

石門水庫減淤效能初步試驗探討

吳柏翰⁽¹⁾ 詹勳全⁽²⁾ 陳文福⁽³⁾

摘 要

石門水庫為一多目標水庫，但因原設計並無防淤之專用設施，營運至今已淤積嚴重，為維持水庫庫容及穩定供水，如何減少淤積延長水庫壽命，實為刻不容緩之重要課題。目前經濟部水利署已規劃在水庫中游阿姆坪興建防淤隧道，透過抽砂船將庫區淤泥抽至下游沖淤池暫置，待豪大雨或颱風期間利用洪水將淤泥沖刷至下游大漢溪，以補充砂源，還砂於河。

本研究係針對「石門水庫阿姆坪防淤隧道工程」以水工模型試驗探討其暫置沖淤池淤泥之沖淤效能，經試驗三種方案獲得初步成果，以方案 3(沖淤池加陡側灘坡降)排砂效能最佳，排砂比可達 87.92%，其次為方案 2(沖淤池增設沖淤孔)，排砂比達 59.63%。

(**關鍵詞：**石門水庫、阿姆坪、沖淤池、水工模型、沖淤效能)

Preliminary Model Study of Sediment Reduction in Shihmen Reservoir

Po-Han Wu⁽¹⁾ Hsun-Chuan Chan⁽²⁾ Wen-Fu Chen⁽³⁾

Graduate Student⁽¹⁾, Associate Professor⁽²⁾, Professor⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

Shimen Reservoir is a multi-objective reservoir, but it was original designed without any silt-sludging facility. Through years of operation the reservoir has experienced severe siltation. In order to maintain the capability and stability of water supply, it has become imperative issue that how to reduce sediments and extend the life of the reservoir. Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs was currently planned to build desilting tunnel in midstream Amuping of the reservoir. Usually silt in the flushing pool is pumped by sand suction dredger from the reservoir and is flushed to downstream Tahan River to supply the sand source during

(1)國立中興大學水土保持學系碩士生 (通訊作者 e-mail: joke1125@msn.com)

(2)國立中興大學水土保持學系副教授

(3)國立中興大學水土保持學系教授

heavy rain or typhoon period.

This research was tested flushing efficiency of "Amuping desilting Tunnel of Shihmen reservoir" by hydraulic model. The sediment flush ratio of case 3 (steep slope of the slide beach in flushing pool) is the best after testing three cases. It can be up to 87.92%. Suboptimal case is case 2 (add erosion hole) that sediment flush ratio is 59.63%

(**Keywords** : Shihmen Reservoir, Amuping, flushing pool, Hydraulic model, Flushing efficiency.)

前言

石門水庫自民國 1963 年 5 月開始蓄水，原設計總容量 30,912 萬 m^3 ，具有灌溉、給水、發電、防洪及觀光等多目標水利工程。惟因原設計並無防淤之專用設施，因此石門水庫運轉至民國 2013 年底累計淤積量 10,193 萬 m^3 ，佔總庫容量之 32.97% (經濟部水利署北區水資源局，2014)(詳如圖 1)。

早年為解決水庫逐年淤積問題，於水庫上游集水區陸續興築 123 座攔砂壩 (總容量 3,570 萬 m^3)。1996 年賀伯颱風後水庫淤積量大增，以及 2004 年艾利颱風後淤積量 2,788 萬 m^3 ，顯示大部分攔砂壩已淤滿。因此，進入水庫之砂粒徑逐漸粗化加速上游淤積厚度，導致三角洲明顯下移；尤其 2007 年韋帕颱風洪巴陵攔砂壩損毀後，水庫上游段淤積更加顯著(彭，2014)。

水庫淤積日益嚴重，上游攔砂壩幾乎淤滿，使得穩定供水及防洪操作風險大大提高，加上面臨全球氣候變遷之極端氣候影響下，如何減少水庫淤積並延長其壽命，實為刻不容緩之重要課題。

本研究旨在利用水工模型試驗探討「石門水庫阿姆坪防淤隧道工程」暫置冲

淤池淤泥之冲淤效能，祈能獲得最佳之處理方案。

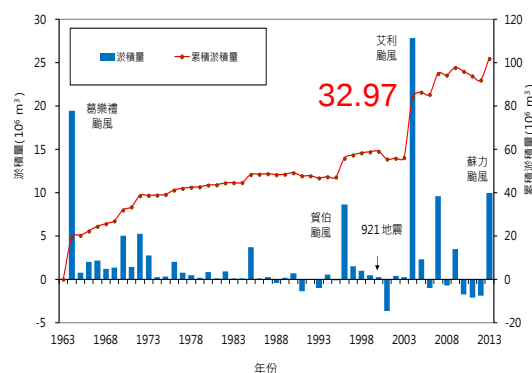


圖 1 石門水庫歷年淤積圖

Figure 1. Sediment Deposition of Shihmen Reservoir over the years

研究區域、材料與方法

1. 研究區域

為提升石門水庫防淤能力，經濟部水利署選定於水庫中游的阿姆坪及庫區的大灣坪兩處興建防淤隧道(詳如圖 2)。

依據經濟部水利署水利規劃試驗所 2010~2012 年辦理石門水庫防洪防淤工程可行性水工模型試驗試驗結果(經濟部水利署水利規劃試驗所，2010)(經濟部水利署水利規劃試驗所，2012)顯示兩方案(大灣坪案及阿姆坪案)同時進行水力防淤操

作會低於單案(大灣坪案)之防淤功能。因此相關會議決議採用大灣坪案以異重水力防淤(針對細顆粒泥砂問題)，阿姆坪案隧道，則以抽泥、清淤及沖淤通道為主(針

對較粗顆粒泥砂問題)。本研究即選定阿姆坪防淤隧道工程計畫，透過水工模型試驗研究其沖淤效能。

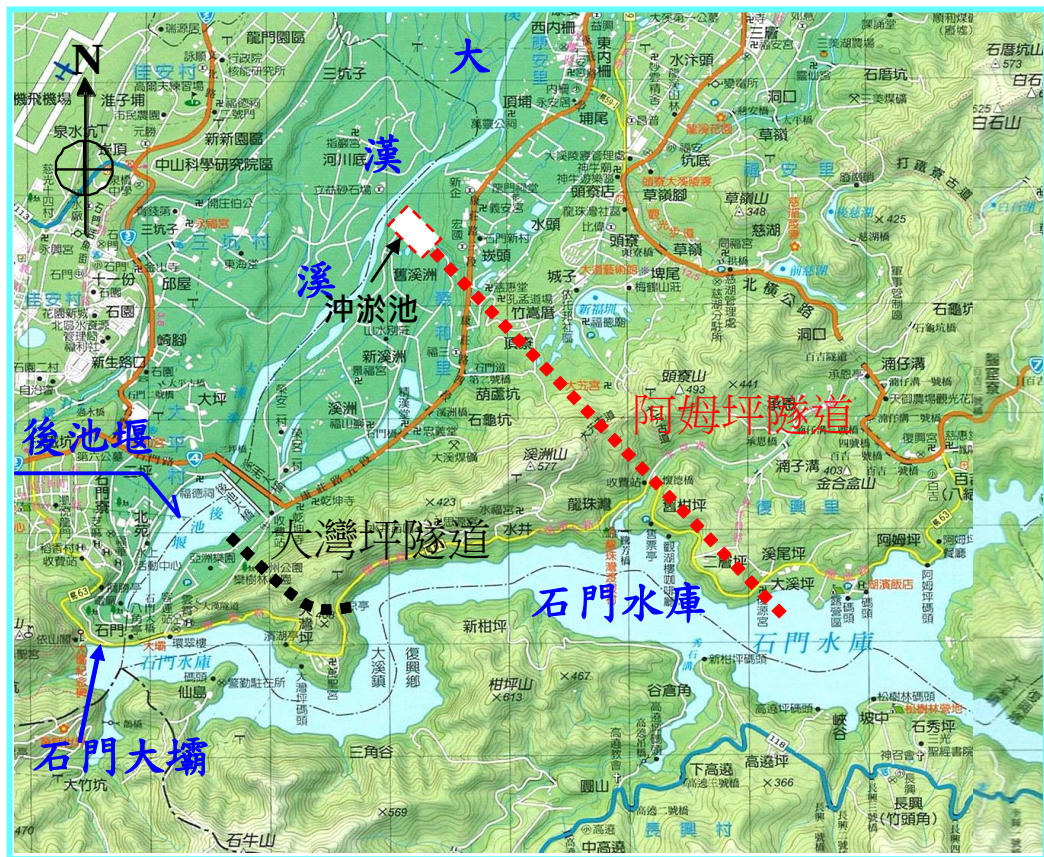


圖 2 石門水庫增設防淤隧道位置圖

Figure 2. Location of Amuping and Dawanping Desilting Tunne

2.研究材料

阿姆坪防淤隧道工程包括進水口段、隧道段、出水口段及沖淤池段，總長度約為 4,500m。在平時堆放由抽砂船抽取 20~31 斷面之無價淤泥(粒徑<0.1mm)(經濟部水利署北區水資源局，2012)，待豪大

雨或颱風期間利用洪水將淤泥冲刷至下游大漢溪，以補充砂源，還砂於河。

進水口段：於水位 EL.245.00m 時設計沖淤流量為 600cms，臥箕堰為配合孔口設計堰長 33.20m，堰頂 EL.245.00m，底部 EL.236.00m 設置 3 處 5.5m(H)×8m(W)之孔

口，進水口型狀以橢圓設計，降低入口損失，孔口上游渠底 EL.235.00m，下游渠底 EL.236.00m。孔口設有閘門為 7.50m(H)×10.00m(W)，閘門平時全開。隧道進水口採 3 處 4.50m(H)×6.00m(W)設計，進水口型狀採橢圓設計，降低入口損失。孔口上游渠底 EL.236.00m，下游 EL.237.00m。孔口閘門為 4.5m(H)×6m(W)。隧道進水口側牆高 EL.252.00m，出孔口後渠底高 EL.237.00 公尺以 L=80m，S=10%之陡槽銜接隧道進口。

隧道段：隧道長 3,675.30m，採 9.00m(H)×8.00m(W)馬蹄形設計，底坡 S=2.863%，分為上下兩層，上層設置輸泥鋼管設備，下層為沖淤通道及砂石專用道，預計在平時，利用抽砂船，抽取 20~31 斷面的淤泥，無價泥砂經由阿姆坪隧道上層

之輸泥管設備，輸送至沖淤池放置。

出水口段：長 100m，斷面採高 9.00m 尺(H)×寬 8.00m(W)之矩形明渠，底坡 S=6.25%，上下游各銜接隧道出口及沖淤池入口。

沖淤池段：分成深槽及灘地，深槽寬由起點 8.00 公尺經縱向 200.00m 後漸變為 20.00m 其後維持 20.00m，深 4.00m，縱坡為 0.88%，深槽全段 613.55m，尾端接二扇控制閘門。深槽兩側灘地寬由沖淤池起點 0 公尺經縱長 200.00m 後漸擴至 50.00m 寬，加上深槽寬 20.00m，沖淤池全寬為 120.00m，兩側灘地以 5%的坡度往深槽斜降，尾端接擋土牆(詳如圖 3)(經濟部水利署北區水資源局，2012)(經濟部水利署北區水資源局，2014)。

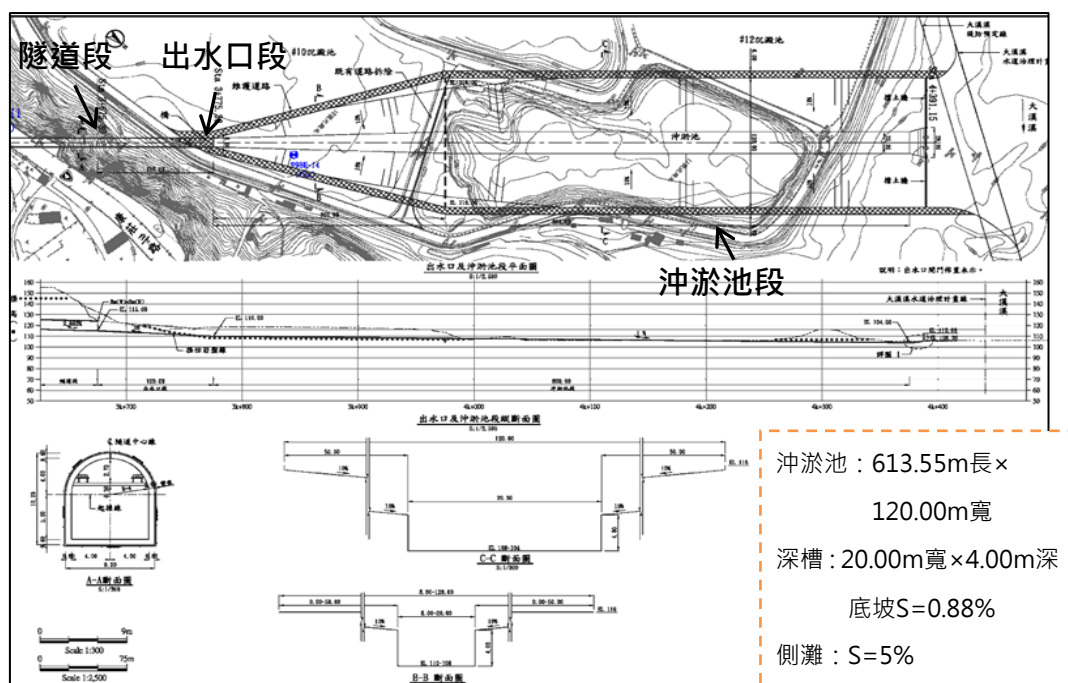


Figure 3. Plan and Profile Diagram of Flushing Pool

3.研究方法

本研究以「石門水庫阿姆坪防淤隧道工程」透過水工模型試驗其下游沖淤池不同佈置方案下，其暫置於沖刷池淤泥之沖淤效能。

本模型設計主要考量影響因素，包括試驗計畫的目的、現場主要的研究範圍、上下游的邊界條件、水工構造物、試驗場地範圍的限制、供水與加砂能力、模型用砂、模型相似律及計畫經費等，綜合考量後模型設計及布置詳如下述：

- (1) 模型比尺：模型比採用 1/40。
- (2) 模型用砂：石門水庫大壩附近淤泥粒徑均小於 200 號篩，淤泥粒徑 d_{50} 介於 $4\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ 之間(經濟部水利署水利規劃試驗所，2012)。此淤泥粒徑與沉降特性很難再找到適合模型用砂，選用水庫原體砂作為模型用砂。
- (3) 模型相似律：本試驗研究之水流沉主要是明渠水流，因此模型設計主要根據福祿相似律進行各項物理量之轉換(經濟部水利署水利規劃試驗所，2012)。茲分述各項物理量之比尺關係：

$$\text{速度比：} V_r = L_r^{1/2} = \frac{1}{6.32}$$

$$\text{時間比：} T_r = L_r^{1/2} = \frac{1}{6.32}$$

$$\text{流量比：} Q_r = L_r^{5/2} = \frac{1}{10,119}$$

$$\text{糙率比：} N_r = L_r^{1/6} = \frac{1}{1.85}$$

$$\text{坡度比：} S_r = \frac{H_r}{L_r} = 1$$

$$\text{福祿數比：} F_r = \frac{V_r}{\sqrt{g_r H_r}} = 1$$

$$\text{濃度比：} C_r = \frac{Q_{sr}}{Q_r} = 1$$

$$\text{輸砂比：} Q_{sr} = C_r L_r H_r V_r = L_r^{\frac{5}{2}}$$

- (4) 模型布置：考量場地空間的限制，依設計圖原隧道段長度縮比成模型長度為 91.88m，配合場地及現有迴水系統將隧道局部用迴轉半徑 9.00m 將隧道模型加以轉彎(詳圖 4)，相關尺寸隧道段上游 17.07m 圓弧段 7.61m 下游段至出口段前緣 12.1m，模型隧道總長共 36.78m，隧道長度裁掉 55.1 公尺(試驗模擬現場 600cms 流量時，量測隧道出水口水深計算其流速求得 1/40 模型隧道出水口流速為 16.92m/s 而 1/100 模型為 16.83m/s，兩者流速相差約 0.5%，由此可知 1/40 隧道長度裁掉 55.10m 其影響不大。)
- (5) 模型驗證：模型建置後進行水位流量率定與設計值比對驗證，率定方法採用出口體積法，流量由小而大，調整到所需水庫水位並且達到平衡(定流量試驗)，俟水位穩定平衡後即進行量測流量。進水口水位流量率定成果如圖 5 水位流量率定關係圖所示，模型流量率定曲線與設計值接近，但因孔

口底部高程為 E.L.241.50m，率定曲線在低水位情況下與設計值差異較大，其原因為率定低水位時因模型縮比關係，模型庫區水位距進水口孔口水深不足而產生漩渦捲氣現象，使得進入隧道水量較少，模型率定流量值會較設計值略低。

- (6) 沖淤池淤泥堆置方式：本模型試驗模擬水庫現場抽砂船抽泥後透過輸送管線送至沖淤池堆放方式，將曬乾粉碎後之淤泥拌入水桶中與水攪拌均勻並靜置一夜，翌日將均勻之泥漿使用抽水馬達抽至模型沖淤池入口端，使泥漿受重力影響自由堆積下游處，淤泥靜置七日經取樣計算求得含水量 $\omega = 95\%$ ，透過(1)式換算成淤泥乾單位重 $\gamma_d = 757.36 \text{ kg/m}^3$ ，為避免因淤泥長草造成抗沖蝕現象需保持沖淤池內水位不低於淤泥表面。

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + \frac{G_s \omega}{S}} \quad (1)$$

其中 γ_d 為乾單位重(ton/m^3)

G_s 為淤泥比重，本研究所使用淤泥取自石門水庫第 13 號沉澱池，淤泥比重約 2.7。

γ_w 為水的單位重(ton/m^3)

$$\omega = \text{含水量} = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

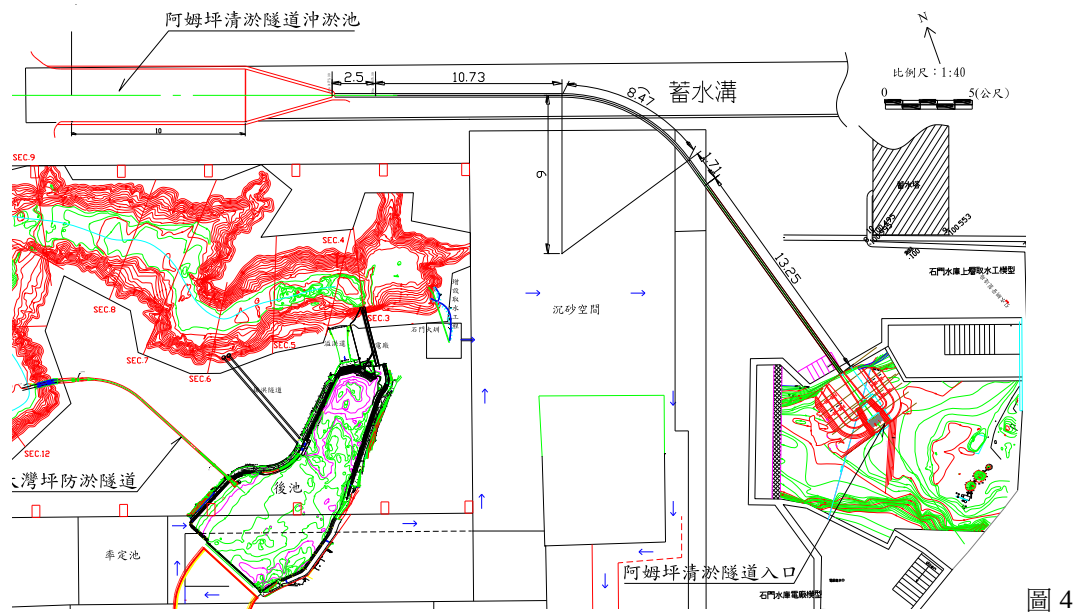
$$S = \text{飽和度} = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%， \text{暫置沖淤池之}$$

淤泥需保持潛沒水中，因此淤泥飽和度達 100%，故(1)式只要含水量知道，即可算出乾單位重。

- (7) 濃度量測方法：本試驗採用直接秤重量測法，量測進入沖淤池之濃度及流出沖淤池之濃度，其計算公式如下：

$$C = \frac{\alpha(W_3 - W_2)}{\beta(W_2 - W_1)} \times 10^6 \quad (\text{ppm})$$

其中 α 為泥砂比重，本試驗淤泥比重約 2.7， $\beta = \alpha - 1$ ， W_1 為空瓶重+瓶蓋重， W_2 為瓶重+裝滿清水重+瓶蓋重， W_3 為瓶重+裝滿渾水重+瓶蓋重。



水工模型布置圖

Figure 4. Hydraulic Model layout

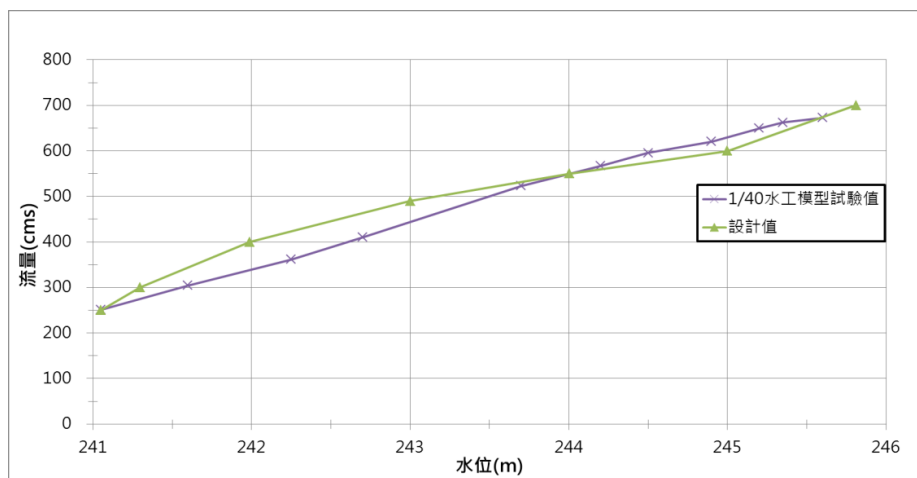


圖 5 水位與流量率定曲線

Figure 5. Rating Curve for H vs. Q

沖淤池沖淤試驗成果

本研究以阿姆坪防淤隧道進水口修訂方案作為上游模型進水口試驗條件，主要

考量為符合未來水庫實際操作水位，於 EL.245.00m 時能有 600cms 之放流量；沖淤池布置則以單槽複式斷面方式布置，一共進行 3 場次水工模型試驗。

本計畫沖淤池淤泥沖淤量之研究，其

淤泥為黏性土，深槽沖刷行為當水流剪應力大於凝聚性沉澱啟動剪應力時，即開始有沖刷行為產生(Krone, 1999)，而側灘淤泥橫向沖淤理念類似坡地土壤流失量之估算，因此藉助土壤流失公式

$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$ (Universal Soil Loss Equation, USLE)理論(行政院農業委員會，2014)，應用於試驗方案沖淤池之修訂，其中針對土壤流失公式之 R_m 、 L 、 S 因子衍生修訂方式探討其影響沖淤量之關係。

泥砂沖刷量計算並非採用土壤流失公式，乃採用秤重法計算求得沖刷量。秤重法乃將試驗後餘留在沖淤池的泥砂曬乾秤重，從試驗前加入沖淤池泥砂量減試驗後沖淤池剩餘泥砂量即可求得沖淤池泥砂沖刷量。

試驗方案 3 即是針對土壤流失公式中 L 及 S 因子，嘗試將側坡高灘坡降加陡，以提高 L 及 S 因子值，增加土壤流失量。

以下 3 場次試驗中分別為方案 1(沖淤池側灘坡降 $S=5\%$)、方案 2(沖淤池增設沖淤孔)、方案 3(加陡側灘坡降)，其布置說明及試驗內容說明如下：

1. 試驗方案 1：

本試驗沖淤池布置為單槽複式斷面方案，深槽底坡坡降 $S=0.88\%$ ，側灘坡降 $S=5\%$ ，沖淤試驗模擬現場條件：試驗流量 $=600\text{cms}$ ，淤泥堆置量 $=16$ 萬噸，試驗成果：試驗時間 $=8.5$ 小時，耗水量 $=1,836$ 萬 m^3 ，排砂比 $=55.60\%$ 。

由試驗中量測入池及出池濃度得知(詳如圖 9)沖淤試驗初期濃度相當高(約

$120,000\text{ppm}$)，其原因為出口端閘門開啟後即產生洩降沖刷，大量淤泥崩落所產生(詳如圖 6)，而試驗中濃度逐步降至 $10,000\text{ppm}$ 左右，此為出口端閘門洩降排砂往上游產生溯源現象及沖淤池水流集中沖刷深槽所產生之濃度(詳如圖 7)，而試驗後期濃度小於 $5,000\text{ppm}$ ，主要為深槽淤泥沖刷現象及些許高灘淤泥崩落產生之濃度(詳如圖 8)。

本次試驗深槽淤泥完全沖走，但高灘淤泥沖刷情況不佳，整體排砂比 55.60% 。



圖 6 試驗初期出口洩降沖刷現象
Figure 6. Drawdown Flushing in the Beginning of Experiment



圖 7 溯源沖刷現象

Figure 7. Retrogressive Erosion Condition



圖 8 深槽沖刷與側灘淤泥崩落現象

Figure 8. The Flushing Conditions of Deep Grooves and Silt Slide from Beach

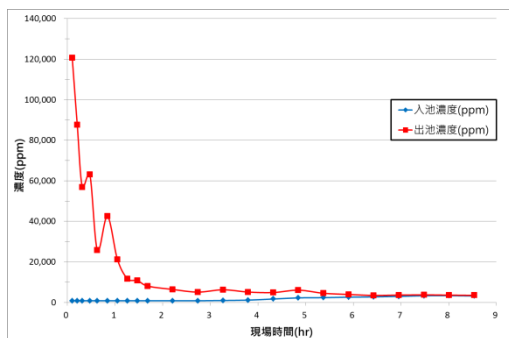


圖 9 沖淤濃度時間關係

Figure 9. The Relationship between Flush Concentration and Time

2.試驗方案 2：

本試驗沖淤池布置為單槽複式斷面方案，深槽底坡坡降 $S=0.88\%$ ，側灘坡降 $S=5\%$ ，因試驗方案 1 側灘淤泥沖刷情況不佳，大量淤泥仍置留在側坡上，因此本次試驗透過於側灘增設橫向沖淤孔(分隔牆上 EL.113.50m 高程每隔 1.50m 設置一直徑 8 英吋沖淤孔)，希望藉由增加高灘側向沖淤量，將流入側向沖淤渠道之流水籍由沖

淤孔流入灘地，並將堆置於灘地上的淤泥沖入深槽(詳如圖 10)。

沖泥試驗條件：試驗流量=600cms(深槽 520cms+橫向沖淤槽 80cms)，模擬淤泥量=16 萬噸，試驗成果：試驗時間=12.9 小時，耗水量=2,786 萬 m^3 ，排砂比=59.6%。

由試驗中量測入池及出池濃度得知(詳圖 13)沖淤試驗初期濃度相當高(約 45,000ppm)，其原因為出口端閘門開啟後即產生洩降沖刷，大量淤泥崩落所產生，而試驗中濃度逐步降至 10,000ppm 左右，此為出口端閘門洩降排砂往上游產生溯源現象及沖淤池水流集中沖刷深槽所產生之濃度，而試驗後期濃度小於 5,000ppm，主要為深槽淤泥沖刷現象及些許高灘淤泥崩落產生之濃度。

試驗結果得知增加橫向沖淤孔沖淤，其沖淤效果未有明顯提升，排砂比僅從 55.60% 提升至 59.6%，研判橫向沖淤孔沖淤流量不足(詳如圖 11)以將側灘淤泥沖入深槽，因此側灘仍遺留大量淤泥(詳如圖 12)。

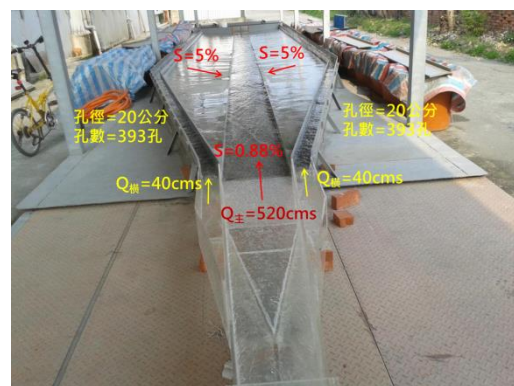


圖 10 方案 2 沖淤池布置圖

Figure 10. Flush Pool Layout of Case 2



圖 11 沖淤孔流況

Figure 11. Flow conditions of Sluice Hole



圖 12 試驗後期沖淤情形

Figure 12. The Flushing Condition in Late Stage of Experiment

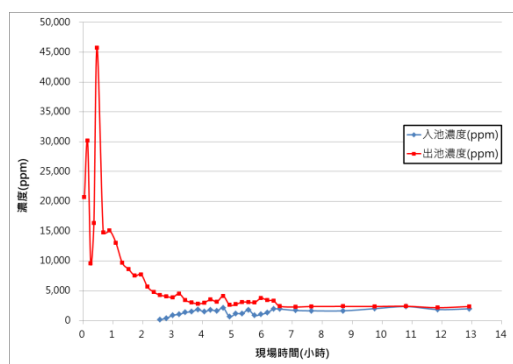


圖 13 沖淤濃度時間關係

Figure 13. The Relationship between Flush Concentration and Time

3.試驗方案 3：

本試驗沖淤池布置為單槽複式斷面方案，深槽底坡坡降 $S=0.88\%$ ，因試驗 2 增加沖淤孔方式無法有效提升側坡高灘沖淤量，因此本試驗以土壤流失公式中 L 及 S 因子，嘗試將側坡高灘坡降加陡，以提高 L 及 S 因子值，增加土壤流失能量，調整側坡坡降使其加陡坡降 $S=10\sim17.8\%$ 。

沖泥試驗條件：試驗流量=600cms，模擬淤泥量=12 萬噸，試驗成果：試驗時間=12.65 小時，耗水量=2,732 萬 m^3 ，排砂比=87.92%。沖淤試驗詳如圖 14~16。

試驗結果顯示將側坡坡降從 $S=5\%$ 加陡至 $S=10\sim17.8\%$ ，側灘沖淤效果明顯提升許多，整體排砂比從 59.60% 提升至 87.92%。當深槽淤泥被沖走後，因加陡側灘坡降使側坡上淤泥沿斜坡方向的重力分力增加，其力大於淤泥顆粒間之黏結力，因此側坡上淤泥崩落至深槽並隨水流沖走，試驗後期濃度(詳如圖 17)仍高於 5,000ppm，大大提升整體沖淤效能。



圖 14 試驗初期出口洩降沖刷現象

Figure 14. Drawdown Flushing in the Beginning of Experiment



圖 15 深槽冲刷與側灘淤泥崩落現象
Figure 15. The Flushing Condition of Deep Grooves and Silt slide from Beach



圖 16 試驗後期沖淤情形
Figure 16. The Flushing Condition in Late Stage of Experiment

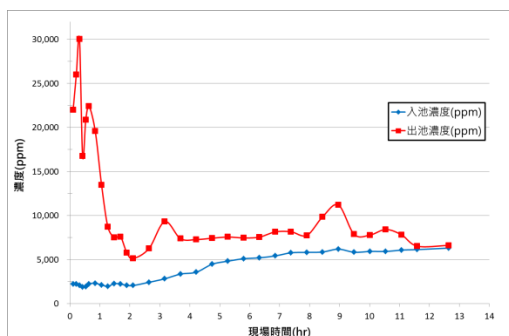


圖 17 沖淤濃度時間關係
Figure 17. The Relationship between Flush Concentration and Time

5.試驗結果分析與討論：

上述三種沖淤池模型沖淤效能試驗成果分析如下：

- (1) 排放濃度比較(詳如圖 18)：由模型試驗成果得知，在阿姆坪隧道進水口水位 EL.245.00m，流量 $Q=600\text{cms}$ 下各方案前 2 小時濃度差異不大，皆為初期出口端產生洩降冲刷及往上游產生溯源現象，濃度極高，而隨後逐漸遞減至 10,000ppm 以下；而 2 小時以後方案 3 排放濃度明顯高於方案 1、2，其原因為側灘坡度加陡增加側灘淤泥沖淤量，因而濃度較高。
- (2) 排砂比之比較(詳如圖 19)：在試驗流量 $Q=600\text{cms}$ 下各方案的排砂比(總排砂量/淤泥堆積量)分別為：方案 1：55.63%，方案 2：59.63%，方案 3：87.92%，以方案 3 排砂比最高。
- (3) 總排砂量與耗水量關係比較：由圖 20 可知方案 3 總排砂量最高而耗水量第 2 低，整體沖淤效率最佳。
- (4) 總排砂量與淤積量比較(詳如圖 21~23)：各方案深槽幾乎冲刷完竣，所剩於淤泥都殘留在兩側灘地，其中方案 1、2 左右側灘淤積量約佔 20%左右，方案 3 左右側坡淤積量約佔 5~6%，由此可知沖淤池沖淤效能關鍵在側坡淤泥冲刷量。
- (5) 各方案試驗成果彙整分析：由表 1 得知在試驗流量 $Q=600\text{cms}$ 下，方案 3 排砂比為 87.92%，為三個方案中冲刷效果最好。

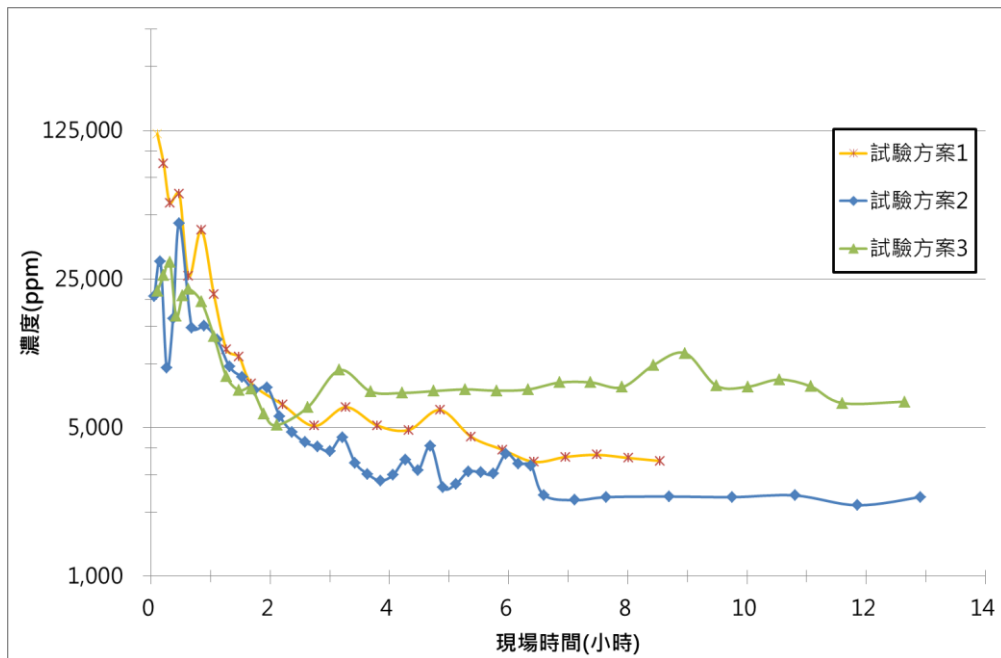


圖 18 不同方案濃度與時間關係比較圖

Figure 18. Comparison of Different Case for the Relationship between Concentration vs. Time

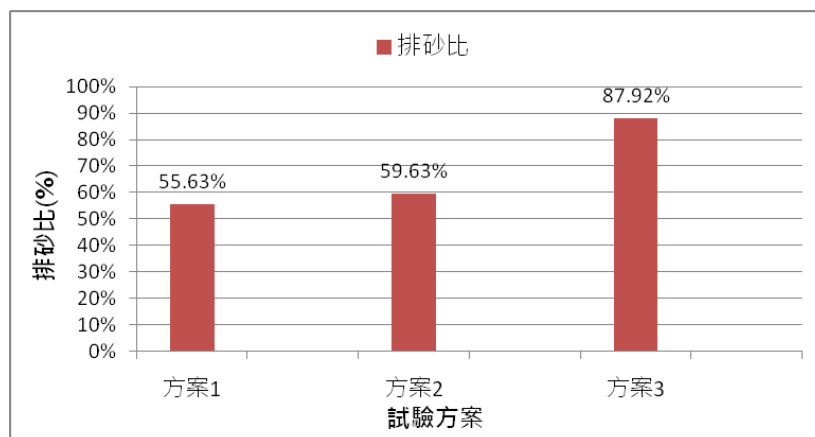


圖 19 排砂比比較

Figure 19. Comparison of Total Sediment Flush Ratio

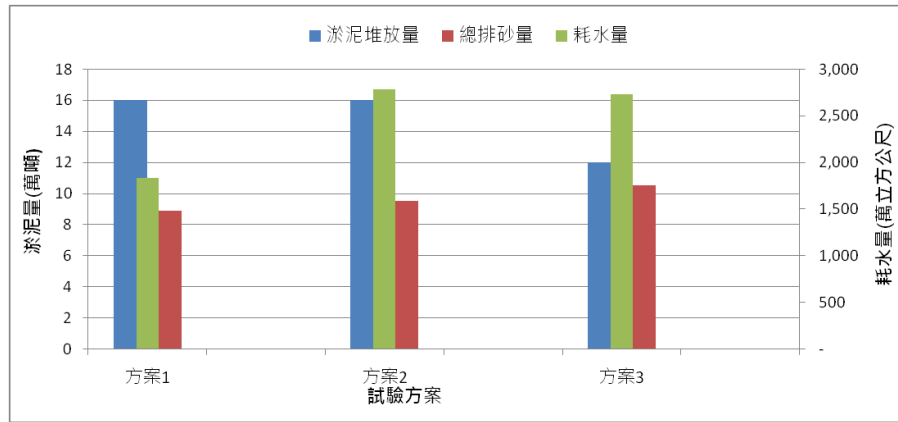


圖 20 總排砂量與耗水量關係比較

Figure 20. Comparison of Total Sediment Flush and Water Consumption

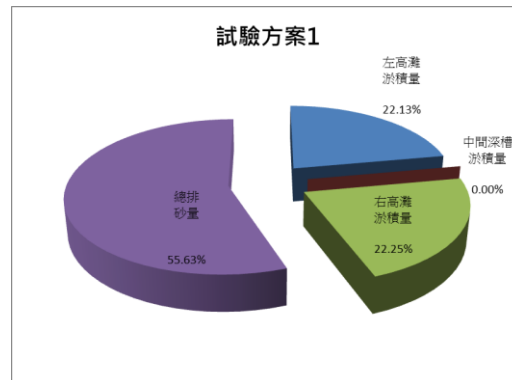


圖 21 方案 1 總排砂量與淤積量關係

Figure 21. Relationship between Total Sediment Flush and Deposition for Case 1

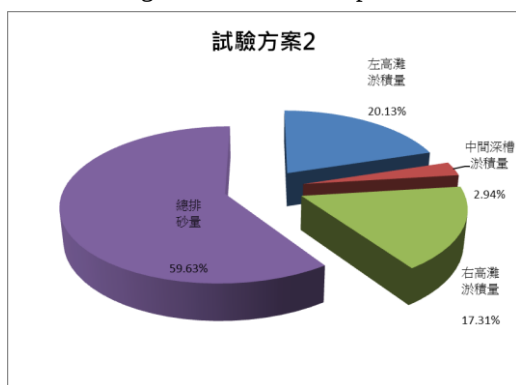


圖 22 方案 2 總排砂量與淤積量關係

Figure 22. Relationship between Total Sediment Flush and Deposition for Case 2



圖 23 方案 3 總排砂量與淤積量關係

Figure 23. Relationship between Total Sediment Flush and Deposition for Case 3

表 1 試驗成果彙整表

Table 1. Aggregated Table of Experimental results

試驗編號	沖淤池測試方案		試驗流量 (cms)	現場時間 (小時)	現場淤泥 堆放量 (萬噸)	左高灘 淤積量 (萬噸)	中間深槽 淤積量 (萬噸)	右高灘 淤積量 (萬噸)	總排 砂量 (萬噸)	排砂比	平均排 放濃度 kg/M ³	耗水總量 (10 ⁴ M ³)
方案1	單槽複式斷面	底坡S=0.88% 側坡S=5%	600	8.5	16	3.54	(無淤泥)	3.56	8.9	55.63%	4.85	1,836
22.13%						22.25%						
方案2		底坡S=0.88% 側坡S=5% 側坡增設橫向沖淤孔	600	12.9	16	3.22	0.47	2.77	9.54	59.63%	3.42	2,786
						20.13%	2.94%	17.31%				
方案3		底坡S=0.88% 側坡S=10%~17.8%	600	12.65	12	0.63	(無淤泥)	0.82	10.55	87.92%	3.86	2,732
						5.25%		6.83%				

結論與建議

結論

本研究共進行三場沖淤池模型沖淤效能試驗，沖淤流量為 600cms，沖淤池布置則以單槽複式斷面方式布置，以下三場次試驗中分別為方案 1(沖淤池側灘坡降 S=5%)、方案 2(沖淤池增設沖淤孔)、方案 3(加陡側灘坡降)，獲得結論如下：

1. 本沖淤池沖淤試驗，經由量測出池濃度與隧道流量，計算沖淤池沖淤歷線評估沖淤效率；試驗後清出沖淤池淤泥量曬乾秤重，計算沖淤池排砂比並綜合其結果分析其沖淤效能。
2. 沖淤池在單槽複式斷面方案布置下，以沖淤流量 600cms 及沖淤池淤泥堆置一星期條件下，各方案主深槽幾乎可沖刷完竣且整體沖淤效能可達 50%以上。
3. 方案 1 為沖淤池側坡在 S=5%的情況，試驗沖淤效果為 55.63%左右，高灘淤泥沖刷成效不佳。

4. 方案 2 為增加橫向沖淤孔，惟水流能量過小，高灘淤泥沖淤成效提升不顯著(排砂比從 55.63%提升至 59.63%)。
5. 方案 3 為沖淤池修改加陡側坡情況下(坡度 S=10%~17.8%)，排砂比可達約 87.92%，高灘淤泥沖刷成效明顯大幅提升(排砂比從 55.63%提升至 87.92%)。

建議

1. 沖淤池沖淤效能關鍵在側坡沖淤量，建議沖淤池側坡高灘坡度應盡量大於 10%，如此兩側高灘淤泥將較容易隨著主深槽淤泥沖走時而接續滑入主深槽繼續被沖走。
2. 沖淤池增加橫向沖淤孔沖刷水流能量過小，建議沖淤池增加高灘側向水流沖刷流量，以提高排砂效率。
3. 一般而言，粒徑極細或黏土所佔的比例增高時，顆粒間之黏結力影響細顆粒泥砂之運動(Lia & Shen,1996)，在不同壓密狀態下之黏性淤泥之沖刷率，隨著乾單位重的增加而下降(Tan & Jiang &

Shu,2010)。因此未來現場淤泥粒徑、堆置方式及堆置時間長短，皆有可能影響沖淤池沖淤情形，建議增設以人工清淤方式(高壓水柱沖洗)以達設計期望。

誌謝

本文承經濟部水利署水利規劃試驗所「石門水庫阿姆坪防淤隧道水工模型試驗研究」計畫及水利署長官之支持、陳文福與詹勳全老師之指導，致使本研究得以順利完成，作者在此表達由衷之謝忱。

參考文獻

1. 行政院農業委員會，2014 年 9 月 7 日，「水土保持技術規範」。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012 年 12 月，「水工模型試驗參考手冊」。
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2010 年 1 月，「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究-初步規劃報告」。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012 年 6 月，「石門水庫濁水成因及淤泥層運移機制鑽探試驗分析(2/2)」。
5. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012 年 8 月，「石門水庫上游主河道分洪防淤工程初步規劃及水工模型試驗研究—水工模型試驗」。
6. 經濟部水利署北區水資源局，2014 年 7 月，「103 年度石門水庫、榮華壩及沉澱池淤積測量作業」石門水庫、後池與榮華壩淤積測量成果報告書。
7. 經濟部水利署北區水資源局，2012 年 8 月，「石門水庫阿姆坪上游河道淤積物調查」委託服務成果報告。
8. 經濟部水利署北區水資源局，2012 年 9 月，「石門水庫防淤隧道可行性規劃總報告」。
9. 經濟部水利署北區水資源局，2014 年 7 月，「石門水庫阿姆坪防洪防淤工程可行性規劃-可行性規劃檢討報告」。
10. 彭茂崧，2014 年 7 月，「石門水庫阿姆坪隧道之出口沖淤池沖淤效能探討」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
11. Krone, R. (1999). "Effects of Bed Structure on Erosion of Cohesive Sediments." J. Hydraul. Eng., 125(12): 1297-1301.
12. Lia, J. S., and Shen, H.W., (1996). "Flushing sediment through reservoirs," Journal of Hydraulic Research, IAHR, 34(2): 237-255.
13. Tan G. M., Jiang L. and Shu C. W. (2010), "Experimental study of scour rate in consolidated cohesive sediment," Journal of hydrodynamics, 22(1): 51-57.

水土保持學報 47 (4): 1495–1510 (2015)

Journal of Soil and Water Conservation, 47 (4): 1495–1510(2015)

103 年 04 月 16 日收稿

103 年 04 月 24 日修改

103 年 05 月 04 日接受