

甘肅夏惠渠陡坡模型試驗報告書

中央水利實驗處

民國三十二年一月編

甘肅夏惠渠陡坡模型試驗報告書

目 錄

一	緣起
二	試驗之資料
三	試驗之目的
四	模型之設計與製造
甲	比測率之決定
乙	模型之製造
丙	試驗之設備
五	試驗之經過及其結果
甲	束水口之試驗
乙	欄水堰之試驗
丙	陡坡粗糙率之試驗
丁	靜水池之水躍試驗
戊	水躍之分析
(五)	水流情形之試驗
己	靜水池下游河床冲刷試驗
六	模型與試驗之準確度
七	試驗結果之引伸
八	結論

附圖目錄

$\frac{M27a}{1}$	甘肅夏惠渠灌溉區平面圖
$\frac{M27a}{2}$	甘肅夏惠渠原設計陡坡圖
$\frac{M27a}{3}$	甘肅夏惠渠陡坡模型試驗設備圖
$\frac{M27a}{4}$	甘肅夏惠渠陡坡東水口上游土渠水深與流量關係曲線圖 (東水口底寬為 0.4 公尺)
$\frac{M27a}{5}$	全上 (東水口底寬為 0.6 公尺)
$\frac{M27a}{6}$	全上 (東水口底寬為 0.7 公尺)
$\frac{M27a}{7}$	甘肅夏惠渠陡坡東水口底寬與土渠水深關係曲線圖
$\frac{M27a}{8}$	甘肅夏惠渠陡坡橋水堰上游土渠水深與流量關係曲線圖
$\frac{M27a}{9}$	矩形水槽之水躍高度公式
$\frac{M27a}{10}$	矩形水槽之水躍長度公式
$\frac{M27a}{11}$	甘肅夏惠渠陡坡底部水躍位置圖 (無靜水池設備)
$\frac{M27a}{12}$	甘肅夏惠渠陡坡靜水池之水躍位置圖 (靜水池之深度為 0.11 公尺)
$\frac{M27a}{13}$	全上 (靜水池之深度為 0.15 公尺)
$\frac{M27a}{14}$	全上 (靜水池之深度為 0.22 公尺)
$\frac{M27a}{15}$	全上 (靜水池內裝置消力檻)
$\frac{M27a}{16}$	模型砂礫組合曲線圖
$\frac{M27a}{17}$	甘肅夏惠渠新型陡坡圖

甘肅夏惠渠陡坡模型試驗報告

一、緣起

民國三十一年五月中央水利實驗處受甘肅水利林牧公司之委託，在鑿溪水工試驗室舉行甘肅夏惠渠陡坡模型試驗。六月開始設計並製造模型，七月舉行試驗，歷時三月，至十月底完成。

夏惠渠在甘肅永靖縣境，於縣城正南十六公里之白家墩，引大夏河水，以灌溉該河東西兩岸之田地。其在東岸者曰喇嘛川，面積為四萬八千畝；在西岸者曰周家川，面積約六千畝；總計灌溉區之面積約為五萬四千畝。灌溉區需水量為每秒3.7立方公尺。總幹渠自白家墩引水口起，長二公里又八十公尺，至洩壩橋分為東西幹渠。東幹渠計長十四公里又二百公尺；西幹渠長七公里又八百公尺。（參閱圖 M.27a）

東幹渠行經喇嘛川地帶，地形較陡，全線經用土渠，峇特之最大坡度仍不能適應環境，乃擇相當地點建築陡坡三座，渠尾建有三通水坡一座，其性質亦與坡相同；西幹渠亦有三通水坡一座。陡坡係用石料建造，洋灰漿砌，藉臻堅固。（其詳細佈置情形參閱圖 M.27a）

二、試驗之資料

本試驗採用之資料，係根據甘肅水利於牧公司寄送本處之復惠渠工程計劃書。茲將重要各點列舉如次：

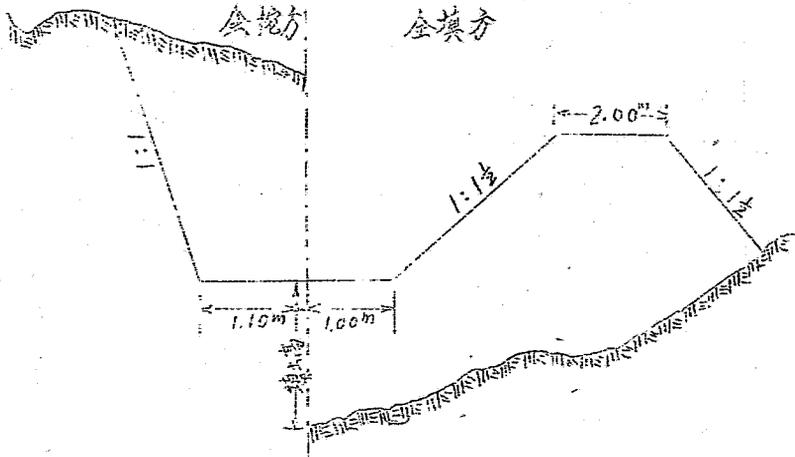
(甲) 陡坡及退水坡之位置與跌差

渠 別	橋 號	跌 差 (公尺)	水平長度 (公尺)
東 幹 渠	15+525	12.0	80.0 (挖方)
	16+050	9.0	60.0 (挖方)
	16+150	9.0	60.0 (挖方)
	16+250	12.0	80.0 (退水坡)
西 幹 渠	7+770	12.0	80.0 (退水坡)

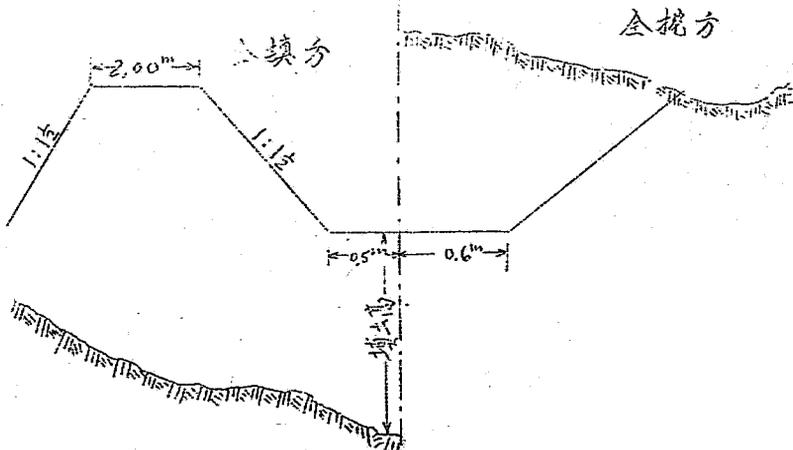
(乙) 總幹渠之流量為3.7秒立方公尺，分為東西兩幹渠。東幹渠佔3.2秒立方公尺，西幹渠佔0.5秒立方公尺。而東幹渠又因地形及水量分配之關係，分為三段。自澳壺橋起九公里零七十五公尺為第一段，其流量為3.2秒立方公尺，至十三公里三百二十五公尺為第二段，其流量為2.3秒立方公尺，以下至渠尾第三段，流量為1.5秒立方公尺。東幹渠，所有陡坡及退水坡均位於第三段內，故其最大流量為1.5秒立方公尺。西幹渠之退水坡，其流量與幹渠同，為0.5秒立方公尺。

渠道之比降為 $1/2500$ ，其橫斷面為梯形，內坡為 $1:1$ ，
外坡為 $1:1.50$ 其標準斷面如次：

東幹渠第三段渠道之標準橫斷面圖



西幹渠之標準橫斷面圖



(丁) 陡坡及堰水坡之橫斷面均為梯形，在東幹渠者，其底寬為 0.8 公尺，在西幹渠者，為 0.6 公尺；其內坡均為 1:1.5，比降為 $\frac{15}{1000}$ 。

三、試驗之目的

本試驗需探討之問題計有下列數項：

- (甲) 陡坡上游採用束水口時，其適宜形式之研究。
- (乙) 陡坡上游採用攔水堰時，其堰頂高度之研究。
- (丙) 陡坡粗糙率之測定。
- (丁) 陡坡下游靜水池之佈置。
- (戊) 陡坡靜水池下游土渠冲刷情形之測定。

四、模型之設計與製造

設計陡坡模型時，必需先研討陡坡之水流情形。根據水力學原理推測陡坡之水流自頂點下注後，在極短距離以內，即可達均衡狀態。(State of uniform flow)。在均衡水流段內，流速與水深均為某固定值。故設計模型時，可縮短陡坡之長度使至發生均衡水流時為止，以節省空間及材料。茲東幹渠之各號陡坡，其流量比降及渠道之橫斷面等項，均屬相同，其跌差雖不一致，然均可達同一水深之均衡水流，故陡坡底腳之流速及動量力

momentum force 之值，不問其跌差如何，均應一致。是則東幹渠之各號陡坡及退水坡可併為同一問題；而西幹渠之退水坡因其流量及渠身之橫斷面不同，為另一問題。又前者之流量較大，其動量力及冲刷力亦屬較巨，故擇東幹渠之陡坡，舉行試驗。

夏惠渠原設計之陡坡其詳細佈置情形如圖 M27a；但陡坡工將東水段似嫌過長，其東水口，亦嫌過寬，爰根據第二節之資料，重新設計；茲將新計劃之原則，分述如次：

(子) 陡坡上游設東水口，其橫斷面為梯形，底寬及斜坡均與流量及上游水深成一定之關係。

(丑) 陡坡底腳設靜水池，其橫斷面為矩形，以避免發生水躍時，同時形成直軸之迴溜，而刷深下游之渠道。

(寅) 東水口及靜水池各與土渠陡坡之間，設漸變段 (Transition Section)

陡坡之詳細佈置情形可參閱圖 M27a (圖中數字加括弧者係示新設計陡坡之尺寸) 模型陡坡係依據新計劃設計之。

(卯) 比例率之決定

陡坡之水流，自頂下注後，在極短距離以內，即可發生均衡水流，已如前述。估計夏惠渠陡坡之水流約在水平距離六公尺左右，即達均衡狀態。為安全計，爰取水平長度二十五公尺，以代替原長度六十或八十公尺，

已屬尺餘。模型之範圍，除包括陡坡之長度外，尚需包括有來水口上游約十公尺及靜水池下游約二十公尺，以便觀察上游水位與流量之關係，並研究下游渠道之冲刷情形。因試驗室面積之限制，決此模型之長度比對率為 1:10。模型之詳細佈置情形可參閱圖 $\frac{M27a}{3}$ (圖中未加括弧之數字係註明模型之尺寸)。

(乙) 模型之製造

本試驗之模型幾全部採用木板製成，僅在漸面改變部分，設有漸變段者，則用洋灰漿澆成。模型安置於磚牆上，用洋灰漿固結，勿使移動。

(丙) 試驗之設備

模型之吸水設備係引用盤溪天然水源導入高壓水池經輸水管，而入量水堰。堰為三角式，用銅板製成。堰之上游設置測針，藉測上游水頭，而決定其流量。

水流注入量水槽後，經過篩水柵，流入模型。模型末端設活動尾門，以調節下游水位。由模型流出之水，經活動尾門，洩入排水渠。模型上下游各裝測針一支，以測定水位之高度。(參閱圖 $\frac{M27a}{3}$)

五、試驗之經過及其結果

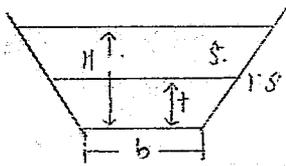
(甲) 來水口之試驗

土渠之水流至陡坡而速度驟增，其水深亦因而低降

。遂致影響上游之水深，使成水面漸降曲線，而此曲線之長度，據計算結果，當最大流量時可達五百公尺左右。
。水面之降低，不獨影響支渠之引水，且水深變淺，流速增加亦足以冲刷土渠，是以需有束水口之試驗。

束水口之形狀直接關係上游水深，束水口過小則抬高上游水位過甚；束水口過寬則收效不大。其最適宜之形式雖可用理論公式推求之。然理論與實際之間，能否相同，需加以試驗。

本試驗舉行之，曾作理論之計算，設束水口之形式如下圖：



令 $Q =$ 流量

$H =$ 土渠水流之比能高度

$t =$ 束水口之水深

$b =$ 束水口之底寬

$A =$ 束水口之面積

$V =$

$V =$ 束水口之流速

$1:S =$ 束水口之邊坡

$$A = bt + st^2$$

$$V = \sqrt{2g(H-t)}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dA}{dt}V + \frac{dV}{dt}A$$

求最大流量 Q 之條件為 $\frac{dQ}{dt} = 0$

則有

$$t = \frac{-36 + 45H \pm \sqrt{(36 - 45H)^2 + 4.065H}}{1.05} = \frac{45H - 36 + \sqrt{(45H - 36)^2 - 85Hb}}{1.05}$$

以 t 之值代入下式

$$Q = AV = (bt + st^2) \sqrt{2g(H-t)}$$

土渠中之行進流速 (Velocity of Approach) 通常均極緩慢，其流速頭 (Velocity Head) 可以畧而不計。是即土渠水流之比能高度 H 等於土渠之水深。

普通設計時，土渠之流量 Q ，及其正常水深 H ，均為已知值；設採束水口之边坡 S 為某值，以此數代入上式，即可求得束水口之底寬應為若干。依同理，如束水口之底寬為定值，亦可求其边坡，茲為便於與模型試驗結果相互比較起見，茲將計算步驟畧予變通，先令束水口之底寬 b 及边坡 S 為定值，然後計算土渠水深 H 與流量 Q 之關係繪為曲線（參閱圖 $\frac{M27a}{4}$ 及 $\frac{M27a}{5}$ ）。採行束水口試驗時，亦採用各種不同之底寬與边坡，求其流量與深之關係以資印證。

束水口之形狀，曾先後作三組試驗，均變換各種不同之边坡：(一)束水口之底寬為四公分（合原型 0.4 公尺）(二)底寬為六公分（合原型 0.6 公尺）及 (三)底寬為七公分（合原型 0.7 公尺）。

試驗之結果，採用束水口後，水面之漸降曲線有顯著之縮短，其長度至多為 50 公分，（合原型 5 公尺）。

且在同一流量時，其上游水位高度之計算值與試驗值極為接近，而實際之水位高度恒較計算者為高。(參閱圖 $M27a$ $\frac{M27a}{4}$ $\frac{M27a}{5}$ 及 $\frac{M27a}{6}$) 推源其理，當係實際水流中具有能力之消耗，而理論之推算，則未能計入之故。

就底寬相同之東水口言之，在同一流量時，其边坡陡者上游之水位較高；坦者其水位較低；若就相同之边坡言之，東水口之底寬大者，其上游水位較低，底寬小者則反是。

當陡坡之最大流量為 1.5 秒公方時，土渠之水深為 0.89 公尺，其東水口之適宜形式究以何者為宜。可就圖 $\frac{M27a}{7}$ 之東水口底寬與土渠水深關係曲線求得之。當边坡為 $1: \frac{1}{4}$ 時，底寬應為 0.78 公尺，边坡為 $1: \frac{1}{3}$ 時，底寬應為 0.89 公尺，边坡為 $1: \frac{1}{2}$ 時底寬應為 0.73 公尺，方為適宜。但東幹渠之陡坡，其底寬均僅 0.8 公尺。為避免東水口之形式過於放寬計，當以底寬 0.73 公尺，边坡 $1: \frac{1}{2}$ 之東水口為最適宜。

由模型試驗結果。得知在同一流量時，其上游水位之實測值與計算值極為接近，而前者恒畧大於後者，故設計時，可標理方面權求，仍在安全度以內也。

(乙) 攔水堰之試驗

土渠正常水深之保持，亦可採用攔堰方法。因堰頂上游之漸降曲線，亦屬甚為短促。實則攔水堰與東水口係屬同一性質，蓋一則為無直面之收束，一則為

水平面之收束故也。

模型攔水堰係用木製，其上游之坡度定為二比一，下游坡度為一比二。

攔水堰之洩水量及上游水位之關係，亦可用理論方法推測之。其計算之步驟與前節所述殆無二致，茲不贅述。

攔水堰堰頂之高度直接影響上游之水深，試驗時，曾採取三種不同之堰高，予以測定，最小之堰高為3公分，(合原型0.3公尺)，次為4公分，(合原型0.4公尺)，最高為5公分，(合原型0.5公尺)。圖 $M\frac{27a}{8}$ 係示模型試驗之結果。圖中實線為實測值，虛線為計算值。而實際之水位均較計算者為高，其情形與束水口亦復相似。

當陡坡之最大流量為1.5秒立方公尺時，土渠之水深為0.89公尺。攔水堰頂為適宜之高度，可按下法推測之。在代表流量之橫軸上，1.5秒立方公尺處，繪一豎線與諸曲線相交，求諸堰高與土渠水深之關係。當土渠正常水深為0.89公尺時，其堰頂適宜之高度按比例求得應為0.45公尺。

(丙) 陡坡粗糙率之試驗

明渠之水流，其速率之大小及水深之厚薄，與渠身之粗糙率有密切之關係，設渠身之比降及流量為某固定值，則水深與粗糙率適成正比。即糙率大者，水

深較厚，小者水深較淺。陡坡為明渠之一種，其水流之情形應符合明渠流體力學之一般法則。

陡坡水流之緩速，其水層之厚薄，直接影響下游水躍之高度及其位置，故模型陡坡粗糙率之測定，至為重要。

模型陡坡係用木板釘製其表面平直，頗為光滑，經放水試驗，測得其粗糙率為0.010（相當於原型糙率 $0.010 \times 10^2 = 0.016$ ）比之實際砌石情形，當嫌太小，後乃加白石子用洋灰漿貼於木板上，以增加粗糙度。白石子之平均直徑約為一公厘。複測結果，其粗糙率為0.0145（相當於原型糙率 $0.0145 \times 10^2 = 0.023$ ）查該項糙率約等於粗光石塊與實際砌石情形，堪稱符合。

陡坡之水流約在離束水口100公分（合原型10公尺）處即達均衡水流之狀態；當最大流量為1.5秒立方公尺時，陡坡之最大流速約為每秒4.7公尺。建築陡坡採用之石料必使能支持在此種流速下，水流之拖刷力與本身重量沿坡降向下之分力之和方可。據估算結果，陡坡之砌石，其直徑約在5公寸以下，且未加洋灰漿砌者，均不足以抵抗水流之拖刷力（Tractive force）。但實際施工時，5公寸以上之石塊或不易採得，可用4公寸見方之塊石，以洋灰沙漿灌實，使相互團結，當不致走動。

陡坡之下部逐漸放寬，應符合水片鋪張之原則，方免主流集中，形成厚薄不均之水深，致發生水躍時，同時產生迴溜，沖刷渠槽，試驗結果求得水面放寬段之最短距離以40公分(合原型4公尺)為適宜。

(1) 靜水池之水躍試驗

由陡坡下注之水流，為高速之射流，(Shooting flow)而出渠之水流則屬寧靜之緩流，(Streaming flow)由射流變為緩流使之發生水躍，實為消滅動能之良好方法。但水躍之形成及其位置，係隨流量及水位而變異，如不設法控制，則仍足以侵蝕下游之渠道，是以陡坡底部需有靜水池之設備。

靜水池之橫斷面係採用矩形，以避免發生水躍時形成直軸之迴溜，而刷深土渠。因在梯形槽中水躍後之水面高於水躍前之水面，而水躍後之水流在斜坡上驟然放寬，同時缺乏任何沖擊力以保其平衡，遂向上游下注而成迴溜，梯形槽中之水流，則無此現象。

靜水池之設計，則需視水躍之高度及長度而定，故研究靜水池之佈置，必先分析水躍之現象及水流之情形，茲分論如次：

(2) 水躍之分析

矩形水槽中之水躍，以往各家研究者，頗不乏人。如 Gibson, Bakhinetteff & Safranez 諸氏皆其著者也。經將以往各家試驗水躍之紀錄，詳細分析，

歸納得下列結果：

令

d_1 = 躍前水深

d_2 = 躍後水深

V_1 = 躍前流速

V_2 = 躍後流速

l = 水躍之長度

g = 地心引力加速度

$H = d_2 - d_1$ = 水躍之高度

$\frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}$ = Froude 係數

根據 Gibson, Bakhinetteff, Safranez 諸氏及 Stockholm 水工試驗室，試驗水躍之結果，求得平底暴行水槽中，水躍高度之公式為

$$\frac{d_1}{d_2} - 1 = 1.37 \left(\frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} - 1 \right)$$

或者為 $H = d_1 - d_2 = 1.37 d_1 \left(\frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} - 1 \right) \dots (1) \left[\frac{M^2 T^2}{g} \right]$

又據 Bakhinetteff 氏在 Columbia University 所作水躍長度之試驗，求得其長度之公式為

$$l = 10.44 d_1 \left(\frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} - 1 \right)^{0.78} \dots (2) \left[\frac{M^2 T^2}{g} \right]$$

上列二式之單位，無論採英制或公制均可適用。水躍之高度及長度既經決定，則靜水池之適宜尺寸，即可求得。茲將夏惠渠陡坡底腳靜水池之設計，詳述如次：

當陡坡之最大流量為 1.5 秒立方公尺時，模型試驗結果求得陡坡底腳之水深（即躍前水深，其深度亦可

用不均衡水流方法計算得之) 為 0.10 公尺。

其流速應為 $\frac{1.5}{2.2 \times 0.10} = 6.82$ 秒公尺

$$\text{則 } \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} = \frac{6.82}{\sqrt{9.80 \times 10}} = 6.9$$

代入(1)式得

$$\text{躍後之水深 } d_2 = 1.37 d_1 \left(\frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} - 1 \right) + d_1$$

$$d_2 = 1.37 \times 0.1 (6.9 - 1) + 0.1$$

$$= 0.91 \text{ 公尺}$$

當流量為 1.5 秒立方公尺時，土渠之正常水深，應為 0.89 公尺，為安全起見，將水深降低百分之十五計算。其深度為 0.76 公尺。

故靜水池之深度應為 $0.91 - 0.76 = 0.15$ 公尺

又水躍之長度按(2)式計算得

$$L = 10.44 d$$

$$= 10.44 \times 0.1 (6.9 - 1)^{0.78} = 4.17 \text{ 公尺}$$

故靜水池之長度應為 4.17 公尺

(二) 水流情形之試驗

靜水池之底部既低於下游土渠之底部，究竟池內之水躍情形與平底矩形槽中之水躍，是否相同，需加以試驗。

進行試驗時，曾採用數種不同深度之靜水池，其長度均約甚相等，以觀察其水流之情形。

故水躍之位置係隨下游水位之高度而改變。下游水位高時，其水躍之位置較為接近上游，水位低時

則移向下游。而土渠內，正常水位之高度，主要受渠
渠身粗糙率之影響。渠身之粗糙率，則視土質之粗細
而定，估計土渠之粗糙率約在 0.025 左右，渠內之正
常水深均係按糙率 $N=0.025$ 計算。試驗時除研究正
常水位下之水流情形外，再降低下游水位約百分

二（相當於渠道粗糙率 $N=0.020$ 時之水深）及百分之
二十五（相當於渠道粗糙率 $N=0.015$ 時之水深）以研
究在最劣條件下，水流之情形。

本項試驗計分四組，第一組無靜水池之設備，第
二組設有靜水池，其深度 $P=1.1$ 公分（合原型 0.11 公尺）
其長度為 42.9 公分（合原型 4.29 公尺）第三組亦有靜水池
，其深度 $P=1.5$ 公分（合原型 0.15 公尺）其長度為 41.0 公
分（合原型 4.10 公尺），第四組靜水池之深度 $P=2.2$ 公分
，（合原型 0.22 公尺），其長度為 48.0 公分（合原型 4.8
公尺）。

第一組試驗結果，當各種流量及水位時，水躍之
位置均發生於渠道之水平部份，水深愈淺時，其位置
愈移向下游，（參閱圖 M27a）。平底槽中之水躍，當下
游水位忽有改變時，其位置之移動極大，設上游之水
源忽然增加，而下游水深仍屬低淺時，則水躍之位置
，必致下移，而刷深土渠，危險堪虞。最善之策莫若
使水躍之位置移至陡坡下部；水躍位於斜坡之上，其
位置之移動受下游水位之影響，不甚顯著。靜水池之

設置即可補救此項缺點。

第二組試驗係採用靜水池。當各種流量之正常水位時（即渠道之粗糙率 $N=0.025$ 時之水深），其水躍之位置均在斜坡之上。若將低下游水位約百分之十二（相當於渠道粗糙率 $N=0.020$ 時之水深），其水躍亦位於斜坡部份，設將下游水位再行降低約為百分之二十五（相當於渠道粗糙率 $N=0.015$ 時之水位），其水躍之位置則下移至於渠道，似仍未臻完善。（參閱圖 M27₁₂）

第三組試驗，仍將靜水池之底部降低，其深度為 1.5 公分（合原型 0.15 公尺）。察其水流之情形已大見改善，當各種流量及各種水位時，其水躍之位置均已移向斜坡部份。（參閱圖 M27₁₃）該項佈置，似頗適合，當最大流量為每秒立方公尺時，水躍之長度約為 40 公分（合原型 4 公尺）。

第四組試驗：係將靜水池之底部再行降低，以觀察其水流情形，試驗結果，各種流量及各種水位時，水躍之位置，更向斜坡上移，水流情形亦極良好。（參閱圖 M27₁₄）

綜上四項試驗，以第三、四兩組靜水池之佈置，較為適合。其中又以第三組之靜水池，深度較淺，建造費用較廉，更為切合適用。故決定採用該項佈置，其長度為 41 公分（合原型 4.1 公尺），模型試驗結果，與前節計算所得數值，頗稱符合。故靜水池之設計可

按前節之公式，計算得之。

又為防止平底槽中，水躍之位置，易於移動起見，另在靜水池內之適宜地點，裝置2公分高（合原型0.2公尺）之齒形消力檻一道，以助水躍之形成而固定其位置。試驗結果，求得水流之情形較未加消力檻者，更見改善。水躍均發生於斜坡部份，其躍前之迴溜亦位於消力檻前。水躍之長度亦較前縮短，當最大流量時，約為36公分（合原型3.6公尺）。各種流量及各種水位時之水流情形可參閱圖 $M_{27} \frac{a}{15}$ 。

(戊) 靜水池下游河床冲刷試驗

靜水池之水流情形既經測定，則需進而測驗其冲刷之情形，由靜水池下行之水流，以不冲刷下游之土渠為原則。舉行冲刷試驗以前對於模型礫之選擇，需加以研究，俾模型試驗之結果，可與原型相似。

模型礫之選擇，以臨界冲刷速度為根據，並擬定原型渠道礫之臨界冲刷速度，略高於渠道之平均流速值。當最大之流量為1.5秒立方公尺時，原型渠道之平均流速為0.55秒公尺。模型靜水池下游渠底鋪以嘉陵江之細河沙，根據篩析結果，其平均直徑為0.1公分。礫之組合情形可以參閱圖 $M_{27} \frac{a}{16}$ 。該項礫之臨界冲刷速度約為每秒20公分，是即原型之平均流速達每秒 $\sqrt{10} \times 20 = 63$ 公分，渠底即開始被冲刷。其原設計之渠道平均流速值，亦屬相近。故模型所用礫

礫其原形可以相應。

渠底之冲刷，在模型中約需50分鐘，即達平衡狀態。故舉行各組冲刷試驗俱放水50分鐘。以資比較。

試驗分為兩組，均降低其下游之水位，以觀察其冲刷之深度。

(一)當流量為1.5秒立方公尺時，其正常水深，為0.89公尺。

(甲) 降低下游水深約百分之十二，其水深為0.8公尺。

(乙) 降低下游水深約百分之二十五其水深為0.67公尺。

(二)當流量為1.0秒立方公尺時，其正常水深，為0.71公尺。

(甲) 降低下游水深約百分之十二，其深度為0.62公尺。

(乙) 降低下游水深約百分之二十五其深度為0.53公尺。

後列照片所示，即模型試驗之結果，其冲刷之最大深度為0.42公尺，是項試驗係代表在最劣情形下，當上游之水量突然增加，而下游水深仍屬低淺時，之冲刷情形，正常水位時之冲刷深度當較此為優。

查各種流量及各種下游水位時，其冲刷最深之處，均位於靜水池之出口部份，該處橫斷面較小，速度亦因較大，致遭冲刷，設於出水口處鋪砌亂石，至適當之長度，即可不被冲深。根據上列照片所示離靜水池口約20公分（合原型2公尺）處，即與冲刷深現象。故建議至靜水池末端起拋砌亂石2公尺，以抵抗水流。

之冲刷。

六 模型試驗之準確度

甲 模型之準確度

模型製造完竣以後，曾經加以測量，模型內最重要之部分，為束水口之底高。故所有各種高度及水位之計算，均以束水口之高度為根據。上游土渠渠底之高度較應有之高度低1公厘，合原型1公分。靜水池^{池底}之平均高度，較應有之高度低0.5公厘，合原型0.5公厘。矩形靜水池之寬度，較原寬度11公厘，合原型11公分，其差誤之百分數為 $\frac{11}{12} \times 100 = 1.8\%$ 。陡坡本身之坡度，經詳細測驗，並無差誤。

乙 試驗之準確度

(1) 水位之準確度

束水口之上游水位頗為平穩，但當最大流量時，略有波動，其測驗值與平均值最大誤差為0.2公厘，合原型2公厘，其正常水深，為0.89公尺，即差誤之百分率為千分之二。

靜水池下游之水位，係利用壓力孔，引水於玻璃筒內，測驗其水位，筒內水位異常平穩，每一水位測讀各點均屬一致，並無差誤。

(2) 流量之準確度

試驗量水係採用 Thompson 氏三角堰，其流量之測定，係利用一標準之矩形堰，已知其最大之誤差百分率為千分之三。即 Thompson 氏三角堰之流量誤差率亦為千分之三。

七 試驗結果之伸引

甲 水流之情形及冲刷之深度

模型之設計係以地心引力之佛諾德律 (Froude's law) 為根據，模型與原型除形体相似外，同受地心引力而流動，且水流均屬湍流 (Turbulent flow) 故二者水躍之位置，及水流之情形，均應相同。

模型渠道之砂礫選擇，以臨界冲刷速度為根據，今模型與原型之水流情形既屬相同，故二者之冲刷形狀及深度亦均相應。

乙 陡坡之粗糙率

水流動力之損失，主要受水內阻力及槽壁粗糙率之影響。推算時依照雷諾氏 (Reynold) 律，與佛諾德律不同，模型與原型之雷諾氏係數互有不同，但當二者均超過完全湍流 (Fully Developed Turbulence) 界限時，槽壁粗糙率可應用傅希海默 (Forchheimer) 公式及佛諾德律計算。

$$V_n = \frac{1}{N_n} R_n^{0.7} S_n^{0.5} \quad n = \text{原型} \quad m = \text{模型}$$

$$V_m = \frac{1}{N_m} R_m^{0.7} S_m^{0.5} \quad \lambda = \text{長度比例率}$$

$$\frac{V_n}{V_m} = \lambda^{0.5} = \frac{N_m}{N_n} \left(\frac{R_n}{R_m} \right)^{0.7} \left(\frac{S_n}{S_m} \right)^{0.5} \quad \lambda^{0.5} = \frac{N_m}{N_n} \lambda^{0.7}$$

$$N_n = N_m \cdot \lambda^{0.2}$$

今模型陡坡之粗糙率測得為 0.0145

$$N_n = 0.0145 \times 10^{0.2} = 0.023$$

查此項粗糙率約等於粗光石塊。故模型其原型糙率可謂相應。

八、結 論

夏惠渠之東幹渠各號陡坡及退水坡，其流量及坡降均屬相同，除退水坡無需靜水池外，均可採用同一設計。茲將新型陡坡之佈置（參閱圖 $\frac{H27a}{17}$ ）其重要各點列舉於次：

(甲) 陡坡上將設東水口，其橫斷面採用梯形，以底寬 0.73 公尺，斜坡 $1: \frac{1}{2}$ 為最適宜。如不用東水口，可採用攔堰方法，其適宜之高度為 0.45 公尺。

(乙) 陡坡砌石，以採用 12 公分見方之石塊，以洋灰漿灌實，使互相固結，較能抵抗水流之拖刷力。

(丙) 陡坡底腳設靜水池，以消殺水流之動能，其尺

亦以深度 0.15 公尺，長度 1.0 公尺，較為適宜。

(丁) 靜水池出口部份，需酌予鋪砌亂石，以防水流刷深土渠，鋪石之長度以自靜水池出口處起長 1.0 公尺，較為適宜。

西幹渠退水坡之佈置。根據上述模型試驗結果，建議如次：

(甲) 退水坡上游設置束水口，以維持土渠之正常水深，其適宜之形式，可按下列方法求得之。

$$\text{最大流量 } Q_{\max} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{土渠水深 } H = 0.648 \text{ m. (依 } n=0.025 \text{ 計算)}$$

$$\text{束水口坡度 } S = \frac{1}{10}$$

用試誤法求束水口之底寬 b

$$\text{令 } b = 0.328 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned} \text{代入第五(甲)節之公式 } t &= \frac{-3G + 4SH + \sqrt{(3b-4S)^2 + 4.05bH}}{10S} \\ t &= \frac{-3 \times 0.328 + 4 \times \frac{1}{10} \times 0.648 + \sqrt{(3 \times 0.328 - 2 \times 648)^2 + 4.05 \times 328 \times 648}}{10 \times \frac{1}{10}} \\ &= \frac{0.312 + \sqrt{4.349}}{5} = 0.479 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= AV = (bt + st^2) \sqrt{2g(H-t)} \\ &= (0.328 \times 0.479 + \frac{1}{2} \times 0.479^2) \sqrt{2g(0.648 - 0.479)} \\ &= 0.272 \times 1.821 = 0.496 \text{ m}^3/\text{s} \approx 0.5 \text{ K.} \end{aligned}$$

故束水口之適宜形式為底寬 0.33 公尺，边坡 $1/2$
(乙) 退水坡需用洋灰漿砌大石塊，以抵抗水流之拖刷力。