |
| 三、 PVC 水管(圖 A、B) | 九、 相機 |
| 四、 壓克力實驗箱(圖 D、E) | 十、 膠帶 |
| 五、 篩選機(圖 C) | 十一、 紗網 |
| 六、 碼表*3 | 十二、 磅秤 |

十三、抽水機(流量 350 c.c/s)

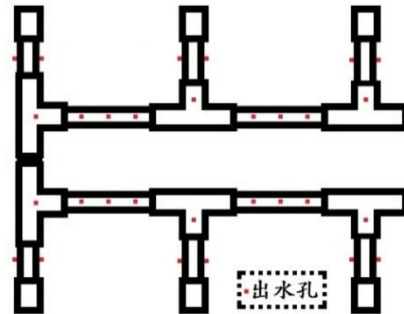
十四、砂子

(一)、工程砂(粒徑 2 mm ~ 0.25 mm, 孔隙率 26.50%)

(二)、美國砗砂(粒徑 3 mm ~ 1.5 mm, 孔隙率 36.33%)



(圖 A)



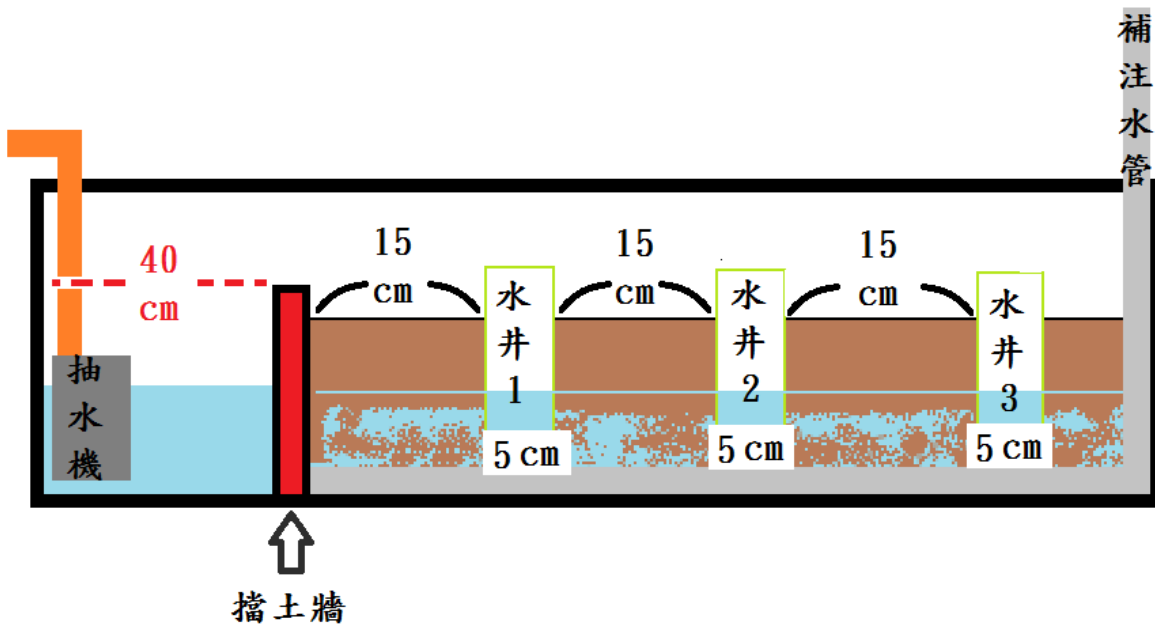
(圖 B)



(圖 C)



(圖 D)

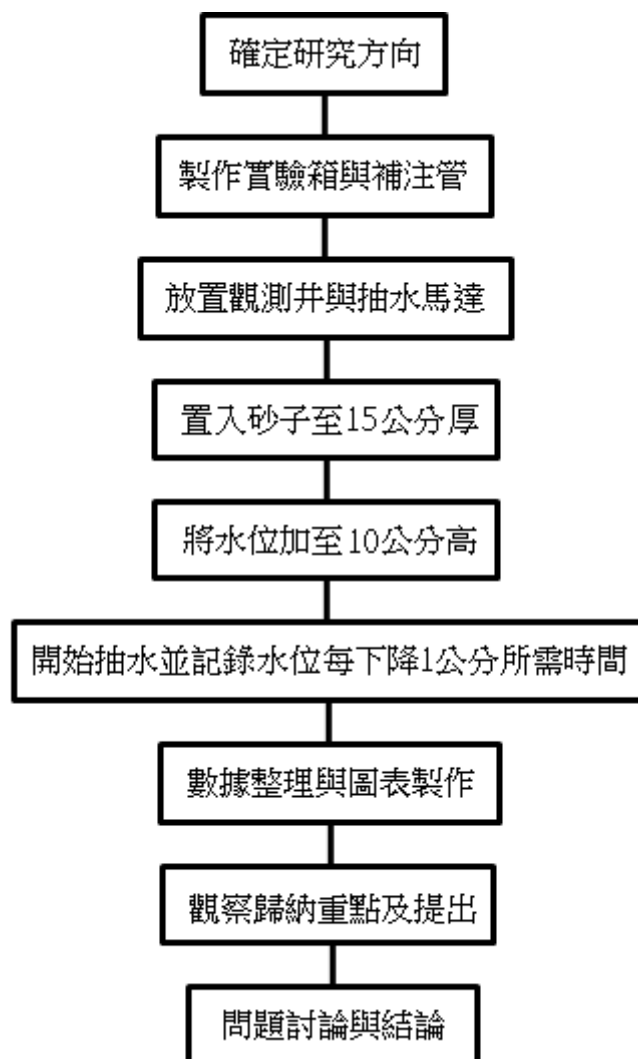


(圖 E)

肆、研究過程或方法

- 一、模擬地理環境：把一長 120 公分、寬 36 公分、高 30 公分的壓克力箱，用磚塊分隔出長度分別為 80 與 40 公分的實驗箱(圖 E)。
- 二、將 PVC 水管製成地下水補注系統，置於實驗箱底部(圖 A、B)。
- 三、將寶特瓶鑽洞，製成觀測井，固定在實驗箱中(圖 D、E)。
- 四、測量不同實驗所需之砂子的孔隙率。
- 五、先使用單一種砂子置入箱中至15cm厚，水位加至10cm高，測量不同觀測點水面下降速率。
- 六、以孔隙率為操縱變因，探討對水面下降速率有何關聯。

注意事項：水井1距離抽水點15公分、水井2距離抽水點35公分、水井3距離抽水點55公分，且每個實驗各做5次，水位由10cm高抽至2cm高。



伍、研究結果

實驗一

- 1.目的：測量抽水時各水井水位下降之速率
- 2.環境條件：(1)地層材料：美國矽砂-孔隙率 36.33%
 - (2)地層厚度：15cm
 - (3)水位高度：10cm

水井 1

時間(s)								
次數 \	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	7.62	12.58	18.40	25.96	36.33	57.20	94.64	218.67
2	6.97	12.11	17.43	24.62	33.53	52.64	89.27	219.88
3	6.50	11.37	16.49	23.36	33.50	50.98	87.36	222.37
4	6.98	11.99	16.99	23.99	33.74	55.99	97.48	222.13
5	6.25	10.99	16.63	23.36	32.63	52.00	90.98	239.36
平均	6.864	11.808	17.188	24.258	33.946	53.762	91.946	224.482

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數 \	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	7.62	4.96	5.82	7.56	10.37	20.87	37.44	124.03
2	6.97	5.14	5.32	7.19	8.91	19.11	36.63	130.61
3	6.50	4.87	5.12	6.87	10.14	17.48	36.38	135.01
4	6.98	5.01	5.00	7.00	9.75	22.25	41.49	124.65
5	6.25	4.74	5.64	6.73	9.27	19.37	38.98	148.38
平均	6.864	4.944	5.38	7.07	9.688	19.816	38.184	132.536

每下降 1 公分速度(cm/s)								
次數 \	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.13123	0.20161	0.17182	0.13228	0.09643	0.04792	0.02671	0.00806
2	0.14347	0.19455	0.18797	0.13908	0.11223	0.05233	0.02730	0.00766
3	0.15385	0.20534	0.19531	0.14556	0.09862	0.05721	0.02749	0.00741
4	0.14327	0.19960	0.20000	0.14286	0.10256	0.04494	0.02410	0.00802
5	0.16000	0.21097	0.17730	0.14859	0.10787	0.05163	0.02565	0.00674
平均	0.14568	0.20226	0.18587	0.14144	0.10322	0.05046	0.02618	0.00754

水井 2

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	10.00	17.86	27.50	39.98	57.48	79.00	117.62	238.87
2	10.50	20.62	31.74	45.49	62.00	82.87	120.98	239.36
3	9.58	18.72	28.35	39.91	57.24	78.34	115.46	244.04
4	9.22	17.86	27.45	41.13	57.91	80.68	124.56	243.62
5	12.87	23.71	34.51	46.80	63.85	83.74	124.96	240.29
平均	10.434	19.754	29.91	42.662	59.696	80.926	120.716	241.236

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	10.00	7.86	9.64	12.48	17.50	21.52	38.62	121.25
2	10.50	10.12	11.12	13.75	16.51	20.87	38.11	118.38
3	9.58	9.14	9.63	11.56	17.33	21.10	37.12	128.58
4	9.22	8.64	9.59	13.68	16.78	22.77	43.88	119.06
5	12.87	10.84	10.80	12.29	17.05	19.89	41.22	115.33
平均	10.434	9.32	10.156	12.752	17.034	21.23	39.79	120.52

每下降 1 公分速度(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.10000	0.12723	0.10373	0.08013	0.05714	0.04647	0.02589	0.00825
2	0.09524	0.09881	0.08993	0.07273	0.06057	0.04792	0.02624	0.00845
3	0.10438	0.10941	0.10384	0.08651	0.05770	0.04739	0.02694	0.00778
4	0.10846	0.11574	0.10428	0.07310	0.05959	0.04392	0.02279	0.00840
5	0.07770	0.09225	0.09259	0.08137	0.05865	0.05028	0.02426	0.00867
平均	0.09584	0.10729	0.09846	0.07841	0.05870	0.04710	0.02513	0.00829

水井 3

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	14.13	24.83	36.93	49.79	66.11	89.57	125.21	244.42
2	12.50	23.96	35.74	48.49	66.00	87.87	126.98	242.36
3	12.19	22.56	34.02	48.72	67.33	91.41	125.97	246.94
4	12.87	23.87	35.74	48.99	67.86	91.74	133.25	252.36
5	13.99	25.13	36.37	50.62	68.24	90.87	131.87	248.48
平均	13.136	24.07	35.76	49.322	67.108	90.292	128.656	246.912

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	14.13	10.70	12.10	12.86	16.32	23.46	35.64	119.21
2	12.50	11.46	11.78	12.75	17.51	21.87	39.11	115.38
3	12.19	10.37	11.46	14.70	18.61	24.08	34.56	120.97
4	12.87	11.00	11.87	13.25	18.87	23.88	41.51	119.11
5	13.99	11.14	11.24	14.25	17.62	22.63	41.00	116.61
平均	13.136	10.934	11.69	13.562	17.786	23.184	38.364	118.256

每下降 1 公分速率(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.07077	0.09346	0.08264	0.07776	0.06127	0.04263	0.02806	0.00839
2	0.08000	0.08726	0.08489	0.07843	0.05711	0.04572	0.02557	0.00867
3	0.08203	0.09643	0.08726	0.06803	0.05373	0.04153	0.02894	0.00827
4	0.07770	0.09091	0.08425	0.07547	0.05299	0.04188	0.02409	0.00840
5	0.07148	0.08977	0.08897	0.07018	0.05675	0.04419	0.02439	0.00858
平均	0.07612	0.09145	0.08554	0.07373	0.05622	0.04313	0.02606	0.00845

實驗二

1.目的：測量抽水時各水井水位下降之速率

2.環境條件：(1)地層材料：工程砂-孔隙率 26.50%

(2)地層厚度：15cm

(3)水位高度：10cm

水井 1

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	18.10	27.98	35.73	45.26	56.54	75.22	111.05	286.32
2	22.04	31.36	39.74	48.93	61.02	82.33	121.86	290.07
3	21.59	31.47	38.97	48.00	60.28	82.69	118.63	286.97
4	18.79	30.19	39.10	49.25	62.79	83.16	121.35	282.23
5	18.61	28.98	37.21	47.26	60.48	79.71	117.54	293.01
平均	19.826	29.996	38.15	47.74	60.222	80.622	118.086	287.72

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	18.10	9.88	7.75	9.53	11.28	18.68	35.83	175.27
2	22.04	9.32	8.38	9.19	12.09	21.31	39.53	168.21
3	21.59	9.88	7.50	9.03	12.28	22.41	35.94	168.34
4	18.79	11.40	8.91	10.15	13.54	20.37	38.19	160.88
5	18.61	10.37	8.23	10.05	13.22	19.23	37.83	175.47
平均	19.826	10.17	8.154	9.59	12.482	20.4	37.464	169.634

每下降 1 公分速率(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.05525	0.10121	0.12903	0.10493	0.08865	0.05353	0.02791	0.00571
2	0.04537	0.10730	0.11933	0.10881	0.08271	0.04693	0.02530	0.00594
3	0.04632	0.10121	0.13333	0.11074	0.08143	0.04462	0.02782	0.00594
4	0.05322	0.08772	0.11223	0.09852	0.07386	0.04909	0.02618	0.00622
5	0.05373	0.09643	0.12151	0.09950	0.07564	0.05200	0.02643	0.00570
平均	0.05043	0.09832	0.12263	0.10427	0.08011	0.04901	0.02669	0.00589

水井 2

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	19.48	29.65	39.78	51.52	68.35	89.95	126.27	290.08
2	25.21	36.63	46.89	58.45	73.21	94.77	133.10	294.76
3	25.64	38.34	48.55	59.31	74.61	97.78	137.79	295.25
4	20.89	30.37	40.32	51.66	66.06	87.43	125.60	287.79
5	24.64	36.67	46.57	57.51	73.39	94.09	128.61	298.37
平均	23.17	34.33	44.42	55.69	71.12	92.80	130.27	293.25

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	19.48	10.17	10.13	11.74	16.83	21.60	36.32	163.81
2	25.21	11.42	10.26	11.56	14.76	21.56	38.33	161.66
3	25.64	12.70	10.21	10.76	15.30	23.17	40.01	157.46
4	20.89	9.48	9.95	11.34	14.40	21.37	38.17	162.19
5	24.64	12.03	9.90	10.94	15.88	20.70	34.52	169.76
平均	23.172	11.16	10.09	11.268	15.434	21.68	37.47	162.976

每下降 1 公分速度(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.05133	0.09833	0.09872	0.08518	0.05942	0.04630	0.02753	0.00610
2	0.03967	0.08757	0.09747	0.08651	0.06775	0.04638	0.02609	0.00619
3	0.03900	0.07874	0.09794	0.09294	0.06536	0.04316	0.02499	0.00635
4	0.04787	0.10549	0.10050	0.08818	0.06944	0.04679	0.02620	0.00617
5	0.04058	0.08313	0.10101	0.09141	0.06297	0.04831	0.02897	0.00589
平均	0.04316	0.08961	0.09911	0.08875	0.06479	0.04613	0.02669	0.00613

水井 3

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	21.36	38.94	52.61	69.51	90.51	112.86	161.86	295.93
2	26.62	41.87	56.48	73.48	93.82	123.75	166.98	297.03
3	26.88	40.24	54.33	71.38	92.71	116.63	165.98	301.99
4	25.75	40.13	53.15	70.42	89.98	119.74	163.97	294.03
5	27.74	43.29	56.25	73.66	96.24	125.99	172.01	305.13
平均	25.67	40.894	54.564	71.69	92.652	119.794	166.16	298.822

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	21.36	17.58	13.67	16.90	21.00	22.35	49.00	134.07
2	26.62	15.25	14.61	17.00	20.34	29.93	43.23	130.05
3	26.88	13.36	14.09	17.05	21.33	23.92	49.35	136.01
4	25.75	14.38	13.02	17.27	19.56	29.76	44.23	130.06
5	27.74	15.55	12.96	17.41	22.58	29.75	46.02	133.12
平均	25.67	15.224	13.67	17.126	20.962	27.142	46.366	132.662

每下降 1 公分速度(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.04682	0.05688	0.07315	0.05917	0.04762	0.04474	0.02041	0.00746
2	0.03757	0.06557	0.06845	0.05882	0.04916	0.03341	0.02313	0.00769
3	0.03720	0.07485	0.07097	0.05865	0.04688	0.04181	0.02026	0.00735
4	0.03883	0.06954	0.07680	0.05790	0.05112	0.03360	0.02261	0.00769
5	0.03605	0.06431	0.07716	0.05744	0.04429	0.03361	0.02173	0.00751
平均	0.03896	0.06569	0.07315	0.05839	0.04771	0.03684	0.02157	0.00754

實驗三

1.目的：測量抽水時各水井水位下降之速率

2.環境條件：(1)地層材料：混合砂-孔隙率 30.50%

(2)地層厚度：15cm

(3)水位高度：10cm

※混合砂是把美國矽砂與工程砂以一比一的比例充分混合而成

水井 1

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	15.75	23.98	31.74	41.44	53.05	73.81	110.98	262.42
2	16.47	24.70	32.08	41.89	52.74	71.28	113.35	274.10
3	19.35	28.35	35.84	44.70	55.11	72.49	112.74	256.57
4	20.47	30.42	38.56	47.92	58.99	79.96	120.06	261.00
5	20.36	30.36	38.01	47.36	60.01	80.00	120.24	261.25
平均	18.48	27.562	35.246	44.662	55.98	75.508	115.474	263.068

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	15.75	8.23	7.76	9.70	11.61	20.76	37.17	151.44
2	16.47	8.23	7.38	9.81	10.85	18.54	42.07	160.75
3	19.35	9.00	7.49	8.86	10.41	17.38	40.25	143.83
4	20.47	9.95	8.14	9.36	11.07	20.97	40.10	140.94
5	20.36	10.00	7.65	9.35	12.65	19.99	40.24	141.01
平均	18.48	9.082	7.684	9.416	11.318	19.528	39.966	147.594

每下降 1 公分速度(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.06349	0.12151	0.12887	0.10309	0.08613	0.04817	0.02690	0.00660
2	0.06072	0.12151	0.13550	0.10194	0.09217	0.05394	0.02377	0.00622
3	0.05168	0.11111	0.13351	0.11287	0.09606	0.05754	0.02484	0.00695
4	0.04885	0.10050	0.12285	0.10684	0.09033	0.04769	0.02494	0.00710
5	0.04912	0.10000	0.13072	0.10695	0.07905	0.05003	0.02485	0.00709
平均	0.05411	0.11011	0.13014	0.1062	0.08835	0.05121	0.02502	0.00678

水井 2

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	20.64	30.36	39.74	51.75	66.51	85.99	120.99	267.75
2	20.02	30.03	40.05	51.56	68.56	92.17	138.92	277.83
3	20.20	31.21	41.13	52.47	69.25	92.29	142.99	275.00
4	21.37	32.03	41.68	54.24	70.33	91.10	133.65	278.20
5	21.82	32.20	42.09	54.29	70.03	92.72	127.47	273.17
平均	20.81	31.166	40.938	52.862	68.936	90.854	132.804	274.39

每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	20.64	9.72	9.38	12.01	14.76	19.48	35.00	146.76
2	20.02	10.01	10.02	11.51	17.00	23.61	46.75	138.91
3	20.20	11.01	9.92	11.34	16.78	23.04	50.70	132.01
4	21.37	10.66	9.65	12.56	16.09	20.77	42.55	144.55
5	21.82	10.38	9.89	12.20	15.74	22.69	34.75	144.70
平均	20.81	10.356	9.772	11.924	16.074	21.918	41.95	141.586

每下降 1 公分速度(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.04845	0.10288	0.10661	0.08326	0.06775	0.05133	0.02857	0.00681
2	0.04995	0.09990	0.09980	0.08688	0.05882	0.04235	0.02139	0.00720
3	0.04950	0.09083	0.10081	0.08818	0.05959	0.04340	0.01972	0.00758
4	0.04679	0.09381	0.10363	0.07962	0.06215	0.04815	0.02350	0.00692
5	0.04583	0.09634	0.10111	0.08197	0.06353	0.04407	0.02878	0.00686
平均	0.04805	0.09656	0.10233	0.08386	0.06221	0.04562	0.02384	0.00706

水井 3

時間(s)								
次數	下降至 1cm	下降至 2cm	下降至 3cm	下降至 4cm	下降至 5cm	下降至 6cm	下降至 7cm	下降至 8cm
1	22.20	35.12	47.35	62.18	80.90	105.26	144.95	273.41
2	20.12	33.43	46.73	60.98	79.48	105.12	148.49	289.36
3	23.98	35.62	48.63	62.13	80.98	106.98	145.98	279.00
4	23.01	34.75	47.36	60.37	78.65	104.62	139.01	289.49
5	22.87	35.13	47.53	62.56	79.95	104.87	142.74	278.51
平均	22.436	34.81	47.52	61.644	79.992	105.37	144.234	281.954

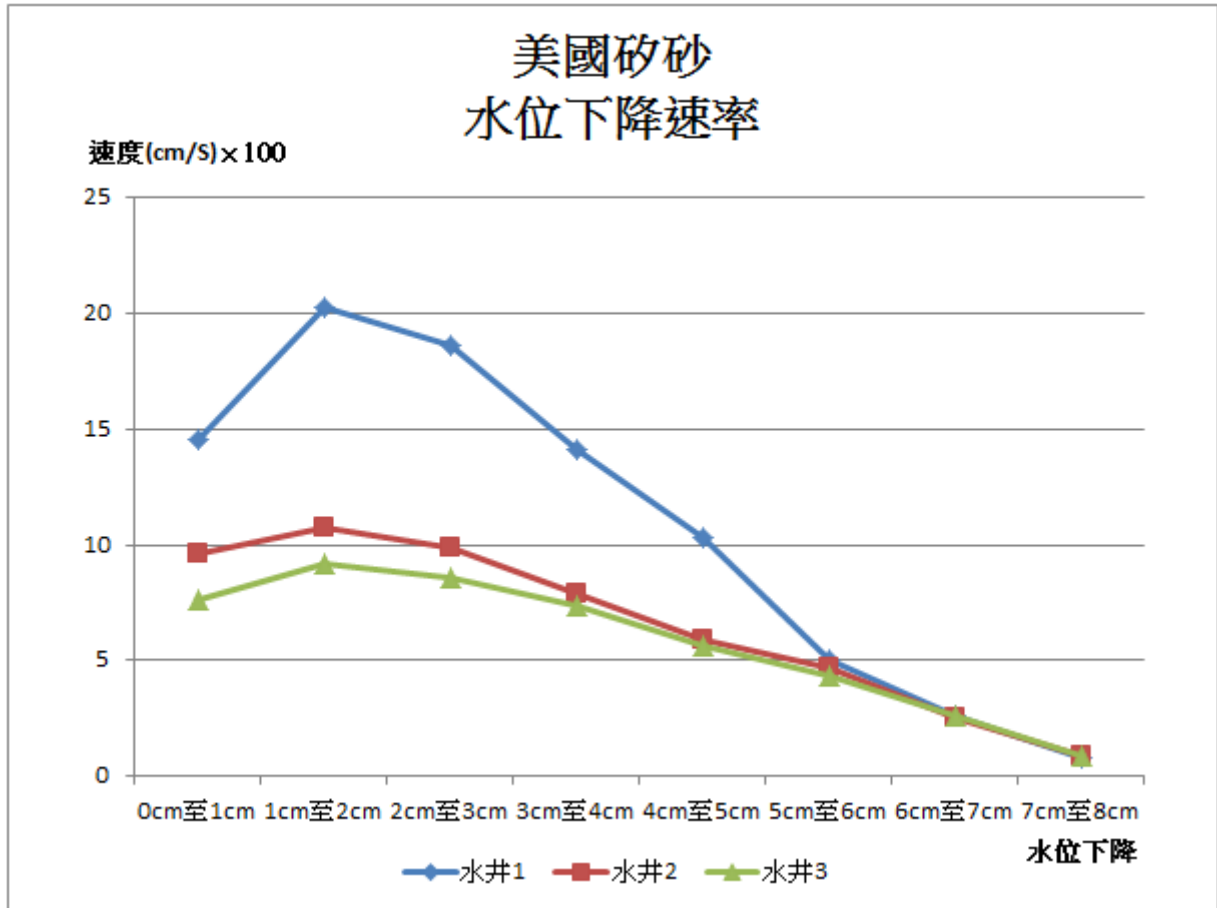
每下降 1 公分所需時間(s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	22.20	12.92	12.23	14.83	18.72	24.36	39.69	128.46
2	20.12	13.31	13.30	14.25	18.50	25.64	43.37	140.87
3	23.98	11.64	13.01	13.50	18.85	26.00	39.00	133.02
4	23.01	11.74	12.61	13.01	18.28	25.97	34.39	150.48
5	22.87	12.26	12.40	15.03	17.39	24.92	37.87	135.77
平均	22.436	12.374	12.71	14.124	18.348	25.378	38.864	137.72

每下降 1 公分速度(cm/s)								
次數	0cm 至 1cm	1cm 至 2cm	2cm 至 3cm	3cm 至 4cm	4cm 至 5cm	5cm 至 6cm	6cm 至 7cm	7cm 至 8cm
1	0.04505	0.07740	0.08177	0.06743	0.05342	0.04105	0.02520	0.00778
2	0.04970	0.07513	0.07519	0.07018	0.05405	0.03900	0.02306	0.00710
3	0.04170	0.08591	0.07686	0.07407	0.05305	0.03846	0.02564	0.00752
4	0.04346	0.08518	0.07930	0.07686	0.05470	0.03851	0.02908	0.00665
5	0.04373	0.08157	0.08065	0.06653	0.05750	0.04013	0.02641	0.00737
平均	0.04457	0.08081	0.07868	0.07080	0.05450	0.03940	0.02573	0.00726

陸、結果與討論

一、討論水位下降速率與距離之關係：

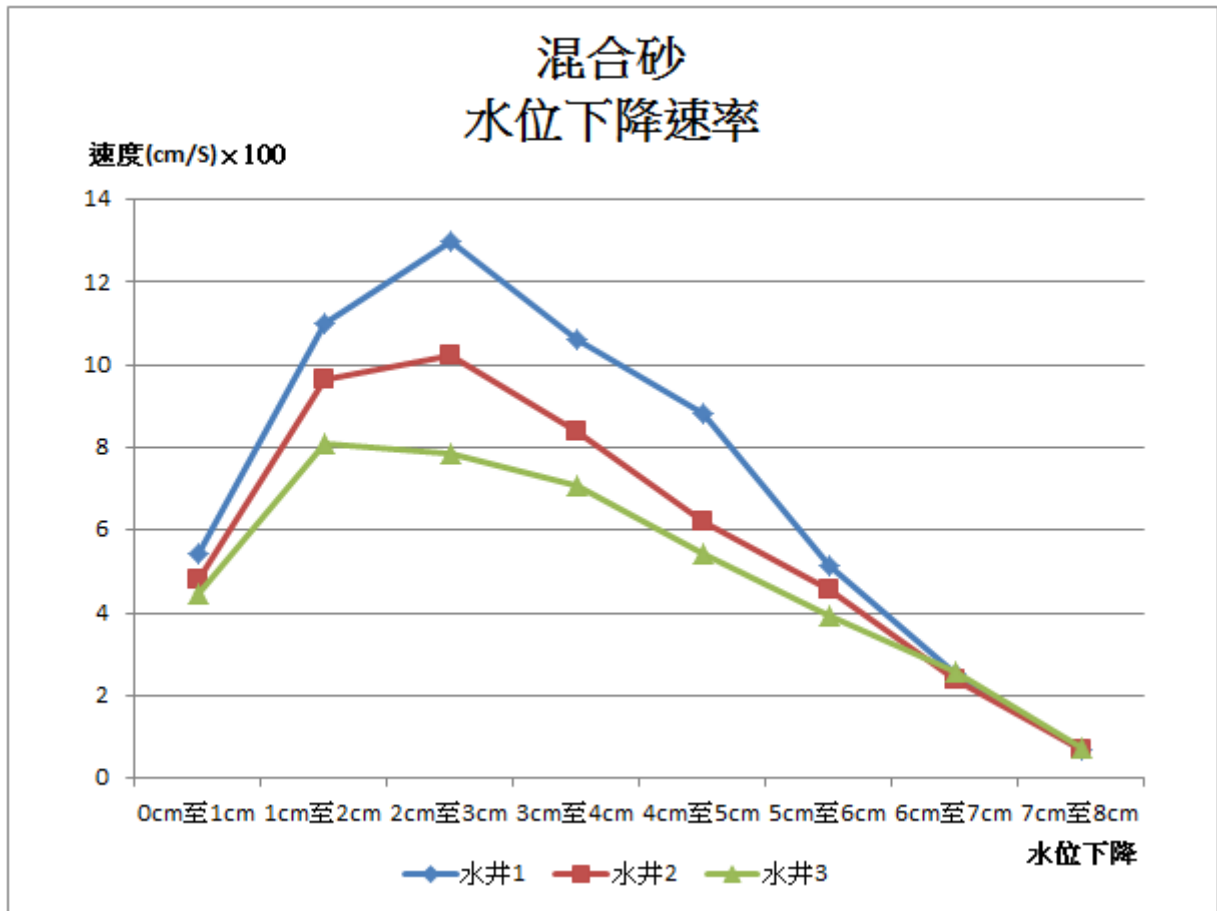
(一)美國矽砂各水井間速率比較(圖表 1)



(圖表 1)

我們可以由圖表 1 觀察到：距離抽水點最近的水井 1，剛開始抽水時，水位下降速率最快，水井 2 次之，水井 3 最慢，而下降到 2cm 至 6cm 時，下降速率也是水井 1 > 水井 2 > 水井 3，其中水井 2 和水井 3 的速率變化量較為接近，在 6cm 至 8cm 之間，也就是接近下降終點時，水井 1 的速率改變量較大，水井 2 和水井 3 較小，水位下降速率會趨於一致。

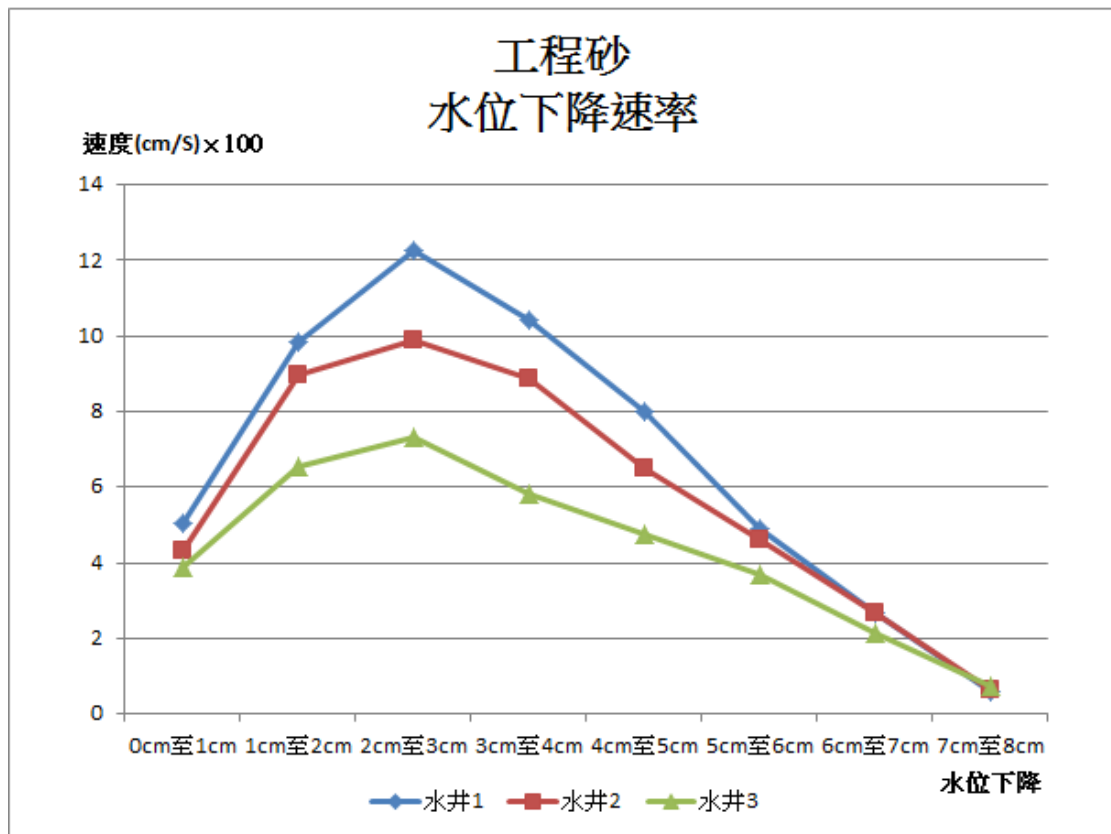
(二)混合砂各水井間速率比較(圖表 2)



(圖表 2)

我們由圖表 2 觀察到：剛開始抽水時，也是水井 1 最快，水井 2 次之，水井 3 最慢，在 2cm 至 6cm 時，下降速率也是水井 1 > 水井 2 > 水井 3，而在 6cm 至 8cm 之間，接近下降終點時，水井 1 的速率變化量較大，水井 2 次之，水井 3 最小，水位下降速率也會趨於一致。

(三)工程砂各水井間速率比較(圖表 3)



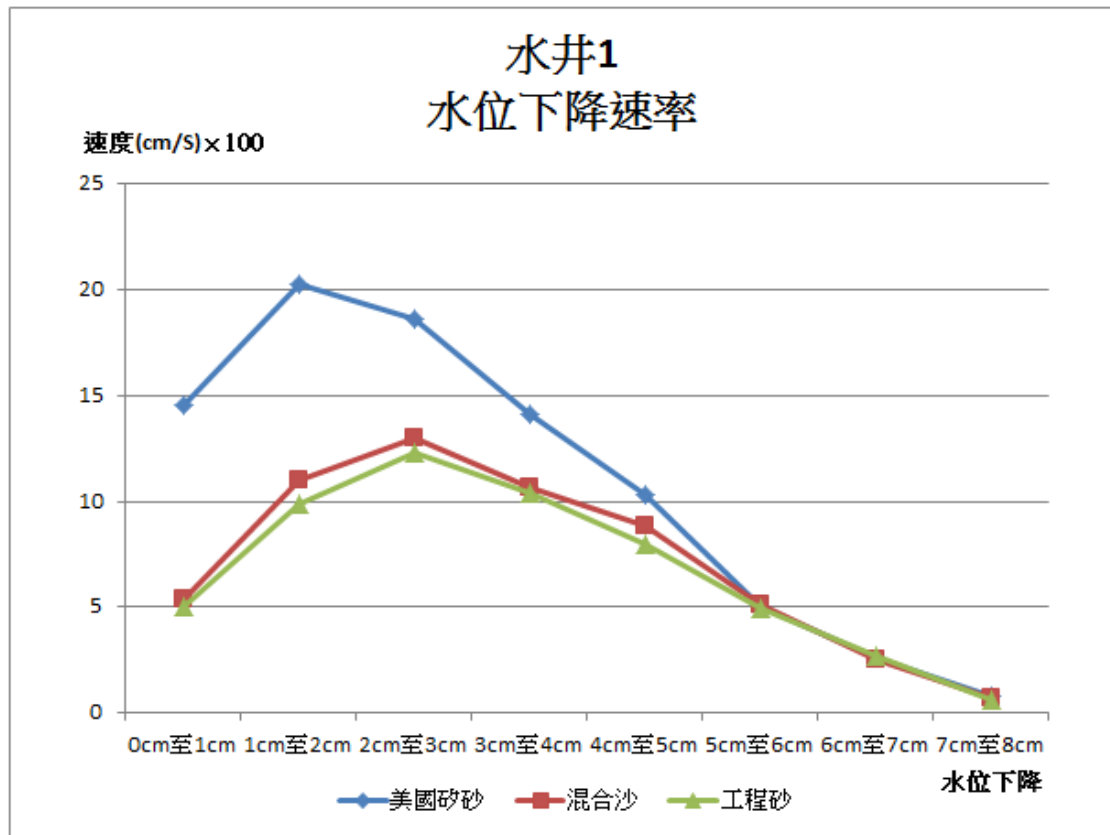
(圖表 3)

我們由圖表 3 觀察到：剛開始抽水時，亦是水井 1 最快、水井 2 次之、水井 3 最慢，而在 2cm 至 6cm 時，下降速率亦是水井 1 > 水井 2 > 水井 3，在接近下降終點的 6cm 至 8cm 之間，水井 1 的速率變化量較大，水井 2 次之，水井 3 最小，直到三個水井水位下降速率趨於一致。

(四)由上面三種不同孔隙率之砂子與各水井間速率的比較，我們可以得知其共同點：

1. 離抽水點愈遠，水位下降愈慢。
2. 離抽水點愈近，水位下降速率變化量愈大。
3. 接近下降終點時，下降速率趨於相同。

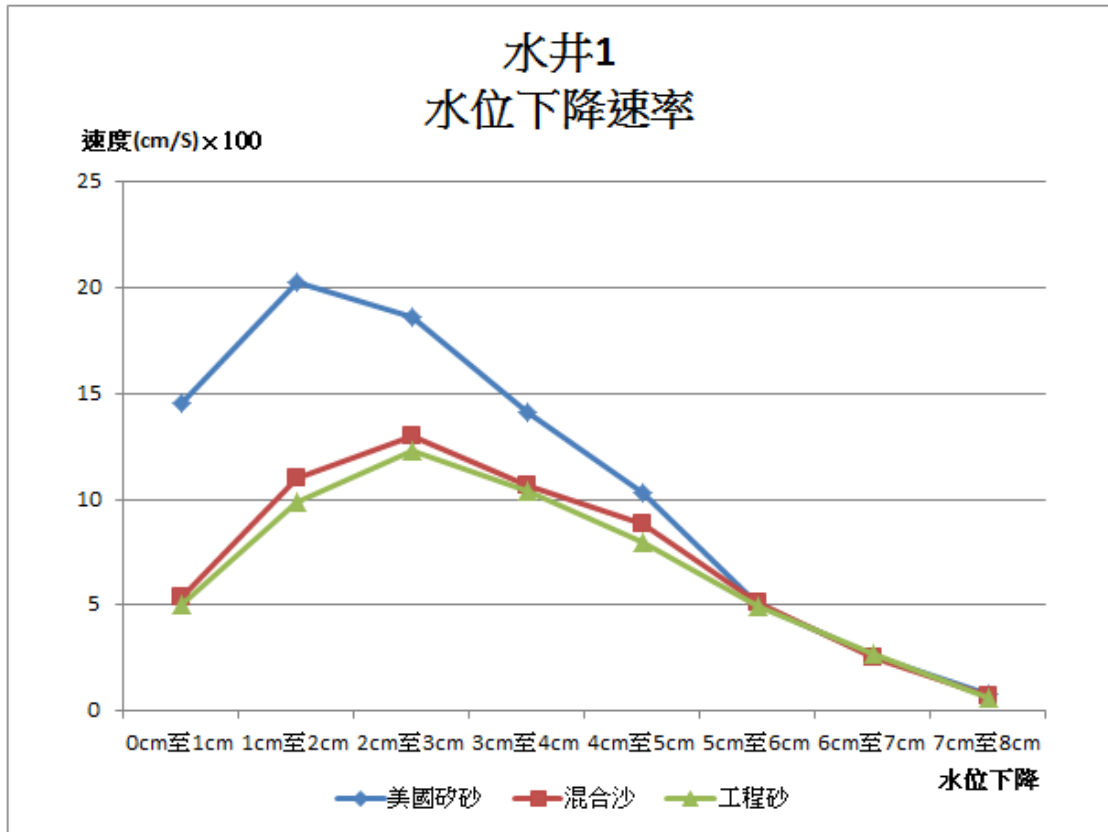
二、討論水位下降速率和孔隙率之關係
 (※以水井 1 為參考)



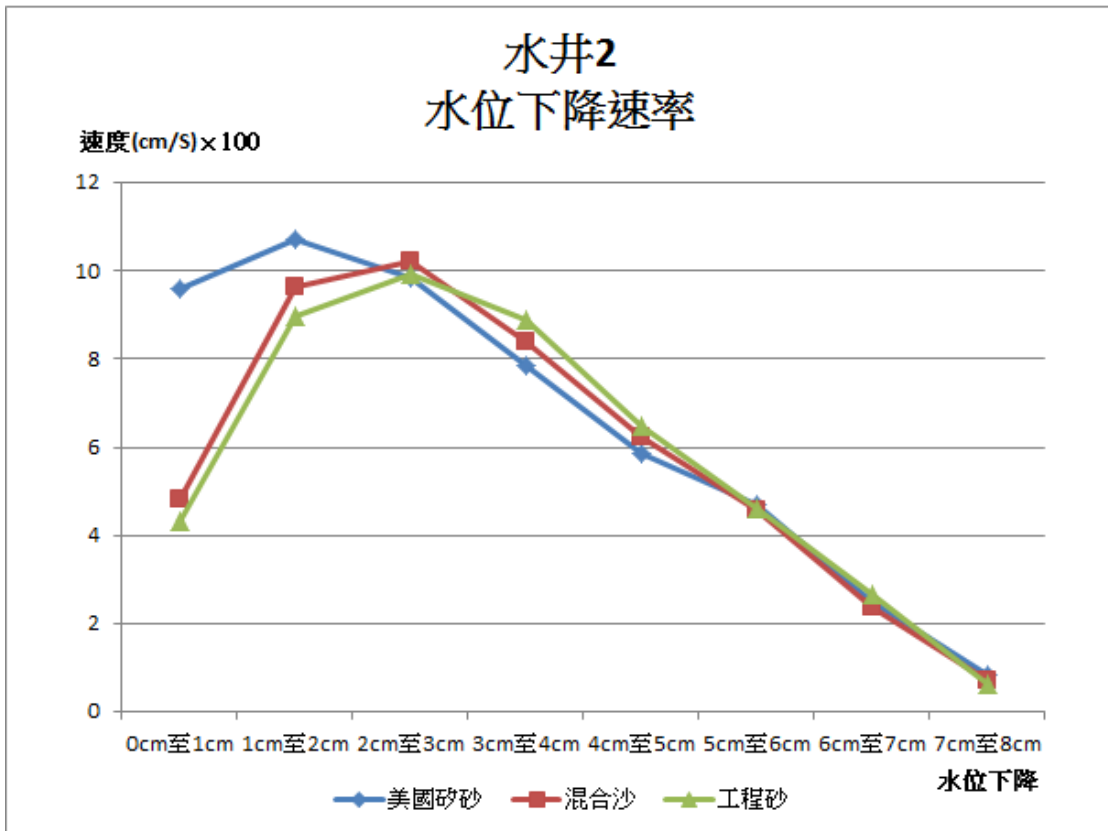
(圖表 4)

我們由圖表 4 觀察到：美國砂砂(孔隙率 36.33%)的水位下降速率明顯高於混合砂(孔隙率 30.50%)和工程砂(孔隙率 26.50%)，這三種砂的孔隙率相差約 5%，而混合砂的速率變化量雖然略大於工程砂的速率變化量，但大致上相似，可是卻和美國砂砂相差很多。因此我們可以得知：在孔隙率 36.33%~30.50%之間，有一個臨界值，而這個臨界值明顯分隔出兩個迥異的速率變化量，當小於此值時，水位下降速率會明顯變小且趨於一定值，而當高於此值時，水位下降速率會有明顯的差異。

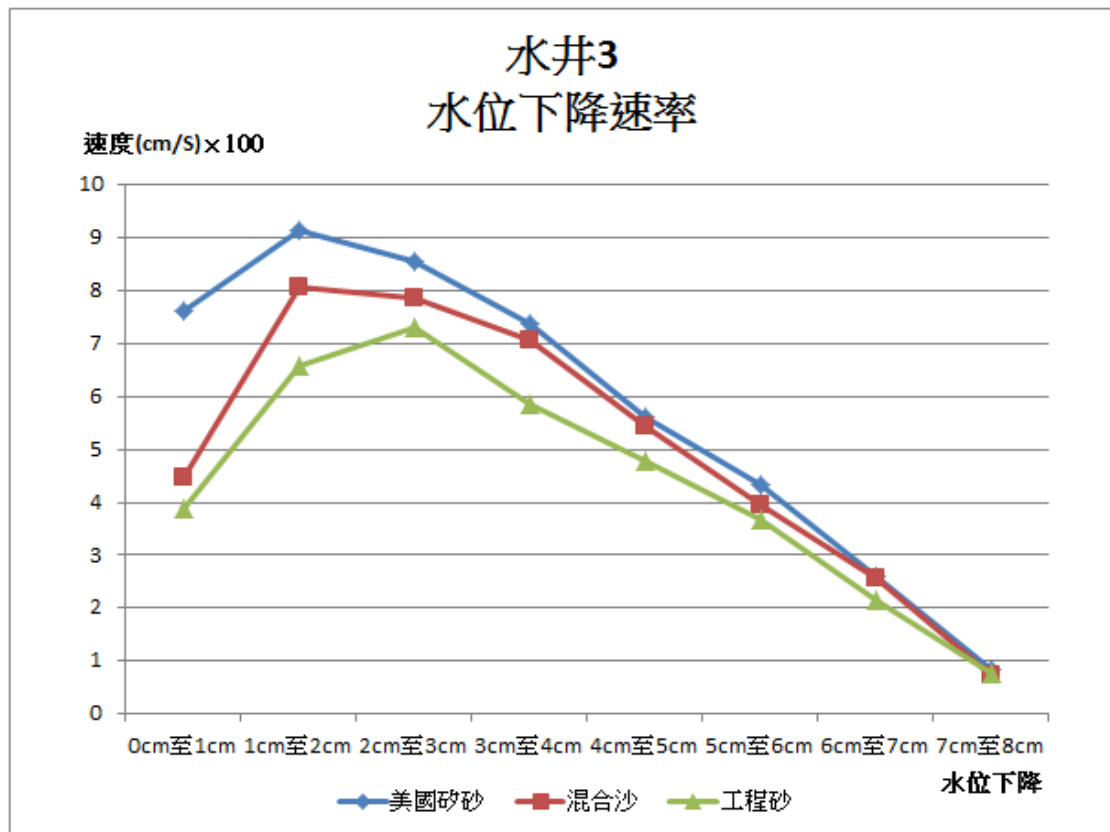
三、討論距離和孔隙率對影響水位下降速率何者較大



(圖表 5)



(圖表 6)



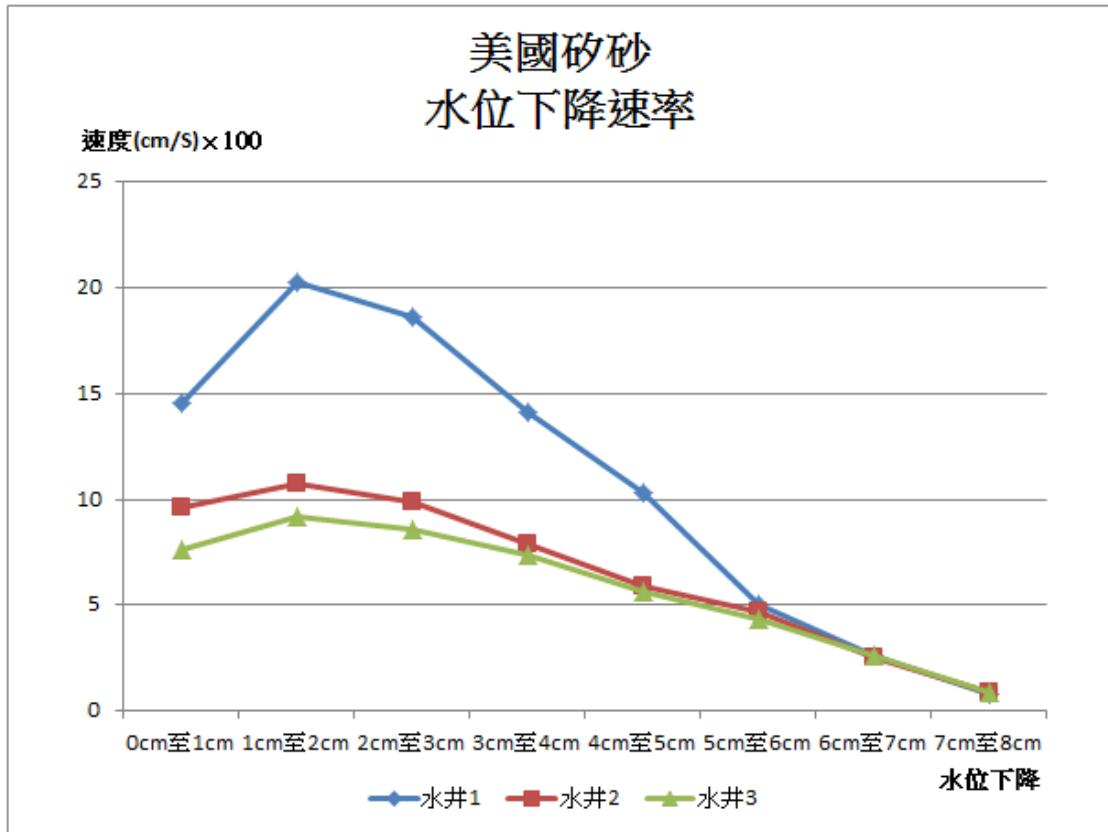
(圖表 7)

由圖表 5、6、7：

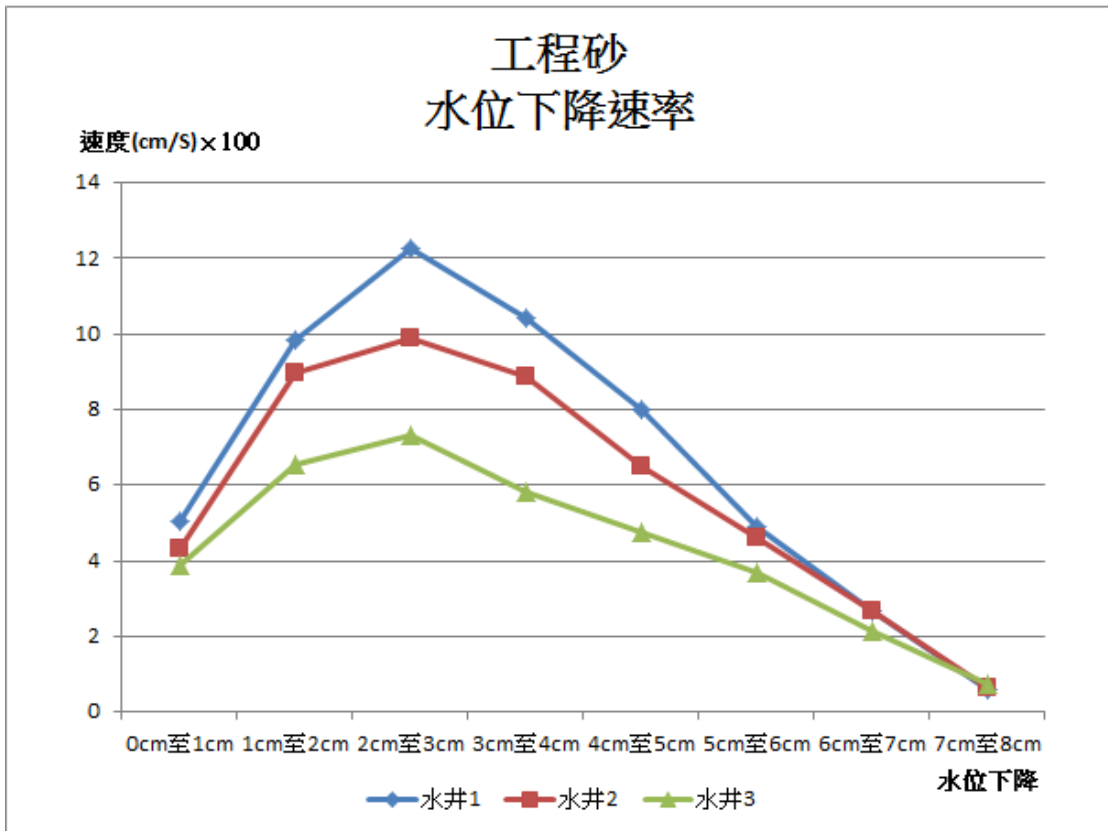
由前面的討論得出：孔隙率越大，水位下降速率越快，孔隙率越小，水位下降速率越慢，但圖表 6 可以得知：工程砂和混合砂的速率在 2cm 至 6cm 時，水位下降速率卻高於美國砂砂，因此我們推論：孔隙率越大，水位下降速率越快，孔隙率越小，水位下降速率越慢的現象成立於抽水點附近，而離抽水點愈遠的地方，距離的影響因素越大，則必須再考慮距離因素所帶來的效應。

由上述可知：離抽水點愈近的地區，孔隙率對水位下降速率的影響愈明顯，而離抽水點越遠的地方，距離影響的效應越大，孔隙率影響的因素越不明顯，我們利用距離更遠的水井 3(圖表 7)做比較，發現其又符合：孔隙率越大，水位下降速率越快，孔隙率越小，水位下降速率越慢；我們探討其原因為：水井 2 有水井 3 所流出的地下水補注，而水井 3 卻沒有其他地方所流出的地下水補注，因此，如果要符合孔隙率越大，水位下降速率越快，孔隙率越小，水位下降速率越慢的現象，就必須要有更遠的地方的地下水補注此水井。

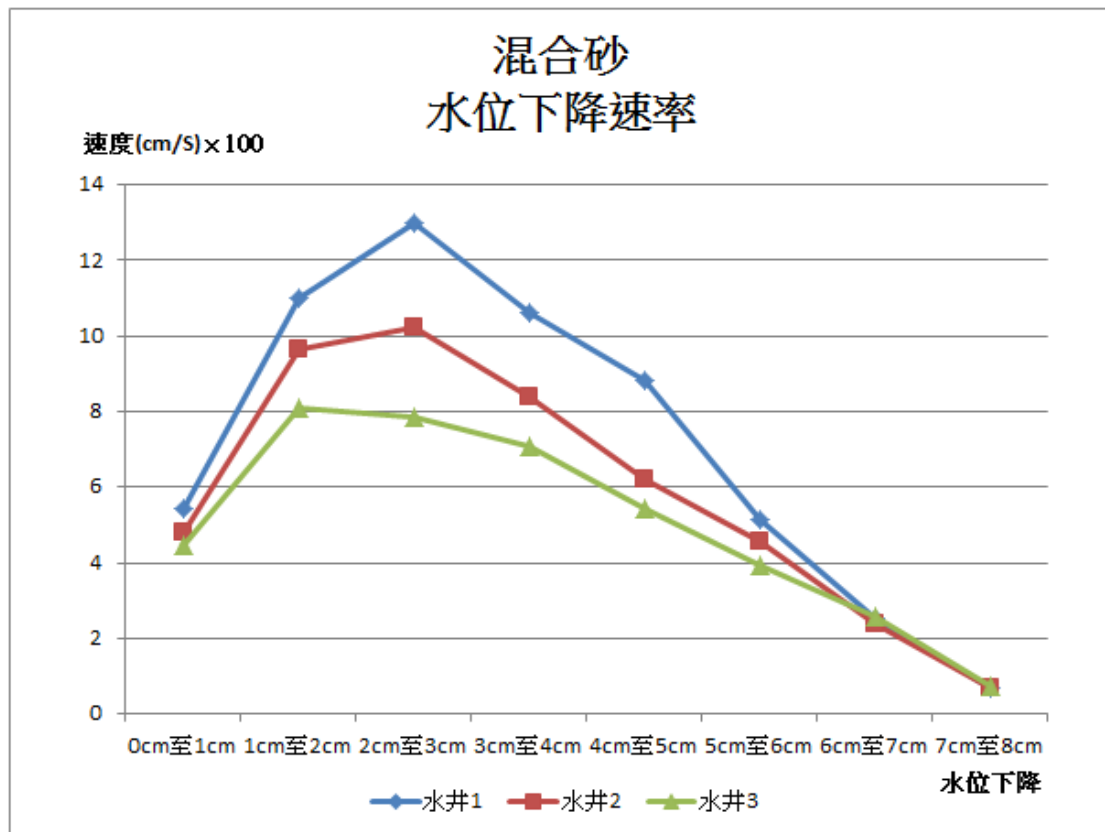
四、討論為何最大下降速率不在剛開始抽水時



(圖表 8)



(圖表 9)



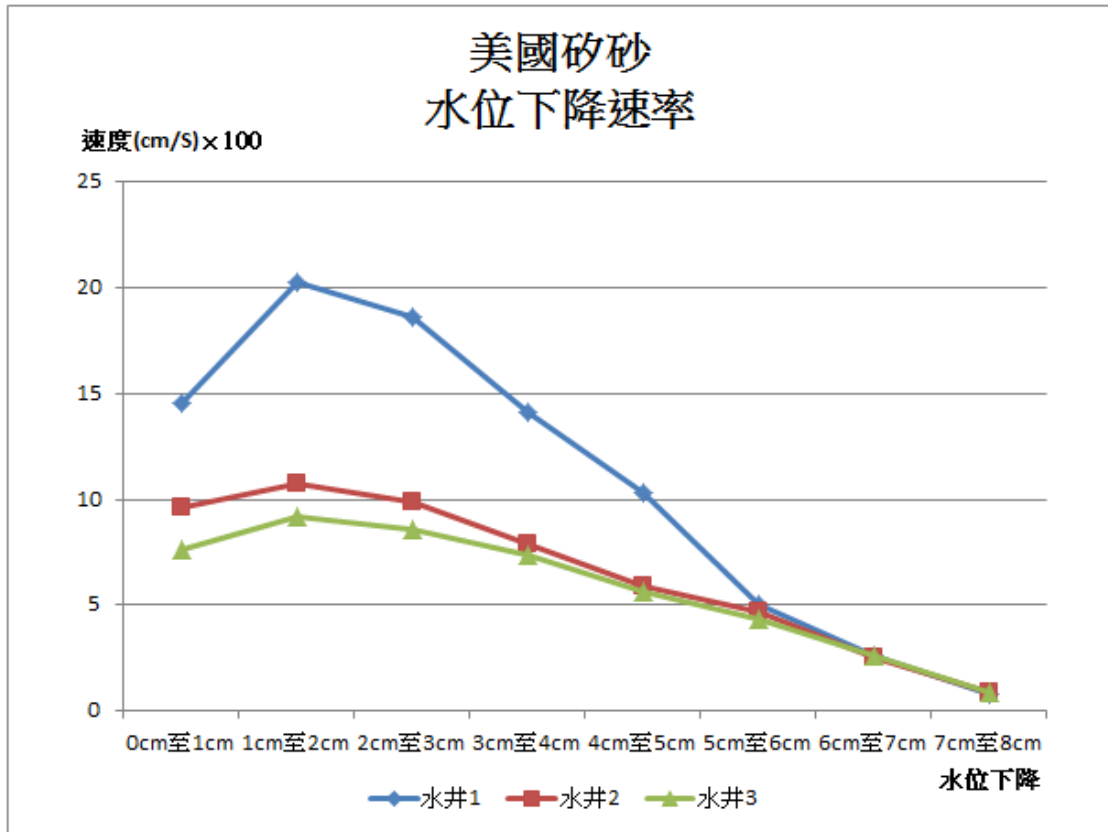
(圖表 10)

可以由圖表 8、9、10 得知：不管是什麼砂種，每條曲線都有一個峰頂，即最大下降速率值，都不是在剛開始 0cm 至 1cm。其原因為當水井 1 的水位下降，水井 2 和水井 3 也會跟著下降，而水井 2、水井 3 的水勢必會通過水井 1，這會造成水井 1 水位下降的速率較原本慢，相對的水井 2 會受水井 3 的影響，而水井 3 會受到更遠的地方影響。且在這個時期，抽水點水位持續下降，造成抽水點與各水井之間的水位差加大，水位能因此也變大，所以在這個過程中，下降速率就會處於一個加速的狀態，故水位下降速率會變快，而這就是水位下降最大速率不在剛開始時的原因。其中我們觀察到孔隙率較大的美國矽砂(圖表 8)，各水井間速率變化量相差較大，而工程砂(圖表 9)和混合砂(圖表 10)的速率曲線較為接近，我們由前面的推論（孔隙率有一臨界值介於 36.33%~30.50%之間，當小於這個臨界值時，水位下降速率會明顯變小且趨近相同，而當高於此臨界值時，水位下降速率會有明顯的差異）可以得到：

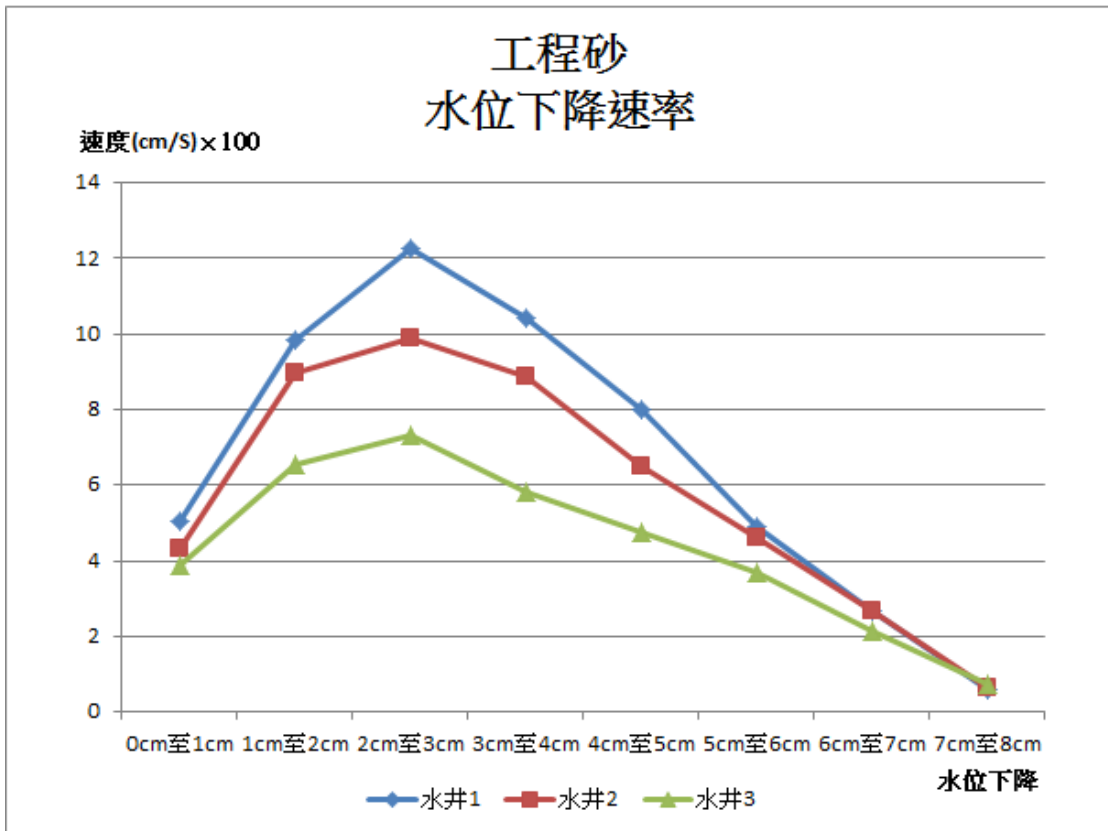
1. 因為美國矽砂的孔隙度較大，所以剛開始的速率變化量會比較大，在 1cm 至 2cm 就到達速率最大值。
2. 其他兩種砂因為孔隙率小於臨界值，速率變化量較小，在 2cm 至 3cm 時才到達速率最大值。

綜合上面兩點再加上水井間相互補注的關係，我們推論：美國矽砂較快到達速率最大值的原因，是因為其孔隙率大於臨界值，水位本身流失速率大於後方補注速率，造成與抽水點水位差快速縮小，所以較快到達最大下降速率，而工程砂和混合砂，孔隙率皆小於臨界值，水位本身下降速率就不快，再加上後方補注的關係，造成與抽水點水位差愈來愈大，所以會較慢到達速率最大值。

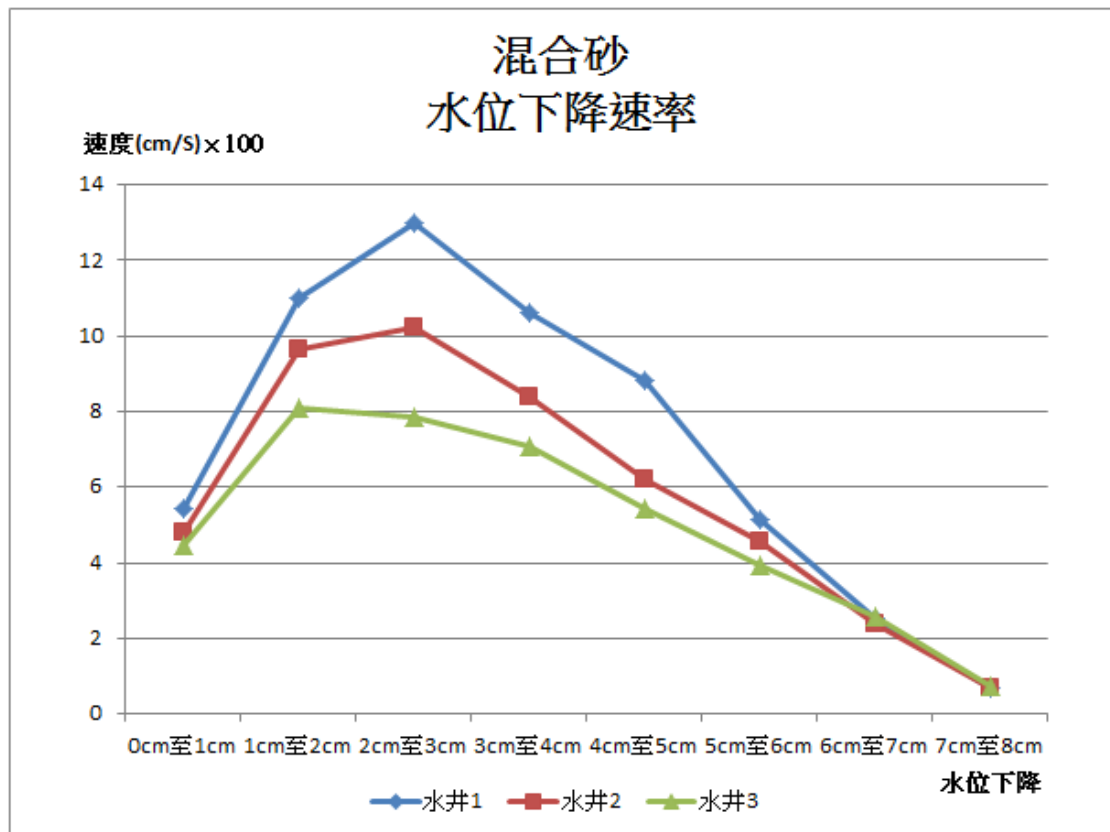
五、討論為何下降速率在接近下降終點時會趨近相同



(圖表 11)



(圖表 12)



(圖表 13)

可以由圖表 11、12、13 得知：不管是什麼砂種，愈接近下降終點時，各個井之間的水位下降速率會趨近相同，我們也觀察到：在接近下降終點時，速率變得非常慢，幾乎接近 0，且三個水井都呈現此變化，我們推論這是因為此時期水位太低，已經達到抽水機抽水功能的極限，在抽水點水位不再下降的情況下，地層中的水位還是會逐漸下降，使得井水位能逐漸降低，由於各水井間彼此互通，會有類似連通管原理的現象，最後各水井的位能會趨於平衡，進而導致各水井間速率趨近相同。

柒、結論

- 一、距離抽水點的遠近和水位下降的速率有很大的關係，離抽水點愈近，水位下降速率就愈快，離抽水點愈遠，水位下降速率就愈慢，且離抽水點愈近的地方，水位下降速率變化量愈大，離抽水點愈遠的地方，水位下降速率會愈趨近相同。
- 二、孔隙率有一臨界值介於 36.33%~30.50%之間，當小於這個臨界值時，水位下降速率會明顯變小且趨於一定值，而當高於此臨界值時，水位下降速率會有明顯的差異。
- 三、孔隙率越大，水位下降速率越快；孔隙率越小，水位下降速率越慢的現象成立於接近抽水地附近，而離抽水點越遠的地方，距離影響的效應越大，受孔隙率影響因素越不明顯，但距離的影響主要是和補注量有關，當水井不受更遠地區補注時，則又符合：孔隙率越大，水位下降速率越快；孔隙率越小，水位下降速率越慢。
- 四、不同的孔隙率會造成不同的水位差進而產生大小不同的位能，而不同的位能會造成不同的下降速率變化量。

捌、參考資料與其他

- 一、何春蓀(民 79)。普通地質學。地下水(264-284 頁)。台北市：五南圖書。
- 二、徐義人(民 92)。應用水文學。地下水(181-238 頁)。台北縣：大中國圖書。
- 三、單信瑜(民 94)。台灣地下水資源使用與水質現況。未出版，新竹縣。
- 四、楊全成（無日期）。土壤力學實驗。民 101 年 2 月 14 日，取自：
<http://csm00.csu.edu.tw/0095/elearning/soiltesting/test02/test02.pdf>
- 五、謝秉志（民 100）。孔隙率測定實驗。民 101 年 2 月 14 日，取自：
http://www.ncku.edu.tw/source/home/bzhsieh/Download/100_Petro/100Experiment_1.pdf
- 六、維基百科（無日期）。地下水。民 101 年 2 月 14 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%AD%94%E9%9A%99%E5%BA%A6#>

【評語】 040510

利用簡單的設計，規劃實驗內容，探討不同孔隙率對地下水位變化的關係，分析結果有意義，但實驗過於簡單，數據的歸納略為不足。團隊合作良好。