土渠輸水損失計算法之探討

Determination of Seepage Loss from Ditches

劉 亨 立

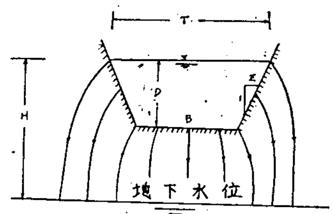
臺大農工系客座副教授 Henry Liu
美國米蘇里大學土木系 Associate Professor

Abstract

In Taiwan many irrigational ditches convey water only for short periods of time. The seepage losses of these ditches are hard to evaluate analytically. An empirical equation, $S=aL^bT^c$, is usually used, in which S is the percentage of discharge lost in acanal of length L, T is the time of wetting, and a, b, c are empirical constants. Since this equation suffers from many drawbacks, a different equation, $Q_S=Q_0-Q=awLT^b\left(1-\frac{b}{\beta+1}\frac{t_L}{T}\right)$, is proposed herein. In the equation, $Q_S=Q_0-Q$ is the discharge lost in a channel of length L; T is the time since water entered the intake; W is the channel width; $t_L=\alpha L^{\beta}$ is the time required for water to advance a distance L; and a,b,α,β are all coefficients to be determined experimentally. The proposed equation has a sounder theoretical basis and is believed to be more reliable and accurate than the previous equation.

一、前言

在利用土渠輸水時，吾人常需考慮由於滲透(seepage)所損失的水量。就經常有水之渠道而言，滲出渠道之水經土壤而流達地下水層 (ground water table) 。這種滲透係在水份飽和的土壤中進行，其原動力爲地心吸引力。在此種情形下，每單位長度渠道滲透量 q (cms/m)，隨土壤之導水係數(permeability) K，渠道斷面形狀大小，水深，及地下水位高度等因子而變。在一些簡單的情況下，q 值可以從理論推出。用理論計算 q 時，通常須先解 Laplace equation (用flew net, conformal mapping, finite difference, 或其它方法) (註 1, 2) 。例如傑普生氏 (R.W. Jeppson) 即會於 1968 年 (註 3) 以 finite difference 法利用電子計算機計算了許多梯形斷面 (矩形與三角形斷面也包括在內，因皆爲梯形之特例) 之滲透情形。如圖一所示， T (m)爲水面寬度， B (m)爲渠底寬， Z 爲渠道兩岸之坡度，D (m)爲水深，H (m)爲水面至地下水位之距離。傑氏由其所算出之各種情況下之滲透量推得下例公式：



圖一 梯形斷面之滲透

$$\frac{q}{KD} = 3.07\,\frac{\left(\frac{T}{D}\right)^{0.506} e^{9.86Z}\, e^{9.68(B/D)}\, e^{0.0572(H/B)}}{e^{4.78(T/D)}\, Z^{0.42}\, e^{0.00105(BZ)} \left(\frac{H}{D}\right)^{0.409}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

由於 (1) 式應用起來太麻煩，傑氏又將其製成圖表 (見註 3 所例文獻之第七圖) 以便使用。當吾人使用此法推得 q 值後，將 q 乘渠長 L，即得該段渠道之漏水量 Q_s (cms) 若。但 L 過長則，應分段求 q，然後由各段之 Q_s 求全渠之總漏水量。

應用以上方法求滲透因須知道地下水位之高度及

1. Polubarinova-Kochina, *Theory of the Motion of Ground Water*, translated by J. M. DeWeist, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., 1962.
2. Mc Nown, J.S., Hsu, E.Y., and Yih, C.S., "Application of the Relaxation Technique in Fluid Mechanics," *Proceedings of ASCE*, Vol. 79, No. 223, 1953.
3. Jeppson, R.W., "Seepage From Ditches-Solution by Finite Differences", *Journal of the Hydraulic Division* ASCE, Vol. 94, No. HY1, Jan. 1968.
4. 張建勛、甘俊二、陳益榮，嘉南地區旱作灌溉綜合試驗研究臺大農工系灌溉第十二號研究報告，1970年10月。

土壤導水係數，故應用起來可能比一般之經驗公式）如 Moritz 氏與 Jingham 氏之公式，見註 4 所列文獻之第三章第二節）費事，但因其有良好之理論基礎，其結果之精確度相信比上述經驗公式高得多。以上係專對經常有水之渠道言。

若土渠通水時斷時續（如臺灣輪灌區內之小給水路），則於通水之起初因土壤乾燥，漏水亦特別厲害。等到通水時間增長後漏水量亦漸漸減少。這種情形下之滲透有一大特徵，即土中有一漸漸擴大之濕潤端（wetting front），顯示水分在土壤中之擴充。這時水在土中運動之原動力除重力外，更有表面張力。其它影響水在土壤中運動的因子亦比水在全部飽和的土壤中運動爲複雜。在這種情況下純粹由理論推求漏水極爲不易；目前臺灣應用之經驗公式爲（註 4 ）

$$S=aL^bT^c \quad \cdots\cdots(2)$$

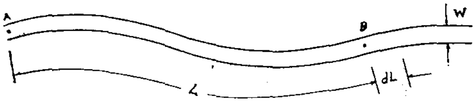
式中 S 爲水路輸水損失率（%）；L爲水路長(m)；T爲通水時間（hrs）; a, b, c 爲係數，由實地測定。

以上之公式因缺乏理論根據，因此其可靠性與適用範圍都很成問題。這可由下例看出：

根據註 4 之資料，在某小給水路測得 $a=4.62$, $b=0.370$, $c=-0.379$. 假定渠長 L=200 公尺，通水時間 T=10小時，則代入 (2) 式得 S=13.7 %。若渠長加倍（ 400公尺），而通水時間不變（10小時），則由 (2) 式得 S=17.7%。然而吾人若將該400公尺長之渠道分成二段（每段 200公尺），用同一公式算輸水損失，則因每段損失 13.7%，故兩段之損失總量應爲 $S=[13.7+(1-0.137)\times 13.7]=25.5\%$ 。此與不分段計算所得之 17.7% 相差極大，可見 (2) 式之不能適用於一般情形。（最多祇能適用於一定灌溉操作法之特殊區域，即 L 與 T 必須有一定之關係。但即使在同一區域同一操作法下相信差誤仍然很大）。爲求一比較合理及普遍能用之公式，請看下節。

二、半經驗公式之推求

如圖二所示，假若水於時間 $t=o$ 進入渠道 A 點，而於$t=t_L$ 到達下游 L 距離處之 B 點。在灌溉學上，L 與 t_L 之關係通常以下列經驗公式代表：



圖二

$$t_L=\alpha L^{\beta} \quad \cdots\cdots(3)$$

上式中 α, β 須由實驗決定。又在灌溉學上，小渠之入滲率 I (infiltration) 可以下式表示：

$$I=at^b{}_w \quad \cdots\cdots(4)$$

式中 t_w 爲渠道浸水時間；a, b 均爲實測所得之係數。由 (4) 式得在時間 $t=T$ ($T>t_L$) B點之入滲率爲

$$I=a(T-t_L)^b \quad \cdots\cdots(5)$$

將 (3) 式代入 (5) 式得

$$I=a\ (T-\alpha L^{\beta})^b \quad \cdots\cdots(6)$$

在圖二中，由於渠道有滲漏，渠中流量Q隨距離L之增加而減少。假定 B點之水深已達穩定(steady)，則該處單位渠長流量之變化應等於滲漏量，即

$$\frac{dQ}{dL}+WI=0 \quad \cdots\cdots(7)$$

上式中 W 爲渠寬。將 (6) 式代入 (7) 式得

$$\frac{dQ}{dL}+aW\ (T-\alpha L^{\beta})^b=0 \quad \cdots\cdots(8)$$

解上式得

$$Q_0-Q=aW\int_0^L (T-\alpha L^{\beta})^b dL \quad \cdots\cdots(9)$$

(9) 式中之 Q_0 爲 L=0 處（點 A ）之流量。將上式積分號內之二項式展開，然後分項積分得

$$Q_0-Q=aWLT^b[1-\frac{b}{1!(\beta+1)}\left(\frac{t_L}{T}\right)+\frac{b(b-1)}{2!(2\beta+1)}\cdot\left(\frac{t_L}{T}\right)^2-\frac{b(b-1)(b-2)}{3!(3\beta+1)}\left(\frac{t_L}{T}\right)^3+\cdots] \quad \cdots(10)$$

在一般情況下，(10) 式中之無窮級數一項比一項小得很快，祇需保留前兩項即可得到相當精確之結果。因此 (10) 可化簡爲

$$Q_0-Q=aWLT^b\left(1-\frac{b}{\beta+1}\frac{t_L}{T}\right)$$

$$=aWLT^b[1-\left(\frac{b}{\beta+1}\right)\left(\frac{\alpha L^{\beta}}{T}\right)] \quad (11)$$

應用以上之公式時，須注意單位必須一致。若 L 及 W以公尺計，T及 T_L 以小時計，I 以每小時公尺計，則所求出之 Q_0-Q 其單位爲每小時立方公尺。

由 (11) 式可見若欲求進水口以下 L 距離內之滲漏量，不但需知L及T，而且需以實驗測定 a, b 及 α, β 之值。若T比 t_L 大很多時，則 (11) 式簡化爲

$$Q_0-Q=aWLT^b=aWLt_w{}^b$$

$$=WLI \quad \cdots\cdots(12)$$

在以上之推演中，吾人曾假定全段L距離中之I值爲一定數，即I依時間 T 而變，但不與距離L而變。這個假定嚴格說來是不正確的，但若L之長度不大，則誤差也不大，而且可應用I之全段平均值計算，以減少誤差。若 L 很長，則必須分段計算漏水才精確。

三、結論

土渠滲漏之計算須視渠中是否經常有水而定。對經常有水之渠道言，滲透係在水分飽和之土壤中進行。此時之滲透量隨渠道斷面大小形狀，水深，地下水

（下接27頁）