

水土保持學報 35(4)：411-424 (2003)

Journal of Soil and Water Conservation, 35(4)：411-424 (2003)

含滓水流對防砂壩下游河道沖淤之試驗研究

蔡志隆⁽¹⁾ 周良勳⁽²⁾ 梁大慶⁽³⁾

摘要

本試驗旨在探討防砂壩淤積後，溢壩水流對下游河道泥砂的沖淤影響。在含滓水流條件下，由渠槽試驗分別觀測河道建構不同壩高和消能設施的防砂壩後，對下游河道沖淤之變化，以三種沖淤指標因子：全區泥砂運移比、強沖刷區泥砂運移比、弱沖刷區泥砂運移比等判斷河道在各個區域之泥砂沖淤情形。試驗結果顯示：

- 一、當河道建構防砂壩後，其河道各沖刷區之泥砂運移比皆會較原河道各沖刷區之泥砂運移比大；且會隨著防砂壩的增高，而呈現沖刷更嚴重之趨勢。
- 二、當河道建構不同消能設施的防砂壩後，並於壩體下游設置護坦、水墊、副壩等不同消能設施予以消能，對整個河道的全區泥砂運移比之影響，以副壩設施的全區泥砂運移比最小，所以副壩設施最能有效降低整個河道的沖刷，水墊次之，護坦則最差。
- 三、當河道建構不同消能設施的防砂壩後，並於壩體下游設置護坦、水墊、副壩等不同消能設施予以消能，對整個河道的強沖刷區泥砂運移比之影響，以副壩設施的強沖刷區泥砂運移比最小，最能夠有效降低強沖刷區的沖刷，所以副壩消能效果最好，護坦次之，水墊再次之。
- 四、無論在河道建構何種消能設施的防砂壩，皆能減緩強沖刷區的沖刷程度，但卻會增加弱沖刷區泥砂運移比，加劇弱沖刷區的河床沖刷作用。

(**關鍵詞**：防砂壩、消能設施、含滓水流、沖淤變化)

Effects of Overflows Resulting from Sediment Deposition behind Check Dams on Downstream Scouring and Deposition

Chih-Lung Tsai

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation
National Chung-Hsing University, Taichung, 402 TAIWAN

Liang-Hsiung Chou

Associate Professor, Department of Civil and Water Resources Engineering
National Chiayi University, Chiayi, 600 TAIWAN

-
- (1) 國立中興大學水土保持學系博士班研究生
 - (2) 國立嘉義大學土木與水資源工程學系副教授
 - (3) 中州技術學院景觀設計系助理教授

Ta-Ching Liang

Assistant Professor, Department of Landscape Architecture, Chungchou Institute of Technology, Changhwa, Taiwan 510.

ABSTRACT

The purpose of this experiment is to explore the influences of the overflow resulting from sediment deposition behind check dams on sand scouring and deposition in downstream watercourse. Dam models constructed in different high level or with energy dissipation component in flume experiment of the flow with sediment to observe the difference of sand scouring and deposition condition. Three indexes ① entire area sand transported ratio, ② serious-scouring area sand transported ratio and ③ weak-scouring area sand transported ratio were used to determine sand scouring or deposition in downstream watercourse. The results of experiment showed as follows:

1. After check dam was constructed in watercourse, sand transported ratio would increase in each area. The trend is more serious scouring situation for higher of the dam.
2. Different kinds of energy dissipation dams were constructed with apron dam, water cushion, secondary dam in downstream. Secondary dam is the most effective type to diminish sand scouring situation in watercourse as illustrated by minimum value of entire area sand transported ratio. So secondary dam. The effect of water cushion is fair while that of apron dam is poor.
3. These energy dissipation components could retard sand scouring situation of serious scouring area, but increase the value of weak-scouring area sand transported ratio. That also aggravates sand scouring situation of weak scouring area.

(**Keywords** : check dam, energy dissipation component, sediment flow, difference of scouring and deposition)

前言

每當洪水來臨時，強大的水流沖擊力常導致壩體下游局部沖刷，進而危及壩體自身的結構安全。目前許多研究皆針對防砂壩壩體下游局部沖刷情形來探討，而成效亦頗佳；但唯範圍多設定於壩頂溢洪口處水流流況與壩體下游有消能設施或無消能設施之沖刷情況的探討，此等研究範圍都集中於探討建壩之後沖刷的情形，尚未深入探討建壩前後防砂壩對於壩址下游泥砂運移的影響。

又如果防砂壩構築地點的河道條件差或者壩高太高，而水流增加位能太高，位能轉換成動能的能量太大，壩體下游將無法靠水

流之間摩擦消散，增加的能量勢必會對壩體下游造成強烈掏刷，消滅多出的位能能量，如此強烈的掏刷會影響壩體安全，所以壩體下游必須提供良好消能設施，才能進行消能；而壩體下游所提供耗能設施有一定的消能程度，是否能將壩體儲存位能完全消耗，有待研究。倘若不能完全消能，壩體與消能構造物也會因水流的沖擊力太大而遭到破壞，而消能設施無法消耗的能量將繼續侵蝕消能設施的下游河道，挾帶泥砂往更下游處，不停的沖刷將使得壩體穩定性降低，甚至危及壩體和下游安全。所以，防砂壩的高度與消能設施有著密不可分的關係，唯有合理的防砂壩高度及適當消能設施，才能真正

發揮防砂壩的功能。

研究目的

本試驗旨在探討防砂壩淤積後，溢壩水流對下游河道泥砂的沖淤影響。在含滓水流條件下，由渠槽試驗分別觀測河道建構不同壩高和消能設施的防砂壩後，對下游河道沖淤變化之影響。根據前言所述，本研究乃藉由渠槽的定性試驗，對下列幾項進行深入之研究分析，以重新定義防砂壩對於下游河道的影響，以及瞭解如何降低建構防砂壩對下游河道的衝擊。

1. 由水流沖刷無防砂壩的河道及有防砂壩的河道，從河道的泥砂運移量變化及泥砂供給情況，得到河道建構防砂壩之後，河道下游將產生的沖淤變化，可能是沖刷或者是淤積。簡言之，即是從建壩前後河道泥砂運移量的變化，得知建壩之後的河道沖淤情形。
2. 防砂壩建構後，將改變河道沖刷型態，若壩址選擇不對，將造成河相異常改變，進而產生不同之水流狀況，間接造成其他之土砂災害。所以對於消能構造物之選擇，亦可利用渠槽定性分析加以比較，以設計出最優良之選擇。

試驗方法

3.1 試驗設施

此試驗研究之渠槽為小型不銹鋼製傾動流槽(Inclined flume)，流槽尺寸大小為全長 570 公分，寬度 8 公分，高度 25 公分。渠槽佈置示意圖如圖 1 所示。將合板作成的防砂壩置於 A 斷面，將消能設施置於壩後。讓水流於壩前壅高，直到水位高於壩高時產生自然溢流，才開始計算試驗時間。從 A 斷面至渠槽出口共 3.5 公尺的渠道均勻鋪砂 15 公分

厚，砂石粒徑為停留#8 篩上方的砂石，此河段為本試驗的試驗段，也是觀察泥砂沖淤變化的地點，更是整個試驗探討的重點之一，將沖淤變化情形紀錄起來，並進行資料分析。

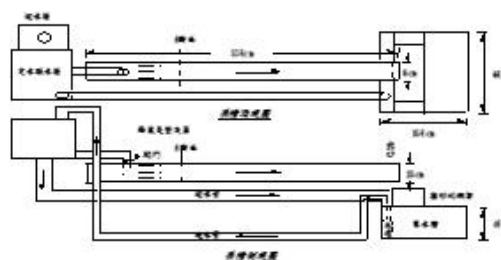


圖 1. 渠槽佈置圖

Figure 1. Experimental apparatus of flume.

3.2 試驗條件

試驗的材料設置如表 1 所示，試驗採用均勻粒徑的鋪砂，以停留#8 篩(2.38mm)的泥砂作為河床質唯一粒徑。而本試驗主要針對集水區上游之河道探討，故水流狀況則以超臨界流加以模擬試驗。

3.3 試驗步驟

藉著渠槽試驗進行河道無防砂壩、河道有防砂壩、河道設有消能設施的防砂壩等三種情況下的河道下游泥砂運移的變化，試驗流程如圖 2 所示，其試驗步驟分述如下：

1. 用合板為材料，作出三種不同壩高(H)的防砂壩及九種不同大小的消能設施。於渠槽上均勻鋪上長 350 公分、厚 15 公分的均勻泥砂，並加水使土樣趨於飽和狀態。
2. 將渠槽調至適當坡度(S)。將閘門開至所需的流量位置，率定實際流量是否符合預定之流量，微調閘門，直到實際流量與預定流量相符才進行試驗。

表 1. 渠槽試驗之防砂壩位置條件
Table 1. Location of check dam in flume experiment.

| | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 觀察範圍 | 渠槽取 3.5 公尺作為試驗觀察範圍 | |
| 鋪砂粒徑 | 均勻粒徑#8 (2.38mm) | |
| 鋪砂厚度 | 15 公分 | |
| 渠道坡度 (S) | 3 度、4 度、5 度等三種坡度 | |
| 壩高(H) | 2.2 公分、3 公分、4 公分 | |
| 流量(Q) | 0.00046、0.00056、0.00066(cms) | |
| 消能設施 (依水土保持技術規範第 225 條設計) | 水平式 護坦 (3 種) | 壩高 2.2cm 護坦長 9.88cm |
| | | 壩高 3cm 護坦長 11.5cm |
| | | 壩高 4.2cm 護坦長 13.4cm |
| | 水平式 水墊 (3 種) | 壩高 2.2cm 水墊長 9.88cm |
| | | 壩高 3cm 水墊長 11.5cm |
| | | 壩高 4.2cm 水墊長 13.4cm |
| | 副壩 (3 種) | 壩高 2.2cm 壩距 10cm 副壩高 0.67cm |
| | | 壩高 3cm 壩距 12cm 副壩高 1cm |
| | | 壩高 4.2cm 壩距 14.4cm 副壩高 1.4cm |

3. 轉開閘門，開始供水 5 分鐘，然後關掉閘門，結束供水。紀錄河道內、強沖刷區、弱沖刷區實驗前後鋪砂厚度變化值，以瞭解泥砂量變化。
4. 重複步驟 1 至步驟 3 共兩次，即相同試驗條件下做三次試驗，取得準確數據。
5. 依序變換渠槽坡度 3 度、4 度、5 度，

重複步驟 1 至步驟 4。

6. 依序變換流量 0.00046cms、0.00056cms、0.00066cms，重複步驟 1 至步驟 5。
7. 先從 2.2 公分的防砂壩開始作試驗，依序再從 3 公分、4.2 公分的防砂壩做試驗，每種壩高(H)重複步驟 1 至步驟 6。
8. 依序選用壩高(H)2.2 公分、3 公分、4.2 公分的防砂壩。再依壩高(H)順序選用護坦、水墊、副壩等消能設施做試驗，重複步驟 1 至步驟 7。

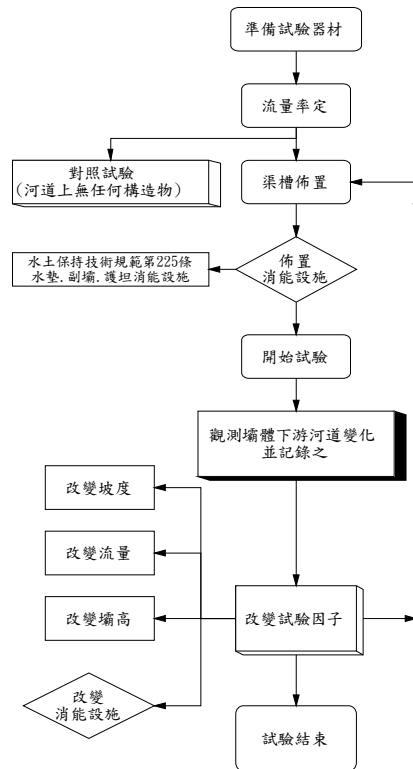


圖 2. 渠槽試驗步驟流程圖

Figure 2. Flowchart of flume experiments.

3.4 名詞定義及解釋

經由渠槽試驗對防砂壩下游河道進行沖淤觀測及紀錄，這些紀錄值的意義分別由各區名稱示意圖表示，如圖 3 所示。從沖蝕三步驟(沖刷、搬運、堆積)來說明，強沖刷區為進行沖刷的區域，而弱沖刷區則為進行沖刷及搬運的區域。分析防砂壩建構對下游沖淤的影響，從防砂壩的下游選擇強沖刷區(或局部沖刷)、弱沖刷區等兩大區域的特性作為本文分析重點，歸納這些分析的重點有：全區的泥砂運移比 (q_s/q_w)、強沖刷區的泥砂運移比 (q_{ss}/q_w)、弱沖刷區的泥砂運移比 (q_{ls}/q_w) 等 3 種參數值，以下為參數值的定義介紹如下：

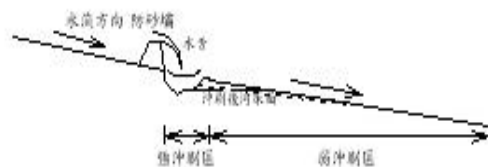


圖 3. 河道內各區域名稱說明

Figure 3. description of parts in watercourse.

3.4.1 全區泥砂運移比 (q_s/q_w):

整個防砂壩的下游河道於單位時間內，單位長度的全區泥砂體積 q_s 與單位寬度流量 q_w 的比值。泥砂運移比 (q_s/q_w) 表示將單位寬流量的影響平均於單位長度的泥砂體積 q_s 中，而不單獨考慮流量對泥砂運移的影響；如此可以減少單位寬流量的變因，使得試驗分析更簡單方便。全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的比值大小可以了解到整個防砂壩下游河道的沖刷激烈或緩和，若該值愈大代表防砂壩下游全區河道沖刷愈劇烈，對於防砂壩下游河道產生愈不穩定的影響；若該值愈小顯示建構防砂壩的影響也就愈小，對於河道環境的衝擊也較小。

3.4.2 強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w)

強沖刷區於單位時間內，單位長度的強沖刷區泥砂體積 q_{ss} 與單位寬流量 q_w 的比值，該比值顯示強沖刷區受到水流淘刷的嚴重性，比值愈大沖刷愈嚴重，沖刷坑形成的災害。所以強沖刷區需加設消能設施減緩沖刷，降低強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 的比值。

3.4.3 弱沖刷區泥砂運移比 (q_{ls}/q_w)

弱沖刷區於單位時間內，單位長度的弱沖刷區泥砂體積 q_{ls} 與單位寬流量 q_w 的比值，該比值顯示弱沖刷區的河道泥砂搬運情形，比值愈大顯示河道泥砂搬運發達，河道沖刷愈嚴重。假如弱沖刷區兩岸岩層結構脆弱，兩岸岸坡基腳受到過壩的水流不斷的侵蝕淘刷，易形成兩岸崩塌或切割嚴重的河谷地形，影響河道安全。

結果與討論

4-1 全區泥砂運移比 (q_s/q_w)

全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 將從四個方向來探討，如圖 4 所示，首先了解未建構防砂壩時全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 作為基準值，接著將建構防砂壩後的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 做比較，便可知道構建防砂壩對於下游河道的沖淤有無保護的效果；再了解建構防砂壩並加造護坦、水墊、副壩等不同消能設施時的全區泥砂運移比 (q_s/q_w)，與無壩及有壩時的 (q_s/q_w) 一起作比較，可得知有消能設施的防砂壩對於河道的沖淤有何影響。由於興建防砂壩對下游河道泥砂沖淤是否有利，將從全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的比值結果得知，並從結果作為建壩與否，及建壩是否加上消能設施的參考依據。

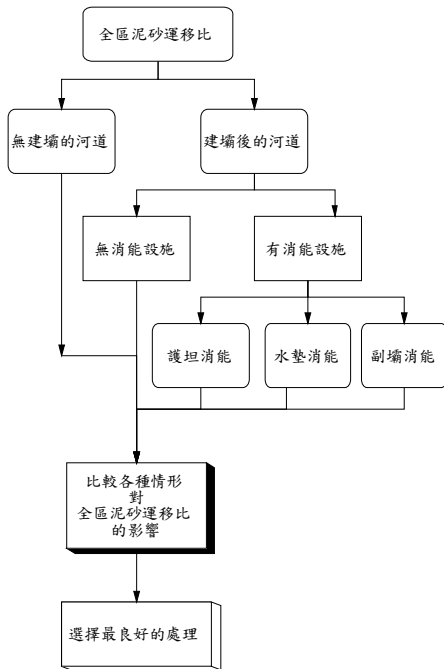


圖 4. 泥砂運移比之分析流程圖

Figure 4. Analysis flowchart of sediment transport ratio.

一、河道構建防砂壩前後的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的比值

從圖 5 分析可得知，在河道坡度 $S=3$ 度時，無建壩的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 較在建構不同壩高的防砂壩之全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 還大，且隨著坡度的增加，防砂壩在不同壩高時的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 都有逐漸增加的趨勢，這顯示全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 受到河道坡度的影響，呈現正比例的關係，河道坡度 $S=5$ 度時的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 為河道坡度 $S=3$ 度時的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的四倍。所以，隨著渠槽坡降越大，則渠床沖刷情形將越嚴重。若河道上構築防砂壩，在採用不同壩高的情況下，河道坡度 $S=3$ 度時，其全區泥砂運移比

(q_s/q_w) 皆小於河道未建築任何構造物的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 。由此可知，在坡度 $S=3$ 度的河道上構築防砂壩，將有助於防止河道上泥砂的沖刷。而隨著河道坡度的增加，防砂壩在不同壩高的曲線也有增加的趨勢。在河道坡度 $S=5$ 度、防砂壩壩高 3cm 時，其全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 遠超過原河道之全區泥砂運移比 (q_s/q_w) ，應該避免此類型的規劃設計。

二、防砂壩有護坦消能時，全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的變化

當河道構建防砂壩後，將造成全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 有增加的現象。所以，於防砂壩下游勢必需要增建相關消能設施，以防止防砂壩下游整個河道的沖刷加劇。圖 5 是探討河道構築有護坦消能設施之防砂壩時，由圖上曲線得知，河道全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 與河道坡度成正比關係，河道坡度越大，所造成的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 就越大，而且隨著壩高的增高，所形成的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 就越小。當壩高 4.2cm 時，其曲線在河道未構築任何構造物時曲線下方，由此可知，構築有護坦之防砂壩在壩高 4.2cm 時，最能夠有效控制河道泥砂的沖刷量。

三、防砂壩有水墊消能設施時，全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的變化

在河道構築有水墊消能設施之防砂壩時，由圖 7 可得知，當壩高在 4.2cm 時，全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 並不會因為河道坡度的改變而有所影響；在壩高為 3cm 的曲線斜率為負值，這顯示壩高在 3cm 的情況下，隨

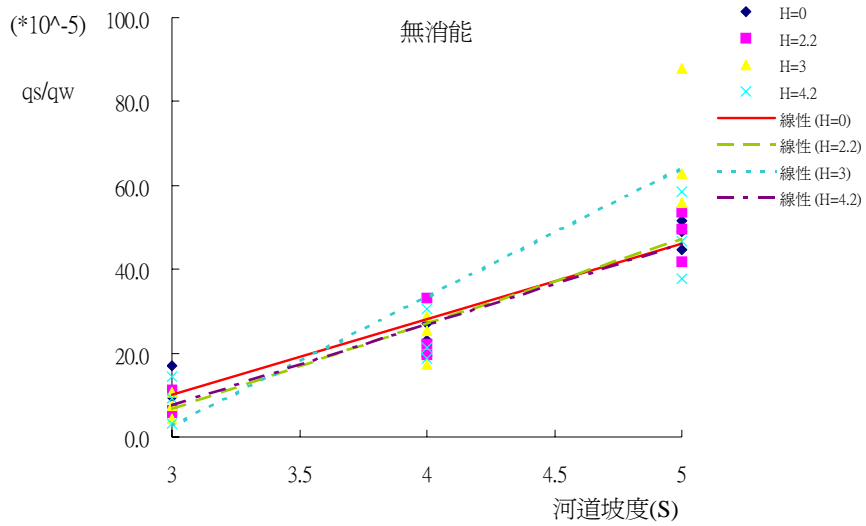


圖 5. 無消能設施防砂壩，其全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 與河道坡度 (S) 之關係
 Figure 5. Relation of sediment transport and watercourse slope without any energy dissipation component.

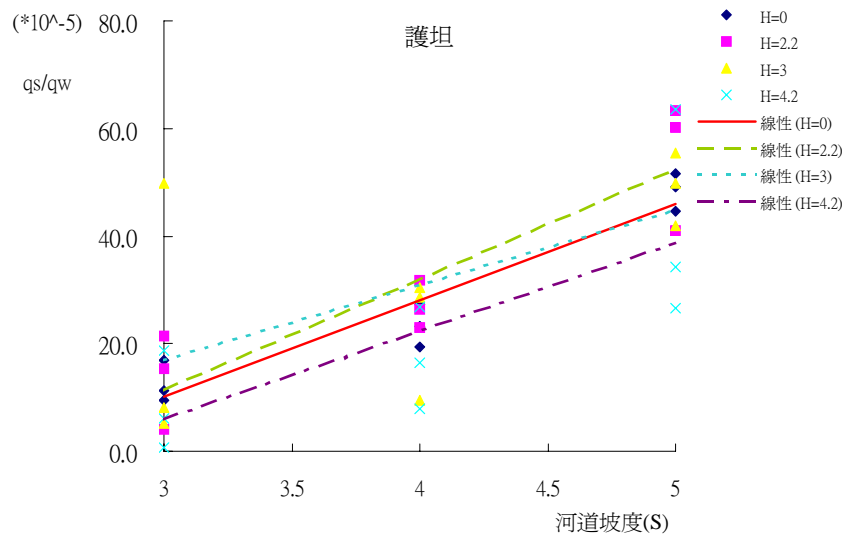


圖 6. 有護坦消能設施防砂壩，其全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 與河道坡度 (S) 之關係
 Figure 6. Relation of sediment transport and watercourse slope with apron.

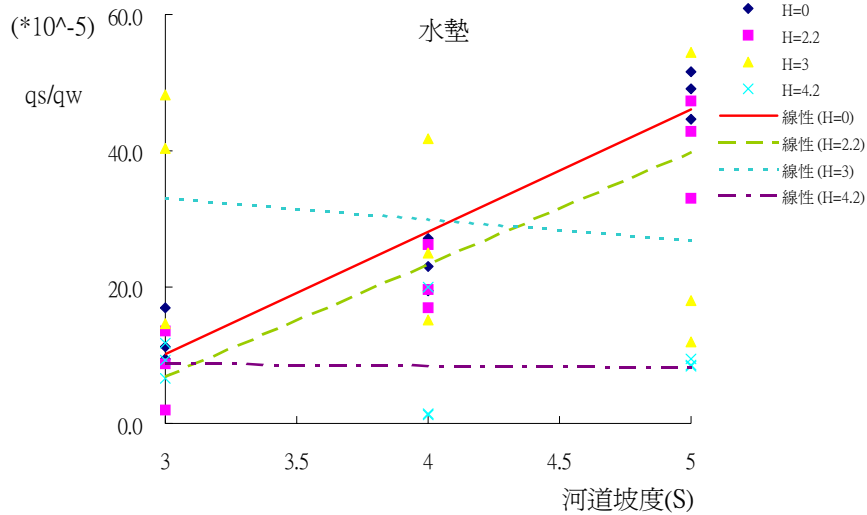


圖 7. 有水墊消能設施防砂壩，其全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 與河道坡度 (S) 之關係

Figure 7. Relation of sediment transport and watercourse slope with water cushion.

著河道坡度的增加，其全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 有減少的趨勢，但在河道坡度 3 度時，其全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 為河道未建任何構造物時之全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的四倍，造成嚴重的沖刷結果，應該詳加考慮其是否適當。另在壩高 2.2cm 時，其曲線表示全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 會隨著河道坡度增加而增加，但是曲線在河道未建築任何構造物的曲線下，顯示出有水墊消能設施的防砂壩，在壩高為 2.2cm 時，能夠有效的防止河道沖刷，達到安定河床的目的。

四、防砂壩有副壩消能設施時，全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的變化

就圖 8 而言，當河道構築有副壩消能設施之防砂壩時，隨著壩高的增高，所造成的全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 就越小，任何壩高情況下

的曲線都非常接近，這顯示出其全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的大小與壩高變化沒有太大的關係；換言之，全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的大小與河道坡度有著密切的關係。當河道坡度越大，全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 就越大，但其不同壩高曲線皆位於原河道曲線下方，表示構築有副壩消能設施之防砂壩將能夠有效的減少河道沖刷。

五、河道於不同處理設施時，全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的比較

在自然的狀況下，河道一定會挾帶泥砂往下游輸送，只是泥砂量的多寡而已。當河道在相當安定的情況下，泥砂的運移量是呈現穩定的狀況，河床型態改變小；反之，當河道在極不安定的情況下，泥砂的運移量將出現大量的變化，造成河床大量的沖刷或淤積，甚至危及兩岸的安定性。

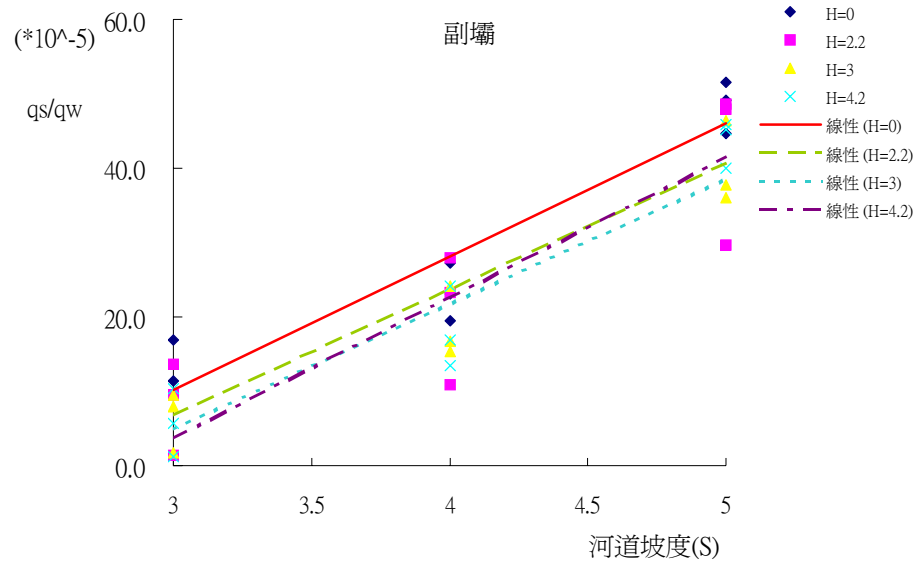


圖 8. 有副壩消能設施防砂壩，其全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 與河道坡度 (S) 之關係
 Figure 8. Relation of sediment transport and watercourse slope with secondary dam.

為了抑止河道形成大量的泥砂運移變化，在河道上建構處理設施在所難免。而建構處理設施的必要性，則可從全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 做初步的判定，因為全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 即可代表該河道之泥砂運移狀況。若該河道之全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的值大，則顯示該河道泥砂運移量變化大，河道在相當不安定的狀態；若該河道之全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的值小，則表示該河道泥砂運移量變化小，河道處於較安定的狀態。一旦河道處於不安定的狀態下，則需於河道施加設施處理，然而在不同處理設施下，所產生的全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 也有不同的變化。從圖 9 至圖 11 中，說明了河道在不同處理設施下，所產生之不同全區泥砂運移比 (q_s / q_w)，將可作為河道進行處理設施選擇之參考依據。

(一) 河道坡度 $S=3$ 度的情況下

在圖 9 中，當河道坡度 $S=3$ 度的情況下，除了原河道外，其他處理，如防砂壩、有護坦消能設施防砂壩、有水墊消能設施防砂壩及有副壩消能設施防砂壩等四條曲線的斜率都很小，而這四種設施的全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 皆受到壩高的影響較小。若以全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 的大小來分析的話，有水墊消能設施防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 最大，而有副壩消能設施防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s / q_w) 最小。所以，在河道坡度 $S=3$ 度的條件下，為了維護河道安定與減少全區泥砂運移量，應選擇有副壩消能設施防砂壩，避免下游河道產生太大的沖刷。

(二) 河道坡度 $S=4$ 度的情況下

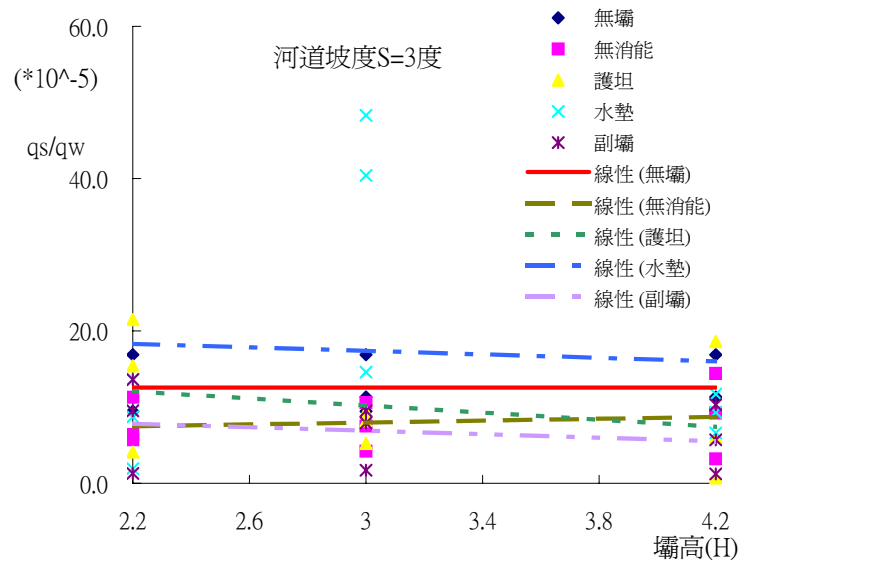


圖 9. 河道坡度 S=3 度時，各種情況之全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 與壩高(H)之關係
 Figure 9. Relation of sediment transport and height of dam in watercourse slope S=3.

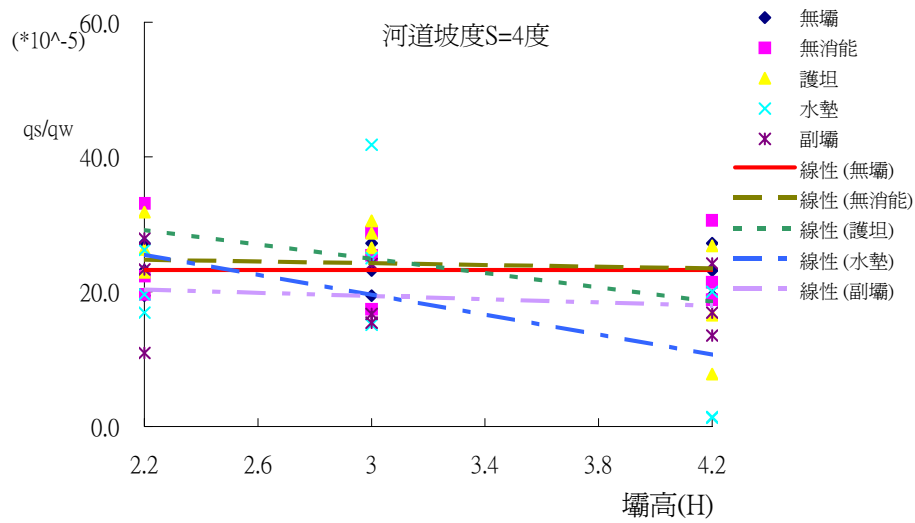


圖 10. 河道坡度 S=4 度時，各種情況之全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 與壩高(H)之關係
 Figure 10. Relation of sediment transport and height of dam in watercourse slope S=4.

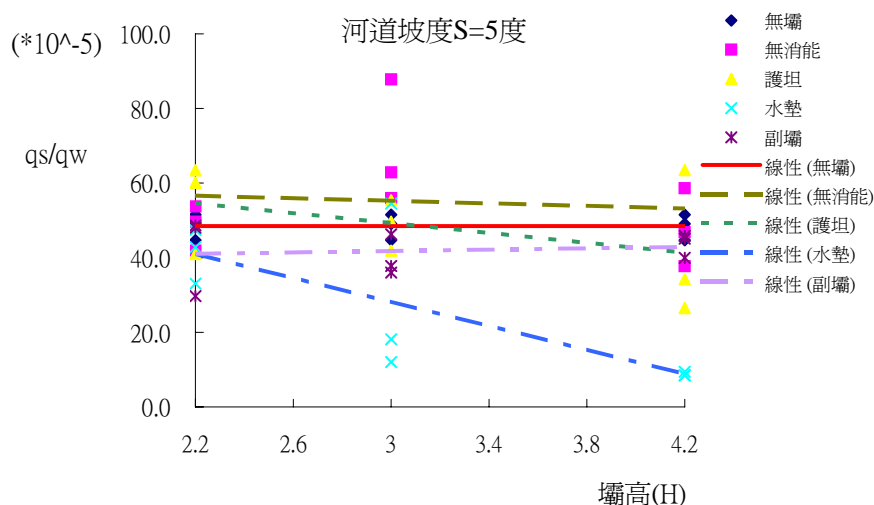


圖 11. 河道坡度 S=5 度時，各種情況之全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 與壩高(H)之關係
 Figure 11. Relation of sediment transport and height of dam in watercourse slope S=5.

在圖 10 中，當河道坡度 S=4 的情況下，其中防砂壩及有副壩消能設施防砂壩等兩條曲線斜率都很小，顯示這兩種處理設施的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 受到壩高的影響較小；另外有護坦消能設施防砂壩及有水墊消能設施防砂壩等兩條曲線的斜率都是呈現出負值的變化情形，表示這兩種處理設施的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 受到壩高的影響較明顯，且這兩種處理設施的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 會隨著壩高的增高而減小。若以全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的大小來區分的話，在壩高 2.2cm 時，有護坦消能設施防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 最大，有副壩消能設施防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 最小；隨著壩高逐漸的增加，在壩高為 4.2cm 時，以防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 最大，有水墊消能設施防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 最小。總而觀之，在河

道坡度 S=4 的條件下，為了避免下游河道產生太大的沖刷及減少泥砂運移量，應盡量採用壩高 2.2cm 且有副壩消能設施防砂壩，或是選擇壩高 4.2cm 且有水墊消能設施防砂壩，以保護河道安全。

(三) 河道坡度 S=5 度的情況下

在圖 11 中，當河道坡度 S=5 的情況下，其中防砂壩及有副壩消能設施防砂壩等兩條曲線斜率都很小，顯示這兩種處理設施的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 受到壩高的影響程度較小；另外有護坦消能設施防砂壩及有水墊消能設施防砂壩等兩條曲線的斜率都是呈現出負值的變化情形，表示這兩種處理設施的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 受到壩高的影響較明顯，且這兩種處理設施的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 會隨著壩高的增高而減小。由此可見，河道坡度 S=5 度的情況與河道坡度 S=4 度的情況類似。若

以全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 的大小來分析，無論壩高高度為何，防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 皆最大，而有水墊消能設施防砂壩的全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 則皆最小。這顯示在河道坡度 $S=5$ 度的條件下，為避免河道產生太大的沖刷及減少全區泥砂運移量，應選擇有水墊消能設施防砂壩，以達到安定河床的功效。

結論與建議

一、不同河道處理設施對全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 之影響

(一) 無消能設施防砂壩

當河道建構無消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，河道坡度 $S=3$ 度至 $S=5$ 度間，其河道全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 皆會隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢。另外，當河道坡度 $S=3$ 度時，建構無消能設施防砂壩，將最有利於降低河道沖刷。

(二) 有護坦消能設施防砂壩

當河道建構有護坦消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 皆會隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢。構築有護坦消能設施防砂壩，以壩高 4.2cm ，最能夠有效控制河道泥砂的沖刷量。

(三) 有水墊消能設施防砂壩

當河道建構有水墊消能設施防砂壩後，除了壩高 2.2cm 之河道全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 會隨著河道坡度增加而增加外，壩高 3cm 、 4.2cm 之河道全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 會隨著河道坡度增加而降低。另在壩高 2.2cm 條件下，最能夠有效防止河道沖刷，達到安定河床的目的。

(四) 有副壩消能設施防砂壩

當河道建構有副壩消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道全區泥砂運移比 (q_s/q_w) 皆會隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢。在不同壩高條件下，構築有副壩消能設施防砂壩，皆能減少河道沖刷，效果差異不大。

二、不同河道處理設施對強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 之影響

(一) 無消能設施防砂壩

當河道建構無消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 皆會較原河道強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 高，而且會隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢。另外，若壩高逐漸增高，建構無消能設施防砂壩，將會造成強沖刷區更嚴重的沖刷。

(二) 有護坦消能設施防砂壩

當河道建構有護坦消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 皆會較原河道強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 大，且有隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢。

(三) 有水墊消能設施防砂壩

當河道建構有水墊消能設施防砂壩後，除了壩高 3cm 之河道強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 會隨著河道坡度增加而增加外，壩高 2.2cm 、 4.2cm 之河道強沖刷區泥砂運移比 (q_{ss}/q_w) 會隨著河道坡度增加而降低。另在河道坡度較陡的情況下，壩高 4.2cm 之條件下，最能夠有效防止河道沖刷，達到安定河床的目的。

(四) 有副壩消能設施防砂壩

當河道建構有副壩消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道強沖刷區泥砂運移比(q_{ss}/q_w)皆會隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢，但其曲線皆較原河道強沖刷區泥砂運移比(q_{ss}/q_w)低。在不同壩高條件下，河道坡度越高，建築有副壩消能設施防砂壩，越能有效減少河道強沖刷區沖刷。

三、不同河道處理設施對弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)之影響

(一) 無消能設施防砂壩

當河道建構無消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)皆會較原河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)高，而且會隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢。

(二) 有護坦消能設施防砂壩

當河道建構有護坦消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)皆會較原河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)大，且有隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢。在壩高2.2cm條件下，建構有護坦消能設施防砂壩，最能有效的降低弱沖刷區沖刷情形。

(三) 有水墊消能設施防砂壩

當河道建構有水墊消能設施防砂壩後，在壩高2.2cm之河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)會隨著河道坡度增加而增加；在壩高3cm之河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)則會隨著河道坡度增加而降低；在壩高4.2cm之河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)則幾乎沒有變化。且壩高4.2cm之條件下，建構有水墊消能設施防砂壩，最能夠有效防止河

道弱沖刷區沖刷，達到安定河床的目的。

(四) 有副壩消能設施防砂壩

當河道建構有副壩消能設施防砂壩後，無論在任何壩高條件下，其河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)皆會隨著河道坡度增加而呈現增高之趨勢，但其曲線皆較原河道弱沖刷區泥砂運移比(q_{ls}/q_w)低。在不同壩高條件下，河道坡度越高，建築有副壩消能設施防砂壩，越能有效減少河道弱沖刷區沖刷。

5-2 建議

根據本渠槽試驗的結果分析，確實已將不同河道處理狀況，所可能產生之效益進行評估，並得到初步結論；惟因其河道流量、渠槽坡度、河床粒徑…等條件變化不足，所以，本試驗僅能針對不同狀況下，建議較適合之處理設施，尚無法推估出最佳的防砂設施。而目前生態意識高漲，傳統式防砂壩以漸為開口式防砂壩所取代，對於河道建構開口式防砂壩後，下游不同消能設施之效率研究，應有其必要性。

參考文獻

1. 「水土保持技術規範」(1986) 行政院農委會，PP176-186。
2. 王士章 (1995) 「防砂壩沖刷坑弧形排列元鼎塊消能之試驗研究」 國立中興大學水土保持研究所碩士論文，PP1-82。
3. 王兆印、黃金池 (1998) 「河道沖刷和清水水流河床沖刷率」 Journal of Sediment Research, 第一期，PP.1~11。
4. 何智武、段錦浩、施東榮 (1986) 「防砂壩之沖淤試驗與系統規劃研究(二)」 農委會補助研究計劃，PP1-15。
5. 呂長禮 (1995) 「防砂壩下游局部沖刷與局部滲流相關性之研究」 逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文，PP1-89。

6. 吳仁明 (1989) 「防砂壩護坦材料之水理試驗研究」 國立中興大學水土保持研究所碩士論文, PP22-37。
7. 吳建民、顏清連 (1991) 「泥砂運移學」 中國土木水利工程學會, PP33~41, 186~203。
8. 廖志勝 (1999) 「防砂壩未淤積時下游河道沖淤之渠槽試驗」 國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
9. 劉長齡 (1987) 「防砂壩淤滿後下游消能與沖刷(二)」 農委會補助研究計劃, PP45-59。
10. 葉昭憲 (1988) 「系列防砂壩之沖淤試驗與初步規劃」 國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
11. 酈寶成 (1988) 「防砂壩輪胎護坦之試驗研究」 國立中興大學水土保持研究所碩士論文, PP26-48。
12. 錢寧、萬兆惠 (1991) 「泥砂運動力學」 科學出版社, PP229~243, 346~357。
13. 魏迺雄 (1991) 「投潭水作用逆坡護坦及逆坡消能塊消能之研究」 國立中興大學水土保持研究所碩士論文, PP36-45。
14. 蘇重光、林親義 (1990) 「無護坦防砂壩基礎水力安定性研究(三)」 農委會補助研究計劃, PP27-28。
15. 蘇重光、連惠邦 (1993) 「防砂壩下游天然河床受壩頂溢流沖刷之研究」 台灣水利, 第 41 卷第二期, PP35-41。
16. Hayashi, S (1985) "Hydraulic Studies on Phenomenon of Scour at the Base Caused by Free Falling Nappe over Sediment Control Dams" Proceedings of the International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Sept. Tsukuba, Japan, PP395-400.
17. SUBRAMANYA, K(1993) "Flow in Open Channel" Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, pp34-39,107-118.
18. BRUCE R. MUNSON, DONALD F. YOUNG, and THEO DORE H. OKIISHI (1994) "Fundamentals of Fluid Mechanics" John Wiley & Sons, Inc.PP395-438.

92年09月29日 收稿

92年10月30日 修改

92年12月12日 接受