

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040801

搖不出的咖啡

學校名稱：國立花蓮高級中學

作者： 高二 柴俊瑜 高二 梁勝傑 高二 羅廣淇	指導老師： 莊文治
---	------------------

關鍵詞：流體力學、咖啡杯、加速度

摘要

我們利用牛頓第二運動定律的實驗器材加上彈簧，嘗試模擬出走路時的情況，以研究杯中的咖啡溢出的情形，並設計出各種杯環來使咖啡不再溢出。在嘗試了各種形狀、厚度的杯環後，我們發現雙層杯環在各種水位高度下整體防止溢出效果最佳。若只考慮在高水位下，凹圓杯環則有最好的表現。未來我們可能往多層杯環為目標，並與凹圓等表現突出的形狀結合，以期製作出能應付各種振動情況及水位高度的完美杯環。

壹、研究動機

在日常生活中，許多人經常手持咖啡走路，但須非常注意杯中的咖啡以防因走路造成的震盪而溢出，我們在科學人雜誌第119期的第15頁看到兩位教授研究咖啡為何會溢出。我們物理也正好在學流體的單元，為了更深入了解，我們向國外的教授取得了完整論文，了解到溢出主要於走路方向，在垂直方向以及側向的影響較複雜且較小，故我們先不考慮。因此，我們想要藉由改裝咖啡杯來減少溢出的可能性。經過數次的討論，認為藉由在杯口加裝具阻擋功能性的杯環最有發展潛力，能改善杯蓋的缺點(例如:散熱不易、容易溶出有毒物質、不耐高溫、拆卸不易、塑膠杯蓋無法重複使用、杯蓋會沾上因水蒸氣沾上水珠而在打開時沾到手等)，我們希望未來杯環能以陶瓷材料或金屬製造，可重複使用並取代杯蓋，在走路時能有效避免液體流出(一般能重複使用的杯蓋無法完全避免液體流出)，提升行走時的輕鬆與便利性。

貳、研究目的

- 一、探討標準紙杯內的各種水位在水平震盪下為何會溢出(根據參考資料得知，水平加速度較垂直顯著)，以及各種水位高度能承受的最大加速度(即發生溢出時的最小加速度，以下使用溢出最小加速度或簡稱加速度)
- 二、探討不同尺寸的杯子或碗，測量在各種水位高度下的溢出最小加速度
- 三、改變杯環厚度(環形杯環)，探討加裝杯環後標準紙杯各種水位高度下的溢出最小加速度
- 四、製作不同形狀的杯環，探討不同形狀與不同厚度搭配下各種水位高度的溢出最小加速度，並探討原因(以標準紙杯實驗)

參、研究設備及器材

- 一、滑車滑軌組:我們運用高中牛頓運動定律的實驗器材，加上彈簧，製造出簡諧震盪環境，以控制振幅來改變加速度。為了方便分析，一律以標準紙杯進行實驗，先將一個空紙杯固定在塑膠碗中，碗的兩側加裝墊板(上有菜瓜綿，以防止水在移動中濺出而影響總質量)。



- 二、電子天秤:顯示至小數點後兩位數
- 三、恆溫乾燥機:使用化學實驗室的恆溫乾燥機來烘乾我們製作的杯環模型(使用紙粘土及接著劑製成)
- 四、相機:富士 FinePix HS10 相機，具備高速錄影功能(普通錄影~高速錄影最大 1000fps，本實驗錄影以 240fps 拍攝)

五、標準紙杯:杯底內半徑 2.46cm，杯頂內半徑:3.39cm，內深:8.5cm，空杯重 6.60g



圖三:電子天秤

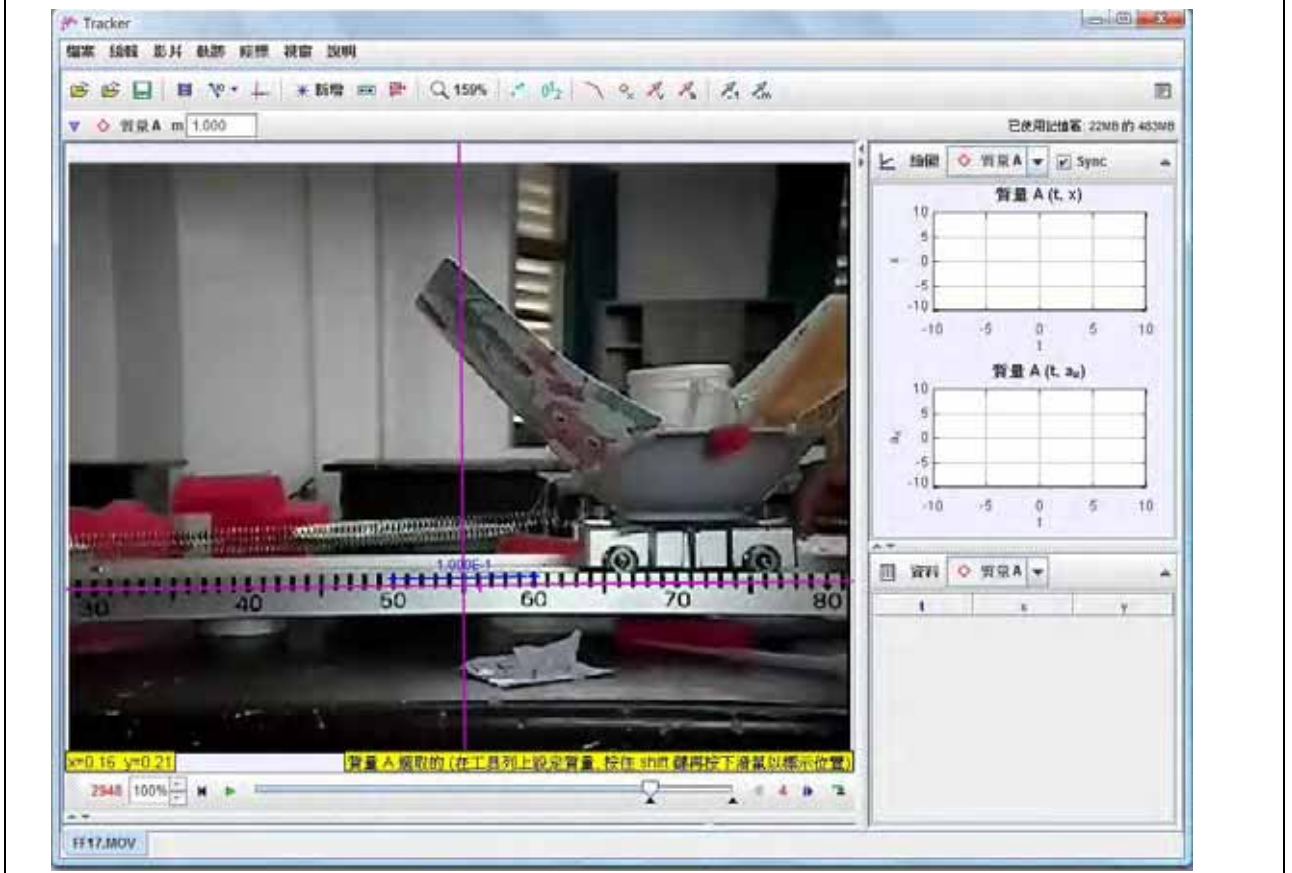


圖四:恆溫乾燥機與杯環模型

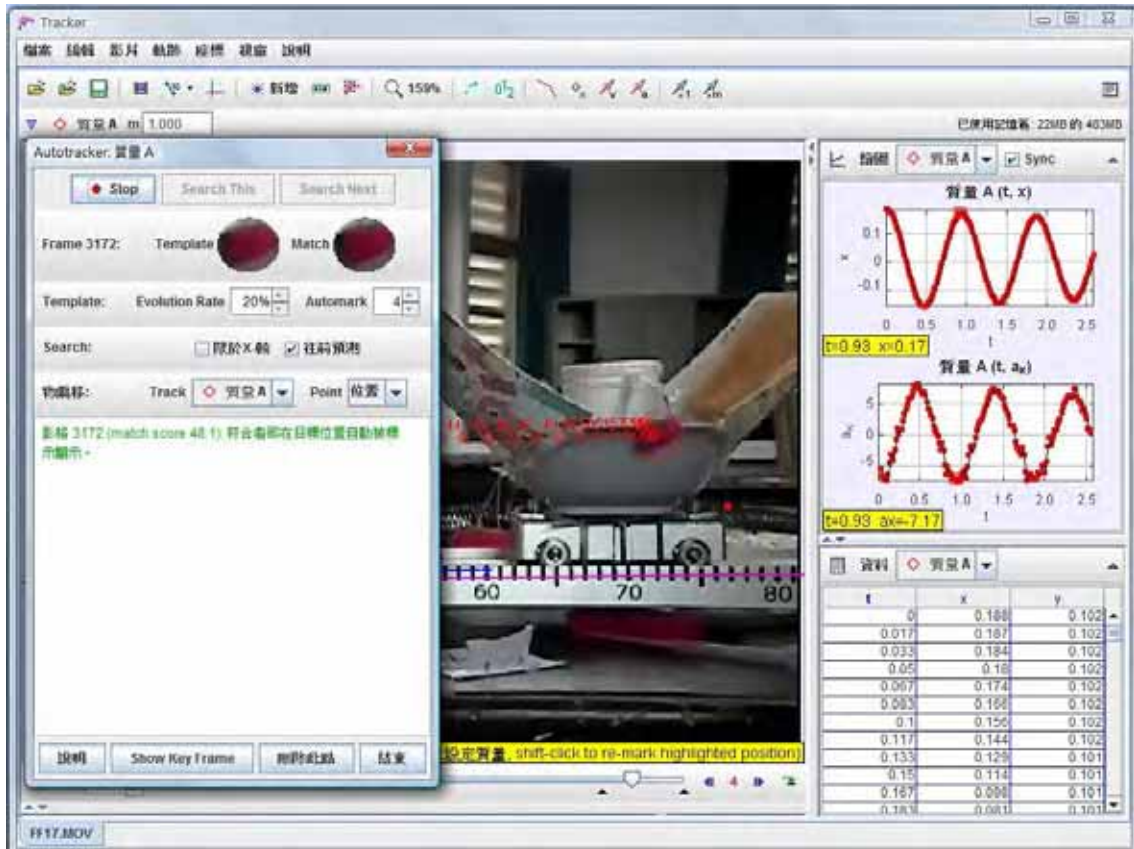
六、Tracker 影片分析軟體

來源: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>，為一免費物理影片分析軟體，我們利用高速攝影 240fps 的錄影搭配 Tracker 來分析滑車的加速度大小。以下為分析步驟:

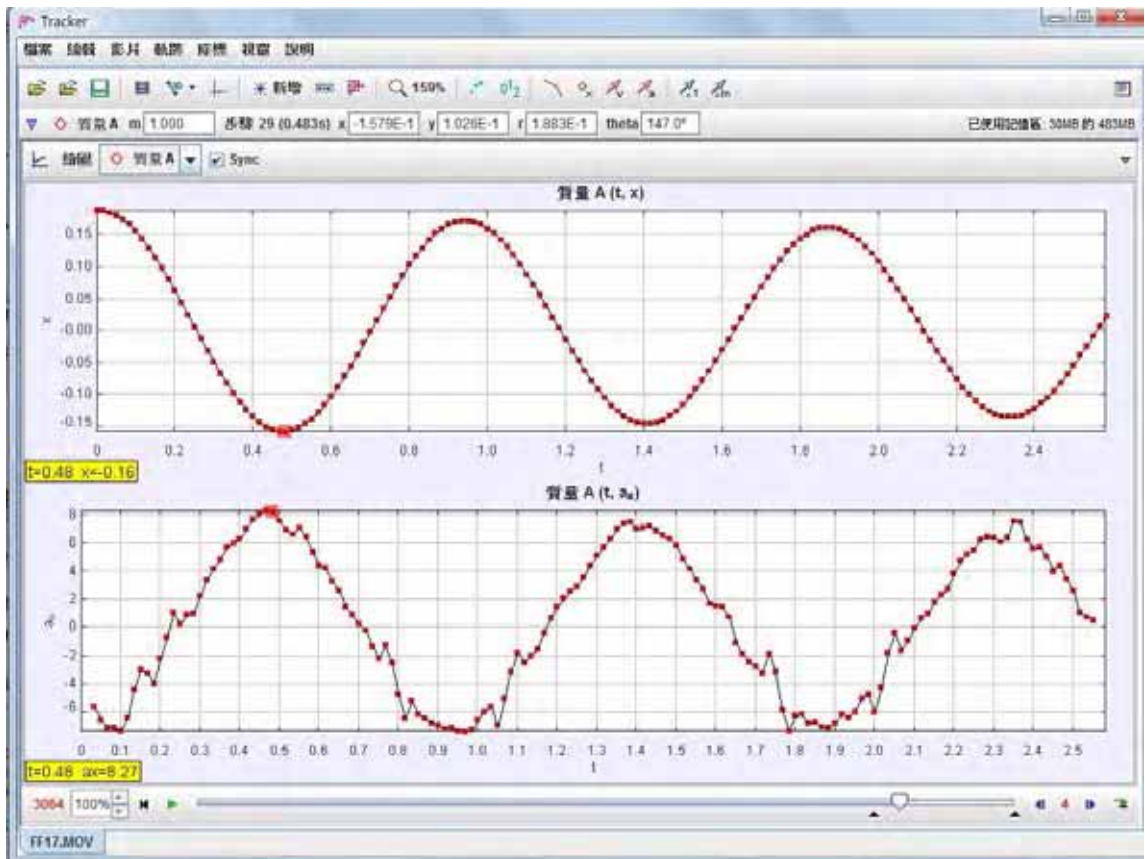
1.校正坐標軸與單位長度



2. 指定追蹤物，自動追蹤軌跡並記錄位置、加速度與時間關係



3. 分析得到的溢出最小加速度(取前兩次端點最大加速度的四個數據點平均)



肆、研究過程與方法

一、研究過程:

實驗 1: 觀察水的溢出情形以及測量未加杯環的標準紙杯在不同水位高度的溢出最小加速度

實驗 2: 測量不同尺寸的杯子或碗，在各水位高度不改裝前的溢出最小加速度



實驗 3: 標準紙杯加裝不同厚度環形杯環，測量不同水位高度的溢出最小加速度

實驗 4: 標準紙杯加裝不同形狀與厚度的杯環，測量不同水位高度的溢出最小加速度

二、實驗 1:

我們先測量標準紙杯在不加裝任何杯環時，於各種水位高度的溢出最小加速度(水平溢出最小加速度)。全程高速錄影，經由影片分析得到加速度，實驗過程中同時觀測水的溢出情形。

1. 在標準紙杯中加入不同水位高度的水，其總質量(含標準紙杯)如下表。

水位高(cm)	總質量(g)
4.0	106.11
4.5	119.42
5.0	131.84
5.5	150.20
6.0	166.13
6.5	182.16
7.0	204.01
7.5	222.32

2. 將紙杯放置到滑車上，施加不同的振幅，待水溢出後停止錄影，並分析加速度。

三、實驗 2:










我們測量不同尺寸的紙杯或碗在各種水位高度的溢出最小加速度，全程高速錄影，並經由影片分析得到加速度(水平溢出最小加速度)。

1. 在樣品中加入該水位高度的水，各水位高度總質量(含樣品)如下表。
2. 將樣品放置到滑車上，施加不同的振幅，待水溢出後停止錄影，並分析加速度。

樣品編號		參數	數值	水位高度	總質量(含樣品)	水位高度	總質量(含樣品)
樣品 1  	底內半徑	2.8cm	5cm	167.0g	9cm	353.0g	
	頂內半徑	4.4cm	6cm	212.8g	10cm	400.6g	
	內深	12.7cm	7cm	260.3g	11cm	448.4g	
	淨重	11.8g	8cm	307.0g	12cm	499.6g	
樣品 2  	底內半徑	5.6cm	2.0cm	200.3g	4.4cm	514.6g	
	頂內半徑	6.8cm	2.6cm	278.9g	5.0cm	593.1g	
	內深	6.6cm	3.2cm	357.4g	5.6cm	671.7g	
	淨重	16.2g	3.8cm	436.0g	6.2cm	750.8g	
樣品 3  	底內半徑	3.4cm	3.0cm	140.0g	6.6cm	320.4g	
	頂內半徑	4.6cm	3.9cm	187.6g	7.5cm	379.0g	
	內深	9.9cm	4.8cm	235.2g	8.4cm	428.6g	
	淨重	14.5g	5.7cm	272.8g	9.3cm	478.2g	
樣品 3  	底內半徑	3.3cm	1cm	50.7g	3.4cm	157.0g	
	頂內半徑	4.3cm	1.6cm	72.8g	4.0cm	186.9g	
	內深	5.7cm	2.2cm	100.7g	4.6cm	246.9g	
	淨重	6.3g	2.8cm	128.3g	5.2cm	248.6g	









四、實驗 3:

我們製作環形寬度 2.0cm 厚度分別為 0.2cm、0.4cm、0.6cm、0.8cm、1.0cm、1.2cm、1.4cm 的七種紙黏土環形杯環模型，裝置在標準紙杯上。同實驗 1 步驟 1 加入不同水位高度，測量加裝杯環後標準紙杯的溢出最小加速度。

厚度	圖(環形杯環)	實驗杯裝置示意圖
0.2cm		<p>(使用實驗 4 雙層厚度 0.6cm 示範)</p> 
0.4cm		
0.6cm		
0.8cm		
1.0cm		
1.2cm		
1.4cm		
		<p>再放置到滑車上的杯座，每一個杯環實驗皆拍攝三部影片，再經由 Tracker 影片分析軟體進行溢出最小加速度分析，取平均值紀錄</p> 

五、實驗 4:

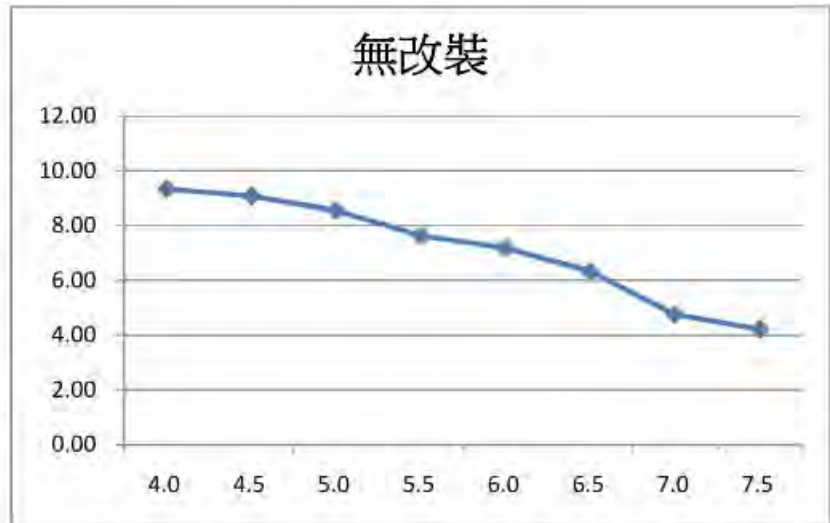
經過討論，我們選擇了厚度 0.2、0.6、1.0cm，分別在接觸水面下端塑造凸(凹)三角形、疏(密)三角形、凸(凹)四方形、凸圓形、凹圓形、圓孔在中間、雙層，總環形寬度皆為 2cm，同實驗 1 步驟施加不同水位高度，測量加裝杯環後標準紙杯的溢出最小加速度。

形狀	圖	形狀	圖
凸(凹)三角形 三角形底:2.0cm 三角形高:1.0cm		凹圓形 圓形半徑:1.0cm	
凸(凹)四方形 四方形寬:2.0cm 四方形高:1.0cm (凸起處同凹下處)		圓形在中間 (簡稱圓孔) 圓孔半徑:0.5cm	
凸圓形 圓形半徑:1.0cm		雙層 總環形寬:2.0cm 中間隔:0.3cm	
疏三角 三角底:3.0cm 三角高:1.0cm		密三角 三角底:1.5cm 三角高:1.0cm	

伍、研究結果

一、實驗一：

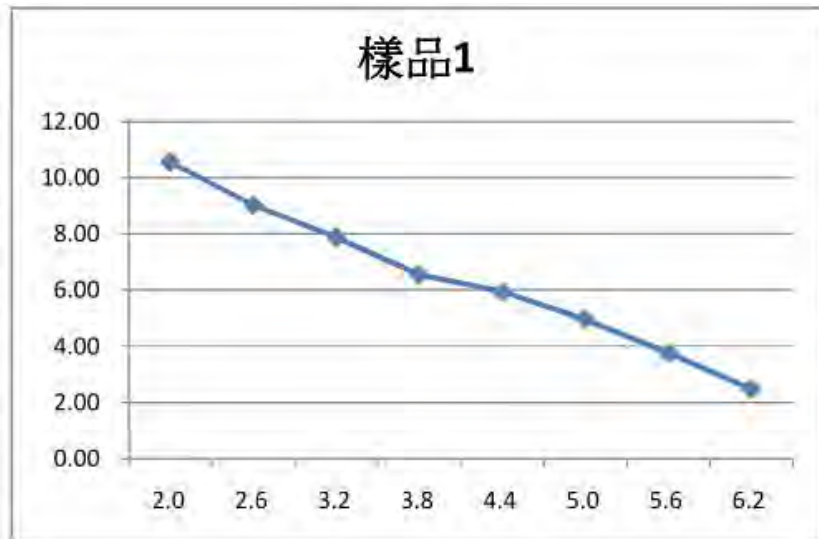
分類	編號系列	杯口改裝
未加蓋	A	無改裝
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.0	9.33	
4.5	9.06	
5.0	8.55	
5.5	7.63	
6.0	7.18	
6.5	6.33	
7.0	4.74	
7.5	4.20	



二、實驗二

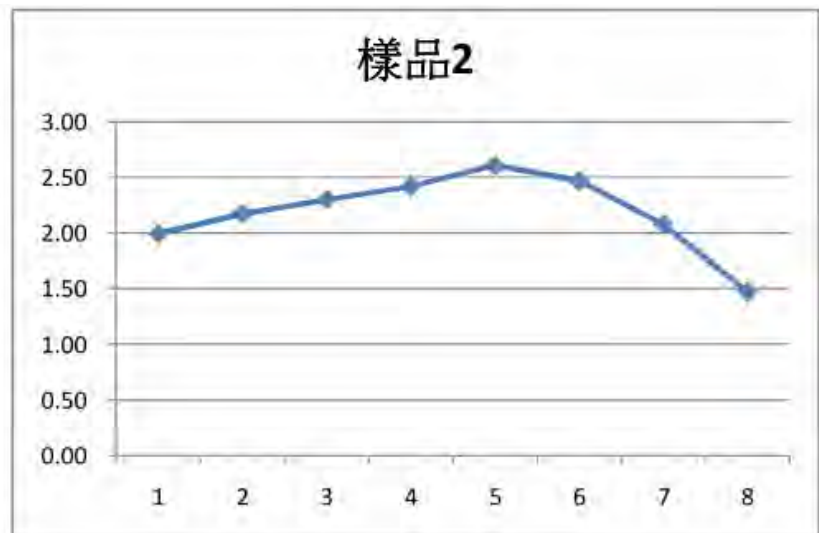
(一) 樣品 1

分類	編號系列	杯口改裝
不加蓋	樣品	無
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
5	10.56	
6	9.03	
7	7.88	
8	6.55	
9	5.94	
10	4.98	
11	3.76	
12	2.48	



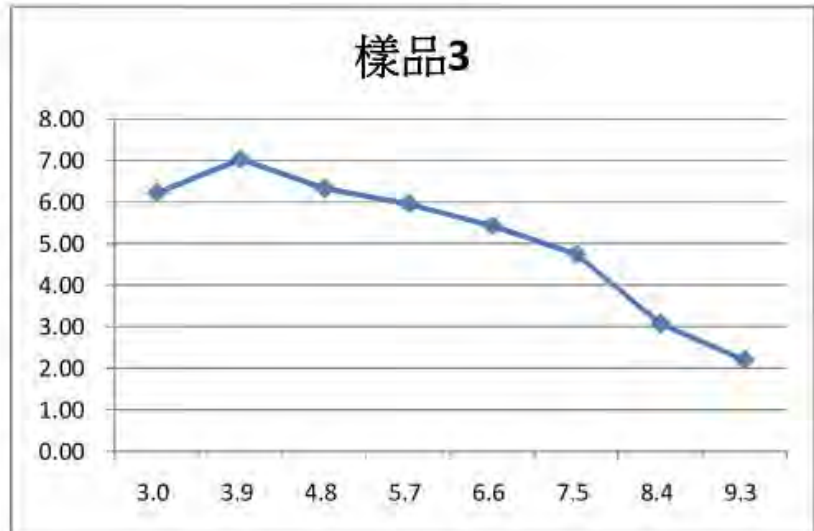
(二) 樣品 2

分類	編號系列	杯口改裝
不加蓋	樣品 2	無
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
2.0	2.00	
2.6	2.17	
3.2	2.30	
3.8	2.42	
4.4	2.61	
5.0	2.47	
5.6	2.08	
6.2	1.48	



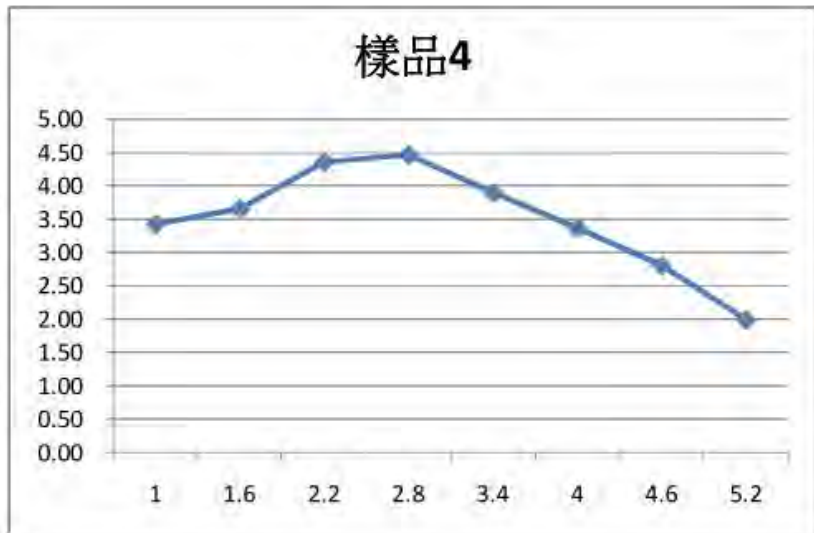
(三) 樣品 3

分類	編號系列	杯口改裝
不加蓋	樣品 3	無
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
3.0	6.22	
3.9	7.03	
4.8	6.33	
5.7	5.96	
6.6	5.43	
7.5	4.74	
8.4	3.08	
9.3	2.20	



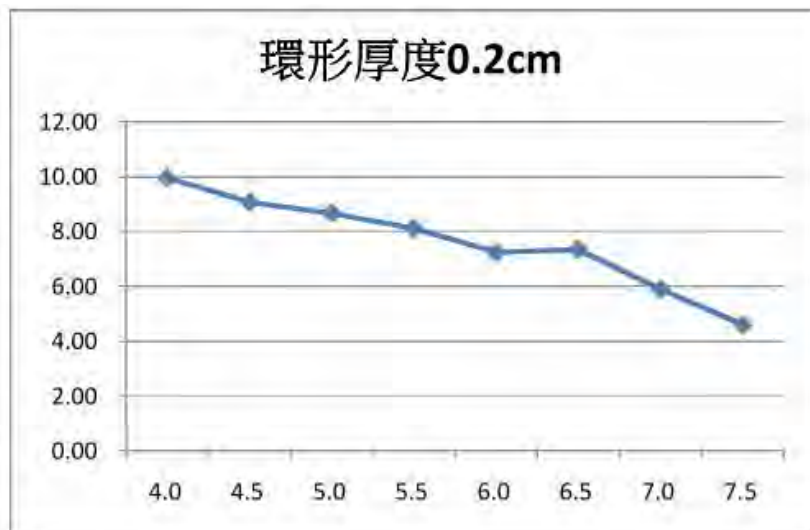
(四) 樣品 4

分類	編號系列	杯口改裝
不加蓋	樣品 4	無
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
1	3.42	
1.6	3.66	
2.2	4.36	
2.8	4.47	
3.4	3.89	
4	3.37	
4.6	2.81	
5.2	1.99	

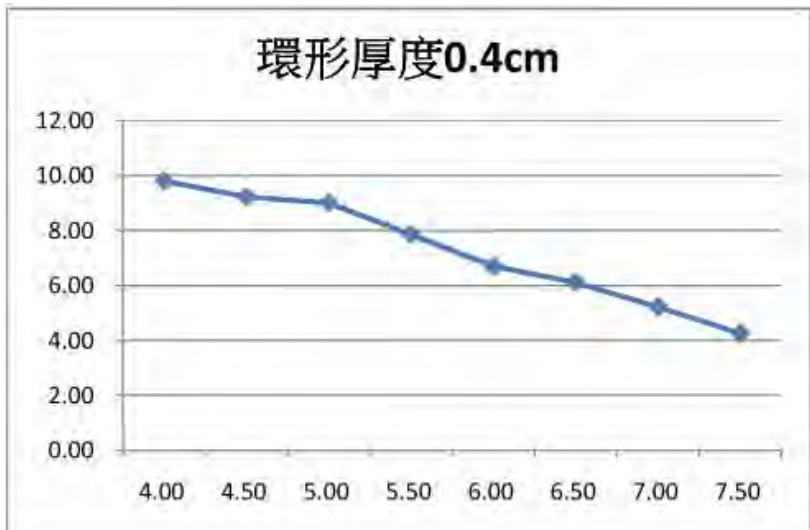


三、 實驗三

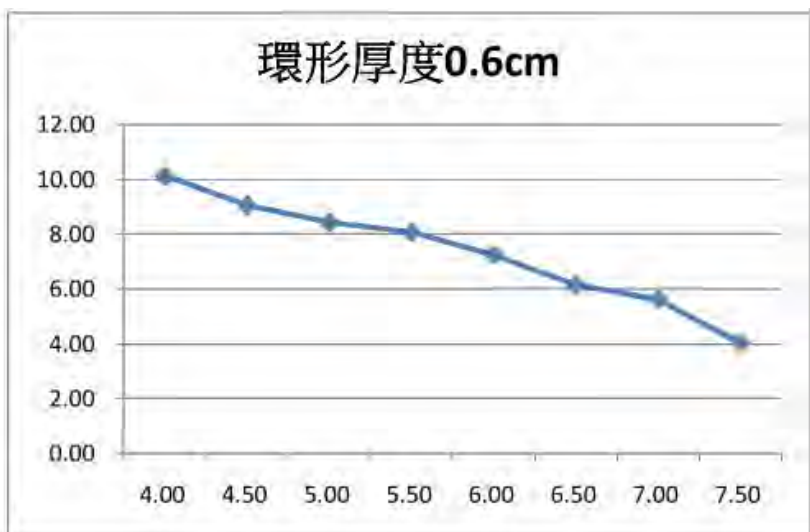
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	無	0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.0	9.95	
4.5	9.06	
5.0	8.66	
5.5	8.11	
6.0	7.23	
6.5	7.33	
7.0	5.89	
7.5	4.60 ok	



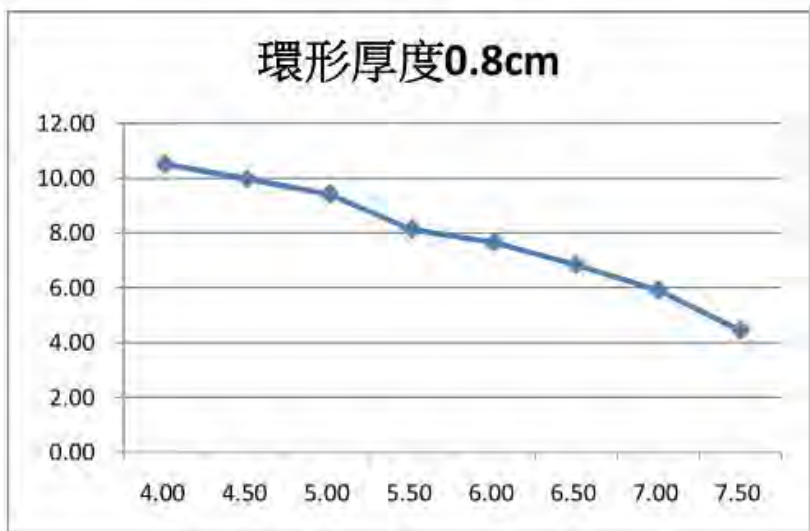
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	B1	0.4cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.79	
4.50	9.23	
5.00	9.01	
5.50	7.86	
6.00	6.69	
6.50	6.11	
7.00	5.22	
7.50	4.25	



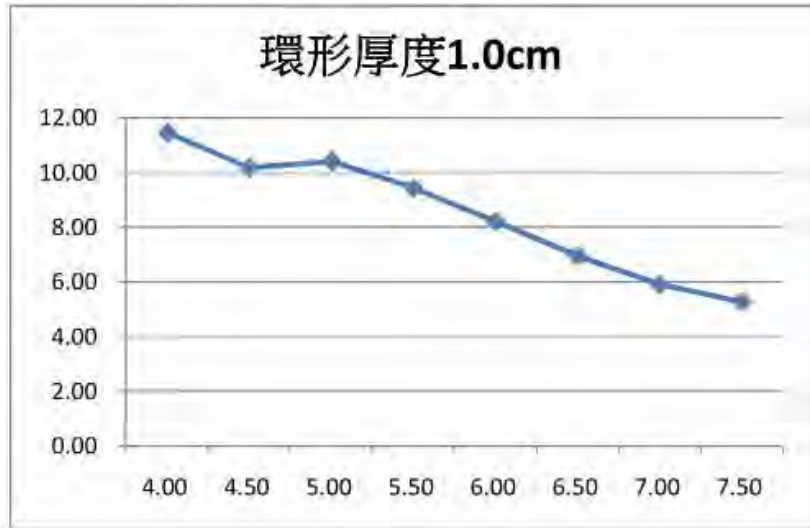
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	B2	0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.12	
4.50	9.07	
5.00	8.44	
5.50	8.07	
6.00	7.25	
6.50	6.16	
7.00	5.62	
7.50	4.03	



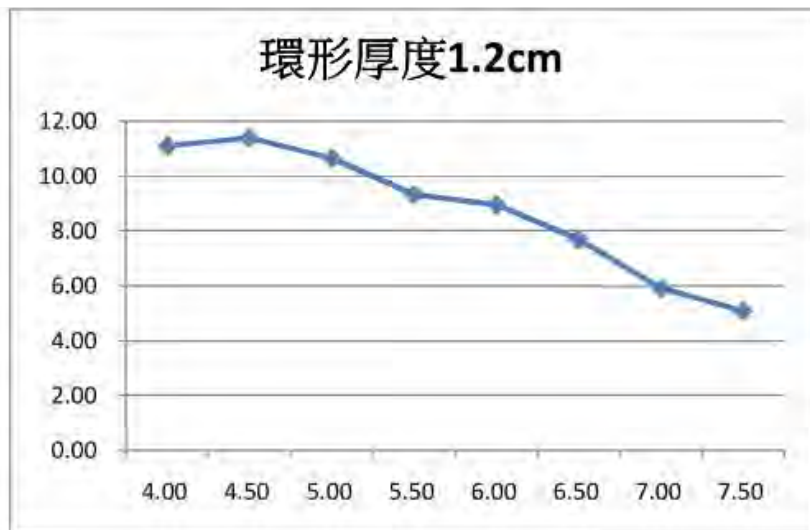
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	MM	0.8cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.51	
4.50	9.96	
5.00	9.42	
5.50	8.12	
6.00	7.65	
6.50	6.84	
7.00	5.91	
7.50	4.45	



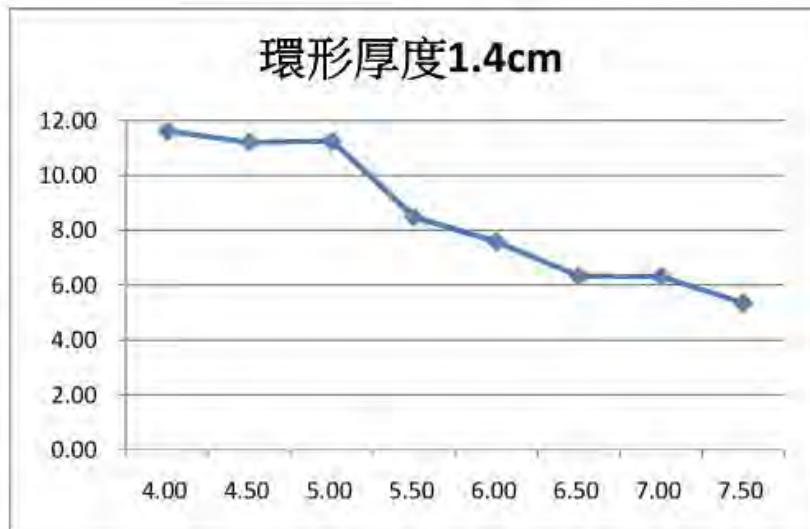
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	HH	1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	11.47	
4.50	10.17	
5.00	10.41	
5.50	9.43	
6.00	8.22	
6.50	6.94	
7.00	5.90	
7.50	5.25	



分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	FF	1.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	11.09	
4.50	11.39	
5.00	10.65	
5.50	9.32	
6.00	8.96	
6.50	7.68	
7.00	5.90	
7.50	5.08	

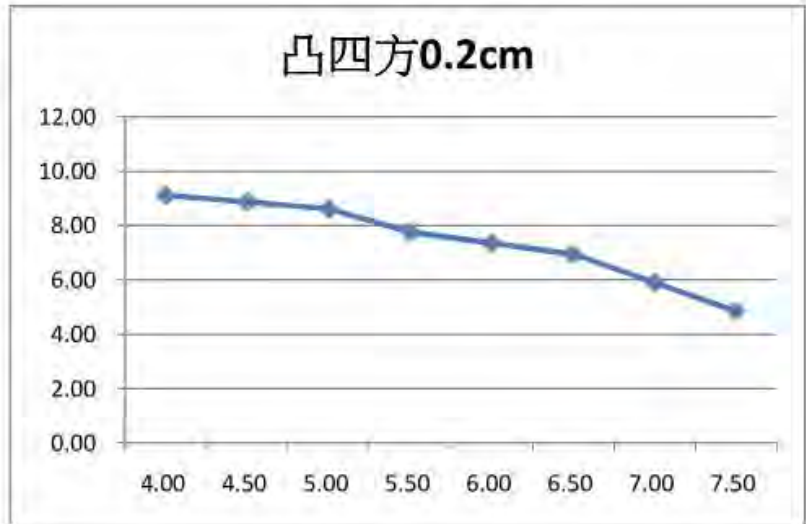


分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	GG	1.4cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	11.62	
4.50	11.21	
5.00	11.26	
5.50	8.48	
6.00	7.58	
6.50	6.35	
7.00	6.31	
7.50	5.35	

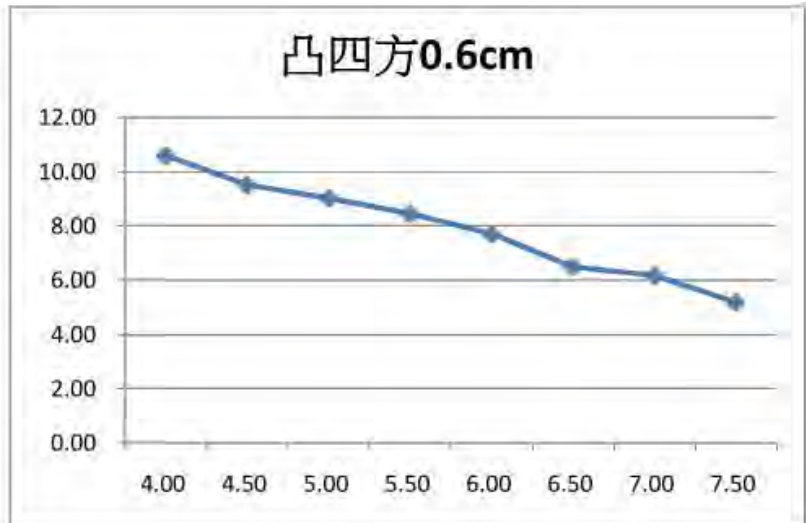


四、實驗四

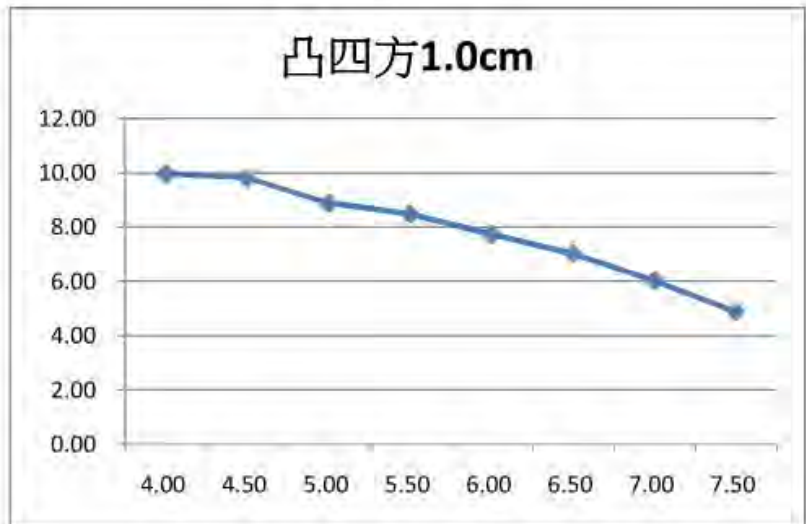
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	D	凸四方 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.12	
4.50	8.86	
5.00	8.61	
5.50	7.75	
6.00	7.36	
6.50	6.94	
7.00	5.92	
7.50	4.85	



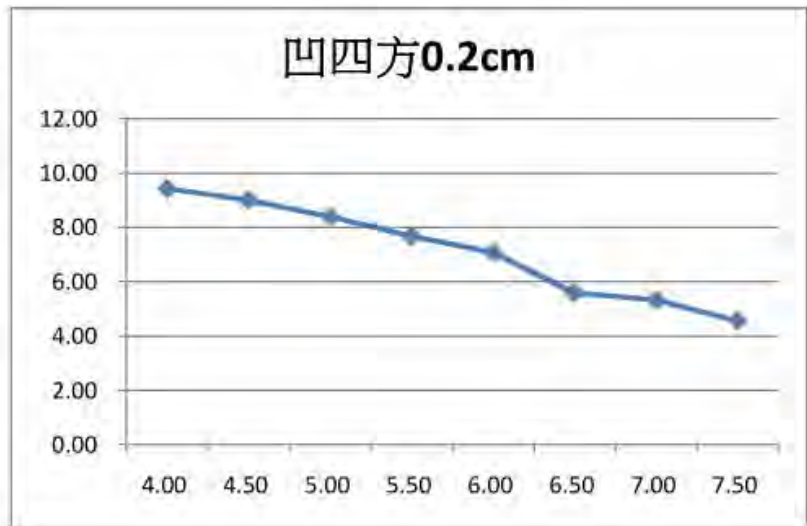
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	II	凸四方 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.59	
4.50	9.51	
5.00	9.03	
5.50	8.45	
6.00	7.71	
6.50	6.49	
7.00	6.17	
7.50	5.19	new



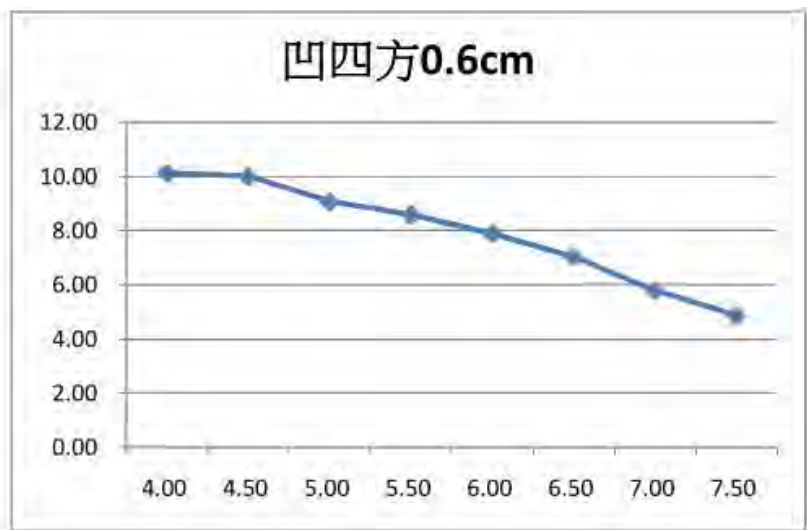
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	F	凸四方 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.96	
4.50	9.80	
5.00	8.88	
5.50	8.48	
6.00	7.73	
6.50	7.02	
7.00	6.02	
7.50	4.88	



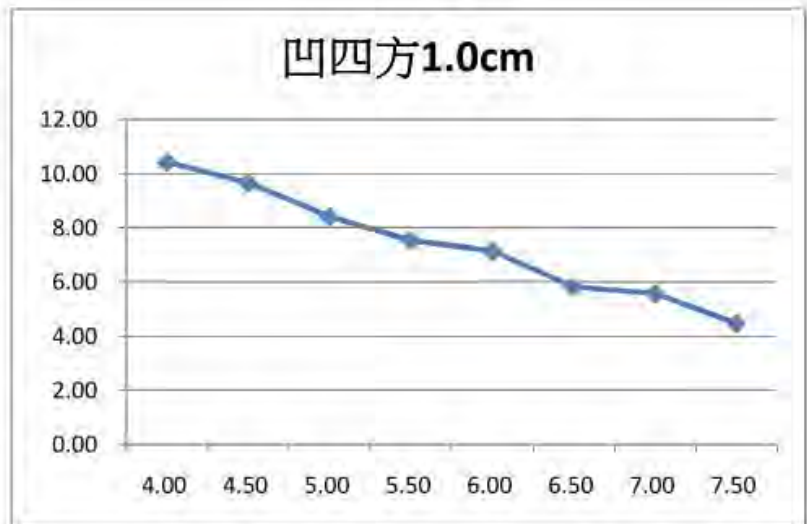
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	E	凹四方 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.43	
4.50	9.01	
5.00	8.38	
5.50	7.66	
6.00	7.09	
6.50	5.58	
7.00	5.32	
7.50	4.57	



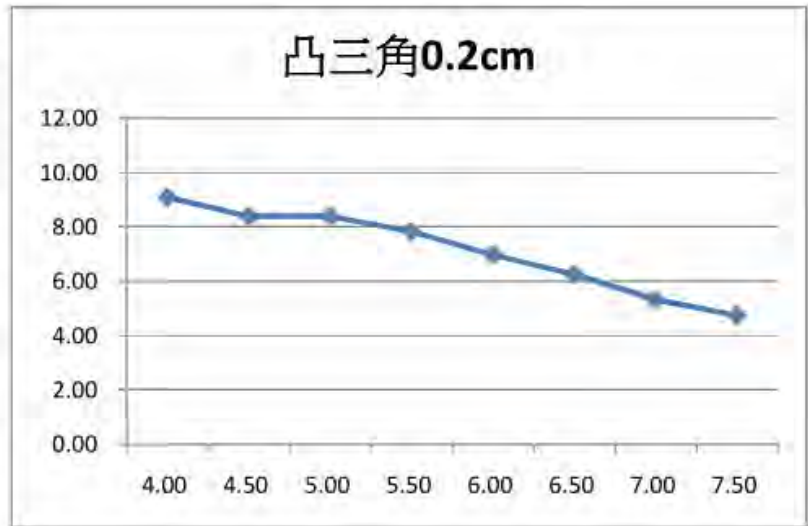
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	JJ	凹四方 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.12	
4.50	10.00	
5.00	9.07	
5.50	8.58	
6.00	7.90	
6.50	7.04	
7.00	5.79	
7.50	4.86	new



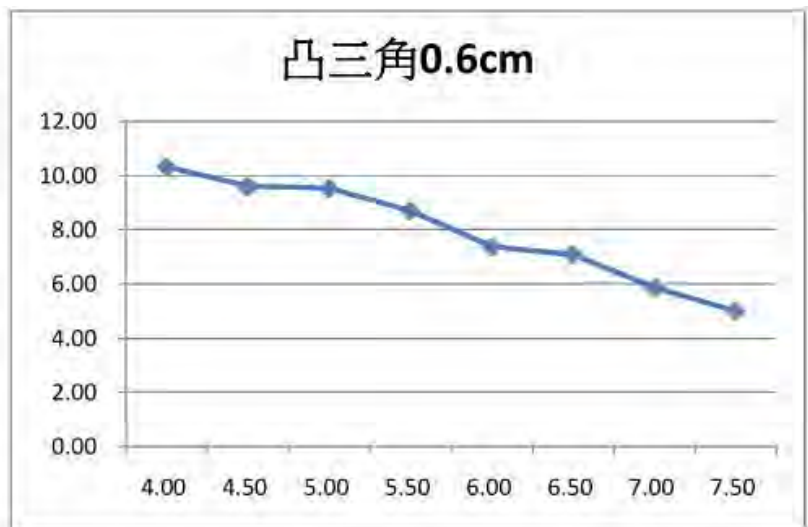
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	G	凹四方 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.42	
4.50	9.65	
5.00	8.42	
5.50	7.53	
6.00	7.15	
6.50	5.81	
7.00	5.56	
7.50	4.47	



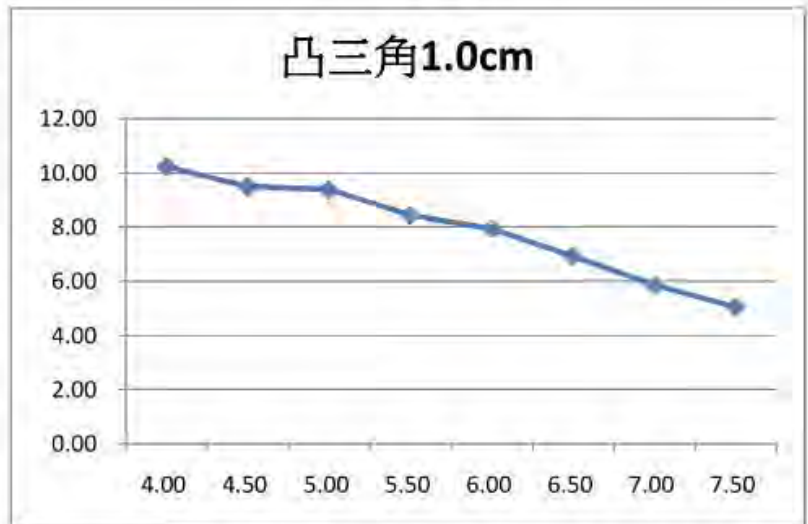
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	I	三角凸 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.08	
4.50	8.39	
5.00	8.39	
5.50	7.82	
6.00	6.96	
6.50	6.25	
7.00	5.31	
7.50	4.73	



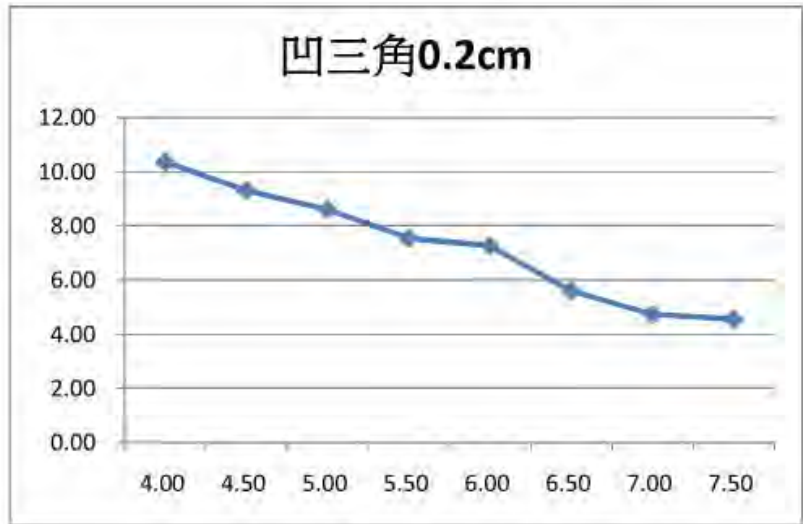
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	K	三角凸 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.33	
4.50	9.59	
5.00	9.53	
5.50	8.70	
6.00	7.37	
6.50	7.09	
7.00	5.87	
7.50	5.00	



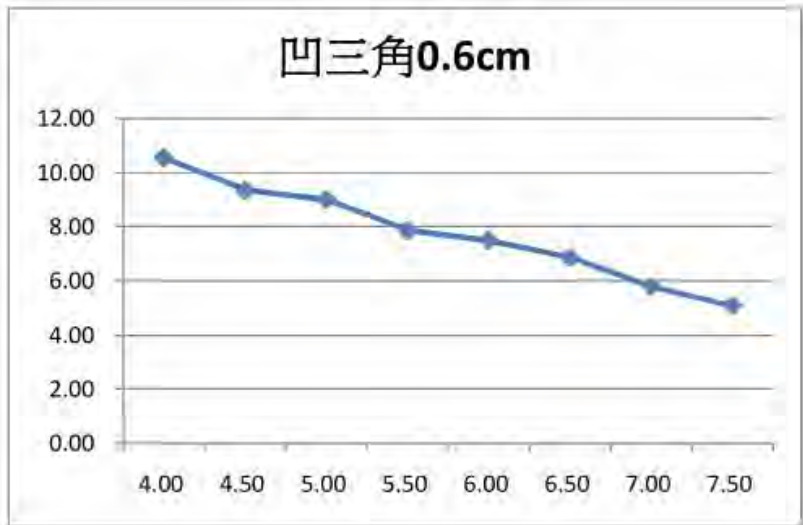
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	L	三角凸 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.23	
4.50	9.50	
5.00	9.37	
5.50	8.43	
6.00	7.94	
6.50	6.93	
7.00	5.86	
7.50	5.05	



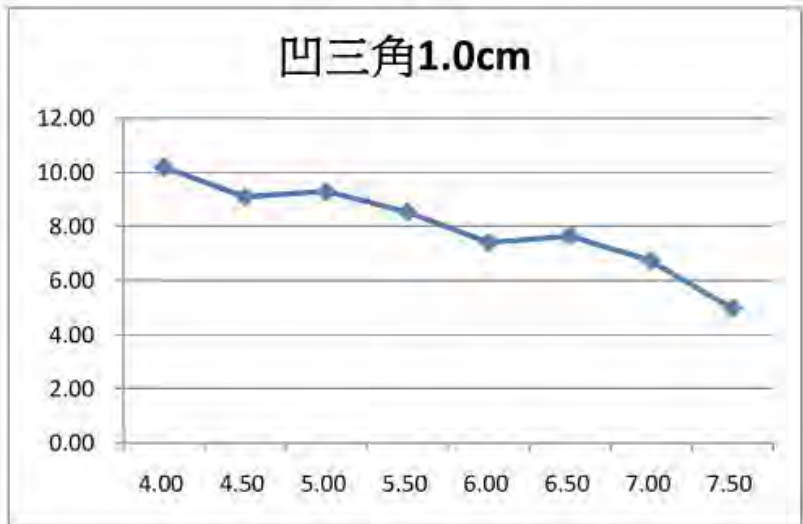
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	H	三角凹 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.36	
4.50	9.30	
5.00	8.59	
5.50	7.54	
6.00	7.27	
6.50	5.59	
7.00	4.73	
7.50	4.55	



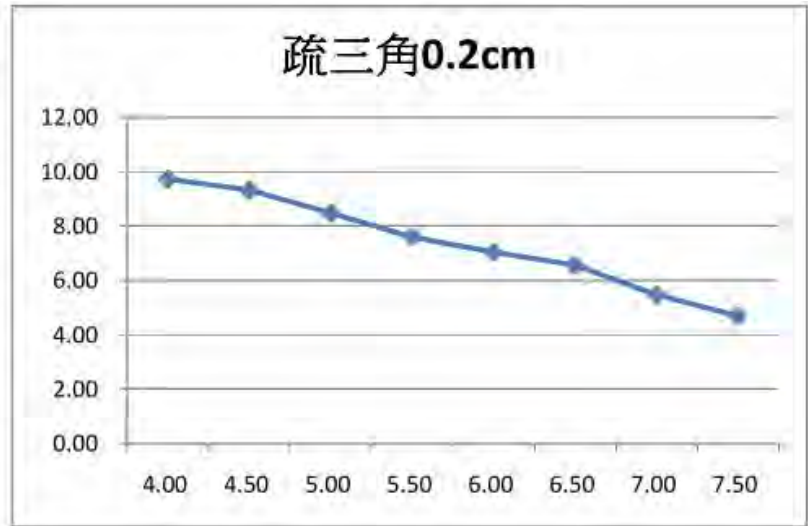
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	J	三角凹 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.55	
4.50	9.35	
5.00	9.00	
5.50	7.86	
6.00	7.50	
6.50	6.87	
7.00	5.80	
7.50	5.08	



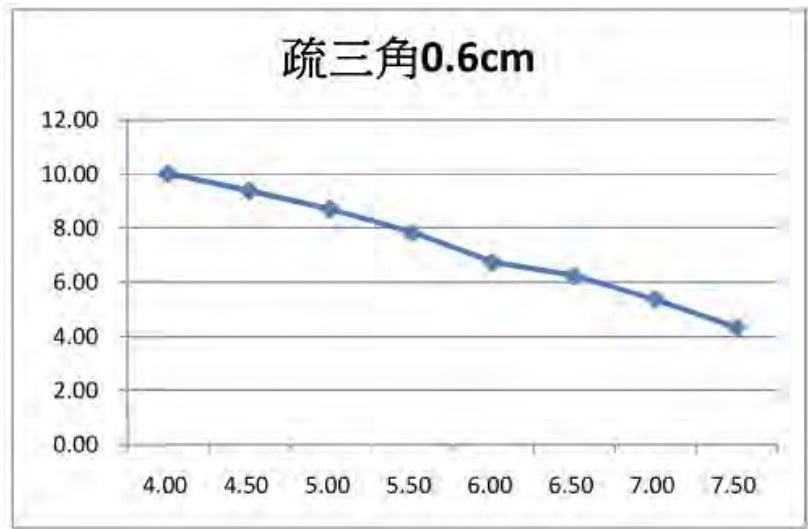
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	M	三角凹 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.18	
4.50	9.09	
5.00	9.28	
5.50	8.53	
6.00	7.39	
6.50	7.64	
7.00	6.72	
7.50	4.97	



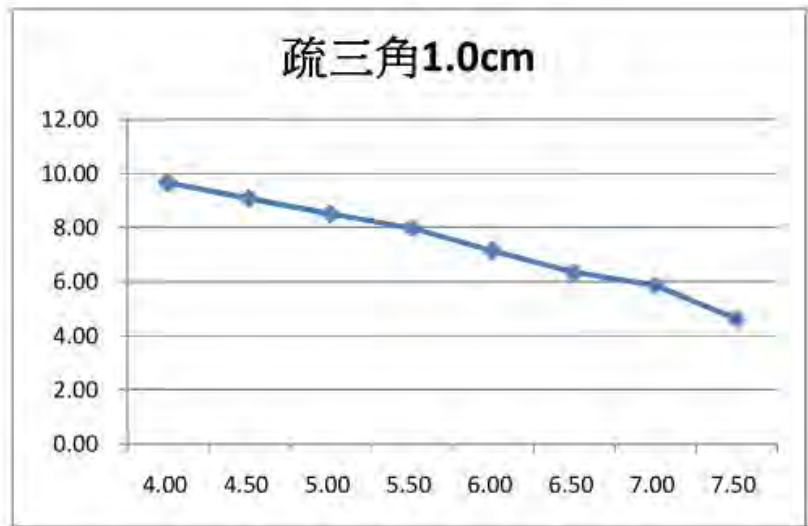
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	CC	疏三角 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.72	
4.50	9.31	
5.00	8.47	
5.50	7.60	
6.00	7.03	
6.50	6.55	
7.00	5.47	
7.50	4.69	



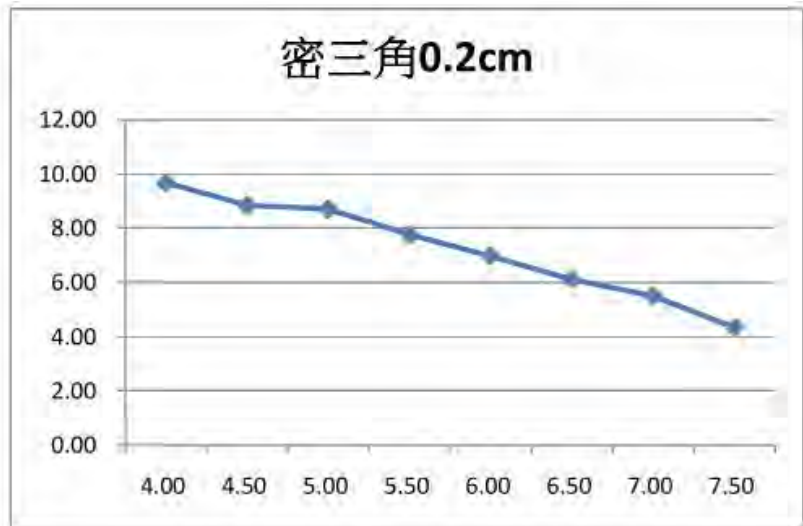
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	DD	疏三角 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.00	
4.50	9.38	
5.00	8.70	
5.50	7.83	
6.00	6.73	
6.50	6.23	
7.00	5.37	
7.50	4.32	



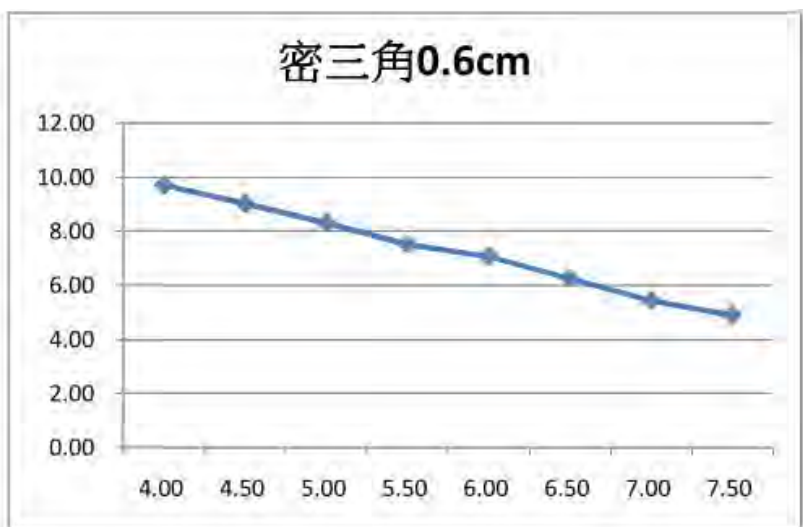
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	EE	疏三角 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.66	
4.50	9.07	
5.00	8.50	
5.50	7.99	
6.00	7.13	
6.50	6.34	
7.00	5.86	
7.50	4.62	



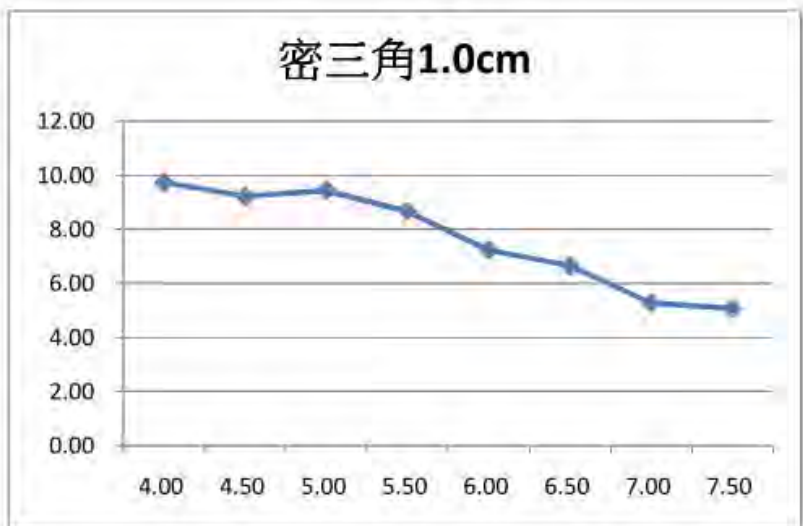
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	Z	密三角 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.67	
4.50	8.84	
5.00	8.70	
5.50	7.77	
6.00	6.98	
6.50	6.11	
7.00	5.51	
7.50	4.34	



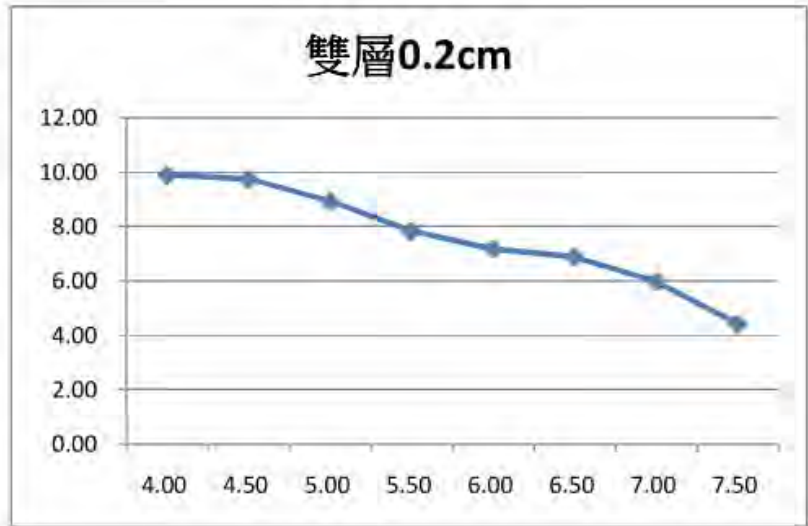
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	AA	密三角 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.70	
4.50	9.03	
5.00	8.31	
5.50	7.52	
6.00	7.06	
6.50	6.26	
7.00	5.44	
7.50	4.90	



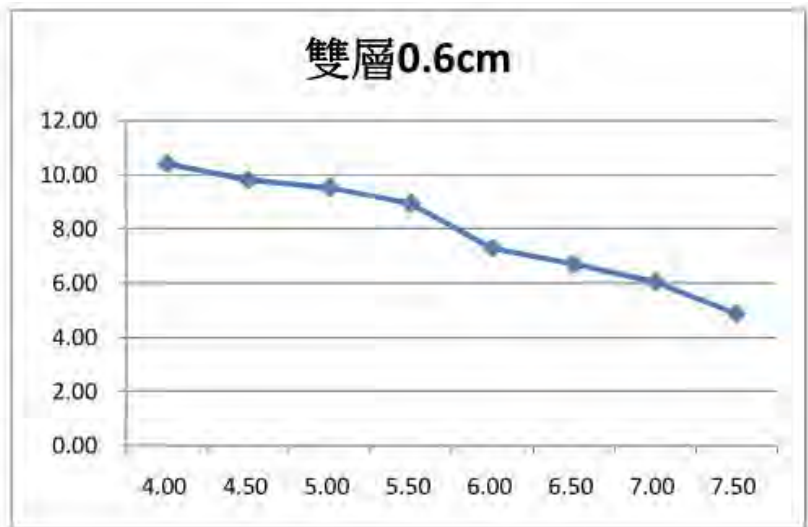
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	BB	密三角 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.72	
4.50	9.22	
5.00	9.44	
5.50	8.67	
6.00	7.23	
6.50	6.66	
7.00	5.28	
7.50	5.07	



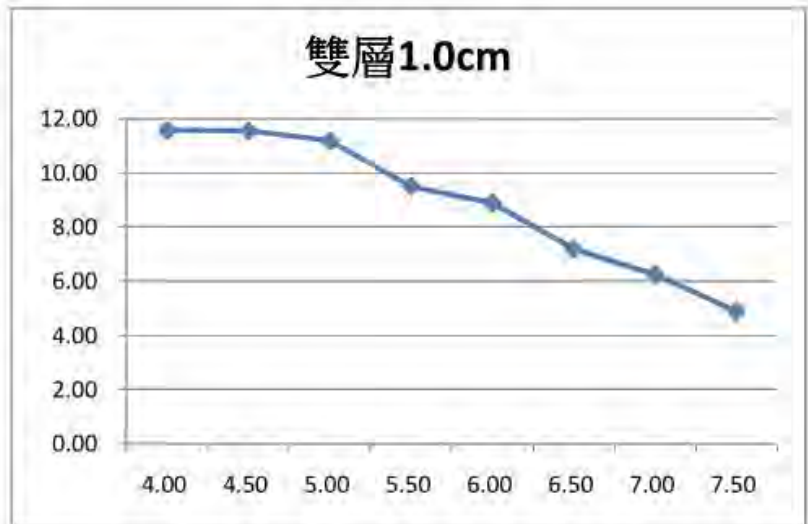
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	T	雙層 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	9.89	
4.50	9.73	
5.00	8.92	
5.50	7.81	
6.00	7.17	
6.50	6.87	
7.00	5.98	
7.50	4.41	



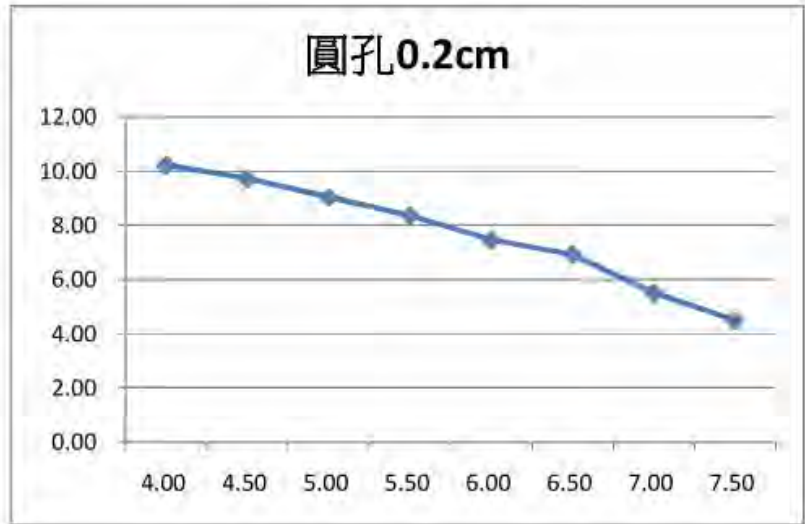
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	U	雙層 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.40	
4.50	9.82	
5.00	9.53	
5.50	8.94	
6.00	7.29	
6.50	6.70	
7.00	6.05	
7.50	4.88	



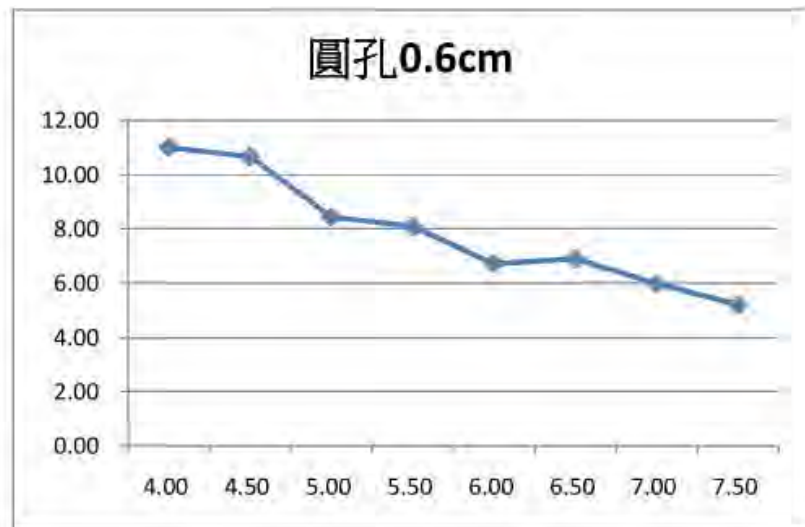
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	V	雙層 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	11.56	
4.50	11.54	
5.00	11.18	
5.50	9.50	
6.00	8.89	
6.50	7.20	
7.00	6.24	
7.50	4.89	



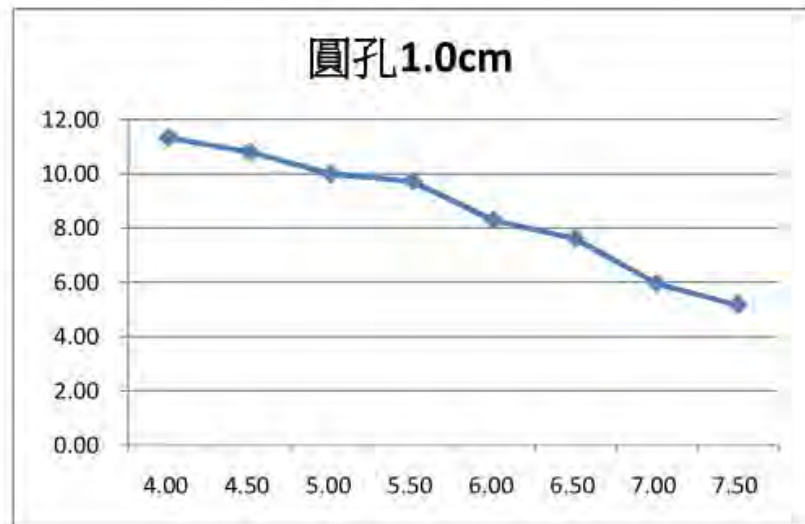
分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	W	圓孔 0.2cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	10.21	
4.50	9.70	
5.00	9.02	
5.50	8.35	
6.00	7.45	
6.50	6.92	
7.00	5.51	
7.50	4.48	



分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	X	圓孔 0.6cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	11.01	
4.50	10.66	
5.00	8.44	
5.50	8.10	
6.00	6.72	
6.50	6.89	
7.00	5.97	
7.50	5.20	



分類	編號系列	杯口改裝
加蓋	Y	圓孔 1.0cm
水位(cm)	加速度平均(m/s ²)	
4.00	11.33	
4.50	10.81	
5.00	9.99	
5.50	9.72	
6.00	8.29	
6.50	7.62	
7.00	5.96	
7.50	5.17	



陸、討論

一、實驗 1:

(一) 水的溢出情形(包含實驗 1~4):經過高速錄影觀察，我們認為水的溢出大約分為下列情形:

1. 平穩型水平溢出:我們推測與水平加速度有關，水平加速度造成水面有一傾斜角，而使水面高度超過杯口高度而溢出。
2. 爆裂型飛濺:少許水從杯中飛出，杯環厚度較厚時較易觀察到，
3. 堆疊型水平溢出:在較寬的容器(如樣品 2)較顯著。我們推測是因為容器底部較寬造成水的衝擊不斷堆疊，而使部分水獲得較大能量而溢出。



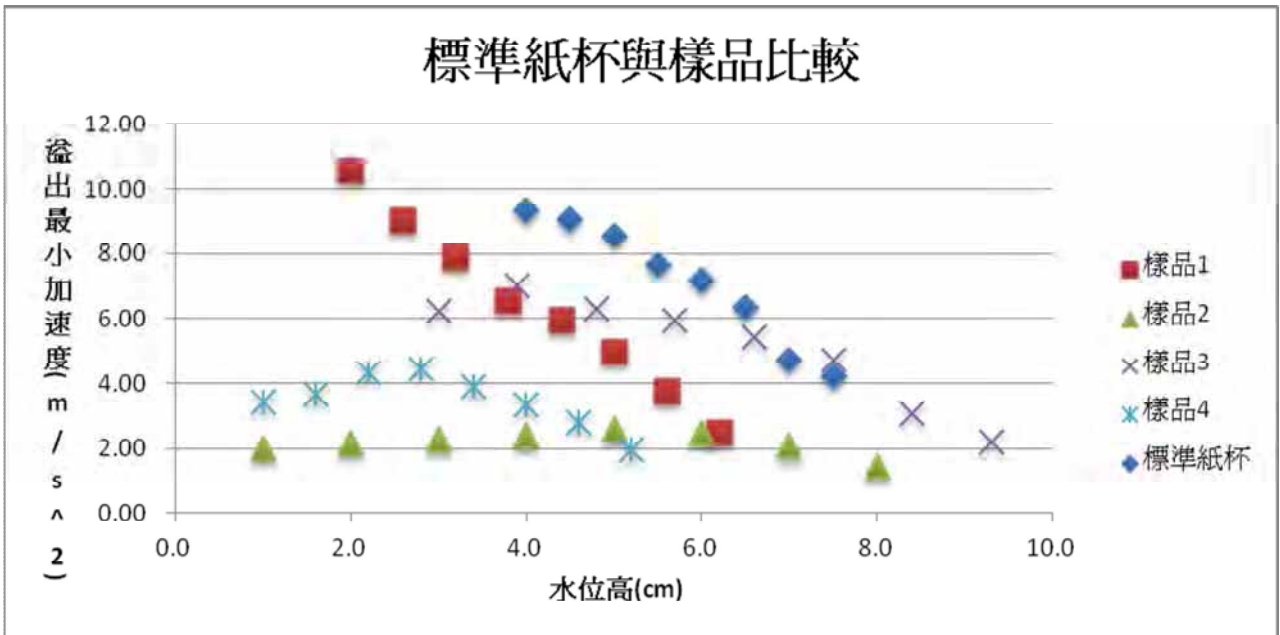
平穩水平溢出:圖 1、圖 2
爆裂型飛濺:圖 3、圖 4
堆疊型水平溢出:圖 5、圖 6



(二) 不同水位高度影響

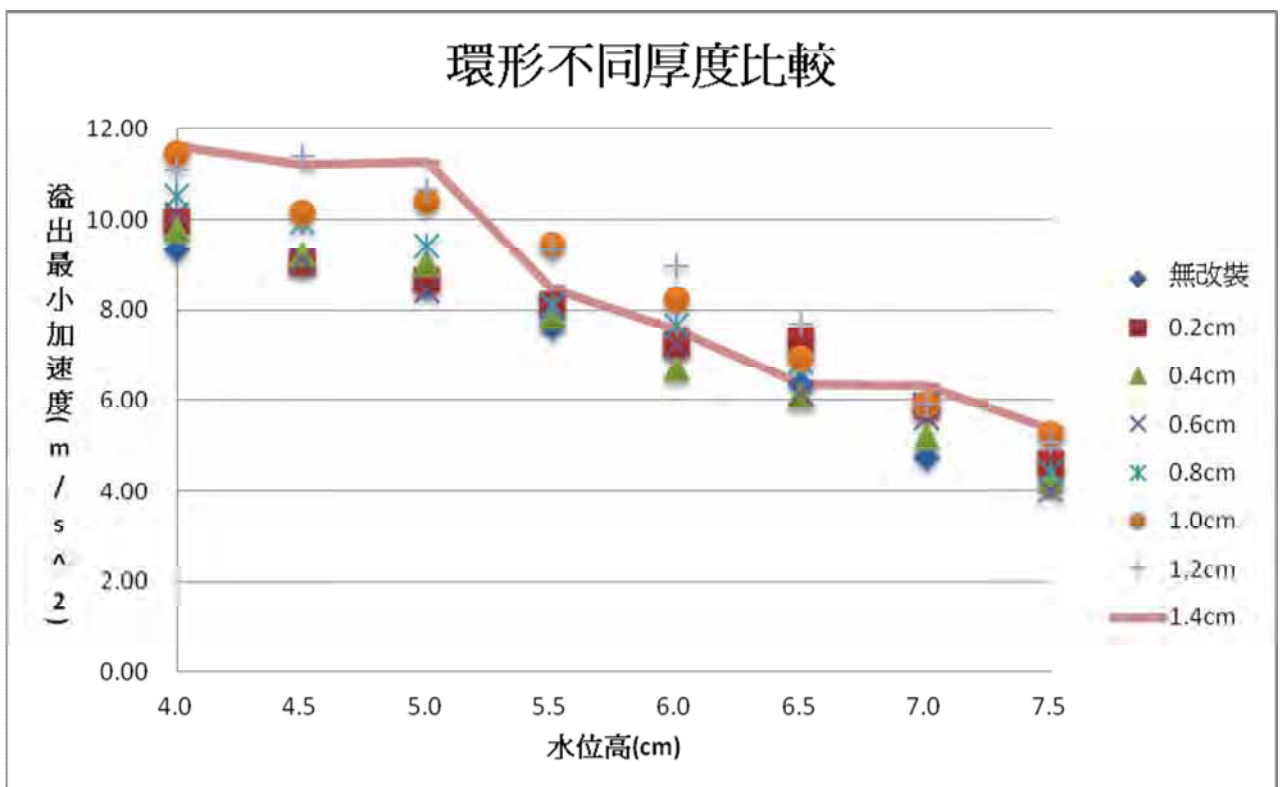
1. 水位高度 7cm、7.5cm 的溢出最小加速度相差減緩(見:研究結果-圖-無改裝)
2. 水位高度越高，最小溢出加速度越小，反之，則最小溢出加速度越大

二、實驗 2:



- (一) 樣品 1: 樣品 1 和標準紙杯的溢出最小加速度曲線有相似關係，溢出的情形也和標準紙杯相似
- (二) 樣品 2: 低水位 2cm 時屬於堆疊型溢出; 水位 2.6cm~5cm 時，杯中水有打轉情形，而不易溢出; 水位 5.6cm~6.2cm 時如同標準杯平穩水平溢出。樣品 2 的溢出最小加速度皆相差不大，觀察到高水位時，水面在振幅小時會隆起，而向杯緣傾斜，會因表面張力作用而不溢出。因此，在高水位時溢出最小加速度數值相近
- (三) 樣品 3、樣品 4: 溢出最小加速度圖形趨勢相似。我們推測: 可能是上內徑和下內徑關係相似，使得曲線趨勢相似

三、實驗 3:

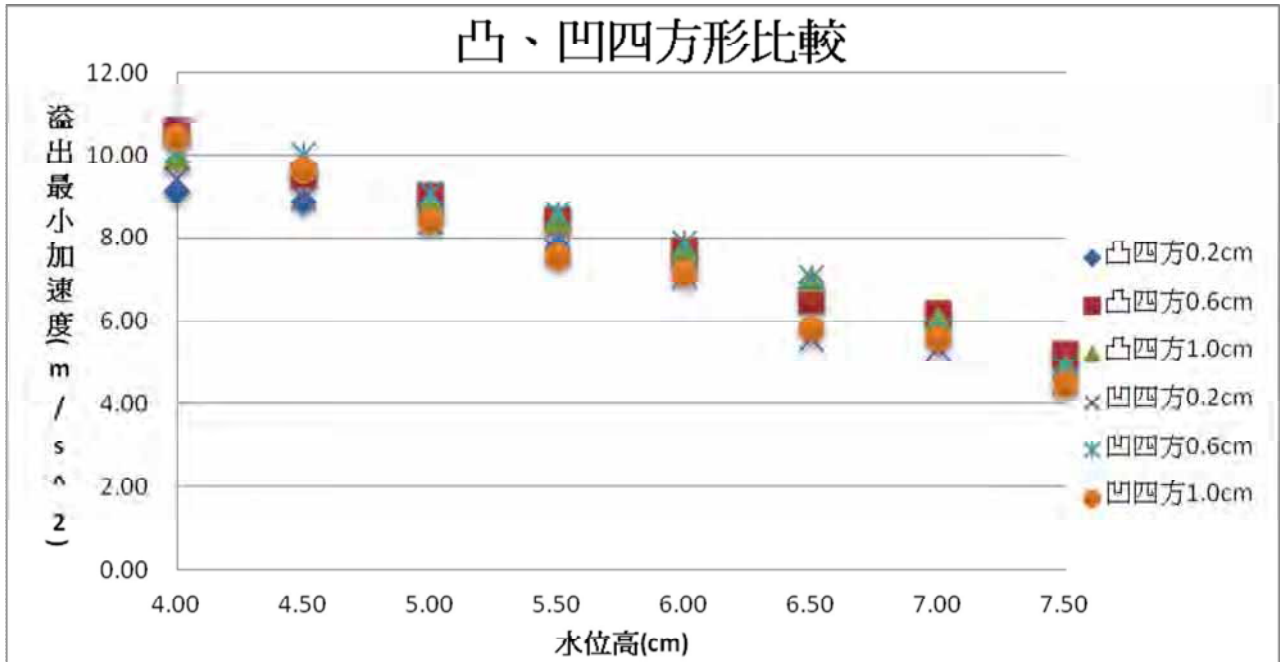


由上圖可觀察到:

- (一) 低水位(4cm~5cm)時，厚度越大，防止溢出效果越佳。我們推測是低水位時，杯環厚度對阻擋堆疊型溢出有效
- (二) 中水位(5.5cm~6.5cm)時，杯環厚度 1.2cm 防止溢出效果超越厚度 1.4cm
- (三) 高水位(7cm~7.5cm)時，杯環厚度的影響相似

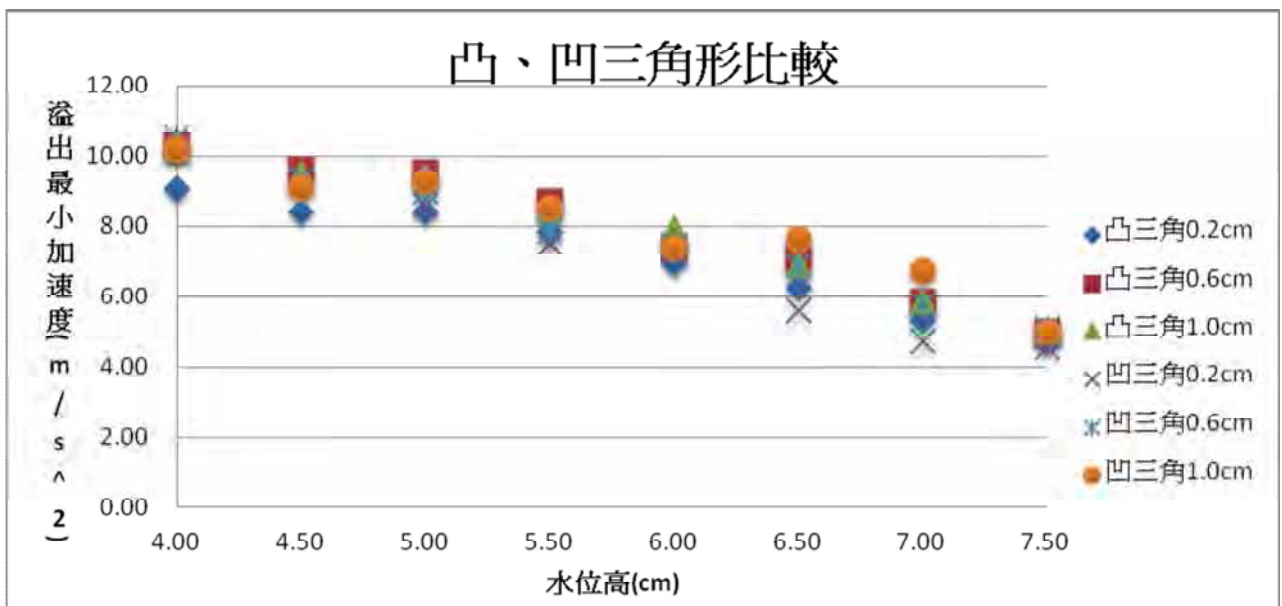
四、實驗 4

(一) 凸、凹四方形杯環比較



由上圖整體來看，凹四方形杯環即使厚度是 1.0cm 時依舊無太強防止溢出效果，而凸四方形杯環厚度 0.6cm、1.0cm 者防止溢出效果均不錯。我們發現凸四方形杯環的單一凸出處能阻擋水尖端，而打碎尖端，使水不往外溢出；凹四方形，其凹處會造成水尖端聚攏，而容易溢出。

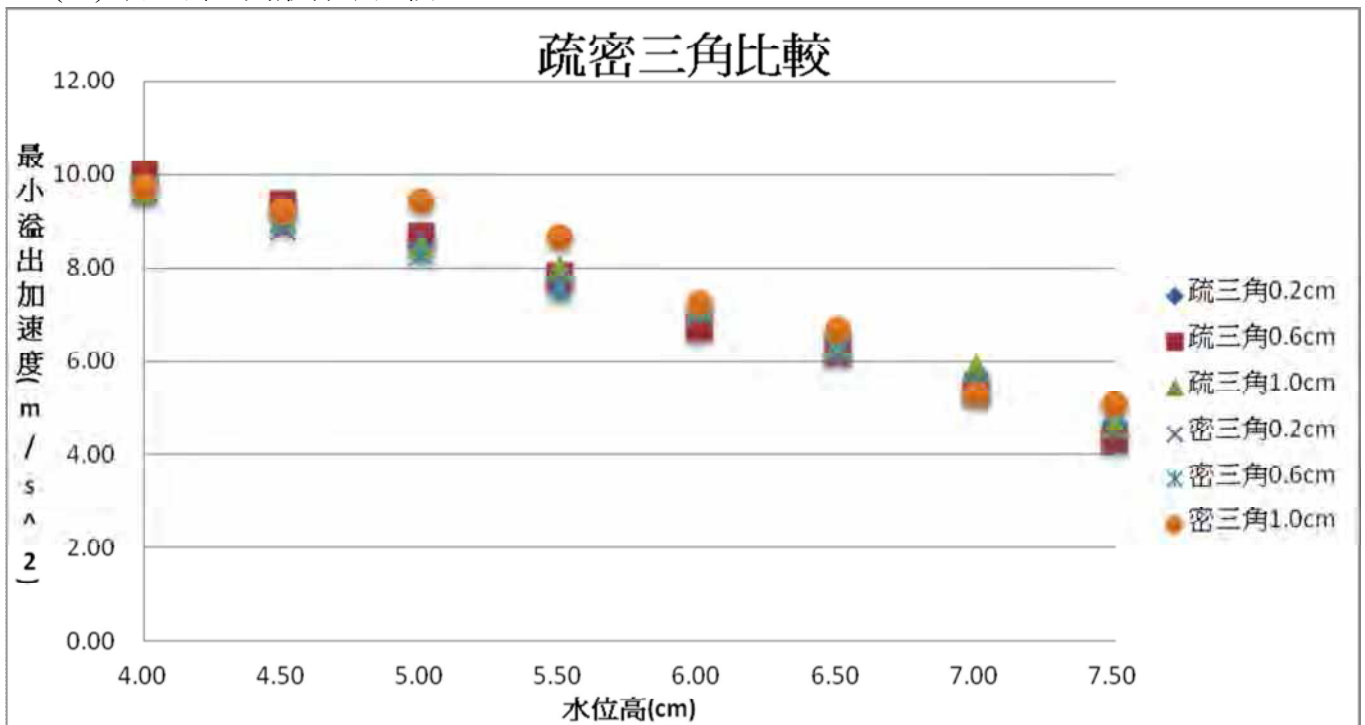
(二) 凸、凹三角形杯環比較



由圖可發現，凸三角形杯環厚度 0.6cm 的防止溢出效果與凸三角形杯環厚度 1.0cm

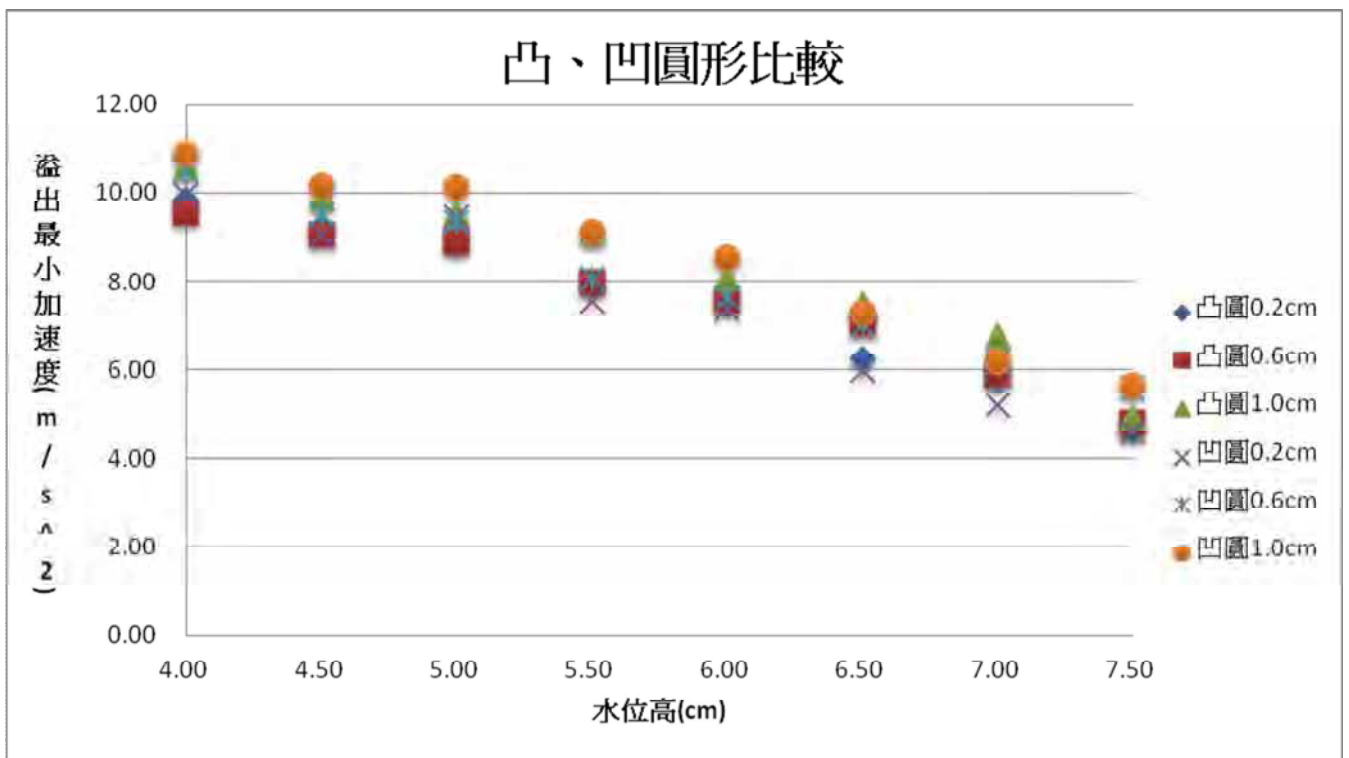
的防止溢出效果無太大差別，而凹三角形杯環厚度 1.0cm 在高水位時防止溢出效果突出，但整體來說兩者防止溢出效果相近，因為水波邊緣寬於三角形的密度，邊緣都會接觸到凸、凹三角處，因此防止溢出效果相近。

(三) 疏、密三角形杯環比較



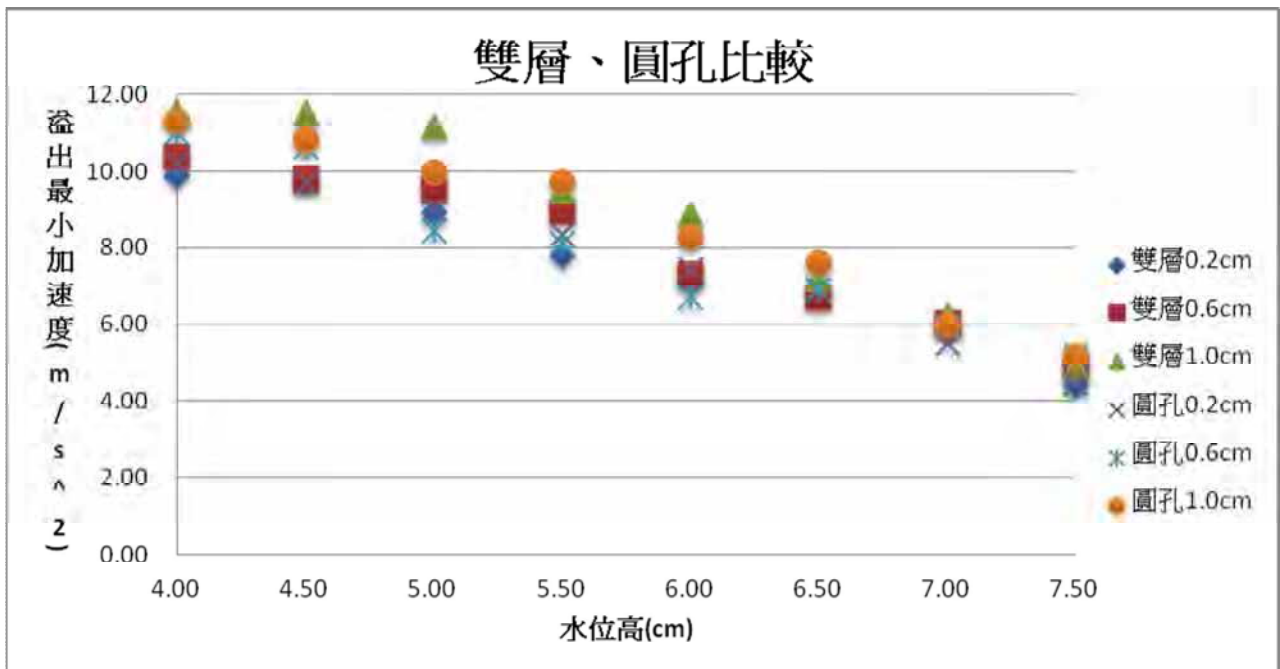
由圖可發現，密三角形杯環比疏三角形杯環佳，因為疏三角形底部寬度較寬(與水波邊緣寬度相近)，使得水溢出的整個波緣在三角凹處聚攏，更易形成堆疊形溢出；密三角形則使波緣碎散，造成爆裂型飛濺，以至於杯環厚度 0.6cm、1.0cm 的密三角防止溢出效果比正常三角效果還差(杯環厚度 0.2cm 時特殊圖形效果尚未顯現，因此效果相近)。

(四) 凸、凹圓形比較



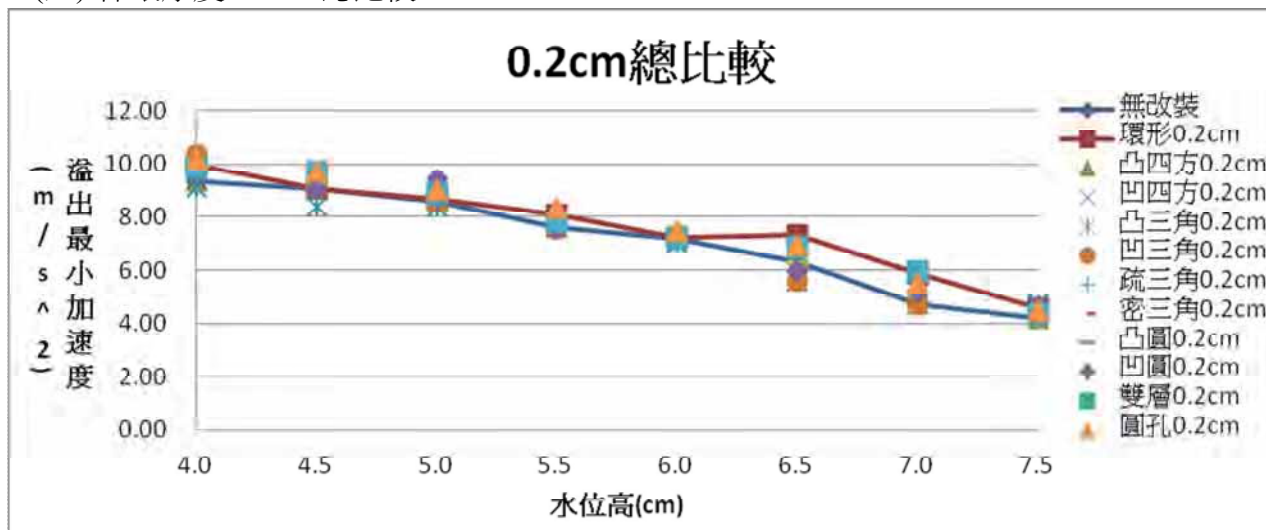
由上圖與研究結果-環形杯環厚度 0.2cm、0.6cm、1.0cm 的圖可發現，低水位時，環形杯環厚度 1.0cm 防止溢出效果比凸、凹圓形杯環防止溢出效果好，因為低水位時的溢出最小加速度較大，波緣來不及受到杯環特殊圖形而改變，因此環形杯環的單純阻擋較有防止溢出效果。凸圓形厚度 1.0cm 與環形厚度 1.0cm 在高水位時，凸圓形防止溢出效果較佳，因為高水位時溢出最小加速度較小，波緣受到特殊圖形而改變形狀，在水撞擊凸圓間縫時，會造成波緣改變而逆流回去，就像是凸、凹三角形厚度 1.0cm 一樣，但是凸、凹三角形厚度 1.0cm 會有聚攏效果而較易溢出，因此，凸圓防止溢出效果勝過於凸、凹三角形。凹圓厚度 1.0cm 又比凸圓更佳，因為水波緣打到凹圓處の間縫時會被拉寬，加上又可改變波緣而逆流。整體來講，杯環厚度 1.0cm 時防止溢出效果:凹圓杯環>環形杯環>凸圓杯環。

(五) 雙層、圓孔比較

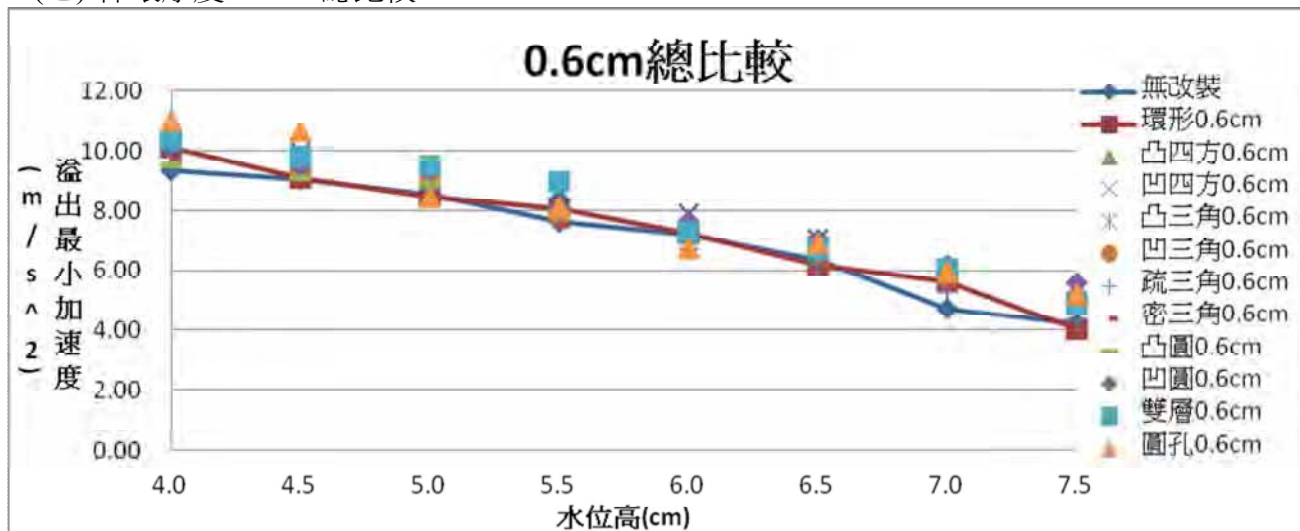


雙層杯環可造成二次阻擋，水面在陷入兩環之間時會拉寬波緣，不同水位高度都有不錯的防止溢出效果。圓孔杯環，在水一開始進入其孔洞時波緣會凹陷而撞擊，與後來的水相互撞擊抵銷，使該區域的水尖端被破壞散開，而有不錯的防止溢出效果。

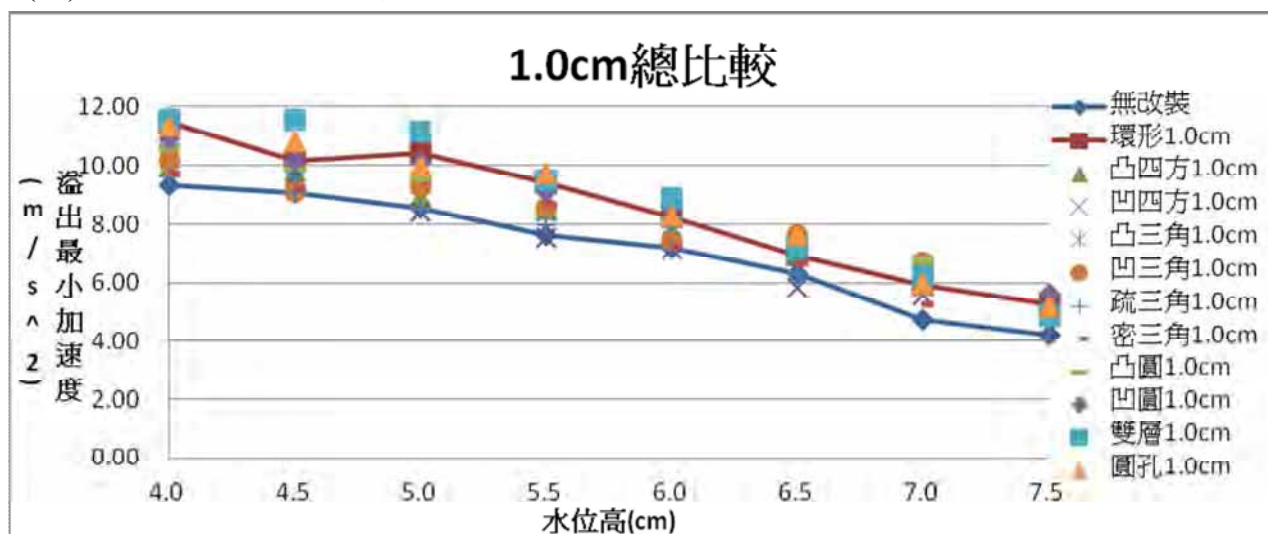
(六) 杯環厚度 0.2cm 總比較



(七) 杯環厚度 0.6cm 總比較



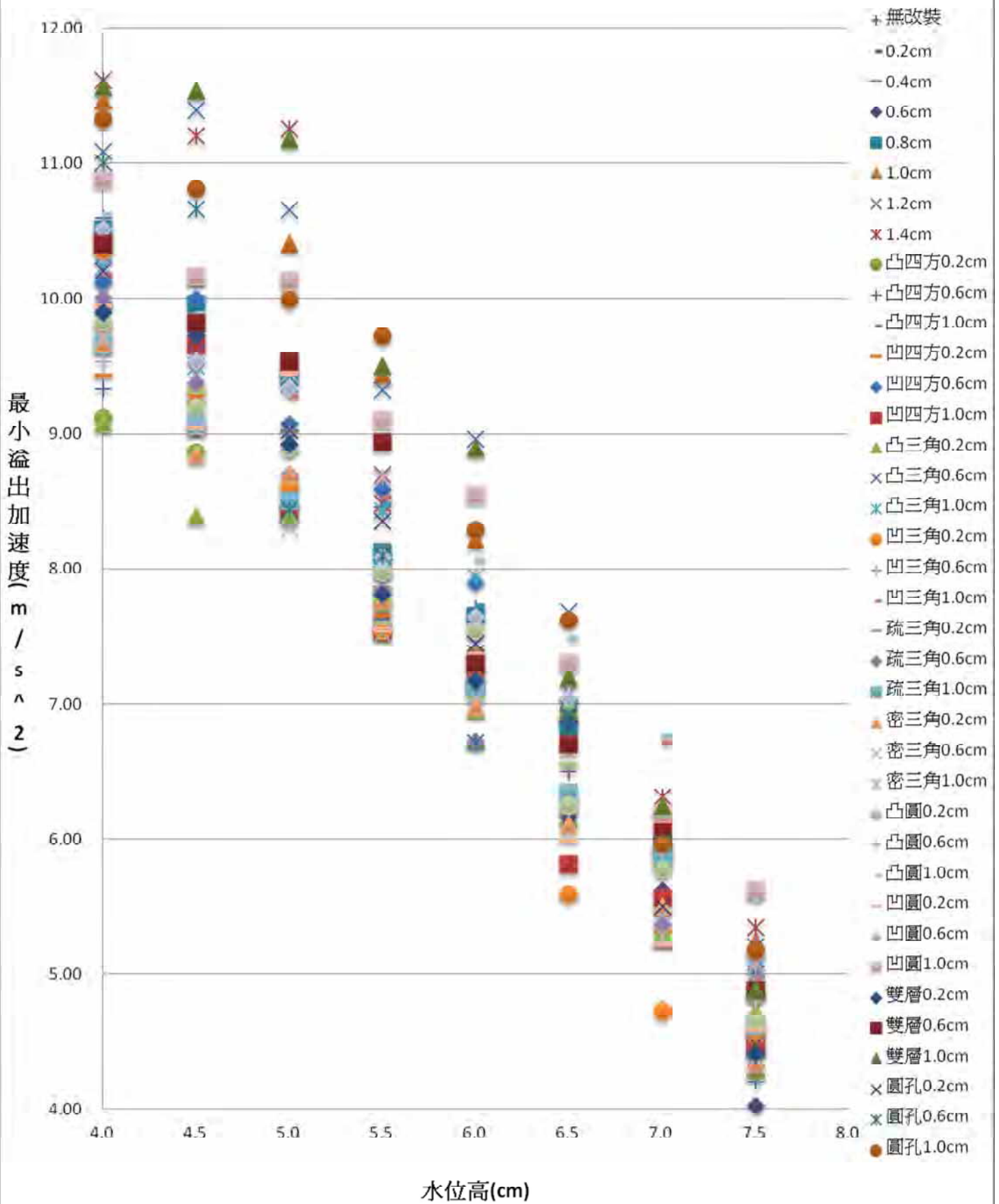
(八) 杯環厚度 1.0cm 總比較



由上方三張圖可知:無改裝與環形杯環防止溢出效果在厚度 1.0cm 時開始差異變大。同水位時各杯環圖形的溢出最小加速度差異變大,代表環形杯環和各種圖形杯環的功能在厚度 1.0cm 時才較明顯。

柒、結論

總比較圖



一、總比較圖防止溢出效果前三名總整理

水位高(cm)	名次	杯環形狀厚度	名次	杯環形狀厚度	名次	杯環形狀厚度
4.0cm	1	環形 1.4cm	2	雙層 1.0cm	3	環形 1.0cm
4.5cm	1	雙層 1.0cm	2	環形 1.2cm	3	環形 1.4cm
5.0cm	1	環形 1.4cm	2	雙層 1.0cm	3	環形 1.2cm
5.5cm	1	圓孔 1.0cm	2	雙層 1.0cm	3	環形 1.0cm
6.0cm	1	環形 1.2cm	2	雙層 1.0cm	3	凹圓 1.0cm
6.5cm	1	環形 1.2cm	2	凹三角 1.0cm	3	圓孔 1.0cm
7.0cm	1	凸圓 1.0cm	2	凹三角 1.0cm	3	環形 1.4cm
7.5cm	1	凹圓 1.0cm	2	凹圓 0.6cm	3	環形 1.4cm

1. 由總比較圖可發現，水位高度 5cm~5.5cm 間溢出最小加速度驟降
2. 我們設計的特殊形狀(例如:雙層杯環厚度 1.0cm、凸凹圓杯環厚度 1.0cm)在中、高水位時防止溢出效果突出，代表經過設計後的擋水杯環，有辦法超越一般的環形杯環
3. 不同水位因加速度而造成的溢出情形有不同種類，因此每種水位皆有其較有優勢的杯環，且厚度越厚不一定代表越好或越有效果

二、總比較圖防止溢出效果倒數三名總整理

水位高(cm)	名次	杯環形狀厚度	名次	杯環形狀厚度	名次	杯環形狀厚度
4.0cm	1	凸三角 0.2cm	2	凸四方 0.2cm	3	無改裝
4.5cm	1	凸三角 0.2cm	2	密三角 0.2cm	3	凸四方 0.2cm
5.0cm	1	密三角 0.6cm	2	凹四方 0.2cm	3	凸三角 0.2cm
5.5cm	1	密三角 0.6cm	2	凹四方 1.0cm	3	凸三角 0.2cm
6.0cm	1	環形 0.4cm	2	圓孔 0.6cm	3	疏三角 0.6cm
6.5cm	1	凹四方 0.2cm	2	凹三角 0.2cm	3	凹四方 1.0cm
7.0cm	1	凹三角 0.2cm	2	無改裝	3	環形 0.4cm
7.5cm	1	環形 0.6cm	2	無改裝	3	環形 0.4cm

1. 倒數後三名有些設計竟比無加裝杯環的防止溢出效果更差，尤其是三角形杯環，我們推測可能是三角形杯環造成集中作用，使得更容易溢出
2. 雙層、凸凹圓杯環沒有出現在表中，可見其形狀較能因應各種不同水位高度所造成的溢出情形

三、總特殊效果整理(特性明顯:2 部分顯現:1 無此特性:0)

功能 圖形	阻擋	二次阻擋	拉寬	聚攏 (容易溢出)	打碎	逆流	孔內碎擊
環形	2	0	1	0	1	1	0
凸四方	1	0	1	0	2	1	0
凹四方	1	0	0	2	1	1	0
凸、凹三角	1	0	1	2	1	1	0
疏三角	1	0	2	2	1	1	0
密三角	1	0	1	1	2	1	0
凸圓	1	0	1	0	1	2	0
凹圓	1	0	2	1	1	2	0
雙層	2	2	2	0	1	1	0
圓孔	2	1	1	0	2	1	2

捌、未來展望

總體來說，雙層杯環能以較小的厚度造成較佳的防止溢出效果，可推論雙層結構造成的雙重阻擋效果能有極強勢的表現，所以我們可以進一步使用更多層的阻擋，即三層、甚至四層，以期做出防止溢出效果更好的杯環。我們亦可以將雙層與其他形狀做出結合，以強化各種水位的防止溢出效果。

除此之外，不同的咖啡有著不同的物理性質(如:密度、黏滯性、表面張力)，而這些都會造成溢出情形的些許差距，我們希望能對此做更深入的研究。

至於各種杯子的部分，我們可以深入探討其不同水位的溢出情形，以及做出更多元的杯環，使我們的作品能更加廣泛的應用。

玖、參考資料及其他

Walking with coffee: why it spills? (H.C. Mayer and R. Krechetnikov. Dept. of Mech. Engr.,

University of California, Santa Barbara, CA 93106, USA)

【評語】 040801

本作品旨在探討咖啡杯蓋防溢之設計。團隊合作無間，口頭與書面報告均佳。本作品除了考慮走路加速外，若能加上摩托車或自小客車上及路面環境因素，再加上防漏觸唇之長度及各種不同因素，並與現有杯蓋之溢出結果比較，甚或設計密合度更高不漏結構則更佳。