

## 農業水路生態孔洞之水理設計

### Design on Hydraulic Properties of Ecological Hole for an Irrigation Canal

農業工程研究中心  
研究員兼組長

萬能科技大學  
營建科技系  
教授

國立台東大學區域  
政策與發展研究所  
副教授兼總務長

中原大學  
土木工程學系  
助理教授

中原大學  
土木工程學系  
研究生

陳 獻

楊 紹 洋\*

蔡 西 銘

張 德 鑫

王 繼 緯

Shinne Chen

Shaw-Yang Yang

Shi-Ming Tsai

Te-Hsing Chang

Chi-Wei Wang

#### 摘 要

本文針對現有矩形混凝土農業水路，進行生態改善工程之探討，在不破壞現有水工結構物的功能，考量結構和水理的安全下，於渠岸設置生態孔洞，營造出生物棲息處所，改善既有之光滑無孔隙而不利生物生存之混凝土渠面。進行渠面孔洞之水工試驗，探討改善工程對水理特性的影響，在兼顧水理安全和環境生態下，求得孔洞最適之尺寸、深度及縱向間距。在坡度 1/250、流量 0.0384 cms、水深 24 cm 及渠寬 30 cm 等試驗條件下，經試驗分析獲得，最適之孔徑/渠寬比值為 2.85/30 ~ 3.50/30，最適之孔深為 0.5 ~ 0.75 倍孔徑。就孔洞縱向間距配置而言，最適之配置間距為 4 ~ 6 倍孔徑。本試驗結果可提供相關工程規劃和設計之參考，促進農政單位加速生態化工程的推展。

**關鍵詞：**生態工法，農業水路，生態孔洞，水工試驗。

#### ABSTRACT

The research that in connection with irrigation canal is not destroying the existing structure, and consider the structure and hydrology to lay safely, then to proceed with the ecological concept of improving engineering. This study takes the ecological concept of improving engineering on the original irrigation canal, and then uses the working procedure without damaging structure to achieve the ecological purposes and create a beneficial environment. We will conduct the study of improving engineering work via making the holes on the lateral of canal. In order to reach foregoing objective, it need to be considered the structure and hydrology safely without destroyed the existing structure,

\*通訊作者，萬能科技大學營建科技系，320 桃園縣中壢市水尾里萬能路 1 號，shaoyang@msa.vnu.edu.tw

try to find the size, depth, and interval of the optimum ecological hole. Under the conditions of the slope 1/250,  $Q = 0.0384$  cms, depth of water 24 cm, and wide of canal 30 cm, the results show that the optimum ratio of diameter/wide ( $D/B$ ) is 2.85/30 ~ 3.50/30, depth is  $0.5D \sim 0.75D$ , and vertical interval  $4 \sim 6D$ . This research results contribute to the improvement of ecology of irrigation canal and the reference of offering the relevant project to plan and design.

**Keywords:** Ecological engineering method, Irrigation cannel, Ecological hole, Hydraulic test.

## 一、緒 論

台灣地區農業水路可分為灌溉、排水及灌排兼用等水路，大多考量其輸水功能、施工簡便及安全穩定等因素，圳路的材料和結構大都以混凝土內面工為基本設計。如此一來，使得自然生態水文循環部份中斷，甚至天然溝渠原有之淺瀨、急瀨等生物棲息的空間，皆因混凝土化和單一化而失去生存空間，進而使得物種消失。因此，若能在受限的土地上，以不破壞原有設施功能的原則下，進行生態化改善工程，將有助於農業水路成為生態復育的大本營，達成兼具生態的構案。

台灣地區農田面積擴大，擁有豐富生態環境資源，農業水路具有連接陸域與水域的機能，形成自然的生態廊道，將農田串連成特殊且密切的區域生態系統。然農水路為減少輸水和水頭的損失，大都採用混凝土內面工水路，整齊劃一的斷面、筆直渠化的水路，塑造了單調缺乏變化的流況，光滑無凹凸孔隙的渠面，不利於生物棲息的環境，水生與兩棲生物無法在此生存與繁衍，實有必要進行生態化改善工程。如欲拆除現有農業水路，改建生態性的農水路，勢必招致浪費公帑之議。且拆除重建曠日費時，延伸產生大量廢棄物、停水休耕、破壞生態環境等問題，因而農業水路生態化之路困難重重。綜觀國內積極推廣的生態工法，大多直接引用國外經驗，單從生態、親水、景觀或綠美化等角度切入，在工程設計上，也多偏重於施工設計和工法改良，尚缺乏水力試驗分析和基礎理論研究。

本研究擬在既有矩形混凝土內面工農業水路施作改善工程，在渠道側面設置孔洞，藉由孔洞提供水生生物棲息、產卵及避難等空間。期望藉此改善工程，在縱坡平順、流況單一的渠道，增加水流流況的變化，塑造多樣性的生態環境，達到矩形渠道生態化之目的。針對不同孔洞之直徑、深度及縱向間距，進行水工試驗，以水理安全與生態特性為考量，探討孔洞設置對渠道水深的影響，尋求生態孔洞最適之配置方案。本研究藉由渠面特性的改善，達成農業水路生態化的目標，具有施工簡便、快速及經濟等優點，且施工期間較不影響現有的水域環境，可做為既有農業水路改善工程選用和設計的參考。

## 二、文獻探討

台灣地區農業灌排水路基於輸水效益、護岸穩定、施工便捷及用地節省等因素，大都以混凝土渠道取代傳統上利於生態發展的土渠或乾砌石水路，造成水路生態空間逐漸喪失，破壞水生生物棲息與繁衍的環境。近年來，國內有許多水路改善之研究，杜逸正(1998)以棲地來分析目前混凝土渠道所產生的生態問題，並引入生態材料和施工方式的觀念，改善現有農業水路之生態棲地條件、生態工材與工法，並配合水路生態計畫的規劃，為台灣農業水路帶來有利於生態發展的條件。王桑村(2001)提出應用於農業水路的生態工法，可著重在渠道的壁面、縱橫斷面構造及兩岸等三大方面改善，其中，包含材料變換、施工方式改進等。陳獻(2003)指出水路生態化可藉由渠底和護岸等兩方面著手改善，不封底以保持土

渠的原貌，彎曲圳路以保有自然水路的特性，緩坡護岸以營造連續性的水域環境，並採用多樣化和多孔質的空間設計，在渠道周邊植栽，以改善水路的生態性。李總集(2001)以桃園大圳幹線改善工程為主題，探討 U 型複式內面工更新的改善成效，U 型複式斷面較舊有梯形斷面堅固、美觀，且能有效減少輸水損失，並能防止人員墜落圳內的意外發生。而挪出的空地可做為綠美化的用地空間，在圳路綠美化亦獲得良好的成效。由以上論述，鋼筋混凝土水路在輸水效率上有絕佳的功能，而有存在的必要性。若能詳細考量生態因子，使農業水路結合生態工程，必然成為當今工法的主流，更是研究發展的新方向。

洪勇善(2000)提出河床拋石和石樑工的改善工法，在渠道中擺設天然石材，以增加水流流況的歧異度，產生階梯式深潭和淺灘，使上游流速降低，在低流量時，可保有一定水位；在高流量時，可形成保護水生生物的棲所。郭昌樺(2003)以固床工不同配置方式，經由試驗探討固床工設置前、後之泥砂運移情形，藉由不同保護範圍下之泥砂體積變化，瞭解固床工設置對河床穩定的效果。研究結果顯示，隨著設置之固床工間距的減小，可以減緩河床的沖刷，若全區設置固床工，更具有穩定河床和降低沖刷率的效果。陳獻等(2003)針對灌溉排水渠道，進行矩形渠道 U 型化改善工程之研究。研究結果得知，矩形渠道 U 型化的設置有助於增加多樣性的流況，而施作前後其曼寧係數之增幅亦甚微；於渠底兩側堆置石塊直徑不宜大於 1/4 倍渠寬。在渠底堆置石樑工方面，以三角形向上游延伸排列石樑工較橫向緊密排列者不易產生淤積；兩座石樑間距以 16 倍堆石直徑時，對產生多樣性流況和防止泥沙淤積等效果為最佳。

段錦浩和劉家琪(2003)針對現有鋼筋混凝土護岸，研擬生態護岸的構想，進行力學性質分析，將既有護岸排水孔直徑加大至 30 cm，使之能填充植生包，加強護岸的綠化。在最底層之孔洞可供魚蝦利用，而上層孔洞則可供植物生長，使其符合生態原則下，也能保有結構安全性。日本北海道新得町佐幌地區為改善灌溉水路之生

態特性，以 PVC 管埋入渠道兩側，做為螃蟹棲息、躲藏的空間，營造水路的生態環境(日本農村水產省農村振興局，2004)。宜蘭農田水利會所屬柯林湧泉圳更新改善工程規劃時，調查發現圳中有黃鱔、鯰魚、白鰻、鱸鰻、七星鱧、斑鱧等適合底棲、偏好在草叢間或石縫洞穴中之魚類，因此，在施作渠岸基腳時，每隔 1.5 m 埋設香蕉莖，而腐爛後所產生的孔洞，可供上述魚類或蝦、螃蟹棲息。整體生態工法圳路施工中和完工後魚類調查結果顯示，完工後整體而言魚類數量增加(蔡逸文等，2005)。此方法以生態材料取代 PVC 管製作渠岸基腳孔洞，在施工方便性和生態性上均較佳，值得推廣參考。由以上文獻可知，生態孔洞方面已有應用工程案例，尚無孔洞的水理方面研究，而建立孔洞對渠道之水理參數，將有助於工程規劃與設計的參考。而孔洞對生態性的部份，有賴本土工程案例的建立，進行長期的生物追蹤調查，以彰顯生態工法的成果，利於農政單位水利建設生態化的推廣。

### 三、試驗規劃與試驗量測

在水理上，渠岸設置孔洞將使渠道水深抬高，與孔洞大小、深度及縱向間距等因子有關。一般流況下，渠道水深隨孔洞尺寸增加而增大，渠道水深亦隨孔洞深度增加而增大。此乃渠流對孔洞內水流的擾動，而使渠流水深增大。隨著孔洞深度的增加，孔洞內的水流擾動漸減而水壓漸增，於孔洞內水流擾動最緩時，渠道水深和孔內壓力均達到最大，在水理安全上宜注意。此後再增加孔深，水流並無法增加擾動深度，此時渠道水深和孔壓趨於一定值，孔洞內水體溶氧量因水流擾動減少而下降，將不利於水生生物的生存。故孔洞設計上，宜考慮渠道因設置孔洞後所增高之水位，是否影響渠道水理的安全性，並以孔洞內水體溶氧量做為生態性的考慮。尤其，灌溉水路以減少輸水損失為著眼，孔洞設置不容許貫穿渠道壁面，洞內水流無法與渠岸水層形成互動，過深的孔洞設計將造成孔內水流停滯，水體溶氧量下降，因而失去生態性的空間，故適宜的孔洞深度選擇是必要的。

本研究於既有矩形農業水路渠側設置孔洞，考量實際施工之便利性，採鑽心取樣方式設置圓柱形孔洞，塑造出利於生態性的水域環境。於渠岸底部和/或 1/2 倍水深處(孔洞圓心在 1/2 倍水深處)分別設置不同直徑和深度之孔洞，以及不同縱向間距之孔洞配置，探討設置孔洞後渠道縱斷面之水深變化，並考慮孔洞內之擾流和溶氧量，以推求渠岸孔洞最適之配置。

### 3.1 試驗設備

本研究利用萬能科技大學營建科技系流體力學實驗室之中型試驗水槽，進行水工試驗。試驗水槽尺寸長 12 m、寬 0.4 m 及高 0.6 m，渠槽坡度可由電動方式調整升降約 10 度，配有 30 馬力抽水機一部，提供試驗水流循環。水槽附有尾水板，可用於調整水位。本試驗使用架設於水槽上方之移動式針尺量測水深變化，藉由電子式游標尺讀取水位，量測精確度可達 0.01 mm。由楊紹洋和陳獻(2004)檢定抽水機標示之儀器數值  $FEQ$  與實際流量  $Q$  的關係，流量率定結果為  $Q = 0.0018FEQ - 0.0156$  (cms)，本試驗以此式計算試驗流量。

### 3.2 試驗條件

本試驗以模擬中、大型灌排水渠道為主要考量，採用實際農業水路渠寬為 120 cm。又試驗水槽設置模型板後渠道淨寬為 30 cm，依據幾何相似性，模型( $m$ )與實際( $p$ )之長度比  $\lambda = 1/4$ 。本試驗以重力和慣性力影響最大，有關之動力相似性為福祿數( $N_F$ ) $_m = (N_F)_p$ ，故依據福祿數(Froude number)相等，求得速度比  $\lambda_v = 1/2$ 。

本研究主要探討渠側設置孔洞後之壅水高度，是否影響原渠道之水理安全，並考慮孔洞的生態特性。因此，選擇渠道高水位流況下，進行水工試驗分析。農業水路輸水深 96 cm 時，於試驗模型尺度水深為 24 cm， $FEQ = 30$  即流量為 0.0384 cms。流速的選取則考量一般灌排渠道之平均流速，採用流速為 1.0 m/s。經過因次分析，於試驗水槽之流速範圍控制在 0.5 m/s 左右，水槽坡度則模擬一般農業水路坡度為 1/250。

### 3.3 試驗佈置及試驗量測

進行水工試驗時，於渠槽單側設置 PVC 光滑塑膠模型板，在模型板底部和/或 1/2 倍水深處(孔洞圓心在 1/2 倍水深處)分別設置不同直徑和深度之孔洞，以及不同縱向間距之孔洞配置，並依模型因次分析設置孔洞尺寸和流況，以模擬農業水路護岸孔洞的設置，試驗結果將有助於應用在農田水利實務工程上。

模型尺度分析中，考慮幾何相似性，以長度的相關性為主，且考慮動力相似性，以重力和慣性力影響為主。未考慮渠岸材料的粗糙度因子，以避免渠岸粗糙度的干擾，而無法正確反應孔洞設置對水深變化的影響，故渠岸以光滑 PVC 塑膠模型板為之。在渠側設置圓柱形孔洞，選用實際孔洞直徑分別為 6.4 cm、11.4 cm、14 cm 及 20 cm 等四種，由模型尺度分析，試驗孔洞尺寸分別為直徑 ( $D$ ) 1.6 cm、2.85 cm、3.5 cm 及 5 cm，而孔洞深度 ( $d$ ) 分別為 0.25 倍、0.5 倍、0.75 倍及 1 倍孔洞直徑。試驗配置如圖 1 和圖 2 所示，孔洞縱向間距配置如圖 3 和圖 4 所示。

#### 1. 單一孔洞試驗

為求得設置孔洞前後水深和流況的變化，於渠槽單側底部或 1/2 倍水深處設置孔洞，分別進行孔徑( $D$ ) 1.6 cm、2.85 cm、3.5 cm 及 5 cm 等；孔深( $d$ ) 0.25 $D$ 、0.5 $D$ 、0.75 $D$  及 1 $D$  等組合試驗，於模型上下游設置漸變段，以穩定水流流況。試驗孔洞佈置於流況穩定段，藉由量測縱渠道斷面的水深，探討孔洞最適之尺寸和深度。

#### 2. 上下雙孔洞試驗

於渠側底部和 1/2 倍水深處同時設置相同尺寸和深度的兩個孔洞(如圖 2)，分別進行孔徑( $D$ ) 1.6 cm、2.85 cm、3.5 cm 及 5 cm 等；孔深( $d$ ) 0.25 $D$ 、0.5 $D$ 、0.75 $D$  及 1 $D$  等組合試驗，量測渠道縱斷面最大水深，探討上下雙孔洞最適之尺寸和深度。

#### 3. 孔洞縱向間距試驗

為探討縱向連續設置孔洞對渠道水深的影響，於試驗水槽座標 7.1 m 處設置固定第一個孔洞，第二個孔洞分別佈置於第一孔下游 4 $D$ 、6 $D$  及 8 $D$  等距離之處，孔洞配置又分為渠側底部連

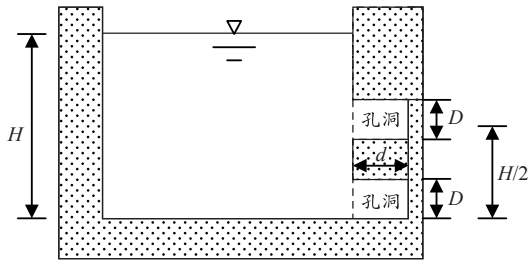


圖 1 渠道孔洞設置橫剖面示意圖

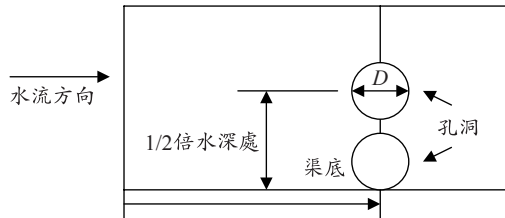


圖 2 渠側設置單孔或雙孔配置示意圖

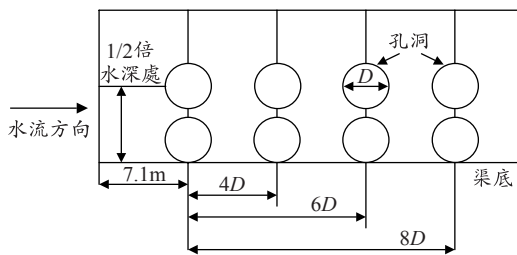


圖 3 渠側縱向設置孔洞示意圖

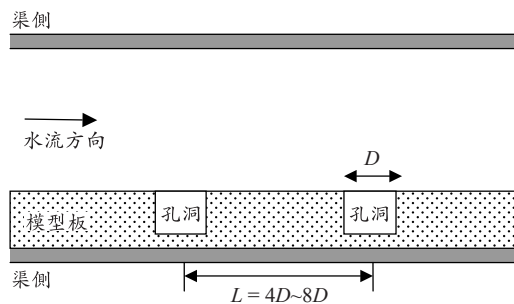


圖 4 孔洞縱向間距配置示意圖

續設置 2 洞和 1/2 倍水深處連續設置 2 洞等二種試驗佈置(如圖 3 和圖 4)。分別進行孔徑 1.6 cm、2.85 cm、3.5 cm 及 5 cm 等；孔深 0.5D 和 0.75D 等與孔洞縱向間距之組合試驗，藉由量測渠道縱斷面最大水深，探討孔洞最適的配置間距。

## 四、試驗數據分析與討論

渠岸設置孔洞後，渠道水深與孔徑、孔深及縱向間距等因子有關。一般流況下，渠道水深隨孔徑和孔深增加而增大，而渠流對孔洞內水流的擾動隨孔深增加而漸減；於孔洞內水流擾動最緩時，渠道水深達到最大。此後再增加孔深，水流並無法增加擾動深度，此時渠道水深趨於一定值，孔洞內水體溶氧量因水流擾動減少而下降。孔洞設計上，主要考慮孔洞設置後渠道最大水深和洞內水體溶氧量等兩項因素，以滿足水理安全和生態需求，於最大水深後洞內水體溶氧量降低，不利於生態性，故試驗數據分析時，選取最大水深時之孔洞配置為最適方案。

### 4.1 單一孔洞試驗分析

本試驗水槽在渠道單側設置生態孔洞，於一般農業水路坡度與流速下，模擬高水位時流況，針對不同孔洞的直徑和深度，分析設置孔洞前後水深之變化，並探討孔洞最適之配置方案。

#### 4.1.1 渠側底部設置孔洞之孔徑和孔深分析

圖 5 和圖 6 顯示孔洞周圍(孔洞斷面前方)之渠流最大水深，由圖 5 可知，相同孔徑/渠寬(D/B)比值下，渠道水深隨孔洞深度增加而上升，於 0.75D 孔深時，渠道水深達到最大。隨之，D/B 值增加而水深趨於緩和下降。此表示孔洞在 0.75D 孔深時，孔洞對水流的擾流影響達到最大。在 1D 孔深時，對渠道水深的影響漸減。此結果顯示，當孔洞深度增至某一範圍後，孔洞斷面流速逐漸趨於穩定。由圖 6 可知，相同孔深下，孔徑/渠寬比值在 3.5/30 時，渠道水深達到最大；在 D/B 值為 5/30 時，水深漸減。此表示 D/B 值超過 3.5/30 時，流速增大而水深降低，故最佳之孔徑/渠寬比值約為 3.5/30。

若流速減小時，其水深升高，孔洞內壓力則增大，此時渠道水深達到最大。為了驗證渠道水深與孔洞壓力的關係，進行渠道孔壓試驗。由圖 7 得知，在 0.75D 孔深時，孔洞內壓力為靜水壓力，水流擾流也達到最大，孔洞內壓力為最大值。而在 1D 深度時，水深漸減，隨之壓力減小，

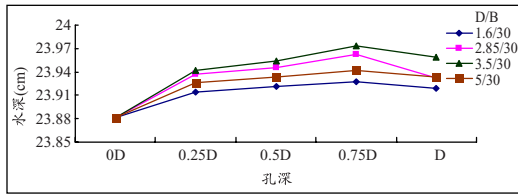


圖 5 相同孔徑/渠寬下孔深與水深之關係 (孔洞位於渠側底部)

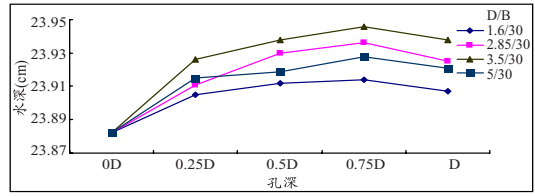


圖 9 相同孔徑/渠寬下孔深與水深之關係 (孔洞中心位於 1/2 倍水深處)

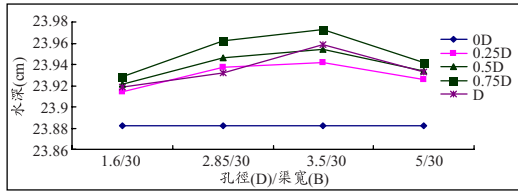


圖 6 相同孔洞深度下孔徑/渠寬與水深之關係 (孔洞位於渠側底部)

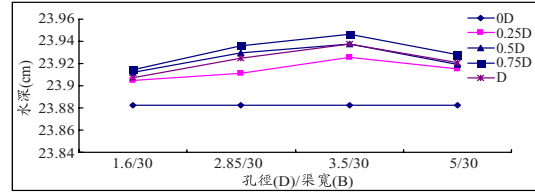


圖 10 相同孔洞深度下孔徑/渠寬與水深之關係 (孔洞中心位於 1/2 倍水深處)

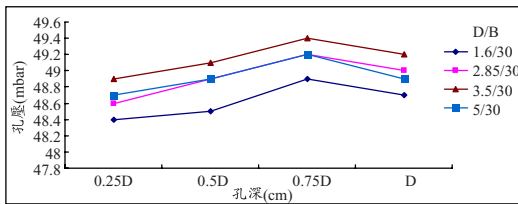


圖 7 相同孔徑/渠寬下孔深與孔壓之關係 (孔洞位於渠側底部)

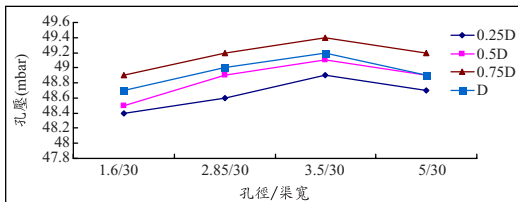


圖 8 相同孔洞深度下孔徑/渠寬與孔壓之關係 (孔洞位於渠側底部)

水流在孔洞內流動趨於緩和，造成孔洞內水體溶氧量降低，對水生生物相當不利，故孔洞設計深度以 0.75D 為最佳。圖 8 顯示相同孔深下，孔徑/渠寬與孔壓之關係，在  $D/B$  比值 3.5/30 時，孔洞內壓力為最大。此結果與圖 6 渠道水深為最大相符合，故最佳之  $D/B$  比值約為 3.5/30。

#### 4.1.2 1/2 倍水深處設置孔洞之孔徑與孔深分析

由圖 9 可知，相同孔徑/渠寬( $D/B$ )比值下，

渠道水深隨孔洞深度增加而上升，於 0.75D 孔深時，渠道水深達到最高。隨之， $D/B$  值增加而水深趨於緩和和下降。此表示在 0.75D 孔深時，孔洞對渠流的擾流影響達到最大，在 1D 孔深時的影響漸減，此與前節有相同之結果，當孔洞深度增至某一範圍後，孔洞斷面流速逐漸趨於穩定，故孔洞設計深度以 0.75D 為最適宜。由圖 10 可知，相同孔深下， $D/B$  值在 3.5/30 時，渠道水深達到最高；在  $D/B$  值為 5/30 時，水深漸減。表示孔徑/渠寬超過 3.5/30 時，流速增大而渠道水深降低，故最佳之孔徑/渠寬比值約為 3.5/30。

孔壓試驗數據分析如圖 11 和圖 12，在相同  $D/B$  比值下，於 0.75D 孔徑時，孔壓為最大。在相同孔深下， $D/B$  比值在 3.5/30 時，孔壓為最大。此結果與渠道水深試驗結果相同，故孔洞設計最佳之  $D/B$  比值和深度約為 3.5/30 和 0.75D。

#### 4.1.3 渠側底部和 1/2 倍水深處同時設置孔洞之孔徑和孔深分析

由圖 13 可知，相同孔徑/渠寬( $D/B$ )比值下，渠道水深隨孔洞深度增加而上升，於 0.75D 深度時水深達到最高。隨之， $D/B$  值增加而水深趨於緩和和下降，故孔洞設計深度以 0.75D 為最佳。由圖 14 可知，相同孔深下， $D/B$  值在 3.5/30 時，水深達到最大。在  $D/B$  值為 5/30 時，水深漸減，

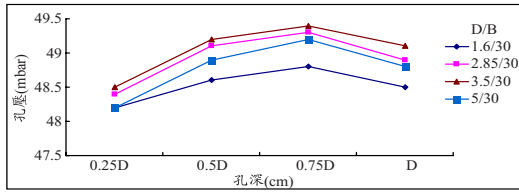


圖 11 相同孔徑/渠寬下孔深與孔壓之關係 (孔洞中心位於 1/2 倍水深處)

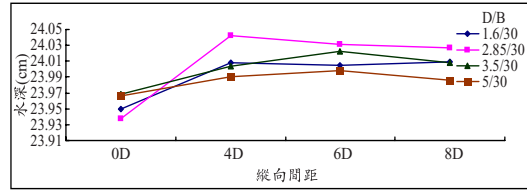


圖 15 相同孔徑/渠寬下渠道縱向間距與水深之關係 ( $d = 0.5 D$ 、渠側底部)

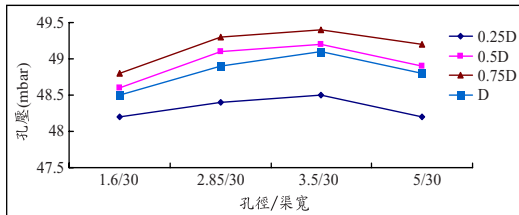


圖 12 相同孔洞深度下孔徑/渠寬與孔壓之關係 (孔洞中心位於 1/2 倍水深處)

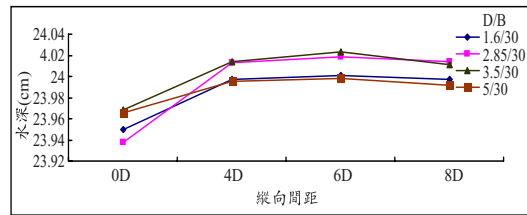


圖 16 相同孔徑/渠寬下渠道縱向間距與水深之關係 ( $d = 0.75 D$ 、渠側底部)

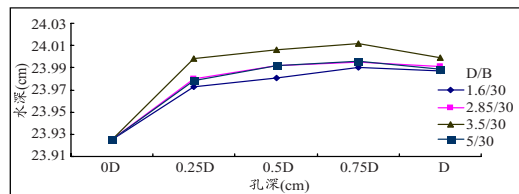


圖 13 相同孔徑/渠寬下孔深與水深之關係 (孔洞位於渠側底部和 1/2 倍水深處)

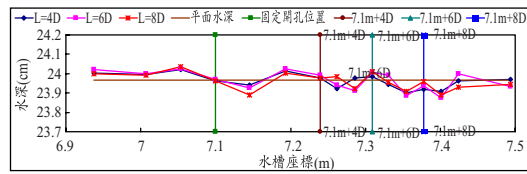


圖 17 渠側底部縱向配置雙孔洞渠道縱斷面水深之變化 ( $D = 3.5 \text{ cm}$ 、 $d = 0.75D$ )

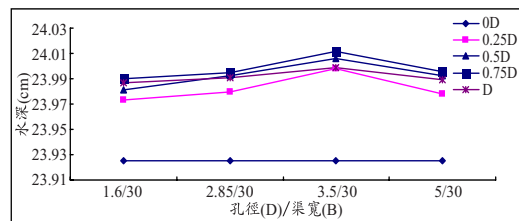


圖 14 相同孔洞深度下孔徑/渠寬與水深之關係 (孔洞位於渠側底部和 1/2 倍水深處)

故最佳之孔徑/渠寬比值約為 3.5/30。

由上述 3 組試驗得知，孔徑/渠寬比值最適範圍為 2.85/30 ~ 3.5/30，孔洞深度最適範圍為 0.5D ~ 0.75D。

#### 4.2 孔洞縱向間距試驗分析

此試驗針對孔洞不同直徑、深度及縱向間

距，分析設置孔洞後之水深變化，並探討孔洞最適之配置方案。由上述試驗數據分析得知，孔洞深度最適範圍為 0.5D ~ 0.75D 之間，故縱向間距試驗之孔深選取 0.5D 和 0.75D 等兩種分別進行試驗。

##### 4.2.1 渠側底部連續設置兩孔洞之孔徑和深度分析

縱向雙孔洞配置於渠側底部時，兩孔洞間之最大水深如圖 15 ( $d = 0.5D$ )和圖 16 ( $d = 0.75D$ )。由圖上顯示，孔洞間距為 4D ~ 6D 時，渠道縱向水深為上升趨勢，水流擾流影響達到最大；而孔洞間距 6D ~ 8D 時，渠道縱向水深漸趨平緩而有下降趨勢。此表示孔洞間距大於 6D 後對渠道水深影響漸減，水深不再顯著變化，流速相對地趨於穩定，故孔洞縱向間距以 6D 為最佳之配置方案。

圖 17 為孔徑  $D = 3.5 \text{ cm}$ 、孔深  $d = 0.75D$  之

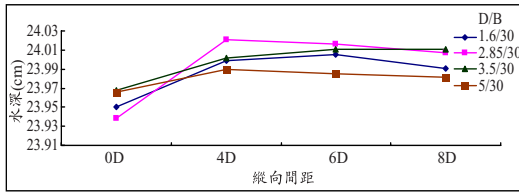


圖 18 相同孔徑/渠寬下渠道縱向間距與水深之關係  
( $d = 0.5 D$ 、 $1/2$  倍水深處)

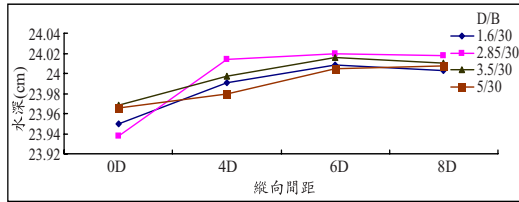


圖 19 相同孔徑/渠寬下渠道縱向間距與水深之關係  
( $d = 0.75 D$ 、 $1/2$  倍水深處)

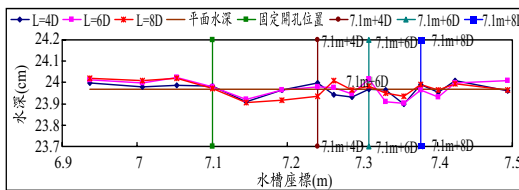


圖 20  $1/2$  倍水深處縱向設置雙孔洞渠道縱斷面水深之變化 ( $D = 3.5 \text{ cm}$ 、 $d = 0.75D$ )

水深剖面線，由圖可得，孔洞間距為  $4D \sim 8D$  時，在水流流經孔洞時，渠道縱向水深壅升，當水流流過孔洞，水深開始下降，而流經第二個孔洞時渠道縱向水深再度壅升，通過孔洞之後水深又下降，而後漸漸回復平穩。此表示設置孔洞後水流波動性增加且具多樣性，有利於水生生物生存。

#### 4.2.2 $1/2$ 倍水深處連續設置兩孔洞之孔徑和孔深分析

由圖 18 和圖 19 得知，孔洞間距為  $4D \sim 6D$  時，渠道縱向水深為上升趨勢；而孔洞間距  $6D \sim 8D$  時，渠道縱向水深漸趨平緩。此表示孔洞縱向間距大於  $6D$  時，水深變化漸趨平緩，故孔洞縱向間距配置以  $4D \sim 6D$  為宜。

圖 20 為孔徑  $D = 3.5 \text{ cm}$ 、孔深  $d = 0.75D$  之水深剖面線，由圖可得，孔洞間距為  $4D \sim 8D$  時，在水流流經孔洞時，渠道縱向水深壅升，當水流

流過孔洞，水深開始下降，而流經第二個孔洞時渠道縱向水深再度壅升，通過孔洞之後水深又下降，而後漸漸回復平穩。此表示設置孔洞後流況具有多樣性，有利於水生生物生存。

由以上試驗數據分析得知，渠岸設置孔洞後水深增加甚微，水深最大增加率約  $0.7\%$ ，依據水土保持技術規範 (2003) 規定排水溝出水高不得少於  $25\%$  設計水深或小於  $20 \text{ cm}$ ，故在此試驗條件下，渠道水理安全無慮，孔洞內水體溶氧量將是選取最適方案的主要考慮因子。無論在渠側底部或  $1/2$  倍水深處連續設置兩孔洞之結果，其孔洞縱向間距最適範圍均在  $4D \sim 6D$  之間。

## 五、結論與建議

本研究以既有矩形混凝土內面工農業水路施做改善工程，於渠岸設置孔洞，藉由孔洞塑造多樣性的流況，並提供水生生物棲息、產卵及避難等空間。進行水工試驗，以水理安全與生態特性為考量下，提出水路生態孔洞之直徑、深度及縱向間距的最適配置。水工試驗成果和建議如下：

1. 由試驗結果得知，最適之孔徑/渠寬比值為  $2.85/30 \sim 3.5/30$ ，最適之孔深為  $0.5 \sim 0.75$  倍孔徑，最適之孔洞縱向配置間距為  $4 \sim 6$  倍孔徑。此最適範圍可做為既有農業水路施作生態孔洞工程的參考，以期達到農業水路生態化之目的。
2. 孔洞試驗數據顯示，渠岸設置孔洞對渠道水深的影響不大，但孔洞深度將影響孔內水流的擾動，關係水體的溶氧量，影響孔洞的生態性，故選擇適宜孔洞深度是必要的。而孔洞縱向間距配置的適宜性，可營造多樣性的流況，有利於水生生物的生存。
3. 未來可選取一段適當農業水路，進行現地水路生態改善工程試驗，將理論與實務結合。進行水理參數量測、水質調查、圳路底質調查及生物調查等，取得現地施工基礎資料，以做為評估改善工程成效的依據，建立本土化生態改善的工程案例，以利農田水利生態工程的推展。



## 致 謝

本論文研究承蒙國科會專題研究計畫 NSC 93-2218-E-238-001 經費資助，以及萬能科技大學土木系專題生陳偉強在水工試驗的協助，特此致謝。

## 參考文獻

1. 王桑村，2001，「農田水利生態與綠美化」，九十年農工農業工程研討會，國立台灣大學，台北市，719-723。
2. 日本農村水產省農村振興局，2004，「事業實施考慮以環境調和的調查、規劃、設計指引—基本的考慮方向（水路整備）」，日本農村水產省農村振興局計畫部事業計畫課監修，社團法人農業土木學會，149。
3. 李總集，2001，「桃園大圳幹線 U 型複式內面工更新改善效果檢討」，九十年農工農業工程研討會，國立台灣大學，台北市，267-274。
4. 杜逸正，1998，「台灣農用水路結合水利生態發展之可行性研究」，國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文，台北市。
5. 洪勇善，2000，「生態工法之安全分析」，生態工法理論與實務研討會論文集，國立台北科技大學，台北市，92-93。
6. 段錦浩、劉家琪，2003，「鋼筋混凝土生態護岸之研究」，水資源管理研討會，4-16~4-28。
7. 郭昌樺，1998，「固床工間距對河床穩定性影響之研究」，國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文，台中市。
8. 陳獻，2003，「農水路生態工法構造與材料」，九十二年農水路生態工法研習班，58-72。
9. 陳獻、楊紹洋、蔡西銘、陳麒生，2003，「農水路生態化之改善」，2003 年台灣環境資源永續發展年會暨研討會，私立萬能技術學院，桃園中壢，731-741。
10. 農委會水保局，2003，「水土保持技術規範」，行政院農業委員會水土保持局，國家圖書館，南投市。
11. 楊紹洋、陳獻，2004，「預鑄生態石塊應用在農水路之設計」，行政院國家科學委員會，92 年度一般研究計畫結案報告。
12. 蔡逸文、陳獻、張斐章，2005，「灌排水路應用生態工法實施流程之擬議」，農業工程學報，51(3)，74-86。

收稿日期：民國 94 年 12 月 29 日

修正日期：民國 95 年 2 月 20 日

接受日期：民國 95 年 3 月 23 日