

雙層暗渠系統之排水及洗鹽效果

Drainage and Leaching Effect of Bi-level Subsurface Drainage System for the Reclamation of Salt-affected Soils

臺灣糖業研究所
農藝系副研員

王百祿

Wang, Pai-lu

臺灣糖業研究所
前農藝系主任

楊尚仁

Yang, Sung-jen

臺灣糖業研究所
農藝系副研員

張玉鑽

Chang, Yu-tsuan

Summary

In 1970, the Dutch type subsurface drainage system, which uses small slotted PVC tube as laterals in a depth of 150-200 cm below soil surface, was introduced and tested for reclamation of salt-affected soils in four TSC- owned plantations. After a certain period of leaching, the salt content in the soil decreased and cane yields increased significantly. Because of high leaching efficiency and low initial cost, this system has been widely installed in the saline plantation. However, in some areas, an impermeable soil layer, which contains high percentage of compacted silt, is found located in the depth between 100 to 250 cm from surface. When the drains were placed amid or below such layer, the leaching efficiency was low because excess soil water flow into the drains with slow rate. If the drains were installed above the shallow impermeable layer, a desirable water table could not be maintained, and the high evaporation rate caused salt accumulation on soil surface during dry season. Therefore, conventional mono-level subsurface tile drainage system can not be used to achieve longterm reclamation of salt-affected soil in those areas. In order to reclaim those saline soils effectively by means of increasing leaching efficiency and lowering water table simultaneously, a bi-level drainage system was tested in 1977 in Ao-Ku sugarcane plantation with conventional mono-level tile system used as a check. In the bi-level system, the shallow drain with a depth of 100 cm was interplaced with a deep drain of 150 cm, spaced 25 meters apart. For the conventional parallel system, the drains were installed at 150 cm depth spaced 30 meters apart.

After a heavy rainfall, it was found that peak discharge rate was 21.6 mm/day for the bi-level and 3.9 mm/day for conventional system. Four days later, discharge rate of the bilevel system decreased to about 2 mm/day. Such results indicated that bi-level subsurface dr-

ains remove much more soil water than conventional parallel drains after heavy rain.

DeBoer equation was chosen to compare the drainage efficiency of both systems. The results indicated that theoretical time distribution of maximum water table was in good agreement with field data actually observed. Hydraulic conductivity calculated from theoretical equation was found to be very close to those obtained by auger hole method in the field. The results showed that DeBoer equation is most satisfactory for designing the bi-level drainage system.

Leaching efficiency of both system was studied by periodical determination of electric conductivity of soil saturation extract sampled from various depth of soil. Desalinization proceeded more rapidly in the bi-level system than in the monolevel system. After five months of leaching, electric conductivity (EC) of top 0-15 cm soil in the bi-level system decreased from 15.67 to 3 mmhos/cm, while in the conventional mono-level system, it dropped from 22 to 18 mmhos/cm. EC were even increased in deep soil layers of the latter system. Such results may be caused by a low discharge rate of mono-level drain system. The salt in the top layer moved down and accumulated in the bottom layers. High evaporation rate during summer also be responsible for the salt increased. Similar pattern of change in exchangeable sodium percentage and sodium adsorption ratio was also observed during the same leaching period. Change in soil PH were very small. A linear relationship was found between drain discharge and entrance resistance.

Methods of management of subsurface drain system in fine textured soils are also discussed.

前 言

本公司自營農場有三千多公頃鹽分地，自民國五十九年起採用荷蘭式小口徑暗管排水，配合水資源開發及適當土壤管理以來，改良效果極為顯著，洗鹽所需時間甚短，甘蔗產量大幅度增加，原有荒蕪鹽分地，經理設暗管排水洗鹽後，均可在三年內種植甘蔗。因此暗管排水系統除在本公司自營農場鹽分地全面埋設外，另在中央加速農村發展基金協助下，已在濱海鹽分地農民土地積極推廣中，迄民國六十八年度止，施工面積將達 2669 公頃。為防止土壤水分因毛細管上升現象使鹽分積聚於根域內，暗管系統之支管通常埋於地表下 1.50 公尺左右，使地下水位控制在地表下 1.20 公尺。有關中

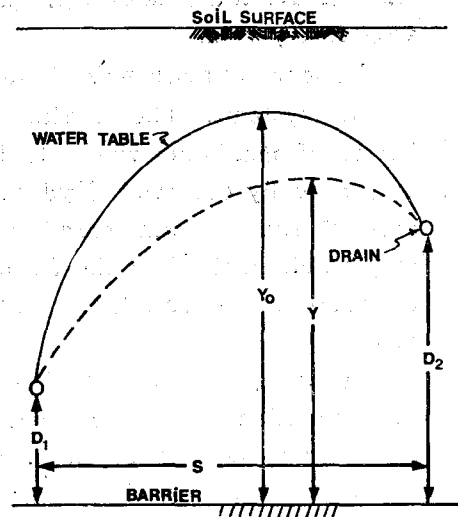
質地及細質地土壤暗管系統之設計標準，筆者等已於民國 63 及 65 年完成並有專文發表^(4,5)。本省沿海均屬沖積土壤，由於沖積影響，粉粒（或粘粒）含量較多之不透水層常位置於地表下一公尺左右，在此種狀況下，若將暗渠支管埋於地面下 1.50 公尺時，由於此層土壤粉粒（或粘粒）偏高，導水率偏低，排水效果及淋洗效率極低。倘將暗渠支管埋設於不透水層之上，又難達成控制地下水位及鹽分之目的。欲求兩全之策似可將支管分兩種不同深度埋設，淺者位於不透水層正上方，其主要作用在於排除根域中過多水分與鹽分；深者在於控制地下水位防止鹽分回升，仍按一般設計，位於地面下 1.50 至 1.80 公尺之間，深淺兩種支管交互排列。此種雙層暗管系統之排水及洗鹽效果如何？頗值得探討

。本試驗即針對雙層暗管排水系統在鹽土中之排水及洗鹽效果而提出，所獲結果可供今後暗管系統設計及鹽分地改良之參考。

試驗材料與方法

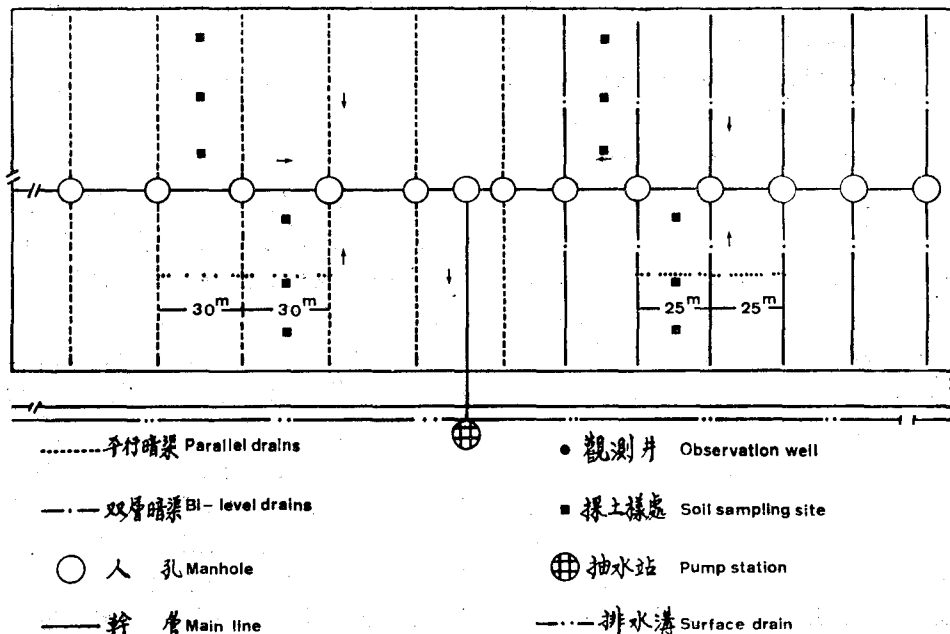
本試驗設置於蒜頭糖廠鰲鼓農場19、20號地，試驗處理分為兩種，一為雙層暗管系統 (Bilevel drains)，一為平行暗管系統供做對照；雙層與平行暗管系統理論值之間距分別為 25 及 30 公尺，中點埋設深度平行暗管系統為同一深度位於地表下 1.50 公尺，雙層暗管系統支管埋管深度分為兩種，淺者位於地面下 1.0 公尺，深者位於地面下 1.50 公尺，交互排列，此一系統之示意圖如圖一。使用內徑 5.6 公分厚度 2 公厘塑膠管為支管材料，濾水孔之規格為每公尺開 40 孔 (2.5 cm × 1 m/m × 7.5 cm)，平均坡度約 1/600，濾水層採用級配礫石，厚度 22 公分，供試土地面積約 10 公頃。

排水試驗開始以前，首先詳細調查試區土壤特性，挖取土壤剖面，並記錄各土層深度與質地構造。土壤樣品係按土壤自然層次採樣，樣品之採集分為兩種，一為大樣品，其直徑及高度均為 7.6 公分，供飽和導水率測定用，一為小樣品，其直徑及高度均為 5.06 公分，供容積比重與有效孔隙率測定



圖一 雙層暗管排水示意圖
Fig. 1. Geometry of a bi-level drainage system

用。飽和導水率係用定水頭方法 (Constant head method) 測定⁽¹⁰⁾，在不透水層深度無法明確判定情況下，可將所得結果相互比較，凡下層土壤導水率為上層土壤導水率之 $\frac{1}{2}$ 時即視為不透水層位置。土壤有效孔隙率之測定，係將小樣品上下兩面先以兩塊透水多孔素燒板夾緊，浸水使之飽和，再以真空抽氣機抽氣，利用土壤水分抽出裝置 (Soil



圖二 排水試驗區配置圖
Fig. 2. Layout of drain system in the experimental field.

maisture extractor) 測定 0.1 巴張力下所排除之含水體積。土壤機械成分以比重計 (Hydrometer method)⁽¹⁰⁾ 測定，土壤 PH 值以玻璃電極式 PH 測定儀測定。此外田間導水率 (Hydraulic conductivity) 係在試區內以鑽孔法 (Auger hole method)⁽⁹⁾ 測定，土壤鹽分用電導度測定儀 (Electrical conductivity bridge) 測定土壤飽和抽出溶液，並以 25°C 時之電導度毫姆歐 (mmhos/cm) 表示，其他土壤化學性質係按美國鹽土研究所⁽²⁰⁾ 所訂方法分析。

暗管排水特性係在大雨後進行測定工作，在進行試驗前首先在兩支管間埋設以塑膠管製成之地下水觀測井，埋設位置為支管頂部，兩支管中點及距離支管 1、3、9.5、10.5 及 11.5 公尺處，深度均為 1.5 公尺，排成一直線與排水管成直交，詳細配置如圖二。豪雨停止後開始在人孔 (manhole) 中測定排水量及記錄不同位置之地下水位，每天定時觀測至少三次，但視土壤質地及水位下降情形酌予調整，當地下水位降面降至地面下 1.00 公尺即結束觀測。為能探討暗管之洗鹽效果，分別在 6 月、7 月及 9 月採取試區內不同深度之土壤，分析所含鹽分、PH 及交換性鈉量。為調查暗管之排水功能另外埋設測壓管 (piezometer)，測壓管之規格為 $\phi 4/8"$ 之 PVC 管，僅於底部 50 公分處鑽孔。

試驗結果

(一) 土壤物理特性：

蒜頭糖廠鰲鼓農場 19、20 號地為該農場鹽分濃重，排水條件較差之地號，無論新植或宿根，甘

蔗產量均低。依臺糖公司土壤管理組別屬於 ASC 3bc-h. s 組，其主要土壤物理特性列於表一。由表一可知此類土壤由表層至地表下 96 公分處均屬稍鬆土壤，質地為壤土或砂壤土，容積密度一般均較低，大多在 1.35 g/cm³ 以下。表土下 96 至 117 公分處，坩粒含量所佔比例較大，其含量高達 53%，由於坩粒粒子甚細，以致土壤難以形成特有之構造。表土下 117 公分至 250 公分處坩粒及粘粒含量較高，導水率甚低，每天僅 0.0044 公尺，直接阻礙水分及空氣之流通，排水效果甚差，間接影響鹽分之淋洗效率。

(二) 排水流量過程線：

豪雨停止後，不同時間之排水流量變化可見圖三，雙層暗管系統之尖峯排水量達 21.6 公厘/天，約四日後降至 2 公厘/天，最初兩天內流量遞減甚速，遞減率為 75%，排水情況至為良好。平行暗管系統之尖峯排水量約 4 公厘/天，漸成定量狀況，每日僅 2 公厘/天，排水狀況十分惡劣。

(三) 土壤電導度及 PH 值：

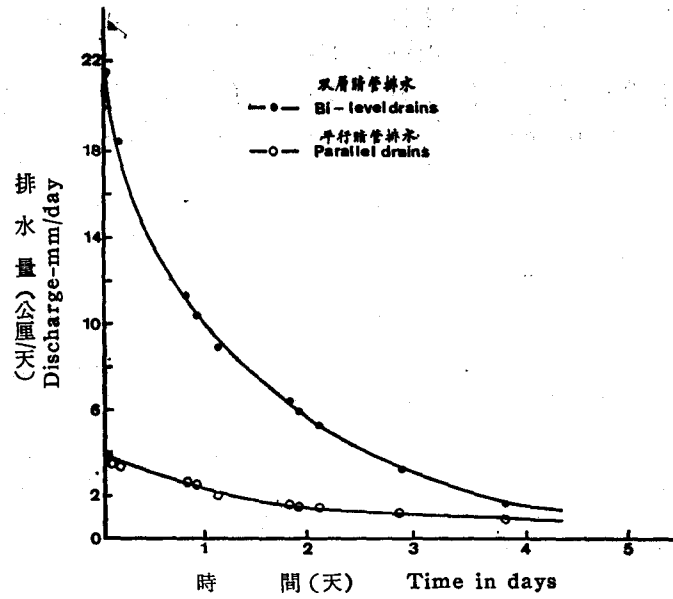
土壤中所含之鹽分濃度一般多以飽和抽出液之電導度表示，本試區土壤樣品共分十層採集，每層十五公分，各層土壤在淋洗前後電導度之變化列於圖四。圖四指出在暗管竣工後淋洗前雙層暗管系統之表土由於受到毛細管上升之影響，電導度高達 15.67 毫姆歐 (mmhos/cm)，經五個月雨季自然淋洗後，土壤電導度逐漸降低，地表下一公尺以內土壤電導度皆降至 3 毫姆歐以下，效果相當顯著。反觀平行暗管系統，淋洗前表土土壤電導度為 21.47 毫姆歐經雨季淋洗雖有下降趨勢，但幅度不大，這可能係因排水量太小，水位下降緩慢，地下

表一、試驗區土壤物理特性

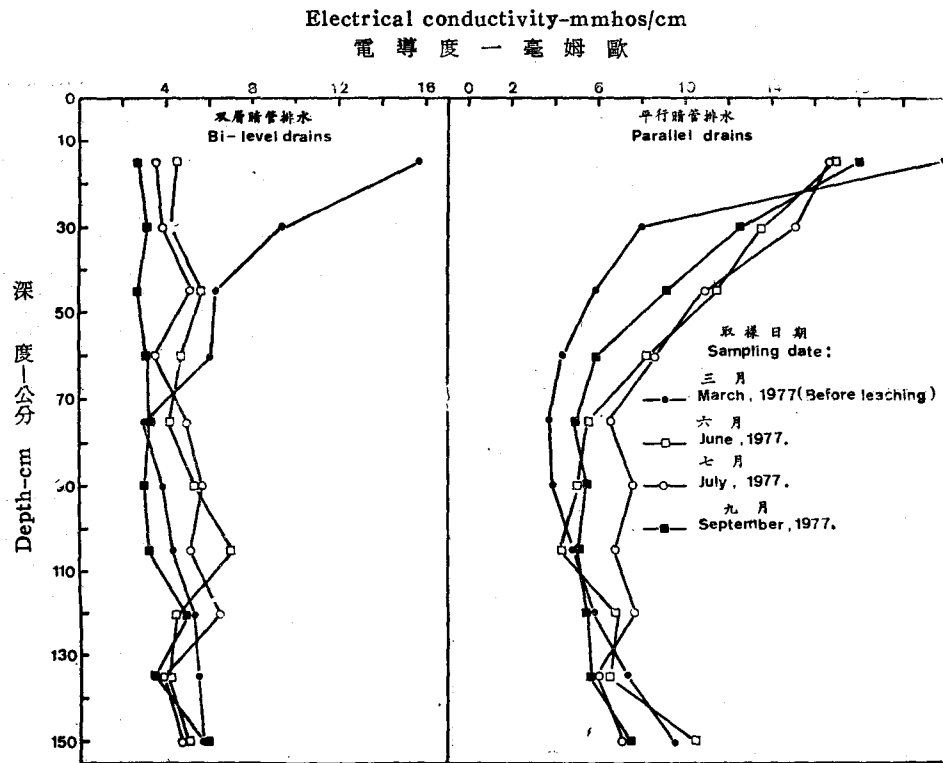
Table 1 Physical properties of soil in the experimental plot.

深度 (公分) Layer (cm)	機 械 分 析 Mechanical analysis			質 地 Texture	容 積 密 度 (g/cm ³) Bulk density g/cm ³	導水率 (m/day)* Hydraulic conductivity m/day
	粘 粒 (%) clay %	砂 粒 (%) sand %	坩 粒 (%) silt %			
0-20	16	36	48	L	1.35	0.35
20-48	5	62	33	SL	1.32	0.96
48-96	2	85	13	LS	1.28	2.25
96-117	18	29	53	SiL	1.42	0.37
>117	32	17	51	SicL	1.34	0.0044

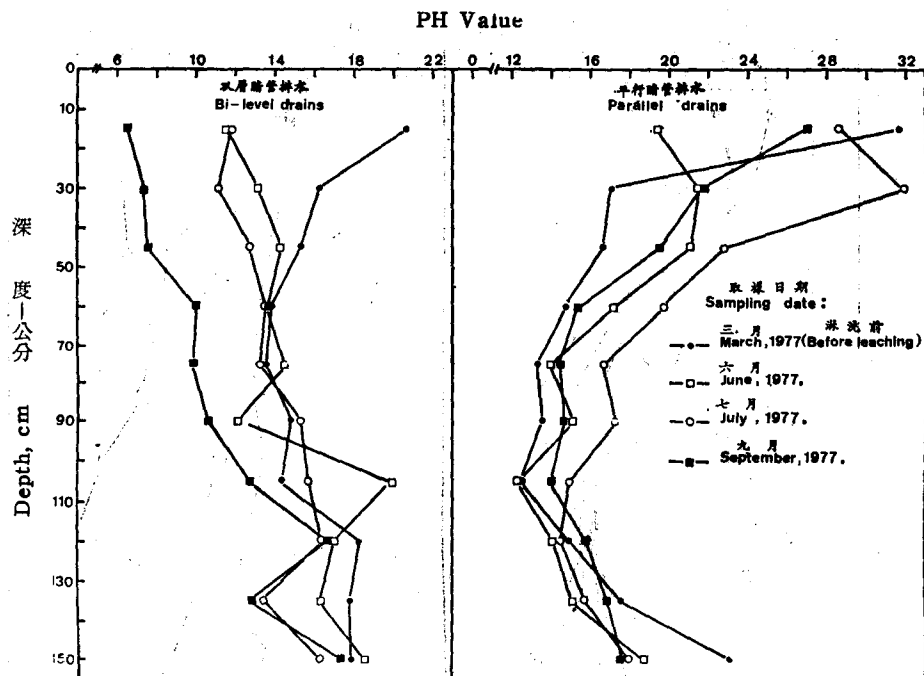
* 導水率係以定水頭方法測定



圖三 排水流量過程線
Fig. 3. Drain hydrograph.



圖四 各土層在各時期飽和抽取液電導度變化之情形
Fig. 4. Changes in electrical conductivity at different soil depth.



圖五 各土層在各時期 PH 變化情形
Fig. 5. Change in soil PH at different soil depth

水位太高，而雨季時期正值高溫時期，蒸發量較大，鹽分極易經由毛管上升，所以九月初旬鹽分反有上升之趨勢。由此可見在繁鼓地區之土壤雙層暗管排水系統於排水或洗鹽方面均優於平行暗管系統。

雙層暗管排水系統試區在洗鹽期間，土壤 PH 值之變化極小（圖五）。在洗鹽初期表土之 PH 比底土為低，表土在洗鹽前為 7.97，雨季淋洗時雖有部份土層升至 8.50，但為時極短隨即降為 8.30。平行暗管系統土壤 PH 值之變化亦大致相同，由此可以驗證本省鹽土經洗鹽後轉變為鹼土之可能性甚小。

(四)土壤交換性鈉百分率(Exchangeable sodium percentage) 與吸鈉比 (Sodium adsorption ratio) 之變化：

吸鈉比 (SAR) 係用以表示土壤溶液中一價鈉離子與雙價鈣、鎂離子之比例，可用下式計算⁽²⁰⁾；

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (1)$$

(1)式中 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} ，分別為土壤溶液中鈉、鈣及鎂離子之濃度，以每公升毫克當量 (me/

l) 表示，凡吸鈉比愈高者，土壤膠體所吸附之鈉離子亦愈多，雙層暗管系統試區之吸鈉比在洗鹽前甚高，表土高達 20.69%，經雨季淋洗後，下降甚速，至九月初旬一公尺內土層全部降至 15% 以下，表土則降至 6.47% (圖六)。平行暗管系統試區洗鹽前土壤吸鈉比表土高達 31.6%，經雨季淋洗降至 19.3%，但至九月無論表土，底土之吸鈉比與電導度相同反有上升之趨勢。

雙層暗管排水系統試區，土壤表土交換性鈉百分率 (ESP) 在洗鹽前高達 21.37%，其中表土稍高於底土，皆超過 15%，經雨季淋洗後至九月初旬表土之 ESP 由 21.37% 降為 10.63%，一公尺內土層之 ESP 皆降至 15% 以下，下降極為迅速，效果相當良好。平行暗管系統試區土壤表土交換性鈉百分率在洗鹽前高達 28.3%，表土之 ESP 亦稍高於底土，經雨季淋洗，表土雖有下降趨勢，但下降幅度不大，底土之 ESP 反有上升之現象 (圖七)。

圖八表示土壤吸鈉比 (SAR) 與交換性鈉百分率 (ESP) 之關係，其相關係數頗高為 0.9964，達顯著平準。

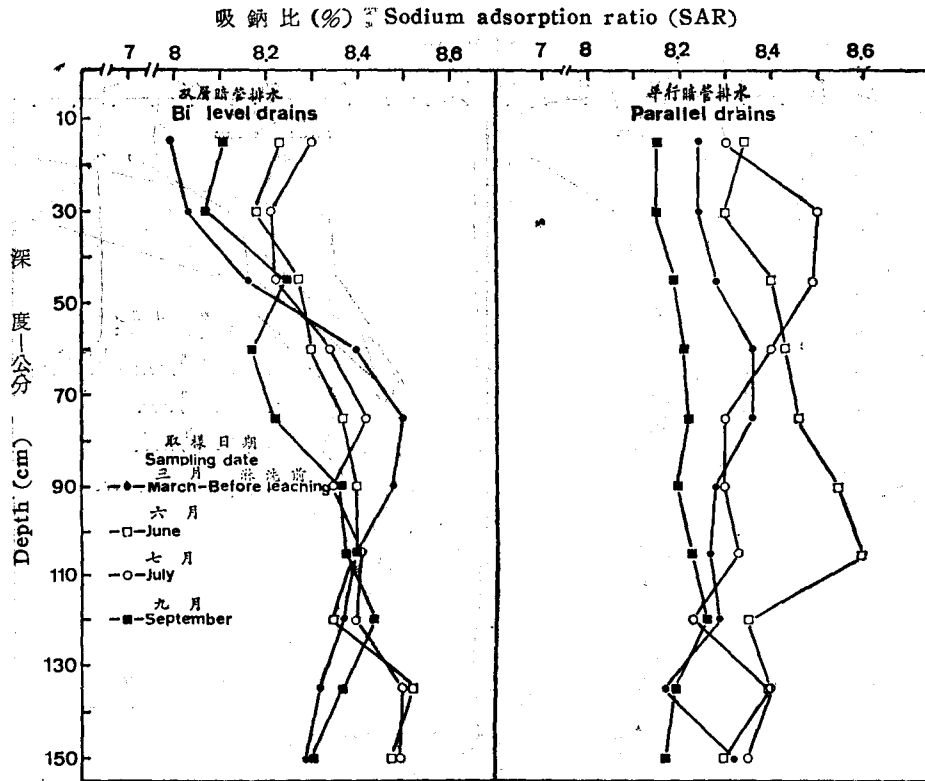


Fig. 6. Changes in sodium adsorption ratio at different soil depth.

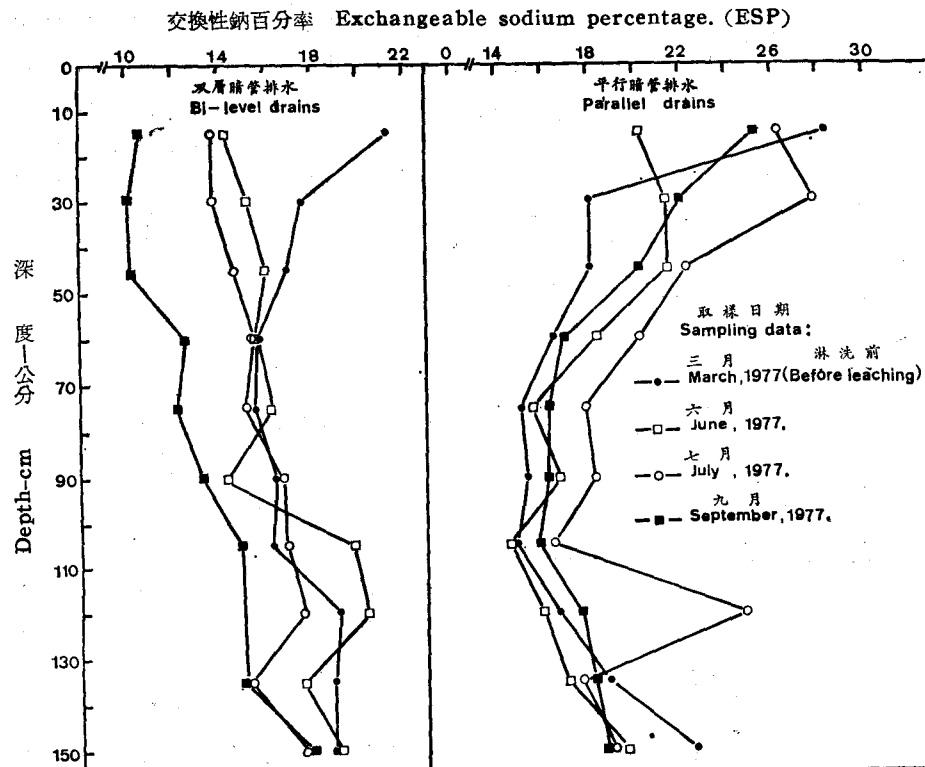
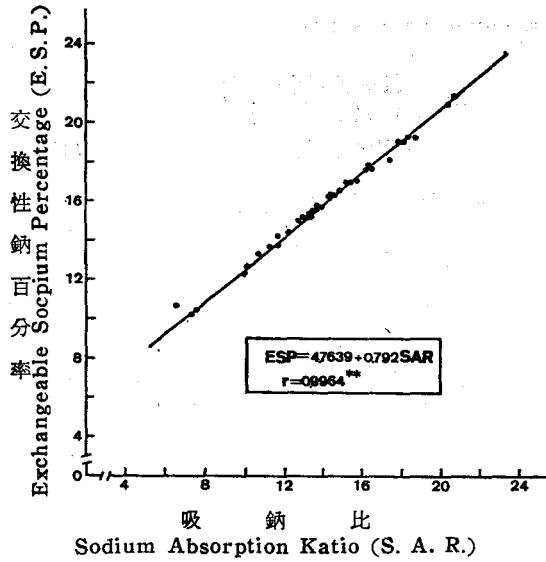


Fig. 7 Changes in exchangeable sodium percentage at different soil depth.



圖八 土壤交換性鈉百分率與吸鈉比之關係
Fig. 8. Relationship between ESP and SAR.

討 論

(一)雙層暗渠支管間距及導水率之計算：

有關暗渠支管間距之計算公式甚多，作者^(4,5)等曾根據試驗研究結果建議在本省中質地及粗質地土壤採用基於變量流理論之 Glover-Dumm 方程式計算支管之間距，而在導水率甚小，無明顯構造之細質地土壤，仍應用定量流 Hooghoudt 方程式計算為宜，但當暗渠埋管深度分為兩種深度時，暗渠支管間距應如何計算設計實值得討論：在定量流 (steady state) 狀態下，當暗渠支管分為兩種深度交互埋設時 DeBoer 氏⁽¹¹⁾，依據 Dupuit-Forchheimer 假設條件，認為排水區域內之流線 (streamline) 均為水平橫向，而流速係與水位表面之斜率成比例，但與深度無關，其主要假設條件如下：

- (1)土壤均勻，表土與底土性質相同。
- (2)剖面間有一不透水層，位於地表下 D 深度。

而水分在飽和土體之運動可以用下列微分方程式表示：

$$k \frac{d}{dx} \left[y \frac{dy}{dx} \right] + R = 0 \quad (2)$$

$R \ll k$

式中 k = 土壤導水率

y = 水位高度

R = 定量入滲之水量

為能求解上式，DeBoer 氏設定下列界限 (Boundary) 條件：

$$y = D_1 \quad x = 0$$

$$y = D_2 \quad x = s$$

經積分最後所得方程式為

$$\bar{Y}^2 = \frac{RS^2}{4K} + \frac{k(D_2^2 - D_1^2)^2}{4RS^2} + \frac{(D_2^2 + D_1^2)}{2} \quad (3)$$

式中 \bar{Y} 為地下水位最大之高度。在變量流 (unsteady state) 情況下，Bouwer 與 Van Schilfgaard⁽⁷⁾ 兩氏曾將定量流方程式加以修正並應用於變量流情況，彼等假定補注 (Recharge) 速度 R 等於水位下降時之瞬間流量即

$$f \frac{d\bar{Y}}{dt} = -R \quad (4)$$

同時以一常數 C 值作為定量流方程式之修正係數，最後方程式較為簡單易解。常數 C 可視為兩暗管間之平均流量與暗管中點流量之比，其數值將因水位高度 y_t 及間距 S 而不同

$$\text{當 } 0.02 < \frac{y_t}{s} < 0.08 \quad C = 0.8$$

$$\frac{y_t}{s} < 0.15 \quad C = 1$$

蓄水時 $C = 2 \sim 3$

應用 Bouwer 與 Van Schilfgaard 原理，方程式可寫成下列方式

$$R^2 + C_1 R + C_2 = 0 \quad (5)$$

$$\text{式中 } C_1 = \frac{2k}{s^2} (D_1^2 - D_2^2) - \frac{4k}{s^2} \bar{Y}^2$$

$$C_2 = \left[\frac{k}{s^2} (D_2^2 - D_1^2) \right]^2$$

將(5)式化解得

$$R = \frac{-C_1 \pm \sqrt{C_1^2 - 4C_2}}{2} \quad (6)$$

依 D-F 假設條件知悉 C_2 值非常小可以忽略不計則(6)式變為

$$R = \frac{-C_1 \pm C_1}{2}$$

使用負值得

$$R = -C_1 \quad (7)$$

將(7)式代入(4)式得下列微分方程式：

$$cf \frac{d\bar{Y}}{dt} = -\frac{2k}{s^2}(D_1^2 + D_2^2) - \frac{4k}{s^2}\bar{Y}^2 \quad (8)$$

(8)式積分簡化後可寫成

$$\ln \left[\frac{(1 + \sqrt{A/BY_0})(1 - \sqrt{A/B\bar{Y}})}{(1 - \sqrt{A/BY_0})(1 + \sqrt{A/B\bar{Y}})} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{-2\sqrt{AB}t}{cf} \quad (9)$$

式中 $A = 4k/s^2$

$C =$ 係數

$$B = \frac{2k}{s^2}(D_1^2 + D_2^2)$$

$S =$ 支管之間距；公尺

$k =$ 土壤導水率；公尺/天

$t =$ 排水時間；天

$f =$ 有效孔隙率；%

為能使計算簡便，chu 氏⁽⁹⁾假設：

$$D^2 = \frac{B}{A} = \frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \quad (10)$$

D 值為 D_1 與 D_2 之加權

$$H = \frac{Y - D}{Y_0 - D} \quad (11)$$

平均值

將(10)與(11)式代入(9)式得

$$\ln \left[\frac{(1 + Y_0/D)H}{2 + H(Y_0/D - 1)} \right] = -8kdt/cfs^2 \quad (12)$$

當 $t = t'$ $H = \frac{1}{2}$ 時(12)式變成

$$\ln \left[\frac{1 + Y_0/D}{3 + Y_0/D} \right] = 8kdt'/cfs^2 \quad (13)$$

(12)式與(13)式相除得

$$\frac{\ln \left[\frac{(1 + Y_0/D)H}{2 + H(Y_0/D - 1)} \right]}{\ln \left[\frac{1 + Y_0/D}{3 + Y_0/D} \right]} = \frac{t}{t'} = T \quad (14)$$

式中 $T =$ 水位高度最大之理論時間 (The shape of the theoretical time distribution for the maximum water table elevation)

令 $Y_0/D \rightarrow 1$ (14)式變為

$$H = \exp(-0.693T) \quad (15)$$

$Y_0/D \rightarrow \infty$ (14)式變為

$$H = \frac{1}{1 + T} \quad (16)$$

若將已知 D_1, D_2, Y 及 Y_0 等值代入上式則可求出水位高度最大之理論時間曲線如圖九之實線所示，另將本試驗在田間觀測之地下水水位下降速度亦繪入圖內 (圖中之黑點)，結果發現所有黑點都在兩理論曲線內，亦即實測值與理論值極為接近。

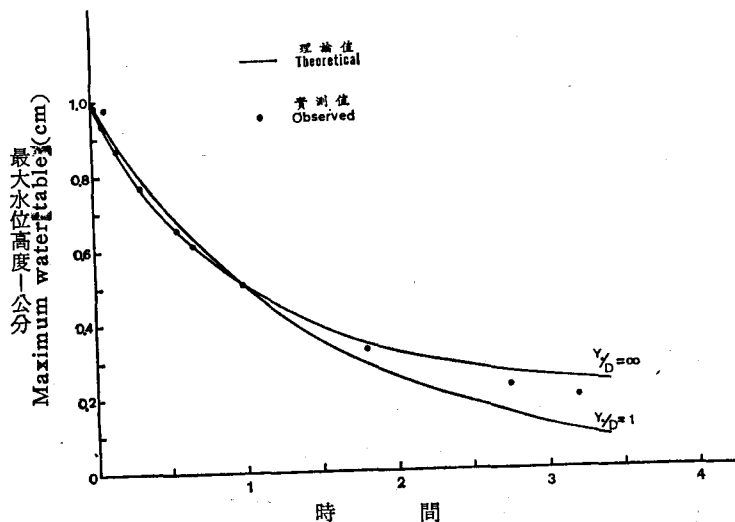


Fig. 9. Theoretical and laboratory measured time distribution of maximum water table.

計算土壤導水率可將方程式 13 簡化得

$$K = cfs^2 \ln \left[\frac{1 + Y_c/D}{3 + Y_c/D} \right] / 8Dt \quad (17)$$

倘將田間實測資料代入，則可求得理論田間導水率 1.24 公尺/天與以鑽孔法⁽⁶⁾ (auger hole method) 在田間實測所得導水率 1.18 公尺/天，極為接近。由上述兩點可推論，變量流方程式(9)確能引用在本省田間實際狀況，相同結果在 chu⁽⁹⁾ 文獻中亦有報導，因此今後欲計算雙層暗渠支管之間距，可採用方程式(9)為依據。

(二)最大水位高度理論計算值與實測值比較：

將田間實測之有效孔隙率，導水率，不透水層深度及間距等值代入方程式(9)可求出在不同排水時間水位高度最大之理論曲線如圖十實線所示，另將本試驗在田間觀測地下水水位下降速度亦繪入圖內(圖中之黑點)，結果發現理論值與實測值十分相近，此點更進一步證明變量流方程式(9)確有其應用價值。

(三)暗渠入口損失水頭與阻力 (resistance) 之關係：

從圖三之排水流量過程線可以發現平行暗管系統之排水量無論水位之高低其值均偏低，為便利檢查暗管之功能探討其問題所在，將地下水流入暗管之途徑分為四個階段⁽⁶⁾，第一階段表示垂直流即水流由地表面滲入地下水面的水流線，第二階段表示地下水田水平向或輻射狀流至埋管溝槽之水流線，第三階段表示由埋管溝槽四周穿過濾水層至暗管的水流線，第四階段表示暗管內的水流匯合流至集水

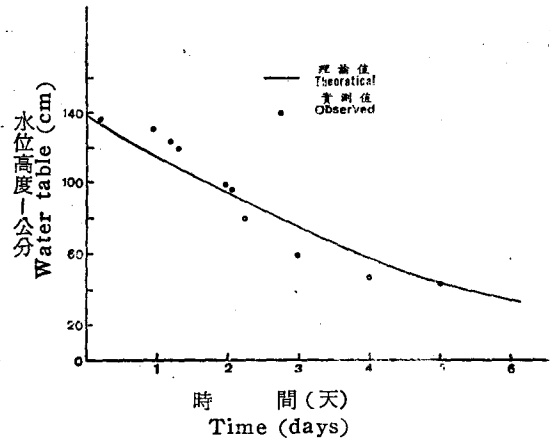
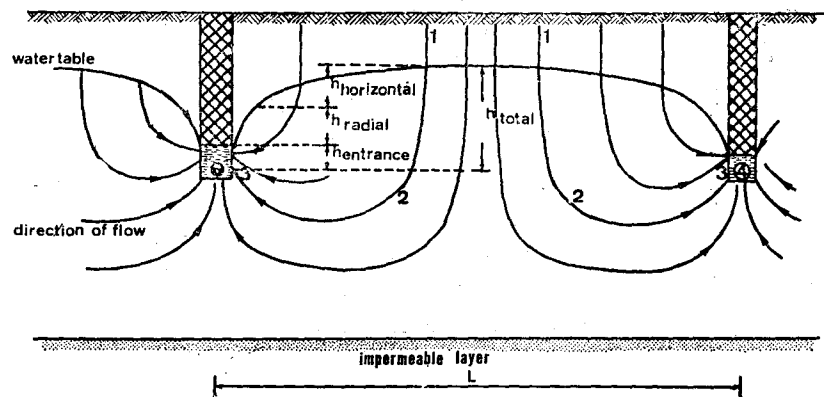


Fig. 10. Theoretical and measured maximum water table.

幹管或明渠的水流線(圖十一)。

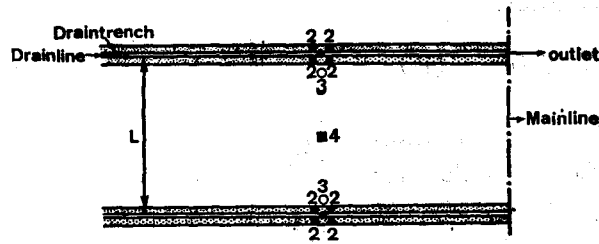
為檢查雙層暗管與平行暗管系統之水流是否正常，分別於支管頂部，兩支管中點及距離支管 0.5 公尺處各埋直徑 $\frac{1}{4}$ 吋 PVC 之測壓管 (piezometer) 一支，排成一直線與支管成直角，另距離支管 0.2 公尺溝槽外側埋四支測壓管求取平均值以避免施工時土壤回填土之差異⁽¹⁷⁾ (圖十二)。

當豪雨停止後，開始觀測由測壓管水位高差之變化可求得支管不同排水量之損失水頭及阻力。將本試驗觀測所得排水量與入口損失水頭 (entrance head loss) 繪成圖十三，可見兩者之間沒有直線關係存在，此項結果與 Wesseling⁽¹⁷⁾ 等所得結果完全相同。從圖十三可以明顯看出，雙層暗管系

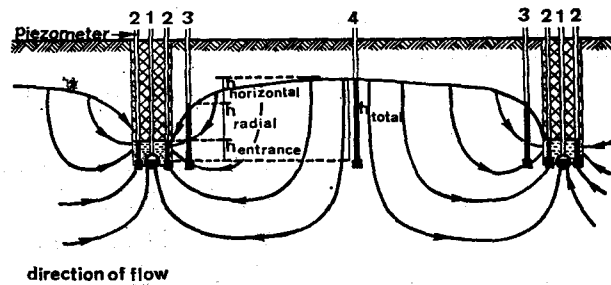


圖十一 暗管流線分段示意圖

Fig. 11. Four Stages (1,2,3, and 4) in the flow path of water removed by a pipe drain system.

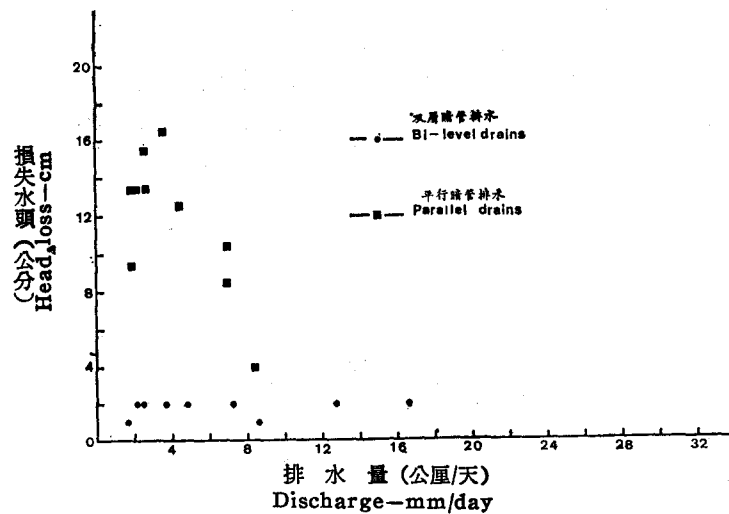


- 1 • Piezometer in the drainpipe
- 2 • piezometer in the draintrench
- 3 ○ Piezometer - 0.5^m outside of the drainpipe
- 4 ■ Piezometer midway between drains



圖十二 測壓管調查地下水進入暗管之功能

Fig. 12. Field investigation on hydrological function of subsurface drain.



圖十三 損失水頭與排水量之關係圖

Fig. 13. Relation between head loss and discharge.

統無論排水量之大小，其入口損失水頭均在二公分以下，大多數超過十公分，列為中等 (moderate)。以下，按照荷蘭分類方法⁽¹⁷⁾，損失水頭小於五公分，根據測壓管水位變化情況判斷，平行暗管系統列為非常良好之等級，而平行暗管系統之損失水頭之水流可能係在第三階段發生問題，通常第三階段

水流受阻表示問題嚴重，很難改善。根據Cavelars⁽⁶⁾調查荷蘭暗管排水失敗地區64處，屬於第三階段水流不良者有23處，所佔比例最大，其次為第一階段佔14處，另外第四階段與兩種水流不良混合在一起者各佔11處，第二階段水流受阻僅佔一處。通常第一階段水流受阻可能係土層中有一層透水性較劣土壤或硬磐 (hardpan) 阻止水流往下流動，改善之道可使用深耕或加設地表排水系統。第二階段水流不良係因暗管間距過寬，只要設計時細心調查導水率，不透水層深度即可避免，所以失敗機會較少，若已發生只要中間再加一條支管即可解決。第三階段水流受阻，此種情形發生以設計時未詳細調查土壤剖面，將暗管埋入不透水層之內或未把握時機於水位偏高時施工，將濾水層外側土壤結構破壞，以及濾水層材料厚度不足或品質不佳也會發生相同現象，施工時務必注意。此種情形改善不易，雖然可藉高壓清洗機沖洗，但效果不顯著，可能要報廢更新。第四階段水流受阻要檢查管路是否堵塞，若發現堵塞現象發生要注意清洗及定期維護。

損失水頭可根據 Ernst's 原理計算^(6,17)

$$h_1 = qw_1 \quad (18)$$

式中 h_1 = 某一階段水流之損失水頭 (公尺)
 q = 每單位長度暗管之排水量 (立方公尺/公尺·天)

$$\begin{aligned} w_1 &= \text{某一階段水流之阻力 (天/公尺)} \\ \text{全部損失水頭 } \Sigma h_{1,0,1} &= \Sigma h_1 \\ &= \text{入口損失水頭 } h_{e,1} \\ &\quad + \text{輻射損失水頭 } h_{r,d} \\ &\quad + \text{水平流損失水頭 } h_{h,o,r} \end{aligned} \quad (19)$$

而水流全部阻力。

$$\begin{aligned} w_{1,0,1} &= \Sigma w_1 = \text{入口阻力 } w_{e,1} \\ &\quad + \text{輻射阻力 } w_{r,d} \\ &\quad + \text{水平阻力 } w_{h,o,r} \end{aligned} \quad (20)$$

將(19)與(20)式代入(8)式可得

$$h = \Sigma h_1 = \Sigma qw_1 = qw = QSW \quad (21)$$

式中: s = 暗管之間距 (公尺)

h = 損失水頭 (公尺)

Q = 暗管排水量 (公尺/天)

W = 阻力 (天/公尺)

計算時係以實測之損失水頭，排水量及間距代入(21)式計算阻力，所得各值列於表二，表二明顯指出，雙層暗管系統之入口阻力 (entrance resistance) 之數值均小於 0.475 天/公尺，依照荷蘭所訂分類方法⁽¹⁷⁾ 列為非常良好等級，平行暗管系統入口阻力之值大多數超過 0.95 天/公尺列為中等接近劣等 (2.4 天/公尺) 之程度。入口阻力

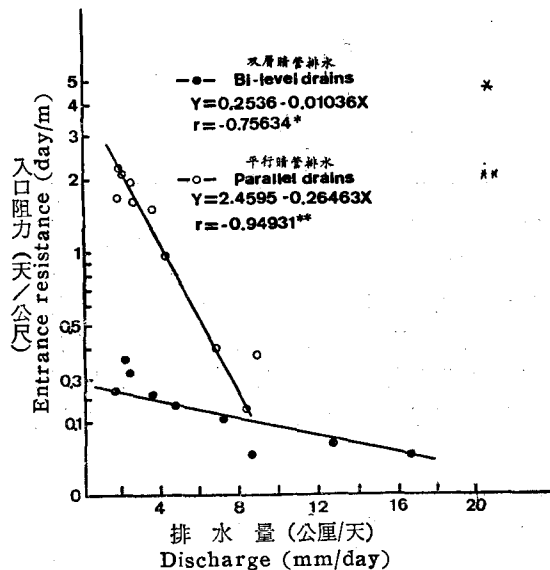
表二、入口阻力與阻力因素

Table 2. Results of entrance resistance and resistance factors obtained from field tests.

雙層暗管排水 Bi-level drains			平行暗管排水 Parallel drains		
Q mm/day	入口阻力 w_e day/m	阻力因素 α	Q mm/day	入口阻力 w_e day/m	阻力因素 α
30.85	0.01296	0.01607	9	0.3888	0.4822
16.61	0.04816	0.05972	8.42	0.1584	0.196
12.71	0.06294	0.07804	6.96	0.4070	0.5048
8.64	0.04629	0.05741	4.32	0.9645	1.1959
7.2	0.1111	0.1377	3.64	1.5109	1.8736
4.8	0.1666	0.2066	2.75	1.6363	2.0291
3.66	0.2186	0.271	2.66	1.9435	2.4085
2.44	0.3333	0.4133	2.13	2.1126	2.6197
2.22	0.3636	0.4509	2.05	2.1951	2.7219
1.73	0.2312	0.2867	1.88	1.6843	2.0886

太大，直接影響支管排水量及排水效果，間接影響鹽分淋洗效率，此為平行暗管系統排水量偏低，鹽分淋洗不太理想之主要原因，在 Wesseling⁽¹⁷⁾，Cavelaars⁽⁹⁾ 文獻中亦曾報導相同結果。因此若在不透水層較淺土壤，欲設計暗管排水，可採用雙層暗管系統，另外特別注意埋管深度，濾水層材料及回填土之質地。

由(2)式知在理論上由於間距及損失水頭均為常數，阻力與排水量 Q 之間必然成直線相關，將本試驗觀測所得排水量與阻力繪成圖十四，兩者之間確成直線負相關之關係，相關係數分別為 -0.75634 (雙層暗管) 及 -0.94931 (平行暗管)，均達極顯著水準。



圖十四 入口阻力與排水量之關係

Fig. 14. Relation between entrance resistance and discharge.

* 差異顯著達5%水準 Significance level at 5%

** 差異顯著達1%水準 Significance level at 1%

四、入口阻力與導水率之關係：

有關暗渠入口阻力與導水率關係之計算方程式為數極多，例如 Ernst⁽⁸⁾，Kirkharm⁽¹²⁾，Wesseling⁽¹⁹⁾ 等，但每種公式都有理想假設條件，本報告係採用最簡單常用之 Ernst's 公式：

$$W_0 = \frac{\alpha}{k} \quad (22)$$

式中 W_0 = 入口阻力 (天/公尺)

k = 導水率

α = 阻力因素 (resistance factor)

將田間實測之阻力代入(22)式即可求出阻力因素 α 值列於表二，由表二可以明顯看出，雙層暗管系統之阻力因素均比平行暗管系統為小，兩者最大值約相差六倍，平行暗管系統其值介於 0.196 至 2.72 之間。

五、雙層暗管系統之洗鹽效果：

本試驗區土壤在淋洗前，土壤電導度高於 4 毫姆歐，PH 值低於 8.5 而交換性鈉百分率大於 15%，依照美國鹽土研究所訂定分類方法，應屬於鹽性鹼土 (saline sodic soil)。在鹽分地埋設暗管系統，可將土體中過多之水分迅速排除，同時可控制地下水位至一適當深度，減少土面蒸發及鹽分之回升，在洗鹽初期品質良好之雨水可將土壤中之可溶性鹽類溶解，惟土壤粒子可因鈉離子之水化而分散，破壞土壤物理性，降低導水率，土壤中若無足夠之鈣、鎂離子以取代交換性鈉離子，極易促使 PH 值及交換性鈉量增高，土壤物理性更加變劣。但由雙層暗管系統試驗結果觀之，只要土體中過多水分能夠迅速排除，地下水位降低後，土壤鹽分可迅速減低，試區經短短一個雨季淋洗後，地表一公尺內土壤之電導度皆降至 3 毫姆歐以下，PH 值雖有部份土層升至 8.5 但為時極短，迅即降至 8.5 以下，交換性鈉百分率降至 15% 以下，鹽分淋洗效果極為良好，此種結果與本所王世中等氏⁽¹¹⁾ 所報導者頗為一致。王世中氏指出，本省鹽分土壤中富含鈣質極為豐富，復有充足之水源及二氧化碳，在洗鹽前，交換性鈉量雖高，但土壤溶液中常含有大量之可溶性鹽類，一旦鹽類隨水淋除後，土壤中所存有之鈣離子即可取代交換性鈉，而不需添加任何改良劑如石膏即可使交換性鈉值降低，土壤亦無轉變為無鹽鹼土之可能。總言之，從本試驗可以明顯看出平行暗管系統由於未能將土壤中過多水分排除，所以鹽分淋洗效果不太顯著，而雙層暗管系統因排水功能良好，地下水位降低之速度很理想，因此洗鹽效果相當顯著，因此可知改良本省鹽分地土壤主要關鍵在於排水，排水改善後，鹽分問題就可迎刃而解。

六、地下暗管設置後土壤之管理⁽³⁾：

鹽分地經埋設地下暗管洗鹽改良後，必須要有適當之土壤管理，一方面防止土壤再度鹽化，一方

面維護暗管系統之排水功能。爲能提高土壤洗鹽效率，增進土壤之排水效果，今後在鹽分地埋設地下暗管系統後，應在土壤管理上注意下列幾點：

- (1)明溝系統應保持暢通。
- (2)防潮閘門宜維護良好，防止海水倒灌。
- (3)在暗管系統竣工後洗鹽期間，應在田坵四周築堤蓄水，盡量利用雨季時之雨水洗鹽以收自然淋洗之效，並可節省洗鹽費用。
- (4)暗管區應實施深耕，可加速淋洗速度，旱季時亦可減少鹽分回升。
- (5)暗管區之作物在每一單位內應力求統一絕對避免水稻與旱作混種最好能採用集團方式經營。
- (6)旱季時應行多次中耕，或以枯葉覆蓋地表減少蒸發。
- (7)應增施有機肥料，有機物一方面可增加土壤中二氧化碳含量，加速鈣質之溶解，以取代交換性鈉離子，同時有助於物理性質之改善。
- (8)種植作物以後，必須注意根域內之鹽分平衡，因此無論灌溉次數與水量均應增加。

摘 要

本試驗之目的在於探討雙層暗管系統應用於具高不透水層鹽分地之排水及洗鹽效果，以供今後鹽分地改良及暗管系統設計之參考。試驗地點設於蒜頭糖廠鰲鼓農場，土壤屬粉質壤土，暗管間距 25 公尺，於地表下 1.00 及 1.50 公尺交互埋設，所獲主要結果摘述如下：

- (1)雙層暗管系統試區土壤經雨水自然淋洗後，PH 值變化甚小，土壤電導度可自 15.67 降至 3 毫姆歐以下，交換性鈉百分率及吸鈉比均迅速下降，洗鹽效果良好，無形成無鹽鹼土之可能性。
- (2)雙層暗管系統之排水尖峯流量在同一水頭下高出一般平行暗管五倍以上，水位下降極爲迅速，排水效果十分良好。
- (3)在土壤剖面中具有較高位置不透水層之鹽分地，可採用雙層暗管排水系統改良。

誌 謝

本研究自開始至完成承臺灣大學施嘉昌教授、曹以松教授、中興大學楊策羣教授之指導及蒜頭糖廠蔡課長水松、黃技師家駿、陳股長慶水、曾工程師昭陽、農場課諸同仁。本所化驗中心陳技師正義、本系姚技師財寶、洪儷訓小姐之協助至多，特謹

致謝忱。又文成後承農藝系羅主任傳成悉心斧正，亦一併致謝。

參 考 文 獻

1. 王世中、薛鎮江、1957、水與二氧化碳對臺灣鹽漬沖積土之發育及改良。糖研所研究彙報 15:17-48。
2. 施嘉昌、1972、滲透率觀測與計算在排水設計上應用。臺灣水利 20(3):7-15。
3. 楊尙仁、1978。暗渠排水系統改良臺灣鹽分地之理論與實施。科學農業 26(1-2):40-49。
4. 楊尙仁、王百祿、1974。鹽分地暗渠系統之排水特性及其應用。糖研所研究彙報 66:9-27。
5. 楊尙仁、王百祿、1976。細質地鹽土暗渠系統之排水及洗鹽效果。糖研所研究彙報 73:1-15。
6. Beers, W. F. S, J. van. 1958. The auger hole method. Publ. 16. Int. Inst. Land Reclam. Improv. Wageningen, The Netherlands.
7. Bouwer, H. and J. van Schilfgaard. 1963. Simplified method of predicting fall of water table in drained land. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 6(4):288-291, 296.
8. Cavelaars, J. C. 1974. "Subsurface field drainage systems" In "Drainage principles and applications" IV pp. 3-64. Pub. Int. Inst. Land Reclam, Improv. Wageningen, The Netherlands.
9. Chu, S. T., and Darrell W. DeBoer 1976. Field and Laboratory Evaluation of Bi-Level drainage theory. Tran. Amer. Soc. Agric. Eng. 19(3):478-481.
10. Day, P. R. 1965. Particle fractimation and particle size analysis. In "Method of soil analysis" Agronomy Monograph 9. part 1, pp. 545-567. Academic Press. New York.
11. DeBoer, Darrell W, and S. T. Chu. 1975. Bilevel subsurface drainage theory. Tran. Amer. Soc. Agric. Eng. 18(4):664-667.
12. Kirkham, Don. and G. O. Schwab, 1951. The effect of circular perforations on flow into subsurface drainage tubes. Agr. Eng. 32:270-274.
13. Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In "Method of Soil Analysis" Agr-

- onomy 9, pp. 210-220. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.
14. Schilfgaard, J. van. 1974. Saturated flow theory and its application. In "Drainage for agriculture" Agronomy 17, pp. 203-265. Madison, U. S. A.
 15. Talsma, T. 1963. The control of Saline ground water. Meded. Landbhoogesch Wageningen 63(10):1-68.
 16. Wesseling, J. 1973. Subsurface flow into drains. In "Drainage principles and application" II. Theories of field drainage and watershed run off pp. 3-56. Publ. Int. Inst. Land Reclam Improv. Wageningen, The Netherlands.
 17. Wesseling, J. and Someren, van 1970. Drainage materials. Provisional report of the experience gained in the Netherlands. pp. 1-32.
 18. Wesseling, J. and F. Homma. 1967. Entrance resistance of plastic drain tubes. Neth. J. Agric. Sci. 15(3):170-182.
 19. Wesseling, J. and F. Homma. 1967. Hydraulic resistance of drain pipes. Neth. Agr. Sci. 15(3):183-197.
 20. U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and Alkali soils. USDA Handbook 60.

專營土木、水利、建築等工程

永裕土木包工業

負責人：謝阿川

地址：宜蘭縣三星鄉大隱村一四三號
電話：三星局 三五三號

專營土木、水利、建築等工程

東崑土木包工業

負責人：李銀生

地址：安定鄉港尾村一二二號
電話：安定局 五六一〇