



行政院農業委員會水土保持局

拱型固床工之沖淤探討

中華民國111年2月22日

計畫主持人：黃宏斌 教授

簡報單位：國立臺灣大學

研究背景

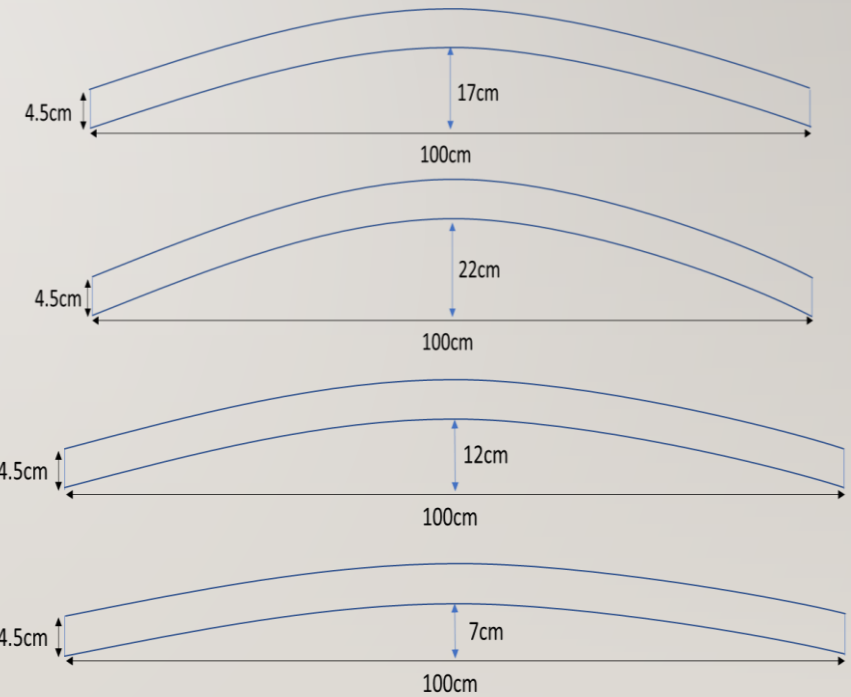
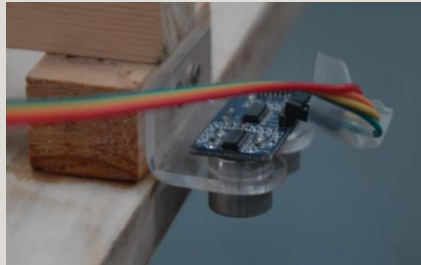
- 近年來，由於生態考量、美觀等因素，施工單位開始嘗試不同形狀之固床工，拱型固床工便是其中一個例子。然而，與直線型固床工不同，拱型固床工在不同拱度、高度以及方向皆會對河床沖淤帶來不同的影響。
- 另外，設計單一固床工或系列固床工時，由於主管機關沒有公布相關準則參考，技師僅能自行處理相關設計細節，對於整體治理工程效益存在極大之不確定性。

研究方法

- 本團隊以宜蘭縣頭城鎮梗枋南勢溪(直線型固床工)、新北市水仙溪 (拱型固床工)與宜蘭縣頭城鎮大溪溪(多元型式固床工)為研究對象。
- 蒐集研究樣區之固床工設計圖，上下游邊界條件，曼寧粗糙係數 n 值，土壤顆粒密度、中值粒徑分布等，並進行UAV空拍，納入數值模式，建置現地地形圖。
- 利用不同型式、間距之系列固床工模型，以現地觀測地形為背景，藉由二維輸砂數值模擬軟體，探討不同組合間距、型式與高程之系列固床工時之沖淤特性。

水槽試驗

- 製作四種不同高度之直線型固床工模型、四種不同曲率半徑之拱型固床工模型。
- 紀錄水位、流量、泥砂沖淤、衝擊力。

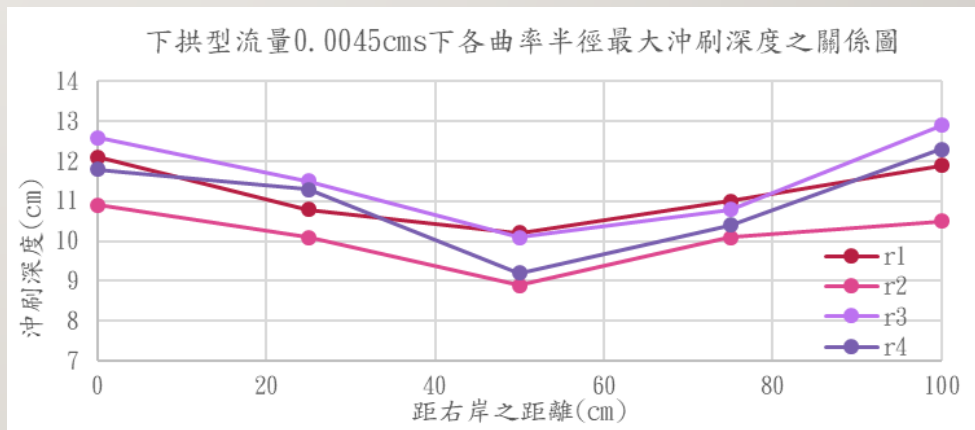
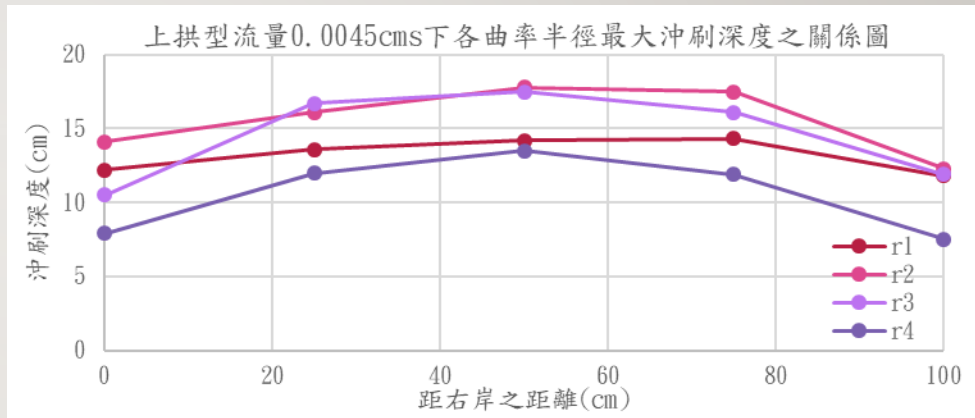
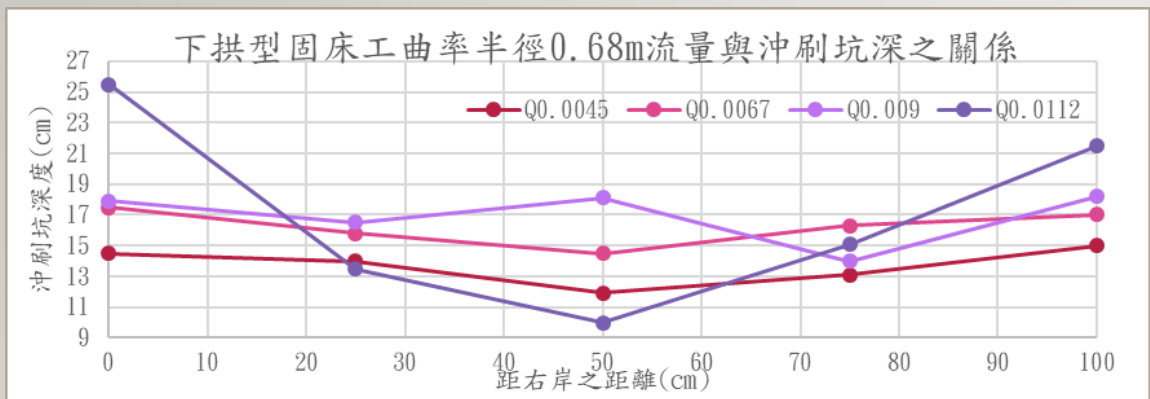
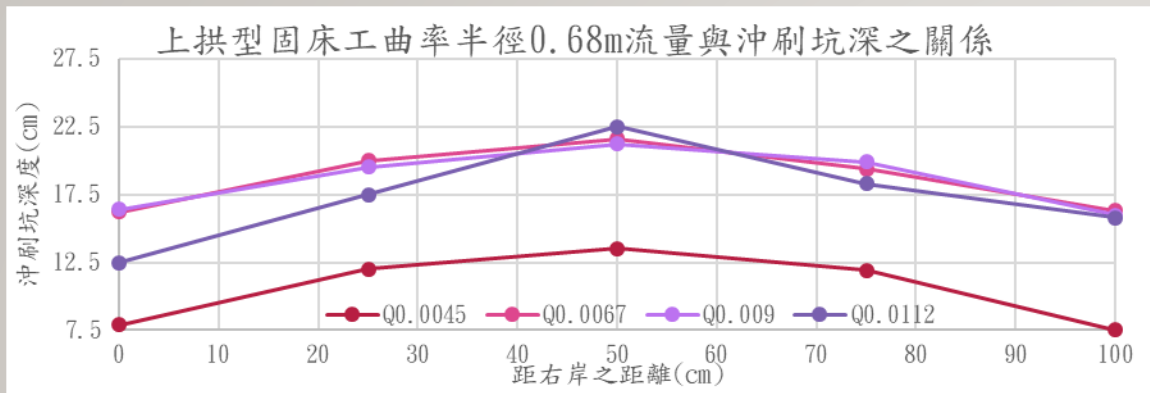


泥砂沖淤與衝擊力試驗



沖淤變化

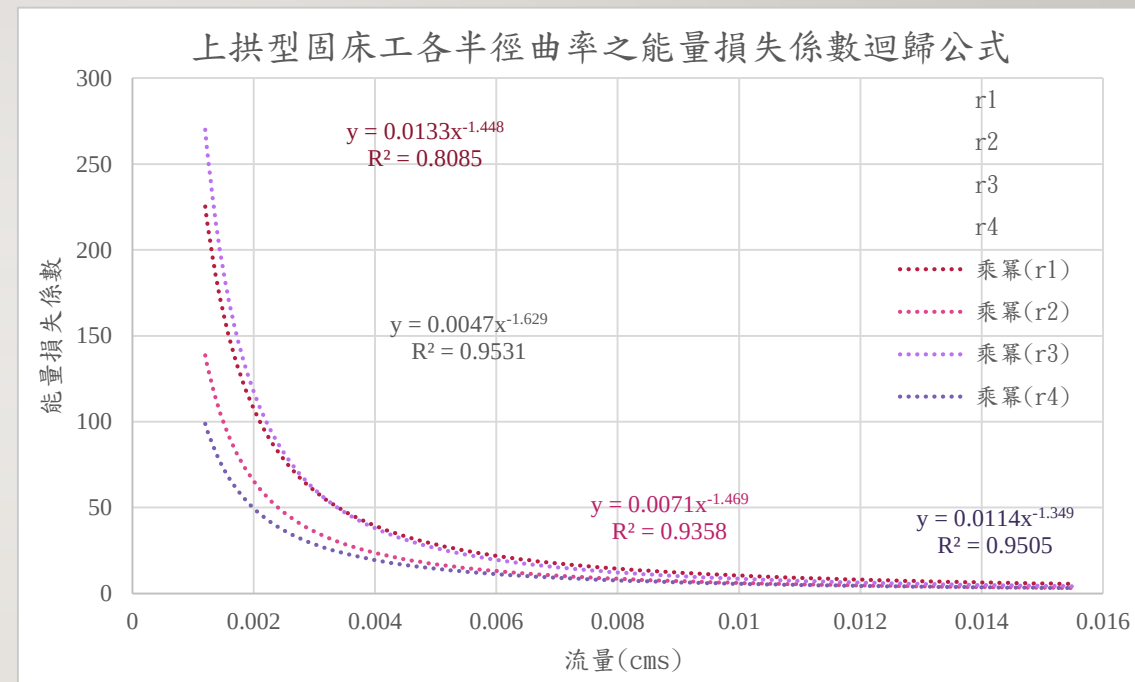
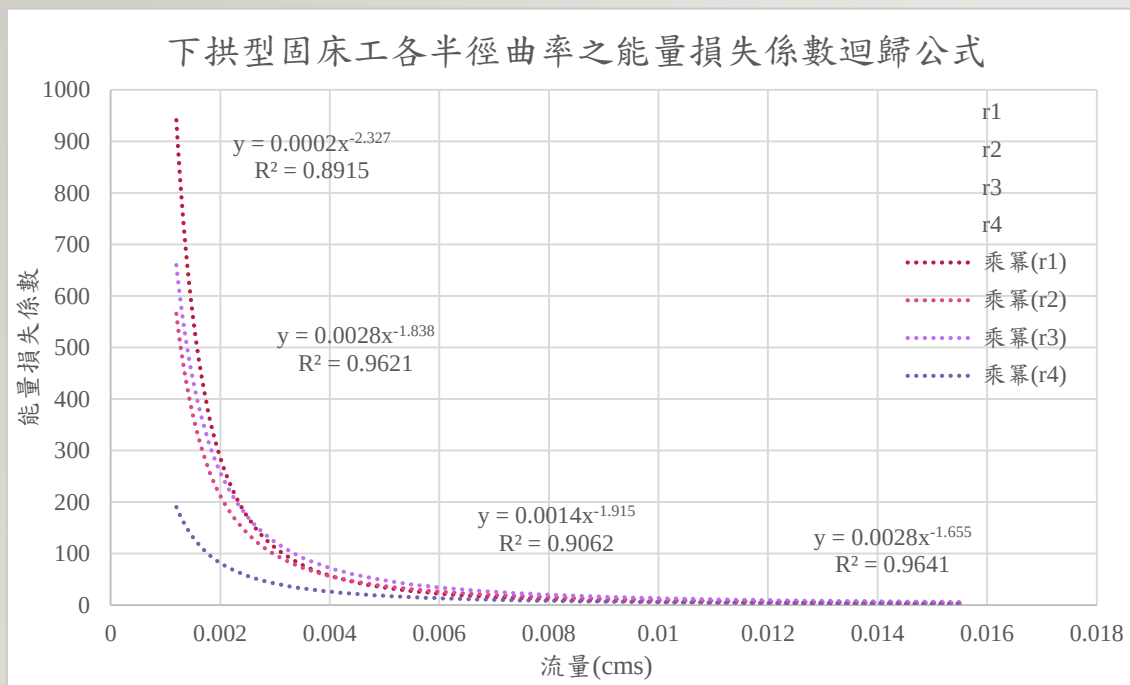
試驗條件	
直線型固床工高度	3.0cm
	4.5cm
	6.0cm
	7.5cm
拱型固床工曲率半徑	182.071cm
	110.167cm
	182.071cm
	67.818cm
流量(Hz)	12
	16
	20
	24



水槽試驗結果

能量修正係數

拱型固床工	曲率半徑	迴歸公式	R Square 值
上拱型固床工	1.82m	$y = 0.0133X^{-1.448}$	$R^2 = 0.81$
	1.1m	$y = 0.0047X^{-1.629}$	$R^2 = 0.95$
	0.82m	$y = 0.0114X^{-1.349}$	$R^2 = 0.95$
	0.68m	$y = 0.0071X^{-2.327}$	$R^2 = 0.94$



拱型固床工	曲率半徑	迴歸公式	R Square 值
下拱型固床工	1.82m	$y = 0.0002X^{-1.893}$	$R^2 = 0.89$
	1.1m	$y = 0.0014X^{-1.915}$	$R^2 = 0.91$
	0.82m	$y = 0.0028X^{-1.838}$	$R^2 = 0.96$
	0.68m	$y = 0.0028X^{-1.655}$	$R^2 = 0.96$

梗枋南勢溪

治理工程基本資料

梗枋南勢溪位於宜蘭縣頭城鎮，**集水區面積約73公頃**，河川**平均坡度為12%**。集水區主要為**沖積層**及**乾溝層**所構成，上游為**硬頁岩**夾薄至厚層**砂岩**，下游則由**礫石**、**砂**及**粘土**所組成。**年平均降雨量約2,828mm**，溪床冲刷嚴重，經常導致**邊坡坍塌**及未整治河段**溪水漫溢**，尤其是2008年之辛樂克颱風造成上游發生崩塌，洪水挾帶大量砂石下移，淤積河道，導致原有之土堤護岸沖毀，危及更新里兩岸居民及田園之安全，已經列為土石流潛勢溪流。



梗枋南勢溪現況照片

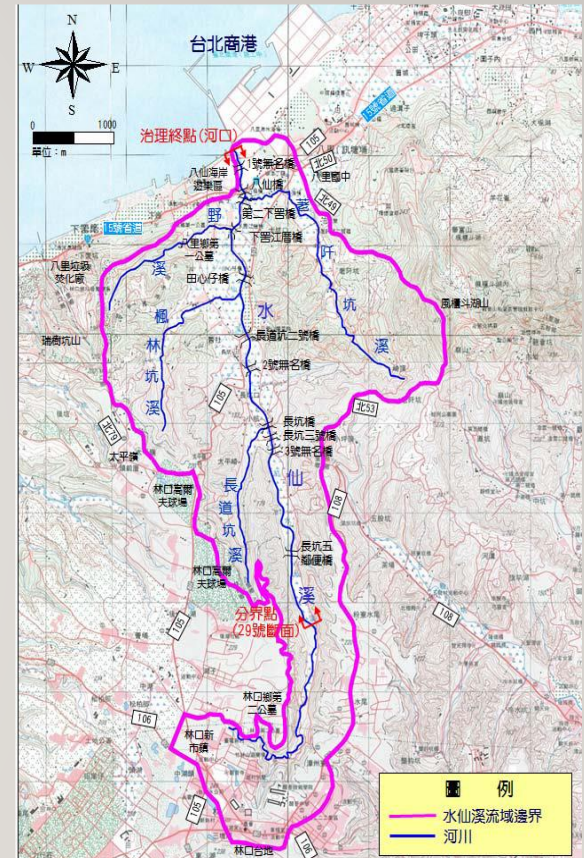


梗枋南勢溪集水區資料

水仙溪

治理工程基本資料

水仙溪集水區涵蓋新北市八里區及林口區，主流獨立排入臺灣海峽，長度約8.88km，流域面積約15.48km²。每遇豪雨除低窪地區泛濫成災外，也產生護岸基腳淘空、固床工基礎裸露、上游河床沖刷及下游河床淤積等問題。採用自然工法穩定河道，配合維護管理，具體完成河川治理及環境營造景觀綠美化等事項，朝多元化之河川空間規劃，確保永續發展。



水仙溪流域範圍

大溪溪

治理工程基本資料

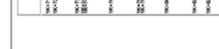
大溪溪位於宜蘭縣頭城鎮大溪里，屬頭城沿海河系，位於頭城鎮及頭城沿海河系北端，集水區面積約1,466公頃。集水區範圍內有大溪溪水系及中央地質調查所104年公布之大規模崩塌地一處。鑒於**坡腳沖刷邊坡坍塌**，**危害鐵路橋及臺2線安全**，以及河道**嚴重淤積**影響橋梁箱涵通水斷面，因此施作**多元固床工工程**六座。



大溪溪工程示意圖



大溪溪現況照片



UAV空拍建置地形圖



梗枋南勢溪



水仙溪

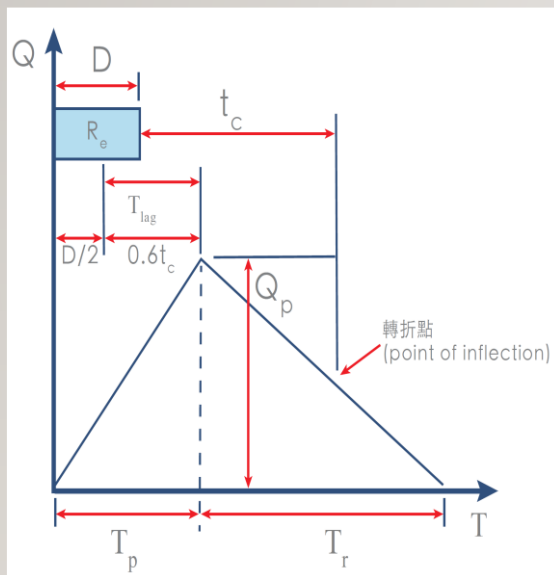


大溪溪

選定樣區集水區水文分析

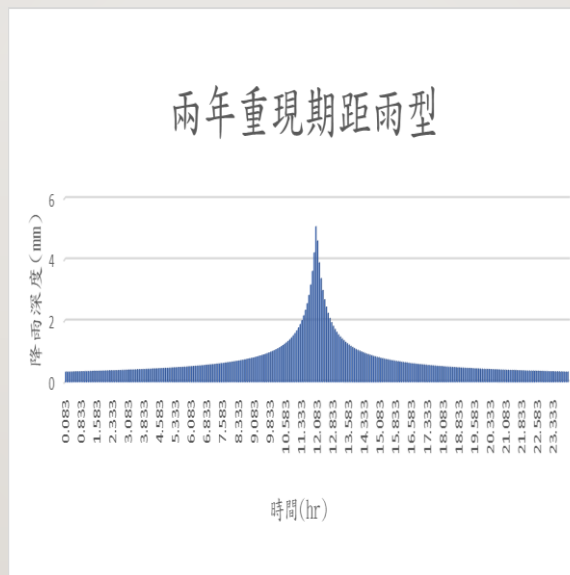
1

修正三角形單位歷線生成



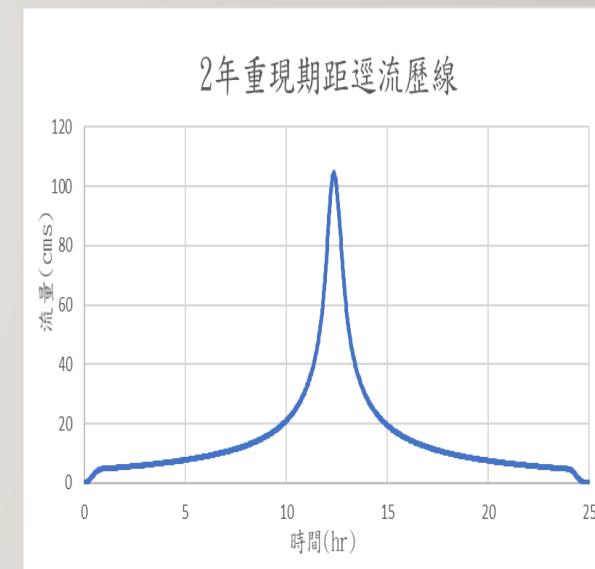
2

交替組體法設計雨型



3

逕流歷線生成



二維水理輸砂模式數值模擬

使用 RiverFlow 2D二維水理數值模擬模式，以有限元素法納入輸砂模組，綜合水文、水力和河川輸砂理論模擬河床動床沖淤，速度快、穩定性好、精度高。



RiverFlow2D

二維水理輸砂模式 RiverFlow-2D ST (Sediment Transport) module

1. 質量守恆方程式：

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

2. 動量守恆方程式(x方向)：

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial \left[hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right]}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = \frac{p_{bx}}{\rho_w} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_w}$$

3. 動量守恆方程式(y方向)：

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial \left[hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right]}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = \frac{p_{bx}}{\rho_w} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_w}$$

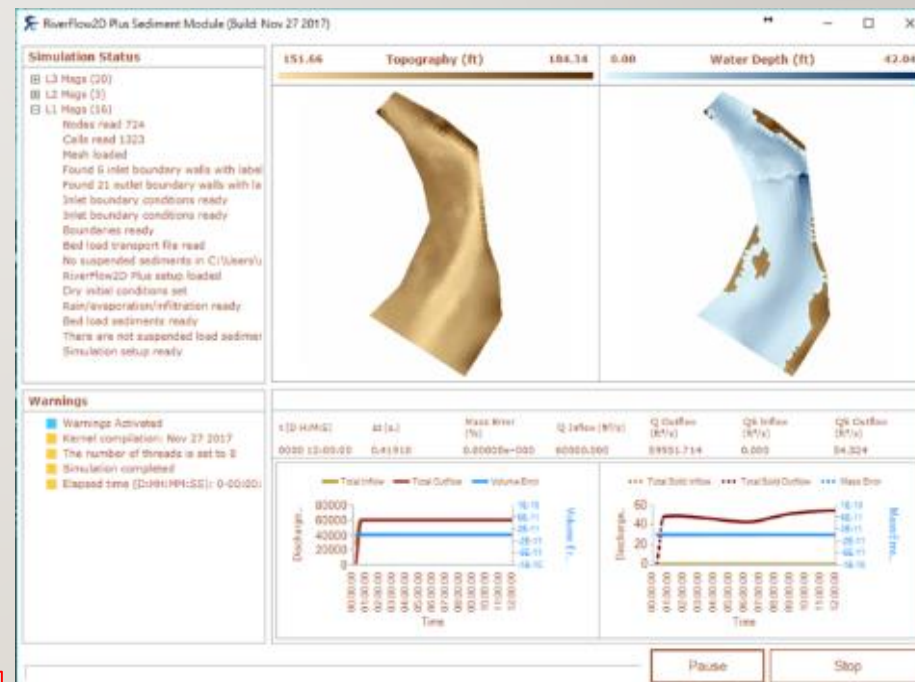
4. 底床高度變化：

$$\frac{\partial \sum_{p=1}^{N_p} [z_p(1 - p_p)]}{\partial t} + \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} = 0$$

底床壓力

底床剪應力

單位寬度之體積流量



RiverFlow2D模擬河道輸砂情形

輸砂參數設定

梗枋南勢溪樣區參數

RiverFlow 2D中輸砂參數包含：

- 土體顆粒密度
- 中值粒徑(D50)
- 土體孔隙率
- 底床剪應力
- 安息角(排水摩擦角)

另外還有QGIS水理介面與中心控制參數包含：

- 曼寧粗糙係數n值
- 模擬時間
- 最大沖刷深度
- 計算模組
- 網格大小
- 上下游邊界條件
- 可蘭數

RiverFlow2D模式輸入參數		
參數	輸入值	說明
QGIS圖層介面設定		
Manning n	河槽：0.10 河灘地：0.13	曼寧粗糙係數n值
Maximum Erosion Depth	固床工區域：0m 其餘區域：2 m	最大沖刷深度
TriMesh	Size：1 m	網格大小
Boundary Conditions	Discharge vs. time	上下游邊界條件
RiverFlow 2D Control data		
Simulation time (hrs)	24	模擬時間
Modules	Sediment Transport	模組類型
Courant Number	0.7	可蘭數
Model selection	RiverFlow GPU GPU card : Nvidia GeForce RTX 2080 TI	計算模組
Sediment Transport Module		
Density (kg/m ³)	2500	土體顆粒密度
Diameter (mm)	27.53	中值粒徑(D50)
Porosity	0.378	土體孔隙率
Shear Stress	0.047	底床剪應力
Friction Angle	31	安息角(排水摩擦角)

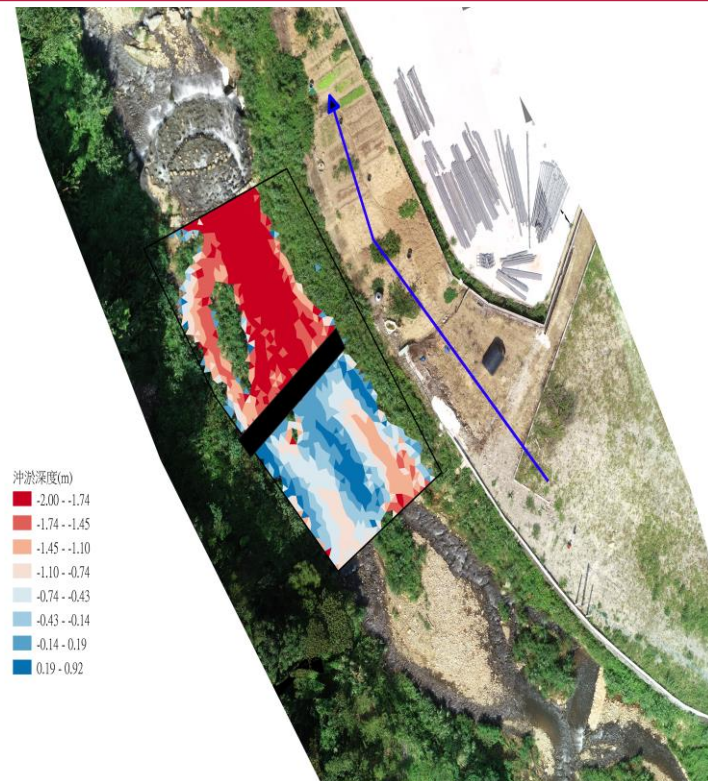
輸砂公式分析

動床輸砂數值模擬時，選取不同輸砂經驗公式推估輸砂量將會導致不同之結果，而不同經驗公式有其所適用之範圍及優缺點，為河道沖淤模擬結果情形之一大影響重點因子。

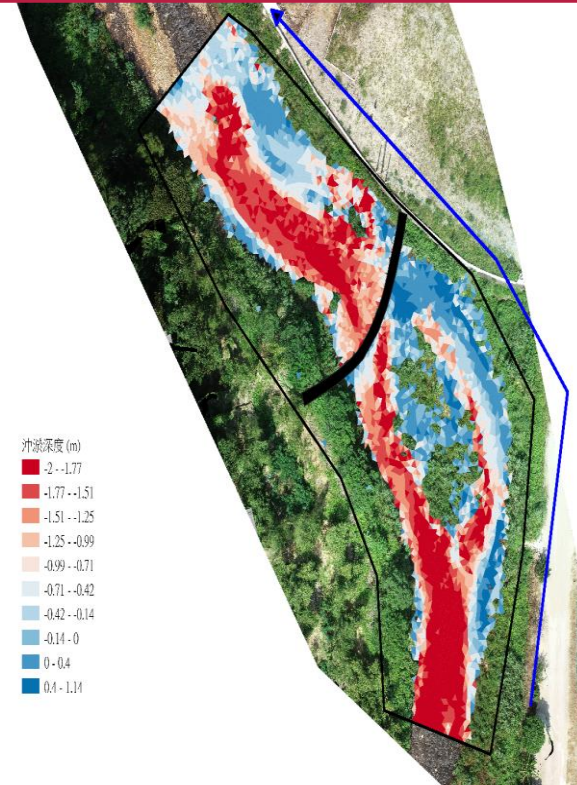
輸砂公式	粒徑 d50(mm)	坡度 S_f	水深H (m)	土壤顆粒 密度 ρ (kg/m ³)	單寬流量 (cms/m)	無因次臨 界剪應力 θ_{cr}
Meyer-Peter & Muller (1948)	0.4~30	0.0004~0.02	0.01~1.2	2500~3200	0.002~2.3	0.047
Ashida Michiue (1972)	0.3~7.0	0.004~0.02	0.12~0.22	1038~4580	0.000625~0.004	0.05
Engelund and redsøe (1976)	0.3~7.0	0.00131	0.326	2650	0.0236	0.046
Fernandez-Luque and vaneek(1976)	0.9~3.3	0~0.38	0.08~0.12	1340~4580	0.024~0.072	0.05~0.058
Parker fit to Einstein (1979)	2~10.5	0.01~0.20	0.01~0.09	2670~2680	0.025~0.15	0.032~0.1
Smart (1984)	2~10.5	0.01~0.20	0.01~0.09	2670~2680	0.025~0.15	0.03~0.047
Nielsen (1992)	0.69~28.65	0.001~0.01	0.01~1.0	1250~4220	0.002~2.3	0.05
Wong1 (2006)	0.317~28.65	0.0004~0.02	0.02~1.2	2500~3200	0.004~3.5	0.048
Wong2 (2006)	0.317~28.65	0.0004~0.02	0.02~1.2	2500~3200	0.004~3.5	0.0495
Camenen-Larson (2005)	0.088~200	0.0004~0.02	0.01~1.2	1140~2660	0.002~2.3	0.04

數值模擬結果

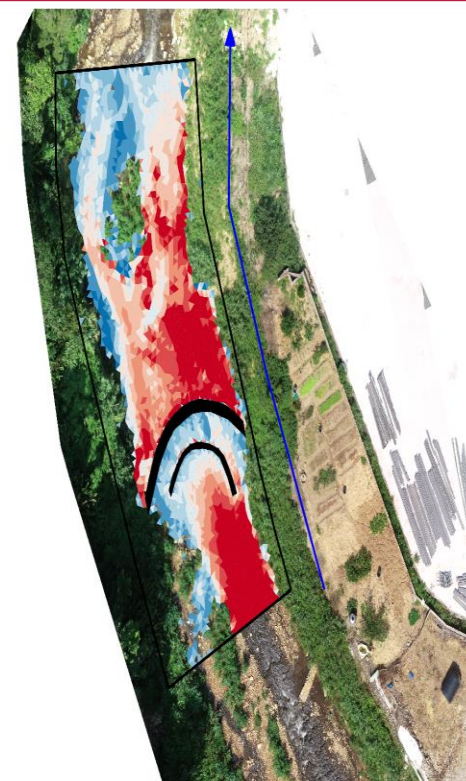
直線型



上拱型



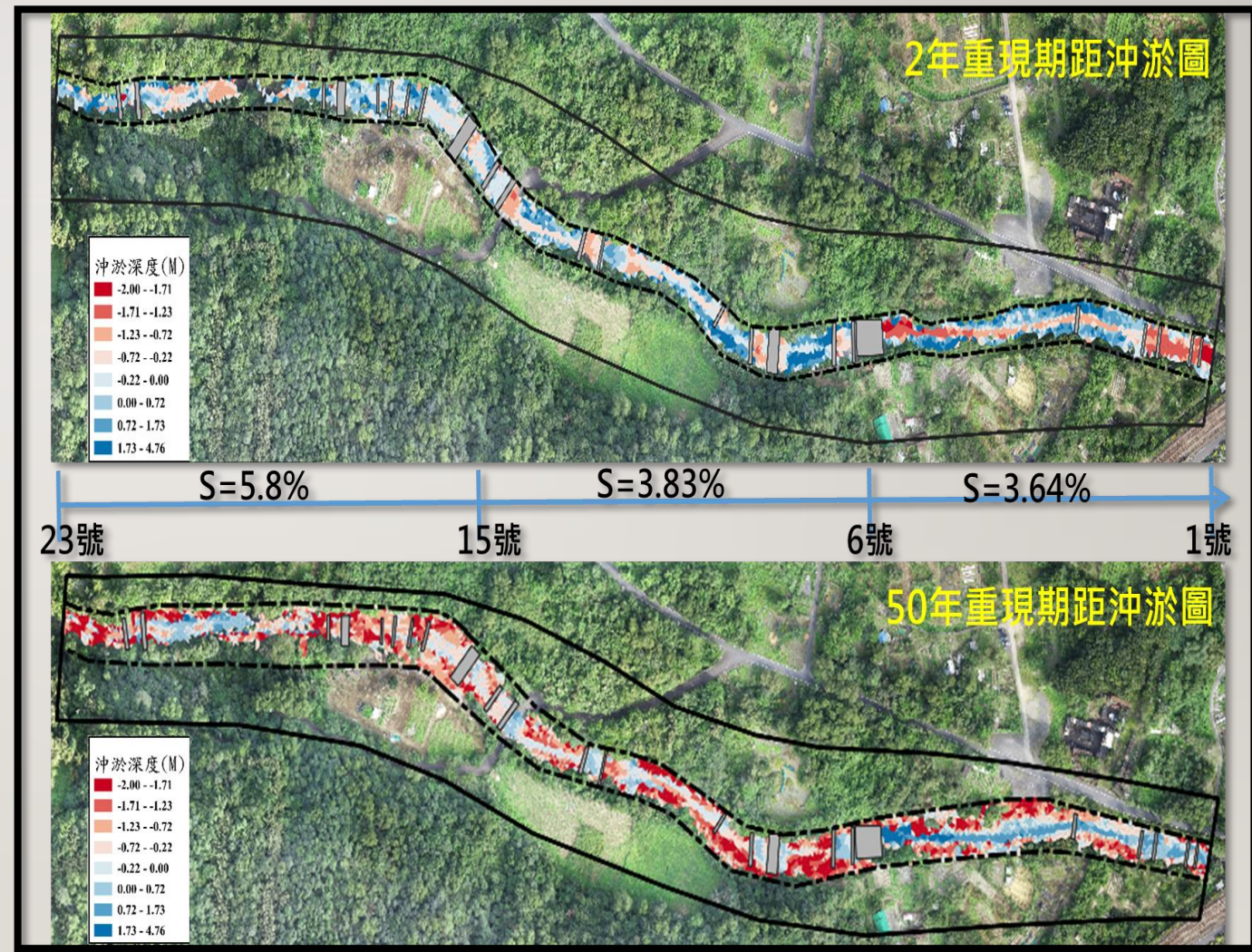
下拱型



模擬結果呈現

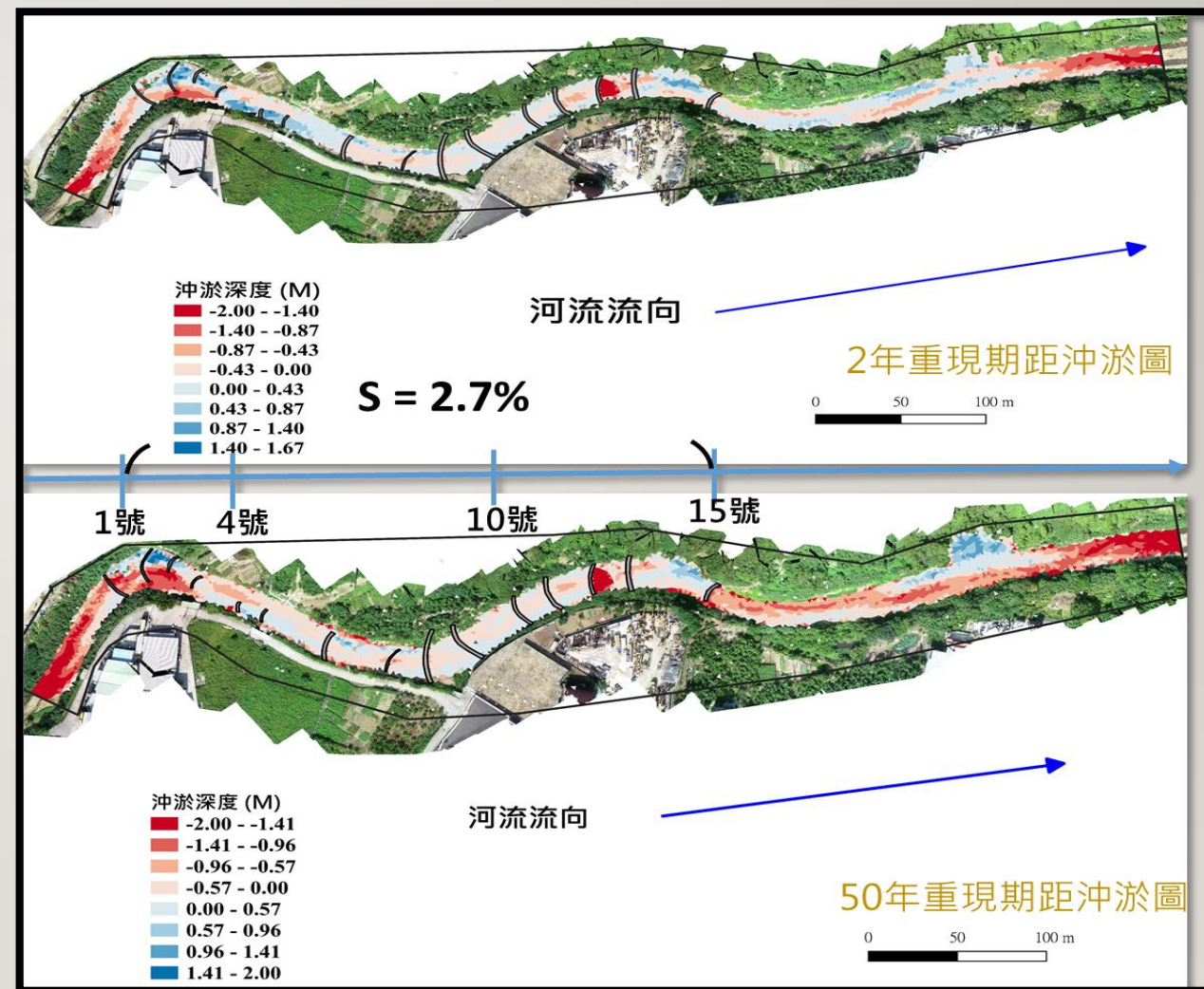
梗枋南勢溪

- 50年重現期距沖淤深度比2年重現期距大。
- 1-4號固床工間距較小，而4-6號間距則較大，由2年與50年模擬結果圖可以看出，**間距較小之河段泥砂沖淤情況**會比間距較大河段**穩定**。
- 15-23號間距是研究區域中坡度最陡區段，間距較小之15-21號河段比間距較大之21-23號穩定。



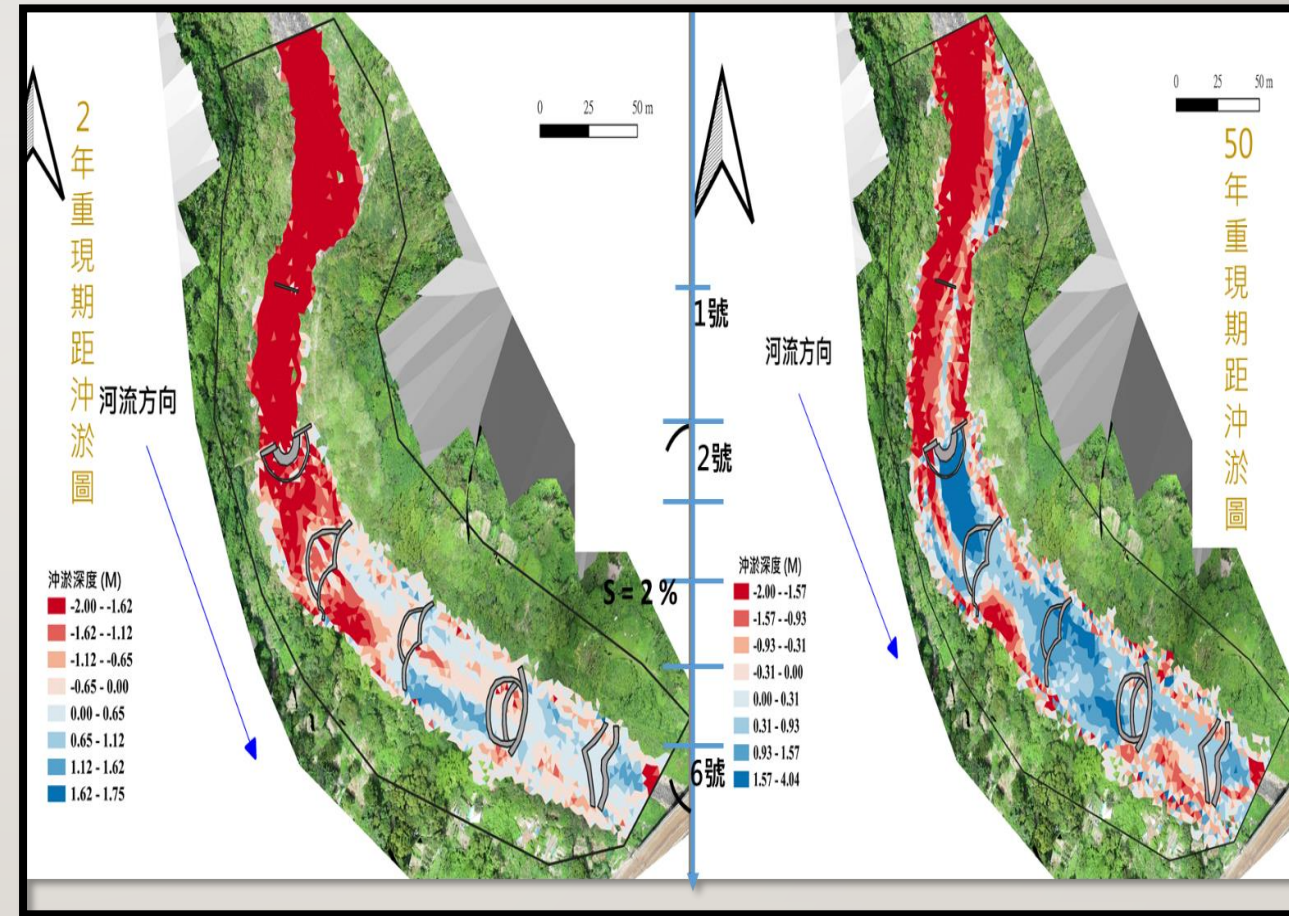
水仙溪

- 為上拱型系列固床工案例。
- 50年重現期距沖淤深度比2年重現期距大。
- 固床工間距較小的河段多呈現淤積，沒有沖刷現象。
- 固床工間距較大的河段會出現沖刷較明顯之現象。
- 系列固床工配合適當間距確實能夠有效降低50年重現期距流量之河床沖刷深度。
- 上拱型固床工能夠集中水流流向，約束水流往河床中心流動，避免兩岸沖刷。



大溪溪

- 2-6號固床工之設計坡度與間距能夠有效降低1號固床工往下游沖刷範圍和深度。
- 有效減緩河流之凹岸沖刷、凸岸淤積機制。
- 多元固床工之形式及其間距確實能降低沖刷及減緩大量泥砂淤積下游之鐵橋下河床與公路箱涵，維持通水斷面大小。



結 論

- 固床工間距是整流工程首要考慮的參數，必須配合不同河床沖淤情形規劃合適之間距，一來可以防止河床過度沖刷，也能調整間距使河床達到沖淤平衡狀態。
- 坡度越陡河段，固床工間距影響沖淤情況會更為顯著，間距越小之系列固床工穩定河床能力更好。
- 彎道處之直線型固床工會產生護岸部分基腳淘空現象。上拱型固床工能夠有效約束水流流向於河心。複合型多元固床工配合階梯式跌水，可降低高低落差維持生水域生態廊道且能提高溶氧量，能夠兼顧防災與生態的需求。



報告完畢
敬請指教