

水庫橫向沖蝕試驗之研究

Experiment Study of Lateral Erosion in a Reservoir

國立臺灣大學水工試驗所助理研究員

國立台灣大學農工學系教授

國立臺灣大學水工試驗所助理

賴進松

張斐章

楊翰宗

Jihn-Sung Lai

Fi-John Chang

Hann-Tzong Yang

摘 要

橫向沖蝕是一種非機械式排除水庫庫區淤積的方法，其基本上乃是利用輔助設備，截引河川水流，沿水庫庫緣高灘之岸坡，於適當高程開挖水渠至待沖之水庫區段，當水庫洩空時，沿河道截引水流入渠，藉由高灘深槽形態所造成之高程落差，經由水力沖刷及重力侵蝕作用得以洩水沖灘以排除淤積。本研究乃選定庫區淤積較嚴重之大埔水庫為對象，在其庫區淤積之高灘區域進行局部的模型試驗；模型中架構取水、輸水及沖灘設施，進行橫向沖蝕之沖刷試驗。模型試驗結果發現橫向沖蝕輸砂量可表示為沖灘流量與沖刷坡降之關係式，其與中國大陸在小道口水庫及黑松林水庫現場觀測之資料有相近之趨勢和特性。

關鍵詞：橫向沖蝕，水力沖刷，沖灘流量。

ABSTRACT

Creating lateral channels to generate lateral erosion is one of the effective methods to flush reservoir floodplain deposits without mechanical dredging. If the reservoir can be empty by releasing water from the reservoir, the flushing channel may be created and the floodplain deposits can be appeared. In this study, the experiments are conducted in the physical model of the Tapu reservoir to investigate lateral erosion in the lateral channel. Diverted upstream water to the lateral channels for flushing sediment deposited from the floodplain into the flushing channel. Diversion channels with storage tank and outlet openings are constructed along the bank of the reservoir. The experimental results show that the sediment discharge of lateral erosion is a function of flushing discharge and water surface slope in the lateral channel. It is also found that the characteristics of lateral erosion are similar to those measured at the Shaudowkoa reservoir and the Haisungline reservoir in Chain.

Keywords: Lateral erosion, Flushing sediment, Flushing discharge.

一、前言

隨著泥砂的入流而造成水庫的淤積，不僅減少了水庫庫容，亦嚴重威脅水庫運用之安全與綜合效益。入庫之泥砂，可藉由水力排砂將入流泥砂或已淤積泥砂由水庫排放口沖刷出庫，其依水庫操作方式可分為：滯洪排砂、洩降沖刷、空庫排砂、橫向沖蝕排砂及異重流排砂等^(6,11)；水力排砂在世界許多水庫已成功地實施過。大型水庫一般以蓄清排渾運用之，而多採滯洪排砂及洩降沖刷以維持庫容；對於中小型水庫若允許泄空水庫來排砂，則空庫排砂可產生顯著排砂效果；同時若能配合橫向沖蝕排砂，則可排除淤積在高灘地上難以沖刷的淤砂^(4,5)。

當水庫進行洩降或空庫排砂時，主流可形成沖刷渠道之主深槽(見圖 1)，同時也造成沖刷渠道兩岸之高灘地無法以縱向(沿主流方向)水力沖刷方法清除淤砂⁽¹⁰⁾，若能由上游河道截引水流入渠，藉高灘淤積面與縱向沖刷渠道之主深槽所形成之高程落差(見圖 2)，經由水力沖蝕及重力侵蝕作用來泄水沖灘，在高灘面上形成橫向沖蝕溝，將沖蝕的淤砂排入沖刷渠道之主深槽中進而排除淤積；此種沖淤技術能有效沖走高灘之淤砂，使水庫恢復有效庫容，是保持水庫長期使用庫容的有效措施之一。橫向沖蝕是一種非機械式排除庫區淤積的方法，其基本上乃是利用輔助設備，截引河川水流或開闢新水源，沿庫區邊緣岸坡適當的高程開挖水渠至待沖庫段。由於橫向沖蝕清淤之效益顯著、費用較低、操作方便，並能形成高含砂濃度水流，有利於遠距離輸送與泥砂利用，因此多為中國大陸之中小型水庫清淤所採用⁽³⁾。

利用橫向沖蝕清淤成功之案例為數不少，例如大陸渭河支流上的一座小型水庫—小道口水庫⁽³⁾，乃於 1957 年建壩營運，總庫容 $1.86 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。因上游水土流失嚴重，年平均輸砂量達 $5.4 \times 10^3 \text{ ton}$ ，至 1976 年壩前淤積面已比溢洪道底標高程高出 2.7 m，總淤積量達 $1.98 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，可見此水庫淤積問題之嚴重。為使水庫恢復有效庫容，乃於 1978 年開始，進行水庫現場排砂沖淤

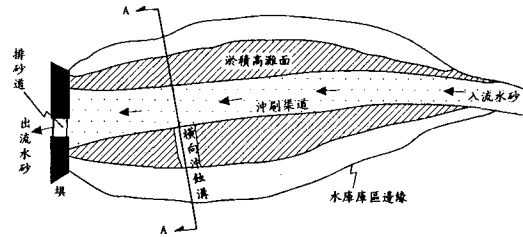


圖 1 沖刷渠道及橫向沖蝕溝示意圖

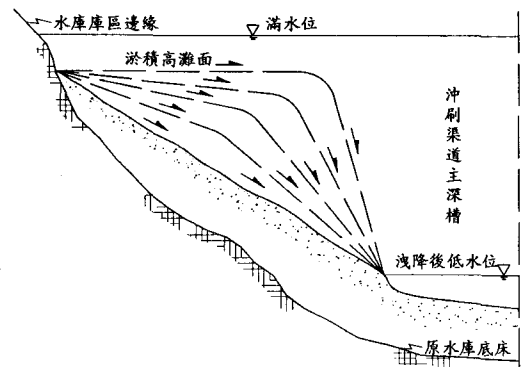


圖 2 A-A 斷面左岸高灘上橫向沖蝕之底床變化

表 1 小道口水庫採用不同清淤方式實測清淤效率之比較⁽³⁾

清淤方式	出庫含砂濃度(kg/m ³)	耗水率(水砂體積比)	資料來源
水力沖刷與人工輔助排泥並用	27	64	1978 ~ 1980 年空庫排砂資料平均值
橫向沖蝕	151	11	1982 年 5 月、8 月橫向沖蝕資料平均值

試驗，其主要措施包括：水力沖刷加人工輔助排泥及橫向沖蝕等。小道口水庫其淤積物為粉質粘土、中值粒徑約為 0.02 mm，由於淤積物長期暴露在空中，使得乾密度高達 1.7 ton/m^3 。表 1 為小道口水庫採用不同清淤方式下實測清淤效率之比較，可發現在同一流量下，採用橫向沖蝕技術排淤之含砂量比縱向水力沖刷之含砂量高出約 4.6 倍，而耗水率(水砂體積比)亦較之少 4.8

倍，故應用橫向沖蝕技術清淤之排砂效率甚高。

另一案例為位於大陸山西省屬黃河流域之紅旗水庫⁽⁴⁾，於 1971 年完工，並開始蓄水使用。水庫壩高 37 m，總庫容 $3.51 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，集水區面積 37.4 km^2 ，最大設計洩洪量為 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ ，庫區淤積物中值粒徑為 0.015 mm 。從 1967 年開始蓄水營運，至 1976 年僅 9 年時間，庫區便淤積達 $1.27 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，雖曾採用水力吸泥、人工排砂等措施進行清淤，來減緩水庫淤積速度，但仍無法有效地恢復水庫庫容，水庫淤積量依然逐年增加，截至 1987 年底，淤積量已達 $1.67 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。因此，從 1988 年開始便在該水庫進行了長達四年的橫向沖蝕清淤技術現場觀測和試驗研究，結果發現每沖 1 m^3 泥砂需耗水 10 m^3 （水砂體積比為 10），在 125 天內清除庫區淤積 $2.56 \times 10^5 \text{ m}^3$ ，佔總淤積量的 15%，進行橫向沖蝕時出庫含砂量可達 $100 \sim 300 \text{ kg/m}^3$ ，由此可見橫向沖蝕之效果顯著。

位於新竹縣峨眉鄉隸屬於苗栗農田水利會的大埔水庫，為台灣地區由國人自行設計興建最早之水庫工程設施。水庫於 1960 年 6 月完工，且自 1961 年開始營運供水，為一具有灌溉、給水及防洪功能之多目標水庫。水庫長度約 8 公里，滿水位面積 135 公頃，原始設計總庫容量 $9.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，有效庫容為 $7.96 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。1987 年實施淤積測量，發現水庫剩餘總庫容約為原始設計總庫容之 49%；雖然大埔水庫淤積嚴重，但庫區呈峽谷型地形且年逕流量充沛，而主壩右側設置有一 3.5m 高×8m 寬的排砂閘門適於排砂。此後水庫管理站曾利用枯水期進行機械開挖清除淤泥，並進行數場水力排砂操作，由 1997 年淤積測量可知大埔水庫已恢復部分總庫容，成為原始設計總庫容之 59.4%⁽⁶⁾。大埔水庫之淤積沉滓主要為黏土、粉土與細砂，十五分寮附近庫區底床之土質屬於粉土質黏土含砂及貧瘠黏土含砂，其中黏土含量佔 29% 左右，粉土含量在 43% 左右，砂土含則佔 28%，平均中值粒徑介於 $0.022 \sim 0.027 \text{ mm}$ ，有機質含量介於 0.23% 至 1.31% 之間⁽⁶⁾。

大埔水庫雖於 1993 年及 1996 年進行陸面開

挖，但花費較高（平均費用為 59.5 元/m^3 ），且未來淤泥之棄置場所愈來愈難尋得；此外，自民國 76 年後，曾有幾次空庫排砂操作之記錄，雖在沖刷渠道主深槽內之排砂效果十分顯著，然高灘地上之淤泥仍然無法排除⁽⁶⁾。本研究乃藉由大埔水庫水工物理之模型來進行橫向沖蝕試驗，以探討其高灘面上泄水沖灘清淤之效果。文中首先描述橫向沖蝕相關的沖蝕現象與輸砂特性，並說明橫向沖蝕時常使用的基本設施，接著敘述模型試驗之佈置與比尺關係試驗結果主要分析橫向沖蝕之輸砂量大小，且與大陸在小道口及黑松林水庫現場觀測之資料進行比較探討。

二、沖蝕現象及輸砂特性

（二）沖蝕現象

利用橫向沖蝕進行庫區清淤其具有下列常見的現象^(3,6)：

（1）沖蝕溝兩岸側壁的劇烈坍塌：在橫向沖蝕過程中，由於沖蝕溝兩側土體底層含水量高，抗剪強度降低，加上孔隙水不斷釋出，因而導致淤積灘面出現平行於沖槽之裂縫。隨著水流剪應力大於土體底部的抗剪強度時，便會發生側壁之坍塌現象。

（2）沖蝕形成高含砂水流：由於橫向沖蝕所清淤之淤砂，一則來自於水流對淤積物之直接沖刷，再則來自於側壁淤土的坍塌。因此水流中會具有較高的含砂濃度。另外，由於坍塌之淤泥土塊落入水中來不及溶解而隨水流沖出庫區，使水流中挾帶相當比例之推移質，而隨著土塊的逐漸溶解，推移質相對的亦逐漸減少。

由於水庫淤積物沿垂呈成層狀結構，隨淤積歷時之長短，在橫向沖蝕之過程中將形成台階式之跌坎狀沖刷。另外，在沖蝕過程中，一般沖刷流量較小，灘面橫向坡降緩，若又因層面交界處為細顆粒沉積層，將使灘面淤積物極難沖刷，因此水流對於淤積灘面之沖刷，不是沿層理方向層層剝離，而往往是集中在淤積灘面坡降由緩變陡處（靠近沖刷渠道主深槽邊緣）開始沖刷剝蝕。

(二) 輸砂特性

水庫在高灘面上進行橫向沖蝕，基本上乃是由於在懸移質充分供應之情況下，經由較大坡降之產生，可使水流挾砂能力大幅增高。這不僅使水流的含砂濃度增大，亦可使其所挾帶之泥砂顆粒粒徑隨之增大。橫向沖蝕與一般沿主流方向之縱向水力沖刷最大的差別，在於橫向沖蝕具有較大之坡降，因此兩者在輸砂特性上亦有所差異。

(1) 泥砂之沖蝕起動：根據泥砂運動力學可知，庫區淤積泥砂的起動，主要是因為水流所產生之拖曳力作用於淤積灘面上之結果⁽³⁾。當水流拖曳力大於淤泥之抗剪應力時，淤泥即被沖刷起動。另外，對於明渠水流，底床剪應力可表示為坡降與水力半徑之函數，因此就相同條件下，剪應力與坡降成正比，隨著坡降增大，剪應力亦隨之變大。由於橫向沖蝕比縱向水力沖刷具有較大之坡降，因此其可能產生較大拖曳力，使泥砂易於起動，也較易形成高含砂水流。

(2) 重力侵蝕：水庫淤泥在重力作用下，因失去平衡所發生的崩塌及滑動等現象稱重力侵蝕⁽⁵⁾。橫向沖蝕時在水庫高灘面上，水流切應力向下形成一沖蝕溝，在沖蝕溝兩岸之淤積土體其側壓力減小，垂直應力增大，進而發生垂向變形。隨著水流下切深度的增大，淤泥裂縫深度亦將擴大；或是，當切應力大於抗剪強度時，隨著水流流動土體底部被淘空或是因土體底部的液化，均會造成土體本身失去平衡，而形成沿垂直節理整體的坍塌。由於橫向沖蝕的水流具有坡降大、流速快、含砂濃度高等特性，使得重力侵蝕的影響十分強烈。根據統計，重力侵蝕所造成的沖蝕量佔橫向沖蝕總量之 50%~70%，但對於一般縱向水力沖刷而言只佔其總量的 10%~30% 左右⁽³⁾。

雖然橫向沖蝕與縱向水力沖刷同是利用水流作用力來達到排砂清淤的結果，但由於橫向沖蝕具有較大的沖刷比降，往往高於縱向水力沖刷好幾倍，因此表現在沖刷特性方面，兩者存在著

甚大差別。縱向水力沖刷主要是依靠水流沖刷河床來獲得泥砂，而橫向沖蝕除靠水流沖刷外，重力沖蝕的作用也是泥砂的重要來源。由於排砂方式的不同，其輸砂量必然不同，差別主要在於重力侵蝕量。而根據大陸試驗觀測與分析，對於一定性質的淤積物，重力沖蝕量的多寡，相對地也取決於沖灘流量及沖灘坡降。根據大陸陝西省水利科學研究所⁽²⁾現場實測資料研究分析後發現，橫向沖蝕輸砂率關係是可表示如下：

$$Q_s = \lambda \cdot K \cdot Q_0^{1.6} \cdot S_w^{1.2} \dots\dots\dots(1)$$

式中

Q_s = 橫向沖蝕輸砂量(ton/s)，

Q_0 = 沖灘流量(m³/s)，

S_w = 沖灘水面坡降，

λ = 重力侵蝕係數(其值一般大於 1)，

K = 抗沖係數。

在規劃設計橫向沖蝕工程設施時，可藉由上式進行初步推估計算，而(1)式中之係數可參考表 2 所列。由於高灘上淤積物之乾密度與抗沖係數有直接之影響，故表 2 中淤泥在不同乾密度(1.3~1.5ton/m³)時，其抗沖係數可由 50 變化至 1.2；而重力侵蝕係數則變化不大。

三、橫向沖蝕之基本工程設施

一般而言，橫向沖蝕之基本工程設施可包括：取水設備、輸水設備以及沖灘設備三部分⁽³⁾。工程設施對於橫向沖蝕技術之應用十分重要，因設施之佈置適當與否，關係著沖蝕效率的高低，對於清淤成本之影響亦大。以下就橫向沖蝕工程設備部分加以說明：

表 2 大陸地區部分水庫淤土之 λ 與 K 值⁽³⁾

淤積物乾密度 (ton/m ³)	< 1.3	1.3 ~ 1.4	1.4 ~ 1.5	> 1.5
重力侵蝕係數 (λ)	1.75	1.75	1.67	1.83
抗沖係數 (K)	50	10	6	1.2

(1)取水設備：用以橫向沖蝕的水源可以在水庫上游河道迴水末端以上，選擇適當的河岸位置作為取水口，並修建進水閘引水自流；此法因輸水路線較長、取水量較低，可省去攔河壩之工程，設施簡單且建造費較低。由於橫向沖蝕沖灘流量需求低，一般在非洪水期進行，即使枯水季河道基流也能滿足沖灘流量要求，其所引取之水流含砂量通常不高，故基本上不需設置排砂閘門，若當地形有利時，此種方式是一簡單又經濟的取水方式。當河道水位不能保證自流供水，或因地形影響無法在上游河道迴水末端以上取水時，可在水庫壩前附近或在水庫庫區支流匯入處，修建低壩或進水閘，以抬高水位進行取水；若水庫屬峽谷地型，庫岸陡峻時，可考慮採機械揚水式取水設備(如蓄水池或蓄水塔)，以降低成本。

(2)輸水設備：輸水設施是橫向沖蝕設備中主要工程之一，其作用乃將截引之水流送至待沖庫段，而根據通水斷面積形狀不同大致可分為兩類，即輸水渠道和輸水管道。利用輸水渠道是較常用之一種輸水設施型式，根據其斷面形狀，輸水渠道大致可分為：矩形渠道、梯形渠道與 U 形渠道三種型式。管道則是另一種輸水設施，雖然它不像輸水渠道那樣被廣泛應用，但實際上，當庫區地形受限制，佈設輸水渠道有困難，或當取水設施採用機械揚水時，管道亦不失為一種有效的輸水設施，且其具有蒸發及滲漏損失少與不佔空間等優點。

(3)沖灘設備：有計劃的分配和導引輸水渠道或輸水管道中之水流至淤積灘面，以利沖蝕淤積物是沖灘設備的主要功用，其設備包括：泄水口與集流槽兩部分。泄水口是輸水渠道或輸水管道水流進入淤積灘面之控制口，亦是水庫橫向沖蝕工程設計中重要的項目，若泄水口與集流槽之間佈置間距過大，則往往會形成孤灘；反之，若間距過小，則會降低沖灘效果。另外，集流

槽是預先在待沖庫段淤積灘面上所開挖之流槽乃為防止水流自泄水口洩出後，在高灘面上漫流無法集中而降低沖灘效果，集流槽之斷面大小，取決於沖灘流量，應以能容納沖灘流量大小為限，而其在灘面上開挖的位置，應垂直於輸水幹渠或水流流向，並與泄水口相互銜接。

四、模型試驗結果與分析

由於橫向沖蝕清淤操作技術簡便、成本低廉且沖淤效果良好，因此廣受大陸中小型水庫管理單位的推廣應用。目前台灣對於橫向沖蝕技術的使用尚未有任何具體實際的應用成果，有鑑於大陸地區的水庫利用橫向沖蝕沖淤成效甚佳，本研究乃利用淤積嚴重的大埔水庫進行高灘淤積物橫向沖蝕之試驗，以期瞭解是否適用於台灣地區的水庫。

(一)模型佈置與比尺

大埔水庫模型之建造原本是為研究庫區在空庫排砂時，縱向水力冲刷之排砂特性，其動床模型範圍由壩址至上游邊界約 4 公里長，模型試驗上游邊界選定位於近似直線河道且受邊界迴水影響較小之峨眉吊橋斷面，以作為上游入流條件之控制邊界⁽⁶⁾。大埔水庫水工模型佈置，如圖 3 所示。水庫動床模型以相似理論為基礎，模型相似律必須同時滿足水流動力相似及泥砂動力相似性，以下簡要說明之。

(1)水流動力相似：因採等比模型幾何比尺 $= \lambda_L = \lambda_h = 100$ (λ 為原型對模型之比值， L 及 h 分別表幾何水平長度及垂直方向水深)利用原型與模型水流福祿數(Froude number)相同可得流速比尺 $= \lambda_u = \lambda_L^{1/2} = 10$ 、水流時間比尺 $= \lambda_t = \lambda_L^{1/2} = 10$ 、流量比尺 $= \lambda_Q = \lambda_L^{5/2} = 10^5$ 。

(2)泥砂動力相似：(a)冲刷相似一大埔水庫庫區淤積物一般含有相當比例的粘性泥砂，經採出壩前淤積物主要成份包括粘土佔 29%、粉土 43%、砂土佔 28%。由於粘結力在粘性淤泥的冲刷過程中具有極為重要

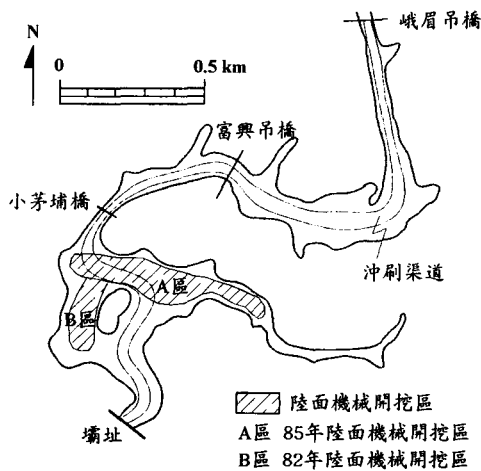


圖 3 大埔水庫水工模型製作之範圍

的作用，且粘結力隨淤積物乾密度的增大而迅速增大。經前人研究^(1,7)發現粘性淤泥乾密度 ρ_d 與臨界冲刷流速 u_c 可建立迴歸關係式為： $u_c = a\rho_d^b$ ，其中 a 、 b 係數可利用水槽冲刷試驗求之；根據文獻⁽⁶⁾係數 a 與 b 分別可由圖 4 查得為 0.74 與 1.52。冲刷相似要求臨界冲刷流速比尺 λ_{u_c} 與流速比尺 λ_u 相等，由上述之關係式可以推出：

$\lambda_{\rho_d} = \lambda_{u_c}^{1/b} = \lambda_u^{1/b}$ 。(b)輸砂相似—由於橫向冲刷之輸砂特性，粘性細顆粒只要能被冲刷起動，即可容易地被水流帶走，水流含砂量不是決定於挾砂能力而是決定於水流對粘性淤泥的冲刷過程。在水流冲刷力和淤泥抗沖力都與原型相似的前提下，冲刷過程中冲刷起來的淤泥體積 v_s 及冲刷過之水體積 v ，應與原型相似，因此含砂量比尺為：

$$\lambda_s = \frac{\lambda_{\rho_d} \lambda_{v_s}}{\lambda_v} = \frac{\lambda_{\rho_d} \lambda_L^3}{\lambda_L^3} = \lambda_{\rho_d}$$

而由冲刷相似推導得 $\lambda_{\rho_d} = \lambda_u^{1/b}$ ，故可推得 $\lambda_s = \lambda_{\rho_d} = 1/4.57$ 。(c)庫床變形相似—由底床沖淤連續方程式描述庫床變化，並依相似律及本研究採等比模型之關係，可得庫床變形之時間比尺為 $\lambda_t = \frac{\lambda_{\rho_d} \lambda_L^{1/2}}{\lambda_s}$ ，另由

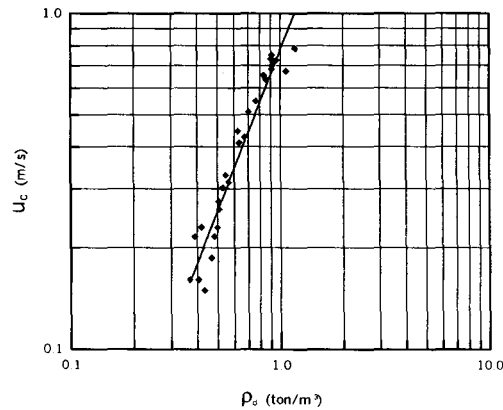


圖 4 臨界冲刷流速與淤泥乾密度之關係圖

於 $\lambda_s = \lambda_{\rho_d}$ ，因此可得庫床變形時間比尺為： $\lambda_t = \lambda_L^{1/2} = \lambda_t = 10$ ，由此可知水流時間比尺與輸砂時間比尺是相同的。詳細推導過程請見文獻⁽⁶⁾。

本研究由前節所述橫向冲刷之佈置中可知，橫向冲刷工程主要可包含三部份，即取水設備、輸水設備和沖灘設備。因此，在本研究模型試驗當中，就取水設備而言，考慮當地地形變化後，乃於大埔水庫水工物理模型設置一蓄水設備以作為橫向冲刷沖淤時沖灘流量供應之水源。至於輸水設備則於淤積灘面設置一渠寬 1m、渠高 1.5m、渠長 90m(此為原型尺寸)之輸水設備。另外於輸水幹渠每隔 9m(為原型尺寸)開設一寬 1.5m(為原型尺寸)之泄水口，作為沖灘設施。試驗配置示意如圖 5 所示。

(二) 試驗結果與分析

在此橫向冲刷試驗當中，本研究乃選定庫區淤積較嚴重而無法以水力冲刷排除之高灘區域進行模型試驗研究。大埔水庫曾在 1993、1996 年利用枯水期進行陸面機械開挖，其開挖清淤範圍如圖 3 所標示之區域；本研究首先選定 A 區中鄰近冲刷渠道之高灘地做為橫向冲刷之試驗區域，又此區接近道路旁其交通較為便利，對於進行現場橫向冲刷設施之設置及施工較為方便，其佈置繪於圖 5 之中。試驗時乃鋪設乾密度為

表 3 橫向沖蝕試驗量測資料(已換算成原型)

試驗組次	T(min)	$Q_0(\text{m}^3/\text{s})$	B(m)	S_w	$Q_s(\text{ton/s})$	$C(\text{kg/m}^3)$	$\bar{C}(\text{kg/m}^3)$
1	20	0.41	2.0	0.0465	0.1462	357	410
	50	0.41	2.5	0.0518	0.0708	173	
	100	0.41	4.0	0.0508	0.1545	377	
	150	0.41	5.0	0.0615	0.2882	703	
	200	0.41	6.0	0.0737	0.2009	490	
2	20	1.04	2.0	0.0340	0.0898	86	290
	50	1.04	3.0	0.0473	0.6552	630	
	100	1.04	5.0	0.0435	0.1526	147	
	150	1.04	7.0	0.0413	0.3676	353	
3	20	2.61	1.5	0.0502	0.1712	66	219
	50	2.61	6.0	0.0425	0.4034	155	
	100	2.61	6.5	0.0435	0.9850	377	
	150	2.61	10.0	0.0515	0.6483	248	

註：T=時間， Q_0 =沖灘流量，B=平均橫向沖蝕溝寬， S_w =沖蝕溝內平均水面坡降， Q_s =輸砂量，C=含砂濃度， $\bar{C}$ =各組平均含砂濃度。

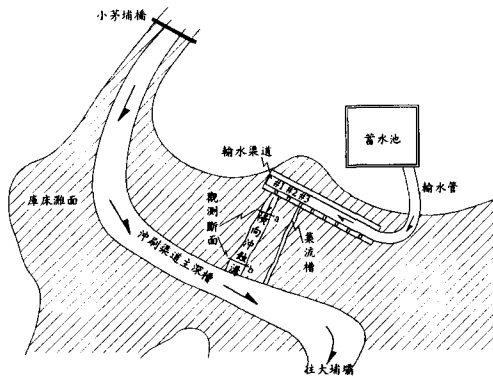


圖 5 橫向沖蝕試驗佈置與設施之示意圖

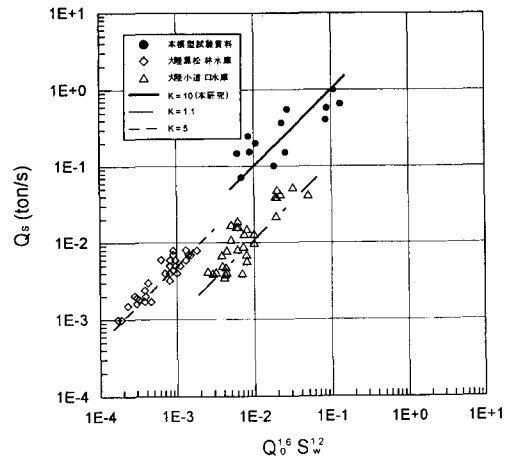


圖 6 橫向沖蝕輸砂率與參數($Q_0^{1.6} S_w^{1.2}$)之關係

1.1 ton/m^3 之淤泥(其利用現場不擾動土樣分析而得⁽⁶⁾)於所選定之研究模擬區域內，並以木條構建一約 1m 寬、0.5m 深大小之集流槽，接著再從蓄水設備引水入輸水渠道，共進行 3 場不同沖灘流量($Q_0=0.41\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1.04\text{m}^3/\text{s}$ 及 $2.61\text{m}^3/\text{s}$)之試驗。

於一場固定之沖灘試驗流量進行橫向沖蝕試驗時，首先開啟#1 泄水口，30 分鐘後關閉此泄水口，再開啟#3 號泄水口進行沖灘蝕試驗，並分別於 20、50、100、150 及 200 分鐘時量測橫向沖蝕溝渠寬度、沖灘坡降及輸砂量等資料，

另將量測資料經模型比尺換算後列於表 3，表中 T=時間， Q_0 =沖灘流量，B=平均橫向沖蝕溝寬， S_w =沖蝕溝內平均水面坡降(圖 5 中 a、b 兩觀測斷面之水面坡降)， Q_s =輸砂量。其試驗佈置與設施如圖 5 所示。由於水流所產生的拖曳力作用在淤積灘面，以及淤泥本身自重作用下所發生的崩塌與滑落結果，可發現橫向沖蝕溝之平均沖

蝕寬度隨著沖刷時間的增加，可由試驗初期的 1m 擴大為 6~10m；橫向沖蝕之平均含砂濃度在沖蝕時間 150 分鐘內可達 307kg/m³(三組試驗含砂濃度平均值)。

橫向沖蝕輸砂量之大小可推估排砂體積量之多寡，故將量測數據進行分析。由於試驗之淤泥乾密度為 1.1 ton/m³，根據表 2 資料所列之重力侵蝕係數採用 1.75，抗沖係數 K 則為待定值。量測所得之輸砂量與參數 $Q_0^{1.6} S_w^{1.2}$ 資料點繪於圖 6 之中，可得一迴歸關係線，其相關係數的平方(R-square)為 0.83。另將試驗所得的抗沖係數值 K=10 與表 2 之值做一比較，發現試驗所得之抗沖係數(K)值較表中所得之值為小；根據(1)式所示，當 K 值較小時，其輸砂量相對亦較少。其原因由於大埔水庫之淤泥具有粘性，因此當進行橫向沖蝕時，其高灘淤積物粘結性較強而較難被沖刷，故輸砂量相對較非粘性土壤為少，所以其抗沖係數 K 值較小。

五、結論與建議

橫向沖蝕藉由庫區淤積之高灘面與主深槽間所具有的較大高程落差，在泄水沖灘時可形成顯著的沖刷比降以造成較強的沖蝕作用。對於水庫內高灘淤積難以縱向水力沖刷之區域，橫向沖蝕是種非機械式可清除高灘面淤積物，有效恢復水庫庫容之方式之一。

本研究經由大埔水庫水工模型中所設置之橫向沖蝕設備進行模型試驗。在試驗中，選定庫區淤積較嚴重且為縱向水力沖刷無法清淤之區域進行橫向沖蝕模型試驗研究後發現，由於水流所產生的拖曳力在淤積灘面之作用，以及淤泥本身自重作用下所發生的崩塌與滑落結果，試驗觀測結果可知其沖刷效果十分顯著。

藉由水工模型之試驗資料分析得知，橫向沖蝕之輸砂量與沖灘流量、沖蝕溝中水面坡降以及淤積物之物理性質等有關。經分析後，試驗所得之抗沖係數 K 值較表 2 所得之值為小，其原因乃是大埔水庫淤積物其淤泥具有粘性土壤性質，當進行橫向沖蝕時，其高灘淤積物較難被沖刷，因此其輸砂量較小，而抗沖係數亦較小。此抗沖係

數之數值，可提供未來進行橫向沖蝕之工程設計所需之依據。

大埔水庫與阿公店水庫之淤積物其物理性質皆具有粘性土壤特性，因此大埔水庫橫向沖蝕試驗所得之試驗結果與分析，對於將來阿公店水庫若要清除其高灘面上難以藉由空庫排砂之縱向水力沖刷來清除淤積物時，可提供一重要且實用之參考。

謝 誌

本研究承蒙經濟部水資源局「大埔水庫防淤操作技術與水工模型之建置」研究計畫及行政院國家科學委員會整合型研究計畫(編號：NSC88-2218-E-002-040)之經費補助。計畫執行期間，由苗栗農田水利會、大埔水庫工作站提供相關資料，特此致謝。

參考文獻

1. 王兆印、張新玉，「水庫粘性淤積物泄空沖刷的模型試驗研究」，泥砂研究，第 2 期，1989 年 6 月，第 62-68 頁。
2. 陝西省水力科學研究所河渠研究室、清華大學水利工程系泥砂研究室，「水庫泥砂」，水利電力出版社，北京，1979，第 119-135 頁。
3. 陝西省水利水土保持廳，「水庫排砂清淤技術」，中國水利電力出版社，1989 年 3 月，第 3 章，第 55-105 頁。
4. 張崇山、唐仲元、馮進喜，「紅旗水庫引水沖灘清淤試驗的初步研究」，泥砂研究，第 3 期，1992 年 9 月，第 103-109 頁。
5. 張崇山、王孟樓，「水庫引水沖灘沖刷規律的研究」，泥砂研究，第 2 期，1993 年 6 月，第 76-83 頁。
6. 張斐章、賴進松，「大埔水庫防淤操作技術與水工模型之建置(三)」，國立台灣大學水工試驗所，研究報告第 322 號，1999 年 6 月。
7. 賴進松，「阿公店水庫淤泥沖刷起動之研究」，臺灣水利，第四十六卷，第三期，1998 年，第 76-83 頁。

8. 賴進松、張斐章、高力山，「水庫排砂操作時機與週期之探討」，台灣水利，第四十七卷，第一期，1999 年 3 月，第 32-43 頁。
9. 賴進松、張斐章、楊翰宗，「水庫粘性淤泥沖刷之動床模型試驗研究」，中國土木水利工程學刊，2000 年(待刊出)。
10. Shen, H. W. & J. S. Lai, "Sustain reservoir useful life by flushing sediment." Intl. Jour. of Sediment Research, IRTCES, Vol. 11, No. 3, 1996, pp.10-17.
11. Lai, J. S. & H. W. Shen, "Flushing sediment through reservoirs." Jour. of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 34, No. 2, 1996, pp.237-255.

收稿日期：民國 89 年 1 月 13 日

修正日期：民國 89 年 8 月 1 日

接受日期：民國 89 年 8 月 31 日