

不同規格環圈柱於橋墩沖刷保護效果之研究

王傳益⁽¹⁾ 張詠善⁽²⁾ 張嘉玲⁽³⁾ 楊佳學⁽⁴⁾ 楊敏宏⁽⁴⁾ 施漢鵬⁽⁵⁾

摘要

台灣西部許多河川河床嚴重下降，河川及橋樑管理單位經常於橋墩周圍構築保護工，以減少橋墩基礎之沖刷惟其效果有限。因此本研究研發新型橋墩基礎保護工法—透水性環圈柱，此工法乃使用具有彈性的橡皮環圈組成具透水性之類圓柱體，設置於橋墩上游，利用其不規則表面糙度及多孔隙透水特性以削弱水流對橋墩的衝擊能量。本研究透過水工試驗模擬在定量清水流($V/V_c < 1$)條件下，探討不同環圈規格在不同環圈柱設置距離之沖刷減緩效果，以獲致較佳之橋墩保護工配置模式。

研究結果顯示，當環圈規格與環圈柱設置距離改變時，保護工對水流產生的影響範圍會隨之變化，造成不同的消能效果。整體而言，當環圈規格為 III 型($D_R/b=0.28$)組成之直徑 $D/b=0.8$ ，環圈柱保護工設置距離以 $L/b=4$ 之保護效果為最佳，沖刷減緩率為 30.3%。

(**關鍵字**：環圈柱、局部沖刷、沖刷深度)

Pier Scour Protection with Various Specifications of Ring Columns

C.Y. Wang⁽¹⁾ *Y.S. Chang*⁽²⁾ *C.L. Chang*⁽³⁾ *J.H. Yang*⁽⁴⁾ *M.H. Yang*⁽⁴⁾
H.P. Shih⁽⁵⁾

Professor⁽¹⁾, Master⁽²⁾, Associate Professor⁽³⁾ (Corresponding Author) and Graduate Student⁽⁴⁾ Department of Water Resources Engineering and Conservation, Ph.D. Candidate⁽⁵⁾ Ph.D. Program of Civil and Hydraulic Engineering, Feng Chia University, Taichung 407, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

In the west of Taiwan, bed elevations of many rivers lowered down seriously.

-
- (1) 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授
 - (2) 逢甲大學水利工程與資源保育研究所碩士
 - (3) 逢甲大學水利工程與資源保育學系副教授(通訊作者 e-mail: clcang@fcu.edu.tw)
 - (4) 逢甲大學水利工程與資源保育研究所碩士生
 - (5) 逢甲大學土木及水利工程博士學位學程博士候選人

River and bridge management bureaus often construct bridge protection works around piers to reduce the scouring of the pier foundations. However, the results are still unsatisfactory. In this study, the use of ring columns as a pier protection countermeasure is reported. The ring columns consisting of cylindrical rubber rings are placed upstream of a bridge pier to reduce the flow impacting energy and scour by its' irregular surface roughness and porous characteristics. A series of experiment was conducted with uniform sediments under the clear-water steady flow ($V/V_c < 1$) conditions. By changing the ring specifications, and distances between ring columns and the pier in order to understand the scour depth reduction effect and propose an optimal allocation of protection works.

The results show that, when the ring specifications and the ring columns to set the distance change, the range of influence on the flow generated will be changed, resulting in different energy dissipation. In general, when the ring presents Type III ($D_R = 0.28/b$) with the diameter $D/b = 0.8$, ring columns protection appear the best protection effect at the distance $L/b = 4$, and pier scour depth reduction rate by 30.3%.

(Keywords: Ring columns, Local scour, Scour depth)

一、前言

台灣因位於亞熱帶地區，每年六月至十月常有數個颱風侵襲，提供了相當豐沛的雨量，但由於降雨時間和空間分布非常不均，造成豐枯期流量懸殊。且台灣為狹長型的島嶼，以中央山脈為分水嶺，河川多為東西走向，坡陡流急，颱風期間橋墩周圍河床遭受強烈水流侵蝕作用而危及橋梁安全。近年來，斷橋事件時有所聞如卡玫基颱風造成大甲溪后豐大橋，及莫拉克颱風造成高屏溪雙園大橋等數十座橋梁之落橋事件，造成人民重大生命財產損失。因此，如何強化橋墩保護減低河床沖刷，以降低斷橋事件發生之風險遂成為當前之重要課題。

目前國內常用之橋墩保護工法如蛇籠、拋石或消波塊等傳統性質的保護工，大多使

用不透水之混凝土塊，倘若規劃設計不當，則可能因攔阻水流使通水斷面積減小造成束縮沖刷，進而影響橋墩安全。鑑於過去傳統保護工法大部分均以不透水之混凝土結構物為主，常造成保護工損壞而危及橋墩安全，因此必先充分瞭解橋墩周圍之水理及其沖刷機制，並進一步研發較佳類型的保護工法，以提升橋墩之安全性，避免落橋事件再次發生。

本研究採用新型橋墩保護工-透水性環圈柱，將其設置於橋墩上游，利用該結構物的遮蔽效應和分流效果來減輕水流對橋墩的沖擊能量，以降低橋墩周圍之局部沖刷深度，並透過改變不同影響參數如設置距離，探討各種不同型式保護工配置之環圈柱對於橋墩保護效果的差異，利用沖刷減緩率等指標來研判保護工最佳配置，以供相關工程單

位設計橋墩保護工之參考。

二、文獻回顧

2.1 沖刷之分類

Melville and Coleman(2000)認為河道中的沖刷型態可分為一般沖刷與局部化沖刷，並將橋墩沖刷現象以圖 1 表示，說明如下：

(1) 一般化沖刷：主要為河道上下游輸砂量

不平衡所致，非水工結構物之影響，依水流影響時間長短，可分為一般長期沖刷(long-term general scour)與一般短期沖刷(short-term general scour)。

(2) 局部化沖刷：設置水工結構物，會使水流受到阻礙，造成流場改變和底床剪應力增大，進而影響河床沖刷現象，又可分為束縮沖刷與局部沖刷。

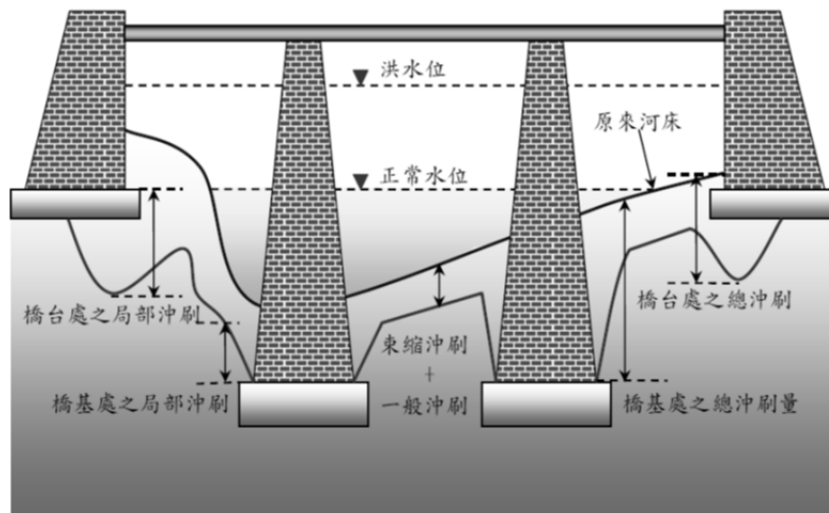


圖 1 橋墩沖刷示意圖

Fig.1 Schematic diagram of bridge scour

2.2 橋墩局部沖刷機制

Dey(1999)曾經針對均勻橋墩之局部沖刷深度與時間變化做相關研究比較，提出下列主要概念：

- (1) 沖刷情形主要是由馬蹄型渦流造成。
- (2) 底床顆粒從沖刷坑底部被帶起並產生最大沖刷深度。
- (3) 沖刷坑中底床質之重量變化率等於從沖

刷坑被帶出之底床質重量變化率與被帶入沖刷坑之底床質重量變化率之差。

橋墩局部沖刷依上游來流速度大小的不同，可以分為清水沖刷(clear-water scour)及含滓沖刷(live-bed scour)兩種情況。清水沖刷為流速小於底床質臨界啟動速度($V/V_c < 1$)，且上游沒有底床質補充至沖刷坑時之情況。含滓沖刷為流速大於底床質臨界啟動速度($V/V_c > 1$)，因上游底床質受水流作用，達到底床

質臨界啓動速度時，底床質補充至沖刷坑之情況。當清水沖刷隨著沖刷時間的增長而到達臨界狀況時，此時的沖刷坑會因向下射流的速度減緩，而無法再對底床進行淘刷而趨於平衡；含滓沖刷的平衡沖刷深度則會因為上游有底床質的補充，而作不規則的振盪，且其振盪的幅度會因流速的增快而變為較平緩；橋墩在清水沖刷時，其最大沖刷深度會比含滓沖刷大，且清水沖刷達到平衡所需的時間要比含滓沖刷來的長。

Melville and Raudkivi(1977)、Melville and Chiew(1999)曾詳細分析流體之水流強度即平均流速 V 與泥砂顆粒臨界啓動流速 V_c 之比 (V/V_c) 對沖刷的影響，獲得以下結論：

- (1) $V/V_c < 0.5$ 時，不產生沖刷。
- (2) $0.5 \leq V/V_c \leq 1$ ，為清水流況，即為清水沖刷。
- (3) $1 < V/V_c \leq 4$ ，為含滓流況，即挾砂沖刷。
- (4) $V/V_c > 4$ 時，為挾砂沖刷並產生逆砂丘。

Melville and Coleman(2000)指出在泥砂臨界啓動流速(V_c)時，會有最大沖刷深度。含滓沖刷之平均沖刷深度會小於清水沖刷深度，因此橋墩沖刷問題仍以最大清水沖刷深度為主要考量。

2.3 保護工設計原理

彭大雄(2007)利用蛇籠外加具有銅葉片之廢輪胎進行橋墩沖刷之水工試驗，將該構造物設置於橋墩上、下游，結果發現其具有減緩水流與增加橋墩周圍泥砂落淤之功效。

台灣目前橋基保護工仍以傳統方式(拋石、混凝土)作為材料，較少使用原型廢輪胎之應用。針對非傳統橋墩保護工設置後的橋

墩周圍河床沖淤變化，本研究利用呂其倫(2011)之保護工設計原理並加以簡化，藉以瞭解單一配置之周圍流場變化。因此，本研究以原型廢輪胎應用於橋墩沖刷防治，即應用具有彈性的橡皮環圈配合群樁基礎組成之類圓柱體-透水性環圈柱(即廢輪胎)，將環圈柱放置於橋墩上游，由於該結構物具消散能量及遮蔽效應，進而減緩水流對橋墩之沖擊，並形成導流效果，令泥砂補充至橋墩前緣及其周圍，達到減緩沖刷之目的。

三、試驗配置

3.1 試驗設備與布置

本研究所使用之設備位於逢甲大學水利工程與資源保育學系水工試驗室，試驗渠槽為中型循環玻璃渠槽，以下就循環渠槽、橋墩模型、環圈柱模型及相關附屬設備等規格詳如圖 2 之說明。

3.2 透水性環圈柱保護工

本研究採用的保護工為前置型保護工-透水性環圈柱(ring columns)，分別為群樁基礎與環圈組成詳如圖 3 所示。群樁基礎(含鋼軌樁)埋設於河床下，為固定環圈並提供環圈做為垂向移動之滑軌。當底床遭刷深時，環圈可隨地勢沉降，以達到持續消能之功效。

3.2 透水性環圈柱保護工

本研究採用的保護工為前置型保護工-透水性環圈柱(ring columns)，分別為群樁基礎與環圈組成詳如圖 3 所示。群樁基礎(含鋼軌樁)埋設於河床下，為固定環圈並提供環圈做為垂向移動之滑軌。當底床遭刷深時，環圈可隨地勢沉降，以達到持續消能之功效。

(a) 頂視圖 (top view)

(b) 側視圖 (side view)

圖 2 試驗渠槽配置圖

Fig.2 Schematic diagram of the flume

將環圈柱放置於橋墩上游，削減與分散沖擊橋墩之水流能量與方向，並對橋墩產生遮蔽效應，減少橋墩沖刷之深度。環圈以幾何形狀上下交錯重疊排列，環圈之不規則表面，增加環圈柱之摩擦阻力。而環圈交錯排列，能降低向下水流強度，並利用交錯之空隙，增加水流紊動，達到均勻混滲，降低水流挾砂能力。此外，環圈為彈性之橡皮圈組成，具有吸收水流能量之功用，達到減緩橋墩周圍沖刷之目的。

沖刷深度的影響，本研究選定橋墩直徑為渠道寬度之 1/10，即 5 公分之均勻橋墩進行試驗。

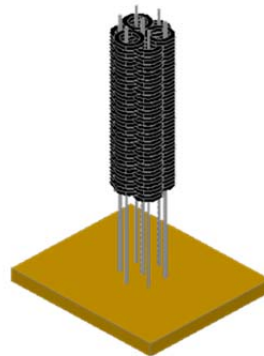


圖 3 透水性環圈柱示意圖

Fig.3 Schematic diagram of ring columns

3.3 試驗橋墩及環圈柱模型

本研究藉由水工試驗探討不同型式環圈柱對橋墩沖刷之影響，為了排除束縮效應對

約為 1.67m，此與台灣西部主要河川之橋墩直徑約為 1.2m~2.5m 間吻合，即本研究應用於河川現地具有可行性。

3.4 試驗內容

本研究於水平渠床坡度($S \approx 0\%$)、泥砂中值粒徑 $d_{50}=0.62\text{mm}$ 之均勻底床質之條件下，根據環圈柱設置高度之前置試驗，本研究採用其最佳配置 $H=24\text{cm}$ ，分別改變不同

的環圈規格、環圈柱直徑及設置距離進行試驗，試驗條件詳如表 1 所示。環圈柱具有消能與導流功效，若環圈柱能將橋墩上游水流能量削減則可降低橋墩沖刷深度。環圈柱結構物與橋墩布置關係如圖 5 所示，圖中 y 為上游來流水深， D 為環圈柱直徑， H 為環圈柱設置高度， L 為環圈柱設置距離， b 為橋墩直徑， d_s 為橋墩沖刷深度

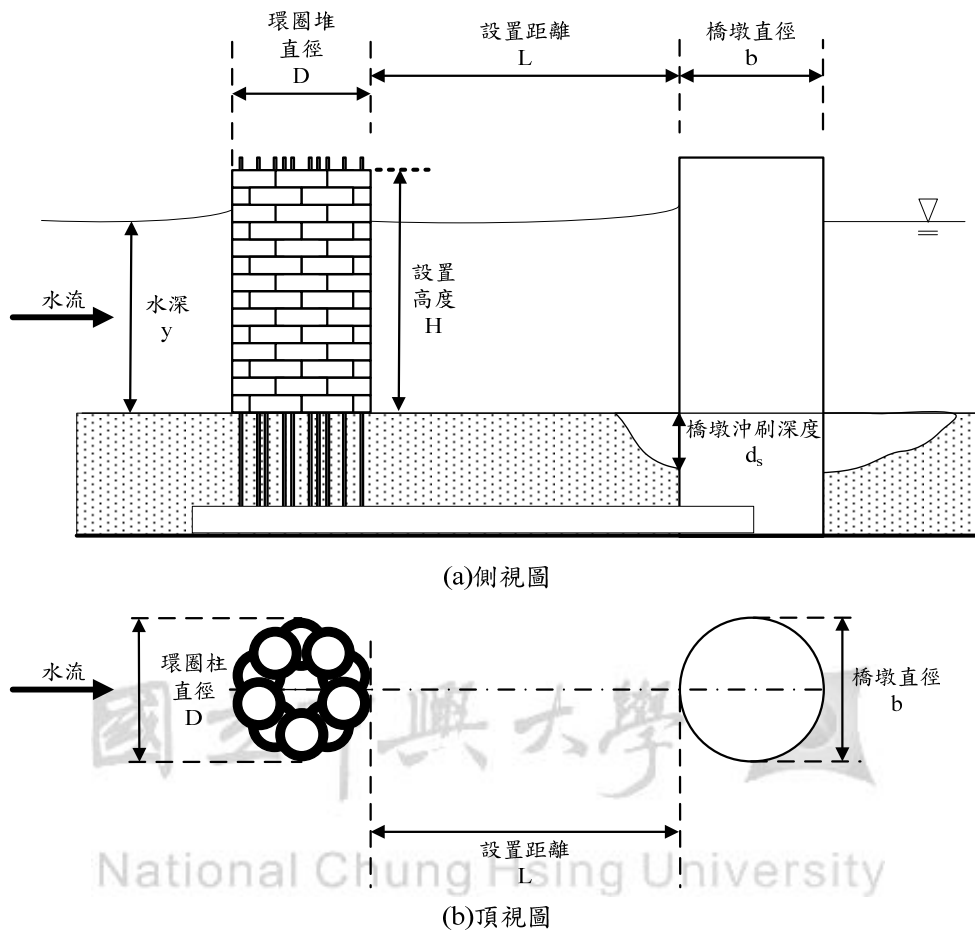


圖 5 環圈柱結構物與橋墩布置圖

Fig.5 Arrangement diagram of ring columns and bridge pier

3.5 試驗流程

本試驗之流程如圖 6 所示。

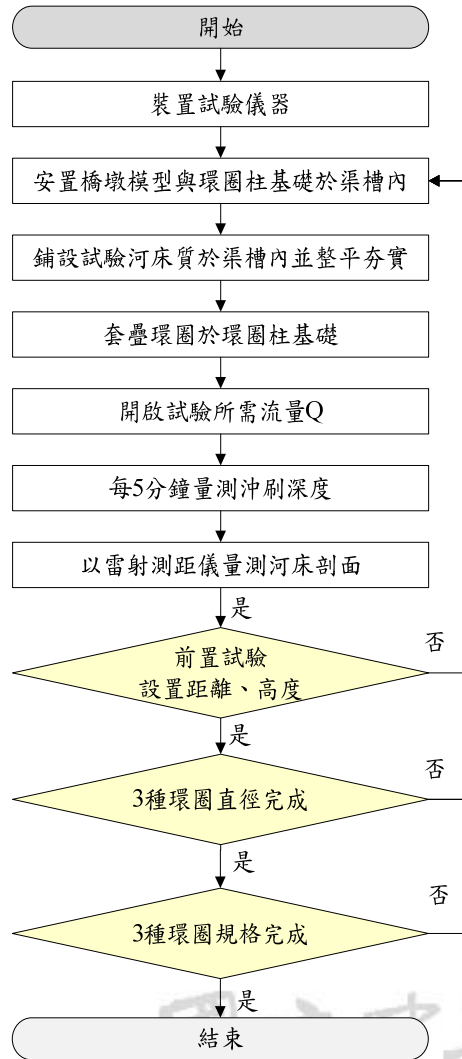


圖 6 試驗流程圖

Fig.6 Experimental flow chart

四、結果分析與討論

4.1 環圈柱保護工直徑

探討環圈柱保護工直徑的參數變化對其周圍底床之沖淤影響，其中環圈柱直徑(D)變化是以環圈規格為 I 型($D_R/b=0.36$)當作保護工之單元，以 3 環、4 環及 5 環之幾何形狀交錯排列組合而成。

4.1.1 保護工直徑對橋墩沖刷歷程之影響

主要在探討環圈柱保護工的直徑(D)對橋墩周圍底床沖刷歷程之影響。研究中利用光纖視鏡置於空心橋墩模型中，記錄每段時間的橋墩沖刷深度 ds ，以 ds 與橋墩直徑 b 之比值為縱座標，沖刷時間 t_i 與 8 小時之全程試驗沖刷時間 t 之比值為橫坐標繪製沖刷歷程圖，如圖 7 所示。

圖 7 為不同環圈柱直徑之沖刷深度隨時間的變化量，從圖中可發現，試驗組別之 80% 的沖刷深度均在前 10% 之沖刷時間($t_i/t=0.1$)內完成，且均於前 60% 之沖刷時間($t_i/t=0.6$)漸趨於平衡沖刷。惟 $D/b < 1.0$ 時，在前 20% 之沖刷時間($t_i/t=0.2$)內有持續刷深的現象，惟其最終平衡沖刷歷程並無明顯變化，因此 $D/b < 1.0$ 時有較深的沖刷深度。整體而言，設置環圈柱保護工均較未設置保護工時之沖刷深度為小，尤以 $D/b=1.0$ 之沖刷深度為最小，即減緩沖刷之效果為最佳。

探究其因，當 $D/b < 1.0$ 時，由於環圈柱直徑小於橋墩直徑，保護工對水流動能的削減略為減弱，以致沖刷初期有較深的沖刷深度，爾後沖刷後期因保護工後方的淤積堆挹注於墩前因而沖刷深度漸次趨於穩定。

4.1.2 保護工直徑對橋墩周圍河床沖淤之影響

圖 8 為不同環圈柱直徑之河床中心縱斷面變

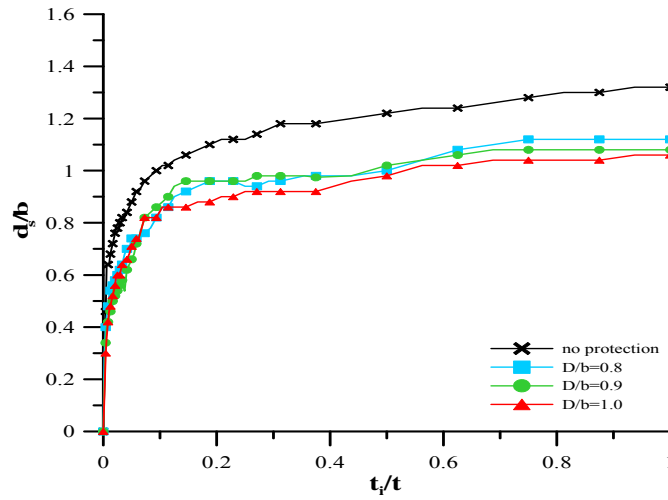


圖 7 不同環圈柱直徑(D)之橋墩沖刷歷程圖(I 型)

Fig.7 Time evolution of dimensionless scour depth with variation of diameters of ring columns (type I)

化情形，以橋墩直徑(b)對橫軸(x)和縱軸(z)之尺度無因次化，其中 $x = 0$ 為橋墩中心， $z = 0$ 為原始河床高程。圖 9 為不同環圈柱直徑之沖刷坑範圍變化情形，橫軸 X 為水流向之距離，縱軸 Y 為試驗渠槽橫斷面方向。

由圖 8 與圖 9 可發現環圈柱直徑 D/b 由

1.0 降低至 0.8 時，除保護工對水流的橫向遮蔽效應略為減弱外，保護工直徑變小對於固定距離時對水流的分流效應的範圍亦有減小的趨勢，因此保護工後方的淤積堆較保護的範圍較小，造成墩前沖刷深度隨直徑的減小而有加深的趨勢。

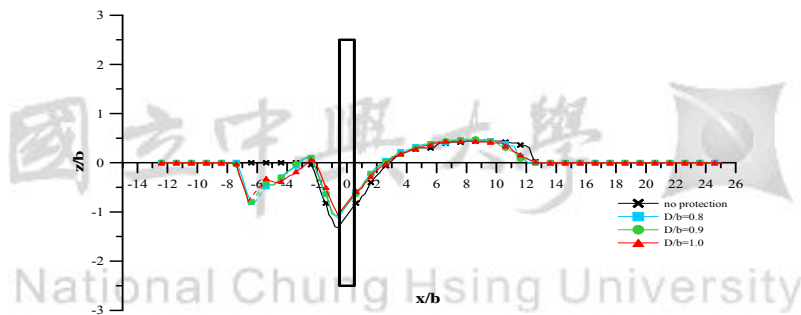


圖 8 不同環圈柱直徑(D)之河床中心縱斷面變化圖(I 型)

Fig.8 Comparison of longitudinal bed profiles at different diameters of ring columns (type I)

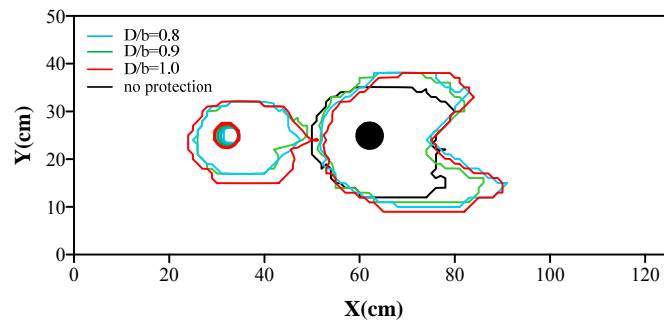


圖 9 不同環圈柱直徑(D)之沖刷坑範圍(I 型)

Fig.9 Comparison of scour hole ranges at different diameters of ring columns (type I)

整體而言，由圖8與圖9可知，環圈柱直徑 $D/b=0.8\sim 1.0$ 時之保護工均較未設置保護工時之沖刷深度為小，當保護工直徑漸小會縮減其對橫向水流的遮蔽效應，加上分流效應的影響範圍減小，以致墩前的最大沖刷深度有逐漸刷深的趨勢。當 $D/b=1.0$ 時之橋墩墩前最大沖刷深度為最小，亦即環圈柱保護工之設置之較佳直徑為 $D/b=1$ 。

4.1.3 保護工直徑對橋墩沖刷保護效果之影響

本節主要在探討不同環圈柱保護工的直徑對橋墩最大沖刷深度影響，直徑分別為 $D/b=0.8$ 、 $D/b=0.9$ 和 $D/b=1.0$ 。本研究以設置保護工與上游未設置保護工(對照組)時進行比較分析，藉以瞭解保護工減緩沖刷之效果。以減緩率 R 為研判指標，公式如下所示。

$$R(\%) = \left(\frac{d_{sn} - d_s}{d_{sn}} \right) \times 100\%$$

式中 d_{sn} 為未設置保護工時橋墩墩前最大沖刷深度， d_s 為設置環圈柱保護工時橋墩墩前最大沖刷深度。

經由上述小節之結論，再由表 2 與圖 10

可知，於環圈規格($D_R/b=0.36$)為 I 型，環圈堆設置高度(H)為 3 倍橋墩直徑(b)，環圈柱設置距離(L)為 5 倍橋墩直徑(b)，且相對水流強度(V/V_c)為 0.9 時，環圈柱保護工設置直徑以 $D/b=1.0$ 之保護效果為最佳。當橋墩周圍沖刷坑體積因分流效應而加大時，墩前的沖刷深度並未增大，因此有較佳之墩前沖刷減緩率。由此可知，當距離固定時，保護工直徑減小會縮減橫向水流的遮蔽效應，以致墩前最大沖刷深度有逐漸刷深的趨勢。

4.2 環圈規格

探討環圈柱保護工環圈規格於不同之設置距離時對其周圍底床之沖淤影響。環圈規格採用 I 型($D_R/b=0.36$)、II 型($D_R/b=0.32$)與 III 型($D_R/b=0.28$)做為保護工之單元，並以 5 環之幾何形狀交錯排列組合而成不同環圈柱直徑(D) 為 1 倍橋墩直徑(b)，環圈堆設置高度(H)為 3 倍橋墩直徑，且相對水流強度(V/V_c)為 0.9 等條件下，分析環圈柱保護工設置距離參數變化對其周圍底床之沖淤影響。

4.2.1 環圈規格對橋墩沖刷歷程之影響

主要在探討不同環圈規格(D_R)以 5 環之 置距離下對橋墩周圍底床沖刷歷程之影響
幾何形狀組合成環圈柱直徑的變化於不同設 。

表 2 環圈柱設置距離(L)對橋墩沖刷之減緩效果與橋墩周圍沖刷坑體積變化(I 型)
Table 2 Comparison of scour retardation effects and scour hole volumes at different diameters of ring columns (type I)

組別	設置距離(L)		最大沖刷深度 d _s (cm)	沖刷減緩率 R(%)	沖刷坑體積 V _s /V _{sn}	加劇 效應
	L(cm)	L/b				
B1	無保護工		6.6	-	1.00	-
D1	5	1	5.4	18.2	0.82	√
D2	10	2	5.7	13.6	0.72	√
D3	15	3	5.6	15.2	0.79	√
D4	20	4	6.0	9.1	0.90	√
D5	25	5	5.3	19.7	0.92	-
D6	30	6	5.8	12.1	1.10	-

註：I 型(D_{R/b}=0.36)，D_R 為環圈規格，D/b=1，H/b=3，V/V_c=0.9。
※加劇效應：上、下游橋墩間的沖刷坑產生重疊，加劇橋墩間的淘刷，造成沖刷深度加深之情形。

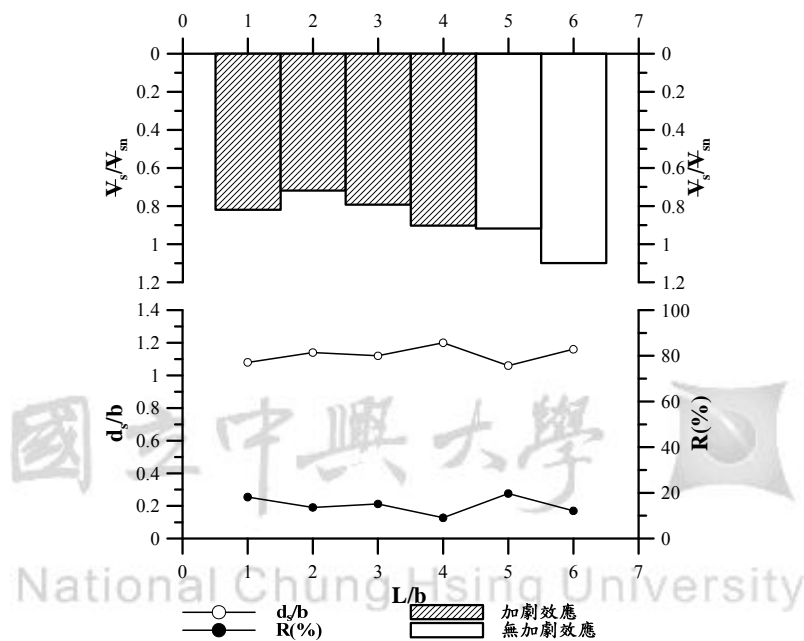


圖 10 不同環圈柱設置距離(L)之橋墩沖刷深度與減緩率(R)及橋墩周圍沖刷坑體積關係圖(I 型)
Fig.10 Comparison of scour retardation rates and scour hole volumes at different diameters of ring columns (type I)

研究中利用光纖視鏡置於空心橋墩模型以 d_s 與橋墩直徑 b 之比值為縱座標，沖刷時間 t_i 與 8 小時之全程試驗沖刷時間 t 之比值為橫坐標繪製沖刷歷程圖，如圖 11、圖 12 與圖 13 所示。

圖 11 為 I 型環圈規格於不同環圈柱設置距離之沖刷深度隨時間的變化量，從圖中可看到大部分的試驗組別約有 70% 之沖刷深度在前 10% 之沖刷時間 ($t_i/t=0.1$) 內完成，又於前 50% 之沖刷時間 ($t_i/t=0.5$) 漸漸趨於平衡沖刷。由圖中可知沖刷梯度在沖刷初期為最大，而後沖刷深度變化漸小。整體而言，設置環圈柱保護工均較未設置保護工時之沖刷深度為小，尤以 $L/b=5$ 之沖刷深度為最小，即減緩沖刷之效果為最佳。探究其因，當 $L/b=5$ 時，其遮蔽效應漸次減小，但由於環圈柱保護工受尾跡渦流而產生的後方淤積堆挾注於墩前，因而減緩墩前沖刷深度。而當

$L/b=6$ 時，由於距離較遠，遮蔽效應不明顯，環圈柱保護工分散水流動能的效果減緩，且受尾跡渦流而產生的後方淤積堆因水流動能的增強而無法有效挾注於墩前而造較大的沖刷深。

圖 12 與圖 13 分別為 II 型和 III 型環圈規格於不同設置距離下沖刷深度隨時間的變化量，從圖 11 與圖 12 中可發現，試驗組別約有 70% 之沖刷深度在前 10% 之沖刷時間 ($t_i/t=0.1$) 內完成，沖刷後期有 3 種趨勢，當 $L/b=1、2$ 時，於 80% 之沖刷時間 ($t_i/t=0.80$) 方達平衡沖刷深度。當 $L/b=3$ 時，有先平衡後持續沖刷的現象，其沖刷平衡深度遲至最後方達成。當 $L/b=4、5、6$ 時，於 20% 之沖刷時間 ($t_i/t=0.2$) 後即趨於平衡沖刷深度。整體而言，設置環圈柱保護工均較未設置保護工時之沖刷深度為小，尤以 $L/b=4.0$ 之沖刷深度為最小，即減緩沖刷之效果為最佳。

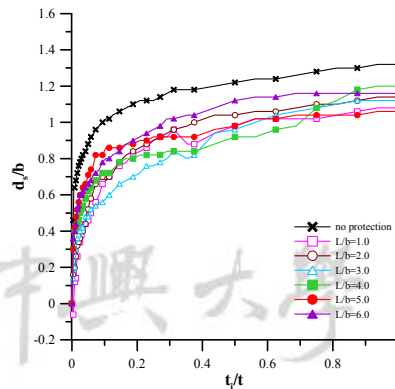


圖 11 I 型環圈於不同設置距離(L)下橋墩沖刷歷程圖

Fig.11 Time evolution of dimensionless scour depth with variation of distance between ringcolumns and pier (type I)

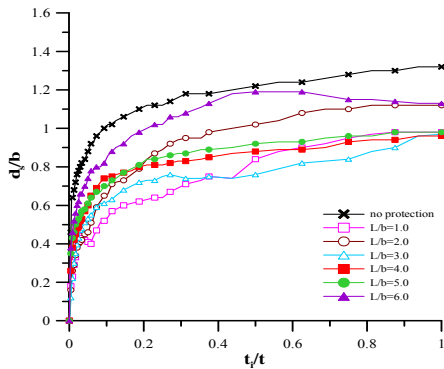


圖 12 II 型環圈於不同設置距離(L)下橋墩沖刷歷程圖

Fig.12 Time evolution of dimensionless scour depth with variation of distance between ring columns and pier (type II)

比較 I 型、II 型與 III 型環圈於不同設置距離下的沖刷歷程可發現，當環圈規格為 III 型(DR=0.28)組成之直徑 $D/b=0.8$ ，環圈柱保護工設置距離以 $L/b=4$ 之保護效果為最佳，沖刷減緩率為 30.3%。

4.2.2 環圈規格對橋墩周圍河床沖淤之影響

圖 14 為 I 型環圈柱設置距離之河床中心縱斷面變化情形，以橋墩直徑(b)對橫軸(x)和縱軸(z)之尺度無因次化，其中 $x=0$ 為橋墩中心， $z=0$ 為原始河床高程。圖 15 為不同環圈柱設置距離之沖刷坑範圍變化情形，橫軸 X 為水流向之距離，縱軸 Y 為試驗渠槽橫斷面方向。

由圖 14 與圖 15 可發現當 L/b 於不同區間時，有不同之沖刷機制，茲探討如下：

當 $L/b \leq 2$ 時，橋墩迎水面受到環圈柱保護工的遮蔽效應，減緩水流動能，惟保護工與橋墩間產生類似雙橋墩的加劇效應，造成

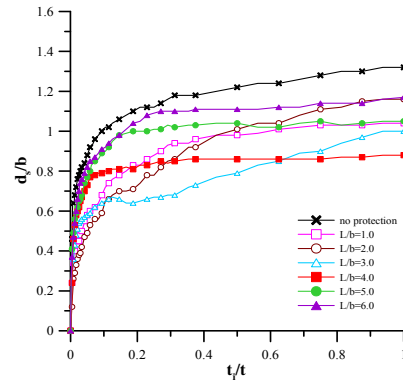


圖 13 III 型環圈於不同設置距離(L)下橋墩沖刷歷程圖

Fig.13 Time evolution of dimensionless scour depth with variation of distance between ring columns and pier (type III)

保護工與橋墩間的底床下刷的情況較為嚴重，加深了墩前的沖刷深度。而因保護工與橋墩距離較近，橋墩周圍流況較為紊亂，再加上保護工對水流的分流效果不明顯，以致由尾跡渦流產生的淤積堆與馬蹄型渦流產生的沖刷坑並未形成以橋墩為中心之對稱分佈現象。當 $L/b=1$ 時，流經環圈柱保護工後的水流型態尚未發展完全即流向橋墩下游，因此相對其他距離有較小的沖刷深度。

當 $2 < L/b \leq 4$ 時，橋墩迎水面受到環圈柱保護工的遮蔽效應漸小，保護工與橋墩間的加劇效應仍存在，由於設置距離的增長，增加了保護工與橋墩間的空間，使環圈柱下游面因尾跡渦流產生的淤積堆落淤其間，造成保護工與橋墩間的底床下刷情況較為減緩。惟流經環圈柱保護工後的水流型態發展完全，又再次刷深，兩者相互抵消以致沖刷深度與 $L/b \leq 2$ 差異不大。當保護工與橋墩距離漸漸加大，保護工對水流的分流效果增加，

因此由尾跡渦流產生的淤積堆與馬蹄型渦流產生的沖刷坑會以橋墩為中心成對稱分佈的現象，並加大沖刷坑的範圍。

當 $L/b > 4$ 時，橋墩迎水面受到環圈柱保護工的遮蔽效應再度減小，保護工與橋墩間的加劇效應因距離再度加大而消失，使環圈柱下游面的淤積堆落淤於其間，保護工與橋墩

間的底床下刷情況不復存在，加上上游來砂挾注於墩前，因此減緩了墩前的沖刷深度。當 $L/b=6$ 時，由於距離過遠，環圈柱保護工下游面的淤積堆落淤效應無法擴及於墩前，猶如兩個獨立結構物，因此其對於水流動能削減僅有局部效果，沖刷減緩效果不若 $L/b=5$ 時顯著。

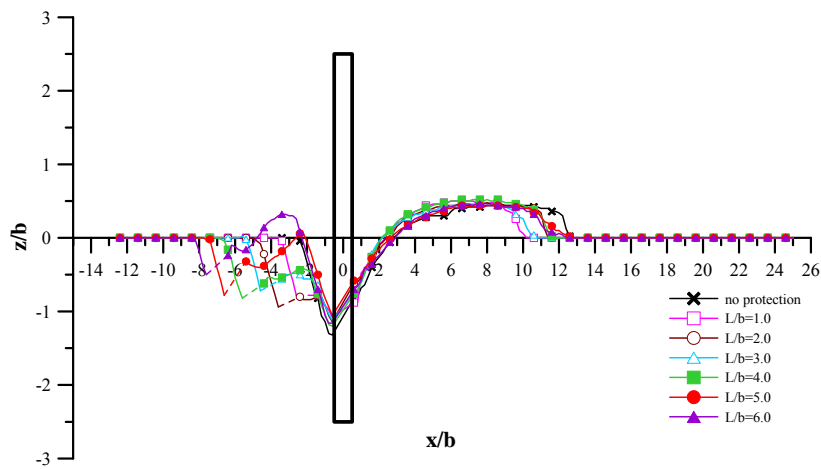


圖 14 I 型環圈於不同設置距離(L)下河床中心縱斷面變化圖

Fig.14 Comparison of longitudinal bed profiles at different distance between ring columns and pier (type I)

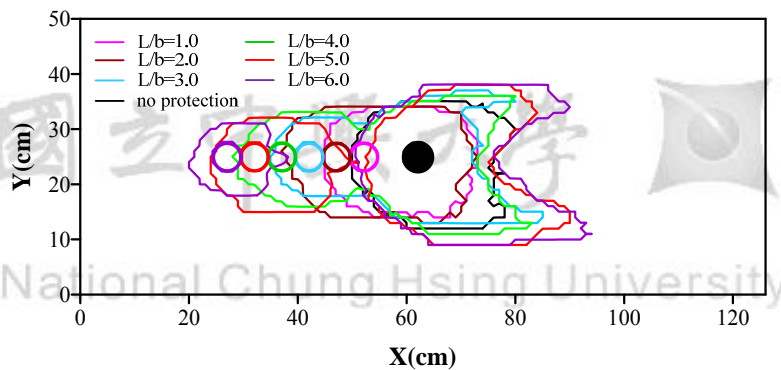


圖 15 I 型環圈於不同設置距離(L)下沖刷坑範圍圖

Fig.15 Comparison of scour hole ranges at different distance between ringcolumns and pier (type I)

整體而言，當 $L/b \leq 2$ 時，由於環圈柱保護工距離較近，易受保護工遮蔽效應影響，且保護工對水流分流效果不明顯，惟其沖刷坑範圍均較未設置保護工為小。當 $L/b > 2$ ，由於距離漸遠，受到環圈柱保護工遮蔽效應漸小，橋墩周圍的沖刷坑範圍遞增。當 $L/b=5$ 時之橋墩墩前最大沖刷深度為最小，亦即環圈柱保護工之設置之較佳距離為 $L/b=5$ 。

圖 16 與圖 17 分別為 II 型和 III 型環圈型式於不同設置距離之河床中心縱斷面變化情形，以橋墩直徑(b)對橫軸(x)和縱軸(z)之尺度無因次化，其中 $x=0$ 為橋墩中心， $z=0$ 為原始河床高程。圖 18 與圖 19 分別為 II 型和 III 型環圈於不同設置距離之沖刷坑範圍變化情形，橫軸 X 為水流向之距離，縱軸 Y 為試驗渠槽橫斷面方向。

由圖 16 至圖 19 可發現無論是 II 型或 III 型的環圈柱保護工，保護工與橋墩間的河床

隨設置距離增加而漸次淤高，甚至產生部分區位高於原河床的現象。此現象主要係由遮蔽、分流、落淤與加劇這四種效應交互影響而形成，惟 II 型與 III 型的環圈柱保護工直徑較 I 型的直徑 $D/b=1.0$ 為小，保護工對水流的分流效果及影響範圍會隨直徑變小而減小，保護工的最佳設置距離亦隨之縮短，以達到最佳的保護效果。

整體而言，於 II 型或 III 型的環圈柱保護工時，當 $L/b \leq 2$ 時，由於環圈柱保護工距離較近，易受保護工遮蔽效應影響，且保護工對水流分流效果不明顯，其沖刷坑範圍均較未設置保護工為小。當 $L/b > 2$ ，由於距離漸遠，受到環圈柱保護工遮蔽效應漸小，橋墩周圍的沖刷坑範圍遞增，又環圈柱保護工的落淤現象於 $L/b=4$ 時達臨界值。因此，當 $L/b=4$ 時之橋墩墩前最大沖刷深度為最小，亦即環圈柱保護工之設置之較佳距離為 $L/b=4$ 。

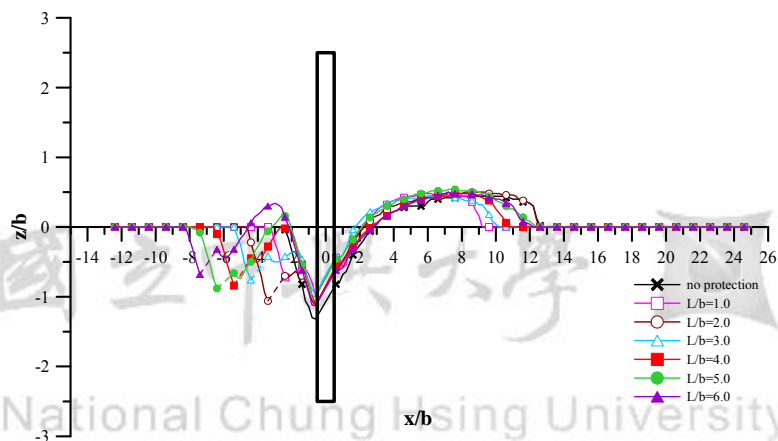


圖 16 II 型環圈於不同設置距離(L)下河床中心縱斷面變化圖($V/V_c=0.9$)

Fig.16 Comparison of longitudinal bed profiles at different distance between ringcolumns and pier (type II, $V/V_c=0.9$)

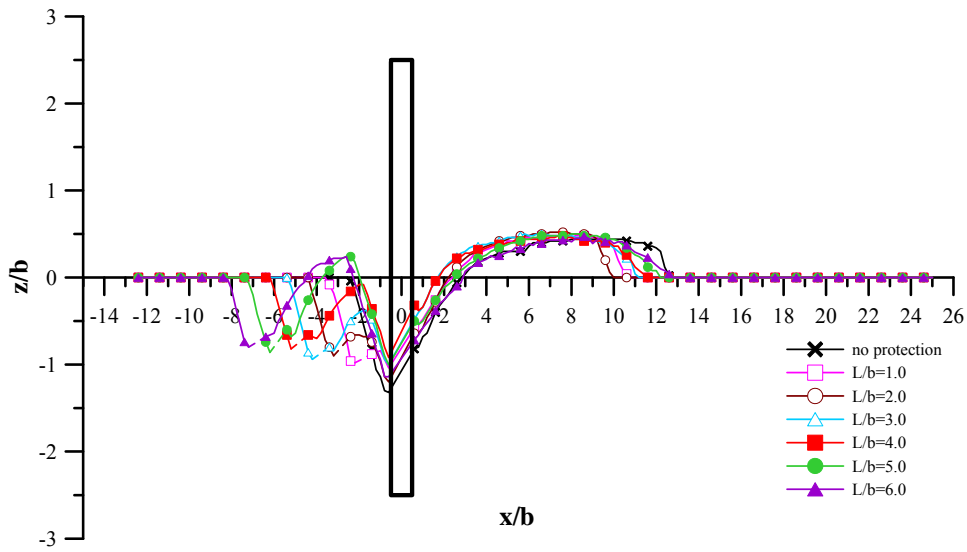


圖 17 III 型環圈於不同設置距離(L)下河床中心縱斷面變化圖(V/Vc=0.9)

Fig.17 Comparison of longitudinal bed profiles at different distance between ringcolumns and pier (type III , V/Vc=0.9)

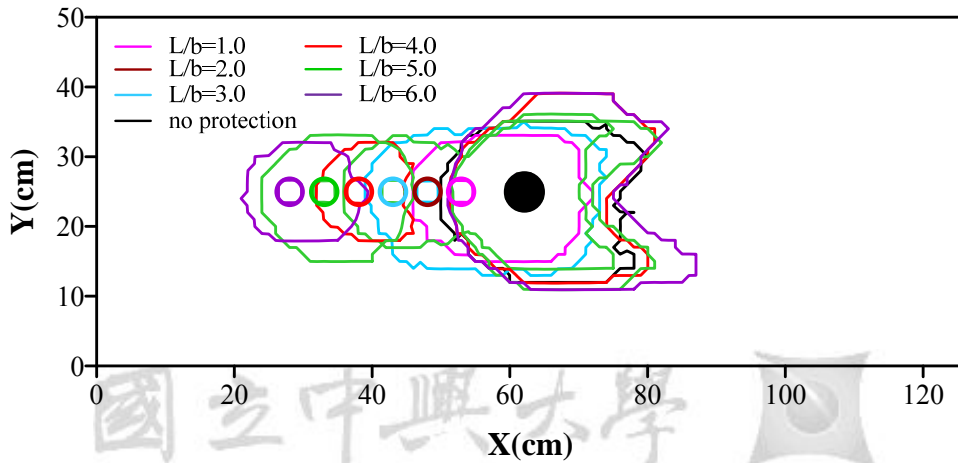


圖 18 II 型環圈於不同設置距離(L)下沖刷坑範圍圖(V/Vc=0.9)

Fig.18 Comparison of scour hole ranges at different distance between ringcolumns and pier (type II , V/Vc=0.9)

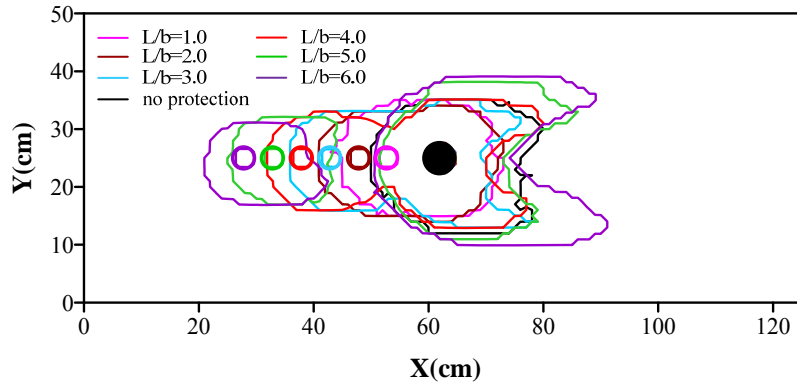


圖 19 III 型環圈於不同設置距離(L)下沖刷坑範圍圖(V/Vc=0.9)

Fig.19 Comparison of scour hole ranges at different distance between ring columns and pier (type III ,
V/Vc=0.9)

五、結論與建議

5.1 結論

1. 各種不同規格環圈柱型式之橋墩最大沖刷深度均發生於橋墩上游前緣，且設置環圈柱保護工之墩前最大沖刷深度均較未設置保護工時為小。
2. 當設置保護工於橋墩上游時，保護工與橋墩間會產生四種效應影響橋墩沖刷，其一為水流流經保護工產生的「分流效應」，其二為保護工對橋墩的「遮蔽效應」，其三為保護工下游面淤積堆之「落淤現象」，其四為因上下游的沖刷坑重疊所產生的「加劇效應」。因此於不同水理條件與環圈柱不同設置參數時，其對應之保護工最佳配置模式會隨之變化。
3. 環圈柱直徑(D)具有橫向遮蔽與削減上游水流動能的效果，當保護工的設置距

離固定時，保護工的直徑漸小會縮減其對橫向水流的遮蔽效應，因此當保護工設置直徑縮小時，墩前最大沖刷深度有增大的趨勢。

4. 比較採用 I 型、II 型和 III 型環圈規格(即 $DR/b=0.36$ 、 $DR/b=0.32$ 和 $DR/b=0.28$) 時，當環圈規格為 III 型($DR=0.28$)組成之直徑 $D/b=0.8$ ，環圈柱保護工設置距離以 $L/b=4$ 之保護效果為最佳，沖刷減緩率為 30.3%。此時保護工下游面淤積堆之落淤現象達最佳，亦無加劇效應，因此保護工與橋墩間之河床穩定性較佳。無論設置距離變遠或變近，其沖刷減緩率均漸次降低。

5.2 建議

1. 本研究之水深為定值，可藉由改變相對水流深度(y/b)進行試驗，藉以瞭解設置環圈柱保護工後，水深對橋墩沖刷保護效果之影響。

2. 天然河道則大多具有蜿蜒性，因此未來可嘗試於蜿蜒河道進行橋墩沖刷防治試驗，藉由環圈柱群丁壩來減緩彎道之沖刷情形，達到挑流護岸的目的。

謝誌

本文承蒙 行政院國家科學委員會補助，方得以完成本研究，謹此致謝。

參考文獻

1. Breusers, H. N. C., G. Nicollet and H. W. Shen (1977), "Local Scour around Cylindrical Piers," *Journal of Hydraulic Research*, Vol.15, No.3, pp.211~252.
2. Dey, S. (1999), "Time-variation of Scour in the Vicinity of Circular Piers," *Proc Instn Civ. Engrs Wat., Marit. and Energy*, Vol.136, No.1, pp.67~75.
3. Melville, B. W. and A. J. Raudkivi (1977), "Flow Characteristics in Local Scour at Bridge Piers," *Journal of Hydraulic Research*, Vol.15, No.4, pp.373~380.
4. Melville, B. W.(1997), "Pier and Abutment Scour: Integrated Approach," *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.123, No.2, pp.125~136.
5. Melville, B. W. and A. C. Hadfield,(1999), "Use of Sacrificial Piles as Pier Scour Countermeasures," *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.125, No.11, pp.1221~1224.
6. Melville, B. W. and Y. M. Chiew (1999), "Time Scale for Local Scour at Bridge Piers," *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.125, No.1, pp.59-65.
7. Melville, B. W. and S. E. Coleman,(2000), "*Bridge Scour*," Water Resources Publications, LLC.
8. 王傳益、呂其倫、張詠善及鄭人豪，2012，"環圈柱群於橋墩沖刷防治之研究"，*農業工程學報*，第五十八卷，第四期，第51~66頁。
9. 呂其倫(2011)，"環圈柱群於橋墩沖刷防治之研究"，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士班碩士論文。
10. 段錦浩(2004)，"廢輪胎材料對土石流撞擊力消能之研究"，*中華水土保持學報*，第35卷，第2期，第151-163頁。
11. 蔡坤霖(2006)，"定量流流況下非同心圓柱型橋墩局部沖刷之研究"，逢甲大學水利工程研究所碩士論文。
12. 彭大雄(2007)，"柔性葉片環圈堆對橋墩抗沖刷效果之實驗研究"，成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
13. 鄭人豪(2007)，"變量流流況下非同心圓柱型橋墩局部沖刷之研究"，逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士班碩士論文。

王傳益、張詠善、張嘉玲、楊佳學、楊敏宏、施漢鵬：
不同規格環圈柱於橋墩沖刷保護效果之研究

14. 陳泳錦(2008),「定量流流況下水深對非
均勻橋墩局部沖刷影響之研究」,逢甲
大學水利工程與資源保育學系碩士班
碩士論文。

101年12月11日收稿

101年12月19日修改

101年12月28日接受

水土保持學報45(1) : 437 – 456 (2013)

Journal of Soil and Water Conservation , 45 (1) : 437 – 456 (2013)

