

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫：參數即時校正河川洪水演算模式之研發與應用

(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2625-Z-002-003-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：許銘熙

計畫參與人員：吳建均，傅金城，林洙宏

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 30 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫期中進度報告

## 參數即時校正河川洪水演算模式之研發與應用(2/3)

### Development and Application of Flood Routing Model with Real-Time Parameter Correction (2/3)

計畫編號：NSC 93 - 2625 - Z - 002 - 003

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：許銘熙 Ming-Hsi Hsu

研究助理：吳建均 Jian-Cyun Wu

研究助理：傅金城 Jin-Cheng Fu

研究助理：林洙宏 Shu-Horng Lin

執行單位：國立台灣大學生物環境系統工程學系

#### 一、中文摘要

本研究計畫屬於「即時洪水預報模式之研發與應用」整合型計畫之子計畫三「參數即時校正河川洪水演算模式之研發與應用」，全程計畫為期三年，目前為第二年。

蘭陽溪所處之蘭陽平原因地勢低窪，夏秋之際常因梅雨季或颱風所帶來的豪雨造成淹水災害，因此，若能提供沿岸的洪水位剖面線及特定地點的洪水位預報資訊，作為淹水預警之參考，將可有效減低洪水所帶來的災害損失。故本計畫之目的即為針對蘭陽溪的特殊地理環境及水文特性，建立合適的參數即時校正河川洪水演算模式。

第一年度在現地踏勘及資料蒐集後，根據動力波理論及數值方法建立河川洪水演算模式及潮位預報模式。

第二年度接續第一年度的研究成果，進一步的藉由觀測水位的獲得，建立參數即時校正河川洪水演算模式，並與各子計畫進行模式演算成果之串聯銜接，執行整體洪水預報模式測試工作。

**關鍵詞：**洪水預報、參數校正。

#### Abstract

This project is the 3rd-subproject of the integrated project “Development of a

Real-Time Forecasting Model and Its Application”.

The Lan-Yang Creek basin is located in the low-lying Lan-Yang Plain, where the inundation disasters occur frequently in summers and falls because of the torrential rain. If the real-time forecast information, including the water stage at the significant locations and longitudinal profiles along the river is available before flooding, the damages would be effectively mitigated. The purpose of this study is to develop a flood routing model with real-time parameter correction for the Lan-Yang Creek.

In the first year, a numerical flood routing model and tidal stage forecasting technique have been developed for the Lan-Yang Creek.

According to the first year of development plans, the project establish the flood forecasting with real-time parameter correction taking the observed river stages in the second year. Besides, we cooperate with the other subprojects to examine and compare the real-time forecasting model.

**Keywords:** Flood forecasting, Parameter correction.

#### 二、緣由與目的

蘭陽溪為台灣東北部宜蘭縣境內主要河川，發源於南湖大山北麓(標高 3,536 公尺)，本流向東北流至破布烏始入平地，至蘭陽橋附近形成幹流，再延東北流至東港注入太平洋，流域面積約 978 平方公里，主幹流長度約 73 公里。流域下游為蘭陽平原，地勢平坦，土壤肥沃，向以農業為經濟基礎，近年來因受工商業日漸發展之影響，使得週邊交通網路逐漸發達，勢必大幅提昇宜蘭地區之繁榮。

但由於蘭陽溪流域年平均雨量高達 2,656 公釐，並因流域土質屬排水性較差之砂土性質，導致洪水宣洩不良而氾濫成災，尤其是每年夏、秋的颱風期間，受到暴雨來襲而造成災害。近年來相關單位雖以工程治理作為防洪手段，但受到工程措施仍有其設計風險存在，並無法完全消除水患，故應輔以非工程之防洪措施，如洪水預警及洪災保險措施之規劃等，以彌補工程方法之不足。

本子計畫針對蘭陽溪河系地文與水文特性，建立河川洪水預報模式。主要目的係承接上游逕流模式(子計畫一)之預報流量，進行下游河系之洪水預報模擬，以提供未來 1~6 小時之洪水資訊。本子計畫以一維緩變量流動力波模式作為河川洪水預報模式之主體。並在納入研究區域內各水文控制點之即時觀測水位後，立即修正河川洪水模式之輸入資料，並期望經由即時校正回饋演算後所得之預報水位能更接近觀測水位，以即時提供蘭陽溪河系沿岸的洪水水位剖面線及若干特定地點的洪水水位資訊，作為蘭陽溪、羅東溪及宜蘭河等兩岸洪水平原及區域淹水預警之參考，並支援決策系統，以達到流域防洪減災之目的。

研究過程中，本計畫需銜接子計畫一的逕流量作為模式上游邊界，並將子計畫二之研究成果及觀測水位作為模式內邊界條件予以調整流況，最終研究成果則配合

子計畫四將其演算成果予以展示，作為預報研究區域內重要地點的洪水水位及河川沿岸的水面剖面線之參考，並加強各子計畫間資料之整合，以達成總計畫所規劃之研究目標。

### 三、文獻回顧

有關參數即時校正河川洪水演算模式的相關研究，本計畫分成為河川變量流模式之發展與應用、模式流況修正及模式參數校正之研究等三方面，茲分別說明如下。

#### 3.1 河川變量流模式發展及應用之研究

河川中水流之流動係隨時間及位置而改變，其流況通常可依一維連續及運動方程式所組成之緩變量流方程式來描述，但由於此變量流方程式相當複雜，一般情況下無法得到解析解，必須利用數值方法求解以應用至實際狀況。近年來隨著計算機能力的增強及相關理論的進展，河川洪水演算模式已成為洪水預警有力的工具之一。此處將簡介國內、外學者所建立的河川洪水演算模式。

在國外方面，Mahmood 與 Yevjevich (1975)和 Abbott(1976)分別以較完整的理論分析渠道變量流及其水理。Englund 和 Fredsoe(1976)發展可作為模擬一維之河川、渠道、灌溉系統、降雨逕流及流移-延散現象的一維河川及渠道之模式系統(MIKE 11)。Chang(1976)發展適用於沖積河川及間歇性河川的一維變量流動床模式(FLUVIAL-12)。Yen(1985)以迪聖凡納方程式(de St. Venant equation)為主體，分別將動力波、準變量波、擴散波及運動波之差分方程式作一概述，並且探討其適用性。Schaffranek(1987a,b)採用四點權重、隱性之有限差分近似法發展分支型式的網路動力流動模式(branch network dynamic flow model, BRANCH)。Einhelling 等(1990)發展可用於瓣狀沖積河槽水面及河床演變之長期模擬的一維變量水流及沉滓模式

(CHARIMA)。Parker(1991)多次修改 FLUVIAL-12 模式，使其功能更為完善。Wiley(1993)發展具有資料校正、可預測流量及流速功能的網路型態渠道之河川流量演算模式(DAFLOW)。Nguyen 和 Kawano (1995)以雙掃法模擬求解無迴水影響渠道的洪水演算。Bajracharya 和 Barry (1997)以截尾誤差分析(truncation error analysis)求解運動波並發展為洪水演算模式。

國內方面，許時雄(1969)建立了淡水河下游接近河口感潮段之演算模式。周乃昉(1979)以變量流理論建立非線性四點完全隱式法來模擬淡水河洪水時的水理。顏清連(1979~1983)使用非線性四點完全隱式差分法配合牛頓-拉福生法求解完整的迪聖凡納方程式發展變量流模式，並針對台灣河川之地文與水文特性，以理論分析及數值試驗等方式探討河川坡度、自然河川斷面不規則變化、曼寧糙度、匯流洪峰比及上、下游邊界條件對數值模式的穩定性影響。在此之後(1983~1987)並以該變量流模式從事淡水河洪水模擬及預報為主的一系列研究。蔡長泰(1977~1991)以線性完全隱式差分法配合雙掃法求解完整的迪聖凡納方程式發展洪流演算模式，該模式首先以朴子溪做為模式的驗證與探討，之後更將該模式應用於濁水溪及曾文溪洪水預報。賴經都(1995)利用多方式特徵法(MMOC)以耦合求解方式求解單一河道變量流水理的問題。李鴻源等(1996)發展出一個適用於台灣獨特蜿蜒河川的河川網路之擬似二維輸砂模式(NETSTARS)，能夠更適切且合理地模擬河川中主流交匯狀況下之複雜河系的運動行為。許銘熙(1984, 1996~1998)延續顏清連所建立之模式，並在考量地形變化過劇及提昇演算精度的情況下，增加了運動波的演算及即時水位校正的功能，該模式目前已納入淡水河洪水

預警系統。

### 3.2 模式流況修正之研究

為使計算水位能在質量及動量守恆下趨近於觀測水位，則必須要廣泛的蒐集相關於如何將觀測資料輸入數值模式的研究，以下則概略的介紹國內、外學者在此方面的研究成果。

Kuchment 和 Nazarov(1999)以對流擴散方程式建立河川洪水預報模式，當模式獲得觀測流量時，立即以線性內插的方式配合邊界條件修改整個河道的流況，以作為演算下一時刻河川流況的初始值。Camacho 和 Lee(1999)採用多線性離散數值方法作為河道演算的基礎，並配合河川觀測流量的獲得而發展為預報模式。Kothyari 和 Singh (1999)以時雨量和日流量配合統計的多變數迴歸法建立了預測日流量的關係式，並提出納入即時觀測資料對於預報的準確度有莫大的影響。Hsu 等(2000)先以一維變量流理論建立了淡水河洪水預報模式，然後對於每小時回傳的觀測水位除了取代數值模式的計算值外，並將此觀測水位的條件取代演算過程中的動量方程式，雖然此方式可以在保持質量守恆的情況下使計算水位等於觀測水位，但將會造成水面剖線的不連續。Cameron 等(2002)配合觀測值的輸入以類神經網路建立預報模式，並在經過驗證後發現對於較小的洪水事件，觀測值可以使預報流量有較為合理的預測結果。Hsu 等(2000)以觀測水位配合最小平方法即時校正變量流模式流況，且其應用於短延時(1~2 小時)預報具有良好的效果。

### 3.3 模式參數校正之研究

系統參數對於數值模式的演算結果具有重大的影響力，因此大多數的數值模式在應用前都必需對數值模式的參數進行檢定，但受限於該過程甚為耗力費時且可能受到主觀因素的影響，故如何作有效率的

參數檢定以符合洪水預報的時效性，則必須廣泛的探討國內外學者所使用的參數檢定方式及相關的即時修正理念，以下則概略的介紹在此方面的研究成果。

Chow (1973)藉由實驗與現地調查資料等建立了曼寧  $n$  值選用的標準，並表列供研究設計參考。Chiu 和 Emmanuel(1978)以卡門濾波配合觀測水深推估曼寧  $n$  值。Wormleaton 和 Karmegam (1983)以地文因子(渠底寬、邊坡坡度)及水力因子(水力半徑與通水面積)，在目標函數為流量及水深誤差最小的條件下以最佳化的最小平方方法，求解最適當之曼寧  $n$  值以縮減計算水位及流量與觀測值間的誤差。Jarrett (1984)在蒐集急流河川的現地資料後，以多變數迴歸法建立摩擦坡度、水力半徑和曼寧  $n$  值的關係式，故只需量測河川摩擦坡度和水力半徑即可預測曼寧  $n$  值。Fread (1992) 藉由試誤檢定方法配合洪水事件的觀測值，推算出最適合該河川的曼寧  $n$  值。Alain (1992) 使用曼寧公式加上疊代法來估算以迪聖凡納方程式所建立的洪水演算模式中的曼寧  $n$  值，並在考慮到洪水平原的影響下應用至實際河川。Crissman 和 Chiu(1993)為探討 Niagara River 在冬天時冰對於河川阻力的影響，以迪聖凡納方程式配合卡門濾波建立河床糙度曼寧  $n$  值可隨時間變化的預測模式。Sepaskhah 和 Bondar(2002)依據灌溉、入流量和植生覆蓋率而推求出兩個可以估算曼寧  $n$  值的方程式。Wong 和 Zhou(2003)先建立了水深及曼寧  $n$  值之間的關係，並在執行運動波模式的演算過程中，藉由水深的變化而即時修正曼寧  $n$  值。Liu 等(2003)在執行水理演算的過程中，藉由河川水深及植生作物的浸沒高度而計算出河道的曼寧  $n$  值以即時反應河道阻力。

綜合整理以上所述前人之研究，可以

獲得如下之結論：

1. 為適應蘭陽溪流域的特殊地理環境及配合數值模式原始程式的取得，故本計畫以顏與許(1996-1998)經由多方面測試所發展的變量流模式為基礎，進一步發展參數即時校正河川洪水演算模式。
2. 在觀測資料輸入數值模式的研究方面，本計畫在考量水面剖線連續性、質量守恆及時效性的狀況下，採用最小平方配合觀測水位進行預報初始值的設定。
3. 在參數校正方面，本計畫先使用試誤法進行模式參數的檢定，作為洪水預報期間，參數校正的初始值。然後，再使用最佳化理論建立觀測水深和河段曼寧係數間的關係，作為模式的參數校正方式。

#### 四、模式理論

本計畫於數值模式方面主要係針對顏與許(1996-1998)等人所建立完成的河川洪水預報模式為基礎，再發展成參數即時校正河川洪水演算模式。並藉由即時觀測水深，以修正預報初始值及系統參數-曼寧  $n$  值，而獲得合理的即時流況及精確的洪水預報資訊。有關參數即時校正河川洪水演算模式之控制方程式、邊界條件、數值方法、修正預報初始值及參數校正之方式，茲說明如后。

##### 4.1 河川洪水演算模式

本子計畫根據迪聖凡納氏(de Saint Venant)所導出之一維變量流之動力波理論來描述河川中水流動態。本子計畫為考慮沿岸殘流域流量及感潮河段之影響，將研究區域範圍之上游邊界延伸至蘭陽溪之家源橋、羅東溪之鼻頭橋與宜蘭河之員山橋。然而上游河道延伸至新上游邊界後，進行動力波數值演算過程會發生數值不穩定現象，經探究其原因為河道坡度過於陡峭所致，在蘭陽溪上游葫蘆堵大橋至家源橋之河段 (斷面編號 27~74)在 27,878

公尺長度內高程由 10.78 公尺陡升至 367.21 公尺；另外在羅東溪上游河段，斷面編號 009~014(鼻頭橋)之河段在 3,348 公尺長度內高程由 9.87 公尺上升至 51.605 公尺。本子計畫為使河川演算模式能達到數值穩定的範圍內，於防汛期間穩定提供正常預報功能，故於蘭陽溪河段家源橋至牛鬥橋；羅東溪河段鼻頭橋至 009 斷面等兩處河段，以較不受地形影響之運動波模式演算，再銜接動力波模式，完成蘭陽溪河系之洪水演算。

#### 4.1.1 動力波模式

##### 1.理論背景

將壓力、重力、摩擦力、局部加速度及對流加速度等項完整考慮之水流運動方程式，則稱為動力波。其水流連續及運動方程式依次為

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 + q_2 = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) - gA \left( S_0 - \frac{\partial Y}{\partial x} - S_f \right) - q_1 V_1 + q_2 \left( \frac{Q}{A} \right) = 0 \quad (2)$$

其中， $A$  為通水斷面積； $Q$  為河川流量； $q_1$  為單位河川長度之側入流量； $q_2$  為單位河川長度之溢出流量； $t$  為時間座標； $x$  為沿水流方向之距離座標； $g$  為重力加速度； $S_0$  為河道底床坡度； $Y$  為河道斷面之水深； $S_f$  為摩擦坡度； $V_1$  為河道側流平均流速在主流方向之分量。在數值演算的過程中，可以藉由曼寧公式(Manning's formula)將摩擦坡度表示為

$$S_f = \frac{n^2 Q |Q|}{R^{4/3} A^2} \quad (3)$$

式中， $R$  為水力半徑； $n$  為曼寧係數，代表河川之糙度值。曼寧  $n$  值通常經由颱風事件的檢定與驗證後決定，在一般數值模式演算的過程中通常假設曼寧  $n$  值不會隨著時間而變化。

(1)與(2)式分別表示水流之連續及運動方程式，若忽略河川斷面之底床沖淤，則通水面積( $A$ )與水深( $Y$ )間具有一定函數

關係，故(1)及(2)式包括水深( $Y$ )及流量( $Q$ )兩組未知的流況應變數。然而(1)與(2)式均為雙曲線型偏微分方程式，在天然河川中其流況應變數( $Q$ 、 $Y$ )通常無法直接求得解析解，而必須利用數值方法進行求解。

#### 2.數值方法

本計畫利用非線性完全隱式法(fully implicit scheme)求解各時段在河川各斷面的水深及流量。若以  $f$  表示欲求解之流況應變數(包括  $Q$  或  $A$ )，依四點完全隱式差分法寫成的差分式可被表示為(Amein 和 Fang, 1970)

$$f = \frac{1}{2}(f_{j+1}^{t+1} + f_j^{t+1})$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{\Delta x}(f_{j+1}^{t+1} - f_j^{t+1}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2\Delta t}((f_{j+1}^{t+1} - f_{j+1}^t) + (f_j^{t+1} - f_j^t))$$

式中， $t, j$  分別代表時間與空間座標指數； $\Delta x = x_{j+1} - x_j$  為河川相鄰斷面之距離； $\Delta t$  為演算時距。

將(4)式代入(1)式及(2)式中，即可將任意的兩相鄰斷面間( $x_j, x_{j+1}$ )之連續方程式及運動方程式，表示為前進時間段的流量及水深之函數關係，分別如  $C_j$  及  $M_j$  函數所示

$$C_j(Q_{j+1}^{t+1}, Y_{j+1}^{t+1}, Q_j^{t+1}, Y_j^{t+1}, Q_{j+1}^t, Y_{j+1}^t, Q_j^t, Y_j^t) = 0$$

$$M_j(Q_{j+1}^{t+1}, Y_{j+1}^{t+1}, Q_j^{t+1}, Y_j^{t+1}, Q_{j+1}^t, Y_{j+1}^t, Q_j^t, Y_j^t) = 0 \quad (5)$$

式中， $j=1,2,3,\dots,J$  為河道斷面指標，共計有  $J$  個斷面； $C_j$  及  $M_j$  分別為藉由第  $j$  個和第( $j+1$ )個斷面所組成的連續方程式及運動方程式； $t$  為現在時刻；而 ( $t+1$ ) 則為下一時刻((5)式之詳細型式詳見參考文獻(許銘熙, 1984))。

每兩相鄰斷面可寫出一組如(5)式之聯立方程組，若河道有  $J$  個斷面，則欲求解之流況應變數共有  $2J$  個，經由(5)式可以得到  $2(J-1)$ 組之差分方程式，再配合河道上、下游端之邊界條件，可建立成  $2J$  個聯立方程式，便可推求出  $2J$  個流況應變數。將(5)式配合上、下游邊界條件，依



## 4.1.2 運動波模式

### 1.理論背景

水流運動方程式，若忽略局部加速度、位移加速度及壓力梯度之影響時，即僅考慮重力與摩擦力平衡時，其與連續方程式組合之運動現象稱之為運動波，即：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_{\lambda l} \quad (10)$$

$$S_o = S_f \quad (11)$$

式中， $A$  為河川通水斷面積； $Q$  為河川流量； $q_{\lambda l}$  為單位河川長度之側入流量； $t$  為時間座標； $X$  為沿水流方向之距離座標； $S_o$  為河床坡度； $S_f$  為摩擦坡度。

式中  $S_f$  若以曼寧公式表示，則(11)式可以改寫為：

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_o^{1/2} \quad (12)$$

$$\text{或 } A = \alpha Q^\beta \quad (13)$$

其中， $\alpha = \left[ \frac{nP^{2/3}}{\sqrt{S_o}} \right], \beta = 0.6$

式中  $P$  為濕周， $n$  為曼寧糙度。將(13)式代入(10)式中可得：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha\beta * Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q_{\lambda l} \quad (14)$$

此即為運動波模式所用以計算之方程式。若  $\alpha$ 、 $\beta$  已知，則(14)式中僅有一未知數  $Q$ ，可利用數值方法求解。

### 2.數值方法

#### (1)線性法：

線性法所採用之差分式為：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q_{j+1}^{i+1} - Q_j^{i+1}}{\Delta x} \quad (15)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_{j+1}^{i+1} - Q_{j+1}^i}{\Delta t} \quad (16)$$

式中， $i, j$  分別代表空間及時間之座標指數； $\Delta x$  為河道相鄰斷面間之距離； $\Delta t$  為演算時距。為求得線性解，再將  $Q$  及  $q$  表示成：

$$Q \approx \frac{Q_{j+1}^i + Q_j^{i+1}}{2} \quad (17)$$

$$q_{\lambda l} \approx \frac{q_{\lambda l j+1}^{i+1} + q_{\lambda l j+1}^i}{2} \quad (18)$$

將式(15)、(16)、(17)、(18)代入式(14)中，可得線性運動波之差分式：

$$\frac{Q_{j+1}^{i+1} - Q_j^{i+1}}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{j+1}^i + Q_j^{i+1}}{2} \right)^{\beta-1} \left( \frac{Q_{j+1}^{i+1} - Q_{j+1}^i}{\Delta t} \right) = \frac{q_{\lambda l j+1}^{i+1} + q_{\lambda l j+1}^i}{2} \quad (19)$$

由式(19)，可解得未知項  $Q_{j+1}^{i+1}$ ：

$$Q_{j+1}^{i+1} = \left[ \frac{Q_{j+1}^{i+1} - Q_j^{i+1}}{\Delta x} + \alpha\beta Q_{j+1}^i \left( \frac{Q_{j+1}^i + Q_j^{i+1}}{2} \right)^{\beta-1} + \Delta t \left( \frac{q_{\lambda l j+1}^{i+1} + q_{\lambda l j+1}^i}{2} \right) \right] \Bigg/ \left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{j+1}^i + Q_j^{i+1}}{2} \right)^{\beta-1} \right] \quad (20)$$

#### (2)非線性法：

將式(4-15)表成有限差分之型式如下：

$$\frac{Q_{j+1}^{i+1} - Q_j^{i+1}}{\Delta x} + \frac{A_{j+1}^{i+1} - A_{j+1}^i}{\Delta t} = \frac{q_{\lambda l j+1}^{i+1} + q_{\lambda l j+1}^i}{2} \quad (21)$$

又由式(13)式可得：

$$A_{j+1}^{i+1} = \alpha \left( Q_{j+1}^{i+1} \right)^\beta \quad (22)$$

$$A_{j+1}^i = \alpha \left( Q_{j+1}^i \right)^\beta \quad (23)$$

將式(22)、(23)代入式(24)中，可得非線性運動波之差分式：

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_{j+1}^{i+1} + \alpha \left( Q_{j+1}^{i+1} \right)^\beta = \frac{\Delta t}{\Delta x} Q_j^{i+1} + \alpha \left( Q_{j+1}^i \right)^\beta + \Delta t \left( \frac{q_{\lambda l j+1}^{i+1} - q_{\lambda l j+1}^i}{2} \right) \quad (24)$$

在式(24)中，等式右邊均為已知項，若令其為  $\tilde{C}$ ，即得：

$$\tilde{C} = \frac{\Delta t}{\Delta x} Q_j^{i+1} + \alpha \left( Q_{j+1}^i \right)^\beta + \Delta t \left( \frac{q_{\lambda l j+1}^{i+1} - q_{\lambda l j+1}^i}{2} \right) \quad (25)$$

使用疊代法計算時，其殘數誤差  $f(Q_{j+1}^{i+1})$  (residual error)可表為：

$$f(Q_{j+1}^{i+1}) = \frac{\Delta t}{\Delta X} Q_{j+1}^{i+1} + \alpha(Q_{j+1}^{i+1})^\beta - \tilde{C} \quad (26)$$

應用牛頓疊代法：

$$(Q_{j+1}^{i+1})_{k+1} = (Q_{j+1}^{i+1})_k - \frac{f(Q_{j+1}^{i+1})}{f'(Q_{j+1}^{i+1})} \quad (27)$$

$$f'(Q_{j+1}^{i+1}) = \frac{\Delta t}{\Delta X} \alpha \beta (Q_{j+1}^{i+1})^{\beta-1} \quad (28)$$

式中， $k$  代表疊代次數。當  $|f(Q_{j+1}^{i+1})_{k+1}|$  小於允許誤差時，可求得未知項  $Q_{j+1}^{i+1}$ 。在應用非線性法求解時，未知項  $(Q_{j+1}^{i+1})$  初值的假設對疊代的收斂與否影響很大，故本模式在  $(Q_{j+1}^{i+1})$  的初值假設時先採用線性法所得之結果，再經由非線性法修正，以求得最近的數值解。

## 4.2 參數校正方式

參數校正是期望經由河川洪水演算模式中的系統參數之校正，以縮小預報水深與觀測水深之間的水深差。在河川洪水預報模式中與洪水位有直接關係的系統參數為曼寧  $n$  值。故本子計畫期望藉由調整各河段曼寧  $n$  值，能夠予以降低預報水深與觀測水深間的水深差平方和。因此在水深  $(Y)$  與曼寧係數為單值關係的假設下，目標函數可定義為

$$\min_{\Omega} f(\Omega) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (Y_k - \bar{Y}_k)^2 \quad (29)$$

式中， $f(\Omega)$  為目標函數而變數  $\Omega \in \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_K\}$ ； $K$  為流域內可提供觀測水深之水文站總數； $k$  為水文站指標； $Y_k$  為計算水深； $\bar{Y}_k$  則為觀測水深。

因(29)式為一非線性方程式，故本計畫利用最佳化理論之 Gauss-Newton method (茨木俊秀等, 1997; Jorge 和 Stephen, 1999)。將校正前、後的曼寧係數表示為

$$[\Omega]_{m+1} = [\Omega]_m - [(\Phi)_m^T \cdot (\Phi)_m]^{-1} \cdot [(\Phi)_m^T \cdot [E]_m] \quad (30)$$

(30)式中

$$[E]_m = \begin{bmatrix} Y_1 - \bar{Y}_1 \\ Y_2 - \bar{Y}_2 \\ Y_3 - \bar{Y}_3 \\ \vdots \\ M \\ \vdots \\ Y_K - \bar{Y}_K \end{bmatrix}_m \quad (31)$$

$$[\Phi]_m = \left[ \frac{\partial Y}{\partial n} \right]_{i,j} = \begin{bmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial n_1} & \frac{\partial Y_1}{\partial n_2} & \frac{\partial Y_1}{\partial n_3} & \Lambda & \frac{\partial Y_1}{\partial n_K} \\ \frac{\partial Y_2}{\partial n_1} & \frac{\partial Y_2}{\partial n_2} & \frac{\partial Y_2}{\partial n_3} & \Lambda & \frac{\partial Y_2}{\partial n_K} \\ \frac{\partial Y_3}{\partial n_1} & \frac{\partial Y_3}{\partial n_2} & \frac{\partial Y_3}{\partial n_3} & \Lambda & \frac{\partial Y_3}{\partial n_K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M & M & M & O & M \\ \frac{\partial Y_K}{\partial n_1} & \frac{\partial Y_K}{\partial n_2} & \frac{\partial Y_K}{\partial n_3} & \Lambda & \frac{\partial Y_K}{\partial n_K} \end{bmatrix}_m \quad (32)$$

式中， $[\Phi]_m$  矩陣中之  $i$  和  $j$  分別表示水文站和校正曼寧係數河段的編號。並定義水文站編號  $k=1,2,3,\dots,K$ ，是從上游往下游依序排列。

故(13)式之敏感係數，經由配合水文站編號和可校正曼寧係數河段的編號，可分為三類

1. 當  $i = j$  時

表示水文站與配合曼寧係數校正的河段在同一河段位置，則本子計畫在假設演算河道為寬淺斷面且為定量流的情況下，則計算流量、計算水面寬度及摩擦坡度之變化可被忽略，且水力深度相近於計算水深。可將曼寧公式改寫為

$$Y = \left( \frac{Qn}{BS_f^{1/2}} \right)^{3/5} \quad (33)$$

經由(33)式對曼寧係數偏微後，可以將敏感係數表示成

$$\left[ \frac{\partial Y}{\partial n} \right]_{i,j} = \left[ \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{Qn}{BS_f^{1/2}} \right)^{3/5} \right]_{i,j} = \frac{3Y_i}{5n_j} \quad (34)$$

2. 當  $i < j$  時

表示水文站位於配合曼寧係數校正的河段上游。本計畫考量校正下游河段的曼寧係數時所形成的水深變化，將會以迴水的方式影響上游水文站的水深。故可將水

文站受到迴水影響後的水深變化表示成

$$\left[ \frac{\partial Y}{\partial n} \right]_{i,j} = \frac{3Y_j}{5n_j} \cdot \prod_{\lambda=i}^{j-1} D_{\lambda} \quad (35)$$

式中， $\prod_{\lambda=i}^{j-1} D_{\lambda} = D_i D_{i+1} D_{i+2} \Lambda D_{j-1}$ ， $D_{\lambda}$ ，詳細推導參見附錄一。

3. 當  $i > j$  時

表示水文站在配合曼寧係數修正的河段下游。在亞臨界流及相同邊界情況下，上游河段的曼寧  $n$  值變化對於下游水文站的水深影響甚微，則該敏感係數可被設定為

$$\left[ \frac{\partial Y}{\partial n} \right]_{i,j} = 0 \quad (36)$$

本計畫整理(34)、(35)及(36)式後，可將敏感係數彙整為

$$\left[ \frac{\partial Y}{\partial n} \right]_{i,j} = \begin{cases} \frac{5Y_i}{3n_j} & \text{for } i=j \\ \frac{5Y_j}{3n_j} \prod_{\lambda=i}^{j-1} D_{\lambda} & \text{for } i < j \\ 0 & \text{for } i > j \end{cases} \quad (37)$$

將(37)式之敏感係數代入(32)式，即可推求出其敏感係數矩陣。再藉由(30)式，即可疊代修正得到另一組更合適之河段曼寧  $n$  值，再代入數值模式演算，而得到修正後的計算水深。因此，藉由  $t$  時刻的觀測值同時的修正預報初始值及曼寧係數，而建立參數即時校正河川演算模式，其演算流程如圖 1 所示。

#### 4.3 邊界條件

河川演算模式之邊界條件的型式約可分為三種；水位歷線、流量歷線和率定曲線，大多數在從事河川變量流數值演算時，上游端之邊界條件通常採用流量歷線或水位歷線，下游之邊界條件則可以採用流量歷線、水位歷線、或流量與水位關係之率定曲線。

本計畫在河道上游端的邊界條件採用子計畫一的預報流量，下游端的邊界條件則使用本計畫所研發的潮位預報模式。

本計畫所研發的潮位預報模式，主要以調和分析所得之天文潮位為基礎，在納入颱風期間氣象潮之影響，進行河口潮位預報。茲列式如下：

$$H(t) = \eta_p(t) + \eta_f(t) \quad (38)$$

式中， $H(t)$  為河口預報潮位； $\eta_p(t)$  為調和分析之天文潮位； $\eta_f(t)$  為氣象潮。在本計畫中，假設氣象潮在預報未來的時刻內均為已知定值  $\eta_f(t)$ ，該值可由預報當時河口之觀測水位與調和分析天文潮位之差值求得。分述如下：

##### 1. 天文潮

利用調和分析分離出不同之週期分潮對潮差之影響，並採用其中影響潮差較重要之九個分潮作為調和分析計算之基準，此九個分潮分別為 M2、S2、N2、K1、Sa、O1、K2、P1 及 M4 潮，其方程式為：

$$\eta_p(t) = \bar{\eta} + \sum_{k=1}^m a_k \cos(\omega_k t - \theta_k) \quad (39)$$

式中， $\eta_p(t)$  為綜合潮之水位； $\bar{\eta}$  為觀測平均水位； $\omega_k$  為分潮之角速度； $a_k$  為調和分析所得之分潮振幅； $\theta_k$  為調和分析所得之相位角； $m$  為所使用之分潮數目 ( $m=9$ )。本計畫為配合模式之順利進行，蒐集民國 92 年 1~6 月份之河口逐時潮位資料用以進行天文潮之調和分析。

##### 2. 氣象潮

在颱風期間若利用調和分析進行潮位預報時，須納入氣象潮之影響，但氣象潮之變因頗多，若完全納入考慮於實行上有諸多困難。故目前之作法為將預報當時調和分析天文潮位與觀測潮位之差值視為氣象潮之影響，並在每次預報過程中將氣象潮之影響視為此定值，如(38)式所述。

## 五、資料之整理與輸入

### 5.1 地文資料

#### 1. 蘭陽溪河系各河道斷面資料

在河川洪水演算過程中，河道斷面的

形狀影響模擬結果甚大，為求符合實際現況並提高模擬精度，本計畫採用水利署第一河川局及宜蘭縣政府於民國 74、85 和 92 年所測的蘭陽溪河系最新斷面資料，包括蘭陽溪、羅東溪與宜蘭河，合計共 146 個斷面，其河道斷面縱剖面圖如圖 2~圖 4 所示。

## 2. 堤防、抽水站及水工構造物資料

洪水模式演算過程中，需要輸入各斷面的堤防高程資料，本計畫乃依據經濟部水利署經由現地量測所得資料輸入數值模式內，並假設在數值模式的演算過程中無潰堤之情況發生，其堤防高程如圖 2~圖 4 所示。而流域內護岸及橋樑等水工構造物則詳列如表 1 所示。至於抽水站之詳細資料則尚待蒐集。

## 3. 河床糙度

在進行河川洪水演算時，必須先將各斷面之曼寧粗糙係數輸入模式中以進行數值模擬。本模式目前所使用之曼寧粗糙係數係依據經濟部水利署『蘭陽溪治理規劃報告』報告中之分析資料，其中在下游河道斷面之曼寧係數約為 0.030~0.035、中游者約為 0.035~0.038、上游者則為 0.040。此外，本計畫在有橋樑的斷面處將曼寧粗糙係數酌予提高，以反應水流受橋墩阻礙之影響，各河道曼寧粗糙係數值如表 2 所示，往後將經研究後再依據實測資料予以檢定。

## 5.2 水文資料

### 1. 邊界條件

本模式所需之邊界條件包括各河段上游之入流歷線、各殘流域側入流及抽水站等邊界條件。其中上游之邊界條件需要蘭陽溪之家源橋、羅東溪之鼻頭橋與宜蘭河之員山橋等 3 個水文站之流量歷線，故本模式必須與子計畫一之降雨逕流模式銜接。各殘流域之降雨逕流亦依子計畫一之

殘流域劃分，將其模擬結果與蘭陽溪河系下游沿岸抽水站之最大抽水量，以側入流方式納入本模式演算。在第一年度之模擬初期考慮如表 3 所示之 2、10 和 50 年重現期之逕流量；而側入流邊界條件則暫不予以考量。本年度在各殘流域之降雨逕流方面，則配合子計畫一之殘流域劃分，將其模擬結果，以側入流方式納入本模式演算。目前在上游邊界條件與殘流域側入流之處理，已與子計畫一協調整合並完成模式之銜接與初步測試。

### 2. 下游河口潮位歷線

本子計畫已利用調和分析法發展蘭陽溪河口潮位預估模式，未來將再配合中央氣象局的實測資料以校正下游河口的邊界條件。目前暫依據民國 93 年 1~6 月蘭興橋分析結果的平均潮位 0.24 公尺，作為初期數值模擬之下游邊界。

此外，本子計畫於第二年度研究期間經由水利署第一河川局的協助，已收集到興蘭橋潮位站 1985~1998 年紙本記錄及 1999~2004 電子檔潮位資料。

## 六、初步研究結果

### 6.1 重現期洪水

本子計畫所建構之河川洪水演算模式的模擬上游邊界包括：蘭陽溪上游之家源橋、羅東溪上游之鼻頭橋與宜蘭河上游之員山橋，下游邊界為河口。至於作為參數校正的水文站則分別為蘭陽溪的牛鬥橋及蘭陽大橋、宜蘭河的西門橋。其相對位置示意圖見圖 5 所示。

經採用 2、10 和 50 年重現期之逕流量及河口平均潮位 0.24 公尺等邊界條件，其初步模擬於蘭陽溪、宜蘭河及羅東溪之水位剖面線繪如圖 6~圖 8 所示。因第一階段研究主要在於模式架構之建立及程式之測試，經由 2、10 和 50 年重現期洪水之測試後，證實以運動波銜接動力波之河川演算模式，可應用於蘭陽河系。

## 6.2 河口潮位

本子計畫於第一年度採用 92 年 01 月 01 日至 92 年 06 月 30 日之興蘭橋潮水位站潮位資料進行調和分析，所得各分潮之參數如表 4。經由此法所完成之潮位預報模式，進行模擬預報 92 年 07 月 01 日至 92 年 09 月 20 日之河口潮位，潮位預報之結果繪如圖 9~圖 11 所示，圖中顯示在 7 月份及 8 月份的潮位預報值與觀測潮位甚為近似，顯示該潮位預報模式對於潮位變化之趨勢確可掌握。但在 9 月份時因為儀器故障導致實測資料部份缺失，因而降低了潮位預測精度。

本子計畫於第二年度持續蒐集了 93 年 01 月 01 日至 93 年 06 月 30 日之興蘭橋潮水位站潮位資料進行調和分析，所得各分潮之參數如表 5。並進行模擬預報 93 年 07 月 01 日至 93 年 09 月 20 日之河口潮位，潮位預報之結果繪如圖 12~圖 14 所示，圖中顯示潮位預報值與觀測潮位之趨勢甚為一致。經由上述兩組測試，顯示該潮位預報模式對於河口潮位變化之趨勢確可充分掌握，若於汛期再配合氣象潮位之影響，整體而言該模式確可提供符合現況的潮位預報值。

## 6.3 歷史颱風事件測試

本子計畫於第二年度，蒐集蘭陽溪歷年颱風期間的水位資料，茲彙整如表 6 所示。由表 6 中顯示安珀颱風事件的資料較為齊全，故選用安珀颱風事件進行測試。本子計畫採用子計畫一(逕流模式)提供之安珀颱風(86 年)之上游邊界流量歷線及下游河口潮位實測資料，進行河川演算模式之模擬測試。

安珀(AMBER)颱風於民國 86 年 8 月生成於呂宋島東方海面，於 8 月 29 日 03 時 50 分左右在花蓮秀姑巒溪北方附近登陸後，強度減弱，繼續以西北方向前進，於 8 月 29 日 20 時左右由馬祖附近進入大陸，其路徑如圖 15 所示。

本子計畫選取該場颱風洪峰期間(86 年 8 月 29 日 6 時至 8 月 29 日 24 時)，進行河川演算模式模擬測試，於牛鬥橋及蘭陽橋之模擬水位結果結果如圖 16 及圖 17 所示，圖中顯示模擬結果均有高估之現象，其中，牛鬥橋模擬水位與實測水位之均方差(RMSE)為 2.65 公尺；蘭陽橋模擬水位與實測水位之均方差(RMSE)為 1.97 公尺。

## 6.4 歷史颱風事件整合預報測試

為求進一步測試整合模式，本階段主要工作即針對安珀颱風事件，就降雨預報、地表逕流預報及河川洪水位預報進行模式串接，在模式銜接測試前，並就各模式之資料傳輸格式與其他子計畫進行檢討並彙整，最後由總計畫訂定模式間傳輸檔案之格式，以利模式順利銜接。

本階段中以降雨及水位資料較為完備的安珀颱風(86 年 8 月)進行各個模式串接整合之預報測試。安珀颱風之整合模擬預報於牛鬥橋及蘭陽橋之預報水位結果如圖 18 及圖 19 所示。圖中顯示預報結果均有高估之現象，究其原因包括：(1)河川水位預報模式為整合模式之最下游端，因承接上游端模式(降雨及逕流預報模式)之預報誤差，造成誤差放大；(2)受限於歷史颱風事件實測資料短缺，河川水位預報模式之參數檢定及驗證工作尚不完整，未來將持續進行以求改善；(3)河川斷面資料尚待進一步更新(目前蘭陽溪斷面資料為 85 年所測，羅東溪斷面資料為 74 年之設計規劃斷面，宜蘭河斷面資料最新，為 92 年所測)，因河川斷面資料資料部份過於老舊恐不合時宜且年份不一，故造成誤差；(4)河川水位預報模式未來將即時觀測水位納入進行回饋演算後，亦可提高預報精度。

## 七、結語與展望

### 7.1 結語

1. 本計畫第一年度建立了蘭陽溪河川洪水

- 演算模式，並以 2、10 及 50 年重現期流量進行模式的演算功能檢驗，經由模擬過程顯示，以動力波理論為基礎所建立的河川洪水演算模式確實能反映出蘭陽溪河系於洪水來臨時之水位變化。
2. 本計畫除了建立蘭陽溪河川洪水演算模式之外，亦完成了修正預報初始值及參數校正的理論推導，作為河川洪水演算模式修改的依據。
  3. 第一年度因受限興蘭大橋於 92 年 9 月份潮位站儀器故障及更換，使得 9 份月的潮位預報結果較為不理想。故本子計畫於第二年度蒐集 93 年 1 月至 6 月的潮位觀測值，重新進行參數的檢定以符合流域的現況。
  4. 為能使模擬結果能更符合現況，蘭陽溪河系部份殘流域之側入流歷線，已由子計畫一提供資料並進行整合性的模擬。
  5. 由安珀颱風之模擬測試及預報測試結果，可知各模式間在訂定傳輸檔案之統一格式後，確可順利銜接並模擬及預報。
  6. 為能精確預測蘭陽溪河系的洪水流況，應再蒐集過去蘭陽溪河系相關研究報告，並將其結果進行分析與比較，以提高河川洪水演算模式之完整性與精確度，而達到防洪預報以減少洪災之功能。

## 7.2 展望

1. 為能精確地作好洪水預報，應進一步以河川洪水演算模式模擬其他數場颱風事件，加強各項參數之檢定與驗證。
2. 為能提供更精確之洪水預報，河川洪水演算模式內容尚需進行即時水位回饋演算，並配合修正預報初始值及參數校正等理論作進一步之修改，以符合洪水預報之要求，亦為本計畫未來之主要研發探討的工作。
3. 為提昇潮位預報的精度，需再蒐集 94 年 1 月至 6 月的潮位資料進行調和參數的

分析。

4. 由歷史颱風模擬及預報結果顯示均有高估之現象，其誤差原因如文中所述，未來將持續蒐集相關資料，以提高預報精度。
5. 未來將加強與各子計畫間之資料整合，如銜接子計畫一的逕流量作為模式上游邊界，將子計畫二之研究成果予以調整模式流況，配合子計畫四將其演算成果予以展示，作為預報研究區域內重要地點的洪水位及河川沿岸的水面剖線之參考。

## 八、參考文獻

- 李鴻源、楊錦釧、葉克家、楊志達、謝慧民，1996，瓣狀河系沖淤模式之發展(四)-NETSTARS 模式使用者手冊，臺大土木研究所研究報告第 8501 號。
- 茨木俊秀、福島雅夫，1997，最優化方法，世界圖書出版公司。
- 許銘熙，1984，河川變量流非線性隱式法模式之穩定性，臺大土木工程研究所博士論文。
- 蔡長泰，1977，隱式法模擬變量流之應用與比較，中華民國第一屆力學會議論文集，285-307。
- 蔡長泰、歐善惠、顏沛華、宋長虹、陳聰智，1984，濁水溪洪水預報系統之研究(三)，行政院國科會防災科技研究報告 74-38。
- 蔡長泰、郭惠貞、蔡柏棋、蔡智恆，1991，曾文溪洪水預報模式之研究(二)，行政院國科會防災科技研究報告 81-61 號。
- 賴經都、王燦文、賴坤勇，1995，以多方式特徵法建立多成分河流模式，行政院國科會專題研究報告，NSC 83-0410-E002-038。
- 許銘熙，1984，河川變量流非線性隱式法模式之穩定性，臺大土木工程研究所博士論文。
- 顏清連、王如意、許銘熙、楊德良、李天浩，1996-1998，淡水河整體洪水預報系統模式之研發第一至六階段報告，台灣省水利處委託研究計畫，國立台灣大學水工試驗所。

- 台灣省水利局，民國 71 年，宜蘭河治理計畫，第一工程處。
- 台灣省水利局，民國 83 年，蘭陽溪治理規劃報告，第一工程處。
- 經濟部水利處，民國 89 年，蘭陽溪治理規劃報告，第一河川局。
- Abbott, M. B., 1976, Computational Hydraulics, Pitman Publishing Ltd. London.
- Ahmed, E. I., and Kenneth, V. H., 1979, Experimental investigation of flow over side weirs, Journal of Hydraulics Division, ASCE, 102, 1255-1367.
- Amein, M., Fang, C. S., 1970. Implicit flood routing in natural channel, Journal of Hydraulics Division, ASCE, 96, 2481-2500.
- Bajracharya, K., and Barry, D. A., 1997. Accuracy criteria for linear diffusion wave flood routing, Journal of Hydrology, 195, 200-217.
- Camacho, L. A., Lees, M. J., 1999, Multilinear discrete lag-cascade model for channel routing, Journal of Hydrology, 226, 30-47.
- Carmeron, D., Kneale, P., See, L., 2002. An evaluation of a traditional and neural net modeling approach to flood forecasting for an upland catchment, Hydrological Processes, 16, 1033-1046.
- Chiu, C. L., Emmanuel, O. I., 1978. Kalman filtering in open channel flow estimation, Journal of the Hydraulics Division, 104(8), 1137-1151.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., 1988. Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company.
- Chow, V. T., 1973. Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Company.
- Crissman, R. D., and Chiu, C. L., 1993. Uncertainties in flow modeling and forecasting for Niagara River, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(11), 1231-1250.
- Einhelling, R., Holly, F. M., Hsu, S. H., Schwarz, P., Schaefer J., and Yang, J. C., 1990. Charima-numerical simulation of unsteady water and sediment movement in multiply connected network of mobile-bed channels. IHR Report No. 343, Iowa institute of Hydraulic Research, The University of Iowa, Iowa City, Iowa 52242 USA.
- Englund, F., and Fredsoe, J., 1976. A sediment transport model for straight alluvial channels. Nordic Hydrology, 7, 296-306.
- Fread, D. L., 1992. Flood routing models and Manning n, Channel Flow Resistance : Centennial of Manning's Formula, 421-435.
- Hsu, M. H., Fu, J. C., and Liu, W. C. 2003. Flood routing with real-time stage correction method for flash flood forecasting in the Tanshui River, Taiwan. Journal of Hydrology, 283, 267-280.
- Jarrett, R. D., 1984. Hydraulics of high-gradient streams, Journal of Hydraulic Engineering, 110(11), 1519-1539.
- Jorge, N., and Stephen, J. W., 1999. Numerical optimization, McGraw-Hill Book Company.
- Kothyari, U. C., and Singh, V. P., 1999. A multiple-input-output model for flow forecasting, Journal of Hydrology, 220, 12-26.
- Kuchment, L. S., Nazarov, N. A., 1999. A model of transient flow and a procedure of short-term forecasting of discharges for the Lower Vyatka river basin, Water Resources, 26(4), 361-367.
- Liu, W. C., Hsu, M. H., and Wang, C. F., 2003. Modeling of flow resistance in mangrove swamp at mouth of tidal Keelung river, Taiwan, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 129(2), 86-92.
- Nguyen, Q. K., and Kawano, H., 1995. Simultaneous solution for flood routing in channel networks, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(10), 744-749.
- Mahmood, K., and Yevievich, V., 1975. Unsteady flow in open channels, Vol. I & II, Water Resources Publications, Inc., Fort Collins, Colorada.
- Parker, G., 1991. Selective sorting and abrasion of river gravel, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117(2),

- 131-149.
- Schaffranek, R. W., 1987a. Flow model for open-channel reach or network, U.S. Geological Survey Professional Paper 1384, 12.
- Schaffranek, R. W., 1987b. A flow simulation model of the tidal Potomac River, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2234-D, 41.
- Sepaskhah, A. R., and Bondar, H., 2002. Estimation of Manning roughness coefficient for bare and vegetated furrow,
- Wiley, J. B., 1993. Simulation flow and solute transport and mitigation of a hypothetical soluble-contaminant spill for the new river in the new river gorge national river, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 93-4105, 39.
- Wong, T. S. W., and Zhou, M. C., 2003. Kinematic wave parameters and time of travel in circular channel revisited, *Advances in Water Resources*, 26, 417-425.
- Wormleaton, P. R., and Karmegam, M., 1983. Parameter optimization in flood routing, *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(12), 1799-1814.
- Yen, C. L., 1985. An overview on flood routing models, *Proceedings of the ROC-Japan Joint Seminar on Multiple Hazards Mitigation National Taiwan University, Taipei, Taiwan*, 559-582.
- Yen, C. L., Hsu, M. H., 1982. A numerical model for unsteady flow in river system, *Proceedings of the thirds congress of the Asian and Pacific regional division of the International Association for Hydraulic Research, Bandung, Indonesia*, 91-101.

表1 蘭陽溪河系沿岸之堤防、護岸及橋樑

河川	左岸		右岸		橋樑名稱
	堤防名稱	護岸名稱	堤防名稱	護岸名稱	
蘭陽溪	狀圍 員山 再連 常嶺 崙埤 松羅		大洲 中溪洲 三星二號 三星舊堤 三星一號 破布烏 牛鬥 東疊 碼崙 2 號 碼崙 碼崙 1 號 五結	中溪洲 紅柴林	家源橋 牛鬥橋 蘭陽大橋 興蘭大橋 廣興橋 清洲橋
羅東溪	柯子林 阿里史 小南澳 淋漓	寒溪左岸護岸	廣興 鼻子頭 小埤 寒溪一號 寒溪		
宜蘭河	後防潮堤 公館 梅州 永和	新生護岸	狀圍防潮堤 狀圍 金六結		興蘭大橋 狀圍大橋 中央大橋 七張橋 慈安橋 鐵路橋 宜蘭橋 中山橋 員山大橋

表2 蘭陽溪河系各斷面曼寧系數值

斷面之曼寧 $n$ 值採用表			
蘭陽溪		羅東溪	
代表斷面	採用值	代表斷面	採用值
1~12	0.030	1~3	0.030
13~15	0.030	4~5	0.030
16~18	0.033	6~7	0.030
19	0.033	8~9	0.031
20~21	0.035	10~11	0.031
22~25	0.035	12~14	0.031
26~27	0.035	15	0.031
28~29	0.035	16	0.032
30~32	0.035	17~18	0.032
33~34	0.035	19~24	0.033
35~36	0.035		
37~40	0.035		
41~51	0.035		
52~57	0.035		
58~59	0.038		
60~61	0.038		
62~63	0.038		
64~65	0.038		
66~67	0.038		
68~69	0.038		
70~73	0.038		
74~75	0.040		
76~77	0.040		

表3 蘭陽溪河系各重現期洪水量(單位：cms)

重現期距	2	5	10	20	25	50	100	200
蘭陽溪部分								
蘭陽大橋	3100	4700	5700	6600	6900	7700	8500	9300
羅東溪合流前	2600	4000	4800	5600	5800	6500	7200	7800
清水溪合流前	2100	3400	4200	4900	5100	5800	6400	7000
羅東溪流域(出口)	700	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800
宜蘭河部分								
大礁溪匯流點	330	450	530	640	---	800	---	---
中山橋	660	930	1100	1310	---	1610	---	---
河口	660	930	1100	1310	---	1610	---	---

表4 蘭陽溪河口興蘭橋水位九個分潮之調和分析參數值

分潮編號	分潮名稱	分潮週期(時)	分潮振幅(公分)	相位角(度)
1	M2	12.42	23.064	136.194
2	S2	12.00	9.532	-125.633
3	N2	12.66	3.824	-176.20
4	K1	23.93	14.618	-128.835
5	Sa	8765.28	9.599	-155.728
6	O1	25.82	12.819	149.937
7	K2	11.97	5.883	35.335
8	P1	24.07	4.138	-141.092
9	M4	6.21	1.562	-112.866
Mean(平均水位高程)		: 23.505 公分		
RMS(殘餘水位差)		: 14.905 公分		
ER(潮波能量比)		: 72.32%		

註：92年1~6月資料分析結果

表5 蘭陽溪河口興蘭橋水位九個分潮之調和分析參數值

分潮編號	分潮名稱	分潮週期(時)	分潮振幅(公分)	相位角(度)
1	M2	12.42	26.471	40.25
2	S2	12.00	11.691	-131.03
3	N2	12.66	5.923	171.75
4	K1	23.93	17.528	-129.93
5	Sa	8765.28	17.763	-137.06
6	O1	25.82	13.683	50.85
7	K2	11.97	1.654	38.83
8	P1	24.07	4.4314	37.99
9	M4	6.21	4.1665	-124.30
Mean(平均水位高程)		: 27.803		
RMS(殘餘水位差)		: 10.439		
ER(潮波能量比)		: 87.89%		

註：93年1~6月資料分析結果

表6 蘭陽河流域歷史颱風洪水水位資料記錄調查統計

颱風名稱	水為站名稱				
	家源橋	牛鬥橋	蘭陽大橋	西門橋	興蘭大橋
ELLIE,愛麗	---	✓	✓	---	---
NAT,耐特	---	✓	✓	✓	---
NAT,耐特	---	---	---	---	---
RUTH,露絲	---	---	✓	✓	---
POLLY,寶莉	---	---	---	---	---
TED,泰德	---	---	---	---	---
TIM,提姆	---	---	✓	✓	---
DOUG,道格	---	---	✓	✓	---
GLADYS,葛拉絲	---	---	✓	✓	---
SETH,席斯	---	---	✓	✓	---
HERB,賀伯	✓	✓	✓	✓	✓
GLORIA,葛樂禮	---	✓	✓	---	✓
WINNIE,溫妮	---	---	✓	✓	✓
AMBER,安珀	✓	✓	✓	✓	✓
YANNI,楊妮	---	---	✓	✓	✓

註：1.---表無水位資料。2.✓有水位資料。

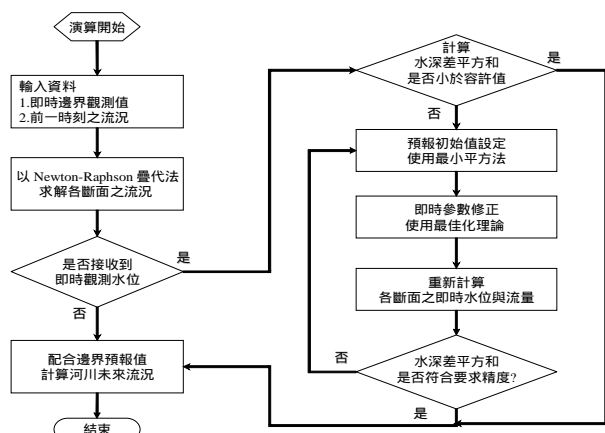


圖1 參數即時校正河川洪水演算流程圖

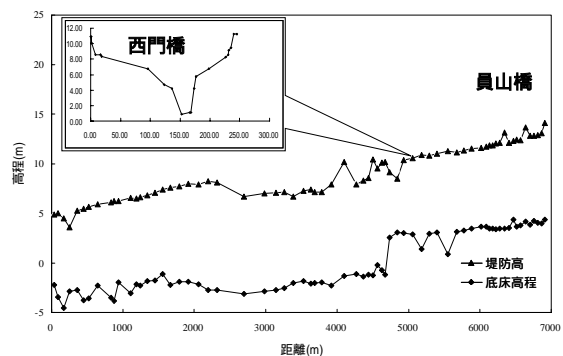


圖3 宜蘭河縱斷面剖面圖

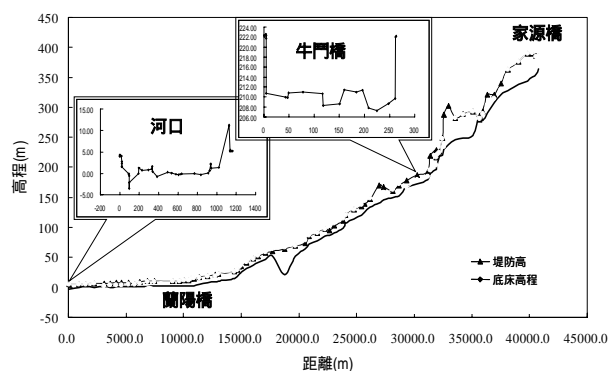


圖2 蘭陽溪縱斷面剖面圖

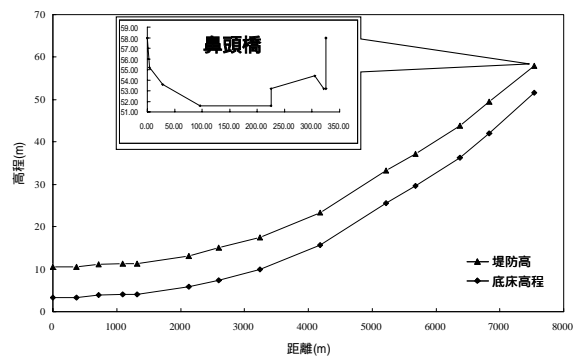


圖4 羅東溪縱斷面剖面圖

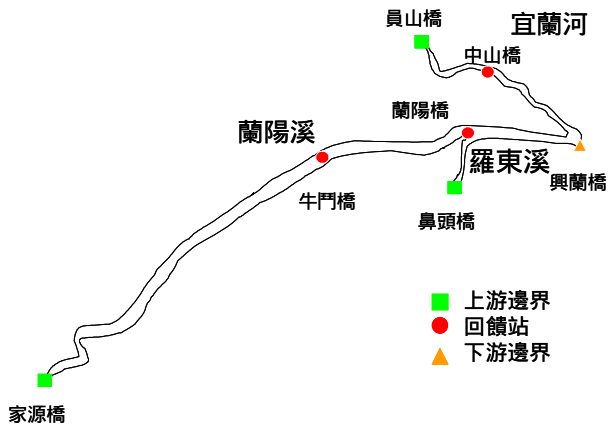


圖5 蘭陽溪河川洪水演算模式示意圖

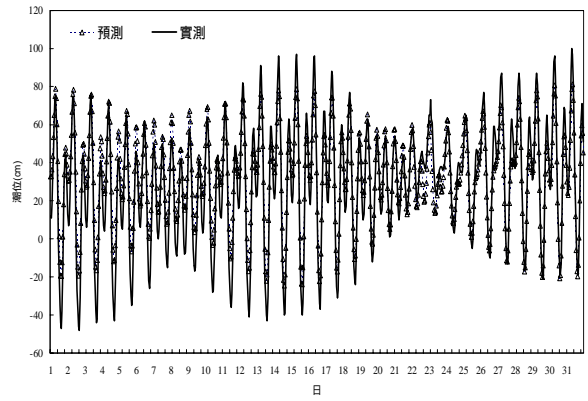


圖9 92年7月潮位歷線比較圖

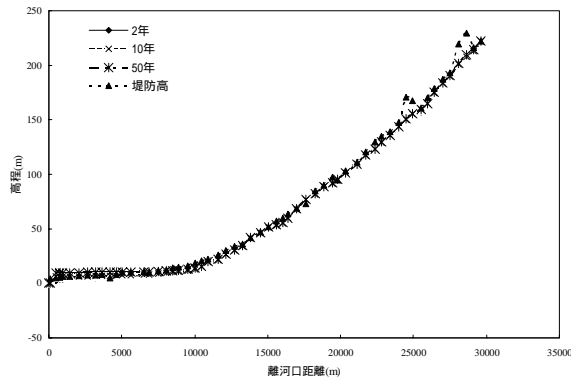


圖6 蘭陽溪各重現期洪水位剖面圖

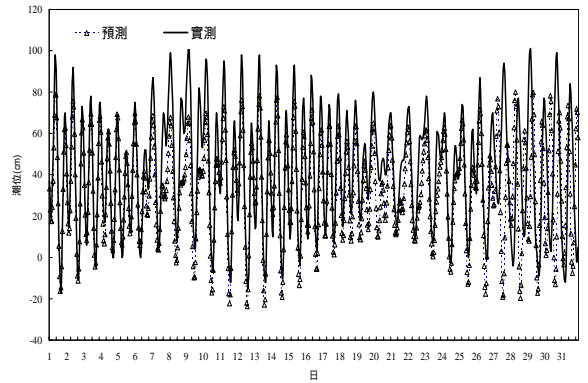


圖10 92年8月潮位歷線比較圖

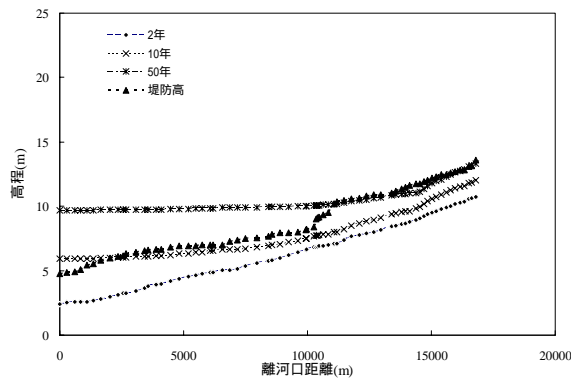


圖7 宜蘭河各重現期洪水位剖面圖

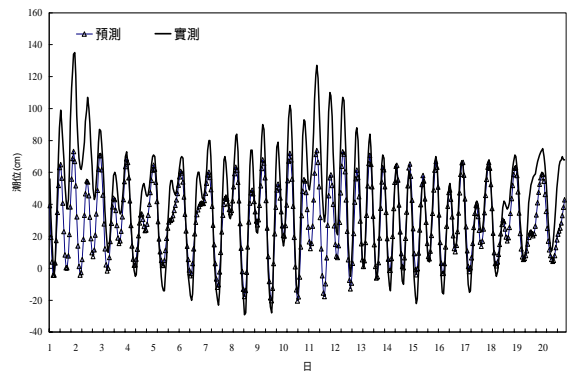


圖11 92年9月潮位歷線比較圖

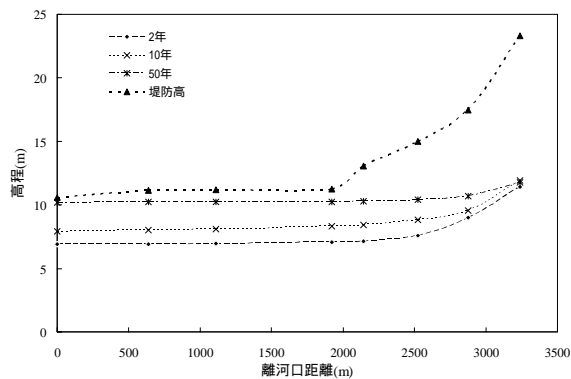


圖8 羅東溪各重現期洪水位剖面圖

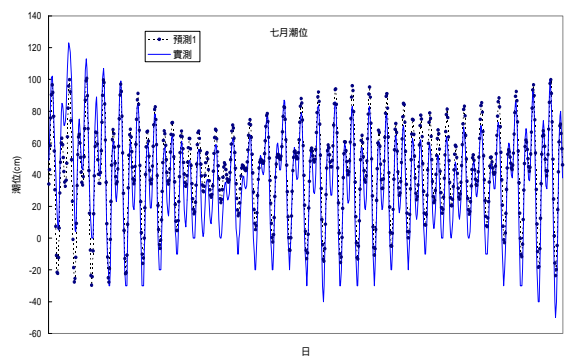


圖12 93年7月潮位歷線比較圖

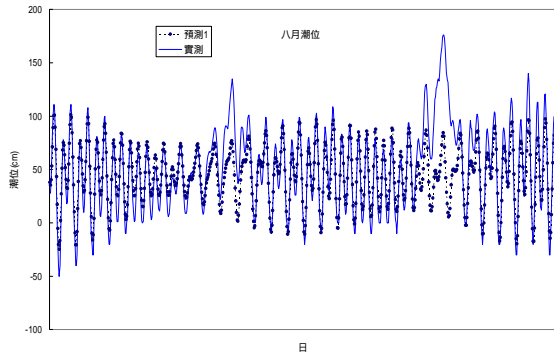


圖13 93年8月潮位歷線比較圖

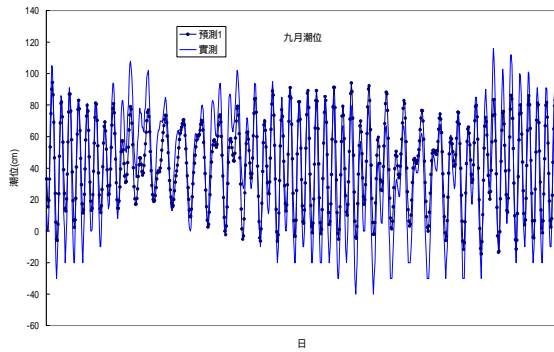


圖14 93年9月潮位歷線比較圖

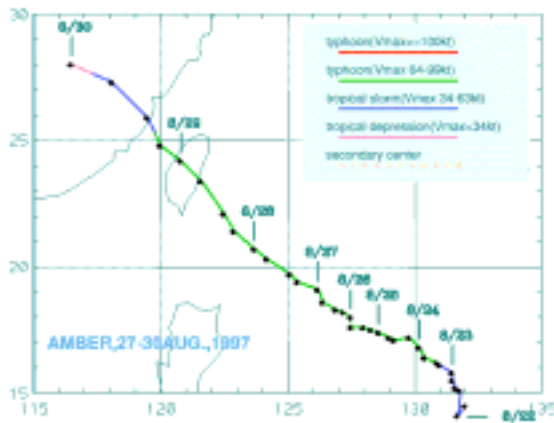


圖15 安珀颱風路徑圖

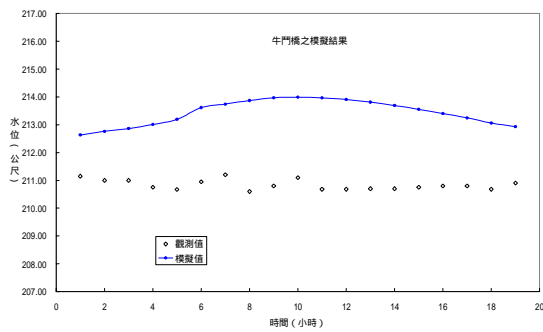


圖16 安珀颱風牛鬥橋模擬水位

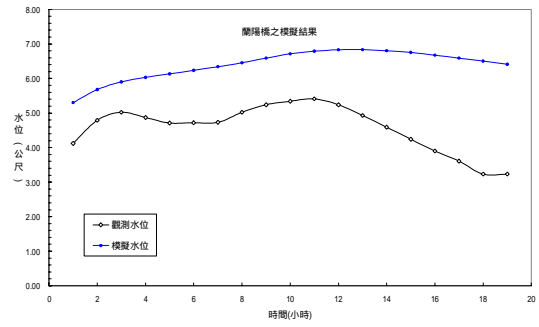


圖17 安珀颱風蘭陽橋模擬水位

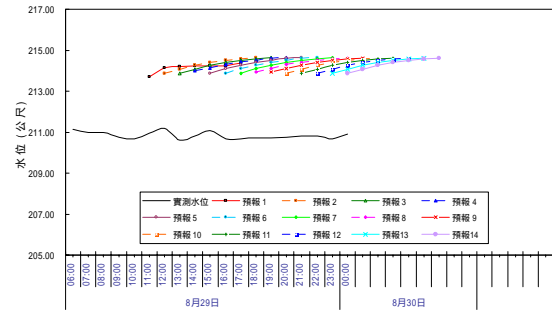


圖18 安珀颱風牛鬥橋預報水位

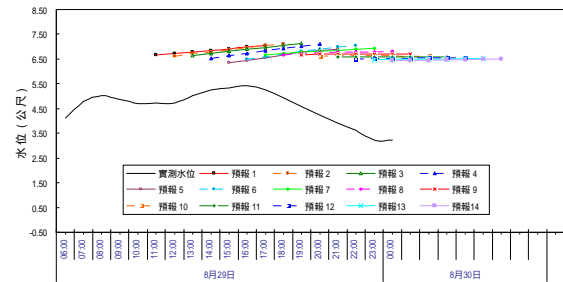


圖19 安珀颱風蘭陽橋預報水位

### 附錄一 敏感係數

假設河道中無側入流及溢流，則可將水面剖線表示成

$$\frac{dY}{dx} = \frac{S_o - S_f}{1 - F^2} \quad (A1-1)$$

式中， $F$  為福祿數。

藉由兩個相鄰水位站  $i$  和  $(i+1)$ ，則可以將(A1-1)表示為

$$Y_i = Y_{i+1} - \psi_i \quad (A1-2)$$

$$\psi_i = \left( \frac{S_o - \frac{1}{2}(S_{f_i} + S_{f_{i+1}})}{1 - \frac{1}{2}(F_i^2 + F_{i+1}^2)} \cdot \Delta X_i \right) \quad (A1-3)$$

式中， $\psi_i$  為兩水文站的水深差微分式。

當  $j > i$  時，經由連鎖律可將(A1-2) 對曼寧係數的偏微分寫成

$$\begin{aligned}\frac{\partial Y_i}{\partial n_j} &= \frac{\partial}{\partial n_j}(Y_{i+1} - \psi_i) \\ &= \frac{\partial Y_{i+1}}{\partial n_j} - \frac{\partial Y_{i+1}}{\partial n_j} \frac{\partial \psi_i}{\partial Y_{i+1}} - \frac{\partial Y_i}{\partial n_j} \frac{\partial \psi_i}{\partial Y_i} \\ &= \frac{\partial Y_{i+1}}{\partial n_j} \left(1 - \frac{\partial \psi_i}{\partial Y_{i+1}}\right) - \frac{\partial Y_i}{\partial n_j} \frac{\partial \psi_i}{\partial Y_i}\end{aligned}\quad (\text{A1-4})$$

(A1-4)式中的微分項  $\frac{\partial \psi_i}{\partial Y_{i+1}}$  和  $\frac{\partial \psi_i}{\partial Y_i}$  可

被改寫為

$$\frac{\partial Y_i}{\partial n_j} = \frac{\partial Y_{i+1}}{\partial n_j} D_i \quad (\text{A1-5})$$

而  $D_i$  為

$$D_i = \left( \frac{1 - \frac{\partial \psi_i}{\partial Y_{i+1}}}{1 + \frac{\partial \psi_i}{\partial Y_i}} \right) \quad (\text{A1-6})$$

同樣的，可以將  $\frac{\partial Y_{i+1}}{\partial n_j}$  表示成具有

$\frac{\partial Y_{i+2}}{\partial n_j}$  的形式

$$\frac{\partial Y_{i+1}}{\partial n_j} D_i = \left( \frac{\partial Y_{i+2}}{\partial n_j} D_{i+1} \right) D_i \quad (\text{A1-7})$$

重覆上述步驟，則

$$\frac{\partial Y_i}{\partial n_j} = \left( \frac{\partial Y_j}{\partial n_j} \right) D_{j-1} D_{j-2} \Lambda D_{i+1} D_i \quad (\text{A1-8})$$

將(18)代入(A1-8)則

$$\frac{\partial Y_i}{\partial n_j} = \frac{3Y_j}{5n_j} \cdot \prod_{\lambda=i}^{j-1} D_\lambda \quad (\text{A1-9})$$

式中， $\prod_{\lambda=j-1}^i D_\lambda = D_i D_{i+1} D_{i+2} \Lambda D_{j-1}$ ，而

$$D_\lambda = \left( \frac{1 - \frac{\partial \psi_\lambda}{\partial Y_{\lambda+1}}}{1 + \frac{\partial \psi_\lambda}{\partial Y_\lambda}} \right) \quad (\text{A1-10})$$

若忽略高次項的影響，則(A1-10)中的

$\frac{\partial \psi_\lambda}{\partial Y_{\lambda+1}}$  和  $\frac{\partial \psi_\lambda}{\partial Y_\lambda}$  可被定義為

$$\frac{\partial \psi_\lambda}{\partial Y_{\lambda+1}} = \frac{\left(1 - \frac{1}{2}(F_\lambda^2 + F_{\lambda+1}^2)\right) \left(\frac{5 S_{f_{\lambda+1}}}{3 Y_{\lambda+1}}\right) - \left(S_o - \frac{1}{2}(S_{f_\lambda} + S_{f_{\lambda+1}})\right) \left(\frac{3 F_{\lambda+1}^2}{2 Y_{\lambda+1}}\right)}{\left(1 - \frac{1}{2}(F_\lambda^2 + F_{\lambda+1}^2)\right)^2} \cdot \Delta X_\lambda$$

$$(\text{A1-11})$$

$$\frac{\partial \psi_\lambda}{\partial Y_\lambda} = \frac{\left(1 - \frac{1}{2}(F_\lambda^2 + F_{\lambda+1}^2)\right) \left(\frac{5 S_{f_\lambda}}{3 Y_\lambda}\right) - \left(S_o - \frac{1}{2}(S_{f_\lambda} + S_{f_{\lambda+1}})\right) \left(\frac{3 F_\lambda^2}{2 Y_\lambda}\right)}{\left(1 - \frac{1}{2}(F_\lambda^2 + F_{\lambda+1}^2)\right)^2} \cdot \Delta X_\lambda$$

$$(\text{A1-12})$$