

# 屏東縣第六十四屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：凹凸有秩-探討表面結構對表面風速的影響

關 鍵 詞：表面結構、表面風速

編號：B2005

## 凹凸有秩-探討表面結構對表面風速的影響

### 摘要

本研究透過建立風洞，並利用輕黏土及塑膠墊板，在搭配上大小彈珠，改變表面結構並檢測表面風速的變化。

透過研究，我們發現：光滑面彎曲度較大時，迎風面的風速會增加，而背風面風速減少；表面凸起顆粒較小、間距較小，會讓風速降低的比例增加，而表面凹下顆粒較大、間距較小，會讓風速降低的比例減少；表面凹下顆粒面相較於平滑面及表面凸起顆粒面，會讓風速變化較和緩。

# 壹、前言

## 一、研究動機

在日常生活中我們觀察到不同的球體表面有不同的紋路，像是乒乓球的表面平滑、籃球的表面摸起來有細小的突起顆粒，而高爾夫球及排球的表面有許多小凹洞組成，這些表面設計除了影響手感，當球離開球員或球拍後在空中飛行時，氣流通過表面時風速是否會受到什麼影響?不同曲率的表面的風速會有什麼變化?於是我們設計實驗，讓氣流在風洞中通過不同的表面結構，觀察風速的變化。

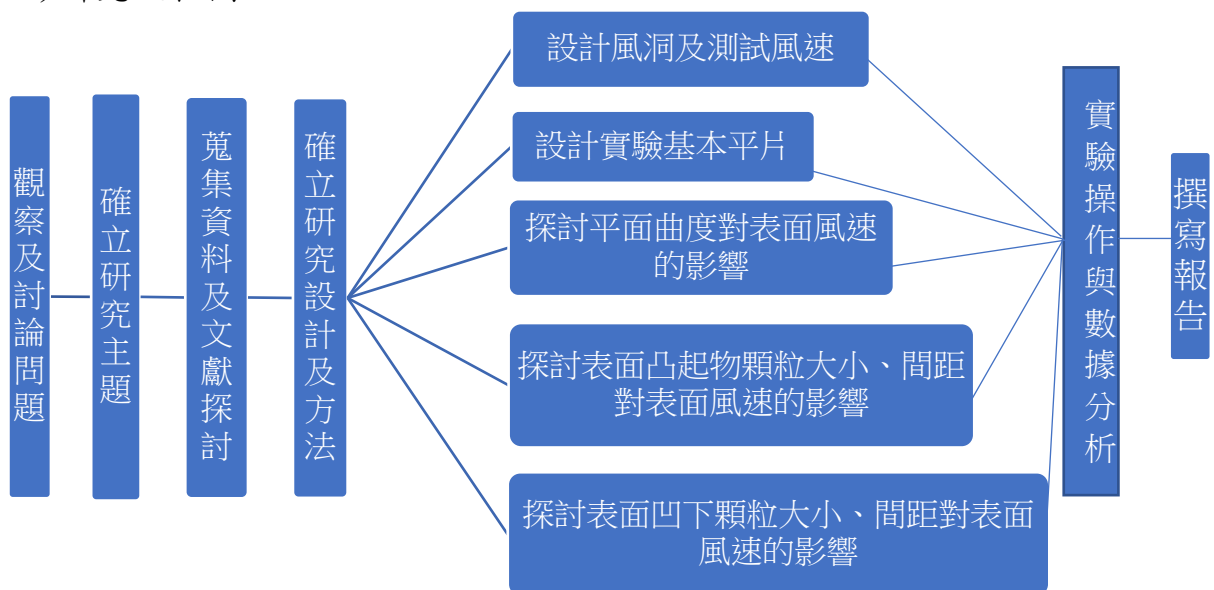
我們詢問老師後，原來這和流體力學及風速有關，於是我們設計風洞及測量平面，進行相關實驗。

本研究探討風速，與國中自然第五冊第一單元運動學有關。



## 二、研究目的

### (一)研究流程圖



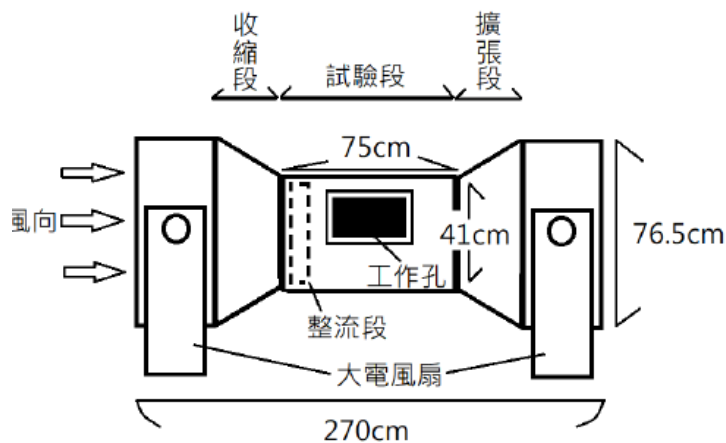
## (二) 研究目的

為了解表面性質對風速的影響，我們利用吸管堆疊，設計出簡易風洞，利用風速計測量表面五點風速，並設定以下的研究目的：

1. 探討不同的表面曲率對表面風速的影響。
2. 探討表面凸起顆粒大小對表面風速的影響。
3. 探討表面凸起顆粒間距對表面風速的影響。
4. 探討表面凹下顆粒大小對表面風速的影響。
5. 探討表面凹下顆粒間距對表面風速的影響。

## 三、文獻回顧

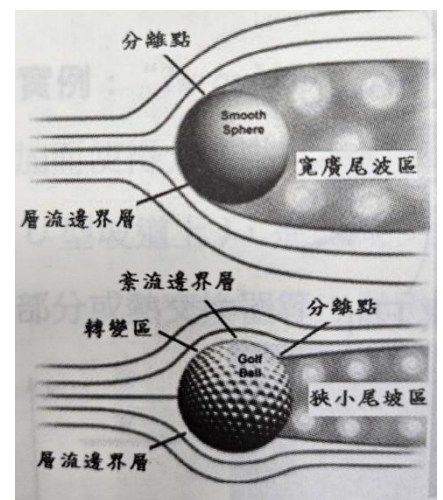
一、風洞設計：我們目的設計出簡易且能符合實驗需求的風洞，經過多方搜尋後，我們參考”不離不棄的保麗龍箱-模擬高速行駛下小貨車後斗空氣流動的變化及應用”這篇科展作品的風洞設計，原設計如下：



我們據此調整成我們的風洞設計。

二、關於球面表面風速理論，我們參考流體力學究竟在說什麼這本書，書中第 357 頁提及：**刻意增加表面粗糙度有時會甚至會降低阻力，因為紊流邊界層可能提早發生，增加之慣性力將分離點發生位置往後移。**在該書第 358 頁圖示如右圖。

但我們想知道阻力變小是否風速就變小？凹下顆粒與凸起顆粒對風速的影響有多大？顆粒大小與間距對風速的影響又是多少？



## 貳、研究設備及器材

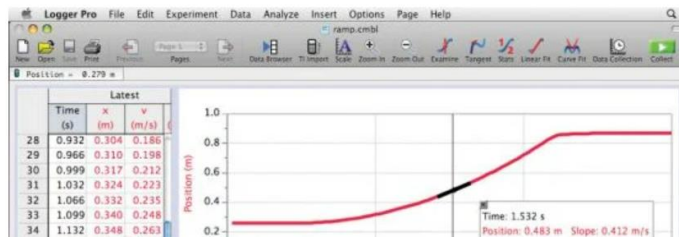
風洞：電風扇、吸管、紙板

實驗基本表面：塑膠桌墊(長：45cm 寬：30cm)、輕質黏土

玻璃珠(直徑 1.2 公分，以下簡稱小彈珠)、玻璃珠(直徑 2.4 公分，以下簡稱大彈珠)、磁磚板(10cm\*10cm，厚度 1cm)



本實驗採用 LabQuest3 機器，並於 Vernier 網站下載 Logger pro3.16.2 版進行圖形風速分析。

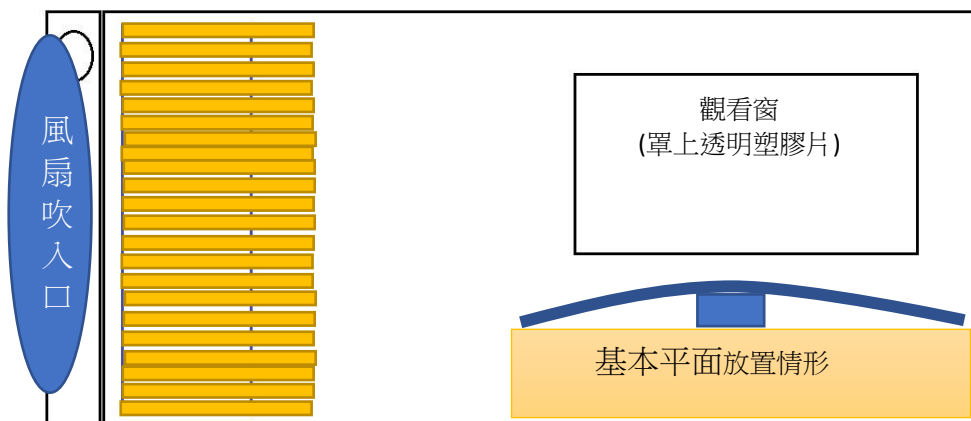


## 參、研究過程或方法

### 一、設計風洞及實驗基本表面

#### (一)風洞設計

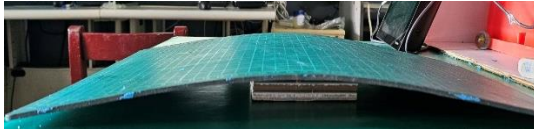
本實驗探討表面結構對氣流流動的影響，首先我們設計風洞，用保麗龍膠黏住多根吸管，產生風向穩定的氣流。設計圖如下：



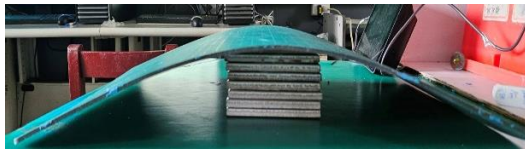
## (二) 建立實驗基本表面

為了能夠方便改變實驗的表面曲率，及能製造突起及凹下的結構，我們選擇以塑膠桌墊(稍可彎取曲)，表面在附上一層黏土，作為本實驗的基本表面。

疊四層磁磚板側視圖



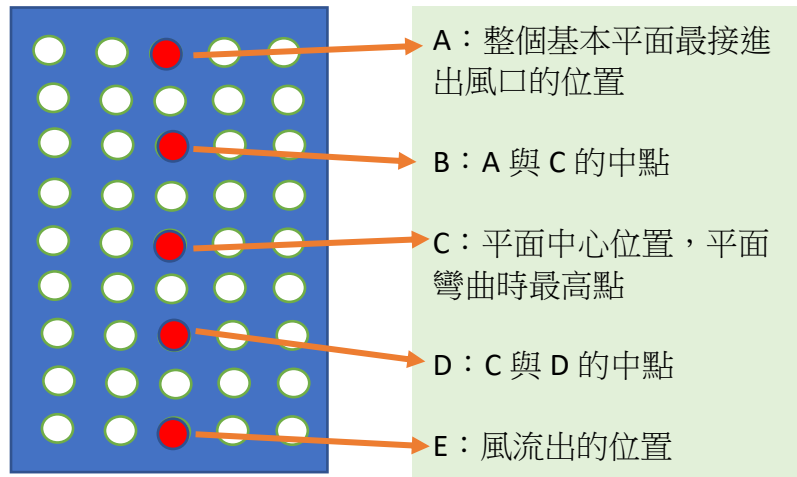
疊八層磁磚板側視圖



## (三) 實際操作情形



#### (四)測量風速位置說明



#### (五)風速紀錄說明

1. 經多次測試，我們發現風速探測器大約需 3 秒加減速時間，而每一張圖的測試時間為 60 秒，因本實驗預計測試 5 個位置，因此每一位置的測試時間為 12 秒，其中 0~5 秒為風速探測器移動的時間加上 3 秒反映加減速時間，所以求平均的時間為 5~12、17~24、29~36、41~48、53~60 秒五個區段。
2. 本實驗採固定風速，經測定本風洞風速範圍 1.75~2.15 公尺/秒。

### 二、探討不同的表面彎曲度對表面風速的影響

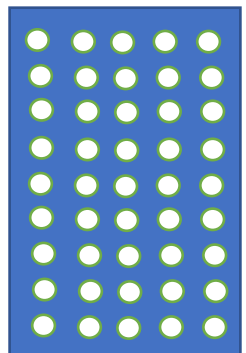
將實驗基本表面平放桌上，中央下方以磁磚塊墊高，以調整實驗基本表面的不同曲度。在表面下放入磁磚版 8 塊表面曲度最大，以此彎曲度模擬球在空中飛行時的表面風速變化。

- (一)以基本表面平放桌面，測量風速在通過塑膠桌墊前後的差異。
- (二)在基本表面中央下方放入磁磚板 4 塊、8 塊，調整曲度。
- (三)測量基本表面前後的風速，並記錄比較。

### 三、探討表面凸起物顆粒大小對表面風速的影響

為了解凸起物的顆粒大小是否對表面的風速有影響，我們用大小彈珠來操作本實驗，以寬度 1.8 公分當作間距。

- (一) 將小彈珠嵌入基本表面半顆，每顆間距 1.8 公分，以右圖的形式整齊排列。
- (二) 將基本表面平放於風洞觀察區內。



(三) 測量基本表面前後的風速，並記錄比較。

(四) 將彈珠改成較大彈珠，分別重複步驟(二)~(三)。

#### 四、探討表面凸起物顆粒間距對表面風速的影響

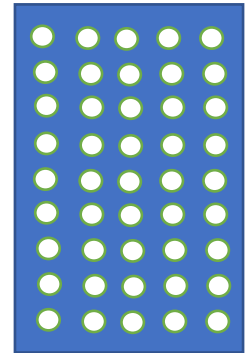
(一) 將小彈珠嵌入基本表面半顆，每顆間距 0.6 公分，以右圖的形式整齊排列。

(二) 將基本表面平放於風洞內。

(三) 測量基本表面的風速，並記錄比較。

(四) 將小彈珠間距改成 1.8 公分，分別重複步驟(二)~(三)。

(五) 將小彈珠換成大彈珠，重複步驟(一)~(四)。



#### 五、探討表面凹下顆粒大小對表面風速的影響

由小彈珠留下的凹洞稱為小凹洞，由大彈珠留下的凹洞，稱為大凹洞。

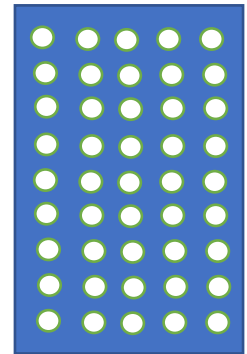
(一) 將小彈珠嵌入基本表面半顆，每顆間距 1.8 公分，以右圖的形式整齊排列。

(二) 再將玻璃珠拔起，在基本表面留下多個直徑 1.2 公分的凹洞。

(三) 將基本表面平放於風洞觀察區內。

(四) 測量基本表面的風速，並記錄比較。

(五) 將彈珠改成大彈珠，分別重複步驟(二)~(三)。



#### 六、探討表面凹下顆粒間距對表面風速的影響

(一) 將小彈珠嵌入基本表面半顆，每顆間距 1.8 公分，以右圖的形式整齊排列。

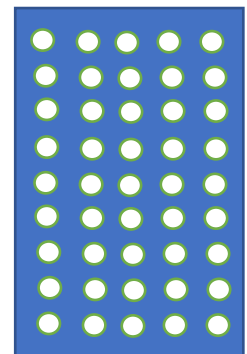
(二) 再將玻璃珠拔起，在基本表面留下多個直徑 2.4 公分的凹洞。

(三) 將基本表面平放於風洞觀察區內。

(四) 測量基本表面的風速，並記錄比較。

(五) 將小彈珠間距改成 0.6 公分，分別重複步驟(二)~(三)。

(六) 將小彈珠換成大彈珠，重複步驟(一)~(五)。





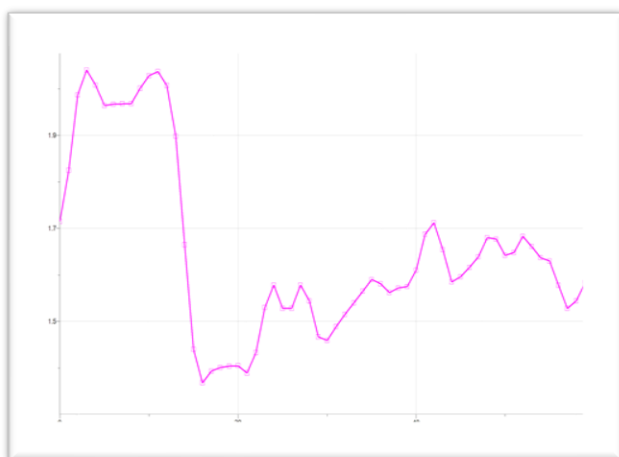
## 肆、研究結果及討論

### 一、探討不同的表面曲度對表面風速的影響

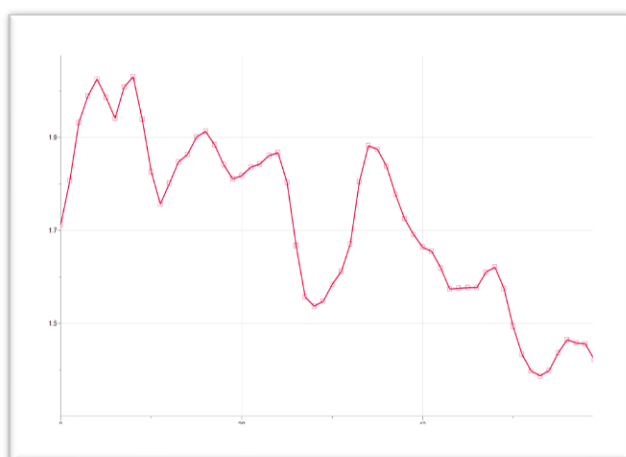
#### (一)研究結果

不同彎曲度平滑面的平均風速 公尺/秒			
位置	平滑面	平滑面墊四磚 (中央厚度 6 公分)	平滑面墊八磚 (中央厚度 11 公分)
A	1.993	1.927	1.817
B	1.449	1.845	1.838
C	1.534	1.752	1.842
D	1.646	1.601	1.373
E	1.597	1.429	1.230

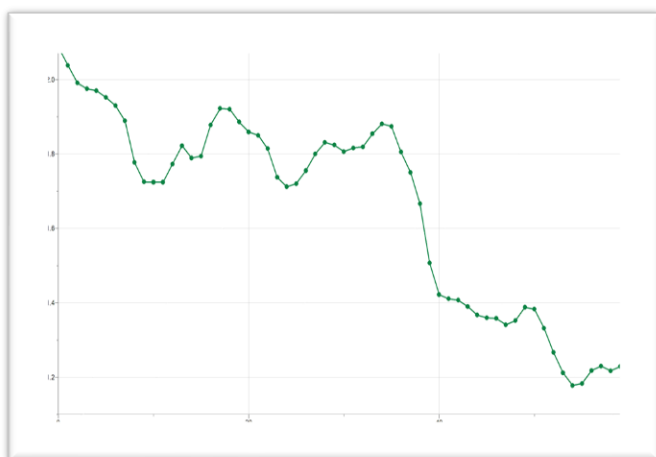
[平滑面]風速記錄圖



[平滑面墊四磚]風速記錄圖



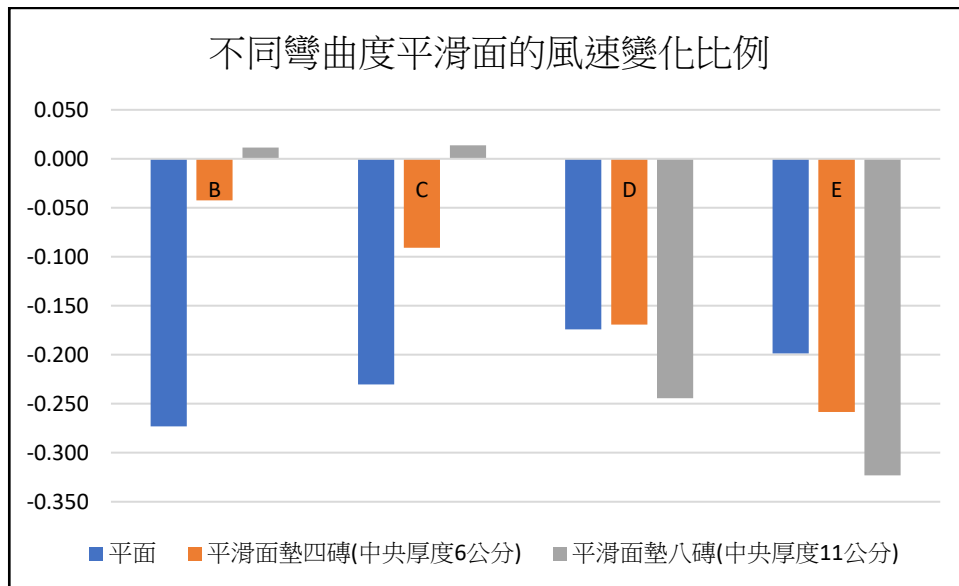
[平滑面墊八磚]風速記錄圖



因電風扇風速分布約為 1.80~2.15 公尺/秒，因此依原始數據直接比較容易失準，我們將表格數據轉換成風速變化比例，計算公式為

$$\text{風速變化比例} = (\text{某位置風速} - \text{A 位置風速}) / \text{A 位置風速}$$

不同彎曲度平滑面的風速變化比例			
位置	平滑面	平滑面墊四磚 (中央厚度 6 公分)	平滑面墊八磚 (中央厚度 11 公分)
B	-0.273	-0.043	0.012
C	-0.230	-0.091	0.014
D	-0.174	-0.169	-0.244
E	-0.199	-0.258	-0.323



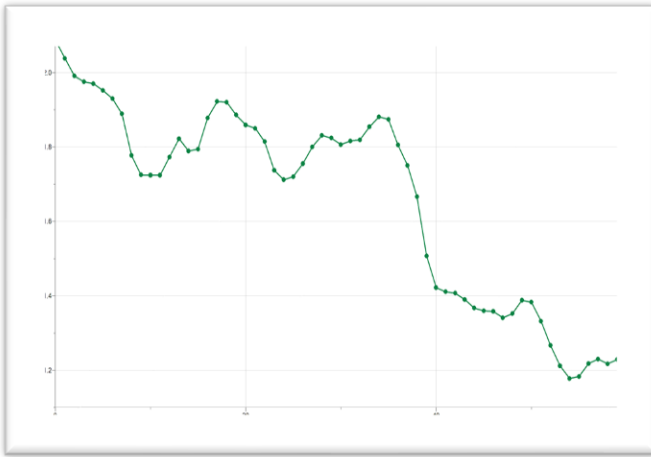
## (二)分析與討論

1. 由三張風速記錄圖發現三張圖有很顯著的趨勢變化不同，顯示不同的表面彎曲程度，對風速有很大的影響。
2. 由” 不同彎曲度平滑面的風速變化比例圖”，曲度增加時，B、C 位置的風速逐漸增加，到最大曲度時，B、C 位置的風速甚至超越 A 位置。
3. 由” 不同彎曲度平滑面的風速變化比例圖”，D、E 位置則隨著曲度越大，風速減少更多。
4. 顯見在光滑面彎曲度大時，類似球體表面彎曲度，在迎風面的風速逐漸增加，而到被風面時，風速急遽減弱，與我們看到的文獻資料是雷同的。

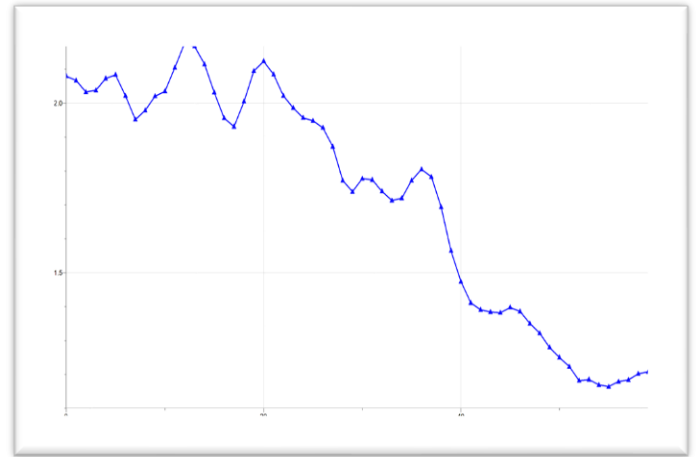
### 三、探討表面凸起顆粒大小對表面風速的影響

比較表面突起顆粒大小對表面風速的影響			
平均風速 公尺/秒		彈珠間距 1.8cm	
位置	平滑面	小彈珠	大彈珠
A	1.817	2.024	1.818
B	1.838	2.026	1.856
C	1.842	1.751	1.698
D	1.373	1.378	1.260
E	1.230	1.190	1.171

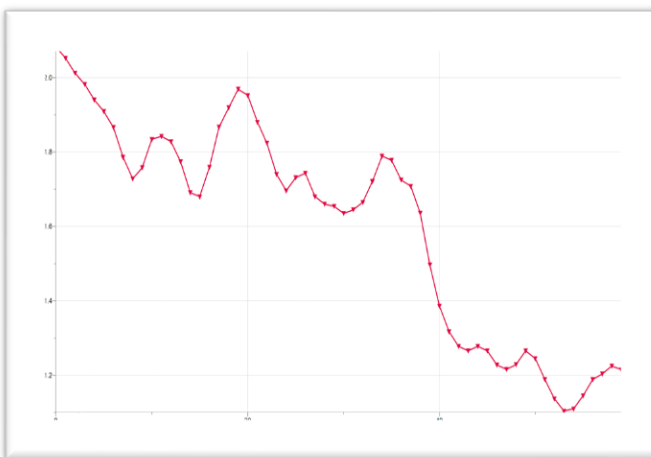
[平滑面] 風速記錄圖



[小彈珠] 風速記錄圖

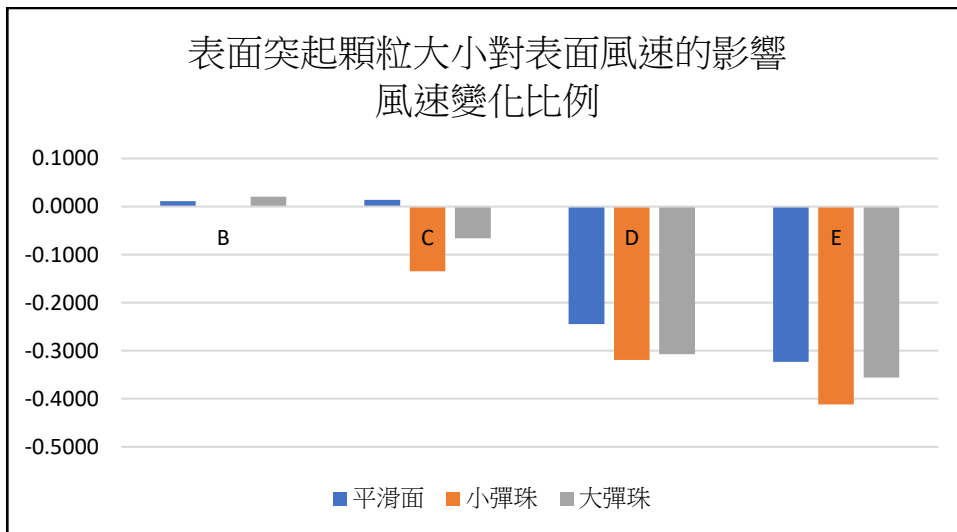


[大彈珠] 風速記錄圖



風速變化比例=(某位置風速-A位置風速)/ A位置風速

表面突起顆粒大小對表面風速的影響 風速變化比例 彈珠間距 1.8cm			
位置	平滑面	小彈珠	大彈珠
B	0.0116	0.0010	0.0209
C	0.0138	-0.1349	-0.0660
D	-0.2444	-0.3192	-0.3069
E	-0.3231	-0.4121	-0.3559



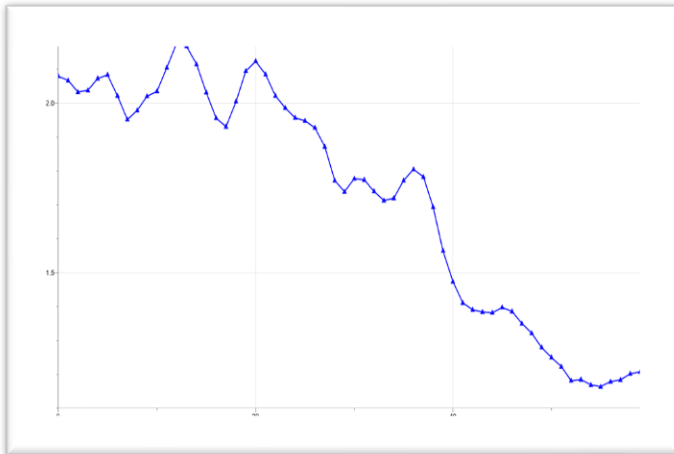
## (二)分析與討論

1. 在相同間距時，小彈珠在風速變化比例上比大彈珠明顯，C、D、E 三位置都是小彈珠的風速減少比例較多。
2. 若與平滑面相比，B 位置皆為風速增加，但 C 位置平滑面的風速還是增加，但大小彈珠的風速卻開始減少，顯示表面凸起顆粒會讓風速減少。

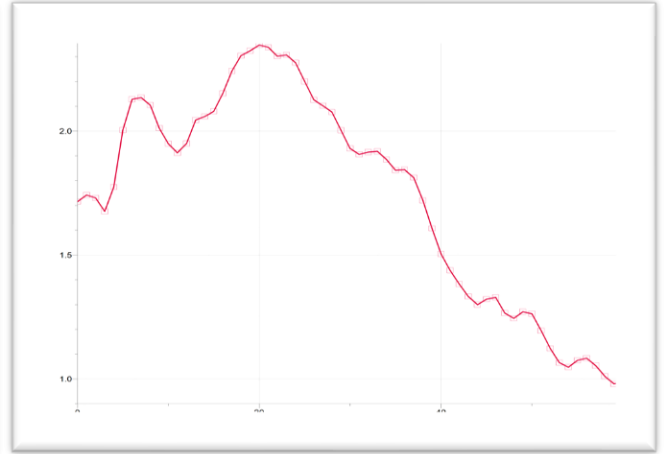
## 四、探討表面凸起顆粒間距對表面風速的影響

比較表面突起凸起顆粒間距對表面風速的影響 平均風速 公尺/秒				
位置	小彈珠間距 1.8cm	小彈珠間距 0.6cm	大彈珠間距 1.8cm	大彈珠間距 0.6cm
A	2.024	2.024	1.818	1.879
B	2.026	2.305	1.856	2.051
C	1.751	1.905	1.698	1.710
D	1.378	1.327	1.260	1.412
E	1.190	1.038	1.171	1.180

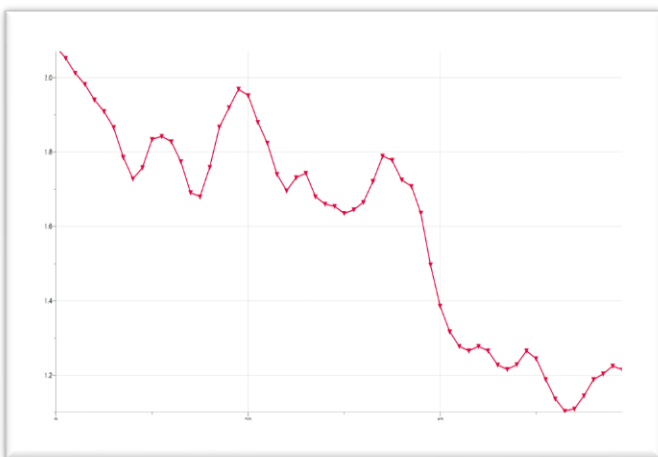
[小彈珠間距 1.8cm] 風速記錄圖



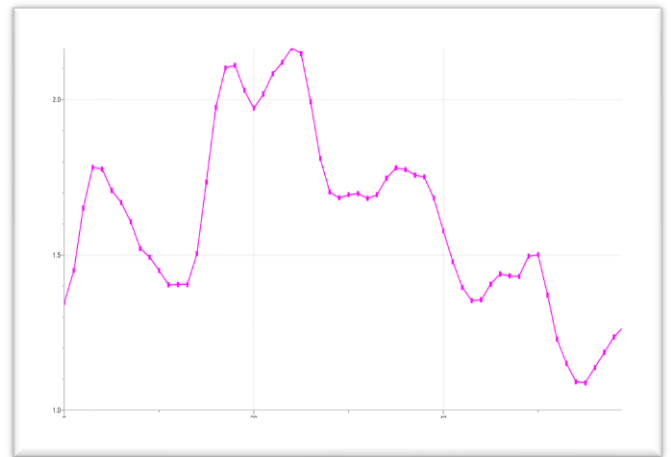
[小彈珠間距 0.6cm] 風速記錄圖



[大彈珠間距 1.8cm] 風速記錄圖



[大彈珠間距 0.6cm] 風速記錄圖

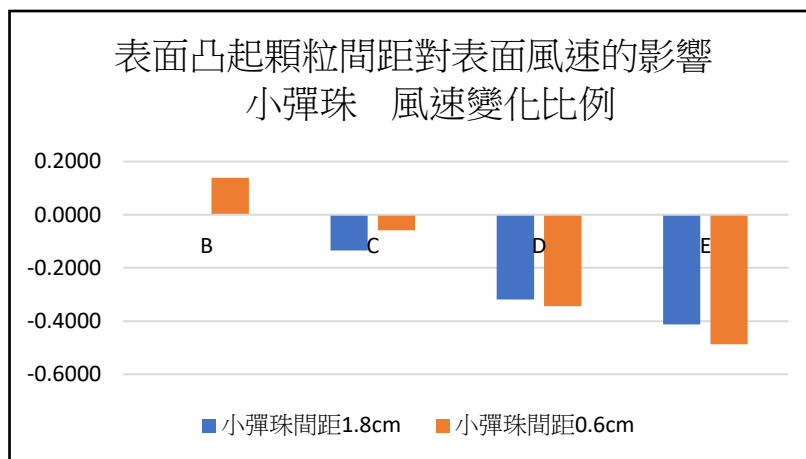


風速變化比例=(某位置風速-A位置風速)/ A位置風速

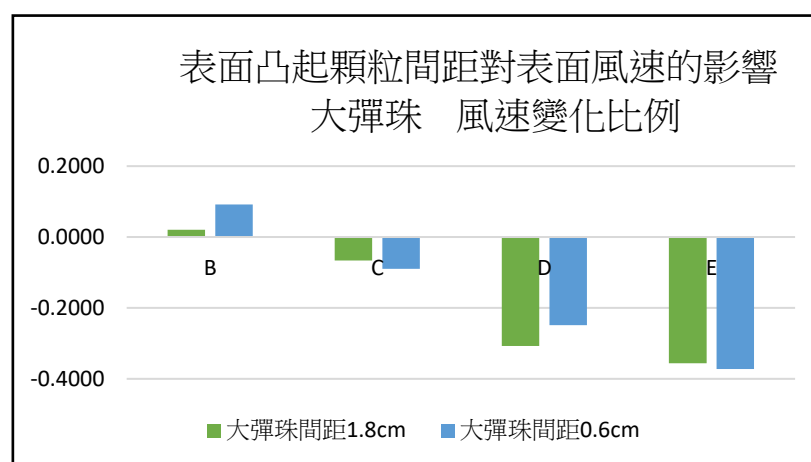
表面凸起顆粒間距對表面風速的影響				
風速變化比例				
位置	小彈珠間距 1.8cm	小彈珠間距 0.6cm	大彈珠間距 1.8cm	大彈珠間距 0.6cm
B	0.0010	0.1388	0.0209	0.0915
C	-0.1349	-0.0588	-0.0660	-0.0899
D	-0.3192	-0.3444	-0.3069	-0.2485
E	-0.4121	-0.4872	-0.3559	-0.3720

為清楚比較顆粒間距對風速變化比例的影響，我們將大小彈珠分開成兩個圖表。

表面凸起顆粒間距 對表面風速的影響		
小彈珠 風速變化比例		
位置	間距 1.8cm	間距 0.6cm
B	0.001	0.139
C	-0.135	-0.059
D	-0.319	-0.344
E	-0.412	-0.487



表面凸起顆粒間距 對表面風速的影響		
大彈珠 風速變化比例		
位置	間距 1.8cm	間距 0.6cm
B	0.0209	0.0915
C	-0.0660	-0.0899
D	-0.3069	-0.2485
E	-0.3559	-0.3720



## (二)分析與討論

1. 由風速紀錄圖，無論大小彈珠，間距不同時其趨勢變化類似。
2. 由風速變化比例圖可發現：無論大小彈珠，間距 0.6 公分時的 B 位置皆比間距 1.8 公分時風速變化比例更大(不計正負號)，而 E 位置也有相同情形。
3. 由以上分析推測，可能因間距越小，越接近平滑面效果，使 B 點風速變化比例突增，而 E 點風速變化比例下降更多。

## 五、探討表面凹下顆粒大小對表面風速的影響

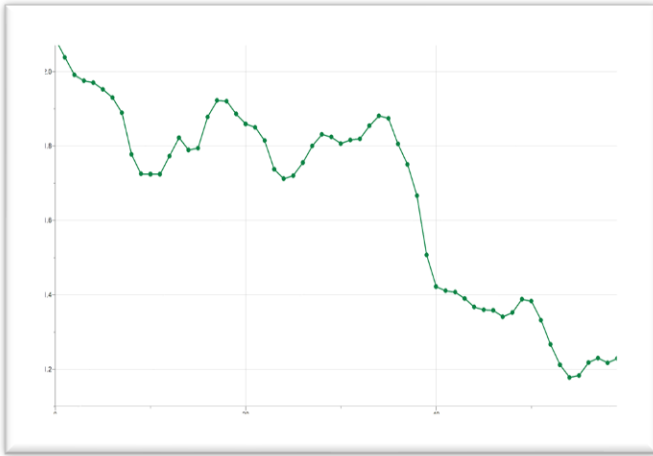
這個研究我們先操作凹洞間距 1.8cm，紀錄大小彈珠各位置的風速後，再做凹洞間距 0.6cm，紀錄風速。

### (一)彈珠間距 1.8 公分

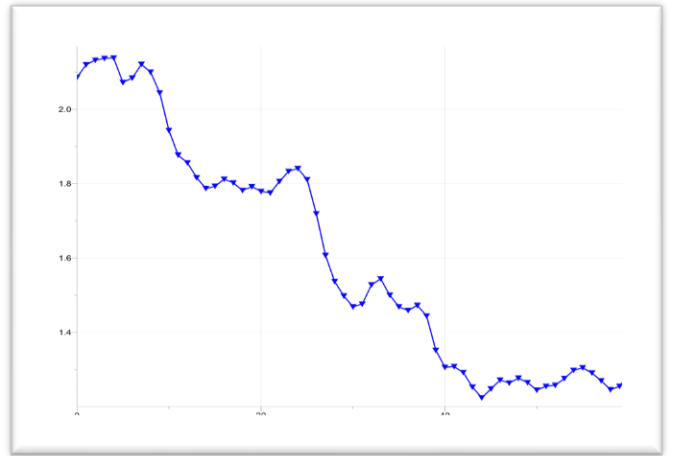
比較表面凹下顆粒大小對表面風速的影響  
平均風速 公尺/秒 凹洞間距 1.8cm

位置	平滑面	小彈珠	大彈珠
A	1.817	2.012	1.971
B	1.838	1.801	1.964
C	1.842	1.493	1.699
D	1.373	1.299	1.333
E	1.230	1.270	1.265

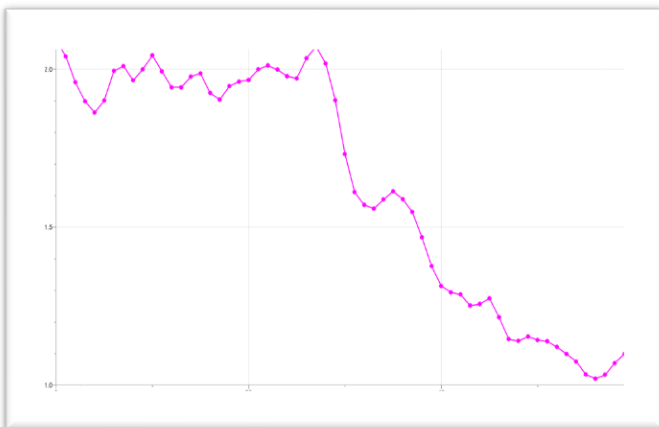
[平滑面 凹洞間距 1.8cm] 風速記錄圖



[小凹洞 凹洞間距 1.8cm] 風速記錄圖

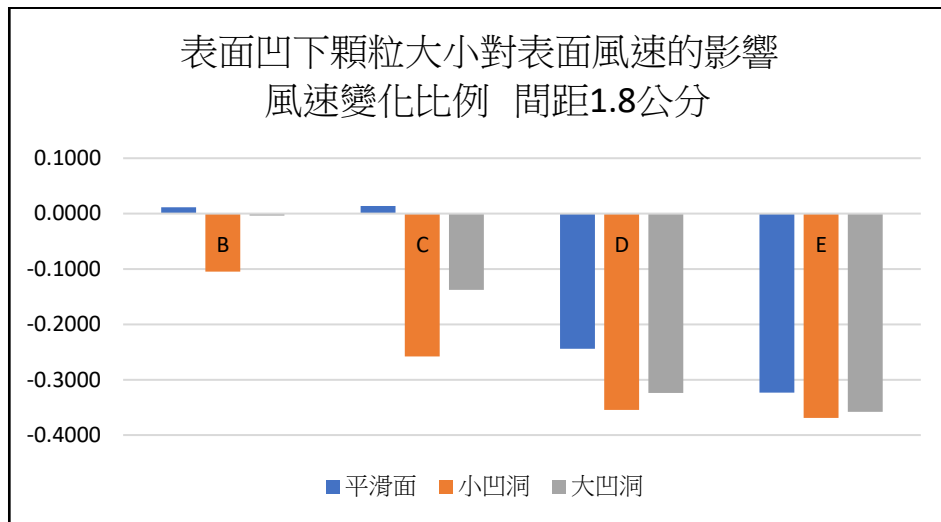


[大凹洞 凹洞間距 1.8cm] 風速記錄圖



風速變化比例=(某位置風速-A位置風速)/ A位置風速

表面凹下顆粒大小對表面風速的影響 風速變化比例 凹洞間距 1.8cm			
位置	平滑面	小凹洞	大凹洞
B	0.0116	-0.1049	-0.0036
C	0.0138	-0.2580	-0.1380
D	-0.2444	-0.3544	-0.3237
E	-0.3231	-0.3688	-0.3582

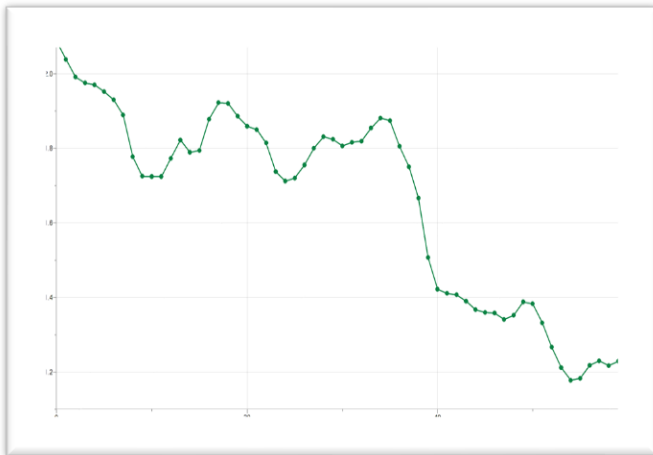


(二)彈珠間距 0.6 公分

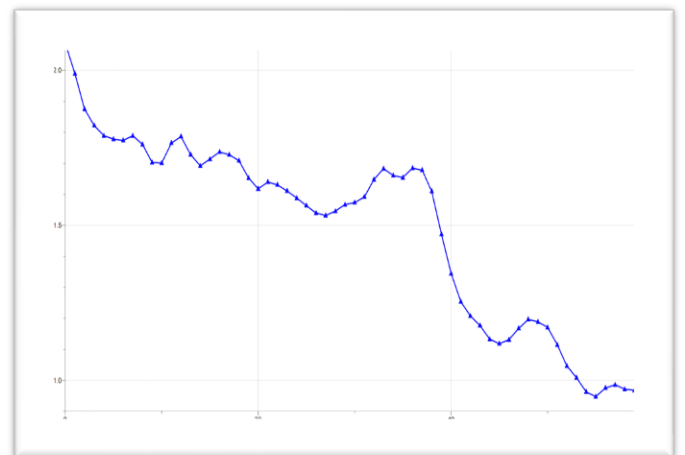
比較表面凹下顆粒大小對表面風速的影響 平均風速 公尺/秒 凹洞間距 0.6cm			
位置	平滑面	小凹洞	大凹洞
A	1.817	1.757	1.955
B	1.838	1.647	1.870
C	1.842	1.633	1.724
D	1.373	1.373	1.590
E	1.230	1.171	1.361



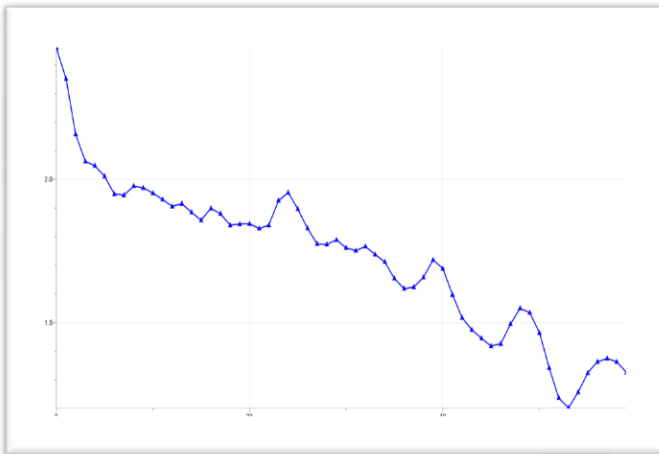
[平滑面 凹洞間距 0.6cm] 風速記錄圖



[小凹洞 凹洞間距 0.6cm] 風速記錄圖

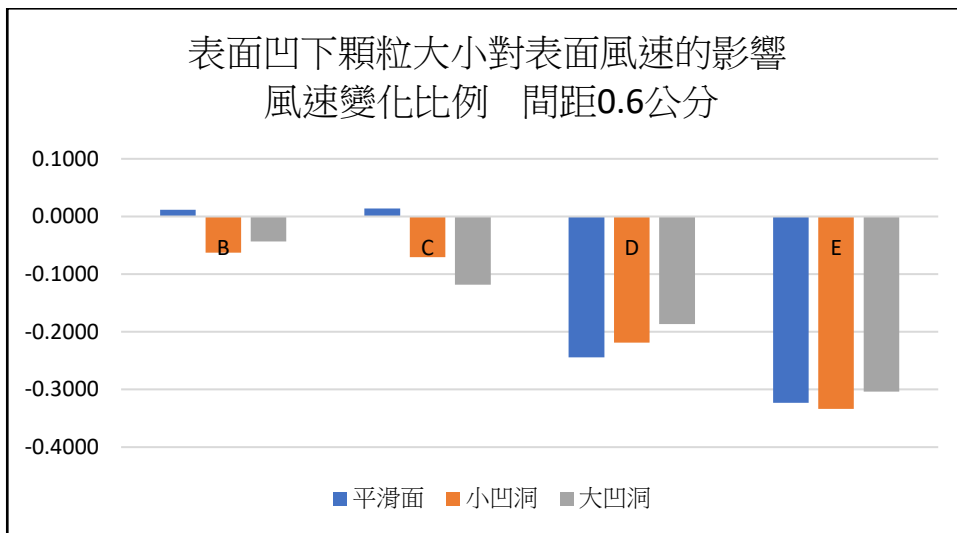


[大凹洞 凹洞間距 0.6cm] 風速記錄圖



風速變化比例=(某位置風速-A 位置風速)/ A 位置風速

表面凹下顆粒大小對表面風速的影響 風速變化比例 凹洞間距 0.6cm			
位置	平滑面	小凹洞	大凹洞
B	0.0116	-0.0626	-0.0435
C	0.0138	-0.0706	-0.1182
D	-0.2444	-0.2186	-0.1867
E	-0.3231	-0.3335	-0.3038



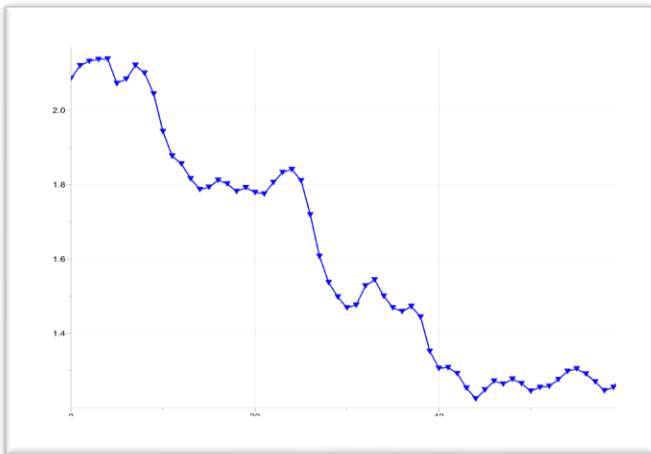
### (三)分析與討論

1. 觀察風速記錄圖，可看到大小凹洞的風速在 B 位置即開始下降，而平滑面在 B 位置時風速是上升的，到 D 位置才下降。
2. 觀察風速變化比例的關係圖，可看到無論哪一種間距皆是小凹洞的風速變化比例較高。
3. 觀察風速變化比例的關係圖，可看到大小凹洞的風速到 D 位置均比平滑面降低的少，而大凹洞降低的更少。
4. 由以上分析，大凹洞相對於平面及小凹洞對風速變化有減緩的效果。

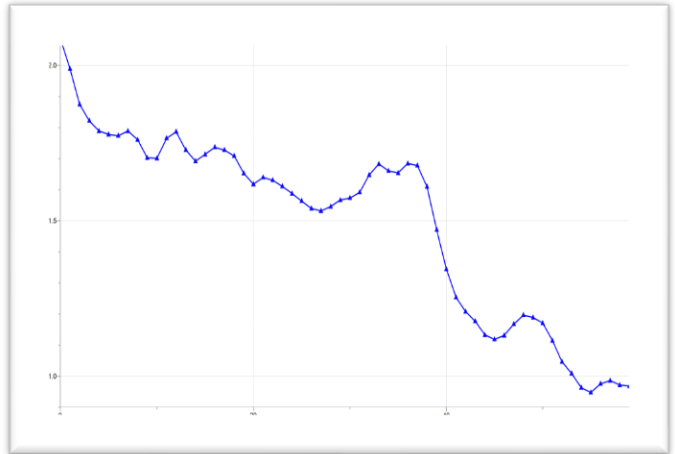
## 六、探討表面凹下顆粒間距對表面風速的影響

比較表面凹下顆粒間距對表面風速的影響 平均風速 公尺/秒				
位置	小凹洞間距 1.8cm	小凹洞間距 0.6cm	大凹洞間距 1.8cm	大凹洞間距 0.6cm
A	2.012	1.757	1.971	1.955
B	1.801	1.647	1.964	1.870
C	1.493	1.633	1.699	1.724
D	1.299	1.373	1.333	1.590
E	1.270	1.171	1.265	1.361

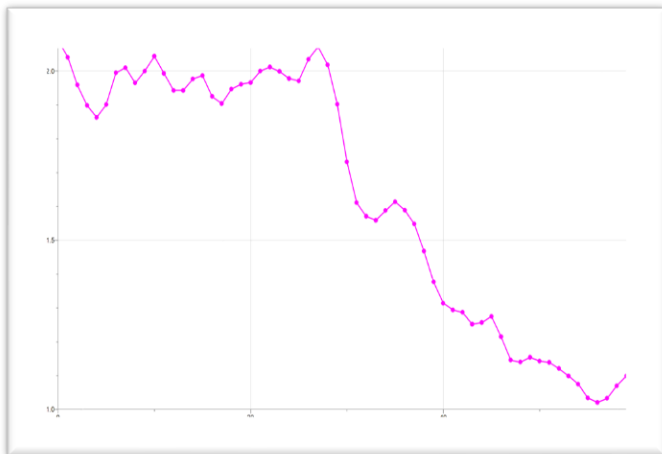
[小凹洞 凹洞間距 1.8cm] 風速記錄圖



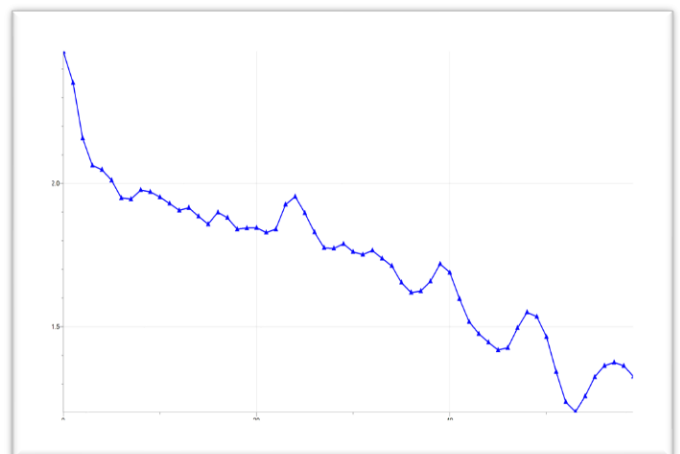
[小凹洞 凹洞間距 0.6cm] 風速記錄圖



[大凹洞 凹洞間距 1.8cm] 風速記錄圖

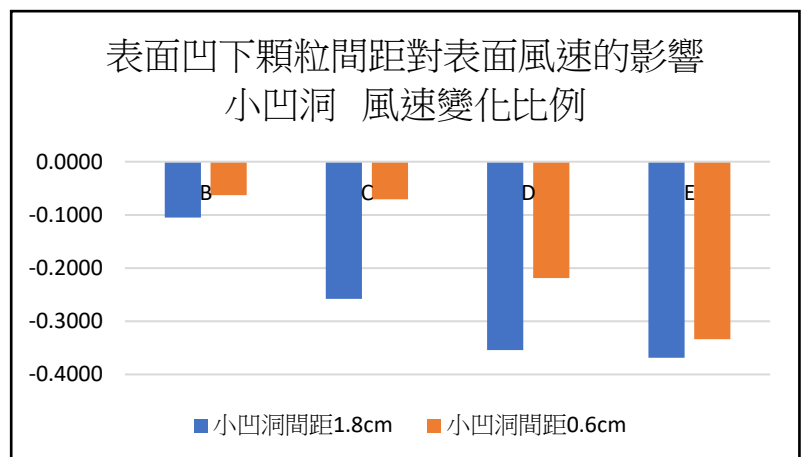


[大凹洞 凹洞間距 0.6cm] 風速記錄圖



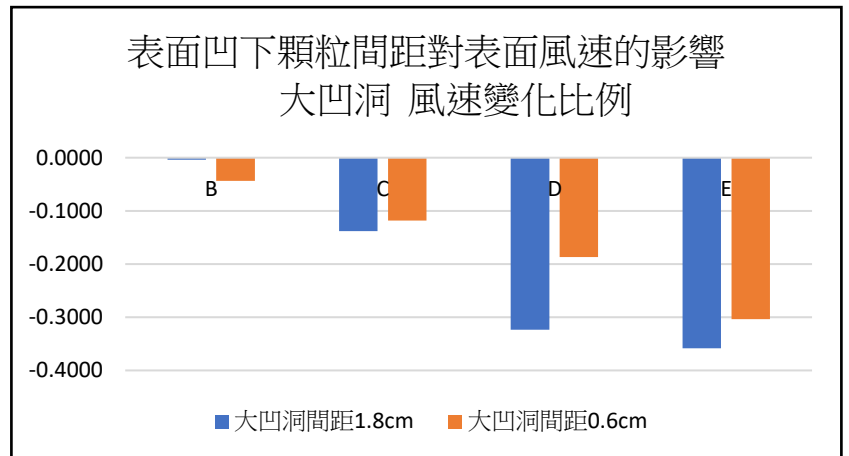
(一)表面凹下顆粒間距對表面風速的風速變化比例—小凹洞

表面凹下顆粒間距對 表面風速的影響 小凹洞 風速變化比例		
位置	間距 1.8cm	間距 0.6cm
B	-0.1049	-0.0626
C	-0.2580	-0.0706
D	-0.3544	-0.2186
E	-0.3688	-0.3335



(二)表面凹下顆粒間距對表面風速的風速變化比例—大凹洞

表面凹下顆粒間距對 表面風速的影響 大凹洞 風速變化比例		
位置	間距 1.8cm	間距 0.6cm
B	-0.0036	-0.0435
C	-0.1380	-0.1182
D	-0.3237	-0.1867
E	-0.3582	-0.3038



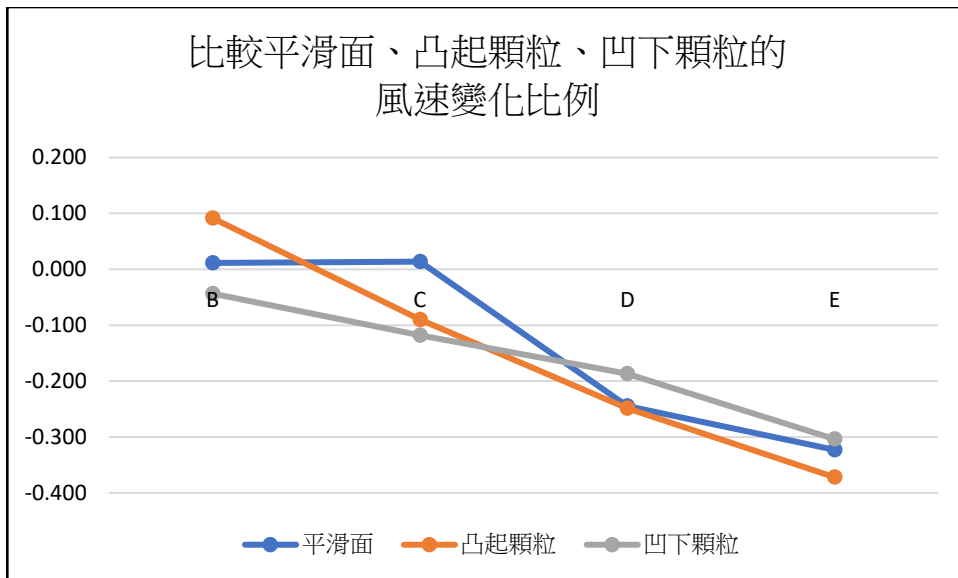
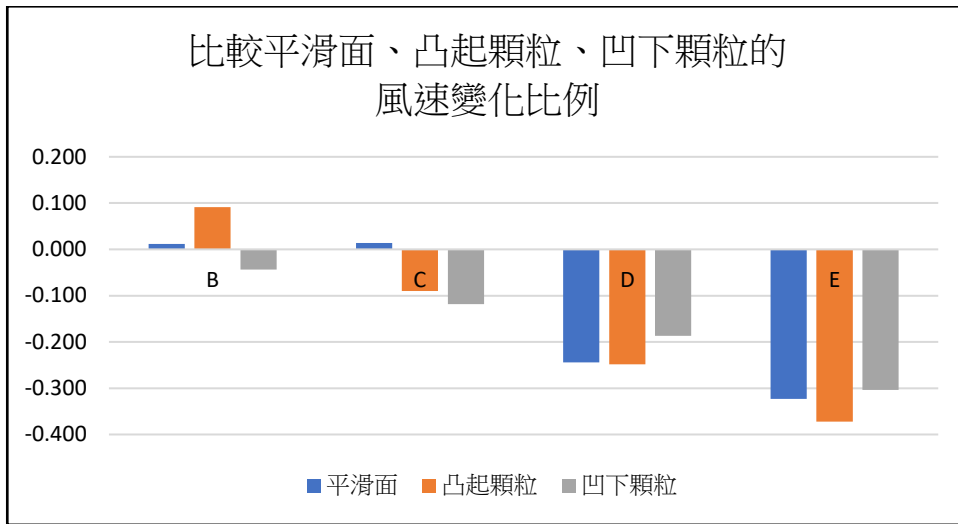
(三)分析與討論

由風速變化比例圖可以看出：無論大小凹洞，大致上間距越小，風速變化比例越小。

七、比較光滑面、表面凸起、表面凹下顆粒對表面風速的影響

比較相同顆粒大小、相同間距

比較平滑面、凸起顆粒、凹下顆粒的 風速變化比例			
位置	平滑面	凸起顆粒	凹下顆粒
B	0.012	0.092	-0.043
C	0.014	-0.090	-0.118
D	-0.244	-0.249	-0.187
E	-0.323	-0.372	-0.304



### (三)分析與討論

我們發現，表面凹下顆粒的風速變化比例較穩定，且在 D、E 位置，風速變化比例值(不計正負號)最小，甚至比平滑面更小，顯示表面使用凹下顆粒，比平滑面更能維持風速。

## 伍、結論

- 一、平滑面曲度越大時，迎風面半高處與最高處風速增加比例越高。
- 二、表面凸起顆粒會讓風速驟降，顆粒較小、間距較小，風速變化比例就越大(不計正負值)，風速比例上降較多。
- 三、表面凹下顆粒面在顆粒較大、間距較小時，風速變化比例較小，風速比例上降較少。
- 四、表面凹下顆粒面相較平滑面風速變化較為平緩，但迎風面風速不會增加，背風面風速變化比例也降得較少。

## 陸、參考文獻

- 一、王曉剛(2020)。流體力學究竟在說什麼?簡單讀懂流體力學的奧秘。樂果文化出版
- 二、劉詠豐、蔡文翔、韓佳策(2019)。不離不棄的保麗龍箱-模擬高速行駛下小貨車後斗空氣流動的變化及應用。第 61 屆中小學科學展覽。