

植生護岸梯形渠道水力特性之研究

Study on the Hydraulic Properties of Vegetated-revetment Trapezoid Channel

萬能科技大學營建科技系
教授

楊紹洋*

Shaw-Yang Yang

萬能科技大學工程科技研究所
研究生

謝家倫

Jia-Lun Shie

摘 要

近年來，生態工程運用於農田水利工程，常採用粗糙表面、孔隙透水或植生等護岸，多樣性護岸和渠床之組合渠道，以符合水域環境之生態性。本研究以梯形渠道為題，考慮渠道側坡和植生等條件，進行渠槽試驗設計，分析植生梯形渠道之水力特性。研究結果顯示，相同渠道縱坡下，護岸曼寧係數(n_w)隨著流量增加而增大；相同流量下，護岸 n_w 值隨著渠道縱坡增加而漸減。由試驗數據線性迴歸分析得，護岸 n_w 值和渠道 n 值與福祿數(N_F)之關係函數分別為 $n_w = -0.0136N_F^2 + 0.0016N_F + 0.0616$ 和 $n = -0.0031N_F^2 - 0.016N_F + 0.0512$ ；渠道 n 值與護岸 n_w 值數據綜合線性迴歸分析得 $n = 8.5169n_w^2 + 0.10752n_w + 0.0064$ 。考慮水流特性：水深(h)、平均流速(V)、流量(Q)、密度(ρ)、黏滯力(μ)及重力加速度(g)等；渠道特性：渠底寬(B_1)、渠面寬(B_2)及渠道縱坡(S)等，利用多元迴歸分析得，植生梯形渠道和護岸等粗糙係數的關係函數分別為 $n = (B_1/h)^{-2.4231}(B_2/h)^{-4.5614}(S)^{0.0184}(Q/Vh^2)^{0.8305}(\mu/\rho Vh)^{0.1275}(V/\sqrt{gh})^{-0.1619}$ 和 $n_w = (B_1/h)^{3.0116}(B_2/h)^{-5.0952}(S)^{0.0196}(Q/Vh^2)^{0.9810}(\mu/\rho Vh)^{0.0968}(V/\sqrt{gh})^{-0.2141}$ 。此研究成果在工程實務應用上，植生梯形渠道粗糙係數模式的建立，有助於生態工程設計之引用。

關鍵詞：生態工程，渠槽試驗，水力特性，曼寧係數，植生護岸。

ABSTRACT

In the recent years, the ecological engineering used on the irrigation engineering, a revetment with coarse surface, permeable pores, or vegetation, and a diverse combination of channel are often adopted to conform to the ecology of water areas. This research concerns with the trapezoid channel and considers the slope and vegetation of the revetment, and does the according channel test and analyzes the hydraulic properties.

*通訊作者，萬能科技大學營建科技系教授，32061 桃園縣中壢市水尾里萬能路 1 號，shaoyang@msa.vnu.edu.tw

Manning's coefficient of revetment (n_w) increases with increasing flux at the same slope of channel and with decreasing the slope of channel at the same flux. Applying a linear regression analysis, the relational functions of Manning's coefficient and the Froude number (N_F) are $n_w = -0.0136N_F^2 + 0.0016N_F + 0.0616$ for the revetment and $n = -0.0031N_F^2 - 0.016N_F + 0.0512$ for the channel. From the regression analysis of Manning's coefficients of n and n_w , one can obtain $n = 8.5169n_w^2 + 0.10752n_w + 0.0064$. The relational functions of Manning's coefficient and dimensionless hydraulic parameters can be obtained by using the multiple regression analysis, that are $n = (B_1/h)^{2.4231}(B_2/h)^{-4.5614}(S)^{0.0184} \times (Q/Vh^2)^{0.8305}(\mu/\rho Vh)^{0.1275}(V/\sqrt{gh})^{-0.1619}$ and $n_w = (B_1/h)^{3.0116}(B_2/h)^{-5.0952}(S)^{0.0196} \times (Q/Vh^2)^{0.9810}(\mu/\rho Vh)^{0.0968}(V/\sqrt{gh})^{-0.2141}$. In the engineering practical applications, the results of the roughness coefficient model are helpful to be utilized on the design of ecological engineering.

Keywords: Ecological engineering, Channel test, Hydraulic property, Manning's coefficient, Vegetated revetment.

一、前言

渠道排水系統是人類為引水、輸水、排水及儲水而開鑿，早期傳統工程的混凝土護坡渠道造成(1)阻隔河水入滲地層，無法涵蓄水資源；(2)結構物表面缺乏動植物生息的空間；(3)結構物表面光滑，水流流速過快和沖蝕等問題。近年來，生態與環保的議題受到重視，各項工程大都以生態工法和永續發展為方向，以生態為基礎、安全為導向，強調生物多樣性保育和永續發展，並降低工程對自然環境所造成的傷害，工程規劃設計遵循坡度緩坡化、材質自然化、表面孔隙化、界面透水化及高壩低矮化等原則。因此，河渠或排水路常採用孔隙透水、粗糙表面或植生等護岸，以符合生態環境和棲地復育的理念。如此以來，原設計植生護岸或野草入侵孔隙將影響渠道排水的安全性，而渠道曼寧係數的估算準確與否，亦將影響渠流的水理安全。

多樣性渠底和護岸材質如何準確估算渠道的曼寧係數，野草入侵和植生生長對渠道水理安全的影響，此問題已被重視且需迫切解決。為了解護岸植生對渠流所造成的阻力關係，本研究以植生護岸梯形渠道為題，進行渠槽試驗，量測渠道水深、平均流速及流量等水理參數，估算護岸和渠道的粗糙係數，並分析植生護岸梯形渠道之

水理特性，建立渠道粗糙係數與無因次水理參數的關係函數。

二、文獻回顧

現地量測或實務水利工程設計上，曼寧公式常被引用計算渠道流速，以估算河渠或圳路之流量，式中曼寧係數為試驗經驗值，對不同渠道幾何形狀、流速、水深及水力半徑等因子而有不同結果，適當曼寧係數的選用，需具備豐富的水利工程實務經驗。坡度面積法具有以流量、水深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，以冪定律描述水深方向的流速分佈，利用多變量迴歸分析，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等關係函數。蔡宇龍(2001)進行水工試驗，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等，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。Carollo等(2002)考慮不同植生密度、流量及渠道縱坡等因子，分析植生密度和水深/植株高度等對流速剖面的影響，利用 Prandtl 混合長度法推導得理論流速剖面。

於一般流場中，流體對單元的阻力主要為表

面阻力和形狀阻力等，而綜合單元阻力尚需考慮水理和佈置條件等因素的交互作用，使得綜合阻力的計算格外困難。黃明興(1992)根據亂流理論推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，並進行水工試驗和風洞試驗等驗證，估算植生渠道之阻力係數。林杰熙和黃宏斌(1994)探討渠道植株排列之密度和方式對水流阻力的關係，以亂流流速分佈公式和因次分析，求得與粗糙係數相關之無因次參數，藉由水工模型試驗，估算各因子作用下渠道之粗糙係數。

渠道中植生對水流所造成的阻力，將影響渠道之輸水效率，因此，植生粗糙係數估計是否準確，將直接影響渠道水理演算的正確性。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的情形。試驗數據分析時，將渠道斷面分為渠底和渠岸等兩部份面積之和，分析渠道曼寧係數與水深、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的關係函數。陳彥仁(1997)利用水工模型試驗，探討洪水平原兩岸不對稱粗糙度的複合渠道中，左岸和右岸分別具有高莖不淹沒植生和近似光滑面，洪水在突出水面植生的影響下，渠流之傳播過程和洪峰衰減情形。試驗數據分析結果得知，穩定流量時，糙體(以六角形螺帽固定為底浸沒體、吸管灌入水泥風乾後為突出物，模擬天然高莖植物)。和彎道均會影響流速和流量等分佈；複合渠道中蜿蜒部份，其洪峰消減能力受到糙體之密度和排列方式等影響。Fathi-Maghadam 和 Kouwen (1997)使用松樹和西洋杉等幼苗，模擬渠流中不完全浸沒且非剛性植生的阻力。渠槽試驗數據分析得知，洪水平原和自然植生水路粗糙條件(植生密度和撓度)與水流條件(流速和水深)的關係。Wu 等(1999)探討渠道植生阻力係數與渠流深度之關係，利用馬鬃墊材料模擬水道中植生。渠槽試驗成果顯示，在不完全浸沒情況下，阻力係數隨渠流深度增加而減少；然而，在完全浸沒情況下，低水深時阻力係數呈現增加趨勢，但隨渠流水深逐漸增加而漸減，最後，阻力係數趨近一定值。楊尊華(2001)透過參數檢定方法，以現

地實測的流速、水深及流量等邊界條件，配合合理的猜測初值，利用優選模式，推估現地圳路的曼寧係數。Wilson 和 Horritt (2002)藉由渠槽試驗，量化分析渠流中草的水力阻力係數。草溝試驗結果顯示，試驗所得 n 值大於 Chow (1959, pp. 110-113)所提供表值，且低於 $n-UR$ 方法所推估值，但非常吻合二維和三維數值方法的研究結果。許盈松等(2005)彙整前人河道糙率相關研究成果和經驗公式，建立河道植生糙率推估試算流程，並建置河道植生糙率推估資料庫，此研究成果可大幅簡化河道植生糙率推估的繁複流程，提高糙率推估的準確性。鄒禕等(2005)以百喜草與土壤結合之植生複合材料為研究對象，進行植生樣本拉拔力試驗和剪力試驗，分析複合材料的力學性質。並進行渠槽試驗，建立曼寧係數、土壤沖刷量、摩擦角及凝聚力等與自變數(植生時間、植生密度及平均流速等)的關係函數。Kirby 等(2005)以六月禾、蜈蚣草及結縷草等草種為研究對象，利用渠槽試驗，建立低流量下阻力曲線，此研究成果有助於淺水流過沼澤地的水力設計。楊山慶(2006)以三種草種及兩種土壤，針對草溝之水理設計，進行分析和探討。草溝排水研究結果發現，不論土壤底床為黃壤或紅壤，以及草層為何種植生，曼寧公式所求得之流速皆為高估的現象。其中，假儉草高估約 1.2~3 倍，而百慕達草和類地毯草等高估約 1.2~4 倍。於應用案例中發現，以曼寧公式估算流量所得結果，高估幅度最大可達 44%。楊紹洋等(2006)以三種人造草皮分別模擬渠道護岸植生，研究植生護岸矩形渠道之粗糙係數，分析渠道在不同植物種類之水理特性。Wilson (2007)探討浸沒植生時，渠流水深與水力粗糙係數之變化，影響參數包括植株高度、植株種類及浸沒度等水流阻力特性。研究結果顯示，曼寧 n 值隨著水深減小而增大，在低水位植生浸沒時，達到一定值；由 $n-UR$ 方法估算曼寧 n 值，將產生低估的情形。

以上前人的研究成果，均以河道渠床或高灘地等植生為研究對象，探討渠流部份或完全浸沒植生流況下，水流所受的阻力關係，推估河道中有植生之粗糙係數。以往研究僅考慮河床底面植

生的粗糙係數，尙無護岸植生對渠流阻力關係之探討。然而，生態渠道除以不封底為原則，增加地表水與地下水的流通，並提供水生植物的生長空間，尙考慮多樣性的護岸，提供粗糙表面或植生護岸，塑造生態性的水域環境。故本文以護岸植生梯形渠道為研究主題，探討植生護岸對水流之阻力關係和水理特性等，進行渠槽試驗，估算植生梯形渠道之粗糙係數，以提供生態渠道設計之參考。

三、梯形渠道粗糙係數之估算

試驗數據分析採用分離面積法(Wu *et al.*, 1999)，估算植生護岸的粗糙係數，將梯形渠槽斷面積(A_T)視為渠床面積(A_b)和側岸面積(A_w)等兩部份之和，利用已知渠床 n_b 值代入曼寧公式，求得渠床面積，計算得側岸面積 $A_w = A_T - A_b$ ，即可估算得側岸之 n_w 值。利用試驗渠槽兩側岸佈置植生進行渠槽試驗，估算植生護岸之曼寧 n_w 值方法如下：

$$A_T = A_b + A_w \quad \dots\dots\dots(1)$$

和

$$A_b = B(V \cdot n_b)^{3/2} S_f^{-3/4} \quad \dots\dots\dots(2)$$

其中， B 為渠底寬， V 為平均流速， n_b 為渠底之曼寧 n 值， S_f 為水面坡降。試驗渠槽底床為不銹鋼金屬面，查表可得光滑鋼面(無漆)曼寧係數 $n = 0.0110 \sim 0.0140$ (Chow, 1959)，本試驗渠槽為不銹鋼底床，選取曼寧係數 $n_b = 0.0110$ ，代入(2)式可得 A_b 。又 $A_w = A_T - A_b$ ，即可求得 A_w 。

由曼寧公式可知

$$V = \frac{1}{n_w} R_w^{2/3} S_f^{1/2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

和

$$V = \frac{1}{n_b} R_b^{2/3} S_f^{1/2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

其中， n_b 和 n_w 分別為渠底和側岸之曼寧 n 值， R_b 和 R_w 分別為渠底和側岸之水力半徑， S_f 為能量坡降。因為 $R_w = A_w / 2L$ ，其中， L 為側岸長度，代入(3)式，導得



圖 1 人造草皮

$$n_w = \frac{1}{V} \left(\frac{A_w}{2L} \right)^{2/3} S_f^{1/2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

四、渠槽試驗設計

4.1 試驗設備及試驗材料

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，水槽尺寸 12 m 長×0.4 m 寬×0.6 m 高，渠道縱坡可由電動馬力升降約 10 度，配有 30 馬力抽水馬達一部，負責提供水流循環，水槽附有尾水板，可調整渠槽水位用，水槽末端設置沉砂槽乙處，可供輸砂試驗之用。本試驗水深之量測，使用架設於水槽上方之移動式針尺，量測精確度可達 0.01 mm；渠道斷面流速量測則採用日本製電子式流速儀(KENEK 廠牌 LP 1300WN 型號)，量測靈敏度可達 0.1 cm/sec。

本試驗以市售塑膠材質人造草皮(如圖 1)模擬現地渠道護岸植生的情形，每塊人造草皮尺寸為 26 cm 長×26 cm 寬，每塊有 100 株短草，草呈放射狀，一株短草由 8 輪每輪 12 支針葉所組成，合計 96 根針葉；葉片長度為 2.0~2.3 cm，平均長度約為 2.15 cm；植株高度約為 4.3 cm。

4.2 試驗條件及試驗佈置

平直段渠道在穩定均勻流況下，每個斷面的平均水深和流速接近一致。本試驗採用速度剖面近似法(Tominaga 和 Nezu, 1992)來決定量測位

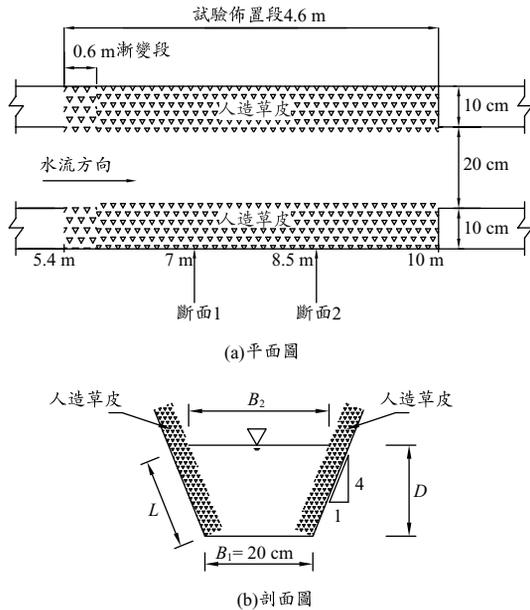


圖 2 渠槽試驗佈置示意圖

置，若在選定之量測位置上游 0.5 m 處之速度剖面與量測位置之速度剖面相近似，得以證實完全發展且近似穩定均勻的流況存在。本試驗水槽為 40 cm 寬矩形斷面，為符合梯形渠道之模擬，以三夾板面塗上防水漆，貼置於渠槽兩側，將試驗渠槽改為梯形斷面。梯形渠槽經試驗率定得知，在 4.0 m 後為穩定均勻之流況，故選定自 6.0 m 後佈置試驗段。渠道考慮為平直梯形斷面，試驗段 4.6 m 長度兩側渠面鋪設人造草皮，以模擬植生護岸之梯形渠道，為減低側岸草皮對渠流上游流況的影響，人造草皮鋪設段前端增設 60 cm 長度漸變密度草皮段，使水槽渠面與試驗段呈現連續斷面，以減少其對試驗結果之影響，試驗佈置示意如圖 2。渠槽試驗條件如下：側坡 $S_w = 4$ (水平：垂直 = 1：4)，渠道縱坡 $S = 0.001$ 、 0.005 、 0.010 、 0.020 、 0.030 及 0.040 等六種，試驗流量 $Q = 0.0129$ 、 0.0146 、 0.0162 、 0.0179 及 0.0195 cms 等五種。依上述試驗條件，進行植生護岸梯形渠槽試驗，量測水深、流速、流量、水力半徑及斷面積等水力參數，估算植生渠道和護岸之粗糙係數。

本試驗選用市售塑膠材質人造草皮模擬渠

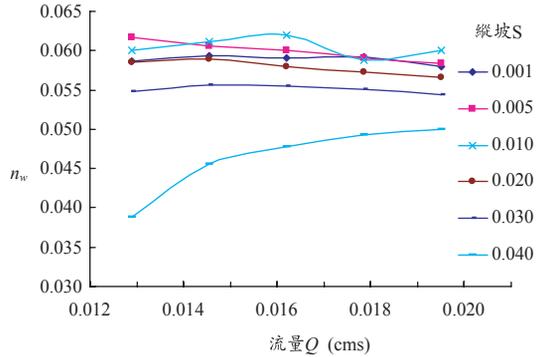


圖 3 植生護岸 n_w 值與流量之關係曲線

道護岸之植生，可獲試驗材料一致性。且人造草皮具有良好彈性，與真實草皮植株相似，渠槽試驗時，植株受水流衝擊會產生伏倒，而不易產生永久變形，試驗分析具有定性的特性。故本試驗假設人造草皮為均勻密度，渠道兩側護岸草皮具有均一性。為使植株受水流作用時，具有穩定的伏倒特性，每次試驗前檢查試驗段草皮，以保持相同的試驗狀態，以維持試驗佈置條件一致性。

五、試驗結果與數據分析

5.1 植生護岸 n_w 值與縱坡、流量、福祿數之關係

植生護岸 n_w 值與流量之關係如圖 3 所示，於相同渠道縱坡下，護岸 n_w 值隨流量增加而增大，而後漸趨平緩。在低流量時，護岸 n_w 值變化較大，受縱坡的影響較大；反之，高流量時，護岸 n_w 值變化較小，受縱坡的影響較小。此特性顯示，護岸植生受水流冲刷而伏倒，伏倒初期減少了植生粗糙斷面，因而降低水流阻力；隨著流量愈大，植生伏倒的增大，水流阻力大幅提升；於最大植生伏倒後，即呈現流量漸增而護岸 n_w 值漸趨於定值。

圖 4 為植生護岸 n_w 值與縱坡之關係曲線，於相同流量下，護岸 n_w 值隨渠道縱坡增加而漸增，於 $S = 0.005 \sim 0.010$ 間達到最大值；而後，護岸 n_w 值呈現遞減的趨勢，在 $S = 0.040$ 時，護岸 n_w 值大幅減小。且縱坡越大時， n_w 值變化越顯著，尤其在低流量情形下特別明顯。

福祿數(N_F)代表渠流之流況，其中，

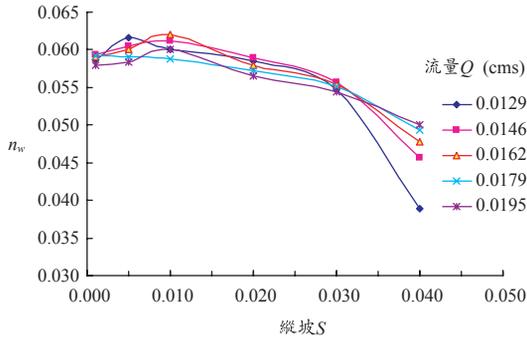


圖 4 植生護岸 n_w 值與縱坡之關係曲線

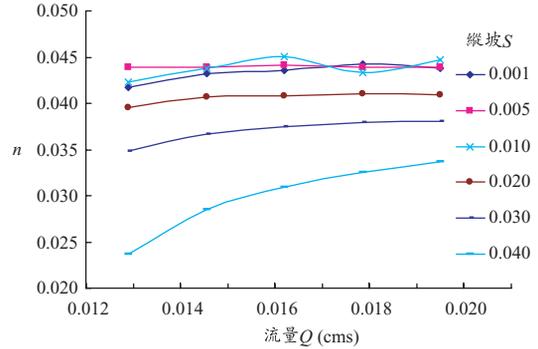


圖 6 渠道 n 值與流量之關係曲線

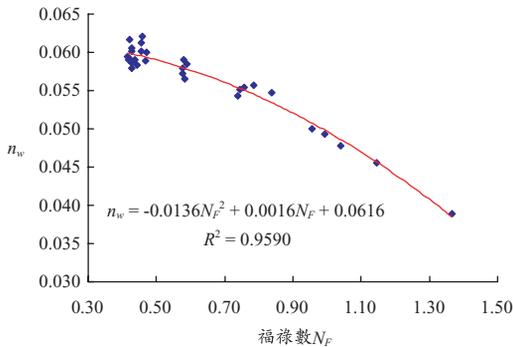


圖 5 植生護岸 n_w 值與福祿數 N_F 之關係曲線

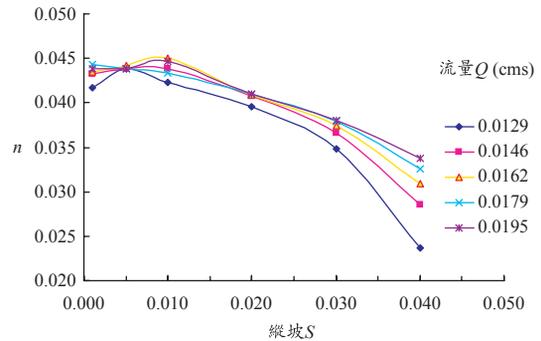


圖 7 渠道 n 值與縱坡之關係曲線

$N_F = V / \sqrt{gD}$ ， V 為平均流速(m/s)， g 為重力加速度(m/s²)， D 為平均水深(m)。將植生護岸 n_w 值與 N_F 試驗數據綜合分析，其關係曲線如圖 5 所示。由線性迴歸分析得， n_w - N_F 關係函數 $n_w = -0.0136N_F^2 + 0.0016N_F + 0.0616$ ，其判定係數 (Coefficient of determination) $R^2 = 0.9590$ ，此表示試驗數據與關係函數的契合度達 95% 以上。

5.2 渠道 n 值與渠道縱坡、流量、福祿數之關係

渠道 n 值與流量之關係如圖 6 所示，於相同渠道縱坡下，渠道 n 值隨流量增加而增大；而後，渠道 n 值漸趨平緩。且縱坡越大，渠道 n 值受流量之影響越大。圖 7 為渠道 n 值與縱坡之關係曲線，於相同流量下，渠道 n 值隨縱坡增加而漸增，於 $S = 0.005 \sim 0.010$ 間達到最大值；而後，渠道 n 值呈現遞減的趨勢，在 $S = 0.040$ 時，渠道 n 值大幅減小。且縱坡度越大時， n 值變化越顯著。將渠道 n 值與 N_F 試驗數據綜合分析，其關係曲

線如圖 8 所示。由線性迴歸分析得， n - N_F 關係函數 $n = -0.0031N_F^2 - 0.016N_F + 0.0512$ ，其判定係數 $R^2 = 0.9805$ 。

由以上試驗數據分析結果顯示，渠道 n 值與植生護岸 n_w 值具有相似的水理特性。

5.3 渠道 n 值與植生護岸 n_w 值之關係

將渠道 n 值與植生護岸 n_w 值數據綜合分析，其 $n - n_w$ 關係曲線如圖 9 所示，經由線性迴歸分析得 $n = 8.5169n_w^2 + 0.1075n_w + 0.0064$ ，其判定係數 $R^2 = 0.9376$ 。此迴歸函數有利於水利工程實務上應用，由已知梯形渠道護岸 n_w 值代入 $n - n_w$ 關係函數，即可直接推估植生梯形渠道之曼寧係數，可省去多次渠槽試驗之繁瑣。

5.4 粗糙係數與無因次水力參數之多元迴歸分析

本研究考慮水流特性和渠道特性等兩部份主要參數，進行試驗數據多元迴歸分析，其中，

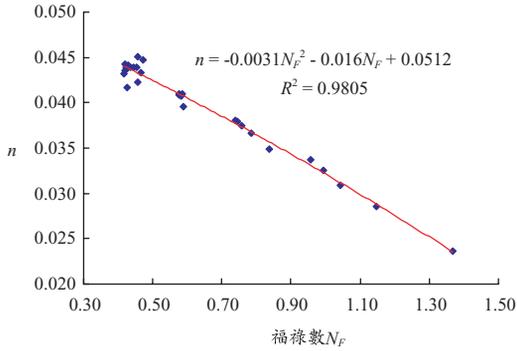


圖 8 渠道 n 值與福祿數 N_F 之關係曲線

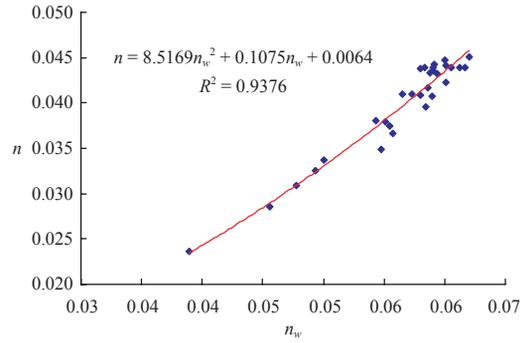


圖 9 渠道 n 值與植生護岸 n_w 之關係曲線

水流特性包括水深(h)、平均流速(V)、流量(Q)、密度(ρ)、黏滯力(μ)及重力加速度(g)等；渠道特性包括渠底寬(B_1)、渠面寬(B_2)及渠道縱坡(S)等。植生梯形渠道粗糙係數(n)可以用下列函數式表示

$$n = f(\rho, V, h, B_1, B_2, S, Q, \mu, g) \dots \dots \dots (6)$$

根據白金漢 π 理論，選用 ρ 、 V 及 D 等三參數代表物理量，對(6)式無因次分析得

$$n = \left(\frac{B_1}{h}, \frac{B_2}{h}, S, \frac{Q}{Vh^2}, \frac{\mu}{\rho Vh}, \frac{V}{\sqrt{gh}} \right) \dots \dots \dots (7)$$

上式以無因次水理參數表示植生梯形渠道之粗糙係數。其中， $N_F = V/\sqrt{gh}$ 為福祿數。

本研究採用統計法中多元迴歸分析，以 SPSS 統計套裝軟體迴歸分析試驗數據，建立植生梯形渠道粗糙係數與無因次水理參數的關係函數，試驗數據分析結果如下：

$$n = \left(\frac{B_1}{h} \right)^{2.4231} \left(\frac{B_2}{h} \right)^{-4.5614} (S)^{0.0184} \left(\frac{Q}{Vh^2} \right)^{0.8305} \left(\frac{\mu}{\rho Vh} \right)^{0.1275} \left(\frac{V}{\sqrt{gh}} \right)^{-0.1619} \dots \dots \dots (8)$$

和

$$n_w = \left(\frac{B_1}{h} \right)^{3.0116} \left(\frac{B_2}{h} \right)^{-5.0952} (S)^{0.0196} \left(\frac{Q}{Vh^2} \right)^{0.9810} \left(\frac{\mu}{\rho Vh} \right)^{0.0968} \left(\frac{V}{\sqrt{gh}} \right)^{-0.2141} \dots \dots \dots (9)$$

其判定係數(R^2)分別為 0.98464 和 0.95267，此表示試驗數據分析可信度達 98 %和 95 %以上，此兩式可有效推估植生梯形渠道之粗糙係數。在已知渠流水深(h)、平均流速(V)、渠底寬(B_1)、渠面寬(B_2)及渠道縱坡(S)等水理參數，代入(8)式和(9)式，即可推估得植生梯形渠道和護岸之粗糙係數，提升生態工程水理設計引用之便利性。

六、結 論

本研究以植生梯形渠道為題，考慮護岸植生或野草入侵下的生態渠道，完成植生護岸之梯形渠槽試驗，估算植生渠道和護岸的粗糙係數。並分別建立植生護岸 n_w 和渠道 n 值與福祿數 N_F 的關係函數，以提供生態渠道工程設計所需之水理參數。研究成果結論如下：

1. 相同渠道縱坡下，護岸 n_w 值隨流量增加而增大，而後漸趨平緩，且縱坡越大時，護岸 n_w 值受渠流流量之影響越大。相同流量下，護岸 n_w 值隨縱坡增加而漸增，而後護岸 n_w 值呈現遞減的趨勢，且縱坡越大時， n_w 值變化越顯著。
2. 由線性迴歸分析得， $n_w = -0.0136N_F^2 + 0.0016N_F + 0.0616$ 、 $n = -0.0031N_F^2 - 0.016N_F + 0.0512$ 及 $n = 8.5169n_w^2 + 0.1075n_w + 0.0064$ ，此三迴歸函數有助於植生梯形渠道工程實務之應用。
3. 利用多元迴歸分析得，植生梯形渠道和護岸等粗糙係數的關係函數為 $n = (B_1/h)^{2.4231} (B_2/h)^{-4.5614} (S)^{0.0184} (Q/Vh^2)^{0.8305} (\mu/\rho Vh)^{0.1275} (V/\sqrt{gh})^{-0.1619}$ 和 $n_w = (B_1/h)^{3.0116} (B_2/h)^{-5.0952} (S)^{0.0196} (Q/Vh^2)^{0.9810} (\mu/\rho Vh)^{0.0968} (V/\sqrt{gh})^{-0.2141}$ ，

此函數式在已知水理條件下，可有效推估植生渠道和護岸等粗糙係數，提升生態工程水理設計引用之便利性。

誌 謝

本研究承蒙行政院農業委員會農科研究計畫 95 農科-11.2.1-利-b1(3)經費資助，萬能科技大學營建科技系提供渠槽試驗設備，研究生江慶星協助文獻資料之蒐尋，特此誌謝。

參考文獻

1. 吳富春，「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，137-145 (1994)。
2. 林杰熙、黃宏斌，「排列密度對阻力係數之影響探討」，台灣水利，第 42 卷第 3 期，22-30 (1994)。
3. 陳彥仁，「洪流於具突出水面植栽複合渠道中之傳播試驗研究」，國立成功大學水利及海洋工程學系研究所，碩士論文，台南市 (1997)。
4. 許盈松、許裕雄、林信輝、林傳茂，「河道種植糙率推估資料庫之建置與應用」，中華水土保持學報，第 36 卷第 6 期，281-291 (2005)。
5. 黃明興，「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 (1992)。
6. 楊山慶，「草溝水理實驗之研究」，中興大學水土保持系所，碩士論文，台中市(2006)。
7. 楊紹洋、陳獻、邱金火、洪偉哲，「生態渠道水理特性之研究」，第十五屆水利工程研討會，國立中央大學，桃園縣，H128-133 (2006)。
8. 楊尊華，「梯形明渠曼寧 n 值之參數檢定方法」，國立台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，台北市 (2001)。
9. 蔡宇龍，「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學系，碩士論文，台南市 (2000)。
10. 鄒禕、鐘肇光、邱敬翔，「植生複合材料應用於渠道內面工之研究」，九十四年度農業工程研討會，台灣省苗栗農田水利會，苗栗縣，摘要集 135 (2005)。
11. Carollo, F. G., Ferro, V., Termini, D., "Flow velocity measurements in vegetated channels," *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 128(7), 664-673 (2002).
12. Chen, C. L., "Discussions on regression analysis in new slope-area procedure Cheng-Lung Chen," written Communication, cited 蔡宇龍 (2001) (2000).
13. Chow, V. T., "Open-Channel Hydraulics," McGraw-Hill, New York, 101-123 (1959).
14. Fathi-Maghadam, M., Kouwen, N., "Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains," *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 123(1), 51-57 (1997).
15. Kirby, J. T., Durrans, S. R., Pitt, R., Johnson, P. D., "Hydraulic resistance in grass swales designed for small flow conveyance," *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 131(1), 65-68, 2005.
16. Tominanga, S., Nezu, I., "Velocity profiles in steep open-channel flow," *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 118 (1), 73-90 (1992).
17. Wilson, C. A. M. E., "Flow resistance models for flexible submerged vegetation," *Journal of Hydrology*, 342(3-4), 213-222 (2007).
18. Wilson, C. A. M. E., Horritt, M. S., "Measuring the flow resistance of submerged grass," *Hydrological Processes*, 16, 2589-2598 (2002).
19. Wu, F. C., Shen, H. W., Chou, Y. J., "Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation," *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 125(9), 934-942 (1999).

收稿日期：民國 97 年 3 月 10 日

修正日期：民國 97 年 4 月 11 日

接受日期：民國 97 年 4 月 14 日