

## 第四章 模式驗證

本模式驗證分為兩部分，第一部份為單一渠道流場分析，利用許(2002)所發展有限解析法之動床模式中模擬定床之結果，和其模擬結果比較，驗證本模式在單一河道在定量流和變量流之適用性，作為發展合分流模式之基礎；第二部分進一步模擬合分流，利用淡江大學許中杰老師實驗室所實驗合分流之實驗資料，透過主支流上游水深之比較，與相對誤差分析，說明模式模擬之結果；而合流模式中，模擬重點在強調主渠上游水深部分，分流模擬時，重點在支渠所分得之流量。



### 4.1 單一渠道流場分析

#### 4.1.1 定量流之模擬

在亞臨界流之流況下，上游給予 200cms 流量流入渠道，下游則固定水深為 1.2 公尺；渠道總長為 2 公里，渠道寬度為 200 公尺；曼寧係數為 0.02；底床坡降為 0.0001；斷面間隔為 50 公尺，計算斷面點數為 41。

將計算結果和有限解析法模式、Pressmann 四點法之結果比較，圖 4.1 為縱向水面高程，其結果相當一致。

#### 4.1.2 變量流之模擬

變量流即為上游入流量隨時間不同而改變，如洪水波、潰壩流量、感潮河段流量受影響或因人為操作導致流量改變等，皆屬於變量流。而對於水波的傳遞，特性法最能明確表現此物理現象，因為它利用 Lagrangian 的觀點，跟隨著波的傳遞軌跡來描述流場的變化。

考慮一直線渠道，總長為 100 公里，寬為 200 公尺；曼寧係數為 0.02；底床坡降為 0.0001；斷面間隔為 1,000 公尺，計算斷面點數為 101。上游邊界輸入流量歷線如下：

$$q^{\xi}(t) = q_b + 0.5(q_p - q_b) \left[ 1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right] \quad 0 < t < 24hr \quad (4.1)$$

$$q^{\xi}(t) = q_b \quad 24hr < t < 48hr$$

其中， $q_b$  為基流量  $1.5 m^2/sec$ ， $q_p$  為洪峰流量  $2.0 m^2/sec$ ； $T$  為單一洪峰歷線延時，取 24 小時；總模擬時間為 48 小時。模擬結果與 Preissmann 四點法和顯式有限解析法比較，如圖 4.2 為距離上游 0、20、40、60、80 及 100 公里處之流量歷線，而圖 4.3 為水深歷線，可看出其結果都相當一致，往下游方向洪峰流量與最高水深有逐漸衰減的現象。

## 4.2 主支流之分析

### 4.2.1 等寬主支流交匯(張，1995)

#### 1. 實驗配置：

此匯流渠道設置於淡江大學水工實驗室，實驗渠槽配置如圖 4.4 所示。主渠和支渠皆為一渠寬 15.5 公分之等寬渠道，交匯角度為 45 度，主渠上游 5.5 公尺，下游 6.5 公尺，總長 12 公尺，支渠長 4 公尺。渠道底面黏貼麗光板，以確保渠底水平，交匯處側壁則以透明壓克力玻璃組成，以便於水位變化之觀察，於各角度交匯角轉折點 E、H 及其附近側壁另以透明膠片黏貼使其平順圓滑。主、支渠流量以 10 匹馬力抽水機由主蓄水池抽水經閘門分別供給獨立定水頭水箱及閘門控制，並經整流蓄水區後進入渠道，而下游則以一蓄水箱收集後以迴水管迴流至主蓄水池循環利用，控制體積如圖 4.5 所示，模擬時上游位置由儀器擺設位置得知，主流上游位於 AB 斷面，距離支流交匯處約 2 倍渠寬，支流上游位置位於 GF 斷面，距離主流交接處約 2 倍渠寬，主流下游位置位於 IJ 斷面，下游段約 60 公分長，擺設儀器量測下游水深。



## 2. 模擬資料建立：

依據實驗測點決定模擬渠道長度，主渠  $\Delta x$  取 3.875 公分，共取 37 個斷面，交匯點為第 17 個斷面，支渠  $\Delta x$  一樣取 3.875 公分，共取 17 個斷面，支流下游水位和主流第 16 個斷面點水位相等來進行模擬，主支流渠寬皆為 15.5 公分。曼寧粗糙係數 0.01，渠道底床為平床，匯流角度為 45 度，流量比約 0.1~0.9 共有九組。

## 3. 模擬成果：

合流之相對誤差：

$$\left| \frac{(\text{主渠上游水深模擬值}) - (\text{主渠上游水深實驗值})}{(\text{主渠上游水深實驗值})} \right| \times 100\%$$

合流流量比定義：

$$\text{流量比}(Q_1/Q_3) = \frac{\text{主流上游流量}}{\text{主流下游流量}}$$

實驗數據和模擬結果比較如表 4-1 所示，由不同流量比的相對誤差來看，當流量比越大時，表示主流的流量越大，支流流量越小，其結果越準確，當流量比低於 0.5 時，上游主流模擬水深明顯偏高如圖 4.6 所示，會造成此結果原因，應是小流量比時，支流對於主流的阻滯現象過於明顯，上游水深壅高，且由於模式先處理主流在處理支流，若支流流量大於主流流量易產生誤差，亦造成上游水深誤差加大，而與有限解析法(EFA)所模擬結果相比，在流量比較小時，誤差也較小。支流上游水位之相對誤差影響和主流相同，如圖 4.7 所示，當流量比低於 0.5 時上游水深誤差加大，但其誤差百分比不超過 5%，且模擬結果和有限解析法相近，本模式模擬結果相當令人滿意。

#### 4.2.2 非等寬主支流交匯(吳，2001)

##### 1. 實驗配置：

實驗渠槽配置及尺寸如圖 4.8，量測斷面如圖 4.9 所示。實驗使用之給水系統是由一具十匹馬力之抽水馬達取地底蓄水池的水，經由輸送管分別輸送至實驗之主渠及支渠渠槽，匯流後流入下游之蓄水箱，最後經排水溝渠流回地底的蓄水池，形成一循環系統。實驗流量之控制主要由分置於主渠與支渠渠槽最上游端之定水頭水箱，定水頭水箱可穩定箱內之水頭高，以保持靜水壓之穩定，使其下緣出水閘門於一定之閘門高度時有一穩定之出水量。主渠渠槽長 20.75 公尺，寬 47 公分，支渠渠槽長 4.3 公尺，寬度依各不同渠寬比而有所不同，分別為 21.7、34 公分。渠槽係由表面塗油漆之光滑木板，襯以鑄鐵外框支架構成。渠槽斷面為矩形，渠底為水平之平直渠道，渠槽交匯角度可調整（30 度、60 度及 90 度），於交匯處側壁由木板以銳緣方式銜接。而主渠下游端設置一附有表尺刻度之蓄水箱，用以率定主渠與支渠最上游端定水頭水箱之確實出流量。

## 2. 模擬資料建立：

模擬渠道主渠模擬間距 $\Delta x$ 取 11.75 公分(為 1/4 渠寬)，模擬斷面數為 61 個，支渠 $\Delta x$ 取 1/4 渠寬，模擬斷面數為 17 個，匯流點於第 17 個斷面，曼寧係數為 0.01，渠道底床為平床，主渠渠寬為 47 公分，支渠渠寬分別取 21.7、34 公分，模擬角度分別為 30、60、90 度，流量比約為 0.375、0.5、0.635、0.775、0.9，共模擬 30 組。

## 3. 模擬成果：

匯流角度 30 度之實驗數據和模擬結果比較如表 4-2 所示，渠寬比為 0.462 模擬結果，誤差皆在百分之二以下，除了流量比 0.767 主流上游水深相對誤差在 2.21%，而渠寬比為 0.723 時，相對誤差稍微加大，可看到在實驗資料支渠上游水深明顯較高於主渠上游水深，而在模擬資料兩上游水深相差不大，可能因為實驗誤差導致此結果，但大致上誤差都低於百分之五，在可以接受的範圍。在渠寬比較小時，支流影響主流的因素也比較小，匯流流量較不易影響主流流況，如圖 4.10 為主渠上游水深模擬結果和實驗資料比較圖，圖 4.11 為支渠上游水深比較圖，皆是渠寬比較小時模擬結果較為理想，表示模擬的精確度和匯流影響主流的大小有很大的關係，不僅影響主流上游也影響支流的上游。表 4-3 為匯流角度 60 度之實驗數據和模擬結果之比較，結果亦是渠寬比大，流量比小時誤差較大。圖 4.12 及 4.13 分別為主渠和支渠上游水深結果比較圖，其結果亦是相當準確，誤差百分比皆在 2% 上下。表 4-4 為匯流角度 90 度之實驗數據和模擬結果之比較，



可看到在渠寬比為 0.462 時結果相當準確，但渠寬比 0.723 時誤差明顯較大，且比匯流角度為 30、60 時大，呈現匯流角度越大相對誤差越大的現象，可能因為當匯流角度越大時，支流影響主流流況越大，流況相對越複雜，誤差也越大。匯流角度 90 度之主支渠上游水深於實驗數據和模擬結果比較圖，如圖 4.14、4.15 所示，渠寬比較大時有些許的誤差，流量比小於 0.5 時誤差較大，流量比大於 0.5 時誤差皆在 2% 內，其曲線的趨勢與之前模擬的結果一致。

#### 4.2.3 等寬分流(樊，1998)

##### 1. 實驗配置：

實驗渠槽位於淡江大學水工實驗室，支、主渠寬均為 30 公分等寬渠道，側壁覆以 0.5 公分厚之強化玻璃以降低糙度之影響。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。並使用 10 匹馬力之抽水馬達自主蓄水池抽水，經閘門、管路至上游定水頭箱，再以水箱閘門控制出流流量。當初流流量尚未流入實驗渠道前，先流入一具有細纖維網及孔板之整流箱中加以整流；而之主渠下游各有一附有表尺刻度之蓄水箱已集水，是以水流經實驗渠道先排入下游蓄水箱，再由蓄水箱排入地下之迴水渠道，回流至主蓄水池做循環利用，而蓄水箱亦作為量測上游定水頭箱排至支、主渠渠道實際流量之用。

##### 2. 模擬資料建立：

依據實驗測點決定模擬渠道長度，量測斷面圖如 4.16，主渠  $\Delta x$  取 15 公分，共取 19 個斷面，交匯點為第 9 個斷面，支渠  $\Delta x$  一樣取 15 公分，共取 9 個斷面，主支流渠寬皆為 30 公分。曼寧粗糙係數 0.01，

渠道底床為平床，匯流角度為 90 度，共模擬 6 組數據。

### 3. 模擬成果：

分流之相對誤差：

$$\left| \frac{(\text{主渠下游流量模擬值}) - (\text{主渠下游流量實驗值})}{(\text{主渠下游流量實驗值})} \right| \times 100\%$$

分流流量比定義：

$$\text{流量比}(Q_3/Q_1) = \frac{\text{主流下游流量}}{\text{主流上游流量}}$$

分流模式驗證重點在於支渠所分得的流量大小，先假設初始流量由主渠分流後一點水位給予支渠上游水位，利用特性線求出支渠所得之流量，模擬結果和實驗資料之比較如表 4-5，渠寬比 1:1 情況下，主流流況相當符合，若網格建立之精確，水位計算就較準確。下游流量比較如圖 4.17，由圖可知和有限解析法所模擬結果相比，下游流量誤差稍大，最大至 4.9%，由於支渠上游流量決定在於主渠匯流點後水位，當水位有誤差時，支渠所計算出流量也產生誤差。因模式中難以考量紊流現象產生之損失，在急遽分流之區域屬於紊流狀態，與彎道模擬中轉彎角度愈大會產生較大之誤差類似。由於模式採用水位相同之觀念，故產生之誤差將造成分流區後一斷面之水位計算不正確，因而產生主流下游流量模擬之誤差，可見實驗時流況穩定，結果將較佳。此外，且本模擬方法易發生質量不守恆的情況，導致誤差加大，但誤差還在可以接受範圍，就一維模式方便與簡易性而言，仍有其優點。而上游水深之比較如圖 4.18，模擬之水位值皆比實驗值稍

小一點，和有限解析法所模擬結果相當一致，誤差在 2% 上下，當分流角度為 90 度，其分流交匯區水流之流場流況不穩定現象較明顯，水流從原本直線道之流況急遽分流 90 度，將會造成底床較大之摩擦與模式開始之假設忽略摩擦損失有所不同。

#### 4.2.4 非等寬分流(何，2003)

##### 1. 實驗配置：

研究實驗設置於淡江大學水工實驗室，分流渠槽設置如圖 4.19 所示。主、支渠寬均為 30 公分之等寬渠道，側壁覆以強化玻璃以降低邊壁之影響。支、主渠以四十五度角相交，交接處之上游主渠長為 5.1 公尺，下游長為 5.9 公尺，而支渠長為 4.7 公尺。使用 10 匹馬力之抽水馬達自主蓄水池抽水，經閘門、管路至上游定水頭箱，再以水箱閘門控制出流流量。在主渠上游設置一水箱，固定一出水口開口寬度後，再以迴水檔板調整箱內的水頭高，使其保持一恆定的靜水壓力，以穩定的出水量流入渠道。在主、支渠下游處各有一附表尺刻度的蓄水槽，主要目的為量測上游處定水頭水箱排入渠道的確實流量。

##### 2. 模擬資料建立：

依據實驗測點決定模擬渠道長度，主、支渠  $\Delta x$  同樣取 15 公分，共取 19 個斷面，交匯點為第 9 個斷面，支渠取 9 個斷面，主流渠寬為 30 公分，支渠寬為 15、10 公分。曼寧粗糙係數 0.01，渠道底床為平床，匯流角度為 45 度，依不同流量比共模擬 14 組數據。

##### 3. 模擬成果：

依不同渠寬比作模擬分析，結果如表 4-6，為在不同渠寬比模擬結果和實驗資料之比較表，渠寬比越大時，上游水深及下游流量有較大的誤差，因支流寬越大時，主流受支流影響也越大，導致上游水深



和下游水深誤差加大。下游流量比較如圖 4.20，由數值計算可知，當交匯區後一斷面之水位斷面計算時水深較低，所給定支流計算流量時所算得知分流量較少，故主流下游有較多的流量，當流量比越小，主渠下游水深產生誤差越大，流量比大於 0.5 時，誤差在 2% 左右，結果符合實驗值。上游水深比較如圖 4.21，結果和實驗值相當接近，誤差皆在 1% 左右。

## 4.3 模擬成果評估

### 4.3.1 單一渠道模擬

Pressmann 四點法已是經過多方驗證相當成熟的數值方法，本模式和其比較結果相當相近，用以驗證本模式在單一河道模擬的正確性，另對於變量流的模擬亦可顯現出水波傳遞的物理現象。

### 4.3.2 合分流模擬

由上述模擬結果，可整理各項參數對於模式結果和實驗資料比較的影響如下：

#### 1. 合分流角度之影響：

合分流角度愈大結果愈差，因為角度大，造成流況之不平穩，支流之流量將對主流造成一阻滯現象，使得交匯區形成一極不穩定流場，可能形成通水斷面束縮，而導致水面湧高，甚至有超臨界水流而產生水躍現象，已偏離原模式之基本假設，故誤差隨之發生。合、分流數值模擬時，在不同交匯角度下，李(2002)針對不同之角度採取不同之方法進行模擬，經過測試後，以兩點水位相等法最接近實驗值，本模式引用其結果採用兩點水位相等法，並證實此方法的適用性。

#### 2. 流量比之影響：

合流模擬，支流流量越大；分流模擬，主流上游流量愈小，所產

生之誤差愈大。因為合流模擬時，支流之高流量，將造成主流流量無法順利向下游傳送，導致有向上游壅高之現象；分流模擬時，上游流量太小，將造成主流流量不易向下游傳遞，而造成誤差。且在模式建立中，由於支流下游水位是由主流給予，主流上游流量小於支流上游流量時，支流水位所得值也較小，因而產生誤差。

### 3. 渠寬比之影響：

渠寬比越大時，誤差也越大，當渠寬比越大時，表示支流渠寬越大，影響主流的通水斷面積也越大，可能形成的回流區越大，造成相當複雜的流場，在一維模式模擬中，無法模擬出此複雜的流場，而產生誤差，當主流流況因支流匯入或分離影響越大時，所模擬的誤差也越大。

### 4. 曼寧 n 值之影響：

曼寧 n 值和模擬河道之底床有關，在模擬實驗渠道率定曼寧 n 值時，若將曼寧 n 值加大，則所模擬出主渠上游水深會加大，因為模擬玻璃製之實驗渠槽，而一般玻璃渠槽曼寧 n 值範圍在 0.009~0.013 之間，根據率定結果， $n=0.01$  時最接近試驗結果，故採用之。

### 5. 渠道斷面之建立：

採用之渠道斷面間距越短，於數值模擬之運算時間越長，但所計算出之結果也較精確。在合流模擬時，當間距  $\Delta x$  縮小時，數值模擬之結果將趨於一穩定之值，變化不大，故可用此間距進行其它幾組模擬；但在分流實驗時，由於支流之流量由主流分流後之次一斷面計算之水位決定，當  $\Delta x$  過大時，容易造成質量不守恆的情況， $\Delta x$  太小，所花費模擬時間會過長。因此，需測試出適當的  $\Delta x$ ，數值計算時才能算出正確之主渠斷面水深值，再利用特性法觀念求得分流之上游入流量，以進行渠道之模擬。

本研究採用一維多方式特性法，而主流合、分流之流場為三維之紊流流場，模擬的結果無法完全呈現實際情況，如迴流區的形狀大小、通水斷面束縮大小、水面超高及離心力、流向角與偏離角等。但一維模式計算的簡易性、模擬所需的時間較短、費用也較模型實驗低，因此仍有其實用價值，所模擬的結果也有一定的參考價值。

