



## 逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：木梢單床工於河川保護之研究

作者：黃俊祥、胡志銘、陸培民

系級：水利工程學系

學號：D9229021

開課老師：王傳益 副教授

課程名稱：專題實驗

開課系所：水利工程學系

開課學年： 95 學年度 第一 學期



## 謝誌

授業及論文研究期間，承蒙恩師 王傳益教授之悉心教導，不僅在研究上給予適切之指導，並於生活上啟蒙良多，從而使本文得以順利完成學生銘感五內，在此僅向恩師至上誠摯之謝意。

修業及研究期間蒙本校水利工程學系許教授少華、蘇教授重光、鄭教授仙偉、連教授惠邦、林教授朝福、陳教授昶憲、李教授漢鏗、廖教授清標、葉教授昭憲、林教授秋裕、王老師傳益、許老師正元、許老師盈松、蔡老師桂郎、邱老師茂德諸多指導與關懷，系助教黃瑞榮、吳青俊及廖智慧於行政上及研究設備上給予幫助。

此外，在撰寫期間學長漢鵬、滄隆、翊嘉、人豪一路來指導我們所遇到的問題，以及一群貼心的同窗好友一起陪伴度過，和其他組別提供寶貴的意見，互相幫助解決問題，因此學生得以順利完成此論文在此一併特致誠摯的謝忱。

最後僅將這一段努力完成的成果，獻給所有幫助過本組的人，與你們一起分享，感謝他們的栽培以及在研究期間遭遇困難瓶頸時，給予我們最大的鼓勵與支持，祝福大家永遠幸福快樂。

## 摘要

本研究係在傾動式渠道中設置模型渠道，模擬護坦種類(木梢單床護坦工、變化型式木梢單床護坦工)及不同的配置條件下(三種設置位置、兩種設置高程、兩種填石大小)之河道變化，藉由河道沖刷與淤積的變化等指標來判定護坦之河床穩定性，並據以提出兼具安全與生態之護坦配置模式，以供日後相關工程人員之參採。

試驗結果發現，護坦型式方面，原型護坦工與變化型式原則上差異並不大；在填充材料方面，填石粒徑較大者平均沖刷深度較小；設置高程方面，設置深度為 1 倍填石高度(1.5cm)其挑流效果及抗沖刷之能力明顯降低；設置位置方面，原型(P)方面，以設置置中較佳，而變化型式(V)方面，則以設置偏上游較佳。

## 目錄

謝誌	I
摘要	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
照片目錄	VIII
符號說明表	IX
第一章 前言	1-1
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 護坦工的種類	2-1
2.2 護坦工功能	2-9
2.3 護坦工施設條件	2-10
2.4 護坦工結構穩定性及水理安全	2-11
2.5 護坦工的生態考量	2-16
2.6 護坦工與環境融合	2-17
2.7 護坦工與河川特性	2-18
第三章 試驗方法	3-1
3.1 試驗假設	3-1

3.2 試驗設備	3-6
3.3 試驗條件與方法	3-6
3.4 試驗步驟	3-8
第四章 結果分析與討論	4-1
4.1 橫向穩定分析	4-1
4.2 最大沖刷深度及位置	4-6
4.3 縱向穩定分析	4-9
第五章 結果與建議	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-2
照片附錄	
圖附錄	

## 表目錄

表 2-1 洪水平原植生曼寧 n 值	2-9
表 3-1 試驗條件	3-7
表 4-1 各試驗組之槽偏量改善效率	4-3
表 4-2 各試驗組之挑流效率	4-5
表 4-3 各試驗組影響對岸之程度	4-5
表 4-4 斷面垂向穩定分析指標	4-11
表 4-5 各試驗組之穩定 Ks 值	4-11
表 4-6 各試驗組之平均高程	4-12
表 4-7 各試驗組之抗沖刷體積量	4-16

## 圖目錄

圖 2-1	袋型護坦工施工方式及施工前後相關照片	2-4
圖 2-2	混凝土箱涵護坦(a)及木製格框箱涵護坦(b)	2-6
圖 2-3	植草(木)前後水流對渠底之影響	2-8
圖 2-4	護坦頂部與計畫河床高程配置	2-10
圖 2-5	護坦與堤坡面銜接處之縫隙處理方法	2-11
圖 2-6	拋石護坦工單體破壞示意圖	2-12
圖 2-7	水流臨界拖曳力 $\tau^*c$ 與流速修正係數 $\phi_0$ 之關係圖	2-14
圖 2-8	捲起破壞	2-14
圖 2-9	護坦最小寬度 B 示意圖	2-16
圖 2-10	護坦工施設考量	2-16
圖 3-1	渠槽設備配置示意圖	3-2
圖 3-2	超音波水位計量測示意圖	3-2
圖 3-3	試驗渠道平面圖	3-6
圖 3-4	量測點位示意圖	3-7
圖 3-5	試驗流程圖	4-9
圖 4-1	槽偏量推估參數示意圖	4-2
圖 4-2	試驗組 PS0Y0C 與對照組之槽偏量	4-3
圖 4-3	不同填石粒徑與槽偏量之比較	4-4

圖 4-4	填石粒徑與槽偏量之比較	4-6
圖 4-5	各試驗組之最大沖刷深度	4-6
圖 4-6	各試驗組之最大沖刷深度	4-7
圖 4-7	最大沖刷坑位置(設置位置 C)	4-7
圖 4-8	最大沖刷坑位置(設置位置 F)	4-8
圖 4-9	最大沖刷坑位置(設置位置 B)	4-8
圖 4-10	河川縱向剖面分析相關因素之互動關係	4-10
圖 4-11	平均底床高程比較圖(設置位置 C)	4-13
圖 4-12	平均底床高程比較圖(設置位置 F)	4-14
圖 4-13	平均底床高程比較圖(設置位置 B)	4-15



## 照片目錄

照片 2-1 袋型護坦工	2-4
照片 2-2 柴枕護坦工	2-5
照片 3-1 渠道設備	3-1
照片 3-2 超音波水位計探頭	3-3
照片 3-3 超音波水位計數據轉換顯示器	3-3
照片 3-4 木梢單床護坦工示意圖	3-4
照片 3-5 變化型式木梢單床護坦工示意圖	3-5

## 符號說明表

符號	中文說明	因次
dm	拋石粒徑	【L】
K	底床坡降修正係數	【—】
$\phi$	安息角	【—】
V <sub>0</sub>	流速	【LT <sup>-1</sup> 】
$\Phi$	流速係數	【—】
u*	摩擦速度	【—】
E <sub>1</sub>	亂流強度影響係數	【—】
$\tau_{*dc}$	臨界起動剪應力	【ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> 】
S	塊石密度	【ML <sup>-3</sup> 】
G	重力加速度	【LT <sup>-2</sup> 】
$\gamma_1$	安全係數	【—】
$\gamma_2$	亂流影響係數	【—】
$\phi_0$	護岸與護坦間的流速修正係數	【—】
$\beta$	護坦摩擦速度與河床最大摩擦速度比	【—】
W <sub>w</sub>	單體浸水重	【MLT <sup>-2</sup> 】
$\theta$	河床坡降	【—】
lb	單體長	【L】

$l_L$	升力之力臂長度	【L】
$\rho_w$	水之密度	【ML <sup>-3</sup> 】
$C_L$	升力係數	【—】
$A_g$	承受升力之面積	【L <sup>2</sup> 】
$V_d$	設計流速	【LT <sup>-1</sup> 】
$Z$	河床最大沖刷深度	【L】
$L_n$	單列護坦寬度	【L】
$V_c$	起動流速	【LT <sup>-1</sup> 】
$\bar{d}$	試驗組平均槽偏量	【—】
$\bar{d}'$	對照組平均槽偏量	【—】
$d_n$	斷面 n 之槽偏量	【—】
$d'_n$	對照組斷面 n 之槽偏量	【—】
$n$	斷面數	【—】
$H$	護坦高	【L】

## 參考文獻

- (1) 中國水利學會泥砂專業學委員會(1992)，“泥砂手冊”，中國環境科學出版社。
- (2) 水土保持技術規範(2000)，行政院農委會水土保持局。
- (3) 水域生態工程講習會(2002)，中華大學水域生態環境研究中心。
- (4) 王傳益、林保獅、施漢鵬(2002)，“自然生態工法於環境改善功能之調查與分析”，第一屆自然生態工法理論與實務研討會論文集，中興大學，PP. 89-101。
- (5) 生態工法技術手冊(2000)，經濟部水資源局。
- (6) 汪靜明(1999)，“河川生物多樣性的內涵與生態保育”，生物多樣性研討會論文集。
- (7) 汪靜明(2002)，“栗栖溪河川生態保育研究及生態管理”，2002 中台灣自然保育研討會-與水共舞論文集，PP. 53-93。
- (8) 吳富春(2000)，“都會區小型河川防洪暨生態保育對策之研究(外雙溪支流)”，台北科技大學土木系環境所生態工法-理論與實務研討會，PP. 209-239。
- (9) 林信輝(2000)，“台灣地區邊坡暨河溪綠美化自然工法-個案調查與探討”，中興大學水土保持學系，PP. 1-67。
- (10) 林信輝(2002)，“野溪自然生態工法評估指標及設計參考圖冊之建立”，中興大學水土保持學系。
- (11) 林秉賢(2002)，“橫向堆石群對溪流生態棲地流況之影響”，逢甲大學土木與水利工程研究所碩士論文。
- (12) 林鎮洋(2000)，“生態工法與水理分析及德國經驗”，台北科技大學土木系環境所生態工法講習班講義，PP. 68-90。
- (13) 明宗富(1983)，“沖積河流的河相關係”，泥沙研究第四期，PP. 75-84。

- (14)胡通哲、施上粟、李鴻源(2003),「近自然工法水理數值分析之研究-以多望溪為例」,中華水土保持學報,34(1):95-100。
- (15)施漢鵬(2004),“丁壩於河川棲地改善之研究”,逢甲大學土木與水利工程研究所碩士論文。
- (16)孫明德(2000),“近自然工法規劃設計探討”,2000中興大學水資源保育及防災中心生態工程與自然工法研討會,PP.151-164。
- (17)曹先紹(2000),“生態工法之生態層面”,台北科技大學土木系環境所生態工法講習班講義,PP.135-143。
- (18)曹叔尤、劉興年、方峰、李昌志(2000),“山區河流卵石推移質的輸移特性”,泥沙研究,Vol.4。
- (19)梁惟喬(2005),“固床工改善對河川底床環境影響之試驗研究”,逢甲大學水利工程學系研究所碩士論文。
- (20)陳榮河(2000),“水土保持之生態工法”,台北科技大學土木系環境所生態工法講習班講義,PP.144-171。
- (21)張明哲(2003),“固床工緩和梳子壩下游溪床沖刷之研究”,逢甲大學土木與水利工程研究所碩士論文。
- (22)張明雄、林曜松(1999),“攔沙壩對水生生物多樣性的影響”,生物多樣性研討會論文集。
- (23)張耿偉(2003),“固床工型態對河川棲地影響之研究”,逢甲大學土木與水利工程研究所碩士論文。
- (24)趙時樑(2002),“蛇籠丁壩群對溪流流況多樣化影響之研究”,逢甲大學土木與水利工程研究所碩士論文。
- (25)福留脩文(2002),「河川近自然工法技術訓練」課程講義-水制的理論與計算,行政院農委會特有生物研究保育中心。
- (26)賴建盛(1994),“防砂壩對櫻花鉤吻鮭物理棲地影響之研究”,台灣大學地理系碩士論文,PP.1-111。

- (27)謝鑒衡、丁君松、王運輝(1987)，“河川演變及整治”，水利水電出版社。
- (28)錢寧、張仁、周志德(1989)，“河川演變學”，科學出版社。
- (29)錢寧(1958)，“沖積河流穩定性指標的商榷”，地理學報 24 卷第 2 期，  
PP. 128-144。
- (30)Albert Molinas,Khaled Kheireldin,and Baosheng Wu,“Shear Stress Around  
Vertical Wall Abutments”,J.Hydraulic Eng. Vol.124,No.8,August,1998.
- (31)Kuhnle,R.A.,Alonso,C.V.,and Shields,F.D., “Geometry of scour holes associated  
with 90° spur dikes.”J.Hydraulic Eng.,Vol.125(9),PP.972-978,1999.
- (32)Kuhnle,R.A.,Alonso,C.V.,and Shields,F.D., “Local scour associated with angled  
spur dikes.”J.Hydraulic Eng.,Vol.128(12),PP.1087-1093,2002.
- (33)Md. Munsur Rahman and M. Anisul Haque, “Local Scour at Sloped-wall  
Spur-Dike-like Structures in Alluvial Rivers” J.Hydraulic  
Eng.,Vol.130(1)PP.70-74,2004.

## 第一章 前言

台灣坡陡流急，流況多屬超臨界流，慣性力影響大於重力，於是河川之凹岸容易產生基礎淘空問題，進而產生護岸之崩壞，且近年國內土地超限利用，河川用地被大量開發使用，人與水爭地，造成生態環境莫大衝擊，但隨國人生活品質不斷提升，人們對自然資源保育及生態環境需求日漸重視。

原本只講求安全、耐久之混凝土結構物，卻造成今日生態環境破壞、物種滅絕，除受環保團體詬病外，亦無法滿足現今人們對生活環境需求，因此如何使河川治理同時具備河防安全與生態環境保育，成為現今新興研究課題。

為因應河川造成的不同災害，必須採取不同之措施，各種相關治理工法之單元種類繁多，例如：丁壩可用來挑流護岸、固床工可用來穩定河床等等。而本研究則針對堤防基礎保護工—護坦(apron)深入探討，其為縱向結構物，具有束水整流、減少高灘地侵蝕、保護基礎及覆土後可植生美化環境等多項功能。

惟以往國內護坦使用目的僅針對洪水災害發生時之搶險或減災防災為前提，並大多採用混凝土製成之消波塊堆排而成，除易造成河床棲地遭受大型機具破壞且容易造成棲地之單調化。因此，為了維持生態環境整體平衡及營造生物棲息地，護坦之設置目的及材料應需加以調整，以達成生態環境之永續發展。

本文欲透過渠槽試驗，在清水流情況下，探討護坦工在彎曲河道中設置前後之沖刷情況異同，並藉由不同填石大小(兩種)、設置型式(兩種)及位置(三種)之護坦工，以瞭解水流及河床變化情形。在兼顧安全與生態條件下，提出最佳之護坦工配置型式，以供未來相關工程人員之參採。

本文內容共分五章節詳述，其內容概要如下：

#### 第一章 前言：

簡略說明過去台灣河川治理方式及本試驗之研究動機及目的。

#### 第二章 文獻回顧：

敘述護坦工之設計原則及應用，另外整理國內外學者在護坦工之研究成果。

#### 第三章 試驗方法：

說明試驗方法、試驗流程、試驗假設、試驗條件、設備及量測方法。

#### 第四章 結果分析與討論：

將試驗所得之數據加以整理呈現，然後透過橫向穩定性、最大沖刷深及位置與縱向之穩定，探討比較各護坦工配置之優劣。

#### 第五章 結論與建議：

藉由研究分析結果，提出兼具安全之護坦配置，並提出相關之建議，以供日後研究者參詳。



## 第二章 文獻回顧

本研究蒐集國內外相關之護坦工法，針對河川安全與生態整體評估整理，藉以選擇適合台灣河川特性之護坦工。

護坦工(apron)主要在保護堤防基腳，加大其耐沖力，以防止洪水沖蝕基腳，進而破壞堤身，造成潰堤。護坦工為採用較生態的木樁、塊石等材料來佈設帶狀或蛇籠工等方法，形成護甲(armoring)作用穩固河床、保護基腳安全之工程構造物，以減低構造物對生態環境的影響與衝擊。

### 2.1 護坦工的種類

茲就國內外常用之綠護坦—拋石、蛇籠、袋型護坦工、柴枕工(梢工沉床)、箱涵及排樁護坦等工法分述如下：

#### 2.1.1 拋石護坦工

拋石(Placing riprap)工法係利用相當重量之卵石、岩塊、混凝土碎塊等，所組成之敷墊，由邊坡坡趾鋪設至計畫高程，在河岸坡趾構築成帶狀，以消滅水流能量，促進泥砂沉淤，達到穩定邊坡保護基腳之河工構造物。由於拋石之個體間並無凝聚力，整體之護床或護基功效較差，除非拋石之重量甚大，否則在高流速下極易被沖失。因此本工法較適用於河道較為寬廣、緩坡低速流(流速小於 1.5m/s 以下)之砂質河川。過去數年在美國、日本、印度、巴基斯坦...等國，均有使用大量拋石作為橋基保護工、固床工、護坡(堤)工的案例。

優點：

- (1) 本工法所需之設計與拋置施工費用，較其他工法低廉，相關維修費用亦較其他工法便宜。
- (2) 全區域拋石所形成之護坦工為一柔性保護方法，易隨周邊之外在條件而變位調整。在某些條件下除可抑制河床下降外，也可促進砂石

的淤積。

(3)拋石之重複使用性與再生性高、且易與周邊之環境融合(即相容性高)，就珍惜自然資源方面頗具環保意義。

(4)拋石層經過小規模洪水及枯水期後，由於天然細粒料的填縫作用及野草的被覆叢生，除促使拋石層之整體穩定性大為增加外，對於生態系提供良好之棲身環境，並有利於景觀綠美化。

缺點:

(1)塊石來源不易獲得，且若未經評估任意取材，易造成被採河段之河床不穩定，甚而破壞當地之生態平衡。

(2)結構為單體，容易受水流淘刷流失而破壞，不適於急流或陡坡河段。

(3)僅適用於河床寬淺、坡緩流速低的砂質河川。

#### 2.1.2 蛇籠護坦工

蛇籠(gabion)為利用直徑介於 3.9~4.2mm 之鍍鋅鐵絲，經由人工或機械編織而成之金屬網目，再內包卵石所構成之長條石籠。國內常見之型式大致可分為甲種與乙種蛇籠工，兩者最大的差異為甲種蛇籠之近似橢圓狀，斷面尺寸為 60cm X 100cm，乙種為 40cm X 67cm，而兩者之間隔網目則皆相同。其中以甲種蛇籠工用於國內橋基保護、堤防護坡(基)與公路邊坡穩定之情況較為普遍。

優點:

(1)蛇籠富於撓曲性，當洪水將河床刷深時，蛇籠藉由其重量而自動變位下沉，可減低水流對基腳之淘刷。

(2)蛇籠工具透水性，可改善水流通過的流況，減少亂流產生之淘刷。

(3)相較於拋石護坦工，蛇籠工有較佳的穩定性及整體性。

(4)於枯水期時，蛇籠工內之填卵石可作為透(通)水之流路。

(5)網狀外表可提供藤類植物攀爬，泥土細料填縫後，有利於植物生長

覆蓋。

缺點:

- (1)於礫石型河川，蛇籠工易遭流動之卵礫石磨耗而快速鏽蝕、或撞擊而破裂。
- (2)國內人工編織蛇籠及裝填卵石之工資昂貴，且卵礫石料源尋覓不易情形下，在在增加工程施作經費。
- (3)蛇籠工佈置區的下流端、或施作區的兩岸側邊緣常因水流的沖刷，而導致蛇籠網的拉扯破壞及籠內卵礫石之局部流失。

### 2.1.3 袋型護坦工

日本使用合成纖維(尼龍和再生 PET)的袋型護坦工(根固工)，在現場以袋填塞卵石、礫石、碎石、混凝土塊等，做為河川及海岸的護坦工和橋墩等防止基礎淘刷的保護工，如照片 2-1 及圖 2-1 所示。

優點:

- (1)撓曲性佳可隨河床之沉降而變動，被覆植生除生態性較佳外，其防止被淘出效果亦佳。
- (2)具透水性，多孔隙空間可成為植被的基礎，水生生物棲息與覓食場所。
- (3)材料的填充大體採機械化施工，施工容易，工期短且易於養護。

缺點:

- (1)目前國內無相關技術。
- (2)施設成本較高。



照片 2-1 袋型護坦工

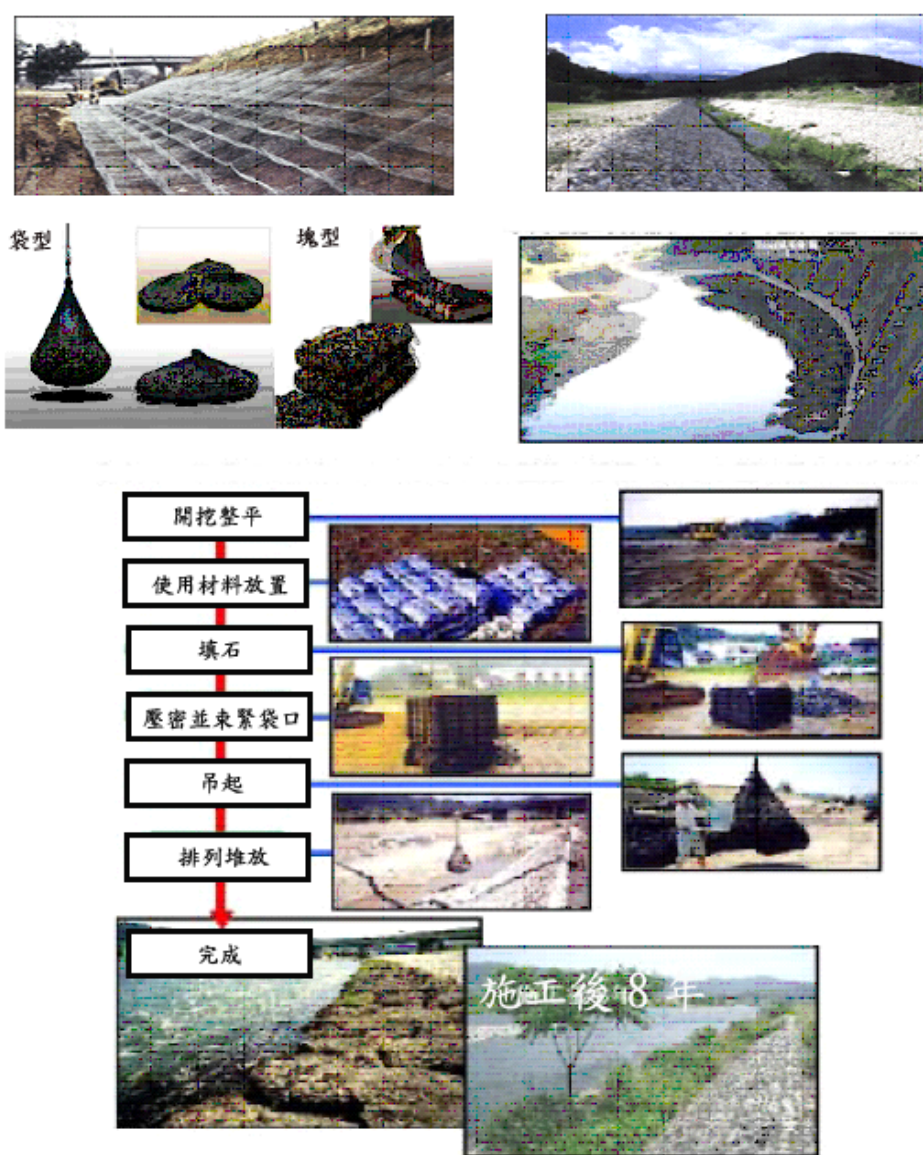


圖 2-1 袋型護坦工施工方式及施工前後相關照片

#### 2.1.4 梢工單床護坦工(柴枕工)

柴枕護坦為將塊石置於柴枕內，外用鐵絲捆綁製成。每個柴枕直徑為 0.6~1m，長 10~15m，由 11 個直徑約 0.15m，長 10m 的小把護柴、樹枝裡填充塊石，柴石體積比約為 7:3，再用 8 號鐵絲或竹蔑以 0.5m 交替間隔捆札而成，如照片 2-2 所示。

優點:

- (1)可當地取材，施設後與景觀相容性佳。
- (2)考慮自然演替，容易進行及維持豐富的生態環境。
- (3)具透水、多孔隙空間，可成為植被的基礎，水生生物生活場所。

缺點:

- (1)施設複雜，需豐富經驗，且造價偏高。
- (2)結構受水流破壞後，木柴反成為流路阻礙物，減低通水斷面積，導致災害發生。
- (3)僅適用於河床寬淺、坡小流緩的礫、砂質河川。



照片 2-2 柴枕護坦工

#### 2.1.5 箱涵護坦工

箱涵護坦可分兩種類型，一為混凝土箱涵護坦；另一為木製格框箱涵護坦。混凝土箱涵護坦由鐵模灌造完成，一般採用田字型，並在

格框中堆填石料，經河床泥沙沉積石縫後，可提供草根植物生長，營造生物棲地環境，有利於水中生物生存。如圖 2-2(a)所示。

木製格框箱涵護坦，其功能與混凝土箱涵相同，惟材料為木塊，易隨時間侵蝕而腐壞，生態性較混凝土箱涵為佳。箱涵尺寸規格需視現場水流情況而設計。

優點:

- (1) 整體結構強，能承受較大水流衝擊( $>10\text{m/s}$ )。
- (2) 以鐵模或木模施作，施設簡便，可縮短工期。
- (3) 較適合各種地形，及作為凹岸基礎保護。

缺點:

- (1) 混凝土格框較不符合生態特性。
- (2) 施設時需要大型機具及大量開挖，較易造成棲地二次破壞。
- (3) 框內填石粒徑若太小，易遭水流吸出，不利植生。

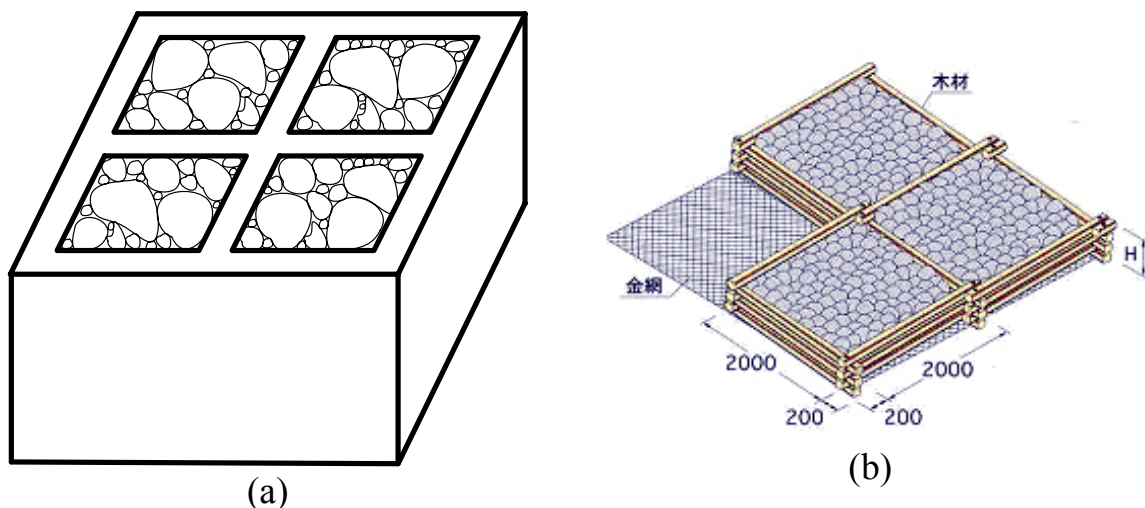


圖 2-2 混凝土箱涵護坦(a)及木製格框箱涵護坦(b)

#### 2.1.6 排樁護坦

排樁工法為利用鋼鈹樁、PC 基樁、全套管式基樁、衝擊式基樁、或木樁等等，將河床已嚴重刷深而裸露之基礎予以緊密圍繞保護，使其免受沖刷淘深之患。

優點:

- (1)若施作得宜排樁工法的強度甚高，相對的耐久性及穩定性亦高。
- (2)基樁施作時，在迎水面的部份可以施作的為半圓形或流線型的排列，可以降低水流通過時產生的局部沖刷。
- (3)基樁較耐流石或流木的撞擊磨損，在施作完成後於相當期間內較不須維修。

缺點：

- (1)基樁的施作需要大型施工機具且施作空間易受限，且容易破壞河床棲地。
- (2)本工法需較多的工程經費及工期。
- (3)常因為施作排樁保護工而減少河道的淨通水斷面，導致河床刷深。

#### 2.1.7 植草(木)護坦

植草(木)工法乃利用植物根系對底質之盤結力、阻礙水流增加糙度(如表 2-1)及減緩水流降低能量(如圖 2-3)，以達到有效控制底床侵蝕；而其種植規定請參照「水利法」、「河川區域種植規定」及「河川管理辦法」。

優點:

- (1)施工簡易、成本低及生長迅速。
- (2)生態性佳，提供昆蟲繁衍棲地。
- (3)美觀且景觀相容性佳。
- (4)依照河川特性需求，能有多類選擇。

缺點:

- (1)僅適用於河床寬淺、坡小流緩的砂、泥質河川。
- (2)喬灌木破壞後，反成為流路阻礙物，減低通水斷面積，導致災害發生。

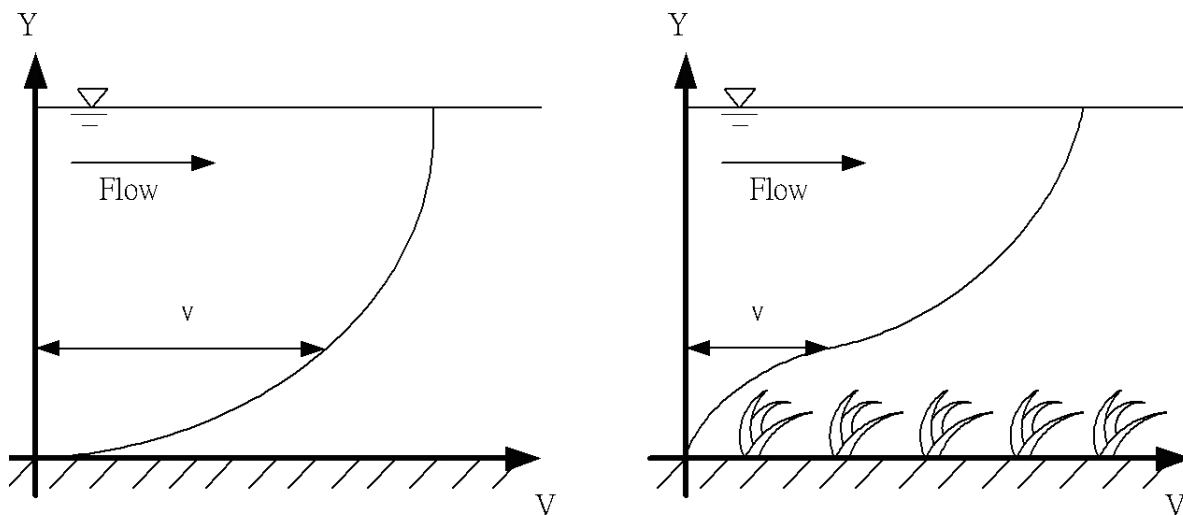


圖 2-3 植草(木)前後水流對渠底示意圖



表 2-1 洪水平原植生曼寧糙度係數 n 值

洪水平原植生情形說明	最小值	一般值	最大值
a. 牧草，無灌木			
1. 低草	0.025	0.030	0.035
2. 高草	0.030	0.035	0.050
b. 耕地			
1. 無作物	0.020	0.030	0.040
2. 成熟之列植作物	0.025	0.035	0.045
3. 成熟之野地作物	0.030	0.040	0.050
c. 灌木			
1. 稀疏灌木、濃密雜草	0.035	0.050	0.070
2. 冬季稀疏之灌木及喬木	0.035	0.050	0.060
3. 夏季稀疏之灌木及喬木	0.040	0.060	0.080
4. 冬季中等到濃密之灌木	0.045	0.070	0.110
5. 夏季中等到濃密之灌木	0.070	0.100	0.160
d. 喬木			
1. 夏季直立之柳屬喬木	0.110	0.150	0.200
2. 有喬木殘幹之空地，殘幹未發芽	0.030	0.040	0.050
3. 同上，但樹芽生長濃密	0.050	0.060	0.080
4. 挺立之樹木林立，少許傾倒，夾雜些許灌木叢，洪水水位低於樹枝	0.080	0.100	0.120
5. 同上，但洪水水位高於樹枝	0.100	0.120	0.160

參考資料:周文德 1959 年之建議

## 2.2 護坦的功能

「護坦」係為河防安全並兼顧生態平衡而設之基礎保護工，其功能

可概述如下:

- (1) 強化護(堤)岸基礎及防止底床淘刷。
- (2) 坡面覆土後，植栽適合於河岸生長之原生低莖(攀藤)類植物，以達到綠化效果。
- (3) 提供生物棲息環境，改善生態物理棲地。
- (4) 枯水期時，具束水整流之功效。

### 2.3 護坦工施設條件

護坦施設基本方針，以保全與復原為主。換言之，即在安全條件下，設計可讓河川自然力作用下復原棲地，進而自然演替出生物之生息、生育環境。然而護坦屬堤防(護岸)基腳保護工之生態工法，必須長期累積經驗，因此與近代之混凝土工法有些許差異，施設條件也應因地制宜，並無相關規範可供依循，茲就其一般性施設原則說明如下。

- (1) 護坦施設時，護坦頂部高程位置必須低於河川計畫底床高，以免減少通水斷面積，導致排洪量不足，造成溢堤之危險，如圖 2-4 所示。
- (2) 採用兩種不同工法或坡度時，護坦與堤坡坡面銜接處會產生縫隙，將導致水流淘刷，需利用較小的塊石或袋型護坦填補，以免因淘刷造成基腳破壞，如圖 2-5(b)所示。而圖 2-5(a)為堤防之堤尾工與床面間縫隙因流速較低，可採用塊石填補。(日本河川改修計畫實施要領)

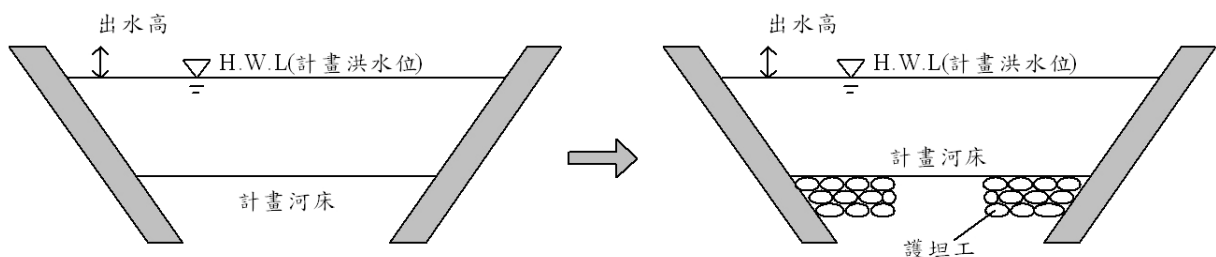


圖 2-4 護坦頂部與計畫河床高程配置

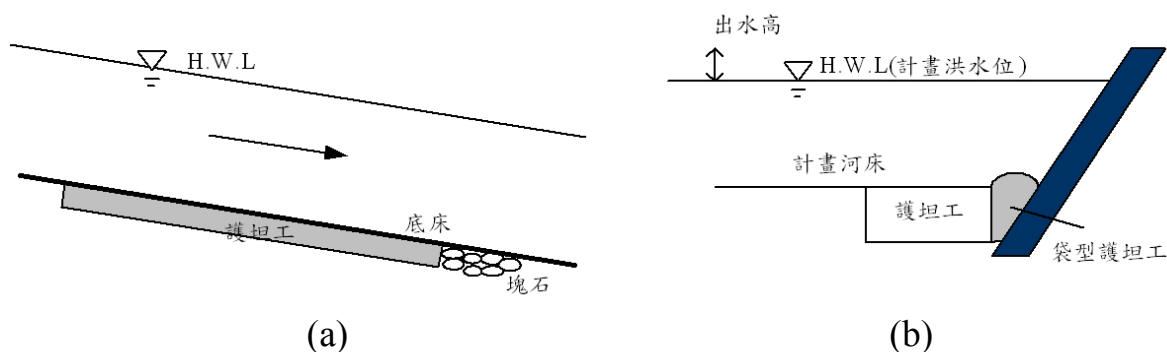


圖 2-5 護坦與堤坡面銜接處之縫隙處理方法

- (3) 拋石護坦工施設範圍，上部高程一般為枯水位，下部高程則視河床地形而定。對深泓線(谿線 thalweg)距岸邊較遠的河段，拋石至河岸底的坡度達 1:3~1:4 的地方即可。對深泓線逼近岸邊的河段，應拋至深泓線。(大陸水土保持方案技術規範)
- (4) 拋石粒徑以不被水流沖走為原則(視設計流量而定)，拋石坡度應小於塊石在水中的臨界安息角( $\phi=30^\circ\sim34^\circ$ )，即坡度 V:H 小於 1:1.5，而拋石厚度需為粒徑的兩倍，在坡面與護坦銜接處需緊接枯水位，加拋頂寬 2~3m 的平台。拋石坡度大於 1:1.5 時，需加大厚度。
- (5) 蛇籠護坦工鋪設厚度一般為 0.4m~0.5m，其他施工技巧與拋石同。
- (6) 柴枕護坦工(木梢沉床工)施設範圍，上端應在常年枯水位以下 1m，其上加拋接坡石，外腳可加拋大塊石或蛇籠工。一般作成單層，根據需要可採雙層或三層。(大陸水土保持方案技術規範)
- (7) 袋型護坦工外袋的張力強度必須大於 700N 以上，伸縮率為 20%~35%。填塞塊石避免尖銳，以免刮斷外袋，束口繩索必須束緊。(日本北海道土木工業社)

## 2.4 護坦工結構穩定性及水理安全

由於護坦為施設於河床基腳處，在安全穩定性考量上群體穩定性極高，大致上護坦之群體穩定性、安全性較無顧慮。一般破壞均源自護坦

單體上的破壞，而後逐一牽動整體結構終致破壞。以下就單體受水流沖刷、捲起破壞及護坦所需最小寬度 B 進行討論。

### 2.4.1 單體破壞

$$d_m = \left\{ \frac{1}{E_1^2 \times 2g \times \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)} v_0^2 \right\} \times K \quad (2-1)$$

$$K = \frac{1}{\cos \theta \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}}$$

式中：

$d_m$  為拋石所需最小粒徑(m)

$K$  為底床坡降修正係數 ( $\theta = 0^\circ$ ,  $K=1$ )

$\phi$  為採用塊石之安息角

$V_0$  為代表流速= $\Phi \times u^*$

$\Phi$  為流速係數

$u^*$  為摩擦速度

$E_1$  為亂流強度影響係數 (0.86~1.20)

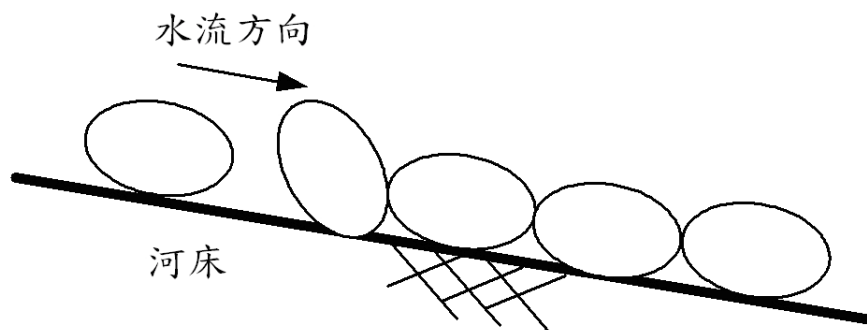


圖 2-6 拋石護坦工單體破壞示意圖

又根據日本護岸の力學一書：

$$V_{dc} = 8.5 \times \tau_{*dc}^{1/2} \times (s \times g \times d_m)^{1/2} \quad (2-2)$$

其中:  $V_{dc}$  為接近結構物之流速。

$\tau_{*dc}$  為臨界起動無因次剪應力，一般粗塊石為 0.05，又  
 $\tau_{*dc} = \tau_{*c} \times S_\theta$ ， $\tau_{*c}$  為水平臨界起動無因次拖曳力、 $S_\theta$  為坡度  
修正係數， $S_\theta = \cos \theta \times (1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi})^{1/2}$ ， $\theta$  為坡度、 $\phi$  為  
安息角(塊石為  $38^\circ \sim 41^\circ$ )。

S 為塊石密度。

G 為重力加速度。

$d_m$  為所需塊石粒徑。

$$V_{da} = \gamma_1 \times \gamma_2 \times V_{dc} \quad (2-3)$$

其中:  $V_{da}$  為  $V_{dc}$  之修正後代表流速

$\gamma_1$  為安全係數，大約 1

$\gamma_2$  為亂流影響係數，大約 0.9~1.0

$$V_{oa} = \phi_o \times \frac{V_{da}}{8.5\beta} \quad (2-4)$$

其中:  $V_{oa}$  為塊石允許流速。

$\phi_o$  為護岸與護坦間的流速修正係數，由下圖 2-7 求得。

$\beta$  為護坦摩擦速度與河床最大摩擦速度比，一般為了安全採用  $\beta=1$ 。

當塊石允許流速  $V_{oa}$  大於河川代表流速  $V_o$ ，即所採用之粒徑安全穩定。

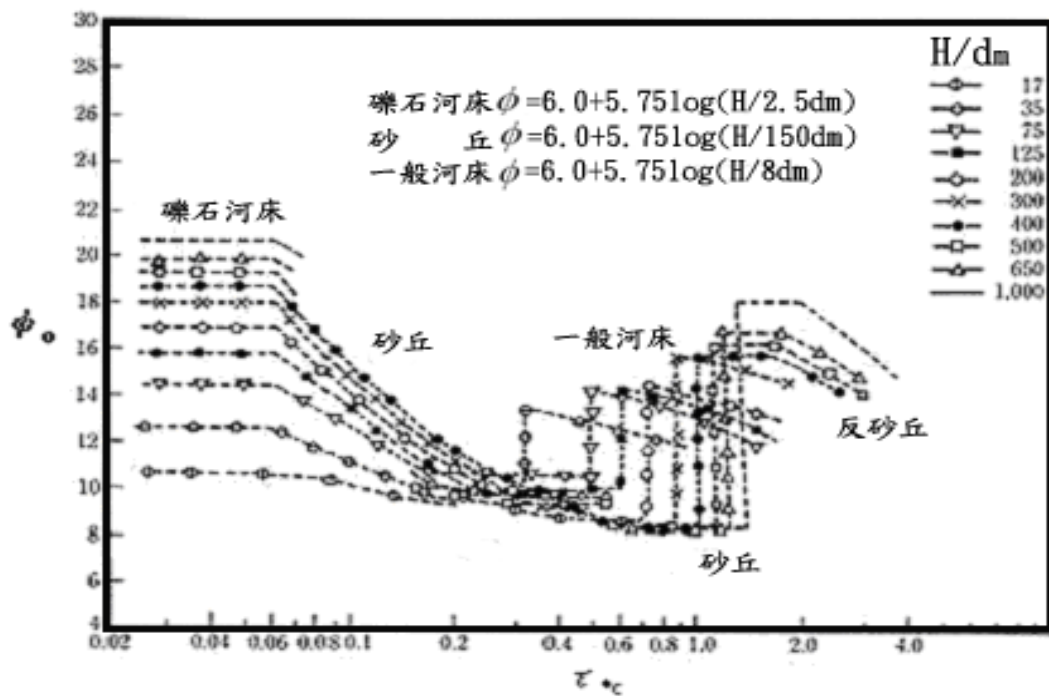


圖 2-7 水流臨界拖曳力  $\tau^*c$  與流速修正係數  $\phi_0$  之關係圖(山本晃一,護岸・水制の計劃・設計,粒徑  $dm=1mm$  的均勻泥沙,水深粒徑比  $H/dm=17\sim1000$ )

### 2.4.2 捲起破壞

護坦工受上游來流的升力及浮力作用，會發生捲起的情況，如圖 8 所示。構造物會以 O 為支點而捲起，故結構單體之捲起抵抗力矩  $(M_0)r$  應大於或等於捲起拖曳力矩  $(M_0)d$ ，檢定計算如下：

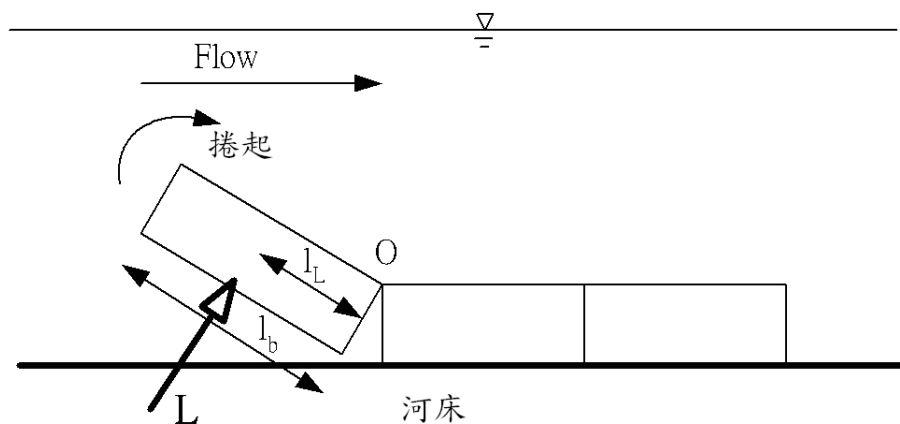


圖 2-8 捲起破壞

$$(M_0)r \geq (M_0)d \text{ 或 } W_w \cos \theta \times \frac{l_b}{2} \geq L \cdot l_L$$

其中

$W_w$  為單體浸水重(kg)

$\theta$  為河床坡降

$l_b$  為單體長

$L$  為升力  $L = \frac{\rho_w}{2} \times C_L \times A_g \times V_d^2$

$l_L$  為升力之力臂長度

$\rho_w$  為水之密度

$C_L$  為升力係數

$A_g$  為承受升力之面積

$V_d$  為設計流速

### 2.4.3 最小寬度 B

護坦工施設時，必須考慮其最小寬度範圍 B，當護坦因遭淘刷陷落後，仍能繼續保護基腳，如圖 2-9 所示。

$$B = \frac{Ln + Z}{\sin \theta} \quad (2-5)$$

其中

$Z$  為河床最大沖刷深度

$Ln$  為單列護坦寬度(至少 2m)

$\theta$  為護坦陷落後其沖刷坑之夾角

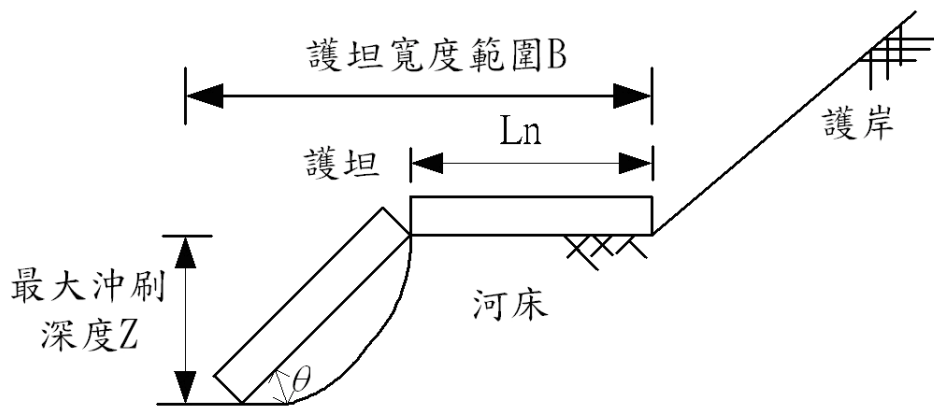


圖 2-9 護坦最小寬度 B 示意圖

## 2.5 護坦工的生態考量

根據國內生態工程的定義為「基於生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取以生態為基礎、安全為導向之工程方法，以減少對自然環境造成傷害」，得知工程設計建立於生態考量基礎上，並以結構物安全為前提，再根據經濟性、施工性、維護、材料與環境調和情況來作考量，如圖 2-10 所示。

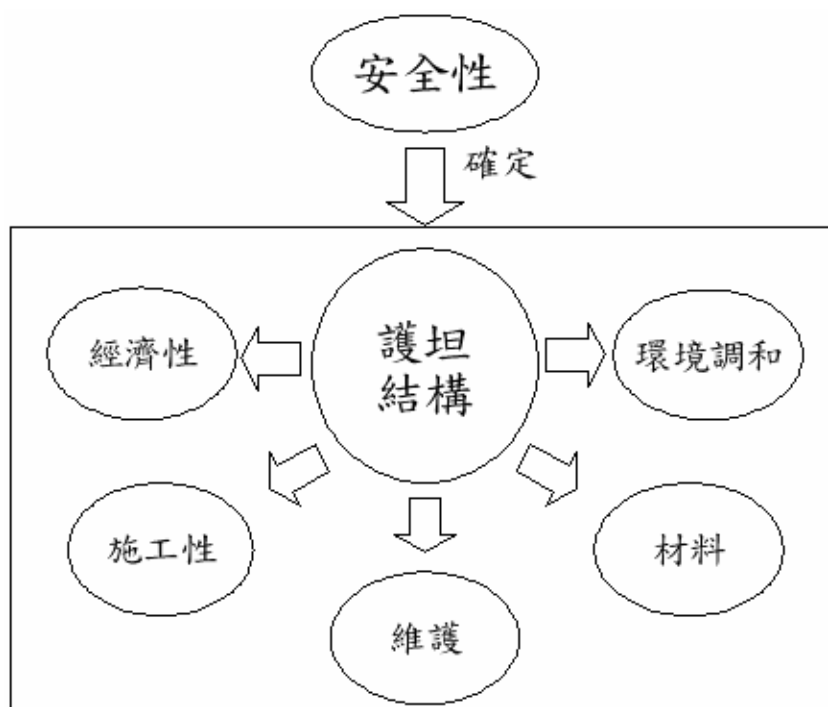


圖 2-10 護坦工施設考量



施設考量歸納為下:

- a 經濟性:經費低、易維護，施工後能快速回覆自然原貌，益本比高。
- b 施工性:減少改變地貌及大型機具破壞、污染。
- c 維護:容易維護，能永續經營。
- d 材料:取之當地天然資材，具多孔隙及透水性。
- e 環境調和:保持棲地連續性。

生態設計考量上的工作項目及內容如下:

#### 一、環境與生態資料調查

- (1)河床質、水文資料蒐集
- (2)河川生態資源及應用資材調查
- (3)歷年河道整治概況
- (4)河溪水理演算
- (5)地景生態結構調查

#### 二、整體規劃

- (1)水陸生態環境資料分析
- (2)土砂災害調查與防治規劃
- (3)防砂工程規劃
- (4)棲地多樣性營造

### 2.6 護坦工與環境融合

#### (1)空間連續性(continuity)：

空間連續性是水生生物棲地環境優劣的重要指標。河溪棲地空間包括縱向(longitudinal)、橫向(lateral)及垂向(vertical)等空間，其中河溪縱向(係指沿著水流流動的方向)是上、下游水生生物的重要通路，除非是受到地質因素影響而形成不連續斷面(如瀑布)，其連續性兼具了水生

生物的生息和生育環境的重要需求，對於溯溪魚類尤為重要；河溪橫向(與水流流向垂直的方向)連續性是維繫水域、水際域和路域生物交流的場所。

## (2)自然原動力

以混凝土為護坦時，環境條件固定化，生物種類變貧乏。如河岸允許侵蝕或堆積能賦予新物種出現可能性，能創造多樣性之河川和容許自然之原動力，將使河川底床生態環境充分發揮功能。

## (3)藍線與綠點組織網路化

當植物點塊與河川線狀生態各別孤立時，生態系將呈現貧乏，物種存續將受威脅，若能將藍綠網路規劃，物種將會豐富及穩定化，生態工法不只是自然維護，更是積極為自然再生。

## 2.7 護坦工與河川特性

由於護坦結構強度並非能如鋼筋混凝土一般，故安全考量上，必須先根據河川特性再決定適合的施設位置，針對不同河川特性如河川坡度、河床質、凹凸岸、流速與護岸坡度等「因地制宜」採用不同的護坦工法。

### (1)河川坡降及流速

塊石為護坦工常見之材料，所以塊石的穩定性左右護坦工整體結構的安全，由曼寧公式( $V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ )及拖曳力公式( $\tau = \gamma R S$ )得知，河床坡度變陡 1 倍，流速與拖曳力會各變為原來的 1.4 倍及 2 倍，如塊石為單體堆置時，所需粒徑會隨拖曳力增加而變為原來的 2 倍。故在安全考量下，護坦施設渠段應挑選施工粒徑(一般採用 60~80cm 以下)能抵抗水流之拖曳力。一般而言流速不宜超過 3m/s；而河床坡降不宜大於  $V:H=1:75$ 。

## (2)河床粒徑

由於護坦工施設材料大多以柔性及自然材料，故施設河段應避免為礫石河床，以避免洪水來時，水中含帶塊石擊壞或磨損護坦工結構。此外，由  $\tau^*c$  與  $\phi_0$  之關係(圖 2-7)得知，當護坦工採用相同塊石粒徑  $dm$  時， $H/dm$  比越小、 $\phi_0$  越小，所對應之允許流速  $V_{0a}$  亦減少，因此建議  $H/dm$  不宜小於 17。

## (3)凹凸岸

由於凹岸流速較大，往往為河岸破壞之處，故護坦類型應選用整體結構較強為佳，例如：箱涵護坦及蛇籠護坦，再根據水理計算，設計其寬度及深度。而凸岸破壞較小，可選用較生態及施工簡便之工法，例如拋石護坦。

## (4)護(堤)岸坡度

當護(堤)岸坡度較緩時( $V:H$  為 1:3 以下)，可考慮護岸及護坦採用相同工法，例如蛇籠工；或採相近之工法，例如柳枝工護岸搭配梢工沉床。當護(堤)岸坡度較陡時，可採混凝土型框填石護岸搭配混凝土箱涵護坦，以增加其整體安全性及美觀。而護(堤)岸坡度較陡，護(堤)岸與護坦採用不同工法時，在護岸基腳交接處應加強保護措施，例如拋置拋石、箱籠及蛇籠以避免基礎遭淘刷而破壞。

### 第三章 試驗方法

綜合上述介紹之護坦優缺點、台灣河川特性及生態環境營造需求，本研究選擇「木梢單床護坦工」進行本試驗研究，欲透過改變其設置位置、填石大小、埋設高程及護坦型式，探討各變因對沖刷之影響，並在兼顧安全與生態條件下，提出最佳之護坦工配置型式。

#### 3.1 試驗設備

本試驗係於逢甲大學水工試驗室之傾動式渠槽進行試驗，渠道總長為 430cm、寬為 44cm 及深為 20cm，渠道之渠邊及渠底皆為木板組合而成，為求粗糙度一致，在渠道內部均勻塗抹防水漆，渠槽實際設備與示意圖如照片 3-1 及圖 3-1 所示。

渠槽內設計 2 處彎曲區，其流心線之夾角皆為  $60^\circ$ ，其目的是因本試驗為清水流試驗，並不會產生一般沖刷，需藉由此刻意設計使之產生沖刷坑，以利往後進行護坦工設置前後比較之依據(對照組)。試驗流量為固定流量，為 1.25L/s，首先由抽水馬達抽水至定水頭水箱，經流量控制閥控制流量，並由蜂巢式整流器穩定水流，再流入渠道中，而水深由水尺量測。



照片 3-1 渠道設備

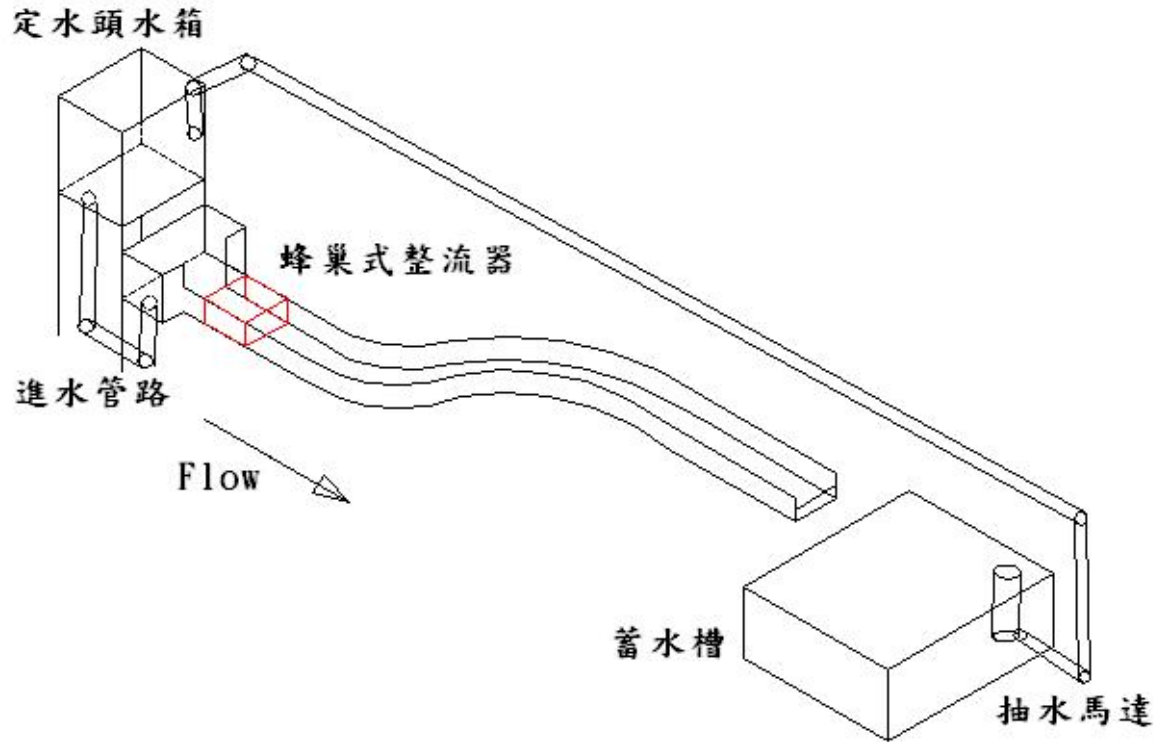
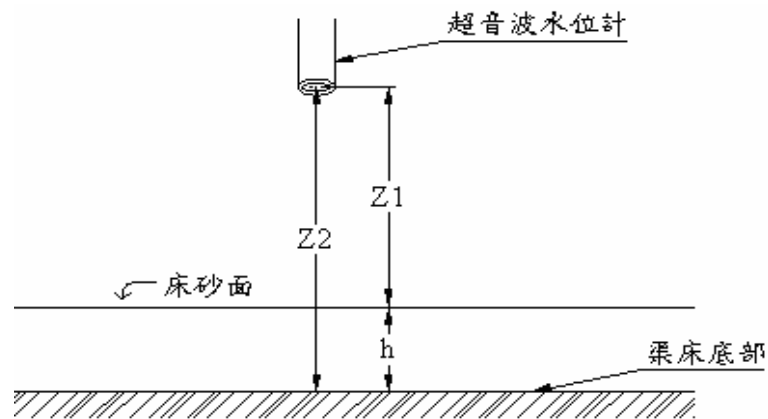


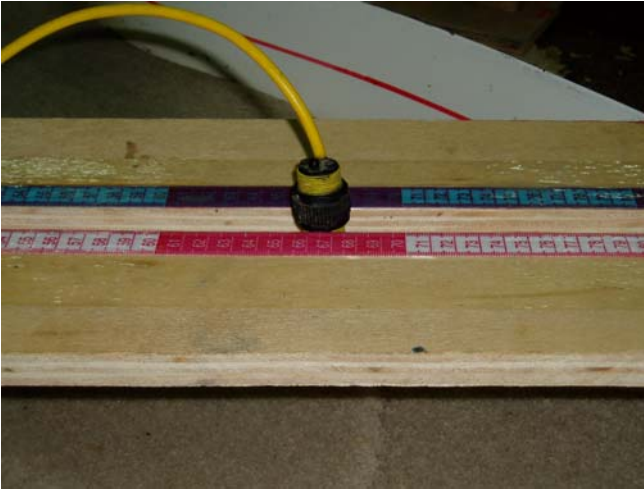
圖 3-1 渠槽設備配置示意圖

試驗採單一粒徑，粒徑為 0.59mm。而河床沖淤高程變化乃利用超音波水位計進行量測，其乃藉由不同介質產生之反射波，透過訊號的轉換來讀取高程數據，如圖 3-2 及 3-3 所示。試驗為避免產生反射波干擾的誤差，故探頭(transducer)儘量與邊壁以及河床面保持適當的距離(本研究採 1cm)，超音波水位計示如圖 3-2



( $Z_1$  : 床砂面高 ;  $h$  : 床砂厚度 ;  $Z_2$  : 渠床高)

圖 3-2 超音波水位計量測示意圖



照片 3-2 超音波水位計探頭



照片 3-3 超音波水位計數據轉換顯示器

護坦工模型長 21cm、寬 11cm，以榕樹氣根代替木梢；鐵釘代替木樁，編製過程參照「木梢單床工及柳枝工之施工技術教材」(經濟部水利署第八河川局，2004)，模型如照片 3-4 所示，並與變化型式木梢單床護坦工，如照片 3-5 進行設置前後之比較。

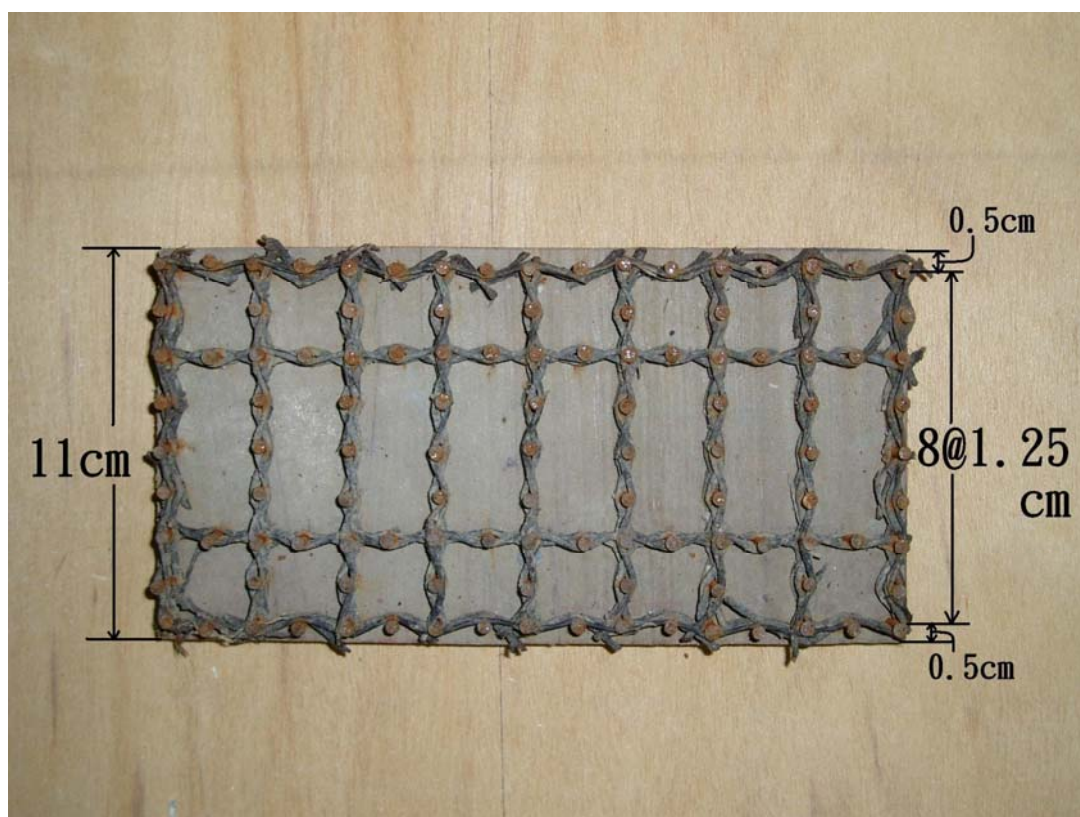
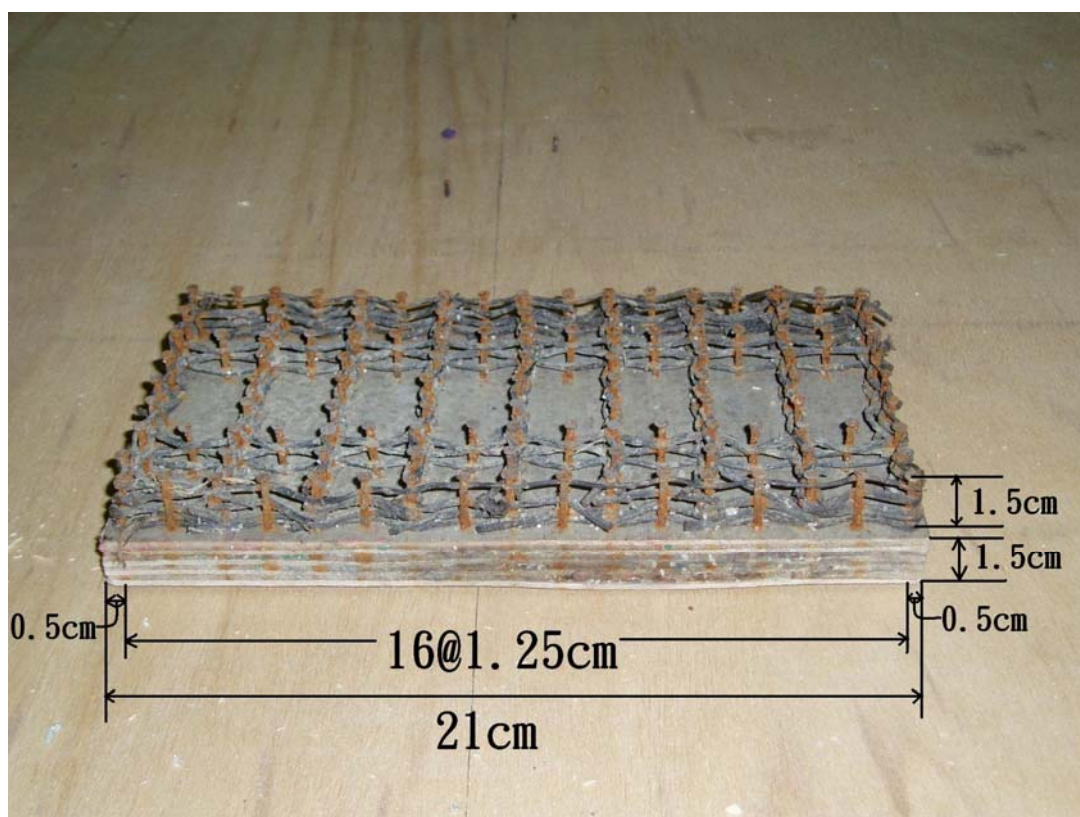
在型式上，兩種護坦工之差異為護坦工之上游迎水面與渠邊之夾角，原型護坦採用垂直  $90^\circ$ ；變化型式為  $45^\circ$ 。而護坦工設置深度分別為與底床齊平及 1 倍填石高度(1.5cm)，渠道內總鋪砂深度為 10cm。

為利於研究之進行，本試驗採用清水流試驗，流量固定為 0.00125cms；水流流速(V)為 0.127m/s，泥砂起動流速( $V_c$ )為 0.273m/s，可由 3-1 及 3-2 式求得，即  $V/V_c$  為 0.465 ( $<1$ )，為清水流況，其目的為：

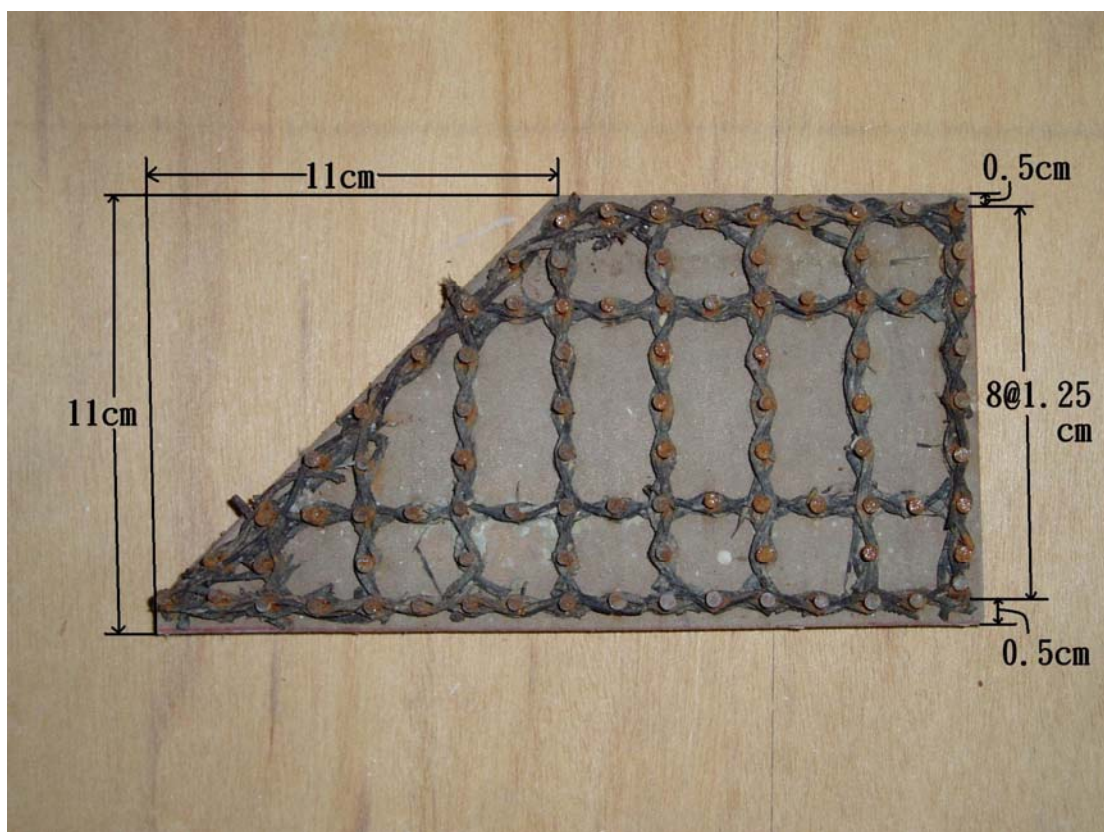
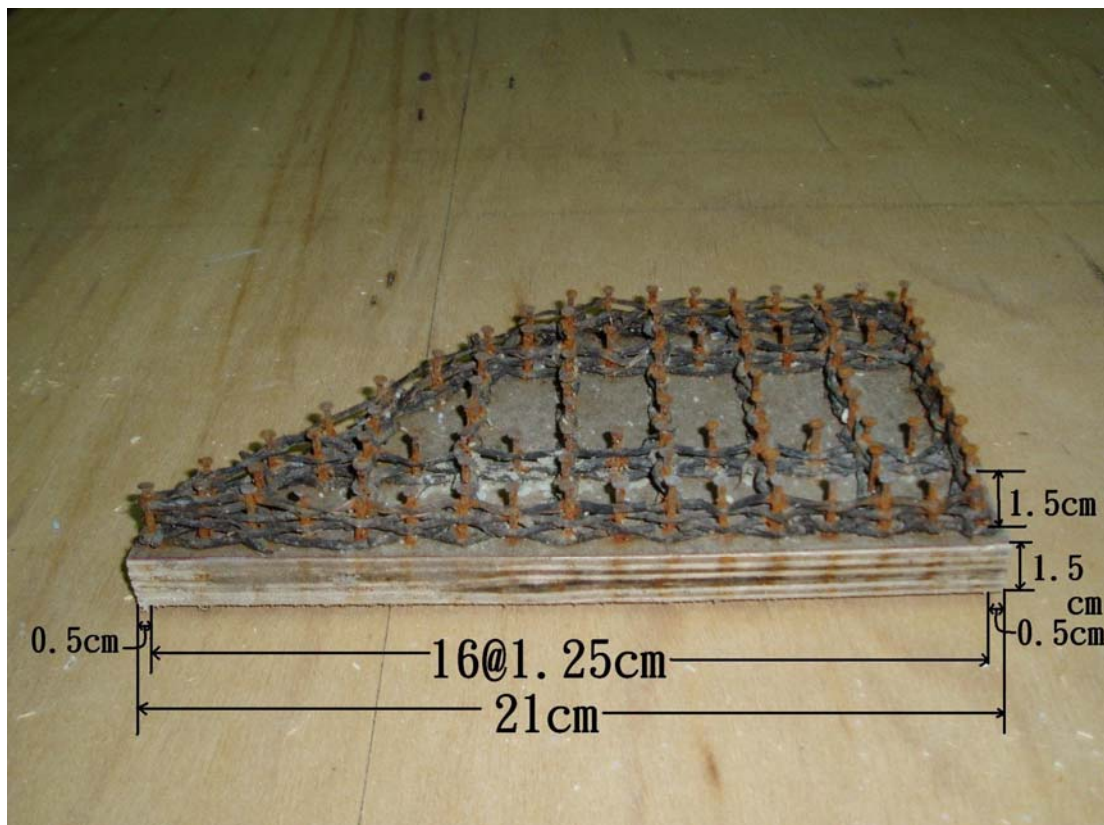
- (1) 流況簡化，使各參數間關係明顯
- (2) 可求得最大穩定沖刷深度，供設置之依據
- (3) 易於試驗，使誤差降低
- (4) 排除一般沖刷

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125d^{1.4}, \quad 0.1\text{mm} < d < 1\text{mm} \quad (3-1)$$

$$\frac{V_c}{u_{*c}} = 5.75 \log(5.53 \frac{y}{d_{50}}) \quad (3-2)$$



照片 3-4 木梢單床護坦工示意圖



照片 3-5 變化型式木梢單床護坦工示意圖



惟清水沖刷在直線渠道並無法產生沖刷深，且護坦設置位置於底床面下，無法產生局部沖刷，於是本研究採彎曲渠道模擬，藉由慣性力產生之沖刷情況為對照組之試驗，示如圖 3-3 所示。

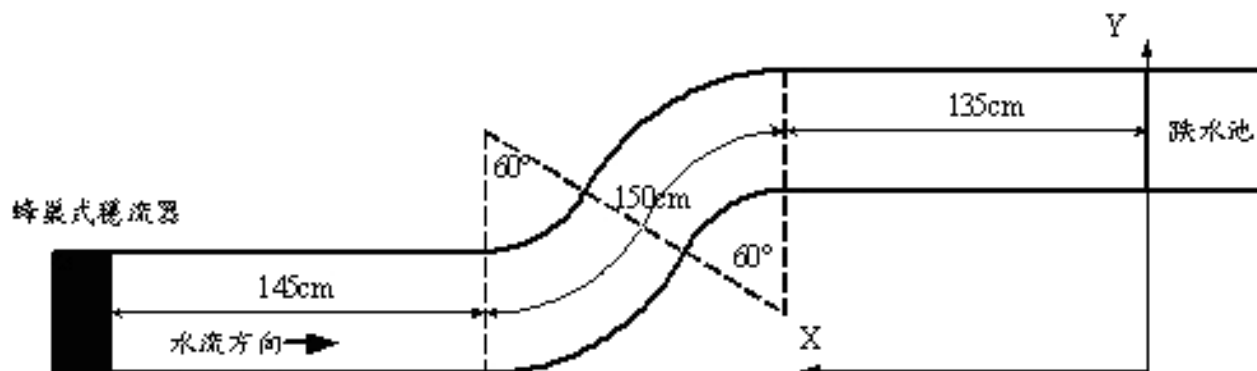


圖 3-3 試驗渠道平面圖

### 3.2 試驗假設

因本試驗受到了場地、水流供應的限制、邊界條件的設定問題以及儀器量測的限制，為了獲致更為精確的結果，故此作了以下假設：

- (1) 其下游出口皆具有固定的河床基準面。
- (2) 試驗段河床面採用級配均勻的鬆散泥砂，試驗時稍加夯實整平，以求各組試驗之一致性。
- (3) 試驗段上游入流水流為定量清水流。
- (4) 渠槽兩側邊壁為平滑的木板，糙度一致。

### 3.3 試驗條件與方法

本試驗試驗條件包括：兩種護坦工模型，分別為木梢單床及變化型式木梢單床護坦工；三種設置位置，設置位置乃依據對照試驗之最大沖刷坑位置決定(位於彎曲段下游 88cm 處之右岸)，分別為與最大沖刷坑齊平及位於其上下游；兩種設置高程，一為與底床齊平，另一為底床下 1 倍填石高；兩種填石大小，一為試驗底床粒徑(0.59mm)，另一約為 4 倍底

床粒徑(#8；2.36mm)，而流量及坡度分別固定為 0.00125cms 與水平。將試驗條件整理如表 3-1 所示：

表 3-1 試驗條件

試驗類別	控制項目	控制內容
對照組	構造物形式	無構造物
	流量	0.00125 cms
試驗組	構造物形式	有構造物，木梢單床及變化型型兩種
	流量	0.00125 cms
	柴枕內粒徑	0.59mm、2.36mm
	埋設深度	與底床齊平 底床下 1 倍填石高(15mm)
	埋設方式	位於最大沖刷坑、上游及下游三種

本試驗斷面沖刷前後之高程變化係利用超音波水位計量測，首先假設渠道之座標，逆於水流向為 X 方向(跌水池為起始點)；垂直水流方向為 Y 方向(右岸至左岸)，於渠道上方放置量測板，量測沿程各橫斷面。於彎曲段沖刷明顯處(沖刷坑與砂丘)，橫縱向每 2cm 量測一點；沖刷較不明顯處(砂丘下游)，每隔 4cm 量測一點，如圖 3-4 所示。

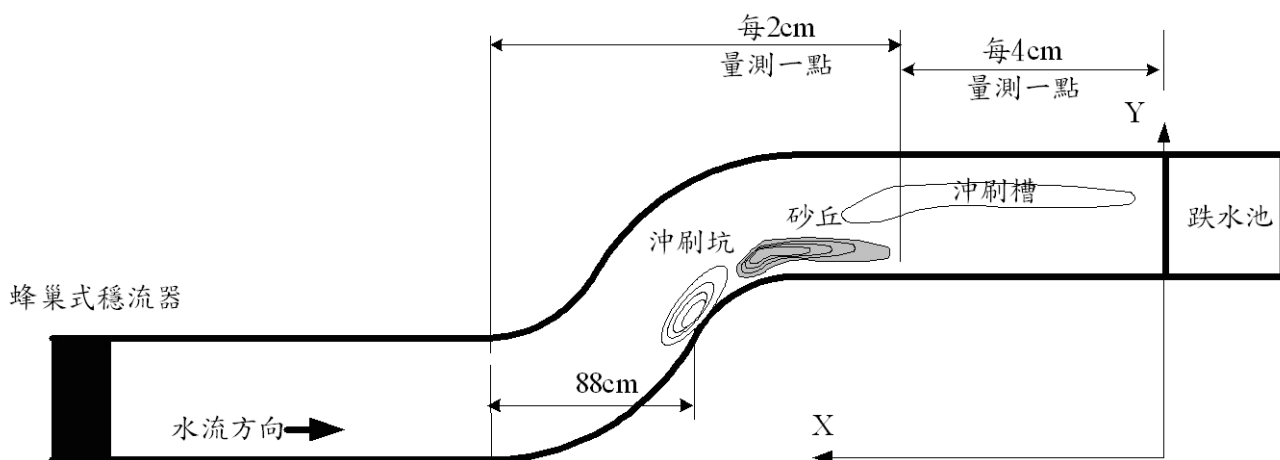


圖 3-4 量測點位示意圖(單位：cm)

### 3.4 試驗步驟

為了瞭解護坦工對河川棲地造成影響的程度，經由本試驗設計出多種不同的項目來探討其差異。分別為（1）設置護坦工前後之狀況；（2）木梢單床之原模型與變化型式之差異；（3）護坦之填石大小是否有所差異；（4）護坦之埋設高度是否有所影響。

試驗中藉由變換不同構造物型式，配合護坦工內填石粒徑、埋設深度、位置的改變進行試驗結果探討，本試驗量測步驟分述如下：

1. 渠槽與固床工模型製作。
2. 流量率定與底床粒徑採用之決定。
3. 於渠槽內鋪設試驗用砂，約 10cm 厚，並夯實整平，以求試驗一致性，且利用超音波水位校正全河段沿程斷面高程。
4. 開啟閘門，進行水流沖刷，待床面沖淤變化已趨於穩定(約五小時)，將閘門關閉，停止沖刷。
5. 待渠道內積水排除，利用超音波水位計量測河床沖刷後之高程變化位置。
6. 紀錄完後更換下組配置條件，重複步驟 3、4、5。

流程圖如圖 3-5 所示:

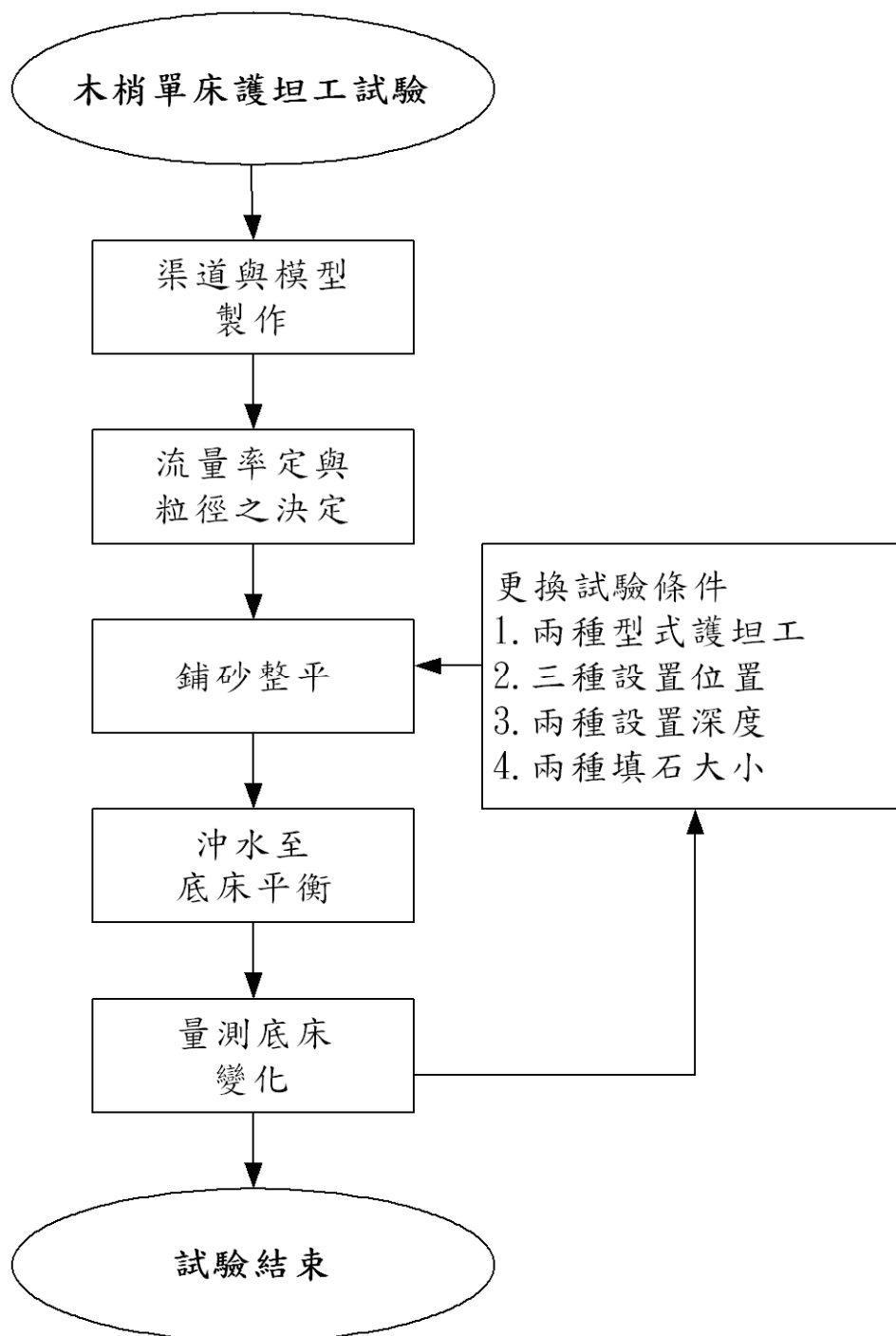


圖 3-5 試驗流程圖

## 第五章 結論與建議

本研究係探討設置木梢單床護坦工前後，其對河床穩定及護岸安全之影響，經由渠道試驗，在固定流量為 0.00125cms 及坡度為水平，採用兩種護坦工種類、三種設置位置、兩種設置高程、兩種填石大小，獲致以下之結論並提出建議。

### 5.1 結論

#### 1. 護坦型式方面

由橫向穩定、最大沖刷及縱向穩定分析中發現，整體上，原型護坦工與變化型式原則上差異並不大，然而在槽偏量改善效率中，會因其設置位置不同而有所差異，而最大沖刷深以變化型式(V)較大。根據此結果，未來施設護坦工之上游面可採用本研究之變化型式，以增加其挑流效果。

#### 2. 填充材料方面

由橫向穩定分析中可以得知，填石大小影響水流流經護坦後之方向，即代表其對護坦之下游面影響較大，在其作用下，其影響對岸能力較其他各組明顯，而在整體沖刷深度比較上，填石粒徑較大者其消能效果較佳，因此平均沖刷深度較小。根據此結果，施設護坦工時，下游之河川型態及地形特性必須納入評估，以避免施設後造成新的破壞位置。

#### 3. 設置高程方面

本控制變因乃模擬實際護坦工為覆土之情況下，試驗結果發現，設置深度為 1 倍填石高度(1.5cm)其挑流效果及抗沖刷之能力明顯低於其他試驗組，此表示，當護坦工被泥土覆蓋後，其最大

沖刷坑位置及深度可能隨之改變，進而造成其他位置受破壞之可能，如同護坦工設置位置錯誤一般，使之功能喪失。

#### 4. 設置位置方面

由上述分析得知，設置位置對於流向及最大深度發生位置較為明顯，當設置偏於下游，則沖刷坑易破壞護坦工及護岸之基礎，而若偏於上游，則容易造成填充之塊石捲起，而其與對最大沖刷深度之關係並不明顯。原型(P)方面，以設置置中較佳，而變化型式(V)方面，則以設置偏上游較佳。在固定水流條件下，水流最大沖刷能力位置不因設置護坦與否而改變，其設置位置若與沖刷坑之發生位置有所誤差時，或涵蓋大小有所差異時，護坦之安全性將受考驗，故設置護坦前，必須將破壞現場之地形及位置詳細評估後，才能有效設計出所需之護坦工。

#### 5.2 建議

1. 由於本試驗之沖刷變化前往差異頗大，量測相當不易、略為粗劣，未來應完整詳細記錄之，並搭配 3D 繪畫方式進行更詳細之研析。
2. 本試驗由於受限於試驗場地，在渠寬與護坦寬之比例設計上及渠道彎曲段設計上並未理想，未來建議採用較合理之比例進行探討。
3. 爾後進行相關試驗研究，可與其他工法搭配擺設，例如：丁壩、固床工等等，以求工法間之相互結合，發揮其最大功能。
4. 未來可將水理條件納入控制變因，以探討護坦之穩定性及其破壞之臨界值。

## 第四章 結果分析與討論

為方便各試驗組進行比較，本試驗表示方式乃依據控制變因進行編碼，在護坦工型式方面，原型(矩形)以 P (Prototype)表示，變化型式為 V(Variation);設置位置方面，護坦中心與最大沖刷坑位置對齊以 C(Center)表示，護坦下游端與最大沖深坑對齊以 F (Front)表示，護坦上游端與最大沖深坑對齊以 B(Behind)表示；在設置深度方面，與原始渠床齊平以 Y0 表示，一倍填石高度以 Y1 表示；而填石大小為原渠道粒狀以 S0 表示，為#8 以 S1 表示。

### 4.1 橫向穩定分析

主槽的擺盪對於河型的調整、河工的設計皆具極大的影響，因此，本研究在橫斷面沖刷改善分析上，欲利用槽偏量來描述護坦工挑流後各斷面變化情況，其中主槽是指斷面最低點與兩旁較高點所構成的河槽，因此無論是順直、蜿蜒或辮狀河道皆會有主槽存在，而槽偏量的計算方式如下，以實測斷面資料做為衡量標準，取其各斷面寬之中點 A 作為基準點，並假設斷面之最低點為主槽中點 B，如圖 4-1，透過試驗前後實測資料，推求出各試驗組之 B 點位置，探求 A 點與 B 點間相對距離與相對方向之變化，即可對主槽擺盪的情況作一探討瞭解。以圖 4-2 為例，其相對距離 d 若相對方向偏右，其值為負，如偏左其值為正。

圖 4-2 為試驗組 PS0Y0C(原型護坦、原渠道粒徑、高程與河床齊平且護坦位置於最大沖刷坑之上)與對照組(無放置結構物)之偏槽量比較。圖中顯示，設置護坦工後，原沖刷主深槽位置呈現往渠中靠攏現象，代表護坦工設置後有改善原先水流迫近問題。因此各組之各斷面平均槽偏量與其對照組之比值可由下式表示:

$$\frac{\bar{d}}{\bar{d}'} = \frac{\sum_1^n |d_n| / n}{\sum_1^n |d'_n| / n} \quad (4-1)$$

其中： $\bar{d}$  為試驗組平均槽偏量

$\bar{d}'$  為對照組平均槽偏量

$d_n$  為斷面  $n$  之槽偏量

$d'_n$  為對照組斷面  $n$  之槽偏量

$n$  為斷面數

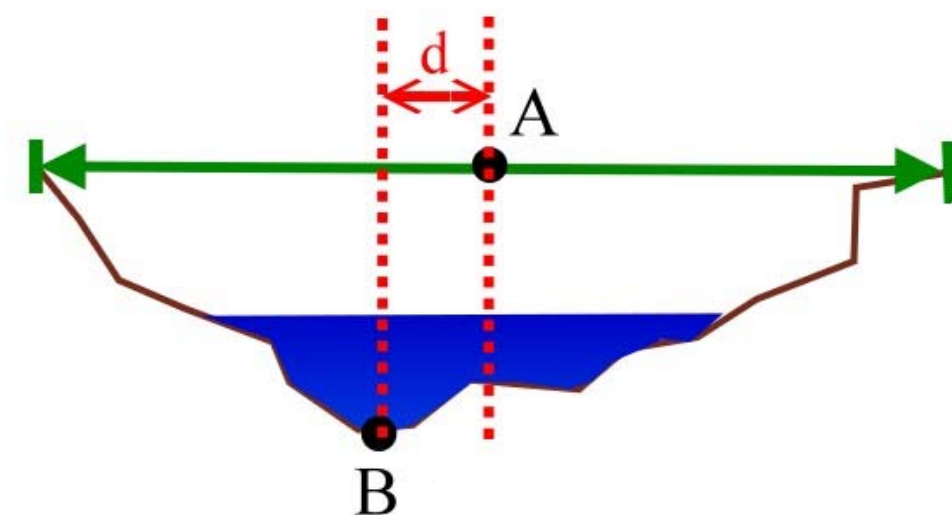


圖 4-1 槽偏量推估參數示意圖



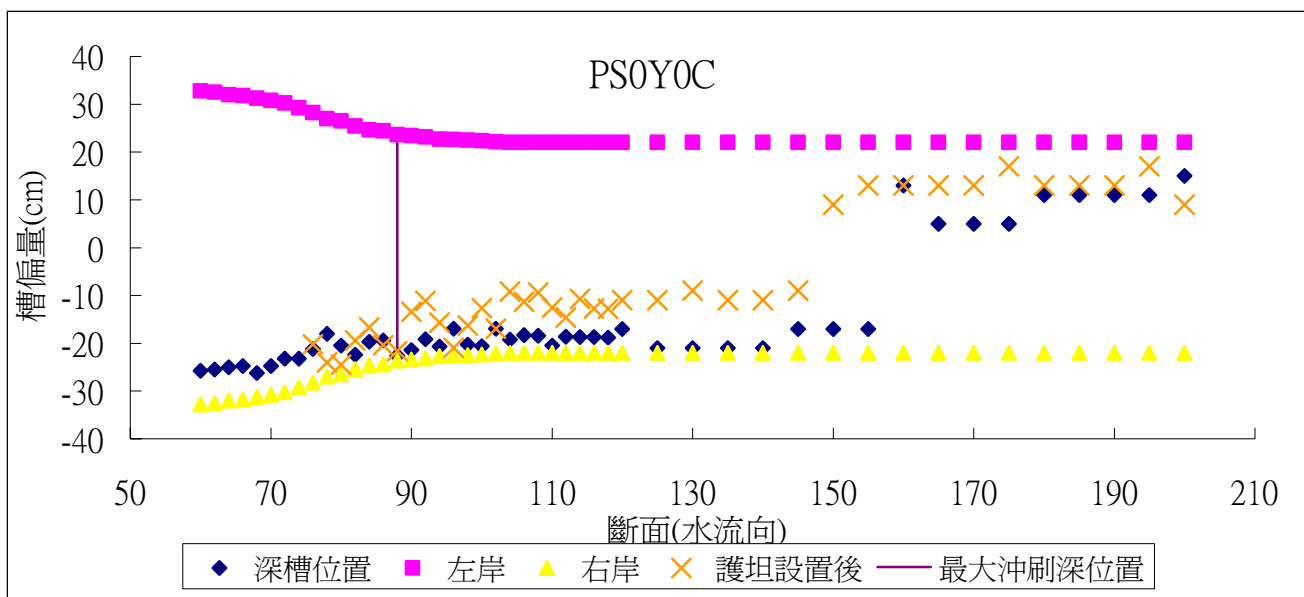


圖 4-2 試驗組 PS0Y0C 與對照組之槽偏量

將各組之平均槽偏量改善率整理如表 4-1 所示：

表 4-1 各試驗組之槽偏量改善效率

設置位置 編碼	置前 (%)	置中 (%)	置後 (%)	平均 (%)
PS0Y0	11.8	17.6	12.7	14.0
VS0Y0	22.2	11.3	3.5	12.3
PS1Y0	3.0	6.1	6.6	5.2
VS1Y0	13.8	6.8	-2.7	6.0
PS0Y1	2.5	5.5	9.3	5.8
VS0Y1	8.4	12.5	3.5	8.1

由表 4-1 顯示，在不考慮設置高程試驗組情況下，本試驗各組之槽偏量改善效率約為-2.7% ~ 22.2%，其中在原型護坦工(P)方面，其護坦設置於置中(C)及偏下游(B)優於偏上游位置(F)，且以置中(C)最佳；而在變化型式護坦工(V)方面，其改善率則以設置於偏上游(F)及對齊

(C)較佳，且以偏上游較佳(F)。整體上，兩種型式護坦工之平均槽偏量改善率相當。此外，在填充材料方面，經觀察得知在水流條件固定下，其最大沖刷能力位置並不隨護坦設置前後而改變，當護坦粒徑較大時，雖護坦表面沖刷程度較原河床質小，但因水流能量無法消滅，造成護坦下游無設置護坦處產生跌水沖刷，如圖 4-3 所示。

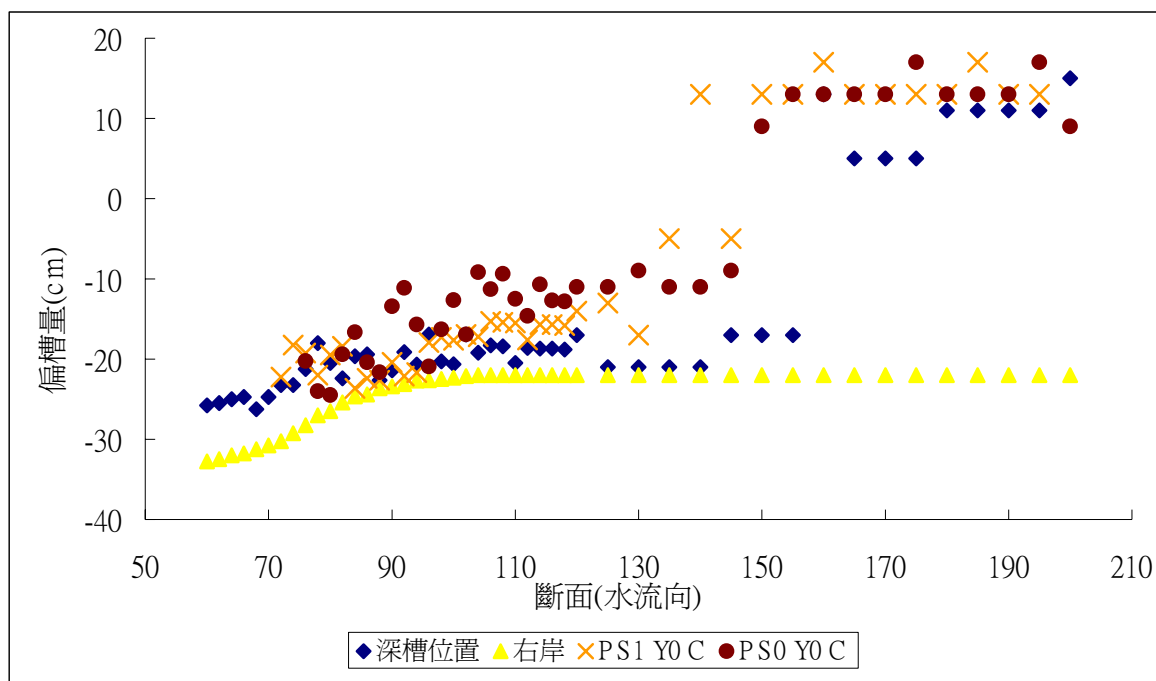


圖 4-3 不同填石粒徑與槽偏量之比較

為將挑流效果與影響對岸程度分開探討，故將試驗之槽偏量分為正負值兩部分探討，負值部分可探討其挑流效果，正值部分探討其影響對岸之程度。其偏右岸(負值)之改善率如表 4-2 所示；其偏左岸(正值)之影響程度如表 4-3 所示。

在挑流效果方面，原型護坦工(P)與變化型式(V)之平均挑流效果相當，但兩者之設置位置與效率關係有所差異，當原型護坦工(P)設置於偏下游(B)或置中(C)時有較佳效果，而變化型式(V)設置於偏上游(F)及置中(C)有較佳效果。影響對岸程度方面，因本試驗之流量限制，試驗之渠寬與護坦寬比為 4:1，因此容易造成對岸沖刷之現象，然而實際情況下，渠寬與護坦寬比值遠大於該值，故不至於影響對岸，因此本

研究對此現象之比較，僅為其影響對岸能力大小之描述，即當相對槽偏值呈現負值，即代表水流衝擊能力較對照組大，結果顯示原型護坦工(P)與變化型式(V)影響對岸程度相當，然而填充材料大小則有明顯差異，當填充材料較大(S1)時，其水流影響對岸之能力較大，約為填充原河床粒徑(S0)之 1.6 倍，且槽偏量值臨界值( $d = 0$ )位置，於對照組為累距 155~160cm 處，而原型(P)及變化型式(V)各為累距 130~135cm 處及累距 120~125cm 處，兩者皆有前移之現象，如圖 4-4 所示。

表 4-2 各試驗組之挑流效率

放置位置 編碼	置前 (%)	置中 (%)	置後 (%)	平均 (%)
PS0Y0	17.8	26.1	19.1	20.8
VS0Y0	29.0	15.7	9.6	18.1
PS1Y0	11.0	13.7	14.8	13.2
VS1Y0	23.9	15.8	5.7	15.1
PS0Y1	7.1	10.3	15.9	11.1
VS0Y1	9.6	8.1	7.5	8.4

表 4-3 各試驗組影響對岸之程度

放置位置 編碼	置前 (%)	置中 (%)	置後 (%)	平均 (%)
PS0Y0	-29.9	-39.1	-33.3	-34.1
VS0Y0	-25.3	-20.7	-39.1	-28.4
PS1Y0	-52.9	-48.3	-52.9	-51.4
VS1Y0	-52.9	-52.9	-57.5	-54.4
PS0Y1	-34.5	-34.5	-33.7	-34.2
VS0Y1	-2.3	48.3	-29.9	5.3

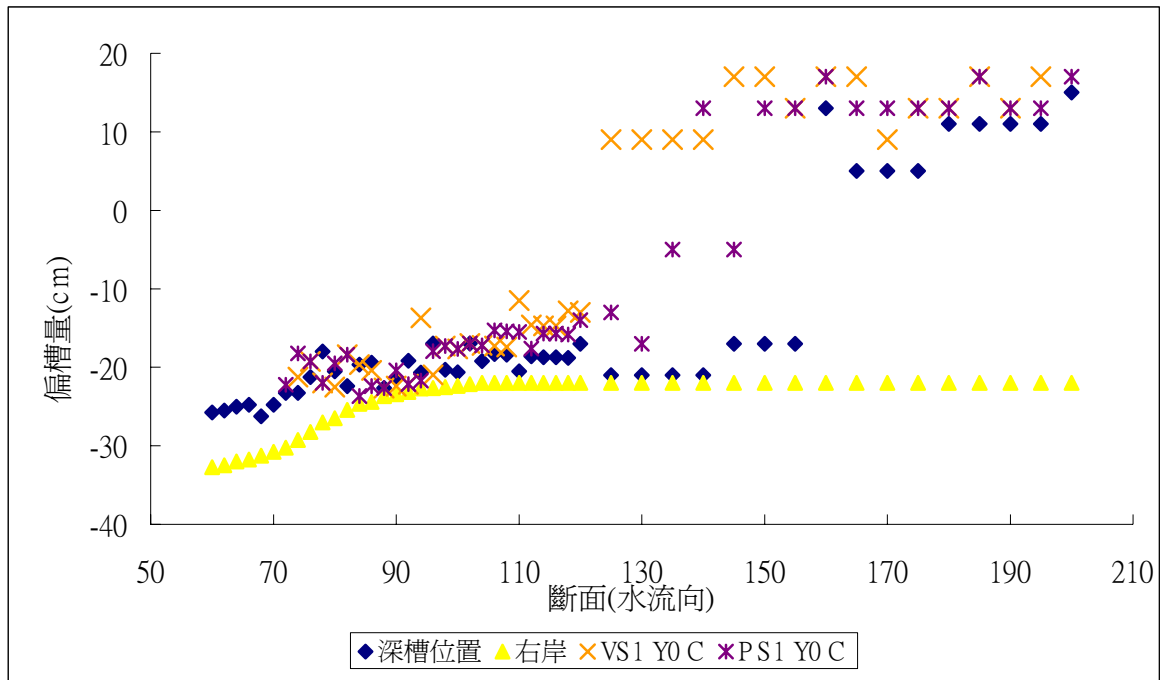


圖 4-4 不同型式護坦與槽偏量之比較

#### 4.2 最大沖刷深度及位置

將各組試驗之最大沖刷深度分別與對照組之最大沖刷深度( $d_{max}$ )及護坦高(H)進行無因次化，結果如圖 4-5 及圖 4-6 所示：

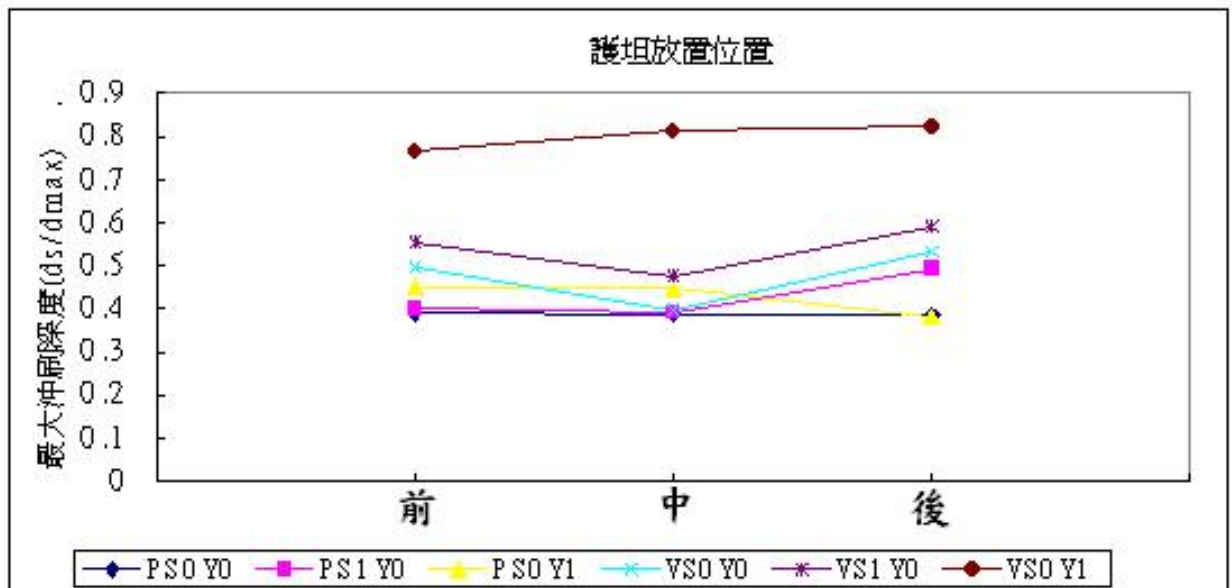


圖 4-5 各試驗組之最大沖刷深度( $ds/d_{max}$ )

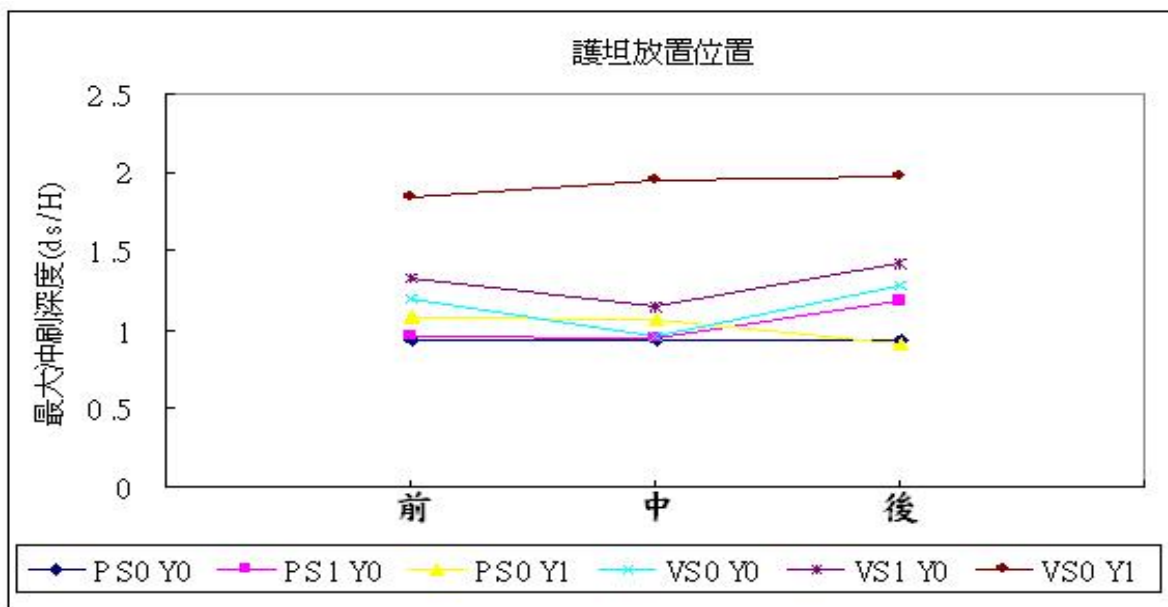


圖 4-6 各試驗組之最大沖刷深度(ds/H)

整體上，各組產生之最大沖刷深度，原型(P)較變化型式(V)小；在設置位置方面，原型(P)各組間差異不大，而變化型(V)則以置中(C)較佳。若以護坦之安全性而言，除試驗組 PS0Y0 外，其餘各組之最大沖刷深度皆大於護坦高度，如沖刷深度位置於護坦工周圍，可能造成護坦基礎之淘空，因此將各組之最大沖刷坑位置標示於平面上進行比較，如圖 4-7~圖 4-9 所示：

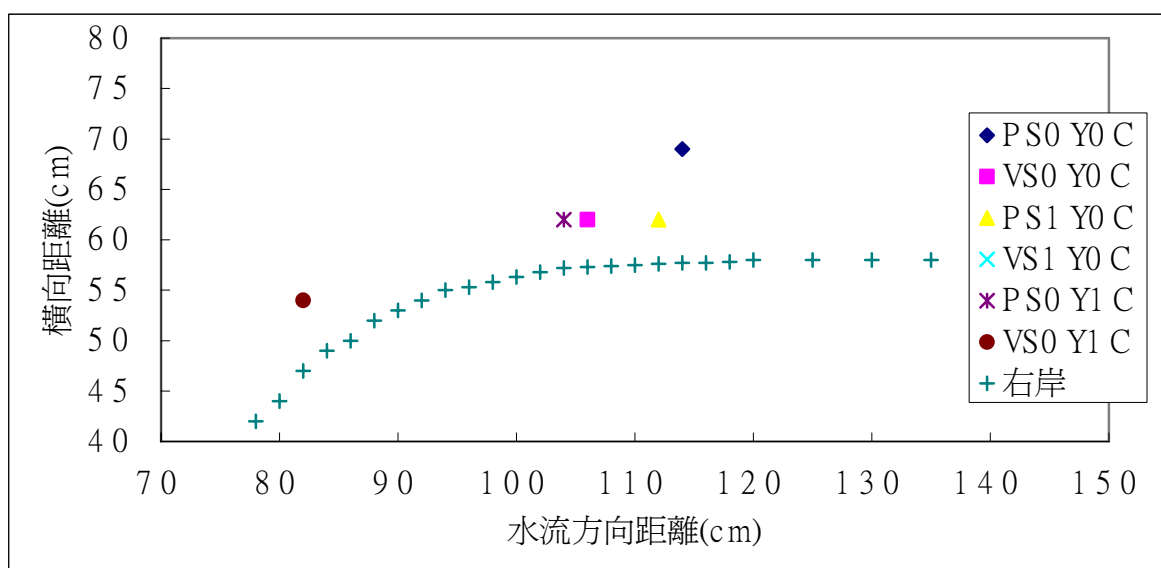


圖 4-7 最大沖刷坑位置(設置位置 C)

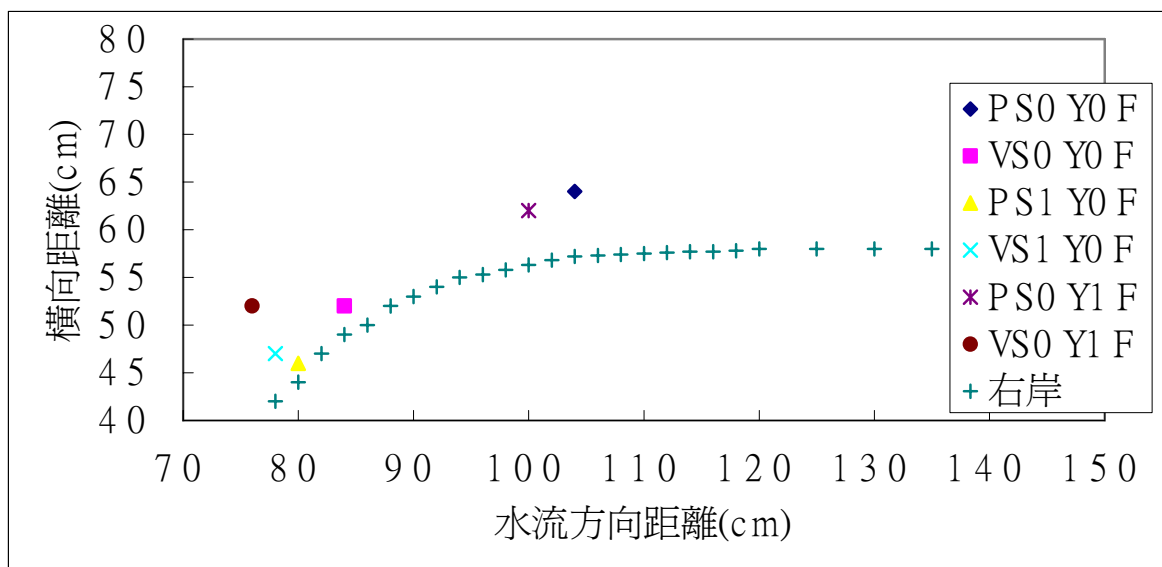


圖 4-8 最大沖刷坑位置(設置位置 F)

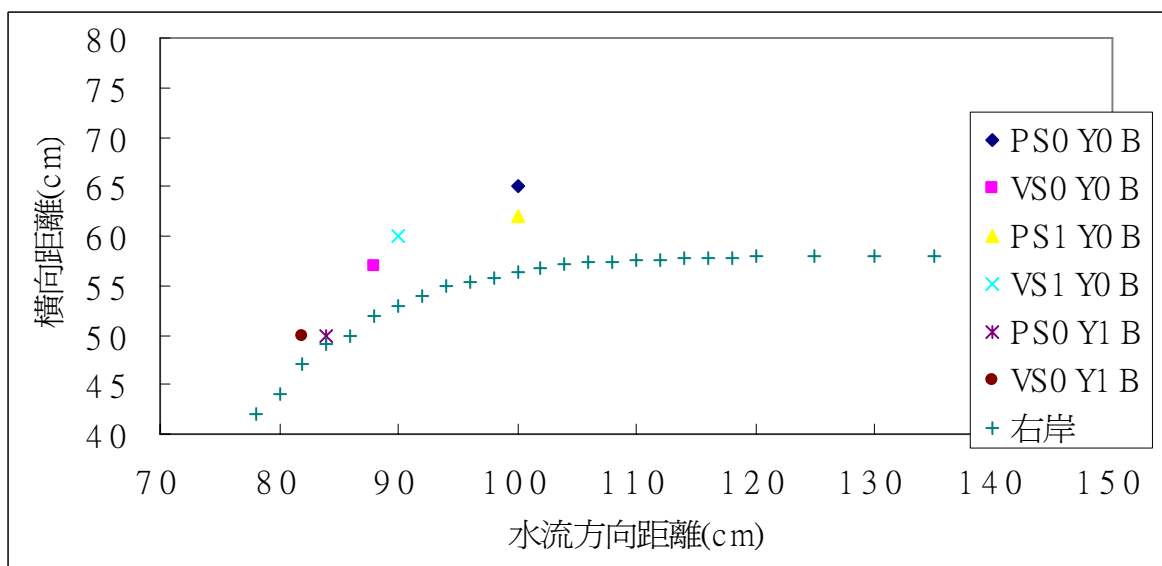


圖 4-9 最大沖刷坑位置(設置位置 B)

由三個圖比較得知，護坦位置若偏最大沖刷坑下游(B)，則受沖刷坑破壞最為嚴重，產生之破壞形態為基礎淘空；而護坦位置若偏最大沖刷坑上游(F)，則次之，產生之破壞形態為護坦填石之捲起。整體上，以設置位置置中(C)最為安全(試驗組 PS0Y1C 除外)，其最大沖刷坑大致產生於下游 1 倍護坦長度外，對於護坦基礎之威脅相對較低。

### 4.3 縱向穩定分析

河川處在平衡或準平衡狀態下，河床型態與流域的來水、來砂與河床邊界條件之間存在著某種定量關係。Lane(1955)以流量( $Q$ )、比降( $S$ )、輸砂率( $Q_s$ )及中值粒徑( $d_{50}$ )為變數來表示河川演變時之互動關係。在平衡狀態下，此四變數維持下列之關係：

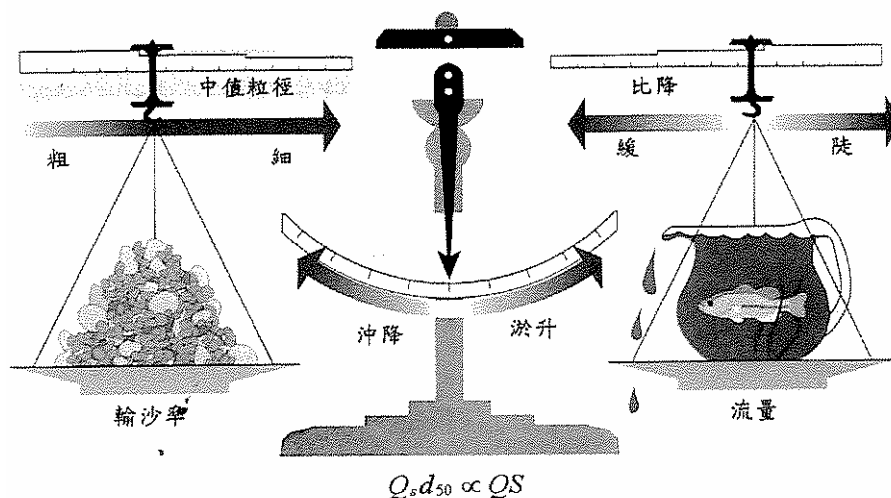
$$Q_s d_{50} \propto QS \quad (4-2)$$

當其中一變數之值改變時，其餘三變數之值需改變以維持上式之臂之秤盤裝載輸砂率 $Q_s$ ；秤臂長度代表泥砂中值粒徑 $d_{50}$ ，其刻度值沿秤臂由內往外增加(亦即由細變粗)。天平右臂之秤盤裝載流量 $Q$ ；秤臂長度代表河槽比降 $S$ ，其刻度值沿秤臂由內往外增加(亦即由緩變陡)。當其中一變數之值改變時，秤臂將往左或往右傾。欲維持天平之平衡，則其餘三變之值需予以調整使秤臂恢復水平。代表比降之秤上傾時表示河槽有發生淤積之趨勢，反之則有發生沖刷之趨勢，在來水量不變之情況下，來砂量如果增加，則天平將向左傾；為維持天平之平衡，右臂之比降必需增大，亦即底床將經由沿程淤升而變陡。反之，在來砂量不變之情況下，來水量如果增加，則天平將向右傾；為維持其平衡，天平左臂之中值粒徑需增大，亦即床質中值粒徑將經由底床之沖刷而變粗。圖 4-10 提供一簡捷之定性演變判斷工具。

在本研究中，由於天平左邊秤臂(即河床質大小)長度固定，在清水沖刷下，輸砂量隨時間趨向於零，因此在固定流量下，為維持河床縱向之穩定，天平之右秤臂必須縮小，即其坡度將變緩。

在縱向穩定分析方面，指標的考量大部分著重於水流對於泥砂的作用力和泥砂對於水流抵抗力間之對比關係。將各家具代表性的公式彙整，並簡要說明其物理意義，整理如表 4-4，其中若分析對象為寬廣渠槽，則編號 2、3 之結果會相似；若忽略容重變化，則編號 2、5 之結

果會相似，因此除了編號 6、7 之指標外，其他分析指標皆具有相似的考量理念，而本研究採用勞哈金數( $f_1$ )作為分析指標。



(資料來源：「河川復育之理念與應用」，2005 年)

圖 4-10 河川縱向剖面分析相關因素之互動關係(Lane,1955)

勞哈金(1948)認為河床穩定程度取決於水流對河床的作用力與河床泥砂的抵抗力間的對比關係，因此提出勞哈金數( $f_1$ )作為分析指標，其定義如下：

$$f_1 = \frac{D}{S} \quad (4-3)$$

式中， $D$  = 泥砂平均粒徑(mm)； $S$  = 底床坡降。一般而言， $f_1$  愈大表示河床愈穩定。本研究採用單一粒徑，因此縱向穩定指標  $f_1$  隨坡度  $S$  變小而變大，將各組試驗之縱向穩定指標  $f_1$  與對照組進行比較，則可令其比值為相對穩定  $K_s$  指標，公式如下：

$$K_s = \frac{\frac{D}{S_n}}{\frac{D}{S_x}} = \frac{S_x}{S_n} \quad (4-4)$$

其中： $S_n$  為某組試驗組之平均坡降

$S_x$  為對照組之平均坡降

各組之相對穩定  $K_s$  值整理如表 4-5 所示，當  $K_s > 1$ ，即設置護坦之效



果較無設置時佳，而  $K_s < 1$  時，則代表其效果不佳。

表 4-4 斷面垂向穩定分析指標

編號	作者	指標定義	指標之物理意義
1	勞哈金	$f_1 = \frac{D}{S}$	泥砂對於水流的抵抗力( $\sim D^3$ )與水流的拖曳力( $\sim D^2V^2$ , $V^2 \sim S$ )的比值。
2	馬卡維也夫	$K = \frac{D}{yS}$	水流深度亦影響泥砂的輸送，因此在勞哈金的處理中應取 $V^2 \sim yS$ 。
3	伏喀蒂	$K' = \frac{D}{RS}$	泥砂的起動流速與 $D^{0.5}$ 成正比，而對於穩定的河道來說，平均流速( $V^2 \sim RS$ )應與起動流速成比例。
4	維立卡諾夫	$K'' = \frac{gD}{V^2}$	考慮水流拖曳力時，直接引用水流的速度，加入 $g$ 的目的是為促使指標無因次化。
5	奧爾洛夫	$K''' = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{D}{yS}$	泥砂對於水流的抵抗力( $(\gamma_s - \gamma)D^3$ )與水流的拖曳力 $\gamma yS$ 的比值。
6	雷布金	$K'''' = \frac{V_s}{\sqrt{gyS}}$	懸砂分布公式中的指標
7	阿爾圖寧	$F_r = \alpha \frac{V^2}{gy}$	福祿數，其中 $\alpha$ = 表示斷面中流速分布影響的係數，採 1.1。

註： $D$ =泥砂粒徑； $S$ =底床坡降； $y$ =水深； $R$ =水力半徑； $g$ =重力加速度； $V$ =流速； $V_s$ =泥砂沈速； $\gamma_s$ =泥砂單位重； $\gamma$ =水單位重。

(資料來源：「台灣地區河川型態分類準則研擬(2/2)」，2005 年)。

表 4-5 各試驗組之穩定  $K_s$  值

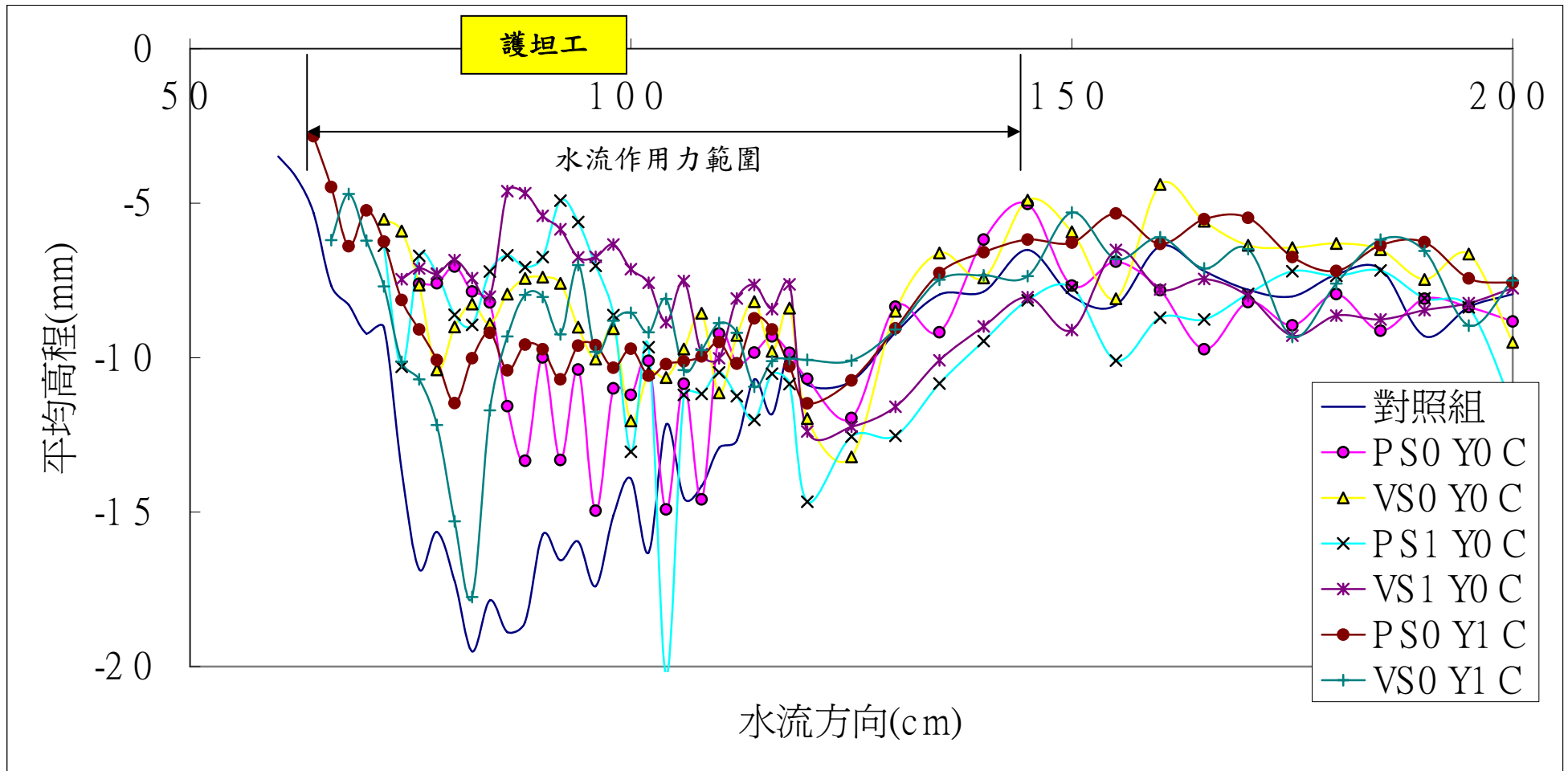
放置位置 編碼	置前	置中	置後	平均
PS0Y0	0.98	2.21	1.54	1.58
VS0Y0	2.00	0.99	1.87	1.62
PS1Y0	1.65	1.77	1.84	1.75
VS1Y0	8.43	1.72	10.28	6.81
PS0Y1	1.01	0.84	1.36	1.07
VS0Y1	0.93	2.04	1.03	1.33

由表 4-5 得知，護坦工對河床縱向之穩定有明顯之改善( $K_s > 1$ )，其中又以填石材料為粗顆粒(S1)時相對較佳，故將試驗區域之平均沖刷深度整理如表 4-6 所示，整體上亦為填石材料為粗顆粒(S1)時，平均沖刷深度較小，雖前述之最大深度並非為最小，然而其消能效果較佳，使下游面沖刷減少，因此整體之平均沖刷深較小。為明顯比較之間差異，將各試驗組依照設置位置分別繪製平均底床變化圖，如圖 4-11~圖 4-13 所示。

表 4-6 各試驗組之平均高程

放置位置 編碼	置前 (mm)	置中 (mm)	置後 (mm)	平均 (mm)
PS0Y0	-9.86	-9.16	-8.64	-9.22
VS0Y0	-8.75	-7.87	-7.78	-8.13
PS1Y0	-7.80	-8.33	-8.45	-8.19
VS1Y0	-7.22	-8.38	-7.13	-7.58
PS0Y1	-8.67	-8.30	-8.46	-8.48
VS0Y1	-8.45	-8.8	-8.46	-8.57

由圖可以看出，護坦之位置雖有所不同，然而水流最大沖刷能力之作用點依然不變(斷面 88)，故其沖刷範圍固定不變，如圖 4-11，但其平均沖刷深度，由對照組-11.78mm 縮小為-7.58 ~ -9.22mm，將各組之抵抗沖刷體積整理如表 4-7 所示，其中以填石材料為粗顆粒時可抵抗較多之沖刷量，且變化型式(V)也較原型(P)能抵抗沖刷，但如前述，變化型式(V)在設高程為底床下，其周圍易產生局部沖刷，造成護坦之破壞。



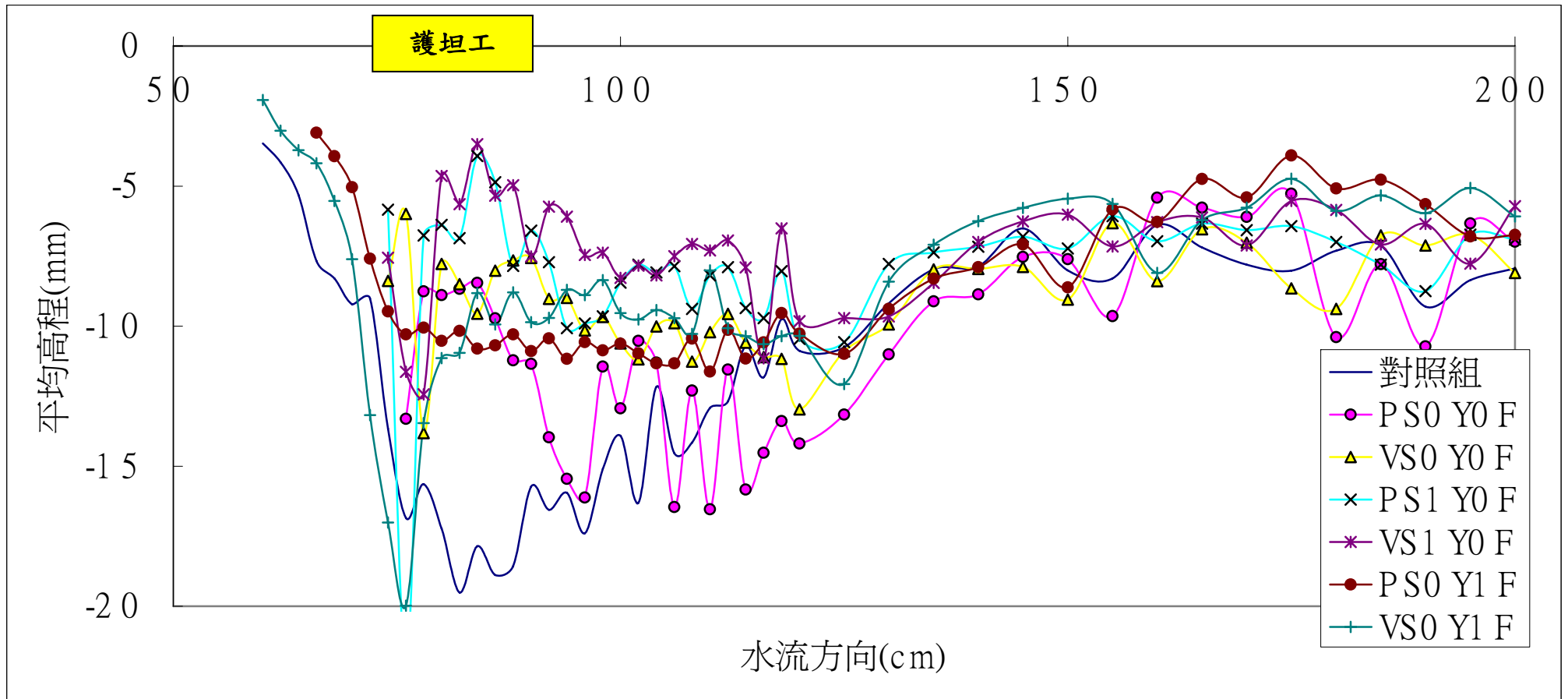


圖 4-12 平均底床高程比較圖(設置位置 F)

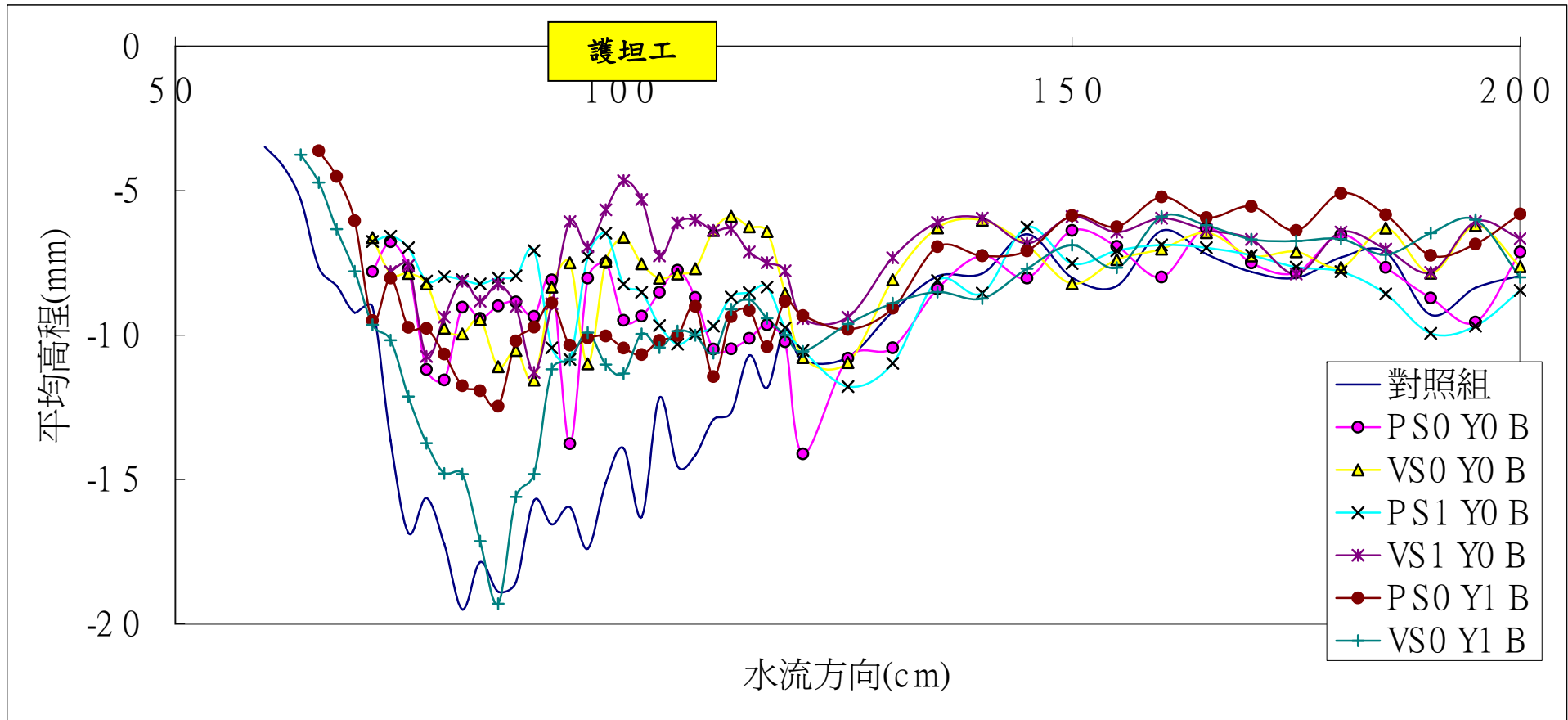


圖 4-13 平均底床高程比較圖(設置位置 B)

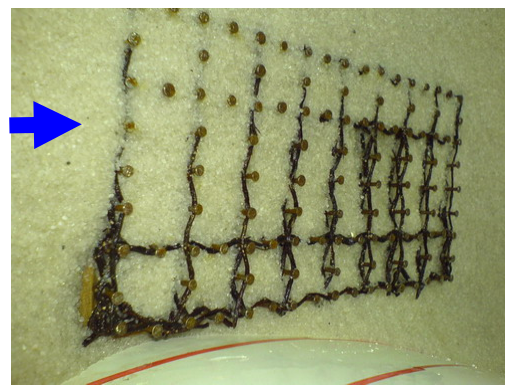
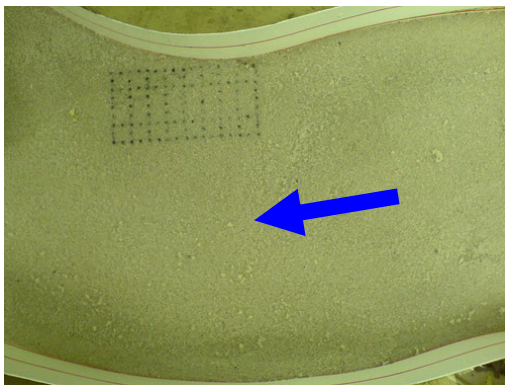
表 4-7 各試驗組之抗沖刷體積量

放置位置 編碼	置前 ( $V_s/V_{apron}$ )	置中 ( $V_s/V_{apron}$ )	置後 ( $V_s/V_{apron}$ )	平均
PS0Y0	1.51	2.06	2.47	2.01
VS0Y0	3.18	4.11	4.20	3.83
PS1Y0	3.14	2.72	2.62	2.83
VS1Y0	4.79	3.57	4.88	4.41
PS0Y1	2.45	2.74	2.62	2.60
VS0Y1	3.50	3.13	3.49	3.37

### 照片附錄

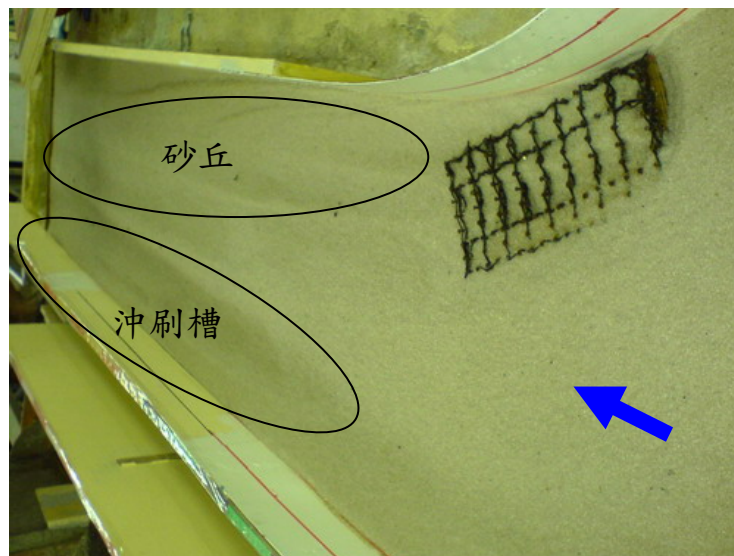


試驗渠道



護坦型式:原木梢單床工  
設置位置:沖刷坑中心  
設置高程:與床面齊平  
填石大小:底床粒徑(0.59mm)

沖刷後情況 1



沖刷後情況 2



無結構物試驗組



護坦型式:改良式木梢單床工  
設置位置:位於沖刷坑後  $1/2L$ (護坦長度)  
設置高程:與床面齊平  
填石大小:底床粒徑(0.59mm)





護坦型式:原木梢單床工  
設置位置:位於沖刷坑後  $1/2L$ (護坦長度)  
設置高程:與床面齊平  
填石大小:底床粒徑 4 倍(2.36mm)



護坦型式:改良式木梢單床工  
設置位置:位於沖刷坑後  $1/2L$ (護坦長度)  
設置高程:與床面齊平  
填石大小:底床粒徑 4 倍(2.36mm)



護坦型式:原木梢單床工

設置位置:位於沖刷坑中心

設置高程:床面 1 倍填石高(1.5cm)

填石大小:原底床粒徑(0.59mm)



護坦型式:改良式木梢單床工

設置位置:位於沖刷坑中心

設置高程:床面 1 倍填石高(1.5cm)

填石大小:原底床粒徑(0.59mm)

# 圖附錄

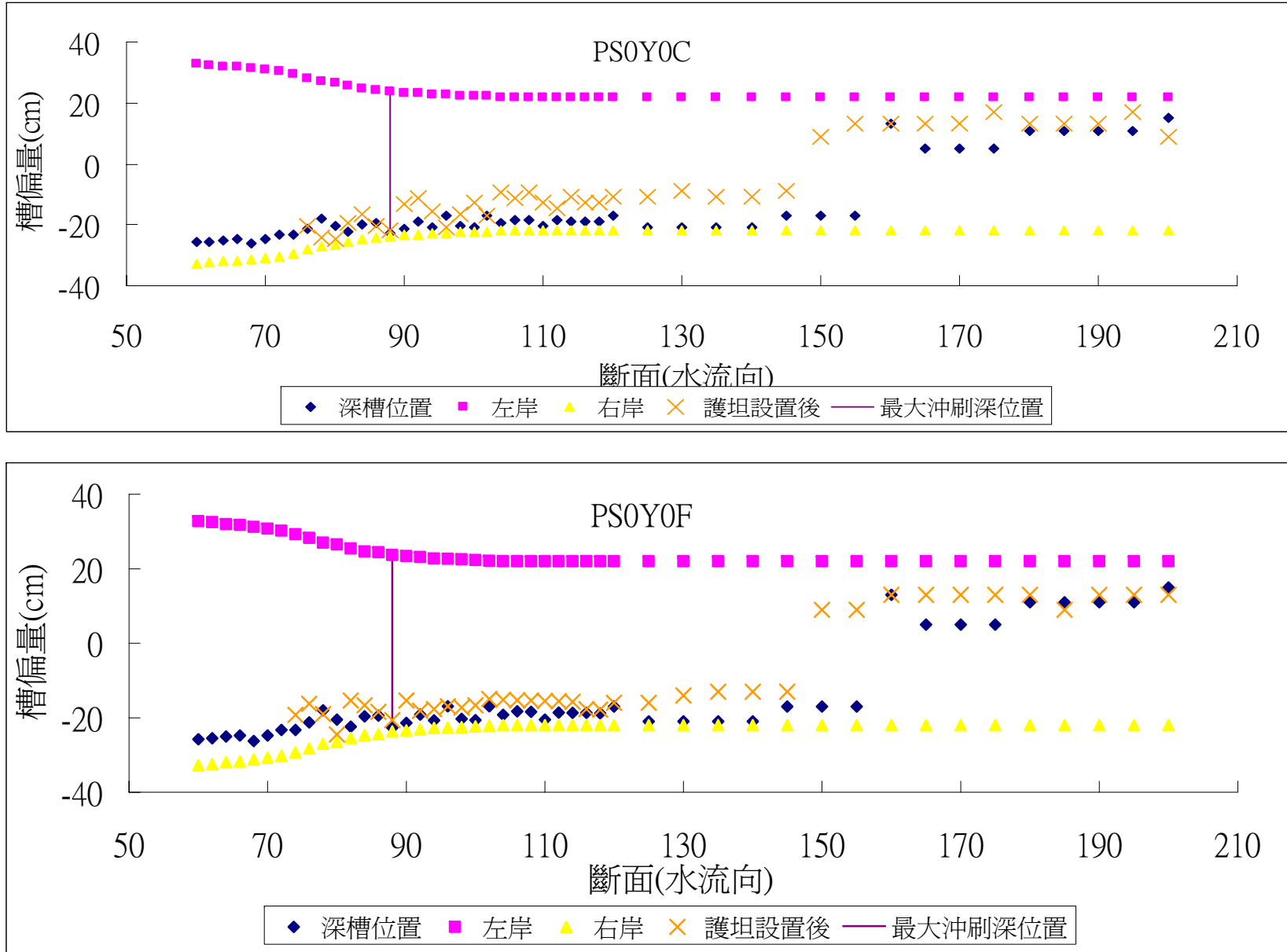


圖-1

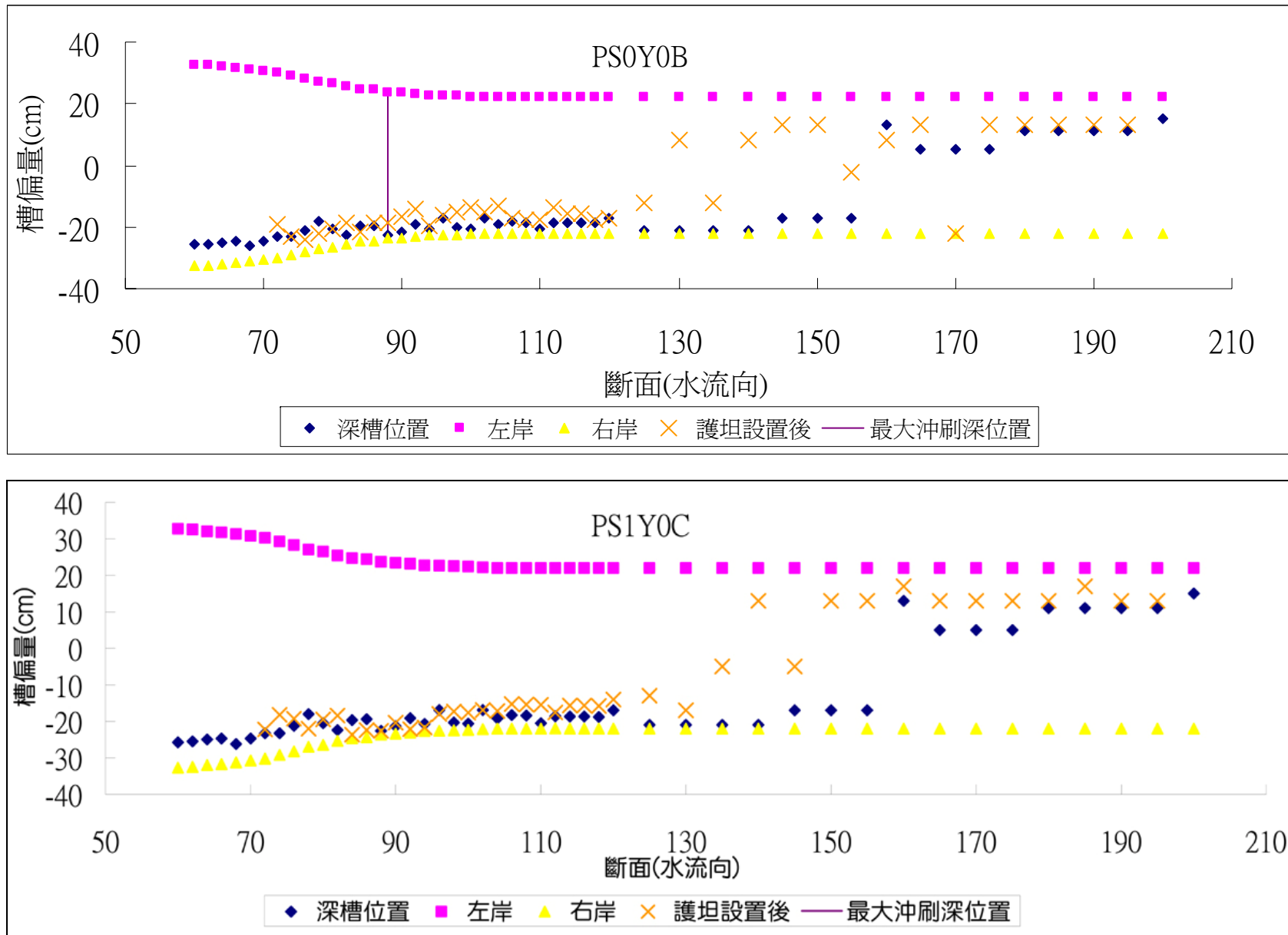


圖-2

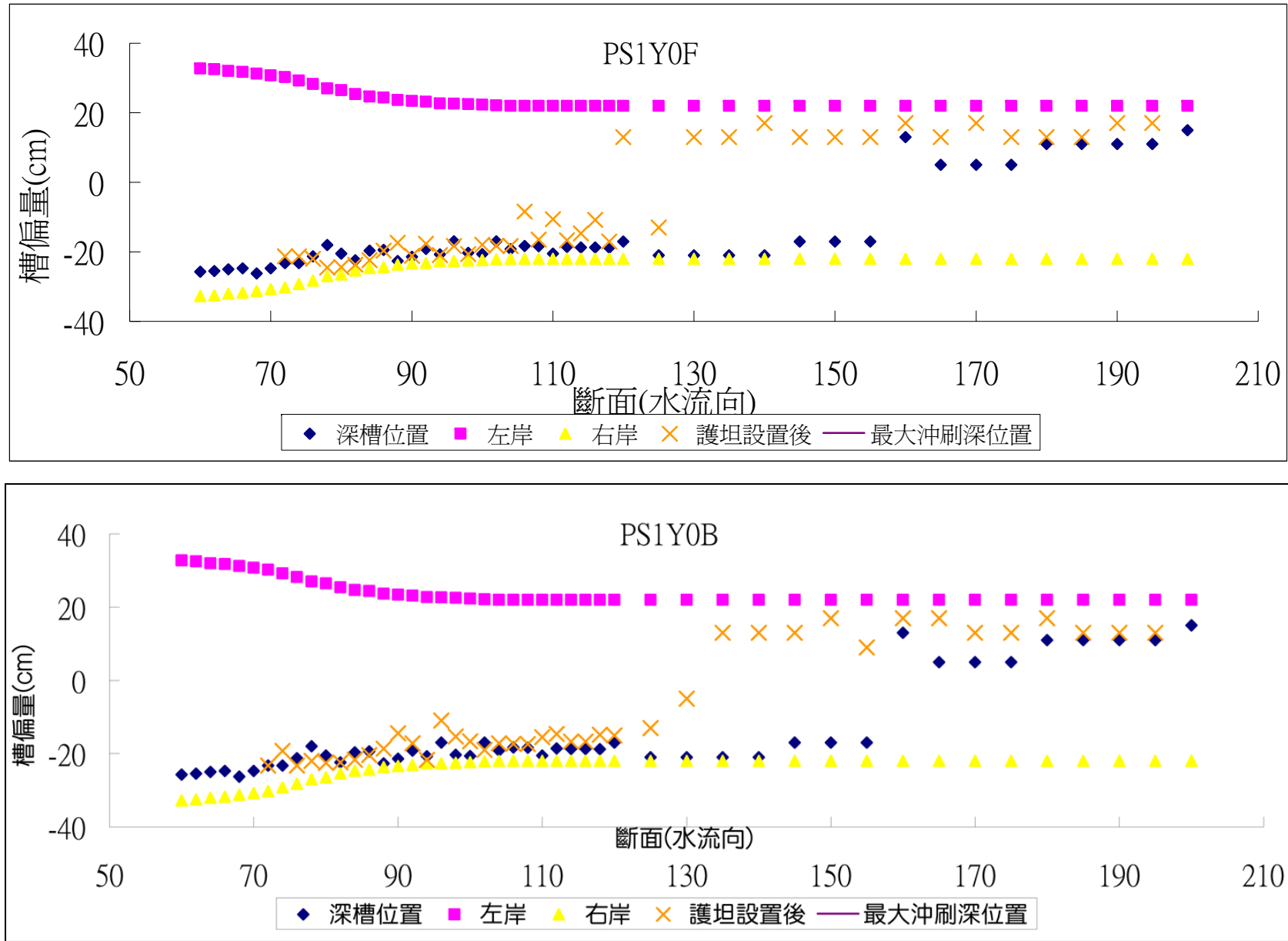


圖-3

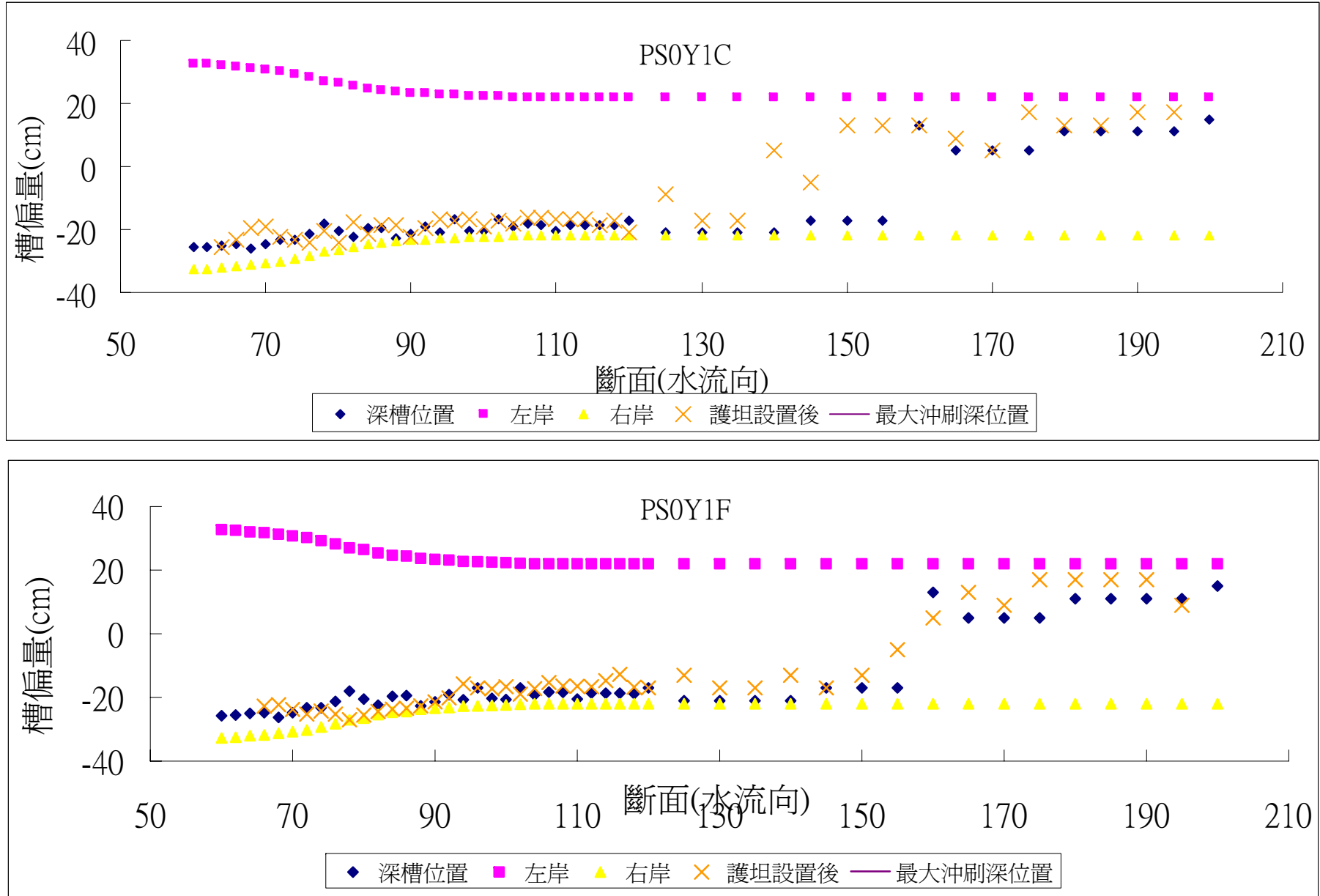


圖-4

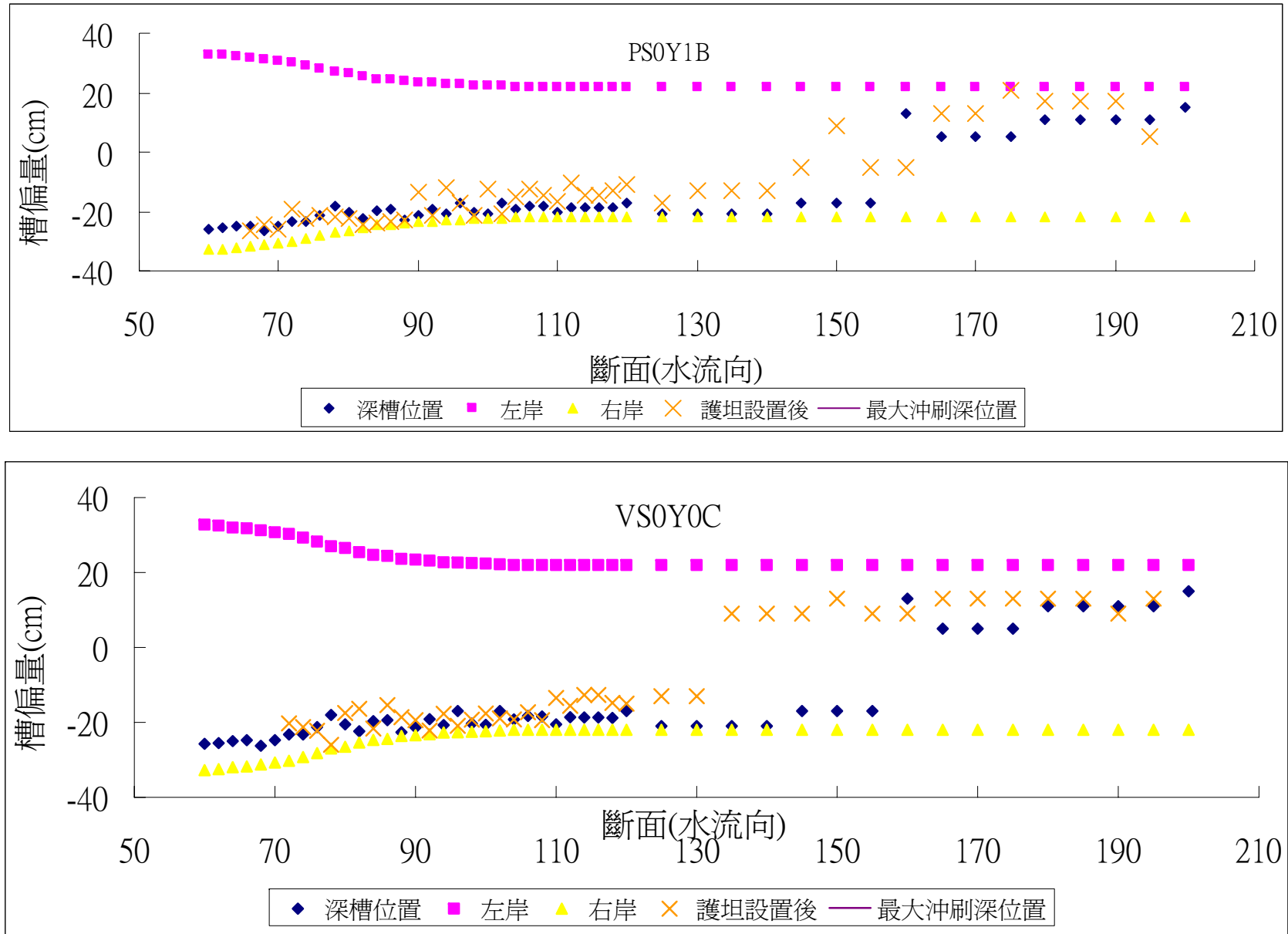


圖-5

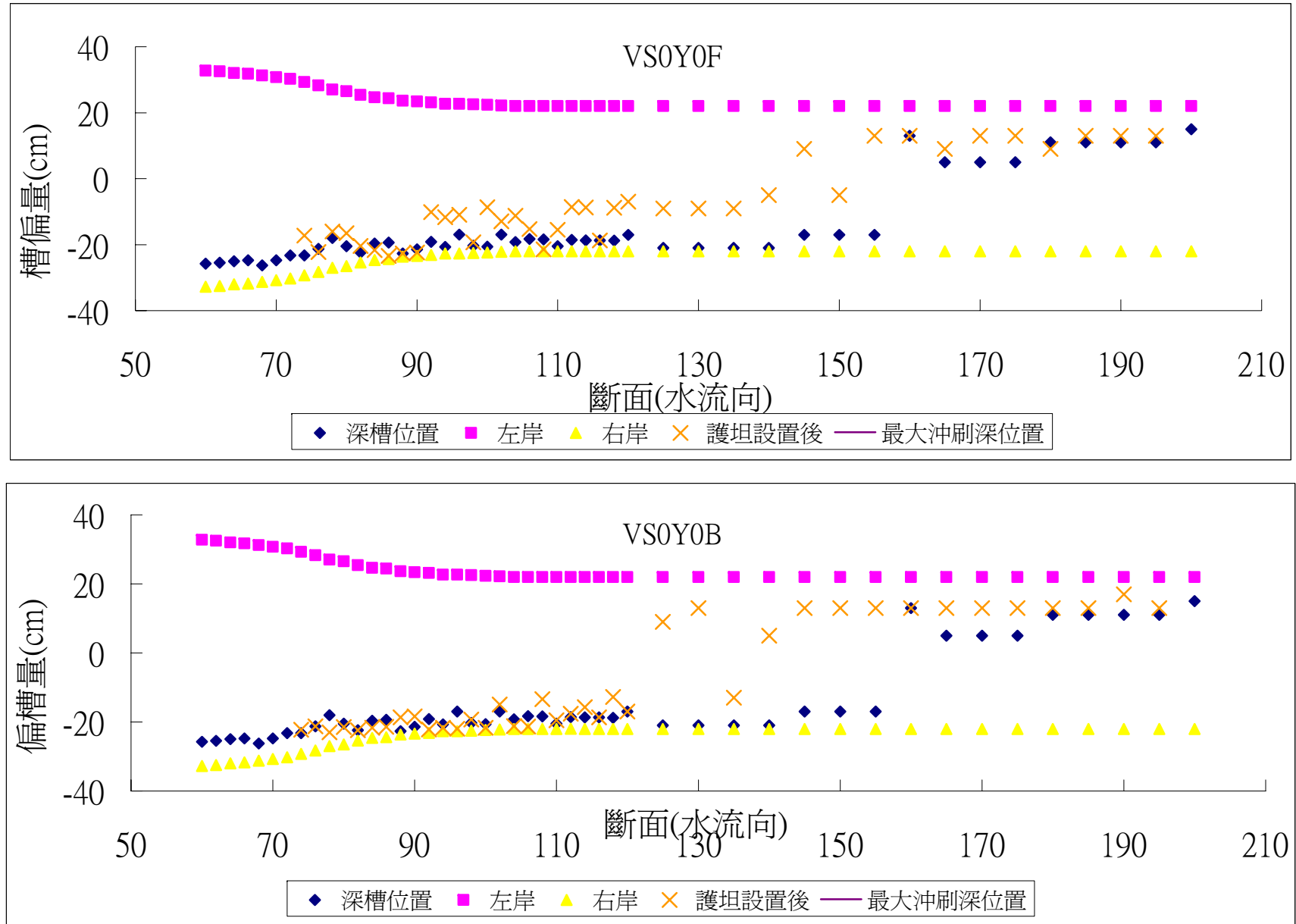


圖-6



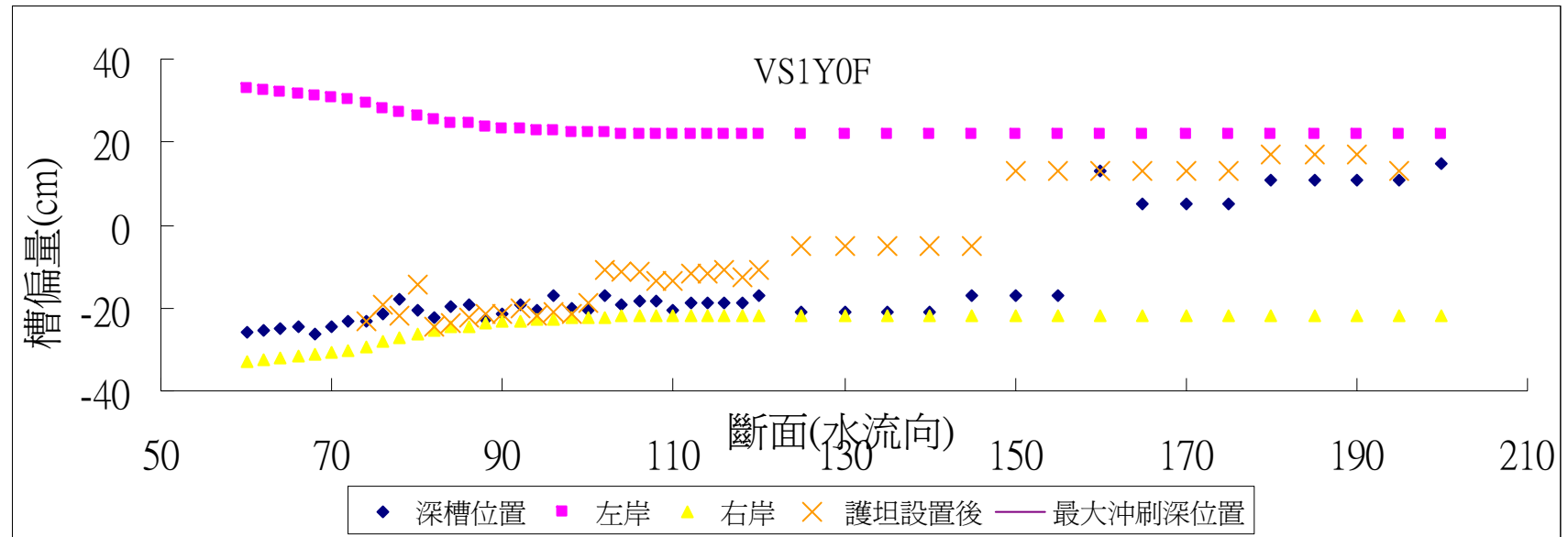
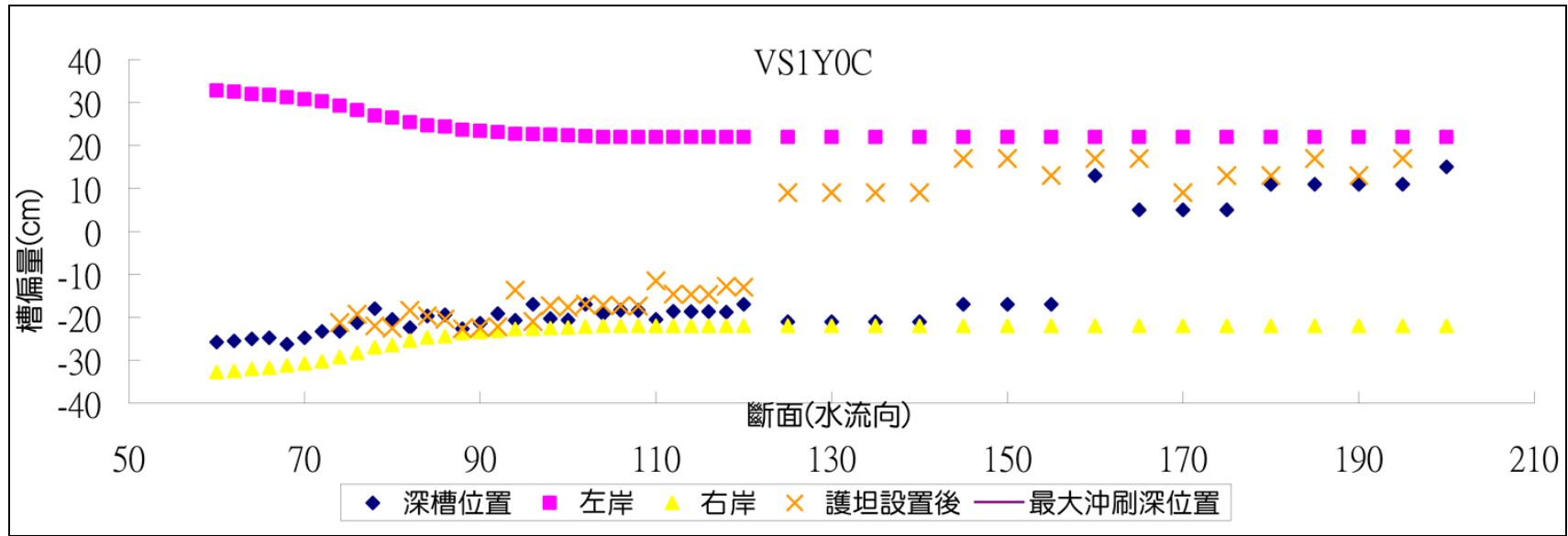


圖-7

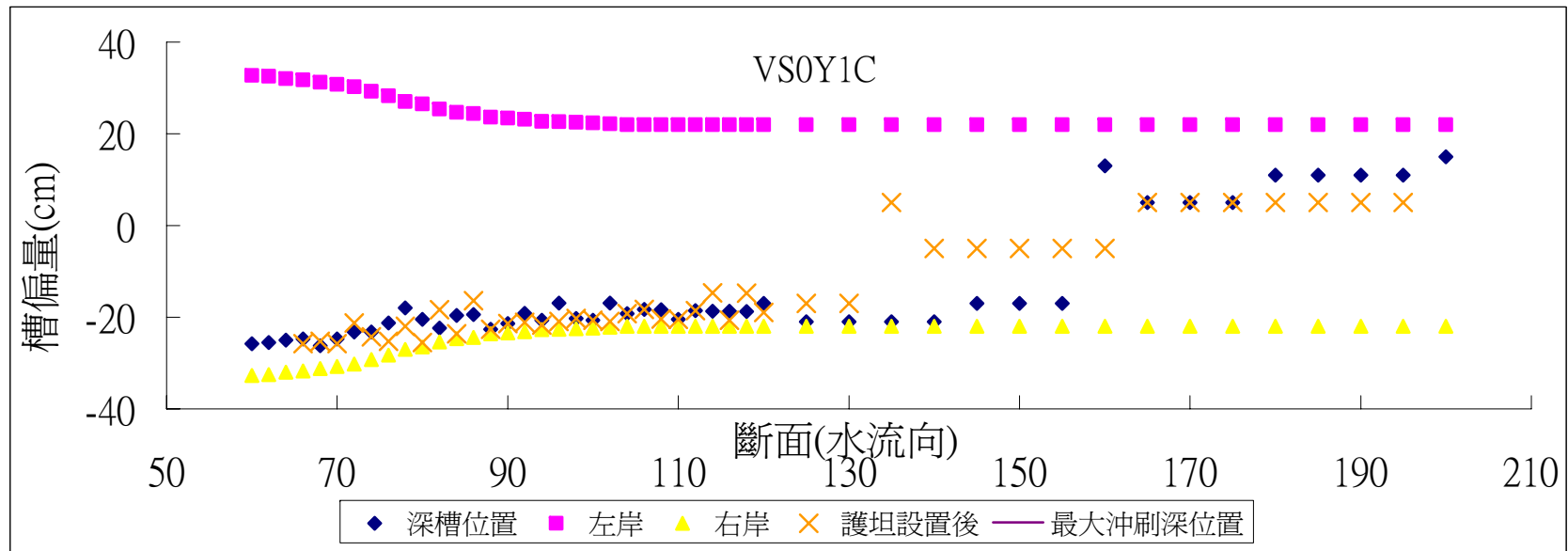
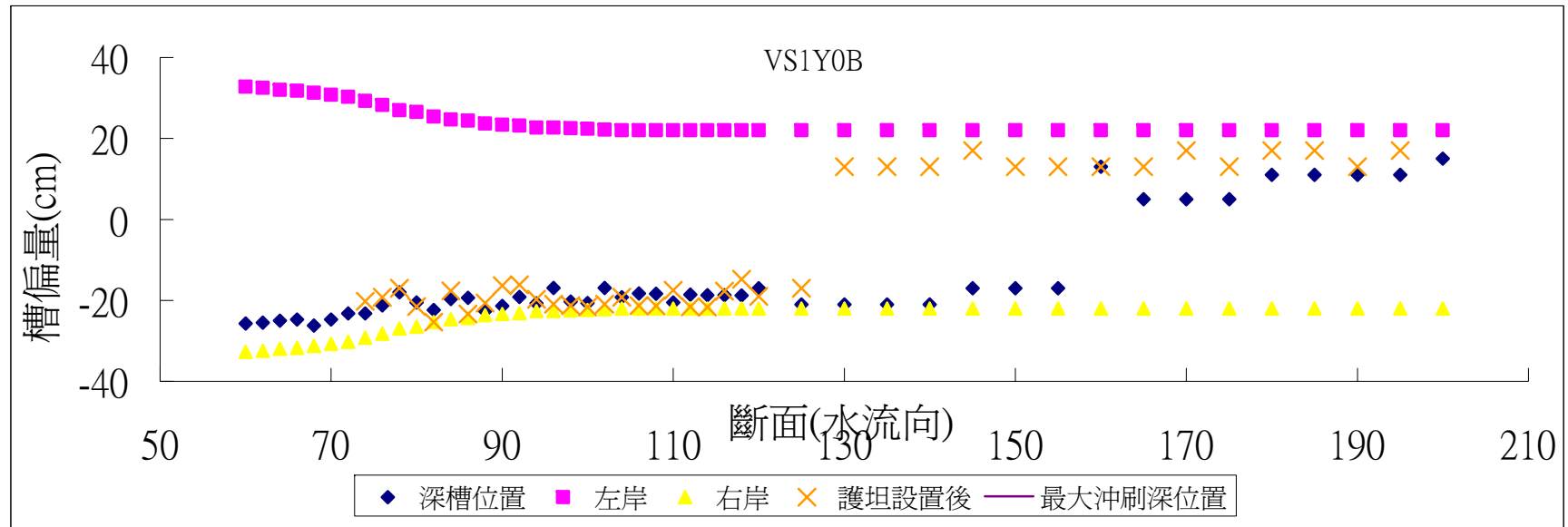


圖-8

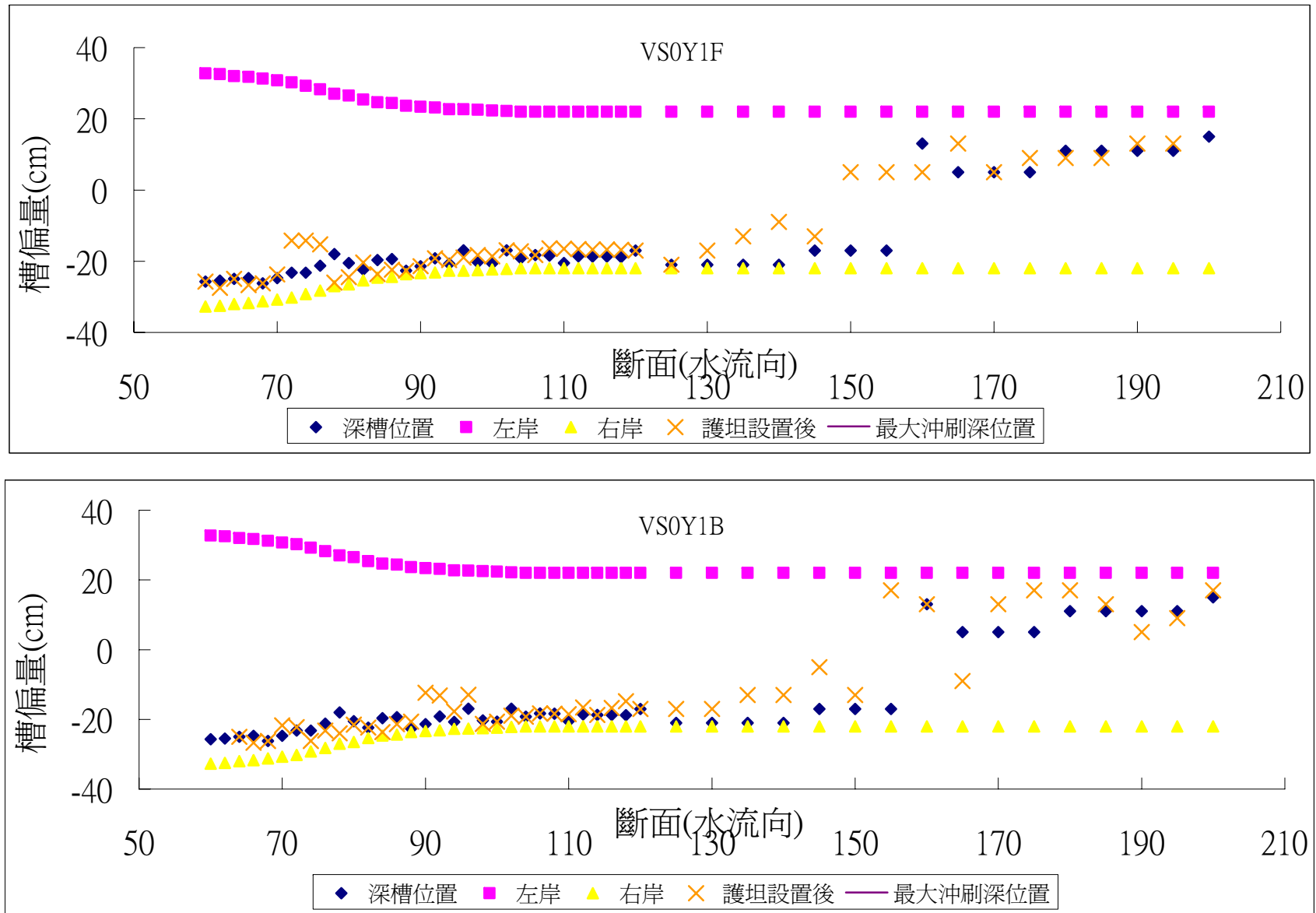


圖-9