

嘉義市第 38 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：洪流大“隊”抗

關鍵詞：八掌溪、流體力學

編號



摘要

曾在社群軟體裡看到一個日本筑波大學水泳研究室的實驗影片，該校建製了一個模擬洪水突然來襲時的真實場景，場景上的一些人排成幾種不同的隊形，測試哪種隊形在洪水沖擊下能存活下來？結果是當所有人以**正面面向洪水、彼此緊貼、排成一直列，最不易被大水沖走**。民國 89 年台灣曾經發生的悲劇—八掌溪事件，因山區大雨溪水暴漲，四名工人受困於洪流中，但最後仍不幸被大水沖走。因為台灣降水豐沛且坡陡流急，所以當我們在溪邊遊玩時，若是突然溪水暴漲，該如何因應才能不被洪水沖走，提高存活率？

因此本研究探討在不同的水流量與地面摩擦力作用下，隊形中的哪個位置是最危險的，何種排列的隊形是最安全。研究結果如下：隊形的**存活率**大致上在**大水沖擊下存活率最低，在小水沖擊下最高**；不同的**地面摩擦力**對於隊形的存活率**沒有顯著的影響**；位置排列在**隊形最前面**的人是隊形中**最危險的位置**；所有隊形的排列皆以**直排縱向(牛奶瓶側面)、彼此緊貼，存活率最高，且隊形上的人數從 1 個增加至 3 人時，整體的存活率也跟著增加，人數為 3、4、5 人時存活率則皆為 100%**。

壹、研究動機

之前曾經在社群軟體裡面看到一個日本筑波大學水泳研究室的實驗影片，研究當洪水突然來襲時，溪流上的人排成哪種隊形最安全，能增加生還機會，結果是當所有人以**正面面向洪水、彼此緊貼、排成一直列，最不易被大水沖走，能夠存活下來**。這個影片讓我們聯想到民國 89 年台灣曾經發生的悲劇—八掌溪事件，四名工人在嘉義縣八掌溪施工時，因山區大雨溪水暴漲，受困於洪流中，四人當下因極度恐慌，故彼此手牽手緊緊依偎在一起，但最後仍不幸被大水沖走。不僅在台灣，到網站搜尋八掌溪事件時，同時也發現了印度版的八掌溪事件，影片中一家五口被沖走的畫面也是令人觸目驚心。

台灣因降水豐沛而有眾多的溪流，每逢夏日是大人與小孩最喜歡玩樂的地方，但因坡陡流急，故也潛藏著看不到的危機，萬一在溪邊遊玩時，突然溪水暴漲，來不急疏散，情急之下，我們能如何自保，不被洪水沖走，提高存活率？此時的我們心想，藉由改變隊形真的能提高存活率嗎？這個疑慮激起我們強烈想做此研究的動機。

貳、文獻探討

當我們決定研究此主題時，首當其衝遇到的問題便是我們該如何排列出最安全的隊形，溪流上的人之所以會被沖走是因為受到水流的沖擊所帶來的流體拉力，我們需降低此阻力才能提高生存率，查詢相關文獻(張立羣，2014)後得知流體阻力的產生可用下列方程式來量化：

$$F_D = \frac{1}{2} \times C_D \times A \times \rho \times v^2$$

F_D 代表流體產生的阻力

C_D 代表阻力係數，它會隨著運動物體與流體的相對方位而改變(流體流線的狀態)

A 是物體面對流體的接觸面積

ρ 是流體密度

v^2 是代表流體相對於物體的速度

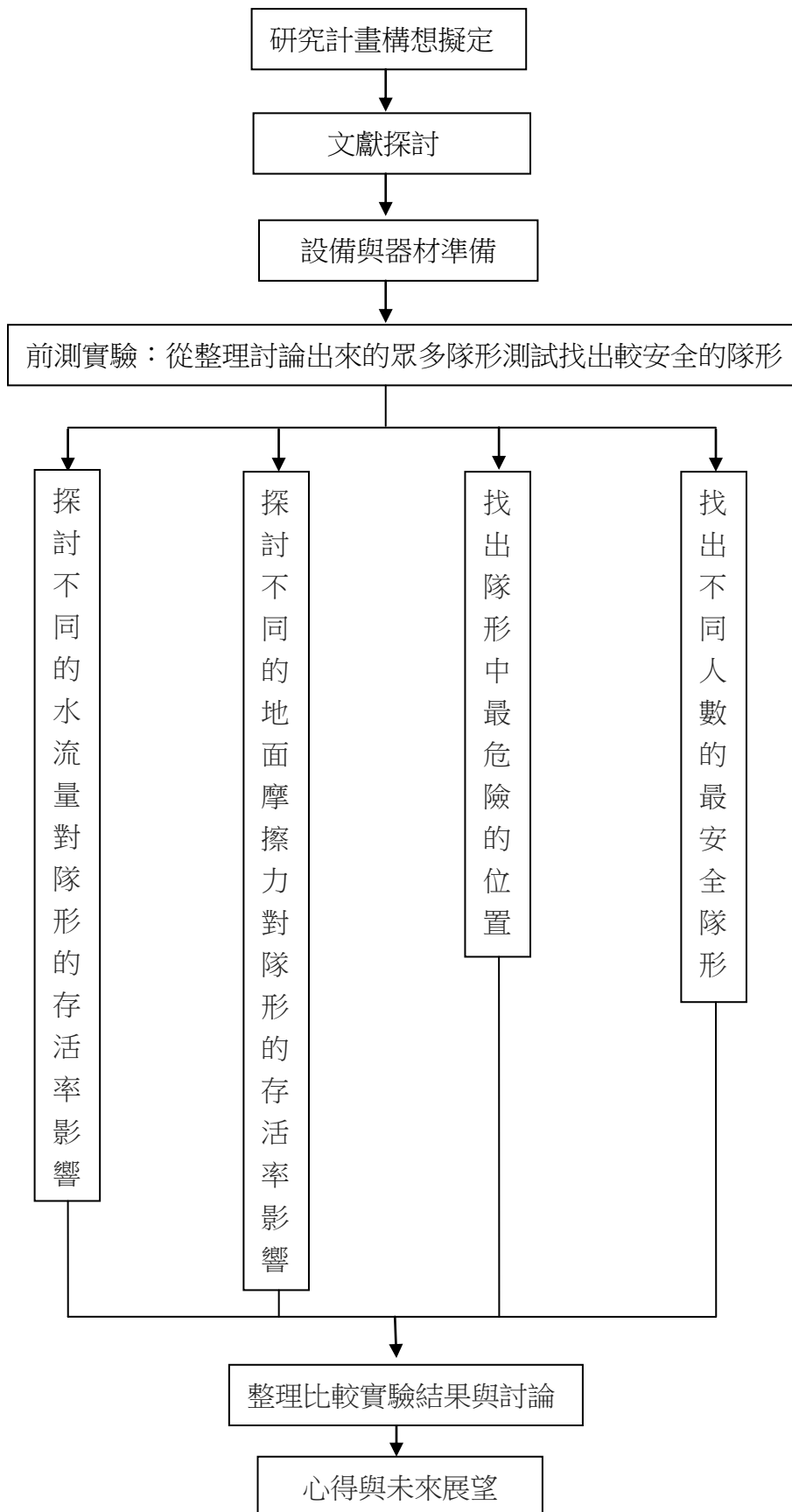
故我們在排列隊形時參考上述方程式，以期找到最安全的隊形。

參、研究目的

透過不同的水流量及地面摩擦力等變因來測試不同人數時的最安全隊形，本研究將朝以下幾個面向進行深入的探討：

- 一、探討不同的水流量對隊形的存活率影響
- 二、探討不同的地面摩擦力對隊形的存活率影響
- 三、找出隊形中最危險的位置
- 四、找出不同人數的最安全隊形

肆、研究流程



伍、研究設備與裝置及用途介紹

我們到大賣場購買了一個書櫃並拿到校內的生科教室改裝如圖一，各裝置用途說明如下：

- 一、**牛奶瓶**：藍色長方體(8.6cmx4.6cmx3.0cm)，瓶重 141gw，內含牛奶 125ml，網上電工膠帶以模擬溪流上站立的人，因為牛奶的密度大概是 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 與人體相近，以牛奶瓶面積最大的一面(如圖二的甲面)模擬人體的正面，面積第二的一面(如圖二的乙面)模擬人體的側面。
- 二、**砂紙**：每張砂紙的尺寸大小相同(長:28.0cm、寬:22.9cm)，選用三種不同規格，分別為 AA-400(表面較為細緻，摩擦力較小)、AA-240(摩擦力中等)、AP-80(表面較為粗糙，摩擦力較大) 如圖三。
- 三、**蓄水槽**：裝置內的蓄水槽長為 41.0 公分、寬為 39.5 公分，每次操作時固定裝水至水高 12.7 公分處，故蓄水槽內水的體積固定為 $41.0 \times 39.5 \times 12.7 = 20568\text{ mL} = 20.568\text{ L}$ 。
- 四、**瓶裝水**：瓶裝水內裝水 2450mL。
- 五、**定滑輪**：瓶裝水與閘門間以棉線連接，利用定滑輪改變施力方向，瓶裝水落下的同時，閘門就會被往上拉。
- 六、**閘門**：閘門開啟，蓄水槽內的水便會流出。閘門的材質是三合板可能會有些微的吸水狀況，故在其周圍貼上膠帶密封，減少水的滲透。



圖一

操縱變因中所指的小水是指閘門拉高 3 公分；

中水是指閘門拉高 6 公分；大水是指閘門拉高 9 公分。

註 1：蓄水槽內水的體積是固定的

(1)閘門拉高 3 公分時，蓄水槽內的水花了約 7.2 秒流光，

故平均水流量為 $20.568\text{ L} / 7.2\text{ s} = 2.86\text{ L/s}$

(2)閘門拉高 6 公分時，蓄水槽內的水花了約 5.3 秒流光，

故平均水流量為 $20.568\text{ L} / 5.3\text{ s} = 3.88\text{ L/s}$

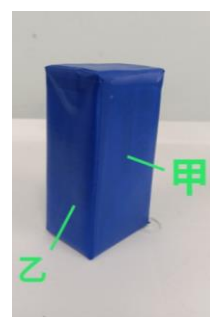
(3)閘門拉高 9 公分時，蓄水槽內的水花了約 3.5 秒流光，

故平均水流量為 $20.568\text{ L} / 3.5\text{ s} = 5.88\text{ L/s}$

故閘門拉的越高，平均水流量越大。

- 七、**擋板**：裝置中側邊的擋板是為了避免打開閘門時，閘門因慣性而持續往上移動，超出原本預設的閘門高度。

- 八、**抽水馬達**：操作時蓄水槽的水會因閘門開啟而流至下方的橘色水桶，再利用抽水馬達將水抽至蓄水槽，讓水



圖二



圖三

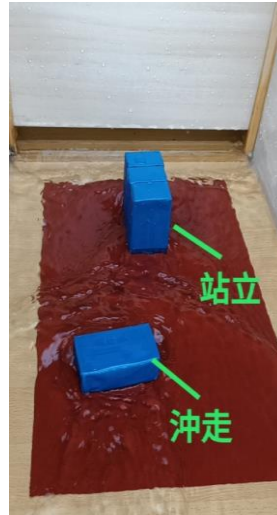
資源重複回收再利用，避免造成浪費。

九、**膠帶**：裝置中**膠帶**的功能是避免操作過程中牛奶瓶被沖刷到下方的水桶，導致撿拾時間增加。

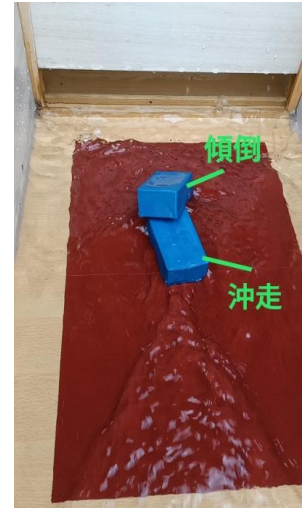
陸、研究過程與方法

一、設備操作說明

操作前先將所欲測試的砂紙(2張、相同號數)前後左右對齊，擺放位置的前緣與閘門距離6cm，利用雙面膠黏貼牢固，將牛奶瓶排列出欲測試的隊形，請一位甲生將瓶裝水抬高，讓連接在閘門與瓶裝水的棉繩呈現微鬆的狀態，此時閘門會受重力作用而落至底部，緊接著利用抽水馬達將蓄水槽的水裝至所需的高度，當一切就緒時請甲生放手，瓶裝水會因為受重力作用而落下，緊接著閘門也會被拉高，水流便會沖刷而下，記錄牛奶瓶被水流衝擊後的情形(站立、沖走、傾倒)如圖四、圖五，改變不同高度的閘門及粗細不一的砂紙，排列所有欲測試的隊形，重複上述步驟並記錄。



圖四



圖五

二、前測隊形討論

參考流體阻力的相關影響因素後，我們依照以下原則考慮隊形的排列：

- (一)隊形外觀趨近於流線型，以減少截面拉力。
- (二)降低隊形的迎面面積與水流的接觸面積。但因考量實驗需有對照組，故也排列出最大接觸面積的隊形，以做比對。

最後將所有欲測試的隊形整理如表一

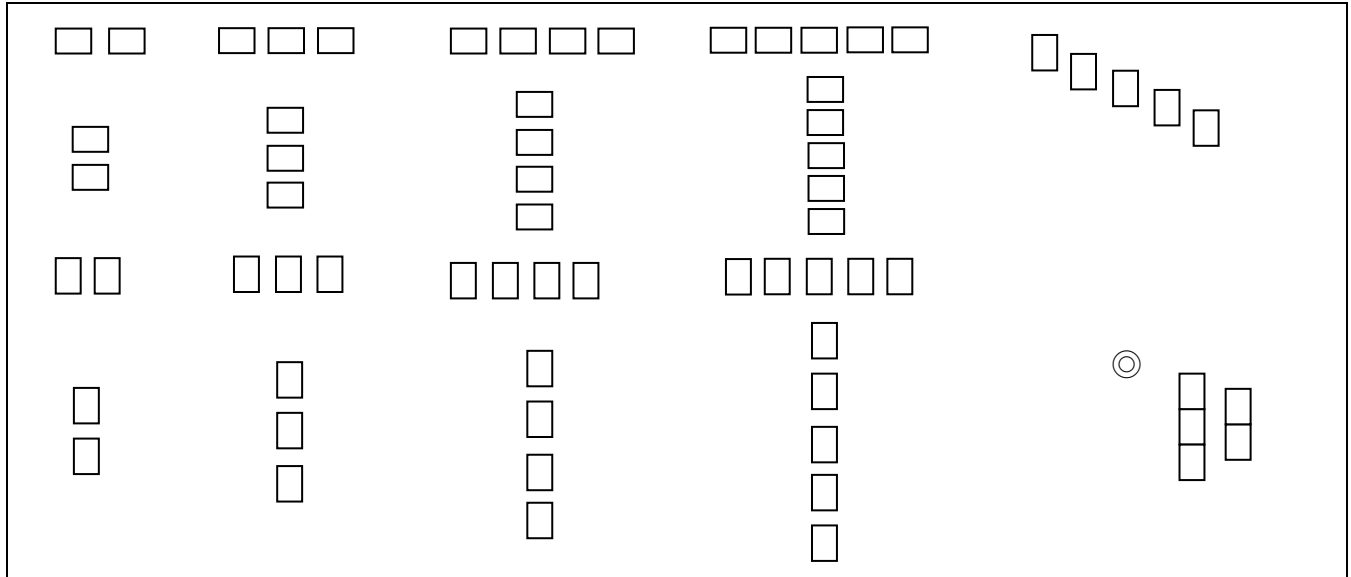
此實驗中的流體密度屬控制變因，不予討論。水的流速會與源頭所施加的壓力及裝備有關，我們的設備中當閘門開啟時，水的流速會因為一開始蓄水槽內的水位較高、底部水壓較大，故水流通過閘門時速度較快，但隨著水位的下降，流速會漸減，故整個操作過程水的流速並非固定且不易量化，故我們也不予探討。

三、前測實驗

- (一)一開始我們所整理討論出來的隊形過多(如表一，**1人：2種、2人：12種、3人：18種、4人：22種、5人：30種**)，又無法確定何者是較佳的隊形，故我們先做了一個前測，找出較安全的隊形後再做最後的正式測試。
- (二)最初我們選擇操縱變因中的**中水、中砂**來做前測，但是測試到**3人**隊形時發現很多隊形都會被沖走，無法篩選出最佳隊形，故改成**小水、中砂**全部再重新完成一次測試。
- (三)在溪流中倘若被洪水沖擊導致重心不穩而傾倒，相較之下**傾倒**所受的洪水沖擊力是比直接被**沖走**來的小，故在篩選隊形時**傾倒**是比被**沖走**較為安全的。

(四)在表一中每種隊形旁有打上★者，是經過測試後篩選出來較安全的隊形(1人：2種、2人：6種、3人：7種、4人：8種、5人：8種)。註2：1人的隊形因為只有2種，故2種都先入選

(五)牛奶瓶在下列框內隊形中的前後及左右間距都是1公分，除了標註◎的隊形左右間距是3公分。





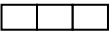


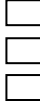

表一 不同人數的隊形在小水、中砂的操縱變因測試下的變化結果

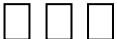




人數	1人(2種)	
隊形	★ □	★ □
站立		1
傾倒		
沖走	1	






人數	2人(12種)				
隊形	□□	□ □	★ □ □	★ □ □	★ □□
站立					
傾倒			1	1	1
沖走	2	2	1	1	1


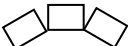

人數	2人				
隊形	□□	★ □ □	★ □ □	★ □ □	◇◇
站立		2	2		
傾倒				1	
沖走	2			1	2

人數	2人	
隊形		
站立		
傾倒		
沖走	2	2

人數	3人(18種)				
隊形			★ 	★ 	
站立			3	3	
傾倒					
沖走	3	3			3

人數	3人				
隊形		★ 	★ 	★ 	★ 
站立		3	3	3	3
傾倒					
沖走	3				

人數	3人				
隊形				★ 	
站立				3	
傾倒					
沖走	3	3	3		3


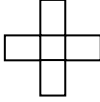
人數	3人		
隊形			
站立			
傾倒			
沖走	3	3	3

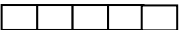




人數	4人(22種)				
隊形					
站立			4	4	
傾倒					
沖走	4	4			4




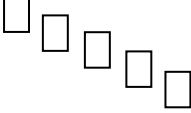
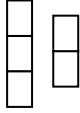
人數	4人				
隊形					
站立		4	4		
傾倒					
沖走	4			4	4

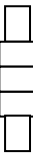


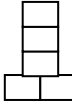
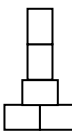
人數	4人				
隊形					
站立					4
傾倒			1		
沖走	4	4	3	4	

人數	4人				
隊形					
站立		4	1		
傾倒					
沖走	4		3	4	4

人數	4人	
隊形		
站立		
傾倒		
沖走	4	4

人數	5人(30種)				
隊形			★ 	★ 	
站立			5	5	
傾倒					
沖走	5	5			5

人數	5人				
隊形		★ 	★ 		★ 
站立		5	5	1	5
傾倒					
沖走	5			4	

人數	5人				
隊形	★ 				
站立	5			3	3
傾倒		1			
沖走		4	5	2	2

人數	5 人				
隊形			★ 		
站立	2		5		
傾倒	1	1			
沖走	2	4		5	5

人數	5 人				
隊形					
站立			2	4	
傾倒	1	1			
沖走	4	4	3	1	5

人數	5 人				
隊形	★ 				
站立	5				
傾倒				2	
沖走		5	5	3	5

四、正式測試

我們將篩選出來較為安全的隊形分別測試了不同水流量(大水、中水、小水)，以及不同地面摩擦力(粗砂、中砂、細砂)，共有 9 種排列組合，並將所有的測試結果紀錄如表二~表六

表二 1人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形的變化結果
(表格內留下空白者表示人數為0個)

測試變因 隊形、結果		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
□	站立									
	傾倒									
	沖走	1	1	1	1	1	1	1	1	1
□	站立							1	1	1
	傾倒									
	沖走	1	1	1	1	1	1			


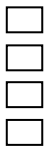
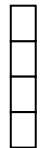
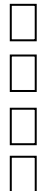

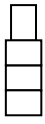
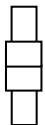
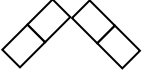
表三 2人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形的變化結果
(表格內留下空白者表示人數為0個)

測試變因 隊形、結果		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
□ □	站立							2		2
	傾倒	1	1		1	1	1		1	
	沖走	1	1	2	1	1	1		1	
□ □	站立									
	傾倒	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	沖走	1	1	1	1	1	1	1	1	1
□ □	站立									1
	傾倒								1	
	沖走	2	2	2	2	2	2	2	1	1
□ □	站立			2	2	2	2	2	2	2
	傾倒	1	1							
	沖走	1	1							
□ □	站立							2	2	2
	傾倒									
	沖走	2	2	2	2	2	2			
□ □	站立							1		2
	傾倒									
	沖走	2	2	2	2	2	2	1	2	


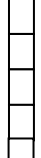
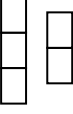

表四 3人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形的變化結果
(表格內留下空白者表示人數為 0 個)

隊形、結果		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
	站立							3	3	3
	傾倒	1	2	2	1	2	2			
	沖走	2	1	1	2	1	1			
	站立								3	3
	傾倒		2	1		1	2	2		
	沖走	3	1	2	3	2	1	1		
	站立	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	傾倒									
	沖走									
	站立	3		2	3		2	3	3	3
	傾倒					1				
	沖走		3	1		2	1			
	站立					2		3	3	3
	傾倒	1	1	1	1		1			
	沖走	2	2	2	2	1	2			
	站立		2		2	3	2	3	3	3
	傾倒	1		1						
	沖走	2	1	2	1		1			
	站立							2	3	
	傾倒				1	1				
	沖走	3	3	3	2	2	3	1		3

表五 4人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形的變化結果
(表格內留下空白者表示人數為 0 個)

隊形、結果		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
	站立							4	4	4
	傾倒	3	3	1	3	3	3			
	沖走	1	1	3	1	1	1			
	站立								4	4
	傾倒	1	2	1	2	3	3	3		
	沖走	3	2	3	2	1	1	1		
	站立	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	傾倒									
	沖走									
	站立	1				2	3	4	4	4
	傾倒									
	沖走	3	4	4	4	2	1			
	站立							1		1
	傾倒								1	
	沖走	4	4	4	4	4	4	3	3	3
	站立	3	3	4	3	4	4	4	4	3
	傾倒									
	沖走	1	1		1					1
	站立	3	4	3	3	4	3	4	4	3
	傾倒									
	沖走	1		1	1		1			1
	站立								1	
	傾倒							1		
	沖走	4	4	4	4	4	4	3	3	4

表六 5人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形的變化結果
(表格內留下空白者表示人數為0個)

隊形、結果		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
	站立	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	傾倒									
	沖走									
	站立						4	5	5	
	傾倒	4	2	2	3	4	4	1		
	沖走	1	3	3	2	1	1			
	站立	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	傾倒									
	沖走									
	站立	5	3	2	5	2	4	5	5	5
	傾倒									
	沖走		2	3		3	1			
	站立		1		2	2		5	5	5
	傾倒									
	沖走	5	4	5	3	3	5			
	站立	5	4	4	5	5	4	5	5	5
	傾倒									
	沖走		1	1			1			
	站立						5	5	5	
	傾倒	5	3	3						
	沖走		2	2	5	5	5			
	站立						4	5	5	
	傾倒									
	沖走	5	5	5	5	5	5	1		

在溪流中倘若被洪水沖擊過後依舊能**站立**者，則視為能**存活**下來；倘若被洪水沖擊過後導致重心不穩而**傾倒**，其被溪水順勢沖走的機率相當高，故在統計時則與被沖走一樣視為會**死亡**，再將表二的測試結果整理如表七~表十一


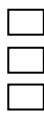

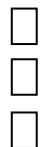



表七 1人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形人數的存亡結果
(表格內留下空白者表示人數為0個)

測試變因 隊形、存亡		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
□	存活									
	死亡	1	1	1	1	1	1	1	1	1
□	存活							1	1	1
	死亡	1	1	1	1	1	1			



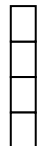
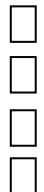

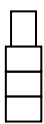
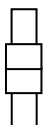
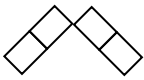
表八 2人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形人數的存亡結果
(表格內留下空白者表示人數為0個)

測試變因 隊形、存亡		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
□ □	存活							2		2
	死亡	2	2	2	2	2	2		2	
□ □	存活									
	死亡	2	2	2	2	2	2	2	2	2
□ □	存活									1
	死亡	2	2	2	2	2	2	2	2	1
□ □	存活			2	2	2	2	2	2	2
	死亡	2	2							
□ □	存活							2	2	2
	死亡	2	2	2	2	2	2			
□ □	存活							1		2
	死亡	2	2	2	2	2	2	▲1	2	





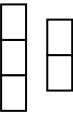

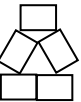

表九 3人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形人數的存亡結果
(表格內留下空白者表示人數為0個)

測試變因 隊形、存亡		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
	存活							3	3	3
	死亡	3	3	3	3	3	3			
	存活								3	3
	死亡	3	3	3	3	3	3	3		
	存活	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	死亡									
	存活	3		2	3		2	3	3	3
	死亡		3	▲ 1		3	▲ 1			
	存活					2		3	3	3
	死亡	3	3	3	3	▲ 1	3			
	存活		2		2	3	2	3	3	3
	死亡	3	▲ 1	3	▲ 1		▲ 1			
	存活							2	3	
	死亡	3	3	3	3	3	3	1		3

表十 4人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形人數的存亡結果
(表格內留下空白者表示人數為 0 個)

測試變因 隊形、存亡		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
	存活							4	4	4
	死亡	4	4	4	4	4	4			
	存活								4	4
	死亡	4	4	4	4	4	4	4		
	存活	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	死亡									
	存活	1				2	3	4	4	4
	死亡	3	4	4	4	2	▲ 1			
	存活							1		1
	死亡	4	4	4	4	4	4	3	4	3
	存活	3	3	4	3	4	4	4	4	3
	死亡	▲ 1	▲ 1		▲ 1					▲ 1
	存活	3	4	3	3	4	3	4	4	3
	死亡	▲ 1		▲ 1	▲ 1		▲ 1			▲ 1
	存活								1	
	死亡	4	4	4	4	4	4	4	3	4

表十一 5人隊形在不同水流量與不同地面摩擦力測試下隊形人數的存亡結果
(表格內留下空白者表示人數為0個)

測試變因 隊形、存亡		大水			中水			小水		
		粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂	粗砂	中砂	細砂
	存活	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	死亡									
	存活							4	5	5
	死亡	5	5	5	5	5	5	▲ 1		
	存活	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	死亡									
	存活	5	3	2	5	2	4	5	5	5
	死亡		2	3		3	▲ 1			
	存活		1		2	2		5	5	5
	死亡	5	4	5	3	3	5			
	存活	5	4	4	5	5	4	5	5	5
	死亡		▲ 1	▲ 1			▲ 1			
	存活							5	5	5
	死亡	5	5	5	5	5	5			
	存活							4	5	5
	死亡	5	5	5	5	5	5	▲ 1		

柒、研究結果與討論









一、探討不同的水流量對隊形的存活率影響








我們想歸納出不同水流量對隊形的存活率影響，故分別將所有隊形在不同水流量測試後的存活數累計並算出其存活率（如表十二）

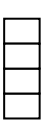
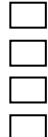
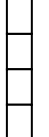




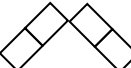
註 3：全部測試人次：1 人隊形在大水情況下因為分別測試了粗砂、中砂、細砂 3 種情況，故全部測試人次為 $1 \times 3 = 3$ ；2 人隊形： $2 \times 3 = 6$ ，以此類推。





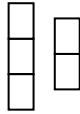


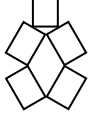
註 4：存活率 = $\frac{\text{測試後存活數}}{\text{全部測試人次}} \times 100\%$ (小數點四捨五入)

表十二 所有隊形在不同水流量測試下的累計存活數及全部測試人次

人數		1 人				2 人			
隊形									
大水	測試後存活數	0	0	0	0	0	2	0	0
	全部測試人次	3	3	6	6	6	6	6	6
	存活率	0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%
中水	測試後存活數	0	0	0	0	0	6	0	0
	全部測試人次	3	3	6	6	6	6	6	6
	存活率	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
小水	測試後存活數	0	3	4	0	1	6	6	3
	全部測試人次	3	3	6	6	6	6	6	6
	存活率	0%	100%	67%	0%	17%	100%	100%	50%

人數		3 人						
隊形								
大水	測試後存活數	0	0	9	5	0	2	0
	全部測試人次	9	9	9	9	9	9	9
	存活率	0%	0%	100%	56%	0%	22%	0%
中水	測試後存活數	0	0	9	5	2	7	0
	全部測試人次	9	9	9	9	9	9	9
	存活率	0%	0%	100%	56%	22%	78%	0%
小水	測試後存活數	0	6	9	9	9	9	5
	全部測試人次	9	9	9	9	9	9	9
	存活率	0%	67%	100%	100%	100%	100%	56%

人數		4 人							
隊形									
大水	測試後存活數	0	0	12	1	0	10	10	0
	全部測試人次	12	12	12	12	12	12	12	12
	存活率	0%	0%	100%	8%	0%	83%	83%	0%
中水	測試後存活數	0	0	12	5	0	11	10	0
	全部測試人次	12	12	12	12	12	12	12	12
	存活率	0%	0%	100%	42%	0%	92%	83%	0%
小水	測試後存活數	12	8	12	12	2	11	11	1
	全部測試人次	12	12	12	12	12	12	12	12
	存活率	100%	67%	100%	100%	17%	92%	92%	8%

人數		5 人							
隊形									
大水	測試後存活數	15	0	15	10	1	13	0	0
	全部測試人次	15	15	15	15	15	15	15	15
	存活率	100%	0%	100%	67%	7%	87%	0%	0%
中水	測試後存活數	15	0	15	11	4	14	0	0
	全部測試人次	15	15	15	15	15	15	15	15
	存活率	100%	0%	100%	73%	27%	93%	0%	0%
小水	測試後存活數	15	14	15	15	15	15	15	14
	全部測試人次	15	15	15	15	15	15	15	15
	存活率	100%	93%	100%	100%	100%	100%	0%	93%









從表十二我們發現，在大水、中水、小水的衝擊下，隊形的存活率大致上在大水衝擊下存活率最低，小水衝擊下最高。


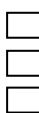
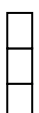




當閘門開啟 9 公分時，蓄水槽的水以較高的水位朝牛奶瓶沖刷，故可能是水流沖擊牛奶瓶的接觸面積較大，截面拉力增加，導致牛奶瓶易被沖倒，存活率下降。


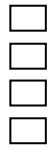

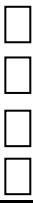



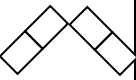
二、探討不同的地面摩擦力對隊形的存活率影響

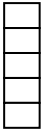



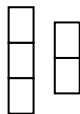

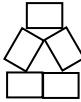
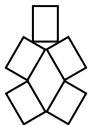
我們想歸納出不同地面摩擦力對隊形的存活率影響，故分別將所有隊形在不同地面摩擦力測試下的存活數累計並算出其存活率（如表十三）

表十三 所有隊形在不同地面摩擦力測試下的累計存活數及全部測試人次

人數		1 人			2 人				
隊形									
粗砂	測試後存活數	0	1	2	0	0	4	2	1
	全部測試人次	3	3	6	6	6	6	6	6
	存活率	0%	33%	33%	0%	0%	67%	33%	17%
中砂	測試後存活數	0	1	0	0	0	4	2	0
	全部測試人次	3	3	6	6	6	6	6	6
	存活率	0%	33%	0%	0%	0%	67%	33%	0%
細砂	測試後存活數	0	1	2	0	1	3	2	2
	全部測試人次	3	3	6	6	6	6	6	6
	存活率	0%	33%	33%	0%	17%	50%	33%	33%

人數		3 人						
隊形								
粗砂	測試後存活數	3	0	9	9	3	5	2
	全部測試人次	9	9	9	9	9	9	9
	存活率	33%	0%	100%	100%	33%	56%	22%
中砂	測試後存活數	3	3	9	3	5	8	3
	全部測試人次	9	9	9	9	9	9	9
	存活率	33%	33%	100%	33%	56%	89%	33%
細砂	測試後存活數	3	3	9	9	3	5	0
	全部測試人次	9	9	9	9	9	9	9
	存活率	33%	33%	100%	100%	33%	56%	0%

人數		4人							
隊形									
粗砂	測試後存活數	4	0	12	5	1	10	10	0
	全部測試人次	12	12	12	12	12	12	12	12
	存活率	33%	0%	100%	42%	8%	83%	83%	0%
中砂	測試後存活數	4	4	12	6	0	11	12	1
	全部測試人次	12	12	12	12	12	12	12	12
	存活率	33%	33%	100%	50%	0%	92%	100%	8%
細砂	測試後存活數	4	4	12	7	1	11	9	0
	全部測試人次	12	12	12	12	12	12	12	12
	存活率	33%	33%	100%	58%	8%	92%	75%	0%

人數		5人							
隊形									
粗砂	測試後存活數	15	4	15	15	7	15	5	4
	全部測試人次	15	15	15	15	15	15	15	15
	存活率	100%	27%	100%	100%	47%	100%	33%	27%
中砂	測試後存活數	15	5	15	12	8	14	5	5
	全部測試人次	15	15	15	15	15	15	15	15
	存活率	100%	33%	100%	80%	53%	93%	33%	33%
細砂	測試後存活數	15	5	15	11	5	13	5	5
	全部測試人次	15	15	15	15	15	15	15	15
	存活率	100%	33%	100%	73%	33%	87%	33%	33%

從表十三我們發現，粗細不同的砂紙所形成大小不同的**地面摩擦力**對於隊形的存活率**沒有顯著**的影響。我們推測：雖然摩擦力大不易打滑，但在洪水沖擊下會被沖走的主要因素為重心不穩，故與地面摩擦力應該沒有太直接的關係。

平日到溪邊遊玩所穿的溯溪鞋，對於在溪流上行走時能增加摩擦力，減少滑倒的機會，但在溪流裡若面對洪水來襲時，無法明顯減少被沖走的機會。

三、找出隊形中最危險的位置

倘若經過測試後，隊形中僅出現一位死亡，其餘皆存活的情況，則位置排列在**隊形最前面**的牛奶瓶(如表八~表十一 框內打上▲者)所承受的水流衝擊力相較於其他位置來的大(如圖六~圖十四)，易被沖走，屬於隊形中**最危險的位置**，故**隊形中較強壯的人應該排在隊形的最前面**，以抵抗強勁的水流。



圖六



圖七



圖八



圖九



圖十



圖十一



圖十二















圖十三



圖十四

四、找出不同人數的最安全隊形

(一) 從前測的資料發現牛奶瓶與水流的接觸面積越大(圖十五~圖十七)，未能符合流線型、後方無支撐者(圖十八~二十六)，流體阻力越大，越容易被水沖走。

原始隊形	流水沖擊	結果
 <p data-bbox="237 748 339 786">圖十五</p>	 <p data-bbox="780 748 882 786">圖十六</p>	 <p data-bbox="1181 748 1283 786">圖十七</p>
 <p data-bbox="253 1133 355 1171">圖十八</p>	 <p data-bbox="734 1133 836 1171">圖十九</p>	 <p data-bbox="1198 1133 1300 1171">圖二十</p>
 <p data-bbox="253 1563 387 1601">圖二十一</p>	 <p data-bbox="718 1563 852 1601">圖二十二</p>	 <p data-bbox="1182 1563 1316 1601">圖二十三</p>
 <p data-bbox="253 1995 387 2033">圖二十四</p>	 <p data-bbox="702 1995 836 2033">圖二十五</p>	 <p data-bbox="1181 1995 1315 2033">圖二十六</p>

(二)我們的正式測試中每種隊形皆分別測試了不同水流量(大水、中水、小水)、不同地面摩擦力(粗砂、中砂、細砂)，共有 9 種的排列組合，我們將同一隊形在 9 種的不同測試下所有存活人數依序累計下來如表十四，會考量做這樣子的統計是因為其實當洪水突然來襲時，我們無法掌控水流量的大小，也無法改變腳底與地面之間的摩擦力，當下我們唯一能改變的只有調整隊形的排列，所以，我們將所有不可預測的情況皆考量進去，統計做比較，隊形旁標註★為不同人數的**最安全的隊形**。


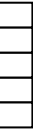
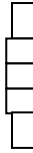





註 5：全部測試人次的計算：人數為 1 人時，共有 9 種的測試， $1 \times 9 = 9$ ；人數為 2 人時，共有 9 種的測試， $2 \times 9 = 18$ ；以此類推

表十四 所有隊形在不同水流量及地面摩擦力共 9 種測試下的累計存活數

人數	1 人		2 人						
隊形	★ □	□	★ □ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □	□ □
測試後存活數	3	0	14	6	4	3	1	0	
全部測試人次	9	9	18	18	18	18	18	18	
存活率	33%	0%	77%	33%	22%	17%	6%	0%	




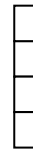




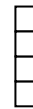
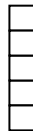
人數	3 人						
隊形	★ □ □ □	□ □ □	□ □ □	□ □ □	□ □ □	□ □ □	□ □ □
測試後存活數	27	19	18	11	9	6	5
全部測試人次	27	27	27	27	27	27	27
存活率	100%	70%	67%	41%	33%	22%	19%

人數	4 人								
隊形	★ □ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □	□ □ □ □
測試後存活數	36	32	31	18	12	8	2	1	
全部測試人次	36	36	36	36	36	36	36	36	
存活率	100%	89%	86%	50%	33%	22%	6%	3%	

人數	5 人							
隊形								
測試後存活數	45	45	42	36	20	15	14	14
全部測試人次	45	45	45	45	45	45	45	45
存活率	100%	100%	93%	80%	44%	33%	31%	31%

由表十四歸納出，不管人數多寡，所有隊形的排列皆以直排縱向(牛奶瓶側面)、彼此緊貼，即整體隊形的迎面面積與水流的接觸面積越小、越流線型，水流對隊形的阻力也越小，存活率越高，且隊形上的人數從 1 人增加至 3 人時，整體的存活率也跟著增加，人數為 3、4、5 人時存活率則皆為 100%。若隊形的排列是以直排縱向(牛奶瓶正面)、彼此緊貼，則整體的存活率大致上隨著人數增加也跟著增加，僅在隊形人數為 5 人時存活率才達 100%，如表十五。

表十五 隊形人數 1~5 人時牛奶瓶側面、正面直排縱向、彼此緊貼的存活率

牛奶瓶	側面					正面				
人數	1 人	2 人	3 人	4 人	5 人	1 人	2 人	3 人	4 人	5 人
隊形										
存活率	33%	77%	100%	100%	100%	0%	22%	33%	33%	100%

日本的實驗影片中是以人體正面面向水流、彼此緊貼，排成一直列(如圖二十七)來因應洪水，而我們以牛奶瓶測試的結果與日本人的實驗有些微不同。

在洪流中我們之所以會被沖走是因為受到太大的水流阻力，導致重心不穩、身體傾斜而跌倒，順勢被水流沖走。我們試著以槓桿原理來解釋這現象，牛奶瓶會傾倒是因為水流阻力造成的力矩大於重力造成的力矩(如圖二十九、圖三十)，我們試著利用槓桿原理將水流阻力計算出來如下：

註 5：(1)牛奶瓶的長寬高分別 4.6cmx3.0cmx8.6cm，重量 141gw(如圖二十八)

(2)當水流沖擊牛奶瓶的正面時(如圖二十八的甲面)，牛奶瓶所受到的水流阻力稱為 $F_{正}$

(3)當水流沖擊牛奶瓶的側面時(如圖二十八的乙面)，牛奶瓶所受到的水流阻力稱為 $F_{側}$

(4)設 $F_{正}$ 作用在牛奶瓶正面面積的正中心點； $F_{側}$ 作用在牛奶瓶側面面積的正中心點

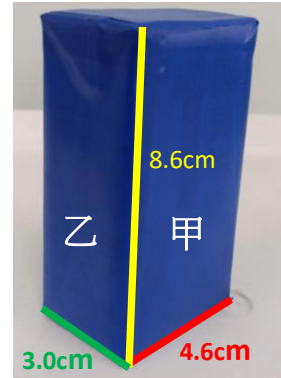
(5) $d_{正}$ 、 d 、 $d_{側}$ 分別為 $F_{正}$ 、牛奶瓶重量、 $F_{側}$ 施力時的力臂

$$(d_{正} = \frac{8.6}{2} = 4.3\text{cm}、d = \frac{3.0}{2} = 1.5\text{cm}、d_{側} = \frac{8.6}{2} = 4.3\text{cm})$$

(6) 圖二十九、圖三十中的▲為支點



圖二十七



圖二十八

	<p>水流阻力</p>	<p>順時針力矩 = 逆時針力矩</p> $F_{正} \times d_{正} = \text{牛奶瓶重量} \times d$ $F_{正} \times 4.3 = 141 \times 1.5$ $F_{正} = 49.2 \text{ gw}$
<p>圖二十九</p>	<p>槓桿原理</p>	<p>計算結果</p>

	<p>水流阻力</p>	<p>順時針力矩=逆時針力矩</p> $F_{側} \times d_{側} = \text{牛奶瓶重量} \times d$ $141 \times 2.3 = F_{側} \times 4.3$ $F_{側} = 75.4 \text{ gw}$
<p>圖三十</p>	<p>槓桿原理</p>	<p>計算結果</p>

由上述列式計算，我們發現若牛奶瓶以正面面向水流時，要將牛奶瓶推倒只須施力大於 **49.2gw**；若牛奶瓶以側面面向水流時，要將牛奶瓶推倒則必須施力大於 **75.4gw**，所以，同理可證，若我們在溪流中以側面面向水流，則較不易被水流沖走，能增加生還的機會，提高存活率。

捌、結論

根據我們以上的實驗及討論，得到下列結論：

- 一、隊形的**存活率**大致上在**大水沖擊下最低，在小水沖擊下最高**。
- 二、粗細不同的砂紙所形成大小不同的**地面摩擦力**對於隊形的存活率**沒有顯著的影響**。
- 三、位置排列在**隊形最前面**的人，所承受的水流沖擊力相較於其他位置來的大，易被沖走，屬於隊形中**最危險的位置**，故隊形中**較強壯的人應該排在隊形的最前面**，以抵抗強勁的水流。
- 四、有別於日本所做的實驗，我們利用牛奶瓶測試，結果發現不管人數多寡，所有隊形的排列皆以**直排縱向(牛奶瓶側面)**、彼此緊貼，即隊形的**迎面面積與水流的接觸面積**越小、越流線型，水流對隊形的阻力越小，**存活率越高**，且隊形上的人數從 1 個增加至 3 人時，**整體的存活率也跟著增加**，人數為 3、4、5 人時存活率則皆為 100%。若隊形的排列是以直排縱向(牛奶瓶**正面**)、彼此緊貼，則整體的存活率大致上隨著人數增加也跟著增加，**但僅在隊形人數為 5 人時存活率才達 100%**。

玖、心得與未來展望

我們這一次的實驗裝備是到大賣場購買的木製書櫃，操作過程中發現三合板的材質會有些微的吸水性，導致測試完整個裝置接觸到水的木材表層有發霉及剝落的現象，如果一開始選擇壓克力材質，就能避免這個問題的產生。

倘若經費足夠可以建置一個模擬溪流的真實場景，以真實的人來做測試，這樣的實驗結果更精準，也能將最正確的資訊傳達給社會大眾。

拾、參考資料與文獻

- 一、天災系列：5 分鐘教你遇到洪水如何集體自救
<https://www.youtube.com/watch?v=HEhoj1S4mGA> (檢索日期 2020/11/08)
- 二、中興大學機械系(2014)。Chap4 外流場。台中。中興大學。取自
<http://www.me.nchu.edu.tw/lab/ICE/www/Courses/thermalfuid/chap4.pdf>
(檢索日期 2020/11/12)
- 三、外雙溪洩洪奪 10 命、八掌溪 4 命 台史溺水大慘 取自 youtube
<https://www.youtube.com/watch?v=4o0UzcR4ceI> (檢索日期 2020/11/08)
- 四、林哲宇(2013)。自行車衣服纖維結構之流場模擬分析先期研究。碩士論文。桃園。國立臺灣體育運動大學體育研究所。
取自 <http://163.17.100.109/ir/bitstream/987654321/6586/1/0026101.pdf>
(檢索日期 2020/11/08)
- 五、直擊！印度版「八掌溪」 一家五口 3 死 2 失蹤 取自 youtube
<https://www.youtube.com/watch?v=HTR3cSdGYfQ> (檢索日期 2020/11/08)
- 六、姚聖威(2017)。看世大運學物理—田徑場投擲項目。物理搜查線第 22 期：龍騰文化
取自

[https://www.lungteng.com.tw/Web/Upload/Upload_File/Source13/55301N\(E\)%e7%89%a9%e7%90%86%e6%90%9c%e6%9f%a5%e7%b7%9a%e7%ac%ac22%e6%9c%9f\(E-book\).pdf](https://www.lungteng.com.tw/Web/Upload/Upload_File/Source13/55301N(E)%e7%89%a9%e7%90%86%e6%90%9c%e6%9f%a5%e7%b7%9a%e7%ac%ac22%e6%9c%9f(E-book).pdf)

(檢索日期 2020/11/10)

七、張立羣(2014)。流體力學。取自 <https://slidesplayer.com/slide/11608422/>(檢索日期 2020/11/08)