

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

明渠亞臨界疏流研究

計劃編號: NSC 89-2211-E-032-014

執行期限: 88 年 08 月 01 日至 90 年 01 月 31 日

主持人: 許中杰 淡江大學水資源及環境工程學系

e-mail 069184@mail.tku.edu.tw

1. 摘要

本研究探討渠底水平且主、支渠直角分叉之亞臨界分流流況。研究方法為推導主、支渠流量比及水深比之關係，更進行模型試驗。試驗包括渠寬度比 1:1、1:2 及 1:3 及七組流量比。於分流處附近測量各斷面之流速及水深。最後並進行解析解與試驗結果之比較。由本研究知當渠寬比愈小，則斷面平均流向角及能量損失係數愈大。而當流量比愈大時，迴流區形狀參數愈大。最後本研究提出簡易法推求流量比與水深比之關係式，而為工程設計之應用；同時，更可知當上游入流量已知時，則由下游福祿數可求得最大支渠流量或已知流量比之主渠最大下游福祿數($F_{rd,max}$)及其最小水深。

關鍵詞：分流、流量比、水深比

ABSTRACT

This study presents an analytical approach for determining the relationship between discharge-ratio and depth-ratio of a subcritical, right-angled, open-channel dividing flow over a horizontal bed. The analytical results were compared with the experimental data. The experiments included three width-ratios and seven discharge-ratios. It was found that the flow-angle at the interface as well as the energy loss coefficients

through the junction increases as the width ratio increases. Finally, an simplified formula for engineering application to calculating the discharge ratio and depth ratio was presented.

Key words: dividing flow, discharge ratio, depth ratio.

2. 前言

分流發生於引河水使用之工廠、給水廠及發電廠之進水渠道等而疏流則發生於降低河川洪峰時。影響流況之的因素為主、支渠下游流況，主、支渠渠寬比、渠底坡度、主支渠分叉角及分叉處之平滑度。

本研究探討渠底水平且主、支渠直角分叉之亞臨界分流流況。研究方法為推導主、支渠流量比及水深比之關係，更進行模型試驗。試驗包括渠寬度比 1:1、1:2 及 1:3 及七組流量比。於分流處附近測量各斷面之流速及水深。最後並進行解析解與試驗結果之比較。

3 實驗與一維性模式

實驗配置與參數

本研究之實驗主渠寬為 30 公分，側壁覆以 0.5 公分厚之強化玻璃以降低側壁糙度之影響。支、主渠以直角 90 度相交；交接處之上游主渠長為 5.3 公尺，下游長為 6.3 公尺，支渠長為 4.3 公尺。渠道入流量由放置於主渠上游的定水頭水箱控制。主、支渠下游端各有一

個附表尺刻度的蓄水箱，可用為率定流量。

本實驗使用 ALEC ACM-250 型二維向電磁式流速儀，其可量測速度範圍為 ± 250 cm/sec 間，精確度為 $\pm 2\%$ 。流速探針架於三軸向二維度之自走式天車定位系統，系統誤差為 $\pm 0.1\%$ 。在垂直升降臂裝一步小型監視器，用以觀察整各實驗流程。數據收集系統包括 PC，可攜式硬碟及研華科技公司 PCL-711 型類比 - 數位轉換卡。

本實驗主、支渠之渠寬比為 1:1、1:2 及 1:3，實驗流量介於 7.95(l/sec) 至 5.56(l/sec) 之間，計分為七組支主渠流量比。主渠下游福祿數介於 0.051 至 0.136 而支渠下游福祿數介於 0.077 至 0.332。

實驗量測項目包含水深、主流向和側向平均流速，以及迴流區的再觸長度(L)。量測斷面在主、支渠上、下游及分流區內共 26 至 28 個量測斷面。當主、支渠渠寬相等時，每一斷面量測 15 個垂向剖面，每一垂向剖面有 9 個測點，整個斷面合計共 135 個測點。當支、主渠寬比為 0.5 時，支渠斷面變成 9 處垂向剖面，每一剖面之測點亦為 9 個，整個斷面合計共 81 個測點，當主、支渠寬比為 0.33 時，支渠斷面變成 7 處垂向剖面，每一剖面之測點亦為 9 個，整個斷面合計共 63 個測點而主渠斷面則仍為 135 個測點。

因本研究支、主渠以直角 ($\theta = 90^\circ$) 相交，又渠底底床為水平 ($s=0$)，且主渠上、下游渠寬相等，故應用因次分析可將參數表示為：

$$F_3(\bar{Q}, \bar{Y}, \bar{Y}_b, \bar{W}, F_{rd}, F_{rb}) = 0 \quad (1)$$

其中， $\bar{Q} = Q_d / Q_u =$ 主渠下游與上游流量比， $\bar{Y} = Y_u / Y_d =$ 主渠上、下游均勻斷水深比， $\bar{Y}_b = Y_b / Y_u =$ 主渠上游與支渠均勻斷水深比， $\bar{W} = W_b / W_u =$ 支、主渠渠寬比， $F_{rd} = Q_d / (Wh_d \sqrt{gY_d}) =$ 主渠下游斷面福祿數及

$F_{rb} = Q_b / (Wh_b \sqrt{gY_b}) =$ 支渠下游均勻段福祿數。

一維性模式

本研究之一維性模式作以下假設：(a) 恆態，(b) 控制體積表面之流速均勻分佈且為亞臨界流，(c) 垂向靜水壓分佈，及(d) 忽略控制體積內之摩擦力及摩擦能量損失。則質量守恆方程式為：

$$Q_u = Q_b + Q_d \quad (2)$$

其中： $Q =$ 流量，下標 u, b, d 分別表示主渠最上游斷面，支渠下游斷面及主渠最下游斷面。

主渠流動方向之能量方程式為：

$$Q_u E_u = Q_b E_b + Q_d E_d + Q_u \Delta H_e$$

主流向之動量方程式為：

$$Q_u V_u - Q_d V_d - Q_b |V_f| \cos \theta = \frac{1}{2} g W_d Y_d^2 - \frac{1}{2} g W_u Y_u^2 \quad (3)$$

式中， $E =$ 能量； $Y =$ 水深； $V_f =$ 主支渠交界面斷面平均流速； $g =$ 重力加速度。

本研究假設主渠之摩擦力及衍生之能量損失為零，則主渠上、下游間之能量方程式經整理後可表示為：

$$\bar{y}^3 - \left(1 + \frac{1}{2} F_{rd}^2\right) \bar{y}^2 + \frac{1}{2 Q^2} F_{rd}^2 = 0 \quad (4)$$

上式表示當 \bar{Q} 及 F_{rd} 已知時，主渠上游與主渠下游水深比 (\bar{y}) 為一元三次多項式函數，其具有實根解之判別式為：

$$D = \bar{Q} - \{F_{rd}^2 / [(2 + F_{rd}^2) / 3]^3\}^{1/2} > 0 \quad (5)$$

應用 Descartes 規則知上式最多具有兩正根及一負根；當下游斷面為亞臨界流況，則較小之正根代表上游為超臨界流。此非本研究範圍，故不予討論。

令 $\bar{Y}_b = Y_b / Y_u$ 及 $K_e =$ 能量損失係數，則主

支渠間之能量方程式經整理後可表示為：

$$K_e = (1 - \bar{Q}) \left[1 - \frac{2\bar{Y}_b^3 + (1 - \bar{Q})^2 F_m^2}{\bar{Y}_b^2 (2 + F_m^2)} \right] \quad (6)$$

4 結果與討論

流向角

流向角(α)表示主渠和支渠交界面之速度向量與主渠流向之夾角

本研究定義斷面平均流向角(α)為：

$$U = \tan^{-1} \frac{S_{tu} u_t}{S_{tv} v_t} \quad (7)$$

其中： u_t ：支渠入流斷面之主流向流速的動量修正係數及 v_t ：支渠入流斷面之側流向流速的動量修正係數。本實驗結果顯示當渠寬比越小，則斷面平均流向角越大。至於深度平均流向角則顯示在主支渠交界面上越近上游端(E點)時較近下游端時(F點)為小。此一現象是因為在主支渠交接斷面上接近上游處其動量比下游處大，也就是說對量隨著越靠近下游會隨之遞減，因此在分流區轉角處會產生流線分離的現象。

迴流區形狀參數

迴流區形狀參數表示支渠迴流區內最小寬度與再觸長度之比值。當支、主渠流量比(Q_b/Q_u)增大時，最小深度平均寬度(W_c/W_b)亦變大，而再觸長度與支渠渠寬比(L/W_b)有隨之減小的趨勢。當支、主渠流量比(Q_b/Q_u)增大時，形狀參數(W_c/L)有逐漸變大的趨勢。

能量損失

在支渠分流段，會形成一複雜的三維性迴流區，因此要在支渠下游段找到均勻流況的起始位置並不容易，本研究是假設在迴流區較遠處10倍支渠渠寬處當作均勻斷面。主渠上游四倍渠寬處與支渠下游十倍渠寬處支視為均勻流況。當渠寬比越小時，在相同流量比之下，能

量損失會越大。

福祿數與水深比

在亞臨界流，水平直交分流渠道，當主渠上下游流量比與下游均勻斷面處福祿數已知時，可應用式(4)求得主渠上下游斷面之水深比。由分析結果可知：(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，(2)在下游福祿數較小，上下游水深比之變化會隨流量比之減少而有極明顯的變化。

工程應用

應用微擾法將式(4)表為：

$$\bar{Y}_j(\bar{Q} - \Delta\bar{Q}) = \bar{Y}_j(\bar{Q}) - \frac{F_{rd}^2}{\{\bar{Y}_j^2 - 2\bar{Y}_j[1 + \frac{F_{rd}^2}{2}]\}} \Delta\bar{Q} \quad (8)$$

當已知 \bar{Q} 時之 \bar{Y} ，則可應用已知之下游福祿數代入式(8)而求得 $\bar{Q} + \Delta\bar{Q}$ 之 \bar{Y} 。

令 $\bar{Q}_b = Q_b/Q_u = 1 - \bar{Q}$ ，則應用式(9)可得當上游入流量已知時，則由下游福祿數可知最大支渠流量為：

$$Q_{b,max} = Q_u \left\{ 1 - \left\{ F_{rd}^2 / [(2 + F_{rd}^2)/3] \right\}^{1/2} \right\} \quad (10)$$

應用式(9)也可求得已知流量比之主渠最大下游福祿數($F_{rd,max}$)為：

$$\left[\frac{F_{rd,max}^2}{(2 + F_{rd,max}^2)/3} \right] = \left(1 - \frac{Q_b}{Q_u} \right)^2 \quad (11)$$

求得被允許的主渠最大下游福祿數($F_{rd,max}$)之後，則可得被允許的最小主渠下游水深。

5 結論

本研究結論如下：

1. 渠寬比愈小，則斷面平均流向角愈大；
2. 主支渠交界面近上游端之深度平均流向角小於下游端；
3. 流量比愈大，迴流區形狀參數愈大；
4. 於同一流量比時，渠寬比越小，能量損失係數愈大；
5. 下游福祿數較小，上下游水深比之變化會隨流量比之減少而有極明顯的變化；
6. 當上游入流量已知時，則由下游福祿數可求得最大支渠流量或已知流量比之主渠最大下游福祿數($F_{rd,max}$)及其最小水深。

APPENDIX I REFERENCES

- 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. and Satish, M.G. (1988). "Division of Flow in Short Open Channel Branches." J. of Hydr. Engrg., ASCE, 114(4), 428-438.
- Ramamurthy, A.S., Tran, D.M. and Carballada, L.B. (1990). "Dividing Flow in Open Channels." J. of 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.
- Neary, V.S. and Odgaard, A.J. (1993). "Three-Dimensional Flow Structure at Open Channel Diversions." J. of Hydr. Engrg., ASCE, 119 (11), 1223-1230.