

河川潛板形狀變化對渠道斷面床形之影響

Effect of Submerged Vane Shape on the Transverse Bed Profile in an Alluvial Channel

國立宜蘭大學
土木工程學系
副教授

歐陽慧濤*

Huei-Tau Ouyang

國立台灣大學
水工試驗所
副研究員

賴進松

Jihn-Sung Lai

國立宜蘭大學
土木工程學系
教授

喻新

Hsin Yu

國立宜蘭大學
土木工程學系
碩士生

羅元宏

Yuan-Hung Luo

摘要

河川潛板系統為國外常見之河川治理工法，其原理係以設置在渠道底床上的潛板改變下游流場的底床剪應力分佈，調整底床泥砂的分佈，進而改變渠道徑向床形，達到河川治理的功效。潛板的形狀對其導流效果有直接的影響，本研究探討在各種設置角度及沈滓福祿數之下，潛板的形狀變化對渠道徑向床形所產生之影響，並嘗試找出最佳的潛板尺寸，使潛板能發揮最大的效能。研究結果顯示，潛板的最佳高度隨長度不同而改變，最佳值約在 0.58 至 0.7 倍水深之間，且與設置角度及沈滓福祿數的關係不大，潛板的長度則無一定的最佳值，長度越大則導流效果越好，然而單位面積的導流效率則變低。

關鍵詞：河川潛板，形狀，最佳尺寸，徑向床形。

ABSTRACT

Submerged vane system is a common technique for sediment management in alluvial rivers. By installing a number of submerged vanes on the channel bed, the distribution of the bed shear stress downstream of the vane is altered and the bedform is modified to a favorable profile. The sediment management effectiveness of a vane is directly related to its shape. This study aims to investigate the relationship between the vane shape and the induced transverse bed profile. The optimal vane dimensions are also investigated. The results show that the optimal vane-height is strongly related to vane-length and is between the ranges of about 0.58 to 0.7 water-depths, irrespective of the values of Sediment Froude Numbers and angles of incidence. No specific optimal vane length is

*通訊作者，國立宜蘭大學土木工程學系副教授，26047 宜蘭縣宜蘭市神農路一段 1 號，htouyang@niu.edu.tw

observed. Increasing the length of the vane will result in a vane with higher sediment control effectiveness yet lower efficiency.

Keywords: Submerged Vane, Shape, Optimum Dimensions, Transverse Bed Profile.

一、前言

河川潛板系統為國外頗具盛名的河川治理工法，應用一系列設置在河道底床上的潛沒導流板改變下游的流場及底床剪應力分佈，使底床泥砂產生側向運移，達到泥砂控制及調整床形的效果。潛板的應用範圍甚廣，諸如河岸保護(Odgaard and Kennedy 1983; Wang and Odgaard 1993; Johnson *et al.* 2001)，河道疏浚(Odgaard and Spoljaric 1989; Odgaard and Wang 1991)，取水口排砂(Wang *et al.* 1996; Nakato and Ogden 1998; Barkdoll, Ettema, and Odgaard 1999; Michell, Ettema, and Muste 2006)等方面，皆有研究者探討運用潛板的可行性。在各種應用情況下，潛板的設置方式(與水流的夾角方向、設置位置等)雖有不同，然其工作原理則大致相同，皆為運用水流通過潛板時於下游流場中所產生的尾跡渦流在床面上造成一剪應力分佈，進而帶動底床泥砂的徑向運移，達到調整床型的目的，因此就單一潛板而言，不論其應用標的為何，其設計目標皆在產生最大的泥砂控制效果以提高潛板的工作效率。

在前人的研究中，潛板的高度通常介於水深的 0.2 至 0.5 倍之間，而長度則各有不同，如板高的 2 倍或 3 倍等均有研究者採用。由於潛板的尺寸及形狀對其泥砂控制效果有重要的影響，本研究旨在探討矩形潛板的高度與長度等形狀因子對所產生之渠道徑向床形的影響，經由分析潛板形狀變化與床形之間的關係，嘗試獲得矩形潛板的最佳尺寸，使潛板可發揮最佳的泥砂控制效果。

二、潛板所產生之流場與徑向床形

考慮一設置於平直渠道中心之潛板，渠道的寬度與深度分別為 b 與 d_0 ，潛板的高度與長度則

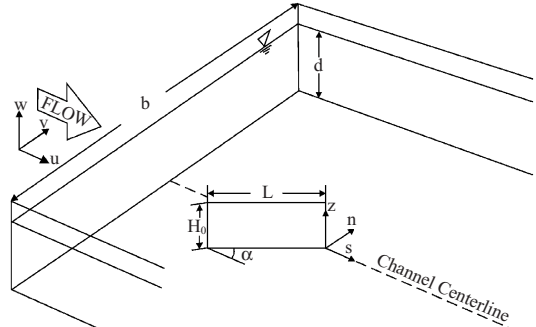


圖 1 潛板設置示意圖

分別為 H_0 與 L (圖 1)，潛板的設置方向與水流呈一 α 的夾角，當水流通過潛板時，在其周圍將形成一環流，稱為範束渦流(Bound Vortex)，此範束渦流的強度在水深方向形成一垂直分佈，最後在板頂降至零。根據 Helmholtz 的渦流定理，一渦流的強度在流場中必須維持定值，因此，當範束渦流的強度由潛板的基部向板頂逐漸減弱時，在潛板尾部的下游區域將形成一漩渦層(Vortex Sheet)，以保持整體渦流的強度不變。潛板即藉由此漩渦層發揮導流的功能，同時也藉由漩渦層在河床上產生側向剪應力，使底床沉滓產生側向運移，達到調整床形的作用。

2.1 流場模式

針對潛板所產生的流場計算，本研究採用機翼理論中的小板法(Lifting Panel Method)以忽略流體黏滯性的方式簡化處理。小板法的原理係將潛板切割成密佈於表面的小板(Panel)，於各小板上則分別以一矩形環狀渦流模擬各小板所產生的流場，如圖 2 所示，渦流環的各邊在流場中任一點所產生的流速，可依據 Biot-Savart Law 計算如下

$$\vec{q} = \frac{\Gamma}{4\pi} \frac{\vec{r}_s \times \vec{r}_e}{|\vec{r}_s \times \vec{r}_e|^2} \vec{r}_0 \cdot \left(\frac{\vec{r}_s}{|\vec{r}_s|} - \frac{\vec{r}_e}{|\vec{r}_e|} \right) \dots\dots\dots(1)$$

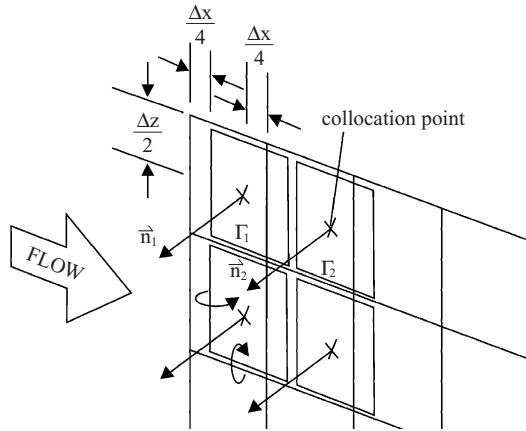


圖 2 小板法示意圖

式中 \bar{q} 為目標點的流速向量； Γ 為渦流環的強度； \bar{r}_s 為矩形渦流環各邊的起點至目標點的向量； \bar{r}_e 為渦流環各邊的終點至目標點的向量； \bar{r}_0 則為渦流環各邊起點至終點的向量。

由(1)式可推得第 j 個渦流環在第 i 個小板中心(Collocation Point)所產生的速度場為

$$\bar{q}_{ij} = \Gamma_j \bar{f}_{ij} \quad \dots\dots\dots (2)$$

其中 Γ_j 為第 j 個渦流環的強度， \bar{f}_{ij} 為影響係數向量，如下式所示

$$\begin{aligned} \bar{f}_{ij} = \frac{1}{4\pi} & \left[\frac{(\bar{r}_1)_{ij} \times (\bar{r}_2)_{ij}}{[(\bar{r}_1)_{ij} \times (\bar{r}_2)_{ij}]^2} (\bar{r}_{12})_j \cdot \left(\frac{(\bar{r}_1)_{ij}}{(r_1)_{ij}} - \frac{(\bar{r}_2)_{ij}}{(r_2)_{ij}} \right) \right. \\ & + \frac{(\bar{r}_2)_{ij} \times (\bar{r}_3)_{ij}}{[(\bar{r}_2)_{ij} \times (\bar{r}_3)_{ij}]^2} (\bar{r}_{23})_j \cdot \left(\frac{(\bar{r}_2)_{ij}}{(r_2)_{ij}} - \frac{(\bar{r}_3)_{ij}}{(r_3)_{ij}} \right) \\ & + \frac{(\bar{r}_3)_{ij} \times (\bar{r}_4)_{ij}}{[(\bar{r}_3)_{ij} \times (\bar{r}_4)_{ij}]^2} (\bar{r}_{34})_j \cdot \left(\frac{(\bar{r}_3)_{ij}}{(r_3)_{ij}} - \frac{(\bar{r}_4)_{ij}}{(r_4)_{ij}} \right) \\ & \left. + \frac{(\bar{r}_4)_{ij} \times (\bar{r}_1)_{ij}}{[(\bar{r}_4)_{ij} \times (\bar{r}_1)_{ij}]^2} (\bar{r}_{41})_j \cdot \left(\frac{(\bar{r}_4)_{ij}}{(r_4)_{ij}} - \frac{(\bar{r}_1)_{ij}}{(r_1)_{ij}} \right) \right] \quad \dots (3) \end{aligned}$$

式中 $(\bar{r}_1)_{ij}$ 、 $(\bar{r}_2)_{ij}$ 、 $(\bar{r}_3)_{ij}$ 、及 $(\bar{r}_4)_{ij}$ 分別為第 j 個渦流環的各邊指向第 i 個小板中心的向量， $(\bar{r}_{12})_j$ 、 $(\bar{r}_{23})_j$ 、 $(\bar{r}_{34})_j$ 、及 $(\bar{r}_{41})_j$ 則分別為此渦流環各邊向量。

由於河川流場包含自由水面與底床等邊界，潛板於流場中所產生的渦流會受到此二邊界

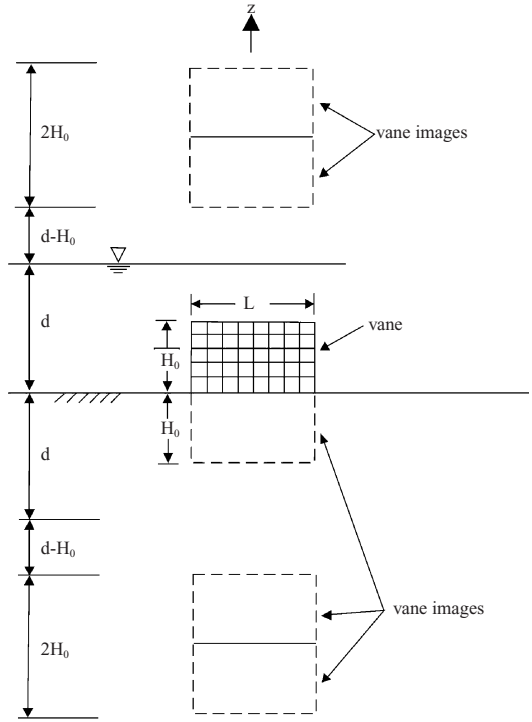


圖 3 潛板映像示意圖

的影響，本研究採用機翼理論中的映像法(Method of Images)加以模擬，延續 Odgaard 與 Spoljaric (1986)的假設，當福祿數甚小時，水面可視為一固定邊界，此邊界對流場的影響可用一虛擬的潛板映像(Image)加以模擬，潛板映像的渦流強度分佈與原潛板相同，但方向相反，如圖 3 所示。同理，底床的影響也可採相同方式處理。在此二邊界的交互影響下，理論上須無限多組映像方能正確模擬水面及底床的影響，於數值計算時則須依據計算精度以有限數量之映像組數加以模擬，本文將於後續探討映像數量的決定方式。

將潛板及各映像上每個渦流環依序對各個小板中心點的影響係數分別求出後，組成一影響係數矩陣如下

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2N} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & a_{N3} & \cdots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

其中 a_{ij} 為第 j 個渦流環在第 i 塊小板上之法線方向速度分量：

$$a_{ij} = \sum \bar{f}_{ij} \cdot \bar{n}_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中 \bar{n}_i 為第 i 片小板之法線向量。

各渦流與水流的合成流場需滿足在潛板面上各小板的法線方向速度分量為零的邊界條件，即

$$\sum_i^{vane+images} (\bar{q}_{ij} + \bar{u}_0) \cdot \bar{n}_j = 0, \quad j = 1, \dots, N \quad \dots\dots\dots (6)$$

其中 \bar{u}_0 為入流流速， \bar{q}_{ij} 代表各小板所產生之流速， N 為潛板上之小板數量。將上式整理之後可得如下之線性方程式系統

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots & a_{2N} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & \dots & a_{3N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & \dots & a_{NN} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \Gamma_3 \\ \dots \\ \dots \\ \Gamma_N \end{bmatrix} = - \begin{pmatrix} \bar{u}_0 \cdot \bar{n}_1 \\ \bar{u}_0 \cdot \bar{n}_2 \\ \bar{u}_0 \cdot \bar{n}_3 \\ \dots \\ \dots \\ \bar{u}_0 \cdot \bar{n}_N \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (7)$$

上式之解即為各小板上渦流環的環流量 Γ_i 之值。

解出各小板上的環流量後，則潛板對流場中任意點所產生的速度向量可應用(1)式配合重疊原理(Superposition)將所有渦流環及水流於該點所產生的流向量疊加而得

$$\bar{V}_{ind} = \sum \bar{f}_{pi} \Gamma_i + \bar{u}_0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

2.2 床形模式

在潛板的作用下，渠道底床形狀也產生對應的變化，本研究採用 Odgaard and Wang (1991)的彎道模式進行床形的計算，該模式如下：

$$\frac{d(d)}{dn} = - \frac{m}{\rho \kappa \bar{u} \beta \sqrt{\theta \Delta g D}} \tau_{bn} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中 d 為水深； n 為徑向座標； ρ 為水體密度； B 與 Coulomb 動摩擦係數及河床上沈滓所受上舉力與拖曳力之比值有關，其值介於 3 至 6 之間 (Odgaard, 1989; Odgaard and Wang, 1991; Ikeda and Nishimura, 1985)； θ 為底床沉滓之 Shields 參數； $\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho$ ； ρ_s 為沈滓密度； D 為沈

滓之中值粒徑； τ_{bn} 為底床徑向剪應力，可由下式決定：

$$\tau_{bn} = - \frac{k(2m+1)(m+1)}{m^2[2m^2+k(m+1)]} \rho d \frac{\bar{u}^2}{r} + \tau_{vn} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中等號右邊的第一項為彎道二次流所產生的底床徑向剪應力，而第二項 τ_{vn} 即為潛板在底床所產生的徑向剪應力，根據 Odgaard and Wang (1991)的假設，底床徑向與縱向剪應力的比值與近床處徑向與縱向流速的比值約略相同，亦即

$$\frac{\tau_{vn}}{\tau_{bs}} = \frac{V_{vb}}{u_b} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中 V_{vb} 為潛板所產生的近床徑向流速，可由流場模式獲得； u_b 為近床縱向流速，與縱向平均流速之關係為 $u_b = \bar{u} / k$ ，其中 k 值約為 1 (Odgaard and Wang, 1991；李與葉，2002)； τ_{bs} 則為底床縱向剪應力，可由下式估算 (Zimmermann and Kennedy, 1978)

$$\tau_{bs} = \frac{\rho \kappa^2 \bar{u}^2}{m^2} \quad \dots\dots\dots (12)$$

連結(8)式的潛板流場模式與(9)式的床形模式，可推估彎道中設置潛板後的徑向床形變化。同時，由(10)式可知，當 r 放大至無限大時，二次流的影響消失，模式退化成直渠道的情況，因此，本模式亦可適用於直渠道中設置潛板後的側向床形模擬。

(9)式之床型模式為一微分方程式，本研究採用梯形法將該式化成如下之差分式後求解

$$d_i = d_{i-1} + \frac{\Delta n}{2} (f_{i-1} + f_i) \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中下標 i 及 $i-1$ 分別為差分格點上之位置， Δn 為格點間距， f_i 為(9)式等號右側之影響量在各格點之值。計算床形時須有一起算水深 d_{i-1} ，試算時首先假設渠道中心點之水深與斷面平均水深相當，以此為起算水深將各格點之水深解出後，檢查流量是否滿足連續條件。若水流連續條件無法滿足，則重設起算水深，如此反覆疊代至符合要求之精度為止。

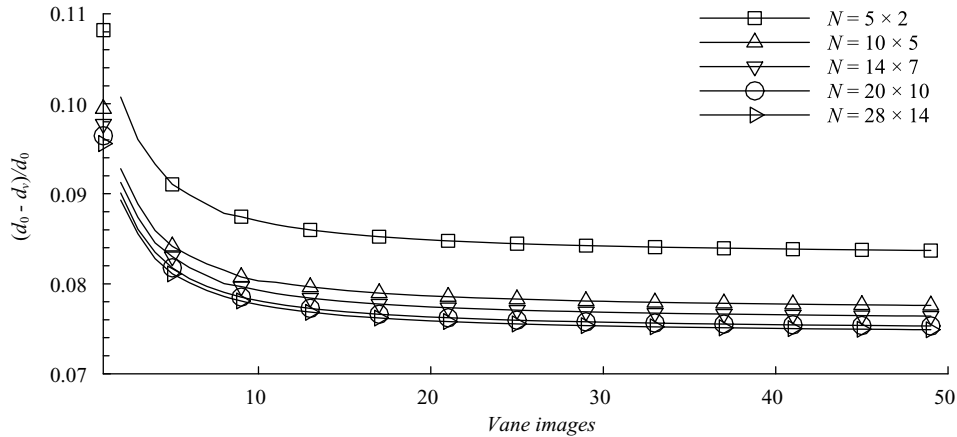


圖 4 潛板映像數量與小板密度對計算結果之影響

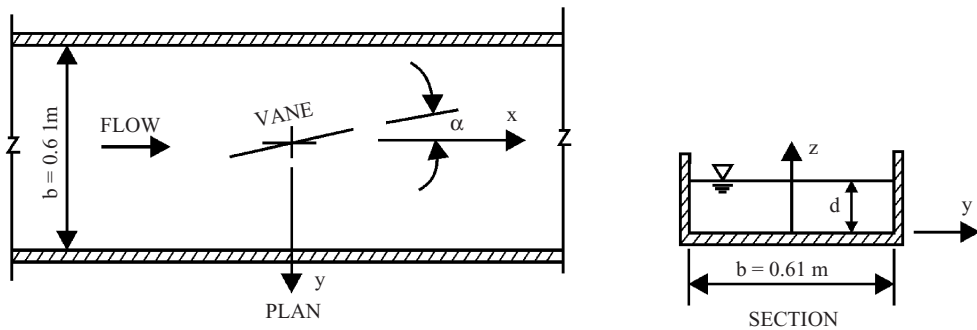


圖 5 Odgaard and Spoljaric (1986)之試驗佈置圖

2.3 潛板映像數量及網格密度

本研究以映像法模擬水面與底床二邊界的影響，理論上潛板映像的數量須為無限大才能正確反映此二邊界的效應，然而，在數值計算時僅能考慮有限數量的潛板映像，確切的映像數量須考慮計算精度並經數值實驗方能加以確定，此外，計算精度亦同時與潛板上切分之小板數量有關，本文將兩參數合併探討，進行小板密度及映像數量的分析。

小板的數量分別取 $N = 5 \times 2$ 、 10×5 、 14×7 、 20×10 、 28×14 格，映像數量則由 1 組變化至 50 組，分別計算各種組合下潛板於岸壁處所產生之無因次底床抬升量 $(d_0 - d_v)/d_0$ ，其中 d_0 為設置潛板前之平床水深， d_v 則為設置潛板後之岸壁水深。結果如圖 4 所示，圖中顯示底床抬升量變化隨著小板密度增加而呈現收斂的情況，同

時，隨著潛板映像數量的增加，底床抬升量的改變亦趨向平緩。比較小板密度 $N = 20 \times 10$ 與 $N = 28 \times 14$ 於 30 組映像時之計算結果，其差異已達千分之一以下，考量計算資源與所需精度，本研究採用 $N = 20 \times 10$ 的網格密度及 30 組潛板映像於後續的計算中。

三、模式之驗證

在前人的研究中，關於潛板的水槽試驗已有頗多的成果(Odgaard and Lee, 1984; Odgaard and Mosconi, 1987; Wang, 1991)，本研究採用 Odgaard 與 Spoljaric (1986)之水槽試驗資料進行模式的驗證，Odgaard 與 Spoljaric 之水槽試驗係在一動床水槽中量測單片與陣列矩形潛板下游之底床形狀，其中單片潛板試驗之佈置與本研究相近，可用於本模式之驗證。該試驗之佈置如圖 5 所示，

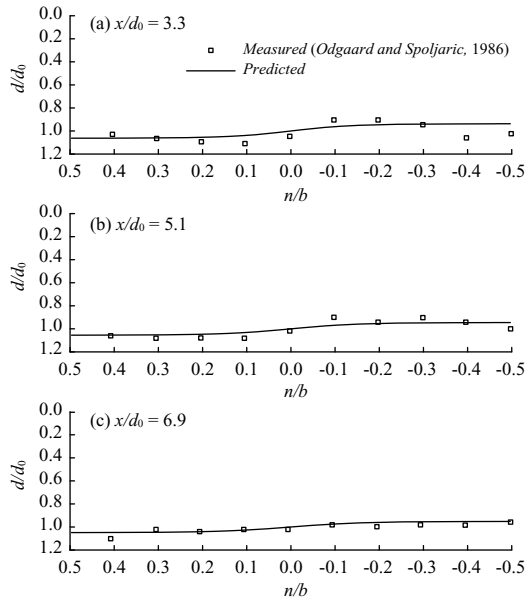


圖 6 計算床形與 Odgaard and Spoljaric (1986) 之試驗資料比較

渠道寬為 2 英尺，長度為 30 英尺，水槽底部鋪設中質粒徑 0.3 mm 之石英砂，試驗之各項條件設定如下：流速 $u = 0.304$ m/s，板高 $H_0 = 0.085$ m，板長 $L = 0.21$ m，水深 $d_0 = 0.17$ m，潛板設置角度 $\alpha = 15^\circ$ ，底床沉澱之 Shields 參數 $\theta = 0.06$ 。模式中之參數 B 依據 Odgaard and Wang (1991) 之建議值為 3~6，本研究採 $B = 4$ 計算。取潛板後方 3.3 倍水深、5.1 倍水深及 6.9 倍水深三處斷面之床形量測資料進行模式的驗證，計算床形與量測資料之比較結果如圖 6 所示，圖中顯示各斷面的模擬床形大致與量測數據相吻合，模擬結果尚稱滿意。

四、潛板形狀與泥砂控制效果分析

由於潛板的功用在於改變下游流場並達到控制泥砂分佈及調整床形的效果，因此本研究以一設置於平直渠道中心的矩型潛板於岸壁處所產生的無因次底床抬升量 $(d_0 - d_v)/d_0$ 做為該潛板的泥砂控制能力之指標，應用前述之潛板流場與床形模式探討各種水理及底床條件下潛板的泥砂控制能力，並藉由分析結果嘗試找出最佳的潛板形狀。

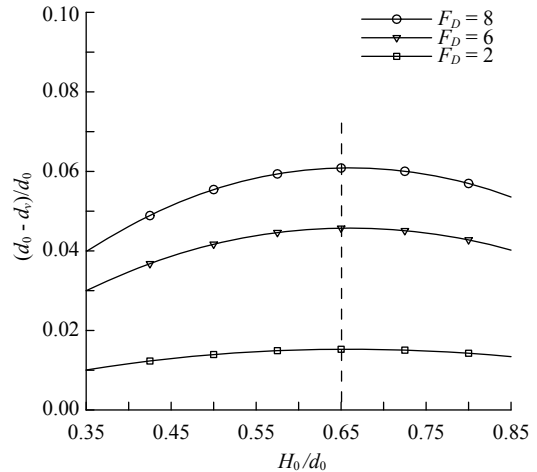


圖 7 不同 F_D 下潛板高度與底床抬升量之關係 ($L/d_0 = 1$, $\alpha = 20^\circ$)

影響潛板泥砂控制能力的參數經因次分析後，較重要者共計有下列 4 個：(1)沈澱福祿數 (Particle Froude Number)，其定義為 $F_D = \bar{u} / \sqrt{gD}$ (Odgaard and Spoljaric, 1986)，此指標係用以度量水流帶動底床沈澱的能力；(2)潛板與水流之夾角 α ；(3)潛板高度與水深之比 H_0/d_0 ；及(4)潛板長度與水深之比 L/d_0 。其中潛板高度與長度為本研究之重點，分別探討如下。

4.1 潛板高度分析

在前人的研究中，潛板的高度與水深之比 H_0/d_0 大多介於 0.2~0.5，Odgaard 與 Wang (1991) 曾比較 H_0/d_0 為 0.3 與 0.5 兩種潛板的導流效果，然並未深入探討最佳的潛板高度。本文針對潛板高度變化對所造成的底床抬升量進行分析，並探討不同的沈澱福祿數與入流角度對潛板的泥砂控制能力之影響。圖 7 為 $F_D = 2$ 、6、8 三種條件下，不同板高與所造成的底床抬升量之間的變化情形，圖中顯示， F_D 越大者底床抬升量也越大，因 F_D 代表水流帶動底床沈澱的能力，在 F_D 較大時，底床沈澱越易被潛板所產生的渦流所帶動，因此潛板所產生的泥砂控制效果隨 F_D 值上升而增加。

圖中同時顯示，對應三種不同的沈澱福祿數，潛板所產生的底床抬升量最大值均出現在

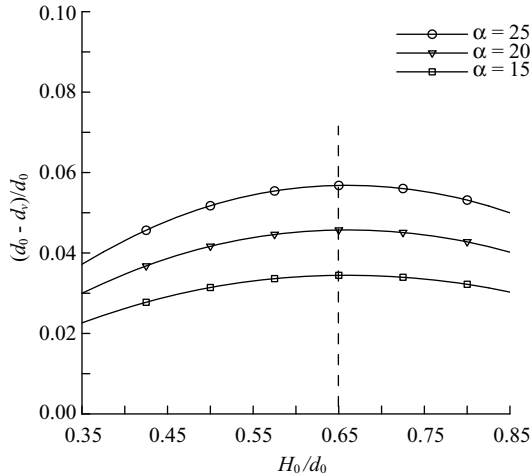


圖 8 不同設置角度下潛板高度與底床抬升量之關係($L/d_0 = 1, F_D = 6$)

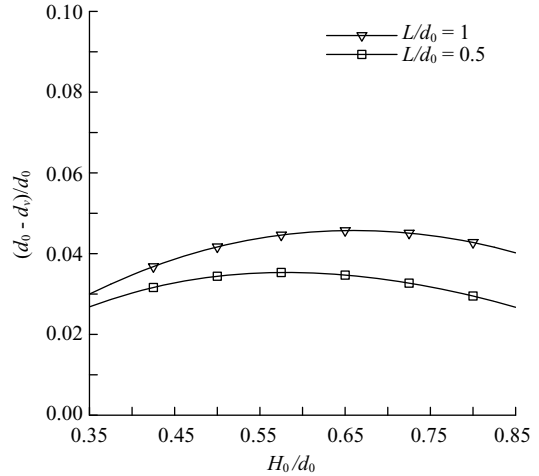


圖 9 不同潛板長度下潛板高度與底床抬升量之關係($\alpha = 20^\circ, F_D = 6$)

$H_0/d_0 = 0.65$ 附近，顯示潛板存在一最佳板高，且此最佳板高不隨沈滓福祿數的變化而改變。由於不同河川中的水理及底床條件變易範圍甚大，各河川的 F_D 值通常不盡相同，此結果對潛板的設計在實務上有相當的助益。

圖 8 為板長 $L/d_0 = 1$ 之潛板在設置角度 α 為 15° 、 20° 、 25° 時，各種不同板高所造成的底床抬升量。圖中顯示，潛板的設置角度越大，則所造成的底床抬升量也越大，由機翼理論可知，在 $0^\circ \sim 25^\circ$ 的範圍內，機翼的攻角越大，所產生的升力也越大，由於尾跡渦流的強度與升力成正比，因此，潛板的設置角度越大則後方所形成的尾跡渦流也越強，對底床可產生較大的側向剪應力以帶動底床泥砂的側向運移，因此在較大的設置角度時，潛板的泥砂控制能力也隨之提高。

圖中同時顯示，在各種不同的設置角度下，板高為 $H_0/d_0 = 0.65$ 的潛板所產生的底床抬升量皆為最大，顯示入流角度的變化對最佳板高的影響亦不明顯，由於天然河川中的水流方向通常並不穩定，因此潛板與水流間的夾角亦較不易維持定值，此結果對潛板的設計亦有實務上的正面效果。

圖 9 為 $L/d_0 = 1$ 與 $L/d_0 = 0.5$ 的兩種潛板在各種不同板高時所造成的底床抬升量，圖中顯示

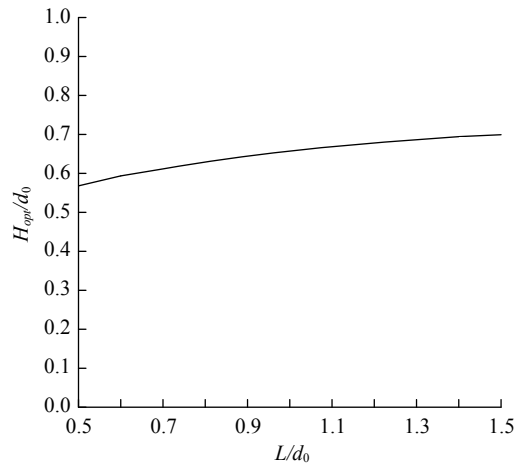


圖 10 不同潛板長度對應之最佳板高

$L/d_0 = 1$ 的潛板所產生的最大底床抬升量出現在 $H_0/d_0 = 0.65$ 時，而 $L/d_0 = 0.5$ 的潛板所產生的最大底床抬升量則出現在 $H_0/d_0 = 0.58$ 附近，此結果顯示不同的板長各有其對應的最佳板高。為提供潛板高度設計時之參考依據，本研究分別計算各種板長時所對應之最佳板高，結果如圖 10 所示，圖中顯示潛板的最佳高度隨潛板的長度增加而逐漸加高，在 $L/d_0 = 0.5 \sim 1.5$ 的範圍內，最佳的潛板高度約從水深的 0.58 倍變化至 0.7 倍。

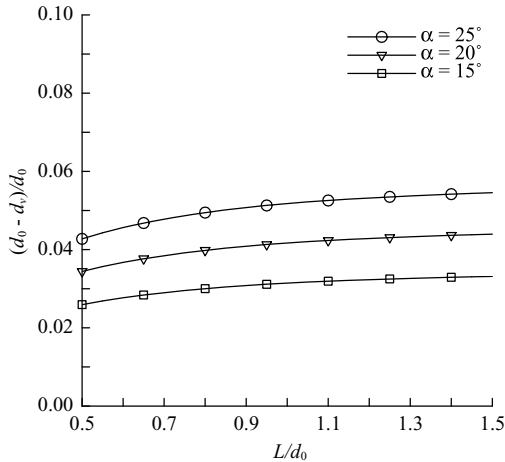


圖 11 不同入流角度下潛板長度與底床抬升量之關係 ($H_0/d_0 = 0.5$, $F_D = 6$)

4.2 潛板長度分析

除潛板高度外，潛板長度亦為影響泥砂控制效果的重要參數，圖 11 為 $\alpha = 15^\circ$ 、 20° 、 25° 三種條件時，各種不同板長的潛板所產生的底床抬升量變化情形，圖中顯示底床抬升量隨著潛板長度增加而逐漸升高，在 $L/d_0 = 0.5 \sim 1.5$ 的範圍內，底床抬升量並無明顯的最佳值出現，顯示在此範圍內，潛板的長度越長，其泥砂控制效果越佳，且不論 α 之值為何，此趨勢皆相同。繼續增加板長或許可更加提高潛板的泥砂控制效果，然而由機翼理論可知，當板長過長時，潛板易產生表面流體分離現象 (Flow Separation)，而導致潛板上的環流量銳減，大幅降低潛板的泥砂控制能力，因此，潛板的長度應避免過長，以免流體分離的現象出現。

由於河川流場通常並不穩定，因此以表面流體分離的臨界長度作為板長設計的依據並不適當。本研究改以潛板的泥砂控制效率 (即潛板每單位面積所產生的底床抬升量) 作為板長的設計依據，圖 12 為各種潛板長度搭配對應之最佳板高下所產生的泥砂控制效率與泥砂控制效果之間的關係，圖中縱軸為潛板的泥砂控制效率，其定義為 $(d_0 - d_v)/d_0 \bar{A}$ ，式中 \bar{A} 為無因次之潛板面積，橫軸則為潛板的泥砂控制效果，其定義為潛板所產生的底床抬升量 $(d_0 - d_v)/d_0$ ，圖中各括

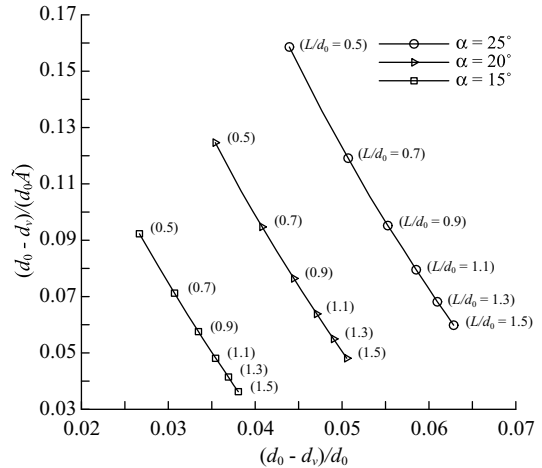


圖 12 各種潛板長度之泥砂控制效果與效率 ($F_D = 2$)

弧內的數字分別代表各種板長與水深之比，計算結果顯示潛板長度越長其泥砂控制效果雖然越好，但是泥砂控制效率則越差，因此一味增加板長並不符合工程經濟效益，在設計潛板長度時，須考慮潛板的效果與效率二者之權重，依據工程經費及潛板所需提供之導流效果綜合考量後加以決定。

五、結論

本文探討在各種沈滓福祿數及入流角度下，潛板的形狀變化對渠道徑向床形所產生之影響，研究結果顯示潛板的泥砂控制效果隨沈滓福祿數與入流角度的增加而上升，潛板的高度有最佳值存在，此值不隨沈滓福祿數及潛板設置角度的改變而有所不同，但與潛板的長度相關，在 $L/d_0 = 0.5$ 至 1.5 的範圍內，潛板的最佳高度約介於 0.58 至 0.7 倍水深之間。在不產生表面流體分離的情況下，潛板的長度越長則泥砂控制效果越好，然而泥砂控制效率則越差。在實務設計上，可依據工程經費及所需的潛板導流效果之間的權重關係，決定潛板的適當長度。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會提供之經費支持 (計畫編號 NSC 96-2221-E-197-008)，謹此誌謝。

參考文獻

1. Barkdoll, B.D., Ettema, R., and Odgaard, A.J. (1999). "Sediment Control at Lateral Diversions: Limits and Enhancements to Vane Use." *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(8), 862-870.
2. Ikeda, S., and Nishimura, T. (1985). "Bed topography in bends of sand-silt rivers." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 111(9), 1397-1411.
3. Johnson, P.A., Hey, R.D., Tessier, M., and Rosgen, D.L. (2001). "Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 127(9), 772-778.
4. Michell, F., Ettema, R., and Muste, M. (2006). "Case study: Sediment control at water intake for large thermal-power station on a small river." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 132(5), 440-449.
5. Nakato, T., and Ogden, F.L. (1998). "Sediment control at water intakes along sand-bed rivers." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 124(6), 589-596.
6. Odgaard, A.J. (1989). "River-meander model. 1: Development." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 115(11), 1433-1450.
7. Odgaard, A.J., and Kennedy, J.F. (1983). "River-bend bank protection by submerged vanes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 109(8), 1161-1173.
8. Odgaard, A.J., and Lee, H.Y.E. (1984). "Submerged vanes for flow control and bank protection in streams." IIHR Report No. 279, Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa, Iowa City.
9. Odgaard, A.J., and Mosconi, C.E. (1987). "Streambank protection by submerged vanes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 113(4), 520-536.
10. Odgaard, A.J., and Spoljaric, A. (1986). "Sediment control by submerged vanes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 113(4), 520-536.
11. Odgaard, A.J., and Wang, Y. (1991). "Sediment management with submerged vanes. I: theory." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117(3), 267-283.
12. Odgaard, A.J. (1986). "River Meander Model 1: Development." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 112(12), 1117-1136.
13. Wang, Y., and Odgaard, A.J. (1993). "Flow control with vorticity." *Journal of Hydraulic Research*, 31(4), 549-562.
14. Wang, Y., Odgaard, A.J., Melville, B.W., and Jain, S. C. (1996). "Sediment control at water intakes." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 122(6), 353-356.
15. Wang, Y. (1991). "Sediment control with submerged vanes." Ph.D. thesis, Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa, City, Iowa.
16. Zimmermann, C. and Kennedy, J.F. (1978). "Transverse bed slopes in curved alluvial streams." *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, 104(HY1), 33-48.
17. 李鴻源，葉克家，(2002)，「基隆河水尾灣彎道潛板之可行性研究」，經濟部水利署第十河川局。

收稿日期：民國 97 年 9 月 8 日

修正日期：民國 97 年 11 月 26 日

接受日期：民國 97 年 11 月 28 日