農業工程學報　第 45 卷第 1 期
中華民國 88 年 3 月出版

Journal of Chinese Agricultural Engineering
Vol. 45, No. 1, March 1999

水田回歸水量之研究

Study on the Return Flow in the Rice Paddy Field

中央大學土木工程研究所
教授
吳 瑞 賢
Ray-Shyan Wu

農業工程研究中心
高級研究助理
林 癸 妙
Kuei-Miao Lin

中央大學環境工程研究所
副教授
李 俊 福
Jiunn-Fwu Lee

摘　要

現今台灣總用水量需求增加，而開發新水源不但日漸困難且成本亦高，故就水資源有效利用之觀點而言，回歸水之利用將漸居重要地位。根據前人研究，佔農業用水比重大的水田，其回歸水量比例，約佔 10%～40%左右，因此對水田回歸水量之研究，乃一重要課題，不容忽視。本文對回歸水量的計算，包括田埂缺口流量(明回歸水)，田區內回歸水量(暗回歸水)，田埂回歸水量(暗回歸水)三部份，結果顯示這些回歸水量佔灌溉水量及降雨量之和的 24%。前人對於水份入滲至土壤後，對於滲漏量的推求，都只侷限於計算垂直滲漏量，而忽略了水平滲漏量，因此本文特對水平滲漏量加以探討分析，由本文中解析解模式所推算之結果，得知垂直滲漏量與水平滲漏量之比例爲 5：1。

關鍵詞：回歸水，水田，滲漏量。

ABSTRACT

In Taiwan, water resources management becomes important because of two major reasons: the increase of the industrial demand on water resources and the soaring cost in developing new sources. In order to manage the agricultural water use efficiently, the role of the irrigation return flow is critical. According to studies, the irrigation return flow accounts for 10% to 40% of the total irrigation water in rice paddy fields. This study focuses on the estimation of the quantity of the irrigation return flow. The return flow is broken down into three elements in analyze, namely, the visible return flow across levee, the invisible return flow above hard pan, and the invisible return flow though levee. According to a case study, the amount of the irrigation return flow from a rice paddy field is about 24% of the total amount of the precipitation and the irrigation water. Differ from

previous studies, which are limited to the estimation of percolation amount as a whole, this study attempts to identify the horizontal flow movement above the hard pan as well as the vertical flow movement though the hard pan. An analytical model is introduced and the result shown that a ratio of 5 to 1 between the vertical flow and horizontal flow is expected.

Keywords: Return flow, Paddy field, Percolation.

一、前　言

台灣降雨量雖然極為豐沛，但豐枯水期時降雨量相差懸殊，加上現有水庫已漸不敷使用，以致枯水期河川流量幾被引取殆盡仍不敷使用，豐水期卻又任其大量放流入海。由於工業快速發展，水資源需求相對增加，且工業產值遠超過農業，因此農業用水勢必遭受縮減。由於水田生長之特殊環境，會產生牛踏層，水稻田土壤之粒徑分布涵蓋細坋土及細黏土之範圍，其低導水性、低滲透性及淺深處之低透水層，有利於水分之保存，降低水田地區之垂直滲漏量，增加水平滲漏量，故必然會有回歸水的產生，回歸水量可大量減少灌溉用水量，減緩農業用水需求，將為農業用水提供莫大助益。本研究即在推求水田之回歸水量。

二、理論分析與模式建立

回歸水，再次利用水之意義，亦即重新利用已排除之水，根據駱安華(1960)，回歸水模式之理論分析，將回歸水分為暗回歸水，和明回歸水兩部份來加以探討；暗回歸水部份包括田埂回歸水及田區內回歸水；明回歸水部份即為暴雨期間經由田埂缺口與越過田埂之回歸水量。

2.1 暗回歸水

2.1.1 田埂水平滲漏量

採用非拘限流之 Dupuit's assumption，在 x 方向(如圖 1) 。

流入控制體積之質量流率 $M_{x1} = \rho V_x h \Delta y$

流出控制體積之質量流率

$$M_{x2} = \rho V_x h \Delta y + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x h \Delta y)\Delta x$$

所以，x 方向的淨流量

$$M_{x1} - M_{x2} = \Delta M_x = -\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x h \Delta y)\Delta x$$

同理在 y 方向的淨流量

$$M_{y1} - M_{y2} = \Delta M_y = -\frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y h \Delta x)\Delta y$$

z 方向之淨流量

$$M_{z1} - M_{z2} = \Delta M_z = \rho(R_1 - R_2)\Delta x \Delta y$$

根據穩態不可壓縮流之連續方程式以及達西公式

$$\Delta M_x + \Delta M_y + \Delta M_z = 0$$

故 $-\frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x h \Delta x \Delta y) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y \Delta x \Delta y) + \rho(R_1 - R_2)\Delta x \Delta y = 0$

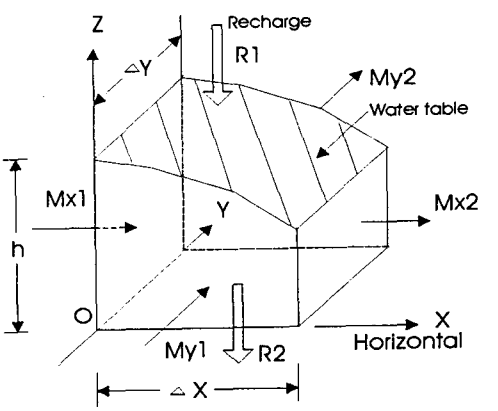

圖 1　土壤元素參數圖

根據達西定律 $V = Ki = K\frac{\partial h}{\partial L}$，代入上式，可得

$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} = -\frac{2(R_1 - R_2)}{K}$$

x 方向與 y 方向導水係數分別爲 K_x 與 K_y

$$K_x\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + K_y\frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} + 2(R_1 - R_2) = 0$$

不考慮 y 方向，

$$K_x\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + 2(R_1 - R_2) = 0$$

$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} = -\frac{2(R_1 - R_2)}{K_x}$$

$$h^2 = -\frac{(R_1 - R_2)}{K_x}x^2 + C_1 x + C_0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

在 $x = 0$，$h = h_o$

$x = L$，$h = h_1$

代入(1)式，可求得 C_1，C_o

$$C_0 = h_0^2$$

$$C_1 = \frac{(h_1^2 - h_0^2 + \frac{(R_1 - R_2)}{K_x}L^2)}{L}$$

可得

$$h^2(x) = -\frac{(R_1 - R_2)}{K_x}x^2 + \frac{(h_1^2 - h_0^2 + \frac{(R_1 - R_2)}{K_x}L^2)}{L}x + h_0^2$$

因此可推算任意 x 位置的單位流量 q_x 爲

$$q_x = -K_x h\frac{dh}{dx}$$

田埂單位寬度之水平滲漏量(回歸水量) q_1 爲

$$q_1 = \frac{K_x}{2L}(h_0^2 - h_1^2) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

2.1.2 田區內水平滲漏量

田埂下側之單位寬度流量 q_2，田間滲透量之計算，其滲透理論屬二次元問題。一般而言，地下水流之常用公式均可導自達西定律，在考慮二維情況，並假設土壤具均質且均向之滲透係數。

據 Theory of Ground Water Movement (Polubabinova-Kochina,1962) 文中，利用 Christoffel-Schwartz 分析流場，考慮底層爲低滲透率之土層，根據 Christoffel-Schwartz formula，經保角映射(Conformal mapping)

$$W = \frac{K(H_1 + H_2 - 2H_0)}{\pi}\arccos\left(\frac{\cosh\frac{\pi z}{2T}}{\cosh\frac{\pi l}{2T}}\right) - \frac{K(H_1 - H_2)}{\pi}\arccos\left(\frac{\sinh\frac{\pi z}{2T}}{\sinh\frac{\pi l}{2T}}\right) - KH_2 \qquad \cdots\cdots\cdots(3)$$

(3)式中，$z = x + iy$，將(3)式對 z 微分，

$$\frac{dW}{dz} = \frac{\partial\phi}{\partial x} + i\frac{\partial\varphi}{\partial x} = V_x - iV_y$$

$$= \frac{K}{2T}\left[2H_o - H_1 - H_2)\frac{\sinh(\frac{\pi z}{2T})}{\sqrt{(\cosh\frac{\pi l}{2T})^2 - (\cosh\frac{\pi z}{2T})^2}} + (H_1 - H_2)\frac{\cosh(\frac{\pi z}{2T})}{\sqrt{(\sinh\frac{\pi l}{2T})^2 - (\sinh\frac{\pi z}{2T})^2}}\right]$$

$$= \frac{K}{2T}\left[\frac{(H_1 - H_2)\cosh(\frac{\pi z}{2T}) + (2H_0 - H_1 - H_2)\sinh(\frac{\pi z}{2T})}{\sqrt{(\sinh(\frac{\pi l}{2T})^2 - (\sinh\frac{\pi z}{2T})^2}}\right] \qquad \cdots\cdots\cdots(4)$$

利用(4)式可算出不同時間流場中的速度、田區的入滲量、滲透量及兩田區內之側向滲漏量(回歸水量)。圖 2 中，$2l$ 爲田埂寬度，T 爲水田面至牛踏層間的深度，其他符號之意義如圖 2 所示。

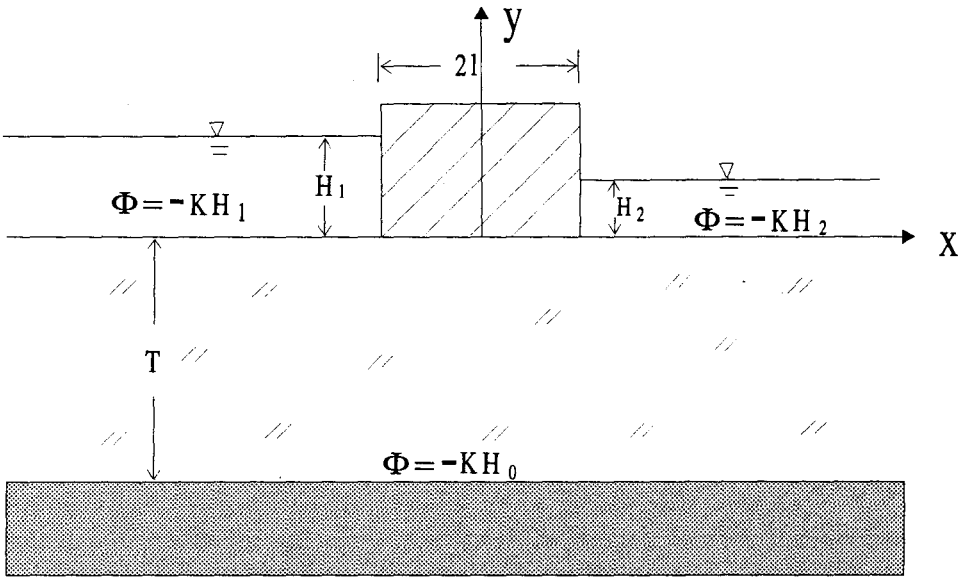

圖 2　水田示意圖

2.2 明回歸水

明回歸水部份即農田地表逕流，本研究對於農田地表逕流之研究，據吳銘塘(1981)及吳瑞賢、張嘉軒(1996)以堰流公式計算田區逕流，將水田視爲一蓄水庫，以研究由於雨水或灌溉水及因田埂缺口所產生的回歸水量。

假設整個田區以堰流情況排水，其示意圖如圖 3。假定田區爲一蓄水庫。又若田區逕流之出流量爲量水堰之型式時，則田區出流量可以下式表示，計算時距爲一天：

$$Q = A \times h_w \quad \text{.....} (5)$$

式中　Q　爲出流量(cmd)

h_w　爲堰上水頭(m)，即爲($y-d$)，d 隨著不同生育階段而變

A　爲演算田區之面積(m^2)

利用(5)式，可求得因田埂缺口產生之明回歸水量。

2.3 蒸發散量之推估

蒸發散量之推估，擬由 Hamon(1961)提出的公式來計算，其方程式爲：

$$PE_t = \frac{0.021 H_t^2 e_t}{T_t + 273} \quad \text{.....} (6)$$

$$e_t = 33.8639\begin{bmatrix}(0.00738T_t + 0.8072)^8 \\ -0.000019(1.8T_t + 48) + 0.001316\end{bmatrix}, T_t \geq 0$$

式中，　PE_t ：潛勢蒸發散(potential evaportranspiration)

H_t　：每天日照時數(hours)

e_t　：飽和水蒸氣壓(millibars)

T_t　：溫度(℃)

而水稻蒸發散量，

$$ET_{crop} = PE_t \times K_c \quad \text{.....} (7)$$

K_c ：水稻作物係數

本蒸發散推估模式經適用於嘉義地區，與其他常用模式如 Blaney-Criddle Method、Penman Method 及 Thornthwaite Method 相比較，已證實可用於現地，並具有較少參數需求的優勢(張嘉軒，1996)。

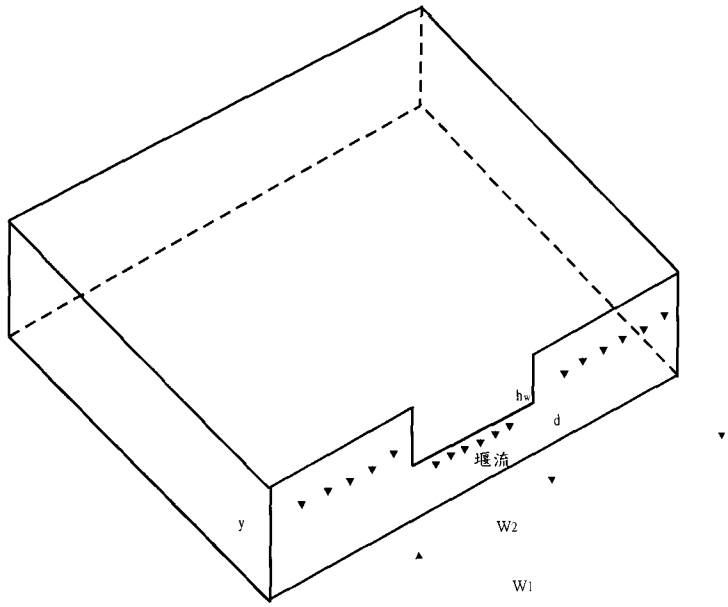

圖 3　水田越流堰之簡單示意圖

三、模式驗證

3.1 實驗、解析解模式及 MODFLOW 模式之分析

本文爲了驗證模式之準確度，採用實驗結果以及由美國地質調查所所發展之地下水模式 MODFLOW(國家高速電腦中心，1998)與本模式模擬之結果相比較。實驗設備主體爲一土槽，底部爲不透水面，因此本文中之模式亦將底部設爲不透水面。

3.2 實驗設備

實驗土槽爲一長 320 cm、寬 120 cm、高度爲 120cm 之土槽，如圖 4 所示，並有一抽水機提供實驗之水源；實驗土壤來源爲桃園台地的紅土，孔隙率爲 0.51，其值較高，飽和度爲 90%。將土槽內土壤整理成兩個田區，田區土層厚度爲 57 cm，田埂高度與寬度皆爲 30 cm，實驗前均將土壤處理成近飽和狀態，土槽左右兩側均有邊界水頭，可以藉此控制土層兩側之邊界水頭高度，利用此實驗設備進行實驗，可以模擬兩田區不同湛水深、不同邊界水頭下，側向流出量之變化，希望能藉此了解不同湛水深、不同邊界水頭對田區之側向流量的影響。

3.3 MODFLOW 模式概述

本模式係三維有限差分法地下水流模式，於時間上可模擬穩定或非穩定狀態；於空間垂直方向上可模擬自由含水層或受壓含水層。

考慮一單位體積之孔隙介質，且符合達西定律及質量守恆，故三維飽和地下水偏微分方程，可表示如下：

$$\frac{\partial V_{sx}}{\partial x}+\frac{\partial V_{sy}}{\partial y}+\frac{\partial V_{sz}}{\partial z}-w=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{.....(8)}$$

式中

V_{sx}、V_{sy}、V_{sz} $[L/T]$：分別爲單位體積沿 x、y、z 方向的達西速度

w $[1/T]$：單位體積的體積流率及 sink and/or sources 的體積流率

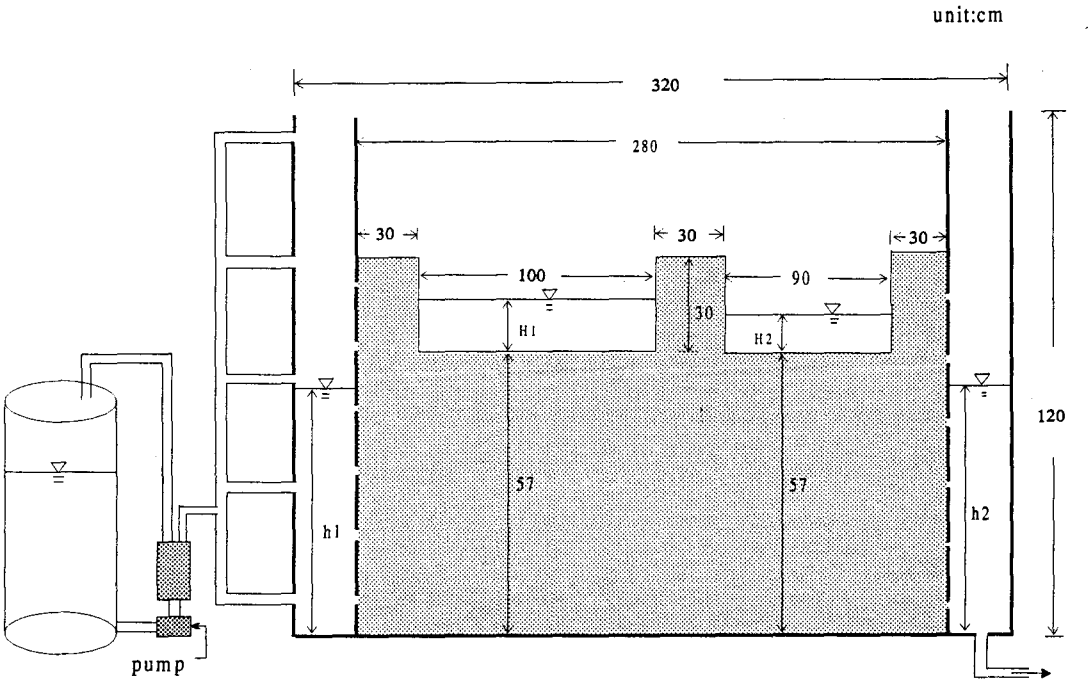

圖 4　實驗土槽之側視圖

S_s $[1/L]$：飽和孔隙介質的比容量

h $[L]$：水頭

t $[T]$：時間

模式架構爲：

1. 組織架構：主要有網格建立、土層條件給定、輸入邊界條件、輸入模擬對象之條件四部份。
2. 邊界條件之處理：可模擬定水頭、變水頭以及不滲透邊界。
3. 可模擬對象：井(wells)、地下水補注量(recharge)、河流(river)、溝渠(drains)、蒸發散(evapotranspiration)。

採用數值方法：SIP(Strongly Implicit Procedure)、SSOR(Slice-Successive Overrelaxaion Method)、PCG2(Preconditional Conjugated Gradient Method)。

本研究中將水田田區部份，採用 MODFLOW 模式中的河流(river)，入滲過程爲 transient 狀態來模擬，而主要參數則如表 1 所示，模擬總時間爲 30 分鐘，每 2 分鐘輸出一次結果，結果則如圖 5 及圖 6 中所示，圖 5 及圖 6 爲其隨時間而累積的流出量，與解析解及實驗結果相近。

表 1　MODFLOW 模式使用參數表

垂直滲透係數	0.0539 (cm/min)
水平滲透係數	0.0539 (cm/min)
田區土層厚度	57 cm
孔隙率	0.25
比貯水量率	0.01
比出水量	0.25

3.4 實驗、模擬以及 MODFLOW 模式結果之比較

將實驗、模擬以及 MODFLOW 模式結果相比較(如圖 5，圖 6)，雖然在實驗部份，僅能量出整個實驗區域的不同時間的流出量，三者結果極

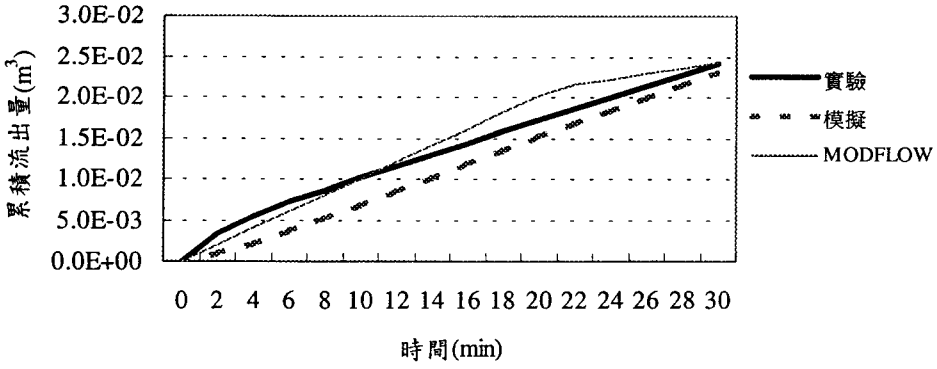

圖 5　h1=h2=54cm，左田區湛水 7cm 右田區無湛水深，實驗、模擬及 MODFLOW 流量比較圖

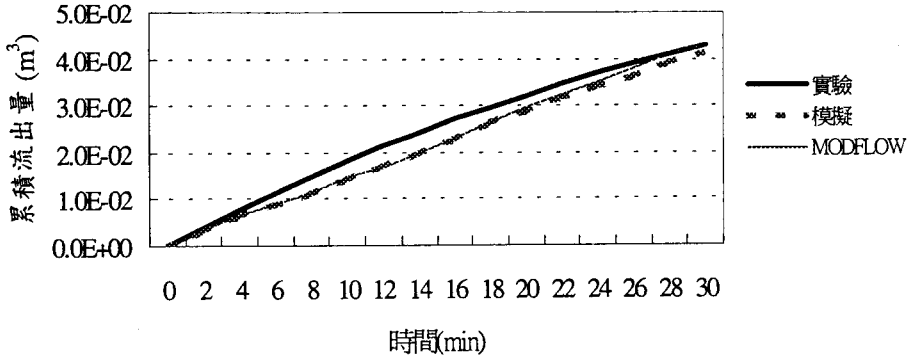

圖 6　h1=h2=54cm，左田區湛水 7cm 右田區湛水 3cm，實驗、模擬及 MODFLOW 流量比較圖

爲接近，且由圖 5 以及圖 6 可知，水田湛水深愈高，則側向累積流出量亦愈多。且由於實驗土槽兩邊水頭相同，故側向流出量均由左右兩田區之湛水深差所產生；因此，我們可以推定利用本研究方法模擬的結果，與眞實情況類似，可以代表我們所要模擬的情況，故可以利用此方法估算水稻田回歸水量。

四、模式應用

4.1 模式流程

本模式將氣溫資料，配合日照時數，由 Hamon Method 算出潛勢蒸發散量，再由氣象資料，包括降雨量、氣溫，模式模擬之時距爲一天，基本資料的輸入後，先行計算逕流量(明回歸水量)，接著再計算出入滲量、田埂滲漏量、蒸發散量，圖 7 爲模式計算流程圖。由模式推算十年平均之回歸水量。

4.2 氣象資料與灌溉日程

茲以雲林莿桐地區作爲模式應用地區，本研究將莿桐地區之氣溫資料，配合日照時數(莿桐約位於北緯 23.45°)，由 Hamon Method 算出潛勢蒸發散量，再由氣象資料，包括降雨量、氣溫(採用斗六地區之氣溫)；水田之用水分爲秧田、整田、本田三個時期。根據濁幹線灌溉系統配水實務(1998 年 1 月)，灌溉日程均依水源、氣候、作物生長而定，一般而言，第一期水稻秧田用水期間爲十二月下旬至一月下旬，整田稻秧用水則自二月上旬至二月下旬，本田灌溉則自整田插秧後至六月上中旬，約十一旬。第二期水稻秧田用

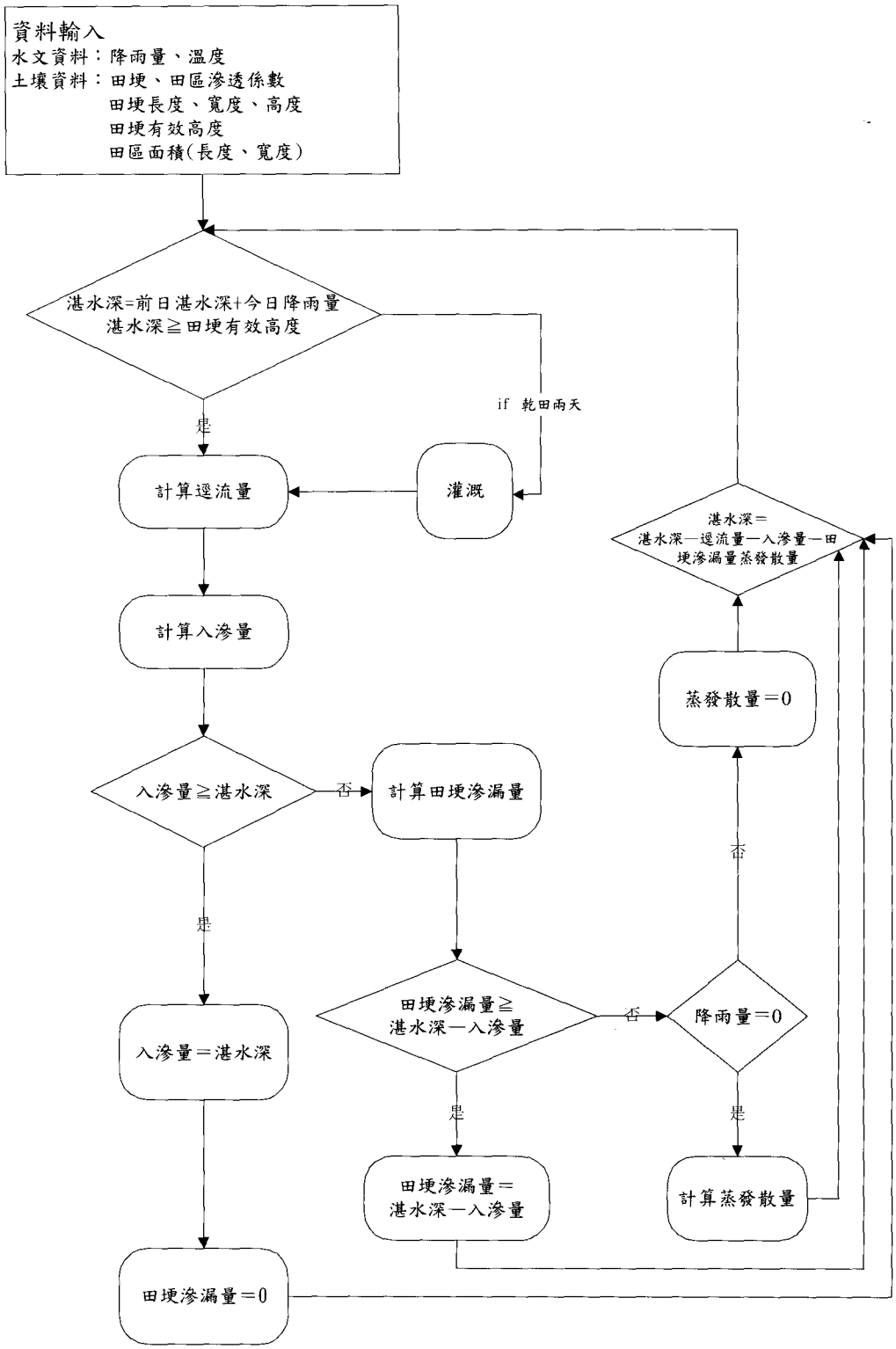

圖 7　解析解模式計算流程圖

表 2　各生長時期之田埂有效高度

生長時期	成活期	生長初期	生長中期	生長後期	生育期	初熟期	成熟期
插秧後日數	1-5	6-15	16-35	36-45	46-65	66-90	91-
田埂有效高度(mm)	60	60	80	100	100	60	0

資料來源：電子計算機計算水田有效雨量之研究，1971

水起自六月上中旬至六月下旬，整田用水則多自六月下旬至七月下旬，而本田用水則自整田後灌溉九約至十月下旬。

4.3 田埂有效高度之決定

田埂高度使水田具有蓄水效果，田埂高度愈高，則其蓄水能力愈大，但如田埂過高，因蓄水太深，反而影響作物之生長。但蓄水之實際高度，並不是由田埂高度所決定，而取決於埂上溢水口之高度。因此溢水口之高度即爲田埂之有效高度。田埂有效高度受稻作生長高度、稻作需水情形及排水之需要等因素之限制，不能爲求蓄水能力之增加，而漫加提高，因稻作之高度隨生長時期而增高，稻作之需水量亦隨其生長時期而變。故田埂有效高度亦應隨稻作生長時期而加以調整，以達稻作良好生長之需水深。本研究中採用嘉南農田水利會之經驗，將田埂有效高度隨生長時期而作如表 2 之調整。表 2 中田埂有效高度之變化，乃由調整田區溢水口之高度而得，用以適合各不同時期稻作之高度及其需水情形。

4.4 作物生長期間對需水量之變化

水稻田之秧田與整田用水均採取固定之數值，而本田用水則隨水稻生長時間之變化而有所變動。

(1)秧田：一期作保持 20～30 公厘，本文採用 30 公厘，而二期作保持約 50 公厘。

(2)整田：據灌溉排水原理(施嘉昌，1988)指出，台灣各水利會慣用之整田用水量，因土質不同，均在 120～200 公厘之間，一、二期作之整田用水量並無明顯之差異，其平均值約爲 148.7 公厘，雲林農田水利會轄區屬於壤質土或粘質土，其整地用水量爲 120 或 107 公厘，本文採用整田用水量爲 120 公厘。

(3)本田：嘉南地區現今大部分採用輪灌，一次灌水深爲 45 mm。本研究假設水田灌溉來源以降雨量爲基本，降雨量不足作物需水量時，且造成乾田兩天後，再以灌溉水量補充其不足之處。

五、結果與討論

5.1 蒸發散量推估結果與比較

模式所求出的年蒸發散量範圍爲 1536.75mm～1587.06mm，依農委會(1991)，雲林灌區迴歸水有效利用調查研究，一文中所提之水利局所辦理之「濁水溪平原雲林地區灌溉排水調查研究(農委會，1991)」，所做調查，統計歷年年平均蒸發散量約爲 1522mm，與本模式所推算之值甚爲相近。

5.2 入滲量與滲漏量之推估

模式推算之年入滲量爲 524.18 mm，年滲漏量爲 411.65 mm，入滲率之值平均約爲 1.44 mm/day，滲漏率之值平均約爲 1.13 mm/day，滲漏量約佔入滲量 78%，本研究中水田灌溉水量的來源以降雨量爲基本，不足的水量再以灌溉量補充之，因此降雨量與灌溉量之和爲水田之入流量，將水田入流量減去田埂缺口流量，即爲水田的蒸發散量、入滲量以及滲透進田埂再流至鄰近田區的水量。

由圖 8 可知，蒸發散量佔 74.59%，入滲量佔 15.40%，滲透進田埂再流至鄰近田區的水量的流量較少，只佔 0.006%。蒸發散量可視爲作物需水量，爲作物生長時所必需之水份，蒸發散量約爲入滲量的 4.8 倍。

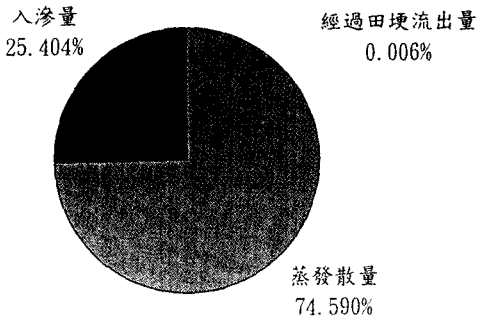

圖 8 蒸發散、入滲量及越過田埂流出量所佔之比例

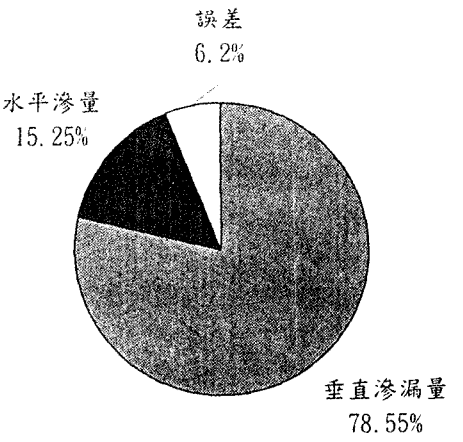

圖 9 垂直入滲量、水平入滲量及誤差量所佔之比例

由圖 9 垂直滲漏量佔入滲量的 78.55%，水平滲漏量佔入滲量的 15.25%，垂直滲漏量與水平滲漏量的比例爲 5：1，由此可知水田因爲具有牛踏層之特殊構造，必非全部之入滲量皆滲漏至地下水位，成爲地下水，而有一部份會經由水平滲漏回歸至鄰近田區。

5.3 回歸水量之分析

本文對回歸水量的計算，包括：(1)雨水產生的回歸水或超過田埂有效高度之流出量(明回歸水)，(2)灌溉水穿越表土孔隙，潛入地下，增加水田田面至牛踏層間的地下水量，達飽和程度，即天然排出，轉變爲回歸水，即田區內回歸水量(暗回歸水)，(3)水份滲入田埂部份再流至鄰近田區的回歸水量，即田埂回歸水量(暗回歸水)三部份，結果顯示這些回歸水量佔灌溉水量 24%。

六、結論與建議

6.1 結論

1. 本文對回歸水量的計算，包括：(1)雨水產生的回歸水或超過田埂有效高度之流出量(明回歸水)，(2)灌溉水穿越表土孔隙，潛入地下，增加水田田面至牛踏層間的地下水量，達飽和程度，即天然排出，轉變爲回歸水，即田區內回歸水量(暗回歸水)，(3)水份滲入田埂部份再流至鄰近田區的回歸水量，即田埂回歸水量(暗回歸水)三部份。結果顯示這些回歸水量佔灌溉水量 24%；由農委會(1991)，雲林灌區迴歸水有效利用調查研究，調查雲林灌區回歸水量，平均約 30.56%，與本研究所推得之結果相近。
2. 本文探討影響回歸水量的因子包括在一定的田區面積下，改變田區的長與寬、田埂寬度、田埂高度、田埂缺口寬度、田埂滲漏率；其中改變田埂高度或田埂缺口寬度，並不會影響水田之入流出量，亦即不會影響水田的回歸水量；回歸水量佔降雨量與灌溉水量的比例，隨著田埂寬度以及田區寬度(田區面積不變)的增加，而有遞減的趨勢；回歸水量佔降雨量與灌溉水量的比例，隨著田埂滲透率的增加，而有增加的趨勢。
3. 前人對於水份入滲至土壤後，對於滲漏量的推求，都只侷限於計算垂直滲漏量，而忽略了水平滲漏量，因水田具有牛踏層，得以保持水份，可增加水平滲漏量，因此本文特對水平滲漏量加以探討分析，由本文中解析解模式所推算之結果，推得垂直滲漏量與水平滲漏量之比例爲 5：1。
4. 從研究中顯示，鄰近田區田面滲出量，亦

即水份經由田間入滲後，再回流至鄰近田區田面的滲出量，年平均量約爲 13 mm，此乃因水田具有牛踏層之特殊構造，使得水田土壤呈現飽和狀態，且因具有水平滲漏量，使得鄰近田區田面會有滲出量，由此推測，水田灌溉時，可減少鄰近田區的灌溉量。

5. 水田回歸水量佔降雨量與灌溉水量之和的比例並不低，在水資源彌足珍貴的今日，若能善加利用，提供其他農田之灌溉水源，不僅能提高單位水量的利用率，且能達到節水功能，發揮水田的「三生」功能。

6.2 建議

1. 本文對於回歸水計算，因田區坡度所造成的回歸水量，並未加以探討，因此所求回歸水所佔的比例較低，這部份可爲日後研究回歸水量另一探討之課題。
2. 本文對於地下水壓的推求，如牛踏層頂部之壓力水頭，是利用試誤法求出其值，此值與水田土壤之土壤性質有關，若能由實驗求出其值，則必能更符合土壤內眞實水流情形；本文對於土壤內的水分流動情形，採用格點方式計算土壤內各水份流通量，若能採用流網方式計算，較能精確計算出土壤內各水份流通量，並能更了解土壤內各位置之水流方向。

參考文獻

1. 台灣省雲林農田水利會，「濁幹線灌溉系統配水實務」，1998
2. 行政院農業委員會，「雲林灌區迴歸水有效利用調查研究」，1991。
3. 國家高速電腦中心，「GMS 應用於河道滲漏量之模擬」，地下水軟體 GMS 計算觀摩研討會論文集，p43-p59，1998。
4. 吳銘塘，「水田田面逕流之電腦分析研究」，農業工程學報，第 27 卷，第 2 期，pp15-39，1981。
5. 吳瑞賢、張嘉軒，「水田對逕流系統之影響評估」，農業工程學報，Vol.42，No.4，pp55-55，1996。
6. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二，「灌溉排水原理」，國立編譯館主編，1988。
7. 張嘉軒，「水田對逕流系統之影響評估」，中央大學碩士論文，1996。
8. 曹以松，「電子計算機計算水田有效雨量之研究」，台灣水利，第 19 卷，第 2 期，pp7-29，1971。
9. 駱安華，「迴歸水之計算和運用」，台灣水利，第 8 卷，第 2 期，P47-56，1960。
10. Hamon, W.R. "Estimating potential evapotranspiration", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division87(HY3), 107-120, 1961.
11. Polubabinova-Kochina, P.Y., "Theory of Ground Water Movement", Princeton University Press, pp67-82, 1962.

收稿日期：民國 87 年 9 月 1 日
修正日期：民國 87 年 9 月 24 日
接受日期：民國 87 年 10 月 7 日