
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
**Feasibility Study on Particle Size Analysis
of Mountain River Bed Based on
UAV-associated High Resolution Images
and Point Clouds**

執行單位：長榮大學

執行期間：108年2月20日至108年12月31日

計畫主持人：曾志民 教授

協同主持人：張國楨 教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 108 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）

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

摘要

本研究利用無人載具 UAV 於山區河床以不同航高進行航拍，產製高解析度正射影像及三維密點雲，進一步分別利用影像判釋表層粒徑分布，以及點雲糙度特性分析進而推估表層指標粒徑，並以現場調查成果作為驗證比較依據。研究成果顯示，在影像判釋分析方面，在本計畫的航高範圍(25m~200m)內，利用影像分析之最小可判釋粒徑大致為影像解析度之3~5倍。在點雲糙度分析方面，利用點雲統計特性來推估指標粒徑以利用5公尺移動視窗空間分析單元且去除地形坡度趨勢影響後之表層糙度，可分析出較佳品質之河床指標粒徑。綜合利用影像分析及密點雲分析所得粒徑之平均誤差率比較可知，在航高25公尺的條件下，約介於數公分範圍之中小粒徑尺寸，密點雲分析結果之平均誤差率大約只有影像分析結果的一半，顯示密點雲在較小顆粒材料判釋上之優勢；至於數十公分之較大粒徑範圍，兩者的判釋品質約略相近。因此，後續建議在既有影像產製點雲優異之水平密度條件下，進一步結合垂直向度精度及植生穿透性更佳之無人機空載光達產製之密點雲，應能進一步提升密點雲在粒徑判釋分析之能力。

關鍵詞：山區河川、粒徑調查、無人載具、高解析影像、點雲

Feasibility Study on Particle Size Analysis of Mountain River Bed Based on UAV-associated High Resolution Images and Point Clouds

Abstract

In this study, unmanned aerial vehicles (UAVs) were used on mountain riverbeds at different altitudes to produce high-resolution orthophotos and dense point clouds. The images and UAV derived point clouds were further used to identify the surface particle size, respectively. The field surveys are used as the basis for verification. The results show that the minimum discernable particle size using image analysis in the height range of this study (25m ~ 200m) is approximately 3 to 5 times the image resolution. In terms of point cloud roughness analysis, a 5 m moving window size perform a favorable result to analyse the surface roughness after detrending the influence of the riverbed slope. Comparing the particle size obtained by image analysis and dense point cloud analysis, the small particle in the range of several centimeters, the average error of the point cloud analysis result is only about half of the results of the image analysis show the advantage of dense point clouds in the interpretation of smaller particles; as for the larger particle range of tens of centimeters, these two methods reveal similar performance. Therefore, it is recommended that under the condition of excellent horizontal resolution of images derived point clouds, further combining the dense point clouds produced by the UAV-borne LiDAR with better vertical accuracy and vegetative penetration ability which should further improve the interpretation performance.

Keywords: Mountain rivers, Particles size investigation, Unmanned Aerial Vehicle, High resolution images, Point clouds

目次

摘要	I
Abstract	III
目次	V
表次	VII
圖次	IX
第一章 前言	1-1
第一節 研究背景及目的	1-1
第二節 工作執行架構	1-3
第三節 研究範圍	1-4
第四節 工作時程規劃	1-5
第二章 河床表層粒徑現場調查	2-1
第一節 河床質採樣調查方法	2-1
第二節 現場調查成果說明	2-10
第三節 調查樣區粒徑特性分類	2-15
第三章 無人載具 UAV 航拍	3-1
第一節 無人飛行載具介紹	3-1
第二節 UAV 航拍任務規劃	3-3
第三節 正射影像及三維點雲產製	3-6
第四章 粒徑影像判釋	4-1
第一節 BASEGRAIN	4-1
第二節 Digital Gravelometer	4-5
第三節 粒徑影像判釋成果說明	4-10
第五章 點雲糙度特性粒徑分析	5-1
第一節 點雲資料前處理	5-1
第二節 點雲糙度分析指標粒徑	5-1
第六章 結論與建議	6-1
第一節 結論	6-1
第二節 建議	6-3

參考文獻	參-1
附錄	附-1
附錄一 期中報告書審查意見暨回覆辦理情形	附-1
附錄二 期末報告書審查意見暨回覆辦理情形	附-3

表次

表 2-1.1 表面採樣調查方法比較.....	2-2
表 2-1.2 網格法現場採樣記錄表.....	2-8
表 2-2.1 河床表層粒徑現場調查成果統計表(1/2).....	2-13
表 2-2.1 河床表層粒徑現場調查成果統計表(2/2).....	2-14
表 2-3.1 調查樣區粒徑特性分類結果	2-16
表 3-1.1 Microdrones MD4-1000 無人飛行載具基本資料	3-2
表 3-3.1 河床航拍範圍三維點雲之基本數據資訊	3-15
表 4-3.1 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 25 公尺).....	4-28
表 4-3.2 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 50 公尺).....	4-29
表 4-3.3 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 100 公尺).....	4-30
表 4-3.4 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 200 公尺).....	4-31
表 5-2.1 點雲糙度分析指標粒徑之誤差分析	5-11
表 5-2.2 影像粒徑分析與點雲粒徑分析之誤差平均值比較	5-12

圖次

圖 1-2.1 工作架構流程.....	1-3
圖 1-3.1 研究範圍.....	1-4
圖 1-4.1 工作時程進度規劃.....	1-5
圖 2-1.1 河床沉積分層示意圖.....	2-2
圖 2-1.2 調查操作者因體型差異產生之誤差	2-4
圖 2-1.3 等間距步伐採樣與採樣膠帶採樣之差異	2-4
圖 2-1.4 網格法採樣作業流程.....	2-5
圖 2-1.5 採樣繩(採樣標記間隔為 1 公尺).....	2-6
圖 2-1.6 開口樣板.....	2-7
圖 2-2.1 河床表層粒徑現場調查樣區分布圖	2-10
圖 2-2.2 河床表層粒徑現場調查預設樣區分布圖	2-11
圖 2-2.3 河床表層粒徑現場調查樣區設置圖	2-12
圖 2-2.4 河床表層粒徑現場調查樣區標記與定位圖	2-12
圖 2-2.5 河床表層粒徑現場調查作業圖	2-12
圖 3-1.1 無人飛行載具-旋翼型	3-1
圖 3-1.2 多旋翼型無人載具 Microdrones MD4-1000 外觀	3-2
圖 3-2.1 無人機飛航監控及任務規劃程序流程	3-3
圖 3-2.2 無人飛機航拍規劃程序流程	3-4
圖 3-2.3 無人飛機航拍規劃拍攝範圍	3-5
圖 3-3.1 內方位坐標系統示意圖.....	3-7
圖 3-3.2 外方位坐標系統示意圖.....	3-7
圖 3-3.3 特徵點匹配示意圖.....	3-8
圖 3-3.4 正射影像之產製流程及範例成果	3-9
圖 3-3.5 三維點雲之產製流程及範例成果	3-10
圖 3-3.6 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 25 公尺).....	3-11
圖 3-3.7 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 50 公尺).....	3-12
圖 3-3.8 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 100 公尺).....	3-12
圖 3-3.9 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 200 公尺).....	3-13

圖 3-3.10 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 400 公尺).....	3-13
圖 3-3.11 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 25 公尺).....	3-15
圖 3-3.12 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 50 公尺).....	3-16
圖 3-3.13 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 100 公尺).....	3-16
圖 3-3.14 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 200 公尺).....	3-17
圖 3-3.15 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 400 公尺).....	3-17
圖 4-1.1 BASEGRAIN 影像判釋軟體系統畫面.....	4-1
圖 4-1.2 選擇載入預設影像及輸入比例	4-2
圖 4-1.3 確認粒徑判釋分析範圍.....	4-2
圖 4-1.4 不同影像參數門檻測試成果	4-3
圖 4-1.5 最佳影像參數之判釋成果	4-3
圖 4-1.6 原始資料檔成果輸出.....	4-4
圖 4-1.7 圖檔成果輸出.....	4-4
圖 4-2.1 Digital Gravelometer 影像判釋軟體系統畫面	4-5
圖 4-2.2 專案項目建立範例畫面.....	4-6
圖 4-2.3 載入預設影像及點選四個控制點	4-6
圖 4-2.4 查看及確認影像相關訊息	4-7
圖 4-2.5 粒徑影像判釋.....	4-8
圖 4-2.6 粒徑影像判釋報告.....	4-9
圖 4-3.1 樣區影像前處理流程圖.....	4-10
圖 4-3.2 樣區 A 範例影像(100 dpi)	4-11
圖 4-3.3 樣區 A 範例影像(300 dpi)	4-11
圖 4-3.4 樣區 A 範例影像(600 dpi)	4-11
圖 4-3.5 樣區 A 範例影像(650 dpi)	4-11
圖 4-3.6 BASEGRAIN 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 A)	4-13
圖 4-3.7 Digital Gravelometer 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 A).....	4-13
圖 4-3.8 BASEGRAIN 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 E).....	4-14
圖 4-3.9 Digital Gravelometer 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 E).....	4-14
圖 4-3.10 BASEGRAIN 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 T).....	4-15
圖 4-3.11 Digital Gravelometer 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 T)	4-15

圖 4-3.12 樣區 M 範例影像(航高 25 公尺，600 dpi)	4-16
圖 4-3.13 BASEGRAIN 判釋過程暫存檔.....	4-17
圖 4-3.14 Digital Gravelometer 影像處理流程.....	4-18
圖 4-3.15 影像處理 Grey	4-19
圖 4-3.16 影像處理 Transform	4-19
圖 4-3.17 影像處理 Overlay.....	4-19
圖 4-3.18 影像處理 Grains.....	4-19
圖 4-3.19 影像處理 Watershed	4-19
圖 4-3.20 影像處理 Final.....	4-19
圖 4-3.21 不同航高影像之粒徑判釋成果比較	4-23
圖 4-3.22 影像判釋指標粒徑與現場調查成果之比較(航高 25 公尺).....	4-24
圖 4-3.23 不同指標粒徑之平均判釋誤差率隨航高變化比較	4-32
圖 5-1.1 調查樣區 N 植生範圍之三維點雲分布	5-3
圖 5-1.2 調查樣區 P 之三維點雲分布	5-3
圖 5-1.3 調查樣區 N 之三維點雲側視分布.....	5-4
圖 5-2.1 點雲標準偏差之分析示意圖	5-5
圖 5-2.2 點雲高程偏差及均方根高度分析示意圖	5-5
圖 5-2.3 不同移動網格視窗之點雲糙度指標粒徑分析比較	5-6
圖 5-2.4 有無去除地形坡度趨勢之點雲糙度指標粒徑分析比較	5-6
圖 5-2.5 點雲糙度指標粒徑分析成果與現場調查成果之比較	5-7

第一章 前言

第一節 研究背景及目的

對於山區集水區之降雨逕流分析、泥砂運移分析及土砂收支分析等相關數值模擬工作，廣域河床表面之曼寧 n 值為重要基本地文因子，對於模擬成果之合理性與正確性影響甚鉅。曼寧 n 值為一重要時空變量，由於颱風事件造成之河道變化、防砂構造物之興建、土地利用之改變等皆會造成曼寧 n 值有所變化。因此，除需廣域獲得不同河段之曼寧 n 值外，定期針對上述環境因素改變後之曼寧 n 值檢討有其必要性。

目前河床粒徑資訊之調查仍依賴局部河段開挖進行篩分析，或進行現地表層粒徑調查，惟受限於人力及時間成本，現地調查分析仍僅限於部分局部河段，分析成果資訊無法有足夠之空間及時間頻率代表性。目前已有相關研究利用河床現地拍攝表層粒徑材料相片進行影像判釋獲得河床材料粒徑資訊，惟此種作法之仍無法有效克服作業時間效率問題。近年無人載具 UAV 航拍技術快速發展演進，目前已可高效率進行廣域航拍，利用航拍影像產置高階析度正射影像，也可進一步利用影像立體像對進行特徵點匹配產製三維密點雲，並進一步產製高精度數值地形。以航高 50 公尺為例，目前已可產製約 1~2 公分等級高解析度正射影像及同尺度高精度數值地形，以及超過 500 點/平方公尺之高密度三維密點雲，可有效兼顧高空間解析度及高作業時間效率之優勢。

基於上述，本計畫首先選取一處山區河段作為研究區域進行表層粒徑現場調查分析，其次利用無人載具 UAV 於研究區域以不同航高進行航拍，產製高解析度正射影像及三維密點雲，進一步分別利用影像判釋表層粒徑分布，以及點雲糙度特性分析進而推估表層指標粒徑，並以現場調查成果驗證比較，期以作為後續實務應用之參考依據。綜合上述，本計畫研究目的可歸納如下：

1. 進行研究區域山區河段之表層粒徑現場調查分析，以作為影像判釋分析及點雲糙度特性分析成果驗證比較之依據。
2. 利用無人載具 UAV 於研究區域以不同航高進行航拍，進一步產製高解

析度正射影像及三維密點雲，建立河床粒徑基本資料庫。

3. 利用顆粒影像分析軟體進行 UAV 產製影像之河床材料判釋分析，探討影像判釋較適門檻參數。
4. 針對 UAV 產製三維密點雲進行表層顆粒糙度特性分析，探討最適糙度分析移動視窗尺寸並進而推估河床表層指標粒徑。

第二節 工作執行架構

本計畫之執行架構流程如圖 1-2.1 所示，主要工作項目及採用之研究方法說明如下：

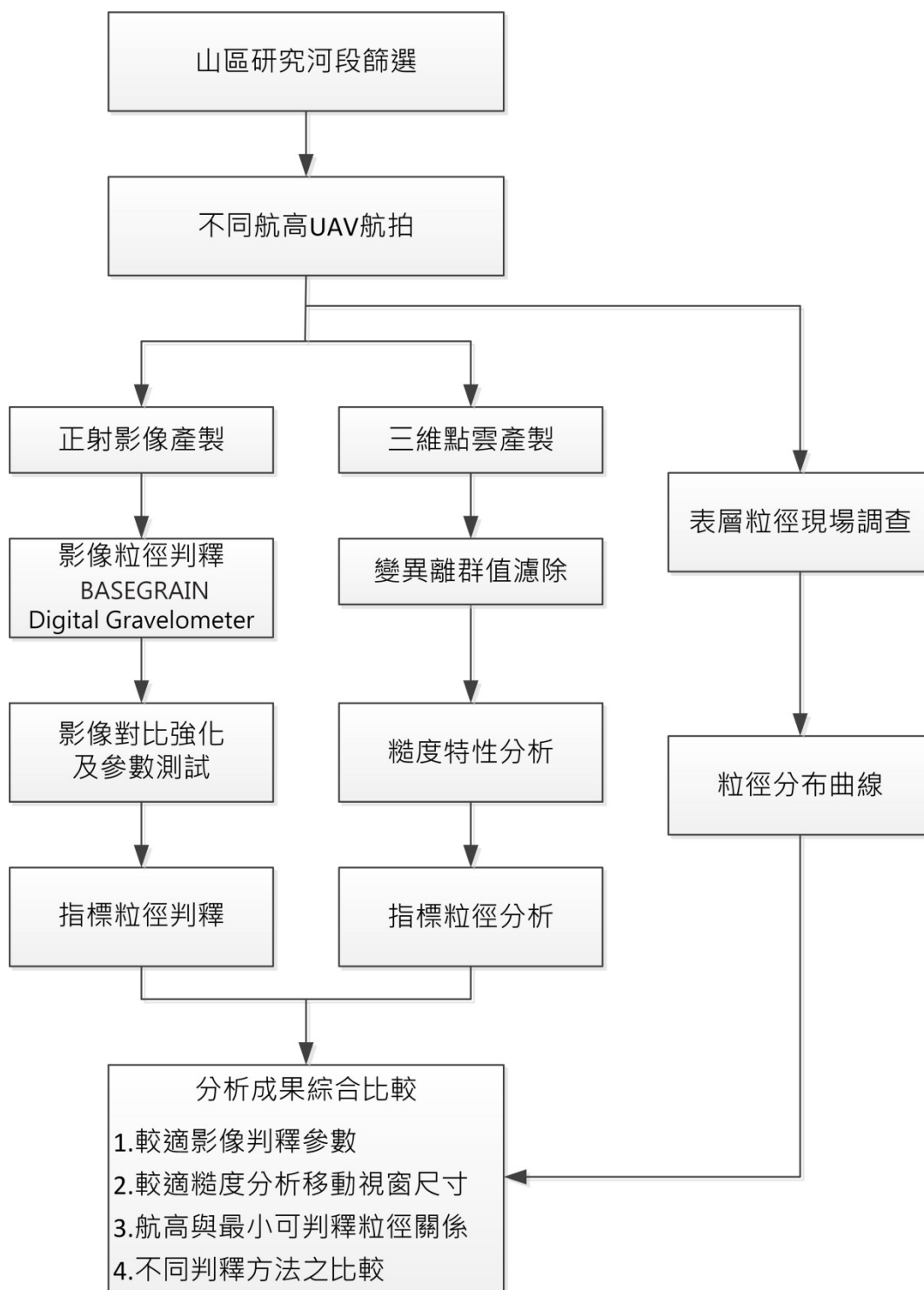


圖 1-2.1 工作架構流程

第三節 研究範圍

本計畫從南部旗山溪、荖濃溪或後堀溪選取一處上游河段作為研究區域，選取原則為河床顆粒材料以卵礫石為主，材料粒徑約介於 $(10 \sim 1000) \text{ n mm}$ ，儘量選取級配優良區位，亦即河床表面較均佈不同尺寸之卵礫石材料，以利探討顆粒判釋分析之限制條件。

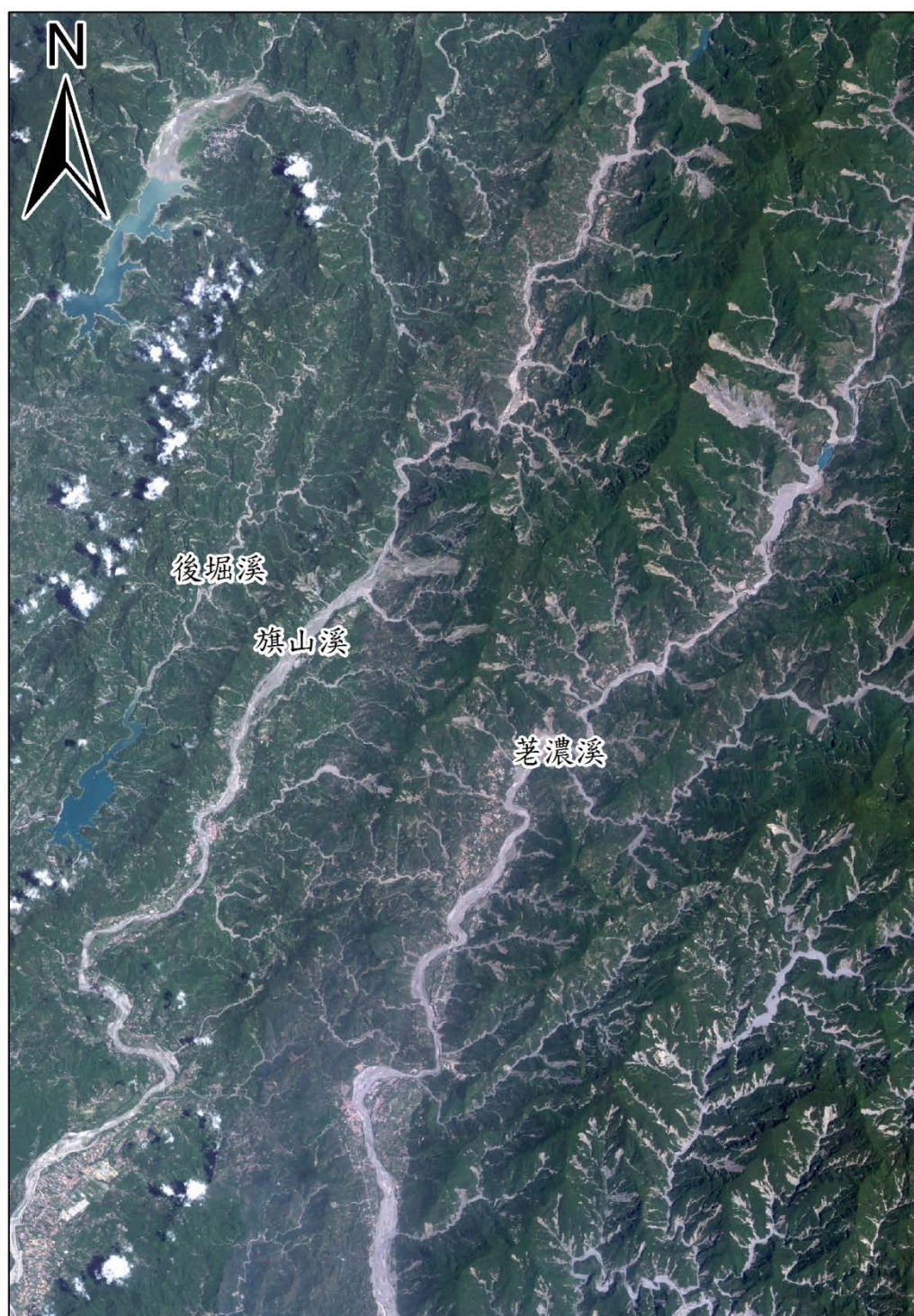


圖 1-3.1 研究範圍

第四節 工作時程規劃

本計畫之工作時程規劃如圖 1-4.1，目前已完成所有工作項目，並提送成果報告書。

工作項目	年份	2018											
	月份	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
研究執行架構確立													
選定研究範圍													
河床表層粒徑現場調查													
無人載具UAV航拍													
正射影像及三維點雲產製													
粒徑影像判釋													
點雲糙度特性分析													
最適宜移動視窗及指標粒徑分析													
工作執行計畫書					● 05/ 10								
期中報告書								● 08/ 09					
期末報告書											● 11/ 15		
成果報告書												● 12/ 24	

圖 1-4.1 工作時程進度規劃

第二章 河床表層粒徑現場調查

第一節 河床質採樣調查方法

河床質採樣調查目前尚無一般性之調查方法準則，依據「河床質調查方法之比較研究」(2006)及「河道曼寧 n 值與河床質粒徑關係之研究(2/2)」(2009)所述，眾多調查方法中一般較傾向採用標準方法(standard method)，如 Bunte and Abt (2001)提及 Wolman (1954)之 100 顆粒網格式卵石採樣方法(pebble counts)常被當成是表面顆粒採樣之標準方法；McNeil and Ahnell (1964)採樣器常被當成水下體積法採樣之標準方法。Bunte and Abt (2001)進一步介紹河床質採樣調查方法如下：

一、河床質採樣調查方法基本分類

礫石河床之河床質採樣調查方法可分為兩大類：

(一) 表面法採樣：

表面採樣方法可分為三大類：分別為 A.網格式卵石採樣方法(pebble counts)；B.方型網格採樣方法(grid sampling)；C.面積採樣方法(areal sampling)。

(二) 體積法採樣：

一般河床沉積分層如圖 2-1.1 所示，可分成以下兩種區分類型，第一種為護甲層(armor layer)、護甲底層(subarmor layer)；第二種為表層(surface sediment)、底層(subsurface layer)。一般表面採樣對象為表層(surface sediment)之底床材料，而體積法所區分之表底層即分別為護甲層(armor layer)及護甲底層(subarmor layer)。

二、河床質表面採樣調查方法(surface sampling)

將表面採樣調查方法之各種作業方式整理比較如表 2-1.1，臺灣河川流量豐枯水季節流量差異甚大，因此暴雨或颱風豪雨退水時，大小礫石在幾乎未經淘選作用下急速沉降，此時調查結果即為淘選度相當不良之河床質粒徑級配；而在枯水時期，小流量無法搬運較大粒徑之卵石，僅能帶走表面之細粒料，調

查結果即為普遍可見之表層粗粒化現象。因此若以表面採樣之各種作業方式考量，網格式卵石採樣具備之涵蓋面積廣、適用大型卵礫石及調查速度快等特性，應是山區河川進行表面調查較佳之選擇。方形網格採樣方法及面積採樣方法之涵蓋面積小且無法適用較大卵石之採樣，因此較不建議採用(河道曼寧 n 值與河床質粒徑關係之研究(2/2)，2009)。

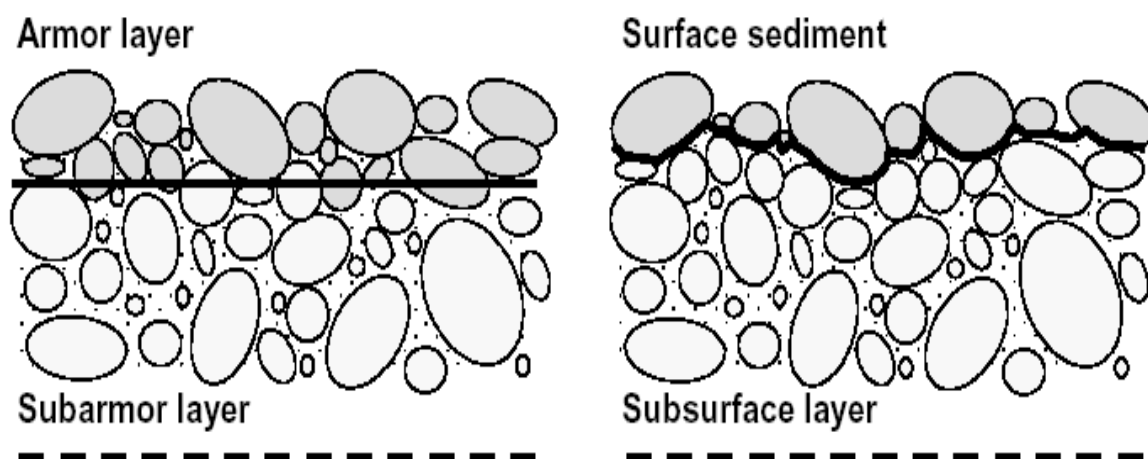


圖 2-1.1 河床沉積分層示意圖

表 2-1.1 表面採樣調查方法比較

調查方法	網格式卵石採樣 (Pebble counts)	方型網格採樣 (Grid smapling)	面積採樣 (Areal sampling)
施做方式	1. 步伐測距採樣	1. 網框採樣	1. 人工撿拾(配合噴漆)
	2. 採樣繩測距採樣	2. 照相採樣	2. 採樣黏著版(Adhesive)
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	3. 照相採樣 採集所有設定面積下的樣品
採樣面積	相對大範圍，可至 100m ²	相對小範圍，約 1~10m ²	限制於小區域下，約 0.1~1m 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	適用砂至中小礫石，不適用粗礫石及大卵石
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	現場調查時間與實驗室時間均需要
		照相採樣現場時間短，實驗室時間長	
資料比較與後續應用	資料可直接與方形網格採樣及體積法採樣進行比較與合併運用	資料可直接與網格式卵石採樣及體積法採樣進行比較與合併運用	資料無法直接與網格式卵石採樣、方形網格採樣、及體積法採樣進行比較與合併運用

資料來源：「河床質調查方法之比較研究」，(2006)。

以下針對表面採樣調查之網格式卵石採樣方法(pebble counts)作業方法說明如下：

在一選定的區域內拉相互平行的測線，並沿著測線上等間距的點採樣，直到取得所需要的樣品數量為止，此法一般適用範圍約在 100 m^2 。此法可分為步伐測距採樣(heel-to-toe)、採樣繩測距採樣(measuring tape)等兩種作業方法，此兩種方法實質上之意義大致相同，皆是利用一等間距方法進行採樣。

一、步伐測距採樣(heel-to-toe)

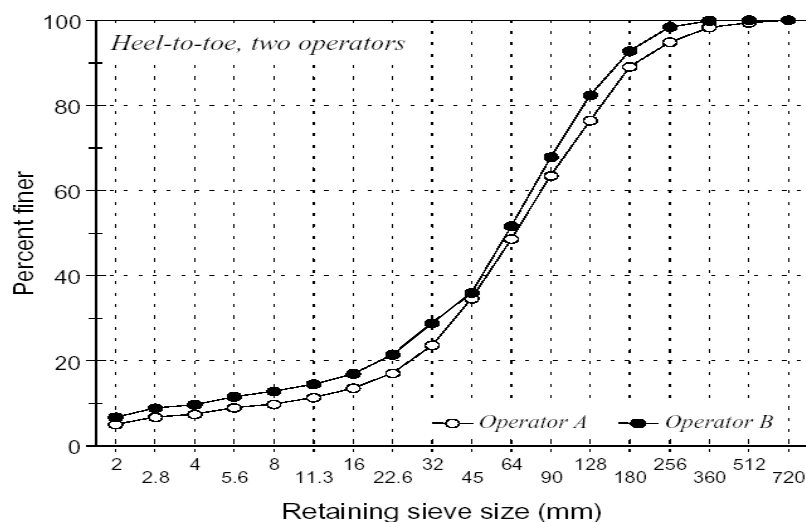
由操作者沿著一選定橫切線(操作者想像的線)，等間距步伐拾取每一步鞋尖所碰觸到之石頭，數量上一般依照 Wolman (1954)建議之 100 顆為主。

二、採樣繩測距採樣(measuring tape)

在採樣範圍內拉設採樣繩，採集採樣繩上預先設定標誌(等距離)正下方之樣品，數量上一般依照 Wolman (1954)建議之 100 顆為主。

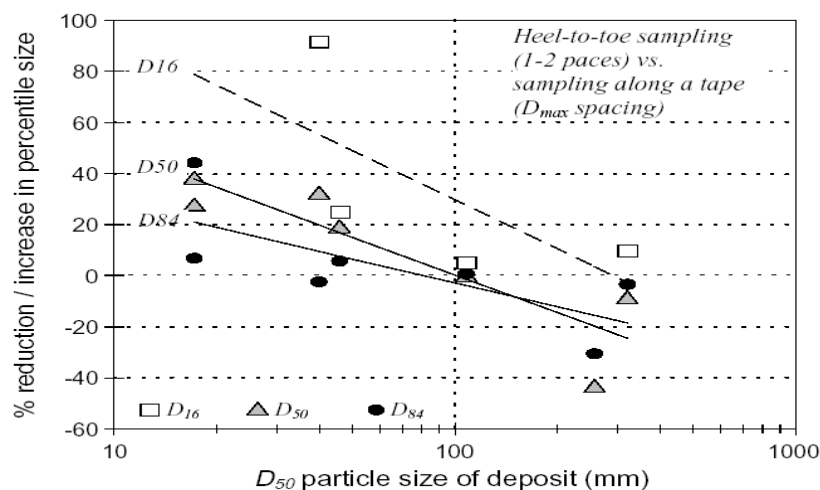
等間距步伐可能會因為施作者的體型以及採樣位置是以隨機拾取腳下石頭，而產生操作者誤差，Bunte and Abt (2001)比較兩不同操作者因體型上的差異而產生誤差如圖 2-1.2 所示，操作者 A 及 B 體型上不同，而得到不同的結果。其中操作者 A 體型較 B 高大，採樣得到之累積粒徑曲線分佈較操作者 B 為粗。

Wohl et al. (1996)比較等間距步伐和採樣膠帶採樣所得到的結果(圖 2-1.3)發現，等間距步伐之隨機採樣因操作者在採樣時會取較好撿起之粒徑，因此在大粒徑區域內所得到的粒徑會偏小，而在小粒徑區域內則會得到較粗的粒徑分佈曲線。圖 2-1.3 中三條線分別為等間距步伐得到粒徑大小與採樣膠帶得到者之比較，可發現當此區域內 D_{50} 粒徑大於 100 毫米時，等間距步伐採樣得到之 D_{50} 與 D_{84} 皆較利用採樣膠帶得到者小 0~20%左右，此亦表示利用隨機採樣亦因操作者不同而產生誤差。綜合以上之比較，網格式卵石採樣方法應以採樣繩測距採樣作業方式較佳，因此本計畫採用此法進行表層顆粒材料採樣調查。



資料來源：Bunte and Abt, 2001.

圖 2-1.2 調查操作者因體型差異產生之誤差



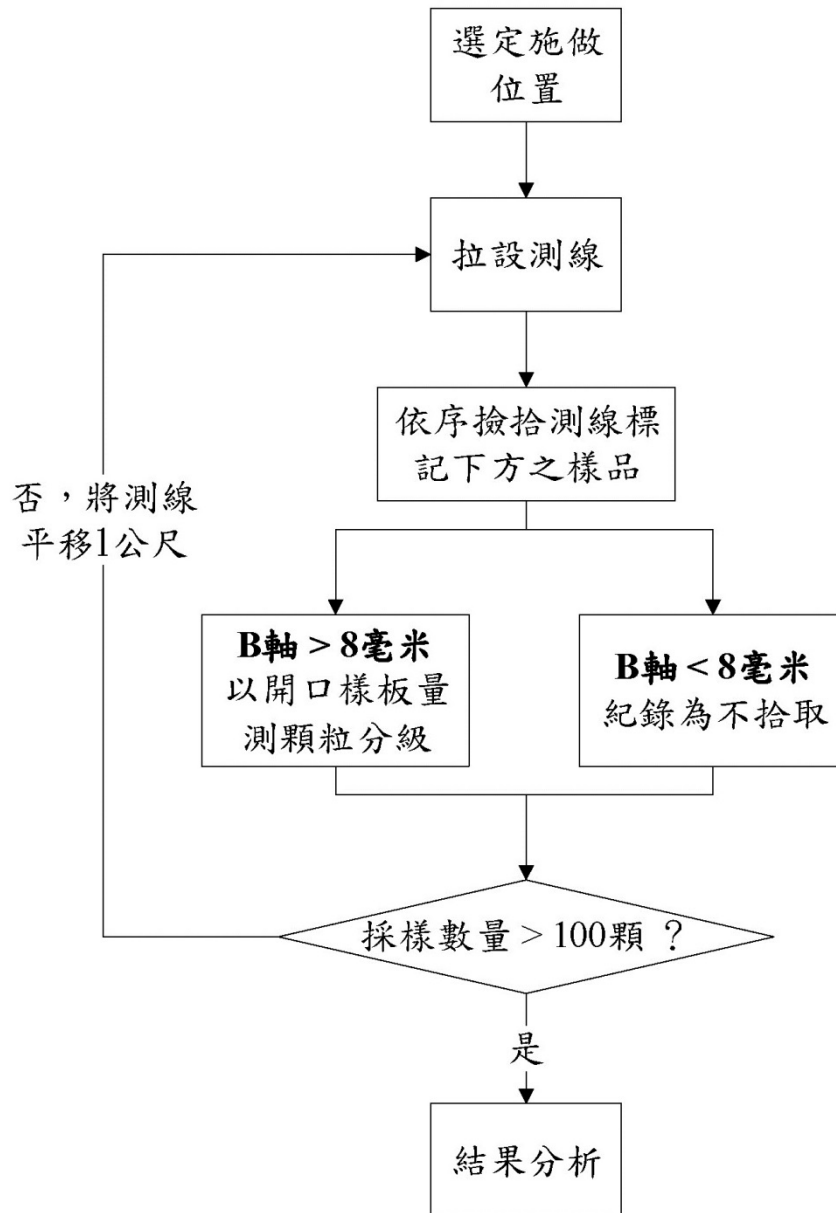
資料來源：Wohl et al., 1996.

圖 2-1.3 等間距步伐採樣與採樣膠帶採樣之差異

水土保持技術規範中第三十七條所述河床質調查方法之表面粒徑調查分析方法說明，茲摘錄如下：

1. 每 500 m 至少取一處為調查之主斷面，再於主斷面上、下游每間距 10 m，另取 2 個副斷面，合計共 5 個斷面。
2. 每一個斷面以等間隔(或整數距離)之測點，量測在該測點上之泥砂粒徑，每一個斷面以不少於 5 個測點，測點之間隔不得超過 5 m。
3. 每一測點量測 10 cm 以上之粒徑，依統計資料繪製粒徑分佈曲線

另依據河床質調查作業參考手冊，網格法採樣作業流程如圖 2-1.4 所示，作業程序說明茲摘錄如下：



資料來源：「河床質調查方法之比較研究」，(2006)。

圖 2-1.4 網格法採樣作業流程

- 1.設備：採樣繩、開口樣版、捲尺、工作手套、採樣記錄表、筆、照相機、GPS。
- 2.人員：2 人一組。
- 3.選定採樣位置，進行放樣，以噴漆或其他方式標示採樣範圍。
- 4.決定採樣間距，以 1~2 倍 $D_{\max}$ ，同一顆粒不重複採樣為原則。於採樣繩上依據採樣間距做記號標示，採樣繩（圖 2-1.5）的材質需使用剛性較佳之材質，可降低伸縮性而避免操縱上的誤差。



圖 2-1.5 採樣繩(採樣標記間隔為 1 公尺)

- 5.於灘地或砂洲時，在採樣位置上開始拉設採樣繩，採樣樣繩之放置方向以平行河流流向為準，並固定由左岸往右岸方向施作，固定之採樣順序可降低施做過程產生之誤差，測線之分佈依據現地可施做區域進行調整，以組成矩形或方形區域為佳；建議各網格法測線之組合採用相同形狀，以降低後續試驗結果比較之變異性。
- 6.放置好採樣繩即開始由上游方向往下游方向撿拾採樣繩標記正下方之樣品。
- 7.將拾取之樣品以開口樣板(圖 2-1.6)進行樣品粒徑分級並紀錄各取樣繩標記下樣品之粒徑大小，當標記下之樣品粒徑尺寸小於 8 毫米時則不取樣，並在紀錄表(表 2-1.2)上將該位置之樣品以「 $\times$ 」紀錄之，同一測線樣品採樣完成後平移測線至下一個測線位置，繼續採樣直至收集數量超過 100 個後，該測線即為最後一條測線。

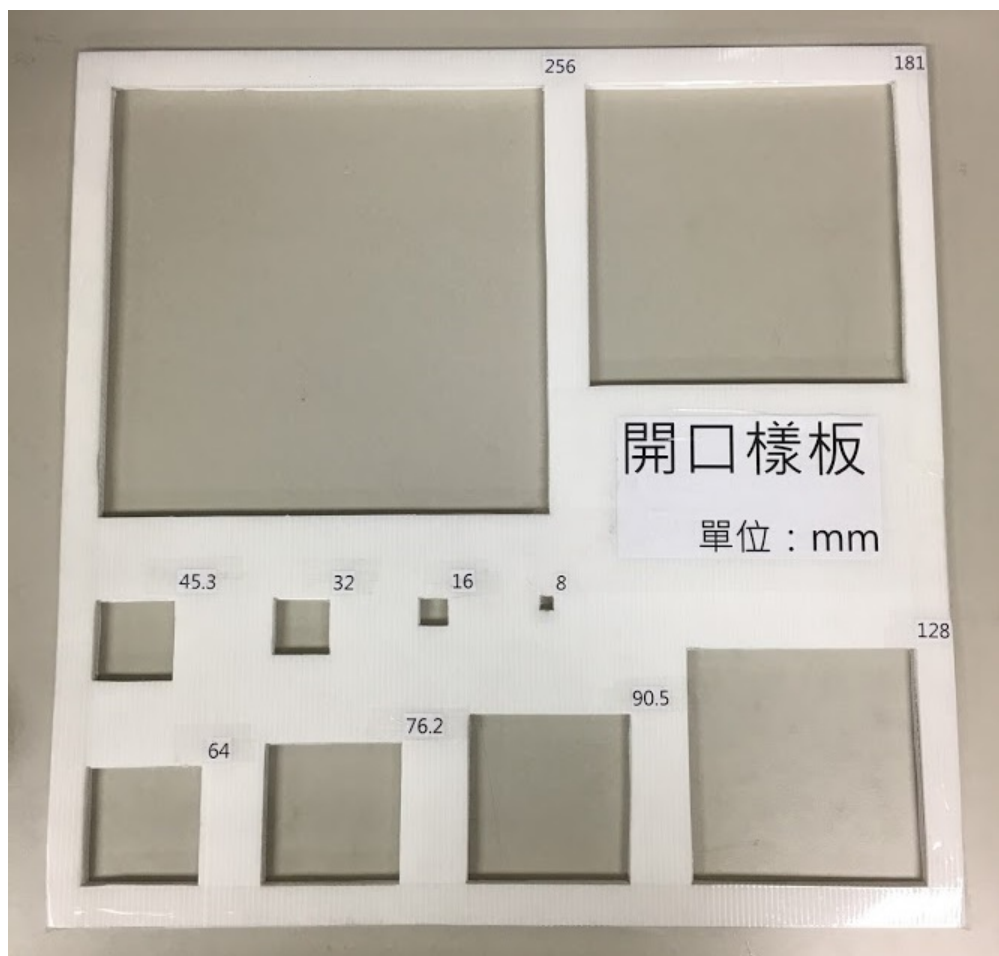


圖 2-1.6 開口樣板

表 2-1.2 網格法現場採樣記錄表

施作位置		編號								日期		天候				
測線 位置	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	座標 TM2_97	X	Y		
	施做位置描述															
1																
2																
3																
4																
5																
小 計																
6												512	362	256	181	128
7																
8																
9												90.5	76.2	64	45.3	32
10																
11																
12												16	8	未拾取		
13																
14																
15												調查單位				
16												調查人員				

- 8.開口樣板最大中值粒徑為 256 毫米，但由於實際現地可能有許多中值粒徑超過 256 毫米之巨礫，所以粒徑上限可增加 362 毫米以及 512 毫米兩個級別，由於巨礫不易以開口樣版加以量測，所以採用 B 軸量測方式加以記錄並納入後續粒徑分析中。
- 9.當施做完該組網格法後，於該網格法範圍中間處進行 GPS 定位，並拍攝該網格法施作範圍內之照片。
- 10.由以上步驟進行即可完成一組網格法之試驗，現場試驗後再將紀錄之數據帶回室內進行分析並繪製粒徑分布曲線圖即可完成試驗。
- 11.網格法分析之方式是以各粒徑撿拾數量為基礎。

註：於淺水地區施做網格法時，由於採樣繩會受到水流帶動，所以涉水時可改採用步伐測距方式施做，撿拾每一步伐腳尖碰觸到之樣品。

第二節 現場調查成果說明

本計畫於民國 108 年 6 月進行河床表層粒徑現場調查，調查地點位於高雄市六龜區寶來里寶來大橋下游約 1.6 公里處之荖濃溪河床，共設置 20 個調查樣區，樣區分布如圖 2-2.1 所示，河床表層粒徑現場調查成果統計如表 2-2.1。

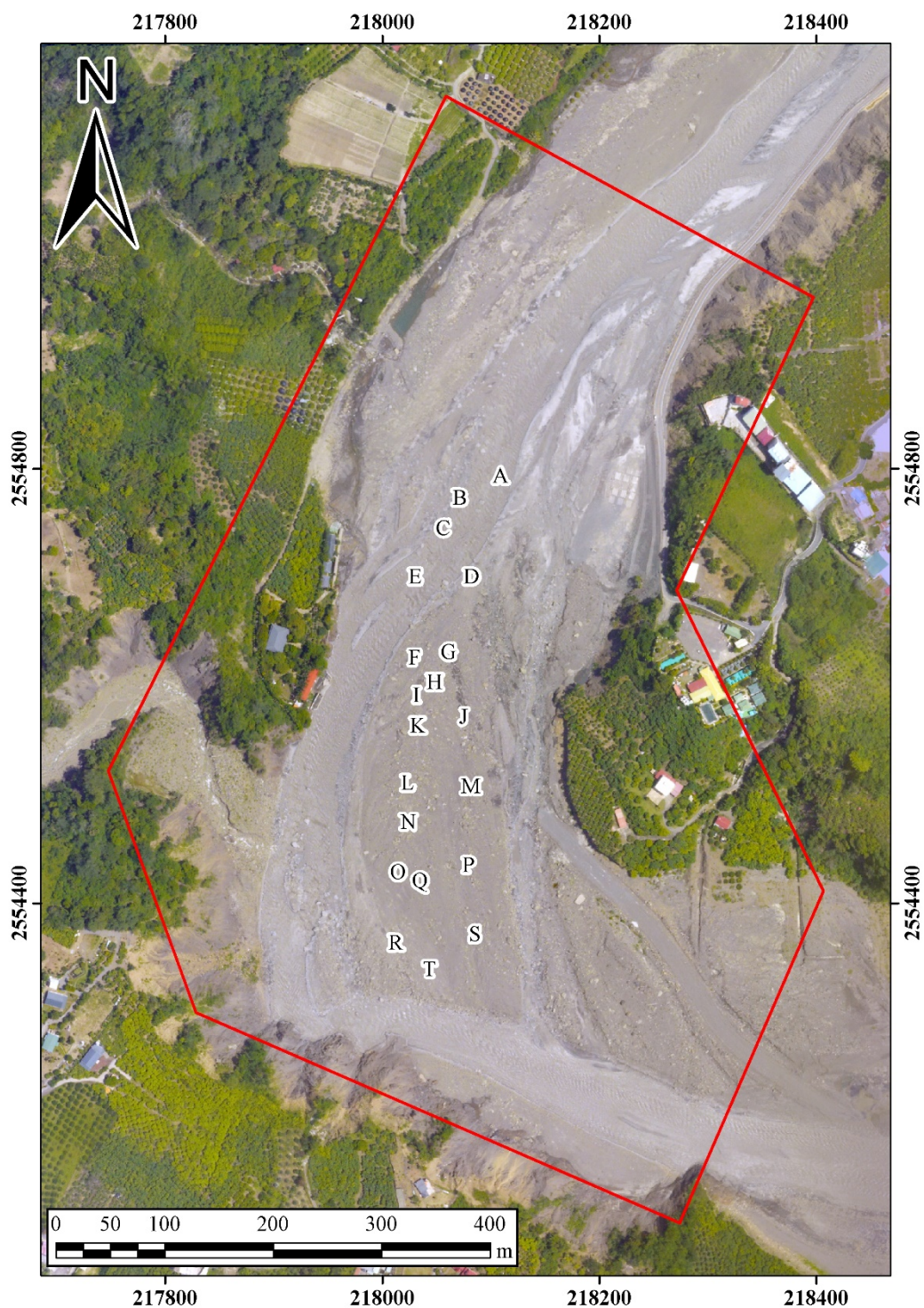


圖 2-2.1 河床表層粒徑現場調查樣區分布圖

樣區設置程序說明如下：

1. 先期作業：選定及繪製預設樣區位置，如圖 2-2.2。
2. 現場利用 GPS 定位，確認預設樣區於河床上之位置。
3. 樣區四個角落，拉起邊繩並釘下定位釘，如圖 2-2.3 所示。
4. 利用噴漆於樣區四角落，噴塗樣編號與標記，如圖 2-2.4。
5. 記錄樣區四角 GPS 數值，除直接從 UAV 影像上找尋樣區邊繩範圍外，亦可藉由四角 GPS 定位樣區位置。



圖 2-2.2 河床表層粒徑現場調查預設樣區分布圖



圖 2-2.3 河床表層粒徑現場調查樣區設置圖



圖 2-2.4 河床表層粒徑現場調查樣區標記與定位圖



圖 2-2.5 河床表層粒徑現場調查作業圖

表 2-2.1 河床表層粒徑現場調查成果統計表(1/2)

粒徑分級 (mm)	樣區										累積過篩百分比 (%)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
512					100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
362			100.00	100.00	98.63	99.03	96.30	96.84	93.81	98.08	
256	100.00	100.00	98.90	96.39	98.63	93.20	87.04	96.84	83.19	86.54	
181	93.62	96.59	89.01	93.98	95.89	88.35	72.22	86.32	60.18	59.62	
128	82.98	76.14	76.92	74.70	87.67	83.50	64.81	78.95	34.51	42.31	
90.5	77.66	64.77	68.13	61.45	79.45	75.73	51.85	67.37	23.89	32.69	
76.2	74.47	63.64	47.25	60.24	65.75	65.05	42.59	58.95	18.58	26.92	
64	57.45	40.91	28.57	48.19	43.84	49.51	25.93	33.68	7.08	15.38	
45.3	38.30	20.45	13.19	28.92	26.03	31.07	14.81	17.89	2.65	7.69	
32	19.15	2.27	5.49	10.84	10.96	16.50	11.11	10.53	0.88	1.92	
16	3.19	0.00	0.00	2.41	5.48	2.91	5.56	3.16	0.00	1.92	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

表 2-2.1 河床表層粒徑現場調查成果統計表(2/2)

粒徑分級 (mm)	樣區										累積 過篩 百分比 (%)
	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
512	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
362	86.67	89.76	95.83	82.93	91.09	98.26	93.57	88.75	98.68	100.00	
256	71.43	78.74	75.00	67.48	74.26	88.70	87.86	73.75	93.42	99.36	
181	58.10	70.87	58.33	57.72	59.41	74.78	85.00	61.25	89.47	98.73	
128	38.10	59.84	43.75	52.03	51.49	57.39	79.29	51.25	80.26	96.82	
90.5	27.62	54.33	29.17	47.15	49.50	44.35	72.14	46.25	57.89	96.18	
76.2	17.14	46.46	25.00	43.90	45.54	30.43	62.86	41.88	47.37	94.27	
64	6.67	32.28	18.75	37.40	44.55	12.17	44.29	31.88	23.68	89.17	
45.3	5.71	29.13	12.50	36.59	40.59	2.61	28.57	26.25	11.84	71.97	
32	2.86	17.32	8.33	19.51	23.76	1.74	24.29	16.88	1.32	48.41	
16	0.95	10.24	2.08	11.38	18.81	0.87	16.43	8.13	0.00	37.58	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

第三節 調查樣區粒徑特性分類

本計畫進一步依據粒徑級配及顆粒尺寸特性針對 20 處調查樣區分類，其中均勻係數(Coefficient of uniformity)定義如下：

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

當 C_u 介於 1 ~ 4 時為均勻土壤(Uniform soil)； C_u 介於 5 ~ 8 時為級配好之土壤(Graded soil)； C_u 大於或等於 9 為級配良好之土壤(Well-graded soil)。基於現地粒徑調查對象主要為卵礫石，因此進一步以 D_{50} 為參考值，依據美國州際公路及運輸標準(AASHTO)及美國統一土壤分類法(USCS)之卵石(Cobble)及礫石(Gravel)區分標準(3 inch, 76.2mm)，將同樣屬於均勻土壤之樣區進一步分為均勻粗顆粒(Uniform coarse soil)及均勻細顆粒(Uniform fine soil)兩類。調查樣區粒徑特性分類結果如表 2-3.1 所示，其中屬於均勻細顆粒類別：A、B、C、D、F、H、T；均勻粗顆粒類別：E、G、I、J、K、P、S；級配好類別：L、M、Q；級配良好類別：N、O、R。

表 2-3.1 調查樣區粒徑特性分類結果

樣區代號	$D_{60}(\text{mm})$	$D_{50}(\text{mm})$	$D_{30}(\text{mm})$	$D_{10}(\text{mm})$	C_u	分群名稱
A	66	57	40	23	2.88	Uniform fine
B	74	69	54	38	1.97	Uniform fine
C	85	74	65	40	2.13	Uniform fine
D	76	66	46	30	2.50	Uniform fine
E	87	80	67	43	2.02	Uniform coarse
F	72	64	44	24	2.97	Uniform fine
G	114	88	67	29	3.96	Uniform coarse
H	78	72	60	31	2.53	Uniform fine
I	181	160	112	67	2.69	Uniform coarse
J	182	152	84	51	3.58	Uniform coarse
K	192	160	99	68	2.82	Uniform coarse
L	126	83	50	16	7.95	Graded
M	189	151	93	37	5.05	Graded
N	199	112	40	15	13.21	Well-graded
O	184	100	37	12	15.02	Well-graded
P	136	107	76	60	2.28	Uniform coarse
Q	74	68	47	13	5.78	Graded
R	174	119	58	18	9.46	Well-graded
S	94	80	67	43	2.19	Uniform coarse
T	39	33	14	10	3.81	Uniform fine

第三章 無人載具 UAV 航拍

第一節 無人飛行載具介紹

無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 或稱無人飛機系統 (Unmanned Aircraft System, UAS)，最早運用於軍事用途上，近年來也逐漸推廣到民間或政府的相關研究上。現在 UAV 整合了 GPS、慣性導航系統 (Inertial Navigation System, INS)，操控方式能夠由手動操控變為自動駕駛，大幅降低整體操控的難度，並且增加了飛行安全性與穩定性，使得所拍攝的影像更加清楚。

目前市面上有許多種無人飛行載具，從外觀與飛行特性可分為定翼型與旋翼型。旋翼型又分單旋翼系統與多旋翼系統。定翼型的 UAV 續航力比旋翼型好、飛行穩定性較佳，可拍攝的範圍較廣，但起降時需要有一定空間限制。旋翼型則可垂直起降，較容易學習操控，具有較高的機動性，還具備有停懸能力，適合小範圍定點拍攝，各具應用特色。旋翼型又可以分為單翼與多翼，單翼直升機 (圖 3-1.1(a))，為一個水平旋翼旋轉產生上升力帶動飛行的飛行器，其擁有載重量大、能垂直起降與定點旋停之優點，但有耗電 (油) 量大、航行速度慢、自動飛行技術不純熟與操控較不易之限制。多翼型具有兩個以上之旋翼 (圖 3-1.1(b))，雖載重量較小卻有著直升機的優點，且操縱難度較低、自動飛行技術較純熟。在緊急情況下，若發生部份動力失效或斷槳的情形下，現今的飛控系統可自行修正飛行姿態，因此現今也發展了許多種多軸旋翼型無人飛行載具。



(a)單翼型無人飛行載具



(b)(六軸)多旋翼型無人飛行載具

圖 3-1.1 無人飛行載具-旋翼型

考量本計畫之拍攝需求，主要位於山區河床，需針對拍攝範圍定點滯空，因此本計畫使用可搭載較高階相機之多旋翼型無人飛行載具 Microdrones MD4-1000 (如圖 3-1.2)，搭載 SONY QX1 APSC 等級片幅相機，表 3-1.1 為 MD4-1000 飛行載具基本資料。



圖 3-1.2 多旋翼型無人載具 Microdrones MD4-1000 外觀

表 3-1.1 Microdrones MD4-1000 無人飛行載具基本資料

機身尺寸	1.03m(對角機電軸距)，展開直徑：1750mm，儲存直徑：700mm
最大荷載	1200g (2000g)
機身自重	2650g
最大起飛重量	5550g (6500g)
飛行時間	約 25-30 分鐘 (空載時 ≥ 75 分鐘，800g 任務載重時 ≥ 42 分鐘，2000g 任務載重時： ≥ 20 分鐘)
最大巡航速度	12m/s
最大爬升速率	7.0m/s
抗風情況	12m/s
工作海拔	達 4000m 以上
遙控距離	5000m
環境溫度	-30℃~55℃
相對飛行高度	≥ 1000 m
抗雨能力	防水等級 IP3，可在暴雨 (24 小時降雨量 50.0~99.9 毫米) 下可持續安全飛行
抗強電場干擾能力	距離 220kV 高壓輸電線 3 米距離時，飛行器控制、通訊線路不受影響
飛行半徑	≥ 5000 m

第二節 UAV 航拍任務規劃

無人飛行載具使用專用航線規劃軟體(圖 3-2.1)，設計拍攝範圍與生成航線，能調整像片前後與左右重疊度需求、飛行高度與速度、相機拍攝狀態等，亦有安全設定如低電壓返航、GPS 收訊遺失、緊急返航、自動降落等緊急狀況之應對與處理方式，亦能在飛行任務途中即時進行任務的修改與航點拖曳等安全與方便之功能，於飛行任務中所有飛行狀況包括速度、電壓、姿態等情況等資訊能即時傳送回地面站進行監控。飛行手由熟悉該 UAV 飛行特性者操控起飛及降落，也能使用 GPS 導航自動模式執行航線任務，在自動模式時隨時注意 UAV 飛行狀態以便緊急狀況轉換為手動控制，每趟任務結束於現場初步比對拍攝相片數量與品質，確保資料內容取得完整。航線規劃設計之要點為目標區域地形，地形高程影響無人飛行載具飛行航高，因此航高與安全性的搭配取捨尤其重要。航線規劃地圖資料來源為 Google map，其中難免有地形高程的錯誤，所有飛行高度需經過再三的確認，比對每條飛行航線的航高與地形高度剖面，確保飛行安全。

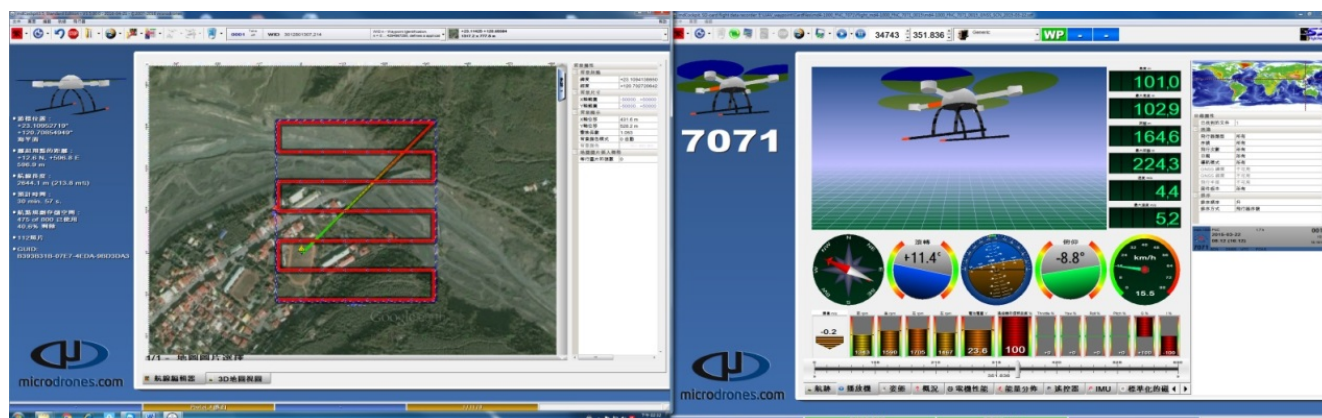


圖 3-2.1 無人機飛航監控及任務規劃程序流程

選定拍攝日期後亦須密切注意天氣狀況，天候狀況也是影響拍攝安全性與成果的重要因素，事前設備的準備與器材狀況都需要經過仔細檢查，到現場周遭環境植生情形與高壓電塔或人工高凸建物等都需再次確認評估。除此之外，現場光線、風向、風速、周邊地形地物狀況與 GPS 接收狀態皆良好狀況下才能執行飛行任務，使整個飛行計畫與測量工作安全順利的進行。圖 3-2.2 為無人飛機航拍規劃程序之完整流程，其中主要有以下要點需考量；圖 3-2.3 為本研究擬定無人飛機航拍規劃拍攝範圍，位於荖濃溪寶來大橋下游，長度約 860 公尺，拍攝範圍同時包含高雄市六龜區寶來里高市 DF073 土石流扇狀地。

- 1.作業範圍與飛行空域：確認作業範圍後，了解作業區之地形地物，以及周邊空域狀況來評估空域的相關作業。
- 2.飛行航線規劃：使用無人機性能、效能、酬載、可飛行時間，另外相機酬載的選用以考量飛行高度與拍攝，以上因素需一併考量，以決定飛行任務之規劃。
- 3.作業目標區天氣狀態變化與交通：天氣狀態的初步觀察跟出勤時間預估，也需初步掌握，以利於任務的時程安排。
- 4.UAV 任務執行：執行 UAV 飛行任務包含任務前準備、現場佈署、任務執行，撤收階段等四項作業，以落實完成飛行任務。

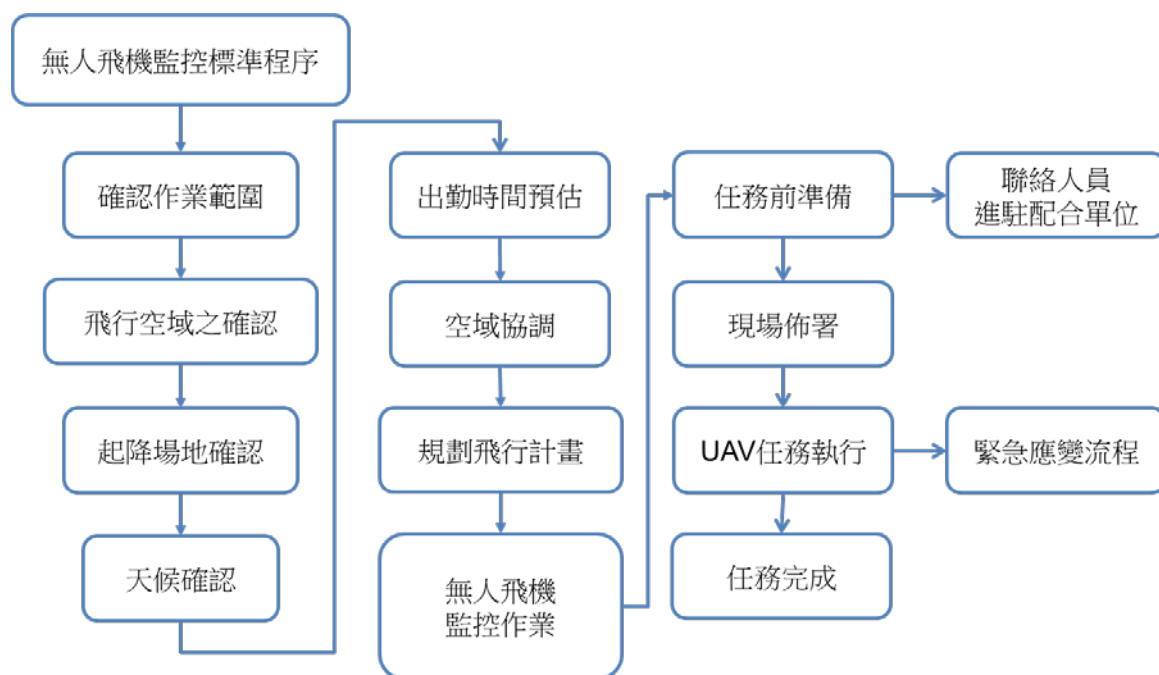


圖 3-2.2 無人飛機航拍規劃程序流程



圖 3-2.3 無人飛機航拍規劃拍攝範圍

第三節 正射影像及三維點雲產製

航空攝影測量即指利用飛行機具上裝載高精密度之攝影器具，在預定的航帶上以特定的高度飛行，針對目標區域來拍攝航空像片，藉由處理航空像片來取得現地的資料。有別於傳統量測方法，需要花費大量的人力、資源及時間到現地進行量測，一些人員機具難以到達的地方，也可以利用航空攝影測量輕易的取得其資訊。人的雙眼之所以能對物體產生立體感及距離感，係因為視差角的關係，航空攝影測量就是利用此原理，以不同之 2D 航空相片，針對相片中相同之涵蓋區域，利用程式進行空中三角計算，修正照相時所產生之誤差，即可產生立體之數值地形模型 (DTM)，並將航空照片進行正射，給予坐標系統。相鄰的兩張航空相片，相同航帶的左右兩張重疊範圍至少需要超過 60%，而相鄰航帶的上下兩張重疊範圍至少超過 25%，相片中只有重疊的部份可以產製三維點雲及數值地形模型。在航空攝影測量中經常提到三種坐標系統：

一、相片坐標系統：

一般在影像的四周會有框標點，而坐標原點通常在相片的中心，利用各框標點來計算相片上各點的點位，為一已知值；內方位參數包含了相機率定參數 (例如框標與像主點之相片座標、焦距、鏡頭畸變率參數等)，如圖 3-3.1 所示，乃是決定由攝影機中心到物點之距離，即為此坐標系統。

二、影像坐標系統：

影像坐標系統是採用像素 (Pixel) 來當作量度單位，一般其坐標原點在左上方，或影像的中心點。

三、地面坐標系統：

即是實境的坐標系統，台灣通常採用 TWD67、TWD97、WGS84；外方位參數即為相機在地面坐標系統上之 X 、 Y 、 Z 值及相機在空中對地面之三方向之轉角 ω 、 ϕ 、 κ ，如圖 3-3.2 所示。

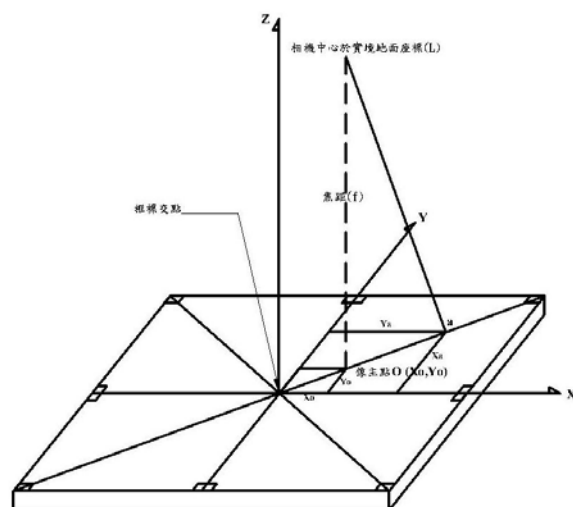


圖 3-3.1 內方位坐標系統示意圖

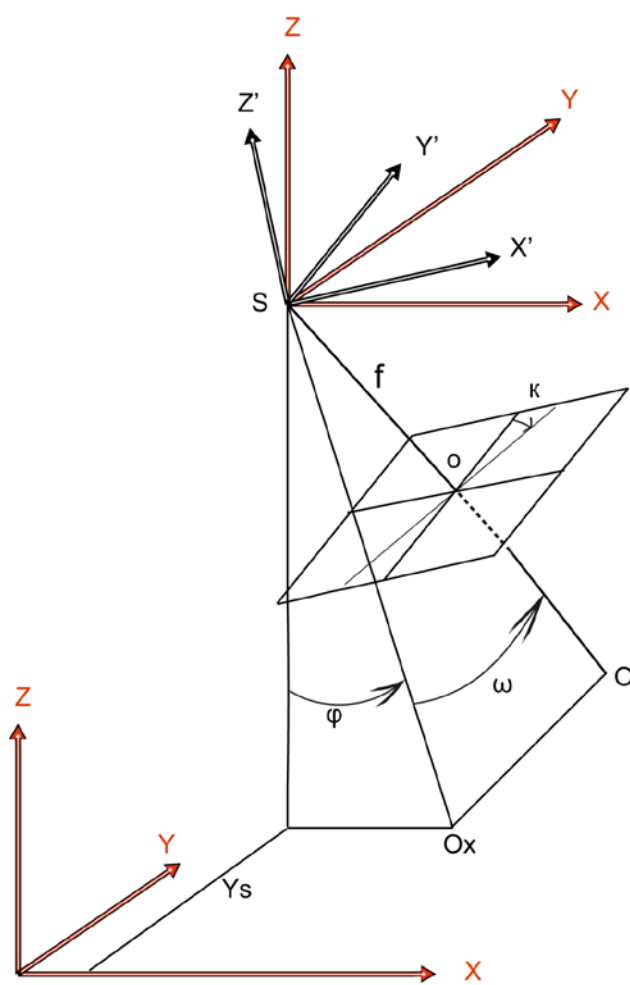


圖 3-3.2 外方位坐標系統示意圖

無人飛行載具在拍攝影像同時也紀錄每張像片拍攝瞬間之位置 (X、Y、Z) 與飛機姿態 (ω 、 φ 、 κ)，省去了傳統航空像片在建置模型時必須先設置相機參數、外方位參數，並花大量時間對照片點選控制點反算出每張照片的位置與姿態角的煩雜步驟。一方面除了節省時間外，也減少了點選控制點時可能造成的人為誤差，在匹配點位眾多情況下甚至會造成人為誤差累積放大。像片與記錄下之位置姿態訊息經過整理，確保每張照片與其對應參數是一致且符合軟體所需的格式。再給予軟體所需訊息，如輸出之坐標系統，與地面控制點位，經由計算匹配並建置出點雲、數值地表模型與正射影像。數值地形模型解析度受原始相片影響，模型解析度可因 UAV 相片重疊度增加提升像片解析度，其正射影像是航空像片經過幾何修正與拼接的真實地表資訊，含有地理資訊座標資訊，看起來就和一般像片相同，方便使用、容易辨識，能依所需在地理資訊系統平台進行疊圖、量測與分析，若配合三維的數值地形模型能進行更多應用。由於正射影像以像片為基礎拼接再修正，像片解析度大大影響了正射影像的細緻度。

點雲(point cloud)為物體表面資訊以點的形式記錄，每個點都含有 X、Y、Z 座標，部份資料並具備顏色、強度等屬性資訊。點雲一詞主要來自於空載光達 (airborne LiDAR) 技術掃瞄地表資訊時產生龐大的數據時，因密集的空間資料點呈雲霧狀而得名。現今因無人載具及影像的普及，透過立體影像對特徵點的匹配，而可以求取匹配點之點位空間位置，從而建立密集的點雲，特徵點匹配如圖 3-3.3 所示。運用密匹配的點雲，再由密點雲分類處理之後，並能進行數值高程模型(Digital elevation model, DEM)的製作。圖 3-3.4 及圖 3-3.5 分別為正射影像及三維點雲之產製流程及產製成果範例。

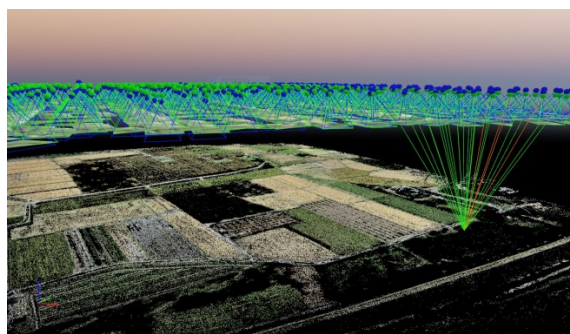
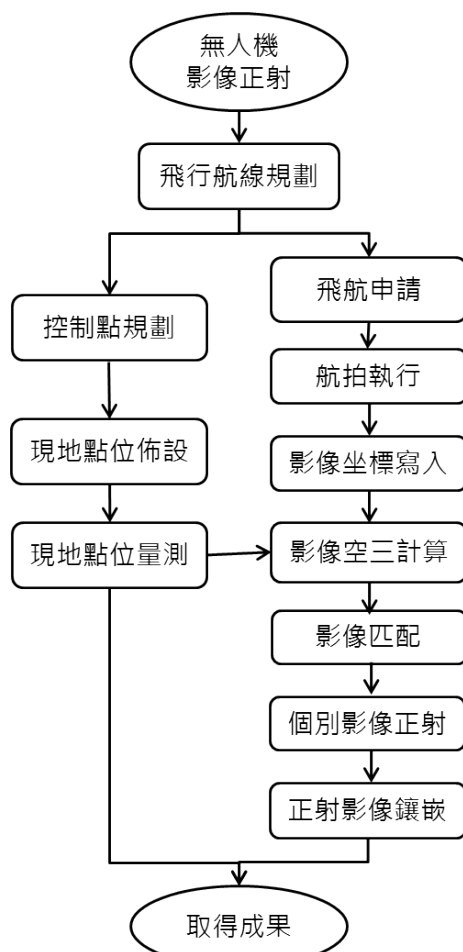
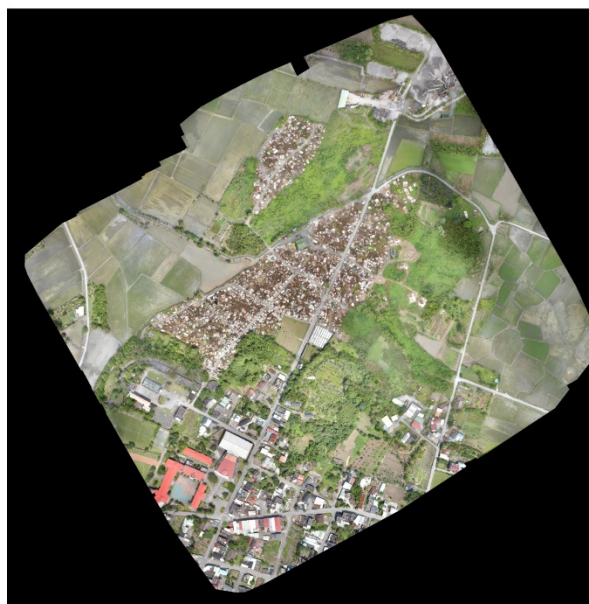


圖 3-3.3 特徵點匹配示意圖

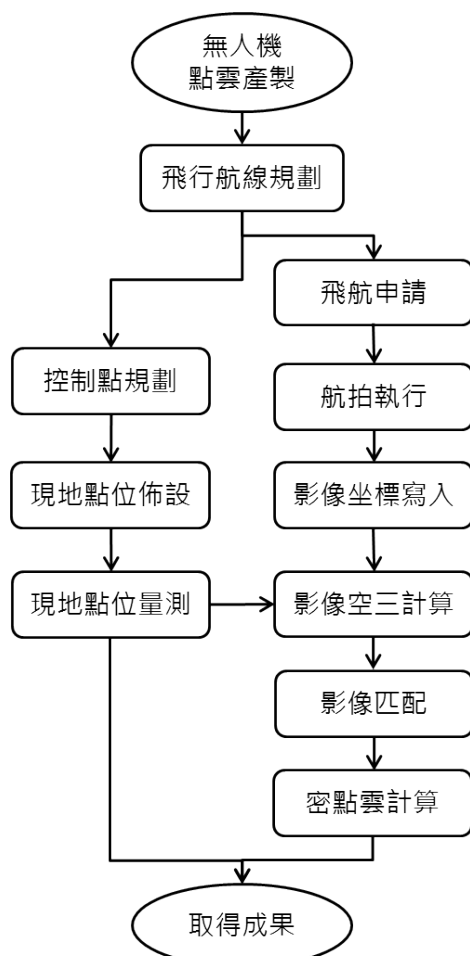


(a) 產製流程



(b) 產製範例

圖 3-3.4 正射影像之產製流程及範例成果



(a) 產製流程



(b) 產製範例

圖 3-3.5 三維點雲之產製流程及範例成果

本研究規劃 5 種不同航高(25 公尺、50 公尺、100 公尺、200 公尺、400 公尺)以便測試粒徑影像判釋軟體的分辨率，不同航高之正射影像產製成果如圖 3-3.6 ~ 3-3.10 所示，影像地面解析度(Ground Sample Distance, GSD)分別為 0.81 公分(航高 25 公尺)、1.62 公分(航高 50 公尺)、2.92 公分(航高 100 公尺)、5.53 公分(航高 200 公尺)、10.77 公分(航高 400 公尺)。

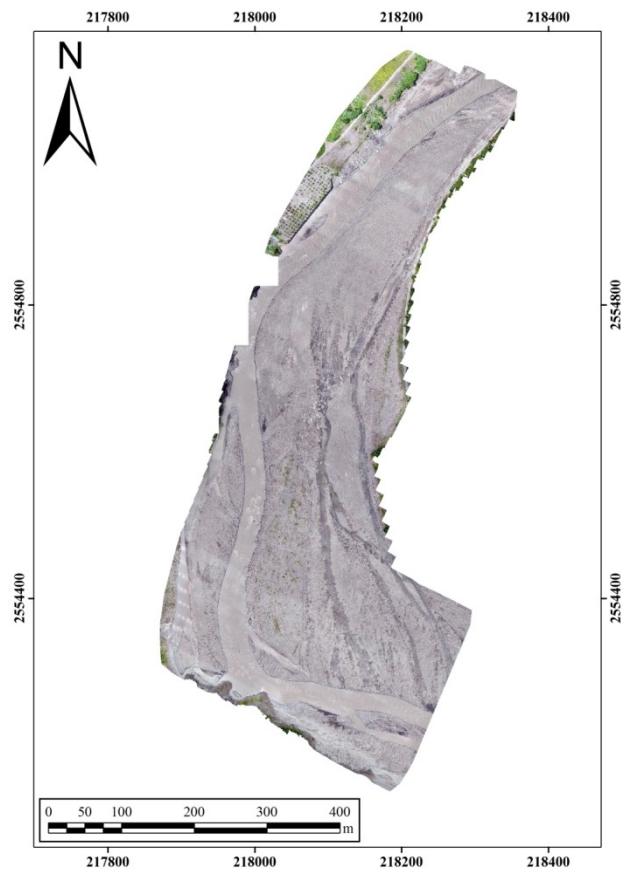


圖 3-3.6 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 25 公尺)



圖 3-3.7 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 50 公尺)



圖 3-3.8 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 100 公尺)



圖 3-3.9 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 200 公尺)



圖 3-3.10 無人飛機航拍正射影像產製成果(航高 400 公尺)

航拍範圍內不同航高之三維點雲基本數據資訊彙整如表 3-3.1，其中航高 25m 產製點雲數量達 1,040,899,409 點，點雲密度每平方公尺約為 4,434 點；航高 400m 產製點雲數量為 57,848,445 點，點雲密度每平方公尺約為 37 點。航拍範圍點雲經 RGB 光譜值著色後之空間分布如圖 3-3.11～圖 3-3.15 所示，圖中顯示，航高差異對點雲空間分布緊密程度有顯著影響，航高較低時，大量密集的點雲覆蓋地表，對於河床表面地貌包含粗顆粒材料資訊應有不錯之詮釋能力。

表 3-3.1 河床航拍範圍三維點雲之基本數據資訊

航高(m)	點雲數量(Pts)	點雲密度(Pts/m ²)
25	1,040,899,409	4,434
50	398,695,441	1,209
100	252,830,668	539
200	135,137,860	160
400	57,848,445	37



圖 3-3.11 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 25 公尺)



圖 3-3.12 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 50 公尺)



圖 3-3.13 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 100 公尺)



圖 3-3.14 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 200 公尺)



圖 3-3.15 河床航拍範圍之三維點雲空間分布(航高 400 公尺)

第四章 粒徑影像判釋

本計畫利用兩套粒徑影像判釋軟體：BASEGRAIN 以及 Digital Gravelometer，針對研究區域進行判釋分析。基本操作程序說明分述如下：

第一節 BASEGRAIN

瑞士蘇黎世聯邦理工學院(ETH Zurich)水利水文及冰河研究室(Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, VAW) 之 M. Detert & V. Weitbrecht 於 2012 年發表之免付費影像判釋軟體 BASEGRAIN 來進行研究區 UAV 航拍正射影像之河床表層粒徑判釋，此軟體係以 MATLAB 為基礎建立之物件導向式分析工具。系統畫面如圖 4-1.1 所示，此軟體基本操作程序說明如下：

- 1.選擇載入預設影像及輸入比例，如圖 4-1.2 所示。
- 2.確認判釋分析範圍，如圖 4-1.3 所示。
- 3.不同影像參數門檻測試，如圖 4-1.4 所示，圖中標示卵礫石顆粒長短軸判釋成果，其中(1)呈現分割不足現象，顆粒區隔度不佳，判釋度不足；(3)則呈現過度分割現象，顆粒過度區隔，判釋過度；(2)則為較合理之判釋成果。
- 4.最佳影像參數之判釋成果，如圖 4-1.5 所示。
- 5.成果輸出可輸出原始資料檔(圖 4-1.6)及粒徑分布圖檔(圖 4-1.7)。

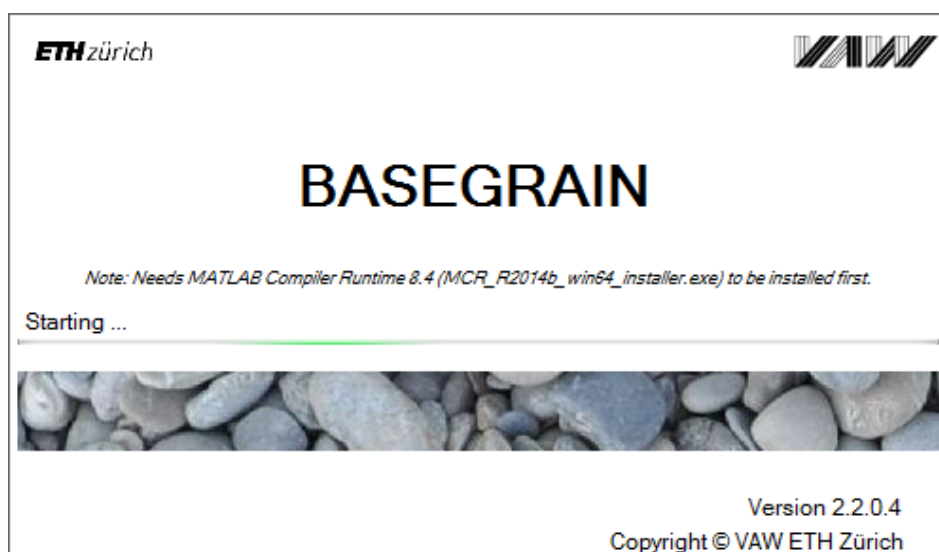


圖 4-1.1 BASEGRAIN 影像判釋軟體系統畫面

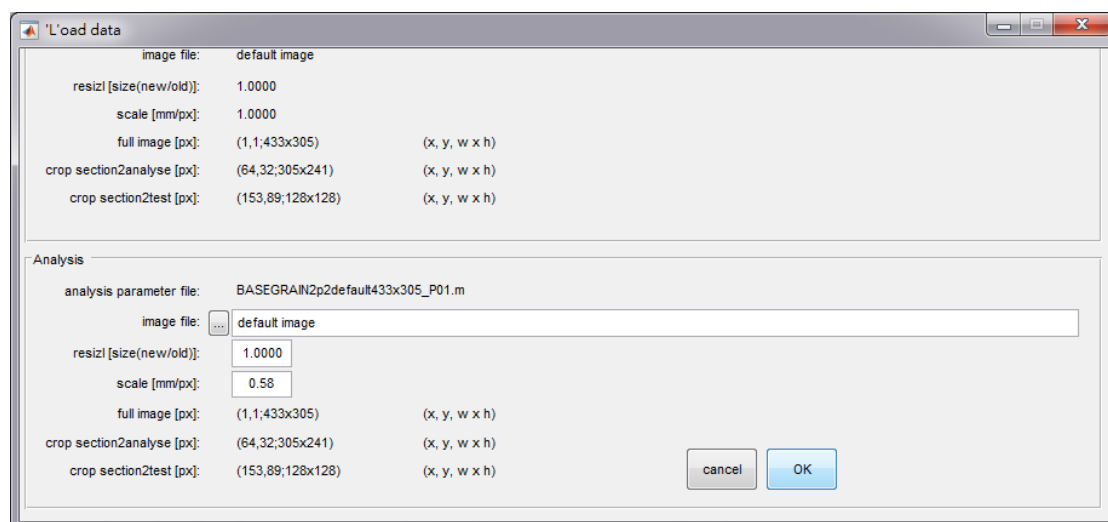


圖 4-1.2 選擇載入預設影像及輸入比例

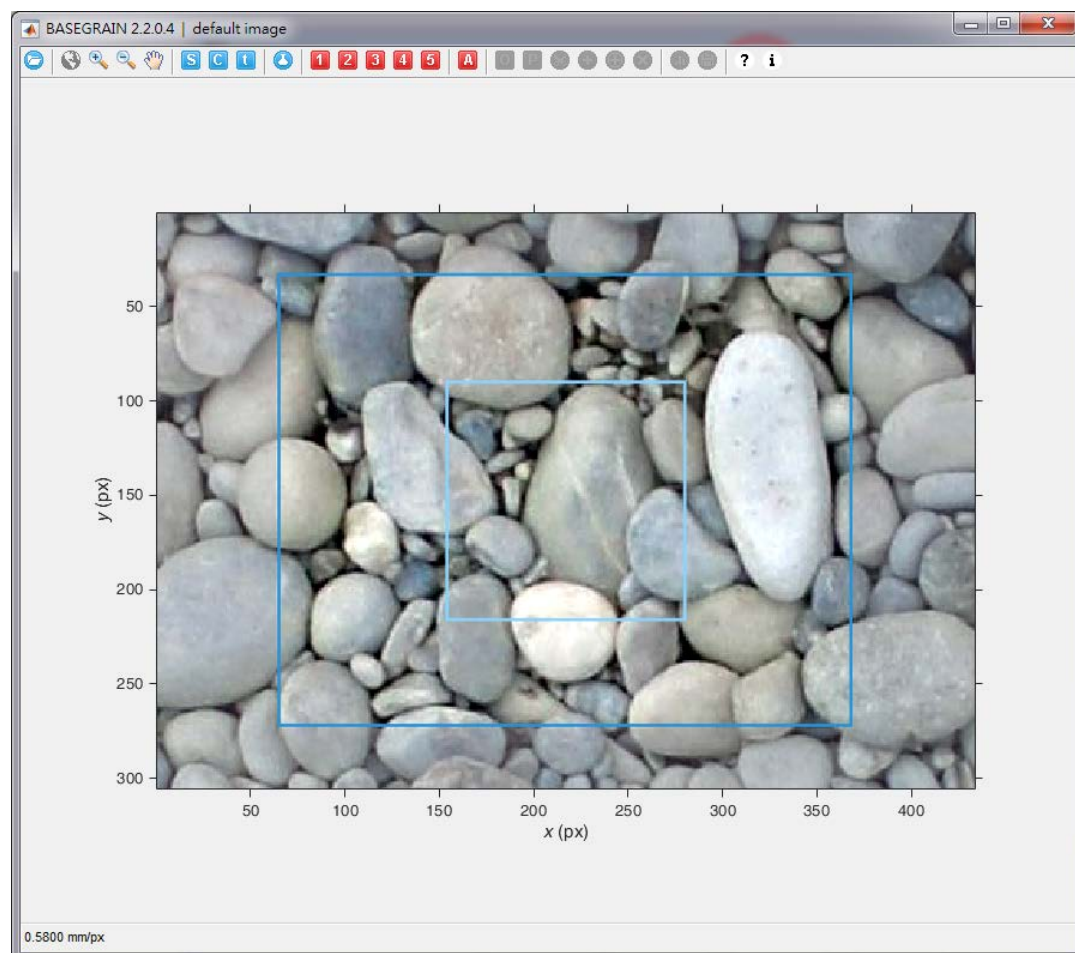


圖 4-1.3 確認粒徑判釋分析範圍

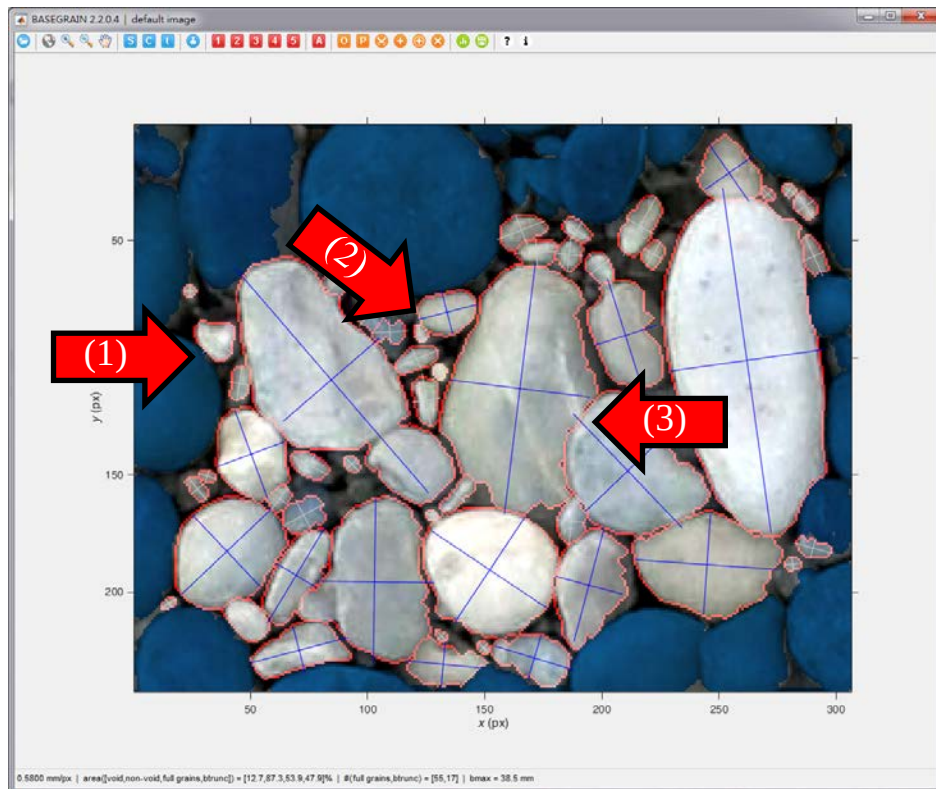


圖 4-1.4 不同影像參數門檻測試成果

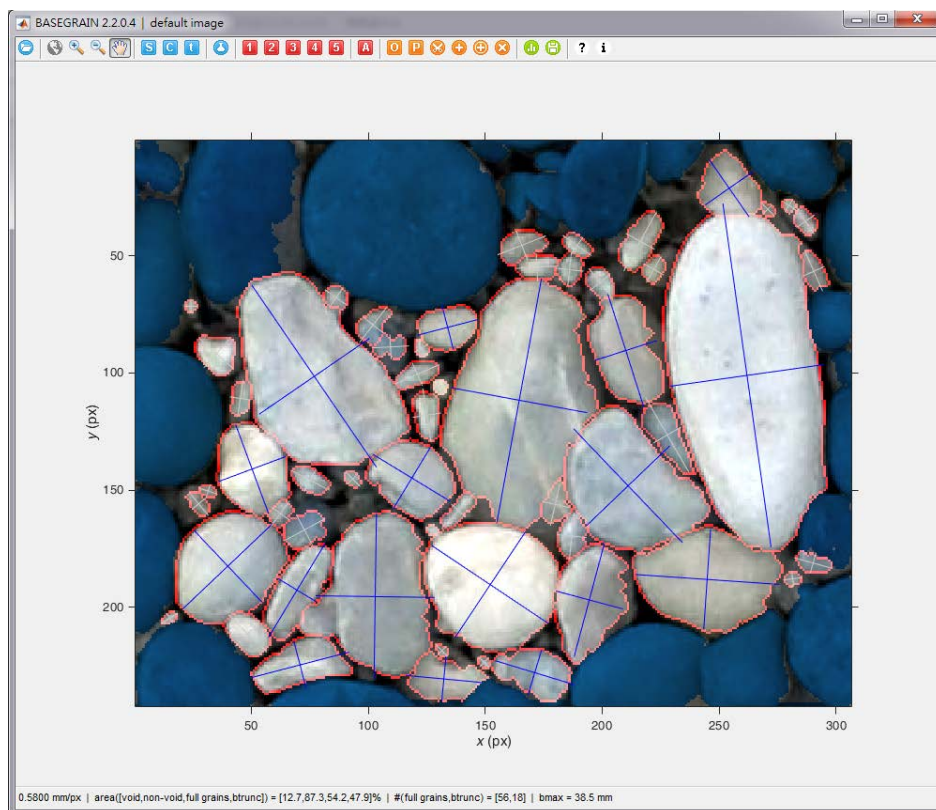


圖 4-1.5 最佳影像參數之判釋成果

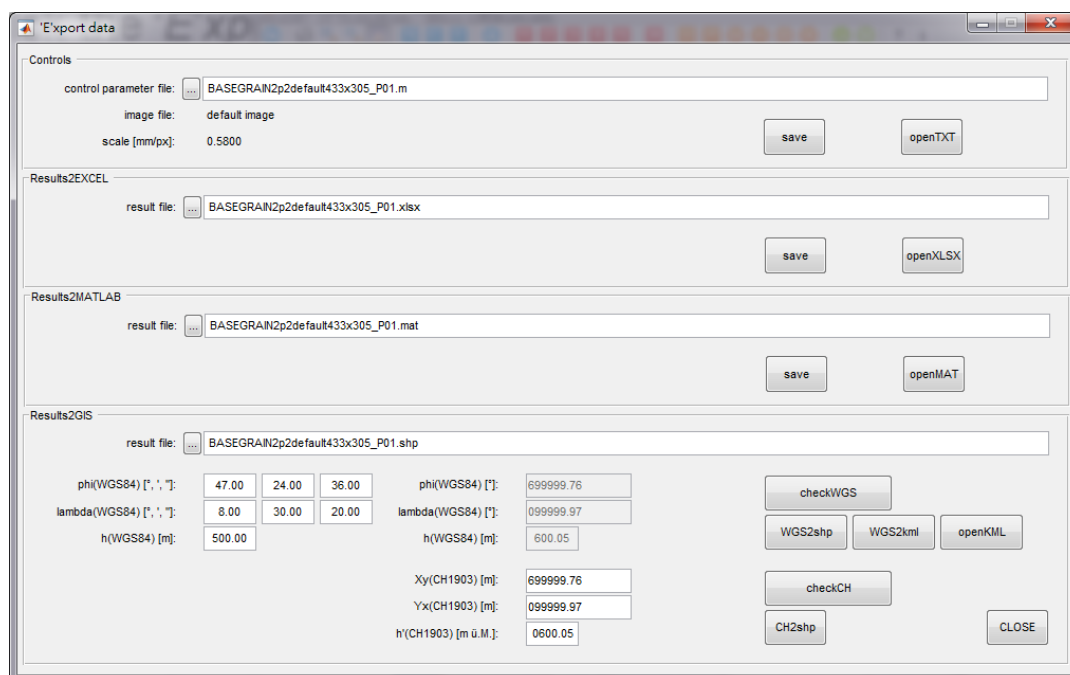


圖 4-1.6 原始資料檔成果輸出

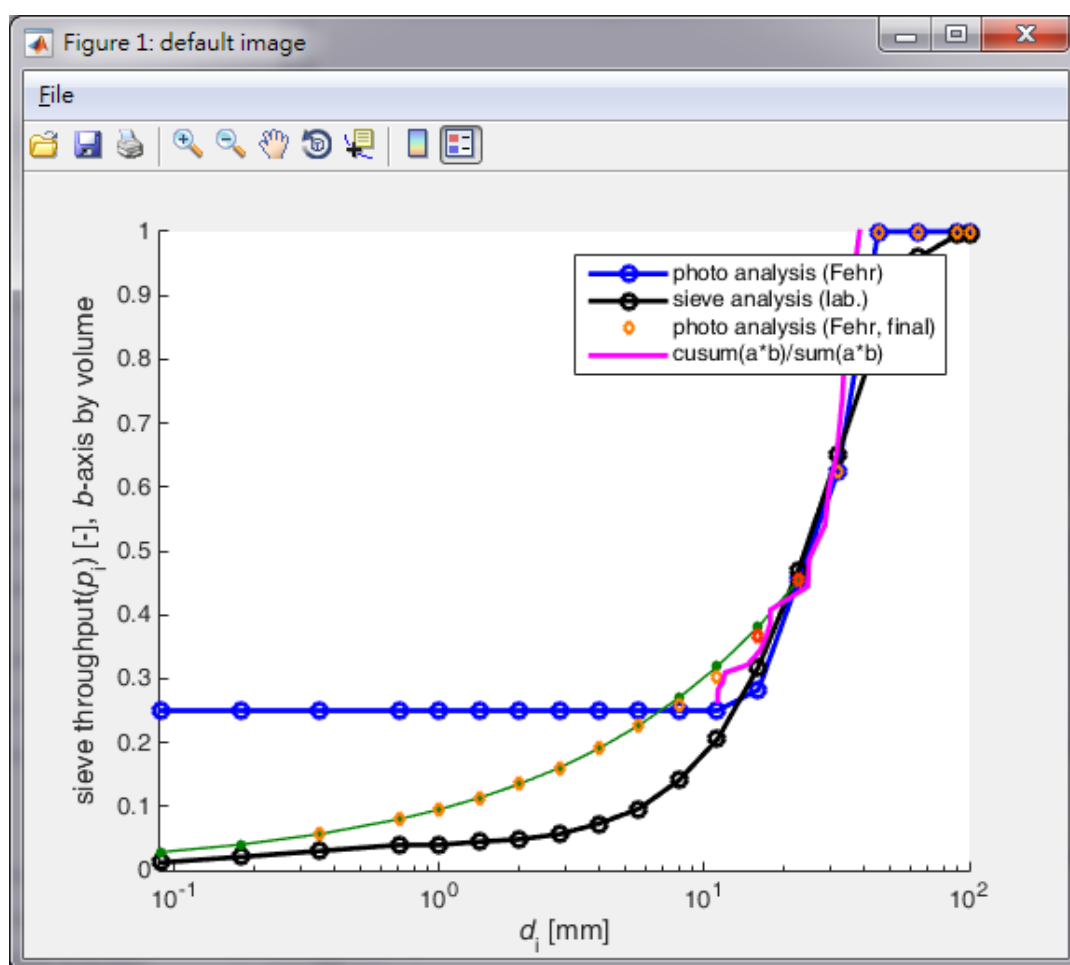


圖 4-1.7 圖檔成果輸出

第二節 Digital Gravelometer

Digital Gravelometer 由英國拉夫堡大學地理系的 David Graham 博士，Ian Reid 教授和 Stephen Rice 博士開發，Digital Gravelometer 能夠從數位影像中，快速地分析礫石沉積物。使用 Digital Gravelometer，可以快速的獲得與使用傳統現地調查測量技術類似的粒徑分布資訊。收集樣本與拍攝數位影像照片只需遵循一些簡單的原則和步驟，除了基本的尺寸分佈參數外，Digital Gravelometer 還可生成自行定義的報告，其中包含大量統計參數以及圖形顆粒尺寸分佈曲線和直方圖，使後續樣本的分析更加快速。系統畫面如圖 4-2.1 所示，此軟體基本操作程序說明如下：

1. 建立一個專案項目，如圖 4-2.2 所示。
2. 選擇載入預設影像及點選四個控制點，如圖 4-2.3 所示。
3. 查看及確認影像相關信息，如圖 4-2.4 所示。
4. 粒徑影像判釋，如圖 4-2.5 所示。
5. 查看粒徑影像判釋報告，如圖 4-2.6 所示。

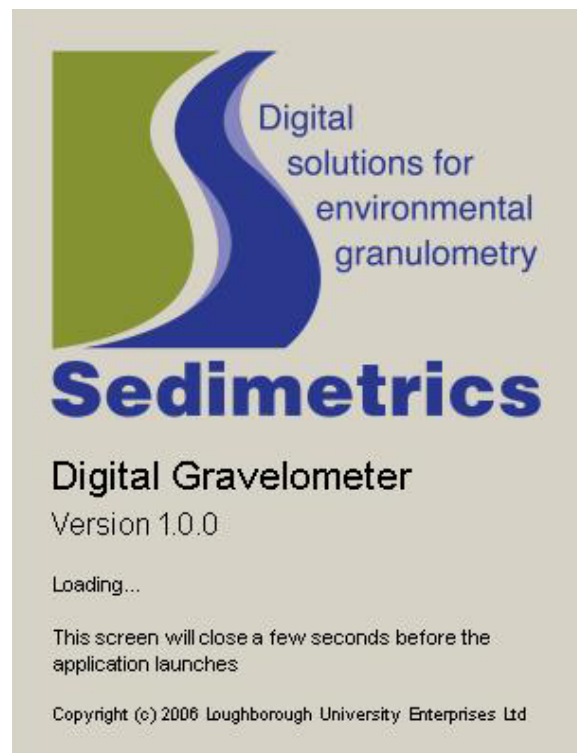


圖 4-2.1 Digital Gravelometer 影像判釋軟體系統畫面

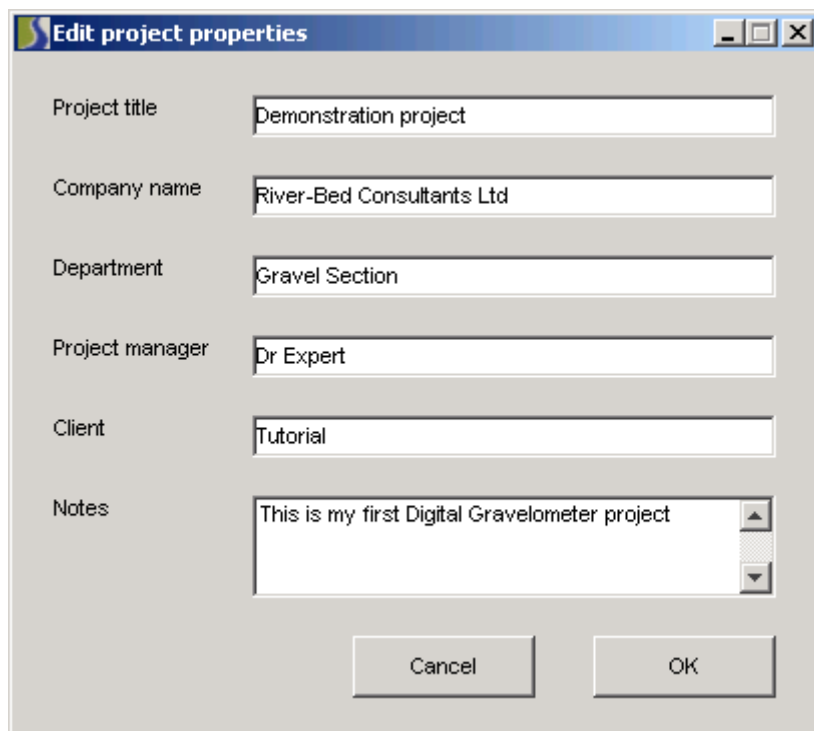


圖 4-2.2 專案項目建立範例畫面

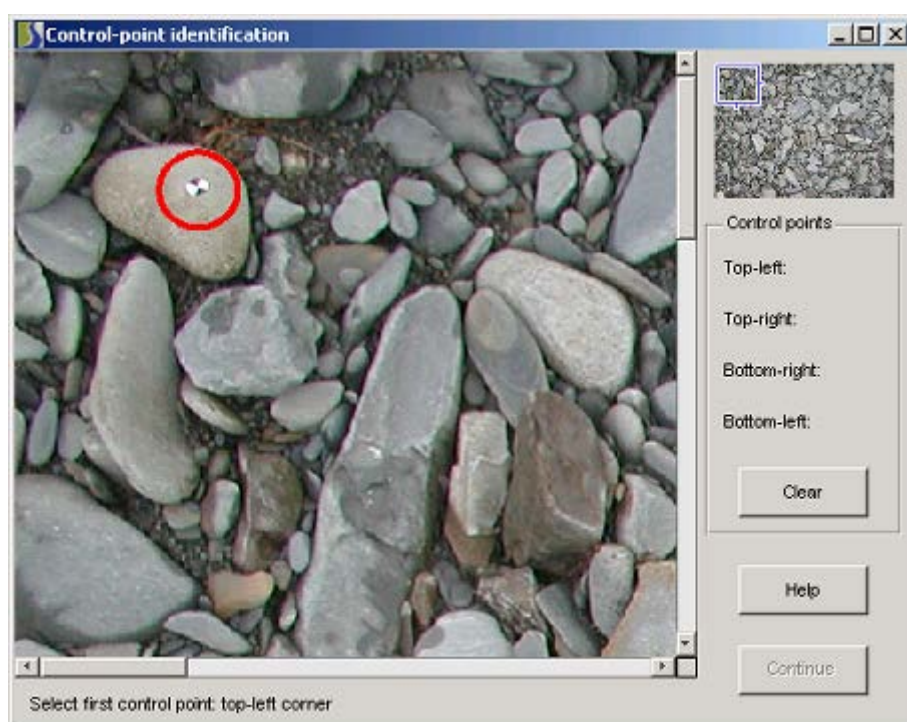


圖 4-2.3 載入預設影像及點選四個控制點

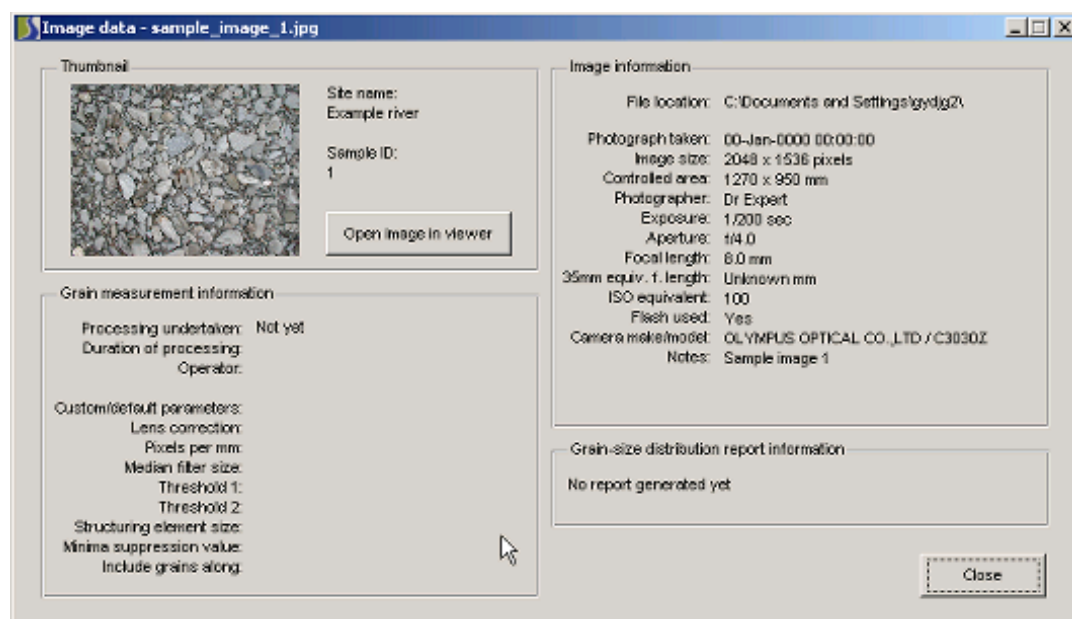
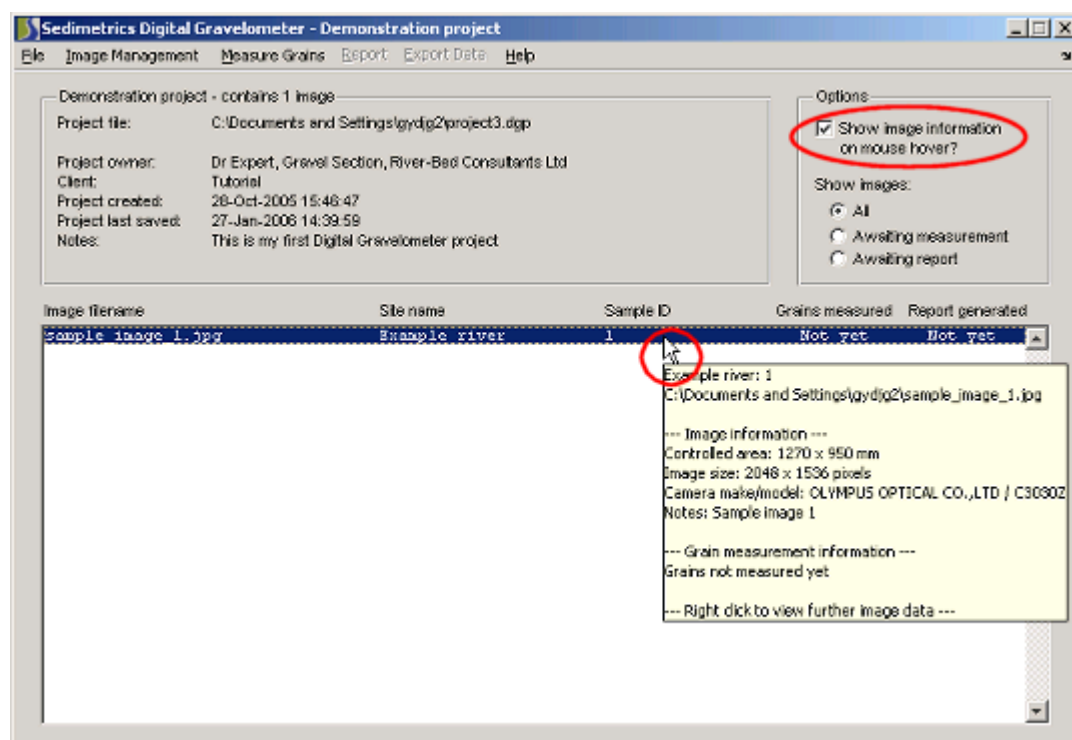


圖 4-2.4 查看及確認影像相關訊息

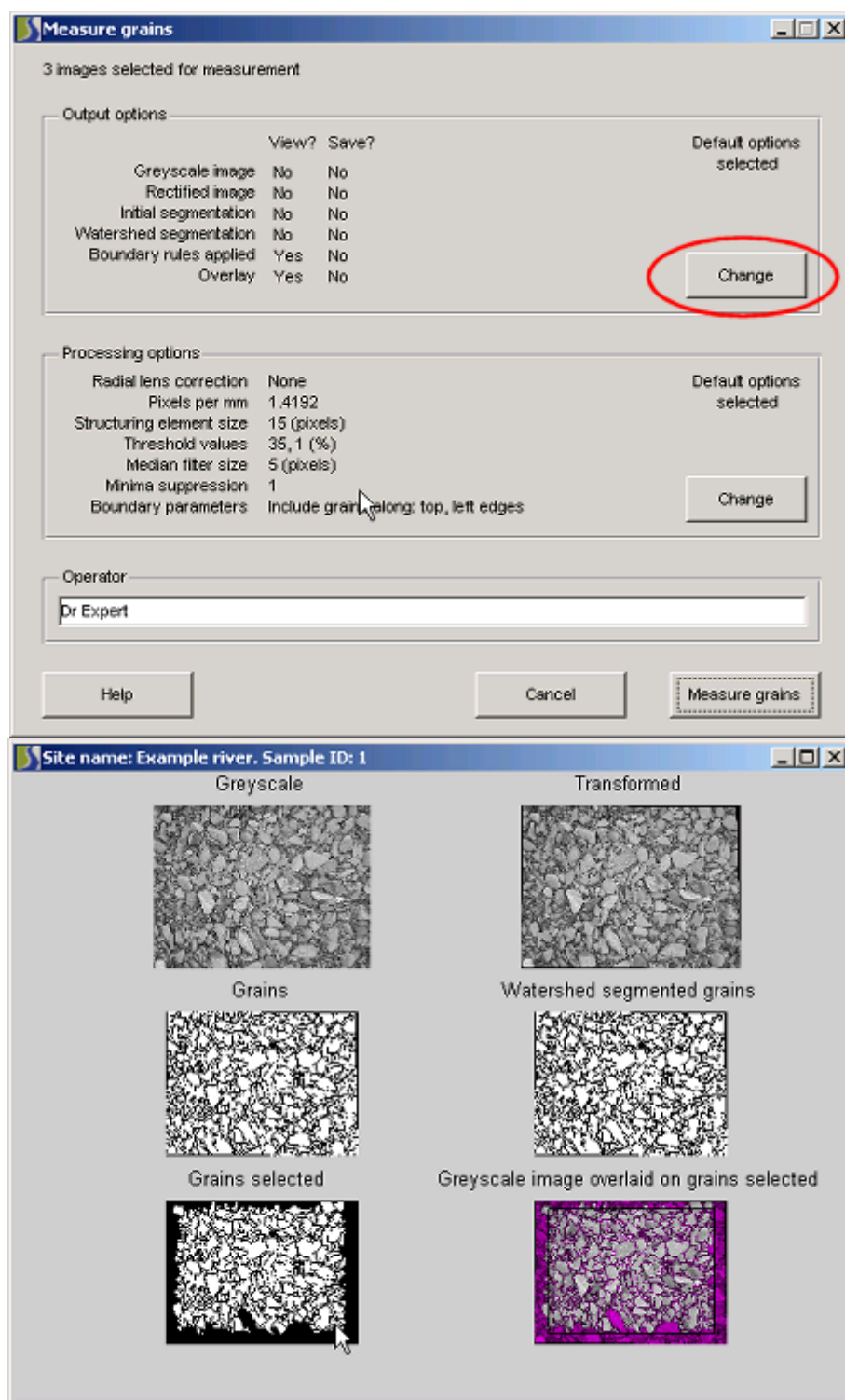


圖 4-2.5 粒徑影像判釋

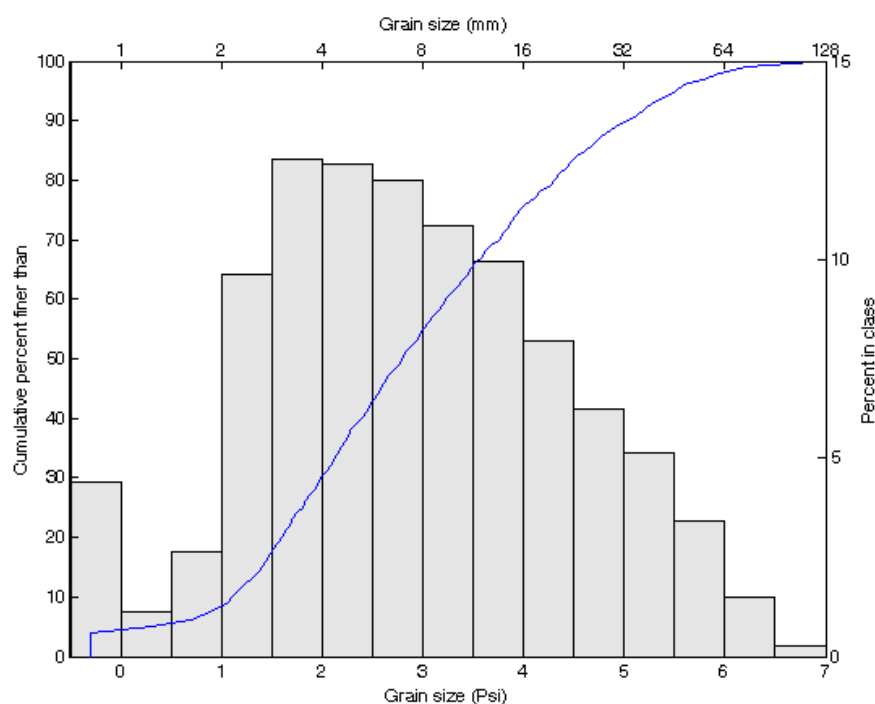
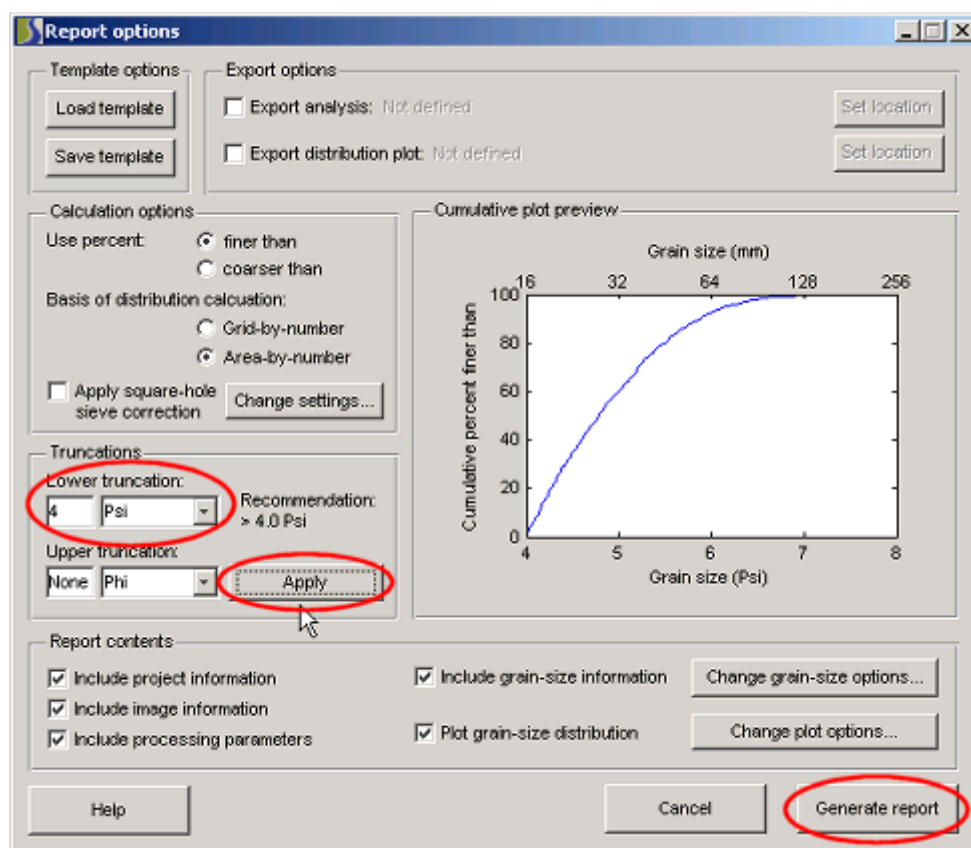


圖 4-2.6 粒徑影像判釋報告

第三節 粒徑影像判釋成果說明

一、樣區影像前處理

無人飛機航拍所產製而成的正射影像，資料格式為網格式影像，在進行粒徑影像軟體判釋之前，需要進行前處理的作業，將正射影像輸出成一般的 JPG 圖片檔，方可將無人飛機航拍成果，輸入至粒徑影像判釋軟體進行判讀，影像判釋前處理流程如圖 4-3.1 所示

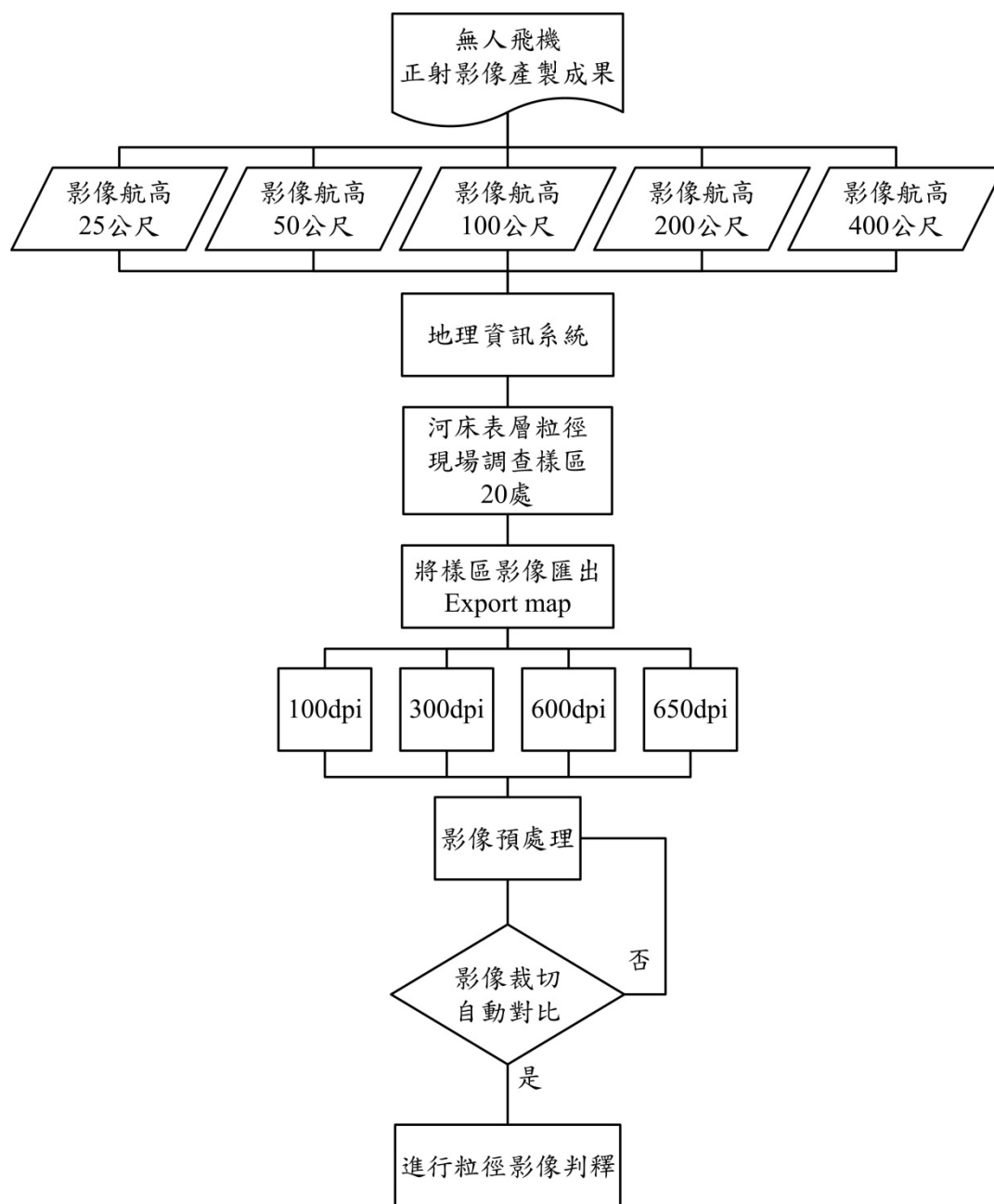


圖 4-3.1 樣區影像前處理流程圖

二、樣區影像匯出條件設定

1. 影像匯出時，不同 dpi 值對影像品質之影響。

dpi (dots per inch，每英寸點數)是一個量度單位，用於點陣數位影像，表示每一英寸長度中，取樣或可顯示或輸出點的數目；截取樣區 A 部分放大影像為例，不同 dpi 匯出的影像如圖 4-3.2 ~ 圖 4-3.5 所示，結果顯示 100 dpi 的影像明顯較其他高 dpi 的影像模糊，而 600 dpi 與 650 dpi 影像，於礫石邊界處相當明確且清晰，因此當影像匯出設定 dpi 值越高時，匯出圖像越細緻。



圖 4-3.2 樣區 A 範例影像(100 dpi)



圖 4-3.3 樣區 A 範例影像(300 dpi)



圖 4-3.4 樣區 A 範例影像(600 dpi)



圖 4-3.5 樣區 A 範例影像(650 dpi)

針對不同 dpi 數值匯出的影像，抽選樣區 A、樣區 E 以及樣區 T，以兩種粒徑影像判釋軟體(BASEGRAIN 與 Digital Gravelometer)，分別進行判釋成果的測試比較分析：

樣區 A，位於荖濃溪主流河道中心的沙洲，是 20 處樣區屬最北側的區位，礫石級配良好，BASEGRAIN 測試成果如圖 4-3.6 所示，其中 100 dpi 因影像解析度較差，導致判釋成果與現地調查結果相去甚遠，而高解析度如 600 dpi 與 650 dpi 則有較佳的匹配；Digital Gravelometer 測試成果如圖 4-3.7，300 dpi 與高解析度 dpi 測試結果較貼近現地調查成果。

樣區 E 靠近荖濃溪主流深槽轉彎流經處，位於河道中心偏右岸的沙洲上，因貼近河道，沙洲富含較多水份，導致沙洲顏色呈現有較多深淺的變化，BASEGRAIN 測試成果如圖 4-3.8 所示，其中 600 dpi 相較於其他影像，有較好的匹配；Digital Gravelometer 測試成果如圖 4-3.9，高解析度 dpi 測試結果較能符合現地調查成果。

樣區 T 位於荖濃溪主流河道中心的灘地，是 20 處樣區屬最南側的區位，BASEGRAIN 測試成果如圖 4-3.10 所示，其中 300 dpi 與高解析度 dpi 有較佳的匹配；Digital Gravelometer 測試成果如圖 4-3.11，600 dpi 測試結果較貼近於現地調查成果。

本研究考量硬體效能、正射影像匯出檔案大小以及軟體判釋耗費時間等因素，綜合評估後確立以 600 dpi 解析度影像，作為本研究粒徑影像判釋的基本條件設定。

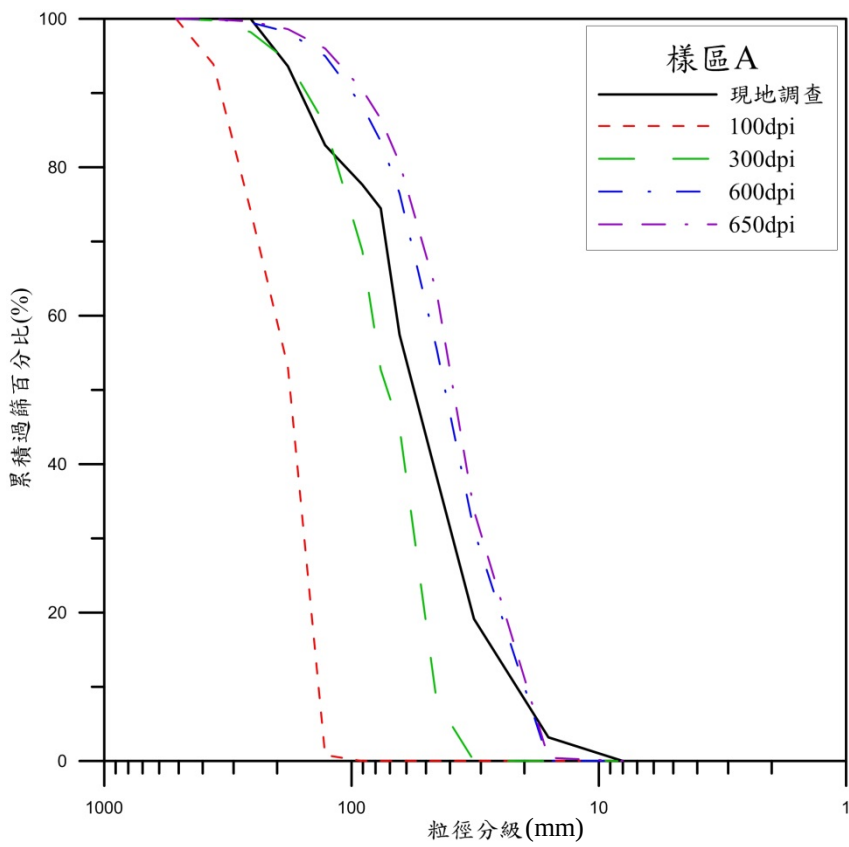


圖 4-3.6 BASEGRAIN 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 A)

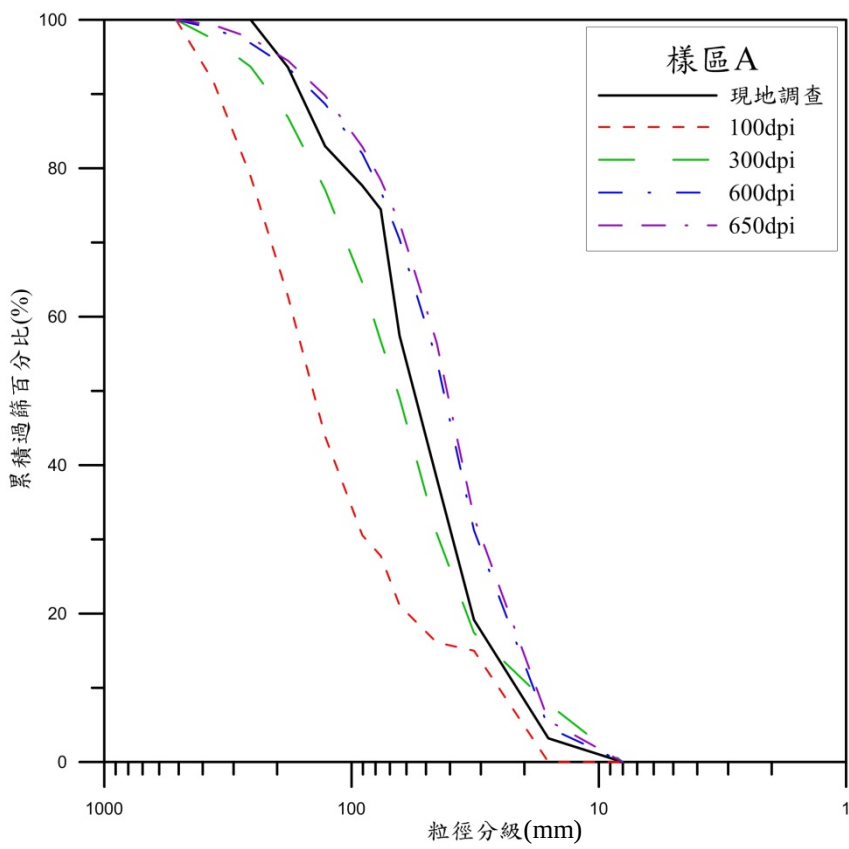


圖 4-3.7 Digital Gravelometer 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 A)

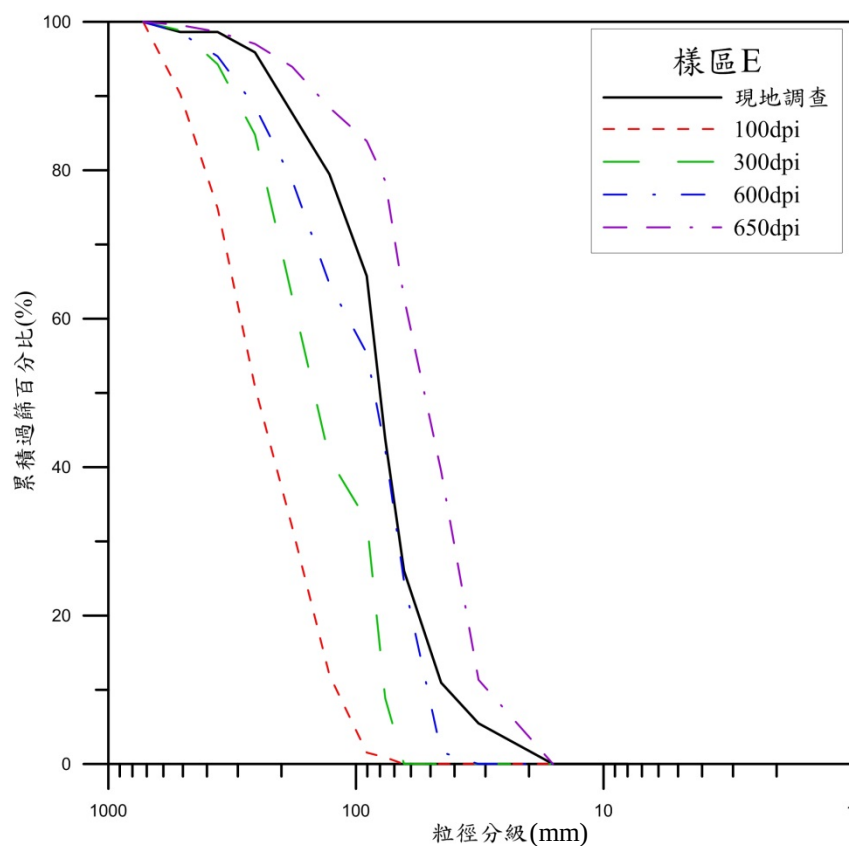


圖 4-3.8 BASEGRAIN 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 E)

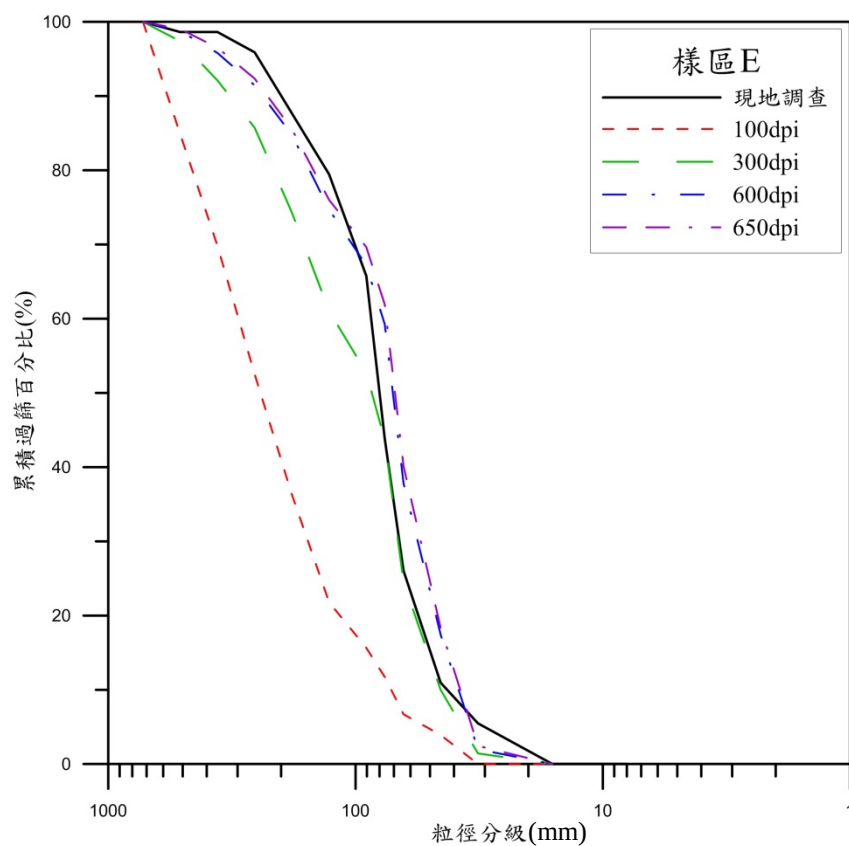


圖 4-3.9 Digital Gravelometer 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 E)

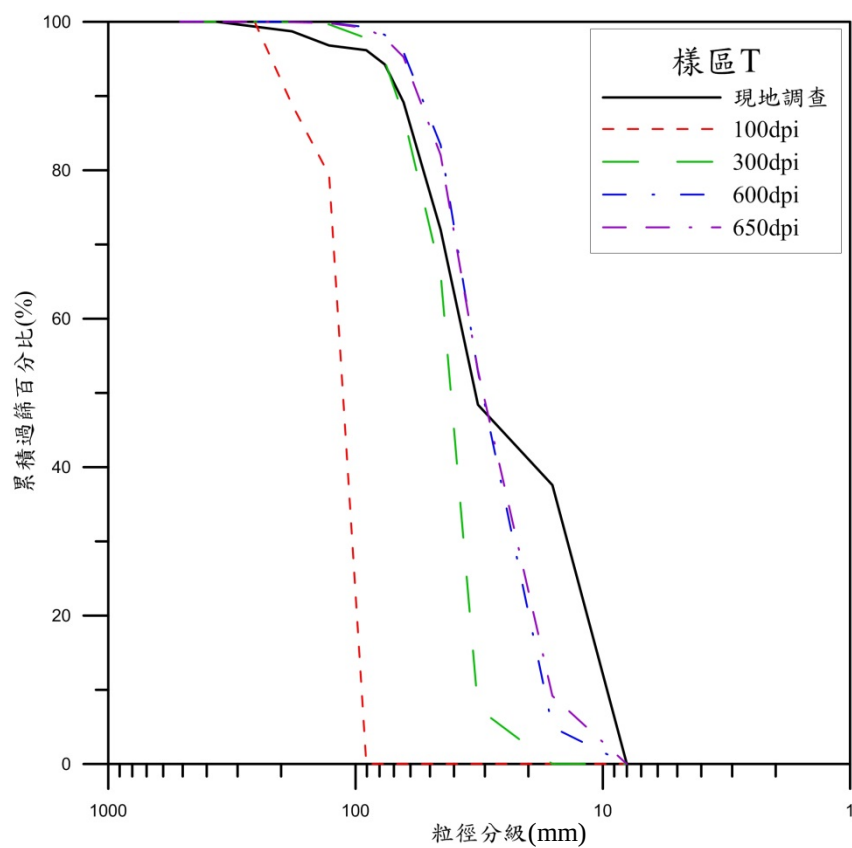


圖 4-3.10 BASEGRAIN 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 T)

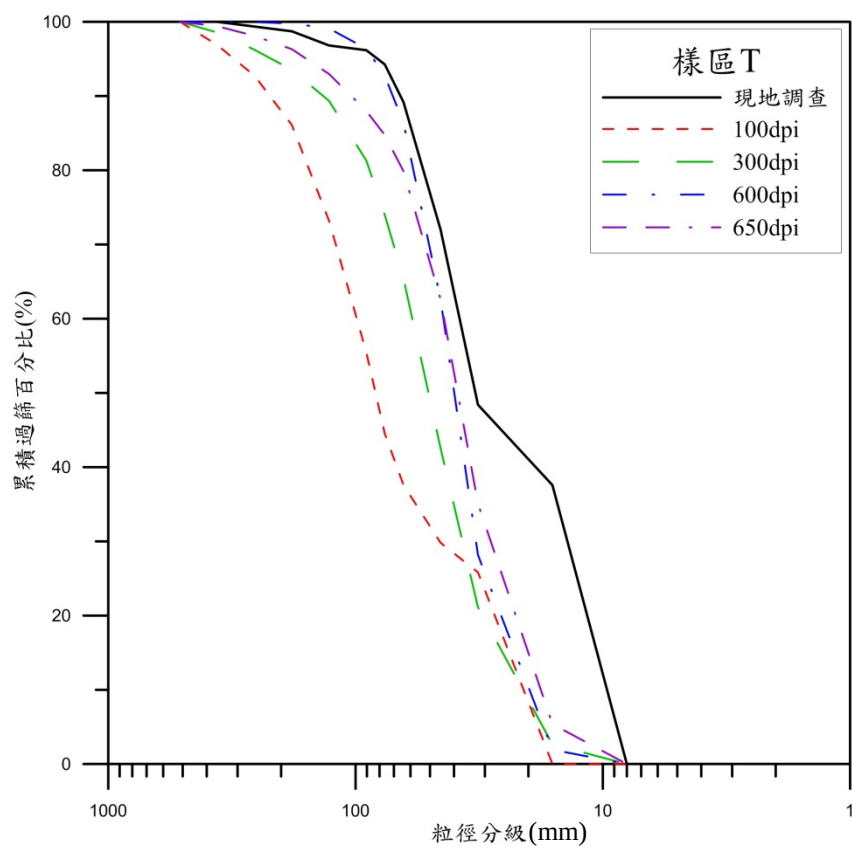


圖 4-3.11 Digital Gravelometer 針對不同 dpi 影像測試成果(樣區 T)

三、粒徑影像判釋軟體比較分析

為釐清兩套軟體(BASEGRAIN 與 Digital Gravelometer)本身的差異性以及可信賴度，以樣區 M 為例，針對軟體判釋過程產生的中段暫存檔，進行比較分析。

樣區 M，靠近荖濃溪左岸，位於河道中心偏左岸的淺灘上，有較多卵礫石未覆蓋的空洞區域，又因位處於淺水地區，因此沙洲含較多水份以及水灘，導致影像會呈現水波紋以及反光，樣區 M 範例影像如圖 4-3.12 所示。



圖 4-3.12 樣區 M 範例影像(航高 25 公尺，600 dpi)

BASEGRAIN 中段判釋暫存檔結果如圖 4-3.13 所示，其中標記為十字的部分，為軟體自動判釋卵礫石的粒徑分布所在位置，對照原始影像後可知，影像中間水灘的部分，伴隨著反光與水波紋，軟體將其判斷為細小卵礫石分布，以及影像右側以及左側沙洲的部分，則誤判為大顆礫石；軟體內建手動修正判釋結果與重新計算輸出的功能，若求更精進的判釋成果，可進行單張影像各別修正，避免輸出錯誤的結果。

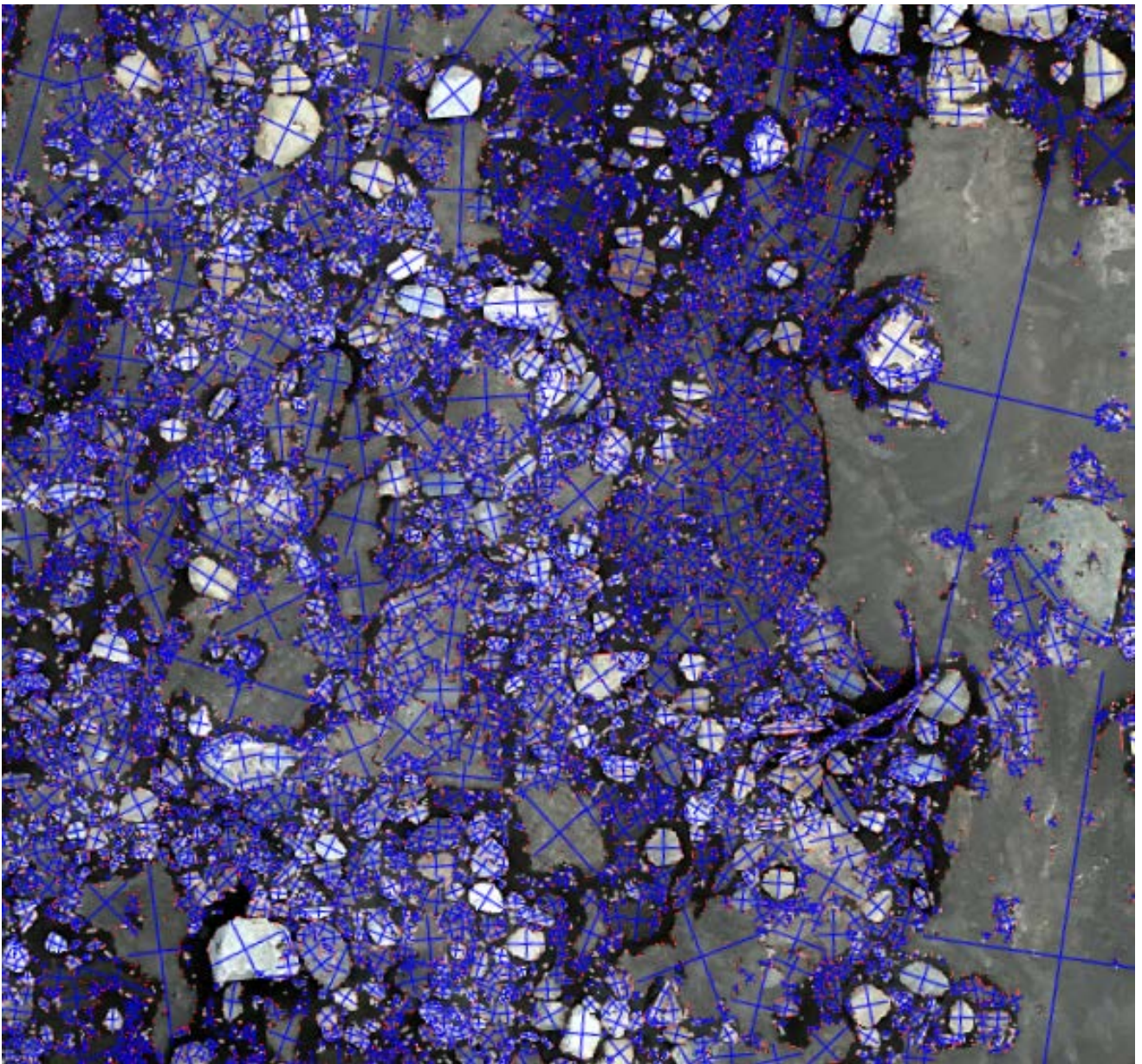


圖 4-3.13 BASEGRAIN 判釋過程暫存檔

Digital Gravelometer 影像處理之流程方法如圖 4-3.14 (Graham et al., 2005a)，判釋過程暫存檔結果如圖 4-3.15 ~ 圖 4-3.20 所示，由圖 4-3.17 對照原始影像得知，影像右側左側沙洲的部分，Digital Gravelometer 在判釋的過程中，已將該區域進行覆蓋避免誤判；而影像中央水灘的部分，即便影像上伴隨著反光與水波紋，但是軟體在進行自動判釋卵礫石的粒徑分布時，亦無將其判釋為卵礫石分佈，兩套軟體交叉比較分析，結果顯示 Digital Gravelometer 比 BASEGRAIN 有更佳的影像自動判釋能力與可信賴度。因此，本計畫以 Digital Gravelometer 軟體進行所有調查樣區之粒徑影像判釋分析。

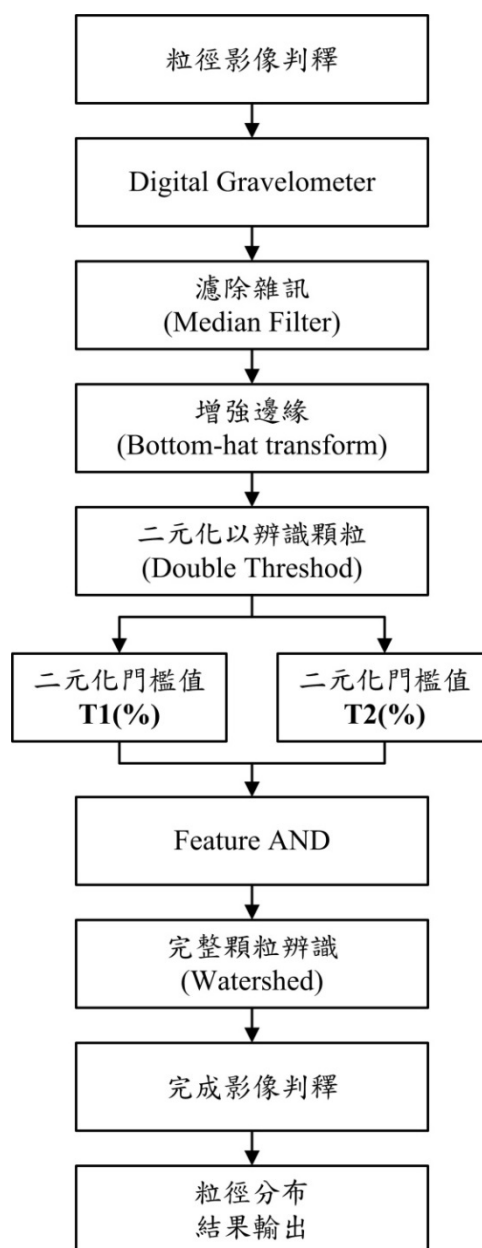


圖 4-3.14 Digital Gravelometer 影像處理流程

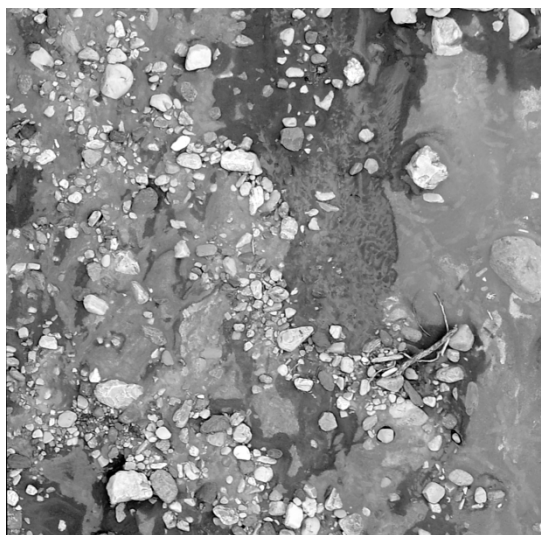


圖 4-3.15 影像處理 Grey

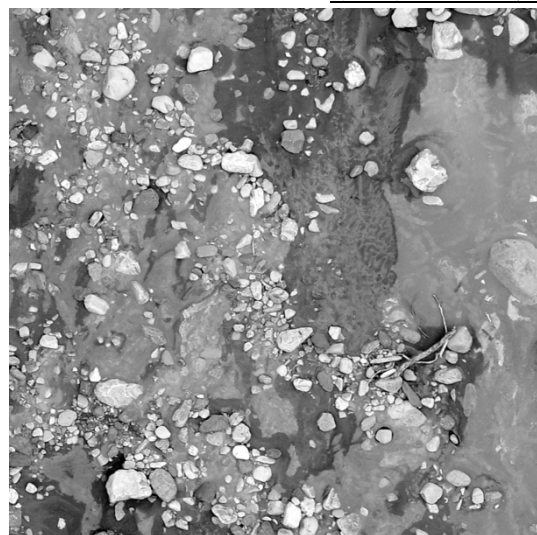


圖 4-3.16 影像處理 Transform

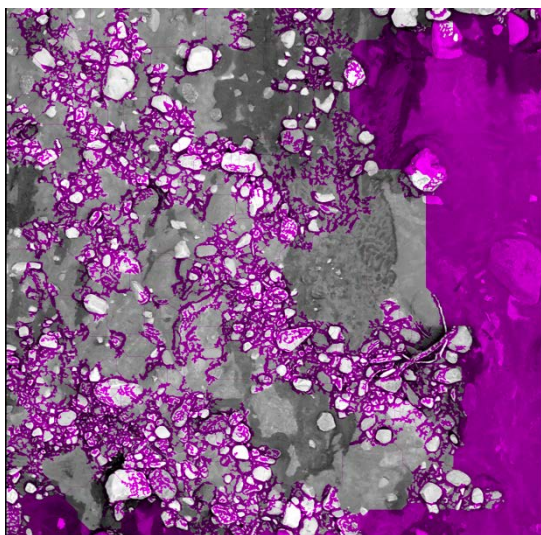


圖 4-3.17 影像處理 Overlay

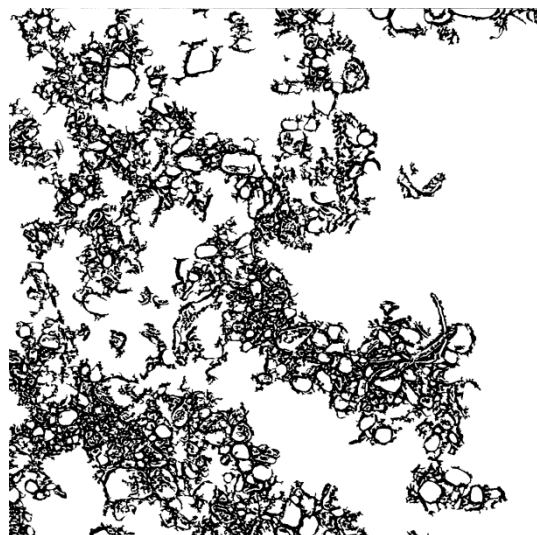


圖 4-3.18 影像處理 Grains

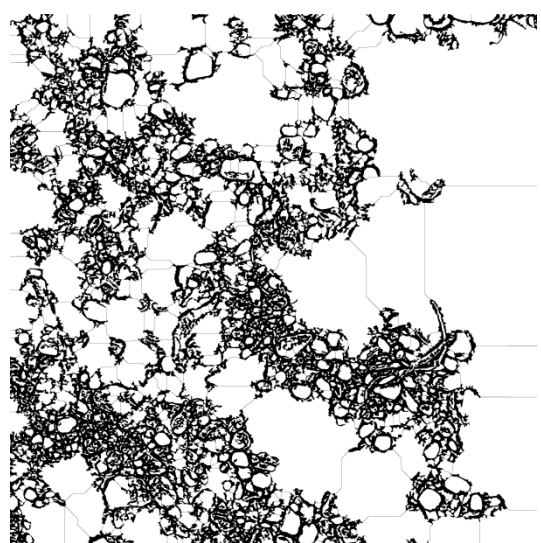


圖 4-3.19 影像處理 Watershed

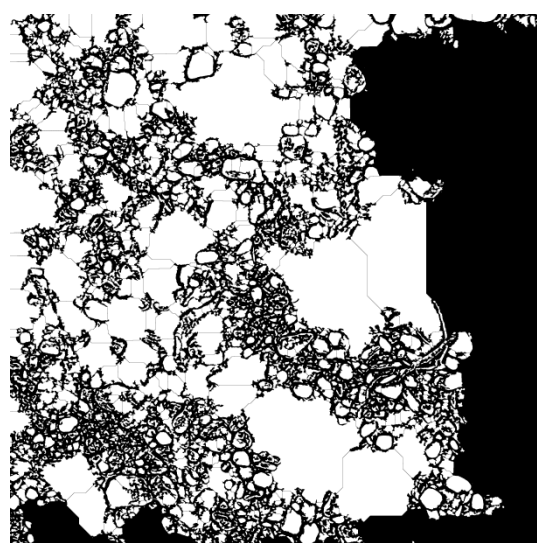


圖 4-3.20 影像處理 Final

四、樣區影像判釋成果說明

本計畫利用 Digital Gravelometer 影像判釋軟體，針對研究區域進行判釋分析，原訂採用 5 種航高影像進行比較分析，但因航高 400 公尺所匯出之樣區影像，即便是在 600 dpi 解析度的影像條件下，進行軟體自動判釋，判釋軟體已無法辨認影像上的粒徑分布，因此後續僅進行 4 種航高(25 公尺、50 公尺、100 公尺與 200 公尺)，解析度 600 dpi 的樣區影像比對分析。

圖 4-3.21 為不同航高產製正射影像之粒徑區隔效果比較，以航高 25 公尺為例，最小可判釋粒徑大約為 3 公分，約略為影像解析度(0.81 公分)之 3.7 倍；航高 50 公尺時，最小可判釋粒徑大約為 8 公分，約略為影像解析度(1.62 公分)之 5 倍；至於航高 100 公尺時，最小可判釋粒徑大約為 15 公分，大約為影像解析度(2.92 公分)之 5.1 倍；航高 200 公尺時，最小可判釋粒徑大約為 28 公分，約略為影像解析度(5.53 公分)之 5.1 倍。綜合上述，在本計畫的航高範圍(25m ~ 200m)內，利用影像分析之最小判釋粒徑大致為影像解析度之 3~5 倍。

針對現場調查成果的 4 種粒徑特性分類，本計畫分別測試 Digital Gravelometer 軟體內之 5 個參數：中值濾波(Median filter)矩陣大小值 m (預設值 $m=3$ pixels)、底帽轉換(Bottom-hat)結構元素大小值 s (預設值 $s=15$ pixels)、影像二元化門檻值 $T1$ (預設值 $T1=35\%$)、影像二元化門檻值 $T2$ (預設值 $T2=1\%$)、分水嶺最小深度門檻值 w (預設值 $w=1$)。為比較影像判釋所得之 4 種指標粒徑： D_{16} 、 D_{50} 、 D_{84} 、 D_{90} 與現場調查所得指標粒徑之吻合程度，本計畫利用效率係數(Coefficient of efficiency, CE)呈現分析比較結果。

$$CE = 1 - \frac{\sum (H_e - H_o)^2}{\sum (\bar{H}_o - H_o)^2} \quad (2)$$

其中 H_o 為現場調查之各指標粒徑值(mm)， $\bar{H}_o$ 為現場調查各指標粒徑之平均值(mm)， H_e 為影像判釋所得之各指標粒徑值(mm)。一般依據效率係數 CE 大小，可將比較結果區分為 $CE \leq 0.2$ (較差)、 $0.2 < CE \leq 0.4$ (差)、 $0.4 < CE \leq 0.6$ (普通)、 $0.6 < CE \leq 0.8$ (好)及 $0.8 < CE \leq 1.0$ (較好)等五個等級(Tseng et al., 2007)。

因此，本計畫以 $CE = 0.7$ 作為影像判釋整體成果可接受之條件。

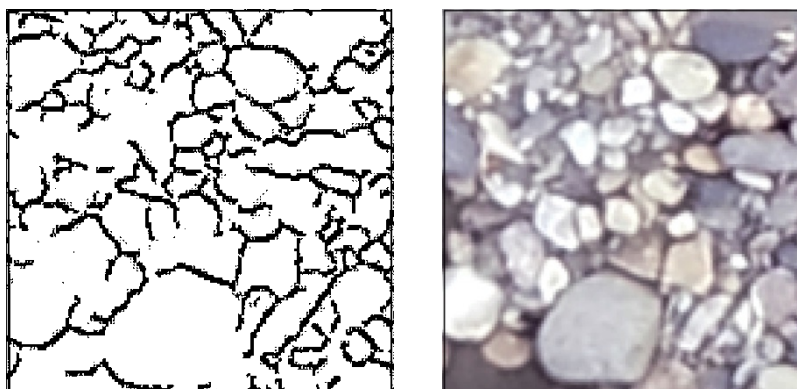
表 4-3.1 ~ 表 4-3.4 分別為 4 種航高下 4 種粒徑特性分類之最佳參數綜合檢定成果，本計畫以航高 25 公尺為對象來檢定各土壤特性分群裡之最佳一致性參數，圖 4-3.22 為航高 25 公尺 20 個調查樣區最佳一致性參數影像判釋成果與現場調查成果之 4 種指標粒徑比較。均勻細顆粒群(Uniform fine soil)最佳參數為： $m=5$ pixels， $s=15$ pixels， $T_1=35\%$ ， $T_2=1\%$ ， $w=1$ ；均勻粗顆粒群(Uniform coarse soil)最佳參數為： $m=9$ pixels， $s=8$ pixels， $T_1=35\%$ ， $T_2=2\%$ ， $w=3$ ；級配好(Graded soil)類別最佳參數為： $m=9$ pixels， $s=8$ pixels， $T_1=35\%$ ， $T_2=2\%$ ， $w=3$ ；級配良好(Well-graded soil)類別最佳參數為： $m=9$ pixels， $s=8$ pixels， $T_1=35\%$ ， $T_2=2\%$ ， $w=3$ ，4 個土壤特性分群中除均勻細顆粒群外，其他 3 群類別皆可以採用同一組最佳參數。表 4-3.1 中顯示，航高 25 公尺時，20 個調查樣區有 19 個樣區效率係數 $CE > 0.7$ ，顯示整體判釋成果應可接受，但若檢視個別指標粒徑之誤差率，則大、小顆粒判釋結果有所差異，在屬於較小顆粒之 D_{16} 方面，20 個調查樣區有 7 個樣區誤差率大於 30%，誤差率較大之樣區主要分布於級配較佳之 Graded 及 Well-graded 兩類，且現場調查之 D_{16} 粒徑值大抵介於 1~4 公分，約略在最小可判釋粒徑值附近； D_{50} 方面，20 個調查樣區同樣有 7 個誤差率大於 30%，惟誤差率較 D_{16} 成果略低；在 D_{84} 方面，20 個調查樣區僅有 2 個樣區誤差率大於 30%，至於 D_{90} 方面則 20 個調查樣區全數誤差率皆小於 30%。表 4-3.2 中顯示，航高 50 公尺時，20 個調查樣區有 18 個樣區效率係數 $CE > 0.7$ ，在 D_{16} 方面，20 個調查樣區有 10 個樣區誤差率大於 30%，隨著最小可判釋粒徑加大，因此各樣區之判釋誤差率也明顯加大； D_{50} 方面，20 個調查樣區有 8 個樣區誤差率大於 30%， D_{84} 及 D_{90} 方面，20 個調查樣區皆僅有 1 個樣區誤差率大於 30%。表 4-3.3 中顯示，航高 100 公尺時，20 個調查樣區有一半的樣區效率係數 $CE < 0.7$ ，在 D_{16} 方面，20 個調查樣區幾乎全數誤差率大於 30%； D_{50} 方面，20 個調查樣區亦有高達 14 個樣區誤差率大於 30%； D_{84} 及 D_{90} 方面，20 個調查樣區中誤差率也都明顯下降。表 4-3.4 之航高 200 公尺判釋成果，同樣也呈現不佳之判釋精

度。圖 4-3.23 為不同指標粒徑之平均判釋誤差率隨航高之變化比較，圖中顯示各指標粒徑之平均判釋誤差率皆隨航高增加而加大，其中 D_{16} 及 D_{50} 之平均判釋誤差率從航高 100 公尺到 200 公尺雖略有下降，但因誤差率仍屬偏高之範圍，因此誤差率數值雖略有下降，但未有太大意義。

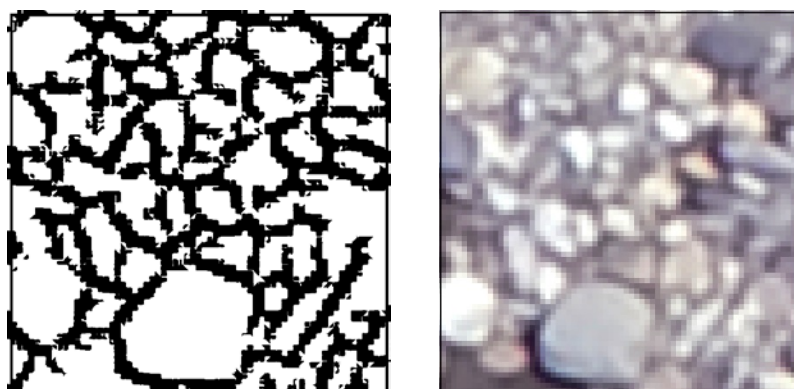
整體來說，影像粒徑分析之判釋正確性雖明顯受到不同航高產製影像解析度影響外，航拍時之環境光源條件是否能讓粒徑顆粒與周邊物體形成較明顯之色差對比亦為影像判釋品質之關鍵因素。



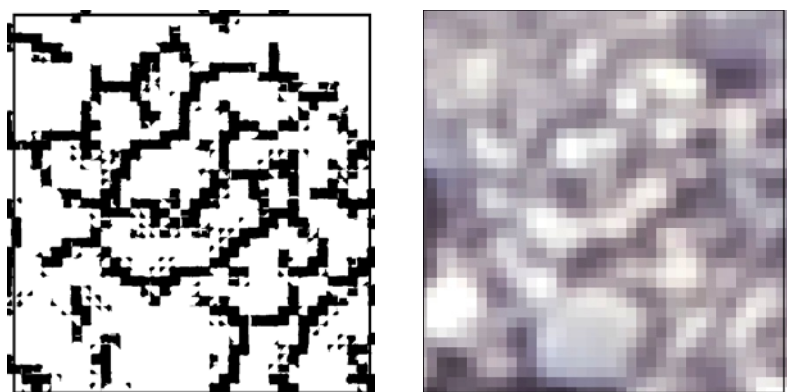
(a) 25m



(b) 50m



(c) 100m



(d) 200m

圖 4-3.21 不同航高影像之粒徑判釋成果比較

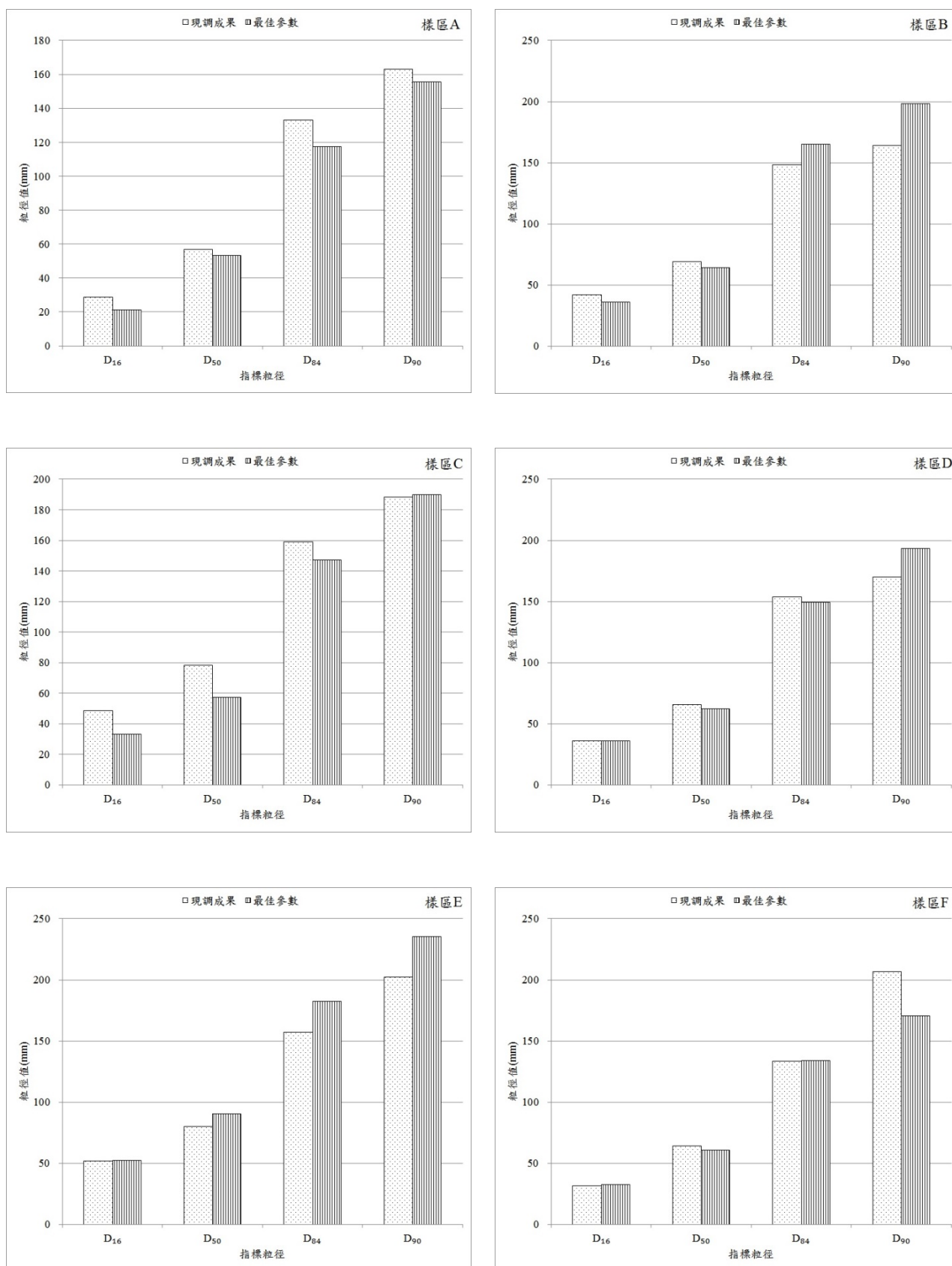


圖 4-3.22 影像判釋指標粒徑與現場調查成果之比較(航高 25 公尺)

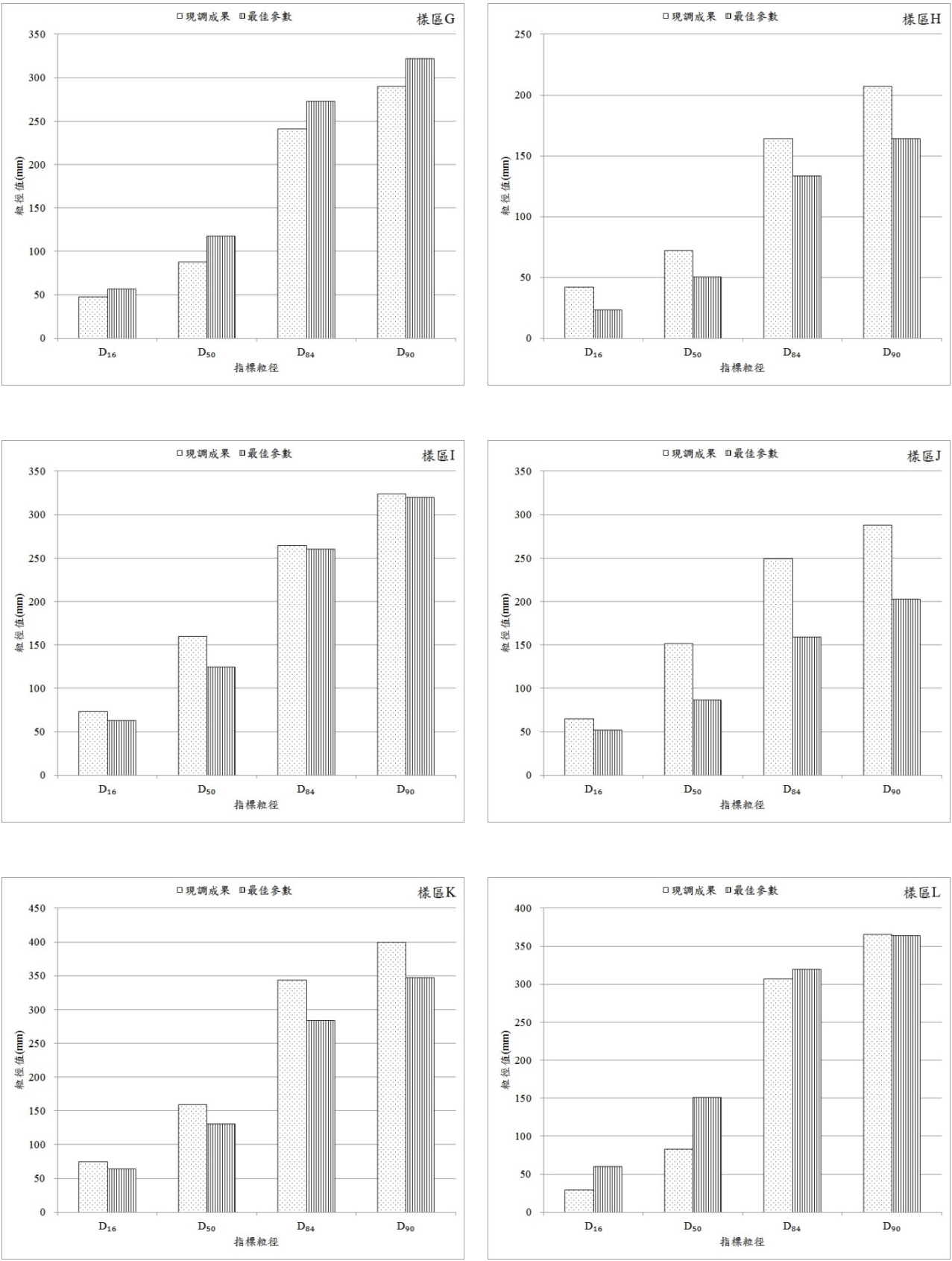


圖 4-3.22(續) 影像判釋指標粒徑與現場調查成果之比較(航高 25 公尺)

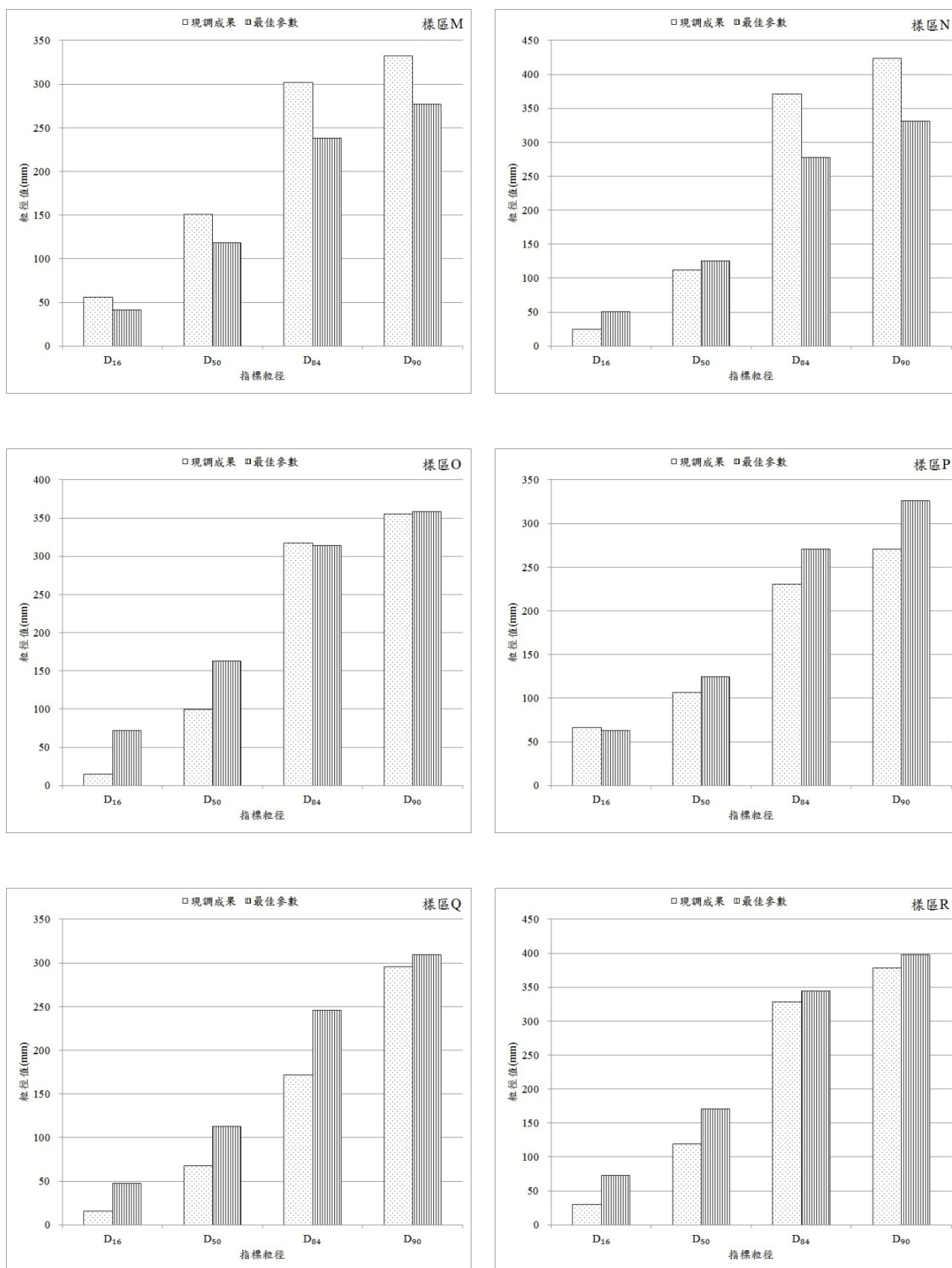


圖 4-3.22(續) 影像判釋指標粒徑與現場調查成果之比較(航高 25 公尺)

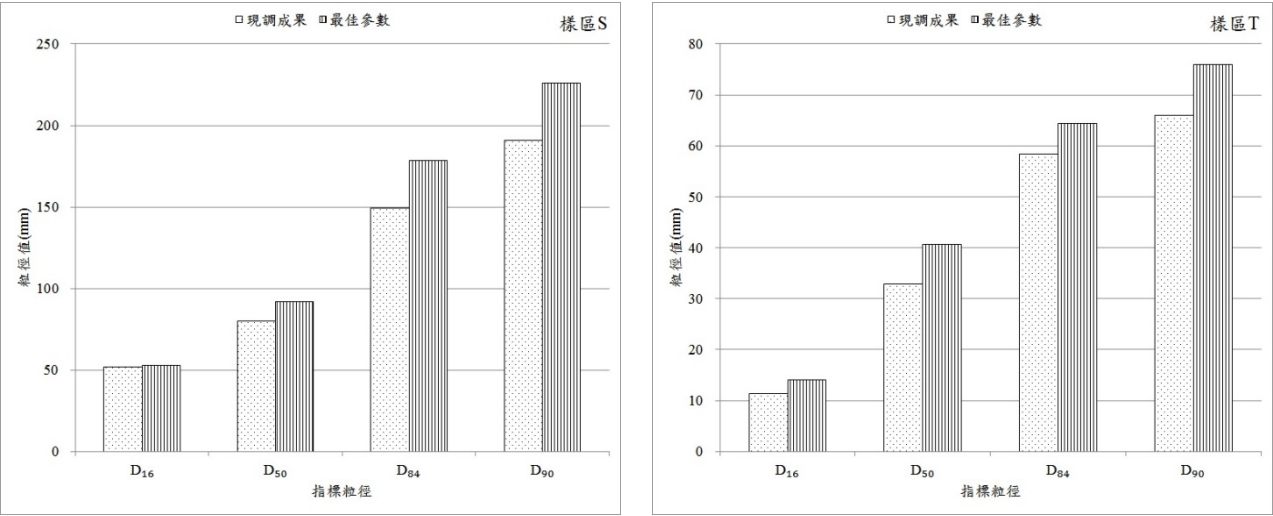


圖 4-3.22(續) 影像判釋指標粒徑與現場調查成果之比較(航高 25 公尺)

表 4-3.1 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 25 公尺)

分類	樣區	效率 係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)
Uniform fine	A	0.97	29	21	-25.77	57	53	-6.30	133	117	-11.74	163	156	-4.58
	B	0.86	42	36	-14.68	69	64	-6.74	148	165	11.41	164	198	21.02
	C	0.94	49	33	-32.03	78	57	-26.44	159	147	-7.49	189	190	0.80
	D	0.95	36	36	0.78	66	62	-5.64	154	150	-2.63	170	194	13.80
	F	0.93	31	33	4.13	64	61	-5.79	134	134	0.43	207	171	-17.32
	H	0.80	42	23	-44.75	72	50	-30.34	164	134	-18.71	207	164	-20.85
	T	0.89	11	14	23.77	33	41	23.66	58	64	10.21	66	76	15.18
Uniform coarse	E	0.87	52	52	1.05	80	90	12.44	157	183	16.07	202	235	16.44
	G	0.93	47	57	19.78	88	118	34.15	241	273	13.27	290	322	11.07
	I	0.96	73	62	-14.92	160	125	-22.12	264	260	-1.51	324	320	-1.23
	J	0.35	65	51	-20.36	152	87	-42.84	249	159	-36.03	288	202	-29.64
	K	0.90	75	63	-15.26	160	130	-18.37	343	284	-17.30	400	347	-13.22
	P	0.82	67	63	-5.82	107	124	16.37	231	271	17.35	270	326	20.64
	S	0.82	52	53	1.93	80	92	14.95	150	178	19.27	191	226	18.24
Graded	L	0.93	29	60	106.03	83	151	82.72	307	320	4.38	365	364	-0.30
	M	0.83	56	41	-26.28	151	118	-21.48	302	238	-21.00	332	277	-16.76
	Q	0.81	16	48	202.64	68	112	65.90	172	246	43.23	296	309	4.63
Well-graded	N	0.84	25	51	102.19	112	126	11.78	371	278	-25.20	424	331	-22.03
	O	0.91	15	72	386.37	100	163	63.02	317	314	-1.07	355	358	0.94
	R	0.94	30	73	140.21	119	171	43.88	328	345	4.93	379	398	5.13

表 4-3.2 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 50 公尺)

分類	樣區	效率 係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)
Uniform fine	A	0.98	29	38	30.48	57	61	7.95	133	137	2.65	163	175	7.64
	B	0.93	42	38	-10.09	69	71	3.46	148	166	11.81	164	185	12.90
	C	0.89	49	17	-65.56	78	59	-23.97	159	155	-2.73	189	190	0.62
	D	0.88	36	35	-2.56	66	84	27.33	154	169	9.96	170	202	18.97
	F	0.91	31	40	26.33	64	64	-0.75	134	130	-2.84	207	167	-19.37
	H	0.84	42	48	14.95	72	88	22.83	164	197	19.58	207	245	18.37
	T	0.49	11	19	69.53	33	45	38.23	58	72	23.08	66	89	35.46
Uniform coarse	E	0.74	52	46	-11.40	80	109	36.02	157	182	15.84	202	250	23.59
	G	0.85	47	68	44.26	88	128	46.05	241	278	15.48	290	341	17.46
	I	0.83	73	103	40.85	160	184	14.95	264	310	17.33	324	375	15.88
	J	0.81	65	47	-27.58	152	115	-23.91	249	203	-18.45	288	242	-16.01
	K	0.97	75	79	6.11	160	156	-2.02	343	317	-7.76	400	359	-10.23
	P	0.87	67	86	29.68	107	152	42.41	231	255	10.38	270	296	9.28
	S	0.77	52	79	52.69	80	93	16.53	150	186	24.73	191	213	11.67
Graded	L	0.85	29	90	210.46	83	173	109.92	307	330	7.52	365	370	1.11
	M	0.94	56	67	20.70	151	132	-12.62	302	253	-16.06	332	314	-5.59
	Q	0.51	16	73	363.28	68	139	104.81	172	282	64.15	296	341	15.19
Well-graded	N	0.88	25	72	187.34	112	144	28.50	371	300	-19.29	424	352	-17.01
	O	0.87	15	88	494.03	100	170	70.61	317	323	1.87	355	380	6.92
	R	0.87	30	100	229.86	119	195	64.17	328	344	4.69	379	396	4.47

表 4-3.3 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 100 公尺)

分類	樣區	效率 係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)
Uniform fine	A	0.92	29	17	-40.14	57	68	20.54	133	150	12.65	163	183	11.99
	B	0.87	42	35	-17.27	69	49	-28.42	148	164	10.62	164	189	15.59
	C	0.88	49	33	-31.53	78	54	-30.92	159	178	12.08	189	206	9.40
	D	0.64	36	24	-33.19	66	40	-38.85	154	195	26.74	170	216	26.96
	F	0.85	31	22	-31.27	64	84	30.06	134	178	32.99	207	223	8.06
	H	0.71	42	22	-47.94	72	120	67.39	164	191	15.98	207	349	68.48
	T	0.38	11	16	38.15	33	57	72.65	58	76	30.32	66	82	24.04
Uniform coarse	E	0.40	52	11	-77.99	80	104	30.19	157	209	32.77	202	264	30.47
	G	0.61	47	99	109.41	88	163	86.22	241	305	26.73	290	351	20.98
	I	0.69	73	136	84.53	160	203	26.62	264	330	24.93	324	362	11.64
	J	0.80	65	15	-76.61	152	95	-37.02	249	249	0.11	288	308	7.09
	K	0.93	75	129	72.36	160	202	26.29	343	348	1.20	400	400	0.09
	P	-0.28	67	128	92.04	107	202	89.21	231	336	45.79	270	382	41.35
	S	0.33	52	18	-64.60	80	81	1.54	150	209	39.77	191	250	30.99
Graded	L	0.53	29	135	364.97	83	228	175.87	307	361	17.83	365	417	14.17
	M	0.88	56	112	100.33	151	186	23.71	302	326	7.91	332	366	10.16
	Q	0.54	16	83	428.45	68	149	120.49	172	269	56.46	296	321	8.55
Well-graded	N	0.84	25	104	313.74	112	189	67.97	371	325	-12.55	424	365	-13.91
	O	0.40	15	152	923.60	100	242	142.00	317	385	21.47	355	433	21.90
	R	0.81	30	124	307.89	119	204	71.55	328	334	1.57	379	369	-2.44

表 4-3.4 影像判釋分析指標粒徑之誤差分析(航高 200 公尺)

分類	樣區	效率 係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)	現調	影像	誤差 百分比 (%)
Uniform fine	A	0.88	29	35	20.37	57	51	-9.84	133	139	4.24	163	200	22.53
	B	0.72	42	23	-45.06	69	86	24.27	148	179	20.84	164	201	22.89
	C	0.72	49	18	-62.87	78	46	-41.27	159	125	-21.55	189	212	12.20
	D	0.85	36	24	-33.04	66	96	46.19	154	148	-3.94	170	198	16.61
	F	0.91	31	38	21.01	64	58	-9.40	134	168	25.85	207	223	8.08
	H	0.75	42	52	23.36	72	104	44.93	164	199	20.89	207	253	22.17
	T	0.07	11	23	101.74	33	49	49.84	58	77	32.49	66	97	47.32
Uniform coarse	E	0.47	52	10	-79.82	80	56	-30.81	157	206	31.03	202	256	26.81
	G	0.54	47	48	2.24	88	59	-33.15	241	149	-38.15	290	191	-34.03
	I	0.33	73	49	-32.98	160	110	-31.03	264	177	-32.96	324	204	-36.89
	J	0.29	65	19	-69.98	152	56	-63.36	249	319	28.25	288	360	25.03
	K	0.78	75	142	89.60	160	249	56.34	343	385	12.15	400	433	8.32
	P	0.50	67	95	43.39	107	153	43.05	231	298	29.28	270	352	30.21
	S	0.47	52	64	23.95	80	78	-2.70	150	207	38.41	191	245	28.52
Graded	L	0.67	29	125	329.96	83	211	155.68	307	340	10.74	365	379	3.75
	M	1.00	56	60	7.26	151	158	4.71	302	290	-3.83	332	337	1.33
	Q	-1.50	16	146	824.85	68	248	265.62	172	387	125.43	296	434	46.73
Well-graded	N	0.82	25	111	341.95	112	199	76.82	371	325	-12.42	424	361	-14.88
	O	0.70	15	54	262.60	100	101	1.33	317	210	-33.68	355	246	-30.76
	R	0.82	30	57	86.36	119	134	12.64	328	246	-24.97	379	293	-22.52

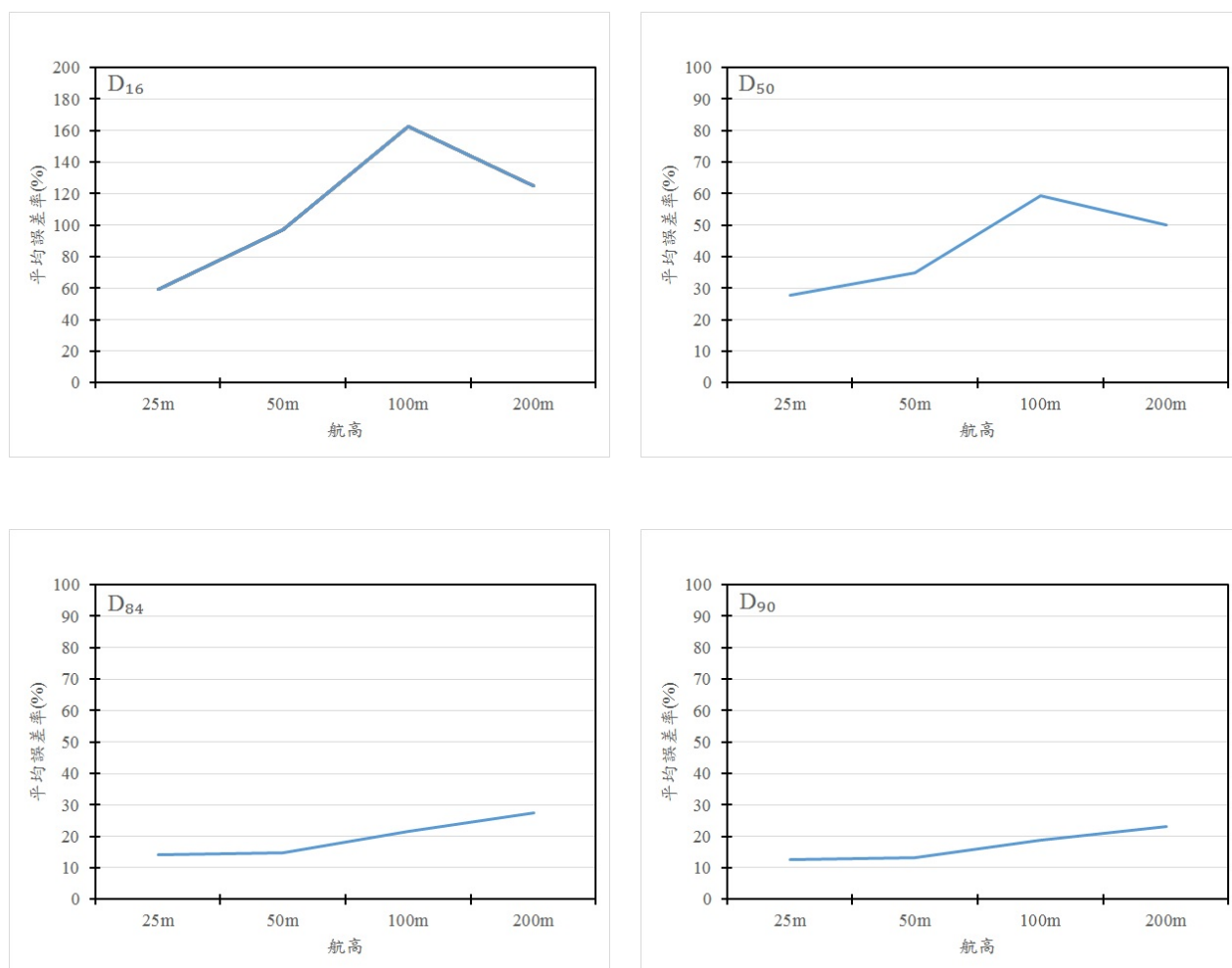


圖 4-3.23 不同指標粒徑之平均判釋誤差率隨航高變化比較

第五章 點雲糙度特性粒徑分析

應用無人飛機航拍正射影像進行表層粒徑影像判釋分析，仍有可能受到影像色調、對比或解析度之影響而呈現判釋偏差。因此本章嘗試以無人飛機航拍透過立體影像對特徵點匹配後建立之密集點雲，進行空間統計分析，利用點雲糙度特性來推估調查樣區之指標粒徑。

第一節 點雲資料前處理

原始點雲在進行糙度分析之前需先將點雲之離群值(outlier values)及植生範圍之點雲濾除，圖 5-1.1 ~ 圖 5-1.3 分別為調查樣區 N 及 P 之點雲平面分布及側視分布，圖中可明顯看出植生區域之點雲分布，這部分植生區點雲在進一步進行粒徑判釋分析前應先加以濾除。離群值可透過設定河床表層點雲高度之合理分布範圍加以濾除，至於植生範圍之點雲資料，本計畫利用綠度指數(Greeness)作為初步篩選植生覆蓋區域之依據，綠度指數係以可見光波段的綠光與紅光來計算，計算公式如下：

$$\text{Greeness} = \frac{G - R}{G + R} \quad (3)$$

其中 R 為紅光波段影像灰值，G 為綠光波段影像灰值。完成初步植生覆蓋區域濾除後，再輔以人工檢核確認濾除之正確性與合理性。

第二節 點雲糙度分析指標粒徑

針對點雲之糙度特性，本計畫主要分析標準偏差 σ_z ，標準偏差係指在一特定區域內之點雲高程偏差(Heritage and Milan, 2009)，首先劃分特定尺寸網格，然後分析落於每個網格內點雲之高程標準偏差，分析示意如圖 5-2.1 所示。然而當點雲分布於非平坦河床時，標準偏差可能受到地形坡度影響而未能合適反映河床糙度特性，因此在標準偏差分析過程中需去除地形坡度趨勢之影響(detrend)。分析方法係透過計算點雲中每個點與指定大小核心距離(kernel)最近鄰域內的最

小二乘最佳擬合平面(least-squares best-fitting plane)之間的高程差異而得，分析示意如圖 5-2.2 所示，然後得到在特定範圍內去除平均坡度趨勢後之標準偏差高度 (Aberle and Smart, 2003; Brasington et al., 2012; Storz-Peretz and Laronne, 2013)，進一步利用 ToPCAT(Topographic Point Cloud Analysis Toolkit)分析工具軟體來推估 4 種指標粒徑： D_{16} 、 D_{50} 、 D_{84} 、 D_{90} 。

本計畫比較 5 種移動視窗網格尺寸，以便確認較適合之點雲糙度特性空間分析單元，圖 5-2.3 為 5 種網格尺寸分析所得 4 種指標粒徑之比較結果，圖中顯示 5 公尺之移動視窗網格尺寸分析成果最接近現調結果，因此本計畫採用 5 公尺網格分析所有 20 個調查樣區。圖 5-2.4 則為有無去除地形坡度趨勢之點雲糙度分析比較，圖中清楚顯示去除平均坡度趨勢對於點雲糙度分析之影響。圖 5-2.5 為 20 個調查樣區利用點雲分析之 4 種指標粒徑比較，本章同樣利用第四章之效率係數分析比較點雲分析與現場調查之整體判釋差異(表 5-2.1)，表中顯示 20 個調查樣區僅有 4 個樣區效率係數 $CE < 0.7$ ，顯示整體判釋成果應屬可接受水準，就個別指標粒徑之誤差率來看，在屬於較小顆粒之 D_{16} 方面，20 個調查樣區有 15 個樣區誤差率小於 30%；在 D_{50} 方面，20 個調查樣區有 18 個樣區誤差率小於 20%，此點顯示點雲分析對於中值粒徑 D_{50} 之掌握程度頗佳；在 D_{84} 及 D_{90} 之較粗粒徑方面，20 個調查樣區僅有 1~2 個樣區誤差率大於 30%，整體呈現可接受之判釋品質。

表 5-2.2 為第四章利用影像分析航高 25 公尺判釋粒徑平均誤差率，與本章利用密點雲分析所得粒徑平均誤差率之比較，表中可清楚看出 D_{16} 及 D_{50} 兩種指標粒徑，密點雲分析結果之平均誤差率大約只有影像分析結果的一半(D_{16} ：影像 59.44%，點雲 26.65%； D_{50} ：影像 27.75%，點雲 16.8%)，顯示密點雲在較小顆粒材料判釋上之優勢；至於 D_{84} 及 D_{90} 兩種較大粒徑，兩者約略有近似的判釋品質(D_{84} ：影像 14.16%，點雲 13.61%； D_{90} ：影像 12.69%，點雲 17.09%)。

整體來說，利用密點雲分析河床表層粒徑之關鍵因素除不同航高產製密點雲之空間解析度外，對於點雲雜訊及植生覆蓋位置點雲之濾除亦為重點課題。

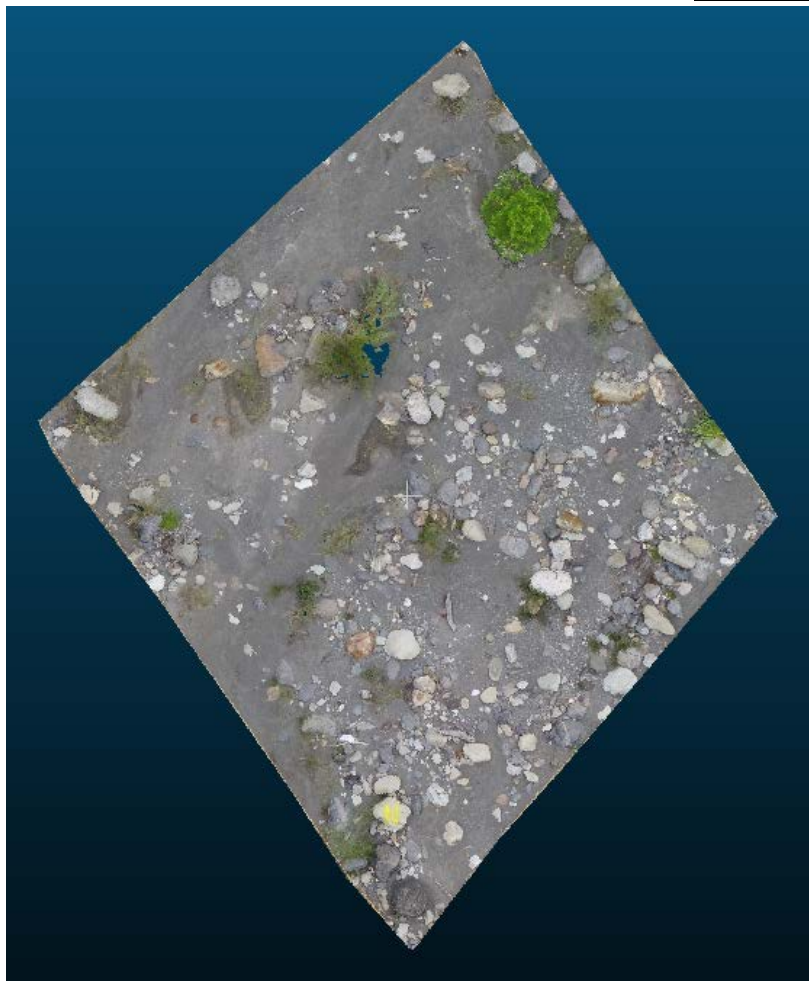


圖 5-1.1 調查樣區 N 植生範圍之三維點雲分布

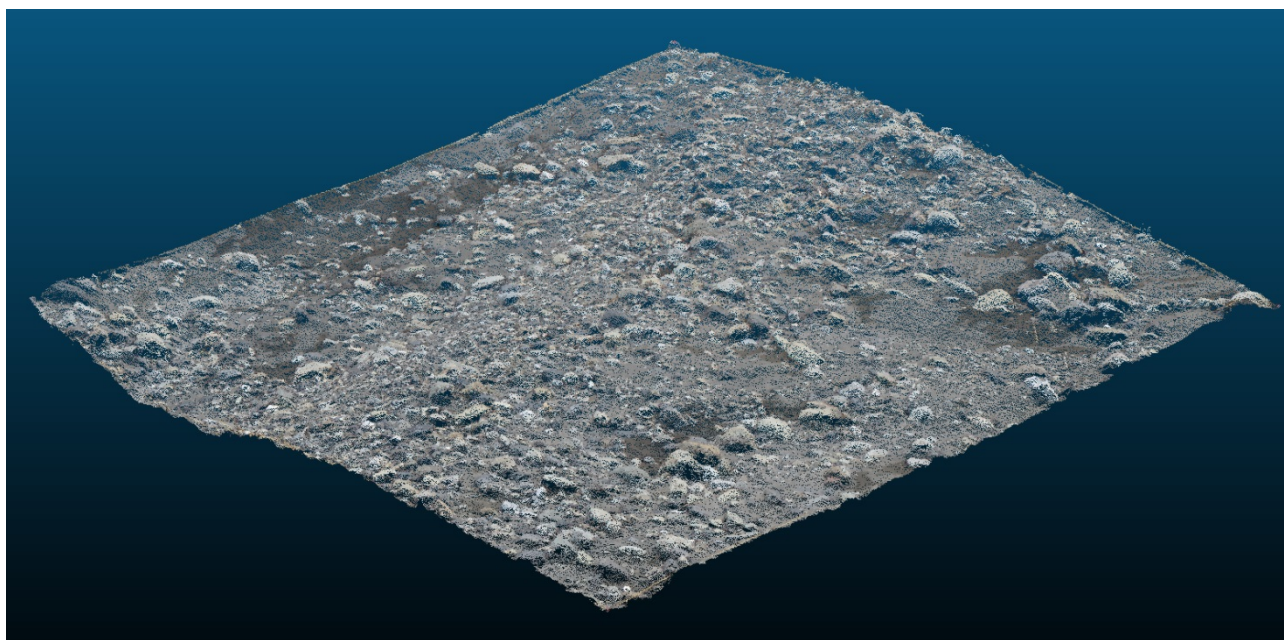


圖 5-1.2 調查樣區 P 之三維點雲分布

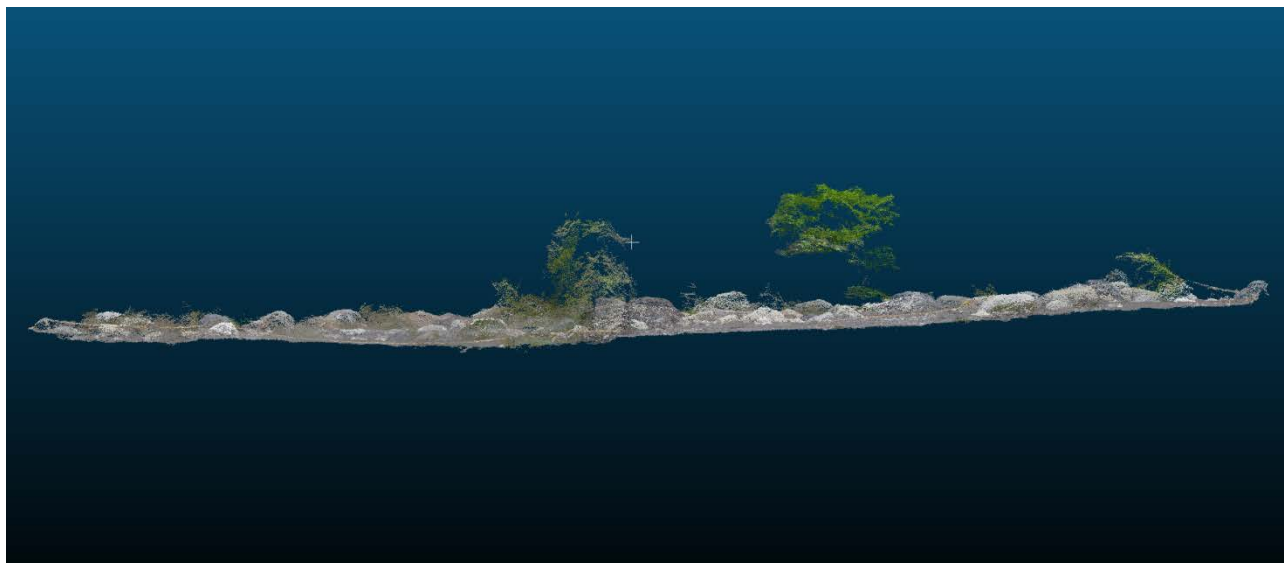
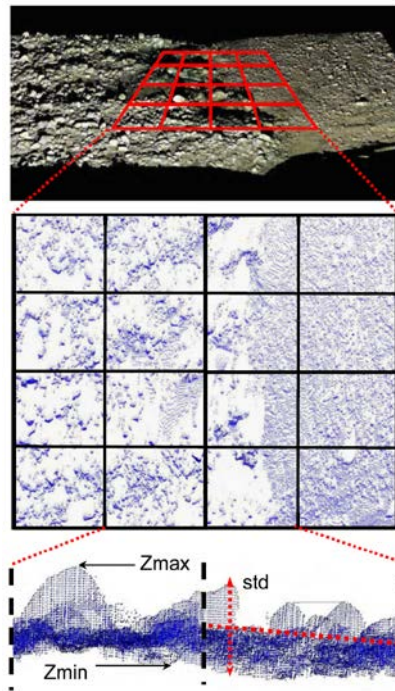
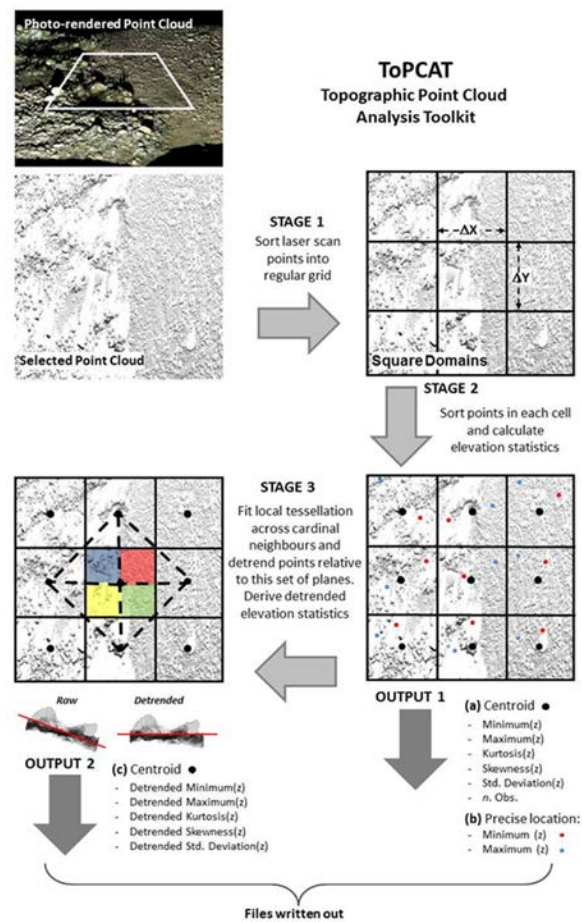


圖 5-1.3 調查樣區 N 之三維點雲側視分布



資料來源：Rychkov et al., 2012

圖 5-2.1 點雲標準偏差之分析示意圖



資料來源：Brasington et al., 2012.

圖 5-2.2 點雲高程偏差及均方根高度分析示意圖

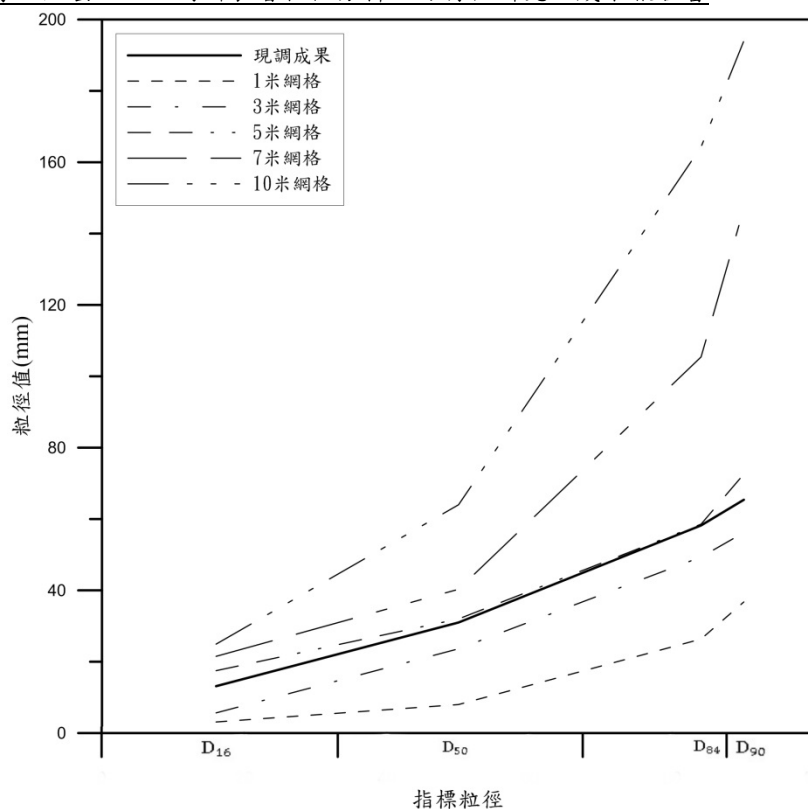


圖 5-2.3 不同移動網格視窗之點雲糙度指標粒徑分析比較

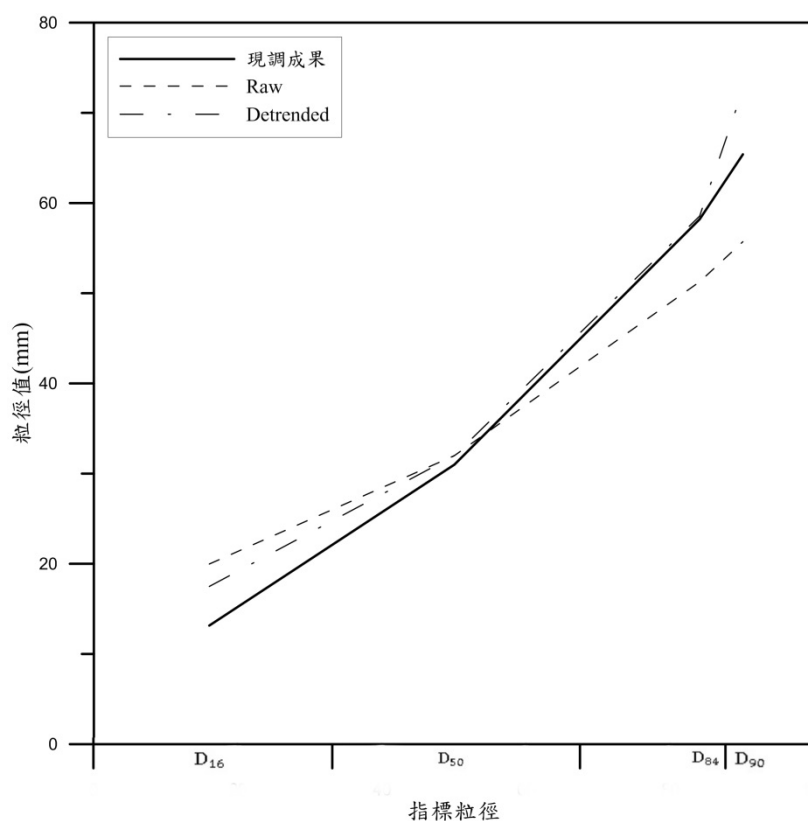


圖 5-2.4 有無去除地形坡度趨勢之點雲糙度指標粒徑分析比較

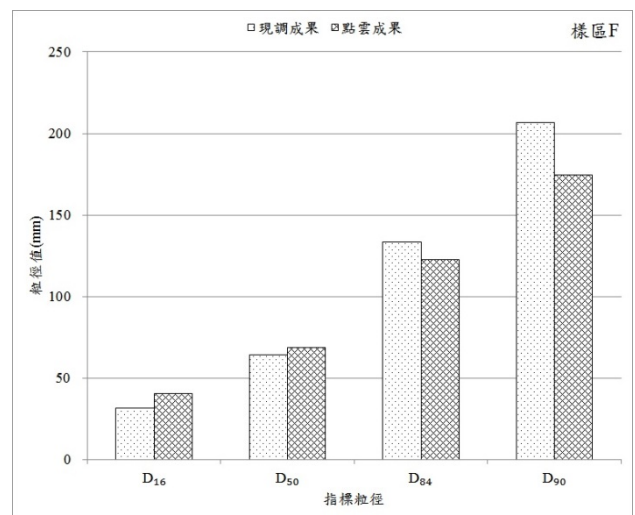
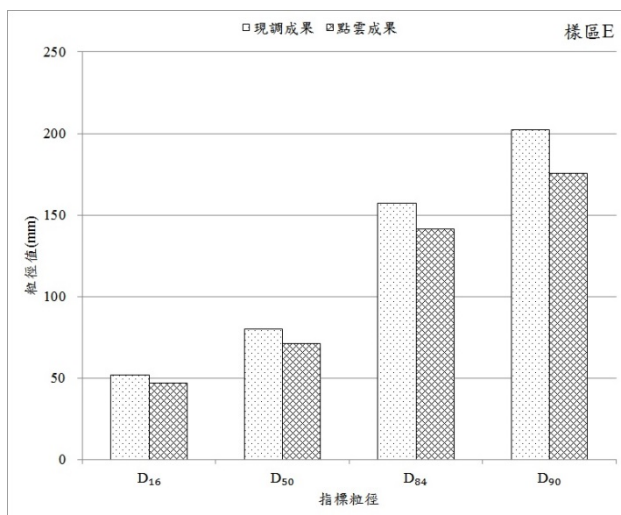
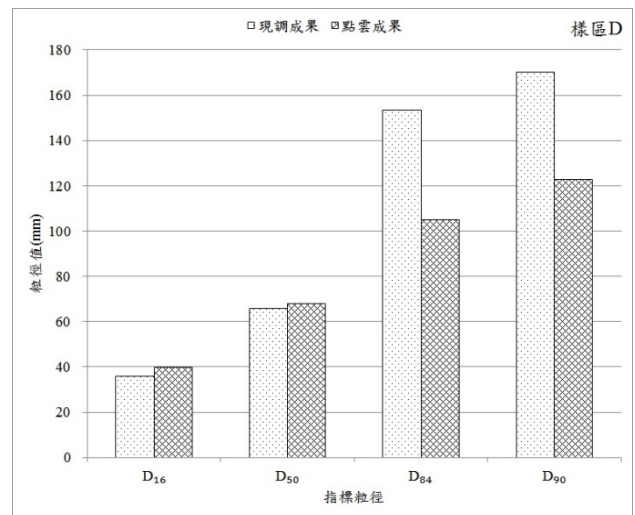
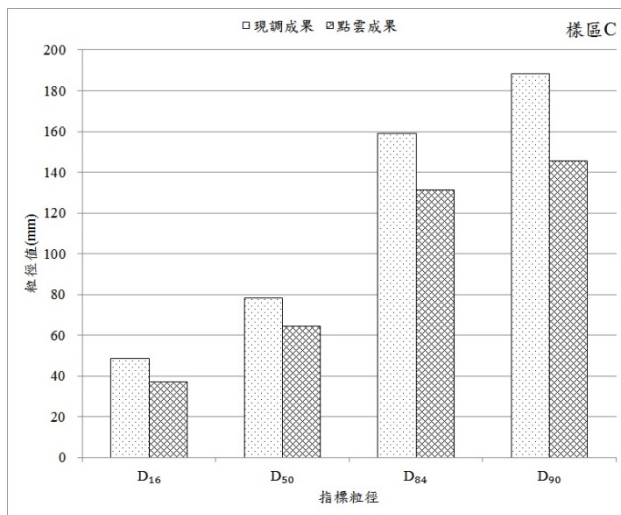
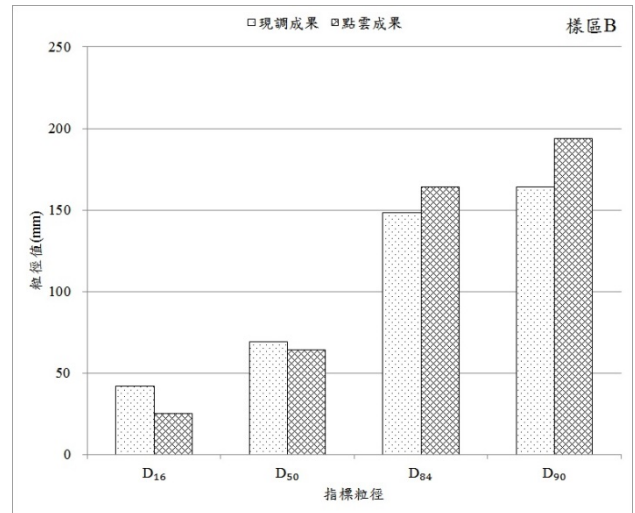
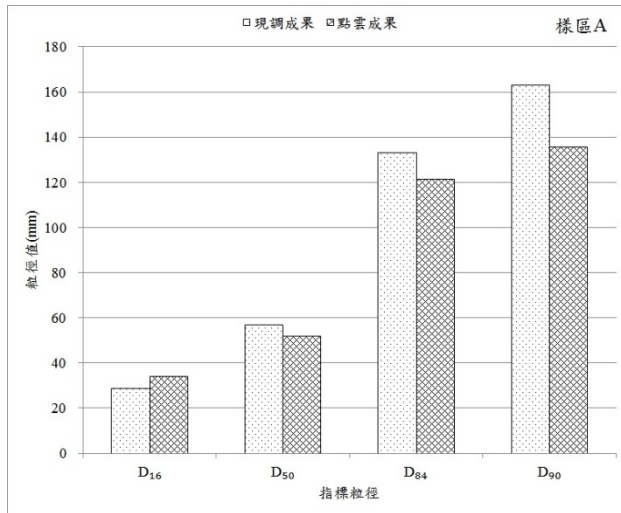


圖 5-2.5 點雲糙度指標粒徑分析成果與現場調查成果之比較

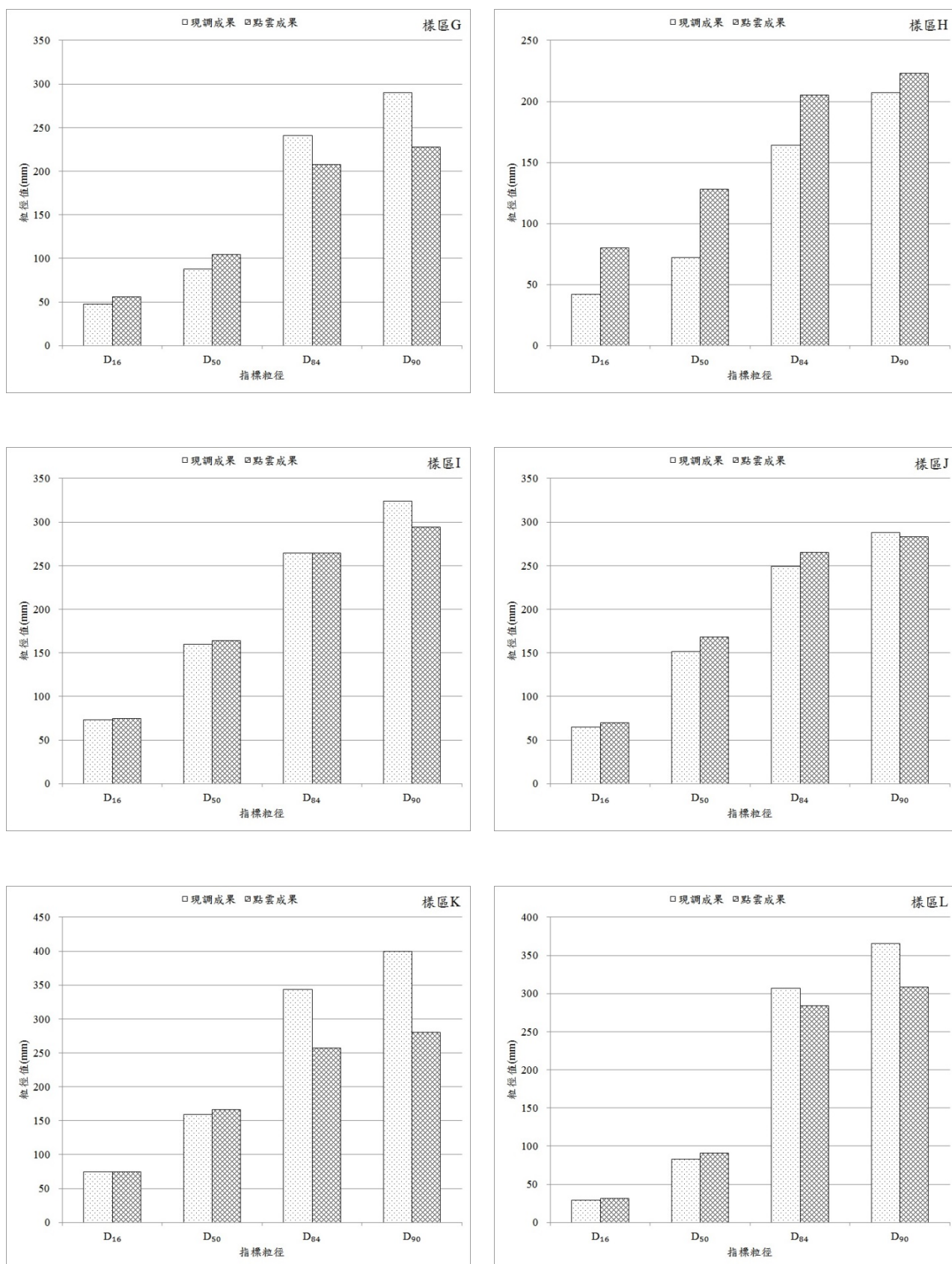


圖 5-2.5(續) 點雲糙度指標粒徑分析成果與現場調查成果之比較

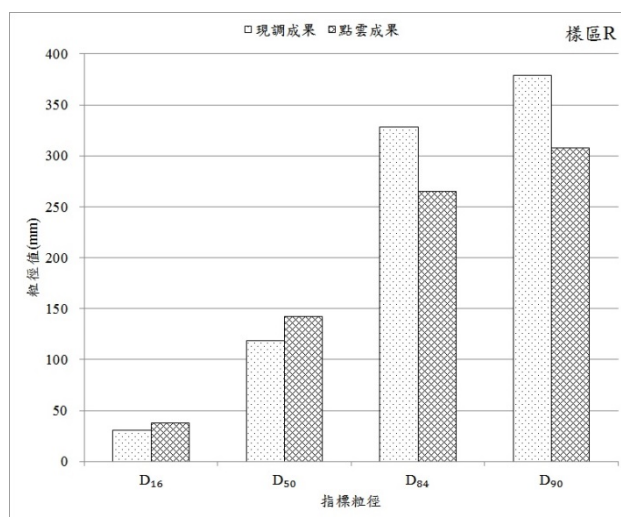
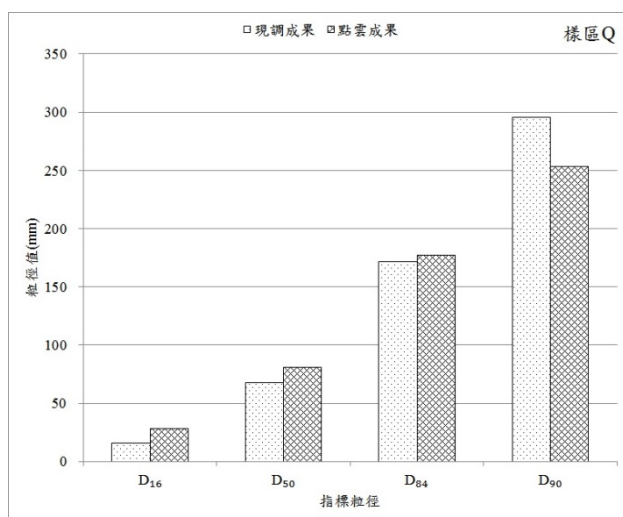
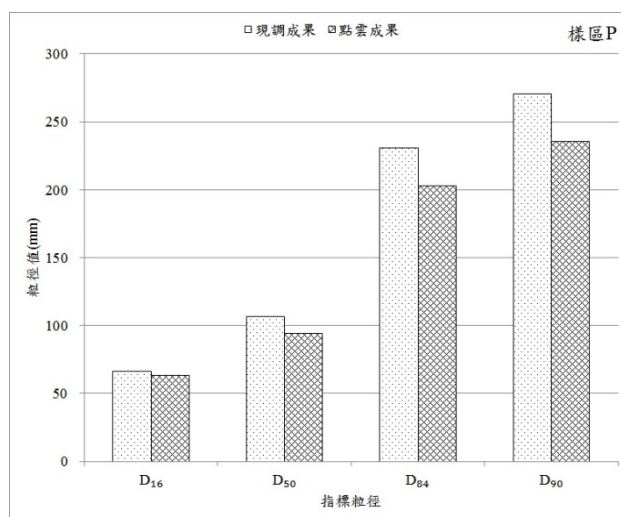
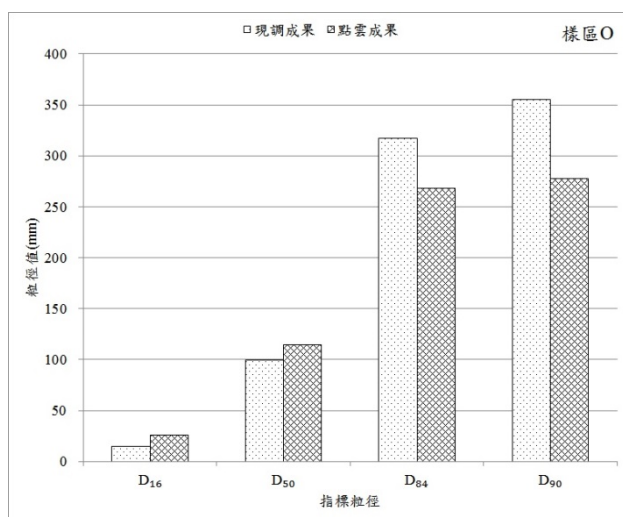
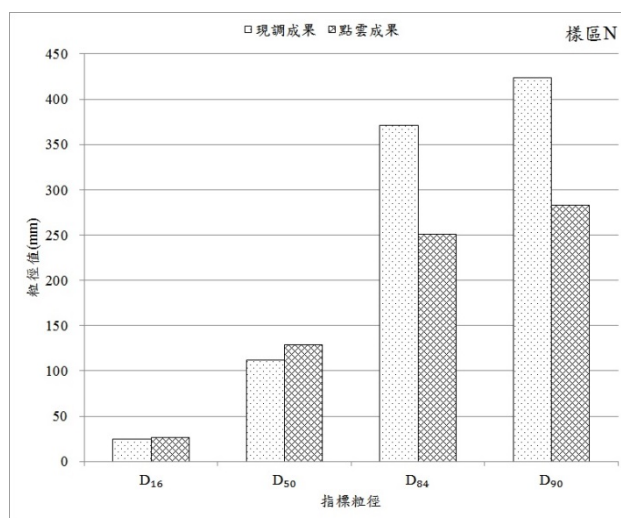
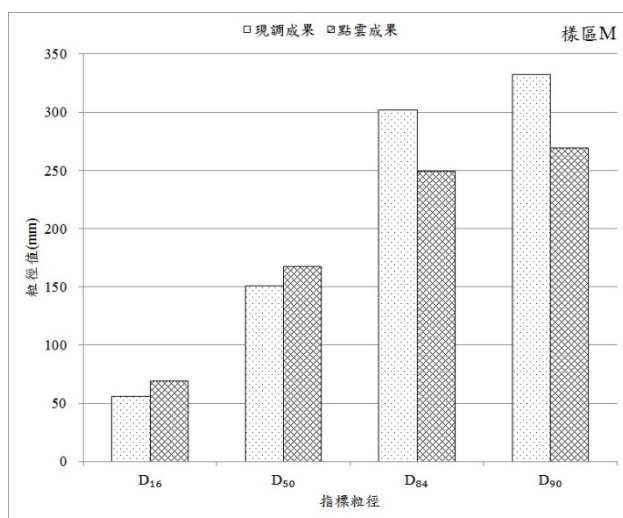


圖 5-2.5(續) 點雲糙度指標粒徑分析成果與現場調查成果之比較

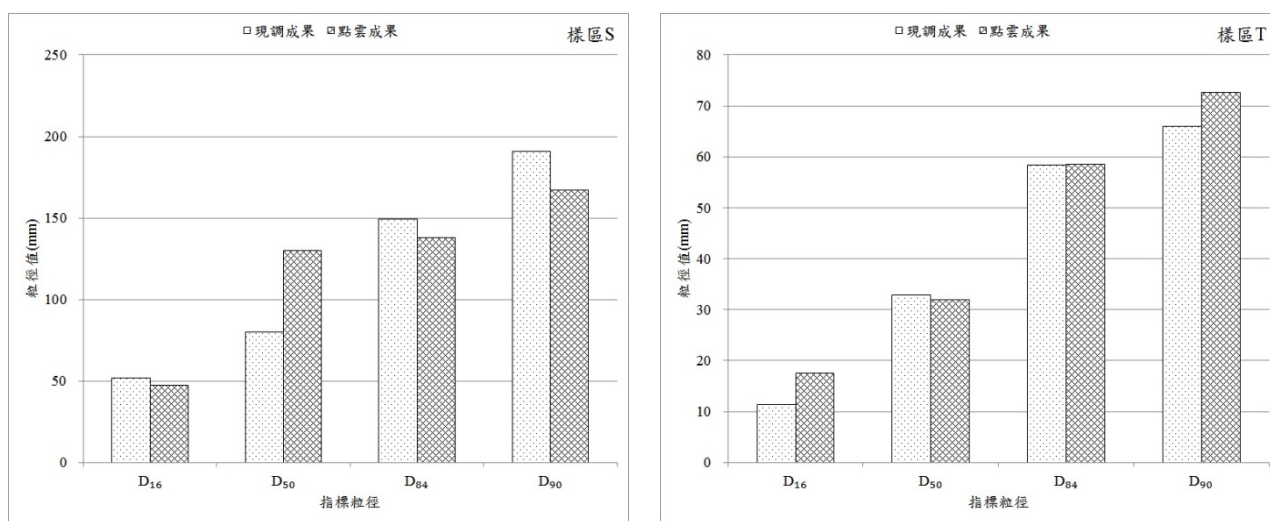


圖 5-2.5(續) 點雲糙度指標粒徑分析成果與現場調查成果之比較

表 5-2.1 點雲糙度分析指標粒徑之誤差分析

分類	樣區	效率 係數 CE	D16 (mm)			D50 (mm)			D84 (mm)			D90 (mm)		
			現調	點雲	誤差 百分比 (%)	現調	點雲	誤差 百分比 (%)	現調	點雲	誤差 百分比 (%)	現調	點雲	誤差 百分比 (%)
Uniform fine	A	0.92	29	34	17.79	57	52	-8.33	133	121	-8.88	163	136	-16.73
	B	0.86	42	25	-40.69	69	64	-7.08	148	164	10.72	164	194	18.36
	C	0.78	49	37	-24.11	78	65	-17.28	159	131	-17.46	189	146	-22.70
	D	0.64	36	40	11.45	66	68	3.30	154	105	-31.58	170	123	-27.76
	F	0.93	31	40	28.54	64	69	6.74	134	123	-8.02	207	175	-15.37
	H	0.64	42	80	90.77	72	128	78.08	164	205	24.78	207	223	7.53
	T	0.96	11	17	53.31	33	32	-2.73	58	59	0.31	66	73	10.02
Uniform coarse	E	0.93	52	47	-8.89	80	71	-11.52	157	141	-10.21	202	176	-13.12
	G	0.87	47	56	18.61	88	104	19.06	241	208	-13.64	290	228	-21.40
	I	0.98	73	75	2.01	160	164	2.51	264	264	0.06	324	294	-9.26
	J	0.98	65	70	8.11	152	168	10.85	249	265	6.49	288	283	-1.72
	K	0.69	75	74	-0.65	160	166	4.32	343	257	-25.08	400	281	-29.76
	P	0.92	67	64	-4.42	107	94	-11.96	231	203	-12.07	270	235	-12.94
	S	0.73	52	47	-8.48	80	130	62.82	150	138	-7.82	191	167	-12.44
Graded	L	0.95	29	31	8.00	83	91	10.10	307	284	-7.41	365	308	-15.68
	M	0.86	56	69	24.05	151	167	11.13	302	250	-17.32	332	269	-19.03
	Q	0.95	16	28	76.41	68	81	19.01	172	177	3.00	296	253	-14.39
Well-graded	N	0.69	25	27	5.82	112	129	15.02	371	251	-32.41	424	283	-33.21
	O	0.89	15	26	76.28	100	114	14.48	317	268	-15.61	355	278	-21.75
	R	0.88	30	38	24.65	119	142	19.70	328	265	-19.29	379	308	-18.70

表 5-2.2 影像粒徑分析與點雲粒徑分析之誤差平均值比較

分類	樣區	D16 (mm)		D50 (mm)		D84 (mm)		D90 (mm)	
		影像分析結果 誤差(%)	點雲分析結果 誤差(%)	影像分析結果 誤差(%)	點雲分析結果 誤差(%)	影像分析結果 誤差(%)	點雲分析結果 誤差(%)	影像分析結果 誤差(%)	點雲分析結果 誤差(%)
Uniform fine	A	-25.77	17.79	-6.30	-8.33	-11.74	-8.88	-4.58	-16.73
	B	-14.68	-40.69	-6.74	-7.08	11.41	10.72	21.02	18.36
	C	-32.03	-24.11	-26.44	-17.28	-7.49	-17.46	0.80	-22.70
	D	0.78	11.45	-5.64	3.30	-2.63	-31.58	13.80	-27.76
	F	4.13	28.54	-5.79	6.74	0.43	-8.02	-17.32	-15.37
	H	-44.75	90.77	-30.34	78.08	-18.71	24.78	-20.85	7.53
	T	23.77	53.31	23.66	-2.73	10.21	0.31	15.18	10.02
Uniform coarse	E	1.05	-8.89	12.44	-11.52	16.07	-10.21	16.44	-13.12
	G	19.78	18.61	34.15	19.06	13.27	-13.64	11.07	-21.40
	I	-14.92	2.01	-22.12	2.51	-1.51	0.06	-1.23	-9.26
	J	-20.36	8.11	-42.84	10.85	-36.03	6.49	-29.64	-1.72
	K	-15.26	-0.65	-18.37	4.32	-17.30	-25.08	-13.22	-29.76
	P	-5.82	-4.42	16.37	-11.96	17.35	-12.07	20.64	-12.94
	S	1.93	-8.48	14.95	62.82	19.27	-7.82	18.24	-12.44
Graded	L	106.03	8.00	82.72	10.10	4.38	-7.41	-0.30	-15.68
	M	-26.28	24.05	-21.48	11.13	-21.00	-17.32	-16.76	-19.03
	Q	202.64	76.41	65.90	19.01	43.23	3.00	4.63	-14.39
Well-graded	N	102.19	5.82	11.78	15.02	-25.20	-32.41	-22.03	-33.21
	O	386.37	76.28	63.02	14.48	-1.07	-15.61	0.94	-21.75
	R	140.21	24.65	43.88	19.70	4.93	-19.29	5.13	-18.70
誤差平均值(%)		59.44	26.65	27.75	16.80	14.16	13.61	12.69	17.09

第六章 結論與建議

第一節 結論

1. 由不同樣區特性、四種 dpi 解析度與兩個軟體分別進行測試，分析成果顯示，高解析度 dpi 在不同區位條件下大多較能貼近現場調查的成果，惟 600 dpi 與 650 dpi 判別成果並無太明顯差異，因此本研究綜合考量硬體效能、正射影像匯出檔案大小以及軟體判釋耗費時間等因素，以 600 dpi 解析度影像作為本研究粒徑影像判釋的基本條件設定。
2. BASEGRAIN 進行軟體粒徑自動判釋時，若影像內有大面積沙洲、水潭等區域，容易造成軟體誤判的情況發生，推論 BASEGRAIN 較適用於河岸兩側高灘地充滿乾燥卵礫石等環境較為單純的區位；而 Digital Gravelometer 因為其優異的影像處理分析方法，在進行粒徑影像判釋時，對於非卵礫石分布區域有較高效率之篩選剔除能力，因此相較於 BASEGRAIN 能有更佳的影像自動判釋能力與可信賴度。
3. 依據不同航高產製正射影像之粒徑區隔效果比較，以航高 25 公尺為例，最小可判釋粒徑大約為 3 公分，約略為影像解析度(0.81 公分)之 3.7 倍；最大航高 200 公尺時，最小可判釋粒徑大約為 28 公分，約略為影像解析度(5.53 公分)之 5.1 倍。因此，在本計畫的航高範圍(25m~200m)內，利用影像分析之最小判釋粒徑大致為影像解析度之 3~5 倍。
4. 依據航高 25 公尺各土壤特性分群裡之最佳一致性參數檢定成果，均勻細顆粒群(Uniform fine soil)最佳參數為： $m=5$ pixels， $s=15$ pixels， $T1=35\%$ ， $T2=1\%$ ， $w=1$ ；均勻粗顆粒群(Uniform coarse soil)最佳參數為： $m=9$ pixels， $s=8$ pixels， $T1=35\%$ ， $T2=2\%$ ， $w=3$ ；級配好(Graded soil)類別最佳參數為： $m=9$ pixels， $s=8$ pixels， $T1=35\%$ ， $T2=2\%$ ， $w=3$ ；級配良好(Well-graded soil)類別最佳參數為： $m=9$ pixels， $s=8$ pixels， $T1=35\%$ ， $T2=2\%$ ， $w=3$ ，4 個土壤特性分群中除均勻細顆粒群外，其他 3 群類別皆可以採用同一組最佳參數。

5. 依據本計畫之影像判釋粒徑成果顯示，判釋品質受到影像解析度影響甚鉅，判釋誤差率較高之粒徑區間主要集中在最小可判釋粒徑值附近範圍，且不同指標粒徑之平均判釋誤差率隨航高增加而加大。
6. 利用無人機航拍產製影像進行表層粒徑影像判釋分析，仍有可能受到影像色調、對比或解析度之影響而呈現判釋偏差。本研究嘗試以無人飛機航拍產製之密集點雲，進行空間統計分析，利用點雲糙度特性來推估調查樣區之指標粒徑。分析成果顯示利用 5 公尺移動視窗空間分析單元且去除地形坡度趨勢影響後之表層糙度，可分析出較佳品質之河床指標粒徑。
7. 綜合利用影像分析及密點雲分析所得粒徑之平均誤差率比較可知，在航高 25 公尺的條件下，約介於數公分範圍之中小粒徑尺寸，密點雲分析結果之平均誤差率大約只有影像分析結果的一半，顯示密點雲在較小顆粒材料判釋上之優勢；至於數十公分之較大粒徑範圍，兩者的判釋品質約略相近。

第二節 建議

1. 本研究對於現場河床表層粒徑調查之作業程序方法與規範係依照國際慣例並以優於水土保持技術規範之規定來進行，惟由於影像判釋或點雲判釋皆係以全區樣本進行分析，因此建議對於現場河床表層粒徑調查之測線縱向及橫向間距可採用比目前 1 公尺更小之採樣間距來進行現場調查，以便作為影像粒徑判釋分析及密點雲粒徑分析之檢定比較基準。
2. 影像粒徑分析之判釋正確性雖明顯受到不同航高產製影像解析度影響外，航拍時之環境光源條件是否能讓粒徑顆粒與周邊物體形成較明顯之色差對比亦為影像判釋品質之關鍵因素。建議後續可進一步探討不同之日照光源條件下，相同航高之無人機航拍產製影像的粒徑判釋品質比較。
3. 利用密點雲分析河床表層粒徑之關鍵因素除不同航高產製密點雲之空間解析度外，對於點雲雜訊及植生覆蓋位置點雲之濾除亦為重點課題。建議後續可進一步利用垂直向度解析度及植生穿透性更佳之無人機空載光達產製之密點雲，探討應用於分析河床表層粒徑之可行性。

參考文獻

1. Aberle, J., Smart, G.M. (2003). The influence of roughness structure on flow resistance in mountain streams. *J. Hydraul. Res.*, 41(3), 259–269.
2. Brasington, J., Vericat, D., Rychov, I. (2012). Modeling river bed morphology, roughness, and surface sedimentology using high resolution terrestrial laser scanning. *Water Resour. Res.*, 48, W11519.
3. Bunte, K., 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.
4. Chang F.J. and Chung C.H. (2012). Estimation of riverbed grain-size distribution using image-processing techniques. *Journal of Hydrology*, 440–441, 102–112.
5. Daniel V., Laurent B., Frédéric L., Alain R. (2017). Using UAS optical imagery and SfM photogrammetry to characterize the surface grain size of gravel bars in a braided river (Vénéon River, French Alps). *Geomorphology*, 285, 94–105.
6. Detert, M., Weitbrecht, V. (2012). Automatic object detection to analyze the geometry of gravel grains – a free stand-alone tool. *River Flow 2012 – Murillo (Ed.)*, 595-600.
7. Detert, M., Weitbrecht, V. (2013). User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN. *Advances in River Sediment Research – Fukuoka et al. (eds)*, 1789-1796.
8. Gomez, B. (1993). Roughness of stable, armored gravel beds. *Water Resour. Res.* 29 (11), 3631–3642.
9. Graham, D.J., Reid, I., Rice, S.P. (2005a). A transferable method for the automated grain sizing of river gravels. *Water Resour. Res.*, 41, W07020, doi:10.1029/2004WR003868.
10. Graham, D.J., Reid, I., Rice, S.P. (2005b). Automated sizing of coarse grained

- sediments: Image-processing procedures. *Math. Geol.*, 37, 1 – 28.
11. Harada, M., Arakawa, T., Ooi, T., Suzuki, H., Sawada, K. (2016). Development of bed topography survey technique by underwater imaging process for UAV photogrammetry. 河川技術論文集, 第 22 卷, 67-72.
 12. Heritage, G., Milan, D.J. (2009). Terrestrial laser scanning of grain roughness in a gravel bed river. *Geomorphology*, 113(1), 4–11.
 13. McNeil, W.J., Ahnell, W.H. (1964). Success of pink salmon spawning relative to size of spawning bed materials. US Fish and Wildlife Service Special Scientific Report, Fisheries No. 469.
 14. Rychkov, I., Brasington, J. Vericat, D. (2012). Computational and methodological aspects of terrestrial surface analysis based on point clouds. *Computers & Geosciences*, 42, 64–70.
 15. Storz-Peretz, Y., Laronne, J. (2013). Morphotextural characterization of dryland braided channels. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 125(9–10), 1599–1617.
 16. TERADA, Y., FUJITA, I., ASAMI, K., WATANABE, Y. (2015). Measurement of grain size distributions of a cobble bar before and after a flood by using images taken from an UAV. 土木学会論文集 B1(水工学), 71(4), I_919-I_924.
 17. Tseng, C.M., Jan, C.D., Wang, J.S., Wang, C.M. (2007). Application of artificial neural networks in typhoon surge forecasting. *Ocean Engineering*, 34, 1757-1768.
 18. Weichert, R., Wickenhäuser, M., Bezzola, G.R., Minor, H.E. (2004). Grain size analysis for coarse river beds using digital imagery processing. *Proc. RF 2004*, Naples, Italy, 753–760.
 19. Wohl, E.E., Anthony, D.J., Madsen, S.W., Thompson, D.M. (1996). A comparison of surface sampling methods for coarse fluvial sediments. *Water Resources Research*, 32 (10), 3219-3226.
 20. Wolman, M.G. (1954). A method of sampling coarse river bed material. *Transactions of the American Geophysical Union*, v35, n6, 951-956.
 21. 王驥魁，陳嘉欣，邵允銓，吳富春(2008)，「河床質粒徑分布之數位影像光

- 篩分析」，農業工程學報，第 54 卷，第 4 期，16-32。
22. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2006)，「河床質調查方法之比較研究」。
23. 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」。
24. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2009)，「河道曼寧 n 值與河床質粒徑關係之研究(2/2)」。
25. 鍾昌翰，張斐章(2009)，「影像處理應用於河床粒徑分佈之研究」，台灣水利，第 57 卷，第 2 期，12-23。

附錄

附錄一、期中報告書審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
一、研究內容補充說明：		
1.	P2-5，建議說明B軸定義及為何選取B軸。	本計畫主要依據「河床質調查方法之比較研究」(2006)手冊之網格式卵石採樣方法(Pebble counts)作業方法，此法亦為國外學者常採用之作業方式。
2.	P3-6，建議繪製航線高度、相片DPI值與影像地面解析度之比較圖，以利說明後續研究分析選用航線高度與解析度。	已於期末報告書補充各航高之影像地面解析度。
3.	P4-13，圖4-3.6至圖4-3.11請補上橫軸粒徑分級單位。	已於期末報告書補上粒徑單位。
4.	P4-20，表4-3.1及表4-3.2請補上有效粒徑單位。	此表於期末報告書已移除。
5.	P4-20，表4-3.1及表4-3.2，有效粒徑所指為何？何以不就 D_{16} ， D_{50} ， D_{84} 等指標粒徑比較之。	後續關於影像判釋及點雲糙度分析，皆以4種指標粒徑： D_{16} 、 D_{50} 、 D_{84} 、 D_{90} 作為比較對象。
6.	P4-21，圖4-3.21至圖4-3.24請補上橫軸粒徑分級單位。	此4張圖於期末報告書已移除。
7.	P6-1，由Particle D_{50} 及Stand deviation of elevation所做之圖A及圖B所得之涵義為何，請補充說明。	此圖於期末報告書已移除。
8.	P6-1，原圖6-0.1中A及D為 D_{84} 與Roughness height關係，請補充說明此圖之代表意義。	此圖於期末報告書已移除。
9.	P6-1，原圖6-0.1中B及E為 D_{84} 與2倍標準差關係，請補充說明此圖之代表意義。	此圖於期末報告書已移除。

項次	審查意見	回覆辦理情形
10.	P6-1，原圖6-0.1中C及F為 D_{84} 與RMSH關係，請補充說明此圖之代表意義。	此圖於期末報告書已移除。
11.	現地實測與影像分析之粒徑分佈曲線比較，是否宜以20區之結果綜合比較，以探討兩者之差異與可行性？	本計畫以所有 20 個樣區現調成果，分別比較影像判釋分析與點雲糙度分析兩種作業方法之可行性。
12.	UAV影像之垂直高度判釋，其精度足以判釋糙度與否？宜有合理說明。	本計畫主要利用點雲間相對高差的統計資訊來分析河床糙度，而非絕對高度。依研究成果顯示，利用密點雲確實可作為河床表層粒徑調查方法之一。
13.	高程之標準偏差與粒徑之間，是否具相關性，宜有物理意義解讀。	點雲統計特性(標準偏差)與粒徑之間關連性已有多篇知名期刊論文探討(Aberle and Smart, 2003; Brasington et al., 2012; Rychkov et al., 2012; Storz-Peretz and Laronne, 2013)，主要因密點雲之高程偏差足以反映地表粗糙程度，而粗糙程度則與粒徑尺寸有關。惟以往相關文獻係以地面光達產製點雲，較不具空間作業效率，因此本計畫嘗試利用無人機產製點雲來分析表層粒徑。
二、報告撰寫建議說明：		
1.	報告第一章，頁1-3及1-4裝訂位置錯誤，再請修正報告書格式。	已於期末報告書更正。
2.	P2-3，...(圖4)應修正為(圖2-1.3)。	已於期末報告書更正。

附錄

附錄二、期末報告書審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告書內容審查意見：		
1.	建議可將完整作業流程(執行應注意事項及限制條件等)提供給本局，作為後續實務上之參考。	本計畫擬結合更多現場調查及判釋作業成果，以進一步研擬無人機在河床表層粒徑分析之作業手冊草案，作為相關業務單位之應用參考。
2.	此研究成果除受限於最小可判釋粒徑外，對於河床表層粒徑於較下游段粒徑比較均值，是否可能造成誤差較大之情況？	依據本計畫目前針對不同粒徑級配區域之判釋成果，粒徑較均值區域，尚未有誤差率較大之情形。
3.	河床質有水或顏色較深時，是否會影響其測試結果？請說明。	河床質若僅因濕潤導致顏色較深，與周邊粒徑或材料仍有足夠判別度時則不致影響分析成果。
4.	此研究成果除能判別出卵石外，是否能針對其他大小之粒徑進行判釋？	以目前航高 25 公尺為例，最小可判釋粒徑大約為 3 公分，更小的粒徑尚無法有效判釋。
5.	於河床取樣過程中，取樣位置不確定性很高。在這種情況下，要如何評估 UAV 於河床粒徑的結果？請說明。	的確基於現場調查取樣區域選取之不確定性及代表性，因此本計畫建議以無人載具航拍較能全區完整分析河床材料粒徑。