

## 單體透水性筐網與不透水圓柱於定床之流場差異探討

黃進坤<sup>[1]</sup> 許少華<sup>[2]</sup> 劉建榮<sup>[2]\*</sup> 周峻暉<sup>[1]</sup>

**摘要** 防治河岸沖刷的工法需隨河岸曲直、水流強度、保護標的…等來設計或放置不同的剛性 (不透水) 與柔性 (透水性) 保護工法, 以達到減輕河岸遭洪水衝擊以及緩流促淤造灘的目的。本文主要針對具透水性與導流性之筐網圓柱以室內水工試驗進行初步的研究與分析, 探討於定床條件下水流流經具透水性筐網圓柱與不透水圓柱後下游流場的差異。結果發現, 圓柱透水性愈差, 圓柱下游卡曼渦流的影響愈明顯, 橫向流速會因尾跡渦流強度增大而有週期性的振盪。此外, 透水性筐網圓柱有穿越流抑制尾流效應, 可降低柱體下游的流速與渦流效應使下游流場穩定性較高。圓柱直徑不同所造成的下游流場變化幅度遠小於透水性不同所造成的影響, 故於設計透水性筐網圓柱時應以透水性高但結構強度足夠抵抗水流沖擊為主要考量。

**關鍵詞**：透水性、緩流促淤、筐網圓柱。

## Flow-field Comparison around a Single Cylinder with Porous or Non-porous Material

Chin-Kun Hu<sup>[1]</sup> Shaohua Marko Hsu<sup>[2]</sup> Chien-Jung Liu<sup>[2]\*</sup> Chou Chun-Wei<sup>[1]</sup>

**ABSTRACT** The design of river-bank protection depends on the local situation of the protected site, including the curvature of the river, flow strength, and the protected objects. The protection may combine rigid (non-porous) and flexible (porous) elements for reducing the impact of flood flow and creating regions that slow the flow of deposition around the bank. In this study, flume experiments were conducted for investigating the flow fields around a porous cylinder. The emphasis was on the comparison between a porous cylinder and a non-porous one. The degree of porosity was also a focus. Karman vortex shedding becomes stronger with periodic oscillation for a non-porous cylinder. With [breed/debris??] flow through the porous cylinder, the flow behind the cylinder becomes stabilized and the vortex shedding disappears. The effect of cylinder diameter is smaller than the degree of porosity. In conclusion, designing a highly porous protection work with sufficient strength in the frame of structure to resist being deformed by strong flow is an important issue for river engineering.

**Key Words:** porous, slowing flow for deposition, porous cylinder.

[1] 成功大學水利及海洋工程學系

Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, R.O.C.

[2] 逢甲大學水利工程與資源保育學系

Department of Water Resources Engineering and Conservation, Feng Chia University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

\* Corresponding Author. E-mail : liucj@fcu.edu.tw

## 一、前言

台灣目前用來防治河岸沖刷的工法有丁壩、蛇籠、箱籠、鼎塊、拋石及混凝土護岸...等工法。其設置位置會隨河岸曲直、水流強度、保護標的...等來設計或放置不同的剛性(不透水)與柔性(透水性)保護工法,以達到減輕河岸遭洪水衝擊、岸邊河床遭水流沖刷以及緩流促淤造灘的目的。剛性不透水保護工法(如:混凝土丁壩、混凝土護岸、混凝土護腳...等)具有較強的保護力,於大水時較不易被沖毀,對人民的生命安全與財產提供了相對安全的保障。但因其是以抵抗水流與抗沖固堤的觀念進行設計與設置,故對河相與生態環境的影響通常也較為明顯。於部分防洪安全要求相對較低的河段,則可嘗試使用非永久性(柔性)的保護工法(如:蛇籠、箱籠、鼎塊、拋石、透水性丁壩...等),透過單一結構體本身之設計,水流流經眾多結構體堆疊所產生之孔縫,來降低洪水所狹帶的動量(擾流消能),或調整水流流向(將流向挑離河岸)藉以減輕洪水對河岸的衝擊力與對岸邊河床的淘刷。相較於剛性保護工法,柔性保護工法的設置經費相對較低、施工時間相對較短,且施工較為簡易,但因其為柔性保護工法,故於較大洪水時有可能被沖毀的問題存在,需經常性編列經費進行維護方能維持其功效。近年來,於防洪標準可兼顧的原則下,透水性堤岸保護工法已逐漸成為發展的重點,國際所提倡的生態工法與日本所提倡的近自然工法即屬此類。但大部分的生態工法因取材於自然的材料強度限制,故僅適用於流量與流速較小的河川,無法應用於台灣流量較大的主流河川。有鑑於此,本文將針對具透水性與導流性之筐網圓柱以室內水工試驗進行初步的研究與分析,探討於定床條件下水流流經具透水性筐網圓柱與不透水圓柱後下游流場的差異。本文之成果可作為後續相關研究之基礎以及未來將之應用至現地進行規劃設計時的參考依據。

## 二、不同形式透水性結構物之相關研究

過去國內外皆有採用透水性的堤防保護工法進行緩流促淤,如日本的「牛類」與「框類」、沉梢壩、樁樑...等。由文獻可知,大部分的透水性結構物主要是利用水流流經結構物時的透水特性進行消能緩流,使懸浮泥砂能於下游落淤,較適用於坡度與流勢較緩

且懸浮質較多的砂質河川。對於坡度較陡、流勢較強的礫石型河川而言,基於透水性結構物的結構強度與工法上的限制,則需採用較為堅固且抗撞擊的不透水結構物。

透水性結構物主要功能為保護岸邊堤防,大多以設置在岸邊或灘地為主,也有深入河中進行緩流、挑流、掛淤造灘的形式(如各種透水性丁壩)。丁壩種類的選定,需視設施目的與建造河段之河性,並參考既設構造物之成效而定。同時對於當地是否可以取得材料、構造強度是否足以抵抗水流衝擊、施工費用及施工難易度等問題皆須進行考慮。各種丁壩皆有其優點及功效,需應循其特長與適應河段性質進行選定使用。表 1 為各種透水性丁壩的適用概況表。

不同形式的透水性保護工法皆有其功能與適用情況,本研究所提出之透水性筐網圓柱其特性在於單一結構體本身具備了極佳之透水能力,主要的精神並非要取代其他形式之保護工法,其於使用上也跟其他結構一樣有其使用上的限制與功效。就設置方式而言,透水性筐網圓柱的設置位置較不透水性剛性工法有更好的機動性,且因其設置方式並非連續性的結構體,對河流原有通洪能力的影響也較表 2 所列之透水性丁壩小。若以筐網圓柱群進行設置時,因其具有部分的阻水性,若設置得宜應可具有導流的效果,其導流效果雖不如傳統的結構連續型透水性丁壩(表 1 所列之丁壩形式)強,但仍具一定程度的功效。有鑑於透水性筐網圓柱具有一般透水性丁壩導流、緩流、促淤的優點,且於設置上更具機動性,故本研究以透水性筐網圓柱作為主要研究對象。

## 三、室內水工試驗

由於現地流況複雜,故於開始針對透水性筐網圓柱進行流場分析須將其條件簡化,並以較容易控制條件之室內水工試驗進行研究,方能將各不同因素之影響程度加以釐清。本研究主要針對水流流經具透水性之筐網圓柱與不透水圓柱後下游流場的改變情況差異,以定床條件進行室內水工試驗加以分析。定床試驗之渠道如圖 1 所示。

### 1. 筐網圓柱之設計

筐網圓柱為具透水性之柱狀結構物,在實際工程中常以數個環形網組合而成一圓柱體結構。物理模型試驗為避免此種複合結構可能造成之誤差及物理參數

的複雜化, 故於筐網圓柱設計上, 將其簡化為由不銹鋼網所圍製而成的單一透水性環形網柱 (如圖 2 所示)。不銹鋼網網目為菱形狀, 其菱形網目長軸長 10mm, 短軸長 5mm, 鋼網之鋼條寬度 1mm, 厚度 0.6mm (如圖 3 所示)。

筐網圓柱的表面空隙比 ( $\varepsilon$ ) 為筐網圓柱表面孔洞的面積總和佔筐網圓柱表面積總和之比例, 其定義如 (1) 式所示:

$$\varepsilon = \frac{\sum A_{Void}}{A_{Total}} \quad (1)$$

其中:  $A_{Void}$  為筐網圓柱表面單一孔洞面積,  $A_{Total}$  為筐網圓柱總表面積。

本研究主要針對兩種表面空隙比 0.62 與 0.38 (即筐網圓柱透水性高低) 對流場之影響差異進行探討。此外, 為了解透水性筐網圓柱與不透水圓柱在流場上之差異, 利用壓力力圓筒作為表面空隙比為 0 之圓柱體進行不透水圓柱流場的量測與分析。

### 2. 筐網圓柱直徑之選定

筐網圓柱直徑之選定以圓柱下游尾流受邊界干擾程度最小為原則選定, 以卡曼渦流不受渠道邊壁影響為主要參考依據。根據田中 (1985) 於風洞試驗研究指出, 流體雷諾數為  $1.3 \times 10^4$  的流況下, 卡曼渦流約以  $5^\circ$  的張角向下游往外擴張傳遞 (如圖 4 所示), 其關係式如 (2) 式所示。本實驗之量測範圍為圖 1 中圓柱下游 6m 內的試驗段, 預計最小量測距離  $X_{min}$  至少要量測至結構物下游 30 倍直徑處。由於渠寬  $B=1\text{m}$ , 由 (2) 與 (3) 式可估算出本研究試驗流槽可使用之最大圓柱直徑為約  $D=0.16\text{m}$ 。為分析筐網圓柱直徑對其下游流場的影響, 另以直徑 0.1m 的筐網圓柱進行試驗並加以比較。

$$\frac{0.5 - 0.5D}{X_{min}} = \tan 5^\circ \quad (2)$$

$$X_{min} \geq 30D \quad (3)$$

### 3. 試驗設備

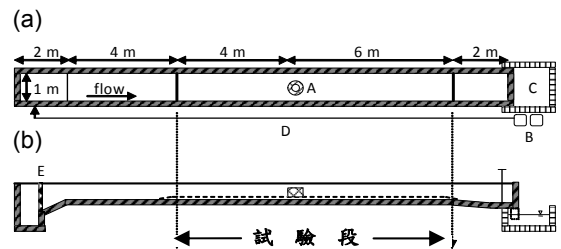
(1) 聲波都普勒流速儀:

試驗之流流量測是以挪威 NORTEK 公司所生產三維下視型聲波都普勒流速儀 (acoustic

表 1 各種透水性丁壩的適用概況表 (台灣省水利局, 1982)

Table 1 Suitable conditions of different porous groyne

丁壩種類	河道坡降	河床質	備註
排椿丁壩	1/500 ~ 1/3,000	砂、粘土、沉泥砂礫	視河床情形, 可設單床沉床及蛇籠護底
樁槎丁壩	1/200 ~ 1/1,500	砂、砂礫	可適用於無法打樁處
拋石丁壩	1/1,000 以下	砂、泥土	不易排水之深水河段
蛇籠丁壩	1/250 ~ 1/1,500	砂、砂礫、小卵石	適合地區廣, 曲撓性好
混凝土丁壩	1/200 ~ 1/1,000	砂、砂礫、卵石	視坡降, 可以調整混凝土塊大小



- A. 筐網
- B. 馬達 (10 HP+5 HP)
- C. 蓄水槽
- D. 管線
- E. 整流網 (honeycomb)

圖 1 室內水工試驗定床渠道 (國立成功大學水利及海洋工程系水工試驗場) (a) 俯視圖 (b) 側視圖

Fig. 1 Schematic diagram of fixed-bed flume of lab experiment

Doppler velocimeter, ADV) 來進行流速量測 (如圖 5 所示)。流速儀之取樣頻率為 25Hz (每秒擷取 25 個流速資料)，量測流速範圍介於 $\pm 0.03 \text{ m/sec} \sim \pm 2.5 \text{ m/sec}$ ，量測解析度為  $0.0001 \text{ m/sec}$ ，誤差為 $\pm 0.5\%$ 。

#### (2) 移動式台車

於渠道上方流速儀架設之移動式台車。配合量測點的改變，台車可藉由渠道上方之軌道前後移動，亦可於台車上作前後、上下及左右移動，方便使用者調整流速儀之施測位置 (如圖 6 所示)。

### 4. 試驗條件與組別與座標軸設定

本研究之試驗主要是在相同的入流量水理條件下，於定床渠道內進行不同空隙比與直徑的透水性管網圓柱與不透水圓柱周圍與下游流場之量測 (試驗條件如表 2 所示)。主要目的在於分析流體通過管網圓柱後的流場變化特性，探討其物理參數 (管網圓柱直徑、表面空隙比) 對流場之影響，各物理參數變化如表 3 所示。表 3 中，特徵雷諾數 ( $Re$ ) 是以結構物直徑為特徵長度所計算出之流體雷諾數值。試驗之座標設定採三維卡式座標定義， $x$ 、 $y$ 、 $z$  三向座標之定義如圖 7 所示。

### 5. 試驗步驟與分析項目

本研究之試驗流程如圖 8 所示。主要分析探討之項目有水深平均速度之縱向與橫向分佈、流速時序性擾動情形、流速垂向 (水深方向) 分佈、紊流強度縱向與橫向分佈...等。

## 四、結果分析與討論

### 1. 中心主流向水深平均速度 ( $U$ ) 之橫向變化

圖 9 與圖 10 為各管網圓柱主流向水深平均速度 (將不同水深量測之速度加以平均) 在橫斷面的分佈情形。由圖可知當水流通過圓柱時，柱體側邊因束縮效應而有流速增加之情況，當通過結構物後，除了因束縮造成兩側流速較大之外，亦由於結構物下游皆有速度欠損 (the velocity less than the average) 現象，柱後兩側為了平衡斷面之流量將有流速超射 (the velocity exceeding the average) 情形發生，此一超射現象將隨柱後流速漸次回復而減弱。

表 2 各項試驗水理條件

Table 2 Hydraulic conditions of experiments

流量 $Q$	平均水深 $H_w$	斷面平均流速 $U_0$
0.04(cms)	0.14(m)	0.272(m/s)
福祿數 $Fr$	渠床坡度 $S_0$	寬度水深比 $B/H_w$
0.26	0.0001	7.14

表 3 各試驗組別之物理參數

Table 3 Parameters and conditions of each experiment

組別	直徑 $D$ (m)	圓柱高度 $h$ (m)	表面空隙比 $\varepsilon$	特徵雷諾數 $Re$
Case 1	0.16	0.16	0.62	$4.34 \times 10^4$
Case 2	0.16	0.16	0.38	$4.34 \times 10^4$
Case 3	0.16	0.16	0	$4.34 \times 10^4$
Case 4	0.1	0.16	0.62	$2.71 \times 10^4$
Case 5	0.1	0.16	0.38	$2.71 \times 10^4$
Case 6	0.1	0.16	0	$2.71 \times 10^4$



圖 2 試驗用管網圓柱

Fig.2 Experimental porous cylinder

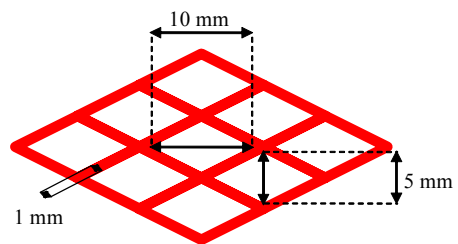


圖 3 菱形不銹鋼網示意圖

Fig.3 Schematic diagram of inox net

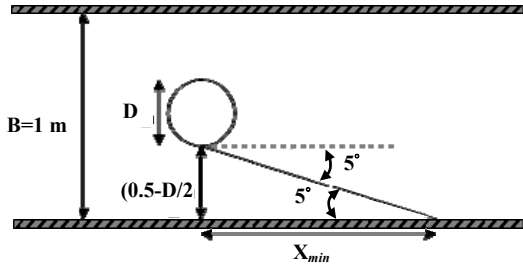


圖 4 卡曼渦流與邊界關係示意圖

Fig.4 Schematic diagram of Karman vortex and boundary condition



圖 5 ADV 流速儀 (三維式)

Fig.5 ADV current meter (3D type)

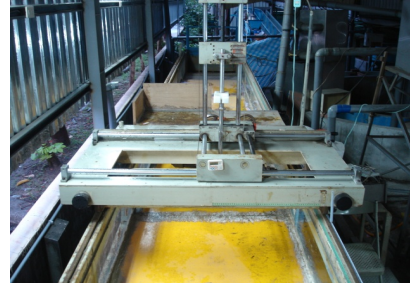


圖 6 移動式台車

Fig.6 Moving frame above the flume

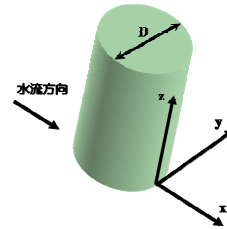


圖 7 座標軸示意圖

Fig.7 Schematic diagram of coordinates

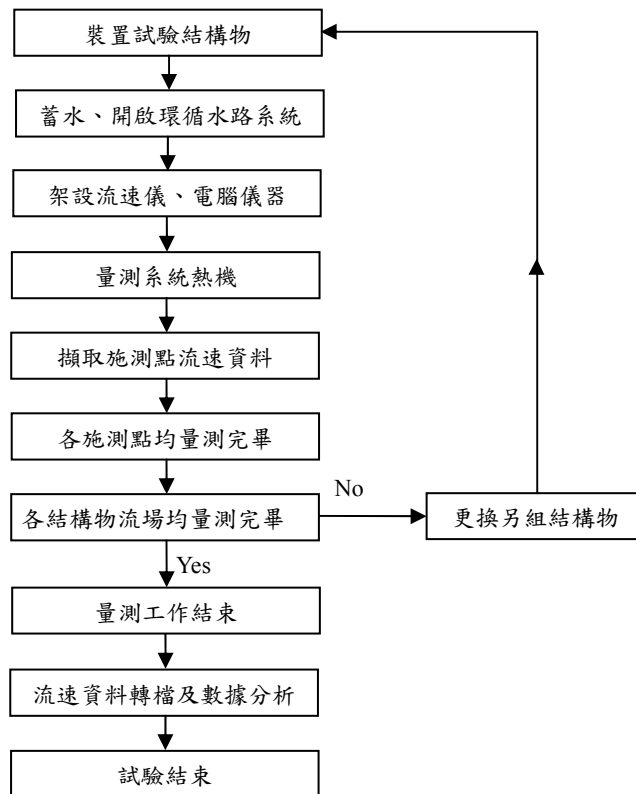


圖 8 試驗步驟流程圖

Fig.8 flowchart of experimental steps

由圖 9 可知，高透水性的管網圓柱 Case 1 因穿越流強而能有效減輕兩側之束縮效應，故其超射現象相對較不明顯，且流況較為穩定。低透水之管網圓柱 Case 2 由於束縮效應增大且柱後速度欠損較大，因此 Case 2 中柱體兩側超射程度明顯高於 Case 1。而因

其尾跡渦流效應增強，造成流場相對紊亂有利於動量之交換，橫向上的速度差異將會因劇烈的動量交換而迅速拉近，因此柱後中心流速會快速回升。至於不透水圓柱 Case 3 之束縮段流速則因束縮效應增大而明顯高於相同直徑之透水性管網圓柱。

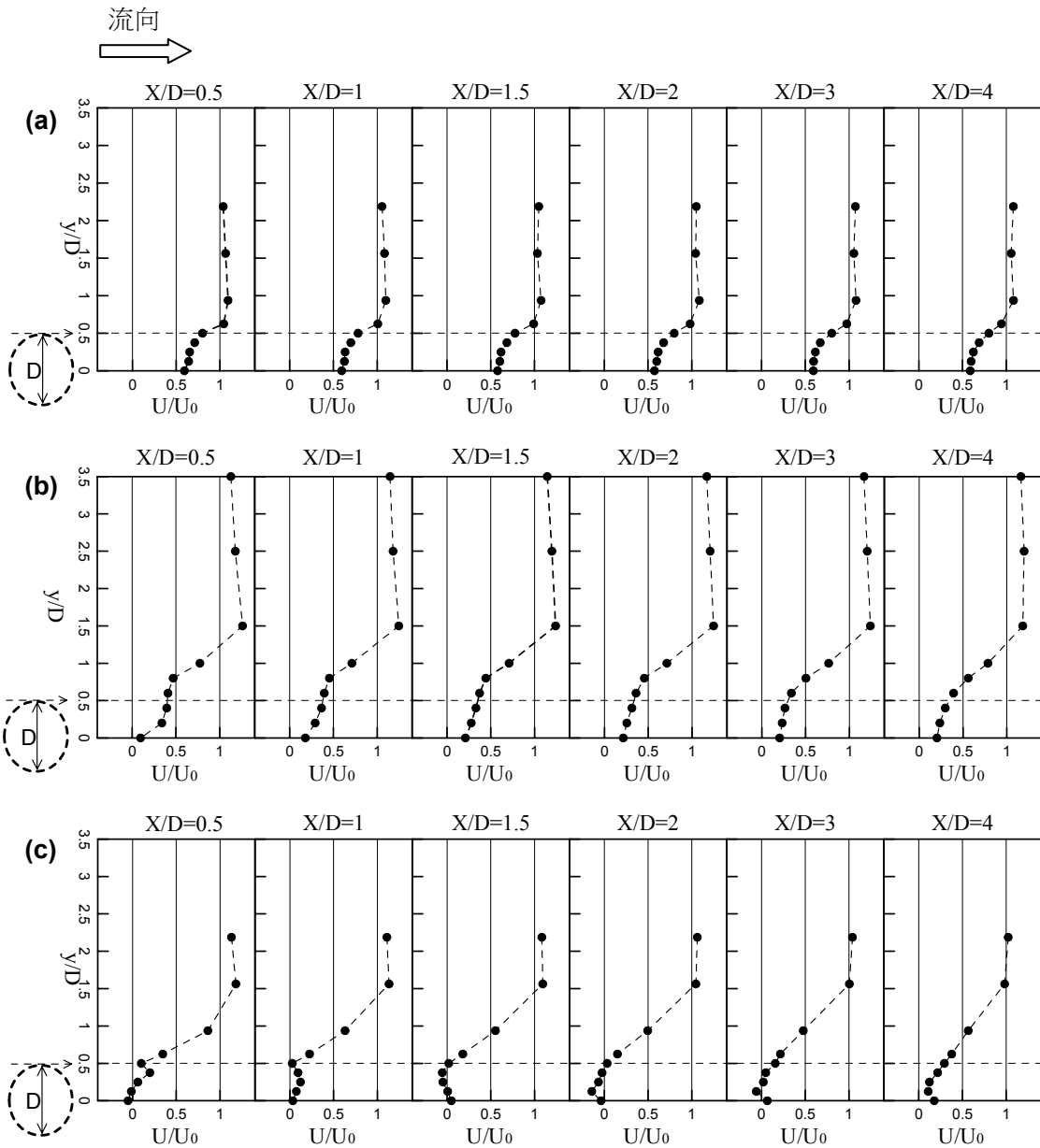


圖 9 直徑  $D=16$  cm 不同孔隙率之水深平均速度 ( $U$ ) 之橫向分佈 (a)  $\varepsilon=0.62$ , (b)  $\varepsilon=0.38$ , (c)  $\varepsilon=0$

Fig.9 Horizontal distribution of velocity  $U$  with  $D=16$  cm and different permeability (a)  $\varepsilon=0.62$ , (b)  $\varepsilon=0.38$ , (c)  $\varepsilon=0$

## 2. 中心各高程位置主流速 ( $U_z$ ) 之垂向分佈

在未受結構物干擾之明渠流中, 流速在垂向上的分佈通常可用對數型式描述之, 其流速分佈型態如圖 11 所示。由於試驗中渠道的寬深比 ( $B/HW$ ) 大於 7, 故可假設渠道中心之流速分佈會近似於對數分佈。本

節將以垂線上最大流速值 ( $U_{max}$ ) 為無因次量化基準 (如圖 12 所示) 探討流速在垂向上之變化。圖 12 為未放結構物時渠道中心時間平均流速之垂向分佈圖, 由圖可看出其分佈形態與完全發展之紊流分佈相似, 即內區 (0.2 倍水深內) 受水流黏滯度及底床剪應

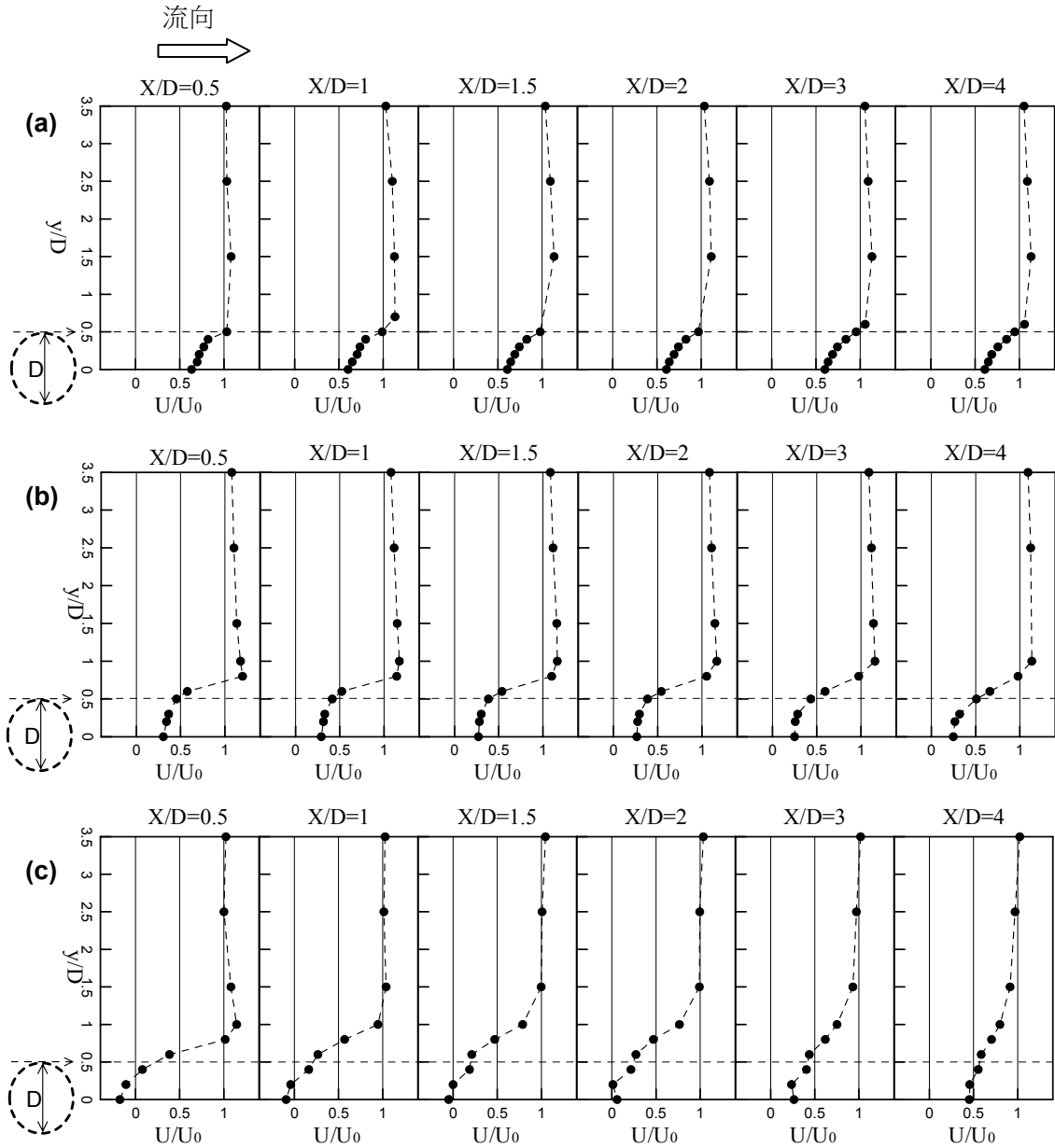


圖 10 直徑  $D=10$  cm 不同孔隙率之水深平均速度 ( $U$ ) 之橫向分佈 (a)  $\epsilon=0.62$ , (b)  $\epsilon=0.38$ , (c)  $\epsilon=0$

**Fig.10 Horizontal distribution of velocity  $U$  with  $D=10$  cm and different permeability (a)  $\epsilon=0.62$ , (b)  $\epsilon=0.38$ , (c)  $\epsilon=0$**

力之影響較大，流速分佈與距底床之高程有關，而外區 (0.2 倍水深外) 的流場特性則主要由紊流剪應力控制，在動量傳遞較佳的外區流速分佈較為均勻。

圖 13 為各結構物下游主流速無因次後 ( $U_z/U_{max}$ ) 在垂向上的變化情形。可發現流速垂向分佈將隨結構物透水程度降低而有較大的影響。由圖 13 可知，在管網圓柱透水性高的狀況下，穿越流強度大，流速在垂向上之分佈所受影響較其他結構物小。由圖 13 可看出低透水的 Case2, 5 速度分佈線向內壓縮之程度比高透水的 Case 1,4 要明顯，且其影響範圍有向上下擴張的趨勢存在，此趨勢應與垂向渦流逐漸發展有關。

由圖 13 中不透水圓柱 (Case 3, 6) 之流場分佈情形可看出，在圓柱下游一倍直徑範圍左右的流況相當紊亂，其流速在垂向上之分佈呈現不規則的變動。而在  $X/D=1$  之後，流速分佈產生上下兩部份差異甚大的流場結構。上半部逆向流速乃為強烈卡曼渦流提供的負向動量所造成，當逆向水流撞擊到圓柱時會產生向下射流，最後再隨著水流方向往下游流動而形成如圖 13 之渦流結構。Case 3 ( $D=16$  cm) 垂向渦流之影響範圍約在 12 倍圓柱直徑內，在  $X/D=12$  之後流速分佈便逐漸恢復至近似初始分佈之型態。而 Case 6 ( $D=10$  cm) 垂向渦流影響範圍則約在 9 倍圓柱直徑內，故可知不透水圓柱直徑愈大，所造成的垂向渦流影響範圍愈遠。

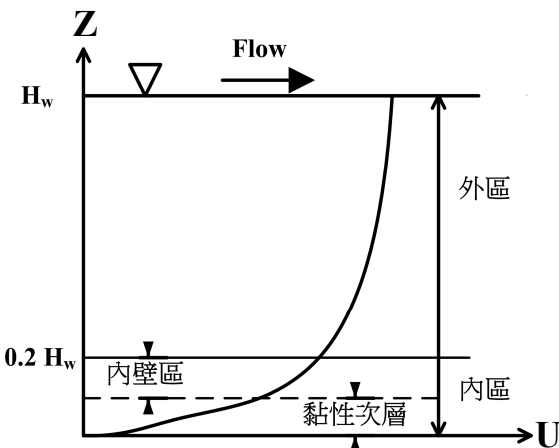


圖 11 紊流流速剖面示意圖

Fig.11 Schematic diagram of normal vertical velocity-profile of turbulence flow

由圖 13 可知，不透水圓柱下游流場結構皆分為上下兩個方向相反的速度場，上半部流場為大尺度卡曼渦流所產生的迴流區域，下半部則為與來流同向的速度場。而在此種兩相異流向的流場結構中，必會存在一個垂直方向的渦流結構。圖中小直徑不透水圓柱 (Case6) 之垂向渦流會在柱後 1 倍直徑處迅速地發展，在距離 2 倍圓柱直徑的位置時 ( $X/D=2$ )，其正負向流速皆近於垂線最大流速值，可知此時垂向渦流結構應已發展完全。但直徑較大的不透水圓柱 (Case3) 的垂向渦流需至下游四倍直徑距離處 ( $X/D=4$ ) 才發展完全。此外，小直徑不透水圓柱之垂向渦流影響範圍僅大約為 6 倍直徑距離，超過此範圍流速分佈便恢復至未受干擾時的型態。而大直徑不透水圓柱的影響範圍則為 12 倍直徑範圍。

由上可知，直徑大小相同表面空隙比愈小 (透水性愈差) 者，由於其柱體特徵愈接近不透水圓柱，因此流速分佈受垂向渦流等三維性尾流結構的影響愈大。但若表面空隙比相同 (透水性相同) 而直徑大小不同時，其流速分佈變化也會略有不同，但其變化幅度遠小於空隙比不同所造成的影響。因直徑大小所造成的垂向流速分佈變異的原因可能有二：一為直徑大小對柱體之垂向渦流結構有所影響；再者當直徑過小時，中心位置受兩側渦流 (平面渦流) 之干擾相對較大，故暫無法對其變化之成因下一定論。

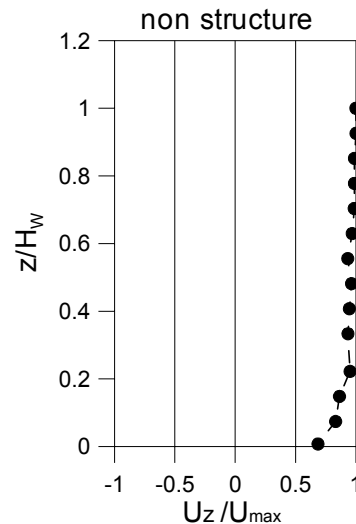


圖 12 未置結構物主流速 ( $U_z$ ) 於垂向之分佈

Fig.12 Vertical distribution of velocity  $U_z$  with no structure condition



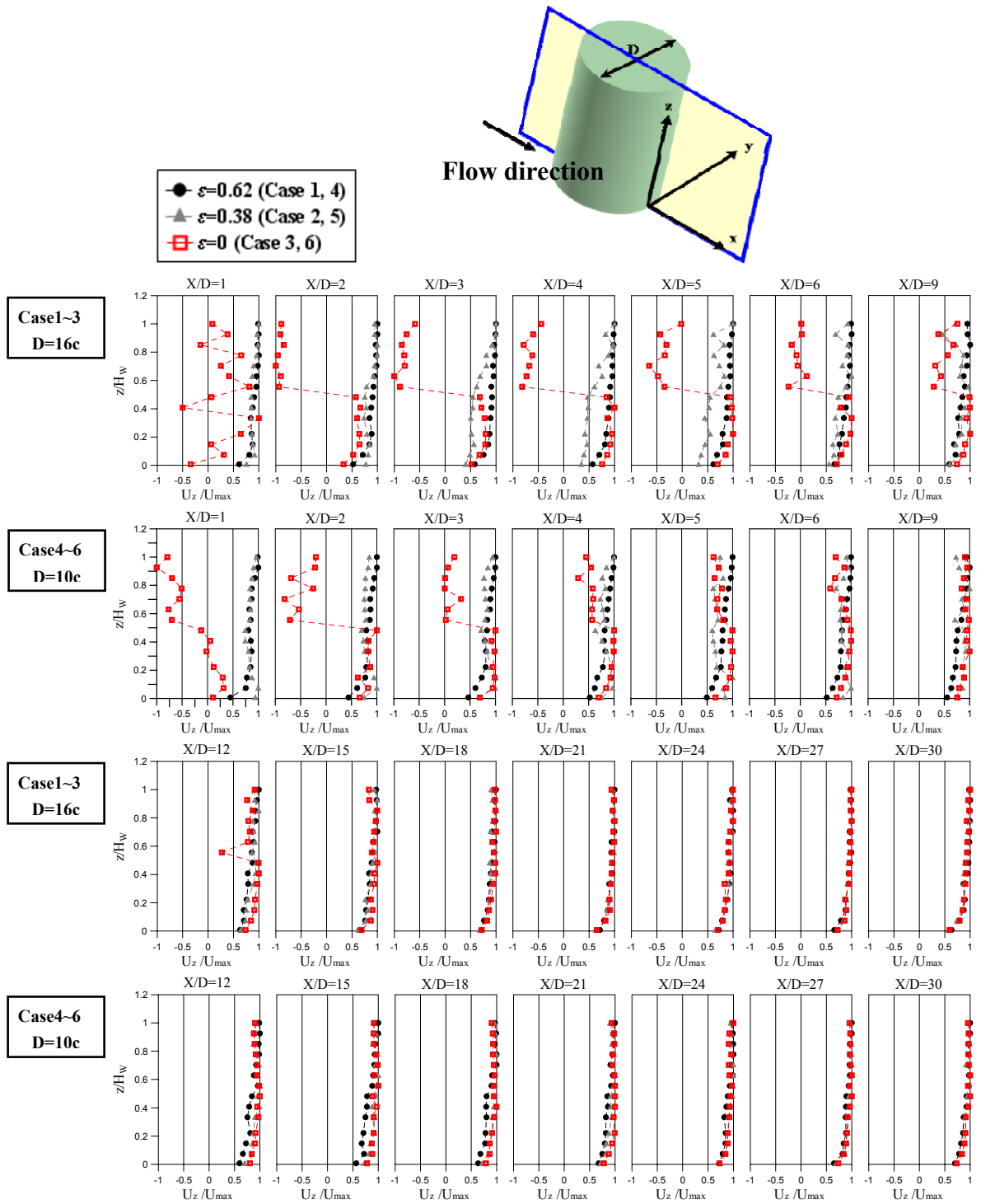


圖 13 各結構物下游中心軸主流流速無因次量 ( $U_z / U_{max}$ ) 之垂向分佈

Fig.13 Vertical distribution of dimensionless velocity ( $U_z / U_{max}$ ) along the centerline on the downstream of cylinders with different permeability

### 3. 流場穩定性分析

圖 14 及圖 15 分別為直徑  $D=16\text{ cm}$  及  $D=10\text{ cm}$  各結構物流場的紊流強度分佈圖，若顏色愈深則代表其流速的擾動程度愈高，流場穩定性愈差。由圖得知，當結構物透水性愈低時紊流強度愈大，即流場紊動程

度愈高。原因為水流通過圓柱而在柱後產生渦流剝離現象時，柱後流場受到週期性振盪之卡曼渦流以及柱後三維性渦流發展的影響下，流況相當紊亂，自由水面之波動程度相當大，故可發現出其紊流強度明顯高於其他流場。

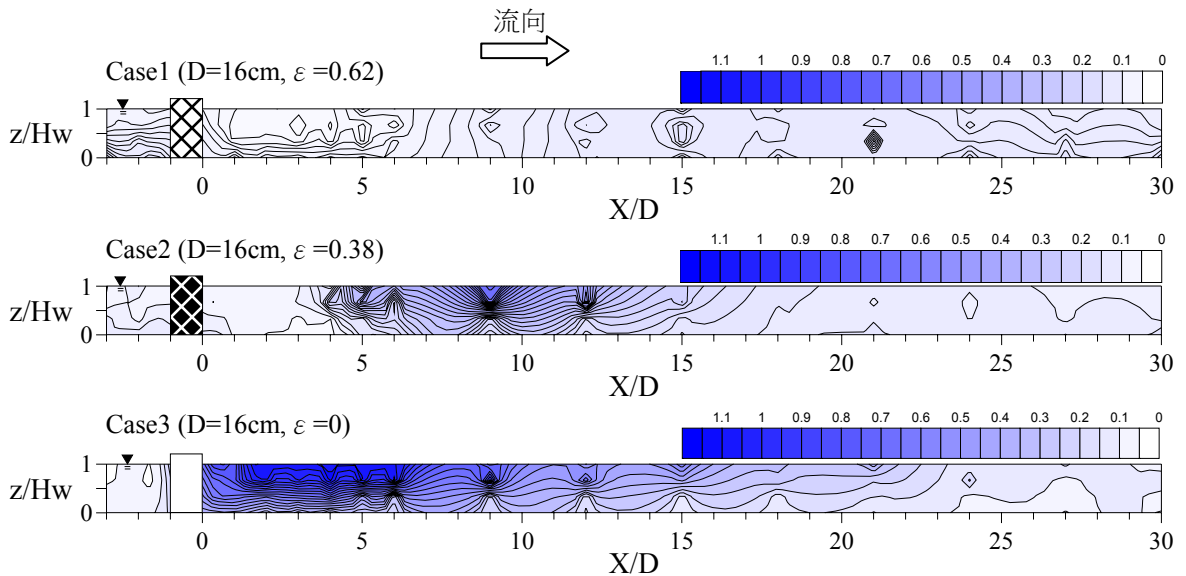


圖 14  $D=16\text{ cm}$  各結構物 (Case 1~3) 之無因次紊流強度 ( $\hat{u}/U_0$ ) 中心縱剖面分佈圖

**Fig.14 Vertical distribution of dimensionless turbulence intensity ( $\hat{u}/U_0$ ) along the centerline of cylinders with  $D=16\text{ cm}$  and different permeability (Case 1~3)**

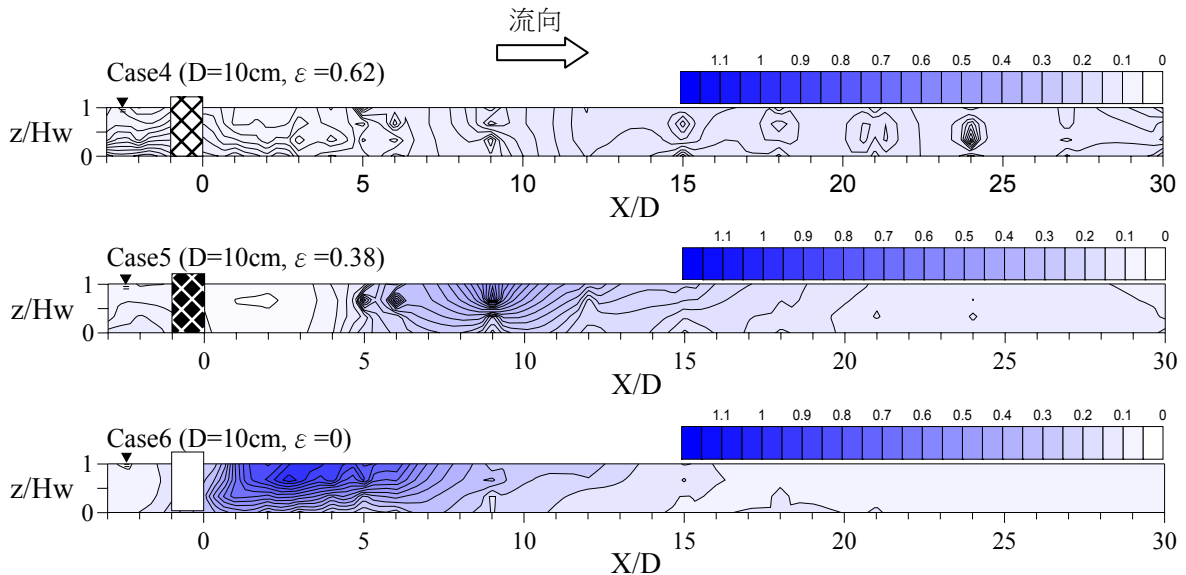


圖 15  $D=10\text{ cm}$  各結構物 (Case 4~6) 之無因次紊流強度 ( $\hat{u}/U_0$ ) 中心縱剖面分佈圖

**Fig.15 Vertical distribution of dimensionless turbulence intensity ( $\hat{u}/U_0$ ) along the centerline of cylinders with  $D=10\text{ cm}$  and different permeability (Case 4~6)**

至於結構物為具透水性之管網圓柱 (Case 1, 2, 4, 5), 由於部份流量會以穿越流的方式經過管網圓柱抵達柱體下游, 減少結構物下游速度欠損區與超射區的速度差異, 降低下游流場的擾動, 故紊流強度較低。另外, 當穿越流通過管網圓柱進入下游尾流區域時, 將會提供尾流一正向動量, 此種動量的注入能有效地控制尾流流場, 使兩側渦流間的距離增加 (但並非增加其渦流強度), 減少兩側渦流形成互相推擠所造成的流場不穩定現象, 故管網圓柱下游之流場紊流強度明顯低於不透水圓柱的紊流強度。

然而, 管網圓柱穿越流效應對尾流之抑制是有其範圍限制的。隨著距離增加穿越流效應減弱, 加上柱後欠損區與柱側超射區之間的流速差異大, 柱後兩側流體產生渦捲現象之趨勢增大, 最後兩側渦流逐漸接近並互相推擠影響。而超射區與欠損區之流速便藉由

動量交換程度的升高相互平衡, 使柱後中心流速逐漸回升。由圖 14 及圖 15 紊流強度可知, 二者之強度峰值皆在圓柱下游距離  $X/D=9$  處, 此位置位於穩定低速區 (穿越流影響區) 下游中心流速迅速回升之範圍, 此處流場較為紊亂。另外, 由圖 13 (Case 2, Case 5) 的流速垂向分佈可發現, 在穩定低速區後有一流速擾動較大之範圍存在, 可推斷當穿越流減弱無法維持流場穩定時, 渦流效應將相對強勢地影響尾流流況造成流場紊動增加。

圖 16 與 17 分別為直徑  $D=16\text{ cm}$  及  $D=10\text{ cm}$  各結構物流場紊流強度之平面分佈圖, 量測斷面為水深  $0.0056\text{ m}$  之水平面。可發現不透水圓柱 (Case 3 與 Case 6) 由於無穿越流效應, 故紊流強度值較高。由其分佈圖可看出, 強度峰值發生於距不透水圓柱 1 倍直徑左右 ( $X/D \approx 1$ ) 處, 且位於柱側下游 ( $y/D \approx 0.5$ ) 而非集中在柱後中心線上 ( $y/D=0$ ), 因此推測流場中最強烈的紊動現象是發生於柱側渦流受另一反向渦流截斷而往下游釋放時, 柱後中心線之紊流強度雖未達到高峯值, 但因渦流交互推擠的過程造成流場的不穩定, 故當渦流尚維持一定強度範圍內, 其紊流強度值亦不低。

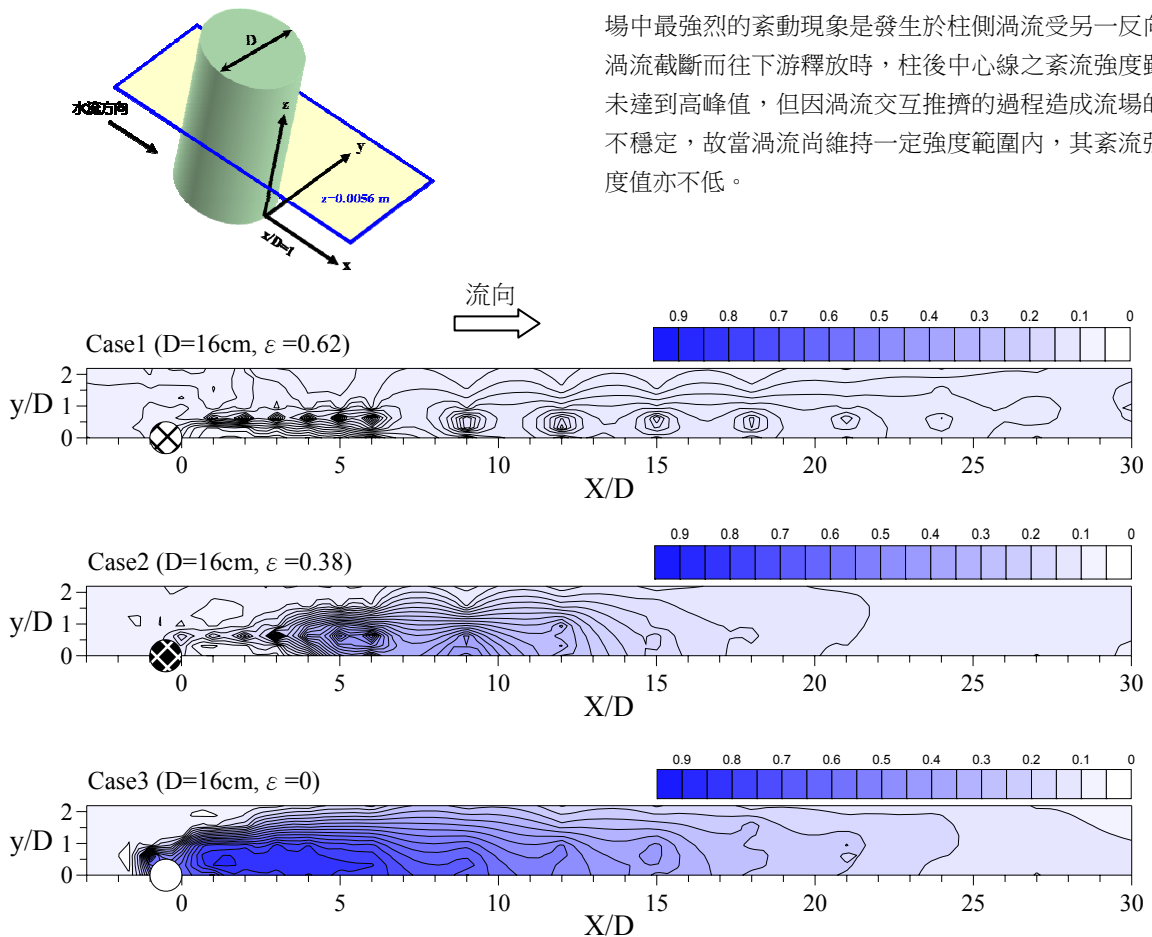


圖 16  $D=16\text{ cm}$  各結構物 (Case 1~3) 之無因次紊流強度 ( $\hat{u}/U_0$ ) 平面分佈

Fig.16 Horizontal distribution of dimensionless turbulence intensity ( $\hat{u}/U_0$ ) along the centerline of cylinders with  $D=16\text{ cm}$  and different permeability (Case 1~3)

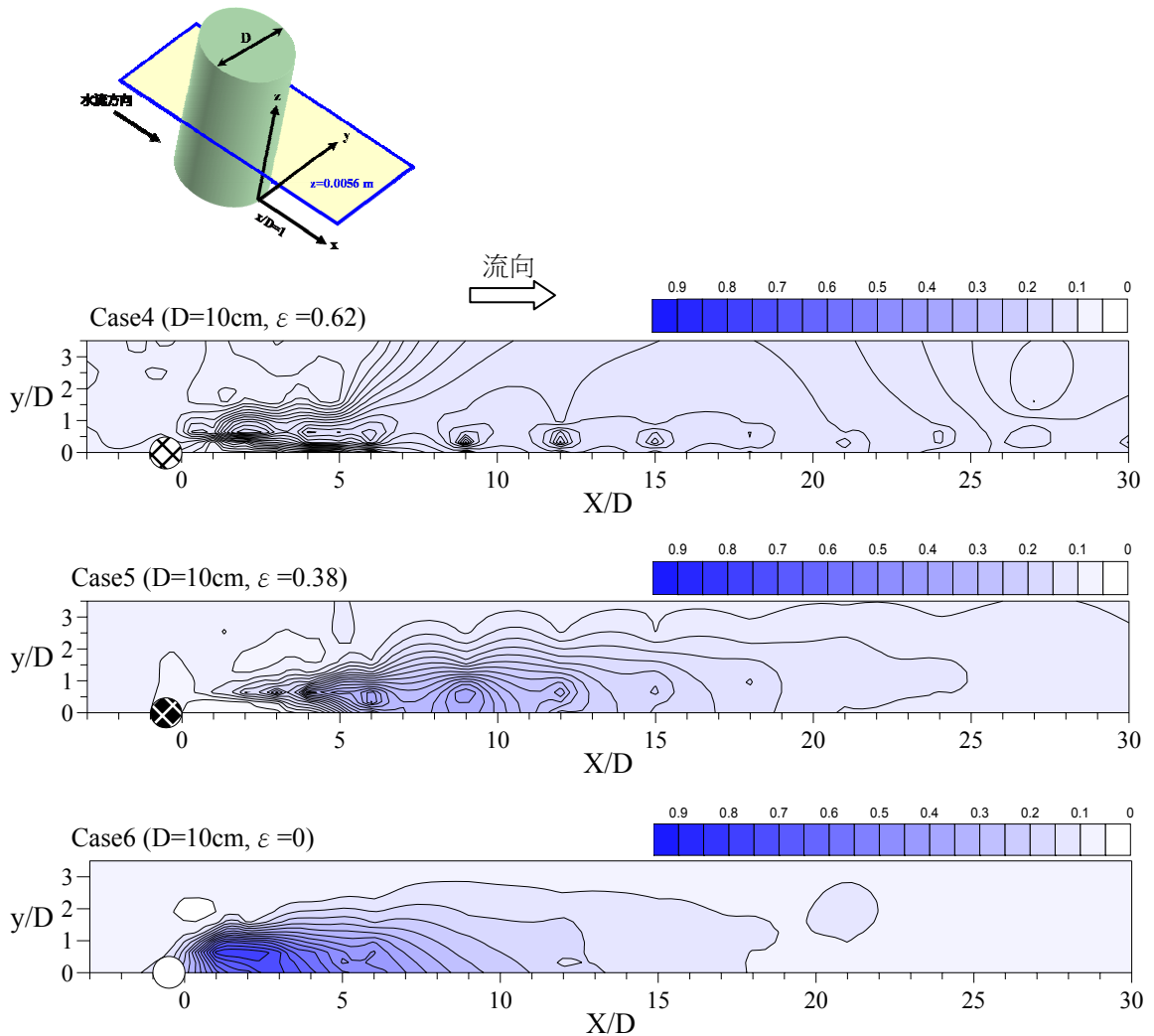


圖 17 D=10 cm 各結構物 (Case 1~3) 之無因次紊流強度 ( $\hat{u}/U_0$ ) 平面分佈

**Fig.17 Horizontal distribution of dimensionless turbulence intensity ( $\hat{u}/U_0$ ) along the centerline of cylinders with D=10cm and different permeability (Case 4~6)**

## 五、結 論

圓柱表面空隙為 0 時會使卡曼渦流影響較為明顯，橫向流速 ( $v$ ) 會因流速梯度的改變而產生尾跡渦流，主流向之流速 ( $u$ ) 雖也會受到影響，但其影響程度較橫方向小。此種縱、橫向之差異與 Kiya and Matsumura (1988) 在風洞中分析平板尾流特性時，所提出由相關結構 (coherent structure) 所產生之擾動主要會反應在橫向方向上的結論相符。

透水性管網圓柱在具有穿越流抑制尾流效應的狀態下，除了可降低柱體下游的流速外，更因渦流效應的減弱而使流場穩定性較高，故其流場擁有較佳的安

全條件及較穩定的流場。

直徑大小相同表面空隙比愈小 (透水性愈小) 者，由於其柱體特徵愈接近不透水圓柱，因此流速分佈受垂向渦流等三維性尾流結構的影響愈大。

若表面空隙比相同 (透水性相同) 而直徑大小不同時，其流速分佈變化也會略有不同，但其變化幅度遠小於空隙比不同所造成的影響。因直徑大小所造成的垂向流速分佈變異的原因可能有二：一為直徑大小對柱體之垂向渦流結構有所影響；再者當直徑過小時，中心位置受兩側渦流 (平面渦流) 之干擾相對較大，故暫無法對其變化之成因下一定論。

## 誌 謝

本研究承蒙經濟部水利署水利規劃試驗所經費補助，以及逢甲大學水利工程與資源保育學系與成功大學水利及海洋工程學系多位碩士班同學協助試驗進行，在此一併致謝。

## 參考文獻

1. 石武融 (2007), 「透水性筐網圓柱之流場試驗研究」, 成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文. (Shr, W. R. (2007) *Experimental Study of Fluid Motion through and around A Porous Cylinder*, Master thesis, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University. (in Chinese))
2. 台灣省水利局 (1982), 「防洪工程規劃」, 台灣省水利局, 台灣. (Hydraulic bureau, Taiwan (1981) *Planning Handout of Flood Control Works*, Hydraulic bureau, Taiwan. (in Chinese))
3. 台灣省水利局 (1988), 「烏溪本流及支流眉溪治理規劃報告」, 台灣省水利局, 台灣. (Hydraulic bureau, Taiwan (1981) *Planning and Management Report of Wu-River Main Stream and Tributary Mei-River*, Hydraulic bureau, Taiwan. (in Chinese))
4. 田中周治、村田暹 (1985), 「計算機援用可視化法による圓柱の後流構造研究」, 日本機械學會論文集 (B 編)·50 (A58):2563-2570. (Tanaka, S. and Mulata (1985) "Visualization on the flow field behind a cylinder by utilizing computer," *Proceeding of the Japanese Society of Mechanical Engineering*, Volume B, 50(A58):2563-2570. (in Japanese))
5. 交通部台灣區國道新建工程局 (2003), 「跨河橋樑水文水理考量準則及注意事項」, 交通部台灣區國道新建工程局, 台灣. (Ministry of Transportation and Communications, Taiwan Area National Expressway Engineering Bureau (2003), *Guide line and notes on the hydrological and hydraulic consideration on bridges across river*, Ministry of Transportation and Communications, Taiwan. (in Chinese))
6. 汪靜明 (2002), 「河溪生態與工程變遷」, 自然生態工法研究會論文集, 台北, 229-249. (Wang, J. M. (2002) "River Ecology and Engineering transition," *Conference on Natural Ecological Engineering*, Taipei, pp.229-249. (in Chinese))
7. 李玉建 (2002), 「遊蕩型河道透水整治建築物研究綜述」, 人民黃河, 24(11). (Li, Y. C. (2002) "Summary on porous structures of river engineering in a braided river," *Yellow River of People*, 24(11). (in Chinese))
8. 李若華等人 (2002), 「四面六邊透水框架群減速效果的優化研究」, 水利水電快報, 24(11). (Wang, J. M. et. al (2002) "Optimization on the velocity-reducing effects of a group of porous pyramid structures," *Hydraulic and Hydropower Newsflash*, 24(11). (in Chinese))
9. 許家量 (2009), 「連續底定式透水結構物之流場分析」, 成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文. (Hsu, C. L. (2009) *The characteristics of flows passing porous ribs mounted on a channel bed*, Master thesis, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University. (in Chinese))
10. 黃偉哲 (2002), 「水流通過透水性橋墩保護工之流況分析」, 成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文. (Huang, W. J. (2002) *Flow Analyze of Water Flow Passing Through Bridge Pier Porous Protection Structure*, Master thesis, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University. (in Chinese))
11. 黃偉哲 (2009), 「渠流通過透水性結構物之流場及紊流特性研究」, 成功大學水利及海洋工程研究所博士論文. (Huang, W. J. (2009) *Mean and Turbulence Characteristics of Open Channel Flow over Permeable Structure*, Ph.D. Dissertation, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University. (in Chinese))
12. 楊明盛 (2005), 「明渠中方形透水結構物附近之流速量測與紊流特性分析」, 成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文. (Yang, M. S. (2005) *Velocity Measurement and Turbulence Characteristics Analyzes at the Region Near Rectangular Porous Structure*, Master thesis, Department of Hydraulic and Ocean Engi-

- neering, National Cheng Kung University. (in Chinese)
13. 楊志偉 (2006), 「透水結構物附近及其內部流場特性分析」, 成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文. (Yang, Z. W. (2006) *Experiment study of flow field near and within porous structure*, Master thesis, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University. (in Chinese))
  14. 張書唐 (2007), 「通過透水結構物急變明渠流場之試驗研究」, 成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文. (Chang, S. T. (2007) *Experimental study on varied open channel flow through permeable structure*, Master thesis, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University. (in Chinese))
  15. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2009), 「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究 (2/4)」, 經濟部水利署, 台灣. (Water Resources Planning Institute, Water Resources Agency, MOEA (2009) *Study on river bed stability for the reach downstream of Shigang Dam in Dajia River (2/4)*, Water Resources Agency, MOEA, Taiwan. (in Chinese))
  16. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2008), 「八掌溪治理規劃檢討報告」, 經濟部水利署, 台灣. (Water Resources Planning Institute, Water Resources Agency, MOEA (2008) *Reviewing Report on the Planning of River Regulation of Ba-Jan Creek*, Water Resources Agency, MOEA, Taiwan. (in Chinese))
  17. 謝瑞麟 (2000), 「治河與防洪」, 第二版, 科技圖書, 台灣. (Xie, R. L. (2008) *River Regulation and Flooding prevention*, Second Edition, Scientific & Technical Publishing Co., Taiwan. (in Chinese))
  18. Akilli, H. and Rockwell, D. (2002) "Vortex formation from a cylinder in shallow water," *Physics of Fluids*, 14(9): 2957-2967.
  19. Baker, C. J. (1979) "The Laminar Horseshoe Vortex," *Journal of FluidMech.*, 95(2):347-367.
  20. Bhattacharyya, S., Dhinakaran, S. and Khalili, A. (2006) "Fluid motion around and through a porous cylinder," *Chemical Engineering Science*, 61:4451-4461.
  21. Boussinesq, J. (1877) "Essai sur la theorie des eaux courantes," *Mem. pres. par div. savants a l' Acad. Sci.*, 23:1-680.
  22. Hoerner, S.F. (1965) *Fluid Dynamic Lift: Practical Information on Aerodynamic and Hydrodynamic Life*, Hoerner Fluid Dynamics, New Jersey.
  23. Hirt, C. W. and Nichols, B. D. (1981) "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of Free boundaries," *Journal of Computational Physics*, 39:201-225.
  24. Launder, B. E. and Spalding, D. B. (1974) "The numerical computation of turbulent flows," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3: 269-289.
  25. Lienhard, J. h. (1966) *Synopsis of Lift, Drag and Vortex Frequency Data for Rigid Circular Cylinders*, Research Division Bulletin, Washington State University, pp.300.
  26. Melville, B. W. and Coleman, S. E. (2000) "Bridge Scour," *Water Resources Publications, LLC.*, pp.193-196.
  27. Munson, B. R., Young, D. F. and Okiishi, T. H. (1994) *Fundamentals of Fluid Mechanics*, Second ed., John Wiley & Sons, N.Y.
  28. Wilson, J. D. (1985) "Numerical studies of flow through a windbreak," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 21(2):119-154.
  29. Kiya, M. and Matsunura, M. (1988) "Incoherent turbulence structure in the near wake of a normal plate," *Journal of Fluid Mech.*, 190:343-356.
- 
- 2011年02月16日 收稿  
2011年03月09日 修正  
2011年05月04日 接受
- (本文開放討論至 2011 年 12 月 31 日)