

出版編號：SWCB-105-112

透水式固床工之工法研發與水理特性研究
Innovation of permeable groundsills and
assessment of its hydraulic characteristics

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：105 年 04 月 01 日至 105 年 12 月 31 日

計畫主持人：吳嘉俊 教授

研究人員：陳宥達、張之馨、謝采樺、張為勝

協助人員：李伯賢、唐翊婷、邱心柔、黃嵩、何岫蔓

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 105 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

透水式固床工之工法研發與水理特性研究

摘要

固床工為國內慣用的野溪整治工法，雖其功能已被確定，但水域的區間化及固床工趾部的局部淘刷問題至今仍未能舒緩。經本計畫水工試驗發現，透水式固床工雖然無法避免固床工上游土砂的堆積，但上游土砂的堆積型態不像傳統式固床工來得均一，使得上游水流得以藉由為堆積區段的空隙自透水材料的間隙之間流過，改變了溢流水深及渠床淘刷的機制，導致淘刷規模得以減緩、水流境況得以多變，對於生態友善棲地的營造有所幫助。於較陡的渠床中設置高通透率的透水式固床工較容易在固床工趾部造成淘刷，因此不建議用於渠床坡降陡、床質粒徑偏細的溪流。低通透率的透水式固床工則適用於低流量、渠床坡度小於 6% 的環境，除可有效降低局部淘刷深度，亦有助於降低溢流水深。本年度的研究結果，對於透水式固床工的水理特性與渠床沖淤有了進一步的了解，但所測試透水式固床工的通透率仍屬有限，建議未來可持續進行研究。

關鍵詞：透水式固床工、局部淘刷、床型床型歧異度、水棲生態友善環

境

Innovation of permeable groundsills and assessment of its hydraulic characteristics

Abstract

Groundsill is one of the common practices implemented for torrent and stream control. Its torrent control purposes have been confirmed, however, problems of dissecting stream channel and local scour at the groundsill toes are still required attention. Hydraulic experiments indicate that sediment from upstream is still trapped by the structure yet less uniformly. The non-uniform deposition provides a gateway for stream flow to easily get through the voids of the permeable groundsills, which changes the overflown flow depths as well as the scour mechanics. These vital alterations not only ease the scour extent, diversify flow regime but also facilitate eco-friendly habitat. Groundsill with high permeability is not recommended for high-gradient streams that dominated by fine channel materials due to its permeability characteristics that initiates local scour at the toes of the structures. On the other hand, low permeable groundsill is found capable of reducing local scour depth and overflow flow depth at low flow rate stream channels with channel gradients less than 6%. Through hydraulic experiments, we are able to understand the hydraulics that permeable groundsills create. However, the groundsill's permeability being tested is still limited. Further research may be required to broaden the scope of the structure permeability as well as its contribution towards the local scour control and restoration of aquatic eco-friendly environment.

**Keywords: Permeable Groundsills, Local Scour, Bedform Diversity,
Aquatic Eco-friendly Environment**

目次

摘要	I
Abstract	II
目次	IV
表次	V
圖次	VI
第一章 緒論	1-1
第二章 前人研究	2-1
第一節 固床工間距相關研究	2-1
第二節 橫向構造物之淘刷相關研究	2-6
第三節 橫向構造物改良之相關研究	2-13
第三章 試驗材料與方法	3-1
第一節 試驗材料	3-1
第二節 試驗方法	3-7
第四章 結果與討論	4-1
第一節 固床工趾部之渠床局部淘刷比較	4-1
第二節 固床工之水理特性比較	4-29
第五章 結論與建議	5-1
第一節 結論	5-1
第二節 建議	5-2
參考文獻	參-1
附錄一 期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-1
附錄二 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-8

表次

表 3-1 試驗床砂之粒徑分佈	3-6
表 3-2 水工試驗參數.....	3-7
表 4-1 細床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比較.....	4-23
表 4-2 中床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比較.....	4-23
表 4-3 粗床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比較.....	4-24
表 4-4 細床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比例比較	4-24
表 4-5 中床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比例比較	4-25
表 4-6 粗床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比例比較	4-25
表 4-7 細床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比較	4-26
表 4-8 中床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比較	4-26
表 4-9 粗床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比較	4-26
表 4-10 細床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比例比較 .	4-27
表 4-11 中床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比例比較 .	4-27
表 4-12 粗床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比例比較 .	4-28

圖次

圖 1-1 固床工造成溪床水域的區間化	1-2
圖 1-2 固床工趾部的局部淘刷現象	1-3
圖 1-3 鋼軌格柵透水式固床工	1-5
圖 1-4 鋼軌格柵透水式潛壩	1-5
圖 2-1 不同帶工間距下帶工間之溪床淘刷情形 (WU, 2002).....	2-3
圖 2-2 不同底床坡度對固床工下游淘刷深度之影響(WU, 2002).....	2-4
圖 2-3 GAUDIO 等人提出之淘刷坑觀念示意圖	2-7
圖 3-1 試驗渠槽與固床工模型配置示意圖	3-2
圖 3-2 試驗渠槽配置透水式固床工模型的情形	3-3
圖 3-3 系列透水式 B 型固床工模型	3-4
圖 3-4 試驗床砂之粒徑分佈	3-6
圖 3-5 固床工趾部局部淘刷之量測參數.....	3-9
圖 4-1 傳統式固床工於試驗條件下之沖淤情形	4-8
圖 4-2 透 B 型固床工於試驗條件下之沖淤情形	4-15
圖 4-3 透 A 型固床工於試驗條件下之沖淤情形	4-22
圖 4-4 固床工趾部局部淘刷及坑外堆積丘之示意圖	4-30
圖 4-5 傳統式系列固床工群的渠床床型.....	4-31
圖 4-6 透水式 A 型式系列固床工群的渠床床型	4-33
圖 4-7 水流穿越透水式 B 型固床工透水格柵的情形	4-34
圖 4-8 透水式 B 型系列固床工間渠床砂之發展	4-36
圖 4-9 透水式 B 型式系列固床工群的渠床床型	4-37

第一章 緒論

水土保持的業務除水土資源保育之外，治山防災業務亦為重點工作；其中對於野溪的治理投入，亦多為重點項目之一。過去針對野溪治理的訴求，多以確保保全對象的安全為優先考量，近年來由於民眾對生活環境品質的要求提高，使得自然生態及環境保育的觀念逐漸受到重視，因此，如何精進野溪整治所加設之橫向構造物（transverse structures），以符合安全、保全以及自然生態環境的永續要求，已成為現階段治山防災的重點。

溪流整治工作常用的橫向構造物，其主要功能在於減緩溪床坡度、穩定流心、防止溪床縱向淘刷、橫向侵蝕、溪岸崩塌，並依設計功能上的差異，使得橫向構造物甚至具備調節河道泥砂的功能。基於其減緩溪床坡度的功能，橫向構造物亦可自英文原文的 grade-control structure 直譯為坡降控制結構，國內則依據橫向結構物的有效高度進行分類，而衍生出防砂壩、潛壩、固床工等名辭；部份地區甚至將緊貼於溪床表面的橫向構造物稱之為帶工。

國內過去對於「固床工」或「帶工」的定義差異，建構在橫向構造物頂部凸出溪床表面的高度及溢流口設置之有無。若橫向構造物之頂部高程與設計溪床線平齊且不設置溢流口者，稱之為帶工或潛檻。若橫向構造物頂部高程高於溪床者，稱之為固床工（李木青，1992）。

無論名辭於國內工程界稱呼或認定上的多樣特性，橫向構造物已證明可於治山防災工作中發揮防災、減災的功能，但是卻也因為橫向構造物的構築，將自然溪流調整成為階梯狀。如此的整治模式，使得原本通暢的溪流流路受到橫向構造物的影響而截成小段（圖 1-1）。當河道被截成小段之後，水生棲息生物的自然環境因而發生改變，其中最大的改變當屬溪流流況、橫向構造物下游溪流深潭、淺灘與湍瀨的失衡，以致水棲生物族群改變，最後導致溪流食物鏈的瓦解（Biedenharn and Hubbard，2001）。



圖 1-1 固床工造成溪床水域的區間化

近自然生態工法（near-nature ecological engineering）自 2003 年開始在國內推動以來，就野溪整治工作而言，其預期目標在於打破傳

統治理工法與其設計邏輯，朝向「表面粗糙化」、「壩高低矮化」、「岸坡平緩化」、「材質自然化」及「施工經濟化」等方向努力。開口式防砂壩、魚梯、踏步式固床工、開口式固床工及透水式鋼結構等，均為野溪整治朝向「五化」發展的產物。

橫向構造物的有效高度影響溪水越過構造物頂部的投潭效應，造成橫向構造物趾部局部淘刷 (local scour) 的原因，在於構造物頂緣與下游溪床間高程落差所形成的投潭水流(plung flow)，而固床工趾部的局部淘刷，甚至衝擊固床工基礎的安全 (圖 1-2)。國內過去曾以改變固床工的設計形式；例如開口式(或稱踏步式)固床工、淺碟式固床工，以降低固床工的投潭衝擊 (施東榮，2003)。



圖 1-2 固床工趾部的局部淘刷現象

過去國內亦曾經出現嘗試使用透水式固床工的案例，如圖 1-3 及 1-4 所示，其中多於固床工的溢流口位置加設鋼軌或 H 型鋼，以形成格柵。格柵透水式固床工的設計理念，不外乎在於 (1).增加土砂通過的機會、(2).減少土砂於固床工後方的堆積、(3).降低投潭水流的高程落差、(4).提供水棲生物棲息或躲藏的空間。雖然於現場調查中，可見到溪蟹利用格柵與柵間回填塊石的間隙活動及躲藏之現象，但由現場的勘查發現，由於大部分的格柵多出現土砂淤積現象，使得溪蟹活動的空間仍多侷限於格柵透水式固床工的下游牆面縫隙。雖於現場可見溪水可從格柵間隙中流過，但流過的水量遠不及溢流而過的水量。除此之外，格柵透水式固床工趾部的局部淘刷現象並沒有因為格柵的構築而有所改善。因此，本計畫的目的，在於了解透水式固床工於不同通透率情況下對於溪床水流水理現象的改變，進而研發最適宜的橫向構造物，以達野溪整治之安全、保全、永續的最終目標。



圖 1-3 鋼軌格柵透水式固床工



圖 1-4 鋼軌格柵透水式潛壩

第二章 前人研究

過去國內外進行透水式固床工相關試驗研究的案例甚少，大多集中於固床工間距、固床工趾部的局部淘刷、固床工的設計改良進行研究。

第一節 固床工間距相關研究

張則安 (1994) 以溪床床面阻力分佈的概念，假設阻力係數具有可加性，利用 3 組均勻砂及 2 組非均勻砂進行清水流之室內動床淘刷試驗，以探討固床工形狀阻力與其設置密度之關係，進而推導固床工間距之推估式，所推導的固床工間距推估式如下：

$$\frac{L}{L_0} = 10^{9.8} \left(\frac{h}{R} \right)^{-3.46} \left(\frac{\nu}{UR} \right)^{-5.1} \left(\frac{gR}{U^2} \right)^{-3} \left(\frac{\tau_g}{\rho U^2} \right)^{-3.9}$$

式中， L = 固床工間距 (m)、 L_0 = 固床工設置段之總長 (m)、 h = 固床工高 (m)、 R = 水力半徑 (m)、 ν = 流體運動粘滯係數 (m^2/s)、 U = 流速 (m/s)、 g = 重力加速度 (m/s^2)、 τ_g = 固床工形狀阻力 (N/m^2)、 ρ = 流體密度 (kg/m^3)、 $\left(\frac{\nu}{UR} \right)$ = 雷諾數 (Reynolds number) 倒數、 $\left(\frac{gR}{U^2} \right)$ = 福祿數 (Froude Number) 平方倒數。

游繁結 (1996) 自 1993 年至 1995 年辦理行政院農業委員會委託「固床工間距之調查與研究」計畫，藉由水工模型試驗及現場調查，

推導出固床工的間距公式。現場調查包含台東及台中市大坑附近設有固床工的野溪共計 28 條，現場調查項目包含固床工間距、有效壩高及壩厚、固床工下游沖刷長度及深度、底床寬及水深、溪床坡度、床質粒徑等。水工模型試驗則採加砂試驗，試驗參數包含流量、間距、固床工高度、床質粒徑、坡度等 5 項，共計進行 320 組試驗，並對室內水工試驗資料所推導出的固床工間距公式進行檢核，得到以下的固床工間距設計公式：

$$L = 4.67 \frac{d_{65}^{0.14}}{H^{0.73} S^{0.45}}$$

式中， L = 固床工間距 (m)、 d_{65} = 累積通過 65% 之床質代表粒徑 (m)、 H = 設計流動水深 (m)、 S = 原溪床坡度 (%)。

劉世昌 (1997) 以台東 8 條已整治野溪的現場調查，配合該 8 條整治溪流所採用帶工下游淘刷坑的幾何形狀分析，訂定出適用於台東海岸山脈泥岩地不同床質粒徑的帶工間距設計公式：

$$L = \frac{100 \times H}{1.2 + 1.5 \times S} \quad ; \quad \text{床質粒徑偏大者}$$

$$L = \frac{100 \times H}{4.5 + 1.1 \times S} \quad ; \quad \text{床質粒徑偏小者}$$

式中， L = 帶工間距 (m)、 H = 帶工設計高度 (m)、 S = 設計坡度 (%)。

吳嘉俊 (2001) 自 1998 年至 2000 年辦理行政院農業委員會委託

「固床工間連續帶工間距之研究」計畫，以 1:50 縮尺之水力縮小模型試驗，探討不同流量、溪床床質代表粒徑、溪床坡降、帶工間距等參數與帶工下游溪床淘刷幾何形狀的關係。試驗中除量測帶工下游溪床淘刷之幾何斷面外，更利用微型皮托管量測不同流量、間距及溪床坡度之帶工間流速。

藉由 576 組縮小模型水力試驗，針對帶工構造物下游溪床淘刷之幾何形狀歸納分類成淘刷 S 型、淘刷 M 型、淘刷 L 型等三種，如圖 2-1 所示。研究發現，帶工間的總淘刷量隨著帶工間距的增長而增加，且緊臨帶工的溪床局部淘刷深度亦隨之增加。若單就溪床坡降而言，坡降愈陡，緊臨帶工的溪床淘刷深度愈深，如圖 2-2 所示。

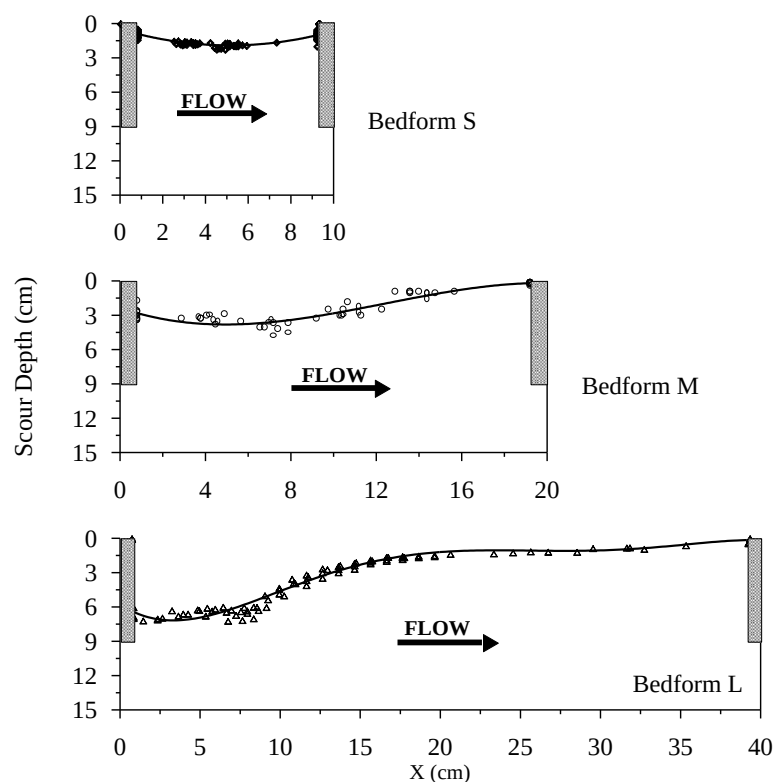


圖 2-1 不同帶工間距下帶工間之溪床淘刷情形 (Wu, 2002)

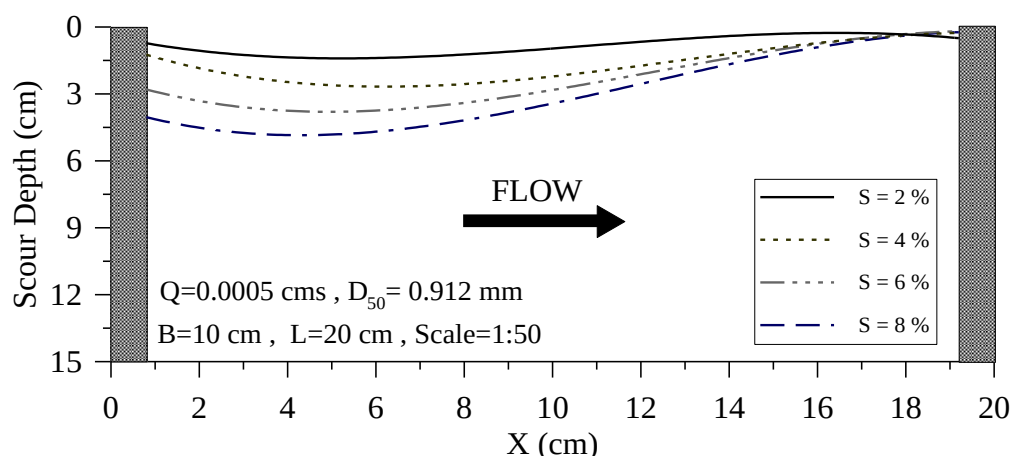


圖 2-2 不同底床坡度對固床工下游淘刷深度之影響(Wu, 2002)

淘刷 S 型、淘刷 M 型、淘刷 L 型等三種床型的發生，反應相鄰兩帶工之間距對於整治後溪流水理的影響。當帶工間距較密時，越頂而過的溪水會因為下游帶工的存在所產生的迴水效應 (backwater effect) 而潛入流速較低的迴水層，使得潛入的水流流速下降，而形成潛流水躍 (submerged- hydraulic jump)，進而影響其上游溪床淘刷坑的發展。當帶工間距增加後，下游帶工所產生的迴水效應因此下降，使得越過上游帶工構造物的溪水能量消減受限，進而提供淘刷坑發展的機會。

雖然如此，當溪流流量增加時，倘若相鄰兩帶工的間距仍足以提供足夠的迴水效應，且迴水長度涵蓋相鄰兩帶工的間距時，迴水效應仍得以發揮，此時就水理特性而言，溢流水不再具備投潭水流 (plung flow) 的單純特性，此時的水理特性與 Vischer & Hager (1998) 所著

Dam Hydraulics 中所提的似投潭水 (pseudo-plung flow) 相符。

就淘刷 L 型而言；實物帶工間距 20m；下游帶工所產生的迴水效應無法涵蓋上游相鄰帶工結構物的基礎，此時，越過上游帶工頂的溪水無法因為迴水效應而受惠，因此直接對下游溪床投潭並進行淘刷。

經由室內水工模型試驗之結果，並以帶工構造物之結構安全為優先考量，吳嘉俊 (2000) 提出最適帶工間距的設計公式如下：

$$L_I = 48.872 \frac{H}{\tan^2 \varphi} \left(\frac{Q}{\sqrt{Bh(S_g - 1)gSD_{50}^3}} \right)^{-0.399}$$

式中， L_I = 帶工間距 (m)、 H = 帶工高度 (或帶工埋入深度；m)、 φ = 溪床床砂之水中安息角(°)、 Q = 設計洪峰流量 (cms)、 S_g = 溪床床砂比密度、 B = 溪流整治段之溪幅寬度 (m)、 h = 設計洪峰流量下溪流整治段之正規水深 (normal depth; m)、 g = 重力加速度 (m/s^2)、 S = 溪床水力坡降、 D_{50} = 溪床床砂之中值粒徑 (m)。公式中

$$\begin{aligned} \frac{Q}{\sqrt{Bh(S_g - 1)gSD_{50}^3}} &= \frac{\rho Q^2}{\rho Bh(S_g - 1)gSD_{50}^3} = \frac{\rho Q(VA)}{\rho(S_g - 1)gSD_{50}^3 Bh} \\ &= \frac{\rho QV}{\rho(S_g - 1)gSD_{50}^3} = \frac{\dot{m}V}{m_s gS} = \frac{m\dot{V}}{m_s gS} = \frac{ma}{m_s gS} \end{aligned}$$

所代表的物理意義為，水流作用力與溪床床砂之自重沿溪床床面方向分力之比值。

第二節 橫向構造物之淘刷相關研究

連惠邦 (2001) 於「防砂壩下游河床演變及其整流工程配置模式之研究(一)」中，以室內渠槽試驗，探討防砂壩防砂功能及其下游河床演變與固床工整流功能。研究成果指出，防砂壩「上淤下沖」及固床工「先緩後沖」的泥砂輸移特性，並提出「產砂區位轉移效應」的觀念。該觀念認為，防砂壩與下游固床工不僅能夠將河流土砂生產區位轉移至下游處，而且可以將河流上游土砂災害之高潛勢區移至下游低潛勢區河段。

室內渠槽試驗分兩大項進行之，其中第一項是針對防砂壩構築前、後的河床沖刷行為進行試驗，第二項則是探討壩體下游河床設置固床工後泥砂沖刷量的變化。經由不同固床工間距、渠槽坡降、流量、固床工下游沖刷率及水流功率的分析，推導出固床工沖刷減少率公式：

$$\frac{S_{r0} - S_r}{\sqrt{gL}} = 8 \times 10^{-5} \left(\frac{W - W_c}{W_c} \right)^{0.83} \left(\frac{L_0 - L}{L_0} \right)^{2.81} S^{1.23}$$

式中， S_{r0} = 未設置固床工時之河床平均沖刷率、 S_r = 設置固床工後之平均沖刷率、 L_0 = 河段長度、 L = 固床工間距、 W = 水流功率、 W_c = 泥砂顆粒臨界起動功率、 S = 河床平均坡降。

Gaudio, et al. (2000) 利用水工模型試驗，探討固床工下游淘刷的情形。根據圖 2-3 的觀念，Gaudio 等人認為固床工下游淘刷坑的最大淘刷深度 (y_s) 與下列參數有關：

$$y_s = f(g, \nu, \rho, \rho_s, q, q_s, h_u, D_{50}, a_1)$$

其中， q = 單寬流量、 q_s = 單寬土砂流量、 h_u = 正規水深、 D_{50} = 中值粒徑、 a_1 = 型態落差 (morphological jump) = $(S_o - S_{eq})L$ ； S_o = 原設計坡降、 S_{eq} = 平衡輸砂坡降、 ρ = 流體密度、 ρ_s = 土砂密度。

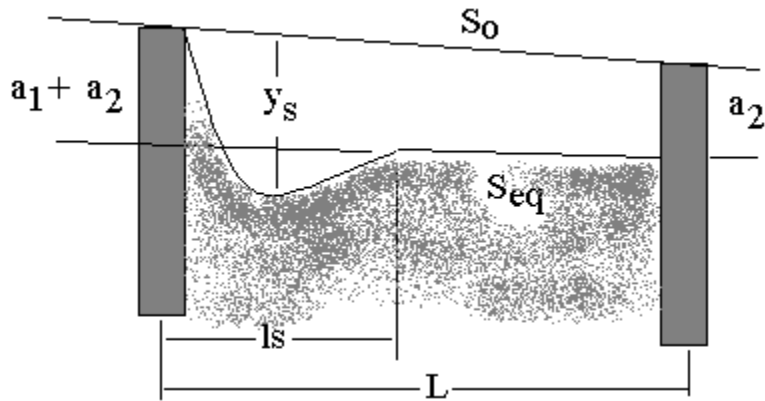


圖 2-3 Gaudio 等人提出之淘刷坑觀念示意圖

Gaudio, et al.的水工模型試驗設計，乃是令兩相鄰固床工的間距足夠使得下游相鄰的固床工不會影響到上游淘刷坑的發展。經由水工模型試驗，Gaudio, et al 提出固床工下游淘刷坑深度及淘刷坑長度的公式如下：

$$\frac{y_s}{H_s} = 0.189 \frac{a_1}{\Delta D_{50}} + 0.266$$

$$\frac{l_s}{H_s} = 1.87 \frac{a_1}{\Delta D_{50}} + 4.02$$

式中， H_s = 臨界比能、 Δ = 泥砂之水中比密度 = $(S_g - 1)$ 。為要能使

用上述公式，必須先利用輸砂公式及 Shields' 泥砂起動運動關係圖 (Shields' diagram)，找出該整治河道段的平衡輸砂坡降 S_{eq} 。

陳聖文 (2000) 以變換不同渠槽傾角的方式，在定流量條件下，針對帶工對投潭水流之沖刷進行研究，並提出最大沖刷深度與跌水數、坡度、帶工長度與水流沖擊位置的經驗公式。研究結果發現，帶工佈置能使泥砂沖刷體積量減小，並使沖刷坑位置較遠離壩址，而與無帶工佈置比較發現，平均沖刷坑最大刷深量減小 58%。當渠床配有帶工時，將有減力與消能的效果，經與無帶工佈置之對照組相互比較分析，結果顯示作用力衰弱約 32~35%，能量消減約 58%。但是當渠床坡度變陡時，投潭水流的沖刷潛能及沖擊力會變大，導致泥砂較易被水流沖刷而帶動，因而使得沖刷現象加劇。

吳尚訓 (2000) 藉由清水流之渠槽試驗，探討固床工設置前後的泥砂運移情形，並透過不同保護範圍下之泥砂體積變化分析，瞭解固床工設置對河床穩定的效果。研究結果指出，隨著固床工間距的減小，可有效抑制部分床砂的運移，進而減緩河床的沖刷。除此之外，並採用水流功率與臨界啟動 (incipient motion) 功率的觀念，推求平均沖刷率與其他相關因子之關係式如下：

$$\frac{S_{ra}}{\sqrt{gh}} = 2.9 \times 10^{-4} \left(\frac{W - W_c}{W_c} \right)^{0.86} \left(\frac{L}{L_o} \right)^{0.37} S^{1.28}$$

式中， S_{ra} = 河床平均沖刷率、 W = 水流功率、 W_c = 泥砂顆粒之臨界

起動功率、 L = 固床工間距、 L_o = 固床工保護段長度、 S = 渠槽坡度。

Lenzi, et al. (2002) 延續 Gaudio, et al. (2000) 的研究成果，並將其嘗試用於坡度陡峻的山區野溪，更利用水工模型試驗發現，淘刷坑的深度及長度與採用床砂 D_{95} 所計算的密度福祿數 (densimetric Froude number) 相關性最高，並且 D_{95} 的大小約略等於最終淘刷坑坑內床砂粒料之中徑，其最終的結果如下：

$$\frac{y_s}{H_s} = 0.4359 + 1.4525 \left(\frac{a_1}{H_s} \right)^{0.8626} + 0.0599 \left(\frac{a_1}{\Delta D_{95}} \right)^{1.4908}$$

$$\frac{l_s}{H_s} = 4.479 + 0.023 \left(\frac{a_1}{H_s} \right)^{-1.808} + 2.524 \left(\frac{a_1}{\Delta D_{95}} \right)^{1.129}$$

結合設計洪峰流量並以整治段溪幅以單寬流量表示，同時考慮溪床淘刷坑幾何形狀特性與不同型態之水躍機制，Wu, et al. (2002) 將前述吳嘉俊研究資料進行重新整理，獲得帶工下游淘刷坑幾何形狀公式如下：

$$Y = \left(\frac{d_{sc}}{L_{sc}} \right) = f(\Pi) = 2.7046 \left(\frac{1}{(S_g - 1) D_{50} S L_t} \sqrt[3]{\frac{q^4}{g^2}} \right)^{-0.3384}$$

式中， d_{sc} = 帶工下游溪床最大淘刷深度 (m)、 L_{sc} = 帶工下游面至緊鄰淘刷坑之最大淘刷深度的水平距離 (m)、 q = 整治段的單寬流量 (cms/m)、 S_g = 溪床床砂比密度、 g = 重力加速度 (m/s²)、 S = 溪床水

力坡降、 D_{50} = 溪床床砂中值粒徑 (m)。

除此之外，Wu, et al. (2002) 獲得連續帶工群帶工間距之設計公式如下：

$$L_I = \frac{0.156q^{1.333}}{(S_g - 1)D_{50}S} (\tan\phi)^{0.3384}$$

王志豪 (2008) 透過現地固床工調查與實測固床工下游淘刷坑的資料，研究花蓮縣土石流災害防砂設施的功效，並將實測淘刷坑 2 區、22 組數據進行無因次化後，找出固床工下游淘刷坑所產生之最大淘刷深度與最大淘刷長度的迴歸方程式，式中的參數乃是沿用 Gaudio, et al. (2000) 對於淘刷坑的定義：

$$\text{最大淘刷深度：}\frac{y_s}{H_s} = 0.318 + 2.314 \left(\frac{a_1}{H_s} \right) - 0.15 \left(\frac{a_1}{\Delta D_{50}} \right)$$

$$\text{最大淘刷長度：}\frac{l_s}{H_s} = 1.268 - 5.990 \left(\frac{a_1}{H_s} \right) + 0.33 \left(\frac{a_1}{\Delta D_{50}} \right)$$

Marion et al. (2004) 探討固床工間距及渠床床砂粒徑對於固床工下游局部淘刷深度的影響，進而推導出最大淘刷深度 (y_s) 與臨界比能 (H_s) 比值的關係式：

$$\frac{y_s}{H_s} = 2.7 \left(\frac{a_l}{H_s} \right)^{0.43} SI^{-0.19} \left(1 - e^{-0.14 \frac{L}{H_s}} \right)$$

其中，

$$SI = \frac{1}{2} \left(\frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{50}}{D_{16}} \right)$$

Espa and Sibilla (2006) 利用水工模型試驗的方式，探討尾水 (tailwater) 深度對於潛堰 (submerged weir) 下游渠床平衡淘刷狀態 (equilibrium scour state) 的影響。研究結果發現，水流越過潛堰之後，其入潛射流 (submerged jet) 對於淘刷的影響確實隨著尾水深度而改變，且為水流密度福祿數的函數。試驗的結果並與 Schoklitsch 所提出的最大淘刷深度公式及 Shalash 最大淘刷深度公式相比較 (Breusers & Raudkivi, 1991)，發現 Schoklitsch 公式所估算的最大淘刷深度與水工試驗結果差異較大，應該是與 Schoklitsch 的試驗設計差異有關。雖然 Shalash 所推估的最大淘刷深度優於 Schoklitsch，但部分的推估結果無法解釋床面射流 (bed-surface jet) 應該會產生的淘刷現象。

Pagliara & Palermo (2006) 利用水工試驗的方式，探討漿砌塊石緩降洩槽式固床工下游局部淘刷的現象，而試驗的緩降洩槽式固床工包含緊密漿砌塊石、部分漿砌通透式。除此之外，並嘗試在漿砌塊石緩降洩槽式固床工的下游增設拋石保護工。研究結果發現，於漿砌塊石緩降洩槽式固床工下游適當地點增設拋石對於固床工下游渠床的淘刷具有抑制的功能，主要是因為增設的拋石保護工提供了類似尾檻的功能，於漿砌塊石緩降洩槽式固床工的下游營造出一個迴水水墊的

環境。但 Pagliara & Palermo 的研究並不建議在漿砌塊石緩降洩槽式固床工下游立即增設拋石，倘若立即於其下游增設，隨著渠床坡度的增加，反而會產生另一次的溢流水躍。

Tregnaghi et al. (2006) 探討上游加砂對於固床工下游局部淘刷的影響，並鎖定陡坡降條件進行試驗，試驗的渠槽坡降則包含 4.2%、5.0%、6.2%、7.4%，入流流量採用 18 L/s、22 L/s、26 L/s，上游加砂量則採用 10.7 g/s、21.3 g/s、26.0 g/s，及不額外加砂的控制組。研究結果發現，上游若採用額外加砂，如同所預期的結果，固床工下游的淘刷規模會隨著上游加砂量的增加而減小，而局部淘刷發展速率並不會因為上游的額外加砂有所影響，因此，若要探討固床工下游局部淘刷現象，採用清水流試驗的方式是可以被信賴的。

Wu et al. (2014)、吳嘉俊等 (2016) 利用水工縮尺試驗，探討固床工下游設置拋石對於固床工趾部局部淘刷的控制效益。研究結果指出，固床工趾部拋石確實可以降低局部淘刷的規模，但卻無法完全消除局部淘刷的發生。當拋石保護工以巨粒構成時，由於巨粒所營造的較高高程落差及較大的間隙，使得流經的水流容易從間隙間流過，造成渠床的淘刷，且他刷坑發生的位置較容易在拋石末端發生。拋石保護工的長度也會影響其對於固床工趾部局部淘刷的控制效益，當拋石長度過短時，溢流水流的投射路徑若是落於拋石保護工的末端，則控

制局部淘刷的效益不佳；反觀較長的拋石保護工，除了能消弭溢流水的能量之外，亦能營造並維持拋石粒徑所產出的水流境況，有利於局部淘刷現象的控制。

第三節 橫向構造物改良之相關研究

林原巧 (2005) 透過室內水工模型試驗，探討不同開口型式之固床工對直線段河道整治後溪床床型 (bedform) 變化的影響，並以 Shannon 歧異度指數 (Shanon Diversity Index, SDI) 量化床型之高程變化，同時，利用達西阻力係數 (Darcy friction coefficient) 量化床型形狀糙度 (from roughness) 之變化。研究結果指出，開口式固床工較傳統固床工能提供較多樣的床型變化，使得溪床床型歧異度由傳統式固床工的 0.261，最高可提升至單開口固床工的 2.093。除此之外，水流匯流聚能的現象隨著固床工阻水比的降低而逐漸提昇，因此，傳統式固床工對淘刷坑深度的抑制效果較佳，其最大淘刷深度約為單開口固床工的一半。當渠床坡降較緩時，建議可選擇較低阻水比的開口式固床工配置，以增加水流束縮，提昇床型變化。但是當渠床坡降較陡時，應選擇高阻水比的多開口式固床工，以達到分散水流、抑制淘刷深度，並兼具維持生態廊道貫通與多樣床型變化的目的 (Wu and Lin, 2006)。

陳沛霖 (2006) 利用水工縮尺模型試驗，探討圓弧型開口式固床

工應用於野溪整治的可行性，試驗分析項目包含：水流特性、水流流速、床型的沖淤變化、床型歧異度、達西阻力係數等。研究的結果指出，溪床床型型態隨著不同流量、床砂粒徑、渠床坡降、開口數量而有所不同。當開口數量少時，其所產生的床型歧異度較開口數量多時為大，可營造多變的床型型態，但必須注意因為水流匯集所產生的淘刷對結構物的負面影響。流量增加時，則可以使投潭淘刷高阻力係數區的範圍增加，低阻力係數區的範圍減少，而圓弧型開口式固床工較直線型開口式固床工更能增加床型歧異度，預期對於水棲生態環境較有貢獻。

何國勇 (2007) 針對近直線弧型開口式固床工之開口數量、水流流速、渠床床型沖淤變化、床型歧異度指標、達西阻力係數的影響進行探討。水工試驗對於弧形固床工的設計，介於林原巧 (2005) 的直線型傳統固床工 (構造物的軸向曲率半徑 = ∞) 並額外加開設不同數量的開口及陳沛霖 (2006) 的圓弧型開口式固床工 (構造物的軸向曲率半徑 = $\frac{1}{2}$ 溪幅幅寬) 並加開設不同數量開口之間；亦即，構造物的軸向曲率半徑 = 0.6 倍的溪幅幅寬。

研究結果發現，固床工開口數量的增加，可以分散水流對固床工趾部溪床的衝擊，使得淘刷坑的範圍縮小、深度變淺，且由於水流的分散作用，使得開口下游淘刷坑內的水流形成漩渦，以致流速減緩。

但是，當入流流量自固床工頂溢流時，固床工開口數量的增加，對於固床工下游渠床的淘刷變化影響較不明顯。除此之外，近直線弧形開口式固床工所產生溪床床型歧異度普遍大於圓弧形開口式固床工、直線型開口式固床工，甚至傳統式固床工。

該研究建議，當溪流坡降大，屬於高變動溪床時，可以採用近直線型的開口式固床工，以降低水流對溪床的直接衝擊，並兼具維持生態廊道貫通與多樣變化的床型，做為多元化濱水生態的棲息空間。當溪流坡降緩，屬於低變動溪床時，可選擇開口數量較少的固床工設計，以增加水流束縮、提升溪床床型變化的機制及水流雕塑床型的能力；但是，開口少的設計容易造成水流的集中淘刷，應注意構造物基礎的安全。

第三章 試驗材料與方法

第一節 試驗材料

本研究乃是利用國立屏東科技大學水土保持系陡坡水工實驗室的水工試驗渠槽，進行 1:50 比例之縮尺模型實驗(scaled-model experiment)，試驗渠槽全長 4.0 m、寬 0.91 m、深 0.3 m，渠槽最大可調坡度為 11%。試驗渠槽內配有一組不銹鋼材質護岸，護岸岸坡斜率 (V：H) 為 1：0.3，以形成一梯形通水斷面。

傳統式固床工模型是以防水膠合板切割而成，其厚度為 1.5 cm、寬度為 30 cm、高度為 15 cm。為了使潛伏於系列固床工群間的水體得以貫通，本研究於固床工面板 1/3 高度處均勻鑽設孔口直徑 3.2 mm、孔距 2 cm 之排水孔一排。固床工模型的安裝，乃是以矽膠緊密將固床工黏貼於不銹鋼護岸內及試驗渠槽底部，以形成系列固床工群，相鄰兩固床工的間距則是依據 Wu et al. (2002) 之研究結果，選定為 20 cm。若依 1:50 比例縮尺計算，則相當於現場 10 m 的固床工間間距。

固床工埋設深度之所以與試驗渠槽底部緊貼，是為了模擬現場溪床的低透水狀況。固床工模型經埋設之後，模型頂緣與試驗渠床床砂砂面保留 1 cm 的高程落差，其目的在模擬現場固床工的 0.5 m 落差。試驗渠槽與固床工模型之配置，如圖 3-1 所示；圖中的有效格代表試驗階段量測水深、渠床床面高程以及試驗結束渠槽靜置任其自然滲水

後之最終渠床床面高程的區間。

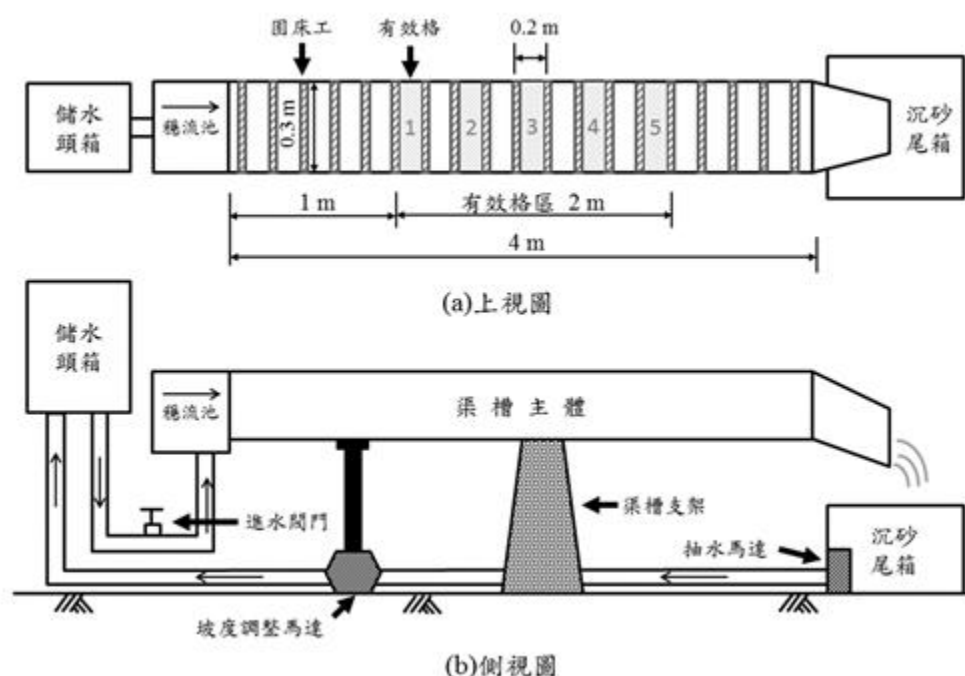


圖 3-1 試驗渠槽與固床工模型配置示意圖

透水式固床工模型的製作，乃是將原傳統式固床工模型切除原出露床砂的 1 cm 部分，再分別安裝通透率 7% 及 68% 的透水結構，以下稱為透水式 A 型及透水式 B 型，如圖 3-2 所示。試驗渠槽配置透水式 B 型系列固床工後的情況，則如圖 3-3 所示。

透水式 A 型固床工的製作，乃是先將原傳統式固床工模型切除原出露床砂的 1 cm 落差，再在切除後的固床工模型頂緣上裝設金屬框架。金屬框架是由 4 支串燒鐵條過寬約 1 cm 的透空塑膠板的四角，金屬框架乃是模擬目前國內曾經使用過的鋼軌，經比例換算後，構成

金屬框架的串燒鐵條直徑恰與 50 kg 級鋼軌相當。至於寬約 1 cm 的透空塑膠板，除用於支撐串燒鐵條以構成金屬框架外，同時模擬現場的鋼筋混凝土固定座。當金屬框架要完成封頂之前，於框架內填充塊石，塊石的平均長徑、中徑及短徑如圖 3-2 所示。當填充完畢之後，即可進行金屬框架的封頂與裝設。

透水式 B 型固床工模型的製作，乃是將原傳統式固床工模型切除原出露床砂的 1 cm 落差，再在切除後的固床工模型頂緣上裝設透空塑膠板兩層。透空塑膠板之板厚為 5.85 mm，透空框格尺寸為：高 5.35 mm、寬 10.02 mm，配置完成的系列透水式固床工如照片 3-3 所示。



透 A 式 — 鋼骨間填充塊石

	模型尺寸 (mm)	實物尺寸 (cm)
長徑	11.02	55.10
中徑	8.37	41.85
短徑	5.78	28.9



透 B 式

方形孔洞排列
模型孔洞尺寸：5 mm × 5 mm
模擬高通透率 68.0 %

圖 3-2 試驗渠槽配置透水式固床工模型的情形



圖 3-3 系列透水式 B 型固床工模型

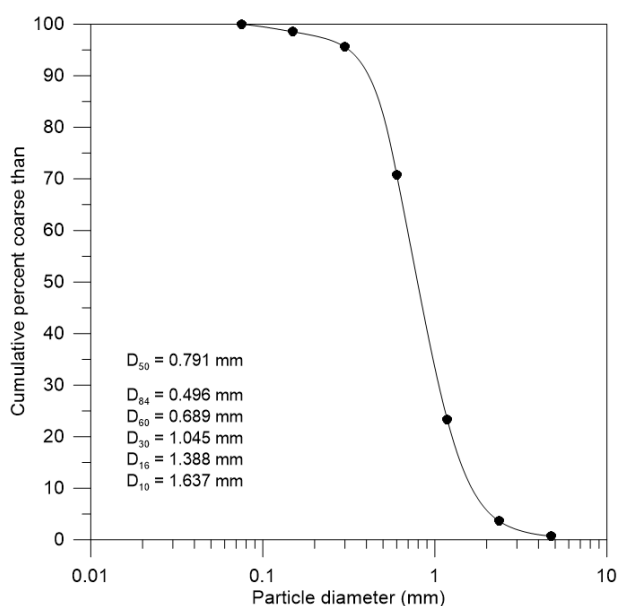
透水式 B 型固床工之所以採用如此的設計，其目的並非以現場實務之施作為考量，主要的考量重點在於營造固床工對於入流水的通透率。除此之外，就水工模型的施作方便性而言，如此的設計較容易施作。至於過於規則的通透特性，對於入流水穿透結構物之後的渠床淘刷，將會有所影響。

至於傳統式固床工模型，則是以防水合板依據渠床寬度、渠床深度切割而成，使得固床工模型於試驗渠槽內撞設完成後，固床工模型初露渠床床砂砂面的高度為 1 cm，用以模擬現場固床工 0.5 m 的出露高度。無論是傳統式固床工，或是透水式固床工模型，其埋設的深

度均自試驗渠床的床底開始埋設，並以矽利康膠予以固定。除此之外，埋入渠床床砂的固床工模型面板均於其上鑽孔，以利床砂砂面下的水流能不被侷限其流動的機會。

之所以將固床工模型自渠底開始埋設，主要是考量當固床工間距之間進行試驗床砂的回填與夯實作業時，不容易將床砂夯實到接近現場的狀況。因此，倘若僅進行固床工的表層膠黏，則會造成滲流淘刷非粘滯床砂 (non-cohesive sediment) 的現象。滲流淘刷並非本研究的考量重點，故在試驗設計上必須予以排除誘發滲流淘刷的可能。

本研究採用三種混和粒徑床砂，其平均代表粒徑 (D_{50}) 分別為 0.791 mm、1.070 mm、1.318 mm，並以細床砂、中床砂、粗床砂表示之。各床砂的粒徑分佈曲線如圖 3-4 所示，而各級累積停留百分比、曲率 (Cc)、均勻係數 (Cu) 如表 3-1 所示。



細床砂之粒徑分佈

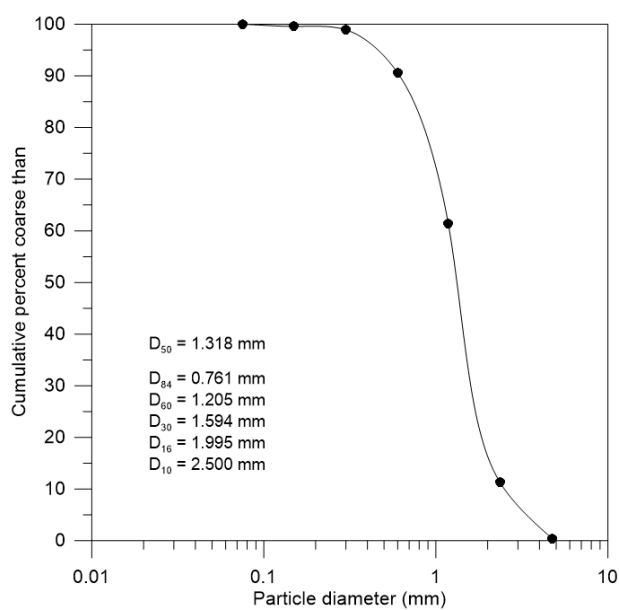
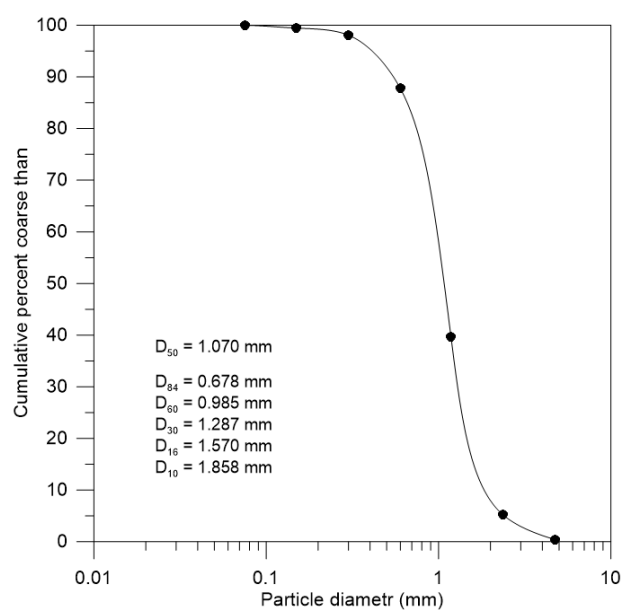


圖 3-4 試驗床砂之粒徑分佈

表3-1 試驗床砂之粒徑分佈

床砂	D ₅₀	D ₈₄	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₆	D ₁₀	Cc	Cu
細	0.791	0.496	0.689	1.045	1.388	1.637	0.421	0.968
中	1.070	0.678	0.985	1.287	1.570	1.858	0.530	0.905
粗	1.318	0.761	1.205	1.594	1.995	2.500	0.482	0.843

水工試驗之流量選擇，乃依據 (1) 實驗室幫浦所能提供的流量範圍、(2) 動床床砂於試驗坡降下得以啟動但不造成由最小拋石粒徑所構成的拋石保護層受到水流破壞的容許流量，以及 (3) 於最大流量及最陡渠槽坡降條件下，試驗渠槽之動床不至於被淘刷至渠槽底部等原則。本研究採用福祿定律 (Froude Law) (毛壽彭，1987) 做為換算模型 (model) 與原型 (prototype) 間相互關係之依據，各項水工試驗參數及對應實物後之參數詳列如表 3-2。

表3-2 水工試驗參數

試驗參數	縮尺模型	對應現地實物
流量 (m^3/s)	4.5×10^{-4}	7.95
	6.7×10^{-4}	11.84
	8.7×10^{-4}	15.38
坡降 (-)	0.04、0.06、0.08	
固床工間距 (m)	0.20	10.0
渠床床砂 細床砂	0.791	39.55
中值粒徑 中床砂	1.070	53.50
D_{50} (mm) 粗床砂	1.318	65.90
固床工面版透水率	0.0 % (傳統式)	
	7.0 % (透 A 型固床工)	
	68.0 % (透 B 型固床工)	

第二節 試驗方法

試驗過程中並未對渠床進行額外加砂 (sediment feed)，各個固床工間距間的土砂填補及供應則是來自於上游相鄰固床工趾部所產生的淘刷坑土砂，以營造出最大淘刷的情況 (Tregnaghi et al. 2006)。這

也就是為何在試驗渠槽中選取 5 個量測區間，而各量測區間之間特別空留一個固床工區間部進行參數量測的理由。

為避免渠床表面及淘刷坑內的床砂於試驗過程中發生材料的水力洗選 (hydraulic sorting)，故每次試驗完成後，須先將床砂進行人工翻攪、補充不足的砂量、重新進行渠床床砂的壓實、整平及鋪設，並於試驗開始之前，以解析度 $75\mu\text{m}$ 的雷射測距儀進行渠床之地形掃描，以便進行淘刷量體之計算。

試驗所量測之淘刷參數，分別為最大淘刷深度 (y_s)、固床工下游面至最大淘刷深度間的水平距離 (λ_m)、淘刷坑長度 (λ_s)，如圖 3-5 所示；其中， y_s 為原始渠床砂面至淘刷最深點間之垂直高程差、 λ_s 為固床工下游面至淘刷結束之水平距離。試驗即將完成之前，先以擋板擋住出流水，同時關閉供水閥門，並將試驗渠槽緩慢降至水平，以免最終淘刷坑遭受破壞，並靜待試驗渠槽內的儲水緩慢滲出後，再以雷射測距計進行最終砂面高程的量測，量測的斷面數量則依據床面及淘刷坑的狀況增加。通常一次水工試驗需時 2 小時、等待試驗渠槽內的儲水滲出需時 5 小時，最終斷面高程的量測則約需時 2 小時。

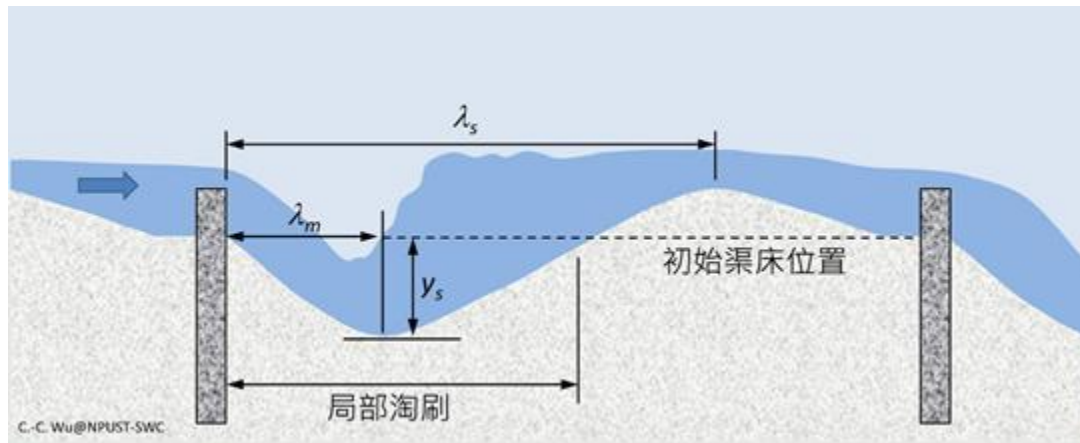


圖 3-5 固床工趾部局部淘刷之量測參數

第四章 結果與討論

第一節 固床工趾部之渠床局部淘刷比較

依據第三章中所列的試驗參數，本研究於計畫執行期間共計完成 81 組試驗。以下僅就 81 組試驗中所拍攝的淘刷坑形狀以及淘刷坑上、下游渠床床砂的堆積與淘刷情形，以每種試驗組合各摘錄兩張照片為原則，整理如圖 4-1 至圖 4-3，以供參考比較。圖 4-1 為傳統式固床工的沖淤情形、圖 4-2 及圖 4-3 分別為本研究所謂透 B 型、A 型固床工的沖淤情形。透 B 型固床工面版的通透率為 68.0 %，透 A 型固床工面版的通透率為 7.0 %。由於傳統式固床工面版為不透水材料製成，因此面版通透率為 0.0 %。

表 4-1 至表 4-3 分別為細床砂 ($D_{50} = 0.791 \text{ mm}$)、中床砂 ($D_{50} = 1.071 \text{ mm}$)、粗床砂 ($D_{50} = 1.318 \text{ mm}$) 條件下，傳統式固床工與兩種透水式固床工所產生淘刷坑特徵實測值的比較。表 4-4 至表 4-6 分別為淘刷坑特徵實測值比例之比較。表 4-7 至表 4-9 分別為細、中、粗床砂條件下，傳統式固床工間距內所產生平均淘刷及淤積實測體積與兩種透水式固床工間距內所產生平均淘刷及淤積實測體積之比較。表 4-10 至表 4-12 則分別為平均淘刷及淤積實測體積之比例比較。比例計算方式，就傳統式固床工而言，計算基準為表中標註黃色色塊的部分；至於透水式固床工，則是以傳統式固床工做為計算基準。

	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms

	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms

	
S=4% $D_{50}=1.318$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms	S=4% $D_{50}=1.318$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms

	
S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
	
S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms

	
S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
照片損壞	照片損壞
S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
照片損壞	照片損壞
S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms

	
S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
	
S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=8% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms

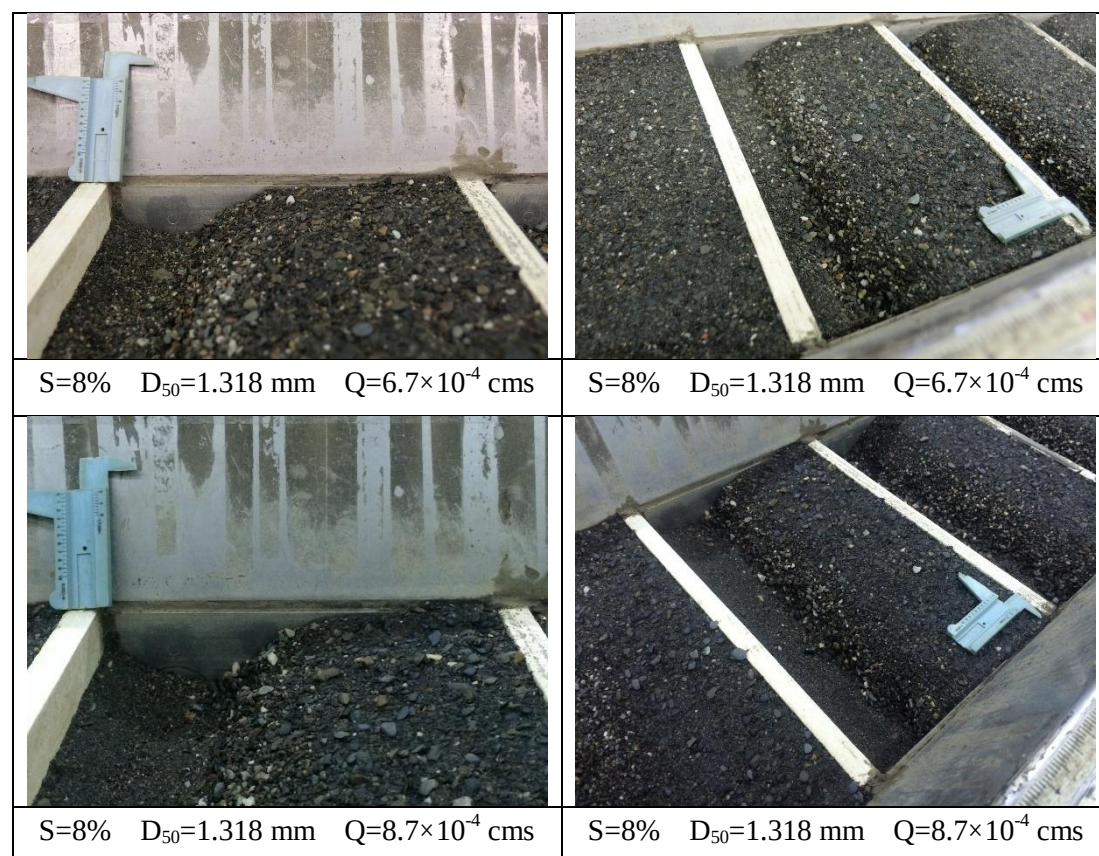
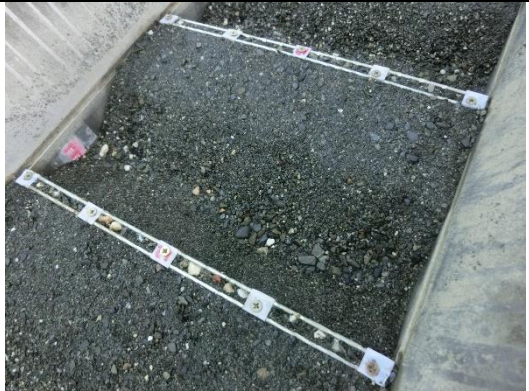


圖 4-1 傳統式固床工於試驗條件下之沖淤情形

	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms

	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
照片損壞	照片損壞
S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms

	
S=4% $D_{50}=1.318$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms	S=4% $D_{50}=1.318$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=0.791$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms

	
S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
	
S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=6% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms

	
S=6% $D_{50}=1.318$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=1.318$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=1.318$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=1.318$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=8% $D_{50}=0.791$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms	S=8% $D_{50}=0.791$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms
	
S=8% $D_{50}=0.791$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms	S=8% $D_{50}=0.791$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms

	
S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=8% $D_{50}=1.031\text{ mm}$ $Q=4.5\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=8% $D_{50}=1.031\text{ mm}$ $Q=4.5\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=8% $D_{50}=1.031\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=8% $D_{50}=1.031\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=8% $D_{50}=1.031\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=8% $D_{50}=1.031\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$

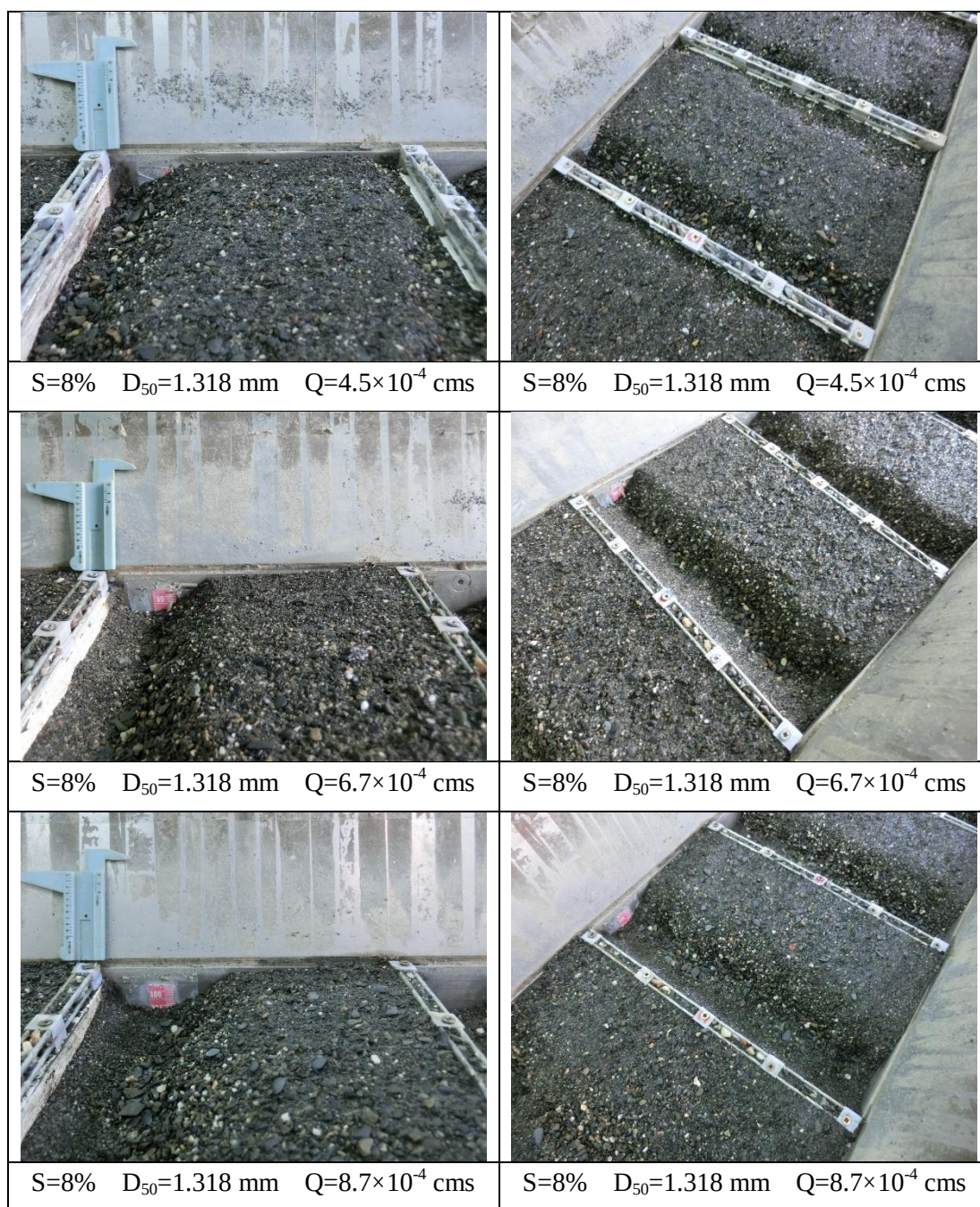


圖 4-2 透 B 型固床工於試驗條件下之沖淤情形

	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =0.791 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms

	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
照片損壞	照片損壞
S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=4% D ₅₀ =1.318 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms

	
S=4% $D_{50}=1.318\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=4% $D_{50}=1.318\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=6% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=4.5\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=6% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=4.5\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=6% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=6% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=6% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=6% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$

	
S=6% $D_{50}=1.071$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=1.071$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=1.071$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=1.071$ mm $Q=6.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=1.071$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=1.071$ mm $Q=8.7 \times 10^{-4}$ cms
	
S=6% $D_{50}=1.318$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms	S=6% $D_{50}=1.318$ mm $Q=4.5 \times 10^{-4}$ cms

	
S=6% $D_{50}=1.318\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=6% $D_{50}=1.318\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=4.5\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=4.5\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=6.7\times 10^{-4}\text{ cms}$
	
S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$	S=8% $D_{50}=0.791\text{ mm}$ $Q=8.7\times 10^{-4}\text{ cms}$

	
S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =0.791 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
照片損壞	照片損壞
S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms
照片損壞	照片損壞
S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=6.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.071 mm Q=8.7×10 ⁻⁴ cms
	
S=8% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms	S=8% D ₅₀ =1.318 mm Q=4.5×10 ⁻⁴ cms

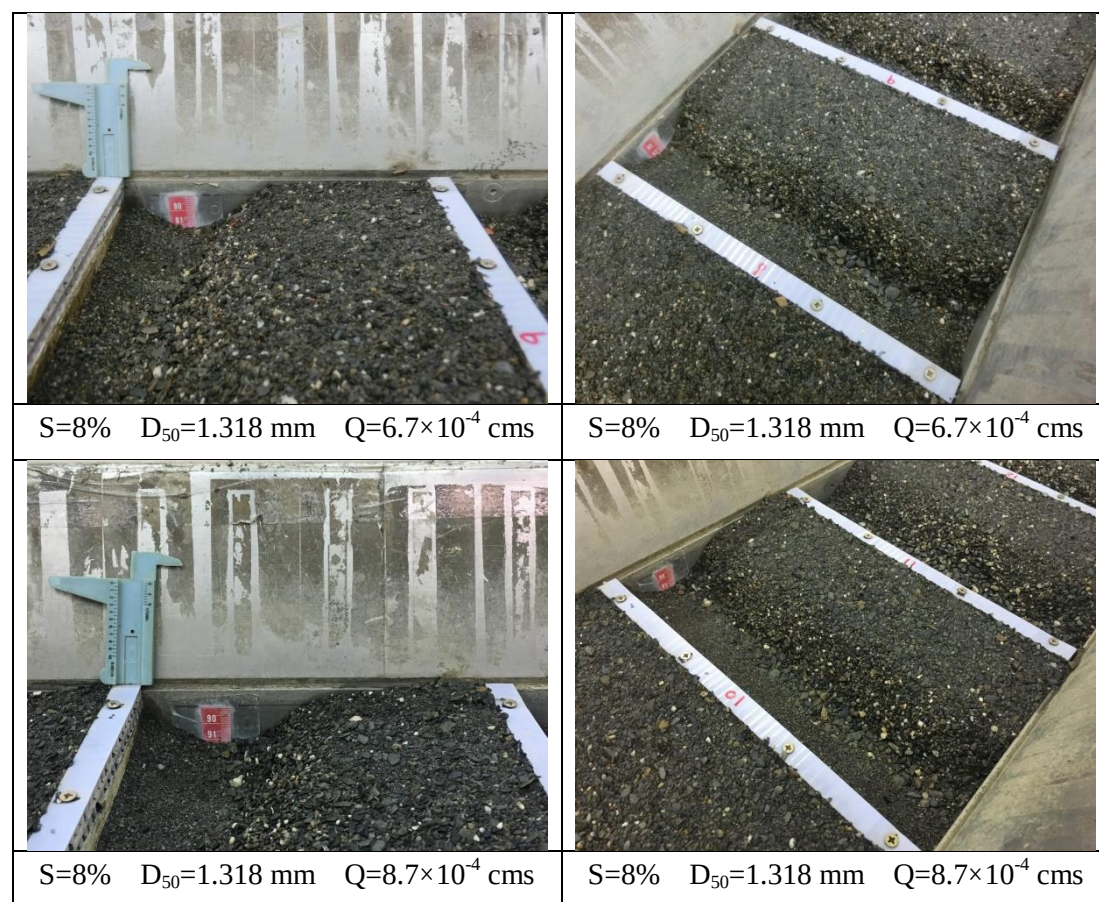


圖 4-3 透 A 型固床工於試驗條件下之沖淤情形

表4-1細床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=0.791$ mm) Scale = 1:50										
y_s (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)			
流量 度 (%)	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4		21.04	18.50	21.66	9.24	12.57	16.00	11.19	12.83	16.45
6		19.92	29.73	31.39	19.23	22.62	31.53	20.37	23.76	31.54
8		30.37	28.15	36.83	25.74	31.20	36.77	29.76	36.40	34.19
λ_s (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)			
流量 度 (%)	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4		78.50	84.00	103.30	43.88	70.98	85.02	96.15	83.91	95.99
6		59.68	88.23	103.25	50.68	75.07	102.16	69.01	83.43	106.55
8		65.82	78.05	101.99	46.57	78.62	99.82	74.32	89.69	98.52
λ_m (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)			
流量 度 (%)	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4		33.15	37.62	44.01	17.52	31.40	42.62	16.34	26.09	39.34
6		29.56	37.47	43.91	11.07	33.57	44.76	6.43	25.02	46.33
8		12.26	29.74	40.51	2.04	26.82	39.56	8.92	17.96	45.08

表4-2中床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.071$ mm) Scale = 1:50										
y_s (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)			
流量 度 (%)	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4		14.32	17.68	17.54	9.58	9.18	16.24	4.08	10.78	14.29
6		19.98	26.53	29.10	13.87	22.32	27.18	8.34	24.52	28.67
8		30.56	29.51	34.84	22.46	26.64	30.68	13.12	29.60	33.24
λ_s (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)			
流量 度 (%)	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4		65.89	81.53	94.71	61.47	54.61	81.30	83.79	80.31	86.56
6		61.23	81.79	98.44	37.87	70.22	92.07	62.38	82.91	45.06
8		59.25	82.23	97.54	47.17	70.10	99.15	67.84	77.09	92.00
λ_m (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)			
流量 度 (%)	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4		27.25	34.28	47.08	13.17	22.23	42.21	6.60	20.69	37.01
6		22.48	33.91	42.82	6.87	29.72	42.04	10.83	26.01	2.36
8		5.75	31.85	41.52	2.08	27.25	35.27	8.29	24.59	40.14

表4-3粗床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.318$ mm) Scale = 1:50									
y_s (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	9.66	13.49	16.14	6.60	8.08	10.04	4.00	5.45	7.87
6	15.96	20.10	25.71	12.47	15.35	22.44	10.17	16.73	21.50
8	24.80	24.17	29.81	16.60	22.57	26.67	21.13	24.15	27.17
λ_s (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	54.67	83.47	86.01	57.63	53.30	69.49	71.43	74.79	57.94
6	47.61	69.93	98.28	32.01	56.18	87.48	47.15	61.82	84.97
8	53.84	71.34	85.55	42.46	61.87	78.26	62.35	68.58	82.38
λ_m (mm)	傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	23.37	48.24	40.08	9.38	21.92	34.43	6.49	16.97	26.37
6	18.06	32.21	44.69	7.05	21.21	42.24	5.57	26.79	41.41
8	6.05	30.73	39.78	5.72	26.94	36.82	9.61	28.74	38.58

表4-4細床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比例比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=0.791$ mm) Scale = 1:50									
y_s 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.57	0.50	0.59	0.44	0.68	0.74	0.53	0.69	0.76
6	0.54	0.81	0.85	0.97	0.76	1.00	1.02	0.80	1.00
8	0.82	0.76	1.00	0.85	1.11	1.00	0.98	1.29	0.93
λ_s 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.76	0.81	1.00	0.56	0.84	0.82	1.22	1.00	0.93
6	0.58	0.85	1.00	0.85	0.85	0.99	1.16	0.95	1.03
8	0.64	0.76	0.99	0.71	1.01	0.98	1.13	1.15	0.97
λ_m 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.75	0.85	1.00	0.53	0.83	0.97	0.49	0.69	0.89
6	0.67	0.85	1.00	0.37	0.90	1.02	0.22	0.67	1.06
8	0.28	0.68	0.92	0.17	0.90	0.98	0.73	0.60	1.11

表4-5中床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比例比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.071$ mm) Scale = 1:50									
y_s 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.41	0.51	0.50	0.67	0.52	0.93	0.28	0.61	0.81
6	0.57	0.76	0.84	0.69	0.84	0.93	0.42	0.92	0.98
8	0.88	0.85	1.00	0.73	0.90	0.88	0.43	1.00	0.95
λ_s 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.67	0.83	0.96	0.93	0.67	0.86	1.27	0.99	0.91
6	0.62	0.83	1.00	0.62	0.86	0.94	1.02	1.01	0.46
8	0.60	0.84	0.99	0.80	0.85	1.02	1.14	0.94	0.94
λ_m 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.58	0.73	1.00	0.48	0.65	0.90	0.24	0.60	0.79
6	0.48	0.72	0.91	0.31	0.88	0.98	0.48	0.77	0.06
8	0.12	0.68	0.88	0.36	0.86	0.85	1.44	0.77	0.97

表4-6粗床砂試驗條件下淘刷坑特徵實測值之比例比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.318$ mm) Scale = 1:50									
y_s 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.32	0.45	0.54	0.68	0.60	0.62	0.41	0.40	0.49
6	0.54	0.67	0.86	0.78	0.76	0.87	0.64	0.83	0.84
8	0.83	0.81	1.00	0.67	0.93	0.89	0.85	1.00	0.91
λ_s 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.56	0.85	0.88	1.05	0.64	0.81	1.31	0.90	0.67
6	0.48	0.71	1.00	0.67	0.80	0.89	0.99	0.88	0.86
8	0.55	0.73	0.87	0.79	0.87	0.91	1.16	0.96	0.96
λ_m 比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.58	1.20	1.00	0.40	0.45	0.86	0.28	0.35	0.66
6	0.45	0.80	1.12	0.39	0.66	0.95	0.31	0.83	0.93
8	0.15	0.77	0.99	0.94	0.88	0.93	1.59	0.94	0.97

表4-7細床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=0.791$ mm) Scale = 1:50										
固床工間淘刷量 (mm^3)		傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
度 (%)										
4		259580	272734	334397	86956	187759	242663	137255	183211	267183
6		234582	466148	567764	195447	331058	556049	188682	369420	596865
8		326978	414585	702086	198713	463767	639499	369359	582384	608613
固床工間淤積量 (mm^3)		傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
度 (%)										
4		240742	183246	100643	160160	149338	211412	29774	78204	90620
6		263056	168001	170661	246122	259797	175059	102376	131562	138509
8		231420	230044	113317	261877	211980	172316	127410	155122	180798

表4-8中床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.071$ mm) Scale = 1:50										
固床工間淘刷量 (mm^3)		傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
度 (%)										
4		148149	247307	273088	68107	94258	212014	31231	148552	215884
6		225863	393120	529521	97266	280401	437682	113371	244877	455115
8		266755	439583	635186	165580	350393	458734	135501	441380	564028
固床工間淤積量 (mm^3)		傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
度 (%)										
4		183014	174797	196206	77967	125716	240616	30685	67859	112099
6		197761	189380	150109	115153	237909	201378	104819	116318	187297
8		210658	147805	169897	287111	227024	190188	194071	174824	176910

表4-9粗床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.318$ mm) Scale = 1:50										
固床工間淘刷量 (mm^3)		傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
度 (%)										
4		89731	194601	230114	42115	82897	135464	30755	62752	82919
6		154644	257688	438529	75029	174825	349667	78477	198877	319997
8		229215	327960	462325	123921	275884	414139	182268	320486	430348
固床工間淤積量 (mm^3)		傳統式 (0.00)			透過式 A (0.07)			透過式 B (0.68)		
流量	坡	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
度 (%)										
4		106791	202534	206049	55264	74595	135690	31158	51972	134572
6		140467	255406	190382	91178	191630	236132	119730	210463	218011
8		238354	232150	195053	154004	255695	236415	177849	238171	209285

表4-10細床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比例比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=0.791$ mm) Scale = 1:50									
固床工間淘刷比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.37	0.39	0.48	0.33	0.69	0.73	0.41	0.67	0.80
6	0.33	0.66	0.81	0.83	0.71	0.98	0.33	0.79	1.05
8	0.47	0.59	1.00	0.61	1.12	0.91	0.53	1.40	0.87
固床工間淤積比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	1.04	0.79	0.43	0.67	0.81	2.10	0.12	0.43	0.90
6	1.14	0.73	0.74	0.94	1.55	1.03	0.39	0.78	0.81
8	1.00	0.99	0.49	1.13	0.92	1.52	0.55	0.67	1.60

表4-11中床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比例比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.071$ mm) Scale = 1:50									
固床工間淘刷比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.23	0.39	0.43	0.46	0.38	0.78	0.11	0.60	0.79
6	0.36	0.62	0.83	0.43	0.71	0.83	0.21	0.62	0.86
8	0.42	0.69	1.00	0.62	0.80	0.72	0.21	1.00	0.89
固床工間淤積比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.87	0.83	0.93	0.43	0.72	1.23	0.17	0.39	0.57
6	0.94	0.90	0.71	0.58	1.26	1.34	0.53	0.61	1.25
8	1.00	0.70	0.81	1.36	1.54	1.12	0.92	1.18	1.04

表4-12粗床砂試驗條件下固床工間淘刷淤積實測體積之比例比較

沖淤特徵 (床質中值粒徑 $D_{50}=1.318$ mm) Scale = 1:50									
固床工間淘刷比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.19	0.42	0.50	0.47	0.43	0.59	0.13	0.32	0.36
6	0.33	0.56	0.95	0.49	0.68	0.80	0.18	0.77	0.73
8	0.50	0.71	1.00	0.54	0.84	0.90	0.39	0.98	0.93
固床工間淤積比例	傳統式			透過式 A (0.07) vs. 傳統式			透過式 B (0.68) vs. 傳統式		
流量 坡度 (%)	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087	0.00045	0.00067	0.00087
4	0.45	0.85	0.86	0.52	0.37	0.66	0.29	0.26	0.65
6	0.59	1.07	0.80	0.65	0.75	1.24	0.85	0.82	1.15
8	1.00	0.97	0.82	0.65	1.10	1.21	0.75	1.03	1.07

由表列結果可大致看出，高通透率的透 B 型固床工在試驗流量 0.00067 cms (實物流量 11.84 cms) 以下、渠床坡降 6% 以下的環境均有降低固床工間淘刷規模與淘刷體積的功能；低通透率的透 A 型固床工則在試驗流量 0.00045 cms (實物流量 7.95 cms) 以下及試驗流量 0.00067 cms (實物流量 11.84 cms) 以下、渠床坡降 4% 以下的環境有降低固床工間淘刷規模與淘刷體積的功能。

本計畫所採用最小流量的依據，乃是要確保在最陡的渠槽坡降條件下，最粗的試驗床砂仍得以被水流所啟動；而最大流量的依據，是在最緩的渠槽坡降、最細的試驗床砂條件之下，固床工間的淘刷不會砂至渠底。因此，透水式固床工是否能在比本計畫最大試驗流量還高或試驗渠道坡降還緩的條件下，仍能達到控制固床工趾部局部淘刷規模或保持歧異多樣的渠床床型、甚至多樣的水棲環境，則有待更廣的

試驗條件去確認。

第二節 固床工之水理特性比較

一、傳統式固床工之水理特性：

當上游水流進入系列傳統式固床工群時，由於固床工缺乏通透性，使得上游來水迅速與固床工後方產生暫時停滯，導致水位持續壅高，最後自固床工頂緣溢流而過。溢流過的水流隨即以投潭的方式直接對固床工趾部的溪床進行淘刷，此時，水流於投潭過程中會形成兩股運行方向相反的渦流；其中一股渦流朝下游方向觸及渠床，另一股渦流則朝上游方向流動 (Bennett et al, 2000)。朝向上游方向旋轉的渦流，其主要的作用在於侵蝕渠床床砂及淘刷坑朝上游方向的坑壁，同時也提供類似水墊 (cushion) 的功能，以消弭投潭水流的衝擊。渠床床砂在重力及渦流的雙重作用下，使得淘刷坑的上游坑壁維持動態平衡。至於朝下游方向運行的渦流，其能量則消耗於淘刷渠床及攜帶淘刷坑中的泥砂往淘刷坑外運移，同時保持淘刷坑下游坑壁的動態平衡。

本研究利用螢光染劑將上述的兩股異向渦流進行可視化 (visualization) 處理並於試驗中發現，朝下游方向旋轉的渦流通常能夠從流況極為紊亂的淘刷坑中脫逃而出，而成為渠床表面流 (surface flow) 的一部分，並攜帶著被投潭水所淘刷的床砂向下游移動，至於

淘刷坑中的床砂是否可以順利被運往下游，則取決於下游相鄰固床工所產生的回水效應 (backwater effect)。下游相鄰固床工所產生的回水，使得淘刷坑外至下游相鄰固床工之間的水流流速降低，改變了水流的輸砂容量 (sediment transport capacity)，進而使得床砂於該區段間堆積，創造了多樣的堆積丘 (deposition dune)，如圖 4-4 所示。

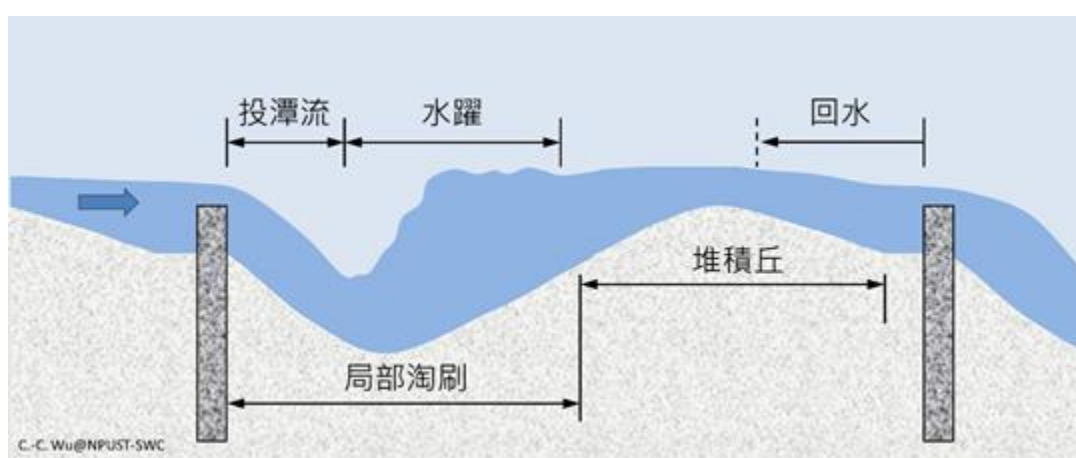


圖 4-4 固床工趾部局部淘刷及坑外堆積丘之示意圖

堆積丘的長度和高度，取決於淘刷坑的產砂量。D'Agostino (1994) 將堆積丘定性地概分為長堆積丘與短堆積丘兩類。長堆積丘通常發生於高泥砂產量之淘刷坑下游，短堆積丘則會在低泥砂產量的淘刷坑下游形成。本研究發現，當投潭水流與渠床坡降營造出高泥砂產量的淘刷坑時，淘刷坑外堆積丘的長度往往可朝下游方向延伸至相鄰的固床工，導致長堆積丘的頂部高程通常與下游相鄰固床工的頂部齊平，因

此，長堆積丘之發展消除了下游固床工的回水效應。反觀短堆積丘，其堆積的規模受限於淘刷坑的產砂量，使得短堆積丘的堆積長度無法到達下游相鄰的固床工，而在堆積丘與下游相鄰固床工之間形成一個水深較深、流速明顯較慢的緩流區域，該緩流區域的形成，侷限了下游相鄰固床工回水效應的傳播。

回水效應的逐漸喪失或侷限，使得原本可以做為消弭投潭能量的功能也逐漸喪失，導致固床工趾部局部淘刷擴大，最終造成渠床床型單調劃一，圖 4-5 為傳統式系列固床工群設置下，整治段的渠床床型。

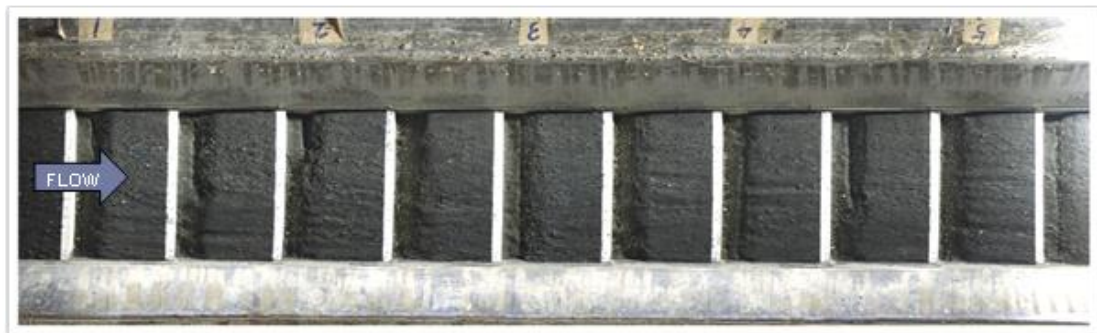


圖 4-5 傳統式系列固床工群的渠床床型

二、透水式 A 型固床工之水力特性：

透水式 A 型固床工乃是仿造國內目前找到的現場實作案例，以模擬現場鋼軌的方式，架構成為一矩形格框，並在格框內填充塊石，以達到透水之目的。經實驗室測定，透水式 A 型固床工的平均平面

通透率為 7%；亦即，透水式 A 型固床工露出渠床的部分每單位面積中有 7%的面積可以讓水流通過。雖然通透率不高，但當上游水流初次通過透水式 A 型固床工時，水流均可以順利通過格框內填充塊石的孔隙，使得固床工後方水位的壅高現象不如傳統式固床工來得明顯及快速。

通過透水式 A 型固床工的水流，由於受到鋼條格框內填充塊石的影響，水流速度明顯變慢，導致通透的水流無法立即對固床工趾部的渠床進行淘刷，以致試驗初期固床工間的渠床淘刷並不明顯。但隨著固床工後方水位的逐漸壅高、上游來砂的逐漸淤積，上游來水開始以溢流的方式漫淹過固床工，而逐漸產生投潭作用。投潭作用的效果，隨著流量或渠床坡降的增加，而逐漸恢復。既使如此，試驗中觀察發現，投潭所造成的局部淘刷不及傳統式固床工來得嚴重。

透水式 A 型固床工由於其通透功能，使得投潭水流不會像傳統式固床工來得均勻分佈，分佈範圍則由固床工後方土砂堆積的程度與範圍決定之，導致固床工產生溢流投潭的下游較容易出現較深的淘刷坑，而未發生溢流投潭的部分，由於水位壅高程度較低，上游水流多由鋼條格框間通過，使得投潭衝擊的效果明顯下降。在部分通透、部分溢流投潭的交互作用之下，使得固床工間的渠床床型較傳統式固床工來得多樣，且下游緊鄰的固床工後方較不易產生均佈的土砂堆積區，

如圖 4-6 所示。因此，本計畫認為，雖然透水式 A 型固床工的通透率偏低，但對於固床工趾部的局部淘刷而言，可以獲得削減。

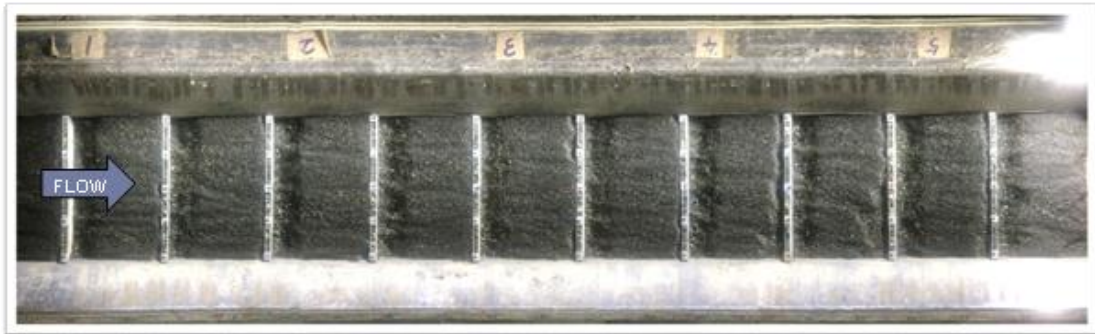


圖 4-6 透水式 A 型式系列固床工群的渠床床型

三、透水式 B 型固床工之水理特性：

為模擬較高的固床工通透性，本計畫以塑膠瓦楞板製作平均通透率為 68% 的透水式 B 型固床工，塑膠瓦楞板提供 5 mm × 5 mm 的平行通透孔道。由於通透孔道的平行均一，使得上游水流通過固床工模型時的水理特性會受到影響，因此不排除本計畫對於透水式 B 型固床工的觀察與資料量測會影響研究的結論。

當上游水流來到透水式 B 型固床工時，水流可以輕易地通過高通透率的固床工孔道，使得水流無法於固床工後方停滯，得以由透水格柵間順利通過，如圖 4-7 所示，因此，在試驗初期，穿越透水格柵的水流隨即對固床工間的渠床床砂做工，並隨即攜帶床砂往下游方向

運移。受水流攜帶的床砂，大多可以順利通過下游緊鄰透水式固床工的透水格柵，僅有少部分的床砂在下游固床工處堆積，以至於試驗初期不易見到投潭水流衝擊渠床的現象。由於通透孔道極為平滑，水流流速不會受到糙度的影響而改變，而以近似射流的方式隨即對下游渠床進行淘刷。



圖 4-7 水流穿越透水式 B 型固床工透水格柵的情形

又由於水流流況不似透水式 B 型所產生的流況複雜，以至於渠床表面床砂的淘刷作用由渠床床砂的運移性 (mobility) 決定。當渠床表面床砂經由通透射流的攜帶而到達下游緊鄰的固床工時，高通透且平直的通透孔道讓土砂較容易順利通過，以至於試驗初期可以明顯地觀察到固床工間渠床高程的均勻下切，最大切深深度大約與通透材料

底部同高，形成相對均一的渠床床型。

渠床床砂於透水式 B 型固床工上游堆積的情況，隨著試驗的進行而逐漸累積，但並未發現土砂於固床工上游全幅寬堆積的現象，反而是出現局部堆積的現象。局部的土砂堆積，加上高透水特性，使得水流得以自行尋找出路，導致水流集中匯流通過透水格柵。集中匯流的水流在系列透水式 B 型固床工間形成一明顯的水流通路，並持續攜帶土砂往下游運移，導致如圖 4-8 所見的兩股 V 型洩槽。當 V 型洩槽持續向上游發展，倘若固床工趾部未發生明顯淘刷坑時，即可與穿越上游緊鄰的透水式固床工格柵的水流相連貫，加速固床工間的渠床淘刷，直到淘刷深度到達透水格柵的底部為止。此時，穿越透水格柵的水流開始轉變其對渠床床砂的做工型態，轉變成為傳統的投潭水流淘刷。



圖 4-8 透水式 B 型系列固床工間渠床砂之發展

雖然透水式 B 型固床工具備 68% 的通透率，但不表示於固床工後方部會產生土砂堆積。隨著通過孔道射流水對床砂的選擇性淘刷，粗粒徑床砂逐漸向下游推移，最後在固床工後方產生堆積；既使本計畫所採用最粗床砂的粒徑僅為通透孔道開口的 0.26 倍。

與透水式 A 型固床工相似，當土砂逐漸於固床工後方產生堆積之後，水流溢流的分布範圍隨土砂堆積的範圍而定，但堆積的程度較不如透水式 A 型，因此，投潭的沖刷在透水式 B 型固床工的保護下較透水式 A 型更不明顯，加上固床工後方土砂堆積的程度又不及 A 型固床工，因此，溢流投潭水流在通過孔道之射流水的保護之下，投

潭效果降低、射流流速減緩，取而代之的是淘刷及沖刷較果最低的紊亂流況。當紊亂水流流過固床工間的渠床時，渠床床砂的運移性及水流的 Shields 捲揚函數(entrainment function)決定了渠床床型的變化，其結果是更為歧異多樣的渠床環境，如圖 4-9 所示。

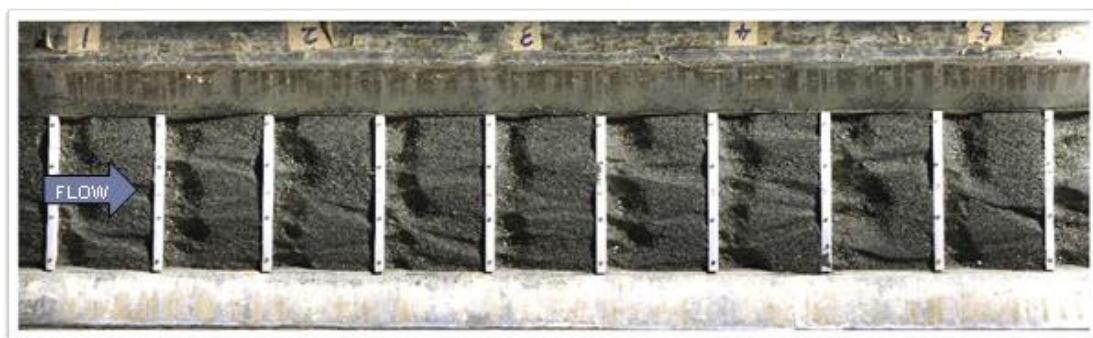


圖 4-9 透水式 B 型式系列固床工群的渠床床型

第五章 結論與建議

第一節 結論

透水式固床工改變了溢流水深及渠床淘刷的機制，使得淘刷規模得以減緩，水流境況得以多變，但透水式固床工趾部的局部淘刷深度及其規模仍以渠槽坡降的影響最為明顯。當流量逐漸增加時，不同透水式固床工之間通透率的差異對於固床工趾部及渠床的局部淘刷的影響差異則逐漸縮減。本計畫發現，透水式固床工可創造出較為歧異多變的渠床床型，有助於生態友善棲地的營造。

水工試驗的結果顯示，高通透率的透水式固床工較適用於流量小、渠床坡度較緩的環境。當渠床坡度時，則較容易因為穿透射流作用，造成固床工趾部局部淘刷深度的發生位置較貼近於固床工，對固床工基礎造成隱憂，因此不建議用於渠床床質粒徑偏細、渠床坡降陡的溪流。

低通透率的透水式固床工，以本計畫模擬現場鋼軌格柵內填充塊石的透水式固床工而言，雖然通透率僅 7%，但設置初期對於上游溪水的通透有優於傳統式固床工的現象，使得原本應該固床工頂部的溢流水深明顯下降，對於溢流水的投潭潛能降低有著正面的幫助。除此之外，格柵內因為填充塊石的緣故，增加了其對於通透水流的摩擦水頭損失，進而減緩了通透水流對於下游渠床床砂的淘刷作用。

水工試驗結果顯示，低通透率的透水式固床工較適合應用於渠床坡度小於 6% 的環境，其降低固床工趾部局部淘刷深度的效益可達傳統式固床工的 69%，亦可將最大淘刷深度發生位置推離固床工基礎，且亦具備降低溢流水深水頭落差的功能，可考慮於現場試做。

第二節 建議

本計畫目前所測試的透水式固床工型式，除了以傳統式固床工做為試驗對照組之外，並設計兩種通透率差異懸殊的透 A 及透 B 型固床工。

透 A 型固床工乃是模擬現場鋼軌格柵內填充塊石的透水式固床工，通透率僅 7%。透 B 型固床工則是以塑膠瓦楞板創造出通透率 68% 的高透水式固床工。但因為塑膠瓦楞板板內的規則且光滑的孔洞，容易造成通透水流以射流的方式通過並對下游渠床產生淘刷，更容易被誤解為透 B 型固床工模型將成為未來現場施作的雛型，在此必須予以澄清。之所以採用塑膠瓦楞板的目的是在於營造與透 A 型截然不同的通透率，但不可諱言的，塑膠瓦楞板板內的規則且光滑的孔洞有可能影響固床工下游淘刷的型態以及固床工上游的土砂堆積型態，這是未來在水工試驗設計透水式模型上須儘量避免的。

本年度的研究結果，對於透水式固床工的水理特性與渠床沖淤有

了進一步的了解，但所測試透水式固床工的通透率仍屬有限，建議未來可持續進行不同通透率固床工的水工試驗研究。藉由通透率涵蓋範圍更廣的透水式固床工試驗與研究，除對於透水式固床工所引發多變化的水流境況有更完整的掌握之外，更能利用所掌握的現象觀察與資料分析，達到最終研發適用於國內野溪環境之透水式固床工工法的目標。

參考文獻

1. 毛壽彭，水工模型試驗，中國土木水利工程學會，臺灣，14-7 ~ 14-57 頁，1987。
2. 王志豪，碩士論文，花蓮縣土石流災害防砂設施之功效調查及淘刷分析，國立屏東科技大學水土保持學系，2008。
3. 何國勇，碩士論文，近直線弧型開口式固床工應用於野溪治理之研究，國立屏東科技大學水土保持學系，2007。
4. 吳尚訓，碩士論文，固床工間距對河床穩定性影響之研究，逢甲大學土木及水利工程研究所，2000。
5. 吳嘉俊，"固床工間連續帶工間距之研究(三)"，89 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編，農委會林業特刊第 66 號，69-97 頁，2001。
6. 吳嘉俊、黃炳錡、吳雅筠，"拋石保護控制固床工趾部局部淘刷之研究"，中華水土保持學報 47(3)，147-155 頁，2016。
7. 李木青，防砂壩，台灣省水利局防洪工程設計講習班講義，1992。
8. 林原巧，碩士論文，開口式固床工應用於野溪整治之研究，國立屏東科技大學水土保持學系，2005。
9. 施東榮，"野溪固床工生態工法之探討"，泥岩自然生態工法研討會，55-86 頁，2003。

10. 張則安，碩士論文，固床工間距之研究，國立中興大學水土保持學系，1994。
11. 連惠邦，"防砂壩下游河床演變及其整流工程配置模式之研究(一)"，84 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編，農委會林業特刊第 50 號，541-549 頁，2001。
12. 陳沛霖，碩士論文，圓弧型開口式固床工應用於野溪整治之研究，國立屏東科技大學水土保持學系，2006。
13. 陳聖文，碩士論文，防砂壩下游帶工佈置之試驗研究，國立中興大學土木工程研究所，2000。
14. 游繁結，"固床工間距之調查研究(三)"，84 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編，農委會林業特刊第 50 號，541-549 頁，1996。
15. 劉世昌，碩士論文，台東地區野溪帶工之研究，國立中興大學水土保持學系，1997。
16. A. Marion, M.A. Lenze and F. Comiti, "Effect of sill spacing and sediment size grading on scouring at grade-control structures, " Earth Surface Processes and Landforms Vol. 29, pp. 983-993, 2004.
17. C.C. Wu, C.C. and Y.C. Lin, "Diversity of streambed features caused by open-slot groundsills, " In: River Flow 2006, edited by Ferreira, Alves, Leal and Cardoso. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Lisbon, Portugal, Sept. 6-8, Taylor

- & Francis, pp. 1665-1671, 2006.
18. C.C. Wu, C.H. Hou, C.N. Chen and C.Y. Shih, "Determination of groundsills interval for stream training, " In: River Flow, edited by D. Bousmar and Y. Zech. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Louvain-La-Neuve, Belgium, Sept. 4-6. A.A. Balkema Publishers, pp. 1109-1116, 2002.
 19. C.C. Wu, P.C. Huang, P.C., W.L. Liao, Y.C. Chung and T.S. Hsu, "Effect of riprap protection in controlling local scour at the toe of a groundsill, " In: River Flow 2014, edited by Schleiss, De Cesare, Franca and Pfister. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Lausanne, Switzerland, Sept. 3-5, CRC Press, pp. 2111-2118, 2014.
 20. D.L. Vischer and W.H. Hager, (ed.) Dam Hydraulics. Chapter 5: John Wiley & Sons, 1998.
 21. D.S. Biedenharn and L.C. Hubbard, Design considerations for siting grade control structures. US Army Corps of Engineers. ERDC/CHL CHTEN-VII-3, 2001.
 22. H.N.C. Breusers and A.J. Raudkivi, Scouring. Rotterdam: A.A. Balkema, 1991.
 23. M. Tregnaghi, A. Marion and F. Comiti, "Sediment supply effect on local scouring at bed sills in high gradient streams, " In: River Flow 2006, edited by Ferreira, Alves, Leal and Cardoso. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Lisbon, Portugal, Sept. 6-8, Taylor & Francis, pp. 1759-1764, 2006.
 24. M.A. Lenzi, A. Marion, F. Comiti and R. Gaudio. "Local scouring in

- low and high gradient streams at bed sills, " Journal of Hydraulic Research, Vol. 40, No. 6, pp. 731-739, 2002.
25. P. Espa and S. Sibilla, 2006. "Experimental study of the scour regimes downstream of an apron for intermediate tailwater depths, " In: River Flow 2006, edited by Ferreira, Alves, Leal and Cardoso. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Lisbon, Portugal, Sept. 6-8, Taylor & Francis. pp. 1715-1724, 2006.
26. R. Gaudio, A. Marion and V. Bovolin. "Morphological effects of bed sills in degrading rivers, " Journal of Hydraulic Research, Vol. 38, No. 2, pp. 89-96, 2000.
27. S. Pagliara and M. Palermo, "Scour protection downstream of block ramps, " In: River Flow 2006, edited by Ferreira, Alves, Leal and Cardoso. Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, Lisbon, Portugal, Sept. 6-8, Taylor & Francis, pp. 1725-1730, 2006.
28. S.J. Bennett, C.V. Alonso, S.N. Prasad and M.J.M. Römken, "Experiments on headcut growth migration in concentrated flows typical of upland areas," Water Resour. Res., Vol. 36, No.7, pp. 1911-1922, 2000.
29. V. D'Agostino, "Indagine sullo scavo a valle di opera trasversali mediante modello fisico a fondo mo-bile," Energ. Elettr, Vol. 71, No. 2, pp. 37-51, 1994.

附錄一 期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

「透水式固床工之工法研發與水理特性研究」

期中審查會議紀錄

審查意見答覆說明及修正辦理情形

時間:民國 105 年 9 月 6 日(星期五)下午 1 時 30 分

地點:行政院農業委員會水土保持局第三會議室

審查意見	答覆說明及修正辦理情形
1.透水式固床工，實務上踩踏步式設計，除具有透水性質，也方便在上面行走，而格柵式固床工，在施作上較為困難，如採放 PVC 管的方式較為容易施作，但仍有淤塞的問題。	1.感謝指導，未來將做為模型製作的考量。
2.固床工淘刷的問題，一般以加深深度及拋塊石的方式，降低固床工損壞。	2.感謝指導，加深基礎深度增加水泥用量、拋塊石的相關研究已列入前人研究中，供參。
3.溪床均以砂子做實驗，透水性較佳，而實務上溪床上有泥土，透水性不佳。	3.為克服溪床因為泥土的存在所造成透水性不佳的事實，本研究特別將固床工模型自試驗渠槽渠底開始架設，一方面處理室內試驗無法對於渠床床砂做緊密夯實的困難，再方面，滲流淘刷並非本研究現階段考量的重點，建議未來可以針對滲流淘刷問題另行研究。
4.以透水式固床工減少落差，進而減少淘刷，重點在河床的坡降，如固床工底部淘刷，沒有固床功	4.感謝指導。

審查意見	答覆說明及修正辦理情形
能，但不影響河道安全。	
5.模型試驗應加強縮尺比例的理論推導，土砂粒徑兩流況很難模擬，應注意因次分析。	5.感謝指導，目前固床工模型採用幾何相似、動力相似則採用福祿相似律。
6.試驗材料粗砂、細砂之定義需更明確。(細砂 $D_{50}=0.791\text{mm}$)	6.感謝指導，已經將細砂、中砂及粗砂等名詞改為細床砂、中床砂及粗床砂，以避免造成混淆。
7.建議增加現行固床工之類型、問題分析(含現行透水式固床工之類型)，以作為透水式固床工試驗設計之依據。	7.感謝指導，目前國內慣用的固床工類型及問題，請參考文中所提的參考文獻，在此不再贅述。至於透水式固床工，目前國內尚缺乏。
8.模型與砂粒之縮尺，是否符合相似律之關係?	8.感謝指導，目前固床工模型採用幾何相似、動力相似則採用福祿相似律。至於運動相似，若要滿足運動相似，所需要的試驗床砂比重必須調整，但基於計畫經費有限，特定比重之試驗床砂價格非本計畫經費所能購得。
9.固床工緊貼槽底，滲流效應是否被忽略?與現地相似否?	9.感謝指導，滲流淘刷並非本研究現階段考量的重點，建議未來可以針對滲流淘刷問題另行研究。
10.渠床之堆積定義為砂丘，宜斟酌該名詞之用法。	10.感謝指導，已經將砂丘一詞變更為堆積丘，以免造成名詞混淆。
11.採用砂粒在固床工之間形成篩分現象，並造成不同深槽線，是否影響試驗結果?	11.感謝指導，固床工間床砂的篩分現象乃是水流於床砂之間必然會發生的現象，而深槽線的產生，以本研究而言，是因為透水式固床工非均勻通透特性所造成，為

審查意見	答覆說明及修正辦理情形
	本研究期望觀察到的水理現象，可做為未來而研發及設計透水式固床工時的借鏡與參考。
12.試驗渠槽似無法形成均勻流，是否影響試驗結果？	12.感謝指導，動床試驗又涉及橫向構造物時，是不可能形成均勻流況的，均勻流況的基本定義是沿程方向的所有物理參數；例如水深；必須要達到變動量為零；亦即， $\partial h / \partial x = 0$ 。
13.水保手冊—固床工定義：似與報告中 P.3 不一致(手冊及技術規範中似無帶工?)	13.感謝指導，帶工一詞乃貴局台東分局過去慣用的工法，所指的是構造物頂部與整治溪床高程齊平的橫向構造物，其功能與固床工相同。
14.分局使用鋼軌或 H 型鋼作為固床工(或潛堤)做為溢洪口及下方材料，除透水外，似亦有混凝土減量之目的？	14.感謝指導，鋼軌或 H 型鋼的使用，除了達到混凝土減量之目的之外，當時設計的訴求，在於減少整治段的區段化，讓溪水得以順利通透，並期望能提供水棲生物遷徙的目的。
15.水槽試驗中： (1)槽框格尺寸:5.35mm*10.02mm，與床砂 $D_{50max}=1.318mm$ 的設計，其槽框與床砂比達 5 倍以上，恐與溪床現況不符，較難反應出現場實際狀況。 (2)固床工設計凸出於設計河床上，亦與一般採用之縱斷面不符。	15. (1).感謝指導，槽框與床砂比達 5 倍以上，為本計畫設計透水式固床工模型的重點之一，其目的在於了解尺寸比例差異懸殊是否會影響固床工趾部的渠床淘刷以及固床工上游的土砂堆積。 (2).固床工設計是否突出於設計河床之上，為設計者為期整治目的

審查意見	答覆說明及修正辦理情形
(3)固床工下游回淤為野溪自然現象，建議可於試驗中觀察。	所做的考量。倘若固床工頂部與設計河床高程齊平，可稱之為帶工，已可稱之為固床工，僅在於名詞的使用認定差異。 (3).感謝指導。

SWCB(103.07 月版)

行政院農業委員會水土保持局
「105 年度創新研究計畫」案期中審查(第一場)會議紀錄

壹、時間：105 年 9 月 6 日(星期五)下午 1 時 30 分

貳、地點：本局第三會議室

參、主持人：林簡任正工仕修代

記錄：高百毅

肆、出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如后附件。

柒、結論：

一、請計畫執行單位參照與會人員相關意見辦理。

二、本場次審查「以新穎技術改善植生工法之植物生長效益」、「透水式固床工之工法研發與水理特性研究」、「極端降雨造成集水區中上游河川沖淤變化對水土保持工程構造物之設計、維護補強調適策略之研究」及「重力、地震力與降雨引致的邊坡破壞行為模擬研究」等 4 案計畫，各計畫執行單位所提期中報告書，均審查通過，同意撥付第二期款。

捌、臨時動議：無

玖、散會：下午 3 時 30 分

二、 透水式固床工之工法研發與水理特性研究

1. 透水式固床工，實務上採踏步式設計，除具有透水性質，也方便在上面行走，而格柵式固床工，在施作上較為困難，如採放 PVC 管的方式較為容易施作，但仍有淤塞的問題。
2. 固床工掏刷的問題，一般以加深深度及拋塊石的方式，降低固床工損壞。
3. 溪床均以砂子做實驗，透水性較佳，而實務上溪床上有泥土，透水性不佳。
4. 以透水式固床工減少落差，進而減少淘刷，重點在河床的坡降，如固床工底部淘刷，沒有固床功能，但不影響河道安全。
5. 模型試驗應加強縮尺比例的理論推導，土砂粒徑與流況很難模擬，應注意因次分析。
6. 試驗材料粗砂、細砂之定義需更明確。(細砂 $D_{50}=0.791\text{mm}$)
7. 建議增加現行固床工之類型、問題分析(含現行透水式固床工之類型)，以做為透水式固床工試驗設計之依據。
8. 模型與砂粒之縮尺，是否符合相似律之關係？
9. 固床工緊貼槽底，滲流效應是否被忽略？與現地相似否？
10. 渠床之堆積定義為砂丘，宜斟酌該名詞之用法。
11. 採用砂粒在固床工之間形成篩分現象，並造成不同深槽線，是否影響試驗結果？
12. 試驗渠槽似無法形成均勻流，是否影響試驗結果？
13. 水保手冊-固床工定義：似與報告中 P.3 不一致(手冊及技術規範中似無帶工?)
14. 分局使用鋼軌或 H 型鋼做為固床工(或潛堤)做為溢洪口及下方材料，除透水外，似亦有混凝土減量之目的？
15. 水槽試驗中：
 - (1) 槽框格尺寸： $5.35\text{mm} \times 10.02\text{mm}$ ，與床砂 $D_{50\text{max}}=1.318\text{mm}$ 的設計，其槽框與床砂比達 5 倍以上，恐與溪床現況不

SWCB(103.07 月版)

符，較難反應出現場實際狀況。

(2) 固床工設計凸出於設計河床上，亦與一般採用之縱斷面不符。

(3) 固床工下游回淤為野溪自然現象，建議可於試驗中觀察。

附錄二 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

「透水式固床工之工法研發與水理特性研究」

期末審查會議紀錄

審查意見答覆說明及修正辦理情形

時間:民國 105 年 12 月 3 日(星期六)上午 9 時 00 分

地點:國立中興大學雲平樓一樓 F2 推廣教室

審查意見	答覆說明及修正辦理情形
1.固床工或其餘溪床整流構造物基礎淘空因素複雜且多樣，依現地觀察有許多情形為上游粒料(料源)補充不足所導致，故如何將試驗所得單一性肇因應用於現場設計則是較大可思考方向。	1.感謝指導，建議未來於現場設計上宜將所有可能的影響肇因納入設計考量。
2.可增加河寬因素，透水性及基礎滲流後的土砂淘空等相關性，並以流速為參考透水開口之相關性研究。	2.感謝指導，河寬因素可以於室內水工試驗設計時以單寬流量的觀念處理，至於透水性因素，已於結論與建議中建議未來增加不同透水性的試驗研究。
3.模型設計應可更貼近現地情況(如床質粒徑)。	3.感謝指導，目前考量的床砂粒徑範圍較為侷限，建議未來可以增加試驗研究對於床砂粒徑範圍的廣度。
4.試驗係採用鋼構材料內填礫石方式，惟實務上是否考量材料使用耐久性問題，例如豪雨期間遭滾石撞擊級腐蝕問題等加以研究探討。	4.感謝指導，本計畫並沒有將鋼構材料的耐久性納入考量，建議未來可增加材料耐久性相關議題的研究。

審查意見	答覆說明及修正辦理情形
5. 建議納入缺口式固床工實試結果，並以可施工形式進行試驗為宜。	5.感謝指導，缺口式(或稱開口式)固床工計畫主持人已自 2002 年陸續投入研究，研究成果已納入成果報告的前人研究與參考文獻中，可供參考，但仍有可再精進的空間。建議未來可另提專案研究計畫辦理。

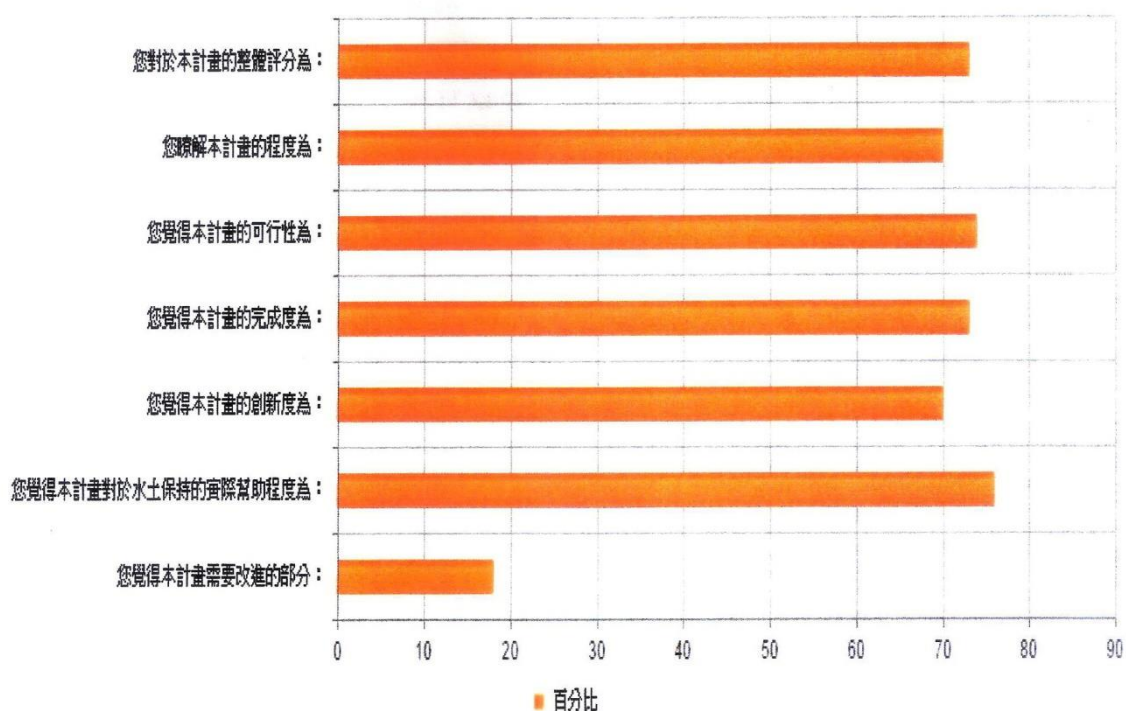
附件 1

行政院農業委員會水土保持局 105 年度創新研究計畫期末聯合審查會
「期末評核單」(主辦專家彙總簽核用)

- 一、計畫編號：105 保發-13.1-保-01-06-001(4)
- 二、計畫名稱：透水式固床工之工法研發與水理特性研究
- 三、計畫主持人：吳嘉俊
- 四、計畫執行機關：國立屏東科技大學

五、計畫期末執行情形評核

(一) 期末審查意見統計情形：



(二) 主管機關之因應對策(檢討與建議)：

- 1、固床工或其餘溪床整流構造物基礎掏空因素複雜且多樣，依現地觀察有許多情形為上游粒料(料源)補充不足所導致，故如何將試驗所得單一