

臺糖公司自營農場暗渠排水 改良鹽分地工作研討

Reclamation of Saline Soil with Tile Drainage System on TSC's Sugar Cane Plantations.

糖業研究所農藝系研究員

楊 尚 仁

S. J. Yang

糖業研究所農藝系助理研究員

王 百 祿

P. L. Wang

摘 要

摘要本文就臺糖公司自營農場以暗渠排水法改良鹽分地之經過，暗渠排水系統之優點，設計基本原則及進行步驟，施工方法及成果等均一一提出報告，另在暗渠設置區進行排水試驗，觀測地下水水位及排水量，同時比較實際觀測值與不同公式計算所得之理論值，結果證明 Glover-Dumm 方程式最適合臺灣環境，今後宜用此一公式設計。

一、前言 (Introduction)

臺灣鹽分地主要分佈於西部平原大肚溪與二仁溪沿海地帶，海拔大多在十公尺以內，據郭魁士等⁽⁶⁾在 1956 至 1961 年間所作之鹽土調查結果估計總面積約為 89,100 公頃，近十年來，沿海地帶由於排水系統及自動水門年久失修，海水經常倒灌，加之鹽水魚塢大量開墾，目前鹽分地面積恐已不止此數，長此以往，勢必有更多良田逐漸轉變為不適耕作之鹽分地，影響農業生產甚鉅，因此如何防止高生產力土地轉變為鹽分地，以及改良現有之鹽分地，提高生產力為當前克不容緩之要務。

臺糖公司自營農場鹽分地，據嚴式清氏⁽⁷⁾之估計約有 3335 公頃（若將嘉義鰲鼓海埔地合計在內，總面積為 4335 公頃），佔臺糖耕地總面積之 7.8%，此一比例固然甚小，但由於鹽分地多係新沖積土，一旦脫除鹽分生產潛力極高，加之本公司自營農場面積有限，為能提高生產量對鹽分地改良工作十分重視，自民國 59 年底開始作小規模暗渠排水試驗，藉以改良土地，結果證明此法脫鹽效果極為良好，甘蔗產量大幅增加，現已準備大面積實施，64 年度預定施工面積將達 500 公頃左右，本文將就臺糖公司採用暗

渠排水之經過，設計基本原則，施工要點，暗渠設置區排水試驗及改良成果分別提出介紹，期能拋磚引玉，供今後鹽分地及排水不良區域土壤改良之參考。

二、設置暗渠排水系統之動機及經過 (motive for installing tile drainage system)

民國 58 年以前，臺糖自營農場一向以明渠排水法經營，所設置之明渠溝深 1.0 至 1.2 公尺，溝寬 1 公尺，間距一般多在 30 公尺左右，明渠雖能收到洗鹽及排水之目的，但仍有下列數項難題困擾農場人員：

1. 經充分灌溉或雨季淋洗後，土壤電導度雖可自 30 mmhos/cm，降底至 4 mmhos/cm 以下，但所能維持低鹽度時間頗短，經一旱季以後，鹽分回升，以致無法種植宿根甘蔗，土地利用率始終無法提高。
2. 明渠排鹽溝所佔耕地面積在 10% 以上，頗為浪費，同時經常維持費用高昂，增加農場經營負擔。
3. 臺糖現多採用全面機械化作業，耕地設有明渠後，影響機耕操作效率。
4. 重鹽分地內無法生長作物之鹽斑面積甚多，單

位面積產量甚低，常導致廢耕。

民國 58 年 6 月，本公司在亞經會專家建議下，曾在永康廠看西農場設置兩公頃暗渠排水試驗區，採用美國大口徑暗渠（內徑 12 公分），但因工程費用高達六萬元，未能大面積推廣，59 年荷蘭專家藍卜列支先生（Mr. C. P. Lambregts）應本公司之邀來臺考察，藍氏建議採用荷蘭小口徑暗渠改良鹽分地，此種小口徑暗渠費用低廉，施工方便，管內若有泥沙堵塞可用沖洗設備清理，經多方研討後，決定採用藍氏建議，結果殊為令人歡欣鼓舞，本公司現已積極推行暗渠排水工程，預定今後三年內可將所有重鹽分地改良完畢。

三、以小口徑暗渠排水系統改良鹽分地之優點 (The advantages for using tile drainage system to reclaim saline soils)

以小口徑暗渠改良鹽分地之優點頗多，現擇要簡列如下：

1. 設置暗渠可利用雨季豐富雨水將根域土層中之鹽分洗除，因此人為供應之淋洗水量減少，改良效率加速。
2. 暗渠通常埋設於地表下 1.5 公尺，地下水位可控制於地表下 1.2 公尺，減少土面蒸發，控制鹽分之回升。
3. 降低地下水位後，可增進根域中之通氣狀態，作物根系發育良好，水分及養分之吸收能力增加。
4. 耕地面積可因明渠之減少而增加，同時亦可增高機耕操作效率。
5. 減少鹽斑面積。
6. 設置費用低廉，61 至 62 年每公頃費用約在三萬元左右，目前單價每公頃亦僅四萬元左右。

四、設計暗渠排水系統之基本原則 (Basic principles for installing the tile drainage system)

臺灣地處亞熱帶，具乾濕兩季，雨季時雨量集中，此一期間之降雨量約佔全年總雨量之 85%，且降雨強度極大，一日降雨量在 200 公厘以上者並非罕見，地表逕流量甚多，加之濱海地帶地勢低平，地面排水不暢，往往造成積水現象，而旱季為時甚長，土面蒸發十分強烈，又因鹽分地之地下水位較高，鹽分遂因微管作用 (capillary rise) 而聚集地表，因此

臺灣地區之排水系統當與歐美各國不同，本公司所設置之暗渠，經考慮上述因素後，在下列三項基本原則下進行設計：

1. 地面逕流水及地下排水以不同系統排除，地面排水系統應加強，使田間積水迅速排除，同時使地下水位儘速降低。
2. 有關暗渠之間距，以不穩定流公式 (transient state flow equations) 計算。
3. 暗渠埋設深度以降低水位至 1.2 公尺以下為原則，減少土面蒸發量，防止鹽分回升。

五、暗渠排水工程設計之進行步驟 (The procedures for designing tile drainage system)

暗渠排水系統在工程施工以前，首先應作土壤調查，決定施工地點之土壤特性，諸如質地，土層分佈，不透水層位置，有效孔隙率及導水率等，而後再依所得資料計算間距及深度，現將各項步驟簡述如后：

1. 土壤剖面調查：

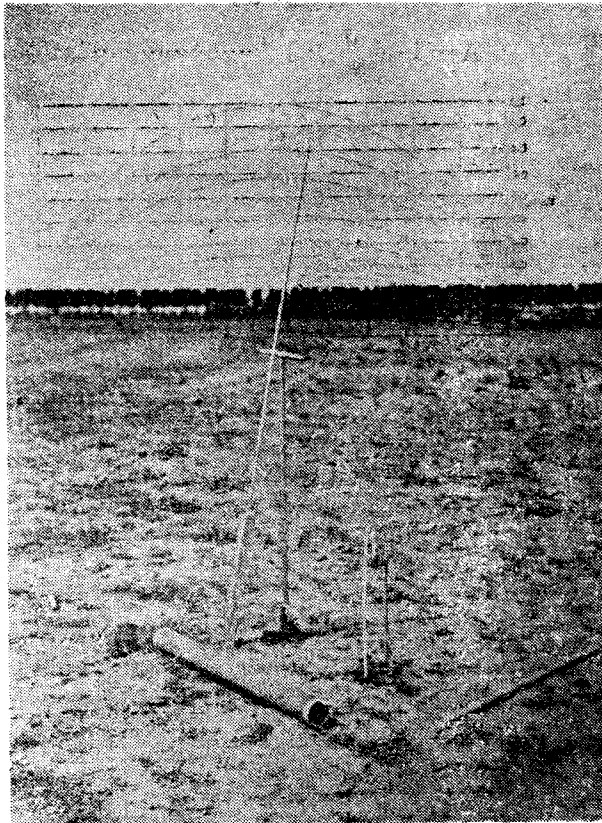
剖面調查為暗渠設計重要資料之一，務必小心謹慎，在未能決定土壤變異範圍及挖取剖面以前，首先以土鑽鑽探土層，此項工作係由土壤人員擔任，調查方法與一般土壤調查相同，唯深度應達三公呎，調查地點可採用方格法 (grid system)，每隔 25 至 50 公尺鑽探一處，記載土壤質地，分佈層次，深度及土壤濕度，再按初部鑽探所得結果，依土壤特性繪製成土壤圖，而後在同一類型土壤區域內，挖掘代表性剖面二至四處，剖面寬 1.5 公尺，長 2 公尺，深 2 至 3 公尺，調查記錄包括土層深度，各層土壤質地，構造及地下水位高度，另以直徑為 7.6 公分 (3 吋) 及 5.1 公分 (2 吋) 之不銹鋼土樣管採取自然土樣，取回實驗室供飽和導水率及有效孔隙率測定之用。

2. 田間導水率之測定：

導水率為設計暗渠排水工程最重要之一項資料，無論暗渠深度及間距均與導水率有密切相關，必須小心謹慎，否則易導致整個工程之失敗，田間導水率一般以斷孔法測定 (auger hole method)，測定步驟極為簡單，即在土層中先斷一孔穴，使低於地下水位某一深度，待孔內地下水位達穩定狀態時，吸出井孔內部水分，水將重新滲入井中，其速度視土壤導水率而有所不同，而後在不同時間內測定水位上升速度，最後將所得記錄代入公式或以諾膜表計算導水率，有關導水率之測定方法可參見下列文獻 (施嘉昌

1972⁽²⁾, Luthin 1957⁽¹⁵⁾, 1966⁽¹⁶⁾, Van Beers 1970⁽²¹⁾, Boesma 1965⁽²³⁾。使用工具可見圖 1。

臺灣鹽分地土壤大多屬新沖積土，因此變異甚大，為能求得較為正確並具代表性之導水率，測定點數務必增加，一般每公頃至少測定兩點，由於沖積土之層疊現象 (stratification) 十分明顯，因此導水率亦需按照土壤層次分層測定，若人力及時間有限，至少亦需分上下兩層測定，一般在雨季水位較高時，測定上層導水率，旱季時測定下層土壤之導水率。



圖一 鑿孔法測定田間導水率所用之工具

Fig. 1. The tools used for the measurement of hydraulic conductivity by auger hole method.

3. 自然土樣飽和導水率之測定

以鑿孔法在田間所測求之導水率，常因土壤變異或人為因素而造成誤差，為能求證田間測得導水率之可靠性，另將在剖面調查時所取得之自然土樣以定水頭法 (constant head method) 在實驗室內測定每一土壤層次之導水率，所得結果尚可用於確定不透水層 (impermeable layer) 之位置，有關定水頭法之測定步驟可參考下列文獻：施嘉昌 1972⁽²⁾, Luthin

1966⁽¹⁶⁾, Klute 1965⁽²⁶⁾。

4. 有效孔隙率之測定：

有效孔隙率 (effective porosity) 為應用不穩定流公式必須具備之資料，需另行測定，所謂有效孔隙率亦即供水比 (specific yield)，係指在重力影響下，土壤排出水分之容積比例，測定方法係將直徑 5.1 公分之自然土樣以張力盤 (tension table) 或土壤水分抽出裝置 (soil moisture extractor) 測定 0.1 bar 張力下所排除之含水體積，結果以百分率表示。

5. 支渠之間距及埋設深度：

用以計算支渠間距之公式，按其假設條件可分穩定流 (steady state) 與不穩定流 (unsteady state) 兩種，所謂穩定流係假設排水率與下滲率相等，使地下水位保持一定，不穩定流係假設排水率大於下滲率，地下水位隨時間而下降。在荷蘭及歐洲諸國由於降雨強度較小且很均勻所以盛用穩定流公式設計，其中以虎格豪特 (Hooghoudt) 公式引用最多。本省由於降雨強度 (rain intensity) 甚大，氣象環境特殊宜採用不穩定流公式設計較妥。

在變動性地下水位情況下，有關間距之計算公式甚多，但每一種方程式均有其假設條件，因此設計時宜慎重選擇，不可盲目應用，在臺灣情況下，下列三種公式較為適合 (請參見第七節)，現簡略介紹如下：

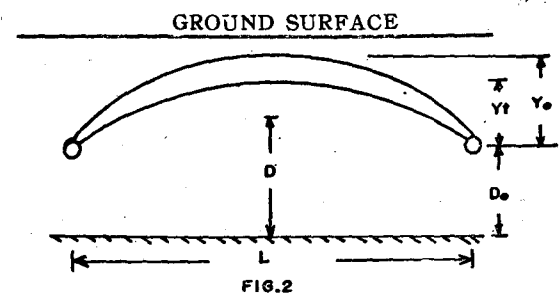
(1) Glover 方程式

Glover 方程式因暗渠埋設位置之不同而有兩種型式：

a. 暗渠埋設於距不透水層 D_0 之位置 (圖 2)

$$L = \pi \left[\frac{KDt}{\ln \left(\frac{4}{\pi} \times \frac{y_0}{y_1} \right)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

$$D = D_0 + \frac{y_0}{2}$$



圖二 暗渠排水區之斷面圖，暗渠埋設於距不透水層 D_0 位置
Fig. 2. Cross section view of laterals, laterals are located in a distance of D_0 from the impermeable layer.

b. 暗渠埋設於不透水層 ($D_o = 0$) (圖 3)

$$L = \left[\frac{4.5k y_o y_i t}{f(y_o - y_i)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

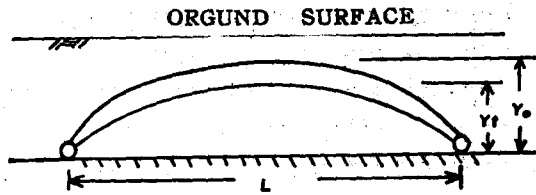


FIG. 3

圖三 暗渠排水區之斷面圖，暗渠埋設於不透水層之正上方
Fig. 3. Cross-section view of laterals, laterals are located above the impermeable layer.

(1)及(2)式中： L =暗渠間距 m

K =導水率 m/day

f =有效孔隙率 %

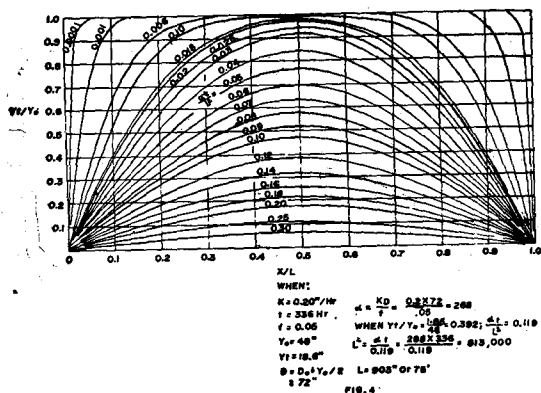
D_o =排水管中心點至不透水層之距離 m

y_o =開始排水時兩鄰近暗渠中點地下水水位至暗渠之高度 m

y_i =經 t 時間後兩鄰近暗渠中點地下水水位至暗渠之高度 m

(2) Glover-Dumm 方程式 (Wesseling 1972⁽¹⁸⁾, Van Beers 1965⁽²²⁾)

Glover-Dumm 方程式即一般所稱美國墾務局公式 (施嘉昌 1972⁽⁹⁾)，大致與(1)式相同，唯一差異在(1)式係假定排水前最初地下水水位呈水平狀，而 Dumm⁽⁹⁾ 氏將之改為四次多項式 (4th degree po-



圖四 應用 Glover-Dumm 公式求解支管間距之諾謨表
Fig. 4. Nomograph for the determination of drainspacing with the Glover-Dumm equation

ynomial)，使(1)式中之 $\frac{4}{\pi}$ 變為 1.16

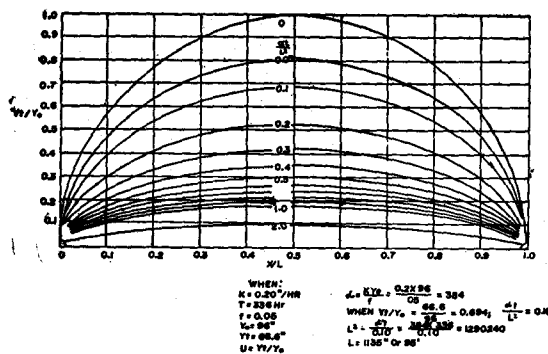
$$L = \pi \left[\frac{KDt}{f} \right]^{1/2} \times \left[\ln 1.16 \frac{y_o}{y_i} \right]^{-1/2} \dots (3)$$

(3)式中之符號意義與(1)式完全相同，為計算簡便起見，Glover 及 Glover-Dumm 兩方程均可自圖 4、5 及圖 6 獲解。

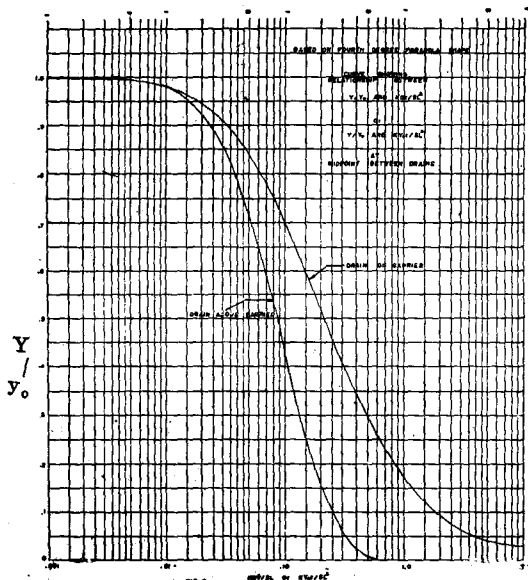
(3) Van Schilfgaarde 方程式 (Van Schilfgaarde 1963⁽¹³⁾, 1970⁽¹⁷⁾)

$$L = 3A \left[\frac{K(d+y_o)(d+y_i)t}{2f(y_o - y_i)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

$$A = \left[1 - \left(\frac{d}{y_o} \right)^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$



圖五 應用 Glover-Dumm 公式求解支渠間距之諾謨表
Fig. 5. Nomograph for the determination of drainspacing with the Glover-Dumm equation

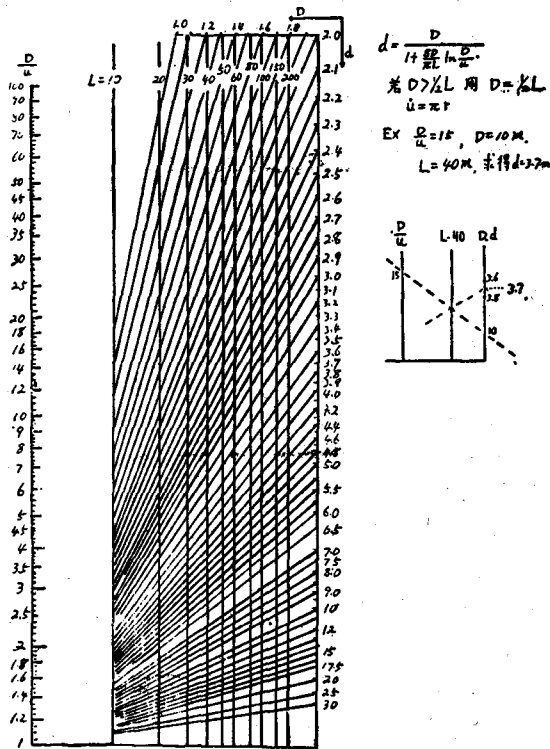


圖六 $\frac{Y}{Y_o}$ 與 $\frac{KDT}{SL^2}$ 關係曲線圖
Fig. 6. Y/Y_o and KDT/SL^2 relations

(4)式及(5)式中 t = 自原水位高 y_0 降至 y_1 時所需時間 day

$$d = \text{等量土層厚度} = \frac{8 D_0}{\pi L \ln \frac{D_0}{\mu} + 1} \quad (\text{可自圖 7 中查得})$$

μ = 潤周長 m.



圖七 VAN BEERS 氏 D, d 關係求解諾讓表
Fig. 7. Nomograph for the determination of D and d .

其他代表符號均與(1)、(2)式相同。上式中之 t ，視作物容浸程度而定，本公司對甘蔗作物暫定 7 天內水位可自地表下降 0.6m，即 $y_0 - y_1 = 0.60\text{m}$ 。本公司所設置暗渠之間距按土壤質地及導水率之不同，最窄者為 15 公尺，最寬者為 45 公尺。

鹽分地設置暗渠之目的在脫除土層中之鹽分、降低地下水位，防止鹽分回升，據 Gardner⁽²⁴⁾ 及 Talsma⁽¹⁹⁾ 等之研究指出，地下水位高度與土面蒸發量有密切相關存在，此一相關性復受微管導水率 (capillary conductivity) 所支配，因此不同質地土壤，為能減少土面蒸發，防止鹽分回升，所應維持之地下水位高度亦告不同，中質地土壤應在 1.2 公尺⁽²⁾，細質地土壤應在 1.20 公尺以下，粗質地土壤

則在 0.8 至 1.0 公尺之間，本公司根據上述原則，將暗渠中點深度埋設於地表下 1.20 至 1.80 公尺之間，但在設計時仍須注意土壤剖面情況，使暗渠不致埋設於不透水層以內或以下以免使排水效率減低。

6. 排水管徑，集水井及抽水機之選擇：

暗渠排水系統管徑之大小係依集水面積所計算之流量而設計，為使竣工後保養清洗較易起見，支渠 (lateral) 最小直徑為五公分，使用材料多為 PVC 管，至於幹管 (main drains) 之大小乃根據田區面積與排水係數而定，計算管徑公式可用滿寧 (Manning) 公式，以管徑 75% 計算，一般使用 12、15、18、21、24 公分瓦管，超過 24 公分規格即改用水泥管。

集水井 (Sump) 係配合抽水機運轉之用，若作為幹管系統之出口則用相當直徑之集水井即可，通常使用直徑 2~4 公尺圓形集水井，視集水面積大小而定。

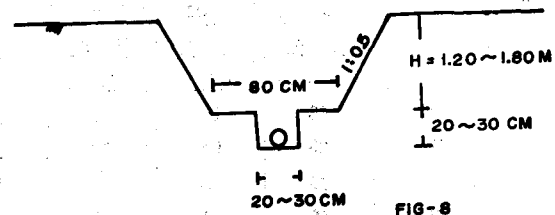
抽水機馬力計算應考慮抽水量，總水頭，抽水機效率等因素而定，一般使用之馬力介於 3~7.5HP 之間。

六、暗渠排水施工 (Execution of tile drainage system)

在國外由於工資高昂，暗渠排水在近二十年來已全部機械化，本省因工資較廉，故目前施工仍屬半機械化階段。施工時首先應由排水站着手，次做幹管，最後方埋設排水支管。通常施工程序可分五個階段，分別略述於下：

1. 定線測量及機械挖溝：

施工區域將每一管線定樁測量高程後即可開始挖溝，挖溝主要為處理大量土方，由於本省近年來農村雇工不易，工資高漲，挖溝工作已全部以挖土機取代，一般以機械挖至離計劃高程 30~50 公分，後再用人工挖掘埋管溝槽。挖溝斷面如圖 8。表土與底土分別堆放於溝之兩邊。



圖八 埋設支渠所挖溝之斷面
Fig. 8. Cross-section view of the ditch for installing lateral

2. 測定坡度整修溝底：開土只公 0.1 至 0.0 公分，機械開溝完成後，每隔 5~10 公尺放樣一次，整修溝底之坡度使與設計坡度相符。

3. 埋設暗管及濾水材料

溝底依照設計圖修正後即可放置暗管。排放塑膠管時人均站在溝中安放。利用瓦管者可用長柄下附鈎形之工具，站在田面上或適當地方安放瓦管，瓦管接頭處空隙不可大於 $\frac{1}{4}$ 吋。集水幹管所用瓦管應採用有管環者。

塑膠管放妥後應立即每隔 5~10 公尺校對坡度一次，如合乎設計則可放下級配礫石作濾水材料。濾水材料不能自地面直接傾倒，最好以瀉槽行之。濾料之厚度及規格須合乎標準，否則將影響暗管性能及壽命。

4. 回填土：回填土前必須由驗收者再校正暗管坡度，濾料規格，若有發現弊病應立即修正。機械回填土前，最好先用人工以土鏟先行回填透水性較佳土壤六十公分，然後再用推土機將所挖之土回填入溝，可避免排水管被壓壞。一般鬆土均易沉陷，故在挖溝處回填後應稍為隆起以備沉降。

5. 按裝抽水機馬達及電力外線：

暗管排水工程施工最後階段工作為按裝抽水機，馬達及電力外線。尤其電力外線未送電前應準備移動式柴油抽水機，隨時將地下水排除以利淋洗。有關暗渠排水施工情形可參見圖 15。

七、暗渠設置區排水試驗 (Drainage experiment in the area installed with tiles)

本公司設置暗渠之目的在控制地下水水位，改良鹽分地，有關暗渠之設計標準，荷蘭、美國及日本諸國

皆有較深入之研究，並已有適合其本國環境之計算公式，但在臺灣由於此項工程尚屬首創，一切技術及理論均仿荷蘭系統，因此在施工初期，尚以穩定流之 Hooghoudt 方程式計算間距，而有關土壤資料亦不完備，但本省無論氣象或土壤狀況均與荷蘭迥異，直接套用國外標準不易獲得理想效果，為能避免今後大面積推廣時造成誤差，使工程效果減低，浪費人力及財力，特在民國 62 年開始，利用已設置暗渠地區，進行排水試驗，另以實驗觀測值與自不同方程式所求得之理論值相互比較，俾能研訂適合本省氣候及土壤之設計標準。

排水試驗地區分別設置於永康、麻佳、蒜頭及北港四廠所屬農場。為能節省篇幅起見，本文僅將麻佳總廠七股農場資料提出報告，其他部份將在他文中提出。七股農場試區暗渠完工於 60 年 4 月，間距 30 公尺，長 170 公尺，中點埋設深度為 1.59 公尺，平均坡度 1/600，使用 $\phi 5.6\text{cm} \times 2\text{m/m}$ PVC 管為支渠材料，濾料 (filter) 採用級配礫石，厚度約為 20 公分，試驗觀測區面積一公頃。此一試驗係採用定量灌溉方式，灌溉前首先詳細調查土壤特性，包括導水率，剖面各土層之質地。土層深度，不透水層位置及有效孔隙率，土壤機械分析係用比重計法測定，其他各項則按五節說明方法測定，有關七股試區土壤特性列於表一。試驗觀測開始以前在兩支渠間埋設地下水位觀測井，埋設位置為支渠頂部。兩支渠中點及距離支渠一、三及八公尺處，深約 1.6 公尺，排成一直線與排水管或直交，詳細平面配置圖可見圖 9，進行定量灌溉前一天，先行測定地下水位，排水量及土壤含水量，灌溉水量係參照土壤含水量計算，以地面積水五公分以內為度，灌溉期間停止抽水，具有流量標示

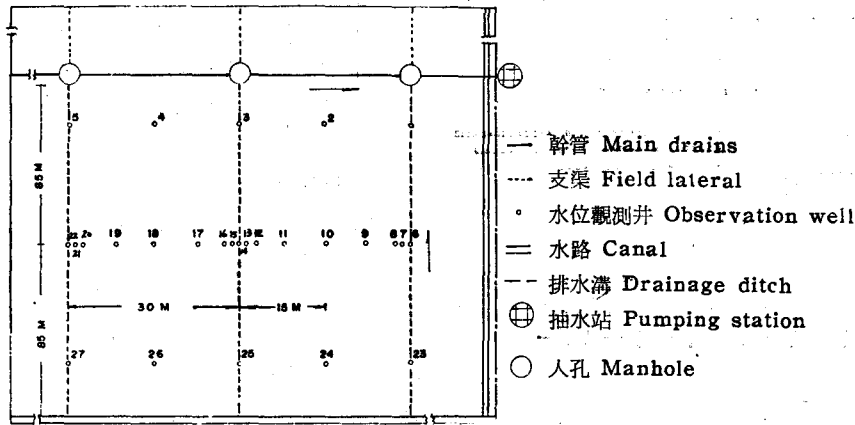
表一 七股農場試驗區土壤物理特性

Table 1. Major soil physical properties in the Chi Ku experimental plot.

土層深度 soil depth cm	機 械 成 分 mechanical composition			質 地 texture	容 積 密 度 bulk density	有 效 孔 隙 率 effective porosity
	砂 粒 sand %	坩 粒 silt %	粘 粒 clay %			
0-24	48	51	1	坩質壤土 SiL	1.36g/cm ³	7.6
24-39	23	54	23	坩質壤土 SiL	1.49	4.1
39-90	79	20	1	壤砂土 LS	1.34	6.5
90-125	48	51	1	坩質壤土 SiL	1.31	4.1
125-179	20	59	21	坩質壤土 SiL	1.39	2.1
179 以下	9	80	11	坩 土 Si	1.37	1.8

之虹吸管或梯形量水槽則用以控制水量，當水量達到預定標準時，立即停止灌溉，測定地下水水位，而後啟動抽水機，開始在人孔 (manhole) 中觀測排水量及

記錄不同位置之地下水水位變化，直至水位降至地表下 1.50 公尺或停止下降時為止。現將所得結果作簡略報導：



圖九 七股排水試驗區平面圖
Fig 9. Plan view of chi-ku experimental plot

1. 水位下降速度及流量：

當抽水機啟動後首日，由於水力坡降 (hydraulic gradient) 較高，管位上水位下降達 94 公分，兩暗渠中點水位則下降 30 公分，三日後降至 108 公分，六日後已降至地面下 1.36 公尺。排水效果頗為良好，暗渠流量過程線可見圖 10。由此圖可知排水初期之流量甚大達 20.3mm/day，但流量遞減甚速，最初三日流量遞減率達 67%，至六日後流量僅為 2.5mm/day，六日內之累積排水量約為 54mm。

2. 暗渠排水量與兩暗渠中點水位高程之關係：

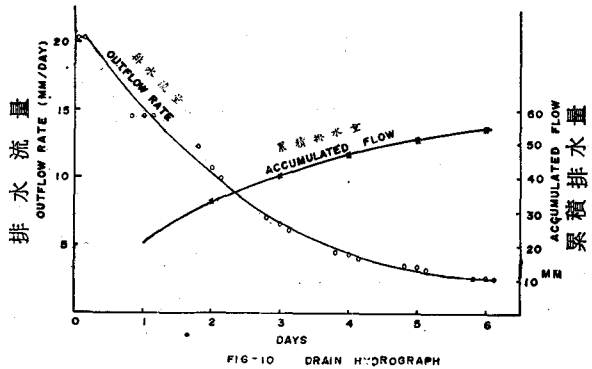
若將 t 時間之瞬間排水量 q_t 與測定 q_t 時之水位 h_t 作圖 (圖 11) 按照不穩定流方程式，應可得一直線，因 q_t 與 h_t 間成下列關係存在

$$q_t = \frac{2\pi K D h_t}{L^2} \dots\dots\dots(6)$$

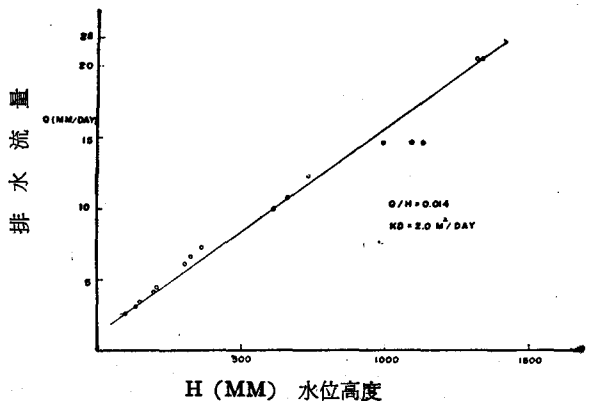
若將間距 L 代入上式則自本圖可求得土壤水分傳導率 (transmissivity) 之理論 KD 值為 2.0m²/day，而實際田間所測得之 KD 乘積為 1.57m²/day，兩者相差 0.43m²/day 此一差異可能係由於田間使用新孔法所測定之導水率，略有偏低所致。

3. 兩暗渠中點水位與排水時間之關係：

暗渠排水區域之排水特性對於暗渠工程設計至為重要，在訂定設計標準時應對此一特性有所瞭解，排水特性一般可用排水強度因素 (drainage intensity factor) α 表示， α 值與土壤水之傳導率及有效孔隙率有關，可用下式表示



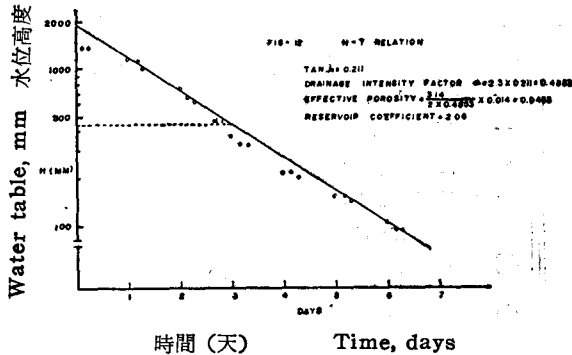
圖十 七股試區之排水曲線圖
Fig 10. Drain hydrograph



圖十一 七股試區排水流量與水位關係圖
Fig 11. Q-h relation

$$\alpha = \frac{\pi^2 KD}{fL^2} \dots\dots\dots(7)$$

α 值之倒數即一般所謂之儲水係數 (reservoir coefficient), α 與儲水係數均可自兩暗渠中點水位與排水時間之關係圖中求得 (圖 12)



圖十二 七股試區水位高度與時間關係圖
Fig 12. H-t relation

$$\text{因 } \frac{h_{i2}}{h_{i1}} = e^{-\alpha(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots(8)$$

上式中 t 代表觀測水位 h 之時間。因此 α 可自圖 12 之斜率而求得為 0.4853 day^{-1} , 儲水係數則為 2.06, 有效孔隙率之理論值可將計算所得之 α 值代入(7)式中即可求出, 其值為 0.0453, 與自然土樣所

得值 0.0438 相較極為接近, 由此可知, 臺灣土壤之有效孔隙率或供水比可用 0.1 bar 張力下之氣態孔隙率 (air-filled porosity) 作為代表。

4. 支渠間距理論計算值與實際值之比較:

有關暗渠排水之理論公式, 種類繁多, 因每一公式均有其立論條件, 各有其缺點, 為能從中選取一適合臺灣地理環境之方程式, 俾供今後設計之依據, 本試驗曾選用六種不同方程式計算理論值, 而後與實際值相互比較, 此六種理論公式分別為 (1) Glover-Dumm 方程式^(8,18), (2) Van Schilfgaard 方程式^(17,18), (3) Bouwer-van Schilfgaard⁽⁸⁾ 方程式, (4) Hammad^(10,11)方程式, (5) Massland⁽¹⁸⁾方程式, (6) Hooghoudt^(18,22) 方程式。

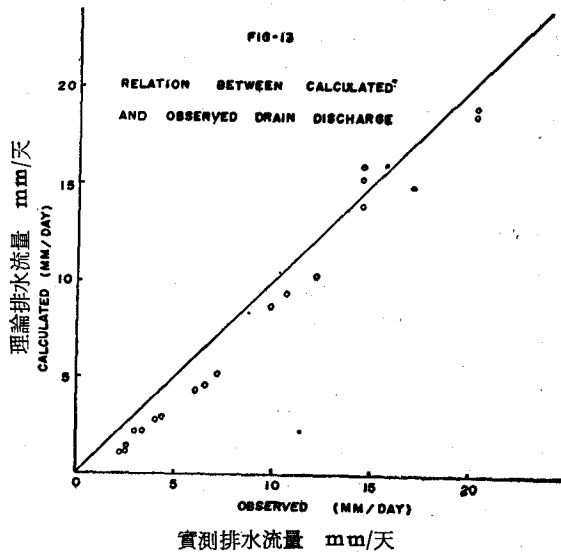
計算時係以理論 KD 值, 田間定時觀測之排水量與水位資料, 按時間因素分成六週期 (Δt), 代入公式計算可得六種不同間距, 結果列於表二, 由表二所得結果可知, 由穩定流假定所導出之 Hooghoudt 方程式與不穩定流所導出之 Massland 方程式所得間距過狹, 與實際間距 30 公尺相差達 12.3 及 14 公尺, 完全無法應用, 其他四種公式則較為接近, 其中以 Glover-Dumm (即美國墾務局方程式) 最為理想, 理論值為實際值之 88.4%, 因此今後設計似可採用此一公式為依據。

表二 支渠間距理論計算值與實際值之比較
Table 2. Comparison in drain spacing between calculated and observed data(1)

時間 time interval (Δt)	水位下降高度 water table drop (Δh) cm	排水量 discharge rate mm/day	理論計算值 calculated spacing m					
			Eq (1)	Eq (2)	Eq (3)	Eq (4)	Eq (5)	Eq (6)
1	0.25	14.5	29.4 (3) (-0.6)	37.8 (+7.8)	40.6 (+10.6)	8.9 (-21.1)	38.4 (+8.4)	28.6 (-1.4)
2	0.68	10.7	27.7 (-2.3)	25.9 (-4.1)	27.7 (-2.3)	12.6 (-17.4)	26.3 (-3.7)	22.2 (-7.8)
3	1.02	6.66	24 (-6)	20.8 (-9.2)	21.2 (-8.8)	15.4 (14.6)	20.1 (-9.9)	16.2 (-13.8)
4	1.14	4.23	26.3 (-3.7)	20 (-10)	19.9 (-10.1)	17.8 (-12.2)	18.8 (-11.2)	14.8 (-15.2)
5	1.20	3.33	26.4 (-3.6)	20.2 (-9.8)	19.6 (-10.4)	19.9 (-10.1)	18.6 (11.4)	13.3 (-16.7)
6	1.26	2.6	25.4 (-4.6)	21.4 (-8.6)	20.8 (-10.2)	21.8 (-8.2)	17.4 (-12.6)	11.1 (-18.9)
平均間距 Ave. Spacing			26.5 (-3.5)	24.4 (-5.6)	25 (-5)	16 (-14)	23.2 (-6.8)	17.7 (-12.3)
百分率 Percentage			88	81	83	53	77	59

備註: (1) 實際間距 30 公尺 $h_0=1.35m$ $K=1.80m/day$ $D_0=0.2m$
 (2) 應用理論公式分別為: Eq 1. Glover-Dumm 方程式 Eq 2. Van Schilfgaard 方程式
 Eq 3. Bouwer 及 Van Schilfgaard 方程式 Eq 4. Massland 方程式
 Eq 5. Hammad 方程式 Eq 6. Hooghoudt 方程式
 (3) 計算實際間距值之差列於計算值之下, 負號代表低於實際值

為能進一步證實 Glover-Dumm 公式之可靠性，另以該方程式計算理論排水量與實際觀測所得排水量相互比較(圖 13)，圖 13 明顯指出，Glover-Dumm 公式所得之排水量較實際觀測值為低，此種結果可能因兩項因素所造成，一為實測之導水率偏低，代入公式計算所得排水量自必偏低，另一可能則為公式本身不够理想，此點尚有待進一步之探討。



圖十三 七股試區實測排水流量與理論排水流量關係圖
Fig 13. Relation between calculated and observed drain discharge

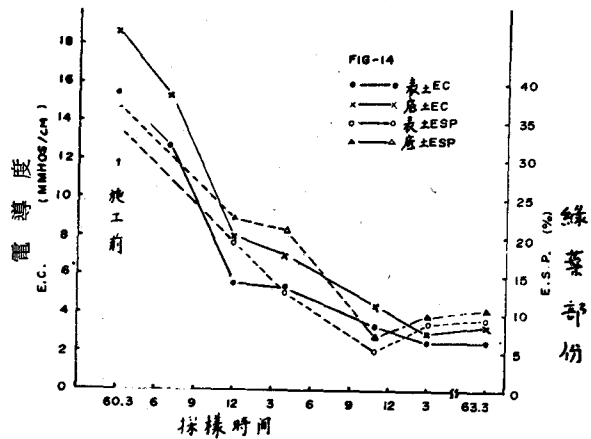
八、利用暗渠排水改良鹽分地初步成果

臺糖公司自民國59年底開始陸續在永康、麻佳、蒜頭及北港四廠埋設暗渠後迄今已四年，該地經洗鹽種植甘蔗後，初步結果顯示，無論在土壤或甘蔗產量方面均有良好表現，現將土壤鹽度及產蔗量作一簡略報導；

1. 土壤鹽度變化

土壤鹽度及其他化學性變化，由於資料甚多，無

法一一列出，現僅舉麻佳總廠七股農場 21 號地為例，將完工後至 63 年三月土壤鹽度變化提出討論(圖 14)。此一地區海拔高度僅有 0.45 公尺，原係荒蕪土地，寸草不生，表土電導度高達 15.5mmhos/cm，底土則為 18.6mmhos/cm。59 年 12 月開始埋設暗渠，60 年 3 月完工，同年六月開始利用雨水洗鹽，一年後表土電導度降至 5.3mmhos/cm，61 年 11 月後迄今電導度始終維持在二至四 mmhos/cm 之間。pH 值在改良前為 8.1，洗鹽後略有增加，最高曾升達 8.6，但現已逐漸下降，交換性鈉百分率(exchangeable sodium percentage)在改良前表土為 34%，心土為 36.9%，經設置暗渠後即大幅降低，至 63 年初則維持在 10%左右，倘使能在土壤管理上多加注意，則土壤鹼化之可能性甚小。



圖十四 七股暗渠排水區土壤電導度及交換性鈉變化圖
Fig 14.

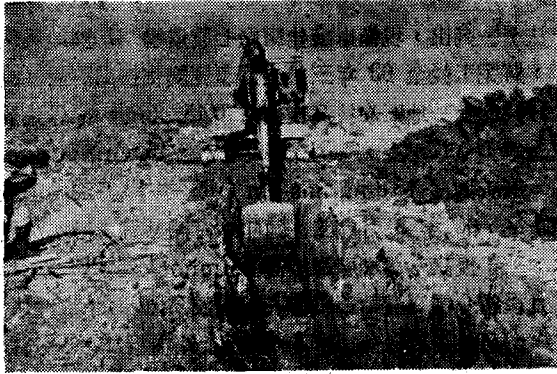
2. 改良前後甘蔗產量比較：

臺糖公司七股、看西二農場重鹽分地經埋設暗渠改良前後之蔗產量可見表三(表中所列僅限於秋植甘蔗產量)，由此表數字可知，各地經設置暗渠排水系

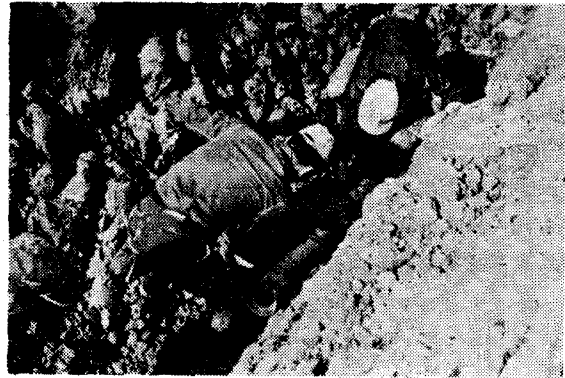
表三 暗渠排水區設置前後產量比較

Table 3. Comparison in cane yield before and offer installation of tile drain

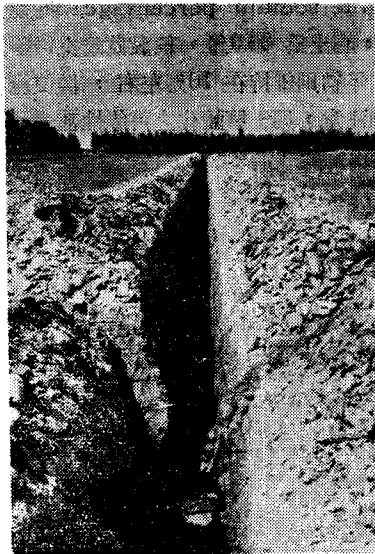
農場 Farm	面積 Area (ha)	適地 面積 Increase in arable land			單位面積產蔗量 ton/ha Per hectare cane yield			總產 蔗量 (噸) Total yield ton		
		改良前 Before	改良後 After	增加百分率 %	改良前 Before	改良後 After	百分率 %	改良前 Before	改良後 After	百分率 %
七 股	48.4	27.2	47.6	175	67.3	110.2	170	1791.1	3934.3	220
看 西	33.7	3.6	16.4	456	30.9	86.1	285	110.3	1414	1280



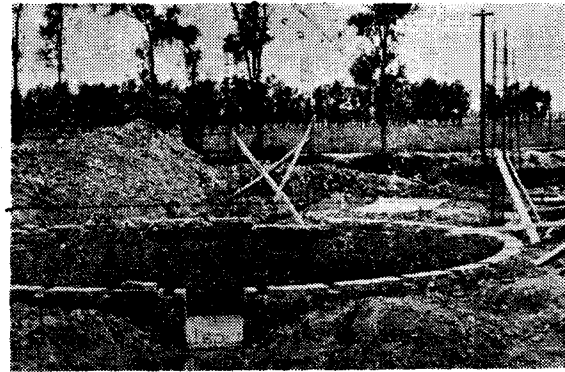
A. 以挖土機開溝



D. 埋設幹管



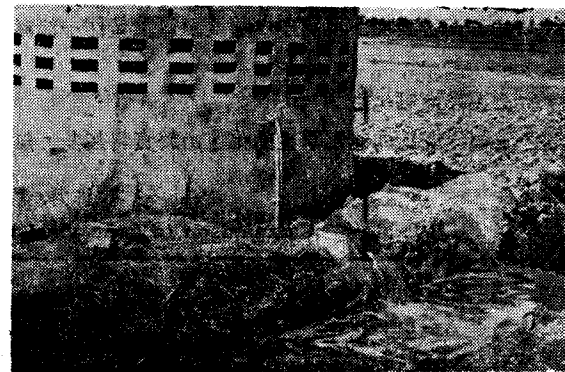
B. 埋設支渠前之深溝



E. 抽水站基部



C. 埋設支渠並鋪加級配礫石濾料



F. 抽水站及其出口

圖十五 暗渠施工圖片

Fig. 15. Photos showing the installation of tile drainage system.

統以後，單位面積產蔗量均大幅增高，同時由於明渠及鹽斑所佔面積減少，以致總蔗產量增加幅度更為驚人，四農場中以看西農場之增產幅度最大，該農場質地甚細，地勢低窪，雨季時排水困難，旱季時鹽度甚高，表土結有數公分厚之鹽霜，經施工埋設暗渠洗鹽後，單位面積產量可自 31噸/公頃增為 86噸/公頃，後者為前者之 285%，若就總蔗量而言，增產率竟高達 1280%殊為驚人。

九、結語 (Conclusion)

鹽分地限制作物產量之主要原因為土壤含鹽量過高，此類土壤係屬新沖積土，倘能以適當方法脫除鹽分，生產潛力甚高，本省耕地面積有限，加之近年來工商業發達，農業用地日漸減少，因此對生產潛力高

之鹽分地應積極改良開發，設置暗渠排水系統為目前最理想之改良方法，臺糖公司四年來試辦結果，成績殊為輝煌，今後將以過去所獲經驗，及依照臺灣地理環境之設計標準，全面推廣。

有關暗渠排水系統之設計，可採用 Glover-Dumm 公式計算間距，另按土壤狀況確定埋管深度，土壤導水率，有效孔隙率及不透水層深度，因直接影響排水之效率，宜作謹慎精密之測定。本文所報導之暗渠系統屬荷蘭小口徑型，管內之堵塞問題較美國大口徑者嚴重，因此此一系統之維護及土壤管理方法應從速進行研究，俾能延長系統之排水功能。

誌謝：本文部份資料承蒙麻佳總廠供應，試驗期間，麻佳、永康、蒜頭及北港各廠農場課曾多方協助，文成後復承臺大農工系施嘉昌主任斧正，專此一併致謝。

Summary

Subsurface tile drainage system has been introduced in 1970 to Taiwan Sugar Corporation to reclaim the saline soils. Remarkable results were obtained since then. With the installation of tile drainage system, the soil electric conductivity was lowered from above 15 mmhos/cm to 2 mmhos/cm and per unit area cane yield increased more than double.

In this paper the basic principles, the procedure for designing and the execution of the tile drainage system were described. The data from soil survey, the field measurement of hydraulic conductivity and the laboratory determination of effective porosity were used for designing the system. A diameter of 2.0 inches PVC pipes were used for laterals and the earthen baked pipes with diameter ranged from 12 to 24 centimeters were used for the main drain. The spacing was calculated from unsteady state flow equation. Depending on the soil property, the spacings were ranged from 15 to 45 meters. To cut down the surface evaporation rate, so as the soil salinity, the tiles were installed 1.2 to 1.8 meters below the surface in order to control the water table below 1.2 meters.

For the understanding of drainage characteristics in the tile drainage area, an experiment was carried out in Chiku farm. It was found the peak discharge rate was 20.3 mm/day. After six days, the discharge rate decreased to 2.5 mm/day and the water table at midpoint between the laterals was dropped to 1.3 meters below the soil surface. The calculated transmissivity (KD) and effective porosity from unsteady state flow equation were found to be very close to measured value. Six different equations were chosen to compare them with the performance of an existing drainage scheme. The results showed that the drain spacing calculated by using Glover-Dumm equation agrees well with the existing spacing. It is suggested that the Glover-Dumm equation should be used for designing the tile drainage system in Taiwan area.

參 考 文 獻

1. 包敦樸, 洪瑞麟 1961. 地下水位高低對甘蔗 (N: Co 310) 生育、產量及根系之影響。臺灣糖業研究所研究彙報: 24:19-51.
2. 施嘉昌 1972. 滲透率觀測與計算在排水設計上之應用。臺灣水利 20(3):7-15.
3. 施嘉昌 1972. 暗管排水間距與深度之設計。農工學報 18(4):35-42.
4. 施嘉昌 1971. 1971 排水工程講義, 國立臺灣大學農工系。
5. 郭魁士 1958-1961. 臺灣鹽土詳測報告 1 至 5 篇。
6. 蔡仲文譯 1970. 耕地排水學, 徐氏基金會出版。
7. 嚴式清 1969. 不同深度含鹽地下水與土壤鹽化之關係。臺灣糖業研究所研究彙報 48:71-83.
8. Bouwer, H., and J. van Schilfgarde. 1963. Simplified method of predicting fall of water table in drained land. Trans. Amer. Soc. Agric. Engrs. 9:288-291.
9. Dumm, L. D. 1964. Transient flow concept in subsurface drainage: its validity and use. Trans. Amer. Soc. Agric. Engrs., 7: 142.
10. Hammad, H. 1962. Depth and spacing of tile drain system. J. Irrig. Drain. Div., Amer. Soc. Civ. Engrs., 88: 15-34.
11. Hammad, H. 1964. Design of tile drainage for arid regions. J. Irrig. Drain. Div., Amer. Soc. Civ. Engrs., 90: 1-15.
12. Bouman, J. H. 1972. Principles on land drainage' Chapter 2. Criteria for drainage in irrigated areas. Lecture notes, International course on land drainage, Wageningen, The Netherlands.
13. Schilfgarde, J. Van. 1963. Design of tile drainage for falling water table. J. Irrig. Drain. Div. Amer. Soc. Civ. Engrs., 89: 1-11,
14. Schilfgarde, J. Van. 1964. Design of tile drainage of falling water table. J. Irrig. Drain. Div., Amer. Soc. Civ. Engrs., 90: 7173.
15. Luthin, J. N. 1957. Drainage of Agricultural Lands. Monograph 9, Amer. Soc. Agronomy, Madison, Wisconsin.
16. Luthin, J. N. 1966. Drainage Engineering. Univ. Calif. Press.
17. Schilfgarde, J. Van., 1970. Theory of flow to drain. In "Advances in in Hydro-Science" V. T. Chow (ed), Vol. 6. pp. 43-106. Academic Press, New York.
18. Wesseling, J. 1973. Subsurface flow into drains. In "Drainage Principles and Applications" II. Theories of field drainage and watershed runoff. pp. 3-56. Publ. 16. Int. Inst. Land Reclam. Improv. Wageningen, The Netherlands.
19. Talsma, T. 1963. The control of saline groundwater. Veenman en zonen Wageningen, The Netherlands.
20. Someren, Van. 1972. Field experiments for surface drainage. Lecture notes of the International Course on Land Drainage, Wageningen, The Netherlands.
21. Beers, W. F. J. Van., 1958. The auger hole method. Publ. 1. Int. Inst. Land Reclam. Improv., Wageningen, The Netherlands.
22. Beers van, W. F. J. 1965. Some nomograph for the calculation of drain spacing. Publ. no. 8., Int. Ins. Land Reclam. Improv. Wageningen, The Netherlands.
23. Boersma, L. 1965. Field measurement of hydraulic conductivity above a water table. In "Methods of Soil Analysis" pp. 234-252. Agronomy 9, Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
24. Gardner, W. R. 1958. Laboratory studies of evaporation from soil column in the presene of a water table. Soil Sci. 244-249.
25. Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In "Methods of Soil Analysis" pp. 210-220. Agronomy 9, Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.