

洪流演算法—特製計算尺之簡介

臺灣大學農工系四年級學生

董 世 旻

(一)緒 論：

洪流演算，或以繪製圖表需時，或因計算過程繁複，致使研究有關此類問題之學者，乃多方設法，期以最經濟省時之方法，以獲得準確之結果，諸法中似以特製算尺之使用，最能符合上述要求，爰特介紹於後，以供參考。

(二)一般演算方法簡述：

洪流演算法，根據周文德先生所著「應用水文學手冊」及Linsley, Kohler, Paulhus 所著。「Hydrology for Engineers」所載，計有十餘種之多，但如加歸納，按使用時間先後排列，計可別為三大類：第一類：一般演算法：

本法使用最早，1938年 G. T. McCarthy 在「The Unit Hydrograph and Flood Routing」已有發表，通常應用 Muskingum Method：分析公式中各常數值，然後逐步推算欲求之各未知數。此法缺點為計算繁雜，遇有大量資料時，不僅計算費時，且極易犯錯，茲將公式列後：

$$S = K[XI + (1-X)O]$$

S：示貯留水量

K：示貯留常數

X：示流入量與流出量之相關常數

I：流入量

O：流出量

第二類：繪圖推算法：

在使用時間上較晚，1941年由 W. T. Wilson 介紹，其優點雖可避免上法重複而繁雜之演算，然須即時就已獲資料，繪求未知數值，若非熟悉此項工作，且具有良好之繪圖素養者，勢難于極短時間，繪得準確之圖形。如半圖解法 (Semigraphical methods) 圖解法 (Graphical methods)，統計法 (Statistical methods) 等均屬此。

第三類：機械輔助法：

本法之使用，計有 1948 年之滾動圖尺 (The Harkness flood router)，及 1958 年之電子儀器

(Electronic flood-routing device) 等機械，迅速算出各值。本法雖佳，但其中電子儀器成本頗高，而滾動圖尺則在製作及操作方面均較困難。

(三)特製算尺之製作及應用：

即本文所擬介紹者

(甲)製作程序：

(a)應用公式：

洪流演算中最基本之公式如下：

$$I - O = \frac{ds}{dt} \quad (2-1)$$

I：示流入水量

O：示流出水量

S：示貯留水量

t：示時間

然在實際應用上，則多採用下式

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)t + \left(S_1 - \frac{1}{2}O_1t\right) \\ = S_2 + \frac{1}{2}O_2t \quad (2-2)$$

t：示所選之適當時間 (註一)

I₁：示 t 時間內首先流入水量。

I₂：示 t 時間內最後流入水量。

S₁：示 t 時間中最初貯留水量。

S₂：示 t 時間中最後貯留水量。

O₁：示 t 時間內最初流出水量。

O₂：示 t 時間內最後流出水量。

(b)繪製貯留指示曲線圖 (Storage-Indication Curve)

根據歷年水位流量曲線 (Stage-Discharge Curve) 以及水位橫斷面曲線 (Stage-End Area Curve) 製作表格，繪一適合此河流之貯留水量指示曲線圖，表示流出水量 O 與 $S + \frac{1}{2}O_1t$ ，兩者之關係，然後依此曲線找出在一定流量 O 時，其相對應之 $S + \frac{1}{2}O_1t$ 以及 $S - \frac{1}{2}O_2t$ 之數值，列一簡表備用。

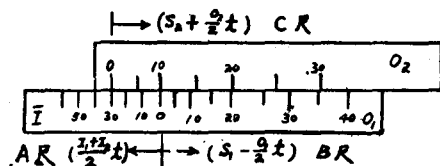
(c) 製作算尺：

依照上圖，首先決定時間 t 值，其次依後列示意圖，著手刻劃計算尺。詳細過程並請見 (乙) 應用實例。

$$\left(\frac{I_1+I_2}{2}t\right) + \left(-S_1 - \frac{1}{2}O_1t\right) = S_2 + \frac{1}{2}O_2t$$

$$\downarrow \quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \downarrow$$

$$A R \quad + \quad B R \quad = \quad C R$$



(乙) 應用實例：河川洪流之演算：

設所取河川全長一萬公尺，如圖 3-1 所示，因地形關係共設四個水文工作站，按各站不同之流量 (Discharge) 水位 (Stage) 及河川斷面 (End Area) 之記錄，即可製作該段河川之計算尺，以應洪流演算之需。

表 3-1

① Outflow cfs O	② End Area ft ²				③ Weighted Area			④ Average End Area	⑤ S cfs-hrs	⑥ S/Δt cfs	⑦ O/2 cfs	⑧ S/Δt+O/2 cfs	附 註
	1	2	3	4	0.1	0.6	0.3						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*文中以 O=50 cfs 為例，計算 各項數值 ΔO=800 cfs 為滿槽時流 量。
50*	40	27	21	23	3	14	7	24	70	93	25	118	
150	90	44	44	64	7	26	18	49	164	219	75	294	
300	150	83	83	100	12	50	27	89	247	329	150	479	
800Δ	470	180	220	325	32	120	82	234	650	865	400	1265	
1500	950	310	460	700	63	231	174	468	1300	1730	750	2480	
3500	2500	640	1200	2000	157	552	480	1189	3300	4400	1750	6150	
5000	3250	860	1700	2700	206	768	660	1634	4530	6050	2500	8550	
7000	4400	1050	2050	3400	272	930	818	2020	5600	7450	3500	10950	

茲以表 3-1：流量 O=50 cfs 時為例，詳述上表各數字演算獲得之過程：

第一步：按各段長度，計算權值：

各段	長度	權值
① ~ ②	1000ft	0.1
② ~ ③	6000ft	0.6
③ ~ ④	3000ft	0.3
	10,000ft	

第二步：計算加權斷面 (Weighted Area)

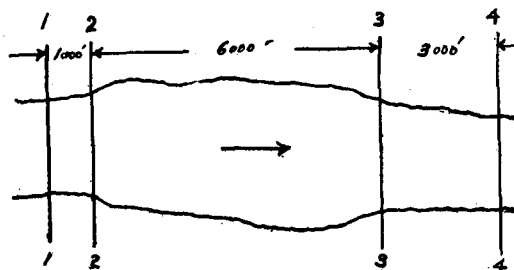


圖 3-1

(a) 製表程序

(1) 確定項目為：① Outflow ② End Area ③ Weighted Area ④ Average End Area ⑤ S ⑥ S/Δt ⑦ O/2 ⑧ S/Δt+O/2 共八項。

(2) 根據歷年記錄，任選十數個適當的流量資料，填入第①項。

(3) 由以往 Discharge~Stage. 及 Stage~End Area 兩圖中，查出各流量之 End Area 填入第②項。

(4) 就①，②項之已知數，逐步求出依次各項之數字，即可製得表 3-1 如下：

$$\frac{40+27}{2} \times 0.1 = 3.4 \text{ Use } 3.$$

$$\frac{27+21}{2} \times 0.6 = 14.4 \text{ Use } 14$$

$$\frac{21+23}{2} \times 0.3 = 6.6 \text{ Use } 7.$$

第三步：加各加權斷面，得平均斷面：

$$3+14+7=24$$

第四步：依照公式 $S=L \times A/3600$ 計算貯留水量

$$\therefore L=10,000 \text{ ft}$$

$$A = 24 \text{ ft}^2$$

$$\therefore S = L \times A / 3600 = 70 \text{ cfs-hrs.}$$

第五步：決定水流歷程時間 (travel time)

$$T = \frac{LA}{3600q_b} = \frac{(10000)(234)}{(3600)(800)} = 0.813 \text{ hr.}$$

q_b ：滿槽時之流量 bankfull discharge in cfs.

A：滿槽時之斷面積 in ft^2

L：全段總長

第六步：就上述已求得 T 之數字，選擇 Δt ，其選擇原則，見（註一）據此即可選定 $\Delta t = 3/4 \text{ hrs}$ ，以備計算之用。

⑥，⑦，⑧項，均就已知計算填入。

其餘各列數字，均依上述步驟求得，不再贅述。全表至此即可製成。

(b) 繪製貯留水量指示曲線：

以流量 O 各數字為縱標， $\frac{\Delta S}{\Delta t} + \frac{O}{2}$ 數字為橫標

，用曲線板描繪得圖 3-2。

(c) 繪製算尺：

(1) 查圖 3-2，列如表 3-2

表 3-2

$\frac{S_b}{\Delta t} + \frac{O}{2}$	O	$\frac{S_i}{\Delta t} - \frac{O}{2}$
850	500	150
1550	1000	550
2500	1500	1000
3500	2000	1500
4400	2500	1900
5200	3000	2200
6100	3500	2600
7000	4000	3000
7700	4500	3200
8500	5000	3500
9200	5500	3700
9750	6000	3750

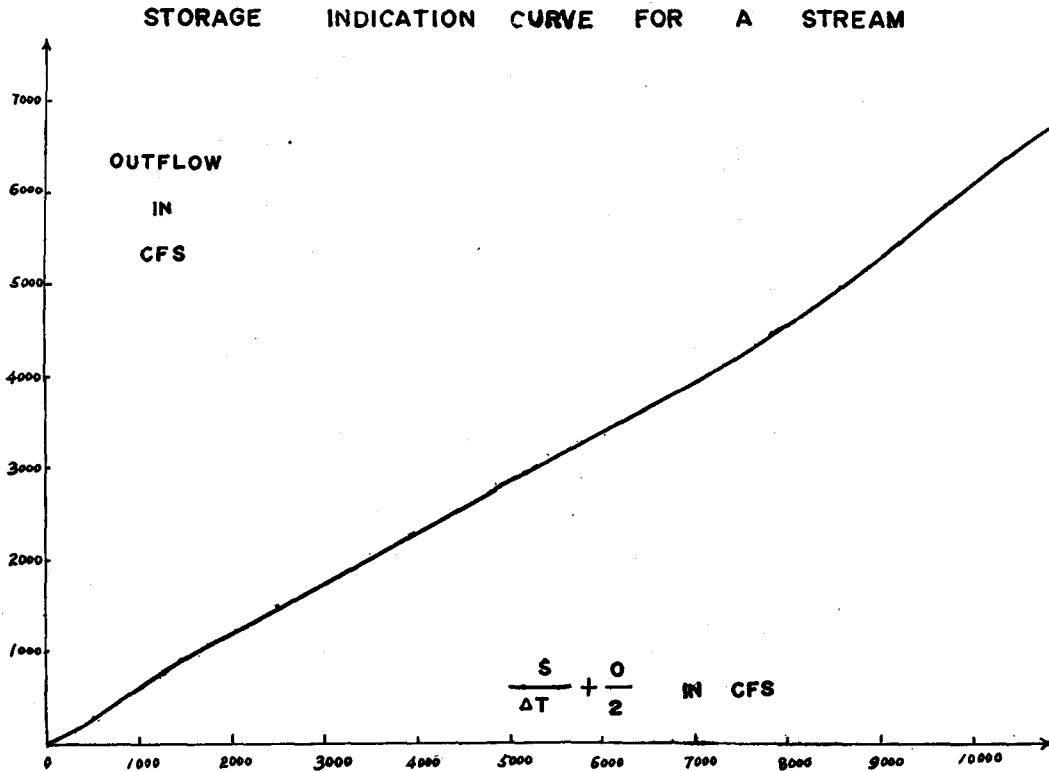


圖 3-2

(2) 依 $\frac{S}{\Delta t} \pm \frac{O}{2}$ 各值，查出 O 之對應值即可刻劃成圖 3-3 計算尺。

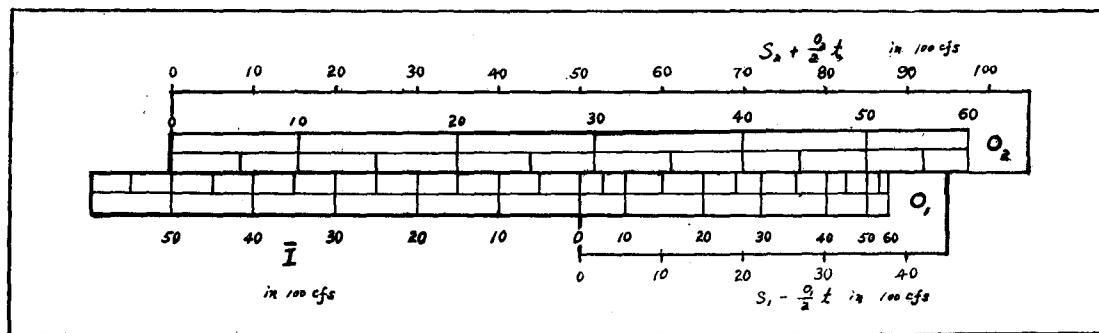


圖 3-3

註一：選擇適當之時間 t ，極為重要，它必須等於，或小於水流通過河段之時間，且必須使得在所選時間下之水文曲線 (Hydrograph) 近似為一直線。

四 討 論：

1. 應用此計算尺之優點：

表 4:1

方法名稱比較	一般演算法	繪圖推算法	電子計算機法	計算尺法
處理資料數量	在一定時間內處理資料之數量有限	在一定時間內可處理較多之資料	在一定時間內可處理大量之資料	在一定時間內可處理多量之資料
所費時間	費時最多	對重複計算比較節省時間	資料之投入產出費時較久	十數分鐘即可求出答案
操作者	須具普通工程常識	除具普通工程常識外，必須為技術純熟之繪圖員	須為全部電子計算機作業員	一般人員會拉該計算尺者均可勝任
成本	極低	極低	昂貴	約須 500 元成本
準確性	稍差	最差	最準	準確

根據上表所示：

(1) 就處理大量資料言：以電子計算機法最優，計算尺法次優。

(2) 就所費時間言：計算尺法優于以上各法。

(3) 操作方面：計算尺法最為便利，一般演算法及繪圖推算法次之，電子計算機法所費人力最多。

(4) 成本方面：以一般演算法及繪圖推算法最低，計算尺法次之，但金額不大。電子計算機法最為昂貴，非一般人員或機關所能負擔者。

(5) 準確性：以電子計算機最準確。計算尺法準確性可達三位數字，但已足敷洪流演算之需；其他兩法均欠精確。

由此可見要在短時間內，操作便利，成本低廉，而又能處理大量資料，求得適當精確之答案者，實以計算尺法為最佳之方法。

2. 應用計算尺之限制

但任何方法之比較，均屬相對性，因此本計算尺之應用，仍有其適用之範圍。該法之使用以河床穩定之河川為前提，對於短期內，河床變動率大者，較不適用。例如臺灣之淡水河，年有變遷，其貯水量顯然會引起大量之增減，如是，該特製算尺，可能僅適用一次洪水之演算，而欲應付另一次之洪水，則又需引用新之資料重新刻劃，即將發生成本上之不經濟。

惟洪流演算可分為兩大類，一即河川，一即水庫；近年來臺灣為針對缺乏水源問題，會大量建造各類大小水庫，對於各該水庫之洪流演算，本計算尺似最為適用，倘因區區蕩蕩之獻，確能有助於目前之需，則幸甚矣。