

关于有限透水层排水沟的 地下最大排水量的实验报告

水利部北京水利科学研究院译印

(56)技字第 7 号

關於有限透水層排水溝的 地下最大排水量的實驗報告

有限透水層に設計した水路の地下最大排水量(實驗)

福田仁志

石藤守郎

篠田三郎合著

作者之一 (福田) 曾經從理論上誘導出計稱低濕地排水溝的地下最大流入量，以及計稱地表面水的低下速度的公式^(註)。本文僅就前者即最大流入量的理論公式，將通過實驗所証明的結果，闡述如次。

一、理論公式

(1) 圖一表示寬度 $2b$ 、深度 d 的排水溝、按照間隔 $2a$ 的距離挖成後的排水問題。假定不透水層的深度為 h ，從問題的對稱性來講，只研究圖一的 $OABCD$ 這一範圍內的問題，也未嘗不可，但在理論方面必然涉及水充滿到地面 OD 時的地下水流動狀況，特別是排水溝的滲入量以及地面水的下降速度等問題，為了簡化數學方面的工作，先研究排水溝寬度由 b 變為 0 時的極限，然後再增加此間寬度，用以修正理論上的公式，本文所闡述的主要是關於流入量的理論公式的驗證。

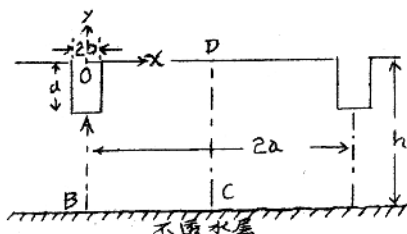


圖 1. 有限透水層
中的排水溝。

(2) 假設不透水層在排水溝底層，排水溝的間隔又非常大 ($h=d$, $a=\infty$)，排水溝的每一單位長度的單位時間滲入量為 Q 。在這個研究（領域內）所發生的滲入量則為 $Q/2$ 到 Q 的標式如下：

$$Q/2K = \frac{8h}{\pi^2} \left(1 - \frac{1}{3^2} + \frac{1}{5^2} - \dots \right) \div 0.743h \dots (1)$$

(3) 假設不透水層非常深，排水溝間隔也非常大 ($h=\infty$, $a=\infty$) 則 Q 的標式如下：

$$Q/2K = d \dots \dots \dots (2)$$

標式 (1) 和 (2) 的 K 表示 Darcy 式的滲透係數，兩式比較即可了解 $h=d$ 時的滲入量為 $h=\infty$ 時的滲入量的約 $3/4$ 。

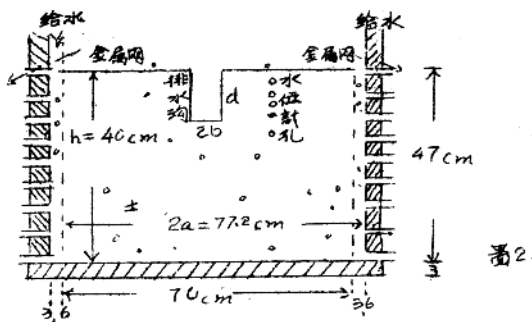
(4) 假設不透水層非常深，排水溝的間隔又採取各種不同的值 ($h=\infty$, $a=\text{有限}$)，則 Q 的標式為：

$$Q/2K = d \left\{ 1 - \frac{1}{6} \left(\frac{\pi d}{2a} \right)^2 + \dots \right\} \dots \dots \dots (3)$$

因此，若 $\pi d \ll 2a$ 則等於 $a=\infty$ 標式 (2)

二. 實 驗

為了驗證上列理論標式 (1) 和 (2)，可按照圖二的樣式作一個木製容器。在木箱的一面安裝玻璃，其中填以土壤使之達到長度 77.2 公分，厚度 15 公分，高度 40 公分的容積。實驗用的



土壤应具有表一所述的级配。排水沟设于容器的中央。由两端操纵给水工作，使地下水位经常保持其地面相平可將 h 加以各种变化。首先將充滿在排水沟内的水，用虹吸管迅速吸出，在五分钟内又用虹吸管將浸透于排水沟中的水吸出，求单位时间内的 Q 。

表 1. 实验用土壤的级配

粒径 (mm)	a_6 以上	$a_6 \sim a_{25}$	$a_{25} \sim a_{11}$	$a_{11} \sim a_{0.75}$	$a_{0.75} \sim$ 以下
%	7.5	29.1	11.3	4.0	48.1

(1) $Q/2K=d$ 的验证

将排水沟于最大土层的顶端，並力求达到 $h=\infty$ ， $a=\infty$ 的条件。使 $2b=2.0$ 公分， $R=40.0$ 公分，將 d 加以种种变动，測驗单位时间的 Q ，量三表示的 Q 與 d 形成直線关系，証明本公式成立的。

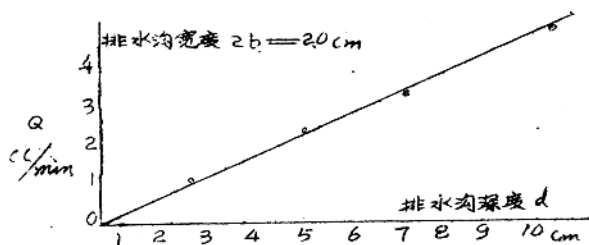


图 3.

实验装置为 $h = 40.0$ 公分，由排水沟底到不透水层的距离 $(h-d)$ 为 $37.5 \sim 30$ 公分， $h/d = 1.6 \sim 1.4$ ， $\alpha = \frac{77.2}{2} = 38.6$ 公分，本公式是以 $h = \infty$ ， $\alpha = \infty$ 为前提条件而求得的，从实验装置所具备的条件，也可知本公式是成立的，为证明此点，拟利用下列实验结果，加以进一步的探讨。

验证本公式的另一方法，即将由本公式求得的渗透系数 K 与实际测验的 K 进行比较。

由图 3 的 $d = 10$ 公分， $Q = 3.7$ 立方公分/分，可求得 $K_c = 3.09 \times 10^{-3}$ 公分/秒，对于接近排水沟的土壤，可按土壤的装填状态测验渗透系数，则 $K_0 = 4.4 \times 10^{-3}$ 公分/秒，推测这个排水沟的渗入水，主要是从接近排水沟的两侧来的。

测验 K_0 时，是使用直径 0.5 公分的取土筒来进行的，也力求接近两侧，严格地说，还不能很接近两侧，这两侧值有一定程度的差异，在实验上是不得已的事情，通过上述 K 的实际测验，亦可知本公式是大体成立的，反之，利用公式 (2) 的关系，又可求得地中渗透系数 K 。

(2) $Q/2K \approx 0.743h$ 的验证

假设 $h = d$ 。 $a = \infty$ 实验装置与 (1) 同, $a = 37.6$ 公分将不透水层设置在排水沟底, 对 h/d 加以各种变动, 其中也包含 $h = d$ 的条件, 分别测验不同情况下的 Q 。排水沟的宽度与 (1) 同为 20 公分, 排水沟的深度为 5.0 公分, 图 4 表示其结果, 图 4 的上半部表示实际测验的 Q , 下半部

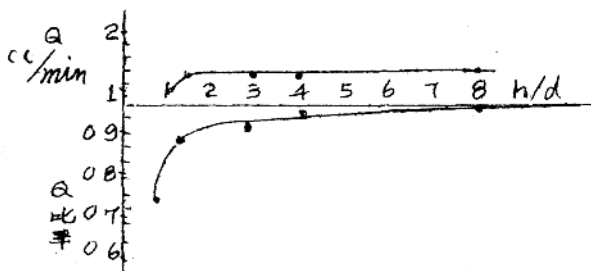


图 4.

是以 $h = \infty$ 为 1, 表示与不透水层的各种深度相适应的 Q 的比率, 在下部 $h = d$ 时的 Q 的比率为 0.72, 与理论值 0.743 很接近, 如果不透水层的深度在排水沟深度的二倍以上, 即从排水沟底起, 在相当于排水沟的深度以下存为着不透水层, 则排水沟的流入量, 将相当于不透水层在无限深度时的 90%。由以上的结果, 证明了 $Q/2K \approx 0.743h$ 的公式是成立的。

(3) $Q/2K \approx d \left[1 - \left(\frac{\pi d}{2a} \right)^2 + \dots \right]$ 的探讨

在上述实验装置中, $a = 37.6$ 公分, $d = 2.5 \sim 10$ 公分。

$$\text{則 } \frac{1}{6} \left(\frac{\pi d}{2a} \right)^2 = \frac{1}{6} (0.01 \sim 0.16) = 0.001 \sim 0.026$$

乎不值得考虑。茲將排水沟的间隔 $2a$ ，以排水沟的深度为单
位进行计算，则如表 2 所示。将间隔扩大到相当于深度的 10 倍
左右，则 $\frac{1}{6} \left(\frac{\pi d}{2a} \right)^2$ 为 $1/100$ 左右，间隔的影响也无关紧要。

表 2.

$2a$	$2d$	$3d$	$5d$	$10d$
$\frac{1}{6} \left(\frac{\pi d}{2a} \right)^2$	0.41	0.18	0.066	0.016

(4) 排水沟宽度对流入量的影响

排水沟的流入水，要从排水沟侧面及底面流入。我们要在此阐述的问题，要从理论上推断，地下水达到地表时，
流入水量不因排水沟宽度的大小不同而发生变化。为证明此点
，假定水路深度为 $d=5$ 公分，在 $h=8d$ ， $n=d$ 的条件下，
使用不同的排水沟宽度来测验 Q ，则得图 5 的结果。

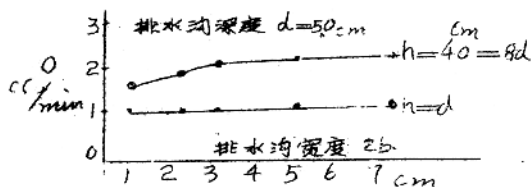


图 5.

图 5 中的 $h=d$ 时，由于排水沟底有不透水层，只从排水沟

的两个侧面流入，当然不受排水沟宽度的影响。但在 $h=bd$ 时，也从排水沟底流入，因此，排水沟底的宽度越宽，流入面积就随之增大， Q 也会随之增大。而 h 所表示的宽度越小， Q 也随之缩小，就是由上述关系来决定的。此外，流入水的水头，在宽度较小的水路比在宽度广大的水路中更为高大，因此，水头对于阻止其流入的方向所发生的冲击影响是不容忽视的。从理论上讲，在此所研究的地下水到达地表面时从排水沟底流入的量，不如从两个侧面的上方流入的量为大，但尚有待于继续进行实验来证明。

通过上述实验，可得如下结论：(1) 若知渗透系数，即可决定能在排水沟中排除地下水的最大水量，反之，先测知最大水量亦可决定渗透系数。(2) 排水沟底位于不透水层之上时其最大排水量约为不透水层无限深时的最大排水量的 $\frac{3}{4}$ ，不透水层的深度为排水沟深度的二倍时，其排水量约为无限深度时的排水量的 90%。(3) 排水沟的间隔约在水沟深度的 10 倍以上时，其排水量将共同隔无限大时的排水量大体一致。

(註) 预定在近期的 *Amer. Geophy. Union* 上发表。

本文译自：福田仁志、后藤宁郎及森田三郎：有限透水路に設けられた水路の地下最大排水量（実験） 农业土木研究第24卷，第一号，第38~39页

北京水利科学研究院，梁敬尧译，赖民荃校。