

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 地球科學科

第二名

030506

滾滾濁水入海流－河川入海濁流之實驗模擬

學校名稱：臺北市立龍門國民中學

作者： 國三 李佩庭 國一 陳又瑄	指導老師： 陳英杰
-------------------------	--------------

關鍵詞：密度、密度流、濁流

# 滾滾濁水入海流—河川入海濁流之實驗模擬

## 摘要

本研究旨在探討河川混濁水流進入海洋後形成濁流的現象。實驗方法為配製鹽水模擬海水，以泥水混合物模擬混濁之河水，再利用自製的壓克力水槽觀察泥水進入鹽水後所產生的交互運動，所有實驗均透過攝影之影像來分析濁流運動狀態及其流速。經由一系列之實驗結果顯示，含泥量較高、密度較大的濁流，其移動速率較大。研究也發現海床表面粗糙度愈大，濁流的移動速率愈小；而河川混濁水流之總體積或平均流量愈大，入海後形成濁流的移動速率愈大。此外，外加旋轉作用除降低濁流之移動速率外，亦改變濁流之前進方向，也造成飄浮在鹽水表面的濁流擴散舌偏向一側。

## 壹、研究動機

臺灣每逢颱風過境，電視新聞畫面總會出現山區暴雨匯集而成的滾滾洪流，沿著河道順勢而下，侵蝕河床、掏空地基並沖毀房屋橋樑等可怕的景像。尤其是 1999 年南投集集 921 大地震後，附近地質丕變，以致後來山區豪雨過後，河川發生濁流暴漲的機會大幅增加。例如，2001 年桃芝颱風和納莉颱風帶來的豪雨，造成濁水溪年輸砂量暴增為二億四千萬噸，已相當接近印度河從喜馬拉雅山脈沖刷下來的年輸砂量二億五千萬噸。這些大量的濁水經由河川進入海洋後，必然對河口附近水質甚至海洋底棲生態造成影響。我們從 2008 年 7 月卡玫基 (KALMAEGI) 颱風過境後 (7 月 20 日) 在濁水溪口拍攝的影像 (下圖左)，可清楚地看到濁水漂浮在海水之上，且與海水之間形成明顯的交界。另外，我們從中央大學太遙中心網站找到 2008 年 9 月辛樂克 (SINLAKU) 颱風過境後 (9 月 18 日) 的衛星遙測影像 (下圖右)，可看出這些濁流似乎在河口附近形成不太對稱的扇形分佈，由此我們心中產生了一些疑問，例如：為何形成扇形？泥比海水重為何會懸浮在海水面上？這些泥巴會不會順著海底斜坡下滑？泥水流到哪裡去？流速有多大？為了解答這些疑惑，我們因此利用自然課所學到的「密度」及「洋流」等相關知識，設計實驗來模擬濁流入海情形，並從中探討濁流行為。



濁水與海水交界處

1



蘭陽溪口濁流擴散舌

## 貳、研究目的

- 一、設計實驗水槽模擬河川入海濁流之行爲。
- 二、尋找影響海洋濁流移動速率之相關因素。

## 參、研究設備及器材

自製透明壓克力水槽、數位相機、數位攝影機、自製電動轉盤、電源供應器、電子秤、鈎鐵硼磁鐵、鋁製凹槽、鐵架、廣用夾、腳架、塑膠積木、砝碼、玻棒、燒杯、量筒、刮勺、滴管、吸量管、移液管、安全吸球、食鹽、水、泥土、水草沙。

## 肆、研究方法或過程

爲了達成研究目的，我們設計了以下八組實驗：

### 一、實驗一：模擬混濁河水與海水交會之情形

- 1.以厚度 1cm 的透明壓克力板製作一長 80cm、寬 6cm、高 20cm 之透明壓克力水槽，中間附有活動隔板，水槽底部外表面貼上皮尺，如圖 1。
- 2.放置 1kg 砝碼於隔板上方加以固定，以減少隔板被抽開前，隔板與水槽之間間隙的滲漏現象，水槽左右兩邊分別注入 400mL 濃度 40g/kg 之泥水及 35ppt 鹽水。
- 3.抽開隔板，攝影記錄水槽左邊泥水進入右邊鹽水之相互流動情形。
- 4.將泥水濃度改爲 80g/kg、120g/kg、160g/kg，重複上述操作 2 及 3，並比較其結果。

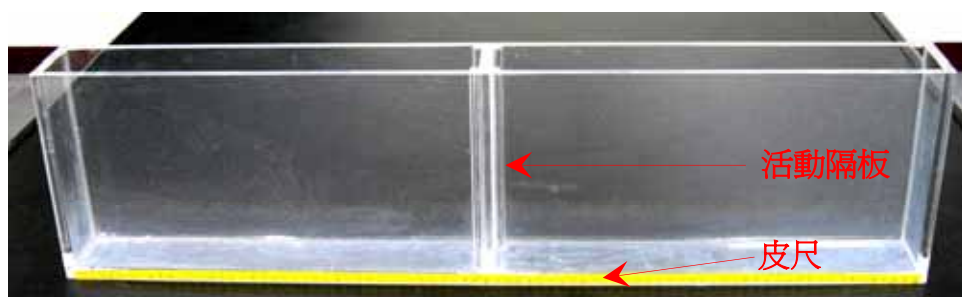


圖 1 實驗一水槽

### 二、實驗二：模擬低密度濁水進入海洋後之擴散情形

- 1.將 30cm×30cm×20cm 之透明壓克力水槽盛滿 35ppt 的鹽水，並將 100cm×1cm×1cm 之鋁製凹槽固定於水槽上方使其前端恰好接觸到鹽水表面，再將攝影機固定於水槽前，如圖 2。
- 2.以移液管吸取濃度 40g/kg 的泥水 40mL 並固定於鋁製凹槽上方。
- 3.先啓動固定攝影機，再將移液管中之泥水注入鋁製凹槽後端，接著操作活動攝影機，同步拍攝泥水由鋁製凹槽進入鹽水槽中之流動情形。

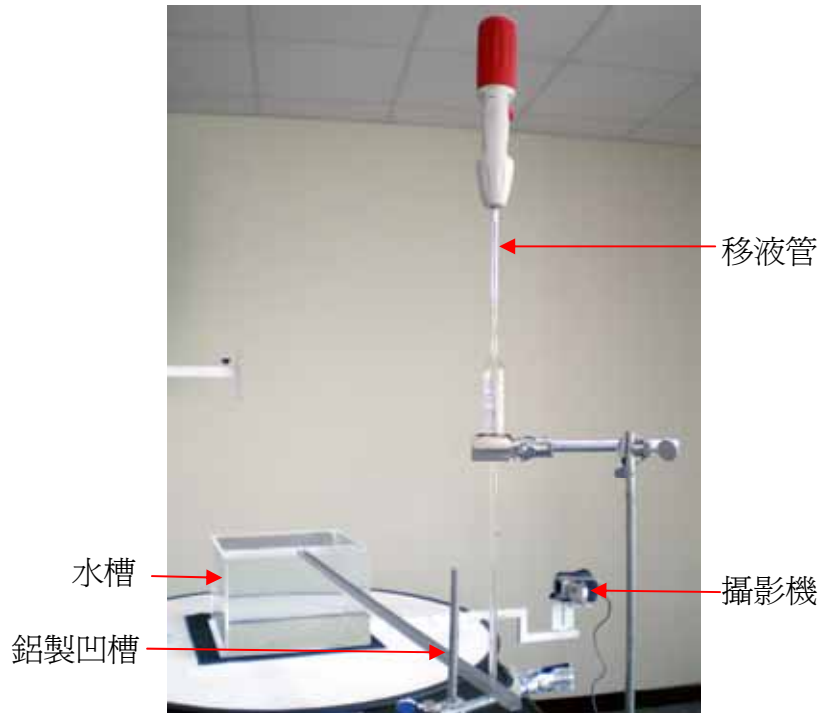


圖2 實驗二裝置

### 三、實驗三：探討高密度濁流在海床斜坡移動之速率

- 1.以厚度 1cm 的透明壓克力板製作一長 110cm、寬 1.5cm、高 30cm 之水槽，箱內附有長 50cm、寬 1.5cm、高 25cm 之斜坡，如圖 3。
- 2.水槽盛 35ppt 鹽水 25cm 高，接著由水槽之斜坡頂端 A 注入濃度 80g/kg 的泥水 30mL，利用攝影機拍攝泥水經過斜坡向下之流動情形。
- 3.依據影像分析泥水流前緣自起點 A 流至終點 C 所需時間，以及泥水流前緣由 B 至 C 之水平位置變化。
- 4.重複步驟 2 及 3 兩次，求 3 次實驗之平均值並計算泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率。
- 5.將泥水濃度改為 100g/kg、120g/kg、140g/kg、160g/kg，重複上述操作 2、3 及 4。

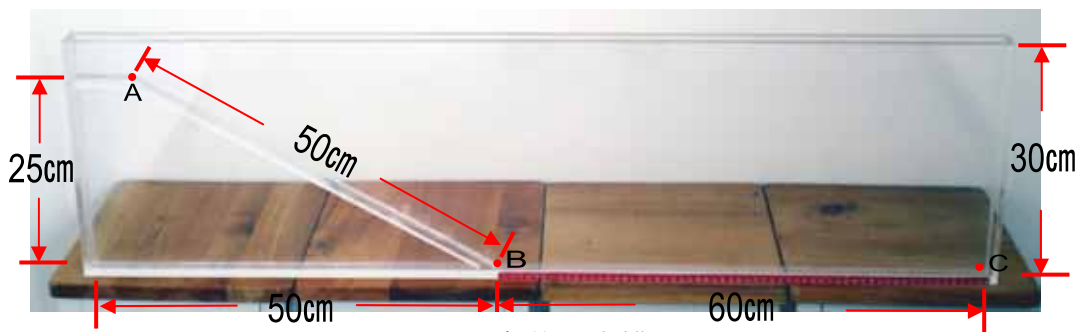


圖3 實驗三水槽

#### 四、實驗四：探討濁流在海床上的移動速率與濁流體積之關係

- 1.圖 3 之水槽盛 35ppt 鹽水 25cm 高後，由水槽之斜坡頂端 A 注入濃度 120g/kg 的泥水 20mL，利用攝影機拍攝泥水在鹽水槽中移動之過程。
- 2.依據影像分析泥水流前緣由 B 至 C 之位置變化，並計算其移動速率。
- 3.將泥水體積改為 30mL、40mL，重複上述操作 1 及 2。

#### 五、實驗五：探討旋轉效應對濁流行為及擴散形狀之影響

- 1.將白色壓克力板（30cm×32.5cm）斜放於壓克力水槽（30cm×30cm×20cm）中，斜角 25 度。壓克力水槽倒入 35ppt 鹽水至高度 15cm 處。
- 2.以吸量管吸取濃度 120g/kg 的泥水 3mL，並將其以廣用夾固定於壓克力水槽上方，調整吸量管位置使管口沒入液面下。
- 3.利用安全吸球將泥水自吸量管釋出，觀察並拍攝泥水之流動情形。
- 4.重複上述操作 1 及 2，並將此裝置放置於圖 4 之電動轉盤上。
- 5.啟動轉盤以逆時鐘每分鐘 12 轉之速率轉動 10 分鐘後，將泥水自吸量管釋出，觀察並拍攝泥水之流動過程。

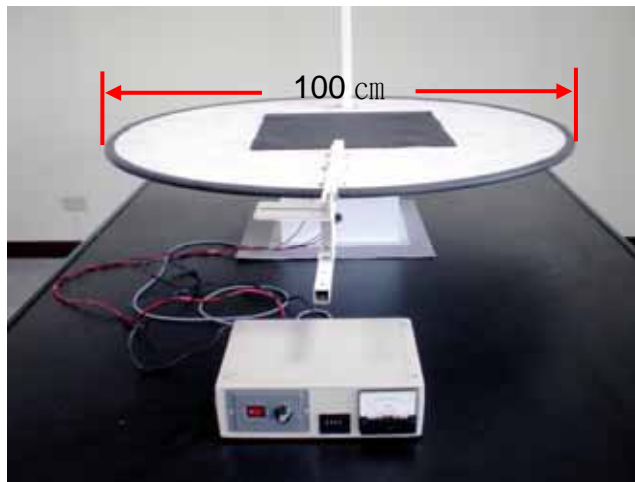


圖 4 電動轉盤

#### 六、實驗六：模擬入海濁流經過障礙物時之移動情形

- 1.以厚度 0.5cm 的透明壓克力板製作一長 80cm、寬 1.5cm、高 25cm 之水槽，箱內附有長 30cm、寬 1.5cm、高 15cm 之斜坡，如圖 5。
- 2.於水槽底部中央，放置由四層塑膠積木及鈹鐵硼磁鐵所組成之三角型障礙物（底 7.5cm、寬 0.9cm、高 4.8cm），如圖 6，障礙物中心距離水槽右端 25cm，且障礙物與水槽壁間置入厚度 0.5cm 的透明壓克力板。
- 3.水槽盛 35ppt 鹽水 15cm 高，接著由水槽之斜坡頂端 A 注入濃度 120g/kg 的泥水 15mL，利用攝影機拍攝泥水經過斜坡向下流動經過障礙物時之移動情形，並進行影像分析。
- 4.將操作 2 之三角型障礙物上面二層塑膠積木拆除，成為梯形障礙物

(底 7.5cm、寬 0.9cm、高 2.6cm)，重複上述操作 2 及 3。

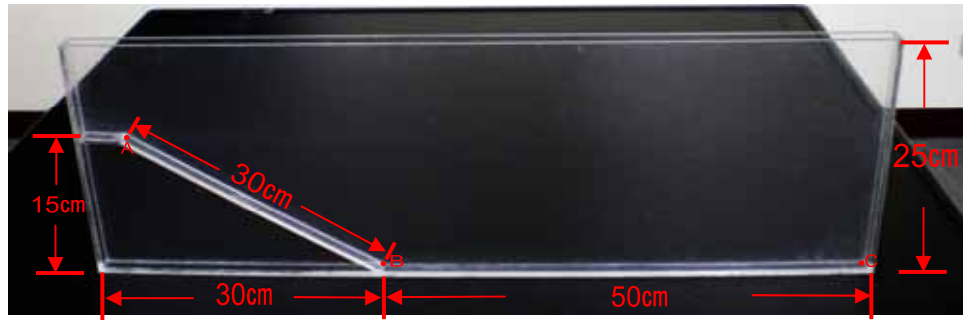


圖 5 實驗六水槽

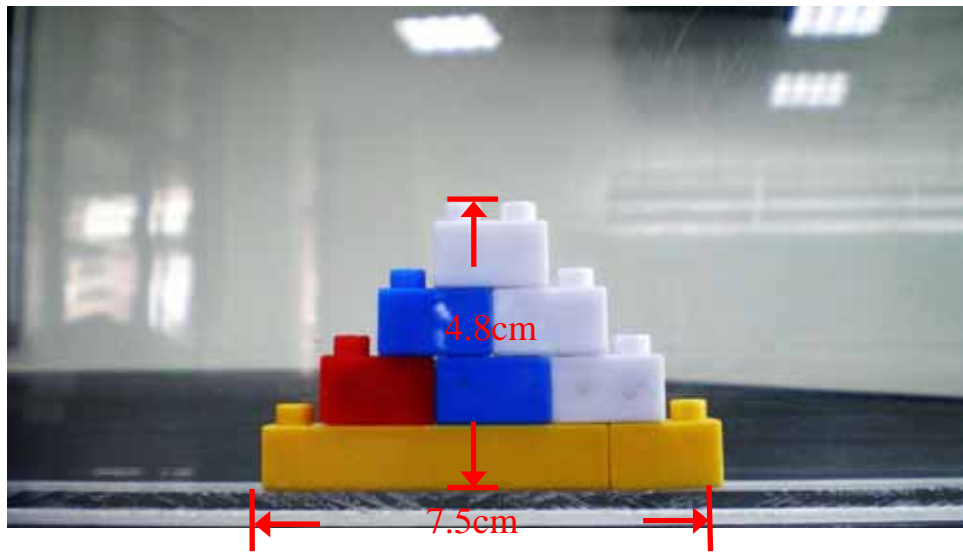


圖 6 三角型障礙物

### 七、實驗七：探討海床粗糙度對濁流移動速率之影響

- 1.圖 3 之水槽盛 35ppt 鹽水 25cm 高，接著由水槽之斜坡頂端 A 注入濃度 100g/kg 的泥水 30mL。
- 2.利用攝影機拍攝泥水進入鹽水槽之流動情形，並依據影像分析泥水流前緣自起點 A 流至終點 C 所需時間，並計算其由 B 至 C 之水平平均移動速率。
- 3.水槽底部 (B 至 C) 鋪水草沙，如圖 7，重複上述操作 1 及 2。
- 4.水槽斜坡 (A 至 B) 及底部鋪水草沙，如圖 8，重複上述操作 1 及 2。

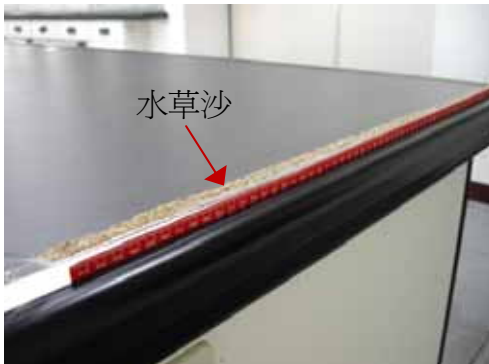


圖 7

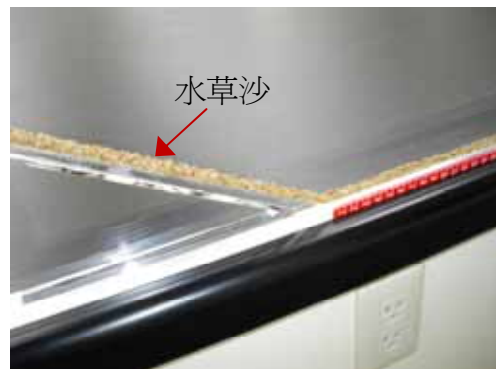


圖 8



## 八、實驗八：探討同體積泥水入流速率對濁流移動速率之影響

- 1.圖 3 之水槽盛 35ppt 鹽水 25cm 高，然後利用移液管吸取濃度 120g/kg 的泥水 20mL，接著由水槽之斜坡頂端 A 將泥水注入鹽水中。
- 2.利用攝影機拍攝泥水之流動過程，再依據影像分析 20mL 泥水由移液管流出所需時間及泥水流前緣由 B 移動至 C 所需時間，並計算泥水平均流量及泥水流的水平平均移動速率。
- 3.以不同規格之移液管吸取濃度 120g/kg 的泥水 20mL 重複上述實驗操作，分析比較不同流量泥水流移動速率之差異。

## 伍、實驗結果與分析

### 一、實驗一：模擬混濁河水與海水交會之情形

#### 1.結果：

(1)濃度 40g/kg 泥水進入 35ppt 的鹽水中之流動情形，如圖 9a-1 至 9a-3。

t=2 秒



圖 9a-1 隔板抽出後，t=2 秒時，泥水向右前進並與鹽水於交接處形成泥水在上鹽水在下的斜面。

t=16 秒



圖 9a-2 t=16 秒，泥水持續向右挺進，泥水與鹽水交界面更加傾斜。

t=33 秒



圖 9a-3 t=33 秒，泥水前緣接近水槽右邊終點，交界面仍大致維持泥水在上鹽水在下的斜面。

(2) 濃度 80g/kg 泥水進入 35ppt 的鹽水中之流動情形，如圖 9b-1 至 9b-7。

t=2 秒

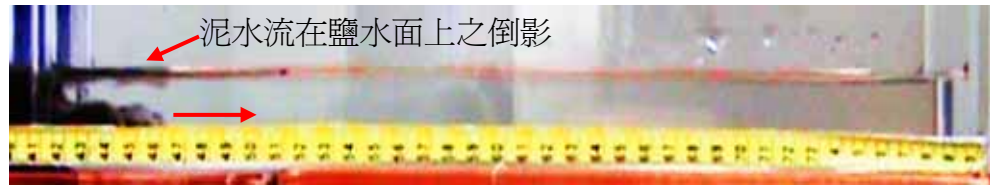


圖 9b-1 起初時，泥水由底部向右前進。

t=9 秒



圖 9b-2 t=9 秒時，泥水持續由底層向右，泥水和鹽水間有波動產生。

t=17 秒



圖 9b-3 t=17 秒時，泥水已達皮尺刻度 64 cm 處，前端泥水有向上漂浮之現象。

t=25 秒



圖 9b-4 t=25 秒時，泥水前端向上漂浮之現象更為顯著，泥水、鹽水交界之斜面消失。

t=34 秒



圖 9b-5 t=34 秒時，泥水前端由底層轉移至表層。



t=44 秒



圖 9b-6 泥水與鹽水間形成和濃度 40g/kg 時相似的傾斜界面。

t=58 秒



圖 9b-7 泥水前端抵達水槽右端終點。

(3) 濃度 120g/kg 泥水進入 35ppt 的鹽水中之流動情形，如圖 9c-1 至 9c-3。

t=2.5 秒



圖 9c-1 初始時，與濃度 80g/kg 類似。

t=7 秒



圖 9c-2 t=7 秒時，泥水和鹽水交界面有波動現象。

t=16 秒



圖 9c-3 t=16 秒時，泥水抵達水槽右端終點，此時泥水與鹽水部分混合，交界面逐漸消失。

(4) 濃度 160g/kg 泥水進入 35ppt 的鹽水中之流動情形，如圖 9d-1 至 9d-3。

t=1 秒

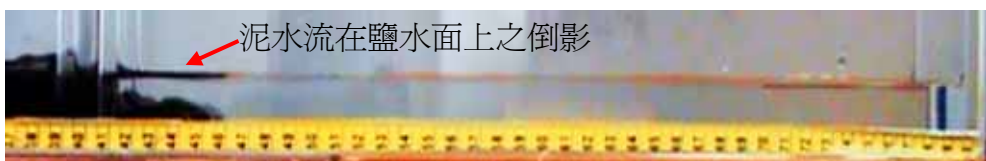


圖 9d-1 t=1 秒時，初始時，與濃度 80g/kg、120g/kg 類似。

t=5 秒

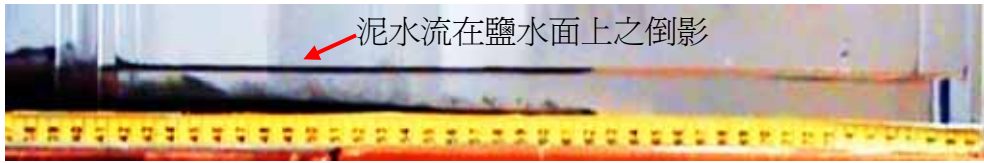


圖 9d-2 t=5 秒時，泥水和鹽水交界面有波動現象，波動形狀很像天空中的捲雲。

t=10 秒



圖 9d-3 t=10 秒時，泥水接近水槽右端終點，前面曾出現近似捲雲的波動，似乎已消失。

## 2.分析：

- (1) 當濃度 40g/kg 泥水接觸鹽水層前進時，鹽水與泥水交界處呈上升斜面，起初泥水會漂流於鹽水上方，接著大部分之泥會往槽底沈降，僅少部分之泥會繼續漂浮在鹽水上方前進（圖 9a-3）。
- (2) 濃度 80g/kg 之泥水進入鹽水層時，首先沿槽底前進，鹽水與泥水交界處呈下降斜面（圖 9b-1 至圖 9b-3），但中途轉變成如同濃度 40g/kg 泥水之前進方式，鹽水與泥水交界處呈上升斜面（圖 9b-6；圖 9b-7）。
- (3) 濃度為 120g/kg 及 160g/kg 時，泥水皆沿槽底前進，一段時間後槽底的泥向上飄浮（圖 9c-3；圖 9d-3）。

## 二、實驗二：模擬低密度濁水進入海洋後之擴散情形

### 1.結果：

- (1) 自水槽上方拍攝泥水由凹槽流入水槽後之情形，如圖 10-1 至圖 10-4。

t=1 秒



圖 10-1 泥水一開始進入鹽水中瞬間向下擴散。

t=2 秒



圖 10-2 t=2 秒時，泥水接著向上擴散。

t=3 秒



圖 10-3 t=3 秒時，泥水在表面擴散成扇形，其邊緣呈波浪狀。

t=4 秒



圖 10-4 t=4 秒時，泥水碰到水槽兩側。

(2) 同時自水槽側邊拍攝泥水由凹槽流入水槽後之情形，如圖 10-5 至圖 10-8。

t=1 秒



圖 10-5 泥水由鋁槽流入鹽水槽瞬間，因重力作用向下沉降。

t=2 秒



圖 10-6 t=2 秒時，部份泥水開始向上浮升。

t=3 秒



圖 10-7 泥水持續排入水槽，浮在上層的泥水越積越多。

t=4 秒



圖 10-8 t=4 秒時，浮在上層的泥水體積增大。

## 2.分析：

當泥水流入鹽水中時，泥水會在鹽水表面擴散形成扇型區域，且泥水流向下進入鹽水中，會立即反轉向上移動而漂流於鹽水面上。

### 三、實驗三：探討高密度濁流在海床斜坡移動之速率

#### 1. 結果：

(1) 泥水流前緣自起點 A 流至終點 C(見圖 3)所需時間，如下表 1。

表 1: 不同濃度之泥水流前緣自起點 A 流至終點 C 所需時間

時間(s) \ 濃度(g/kg)	次數	1	2	3	平均
80		26.1	25.7	27.1	26.3
100		22.6	22.9	22.7	22.7
120		20.1	19.6	20.4	20.0
140		18.3	18.2	18.3	18.3
160		17.3	16.4	16.8	16.8

(2) 不同濃度之泥水流前緣由 B 至 C(見圖 3)之水平位置變化，如下圖 11。

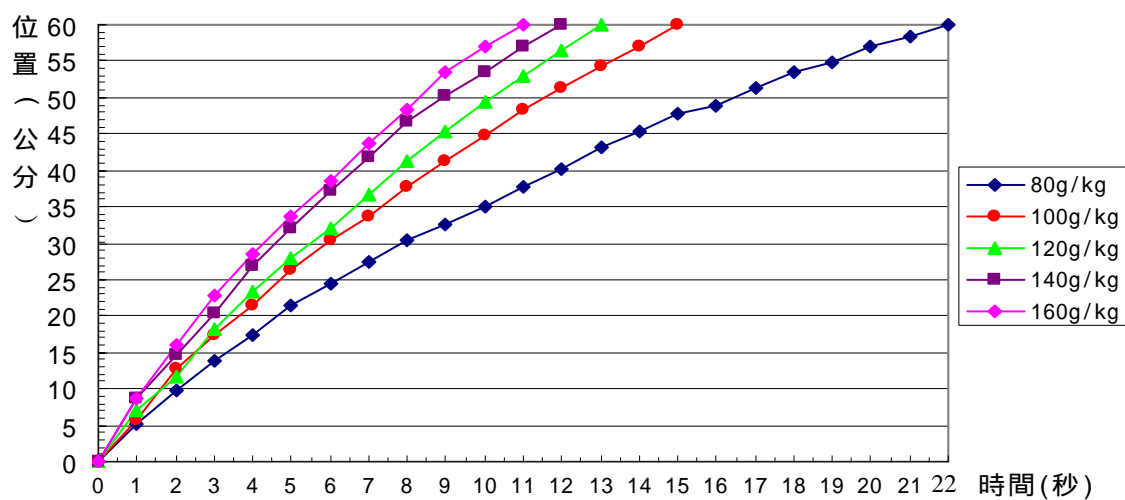


圖 11 不同濃度之泥水流前緣由 B 至 C 之水平位置變化

(3) 泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率如表 2，速率之比較如圖 12。

表 2: 泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率

泥水濃度 (g/kg)	80	100	120	140	160
平均速率 (cm/s)	3.14	4.01	4.71	5.09	5.58

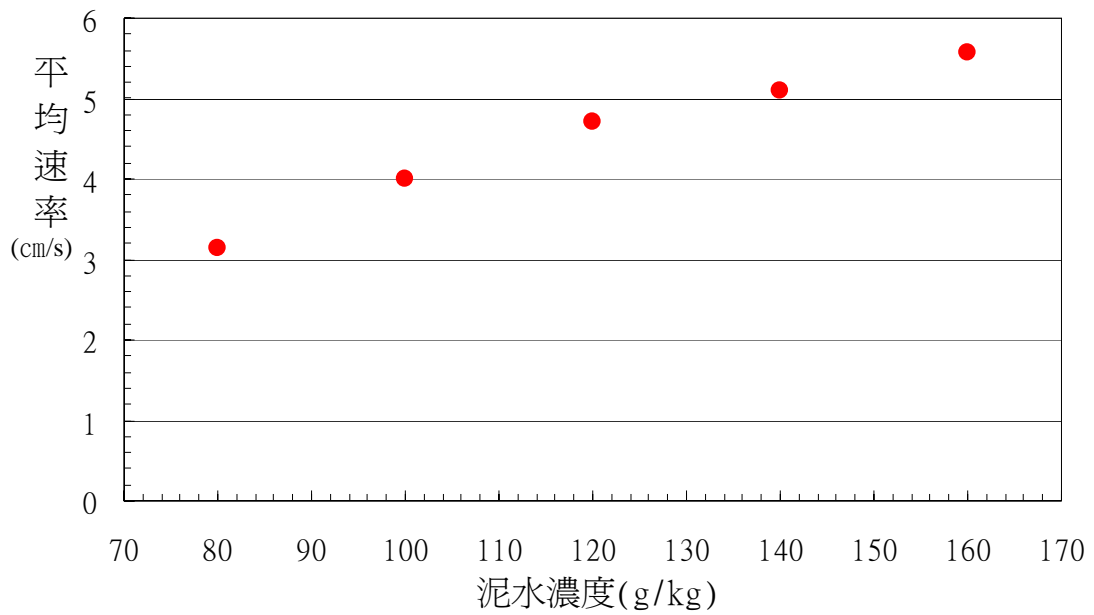


圖 12 不同濃度泥水流前緣由 B 至 C 平均移動速率之比較

(4) 濃度 160g/kg 泥水在實驗水槽內形成濁流之情形，如圖 13-1 至圖 13-7。

t=1.5 秒



圖 13-1 高密度泥水進入底床斜坡下滑時，前端較厚，其後較薄。

t=5 秒



圖 13-2 泥水下滑過程中，前緣後方發生反捲現象，並如轉子一般在下滑過程中沿斜坡不斷旋轉。



t=7 秒



圖 13-3 t=7.0 秒時，泥水前緣已達斜坡底部，前緣部份轉動之後，泥水與鹽水交界面上尚有波動現象發生。

t=8 秒



圖 13-4 泥水在斜坡底部累積，再沿平面向右前進。

t=11 秒



圖 13-5 泥水前端部分體積增大，並且一分為二成爲兩股，斜坡上的泥水與鹽水交界面上仍有波動現象。

t=14 秒



圖 13-6 隨著泥水前端向右，其後方泥水、鹽水交界面上亦發生波動現象。

t=16 秒



圖 13-7 t=16.0 秒時，泥水前端即將抵達水槽右邊界。

## 2.分析：

泥水流前緣自 A 流至 C(見圖 3)所需時間以濃度 80g/kg 最長，平均為 26.3 秒；而濃度 160g/kg 僅需 16.8 秒。此外，濃度 80g/kg 之泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率為 3.14cm/s，而濃度 160g/kg 則增為 5.58 cm/s。顯見含泥量愈高、密度愈大的泥水在鹽水中的移動速率愈大。

## 四、實驗四：探討濁流在海床上的移動速率與濁流體積之關係

### 1.結果：

(1) 不同體積泥水之泥水流前緣由 B 至 C 之位置變化，如圖 14。

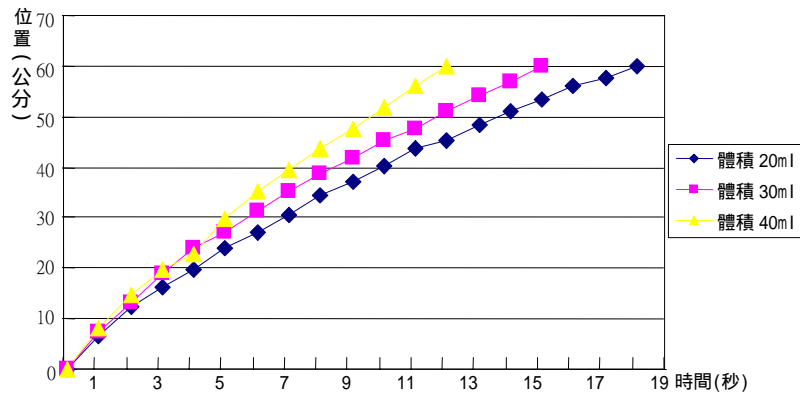


圖 14 不同體積泥水之泥水流前緣水平位置變化

(2) 不同體積泥水之泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率，如表 3。

表 3:不同體積泥水之泥水流前緣之平均移動速率

泥水體積 (mL)	20	30	40
平均速率 (cm/s)	3.16	3.75	4.62

### 2.分析：

結果顯示(表 3)，泥水體積越大移動速率越大。如體積 20mL 之泥水流的平均移動速率為 3.16cm/s，而體積增為 40mL 則速率提高為 4.62 cm/s。

## 五、實驗五：探討旋轉效應對濁流行為及擴散形狀之影響

### 1. 結果：

(1) 無旋轉作用時，泥水進入鹽水槽後之情形，如圖 15a-1 至 15a-4。

t=1 秒



圖 15a-1 t=1 秒之情形

t=2 秒



圖 15a-2 t=2 秒之情形

t=3 秒



圖 15a-3 t=3 秒之情形

t=4 秒



圖 15a-4 t=4 秒之情形

(2) 外加逆時鐘旋轉作用下，泥水進入鹽水槽後之情形，如圖 15b-1 至 15b-3。

t=3 秒



圖 15b-1 泥水一進入底床斜坡，前進方向立即向右偏(順時鐘方向)。

t=14 秒



圖 15b-2 泥水前進方向持續向右偏。

t=25 秒



圖 15b-3 隨著泥水排入量的增加，底床上泥水擴散區域向右和向下增加。

## 2.分析：

無旋轉作用時，泥水進入水槽後泥沙沿著底床斜坡快速移動，且幾乎是以排出口為中心，呈對稱的形式迅速擴散成扇形(圖 15a-1；15a-2)；但外加旋轉作用下，泥水受到逆時鐘旋轉效應的影響，外形明顯改變，流速較慢且前進方向偏右(圖 15b-1；15b-2)。

## 六、實驗六：模擬入海濁流經過障礙物時之移動情形

### 1.結果：

(1)濃度 120g/kg 的泥水經過三角型障礙物之情形，如圖 16a-1 至 16a-14。



圖 16a-1



圖 16a-2



圖 16a-3



圖 16a-4



圖 16a-5



圖 16a-6



圖 16a-7



圖 16a-8



圖 16a-9

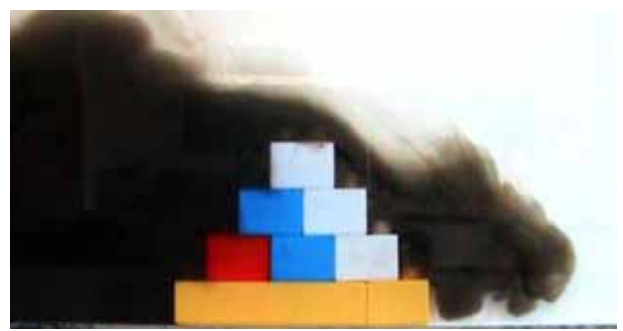


圖 16a-10



圖 16a-11



圖 16a-12



圖 16a-13



圖 16a-14



(2) 濃度 120g/kg 的泥水經過梯型障礙物之情形，如圖 16b-1 至 16b-14。



圖 16b-1

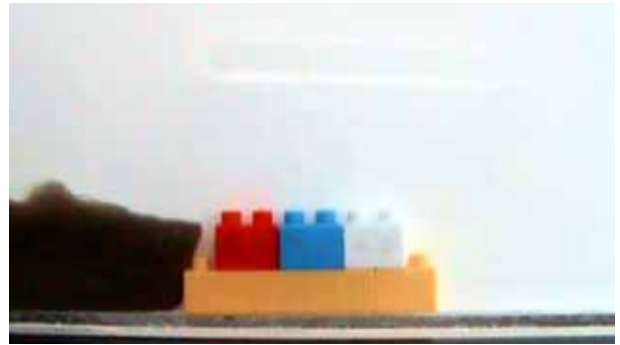


圖 16b-2



圖 16b-3

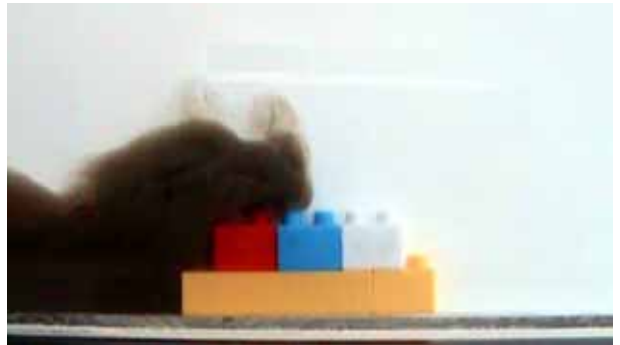


圖 16b-4

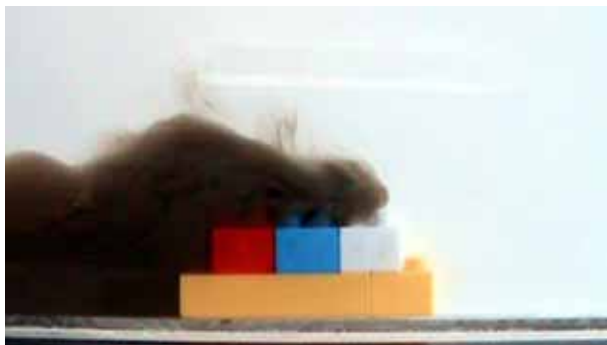


圖 16b-5

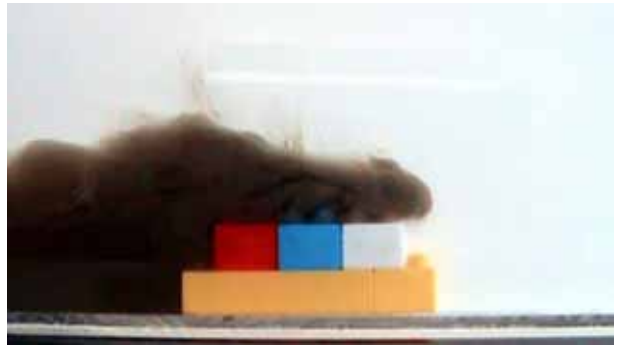


圖 16b-6

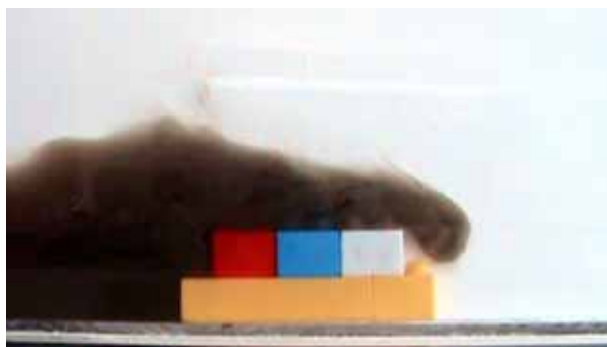


圖 16b-7

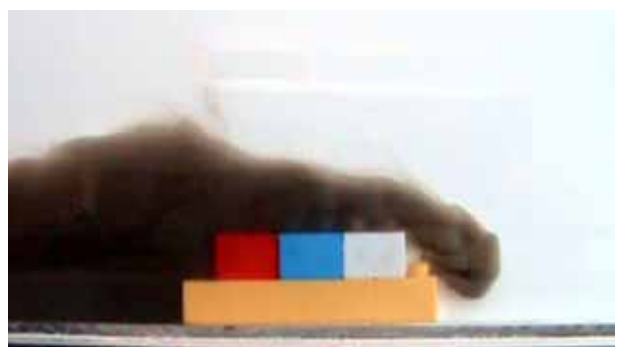


圖 16b-8

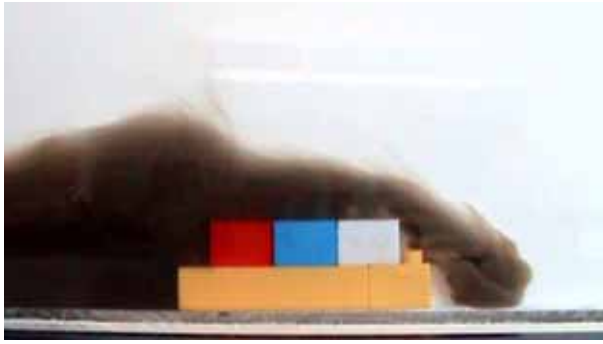


圖 16b-9

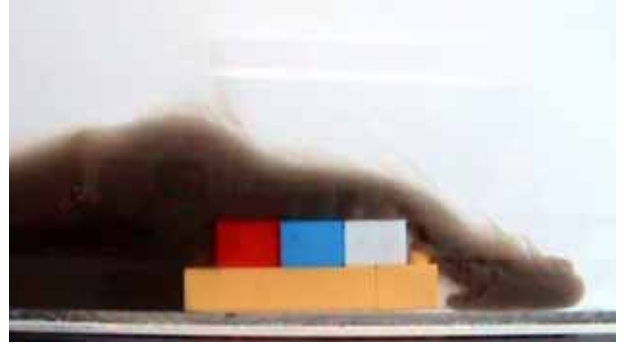


圖 16b-10

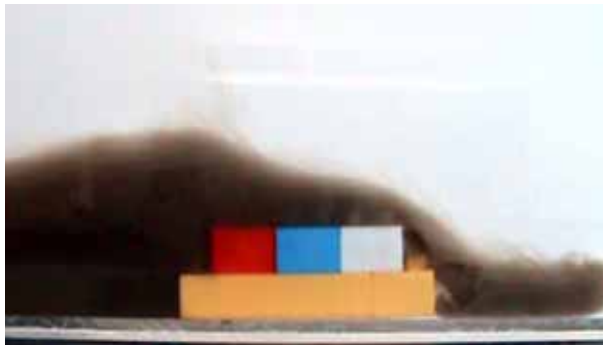


圖 16b-11

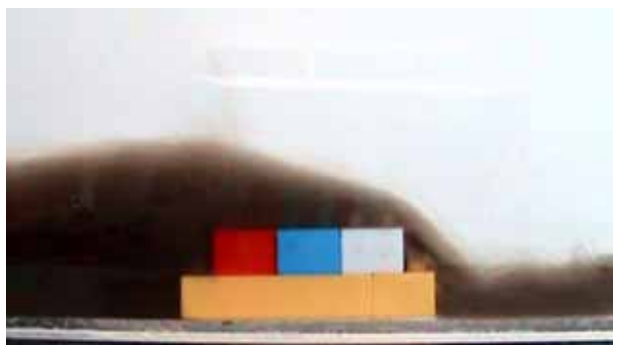


圖 16b-12

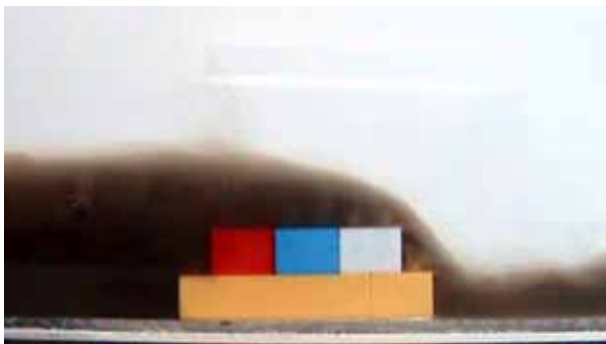


圖 16b-13



圖 16b-14

## 2.分析：

- (1) 當泥水流前緣碰觸到三角型障礙物前端時會沿斜坡向上躍起（圖 16a-3 至圖 16a-5），大部分泥水被阻擋於障礙物前並往槽底沈降，少部分則翻越障礙物向下流、發生波動現象，並沿槽底緩慢前進（圖 16a-6 至圖 16a-14）。
- (2) 泥水流前緣到達梯型障礙物時迅速翻騰向上（圖 16b-3），部分泥水被阻擋於障礙物前並往槽底沈降，其它則沿梯型障礙物頂移動（圖 16b-4 至圖 16b-6），接著向下流（圖 16b-7；圖 16b-8）並沿槽底繼續前進（圖 16b-9 至圖 16b-14）。
- (3) 泥水流前緣翻越三角型障礙物所需時間比翻越梯型障礙物所需時間長，兩者相差約一秒鐘。

## 七、實驗七：探討海床粗糙度對濁流移動速率之影響

### 1.結果：

- (1) 水槽粗糙度不同時，泥水流前緣自起點 A 流至終點 C(見圖 3)所需時間，如表 4。

表 4: 水槽粗糙度不同時，泥水流前緣自 A 流至 C 所需時間

水槽粗糙度	泥水流前緣自 A 流至 C 所需時間(s)
斜坡及槽底光滑	23.8
斜坡光滑槽底鋪沙	26.5
斜坡及槽底鋪沙	38.9

- (2) 水槽粗糙度不同時，泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率，如表 5。

表 5: 水槽粗糙度不同時，泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率

水槽粗糙度	泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率(cm/s)
斜坡及槽底光滑	4.05
斜坡光滑槽底鋪沙	3.43
斜坡及槽底鋪沙	2.15

### 2.分析：

泥水流前緣自 A 流至 C(見圖 3)所需時間以斜坡及槽底皆鋪沙者最長；而斜坡及槽底皆光滑者最短。此外，於斜坡及槽底皆光滑之情況下，泥水流由 B 至 C 之平均移動速率為 4.05cm/s；而在斜坡及槽底皆鋪沙之情況下則降為 2.15 cm/s，減緩率是光滑槽底的 53.1%。

## 八、實驗八：探討同體積泥水入流速率對濁流移動速率之影響

### 1.結果：

- (1) 20mL 泥水由不同規格之移液管流出所需時間及平均流量，如表 6。

表 6: 20mL 泥水由不同規格之移液管流出所需時間及平均流量

移液管	20mL 泥水流出所需時間(s)	平均流量(mL/s)
甲	13.1	1.53
乙	11.2	1.79
丙	10.2	1.96

(2) 泥水流量不同時，泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率，如表 7。

表 7: 泥水流量不同時，泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率

平均流量(mL/s)	泥水流前緣由 B 至 C 之平均移動速率(cm/s)
1.53	2.88
1.79	3.24
1.96	3.55

## 2.分析：

泥水由不同規格之移液管流進鹽水槽之平均流量以丙最大，甲最小；而泥水流由 B 至 C 之平均移動速率也是以丙最大，甲最小。換言之，流量較大者移動速率較大。

## 陸、討論

- 一、本實驗使用之泥沙採自蘭陽溪下游出海口附近水鳥保護區（圖 17），採集時間為 2008 年 9 月辛樂克(SINLAKU)颱風過境後 3 日（9 月 18 日）。



圖 17 實驗泥沙採集點

- 二、實驗一主要是觀察鹽水與泥水交會時相互流動之情形，實驗結果可說明河海交界處，挾帶泥沙的河水進入海水中的情形，當含泥量較少且密度較海水小的河水出海時，會先漂流於洋面上，水中泥沙再逐漸向洋底沉降；反之，含泥量較多且密度較海水大的河水出海時，將直接向洋底移動，水中泥沙大量沉積於洋底。
- 三、實驗二為模擬低密度河川混濁水流進入海洋表面後擴散的現象，實驗結果可說明颱風過境後經由人造衛星拍攝的臺灣海岸影像中，河口附近海域形成扇狀區域之可能原因。此外，40g/kg 泥水流向下進入鹽水中，會立即反轉向上移動而漂流於鹽水面上，此現象顯示含泥的河水雖然其密度比純水高，但若比海水低的話，混濁水將會浮在海面上。

- 四、分析實驗三之結果，可發現含泥量較高、密度較大的泥水在鹽水中的移動速率較大。據此可推論泥沙含量較高的河水流入海洋後，其形成的海底濁流移動較快。實驗結果亦顯示濁流經過斜坡向下之流動速率快，前進時其前端呈弧形（圖 13-1；圖 13-2），且其離開斜坡移動時，弧狀頭部外形明顯改變（圖 13-5；圖 13-6）。
- 五、由於模擬水槽尺寸大小之限制，因此本研究是採定量體積泥水注入鹽水中的方式模擬瞬間偶發之濁流在海洋中的行為。實驗四之目的在於了解固定泥水濃度時，泥水體積與濁流移動速率之關係，結果顯示泥水體積越大移動速率越大。據此可說明自然界中，河流排放泥水的總量愈大，入海後所形成的濁流，其流速就愈大。
- 六、比較實驗五之結果，可發現無旋轉作用時，泥水進入水槽後泥沙沿著底床斜坡快速向下移動，且幾乎是以注入口為中心，呈對稱的形式擴散成扇形（圖 15a-1；15a-2）；但外加旋轉作用下，泥水受到逆時鐘旋轉效應的影響，移動速率顯著降低且前進方向偏右（圖 15b-1；15b-2）。真實的情況下，地球的旋轉效應可能也會對濁流擴散產生類似的現象，此外，洋流與潮汐的作用應該也會改變扇形擴散舌的形狀。
- 七、實驗六是說明入海濁流經過障礙物時之移動情形，我們起初選擇濃度低於 100g/kg 的泥水進行實驗，結果都無法越過三角型障礙物，泥水皆被阻擋於障礙物前並逐漸往槽底沈降。而濃度 120g/kg 的泥水，如果注入水槽的體積小於 10mL，亦無法越過三角型障礙物。此現象符合實驗三及實驗四之結果，即濃度較高或體積較大的泥水，移動速率較大，動能較高。換言之，移動速率大、動能高的泥水才能流過障礙物。此外，依據實驗六的結果可推論：當高密度濁流於海床移動到達海脊時，將受到阻擋而減速，濁流挾帶之泥沙會堆積於海脊前及海脊上，少部分能越過海脊繼續緩慢移動。
- 八、實驗七顯示泥水流經過粗糙表面的移動速率明顯小於光滑面，減緩率高達光滑槽底的 53.1%，其原因可能為泥水流在粗糙表面前進時，磨擦阻力較光滑面大，損失動能相較之下比較多，而且泥水中的泥在粗糙表面沉積速率可能大於光滑面，造成泥水密度快速減小而降低其流速。根據實驗七之結果，可推知在真實的河口海洋環境中，濁流在表面粗糙的海床中移動速率會低於表面均勻的海床。因此在進行真實的海洋濁流研究中，海床底質特性應該也是必須考量的變因之一。
- 九、實驗八顯示同體積泥水流平均流量愈大，進入鹽水槽後之移動速率也愈大。據此可以推論颱風過境臺灣，山區暴雨匯集成的瞬間洪流挾帶大量泥沙形成流量很大的濁流由河口進入海洋，其流速應該相當地大。實驗證明，暴雨匯集而成的洪峰，在體積相同的條件下，排放時間愈短，在海底形成濁流的移動速率愈大，以實驗中平均流量 1.53mL/s 和 1.96 mL/s 的實驗結果來比，後者泥流平均移動速率增高為前者的 123.3%。



十、綜合所有實驗之結果發現：當濁流停止移動而泥水沉降於槽底之後，會逐漸形成向上漂浮擴散的蕈狀泥流（圖 18），持續一段時間後所有的泥水沉降至槽底後才停止流動。此現象顯示：當泥水中的泥沉積於槽底而泥水密度降低至小於鹽水時，泥水與鹽水將以自然對流方式相互流動，直到達成動態平衡為止。



圖 18 槽底泥水向上擴散之情形

## 柒、結論

本研究使用泥水和鹽水並利用自製的壓克力實驗水槽，模擬濁流入海之後的行為。經由一系列實驗，我們成功地模擬並觀察到泥水流入鹽水後所產生的許多現象，也了解濁流形成的密度流在海中的移動特性。分析攝影機拍攝的影像，所獲得結論如下：

- 一、主控河川入海濁流之行為的因素之一，是海水與泥水密度差異的重力作用。河川水雖挾雜泥沙使得密度升高，但其密度若小於海水時，入流泥水會漂浮於海面上，在沒有旋轉作用下形成扇形擴散舌。根據實驗結果，當泥水濃度小於 40 g/kg 時，濁流將浮在海面上。
- 二、當泥水濃度大於 80 g/kg 以上時，河川入海之濁流經過底床斜坡向下流動迅速，其前端部份會形成弧狀，同時產生與下滑方向相反的反捲現象；離開斜坡形成底流移動時，弧狀頭部更加明顯。
- 三、含泥量愈高、密度愈大的河水進入海洋中所形成的濁流，其移動速率愈大。根據實驗結果，濁流移動速率(Y)與泥水濃度(X)的關係為  $Y = 0.0298X + 0.93$ ，其中  $80 \leq X \leq 160$ ，濃度單位為 g/kg，速率單位為 cm/s。
- 四、河流排放泥水的總量愈大，入海後所形成的濁流，其流速愈大。
- 五、外加旋轉作用對於高密度濁流在底床斜坡上之擴散形狀的影響顯著，在轉盤以每分鐘 12 轉逆時鐘旋轉的情況下，除造成前進方向向出口右方偏與流速之變化外，亦改變其外形使其貼近出口右方邊界。
- 六、河川入海濁流於海床移動到達海脊時將受到阻擋，而其所挾帶的陸源泥沙沉積物會大量堆積在海脊前及海脊上。
- 七、海洋濁流於表面均勻的海床中移動時，前進的速率大於表面粗糙的海床。

- 八、河川入海濁流之流量愈大，進入海床後之移動速率也愈大。
- 九、濁流對海洋可能產生的影響包括：1.浮在表層的低密度濁流將阻擋陽光射入海中，因此可能會干擾海洋浮游植物的光合作用，進而影響生態環境；2.高密度濁流中的泥沙沈積在海床上後，將造成海底地形、地貌的改變，亦有可能覆蓋在底床上生長的動、植物，例如珊瑚、藻礁等等。
- 十、本實驗所設計的水槽，可應用於地球科學教學上，提昇教學效果。

## 捌、參考資料

- 方中權（民 95）。**台灣的沉構造**（20-21 頁）。臺北：財團法人地球科學文教基金會。
- 馮士箝等（民 92）。**海洋科學導論**（42-43 頁）。臺北：藝軒。
- 戴昌鳳（民 92）。**台灣的海洋**（46-49 頁）。臺北：遠足。
- 地球科學學習加油站**。http://140.111.1.12/senior/earth/yl\_ld/main.htm
- 全國中小學科學展覽會歷屆優勝作品專輯**。  
http://www.ntsec.gov.tw/m1.aspx?sNo=0000263
- 國立中央大學太空及遙測研究中心**。  
http://140.115.109.101:8080/SRSL/CSRSR/homepage.jsp?UserId=guest

## 【評語】 030506

優點：1.實驗設計完整，考慮周全。

2.研究結果有學術價值。

缺點：所用的沉積物描述需更詳細，包括礦物組成、顆粒大小等。

建議改進事項：應盡量貼近實際河流入海狀況如坡度與流速以及考慮真實地球轉速。