



無人機搭載影像於 河床質粒徑判釋之應用

蔡宗翰* / 經濟部水利署水利規劃分署 副工程司

河床質粒徑為河道變遷的重要基本地形因子，目前實務上，河床粒徑調查仍依賴傳統現地局部開挖篩分析調查（體積法）為主，惟受限於人力、安全性、空間、時間及成本等因素，分析成果資訊有限且無法達到全面性，因此對於數模水理演算或物模水工模型試驗建置，河道糙度常以假設值（經驗值）或歷史舊調查資料概估，間接亦增加成果的不確定性風險。臺灣河川卵礫石質河床，受豐枯水季節流量差異及颱風暴雨影響，存在河床粒徑變異大與表層粗化現象的普遍共同特性，因此表面法亦是一個較佳的調查選擇方法。近年無人載具空拍軟硬體技術成熟，值得利用其高空間解析度正射影像自動判釋河床粒徑、短作業時間效率且具有空間資訊之優勢，進一步對於河床質調查研究應用探討，本文就目前空拍法規高度限制、市售無人機性能、粒徑判釋軟體應用及河床材料空拍實務上常見情境等進行測試與探討，期以作為後續實務使用之參考。

關鍵字：UAV、河床質調查

河床質調查方法評析

河床質採樣調查方法眾多，Bunte and Abt^[1] 針對礫石河床的河床質採樣，大致可區分「體積法」及「表面法」兩類，其中「體積法」係以人工挖掘固定量體試坑（常為 1 m × 1 m × 1 m），透過不同標準篩進行篩分計算重量比例，優點為可得到垂直向沉積分層材料之完整粒徑分佈狀況，且適用礫石質或砂質各種材料；「表面法」係於選定的單位面積下，以採樣繩測距、步伐測距、框網交錯點等方式標註，進行撿拾及量測通過篩號尺寸，進行數量比例計算而求得河床質粒徑分佈，亦有以人工近距離照相、軟體圈繪進行小面積量測粒徑尺寸的方法，各採樣方法特性如表 1。臺灣因季節豐枯差異且受地形坡度影響，河床粒徑沉積

過程中，不同尺寸礫石無法完全淘選而沉降，然而存在河床質表層粗化及變異度高的現象，因此對於礫石質河床，表面法提供了一套快速且可靠的調查方法。

綜觀體積法或表面法採樣調查方式，大致存在調查時間冗長、需花費大量經費及人力、成果資料範圍小（不具代表性或變異性）且易受個人習慣影響，甚至遇淺水域需危險涉水調查等缺點。然而隨著無人飛行載具發展，掛載相機鏡頭配備提升或航測精度躍進，因此陸續有相關研究以無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）進行河道表面顆粒特徵的影像拍攝，配合自動化的影像處理（image processing）來辨識顆粒的輪廓，經由影像判釋出顆粒代表長度及統計分析來求出河道的粒徑分佈特性，試圖建立一個安全且高效率的河道粒徑調查方法，亦具有相當多的參考文獻^[2,3]，但在臺灣實務執行應用調查，確鮮少相關案例，

* 通訊作者，tthan@wrap.gov.tw

表 1 表面採樣方法特性比較

調查方法	網格式卵石採樣 (Pebble counts)	方型網格採樣 (Grid smapling)
施做方式	1. 步伐測距採樣 2. 採樣繩測距採樣	1. 網框採樣 2. 照相採樣
採樣方式	等距離增加方式，採集預定數量的顆粒	採集網框所有格點下的樣品
採樣面積	相對大範圍，可至 100 m ²	相對小範圍，約 1~10 m ²
樣品大小	適用礫石與大卵石，不適用於砂	適用礫石，不適用砂
工作時間	現場調查時間長，不需實驗室時間	網框採樣現場調查時間長，不需實驗室時間 照相採樣現場時間短，實驗室時間長

推究其原因，大致可歸列以下幾點因素：(1) 航高越高，成果易存在信賴度較低的缺點；(2) 受限於無人機法規，部分河段空域需繁瑣解禁申請程序；(3) 以往研究皆以專業高階無人機進行探討，目前市售無人機性能提升且易取得，是否可取代推廣運用？(4) 相關研究之測試條件皆以乾燥且乾淨的河床面，對於實務上常遇到的不同情境條件下（如水文事件或雨後材料高含水、植生影響、深槽段部分積水淺水域等），尚待進一步探討；(5) 粒徑自動判釋專業軟體多為收費制，難以推廣使用之窘境；(6) 相關文獻著重於學術研究，實務上執行應用較少案例，調查人員接受度低。

本案例選定一處礫石質河段進行應用驗證測試，為符合空拍法規要求，採用一致性通用的低航高（60 m 以下），模擬河床內各不同尺寸粒徑、不同淘選度、材料乾溼、植生及積水影響的情境下，空拍後進行自動判釋，並以傳統表面法（網格式採樣繩測距採樣）相對應作驗證比較，瞭解其精度與適用性，工作流程如圖 1。

基本設定條件率定與判釋軟體選用

航高設定

本次測試以 Autel Robotics 公司產製且易取得之市售無人機（型號 EVO II）為例，具有 1" CMOS 影像感光元件、2,000 萬畫素且可外掛 RTK 模組。根據此無人機性能計算影像解析度最低要求（約 42 m 高可達 1 公分的地面解析度）、臺灣飛行活動空域限制、飛航任務軟體操作功能限制，同時考量河床面植生或水工構造物異物影響，故採「15 公尺、30 公尺及 50 公尺」三種航高情境進行設定探討。

判釋軟體選用

判釋軟體的選用，為符合後續能有效推廣運用，以

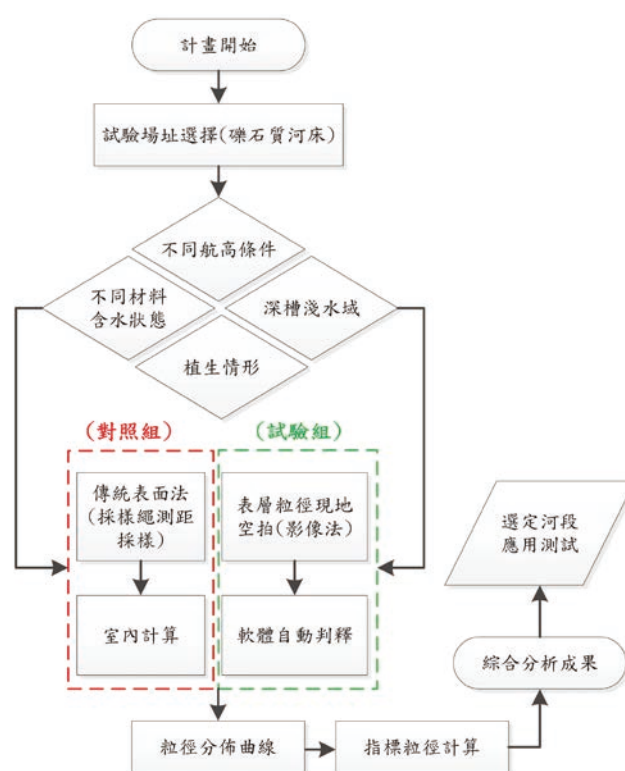


圖 1 工作流程示意圖

免費開源軟體為優先選擇，綜合考量其判釋能力高低、修改的功能性、操作介面友善性、軟體維護有效性及分析成果資料應用加值性等面向，優選「BASEGRAIN」套裝軟體使用，BASEGRAIN 由瑞士蘇黎世聯邦理工學院（ETH Zurich）水力水文及冰河研究室（Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, VAW）之 M. Detert and V. Weitbrecht 於 2012 年發表之免付費開源影像判釋軟體^[4]，以 MATLAB 為基礎建立之物件導向式分析工具，用於對河流礫石層的俯視圖照片進行粒度分析。

對照方法驗證

為驗證空拍判釋可靠度，本文採用現有傳統表面法（採樣繩測距採樣）為標準值進行比較，為提高傳

統表面法結果的可信賴度，試驗之單元面積提高至 10 公尺 × 10 公尺大小，同時加密檢拾網格間距為 0.5 公尺（共 400 個取樣點，註：Wolman^[5] 研究指出，採樣 100 顆粒網格式卵石採樣方法（pebble counts）可當作表面顆粒採樣的標準方法）並以同一操作者進行，如圖 2 示意圖，以降低人為誤差影響。

空拍判釋部分，分為內外業進行，外業於進行傳統表面法（採樣繩測距採樣）前，先進行外業空拍影像取得，依照率定三種航高（15 公尺、30 公尺、50 公尺）對同一單元點位進行拍攝。內業再進行影像匯出、原始影像基本調整處理（灰階化及增亮）、載入 BASEGRAIN 進行判釋及檢視後處理，以完成粒徑分佈資料，實際操作流程如圖 3。

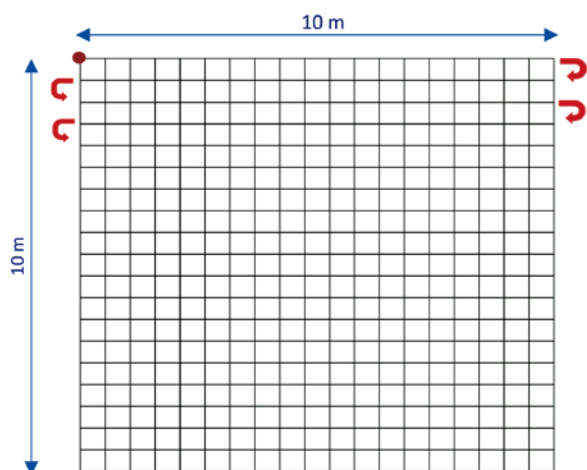


圖 2 10 m × 10 m 採樣範圍及施作順序示意圖

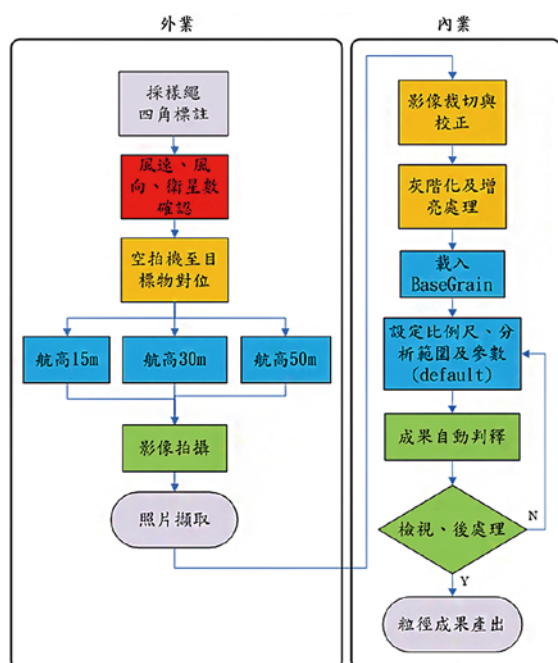


圖 3 空拍影像判釋內外業作業流程

成果探討

現場施作情形

選定清水溪礫石質河段進行，選點原則為以人員可進入河床及涵蓋實務上空拍可能會遇到的各種情境為主，從濁水溪匯流口至上游鯉魚大橋附近，共計完成 8 處場域測試（編號 A ~ G），如圖 4。

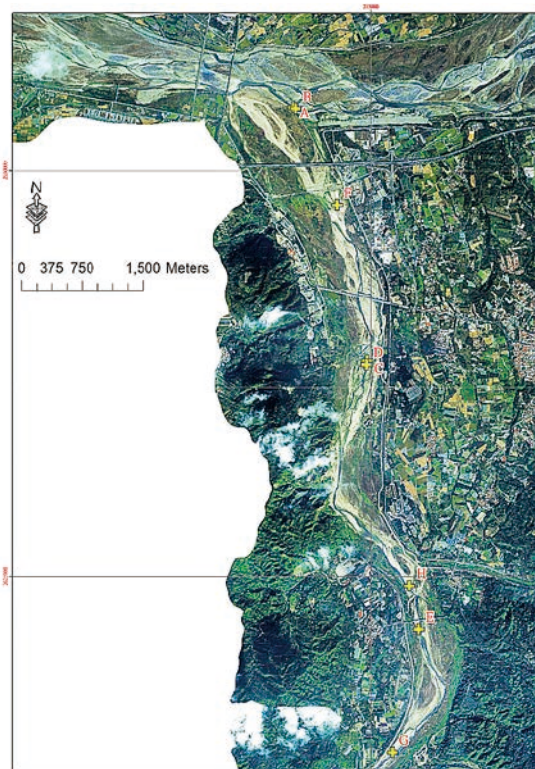


圖 4 現地試驗樣區位置圖

粒徑尺寸與航高關係

可發現航高由高至低，粒徑分佈曲線呈現規律左至右變化，相當於航高越低，判釋軟體對細粒材料分離程度能力高，整體粒徑呈現細化分佈，且曲線分佈情形，與傳統表面法相近，如圖 5。而不同航高最小可判釋尺寸相當於 4 ~ 5 倍地面解析度（GSD）。

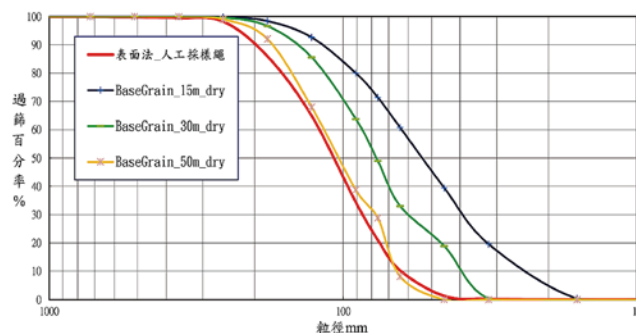
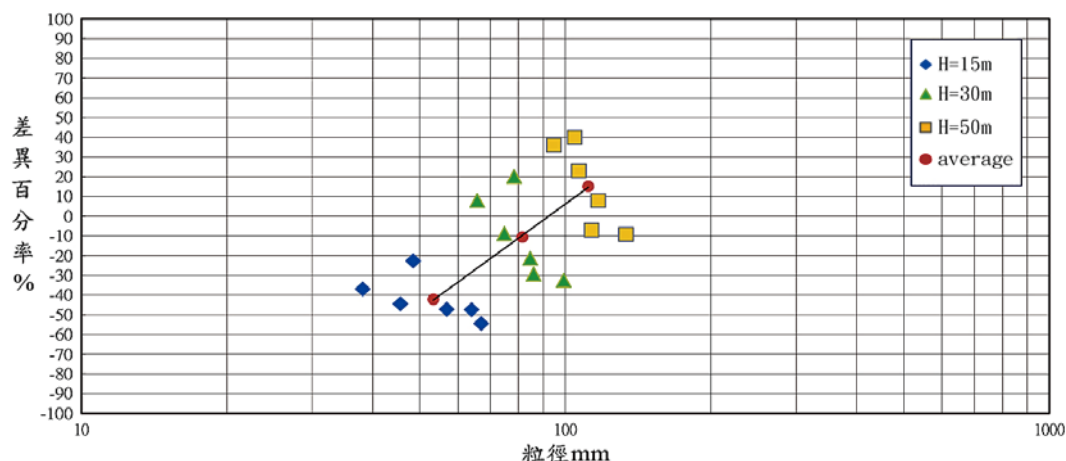


圖 5 粒徑尺寸影響之成果粒徑分佈圖（樣區 E 為例）

圖 6 各航高之平均粒徑 (D_m) 與表面法人工採樣差異分佈圖

若以傳統表面法（測距採樣）認定為基準母值與空拍判釋成果比較，採平均粒徑 D_m 探討，其航高 30 m、50 m 平均差異百分率介於 10% ~ 15% 之間，對於河床粒徑應用於可接受範圍，而航高 15 m 平均差異百分率約 42%，顯示過低航高與且傳統表面法反而有較顯著的差異性存在，一定高度（30 m 以上）成果，對於河床粒徑應用於可接受範圍，且 D_m 成果同時顯示資料分群集中（離散度低），如圖 6。

粒徑高含水情境

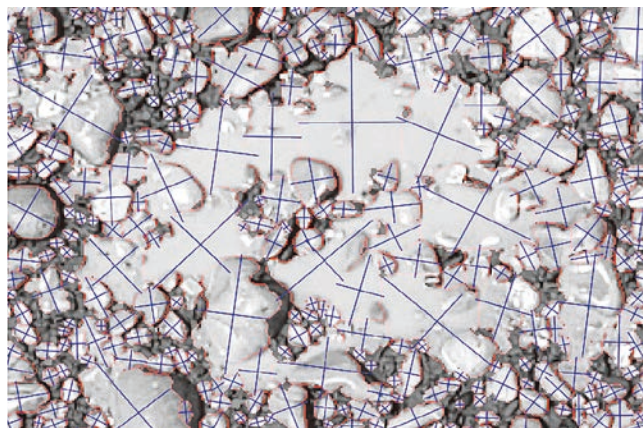
就近河道的樣區抽取河水噴灑，以進行情境模擬，成果顯示對於中礫石以上粒徑，其降雨後材料顆粒飽和含水狀態，與乾燥狀態比較，兩者差異不大，且航高越高差異性越低；但對於細礫易有積淹現象（特別於含砂或含泥區域），局部放大可發現易有誤判情形，若現場選取判釋區域無法避免時，建議可利用軟體內建功能手動編修功能移除修正，如圖 7。

河床內植生情境

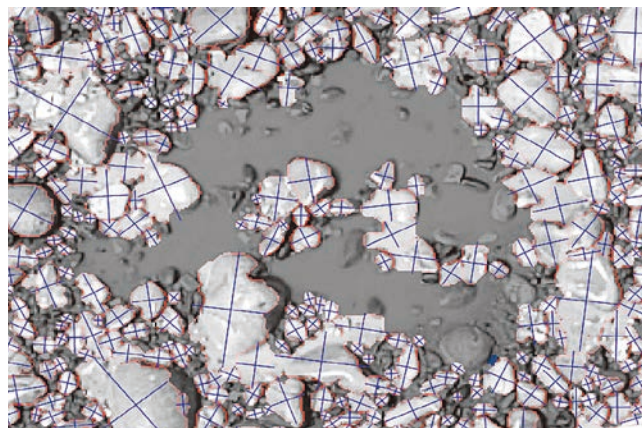
一般對於礫石質河床，夾縫中偶會遇見植生影響判釋的情形，對於低矮植生（高約 30 cm 內），經放大檢視後，不同航高尚仍可以有效判釋，如圖 8，主要係判釋原理取決於顆粒輪廓為主，因此這類型植生影響不大；對於叢狀植株（約 1 m 高不等），因遮蔽效應影響，航高 15 m 以下高解析度容易誤判為細小顆粒，30 m ~ 50 m 則有佳的擬合情形，如圖 9，因此對於高叢狀植株，建議應拉高航高進行拍攝。

淺水域情境

對於近河道深槽處的河床質，易存在淺水域積淹水的情形，此類型狀況雖進行影像強化前處理（灰階化增亮），水域面仍易有少量誤判為大粒徑或存在無法判釋顆粒情形，惟本項誤判率對整體占比不多，與傳統表面法比較，判釋結果仍有一定代表性。但為避免淺水區誤判的少數大粒徑誤導，仍建議透過局部手動



細礫積淹誤判（編修前）



手動編修後

圖 7 細礫積淹現象影響情形

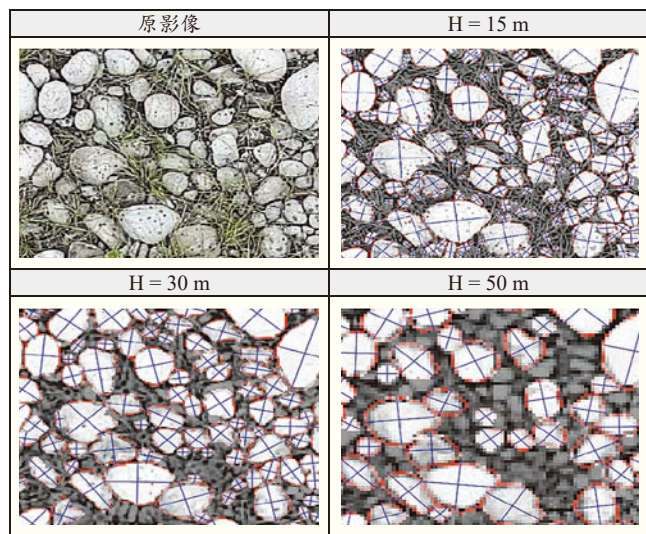


圖 8 低矮植生判釋成果局部放大情形

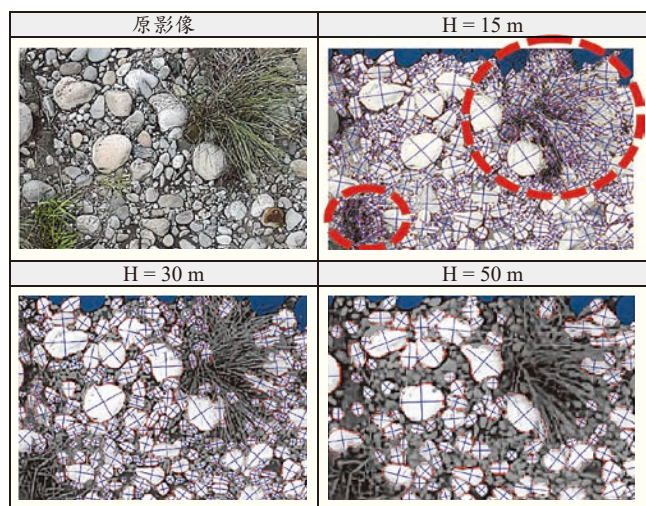
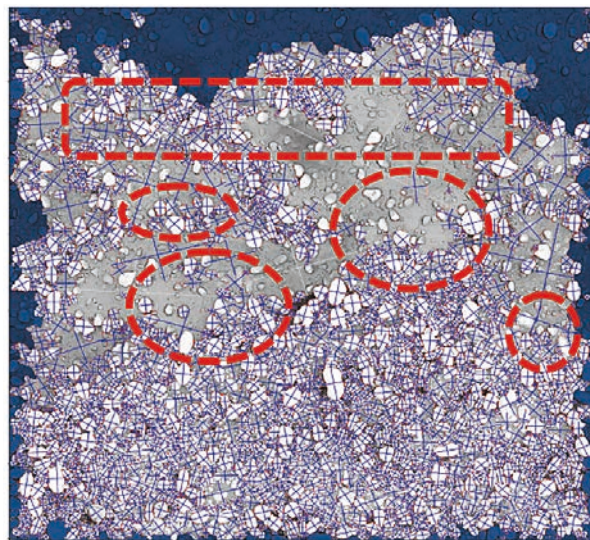
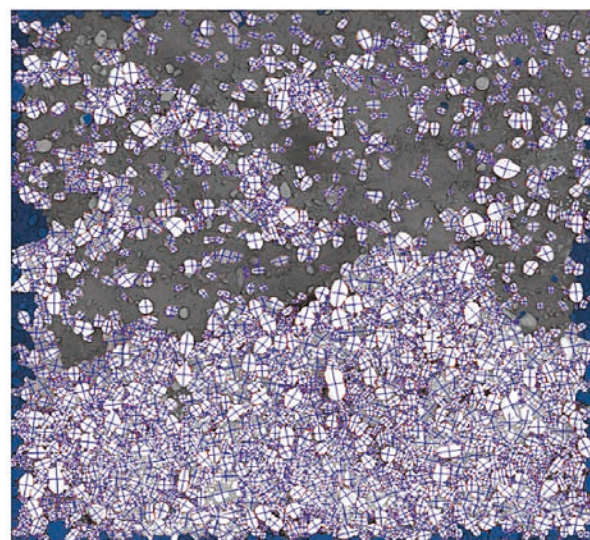


圖 9 叢狀植生判釋成果局部放大情形



自動判釋成果



輔助判釋後處理

圖 10 淺水域判釋及後處理情形

輔助判釋後處理，移除誤判大粒徑（使大尺寸篩號通過率提高），如圖 10，分布曲線較符合傳統人工表面法採樣分布情形。

選定河段試作應用

為進行全河段大範圍空拍試作應用，選定清水溪龍門大橋河段為例（涵蓋斷面 23 及 24），展示如何進行快速取得河床質資料。經航線規劃及取得空拍成果後，進行解算正射影像並依據河床質調查作業參考手冊（水規所^[6]）選點方式及本計畫判釋注意原則，於灘地段及深槽段各萃取兩處（ZoneA 及 ZoneB）影像，如圖 11，匯入 BASEGRAIN 軟體進行判釋成果分析，快速得到兩處判釋圈繪成果及粒徑分佈情形，如圖 12 及圖 13。



圖 11 正射影像成果及萃取判釋範圍圖

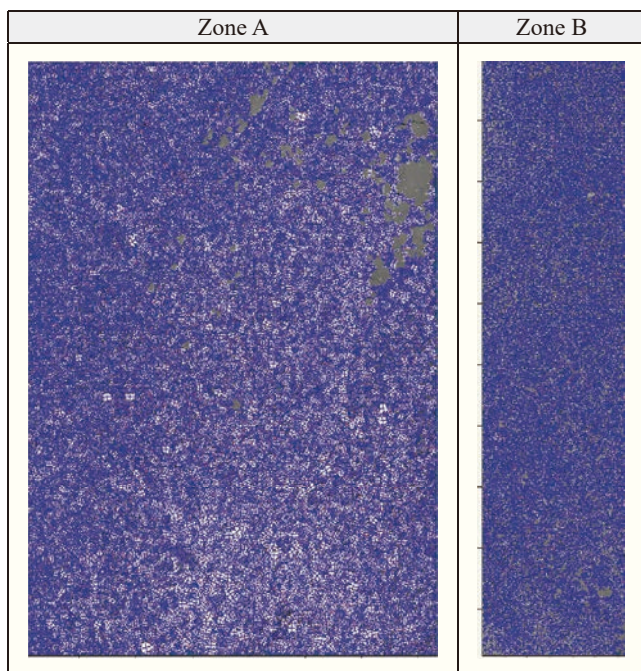


圖 12 Zone A 及 Zone B 粒徑判釋圖繪成果

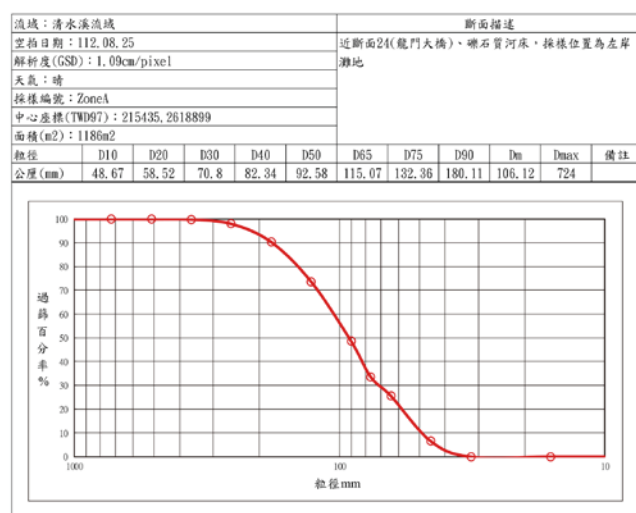


圖 13 Zone A 及 Zone B 粒徑分佈曲線圖

結論

- 對於「廣域」表面河床粒徑調查，實務上尚無有高精度標準方法可供對照比較，本計畫係與業界常使用的傳統表面法（採樣繩等距取樣）進行探討，以平均粒徑（ D_m ）而言，航高 30 m ~ 50 m（地面解析度約 7 ~ 12 mm/pix）平均差異百分率可達 10% ~ 15% 差異準確度，且粒徑分佈趨勢與傳統表面法相近，已可符合業務使用需求。
- 空拍判釋方法於河床質之最小可判釋粒徑尺寸約為航高的 4 ~ 5 倍 GSD（Ground Sampling Distance）。
- 對於現場常遇到情境，建議作以下考量，若無法避免，則應利用軟體內建功能進行局部手動編修後處理：
 - 細礫石河床於雨天過後（或水文事件後），採樣位置應避開積淹水範圍（特別是含泥或含沙區域）。
 - 河床內叢狀植株植生，採樣選定位置時，應避免或適度拉高航高。
 - 深槽段採樣位置，應盡量避免涵蓋於淺水域範圍。
- 目前市售行業應用型且具航測規劃功能無人機（建議選定 1" CMOS 感光元件、2,000 萬畫素以上解析度相機單元），已可符合此等業務需求，推廣性高。
- 目前粒徑光篩判釋軟體已發展成熟、操作介面友善，且為開源免付費軟體，於推廣使用較無障礙。
- 對於空拍影像判釋應用於河床質調查，確有其高效率、可接受精度及具有空間資訊之優勢，對於人力無法到達或短時間迫切需求時，可提供一套快速方法。

參考文獻

- Bunte K. and Abt, S.R. (2001). "Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring," General Technical Report RMRS-GTR-74. Fort Collins, Colo.; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p.
- 行政院農業委員會水土保持局（2019），「無人載具高解析影像及點雲於山區河川表層粒徑分析之可行性研究」。
- Shoji HIRAO, Toshikazu AZAMI, Makoto YOSHIMURA, Yuuki NISHIGUCHI, Sari KAWAI (2018), UAV 撮影画像処理による河床表層粒度分布把握に関する基礎的研究，河川技術論文集，第 24 卷。
- <https://basement.ethz.ch/download/tools/basegrain.html>
- Wolman, M.G. (1954). "A method of sampling coarse river bed material," *Transactions of the American Geophysical Union*, **35**(6), pp. 951-956.
- 經濟部水利署水利規劃試驗所（2007），「河床質調查作業參考手冊之研擬專題報告書」。