

專 論

灌溉方法之水力試驗與研究⁽¹⁾

Hydraulic Test and Study on the Irrigation Method

易 任⁽²⁾

Victor J. Yih

一、概 論

灌溉為補助天然降雨之不足，以利於作物之生長；至於如何能使灌溉水量為土壤所保持，並均佈於作物之根系 (Root Zone) 土層中，隨時供應作物生長之需，期使灌溉水量能發揮高度之效用，乃為近代灌溉科學研究之重心。目前本省從事此項研究工作者，計有嘉南農田水利會設立之學甲與新港旱作灌溉實驗區，臺南及新竹農林改良場、臺灣大學農工系灌溉試驗場以及水利局於五十三年設立之六個旱作灌溉推行站等，均曾先後分別試驗研究，以期藉不同之地面處理，灌溉方法及配水量等因子控制田間水份之分佈，而提高灌溉水量之利用效率。

為使灌溉水效率可以提高，吾人必須先行了解農田灌水後，水量分佈田間及損失水量之情形，例如灌溉後之農田，灌水量一部份由土壤吸收，保留於表土內作物根系之土層中，供作物生長之需要，而其餘部份水量分別成為表面逕流損失及深層滲漏損失與蒸發損失；此三種損失水量中，蒸發一項可用耕耘方法或加覆蓋予以減低，而表面逕流及深層滲漏，則視土質、地形、溝渠、灌溉方法以及灌水量之大小等因子而異、本文僅就上述因子中之土質，埂畦 (Border) 灌溉方法及灌溉水量，先作理論之分析研究，並利用臺灣大學農業工程系灌溉排水研究室既有設備以及農工系試驗農場先行試驗研究無坡度之水平埂畦灌溉法，與土質、灌水量等因子之關係。蓋以本省之旱田作物栽培，除部份無灌溉設施不種水稻，或丘陵地帶與臺糖公司之蔗田外，大部份平地旱田多為水田輪作地，即使在二期水稻地區，裡作與間作亦甚為普遍；輪作田無坡度，近似水平，且此種水稻輪作田之表土下層，往往因耕犁不到及耕牛踐踏，形成一不易透水之硬盤，故本省輪作田之灌溉，其田間條件與美國及日本一般灌溉田區之情形，大有不同，而不可逕行採用其公

式或資料以為計算，是以本試驗研究工作，尚有其意義在焉。

筆者承蒙張主任建勛之指示與鼓勵，並由農工系補助試驗經費，乃於第二期水稻收割之後，於農學院農工系試驗農場旁側，劃分田區二畦，經測量後確證無坡度而近似水平，收割後所餘稻稈仍保留原狀，不予耕鋤，比擬旱作物，本田不耕犁，象徵其平整且水平。

此項試驗工作，因受臺北地區多雨之影響，前後共作四次之試驗，試驗資料尚感不足，不能妄斷結果之十分可靠，故今後更進一步之試驗研究工作，勢所必須。

二、土壤水分與灌溉水量

(一)毛細管水及毛細管作用 (Capillary Action):

除水田之外，一般旱田土壤其含水量多未達飽和狀態，在此未達飽和 (Unsaturation) 狀態之土壤中，乃存有部份水量與空氣；土壤內水分之存在，一為包被於土粒表面而形成之附着水，二為游離充塞於土壤部分空隙間之水分，空隙內之水分不相接觸，且有間隙存在，其水面與空氣接觸處，為一彎月形 (Meniscus) 之曲面，而在與水面平行之方向，產生表面張力 (Surface Tension)，由沿彎月面周邊表面張力之發生，促使毛細管水上升或向下及向左右之立體方向擴散；土壤中之空隙為連續排列而形成之細微管孔，自亦具有毛細管之作用，唯其作用複雜，難以純理論之公式解求，而須輔以試驗。一般旱田中之土壤水分多屬此類。至於毛細管水之理論推演，因與實際相去甚遠，故從略。

(二)飽和水量、滲流係數 (Permeability Coefficient) 與滲流量：

一般水田或過量灌溉之旱田土壤，多有飽和水量，即土壤中之空隙全為水分所充滿，由於水量過多，超越毛細管水含蓄之能力，則此過多之水量即由重力

(1)本試驗研究工作之完成得國家長期發展科學委員會之補助。本文亦係筆者所著『農田灌溉方法之水理分析與研究(一)』一文之續篇——原載農業工程學報第十一卷第一期；五十四年三月。

(2)國立臺灣大學農業工程學系副教授

之作用而流動，稱為滲流，滲流時每單位時間內滲流之水量，稱為滲流量。

依據水力學之理論，細小流管內之水流，其流速甚為緩慢者，均屬滯性水流 (Viscus Flow) 或線流 (Stream Line Flow)，土壤空隙連續而成細管，細管中之飽和水流亦甚緩慢，而為受水流之滯性作用成為線流，故可藉助Poisenille氏定律，以為研究。

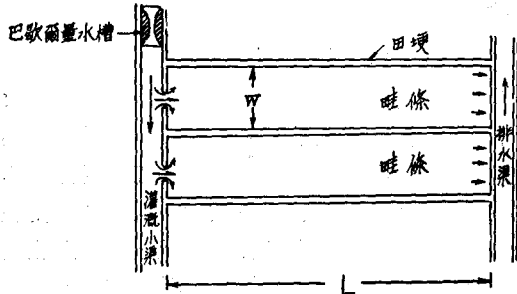
土壤空隙與空隙之間雖係相互連通，但由於空隙之斷面不規則，因之形成之管徑亦不一致，故不可以純理論計算土壤之透水性，而須藉助 Darcy 氏定律並輔以試驗，以定土壤之滲流係數，從而比較各類土壤滲水之難易，並計算滲流量。

綜觀上述旱田灌溉水量之分佈，實難藉助某一理論或公式而求得結果，而須以實際之田間灌溉試驗研究解決之。

三、埂畦 (Border) 灌溉法之水力理論

(一) 概述：

埂畦灌溉法中之農田佈置大致如圖(1)所示，農田



圖(1)：埂畦灌溉法農田佈置略圖

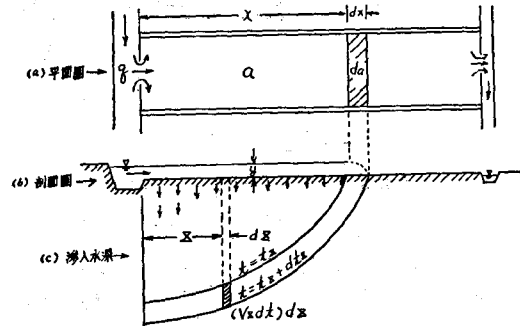
之上游端為巴歇爾量水槽 (Parshall Flume) 與灌溉小渠 (Irrigation Ditch) 以供應田畝所需之水量，下游端為排水渠 (Drainage Ditch)，以便排除過多之灌水量及過多之降雨，此二渠間之距離即為畦條之長度以 L 表之，田埂間之距離即為畦之寬度以 W 表之。灌溉水量由灌溉小渠進入埂畦後，即形成一薄層狀態之水流流經地面，而大部份水量在其行進過程中為田土所吸收，多餘部份之水量，則洩入排水渠中。

由實驗之觀測，可以確知埂畦灌溉之水流為不穩定 (Unsteady Flow) 及不等速 (Nonuniform Flow) 之薄層明渠水流 (Sheet Flow or Over Land Flow)，水流性質複雜而難以確定。

綜計埂畦灌溉法，不外調整流量之大小以適合於某種土壤之滲透特性，配合埂畦之坡度、長度及寬度

，以期畦條間各部份之土壤皆能有相等之浸潤時間，亦即有相等之滲入機會，則水量均勻分佈，灌溉效率乃得提高。

(二) 灌水時間與土壤性質、含水率、灌潤土壤深度及灌水量之關係：



圖(2)：埂畦灌水後水流行進及水量之下滲

如圖(2)-(a)所示，設

a = 灌溉水所及之面積

q = 灌溉流量

t = 灌水時間

d = 灌水深度

A_s = 土壤容比重

D = 灌潤之土壤深度

因 $qt = ad$ (ad = 需要灌入之水體積)

而 $d = p_w A_s D$ (p_w = 土壤含水百分率)

$\therefore qt = ap_w A_s D$

而 $t = ap_w A_s D / q$ (1)

此舉簡例計算說明如下：

例(一) 農夫以 0.085 cms 之流量灌溉其菜園，菜園面積為 500公畝，增加水分 5%，灌潤土深 0.50 m. 已知田地土壤之乾重為 1,360 kg/m³，求灌水所需要之時間。

[解]: $A_s = 1,360 / 1000 = 1.36$

$a = 500 \times 100 = 50,000 \text{ m}^2$

$p_w = 5\%$; $D = 0.50 \text{ m}$; $q = 0.085 \text{ cms}$.

$\therefore t = ap_w A_s D / q$

$= 50,000 \times \frac{5}{100} \times 1.36 \times 0.50 / 0.085$

$= 20,000 \text{ sec}$.

即 $t = 20,000 / 3,600 = 5.55 \text{ 小時}$

(二) 灌水時間與水流程程，土壤滲流係數，行進水流平均水深 (亦即水頭) 以及流量之關係：

如圖(2)所示，設

a = 灌溉水所及面積；k = 滲流係數

q = 灌溉流量

t = 灌水時間

y = 淹流 (亦即行進水流) 之平均水深度

在 dt 時間流入之水量 = q · dt = y(da) + ka(dt)

$$\therefore dt = y(da)/(q - ka)$$

積分之：

$$t = \int_0^a y(da)/(q - ka)$$

$$t = -\frac{y}{k} \text{Log}_e(q - ka) + \frac{y}{k} \text{Log}_e q$$

$$t = \frac{y}{k} \text{Log}_e \frac{q}{(q - ka)} = \frac{2.303y}{k} \text{Log}_{10} \frac{q}{(q - ka)} \quad (2)$$

此亦舉一簡例計算說明之：

例(一) 設灌溉水流量為 0.045 cms，灌入寬度為 5m 之埂畦內，求水流自畦端前進至下列各距離所需之時間：(1)100m，(2)300m，(3)500m，(4)600m，(5)800m。已知該田土之滲流係數為 6cm/hr. 平均水深 6cm，並以時間為縱軸，距離為橫軸繪製一曲線。

$$(1) t = \frac{2.303y}{k} \text{Log} \frac{q}{(q - ka)}$$

$$= \frac{2.303 \times 0.06}{0.06} \text{Log} \frac{0.045}{(0.045 - \frac{0.06}{3600} \times 5 \times 100)}$$

$$= 739 \text{秒} \quad (L = 100\text{m})$$

$$(2) t = \frac{2.303 \times 0.06}{0.06} \text{Log} \frac{0.045}{(0.045 - \frac{0.06}{3600} \times 5 \times 300)}$$

$$= 2920 \text{秒} \quad (L = 300\text{m})$$

$$(3) t = 9425 \quad (L = 500\text{m})$$

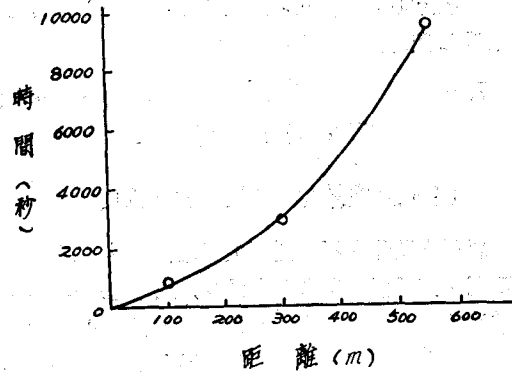
$$(4) t = \frac{2.303 \times 0.06}{0.06} \text{Log} \frac{0.045}{(0.045 - \frac{0.06}{3600} \times 5 \times 600)}$$

$$= 8300 \text{Log}(-) \text{ 不合理} \quad (L = 600\text{m})$$

$$(5) t = 8300 \text{Log}(-) \text{ 亦不合理} \quad (L = 800\text{m})$$

意即表示所有流量在未流至 600m 前已全部滲入田內。

上述理論公式之推演，其歷史較久，由於整地情形之不同及作物栽培方式之不一，計算結果可能與實際情形，相差甚多，故近代學者乃有更進一步之研究。



圖(3)：水流行程與時間之關係

(四) 近代學者如 Hall, Kiefer, Criddle, Davis, Pair, Shockley, Phillip, Christiansen, Bishop 與 Fok 諸氏關於埂畦灌溉方法之研究，除應用雙重積分法，求出一定時間內滲入土壤之平均水深以及流長之關係外，並着重於灌溉水流前進曲線 (Advance Curve) 及斷水後退水曲線 (Recession curve) 之試驗研究，以求出適當之流長 (亦即田區長度)，畦寬、流量等，目的在使灌溉效率能够盡量提高。其研究方法之理論根據如下：

$$qt = ad \dots (3) \text{ (同前(一)項中之灌入水量公式)}$$

$$a = WL \dots (4)$$

$$d = D_s + D_a \dots (5)$$

式中 W = 畦條之寬度。

L = 水流淹灌埂畦之長度。

D_s = 灌水時田土面上之平均水深度。

D_a = 灌水時由田土吸收 (亦即滲入) 之平均水深。

滲入率 (Intake Rate) I 之方程式為拋物線形，即

$$I = Kt^n \dots (6)$$

$$I = C_0 + Kt^n \dots (7)$$

式中 I 為滲入率，t 為時間

K；n 及 C₀ 為實驗特性常數。

依據經驗(6)式適用於較短之灌溉時間，而(7)式對於較長之灌溉時間，顯示有較優之結果。一般採用(6)式以為研究之基本式，已有相當滿意之結果。

以時間為準積分(6)式可得累積滲入率 d_a

$$d_a = \frac{K}{n+1} t^{n+1} \dots (8)$$

再以時間為準積分(8)式，並以時間 t 除之，可得土壤吸水之平均水深 D_a 之近似值。

$$D_a = \frac{K}{(n+1)(n+2)} t^{n+1} \dots (9)$$

將以上(4), (5)及(9)諸式代入(3)式, 則可得水流前進距離 L 與時間 t 之關係式

$$L = \frac{qt}{W(D_s + \frac{K}{(n+1)(n+2)} t^{n+1})} \dots\dots\dots(10)$$

四、試驗結果之研究分析與比較

農田灌溉除受不同種類土壤之影響外, 田面坡度之不同, 亦足以影響灌溉水量滲入土中之速率, 與水流前進時間以及消失時間。本省可灌溉之旱田, 多屬無坡度之水稻輪作田, 在近似水平之輪作田, 對於合理灌溉之基本要求, 目前尚無足夠之資料可以應用; 故今後對本省輪作田之旱田灌溉方法, 作理論之探究, 實迫切需要。茲將本年期在農工系試驗農場所作關於畦灌之試驗結果, 依據上述第三項(四)節之最新理論, 加以整理分析研究如次。

(一)滲入率 (Intake Rate) 之研究:

田間灌溉滲入率之試驗, 係採用直徑 40 公分, 高40公分之鐵製無底圓筒, 筒底週邊呈銳線狀, 筒上方加裝臨時鐵蓋, 以便於鐵錘敲擊打入土中; 圓筒打入地面後, 約露出地面 15 公分; 筒外挖一環形之水槽, 灌水入環形槽後, 同時灌水入圓筒內, 並與筒外側之水位等高時, 即按跑錶, 開始紀錄, 並不時加水入環形槽, 期使筒內外水面保持相等, 試驗至滲水量

表一、農工系試驗田區與學甲整地示範田區滲入率比較表

試驗區別	土壤種類	試前田土含水量	滲入率 公厘/小時	累積滲入量 公厘
農工系試驗區	坩質粘土	最大 35.72 (表土20cm) 最小 23.96 (地面下60cm)	$I = 92t^{-0.88}$	$d_a = 12.8t^{0.12}$
學甲整地示範田	坩質粘土	19.6	$I = 300t^{-0.712}$	$d_a = 22t^{0.223}$

(二)灌溉水流前進曲線(Advance Curve)之研究:

灌溉時雖可使流量保持不變, 但灌溉水流在前進時, 由於一部份水量垂直下滲入田土中, 乃減小其水平方向前進之流量, 因而前進之流量乃為一不定量及不等速之明渠水流; 當前進之水量小於滲入率時; 則地面上水流因土壤吸水而停滯, 灌溉水流即不能再前進, 表示灌溉水量過小, 水流在未流至既定距離前, 已全部滲入田土之中。因此欲使灌溉水可以流達畦之末端, 使末端吸水亦有足夠之時間, 以便滲入所需要之水深, 乃須研究水流與滲入率之相互關係, 亦即探求各種流量相對流長所需之時間以及施灌水深間之關係。

茲將本項試驗之灌溉處理, 田區佈置以及試驗資

料與結果分別列述如下。

(1)灌溉處理:
流量 Q 分別採用為 7.5; 6.0; 4.5; 3.6, 2.5及 2.0每秒公升, 畦寬 W 採用 4公尺及 5公尺兩組; Q/W 為 1.5; 0.9及 0.5。

$$I = 92t^{-0.88} \dots\dots\dots(11) \quad (I \text{之單位為每小時公厘})$$

而累積滲入量 (Accumulated Intake) d_a 可代入第(8)式求得之, 式中之 $K = 92/60 = 12.8, n = -0.88$

$$\therefore d_a = \frac{K}{n+1} t^{n+1} = 12.8t^{0.12} \dots\dots\dots(12) \quad (d_a \text{單位為公厘})$$

(2)田區佈置簡圖-(圖5)
農工系試驗農場所之土壤, 經該系灌溉排水研究室機械分析之結果, 屬於坩質粘土, 其中粘土粒佔 43.7%、坩土質佔 48.7%、砂粒僅佔 7.6%, 故粘性大, 空隙小, 滲入率極為緩慢, 基本滲入率 (Basic Intake Rate) 約每小時 1 公厘 (即 1mm/hr.)。若與近年學甲整地示範田 (亦係坩質粘土) 相較, 顯示本區坩質土壤之滲水過慢, 據筆者之研判, 可能由於試驗區受降雨頻繁之影響, 田土含水量在試驗前已接近田間含水量 (Field Capacity) (本試區之田間含水量為 36.5%), 以及表土下層由於耕牛之踐踏, 形成一不易透水之硬盤, 有以致之, 然不能遽加臆斷, 尚有待今後更進一步之試驗。茲將本試驗與學甲整地示範田之試驗結果比較如表一。

料與結果分別列述如下。

(1)灌溉處理:
流量 Q 分別採用為 7.5; 6.0; 4.5; 3.6, 2.5及 2.0每秒公升, 畦寬 W 採用 4公尺及 5公尺兩組; Q/W 為 1.5; 0.9及 0.5。

(2)田區佈置簡圖-(圖5)

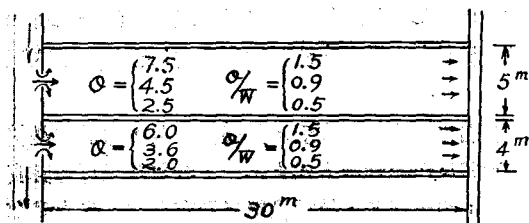


圖 (5)

試驗前沿各畦之中線，於5公尺，10公尺及20公尺處各插標樁，田埂內側混凝土埂內側每50公分距離給一標記，以爲觀測水流前進距離，流速與水深之用，並以跑錶計時間。

(3)試驗結果：

試驗結果綜合計算列表二、表三、表四及圖

(6)。

表二、流量—畦寬—水流前進時間—實際灌溉水深表

試驗時間 月 日	流 量 Q ℓ/sec	流 量 畦 寬 比 Q/W	畦 寬 W m.	中 止 灌 水 距 離 m.	灌 水 時 間 min.	灌 溉 水 深 d mm.
3 17	6.0	1.5	4	30	19	57.0
2 17	3.6	0.9	4	30	21	37.8
3 5	2.0	0.5	4	30	49	49.0
3 17	7.5	1.5	5	30	20	60.0
2 17	4.5	0.9	5	30	22	39.6
3 5	2.5	0.5	5	03	52	52.0

表三、流距—前進時間—灌溉水深—滲入水深—逕流率計算表(1)

Q=6.0 ℓ/sec. W=4m. Q/W=1.5											平均 滲入	實灌 水深	逕流	逕流 %	
水流距離L(m)	4	10	15	21	27	30									
水流時間t(min)	2	5	8	12	16	19									
灌溉水深d(mm)	45	45	48	51	53	57					57				
滲入水深d _a (mm)	13.9	15.5	16.4	17.3	17.9	18.2					16.53				
逕流d-d _a (mm)	31.1	29.5	31.6	33.7	35.1	38.8							40.47	70.9	
Q=3.6 ℓ/sec. W=4m. Q/W=0.9															
水流距離L(m)	5	9	15	19	24	30									
水流時間t(min)	2	5	8	12	16	21									
灌溉水深d(mm)	22	30	28.8	34.1	36	37.8					37.8				
滲入水深d _a (mm)	13.9	15.5	16.4	17.3	17.9	18.5					16.5				
逕流d-d _a (mm)	8.1	14.5	12.4	16.8	18.1	19.3							21.22	56.2	
Q=2.0 ℓ/sec. W=4m. Q/W=0.5															
水流距離L(m)	3	5	8	12	14	18.2	20	22	24	27	30				
水流時間t(min)	2	5	8	12	16	20	24	28	32	40	49				
灌溉水深d(mm)	20	30	30	30	34.3	33	36	38.7	40	44.4	49			49.0	
滲入水深d _a (mm)	13.9	15.5	16.4	17.3	17.9	18.4	18.8	19.1	19.9	19.9	20.4	17.91			
逕流d-d _a (mm)	6.1	14.5	13.6	12.7	16.4	14.6	17.2	19.1	20.6	24.5	28.6			31.09	63.6

表三、「流距—前進時間—灌溉水深—滲入水深—逕流率」計算表(2)

Q=7.5 ℓ/sec W=5. Q/W=1.5										平均 滲入	實灌 水深	逕流	逕流 %	
水流距離L(m)		3.8	8	12.6	18.5	24	30							
水流時間t(min)		2	5	8	12	16	20							
灌溉水深d(mm)		47.4	56.2	57.2	58.4	60	60			60				
滲入水深d _a (mm)		13.9	15.5	16.4	17.3	17.9	18.4			16.57				
逕流d-d _a (mm)		33.5	40.7	40.8	41.1	42.9	41.6					43.43	73.2	
Q=4.5 ℓ/sec. W=5. Q/W=0.9														
水流距離L(m)		4	8	12	17	22.6	30							
水流時間t(min)		2	5	8	12	16	22							
灌溉水深d(mm)		27	33.7	36	38.3	38.2	39.7				39.7			
滲入水深d _a (mm)		13.9	15.5	16.4	17.3	17.9	18.5			16.58				
逕流d-d _a (mm)		13.1	18.2	19.6	19.0	20.3	21.2					23.12	58.2	
Q=2.5 ℓ/sec. W=5. Q/W=0.5														
水流距離L(m)	2	4	6	10	12	16	19	25	30					
水流時間t(min)	2	5	8	12	16	22	28	36	52					
灌溉水深d(mm)	30	37.5	40	36	40	41.2	44.2	43.2	52		52			
滲入水深d _a (mm)	13.9	15.5	16.4	17.3	17.9	18.5	19.1	19.7	20.6	17.66				
逕流d-d _a (mm)	16.1	22.0	23.5	18.7	22.1	22.7	25.1	23.5	31.4			34.34	66.0	

表四、實驗公式

Q ℓ/sec	W m	Q/W	試驗前土壤含水量 %		累積滲入量 d _a et ⁿ⁺¹ (平均之)	前進距離與 時間之關係 tαL ^m
			地下下 20cm max.	地下下 60cm min.		
6.0	4	1.5	33.12	24.78	d _a =12.8t ^{0.12}	t=0.342L ^{1.17}
3.6	4	0.9	35.04	25.99		t=0.216L ^{1.35}
2.0	4	0.5	34.68	25.04		t=0.440L ^{1.40}
7.5	5	1.5	31.45	23.96	d _a =12.8t ^{0.12}	t=0.547L ^{1.06}
4.5	5	0.9	33.17	24.01		t=0.492L ^{1.13}
2.5	5	0.5	35.72	24.96		t=1.160L ^{1.05}

(4)上表四實驗公式之說明及例證：

，以作圖選點之法，求得實驗公式為

(a) 依據滲入率試驗之結果，繪入對數紙上呈一直線，故判定公式為 $I = Kt^n$ 之形式，再據實測資料積分(11)式，得累積滲入量 d_a 為：

$$I = 92t^{-0.88} \dots \dots \dots (11) \quad [如前]$$

$$d_a = \frac{K}{n+1} t^{n+1}$$

式中 $K=92/60$; $n=-0.88$ [見(6)式]

$$\therefore d_a = 12.8t^{0.12} \dots \dots \dots (12)$$

由先後四次滲入率試驗結果，甚為接近，故乃取其平均結果，研究分析如(11)式及(12)式。

(b)依據水流行程 L 與時間 t 之試驗資料繪入對數紙上，亦為一近似直線，故判定公式為 $t=bL^c$ 之形式，亦分別以作圖選點法求出各公式如表四中之最右一行所示。

(c)作圖選點法算例：

例(三)：求作 $Q=6.0$ 公升/秒， $W=4$ 公尺， $Q/W=1.5$ 時，水流行程 L 與時間 t 之實驗公式。

解：依據實測 L 及 t 之資料，繪入對數紙上，並以直線平均通過各點據，如圖 (6)-a 所示，再選由該直線通過之大、中、小三數據作為計算之用。

點據	L	t	Log L	Log t
1	10	5	1.00000	0.69897
2	21	12	1.32222	1.07918
3	27	16	1.43136	1.20412

由式 $t = bL^c$ 取對數： $\text{Log}t = \text{Log}b + C\text{Log}L$

(i) 求指數 C ：

$$\left. \begin{aligned} \text{Log } t_1 &= \text{Log } b + C \text{Log } L_1 \\ \text{Log } t_2 &= \text{Log } b + C \text{Log } L_2 \end{aligned} \right\} \text{ (二式相減可求 } C)$$

$$\therefore C_1 = (\text{Log}t_1 - \text{Log}t_2) / (\text{Log}L_1 - \text{Log}L_2) = 1.18 \text{ (1,2組合)}$$

$$C_2 = (\text{Log}t_2 - \text{Log}t_3) / (\text{Log}L_2 - \text{Log}L_3) = 1.15 \text{ (2,3組合)}$$

$$C_3 = (\text{Log}t_1 - \text{Log}t_3) / (\text{Log}L_1 - \text{Log}L_3) = 1.17 \text{ (1,3組合)}$$

平均 C 值 = 1.17

(ii) 求係數 b ：

$$\text{因 } \text{Log}t = \text{Log}b + C\text{Log}L$$

$$\text{故 } \text{Log}b = \text{Log}t - C\text{Log}L$$

$$\text{Log } b_1 = 0.69897 - 1.18 \times 1.00000 = \bar{1}.51897$$

$$\therefore b_1 = 0.330$$

$$\text{Log } b_2 = 1.07918 - 1.15 \times 1.32222 = \bar{1}.55918$$

$$\therefore b_2 = 0.362$$

$$\text{Log } b_3 = 1.20412 - 1.17 \times 1.43136 = \bar{1}.52412$$

$$\therefore b_3 = 0.385$$

平均 b 值 = 0.342

故實驗公式 $t = 0.342 L^{1.17}$

(三)灌溉效率 (Irrigation Efficiency) 之研究：

灌溉水量灌入農田後，觀測水量在田中分佈之情形，可用以估算灌溉效率。近年來由前進曲線與退水曲線之觀念，在某一施灌畦長中之相關時間之不同，利用滲入曲線加以換算，可以估計該灌水長度中所浸入之水深，從而估計其灌溉效率。

本試驗係在水平無坡度之水稻上進行者，依據實際之測驗，灌水後退水之情形極為緩慢，有長達12小時以上者，據此灌溉效率乃無從估算，是以應用退水曲線估算效率，尙有待日後之研究。

本試驗對於灌溉效率之約估，在利用累積滲入量公式 $d_a = 12.8t^{0.12}$ 計算滲入田土之水量，以水流前進距離 L 及灌水所歷時間 t 計算實際灌溉水深 d ，二者之差用為衡量灌溉效率之標準以為初步之研究與探討，計算結果如表三中最右4行所示。

由試驗結果證明 $Q/W=0.9$ 時，4公尺畦寬之逕流為 21.22mm，逕流百分率為 56.2%；5公尺畦寬之逕流為 23.12mm，逕流百分率為 58.2%，數字最小，故可認為效率較大，而損失水量較小。

誌 謝

本試驗研究之完成得國家長期發展科學委員會之輔助，並承張建勛主任之指示與鼓勵以及由臺灣大學農工系補助試驗經費。試驗工作承吳純宏、陳幸立、陳財松及廖舜諸先生之協助，得以順利完成，並承新竹區農業改良場張一郎先生慨允借用滲透試驗儀器達數月之久，特此併致謝意。

結 論

(一)、近年來本省旱作灌溉之實施及經濟情形，已引起有關單位及各專家之注意，並已積極從事該項之試驗研究工作。本省旱田大部份為平坦之水稻輪作田，而無坡度，與美國及日本之情形不同，故此項試驗研究工作，當更有其意義。

(二)、除噴洒灌溉外，灌溉時之水流現象，由於土壤吸水及地表水流剖面之變化不定，形成一不穩定及不等速之明渠水流，關係複雜，難以純理論或公式加以解析，而必須輔以試驗。

(三)、由於本試驗區之土質為坩質粘土，粘性甚大，且原為一平坦之水稻輪作田，田土下層極可能有一耕犁不到及牛踏之硬盤，故土壤滲水極為緩慢，基本滲入率約為1公厘每時，推演之實驗公式為

$$I = 92t^{-0.88}$$

$$d_a = 12.8t^{0.12}$$

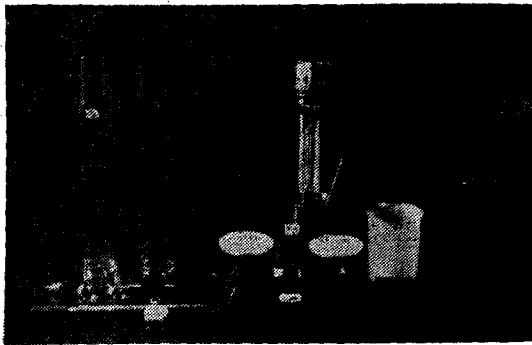
(四)、水流前進距離 L 與時間 t 之關係為 $t = bL^c$ ，故已知「流量、畦寬」比並依據灌水時間，即依此關係式，求得灌田面積，或據灌田面積以計算灌水時間。

四、由試驗結果顯示「流量、畦寬」比較大時，所需要灌水之時間較短，可以節省時間及勞力；但以逕流率比較之，則未免過大，顯示效率較低，綜觀表三計算各值比較，當以 $Q/W=0.9$ (流量、畦寬比) 為宜。灌溉水深 d 及滲入田土水深 d_a 之差，為地表逕流，用為本試驗計算灌溉效率之參考值。

五、由於試驗期間(本年二月至六月)，雨量過多，致於每次試驗前之土壤含水量在表土20公分處，均在31%以上，已接近本試驗區之田間含水量 36.5%，對於試驗結果，不無影響，故今後進一步之試驗工作，勢所必需。



一、試驗田區之劃分，右畦寬 4m 長 30m 左畦寬 5m 長 30m。

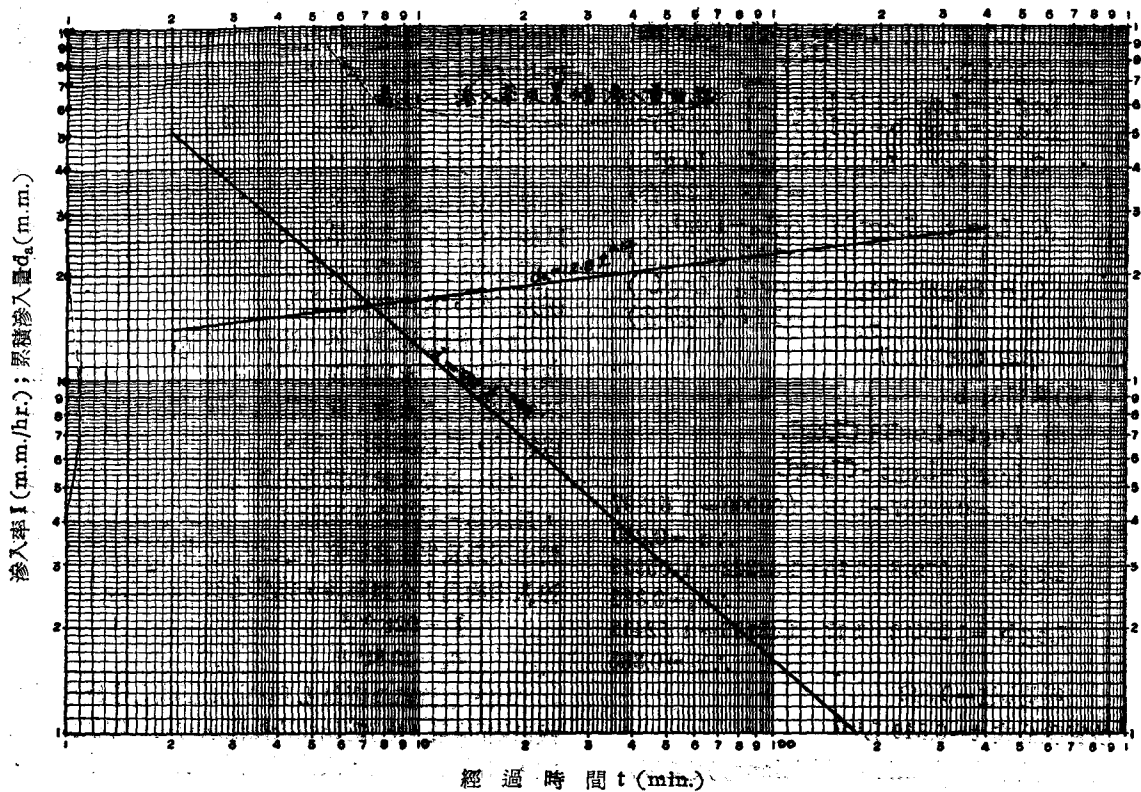


二、土壤物理性測定設備(機械分析及比重測定)

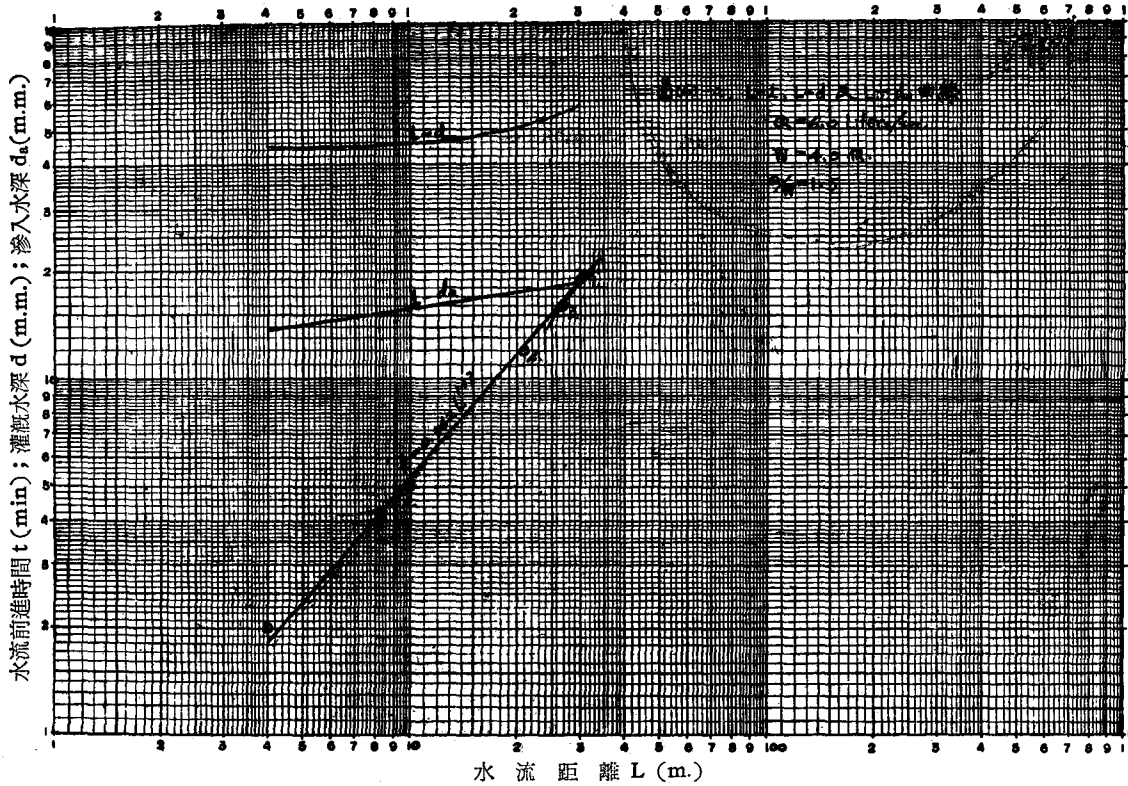


三、3吋巴歌耳量水槽(側視圖)

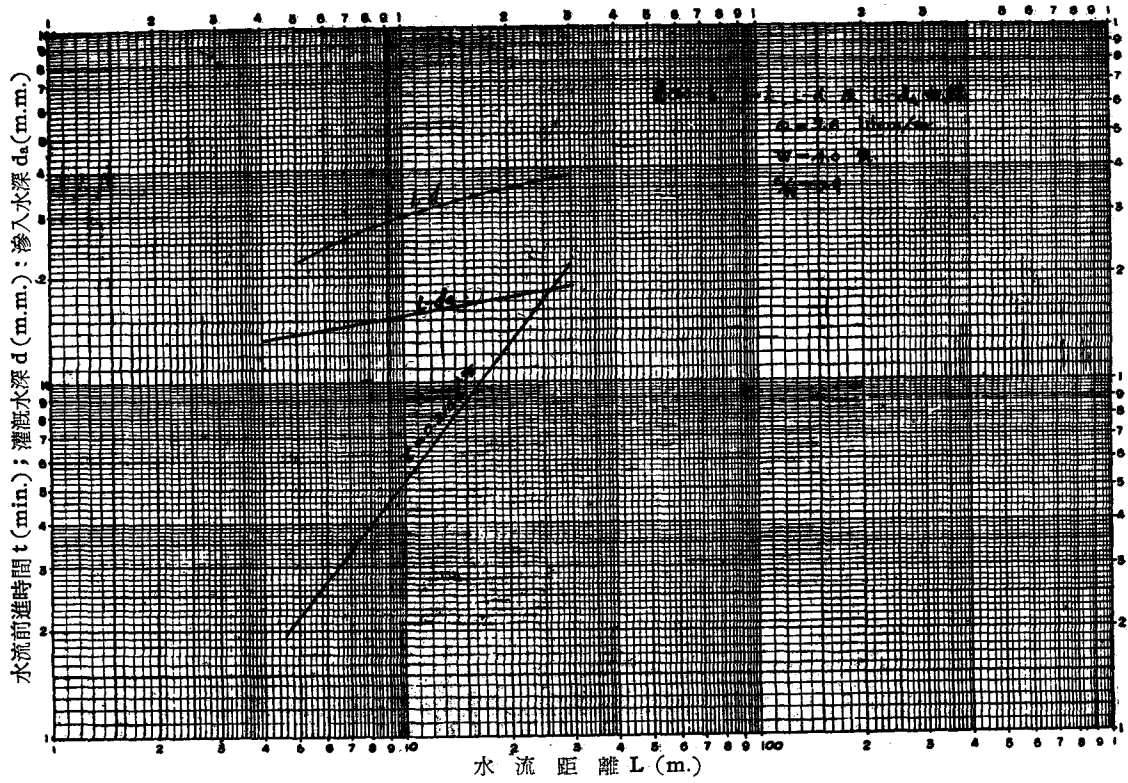
圖4：滲入率及累積滲入量曲線



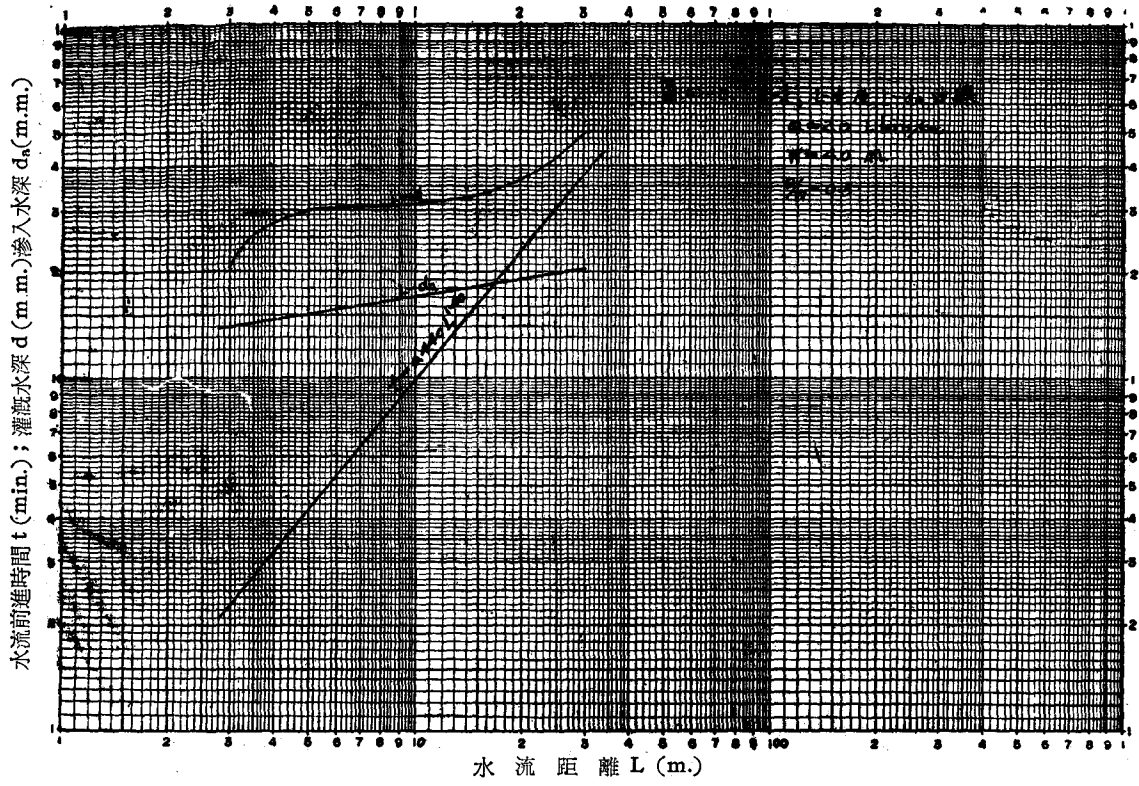
圖(6)-a L-t, L-d 及 L-d_a 曲線
 $Q=6.0$ Liters/sec $W=4.0$ m $Q/W=1.5$



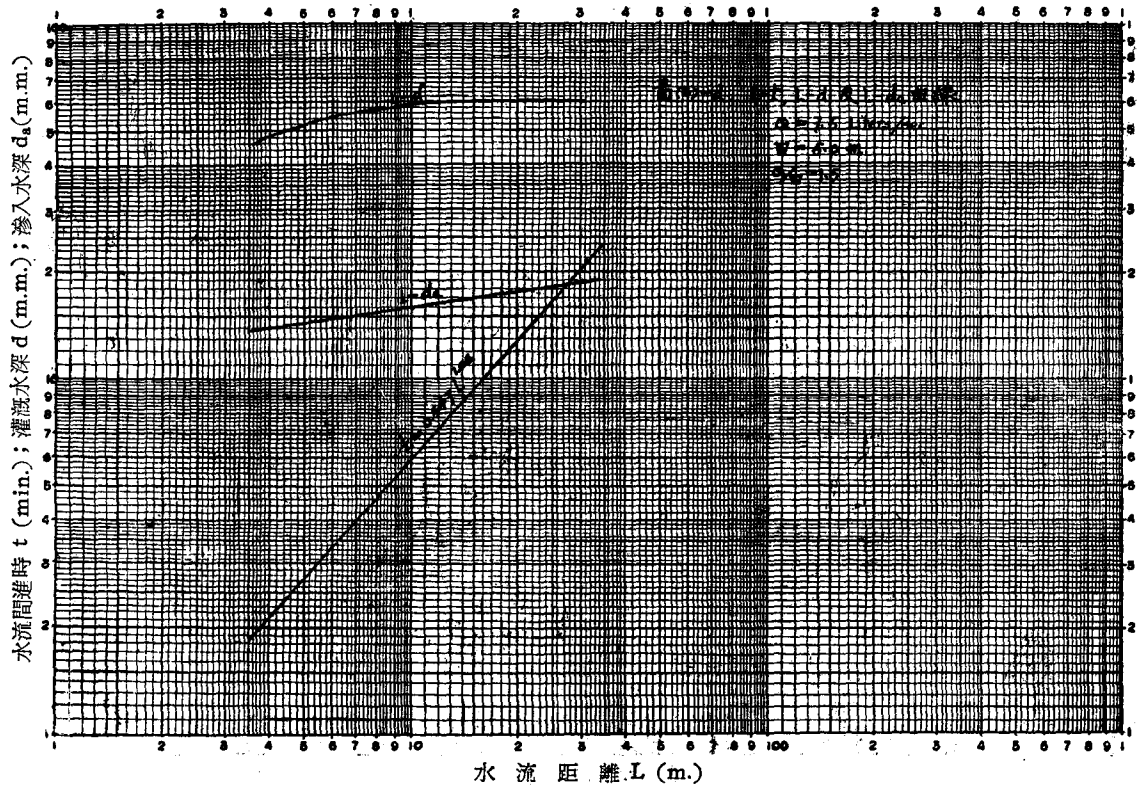
圖(6)-b L-t, L-d 及 L-d_a 曲線
 $Q=3.6$ Liters/sec $W=4.0$ m $Q/W=0.9$



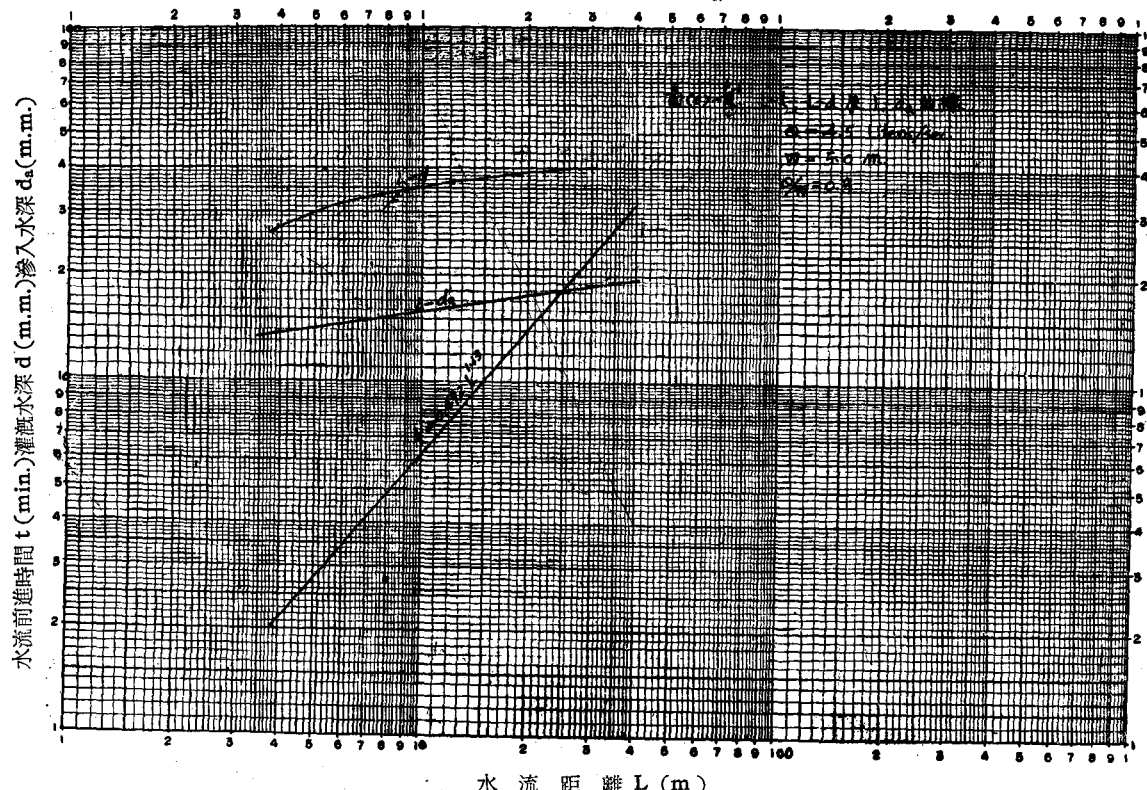
圖(6)-c L-t, L-d 及 L-d_a 曲線
 $Q=2.0$ Liters/sec $W=4.0m$ $Q/W=0.5$



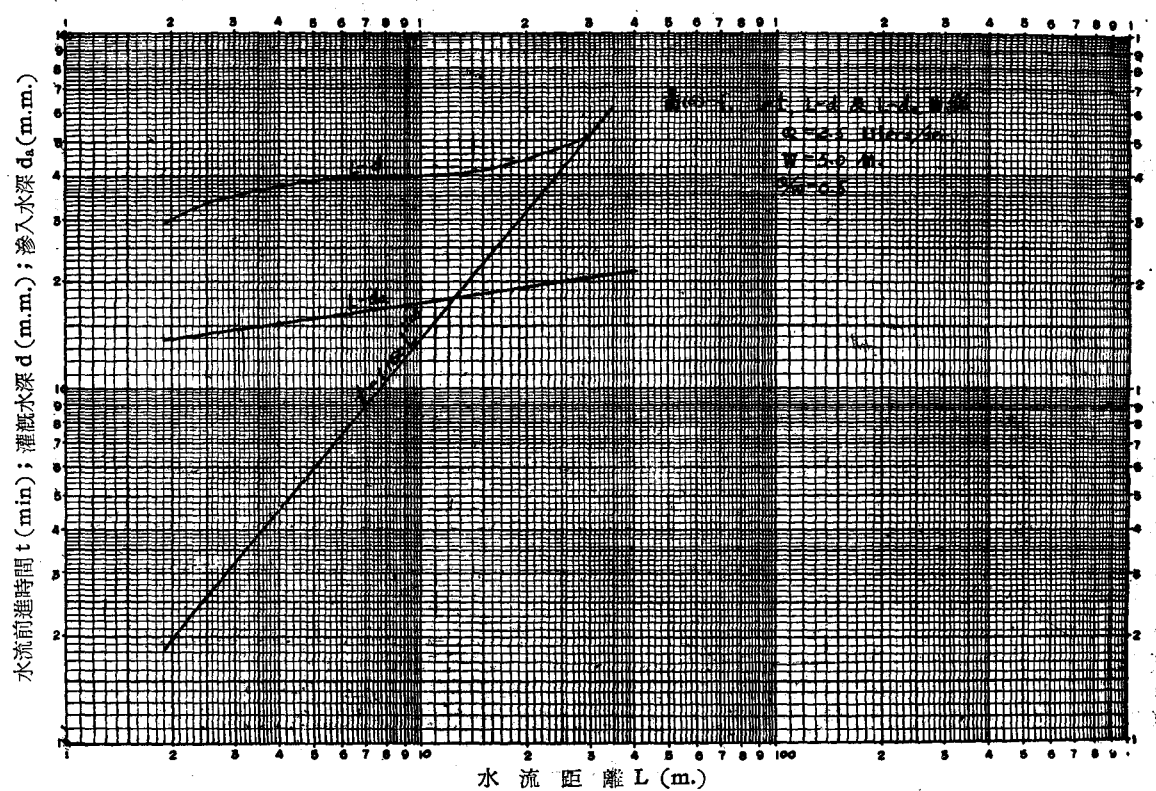
圖(6)-d L-t, L-d 及 L-d_a 曲線
 $Q=7.5$ Liters/sec $W=5.0m$ $Q/W=1.5$



圖(6)-e L-t L-d 及 L-d_a 曲線
 $Q=4.5$ Liters/sec $W=5.0m$ $Q/W=0.9$



圖(6)-f L-t, L-d 及 L-d_a 曲線
 $Q=2.5$ Liters/sec $W=5.0m$ $Q/W=0.5$



Summary

1. In recent years, the practice and the economy of upland crop irrigation engage the attention of the officials and the specialists in Taiwan. The experiment and study on upland crop irrigation have been carried out. Most of upland crop fields in Taiwan are the lands of rotation cropping with rice, these lands are almost level and have no slope, they are different from American and Japanese.
2. Except sprinkling irrigation, the water flow of surface irrigation is unsteady and non-uniform open-channel flow over a porous soil surface, it is a complex problem in theoretical analysis owing to the varying intake rate of soil and the changing water surface profiles on soil surface. Therefore the experiment and study on upland crop irrigation in Taiwan are very necessary.
3. This experimental plot is the field of rotation cropping with rice and the soil of this plot is silty clay with a plow plan always existing under the rice field, so the infiltration rate in soil is very slow, the basic intake rate is about 1.00m.m. per hour. The emperical equations for intake rate (I) and accumulated intake (da) are developed respectively as following:

$$I = 92 t^{-0.88}$$
$$d_a = 12.8 t^{0.18}$$

4. Emperical equations for the predication of the advance length (L) (or irrigation area) versus time (t) with respect to Q and W have been developed as a power function $t = bL^c$.
5. The time of irrigating stream advance is shorter for larger ratio of discharge (Q) and width of border (W), it reveals may saving irrigating time and labor, but reveals the defect in lower irrigation efficiency. From table 3, $Q/W = 0.9$ are considered better, the time for irrigation are about 21 minutes and the run-off percent (57.2%) are minimum. The run-off percent $\frac{d-d_a}{d} \times 100$ are relative values for estimating the irrigation efficiencies.
6. During the time of experiment (from February to June, 1966.), the soil water content are relatively high due to heavy rain. In 20cm. under field surface the water content are all above 31%, nearly equal to the Field Capacity 36.5% of this experimental plot. It is one of the main factors effecting the experimentl results, and therefore, further experiments and studies should be made for improvement.

參 考 文 獻

- (1) Fok, Yu si: Analysis of overland Flow on A Porous Bed with Applications to the Design of Surface Irrigation Systems. Utah State University, Logan, Utah, 1964.
- (2) D. G. Shokley: A Quasi-Rational Method of Border-Irrigation Design, Transactions of the ASAE, 1964.
- (3) Cheng-lung chen: The Theory and Characteristics of Overland Flow. For Presentation at the 1963 Winter Meeting of ASAE.
- (4) 黃文熙：農田灌水法之水力理論。水利第十四卷第四期。民國卅五年十二月。
- (5) 張建勛、徐玉標：嘉南學甲地區旱作灌溉研究試驗報告。民國五十五年一月。
- (6) 張建勛：旱田作物栽培方式與田間灌溉效率之研究。農業工程學報第十二卷第二期。民國五十五年六月一日。
- (7) 吳純宏：埤畦灌溉方法之研討。農業工程學報第十一卷第四期。民國五十四年十一月。
- (8) 易 任：實驗公式類型之判定及其作法。農業工程學報第十卷第四期。民國五十三年十一月。
- (9) 易 任：農田灌溉方法之水理分析與研究(一)。農業工程學報第十一卷第一期。民國五十四年三月一日。