

平地水筒模式於水田區域排水分析之應用研究

Study on Drainage Analysis of Paddy Fields by the Diffusive Tank Model

國立中興大學土木工程學系副教授

陳榮松

Rong-Song Chen

國立中興大學土木工程學系碩士

黃盈華

Ying-Hua Huang

摘要

利用平地水筒模式進行水田區降雨逕流模擬時，模式參數的決定是很重要的。平地水筒模式所需的參數中，河道粗糙係數可由現場渠道實際狀況評估而來，單位面積堰口寬可由現場實際量測求得，而所剩下的流量係數則須以率定的方式來決定。單位面積堰口寬經現場實際量測所得之平均值為 1.025m/ha。此外，由於流量係數的率定將會受到試驗流域之田區水筒及河道水筒的劃分方式所影響，故本研究將以設置於宜蘭礁溪之水田試驗區，來探討不同的劃分方式對流量係數的影響程度。率定結果顯示，流量係數約為 0.01，且流域水筒劃分大小不同對該參數之率定影響並不大。最後，有鑑於水稻田具有較相同的經營方式，故在宜蘭礁溪試驗區所求得之堰口寬實測值與流量係數率定值除了在宜蘭礁溪試驗區之外，亦利用立地條件不同之台南新營水田試驗區進行平地水筒模式對不同水田區排水模擬的驗證。由於在兩試驗區的模擬效果甚佳，初步證實了在宜蘭礁溪試驗區所求得之平地水筒模式參數對不同地區之水田區排水分析的通用性。

關鍵詞：平地水筒模式，水田，排水分析。

ABSTRACT

It is very important to determine the model parameters before using the diffusive tank model to simulate rainfall-runoff process of paddy fields. The roughness of channels can be obtained by evaluating the locale condition of channels and the notch width of rectangular contracted weir can be obtained by measuring the actual sizes in paddy fields. But the discharge coefficient remained has to be determined by fitting method. In this study, by way of measurement in paddy fields, the average value of notch width of rectangular contracted weir was obtained with 1.025 m/ha. Furthermore, the evaluation of

discharge coefficient is affected by the dividing way of field tank and river tank in experimental catchment, therefore, in this study, the Jyau-Shi experimental catchment in Ilan was established to discuss the influence of the dividing ways. The fitting result showed that the discharge coefficient is about 0.01 and is not significantly affected by the dividing ways. Finally, due to the similarity of the operation mode in paddy fields, model parameters obtained in Jyau-Shi experimental catchment can be used to test and verify the drainage simulation effect by different storm events not only in Jyau-Shi experimental catchment but also in Shing-Ying experimental catchment in Tainan. The good results in drainage simulations of the two experiment catchments suggest that the model parameters of paddy fields can be generally used in different paddy fields.

Keywords: The diffusive tank model, Paddy fields, Drainage analysis.

一、前言

由於電子計算機日益精進及數值方法的改進，許多淹水預報模式及逕流模式也隨之快速發展，實際應用在河川治理、排水規劃與洪水預報等工作上皆能獲得不錯的成果。到目前為止在模擬降雨—逕流水文現象上，已發展出多種數值模式來進行逕流模擬。尤其近年來在區域性逕流特性分析應用上，更發展了許多結合了複雜水理計算的水文模式，在國內部分，曹等⁽¹⁾利用一維變量流方程式之浸水模式來求解排水渠道之水位流量及演算其浸水情況，並以羅東冬山河流域及台南大圳排水系統來說明浸水模式之應用；顏等⁽²⁾以二維性零慣性數值模式來模擬三重、蘆洲地區潰堤後在洪氾區之流況；蔡等^(3,4)將模擬之洪氾區分區，以顯性擬似二維模式對濁水溪沿岸進行潰堤淹水模擬；許等⁽⁵⁾將核胞淹水模式與二維漫地流模式加以比較，結果顯示核胞淹水模式亦能正確反應流域內之淹水特性，並可在極短時間內提供洪水預報的參考；鄭⁽⁶⁾以一維變量流理論，模擬含蓋支線排水路之排水系統的水理現象，並分析不規則斷面對於低窪地區之淹水狀況。國外方面，Cunge⁽⁷⁾將洪氾區依地形地貌做適當的分區，再利用一維水流理論求解各網格之淹水深，並應用於湄公河三角洲之洪氾平原；此外 Balloffet⁽⁸⁾、Xanthopoulos⁽⁹⁾、Katopodis^(10,11)曾建

立二維數值模式來模擬潰壩後河川與洪水平原之水流流況。

而針對位於低平區域之水田區的排水分析上，首先由國外學者 Hayase^(12,13,14)提出平地水筒模式之概念，並在日本京都之巨椋地區等具有複雜排水系統之水田地區進行模擬；陳⁽¹⁵⁾則利用變量流模式及平地水筒模式分別針對低平地區進行模擬分析，結果兩模式所模擬的結果相當接近，但平地水筒模式具有較簡單、所需資料少、計算時間短等優點。此外，陳⁽¹⁶⁾亦以西螺 18 ha 試驗田區作個案研究，利用平地水筒模式對台灣低平地區來進行模擬，以檢討水田轉作旱田時對排水系統之影響。然而，以往在平地水筒模式參數之選用上，由於臺灣地區尚缺乏足夠之水田區域水文觀測資料，故均利用日本之經驗值或地區性個案值來模擬。有鑑於水田耕作方式在同文同種的區域較具有均一性以及模式參數本土化之重要性，本研究首先以宜蘭礁溪水田區做為試驗區域，在試驗區域內設置水文觀測儀器，利用現場實際觀測之水文資料及地文資料來選定及率定不同的數個模式參數。所得之模式參數除了利用礁溪試驗區之不同場降雨事件外，更以立地條件不同之台南新營水田試驗區之降雨事件作該模式參數對不同地區之適用性驗證，以期求出能通用於臺灣地區之平地水筒水田區域模式參數。

二、平地水筒模式

2.1 基本架構

在坡度平緩的低平地區，對水流具有良好的貯留效果。而平地水筒模式基本上是遵循原有之流域區分，由多個具有貯留效果的田區及與其相互連接的水路網系統所構成，模式中分別以田區水筒及河道水筒作為流域模式構成的主要元素。原則是將流域中水路的部分適當的分割成數個區間，每個區間視為一貯水池，稱為河道水筒；而同一水路系統兩側之田區部分，也適當地分割成數個區間，每個區間也視為一貯水池，稱為田區水筒。其中田區水筒是以堰流方式和河道水筒相連接；而河道水筒間的流況則以曼寧公式連接，進而架構成整個流域。

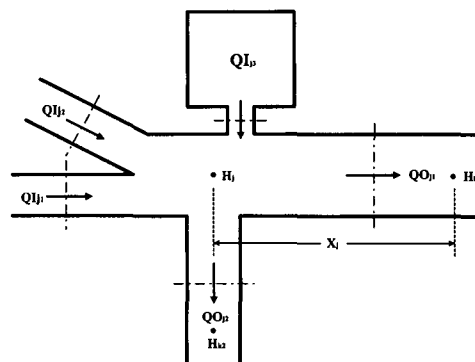


圖 1 河道水筒連接示意圖

河道水筒 j 連續方程式之差分式可表示成(3)式

$$\frac{W_j^{n+1} + W_j^n}{2} \frac{H_j^{n+1} - H_j^n}{\Delta t} = \frac{\sum_i (QI_{ji}^{n+1} + QI_{ji}^n) - \sum_i (QO_{ji}^{n+1} + QO_{ji}^n)}{2} + W_j^n r \dots (3)$$

其中， $n, n+1$ ：表示時點， H_j, W_j ：河道水筒的水位及水表面積(m^2)， QI_j, QO_j ：河道水筒 j 的流入量及河道水筒 j 的流出量(m^3/sec)，以下游方向為正， Δt ：時間間隔(sec)， r ：時點 $n, n+1$ 之間的有效降雨($mm/5min$)。圖 1 中之 $QI_{j1} + QI_{j2} + QI_{j3} = QI_j$ ，而 $QO_{j1} + QO_{j2} = QO_j$

河道水筒 j, k 間的流量計算，可依照水面坡降 F 與河床坡降 s 之間的關係變化，以曼寧公式加以計算之。

當 ($F \neq s$)

$$QO_j = \frac{A_j R_j^{2/3}}{N_j \sqrt{X_j}} \frac{H_j - H_k}{\sqrt{|H_j - H_k|}} = G_j \frac{F_j}{\sqrt{|F_j|}} \dots (4)$$

$$\text{其中, } G_j = \frac{A_j R_j^{2/3}}{N_j}, F_j = \frac{H_j - H_k}{X_j}$$

$$\text{當 } (F = s) \quad QO_j = \frac{A_j R_j^{2/3}}{N_j} \sqrt{s_j} = G_j \sqrt{s_j} \dots (5)$$

如圖 2 河道水筒間流況示意圖中， A_j, R_j 為

2.2 控制方程式

2.2.1 基礎方程式

平地水筒模式中河道的水流計算式基本上是由 De Saint Venant 一維變量流方程式作適當的簡化而來，在考慮到低平地區之坡度較為平緩，而水位隨時間的變化緩慢的情況之下，將變量流方程式中時間的變化項加以忽略，另外因為在低平地區對流慣性力之值遠小於表面力與體力，為簡化計算流程及縮短計算時間，亦將此項忽略，則原來的變量流方程式可化簡成如(1)式所示。而模式中無論計算何種流況時，均需滿足連續方程式(2)式。

$$\frac{\partial H}{\partial X} + S_f = 0 \dots (1)$$

$$\frac{dV_j}{dt} = \sum QI_j - \sum QO_j \dots (2)$$

其中 H ：水位(m)， X ：沿 X 軸方向之距離(m)， S_f ：能量坡降， V_j 為渠道 j 之貯蓄量(m^3)， t ：時間(sec)， QI_j 為渠道 j 之流入量(含所有流入渠道之入流量(m^3/sec)與有效降雨($mm/5min$))， QO_j 為渠道 j 之流出量(m^3/sec)

2.2.2 河道水筒間之流況

由(2)式及圖 1 河道水筒連接示意圖所示，

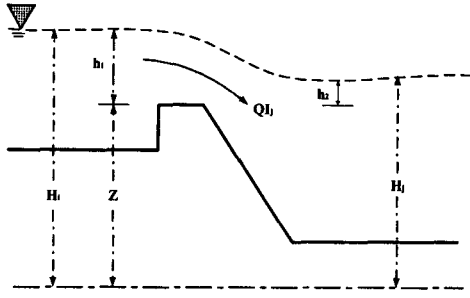


圖 2 水田水筒流出示意圖

河道水筒 j 之斷面積(m^2)和水力半徑(m), H_j 、 H_k 為河道水筒 j 、 k 之水位(m), X_j 、 N_j 為河道水筒 j 、 k 間之距離(m)和曼寧糙度係數($sec/m^{1/3}$), S_j 為河道水筒 j 之河床坡度。

2.2.3 田區水筒與河道水筒間之流況

假設田區之水表面積一定，有效降雨為唯一輸入的條件之下，依照水田之耕作方式，其田區水筒模型及流況示意圖可表如圖 2 所示，而(2)式之連續方程式亦可改寫成下列之差分式：

$$W_i \frac{H_i^{n+1} - H_i^n}{\Delta t} = W_i r - \frac{QI_j^{n+1} + QI_j^n}{2} \dots\dots\dots(6)$$

其中， W_i ：水田水筒 i 之水表面積(m^2)； r ：時點 n 、 $n+1$ 之間的有效降雨($mm/5min$)， Δt ：時間間隔(sec)， H_i ：水田水筒 i 的水位(m)； QI_j ：水田水筒的流出量(=河道水筒 j 之流入量)(m^3/sec)

水田水筒 i 流至河道水筒 j 之流出量可利用堰流公式來計算：

潛流：

$$\left(\frac{h_2}{h_1} \geq \frac{2}{3} \right) \Rightarrow QI_j = \frac{3\sqrt{3}}{2} \mu \sqrt{2g} B h_2 \frac{H_i - H_j}{\sqrt{|H_i - H_j|}} \dots\dots(7)$$

自由流：

$$\left(\frac{h_2}{h_1} < \frac{2}{3} \right) \Rightarrow QI_j = \mu \sqrt{2g} B h_1^{3/2} \frac{H_i - H_j}{|H_i - H_j|} \dots\dots\dots(8)$$

$$\begin{aligned} h_1 &= H_H - Z, H_H = \max(H_i, H_j) \\ h_2 &= H_L - Z, H_L = \min(H_i, H_j) \end{aligned} \dots\dots\dots(9)$$

其中， B ：表示堰口寬(m)， H_j ：相連接河道水筒

j 之水位(m)， μ ：流量係數， g ：重力加速度(m/sec^2)， h_1, h_2 ：超過堰高之水深(m)， z ：堰高(m)。

三、模式參數的決定與適用性的驗證

本模式所需參數有三個，分別為流量係數 μ 值及單位面積堰口寬 b 值(m/ha)及曼寧係數 N 值。由於將水田試驗區模式化時，常會將數塊或數十塊水田合併為一個區塊來進行水理計算，故在此將以單位面積堰口寬 b 值取代堰口寬 B 值來作為模式的參數。由於水田之栽培方式具有較一致之共通性，故單位面積堰口寬 b 值係經對多處水田試驗區進行現場調查後所得的結果。現場調查中對各水田試驗區中與排水路相鄰之 150 塊以上之水田進行缺口寬的實際量測，並將測得之各水田缺口寬除以該塊水田面積後，求出各水田試驗區之平均值在 $1.00m/ha \sim 1.05m/ha$ 。在此則取其中間值 $1.025m/ha$ 為所有水田區的總平均值。曼寧 N 值則利用粗糙 N 值表 [Chow⁽¹⁷⁾] 評估現場實際水路狀況後代入。因此模式參數中需率定者僅為流量係數 μ 值。關於流量係數 μ 值，由於田區水筒的流出計算是以概念性的堰流流況視之，堰口尺寸大異於實際的寬頂堰或者是銳形堰，故在計算其流量時，應將既有堰流公式中之流量係數 μ 值重新率定為宜；此外，在將試驗區域劃分成田區水筒及河道水筒時，由於個人考量角度的不同而常使水筒大小的劃分方式不同。在此，本文將探討不同的劃分方式對率定參數 μ 值的影響。

3.1 試驗區域概述

本文所選定的試驗區域之一是宜蘭礁溪試驗區，其位於宜蘭礁溪之瑪儸農地重劃區，為一純水田流域，試驗區域面積約 85 公頃，排水系統主要是由實踐中排及其所屬的排水支線—排 11-6 及排 11-2 所組成，如圖 3、圖 5、圖 7 所示。

3.2 排水模擬條件及情況

3.2.1 模擬條件

a. 降雨條件

降雨資料為影響逕流之重要因素之一，本文

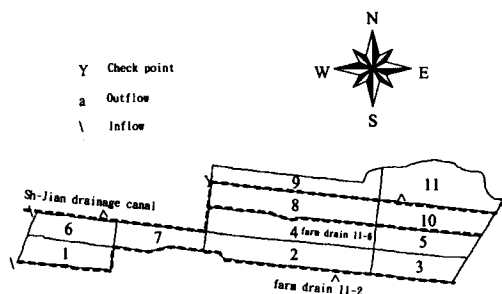


圖 3 CASE1 試驗田區概況圖

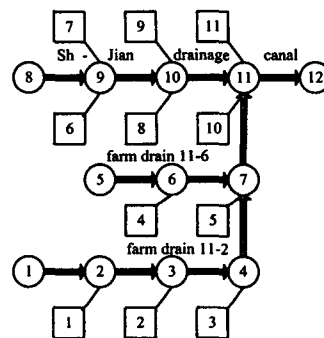


圖 4 CASE1 之流域模式圖

是採用實測 5 分鐘間隔一筆之降雨資料。利用現場設置的雨量計所紀錄到的三場降雨資料來模擬，作為模式之降雨輸入。第一筆降雨資料為 97/08/29 1:15am ~ 11:00pm，總降雨量為 193.5mm；第二筆降雨資料為 98/06/02 1:00am ~ 98/06/04 12:45am，總降雨量為 105.0mm；第三筆降雨資料為 98/08/04 2:00am ~ 6:15pm，總降雨量為 25.0mm。

b. 初期條件及邊界條件

初期條件：假設水田水筒在模擬開始時已為湛水狀態且其淹水深約略高過缺口而有微量水流流入渠道中。

邊界條件：此試驗區有 2 個入流點及 1 個出流點，此 3 點均設置水位計，並分別以實際量測之水位歷線為其邊界條件值。

c. 土壤入滲

由於降雨延時並不長，故模式中之降雨損失忽略蒸發散，只考慮土壤入滲之滲透損失量。由於入滲的過程十分複雜，入滲量之大小亦受到土壤質地、作物根系發展、臨前狀況及田區內湛水深之影響而有所差異。本文中是以試驗區之土壤質地資料，配合水利局之設計規範公式來推求模擬期間之平均土壤入滲率[台灣省水利局⁽¹⁸⁾]。宜蘭礁溪試驗區之土壤種類為砂質壤土及壤土，其相對應之平均土壤入滲率為 0.007mm/min。

d. 模式參數

本模式所需參數有三個，分別為流量係數 μ 值，單位面積堰口寬 b 值(m/ha) 及曼寧係數 N 值。其中單位面積堰口寬 b 值採現場實測值 1.025m/ha，曼寧 N 值則依現場狀況對照選取粗糙 N 值表中所建議之值，由於各排水路狀況不一，所採用之值分別在 0.027 ~ 0.031 之間。故需加以率定之參數僅有流量係數 μ 值。

3.2.2 模擬情況

本文將分下列三種情況來探討流量係數 μ 值的敏感度：

CASE1：試驗區中每個水田水筒面積介於 5 公頃~10 公頃之間，田區概況圖及流域模式圖如圖 3、圖 4 所示。河道水筒編號 12 為外水位，河道水筒編號 1、8 為入流點，河道水筒編號 9 為驗證點。

CASE2：試驗區中每個水田水筒面積約為 5 公頃，田區概況圖及流域模式圖如圖 5、圖 6 所示。河道水筒編號 16 為外水位，河道水筒編號 1、10 為入流點，河道水筒編號 12 為驗證點。

CASE3：試驗區中每個水田水筒面積約為 2.5 公頃，田區概況圖及流域模式圖如圖 7、圖 8 所示。河道水筒編號 28 為外水位，河道水筒編號 1、17 為入流點，河道水筒編號 21 為驗證點。

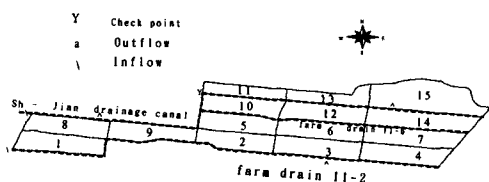


圖 5 CASE2 試驗田區概況圖

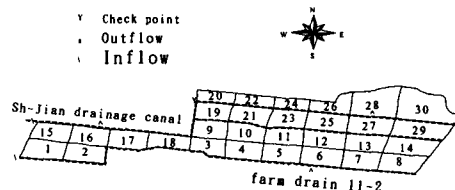


圖 7 CASE3 試驗田區概況圖

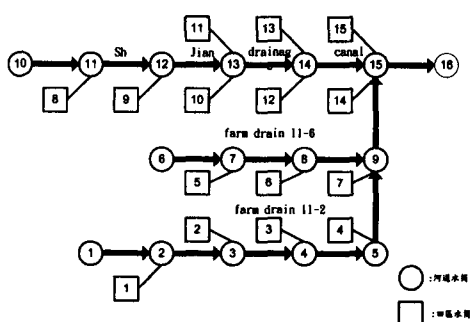


圖 6 CASE2 之流域模式圖

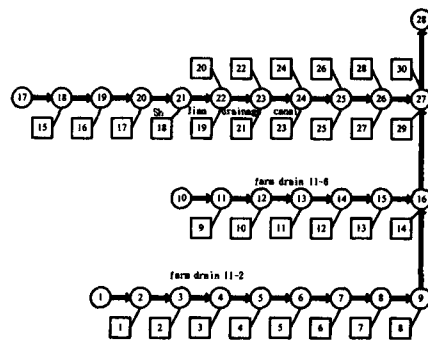


圖 8 CASE3 之流域模式圖

表 1 模式參數 μ 值率定之結果

	μ 值		
	Storm 1	Storm 2	Storm 3
CASE 1	0.01~0.05	0.01~0.05	0.01~0.20
CASE 2	0.01~0.03	0.01~0.05	0.01~0.15
CASE 3	0.01~0.03	0.01~0.05	0.01~0.15

表 2 模擬值與實測值之相對誤差表

	Relative error %		
	Storm 1	Storm 2	Storm3
CASE 1	5.02%	2.77%	0.83%
CASE 2	2.38%	2.18%	0.49%
CASE 3	1.67%	1.73%	0.47%

3.3 參數的率定

在此利用降雨型態、降雨量大小各異之三場實測降雨資料輸入模式中來進行參數的率定，其結果如表 1 所示。在同一場暴雨及同一種劃分方法下進行了參數 μ 值的率定，並在模擬結果之相對誤差相若的情況下得出 μ 值的範圍。由表 1 可知三種 CASE 在各場暴雨所率定出來的 μ 值範圍其差異性並不大，然而就排水的整體模擬效果而言，CASE 1 之模擬效果則較其它二種 CASE 差。又，由三場降雨型態、降雨量大小各異之實測降雨所率定出來的 μ 值範圍可知， $\mu=0.01$ 應可適用於各類型降雨事件之水田區排水模擬。

此外，亦利用該三場降雨來模擬三種劃分方法不同之流域模式的模擬效果。在此採用 $\mu=0.01$

來進行模擬，第一場暴雨的率定結果如圖 9 所示；第二場暴雨的率定結果如圖 10 所示；第三場暴雨的率定結果如圖 11 所示。模擬值與實際值的相對誤差如表 2 所示。

由表 2 與圖 9~圖 11 可知，CASE 2 與 CASE 3 的模擬效果較為相近，而 CASE 1 的模擬效果較差且較其它二種 CASE 有較明顯的差距，其主要的原因應該是由於 CASE 1 之水筒劃分過於粗略所導致的。又由表 2 可知，雖然在相同的流域劃分法下，總降雨量愈小之暴雨事件其模擬的相對誤差有愈小的趨勢，然而由較常採用之水筒劃分原則—以三次排水河道所控制之區域為一個水田水筒，亦即 CASE 3 或將 CASE 3 再擴大之 CASE 2 的劃分方式而言，不論大小暴雨事件其

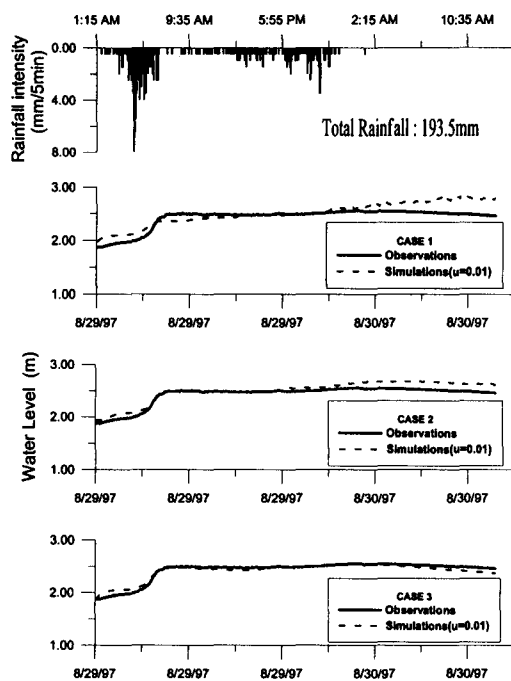


圖 9 第一場暴雨之模擬結果

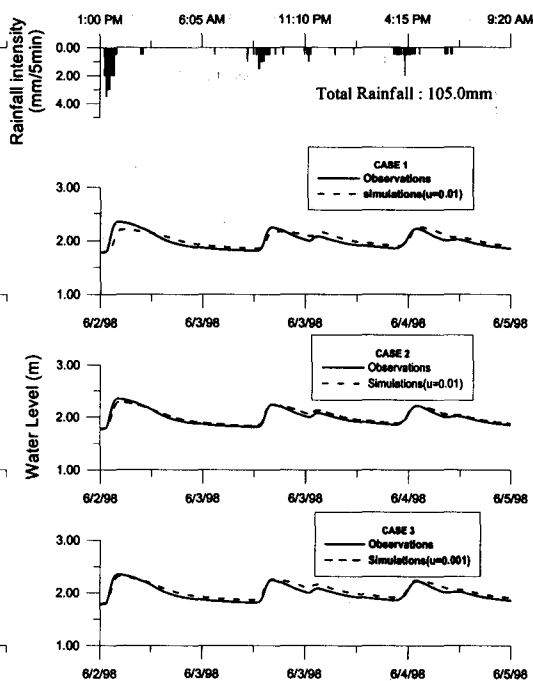


圖 10 第二場暴雨之模擬結果

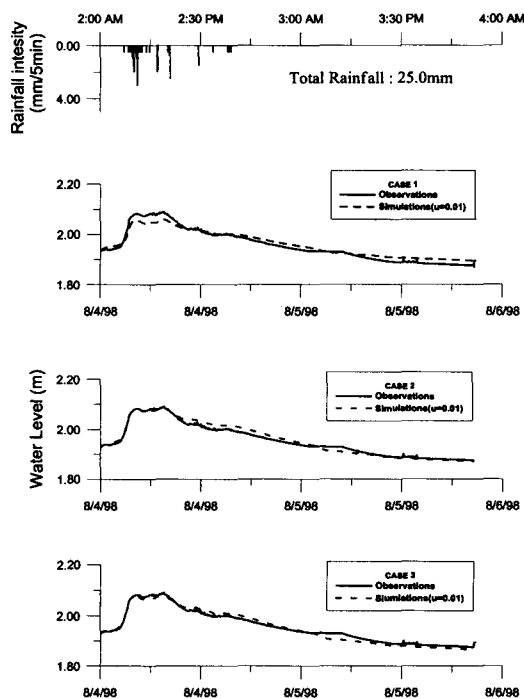


圖 11 第三場暴雨之模擬結果

模擬的相對誤差都在 3% 以下，模擬效果可說是相當的良好。

(四) 參數率定結果之適用性驗證

爲了驗證上述模式參數率定結果對水田區之適用性，除了另以宜蘭礁溪試驗區 98/06/01 13:25~98/06/01 16:50，總降雨量 39.5mm 及 96/11/09 7:10~96/11/09 23:15，總降雨量 225.0mm 之二場暴雨之外，更利用立地條件不同之台南新營水田試驗區 99/07/04~99/07/10，總降雨量 201.5mm 之較長期間的降雨事件來進行該模式參數對不同水田區之適用性驗證。台南新營水田試驗區位於台南縣新營市境內面積約 108 公頃，爲一純水田流域。此試區之排水系統由安溪寮中排線一、中排線三、中排線四及其附屬小排所組成。於流域唯一入流點處設置一雨量計及一水位計做爲模式中之已知入流點水位，於流域出口處設置一水位計做爲模式中的已知外水位，並於流域中的兩處驗證點分別設置水位計以做爲模擬效果驗證之用。

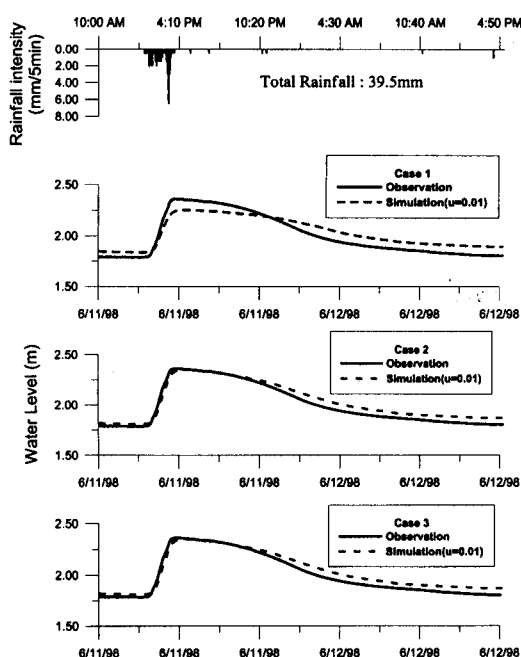


圖 12 參數驗證結果(礁溪 1)

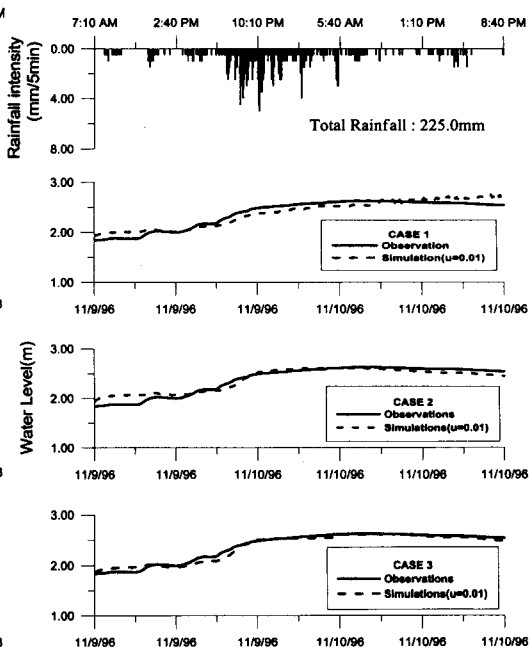


圖 13 參數驗證結果(礁溪 2)

首先以 $\mu=0.01$ 直接代入宜蘭礁溪試驗區之三種模擬情況下，其結果如圖 12 及圖 13 所示。在圖 12 中，可以發現 CASE 1 之模擬效果明顯比 CASE 2 及 CASE 3 來得差；而 CASE 2 及 CASE 3 的結果較為類似。其原因可能是此場暴雨太小，所以在模擬上無法明顯地表現出兩者之間的差異。在圖 13 中，則以 CASE 3 的模擬效果最好。由以上數值模擬結果可知，若水筒劃分過於粗略（例如水田水筒平均面積在 5 ha 以上），則整體的模擬效果會呈現較差的趨勢。

其次以最常用之三次排水河道所控制之區域為一個水田水筒之劃分原則製作台南新營試驗區之流域模式，大部分的水田水筒面積介於 0.25 公頃~0.45 公頃之間，並將流量係數 $\mu=0.01$ ，單位面積堰口寬 b 值 1.025m/ha，土壤入滲率 0.007mm/min（新營試驗區土壤種類亦為砂質壤土及壤土）等代入台南新營試驗區後，對 99/07/04~99/07/10，總降雨量 201.5mm 之較長期間的降雨事件進行模擬，其結果如圖 14 所示。由圖中可知，不論在洪峰大小、洪峰位置及逕流歷線整體的趨勢上都有很好的模擬效果。初步說

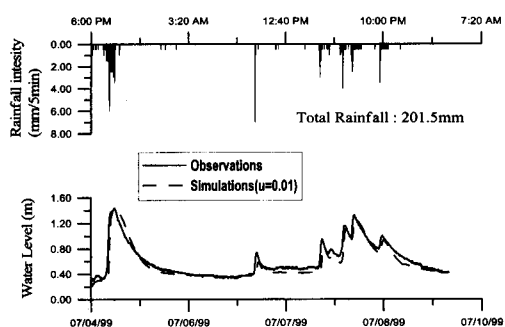


圖 14 參數驗證結果(新營)

明了在宜蘭礁溪試驗區所求得之諸模式參數對不同水田地區排水分析的通用性。

四、結 論

平地水筒模式在水稻田區的排水分析上，是一簡單易用的工具，且其模擬效果亦相當良好。經由對立地條件不同之宜蘭礁溪試驗區與台南新營試驗區所進行之排水模擬結果，驗證了其對不同地區之水田區排水分析的適用性。茲就本研究之成果簡要列述於下：

1. 平地水筒模式參數中，堰口寬經現場實際量測所得之平均值為 1.025m/ha，而流量係數則經現場多筆實測水文資料來率定求出，其值為 0.01。
2. 由數值模擬結果得知，水筒面積劃分大小不同對率定模式參數的影響並不大，但水筒劃分過於粗略(水筒面積約 10 公頃)，則模擬效果較差;反之，流域劃分地愈詳細，則模擬效果較佳。
3. 在暴雨資料的選用上，若選擇之模擬對象暴雨強度太小，則參數 μ 值的敏感度較差;反之，模擬對象暴雨強度較大，則參數 μ 值的敏感度則較佳。
4. 利用在宜蘭礁溪試驗區所求得之堰口寬實測值與流量係數率定值，於宜蘭礁溪試驗區與台南新營水田試驗區進行對不同水田區排水模擬的驗證。初步證實了在宜蘭礁溪試驗區所求得之平地水筒模式參數對不同地區之水田區排水分析的通用性。

五、謝 誌

本研究為行政院農業委員會補助研究計畫(計畫編號:87 科技-1.7-林-01(4)暨 88 科技-1.7-林-01(4-2))成果的一部分。研究期間承蒙農業委員會水利科蔡科長明華先生、王技正桑村先生之熱心支持，以及宜蘭、嘉南等水利會提供資料，在此一併致謝。

六、參考文獻

1. 曹以松、王如意、徐年盛(1978)，「區域排水規劃模式及應用之研究」，農業工程研究中心研究報告。
2. 顏清連、許銘熙、段鏞(1984)，「淡水河系洪流演算模式(二)二重疏洪道完成後淡水河系洪流演算模式」，國立台灣大學土木工程研究所研究報告，水利 7305。
3. 蔡長泰、顏沛華、彭文宗、林天源(1990)，「濁水溪沿岸潰堤淹水模式之研究(III)」，行政院國科會防災科技研究報告 79-06 號。
4. 蔡長泰、郭惠貞、蔡柏棋、蔡智恆(1993)，「曾文溪洪水預報模式之研究(II)」，行政院國科會防災科技研究報告 81-61 號。
5. 許銘熙、鄧慰先、吳啟瑞、楊應平(1993)，「八掌溪流域淹水模擬(二)」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 81-50 號。
6. 鄭俊澤(1994)，「排水系統洪水歷線水理分析」，83 年度農業工程研討會，p83~96。
7. Cunge, J.A., F.M. Holly and A. Verwey(1980)，「Practical Aspects of Computational River Hydraulics」，Pitman Publishing td., London.
8. Balloffet, A. and M.L. Scheffler(1982)，「Numerical analysis of the Teton Dam Failure Flood」, Journal of Hydraulics Research, Vol.20, pp.317-428.
9. Xanthopoulos, T. and C. Koutitas(1976)，「Numerical Simulation of Two Dimensional Flood Wave Propagation Due to Dam Failure」, Journal of Hydraulics Research, Vol.14, pp.321-331.
10. Katopodes, N.D. and T. Strelkoff(1978)，「Computing Two Dimension Dam Break Flow Wave」, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol.104, Sept., pp.1269-1287.
11. Katopodes, N.D. and T. Strelkoff(1979)，「Two-Dimensional Shallow Water Wave Models」, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.105, April, pp.317-434.
12. Hayase, Y. and M. Kadoya(1993)，「Diffusive Tank Model for Flood Analysis and its Fundamental Characteristics ---Runoff analysis by the diffusive tank model in low-lying drainage basin(I)」, Trans. JSIDRE, No.165, pp.75-84.
13. Hayase, Y. and M. Kadoya(1993)，「Study on the Applicability of the Diffusive Tank Model--Runoff in low-lying drainage basin(II)」,Trans. JSIDRE, No.165, pp.85-91.
14. Hayase, Y. (1993)，「Flood Runoff Analysis by the Diffusive Tank model in Wide Low Land Areas with Complicated Drainage Channel

- Networks—Runoff analysis by the diffusive tank model in low-lying drainage basin (III)」, Trans. JSIDRE, No.165, pp.93-99.
15. 陳榮松(1995),「河川及排水系統洪水模擬水理分析之研究」,行政院農委會 84 科技-2.12-林-13(5),農業綜合調整方案試驗研究報告,台北市。
16. 陳榮松、謝天元(1998),「平地水筒模式應用於排水系統診斷之分析研究」,農業工程學報第 44 卷第 4 期,第 52-61 頁。
17. Chow, V.T.(1973),「Open-channel hydraulics」, McGraw-Hill, pp.110-113.
18. 台灣省水利局(1996),「水稻田生態環境保護規劃及示範計畫」成果報告,第 51-52 頁。

收稿日期：民國 89 年 8 月 10 日

修正日期：民國 89 年 9 月 6 日

接受日期：民國 89 年 9 月 18 日