

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

亞臨界明渠 45 度分流研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-032-005-

執行期間：91 年 08 月 01 日至 93 年 01 月 31 日

執行單位：淡江大學水資源及環境工程系

計畫主持人：許中杰

計畫參與人員：何泰亦，蘇國琮

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 13 日

亞臨界明渠 45 度分流研究

Sub-critical 45° Dividing Open-Channel Flow

計劃編號：NSC91-2211-E032-005

執行期限：91 年 8 月 1 日至 93 年 1 月 31 日

主持人：許中杰 淡江大學水環工程學系

計劃參與人員：何泰亦、蘇國琮 淡江大學水環工程學系

一、中文摘要

本研究進行主、支渠 45 度相接之亞臨界分流流場實驗；支、主渠渠寬比分為 1、1/2 與 1/3，每一渠寬比配合七組流量比以探討非等寬之分流流況。影響分流流況的因素有：支主渠渠寬比、渠底坡度、主支渠交接角及交接平滑度等。實驗於主支渠下游端以一活動擋板控制主、支渠下游水深福祿數及流量，藉以探討於不同渠寬、不同流量比之條件下其物理參數之影響。由實驗結果發現，支渠入流斷面處之流向角，隨主渠上下游流量比與支、主渠渠寬比增加而減少，且隨支渠入流斷面福祿數增加而增加。由於水流受支渠迴流區之影響，當流經支渠時會有較大的能量損失，且能量損失係數隨支、主渠渠寬比減少而增加。在不同渠寬比下，支渠分流處會造成渦度之急遽變大，且隨著離分流處愈遠而漸趨緩。在工程應用上，本研究提出一簡易推求流量比與水深比之關係式。另外，本研究發現在一固定支、主渠流量比時，存在一最大主渠下游福祿數，且有一相對應之最小支渠水深。

關鍵詞：分流、水深比、流量比、能量損失係數、渦度。

Abstract

This study presents the experimental results of 45 degree divided sub-critical open-channel flow. The channel width ratios were 1, 1/2, and 1/3. For each channel width ratio, 7 discharges were conducted in the experiments. The measurements included the depth and longitudinal and lateral velocities of several sections upstream and downstream of the dividing.

The experimental results show that the flow angle increases while the discharge ratio decreases or the downstream Froude number increases. It is also found that the circulation width near water surface is larger than that near the bottom and that the energy loss coefficient decreases with increasing the width-ratio. The vorticity at the branch channel were also examined.

Keywords : Dividing flow, depth ratio, discharge ratio, energy loss coefficient, vorticity.

二、緣起與目的

分流(Dividing Flow)為單一主渠道在某處連接一條或數條支渠道以分散水流。分流區的流況為一複雜之水理現象，且因流量改變造成分流流況的不同，對於水中沉澱物與懸浮物的分佈、淤沙沉積、水位改變，均有很大的影響。在支渠分流處則因流線分離產生不穩定的束流現象和迴流區。分流常應用於人工渠道和下水道排水系統，而建於河畔汲引河水使用之工廠、給水廠、發電廠等，其給水系統入水口處泥沙淤積問題也是研究分流之領域。在分流之研究，過去學者多針對於一維性解析理論、迴流區特性與能量損失等提出探討。對於分流流況的影響因素眾多，其中以主、支渠下流流況、支、主渠渠寬比、渠底坡度、支、主渠相交角度及分流轉角處平滑之情況為主要，上述因素對實際流況皆有所影響。

本實驗是以渠底水平，主、支渠夾角 45 度相接，上、下游流況皆為亞臨界流。主渠寬度固定為 30cm，在支渠寬度為 30cm, 15cm, 10cm 之不同渠寬比下，利用上游水箱外接可調式壓克力圓管控制出水量，主渠下游以木板阻擋，使其自由跌水。支渠下游以一可移動板調整七組不同之流量比。使用電磁式流速儀進行量測各斷面流速，並比較不同渠寬比時之水深比、流量比與流速分布等關係。渠道配置如圖 1 所示。

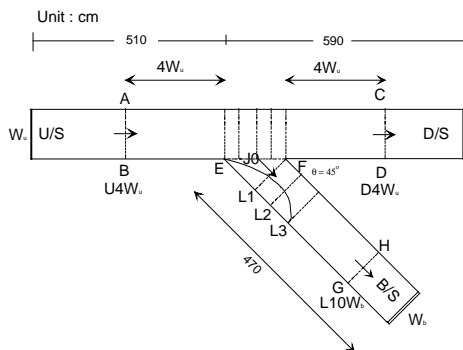


圖 1 實驗渠道配置圖

三、結果與討論

流向角

在主渠和支渠交接處(如圖 1 J0 斷面)，與主渠平行的速度向量和垂直主渠的速度向量之合向量，此合向量和 J0 斷面之夾角稱為流向角(δ)。考量動量修正係數的影響，流向角(δ)的定義如下：

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\beta_{uv} u_t}{\beta_{rv} v_t} \quad (1)$$

式中 u_t 為支渠入流斷面之主流向平均流速； v_t 為支渠入流斷面之側流向平均流速； β_{uv} 為支渠入流斷面之主流向流速的動量修正係數； β_{rv} 為支渠入流斷面之側流向流速的動量修正係數。圖 2 表示在不同的渠寬比之下，於支渠入流斷面上，斷面平均流向角分佈之情形。由此圖可知當流量比增加

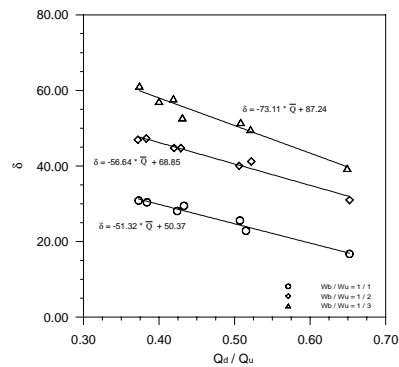


圖 2 主渠下上游流量比與支渠流向角

時，支渠入流斷面之流向角減少；渠寬比(W_b / W_u)越小斷面平均流向角越大。圖 3 表示在不同渠寬比之下，當支渠入流斷面福祿數增加時，其流向角 δ 有愈大的趨勢。

分離流線

面對下游由左至右作流量累加，當流量累加值 Q_s 和實量測值 Q_d 相同等時之位置，即為分離流線位置，此一位置以 W_{ud} 表示。

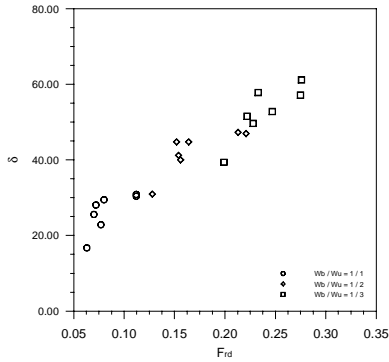


圖 3 支渠入流断面福祿數與流向角 δ

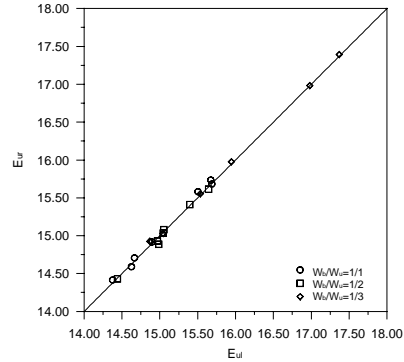


圖 5 主渠上游 4 倍渠寬處断面分流線左側能量與右側能量關係圖

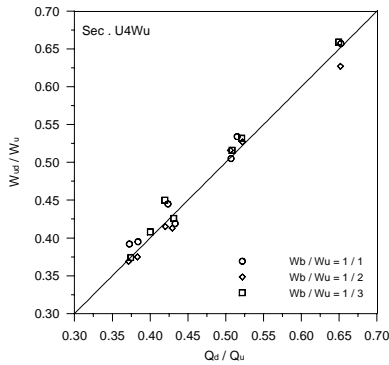


圖 4 流量比 $\overline{Q_d}$ 與主渠上游 4 倍渠寬處下游流量平面及主渠寬度比之關係

圖 4 表示在不同渠寬比下，在上游 4 倍渠寬距離時， W_{ud}/W_u 與 Q_d/Q_u 之相對關係。由圖可知，隨主渠下游流量 (Q_d) 增加時，分離流線之位置 (W_{ud}) 與上游渠寬 (W_u) 之比值也隨之增加，並且與流量比近乎正比之關係。

能量損失係數

於確定分離流線之位置後，可求得分流線左右断面之能量。圖 5 所示為主渠上游四倍渠寬處之分流流線左側能量 (E_{ul}) 與主渠上游四倍渠寬處之分流流線右側能量 (E_{ur}) 之關係圖；由圖知， E_{ul} 與 E_{ur} 約相等。

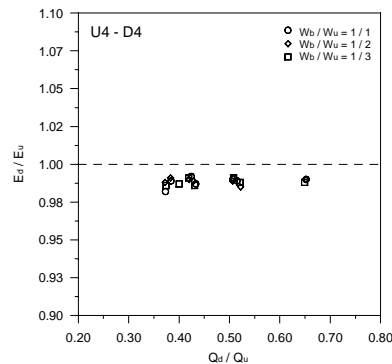


圖 6 不同流量比下，主渠下游 4 倍渠寬與主渠上游 4 倍渠寬處能量比

由圖 6 知主渠上下游能量損失極小，故可假設 $E_u = E_d$ ，並且利用一維解析模式，可得到下式：

$$K_e = (1 - \overline{Q_d}) \left[1 - \frac{2\overline{h_b}^3 + \frac{\alpha_b}{\lambda^2 \beta_u} (1 - \overline{Q_d})^2 F_{ru}^2}{\overline{h_b}^2 \left(2 + \frac{\alpha_u}{\beta_u} F_{ru}^2 \right)} \right] \quad (2)$$

式(2)表示能量損失係數與主渠上下游流量比、支渠下游水深與主渠上游水深比、主渠上游福祿數及能量、動量修正係數有關。

福祿數 (F_{rd}) 與水深比 (h_u/h_d)

根據 $E_u = E_d$ 知，以主渠上下游水深比 (h_u/h_d) 為變數之三次多項式，即為：

$$\bar{h}^{-3} - \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\alpha_d}{\beta_d} F_{rd}^2\right) \bar{h}^2 + \frac{1}{2Q_d^2} \left(\frac{\alpha_u}{\beta_d}\right) F_{rd}^2 = 0 \quad (3)$$

亞臨界流況水平分流渠道，當福祿數已知，可由式(3)求得主渠上下游均流況斷面水深與流量比(\bar{Q}_d)之相互關係。

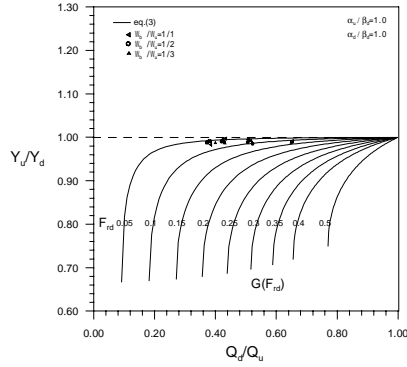


圖 7 在不同主渠下游福祿數下，主渠下游水深比與流量比之關係圖

式(3) 必須滿足判別式如：

$$D = \bar{Q}_d - \left\{ \left[\frac{\alpha_u}{\beta_d} F_{rd}^2 \right] \left[\left(2 + \frac{\alpha_d}{\beta_d} F_{rd}^2 \right) / 3 \right]^3 \right\}^{1/2} < 0 \quad (4)$$

如圖 7 所示，可以得知：(1)當流量比增加時，下游福祿數適用範圍也越小，且每個福祿數，均有一個最小之水深比限制值，用來控制上游之最小水深或是下游之最大水深。(2)在下游福祿數較小，且流量比由大而小時，一開始之上下游水深變化，隨流量比之減少而變化的值並不大；但當流量比小至一定的範圍時，水深之變化會隨流量比之減少而有極明顯的變化。由於實驗所得時測知動量能量相關參數比值 α_u / β_d 、 α_d / β_d ，並非等於 1，故本實驗所得之水深比數據點所對應之主渠下游福祿數位置，與 α_u / β_d 、 α_d / β_d 在等於 1 時相較，會有較大水深比。

支、主渠流量比與主渠下游福祿數

當式(4)限制式 α_u / β_d 、 α_d / β_d 均為 1 時，判別式 D 可改寫成：

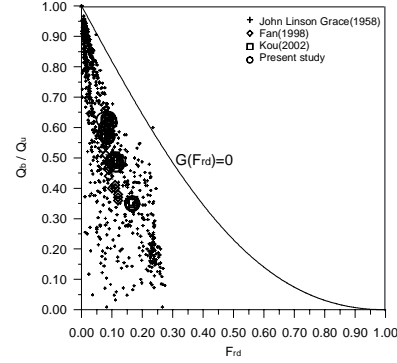


圖 8 不同支主渠流量比下，最大主渠下游福祿數與支主渠流量比之關係圖

$$D(F_{rd}, \bar{Q}) = \bar{Q} - \left\{ F_{rd}^2 / \left[(2 + F_{rd}^2) / 3 \right]^3 \right\}^{1/2} < 0$$

而 $\bar{Q}_b = Q_b / Q_u = 1 - \bar{Q}_d$ 代入上式整理可得：

$$\bar{Q}_b \leq G(F_{rd}) = 1 - \left\{ F_{rd}^2 / \left[(2 + F_{rd}^2) / 3 \right]^3 \right\}^{1/2} \quad (5)$$

如圖 8 所示，將 Grace (1958) \ Yang (1997) \ Fan (1998) \ Kou(2002) 及本實驗結果一並列出，可得知 \bar{Q}_b 大部分範圍都比 $G(F_{rd})$ 此曲線為小，隨著 \bar{Q}_b 增加其所對應之 F_{rd} 會隨之變小。

支渠上游流場渦度

流體的渦度(Vorticity)表示為：

$$\vec{\Omega} = \Omega_x \vec{i} + \Omega_y \vec{j} + \Omega_z \vec{k} \quad (6)$$

由於本實驗只量測二維速度，無 w 方向之速度，故僅取 x, y 方向速度梯度模擬。

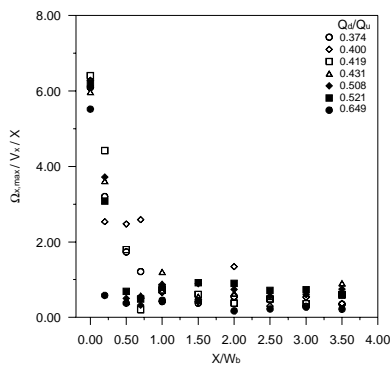


圖 9 渠寬比 1/3 下，沿支渠 0 倍渠寬、3.5 倍渠寬之距離，渠寬比與 $\Omega_{x,max}$ 頻率比

圖 9 表示在不同流量比下，沿支渠最上游 0 倍渠寬處至最大 3.5 倍渠寬處之間的距離與 $\Omega_{x,max}$ 的關係，可得知 $\Omega_{x,max}$ 隨著距離分流處愈長而愈趨減少。可由圖 9 得知渠道分流處會造成過度之急遽變大，且隨著離分流處愈遠而漸趨緩。

四、結論

水平之 45° 相接分流渠道，在支、主渠渠寬比 $W_b/W_u = 1, 1/2, 1/3$ ，上、下流流況為亞臨界流，可得下列結論：

1. 主渠上游完全發展斷面之支流量平面寬與主渠渠寬比，隨著支渠與主渠上游流量比增大而增加；
2. 在支渠入流斷面處之流向角，隨主渠上下游流量比增加而減少；隨支、主渠渠寬比減小而增加；隨支渠入流斷面福祿數增加而增加；
3. 支渠之迴流區有效寬度，隨主、支渠流量比增大而增加；
4. 迴流區之再觸長度與支渠渠寬比，隨主渠上下游流量比增加而增加；
5. 迴流區之形狀參數，隨主渠上下游流量比增加而減小；
6. 主、支渠分流區受到迴流區之影

響，會有較大的能量損失；此能量損失隨支、主渠寬比減小而增加；

7. 在一固定支、主渠流量比下，會有一最大主渠下流福祿數 (F_{rd}) 值存在，且其有一相對應之支渠完全發展斷面最小水深值；
8. 在不同渠寬比下，支渠分流處會造成過度之急遽變大，且隨著離分流處愈遠而漸趨緩。

參考文獻

- Law, S.w., (1965). "Dividing Flow in open channel," thesis presented to McGill University at Montreal, Canada, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engrg.
- Lakshmana Rao, N.S., Sridharan, L., and Baig, M.Y.A. (1968). "Experimental study of the division of flow in an open channel," Proc., Third Australasian Conference on Hydraulic and Fluid Mechanics, Sydney Australia, Nov., 139-142.
- Ramamurthy, A.S. and Satish, M.G. (1988). "Division of Flow in Short Open Channel Branches." J. Hydr. Engrg., ASCE, 114(4), 428-438.
- Ingle, R.N. and Mahankal, A.M. (1990). "Discussion of 'Division of Flow in Short Open Channel Branches' by A.S. Ramamurthy and M.G. Satish." J. of Hydr. Engrg., ASCE, 116(2), 289-291.
- Ramamurthy, A.S., Tran, D.M. and Carballada, L.B. (1990). "Dividing Flow in Open Channels." J. Hydr. Engrg., ASCE, 116(3), 449-455.
- Hager, H. (1992). "Discussion of 'Dividing Flow in Open Channels.' By A.S. Ramamurthy, D.M. Tran,

and L.B. Carballada." J. of Hydr.Engrg., ASCE, 118(4),634-637.

Sridharan,L. (1966) . "Division of flow in open channels." Thesis presented to the Indian Institute of Science, at Bangalore, India, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.

Neary, V.S. and Odgaard, A.J., (1993) . "Three Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions. J. Hydr. Engrg. ", ASCE, 119(11),1223-1230.

Hsu, C.C., Tang, C.J., Lee, W.J. and Shieh, M.Y. (2002). "Subcritical 90° Equal-Width Open-Channel Dividing Flow", J. Hydraul.Engrg.

楊景旭「非等寬直交分流研究」, 淡江大學水資源及環境工程研究所, 碩士論文, 台北 (1997)。

樊運成「非等寬直交分流研究」, 淡江林逸政「非等寬直交分流研究」, 淡江大學水資源及環境工程研究所, 碩士論文, 台北 (2000)。

陳建文「非等寬 75 度分流研究」, 淡江大學水資源及環境工程研究所, 碩士論文, 台北 (2001)。

郭瑞儀「非等寬 60 度分流研究」, 淡江大學水資源及環境工程研究所, 碩士論文, 台北 (2002)。