

預鑄生態石塊應用在灌排水路之設計

The Design of Pre-cast Ecological Concrete Slabs for Irrigation Canals

農業工程研究中心研究員兼
組長

陳 獻

Shinne Chen

私立萬能科技大學土木工程系
副教授

楊 紹 洋

Shaw-Yang Yang

私立萬能科技大學土木工程系
講師

詹 榮 鑑

Jung-Chien Chan

摘 要

本研究以預鑄生態石塊應用在灌排水路為主題，考慮水路渠面為平面、凹面、及凸面等三種預鑄石塊，試驗時以渠道水深為主要考量、流速為輔，以光滑平面渠道為基本資料，比較凹面和凸面等兩種渠道的水理特性。試驗結果顯示，常態流速和水深下，渠道曼寧係數大小為凸面 > 凹面 > 平面，而流量和水深較小時，渠道曼寧係數較大。相同流量下，渠道曼寧係數隨著渠坡增加而增大。流速分佈圖顯示，凸面渠道有較大歧異性之流速分佈，凹面渠道次之，平面渠道流速分佈最為均勻。在渠道水中溶氧量方面，凸面和凹面渠道試驗段溶氧量均高於入口處，相對水中溶氧量平均約增加 2.5%，且凸面渠道水中溶氧量均較凹面渠道為大。就輸水效率和生態特性而言，凹面渠道具有較小的曼寧係數，且能提供良好的水域生態環境，較傳統凸面渠道具有更佳的生態性。本研究設計之預鑄生態石塊可應用於現地生態材料取得不易或場鑄施工不便的處所，水工模型試驗所獲得的渠道曼寧係數，有助於生態水路流量的設計，水理特性和溶氧量等參數可做為灌排水路生態化改善工程的參考。

關鍵詞：灌排水路，生態工法，水工模型試驗，預鑄生態石塊，曼寧係數。

ABSTRACT

This research tries to apply the pre-cast ecological concrete slabs to the construction of irrigation canals. The main study is the design of pre-cast ecological concrete slabs. This study provides the analyses of hydraulic properties, the estimate of Manning coefficient by hydraulic model test, and the measurement of dissolved oxygen with the considerations of convex, concave, and smooth surfaces of canals. When experiment

takes the channel water depth as the main consideration; the velocity of flow is auxiliary. Taking the smooth plane canal as the basic document compared with the experimental results of concave and convex canals. Under the normal velocity and water level, the experimental results show that the Manning coefficients are the convex > concave > smooth planes. The Manning coefficient is rather larger when the flux and the water depth are small. Under the same flux, the Manning coefficient increases with the slope increasing. From the velocity distribution, the canal with convex plane produces the largest diversity of velocity distribution, the one with concave plane gives the second, and the one with smooth plane yields the smallest among these three velocity distributions. For the dissolved oxygen, the test sections of convex and concave canals can be obtained larger dissolved oxygen than that of exit section. The dissolved oxygen in the water of canal increases about 2.5 %. In addition, the dissolved oxygen of convex canal is larger than that of concave canal. From the points of transported efficiency and ecological property, the canal with concave plane gives less Manning coefficient and provides the better ecological environment of aquatic area. The ecological property of concave canal is superior to that of traditional convex canal. Also, the design of pre-cast ecological concrete slabs can be applied to the place short of natural materials or inconvenient to build on site. The analyses of hydraulic properties, the estimate of Manning coefficient through the hydraulic model test, and the measurement of dissolved oxygen will be helpful for the design of flow rates and the construction improvement of irrigation canals.

Keywords: Irrigation canal, Ecological engineering method, Hydraulic model test, Pre-cast ecological concrete slab, Manning coefficient.

一、前言

農水路在過去肩負著灌溉排水的重要任務，基於輸水效率、護岸穩定、施工便利、及維護管理容易等因素，大都採用混凝土渠道，以取代傳統的土溝與砌石溝，尤以農地重劃區的水泥化和溝渠化最為普遍，整齊劃一的斷面、筆直少彎曲的渠道，塑造了單調缺乏變化的流況，表面光滑的水路無凹凸孔隙可提供植物附著生長，水生與兩棲動植物無法在此種環境生存與繁衍。農水路對農村之自然生態永續發展具有相當的重要性，許多種類的水生動植物、昆蟲、及鳥類等皆依賴田間水路維生，水路與農田連成特殊且密切的區域生態系統。隨著時代的變遷、產業的轉型，農政單位積極倡導生產、生活與生態的「三生」農地，基於生物多樣性保育與永續發展，在安全考量下，所採取順應自然的工程方法，以期

恢復農地自然風貌，創造生物多樣性的生存空間，達到自然境界的永續經營目標。

灌排水路依使用材料可分為土溝、草溝、複式草溝、混凝土內面工、背填塊石內面工、漿砌卵石、乾砌卵石、磚溝、場鑄混凝土U型溝、及預鑄混凝土U型溝。土溝、草溝、及砌石溝等較能提供動植物的棲息與生存環境，而混凝土溝則以輸水效率、保水、及施工便利性為主要考量，平直單一化的光滑渠道，不利於生物之棲息，大型溝渠更可能造成生態走廊的截斷。台灣地區農地重劃灌排水路大都採用混凝土三面工渠溝，主要分為場鑄與預鑄兩種。場鑄鋼筋混凝土溝採用清水模板，其表面光滑垂直，生物將難於附著生存其間。而預鑄混凝土溝由各單塊U型溝銜接而成，可塑造多樣型式和確保工程品質穩定，以及保有接縫孔隙和搬運孔洞，在施工期間和後續的生態環境均較場鑄混凝土溝有利。本研究針對預

鑄溝在施工便捷性和對生態環境衝擊較小的優勢下，加入兼具自然生態的理念，探討灌排水路為平面、凹面、及凸面等三種渠道的水理特性，進行水工模型試驗，估算不同渠道表面之曼寧係數，分析渠道之水理性質和生態特性，量測渠道中水體溶氧量。本研究結果將有助於生態灌排水路的規劃與設計，提供水路生態化改善工程的參考。

二、文獻回顧

近年來，河川治理考慮到生態工法的治理概念名詞眾多相近，德國稱之為生物學河川工法，澳洲稱為綠植被工法，美國稱為生態工法，而日本稱為近自然工法、近自然工事、多自然工事。德國聯邦河川研究所對此工法定義為「近自然工法並不單指以生物學方法或材料之工法，而是栽種植物，進而創造生活於此水域之植物群落形成，並積極運用自此獲得之種種機能工法」(賴平雄等人，1999)。依據行政院公共工程委員會「生態工法諮詢小組」第三次會議之生態工法定義為「基於對生態系統深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害。」以生態環境為基礎，以系統安全與生物多樣性保育為考量，對自然環境的永續經營管理為目標，所採取順應自然的工程方法，創造人類與生物共存共榮的和諧景象。歐美與日本在河川生態工法上有所差異，歐美各國強調自然環境生態系的維護與復育，而日本整治理念為在安全前提下，透過工程設計手法，達到生態環境的維護與復育，並兼具親水、休閒、及遊憩空間等目的，而國內環境條件與日本較接近，現今生態工法河川治理較接近日本整治理念。

考慮生態觀念在國外河川治理上已有許多實例，如日本千葉縣市川市真間川市街河川整治，日本富良野市接近自然河川的排水路工程，德國 Nidda 河以河川生態自然工法為觀念，發展整治計畫和廊道自然生態環境的保育政策。國內生態工法尚在萌芽階段，河川治理仍以一般工法居多，注重工程的安全性和耐久性，以混凝土化

為主軸，而忽略人與自然環境間的互動互利，且未能兼顧物種多樣性與環境景觀，民眾因而失去親水空間，降低生活品質。近年來，物質生活的提昇，人們開始注重休閒生活，更體會到自然生態的重要性，將原有混凝土垂直護岸改為較親水性的階梯護岸或蛇籠護坡。河川新生地的再生利用，以河川沿岸土地資源為出發點，提供都會人們親水遊憩的空間。然而，河岸景觀工程不等於河川生態工程，大部份工程規劃主軸仍以親水景觀和土地利用為著眼，未能顧及生態環境的維護，實為國內河川治理的隱憂。目前，已有台北市內溝溪親水河道整治和虎山溪整治工程、新竹市客雅溪整治規劃、…等零星生態工法河川治理。徐元棟等人(2001)探討新竹頭前河流域生態系統之生物多樣性，就生態物種興替滅絕之探討，期望能對頭前河流域生態系統及其物種多樣性，積極進行生態之保育與復育工作。蔡西銘等人(2001)以桃芝颱風侵襲對筏子溪之影響為例，檢討河川近自然生態工法的防洪功能，粗略評估生態工法的工程成效，以做為河川整治工程的參考。

在農水路的研究方面，蔡西銘等人(2000)觀察桃園縣境茄苳溪和埔心溪之都會小川、農水路的生態現象，建議政府對於本土溪流之水生生物和動物的生態特性，建立完整生態調查資料庫，以提供水利工程設計與規劃之參考。王桑村(2001)介紹農田水利在生態與綠美化的工作推動情形，圳路綠美化係藉由改善灌溉圳路和埤池，創造農村休閒生活空間和美麗景觀，加強自然工法與綠美化工程，以提昇社區居民的生活品質。陳意昌和張台科(2002)針對台灣地區農地之農路及水路類型、發展過程、規劃計畫等，探討農水路生態工程之可行性與執行困難，並以農地重劃區規劃措施之工法為案例，探討其優劣點，提供農水路生態工法推廣之參考。

曼寧公式常被引用計算渠道流速，以推估河渠流量，式中曼寧係數為試驗經驗值，對不同渠道幾何形狀、流速、水深、及水力半徑等卻有不同結果，適當曼寧係數的選用需具備豐富的水利工程實務經驗。鄭宏昭(1998)探討鋼筋混凝土格

樑式護坡渠道之曼寧係數，在相同流量下，渠寬愈大，曼寧係數值愈大。且利用最小耗能率原理推估溪流整治前後之水位變化情形，求得整治前後水深與曼寧係數和渠寬的關係函數，以做為工程單位在渠道整治和施工時之參考。坡度面積法具有以流量、水位、及河道幾何形狀等因子表達曼寧公式，最常被用於間接估算河渠流量。陳振隆(2000)考慮河道流速分佈之影響因子，以幂定律描述水深方向的流速分佈，利用多變數迴歸分析，求得已知流量下之曼寧係數、流速分佈指數、及能量損失係數的關係。蔡宇龍(2001)進行水工模型試驗，驗證陳振隆(2000)改良式坡度面積法之曼寧係數和流速分佈指數，由筆直、漸縮、及漸擴等三種河道試驗數據分析顯示，三種試驗河道之曼寧係數均隨流量增加而減小，而流速分佈指數隨渠床坡度增加而增大。

渠道中之植物對水流所造成的阻力，將影響渠道之輸水效率，因此，植物粗糙係數估計是否準確，將影響渠道水理演算的正確性。黃明興(1992)根據亂流理論得矩形渠道之阻力係數公式，以因次分析原理建立相關之因次參數式，並以水工試驗和風洞試驗進行驗證，估算植生渠道之阻力係數值。林杰熙(1993)探討渠道植株之排列密度與方式對水流阻力之關係，以亂流流速分佈公式和因次分析，求得與阻力係數相關之無因次參數，藉由水工模型試驗估算各因子作用下之渠道阻力係數值。吳富春(1994)藉由馬鬃墊覆蓋在試驗水槽底岸，以模擬渠道中植物覆蓋，分析曼寧係數與水深、福祿數、及水力半徑的關係，試驗結果顯示，粗糙係數是渠道坡度與福祿數之函數。

三、試驗佈置與試驗方法

一般農田灌排渠道為達到減少輸水損失，多為混凝土三面工，且為減少水頭損失，多半採用光滑的渠面。如此單調渠化的灌排水路，生物很難附著生存其間，物種的生存環境將逐漸劣化，對生態保育的衝擊很大。在輸水和水頭的損失較小化原則，本研究擬以既有混凝土三面工灌排矩形渠道為研究主題，加入生態工法的理念，研究

發展適用於灌排水路的預鑄生態石塊，選定平面、凹面、及凸面等三種渠道表面，進行水工模型試驗，探求不同渠面的水理特性、曼寧係數、及水體溶氧量等參數，做為水路改善工程選用和規劃設計之參考。

為了驗證預鑄石塊應用在農田灌排水路的可行性，本研究擬進行系列的水工模型試驗，以蒐集工程設計與施工所需之相關參數。本試驗內容分為(1)模型尺度(2)試驗設備與試驗佈置(3)水理特性分析(4)曼寧係數估算(5)溶氧量量測，分別敘述如下小節。

3.1 模型尺度

水工模型試驗需滿足三個基本相似條件，即幾何相似性、運動相似性、及動力相似性。本研究考慮平直矩形渠道，且模型(m)與原型(p)的尺度比為

$$\lambda = \frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{2} \dots\dots\dots(1)$$

為滿足模型與原型之運動相似性，流體流動之型式如流線等，亦需有幾何相似性。本試驗主要相關的動力相似性為福祿數 $(N_F)_m = (N_F)_p$ ，依據福祿數相等，流速比為

$$\lambda_v = \frac{v_m}{v_p} = \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(2)$$

3.2 試驗設備與試驗佈置

本研究利用萬能科技大學土木系流體力學實驗室之中型試驗水槽（如圖 1），水槽尺寸 12 m 長 × 0.4 m 寬 × 0.6 m 高，可由動力升降約 10 度，配有 30 馬力的抽水機一部，負責提供水流循環。水槽附有尾水板，可調整水位之用，水槽末端設置沉砂槽乙處，可供輸砂試驗之用。本試驗使用架設於水槽上方之移動式針尺量測水深變化，流量量測則採用架設於水槽上方之皮托管，並藉由電子式游標尺讀取水位差。

渠道考慮為平直矩形斷面，試驗觀察段 220 cm 之渠道三面鋪設預鑄石塊，在均勻流況下，每個斷面的平均水深流速應接近一致。所選定之

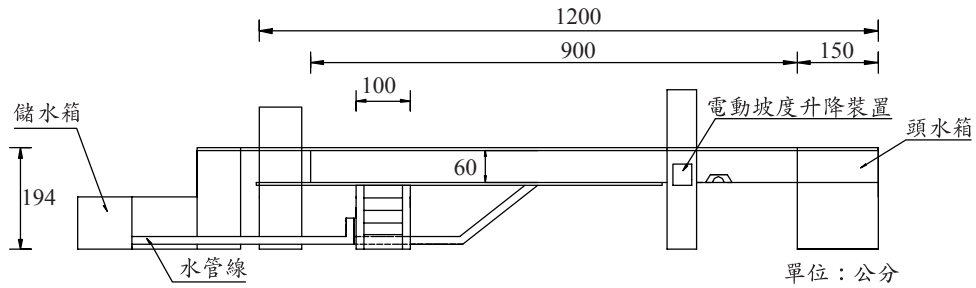


圖 1 試驗水槽側視示意圖

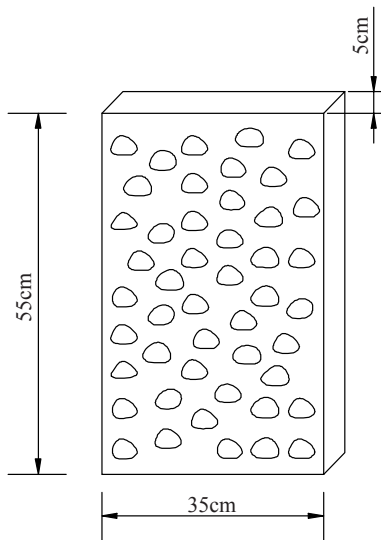


圖 2 預鑄生態石塊混凝土板示意圖

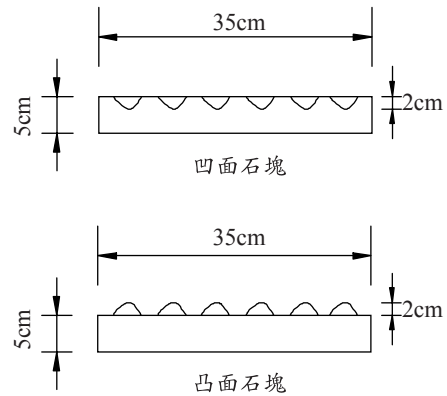


圖 3 預鑄生態石塊混凝土凹、凸面板側視示意圖

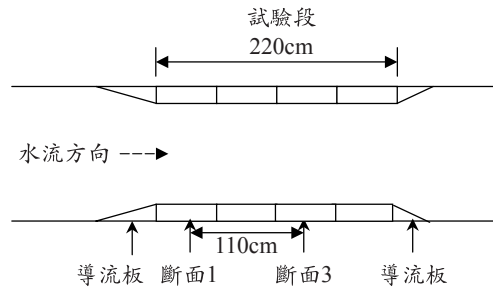


圖 4 試驗水槽試驗佈置示意圖

量測位置上由 0.5 m 處之速度剖面與量測位置之速度剖面相近似，證實近似均勻流況且完全發展 (Tominaga and Nezu, 1992)。經進行完全發展流況驗證試驗，距入口 7.0 m 處可得完全發展流況。因此，本研究試驗段佈置於 7.0 m 之後。試驗水槽兩側分別佈置平面、凹面、及凸面等三種預鑄混凝土板，詳如圖 2 和圖 3 所示，凹面和凸面之混凝土板凹入和凸出均選用 2 cm，板面厚度為 5 cm。由模型尺度分析得，原型渠道厚度 10 cm，凹入板面深度 4 cm，板厚尚餘 6 cm，可供排紮單層鋼筋，且有足夠鋼筋保護層厚度。對凸面混凝土板而言，凸出板面 4 cm，板面厚度 10 cm，無排筋保護層不足的問題。渠床鋪設平面混凝土板，渠道均為矩形斷面，試驗觀察段長 220 cm，試驗佈置如圖 4 所示。本研究預鑄石塊渠道原型

為 60 cm 寬×80 cm 高，模型比為 $\lambda = 1/2$ ，模型尺寸為 30 cm 寬×40 cm 高。依水利相關法規規定排水渠出水高不得少於 25 % 水深或小於 20 cm，本渠槽高度為 60 cm，又依一般常態渠道水深約為 1/3 ~ 2/3 倍渠高(20 ~ 40 cm)，設計流速約為 0.8 ~ 1.5 m/sec，試驗水深則為 10 ~ 20 cm，試驗流速則為 0.57 ~ 1.06 m/sec，採用 0.002、0.004、0.006、0.008、及 0.010 等五種渠道坡度，進行不同流量下之渠道曼寧係數試驗分析。

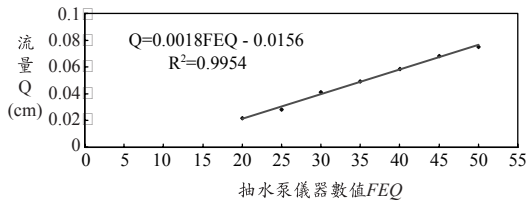


圖 5 流量率定分析曲線圖

3.3 水理特性分析

水理資料包括流量(Q)、上下游斷面水深(h)、渠寬(B)、水力半徑(R)、平均流速(V)、及福祿數(N_F)。對三種不同表面渠道(平面、凹面、及凸面)進行實測流速剖面分佈,探討不同渠面對流速分佈的影響。

3.4 曼寧係數估算

考量一長度為 L 的平直渠段,在一已知流量(Q)和渠道坡度(S),其上、下游兩端的輸水因子分別為 K_1 和 K_2 , 由曼寧公式得

$$Q = V_1 A_1 = \frac{1}{n_1} R_1^{2/3} S^{1/2} A_1 = K_1 S^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

和

$$Q = V_2 A_2 = \frac{1}{n_2} R_2^{2/3} S^{1/2} A_2 = K_2 S^{1/2} \dots\dots\dots(4)$$

其中, n 為曼寧係數, A 為渠道斷面積, R 為水力半徑; 式中, 下標 1 和 2 分別表示為上、下游斷面, 輸水因子 $K = R^{2/3} A / n$ 。由(3)式 \times (4)式整理得

$$S = \frac{Q^2}{K_1 K_2} \dots\dots\dots(5)$$

又渠段能量損失為

$$h_f = SL = \frac{Q^2 L}{K_1 K_2} = \frac{Q^2 n^2 L}{(R_1 R_2)^{2/3} (A_1 A_2)} \dots\dots\dots(6)$$

由上式可推算渠段內平均曼寧係數

$$n = \frac{R^{2/3} A}{Q} \sqrt{S} \dots\dots\dots(7)$$

其中, $R = \sqrt{R_1 R_2}$, $A = \sqrt{A_1 A_2}$, 此即為坡度面積法來推算渠道之曼寧係數。

表 1 不同渠面之流速面積百分比 ($FEQ = 30$, $S = 0.008$)

流 速 (m/s)	面積百分比 (%)			生態棲地面積 百分比(<0.8 m/s)		
	平面	凹面	凸面	平面	凹面	凸面
0.0~0.2	7.5	9.9	10.2	29.5	37	37.5
0.2~0.4	7.1	9.5	9.5			
0.4~0.6	7.7	8.7	8.8			
0.6~0.8	7.2	8.9	9.0			
0.8~1.0	7.9	13.2	14.2			
>1.0	62.6	49.8	48.3			

3.5 溶氧量(DO)量測

自然水體中溶氧量(Dissolved Oxygen; DO)多寡係污染程度的一個重要參數,通常水生生物要求的生存環境其溶氧量至少在 4.0 ~ 5.0 mg/L 以上,耐低溶氧生物如吳郭魚、土虱魚等除外。溶氧量愈少的水體,水生生物種類將日益減少,故溶氧量的檢測為水質檢測重要項目之一。本研究利用萬能科技大學環工系 DO meter 儀器量測水中溶氧量,將 DO meter 置於試驗水流中斷面中層(1/2 倍水深處),直接量測水體溶氧量。

四、結果分析與討論

4.1 流量與抽水儀器數值關係

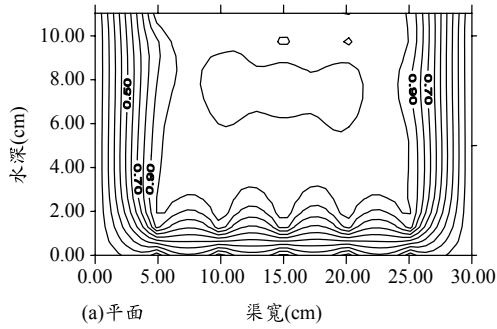
本試驗水槽經過流量率定如圖 5 所示,得抽水儀器數值 FEQ 與流量 Q (cms)之關係式為

$$Q = 0.0018 FEQ - 0.0156 \dots\dots\dots(8)$$

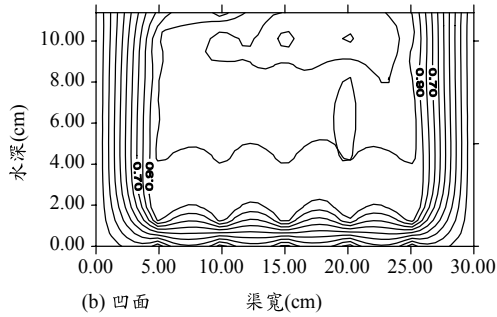
4.2 流速分佈

量測位置設於中斷面以代表試驗斷面值,分別量測斷面 1 和斷面 3 的水深(如圖 4 所示),利用流量率定公式估算試驗橫斷面之平均流速。圖 6 和圖 7 分別表示流量 $FEQ = 30$ 時,渠坡 $S = 0.004$ 和 0.008 之平面、凹面、及凸面等三種渠道的流速分佈。由流速分佈圖顯示,凸面渠道有較大歧異性之流速分佈,凹面渠道次之,平面渠道流速分佈最為均勻。

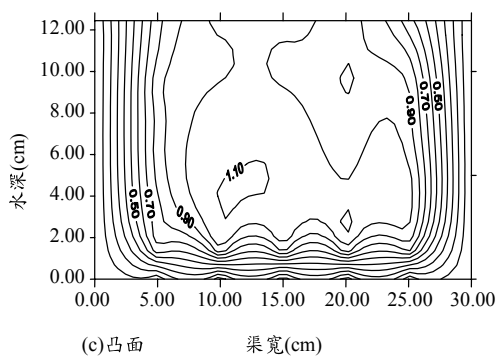
表 1 表示於 $FEQ = 30$ 、 $S = 0.008$ 時,三種渠面(平面、凹面、及凸面)之流速面積百分比。



(a) 平面 渠寬(cm)

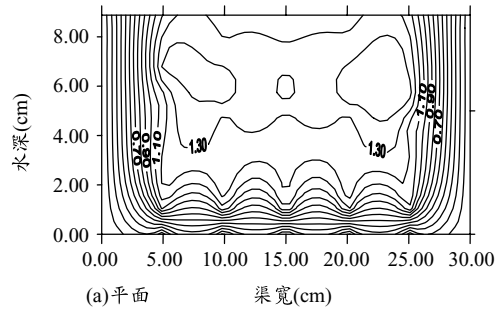


(b) 凹面 渠寬(cm)

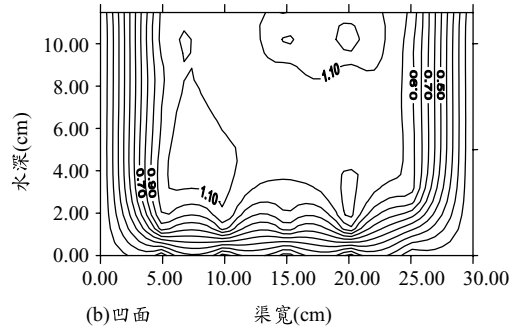


(c) 凸面 渠寬(cm)

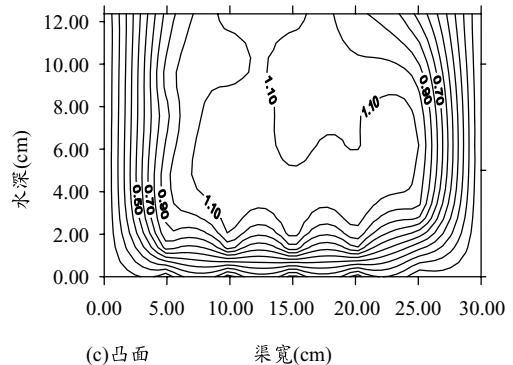
圖 6 不同渠面之流速分佈(FEQ=30, S=0.004)



(a) 平面 渠寬(cm)



(b) 凹面 渠寬(cm)



(c) 凸面 渠寬(cm)

圖 7 不同渠面之流速分佈(FEQ=30, S=0.008)

在相同試驗條件下，由流速面積可知，平面渠道水流斷面積稍小於凹面渠道，凸面渠道為最大，此表示凸面渠道水深較大，流速相對較緩慢。依據施上栗等(2004)研究資料顯示，渠道流速低於 1.2 m/s 的區域為較適合生物棲息之處所。本試驗因次分析得試驗流速為 0.85 m/s，取小於 0.8 m/s 為生態棲地。試驗資料統計得平面渠道之生態棲地面積百分比為 29.5%，凹面渠道為 37.0%，凸面渠道為 37.5%。由此可知，凹面和凸面渠道之生態棲地面積百分比相近，均大於平面渠道，約提升 8% 的生態棲地，故凹面和凸面渠道對水域環境將有正面的助益。

4.3 曼寧係數之估算

表 2 和表 3 分別表示渠底坡度 $S = 0.004$ 和 0.008 時之曼寧係數試驗估算值，平面渠道模型 n 值為 $0.0092 \sim 0.0188$ ，凹面渠道模型 n 值為 $0.0105 \sim 0.0231$ ，凸面渠道模型 n 值為 $0.0110 \sim 0.0217$ 。依據因次分析，原型 n 值等於 $1/6$ 次方模型 n 值 (Chow, 1959)，推估得平面渠道原型 n 值為 $0.0115 \sim 0.0237$ ，凹面渠道原型 n 值為 $0.0132 \sim 0.0291$ ，凸面渠道原型 n 值為 $0.0110 \sim 0.0217$ 。

圖 8 和圖 9 分別表示 $S = 0.004$ 和 0.008 時，不同流量下渠道的曼寧係數，渠道曼寧係數隨著流量 (FEQ) 的增加而減小，漸趨近於一定值，即

表 2 曼寧係數的估算 ($S = 0.004$)

渠 面	FEQ	水 深 (m)		水力半徑 R	平均流速 V (m/s)	模型 n 值	原型 n 值	福祿數 N_F
		斷面 1	斷面 3 (m)					
平面	20	0.12750	0.12764	0.06894	0.6477	0.0164	0.0207	0.5790
	25	0.14180	0.14130	0.07283	0.8264	0.0133	0.0168	0.7013
	30	0.15279	0.15018	0.07537	0.9806	0.0115	0.0145	0.8044
	35	0.15961	0.15792	0.07713	1.1301	0.0101	0.0128	0.9055
	40	0.18852	0.16334	0.08082	1.1772	0.0100	0.0127	0.8960
	45	0.19183	0.17046	0.08195	1.3020	0.0092	0.0115	0.9767
凹面	20	0.12734	0.12861	0.06906	0.5499	0.0194	0.0244	0.4913
	25	0.14292	0.14030	0.07284	0.7147	0.0154	0.0194	0.6078
	30	0.15876	0.14348	0.07521	0.8423	0.0134	0.0169	0.6798
	35	0.17400	0.16602	0.07967	0.9621	0.0122	0.0153	0.7346
	40	0.19088	0.16765	0.08155	1.1255	0.0106	0.0133	0.8239
	45	0.20834	0.17764	0.08422	1.1602	0.0105	0.0132	0.8128
凸面	20	0.12972	0.12574	0.06898	0.6311	0.0169	0.0212	0.5633
	25	0.14570	0.13618	0.07263	0.8080	0.0136	0.0172	0.6855
	30	0.16938	0.14362	0.07640	0.9490	0.0120	0.0151	0.7795
	35	0.18594	0.16372	0.08062	1.0049	0.0117	0.0148	0.7781
	40	0.20042	0.18005	0.08379	1.0405	0.0116	0.0147	0.7846
	45	0.22552	0.18990	0.08689	1.1247	0.0110	0.0139	0.8174

表 3 曼寧係數的估算 ($S = 0.008$)

渠 面	FEQ	水 深 (m)		水力半徑 R	平均流速 V (m/s)	模型 n 值	原型 n 值	福祿數 N_F
		斷面 1 (m)	斷面 3 (m)					
平面	20	0.10832	0.11694	0.06429	0.7618	0.0188	0.0237	0.7248
	25	0.11747	0.11929	0.06616	0.9835	0.0149	0.0187	0.9127
	30	0.11430	0.13795	0.06828	1.1709	0.0128	0.0161	1.0527
	35	0.13030	0.12628	0.06914	1.3527	0.0111	0.0140	1.2058
	40	0.14370	0.14168	0.07313	1.4361	0.0109	0.0137	1.2138
	45	0.15625	0.14592	0.07524	1.5529	0.0103	0.0129	1.2756
凹面	20	0.10717	0.11564	0.06389	0.6196	0.0231	0.0291	0.5927
	25	0.12210	0.11834	0.06673	0.8529	0.0173	0.0217	0.7854
	30	0.14363	0.13671	0.07244	0.9794	0.0159	0.0200	0.8352
	35	0.16593	0.14384	0.07606	1.0964	0.0146	0.0185	0.8895
	40	0.18078	0.16001	0.07967	1.1687	0.0142	0.0179	0.9040
	45	0.20226	0.16863	0.08269	1.2513	0.0136	0.0171	0.9277
凸面	20	0.11682	0.11359	0.06515	0.6662	0.0217	0.0274	0.6267
	25	0.14767	0.12283	0.07089	0.8020	0.0191	0.0241	0.6962
	30	0.15477	0.14153	0.07448	0.9628	0.0164	0.0207	0.7987
	35	0.17482	0.16289	0.07940	1.0301	0.0160	0.0202	0.8003
	40	0.19718	0.17674	0.08314	1.0799	0.0158	0.0199	0.7974
	45	0.21788	0.18083	0.08535	1.1848	0.0146	0.0184	0.8472

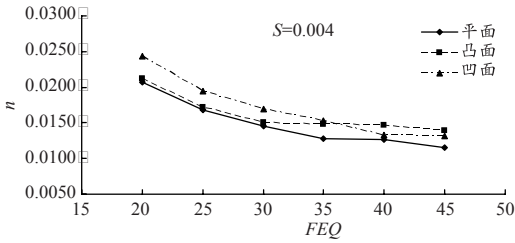


圖 8 渠坡 $S = 0.004$ 時，不同渠面之 n 值與 FEQ 的關係曲線

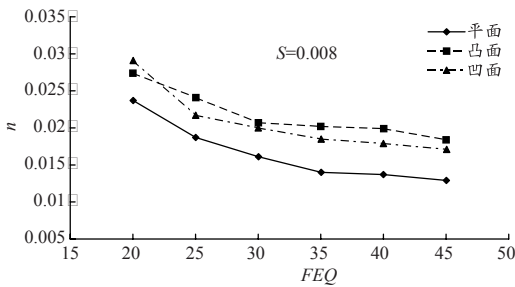


圖 9 渠坡 $S = 0.008$ 時，不同渠面之 n 值與 FEQ 的關係曲線

n 值隨流速和水深的增大而減小， n 值漸趨於一定值。在 $S = 0.004$ 情況下，低流量時($FEQ < 35$)，渠道 n 值為平面 $<$ 凸面 $<$ 凹面。然而，較高流量時($FEQ > 35$)，渠道 n 值為平面 $<$ 凹面 $<$ 凸面，此時凹面 n 值由大於凸面 n 值，轉變為小於凸面 n 值。在 $S = 0.008$ 情況下，除流量很小時($FEQ < 25$)，渠道 n 值均為平面 $<$ 凹面 $<$ 凸面。以上說明在常態流速下， n 值以平面渠道最小，凹面渠道次之，凸面渠道的 n 值最大。

圖 10 和圖 11 分別表示 $FEQ = 30$ 和 40 時，渠坡與曼寧係數的關係曲線，由圖中可知，渠面為平面時，渠道 n 值隨著 S 的變化最緩，凹面渠道次之，而凸面渠道的 n 值與 S 幾乎成直線線性增加。平面渠道 $FEQ = 30$ 流量下，在 $S = 0.006$ 時，渠道 n 值為最大。 $S < 0.006$ 時，渠道 n 值為凸面 $<$ 凹面，而 $S > 0.006$ 時，渠道 n 值轉為凸面 $>$ 凹面。流量 $FEQ = 40$ 且相同渠坡下，渠道 n 值為平面 $<$ 凹面 $<$ 凸面。

由以上曼寧係數推估結果可知，低流量時，凹面渠道 n 值較凸面為大，此時對輸水效率較為

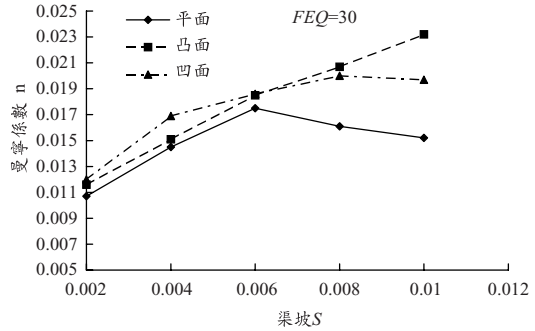


圖 10 流量 $FEQ = 30$ 時，不同渠面之 n 值與 S 的關係曲線

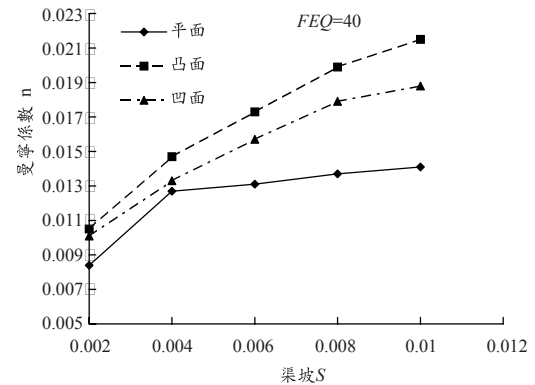


圖 11 流量 $FEQ = 40$ 時，不同渠面之 n 值與 FEQ 的關係曲線

不利，然而對設計出水高並無影響。一般流況下(中、高流量)，渠道 n 值大小為平面 $<$ 凹面 $<$ 凸面。故在一般流況下，採用凹面渠道設計較凸面渠道的輸水特性為佳，且渠道生態特性上，凹面會淤積泥沙而較易生長植物，能提供水生動物棲息、產卵的場所，故凹面渠道在水理特性和生態特性均優於凸面渠道。

4.4 溶氧量量測

分別於試驗段入口處、70 cm、140 cm、及 210 cm 等四處，量測凸面和凹面試驗渠道中斷面處之溶氧量，量測結果如表 4~ 表 7。表 4 和表 5 分別表示在水溫 20.8°C 、渠坡 $S = 0.004$ 和 0.008 時凸面渠道水中之溶氧量。表 6 和表 7 分別表示在水溫 20.0°C 、渠坡 $S = 0.004$ 和 0.008 時凹面渠道水中之溶氧量。量測結果顯示，凸面

表 4 凸面渠道水中溶氧量 ($S = 0.004$)

測點	水中溶氧量 (mg/L)				
	測次入口處	70 cm 處	140 cm 處	210 cm 處	70~210 cm 平均溶氧量
1	8.55	9.00	9.01	8.69	8.90
2	8.62	9.02	8.74	8.70	8.82
3	8.68	9.03	8.77	9.02	8.94
4	8.64	8.71	9.01	8.68	8.80
平均	8.62	8.94	8.88	8.77	8.87

溫度 20.8 °C

表 5 凸面渠道水中溶氧量($S = 0.008$)

測點	水中溶氧量 (mg/L)				
	測次入口處	70 cm 處	140 cm 處	210 cm 處	70~210 cm 平均溶氧量
1	8.58	8.70	8.99	9.01	8.90
2	8.61	9.00	8.75	9.00	8.92
3	8.61	9.01	8.70	8.79	8.83
4	8.61	8.82	9.02	9.02	8.95
平均	8.60	8.88	8.87	8.96	8.90

溫度 20.8 °C

和凹面等兩種渠道試驗段水中溶氧量均高於入口處，凸面渠道試驗段平均溶氧量約高出入口處 0.28 mg/L，凹面渠道試驗段平均溶氧量約高出入口處 0.14 mg/L，相對水中溶氧量平均約增加 2.5 %。且渠坡 $S = 0.008$ 時溶氧量大於渠坡 $S = 0.004$ 時，此乃渠道坡度愈大時，渠道中水流速度相對愈高，不平整的渠面增加水體溶氧量。又在相同渠坡下，凸面渠道水中溶氧量均較凹面渠道為大，此因凸面渠道具有較佳的水流擾動效果，水體可獲得較大的溶氧量。

五、結論與建議

5.1 結 論

1. 由試驗流速分佈圖顯示，凸面渠道有較大歧異性之流速分佈，凹面渠道次之，平面渠道流速分佈最為均勻。對生態棲地而言，凹面和凸面渠道之生態棲地面積百分比相近，相對平面渠道約提升 8 % 的生態棲地，對水域環境將有正面的助益。
2. 常態流量與水深下，渠道曼寧係數值大小

表 6 凹面渠道水中溶氧量 ($S = 0.004$)

測點	水中溶氧量 (mg/L)				
	測次入口處	70 cm 處	140 cm 處	210 cm 處	70~210 cm 平均溶氧量
1	8.86	8.91	8.92	9.05	8.96
2	8.92	8.94	9.10	8.97	9.00
3	8.81	8.85	8.90	8.91	8.87
4	8.72	8.82	8.85	8.85	8.84
平均	8.83	8.88	8.94	8.95	8.92

溫度 20.0 °C

表 7 凹面渠道水中溶氧量($S = 0.008$)

測點	水中溶氧量 (mg/L)				
	測次入口處	70 cm 處	140 cm 處	210 cm 處	70~210 cm 平均溶氧量
1	8.84	8.84	9.24	8.93	9.00
2	8.80	9.10	9.29	8.95	9.11
3	8.91	9.27	8.99	9.00	9.07
4	8.88	8.86	8.97	9.27	9.03
平均	8.86	9.02	9.12	9.04	9.05

溫度 20.0 °C

為平面 < 凹面 < 凸面，且曼寧係數值隨流量和水深減小而增大。相同流量下，渠道曼寧係數隨渠底坡度增加而增大。

3. 渠道水中溶氧量量測結果顯示，凹面和凸面等兩種渠道均能增加水中溶氧量，相對平面渠道水中溶氧量平均約增加 2.5 %，在提高水體溶氧效率上，以凸面渠道優於凹面渠道。
4. 本研究為生態工法的基礎學理研究，藉由水工模型試驗，探討預鑄灌排水路三種不同渠面的水理性質，了解流速分佈特性，估算渠道的曼寧係數值，量測渠道水中溶氧量，此水理性質、曼寧係數、及生態特性等參數的建立，有助於生態灌排水路的規劃與設計。

5.2 建 議

1. 預鑄生態石塊施工快速，施工期間對環境的影響較小，依一般生物棲息地條件而論，採用凹凸渠面可兼具自然生態保育的

理念，有助於灌排水路生態化工程的推展。然其確定之生態效果，有待進一步做現地試驗之研究。

2. 灌排水路常態流況下，凹面渠道較凸面渠道具有較小的曼寧係數，且凹洞能提供良好的水域生態環境，可獲得較佳的輸水效率和生態特性，較傳統凸面渠道具有更佳的生態性，值得農政單位推廣採用。

致 謝

本研究承蒙國科會一般專題研究計畫案 NSC 92 - 2211- E -238 – 005 經費資助和農業工程研究中心自主研究計畫之配合，以及中原大學土研所研究生陳麒升和萬能科技大學土木系專題生蔡佩君、劉民益、施立群等在水工模型試驗的協助，萬能科技大學環工系提供 DO meter，以供渠道水中溶氧量之量測，特此致謝。

參考文獻

1. Chen, C. L. (2000), "Discussions on regression analysis in new slope-area procedure Cheng-Lung Chen," written Communication, cited 蔡宇龍 (2001).
2. Chow, V. T. (1959), "Open-channel Hydraulics," McGraw-Hill, New York.
3. Tominaga, A., and I. Nezu (1992), "Velocity profiles in steep open-channel flow," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118(1), pp.73-90.
4. 王桑村(2001)，「農田水利生態與綠美化」，九十年度農業工程研討會，國立台灣大學，台北市，pp.719-723。
5. 吳富春(1994)，「渠道坡度與水深對試驗模擬植栽粗糙係數之影響」，八十三年度農業工程研討會，中國農業工程學會，高雄市，pp.137-145。
6. 林杰熙(1993)，「單元排列對粗糙係數之影響探討」，國立台灣大學農業工程研究所，碩士論文，台北市。
7. 施上栗、李鴻源、胡通哲(2004)，「台中柳川應用生態工法於魚類棲地改善之研究」，中華水土保持學報，第 35 卷第 3 期，pp.229-239。
8. 陳意昌，張台科(2002)，「農水路工程生態工法之探討」，第一屆自然生態工法理論與實務研討會，國立中興大學，台中市，pp.319-334。
9. 徐元棟，黃振昌，郭一羽(2001)，「頭前河流域生態系統多樣性之探討」，九十年度農業工程研討會，國立台灣大學，台北市，pp.517-526。
10. 黃明興(1992)，「植生倒伏對水流阻力影響之研究」，國立台灣大學農業工程研究所，碩士論文，台北市。
11. 蔡西銘，陳 獻，黃勝頂(2000)，「都會小川、農水路之生態觀察」，八十九年度農業工程研討會，高雄農田水利會，高雄市，pp.491-496。
12. 蔡西銘，陳 獻，黃勝頂(2001)，「河川近自然生態工法防洪功能之檢討 – 以桃芝颱風侵襲對筏子溪之影響為例」，九十年度農業工程研討會，國立台灣大學，台北市，pp.259-266。
13. 蔡宇龍(2001)，「應用改良式坡度-面積法分析河道阻力之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所，碩士論文，台南市。
14. 鄭宏昭(1998)，「鋼筋混凝土格樑式護岸工程曼寧粗糙係數之試驗研究」，國立中興大學水土保持工程研究所，碩士論文，台中市。
15. 賴平雄、蔡篤乾、陳 獻(1999)，「保護生態環境水路工法之研究」，農田水利，第 46 卷，第 7 期，pp.24-31。

收稿日期：民國 94 年 3 月 16 日

修正日期：民國 94 年 6 月 22 日

接受日期：民國 94 年 6 月 24 日