



逢甲大學學生報告 ePaper

定量流流況下非同心圓不均勻橋墩局部沖刷之研究

作者：王傳益^[1] 許盈松^[2] 蔡坤霖^[3] 徐郁超^[4]

系級：水利系副教授

水利系助理教授

水利工程研究所研究生

水利工程學系學生

目錄

中文摘要-----	1
英文摘要-----	1
一、前言-----	1
1.研究動機-----	1
2.研究目的-----	2
二、文獻回顧-----	2
1.均勻橋墩沖刷-----	2
2.不均勻橋墩沖刷-----	3
3.橋墩周圍局部沖刷特性-----	3
4.橋墩沖刷因子之分類-----	3
三、水工模型試驗-----	4
1.試驗設備與佈置-----	4
2.試驗橋墩模型-----	4
3.覆土高度-----	5
4.試驗流量-----	6
5.相對水流強度-----	6
6.完全發展段-----	6
7.試驗操作程序-----	6
四、結果分析與討論-----	7
1.一般沖刷、束縮沖刷與局部沖刷之探討-----	7
2.沖刷坑與淤積堆之縱斷面變化-----	7
3.沖刷坑深度(ds)與時間變化(t)之關係-----	9
4.沖刷坑深度(ds)與覆土高度(Y)之關係-----	10
5.沖刷坑長度(Ls)、寬度(Ws)與覆土高度(Y)之探討-----	11
6.沖刷坑深度(ds)與非同心圓不均勻橋墩墩徑比(D/D*)之影響-----	11
7.本試驗與 Melville(1996)試驗之沖刷深度比較-----	11

五、結論與建議-----	12
1.結論-----	12
2.建議-----	13
參考文獻-----	14



定量流況下非同心圓不均勻橋墩局部沖刷之研究

王傳益^[1] 許盈松^[2] 蔡坤霖^[3] 徐郁超^[4]

摘要

本研究主要利用水工模型試驗模擬於定量流($V/V_c=1$)作用下,非同心圓不均勻橋墩與同心圓不均勻橋墩於墩徑比($D/D^*=0.4$ 與 0.7)及不同覆土高度時,橋墩局部沖刷與沖刷歷程之變化。研究結果顯示於定流量作用下,不論是非同心圓或同心圓不均勻橋墩,當橋墩基礎未裸露($Y=+10\text{mm}$)時,由於覆土高與不均勻面之影響,而減緩向下射流之強度,因此所產生之沖刷坑大小及沖刷深度較小。

非同心圓不均勻橋墩之局部沖刷深度與沖刷坑大小均較同心圓不均勻橋墩為小,且墩徑比 $D/D^*=0.4$ 之沖刷深度與沖刷坑大小皆低於 $D/D^*=0.7$ 。研判可能係因非同心圓不均勻橋墩($D/D^*=0.4$)之不均勻面積較同心圓不均勻橋墩($D/D^*=0.7$)為大,有效減緩向下射流強度所致。在考量橋墩水理安全情況下,非同心圓不均勻橋墩且橋墩墩徑比 $D/D^*=0.4$ 時,為最理想之橋墩型式。

關鍵字: 定量流、墩徑比、局部沖刷、不均勻橋墩

Local Scour around Eccentric Non-uniform Circular Piers with Steady Flow

Chuan-Yi Wang^[1] Yin-Sung Hsu^[2] Kun-Lin Tsai^[3] Yu-Chao Hsu^[4]

Abstract

The research utilize hydraulic models to simulate local scour depth with time for eccentric non-uniform pier diameter ratio D/D^* of 0.4 and 0.7, and different initial bed level relative to the foundation top elevation under steady flow. For the experimental results under the steady flow conditions, the scour hole and local scour depth are comparatively small for both a eccentric and concentric non-uniform piers. Since the scouring retardation by the top of foundation and the distance between the top of foundation and the initial bed level, the downflow intensity is reduced for the un-exposed bridge foundation ($Y=+10\text{mm}$).

Local scour depth and scour hole for eccentric non-uniform pier is less than for a concentric non-uniform pier. Also the pier diameter ratio (D/D^*) of 0.4 is less than that 0.7. These results indicate that the former conditions is more effective in downflow intensity retardation than the latter conditions because of the area of non-uniform plane for a eccentric non-uniform pier ($D/D^*=0.4$) is greater than that for a concentric non-uniform pier. Considering the safety of bridge structure, a eccentric non-uniform pier with D/D^* equals to 0.4 is an ideal pier style.

Key words: steady flow、pier diameter ratio、local scour、non-uniform pier

一、前言

1.研究動機

台灣河川大部分屬於幼年期河川,河川坡陡流急,故每次發生洪水歷程時都相當急促,其中最主要的現象為河床的侵蝕作用。河道過

[1] 逢甲大學水利工程學系副教授

[2] 逢甲大學水利工程學系助理教授

[3] 逢甲大學水利工程研究所研究生

[4] 逢甲大學水利工程學系學生

度沖刷的結果，往往對於各種水工結構物之安全與功能造成負面之影響，河床刷深導致許多重要橋樑之基礎裸露，進而基礎淘空而沉陷，因而造成斷橋事件發生。因此深入瞭解橋墩上下游泥砂沖淤之機制，以避免此方面的災害持續發生乃刻不容緩之議題。

2. 研究目的

有關橋墩沖刷方面之研究甚多，但大多為探討同心圓不均橋墩之局部沖刷，對於非同心圓不均橋墩之相關研究則付諸闕如。而不均勻橋墩之不均面為減緩向下射流強度之重要指標，因此不均面之阻水面積大小與沖刷深度有密切關係，又阻水面積大小取決於墩徑比值(D/D^*)與橋墩及橋基二者間迎水面之位置。

大多數橋樑破壞乃因橋基遭淘刷裸露所造成，顯見橋墩之覆土高度為橋樑安全與否之重要參數。因此，本研究將針對不同墩徑比(D/D^*)之非同心圓不均橋墩於不同覆土高度之沖刷機制進行瞭解，針對不同型式之橋墩局部沖刷問題加以探討，並解析河床下降橋墩基礎裸露時之沖刷特性，以獲致最理想之橋墩型式，供國內橋樑及其保護工設計時之參考。

二、文獻回顧

1. 均勻橋墩沖刷

根據 Raudkivi(1986)^[7]及陸浩、高冬光(1991)^[2]曾針對橋墩附近的沖刷情形做探討，其認為橋墩的沖刷現象可分為一般沖刷(general scour)、局部沖刷(local scour)、束縮沖刷(constriction scour)。Melville and Coleman (2000)^[6]則認為一般橋樑所造成之沖刷，亦有可能為兩種沖刷類別之加總。因此，李俊穎(2005)^[1]將橋墩沖刷現象以圖 2-1 展示，以利釐清各種沖刷之意涵。

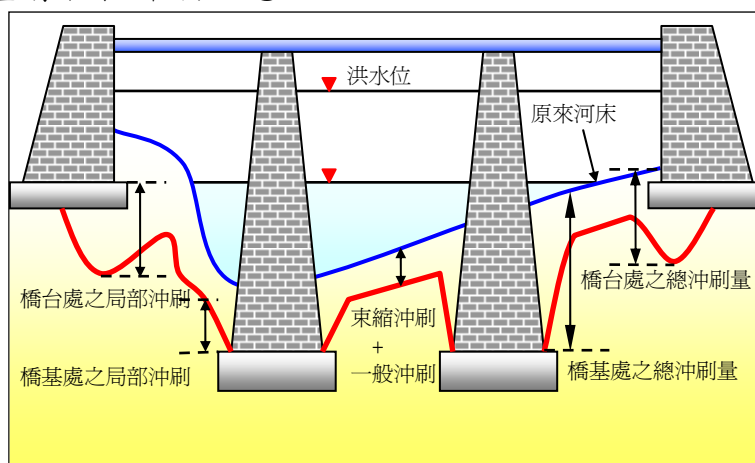


圖 2-1 橋樑之一般沖刷、束縮沖刷與局部沖刷示意圖

Dargahi(1990)^[4]在均勻橋墩沖刷試驗中提出馬蹄形渦流為造成沖刷的主要原因，並將沖刷歷程分為三個階段即開始時期、主要沖刷與沖刷後期。

2. 不均橋墩沖刷

不均橋墩係指橋墩迎水面寬度(D)與橋基迎水面寬度(D*)不相等，而兩者之比值即為不均橋墩墩徑比 D/D^* (ratio of nonuniform piers diameter)。

Melville & Radukivi(1996)^[5] 分析了三種不均橋墩之基礎佈置，主要是由橋基頂部位置的不同來做區分，可分為三種配置如圖 2-2 所示：

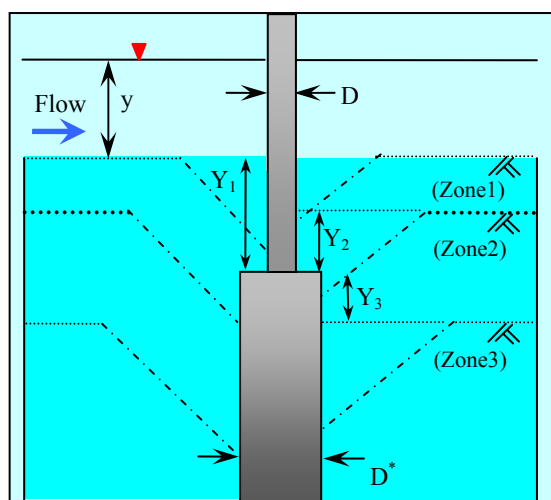


圖 2-2 不均橋墩沖刷深度與覆土高度示意圖

利用實驗所得資料分析，發現下列現象：

- (1) Y 和 D/D^* 為不均橋墩之主要沖刷因子。
 - (2) (Zone1) $Y/D > 2.4$, $d_s = 2.4D$ 。
 - (3) (Zone2) $0 \leq T/D \leq 2.4$ 時, $d_s < 2.4D$ ($Y/D < 0.7$, $Y/D < 0.6$ 除外), 並且隨著覆土高度增加而降低。
 - (4) (Zone3) $Y/D < 0$ 時, $2.4D < d_s < 2.4D^*$ 。最終因橋墩基礎之迎水面寬度(D^*)較大, 以致沖刷深度較大於均勻橋墩(D)所形成之沖刷。
 - (5) 在(Zone2)與(Zone3)情況下, 沖刷深度與 D/D^* 及 Y/D 有關。
- 其中, Y 為橋基頂部距底床之高度, 即覆土高度; y 為水流深度; d_s 為沖刷深度。

3. 橋墩周圍局部沖刷特性

橋墩沖刷為局部沖刷(local scour)之一種。局部沖刷現象, 即是指沖刷區域之泥砂出流量與入流量間發生不平衡現象。

Chabert&Engeldinger(1956)^[3] 證明當水流屬於清水流 ($0.5 \leq u_* / u_{*c} \leq 1$) 時, 最大平衡沖刷深度隨著 u_* / u_{*c} (u_* 為顆粒剪力速度, u_{*c} 為顆粒臨界剪力速度) 呈線性增加, 一直到 $u_* / u_{*c} \cong 1$, 平衡沖刷深度才會達到最大值。

4. 橋墩沖刷因子之分類

而影響橋墩沖刷之因子可分為, 橋墩性質、水流性質、底床質特

性、沖刷時間等，而這些因子又與下列條件有關：

- (1) 橋墩性質：橋墩迎水面寬度(D)、橋墩形狀因子修正係數(K_{Sh})、水流攻角(alignment)(α)。
- (2) 水流性質：流體密度(ρ)、運動黏滯係數(ν)、平均流速(V)、水流深度(y)、重力加速度(g)。
- (3) 底床質特性：中值粒徑(d_{50})、底床質幾何標準偏差(σ_g)、底床質密度(ρ_s)、泥砂臨界啟動流速(V_C)。
- (4) 時間：沖刷時間(T)、沖刷達平衡所需時間(T_e)。

三、水工模型試驗

本研究採定量流況，當 $V/V_C=1$ 時、而有三種不同之覆土高度(+10mm、0mm、-10mm)時，以及二種不均勻橋墩型式($D/D^*=0.4$ 及 0.7)，進行室內水工模型試驗，藉以瞭解不均勻橋墩周圍流場變化與沖刷機制。

1. 試驗設備與佈置

研究所使用之設備位於逢甲大學水利工程學系水工試驗室，試驗渠槽與相關設備詳細規格資料如下：

- (1) 試驗渠槽：渠槽全長 13.6m、寬 0.5m、深 0.75m，渠槽側壁材質為強化透明玻璃，以利於實驗進行時之觀測。渠槽尾端有一尾水閘門(tailwater gate)，渠槽可變換坡度。
- (2) 供水系統：以 15HP(Horse Power)之抽水馬達從蓄水池中抽水，經由給水管送至定水頭水箱，供應水量至渠槽中。
- (3) 流量控制：定水頭水箱至渠槽間設有一控制閘閥(gage valve)，可控制流量流至渠槽中。流槽前端有一 60 度之 V 型堰(V-type weir)，以供量測試驗時之流量。

2. 試驗橋墩模型

本試驗主要橋墩形式為非同心圓不均勻橋墩，其橋墩與基礎均為圓柱形狀，橋墩與基礎之中心位置不相重疊，而材質則為中空透明壓克力(acrylic)管所製成，以利光纖視鏡置入觀測橋墩沖刷現象。由於台灣西部主要河川之橋樑，不均勻橋墩之設計其 D/D^* 大多為 0.4 至 0.7 的範圍，因此本研究之試驗採不均勻橋墩墩徑比例(D/D^*)分別為 0.4 及 0.7，規格詳如圖 3-1、表 3-1 所示。

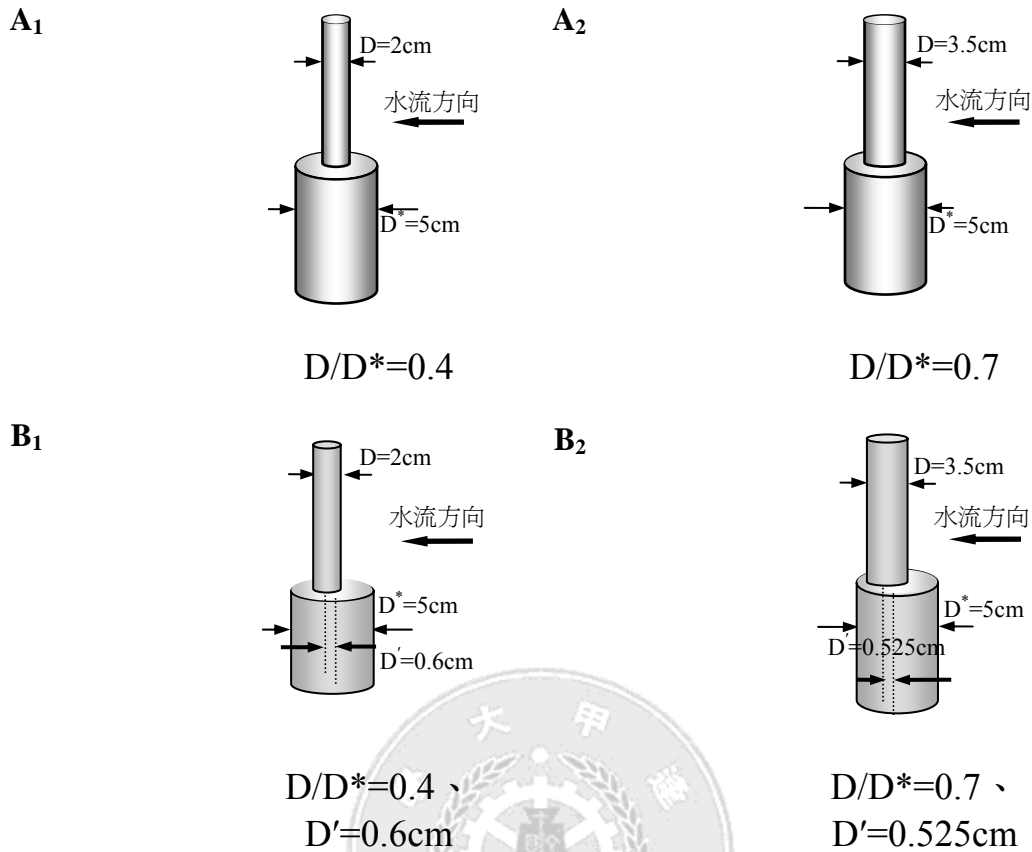


圖 3-1 同心圓不均橋墩 A 與非同心圓不均橋墩 B 之規格

利用橋墩半徑與橋墩基礎半徑的差值對應墩徑比 D/D^* ，求得不同墩徑比 D/D^* 時相對橋墩圓心的位移量 D' ， D' 由下式決定：

$$D' = D/D^* \left(\frac{D^* - D}{2} \right) \quad (3-1)$$

D ：橋墩直徑； D^* ：橋基直徑； D' ：橋墩中心位移量

限制條件： $D \neq D^*$ ， $D = D^*$ 為均勻橋墩非本試驗中探討的不均勻橋墩。

表 3-1 試驗橋墩模型配置

型式	代號	橋墩直徑 D(mm)	基礎直徑 D(mm)	墩徑比 D/D*	橋墩中心 位移量 D'(mm)
同心圓	A ₁	20	50	0.4	0
	A ₂	35	50	0.7	0
非同 心圓	B ₁	20	50	0.4	6
	B ₂	35	50	0.7	5.25

3. 覆土高度

本試驗採用三種不同覆土高度，並實測橋墩前緣局部沖刷深度，藉以觀察覆土高度對於橋墩局部沖刷深度之影響。

為瞭解不均橋墩沖刷之機制，減少因護甲作用所造成沖刷深度的不準確性，於渠槽中鋪設 35cm 厚之越南細砂，而河床質粒徑用

#20、#30、#40 號篩所篩出之三種泥砂粒徑加以混和，中值粒徑 d_{50} 為 0.62mm，標準偏差 σ_g 約為 1.29，屬於均勻泥砂。

4. 試驗流量

本試驗之流量，由給水管上之閘閥所控制，水流從定水頭水箱經由給水管輸送到渠槽中，再流至 V 型堰處；經迴歸得式 3-2。

$$Q=0.00005H^2-0.0003H+0.0009 \quad (3-2)$$

式中， Q =流量(cms)， H =V 型堰溢流水深(cm)

5. 相對水流強度

- (1) 流量控制閘閥上、下限中任意選取一流量，待其穩定後，將流速計放至於橋墩上游約 50 公分處量測流速。
- (2) 由已知水深 y 及底床中值粒徑 d_{50} ，運用公式 3-3 估算底床質臨界啟動速度 v_c 。

$$v_c/u_{*c}=5.75 \times \log(5.53 \times y/d_{50}) \quad (3-3)$$

限制條件；如下

$$u_{*c}=0.0115+0.0125d_{50}^{1.4}$$

$$0.1\text{mm} < d_{50} < 1\text{mm}$$

$$u_{*c}=0.0305d_{50}^{0.5}-0.0065d_{50}^{-1}$$

$$1\text{mm} < d_{50} < 100\text{mm}$$

- (3) 運用流速計測得上游平均流速 v ，而利用上試求得底床質臨界啟動速度 v_c ，即可求得相對水流強度 (v/v_c)。
- (4) 運用流量控制閘閥調整大小，而得到所需相對水流強度。
- (5) 因本試驗所需之相對水流強度 $v/v_c=1$ 。

6. 完全發展段

速度分佈方程式之基本假設為均勻流，而在流況尚未完全發展的情況下所量測的資料，並不適用於分析。故在選定試驗段位置之前，須先確認試驗區段之流況為完全發展(fully development)流況。

本試驗之完全發展區段位於距入流口約 7.00m~9.30m 之間，因此本研究設計橋墩落墩於距入流口 8.0m 處之動床區段。

7. 試驗操作程序

本研究試驗程序如下；

- (1) 裝置試驗儀器。
- (2) 安置橋墩模型於渠槽內。
- (3) 鋪設試驗河床質於渠槽內並均勻整平夯實。
- (4) 開啟定水頭水箱之進水閘閥至試驗所需流量 Q ，於每隔 5 分鐘量測一次墩前沖刷深度。
- (5) 沖刷時間 T 結束後，關閉尾水閘門壅水，使渠道達到試驗量測所需水深，以超音波剖面儀量測河床沖刷後剖面高程。
- (6) 改變覆土高度，並重複(2)~(5)。

(7) 改變橋墩形式及墩徑比，並重複(2)~(6)。

四、結果分析與討論

本研究主要利用水工試驗模擬非同心圓形橋墩於定量流($v/v_c=1$)作用下，觀測橋墩局部沖刷之現象與機制。並瞭解不同型式墩徑比 $D/D^*=0.4$ 或 0.7 及覆土高度為 -10mm 、 0mm 、 $+10\text{mm}$ 公分時，各種條件對於橋墩局部沖刷及其周圍流場之影響。

1. 一般沖刷、束縮沖刷與局部沖刷之探討

Melville(1996)^[5]指出，若橋墩迎水面寬度(D)與試驗渠槽寬度(B)之比 $D/B \leq 0.1$ 以上時，則可忽略束縮沖刷所產生之效應。本研究則符合上述 $D/B \leq 0.1$ 條件，故可忽略束縮效應所產生之沖刷深度。

2. 沖刷坑與淤積堆之縱斷面變化

當水流通過橋墩時，主要是在向下射流及馬蹄形渦流的交互作用下，使得橋墩周圍產生沖刷坑，同時於墩前產生最大沖刷深度。並於橋墩後方下游處，因馬蹄形渦流的消散與尾跡渦流的產生，導致渦流效應減弱，水流攜帶泥砂之能力不足，而產生泥砂落淤而形成淤積堆。

圖 4-1~圖 4-4 顯示 $V/V_c=1$ 時流量下不同型式不均勻圓形橋墩在墩徑比為 $D/D^*=0.7$ 與 0.4 時，不同覆土高度下河床縱斷面之變化。其中 x 軸表示沖刷坑與淤積堆之長度而 y 軸表示沖刷坑深度， $Y=0$ 時表示原始河床高程。

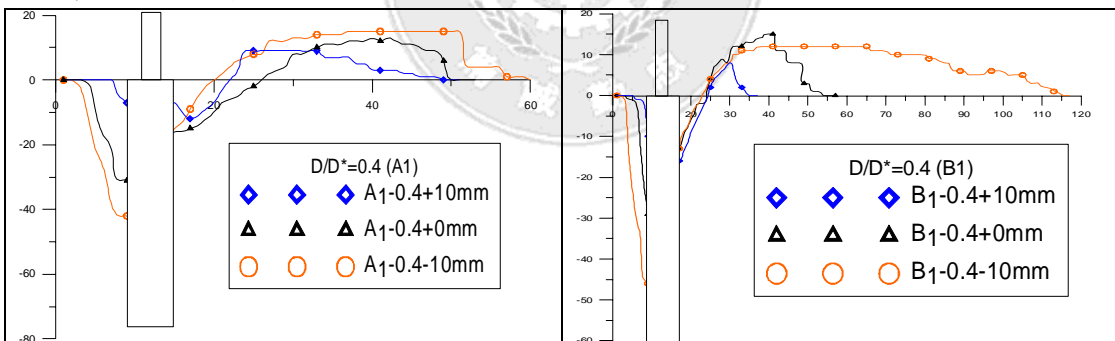


圖 4-1 同心圓不均勻橋墩(A₁) $D/D^*=0.4$

圖 4-2 非同心圓不均勻橋墩(B₁)
 $D/D^*=0.4$

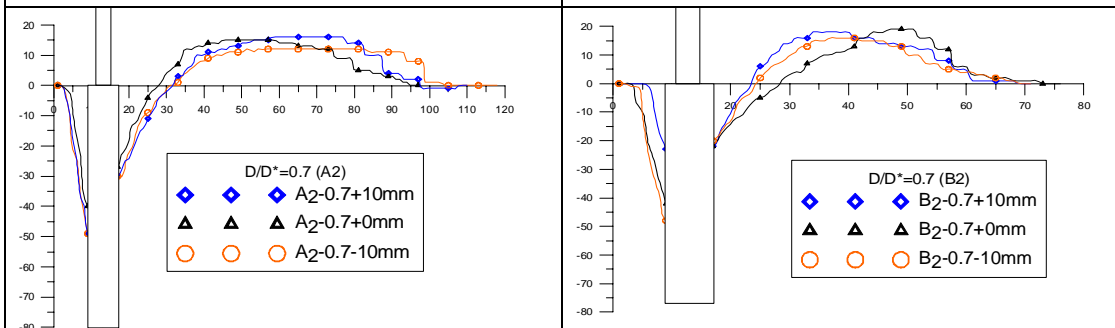


圖 4-3 同心圓不均勻橋墩(A₂) $D/D^*=0.7$

圖 4-4 非同心圓不均勻橋墩(B₂)
 $D/D^*=0.7$

而由圖 4-1~圖 4-4 可知，無論何種型式之橋墩，當橋墩基礎未裸露時($Y=+10\text{mm}$)， $D/D^*=0.4$ 之同心圓(A₁)與非同心圓(B₁)不均勻橋墩

之墩前最大沖刷深度均小於 $D/D^*=0.7$ 時，顯見臨上游處不均勻面阻水面積較大者有較佳之消能效果，且因 $D/D^*=0.4$ 之橋墩直徑 2cm 小於 $D/D^*=0.7$ 之 3.5cm，橋墩受力面積較小，減小向下射流之分量與渦流之強度，故 $D/D^*=0.4$ 之墩徑比明顯優於 $D/D^*=0.7$ 之型式。反觀當 $D/D^*=0.4$ 時之不均勻面(B₁)非同心圓之沖刷深度最小，為四種橋墩型式中最理想者。

當河床與不均勻面齊平時($Y=0\text{mm}$)， $D/D^*=0.7$ 之同心圓(A₂)與非同心圓(B₂)不均勻橋墩之不均勻面對減緩沖刷坑深度之效果不明顯，而反觀當 $D/D^*=0.4$ 時之同心圓(A₁)與非同心圓(B₁)不均勻橋墩之不均勻面明顯發揮減低向下射流強度與馬蹄形渦流之效果最大；沖刷深度較橋墩基礎裸露時減小約 22% 與 33% (詳如表 4-1)，其中尤以後者(B₁)之效果最為顯著。

再由圖 4-1 與 4-2 比較發現，雖然二者具相同之墩徑比，惟因非同心圓(B₁)不均勻橋墩之上部墩柱向下游平移，創造出臨上游處不均勻面之較大阻水面積，因此其最大沖刷深度小於同心圓(A₁)不均勻橋墩。整體而言，無論橋墩覆土高度為何，當墩徑比 $D/D^*=0.4$ 之非同心圓不均勻橋墩(B₁)之最大沖刷深度最小，為較理想之橋墩型式。

表 4-1 沖刷坑深度、淤積堆長度與橋墩基礎 D^* 之關係

型式 參數	A ₁ -0.4+10	A ₁ -0.4+0	A ₁ -0.4-1	A ₂ -0.7+10	A ₂ -0.7+0	A ₂ -0.7-10
沖刷深度	0.2D [*]	0.6D [*]	0.9D [*]	0.65D [*]	D [*]	D [*]
淤積堆長度	2D [*]	6.5D [*]	13D [*]	9D [*]	9.4D [*]	9.2D [*]
型式 參數	B ₁ -0.4+10	B ₁ -0.4+0	B ₁ -0.4-1	B ₂ -0.7+10	B ₂ -0.7+0	B ₂ -0.7-10
沖刷深度	0.24D [*]	0.7D [*]	0.9D [*]	D [*]	1.1D [*]	1.15D [*]
淤積堆長度	2D [*]	6D [*]	8.2D [*]	14.2D [*]	13.4D [*]	16D [*]

橋墩之局部沖刷主要是因為向下射流所造成，雖然橋墩於沖刷初期時有不均勻面之保護以減緩向下射流之強度，但因沖刷坑持續向下刷深，導致橋墩基礎逐漸裸露而阻水面加大，所以加快向下沖刷之速度，因此沖刷坑深度達最大值時即趨於穩定。綜合觀之，當橋墩基礎裸露時其沖刷坑深度最大，橋墩基礎未裸露時其沖刷坑深度較小，而橋墩基礎未裸露並與渠床齊高時，其較能延緩墩前沖刷之時間。

由圖 4-5 與圖 4-6 中發現 $D/D^*=0.4$ 時之沖刷坑較 $D/D^*=0.7$ 時小，因前者之墩前迎水面較後者小，且前者之不均勻面較後者大，所以前者之向下射流強度小又受到不均勻面減緩下刷之強度，導致 $D/D^*=0.4$ 時之沖刷坑呈現淺而窄，而 $D/D^*=0.7$ 時之沖刷坑呈現深而寬之形式。

3. 沖刷坑深度(d_s)與時間變化(t)之關係

圖 4-7 為當覆土高度為+10mm，即橋基未裸露時，非同心圓與非同心不均勻圓形橋墩於開始沖刷後 5~10 分鐘後就不再沖刷而達呈穩定狀態。

但相較於覆土高度為 0mm，沖刷初期受到不均勻面之影響而減緩向下射流之強度，所以於沖刷前 105 分鐘($t/t_i=0.25$)非同心圓不均勻橋墩(B_1)並無沖刷情形發生，而同心圓不均勻圓形橋墩(A_1)於前約 60 分鐘($t/t_i=0.14$)即開始沖刷。前者(B_1)沖刷達歷時之 80%(約 5.6 小時)，沖刷坑即達到穩定狀態不再繼續刷深；然後者(A_1)沖刷時間達全程之 94%(約 6.6 小時)，沖刷行為方停止，且其沖刷深度高於前者。由此可知非同心圓不均勻橋墩(B_1)較能有效減緩向下射流強度與延緩沖刷之行為，並能於較短時間內達到穩定，固為較理想之橋墩型式。

而覆土高度為-10mm 時，於沖刷開始後便快速向下刷深，由於橋基為裸露狀態，再加上無覆土高度的保護下，向下刷深之深度與刷深之速率皆比前述兩種情形($Y=10\text{mm}$, 0mm)來的快與明顯，刷深行為達試驗歷時 80%時(約 5.6 小時)，二者均無明顯之下刷現象而呈現一穩定狀態。

綜合觀之，不均勻圓形橋墩(A_1)沖刷均較非同心圓不均勻橋墩(B_1)快且較晚達到動態穩定之情形，亦即沖刷時間較長，且沖刷深度較大。因此，由安全角度考量，非同心圓不均勻橋墩(B_1)為較理想之橋墩型式。

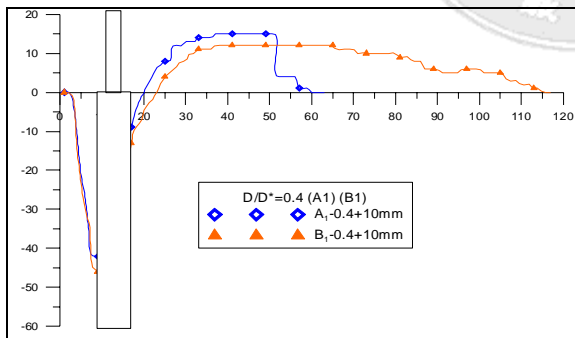


圖 4-5(A_1)、(B_1) $D/D^*=0.4$, $Y=-10\text{mm}$

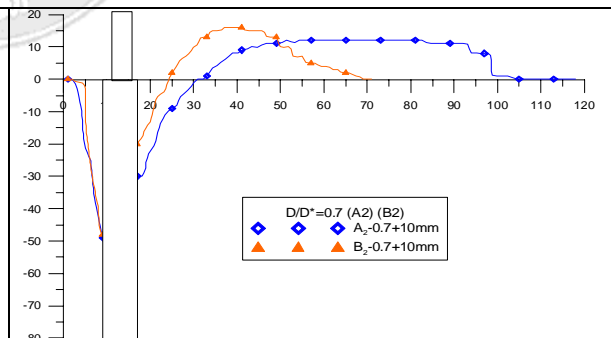


圖 4-6(A_2)、(B_2) $D/D^*=0.7$, $Y=-10\text{mm}$

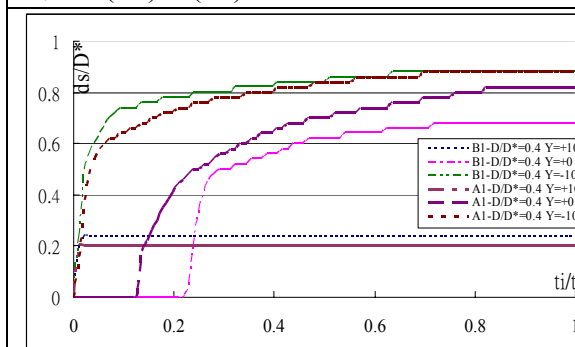


圖 4-7 $D/D^*=0.4$ 時，無因次沖刷坑深度(d_s/D^*)與時間變化(t_i/t)之關係

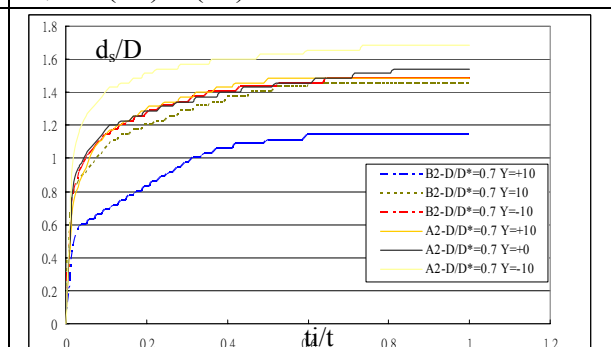


圖 4-8 $D/D^*=0.7$ 時，無因次沖刷坑深度(d_s/D^*)與時間變化(t_i/t)之關係

圖 4-8 顯示當 $D/D^*=0.7$ 時，無論非同心圓或同心圓不均勻橋墩，其沖刷行為均於試驗初期即產生。當覆土高度為+10mm 時，非同心圓不均勻橋墩(B₂)之沖刷深度較同心圓不均勻圓形橋墩(A₂)為小。而覆土高度為 0mm 時，因墩徑比 $D/D^*=0.7$ 之不均勻面面積大小較墩徑比 0.4 時小，所以不均勻面之作用較不顯著，而於開始沖刷後便向下刷深，因此無論是 A₂ 型或 B₂ 型橋墩，其沖刷時間與歷程變化均極為相似。

覆土高度為-10mm 時，非同心圓不均勻橋墩(B₂)與同心圓不均勻橋墩(A₂)沖刷初期對於時間之變化相似，其後非同心圓不均勻橋墩(B₂)於 5.4 小時左右呈現沖刷穩定之型態，而同心圓不均勻橋墩則是於 7 小時左右才呈現此種現象。

綜合而言，墩徑比 D/D^* 為 0.7 時無論是非同心圓不均勻橋墩(B₂)或同心圓不均勻橋墩(A₂)之不均勻面均無延緩沖刷行為之功效。研判係因橋墩之不均勻面之大小較墩徑比為 0.4 時小許多，而橋墩迎水面之阻水面積也較 $D/D^*=0.4$ 時大，因此向下射流分量加大且不均勻面之減少所致。惟非同心圓不均勻橋墩仍較同心圓不均勻橋墩於沖刷歷程為早達成穩定之動態平衡。

4. 沖刷坑深度(d_s)與覆土高度(Y)之關係

橋墩與橋墩基礎所交接之不均勻面，其位置是影響沖刷坑深度(d_s)大小重要因素之一。無因次橋墩沖刷坑深度 d_s/D^* 與無因次覆土高度 Y/D^* 之關係，如圖 4-9 所示。

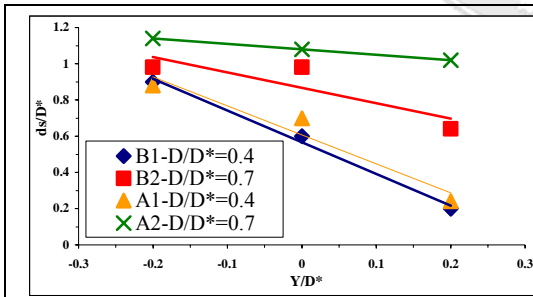


圖 4-9 無因次橋墩沖刷坑深度 d_s/D^* 與無因次覆土高度 Y/D^* 之關係

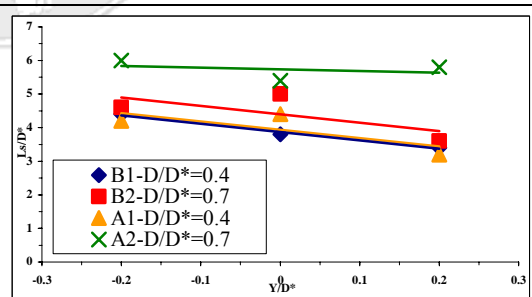


圖 4-10 無因次橋墩沖刷坑長度 L_s/D^* 與無因次覆土高度 Y/D^* 之關係

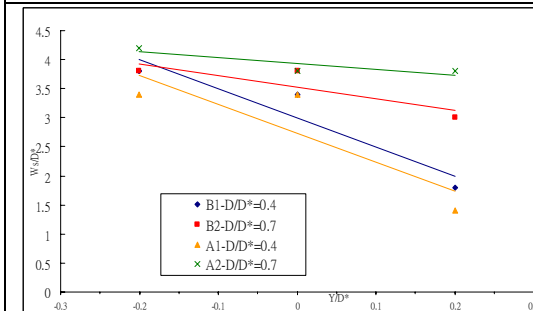


圖 4-11 無因次橋墩沖刷坑寬度 W_s/D^* 與無因次覆土高度 Y/D^* 之關係

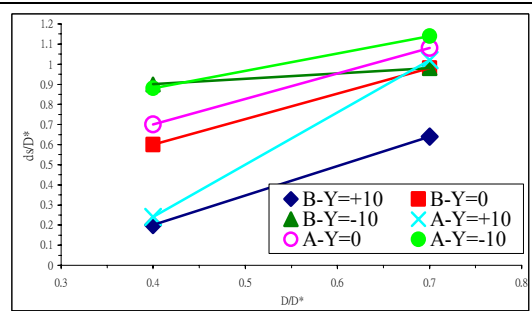


圖 4-12 無因次橋墩沖刷深度 d_s/D^* 與無因次墩徑比 D/D^* 之關係

由圖 4-9 中可知沖刷坑之深度將會隨著覆土高度之不同而改變，即沖刷深度隨著覆土高度之增加而減少，且減小之梯度(效果)以墩徑比 $D/D^*=0.4$ 最為顯著。而以同心圓不均勻橋墩 $D/D^*=0.7(A_2)$ 之減緩沖刷效果最差，其覆土高度對沖刷深度之減緩並無明顯之作用。

5. 沖刷坑長度(L_s)、寬度(W_s)與覆土高度(Y)之探討

圖 4-10 顯示沖刷坑縱向長度(L_s/D^*)隨著覆土高度(Y/D^*)之增加而減少，且減小之梯度仍以 $D/D^*=0.4$ 最為顯著，而同心圓不均勻橋墩 (A_2) 之沖刷坑長度相較而言為最長，此係其沖刷量較大深度較深所致，復因橋基裸露時之迎水面寬度為橋基寬(D^*)，其所造成阻水面積變大，導致向下射流強度增加，使沖刷坑縱向長度增長。

當 D/D^* 為 0.4 時之不均勻面面積比 0.7 時大，且非同心圓不均勻橋墩之迎水面之阻水面積較同心圓不均勻橋墩小，導致向下射流強度受影響而減弱。無因次沖刷坑橫向寬度(W_s/D^*)與無因次橋基覆土高度(Y/D^*)之關係，如圖 4-11 所示，沖刷坑橫向寬度隨覆土高度之增加而減小，且結果與沖刷坑長度(圖 4-10)相似。

由沖刷坑長度與寬度分析結果可知，迎水面之阻水面積大小與覆土高度 Y 都會影響向下射流之強度，皆為影響橋墩沖刷之重要因素。

6. 沖刷坑深度(d_s)與非同心圓不均勻橋墩墩徑比(D/D^*)之影響

無因次橋墩沖刷坑深度 d_s/D^* 與無因次橋墩墩徑比 D/D^* 之關係，如圖 4-12 所示。於相同水流條件下，非同心圓形橋墩墩徑比 $D/D^*=0.4$ 時其沖刷坑深度皆小於墩徑比 $D/D^*=0.7$ 時之沖刷坑深度。若將非同心圓不均勻橋墩(B 型)與同心圓不均勻橋墩(A 型)進行比較，在相同覆土高度條件下，前者(A 型)之沖刷深度均較後者(B 型)為小，尤以覆土高度 $Y=+10mm$ 時，即橋基未裸露時 $D/D^*=0.4$ 較 $D/D^*=0.7$ 之沖刷深度減小之效果最為顯著(梯度最大)。

整體而言，不均勻橋墩 $D/D^*=0.7(A$ 型)於橋基裸露時，沖刷深度最大；反觀當橋基未裸露時以非同心圓不均勻橋墩 $D/D^*=0.4(B$ 型)之沖刷深度最小，由安全角度觀之，其為最理想之橋墩型式。

7. 本試驗與 Melville(1996)試驗之沖刷深度比較

本研究是以 Melville(1996)^[5]之研究為基礎，改變試驗橋墩之模型，而執行相關試驗，試驗相關之條件將於表 4-2 做比較。

表 4-2 本試驗與 Melville(1996)試驗條件之比較

	Melville(1996)	本研究(2005)
泥沙顆粒型態	均勻泥砂 $d_{50}=0.8mm$	均勻泥砂 $d_{50}=0.62mm$
渠槽尺寸	長 11.4m 寬 0.44m	長 13.6m 寬 0.5m

橋墩墩徑比	不均勻圓形橋墩 $D/D^*=3\text{cm}/8.1\text{cm}\approx 0.4$ $D/D^*=4.5\text{cm}/6.3\text{cm}\approx 0.7$	非同心圓不均勻橋墩 $D/D^*=2\text{cm}/5\text{cm}=0.4$ $D/D^*=3.5\text{cm}/5\text{cm}=0.7$
水深 (cm)	2.0	4.7
沖刷時間 (hr)	20~30	7~8
水流流況	清水定量流 ($V/V_c=1$)	清水定量流 ($V/V_c=1$)

為簡化不均勻橋墩問題，故使用等效橋墩之概念，Melville & Raudkivi(1996)^[5] 研究所得之等效橋墩沖刷公式 $[D_e=D(y+Y)+D^*(d_s-Y)/(d_s+y)]$ 計算等效橋墩墩徑 D_e 且因 $Y_s/D^* > 2.6$ 所以利用 $d_s=2.4D_e$ 推求得本試驗之沖刷深度，並將該等效橋墩沖刷深度推估值與本試驗結果進行比較分析。

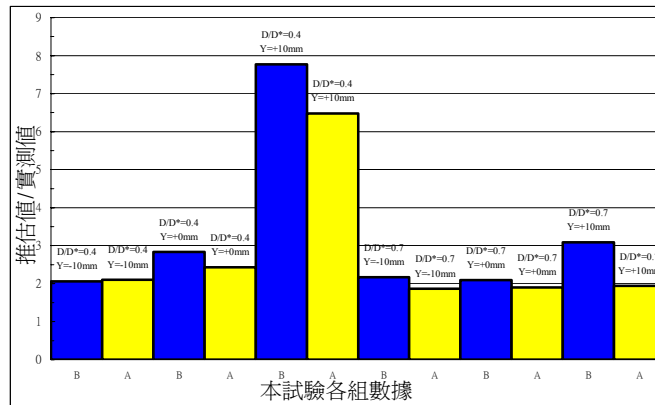


圖 4-13 Melville & Raudkivi(1996)^[5]沖刷深度推估值與本研究實測值之比較

由圖 4-13 得知 Melville & Raudkivi(1996)^[5]之公式所推估值都較本試驗結果高出許多，沖刷坑深度普遍高出 2~3 倍，尤其在墩徑比 $D/D^*=0.4$ 、覆土高度 $Y=+10\text{mm}$ 時更高估 6.5~8 倍左右，研判 Melville 之沖刷深度推估公式係於同心圓不均勻橋墩試驗結果所得，因此將其應用於推估非同心圓橋墩之局部沖刷並不適用。整體而言，非同心圓不均勻橋墩之沖刷坑深度推估值均較同心圓不均勻橋墩高估，研判可能系因於橋墩模型不同、橋墩直徑差異、渠寬比(D/B)之不同所致。

五、結論與建議

本研究使用水工試驗模擬在定量流流況下非同心圓形橋墩與不均勻圓形橋墩(墩徑比 $D/D^*=0.4$ 與 0.7)於不同之覆土高度時做相互比較分析，獲致如下之結論與建議：

1. 結論

(1) 無論是非同心圓不均勻橋墩或同心圓不均勻橋墩，當橋墩基礎裸

露($Y=-10\text{mm}$)時,所產生之沖刷坑較大,而最大沖刷深度發生在橋墩基礎前緣。當橋墩基礎未裸露($Y=+10\text{mm}$)時,所產生之沖刷坑與局部沖刷深度最小。當不均面與覆土高度齊平($Y=0\text{mm}$)時,因向下射流受到不均面之阻擋而減緩強度,因此延遲水流向下沖刷之時間,其沖刷坑大小及沖刷深度介於上述兩者之間。

- (2) 當不均橋墩墩徑比 $D/D^*=0.4$ 之局部沖刷深度較 $D/D^*=0.7$ 時低,此乃因 $D/D^*=0.4$ 之橋墩迎水面寬度較小,產生之向下射流強度變小;另外 $D/D^*=0.4$ 之不均面積較 $D/D^*=0.7$ 為大,所以較能消減向下射流之強度而降低沖刷深度。
- (3) 若由非同心圓不均橋墩(B型)與同心圓不均橋墩(A型)做相互比較,前者之沖刷坑大小與墩前沖刷深度較後者為小,主要乃因前者(B型)之不均面積將較後者(A型)為大,所以較能有效減少向下射流之強度。
- (4) 而非同心圓不均橋墩(B型)之淤積堆長度較同心圓不均橋墩(A型)為短而高,可能係因向下射流受不均面影響,導致尾跡渦流消散,攜帶泥沙之能力較為不足,而泥沙提前落淤而形成較高且短的淤積堆。
- (5) 在相同流量之水流流況下,沖刷坑縱向長度(L_s)與橫向寬度(W_s)將隨覆土高度之增加而減少,以 $D/D^*=0.4$ 最為顯著,此現象與沖刷坑深度相似,故可知覆土高度為影響沖刷坑大小之重要因素。
- (6) 當墩徑比 $D/D^*=0.7$ 時,沖刷初期以達成最大沖刷深度之 50%~80% 左右,其後沖刷速率隨著時間之增加逐漸達成沖刷之平衡。當河床與不均面齊平(即 $Y=0\text{mm}$),墩徑比 $D/D^*=0.4$ 時,非同心圓不均橋墩(B_1)與不均圓形橋墩(A_1),分別經 105 分鐘與 60 分鐘後方開使產生沖刷,顯見不均面有延緩沖刷時間之功效,且 $D/D^*=0.4$ 之沖刷深度較 $D/D^*=0.7$ 為小,其中又以 B_1 型沖刷深度最小,最快達到穩定平衡。
- (7) 整體而言,當墩徑比 $D/D^*=0.4$ 之非同心圓不均橋墩(B_1)之沖刷深度最小,墩後淤積堆長度最短,就水理安全觀之,其為最理想之橋墩型式。
- (8) 由 Melville & Radukiv(1996)^[5]之公式所推估之沖刷深度均較本研究之實測值高出 2~3 倍,研判其因可能係橋墩直徑、渠寬比(D/B)、與橋墩模型之差異等試驗條件不同所致。

2.建議

- (1) 未來的研究可以朝向多變之天然河道之型態如變量流、動床、非均勻底床及含滓沖刷等條件進行分析與探討。
- (2) 未來研究可就前鋒型、中鋒型、後鋒型與多鋒型等四種流量歷線進行模擬,較符合天然河川之流況與含滓流況探討其沖刷與堆積

型態。

- (3) 本試驗所使用之橋墩模型為非同心圓不均橋墩與同心圓不均橋墩做相互比較，未來更可以改變非同心圓不均橋墩 D' 之偏移量做進一步探討。
- (4) 未來可對橋墩基礎之保護工作更進一步之探討，可以考慮在不影響橋墩結構之下，加大不均面之面積或將橋墩阻水面減少以降低向下射流之強度。

參考文獻

1. 李俊穎，2005，「歷線型流況下同心圓橋墩局部冲刷之研究」，逢甲大學水利工程研究所碩士論文。
2. 陸浩、高冬光，1991，「橋樑水力學」，人民交通出版社，第 167 頁至第 184 頁。
3. Chabert, J., & Engeldinger P., 1956, "Etude des afouillements autour des piles des ponts", Laboratoire National d'Hydraulique, Chatou, France.
4. Dargahi B., 1990, "Controlling Mechanism of Local Scouring", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.116, No.10, pp.1197-1214.
5. Melville, B. W. & A. J. Raudkivi, 1996, "Effects of Foundation Geometry on Bridge Pier Scour", Journal of Hydraulic Engineering, pp.203-209.
6. Melville, B. W. & Coleman, S. E., 2000, "Bridge Scour", Water Resources Publications, LLC., Highlands Ranch, Colorado, USA.
7. Raudkivi, A. J., 1986, "Functional Trends of Scour at Bridge Piers", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.112, No.1, January, pp.1-13.