

灌溉用丘陵水庫排沙隧道效率之檢討

On the Efficiency of Desilting-tunnel in Hill-side Irrigation Reservoir

臺灣大學土木工程研究所 吳 建 民

(I) 前 言

爲解決水庫泥沙問題，先研究其淤沙來源及淤沙分佈型態，針對其淤沙特性設法以人工或天然方法排除其淤沙，爲晚近泥沙研究對象之一。爲達成此項目的者有溢洪道、吸虹管、排沙涵洞、排沙隧

道、機械排除、人工挖掘及空庫排沙等方法。

空庫排沙係利用水庫洪期餘水，排乾庫內蓄水，藉其洪水冲刷庫內淤沙，以排除庫外之法。該法在美國 Mexico State 之 Zuni Reservoir 及西班牙 Alicante Reservoir 試辦結果，均認爲係有效之法，惟在遠東各國嘗試例即鮮見。臺灣水文地

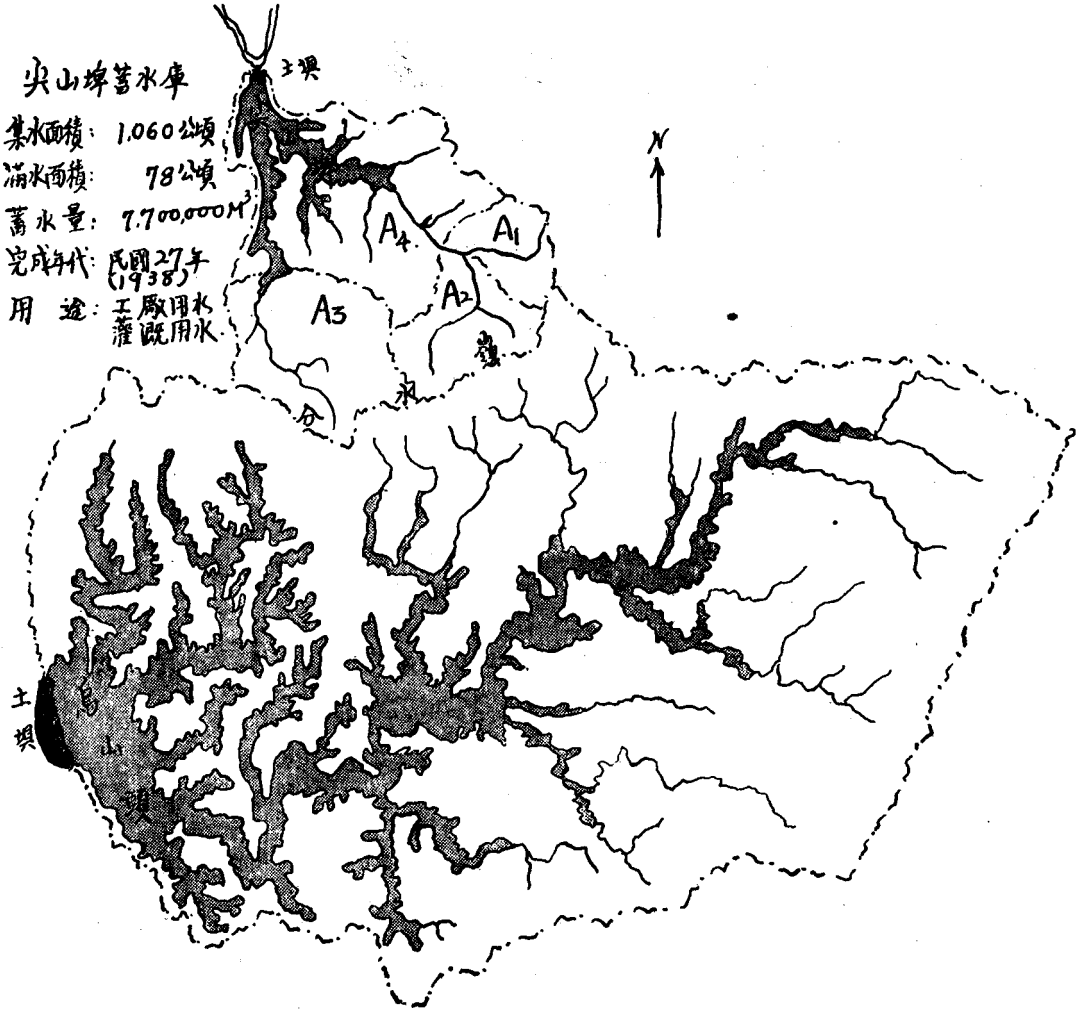


圖1. 尖山埤水庫位置圖 (Location of the Chienshan Pei Reservoir)

情文況並不甚良好，既設水庫之淤沙危險性甚大，排沙之必要性極感迫切。為此，尖山埤水庫乃於民國四十四年間修築排沙隧道一座，藉空庫排沙之法以排除已淤積泥而已有顯著之效果。

按水庫泥沙問題為今日水資源開發之癥結，尤以遠東各地，既設灌溉水庫之患此禍者為甚，而以往水庫泥沙排除之實例並不多，在中國尤以尖山埤水庫之排沙工程為首次嘗試。本文將就尖山埤水庫為例，檢討丘陵灌溉水庫排沙效率，以供今後對本問題研究之參考。

(II) 由水庫淤沙因子觀察尖山埤水庫之概要

尖山埤水庫位於臺灣省臺南縣新營鎮東方16公里之尖山脚，與臺灣有名之灌溉水源嘉南大圳烏山頭水庫南隣，用土壩攔取急水溪上游，以供臺灣糖業公司所屬新營糖廠之工業用水及其附設農場灌溉用水之需(附圖1)。土壩長255公尺，高29.7公尺，壩頂標高44.84公尺，溢洪道頂標高41.81公尺，滿水面積78公頃。放水管內口設在庫底，標高25.76公尺。在滿水面下16公尺。放水管穿過土壩基礎地面，為鋼筋混凝土管，內徑0.91公尺，設計放水量為0.47秒立方公尺。溢洪道開設於壩東端之基地上，溢洪道頂長30公尺，設計最大溢洪量為100秒立方公尺。其主要工程佈置如附圖(2)。

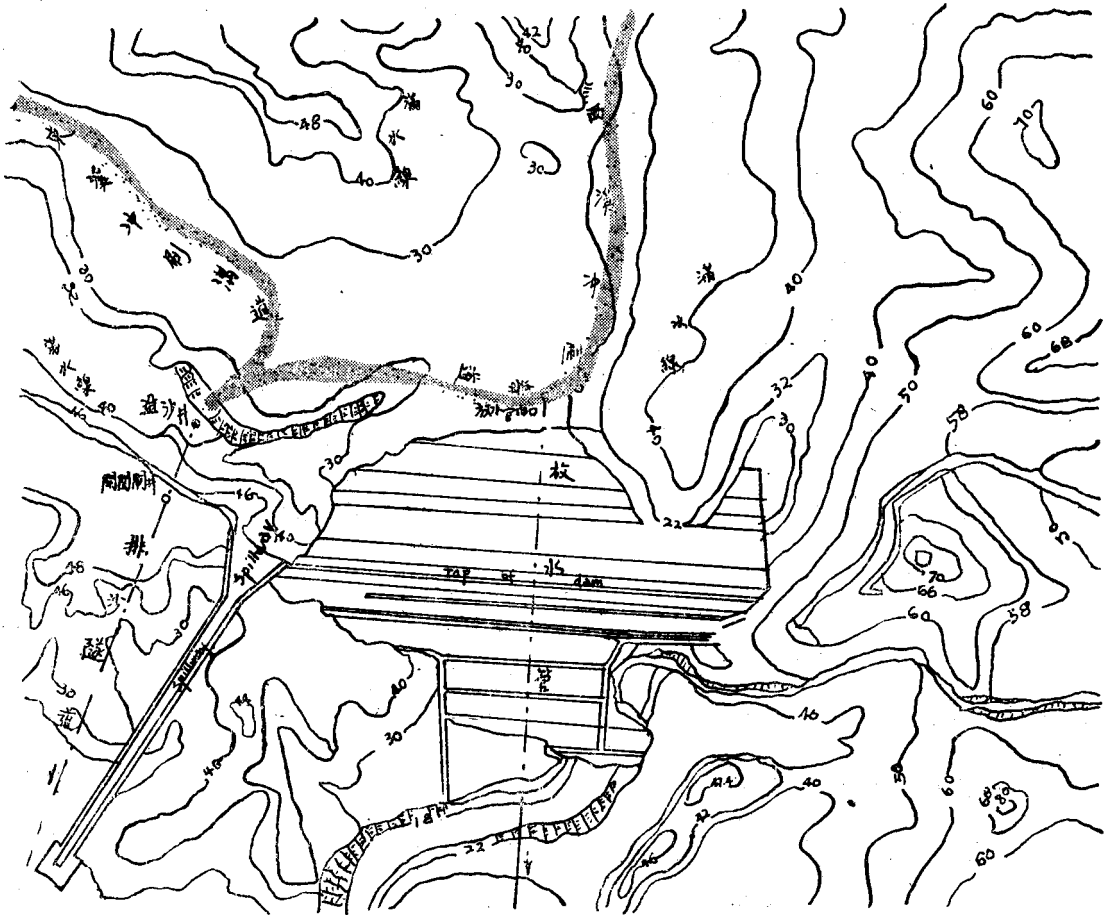


圖2. 尖山埤蓄水庫主要工程及排沙隧道位置圖 (Location of the earth dam Spillway and the Sluice tunnel)

水庫建造於民國27年(1938)，初期容量為6,985,000立方公尺，以供臺糖工業用水每年3,240,000立方公尺及農場每年灌溉用水2,230,000立

方公尺之需。庫成後水庫因上游流域表土之流失，致淤沙阻塞取水口，水庫容量大減，乃於民國32年(1943)加高溢洪道0.91公尺，並掘穿取水口附近淤

沙，加高取水口頂，以勉強維持放水（如附表1）。至民國37年水庫之淤積量已達2,683,000立方公尺，水庫容量僅剩5,017,000立方公尺，水庫泥沙問題再度成爲該水庫之急務。乃於民國40年(1951)委託臺灣大學農學院水工試驗室進行排沙模型實驗，依實驗結果自民國41年~44年(1952~1955)止，臺灣水庫排沙工程之一大嘗試，尖山埤排沙隧道乃告完成，隨即進行實地觀測以檢討其效果。

水庫上游懸移質及推移質沉澱量及水庫排沙量之實測曾於過去數年間具有短期記錄，惟因實測記錄短暫，詳細資料有待將來長期觀測，以明瞭其排沙效率，今暫以既得資料略加以分析，並就其支配水庫淤積諸因子加以若干考察：

(1) 流域面積：尖山埤水庫之滿水面積爲78公頃，直接供給泥沙來源之集水面積達1,060公頃，約爲滿水面積之13倍，此顯示水庫上游來沙因子之影響相當大，而上游河床係由地文情況類似之東西兩溪形成，其上游各段河流之特性即列如附表(2)。

附表(1) 尖山埤水庫概要

| | | |
|------------|---------------------|---------------------|
| 流域面積(公頃) | 1,060 ^{*1} | 1,060 ^{**} |
| 壩高(公尺) | 29.7 | 30.6 |
| 壩長(公尺) | 220 | 255 |
| 蓄水容量(立方公尺) | 6,985,000 | 7,730,000 |
| 滿水面積(公頃) | 78 | 78 |

備註※：^{*1}係水庫加高前，^{**}係加高後資料。

附表(2) 尖山埤水庫流域概要表

| 流域區分 | 流域面積(公頃) | 流域比率(%) | 河川長度(M) | 形狀係數F* | 流心平均坡降 |
|-------------------|----------|---------|---------|--------|--------|
| 東溪 A ₁ | 149 | 14.1 | 1,500 | 0.662 | 0.0335 |
| 東溪 A ₂ | 169 | 15.9 | 2,010 | 0.417 | 0.0198 |
| 西溪 A ₃ | 286 | 27.2 | 2,550 | 0.440 | 0.0196 |
| 水庫 A ₄ | 455 | 42.8 | 4,500 | 0.225 | 0.0090 |
| 合計 | 1,060 | 100 | | | |

註：形狀係數 F 係利用 Horton 公式。

$F = B/L = A/L^2$ 計算，B 係流域平均寬，L 係水流平均距離。本表資料係依 1/5,000 地形圖所測。

(2) 流域內地質、土壤特性：尖山埤水庫之集

水面積雖僅 10.6 平方公里，惟因氣溫，雨量及複雜土壤形成因素之影響，概言之，地質及土壤之情形並不如理想。幸水土保持情形尚稱良好，致水庫淤積現象未見加速進行。地質屬於新第三紀灰色泥質頁岩，一部份夾有黃色砂岩。此泥質頁岩及黃色砂岩對於風化抵抗甚弱，受蝕性甚高，風化後表土易成粉土。就土壤及地質之觀點視之，該水庫顯示先天性的缺陷——地文，水文情形並不甚理想。

(3) 流域內地形條件：流域內最高點爲標高 221m，最低爲 18m，高差達 203m，全流域之平均坡度爲 0.23，河床平均坡度爲 0.027。就流域坡度視之，該水庫可視爲急峻山丘。又就河流形狀係數視之，各支流之形狀係數在 0.2~0.7 範圍內，與其他大小河流較之，即呈相當大之值，亦即其長度較短而具有不相對稱之寬大河幅；換言之，洪水集中情形較烈，而具有高度輸沙特性之流域也。附圖(3)。

(4) 植物覆蓋性質：流域內已開墾耕地約爲全流域之 5%，大部份位於水庫南嶺，爲水稻區。其他 80% 地區爲相思樹、竹類及雜木之叢木區，小部份(15%)爲荒廢之山坡草地及地面崩塌之劣地。植物覆蓋情形尚稱良好，流域內防洪林及攔砂工程均普設於上游各要地，由土壤保全及淤沙阻止之流域相視之，流域之覆蓋情形可認爲相當良好。

(5) 流域內氣象諸條件：水庫流域面積內年平均雨量爲 1950mm，最高爲 2958mm，最低爲 1214mm；乾季與雨季之分極顯著，每年自 10 月至翌年 4 月止爲乾季，總雨量僅佔全年雨量之 13.5% (265.1mm)；雨季係自每年 5 月至 9 月，其間雨量佔全年總雨量之 86.5% (1685.0mm) 參考附表(3)。雨季降雨多屬雷雨或颱風雨，而於每年 5, 6, 7, 8, 9 月間形成一峯 (Peak)，其強度甚大；據民國 25 年 (1936) 至 48 年 (1959) 24 年間之記錄，日雨量在 40~100mm 之降雨計有 223 次，平均每年有 9 次；日雨量在 100mm 以上者計有 60 次，平均每年 2 次。此種強度較大之暴雨，乃形成本流域表土沖刷，土壤破壞之主要原因。

附表(3) 尖山埤雨量站歷年各月平均雨量表

| 月 份 | 元 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 | 七 | 八 | 九 | 十 | 十一 | 十二 |
|--------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 雨 量 mm | 16.2 | 29.5 | 55.7 | 87.3 | 207.1 | 380.6 | 419.8 | 446.5 | 228.2 | 35.2 | 17.1 | 27.2 |

一日最大 305.4mm 二日最大 515.0mm 三日最大 569.1mm

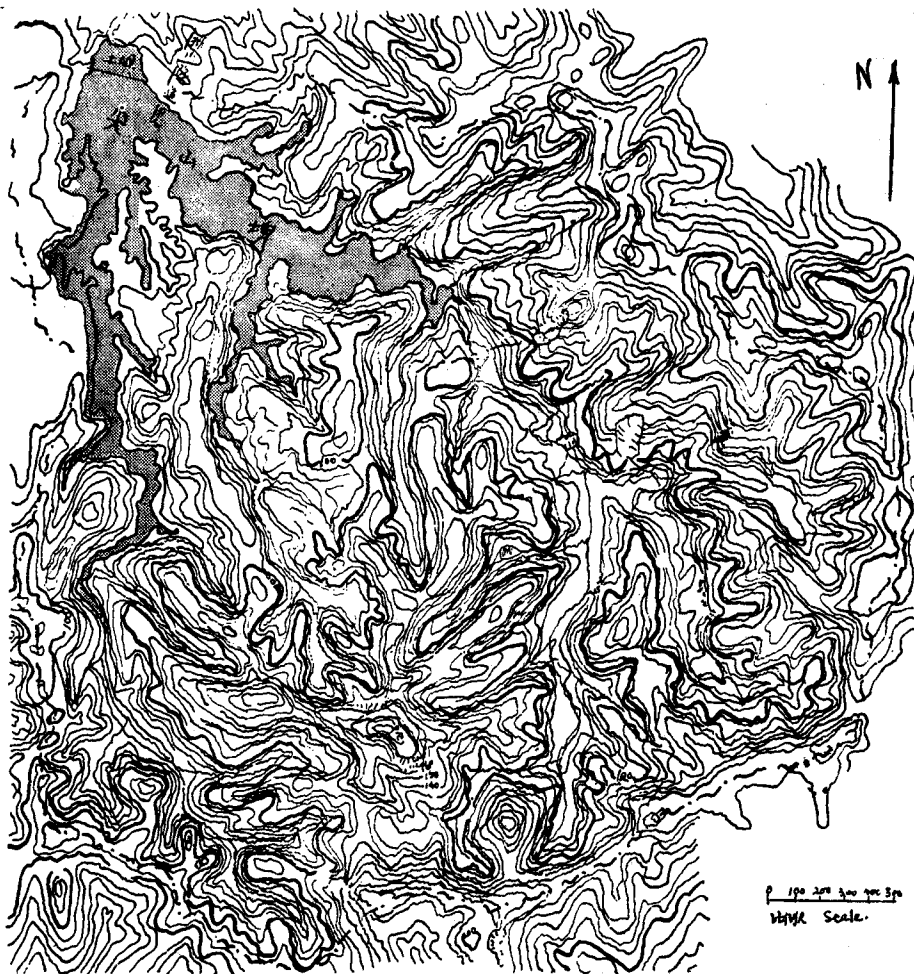


圖 3. 尖山埤集水區域平面圖

(6) 蓄水容量：蓄水容量之大小，直接關係水庫壽命之長短；而與流域面積及流入水量有關，其一般關係可用

$$R_s = K_1(C/A)^n \text{ 或}$$

$$R_s = K_2(Q/C)^{n'}$$

示之，式中 R_s 為水庫年平均淤積率， C 為水庫容量， A 為流域面積， Q 為水庫平均年流入水量， K_1 、 K_2 、 n 、 n' 分別為係數及指數。惟此項關係含有複雜地方因素，致所得結果僅能視為係概算值。就尖山埤水庫實際蓄水容量之變遷視之，水庫完成後之蓄水容量為 $6,985,000\text{m}^3$ (1938年) 至民國32年7月因原放水管為淤沙所阻，乃整理放水口附近淤沙並加高溢洪道頂 0.91 公尺，蓄水容量增加為 $7,700,000\text{m}^3$ 。據民國 27年至 37年前後二次實測淤

積資料視之，該 10 年間水庫之淤積量達 $2,683,200\text{m}^3$ ，平均每年之淤積量為 $268,320\text{m}^3$ ，平均年淤積率 (R_s) 為 3.85% ，水庫壽命僅為 26 年耳。復據民國 45 年 7 月實測資料則水庫容量已減至 $3,444,000\text{m}^3$ ，已淤積達原水庫容量 $7,700,000\text{m}^3$ 之 55% ，即 $4,256,000\text{m}^3$ ，平均年淤沙量為 $224,000\text{m}^3$ ，平均年淤積率 $R_s = 3.21\%$ ，水庫壽命約為 31 年，較初期淤積情形之嚴重性似減輕，此或為因沙率隨水庫容量減小而減低之故。

就世界各國既有水庫之淤沙率比較之，歐美各國水庫之一般淤積率均低於 $500\text{m}^3/\text{km}^2/\text{Year}$ ，日本及遠東各國水庫之淤積率可達 $1,000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{Year}$ ，而本水庫之淤積率竟高達 $22,400\text{m}^3/\text{km}^2/\text{Year}$ ，與臺灣阿公店水庫之 $35,700\text{m}^3/\text{km}^2/\text{Year}$

同為淤積埋沒危險性甚大之水庫之一。

(III) 排沙施設——排沙隧道之工程概要

民國40年(1951)臺灣大學農學院水工試驗室模型實驗之結果認為排沙隧道之排沙效果在定性上極為有效，其結果既經證實乃旋即開始於民國41年(1952)開工，並於民國44年(1955)完成，作實地初步排沙實驗。

排沙隧道之位置係根據水庫上游二支流之平均河寬及河流形狀係數而選定，按尖山埤上游河床東西兩溪之水文及河床特性相似而河流形狀係數接近，排沙隧道乃選擇於兩河流之匯合中心附近，以利

淤泥能同時達到排沙口。兩河流之匯合中心恰為原溢洪道位置，排沙隧道乃選定於此溢洪道之東側約40公尺處，隧道底面標高為24.40公尺，較原放水口頂標高25.76公尺尚低1.36公尺。隧道為圓形混凝土管，長203公尺，在距隧道內口15.6公尺處設有開關操縱井，裝有5呎方形油壓滑動開關二具，井頂設操縱機房以控制排沙門之開關。隧道設計容量為9.82 cms，隧道內口設有進沙井一座，為圓徑6公尺之沉井，井前壁面開設長方形進沙窗口15個，每個高1公尺寬1.5公尺，分上下五層，每層三個，泥沙可循窗口進入井內而由隧道排出。排沙隧道之主要構造物及其位置如附圖(2)(3)及附圖(4)所示。

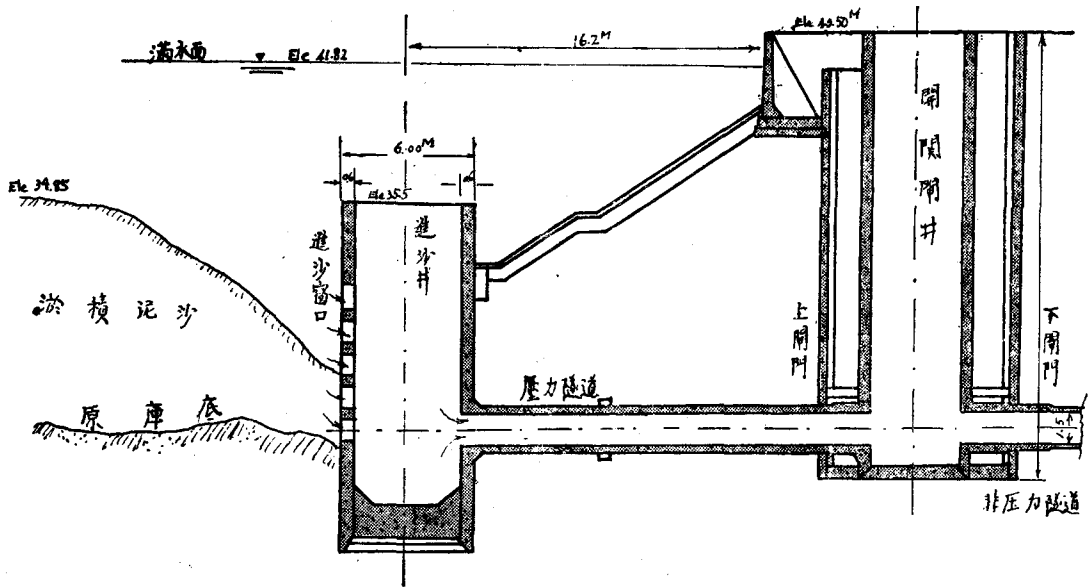


圖4. 排沙隧道與開關井及進沙井之立面圖 (The layout of the Sluice tunnel and the gate well for desilting)

(IV) 排沙實驗之經過及其成果

民國45年(1956)5月水庫排沙隧道竣工後即開始現場實地實驗，以觀察排沙工程之實際排沙效果及其應有之管理法。

民國45年(1956)6月待排沙量測定工具及儀器準備齊全後，乃於6月2日開始第一次靜水排沙實驗，6月4日水庫放空，乃作空庫冲刷排沙實驗，至7月26日，水庫開始蓄水，第一次排沙實驗乃告終止。計前後做排沙實驗10次，其總排出泥沙量為73,909m³，約等於年平均淤積量224,000m³之 $\frac{1}{4}$ ，

其平均含沙量為3.46%。

民國46年(1957)5月13日至7月14日間復前後共作空庫冲刷排沙實驗18次，總排出泥沙量為588,127m³，其平均含沙量高達8.53%。其後於民國47, 48, 49(1958, 59, 60)三年5月至7月間分別作空庫冲刷實驗15, 16及29次。其成果分別如附表(4)所列。

由表(4)知民國45年(1956)至49(1960)年間總排出沙量達1,941,939m³，排出水量為20,178,050m³，其排沙含沙量為9.62%，其中民國45年(1956)

附表(4) 尖山埤水庫排沙實驗成果一覽

| 年 代 | 實驗期間雨量 (mm) | 降 雨 時 間 (小時) | 排 沙 時 間 (小時) | 排 沙 水 量 (m ³) | 排 出 沙 量 (m ³) | 平均含沙量 % |
|----------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------|
| 45(1956) | 463.3 | 41' | 152.30 | 2,133,720 | 73,909 | 3.46 |
| 46(1957) | 1,014.1 | 200 | 521.50 | 6,902,770 | 589,127 | 8.53 |
| 47(1958) | 696.3 | 153 | 205.05 | 3,731,600 | 454,901 | 12.19 |
| 48(1959) | 680.0 | 98 | 204.05 | 3,555,960 | 295,262 | 8.30 |
| 49(1960) | 833.8 | 109 | 273.50 | 3,854,000 | 528,740 | 13.72 |
| 總 計 | 3,687.5 | 601 | 1,356.40 | 20,178,050 | 1,941,939 | |
| 平 均 | 737.5 | 120.2 | 271.30 | 4,035,610 | 388,388 | 9.62 |

因首次實驗準備未及充足，可資利用之排沙時間及水量未及充分利用，空庫排沙之效果未達理想之境；今以民國 46~49 年 (1957~1960) 資料分析，即該 4 年間總排出沙量為 1,868,030m³，排沙水量為 18,044,330m³，其排沙含沙量為 10.35%，平均每年可排出沙量 467,010 m³，約為平均年淤積量之 2

倍。

(V) 尖山埤水庫排沙量之推算

按水庫每年空庫或控制冲刷排沙水量之多寡，須視該年排沙期間之長短，雨量之多寡及流量之消長而定；尖山埤水庫因附屬農場及新營糖廠用水之

附表(5) 尖山埤水庫排沙量計算

| (1) 歷 時 限 Limit % | (2) 間 隔 Interval % | (3) 平均時限 Mid. Abs. % | (4) 流量 C.M.S. Discharge | (5) 輸沙量 CM.D. Sediment Discharge | (6) (2) × (4) | (7) (2) × (5) |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------|------------------|
| 0~0.0007 | 0.0007 | 0.00035 | 54 | 380,000 | 0.04 | 266 |
| 0.0007~0.002 | 0.0013 | 0.00135 | 48 | 340,000 | 0.06 | 442 |
| 0.002~0.008 | 0.006 | 0.005 | 39 | 260,000 | 0.23 | 1,560 |
| 0.008~0.10 | 0.092 | 0.054 | 25 | 190,000 | 2.30 | 17,500 |
| 0.10~0.30 | 0.2 | 0.2 | 18 | 140,000 | 3.60 | 28,000 |
| 0.30~1.0 | 0.7 | 0.65 | 13 | 115,000 | 9.10 | 80,500 |
| 1.0~3.0 | 2 | 2 | 8 | 76,000 | 16.00 | 152,000 |
| 3.0~5.0 | 2 | 4 | 5 | 53,000 | 10.00 | 106,000 |
| 5.0~7.0 | 2 | 6 | 3.5 | 38,000 | 7.00 | 76,000 |
| 7.0~10 | 3 | 8.5 | 2.5 | 28,000 | 7.50 | 84,000 |
| 10~15 | 5 | 12.5 | 1.7 | 19,000 | 8.50 | 95,000 |
| 15~20 | 5 | 17.5 | 0.85 | 8,800 | 4.25 | 44,000 |
| 20~30 | 10 | 25 | 0.25 | | 2.50 | |
| 30~40 | 10 | 35 | | | | |
| 40~60 | 20 | 50 | | | | |
| 60~70 | 10 | 65 | | | | |
| 70~80 | 10 | 75 | | | | |
| 80~90 | 10 | 85 | | | | |
| 90~100 | 10 | 95 | | | | |
| 合 計 | | | | | 68.58 | 685,268 |

總排水量 = 68.58% × 86400 × 90 = 5,332,000m³

總排沙量 = 685,268 × 1/400 × 90 = 616,700m³

平均含沙量 = 11.57%

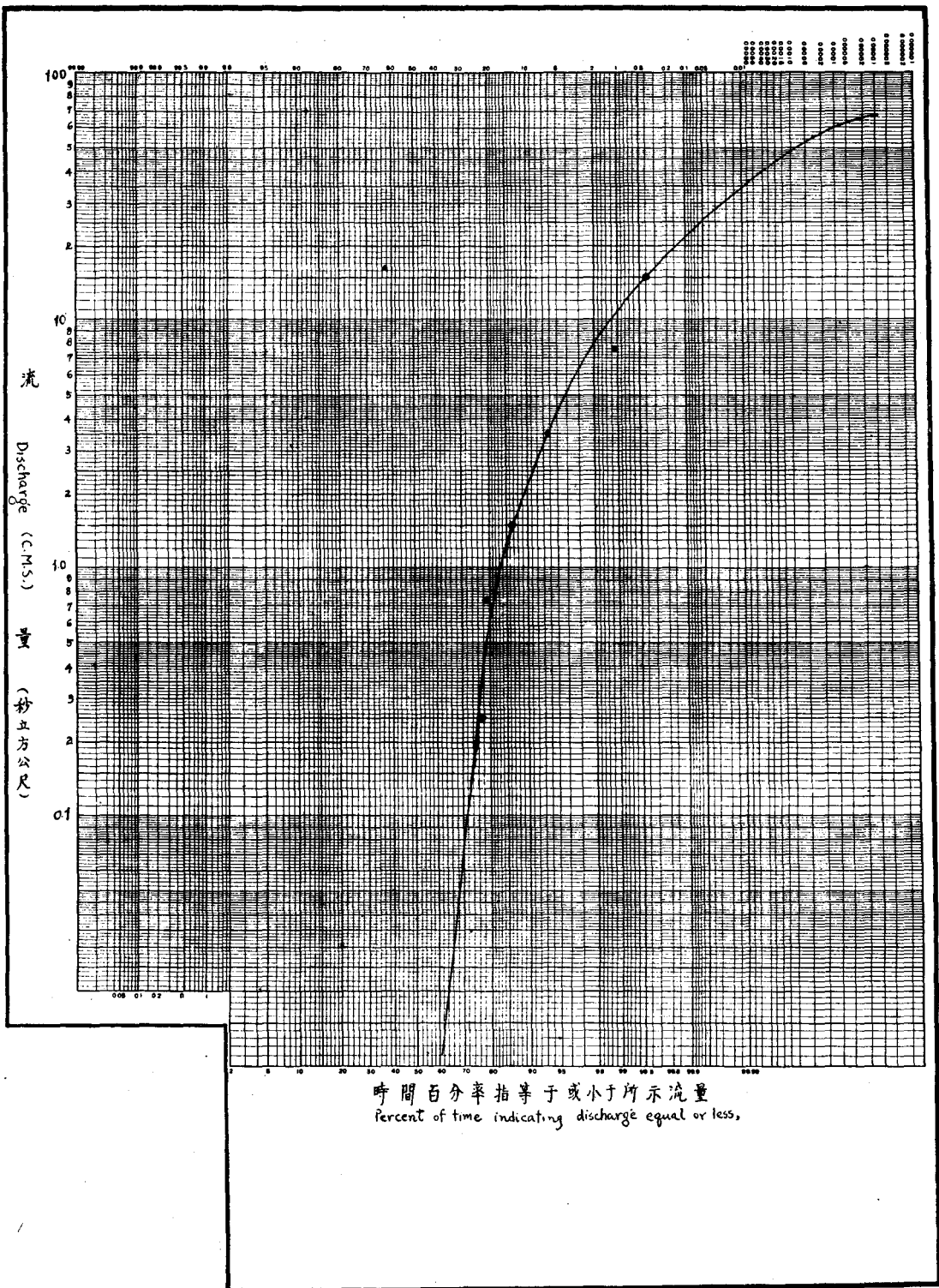


圖 5. 尖山埤水庫歷年四月至七月流量歷時曲線 (Flow Duration Curve at Chienshan Pei Reservoir.)

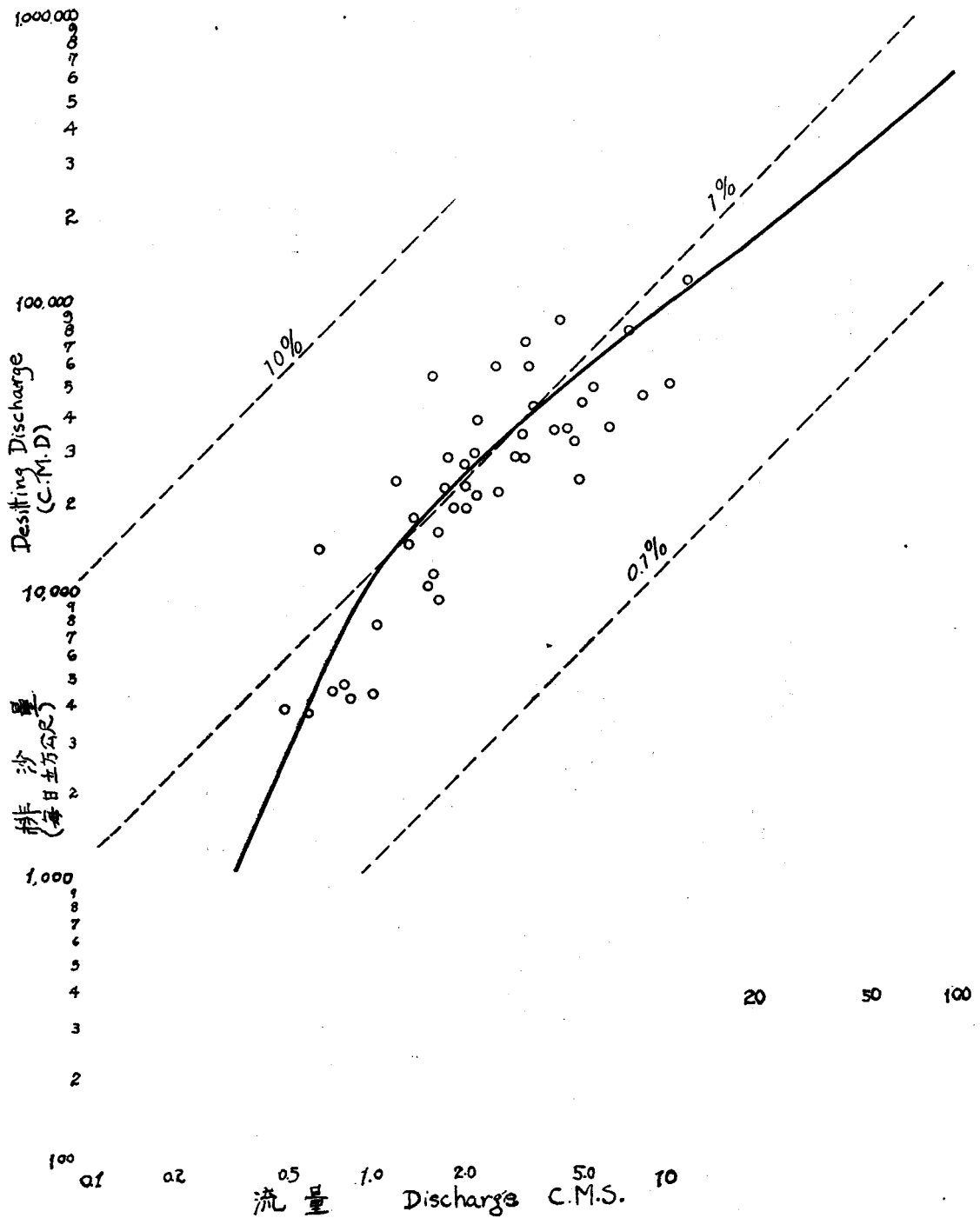


圖 6, 尖山埤水庫排沙量率定曲線 (Rating Curve of Desilting Load for Chienshan Pei Reservoir.)

限制，空餘時間僅為每年之4月下旬至7月中旬三個月，而該期內水文資料之分析實為分析泥沙問題之先決條件。尖山埤水庫已往無水文記錄，故來水流量及含沙量並無實測記錄，幸該水庫有民國25年至民國48年(1936~1959)間連續24年雨量紀錄及民國45年至49年(1956~1960)年排沙期間流量及排沙量實測資料可資應用。茲將1956~1960年排沙期流量加以分析，並補充以民國25年至48年雨量記錄，得排沙期三個月內之流量歷時曲線如附圖(5)。其排沙期之日平均流量為0.685 cms，亦即該期內可供排沙之日平均流量為0.685 cms，總水量為5,332,000m³。(參考附表5)。

茲以已往尖山埤水庫排沙實驗資料分析，可得該水庫各種流量下可排出沙量之關係，其關係以附圖(6)，尖山埤水庫排沙量率定曲線示之。

就排沙量率定曲線(附圖5)及流量歷時曲線(附圖6)可得該水庫每年在計劃排沙期可能排出之沙量如附表(5)所列。依表可得每年可能利用於排沙之水量為5,332,000m³，可能排出沙量為616,700 m³，含沙量容積百分比可高達11.57%。

尖山埤水庫上游輸沙來源因上游無適當水文站站址，缺乏含沙量實測資料，乃由水庫淤積量反推之。

水庫淤積量係上游沉滓輸沙量囤積於庫底者，

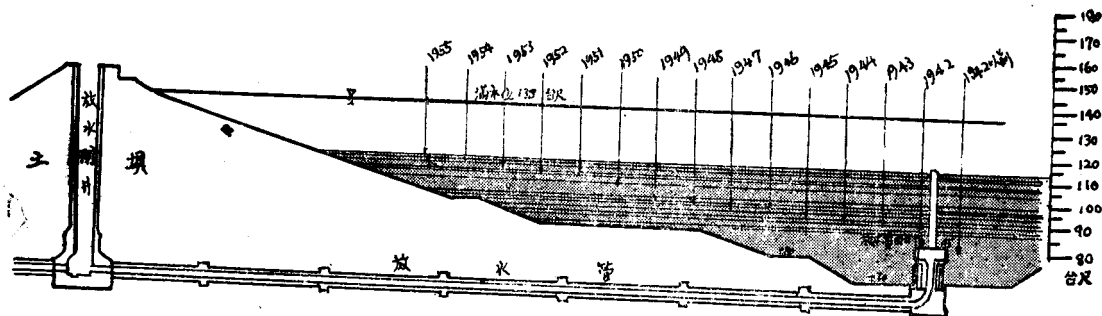


圖7. 尖山埤蓄水庫土壩前歷年淤積泥沙圖 (Siltling of the Chien-shan Pei Reservoir during the Past 19 years.)

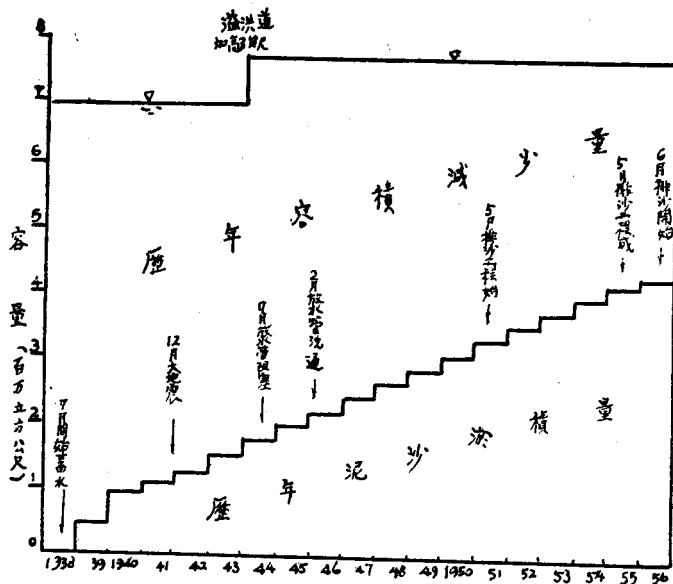


圖8. 尖山埤蓄水庫歷年泥沙淤積量累增及蓄水容量漸變圖 (The volume of Silt increasing and that of water Storage decreasing of the Chien-shan Pei Reservoir.)

即上游入庫沉滓量並非全部淤積於水庫中，而一部份循溢洪道、排水門、排沙道等設施而排出於原來河床中，此項關係可用囚沙率 (Trap Efficiency) 示之。關於囚沙率之研究以往均以水庫容量與流域面積之比，水庫容量與平均逕流量之比，及滯流時間之長短為指數比較之；其中以 1953 年 Gunner M. Brune 氏檢討聯邦流域管理委員會 (Federal

Inter-Agency River Basin Committee) 諸水庫囚沙情形而繪製之以水庫容量與逕流量比值為指數之囚沙率曲線最合乎臺灣水庫之囚沙情形。茲根據尖山埤水庫以往雨量資料分析，得各期水庫容量與逕流量之比值及囚沙率各如附表 (6) 所示。水庫各期容量變化即示之如附圖 (7) 及 (8)。

按入庫輸沙量之反算除上述囚沙率之改正外，

附表(6) 尖山埤水庫歷年輸沙量計算表

| 年 代 (民國) | 年淤積量 (m ³) | 水庫容量 (m ³) | 容量逕流量比值 | 囚 沙 率 | 長期氣候循環改正值 | 輸 沙 量 (m ³) | 備 註 | |
|------------------|------------------------|------------------------|---------|-------|-----------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 27~28(1938~1939) | 478,000 | 6,507,000 | 0.606 | 0.96 | 1.028 | 488,000 | 原水庫容量為6,985,000m ³ | |
| 28~29(1939~1940) | 492,000 | 6,015,000 | 0.563 | 0.96 | 1.150 | 445,600 | | |
| 29~30(1940~1941) | 142,000 | 5,873,000 | 0.536 | 0.96 | 0.853 | 173,400 | | |
| 30~31(1941~1942) | 142,000 | 5,731,000 | 0.535 | 0.96 | 0.905 | 163,400 | | |
| 31~32(1942~1943) | 282,000 | 5,449,000 | 0.507 | 0.96 | 0.851 | 345,600 | | |
| 32~33(1943~1944) | 224,000 | 5,940,000 | 0.555 | 0.96 | 0.716 | 325,900 | | 水庫加高容量為7,700,000m ³ |
| 33~34(1944~1945) | 239,000 | 5,701,000 | 0.535 | 0.96 | 0.932 | 267,100 | | |
| 34~35(1945~1946) | 197,000 | 5,504,000 | 0.515 | 0.96 | 1.00 | 205,100 | | |
| 35~36(1946~1947) | 204,000 | 5,300,000 | 0.495 | 0.96 | 1.00 | 212,500 | | |
| 36~37(1947~1948) | 224,000 | 5,076,000 | 0.475 | 0.95 | 1.00 | 235,800 | | |
| 37~38(1948~1949) | 239,000 | 4,837,000 | 0.451 | 0.95 | 0.72 | 264,820 | | |
| 38~39(1949~1950) | 197,000 | 4,640,000 | 0.433 | 0.94 | 0.75 | 279,400 | | |
| 39~40(1950~1951) | 239,000 | 4,401,000 | 0.412 | 0.94 | 1.04 | 244,470 | | |
| 40~41(1951~1952) | 239,000 | 4,162,000 | 0.389 | 0.93 | 0.905 | 283,970 | | |
| 41~42(1952~1953) | 212,000 | 3,950,000 | 0.369 | 0.93 | 1.03 | 221,300 | | |
| 42~43(1953~1954) | 212,000 | 3,738,000 | 0.348 | 0.93 | 0.98 | 232,600 | | |
| 43~44(1954~1955) | 182,000 | 3,556,000 | 0.332 | 0.93 | 0.59 | 331,700 | | |
| 44~45(1955~1956) | 112,000 | 3,444,000 | 0.322 | 0.93 | 0.963 | 125,060 | | |
| 平 均 | 224,000 | | | | | 331,700 | | |

※排沙期逕流係數 C=0.517。

尚需長期氣候循環之修正。該項長期懸移質輸沙量之平均值，則應用密勒 (Miller) 曲線修正之。蓋因受氣候長期乾濕循環之影響遂致水流中含沙量濃度於乾年相當於同一流量之含沙量較平均為大，濕年反是。因輸沙量紀錄僅限於短期，自難代表長期平均值。密勒氏曾研究美國河川流量與輸沙量之關係，並求得乾濕年份含沙量改正曲線，用之於臺灣河流，經大甲溪，濁水溪等處資料檢核結果，其改正曲線可以用下列數式表示之：

$$\frac{Q_{s,m}}{Q_s} = \frac{Q_o/Q_{o,m} - 0.26}{0.52Q_o/Q_{o,m} + 0.289}$$

式中 $Q_{s,m}$ 為歷年平均懸移輸沙量。

Q_s 為單年懸移輸沙量。

$Q_{o,m}$ 為歷年平均流量。

Q_o 為單年流量。

尖山埤水庫淤積量資料自民國27年起至45年止，凡18年，其間有乾年及濕年，其改正值分別於附表(6)中，其平均改正結果較淤積量多約5成。

尖山埤水庫上游輸沙量，經利用上述囚沙率及乾濕年氣候循環改正後得平均每年上游入庫輸沙量為331,700m³，較年平均淤積量224,000m³多48%。

尖山埤水庫每年平均輸沙量為331,700立方公尺。每年空庫冲刷可能排出泥沙量為616,700立方公尺。其冲刷排出之泥沙量大於每年水庫上游入庫

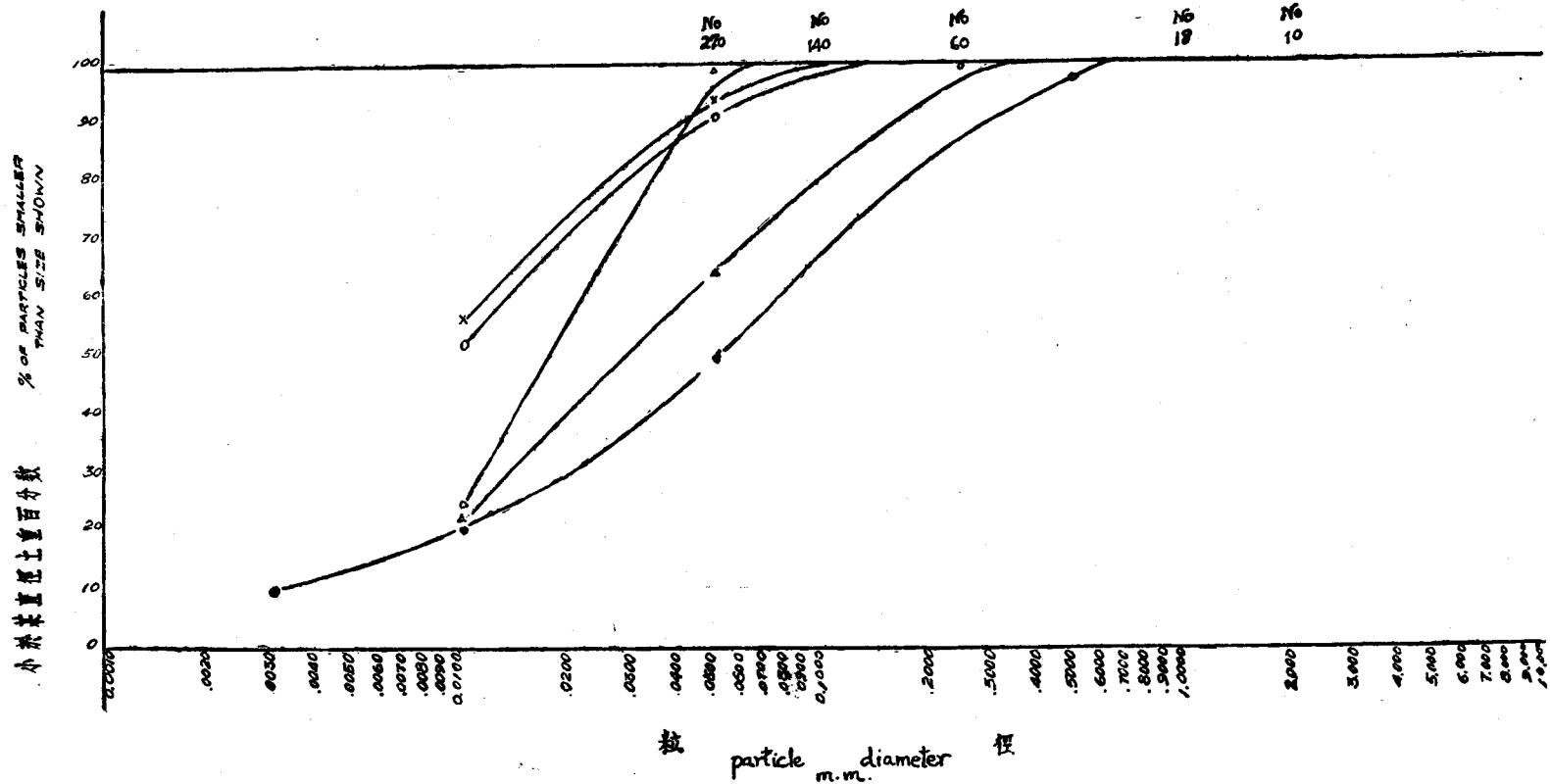


圖 9. 尖山埤水庫懸移質組成圖 (Cumulative Grading Curves of Suspended Load in Chienshan Pei Reservoir.)

輸沙量，即排沙隧道奏效後水庫蓄水容量勢將有漸增加之可能，而水庫壽命亦可延長矣。

(VI) 空庫沖刷排沙效率之檢討

空庫排沙法，經尖山埤 1:50 模型及現場實驗證明，如控制得當，對於細砂物質之排除具有相當效果，尤以懸移質淤積物之排除為然。

尖山埤水庫上游地層均屬鬆軟之泥質頁岩，岩層傾斜大致成水平，河道彎曲特殊，水流沖刷力強大，上游挾帶泥沙多係懸移質，其組成經用連續沉降法以篩析，得庫內及排除庫外之懸移質組成如附圖(9)。排出部份之懸移質 d_{50} 為 0.05mm，有效徑為 0.0033 mm，真比重為 2.40，假比重為 1.54，由此可知空庫沖刷之於懸移質排沙效果殆無疑義，惟對於推移質之效果即有待來日進一步之實驗，以證實對於大粒徑之效果。

尖山埤水庫既設排沙隧道係採用 1.5 公尺管徑者，至今五次實地觀測及 1:50 模型實驗可得一結論：“無論空庫或控制逕流沖刷，同一情形下，排沙隧道管徑大者含沙量亦多，在可能範圍內，宜加大管徑”。惟此管徑大小除受工程技術與工程安全經濟等條件所影響外，似亦受水流挾帶泥沙能量及可能發生頻率之影響。由實地排沙結果知，初期排沙量之高低視流量之增減而消長，惟流量達某一限度後輸沙量雖仍增，惟含沙量反而減少，因水庫排沙隧道及其附屬工程之容量或不够或受阻，水庫難免有時受阻，進水流量及沖刷沙量雖增大而排出水量之含沙量不一定增大，而反會大量減小，此種現象由圖(6)可看出當流量大於 5 cms 以上者含沙量反而變小。

按現場實驗結果分析，每年可排出沙量為 616,700m³，入庫輸沙量為 331,700m³，即排沙隧道之排沙效率除原入庫輸沙量可籍排沙期一次排出外，尚可排除庫內淤積物 285,000m³，超出水庫每年淤積量約二成，此如果每次排沙得當，每隔二年利用空庫沖刷排沙一次即可維持原有蓄水容量矣。而事實上已往五次實測結果平均每年之排沙量可達 388,388m³，最高已達 589,127m³，已接近可能值，如控制得當水庫排沙效率更可望提高也。

又按模型實驗結果，假如排沙隧道改用 2 公尺管徑時，排沙效率可達最高峰，其排沙效率可增成 50%，今如據現場分析，即利用 2 公尺徑時排沙量

可望增加至每年 927,000m³，而除可排原入庫輸沙量 331,700m³ 外，尚可排除 595,300m³，每隔三年沖刷一次，即可保持百年不淤水庫矣。

結 論

吾人因鑒於農工發展及人口壓力對於水資源之依賴日益加深，而各地水利建設均已久具史蹟，工程費小之水資源業經開發殆盡，吾人如仍墨守成規，不求新的發展，試圖覓新問題之所在，以謀問題之解決，勢將前功盡棄。

水源之供需調節首推舉辦水庫工程，遠東各地以往水利設施中，所建水庫雖多，惟多偏於單目標工程。近來水資源多目標運用，已從事多元性水庫之開發，然水庫泥沙問題仍為今日水資源開發及既設水庫之癥結，尤以既設灌溉水庫之患此禍者，不勝枚舉，如不設法與予排除或改善勢將瀕廢。夫糧食為民生第一必需品，當吾人將可能藉水資源開發而緩和糧食不濟之用法用盡，而泥沙問題尚未解決時，供需情形勢將發生突變而逆轉，對於人類社會影響之嚴重性自不待言。然以往既設水庫泥沙排除之實例不多，尤以中國更以尖山埤水庫為首次嘗試。排沙隧道空庫排沙法為排淤設施之一，其效果業經尖山埤水庫實測證實，而排沙量之多寡固需視可供排沙水量及排沙期間之長短及消長而定，此雖有待今後各水庫分別繼續探討，但此可藉流域開發及水庫效能之增加而提高，使上下游水庫運用配合完善，隨時調整需求排定沖刷時間，以延長水庫壽命與效用。

吾人雖無把握保持水庫原有蓄水容量於無窮，然庫內淤沙特性之利用，其效能亦非淺鮮；按 Arrowrock Reservoir 之控制低水位流量，調節水門沖刷淤積物結果曾排出輸沙量之 39%。Lake Issaqueena 利用 Density flow 之部份控制排出，亦達排除輸沙量 174% 之效果，尖山埤水庫既利用洪水沖刷，其效果之能達 185% 自非奢望。況其他 Zuni Reservoir, Alicante Reservoir 亦得甚大之效率，足見空庫沖刷排沙之經濟性業已在望，加以庫內淤沙特性之利用，高濃度水庫之可興建，不僅為遠東各流域高度開發所必需，且可能根本改善各流域水資源統一規劃之方針，而影響今後灌溉政策，故水庫泥沙問題之研究及排沙可能性之及時探討，誠為今後水資源開發及灌溉水庫興辦之先決問題也。

參 考 文 獻

1. Victor A. Koelzer, Joe M. Lara.
"Deposited Sediment Rates".
Proc. of A. S. C. E. Vol. 84, No. Hy. 2 April 1958.
2. Charlie M. Moore, Walter J. Wood and Graham W. Renfro.
"Trap Efficiency of Reservoirs. Debris Basins, and Debris dams".
Proc. of. A. S. C. E. Vol. 86. No. Hy. 2 April 1960.
3. Taipeh Hydraulic Laboratory.
Research Bulletin Series A. No. 1.
"Model Study on Sluice Tunnel of Chienshan Pei Reservoir" July 1952.
4. C. King.
"First Report on the Desilting Experiments of the Chienshan Pei Reservoir."
May. 1957.
5. Gunner M. Brune.
"Trap Efficiency of Reservoirs."
Trans. A. G. U. Vol. 34. No. 3 June 1953.
6. A. M. Ning Chien.
"The Present Status of Research on Sediment Transport"
Proc. A. S. C. E. Vol. 80 No. 565 (1954).
7. R. K. Linsley. M. A. Kohlre and J. L. Pauhlius.
"Applied Hydrology". 1949.
8. E. J. Carlson and C. R. Miller.
"Research needs in Sediment Hydraulics."
Jour. H. D. Proc. A. S. C. E. Vol. 82. No. Hy-2. 1956.

建 國 營 造 廠

經 理 陳 金 灶

地 址：新 竹 市 光 復 路 736 號

電 話：七 六 五 號

中 榮 營 造 廠

經 理 王 忠

地 址：臺 中 市 臺 中 路 2 巷 3 號