

# Experimental study of hydrodynamic performance of air-water flow through gully with circumferentially arranged guiding ribs

S.W. Chang<sup>1\*</sup>, D.-C. Lo<sup>2</sup>, S-F. Liou<sup>3</sup>, J.S. Liou<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Marine Engineering, National Kaohsiung Marine University, Taiwan

<sup>2,4</sup> Department of Maritime Information and Technology, National Kaohsiung Marine University,  
Taiwan

<sup>3</sup> Taiwan Water Supply and Drainage Society Vice- Chairman, Taiwan.

\* Corresponding author email: [swchang@mail.nkmu.edu.tw](mailto:swchang@mail.nkmu.edu.tw); Tel: +886-7-8100888ext.5216

## Abstract

This experimental study explores the hydrodynamic performances of a gully fitted with circumferentially arranged 45 *deg.* guiding ribs in the drum as an attempt to stabilize the air-water flow for improving the stability and the maximum flow rate by streamlining the air-bubbles through the gully. The mechanism of air entrainments into water pool by entry vortex, the temporal variations of static airflow pressures above the mixed vortex, the trajectories of drifting air bubbles and the self-depuration performances for the gullies with and without guiding ribs are comparatively examined. The favorable contributions attributed from the circumferentially arranged 45 *deg.* guiding ribs for improving the hydrodynamic performances are demonstrated.

Keywords: Gully, Air-water Two-phase Flow, Drainage, Building.

# 多通道存水彎裝設周向 45 度導引肋之空氣 - 水動力現象實驗研究

張始偉<sup>1\*</sup>， 羅德章<sup>2</sup>， 劉新豐<sup>3</sup>， 劉進順<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 輪機工程系暨研究所，高雄海洋科技大學，臺灣

<sup>2,4</sup> 海事資訊科技系暨研究所，高雄海洋科技大學，臺灣

<sup>3</sup> 臺灣給水排水研究學會副理事長

\* 通訊作者：[swchang@mail.nkmu.edu.tw](mailto:swchang@mail.nkmu.edu.tw)；電話: +886-7-8100888ext.5216

## 摘要

本實驗研究探索多通道存水彎裝設周向 45 度表面斜肋對於其流體動力特性產生之影響。藉由 45 度斜肋導引之近壁流將漂浮氣泡軌跡流線化，改善存水彎內氣 - 水流場之穩定性及最大流量。研究比較未裝設及裝設 45 度斜肋存水彎之：進口渦流卷吸空氣進入液池之機制、氣泡于存水彎之漂浮軌跡以及自淨能力。研究結果印證裝設周向分佈 45 度斜肋可改善多通道存水彎之流體動力性能。

關鍵字：多通道存水彎，氣 - 水二相流，建築排水

## 符號說明

### 英文符號

$d$  入水端管徑 (m)

$L$  照度 (流明)

$Q$  體積流率 ( $L \text{ min}^{-1}$ )

$Re_L$  于入水端流入之空氣與水混合液之液態雷諾數 =  $\rho_L V_L d / \mu_L$

$Z$  沿存水彎中心線向下之座標(m)

### 希臘符號

$\alpha$  入水端空洞比

$\rho_L$  入水端空氣與水混合液之液體密度 ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$\mu_L$  入水端空氣與水混合液之液體黏度 ( $\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ )

### 下標

A 入水端 A

B 入水端 B

## 1. 緒論

應用於建築排水系統中之多通道存水彎可確保水封。由於其安裝便利、簡化排水系統及同時具低維護需求，因此受到建築業界廣大好評迴響。然而於北歐及新加坡等地區國家已廣泛使用多通道存水彎時，近年臺灣的使用量大約以一年一萬組之速度成長，由此可見多通道存水彎於建築排水系統之潛在優勢。儘管于存水彎內之流體動力特性極其複雜且隨容器幾何形狀改變而變化，但是基於存水彎之使用，可將不同排水設備所排出之混水匯流，大幅簡化排水系統之管路及降低其所需之樓板厚度，因此驅使研究學者探討其內部複雜之二相流現象。在建築排水系統內，由支管隨機或間歇性排出之混水進入其立管時，其將吸入氣流並形成空氣與水之混合流動，形成多元之二相流特性。這種間歇式的混水介面流場結構會受到下述之條件影響：管路系統或排水器具的幾何形狀、管路內之導引鱗片及流量及排水系統之位置。根據參考文獻[1]之測試結果顯示，在支管及立管中出現之典型介面流場結構屬間歇性平穩/波狀及渦漩式流場居多。根據參考文獻[2]，空氣的流動受到于空氣和水介面所產生的剪力相互影響。

排水管道中影響流動空氣動量變化之可能原因：改變流體方向、流分歧或因水幕阻擋空氣流動所產生的影響。這些流動空氣于動量變化時將會產生區域性的暫態正壓或負壓，這些正、負壓會以音速透過立管及支管傳遞於整個排水系統內。這些於排水系統內因空氣流傳遞而產生的暫態空氣壓力變化，對於排水管道的影響包括：聲學影響、總排水量以及區域性的正壓及負壓，而其影響程度則視空氣與水介面的流場結構以及流體邊界所產生的空氣壓力反射及傳遞而定。假設由支管暫時性排水進入立管，在立管底部彎道出會產生顯著的壓力震盪，且釋放出震盪性的正壓波，進而影響整個排水系統管道[2]。在產生水幕或飄移現象的位置將會使高動量氣流堵塞，因水錘效應提高正壓，進而使水封流失[3]。為了有效預防臭氣成分經由相互連接之排水管路逸入居住場所，我們在適當的位置使用各類型的水封，阻絕臭氣於互通的管道內傳遞。為了維持整個排水系統中所需之水封，可實行以下特殊措施：加裝吸氣閥(AAV)、設立環狀通氣系統及加大立管底部轉折管徑。就此而言，許多建築設計規範規定在各個衛生器具的水封高度應為 50mm，此高度對應與許的壓力偏移量 $\pm 375\text{Nm}^{-2}$ [1-2]。

為了達成此設計目標，多項關於多通道總存水彎之實驗及數值研究工作陸續展開。參考文獻[4]為了降低使排水系統內正壓激流，嘗試以有限差分法將 St. Venant 方程式數值化後計算模擬排水系統中暫態壓力波之傳遞[4]。但在排水系統中的排水器具、支管、管道連接處及立管內仍然存在相當複雜的空氣與水流場之二相流現象，所以在排水系統內避免非需要的暫態壓力，依舊是項難以克服的任務。即使如此，在排水系統中任何一個具有水封的排水器具，仍然必須維持其所需之水封高度，或必須承受最大壓力偏移 $\pm 375\text{Nm}^{-2}$  後依然功能無虞。然而，排水系統中任一元件或器具中之二相流現象是互相影響的，且各元件或器具之流體動力特性需經歷過實際操作條件下之測試方能確認。

為了改善排水系統[1-4]或提高其元件效能[5]等不同之原因，研究學者們完成許多研究工作。于排水立管底部彎道處裝設蓄壓器，當彎道水幕形成時，提供額外的空氣膨脹空間，減少立管底部彎道之正壓[4]；另一研究為了穩定空氣壓力，將兩側開槽流線型渦流翼[3]安裝于立

管彎道內，以降低彎道中間截面水幕形成瞬間所產生之正壓激發，簡單來說；當水幕形成時，運用渦流翼所產生之渦流，穿透水幕以減緩正壓衝擊。此外，還有一研究顯示藉由在多通道存水彎出水端放置流線型凸起[5]，穩定存水彎排水端上游之空氣與水流動。此流線型凸起處因節流效應產生低壓區，進而穩定上游空氣與水之流場。因多通道存水彎可提供眾多管路共用之水封，進而簡化排水系統，各類型經測試後具有專利的多通道存水彎，已安裝于許多管道交接處，提供排水系統內穩定之水封。參考文獻[6]詳細說明了多通道存水彎的流體動力現象。此實驗研究為其後續工作，藉由在總存水彎水鼓內，沿內圓筒外壁裝設斜式導引肋條，改善多通道存水彎之流體動力性能。後述的實驗設備已在參考文獻[5]中報導，以下將篩選一組裝設導引式斜肋的存水彎測試結果，比較裝設導引式斜肋後對於存水彎流體動力性能產生之影響。

## 2. 實驗細節

### 2.1 實驗設備

多通道存水彎基本性能的測試方法及測試設備可依照 EN1253-2[7]測試規範進行。本實驗測試設備之設計、製造，主要用來探討多通道存水彎之通用流體動力特性。圖 1 (a)為設備系統圖(b)為設有 45 度導引斜肋之多通道存水彎構造圖。

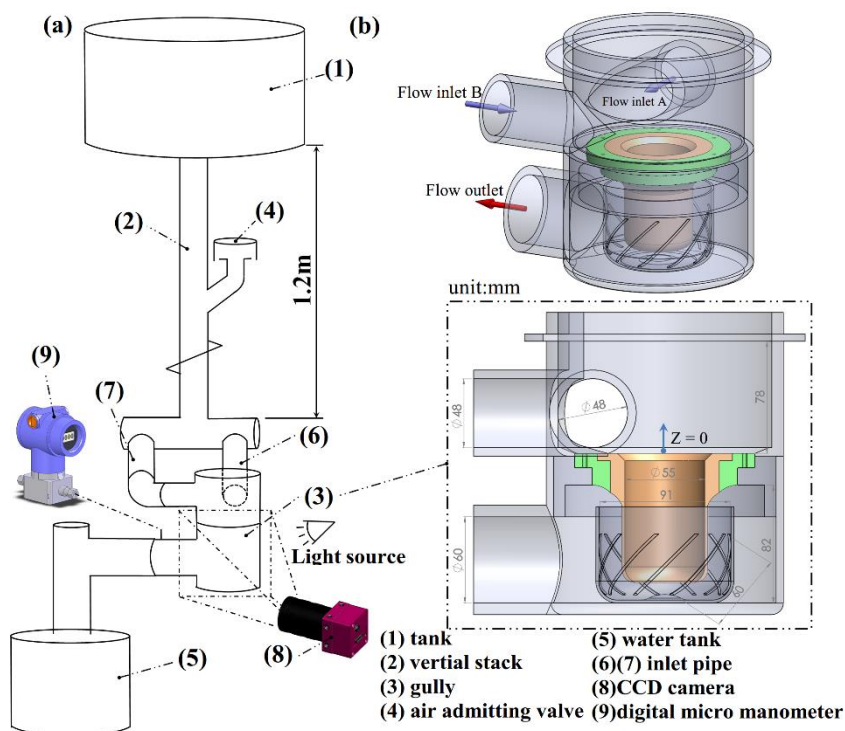


圖. 1 (a) 測試設備 (b) 設置導引斜肋之多通道存水彎

如圖 1(a)所示，實驗供水水櫃(1)位於實驗室之二樓，因而產生 1.2 米的水頭高度，提供實驗所需之流體流率。清水由水櫃(1)流經立管(2)通過兩個傾斜放置的水準管(斜度 2cm/1m)進入多通道存水彎(3)。依照排水系統新的施工方法，于單一垂直立管上部安裝空氣吸氣閥(AAV)(4)。空氣壓力的控制是經由 AAV 自動吸入空氣，將其控制在 $\pm 375 \text{ Nm}^{-2}$ 範圍。混水于存水彎(3)之

兩相互正交的水準進口管前混合。流經存水彎(3)的淨容積量測，則利用下游的測量水櫃(5)及電子計時器，計算於單位時間中水流經存水彎(3)之平均流率。測量水流率之方法符合 CNS14431 Q3001 標準[8]。于各透明進口管(6)(7)之管壁貼附皮尺，檢測于水準進口管(6)(7)在不同水流量時空氣與水的比例。而進口混水空洞比( $\alpha$ )可相應確定。存水彎(3)中空氣-水之流動結構在各測試流量及單、雙進口條件中，系利用 CCD 系統拍攝。該高速影像擷取系統是以 300 fps，紀錄存水彎流場影像。CCD 攝影機(8)鏡頭以固定焦距方式與存水彎垂直。空氣流體靜壓檢測是利用精度 0.01 mm-H<sub>2</sub>O 之電腦數位微壓計(9)量測。壓力量測與 CCD 系統之流場影像同步拍攝、記錄。空氣壓力隨時間之變化情形則以資料擷取系統監控、記錄。每組測試條件量測之暫態空氣壓力變化及相對應之流場影像同步記錄，以進行存水彎于單雙進口條件下流體動力性能之分析。

圖 1(b)顯示雙進口存水彎於二次側外圓筒外側設置斜肋之情形。存水彎二次側由肋化內杯及其內側中心圓筒構成，混水從兩相互垂直之進口，流進一次測後，沿中心圓筒，流經二次側中心圓筒及內杯所構成之環狀蛇型通道，隨之朝出口流出。因為兩進口與存水彎外圓筒相切，引發混水流進存水彎後之中心渦流。空氣由渦流自由液面吸入液體區域之情形將於後面證實。二次側內杯 45 度斜肋的排列方嚮導引之流場流流方向與中心圓筒及內杯間環型通道之漩渦方向同向。本實驗之肋化內杯存水彎，其環型通道之漂流氣泡由同向旋渦導引，朝存水彎的自由液面漂移。

本實驗之自清能力測試是依循文獻[5]中所設計之光學量化法進行。為量測存水彎之自淨能力，首先量測存水彎于清水時各測試條件之照度(流明)，以建立照度歸一化之標準。當光源發出之光通過流有混水的存水彎，朝向另一側光源接收器時，光源接收器所接收之信號經由轉換器傳送至電腦。清水在存水彎的照度流明 ( $L_1$ )作為基準值。將儲存于存水彎之清水滴入黑色墨水使其清水變黑，量測存有黑色墨水存水彎之照度流明值( $L_0$ )。透過控制墨汁的濃度，維持  $L_0$  在不同測試條件中之定值。混水開始流入存水彎後，亮度接收器所接收到的照度流明(L)，開始從  $L_0$  上升至  $L_1$ 。由照度流明(L)自  $L_0$  上升至  $L_1$  的時間變化，來反映存水彎的自淨能力。值得注意的是，存水彎於不同的幾何形狀及測試流量， $L_0$  與  $L_1$  參考值是各別于相對應條件下量測之基準。以歸一化的無因次照度流明  $L/L_1$  隨時間變化來量化各測試存水彎之自淨時間。于  $L/L_1$  接近 0.99 時，定義為該測試條件下之自淨時間。

### 3. 結果與討論

#### 基本流場結構

起初測試未裝設斜肋之多通道存水彎之流場結構，以建立比較裝設斜肋多通道存水彎二相流結構之基準，藉以分析斜肋對於多通道存水彎流體動力性能產生之影響。圖二顯示流量(Q)為 10,20,30 和 40 公升/分時，未裝設斜肋之總存水彎，于單一或雙入水條件檢測之存水彎暫態流場影像。



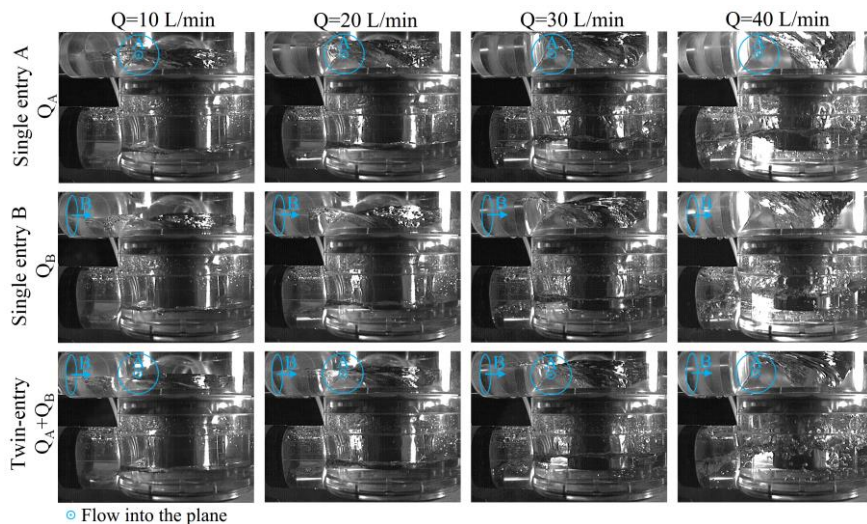


圖. 2 流量(Q)為 10,20,30 和 40 公升/分時，未裝設斜肋總存水彎于單一或雙入水條件之存水彎暫態流場影像。

如圖 2 所示，在存水彎核心筒(core cylinder)上方，形成一個大尺度渦流。沿著此渦流進口中心之自由液面為外凸弧面，證明此渦流為自然渦流。因此自然渦流相關理論，掌握存水彎此區域性之流體動力特性。當流體朝渦流中心接近時，流體的速度增加且靜壓降低。此進口渦流的主要衝擊之一為空氣會被吸入液池內，將於後續說明此現象。當流量增加時，水鼓及存水彎外殼內流道之自由液面會上升，且由核心筒、水鼓及存水彎外殼間所形成的空隙(又可稱蛇行通道)所產生空氣氣泡的密度也會提高(如圖 2 所示)。當流量 40 公升/分時，存水彎外殼及水鼓間蛇行通道內之自由液面開始劇烈晃動，並伴隨著激烈的空氣氣泡向上飄移。潛於水底下的空氣氣泡所產生的摩擦及形狀阻力，以及混水流經測試存水彎產生之動量變化所產生之阻力，與驅動壓力水頭互相抗衡，限定穿越存水彎之最大流量。當流體穿越多通道存水彎時，藉由穩定氣泡運動及自由液面的震盪現象，可改善此類型多通道存水彎之流體動力特性。

圖 3 顯示裝設斜肋之存水彎，于單流及雙流進口條件，於流率(Q)=10,20,30 和 40 公升/分時所拍攝之流場影像。當混水于單流及雙流進口條件排入裝設斜肋之存水彎時，其流場結構基本上與無裝設斜肋存水彎之氣-水流場結構大致相符。但若將圖 2 所示無裝設斜肋存水彎之流場影像，與圖 3 所示裝設斜肋存水彎之流場比較，於裝設斜肋存水彎內之氣-水流場結構較為穩定，且其在流水通道內之氣泡震盪幅度較緩和。如前述，此類型多通道存水彎入水處之流場結構被自然渦流主導。當在存水彎外殼與水鼓間的環狀通道裝設斜肋時，會形成與斜肋同向之迴圈漩流，穩定核心筒、水鼓及存水彎外殼間蛇行通道中之氣泡運動，並使漂移方向一致化，減少氣泡碰撞。因此，隨機性的氣泡衝撞及震盪程度便大幅緩和，並且能趨緩存水彎外殼及水鼓間環狀通道之自由液面震盪。在存水彎內裝設斜肋以穩定氣泡的震盪幅度，並藉此預期在排水系統上裝設斜肋式存水彎，有助於穩定排水系統並降低空氣壓力震盪。

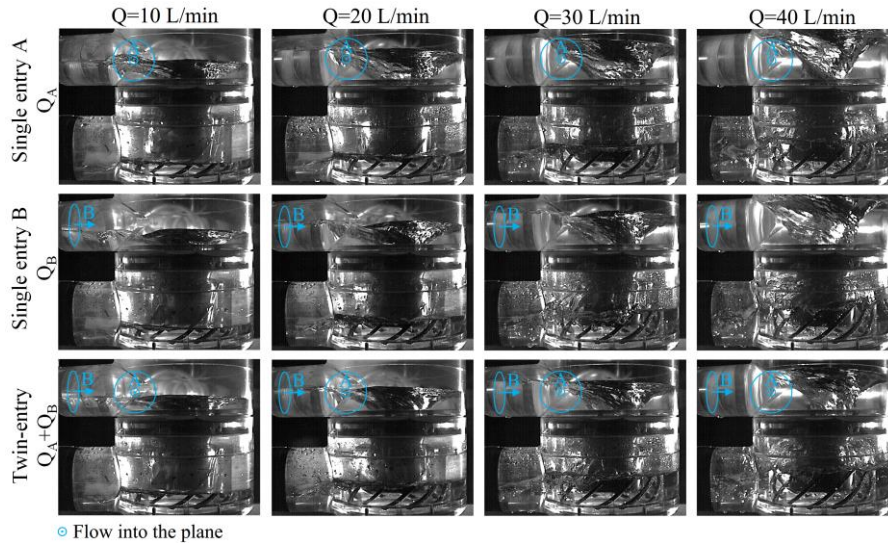


圖. 3 流量(Q)為 10,20,30 和 40 公升/分時，裝設斜肋總存水彎于單一或雙入水條件之存水彎暫態流場影像。

### 渦流捲入空氣現象

就此類型之存水彎而言，在上方入水處所形成之自然渦流，會在自由液面上導引出顯著的幅向壓力變化。當在此渦流自由液面的表面壓力低於大氣壓力時，渦流周圍的空氣會被吸入，空氣入水後，受表面張力影響，被吸入之空氣便會形成氣泡。如圖 2 及圖 3 所示，當  $Q=40$  公升/分時，在滿管注水且無氣泡於入水管中，依然於有/無裝設斜肋之存水彎中出現大量的氣泡。雖然流體在存水彎各通道流動時，局部壓降可能會釋放出水中的空氣，進而產生氣泡，但最主要將空氣帶入存水彎流場之機制，為自然渦流卷吸之空氣。圖 4 中，我們選擇出一系列的流場影像，藉由這些流場影像來說明自然渦流吸入空氣的過程。起初，渦流中心部分被向下拉尖(如圖 4(b)所示)。當渦流不斷旋轉，自由渦流上之壓力梯度不停的作用在渦流核心時，緊接著產生一團氣泡便(如圖 4(c)所示)，但這些氣泡仍與自然渦流緊密的相接。持續增加時間，則出現如圖 4(d)所示之氣泡分離現象，氣泡分離後偶爾會回至上述過程再進行重複過程，或形成較大型的分離氣泡，進入到較深的水池，便破碎成較小型之氣泡，後在渦流下方四處竄散(如圖 4(f)和(g)所示)。接著，如圖 4(h)所示，自然渦流變形後，另一個吸入空氣的動作又重新開始(如圖 4(i)所示)。圖 4(a)至(i)完整地表示出空氣吸入渦流過程，此過程會在一秒內完成。為了協助檢視此空氣吸入之現象，沿幅向中心座標之不同  $Z$  位置，量測自然渦流上方之暫態空氣壓力，並在圖 4(j)展示此結果。空氣壓力檢測最接近渦流自由液面處之壓力感應探測器，高於自由液態表面 1mm ( $Z=-30\text{mm}$ )。如圖 4(j)所示，所有  $z$  座標量測之暫態空氣壓力變化都依循相同的變化趨勢。于單一進水端  $Q=65$  公升/分時，在送水入存水彎約 30 秒之期間，進口渦流尚未完全成形；當液體逐漸填滿整個存水彎時，會壓縮已存于水鼓內的受限空氣，造成渦流中央處形成正壓。當在出口管道出現阻塞現象時，在所有的  $z$  位置都可偵測到壓力突然上升。同時，如圖 4(j)所示，進口渦流發展會加速進口渦流自由液面上的氣場速度，當在出現壓力峰值約 30 秒後，渦流逐漸形成，任一  $z$  位置的氣場靜壓開始下降，並在渦流的自由液面附近產生負壓。一旦負壓形成後，便會觸發如圖 4(a)至(i)所示之吸氣現象。因為在渦流核心區域出現複雜且呈現



週期性變化之的氣液介面現象，此種現象會驅動吸氣過程，當入水時間大於 70 秒後，渦流自由液面上方之空氣靜壓開始於大氣壓力值附近正、負震盪(如圖 4(j)所示)，此震盪壓力與上述之空氣吸入過程相互呼應。

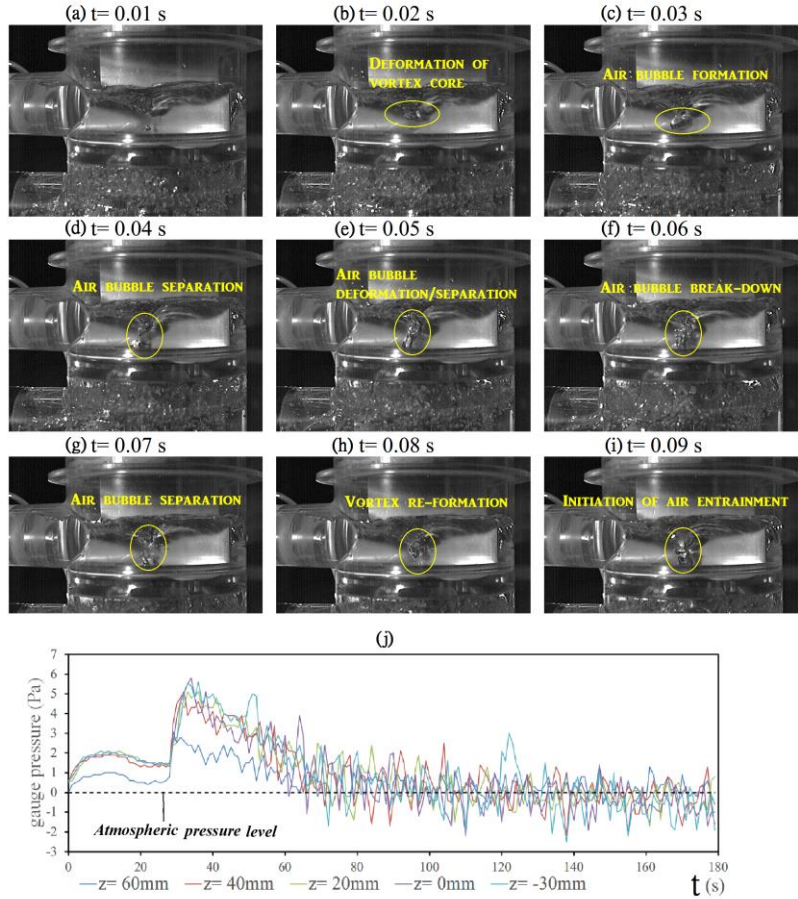


圖. 4 自然渦流吸入空氣之過程于渦流自由液面上方空氣暫態壓力之變化。

有/無安裝斜肋存水彎內之空氣飄移狀態

圖 5 比較存水彎內有/無斜肋兩者氣泡飄移之軌跡及其流場結構。在比較這兩者的氣泡飄移軌跡前，先說明此類存水彎中之基本流場結構。

混水送入存水彎後，在入水處產生方向朝下之進口渦流，並將空氣和水捲入核心筒中。當水流衝撞至水鼓底部時，水流會沿著幅向擴散，並沿流嚮導引，向上流經 180 度的蛇行通道。由進口渦流所吸入的空氣會在核心筒與核心筒及水鼓間的蛇行通道內漂移，此類之氣泡漂移發生于向上水流中。對於無裝設斜肋的存水彎(如圖 5 所示)，其空氣漂移主要依循圖 5 所示影像上的 A,B,C 軌跡流動。在無裝設斜肋存水彎之 A、B 軌跡中，可觀察到激烈的氣泡碰撞及閉回路式之氣泡環繞現象，進而導致不穩定的氣-水介面流場。藉由在核心筒外殼及二次水鼓間裝設斜肋，氣泡將會順著斜肋所導引出的近壁流場流動。於裝設斜肋的外水鼓及存水彎外殼間之向上水流中，形成順著斜肋方向流動之 A,B,C 氣泡漂移軌跡，藉此引導出穩定的氣-水介面。

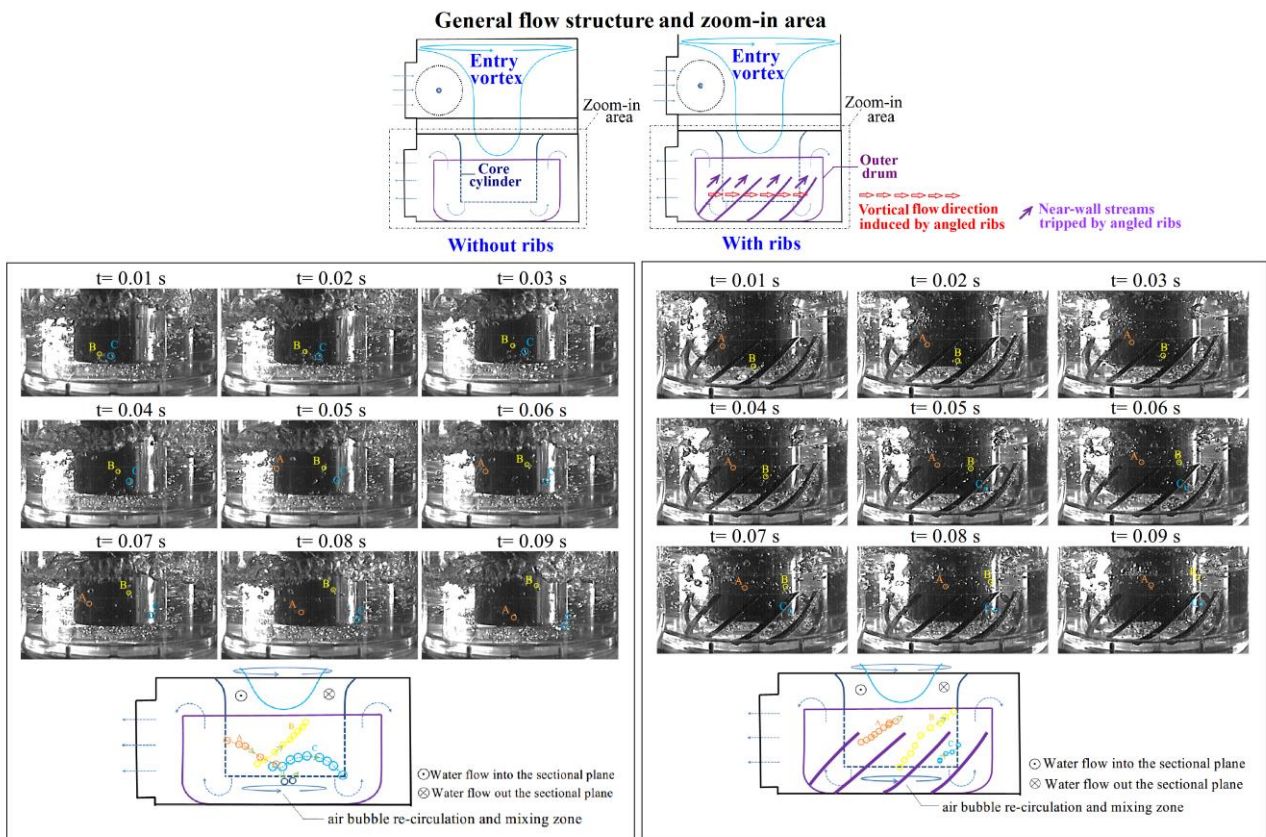


圖. 5 有/無斜肋存水彎內之氣泡飄移軌跡。

### 存水彎自淨性能

雖然在有/無裝設斜肋存水彎內氣泡及自由液面動盪程度有非常顯著之不同，但其二者的自淨性能卻十分相近。藉由比較有/無裝設斜肋的條件下，其  $L/L_1$  值之暫態變化，可瞭解總存水彎之自淨性能。圖 6 比較不同流量、單一/雙入水測試條件存水彎之  $L/L_1$  值暫態變化情形。將水注入存水彎前，清水與注入染劑比值為  $L/L_1=0.4$  之基準值。將水注入後，存水彎於啟動階段 10 秒內，自淨能力數值趨於平緩，緊接著 10 秒過後，卻快速上升。此項  $L/L_1$  值之暫態變化情形，系因為注水後所產生的自然渦流將染劑迅速帶出，產生有效的自淨性能，並在圖 6 所示之每個  $L/L_1$  輪廓線，均呈現類似之變化趨勢。經過  $L/L_1$  迅速上升階段後，進入持續 3 至 5 秒之指數型緩升階段，此階段呈現自淨情形呈現緩和之指數上升趨勢，並朝穩定值 1 緩增。當  $Q$ (流量)增加時，數值快速上升階段會提前出現，使得自淨所需時間降低。雖然進口渦流為主要吸入空氣的最大原因，造成許多問題，但也因為進口渦流可將淨水帶入存水彎，取代混濁水，進而大幅改善自淨能力。

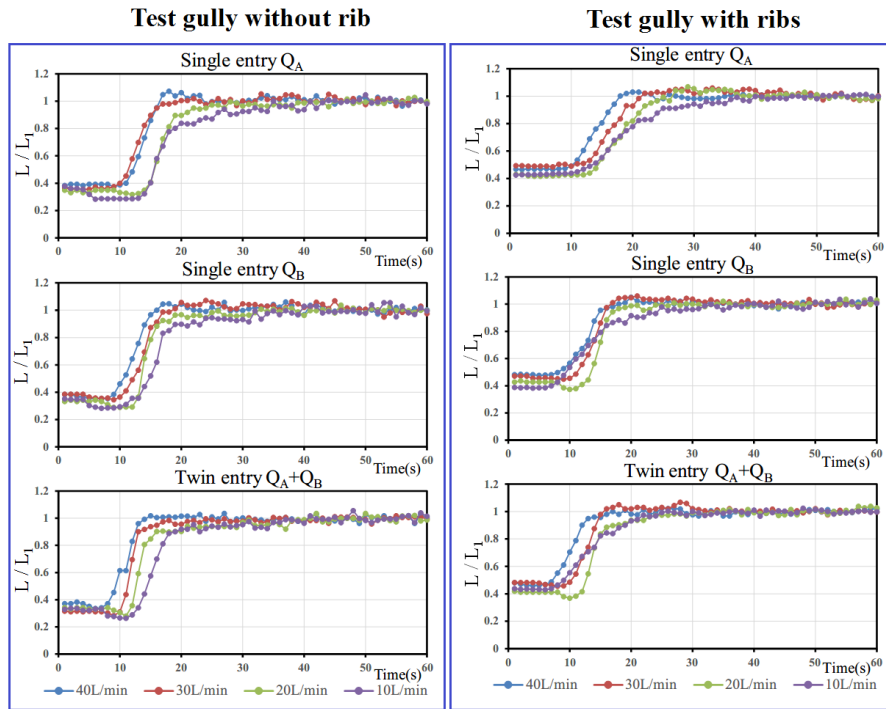
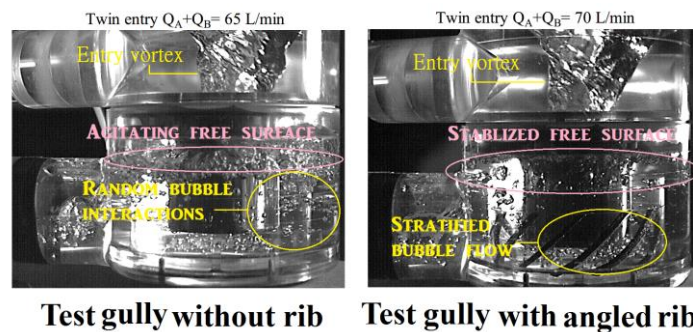


圖. 6 有/無安裝斜肋存水彎于單/雙進口條件  $L/L_1$  比值隨時間變化情形。

圖 7 比較於最大測試流量，存水彎中有/無裝設斜肋之氣-水流場結構。



Test gully without rib    Test gully with angled ribs

圖. 7 存水彎中有/無裝設斜肋之氣-水流場結構。

(無斜肋存水彎於  $Q_A+Q_B=65$  升/分，有斜肋存水彎于於  $Q_A+Q_B=70$  升/分)

在雙進口條件，進口渦流在這兩個測試存水彎上方出皆出現相似之流場結構，且旋入進口之混水，沿著下方吸入空氣，將氣泡匯入核心筒內。藉由裝設斜肋，可使氣泡順流，因此穩定存水彎底部氣泡的渾沌現象以及環狀通道內上流的自由液面，其原因為裝設斜肋後所導引的近壁流場能使氣泡順流。因此，裝設斜肋存水彎的最大流量會比無裝設斜肋存水彎的最大流量提高約 7%。

#### 4. 結論

此實驗研究比較兩組有/無裝設斜肋存水彎之流體動力特性，藉此彰顯兩者流場結構、空氣吸入機制、氣泡飄移軌跡及自淨性能之差異性。在任一測試存水彎上部所形成的進口渦流，有

效地把供給混水帶入存水彎，並置換經染色的混濁水，但也同時吸入空氣至存水彎水鼓內。在無裝設斜肋之存水彎內，氣泡會局限于向上流動的蛇行通道，並混亂得交互作用，導致於蛇行通道內的自由液面震盪，呈現不穩定之混水流，同時增加存水彎之摩擦及形狀阻力。藉由斜肋所導引與進口渦流同向之近壁流場，進而導引氣泡漂浮方向，穩定蛇行通道內的氣-水交互作用，導致系統穩定度提升，降低內部阻力，提升多通道存水彎之最大流量。

### 參考文獻

- [1] J.A., Swaffield, D.P. Campbell, (1992) Air pressure transient propagation in building drainage vent systems, an application of unsteady flow analysis, *Building and Environment* 27: 357-365.
- [2] J.A. Swaffield, D.P. Campbell, (1995) The simulation of air pressure propagation in building drainage and vent system, *Building and Environment* 30: 115-127.
- [3] S.W. Chang, C.-M. Hsieh, C. Y. Lin, H.-F. Liou, (2012) Air-water drainage flow through finned bend, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 11: 177-184.
- [4] J.A. Swaffield, L.B. Jack, D.P. Campbell, (2004) Control and suppression of air pressure transients in building drainage and vent systems, *Building and Environment* 39: 783-794.
- [5] S.W. Chang, D.-C. Lo, H.-F. Liou, J.S. Liou, (2014) Hydrodynamic performances of gully with air-water flows in drainage system, *Journal of Water Resource, Supply and Drainage for Buildings* 1: 1-19.
- [6] S.W. Chang, D.C. Lo, (2009) *Advances in multiphase flow and heat transfer* 2: 176-215. Chapter 6 Air-Water Two-Phase Flows with Applications to Drainage System, Bentham Science Publishers Ltd.
- [7] EN 1253-2 Gullies for buildings – Part 2: Test methods, European standard, December 2003.
- [8] CNS 14431 Q3001 油脂截留器性能試驗法, May 2000.