

# 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

最佳創意獎

040811

穩頸制砂

學校名稱：國立臺中第一高級中學

作者： 高二 許宇鎧	指導老師： 張宇靖 包宏信
---------------	---------------------

關鍵詞：頸環、橋墩、沖刷坑

## 摘要

本報告為均勻橋墩之清水局部沖刷試驗，每項試驗皆可直接由攝影機觀察橋墩前方之沖刷坑，試驗條件為水槽寬度 2 m、長度 9 m、橋墩距離 0 斷面(水流起點)350 cm、直徑 7 cm、泥沙粒徑 1 mm、水深 15 cm、底床坡度 1/1000、試驗時間 8 小時、斷面平均流速 27.5 cm/s、床底質臨界啟動速度 29.1 cm/s、 $V/V_c = 0.94 < 1$ 。試驗包含無頸環試驗兩種及有頸環試驗六種，由無頸環試驗結果得知，試驗後沖刷坑的範圍半徑約為墩徑的 2.86 倍，深度約為墩徑的 1.43 倍。而橋墩後方形成之砂堆的對稱性，即代表頸環對減少沖刷坑深度效果的好壞，後方砂堆越不對稱則頸環之效果越好，且綜合比較各項數據，得知自製的「波浪式頸環試驗」為最佳方案，能夠減少沖刷坑深度達無頸環試驗中沖刷坑深度的 65 %。

## 壹、研究動機

辛樂克風災(SINLAKU, 2008)時，在電視上看到台中后豐大橋斷橋的事件，讓我想到每次風災過後幾乎都會產生斷橋或危橋的情況，於是便想要了解為何洪水會對橋體結構產生破壞，後來才發現原來橋體結構之破壞幾乎都源於橋墩基礎被掏空，也就是原先覆蓋於橋墩基礎旁的泥砂會因水流而產生沖刷，最後終使橋墩的基礎裸露造成橋體不穩。因而便想深入研究水流與泥砂沖刷之關係，將實驗著眼於均勻橋墩之清水局部沖刷，探討水流經過橋墩產生之運動，以及在橋墩上增加各種不同的保護措施(頸環, Collar)，嘗試減少沖刷坑的深度，以達到保護橋墩之功效。

## 貳、研究背景與目的

### 一、研究背景

#### (一) 沖刷之分類<sup>[1]</sup>

Melville and Coleman (2000)<sup>[2]</sup>認為橋樑處所造成之沖刷亦可視為一般沖刷及局部化沖刷 (localized scour) 之加總，其中局部化沖刷又可分為局部沖刷與束縮沖刷。根據 Raudkivi and Ettema (1983)<sup>[3]</sup>與 Raudkivi (1986)<sup>[4]</sup>所述，橋墩周圍之沖刷大致可以分為局部沖刷(local scour)、一般沖刷 (general scour) 及束縮沖刷(contraction scour)。

Raudkivi and Ettema (1983)<sup>[3]</sup>指出局部沖刷可分為清水沖刷(clear-water scour)及濁水沖刷(live-bed scour)。清水沖刷隨著沖刷時間增長而到達平衡沖刷深度；濁水沖刷到達平衡時為在某一段時間內，被帶進沖刷坑內之底床質總量與被帶出沖刷坑內之底床質總量相等，其沖刷深度呈現動態平衡，濁水沖刷深度相較於清水沖刷深度約

少 10 %。橋樑設計上，為安全考量，大多以清水沖刷條件下之最大沖刷深度，做為橋樑橋墩基礎設計之基準。

## (二) 沖刷因子之探討<sup>[1]</sup>

橋墩周圍沖刷行為屬複雜之三維流場分離機制，當水流遇到橋墩時，由於橋墩之阻水效應，導致速度剖面於橋墩前緣轉換成一壓力梯度，此為下降流形成之主要機制，亦為造成橋墩前緣局部沖刷之主因。除下降流外，橋墩周圍整個渦流系統亦包含橋墩兩側之馬蹄形渦流(horseshoe vortex)、橋墩後方之尾跡渦流(trailing-vortex)，以及消散渦流(wake-vortex)如圖 2-1 所示。

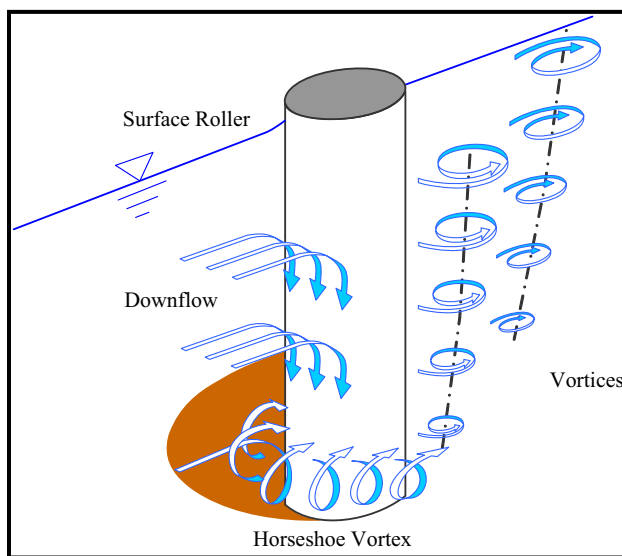


圖 2-1 橋墩周圍沖刷三圍流場分離機制示意圖(摘自 Bridge Scour , 2000)<sup>[2]</sup>

## (三) 水流特性<sup>[1]</sup>

### 1. 相對水流強度(Flow Intensity)

根據 Raudkivi and Ettema (1977)<sup>[5]</sup>對於相對水流強度影響所做之相關研究與分析，可獲得以下結論：

- (1)  $V/V_c < 0.5$ ，在此狀況下不產生沖刷。
- (2)  $0.5 < V/V_c < 1$ ，在此狀況下產生之沖刷行為即為清水沖刷。
- (3)  $V/V_c > 1$ ，在此狀況下產生之沖刷行為即為濁水沖刷。

(註：  $V$  為水流斷面平均流速【cm/s】， $V_c$  為底床質臨界啟動速度【cm/s】 )

Melville and Chiew (1999)<sup>[6]</sup>指出在清水沖刷條件之下，即當水流斷面平均流速( $V$ )與底床質臨界啟動速度( $V_c$ )比值約為 1 時，會產生最大沖刷深度，而在濁水沖刷條件下，沖刷深度會由於上游底床質補充而降低。因此，一般在研究橋墩局部沖刷深

度時，多是以清水沖刷為主要條件。

## 2. 相對水流深度(Flow Depth)

Raudkivi and Ettema (1977)<sup>[7]</sup> 根據前人試驗認為，當水深大於橋墩迎水面寬 2 倍以上時 ( $y/D > 2$ )，水深效應對於平衡沖刷深度之影響並不明顯。Raudkivi and Ettema (1983)<sup>[3]</sup>、Raudkivi (1986)<sup>[4]</sup> 亦由前人研究進一步指出，在清水沖刷或濁水沖刷條件之下，若水深約為橋墩迎水面寬之 3 倍時 ( $y/D > 3$ )，水深對於平衡沖刷深度之影響幾可忽略。

(註：  $y$  為水深【cm】，  $D$  為橋墩迎水面寬【m】 )

### (四) 底床質特性<sup>[1]</sup>

#### 1. 底床質粒徑參數(Bed Material Particle Size Parameter)

本參數定義為  $u_{*c}^2 / [(S-1)gD_{50}]$ ，由圖 2-2 的 Shields diagram 可得知，若已知底床之中值粒徑  $D_{50}$ ，即可推求相對之臨界剪力速度(critical shear velocity)  $u_{*c}$ 。Melville and Coleman (2000)<sup>[2]</sup> 重新迴歸相關試驗數據獲得(2-1)式，且由已知之水深亦可推求底床質臨界啟動速度，如(2-2)式。

(註：  $u_{*c}$  為臨界底床剪力速度【m/s】)

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125D_{50}^{1.4} \quad 0.1\text{mm} < D_{50} < 1\text{mm} \quad (2-1)$$

$$u_{*c} = 0.0305D_{50}^{0.5} - 0.0065D_{50}^{-1} \quad 1\text{mm} < D_{50} < 100\text{mm}$$

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.751 \log \left( 5.53 \frac{y}{D_{50}} \right) \quad (2-2)$$

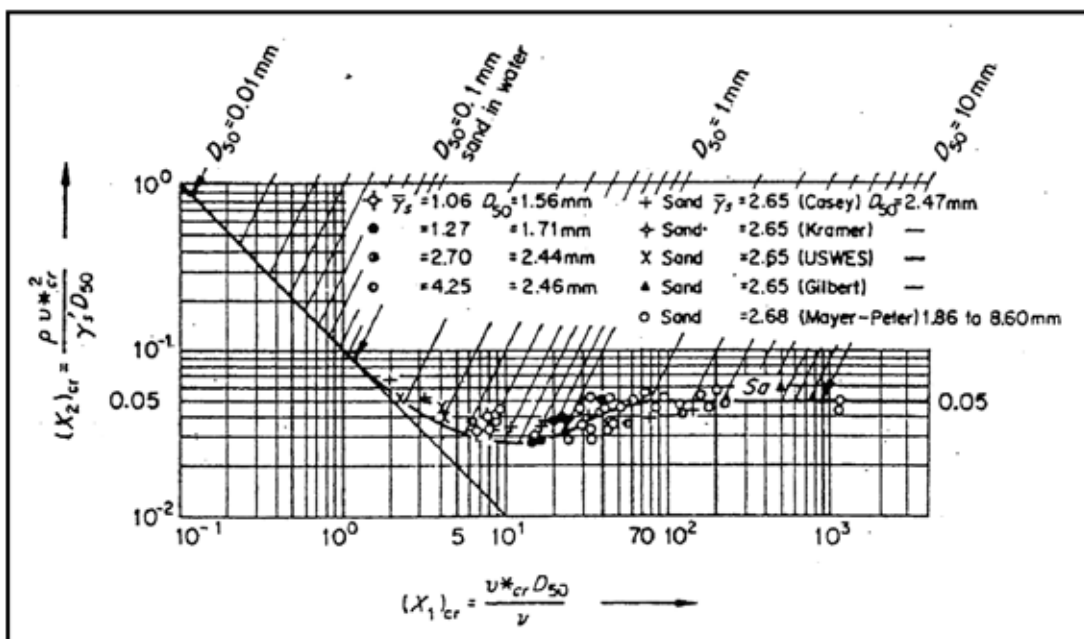


圖 2-2 顆粒臨界起動剪應力圖(摘自 Yalin, 1970)



## 2. 底床質相對粒徑(Relative grain size)

此因子定義為橋墩迎水面寬與底床中值粒徑之比值( $D/D_{50}$ )，Shen et al. (1969)<sup>[8]</sup>根據前人相關試驗結果，認為在相同橋墩條件之下，不同底床質所產生之沖刷深度曲線，有明顯之差異。

Raudkivi and Ettema (1983)<sup>[9]</sup>經試驗資料得知，當橋墩迎水面寬大於底床中質粒徑 50 倍以上，底床粒徑對沖刷深度之影響即可忽略。

(註： $D_{50}$ 為底床中值粒徑【mm】)

### (五) 橋墩幾何型態<sup>[1]</sup>

Melville and Raudkivi (1996)<sup>[9]</sup>將覆土面區分為三區，如圖 2-3 所示。第一區中，覆土面高於橋墩迎水面寬之 2.4 倍，因此橋墩前緣局部沖刷深度約為橋墩迎水面寬之 2.4 倍；在第二區中，沖刷過程受橋墩不均勻面影響，進而降低下降流強度，因此橋墩前緣局部沖刷深度將會低於橋墩迎水面寬之 2.4 倍，並隨覆土高度增加而降低；第三區中，覆土面於橋墩不均勻面之下，則在沖刷過程初期，即由於橋墩不均勻面降低下降流強度，使沖刷能力比水流直接衝擊橋墩基礎迎水面寬  $D^*$  時小。

(註： $Z$  為覆土高度【cm】)

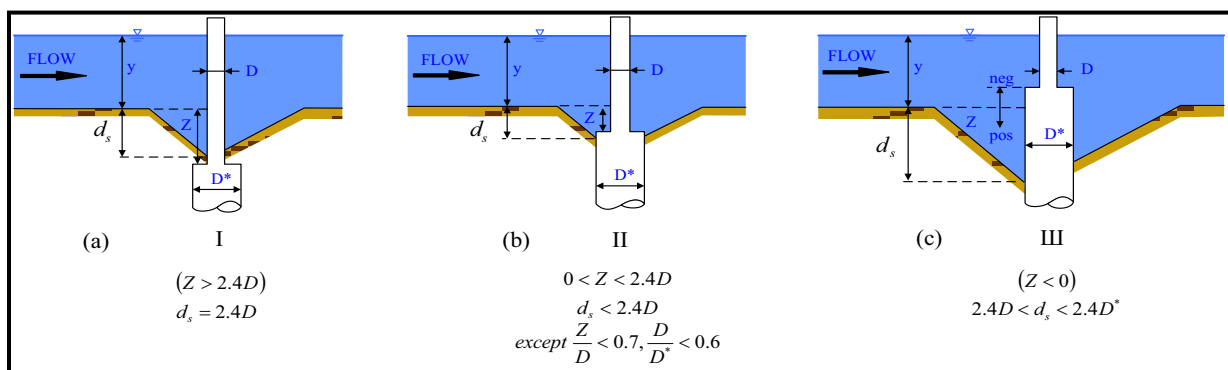






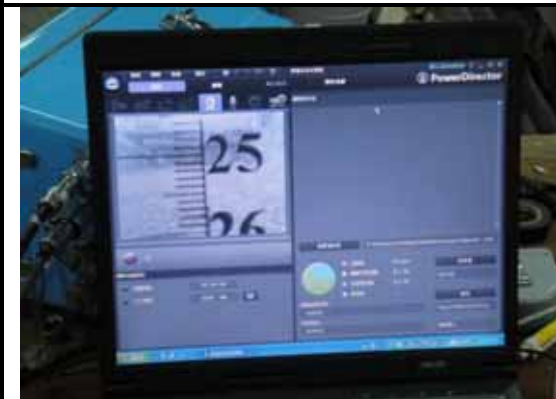



圖 2-3 非均勻橋墩及覆土相關示意圖 (摘自 Melville and Raudkivi, 1996)<sup>[9]</sup>

## 二、研究目的

- (一) 在清水局部沖刷的情況下，研究各種頸環與橋墩周圍產生之水流的關係。
- (二) 同上情況下，研究各種頸環與沖刷坑深度之間的關係。
- (三) 同上情況下，研究各種頸環與斷面流速之間的關係。
- (四) 同上情況下，研究試驗後地形與沖刷坑深度之間的關係。
- (五) 綜合試驗結果與研究，設計製作出綜合比較後有最佳效果的新型頸環。

### 參、研究設備及器材

	
試驗水槽 (鋪砂段長 7 m 寬 2 m)	附刻度壓克力圓柱橋墩 (墩徑 7 cm)
	
探照燈	均勻砂 (粒徑 1 mm)
	
網路攝影機之電動升降軌道	電動軌道之控制鈕
	
筆電 (含可錄製影片之軟體)	網路攝影機



USB 延長線 (3 m)



數位相機



都普勒聲波流速儀



流速儀探頭



高度規



水準儀



游標尺



記錄單

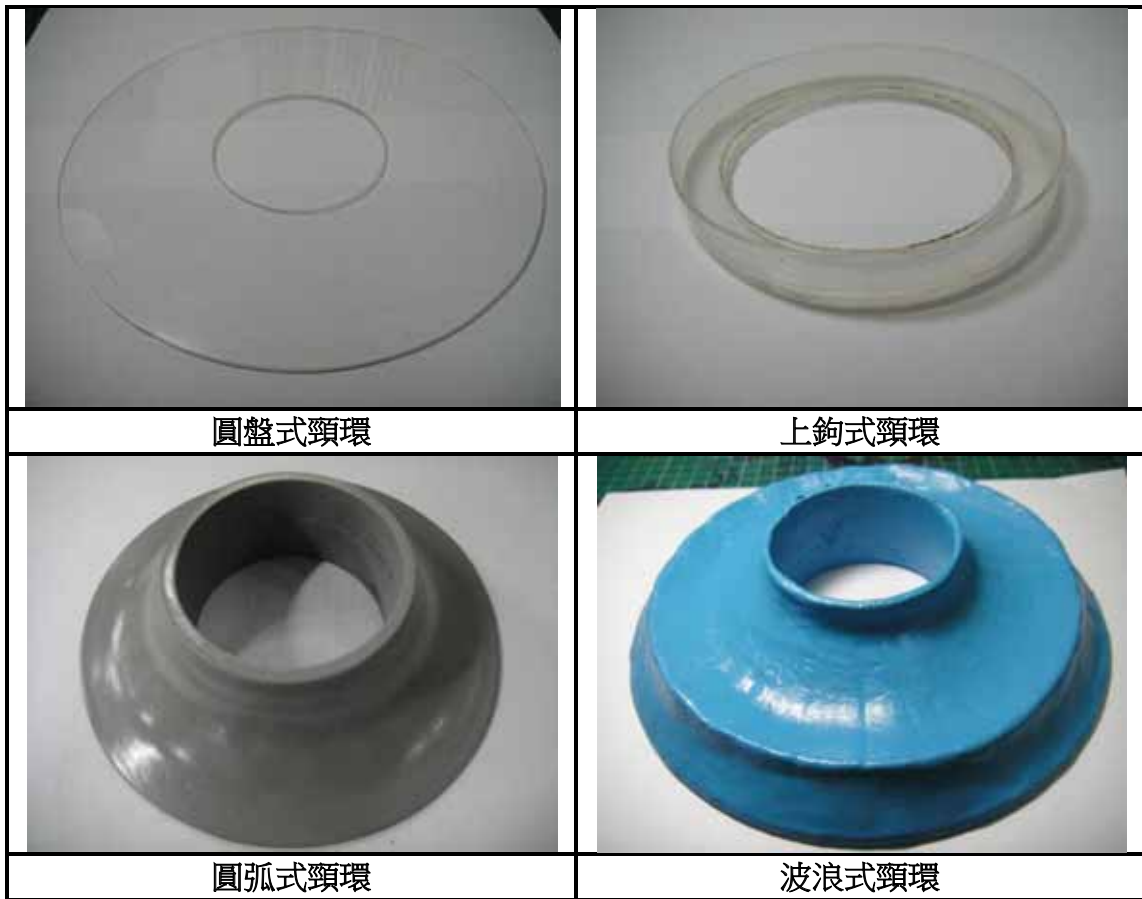


圖 3-1 試驗器材圖

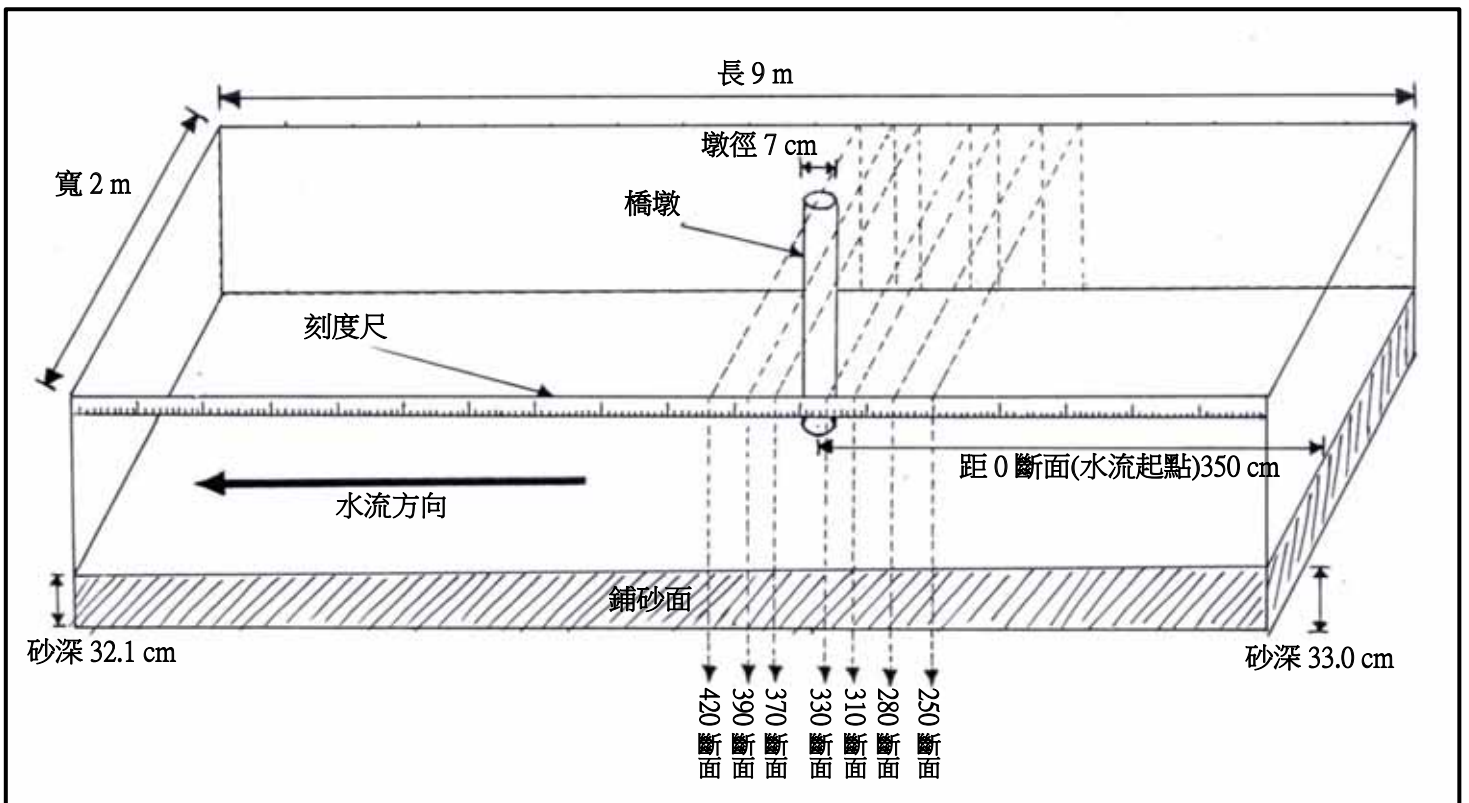


圖 3-2 試驗水槽設計圖



## 肆、研究方法與過程

### 一、研究方法

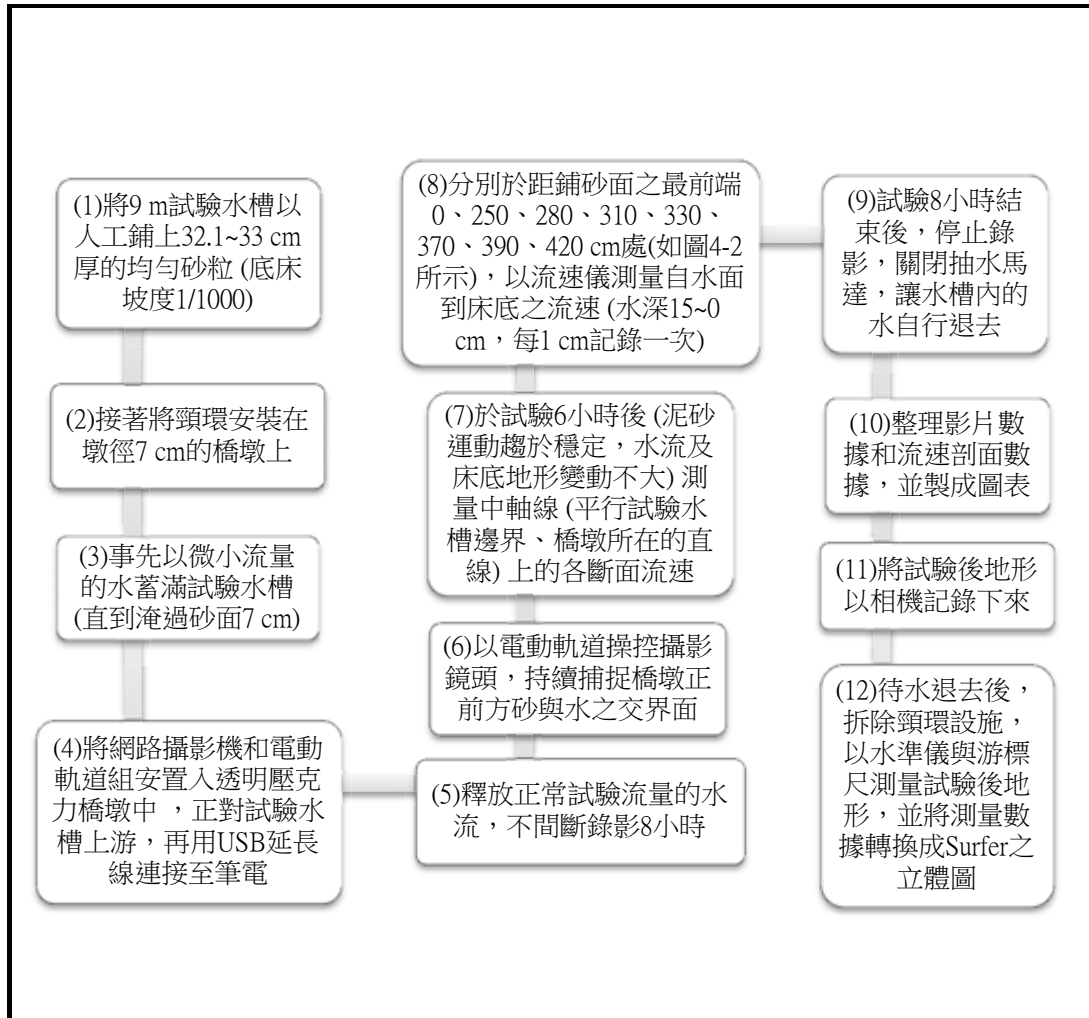


圖 4-1 試驗流程圖

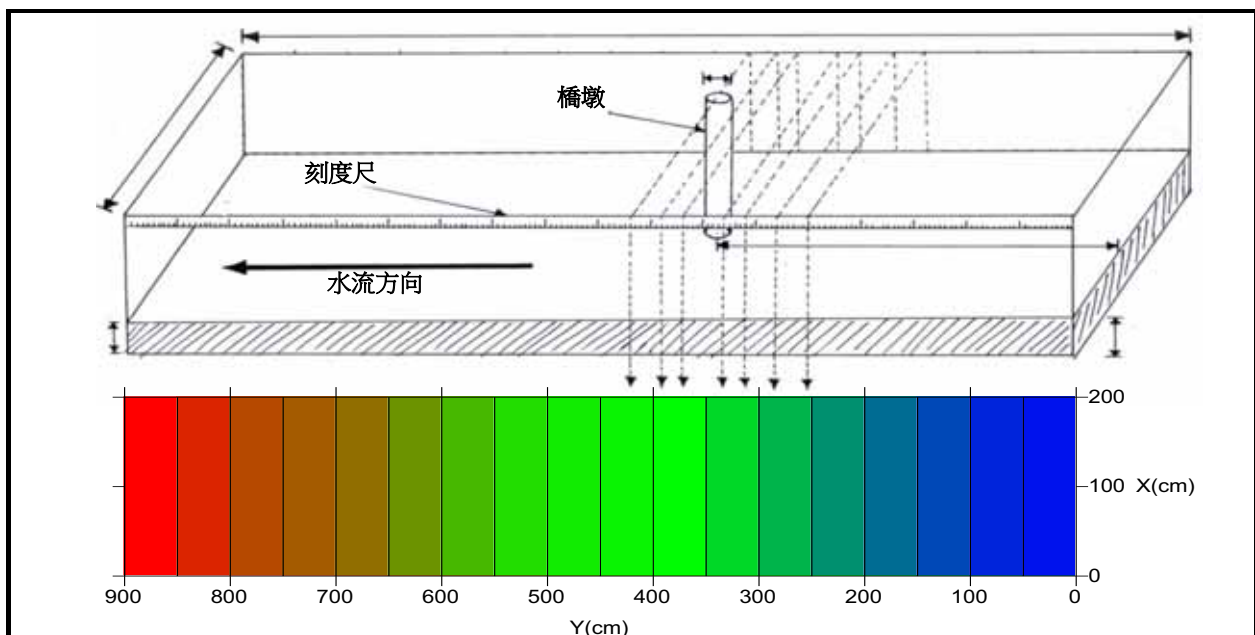


圖 4-2 斷面位置示意圖

## 二、研究過程

### (一) 試驗條件

1. 水槽寬度 [  $B$  ] 2 m (  $B/D > 10$  以避免邊際效應 )
2. 水槽長度 9 m
3. 橋墩位置 距離 0 段面 350 cm 處
4. 墩徑 [  $D$  ] 7 cm (  $D/d = D_{50} > 50$  )
5. 泥沙粒徑 [  $d$  ] 1 mm
6. 覆土高度 [  $Z$  ] 33 cm (  $Z > 2.4 \times D = 16.8$  cm )
7. 水深 [  $y$  ] 15 cm (  $y > 2 \times D = 14$  cm )
8. 底床坡度 [  $s$  ] 1/1000 ( 台灣河床下游緩坡之常見坡度 )
9. 試驗時間 8 小時
10. 斷面平均流速 [  $V$  ] 27.5 cm/s (  $0.5 < V/V_c = 0.94 < 1$  )
11. 床底質臨界啟動速度 [  $V_c$  ]  
29.1 cm/s (  $\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.751 \log \left( 5.53 \frac{y}{D_{50}} \right)$  )

### (二) 無頸環試驗

#### 1. 持續流量過大

##### (1) 過程

由於流量過大，造成試驗水槽邊壁生成可觀察到的明顯砂紋，如照片 4-1 所示，有砂紋即表示此時已為濁水沖刷，非本研究之試驗條件。

試驗後明顯產生砂紋(見照片 4-2)，由 250 cm 斷面處測得平均流速為 40.0~44.0 (cm/s)，得知  $V/V_c$  已大於 1，此時已是濁水沖刷，故需要調降流量至  $V/V_c < 1$ 。



照片 4-1 水槽兩側可見明顯砂紋



照片 4-2 退水後底床有明顯砂紋

## (2) 試驗後地形圖

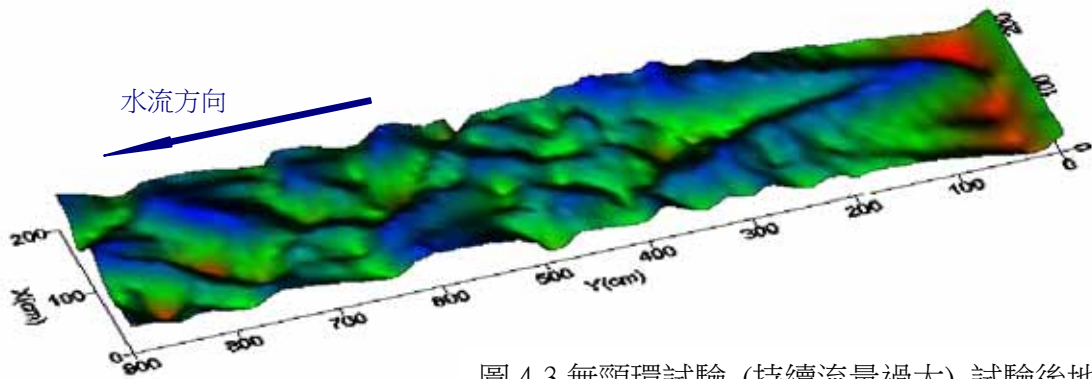


圖 4-3 無頸環試驗 (持續流量過大) 試驗後地形圖

## 2. 初期流量過大

### (1) 過程

由於上次試驗產生砂紋，所以需調降流量，但初期流量調降幅度仍然不夠，由 250 cm 斷面處測得平均流速為 31.5~33.8 (cm/s)， $V/V_c$  仍然大於 1，因此於鋪砂面前段產生快速移動之砂紋(如照片 4-3 所示) 雖然將流量再次調降後，前端砂紋移動速度減緩許多，但為避免影響試驗準確性，決定再做一次相同的試驗。

影片最後得到沖刷坑深度數據刻度為 31.4 cm，而原先砂面刻度為 21.4 cm，經影片分析得到之深度為 10.0 cm，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，最深點測量值為 22.6 cm，而原始砂面高度為 32.7 cm，相減得到之深度為 10.1 cm，由照片 4-4 中可看出後方砂堆之形狀幾乎呈現左右對稱。



照片 4-3 移動中的砂紋



照片 4-4 試驗後底床地形

## (2) 試驗後地形圖

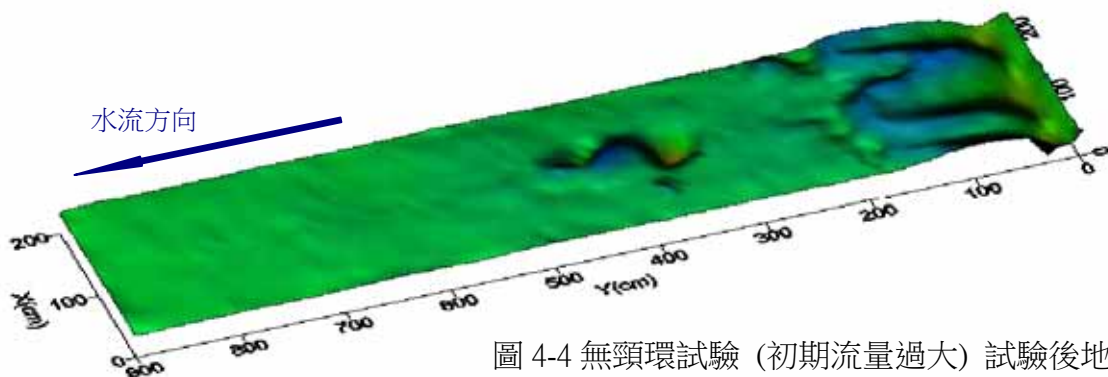


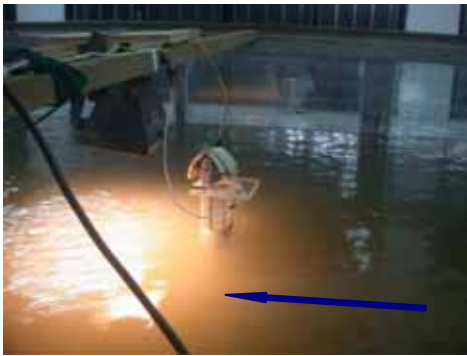
圖 4-4 無頸環試驗 (初期流量過大) 試驗後地形圖

### 3. 正常流量

#### (1) 過程

橋墩設置於距鋪砂面 0 斷面 350 cm 之位置(如照片 4-6 所示)，此次試驗未設置頸環，為後來幾次試驗之對照組，實驗中以探照燈從橋墩後方投射光線，以供攝影機拍攝所需之光源(如照片 4-5)。

影片最後得到沖刷坑深度數據刻度為 30.9 cm，經分析後深度為 9.5 cm，如照片 4-7，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，測量值為 22.9 cm，經計算得到之深度為 9.8 cm，而後方砂堆之形狀也幾乎呈現左右對稱，如照片 4-8。



照片 4-5 試驗中擷取畫面



照片 4-6 試驗前底床地形



照片 4-7 影片最終擷取畫面



照片 4-8 試驗後底床地形

#### (2) 試驗後地形圖

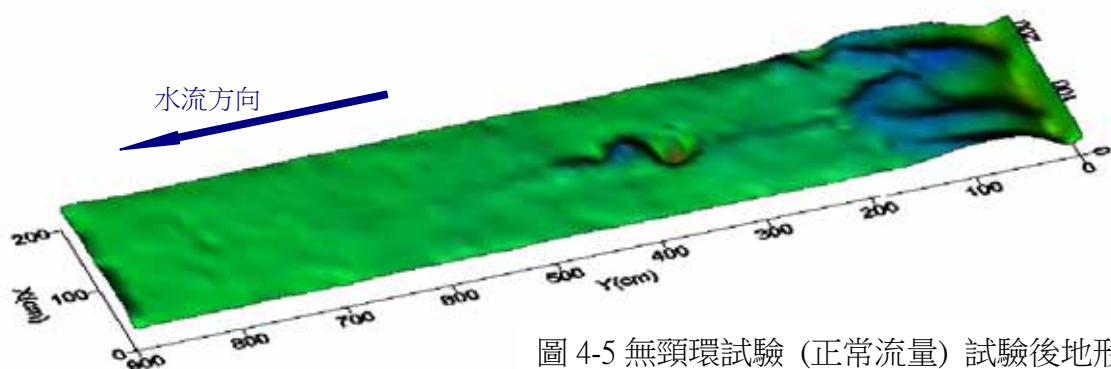


圖 4-5 無頸環試驗 (正常流量) 試驗後地形圖



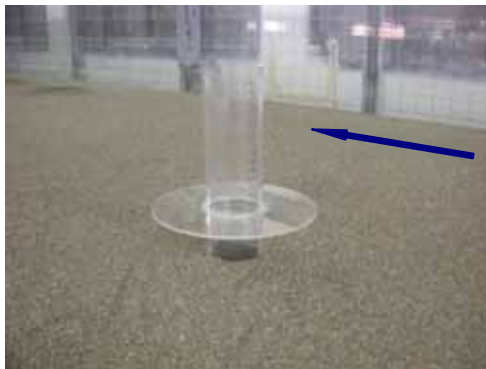
### (三) 有頸環試驗

#### 1. 圓盤式頸環 (離地)

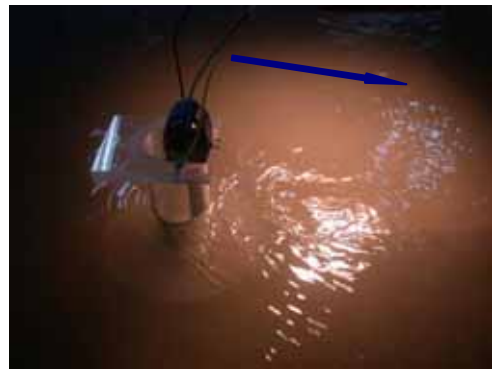
##### (1) 過程

此次試驗參考「Reduction of Local Scour at a Bridge Pier using Collar in a 180 Degree Flume Bend<sup>[10]</sup>」之做法，將頸環定成圓盤狀，以透明壓克力板製做，直徑為 20 cm，厚度為 3 mm，安裝於橋墩上，距離鋪砂表面 5.7 cm (參考「上鉤式頸環對橋墩沖刷減緩之功效<sup>[11]</sup>」)，如照片 4-9 所示。

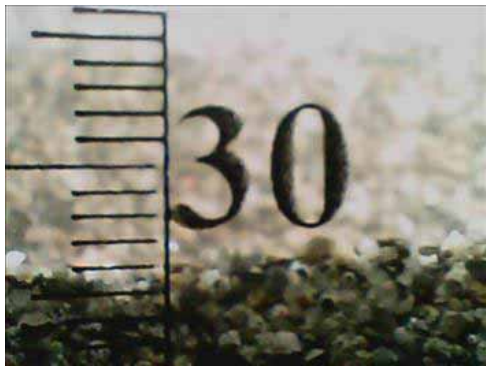
影片最後得到沖刷坑深度數據刻度為 30.4cm，經分析得到之深度為 9.0 cm，如照片 4-11，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，測量值為 23.4cm，經計算得到之深度為 9.3 cm，由照片 4-12 中可看出後方砂堆之形狀呈現對稱。



照片 4-9 試驗前頸環設置



照片 4-10 試驗中擷取畫面



照片 4-11 影片最終擷取畫面



照片 4-12 試驗後底床地形

##### (2) 試驗後地形圖

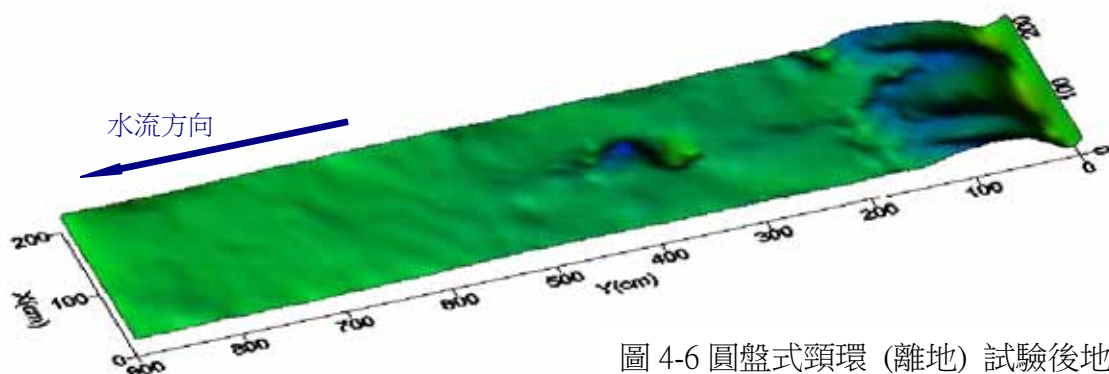


圖 4-6 圓盤式頸環 (離地) 試驗後地形圖

## 2. 圓盤式頸環 (貼地)

### (1) 過程

同樣以實驗 1.之圓盤式頸環安裝於橋墩上，頸環距離鋪砂表面 0 cm，如照片 4-13 所示。

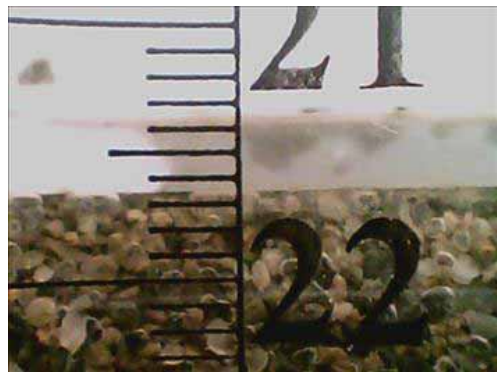
影片得到沖刷坑深度數據刻度為 21.4 cm，經影片分析得到之深度為 0 cm，如照片 4-15，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，測量值為 27.6 cm，經計算得到之深度為 5.1 cm(約為無頸環的 1/2 倍)，後方砂堆形狀呈現不對稱，見照片 4-16。



照片 4-13 試驗前頸環設置



照片 4-14 試驗中擷取畫面



照片 4-15 影片最終擷取畫面



照片 4-16 試驗後底床地形 (頸環還在)



照片 4-17 試驗後底床地形 (頸環已拿起)

### (2) 試驗後地形圖

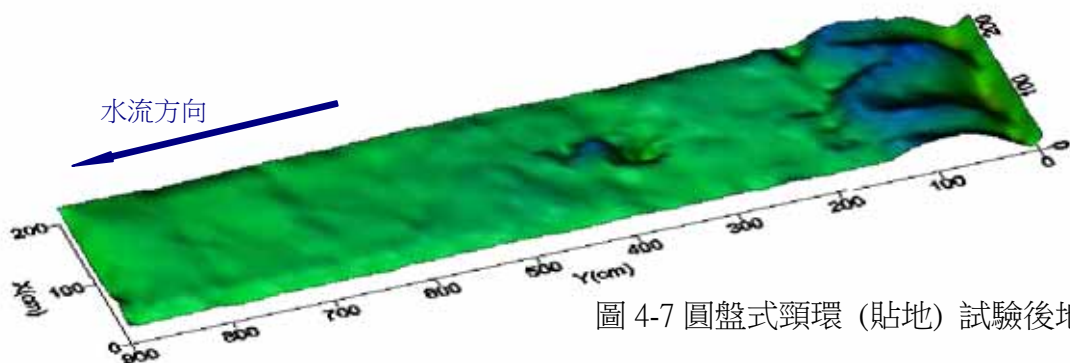


圖 4-7 圓盤式頸環 (貼地) 試驗後地形圖

### 3. 上鉤式頸環 (離地)

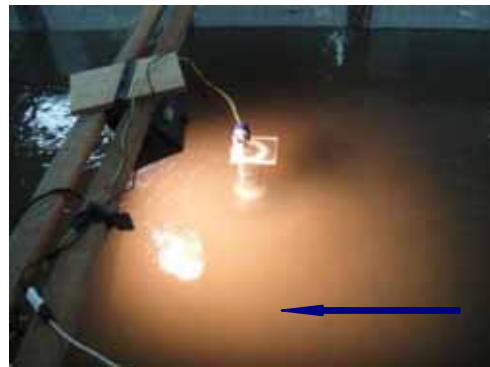
#### (1) 過程

此次試驗採用(參考「上鉤式頸環對橋墩沖刷減緩之功效<sup>[11]</sup>」)之做法，將頸環定成上鉤圓盤狀，以透明壓克力板製做，直徑為 9.1 cm，圓盤邊緣高度為 1.4 cm，安裝於橋墩上，距離鋪砂表面 5.7 cm (報告中指出效果最佳之高度)，如照片 4-18 所示。

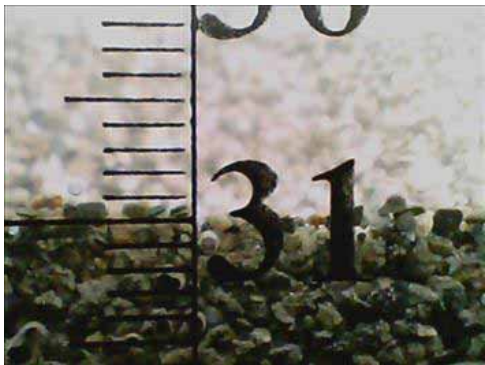
影片最後得到沖刷坑深度數據刻度為 30.9 cm，經分析得到之深度為 9.5 cm，如照片 4-20，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，測量值為 22.6 cm，經計算得到之深度為 10.1 cm，由照片 4-21 可看出後方砂堆之形狀呈現對稱。



照片 4-18 試驗前頸環設置



照片 4-19 試驗中擷取畫面



照片 4-20 影片最終擷取畫面



照片 4-21 試驗後底床地形

#### (2) 試驗後地形圖

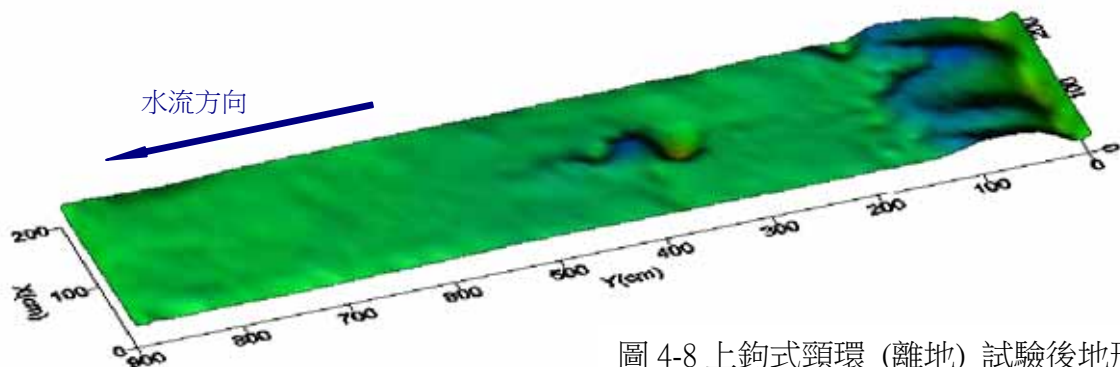


圖 4-8 上鉤式頸環 (離地) 試驗後地形圖



#### 4. 上鉤式頸環 (貼地)

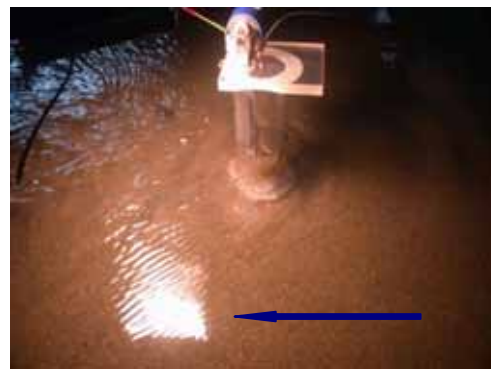
##### (1) 過程

同樣以實驗 3.之上鉤式頸環安裝於橋墩上，頸環距離鋪砂表面 0 cm 處(因離地效果不佳，故嘗試與圓盤式相同，將其安置於離地 0 cm 處)，如照片 4-22 所示。

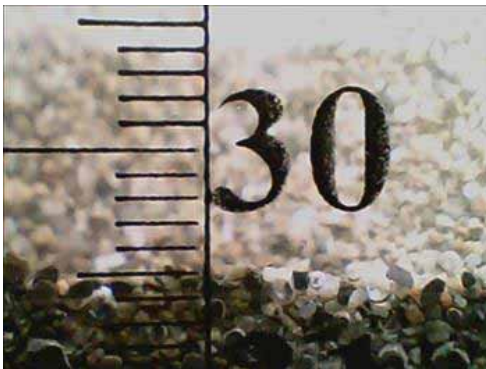
影片最後得到沖刷坑深度數據刻度為 30.5 cm，經分析得到之深度為 9.1 cm，如照片 4-24，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，測量值為 23.3 cm，經計算得到之深度為 9.4 cm，後方砂堆形狀之中軸線呈現些許的偏移，但大致仍呈對稱型，見照片 4-25。



照片 4-22 試驗前頸環設置



照片 4-23 試驗中擷取畫面



照片 4-24 影片最終擷取畫面



照片 4-25 試驗後底床地形

##### (2) 試驗後地形圖

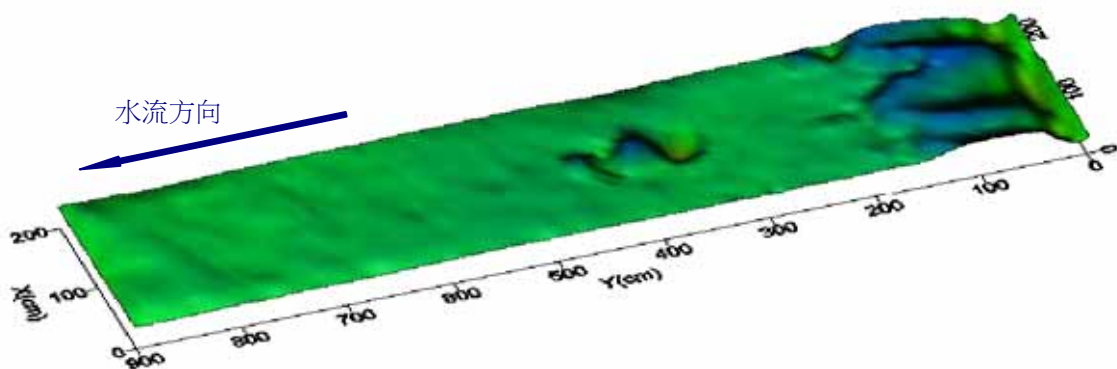


圖 4-9 上鉤式頸環試驗 (貼地) 試驗後地形圖

## 5. 圓弧式頸環

### (1) 過程

此次試驗參考 AUR<sup>[12]</sup> 顧問公司 *scAUR<sup>TM</sup>* 之頸環設計的做法，將頸環定成圓錐台狀，以木材上漆製做，直徑為 16 cm，邊緣弧度為 4 cm 之 1/4 圓，中心高度 4.3 cm，安裝於橋墩上，距離鋪砂表面 0 cm，如照片 4-26 所示。

影片得到沖刷坑深度數據刻度為 28.2 cm，經分析得到之深度為 6.8 cm，如照片 4-28，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，測量值為 26.2 cm，經計算得到之深度為 6.5 cm(約為無頸環的 2/3 倍)，由照片 4-29 可看出後方砂堆之形狀呈現不對稱。



照片 4-26 試驗前頸環設置



照片 4-27 試驗中擷取畫面



照片 4-28 影片最終擷取畫面



照片 4-29 試驗後底床地形

### (2) 試驗後地形圖

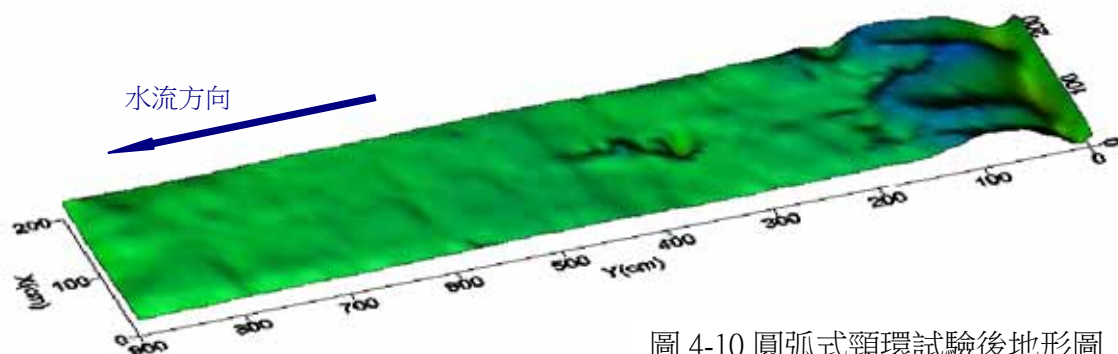


圖 4-10 圓弧式頸環試驗後地形圖

## 6. 波浪式頸環

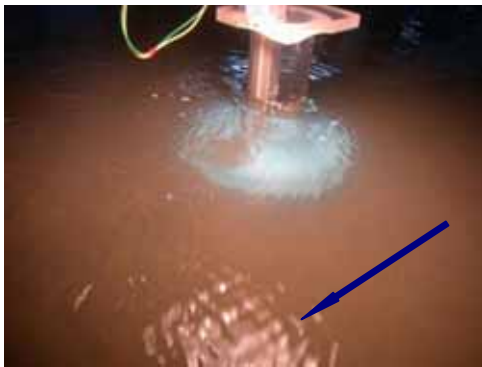
### (1) 過程

此次試驗使用自製的頸環 (融合圓盤式之 2.65 倍墩徑，上鉤式之邊緣突起以挑流，以及圓弧式之導引下沉流)，將頸環定成圓錐台狀，以黏土塑形上漆製做，直徑為 20 cm，邊緣呈現波浪狀，弧度分別為 4 cm 之 5/16 圓，以及 1/8 圓，中心高度 4.3 cm，安裝於橋墩上，距離鋪砂表面 0 cm，如照片 4-30 所示，而照片 4-31 中可看出橋墩後方有向上湧起的水流。

影片得到沖刷坑深度數據刻度為 24.8 cm，經分析得到深度為 3.4 cm，如照片 4-32，另外沖刷坑深度經水準儀測量後，測量值為 29.6 cm，經計算得到之深度為 3.1 cm (約為無頸環的 1/3 倍)，後方砂堆形狀呈現不對稱，如照片 4-34 所示。



照片 4-30 試驗前頸環設置



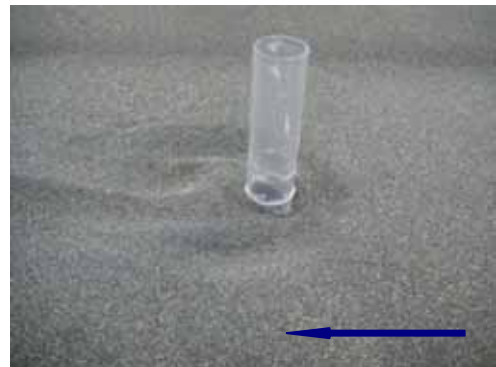
照片 4-31 試驗中擷取畫面



照片 4-32 影片最終擷取畫面



照片 4-33 試驗後底床地形 (頸環還在)



照片 4-34 試驗後底床地形 (頸環已拿起)

### (2) 試驗後地形圖

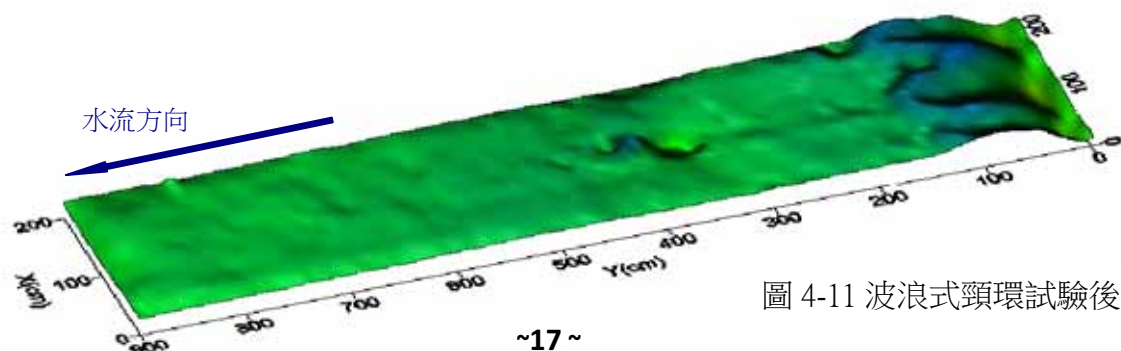


圖 4-11 波浪式頸環試驗後地形圖

## 伍、研究結果

### 一、斷面平均流速/床底質臨界啟動速度( $V/Vc$ 值)

在無頸環試驗中，由表 5-1 比較「持續流量過大」及「初期流量過大」可得知，當  $V/Vc > 1$  時，沖刷狀態已非原試驗條件之清水沖刷而轉變成濁水沖刷，此時底床已出現明顯砂紋，無法以局部沖刷觀點來觀察試驗之沖刷坑；「正常流量」則表示  $V/Vc < 1$ ，已符合本試驗之控制條件。而在其他有頸環的試驗中，皆以「正常流量」狀態為控制條件之標準。

表 5-1  $V/Vc$  數值比較表

實驗分類	頸環形狀直徑、高(厚度、邊緣弧度 (cm))	頸環設置位置距離砂面 (cm)	平均流速 (cm/s)	$V/Vc$
無頸環 (持續流量過大)	無	無	40.0~44.0	1.37~1.51
無頸環 (初期流量過大)	無	無	初期 31.5~33.8 後期 27.0~28.5	初期 1.08~1.16 後期 0.92~0.97
無頸環 (正常流量)	無	無	24.0~28.0	0.82~0.96
圓盤式頸環 (離地)	20、0.3	5.7	23.0~26.0	0.79~0.89
圓盤式頸環 (貼地)	20、0.3	0	26.0~28.5	0.89~0.97
上鉤式頸環 (離地)	9.1、1.4	5.7	24.0~27.0	0.82~0.92
上鉤式頸環 (貼地)	9.1、1.4	0	25.0~28.5	0.85~0.97
圓弧式頸環	16、4.3、4 cm 之 1/4 圓	0	23.0~27.5	0.79~0.94
波浪式頸環	20、4.3、4 cm 之 5/16 圓和 1/8 圓	0	26.0~28.5	0.89~0.97

### 二、沖刷坑深度

表 5-2 不同測量方式之沖刷深度分析數據比較表 (單位 cm)

實驗分類	原始砂面高度	砂面最高點	砂面最低點	水準儀量測高度差	影片分析高度差
無頸環 (初期流量過大)	32.7	36.6	22.6	10.1	10.0
無頸環 (正常流量)	32.7	35.6	22.9	9.8	9.5
圓盤式頸環 (離地)	32.7	37.4	23.4	9.3	9.0
圓盤式頸環 (貼地)	32.7	35.6	27.6	5.1	0
上鉤式頸環 (離地)	32.7	36.2	22.6	10.1	9.5
上鉤式頸環 (貼地)	32.7	36.0	23.3	9.4	9.1
圓弧式頸環	32.7	33.9	26.2	6.5	6.8
波浪式頸環	32.7	35.0	29.6	3.1	3.4



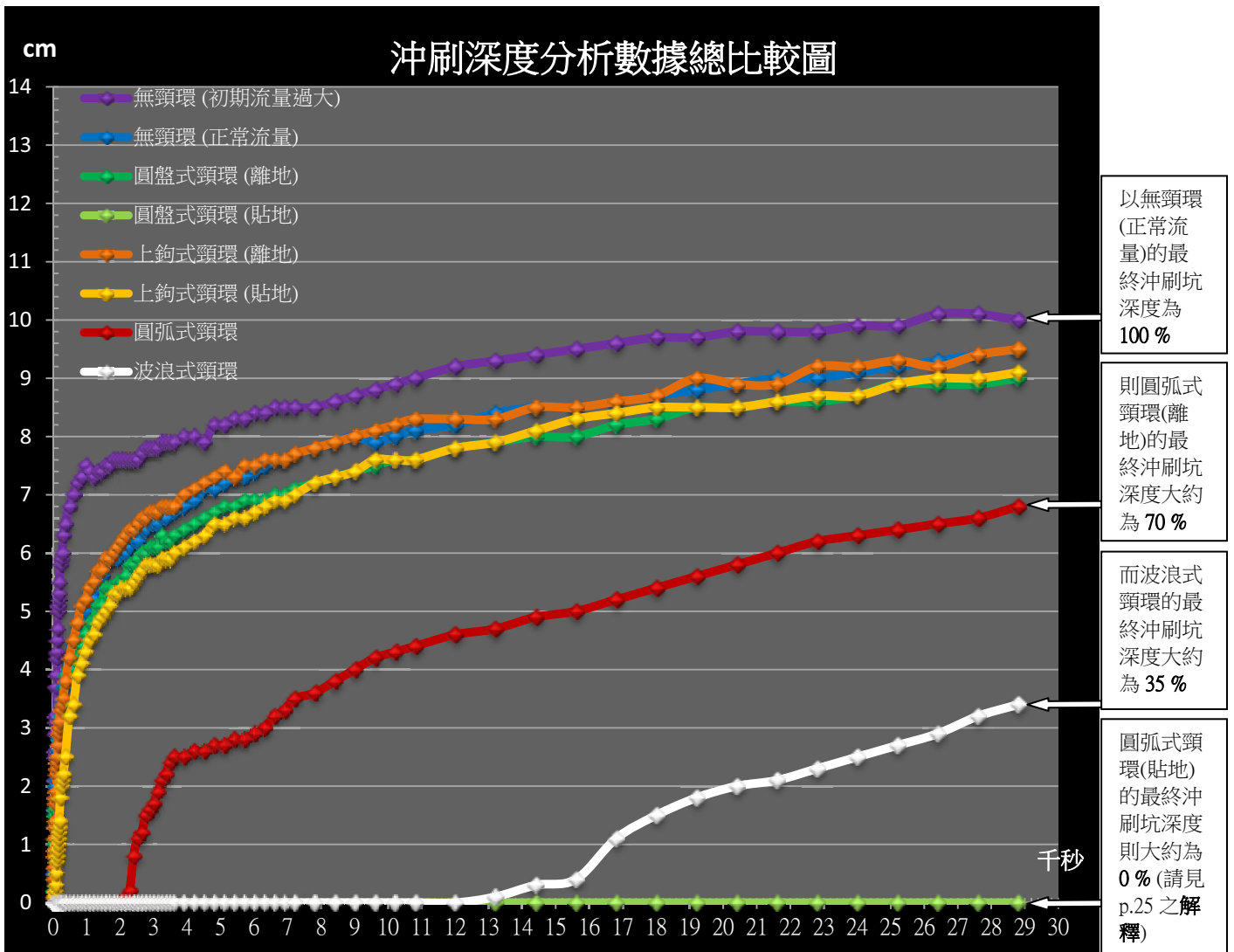


圖 5-1 沖刷深度分析數據總比較圖

### 三、流速剖面

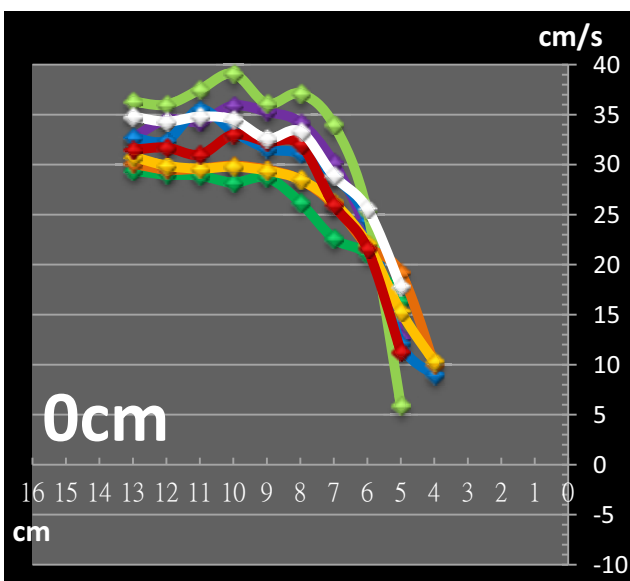


圖 5-2 流速剖面於 0 斷面之數據比較圖

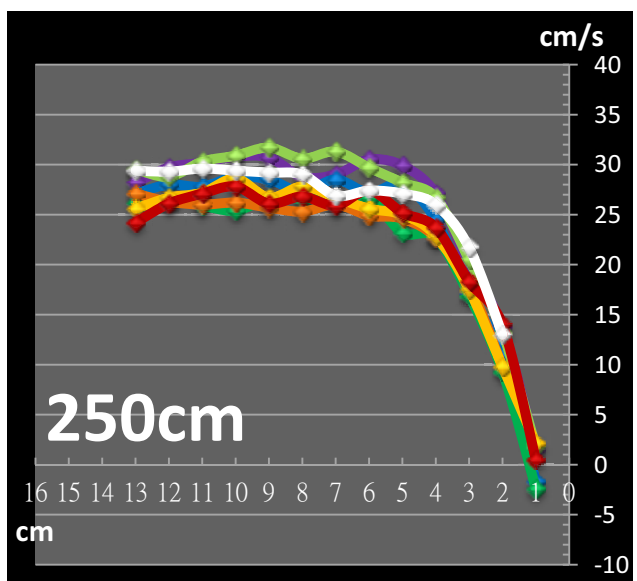


圖 5-3 流速剖面於 250 斷面之數據比較圖



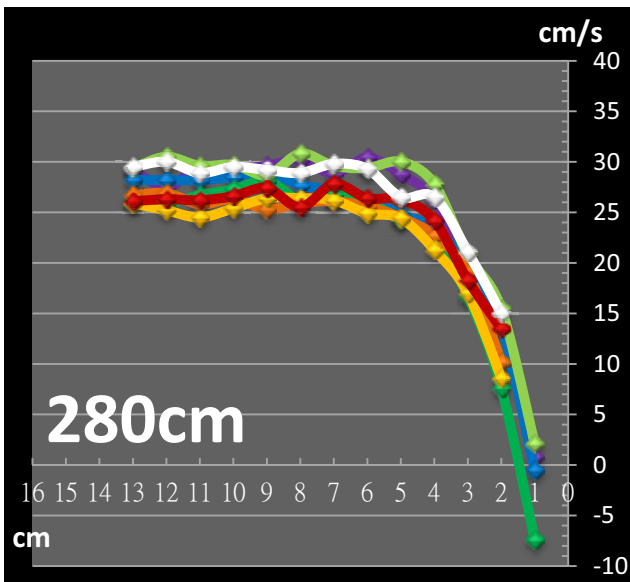


圖 5-4 流速剖面於 280 斷面之數據比較圖

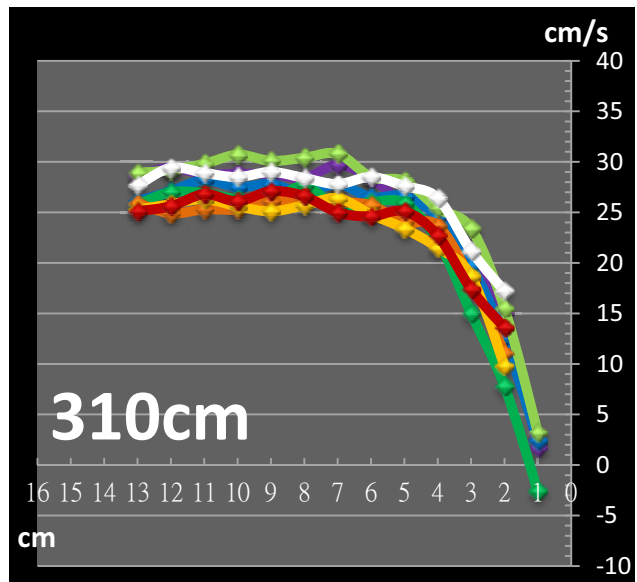


圖 5-5 流速剖面於 310 斷面之數據比較圖

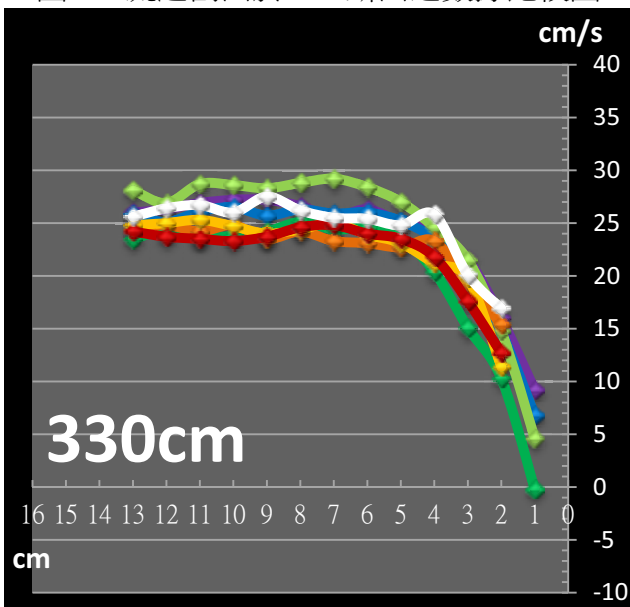


圖 5-6 流速剖面於 330 斷面之數據比較圖

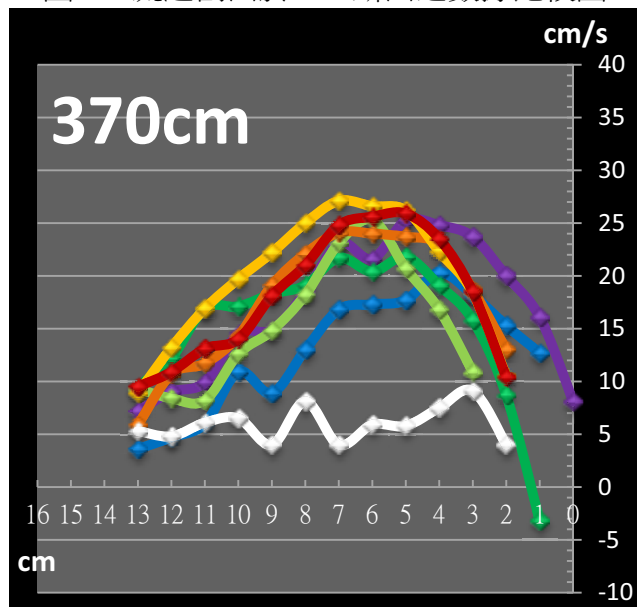


圖 5-7 流速剖面於 370 斷面之數據比較圖

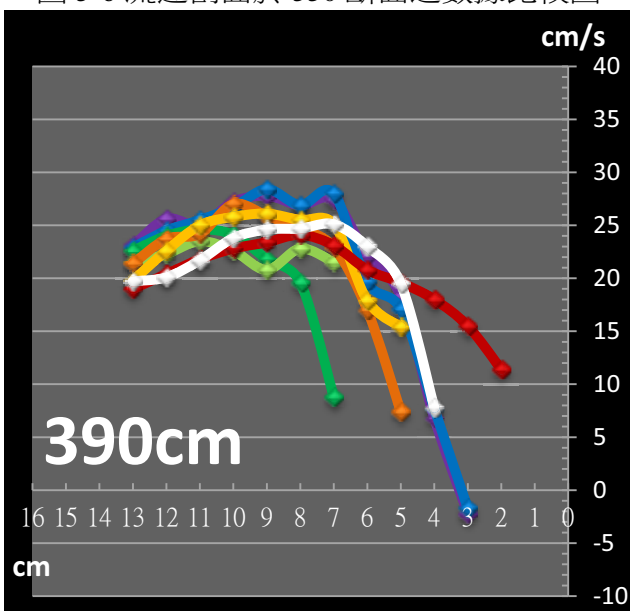


圖 5-8 流速剖面於 390 斷面之數據比較圖

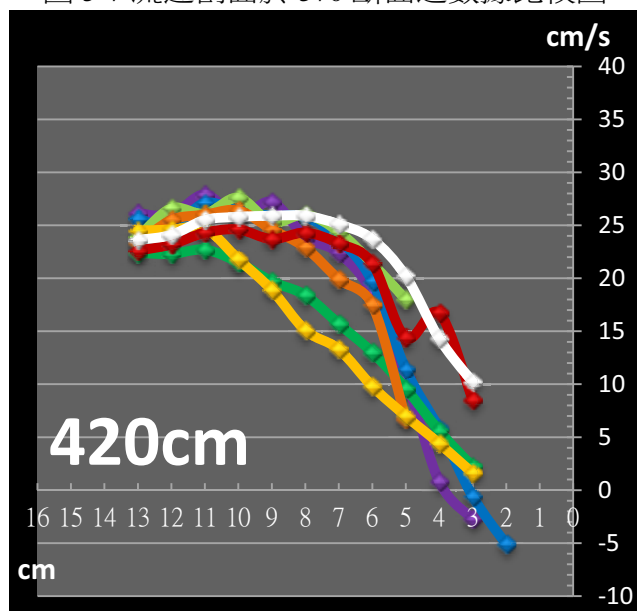


圖 5-9 流速剖面於 420 斷面之數據比較圖

#### 四、試驗後地形



照片 5-1 試驗後沖刷坑形狀比較圖 (已將頸環拿起)

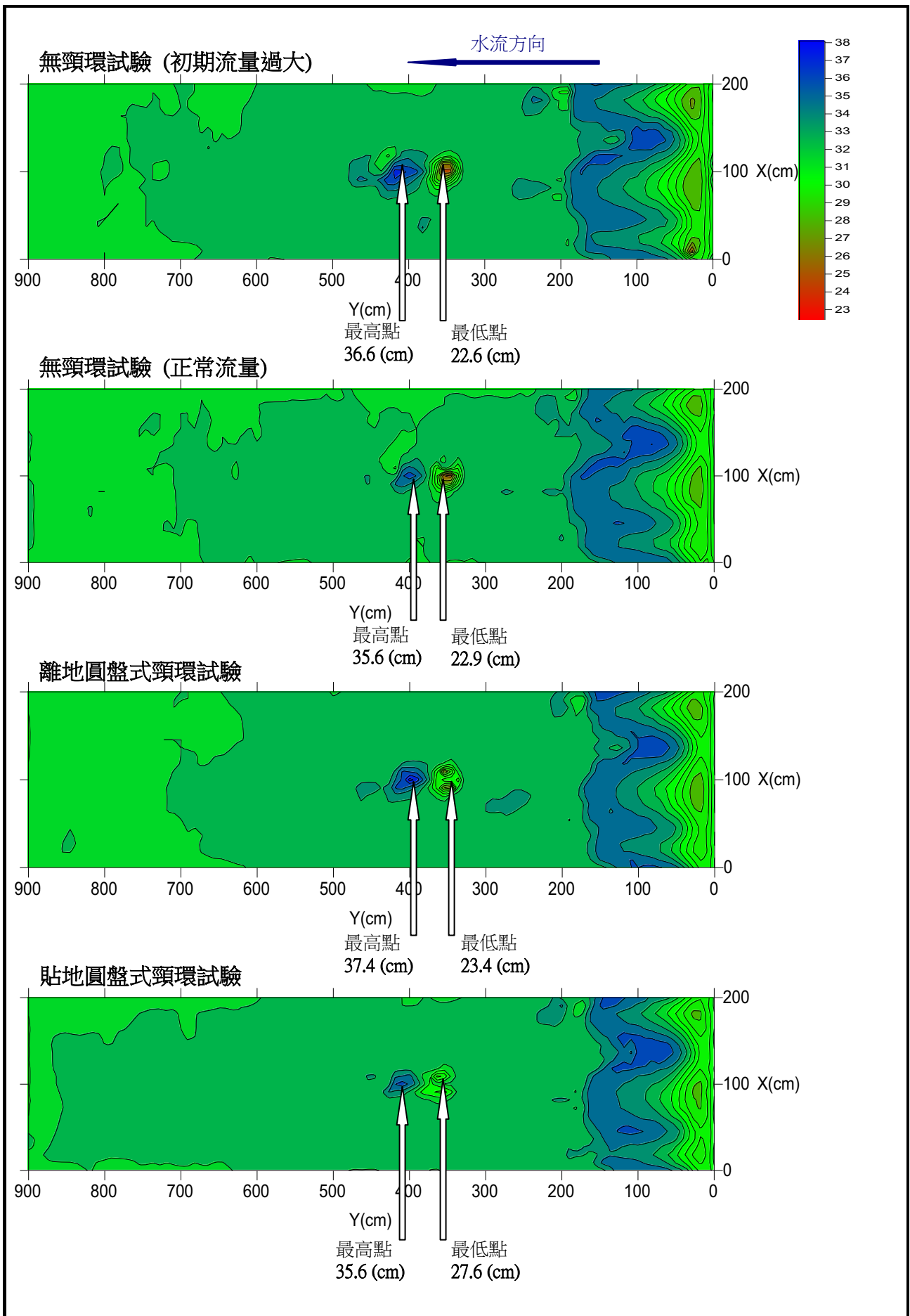


圖 5-10 試驗後地形平面等高線總比較圖之一

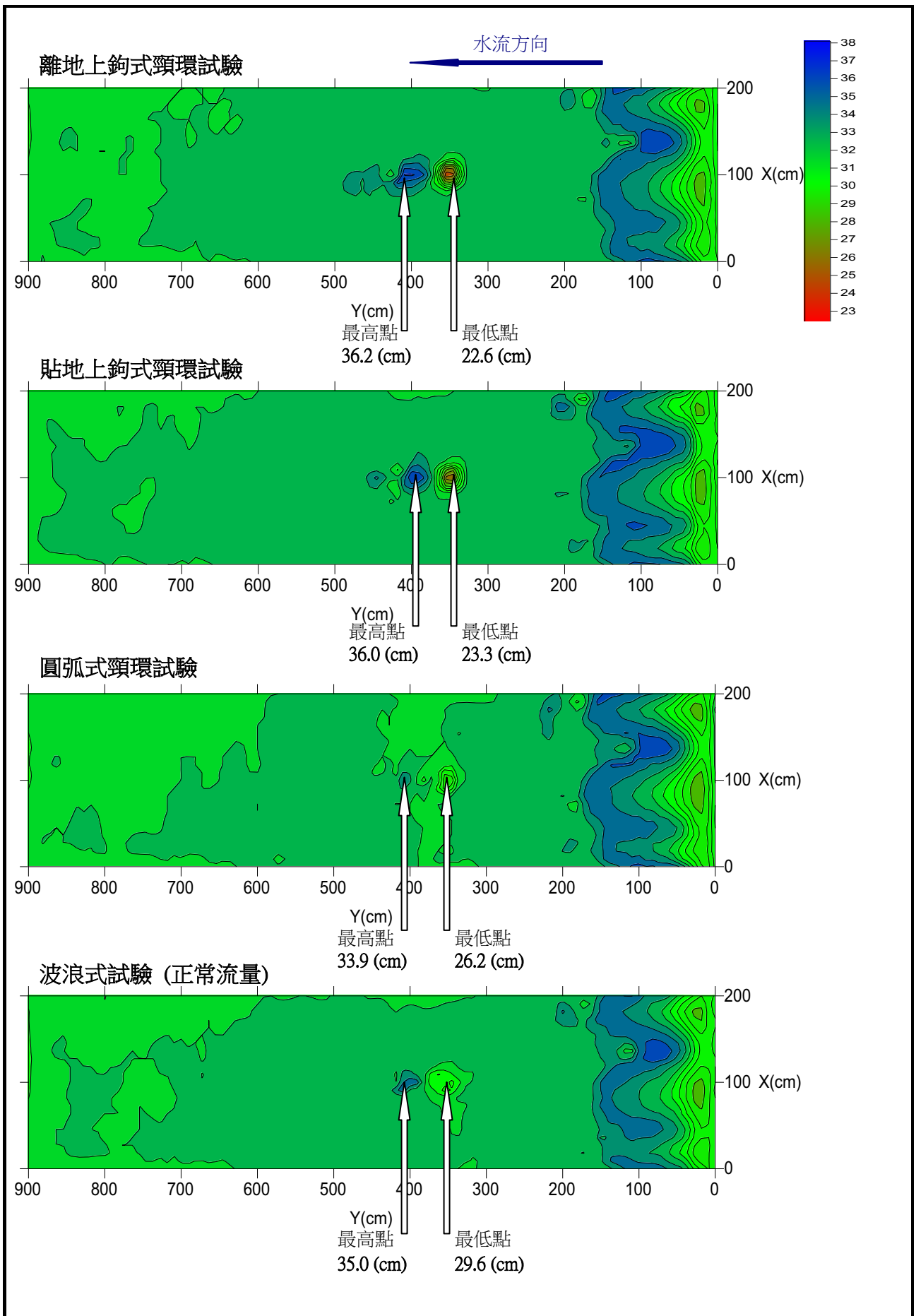


圖 5-11 試驗後地形平面等高線總比較圖之二

## 陸、討論

### 一、沖刷坑深度

#### (一) 無頸環試驗比較

以「初期流量過大」與「正常流量」相比較，由表 5-2 數據中看出「初期流量過大」試驗沖刷坑深度較「正常流量」試驗大，也可由圖 5-1 中觀察出「初期流量過大」試驗初期沖刷深度增加之斜率較「正常流量」大，雖然後期調降回正常流量後，斜率與「正常流量」試驗趨於一致，但最後之沖刷深度依然較「正常流量」大 0.5 cm，證明「初期流量過大」試驗初期施放之過大的流量，不僅在鋪砂 0 斷面處形成快速移動之砂紋，也的確對後來的沖刷深度有所影響。

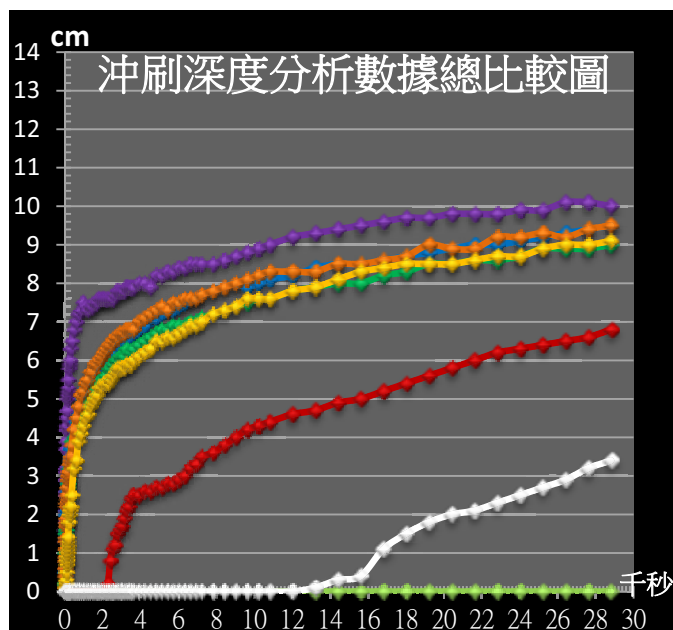


圖 6-1 沖刷深度分析數據總比較圖

#### (二) 圓盤式試驗比較

以「離地」與「貼地」做比較，由表 5-2 得知，「離地」試驗最後之沖刷坑深度為 9.0 cm，而「貼地」試驗則完全沒有變化，也可從圖 5-1 中明顯看出圓盤式頸環應以「貼地」效果為佳，也應證「Reduction of Local Scour at a Bridge Pier using Collar in a 180 Degree Flume Bend<sup>[10]</sup>」中圓盤式頸環是放置於距離鋪砂砂面 0 cm 處的。雖然「貼地」影片分析出沖刷坑深度的數據為 0 cm，但並非完全沒有沖刷坑，而只是將沖刷坑往橋墩後方兩側移動，經由水準儀測量試驗後地形發現(見表 5-2)，其最大之沖刷坑深度為 5.1 cm，較「波浪式頸環試驗」的 3.1 cm 還差。

#### (三) 上鉤式試驗比較

以「離地」與「貼地」做比較，由表 5-2 得知，「離地」試驗之沖刷坑深度較「貼地」為大，也可從圖 5-1 中明顯看出圓盤式頸環應以「貼地」效果為佳，與「上鉤式頸環對橋墩沖刷減緩之功效<sup>[2]</sup>」中頸環放置於距離鋪砂砂面 5.7 cm 處效果較佳之結論不同，推測可能因「上鉤式頸環對橋墩沖刷減緩之功效<sup>[2]</sup>」中的試驗條件為  $V/V_c < 0.5$ ，且  $B/D < 10$ ，形成邊際效應而影響其試驗結果。



## (四) 圓弧式試驗

由圖 5-1 中可明顯看出「圓弧式頸環試驗」有效減少沖刷坑深度，較無頸環試驗之深度減少了 1/3，應是其圓弧表面將下沉流導引開來所造成之效果。

## (五) 波浪式試驗

為自行設計之頸環，主要是融合圓盤式之 3 倍墩徑，上鉤式之邊緣突起以挑流，以及圓弧式之導引下沉流之優點，從表 5-2 與圖 5-1 來看，其最後的沖刷坑深度相較於其他不同形狀之頸環者有顯著減小(為無頸環試驗之 1/3 倍)。

## (六) 綜合比較

從圖 5-1 中來看可看出試驗最初 30 分鐘內之斜率幾乎就決定了最後沖刷坑的深度，斜率越大則最後沖刷坑深度也會越大，且同樣形狀之頸環其離地程度越高，則減少沖刷坑深度之效果越低。

## 二、流速剖面

### (一) 0 斷面位置比較

由圖 5-2 可看出各項試驗之流速剖面曲線幾乎都在距離原鋪砂砂面 8 cm 處開始快速下降，而 8 cm 以上時流速幾乎保持一致，推測是受到跌水效應之影響。

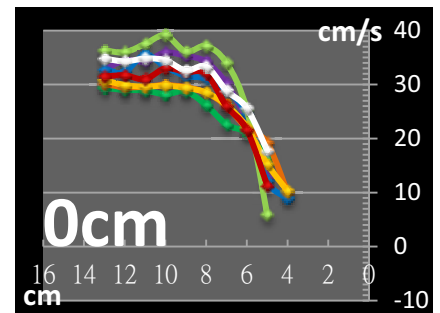


圖 6-2 流速剖面於 0 斷面之數據比較圖

### (二) 250、280、310、330 斷面位置比較

由圖 5-3 ~ 圖 5-6 中可觀察出圖 5-3 ~ 圖 5-6 之流速剖面幾乎都大同小異，都在距離原鋪砂砂面 5 cm 處開始快速下降，而 5 cm 以上時流速幾乎保持一致，故顯示 250 斷面到 330 斷面間都還未受到橋墩(位於斷面 350 處)之下沉流影響。

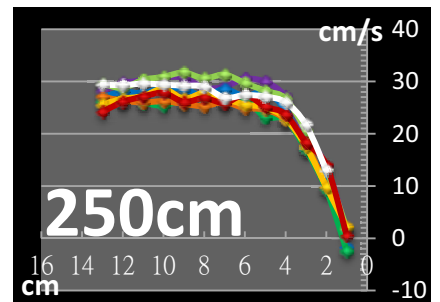


圖 6-3 流速剖面於 250 斷面之數據比較圖

### (三) 370 斷面位置比較

此斷面已受到橋墩後方馬蹄型渦流之影響，由圖 5-7 可看出各項試驗之流速剖面差異性很高，尤其以波浪式頸環之曲線最為特殊，流速值都保持在 10 cm/s 以下，顯示其對橋墩後方之水流的干擾很大，推測其已影響馬蹄型渦流之運動。

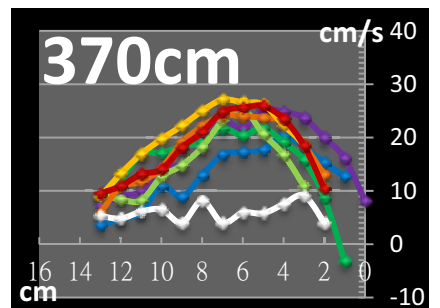


圖 6-4 流速剖面於 370 斷面之數據比較圖

#### (四) 390 斷面位置比較

此斷面受到沖刷坑當中被水流帶起的砂，在橋墩後方堆積而成的砂堆影響，由圖 5-8 中可觀察出幾乎所有試驗之流速值都在距離原鋪砂砂面 6~7 cm 處就已快速下降。

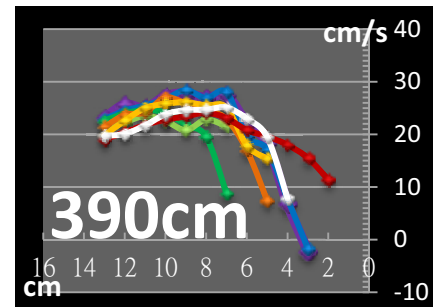


圖 6-5 流速剖面於 390 斷面之數據比較圖

#### (五) 420 斷面位置比較

此斷面仍有受到橋墩後方馬蹄型渦流及堆積成的砂堆的影響，由圖 5-9 可看出流速剖面並未回到 250、280、310、330 斷面之狀態，其流速值隨距離砂面越近而不斷下降，並非如 250、280、310、330 斷面在距離原鋪砂砂面 5 cm 處才開始快速下降。

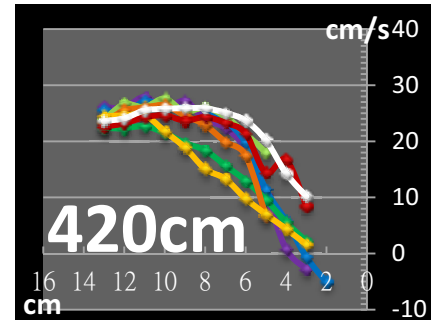


圖 6-6 流速剖面於 420 斷面之數據比較圖

### 三、試驗後地形

#### (一) 無頸環試驗比較

無頸環試驗中，試驗後沖刷坑的最外圍(左側、右側及上游端)至橋墩中心之距離約為 20 cm，且後方沖刷出的砂堆形狀幾乎都呈對稱型，綜合觀察表 5-2 與圖 5-10，可發覺「水準儀量測高度差」與「影片分析高度差」有所差距，由於沖刷坑之形狀為一曲面，其誤差值的大小即代表沖刷坑中心(沖刷坑最深的地方)與橋墩位置之距離大小，誤差值越大則代表沖刷坑中心離橋墩中心越遠。

#### (二) 有頸環試驗比較

由照片 5-1 中可觀察出「圓盤式頸環試驗 (離地)」、「上鉤式頸環試驗 (離地)」和「上鉤式頸環試驗 (貼地)」後方之砂堆形狀幾乎都呈對稱型。「圓盤式頸環試驗 (貼地)」中，可看出其沖刷坑的中心位置已非在橋墩的正前方或後方，而是向兩側淘刷，判斷是下沉流被橋墩上的圓盤式頸環所分散，而其後方的砂堆形狀則不太對稱。「圓弧式頸環試驗」與其他試驗比較後得知，其沖刷坑範圍較小，坡度較陡，其後方之砂堆形狀雖不明顯，但仍呈不對稱型。「波浪式頸環試驗」的沖刷坑形狀最為特別，其沖刷坑如同上方波浪式頸環之形狀也呈現波浪型，且由表 5-2 中得知其沖刷坑深度與其他試驗相比減少很多，顯示此形狀對水流之干擾與消能效果最佳。

## 柒、結論與展望

### 一、結論

- (一) 本報告之創新處在於，試驗中沖刷坑深度隨時間之變化值量測以網路攝影機於透明壓克力橋墩中拍攝取代人力觀測，且  $W/Vc = 0.94 < 1$ ，處於泥砂較容易啟動，但仍控制在清水沖刷之狀態，相較於前者研究以  $W/Vc = 0.8$  或  $0.9$  為條件，要維持此狀態實屬相當不易，且由於此條件，本報告之試驗都能在 8 小時內達到與前者研究之成果中，最大沖刷深度的 80 % 以上。
- (二) 沖刷坑在經過 8 小時後的最終深度，於試驗開始後的 30 分鐘內就幾乎決定了，沖刷深度與時間之關係圖中的曲線，斜率越陡則最後之沖刷深度越大。
- (三) 試驗後橋墩後方形成之砂堆的對稱性即代表頸環對減少沖刷坑深度效果之好壞，後方砂堆越不對稱則頸環之效果越好，因為頸環若能有效減少沖刷坑深度，則必然會連帶擾亂橋墩後方之水流，造成後方砂堆堆積的不均勻。
- (四) 綜合比較沖刷坑深度、沖刷坑範圍、流速剖面及試驗後地形後，「波浪式頸環試驗」為最佳之方案，雖然「圓盤式頸環試驗 (貼地)」中，影片分析的高度差為 0 cm，但只是將沖刷坑中心向橋墩後方兩側移動，從水準儀所量測出的高度差來看，其減少沖刷坑深度之效果並未較「波浪式頸環試驗」佳。

### 二、展望

- (一) 從各項試驗之結果得知，攝影機所拍攝到的沖刷坑深度，並不代表真實中地形測量時所得到的最深深度，故希望能將橋墩內的網路攝影機數增加，以 360 度的角度來觀察橋墩周圍泥沙沖刷之情況。
- (二) 雖然「波浪式頸環」能夠有效減少沖刷坑深度，但其邊緣仍然會產生下沉流，故將來可在邊緣處安置其他非硬式的保護設施，以達到更佳的保護效果。
- (三) 希望未來「波浪式頸環」能夠實際應用在真實橋墩上，有效解決橋墩基礎經常被掏空之問題，完成最初想進行此試驗之動機。
- (四) 由於本報告所做的試驗皆是以均勻粒徑的砂粒為實驗條件，為了更加符合真實中的河床，希望能增加其他不同粒徑的砂粒來做實驗。
- (五) 希望能以其他方法觀察水流流經各種不同頸環的運動情形，更加了解頸環對沖刷坑深度、地形和水流運動的影響。



## 捌、參考資料

1. 盧昭堯、石中智 (2011)。非均勻圓柱橋墩局部沖刷之試驗與模擬。國立中興大學土木工程學系博士論文，未出版，台中市。
2. Melville, B. W., and Coleman, S. E. (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publication., LLC., Highlands Ranch, Colorado, USA.
3. Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1983). *Clear-Water Scour at Cylindrical Piers*. J. Hydr. Engrg., Vol. 109, No. 3, pp. 338~350.
4. Raudkivi, A. J. (1986). *Functional Trends of Scour at Bridge Piers*. J. Hydr. Engrg., Vol. 112, No. 1, pp. 1~13.
5. Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1977). *Effect of Sediment Gradation on Clear Water Scour*. J. Hydr. Engrg., Vol. 103, No. 10, pp. 1209~1212.
6. Melville, B. W., and Chiew, Y. M. (1999). *Time Scale for Local Scour at Bridge Piers*. J. Hydr. Engrg., Vol. 125, No. 1, pp. 59~65.
7. Yalin, M. S. (1977). *Mechanics of sediment transport*. 2<sup>nd</sup> Ed., Pergamon, Oxford, England.
8. Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1983). *Clear-Water Scour at Cylindrical Piers*. J. Hydr. Engrg., Vol. 109, No. 3, pp. 338~350.
9. Melville, B. W., and Raudkivi, A. J. (1996). *Effects of Foundation Geometry on Bridge Pier Scour*. J. Hydr. Engrg., Vol. 122, No. 4, pp. 203~209.
10. A. Masjedi, M. S. Bejestan and A. Esfandi. (2010). *Reduction of Local Scour at a Bridge Pier using Collar in a 180 Degree Flume Bend*. J. Applied Sci, 10(2), pp.124~131.
11. 陳樹群、王敦儀、周憲德、嚴曉嘉 (2007)。上鉤式頸環對橋墩沖刷減緩之功效。臺灣水利，55，55-3。
12. *Applied University Research, Inc* 顧問公司。

## 【評語】 040811

本作品旨在提出波浪式頸環以對治砂流沖刷橋柱之墩的設計。  
設計目標明確而實用，口頭與書面報告亦值得鼓勵。本作品若能就  
波浪式頸環設計之原理與結構之改善成效具體量化，則可讀性將更  
高。